

唯有人类，将宇宙照亮

文盲正侃 时间史

史上最好读的物理科普书

我们缺的是一本用人民群众耳熟能详的语言讲述物理的科普书
比课本**生动**，比笑话**正经**，比小清新**重口**，比谢耳朵**文艺**
科普界的袁腾飞——文盲老师带来你没读过的物理史
天涯论坛点击率过百万，最牛最正经的科普帖



刘继军◎著

江苏人民出版社

目 录

上部

物理正传（古典、经典、现代物理）

前言

第一章 科学的滥觞

第二章 晕死人的时间

第三章 我们应该怎样认识世界

第四章 所谓常识

第五章 苹果传奇

第六章 所谓科学理论

第七章 牛顿的宇宙

第八章 智慧之光（上）路线与战争

第九章 智慧之光（下）速度与激情

第十章 相对论前传（上）暗夜传说

第十一章 相对论前传（下）天际微白

第十二章 狭义相对论（上）曙光

第十三章 狭义相对论（下）新世界

后记 写给我挚爱的同好们

下部

物理传奇（相对论、粒子物理、量子力学）

前言

第一章 广义相对论（上）山重水复

第二章 广义相对论（中）柳暗花明

第三章 广义相对论（下）铁证如山
第四章 量子论前传（上）雾锁迷云
第五章 量子论前传（中）乌云来袭
第六章 量子论前传（下）不诉离殇
第七章 量子论一 风云际会
第八章 量子论二 谁主沉浮
第九章 量子论三 世纪论战
第十章 量子论四 何去何从
后记 再给我挚爱的同好们

文盲正侃时间史

(上部)

物理正传

(古典、经典、现代物理)

前言

很多人是这样死去的：他以为世界就是自己这辈子看到的那样。就这一次生的机会，还被自己骗了，人世间最蛋疼的事莫过于此。

为了不白活一回，我们也得考量考量，这个世界究竟是个神马玩意儿。哪怕只是瞎子摸象，摸不出灵感，也好歹混个手感。

我们对宇宙的思考越多，发现未知的问题就越多。面对宇宙，全人类的智慧加起来，用四个字概括：浮云而已。

相对论、量子论、黑洞、时空弯曲、奇点……面对这些东东，技校学历的哥，就是文盲中的那个永恒传说——超级文盲！文盲写的东西，最大的亮点就是：易懂。OK，正文开始！

时空真的可以穿越吗？找到风华正茂的苏小小、李师师、陈圆圆，在技术上可行吗？



各种穿越宇宙有边吗？没有边的东西怎样存在？如果有边，边的外面又是什么？——总之有边和没边都很纠结——我曾无数次被这个问题折磨得寝食难安魂不守舍为伊消得人憔悴。

问题还有N多。有多少问题，不是问题。问题是，越不知道，越想知道。这就蛋疼了。

你，我，还有TA，在人生的某些时刻，一定被这些很傻很天真问题折磨过，煞有介事地冥想推理、抽丝剥茧，结果是，

在思索中抓狂，原本清晰的思路变成一团麻，最终在无比纠结中放弃，还立下了永不犯傻的誓言。

因为，我们还要晚自习、加班、还房贷、办证、盖章、打酱油、请客、送礼、开会、交费交费和交费。

但，仰望星空，多大的忧伤和压力也阻止不了我们胡思乱想。

天生好奇的我们，在独处时偶尔还会不由自主地回到这些问题，偷偷地张开思想的翅膀扑腾那么几下，尽管最后的结果都是一样的——绝望地收起并不丰满的羽翼跌回神奇的现实。

感谢所有的 TV、感谢“受谢强迫症”患者的八辈祖宗，现在科普著作很多，它们以各种风格回答了这些问题。

虽然这些问题，在其他地方也能找到答案，比如《佛经》《易经》《圣经》《西游记》、奶奶讲的故事等等，但科学理论提供的答案是看起来最靠谱的，因为它每个答案都是由科学观测、推理、计算、实验、实践得来的。换句话说，有证据表明它还是比较靠谱的。

翻阅科学史料，不消深入研究，我们就会发现，很多问题的答案是那样的匪夷所思，完全颠覆了我们的认识。世界的真相，其美丽、其深邃、其神秘、其残酷……都让我们震撼不已。科学家们寻找这些答案的过程也是曲折离奇、惊心动魄、美轮美奂。

兴奋、欢乐，这种感觉不拿出来分享，就像独处洞房，不仅少了成就感和幸福感，还多了孤独感和罪恶感。所以，就让你、我，茶余饭后，相约穿越，与史上各位科学巨人一起，去探索宇宙的终极秘密吧！出发！

第一章 科学的滥觞

懵懂

天苍苍，野茫茫，风吹草低见牛羊，还有虎豹和豺狼。生机勃勃而又危机四伏的大地上，我们的祖先跌跌撞撞，一路迷惘。

有空迷惘，也是一种奢望，因为我们太忙。忙什么？生存。这涉及到三件大事：找点什么东西吃；防止被什么东西吃掉；繁衍后代。

但我们没有锋利的爪牙和犄角，跑得不够快，下水会淹死，想飞没翅膀，不仅没有鳞甲，连护体的毛都越来越少，到后来只剩两处不太好吃的地方才长毛，好像我们生来就是为了方便别的动物吃。这个发现真令人沮丧，原来，世界上第一种方便食品，是我们自己。

想起这些就让我们头大。难道我们走上了绝路？其实头不白大。肢体上的劣势，逼着我们只能靠头脑生存，然后越来越聪明。

我们学会了合作，开始思考和判断。

有一天，我们拿起了石头和棍棒。从此，我们不必仅靠肢体去战斗。

有一天，我们懂得了加工石头和棍棒。它们比爪牙和犄角更好用。

有一天，我们觉得彼此之间必须得说点什么了……

生产力的提高、语言的产生，让我们的思维更活跃，更广阔。终于，我们有能力迷惘了！

我们已经忘了第一个问题是什么，但可以确定的是，那时，只有问题，而没有答案。知道为什么我们总是说“不知道”吗？因为那是人类对所有问题的第一个标准答案。

我们怎么会在这里？是谁让花鸟虫鱼山石草木飞禽走兽

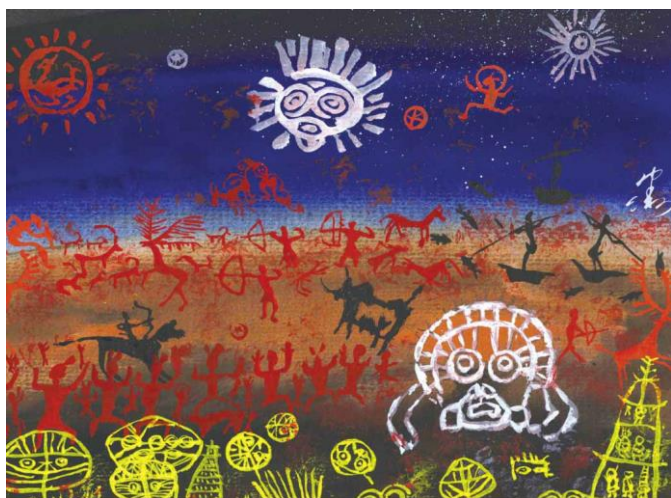
长成这样的？日月星辰……天呐这太高深了！我……我……我饿了……

后来，有些问题可以解答了。凭经验。

比如：人会死吗？会的。怎么知道的？因为谁都没见过不会死的人。

比如：天会下雨吗？会的。怎么知道的？因为大家常见天下雨。

……



【图 1.1】 懵懂

经验，可以帮助我们解答一部分问题。

但是，这些答案不能上升到更高的层次——闹不清“为什么”，就是知其然，而不知其所以然。人为什么会死？天为什么会下雨？不知道。大自然是那样的丰富多彩：风雨雷电，春夏秋冬，高山深水，夜空密林，日升月落，生老病死，地震，野火，洪水……离不开，躲不掉，看不懂，想不通，我们的记忆和思维能力越来越强，于是越来越好奇，这些为什么会存在？这一切怎么发生的？

最合理的、最容易得到的答案是：有一种神秘的力量在操纵天地万物！

神秘，引来好奇，也伴随着恐惧。我们所能做的，只有膜拜。于是，原始宗教产生了。

那种神秘的力量被不同的人群解释为不同的事物：神仙？妖怪？谢谢。那只是一个代号。叫什么都好，总之，它是无所不能的。虽然代号无所谓，但崇拜的对象及形态很重要，我们总不能膜拜空气吧？

于是从旧石器时代晚期开始，我们有了图腾崇拜、自然崇拜和祖先崇拜，鸟兽草木、高山大地、江河湖海、日月水火，还有人的祖先，都可以作为我们的神。我们希望通过请请客、送送礼，搞搞对神的崇拜和祭祀，来换取神的护佑和启示。这可能是最早的交换吧。

从此，我们懵懂无依、敏感脆弱的心灵有了寄托和归宿。

从此，很多问题有了答案：天为什么下雨？是神干的，为了让万物生长；为什么雨下多了？是有人惹神仙生气了。为什么又不下雨了？是神仙又生气了……洪水、火山、地震、日食、瘟疫……唉，这神仙，心眼忒小，气性忒大。所以我们只好加倍小心供奉。

怀疑

几十万年过去了。人，越来越聪明。

我们根据经验，学会了用火、播种、放牧，发明了弓箭、陶器、铜器、铁器，创造了绘画、文字……

传说在石器时代，中国的伏羲就创造了八卦，把自然界中相对立而又相联系的事物，如冷暖、日月、高低、软硬、雌雄、明暗等，归纳为“阴阳”，用阴阳相生相克来解释万物。如果这件事发生的年代确定，这大概是史上第一个不用神力解释自然的系统理论了，它朴素、简单而优美，实在是一个伟大的创举。

但是，这个理论过于聪明了。说过于聪明，是因为这个理

论是靠纯粹的聪明创造的。当然，那是在原始社会，我们不能站着说话不嫌腰疼，苛求人家创造出既有事实依据，又有实验支持，还有观测检验的理论来。所以，它只能是靠“(经验+直觉)×智慧”来支撑的哲学。

遗憾的是，后来国人把这种哲学技巧推高到极致。它的特点就是，结论笼统隐晦，一言多解，不能被证伪，可以解释一切已经发生的，但不能肯定、准确地预言将要发生的。只管“定性”，不管“定量”。解释清了是理论精深，预言不准是你没学好。虽然我谁也打不过，但谁也打不倒我。总之拎不清。

到公元前 1000 多年前，周文王以伏羲八卦为原理，著成《易经》，成为中国传统思想文化中自然哲学与伦理实践的根源。这是后话不提。

语言、文字、人的思维能力，这三者是互促互进的。人类文明开始迅速发展。

公元前 3000 年前后，埃及人搞出了十进制数学。

公元前 2000 年前后，巴比伦人的数系得到充分发展，十进制和六十进制（比如计时）并存。

公元前 1800 年前后，数字符号开始丰富起来了。

公元前 1100 年前后，姬昌也就是后来的周文王蹲监狱时写了一本书：《易经》。

公元前 776 年，中国史载日蚀记录。第一届奥运会在古希腊奥林匹亚召开。

公元前 613 年，中国《春秋》记录哈雷彗星。其后不久，古希腊阿那克西曼德的《论自然》问世。

有证据的最早的医学著作，是写于公元前 2500 年-1200 年间的“埃及纸莎草书”。书云：

人为嘛生病？是魔鬼啊等坏东西进到身体里了。

咋治？祈祷、念咒、斋戒或佩戴符咒，赶跑这些坏东西，至少让它们稍安勿躁。

当然，还得搞搞仪式，吃些动物、植物、矿物原料配制的药物什么的。

宗教也在迅速发展。教义和礼制越来越丰富、越来越完备了。神的形象和分工也越来越细了。

虽然神仙越来越具体，但由于他们从不出现，所以总是让人感到太飘渺太虚无了。人越思考，神的形迹就越可疑。

经验，再次帮了我们的忙，人们发现，你虔诚，或者不虔诚，病就在那里，不来不去；你祈祷，或者不祈祷，天气就在那里，忽阴忽晴……没人见过神仙，巫术也总掉链子。没人见过无处不在的神干过什么。为什么？

这是怀疑的开始。

我们依靠经验，能预言很多东西，比如：乌云密布，可能会下雨；秋天来了，树叶会落；种子埋在土里，会发芽；公羊和母羊洞房后，会生小羊；石头扔进水里，会沉下去……这就是归纳，科学的最初手段。归纳来归纳去，我们发现，这一切，似乎与神物无关。

与神物有关的预言，往往又不灵。比如，世界许多人群都相信，日食和月食，是被天狼或者天狗吃下去了，只要我们制造大量噪音，就能像轰走其他动物一样，轰走这些贪吃的家伙，把太阳 GG 和月亮 MM 救出来。几千年也没人深究：这天杀的吃得下太阳，个头一定很大，为啥它在太阳旁边时，我们看不见它？

一个相当古老的夜晚，有个失恋的男青年，独自来到山坡上看月亮。这时，月食发生了。他邪恶地想，反正酋长的女儿再也不会陪我看月亮了，吃了就吃了吧。万籁俱寂中，青年惊奇地发现，像以往的月食一样，月亮渐渐消失，又渐渐出现，不快也不慢。咦？！

再后来，越来越多的人发现，日食、月食、火山、地震跟神仙无关，跟人也无关。神仙好像只顾忙自己的事，他个仙人

板板啥子也不管。靠谁不如靠自己啊！

理性

公元前 6 世纪上半叶，古希腊出现了一批思维不正常的人，泰勒斯、毕达哥拉斯、赫拉克利特等，他们不像以前的人那样，多凭经验和直觉思考，而是更多地使用逻辑，进行理性的思辨，探求世界的本质。对，这就是哲学。

哲学家们开始琢磨，世界是由什么组成的，它的成分、结构和运作原理，有没有违规添加剂？这些东西都是从哪儿来的？地震、日食、雨雪等这些千奇百怪的现象，都是怎么发生的……一时间七嘴八舌，好不热闹。比方说，西方科学和哲学之祖泰勒斯认为，水生万物，万物复归于水，大地就漂在水面上；数学家毕达哥拉斯（勾股定理的最早发现者）认为，“数”是物质的根本实在，于是他把数学作为探究世界的基本工具；“万物皆流变”学说的创始人赫拉克利特认为火是万物之本，他说，天体是盛满火的碗，当碗口背向我们时，就发生日食、月食等……虽然有些观点现在看来很幼稚，但我们发现，自然的人格化消失了，在对自然现象的解释中，事必躬亲的神仙被请了出去，取而代之的是规律性。这一点非常重要，它说明，人对自然的思考，开始走向理性。

那时，米利都派已经在建立唯物论和一元论了，他们认为，世界是由唯一的一种基本实体组成。

理性，不仅为神仙们减了负，还让天上的星星清晰起来。

人类从学会思考时起，就对星空好奇不已。宗教出现后，我们不约而同地把星星与神仙、命运、天意等联系在一起，加上历法的需要，天文学就此产生了。

最初，人类不约而同地认为世界是神创造的，宙斯、耶和華、盘古……但这些传说并不妨碍我们对星空的实际观测。

人们很早就发现有几颗星不老实，总在乱动。公元 5 世纪前后，巴比伦的祭司们就锁定了金木水火土和日月这七颗星的

活动范围，我们管它叫黄道带。他们记下观测结果，积累大量数据，通过计数的方式找到规律，从而做出一些预言，比如新月出现的时间，甚至能预言月食，虽然不太准。

实际的观测和数据分析，理性的计算和规律总结，这就是先“定量”，再“定性”。我们一脚踏入了科学之门。

公元前6世纪下半叶。老子的《道德经》问世，他说，“道，可道，非常道。名，可名，非常名。无，名天地之始，有，名万物之母……”而孔子正在和礼法较劲，他见本该只欣赏48人组舞蹈的季氏，居然私自欣赏只有天子才能用的64人组的舞蹈，吼出一句名言：“是可忍，孰不可忍？！”受到了领导的好评，当然，领导的好评就是群众的一致好评。

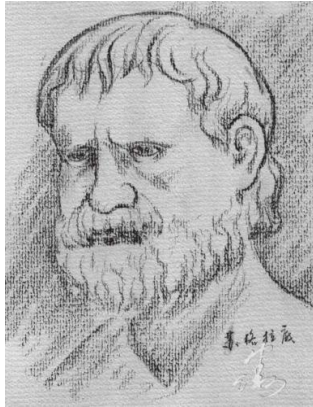
这时，留基伯和德谟克利特继承并发展了唯物论和一元论，他们提出：世界，是一个无限的虚空。虚空中，有无数小到看不见的固体粒子，叫做“原子”，这些原子随意运动、碰撞、排列，形成了万物。这个学说的重点是，任何事物，都是原子遵从规律运动的必然结果，不受神力和精神的控制。

但是，巴门尼德却认为，运动，或者叫变化，是不存在的。他的学生芝诺还搞出一个有趣的逻辑悖论，大意是：运动就是物体在有限的时间内，从一点到达另一点。但是，任何距离都可以分成无穷个小间隔。在有限的时间内，穿越无穷个间隔，是不可能的。所以，运动也是不可能的。他们得出结论：虽然经验和感觉告诉我们，变化是存在的，但从理性上看，这只是很真实的幻觉。

这个悖论结构简单，体积小，却结实耐用，让几代哲学家大伤脑筋。由它可见，这阶段，希腊哲学家的逻辑和论证功力提升神速。

后来，恩培多克勒用折中的办法，勉强应付了这个悖论：构成万物的基本元素既不产生也不消亡，这就满足了“不变”的要求。但它们因“爱”与“斗”而聚合、分离，这又产生了

“变化”，就像我们感觉的那样。这个说法没解决悖论，只是和了一团稀泥。



【图 1.2】很牛的熟人苏格拉底

公元前 5 世纪下半叶，一个熟人出现了：苏格拉底，西方哲学的奠基人。他说，研究天啊地啊这些东西不实用，还不如研究人，可以促进社会和谐。他使希腊哲学的重心，从宇宙关怀偏向政治和伦理关怀。老苏虽然成功地转移了哲学家的注意力，但大家并没有放弃对宇宙的思考。相反，老苏精妙的思辨方法，使哲学更加成熟，辩证思维方法直逼事物的本质。

老苏不仅本人很牛，他的弟子，以及弟子的弟子，也是一个更比一个牛。柏拉图和亚里士多德，他俩与老苏并称为“古希腊三大哲学家”。他们传承的，不只是老苏的知识，更多的，是独立思考的能力。

起步

公元前 5 世纪和 4 世纪之交，期盼已久的时刻终于来到了——中国也出了一个牛人：墨子，墨家学派的创始人。他不仅是思想家、教育家、军事家、社会活动家，还是个哲学家、科学家。



【图 1.3】懵懂墨子

墨子反对老子关于“天下万物生于有，有生于无”的说法。他认为，宇宙是一个连续的整体。时间和空间都是连续不间断的。对于整体来说，时空是无穷的，而对于部分来说，时空则是有限的。

他说，物体的运动，在时间中表现为先后的差异，在空间中表现为位置的迁移。离开时空的运动是不存在的——这个相当的牛。

他还讨论了物体受力运动，提出作用力和反作用力，如果没有阻力的话，物体会永远运动下去——这个太牛了！

墨子还对光学、力学进行了研究，讨论了平面镜、凹面镜、凸面镜成像的现象，阐明了光沿直线前进、光影关系和小孔成像原理，用秤杆平衡为例，阐明杠杆原理，还对斜面、重心、滚动摩擦等问题进行了研究。

墨子研究数学，给出了直线、倍、平、同长、中、圆、正方形等数学定义，比如，“圆，一中同长也。”与欧几里得几何

学中圆的定义完全一致。

值得一提的还有“墨辩逻辑”，它使得中国古代逻辑，无论在理论上还是在体系上，都达到了较为完整的程度。

我是有多希望墨家——这个中国古代的科学家集团强盛起来啊！但是没有。

那么好吧，墨子取得了这么多的成果，在世界科学史上应该占有较高的位置了吧？这个总该有吧？

还是没有。这个答案太狗血。但，这就是历史。

虽然墨子的科学成果已经达到当时的世界水平，有的观念还相当的领先。但可惜的是，那时中国人的注意力都在眼前利益上。而解释万物，都喜欢用含糊晦涩的表达来显示高深。儒道二家的话，领导们爱听，就得到大力弘扬，浸入国人的灵魂，刻进了我们的DNA。劳心者治人，劳力者治于人。自然科学被划在“劳力”范畴，地位低下。于是，国人对摆布人的兴趣，远远超出研究自然的兴趣，如果能把这两种兴趣定量，将出现一个十分变态的比例。所以除了墨家，没人对这些不能当饭吃、不能换取金钱地位美女的东西感兴趣。于是，墨子之后，他的成就便渐渐束之高阁，无人问津，到汉朝就淡出了历史舞台，著说多有失佚。直到两千多年后，才被学者们从一些残篇中“发现”。可以说，墨子科学成就所产生的影响，只是让两千多年后的我们震惊了一把。

我们知道，由于古代信息不畅，一些科学定律、理论，在不同的地区被反复发现和建立，这就涉及到科学发现的优先权问题。对此，我们不仅要看发现的时间，更要看它是否问诸于世、是否得到世人承认和传播，以及产生了多大的影响。比如，公元前3世纪，古希腊天文学家、数学家阿利斯塔克就提出地球自转、还绕太阳转的“日心说”，但，一来他没有给出充分证明；二来没被世人接受，也没产生什么影响，所以日心说不归他。

唉！不毛之地。不知是毛的悲哀，还是地的悲哀。既然搞不清楚，那咱们还是说说古希腊吧。

柏拉图，活跃在公元前4世纪和3世纪之交，古希腊伟大的哲学家，也是全部西方哲学，乃至整个西方文化最伟大的哲学家和思想家之一。我们最初认识阿图，大概都很浪漫，是从“柏拉图式爱情”开始的。虽然阿图的巨大贡献与爱情无关，但“柏拉图式爱情”的概念，也反映了阿图尊崇理性、排斥感官感受的一贯思想。

阿图把理性推上至高无上的地位。他认为，我们凭感官感觉到的这个世界，只是真实世界的简单投影而已。所以，人要获得真正的知识，感觉是靠不住的，必须完全靠理性才行。也就是说，我们必须把看到的、听到的、闻到的、尝到的、触摸到的这些感觉统统忘掉，只有用纯理性的逻辑思辨，才可能找到世界的真相——最根本的实在。

这个结论听起来很荒谬，但在某种意义上，它确实更接近事物的本质。关于这一点，我们以后将详细讨论。

事实是，柏拉图用他的理性，确实得到了更先进的理论。

阿图认为，造物主按照几何原理创造了完美的世界。他接受了恩培多克勒的“水、火、土、气”四元素说。还受到了毕达哥拉斯用数学构建宇宙的思想影响。结果是：他构建了“几何原子论”。

阿图告诉我们，最根本的东西是等边三角形。三角形是二维图形，所以它是非实体的——是不是有点眼熟啊？对了，好像跟现在弦论所说的“膜”有点类似。虽然二维的东东是非实体的，但是，就像咱小时候玩积木那样，把它们拼拼接接，就能组成各种形状的三维粒子，每一个形状对应一种元素。

由于真实的世界是完美的，所以，出于美学考虑，这些三维粒子，必须是由完全相同的平面组成的对称几何体——“正多面体”。而据目前所知，只存在5种正多面体：

四面体，4个等边三角形→火元素。

六面体，也就是正方体，6个正方形→土元素。

八面体，8个等边三角形→气元素。

十二面体，12个等边五角形→水元素。

二十面体，20个等边三角形→整个宇宙。

平面形状构成物体，反过来，物体最终可以还原成平面。

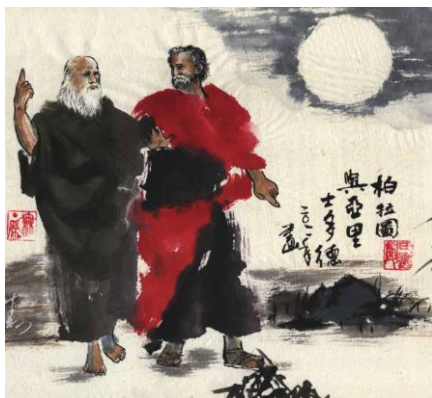
这看起来很不理性的，但仔细推敲一下，我们会相当佩服这位公元前的牛人。这个理论有三个特征：元素以不同比例混合，能产生不同的物质；图形可以拆分组合，允许一种元素变成另一种元素；能用数学演算事物变化——对自然认识的数学化的重要一步。

阿图还具体描述了我们的宇宙：从美学角度考虑，他认为所有天体都是圆形的，包括我们脚下的大地。地球静止在中心，被圆形的天球包围着，天球每天自转一圈。在天球上，有与地球赤道对应的赤道，太阳、月亮以及其他行星的路径，在倾斜于赤道的一个圆周带上，我们管它叫“黄道”。在黄道上，太阳每年绕一圈，月亮每月绕一圈，其他行星速度各有不同，有时还会逆向运动。柏拉图甚至看出来，水星和金星是太阳的跟屁虫，总是离太阳不远。这一理论较好地解释了天体运行、日月食、四季等现象。要知道，那是在公元前4世纪上半叶啊！强悍啊！

更强悍的是阿图的学生——亚里士多德。古代史上最伟大的哲学家、科学家和教育家之一。逍遥学派的创始人，亚历山大的老师。不说别的，单看人家老亚的老师和学生，就足以让所有人鸭梨山大。

我们来看看，老亚是怎么看这个世界的。

他说，我们处在一个有序的世界，万物都按照自己的本性运行，掌握了这些本性，我们就能预测万物的发展。



【图 1.4】柏拉图与亚里士多德

老亚认为，万物只有在纯自然状态下，才能显露本性，人为的干扰越多，只能让这些本性显露的越不充分。所以，他从不做实验，而只凭观察和理性分析。他归纳了著名的“四因说”，用来理解事物的变化。

形式因：物体所接受的形式。例如：空气就不接受石头那样的存在形式。

质料因：决定形式的质料，它始终不变。比如：用空气作质料，就没法做成石头。

动力因：引起变化的作用者。比如：水滴石穿，石“穿”的变化，动力因是水“滴”。

目的因：变化的目的。比如：用石头刻个盆，目的是为了用它盛东西。

亚里士多德认为，宇宙是一个巨大的球，它无始无终，是永恒的。以月球为界，宇宙球分两个区域，月球以上是天界，以下是地界。地界的万物有变化，比如生死、聚散等等；天界永远不变，是由不朽的另一类元素组成——看过电影《第五元素》没？老亚创造的词。

老亚和他的老师阿图一样，认为万物可以还原成元素，或

更基本的东西。但他不接受阿图的几何图形说。

老亚认为事物有 4 种基本性质，这四种性质两两对立：热 VS 冷，干 VS 湿。它们交叉作用于 4 种基本元素，从而产生万物及变化。基本公式：

冷+干=土；

冷+湿=水；

热+湿=气；

热+干=火。

根据这些基本公式，我们可以得出，水被加热，它的冷就没了，就变成了气。反之可倒推出水从气态变成液态。

冷、热、干、湿的程度不同，以及水、火、土、气四元素的混合比例不同，就产生不同的质料和物体。

大家一听，这个理论太符合实际了！你看看：泥又湿又软，进窑一烧，就能变成陶器呀砖块啊什么的；铜和锡加热会变成液体，把它们按比例熔合，就变成青铜等等。人类早就朦朦胧胧地意识到一点点了，只不过是从没有人解释得如此美妙和系统。所以，这个理论立即受到各界人士的普遍欢迎。然后，炼金术、炼丹术出现了。这是化学的萌芽。

人们把能想到的各种动物、植物、矿物放在一起，各种炼，企图炼出宝物，可得到的总是废物。但偶尔也会有意外收获。1000 多年前，中国，一名执著的炼丹家沐浴焚香，白袍美髯，信心满满地把新配方放进炼丹炉，照例点火……然后，一声巨响，浓烟过后，炼丹家须发焦立，浑身乌黑，青烟袅袅，小白牙亮眼睛……黑火药诞生了！这是一个奇迹。

总是炼不出宝贝，人们并不怀疑是理论出了问题，而是怀疑温度、湿度没控制好，以及元素比例搭配不当。连两千年后的牛顿都相信，只要功夫深，就能炼成金。

老亚还说，不同元素、不同质料有着不同的“本性”，比如它们的轻重就不同，气和火是轻的，火比气更轻，它们的本性

是上升；水和土是重的，土比水更重，他们的本性是下沉。

在无干扰、不混合的理想状态下，四元素都按照本性行动：土和水下沉，土凝聚在宇宙中心，水包在土上；火和气上升，气在下，火在上。逐层包裹，形成一个大球。再向上，就是前面说的天界了。但是，由于这个世界有干扰，元素又相互混合，所以世界就成了我们看到的这个样子，有山有沟有河有海有云……乱七八糟的不规则。

根据这一原理，老亚建立了运动学。老亚的运动学有两个基本原理：

一、运动分两种：按本性运动的“自然运动”和外力引起的“受迫运动”。比如，石头的本性是向下沉，你把它搬到山顶上，它就被你的“外力”导致的受迫运动；而它从山顶滚下来，是“本性力”导致的“自然运动”，滚到山脚，到达自然位置，自然运动就停止了。

二、没有推动力就没有运动。就是说，必须有一个力一直推动物体，物体才会运动。

这两点好像很合理，但大家立即发现，按照这个原理，我们扔一块石头，当石头离开手的一刹那，手对它已经不产生推力了，它应该直接掉在地上才对。可石头一点面子也不给，它飞了出去，划出一道优美的弧线，躺在离手很远的地方，一副欠扁的表情。

大家尴尬地看着老亚。

老亚微微一笑：是媒介代替了推动者。我们扔石头，也把这个力传给了周围的媒介，比如空气，这样，它们也有了相同方向的力，继续推着石头向前跑，直到这个力慢慢消失。

老亚还得出很多基础性结论，比如：当动力和阻力相等时，运动将会停止等等……

我们现在评价亚里士多德，经常会拿他的一些错误理论来说事。其实，如果只允许用一个词来评价他，我想只有一个词

最合适：博大精深。在对自然现象的分析、解释等方面，老亚的成就，是前无古人的。他创立了形式逻辑学，丰富和发展了哲学的各个分支学科，为人类科学发展作出了巨大的贡献。

哲学家玩的就是学问。马克思认为，老亚是古希腊最有学问的哲学家。逻辑学、修辞学、物理学、生物学、教育学、心理学、政治学、经济学、美学、博物学……他无一不精。他的著作据说多达四百到一千部，比如《工具论》、《形而上学》、《物理学》、《伦理学》、《政治学》、《诗学》等等，是那时的百科全书。

老亚的思想对人类产生了深远的影响。他活着时，人们有什么问题，那就是去问问老亚；他死后，人们有什么问题，那就是翻翻书，看看老亚是怎么说的。一直到 1900 多年以后，伽利略终结了他的权威。

开路

亚里士多德的形式逻辑学，在科学兵器排行榜上赫赫有名。它最辉煌的战绩，却是借助另一位牛人的手去斩获的。

欧几里得。公元前 4 世纪和 3 世纪之交的古希腊数学家，几何之父。说到这，咱们来复习一下形式逻辑学的分析工具：著名的三段论。

三段论由大前提和小前提推出结论。例子：

大前提：正常的男人都是喜欢美女的。

小前提：你是正常的男人。

结论：你是喜欢美女的。

得出正确的结论，需要前提正确。但是，有时，大前提和小前提不是那么确定。比如：

大前提：专心工作、不搞宫心计的人得不到提拔。

小前提：你专心工作，不搞宫心计。

结论：你得不到提拔。

虽然这是普遍规律，但这种事情很复杂很微妙，有时冷不

丁就会出现奇迹：专心工作、不搞宫心计的你被提拔了！别看这个几率小得犹如沥泉比之东海，也能导致整个结论错误——只要一滴。

那么，如何能够保证前提正确呢？

欧老动了动他那颗智慧的脑瓜，找到一个绝妙的办法：用无须证明、也没法证明的最浅显的简单真理作前提。比如：整体大于部分、凡是直角都相等……这样的道理谁都没意见，我们管它叫“公理”或“公设”。

欧老摆出不证自明的5条公理和5条公设，用缜密的逻辑演绎，步步为营，立柱架梁，添砖加瓦，构建了一座辉煌的数学大厦——《几何原本》（以后简称《原本》）。欧氏几何大概是怎么回事儿，我们到“广义相对论”时再说。

《原本》的研究、使用和传播之广，除《圣经》之外，没有任何其他著作与之媲美。它集整个古希腊数学的成果和精神于一身，是数学、哲学的双料巨著。它标志着人类第一次完成了对空间的认识——空间是人类认识自然的关键之一，这一认识直到两千多年后爱因斯坦出现，才被改变。《原本》的伟大之处，不仅在于取得了这些成果，更在于取得这些成果所使用的方法——公理演绎法。

这是从公理、定义出发，论证命题、得到定理的论证方法——这一科学手段的系统应用，是人类理性的一次革命。杨振宁认为，现代科学没有发生在中国，而是发生在西方，正是因为中西分别受《周易》和《原本》影响，产生了两种不同的思维方式和文化。

那是一个充满传奇的年代，那是一个神人辈出的地方。如果说，苏格拉底、柏拉图都出现在古希腊，让人羡慕，而亚里士多德、欧几里得又出现在古希腊，让人嫉妒的话，那么，接下来这个神人还出现在古希腊，就不能不让人恨了！

阿基米德：“给我一个支点，我可以撬动地球。”这句话只

有“力学之父”才说得出来。（见彩图 4）



【图 1.5】阿基米德

公元前 3 世纪。阿德是当时智慧的象征。叙拉古国王怀疑自己的王冠被工匠掺了假，请阿德帮忙验证一下。阿德苦思冥想不得其法，决定先洗洗睡了再说。当他爬进盛满水的浴缸时，水保持了万亿年的一贯作风，毫不犹豫地溢了出去。阿德立即意识到，水溢出的体积，等于他进到水里的那部分身体的体积。那么，物体在液体中所获得的浮力，就等于它所排出液体的重量……于是他从浴缸里跳了出来，兴奋地奔跑大叫：“我知道了！……”著名的阿基米德原理，也就是浮力定律也随之冲出浴缸，走向世界。

这个故事誉满全球，妇孺皆知。但作为古希腊伟大的哲学家、数学家、天文学家和物理学家，阿德的贡献之大，恐怕是我们难以想象的。我们现在来看看，阿德除了史上最著名的裸奔之外，还干了哪些大事。

阿德不仅是力学之父、静力学和流体静力学的奠基人，还是物理学之父。他通过大量实验发现了杠杆原理。这不算牛，因为别人也发现了。但是用几何演绎法推出 N 多杠杆命题，并给出严格证明和公式的，就只有阿德。这才叫牛。

你要是说，阿德的长处是科学理论，那没错。他的理论成

果丰硕，每一个命题都有严密、精确的逻辑证明。但你要是说，他的长处只有科学理论，那就大错特错了。阿德不仅善于动脑，还善于动手，是理论与实验“两手抓、两手硬”的完美天才。他的科学成果和科学方法，对推动人类科学发展起到了巨大的作用。

他一生设计、制造了大量机械、机器设备，有的用于实验，有的用于观测，有的用于生产生活，还有的用于军事。他利用杠杆原理，制造杠杆系统设备，解决了大量的问题。此外，举重滑轮、以及被称作“阿基米德螺旋”扬水机等发明，至今仍在使用。

可以说，阿德是用科学理论指导技术实践的第一人。这可不是浪得虚名。他科学地实现了自己匪夷所思的想象力，还写下了用知识 PK 罗马大军的不朽传奇。公元 3 世纪末，强悍的罗马帝国进攻叙拉古，阿基米德为保卫国土，发明了各种武器，低碳高效。比较著名的有：大起重机，可将敌舰吊到空中，然后扔在水面上摔碎；用凹面镜原理，让无数百姓用镜子聚焦阳光，烧毁敌舰，首开人类利用太阳能的先河；利用杠杆原理造出投石机，威力惊人……罗马大将军马塞拉斯苦笑着承认：“这是一场罗马舰队与阿基米德一人的战争”、“阿基米德是神话中的百手巨人”。

阿德用实际行动告诉地球人：知识就是力量！可惜人们反应太慢，直到 1800 年以后才由培根总结出来。

很强很辉煌是吧？其实，阿德在物理和机械方面的研究和发明还是次要的，他更灿烂的成就是天文学和数学。

阿德曾制作一座水力天象仪，日月星辰运行精确，并且，居然能预测月蚀、日蚀！晚年时，他开始怀疑地球不是宇宙的中心，并推测地球有可能是绕着太阳转的。这个观点直到 1800 年后才由哥白尼提出。

有一种境界，叫至善至美。欧几里得严格的推理方法，柏

拉图丰富的想象力，被阿德和谐地融为一体，希腊数学，被阿德的妙手推向巅峰。抛物线弓形、螺线、圆形的面积，以及椭球体、抛物面体……这些复杂几何体的表面积和体积，一直让数学家们大伤脑筋。阿德创立了“穷竭法”，即“逐步近似求极限”的方法，给出了对付这些奇形怪状的算法，这是微积分计算的鼻祖。今天，不管是什么奇形怪状的东西，我们都能计算出它的体积、面积，这是阿德的功劳。

美国著名数学史家 E.T.贝尔这样评价阿德：任何一张“史上最伟大的三个数学家”的名单，一定包括阿基米德，而另外两个，通常是牛顿和高斯。把数学成就、时代背景、对人类所产生的影响等因素综合起来看，首推阿基米德。

“除了伟大的牛顿和伟大的爱因斯坦，再没有一个人像阿基米德那样为人类的进步做出过这样大的贡献。”这个评价，阿德当之无愧。

阿基米德时代，代表着古代人类科学发展的顶峰。阿德之后，1800年无人超越。这是一种什么感觉？我想，阿德一定很寂寞。

罗马帝国灭亡后，欧洲进入“黑暗时代”——中世纪。就像“四书五经”统治中国人一样，《圣经》统治着欧洲人，科学和哲学沦为神学的婢女，在漫长的1000多年里，整个西欧在科学方面没有原创性的贡献。不仅如此，教会只接受符合《圣经》需要的学说，导致了科学的退步，一些先进的科学探索被终止。直到伟大的文艺复兴，世间降临一位绝世全才——列奥纳多·达·芬奇。

一提起达·芬奇，我们首先想到的是《蒙娜丽莎》，这是人类绘画艺术的巅峰，其艺术成就是空前的。500年来，阿奇一直被模仿，从未被超越。我们习惯性地认为，阿奇是史上最牛画家。这个没错，但是，不全面。

实际上，阿奇不仅是艺术大师，他还是科学巨匠、文艺理

论家、大哲学家、诗人、音乐家、工程师和发明家。三百六十行，他行行是状元，在几乎每个领域都做出了令人膜拜的贡献。人们绞尽脑汁，想用一词来评价他，但都觉得不够劲，于是，“文艺复兴时代最完美的代表”、“第一流的学者”、“旷世奇才”……各种巨型帽子纷纷戴在阿奇的头上。恩格斯称他为“巨人中的巨人”。

阿奇的成就太多，涉猎的领域也太多。在这里，我们只能在他的科学成就中走马观花一下。

天文学：认识到地球只是一颗绕太阳运转的行星。月亮靠反射阳光照耀夜空。阿奇还由此幻想利用太阳能。

物理学：重新发现了液压概念，提出了连通器原理。最早开始摩擦学理论的研究。发现了惯性原理，后来为伽利略的实验所证明。

医学：从解剖学入手，研究了人体各部分的构造。他发现了血液的功能，认为血液对人体起着新陈代谢的作用。成为近代生理解剖学的始祖。

建筑学：解决了中央圆屋顶建筑物设计问题，解决了理想城市的规划问题。在城市街道设计中，他把车马道和人行道分开，还具体规定了房屋的高度和街道的宽度。

水利：作了疏通亚诺河的施工计划。设计并亲自主持修建了米兰至帕维亚的运河灌溉工程。有些水利设施至今仍在发挥作用。

地质：根据化石、洪水痕迹等推断出地壳变动、海陆变迁等。计算出地球的直径为 7000 余英里。

此外，阿奇还有诸多发明，涉及军事、工业、生活等方方面面，欣赏他琳琅满目的发明成果之前，让我们深吸一口气：

簧轮枪、子母弹、三管大炮、降落伞、机关枪、手榴弹、坦克车、浮动雪鞋、潜水服及潜水艇、双层船壳战舰、滑翔机、扑翼飞机、直升机、旋转浮桥、拉动装置、发条传动装置、滚

珠装置、反向螺旋、差动螺旋、风速计、陀螺仪、纺织机、起重
机、挖掘机、自毁式密码筒、初级机器人、乐器、闹钟、自行
车、照相机、温度计、烤肉机……

可惜的是，达芬奇的多数成果都只是记在他的手稿里，未公开发表，500年来损毁大半。看过《达芬奇密码》的童鞋们都晓得，虽然影片纯属虚构，但阿奇的确是个喜欢设迷局的家伙，他的这些手稿，都是以独特的“左手反书”写的，解读起来十分的费力。但是一经解读，人们都惊奇地发现，阿奇简直就是现代世界的预言家！他现存的6000多页手稿至今仍在影响科学研究。欧美各国、以色列等亚洲国家设立了研究达芬奇的专门机构。科学史家丹皮尔说，如果阿奇的著作在当时发表，科学会一下子跳到一百年以后的局面！这种遗憾，也许只有墨子才能感同身受。

不过，遗憾归遗憾，虽然阿奇的很多成果没能及时发挥作用，但他的科学主张却为后世所继承并发扬光大，那就是“知识起源于实践、实践应以好的理论为基础、在实践中探索科学的奥秘”的科学方法。这种求真务实、勇于挑战的探索精神，对后代产生了重大而深远的影响。

看，我们从史前说到文艺复兴，时空跨越数十万年，用了一万多字，说得最多的是什么？对，科学方法！只有好的科学方法，才能够得到好的科学成果。

直觉、经验、归纳、理性、逻辑、公理演绎，然后是，公理演绎+观测+实践（实验）。

很简单、很明显的道理，我们却花了几十万年的时间去寻找。这不算遗憾。真正遗憾的是，直到今天，还有相当一部分人，由于或者个性、或者见识、或者品德、或者智力的原因，行事说话仍然无视实际，也无视逻辑。用汉代刘歆的话说，就是“犹欲保残守缺，挟恐见破之私意，而无从善服义之公心。”

也许有人说，这是社会和意识形态问题，不应该放在这里

讨论。其实，社会和意识形态问题会严重影响科学问题。2011年的诺贝尔化学奖刚刚揭晓，它被以色列科学家斩获。为什么诺奖经常在瑞士啊、荷兰啊、丹麦啊、奥地利啊、比利时啊这些几万平方公里国土、几百万人口的“小国”中产生，而偏偏不在我们 960 多万平方公里国土、13 亿人口的“大国”里产生？！其实我们不必千万次地问，只要看看，在我们这里，成功的标准是什么，以及靠什么才能取得成功，就什么明白了。

第二章 晕死人的时间

什么是时间？这个闲得蛋疼的问题，你要是凝眉沉思，然后深沉地问出来，就是一个哲学命题。

2500多年前，子在川上曰：逝者如斯夫！

1100多年前，韦庄无限感慨：但见时光流似箭，岂知天道曲如弓。

70年前，王洛宾在欢快的韵律中忧伤的唱道：太阳下山明早依旧爬上来，花儿谢了明年还是一样的开，美丽小鸟一去无影踪，我的青春小鸟一样不回来。

他们说，时间就像流走的河水，射出去的箭，还像那飞走的鸟，一闪而逝，这小没良心的，他一走，你再也找不回来了。

理性的思考，加上感性的类比，用优美的诗歌表现出来，是很形象，是很容易理解，但是，科学吗？

我们挑几种认可度高的时间概念，试着理解一下（如果看着晕，可跳过本节）：

哲学定义：时间指物质运动过程的持续性、间隔性的矛盾统一和物质运动状态的顺序性。时间具有一维性，即不可逆性，它只有从过去、现在到将来的一个方向，一去而不复返。

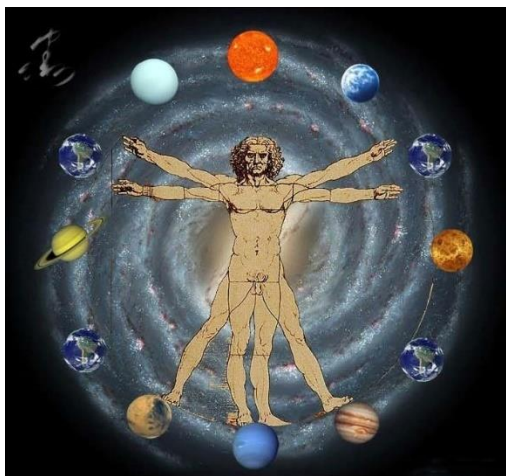
——这不难理解，聪明的你和我自古以来就是这样认为的。

物理定义：是事件发生到结束的时刻刻隔。时间的本质是事件先后顺序的量度。

——这似乎也不难理解，时刻嘛，间隔嘛，顺序嘛，量度嘛，地球人都知道，对不对？

还是物理定义：时间是人类用以描述物质运动过程或事件发生过程的一个参数，确定时间，是靠不受外界影响的物质周期变化的规律。例如地球绕太阳周期，原子震荡周期等。

——这个嘛，也可以理解，似乎本该如此，对吧。



【图 2.1】

伟大的爱因斯坦说，时间和空间是人们认知的一种错觉。

——What? 错……觉?! 等等……再看一遍，果然没看错，爱因斯坦就是这样说的，不仅时间，连空间也是咱俩认知的一种错觉。我朝你挥一挥衣袖，时间和空间都有，怎么会是错觉……有点晕了吧？

大爆炸理论认为，宇宙从一个起点处开始，这也是时间的起点。

——神马？时间会有一个起点？如果有，那个起点之前的一秒怎么算？之前的时间哪去了……难道你要告诉我，那时神仙们很忙，都“没有时间”？这下晕了吧？

爱因斯坦同志还告诉我们：时间与空间都不是绝对的，观察者在不同的相对速度或不同时空结构的测量点，所测量到时间的流逝是不同的。也就是说速度不同、位置不同，时间流逝就会不同。

具体看下面：

狭义相对论预测：一模一样的、质量上乘的时钟，你将其

中的任意一个或几个（随便你了）放在你家床头不动，而把其余的一个或几个放在车里满世界瞎转悠，会有什么区别呢？床头的钟时间流逝快，车里的钟时间流逝慢（当然这个差别小到无法感知，除非你以光速开车，所有交警会向你致敬）。

广义相对论预测：如果你在地球上盖一座很高很高的楼，也是同样的钟，分别放在顶层和底层，会发现什么呢？底层的钟比顶层的钟慢。

不信？就知道你不信。不幸的是，现有的仪器已经证实了，相对论关于时间的预测，不仅正确，而且相当精确，其成果已经应用于全球定位系统。无视相对论，卫星定位的误差就大了去了。如果你车里的 GPS 抛弃了相对论，你就必须抛弃你的 GPS，否则，你都撞上天安门城墙了，它还告诉你右转直行 700 米上卢沟桥呢。

——天上一日，地上一一年，难道目不识丁的奶奶 N 年以前就懂相对论？

先别忙着晕，看下面，这是关于时间的公式：

$$t = T(U, S, X, Y, Z \dots \dots)$$

U-宇宙, S-空间, XYZ, ……事件, 顺序

是不是更晕？别急，还有：

0 $y = y_0$ 第一时空 绝对时空 牛顿理论

[0, $\pi/2$] $y = y_0 \cos q$ 第二时空 相对时空 相对论（狭义、广义）

[0, $+\infty$] $y = y_0 \cos wt$ 第三时空 量子时空 量子力学

[$2k\pi + \pi/2, 2k\pi + 3\pi/2$] $k = 0, 1, 2, \dots$ 正整数 第四时空 负空间 黑洞

——你晕吗？反正我特晕。其实不懂的人不用细看，细看也不懂，哈哈你居然看得很仔细？

不过没什么不好意思的，就算有数理化强人看这些公式不晕，他们中真正理解第二、第三、第四时空的人又有几个呢？

有一个传说：

爱因斯坦发布广义相对论不久的一次宴会上，一个记者与英国物理学家爱丁顿爵士开玩笑：“听说世界上只有 3 个人懂广义相对论。”爱丁顿良久未答，记者问他在想什么，他答：“我在想那第三个人是谁。”

也就是说，当时爱丁顿认为，只有他和爱因斯坦两个人懂相对论。虽然现在懂的人越来越多了，但是这并不意味着你我看看相关资料、背背相对论公式，再套用公式算算行星轨道，就是懂相对论。

——问题如此难懂，我们又如此好奇，苍天呐大地呀，在我们都成为物理学家之前，我们应该咋地啊？

第三章 我们应该怎样认识世界

我们前面说过，柏拉图不相信“感觉”，因为感觉有很大的局限性。为了说明我们感觉到的世界，他讲了一个相当悲惨的故事，就是著名的“洞喻说”：有一群倒霉的人，他们一出生，就被囚在一个深洞中，他们身体各部位都被固定，彼此也看不见，每个人只能看见面前的一堵墙。他们身后有些人畜的雕像，再远一点有一个光源。就像放电影那样，光源一亮，囚徒面前的墙上，就华丽地出现各种雕像的投影。

囚徒们从小到大只看见这些投影，其余一无所知。所以，他们必然认为，这些影子就是真实的东西，而不知道还有实实在在的雕像，更不知道有雕像的原型——活生生的动物和人。

终于有一天，一个囚徒挣脱束缚，向身后看去，还走出了洞口……然后发生的事情你一定猜得到。他回去把自己的见闻告诉其他囚徒：我们原来看见的不是真实的东西，只是雕像的投影，那是由于雕像挡住了射向墙面的光造成的，而这些雕像也不过是复制品，真正的人畜是活生生的……但是你知道，其余囚徒肯定打死也不信，因为他们心中没有光、影子、雕像、人、畜的概念。他们很自信：除了那些影子，不会有别的东西。

柏拉图告诉我们：人的感觉是有限的，我们被有限的感觉束缚，就相当于那些囚徒，以为感觉到的事物就是真实的存在。

所以他建议我们，抛除感觉，完全凭理性去认知世界。这无疑走得太远，因为我们的理性也来自感觉，凭借感觉认识客观事物，才有了思维能力，才有了理性。所以，我们应该很充分地利用感觉，借助更广泛更细致的观测，与理性充分结合起来，认知世界，才能更接近“根本性的实在”。但柏拉图的建议很好地为我们提了个醒：只凭感觉认识事物，可能离真相会很远。



【图 3.1】人和蜜蜂眼里的世界对比

当然，虽然紫外线与紫色的波长相邻，但紫外线是不是图片中显示的这样，还真不好说。【本图片来自网络，有版权问题请与我联络，我即删除之】

俺们人类通过视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉来感知事物，并用大脑对其进行综合处理，做出分析判断。凭这 5 种感觉，我们知道：86、66、90 是迷人的，阳光是明媚的；××讲话是不如鸟叫的；蜂蜜是甜的，老醋是酸的；美人再香拉屎也是臭的；刺刀是冰冷尖利的，婴儿的皮肤是温暖柔嫩的。

这 5 种直观的、具体的感觉，是人类生存发展必备之技，它们能让人感受到世界上的很多事物，但远远不是全部。

视觉：人眼能看到的光的波长大约在红光的 770 纳米到紫光的 390 纳米之间，我们称之为“可见光”，波长大于 770 纳米的红外线和低于 390 纳米的紫外线，我们都看不到，但响尾蛇能看到红外线，蜜蜂则可以看到紫外线。

听觉：人耳能感知的声波频率在 20 到 20000 赫兹之间。低于 20 赫兹的次声波和高于 20000 赫兹的超声波我们听不到，但是大象能听到次声波，蝙蝠和蛾子则能听到超声波。

嗅觉：老鼠、狗等动物的嗅觉比人灵敏成千上万倍，它们

能嗅出其他动物留下的气味痕迹，就像我们人类看脚印和指纹一样自然。雄王蝶 GG 能循着气味找到 11 公里之外的雌王蝶 MM，如果人类也靠气味找 MM，恐怕早绝种了。

还有味觉、触觉等，虽然同样具有这些感官，但有很多事物，我们感觉不到而有的动物能感觉到。

除了视、听、嗅、味、触五种感官以外，许多昆虫、鱼类、两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类动物都能感觉地球的磁场，用它来导航，牛吧？告诉你，牛没有这类感官，和人一样。

设想，如果对红外线、紫外线、次声波、超声波、地球磁场、无线电波、宇宙射线、暗物质、暗能量等事物，我们都能通过自身感官觉察到，那么，我们印象中的世界绝不是现在这个样子。

换句话说，我们能感知的，只是这个世界的极有限的一部分，就像瞎子摸象。

对不完整的信息，用惯性思维进行分析处理，很难作出全面准确的判断。

与此同时，对感觉不到的事物，理解起来也是相当的困难，比如，蚯蚓没有视觉及听觉器官，只能感受光线及震动，你要想对蚯蚓描述音乐的美妙，还不如去对牛弹琴。同样，你对一个天生眼盲的人描述色彩，他就难以理解，因为他无从体会红色是怎么回事、什么叫色差，怎样才算艳丽——就像一只鸽子对你描述在地球磁场中穿行很爽，你也难以理解一样。

因此，亲们，咱应该这样看待世界：

我们感知的只是世界的残片，世界的全貌一定不仅仅是我们感知的这样。

即使是感官起作用的事物，由于接触范围所限，我们感知的东西也是九牛一毛。比如，摸一下金星是什么感觉，在冥王星上跺一下脚是什么声音，目前就没人知道。

对于无法理解的东西，除非有可靠证据证明它错误，否则，

我们不能因为它听起来是新奇的、离奇的、甚至是怪诞的，就断然拒绝接受。当然，对没有证据表明一定是正确的东西，我们要持怀疑态度。

一切皆有可能。转变观念、抛开经验束缚。你想啊，地球这么小，都会产生像我们这样到处游荡、胡作非为的奇怪生物，宇宙那么大，还有什么事情不能发生？

虽然，对超出人类感知功能的东西，我们不能直接认知，但与地球上其他生物相比，我们还是有优势的，拥有地球上最先进的仪器、最牛叉的信息系统以及最丰富的想象力。所以，对一些不能感知、难以理解的东西，我们可以根据现有信息，展开想象，实在想象不到也没关系，并不影响我们饮食男女打嗝放屁。

了解上面这些，对于我们进行下面、尤其是后面的阅读至关重要。那么好，亲，咱先从离我们最近的、最常识性的东西开始。

第四章 所谓常识

重温常识是如何诞生的，有助于我们进一步了解这几个问题：

- 一是转变固有观念的艰难程度。
- 二是应该怎样对待新思想、新事物。
- 三是如何正确对待不一致的意见。

地球是圆的，地球和它的7个哥们围着太阳转，这对现在的我们来说是常识，一点也不稀奇。但人们是怎样知道这些的？是谁第一个发现，又是怎样证明了这些事实？

怎样知道地球是球形

这个事实是古人发现和证明的，那时没有飞机、没有火箭、没有卫星、没有天文望远镜……他们有的，只是一双好奇的眼睛，和一颗不安分的、爱瞎琢磨的脑袋。

人类几何学先驱——古希腊人从美学的角度推测，大地是圆的，理由是：球体是几何图形中最完美的形状——这是感性的推测，或者说，这只是一种美好的主观愿望，即是说对了，也算不得数的。

咱们低头向下看看，再向四周看看，脚下的大地虽然不十分平整，但目光所及，没有证据表明我们站在一个圆球上，它更像一块平板——这就是“天圆地方”的由来，非常直观的看法，当时深受广大人民群众的理解和欢迎。

站在大地上，能凭感官感觉到大地是一个球的，不是人，是神。

思来想去你会发现，不离开地球，能够凭借对万物的观察，理性分析，然后意识到大地是球形，并找出证据证明大地是个球的人，真是太伟大了！伟大到你不为他做点什么都觉得问心有愧，反正我都想请他吃火锅了——不加口水油的那种。

人类在地球上直立行走了 100 多万年,成为智人 20 万年,创造文明 6000 余年,但直到 2350 年前,人类才开始逐步认识到地球是圆的。

那是在公元前 340 年,希腊哲学家亚里士多德在他的《论天》一书中,论证了我们生存在一个圆球上,而不是一块平板上。他提出了两个强有力的论证:

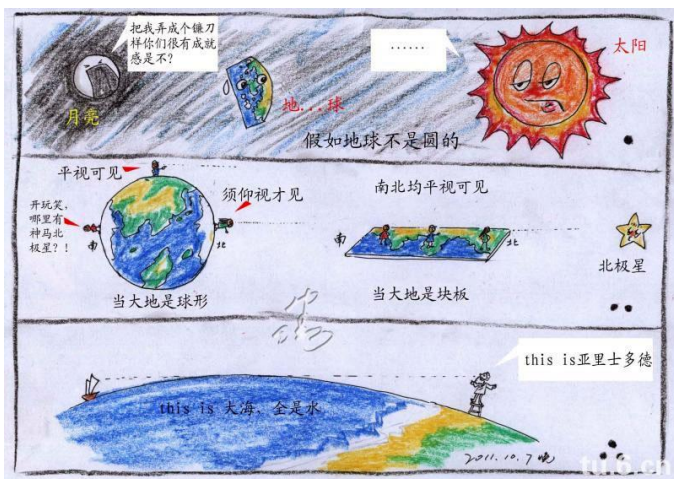
论证一:他意识到,月食是由于地球挡住了太阳照到月亮上的光引起的。地球在月亮上的影子总是圆的,这只有在地球是球形的前提下才成立。你可能会说:圆板也能投射圆形的影子。你说的没错。但亚里士多德和你一样聪明,他说,除非那个圆板的圆面总是正对着光源,否则只要偏一些,影子就会变成椭圆。观测表明,不管月食在什么位置发生,人们从未发现过椭圆形的影子。

论证二:喜欢旅行和四处乱看的希腊人发现,分别在南方和北方观测北极星,北极星的位置在南方看起来较低,在北方看起来较高。还不明白?那就不用极端的观测位置来说明:由于北极星的位置在地球北极的正上方,所以,站在北极看北极星,它在我们的头顶、天的正中,须仰视才见;站在赤道上看北极星,它刚好在地平线上,平视就能看见,而站在南极,你只有做梦才能看见北极星。只有大地是球形才可以解释这种观测结果。

希腊人还为地球是球形提供了第三个论证:从地平线(海平面)驶来的船总是先露出船帆,然后才露出船身。

当然,上面的结论只是逻辑的结果,证实地球是球形,是一次伟大的“西游”完成的。

1519 年 9 月 20 日,葡萄牙贵族麦哲伦率领 256 人组成远航船队,从西班牙出发,一直向西航行,于 1522 年 9 月 26 日回西班牙,完成了人类历史上第一次环球航行。地圆论也因此得到了证实。



【图 4.1】地球是圆的

那么，地球是不是一个正球体呢？

牛顿在研究地球旋转中的离心力时计算出，两极的扁平度约为地球的 $1/230$ 。所以有人就说，地球像一个橘子。

后来人们用卫星测得的地球赤道半径为 6378140 米，极半径为 6356755 米，两者相差为 21385 米，它的扁率为 $1/298.2$ ，接近 300 比 1，这可比橘子圆多了。

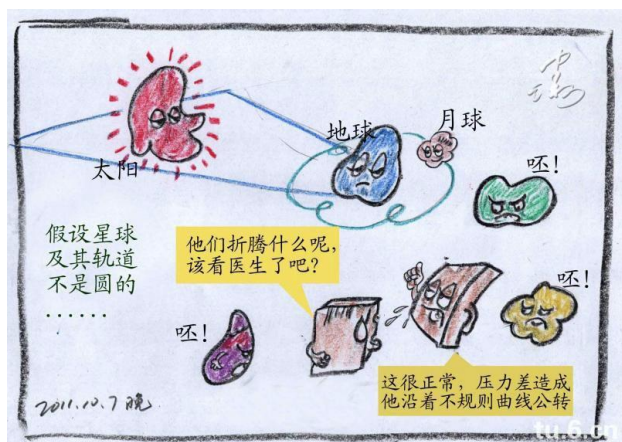
此外，人们又从测量中发现，地球赤道最大半径与最小半径相差 200 多米；北半球要比南半球细长一些；北极地区的平均海平面比参考扁球体要高出 10 米左右，南极地区则要凹进去 30 米左右。因此，又有人兴奋地宣称地球看起来不是正球体，而应该是像梨一样的“梨状体”。

本文盲认为，对于一个直径 12700 余公里的大球来说，别说半径有几百米、几十米的偏差，就算差个十几二十几公里，在视觉上也不影响地球的完美球形。说地球像橘子、像梨的人，纯属比例感缺失。你看一眼不带阴影的地球卫星图片，有这么圆的橘子和梨吗？桂圆也没这么圆啊。

实际上，如果我们把地球按比例缩小到直径 1 米，赤道半径只比极半径长 1 毫米多。这点微小差别，别说是个球体，就算做成两根分别长 1 米和 1.002 米的棍子，并排间距 10 厘米以上，摆在你面前，你也看不出谁长谁短。要是一横一竖，就算把短的那根再锯掉 10 毫米，你也看不出长短来，所以虽然从严格定义上来说，地球不算正球体，但用肉眼看，地球还是正球体。

所以要是再有人告诉你，地球是梨形的，你就让他去买一只像地球那么圆的梨回来 look look 先。

对脚下的地球，解决形状问题很艰难，解决位置问题更艰难。



【图 4.2】地球轨道

怎样知道地球不是宇宙中心

天旋？地转？

环顾四周，山河壮丽，地大物博，万类霜天竞自由；仰望苍穹，日月星辰东起西沉，你方唱罢我登场……眼前这一切，让人很难相信我们地球不是中心。

人的视野决定见识。

由于条件所限，连亚里士多德那样聪明的家伙都认为，地球是不动的，太阳、月亮、行星和恒星都以圆周为轨道围着地球转。大家跑出来朝天上一看，果然是这样的，于是一致认为这个结论是英明的、伟大的、无比正确的，纷纷表示要坚持这个思想一万年不动摇。

约 500 年后，还是古希腊，天文学家、数学家托勒密把这一思想发扬光大，他系统地研究了日月星辰的构成，以及运动方式，最重要的是，他把天体运行数学化，写了一本书：《天文学大成》，创立了地心说，还根据这个理论，制成一个精致的宇宙学模型（几乎是同时，汉代天文学家张衡创制了漏水转浑天仪）。这个模型告诉我们，天旋，地不转。在模型里，地球理所当然地处于正中心，8 个天球包围着它，这 8 个天球依次一个比一个大，大的套小的，分别负载月亮、太阳、恒星和 5 个当时已知的水、金、火、木、土 5 颗行星，恒星在最外面的天球上。旋转这些天球，基本和人们平时观察的日升月落、斗转星移情况差不多。

为什么说了“基本”，还要说“差不多”呢？当然是因为模型上的天体运转轨迹，有很多与现实不符。

我们现在知道，由于地球向东自转，因此在地球上看起来，日月星辰基本上是东升西落，这种“东升西落”的规律，用地心模型表现起来问题不大。但是，用肉眼可以看见太阳系的 5 颗行星，因为它们围绕着太阳在公转（当时并不知道这一点），所以在地球上看起来，它们有时跑得快，有时跑得慢，有时会离开由东向西的规则轨道逆行，然后原路倒退，来回折腾，周而复始，千百年不变。

托勒密模型是怎样解决这个问题的呢？他先地球放在行星天球的偏心位置上，这就解释了行星运转快慢的问题，还顺便解决了地球四季的问题；然后而让行星和月亮在随着天球转动（均轮）的同时，各自沿着一个小圆圈（本轮）做穿透天球

面的圆周运动（想象一下：月亮围绕地球转，并随地球绕太阳转，这时地球突然消失，而月球轨迹不变），托勒密笑了：这样就可以解释行星轨道的复杂性。他通过计算，校正行星运转的速度和方向，努力让行星转动的轨迹与实际相符。数学功力深厚的他做到了，模型上的行星运转真的越来越接近观测了！

但是这样做也有漏洞，太阳、月亮、彗星等等，不像恒星那样老老实实的沿着固定的轨道运转，它们总是在变换轨道！一个十分明显的漏洞是，在这个模型里，月亮离地球最远时和最近时的距离相差达 2 倍，月亮本来就离地球很近，如果距离上再有明显调整，其大小一定会有明显变化——为什么月球的大小看起来没有随距离变化而相差 2 倍呢？不和谐呀！难道，它远离地球时会慢慢变大，而接近地球时又会慢慢变小？

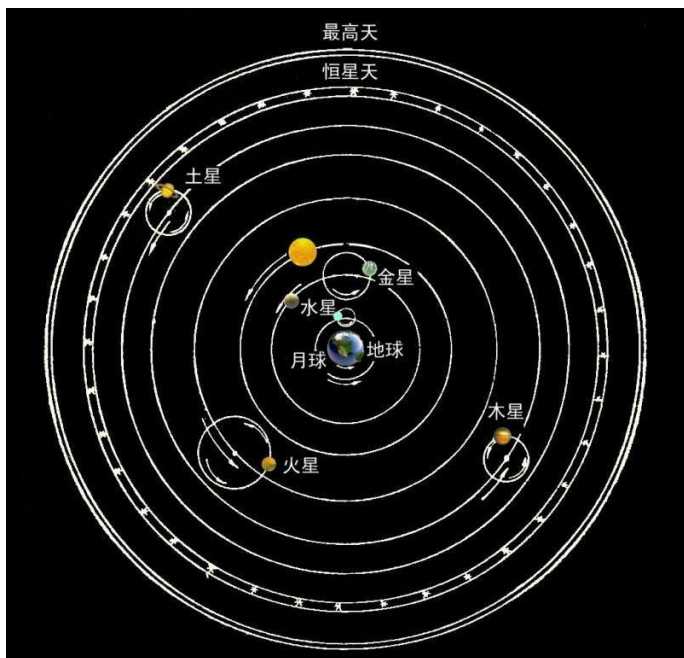
托勒密也承认这个 BUG，但没有提出解决办法。他挠头道，是啊，这是为什么呢？我只能说，它就是发生了。闻者摇摇头离开：关我屁事，我是出来打酱油的。于是这个模型就这样被糊里糊涂的沿用了一千多年。

基督教会对这个模型推崇备至，因为它不仅与实际观测基本差不多，还在固定的恒星球之外，为天堂和地狱留下了大量的空间，这与《圣经》相契合，所以教会极力维护它的权威性。

达芬奇反对把过去的东西作为金科玉律，他倡导人们到自然界中寻求知识和真理。指出“理论脱离实践是最大的不幸”，抨击教会是“一个贩卖欺骗与谎言的店铺”，他说：“真理只有一个，它不在宗教中，而在科学中”。他认为，地球不是太阳系的中心，更不是宇宙的中心，它只是绕着太阳转的一颗行星。

当然，教会是不肯承认这些结论的。在事实面前，他们有一种本能，那就是歪曲和遮掩。

科学事实虽然不那么显而易见，但遮掩起来也不是件容易的事，因为它就在那儿摆着。



【图 4.3】托勒密体系

波兰教士尼古拉·哥白尼发现，以地球为中心，难以解释行星、月球甚至太阳的运行轨道。并且，托勒密理论周转圆数量居然有 77 个，这和自然规律的简洁美十分不符——它们干嘛把自己的路绕得如此复杂？难道是为了参加全民健身运动锻炼身体？按照托勒密对月球运行的解释，一定会得出一个荒谬的结论：月亮的体积时大时小。一颗星球怎么会周期性、大幅度地膨胀和收缩呢？

即便如此，托勒密的体系，还是那时最精密、最符合观测的理论。

那个年代，信息极不发达，各种学说真伪难辨，连月圆月缺，也没个统一说法。甚至很多人相信，月亮圆了缺了，是由于它本身膨胀了或收缩了。要知道，在那个年代，既没有膨大

剂，也没有瘦肉精。就算是只气球，也要定期充气、放气才行——哪个妖怪会吃饱了撑的，去做这种无聊而又费力的事？太不和谐了！难道，这只是一个奇迹？！



【图 4.4】

当然，无论推理如何有理，也只是逻辑推测。

科学事实更要依据实际观测。所以，我们不得不回到那著名的一夜。

下弦月。夷地微寒。夜空晴朗，繁星闪闪。

这样的日子本不适合杀人。事实上哥白尼和玛利亚也没打算杀人。但你绝不能低估哥白尼的能力。圣约瑟夫教堂塔楼上的每个人都不能低估。

事实上，塔楼上只有两个人。一个是哥白尼，一个是玛利亚。

教会，近年来江湖上最令人胆战心惊的一个组织。自从给月亮吹气放气之后，便声名鹊起。

他们要向教会说不，替受气的月亮，也替天下讨回公道。

现在，那弯月牙浮游太空，缓缓向金牛座最亮的那颗星“毕宿五”移近。哥白尼皱了皱眉头，而玛利亚却睁大了眼睛。他

们，密切关注着这一切。

果然，当毕宿五和月牙相接而还有一些缝隙的时候，毕宿五忽的从视线里消失了。就像从来没存在过那样。

这说明什么呢？这证明，月亮还是圆的，而不是缩小成了月牙，挡住毕宿五的，是月亮本身的阴影部分。

也就是说，月球的体积并没有缩小。我们只看见一弯月牙时，是因为只有那个部位反射了太阳的光，而其余部分是阴影。

那一天是 1497 年 3 月 9 日。



【图 4.5】

经过长期的观测和研究，哥白尼发现，以太阳为中心，地球公转和自转，日月星辰的运转才与观测更相符，而且，周转圈的数量可以减少到 34 个。他说，是地转，而不是天旋。为了解释天体东升西落是地球自转公转导致的人类错觉，哥白尼把地球比作船，把日月星辰比作两岸的景物，船稳稳地航行时，船上的人会感觉不是船在走，而是两岸在走。

1513 年，哥白尼提出了日心说，创造了以太阳为中心的宇

宙模型，论述了地球绕其轴心自转、月亮绕地球运转、地球和其他所有行星都绕太阳运转的事实。

哥白尼的日心说使真相走向大众，却使危险迫近自己。

历史证明：越是狭隘自私的统治者，越是害怕真相；越是愚昧黑暗的年代，真理诞生付出的代价越是惨重。例证俯拾皆是：1327年，意大利天文学家采科·达斯科里被活活烧死，而罪状居然是他论证地球呈球状，在另一个半球上也有人类存在。

日心说奠定了哥白尼作为现代天文学创始人的地位，但是，这一科学的学说并没有立即被人们普遍接受，他遭到了教会威胁和迫害，甚至亲戚朋友也受到了牵连。意大利天文学家伽利略说：“我一想起我们的教师哥白尼的命运，就感到心惊胆颤。”

坐拥极权的统治者为何会敏感至此？当然是因为他们极力宣扬、维护的体系太虚假、太脆弱，经不起哪怕一点点推敲和质疑。

如果现在有人宣扬，地球其实像根黄瓜，我们不会为此感到震惊和恐惧，更不可能去迫害他，甚至都不用理他，因为事实就在那摆着，我们心里太有底了，不怕质疑。所以，树立权威最好的办法不是嘴硬，而是主动和事实站在一起。

在极其险恶的环境下，哥白尼的著作《运行》历经磨难，终于出版（一些关键内容被教会篡改），1543年5月24日，这部印好的巨著被送到弥留之际的哥白尼手里，一小时后，哥白尼与世长辞。直到这时，他身边还有上司布置的密探和奸细。

意大利伟大的哲学家布鲁诺信奉哥白尼的学说，在欧洲十几座著名的城市宣传哥白尼的理论，而且发展了哥白尼的学说。他进一步指出，运动是永恒的，太阳只是无数恒星中的一颗，它不是宇宙的中心，宇宙没有中心，是无限的。

后来，布鲁诺被宗教裁判所诱捕下狱，惨遭酷刑，监禁达8年之久。1600年2月17日，在罗马的百花场上，布鲁诺被教会活活烧死。

这就是满口宽容、仁慈的教会所作所为。可见不论是谁，说什么都不足信，得看他做什么。

遍体鳞伤的《运行》在人世间流传了 400 多年，直到 1953 年，《天体运行》出第四版时，才补足原著。

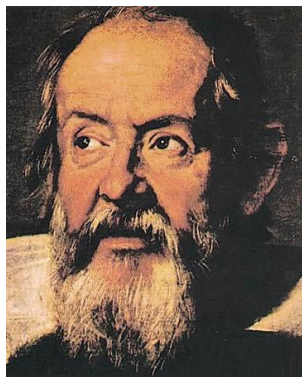
1609 年，一个非凡的年份——人类近代科学史翻开了灿烂的第一页。意大利物理学家、天文学家伽利略发明了天文望远镜，他迫不及待地把它瞄向令人遐想无数的夜空。

人类历史从此加快了前进的脚步，一切开始变得不同了。距离真的决定认识！

伽利略发现，皎洁的月亮姐姐皮肤不好，她的表面居然是坑坑点点凹凸不平的。

1610 年 1 月 7 日，伽利略发现了木星的四颗卫星。这个意义可是非同一般，因为这一发现为哥白尼学说找到了确凿的证据——并不是所有天体都是围着地球转的——这标志着哥白尼学说要沉冤得雪、走向胜利。

伽利略还先后发现了土星光环、太阳黑子、太阳自转，以及银河是由无数恒星组成等等。上帝啊，望远镜真是个好东西！这些发现开辟了天文学的新时代，为牛顿第一、第二定律提供了启示。人们说：“哥伦布发现了新大陆，伽利略发现了新宇宙”。



【图 4.6】伽利略



【图 4.7】伽利略发明的望远镜

这些成绩的代价是，又一次触怒了罗马教廷（为什么要说“又”呢），他们先是对伽利略发出措辞严厉的警告，随后，两名捕快风尘仆仆来到伽利略家门前，说是统计小区人数，伽利略一开门，就被带到罗马，由教会进行审讯。

为了让教会当局也相信科学的学说，伽利略献上他的望远镜：麻烦你们自己看看吧。

教会派了几个心腹大患观摩了一遍，又一遍，再一遍……他们把看到的情况汇报给领导，开了N次会，分别是听证会座谈会研讨会茶话会团拜会调研会碰头会鹊桥会收心会故事会……会议一致认为，不能相信自己的眼睛！他们创造性地宣称：望远镜会产生种种幻象，看到的东西都不存在，至于你信不信，我反正是信了。

愚昧和无理至此，可真让人无语。

伟大的伽利略当场被雷焦。

有的人盗铃，捂自己的耳朵。有的人盗铃，捂自己耳朵不说，还堵别人嘴，并且蒙上自己的眼睛！（看来手多了脑子便有问题，三只手的家伙就是不好搞。）

构建一个和谐理论，要做的是，勘误求真，使之趋向和谐，而不是遮羞盖丑，使之看起来和谐。可惜教会不这么想。发现观念与事实不符，他们不去修正自己以求发展，却不择手段拼命掩盖和扭曲真相。可见强权不仅伴生无耻，更伴生着愚蠢。

何止是愚蠢？简直就是愚蠢！

当时教会有个条例传了下来，不知道是不是山寨版，全文如下：

一定得选最蠢的理由，
雇本门精神病，
反就得反最尖端的科学。
眼睛直接闭上，
不行直接不让人说话，
什么事实呀、数据呀、逻辑呀，
能给他灭的全给他灭了！
书上写用笔改，嘴上硬用火烧。
台上站一教会法官，
戴一假表，特绅士的那种。
论敌一进门甭管有事没事都得跟人家说：
“submit or die？”
一口地道的罗马流氓腔，
倍儿有面子。
社区里再建一所贵族学校，
教材用地心说，
一年光用纸就得几万吨，
再建一所文字狱，

二十四小时监审，
就是一个字：累！
审个帖子就得花个十天半月的。
前几任不是烧布鲁诺就是烧达斯科里，
本朝要是就抓一伽利略，
你都不好意思跟人家打招呼。你说这样的行为一次得阻碍
发展多少年？

我觉得怎么着也得十年八年的吧，
十年八年？那是副作用，
一百年起！

你别嫌多，还不打折。
你得研究教主的作孽心理，
舍得让社会倒退十年八年的主，
根本不在乎再多退九十年。
什么叫恬不知耻，你知道吗？
恬不知耻就是不管说什么玩意，
都说最虚的，不说最实的。
所以，我们搞事的口号就是：

不求心服，但求口服！

根据这一条例，1616年2月，宗教裁判所宣布，不许伽利略再宣传哥白尼的学说。他们还把伽利略软禁起来。

与世隔绝的伽利略用了差不多5年时间，写了《关于两种世界体系的对话》，以三个人对话的形式，客观地讨论地心说与日心说，对谁是谁非进行没有偏见的探讨。这本书历尽千难万险，终于在1632年2月出版（环境还没糟透，居然能出版）。从字里行间流露出来的大胆结论，使神学家们感到极大恐慌，毫不意外——疯狂的迫害又开始了。

1632年8月，罗马宗教裁判所下令禁止这本书出售，10月，69岁的伽利略被宗教裁判所审讯，接着被投进大牢，教会法官

用火刑威胁伽利略：要么认错，要么领死。

那时伽利略身患重病、精神颓丧，实在懒得再面对这帮蛮横的蠢货了，被迫向宗教裁判官宣读他的供状，“我以严重的邪教嫌疑罪被捕，这种邪教就是……地球在动……”

当他念到最后几个字的时候，在地上跺着脚，自言自语地说：“可是地球的确是在动啊！”

他被判处终身监禁。

1642年，伽利略去世，牛顿出生。虽然人类对同类不善，但上帝对人类真好。

野蛮、残暴和无耻的破坏力再强大，也抹杀不了真理的光芒。

雷人的是，300多年后，1979年11月，在世界主教会议上，罗马教皇提出重新审理“伽利略案件”。全球人民瞬间被这个提议雷焦了。这时，宇宙飞船在太空翱翔，人类已踏上月球，人造卫星源源不断地把更多真相传回地球，宇宙探测器飞出太阳系发回崭新的信息……孰是孰非，还用审理吗？

直接认错至少还能显示勇气，扭捏作态只能颜面扫地。真TM给流氓丢脸！

伽利略——伟大的天文学家、力学家、哲学家、物理学家、数学家，近代实验物理学的开拓者。他以系统的实验和观察，推翻了亚里士多德诸多观点，撼动了神学的科学理论根基。恩格斯称之为“不管有何障碍，都能不顾一切而打破旧说，创立新说的巨人之一”。他的工作，为现代科学理论体系的建立奠定了基础。他被称为“现代观测天文学之父”、“现代物理学之父”、“现代科学之父”，甚至“科学之父”。

霍金说：“自然科学的诞生要归功于伽利略，他这方面的功劳大概无人能及。”

那么，地球为什么要围着太阳转，它怎样围着太阳转？

第五章 苹果传奇

这应该是天文学史上最奇妙的一次合作。

第谷，丹麦人，在天文界以观测著称，观测资料严谨、精确、翔实，时称“星学之王”。

开普勒，德国人，著名天体物理学家、数学家、哲学家。他视力不太好，因此不擅观测，但这家伙聪明而又执着。

信奉地心说的第谷先生眼光独到。1600年，他邀请信奉日心说的开普勒任自己的助手。这两人没有像其他宇宙观不同的人那样，按照惯例打起来，相反，他们工作和感情都十分融洽，合作在亲切友好的气氛中进行。可惜好景不长，一年后，第谷逝世。

开普勒继承了第谷精确、翔实的观测记录。宝剑配英雄，威力惊人。开普勒发现，自己的宇宙模型、哥白尼体系、托勒密体系、第谷体系，没有一个能与第谷的精确观测相符合——搞了几百年，居然没有一个是正确的？就让我来揭开谜底吧！开普勒对自己说。

开普勒找火星帮忙，用三角测量法，巧妙地测量了地球轨道。原理：火星在每个火星年的同一时刻，都会出现在自己轨道的同一位置。每个火星年的这一时刻，同时观测火星和太阳，可确定地球的不同位置，把每次观测到的地球位置点连成线，就是地球轨道。

地球轨道搞定了，地球及其向径在任何时刻的位置和距离变化，也就成为已知条件。反过来，以地球向径作为基线，从观测数据中推求其他行星的轨道和运动，对开普勒来说就是小菜一碟了。

行星轨道算出来了，下一步要弄清楚的问题是，行星运动遵循什么样的数学定律。

开普勒的目光首先盯住的还是火星。

How old are you——怎么老是你？

是因为火星色泽鲜艳、选材考究、诚实守信，用了都说好，我们大家都喜欢？

当然不是，这是因为第谷的数据中对火星的观测记录最多、最详实。

幸运的是，恰好，就是这个行星的运行与哥白尼理论出入最大，火星轨道与哥白尼日心说预言相差 8 弧分！还有更巧的，火星轨道是太阳系行星中离心率是比较明显的。我们马上就会知道这些巧合很重要。

按照传统的偏圆来探求火星轨道失败后，开普勒断定火星运动的线速度是变化的，而这种变化应当与太阳的距离有关：距离越近时，速度越快。他还认识到，火星在轨道上，其向径围绕太阳在一天内所扫过的面积是相等的。随后，开普勒看出火星的轨道有点像卵形，在连接极大与极小速度两点方向的直径似乎伸得长些，他确定了火星是在椭圆的轨道上运动。现在我们知道，为什么那些巧合很重要：如果是一颗离心率不明显的行星，在轨道测绘不十分精密的情况下，很难确定椭圆轨道这一事实。也就是说，幸亏火星轨道“椭”得比较厉害！

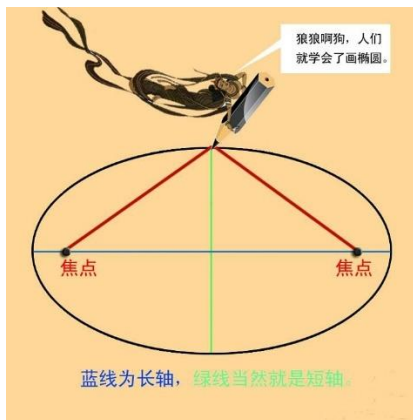
说到这，我们先干点体力活，休息休息大脑，顺便复习一下椭圆是怎么回事。

在木板上钉一颗钉子，拿一根线，一头系在钉子上，一头系在笔上，保持线绷直，用笔在木板上画一圈，哇塞，原来是个圆！那个钉子钉的位置就是圆心，线长就是半径。咱俩都认识嘞，庆祝下。

现在我们在另一块木板上钉两颗钉子，拿一根线，两头分别系在两颗钉子上，系好后线的长度要大于两颗钉子的距离才行，拿一支笔靠在线上，保持线绷紧，在木板上画线，绕两颗钉子一圈，哇塞，原来是个椭圆！两颗钉子的位置就是椭圆的“焦点”，它俩的距离当然就叫“焦距”了，过两个焦点与椭圆

相交的线段，叫“长轴”。

在线长不变的情况下，两颗钉子距离越远，画出的椭圆就越扁；两颗钉子距离越近，画出的椭圆就越接近圆；两颗钉子钉在一处，画出来的当然就是圆了。嗯，圆是一种特殊的椭圆，就像正方形是一种特殊的长方形一样。



【图 5.1】椭圆

1609 年，开普勒发表了《新天文学》一书和《论火星运动》一文，公布了两个定律：

一、所有行星分别在大小不同的椭圆轨道上运动。太阳的位置不在轨道中心，而在轨道的两个焦点之一。这是行星运动第一定律，也叫轨道定律。

二、在同样的时间里，行星向径在其轨道平面上所扫过的面积相等。这是行星运动第二定律，也叫面积定律。

有了这个定律，可以计算任何时刻行星在轨道上的位置。爽就一个字，我只说一次。

取得了好成绩的开普勒同学没有骄傲自满，他还要解决下一个问题：行星离太阳越近，在轨道上跑得越快，那么，他们是什么数量关系呢？

开普勒又一头扎进一堆乱七八糟的数字，整理、归纳、分析数量关系，过程十分枯燥（此处删去 10 万字）……9 年后（如果当时有对数运算的话，或许 9 天就能搞定，可见数学之于科学多么重要），他终于找到一个奇妙的规律：行星公转周期的平方与它同太阳距离的立方成正比。这是行星运动第三定律，也称调和定律。

多美丽的定律啊，复杂的行星公转关系居然与数学结合得如此简洁美妙！

在美丽的同时，它更是一条十分重要定律。它表明，行星们不是一群随便围着太阳乱转的马屁精，而是以太阳为中心，共同构成一个纪律严明、组织严密的天体社团——太阳系。不仅行星遵循着它，连同行星的卫星，以及太阳、太阳系、银河系等其他天体概无例外。从此，行星在夜空中复杂的运动，立刻就失去全部神秘性。



【图 5.2】唉，立法也不是件容易的事。

【严正声明：本楼一些图为网上下载 PS 拼凑，若有版权问题，请及时告知，吾当毫不犹豫地删除之，当然要请斑竹动手】

上述行星运动三大定律，被称为“开普勒定律”，它把看似杂乱、令人头痛的行星运动，与精确的数学完美地结合在一起，成为天界的“法律”。开普勒因此被称为“天空立法者”。

可是，星星们为什么要遵循这样的定律呢？是谁让星星小盆友们这样乖巧服帖？

回答这个问题，我们不得不请出本文的第一位超级牛人——牛顿。

如果有人问，世界上最牛的水果是什么，我一定毫不犹豫地告诉他：是苹果！

它撮合了亚当夏娃，放倒了白雪公主，引发了特洛伊战争，成就了乔布斯（其实是乔哥成就了苹果，不过为了排比句……只好倒行逆施了……向刚刚逝去的老乔致敬），更重要的是，它还砸醒了牛顿！

1665，没错，就是那一年。一只苹果从树上掉了下来。

那一掉，苹果仅仅用了七十码，就画出了一道美丽的弧线（我们慢慢就会知道为什么不是直线而是弧线）。这道弧线后来被百晓生描摹下来，分别送给李寻欢和西门吹雪，这两个杀手的反应居然惊人的一致：沉吟半晌，然后一声长叹，分别毁掉了刀和剑。

百晓生于是毫不犹豫地吧兵器谱的第一名填上——苹果。

牛顿这次注定要创造历史。哪怕他并不是刻意去创造，这就是科学家的可怕之处，他们总是在不经意之间创造于无形。

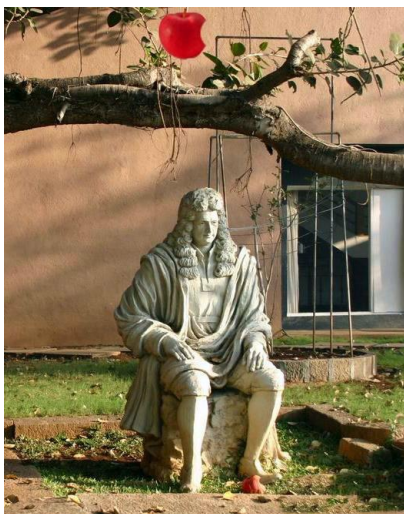
事实上牛顿这次只想找个休息的地方。最好的休息处，最宜人的景致自然只有花园里才有。苹果树当然也在花园，苹果在枝上。惬意已在心中荡漾。再过几分钟，睡意便可在心中荡漾。忽然，牛顿皱了一下眉头。树上掉下来一个东西。曾掉过

很多东西，却不是牛顿心中的那个。牛顿动了动。然而，苹果义无反顾地砸了下来。就是那道弧线，几米的距离。

牛顿的头毫不犹豫地成为弧线的转折点。牛顿心中依然是自己想要的那个东西，突然，眼前一亮……感谢 TV、AV、MV，那不是一颗椰子树；感谢领导、制导和向导，掉下来的不是榴莲、电锯或伐木工。

牛顿摸摸脑袋，也问了类似上面那个问题：是什么让苹果总是向下掉，而不是向其他方向飞出去？它为嘛不掉到月亮姐姐那里去？月亮姐姐为嘛不掉到这里来？

于是，像所有经典的故事一样，牛顿经过多年努力，苦苦追寻，终于发现了万有引力，从此过上幸福的生活，鲜花掌声不断。



【图 5.3】那个永恒的传奇

其实，像我们听到的许多美丽故事一样，苹果砸醒牛顿，也只是一个浪漫的传说。牛顿在日记中回忆道，苹果并没有砸到他。他只是由苹果落地想到，这可能是被地球引力拉下来的。

有史学家认为，苹果的事纯属子虚乌有，因为牛顿完成万有引力定律的阐述、数学证明和公式推导，是1686年的事，相隔21年。而1665年的那时，23岁的有志青年牛顿同学对天体的运动规律问题还没有完全搞清楚。

先把苹果的问题留给史学家好了。我们还是回到那个问题，是什么让行星俯首帖耳、循规蹈矩地运转？下面，我们跟随一批牛人、大牛人、巨牛人，温习一下他们创造的壮丽的时间表。

开普勒认识到，要维持行星沿椭圆轨道运动，必定有某种力在起作用，他认为这种力类似磁力，距离越远，这种力的强度越小。开普勒曾企图用磁力机制解释椭圆轨道的产生。他还以月球与海水间的磁性吸引解释潮汐现象——老天爷，这真是一颗让人羡慕嫉妒恨的脑袋！他是怎么想到的？

1634，勒奈·笛卡尔（法国伟大的哲学家、物理学家、数学家、生理学家。解析几何的创始人。17世纪的欧洲哲学界和科学界最有影响的巨匠之一，被誉为“近代科学的始祖”，就算你和他不熟，他的“我思故我在”你也应该很熟）在《论世界》中提出物体运动的三条法则：一是如果不与其他物体发生碰撞，物体将保持运动的起始状态；二是宇宙间运动量总和是常数，冲撞的物体运动总量是守恒的（this is 大名鼎鼎的动量守恒定律）；三是物体若不受外力作用，将沿直线匀速运动。笛卡尔还认为太阳的周围有巨大的漩涡，带动着行星不断运转——我总感觉这和后来爱因斯坦的弯曲时空有点相像。

1645年，法国天文学家布里阿德提出一个假设：“开普勒力的减少，和离太阳的距离的平方成反比”。这是第一次提出平方反比关系的思想。

1659年，惠更斯（荷兰天文学家、数学家，史上最著名的物理学家之一，介于伽利略与牛顿之间一位重要的物理学先驱，在力学、光学、数学、天文学方面都有卓越成就）从研究摆的运动中发现，保持物体沿圆周轨道运动需要一种向心力。胡克

等人认为那是引力，并且试图推导引力和距离的关系。

1661年，英国皇家学会成立了一个专门委员会研究重力问题。成员也是些牛人：

胡克：天才，英国博物学家、发明家、科学家、建筑学家，后来人们还发现他还可以做个画家。他首次用显微镜看到并命名细胞；发现双星；首次测量恒星的视差；发明的N多东西现在还在用，如车辆传动轴的万向节、钟表的游丝、相机的可变光圈等等。胡克定律记得不： $F = kx$ 。

雷恩：数学家、天文学家、英国著名建筑师，伦敦标志性建筑圣保罗大教堂出自他手。

哈雷：著名天文学家、数学家，哈雷彗星以他的名字命名。

他们在引力问题的研究上都曾做出过贡献。据说早在1661年，胡克就觉察到，引力和地球上物体的重力应该是有着同样的本质。

1664年，胡克发现彗星靠近太阳时轨道弯曲是因为太阳引力作用的结果。

1673年，惠更斯推导出向心力定律。

1674年，胡克在题为“证明地球周年运动的尝试”的演讲中提出，要在一致的力学原则的基础上建立一个宇宙学说，为此提出了以下三个假设：

第一，据观察，一切天体都具有倾向其中心的吸引力，它不仅吸引其本身各部分，还吸引其作用范围内的其他天体。太阳、月亮、地球以及其他行星都在互相影响。

第二，凡是正在作简单直线运动的任何天体，在没有受到其他作用力使其改变运动轨迹之前，它将继续保持直线运动不变。

第三，受到吸引力作用的物体，越靠近吸引中心，其吸引力也越大。一旦知道了为什么会这样，就很容易解决天体运动的规律了。

1679年，胡克和哈雷从向心力定律和开普勒第三定律，推导出维持行星运动的万有引力和距离的平方成反比。后来科学家发现，胡克距离发现万有引力定律只有一步之遥，只是在数学计算上没取得成功——他不会微积分。当时他和牛顿之间还进行了万有引力定律发明权的持久争夺战。

我们发现，万有引力到这里已初现雏形，如果它是苹果引发的，那至少需要一筐苹果，纷纷砸向这些可爱的天才。

万有引力不是牛顿一个人的独立发现，而是历史上若干人的研究逐步探索、积累的结果。



【图 5.4】群星璀璨的夜空

牛顿的高明之处，在于他解决了胡克等人没有能够解决的数学论证问题。

我们知道，牛顿同志不仅是世界上影响力最大的科学家，还是史上最伟大的数学家之一。他创立的微积分，是最伟大的数学成就之一，它实在是太重要太好用了，以至于它一出世，科学、工程学甚至经济学等各个领域，都争先恐后地患上了微积分依赖症。提篮小卖拾煤渣，挑水担柴都靠它，里里外外一把手，哼哈哼哈哼哈。微积分这东西说起来十分的枯燥，但它实在是一个重磅成果，如果不窥视一下，简直就是去敦煌不看石窟，入洞房无视新娘，太对不起它的万丈光芒了！

现在，让我们一咬牙一跺脚，来看一下，微积分大致是怎么回事。

微积分学是一门研究变化的科学，针对函数、速度、加速度、曲线的斜率、各种面积、体积等这些不算只看都头疼的劳什子，提供了一套通用的计算方法。

直观点说，变幻莫测、捉摸不定的东西，就用微积分来测、来捉摸。比如卫星轨道、炮弹轨迹、经济形势、气象变化等，相当的好用。当然，它也不是万能的，你要是想用它来计算咱国油价的涨落，以及女朋友的心思，那还是死了这条心吧。

为了掌握瞬息万变的世界，人类对计算变化的事物有着与生俱来的渴望，终于有一天，阿基米德创立的“穷竭法”为微积分的诞生埋下了伏笔。

这个伏笔一埋就是 1800 多年。由于入梦太久，睡得太死，所以唤醒她的，不是王子的吻，而是炮弹。

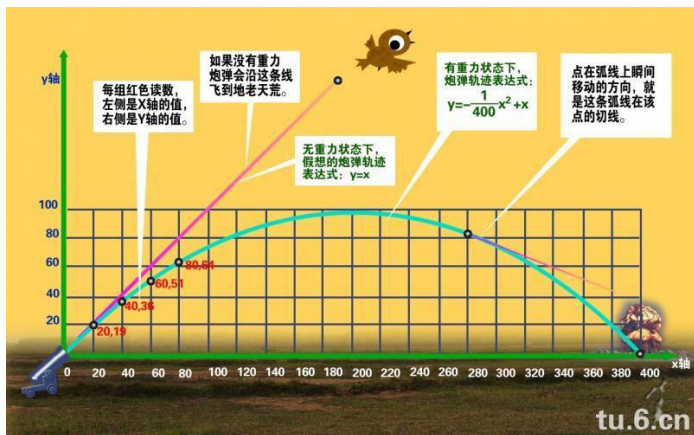
16-17 世纪，各国为了实现军事现代化，纷纷配置了大规模杀伤性武器——火炮，你有我有全都有，两军交战，开炮不是问题，问题是打不准！于是大家为提高炮弹的命中率，伤透了脑筋，没人会算炮弹的飞行轨迹。它不仅是运动的，还是不断变化的，他个仙人板板！这怎么算？！数学家面对大炮轨迹溃不成军。

还好有伽利略在，那时他还没被教会关起来。伽利略说，假如没有重力，大炮朝斜上方发射的炮弹，必定沿着发射方向直线前进，冲出地球，走向宇宙。但是在地球上，大家都是有重力的，所以，炮弹出膛后，除了惯性力让它继续向前跑以外，还有重力不断把它往下拉，在两种力的团结协作下，假如不考虑空气阻力，炮弹应该是向前飞的速度不变，向下落的速度却随时间而增加（加速度，很重要哦），于是，炮弹将划出一道优美的彩虹状曲线——抛物线。如果考虑空气阻力，炮弹前进的速度将会逐渐下降，导致它划出的那道弧不完美，不是真正的

抛物线。掌握了每种炮弹不同发射角的抛物线，就可以通过调整大炮的发射角度来控制炮弹的落点。问题得到基本解决。为什么要说“基本”呢？因为不够完美：炮弹轨迹不能用数字表达，不方便计算。

1637年，病床上的笛卡尔带病坚持琢磨：如何把抽象的代数问题几何化。正想着，蓦然回眸间，他突然看见一只蜘蛛，在墙角的三条线间瞎忙活。天才就是天才——他脑子里想的、眼里看的，完美地结合在一起，把墙角线标上刻度，可以准确锁定蜘蛛的点位置，这个点移动的轨迹，就是线……笛卡尔坐标系诞生了！解析几何奠基了！有了它，图和数可以相互转换，从此，现实现象变成了数学问题，炮弹的抛物线可以用坐标系——也就是数学公式来表达了！

抛物线的一般表达式是： $y=ax^2+bx+c$ ，其中 a 、 b 、 c 是抛物线上任意取 3 点坐标值代入公式得出的常数， $a \neq 0$ 。根据这个公式，可以导出炮弹的落点、高点、划过的弧长等各种值的算法。



【图 5.5】抛物线

大家正准备雀跃一下以示庆祝，却在起跳时发现一个问题：

因为炮弹的轨迹是一个弧，没有直线，所以每一个时间点，炮弹走的方向都有所变化。虽然这种变化是连续的、有规律的，但是，公式没体现出这种变化。于是，炮弹在某个时间点的方向，干瞪眼算不出来！

随后，聪明的数学家意识到，炮弹沿着弧线前进，它在某点前进的方向线，就是这个点在弧上引的切线。就这么简单吗？当然不简单。我们知道，在圆弧的某点划切线，只需划一条圆心到该点的连线的垂线，就 OK。抛物线是弧，但不是圆弧，想准确找到这个点的切线，不太容易。仔细一想，太不容易！

那就让炮弹先飞一会，我们先请领导上场。

皮埃尔·德·费马，法国律师、政府官员、贵族。头衔不少，但让他名垂千古的却是一个绰号：业余数学家之王。这并非浪得虚名，实在是他在数学方面的贡献，使一些职业数学家都望尘莫及。他独立于笛卡尔发现了解析几何的基本原理，不同的是，笛卡尔是从一个轨迹来寻找它的方程的，而费马则是从方程出发来研究轨迹的，这是解析几何基本原则的两个相对的方面。他当然也遇到了这个问题：怎样确定抛物线某点的切线？

数学家不是弹道学家，他们不是搞定抛物线上的切线问题就可以请功去了，而是要搞定所有曲线上的切线问题才算功德圆满。在曲线上划一个正确的切线，关键在于这个切线的倾斜度——也就是斜率正确。笛卡尔、费马等数学家找到了几种计算斜率的方法，但每种方法都是针对特定曲线的，对其他曲线无能为力。就像制定若干套法律，每套只管特定的人群，而对其他人无效一样。尘世间最令人抓狂的事莫过于此。关键时刻，费马出马了，他找到一种相对来说普遍性最好的方法，大致就是在线上取另一点，无限逼近切点，求出两者连线的斜率，算是解了围。他还建立了求极大值、极小值以及定积分的方法，为催生微积分做出了重要贡献。

这些方法虽然能够解决一些实际问题，但是，作为数学，

它缺乏普遍性、简洁性、精确性，不完美，甚至不完整。

1664年，剑桥大学的尖子生牛顿同学也开始研究“切线难题”，他提出一个简洁的思想：把“线”看成“点”随时间移动的轨迹。

咱俩一看，这简单得跟废话一样。于是，一齐狐疑地看着牛顿：那又怎么样？

这样，每个点都会有个瞬间行进的方向。这个方向就是斜率，方向线就是我们要找的那个切线。牛顿说。

咱俩的下巴掉了下来。面对强人，我们可以颂扬。面对强人中的强人，我们只有无语。

牛顿先读出切点的坐标值，然后假设切点在无限接近0的时间里，沿线走了一段无限接近0的距离。这样，就得到了数学家们梦寐以求的东西：

首先，曲线上无限接近0的一段线，可视为直线，这样，相当于直接把切线划出来了。

其次，无限接近0的值可忽略不计，但它有着实在的数学意义，把它与切点的坐标值结合起来运算，就能得到实实在在的值。

这真是个聪明透顶的办法。记得三十六计的第十四计吧——借尸还魂。

剩下的事，就是把这些值代入曲线表达式、斜率公式算一下，那个倒霉的斜率便赤裸裸地出现在我们面前（计算过程就不写了。懂的不用看，不懂的看着晕，我们只要与伟人一起体验灵感迸发的快感就OK了）。牛顿管这种方法叫“流数术”，现在大家都管它叫“微分法”。

但是，这种算法还是有些麻烦，怎么办呢？后面的文字有些难捱，不过好在看了也不会怀孕，不看也不会爆胎，实在是更多选择、更多欢笑。继续好吗？好的。

点沿着曲线移动，它在坐标X轴、Y轴上的读数是两个变

最。每个曲线的表达式是确定的，那么这两个变量的关系就是确定的。这样，就可以把两个变量换算成一个变量。比如，表达式是 $y=x^2$ 的曲线，把 y 换算成 x ，这条曲线上的任何一点都可以用“ x, x^2 ”来表示。这时，我们再将那些值代入，就得到计算这条曲线的切线斜率的“专用工具”，叫做“导数” $2x$ 。这就足说，以后再求这条曲线某点的斜率，只需把该点在 x 轴上的量乘以 2 就可以了。这种得到“导数”办法，叫做“对函数进行微分”。瞧，这是又一次“微分”了。导数的基本公式是 $y' = nx^{n-1}$ ，用它可以求出各种曲线表达式的导数。

从此，不论是炮弹，还是蚊子，所有运动物体的瞬间行进方向，都在我们的掌握之中。这就是我们梦寐以求的那个方法，够普遍、够简洁、够精确。但牛顿同学没有满足，他主动加压，奋力拼搏，为构建和谐社会作出了新的更大贡献。

牛顿发现，计算曲边形状面积的方法很麻烦，不够和谐。古希腊时代，人们计算曲线围成的土地面积，是像拼图那样，用三角形啊、长方形啊这些简单的直边图形把它大致填满，这些简单直边图形的面积相加，就是那片土地面积的近似值，具体有多近似，那要看拼图的精细度。欧几里得和阿基米德都曾用过这种方法。

这种算法不仅麻烦，而且作为数学来讲，它不够严格。

17 世纪，伽利略的弟子卡瓦列利提出一个思想：线由无数个点构成，面由无数条线构成，立体是无数个平面构成。

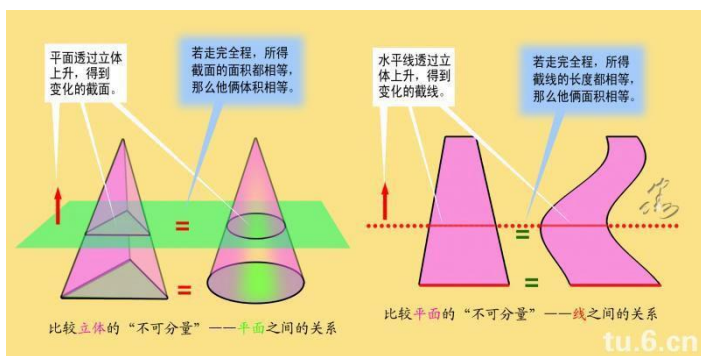
那么，点、线、面分别就是线、面、体的“不可分量”。

卡瓦列利通过比较两个平面（或者立方体）的不可分量之间的关系，来获得两者面积（或体积）之间的关系。有点绕了是吧？没关系，我们还可以举例、画图：

在一个平面上，我们放一个四面体（四个三角形围的那个），在他旁边，放个体型圆润点的圆锥体。圆锥体的体型虽好，但算起体积来，远不如四面体好算。

这时，让平面穿透他俩向上移动，在平面上，我们就会不断得到他俩的截面：一个是变化的三角形，一个是变化的圆形。如果从始至终，在每个时间点，我们得到的这两截面的面积都相等，那么，这个四面体和圆锥体的体积也相等。我们只要算出四面体的体积，就得到了圆锥体的体积。

上面说的，是对立体，我们比较它们的不可分量：平面。同理，对平面，我们可以比较它们的不可分量：线。这就是著名的卡瓦列利原理。



【图 5.6】透视关系 PS 起来好麻烦……

其实，这个原理在我国叫“祖暅原理”，由魏晋时数学家刘徽提出“牟合方盖”概念，二百年后，南北朝时代大数学家祖冲之的儿子祖暅发展而成。可惜遭遇和墨子一样，既没引起重视，也没得到发展，自然就没产生什么值得一提的影响。有兴趣的同好们可以查一下相关资料。

卡瓦列利原理提出后，伽利略的另一名弟子把它用坐标系来表示，这一方法很快得到了发展应用。

这种算法，比拼图先进了些，但是，还是那句话：作为数学，这些方法依然欠严密，并且太繁琐。

前面说过，对曲线表达式进行微分，可以得到导数。表达式其实就是一个函数。1665 年，聪明勤奋的牛顿同学在研究前

辈们的复杂方法时，突然发现，不同图形的面积，可以用不同的导数形式来表示，这样，就可以把它“还原”成表达式，算出这个函数，面积也就出来了。这是微分的逆运算，叫积分。算面积不是问题，算体积也不是问题。

微积分就这样在不经意间，伴随着一个思想火花轻微劈啪声，悄悄诞生了。

伟大的灵感！

我们来瞻仰一下积分的重要公式（看公式和我一样晕的就跳过去）：

导数形式： $y=x^n$

通过积分，还原成原始函数：

$$\int y dx = \frac{1}{n+1} x^{n+1} + C \quad (n \neq -1)$$

有了微积分，复杂运动、复杂面积的计算，都任人摆布了。更牛的是，如果我们掌握了运动物体当前某个状态的值，就能用微积分算出它将来的运动状态！

这简直就是科学江湖中的倚天剑！

牛顿是真牛啊！

不知出于什么原因，牛顿在 1665 年创立微积分，却直到 1707 年，才把它发表在他的《光学》的附录里。

1675 年，莱布尼兹（德国最重要的自然科学家、数学家、物理学家、历史学家和哲学家，举世罕见的科学天才，“世界上没有两片完全相同的树叶”出自他口）独立产生了微积分的思想，并于 1684 年发表了微积分论文。

牛顿形成微积分思想比莱布尼兹早，公之于众的时间却比莱布尼兹晚。于是，两位大师之间爆发了发明权争夺大战。

如果牛顿在 1665 年就把微积分亮出来，这场战争就不存在了。不过，如果这样，胡克等强人就掌握了微积分，那么，万有引力公式是谁的，就不好说了。

可是，历史没有假设。比起戏剧，历史更具戏剧性。

此后，数学家们对微积分进行了多方面的改进。19世纪，数学家们把“极限”概念引入微积分，并使之成为现代微积分的基石。现在的微积分动力更强劲，操控性更好，易于上手，实在是居家旅行、科研教育、炒房炒股、经天纬地的必备良药！

1679年，胡克写信问牛顿，能否根据向心力定律、引力同距离的平方成反比的定律，来证明行星沿椭圆轨道运动。牛顿对此保持沉默。

1685年哈雷登门拜访牛顿时，牛顿已发现了万有引力定律：两个物体之间有引力，引力和距离的平方成反比，和两个物体质量的乘积成正比。下面让我们来欣赏一下万有引力公式：

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

这就是凝聚了无数天才智慧、千呼万唤始出来的万有引力公式？它竟如此简洁！

越简单、越明了、越直接的，才是越接近自然、曰接近真理的。

自然不需矫饰，真理总是朴直。

M、m表示两物体的质量；r是它们的距离；G是常量 6.67×10^{-11} （牛米²/千克²）

简洁明了。简洁的东西、简洁的方法、处事简洁的人。我喜欢。

从此，我们只要知道两个物体的质量和距离，就能算出它们之间的引力有多大。

当时已经有了地球半径、日地距离等精确的数据可以供计算使用。牛顿向哈雷证明，地球的引力是使月亮围绕地球运动的向心力，也证明了在太阳引力作用下，行星运动符合开普勒运动三定律。

1686年，是一个伟大的年度。在哈雷的敦促下，牛顿写成

划时代的伟大著作《自然哲学的数学原理》(以后简称《原理》)。

值得一提的是，虽然用微积分推导和证明力学问题既方便又好用，但是，牛顿在《原理》中，似乎是赌气一样避免使用微积分，甚至连坐标也不用，而是采用几何学方法证明问题。有人猜测他是用微积分得出结论，而在写《原理》时，改用几何学证明。之所以这样，是因为他崇尚几何学，认为那才是“武林正宗”，而使用坐标解决问题的“解析”数学多少有点“旁门左道”。微积分发明权大战期间，牛顿曾声称，他一直不发表微积分学，是因为怕被人嘲笑。即使如此，《原理》的论证过程也流露出了微积分的概念。

牛顿在《原理》中，从力学的基本概念(质量、动量、惯性、力，熟悉吧?)和基本定律(运动三定律)出发，运用他所发明的微积分，不但从数学上论证了万有引力定律，而且把经典力学确立为完整而严密的体系，把天体力学和地面上的物体力学统一起来，实现了物理学史上第一次大的综合。从此，现代物理学拉开序幕。

可是…可是…我们无比熟悉的一幕出现了，皇家学会居然经费不足，出不了这本书！

……

1687年，在哈雷的资助下，这部科学史上最伟大的著作之一才得以出版。

尽管这个消息已经在地球上流传了300多年，尽管我不是第一次听到这个消息，但是，当我又一次看到它时，仍然为之激动不已！

千万别笑我，你我都知道这意味着什么，这标志着经典力学大厦基本构架的形成，它是人类的一次思维革命，它带来了伟大的工业革命！

我很是替地球人捏了一把冷汗：幸亏我们可爱的哈雷先生比较富裕，幸亏比较富裕的哈雷是个科学家，幸亏这个科学家

有着高度的科学精神,为了出版别人写的科学巨著而不遗余力。

哈雷很快学会了微积分和牛顿定律,经过计算,他发现1531、1607、1682这三年,造访地球夜空的三颗彗星轨迹十分的相似,他断定这是同一个家伙的三次来访,并预言它将于1758年再次来访。1758年,这家伙果然如约而至,于是,人送绰号“哈雷彗星”。

1968年,美国飞船在第一次绕月航行返回途中,一位宇航员说道:“我想,现在主要是牛顿在驾驶飞船了。”



【图 5.7】

我在想一个问题,如果这部书早一年出版,世界会是什么样?如果这部书没能出版,世界又会是什么样?

让我们看看,可爱的天才们围绕牛顿力学体系都做了什么:静力学、动力学、流体力学、分析力学、运动学、固体力学、材料力学、复合材料力学、流变学、结构力学、弹性力学、塑性力学、爆炸力学、空气动力学、理性力学、物理力学、天体力学、生物力学、计算力学……离开这些东东,我们的所用、所见、所知、所闻,就是中世纪那样。

举一例:分析力学。基本原理由牛顿运动三定律推出。基

本内容是阐述力学的普遍原理，运用数学分析方法研究宏观现象中的力学问题。分析力学广泛用于结构分析、机器动力学与振动、航天力学、多刚体系统和机器人动力学以及各种工程技术领域，也可推广应用于连续介质力学和相对论力学。

时至今日，关于牛顿“科学霸权”的三大公案仍不时被人提起：

一是胡克要求牛顿在《原理》中提一下自己的名字和贡献，牛顿拒绝了这一合理要求。有人说，牛顿故意把他发现万有引力的时间改在 1679 年与胡克通信之前，而且造出苹果神话，就是为了独吞万有引力这项成果。胡克死后，连张画像也没留下来。据说是在皇家学会搬迁新址时，胡克的许多收藏、仪器，连同他的画像，一起被遗失。而搬迁前，牛顿刚刚当选为皇家学会会长。据说胡克相貌丑陋，不愿画像，作为一种荣誉的皇家学会画像是孤品，它一丢，后人就再也无法知道胡克长啥样了。

二是对弗拉姆斯蒂德（英国首任皇家天文学家，格林威治天文台的创始人、现代精密天文观测的开拓者）观测数据的剽窃和盗版。

三是在与莱布尼兹关于“微积分”创建人之争中，表现出小人行径，布莱尼茨死后，牛顿为“伤透了布莱尼茨的心”而洋洋得意。

有人从牛顿的经历来论证这一切都不是偶然的：牛顿是一个遗腹子，出生不久，母亲改嫁，由外祖母抚养，从小没爹也没娘，所以，某些事一定曾无情地伤害了他幼小的心灵，导致心理扭曲、孤寂、好斗……

即使牛顿因人格扭曲，导致某些言行令人难以容忍，这些污点也难以掩盖他伟大成就的灿烂光辉。

即使万有引力不是牛顿一个人发现的，他也是经典力学理论的集大成者。

他系统地总结了伽利略、开普勒和惠更斯等人的工作，得到了万有引力定律和牛顿运动三定律。此外，他还发现了二项式定理；创建了微积分；所著《广义算术》大大推动了方程论；发明了反射望远镜；精确地说明了色散现象，揭开了物质的颜色之谜等等。随便哪项成果都足以名垂千古，不论牛顿三大公案的史实如何，我们都无法否认牛顿的伟大。

所以，评价某某，还是功过分明比较好，掩瑕藏疾、文过饰非的伎俩，往往适得其反，因为，不太傻的我们都明白：高大全的另一面，是假大空。

艾萨克·牛顿，这个可怜的英国孩子，他好好学习，天天向上，坚韧不拔地成长为万人景仰的数学家、物理学家、天文学家和自然哲学家。他以无与伦比的科学贡献，成为人类历史上最伟大、最有影响力的科学家。

第六章 所谓科学理论

这个问题似乎不应该出现在这一部分，因为我们已经知道地是个球，还知道地球乃至太阳都不是宇宙的中心，甚至温习了一些定律，围观了以牛顿为首的一批牛人开启现代物理新篇章……这个时候，再回过头探讨啥叫科学理论，是不是晚了点？

霍金同志说，不晚。不仅不晚，还恰恰好。

这个时候弄清楚什么是科学理论，是为下一步谈论宇宙的本性打基础。如果把科学理论的本性搞错了，我们就无法继续下面的话题。

亲呐，你认为不会搞错？那么，让霍金陪着咱俩，浪费点时间，试着探讨一下。

伟大的霍金同志说：理论只不过是宇宙或者它受限制的一部分的一个模型，以及一组规则，这组规则把这个模型中的量和我们进行的观测相联系。它只存在于我们的头脑中，而不具有任何其他真实性（不管其含义如何）。

这段话可能不太好理解，也不太好接受，所以我翻译一下，加深印象：

他说，所谓科学理论，只是我们针对部分（注意这个词：部分）事物进行描述和预测的一种规律性总结。它对这些事物本身没有任何意义，它只是现阶段与观测相符，因此我们还能用得着的一种工具。千万别把它当真。

疑惑了是不？老说坚持真理捍卫真理，这下好，连科学理论都当不得真了。这样子搞法，会不会太儿戏了？

别急，我们先看场电影，舒缓一下严肃、紧张的学术气氛。片名叫《肖申克的救赎》。

面对电影中的人和事物，我们是毫无疑问的观测者。

影片中，典狱长和狱警是观测者。他们根据犯人的言行和

狱中事件来判断、总结、预测。

犯人是被观测者。他们在某些规则的制约下，在自身因素的驱动下，在相互之间的影响下发生一些行为。当然，作为有思想的被观测者，他们同时也是观测者，观测其他人。

安迪和瑞德是这些被观测者中的一部分。

嘘~，电影开始了，交叉的画面：汽车中的醉酒的安迪、法庭审问、安迪老婆与人偷欢、安迪装子弹、审问、安迪提枪下车……

随后是律师的结论：银行家安迪，因老婆与人私通，便在酒后干掉了他俩。

综合一下观测的信息，我们也不难得出与律师相同的结论。

这是我们得到的第一个理论。它符合逻辑，并与观测相符，所以大家承认这个理论是正确的。于是，安迪被送进了监狱。

这很合理，不然的话，难道非要法官亲眼看到犯罪的实施才能判罪吗？



【图 6.1】

入狱后，安迪请瑞德帮他搞来一些东西：

一把石锤，用它雕刻一些小东西以消磨时光。

一幅女星海报，监狱里见不到女人，你懂的。

一副棋盘，但不要棋子。

一些石头，用来雕成棋子，以及其他小玩意。

我们和影片中的人观测到：安迪利用银行家的特长，为狱警们避税、理财，给狱友帮忙。——给自己换来良好的生存环境。

安迪每天雕刻棋子和一些小玩意，乐此不疲。——监狱里的时光太漫长太难熬，用一些小嗜好打发时光。

安迪买了本圣经，并且背得滚瓜烂熟。——听从典狱长的劝诫，救赎灵魂。



【图 6.2】

所有的一切都十分合理、十分正常。

所有的观测都表明，安迪已经习惯了这里，正在被“体制化”。

正如瑞德总结犯人对于监狱的态度：起先你恨它，然后习惯它，更久后，你不能没有它。这就叫体制化。

既然理论与观测相符合，那么我和狱警就可以预测，安迪明天仍然会为狱警理财、雕刻、背圣经，他将继续安心地呆在这里。

这是我们得到的第二个理论。在典狱长看来，也是如此。

如果这时，谁断定安迪会杀人、复仇、越狱、自杀或患病死去，那纯属毫无根据的臆测和胡说八道。

果然，我们看到安迪每天做那些十分合理、十分正常的事，他学会了妥协，喜欢散步，甚至排除万难在这里建了一座图书馆，一心扑在工作上，兢兢业业地维护它。

安迪还收了一个学生，孜孜不倦地教他学文化，搞得双方都很来劲。

理论与观测十分相符。



【图 6.3】迷人的海报。

机缘巧合，学生道出了那场谋杀案的真相，真凶不是安迪。——我们的第一个理论“安迪是凶手”垮台了。正如地心说遭遇日心说，不一致的观测立马将该理论证伪。

典狱长为了不让安迪出狱，设计杀死了安迪的学生——唯一的知情人，还关了安迪一个月的禁闭。正如教会采取烧死布鲁诺、迫害伽利略等手段来维护已被证伪的地心说。

希望破灭了。

一个月后，从禁闭室出来的安迪变得很消沉。在典狱长的淫威下，安迪选择顺从，继续为典狱长理财、供他奴役。

安迪已经被驯化，他像其他犯人一样被“体制化”，放弃希望，囚至终老——这个理论与观测十分吻合，我们发现，安迪每天都在重复与理论相符的生活。所以我们说，这是一个好的理论。这是我们得到的第三个理论，是经过更多观测后，对第二个理论的修正、扩展和完善。

典狱长笑了，他对这一理论表示满意。

然而，一个风雨交加、电闪雷鸣的晚上，神奇的事情发生了，并不是终结者降临，而是安迪从牢房里消失了。

他从一个长长的大洞里逃了出去。

那个洞就在女星海报的后面。

我们原先没有观测到的事实：海报是用来挡洞口的，不是用来消除寂寞的；20年来，石锤不仅用来雕刻，还用来挖洞；散步是为了把每次挖的墙土一点点撒掉；圣经是用来藏石锤的；给典狱长理财不仅是为了讨好，还顺便收集了典狱长的罪证，同时给自己弄笔钱花。



【图 6.4】典狱长等看安迪的洞。

每当看见这个洞，我的心情就会豁然开朗，它是智慧，是坚持，是奇迹，是希望；它像一张呐喊的嘴，火山爆发般地喷

尽积郁和愤怒；又像是一个嘲笑的眼神，毫不留情地撕开无尽的夜幕。它是一个句号，所有苦难到这里都烟消云散。我把这个感觉告诉朋友，朋友说：“在你内心有一个牢笼。你自己既是典狱长，又是安迪，所以会有这个感觉。”我听了为之一震（这个图片说明太长了哈哈）。

面对这个洞，我们的第二、第三个理论瞬间坍塌了。

真相是，入狱二十年来，安迪从未放弃希望，他一直在想方设法逃狱。我们之所以没有得到与之相符的理论，是因为那时，我们没有观测到真凶杀人，以及安迪挖洞、扔土等等。

霍金同志说，在一个只包含一些任意要素的模型基础上，如果一个理论满足如下两个要求，就是一个好理论：

能精确描述大量的观测。

能明确预言未来的观测结果。

其实，在安迪逃狱之前，我们可以使用第二、第三个理论，很好地描述和预测安迪的行为，这些描述和预测与实际观测相符。所以，在被证伪以前，这就是好的理论。

所以霍金同志说，为了能够应对更复杂问题，我们在探讨时，必须暂时这样看待科学理论：任何物理理论都只是假设，在这个意义上，它只能是暂时的，你永远不能证明它。不管实验结果多少次和某种理论相符，你永远不能断定下一次的结果不和该理论相冲突。另外，你只要找到一次和理论预言不一致的观测，就足以将该理论证伪。正如科学哲学家卡尔·波普强调过的，一个好的理论应该是这样的：它做出一些可能被观测证伪的预言。每一次新实验结果与理论相一致，我们就增大对它的信赖；但是一旦发现和预言不一致的新观测，我们就必须抛弃或者修正该理论。

上面这段话基本摘自原书。我们发现，看了电影之后，这样的观念很容易懂了，也很容易被我们接受了。可见，时不时放松一下，对于我们增加理解能力和接受能力很有帮助。

我们发现，新理论往往是原先理论的一个扩展。就像刚才在电影里，我们得到的第三个理论是第二个理论的扩展一样。在理论使用上，只要不影响想要的效果，哪个方便好用，我们就用哪个。

比如，我们明知地心说是错误的，但在日常生活中，还是按照习惯运用地心说理论——我们说，太阳升起来了（地心说），而不说地球上我们住的这一面转向太阳了（日心说）。

我们来看一个有趣的例子：

我们对水星进行非常精确的观测，会发现，它的运动与牛顿理论预言不符（存在一个很小的差异，后面将提到详情），但与爱因斯坦的广义相对论预言十分相符。这就是说，牛顿理论被证伪，广义相对论更准确。

那么，为什么在大部分情况下，我们仍然使用牛顿理论？这是因为两者计算结果差别非常微小，在处理一般问题时，我们不需要搞那么精确，而用牛顿理论来计算，也能算出行星轨道啊什么的，更重要的是，牛顿理论用起来比相对论要简单、容易得多。

这就是科学理论。

那么，最终，我们需要一个什么样的理论？霍金同志教导我们：科学的终极目的，是提供一个能描述整个宇宙的统一理论。

为什么要用统一的理论？一个理论描述一块，难道会误了二路汽车？

答案是，会。

地球生物进化的顶峰们（生物学），下一站纬度 31.7319，经度 113.2297（地理学），要避免资产流失（经济学），请按照上帝的旨意上下车，阿门（神学）。

看，误车了不是？

下面我们来用日常用语统一一下：同志们，下一站是随州市

安居镇，请带好随身物品准备下车，谢谢！

哈哈，其实你发现了，这个例子不是很恰当，但道理差不多。

我们知道，万物虽千奇百怪，但越是构成物质的基础部分，其本质越是相近，到最后，应该基本相同。这不难理解，人和蚂蚁差别很大，但从基础上看，都是由细胞组成的，细胞虽有差别，但细胞都以碳水化合物为主，到这里已经没啥区别了，如果我们再往更基础处看，把鲜花和牛粪也抓过来（嘿嘿抓字用得恶心里吧）和我们比一比，都是分子构成的，分子是原子构成的……这时我们发现，原来是一样一样一样的啊。所以，一个理论可描述的范围越广，它就越接近根本，也就越接近真实。

所以，找到描述整个宇宙的统一理论，就是真正看到了宇宙的本质，而科学就是这样，越接近真相，掌控事物的能力就越强。

况且，人类都有真相癖，从某种意义上说，这就是人类社会发发展进步的主动动力。不是吗，如果人们对宇宙万物一点都不好奇，那我们现在一定不如猩猩。

无论从人文科学、社会科学还是从自然科学上来讲，真相都是一种最可贵的资源，掌握真相则科技进步、社会发展，掌握真相就掌握一切。不信？你要是知道股票真相，你就是股神，巴菲特得靠边站；你要是带兵打仗，知道敌我的真相，你就是战神，韩信凯撒诸葛亮成吉思汗都不如你；你要是知道市场和经济的真相，你就是全球第一大富豪，微软 Google 中石油都是毛毛雨；你要是知道周围人和事的真相，你就是能掐会算的神仙，想干啥都能干成……真相是如此的宝贵和难得，以至于不明真相的总是围观群众。——！

OK，闲言碎语不要讲，咱看一看，科学家们怎么想，当里个当……多数科学家现在把问题分开来看：

第一，一定存在这样的定律：它能够描述宇宙如何随时间

变化。这样，我们只要知道宇宙在任一时刻的状态，就能用这些定律预知宇宙将来任何时刻的状态。比如，您看这篇文章不爽，朝我扔一块板砖，在板砖扔出的任意时刻，我只要得到板砖在那个时刻的质量、速度、角度等数据，就能利用牛顿力学定律算出，它将要划过什么样的轨迹，最终以多大力度砸在哪。当然，如果您扔得特准，那就只好麻烦您自己来算了。

第二，宇宙初始状态是个大问题。就是说，宇宙是怎样产生的？这一切是如何开端的？再问具体一点，它是遵循什么样的规律开始的？

有些人认为，科学只应该关心第一部分，宇宙启始是上帝的事，他老人家想怎么样就怎么样。果真如此，上帝完全可以放任宇宙随意演化，但是看来，他似乎更喜欢让宇宙乖乖地按照严谨的规则来演化。所以可以这样说，一定存在制约初始状态的定律——根据这个定律，宇宙的产生是必然的，宇宙以这种形式诞生、成长为现在的样子也是必然的。

设计一种能描述整个宇宙的理论，太难。所以，我们目前力所能及的是，把问题分成许多小块，针对各块搞理论，来描述和预言一定范围的观测。

于是，就必然出现这样的情况：我们形成了某一块的理论，但有时候，受这一范围之外的效应影响，我们会发现实际观测和理论预言略有不同。

这是因为，宇宙万物并不是真的像我们划分的那样，一块是一块，互不干涉。万物万象实际上是相互关联的。比如，原来电力、磁力是两个学科，人们针对这两块分别创立了两个独立的理论，后来发现，电和磁关系密不可分，如果只考虑其中一块，就会出现很大问题。后来二者合二为一，创立了电磁学……

有时候，某个区域的理论出现问题，又没有合适的补丁可以下载来修补，那么，如果这些问题不影响大局，大家通常就

把它忽略掉，或者干脆用一组数来代表它，使理论看起来更贴近实际。

比如，爱因斯坦开始认为宇宙是静态的，但如果这样，根据他的广义相对论，宇宙就会因物质间的引力而坍缩，最后变成一个点。可是据观测，宇宙又没有坍缩的迹象，也没发现有什么东西可以抗拒引力，于是他在方程中引进一个“宇宙常数”，这个数刚好对抗引力，使宇宙乖乖地保持静态。

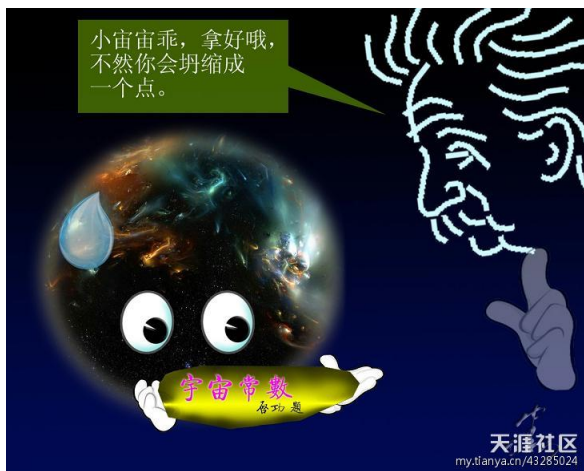
对于宇宙为什么要搞这样一个常数来约束自己，大家都很茫然。后来发现，宇宙是膨胀的，星系间相互飞离的惯性大于引力，所以不会坍缩，于是宇宙常数就成了一个尴尬的蛇足。于是，爱因斯坦就从他方程中把宇宙常数咔嚓掉了，并惭愧地说宇宙常数是他“一生中最大的错误”。

然而，造化弄人，1998年，两个天文学家小组通过研究超新星，发现各个星系正在加速远离地球而去。目前的解释，是暗能量导致宇宙加速膨胀。这个暗能量就是当年没发现的可以抗拒引力的东西，它导致负压，所产生的反引力，是一个常数……恭喜你猜对了，把宇宙常数请回爱因斯坦方程，可以完美地解释宇宙加速膨胀。这说明，已经举行遗体告别仪式几十年的宇宙常数要复活！三个家伙为此获得2011年的诺贝尔物理学奖，他们是美国人帕尔马特、美国-澳大利亚人施密特、美国人黎斯。宇宙常数的曲折故事，是观测区域变宽导致的一个洗具。

刚上班头几年的筒子们都会有一种感觉，那就是社会的关系网比想象的要复杂得多，你对面的美女说不定就是一把手的小蜜，而某次宴会上与你相见恨晚的那个哥们就是那个小蜜的丈夫，他现在最苦恼的事就是闹不清楚他和你们一把手老婆的关系……

宇宙也是这样，原本我们以为，两个不在一处的物体基本不存在什么关系，后来我们发现，万物都有引力、光、电、磁

等远程联系方式。说不定，情况比这还要复杂得多，所有物质之间，还有更隐秘、更基础的联系方式没被我们发现。



【图 6.5】宇宙常数

如果是这样，那么，我们用上面说的隔离法研究问题，就不太容易接近那个最终的、完备的答案了。

但从狼狼阿狗，一直以来，我们就是用这种方法“从胜利走向胜利”。牛顿引力论又是一个经典的例子，它告诉我们，两个物体之间的引力只决定于它们的质量，与它是啥东西无关。这样，不需要知道星球的结构、成份、思想状况和政治立场，我们就可以计算它们的轨道。所以，在没有新的发现之前，我们只能靠目前的办法来理解宇宙。

今天，我们按照两个基本的“部分”理论——广义相对论和量子力学来描述宇宙。它们是二十世纪最伟大的智慧成就。

广义相对论：用来描述引力和宇宙的大尺度结构，从只有几英哩直到大至 1 亿亿亿（1 后面跟 24 个 0）英哩，这是我们可以观测到的宇宙范围的结构，也就是人类目光所及的最远距离。

量子力学：用来处理极小尺度的现象，例如万亿分之一英寸。

可惜的是，这两个理论不相协调，所以它们不可能都对。或者说，它们都离真相还有一定距离，究竟这个距离有多大，尚未可知。当代物理学的一个主要努力方向，就是在寻求一个能把它俩合并在一起的理论——量子引力论。

目前来看，要搞定它，还早着呢。现在是万里长征刚开始系鞋带。

我们都清楚，要找一个人，事先掌握他的特性越多，找到的机会和准确率也就越高。目前，我们已经知道了这个理论所应具备的许多性质——它应该是什么样、应该能解释什么、预测什么等等——这是唯一值得我们欣慰的。

现在，我们相信宇宙不是任性的，而是守规矩的，这个规矩就是我们要找的统一理论。不过，霍金发现，寻求完整的统一理论，有一个基本的自相矛盾，讨论起来也有点意思：

作为有理性的生物，我们地球人可以随意观测宇宙，还可以从中得出逻辑推论，这样，就应该能越来越接近那个最终答案。然而，如果真有统一理论，那么它也决定我们的行动。这样，理论本身就决定了我们对它探索的过程和结果——额滴神呐，原来一切都是注定的！问题来了：

为什么它必须注定我们得到正确的结论？

难道它不会注定我们得出错误的结论吗？

或者根本没有结论？

对此，霍金同志用达尔文的自然选择原理来解答。

即使我们在电脑里复制、粘贴，也不能保证每次都能得到一模一样的结果。不信你在网页上 Ctrl+C，再到 word 等文档里 Ctrl+V，一定会看到变化。

生物繁殖还不如电脑复制、粘贴那样精确。即使是同一对夫妻，他们生出的后代也总有不一样的地方，性别啊、智力啊、

外貌啊、体力啊、个性啊、甚至血型 and DNA 也不一样，加上生存期间的经历等等，导致差异越来越大，这是遗传、发育、成长上的变异。看看我们周围的人，看看同一窝小狗，要是还不服气，那就再看看同一根藤上的瓜……所以莱布尼兹说：“世界上没有两片完全相同的树叶”。全世界人民一听，立马一致通过了。

由于相互有差异，那么不同个体对世界的认识和适应能力也存在差异。这没问题吧？很多地方不一样，而偏偏适应能力却一样，张飞和阎婆惜面对持刀的宋江，都是同一个下场，还有天理吗？

所以说，在大自然里，适应能力强的就是爷，吃香的喝辣的，老婆孩子多，更易存活和繁殖，其行为和思维的模式逐渐成为主流……物竞天择，如此往复，就叫进化。

智慧的进化，使我们人类在地球生物界趾高气扬，不可一世。

如果宇宙是遵循某种规则发展到现在这样的，我们就可以这样推测：既然宇宙发展导致进化的必然，而进化又给了我们推理能力，那么，在探索统一理论时，我们推理能力的进化也是必然的。

那个终极答案就在那摆着，它不会发生变化，而我们的推理能力却在不断进化，这说明，我们将离它越来越近，最终，我们会把它拿在手里。“子子孙孙无穷匮也，而山不加增，何苦而不平？”就是这个道理。

这是个乐观的看法。因为，没人知道我们还能存在多久，也没人知道，得到那个答案需要多久。放弃吗？或许就在明天呢？

也许有人说，目前，除了最极端的情况以外，我们现有的部分理论，已经可以对所有一切给出精确的预言了，没必要去探索宇宙的终极理论了。然而，我们回过头想一想，当初探索

相对论和量子力学时，我们也可以用这个论点来说没有必要，但实际上，这些理论已经给我们带来了核能和微电子学的革命！

所以，一套完整的统一理论，可能无助于种族存亡，甚至不影响我们随地吐痰加班骂娘，但这并不能成为我们停止探索脚步的理由！自从我们学会思考，就不甘心不明真相，不甘心对事物保持迷惘状，我们大声疾呼：被蒙在鼓里的感觉很不爽！

对预知未来的渴求，引无数英雄竞折腰。折腰也搞不定，就花钱找丘道士鲁和尚算一卦。可见我们是多么渴求理解世界的根本秩序！

我们为何在此？我们从何而来？我们必将何往？难道你不想知道吗？我们的目标：对我们生存其中的宇宙作完整的描述！

那么，我们目前已知的宇宙是个啥样？

子曰：酒要一口一口喝，路要一步一步走，步子迈得太大，容易扯着蛋。咱慢慢来。

第七章 牛顿的宇宙

运动 VS 力

描述宇宙，离开了运动和力，就好比描述美女，却无视“美”和“女”这两个基本特质一样。

运动、力，同为宇宙的根本性质之一。二者的关系密不可分。如果上帝说，让你和你的恋人关系好得像运动和力一样，那么恭喜你，你们生生世世、时时刻刻都甭想甩开对方了。

根据自己居住地球多年的经验，亚里士多德认为，物体的自然状态是静止的，只在受到力或冲击作用时才运动。这很直观也很好理解，茶杯放在桌子上，没有外力作用，它不会跑到地上摔碎自己。

聪明的亚里士多德还认为，人们不用观测呀、检验呀那么麻烦，只用脑袋想，就可以找出制约宇宙的定律。就比如刚才这条。所以他根据自己的理论得出一个预测：重的物体比轻的物体下落得更快，因为它受到更大的力将其拉向地球。

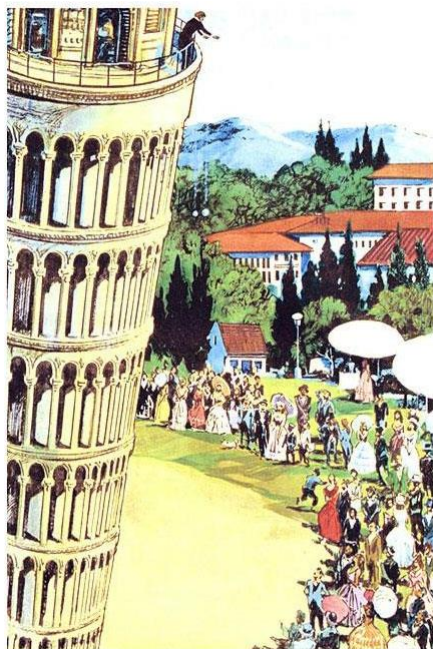
听起来很有道理，大家都信了。除了一个人。伽利略这个死心眼的家伙，他非要亲眼看看才相信，物体重量不同，是不是真的下落速度就不同。

大家熟悉的版本是，伽利略在比萨斜塔上同时扔了两个球，一大一小两球同时落地，一阵惊叹和一阵掌声之后，大家都高兴地回家吃饭去了。多数 60 后、70 后、80 后是通过这件事知道比萨斜塔的，还记得课本上那幅插图吧。但，让我们伤心的是，这又是个美丽的传说。

多么熟悉温馨的画面啊，多么难熬又难忘的初中课堂啊……老师，童鞋，你们还好吗？

别忘了，伽利略是个聪明得让人羡慕嫉妒恨都解不了心中块垒、仰慕崇拜爱也止不住牙根痒痒的家伙，连爱因斯坦都对

他佩服得不得了。



【图 7.1】伽利略在比萨斜塔做实验的课本插图。

面对老亚的这个预测，略哥哪都没去，只是饭后坐在家里，翘着二郎腿闭目养神顺便剔剔牙时做了个思想实验：如果真的像老亚同志说的那样，重的下落比轻的快，那我把重的和轻的绑在一起，会怎么样呢？奇妙的事情发生了，从逻辑上讲会出现两种截然不同的结论——

结论一：重的轻的合二为一，当然更重，它们的结合体下降得一定比那个重的更快。

结论二：重的还想那样快，却被轻的拖了后腿，两个力一中和，它俩加起来应该比轻的快点，比重的慢点。

如果它俩不是绑在一起而是融为一体，这个这个……和绑在一起有何区别呢？

矛盾呀矛盾……

这个思想实验以老亚的预测为前提，逻辑推理过程毫无问题，却同时产生了两种不同的结论，所以，一定是前提错误——也就是老亚的预测错误！略哥遗憾地一拍大腿，怎么我又对了？

但思想实验终究是看不见摸不着的，逻辑再正确，也得拿出大家都看得见摸得着的证据来，广大人民群众才会信服，毕竟大家都是正常人，哪有几个像你伽利略那样，聪明得令人发指的？

略哥懒得去爬比萨斜塔。同时也为安全考虑，要是砸到小盆友怎么办？但重物落地速度太快，如果高度不够，很难分清落地先后。

你要是把乡亲们都叫来，自己拿一大一小俩砖头举过头顶，双手一松，台词是：“各位观众，现在你们请看，是不是两砖同时落地呢，那位拿葱的大婶一向视力超凡入圣眼尖嘴快要不你来说说看？”如果这俩砖没砸在你脚上，那一定会有鸡蛋西红柿飞到你头上，今天午饭晚饭都不用做汤了。

咋办呢？

要是我，就算了，谁先落地关我屁事？不砸到我就万事 OK 了。

但伽利略不，他非要分出个子午寅卯！

这家伙有办法，他把不同重量的球从光滑的斜面上滚下。掉下来和滚下来（听起来像骂人）性质类似，都是重力加速度，但是滚下来速度慢，更容易观察，大家围观起来比较舒服，球缓缓而行，逐渐加快，清晰易辨，回去描述起来也方便，这样乡亲们就不会拿鸡蛋西红柿招呼咱了。聪明吧？

实验表明，不同重量的物体，其速度增加的速率是一样的。

在一个沿水平方向每走 10 米即下降 1 米的斜面上，你释放一个球，则 1 秒钟后球的速度约为每秒 1 米，2 秒钟后为每

秒 2 米……不管球多重都一样。

是不是很神奇？10 米、1 米、1 秒、1 米/秒、2 秒，2 米/秒……人类主观意识衡定的计量单位，和自然力配合得如此美妙，就好像几百亿年以来，大自然一直在等待我们获取这个答案一样。如果你说这只是巧合，只是大约，那么，还记得勾 3 股 4 弦 5 吗，为什么会这样？

370 年后，阿波罗 16 号登月时，宇航员通过电视直播，当众做了一个验证自由落体定律的实验：一手拿锤子，一手拿羽毛，从同一高度同时松手，锤子和羽毛同时落地。

牛顿把伽利略的测量作为运动定律的基础。他考虑到，当物体从斜坡上滚下时，它一直受到不变的外力（它的重量），产生的效应是，它被恒定地加速。这表明，力的作用是，改变物体的速度和方向，而不仅仅是“使之运动”。只要一个物体没有受到外力，它就会以同样的速度保持直线运动。



【图 7.2】

这个思想这样表述：任何物体在不受任何外力的作用下，总保持匀速直线运动状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。这是牛顿第一定律，也叫惯性定律。

还记得笛卡尔提出的物体运动三条法则吗？何其相似！但接下来我们会发现，两者认识的高度不同。那么谁的认识更高呢？当然是站在肩膀上的那位！

好的，接下来又出现一个问题，是不是无论物体质量多少，随便加一个力，都产生同样的效果呢？力、质量、运动之间是个什么关系？

实验表明，它们是有比例关系的：

力加倍，则加速度也将加倍。

实验：让林黛玉玩命地推你一下，然后让姚明玩命地推你一下，比较一下自己被他俩推出去的速度，就明白了。

物体的质量越大，则加速度越小。



【图 7.3】

实验：如果刚才你未被姚明推吐血，以及林黛玉推你的时

她自己没吐血，那么那现在你可以报仇了。你先玩命地推林黛玉一下，然后再玩命地推姚明一下，比较一下你把他俩推出去的速度，就明白了。

结论：物体的加速度跟物体所受的合外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟合外力的方向相同。这是牛顿第二定律。

质量定义的标准答案是：物体的一种性质，通常指该物体所含物质的量，是度量物体惯性大小的物理量。后面这句跟牛顿第二定律息息相关。根据这一定律，我们可以这样理解：质量就是改变物体运动状态的难度，质量越大，这个难度就越大。

现在我们知道，要改变一个物体的运动状态，必须有其它物体和它相互作用（包括非接触性的引力等）。那么，物体之间的相互作用时，他们之间的作用力会有何表现呢？牛顿说，力的作用是相互的，有作用力必有反作用力。

表述：两个物体之间的作用力和反作用力，在同一直线上，大小相等，方向相反。这是牛顿第三定律。

说到作用力和反作用力相当，我想起不论哪一代莘莘学子，在学到这一定律时，都经历过这样的事：一个同学推了或打了一个同学，狡辩“力的作用是相互的”，一般情况下被动受力的同学大都一时想不起如何反驳。这个游戏代代相传生生不息。

虽然大家都很忙，我们也不妨来研究一下：作用力、反作用力，它们大小相等、方向相反，那么，受力者受的伤害是否对等，责任是否也对等。

其实，不论是拳打、脚踢、掌扇，还是推搡所产生的作用力，主动的一方都是用身体中比较坚硬、耐受的部位，去作用在对方身体中比较柔弱、不耐受的部位，这就在物理上产生了一个耐受的不对等。

如果主动方是用脸磕碰被动方的脚后跟，或者用舌头攻击对方脚趾，被动方一般是不会申诉受屈的。

即使在物理上对等，你用自己的头去撞对方头部相同的部位，双方都头破血流，这也会产生精神上的不对等——因为你实现了两头相撞的愿望，而对方没有陪你一起受伤的愿望，所以，在精神上一定比你痛苦。

因此，这种攻击的作用力、反作用力虽然相当，但双方受到的伤害绝对不等。跳出物理，从道德上和法律上讲，即使主动方受到的伤害更大，责任也在主动方，比如你主动用一指禅点对方无影脚，对方脚破皮，你手指骨折，那你也得出钱给人家消毒包扎。

哈哈，好像跑题了~

牛顿还搞定了描述引力的定律：任何两个物体都相互吸引，其引力大小与每个物体的质量成正比。我们根据这个定律来推导一下：

两个物体，A 和 B。A 的质量加倍，则两个物体之间的引力加倍。这很好理解，因为增肥到原先两倍的 A，可以看成两个原先的 A，每一个 A 都用原先的力来吸引 B，所以 A 和 B 之间的总力加倍。如果 A 增肥到原先的 2 倍，B 增肥到 3 倍，则引力就增大到 6 倍。当然，我经过研究发现，引力定律也有例外，比方说，你 GF 的体重增加到原先的 2 倍，她对你的引力就减半；增加到 3 倍，引力为零；再增加下去，就产生斥力（为了防止不谙世事的小盆友看了这段产生误会，特此声明关于 GF 的引力理论是个玩笑）。

现在我们终于明白了，为什么重量不一样的落体总以同样的速率落下来：

按照牛顿引力定律，引力大小与每个物体的质量成正比。

按照牛顿第二定律，加速度跟物体质量成反比。这两个效应刚好互相抵消。所以在相同的引力环境下，无论物体多重，加速度是同样的。

牛顿引力定律还告诉我们，物体之间的距离越远，则引力

越小。牛爷不仅知道是这么回事，还能算出来究竟是多少，数学关系出来了，这就是高度，回望历史，无人能及的高度！



【图 7.4】质量、距离、引力的杯具

这个定律极其精确地预言了地球、月亮和其他行星的轨道。如果把这个定律改变一下，距离增加时，引力下降的比例比实际上稍多点或少点，那么，行星轨道就不会是椭圆，而是螺旋线，要么旋进，撞上太阳；要么旋出，飞离太阳。这样看来，星球、星系间的平衡，是不是脆弱得让人胆战心惊？

行星公转的离心力，刚好对抗恒星的引力——自从牛顿告诉我这事后，我有好长时间都在担心，有一天这个平衡会突然被打破。先不要笑我，等我鼓足勇气，把小时候的另一件糗事坚持讲完，你再笑我杞人忧天不迟。

相信很多人小时候都曾很认真地玩过磁铁，我也是。有一个玩法，不知道你试试没试过：把磁铁固定，拿一块合适的铁，在磁铁下方调整距离，试图找到让铁悬在空中的平衡点。为什么要强调一下“合适的铁”呢？因为太重吸不起，太小看不见，所以合适的标准就是，看得见、吸得起。一看这个标准，就知道是个极其粗糙的实验。但是，铁块大小真的不是关键，关键是一个信念——既然铁在某个距离一定会被吸上去，再远一点就会掉下来，那么，理论上，一定存在这样一个理想距离：铁

悬在空中，既不能被吸上去，也不会掉下来，就像直升机的“悬停”。

这个无聊的游戏玩了多少天，我不记得了，但是整个过程印象深刻。一开始，雄心勃勃，想尽各种办法要悬停，但是你知道，铁块不是啪的一声被吸上去，就是咚的一声掉下来。那些日子，我稚嫩的心就在这啪啪咚咚声中渐渐变老……然后我学会了妥协，不要悬停了，我要看到，在接近理想距离时，它由于近似平衡，在啪或咚之前，是由慢到快的过程，哪怕这个过程再短暂，只要能看到它是由慢到快的，也是对这场实验的莫大安慰。这个一定有！我躲在屋里鼓励自己。可是，这个过程太快，我始终感受不到。那块该死的铁不是以极快的速度啪，就是以极快的速度咚……

终于有一天，我深情地凝望着那块铁，思前想后，良久，拿起它走到院里，看看蓝蓝的天，手臂一挥，它向那朵长得很像神马的浮云飞去。

不想房后传来啊的一声：是悟空吧，你又乱扔垃圾……

对不起，那时我不知道抛物线……

人生中第一次伟大的物理学实验彻底宣告破产，我幼小的心灵受到现实铁蹄的无情践踏。

这不要紧，我们有自愈功能。要紧的是，后来得知，地球和太阳的距离之所以保持不变，是由于引力和离心力恰好相等导致的。这让我想起那个失败的实验，引力相当于磁铁的磁力，而离心力相当于铁块的重力，这个平衡是有多脆弱啊？！

后来我再也没有做过这个实验，因为我推测，即使当时侥幸找到了磁、铁的平衡，它也会立即被空气中的细微扰动打破，所以成功的几率为零。

同理，只要不远处一颗行星经过，地球和太阳的平衡就会被打破。这个平衡一旦被打破，地球就应该很快地旋近、或者旋离太阳。

可是，45 亿年以来，地球围着太阳转啊转，不知有多少行星经过，有的甚至直接砸在地球上，八大行星也在不断地相互扰动，地球却依然在此。为什么？

虽然眼看着地球稳稳当地载着我们在宇宙中飞奔，但我对引力平衡的担心一直隐隐存在，直到爱因斯坦给出另一个答案，这才稍稍放下心来。

如果“天宫二号”征集太空实验方案，小民建议试试这个：行星公转轨道平衡模拟实验。

主要器材：

一个透明真空容器（减少扰动），你知道，没道理把它做成三角形的或扁平波浪形的，最好是圆的，它说，我是你的小宇宙！

一个固定的电磁铁的单极，放在真空容器的正中心，它说，我是你的太阳！

一个铁球，它说，那我只好是你的地球了！

一只可以精确控制速度，以电磁铁为中心转动的机械手。它说，我是上帝之手！马纳多纳闻言泪奔而去。

数据：

电磁铁，也就是你的太阳的引力，是已知数。如果懒得算，别忘了它是电的，你可以过把上帝瘾，随心所欲地调，喜欢让它多大就调到多大。

铁球的质量是已知的。因为大小是你定的。但最好小点，不然电磁铁也要跟着大，不符合节能环保要求。

铁球离中心点的距离，也就是它的轨道半径，由我们说了算。

你看看你看看，一切都是我们内定的，算出铁球维持轨道不变所需要的“公转速度”，还不是易如反掌的事？

操作：

用机械手精确控制铁球在指定轨道上运行，绕磁铁公转，

所谓“扶上马送一程”嘛，等铁球达到并稳定在刚才算出来的公转速度时，松开机械手。

我们唯一需要掌握的关键就是公转速度的精确性，即使情况比预计的要复杂，我们还有那么多科学家，考虑各种因素，精确算出这个公转速度，应该不算事儿。

观察：

铁球能否维持恒定公转。

如果平衡被打破，看看它离开轨道的速度有多快。

如果地球仅仅靠万有引力就能维持轨道平衡，那么铁球也能。

结论：

实验完才知道。

呵呵，我孤陋寡闻，不知道这样的实验有没有人做过，也不知道最终会不会有人去做这个实验。不过，即使是痴人说梦，说出来也痛快些。

空间

我的地盘我做主，说起来和听起都来很 High，不过，哪儿才是我们的地盘？

现在，自己呆在屋里的你，认为这间屋子所囊括的区域，是属于你的空间。真的是这样吗？

别忘了，我们是在地球表面生活——地球以 465 米/秒的速度自转，以 30 公里/秒的速度绕太阳公转（不是绕太阳公转），并跟随太阳一起以 220 公里/秒的速度绕银河转，又在银河系的领导下以 600 公里/秒的速度向仙女座星系方向狂奔……

现在，假如，除了你，所有物质都透明，有个相对“静止”的宇航员站在银河系外（不跟着银河系走）观察你，他会发现你沿着一条非常复杂的、奇怪的、类螺旋形的轨迹瞎折腾，以大约 900 公里/秒的速度飘忽而去。

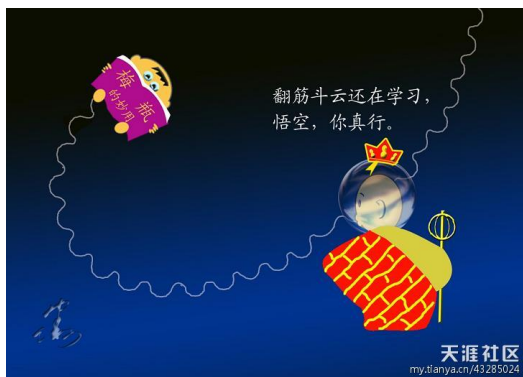
如果你看完这段话用了 1 分钟，那么，刚才你认为属于自

己的那个“空间”已经离你5万4千公里了（不要跟我说“直线”距离，你没有参照物）。所以，即使我们躺着“一动不动”，每天都至少“被旅行”7776万公里（赚钱这么快就爽毙了）。为什么要说“至少”呢？因为我们还没算银河系所在的星系群共同飞行的距离！“坐地日行八万里，巡天遥看一天河”毛主席他老人家指的仅是地球自转速度，算得还蛮准（地球自转赤道速度为每24小时40176公里，也就是80352华里）。

我们每时每刻都在以这样的速度旅行，并且永远不能回头——也没法知道怎样才算回头。在宇宙里，所有事物都是真正的流浪者。我们都没有故乡。

幸亏，地球有固体区块存在，这些区块在地球表面相对“固定”，我们可以在其中活动，辨别“位置”和“方向”，这才有了归属感。

现在我们知道，敏感的诗人和刚上岸的水手为啥喜欢拥抱大地了吧？



【图 7.5】宇航员看着你以一种奇怪的轨迹飘忽而去。

亚里士多德是幸福的，因为他相信静止状态，特别是相信地球静止。

根据牛顿定律，不存在一个静止的唯一标准。

妙玉：是风动，还是幡动？

宝玉：不是风动，不是幡动，是心动。

那得看参照物是谁……牛顿飘过，悠悠说道。

用和尚的句子泡尼姑，你真行……慧能飘过，幽幽说道。

寒蝉凄切，对长亭晚，骤雨初歇……你我正执手相看泪眼，还没等凝噎呢，我一狠心放开你的手，走开 10 步——这是假定你不动、以你为参照物的说法。如果以我为参照物，那就是你相对我移动了 10 步，两种说法是等价的，也就是说都对。你还别不服气。

别扭是吧？和我们习惯的看法不一样是吧，有点不爽是吧？那就研究一下：

我们暂时忘掉地球小亲亲的自转、公转。

真的忘了？那好，现在跟我坐高铁，去马尔代夫。What？你怕怕？搞实验有时是需要勇气的。马尔代夫哦，拿出点点勇气来。你都用光了？那改普快好了。

火车以 100 公里的时速向北前进，或火车是静止的，而地球以 100 公里的时速向南运动，随便你怎么说好了。咱俩在火车上搞搞健康向上的、群众喜闻乐见的文化娱乐活动——打乒乓球，这时我们发现，无论是在火车上，还是在铁轨旁边的地面上放一张球桌打乒乓球，球都不会改变运动方式，该怎么飞就怎么飞，该怎么跳就怎么跳，一样服从牛顿定律。那么，相对于跳来跳去的乒乓球来说，是火车在动还是地球在动？

现在，我用手把乒乓球拿到球桌上方，松手。会发生什么事呢？

乒乓球从手里落到桌面上，跳起来，落下去，又跳起来，又落下去……好像很无聊哦……

球第一次落在桌面上，是一次事件，第二次落在桌面上，是另一次事件。我们来看看，这两个事件发生的时间和空间。

咱俩在火车上，会看见乒乓球直上直下地弹跳，在一秒钟前后，两次撞到桌面上的同一处。也就是说，在相隔约 1 秒钟

的时间里,这两次事件是在同一位置,也就是同一空间发生的。
还是很无聊啊……当然会这样了。

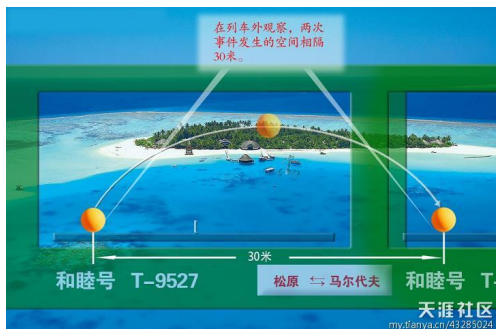


【图 7.6】在列车上观察, 两个事件发生在同一个空间。

现在麻烦你下车, 我再做一次, 你看看会发生什么。乖, 别撅嘴。马尔代夫哦。

你会发现, 球落在一个点上, 弹起来时, 随着火车前进的方向, 划出一道抛物线, 落在 30 米外的另一个点上。因为火车在这 1 秒钟走了这么远。也就是说, 同样在相隔一秒钟的时间里, 两次事件发生的空间不同 (相隔 30 米)!

完全相同的一个实验, 两个不同的观测结果。只因为, 观测者的两次观测位置不同。从观测结论的准确度来看, 我们没法说哪个更准, 车上车下都是对的!



【图 7.7】在列车外观察, 两个事件发生的空间相隔 30 米。

这还是在假定地球不公转也不自转的情况下得出的结论。不然，就不是 30 米的事了。你真忘了？

可见，我们的世界没有什么绝对静止。所以，我们不能确定某件事发生在某个空间，也不能判断在不同时间发生的两个事件，是否发生在同一空间。你看上句话和看这句话时，所处的空间已经相距至少 2000 公里了。

好，现在我们从马尔代夫返回，what？你光顾看乒乓球了没见碧海银沙？太遗憾了。没见也不要紧，因为咱俩都知道了：没有绝对的空间位置。现在我给你出一脑筋急转弯，哪儿是马尔代夫？

牛顿发现这一点后，感到很郁闷。因为他遇到一个严重的问题：上帝在哪？他拒绝接受这一事实。于是许多人都批评他的这种非理性信仰，其中最有名的是哲学家贝克莱主教，他认为所有的物质、空间和时间都是虚妄的（与我佛所见略同：一切皆为虚幻）。好事者把贝克莱的看法转告同样著名的约翰逊博士，他激动地找到一块石头，一脚踢上去，并大声地说：“我要这样驳斥它！”——我估计他是痛大于怒才那么大声。看看，那时的专家学者多可爱，萌死了。

时间的困惑

分析来分析去，终于找到亚里士多德和牛顿的共同语言：他们都相信绝对时间。所谓绝对时间，就是在爱因斯坦之前，所有人类相信的那种时间：恒定、一维、一去不返。这种时间观念认为：

——你在我这借了 1 万块钱，过几天还我 2 万，这两件事，只要用质量上乘的钟表，不管谁去测量，这个时间的间隔都是一样的。

——时间和空间是完全分开并独立的。就是嘛，时间和空间有啥子关系，饿着肚子，住在天安门广场和住在扁壶胡同一样度日如年。

这就是绝对时间，它不仅与牛顿定律相协调，而且，与我们的日常认知相协调，大家把它作为常识。

前面说过，我们对事物的判断，多数源于日常生活的直观感知。比如，我们看见一块蓝布，会把这个颜色和它的本质联系在一起，我们没注意的是，它实际上是吸收除了蓝色光以外的其他可见光波，唯独把蓝色光波反射出来，才让我们看到它是蓝色——也就是这块布唯一抛弃不要的颜色。如果我们的眼睛也按照这块布的选择，将光的蓝色部分反射出去，而让其余部分落在视网膜上，那么，我们“看到”的就是那块布吸收的颜色混合体，由于去掉了蓝光而发红，也许这种颜色，才是蓝布“颜色”的本质。而这时，别人发现我们的眼睛泛着蓝光。

对时间的感知也是这个道理，在没有搞清时间的本性之前，所有人都同意绝对时间——它均恒地流逝，一去不返，对万物一视同仁，这种观念从人类有意识开始，一直持续到 20 世纪。那时，科学家们才逐渐意识到，和我们以前对空间的看法一样，我们对时间的看法也是不对的。

是不是快崩溃了？发现自己一直在犯错误，是一件令人极其不爽的事。我们往往会因此产生抵触情绪，从潜意识开始，由内而外地保护自己的一贯看法，在做选择时不由自主地倾向于自己希望的观点。

这完全可以理解。因为，我们之所以是我们，关键在于自己的精神，或者说灵魂，是由记忆和对世界的各种认识、看法组成的，它们结合肉体，共同构成了独一无二的你和我，自己的看法全错误，岂不等于自己原本就是个错误？！这大概就是人们总是为了捍卫自己的思想而争执不休、乃至于大动干戈的原因。

为了世界和平，这个思想政治工作我来做。

我们前面说过，根据达尔文的进化论，物种在基因传递时会发生变异，其中一些更适合环境、对世界认识更趋近正确的

个体，能够更好地存活和繁殖。这个过程，从另一个角度看，不正是基因对自身的不断修正吗？让自己以更“正确”的形式存在，不然就被淘汰。因此，不断修正自己，是生命的根本性质之一，是生存进步的必由之路。也就是说，生命不仅在于运动，更在于修正——其实从本质上看，运动也是让自己变得更健康更强壮的一种修正手段。

或许，生命的全部意义，就在于不断接近宇宙的本质。

我们从稚嫩的小盆友长成迷人的美少女、强壮的纯爷们；我们从天真无知的少年成长为久经考验、技术精湛、老奸巨猾的商人、打工仔、官员，适应社会，练就了一身谋生的本领。从内在到外在，我们都跟很久以前的那个自己截然不同了，但是，谁也没感到有何不妥，因为这是必须的。所以——

修正，让生活更美好。让我们一起来修正吧！

罗嗦这么多，原因是，修正时间观念实在是一件困难的事，我们需要足够的心理准备。虽然我们现在看的科教片、科幻片多了，上学时物理老师、课本也告诉我们关于时间的本质，但敢拍着胸脯说“我真正理解了时空是怎么回事”的人又有多少？不会是多数人吧？

所以，在此，我谨代表至尊宝同志，向多年来始终坚持拍胸脯的同志致以亲切的问候和崇高的敬意，对你们、并通过你们对广大天才说三~个字：我俩爱你们！如果非要在这份爱上加一个期限，我希望是：一万年。

一万年有多久？

不一定。

为什么？

亲爱的，这正是我们接下来要讨论的问题。

第八章 智慧之光（上）路线与战争

光程迷踪

要讨论时间问题，光是无法回避的。它俩关系相当瓷实。所以我特膜拜咱祖先的先见之明，老早就给咱们预备了一个将二者紧密关联的词：时光。

另外，光不仅与时间的关系掰不开，它和我们今后要探讨的几乎所有问题都分不开。因此，在我们修正时间问题之前，现在首先要做的是，认识一下光，它的家庭出身、本人成分、社会关系、政治面目……总之，它究竟是一种什么东西？它是不是东西？

说起来，光的确是一种很奇怪的东西。它能从那遥远的地方瞬间到达我们的眼睛，速度如此之快，撞到身上却一点感觉也没有。坚硬的陨石进入我们的大气层，由于速度太快，会被空气摩擦燃烧，多数被消失。而速度比陨石快 N 的 N 次方倍的光，却能够轻易穿越大气层，实现“软着陆”。我们刚要感叹光的霸气，却在不经意间，轻轻一抬手，不费吹灰之力就挡住了它无与伦比脚步。还没来得及得意，又惊奇地发现，从手指缝漏出去的那束光，毫不费力地穿透了比我们的手硬 N 倍的玻璃……



【图 8.1】

天天见，天天纳闷，是一件超级纠结的事。于是，从人类成为人类开始，就一直在研究光，直到今天。回首望去，这是一条曲折坎坷、甚至硝烟弥漫的探索之路。

古希腊流行“四元素说”的时期，认为光是火的一种传递形式，而火是四元素之一，是一种又轻又小的微粒。也就是说，光，是一种无比细微的粒子流。但他们也就是一说，既没有理论依据也没有观测依据。

可圈可点的是，他们把对光的观测，还有猜测，都尽量用数学来处理。欧几里德总结了这些成果，比如：光线是直线；光线的入射角和反射角相等。但是，即使是这些今天看起来十分小儿科的讨论，也只是停留在经验上，没有上升到理论高度。

公元二世纪，托勒密请陈家村的王木匠做了一个工具：在一个圆盘上钉两把尺，就像钟盘和指针。他没把这玩意挂在墙上，而是把它一半泡进水里，一半露在外面，让一束光线顺着盘面，由空气射入水中。托勒密让那两把尺子分别与入射光线（空气里那束）和折射光线（入水后被偏折那束）重合……各种测，得到了一系列精确的数据，并从中发现，入射角和折射角之间有一定的规律，但是很遗憾，这个规律就像梦中那朵花，感觉很清晰，但走近它，却什么也看不见。

公元十六世纪，莫洛利克（意大利物理学家、天文学家、数学教师以及牧师）兴致勃勃地加入了“观光”队伍，他先是摆弄各种镜子，平面的、球面的，柱面的，锥面的……鉴定了它们对光反射的不同表现。他还指出，凸透镜能把光聚在一起，而凹透镜却能把光散开。可惜他没试试，让光一次通过这两个透镜会怎么样，不然，望远镜就提前诞生了。但是透镜原理也没白研究，他意识到，光在眼睛的晶状体（我们天生的两个凸透镜）中产生折射，聚在视网膜上，这就产生了视觉。他由此断定，近视或远视的原因，是我们的凸透镜出了问题，曲率过大或太小，造成聚光不能精确地投射到视网膜上。

莫洛利克还喜欢看彩虹，他最早指出，彩虹有 7 种颜色。这好像没什么了不起，现在小盆友们都知道嘛。但事实是，此前，人们普遍认为，彩虹只有 3 种颜色。为什么同样是看彩虹，却看出两个结果呢？因为彩虹有两种看法。

路人甲：“看，彩虹耶！”路人乙：“哇，果然彩虹耶！”然后继续打酱油。这是第一种看法，也是普遍看法。彩虹乍看上去，还真就是三种颜色：红黄绿，这三种颜色占的色带很宽，其他颜色占的色带很窄，彩虹本来就是透明的，它又总是在云雾缭绕、视线朦胧的时候才会出现，那时天空色彩交错，青蓝紫与天空颜色接近，分辨那些窄窄淡淡的色带就更不容易了。所以只有用第二种看法——长期地、较真地去观察，不怕耽误打酱油，才能分辨出七种颜色。

1567 年，莫洛利克写了一本书：《论光》。但这本书直到他去世后 30 年，也就是 1611 年才出版。

1611 年，开普勒也出版了一本书：《折射光学》。那时望远镜已经诞生 3 年了，小开在书中剖析了望远镜原理，还更准确地解释了视觉的原理，搞清了晶状体和视网膜的合作关系，并进一步指出，视力是大脑对视网膜受光刺激的一种感觉。大家歪歪脑袋眨眨眼睛一想，是这么回事，都欣然接受了。

只是，还有一件事，大家一直感到奇怪：太阳光穿过各种形状的小孔，投射到屏幕上的图像总是圆的！

没道理啊！是不是？

大家都表示是。

但是没道理的事经常结结实实地摆在我们面前，怎么办？

小开有个好办法：动手，不动口。他做了个实验。

他拿了本书代替发光体，用黑板代替屏幕，书和黑板间放了一个带角孔的屏，在书的一角系上一根线，代表光线，线的另一端系一根粉笔，穿过角孔，拉到黑板上，拉直这根线，让线擦着角孔的边绕行，猜猜粉笔在黑板上画出啥形状？

当然是角孔的形状了！沿着角孔的边绕行嘛。这说明，书角这个点发出的光，穿过角孔投射到屏幕上，应该是角孔的形状。

然后，小开解开系在书角上的线，在书的另一个位置系上，再重复上面这套规定动作，这回，黑板上又出现了一个角孔的形状，只不过位置不一样了。

有人开始打哈欠了。

要说小开也够无聊，他把线在书的每个位置都系了一遍！那套规定动作当然也重复了 N 遍（有人开始打呼噜了）。你猜怎么着？当然是粉笔在黑板上画出了密密麻麻的角孔形状。

受不鸟，有人睡醒了拿起砖在手里掂量。

大家正在为围观这种无聊的事情后悔，突然发现，这些角孔形状重叠成了一个总的形状——就是那本书的形状！

咦？哦~！众皆恍然大悟：那么，太阳光穿过小孔，投射的当然是太阳的形状了！这个小开还是蛮可爱的嘛，我就知道他鼓捣出些好东西来，这……这块砖谁掉的？

开普勒还继承了托勒密未竟的事业，想要找出光的折射定律，功夫不负有心人，他还真找到了一些规律：光从一种媒质射入另一种媒质，当入射角小于 30 度时，与折射角成近似固定的比，注意是“近似固定”哦。比方说，光从空气射入玻璃或水晶，这个比大约就是 3: 2。小开还总结出，如果入射角很大，比方说接近直角，这个比就不成立了。这种好像既有规律，又没规律的规律，让小开欲罢不能，他做了很多实验，想找到精确的折射定律，虽然实验方法正确，但没得到正确的结果。

上帝说，小开啊，给星星们立法已经很拽了，小光的事，就放放手吧！

1621 年，事情终于有了转机，威里布里德·斯涅耳加入到测光的队伍，他是荷兰著名数学家、物理学家。是什么家不重要，重要的是，他的特长正是实验和测量。1615 年（一说 1617

年)，他用第谷提出的三角测量法，测量出纬度相差 1 度的两个荷兰小镇之间的距离是 107 公里，这个值乘以 360，得出地球圆周长为 38520 公里，换算成半径是 6134 公里，只比地球平均半径 6371 公里偏差 3.7%。比前人测得的数据精确多了。

斯涅耳测完地球跑去玩水，发现了一个所有人都发现过的有趣现象：水里的东西看上去比它的实际位置要高一点。于是兴致勃勃地开始研究光折射现象。实验的常用媒质，当然是价格便宜量又足的空气和水。他顺着托勒密、开普勒等前辈的目光看过去，没有更多的收获，就转移视线，终于发现了前辈们没有看到的東西。

光线从空气到达水面，在交界处发生偏折，在这个转折点上，斯涅耳划一条垂直于水面的线，叫“法线”。因为法线与入射光线都是直线，并且经过同一个点，所以这两条线决定了一个平面。斯涅耳发现，无论光线以什么角度入射，它的折射光、反射光都在这个平面上。这是第一个发现。

第二个发现是两条线长度的比例，一条线是光从那个转折点走到垂直的容器壁上的实际路程，另一条线是如果光不发生偏折、保持原始方向走到容器壁的虚拟路程，这两个路程的长度成一定的比例。顺着“两条线的比例”这根藤，斯涅耳一路摸去，终于摸到一个藏了千百年的瓜：对每一对媒质来说，入射、折射这两个角的正弦之比，是一个常数。他总结出了光的折射定律，也叫斯涅耳定律。注意，这个定律是通过实验和精确测量“总结”出来的，虽然结果正确，但没有任何理论推导，所以斯涅耳把它写在手稿里，没有公布。后来惠更斯看了他的手稿，这才揭了秘。

到这里，光线传播的三条基本定律已经出台：直线传播定律；独立传播定律（两束光相遇时，互不干扰，仍按各自的路径行走）；反射定律和折射定律。其中，折射定律的难度最大，技术含量最高，所以出现最晚。斯涅耳的发现，为几何光学的

发展奠定了理论基础，有力推进了光学的发展。

后来，一个强人的加入，使几何光学变得完美起来。

费马。国家干部中超牛的数学家，数学家中鲜有的国家干部。为什么要用“超牛”和“鲜有”，而不用“最牛”呢？因为这个位置被牛顿占了。

1657年，费马发现，光在任何均匀的介质中，从一个点传播到另一点时，只走耗时最短的路径。并且，如果光反方向传播，不管折射反射的路径有多复杂，它一定还走这条路。

用一句话概括：光走最短的路径。

这就是著名的费马原理，它规定了光线传播的唯一的途径。从费马原理还可以推导出几何光学的三个基本定律。

人类对光程十几个世纪的探索，被费马一句话给概括了。从此几何光学走上了成熟和谐的康庄大道。

这不是费马最牛的一件事。

这个天才一生做了很多牛事，不说出来，实在对不起自己的良心。所以，在这里顺便八卦一下，权当是茶余饭后的消遣。

费马作为国家干部，虽然政绩不突出，但在业余爱好中，却玩出了国际水平。和咱的干部不同的是，人家马干部玩的是尖端学术。在微积分上，他的贡献仅次于牛顿和莱布尼兹；他还是解析几何、概率论的创立人之一；在数论上，他更是硕果累累。

马领导、马律师的业余爱好，成了多数职业数学家心中永久的痛。原因并不仅仅在于他玩出的巨大成就难以超越，更在于他玩出的花样让人牙根痒痒却又无计可施。他得出很多如雷贯耳的结论，却不肯发表，即使发表了，也恶作剧般的不肯拿出证明，至于你们能不能证明，我反正是证明出来了！然后，他就像一个残忍的制谜帝，只负责出谜面，不负责给谜底，得意洋洋地俯视着焦头烂额的解谜者。

十分渴望知道，却又肝肠寸断也算不出来，这次第，怎一

个愁字了得！于是，一些资质一般般的数学家就说费马撒谎。这时，费马的国家干部做派就表露无遗：你爱说什么说什么，我就是不搭理你。不同的是，人家马干部真没撒谎。

每道谜题最终的结果，总是让那些说费马撒谎的数学家感到脸红，他提出的结论后来都被优秀数学家证明是正确的。于是，一道亮丽风景呈现在我们眼前：解开这个业余数学家的谜题，成了职业数学界的一种荣耀。

其中最著名的是费马猜想。1637年，马干部在研究《算术》时，突然想到一个命题，就顺手写在这本书的页边空白处：一个高于2次幂的数，不可能是同样次幂的两个数的和。翻译成公式就是说，在 n 大于2的情况下， z^n 不可能等于 x^n+y^n 。乍一看，这个结论好像相当的不靠谱，数字是无限的，就找不出几个数，让这个简单的等式成立一次？令人气急败坏的是，还真找不出来！最气人的不是这个结论本身，而是费马同志在命题后面接着写的一句话：

对这个命题，我已经有了一个非常美妙的证明，可惜这里空白的地方太小，写不下。

每个数学家看到这句话时，都跳了起来。

然而，跳是不解决问题的。对于科学问题，最好的办法是安静地坐下来一步步研究。于是，有很多不同的 n 被证明出来了，这个命题成立。但就是没人找得到普遍的证明——所有 n ，这个命题都成立。

270多年过去了。费马猜想，仍然是猜想。更是一个挑战。

如果有一种爱，是用恨来表达的，那么，几百年来，费马就沐浴在数学家们这种连绵不绝的爱里。

1908年，德国的实业家佛尔夫斯克终于忍无可忍，他决定跟费马拼了，拿出10万马克家产悬赏：在他逝世后100年内，谁第一个证明费马猜想，奖金就归谁。一时间应者云集，却都毫无悬念地都折戟而归。一战后，马克大幅贬值，悬赏的魅力

也跟着贬值了。

但是，对于真正的数学家来说，费马猜想的魅力没有贬值，它成了数学家心中的一个梦。通往谜底的崎岖小路上，挤满了前赴后继的数学家。他们的努力没有白费，虽然没有得到费马猜想的证明，却得到了很多稀奇古怪的数学结果、甚至数学分支，比如代数数论等。这些副产品也是我们的宝贵财富。

80 多年又过去了。1994 年 9 月，英国数学家怀尔斯在 N 多前人工作的基础上，终于证明了费马猜想，从此这个猜想有了一个鼎鼎大名：费马大定理。整个数学界长舒了一口气，阳光顿时灿烂起来。

怀尔斯为此获奖无数，当然包括佛尔夫斯克奖金。



【图 8.2】费马像。瞧你那小样。

但是，怀尔斯的证明论文长达 130 多页（为了防止看出人命，我就不把原文贴在这了。给个地址：<http://www.mat.puc-rio.br/~nicolau/olimp/Wiles.pdf>）。这跟费马当初说的“页边空白太小写不下”的那个证明显然不是一回事，并且，怀尔斯证明所用到的数学工具，比如代数几何中的椭圆曲线和模形式，以及伽罗瓦理论、赫克代数等，在费马时代还没有诞生。所以，很多人还在怀疑，费马说的那个证明存不存在。如果真的存在

那个简洁美丽到极致的证明，为什么全世界这么多聪明的脑袋瓜都找不到？

天呐，从费马在书页上写下那几行字时算起，一直到今天，370多年过去了，这依然是一个谜！这位“业余数学家之王”在天堂的浅笑，仍是无数职业数学家的梦靥。

波粒大战

让我们先把目光从马干部那胖乎乎、牛哄哄的笑脸上收回来，接着探讨光的问题。

光学几何完善后，我们可以对光的行踪了如指掌，但根本的问题还没解决：它是什么？

一直以来，人们都在沿用古希腊人的说法，光是一种微粒流，就像无数个小得看不见、轻得没质量的刚性球。光的反射、透射、折射，都可以用粒子流来解释，看过中国足球吧？别不好意思承认，敢看的人才是真的猛士。球踢到我方身上，反弹到对方脚下——反射；我方组成人墙，对方把球从墙缝里踢进球门——透射；球从我方守门员200米外的第一媒质空气中飞进球门，打到第二媒质网上改变了运动方向——折射。

但粒子流解释不了光学几何的第二定律：独立传播定律。两束光相遇时，互不干扰。

如果光是粒子流，那么，它们交叉和对射时，那些粒子为什么不相互撞得四处飞散？

想想几万粒足球集中对射会怎么样？当然相互撞得乱七八糟！

不过凡事都有例外，假设这对射的几万粒球都是咱国队员踢出来的，而球上都画着别国球门，那就一个都碰不上。

但是，咱国足球不是用科学能解释得了的，所以此例不算。

1637年，笛卡尔在他的《折光学》中，用数学推导出了光的折射定律，这是折射定律最早的理论推导。他还试图从力学上证明光的反射、折射定律。提出，光可能是一种微粒，也可

能是一种压力，就像声音那样，以波的形式传播。不同的是，声音是通过固体、液体、气体来传播，而光是通过一种叫“以太”的物质来传播。

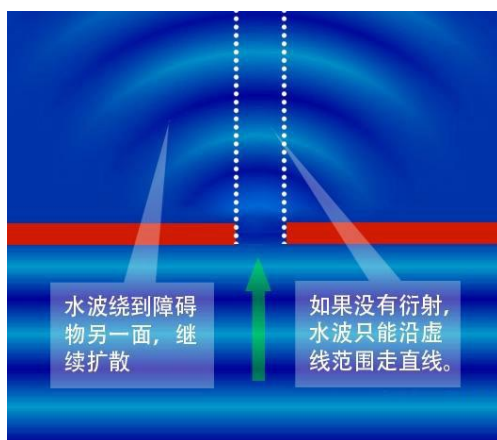
说到以太，我们以后会详细了解，它在物理史中的地位，就像蒋干在曹操的赤壁之战中的地位。无论你怎么看他，也无法回避他造成的巨大影响。

波？粒？两个问号在笛卡尔飘洒的秀发上空盘旋，他骑在墙头，看看两边风景都不错，就是下不了决心选一边跳下去。

有一种痛苦，叫别无选择；还有一种痛苦，叫选择。

这两个问号，为后来的那场大战埋下了伏笔。

17世纪的某一天，意大利。格里马尔迪，波仑亚大学的数学教授。这一天，阿迪没有研究数学问题，而是看着眼前那道光，把手里的细棍探进光束。阿迪眼前一亮，一向只会走直线的光束，并没有像预料的那样，被细棍齐刷刷地分隔成两半，屏幕上的光照处，只隐隐约约出现小棍的淡淡倩影，让他几乎以为，小棍本来就是那样朦胧。这说明，部分光线绕过了细棍，到达屏幕上本该被细棍遮住的影子区域。



【图 8.3】水波衍射

水波、声波遇到障碍物或者小孔，可以通过扩散的办法，绕过障碍物继续传播，这种功夫叫做衍射，也叫绕射，是波族的独门绝技——幸亏子弹没这本事。

莫非……光也是波？！阿迪为自己的推测激动起来。

为了稳妥起见，他做了一个实验：让一束光穿过一个小孔，照到暗室里的屏幕上。我们都知道，屏幕上的光影比小孔大。它扩散了。

为了更加稳妥，他又做了一个实验：让一束光穿过一个小孔，接着再穿过一个小孔，照到暗室里的屏幕上。这时，屏幕上的光照边缘出现了明暗条纹。这是衍射无疑。

阿迪从实验得出结论：光是一种波动的流体，光波的不同频率，产生不同的颜色。他提出了“光的衍射”概念。

光是波的说法，完美解释了两束光相遇时，可顺畅穿过而不被撞散的现象。也可以解释透射折射反射现象。

阿迪还发现，金属板上的划痕所反射的光，投射到屏幕上，会产生斑斓的色带，他想到，鸟的羽毛和昆虫翅膀被光照时，也闪烁彩光，它们应该是一个道理。

这个发现，是后来发明反射光栅的引子。

阿迪把他对光的研究写成了一本书：《关于光、色和虹的物理数学研究》，这本书于1665年出版。这时，阿迪已经去世两年了。

光的波动说虽然只是点燃了星星之火，但它的光芒却笼罩了微粒说的半壁江山。

这是两支实力相当的游击队。虽然粒军建队比较早，资格比较老，但根据地比较薄弱，没什么新发展。而波军凭着一个衍射实验，便异军突起，雄踞一方，虎视微粒说的古老领地。但为了维护“和平与发展”的世界格局，两支游击队各安一方，参军退伍，任君选择。

1663年，英国皇家学会的元老波义耳说了一句话：颜色与

物体的自身属性无关，它只是光照在物体上产生的视觉效果。他还首次记载了肥皂泡和玻璃球中的彩色条纹。这是一个新结论，也是一个很正常的结论，但波军和粒军都试图占领这块新阵地，由此引发了争论：

颜色是什么？换句话说，光是什么？

粒军：光的直射反射折射自古以来就是我军的固有领地，早在古希腊时期，我们就开始在那里进行大量的测量和计算活动，断断续续传承至今。波军不请自来，我军表示坚决生气和强烈郁闷。关于颜色的问题，我军认为，我们看到的颜色，就是光微粒本身的颜色，什么颜色的微粒射入我们的眼帘，我们就感觉到什么颜色。

波军：用波动说统一光的直射反射折射还有衍射，是大势所趋，人心所向，是广大人民群众的共同愿望。对于颜色的问题，我方认为这根本不是问题，光波的不同频率，产生不同的颜色。阿迪玩的光衍射实验就是证明，波义耳玩的肥皂泡、玻璃球中的彩色条纹也是证明。历史将证明，我们的理论是伟大光荣正确和不可战胜的。

粒军：那么，水波靠水传播，声波靠空气等传播，贵军的光波靠神马传播呢？

波军：揭短是吧，好啊！那两光相遇不被撞散，还有光的衍射，贵军能否给个解释先？

同时被对方击中软肋，双方都很尴尬。

阿粒进三步，小波便退三步，都站着；小波进三步，阿粒便退三步，又都站着。两支孱弱部队的战争，并不比阿 Q 和小 D 的战斗更高明。正僵持间，一个强人加入了波军。

胡克。

这个天才重复了阿迪的光衍射实验。还用自己制造的显微镜，观察了各种透明薄膜的色彩，包括肥皂泡、云母、玻璃片间的空气层及水层等，发现颜色变化是有规律的，随着薄膜厚

度的变化，光谱出现周期性重复。根据这些观察，他得出结论：

“光是以太的一种纵向波”，光波的频率决定了颜色。光波在薄膜的两个内表面之间反射，由于薄膜厚度不均，光波反射的距离不断发生变化，各种频率的光波交错重叠、相互作用，在某些部位相互抵消，在某些部位相互增强，就产生了缤纷的色彩。这个解释很美妙。胡克把它写进他的得意之作《显微术》，于1665年发表。《显微术》把一个全新的微观世界展现在人们面前，包含了“细胞”等许多令人惊奇科学发现，为胡克带来了巨大的声誉。光的波动说也随之得到广泛传播和认可。

胡克的加入，使波军由游击队升级为正规军，要理论有理论基础，要试验有实验支持，要组织有组织保证，一路攻城略地，锐不可当，历史悠久的粒军一下子变成了弱势群体。

战争，实力才是王道。

1672年，一个年轻的小角色卷进了这场战争。他提交了一篇名为《关于光和新理论》的论文，里面谈到一个实验：

让阳光从小孔中进入暗室，透过一个三棱镜，投射到屏幕上，我们会看到一个七色彩带。

年轻人解释道：光是一种微粒，三棱镜能把不同颜色的光微粒分开，就得到了那个七彩色带；我们用凸透镜把这个七彩色带聚焦，它又会变回白色，这就是说，各色光微粒合在一起，就是白光。

当时如日中天的胡克一看，这个结论与自己的波动学说完全不同，这还了得？！于是，在皇家学会评议委员会上，胡克拉上波义耳，很干脆地否定了这篇论文，还给予了尖锐的批评。

年轻人的脸被批得七彩交集。

按说，波军有了胡克和波义耳这两员大将领衔，粒军这支游击队应该被打成小股流寇了吧？

错了。

因为这个被批的年轻人不一样，His name is 牛顿。你知道，

那个实验当然就是著名的色散实验了。

本来，牛顿同学对波动说没什么反感，他只是由棱镜实验提出一个可能：白光是各色微粒混合而成。没想到啊没想到，胡克你不同意也就罢了，还批评得那样尖锐，好吧，尖锐我也忍了，谁让你是领导+前辈呢？可是，可是你居然说我论文中“色彩的复合”是窃取了你的思想！好过分哦！子是怎么曰来着？是可忍，孰不可忍？！你以为只有你胡克小心眼吗？我牛顿也……好吧咱们走着瞧！

从此，牛顿视胡克与波动说如仇敌，义无反顾地担任了粒军的主帅。他开始在几乎每一篇涉及光的论文里，都毫不留情地打击波动说。

虽然大家都感到火药味很浓，但谁也没见过牛胡二将拆招。他俩学者风度十足，从不在公开场合当面唇枪舌剑，除了在相关论文中，有理有据地否定对方理论外，其余的交锋只通过信件私下进行，从不牵涉第三者。并且，双方的措辞都相当绅士，语气和缓，相敬如宾。从这时起，直到胡克去世，二人鸿雁传书，不亦乐乎，恨海情天，名句迭出。这里摘录牛写给胡的一段，与君共飨：

笛卡尔迈出了漂亮的一步，而您，则推进了N多方面的发展，特别是，把薄膜的色彩也引入了哲学范畴。如果说我看得比较远，那是因为我站在你们这些巨人的肩膀上。

谦谦君子，莫过于此啊！

体貌直逼时迁的胡克读到后面这句，鼻子当时就歪了。

可是，这句巧妙尖刻的挖苦之言，却被作为科学巨人的自谦之语，为后人津津乐道，流芳至今。历史啊，教我如何说信你？

牛顿固然强悍无比，但这时还没成气候，而胡克正处于巅峰时刻，加上双方关于光的理论体系都不完善，所以旗鼓相当，战争进入胶着状态。关键时刻，又一个强人加入了战斗。

克里斯蒂安·惠更斯。

前面说过，他是史上最著名的物理学家之一，同时还是天文学家、数学家。他在力学、光学、数学、天文学等领域均有杰出贡献，是介于伽利略与牛顿之间一位重要的物理学先驱、近代自然科学的重要开拓者之一。向心力定律、动量守恒原理等都是他的手笔。

这位荷兰天才年纪轻轻便受人尊敬。1663年，小惠被英国皇家学会聘为第一个外籍会员。1666年，法国皇家科学院刚刚成立，便迫不及待地邀请小惠出任院士。

其实，小惠并非不宣而战，他早就表明了立场，只不过，他花了更多的时间在磨刀。虽说艺高人胆大，但，真正的高手，从不草率行事。

1662年，惠更斯去英国访问时，结识了牛顿和胡克。那时，小惠已经是大名人，他很赏识名人小胡同志，以及小名人小牛同学。天才们难免惺惺相惜，他们相谈甚欢。不过，话题进入到光的本性时，三个人产生了分歧。小牛同学与小胡同志的意见相反。小惠那时虽然没有对光做深入研究，但他一分析，觉得小胡同志的意见比较靠谱。

可是，科学这个事，就得科学对待，不能搞少数服从多数，也不能搞民主集中制，没有足够的证据，便谁也奈何不了谁。这是合理的。否则，科学就会办成科室。

互相搞不掂，就只好各自回营，另做主张，以图后计。

1666年，小惠来到法国皇家科学院后，开始把更多的精力投入光的研究。

他把格里马尔迪等人的光学实验又做了N遍，发现很多现象如果用微粒说来解释，就好比很多人祸非要用天灾来解释一样，无法自圆其说。但是用波动说解释起来，就靠谱多了。

然后，小惠在胡克理论的基础上，完善和发展了波动说，提出了更完整的理论：

首先，光是一种波。是一种什么波呢？机械波，就是机械振动在介质中的传播。

其次，光以什么介质为载体来传播呢？以太。

再次，光是一种纵向波。所谓纵向波，就是振动方向与传播方向相同的波，比方说空气里的声音，是空气分子沿传播方向往复振动产生的波。那么，横向波，当然就是振动方向与传播方向垂直的波了。比方说水波，它沿水平面传播，但振动方向是垂直于水平面的，上下往复，这就有了波峰和波谷。

最后，波面上的每个点，都可作为引起介质振动的波源。这就是著名的惠更斯原理。

根据这套理论，小惠证明了光的反射定律和折射定律，还解释了光的衍射、双折射等现象。小惠不出手则已，出手就惊人，这套动作稳扎稳打，步步为营，看似不疾不徐，但劲道雄浑，绵绵不绝，如巨轮启航，势不可当！

但，一座冰山挡住了去路。牛顿。

1675年，小牛同学拿起一块曲率半径很大的平凸透镜，把它的大肚子顶在玻璃板上，让白光透过凸透镜和玻璃板，猜猜看发生了什么？这是一道选择题：

- 1.光被聚焦，出现一个亮点。
- 2.光被重整，出现靶状彩色同心圆。
- 3.光被扩散，出现一个放大变暗的圆。
- 4.光被分散，出现一条七彩色带。

哈哈，您还真划了？I服了U，划对了，答案是2。没错，牛顿看到一个个彩色的同心圆，环环相套，组成一个美丽的靶，靶心就在凸透镜与玻璃的接触点上。

那么用单色光入射，又会怎么样呢？当然靶还是那个靶，只不过，没那么多色彩了，是那种单色光明暗相间形成的同心圆。

这就是著名的牛顿环。（奇怪，我怎么想起太上老君的金刚

琢了?)

这种奇怪的东西为什么会降临人间呢?

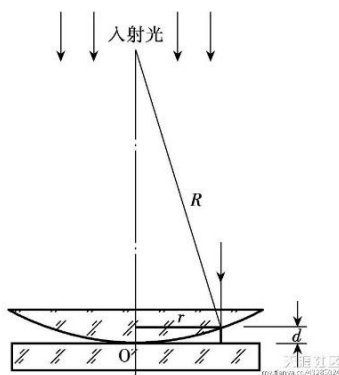
牛顿解释道:每当光线通过折射面时,它就会瞬间改变自己的状态(我们简称之变态);通过折射面后,又开始复原,而复原是为了顺利通过下一个折射面。就像恋爱、受伤、复原、再恋爱。

但是,当反射折射透射的频率非常高、速度非常快时,就会出现这种情况:光还没等完全复原呢,就遇到下一个折射面,这时,光更容易被反射。这就好比你失恋了,身心俱疲失魂落魄,不等恢复当日风采,就开始追求下一个,当然更容易被拒绝了。牛顿把两次复原的距离称为“阵发间距”。

凸透镜面与玻璃板面之间,距离均匀变化,光穿越它俩时,一阵容易反射,一阵容易透射,经过它俩复杂而又有规律的反射透射折射,光微粒在不同半径分布不同,就形成了美丽的牛顿环。

这个理论解释了牛顿环,就意味着它也能解释云母、肥皂泡等薄片的彩光现象。

也就是说,波军赖以生存的根据地要失守!



【图 8.4】



【图 8.5】

居然能用微粒说解释波干涉现象，这种牛事，也只有牛顿这种牛人，才做得出来。

该理论虽然体积庞大，结构复杂，但使用效果还是蛮不错的。

杯具了。波军一班伟大棋手的脸一阵痉挛，又做不出什么别的表情，只好习惯地挤出淫贱的笑：要不，咱共同开发？

管他波波粒粒的，大家和和和气、有得棋下才是真。走什么子不要紧，要紧的是姿态！要是一般人，这样也就过去了。观棋不语真君子嘛。

可恨的是，偏偏小惠不一般，而且很不一般。

小牛同学放出的这座冰山固然威武雄壮，但小惠启动的那艘巨轮，不仅体大能容、威猛能行，它还有个兼职：破冰。所以它的芳名既不是巨轮，也不是破冰船，而是破冰巨轮！

破冰巨轮很快找到冰山的软肋——一条大大的裂痕。

小牛同学的理论虽然解除了人们对牛顿环的疑惑，但作为科学理论，它太麻烦。就好比设计一套复杂的连锁机关打鸡蛋，看起来眼花缭乱，技术精湛，其实效果还不如拿起鸡蛋磕一下。

简洁，是自然真理的重要特征。这个，地球科学家都知道。

光透过折射面时，为什么要改变状态？

光透过折射面后，又凭什么恢复状态？

小牛同学含糊地应付道：“至于这是什么作用或倾向，它是光线的圆圈运动或振动，还是介质或别的什么东西的圆圈运动或振动，我在此就不去探讨了。”

小惠一看，这样也行？不给力啊！别看牛顿环 **made in** 你们粒军统帅，可不幸的是，它不是你们粒军的武器，反而是我们波军的有力证据！

无间，从这里开始。

牛顿环现象，与格里马尔迪同志解释的薄膜色彩是一个道理，小牛同学所说的那个复杂的“阵发间隔”，其实很简单，就是光的波长。与肥皂泡、云母等薄片的区别是，凸透镜与玻璃板之间，两个反射面的距离变化更有规律，所以光的分布也更有型，变成了帅帅的牛顿环！



【图 8.6】惠更斯。多么旖旎的帅哥啊！

这张图片以及牛顿环相关的图片均来自网络，有版权问题者请速告知。我马上停止使用，并剪切下来还您。谢谢！

1678年，惠更斯完成了《光论》，将其提交给法国科学院，还公开演说，反对微粒说。顺便提出了那个著名的问题：如果光是微粒，那么，光相遇时，微粒们为何不相互撞得四处飞散——难道它们都懂得右侧通行，而且有临时协警维护秩序？！

《光论》于1690年出版。

波军就这样保住了岌岌可危的根据地。但，这是一片有争议的领地。强大的惠更斯没想到，他的破冰巨轮设计有缺陷。而且，按照惯例，是祸，就不好意思单行的。

两大缺陷。后来随着粒军的穷追猛打，以及波军的自检自查，逐渐浮出水面。

惠更斯发表论文和演讲时，英吉利海峡对岸，小牛同学似乎什么也没听到。因为另一个声音吸引着他。

刀和磨刀石缠绵悱恻的幽幽之声。

懂得磨刀的高手，不只是小惠。

惠更斯轰轰烈烈破冰前行、大搞波军复兴运动时，牛顿也没闲着，他在闭关修炼，悄悄地建造他的超级航母，身稳甲厚，你亮倚天剑，我置屠龙刀，一一化解波军的杀招。但抵御和化解不是目的，目的是消灭。所以，这不算完。牛顿给这艘超级航母配备了一颗超级核弹。这才满意地端详起他的大作来。

可以开到波方大陆架上去了吧？不。坐拥大规模杀伤性武器的牛顿不动声色。他在等待。等待那个最佳时期，一击制胜。他不想打持久战、拉锯战、地雷地道麻雀战。

1687年，人类科学史上划时代的伟大著作——《自然哲学的数学原理》横空出世，地球人都知道，作者是牛顿。物理帝，不，科学帝！世界为之倾倒。

那航母，可以开到波方大陆架上去了吧？不。

已经坐定“史上影响力最大的科学家”位置的牛顿，依旧按兵不动。

1695年，惠更斯逝世。1703年，胡克逝世。这一年，牛顿

被推选为英国皇家学会会长。用不着航母了吧？

不，启航！

1704年，牛顿拿出珍藏N久、修改N遍的一部手稿，正式出版发行，它的名字简洁而有威仪：《光学》。

这就是那艘超级航母。

它配备了各种新式理论武器，攻击力达99！并且基础厚实，理论各部都有实验支持，所以防御力也是99！！观其形，可知牛顿行事之谨慎；赏其技，可叹牛顿用心之良苦；品其能，可见牛顿决心之坚定！

航母直接开到波方军港，当头就是两炮。

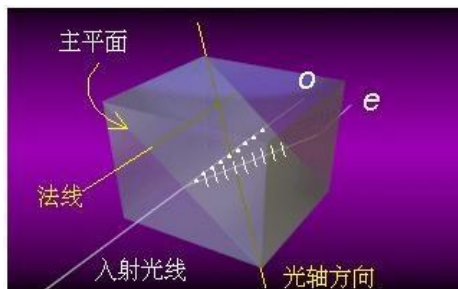
第一炮：纵波类比。您说光是一种纵波？好吧。它的纵波姐姐——声波可以绕过障碍物。您在墙的一面说话，我在墙的另一面的任何位置，都听得到（当然这面墙不要太长，如果是长城，您在山海关喊破嗓子，我在嘉峪关的同一面，也听不到）。既然大家都是纵波，那么，就让你们的光波也学学人家声波，绕过障碍物，从此以后不要产生影子了。不然，就把光开除波籍，归我粒族。

第二炮：双折射。您只分析了过程和结果，它产生的根本原因，您解释不了吧？

说起这个双折射，话就长了。我们知道，有些东西，它在不同方向上，某些性质也不同。比方说您突然爱心泛滥，抚摸您家小刺猬，顺刺摸，很滑很顺利，您和刺猬都舒服；逆刺摸，那完了，又扎又别扭，刺猬不舒服，您更不舒服。这种不同方向有不同特性的现象，叫做“各向异性”。一些晶体就是这样，沿晶格的不同方向，原子排列的周期、疏密都不太一样，见过骰子吧？把一个玻璃骰子看成晶格，把点数看成原子，就明白了。这就导致它不同方向上的物理、化学性质不同。

冰洲石，也就是无色透明的方解石，就属于这样一种晶体。光透过它，会被折射成两股——我们透过它看到的東西重影！

这就叫“双折射”现象。



【图 8.7】双折射原理（图片取自网络）



【图 8.8】双折射现象（图片取自网络）

惠更斯在《光论》中，是这样解释双折射现象的：

根据惠更斯原理，光入射到晶体时，晶体微粒就成为传递光脉冲的“次波源”。

各项同性的次波源，只发出一种球面次波，朝一个方向传播。

各向异性的次波源，发出球面、椭球面两种次波，只好沿两个方向传播。

据此，小惠还做出了精妙的几何图解，精确计算了光被分裂成两束后的折射方向，可谓功德圆满。

真的很圆满吗？牛顿问，作为一种纵波，光凭什么让它的次波源发出球面、椭球面两种次波。您能解释吗？

波军对着高山喊：惠经理！山谷回音：他刚离去……

惠更斯躺着不说话。

这两颗重磅炮弹把波军轰懵了。早知今日，不如共同开发……瑟瑟秋雨中，有人含泪道。

牛帅，收兵？

No！把那颗炸弹也扔过去！

质点力学。

牛顿说，物质都是由微粒组成，光也是。这些微粒的运动规律，用质点力学可以搞定，而质点力学遵循的是牛顿定律！

牛顿定律是什么？是经天纬地的金科玉律！开了这么大一个挂，你无敌了！不带这么玩的。

这就是那颗核弹。

波军彻底崩溃了，他们无助的眼神瞄向胡克和惠更斯。胡克和惠更斯情绪暴稳定，异常正常，纷纷表示关我 P 事，俺现在专职睡觉，酱油都懒得打。

这就是为什么牛顿要耐着性子等到这个时候发动总攻。无人招架啊！什么样的进攻最有制胜把握？不是最凶猛的进攻，而是无人抵挡的进攻。

一个理论，或者别的什么主张，有人及时提反对意见，这是好事，因为反对意见实际上是一种最好的检查和维护工作，最有利于事物的修正和完善。

在科学界，这类例子更是一抓一大把。很多如雷贯耳的科学理论，都是经过“批评→修正→争论→完善”这些千锤百炼的过程而走向辉煌的。这方面最负盛名的就是量子论，爱因斯坦和波尔的世纪论战，就像赤道炽烈的阳光和丰沛的雨水，催生了量子力学的热带雨林。这是后话，以后再提。

如果胡克和惠更斯在世时，牛顿指出波军的软肋，说不定这两位天才会妥善解决问题，修正完善波动说，使之屹立不倒。

但牛顿居然忍住没说，直到他们再也无力解决任何问题时，才把问题提出来。于是波军全面溃败，被扔进历史的角落，粒军一统天下。这一统，就是一个世纪。

作为战略战术，牛顿的做法堪称完美，技术含量高，应用效果好。得了便宜还顺便卖个乖：避免与胡克冲突。大度啊！遗憾的是，那时诺贝尔还没出生，不然这和平奖……

完胜。

作为科研工作，这种做法不地道，也不厚道，不值得提倡。它不利于科学理论的健康协调可持续发展。

如果说，这个过错与牛帅的功绩比起来，实在不值一提的话，那么，接下来发生的事，就无论如何也说不过去了。

牛顿剥夺了胡克在光学上那一席之地的使用权。这还不算完，身为皇家学会的主要领导干部，他把胡克的相关信息列为敏感词，拼命屏蔽，可怜的小胡逐渐淡出人们的视野，声望降至冰点。

为了防止胡克死灰复燃，牛会长抓住皇家学会拆迁的有利契机，利用职权，使胡克的收藏啊、仪器啊、文件啊等珍贵文物被丢失，连胡克仅有的画像也未能幸免！这事在前面提到过。

2003年，一位历史学家宣称找到了胡克画像，但经辨认，那是比利时化学家海尔蒙特的画像。在一份幸存的文件中，有胡克的封印，封印上有个头像，但没法认定它就是胡克的头像。

于是，到目前为止，胡克在后人心目中，一直是一个矮小模糊的影子，也许将来，或者永远也无法清晰起来。



【图 8.9】被误认为是胡克的海尔蒙特。两个人的杯具。



【图 8.10】百度百科的胡克，图片来源可疑。

唉，要不要这样凶狠这样残忍啊？牛爷，让俺说您什么好！

不过，牛顿固然狭隘，胡克也不是没有责任。

胡克用他的彻骨之痛告诫我们：压制后辈实在是一桩不划算的买卖，而压制才华横溢的后辈，更是取百害而拒万利的蠢事。

首先，这耽误工作。不过对压制者来说，这倒不十分要紧。既然压制了，就没把工作当回事。何况，工作早晚有人去做。

其次，压制人家，招来仇恨的概率是 100%。而人，总是要老的。子是怎么曰来着？以德报怨，何以报德？！你老了，人家正当年，所以，招来报复的概率低也低不过 50%。这就很要紧了，这是多大的风险啊，简直是在自掘坟墓！

这样看来，遇到略有瑕疵的后辈人才，能点拨抬举一下，相当于给自己买了潜力不错的原始股；实在看不顺眼，就别招他，大路朝天各走一边，戒恶也算积德了；你非要堵人家的路，那就先掂量掂量自己的后路，别看宽度，看长度。

扯远了是吧？其实不远。无论是政治还是科学，怀一颗开明之心，广纳异见，是利己利人的双赢之道，是利国利民的万用之方。

牛爷《原理》一出，人类科学史乃至整个文明史就翻开了新的一页，其影响所及，遍布自然科学的所有领域。人们对牛

爷的倾慕之情连绵不绝、泛滥成灾。无以言表之际，只有顶礼膜拜。

常言说得好，拜屋及乌。大家顺便也把《光学》也给膜拜了，重复牛爷的实验，验证牛爷的理论，成为一种时尚，大家纷纷表示坚持牛爷的标准答案一百年不变，并郑重指出：凡是牛爷提出的观点，我们都坚决维护，凡是牛爷的理论，我们都始终不渝地遵循。

眼看快到 100 年了，同志们欢欣鼓舞，开始筹备“迎接伟大光荣正确的牛家微粒光辉思想稳定 100 周年大型焰火歌舞升平团拜会”，领导致辞写好了，焰火招商的事都内定了，搬运焰火的临时工也雇齐了，甚至晚会上准备颁发的“科学脊梁奖”的金脊梁奖杯都定制了，纯银包金……万事俱备，只欠报销。

但是，偏偏在这个节骨眼上，有人不开眼，不长眼，跳出来搅了一通浑水，破坏了在微粒思想的光辉指引下，伟大光学事业团结统一的大好形势。

是谁这么大胆，竟敢冒天下之大不韪？！

托马·杨。

一般介绍说他是英国医生、物理学家。其实这样介绍也不太准确，因为他不仅在医学界是权威，在物理界是英才，而且在工程、语言、考古、艺术等方面也都玩出了水平，超一流的水平。

这其实是一个天才玩主。或者说是超级玩家。花朵时期的成长经历：

2 岁会阅读，从此狂爱读书，很遗憾那时没有欣闻连播、良民日报和参考的消息。

4 岁能熟练背诵大量英国诗歌和拉丁文诗歌。

6 岁前已将圣经看过两遍，还会用拉丁文造句。

9 岁掌握了一门手艺——车工，自己 DIY 一些物理仪器。注意，不是厨卫用具，而是物理仪器，它跟两个字密切相关：

精密。

14 岁前，掌握 10 多门语言。奇异之处不止于此，他不仅对这些外语当前时代的听、说、读、写样样精通，还对它们的古文颇有研究！

15 岁左右学会微积分和制作显微镜与望远镜；中学时期，读完了牛顿的《原理》、拉瓦锡的《化学纲要》等科学著作。19 岁，到伦敦学医，并涉猎音乐、绘画等艺术。21 岁，由于研究了眼睛的调节机理，成为皇家学会会员。22 岁，到德国格丁根大学学医。23 岁，取得医学博士学位。……人送绰号“奇人杨”。

小杨兴趣广泛，涉猎力学、数学、光学、医学、声学、语言学、动物学、埃及学等风马牛不相及的多种学科，在光波、声波、流体动力、造船工程、潮汐理论、毛细作用、测量引力、虹的理论、生理光学等方面做出贡献。

除了纯粹的科学，他居然还是保险经济问题、航海天文学方面的专家，可以作为一个不错的职业来养家。

更让人羡慕嫉妒恨的是，把这么多门学术搞得出类拔萃的同时，他还有精力研究艺术，他画画得好，几乎会演奏当时的所有乐器，擅长骑马，并且会玩杂技走钢丝！

他的主要贡献：杨氏双缝实验，被评为“物理最美实验”之一。杨氏模量，用来测量物体的弹性。视觉和颜色，生理光学创始，提出人眼会自动调节以适应所见物体的远近。

提出三原色原理。医学，在血流动力学方面贡献突出。语言，对 400 种语言做了比较，提出“印欧语系”。考古，最先尝试翻译埃及象形文的欧洲人之一。由于他的成果，诞生了一门研究古埃及文明的新学科。

说了这么多，是因为我偶尔看到网上有人专门说这个天才的一个实验造假，而这个实验正是我们下面要介绍的。这种奇才，在一个人人都能拿过来试试真假的简单实验中造假，那就不是脑子进水能解释得了的了。

双缝实验。

那是在 1801 年。

托马斯·杨在实验室里玩，玩具是三块板子。像我们小时候一样，他很淘气，让三块板子面对面立起来排好队，还把其中两块板子弄破：第一块钻出一个细孔，中间那块搞出两道平行的细缝，饶了第三块不破。

然后，他拉上厚重的窗帘。海内外著名青年诗人罗玉凤（笔名凤姐）的两句诗就变成了现实：

天还没有黑。

天已经黑了。

黑暗中，托马斯·杨拿起刀，不，他点燃了一盏灯。将它放到钻孔的板子前，灯光透过小孔，射到中间的板子上，透过两条细缝，投射到完整的板子上。

猜猜，我们会看到什么？这又是一道单项选择题，请在下面的答案中选一条你认为正确的划“√”。

1. 两道细细的、平行的光条，它俩亮度相同。
2. 很多光条，明暗不一。
3. 一个亮度均匀的光块。
4. 一个光块，两道光交叉的地方比较亮。
5. 一个光块，两道光交叉的地方比较暗。

您划的真是越来越顺手了！划在哪个答案上了？

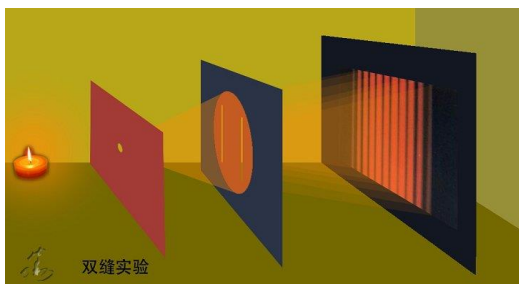
对了，答案还是：2。

是的，托马斯·杨看到了很多光条，他数了数，不止五道杠，而是 N 道杠。

你说这是为什么呢？

小杨解释道，这是纵波相互扰动的结果。

要了解纵波扰动，咱还真得先大概认识一下纵波。我们从声音开始，因为有相当熟悉的空气做媒，理解起来很方便。



【图 8.11】双缝实验

我们知道，声音也是一种纵波，空气分子有规律的振动，就产生了有规律的挤压，让空气产生有规律的疏密变化，并向四周传播，这就是我们听到的声音。我们管它叫声波。

声波的职业是简单重复劳动，“密→疏→密”，或者“疏→密→疏”，就完成了一次振动任务，术语叫一个振动周期。一个振动周期所传播的长度，就是声波的“波长”。

在 1 秒钟内，完成振动周期的次数，叫频率。不管声音的波长是多少，它在相同介质内，传播的速度都一样（1 个标准大气压，15℃，音速是 340 米 / 秒）。

所以，波长越短，频率越高。这很好理解，姚明和潘长江一齐跑步，姚明一步 3 米，潘长江一步 1 米，要在相同的时间内，跑完相同的距离，谁的频率更高？换句话说，谁需要更多步跑完？当然是潘长江！波长（步子）越短，频率（步数）越高。他的两条小短腿要紧着倒腾才行。

波长决定了声音的“音高”。所谓音高，顾名思义，就是声音的高度，它不是声音的大小，而是我们平常说的声音的“粗细”。波长越短，频率越高，其音高也就越高，也就是声音越“尖”，反之，声音越粗。女人声音的波长，比男人声音的波长要短一些，所以听起来“尖”一些。吵架，男人通常不是女人的对手，除了女人天生的语言能力，以及神奇的跳跃式思维以外，我想，或许音高也是一个重要因素？

声音的大小是振动幅度，也就是疏密对比的程度决定的。疏密对比越强，声音越大；对比越弱，声音越小。

那么，两波相遇，是不是大~者胜？

不一定。因为声波是可以相互穿越的。

我们人耳在听到一大一小两个声音时，往往忽略掉小的，这并不表明小的声音消失了。它不仅没消失，而且极有可能没有减弱，甚至在某些地方，借助大的声音加强了！因为声音是空气有规律的“疏”、“密”变化。所以，当两道声波的“密”遇到“密”，就会更密，相当于正数相加；当然，当“密”遇到“疏”，就是正负相抵，相互减弱。



【图 8.12】声音干涉类比

如果让同一道声波穿过并列的两道狭缝，发生衍射后相遇，由于它俩波长相同，疏密重叠的部位就会很有规律，于是，产生有规律的加强和减弱。

光作为一种纵波，也会这样。小杨说，穿过两条狭缝的光在相遇时，有规律地加强和减弱，投射到屏幕上，就成了明暗相间的条纹。这种互相骚扰对方内政的行为，俺给他取了个名字：干涉。光的干涉。

所以呢，光是一种波。一种纵波。不是微粒。

所以呢，牛顿……错了。

你说谁错了？无数双错愕的眼睛盯着小杨，好像在看火星

人。

可是，我们怎么解释这干涉条纹？如果光是微粒，它怎么可能这样？难道，微粒们参加过朝鲜高清人肉 LED 训练，走路不列队，都不好意思跟人家打招呼了？

都对 100 年了，怎么突然错了？上面出什么事了？有内幕消息没？小道的也行。

牛爷怎么会错？他错了，我们怎么办？人类怎么办？地球怎么办……银河系几亿亿受苦受难的阶级兄弟怎么办？！

.....

“尽管我万分仰慕牛顿，但我不能因此认定他万无一失。我遗憾地看到，他也会弄错，而他的权威有时甚至可能阻碍科学的进步。”小杨无奈地叹道。这句话，他写入名为《关于声、光的实验问题》的论文，提交给英国皇家学会。他还在英国皇家学会的《哲学会刊》上发表论文，解释了“牛顿环”和自己的实验，提出了光的干涉的概念和定律。注意，定律哟！

这是战书。也是战鼓。

波军的灵魂从历史的角落聚拢、复活。

粒军从百年前就守着牛爷的超级航母，以为靠这个就可以仙福永享、寿与天齐、千秋万代、一统江湖。所以这些年没想到给航母改改装，让它与时俱进，只知道给它镀金披花，树碑立传，挂牌授勋。因了个此，超级航母只长了体重，没长本事，还是那两炮一核。

按说，这两炮一核威力也够大，足以对付大部队了。何况，波军还算不上什么大部队，顶多算个连队。

但是，人家连长这次是开着灰机来的，有高度，这两炮一核够不着人家。

更要紧的是，人家正居高临下，投弹仓正对着航母的弹药库——只要人家投中了，粒军的弹药就要为波军盛开了！

粒军一时竟不知如何应对，情急之下，纷纷使用原始武器：

否定、嘲笑、挖苦、毁谤。还有，愤怒。

不仅粒军愤怒，粒粉、牛粉也愤怒起来。英国政治家布鲁厄姆按捺不住，扎到物理学家堆里插了一杠子，给小杨的理论连戴三顶帽子：“不合逻辑的”、“荒谬的”、“毫无价值的”。

1803年，小杨在空中玩了个特技，他在论文《物理光学的实验和计算》中，用独门利器“干涉定律”，剖析了衍射现象，得出结论：光路过物体边缘会发生衍射，是直射光与物体边缘的反射光相互干涉导致的。

但是，这个特技一玩不要紧，露出了一个破绽：如果光是纵波，得到上面这个结论就要遇到很多麻烦，证明起来很牵强。就好比从家门口走到卧室，本来几步就到，但你非把上海世博会的排队栏安在家里，那张床近在咫尺，可你居然能在蜗居里走出长征的距离来！

越绕越不靠谱——这是科学理论定律。

粒军长舒一口气，嗤之以鼻：基本功有问题，弹道不稳，投弹不准。这口气是舒了，但依然只能眼巴巴地看着小杨的灰机灰来灰去——对于干涉条纹，没人能用微粒说做出令人满意的解释。一时间，这以一敌无数的战局居然进入了相持状态！万人敌算什么？小杨差点就成了全民公敌！

粒军鸭梨坡大，小杨鸭梨山大。

因为这个鸭梨只有他一个人扛。虽然表面上看起来，凭借光的干涉条纹这一新式武器，粒军奈何不了小杨，但三人成虎啊，何况是成千上万人！这舆论受不了。

小杨顶着巨大的压力，花了好几年时间写了一本书，名为《自然哲学与机械工艺课程》，于1807年发表，来宣传波动观点，却创造了销量最低的纪录，只卖出去1本。是的，你没看错，1本。名人出书也难啊！

无人喝彩，不要紧。但懂的、不懂的全都反对，甚至被人讥讽为疯子。这事不好玩，我还不如玩点别的。1816年前后，

小杨保留了意见，把光学放在一边，考古去了。

小杨虽然离开了战场，但，他留下的那架灰机，仍在超级航母上空盘旋，成为粒军梦中的阴影。

英国这边战事频仍，法国那边也没闲着。

1808年，微粒说的死党、法国数学家、天文学家拉普拉斯用微粒说分析了光的双折射现象，用以批驳小杨的波动说。但他的理论不尽人意。为此，他设立了“光的双折射理论研究”奖，征集新成果。

双折射研究的事还没搞掂，光学的又一块新大陆被发现：偏振光。发现者是法国物理学家、军事工程师马吕斯。

马吕斯准备拿下那个奖，于是，他一头钻进实验室。1809年，小马哥在搞折射试验时，发现一部分光是偏振的。这意味着，不管光是什么，它绝对不会是一种纵波！

这么厉害，居然能一票否决！

那么，光的偏振又是怎么回事呢？

其实，偏振光离我们很近，现在影院的高清立体电影，用的就是偏振光原理。

我们的双眼有一定距离，看东西的角度有点小差别，这叫“视角差”。大脑把两张有“视角差”的图像综合处理一下，就能识别远近——也就是感觉“立体”了。

为了实现立体效果，电影在拍摄、放映时，都模拟眼睛的视角差，用左右双机同时拍、同时放。为我们提供了有视角差的两个图像。这是第一步。

这两个图像，同时出现在一张屏幕上，一定重影。所以，让每只眼睛只看到属于自己的图像，是关键的第二步。

这时，“偏振片”闪亮登场了。这个名字听起来很高深，但实际上，它就是一个过滤光的薄片。我们看看它的制造过程，就知道，经它过滤的光是什么“形状”了。

材料都很常见：一块高透明的薄膜，它的分子排列为网状

结构,用碘浸染之,然后用硼酸水还原稳定,再单向拉伸 4-5 倍。这样,碘分子就很整齐地排列在这块膜上,像细密的梳子。

我们知道,梳子齿缝可以通过两类东西,一类是直径小于齿缝的物体,比如头发、细小颗粒等;一类是宽度和长度虽然大于齿缝,但厚度小于齿缝的物体,比如纸条、卡片等薄片。薄片通过梳子,有一个条件,就是让薄边顺着齿缝,否则会被挡住。

放电影时,两台放映机前各装一块偏振片,“梳子齿”方向一横一竖,把光过滤成一横一竖两道偏振光,我们戴的眼镜,镜片也是两块偏振片,横竖与放映机的相对应。横的只能透过横光,竖的只能透过竖光,于是,我们的两眼分别看到有视角差的影像,大脑就误以为图像是立体的了。花了这么长时间来了解偏振片的工作原理,还是值得的,因为我们得到一个重要的信息:光的形状居然是“扁”的!

通常光源发出的光,它的“薄边”在与传播方向线垂直的各个方向上均匀分布,这叫自然光。经偏振片过滤,只剩下与偏振片“梳子齿”方向相同的光,这种“薄边”方向相同的光,就是偏振光。

我们做个试验就清楚了。拿两把齿缝一样大的梳子,面对面排列,齿方向一横一竖。先用铁丝和颗粒试着穿过梳子,我们发现,铁丝和颗粒只要能穿过第一把梳子,就能穿过第二把梳子。

现在用薄片来做实验,长和宽大于齿缝,厚度小于齿缝。让薄片的薄边顺着第一把梳子的齿缝穿过,到达第二把梳子时,就过不去了。想过去只有一个办法:让两把梳子的齿方向相同。

这和偏振片只能透过相同方向偏振片所过滤的光,是一个道理。所以,偏振光的原理告诉我们,光不是微粒,不是均匀光滑的线。也不是纵波。因为光纵波理论认为,光是介质微粒沿传播方向振动,传递光脉冲形成的,也可以看成一根均匀光

滑的线。即使不是均匀光滑的线，沿传播方向振动也不可能形成“扁”的形状。

马吕斯当时发现的偏振光，不是用偏振片得到的，而是在做双折射试验时发现的。那是一个黄昏，小马哥透过冰洲石看玻璃窗上反射的落日。当然，他看到了两个落日，双折射嘛，很正常。

他开始转动手中这块神奇的石头，转着转着，神奇的事情发生了，始终坚持双折射的冰洲石或许被转晕了，它突然放弃了一个折射——其中一个落日消失了！敏感的小马哥立即用其他光源做实验，用水面啊、玻璃啊来反射各种光，透过冰洲石，各种观察。他发现，转动冰洲石，双折射的两个图像，亮度会交替变化，转到某个角度，会消失一个。

小马哥得出结论：经过折射、透射后，光的强度会随方向而变化。他给这种现象起了个名，叫光的“偏振化”，这种光，当然就是偏振光了。

通过反射、多次折射、双折射和选择性吸收的方法，都可以获得平面偏振光。

那时，小马哥虽然还没有意识到光的“形状”问题，但他天才地意识到，纵波理论是无法解释偏振现象的。

于是，发现光的偏振现象后，小马哥的第一个反应就是，用它一票否决了光是纵波的理论；第二个反应是，顺手搞定了偏振光强度变化的规律，也就是“马吕斯定律”；第三个反应是，用微粒说对偏振现象作出了令人信服的解释。这就是粒军梦寐以求的高新武器啊！

1810年，马吕斯获得了拉普拉斯设立的“光的双折射理论研究”奖。但是，大家心里都清楚，对双折射现象，波粒双方虽然都作出了解释，但都不完美，底气都不足。

小马哥对偏振现象的完美解释，给了波军沉重一击。当时战场上形式很尴尬，波军解释不了偏振，而粒军虽然人多势众，

也解释不了干涉。但僵持，一般是不会持久的，总有一方 hold 不住。1814 年，史上最强的土木工程师加入了波军。

菲涅耳。

法国人。土木工程师是他谋生的专业。在这个专业里，小菲算不上最强。但他所做的事，在土木工程师中，绝对称得上史上最强。因为他反对的两个人，都称得上史上最强。

牛顿、拿破仑。

他俩分列人类史上最有影响力的一百位伟人第 2 位和第 34 位。

这份勇气，不是每个土木工程师都有的。何况，小菲还曾因反对拿破仑被关起来过。后来他全身而退，没在里面患各种怪病，以各种理由离开人世，说明早在那个年代，人家已经很开明了，难怪人家发展那么快。

我们这里要介绍的是，他反牛顿的光辉事迹。在粒军对波军的围剿时期，小菲悄悄加入了势单力薄的波军。

1809 年，小菲同学从巴黎路桥学院毕业后，走上了土木工程师岗位，他始终爱岗敬业，拼搏进取，为建筑工程科学发展和谐发展做出了贡献。

从 1814 年起，神奇的光学吸引了小菲同志清澈的眼睛，他干一行爱一行，爱一行精一行，终于崭露头角，在光学领域取得了突出业绩，受到领导和群众们的好评。小菲同志于 1823 年被选为法国科学院院士，1825 年被选为英国皇家学会会员。

好，现在开始好好说话。一切是从两根线开始的。小菲让光从一个小孔中射入暗室，一条细细的光线笔直地投向屏幕。小菲拿起另一根细线，拉直，把它交叉在光线中。他居然在屏幕上看到了彩色条纹！

眼熟吧？这是格里马尔迪和托马斯·杨两个实验的结合体，是衍射和干涉的共同结果。没办法，那时信息太不发达。

看着旖旎的彩色条纹，敏感的小菲一下子想起了旖旎的惠

更斯。

他应用小惠的理论，成功地推导出光的衍射规律——波动说的证据，还写了报告，然后兴奋地提交到法国科学院。

为新发现激动的小菲同学忽略了一件事，那就是他的数学成绩不太好。

话说法国的科学成果鉴定渠道也真够畅通，一个名不见经的年轻人写的报告，居然落到拉普拉斯、泊松等物理名家手中。物理家的数学成绩都很好，尤其是拉普拉斯、泊松，他们首先是数学家，然后才是物理学家。看了小菲的报告，泊松等人很快就发现其中的数学缺陷。于是报告被退回，里面的物理思想没引起注意。

被名震四海的高手否决，对一个刚出道的新手而言，无异于灭顶之灾。然而，小菲不一样。

他有个最大的优点。勇敢。

刚出道的第一件事，就是挑战人类顶尖高手牛顿的微粒说，被其他高手否决一下，又算得了什么呢？

聪明执著的小菲清醒地认识到了自己的瓶颈——数学。于是，他埋下头，缺啥补啥。

我们先给点时间，让小菲补习数学。现在，去看看开小差的杨连长干嘛去了。

考古。这对职业考古学家来说，是一项工作，但对托马斯·杨来说，这就是散心。小杨在考古界玩得很开心，还取得了让一般考古学家羡慕嫉妒恨的成绩。

既然是出去散心，那就注定，这是一个短暂的离开。

小杨心中始终没放下波军，他考虑来考虑去，脑海里出现了一个大胆的提问：是不是我军的指导思想出了问题？紧接着，出现一个同样大胆的答案：从根子上动手。

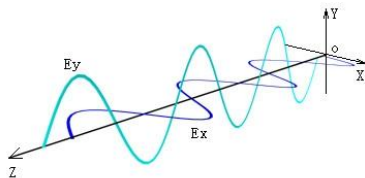
1817年，小杨重返战场，他放弃了波军先烈们“纵波”的理论，提出“横波”的假设。以此为根基，进行试验、论证、

推导、计算……这个天才大笔如椽，波军理论体系焕然一新。衍射、干涉现象有了新的解释，粒军用来打击波军的王牌——偏振现象也迎刃而解。

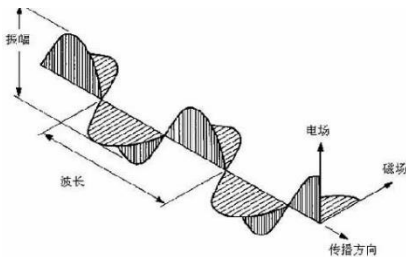
横波理论的提出，解决了惠更斯理论的一大缺陷。

光是一种横波，振动方向与传播方向垂直。那么，光每一次振动，其矢量线与传播方向线（虚拟的）就形成一个平面，我们管它叫“振动面”。如果我们把这个振动面画出来，就像一张无比袖珍的弓，光振动的矢量线是个弧，像弓背，光传播的方向线，就相当于弓弦了。这就是为什么光的“形状”是“扁”的。

自然光的振动面方向不是固定的，也就是说，弓背并不总朝着同一个方向，而是各向均匀分布的。一道光线，就像无数个弓背，共用一根长长的、直直的弦，弓背随机朝向各种方向。



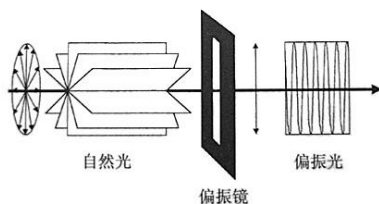
【图 8.13】光波示意图。中间的直线是虚拟的方向线。像共用一根弦的无数弓。为清晰起见，弓背所朝向的方向直取了横竖两个方向，实际上是一切方向皆有可能。



【图 8.14】还是光波示意图，只是把振动矢量线（弓背）

与传播方向线（弓弦）形成的振动面填充了条纹，便于识别它的扁“面”。

经过反射、多次折射、双折射、选择性吸收、或者偏振片梳子的梳理等手段，可以使弓背偏向某个方向，甚至都处于同一个平面，这样的光，就是偏振光。



【图 8.15】光过滤的示意图,各种可能的振动面经梳理后,变成了振动面方向统一的偏振光。

所以，经过折射、透射后，光的强度会随方向而变化。这就是小马哥发现的光的“偏振化”。这个解释，比粒军解释偏振的理论简洁多了。粒军用来打击波军的高新武器，一下子变成了波军最有力的证据！

现在，光从纵波一下子变成了横波，那么，关于衍射和干涉的纵波解释该咋办呢？其实很简单。改呗。

关于衍射，解释起来挺费劲，就让惠更斯来吧。

小惠认为，在同一时间内，从波源发出的波，所到达的各点，可以连成一个面，叫做波面。波面上的这些点呢，又可以看做是新的波源，我们管它叫子波源，子波源们继续发力传递，形成新的子波面……以此类推，子子孙孙无穷匮焉。如果没有阻碍，波就打算这样不厌其烦地连续传下去，力道均匀，形态圆润，直到筋疲力尽。

但是，障碍物无处不在。好在障碍物上还有缝可钻，这是波继续玩下去的希望。于是波撞在缝上，缝上的各点，就成了新的子波源，由于受到缝边缘的限制和干扰，这些子波源发出

的波面发生了弯曲，传播方向向外扩散，这就是衍射。

惠更斯的这个理论适用于“纵波”，也适用于横波。

关于光的干涉，就好解释了。所以让小惠先歇会，我来解释：光既然是横波，就有波峰和波谷。我们知道，波的振动幅度，也就是振幅，决定了波的强度。波峰、波谷有叠加效应。

这里，我们把波峰看成正数，把波谷看成负数。现在我们看看，波长相同、振幅相同的两波相遇会怎么样。如果波峰和波峰重合、波谷与波谷重合，这叫“同相”，正数相加，波峰更高，负数相加，波谷更低，也就是波的振幅加强。

结果是他们合二为一，成为波的增强版。如果正好错开，波峰与波谷重合、波谷与波峰重合，这叫“反相”，正负相抵。结果是它俩扯平了，消失了。

那么，波长不一样的两波相遇会怎么样呢？我们可以类比一下波浪，找一张各种波重叠的波浪照片，仔细观察，我们会发现，在大波上，小波该怎么传播还怎么传播。而小波也不会对大波造成减弱或增强，也就是说，波长相差越大，它们之间发生干涉的可能性越小。



【图 8.16】水波图片（以上图片均来自网络）

双缝实验实际上就是光的衍射和干涉的一场综合操练。

光通过两条狭缝，发生衍射，尔后相互重叠，发生干涉。

由于它们来自同一束光，所以振幅、波长都一样，相遇时，在一些区域反相，在一些区域同相，明暗交替，投到屏幕上，就成了排布规则的条纹。

虽然横波理论还只是一个框架，但已经显示出高新武器的优越性。现在，波军既能搞定干涉，又能搞定偏振。粒军表示不淡定了。他们加紧演练，准备发动一场决战。

演练期间，我们去看看小菲补习得怎么样了。

小菲除了补习数学，还干了很多事。

他和阿拉果合作研究光学，阿果那时已经是法国著名的物理学家了，还是个冒险家。他此前是微粒说的粉丝。1816年前后，他俩发现，偏振光相互干涉与否，与偏振面的方向密切相关。偏振面相互垂直时，不能发生干涉；偏振面平行时，可以发生干涉。这是纵波无法解释的。也是微粒说无法解释的。

1817年，托马斯·杨写信，把崭新的“横波”理论告诉了阿果，阿果自然与小菲共享了这一信息。

经过各种实验，各种观察，他们认为，如果光是一种横波，那么解释偏振、折射、双折射、衍射、干涉等现象更完美，更有说服力。

这一年，法国科学院举办了一场科学大赛，悬赏征集论文，题目是用精确的实验和严谨的数学推导来验证光的效应。各级领导都非常重视，大赛很隆重，影响很大，各路高手纷纷应战。

可以说，这是一场粒军安排的大决战。

大赛评委有比奥（与小马哥是反对拿破仑的战友、狱友，兼粒军盟友）、拉普拉斯、泊松等名家，都是粒军将领，主席就是当年退回小菲波动论文的泊松。

乍一看，组织这场比赛，就是想发展微粒说，牢牢占领光的衍射啊、干涉啊、双折射、偏振啊这些领地，顺便泼一盆凉水，浇灭波军已经不太嚣张的气焰。

但评委会这样安排，并不是摆明了要搞一言堂和暗箱操作，

而是从威望上来讲，人少势孤的波军里，除了杨连长，实在是没有什么拿得出手的人物，可以与这些评委坐在一起，但杨连长是英国人，他不是法国科学院院士，何况，就算邀请小杨去当评委，这个爱好广泛、业余文化生活无比丰富的天才还不一定有时间去呢。

于是，兵强马壮、人多势众的粒军运动员、裁判员熙熙攘攘地入场了，与中国乒乓球队的区别是，人家连裁判都是自己人。

回头看看，波军怎么没人上场呢？飞机晚点？倒时差？
一场似乎毫无悬念的比赛拉开了帷幕。

1818年，小菲和阿果把他俩共同研究偏振光线的成果，合作写成了一篇论文：《关于偏振光线的相互作用》，提交到大赛组委会。

论文阐述了光是一种横波的概念，论证了只有当光是横波时，才能完美解释光的各种表现。

小菲还发现了惠更斯破冰巨轮的第二个缺陷：用惠更斯原理，虽然能定性地解释衍射现象，但不能对衍射现象作出定量的分析！科学嘛，不能定量，就没底气。你说火箭利用热气流的反作用力能上天，定性了。那好，多少燃料能推动多少重量上天？能发射多远距离？这个量定不了，我们只能用这个原理玩钻天猴鞭炮。

小菲顺手给这个理论打了个补丁：任一时刻的波面，并不是简单地由子波的包迹形成的，而是它们互相干涉的结果。所谓包迹，就是这样一个弧面，它与同时刻的子波面都相切，把它们包在弧面内。这个补充，诞生了惠更斯原理的增强版：惠更斯-菲涅耳原理。

最重要的是，经过一段时间的恶补，小菲的数学成绩突飞猛进、今非昔比，他用严谨的数学推导证明了这个的理论。

人数虽少，但看起来准备很充分。

然而，就连小菲和阿果之间，也存在分歧。

阿果始终对波动说持怀疑态度，所以，在论文提交前，冒险家阿果鼓足勇气对小菲承认，他没有勇气发表这个观点。拒绝在论文上签名。

现在，比冒险家更有勇气的小菲，代表波军站在赛场上，孤独地面对兵强马壮的粒军。

你是第十届奥运会上的刘长春，还是长坂坡上的赵子龙？
论文依然落到了泊松的手里。

泊松大师拿着这份试卷一检查，没有错别字，逻辑清晰，推理严谨，数学缜密，体系完整，完美地解释了衍射、偏振等现象，但答案和自己的标准答案不一样！这是怎么回事？！

究竟是谁错了？

不能从论文推导本身找出问题，那么，就用这个原理和推导办法，试试推导其他情况下的衍射，看看这套理论是不是仍然好用。只要有一处，理论推导与观测结果不符，这套精致的理论就将被扔进废纸篓。

泊松选中的推导对象是一只小小的、圆圆的盘子，光迎面射向圆盘，经过它的边缘时，会发生衍射，那么，根据小菲的理论，圆盘的影子会是什么样的呢？真不愧是数学大师啊！结果很快就出来了。按照小菲的理论，这个圆盘的影子正中，应该会出现一个“亮斑”！

哈，怎么可能？这太荒唐了！影子中间怎么会出现一个亮斑呢？它从哪来？盘子中间又没洞。果然不出所料，这个看上去很美的理论，中看不中用，不具有普遍性，一个小小的圆盘就把它证伪了！

泊松公布了他的计算结果，大家一看，不愧是数学大师，计算干净利落，结果完美无误，影子中间出现了不该出现的亮斑，于是纷纷表示小菲理论太荒谬了。

组委会正准备宣判这个新理论的死刑，关键时刻，阿果挺

身而出。虽然他怀疑波动说，但作为一个严谨的科学家，他认为即使要判死刑，也要亲眼看看证据才行，不能从重从快，草菅新论，坚持要做个实验。

取证。

虽然评委会成员觉得，对这种荒唐的结论做实验实在没什么必要，但大家都是搞科研的，十分清楚这个要求再合理不过了。实验是检验理论的唯一标准嘛。

实验就实验，反正影子中间是不会出现亮斑的，这回让你死个心服口服！

然而，我们已经不意外了，大自然和人类开的玩笑太多了：影子中间居然真的出现了一个亮斑！围观的大师们眼睛和嘴顿时圆了起来。

亮斑像一只无辜的眼睛，莫名其妙地看着目瞪口呆的大师们，难道我走错了吗？我本来就应该在这儿，你们瞪什么眼光，是横波。

泊松是一个胸怀宽大、治学严谨的科学家，但这次，他都闷了一把。让泊松同志郁闷的，不是谁对谁错的问题，而是人们给这个亮斑起了个名，叫“泊松亮斑”。

这大概是史上最尴尬的一个科学命名了。就好比把滑铁卢战役命名为“拿破仑战役”。

这场比赛的结果比戏剧还戏剧：在粒军的精心组织、广泛参与、奋力拼搏和大力帮助下，波军胜利了。小菲单枪匹马，勇夺金牌，摘取了这次论文大赛的最高奖。

战斗一点也不激烈，围观者纷纷表示这仗打的不过瘾。就好像下凡为怪的青牛精，不论哪路神仙，什么法宝，他就一招：取出一个亮灼灼白森森的圈子来，望空抛起，叫声：“着！”什么金箍棒啊、风火轮啊、金丹砂啊、水呀火呀的，一律套走，动作简单，台词单调，Pose难看，两个字：没劲。

但是，科学不是表演，理论预测与实验观测普遍相符，这

才是王道。

想反对吗？拿出与观测符合得更精细、更普遍的理论来！否则，说什么都是笑谈。

小菲一战成名，他以一套完整、严密的横波理论击溃了微粒说，从一个名不见经传的小人物，一跃成为在光学领域可以和牛顿、惠更斯这些顶尖高手平起平坐的大人物。

只是可惜了阿果，他与小菲合作，相互启发，在光的横波理论建立中，做出了重要贡献，但关键时刻，他对波动说的怀疑，让他失去了与小菲共享荣誉的机会。

到此，波粒大战暂时降下帷幕。但光学的发展，只是从此走上了更新的一条道路，前面，依然荆棘密布。

最大的一个障碍，来自一个古老的问题：横波是吧？好吧，你是以什么为介质传播的？

如果没有介质，你能想象一个物体——就比如铅球，嫌重那就棉花团——会在空中像袋鼠一样跳跃前进吗？凭什么？

这个问题先按下不提。因为刚刚打下江山的波军，还有很多细节需要完善。科技。其实这是两个词的概括。就好比马列、英美、锋芝……

为什么我们总是把科学和技术绑在一起？因为科学和技术是互促互进的关系，谁也离不开谁。下面出场的，正是这样一个集工艺技术、科学理论于一身的强人。

夫琅和费。

德国物理学家。自学成才。他是一家光学工厂的技术合伙人。后来成为慕尼黑大学教授，慕尼黑科学院院士。

1814年，小费用他制造的玻璃棱镜，发现太阳光谱中有许多暗线。

同样是棱镜，为什么观察力超强的牛顿当时没发现呢？因为棱镜中那怕有一点细小的缺陷，也会使这些暗线模糊不清，这就是棱镜制造的技术问题了。

其实，早在 12 年前，英国化学家、物理学家沃拉斯顿就曾观察到 7 条这种暗线，但当时没引起人们注意。他自己也没当回事，放在一边不了了之了。沃拉斯顿可以潇洒地走开，因为他发明了加工铂的秘技，可以赚很多钱来养活自己。

但小费不能不研究，除了兴趣以外，他还得解决光学元件的技术问题。为了精细分解太阳光谱，精确测量各种光学玻璃的折射率，提高光学元件的精密度，小费制造了精密元件：光栅。

光栅的构造与我们前面提到的偏振片大致差不多，不同的是，它的梳子齿不是由分子线构成的，比偏振片的梳子齿和齿缝都粗一些，不足以造成光的偏振。

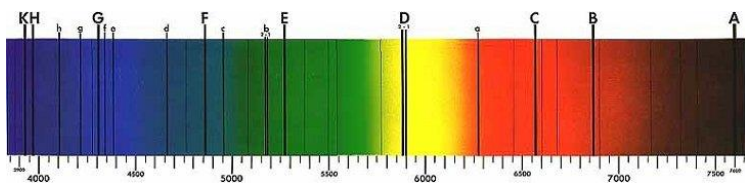
1821 年，小费把细金属丝绕在两根平行的细螺丝上，第一个光栅问世。它的工作原理和双缝实验的原理差不多，不同的是，光栅的缝更多，光透过这些金属丝之间的缝产生衍射，N 多衍射相互交叠、干涉，就能产生比三棱镜还精密的色散，形成精密的太阳光谱。

因为衍射和干涉都与光的波长密切相关，所以，通过光谱中各色条纹的尺寸，还可以精确计算各色光的波长。

光栅的齿缝越细、越密集，产生的光谱越精密、越敏锐清晰，拿现在的话说，“像素”和“分辨率”就越高。

因此增大缝数，是光栅技术的关键。小费最初制造的光栅有 260 条平行线。1823 年，他用金刚石在玻璃上刻成了精密光栅，精密度达 1300 条/厘米（现在光栅线每毫米几十到几千条都有）。

他精确计算了光的波长，给出了至今通用的光栅方程，还观察到 576 条暗线（现在人们已经发现了 1 万多条），并编制成表。光谱学从此奠基。这些成就有 3 个直接意义：



【图 8.17】夫琅和费光谱。（图片来自网络）

1. 利用这些谱线，使光学玻璃折射率的测量达到从未有过的精度，解决了大块高质量光学玻璃制造的难题。

2. 光学玻璃精密度的提高，直接推动了科学观测的发展，当然也就推动了科学发展。

3. 进一步完善了波军理论，让横波坐定了光学领域的王位。

小费注意到，不管是阳光、月光还是其他行星的反射光，其光谱线总是出现在光谱的同一部位上；其他恒星与太阳相比，它们光谱中的暗线，样式有些不太一样。一个伟大的发现近在咫尺，可惜与他擦肩而过，也与那时所有地球人擦肩而过。当时，他公布了这个发现，但是，大家只是看了一眼，就都忙着打酱油还房贷去了。谁也没细想，这个现象意味着什么。

直到 1859 年，基尔霍夫（德国物理学家。著名的基尔霍夫电流、电压定律的缔造者）和罗伯特·本生（德国化学家。铯和铷的发现者，本生灯以他命名）利用这个原理，制造了光谱分析仪，发现不同的物质，分别对应光谱上不同的条纹，就像人的指纹一样！1860 年，他俩用这种方法发现了铯，1861 年，又发现了铷。

这么好用的工具，当然不用白不用。1861 年，英国化学家克鲁克斯用它发现了铯；1863 年，德国化学家赖希和李希特用它发现了铷，然后镓、铟、锗……相继被发现，工具也是它，大家用了都说好。是不是很牛？

更牛的是，我们还可以用光谱分析法，研究遥远的太阳，以及更遥远的其他恒星的化学成分！只要能看见你，离得再远，

我也能知道你是啥组成的！

巨大的贡献受到了巴伐利亚国王的赏识，夫琅和费被封为贵族。这个苦孩子从一出生，命就不好，穷。小时候当然靠父母，可父母双亡；打工糊口，作坊倒塌，捡回一条命。幸亏一位好心的贵族帮他解决了生存问题，他靠着天分与不懈努力，终于获得成功。可惜的是，1826年，39岁的他因肺病逝世。

菲涅耳比夫琅和费晚生一年，晚亡一年，都是肺病。天妒英才啊！

小费强有力的技术支撑，使波军的统治地位固若金汤。粒军偃旗息鼓，纷纷倒戈。拉普拉斯学派的诸多科学家由粒方转向波方。

大家现在目标一致：寻找光波的介质。

以太说活跃起来。

以太，光的介质，它布满虚空，但看不见、摸不着。职业：当光波的介质。

菲涅耳发现一个大问题：能产生如此快速横波的介质，应该是一种十分坚硬的类固体，但如果以太果然是这样，布满空间的它，是怎么做到让物质自由穿行的呢？

泊松发现一个更大的问题：如果以太是一种类固体，在光的横向振动中，必然伴有纵向振动，这与整个横波理论体系相矛盾！

为了让以太合法存在，1839年，法国数学家柯西提出，以太是一种“消极的”可压缩性的介质；1845年，英国力学家、数学家斯托克斯又进一步指出，以太是类似石蜡、沥青或某些胶质一样的东西。它既硬得可以传播横向振动，又可以消除纵向振动，还可以让别的东西穿行。

.....

你信吗？好像他们自己都不信。

打江山难，守江山更难。在寻找介质的高山丛林中穿行，

似乎比在波粒大战的战场上前进更加困难。此后的过程，因为与相对论、量子论密切相关，所以在这里简短列举一下。以后再详说。

1887年，德国物理学家赫兹发现光电效应。光的粒子性又一次浮出水面，露出诡异的微笑。

1900年年底，德国物理学家普朗克推导辐射公式时，发现必须假定辐射能量不是连续的，而是一份一份的，才能得到正确的公式。

1905年3月，爱因斯坦发表了一篇论文：《关于光的产生和转化的一个试探性观点》。完美解释了光电效应。他认为对于时间的平均值，光表现为波动；对于时间的瞬间值，光表现为粒子性。也就是“波粒二象性”。

Stop! 等等，人仰马翻地打了将近三百年，你一出来，说了句“光是波，也是粒”，就完了？和稀泥呢吧？还有没有点原则性了？

这个问句论据充分，简短有力，结构严谨，一气呵成，很有道理。但是，波粒二象性后来被无数实验证实了无数次，直至现在，还没被证伪。

跌宕起伏的波粒大战，居然以“波粒二象性”签约言和，原来是大水冲了龙王庙，孙悟空 PK 六耳猕猴！老天爷真会开玩笑啊！

这正是：百载拼争，敌居然即我，一朝弃戈硝烟尽；双身合并，俺究竟是谁，片刻无暇歌舞平！路，还长得很呢！

第九章 智慧之光（下）速度与激情

极速追踪

回到我们将要修正的常识：时间是恒定的、持续的；空间是空间，时间是时间，时间和空间是独立的两个概念。这种显而易见、深受我们广大人民群众理解和欢迎的常识，用来对付苹果砸头落地（强调一下是苹果落地）、咱俩玩乒乓球、行星运转等问题，还是没有问题的。但速度一快，就会发现，事情突然变得完全不同。用它们来处理以光速或接近光速运动的物体时，完全无效。

我们晚自习加班应酬摸黑打开家门，按下开关的同时，灯光满屋，温馨如故。雨停了，清风吹散乌云，太阳露出笑脸的同时，阳光洒满大地。

光进入我们的眼睛，似乎从来没有过程，直接就是结果。

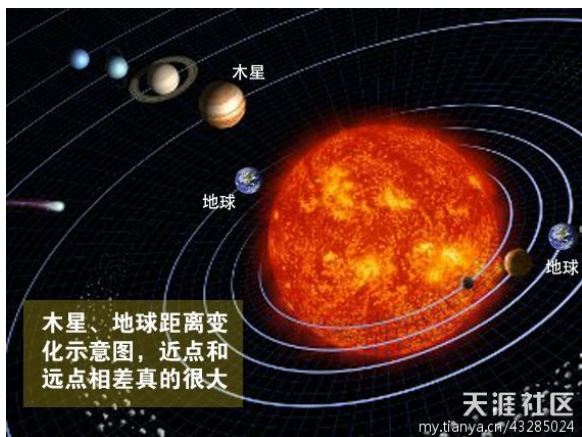
高速摄影技术让我们可以清晰地看子弹像蜗牛一样在空中漫步，但至今为止，谁也没见过光从光源射向目的地的过程。它向目的地扑去时，是怎样一种景象？最前端是圆的？尖的？平的？高低起伏的？谁见过麻烦你告诉我。

是哪位牛人那么拽，他怎样发现了光速是有限的？

这位牛人的名字不太好记，他叫欧尔·克里斯琴森·罗默，丹麦天文学家。1676年，罗默观察木星的卫星。卫星每转一圈，都有一段是转到木星背后，看不见了，我们管这叫月食。我们知道，同一颗卫星绕行星运转的周期是一定的，不会这一圈跑快点，下一圈再跑慢点。所以，每次月食离下一次月食的时间应该是一样的。但罗默注意到（谁看都一样，区别在于是否注意到），同一颗卫星出现月食的时间不是每次都一样，他没有不相信自己的眼睛，而是考虑到，地球和木星之间的距离总是在变化，地球和木星都围着太阳转，但他俩步调不一致（周期不

同步)，所以两者距离时远时近。他注意到，地球离木星越远，则木星的月食出现得越晚。他解释道，这是因为，当我们离木星更远时，光需要花更长时间才能从木星卫星到达咱们这里。因此，光速是有限的。

牛人啊！



【图 9.1】地球、木星距离变化示意图

那么，光速是多少？

当时，罗默利用两次月食的时间差和那时地球、木星的距离，算出了光速是每秒 14 万英里，而现在的准确值是 18.6 万英里，误差不算小。问题出在哪呢？

这是因为当时地球与木星的距离测量不精确。虽然不太准，但罗默的成就依然是卓越的，他不仅证明了光速有限，而且算出了大致的速度。而这些，都是在牛顿发表《原理》前 11 年做的。

准确的光速是谁、怎样测出来的呢？这个历程很长很曲折，不过处处闪耀着智慧的光芒：

（我把人名与方法、结果分开，以便拣阅。看着眼花就挑几条过过目算了）

17 世纪前，人们以为光速为无限大，伽利略曾对此提出怀疑，并试图通过实验来检验，但因工具过于粗糙而未获成功。

1676 年，罗默。利用木星卫星的月食时间进行了测量。如上所述。

1727 年，英国天文学家布拉得雷。他居然利用恒星的光行差现象，估算出光速值为 $c=303000$ 千米/秒。

1849 年，法国物理学家斐佐。首次用机械设备（旋转齿轮法）成功地测量光速，最早的结果为 $c=315000$ 千米/秒。机械设备哦~。

1862 年，法国实验物理学家傅科。改进了斐佐的装置，8 角棱镜代替了齿轮，用旋转镜法测得光速为 $c=2997960 \pm 4$ 千米/秒。后来有人用光开关代替齿轮，改进了斐佐实验，精度比旋转镜法又提高了两个数量级。之后，傅科在装置里充入水，测出了水中光速是空气中光速的 $3/4$ ，恰好等于水对空气的折射率。证明了惠更斯关于光的波动说。

19 世纪中叶，麦克斯韦。他根据自己著名的方程指出，电磁波在真空中的传播速度，等于静电单位电量与电磁单位电量的比值，只要测出两个电量的值，就可算出电磁波的波速。神人啊！这样也行？！

1856 年，R.科尔劳施，W.韦伯。他俩还真把上面说的电量值给测出来了，麦克斯韦根据他们的数据，铅笔一挥，草纸上出现：电磁波在真空中的波速值为 3.1074×10^5 千米/秒。这跟斐佐用机械设备测的结果差不多。

1926 年，美国物理学家迈克尔逊。改进了傅科的实验，测得 $c=(299796 \pm 4)$ 千米/秒，1929 年，他在真空中又重做了这个实验，测得 $c=299774$ 千米/秒。迈克尔逊，光速测量帝，以后会经常提到他的一个著名测量实验。

1952 年，英国实验物理学家费罗姆。用微波干涉仪法，测得 $c=(299792.50 \pm 0.10)$ 千米/秒。误差比迈克尔逊在 1926 年测

的值还要小，于是，1957年，这个值被作为“国际推荐值”，世界通用。

1972年，美国的K.M.埃文森等人。直接测量激光频率 ν 和真空中的波长 λ ，按公式 $c=\nu\lambda$ ，算得 $c=(299792458 \pm 1.2)$ 米/秒。1975年，经第15届国际计量大会确认，这个值作为“国际推荐值”使用。

1983年，第17届国际计量大会胜利召开，重新定义了国际通用长度单位“米”。把299792458米/秒定义为光速的规定值。也就是说，人类规定：所谓1米，就是光在真空中1秒钟行程的 $1/299792458$ 。真空中的光速成了定义值，以后就不用再对它进行测量了。

我们耗费同样的体力，走在溜光的马路上，走在柔软的沙滩上，或者走在水里，速度肯定不一样。光在不同的介质中，走的速度也各不相同。

水中： 2.25×10^8 m/s

玻璃中： 2.0×10^8 m/s

冰中： 2.30×10^8 m/s

空气： 3.0×10^8 m/s

酒精中： 2.2×10^8 m/s

.....

在没了解以上这些牛人测光速的方法之前，我们能想象用一些简单的工具，居然可以测出魔幻一样的光速吗？至于你们能不能，我反正是不能。想象不出，那就只有学习。

为了膜拜一下先人的智慧，我们从上面随便选一个牛人，围观一下他是怎样用机械工具测光速的。

1849年，斐佐。

他利用透镜聚焦和镜面反射，让光线经过齿轮的齿缝再原路返回，实验者观察返回的光。

转动齿轮，就可以有规律地遮断、通过光线，当齿轮达到

一定转速，反射光完全被挡住时，利用齿轮转速、齿数、光走过的距离，就可以算出光速。

有兴趣的可以看看下图和详解。

透镜在这里只起“双规”的作用，让光束乖乖地按照“规定粗细、规定路径”行走，属辅助作用。所以，在图解中，我们省掉透镜，只取最简单的路径，使工作原理更清晰些。

光的路径：从光源发出的光，通过齿缝射到镜片，由此反射回去，再通过齿缝传到观察者眼睛。特别注意的是，那个镜片与齿轮的距离要很大，具体多大，稍后便知。

齿轮的作用：如使齿轮转动，那么光束遇到齿缝就通过，遇到轮齿就隔断。齿轮的齿数是已知数，排列规整，根据转速可以计算光被阻隔的时间差。

测量过程：在光通过轮齿缝到镜片，再反射回来这段时间内，齿轮将转过一个角度，如果反射光被轮齿阻隔，观察者看不到光，再接着转，挡光的齿离开光的路径，光又能通过，观察者又看到光……以此类推，观察者看到的是闪光。当齿轮转到“一定”的速度时（不是越快越好），会达到这样的效果：每一次光穿过齿缝后返回时，都恰好被转过来的轮齿挡住，保持这个速度，观察者就看不到反射光。这时，根据齿轮转速 v 、齿数 n 、齿轮和镜片的间距 L ，可知光速 $c=4nvL$ 。

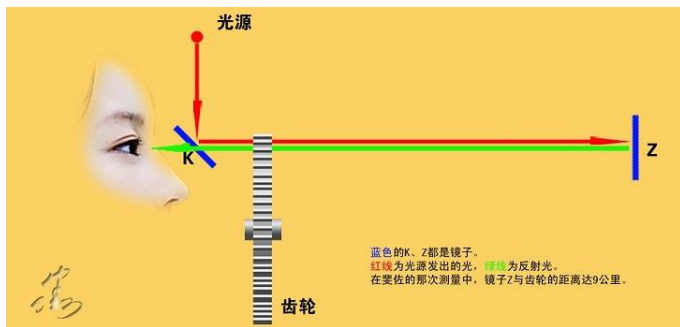
斐佐当时用的是 720 齿的齿轮，一秒钟内转动 12.67 次时，光首次被挡住而消失。这就是说，光被挡住时，空隙与轮齿交替所需时间为 $1/12.67$ 秒，在这一时间内，光往返所经过的光程为 2×8633 米（现在知道齿轮与 Z 镜的距离有多远了吧）。根据上面的公式套一下：

光速 $c=4 \times 720 \times 12.67 \times 8.633$ （公里/秒） ≈ 315014 （公里/秒）

虽然跟现在的标准值差一些，但这是第一个用机械测光速的实验，有误差是因为轮齿有一定宽度，它挡光、移开需要一

点点时间，而这一点点时间，光已经跑很远很远很远了。

这个测光速的高招是怎样想到的，我们暂且不讨论，单说那个年代，反射镜片与齿轮相距近 9 公里那么远，手上只有镜片、透镜等简陋的工具，他们是用什么样的光源（那时没有激光），是用什么手段让光乖乖地沿着规定路线走，准确地穿过狭窄的齿缝再原路返回的？强就一个字，我再说一次！



【图 9.2】斐佐用齿轮测光速的原理图。

百川归海

说到光，我们就不得不提起另外两个家伙：电、磁。别急，咱很快就知道这是为啥。

虽然，人类知道电和磁的时间很长，但对它们之间的关系却一直很暧昧。

我们来看看磁、电学科发展的粗略时间表：

距今 2600 年前，古希腊思想家、科学家、哲学家泰勒斯闲来无事玩石头，玩着玩着，他惊奇地发现，有两种石头魅力四射，居然能吸引某些其他的物体，就像姐已吸引纣王那样。黑乎乎的那块石头，我们管它叫磁石；半透明的那块石头，我们管它叫琥珀。根据经验和直觉，泰勒斯推断，这说明它们内部有生命力。这个今天看起来很幼稚的结论，居然被人们相信了两千多年（或许更长），直到公元前 300 年，斯多葛派哲学家还以此来证明：世间万物因有生命而相互吸引。

距今 2400 年前,《管子》记载“上有慈石者,其下有铜金”,这是关于磁的最早记载。其后《吕氏春秋》提到“慈石召铁,或引之也”。东汉高诱在《吕氏春秋注》中谈到:“石,铁之母也。以有慈石,故能引其子。石之不慈者,亦不能引也”。瞧瞧,叫“慈”石,东西方不约而同把吸引物体这个现象与爱联系起来,磁石在许多国家的语言中都含有慈爱之意。人类用善意的憧憬去理解大自然,虽失主观之偏,却从浪漫中得到了精神的慰藉。

距今 2300 年前(或许更早),春秋战国时期,史上最著名的汤勺问世,它就是指南针的始祖——司南。司南用纯天然磁石打造,健康安全环保,样子像一把汤勺,可放在平滑的“地盘”上并保持平衡、自由旋转,停转时,勺柄指向南方。《韩非子》中就有“先王立司南以端朝夕”的记载。指南针作为中国古代四大发明之一,供我们这些不肖子孙反复骄傲了很多年。不过,对于司南的样子,历来就有争议。争议的原因是,用天然磁铁,确实可以打磨一把汤勺,但无论这把汤勺和“地盘”打磨得多光滑,它也不能指南或指北,因为天然磁石磁距小,底部摩擦总显得过大……所以,很多人认为,指南的司南也许有,但不会是这把汤勺。我们今天看到的司南,是学者根据史书的只言片语揣摩复原的。

距今 1500 年前,《武经总要》上传了名为“指南鱼制作全过程[申精]”的帖子,帖子云:将薄铁片剪成鱼形,烧红,将鱼尾指向正北,稍向下倾,入水,使鱼尾淬火,取出后铁片鱼就被磁化了。把它固定在可以水上漂的物体(八成是木头)上,使之浮在水面,就成为可以为我们指示方向的指南鱼。这是首例人工磁化的记载。1500 年后,广大斑竹经验证、研究认为,在当时的条件下,此方法十分科学可取,遂决定加精欣赏。古代劳动人民的智慧真是灿烂辉煌啊!

1600 年,英国著名医生、物理学家吉尔伯特在伦敦出版了

《论磁》，记录了磁石的吸引与排斥、磁针指向南北等性质，并断定地球本身是一个大磁体，提出了“磁轴”、“磁子午线”等概念，开创了电学和磁学的近代研究。他第一个称电吸引的原因为电力。他认为电与磁是有本质区别的两种不同现象。

1777年，牛顿之后英国最伟大的科学家之一，亨利·卡文迪许提出，电荷之间的作用力可能呈现与距离的平方成反比的关系。卡文迪许是当时富翁里最有学问的，也是学者里最有钱的，这家伙很古怪，比如他买股票矢志不渝只买一支，比如他羞于见人，听到赞扬时会落荒而逃，比如他发现或预见到了能量守恒定律、欧姆定律、电传导定律等等N多如雷贯耳的定律，但都不发表，也没有告诉别人，结果……

1785年，法国物理学家查利·奥古斯丁·库仑通过实验确立了电力的平方反比定律——库仑定律（看看卡文迪许的发现，唉，谁让你做了不说）：两电荷间的力与两电荷的乘积成正比，与两者的距离平方成反比。这是静电荷间相互作用力的规律。此后，他又证明：同样的定律也适用于磁极之间的相互作用。这是电学发展史上的第一个定量规律，从此，电学的研究，由定性阶段跃升到定量阶段。

1786年，意大利医生和动物学家伽伐尼在实验室解剖青蛙，刀光、血迹、尸体……青蛙已死去多时。真是一个恐怖的画面。接着，更恐怖的事发生了：当刀尖碰到蛙腿神经时，蛙腿突然痉挛起来，同时出现电火花（罪过啊罪过——！）。诈尸？！NO！伽伐尼认为，这是由于动物体上本来就存在的电引起的，他把这种电叫做“动物电”。这个偶然发现，引出伏打电池的发明，and 电生理学的建立。

1800年，伏打发展了伽伐尼的实验，他让不同的金属相互接触，惊奇地发现，金属不仅可以导电，还可以生电！伏打说：在伽伐尼的实验里，金属才是电的始作俑者，蛙腿是神经受电而动。接着他又发现，金属接触某些液体时，也会产生电流。

他把几对黄铜和锌做成的电极连接起来，浸在盐水里，就有电流产生。最原始的电池问世了！这是人类的神奇发明之一。想想看，世上如果没有电池，我们的生活会有什么不同？当然，这些都是后话了，伏打电池发明初期的作用也非同小可，此前，科学家进行电流研究，用的大都是静电，有了伏打电池，就有了持续电流，大大推进了电学研究。为了纪念伏打的贡献，地球人用他的姓氏命名电压的单位，“伏特”（就是伏打），简称“伏”。伏打不仅高度肯定了伽伐尼的工作，还把伏打电池叫做伽伐尼电池，电池里引出的电流称为伽伐尼电流。一是一，二是二，名利于我如浮云，令人佩服啊！

1820年4月，丹麦物理学家、化学家、重视科研和实验的优秀人民教师奥斯特在一次讲演快结束时，抱着试试看的心里，加演了一场实验。他拿起一根细细的铂金丝，放在一个小磁针上方，给铂金丝接通电源，小磁针居然为之一动！这微微的一动，让奥斯特的心狠狠地动了几下，一失足成千古跤。但是，在场的观众都只注意到小奥的这一跤，却没注意到小针的那一跳，因为它跳动得太微弱。小奥又用了三个月时间，反复实验，7月21日，写了一篇实验报告：《关于磁针的电流撞击实验》，虽然这篇报告仅4页，但结论不少：

电流的作用，只存在于导线周围。

只要在电流周围，磁针都会偏转。但该作用对铜或其他一些材料做的针无效。

在导线上方和下方，磁针偏转的方向相反。

该作用可以穿过各种不同的介质。比如：木头、玻璃等非磁性物体。隔块铁就不灵了。

该作用沿着螺纹方向垂直于导线。

作用的强弱，不仅取决于电流的强弱，还取决于介质、距离的变化。

通电的环形导体相当于一个磁针，具有两个磁极……

这篇简洁的报告发表后，在欧洲物理学界产生了极大震动，导致了大批实验成果的出现，两个月后安培发现了电流间的相互作用，阿拉果发明了电磁铁，施魏格发明了电流计……物理学开疆扩土——电磁学诞生了！为了纪念小奥，从1908年起，丹麦以“奥斯特奖章”表彰做出重大贡献的物理学家；从1934年起，地球人把磁场强度的单位定为“奥斯特”，简称“奥”；从1937年起，美国以“奥斯特奖章”表彰贡献突出的物理教师。

1821年，英国物理学家、化学家、改变了人类文明的科学巨匠法拉第隆重出场，他的见面礼是一项重大发明。法拉第根据电磁效应，成功地发明了一种简单的装置：只要有电流通过线路，线路就会绕着一块磁铁不停地转啊转。您看出来，法拉第发明的其实是地球上第一台电动机！

按：科学发现千头万绪，又环环相扣，关系千丝万缕，只因理越真，根越深，万物于根不可分。一起说，逻辑一定乱；分开说，急得团团转；要是中间有插曲，一曲肝肠断……虽然，在浩瀚的科学天空里，我们只是要浏览璀璨的星际一隅，但置身其中，也是风光无限，目不暇接，取舍之间，柔肠百转——翻译成白话文就是两个字：纠结。在这篇文字里，我们所看到的每一位科学家，其故事都足够写上厚厚一本甚至几本书，他们的传奇不亚于任何一部精彩的小说。但是，我们在这里要了解的，主要是科学理论。真的很遗憾，出现在这里的牛人太多，我们不能一一介绍，更不能一一立传。然而，指有长短，山有高低，牛人里面有巨牛人，有的科学家不介绍一下，即使老天不发飙，俺自己也会良心难安、长夜难眠。所以，当您在奔涌浩荡的科学发现之海中畅游，正行云流水、意气风发间，面前却横亘一座牛人轶事之岛时，千万不要感到突兀，俺也是被逼的，不说不行啊，那就携手上岛旅游观光吧！法拉第正是其中不得不说的一位。

法拉第出生在一个铁匠家庭。因家境贫寒多舛，他只能读

到小学二年级。9岁时，父亲去世，他只能自谋生路，到文具店打过工，当过报童，勉强活了下来。

如果用两个字来形容少年法拉第，最合适的应该是：饥渴。

虽然食不果腹，但他绝不放过任何学习的机会。对知识的饥渴，超过了对饮食的饥渴。

13岁时，小法拉第得到一份为印书作坊订书的工作，虽然活多钱少，但法拉第却如鱼得水，要知道，他装订的不是稿纸，而是梦寐以求的书啊！于是，他总是超额完成装订任务，然后便一头扎进书的海洋……

天才+勤奋=成功？不，上帝决不允许成功的等式如此简单地成立，否则，这个强人辈出的世上，将会出现很多上帝！

对自然好奇不已的法拉第，在书山丛林中，独自猎取了丰富的科学知识，《大英百科全书》中的电学文章，他如数家珍。但这一切，都只是攒了一身装备而已，战场在哪？出路在哪？

幸运，成功等式的又一个重要因子。这一天，印书作坊的一位顾客听说法拉第热爱科学，就把一张通俗化学讲座的入场券给了他。讲演者是皇家科普协会教授、皇家学会会员（后来的主席）戴维。

汉弗莱·戴维，举世闻名的英国化学家，他的贡献很多，列举起来恐怕又是一篇长文，只说他发现的元素吧。我们知道，居里夫人因为研究、发现、分离了两种元素：镭、钋，分别获得了诺贝尔物理学奖和化学奖，而戴维发现和提取了钾、钠、镁、钙、锶、钡、硼等诸多元素，是化学史上发现新元素最多的人。可惜那时没有诺奖。但是，在英法开战期间，敌国皇帝拿破仑举行了盛大的仪式，表彰了戴维的科学贡献。这种殊荣，在科学史上大概是绝无仅有的。

法拉第拿着入场券，不是去听讲座，而是去朝圣。他几乎记住了讲座的每个字，整理了笔记……此后，法拉第成为戴维这颗科学巨星最忠实的粉丝。

一天，戴维在疯狂的工作中病倒。前来探病的名流显贵络绎不绝，以至于医院不得不挂出公示板，每天公布戴维的病情。一个稚气未脱的装订工，此时此刻，又能做些什么呢？

这时，成功等式的另外两个重要因子——智慧和勇气派上用场了。法拉第运用自己的谋生技术，把整理好的戴维讲演笔记装帧成一本 368 页、图文并茂的精装书，名曰《戴维演讲录》，送给戴维——他心中的圣者，作为祝福礼物。还附上简短的信：

我是印刷厂的订书徒工，热爱科学，有幸恭聆您的四次演讲。现将笔记呈上，以为圣诞薄礼。若蒙您栽培，将不胜感激之至。

——法拉第

戴维身世虽比不上法拉第那么惨，却也是苦孩子出身，少年丧父，坎坷凄凉。法拉第求学的恳切之情令他感慨。感动+同情+欣赏=接受。戴维把法拉第收入门下，作为助理和仆从。法拉第开始只是做些为实验室洗瓶子之类的杂务，收入还不如装订工，但他仍是喜出望外——可以接触更多与科学相关的工作，学习环境也远非往日可比。

戴维很快就发现法拉第天赋超群，让法拉第参与的实验逐渐增多，甚至放手让他独立工作。温润的土壤催开了天才的生命之花，这是一朵灿烂的报春花，它开启了人类科学的又一个春天。

法拉第的成果遍布化学的各个领域：获得了液态氯；冶炼出不锈钢；研究了银化合物与氨的反应；分离出多种有机物，最有名的是苯；发现了电解当量定律。这些成绩，对于一般科学家，得其一，便足傲一生了。但对于法拉第这个大厨而言，这只是几碟小菜。他为人类推出的重磅大餐，是在物理学中，电磁学上的伟大贡献（此处删去 5 万字）。法拉第对电磁学的贡献，相当于伽利略对经典力学的贡献。

当然，其中过程照例不会风调雨顺。不知哪位牛人说过，

老天很会开玩笑，他在送你一个大礼物时，总会用重重困难做包装。但对法拉第的这个玩笑，有点开大了，最难解的一个包装，竟然是他的恩师戴维！

戴维老师不幸染上了害人害己的常见顽疾：嫉妒。这一病很要紧，他足足压制了法拉第 10 年之久(此处又删去 5 万字)，法拉第被迫放弃了专长的电学，转向无兴趣应用科学，取得了上述那些小菜成果。

这一令人痛心的情节，一直上演到 1829 年 5 月，戴维老师去世。

1829 年 7 月 4 日，法拉第致函皇家学会，要求回到自己专长的领域。1831 年，电磁学领域王者归来，是时，法拉第年已不惑。那白白流淌的 10 年黄金岁月，天才的法拉第会在他专长的领域做出何等贡献？谁也无法估量。

成就法拉第，是戴维一生最大的亮点；压制法拉第，是戴维一生最大的污点。可见，嫉妒不仅是被嫉妒者的不幸，更是嫉妒者的不幸。但，瑕不掩瑜，谁也无法忘却戴维的伟大科学贡献。

人们说：戴维最伟大的发现，是发现了法拉第。



Michael Faraday.

【图 9.3】法拉第

法拉第一生谦逊谨慎，淡泊名利，他拒绝了许多大学赠予

他的各种名誉学位，多次谢绝了商人的高价聘请，就连大家提名他为皇家学会会长，以及女王授予他爵位这两件多少科学家梦寐以求的事，他也谢绝了。对名与利，想要就能唾手可得，那是牛人；唾手可得却弃之如敝履，那是神人！

好，让我们走出对法拉第同志的追思，看看他发明电动机以后，电磁学领域又发生了什么大事。

1827年，德国物理学家欧姆提出一个定律，还给出了关系式： $X = a/(b+x)$ 。 X 表示电流强度， a 表示电动势， b 是电源内部的电阻， x 为外部电路的电阻。

这就是著名的欧姆定律（唉，卡文迪许）。但欧姆当时默默无闻，大家用怀疑的眼光看了看这个发现，就扔到回收站里去了。4年后，一位叫波利特的科学家发表了一篇论文，同志们家一看论文的结果，突然想起回收站里扔着一篇类似的东西，翻出来一看，结论一模一样！于是科学界对欧姆刮目相看。从此，电阻单位的名称就叫“欧姆”。可见有了什么东东及时让大家知道是一件多么重要的事——当然有了情夫的孩子除外。

还是1827年，法国化学家、物理学家安培发表了著作《电动力学现象的数学理论》。他通过一系列实验，得出一系列结论。他发现通电的线圈与磁铁相似，于是电磁铁诞生了。他还八卦了电与磁的暧昧关系，比方说，电流方向、电磁场方向与相吸、相斥的关系。他窥见，电一运动，就有了磁。而电流是怎么运动的呢？他说，电流从分子的一端流出，通过分子周围空间，由另一端补入，这就是著名的分子电流假说。对于铁为什么会被磁化，他解释道：铁分子内存在永恒的电流环，这些电流环具有磁性，但它们方向凌乱，就像一群内斗不休的国民，每个人都拼命阻止别人发力，功力就这样内耗了，因此在一般情况下，宏观的铁块不具备磁性，但是，外部磁场能够让铁分子的电流环磁性方向一致，从而让宏观的铁块显现出较强的磁性。他还导出了两个电流元之间的相互作用力公式。分

子电流后来被称为“安培”电流，电流的单位就叫“安培”了。

1831年，这是个光明的年度，人类一脚踏进了新的文明。我们长话短说，这事，说起来话就长了。奥斯特发现电流可使磁针偏转后，天才们集体闪出灵感的火花：电力能产生磁针偏转这样的机械力，那么，机械力是不是也能变回电力呢？既然大家都往一个方向跑，那么剩下的事，就看谁先撞到终点那根华丽丽的线了。

安培下手比较早，各种实验，但根本的实验思想错误，无法成功。这不要紧，因为很多人也没有成功。

不过，有个人差点就成功了。

他的手已经搭上了成功的边缘，却随即跌入失败的深渊。不过，这种事多了去了，不算什么，狗血的是，这个动作他重复了N次，而失败的原因，竟然是他跑得不够快！

科拉顿。1825年，他把一块磁铁插入绕成筒装的螺旋线圈里（这种配置，大家想必十分的熟悉了），线圈连接着一只灵敏的电流计。记住，是“灵敏”的电流计哦！

让磁铁在线圈中运动，或许能产生电流。他想。

我们都知道，他想对了。

但他想多了——为了避免磁铁移动时，对电流计产生影响（都是“灵敏”两个字害了他），他把电流计放在另一间房里。

于是，实验过程如下：

科拉顿先动一下磁铁，然后跑到另一间房里看看电流计指针。你晓得，他一定看见指针老老实实地呆在在0刻度，好像要憋着100年不变。

我们知道，磁铁动时，有电流，指针会动一下，但磁铁停下来，电流消失，指针就回到0刻度。

因此，科拉顿有几个方案可以成功：

一是把电流计放在实验室里实时观察；

二是找个助手配合自己实时观察；

三是搞个滑轮拉线装置，在电流计屋里拉线，牵动实验室的电磁铁；

四是跑得比指针还原位置的速度还快。

很显然，前三种方案都是简单可行的。但科拉顿不知哪根筋错了位，偏要选第四种方案！要知道，这是兔子和猎豹也无法完成的动作啊！意料之中的，他跑不过指针。所以他看不到指针偏转。

于是他认为，没有电流产生。遂擦汗认输。

杯具啊！在人类实验失败史上，还有比这更让人吐血的事吗？

把这么大篇幅用在一个失败者身上，是因为，在通往成功的道路上，由于主观的、客观的、偶然的、必然的、正常的、失常的种种原因，倒下了太多的天才，他们勇于探索的精神，是人类前进的原动力，他们失败的教训，成功者迈过陷坑的垫脚石，他们前赴后继冲向目标的身影，是成功之路最瑰丽的背景！同成功者一样，他们，也是真正的英雄，在膜拜成功者的同时，我们也应该向这些无名英雄致敬！

6年后，重返电磁王国的法拉第设计了一个实验，实验装置与科拉顿的差不多，就是让磁铁穿越闭合线路，最大的区别是，法拉第把电流计放在自己身边。于是，磁铁一动，电流计指针也跟着动，法拉第看见了，确定了。这个效应叫电磁感应。

1831年8月29日，请记住这一天，发电机的生日。

法拉第趁热打铁，两个月后，试制了能产生稳恒电流的第一台真正的发电机。废话少说，人类从蒸汽时代一脚踏进了电气时代。

由于这个贡献，有人认为，法拉第对人类的贡献，从实用性、直接性上说，应该名列前茅，像发明青霉素的弗莱明。直到今天，不管是风力、水力、火力发电，还是潮汐力、原子能、热能发电，发电机的基本原理仍如百年前一样：运动的闭合导

体和磁铁。

法拉第去世后，有人提议停电三天向法拉第致哀，这完全可以理解，可惜实现不了。因为斯时，人类已不可一日无电。动不动就停电的行为，是落后的、可耻的、不能容忍的。

1837年，也是法拉第，提出电场和磁场的概念：电和磁的周围都有场的存在。

这些概念乍看起来不起眼，但一琢磨，其意义非同小可。从此，人类开始认识到，看不见、摸不着，但能够左右物质行为的“力”，其本身也是一种特殊的物质。

电场、磁场与普通物质不同，它们不是以分子、原子等形式构成，但它们与普通物质一起，低调地而给力地客观存在着。它们是物质相互作用的媒介：电场力对电荷做功，磁场让磁体们相互作用。而我们都清楚，电荷、磁体无处不在。

除此之外，它还意味着一个挑战：既然电场、磁场都是客观存在的物质，那么，牛顿同志的“超距作用”思想，就应该下台了。所谓超距作用，是指相隔一定距离的任意两个物体，它们之间存在相互作用，这种作用是直接的、瞬时的，不需要任何媒质传递，也不需要任何传递时间。

法拉第通过对磁力线（据说他是用一张纸悬在磁铁上空，纸上撒细铁粉，轻轻震动纸，铁粉会顺磁力线排列，这就“看见了磁力线”）的研究，指出：这些力线不是直线，而是曲线，超距作用只能是直接的，不可能以曲线的形式存在；导线自身运动，不会产生电流，它必须在磁铁周围的一定范围内，才能产生电流，这说明，力不是超距的，至少磁场、电场力证明了这一点。

后来，法拉第居然相信光和电磁有某种联系，甚至，他猜测，磁力的传播速度，可能和光的速度有一拼（只要有速度限制，无论它多快也不是超距作用）。

天才啊！

虽然牛爷也对“超距作用”表示过怀疑，但他的万有引力定律却结结实实地引入和支持了“超距作用”思想。也就是说，要动“超距作用”，就得动以牛爷理论为核心的经典力学的根基！不得了，了不得，居然有人向天规神谕般的牛顿力学挑战？！

1838年，还是法拉第，提出电力线的新概念，他用虚拟的有向曲线，来描述电场分布。形象直观地解释了电、磁现象。这是物理学理论上的一次重大突破，也是法拉第超强形象思维的又一次充分体现。

1843年，仍是法拉第，用有名的“冰桶实验”，证明了电荷守恒定律。

实验装备：

铁皮冰桶一只。放在绝缘体上。

金箔验电器一台。倍儿灵敏的那种，用导线连在冰桶上。只要冰桶带那么一丁点儿电，验电器上的金箔就会张开。

用丝线吊着的小黄铜球一枚。让小黄铜球带电。为啥要用丝线吊着？是因为丝线绝缘，你要是觉得不爽，可以换个塑料柄。

OK，万事俱备，开始试验。

把带电小黄铜球缓缓吊进冰桶，我们发现，随着小球的深入，验电器的金箔逐渐张开，张开到某个角度时，金箔不动了。小球继续深入，但金箔的张角毫无变化。直到小球碰到桶壁上，小球的电转移到冰桶上，金箔也没有反应。好吧，算你狠，hold住了。

这说明，小球所带的电量，对箔片只能造成这么大的张角。

如果我们在小球碰到桶壁前，就把小球吊出冰桶，那么，电也随之而去，金箔就还原到闭合状态。

上述结果，与冰桶里装没装什么别的东西通通无关。

这说明什么呢？这说明，电荷可以转移变动，但不会无中生有，也不会有化为无，总量守恒。

1852年，又是法拉第（是你是你还是你，就是对法拉第唱的），引进了磁力线的概念，和电力线类似地，他用曲线来描述磁场。

磁力线也是有方向的。磁铁周围的磁力线，一律从N极出来，绕场半周，进入S极。

磁力线上每个点的切线方向，都和这点的磁场方向一致，想起微积分部分里的炮弹轨迹没？

如果把小磁针放在磁铁附近的某个位置，它会指向哪个方向？

根据同性相斥、异性相吸的原理，当然是北极指向磁铁S极，南极指向磁铁N极了！

这个答案基本正确，但不准确，也不完全。

如果我们把这块磁铁的磁力线画出来，把小磁针摆在随便哪条磁力线的任何一点上，会发现，小磁针立场坚定，方向明确，总是和该点的切线方向保持高度一致，绝不口是心非，并且北极所指的方向，就是磁力线的方向。可见，磁力线的威信，真不是靠吹的。

磁力线概念的提出，为经典电磁学理论的建立奠定了基础。

法拉第还发现，偏振光通过磁场时，其偏振作用就会发生变化。这一发现具有特殊意义，它透露出一个信息：光和磁的关系可不一般！

法拉第同学最大的缺憾，是数学成绩不好，因为他基本没上过什么学，没有机会接受足够的数学训练。但是，他超强的形象思维能力，弥补了这方面的很多不足。电场、磁场这种看不见、摸不着、描述起来极其抽象的东西，用电力线、磁力线概念一表述，它就可以进入各种物理课本，甚至可供中小学生学习理解。更重要的是，这些概念是简洁的、科学的，为电磁学的建立奠定了基础。

这，堪称法拉第超强形象思维能力登峰造极的表演。

法拉第还提出了“力场”的概念。他认为，一无所有的空间是不存在的，包括月末我们的口袋，到处都充斥着物质运动的“力线”。所谓力场，是一种矢量场，场中的每一点，其矢量都可以用一个力来量度。从此，描述、解释力，有了一种简洁、形象、便捷的形式。

力场概念刚出世时，大家一看，这些条条道道太小儿科，没有尖端理论的样子，于是一度视之为随意涂鸦，鄙视如工资条，既不经看，也不经用。但随着时间的推移，人们惊奇地发现，那些看不见、摸不着、神秘无比、高深莫测的力，居然如此真实地与这些线条吻合起来。换句话说，用这些线来表示、解释、计算、预言力现象，更直观、更便捷、更顺手，用了都说好。

力场是最重要的科学概念之一，它不仅奠定了电磁学的基础，还成为现代物理学的重要基石之一。物理中的三大场：磁体在磁场中受力；电荷在电场中受力；一般物质在力场中受力。

法拉第的理论为当代物理学中的诸多进展开拓了道路，其中包括麦克斯韦方程。力场成为物理学家的灵感之源，他们纷纷用力场来描述引力理论，甚至弦场论。

爱因斯坦高度评价法拉第的工作，认为他在电学中的地位，相当于伽利略在力学中的地位。……

接下来，就是本文的第二位超级牛人——麦克斯韦的时代了。

话说1831年11月，法拉第制造出世界上第一台手摇发电机。手摇柄带动一个铜盘，在磁铁两极间转动，铜盘边缘和圆心各贴紧一个铜电刷，用导线接在电表上。OK。

当他在英国皇家学会展示这个其貌不扬的小怪物时，一位贵夫人忍不住问他：“这玩艺能有什么用呢？”从发梢到脚尖都是疑惑。

法拉第彬彬有礼地答道：“夫人，新生的婴儿又有什么用处

呢？”

是的，没人能预测婴儿的未来，也许百无一用，也许改天换地。谁能料到，那台简陋到让人生疑的发电机，开启了人类的新文明呢？

1831年11月13日，苏格兰爱丁堡的乡下，降生了一个婴儿，虽然无法预料婴儿将来会怎么样，但所有的父母都对孩子寄予厚望。他家也不例外。何况，他的家境还不错——地主。他的父母都受过良好的教育，面对这个新生命，他们一致通过一项决议：教育从娃娃抓起。

娃娃的名字是：詹姆斯·克拉克·麦克斯韦。父母总是喜欢大胆畅想孩子的将来，虽然胆子一个比一个大，但这孩子的将来，远远超出了麦爸麦妈的想象力，居然成为可与牛顿比肩的人物，彪炳史册，光耀千秋。何止是光宗耀祖，何止是为国争光？他与全人类同在！

麦克斯韦小时候，由母亲教他读书，知识渊博的父亲也不失时机地引导他，而小麦过人的天分和对学习的兴趣，让这一过程和谐圆满。

不完善的万象万物，才能构成完美的整个宇宙。所以老天是仁慈的，也是冷酷的，赐予时，慷慨无私，夺取时，不容置疑。在小麦8岁时，肺结核夺走了母亲48岁的生命。刚刚懂得幸福滋味的小麦深受打击，性格开始变得孤僻、内向起来。

幸好，能干的父亲不仅机械设计专业干得好，家里的活都拿得起来，甚至能设计裁制服装鞋帽，心灵手巧，细致耐心，责任感极强，又当爹又当妈。父子相依为命，形影不离。小麦深受麦爸的影响。

两年后，麦爸把10岁的小麦送到爱丁堡公学读书。

乡下的孩子进了城，难免要受到孩子们的冷落、嘲笑和孤立，小麦在冷眼中学习，在抗争中提高，拳头与眼神齐飞，智慧与意志同在，就是不低头。

当然，“全校公敌”不止小麦一个，还有坎贝尔和泰特，这仨孩子同病相怜，成了朋友。

还是老一套：天将降大任于斯人也，必先……老天不会让谁白捡便宜，也不会让谁白受委屈。委屈的他们后来都出息了，坎贝尔是古典文学学者，泰特是数学和物理学家。当然，这是多年以后的事了。先说眼前的事，瞧，小麦升到中年级了。

扬眉吐气的机会终于到了！学校设了个擂台——当然不是打架用的，而是 PK 智慧，数学和诗歌比赛。小麦一出手不要紧，一下子独揽了两项大奖。同学们的下巴都掉地上了：这个又土又凶的傻帽居然是个才子！

小麦偏爱数学和物理，麦爸老早就发现小麦很有数学天赋。而这个天赋，居然是从美术课上发现的。一次，麦爸教小麦静物写生，面对插满金菊的花瓶，小麦刷刷点点，很快挥就。好奇的麦爸凑过去一看，这线条，是有多简洁啊：花瓶→梯形；菊花→圆圈；叶子→三角形。图形准确，还有空间立体感。麦爸当时就把培养一个画家的梦想，改成了培养一个数学家。先教几何，后教代数。天才总是不同凡响，很快，小麦的数学成绩就超过了学校教授，当然是数学教授。幸亏小麦当初没把花画成面包圈，否则麦爸会培养出一个超级巨厨。

十五岁时，中学没毕业的小麦独立发现了次多面体，还写了篇论文，讨论二次曲线的作图问题，这种曲线，最早是天才的数学家笛卡尔发现的，他也给出了该曲线的绘制方法，不过，小麦用了不同的办法，十分巧妙，被慧眼识珠的《爱丁堡皇家学会学报》看中并发表。这可是最权威的学术报刊啊！麦爸十分的骄傲。

这篇论文让小麦跻身爱丁堡学术界，结识了这个圈子里的牛人，见识大增。

1847年，16岁的小麦考入苏格兰最高学府爱丁堡大学。班上，他年龄最小，学习最好，尤其在数学和物理上，才华横溢。

更让人羡慕嫉妒恨的是，学成这样，他居然还有大量时间读课外书。不仅用三年的时间完成了四年的学业，还捎带着学了很多课业以外的知识。

1850年，19岁的小麦来到剑桥。

剑桥大学，真正的顶级品牌。顶级大学区别于顶级工厂的最显著特征是：产品个个都不同。

小麦到这里很好地保持了风格，第二年便考取了奖学金。按照规定，获得奖学金的学生在同一桌吃饭——这是高才生相互结交的绝妙机会。

和高人交流思想，你就有望成为高人；总是和高人交流思想，你就是高人。

在剑桥的高才中，有一个光芒四射的学术团体：使徒俱乐部，会员数以耶稣的门徒数为限，12个，一个都不能多。只有高才中的高才，才有资格跻身其中。

这和金钱地位、家庭出身、本人成分、民族国籍、政治面目、老爸是谁全无瓜葛。小麦卓尔不群的才华倾倒了“使徒”们，他们吸收小麦为会员。

其实，小麦并不是一个善于交流的人，他的思维天马行空，语言跳跃性强，从一个论题到另一个论题，往往没有过度 and 转折，是用跳的。甚至是用穿越的。

因此，他的思想自己清楚，但表达出来，却前言不搭后语。比方说，数学问题论战正酣，我们麦先生会突然冒出一个全不搭边的问题：“活猫和活狗摩擦可不可以生电？”听他说话，就是一个字：累。

但是，小麦出众的才华、惊人的想象力、敏捷的思维、讥诮的诗句却迷住了剑桥的才子们。不怕交流有困难，就怕没啥可交流！所以，这个交流困难的会员，居然颇受欢迎。

高人的眼光就是高啊！这个会员后来成为使徒俱乐部的骄傲，他们因他而流芳千古。

眼光高的不只有俱乐部的高才们，剑桥大学教授、地球物理学家、著名数学家霍普金斯也独具慧眼。

这一天，霍教授去图书馆借一本书，不料到图书馆一查，一个学生已捷足先登，借走了。借书本身并不奇怪，奇怪的是，居然有学生能借这本书。这是一部深奥的数学专著，一般的学生不可能读懂——即使是剑桥的学生。

经查，该生名叫麦克斯韦。霍老师满怀好奇地找到小麦，发现小麦同学正在埋头狂做笔记，不是一般的勤奋。刚要表扬一句，却发现他的笔记一团糟，不是一般的乱！于是，霍教授对这个乍看不一般，细看更不一般的学生说道：“年轻人，要是没有条理，你永远也成不了数学物理学家。”

小麦被霍教授收入门下，成为霍普金斯私人班级的第 15 个入门弟子，吃上了小灶。有才，还求才、识才、爱才、育才，这才叫教授，教授云集之所，名校也；贪财，便求财、识财、爱财、索财，还劫色，那是叫兽，叫兽云集之所，名利场也！

霍教授的鼎鼎大名既非自封，也非官封，人的实力和业绩到了一定程度，名声就不请自来。他不仅自己学识渊博，还有办法让学生超越自己。他的班，就是数学强人制造厂，门下牛人辈出，随便举几个例子：

汤姆逊，热力学的主要奠基者之一，电磁学的先驱，举世闻名的物理学家开尔文勋爵，后面会驾着两朵乌云出场。

斯托克斯，成就不说了，他是继牛顿之后，任剑桥卢卡斯座教授、皇家学会书记、皇家学会会长这三项职务的第二个人。

凯利，不变量理论的奠基人， n 维空间概念的提出者，矩阵理论的先驱。

桃李芬芳啊！手下不断出大师，就算打死你也不承认，你也是大师。

霍教授帮小麦同学改掉了没有条理的坏习惯，培养小麦同学严谨的作风——这是一名数学家所必备的。数学是解决问题、

认识世界的工具，霍教授循循善诱地把这一思想植入学生的灵魂。

小麦还参加了数学强人斯托克斯的讲座，这位师兄对他帮助颇大。

天才有了名校、良师、益友，自己又如此勤奋，坐拥天时地利人和，想不出成绩都难。不到三年，小麦就掌握了当时所有先进的数学方法，霍普金斯称小麦是他学生中最杰出的一个。

1854年，23岁的小麦毕业后，留校任职：三一学院研究员。开始，麦研究员研究的是光学上的色彩论。一天，他的一不留神读了法拉第的《电学实验研究》，这一读不要紧，法拉第和电学瞬间把他迷住了。

天才对科学的魅力毫无免疫力。所谓秒杀。

所以，他们对科学具有超强的悟性力——只有钻进去，才能悟出来。

当时，人们对法拉第的理论颇有非议，最主要的原因是，法拉第的理论与经典力学暗含的“超距作用”思想相冲突。

牛爷岂是好惹的？光学只能算是牛爷的副业，在波粒大战中，他都能单挑胡克、波义耳、惠更斯等牛人。现在，你在牛爷的主营业务——力学头上动土，这还了得？

一位天文学家、牛爷的粉丝说：“谁要是在超距作用和模糊不清的力线观念之间有所迟疑，那就是对牛顿的亵渎！”瞧瞧，不要说相信法拉第的学说，就算迟疑一下，也是罪过！

虽然法拉第很牛，理论都有实验支持，并且大家都用着发电机的电，但是，几乎所有人都呼啦一下子站到牛爷一边。什么叫不由自主？这就是情不自禁！习惯了。

在这种氛围下，就算是明眼人，也容易偏风被迷了眼。

但是，有一种人，眼睛永远是明亮的，他们思维敏锐，不拘古法，笃信事实，只求真理，无惧权威，卓尔不群。我们的小麦，正是其中杰出的代表。

麦克斯韦认真地研究了法拉第的著作后，他感受到力线思想的宝贵价值，法拉第超强的想象力、形象的思维、巧妙的方法、精准的实验、切合实际的理论、不容置疑的成果，都让小麦一见倾心。

同时，初具巨匠风骨的小麦，也敏锐地看到，法拉第在定性表述上，存在明显的弱点。

我们都知道，法拉第数学成绩不好，有人说，他是不懂数学的科学家中最杰出的，但也正是因为他不懂数学，导致聪明绝顶的他失去了与牛顿比肩的机会。

法拉第把他一生从事电学研究的实验成果，写成了三大卷、洋洋千万言的《电学的实验研究》，其中，需要用数学来描述的地方比比皆是，法拉第扬长避短，充分发挥用自己的形象思维能力，用巧妙的图示弥补了这一不足，这一手，科学史上无人能及。

小麦对法拉第的绝招相当拜服，它为我们带来了电力线、磁力线等巧妙、实用的科学成果。同时，小麦也认识到，图示毕竟只是图示，作为科学理论表述，它够直观、够巧妙、够人性，但，不精确、不严密、不给力啊！

从前文可知，在超距作用的问题上，虽然法拉第的解释很有道理，但是，缺乏严谨的数学推导和公式支持，这就是为什么那位牛粉天文学家用“模糊不清的”这个词来修饰法拉第的力线理论。

1841年，法拉第的师兄汤姆逊同学发表了第一篇论文，在电学方程和热流方程之间，建立了形式上的类比，可以通过代换，把某些电学问题，变成热学理论问题，而热学，是有数学支持的。这一招叫借花献佛，狠毒点也可以叫借刀杀人，借助热学中的数学方法，以类比为桥梁，搞定了电学中的某些数学问题。

1845年，汤姆逊提出了一个对电力线的精确数学描述。接

着，他首创了电像法；提出了用“弹性固体转动应变”，来类比磁力；把能量原理应用于电学……解决了法拉第理论的一些数学问题。

小麦睁开眼睛，从回顾中展望现实，年轻的双眸闪烁着大师的智慧光芒。

俯瞰电磁学的广阔土地，砖瓦、木材、钢材、玻璃、水泥、沙土、石块、器具……丰富而杂乱，这是一笔巨大的财富，足以建设一座新城，那将是一个崭新的王国！

吉尔伯特、卡文迪许、库仑、伽伐尼、伏打、奥斯特、欧姆、安培、汤姆逊……尤其是法拉第，为这个新区准备了丰足的建设材料，平整了土地、打好了桩基、盖好了工棚，甚至散落着几处像样的民居。可惜的是，这些工作不成体系。

就让我来当这个总设计师吧！小麦的工作得到了汤姆逊的鼎力支持，受益匪浅。1855年，24岁的麦克斯韦发表了他的第一篇电磁学论文——《论法拉第的力线》。

这篇论文也用了类比法，不同的是，麦克斯韦提出用“不可压缩的流体”来类比力线，比起师兄汤姆逊的类比，普遍性更强，能解决更多的问题。他还区分了磁感应力、磁力这两个矢量，使这个让很多科学家大伤脑筋的问题豁然开朗。

麦克斯韦用矢量微分方程描述电场线，从此数学与电学喜结良缘。力线概念有了精确的数学表述，法拉第直观的描绘上升到了理论的高度。

电磁王国宫殿的蓝图已经绘就，基础已经打好，下一步，就是构架主体框架了！展望前景，风光无限啊！麦克斯韦激情满怀，正准备一鼓作气，大展身手，然而，一阵敲门声打断了他的思路。

邮差。

他送来一封信，家书，却不是父亲的笔迹。一股寒意沿着脊梁袭满全身。父亲出事了？拆开信，他怀有侥幸的担心，成

为冷酷的现实。信是好心的邻居代写的，父亲病重，已卧床不起。

麦克斯韦从小失去了母亲，父亲一人担起了两个角色，既是良师，又是益友，感情之深，无法言表啊！在事业和亲情之间，麦克斯韦没有彷徨，他毫不犹豫地选择了后者：回去照顾父亲！

这是一个正常的决定，也是一个值得敬重的决定。要做事，先做人，连自己的亲人都都不爱的人，他会爱事业？他会爱某个组织？鬼才相信。

麦克斯韦离开了学术环境优越的剑桥，来到阿伯丁，这里离家近，便于照顾父亲。他在一所学院谋到了一个讲师的职务，教物理。

征得学院的同意，他先在家照顾好父亲，再去任教。

尽管麦克斯韦倾心竭力减轻父亲的病痛，想尽办法恢复父亲的健康，但在生命的凋零面前，一切都显得那样无能为力，挚爱的父亲最终还是撒手人寰。那是 1856 年，春季。

麦克斯韦深受打击，悲痛充斥着生活的每个角落。

阿伯丁的马里斯查尔学院欣赏麦克斯韦的才华，决定正式聘任他为自然哲学（物理）讲师，向他发出了邀请。

麦克斯韦犹豫了。无论从学术环境、生活环境方面，还是从收入、前途等各方面，阿伯丁与剑桥无法相提并论，慈父已去，留在这里已毫无意义。但，短暂的犹豫之后，他决定留下任教。只为了两个字：

诚信。

不仅要留下，还要尽力而为。人品，决定行动。

1856 年 11 月，25 岁的麦克斯韦来到了马里斯查尔学院，开始了物理讲师的生涯。

麦克斯韦才思敏捷，他的文章思路清晰，条理分明，逻辑严谨，看了都说好。但讲师是用“讲”的，站在讲台上，总不

能整堂课都让同学们欣赏吱吱嘎嘎连绵不绝的板书吧？我们知道，麦哥那随着敏捷思路闪电穿越的语言，连剑桥的高才们都难以理解，何况是这里的学生！

麦哥是个有自知之明的人。为了有个好的开端，讲好第一堂课，他花了很长时间，做了精心准备，包括练习放慢语速、理清层次等等。

但是，踏上讲台，一开口，就收不住了，思路如潮，语速随之奔腾跳跃，还带着家乡口音……两课时的内容，用一个课时就讲完了。学生们呆若木鸡，神马也没听懂。

一颗大汗从坐镇旁听的院长头侧滑落。下节课干嘛？总不能空着吧。麦老师很有办法——重播上节课实况。学生们纷纷表示受不鸟。

第一节课尴尬收工。

麦克斯韦痛下决心，刻苦练习发音、语速和讲解，见此情景，人们对麦老师勤奋敬业的精神所感动，包括院长和他的家人。院长的女儿玛丽帮了麦克斯韦的大忙，使麦老师的业务水平迅速提高，成为一名合格的讲师。

期间，神奇的爱情产生了。丘比特这孩子，总是在最不可能的时间出现。麦克斯韦这一年失去的春天，在冬天重新降临。阳光温暖起来。

无论怎么努力，麦克斯韦也当不成一名优秀教师。但他却是搞科研的奇才。在马里斯查尔学院，他对神奇的土星光环进行了研究，这是个天文学课题，跟电磁学一点关系也没有。

这个课题是拉普拉斯遗留下来的。拉普拉斯是法国数学家、天文学家，分析概率论的创始人、天体力学的主要奠基人、天体演化学的创立者之一。还记得吧，就是在波粒大战中，用微粒说分析光的双折射现象，批驳波动说，还设了个“光的双折射理论研究”奖的那个粒军大将。

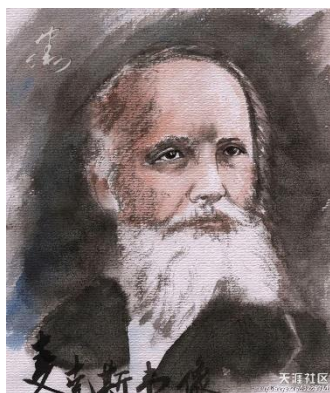
根据那时的观测，土星环貌似一整块固体环，很美很神奇。

1787年，拉普拉斯按照观测结论，把土星环作为刚性的整块圆环，进行了研究和计算。结果发现，如果让这个环保持稳定，不破裂、瓦解，那么，它在密度分布、引力平衡、转速等诸多问题上，必须满足十分苛刻的条件才行，任何细微的出入，都会让这个环分崩离析。

拉普拉斯的研究到此为止。1855年，人们又观测到一个新的暗环，还发现原来的环有分离现象，环的整体尺度，在发现以来的200年间，也有细微变化。它居然 hold 住了，没崩溃。

咦？！有的科学家提出，或许它不是一整块的，而是固体流体组成，如果感到固体和流体放在一起矛盾，想想沙子就 OK 了。

麦克斯韦着手这个课题，首先假定土星环是固体环，经过精密计算，证明无论在哪种情况下，这个环都必须瓦解——它不可能成立。然后，他假定土星环是固体流体，把其中的个体看成质点，也就是说，土星环由无数漂浮的质点组成。他根据这个思想建立了模型，强悍的数学能力得到充分发挥，他得出结论：光环的稳定，取决于这些“质点”在其轨道切线方向上所受到的力——一切向力。



【图 9.4】麦克斯韦画像，笔墨生疏，见笑了。

1857年，麦克斯韦的论文《土星光环》获得了剑桥的亚当斯奖。

1895年，他的理论被观测证实。土星光环的研究，提升了麦克斯韦的哲学、科学洞察力，锻炼了数理分析、技术分析能力，在科学上走向成熟。

利刃照影，寒星游弋。我已做好准备，剑出鞘，必改天换地！出鞘前，还有两件大事要做：后勤、后援。



【图 9.5】青年时代的麦克斯韦，帅呆了。

1858年，麦克斯韦当了新郎官，新娘就是帮助过他的玛丽。虽说新娘比新郎大7岁，但这不重要。重要的是，他们相爱，玛丽倾心支持麦克斯韦的科学事业，解除了他的后顾之忧。而麦克斯韦也深爱着玛丽。

1876年，玛丽患上神经性疾病，非常痛苦，麦克斯韦尽心尽力地照顾她。

1860年秋，马里斯查尔学院与别的学校合并，要裁员，麦克斯韦由于口才欠佳，被儿时好友泰特PK掉，失业了。不过，随后，麦克斯韦被聘为伦敦皇家学院教授。

秋高气爽。伦敦。一个阳光灿烂的日子。麦克斯韦拜访了法拉第。这是两个伟人的世纪之晤，这一见，具有划时代的意

义。他们性格、年龄、爱好迥异，一个活泼和蔼，一个严肃机敏；一个年近古稀，一个刚届而立，相差 40 岁。但这不仅没有妨碍他们的交流，反而相辅相成，高山流水。法拉第是实验探索的大师，麦克斯韦是理论概括的巨匠，简直就是绝配！

法拉第有大师的才能，更具大师的气度。麦克斯韦就《法拉第的力线》征求他的意见时，法拉第说：“我从不认为自己的学说就是真理，但你是真正理解它的人……你不应该仅限于用数学来解释我的观点，而应该突破它！”

知道怎么做固然重要，知道做什么，更重要。

法拉第的话像一盏明灯，照亮了麦克斯韦的前进之路。有名师指点，麦克斯韦信心百倍，立即投入电磁研究。

他首先建了个理论模型，以便更直观、更透彻地研究法拉第力线。在这个模型里，他引进了一种充满空间的介质，来说明磁力线的相关应力。

至于磁体，麦克斯韦把它描述成这样一个吸管：它不断地吐纳介质，这头进，那头出，周而复始，磁力线就这样产生了。虽然“介质吐纳”不符合事实，但作为一个数学模型，它成功地导出了正确的结论。有人称之为“以太模型”。

在分析介质性质时，他发现，把静电单位和电磁单位相除，可以得到一个具有速度纲量的常数。后来科尔劳施和韦伯把这两个电量值给测出来了。运算得到的常数值，居然接近光速值！太巧了吧？！

1862 年，麦克斯韦完成了论文《论物理的力线》。他阐述了“位移电流”概念，以及“以太模型”方面的探讨。

他把磁场中的转动这一假说，从寻常的物质推广到以太，提出磁场在以太中的涡旋电场概念。这个观念告诉我们，电这家伙，它不是只住在导体里的一种流体，而是充满空间的一种粒子，只不过，它的习性很奇特，在绝缘体（比方说空气啊塑料啊等等）里，它固定不动，而在导体（比方说金银铜铁锡啊

等等)里,它可以自由运动。这样,如果我们让导体里的电运动起来——也就是产生电流,那么,这些粒子就会带动它周围的涡旋转动,这个转动传给邻居粒子周围的涡旋,像齿轮那样,以此类推,运动面就无限扩大,就形成了力线……

通过流体的观察实验,麦克斯韦认为,磁涡旋间的微小粒子,与电完全相同。

位移电流概念的提出,在电磁学中,是继法拉第发现电磁感应后的又一重大突破。从理论上成功解释了法拉第的实验结果,发展了法拉第思想。

根据这个假设,麦克斯韦导出了复杂的方程组。这相当关键。我们知道,不管哪门科学,只有它发展到高峰,才有可能用数学公式作为定律。

1863年,麦克斯韦再接再厉,完成了《论电学量的基本关系》,宣布了与质量、长度、时间有关的电学量和磁学量的定义,引入了成为标准的记号。电磁学又向前迈出了重要的一步。

1865年,麦克斯韦发表了划时代的论文《电磁场的动力学理论》,完善了他的方程组,用这个方程组,他证明了世界上有这样一种东西存在:电磁波。现在,我们都知道电磁波的重大意义。他还导出了电场、磁场的波动方程……法拉第当年关于光的电磁论的朦胧猜想,经过麦克斯韦的精准演算,成为科学的推论。

麦克斯韦在数学上证明了,这些电力和磁力的产生,不是因为粒子有特异功能,相互之间凭空发生作用的结果,而是电荷和电流所产生的“场”相互作用的结果。

真是令人膜拜,我想破脑袋也想不出,他是怎样发现、并且居然是用数学来证明这些的。

人比人得死,头比头得扔,为了不死不扔,咱不比了!

麦克斯韦还发现,每一个单独的“场”,都同时携带电力和磁力,也就是说,电和磁,是同一个力的两个方面。于是,针

对这个力，和携带这个力的场，麦克斯韦说出了我们今天都非常熟悉的两个名词：电磁力、电磁场。

麦克斯韦方程预言，电磁场中存在波状微扰，并且以固定的速度行进，如同水面的涟漪。于是，麦克斯韦兴致勃勃地计算它的速度，算出电磁波的传播速度是介电系数和导磁系数的几何平均的倒数，一看得数，是一个惊人的巧合：这个波的速度居然等于光速！原来，几年前得到的那个值，不是一个巧合！

于是，麦克斯韦缓缓地爆出一个猛料：光，也是一种电磁波！

现在我们知道，麦克斯韦波的波长在 390-760 纳米之间时，它们就是可见光，我们在前面说过，光波长与人眼可见范围的关系，这次算是复习。

以可见光为界，波长较短的不可见波，有紫外线、X 射线、伽马射线；波长较长的不可见波，有红外线（小于万分之一厘米）、微波（1 厘米左右）、射电波（这个很长，从 1 米到几公里或更多）。

电磁波还有一种奇异的特性，它们由于运动还可以改变波长，也就是可以相互转换，你变成我，我变成你，这个问题，我们在后面一定会遇到，此处暂不讨论。

现在我们明白了，原来光、电磁波是一回事，只不过波长不同、效应不同罢了。另外，咱们还明白一件事：不管波长长短，它们的速度相同。这一点至关重要。

这一年，麦克斯韦辞去皇家学院教授之职，回到家乡，系统总结自己在电磁学上的研究成果。

1873 年，这是科学史上光辉灿烂的一年。麦克斯韦的《电磁学通论》横空出世。他更为彻底地应用了拉格朗日的方程，推广了动力学的形式体系。

麦克斯韦在这部经典著作中，系统地总结了 19 世纪中叶前后电磁学的研究成果，包括吉尔伯特、卡文迪许、库仑、伽

伐尼、伏打、奥斯特、欧姆、安培、汤姆逊，特别是法拉第等人的巨大贡献，更为细致、系统地概括了他本人创造性的工作成就，建立起完整的电磁学理论。

这部巨著非同小可，可与牛顿的《原理》（力学）、达尔文的《物种起源》（生物学）相提并论。从此，物理学的广袤大地上，在傲然挺立的力学大厦旁，灿烂辉煌的电磁学宫殿拔地而起，与之比肩！

这一年，电磁王国的总设计师 42 岁。

麦克斯韦的四元方程组，可以准确地描绘电磁场的特性，及其各种相互作用的关系，它最大优点，就是通用、好用——在任何情况下都好用。

描述：它高度概括并准确描述了电磁学理论。

证明：已经有的理论，用它能推导和证明出来，包括以前所有的电磁定律。

求解：以前没解决的问题，也能用它推导出答案。

预测：以前不知道的东西，或者理论、定律等，它能准确地预言，比方说，可以证明出电磁场的周期振荡的存在。这种振荡叫电磁波。用方程就可以算出，电磁波的速度接近 30 万公里/秒，而用不着任何测量仪器。麦克斯韦注意到这个得数与光速一致，由此得出光本身是一种电磁波的结论。

因此，麦克斯韦方程不仅是电磁学的基本定律，也是光学的基本定律。也就是说，用它可以推导出光的所有定律！这是人类在认识光的本性方面的又一大进步。光学和电磁学的统一，是 19 世纪科学史上最伟大的综合之一。

由于那时，麦克斯韦已经很有名气，他的《电磁学通论》一出，迅速被科学界人士抢购一空。

但很快，买书的人发现一个大问题：看不懂！

是啊，电荷、电流、电磁等东西本来就看不见，很抽象，麦克斯韦用更抽象的数学去描述它，那就比抽象还抽象了。加

上麦克斯韦的思想太超前、太不同凡响，就连赫尔姆霍茨（德国物理、生理、心理学家，有人称之为达尔文之后最伟大的科学家）、波尔兹曼（奥地利物理学家，热力学和统计物理学的奠基人之一）这样的天才，也花了几年时间才理解。

懂的人少不要紧，要紧的是，电磁波这东西，没人看见过。物理学家们很彷徨，从理论上来看，麦克斯韦的整个理论是完美、可靠的，可是，传说中的电磁波在哪呢？

于是，人们开始怀疑。这一怀疑，就是 15 年。

麦总设计师建立了电磁王国后，也没想着去搞搞实验，制造出电磁波，来证明自己的理论是对的。他认为自己该做的都做了，实验的事，让别人去做好了。

这位大师放下电磁学，转头搞起了气体动力的研究，因为他在研究土星光环时，遇到过与此有关的难题，而我们的麦克斯韦，是不允许难题在自己面前张牙舞爪的，现在有时间了，该是收拾它的时候了。于是，麦克斯韦成为气体力学理论的创始人之一。

麦克斯韦生命的后几年，把全部精力都投入到卡文迪许实验室的建设上了。实验室是剑桥大学的一位校长威廉·卡文迪许私人捐建的，他是大科学家亨利·卡文迪许的近亲。思来想去，他觉得这样重大的一件事，交给麦克斯韦比较放心，于是，1871 年，剑桥聘请麦克斯韦负责主持创建卡文迪许实验室，出任实验室物理学教授。

找对人了。麦克斯韦的能力超出了工作的需要。

麦克斯韦是个极度认真的人，接到任务后，他全心全意扑在实验室的建设上，使实验室设计完美，实验室建成后，他担任了第一届卡文迪许实验物理学教授，还拿出自己的积蓄维持运转。实验室建设的先进性、前瞻性、科学性，使其硬件一流；创建者为实验室留下优良传统，使其软件一流，培养出大批牛人，从 1901 年诺贝尔奖设立到 1989 年，这个实验室一共走出

29 位诺贝尔奖得主，电子、中子、脉冲星、DNA 的双螺旋结构等都是在这个实验室被发现，波粒二象性也是在这里得到证明。

在建设卡文迪许实验室的同时，麦克斯韦还接受了另一项工作：整理卡文迪许的遗稿，个人始终认为这件事实在是大材小用了，这件事耗费了他生命的最后几年时间。麦克斯韦很好地完成了任务，卡文迪许埋没了差不多半个世纪的大量成果，被整理发掘出来。

最后几年，麦克斯韦过得很苦恼，新建的电磁理论不被人理解，这个还过得去。要命的是，他妻子长期患病，需要照顾，而他又必须干好工作，为了照顾好爱妻，他曾连续三个星期没上床睡过觉。

过度的焦虑和疲劳，终于击垮了他的身体。

1879 年 11 月 5 日，伟大的麦克斯韦与世长辞。病因与母亲一样，年龄也一样，48 岁。

随人苟且千秋短，
任我激扬片刻长。

麦克斯韦一生虽短，但他功高业伟、义重情长，为人类带来的是真理、进步和光明，他的功、德、名、道永驻人间；而有的人，为人们带来的是欺骗、落后和黑暗，就算多活 21 年，也只是遭人唾弃和鄙夷，呜呼看身后，名比皮囊臭。

麦克斯韦是近代物理学的巨匠，经典物理学大厦的主要构建者之一，他提出和发展了新的世界观，加速了牛顿力学观的崩溃，为未来的科学研究指明了方向，成为现代物理学的先驱。

科学史认为，牛顿把天上和地上的运动规律统一起来，是实现第一次大综合；麦克斯韦把电、光统一起来，是实现第二次大综合，因此应与牛顿齐名。还记得吧，我们讨论过科学理论统一的重要性。

他的电磁学理论通向相对论，他的气体动力学理论对量子论起过作用，他筹建并领导的卡文迪许实验室，引导了实验原

子物理学的发展……这一切，使他成为从牛顿到爱因斯坦之间最伟大的物理学家。

麦克斯韦 1873 年出版的《电磁学通论》，被尊为继牛顿《原理》之后的一部最重要的物理学经典。没有电磁学，就没有现代电工学，也就不可能有现代文明。

他生前没有享受到应得的荣誉，因为他的科学思想太超前了，其重要意义，直到 20 世纪科学革命，才得以充分体现。再美丽的理论，没有经过实践的检验、实验的证实，也是空中楼阁，当不得真的。

检验麦爷的电磁学理论，是一件难事，因为理解这个理论已经很难，遑论检验？但，在那个激情燃烧的年代，每逢关键时刻，总会有强人挺身而出。

海因里希·鲁道夫·赫兹。

德国人。1857 年 2 月 22 日出生。麦克斯韦的《电磁学通论》发表时，赫兹只 16 岁。赫兹绘画、外语、文学方面极有天赋，学过木匠，练过车工，当过兵，进修过工程师，但他发现，自己最挚爱的，是寻求科学真理。

麦爷理论刚建立时，支持他的物理学家很少，其中包括前面提到过的波尔茨曼和赫尔姆霍茨。他俩用了几年的时间，弄懂了电磁学理论。然后，赫兹成了赫尔姆霍茨的学生。然后，赫兹也弄懂了电磁学理论。

经过深入研究，他确信，麦爷的理论比牛爷的“超距作用”更靠谱，但是，证据呢？木有。那就自己动手！

在天才赫尔姆霍茨的帮助下，1887 年，天才的赫兹鼓捣出一个玩意，这玩意能把电转换为具有一定频率的电信号，后来人们管它叫“赫兹振荡器”。

赫兹设计了一套装置，主要分两个部分：振荡器、共振器。看名字就知道它俩的关系了，振荡器是主犯，负责以振动教唆；共振器是从犯，胁从共振。这俩家伙没什么头脑，结构比头脑

还简单：

振荡器，是一根短导线，截成两段（更短了），截口处，离开一点缝隙。通电时，电压能击穿缝隙间的空气，形成电火花，产生震荡信号。为了增加电容，教唆得更狠一点，两段导线的外端，分别焊了一个金属球和一块金属板。

共振器，是一个金属圈，弄开一个断口，对了，套环魔术用的金属圈就是这样，只不过断口不能让咱看见。但共振器的断口很明显，在断口的两个端点，各安了一个小圆珠，为什么叫“安”不叫“焊”呢？因为这两个小圆珠是用螺丝安到端口上的，为的是可以调整俩珠的距离。

设备搞定，接下来，就是见证奇迹的时刻了！

给振荡器通电，逐渐增大电压，导线缝隙间的火花如约出现，直到形成一道扭曲闪烁的蓝光。这不算什么，电火花见得多了。教唆不是奇迹，人家肯肋从，才是奇迹。

赫兹转过头，盯着共振器，那是火花吗？擦了擦眼睛，不是火花，是眼花。两器距离，两球距离，电压……各种调整，此动作重复了N次。

其实从准备到产生结果，整个实验进行了几个月，如果我照实说一遍，你一定会扁我一顿。于是我说：期盼已久的时刻终于到来了！赫兹看见了电火花，在共振器的两个小球之间。虽然这火花是那样微弱，但这是“凭空”产生的啊！没人给它通电，也没人对它做任何其他的事，它“发火”的唯一理由，竟然是跟它毫不沾边的另一个家伙在“发火”！

1887年年底，赫兹在柏林科学院的院会上，宣布这个令人振奋的消息：实验证实了麦克斯韦关于位移电流的预言。震荡的电场向外传播的，就是传说中的电磁波！

共振器不是凭空“发火”，而是振荡器这家伙在利用电磁波，玩“隔山打牛”的魔术。

1888年，赫兹又做了一个实验，设备也超简单：

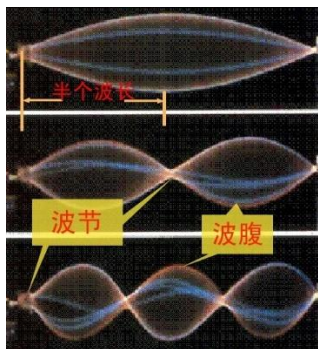
振荡器一枚，发射电磁波。

锌皮一块，反射电磁波。

电磁波就在两者之间反射，形成驻波……

Stop! 等等，波是要传播的，驻是不动的，这两字怎么能放在一起？玩 QQ360 呢？

其实，就像 QQ360 也可以和平共处一样，驻波，也能成词，它是由频率、振幅、振动方向都一样，但传播方向相反的两列波叠加后形成的波。这样的波，能量只能在波节和波腹之间来回折腾，所以，它不向前传播。其中，波节是振幅为零的点，能量最低；波幅指振幅最大处，能量最高。如果迷糊就看下图：



【图 9.6】驻波

检测器一只，在振荡器和锌皮之间，顺着驻波前后移动，检测波段效应的强弱，最强处，就是波腹，最弱处，就是波节，波节和波腹两点之间的距离，就是半个波长，乘以 2，就是波长。

赫兹测出，波长 9.6 米。先假设电磁波等于光速。速度 ÷ 波长 = 频率。算出了该电磁波的频率。然后根据振荡周期公式，算出这个振荡器的谐振周期，也就是它发出电磁波的实际频率。结果，麦爷又赢了，这俩频率相等。就是说，实验检测证明：电磁波速度等于光速。

31 岁的赫兹按捺心中的狂喜，告诫自己，要淡定，要谨慎，憋住，不要说出那个答案！接下来，是各种实验。（此处删去 5 万字）所有试验证明，光的特性，电磁波都有：反射、折射、聚焦、偏振……现在，是公布答案的时候了：实验证明，光就是一种电磁波！

赫兹的实验公布后，轰动了全球科学界，由伟大的法拉第开创、伟大的麦克斯韦总结发展的电磁理论，至此，取得了决定性的胜利！

这件事，是近代科技史上的一座里程碑，赫兹的发现，具有划时代的意义，他不仅证实了麦克斯韦的理论，还直接导致了无线电的诞生，开辟了电子技术的新纪元。麦克斯韦完美的创见，经赫兹之手，变成了客观现实。

赫兹是一位罕见的奇才，他对自然认识独到，很早就主张，用简洁的观念来反映自然现象，甚至说，自然规律，用时间、空间和质量的观念，就完全可以描述清楚。我们以后会知道，他的这个思想有多超前。这股势头保持下去，他还会发现什么，只有天知道。

令人伤感的是，1894 年 1 月 1 日，海因里希·鲁道夫·赫兹因病去世，老天只给了这位天才 37 年的生命。我曾写过一幅咏烟花的对联：

一瞬缤纷成往事，满程痛快有余音。

赫兹一生胸怀坦荡，一心追求真理，他的 37 年，短暂而辉煌，绽放了生命，挥洒了自我，痛痛快快地走完了人生之路的每一步。短短的 37 年，铸就了多少人上百年、几辈子也难以企及的两个字：不朽。

为了纪念赫兹，人类用他的名字，命名了频率的单位。

赫兹还有一个贡献，他和亥维赛（英国自学成才的物理学家）把麦克斯韦的 20 个方程进行了归纳，简化成由四个方程组成的麦克斯韦方程组。下面，让我们来瞻仰一下神奇、伟大

的麦克斯韦方程组的两种表达形式：

用微分形式表达：

$$\nabla \cdot D = \rho$$

$$\nabla \cdot B = 0$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t}$$

用积分形式表达：

$$\oiint_S D \cdot dS = q$$

$$\oiint_S B \cdot dS = 0$$

$$\oint_L E \cdot dl = - \iint_S \frac{\partial B}{\partial t} \cdot dS$$

$$\oint_L H \cdot dl = L + \iint_S \frac{\partial D}{\partial t} \cdot dS$$

咱得结合这组方程神奇而强大的功用，来欣赏它的简洁和工整。

这其实是一首诗，言简意赅却内涵深厚，韵律和谐兼意境广阔。我来翻译一下：

有电则生磁，
此大彼则大。
反之亦然之，
相生更相洽。
电磁场与力，
无声起广厦。
问道有神功，
一式安天下！

呵呵，你看出来了，其实文盲还是文盲——我根本不懂这方程是怎么回事，这首顺口溜难以述及方程式的万分之一，但这并不妨碍我欣赏它，就像我不懂兰博基尼的内部构造，却并不妨碍我欣赏它的力量感和速度感一样。

上面两个方程组是等价的，只是表达方式不同。方程组一共四个式子：

第一式，描述了电场的性质。

第二式，描述了磁场的性质。

第三式，描述了变化的磁场激发电场的规律。

第四式，描述了变化的电场激发磁场的规律。

看不见摸不着却又无处不在、无形无影却又神通广大的神秘电磁万象，被这一组方程简洁、和谐、优美地表达了出来，它的美丽动人心魄，它的强大令人膜拜！人们说，它完美得像出自上帝之手，是历代著名文学青年、流浪诗人上帝他老人家写的一首诗！

电磁波的发现，引发了无数发明，以前想都不敢想的东西，纷纷闯进我们生活的每一个角落，毫不客气地占据重要位置，成为我们的依赖，拽着人类社会发展的牛鼻子拼了命地往前跑。

1895年5月7日，俄国科学家波波夫发表了论文《金属屑同电振荡的关系》，并且演示了他发明的无线电接收机。几十年以后，这一天被定为“无线电发明日”。1896年3月24日，波波夫在俄国物理化学协会的年会上，实现通信距离250米，内容是“海因里希·鲁道夫·赫兹”。这是世界上第一份有明确内容的无线电报。

1896年，意大利无线电工程师伽利尔摩·马可尼证明这些不可见光波可以用于实用通讯，他的实验通讯距离可达14.4公里，这一成果在英国取得专利，无线电随之问世，马可尼成为实用无线电报通信的创始人、企业家。

后来，人类陆续发现了不同频率的电磁波，并各尽其用。

无线电广播（1906年）、无线电导航（1911年）、无线电话（1916年）、短波通讯（1921年）、无线电传真（1923年）、电视（1929年）、微波通讯（1933年）、雷达（1935年），还有，遥控、遥感、加热、探测、卫星通讯、射电天文学……

想知道现代文明之前是个什么样吗？把上面这些从地球上删除，就知道了。

电磁波的应用发明还在继续。而这些，是建立在一个基础上的：麦克斯韦的电磁理论。

实际上，电磁波无处不在。只要是本身温度大于绝对零度的物体，都可以发射电磁辐射，而世界上并不存在温度等于或低于绝对零度的物体。

电磁波的频率越高，波长越短。波长不同，则性质也不同。

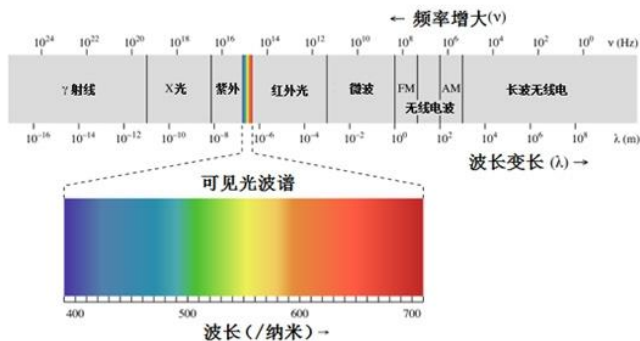
无线电波：几十公里（也有上千公里的）~0.3毫米（1米以下可称微波）。传真、电视、电话用的波长是3~6米。无线电波的用途之广，大家都很清楚，就不罗嗦了。

微波：100~0.1厘米。微波很奇妙，它对玻璃、塑料和瓷器这类东西，可直接穿越，不被吸收；水、食物等东西，能吸收微波而发热；金属类的东西会反射微波。想想看，微波在金属箱里折腾，穿过玻璃啊塑料啊陶瓷啊这些容器，把里面装的食物加热——太完美了！这种特性，简直就是为微波炉而生的！但微波最重要的职业不是厨师，而是通信，比方说雷达，雷达不仅用于军事，它在导航、气象测量、大地测量、工业检测和交通管理等方面都有杰出贡献。具体一点的比如射电望远镜、微波加速器等。微波还与其他学科互相渗透，形成微波天文学、微波气象学、微波波谱学、量子电动力学、微波半导体电子学、微波超导电子学等重要的边缘学科。

红外线：0.3毫米~0.77微米。在光谱中，它排在可见光红光的外侧，所以叫红外线。它有较强的穿透能力，不易散射，还有显著的热效应，可以加热物体，并且在医疗、军事、摄影、

通信、遥感探测、找矿等许多领域应用广泛。具体一点的比如咱家遥控器、红外线望远镜、红外制导导弹等等。

可见光：0.76 微米~0.39 微米。赤橙黄绿青蓝紫，谁持彩练当空舞……这是我们观察事物的基础，人人都熟悉，其作用就不罗嗦了。单说这个可怜的范围。电磁波的波长范围很广，长的达十几公里以上，短的在到 0.1 纳米以下，我们抬头去尾，以 10 公里封顶，0.1 纳米保底，算一下：10 公里是 0.1 纳米的 100 万亿倍。而我们可见光的波长，最长和最短的只相差 2 倍，只占电磁波波长范围的 50 万亿分之一，是完全可以忽略不计的一小段。就是这极其细微的一小段，已经让我们感到了世界的多姿多彩、目不暇接了，如果我们能看见全部电磁波，老天呀！我们眼里的世界会是个什么样？！



【图 9.7】波谱图。电磁波频率分布情况，如果按比例制图，可见光就不可见了。

紫外线：0.38 微米~10 纳米。在光谱中，它排在可见光紫光的外侧，所以叫紫外线。太阳辐射中有大量紫外线，它有很强的灼伤性，如果直接照到人的皮肤上，时间一长，就得皮开肉绽，各种疮瘤，惨不忍睹，世上再无帅帅 GG，更无漂漂 MM，阳光将成为养育万物的恩公兼杀害万物的凶手，悲催啊！不过这种事情只是 YY 而已，实际上，由于紫外线极易被吸收，所

以在通过大气层时，波长 0.28 微米以下的紫外线几乎全被吸收，到达地面的少量紫外线，对人类和动物已无危害。嗒，世界真奇妙。紫外线可用来分析矿物、金属探伤、治疗皮肤病和软骨症等，具体一点的比如医院用来消毒的紫外线灯、紫外线验钞器等。

X 射线：10 纳米~0.1 纳米。也叫 X 光。1895 年由德国物理学家伦琴发现，所以也叫伦琴射线。X 射线穿透力很强，能透过纸、人体、木材，甚至金属片等物体，所以我们主要用它来“透视”，像检查人体疾病呀，研究矿体、晶体内部结构啊，金属探伤呐等等。具体一点的比如医院的 X 光机等。

γ 射线：0.1 纳米以下。原子核衰变可放射 γ 射线。1900 年由法国化学家维拉德发现。 γ 射线能量较高，性质与 X 射线基本相同，但它比 X 射线硬度高，穿透性更强，能穿透 30 厘米厚的钢铁，可以用它来检查钢铁、机器的质量。但它的用途，远不止于此，在医学、农业、化学、天文学等领域，可谓独步江湖，可杀死细胞、刺激作物生长、促进化学反应、进行天文研究等，具体一点的比如医院的伽马刀等。

据 2011 年 9 月的消息，英国斯特拉斯克莱德大学发明了地球上“最明亮”的伽马射线，亮到什么程度呢？比太阳亮 1 万亿倍！这种伽马射线，是用超短激光脉冲与电离气体反应产生的，十分的强悍，可以穿透 20 厘米厚度的铅板，要用 1.5 米厚的混凝土墙才能屏蔽它。由于它刚刚出生，目前只知道它将开启医学研究的新纪元，还能在原子核研究领域大展身手。人类将来还会搞出什么电磁波，这些电磁波会给我们的社会带来怎样的变化，只有天知道。

当我们为《永不消逝的电波》内牛满面时，当我们对着手机口是心非情意绵绵时，当我们在飞驰的火车上用笔记本为所欲为时……我们可曾想到那个光辉的名字——麦克斯韦？

我们简单地再念叨一遍：电报、电话、广播、传真、电视、

雷达、遥控、卫星通信、计算机、互联网……没有麦克斯韦，这些作为现代社会标志物的东西，会在人类发展史上的哪个年代出现？

根据麦克斯韦理论，射电或光波的速度是固定的。

还记得牛顿理论“不存在绝对静止的标准”吗？

以上这两个观点相互不和谐。看不出哪儿不和谐，那也不要紧，咱俩还是回到火车上打乒乓球吧。火车时速还是 100 英里。

这是一节软卧车厢。不过所有设施都拆走了，以便放这张乒乓球桌。所以它变成了一节硬桌车厢。

你背朝火车前进的方向，眼神有些忧郁，看着对面的我。我表情有些凝重，轻轻挥拍向你击过一球。30 英里，是球的时速。你我虽然是对手，却在这一点上达成了共识。

然而，列车外，轨道边，芳草碧连天，一个毫不相干的家伙居然不同意咱俩的意见。他说出了和我们的测量相距甚远的一个时速：130 英里。

理由是，他看见火车以 100 英里的时速前进，我击出的那个球在此基础上，以 30 英里的时速继续向前飞去。所以，根据小学一年级算术，球速是 $100+30=130$ 。

刚好咱俩也上过小学，所以相视点头，作会意状，一致同意了他的看法。同一件事，总是有两个完全不同的答案。

这种事（不是这道题）要是在咱国高考中出现，被标准答案一票否决，岂不是坑爹坑爷坑老祖？究竟哪个是对的？

牛顿教导我们，要搞清楚球的速度，你得先说清楚，它是相对于火车、地面、见到城管的摊主，还是神七？总之“参考系”不同，得出的结果就不同。

这说明什么？说明两个问题：

第一、这个理论，对光也应该成立。所以，你说光以固定的速度旅行，首先必须说清这“固定”速度是相对于什么东西

来测量的，只有参照物“静止”，光速才可以“固定”。

第二、既然所谓静止、运动、速度都是相对的，是根据参照物而定的，那么，只要有运动的物体，就不存在绝对静止的东西。

问题来了，既然没有绝对静止（固定）的东西，也就是不存在“固定”不动的参照物，那么，光的固定速度从何而来？矛盾了不是？

第十章 相对论前传（上）暗夜传说

麦爷的电磁理论一建立，就与牛爷的力学理论发生了冲突。

两个理论在各自的领地里，明君圣裁，无一错漏，所囊括的自然现象，都乖乖地臣服在他们的定律和公式之下，看起来都是那样完美，完美到令人震撼，不忍分毫撼动，不容些许亵渎。

然而，这两个完美的理论，却互不相容。超距作用+光速固定。两个问题，都是针尖对麦芒。问题虽少，却都是根子上的东西，错了，再华贵的宫殿都得推翻重盖，修修补补，往往于事无补。

不是说好了吗，和平共处，互不干涉内伤。可是，你的那个伤得很厉害啊。我会有伤？我自古以来就是没伤的，从前没有，现在没有，将来以及永远都不会有，我唯一的问题，就是别人看我有问题！

……

以太

超距作用先按下不表，单说光速问题。

为了解决这一矛盾，人们提出（注意这个词）一种叫做“以太”的东西，这种看不见摸不着的物质被定义为“无所不在”（如果再加上“无所不能”就是上帝了），甚至连“空虚的”真空中也有。

以太源于希腊语，原意为上层的空气，属于特供，专给神仙呼吸用的。

笛卡尔最先把以太引入科学，因为他认为，物质之间的所有相互作用，都必须通过某种媒介来传递，所以任何空间都不可能一无所有，它应该被某种东西所充满，这种东西就叫做以太。

但是，由于那时有没有以太都无所谓，大家都过得去，反正也不能当饭吃，所以不以为意。现在不同了，以太不是能否当饭吃的问题了，它已然成了经典力学理论用来解释光速现象的救命稻草，大家七手八脚地把它从记忆的角落里翻了出来，掸掸灰，洗洗澡，还没来得及刷牙，就匆忙把它推向前台，并且给了它弄了一份新的考核材料：

以太同志早在 17 世纪就在笛卡尔的介绍下参加了革命。它信念坚定，虽然一度受到冷落，但它始终相信组织，始终没有停下理想的脚步。在匪夷所思的思想支撑下，经受住了组织对它长达两个世纪的严酷考验，终于等到组织遇到困难的一天！在革命最危急的时刻，它不顾一切，挺身而出，力挽狂澜，用卓越的贡献回报了组织的培养。以太虽然看不见、摸不着、找不到，但事实证明，它是特殊材料制成的，它不是液体、不是固体、也不是气体，它是连续的、均匀的。而不像普通的物质那样，是由一粒一粒原子呀什么的构成的，杂乱无章，从本质上就作风涣散无组织无纪律。以太几百年如一日，默默无闻地承载和传递着光、电、磁、辐射热等不可捉摸的东西，并甘当它们的固定参考系，任劳任怨，恪尽职守，严于律己，绝不越雷池一步，发挥了不可替代的重要作用。

因为以太“无所不在”，一切物质都在其中，所以可以将它视作“固定”的东西，一切运动都是它在里面发生的。这就解决了参照系的问题。当时的科学界为此深受鼓舞，他们觉得，任何东西传播，最好有一个媒介负载它，否则感觉怪怪的，如：声波通过空气传播，水波通过水传播，各种振动波都通过被振动的物质传播……所以，光通过以太来传播，就是一件大快人心的事了。于是，科学家们很快确立了以太理论：相对于不同的观察者，光速不同；相对于以太，光速固定。

该措施一举解决了“固定速度”与“不存在静止参照物”的矛盾，看上去很美。让我们来感受一下：

在那遥远的地方，有个小亮光，它以光速穿越以太，向咱俩扑来。

我坐在以太里左顾右盼观察生活，大千世界，国情似雾，美女如云啊！

而你，却兴奋地迎着光，娇声咤道：“光儿，你别动，让我飞奔过去！”说着穿越以太向它狂奔，秀发在风中凌乱。

那么，根据以太理论，你我测到的光速是不同的：

你迎着光跑，测到的光速，就是你和光各自穿越以太的速度之和。这没问题吧？

我坐着不动，测到的光速，就是光自己穿越以太的速度。这更没问题吧？

这个设想听起来知书达理的，令人心头为之一动，顿生倾慕之情，恨不能立马验证以谢之。可是，这实验做起来太难，因为光速和我们的速度差距，不是一般的大，我们来看看人类创造的高速究竟能达到多少：

布加迪威龙：极速 407 公里/小时，即 0.11 公里/秒。

波音 787：1050 公里/小时，即 0.29 公里/秒。

河南禹州某农民的超级拉沙大货车：1419 公里/小时，即 0.39 公里/秒。

SR-71 Blackbird（不败传说——黑鸟）：3.5 倍音速，即 1.19 公里/秒。

X-43A 飞行器（试验阶段）：10 倍音速，即 3.4 公里/秒。

子弹（取最快值，即枪口初速）

手枪、冲锋枪子弹：0.3 公里/秒或更低（还不如咱国大货车）。

步枪子弹：0.9 公里/秒。

狙击步枪、重机枪子弹：1 公里/秒。

光速：299792.46 公里/秒（注意小数点以后的那两个数，和波音 787 比比看）。

好像没什么可比性，我们运动的那点点速度放在光速里，不忽略也可以不计，要测出这个小到几乎没有的差异，你不想则已，越想越绝望。

得不到实验的证明，再美丽的理论都是浮云，何况，这还不是神马美丽的理论，而只是为了解决光速问题，匆忙拉出来救场的以太。一个龙套，突然要当角儿，还想无证上岗，你当观众白痴啊？！

我站在，猎猎风中，恨不能，荡尽绵绵心痛……差异，差异！怎么能准确测出这个杀千刀的小差异？！

一个失败的实验

历史告诉我们，救星总是出现在最黑暗的时刻。绝望归绝望，只要不自绝，奇迹总会像咱家统计数据一样从天而降。

但是，科学上的奇迹，可不是随便什么智商的人拍拍脑门那么简单。这里有个故事，我长话短说：

甲乙两个香皂厂，都进口了同样的生产线，生产效率明显提高。但生产线终端存在一个问题：总有个别香皂盒漏装香皂，导致空香皂盒被装箱出售，客户表示此事很坑爹。下面是两个厂的解决办法：

甲厂，厂长联系了一家专业机构，经技术攻关，发明声纳探测装备，探测到是空盒，机械手就根据探测定位，抓到空盒，放进空盒收集箱。真正的高科技啊，花费几十万，并且还没算使用期间的维修保养费用。

乙厂，厂长对终端负责人说，老张，你琢磨琢磨，看看这事咋办。老张回去琢磨一宿，第二天拿来一台风扇，对准成品输出的传送带，对面放一个大盆。于是传送带上的空盒都被风扇吹到大盆里去了。老张受到表扬，拿着 1000 块钱奖金高高兴兴回家显屁去了。

这里的关键是两个字：思路。

复杂的事情，不一定非要复杂的方法去解决。解决同一个

问题，方法越简单，说明这个思路越好。这需要灵感。偶尔闪出灵感的人，是聪明人，经常闪出灵感的人，是牛人。

1887年，牛人出现了，阿尔伯特·亚伯拉罕·迈克尔逊（美国物理学家），一个是爱德华·莫雷（也是美国物理学家）。

迈克尔逊是个真正的专家，他以毕生精力从事光速的精密测量，在他的有生之年，一直是光速测定的国际中心人物。

他解决速度问题的手段很简单，利用地球公转的速度。牛人啊！

地球公转速度是 30 公里/秒。虽然这与光速相比，仍然微不足道，但这是人力无法企及的，重要的是，这个速度足以测出人们梦寐以求的“差异”了。

这根据以太理论，以太应该是充满空间、静止不动的，那么，地球在公转时，就应该有“以太风”存在。很好理解吧，在没有风（空气不流动）的日子里，我们骑着单车，都会感觉到清风拂面，你蹬得越快，风速越大。

30 公里/秒，这就是“以太风”的速度。然而，以太属于特供，它不屑跟普通物质发生任何关系，所以神马仪器也没法直接测出以太风的存在，也就没法证明以太的存在。

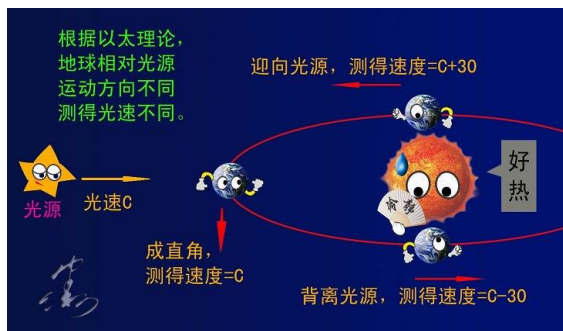
好在它是光的载体，又是唯一可以让光速“固定”这个说法成立的参照物，所以只有通过测量光来证明之，试验成功，就一箭双雕：1.以太存在；2.光速相对以太固定。OK，牛爷与麦爷握手联盟，世界和平了，物理定律统一，鲜花盛开，阳光明媚，历史翻开灿烂的新篇章……多么美妙的前景啊，都给咱俩听出鼻涕泡了。擦擦，先搞定实验再说。

由于相对于光速而言，地球公转的速度也是极其微小的，所以，要测出这个差异来，需要十分精确的设备。

因此，这是一个既精细又困难的实验。他们是怎样做到的呢？

要是我，就首先要要在天空中找到一颗特定的星星做光源—

——当然就是当初我答应送给老婆的那颗，地球在公转中，运动方向有时迎向光源，有时背离光源，有时与光源成夹角——成直角时，可视为地球与光源的运动相对静止。这样，就能测出不同情况下，光速的变化了。



【图 10.1】地球运动方向与光源

可是你一拍大腿，欠扁地告诉我，这个方案理论上可行，但实际操作起来很难很麻烦。因为，那颗星星的光一直在朝我们源源不断地射来，没有时间间隔，光上也没有记号，想精确测量它的速度太难了！都无从测起。如果找一颗已知距离的天体当遮挡物，利用遮断时间和已知距离来测速度，也存在一个大问题：遮挡物离地球的距离需要十分精确才行！因为对光速来讲，测量时把地球公转速度误差出去根本不算什么，遮挡物距离再不精确，误差就更大啦！

那咋办呢？咱俩再次站在猎猎风中，一筹莫展。

我们有更好的办法，迈克尔逊和莫雷自信满满、春风得意地说。

频率。迈克尔逊如示家珍地说出一个词。

是的，光的频率！莫雷接过来为我们讲了一个故事。

那一年我 17 岁，她也 17 岁，……

停！你本人的故事我不想听了。

对不起台词背错了我咽回去。其实我要讲的是一个超级玩

家。莫雷正色道。

托马斯·杨。

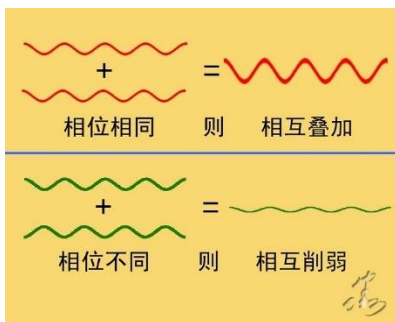
停！双缝实验是吧？这个故事俺们听过！

但是，你知道怎样才能把这个游戏玩成功吗？莫雷问完，见咱俩大眼瞪小眼，接着说道，托马斯·杨玩的这个游戏，不是随便玩玩就能玩好的，要看到光干涉的美丽条纹，是有条件的：只有两列光波的频率相同、相位差恒定，振动方向一致的相干光源，才能产生光的干涉。由两个普通独立光源发出的光，很难具有相同的频率，更不可能存在固定的相差，因此，不能产生干涉现象。这就是为什么要强调“相同频率”。

哦，我想起来了，这个，俺们在发现光波是横波那段学过。两道以上的波合并，波峰与波峰重合、波谷与波谷重合，也就是“相位”相同，则波的能量加强；如果波峰与波谷交错，也就是“相位”不同，则波的能量相互减弱。是吧？你兴奋地抢答道。

对呀！小鬼蛮聪明嘛，莫雷赞许地摸摸你的头。接着说道：

同样频率的两道光波重合，如果在起始点“相位”相同，那么在之后的旅途中，它们一直是相互加强状态，表现为亮度叠加；反之，在起始点“相位”不同，则始终是相互减弱状态，表现为亮度削减。



【图 10.2】光波相位变化示意图

迈克尔逊接过来说，你滴明白？哦，不明白，好，我直说了吧：

从同一个光源发出的光，频率相同，如果把这样一束光分成两束，让它们速度不同，就能造成它们的相位不同（步调不一致），这时再让它们合成一束光，那么，频率相同、相位不同，就像托马斯·杨玩的游戏那样，就可能发生干涉，有干涉就会有条纹……明白了？只要产生较为明显的条纹，就能反证光速产生了变化！

那，怎样才能让这两束光速度不同呢？你嘴里含着食指，眼神迷惘而又真诚地问道。

这个简单啊，让这两束光朝不同方向跑，一束顺着地球运动的方向，一束跟地球运动方向垂直，再分别反射回来，合成一束，不就 OK 了？一向以严谨著称的迈克尔逊笑眯眯地说。

哦？哦！那就让我们大家立刻开始这段游戏吧！咱俩迫不及待了。

子曰，心急吃不了热豆腐。咱先把玩具凑齐再说。迈克尔逊和莫雷一边准备玩具，一边絮絮叨叨地讲解。

我们打算这样玩，听好了。玩具有这几样：

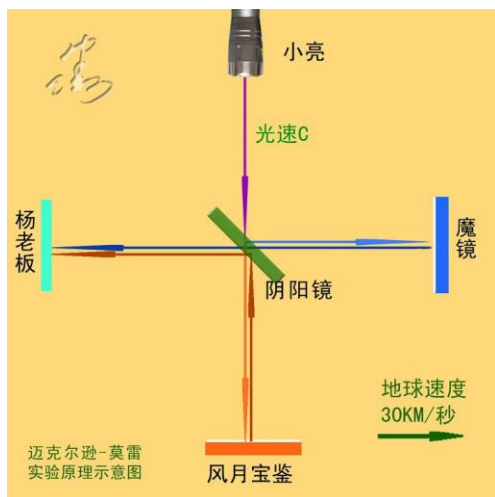
一个光源，名叫小亮，它可以发出一束光。

三块著名的镜子，阴阳镜，对同光反射一半，透射一半，负责分光；魔镜、风月宝鉴，它俩互相垂直，负责反光。

还有一样东西，就是托马斯·杨玩的三块板之一，当然得要是没弄坏的那块，它叫杨老板。

OK，玩具凑齐，它们组成一个大玩具，叫迈克尔逊干涉仪。
GO！

游戏流程：小亮发出一道光，被阴阳镜分成两束，一束射到风月宝鉴上，一束射到魔镜上。光被魔镜、风月宝鉴反射回来，合成一束，投射到杨老板上。Game over。



【图 10.3】迈克尔逊-莫雷实验原理示意图

好的，现在我们来看看，这两束光的发射方向不同，速度有啥不一样。

我们把魔镜背面对准地球公转的方向，按照牛顿理论，射到魔镜上的光速（红色）就是 $C+30\text{KM}/\text{秒}$ ，由魔镜反射出来的光（蓝色）速就是 $C-30\text{KM}/\text{秒}$ 。

风月宝鉴跟魔镜垂直，接收和反射的光是垂直于地球公转方向，不涉及到与地球公转速度叠加，所以射到风月宝鉴上的光和它反射出来的光速度都是 C 。

现在，风月宝鉴和魔镜反射回来的的两束光合为一体。

哦，我知道了，因为这两束光，它们频率相同，但速度不同了，所以相位就会不同，就会导致干涉、产生条纹，从而一举证明牛顿和以太的胜利！你兴奋地抢答道。

呵呵，小鬼很有思想嘛。迈克尔逊笑道，理论上，小鬼说得不错，但实际上，由于镜面距离啊，两束光透过玻璃的折射啊、反射啊、光程差啊等因素，也会产生干涉条纹。这些条纹，是由于设备条件所产生的“误差”条纹，虽然可以计算出来，

从观察结果中剔除出去，但毕竟，我们真正要观察的干涉条纹也不是太明显，再加上可能的测量误差，这样得出的结果，还是底气不足。

那咋办啊？我们不是白忙乎了？这回咱俩真着急了。

莫急莫急，有一个十分稳妥的办法。并且非常简单。莫雷说着，脸上泛起神的微笑。

快说吧别卖关子了。咱俩急得跳了起来。

我们记录好第一次观测的条纹数据，把设备直接转动 90 度，这次让风月宝鉴背对地球公转方向。莫雷把“直接”两个字咬得很重。

迈克尔逊接着说，由于设备上所有的部件，我们都没做任何调整，只是把它转动了一个方向而已，所以，即使设备本身有什么误差，这个误差总不会变吧？

误差固定，而两束光的方向却颠倒了，这会让条纹产生有规则的移动。

听明白了吧，设备的“固定误差”可以不管了，我们只需要对照两个不同方向的条纹“移动”就 OK 了。

综合这台设备的各种因素，按照以太理论，我们已经算好了，条纹将移动 0.4 条！虽然这个量听起来不大，但足够精确测量了。

莫雷接过话头说道，其实，这个实验，迈克尔逊在 1881 年已经做过一次，但没有观测到满意的结果。我们认为那是设备精度不够造成的。

这次，我们这台设备在精度考虑上可以说是无微不至，甚至连外部环境配置都狠苛刻，为了防止地面振动的影响，我们专门弄来一块大石板，把这块大石板漂在水银槽里，咱们的设备就放在这块大石板上。

现在设备的精度达到亿分之一！是不是很变态啊？莫雷自豪地笑道。

只要这个移动与理论预测相符，就证明以太存在，光速相对以太固定，那么牛爷就和平解决了跟麦爷的人民内部矛盾，从胜利走向胜利！

如果实验结果是设想的这样，我们就可以在杨老板身上分别看到两个方向的干涉条纹——动感的哟！

自从上次跟托马斯·杨玩过之后，杨老板就一夜成名，他一直梦想着做一匹无忧无虑的斑马。现在，身披动感条纹，是他的新理想。

此刻，我们共同的梦想就在眼前。迈克尔逊、莫雷、咱俩，和杨老板一起期待这一神奇而伟大的时刻。那美丽的动感条纹会不会在杨老板那方正平整的身体上如约出现？放心吧，一定会的！说出这句信心爆棚的话后，我们心中有些忐忑。

地球无怨无悔地以 30KM/秒的速度在以太中穿行。

小亮朝阴阳镜射出一束明媚的光。这束光与地球穿行的方向垂直，速度是 C。

阴阳镜将这束光的一半放行，分给风月宝鉴，另一半反射给魔镜。

两面镜子反射回两道不同速度的光。

两束速度不同的光合成一束，射向杨老板……

我们把设备转动 90 度。

上面的过程重演……

Ladies and 乡亲们，现在，就是见证奇迹的时刻！

我们一起睁大了眼睛。

没有移动。

我们一起擦了擦眼睛，还是没有移动。

于是我们一起傻眼了。

再来一遍！

我们又一起擦了擦眼睛，擦大劲了，眼前金星有了，但移动没有。

.....

这大概是一起普通的交通肇事，这个这个大概是巧合……可能是今天天气不太好、太不好或者太好，也许以太的状态有些特殊，或者是其他别的什么原因，很多的巧合凑在一起导致了难以解释的结果，总之我们要反反复复调校设备，在不同的季节，地球运转到轨道不同的位置，反反复复做这个实验，我相信，总有一天我们会看到那美丽的动感条纹，那一天，将是电磁学和牛顿力学大统一的一天，将是人类历史上伟大的一天！让我们一起期待吧！迈克尔逊坚定地说，莫雷坚毅地点点头。

好吧，既然这样，我们就先不围观了。你们继续。

5天过去了。没有移动条纹。

一年过去了……

像以往的每一年一样，这一年很快就过去了。但对于迈克尔逊和莫雷而言，这是漫长的一年。对整个物理界而言，这也是难捱的一年。

因为等待是一种煎熬。越急迫的等待，煎熬的时间越漫长、过得越缓慢。人们在等待那个美丽的梦想，但每次突如其来来的都是无情的现实。

时间、位置、角度、精度、环境、设备结构……能考虑的都考虑了，能变换的都变换了，能调试的都调试了，能改进的都改进了，不论怎样，就是见不到期待中的条纹移动。

不是巧合，再多的巧合也抹不平事实的忧伤。杯具啊！

这个始料未及的结果把他俩和当时的科学界惊呆了。也把咱俩惊呆了——尽管咱俩已经是第N次看到这个结果。

人们不知所措：为什么呢？

实验“失败”了，我们没能证明光速可变，没能证明以太的存在，没能捍卫伟大、光荣、正确、光芒万丈的牛顿理论！之后，根据这一原理，无数人重复了这一实验，结果无一例外不符合牛顿理论的预言。

还记得那个操作起来很难很麻烦的实验方案吗？后来，还真有不嫌麻烦的，想办法利用月光、日光、星光与地球运转的相对速度来测定光速。

要知道，迈克尔逊-莫雷实验是光源在地球上，测的是“光速可否随光源运动而变化”，而后来人们利用日月星辰的光，既有光源（日月星辰）运动，也有观察者（地球）运动，可以说更有说服力，至于怎样精确测量天体的光速变化，我没找到资料，不过如果换了我，就用对准光源的天文望远镜作为小亮的替身。

虽然他们使用的手段不明，但结果很明朗：不管地球是顺光、逆光、侧光、侧逆光运转，测得的光速都是 C ！

希望破灭了。

上帝啊，光速真 TMD 是“固定”的！为什么？！这都是为什么？？！！为什么？？！！这都是为什么？？！！！！为什么？？！！这都是为什么？？！！！！！！ ……

马教主，收了神通吧。拜托！您老人家每次出来吼都要下雨的。

物理界一片沸腾：这是怎么了？不应该呀，不合理呀，不管光源和观察者怎么动，光的速度居然不变！这解释不通呀？这可如何是好啊！快传以太上殿……以太呢？

……

1907年，迈克尔逊因“发明光学干涉仪并使用其进行光谱学和基本度量学研究”成为美国历史上第一位诺贝尔奖得主。这次实验史称以太漂移实验，也叫迈克尔逊-莫雷实验，为了以后好记，我们用一个迷人的名字：**MM** 实验。这是一次“失败”的实验，但同时也是科学史上划时代的实验，它证明了光速不变，它所带来的质疑、无奈和震动，引起了人类的又一次科学革命！这是后话，不提。

不解决光速问题，物理学难以为继。

实验证明，光速不变。那么，是不是实验设计原理出了问题？经过多方论证，答案是否定的，实验设计原理没有问题，实验过程也没有问题。如果说，当时的实验设备、设计思想有问题，那么时至今日，可以上天入地的现代人，利用各种高科技手段，各种测量，答案都是一样一样一样的啊。尽管如此，我们仍然可以怀疑这一切。因为我们总是不明真相，这个事实足以令我们怀疑一切。

OK, OKOKOK, 我们不做实验，来亲眼看一看事实，看看现实中，光速在我们眼中是否可变。但是，光速那么快，即使它变快点，或变慢点，精密仪器测起来都费劲，我等肉眼凡胎，更看不出来了！

别急，虽然上天给我们的肉体太多高压限制，速度、力量、感官……很难取得一点突破，但有一处还是很宽松的，那就是智慧。智慧达到一定高度，肉眼凡胎也可以出神人。

这里的神人，当然就是指智慧的科学家们。

科学家们替我们找到一个显而易见的观测对象——双星。

这里所说的双星，是由两颗星组成的一个系统，也叫联星，是指这样的两颗星：它们距离很近，质量大抵相当，谁也不服谁，谁也不甘心围着对方转，却互相被势均力敌的引力吸住，不得不围绕共同的重心公转，就像领导班子里平分秋色的俩副手，总想抽冷子给对方一下，奈何大家都想到一块去了。不过从表象上看，它们更像电影里两个八卦门拳师交手前的情形。

我们要观察的双星系统是这样的：它们的公转轨道面与我们观察的角度基本持平，这样，双星就会在一颗转向我们时，另一颗转离我们，如此往复。

好的，现在我们先给双星起名，她俩一个叫苏小小，一个叫陈圆圆。这一年小小 17 岁，圆圆也 17 岁。现在，小小和圆圆在我们眼前翩翩起舞，顺时针互转，由于她俩体重一样，所以相互绕着她们共同的重心——也就是圆心飞转，美极了妙极

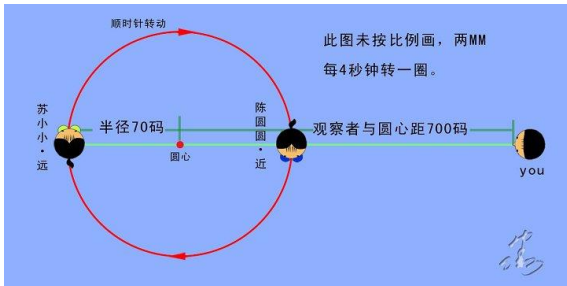
了简直 OK 顶呱呱！不愧是著名青年舞蹈歌唱行为艺术家。

像我们这样热爱艺术的人，此时此刻，当然只顾欣赏艺术，因而没时间搞测量。

所以只好请 JC 蜀黍帮我们测了一下数据，这个圆的半径，哦，是 70 码。那个圆心离我们的距离，是 700 码！

经严密监测，JC 蜀黍得知，她俩每 4 秒转一圈。那么，两位 MM 身上发出的光，速度是多少呢？美女就是美女，光离开她们都是一步三回头，才 140 码/秒！

（PS：嘿嘿，这个例子里，数据缩小是为了有利于计算和理解，其实换成光速 300000 公里/秒，双星转速 300 公里/秒，公转半径 120000000 公里，离我们的距离 8000000000000 公里……除了看起来眼更花些，别无它用）



【图 10.4】双星观测图。哈哈，美女看不清，这次是俯视图，木办法。

她们转的这个圈，对我们来说，有这样两个点：离我们最远的那个点叫“远”，离我们最近的那个点当然就叫“近”了。顺时针转哦。此刻，巧极了，苏小小在“远”，陈圆圆在“近”。

OK，可以开始我们的观察了。不过要有心理准备，观察过程中，我们可是要动用小学算术知识储备的哟！准备好了？那开始吧。记住，假设前提是：光速是可变的，是随光源变化的。

苏小小嫣然一笑，莲步轻移，腰身一闪，用 2 秒钟完成了绕场半周的动作：从“远”点出发，经过“右”点，飘到“近”

点，她离我们的距离由 770 码变为 630 码——与我们拉近的距离就是圆的直径 140 码。

虽然，她是绕了个半圆，而不是直接沿着直径从“远”点飘到“近”点，但我们看到了问题的关键：她与我们拉近这 140 码的距离是用了 2 秒，所以我们可以把她划弧时接近我们的变速处理成一个平均值，平均在这 2 秒里来计算：小小以每秒 70 码的速度接近我们。

好，这时我们该动用小学一年级的算术知识了，算一下小小身上的光传过来的速度，她在远点时，它等于光的速度和苏小小接近我们的速度之和（别忘了要进位的哟！）：

$$140 + 70 = 210 \text{ 码/秒}$$

接下来要用到小学三年级的算术知识，真的有点难了，已经是三位数除法了！我们要算的是，苏小小同学从“远”点出发时的样子经过多长时间传到我们眼睛。

$$770 / 210 = 3.7 \text{ 秒}$$

经过上面那道题的练习，我们对三年级算术理解更深了，掌握更准了，很是欢欣鼓舞，所以下面这道三年级的题做起来就更得心应手了。苏小小出发 2 秒后，她到达“近”点的样子还要经过多长时间到达我们的眼睛呢？

$$630 / 210 = 3 \text{ 秒}$$

好的，高难度的三年级算术题做了两道，接下来可以做做二年级的连加连减放松一下了。我们要算的是，苏小小从“远”到“近”这个过程，在我们的观察中用了多少时间。

$$2 + 3 - 3.7 = 1.3 \text{ 秒。}$$

这表示我们“看”到她从“远”点出发后，1.3 秒钟就到了“近”点。

苏小小冲我们粲然一笑，缓缓转过头去，笑容定格在脸上，一丝诡秘的光在眼中闪过，她知道，事实上她用了 2 秒。

与此同时，陈圆圆用 2 秒钟，从“近”点出发，经过“左”

点，飘到“远”点，她离我们的距离由 630 码变成 770 码，光从她身上跑到我们眼中的速度是：光速 140 码/秒-她飞离我们的速度 70 码/秒=70 码/秒，那么，她从“近”点出发时的样子经过 $630/70=9$ 秒到达我们的眼睛，2 秒后，她到达“远”点时的样子再经过 $770/70=11$ 秒到达我们的眼睛， $2+11-9=4$ ，这表示我们看到她从“近”点出发后，要经过 4 秒钟才到达“远”点。

大哥，小小早到了，圆圆怎么才启程啊？

别急，让圆圆飞一会儿。

看到这个结果，陈圆圆杏眼圆睁，叱道：我和小小用了同样的速度，走了同样的距离，互换了位置，在你们眼里，居然苏小小到了半天我才走到，你们怎么看的？

也难怪陈圆圆郁闷，上述计算显示：如果光速可以随光源变化，我们会看到，双星转向我们时，速度极快，而转离我们时，速度极慢，这样忽然闪动，又忽然缓动，它们转动的位置看起来就会错位，出现异动，如此看双星，就比围观凌波微步感觉还怪异。

而在实际上，我们不管观测哪个双星系统，都没有发现这种诡异的转法，因此，实际观测证明，光源速度与光速无关。

不信？嘿嘿，还是伽利略那句话：不信自己去看。不过您老要是懒得看，也没什么，不远的将来咱还会有光速不变的例证，我们是以德服人，想要证明你就尽管要，要到你服为止，以德服人！以德服人！……

无数观测证明：光速不变。找不到以太。

一个艰难的决定

以太：我演砸了吗？我怎么觉着才刚刚开始？！

身负众望的以太理论眼看要宣布垮台了，这意味着什么？

这意味着，不是牛顿错了，就是光错了。

那位老师说了，牛顿错了有什么了不起，改呗！

太对了！

可是，您可能不太了解当时的情况。

19世纪，理论物理学达到了一个巅峰状态，面对广袤的大地和无垠的夜空，人们信心空前。

1781年3月13日，喜欢看星星的强人——英国古典作曲家、音乐家、天文学家兼恒星天文学之父赫歇尔爵士，用望远镜发现了太阳系第七颗行星——天王星。

于是大家纷纷把望远镜对准它。跟着，诡异的事情发生了。1800年以后，天王星像被谁踩了尾巴，忽然越跑越快，到1830年左右，它似乎搞累了，又慢了下来。

人们百思不得其解，只好翻翻书，问问牛爷对这事怎么看。根据牛顿理论，预言了导致这一怪事的原因：天王星轨道外还有一颗新星！虽然牛爷理论很强很神奇，但谁也没见过那颗星，于是大家将信将疑。日子就这样不紧不慢地过着，一如风情万种的昨天。

1845年，英国数学家亚当斯算出新星相关数据，把结果交给了英国皇家天文台。据说天文台鼎鼎有名的天文学家艾里对这个“无名小辈”很冷淡，草草扫了一眼之后，便信手将演算结果丢进了抽屉。

巧了，同样年轻的法国数学家勒威耶也算出了新星的数据，他似乎吸取了亚当斯的教训，没有把自己算出的数据寄给本国天文台，而是寄给了德国柏林天文台伽勒博士，指定一片夜空区域和具体时间，预言在那里将会发现一颗新的行星。

1846年9月28日，伽勒博士收到信当夜就开始搜索，只经过半小时的观察，勒威耶的预言应验了，太阳系第八大行星向人们幽幽一笑——后来它被地球人叫做海王星。

勒威耶和亚当斯，这两人到底谁是海王星的发现者，还引起了广泛的争议。

有人考证说，亚当斯当时是拜访艾里不遇，就给艾里留下

了一张便笺，给出了未知行星的轨道元素，还写了几行残差值。艾里见到便笺后给亚当斯回了一封信，予以肯定，但那时，一颗彗星吸引了亚当斯，于是他忙乎彗星去了，没有对此给出完整的答案。所以……

可怜的亚当斯，他小时候，妈妈一定没给他讲过这个故事：一只蜻蜓飞过来了，蜻蜓飞呀飞呀，落在了小猫的鱼杆上……一只花蝴蝶又飞来了……

现在，天文学家们还发现，勒威耶和亚当斯当时的预言都不准确，估算海王星与太阳的距离过大，但侥幸的是，轨道计时与其他数据的耦合，又最终预言出海王星正确的现身区域，所以海王星还是被“误打误撞”地找到了。

无论如何，这是依据科学预言的结果。

海王星发现的意义，不仅在于为太阳系家户口本上添丁进口，更在于它是第一颗根据人类计算、科学预言发现的行星，这显示出牛顿力学无比强大的理论威力！从那时放眼回望，古往今来，牛人多如牛毛，但有谁，能比牛顿还牛？！多少人统治一方几十年，就牛得尾巴翘上天，而牛爷是天上地上全管，说天上星星咋转，星星就咋转，说哪时哪刻哪里会有颗星星，那儿就有颗星星。功力如此之高，引无数英雄竞折腰，人们是真的真的彻底折服了！

电磁学与力学的日臻完善，使物理学显示出一种形式上的完整，被誉为“一座庄严雄伟的建筑体系和动人心弦的美丽的庙堂”，它在人们心中已经达到了近乎完美的程度。

1874年，德国慕尼黑大学，一名活力四射的翩翩少年站在物理学教授菲利普·冯·约利面前，激情澎湃地表示，要为理论物理学奋斗终生。约利听后，没有摸摸他的头并致以坚定激励的眼神，反而淡定地劝他：“年轻人，你来晚了。物理学已经完成了，剩下的事，只是在细节上修修补补，没多大发展了，用一辈子干这事，太可惜了。”幸亏这盆兜头而来的、带着冰碴的

凉水没把年轻人的理想之火浇灭，因为，他的名字叫普朗克，后来成为量子物理学的开创者和奠基人。

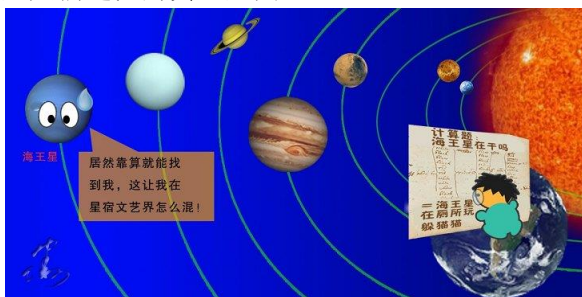
虽然这只是一段简短的对话，但足见人们当时对物理学的信心爆棚。

甚至，经典物理学已经成为许多人心中坚不可摧的信仰！

现在牛顿错了，也就大家对宇宙的认识都错了，谁来改？谁会改？谁敢改？

怎样改才是正确的？把牛爷理论改了怎么可能是正确的？！难道我们历经千辛万苦找到的光明大道，这么快就走到了尽头，转眼间，我们又成了迷途的羔羊？！ Oh my!

这是人们迷茫的真正原因。



【图 10.5】人类靠科学理论计算成功预言第一颗行星——海王星

所以，在 1887 年到 1905 年之间，人们曾十分努力地尝试挽救以太理论。

其中，最著名的是荷兰物理学家、数学家亨得利克·洛伦兹（又一个牛人），他对以太理论进行了拓展。他说，电磁是电子的效应；以太以不变的形态存在于物体和真空中。物体运动时，以太不动。电子随物体运动时，受电场和磁场的作用，出现运动电流……

洛伦兹认为，相对于以太运动的物体会收缩，钟会变慢（注意，他指的是钟本身，而不是时间流逝变慢）。他还建立了与之

对应的公式——与后来爱因斯坦推出的长度公式形式相同，但表达的涵义却完全不同。后来人们得知，斐兹杰惹更早就得出了相同的结论，于是人们将这种长度收缩的假设唤作“斐兹杰惹—洛伦兹收缩”……

眼看以太要焕发青春梅开二度，但人们立即沮丧地发现，在这个理论中，以太除了充当电磁波的载体和绝对参照系，别无它用，还停留在纯理论的假设上，它存在的意义，仅仅是方便解释电磁波。也就是说，它死定了。

以太的各种相关理论，以及各种无关以太的理论，都无法解释为什么不管是迎着光还是背着光运动，测得的光速都是固定的。无法使光与牛顿相协调。

历史真的很戏剧化，牛顿第一个有意识地分解了光，揭示了光的色散秘密，揭开了物质颜色之谜，他构建的理论大厦却在光的面前濒临崩塌。

面对一根筋的光速，物理学界作出了一个非常艰难的决定：在以太理论不能对迈克耳逊—莫雷实验结果作出合理解释之前，我们决定将在所有物理理论中停止使用以太。

停止使用以前，再问一遍，以太……有吗？

有还是……没有啊？

问你呢你问谁呀？

那没有。

这个可以有。

这个真没有。

呐，不管有以太呢还是没以太，最重要的就是尊重事实。光速固定不固定呢，是不能强求的。这种事情不要太放在心上。

以太怎么测也找不着，是他自己不懂得珍惜。怎么量你速度也不变，你有没有考虑过我的感受？

发生这种事，大家都不想的。呐，不要说我没提醒你啊，现在各种测都有的，测不到光速变化不要紧，最重要的是别为

这生气弄坏自己的身子。事情不是你想象的那样的，想走出阴影，你还有我咯。

其实呐，迈克尔逊和莫雷现在也非常的内疚说不定。做人呢，最要紧的就是开心。饿不饿？我给你煮碗面……吃了保证你开心！

后来的事实证明，确实不存在以太，不过它仍然活在我们心中（人类空虚的心灵太需要以太来填充了——！），今天广泛使用的共享总线型的局域网，就叫以太网。

面对 MM 实验的结果，整个物理学界的表情在以太中尴尬起来。

两片乌云

1900年4月，英国物理学家开尔文勋爵（牛人一个，就是麦克斯韦的师兄汤姆逊，在热学、电磁学、流体力学、光学、地球物理、数学、工程应用等方面做出卓越贡献）发表了一篇演讲，指出了史上最著名的两片乌云。别猜了，不是孙悟空和二郎神打架时踩的那两朵。

说这两片乌云史上最著名，是因为它俩引发了翻天覆地的科学革命，革命的成果完全颠覆了人类此前的认知，极大拓展了人类想象空间和创造空间，这才有了现代人类牛叉哄哄的幸福生活。

不管是文盲、文痞还是文豪，也无论是正传、列传还是外传，故事讲到这儿，都绕不开这两朵乌云。这两朵云的名气，似乎超过了汤姆逊的其他贡献。所以本文盲也不能免俗，不讲讲这个，相当于拍《水浒》不细扒潘金莲和西门庆，就好像咱不懂那档子事似的，这是一个不得不说的故事。

那是在一次物理学报告会上，开尔文发表了《遮盖在热和光的动力理论上的19世纪乌云》这篇演讲，他说：“动力学理论认为，热和光都是运动的形式。But 现在，天边飘来两片云，是乌云，遮盖了这一理论美妙、明晰的特质……”。

他说的这两片乌云，一片是能量均分定理的困难，指的是黑体辐射带来的困惑，这一片云咱们先放一放，学习量子理论的时候再说。现在说另一片云：以太理论的困难，指的就是 MM 实验的困惑，光速不变和以太之死带来的恐慌。

开尔文同志是牛顿的忠实信仰者，也是以太的忠实追随者，他认为，可以用物质之间的作用力来解释一切，宇宙如机械般运转，就像咱小时候拆开的那个闹钟一样，这种宇宙观史称“机械观”。

他投入了很大的精力，通过波动、涡流、弹性固体等方面，各种研究，企图以牛顿经典力学为基本构架，来构建电磁和光的理论。因此，他对以太理论一往情深，把先贤们假想的以太，当作一种实际存在的物质，精心加以研究，以求用经典力学来解释电磁现象和光现象。

迈克尔逊-莫雷试验之后，随着以太的倒掉，开尔文在这方面的努力付诸东流，对他而言，乃至对当时的物理界而言，这真是一朵又厚又黑、不期而至的大块乌云。没人欢迎这个不怀好意的不速之客。

但是，人家既然来了，而且是带着诚意扑面而来的，大家总不能顶着他巨大的阴影假装没看见，继续沐浴在意淫的阳光里吧？

你见或者不见我
我就在那里
不悲 不喜
你理或者不理我
阴影就在那里
不来 不去
你量或者不量我
光速就在那里
不快 不慢

你懂或者不懂我
我的秘密就在这里
不变 不移
来我的怀里
或者让我住进你的心里
豁然 顿悟 寂静 欢喜

事情就是这么个事情，问题就是这么个问题。大家对此想得很清楚，于是各显神通，试图化乌云为乌有，变凤姐为凤凰。一切，还得从牛顿说起。

牛顿的时空观

这一节，要枯燥，因为要大量引用牛爷的原文。不，说错了，是译文。呐，这个牛顿运动定律呢，是建立在绝对时空基础上的，与之相适应，超距作用也是一大基础。换句话说，它们是配套的。

所谓超距作用，类似于传说中的特异功能，这边发功，那边就得“同时”有反应，物体间不需要任何介质，也不需要时间来传递它们之间的相互作用。

对，这个事前面说过，旧话重提，是为了加强记忆温故知新嘛，发生前后不能衔接这种事，大家都不想的，是吧。

饿不饿？我帮你煮碗面？好吧，看你幽怨的眼神，还是算了。咱接着讲。其实俺废话不算多，要不咱再聊聊？吃面不？不吃就不吃嘛，干嘛拿着砖那样看着人家。下面说正经的。真不吃面？

牛爷的部分粉丝认为，强调牛顿的绝对时空观，是有失偏颇的，理由是，牛顿也提到过相对空间、相对时间。他们承认，牛顿所说的绝对时间与绝对空间，是鸡犬之声不闻、老不死也不相往来的两个独立概念，与一切物质没有一毛钱关系。

但是，他们坚持认为，牛爷所提到的相对时间、相对空间与物质的运动三者之间紧密相关。

这里影影绰绰带着点牛爷也是相对论先驱的意思。或者说，牛爷嘴上坚持时空是绝对的，但潜意识里还有相对时空的。牛爷不要生活得太分裂了吧。

好吧，为了世界和平，我们搁置争议，共同开发一下牛爷的《原理》，看看究竟是怎么一档子事，然后继续我们既严肃又紧张，却轻松还活泼的另类幸福生活。

牛爷在《原理》中有这样一段话：“我没有定义时间、空间、处所和运动，因为它们是人所共知的。唯一必须说明的是，一般人除了可感知客体外无法想象这些量，并会由此产生误解（注意这个词哦）。为了消除误解，可方便地把这些量分为绝对的与相对的，真实的与表象的以及数学的与普通的。”

紧接着，他描述了两种时间：

绝对的、真实的和数学的时间，由其特性决定，自身均匀地流逝，与一切外在事物无关，又名延续；相对的、表象的和普通的时间，是可感知的和外在的（不论是精确的还是不均匀的）对运动之延续的量度，它常被用以代替真实的时间，如一小时，一天，一个月，一年。

从这段话中，我们得知，牛爷信奉绝对时间，他所说的相对时间，是人类感知的误解，而不是真实的。如果你认为这段话不足以证明牛爷持这一观念，那么看看接下来牛爷还说了什么：

“天文学中，由表象时间的均差或勘误来区别绝对时间与相对时间，因为自然日并不真正相等，虽然一般认为它们相等，并用以度量时间。天文学家纠正这种不相等性，以使用更精确的时间测量天体运动。能用以精确测量时间的等速运动可能是不存在的。所有的运动都可能加速或减速，但绝对时间的流逝并不迁就任何变化。”

这回明白无误了吧，牛爷认为相对时间是“表象时间的均差或勘误”，也就是感觉和测量的问题，“绝对时间的流逝并不

迁就任何变化”。

对于空间，牛爷也认为是绝对的：“其自身特性与一切外在事物无关，处处均匀，永不移动。相对空间是一些可以在绝对空间中运动的结构，或者是绝对空间的量度，我们通过它与物体的相对位置感知它……”

这就是说，相对空间只是由物体的相对位置所得来的一种感知，而不是“真实”的。关于这一点，牛爷还说道：

“所有事物置于时间中列出顺序，置于空间中以排出位置。时间和空间在本质上或特性上就是处所，事物的基本处所可以移动的说法是不合理的。”

相关资料：

牛顿在《自然哲学之数学原理》一书中的一开始就先提到了八个定义，他为了让人为更好的理解这些定义而在其后写了一个“附注”，在“附注”中他谈了对时间和空间的认识，为了让读者理解空间和运动问题，他提到了一个实验，这个实验只需要水、水桶和一根绳子。在实验中，牛顿用绳子吊起一个盛一半水的水桶使其旋转，初始水桶旋转而水不转，水面是平的。后来慢慢地水也跟着桶壁转动，水也沿着桶壁逐渐的爬升，水面中心凹下去，后来水的转动与桶的转动同步，水面沿桶壁爬行到最高。

牛顿认为所有匀速直线运动都是相对的，而用这个实验说明转动是绝对的。

这个实验可以说再简单不过了，这是很多淘气的男孩用玩具小桶在小时就玩过的把戏，相信大家也都对水桶旋转产生的现象非常了解。

我想，牛顿肯定不会想到他在书中列举了一个简单的小实验竟能一下跃升为物理界著名的“水桶旋转实验”。几百年来，这个小实验竟成了讨论空间和运动必需研究和争论的大问题，并且是几百年来也没有争论明白的问题。

牛顿的观点：

当水桶旋转初始的时候，桶旋转而水不转，水与桶壁相对运动的速度值最大的时候，水面是平的。而水转动时，水面开始向下凹，同时产生水沿着水桶的壁爬升的现象，这是水旋转运动所造成的，并不是水相对于桶壁的运动造成的，当旋转的桶壁与旋转的水相对静止时，水的爬升反而达到最大值。

所以牛顿认为旋转水桶中水的爬升并不取决于对于周围物体的相对运动。

他认为水的旋转运动面对外界可有数不清的相对运动，但水旋转运动的本身能感觉到这个离开运动轴的力，所以它才是唯一的真实运动。“绝对运动与相对运动的效果的区别是飞离旋转运动轴的力。”

牛顿认为：水旋转产生的离心力与外界物体的相对运动无关，只与离开运动轴有关，自转运动是对于绝对空间的绝对运动。

马赫的观点：

马赫认为物体的运动都不是相对于绝对空间，而是相对于别的物体而言的，相对于绝对空间的绝对运动是不存在的。离开了物体之间的相互关系，说物体的运动是毫无意义的。马赫还认为：所有一切都是相对的，所有的质量，所有的速度，所有的力都是相对的。“水面沿桶壁的升高是离心力的作用的结果，也可以看作相对惯性力的作用，而这个惯性力是无数遥远天体对水面的引力的作用，所以惯性力本质上就是引力。”

马赫认为：绝对空间和绝对运动都是不存在的，水在桶壁的爬升是因为对遥远天体的相对运动。

还有下面这段话，因为说得比较抽象，所以像我这样的文盲，需要仔细阅读才弄得懂：

“由于空间的这一部分无法看见，也不能通过感官把它与别的部分加以区分，所以我们代之以可感知的度量。……这样，

我们就以相对处所和运动取代绝对处所和运动，而且在一般情况下没有任何不便。但在哲学研究中，我们则应当从感官抽象出并且思考事物自身，把它们与单凭感知测度的表象加以区分。”

我还是翻译一下吧，牛爷这段话是说，空间这东西太抽象，单凭感觉不太好理解，所以人类就用一些具体的概念来帮助理解，比方说尺寸啊、方向啊、位置啊等等，这些概念都来自具体的事物，是相对的，比如尺寸，大相对于小，长相对于短，如果宇宙只有一个物体，就分辨不出大小长短。方向啊、位置啊也是这样，都是相对具体事物来说的，如果宇宙里只有一个物体，那就无所谓上下前后左右远近了。我们用这些人为的概念来理解空间，这种空间的相对性，是直观的、表面的理解，而不是本质的，在一般情况下，这样理解没问题。但是，在哲学研究中，我们就应该跳出这种表面的理解，去思考空间的本质。

结论：虽然牛顿提到过相对空间、相对时间，但从上面的论述来看，他是将其作为人类感知的“误解”来看待的。他认为，绝对时空是真实的、数学的，而相对时空则是表象的、普通的。这与“相对时空观”是完全不同的两码事。即使如此，我们也不得不佩服牛爷思维的缜密和敏锐。

牛爷的粉丝大可不必改写牛爷的时空观，牛爷的时空观再绝对，也丝毫无碍牛爷的伟大，他的思想和贡献彪炳史册、光耀千秋，与人类同在。（PS：这句台词好像很熟啊。唉，是啊，人类的词汇太有限，我的能力更有限，本文写的又都是牛人中的大牛，形容这些让人羡慕嫉妒恨的家伙，还真找不到比这几个词更给力的正经词了。）

为了证明存在绝对空间，牛爷提出了一个实验。

器材十分的简单：用绳子吊起半桶水。

实验过程更简单：让桶转起来，观察水的反应。

这个游戏咱俩小时候玩过，估计很多人都玩过，没玩过的

也应该看过。所以我们知道，不管是牛爷，还是你我去转这个桶，一直转，过程都是这三个阶段：

第一阶段：桶刚开始转的时候，水不转，水面是平的。（这个时候，你以水为参照物，桶是转动的，但以桶为参照物，也可以说水是反向转动的。）

第二阶段：慢慢地，水就跟着桶转起来，水面的周边沿着桶壁上升，中间下凹，形成抛物面。

第三阶段：水与桶转动同步。（这个时候，水与桶是相对静止的，但它们相对于外部世界转动，也可以说外部世界相对于水和桶在转动。）

注意：问题的关键在水面，从第二阶段起，水面就变成了抛物面。

玩过的都知道，这没啥稀奇的，但实验的内涵很深刻：思考运动是相对的，还是绝对的。

这个题目大了，涉及整个物理学的根基，用的却是这样一套简陋到让人吐血的工具。所以说，最深奥的道理，就隐藏在我们身边无数个不起眼的现象中，洞察到的，就是高人。

这个实验，就是著名的“水桶实验”，只要涉及到相对运动、绝对运动的讨论，就避不开这个实验。

我们在前面讨论运动时得知，运动是相对的，动与不动，速度如何，得看参照物是谁，对吧？第一、三阶段括弧里，说的就是相对运动的道理，这里就不多说了。

牛爷也承认相对运动，但他只承认一部分，因为他认为“转动”是绝对的。

这个转动的水桶就是证明：如果转动一个水桶，水面会爬升，也就是变成抛物面。这能判断是水桶在转。但是水桶“不转动”时，即使让周围所有物体转动，水面也不会变成抛物面。

这就能判断是周围的物体在转，而水桶没转。因此，水桶的转动不是相对的。它就是自个在转，与其他物体转不转一毛

钱关系没有。所以，转动，是一种“绝对运动”。好吧，既然转动是绝对的，那么，假设全宇宙只剩下一个物体，它的绝对转动又体现在哪呢？

恭喜你，你问了这正是牛爷要的问题，他说，绝对运动，是相对于绝对空间的运动，绝对空间是不动的，所以，才会有绝对运动。如果你不承认绝对空间存在，那就麻烦你解释下水桶运动的水面吧。

神人啊！自 1687 年发表《原理》起，牛爷这一个简单的小动作，雄视英杰辈出的人类近 200 年，无人敢接招，不是不想，而是没人破得了这一招。直到 1883 年，一个叫马赫的奇才举起堂吉珂德之矛，刺向牛顿的风车。牛爷，如果你后期不是选了一项不可能的任务，鬼知道你还能鼓捣出什么惊天动地的成果来！

一例显而易见的观测

不解决光速问题，物理学难以为继。实验证明，光速不变。那么，是不是实验设计原理出了问题？经过多方论证，答案是否定的，实验设计原理没有问题，实验过程也没有问题。如果说，当时的实验设备、设计思想有问题，那么时至今日，可以上天入地的现代人，利用各种高科技手段，各种测量，答案都是一样一样一样的啊。

尽管如此，我们仍然可以怀疑这一切。因为我们总是不明真相，这个事实足以令我们怀疑一切。

OK, OKOKOK, 我们不做实验，来亲眼看一看事实，看看现实中，光速在我们眼中是否可变。

但是，光速那么快，即使它变快点，或变慢点，精密仪器测起来都费劲，我等肉眼凡胎，更看不出来了！

别急，虽然上天给我们的肉体太多高压限制，速度、力量、感官……很难取得一点突破，但有一处还是很宽松的，那就是智慧。智慧达到一定高度，肉眼凡胎也可以出神人。

这里的神人，当然就是指智慧的科学家们。

科学家们替我们找到一个显而易见的观测对象——双星。

这里所说的双星，是由两颗星组成的一个系统，也叫联星，是指这样的两颗星：它们距离很近，质量大抵相当，谁也不服谁，谁也不甘心围着对方转，却互相被势均力敌的引力吸住，不得不围绕共同的重心公转，就像领导班子里平分秋色的俩副手，总想抽冷子给对方一下，奈何大家都想到一块去了。不过从表象上看，它们更像电影里两个八卦门拳师交手前的情形。

我们要观察的双星系统是这样的：它们的公转轨道面与我们观察的角度基本持平，这样，双星就会在一颗转向我们时，另一颗转离我们，如此往复。

好的，现在我们先给双星起名，她俩一个叫苏小小，一个叫陈圆圆。这一年小小 17 岁，圆圆也 17 岁。现在，小小和圆圆在我们眼前翩翩起舞，顺时针互转，由于她俩体重一样，所以相互绕着她们共同的重心——也就是圆心飞转，美极了妙极了简直 OK 顶呱呱！不愧是著名青年舞蹈歌唱行为艺术家。

她们转的这个圈，对我们来说，有这样四个点：离我们最远的那个点叫“远”，离我们最近就叫“近”了；左边的那个点叫“左”，右边的那个点当然就叫“右”了，顺时针转哦。此刻，巧极了，苏小小在“远”，陈圆圆在“近”。

你知道我是个狂爱艺术的人，此时此刻，当然只顾欣赏艺术，因而没时间搞测量。所以测量任务交给你了。下面是你测量的结果：

- 1.两位 MM 的速度是光速的一半。
- 2.她们每 2 天转一个周期。也就是说，每两天，圆圆转一圈，小小也转一圈。
- 3.正常的光速需要经过 5 天时间传到我们的眼睛里。

现在，苏小小在“远”点，陈圆圆在“近”点。OK，我们先粗略观测一下，当光速可以叠加时，她俩运动的大致状况。

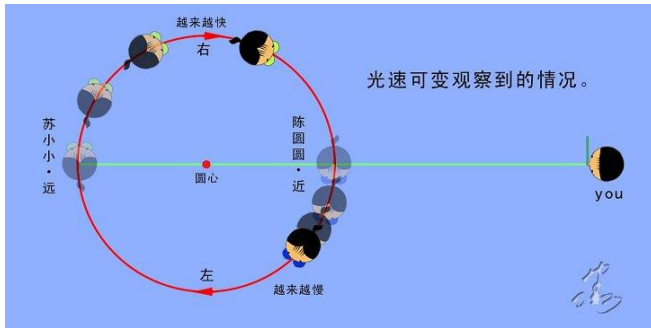
叠加的意思，就是 MM 跑向我们时，我们“看”到的 MM 速度=正常光速+光源速度；而 MM 逃离我们时，我们“看”到 MM 速度=正常光速-光源速度。这是两道小学算术题。

根据你刚才测到的数据，我们算出，MM 跑向我们时，观察速度是 1.5 倍光速，逃离我们时，观察速度是 0.5 倍光速。

好，MM 们可以开始了。

但见苏小小嫣然一笑，莲步轻移，腰身一闪，由“远”经“右”向“近”飘来，她身上发出的光，以 1.5 倍光速向我们传来。所以我们先看到小小飘过了右点。

与此同时，陈圆圆也不甘示弱，这舞都跳 N 年了，速度早同步了，who 怕 who 啊！于是也娇躯一闪，由“近”经“左”向“远”飘去，她身上发出的光，以 0.5 倍光速向我们传来，所以我们看到，小小飘过右点时，圆圆还没到左点！



【图 10.6】双星观测图。哈哈，美女看不清，这次是俯视图，木办法。

大哥，小小早到了，圆圆怎么才启程啊？

别急，让圆圆飞一会儿。

看到这个结果，陈圆圆杏眼圆睁，叱道：我和小小用了同样的速度，走了同样的距离，在你们眼里，居然苏小小比我快那么多，你们怎么看的？！

也难怪陈圆圆郁闷，如果光速可以随光源变化，我们会看

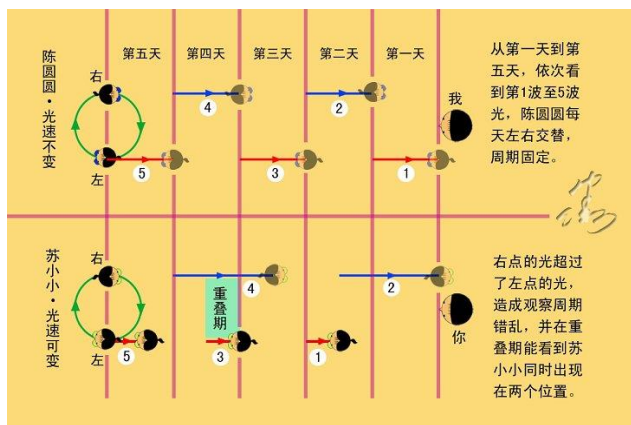
到，双星转向我们时，速度极快，而转离我们时，速度极慢，这样忽然闪动，又忽然缓动，它们转动的位置看起来就会错位，出现异动，如此看双星，就比围观凌波微步感觉还怪异。

具体情况，我们把光传递的时间分段来看，再做个实验：光速不变与可变对比。

这回，我们让两个 MM 分开来做。刚才让圆圆受委屈了，这次就让她做光速不变观测，小小呢，就做光速可变观测。

在这个实验里，我们把左半圆和右半圆运动的光，分别简化到“左”和“右”两个点来观察，根据两天转一圈的周期，我们可以确定，如果第一天某时，MM 在“左”，那么，第二天那个时刻，她就在“右”，如此往复。

我们先看圆圆的情况。她从“左”出发，发出 1 号光，以光速传向咱俩；次日到“右”，发出 2 号光，也以光速传向咱俩。以此类推，每天左右交替传播光。因为光要走 5 天才到我们这，所以从第五天起，我们先看到 1 号光，圆圆在“左”；次日，看到 2 号光波，圆圆在“右”；再过一天，我们又看到 3 号光波，圆圆在“左”……很有规律。跟她的实际情况相符。



【图 10.7】双星观测图。光速可变与光速不变对比。

现在来看看小小的情况。她发出的光速，与她的运动速度是叠加的。

小小也是从“左”出发，运动方向背离我们，发出的1号光以0.5倍光速传向咱俩；次日，小小到达“右”，这时运动方向朝向我们，发出的2号光以1.5倍光速传向咱俩。依此类题，每天左右交替传光。因为“右”光比“左”光快，只要旅途足够长，“右”光终会超过“左”光。我们就会观测到这样的结果：从第五天起，我们先看到2号光，小小在“右”；第二天稍晚些（间隔比一天长），看到1号光，小小在“左”；第三天很早，看到4号光，小小很快回到“右”；在第四天某个时间段，我们会看见小小在左、右两点同时出现！哇，传说中的魅影？！是的，这种现象就叫“魅星”。

如此一来苏小小郁闷了，好好的跳个舞，居然跳出个鬼影来！

这下扯平了。按照咱家规矩，都亏了，就是都不亏。于是大家都很满意。

在双星的实际观测中，从未观测到魅星现象。双星的运转周期也很有规律。宇宙中，虽然双星速度远远达不到光速的一半，但有的双星运转速度极快，离地球又十分的遥远，动辄需要几光年、几十亿光年才到达地球，如果光速可随光源变化，速度快的光经过漫长的岁月，早晚会追上速度慢的光（就用地球公转速度加上光速，每秒多30公里，算算多少秒能追上，你会惊奇地发现其实用不着多长时间），那就一定能观察到魅星，至少可以观察到它们的周期混乱，但是很遗憾，我们不管观测哪个双星系统，都没有发现这种诡异的转法。因此，实际观测证明，光源速度与光速无关。

不信？嘿嘿，还是伽利略那句话：不信自己去看。

不过，也有反对者提出另一种看法：他们认为，光从光源一发出，就进入另一种媒质，接着就被这种媒质吸收，并重新

辐射出来，变化的光速经过这样一“整理”，就又回到原来的速度！

这个理论让光的传播手续太复杂，先要进媒质，然后由媒质发出，再进下一个媒质……好像是下了飞机赶火车呢。虽然它能勉强解释光源运动时，光速为什么不变，但解释不了测量者运动时，光速为什么还是不变！

这些先按下不表，不远的将来咱还会有光速不变的例证，我们是以德服人，想要证明你就尽管要，要到你服为止，以德服人！以德服人！……

无数观测证明：光速不变。找不到以太。

马赫的批判

在地球人加个夜班都要点蜡、随便发个炎就能死人的那个年代，牛爷用鹅毛笔创立的理论，直到今天的科技最前沿还在乖乖地应用，怎一个牛字了得？！

但是，绝顶高手也有命门。

随着物理学的深入发展，牛顿定律的软肋逐渐暴露出来。比如，牛顿第三定律的关键点是：作用力和反作用力等大、反向、共线，彼此作用于对方，并且同时产生，性质相同。运动电荷就不。它们之间的作用力总是跟牛爷过不去。

实验证明，运动电荷之间，作用力不一定等于反作用力，它们的方向不一定相反，大小也不一定相等，有时甚至没有反作用力，被人打了左脸，它不还手不说，还把右脸也伸过去！奶奶个熊！

俗话说，福无双至祸不单行。实验还证明，对于以电磁场为媒介传递的作用，总存在着时间的推迟，这意味着作用力和反作用力并非同时产生，与牛顿定律配套的超距作用是不存在的。

例子还有，但做人要厚道，已经祸不单行了，咱就不往井里扔第三块石头了。可是，马赫不这么看，他认为，做人就是

要有一说一。

恩斯特·马赫，男，当年 45 岁，现年 173 岁，奥地利物理学家、哲学家，经验批判主义的创始人之一。这里所说的当年，是 1883 年。这一年，他发表了一篇神作，叫做《文盲正侃时间史》，对不起口误，那是一个傻啦吧唧的文盲写的，马赫写的那本其实叫《力学及其发展的批判历史概论》（以后简称《力史》）。

《力史》对物理学的发展产生了深刻的影响。马赫在书中对牛顿的绝对时空观的批判，以及对惯性的理解，为爱因斯坦写出引力场方程提供了灵感的火花，对广义相对论的建立起过积极的作用，爱因斯坦把他的这一思想称为马赫原理。

马赫在《力史》中，以深切的感情探寻、洞察了力学从小 baby 到大 boy 的成长轨迹，回顾了以牛顿为代表的力学先驱们的辛勤工作及丰硕成果，还顺便八卦了他们的心路历程。当然，引起轰动的，肯定不是这些工作总结，而是马赫的批判。

一个批判，为什么会引起轰动？凡是有批判意识的人，都进行过批判；凡是能够批判的事物，都受到过批判。

这是批判的两个凡是定理。所以，在我们人类社会，批判无处不在。所以，批判本身不足为奇。一个批判，能否命中 G 点，引起轰动，有两个关键点：

1. 谁批判。

2. 批判谁。

这两点决定了这个批判是理性的还是非理性的，是高明的还是拙劣的，是客观的还是主观的，是实事求是的还是迎合上意的……得出这个结论，可不是看人下菜碟，而是有科学依据的：人品决定意识、意识决定行动、行动决定结果嘛！扯远了，再扯回来。

好，我们来看第一个关键点：谁批判。

马赫批判。

马赫何许人也？前面介绍过两句，这是个牛人。他 22 岁获

博士学位，1864~1867年在格拉茨大学先后任数学教授和实验物理学教授，1867~1895年在布拉格大学任实验物理学教授，两度被选为校长。马赫发表过100多篇关于力学、声学和光学的研究论文和报告。他发现了激波。确定了以物速与声速的比值（即马赫数）为标准，来描述物体的超声速运动。他原创的马赫效应、马赫数、马赫带、马赫波、马赫角……赫赫有名。他的贡献远不止这些，这里不一一列举了。

OK，第二个关键点：批判谁。

批判牛顿。

被批判方大家都很熟，就不劳我介绍了。

现在马赫批判牛顿，引起轰动是必然的。

更引起轰动的是，马赫不像我老婆批判我那样，以无与伦比的跳跃式思维把我这当事人搞得不知所以、懵懂迷惘、怅然若失，然后她心满意足地得胜回房，人家马赫的语气是温和的，视角是客观的，思路是清晰的，评价是中肯的，态度是恳切的，论据是有力的，逻辑是严谨的，结论——是惊人的！

他就是这样，娓娓道来，给力地批判了经典力学的基本概念和基本原理，以及后人对它们的误用，批判了当时一统天下的力学先验本质和机械自然观。

对经典力学而言，要命的，不是这种批判的冲击性，而是它的启蒙性，如同在深秋草原的上风口，点燃了一朵幼小而又璀璨的星星之火，又如思想品德课的下半节，在老师干巴巴的陈述中，突然响起的清脆的下课铃声，唤醒了在条条框框中打盹的物理学家们，为物理学迈出新步伐、踏上新征程、作出新贡献扫清了思想障碍。

我们来看看他都说了些什么。马赫说，并不是“所有物理现象都可以归结到力学之上”。就是说你该管的管，不该管的管不着！只这轻轻一刀，便砍掉了力学的半壁江山。

对于质量，牛顿定义道：“物质的量是物质的度量，可由其

密度和体积共同求出。”马赫抗议，他认为这是个伪定义。他说，好吧，你想知道物体的质量，得先知道它的密度和体积是吧，那么，请问正方一辩，密度怎么测？用牙咬吗？

下面是教科书参考资料。

=====

8-1 磁力服从牛顿第三定律吗？

两个匀速运动点电荷之间的磁力以及两段电流元之间的磁力不服从牛顿第三定律。这可举例

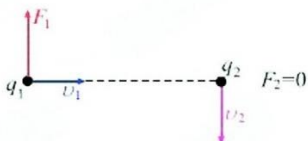


图1

说明：如两个运动点电荷，速度方向互相垂直，某瞬时相对位置如图 1，则在图示情况，点电荷 1 在点电荷 2 处的磁感应强度为零，因而对电荷 2 的磁力为零；但电荷 2 在电荷 1 处的磁场对电荷 1 的磁力不为零，方向如图。

一般情况下二者大小方向都不同。证明如下：

电荷 1 在电荷 2 处产生的磁场为 $B = \frac{\mu_0 q_1 v_1 \times r_{12}}{4\pi r^2}$ ，电荷 2 受

力为 $f_{2m} = q_2 v_2 \times B_1 = \frac{\mu_0 q_1 q_2 (v_2 \times r_{12})}{4\pi r^2}$ ，式中 r_{12} 是电荷 1 到电荷

2 的单位位矢。同理，电荷 1 受力为 $f_{1m} = \frac{\mu_0 q_1 q_2 (v_2 \times r_{21})}{4\pi r^2}$ 。

利用矢量的混合积公式： $a \times (b \times c) = (a \cdot c)b - (a \cdot b)c$ ，有

$$v_2 \times (v_1 \times r_{12}) = (v_2 \cdot r_{12})v_1 - (v_2 \cdot v_1)r_{12}$$

$$v_1 \times (v_2 \times r_{21}) = (v_1 \cdot r_{21})v_2 - (v_1 \cdot v_2)r_{21}$$

注意到 $r_{12} = -r_{21}$ ，两个点电荷所受磁力的矢量和为

$$\begin{aligned} f_{1m} + f_{2m} &= \frac{\mu_0 q_1 q_2}{4\pi r^2} \{ (r_{21} \cdot v_1) v_2 - (r_{21} \cdot v_2) v_1 \} \\ &= \frac{\mu_0 q_1 q_2}{4\pi r^2} r_{21} \times (v_2 \times v_1) \end{aligned}$$

上式表明：一般 $f_{1m} + f_{2m} \neq 0$ ，所以两运动电荷之间的磁力不服从牛顿第三定律。只有当 $r_{21} \times (v_2 \times v_1) = 0$ 时（对应 v_1 与 v_2 平行或反平行，或电荷运动速度垂直于两点电荷的相对位矢的特殊情况），才有 $f_{1m} + f_{2m} = 0$ 。

至于两电流元之间的磁力情况，由于电流元产生磁场的规律以及电流元在磁场中受力的规律形式与点电荷的相同（只需将 q, v 替换为 I, dl 即可），因而结论相同。

两个闭合的恒定电流线圈之间的磁力服从牛顿第三定律。证明这一结论时只需将闭合电流的磁场看成其上各电流元磁场的叠加，而整个闭合电流线圈的受力则是其上所有电流元受力的矢量和，其余步骤与前面类似。因而两个线圈各自所受磁力的矢量和为

$$F_{1m} + F_{2m} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{4\pi} \iint_{L_1, L_2} \frac{r_{21} \times (dl_2 \times dl_1)}{r^2}$$

下面这个是论证，开头列举正方两方面意见，然后论证切题。

两个运动电荷之间的相互作用

为什么不服从牛顿第三定律

北京师范大学 王雪君

在一些电磁学或电动力学书中，常有这样一个例子，如图1所示 $I_1 dl_1$ 和 $I_2 dl_2$ 分别为两个稳恒电流元。 $I_1 dl_1$ 受到的力

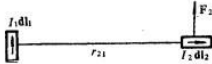


图1

$$F_1 = \frac{I_1 dl_1 \times (I_2 dl_2 \times r_{12})}{c^2 r_{12}^3} = 0$$

$I_1 dl_1$ 受到的力

$$F_1 = \frac{I_1 dl_1 \times (I_2 dl_2 \times r_{12})}{c^2 r_{12}^3} \neq 0$$

可见一般说来， $F_1 \neq -F_2$ 。由此得出结论：两个稳恒电流元之间的相互作用不一定服从作用反作用定律。那么在一般电磁学现象中，作用、反作用定律是否就不成立了呢？对这个问题常见的看法是：因为稳恒电流元是不能孤立存在的，所以不能就此作出结论。并且又接着指出，稳恒电流总是形成闭合电路的，可以证明两个闭合稳恒电路之间的相互作用服从作用、反作用定律。但是这种答案不禁又使人产生一些疑问：闭合是不是牛顿第三定律成立的关键？电流随时间变化的两个环形电流之间的相互作用是否等值反号？甚至最简单的——两个任意运动点电荷之间的相互作用是不是服从作用、反作用定律呢？如果不服从，又是什么原因？本文就准备讨论这些问题。

一、两个运动点电荷之间的力不等值异号

.....

图下面还有N多内容，就不贴了。

马赫可不是抬杠，他不仅能提出质疑，还能给出答案：质量比与相互加速度成负反比——物体间的引力使之产生加速度，它们加速度的比就是其质量的负反比。他说，从力学关系中推导出来的质量定义，才是真正的质量定义。

他乘胜追击，不依不饶，反对“惯性是物体的固有属性”这一说法，还刁钻地问道：如果宇宙中只有一个物体，它的惯性何在？

注意这一问哦，它包涵着深刻的物理和哲学命题，不信你就细想想，物质为啥子会有惯性，往深层、本质处去想，你会

是由该电荷在同一时刻的位置、速度、加速度决定，而是与电荷在早些时刻的位置、速度、加速度有关⁽¹⁾。所以求任意运动电荷的电磁场是很麻烦的一件事。

但是当点电荷的速度 $v \ll c$ 时，它产生的电磁场可按 $1/c$ 的幂次展开，并且可以用同一时刻点电荷的位置、速度、加速度来表示⁽¹⁾。

$$E(r, t) = \frac{q}{r^2} - \frac{q}{2c^2} \left\{ \left[\frac{3}{r^3} (\dot{v} \cdot r) - \frac{r}{r^3} v^2 \right] + \left[\frac{\ddot{v}}{r} + \frac{r}{r^3} (\ddot{v} \cdot r) \right] \right\} + \dots \quad (1)$$

$$H(r, t) = \frac{q \times r}{cr^3} - \frac{q}{2c^2} \left\{ v \times \left[3 \frac{r}{r^3} (\dot{v} \cdot r) - \dot{v}^2 \right] + \left[\frac{2(\ddot{v} \times r)(r \cdot v)}{r^3} + \frac{\ddot{v} \times r}{r} + \frac{v \times \ddot{v}}{r} + (v \times r) \left(\frac{\ddot{v} \cdot r}{r^3} \right) \right] \right\} + \dots \quad (2)$$

其中 r 是场点的位置矢量，它的起点是 t 时刻点电荷的位置， v, \dot{v} 分别是它在 t 时刻的速度和加速度。

将(1)、(2)两式代入洛仑兹力公式，力也可展成 $1/c$ 幂次项的级数。当只考虑力的 $1/c$ 的零次项时，很易看出两个运动电荷之间只有电力；没有磁力，而且电力是等值异号的。当考虑到力的 $(1/c)^1$ 项时，(1)、(2)可简化成

$$E(r, t) = q \frac{r}{r^3} - \frac{q}{2c^2} \left\{ \frac{v}{r} + \left[\frac{\ddot{v} \cdot r}{r^3} r - \frac{v^2}{r^3} \right] r \right\}$$

$$H(r, t) = q \frac{v \times r}{cr^3}$$

于是电荷1所受的力是

发现，越想越头痛。这很正常，因为这个概念直逼事物的根本，直到现在，仍然有物理学家在为此头痛。

好了，现在关键时刻到了，马赫开始了对牛顿绝对时空观的批判。

马赫的批判立足于一个基本的思想：宇宙间的一切都是相互关联、相互影响的。这与牛爷“独立的、不受万物影响的”绝对时空观格格不入，不共戴天。

首先是空间，马赫提醒道：不要忘记宇宙间的一切都是相互依存的，包括我们自己以及我们的思想。

然后是时间，马赫认为，绝对时间是一种形而上学的概念，毫无用处。他说，绝对时间既然与世间一切毫无关联，不受任何事物的影响，那么它就像以太那样，没有任何价值。没有人能拿出绝对时间的证据。

他认为，时间、空间的绝对概念来自纯粹的思维，是人宅在家里没事用脑子憋出来的，而不是现实。

说到空间是绝对的还是相对的，铁定绕不开牛爷随手放出的那个绝招——水桶实验。

马赫怎么拆招的呢？看好了，这可是 200 年来敢接招的第一人，他只说了几句话，所以，每个字都很重要哦。

“牛顿的旋转水桶实验只是告诉我们，水对于桶壁的相对旋转不引起显著的离心力，而这离心力是由水对地球及其他天体质量的相对转动所产生的。如果桶壁愈来愈厚，愈来愈重，直到厚达几英里时，那就没有人能说这实验会得出什么样的结果。”

“如果把水桶固定，让众恒星旋转，能够再次证明离心力会不会存在吗？”

“水面沿桶壁的升高是离心力的作用的结果，也可以看作相对惯性力的作用，而这个惯性力是无数遥远天体对水面的引力的作用，所以惯性力本质上就是引力。”

一时没看懂不要紧，因为马赫说得太笼统了，说实话这段文字翻译的也不敢恭维，但是我搜来搜去只有这一个版本，所以只好用了。

为了便于理解，我们需要梳理一下，先把牛爷的杀招和马赫的拆招简化一下，看看他们是如何对话的，然后再把马赫的话展开来理解。

牛爷说，水桶转 \neq 万物绕水桶转。理由：前者会出现抛物面，后者不会。因此，这俩参考系不平权。结论：存在一个优越的参考系——也就是“绝对空间”。

马赫说，水桶转=万物绕水桶转。以水桶为参考系，就是万物在转，以万物为参考系，就是水桶在转。两个参考系平权。

理由：万物——包括遥远的星体对水桶里的水产生了影响，导致水的抛物面。

千万别以为马赫在耍小聪明，一竿子支到“遥远星体”上，用无法验证的假设去化解牛爷的绝招。

马赫还真不是在玩脑筋急转弯，他说的话，可是正正经经的物理理论，有理有据的。

关键词：惯性、引力、离心力。还有个动词：对偿转让。指的是，水对外力作用的综合反应。而外力，来自另外几个关键词组：地球及其他天体质量、相对转动、众恒星旋转。

这些东东，好像跟水的抛物面没啥子关系是吗？别急，其实我比你急，但这事，还真得一步步说。

还记得马赫对惯性的看法吗？他针对牛顿“惯性是物体的固有属性”的说法，欠扁地问了句：如果宇宙中只有一个物体，它的惯性何在？

在马赫看来，惯性的本质就是引力。听起来挺离谱是吧？其实挺靠谱。为了说明这个理论的原理呢，我们举个“不太恰当”的例子：

用很多根橡皮筋，从四面八方拉住一个乒乓球，让各个方

向的拉力都均匀，乒乓球就会悬浮在空中。这时，各个方向的拉力之和是多少呢？不用算了，只要球“不动”，各向拉力之和就是0。就像一个各怀鬼胎、势均力敌的领导班子。

这些橡皮筋的拉力，就相当于宇宙中某个物质（比方说一个原子）所受到的引力。这些引力来自何方呢？来自它周围所有的物质，包括那些“遥远的星体”。星光（包括不可视的）能传多远，其引力也能传多远。虽然星体很遥远，引力是越远越小，但不是没有，而且星体的数量庞大，所以力虽小，却不能忽略。

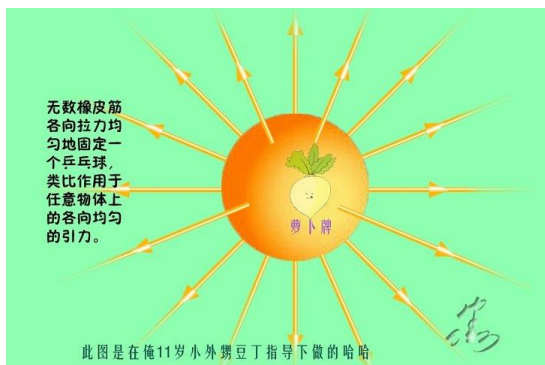
那么，为什么我们只感觉到地球的引力，而感觉不到遥远星体的引力呢？

先说地球。我们感觉到地球引力，是因为地球对我们的引力足够大，并且是单向的，所以我们能感觉到它向“下”的引力。试想，如果我们处在两个地球之间，两端引力均衡时，我们还能感觉到引力吗？（这个再说下去就到广义相对论了，咱以后再细说。）

再说遥远星体。我们感觉不到它们的引力，有两个原因，第一个原因是力道微弱，第二个原因更重要——遥远星体各个方向的引力均匀。就算以前不均匀，经过漫长的岁月，也被引力导致的恰当运动给调和均匀了。（这个再说下去也到广义相对论了，咱还是以后再细说。）

太阳的强大引力，能把咱们庞大的地球控制在现在的轨道，使之无法逃脱，但立足在地球上的你我，能感觉到太阳的引力吗？不能，就是这个道理。

所以说，你晚上没事瞥一眼天上随便哪颗星，还真别以为它跟咱一毛钱关系没有，关系大了——跟咱们的皮肤毛发骨肉心肝胃脾肾，以及身上的每一粒原子都有关系！



【图 10.8】各向拉力均匀的乒乓球，类比宇宙间任意物体所受的引力。

回到那个乒乓球，现在我们伸出温柔的小手，推它一下，朝任何方向推都可以。

是不是感到有阻力？不要说乒乓球的质量，因为这个阻力明显比它的质量大很多，你向下推，它的质量带给你的反向力，已被地球引力抵消，但这个阻力，却是青山依旧在，不管夕阳红不红。

那么这个阻力来自哪呢？当然来自橡皮筋，虽然各向拉力均匀，互相抵消，但是在乒乓球运动的那一瞬间，橡皮筋的拉力，就形成了阻力。

这个阻力，就是所谓的“惯性”。我们刚才说了，橡皮筋的拉力相当于引力。

为什么刚才说这个例子“不太恰当”？因为引力的“弹性”没有橡皮筋那么大、那么明显。还有，橡皮筋的特点是，你推的距离越大，阻力越大，而引力不是这样。这就是马赫的思想：惯性的本质就是引力。

所以他有那样一问：如果宇宙中只有一个物体，它的惯性何在？好比撤掉所有橡皮筋，再去推刚才那个乒乓球（不用钢球，而用乒乓球，就是为了便于我们在脑中忽略它的质量），就

没什么阻力一样。

好了，现在回到水桶。我们看看马赫所说的那个“对偿转让”过程是什么样的。我们要有心理准备哦，虽然这是一个常见的现象，但把它全程描述起来，还是相当复杂的。

桶里的水受地球引力，对桶壁产生压力，这个压力导致的主要结果之一就是，水与桶始终存在摩擦力。于是，水桶旋转，紧贴着桶壁的水分子，在摩擦力的作用下，跟着桶壁动，并把这个力传向相邻的水分子，以此类推。整桶水慢慢地就跟着转动起来。

伽利略和牛顿说，如无外力，运动是直线匀速的。所以，凡是曲线运动，包括圆周运动，都是受外力束缚的。

在这里，水转动，是因为桶转动给了它外力。转动，当然属于圆周运动，也就是绕圈儿。除了理论上的那个轴心，你不管看哪个位置的水分子、水原子，它们都在绕圈儿。这种绕圈儿运动，有一个共同的倾向，就是向外逃脱——说白了，就是它们都想沿着弧的切线飞出去，做无拘无束的匀速直线运动。

请注意，不管谁改变运动状态，都是要克服惯性的，水分子们转动也不例外，它们向外逃脱克服惯性的那个力，就是所谓的“离心力”了。

重复一下上面的过程：桶转动→带动水绕圈儿→水克服惯性向外逃脱→离心力。

那么好，转动产生离心力，于是水分子们就有一个共同倾向：沿离心力的方向继续向前跑。这种倾向，又是“惯性”，是运动物体的“惯性”。跑着跑着悲催了，桶壁拦住了去路，于是水分子就挤向桶壁，这跟大客车刹车时，车上的人都不由自主朝原来的运动方向挤是一样的。大家都朝桶壁挤，使水的边缘上升，中间下凹，形成了“抛物面”。高处的水由于地球引力，形成向下的压力。当这个压力大到一定程度，与上升力持平时，水就不再沿着桶壁上升，保持相对稳定的抛物面。

重复一下上面的过程：离心力→运动惯性→阻挡→挤压→抛物面→平衡。

瞧，这样一解释，水的抛物面，就不是孤立的了，它与其他万物息息相关。把其他万物拿掉，让它们、及其该死的引力立即消失，那么，无论这个水桶如何“转”，这个抛物面也不复存在了。

事实上，如果把这桶水拿到太空，失去了地球的引力，水不对桶壁形成压力，也就没有那么大的摩擦力，你一转，水就跑出桶去了，还哪来什么抛物面？

当然，牛爷用水桶实验，是想通过那个抛物面来判断离心力的存在，关键词是离心力，他想证明只要是存在离心力的运动——转动，就是绝对运动。而马赫用刚才的解释，否定了这个说法。

这个按下不表，我们继续谈马赫的相对运动和相对空间。



【图 10.9】恩斯特·马赫

马赫认为，假设反过来，让水桶固定，而让其他万物绕水桶运转，效果是一样的。力的作用在宏观上是“相互”的嘛，马赫这小子不厚道，这是用牛爷的矛，去戳牛爷的盾。桶转，万物引力能让水出现抛物面；万物转，引力运动照样能让水面形成抛物面。任何一个物质，在没有其他物质的情况下，都无

法判断它是不是在运动、以及作什么运动。

也就是说，无论哪种情况，水都是“相对”于其他事物转动的，运动是相对的，那么，空间也就是相对的。

这就是马赫表达的思想。由于这家伙的懒惰，害得本文盲多敲了这么多字。

关于水桶实验，后来有人欠扁地弄了一个加强版：

假设宇宙中没有其他物质，只有一只水桶，我们不知道它是转呢还是没转。

然后，让这只水桶“下面”突然出现一只同样的水桶。这时，我们发现两只水桶相对在转动。

需要思考的问题是，新来的、先到的两只水桶：

怎样确定是哪只在转？或者是两只都在转？

哪只应该出现抛物面？或者都应该出现抛物面？或者都不应该出现抛物面？为什么？

正反两方众说纷纭，都能在这两只水桶中找到自己想要的答案。

路人甲：因为宇宙里只有这两只水桶，所以无论怎么说，它俩的相对运动都是平权的。你有我有全都有。

路人乙：平权就好办了，如果一只水桶转动，有抛物面，那么另一只相对转动的水桶也应该凹下去，必须的。平权嘛。

阿凡达：你以为水桶像你们人类那样无聊，看到其他水桶有抛物面，就去赶时髦，也去韩国把自己整出抛物面？它是不会因别的水桶有什么动作就改变自己的！

泔水桶：有道理啊，这就出现了矛盾。我以人民公桶的角度来看，如果我的抛物面被使用在这样万众瞩目的时刻，只会觉得非常荣幸。千万不要学某些国内文盲萝卜没有眼界和格局保守。因此，最合理的解决方案，就是它俩都没有抛物面。不可能出现一只水桶有抛物面，而另一只没有的尴尬局面。即使出现了，不用像世界末日那样@那么多人，这事我全权负责。

淡定，小朋友，天，没塌。

芙蓉姐姐：两只水桶的宇宙，也能判断出谁转谁不转，那就是拿空间当参照系，我们可以判定哪只相对于空间转动，哪只相对空间静止。

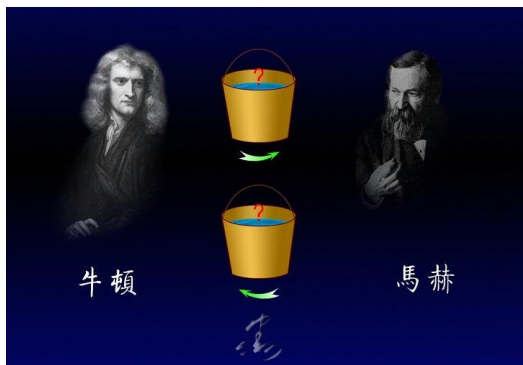
9527：好吧大神，就算有一只转，另一只不转，请问你拿什么判断，哪一只相对您的绝对空间静止的呢？你以为空间的造型是个S？

火星人：如果引入一个星系，就好办了，立即就能判断出哪只动哪只不动，动的那只一定有抛物面。

灰太狼：闭嘴，这不又回到牛爷的那只现实的水桶了吗？回你的火星吧！对了已经没有星球了。

和珅：要不，咱众奴才看看万岁爷是咋说的？

.....



【图 10.10】牛马之争——双水桶实验

本文旨在这里不评论牛顿和马赫孰是孰非。事实上，关于水桶实验，现在仍在争论中。这，其实是绝对时空与相对时空的较量。

当然，我们必须正视一点，就是马赫的体系并不完善（这是废话，目前也没有谁的体系是完善的），他的理论中当然也有许多值得商榷的地方，但是，我们从他的思想里所收获的，不

在于其完整性，而在于其开拓性。

马赫的思想就像撒落在春天田野的种子，很快在一些超级聪明的脑袋中生根发芽，亨利·庞加莱、皮埃尔·迪昂、赫尔曼·亥姆霍兹、古斯塔夫·R.基尔霍夫、威廉·奥斯特瓦尔德、理查德·阿芬那留斯、恩斯特·海克尔、J. B.斯塔洛、卡尔·毕尔生……他们都曾是马赫思想的追随者和宣扬者。早年的爱因斯坦和普朗克也在其中。

经典力学大厦开始动摇。

200字的题外话：关于马赫和爱因斯坦的故事。

他们的故事一点也不和谐。

马赫思想对爱因斯坦的相对论起到积极的作用，爱因斯坦甚至一度把马赫称为“相对论的先驱”，但马赫终生都没有接受爱因斯坦的相对论。后来爱因斯坦对马赫哲学进行了公开批判，比如：马赫或多或少地相信科学仅仅是对经验材料的整理；马赫哲学不可能产生出任何有生命的东西，而只能扑灭有害的虫豸（好像是在说灭害灵）；马赫喜欢跟着感觉走，靠感觉堆砌自己的世界，从而否定了物理“实在”这个概念……

后来，普朗克也站在了马赫的对立面。

是的，马赫哲学有缺陷。这毋庸置疑。

但是，任何批评也无损马赫作为伟大思想家的声誉，他的思想独立自主，他的批判心平气和，他态度公正，没有偏见，他热爱真理和明晰性……这些，都是一个伟大哲学家所必备的品格。

在两片乌云的笼罩下，经典力学的暗夜来临。马赫思想的悄然传播，进一步撼动了牛顿力学的根基。物理先锋们收回投向经典力学大厦的狐疑目光，向远方看去。

第十一章 相对论前传（下）天际微白

伽利略相变换

伽~~利略变~~换？那是以前的事吧亲？亲，都“微白”了，怎么又说回昨天傍晚了？

亲，没有昨夜，哪来今朝啊？

那好吧亲，伽利略我知道，“伽利略变换”又是个神马东东？

我长话短说，这事情，说来话长了（怎么都这毛病？）。还记得《关于两种世界体系的对话》吗？yes！正是伽利略写的那本不招教会待见的书。

在《对话》中，伽利略同志请咱俩上游轮，做了一个生活气息十分浓厚的实验，浅显地阐明了相对性原理，科了个普，还顺便告诉我们，什么是“惯性参照系”（也称惯性系）。嗯，我来描述一下，注意听哦，有些词很关键哦。

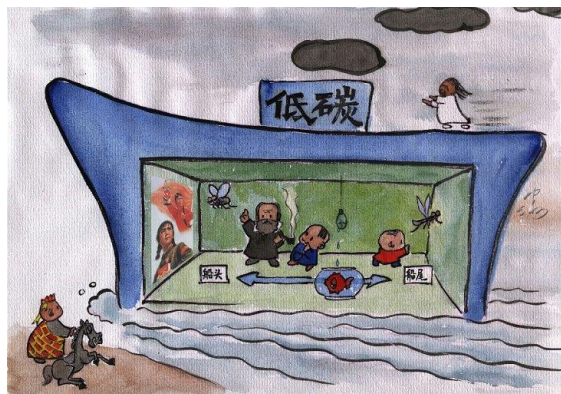
这一天春和景明，波澜不惊，上下天光，一碧万顷（后面的词自己背，沙鸥翔集……），伽利略号飞快、匀速、平稳地航行在洞庭湖上。

师傅这船开得，那叫一个稳！以至于站在甲板上的我们，分不清是船在动，还是水以及远方的景物在动。

略哥带着我们走下船舱，七拐八拐进了一间密室，门窗一关，外面的世界瞬间与我们无关。

密室地板中央画了一根双向箭头，箭头两端各放一块纸板，一块上书“船头”，一块上书“船尾”；箭头旁有一只鱼缸，缸里有一条没心没肺一天到晚游泳的鱼；鱼缸正上方挂了一个漏水的袋子，羞羞答答、欲诉还休地向缸里滴水；还有两个空姐，略哥向我们介绍说，她俩一个叫小蚊，一个叫小蝇，你闻言瞠目结舌地看看她们又看看略哥，显然，她们为自己的名字感到难为情，我大手一挥慷慨地说，就叫她们小雯和小莹好了！空

姐们闻言大喜，振翅而舞，绕着我们飞来飞去，一时顿感春意盎然。



【图 11.1】伽利略号。惯性参考系。

“好吧，现在让我们来做实验。”伽利略这个没有情调的家伙，刚才把正在水际找岳阳楼的我们从碧水蓝天间弄到这里，现在一句话又让我们从春的憧憬跌回冰冷的密室！

“你你你……您老有何吩咐？”在人船檐下，不得不低头，咱俩异口同声应道。

“乡亲们，让我们猜猜看，现在，船是在走还是停了？哪个方向是船头？”

伽利略神秘地问出两个问题。

“拜托，你那个船长把个船开得浮云一般神鬼莫测，我们刚刚在外面都闹不清，究竟是船动、水动还是心动，现在你把我们搞到这个比秦皇陵还严实的房间里，鬼才晓得船是动还是不动！”我可不上这个当，马上摆出了猜不出的理由。

但你比我机灵，立即抢答了另一个问题：“我知道，船头在那边。”说着，你的手顺着箭头，自信地指向写着“船头”那块纸板的方向。

“Oh, I'm 对不住你，看来我把两块纸板放反了，我汉字

不熟。”伽利略说着把两块纸板对换了位置。你指示方向的手臂定格成路标，随着身体缓缓转向相反的方向，表情漠然。

“OK，OKOKOK，我宣布答案。”善良的略哥 hold 不住了，“现在，船在快速航行，船头的方向，就是现在箭头指向‘船头’纸板的方。我们知道，运动是相对的。像我们的船这样，匀速直线运动的事物呢，就叫惯性参照系，简称‘惯性系’。”

略哥说着，看看咱俩似乎是懂了，放心地接着说，“不论船是匀速直线运动，还是停在水面上，船和船上所有的事物，都处于同一惯性系。这没问题吧？”

有道理。咱俩点点头。

略哥兴奋地说，“我认为，力学规律在所有惯性系中，都是等价的！这句话很重要哦。这就是说，只要我们的参照系属于惯性系，那么，不管我们是在船上还是在地面上，任你怎么鼓捣、折腾，所有力学现象都是一样的。这就是为什么我们在密室里感觉不到船是在走还是停，也不能辨别船行方向的原因。”

略哥边说边亲切地拍了拍咱俩的肩膀，“所以，猜不出这两个问题，说明你俩太~~正常了！就像没有日月星辰，我们也搞不清地球是否在转、以及朝哪转一样。”

伽利略停顿了一下，看了看作沉思状的咱俩，眉飞色舞地说道：“现在，这间密室里充满了我的论据。Look，尽管现在船在高速运动，水滴也象在咱们家卧室一样，垂直滴进下面的鱼缸，一滴也不会滴向船尾，虽然水滴在空中时，船已经跑出老远；鱼在水中游向船头船尾船舷任何方向，都不会更费劲或更省劲；两位空姐也是随便地到处飞舞，它们不会因为长时间在空中玩悬停，而偏向船尾，更不需要为了赶上船的运动而刻意向船头使劲。”

伽利略说着，从口袋里掏出烟斗点燃，一缕烟袅袅向上升起，“看，它不向任何一边偏移。”伽利略指着烟说道。

“总之这一切，就像发生在咱家卧室一样，并没有因为船

在运动而产生任何差别，其原因在于，船的运动是船上一切事物所共有的，包括这件密室里的空气。”

伽利略说着，看看咱俩，目光落到你身上，他伸手把你指向船头的那只路标手按下，望着你的眼睛深情地说道：“虽然你很有诚意的看着我，但我知道你还是不信。这样好了，你试试看从船尾的方向朝船头的方向跳一下，再朝反方向跳一下，多试几次，看看所用的力度啊、跳出的距离呀什么的有没有差别。”

“哦耶！”行动力超强的你兴奋地同意了，立即开始在密室里跳来跳去。

“我去甲板找岳阳楼先，略哥要不要同去？”我边说边朝门外走去。

“嗯，好的我帮你找，带上我的望远镜。”伽利略答应着，转头向你说道：“完成最终试验的重任就交给你了！”准备再次起跳的你蹲在地上郑重地用力点点头。

还是甲板上好啊，湖面上波光鳞影，蓝天下云淡风轻，远山如黛，游人如织，偶有鱼鹰掠过、菱香袭来……船开得稳就是好，可以用天文望远镜看岳阳楼！真是别有一番滋味，一切仿佛触手可及，尤其是……“美女啊！”略哥瞪大望远镜后的眼睛叫道：“好多美女啊！”……

两个小时后，你大汗淋漓、气壮如牛地出现在我们面前，上气不接下气地宣布实验成果：“经过向船头跳、向船尾跳、向左舷跳、向右舷跳、5度斜跳、10度斜跳、15度斜跳……兔子跳、袋鼠跳、跳蚤跳……程菲跳、楼云跳、冢原跳、普罗杜诺娃跳、尤尔琴科系列跳……跳了一千~~~多次，我突然发现无论朝哪个方向跳，相同力度会得到相同的结果，唯一不同的是，我一次比一次累。”说完，悲壮地向远方望去，目光所及之处，风云变色。

“你真是太~辛苦了。”伽利略和我恋恋不舍地收起望远镜，异口同声七嘴八舌地向你慰问，六只大手紧紧地握在一起缓缓

有力地摇了摇，坚毅二字写满我们悲悯的脸。

“根据我们刚才在密室广泛深刻的观测，以及你无微不至的跳跃实验，我们再次得出结论：力学过程对于静止的惯性系和运动的惯性系是完全相同的。引而伸之，力学定律在任何惯性系中都是相同的。这就是相对性原理。”伽利略凝望着汗牛满面的你，深情地说：“得出这一定律，你的跳跃功不可没，我决定，《对话》作者加上你的名字。你知道，这本书出版以后，我在教会的监牢里实在是太~~~寂寞了！”顷刻，你内牛满面。

画外音：遥想略哥当年，《对话》出版了，提出相对性原理，是为了应对地心说对哥白尼体系的责难，但它的意义远不止于此，它是经典力学的重要基石，被爱因斯坦称为“伽利略相对性原理”，是狭义相对论的先导。

“那么好吧，既然如此，就让我们进行下一个话题吧。”我感于你的献身精神，用因果关联词提出一个与前事毫无因果关系的建议。乘着大家在定格中搜索前因，我忙补充道：“其实我好奇的是，两个不同的惯性系，对同一个物体运动的看法会不会矛盾。”

伽利略长长地哦~~~了一声说：“这个问题很好很强大。这正是咱仨要解决的下一个问题。”

“是不是又有实验做？”你甩了甩脸上的汗水 and 泪水问道。

“恭喜你又猜对了！”伽利略转向你由衷赞扬道。

“那么这个实验……可不可以等我休息休息再做？”你挥汗如雨，诚恳地问道。

“当然可以！你可以全身心休息。因为我们要做的是思想实验。”伽利略同样诚恳地答道，“好的，现在假设，刘以达在船尾……”

“哈，刘以达？不就是在《大内密探零零发》里飘来飘去的那个女鬼嘛！为什么会是他？”我一想起这个欠扁的家伙就

忍不住笑，所以打断伽利略的话，证实一下是不是重名。

“正是他。我们知道，对人类而言，做匀速直线运动实在是一套技术含量超高的动作，难度系数达到 4.2，所以我们只能请刘大师出马。”伽利略说道，“我们的船现在航速是 60 码，刘大师以 10 码的速度从船尾飘向船头。那么在我们看来，他移动的速度是多少？”

“当然是 10 码了！”我毫不犹豫地答道。

“完全正确！”伽利略说着，指指在岸边求渡的和尚，第二个问题接踵而至“那么，在岸上那个和尚看来，刘大师的速度又是多少呢？”

“施主，可否渡贫僧过河？贫僧自东土大唐而来，去……。”咦？这句台词好耳熟啊！

“唐老师，您迷路了吧。您现在还在大唐。我们这个船只能做匀速直线运动，停不下来的，不好意思啊。”招呼完唐长老，我分析道：“根据幼稚园中班算术， $60+10$ ，等于 70 码！这样他才能在航速 60 码的船上以 10 码的速度从船尾飘向船头！是不是啊唐老师？咦，唐老师怎么换黑马了？”

“不错不错，贫僧看刘大师的飘速确是 70 码。黑马白马能上西天就是好马，当它还是白马时，贫僧总被错认为王子，遭到各路女妖跨省追堵，抢着睡我，发现不是王子，又抢着吃我，幸而这一路诸侯们喊着低碳推高碳，环境污染，它又不太讲究卫生，就变成了低调的黑马。下一班船几点？……”唐僧絮絮叨叨地说道。

分析完，我又突然觉得哪不对，疑惑道：“咦？同一个物体在运动，却得到不同的观测结果，还都是对的，这么简单的一个运动都没法统一意见，岂不乱了套了？还搞什么航天灰机，秦始皇统一度量衡没什么用啊！”

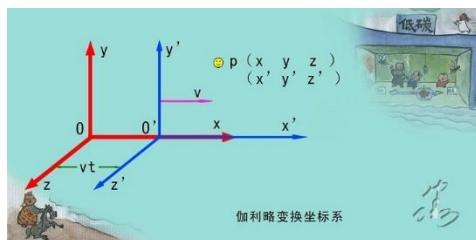
“所以，我们要想办法把意见统一起来。不同惯性系之间，一定存在它们相对运动的数据关系，我们取得这些数据，一定

可以将彼此的观测结果相互转换。也就是说，我们能找到这样一个公式，只要知道两个参考系的相对速度，就能用一方的观测结果，换算出对方的观测结果。这样就真的和谐了。”伽利略顿了顿说，“可能你不以为然，因为刚才没用公式，你也算出了岸上唐老师的观测结果。这我知道。但你也要知道，观测对象的运动，极少像刘大师那样，与观测者所在两个惯性系的相对运动方向一致，让我们很容易就算出来。另外我们得知道，刚才算的相对运动只是一维的，而我们观测的运动一般都是三维的。”

“好！为了得到这个公式，我愿赴汤蹈火，再跳三~千次也在所不辞！”你大义凛然地说道。此正是：

心怀重担肩狂痒，
脸沐和风汗暴消。
但使寻得公式在，
不畏险艰路迢迢！

“呵呵，这个公式嘛，只可智取不可力敌。跳，是没有用的。我们得请笛卡尔坐标系来帮忙。现在，我们船上的观察者在另一个坐标系，原点（坐标轴交叉的点）就是这艘船的中心点；岸上的观察者在另一个坐标系，唐老师的中心点就是原点。”说到这里，伽利略转头看看笑得花枝乱颤的你，叹道：“唉，唐老师的腰带扣都能令你笑得这般淫荡，你真行。我画个图，咱们 Look Look。”



【图 11.2】伽利略变换坐标系

你一看图，脸上立马洋溢着他乡遇故知的惊喜：“这我认识啊。不过印刷质量好像有问题，套色重影太过分了！”

“嗯，其实这是初中一年级学的直角坐标系，只不过我们现在把两个组合在一起，它们其中的一个轴重合。”伽利略苦口婆心地解释道，“红色的是唐老师的坐标系（唐系），蓝色的是我们的坐标系（船系）。不是套色重影。本来，船系在 t 时间前与唐系完全重合，现在，船系沿着粉色箭头的方向，以速度 v 匀速巡航。那个黑点 P ，代表刘大师。”

“哦~~~~”你恍然大悟，随即又疑惑道：“不过，为嘛刘大师完美地飘了半天最后却只落个 P 啊？”

“有位哲人说过，生活就像拉屎，有时你已经很努力了，最终却连个 P 都得不到。刘大师已经很成功了。”伽利略说到这里，话锋一转：“现在，谁知道刘大师此刻在船系的坐标是多少？”

“ x' , y' , z' !”你强势抢答，我崇拜地看着你。

“恭喜你，抢答正确!”伽利略说完又提醒道：“不过你忘了时间。”

“ t' !”你看了一下表补充道。

“唐老师!在你的唐系，刘大师的坐标是多少?”伽利略向唐僧问道。

“ x , y , z , t 。”唐僧走南闯北，东游西逛，广见博闻，数学可真不是盖的。

他答完继续东张西望搜寻渡船。

“现在，我们很容易理解这两个坐标系之间的关系，由于船系相对唐系以速度 v 匀速巡航，在 t 时间里，我们走的距离就是 vt ，所以， $x'=x-vt$ ，或者说 $x=x'+vt'$ ，这没问题吧？”伽利略循循善诱，让我想起我们的小学老师王大妈。

“没问题!”咱俩一齐点头道。

“那么，看看上面这个坐标系， $y'=y$, $z'=z$, $t'=t$ ，这也没问题吧？”伽利略诚恳地问道。

咱俩瞪大眼睛仔细看了看图说道：“没问题！”

“那 OK 了，现在我们、唐老师无论哪一方知道了 P 在己方的坐标和速度，套用上面的公式，都能变换出 P 在对方的坐标和速度，这下，就能统一意见了。是不是啊唐老师？”伽利略讲完向唐老师求证。

唐僧飞快地算了算，扬起稿纸应道：“善哉善哉，略施主的数学真是惊天地泣鬼神贫僧佩服佩服。敢问下一班船几点？”

“唐老师，这其实是一个湖，您老可以骑上白龙马沿岸而行，可达彼岸，遇河再渡不迟。”咱俩见题也算得差不多了，便热忱地回答道。

“阿弥陀佛，我说这条河怎么像东海一样阔。虽说误了些时辰，但学到大名鼎鼎的伽利略变换，也不虚此行。”好学的唐僧策马绝尘而去。

画外音：唐僧虽然不认得妖怪，但对学问却是慧眼独具。经过略哥循循善诱的课程，现在对“伽利略变换”的概念表述，我们也不难读懂：

若 $O'-x'y'z'$ 参照系沿着 x 轴方向以速度 v 相对于 $O-xyz$ 参照系运动，且 $t=0$ 时两参照系的原点重合，则两参照系之间有如下关系： $x'=x-vt$ 、 $y'=y$ 、 $z'=z$ 、 $t'=t$ 。

根据伽利略变换可知：两参照系描述同一运动的速度是不同的，但加速度是相等的。一切惯性系都是等价的。

伽利略变换是在低速下（远小于光速）的特殊数学物理工具，是牛顿力学的重要基石，反映了经典力学的时空观。

种豆得瓜

前面提到过，两片乌云来袭，以洛伦兹为代表的一批牛人在此期间努力尝试挽救以太理论。

在物理学史上，强人如云，张袂成阴，挥汗成雨，比肩接踵而在，随便揪出一个人名，都如雷贯耳，耳背的，也能看到万丈光芒。

如您所料，洛伦兹是强人中的牛人，他深受爱因斯坦、薛定谔等理论物理学家们的尊敬，爱因斯坦曾说过，他一生中受洛伦兹的影响最大。

洛伦兹于 1928 年 2 月 4 日逝世，葬礼那天，荷兰全国的电信、电话中止三分钟，以示悼念这位巨人。荷兰王室、世界各地科学界的著名人物参加了葬礼。爱因斯坦在洛伦兹墓前致词说：他是“我们时代最伟大、最高尚的人”。

我们知道，这个世界是靠实力说话的，所以，洛伦兹享有的盛誉和尊崇，不仅得益于他热诚、谦逊、乐于助人的优秀品质，更得益于他在科学上的卓越贡献。

洛伦兹一生取得了诸多成就，我们走马观花一下：1880 年以高精度测定热功当量为 426.2 千克米每千卡；1881 年根据霍耳效应解释磁致旋光现象，推导出罗兰磁致旋光方程与麦克斯韦旋光方程等价；1882 年研制的光栅刻线机，可在 25 平方英寸的金属片上刻出每英寸 43000 条线的光栅；他还发明凹球面衍射光栅等……

很牛是吧？其实洛伦兹最牛的成就，不是上面这些，而是另外两个：创立了经典电子论；提出了洛伦兹变换式。



洛伦兹, H. A.

【图 11.3】洛伦兹

那么，经典电子论是怎么一回事？

一切得从当年那个年轻人的一篇论文说起。

1875年，22岁的洛伦兹写了一篇论文，起了个名，叫《光的反射与折射理论》，这个名字一点创意也没有，就像《文盲正侃时间史》。但它可是洛伦兹的博士论文，这是他后来创立电子论的根源，给个面子看看？嗯，内容好像蛮有创意，洛伦兹同学兴致勃勃地综合评述了光的旧波动理论与新电磁理论，评述完了还意犹未尽，提出了一个新的统一的设想。

怎么？又要统一了？喂，旁边这位仁兄醒醒了，科学理论统一的重大意义……你懂的……呃……谁和谁统一啊？

光的电磁理论与物质分子理论相统一。

哦？这件事办成了，岂不又是牛事一件？！

哈你又说对了，洛同学的理论进一步夯实了麦克斯韦电磁理论的基础，而且据此创立了物质的电子论。

就像电磁论一样，电子论十分的抽象晦涩，我们在这里只粗略了解下洛同学创建它的基本思路就可以了。

洛伦兹理论将“电磁扰动以有限速度传播”的概念，引入到“带电粒子之间的相互作用”之中。

那时，大家都认为，电磁扰动是通过以太传播的。我们知道，以太这个东西，洛同学还是比较喜爱的，他还专门对以太性质提出了自己的假定。他认为，既然宏观媒质可归结为悬浮在真空中的带电粒子，那么，媒质中的以太，就应该与真空中的以太一样，在密度、弹性等各方面的性质，都应该是一样一样的啊。不论媒质怎么折腾怎么运动，以太一动不动。

这样一来，复杂微观的电动力学方程，一下子变得简单明确，而宏观媒质的电动力学方程，也可以从这些简单的微观方程中导出。融会贯通是多么美妙的一件事！

洛伦兹认为，电本身，是由微小的实体组成的，这种“微小的实体”后来被称为“电子”，一切物质分子都含有电子。他以此为基础，来解释电现象，推导出运动电荷在磁场中要受到

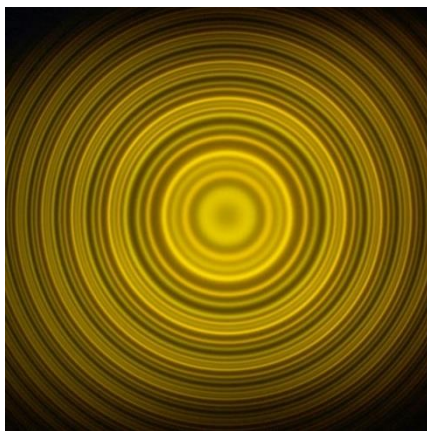
力的作用。你知道的，这个力后来被叫做“洛伦兹力”。

这个天才很快变成了洛老师。

洛伦兹说，光是由原子内部电子的振动产生的，而磁场，会对电子的振动产生影响（洛伦兹力），也就是说，磁场会对光产生影响。

果然，1896年10月，洛伦兹的学生塞曼发现，在强磁场中，钠光谱的D线有明显的增宽，这个效应叫“塞曼效应”，证实了洛伦兹的预言。

塞曼效应是怎么一档子事？它是一个理论，一个定律，指的是，把光源放在磁场里，光源发射的各种谱线，会受磁场影响分裂成几条，各分谱线之间间隔的大小，与磁场强度成正比。



【图 11.4】塞曼效应示意图

问题不怕研究，就怕深入研究，一深入，新问题就会层出不穷。正如婚姻，本来你以为这只与爱相关，但当你深入其中，却发现它与越来越多千奇百怪的事情密切相关，爱反倒退居其次……

又扯远了，再扯回来。塞曼同学一深入，发现，用洛老师的理论，虽然可以正确解释这一现象，却不能用实验证明它。

于是，老将出马，一个变俩，洛老师坚定不移地与塞曼同学站在一起，并肩携手，反复实验，终于，得到了那个美妙的结局——他俩找到了问题症结所在，成功地完成了这个实验，证实了塞曼理论，从此过上了幸福快乐的生活，对不起其实应该说的是，从此，物理学多了一个经典定律——塞曼效应。

洛伦兹和塞曼师生俩因此共同获得 1902 年诺贝尔物理学奖。



【图 11.5】塞曼

经典电子论的重要意义在于：它把电磁波与物质相互作用，归结为电磁波与物质中电子的相互作用；将宏观媒质的电磁、光学效应，归结于其中所含带电粒子的作用。总之一句话，就是把电磁的作用和效应，都划到电子名下。

这意味着什么呢？它意味着物理学进一步接近了事物的本质，是电磁理论的一个重要进展。后来，它也成为狭义相对论、物性微观理论发展中的一个重要环节。

千万别小瞧了基础理论，它既是种子，又是土壤，是人类科技发展的根、基（嘿嘿，这俩字分开更给力吧）。就说宏观媒质的电磁和光学性质的理论吧，现已在原子的核模型和量子力学、量子统计的基础上，发展成许多门有关的学科，比如，原子和分子物理学、固体物理学中的有关部分。还有更加具体的：半导体物理学、磁学、电介质物理学和超导物理……

好了，洛老师的第一个伟大成就，电子论的基本情况就是这样了。

现在，到洛伦兹变换式时间了，这是个神马东东？

首先，它是一个重要的公式，是后来狭义相对论的基础公式之一。

其次，它是个有故事的公式，因为不同的人，通过不同的方式，纷纷导出了这个变换式。

还记得卡文迪许和欧姆分别发现了欧姆定律吧，这类事情并不少见。就拿勾股定理、圆周率来说吧，勤劳勇敢智慧的全世界各族人民，分别在不同时间发现了它们，全是原创！

说到勾股定理，我们不得不道一声“神奇”。因为相对论之后，一些强人用勾股定理各种推导，居然通过不同的方法，推导出洛伦兹变换。当然过程有简有繁。稍繁一点的，可参见“从勾股定理到洛伦兹变换”等现代论文。在狭义相对论章节里，咱们就选一个最简单、物理意义较强的推导，代替爱因斯坦的“简单推导”，以助我们更好地理解其中的物理意义。

现在我们先看看洛伦兹变换式诞生的简要历程。

1879年，针对地球人试图测量光速变化这个事，伟大的麦克斯韦指出，这个相当难测，因为它是一个非常微小的值，有多微小呢？它是测量仪器运动的速度与光速之比的平方(v^2/c^2)。不信的话，你算一下就知道这个值是有多小了。

1887年起，以MM实验为代表的寻找以太的实验宣告失败，测得光速不变。前面说过，从此时起，以洛伦兹为代表的一大批物理学家开始寻找解决办法，试图建造一架连接牛顿大厦与麦克斯韦大厦的双赢之桥。

1887年，德国物理学家沃耳德玛·福格特，为了解决一个问题（不可压缩的弹性媒质传播波的多普勒效应），提出了一个近似于后来洛伦兹变换式的构造形式，但没有把它用来进行一般的坐标变换，他的这项工作没有引起人们的注意。其后，英

国物理学家拉莫尔发表了 这个变换式的完整形式。

1888 年到 1889 年，英国自学成才的物理强人奥利弗·亥维赛计算了移动电荷对电场、磁场的作用，以及电荷进入更密的媒质时的影响。还从麦克斯韦方程组的磁矢量势场的运动，推导出一种可能的解决方案，那是一个公式因子： $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ，但包括他自己在内，没人理解其重要意义。

1889 年，斐兹杰惹提出长度收缩假设，来解释 MM 实验。

1892 年，洛伦兹也独立地提出了收缩假设，推导出长度收缩公式。

1904 年，洛伦兹发表了变换式的正确形式。

1905 年，爱因斯坦根据他的相对论原理，也推导出这一公式。

1905 年，另一个大牛庞加莱对这个变换式进行改写，变成现在的样子，还将它命名为“洛伦兹变换式”。（1906 年正式发表）

从这个大致过程可以看出，洛伦兹变换式的诞生是必然的。那朵乌云，看似不经意降落凡尘，却如影附形、驱之不尽，搞得地球物理界人心惶惶，逼迫大家必须搞出点什么来解决问题，洛伦兹变换式就这样接二连三地诞生了。各种版本。

狭义相对论就像当初的万有引力定律一样，呼之欲出，就差牛顿降世，一统河山了。

关于这个变换式的归属权问题，虽然发生过一点争议，但它已然叫洛伦兹变换式了，所以我们还是从洛伦兹说起。

洛伦兹证明，用伽利略变换，把麦克斯韦的电磁场方程组从一个参考系变换到另一个参考系时，真空中的光速发生了变化。

发现问题了吗？最后那句：真空中的光速发生了变化！也就是说，在伽利略变换里，光相对于不同的参考系，具有不同的速度！这和前面说到的事实（实验结果）严重不符。

光速是不变的啊！问题出在哪？当然是伽利略变换出了问题！为什么这样说呢？当理论与实验、观测发生冲突时，清醒的判断是，理论出了问题。

事实是脚，理论是鞋，我们的祖先 2000 多年前就告诫我们不要削足适履了！伽利略变换是牛顿力学开疆扩土的利器，在牛顿力学运动中屡试不爽，战功赫赫，但是，一遇到光速，立马不灵了。

运用伽利略变换，我们可以得出，刘大师在船系的速度是 10 码，在唐系的速度是 10+60 码。但倘若把刘大师换成一束光，那就麻烦了，我们船系测得的光速是 c ，运用伽利略变换，就得出唐系结果是 $c+60$ ，反之，唐系若先测出这束光速度是 c ，就会得出船系结果是 $c-60$ 。

在前面，我们已经无比纠结、无可奈何、无可置疑地承认了，光速就是 c ，它不会为光源怎样、参照系怎样而改变。爱谁谁。而伽利略变换的结果，与麦克斯韦方程导出的固定光速相矛盾，与 MM 实验的结果相矛盾，还与我们观测 MM 的结果相矛盾。这可咋办？！

莫急，历史告诉我们，在牛人辈出的地球上，乱摊子总会有人来收拾的。1889 年，爱尔兰物理学家乔治·斐兹杰惹提出长度收缩假设，来解释迈克尔逊-莫雷实验结果：物质呢，是由带电粒子组成的。一般情况下，粒子间的静电是平衡的，粒子的间隔就是平衡的，于是物质就能保持一个稳定的形态。

当物质相对于以太运动时，带电粒子产生的磁场，就会改变粒子的平衡间隔，于是物质就会产生收缩。他还给出了数学关系，缩短的程度取决于“物体的运动速度对光速的比率的平方”。眼熟吧？看看上面麦克斯韦是怎么说的。

根据这一原理，斐兹杰惹说，迈克尔逊-莫雷实验用的设备也是如此，实验时，它指向地球运动的方向的长度缩短了，而缩短的程度，恰好使我们无法探测到以太漂移（光速变化）！

真的好巧哦！

1892年，洛伦兹也独立地提出了收缩假设。

他说，收缩是由于分子力引起的。分子力也通过以太传递，运动影响分子力，导致物体收缩。

洛伦兹在他后来写的电动力学论文中，导出了证明这一假设的变换式。根据这一变换式，物体运动时，其运动方向的长度会按 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 的比例收缩。

这与斐兹杰惹的思想异曲同工：运动产生的效应之所以检测不出来，是因为它们相互抵消了。

也就是说，以太也漂移了，光速也变化了，只不过，这个变化与检测设备长度收缩的效应刚好相互抵消，所以无论如何也检测不到。

这个假说被称为“洛伦兹-斐兹杰惹收缩”

这听起来很有道理。好像是上帝开的玩笑中，很有技术含量的一个。

有位老师提问了：物质缩短的比例，和它自己的运动速度有关，这不难理解，但为什么，它们偏要和光速扯上关系呢？

因为这个公式，就是为了解决光速问题而生的。

1895年，洛伦兹的《运动物体中电现象和光现象的理论研究》出版，更完整、更简洁地推导出了上述结果，并且扩大了它的适用范围。

为了解决光的运动问题，洛伦兹在静止参考系（以太）和运动参考系之间，引入了一套新的变换方程。其中，运动参考系引入了时间的独立变量，洛伦兹称之为“当地时间” $t' = t - vx/c^2$ ，与静止参考系的“真实的、普遍的”时间区分开来。这很重要哦，因为那个当时间，带有“相对时间”的性质——虽然洛老师引入它，只是为了解决数学问题。

1904年，洛伦兹的论文《在一个速度小于光速的运动系统中的电磁现象》发表，他先把电磁场方程进行变换，而后引入

一组新的独立坐标，进一步完善了他的变换式。

1905年，庞加莱对洛伦兹变换进行了改写、简化，并命名为“洛伦兹变换式”，写入了《电子动力学》，于1906年发表。

虽然公式不如帅哥美女那么养眼，但看一眼既不要钱，又不要命，还没人要你负责，况且，人家又是那样的大名鼎鼎，所以，不看白不看：

$$x' = \gamma L(x - vt)$$

$$y' = Ly$$

$$z' = Lz$$

$$t' = \gamma L\left(t - \frac{v}{c^2}x\right)$$

当 $L=1$ 时，就成了现在的洛伦兹变换。

这就是洛老师的第二个伟大成就，洛伦兹变换的由来。

对本文盲而言，洛伦兹和庞加莱的推导过程十分繁杂，各种符号眼花缭乱，看了头疼，输入手疼，占用篇幅心疼，所以在这里不表述具体推导过程，只表述他们工作的简要过程和结果。

爱因斯坦从他的狭义相对论原理出发，推导这个变换式的过程要简洁得多。

他在科普作品《狭义与广义相对论浅说》中，全程介绍了“洛伦兹变换的简单推导”。但是，即使是“简单”的推导，我把打印出来，也有近4页A4纸那么多，对本文盲而言，还是过于繁琐了。

前面说过，后来有人用勾股定理结合光子的运动，更简洁地推导出了这个公式。咱就看最简单的那个。

所以，我们现在不必急着读懂这个变换式，也不必记住它，当个图腾欣赏一下就可以了。因为它的表达形式不止这一个。更主要的是，我们在后面还要用勾股定理推导出它的关键因子，在推导过程中，该明白的地方，自然就明白了。

虽然洛伦兹把他的方程作为一种纯粹的数学手段，来证明运动物体长度收缩理论，用以解决光速变化和以太漂移不可测的问题，但它与后来狭义相对论的思想暗合（虽然洛伦兹本人没意识到这一点），它使人们对物体运动有了新的认识，对后来人们普遍接受这一变换式，起到了重要的作用。

洛伦兹本人几乎成了 19 世纪末、20 世纪初物理学界的统帅，他把危机中的经典物理学推上了它所能达到的最后高度，却又为推翻它的物理学革命埋下了伏笔。

当物理学革命的号角吹响，经典物理大厦轰然崩塌时，洛伦兹说，他感到遗憾的是，为什么没在旧的基础崩溃之前死去。但是，洛伦兹的个性是“超个人”的，他对旧体系价值的怀念和惋惜，很快被接受新事物的愉悦所取代，彰显了海纳百川的大师风范。

上面这些人、这些事，看起来很晕，是吧？

晕就对了，因为当时大家都很晕，所有物理学家都意识到，必须要做点什么了，于是纷纷行动，踏出千万条长长短短的小路，却不知路的那一端，该通向何方。

洛大师是其中走得最远的一个，但他也在唱那同一首歌：敢问路在何方？后面那句大家都会：路在脚下。听起来帅呆了，用起来摔呆了。

所以，还得接着晕。

群雄逐鹿

俗话说，乱世出英雄。十九、二十世纪之交，正是经典物理大厦遭遇空前挑战、“黑云压城城欲摧”之际。

破旧立新？说来容易，其历程之艰险，非亲历不能体会。单论其难受程度，好比我们倾其所有，依山傍海建造了一座宅院，功能齐全，正当我们生活在里面幸福得像花一样时，突然有一天发现这块地产权是别人的，这是一座违章建筑，并且隔三岔五流氓来袭，非常不适合人类居住，想找块地重建家园吧，

却又无从下手，拔剑四顾心茫然，揪心啊！

揪心也得从头再来啊！

昨天所有的荣誉，已变成遥远的回忆。勤勤恳恳已辉煌两个世纪，今夜重又走入风雨。我不能随波浮沉，为了我至爱的真理，再苦再难也要坚强，只为那些期待眼神。心若在梦就在，天生我才不能白来！看成败人生豪迈，大不了是从头再来！（据歌曲《从头再来》改写，若原作者不爽，本文盲立即自己写一首替之。）

经典物理王国四面楚歌，风雨飘摇，不止是前面介绍的光、以太出了问题，现在，速度和质量也出了问题！抛除了这些，物理还能剩下些什么呢？

如果说，前期光速的固执，以太的死亡撼动了经典物理的根基，给人们带来了恐慌和迷惘，那么现在，速度和质量的爱昧关系则宣告了经典物理大厦的垮塌，同时也昭示人们，这是黎明前的黑暗。

一切还得从运动带电体说起。

19世纪80年代，一切现象表明，对于运动中的物体，旧的理论已经力不从心，需要一种全新的“电动力学”来支撑，于是，研究运动的带电体成为当时物理界的热点。

斯时，群雄四起。

1878年，亨利·奥古斯特·罗兰（美国19世纪后半期最重要的物理学家之一，为美国基础物理学从边缘走向世界的中心起到了承上启下、继往开来的作用）指出，磁场能量驱使带电体运动，比驱使不带电体运动，一定要做更多的功。为什么呢？罗兰给出的理由是，驱使带电体运动，有一部分能量用在建立新磁场上（带电体运动产生磁场），他管这叫“电磁质量”。

咦？果然新颖！

这一论断，让人们对质量和速度的神秘关系产生了强烈的好奇心，纷纷采取跟踪、蹲守、围堵、死缠、暗访、偷拍、窃

听等各种手段，刺探质量与速度的隐私。

功夫不负有心人，此后，质量和速度的花边新闻，不断被爆料出来。

1881年，约瑟夫·约翰·汤姆逊（英国物理学家，电子发现者，1906年诺贝尔物理学奖得主，打开通向基本粒子物理学大门的伟人）发现，带电的物体比不带电的物体更难加速，也就是说，带电物体质量、惯性更大。太扯了吧？为什么？汤姆逊用麦克斯韦理论扒了扒，认为是“电磁质量”增加了物体的机械质量，电磁质量随着物体的运动，增加了一个常数。

“增加”了一个“常数”，是什么意思？私生子？干女儿？普通朋友？

不管是什么意思，一个很明显的意思就是，牛顿大人关于“质量是一个常量”的理论是错误的！

质量这个老实巴交的家伙，一个无厘头动作，就让牛爷下不来台。但是没办法，汤姆逊用实验证实了，这个无厘头动作，不是偶然，而是质量从娘胎里带来的，改不了了。

英国物理学家、天才狂人奥利弗·亥维赛（就是和赫兹改写麦克斯韦方程的那位，上节也有他，还记得吧？）觉得汤姆逊老师的工作挺好玩，于是开始钻研电磁质量，他把电磁质量当成真实的物质质量来计算。

算来算去有了重大发现，于是在1889年，一个万众瞩目的场合，他对牛魔王说：我反对这门亲事！对不起口误，他说的是，他不同意汤姆逊老师的意见。

因为，物体运动，质量增加的不是一个常数，而是随速度增加而增加，速度越快，增加越多。

不是常数，那增加多少呢？亥维赛贴心地给出了一个方程：

$$m_e = \frac{2\mu e^2}{3a}$$

瞧，就增加这么多。这个公式一出，带出一个猛料：当运

动速度等于光速时，能量值将为无穷大！OMG！

一个有很多特长的家伙（等会你就知道他是谁了）后来证实，亥维赛的方程在低速运动下十分管用。

亥维赛还兴致勃勃地计算了电荷、电磁场在运动中的变化，得出结论：静电场将会沿运动方向收缩。啊哈，又是收缩。

同年，斐兹杰惹指出，不只是静电场，运动中的物体也存在这种效应，物体沿运动方向按照 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 的比例收缩。这事在前面提到过。后来，有好事者试图测量这个缩短值，但都没有成功。于是大家得出结论：一个运动体系内，所有物体皆缩短，包括观测者和测量工具，因此，测不出就对了。

1897年，西尔（G. F. C. Searle）假设电子相当于无限薄的带电球壳，计算出质量随速度增加的数值。

同年，约瑟夫·拉莫尔计算了电子的电荷加速度，得到了与“洛伦兹变换式”等价的变换式，由此推出长度收缩和时间膨胀的结果。公式是得到了，可惜的是，拉莫尔并没有打算相信它，只是把这些作为处理数学关系的手段，而拒绝从物理上理解它。

1900年，（请长吸一口气）威廉·卡尔·维尔纳·奥托·弗里茨·弗兰茨·维恩（德国物理学家，发现了维恩位移定律，揭开量子力学新领域。1911年诺贝尔物理学奖得主）又爆猛料：所谓电磁质量，其实就是物体质量，而电磁能量决定了电磁质量，因此，质量和能量也很有一腿，关系不一般。他还用一个公式形象地描述了质能关系： $m = (3/4)E/c^2$ 。您猜对了，维恩就是前面证实亥维赛方程低速下管用的家伙，他除了物理特长，名字也特长。

1901年，沃尔特·考夫曼（德国物理学家）在确定镭发出的 β 射线（快速运动的电子束）之荷质比的实验中，第一次证实了电子的电磁质量与速度难舍难分，关系分外亲昵，他断言，如果电子的电荷不随速度改变，那么，电子的质量就要随速度

的增加而增大。在随后的一段时期，他尝试通过实验来证实相关理论，但最终，没能搞到证据——足够精确的数据。

1902年，马克斯·亚伯拉罕（德国物理学家）提出一个理论，把电子看作一种完全刚性的球形粒子，用来揭秘质量和速度的关系，描述得风生水起，还导出一种质量随速度增加的公式，搞得有板有眼，一时间，这个理论雄踞一方，在质量和速度关系的众多版本中，格外夺人眼球。直到1940年，才最终被推翻，此是后话不提。

1904年，弗里德里奇·哈瑟罗尔（Friedrich Hasenöhl 奥地利物理学家），得到了质能关系式 $m = (8/3)E/c^2$ 。

同年，洛伦兹完善了“斐兹杰惹-洛伦兹收缩”的假说，顺便也完善了洛伦兹变换式，导出了电子质量随速度变化的关系式，这与后来狭义相对论的质速关系式相差无几。这个关系式告诉我们，没有什么物质可以到达光速，因为物体趋近光速时，其质量将趋于无限大。无限大的质量，当然需要无限大的能量来加速它，而宇宙再大，能量也是有限的。所以，洛老师据此指出，光速，是物体相对于以太运动速度的极限。

1905年，阿伯拉罕指出了哈瑟罗尔计算中的错误，并帮助他得到了满意的结果： $m = (4/3)E/c^2$ 。咦？

.....

本来，质量这家伙在物理界，给人的印象非常好，是踏实、诚信、矢志不渝的象征，刚刚获得物理脊梁奖，没想到和速度这妖精搅合在一起，居然就测不准了！花边新闻层出不穷，这事搞得物理界很懵，但大家一向对偶像的庸俗化有一种潜意识的期待——原来你也跟我一样，于是很快就化悲愤为兴奋，趁此机会狠狠娱乐了一把。好吧，我们还是正经点，换成官方的语气来八卦这件事。

经典物理大厦的岌岌可危，使人们在恐慌、迷惘之后，思想空前活跃起来，对不断涌现的新鲜观念，各代表团讨论氛围

热烈，发言积极踊跃，使人感到十分振奋。

历史他老人家告诉我们，百家争鸣，必然造就新的时代；群雄逐鹿，总会出现杰出的领袖。如果说，洛伦兹是上述这些牛人里的佼佼者，那么，与之比肩的，就只有庞加莱了。

要是有人说，这个世界上没有天才，那么我会这样质疑他：如果没有天才，怎么会有庞加莱？

爱迪生说，天才，是 99% 的汗水+1% 的灵感。我反对这句话，理由是，庞加莱的灵感太多了，以至于他无法按比例流出那么多的汗水。

朱尔·亨利·庞加莱，法国数学家、天体力学家、数学物理学家、科学哲学家，这些头衔可不是凭空而来的，我们来看看这个天才的成果：

数学方面：在数论、代数学、几何学、拓扑学等许多领域做出杰出贡献，对 20 世纪和当今数学的影响极其深远，庞天才是 19 世纪末、20 世纪初的领袖数学家。数学作为一门基础学科，是其他学科必不可少的利器。

天体力学方面：运用深厚的数学功力和深邃的科学哲学思想，成功地解决了太阳、地球、月亮间相互运动的“三体问题”等难题。“N 体问题”是什么意思？就是 N 个天体引力啊、运动啊什么的相互关系，复杂得难以想象。三体问题有多难呢？这么说吧，“两体问题”是由牛爷解决的。“三体问题”牛爷未能解决，史上最伟大的两位数学家之一欧拉（另一位是高斯）也未能完全解决。1887 年，瑞典国王奥斯卡三世悬赏解决 N 体问题，没人能搞定 N 体，但庞加莱因解决三体问题，获得第一届“奥斯卡奖”——2500 瑞典克朗和金质奖章。法国政府不顾瑞典国王的阻拦，兴高采烈地授予庞加莱“宪兵团荣誉骑士”称号。瑞典国王嘟囔：有冇搞错，我！我设的奖耶！庞加莱在天体力学方面的研究，被称为牛顿以来的第二个伟大的里程碑。



【图 11.6】庞加莱

理论物理方面：在毛细管理论、弹性力学、流体力学、热的传播、势论、光学、电学、磁学、电子动力学等领域均有建树，他是现代物理的两大支柱——相对论和量子力学的思想先驱。重复一遍，“思想”先驱哦。

在他琳琅满目的成果中，随便拿出哪一项，都足以名垂千古。所以，他成为三十多个国家的科学院院士、一生载誉无数，就不足为奇了。

庞加莱生于 1854 年 4 月 29 日，逝于 1912 年 7 月 17 日，不到 60 岁，天妒英才啊！

随着当代数学多学科、高难度阶段的到来，以后不可能再出现像庞加莱这样既全且精的数学家了，所以，他是举世公认的最后一个人数学全才。

这里我们要说的是，庞加莱在物理方面的部分工作。

1895 年，庞加莱对当时 MM 实验的解释表示不满，他批评洛伦兹“过多地引入特设假设”。按照“长度收缩”这种假说，透明体在运动中，应该显示出双折射效应，但是实验并没有证实这一点。

庞加莱指出，要解释 MM 实验的结果，必须提出新的基本假定，揭示普遍性的物理规律，而不只是用来说明这个实验本身。

1898 年，庞加莱在《时间的测量》一文中，批判了绝对时

间、绝对空间和绝对同时性的概念，还提出了建设性的建议：承认光速在任何方向上不变是一个公设（这很重要）。他说：“没有这个公设，就无法测量光速。”庞加莱利用两个观察者、光信号和时钟，讨论了时钟同步和同时性的定义问题，得出了与后来狭义相对论相同的结论。

同年，庞加莱指出，洛伦兹 1895 年提出的当地时间 ($t' = t - vx/c^2$) 不仅具有数学意义，还具有物理意义，它是用光速校准两个参照系“同时性”的自然结果。庞加莱否认运动参照系的时间，认为只有相对于以太静止的时钟显示的时间才是真实的。在这个关键的认识上，庞天才没有继续往前走，真是可惜了。

1899 年，庞加莱开始研究电子理论，立有灼见：“要证明物质的绝对运动，或者更确切地讲，要证明可称量物质相对于以太的运动是不可能的。”他认为，原则上，绝对运动是不存在的，只有相对运动才有意义。次年，他进一步坚定了这一认识，公开质疑了以太的存在，预言再怎么折腾也找不到以太，并期待新理论的出现。再说一遍，他在期待“新理论”的出现！也就是说，这个天才已经意识到，牛爷的经典物理体系，即将成为过去。

1900 年，庞加莱提出“相对运动原理”：“任何系统的运动必须服从同样的定律，不管它是相对于固定轴而言，还是相对于作匀速直线运动的动轴而言。”注意：“固定”轴、“作匀速直线运动”的动轴，都是惯性系哟！所以把这句话翻译过来，意思是：运动定律对于任何惯性系都是一样的。亲，我们一起记住这句话！

1902 年，他在《科学与假设》中提出“相对性定律”，认为物体不存在绝对位置、绝对方向、绝对速度、同时性等。当然，这一定律的意义，只是对绝对运动的进一步否定。时间，时间！庞天才在时间上始终不肯踏出那一步。

1904年，在圣路易斯讲演中，庞加莱正式使用“相对性原理”一词，将其列入物理学六大基本原理，指出：“根据这一原理，物理现象的定律应该是相同的，不管观察者处于静止还是处于匀速直线运动。因此，我们无法辨别自己是否处于一个匀速运动系统中。”在这次讲演中，他说道：“也许我们应该建立一门新的力学，它的明显特征是，惯性随着速度增加，没有什么可以超过光速……旧的力学依然保持为一级近似，因为它对不太大的速度还是正确的，以致于在新力学中还能找到旧力学的影子。”现在看这句话，简直就是在预言狭义相对论的诞生！我们不得不膜拜这位天才惊人的前瞻性。什么叫高屋建瓴？NND 这就是！

1905年，庞加莱证明，当系数 $L=1$ 时，洛伦兹变换将形成一个群，这使变换的意义更加简明，庞加莱修正了洛伦兹的方程（当时洛伦兹得出的变换式在电荷和电流密度方面是错的），并命名了“洛伦兹变换”、“洛伦兹群”、“洛伦兹不变量”等。他进而在具有确定的正度规的四维空间中，使用不变量理论，还引入了四维矢量，使用了虚时间坐标。他还揭示出，洛伦兹变换恰恰是“四维空间绕原点的转动”，这对后来闵可夫斯基的“四维时空表示法”有直接影响。庞加莱是第一个在电子动力学中研究牛顿引力定律的人，他还使用了“引力波”这个词（当然这个引力波和后来广义相对论预言的引力波概念还是有区别的）。这段不必看懂，只要大致了解一下，在这几个方面，庞加莱所做的工作就可以了。

这些思想，零星地体现在他1904年末至1905年中期写给洛伦兹的信中，在《论电子动力学》中得到发展，这篇论文的缩写版发表于1905年6月（记住这个时间，很重要哦^^），全文于1906年发表。

我们发现，庞加莱所定义的“相对性原理”，其实是1902年“相对性定律”的进一步拓展，还是强调相对运动的原理。

在其后的几年里，他进一步强调和完善了相对运动原理。1908年，他在《电子动力学》中说道：“不管用什么方法，我们只能得到相对速度，物体的速度永远是相对于其他物体而言的。”

庞加莱由于幼年疾病，手不灵活，导致他长于理论而短于实验。有人说，如果庞加莱对实验科学和在理论科学的兴趣一样强烈的话，他可能会成为与牛顿相媲美的人。遗憾的是，如果只是如果，不是结果。

鹿死谁手

洛伦兹变换、长度收缩、四维空间、光速不变、质速关系、相对性原理……，到这里，狭义相对论似乎呼之欲出。

如果不仔细看，何止是呼之欲出，简直就是了！所以，对于狭义相对论的所有权问题，存在过一些争议。

既然大家都有份，为什么要把狭义相对论归到当时默默无闻的爱因斯坦名下，而不顺水推舟地归到大名鼎鼎、如日中天的庞加莱、洛伦兹名下？！那样岂不是大家欢欢喜喜好过年吗？难道一向严谨精准的科学界，在这个问题上，脑子突然集体秀逗了？！！是不是是不是是不是啊？？！！

当然不是。那给个理由先啊！！有木有有木有有木有有木有啊？？！！又木有你的份，你激哪门子动？

理由当然有，何止是有，简直有的是！那是因为，他们虽然各自得到了狭义相对论的部分结果，却并没有得到狭义相对论的思想体系。这样说吧，狭义相对论是一头大象，众位盲人都只是摸到这头象的一部分，他们谁也没认识到，这是一头活生生的大象！证据就是，后来爱因斯坦的狭义相对论建立起来以后，他们既不信也不懂。

建立一个自己不信也不懂的理论，可能吗？

既然有争议，那就从走在最前面、最可能有份的两位先驱说起吧。

哪两位？当然是摸象摸得最多的洛老师和庞天才了！

先说洛老师。

1909年，洛老师他在《电子论》中写道：俺的理论和小爱同学理论的主要差别在于，他使我们看到，光速不变、以太测不出，是普适的基本原理，而不是因为我们认为的收缩啊、测量手段啊等“补偿效应”引起的。这是洛伦兹自己承认的，他的认识与狭义相对论不同。

1915年，他总结自己没能提出相对论的原因：“如果我现在必须写最后一章，我一定给爱因斯坦的狭义相对论一个更为重要的地位。根据这一理论，运动系统电磁现象的理论达到了我没有获得的简明性。我失败的主要原因是墨守陈规，只把时间 t 作为真实的时间，而把地方时间 t' 仅看作一个数学辅助量。”洛伦兹提出了变换方程，却把它作为一种纯粹的数学手段，取得了正确的结果却不了解它深层的、真正的意义。

再说庞天才。

庞加莱长期对相对论保持缄默，这本身就反映出他始终都没有领悟相对论的深邃思想。而在庞加莱看来，相对性原理的数学意义远大于物理意义；对于真空中的光速，庞加莱没有它看成是一个普通常数，而坚持认为光对于以太才是不变的，虽然他质疑过以太的存在。他认为，光速测量的不变结果，是由于收缩导致的测量上的假象（补偿效应）。这与爱因斯坦相对论的根本思想相差甚远。

所以，尽管庞加莱得到了建立相对论的材料，却未能上升到相对论的高度。这样说很晕？那这样说吧，庞加莱搞到了鱼翅、海参、鸡脯、鸭肉、鸽蛋、香菇、冬笋、羊肘、猪蹄筋等等一大堆好食材，却不知道这些食材，再加上干贝、鲍鱼什么的，辅以考究的烹饪，就可以做成一道秒杀众生的名菜：佛跳墙。

试想，庞加莱对建立新力学期待已久，如果他窥见了其中的奥秘，岂能放过亲手建立它的机会！

直到他去世前不久，他还没有承认，他所预言的那个新力学已经被爱因斯坦建立起来了。他在给爱因斯坦写的推荐信中写道：爱因斯坦先生是我认识的最富创见的思想家之一……每当物理学出现了问题，他很快就能设想出各种可能性，预言一些新现象。我的意思并不是说，所有这些预言都会被证实，如果有可能做检验的话。相反，既然他是在多方面探索，我们就应当想到，他所走的道路，多数是死胡同。

我们现在都知道，这是庞天才最失败的一个预言。

赤兔马有了，青龙偃月刀有了，甚至还有了一张红脸、两只凤眼、五缕长髯，但是很遗憾，这人不是关二爷，怎能过五关斩六将？！

狭义相对论思想就是关二爷。

根据光速不变、带电物体加速质量增加等现象，推导出洛伦兹变换、长度收缩、质速关系等方程式是必然的。关键是，谁能窥透其中的奥秘，构建一个完整的思想体系，提纲挈领，揭示本质，不仅能得出这些推导结果，还能解释这些现象，由表及里融会贯通、和谐互洽。

我的心在等待。永远在等待？

不，他来了。

第十二章 狭义相对论（上）曙光

追光

1895年，风景如画的瑞士阿劳镇，一个16岁的少年脑子里出现一个古怪想法：一条美丽的光线划破夜空，去宇宙深处Happy，我追上去以速度 c 与她同去，会看见什么？一条优美动人的震荡不前的曲线——光波？但经验和麦克斯韦方程告诉我，不会发生这样的事情。或许，这根光线看起来和我坐在教室里看她时没什么分别。

从此，这个问题如影随形，欲罢不能，他痛并快乐着这样的“胡思乱想”。光速虽快，但思想可及，总有一天，我会窥透你的秘密！转眼10年过去了。

1905年，繁华而优雅的瑞士首都伯尔尼，一辆公共汽车例行公事地穿梭于繁华的街头。后车窗，一双永远好奇、清澈而又深邃的眼睛，看着伯尔尼最著名的钟塔，胡思乱想的脑子里又蹦出一个怪问题：如果公共汽车以光速飞行，会怎样？我说：会散架。

他没理我，脑子里却出现了一只指针被定住的钟。如果公共汽车以光速飞行，那么，钟发出的光追不上车，在车上人看来，钟的指针就定在光速飞行的那一刹那。如果超过光速呢？指针倒转……时间和空间是一体的，是能够变形的网状结构……

你知道，他就是10年前的那个追光少年。这个满脑子奇思怪想的家伙，现在瑞士伯尔尼专利局供职。他下了这趟公共汽车不久后，就发表了一篇与本职工作无关的论文——《论动体的电动力学》。

这时是1905年6月。他指出：只要人们愿意抛弃绝对时间观念，以太就纯属多余。喔唷，几百万年的时间观念，你说放

弃就放弃，你以为你是谁？跟李刚很熟？



【图 12.1】追光

当然，看见本章的题目时你就知道了，他就是本文的第三位超级牛人——阿尔伯特·爱因斯坦。

天才中的天才，巨人中的巨人。

但当时，他的名字不像现在这样，听起来五雷轰顶般响亮。他去年才从专利局的临时工转正，得到这里的最低职称：三级技术员。因此，他提出的古怪理论没有引起人们的注意。

1905年6月，还记得这个时间吧？庞加莱发表了《论电子动力学》，提出类似的观点。我们知道，爱因斯坦的论证比庞加莱的论证更接近物理，后者认为这个问题是纯粹数学性的，而且至死不接受爱因斯坦的理论解释。尽管如此，我们也不应该忘记，庞加莱从数学上与爱因斯坦理论的无意契合，前者的盛名，在促使人们后来接受相对论等方面，起到了重要的作用。

现在想想，《论动体的电动力学》的发表，真是悬而又悬。我们一条一条来看：

爱因斯坦当时的地位平庸到了极点，在世人眼里，他与巍峨的科学殿堂毫不沾边，而他这篇论文的剑锋，却直指这座殿堂的塔尖和中柱。

爱因斯坦当时赖以谋生的专业，与这篇论文所涉及的领域毫不相干，这就是说，没持证你就上岗了，还想当师傅，一个

完全的“外行”，提出一个匪夷所思的观点，挑战当时的整个物理学体系。

论文观念奇特，完全出乎直观认识之外，不像牛顿理论那样容易理解，包括物理学家也难以理解相对论，加之上述情况的影响，条件极其不利，但影响巨大的《物理年鉴》居然发表了它，教后人不得不佩服主编普朗克（就是当年被老师泼凉水的那个孩子）的慧眼和胸襟。如果换一个人看稿会怎样？

作者名字前面没有挂上一排各位领导的名字，干净利落。

在这种条件下，如果某些环节是另外的样子，这篇旷世奇文和爱因斯坦命运又会如何？



【图 12.2】菩提与至尊宝之专业与业余
实际上，1905 年，爱因斯坦发表的论文不只这一篇，他发

飙般地发表了 6 篇论文！

大哥，美国每年发表论文三十几万篇，咱国每年十几万篇，现居第二，拿下第一指日可待！小爱 6 篇而已嘛，用得着“发飙”？句尾还浪费一个叹号，你小学语文老师是谁？！！说啊说啊说啊说出来啊！！！！

亲呐，对不起，忘了说，这 6 篇论文的分量，够得上 4 个诺贝尔奖。

3 月，《关于光的产生和转化的一个试探性观点》，提出光子量子概念，给出光子能量公式 $E=h\nu$ ，完美解释光电效应。

4 月，《分子大小的新测定法》，创造了一种测定分子大小和数量的新方法。

5 月，《热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮小粒子的运动》，解释了布朗运动，终结了物质是否由分子或原子组成的争论。

5 月，《布朗运动的一些检视》，进一步充实了关于布朗运动的研究。

6 月，《论动体的电动力学》，狭义相对论的出生证，物理革命的宣言。

9 月，《物质的惯性同它所含的能量有关吗？》，完美诠释了质能关系，得出永垂不朽的。

这 6 篇论文为物理学三大领域：物质结构原子论、量子论和狭义相对论奠基，还顺便为其他学科，例如统计学等做出卓越贡献！

苍天呐，大地呀，世上原来真的有奇迹啊！哪位神仙姐姐给我出个主意吧：面对如此天才，除了膜拜，我们还能干些什么？

我想，那句话只有用在这，才字字掏心毫无虚伪绝不夸张：我对你的景仰有如滔滔江水连绵不绝，又如黄河泛滥一发~不可收拾！

1905 年因此光芒四射（本文盲坚决认为，只有牛顿提出万有引力的 1666 年可以与之比肩），史称爱因斯坦奇迹年。以至于 100 年后的 2005 年也跟着沾了光，被世界物理界和联合国确定为“国际物理年”，纪念爱因斯坦和他所做的工作，全球人民尤其是物理界狠狠地狂欢了一年，如果亲们当年在茶余饭后稍有留意，相信记忆犹新。

但在 1905 年，人们并没有意识到这一点，因为这几篇论文对人类科学的影响力直到很久以后才逐渐显露出来。可见，思想超前，目光高远，必经曲高和寡之痛。

《论动体的电动力学》（以后简称《论动》）所确立的思想，被人们称之为“相对论”，爱因斯坦觉得名实不符，如果自己取名，宁可叫它“不变性理论”，因为物理学定律对所有观察者都是一样的。但大家都喜欢叫它“相对论”，众怒难犯，众愿难违，爱因斯坦的命名权就这样被广大人民群众剥夺了。

那个追光少年，经过 3600 多个日日夜夜的苦苦求索，终于羽化成蝶，不，是羽化成仙，超凡入圣，开创了人类的新纪元！

不是吧大哥，3600 个日日夜夜就能这样，那我 14000 多个日日夜夜的苦苦求索，怎么连个屁都没见到？！！不公平啊！！！！

亲呐，动不动就咆哮是不好的，吓到小盆友怎么办，就算吓不到小盆友，吓到猫猫狗狗也是不好的嘛。人家是天才嘛！你以为随便谁努努力就能为所欲为？！！不要和天才比！！！！要和自己比！！！！比自己以前强，力气就没白费！！！！！！就算不比以前强，力气也没白费！！！！！！不然在这片逆水里，一不小心就把你卷退十万八千里有木有啊？！！！！好好努力吧大叔！！！！！！！！

.....

教我如何不信你

光速不变，咱们真的信了吗？

即使信了，咱们能理解光速不变是个什么情况吗？

我们知道，转变观念可不像换零件，新的来了旧的拿走，

它更像是换血，搞不好新的也会被污染成旧的。

后面的内容，与光速不变密不可分，离开它，就没有下文。

所以，咱找点儿空闲，找点儿时间，揣着好奇，再回来看看，让自己就像相信“月有阴晴圆缺”那样，不仅深信不疑，还能把它作为一个常识来使用，这样。在以后看爱因斯坦的推导时，能够自然想到，某处是由于光速不变得来的。

麦克斯韦用方程证明了，MM 实验证实了，我们通过观测 MM 也亲眼看到了，光速不变。好像还有一件事没做，那就是思想实验，光速不变原理还可以通过一个有趣的逻辑来证明。这里又要用到小学算术，唉，真麻烦-_-！。

嫦娥姐姐，吴刚哥哥，快放下那只兔子，演出开始了！

为了嫦娥，地球人你和月球人吴刚吵架。吴刚很气人，你很生气，后果很严重。你随手把看月亮用的手电筒（恭喜你成为使用该电器观测月球的第一人）朝吴刚扔过去，手电筒脱手的一瞬间，你还无耻地摆了个 Pose 给嫦娥看。

因为吴刚在月亮上，所以你和吴刚间的距离 S 是 38 万公里，手电筒的速度 v 为 15 万公里/秒（即使是为了嫦娥，扔这么用力你也太狠毒了），光速 c 为 30 万公里/秒。

假如光速是可以随光源的速度叠加的。那么，那个 Pose 的影像，会正常以光速向吴刚传去；而手电筒的影像，会以手电筒速度与光速之和向吴刚传去。

现在我们根据“光速可以叠加”的假设，分别算一下三个时间：手电筒影像到达吴刚的时间；Pose 影像到达吴刚的时间；手电筒砸到吴刚的时间。

根据小学算术，都用同一个公式：时间=距离/速度。

手电筒影像到达吴刚的时间= $38/(15+30)=0.844$ 。就是说，你扔出手电筒 0.844 秒后，吴刚看到手电筒向自己飞来。

Pose 影像到达吴刚的时间= $38/30=1.267$ ，也就是说，你扔出手电筒 1.267 秒以后，吴刚才看到你的 Pose。

手电筒到达吴刚的时间 $=38/15=2.533$ ，也就是说，你扔出手电筒 2.533 秒以后，吴刚中招。

运算结果告诉我们，假设光速可以叠加（可变），那么，吴刚先看到一个手电筒飞向自己，然后才能看见你扔手电筒的 Pose，这和事实不符。

不仅如此，这样还会出现一个诡异的现象，因为手电脱手的一瞬间，手与手电的速度相等，前臂次之，上臂更慢，身体最慢，所以，你的手发出的光，会和手电筒一起到达吴刚，然后依次是前臂、上臂、身体发出的光到达吴刚。

所以，可怜的吴刚看到的是：一只手把手电筒扔向自己，随即手消失，手电筒继续执著地飞向自己，它后面，手消失的地方，依次闪现前臂、上臂、然后是你的 pose。

如果算上你身体转动的加减速，他还会看见半个你。难怪他都忘了躲这只不远万里而来的手电筒。



【图 12.3】地对月导弹

这件事太诡异了，以至于喜欢看恐怖片的吴刚强烈要求再来一遍。把你和他正在生气这件事忘得一干二净。

“太刺激了。”他说。

“心胸太宽广了！”你由衷赞叹。

“这也许是脑袋刚才被手电筒砸了的缘故。”我分析。

“无聊。”嫦娥说。

“我们离他远点吧，砸到小兔兔怎么办？就算砸不到小兔兔，砸到小兔兔也是不好的嘛。”超级自恋的玉兔说。

于是嫦娥抱着玉兔，飞到地月距离的4倍处，与你、吴刚成三点一线。

面对一个测不准的投手，躲在目标后面也许才是最安全的。嫦娥想。现在，她的确很安全：她离你152万公里，离吴刚114万公里。

“可以开始了吗？”你邪恶地玩着手电筒，捡了大便宜似地跃跃欲试。体会着如何完美重复刚才那个pose。

“等等，这次我们加点剧情。”吴刚兴奋地说。“刚才，手电筒飞了2.533秒到我脑袋。这次，你还那样扔，朝月桂树旁边扔，我先躲在桂树洞里，在手电筒到达的那一瞬间，我隆重出场，看看是个嘛效果！”

“大哥，你一出来就挨砸，嘛也看不成啊。”你心里这样想着，嘴里却说，“真是太有创意了！桂树真不白砍啊！是不是砍一斧长一智？”

太坏了你。

吴刚兴奋地钻进树洞。

你举起手电筒。

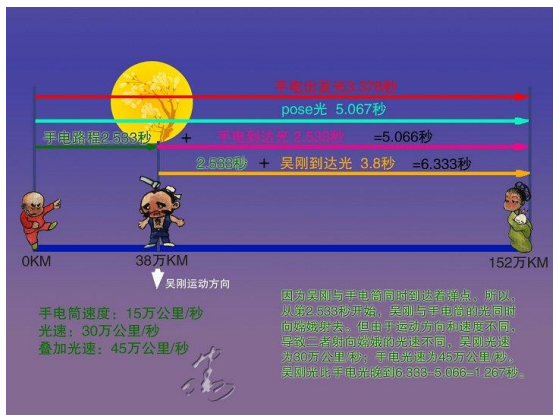
开始！我说。

手电筒还是那个手电筒，月亮还是那个月亮，pose还是那个pose，速度还是那些个速度。

吴刚精确地出现在手电筒到达的时刻、到达的地方。

依然正中头顶。

除了吴刚什么也没看见，其他一切似乎跟上次没什么区别。但是，几秒钟后，嫦娥惊叫起来，玉兔惊跳起来。



【图 12.4】还是地对月导弹。

因为嫦娥和玉兔看见了更诡异的事。

他们看到什么了？我们算算几道光到达嫦娥的时间，就知道了。

手电筒出发时的光： $152/45=3.378$ 秒。

手电筒砸吴刚时的光： $2.533+114/45=5.066$ 秒。

Pose 的光： $152/30=5.067$ 秒。

吴刚到达着弹点的光： $2.533+114/30=6.333$ 秒。

这就是说，嫦娥和玉兔先看见一只手电朝吴刚飞去（手啊、手臂啊就不说了，跟前面一样），用了 1.689 秒，到达月桂树旁边时，好像被什么东西硌了下，改变了运动轨迹。紧接着，0.001 秒后，她看见了你的 pose，知道是你扔的，又过了 1.266 秒，发现吴刚出现在月桂树旁，就在刚才手电的转折点，脑袋好像被什么砸了一下……穿越了？！好像又没有啊？！！嫦娥和玉兔无辜地对视着。

为什么要拿地月距离甚至更远来说事？因为这样算出来的时间差我们更容易分辨、更容易理解，其实不论抛物的距离远近，道理是一样的。根据你用手电筒扔吴刚的例证原理，如果光速可以叠加，你和朋友打乒乓球，你将每次都先看见球朝

你飞过来，然后才看见朋友挥拍。这样玩法是不是太诡异了。

很显然事实不是这样的。光速在事实上是没有叠加的。也就是说，光的传递速度是不随着光源速度的改变而改变的。在后面的红移、蓝移中，我将用咱俩小时候常玩的一个游戏作为例证，再次证明光速是不变的。

神马？你问后来你和嫦娥姐姐怎么样了？你们的私事居然来问我？她当然还在月亮上了，去吧。刚才我俩比赛薨兔毛时，吴刚在旁边还提起你来着。对了，如果你看文中任何一处的“你”不爽，那就换成“我”好了。

“光速不变”后来成为狭义相对论的两条基本原理之一。

有反相对论者认为这一原理是荒唐的，他们利用“声速在相同密度空气中传播速度相同”这一现象，套用爱因斯坦的推导方法，推导出以“声速不变原理”为基础的“相对论”，来反证相对论原理错误。

本文盲看后，不得不承认这种做法十分聪明，但这些大侠忽略了一个基本事实，声音本身不是一种独立存在的物质，而是物质的震动，这种震动的传播，以及传播速度，依赖于产生震动的物质，而这些物质的运动速度是可变的。

比如，声速是每秒 340 米，你在每秒 30 米的风中喊话，你的声音会以每秒 370 米的速度传向下风口——可与传媒速度叠加。

再比如，列车每秒 30 米匀速前进，我在车厢里说话，声音会相对于列车这个惯性系以每秒 340 米传播，但在轨道边站着的你看来，声音以每秒 370 米的速度传向车头，而以每秒 310 米的速度传向车尾——可与惯性系速度叠加。

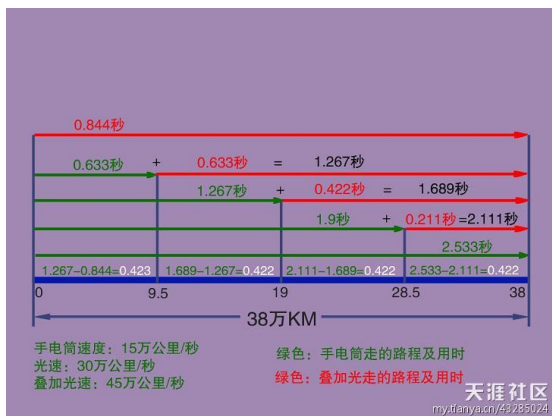
不必举更多例子，我们把声音传播的可变结果与光速测量的结果比一下，就知道二者根本不是一回事，声音只是相对于它在其中传播的媒介而言速度不变。还有一点很关键，光是独立存在的物质。所以，“声速相对论”可以看做一个阿凡提式的

机智。

好了，我们用能想到的各种方法得出同一个结果：任由咱们怎么折腾，光速对我们都涛声依旧。所以，葛格美眉们交流或交换感情，不要空口套白狼式的海誓山盟，也不要“钻石恒久远、一颗永流传”式的物质象征，这些东西只是变得慢一点而已，物理学地质学心理学和化学都纷纷告诉我们，没有不变的东西。除了光速。

关于昨天晚上发的第一个推论，就是观测者发现手电筒减慢的推论，经过计算，证明不成立。看了诸位大侠的讨论，很多聪明脑瓜在思考，很严谨。学习了！谢谢亲们：)

怎样得出光速叠加后越走越慢的结论：设两个手电筒同时同速扔出，一只光速叠加，另一只光速不叠加，因叠加的光快，则：在途中，先看到叠加的手电筒过某点，再看到不叠加的手电筒过该点，时间有明显间隔。但最后，两手电筒同时到眼前时，二者的光速几乎同时射入眼睛。由此推出，只有在观察者看来，叠加的手电筒减速才会这样。但计算表明，手电筒筒在观察者眼中，每段路程用时均衡。计算图示如下：



【图 12.5】

1、MM 实验的设计，就是建立在有“光以太”的假设上的。

假设以太绝对静止，光速在其中以固定速度传播。地球在相对于以太运动，那么，当地球运动时，测得的光速值，就会随着测量者的运动方向和速度不同而发生变化（由此推出有以太风存在）。但是我们知道，这个实验失败了，没发现光速变化，也就没找到以太风。

2、光速不随光源运动而变化，并不需要以太帮忙，无论它叫光以太还是叫孔以太。

3、以太可以解决光源变化而光速不变的问题，但解决不了观测者运动，光速相对于观测者仍然不变的问题。

4、光具有波的特性，某些方面可以用水波、声波来类比，但并非水波、声波所有的特性光都有，也并非光所有的特性其他波也有，比方说波粒二象性，就是光独有的。没有以太，光也可以红移和蓝移。

5、吴刚、嫦娥的困惑来自光速可以叠加，在下是以此反证光速不可以叠加。在光速不叠加的情况下，是会出现那些事件颠倒的困惑的。

根据奥卡姆剃刀原理，以太的存在实在是多余的。

论动体的电动力学

这是相对论的开山论文。我们在谈相对论时，不顺便看看它，岂不等于连新娘盖头都没掀就直接洞房了？这样会不会有点小小的遗憾呢？

所以，在 19 世纪的物理学家以及全世界各族人民都没意识到伟大的相对论诞生之前，我们不妨先睹为快，看看相对论的出生证，顺便体会一下，所谓科学理论，是怎么建立的。为了赶时间，也为了咱俩的学术氛围轻松些，咱就扼要地走马观花，了解个大概。想体会原汁原味呢，可以去搜一下《论动体的电动力学》（以后还简称《论动》）原文。

理解狭义相对论，需要一点点耐心和时间。

《论动》开篇，小爱拿出一个导体、一个磁体，说，不管

是你静我动，还是我静你动，作用是相同的，都能让导体产生电流。虽然只是一个简单的例子，却包含了寻求电磁学关于运动相对性的统一思想。

他以此为例，论证了物体运动的相对性，得出结论：不存在绝对静止。所以，寻找以太实验失败是必然的（还记得吧，以太是静止的）。说完顺手把以太理论扔进垃圾箱。然后指出，适用于力学的坐标系，对电动力学啊、光啊什么的也同样适用。

这样，得出一个“相对性原理”的猜想：物理定律在任何惯性系中都相同。这没问题吧？

在不同的惯性系中，做力学实验，得到的结果都相同。那么，也是在不同的惯性系中，做电磁学、热力学实验，难道会得到不同的结果吗？你在家拿着短铁棍在火上烧，会烫手，然后你拿着这根短铁棍去火车上烧，又不烫手了——如果世界是这样，那真的是上帝也疯狂了！

所以，我们只好承认：物理定律在任何惯性系中都相同。还记得前面的两个“相对性原理”吧？庞加莱的相对性原理：运动定律在任何惯性系中都相同。伽利略的相对性原理：力学定律在任何惯性系中都相同。

瞧，都只差两个字，但涵盖面可差之千里：运动定律包括了力学定律，而物理定律包括了运动定律。高度决定广度。站在牛顿、伽利略、庞加莱这些大牛的肩膀上看风景，就是一个字：爽！

小爱说，既然现有的一切实验都证明，“相对性原理”不是错误的，那么，我们可以把它从猜想提升为一个公设。

他又说，我们还要引进另一条公设：光速不变原理。指的是光在真空中速度不变。这也是被实验证明了的，我就不废话了。

这两条基本原理是整个狭义相对论的基础，简洁明了。

简洁，符合“奥卡姆剃刀”原理。咦？突然冒出来一把剃

刀，它干嘛的？答：专职剃掉多余的东西。它有个八字方针：“如无必要，勿增实体”。别看只有八个字，它在科学、哲学、经济等各个学科、各个领域广泛适用。

还没看出这八个字有啥了不起？那咱们回到一个熟悉的案件，当一回侦探。

未婚的公主怀孕了。

皇家理论：

- 1.假设上天要降生一个圣人，拯救地球。
- 2.假设圣人降生必须选一个不平凡的肚子。
- 3.假设上天可以不必通过任何接触即可直接令人类受孕。
- 4.假设公主的肚子极不平凡。

这些个假设加在一起，才能让皇家得出一个光荣的结论：所以上天使公主怀孕了。

谁看见了？上天为什么要用这种方式派一个胎儿？起夜的王公公看见了，一道金光……

你哪来这么多废话？再问喝茶去！……

民间理论：

- 1.假设公（敏感）主和一个男（河蟹）人 shang 床了。

虽然敏感词多了点，但就一句话的事。得出一个结论：于是公主怀孕了。

现在，该侦探大人您来回答了，哪个解释更接近真相呢？傻子都知道，当然是后者的解释更接近真相。

“如无必要、勿增实体”的意思就是：假设越少的解释，就越接近真相。

奥卡姆剃刀原理还告诉我们，如果某个条件无法检测、无法证实，那这个条件就等于没有，没必要存在。

比方说，某人一觉醒来，发现掉了一缕头发。问奶奶，奶奶说：这是“鬼剃头”，也就是鬼干的。这个无法证伪，也无法证实，所以不靠谱。要想得到正确结论，就必须用奥卡姆剃刀

把“鬼”从掉头发这个事件中剔除，才有可能找到真相。

科学也是这样，下面我们回到开篇的那个问题：天为什么下雨？

祖先的解释：是神仙干的，具体是龙干的，龙在江河湖海吸足了水，到天上把水变成雨撒向大地。还往往需要风婆、雷公、电母来帮忙打打场子搞搞仪式。

现在的解释：能量转换的结果。具体是：水受热汽化上升，受冷凝成水珠，空气撑不住它，就掉下来成了雨。

看，同样是把水运到天上再洒下来，检测不到、无法证实的龙、雷公电母风婆就太多余了。

爱因斯坦认为，自然界应当是和谐而简单的。所以，他的理论都是出于简单、归于深奥。

1.物理定律在任何惯性系中都相同。

2.光速不变。

经过前面的艰苦历程，我们不难接受这两条原理，因为到现在，它们在我们心里就像地球围着太阳转一样，已经不再是什么深奥的科学理论，而只是简单的事实。

同样是刀，在我手里西瓜都切不齐，在罗丹手里就能塑成思想者，在刘邦手里还能斩蛇起义成就大业。这两个简单的事实，到了史上最强大的三级技术员爱因斯坦手里，就掀起了现代物理学革命，改造了人类的宇宙观。

接下来，《论动》分运动学、电动力学两大部分，探讨了时间、空间、物质与运动的关系，探讨方式是，以两个原理为基础，由浅到深，用缜密的逻辑推理和数学推导得出结论。

这样一来，整个过程就难免枯燥、繁琐，尤其是那一堆一堆的公式，别说看，想起来都头疼，所以，在这里，咱俩只挑其中最短、最简单、最重要的是公式最少的第1节、第2节（共有2章10节），假装学习一下，就可以翘课了。

我试着把它翻译成大白话，与君共飧。但是有两点，我们

一定要有足够的心理准备，并且提起精神来：

一是因为这里不得不动用初中数学了，不过，咱要是看公式过敏，直接跳过去好了，误不了二路汽车。

二是根据原文翻译，这就要全程叙述推导过程，再有趣的推导过程，也是从一个公式到另一个公式，枯燥是难免滴。

但是，这可是爱因斯坦的相对论论文啊！不品品其中的滋味，怎一个憾字了得？！

那，还等什么？开始吧。

翻译之前，有件事咱得达成共识（唉，我怎么这么罗嗦）。

我们知道，在科学论文里，为了避免歧义，即使是大家都明白的东西，论文作者也不得不把话说得十分缜密精确。

比如，平时我们说，“吃好喝好”，大家都明白。但放在论文里，就会出现歧义：什么叫“好”？吃喝到什么程度才算“好”？

笼统的东西就是这样，不问没问题，一问全是问题。

所以写论文就得这样说，“饮食应尽量消除饥渴感，满足身体补充能量的本能需求，以及咀嚼、味觉、吞咽刺激带来的感官快感，进而使精神愉悦（以营造亲切友好的社交氛围）”。

这样说话，在语言表达上难免枯燥、冗长、拗口，读起来费劲。

所以，这里的所谓翻译，就是直接写出大家明白的话，亲们配合一下，别往歪了想，别死抠字眼，就万事大吉。好，现在开始！

在读《论动》之前，我们得讨论一下，什么叫“同时”，因为《论动》第1节讨论的就是“同时性的定义”。所以，我们先跟小爱同志做一个关于“同时”的思想实验。

什么是“同时”。

现在我们请牛郎、织女和你一起来做这个实验。我负责解说。牛郎、织女负责坐在一列匀速直线行驶的快车上，车的名字叫“爱因斯坦列车”，简称“爱车”。与高铁比起来，此车更

神速。

你的任务很光荣很艰巨，负责矗立在乍暖还寒的站台上，眼巴巴地等爱车经过，眼睛一眨不眨地观察。

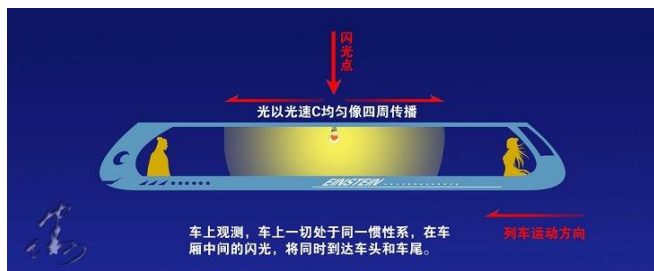
很不幸，按照史上最强大婆王母的规定，牛郎和织女依旧不能坐在一起，牛郎在车头，织女在车尾。

所幸的是，他俩之间没有其他乘客，依然可以相互遥望。

但不幸的是，现在车内外漆黑一片，没有光。没有光的意思是，他俩仍然互相看不见。

万幸的是，在他们的正中，有一盏灯。这盏灯在爱车经过站台时，闪了一下光。

君坐爱车头，我坐爱车尾，日日思君不见君，所幸车同轨。这一闪，虽是那样短暂，却是他们最甜蜜最迫切的奢望——这是他们看对方一眼的唯一机会！他们满怀期待，感恩地睁大双眼。亲，瞥你一瞬，足慰我心！



【图 12.6】爱因斯坦列车之车上观测

很自然，他们如愿以偿，同时看到了对方。因为，灯、牛郎、织女都在爱车这一个惯性系，物理现象和在地面上没什么分别，这盏灯在他们正中，所以，灯发出的光自然就同时到达牛郎和织女。

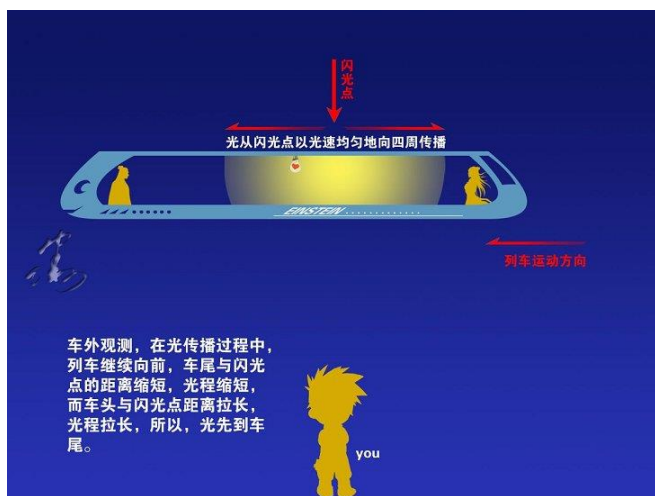
这一点也不奇怪。

奇怪的是，在站台上的你，却先看到织女亮了一下，然后牛郎才亮了一下。

因为，光速是不变的，灯闪时，光从闪光点出发，以同样的速度 c 射向四周，在这个过程中，列车依旧向前飞奔，在站台上的你看来，车尾的织女与刚才的闪光点距离在缩短，相反，牛郎与闪光点的距离在拉长，灯光当然先到近的地方，所以，你看到，灯光先到达织女，然后才到达牛郎！

啊？！

眼睛别瞪那么大，嘴也可以合上了。相信我，你们都没错，只是由于所在参照系不同，观察的结果就不同。



【图 12.7】爱因斯坦列车之车外观测

小爰告诉我们，所谓“同时”，只有在同一参考系才成立，不同的参考系，不仅运动这个活泼调皮的小家伙是相对的，就连时间这个看起来无比顽固死板的家伙也是相对的！离开了参照系，就没有“同时”，也没有“现在”！OMG！

听起来特别扭是吧？别扭就对了，这是人之常情，哪怕眼睁睁看到新来的是真理，但只要与老观念相冲突，也不舒服，可见欺生、排外的斗争，不仅存在于群体之间、地域之间，也存在于个体的头脑中，与生俱来。不过没关系，克服它，咱就

升级了。

看来，“同时”这个概念需要重新定义。所以，小爱开始了《论动》的第1节。利用光速不变原理，定义“同时”。（注意，这一节比较枯燥）

一个静止的坐标系，我们管它叫“静系”。静系里，有一个不动的质点。

现在，我们想要搞清楚这个质点的位置。该怎么办？

好办。用尺量量，标出它的坐标值，就搞定。这个，初中生都会。没问题。

这是对静系中，静止质点的做法。

那么，如果这个质点淘气乱动，又该怎么办呢？也好办，我们就得动用时间函数，来给出它的坐标值。描述它的运动轨迹。

这个，好像也没什么问题。为什么要说“好像”呢？因为有一个隐藏得很深的问题：时间。根据经验，我们判断“时间”，总是以“同时”为出发点。比如，你去火车站送嫦娥回月球，说“火车7点到”，大家都明白，那是指“火车到”和“表显示7点”这两件事是同时的。

那么，我们为嘛要相信这块表呢？因为它显示的时间读数，与“北京时间”是精确同步的。也就是说，北京时间7点的“同时”，这块表也显示7点。但是，这种“时间”，只不过是人为定义的，是一个约定，是方便我们人类判断和使用的一种“时间计量标准”。一般情况下，没什么问题。

但是这里还要用一个“但是”，用我们定义的这种“同时”，去处理发生在不同地点的两件事，就不灵了。刚才我们在火车内外，已经惟余茫茫地体会到了，它相当不灵，这里不再赘述。

下面，我们一起来找一种办法，大家都认可的办法，用以确定“同时”。

What? 你昨天恰好买了三块大表？并且居然是一模一样、

质量上乘的三块大表？！才人呐！那太浪费了。这样，你自己留一块，我代表你赠给牛郎和织女各一块，并代表他俩对你致以诚挚的谢意！

现在，牛郎和织女戴着表，隔河对望。我们管牛郎的时间叫做“郎时”，用 A 表示，对岸的当然叫“女时”了，用 B 表示。那么他俩的公共时间——“公时”怎么定呢？

有办法：走光。

眼睛先别冒绿光，不是你想的那样。这里的走光，是让光在牛郎织女之间来回走。因为光速不变，距离相同，所以，无论是从他到她，还是从她到他，走一趟花的时间是“相同”的。

根据这一原理，用他俩的表来计时，算一下光在他俩之间来、回的时间各是多少，如果得数相等，那么，就证明他俩的表就是“同步”的。

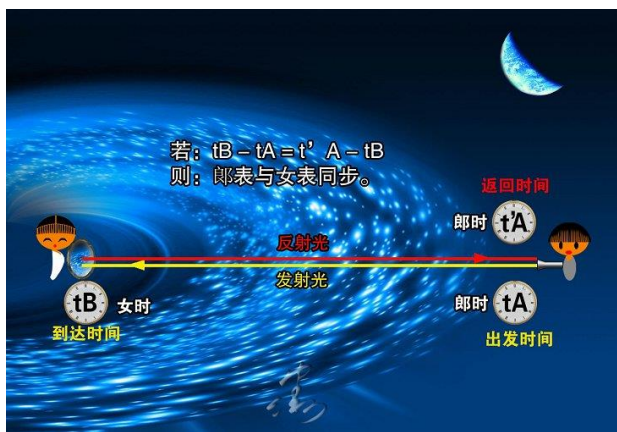
如果你看这段犯迷糊，就想想，光在他俩之间一来一回，同程同速，那么实际用时肯定一样。用他俩的表计时，算出的时间间隔，假如是一长一短，这说明什么？只能说明这俩表一快一慢，不同步呗！

好，现在，牛郎拿着你砸吴刚的那只手电筒，用来观测织女，在郎时“tA”，一道光射向对岸，它在女时“tB”到达织女，被织女的照妖镜反射回去，光在郎时“t'A”回到牛郎这里。一共只有三个“时间点”，分隔一去一回两段时间。

我们算了一下，结果：

$$tB - tA = t'A - tB$$

这很容易理解，tB-tA，是光从牛郎到织女所用的“时间间隔”；t'A-tB，是光从织女返回牛郎的“时间间隔”。如果两只表不同步，那么这个等式就不成立。



【图 12.8】异地“同时”定义

两个“时间间隔”相等，那么，这两只表就是同步的，对吧？

接下来，为了获得大家都公认的简单真理，以备后文之需，我们不得不作出两个简单的推测。有多简单呢？看完就知道了：

1.如果郎表与女表同步，那么女表就与郎表同步——后面这句结论正确得比废话还无聊吧。

2.如果郎表和女表同步，又和地球人你的表同步，那么女表和你的表也相互同步。这个结论也无比正确吧？

是不是简单到令你生气，以为它在侮辱咱俩的智商？这不要紧，要紧的是，你一看就承认它是对的。

那么好，根据上述经验，我们对处于不同地点的表，规定了它们“同步”的定义，就获得了“同时”和“时间”的定义，我们都承认这是一个很科学的约定。

一个事件的“时间”，就是事件发生地的表当时显示的值，这块表和某一块特定的静止的表同步，对一切时间的测定，都以这块特定的表为参照。

恭喜你，在我们的实验里，这块特定的表就是你戴的那块。

我们还可以根据小学算术“距离÷时间=速度”的公式，推导出：

$$2|AB|/(t'A - tA) = V = c$$

看清楚 V 是大写的哦。这个公式翻译成汉语：牛郎织女距离的 2 倍÷光往返的时间=光速。没问题吧？既然没问题，那我们就把它当成一个普适的常数来用。

咱俩还得记住一个要点：静系的表定义的时间，叫做“静系时间”。

接下来，小爱开始了《论动》的第 2 节，题目是“关于长度和时间的相对性”。注意，这一节更枯燥，所以必须提起精神来。乖，别撇嘴，这一节过去，咱这期小爱论文培训班就结业了，坚持到底的，每人办人格证一枚哦。

首先，小爱重申了他的两条基本原理：相对性原理：物理定律在任何惯性系中都相同。光速不变原理：真空中的光速 TNND 是固定的 299,792,458 米/秒。

记住，光速不变，永远指的是“真空中的光速”不变。那么，不管任何参照系怎么折腾，下面这个公式都成立：

光速=光走的距离/时间间隔。

OK，下面我们得完成一个任务：量爱车的长度。爱车记得不？就是牛郎织女两口子坐的那个专列。

爱车静止时，我们请来悟空，把金箍棒变得与车一样长，并命令金箍棒不许再伸缩，也不能弯。金箍棒听话地点点头，被悟空打了一巴掌，再不敢动了。

现在金箍棒、爱车的长度都是 L。

那么车运动时，长度会有变化吗？我们把车放在静系坐标上，然后让它匀速平移，速度是 v（是小写的哦）。

现在，有两种方法来量车的长度：

方法一：悟空拿着金箍棒，跟着车一起做运动，直接量一下，它俩一样长。注意，只是说它俩一样长，可没说“长度=L”

哦。

方法二：根据第 1 节的定义，我们以静系的表，也就是你戴的那块表为准，在某个时刻 t ，请牛郎织女帮忙，用郎表和女表求出爱车的两端（A、B）对应静系坐标的两个点，标出来，然后用金箍棒量一下两点之间的距离。这其实就相当于你想量笔的长度，先比在纸上标出笔的两个端点，然后把笔放在一边，用尺量这两点之间的距离，就是笔的长度。这种方法虽然稍稍复杂些，但不影响测量结果，对吧？

重点是，在运动中，方法二的结果会是什么呢？

好的，答案马上揭晓。咱们接着做实验，牛郎和织女兴高采烈地坐在爱车原位，戴着表。实验一次，附赠闪光一次哦。你也戴着表。别忘了，这三块大表每次使用前都对好了时间，分毫不差。

好，现在重复第 1 节的“同时性”测定。不同的是，这次是在爱车的运动中观测，所以公式里要出现爱车的速度 v （小写的哦）：光在郎时 t_A 从牛郎处发出，在女时 t_B 于织女处被反射回，并在郎时 t'_A 返回到牛郎处。则：

$$t_B - t_A = r_{AB}/(c - v)$$

左侧， $t_B - t_A$ ，这个我们很眼熟，是光从牛郎到织女所用的“时间间隔”；

右侧， r_{AB} 代表牛郎织女的距离， $(c - v)$ 是光速减去爱车的速度，距离除以速度，得到的仍是“时间间隔”。

为什么要 $(c - v)$ 呢？因为牛郎的光射向织女时，织女随车以 v 速迎向光来的方向。所以只有把车迎向光的速度剔除，才能得到光从牛郎射向织女的实际用时，使等式成立。

$$t'_A - t_B = r_{AB}/(c + v)$$

左侧， $t'_A - t_B$ ，这个我们也特眼熟，是光织女从到牛郎所用的“时间间隔”；

右侧，同上。区别是织女的光射向牛郎时，牛郎随车以

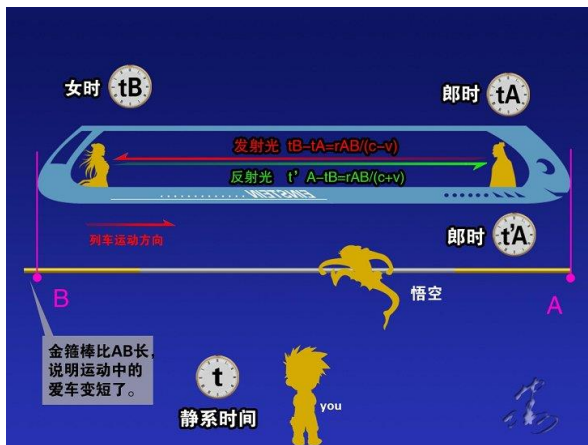
速度 v 离开光来的方向，所以 $(c + v)$ 。

严正声明：之所以一会要 $c - v$ ，一会要 $c + v$ ，是因为光速不变！

如果换成可以与惯性系速度叠加的子弹啊什么的，就不用加减了，因为目标迎向或背离子弹的速度，被子弹与惯性系速度的叠加抵消了。

简单算一下就更明白了：车以 50 米/秒飞驰，从车尾射一发子弹，子弹相对于车以 100 米/秒的速度射向车头，加上车前进的速度，子弹相对于静系的速度为 $100+50$ 。但车头正在以 50 米/秒的速度离开子弹，这样，子弹接近车头的速度是 $100+50-50$ ，得数还是子弹的速度：100 米/秒。不必 $+v$ 或 $-v$ 。

那么，“严正声明”上面这俩公式没问题吧？



【图 12.9】运动中的爱车时间及空间变化

没问题我们就看看结果：

$r_{AB}/(c - v)$ 不可能等于 $r_{AB}/(c + v)$ ，是吧？

这意味着什么呢？

这就得出一个十分意外的结论：牛郎织女发现，他俩的表不同步！可是在站台上的你看来，他俩的表是同步的！！

这就会造成一个后果：

牛郎织女认为同步时，你看他们就是不同步的。如果以爱车的动系时间为准，他俩“同时”标出爱车的两个端点，在你看来，是织女先标了车尾的端点，爱车接着向前跑了一小段后，牛郎才标出车头的端点，你派悟空去量这两点的距离，与金箍棒一样长。

而当以你的静系时间为准，看他俩“同时”在列车两端标出两点时，悟空拿金箍棒一量这两点，金箍棒比这两点之间的距离长——也就是说，运动中的爱车在你看来变短了！

后面我们会知道，这不是你的眼神不好，也不是测量的数学偏差问题，而是运动导致的物理结果。再唠叨一遍：物理结果！

小爱得出结论：没有绝对的“同时性”，要说“同时”，得看是相对于哪个坐标系而言。

从此，绝对时间观被粉碎。

在刻苦学习小爱论文的悲催时期，我们一连做了三个实验。准确地说，其实是两个实验。因为第三个实验，实际上是前两个实验的综合演习。

做了这么多实验，我们从肉体上到精神上都很疲惫了，所以在做下一个实验之前，我冒充一次领导，简单地做一下工作总结，就当休息了。好吗好的。

第一个实验：同光异时。它证明了时间是相对的，而不是绝对的。在一个参考系“同时”发生的事情，对另一个参考系而言，却是先后发生的。可见，时间与运动状态、空间位置密切相关。

由于不同参考系、不同位置的“同时”不好确定，所以我们抓耳挠腮，想了一个好主意，用来确定“同时”。于是有了第二个实验。

第二个实验：隔河对表。利用世界上唯一的“确定量”：光

速，验证了一个可靠的“异地对表”方法。牛郎织女用了都说好，实践证明这果然是个好主意，也是唯一的主意。

既然是个好主意，那么我们就用它来做一件事，搞搞测量，来看看是啥结果，于是有了第三个实验。

第三个实验：测量爱车。结合前两个实验，用公式计算出两个结果：不同参考系的“同时”不是一回事；运动中的物体会变短。

如果你看这三个实验之间的关系和结果感觉很新鲜，哈哈，那么建议你回到这些实验，从头到尾再看3遍。

按照领导的惯例，这里我们需要强调三点。为什么非要强调三点呢？因为一两点就把事情说清楚了，显得讲话没水平。所以就算一个字能搞定的问题，也要把它拆出三个问题来。具体做法是吹气、注水、循环、没事找事。好，废话少说，下面我们来废话一下。

第一个问题，认真程度的问题。

这个问题最关键，所以放在第一。如果你以前没有系统地学习过物理知识，那么，即使你是个天才，也不能走马观花地浏览一遍本文，就指望把它全部搞懂。即使你曾经有这个想法，也要把它偷偷扔掉，千万不要说出来，这会让牛爷、麦爷这些大神抓狂的，会让我们这些凡夫俗子恼羞成怒的。

多给自己一点时间，静下心来，认真看，认真思考，有些地方一时看不懂，那没关系，回过头再研究下，总会豁然开朗的。你会发现，亲手拨开迷雾看到的风景，就像亲手揭开美丽新娘的面纱，亲手……是那样美轮美奂。

第二个问题，知识连贯的问题。

这个问题最重要，所以夹在中间。你读懂并记住前面的知识了吗？

虽然我们不考试，但有些关键的知识点，我们还是要搞懂并牢牢记住的。因为理论就像台阶，下面的不铺好，上面的就

够不着。

理解这三个实验，我们至少要对以前的两个知识点做到无比熟悉，无条件接受，就像对自己的名字一样，你喜欢，或者不喜欢，它就在你家户口本里，你必须记在心里，脱口而出，不容置疑。

好在理解狭义相对论，只需要搞定两个旧的知识点了。

知识点一：相对性原理，记住伽利略的船，以及咱仨在船里所做的一切，以及船里发生的一切，并且看看庞加莱和爱因斯坦是怎样发展相对性原理的。记住，所有匀速直线运动的参照系，你在其中做任何物理实验，得到的结果都等价于静止的参照系，是一样一样一样的啊！如果你觉得哪不对劲，那就回去仔细看 10 遍。什么？回去只看了 9 遍半就看懂了？才人啊！现在理解了没？在爱车里看来，不论车跑多快，从车厢正中间的闪光，必然同时到达坐在两头的牛郎织女。

知识点二：光速不变原理。光速不变，是指在真空中，无论光源怎么折腾，也无论观测者怎么折腾，你上量下量左量右量站量跳量跑量匍匐量翻筋斗量坐动车量趴火箭量骑扫帚量……光的速度都 TNNND 是一个数：299792458 公里/秒。如果没记住，麻烦回去看 10 遍。100 多年来，无数科学狂人、天才大牛，用尽各种精确到变态的办法，企图量出不同的值来，然后名扬天下，荣誉地位金钱美女滚来滚滚来。但迄今为止，无一成功。如果这样你还坚持不信光速不变，那麻烦你去量出另一个值来。如果不能，就只好委屈你，和我一起暂时相信这个残酷的事实。这没问题吧？OK，你在爱车外，爱车中间的那道闪光向四周等速传播，而爱车却向一个方向飞奔，一头离开闪光点，另一头接近闪光点，那么，光一定先照到接近闪光点的那一头，对吧？

你和牛郎织女看的是同一道闪光吧？他们测得“是同时到的”，而你却测得“不是同时到的”，并且都是对的。这就是相

对论最关键的一个观念：时间是相对的。不同参考系，“同时”其实不同时。

都是借助这两个知识点，第一个实验看懂了，没理由后面的两个实验就看不懂。所以就不废话了。

注：其他波的速度是多变的。需要介质传播的波，比方说声波，虽然不随波源改变速度，但随介质改变速度，织女在爱车里说话，车厢载着她和空气一起向前飞奔，她探测声波以正常的 340 米/秒向车头传播。你在车外站着不动探测，声波传播速度叠加在车速上了，是 $340 + \text{车速}$ 。如果你反向运动着探测，声波的传播速度更快，是 $340 + \text{车速} + \text{你的速度}$ 。水波也是这样。可见，除光以外的其他波速，会因介质运动和观测者运动而改变。这个以前说过，在这里重申一下。

OK，以上两点没问题了吧？

第三点，观念转变的问题。

这个问题最严重，所以置后压轴。在我们这个低速世界里，绝对时间的观念，会自动在我们头脑中播下种子，在日常经验的浇灌下，生根发芽，茁壮成长，想要转变它，必须经过一个十分纠结、甚至痛苦的过程。不要说是我们这些普通人，就算是庞加莱这样万众敬仰的大天才，也没转过这个弯。这不是语言沟通问题，而是观念转变问题，因为庞加莱不可能看不懂爱因斯坦的论文，并且在此之前，他自己也得出过相对论的某些结论，他会不懂吗？

但他为什么没接受这个理论呢？很简单，绝对时间观在他头脑中扎根太深，拔不出来。这表现在，你有多少实验和确凿的公式证明，他就有更多理由去反驳：这只是数学结果，而不是物理真实。我不信，你有啥办法？

所以，如果你读这几个实验感到迷糊、纠结，那不怪你，你也不必苦恼，因为庞加莱也和你一样。但是，我们需要验证一下自己，究竟是没读懂文字，还是没转变观念。

怎么验证呢？回头检查一下，有没有哪句话读不懂？要仔细检查哦，检查完了？如果你确定每一句都能读懂，那么，就证明你的纠结来自观念的转变。这样，我们可以接着往下谈。

你有没有这样的经历，一个明摆着的道理，你试图说服一个人去接受它，但是无论如何也做不到。表达得再清楚，IQ正常的他，打死也不接受。

为什么？我相信，你不会认为他没听懂你的话。你知道这是观念问题。他的潜意识在保护那个旧观念（这是人之常情，程度不同而已），所以会不由自主地找出很多理由，在内心或在语言上拒绝。他也很纳闷，你怎么会对如此荒唐的想法坚信不疑。

有过这个经历是吧？如果你坚持认为没有，那么我用两个字提醒你：代沟。

这回呢，想起来了吧？你一定有过这个经历。

那好，我们还可以接着往下探讨：我们应该怎样去面对新观念？其实这是个老问题，前面说过。

我们先做做脑体操。

如果有人对秦始皇说，我可以看着千里之外的 MM 跟她谈心，老秦一定会说：你 TM 拿我开涮呢？！拖出去砍了！

但是如果他找到了长生药，活到现在，看见视频聊天，还会认为这事荒唐吗？面对一个与固有观念截然不同的看法，哪怕这个看法给我们的第一印象是荒谬、可笑，我们也应该尽快让自己冷静下来，用开放的心去看待。

所谓“用开放的心去看待”，就是先试着让自己接受它，弄懂它。到真正弄懂的那一刻，你才能做出更准确的判断，那时，再去反驳不迟。知己知彼百战不殆嘛。

不错，科学需要怀疑，但不能在不懂时就怀疑。不知道它是什么，那我们怀疑它什么？理解需要思考。这种与日常经验相悖的东西，更需要思考，如果只是单向灌输，即使拍成电影，

也难以理解，何况是文字？是吧。

试过看不懂电影吗？我试过。解决办法很笨很简单，再认真看一遍。比如《盗梦空间》、《让子弹飞》、《大话西游》等。大话西游我看过十几遍，从笑看到哭，最后还是会意一笑。当然，这篇拙文与那些大师的电影没有可比性，不过借彼喻此罢了。

这几个实验实在没看懂也没关系，相对论的科普，直译爱因斯坦论文的，这应该是第一次。哈，我们吃的是第一个螃蟹，吃不到蟹黄很正常。

还好，我们还有其他的路，来继续我们的相对论之旅，也许，理解高速效应后，前面的事情就迎刃而解了。就好比我们小学算术没学好，念了初中以后，回头一看小学算术，一拍大腿，当初怎么就能做错呢？！

不管怎么说，我们也算学习了小爱的《论动》。这篇论文后面还有 8 节，后面那 8 节都比较长，而且公式越来越多，推导越来越复杂，咱俩就不受这个累了。



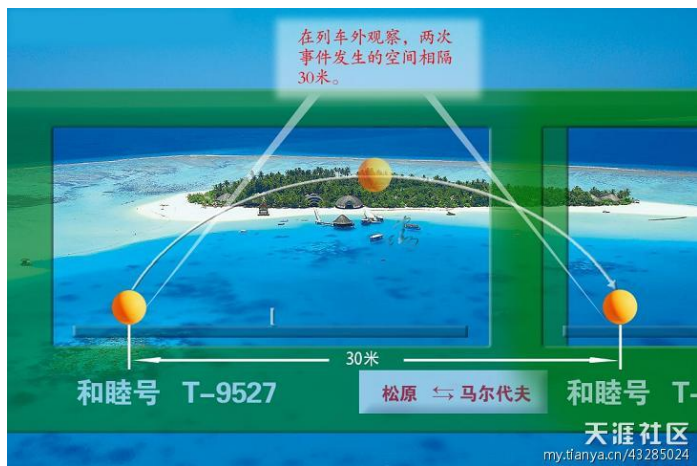
【图 12.10】车上（动系）观测结果

狭义相对论的推导公式虽然很多，但它们有一个核心：洛伦兹因子。我们来看看，怎么能得到这个因子，它靠谱吗？

还记得咱俩在火车上玩的乒乓球的事吧？就是乒乓球在火车的球桌上跳啊跳啊的那个无聊实验。我们把那两个图Ctrl+C一下，Ctrl+V到这，复习一下。

在火车上的人看来，球是垂直于桌面上下跳动，上下一次的行程，就是起跳点到最高点的连线长度的二倍。

但是在铁道边的人看来，球是划着抛物线随着火车前进方向运动，上下一次的行程，是那根抛物线的长度。很显然，后者观测的行程更长。



【图 12.11】车外（静系）观测结果

想起来了吧？这个没问题吧？

没问题就好。乒乓球会这样，光也会这样。正如阿娇做得，阿芝也做得。

不同的是，乒乓球上下跳时，由于向上逐渐减速、向下逐渐加速，所以，它划的是抛物线。

而光，我们知道，它只有一个速度，所以，它始终走的是

直线(还记得智慧之光里说的“光只走直线”吧? 原来如此!)

我们平时观测不到光上下跳走斜线, 是因为我们的交通工具速度不够快。现在好了, 有了爱车, 咱想让它跑多快, 它就能跑多快。

现在, 我们让爱车以 20 万公里/秒的速度飞奔。

车上, 我们用一面镜子代替乒乓球台, 为了让光上去后还能下来, 我们把车厢顶棚也换成镜子, 上下镜面相对、平行。

这样, 光就能在两块镜面之间不断折射, 像乒乓球一样, 上下跳动了。

现在, 我们就朝下面镜子的 A 点垂直发射一道极短的光, 它立即跳向上面镜子的 B 点, 再折回 A 点。看, 它果然不知疲倦地在两面镜子之间上下折腾开了。

好, 现在我们来看看, 爱车内外两个参照系对这件事的看法有何不同。

在车上, 牛郎织女两口子当然看见光垂直于两个镜面上上下下跳动, 如此往复。



【图 12.12】车上观测光行路径

对车外的你来说, 光从 A 点出发, 向 B 点跳动的同时, 爱车在飞奔, 它必须走斜线才能到达 B 点, 向下反射时也是这样, 必须走斜线才能回到 A 点。如此往复。



【图 12.13】车外观测光行路径。

这意味着什么呢？

这就是说，牛郎织女所观测到的光行距离，是两块镜面之间的垂线长度；而你观测到的光行距离，是两块镜面之间的斜线长度。

我们知道，在互相平行的两个平面之间，任何一条斜线，都比垂线长。

这不奇怪吧？

那么，问题来了：光速是不变的，同一道光，同样是从 A 点到 B 点，它走的距离却不一样！

是不是不可思议？

这怎么可能呢？

但这是事实。虽然对于我们的经验来说，这个事实很残酷。但我们已经习惯了，因为现实就是残酷的，没商量。

爱因斯坦说，只要我们舍得抛弃绝对时间观念，这件事就一点也不奇怪了。

这是因为在静系的你看来，爱车的运动使时间膨胀了，也

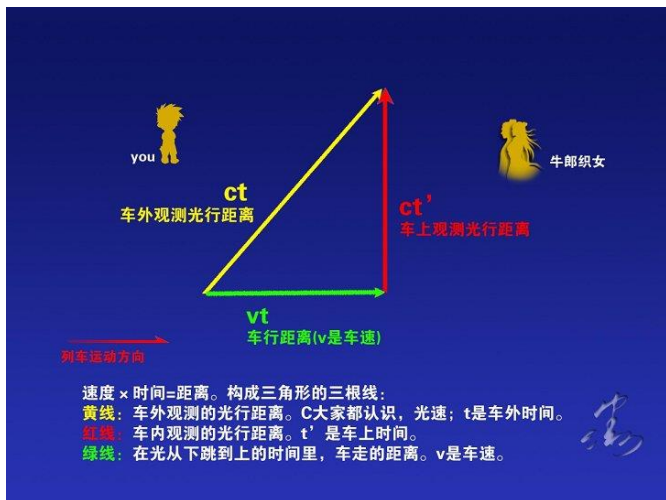
就是流动变慢了。所以光以同样的速度走了更长的距离！

尽管前面做了那么多试验，你还不肯相信，是不？

没关系，我也不愿意信，所以，咱算算，到底是咋回事。

我们把爱车内外观测的光行路径提取出来，加上爱车走的距离，画个图。

哈，原来是个直角三角形！



【图 12.14】时间与速度的关系。

斜线，是车外观测的光行距离，光速 $c \times$ 车外时间 t = 距离，用 ct 表示。

垂线，是车内观测的光行距离，光速 $c \times$ 车内时间 t' = 距离，用 $c't'$ 表示。

横线，是光走一趟的时间里，车行距离，车速 $v \times$ 车外时间 t = 距离，用 vt 表示。

没问题吧？

那好，我们还记得勾股定理不？两条直角边长的平方之和，等于斜边长的平方。

对，这就是被全世界各族人民纷纷发现的，妇孺皆知、童

叟无欺的勾股定理，也叫毕达哥拉斯定理。

既然小爱说，爱车的运动使它的时间膨胀了，那么现在，我们就用勾股定理算一下，爱车上的时间和车外的时间是个什么关系。

根据勾股定理： $(vt)^2 + (ct')^2 = (ct)^2$

因为我们是第一次煞有介事地推导方程，所以上来就亮出武林绝学，用独孤五式，搞定爱车内外的时间之比。

第一式：见龙卸甲——去掉括号。

$$v^2 t^2 + c^2 t'^2 = c^2 t^2$$

第二式：乾坤大挪移——把 $v^2 t^2$ 挪到右侧。

$$c^2 t'^2 = c^2 t^2 - v^2 t^2$$

第三式：移形换影——两边都除以 c^2 。

$$t'^2 = t^2 - \frac{v^2}{c^2} t^2$$

第四式：斩草留根——两边都开方。

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} t$$

第五式：泾渭分明——把时间、速度分列两侧。

$$\frac{t'}{t} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

耶~~!

其实，在第四式就已经搞定车上车下的时间关系了。用第五式，是为了让我们看到干干净净的“洛伦兹因子”，也就是等式右侧的 $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ，它也叫“相对论因子”。

眼熟吧？没错，在相对论前传里看到过类似的式子，尤其是里面的这个核心 v^2/c^2 ，速度和光速之比的平方，多次出现在各大强人的公式里。那么， $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ 的神奇之处在哪呢？我

们现在就来解剖一下。

前面说过，相对于光速，我们人类创造的所谓“高速”，简直就不值一提。我们还不知死活地用飞机啊、火箭啊、子弹啊什么的跟光速做过对比，结果是自取其辱，弓腰低头垂首而逃，只好承认我们人类的世界，实在是一个低速世界。

用我们的速度 v 套进这个公式， v^2/c^2 就是一个极小极小的值，用你知道的人类制造的最高速算一下就会发现，这个值小到让我们绝望，于是 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 就约等于1，而当 $\sqrt{1-v^2/c^2}$ 约等于1时，那么，用第四式一算， $t' = t$ ，想起来了，这就是伽利略变换式里的等式！

这下明白了吧？在我们的世界，之所以用伽利略变换式就能搞定不同参考系之间的变换，是因为我们的运动速度低。

如果爱车能达到光速，会怎么样呢？还是用第四式，算一下： $t' = 0$ ？！

什么意思？！！搞错了吧？！！

没错，不相信我没关系，咱得相信公式，这代表“时间停止”！

速度越接近光速，时间越慢。

这就是相对论要告诉我们的事实。这就是为什么静系、动系的“同时”总是不能统一。

达到光速，时间停止。

那么，超过光速，会怎么样呢？

不要怕把它说出来，没错，超过光速，时间将倒流！

你跳那么高干嘛？眼睛为嘛冒绿光？

神马？你说我们可以穿越了？你要去找苏小小？

亲呐，先别急，小爱还没告诉我们，究竟能不能做到超光速呢，我们还不知道这事靠不靠谱呢，你雀跃得是不是早点了？

我们先把欢欣鼓舞的表情收一收，这里有件事需要声明下：由于在直角三角形里，直角边必须小于斜边，所以由勾股定理

得到的相对论因子，其实隐含了一个局限，那就是 v 必须小于 ct ，也就是 v 必须小于 c 。

如果只用相对论因子本身去推导时间停止和倒流的结论，没问题。但是，从它在本文的出身——勾股定理来看，作 v 等于或大于 c 的假设，在逻辑上不够严谨。

不过，我们在此之前不止一次说过，科学家们通过各种途径、使用各种方法，都能得到洛伦兹因子，福格特、拉莫尔、亥维赛、洛伦兹、庞加莱、斐兹杰惹、爱因斯坦……到今天，这个名单可以列更多。而他们的方法，却不是由直角三角形得出的。尤其是爱因斯坦以两个原理为基础所作的推导，物理意义明显，并且没有 v 的限制。可见，洛伦兹因子，是具有普遍意义的一个公式。这些科学家取得相对论因子的途径，不存在这种逻辑局限，所以我们尽可以用它来判断，当 v 等于或大于 c 时，会发生什么。

本文之所以采用直角三角形进行推导，完全在于它的物理意义的直观性、推导过程的简洁性，以及勾股定理的普适性，无论是推导过程，还是时间的相对性，大家一看就懂。虽然在深层意义上不是那么严谨，但它对初学者的启发意义确实非凡的。

所以，我们还是要向这个推导形式的提出者致敬！

由于相对论观念与人们的日常认知相冲突，所以，100 多年来，有无数哲学、数学、物理学强人，带着挑剔的目光，拿着放大镜，深入细致地研究过《论动》，如果有逻辑错误，或数学错误，早就被揪出来示众了。数学、物理界的大牛庞加莱就不承认相对论的结论，但他也仅仅是“不承认”而已，因为在狭义相对论的基本原理、逻辑论证、数学推导中，他也没找出错误，所以，他只把相对论的结果看作是数学结果，而拒绝相信其中的物理意义。

有反相对论的民科宣称：主流物理界都在拼命维护相对论。

这个命题本身就靠不住：

第一，所谓“主流物理界”，它不是某个纪律严明的组织，而只是一个领域、一个行业，是什么力量能让整个行业齐心协力去维护一个同行的理论？谁有这个能力掌控这件事？

第二，不要说推翻相对论，建立一个崭新的理论，就算是找到相对论理论或观测上的明显漏洞，都会名传千古，这个道理，傻瓜都懂，何况是这些全球最聪明的脑袋瓜？那么他们为什么不去做这件名传千古的事？

到目前为止，尽管有无数人尝试，但还没有人真正驳倒它，更重要的是，它的结论得到了证实。所以，作为一个文盲，我这对篇论文只好采取如下态度：

1.不对论文逻辑的缜密性和数学的精确性作评论。

2.采信它的结论。

在结束本章之前，为了加固对时间相对性的理解，我们再来做一个有趣的实验。

这个实验看起来简单，实则比较纠结。但我们已经练过独孤五式了，知道时间可以随速度膨胀了，通俗地讲，都是过来人了，再做实验，多转几个弯，也问题不大，是吧？

其实，这个实验，几乎在每一部相对论科普作品里都会出现，因为，它是爱因斯坦在他自己的科普作品《狭义与广义相对论浅说》中的一个经典例证。

OK，演出开始了。

背景交代（俺多说点废话）：

按照王母的规定，牛郎织女应该老老实实地戳在银河两边作望眼欲穿状，等着喜鹊来搭桥，表演苦情逗天庭干部开心。但是由于各路神仙的工厂不遵守低碳环保的天条，搞得环境每况愈下，原来满天飞的喜鹊成了稀有动物，现在就算把乌鸦都算上，也凑不到几只，所以，原本不稀罕的鹊桥，如今却成了一个美丽的传说。

但是人家牛郎织女你情我愿，是合法夫妻，硬是从此不让见面，会被神佛鬼魔各界指控天庭没有人权的。于是，经王母签字同意，他俩接受了咱俩的邀请，上了咱俩的爱车。不过，他们必须一个坐车头，一个坐车尾，一年照例只准见到对方一次。你说凭什么？就凭王母喜欢这个桥段！

但是，由于我们的实验，他俩经常借闪光眉目传情，比有鹊桥时见面机会还多。

这令玉皇大帝很不爽。因为这个桥段王母看多了，也要求用这种眼神与玉帝交流，只一次，就让玉帝胃肠感冒，于是玉帝很生气，后果很严重，决定亲手惩罚牛郎织女：你们不是喜欢闪光吗？这次让你们闪个够，用闪电劈了你们！

玉帝还真是与时俱进，决定改变以往一生气就随手施法、狂轰滥炸的变态形象，亮亮自己千百年来练就的绝活——闪电双击（干嘛狂按鼠标啊你？！）。

为了实现闪电精确制导打击，玉帝派四大天王测量了爱车的长度，以及爱车的移动速度、位置。

打击匀速直线运动的靶子，玉帝还是蛮有经验的，因为天宫每次军事演习都是这样搞法，目标每次都配合得相当默契，一接一个准。

各种数据十分的齐全。玉帝令文曲星计算了发招时间、角度、力度……，手一挥，两道闪电激射而下，同时劈向爱车两端，目标当然是应该坐在爱车两头的牛郎织女。

天宫大员们兴奋地瞪圆双眼，习惯地抬起双手，准备在闪电击中爱车头尾的那一瞬间，及时响起如雷的掌声，配合一下闪电的声势以及玉帝的得意表情。这个动作，数主管军演的天蓬元帅练得最熟，他就是靠响亮而及时的喝彩，逐渐引起了玉帝的注意，从而平步青云的。

轰！这是两道闪电到达的声音，只有一声，真齐啊！“同时”到达的。

好！这是天蓬元帅的声音。每次，他都最及时。

然而只有天蓬元帅的声音。这次。其他大神没有像以往一样紧接着喝彩鼓掌。

因为，闪电击中了爱车两头的路基。领导没打准。

看来做事慢半拍也不见得是坏事。大家尴尬地看看玉帝，又和玉帝一起尴尬地看看天蓬元帅。抬起的双手改拍为搓，十分自然和谐。

领导水平就是高啊，玉帝很快打破了尴尬的局面，他脸上褪去残红，咳嗽了两声，和蔼地说：“其实这几天，我始终在为一件事痛心啊，上礼拜日午夜，嫦副主任向我哭诉，天蓬元帅前段时间醉酒巡河，巡到月宫找小娥同志强行谈心，屡辞不归，还被玩手电筒的玉兔撞见，影响很不好嘛……”

几天后，天蓬元帅被投胎下界，顶着猪头取经去也。后来的事大家都知道了，不提。单说那两道闪电，在各种数据精确齐全，玉帝手段精熟的情况下，为嘛没击中呢？众神私下议论了N天，也没个结果。其实这事很简单，因为高速运动的爱车收缩了！两道闪电落脚点的间距就太长了。所以落空了。

平时演习都是在低速状态下进行的，领导炫技时，速度调得更低，这事其实大家都知道，只有对玉帝来说，才是个秘密。军演场上，始终在成功和掌声中度过的玉帝，一直以为自己绝无失败可能，直到他遇到高速运动的爱车。

平心而论，这次电击，玉帝发挥还是相当不错的，否则的话，闪电击中路基两个点的那一刻，爱车也不会恰好在这两点的正中。怪只怪天庭没人懂相对论！

其实所谓天上一日，地上一一年，也不过是参考系不同造成的。只是当时，天上地下，没有谁知道这个原理，所以大家一直以为这是宇宙对神仙们的偏爱，是一件不可思议的事。

也不能说天庭缺少神才。很久很久以前，也有很多专心做学问的，后来啊，这个后来，一部分气死了，一部分饿死了，

没死的呢？一部分发疯了，一部分觉醒了，改行的改行，跑路的跑路，识时务的识时务……

总之一言难尽。先让玉帝和猪头各自郁闷去。你有鸭梨，我也有鸭梨。大家都很忙。这里有个问题需要好好研究下。

玉帝电劈路基时，我们正在做实验，作为目击者，见证了玉帝炫技史上唯一的失败。当时，你在站台上观测，左右两道闪电的落脚点离你一样远，所以，两边的闪电光“同时”照耀到你。而闪电落地的那一瞬，爱车的中点正对着你。借着电光，你发现，牛郎织女不是乖乖地坐在车厢两头，而是相拥在车厢中间，鼻观鼻，眼观眼，心连心来脸贴脸……他们在干嘛？这是八卦版要研究的技术细节。

而我们技术版要八卦的是：两个参考系，对这两道闪电击中路基的“同时性”的研究有几条路？路不同，认识会有何不同？哪条路比较靠谱？

由于问题比较复杂，说起来绕口，所以为了探讨起来方便，我们需要制造两个新名词：我们所观测的事件发生在哪个参考系，我们就管这个参考系叫“有事系”，本例里，闪电事件发生在静系。所以这里静系就是“有事系”。与之相对，另一个系叫“无事系”。因为我们所观测的闪电事件，不是发生在该系。

本例里，动系就是“无事系”。记住没？没记住回头看 10 遍。

第一条路：两个系，都观测这个事件对本系来说，是不是“同时”发生的，然后大家对比一下，用来证明两个参照系“不同时”。

这两道闪电对处于有事系的你来说，是“同时”劈到路基两点的。因为这件事，发生在你的参考系——静系，而你正处于两个电击点的中间位置，两道光同时到达你，你就可以判断这双击是“同时”的。

那么，闪电的双击，对无事系的牛郎织女来说，也是“同

时”的吗？如果你是第一次面对这个问题，并且很快地回答“是”，或者“不是”，那么，只能说你的回答太轻率。

其实这个问题很值得研究。

虽然闪电击中路基时，他俩也在两个电击点的中间位置，但是爱车在运动，迎向一个电击点，背离另一个电击点，所以光必然一先一后到达他俩的眼睛。他俩凭视觉判断，当然“感到”闪电是一先一后发生的。

但是，他们“感到”不同时，就真的不同时吗？

我们完全可以说，这是因为爱车在事件发生后，跑到偏离中点的位置，才导致光先后到达，因而判断失误！

总不能因为自己站偏了，或者跑偏了，就说玉帝“同时”落地的两道闪电“不同时”吧？大家讲点道理嘛。

另外，我们先把闪电的光放在一边，换作探测两个电击点发出的声音，也会得到相同的结果：这两点的声音同时到达你，而先后到达运动中的牛郎织女。

可见，无论从哪方面说，第一条路，都不能当作判断两个参照系“不同时”的证据。所以，第一条路，废了。

好像多数科普作品走的都是第一条路。

第二条路：两系都观测“无事系”，然后把观测结果对比一下，用来证明两个参照系“不同时”。

OK，先说无事系对自己的观测结果，也就是牛郎织女的观测结果，我们在“第一条路”已经分析过了，爱车朝哪个方向运动，哪个方向的光就先到，另一个方向的光就后到。没问题吧？

再说有事系对无事系的观测结果。站在两个电击点中间的你，在闪电落地的一瞬间，观测到两边的闪光，以同样的速度，“同时”向也处于中点的爱车传播，而爱车奔向其中一个电击点。那么，当然是爱车朝哪个方向奔，哪个方向的光就先到，另一个方向的光就后到。没问题吧？

咦？！

两个系的观测结果居然是一致的。

这怎么能当作判断两个参照系“不同时”的证据呢？

所以，第二条路也废了。

铺了两条路，都废了，是不是有点太费了？你这个同志，看问题表面化了不是？表面上，我们是在反复铺路瞎折腾，实际上这是在促进就业，拉动 GDP 啊！

废话少说，我们接着折腾。

第三条路：两系都观测“有事系”，然后把观测结果对比一下，用来证明两个参照系“不同时”。

有事系，也就是你的观测结果，我们在“第一条路”也分析过了，两道闪电发生在你的静系，你站在两个电击点的中点位置，电击点的闪光同时到达你。

那么，无事系，也就是牛郎织女看这两道电击光，是不是也“同时”到达你呢？

这就要用到“运动是相对的”这个概念了。

牛郎织女随着爱车，做匀速直线运动，他们完全可以把己当做静止，而把站台看做运动——这是等价的。那么，当两道闪电击中路基时，他们观测到，两道电击光以同样的速度，“同时”射向电击时处于中点的你，而你随着运动的站台，奔向其中一道电击光——毫无疑问，这道电击光先到你，然后才轮到另一道电击光。

相同的两道光，你观测到，它们是“同时”到达你的，而牛郎织女却真真切切地观测到，它们是一先一后到达你的。

耶！终于成功了，终于可以用这个例子证明不同参照系的“同时”其实“不同时”了！

第三条路靠谱，行得通。

这条路是不是有些眼熟啊？

是的，它其实就是我们学习《论动》的第一个实验，“同光

异时”的升级版。区别是，第一个实验是让光从中间射向两边，而这个实验，是让光从两端射向中间。

这个实验和第三个实验也有些相似。在第三个实验里，光是在牛郎织女两端一来一回，而这个实验是从电击点两端射向中间。但在这两个实验的计算中，光行、车行的关系是一样的。这里不再赘述。

实际上，只要两个参考系在相对运动，它们的时间就是相对的。如果精确计算，我们从第一、二条路的观测中，也能得出时间相对性的计算结果。但是，用这两种观测方法拿来做科普，不具备“直观的说服力”。

我们来总结一下，有事系、无事系，两系都观测自己（第一条路），或者两系都观测无事系（第二条路），都难以得到时间“相对性”的给力证据。而两系都观测“有事系”，得到的证据就非常直观，用不着计算，就非常有说服力。

闪电双击事件后记。

话说玉帝第一次用精确打击来泄愤，就掉了链子，并且，不仅被围观，居然还有叫好的，郁闷之情无以言表。想再来一次呢，又没有什么把握，因为上次发挥已经是最好的了。于是更加纠结。

苦思冥想之下，不得其解。就问如来。如来说：你周围的大神，不管是有意，还是无意的，给你的信息都是不准确的。比方说，无论你打得准不准，他们都只会向你提供一个信息：准。他们只会说你喜欢听的，因为你只提拔这类人。比方说，高速运动中的爱车长度，他们提供的数据只能是不准的。因为他们没有能力提供准确的数据。

玉帝十分失落，位高至此，原以为无所不能，没想到居然被大家当猴耍，而这些耍自己的大神，都是自己的心腹……天地间最痛苦的事，莫过于此！悲哀啊！

玉帝哀叹：难道我堂堂天庭，连一个有能力提供准确信息

的神仙都没有？！

如来说：本来是有的，但真话不好听，真事不好做……在君治下，无法生存啊。

玉帝下定决心，不管怎么着，就算是装饰，天庭也得配备一名真有学问的。不然，关键时刻真坑爹啊！

于是，1955年4月18日，爱因斯坦被召上天庭。玉帝问及闪电双击爱车落空之事。小爱曰：盖因爱车高速运动，长度收缩，所以，你按照测量长度，精确电击，一定落空。也就是说，如果打中了，反而说明打得不准！

玉帝擦了一把汗，心中暗自庆幸，疑道：竟有此事？！爱先生，您这不是拍马屁吧？小爱道：我用得着拍马屁吗？周围掌声响起，纷纷表示天庭第一神电手的名头，非玉帝莫属。

玉帝大喜，遂放过牛郎织女，允其继续配合咱俩做实验，从此过上了幸福快乐的新生活。

第十三章 狭义相对论（下）新世界

在我们脑中，充满对各种事物的认识，包括并不认识的事物，我们也会凭直觉印象去“认识”一下，这很正常。面对任何事物，我们总要有个初步的判断嘛。以后，我们可以慢慢“再认识”嘛。

然而可怕的是，一旦“认识”，就习惯性地肯定再肯定，使之根深蒂固，我们管它叫“加深认识”。这种对事物一成不变的固有看法，有一个专有名词，叫做“成见”。

我们不少人，都是靠成见判断事物，不断寻找和接受与成见相符的证据，找不到更多证据，就搜集更多相同意见的不同说法，把自己蹲的那个坑挖得更深，还以为这就是在“扩大视野”，对于异见，一律妖魔化，加以打击和排斥，无比自信地度过稀里糊涂的一生。会当掉井底，一览青天小。

比方说我，无端地恨了遥远的某村人很多年，一听到他们的好，就浑身不舒服；一听到的他们不好，就如饮甘露。直到有一天，我抬起头来，用心去看、去听、去感受，突然发现：他们并没有惹我，甚至他们的祖宗八代也没有惹我的祖宗八代，我只是听本村人说他们老想欺负我们，并且看他们的确比我过得轻松滋润，自己又做不到，就恨由心生，而对我说这话的本村人，却天天骑在我脖子上说是高瞻远瞩替我看路，一手紧紧捂住我的嘴，一手牢牢挡住我眼睛，两手都很硬……于是我终于知道，为什么我每一步都走得那样辛苦，为什么我总是分不清东南西北。于是我狠抽了自己降龙十巴掌，告诉自己，虽然别村的人极有可能欺负我，但我首先要恨的，是千方百计赖在我脖子上，拉屎都懒得下来、偶尔亲自擦次屁股都要我送锦旗的那个人。

永不换水的杯具，那是真的悲剧。倒掉杯子里的水，抛除成见，其实是给自己一个成长的机会。

准备好了吗？

OK，打开心窗，你就拥有一个新世界！

爱因斯坦在《论动》的第3节，根据他的“两条基本原理”，独立推导出被称为“洛伦兹变换”方程的正确形式，并把它作为狭义相对论的基础方程，由此推导出很多重要结论。实际上，小爱推导出的这组方程，不仅出发点、推导过程与洛老师不同，最终得出的形式也不同，现在通用的，是爱因斯坦给出的方程。

整篇《论动》语言平缓、淡定，逻辑丝丝入扣，从两条基本原理出发，由浅入深，由表及里，步步为营，看似波澜不惊，却如地火游移，暗流汹涌，推导出诸多石破天惊的结论，硬把我们从熟悉并因此舒服的井底拽出来，一个陌生的、神秘的、更加绚丽广阔的新世界梦幻般地展现在我们眼前，人类千万年来对世界的“成见”被无情颠覆。

现在，就让我们跟随帅帅的小爱导游，去比较大的地方旅游，看看相对论的新世界有何不同。

时间膨胀

在狭义相对论效应中，时间膨胀是一个特别拉风的结论，也是争议最大的一个结论，反对相对论的人也大都从这个效应入手。所以，这个效应呢，我们多说点。

这是《论动》第4节推导出的结论，其后，经过理论上的补充完善和实验、观测上的证实，这一基本思想得到了巩固。

在前面，经过《论动》的各种实验，以及洛伦兹因子，也就是相对论因子的推导，我们对时间膨胀的大意，已经有所了解：

时间流逝与运动速度密切相关。所谓的时间膨胀，就是运动能把时间拉长。运动速度不同的物体，其时间流逝也不相同。运动速度快的，时间流逝就慢……

喂，还没说完呢，你跳那么高干嘛？

哈哈，我想到一个延年益寿的杏林秘笈：只要不停运动，

时间就比别人过得慢，这不就是长寿了？

唉，你总是在别人话没说完时就猴急着下结论。好吧，那你打算怎么运动呢？不是就这样一直跳下去吧？

你想累死我啊。可以坐火车坐飞机嘛！

嗯，想法不错。不过，你有没有想过，古往今来，人们经历过各种运动，骑马跳崖骑车坐火车乘飞机……为何自古以来就没人感觉到时间会变慢哪怕一丁丁呢？

看在咱俩都是地球人的份上，我告诉你吧，那是因为，在我们生活的世界里，大家之间的速度差太小。即使我坐这儿不动，你以猎豹的速度跑到吐血，咱俩的速度也就差区区 31 米/秒；换你坐那儿不动，我开布加迪威龙，一脚油门踩到底，咱俩的速度差也只有区区 113 米/秒。就算是飞机的速度，放在洛伦兹因子里，替换那个 v ，把它平方后，再除以 c 的平方，你也会得到一个让你绝望的数字，小数点后 8 位数都是 0，第 9、10、11 位都是 1。是不是不忽略也可以不计？

小爱在《论动》第 4 节中指出，放在赤道上的表就比放在两极的表走得慢些，只不过差别十分微小。而要测出我们能够感知的时间流逝差，须接近光速运动，或者长时间的积累才行。这个长时间不是我们平时以为的几天几年或几十年，而我们的寿命一共也不过 100 年以内，所以，“长时间的积累”这个我们等不起，我们只能在速度上做文章。

关于你利用运动来延年益寿的可行性方案，我们在后面的实验里再详细计算、讨论。

刚才说过，批驳相对论的人，很多是从时间膨胀效应入手，概括起来，有这样几类：

有人认为，时间膨胀只是观测上的效应、或者校时信号时差的效应、或者数学计算上的效应，而不是物理上的实际效应。

有人认为，运动带来的时间膨胀会产生逻辑上的悖论，静系和动系，你看我的时间膨胀了，我看你的时间也膨胀了，因

为运动是相对的,任何一方都可以把对方看做运动系,都膨胀,就不存在膨胀了。

还有人更绝,把相对性引申到任何现象,来证伪相对论,他们认为,既然叫“相对”论,那么任何一个事物与其他所有事物都是相对的,只要一例不相对,相对论即被证伪,按这种说法:你吹大一个气球,宇宙如果不相对这个气球变小,那就是相对论错误,如果这个气球被你吹爆了,宇宙不相对它反爆一下,那就是相对论的大错误;你被晒黑了,宇宙不相对你变白了,那么,你晒晒太阳就是为相对论敲响了丧钟。这种不探讨理论内容,只在理论名称上咬文嚼字的反驳实在是很浅薄,不值一提,却也能蒙骗不少人。

这种逻辑告诉我们:如果实验证明不了时间膨胀,那么相对论就是错的,因为你拿不出证据;如果实验证明了运动会使时间膨胀,那么相对论也是错的,因为你能测量出某物膨胀,就证明这个膨胀不是相对的(参见上上自然段)。

咦?这种逻辑的玩法怎么这么眼熟?

嘿嘿这个这个……作为一个文盲,俺不想加入争论,但俺想说的是,破旧立新,应该像当年的牛顿和麦克斯韦那样,用无可辩驳的实验、预言、观测及应用成果来说话。从相对论和量子论不相容这点来看,二者都不是最终的真理,它们只是较经典物理而言,更接近真理,最终将被大统一理论推翻,但它们绝不会被文字游戏证伪。

反方论证最有名的要算是“双生子悖论”了,当然,这是反相对论者(以下称“反方”)的叫法,相对论者(以下称“正方”)称之为“双生子佯谬”。这是一个真正清晰且有力的反方逻辑论证。故事是这样的:有两个孪生兄弟,就李大双、李小双吧。大双坐飞船去半人马座考察那儿能不能供人跳马,小双留在地球上等消息。

我们前面提到过,利用时间膨胀效应来延年益寿这事,只

有速度趋近光速，才有实际意义。

那么，大双的飞船很快加速到速度 v ，接近光速了，从此匀速直线飞行，半年后，发现半人马座不适合跳马，于是迅速调头以速度 v 匀速返回，最后经紧急减速，降落在小双面前，会发生什么呢？

正方说，飞船速度非常接近光速时，时间膨胀效应会非常明显，若 $v=0.9999c$ ，则 $t=70.71\tau$ 。也就是说，大双感觉这次考察途中自己飞了 1 年，而小双却在地球上望眼欲穿地度过了 70 年，他俩重逢时，大双 38 岁，小双却已 108 岁了。杯具啊！

反方说，运动是相对的，在小双看来，确实是上面说的这样。但对大双来说，他在飞船上静止不动，地球朝反方向加速到速度 v ，然后匀速直线飞行……过程一样……所以，在大双看来，哥俩重逢时，应该是小双 38 岁，大双 108 岁。因此反方说，从不同的角度看，结论不同，双方都认为对方年轻。大杯具啊！双方结论相互矛盾，所以时间膨胀效应不是真实的物理效应。

正方说：反方把飞船启动、调头、减速这三个过程的时间给忽略了。实际上，大双把飞船看做静系，地球在飞离自己时，其加速、减速，是相对于飞船这个非惯性系而言的。按照广义相对论的等效原理，相当于考察地球的参考系中有一个引力场，飞船和地球在这个引力场中所处的位置不同，所以引力场对他们的影响也就不同。启动和减速降落时，他们距离近，引力场势相差不大，对时间流逝的影响也不大。但在地球调头时，他们距离非常遥远，这时地球方面的引力场势远高于飞船，它使地球时间比飞船流逝得快得多。这样，哥俩重逢时，还是大双 38 岁，小双 108 岁。

反方不接受这样的解释，并要求给出一个符合常识的解释，他们诘问：难道相对论必须推翻一切常识吗？

又有正方用时空图和世界线的概念讨论了此问题，这是广

义相对论的范畴，这里就不多说了。

争论还在继续，至少在网上还在继续，多数都是像我一样的外行，根据自己的理解相互论战，谁也不服谁。作为一个超级外行，我给我的同行们一个建议，论战时可否考虑下面三点：

1.飞船飞离地球，加速度对双方等效。那么，我们是否可以把这个“等效”看做大小相等、方向相反的效应值（比如一定的力啊什么的），一边作用在飞船这个参照系上，一边作用在飞船以外的、未改变运动形式的其他参照系上。这样，等值的效应，作用在不同量级的参照系上，说白了，相同力度的两锤，一锤打在鸡蛋上，一锤打在泰山上，它们产生的效应自然不同。或者，

2.运动是相对的不假，但处于同一参照系、相对静止的不同物体，在发生相对运动时，一般会有“主动运动”，比如飞船飞离地球，看起来是二者在做相对运动，但前提是，需要有相应的能量作用在飞船上，才能实现飞船与地球的相对运动，这个能量的获得是单方面的。我们稍后会知道，时间、空间是运动的产物，而运动是能量的一种存在形式。本文盲据此假设：单方面获得能量，得到加速度，改变运动状态的物体，在时间上产生单方面的效应，是否符合逻辑？当然，被炸弹均力炸飞的两个相同的钢球之间，不存在主动运动的一方，而是双方都主动，所以它们的时间效应相同。

3.所谓相对，看你怎么理解。如果宇宙只有一个物体，它膨胀千倍万倍也没意义，需要有参照物才能分辨，这就是相对，所以动系物体相对于静系物体时间膨胀，毫无问题，倒是你胀我就必须胀显得不“相对”了。当然这一点亦属文字游戏范畴，不足为凭。

这只是我给“同行”的建议，对于给内行提建议，实非我力所及也。呵呵，实在没忍住也加入外行论战团了。讨论讨论虽没什么不好，但俺作为一个外行，看到的是皮毛，理解得也

不深，说不到点子上，所以俺暂停，等什么时候又忍不住了再说。

我们还是看看，在实际观测和实验上，时间膨胀效应是否存在吧。

1952年，爱因斯坦提出一个验证时间膨胀的方法：把发出光谱线的两个原子作为钟。利用温度差，令它们喷射铯原子速度不同，通过横向多普勒频移——频率增大向光谱的蓝端移动，可以验证时间膨胀。

后来，人们找到了其他方法，那就是利用基本粒子的寿命与速度的关系，来检验时间膨胀效应。

还记得《神经刀与飞天猫》里的四大恶人吧，老大一招就死，老四永远不死，说到粒子的寿命，比他们夸张多了，长的长得惊人，短的短得惨人。比如质子的寿命在10万亿年以上，如果用它来检验时间膨胀，还不如坐等花谢，太阳系寿命约110亿年，如果质子和太阳系一起出生，那么太阳系老死那天，质子才在婴儿期。

我们要找的是粒子中的短命鬼，它们的特点是，命短得吓人，速度快得吓人，这样吓两跳，我们的验证就能立竿见影。

还好，在迄今为止发现的300多种基本粒子中，多数是短命鬼，诞生的瞬间就已夭折，真是没有最短，只有更短。

比如 π_{\pm} 介子的寿命大致为一亿分之一秒。这还算长寿的。

π_0 介子、 η 介子的寿命分别是 0.84×10^{-16} 秒和 3×10^{-19} 秒，比 π_{\pm} 介子短8~11个数量级！

寿命更短的，是通过强相互作用衰变的“共振态粒子”，只能活一千万亿亿分之一秒左右（ 10^{-28} 秒），简直无法形容！他们的寿命短得任何仪器也检测不出来，只能靠计算。

当然，寿命太短也不能用来检测时间膨胀效应，像刚才那种，即使寿命膨胀1000倍，也检测不出来！

于是人们找到缪子（ μ 子，是一种轻子），它是 π 介子衰变

时产生的，一般产生在大气层 10 公里以上，其半衰期为 2.2 微秒，这么短的时间，即使以 0.999c 速度从 10 公里的高空冲向地面，按牛顿理论计算，也只能跑 660 米，根本到不了地面；按相对论计算，洛因子大约为 22，也就是说其寿命延长（时间膨胀）了 22 倍， 22×660 米，可以跑 14.5 公里，因此，我们才可以在地面观察到缪子——这是观测证据。1966 年，人们在实验中测得缪子绕圆形轨道高速运动时，其平均寿命比在地面上静止的缪子的平均寿命长——这是实验证据。

由观测和实验证明，缪子的时间的确在高速中被拉长，并且与狭义相对论相符合。如果像反相者所说，在缪子看来，地球时间也必须膨胀的话，那么，就根本无法观测到这些结果。可见“双子悖论”不是真的悖论，只是“佯谬”而已。所谓佯谬，是指看上去是一个错误，但实际上是正确的。

1971 年，喜欢较真的海弗尔和凯汀用原子钟完成了环球飞行实验。他们把铯原子钟放在飞机上，向东和向西绕地球各一周后返回，与一直静止在地面上的原子钟比较读数，发现向东飞行的原子钟慢了 59 毫微秒，向西飞行的原子钟快了 273 毫微秒。在这个实验中，他们还考虑了广义相对论的因素：飞机航行过程中离地心的高度不同，即处于不同的引力势，把这种引力效应扣除之后，实验的结果与狭义相对论的时间膨胀预言符合，精确度接近 10%。实验数据见下表：

环球飞行原子钟实验结果与理论预言对照表

$\Delta \gamma$ （飞行原子钟度数减去地面钟读数，以 10^{-9} 为单位）				
			向东航行	向西航行
实验结果	四只 原子钟编号	120	-57	+227
		361	-74	+284
		408	-55	+266
		447	-51	+266
	平均值			-59 ± 10

与方程 预言比较	引力效应	144±14	179±18
	运动学效应	-184±18	96±10
	总的净效应	-40±23	275±21

数据表明，加上广义相对论的因素，在实验误差之内，得到的结果与狭义相对论方程预言值相符得很好。

1996年，为庆祝海弗尔-凯汀实验 25 周年，英国国家物理实验室用精确度更高的铯原子钟重复了这个实验，这次，铯原子钟从伦敦到华盛顿飞了一个来回，与留在实验室的铯原子钟比较，相差 39.0 ± 2 纳秒，理论预言是 39.8 纳秒。

嗯，说了半天，也没见你有什么反应，好像很迷惘的样子。

哦，这都怪我，因为，我们平时用不着什么纳秒啊、毫微秒的，冷不丁说出来，我们心里也没什么具体的概念。

其实，毫微秒就是纳秒，1 秒=1000 毫秒，1 毫秒=1000 微秒，1 微秒=1000 毫微秒。那么：1 秒=1000000000 毫微秒。对，你没看错，9 个 0，1 秒就是 10 亿毫微秒。

1 毫微秒=0.000000001 秒。

还是没有概念？就是说，你坐波音 787 在伦敦和华盛顿之间飞一个来回，能年轻 $39 \times 0.000000001 = 0.000000039$ 秒，如果你想年轻 1 秒，就要飞 $1 \div 0.000000039 = 25641026$ 个来回。

一个来回的机票钱，便宜算，约为 10000 元人民币，为了年轻这 1 秒，需要花费 256410260000 元。是的，2564 亿元人民币，还不算零头。

如果你说，我不差钱，虽然贵了点，但这充分说明了时间也不是无价的！

好吧款爷。一个来回按 14 个小时算，你要飞 358974359 个小时。一年有 8760 小时。为了年轻这 1 秒钟，你需要连续不断地飞行 40978 年！试问世人，有几个能坚持活 100 年不动摇的？40978 年？连龟丞相都不敢做这个梦！

是不是相当绝望啊？所以，在人类的速度没有能力接近光

速以前，利用运动速度延年益寿这个伟大构想，我们只好暂且先放一放。

况且，高速运动带来的时间膨胀效应，那也只是相对于其他参考系而言的。高速运动中的人，他自己所感受的时间流逝，其实与原来没什么分别。

如果你真的坐上了接近光速的航天飞机，比方说速度是 $0.99999c$ 。那么，对于你的运动系来说，一切与静止时没什么分别，一分钟还是一分钟，一年还是一年，花开花落人如旧。

对于我们地球人这个参考系来说，你的参照系的确变慢了。你的一天相当于我们的 250 天。如果可以实时监控你，那么，在我们看来，你就悲催了。你和你的参照系发生的一切都是慢吞吞的，我们吃饱了打个嗝，一秒钟算长的了，很快过去，但我们看你打这个嗝就用了 250 秒，4 分多钟啊大神，你一直在打这个嗝，还有比这更恶心的事吗？有的，只要我们还有兴趣实时监控你。可你对这一切却浑然不觉，还以为这个嗝打得很正常。是不是很糗？

假设你用这个速度在广袤的宇宙里旅游观光了 50 年，回到家乡地球，那时，地球距你起飞时，已经过了 12500 年，与你同年代的人，已经幸福地变成了化石，他们当时拼命攒下的豪宅、名车、土地、各种耀眼名牌早就烟消云散、了无痕迹了，甚至“恒久远”的钻石珠宝，也早就尘归尘、土归土了。

过眼荣枯，草色有无烟聚散。

随风冷暖，梅香来去雨西东。

天上人间，转眼万变啊！

一万年多久？五十载短长。爱与恨、苦与乐，那曾经的笑颜和泪水，是真实，还是虚无？是记忆，还是梦幻？是几十年前，还是几百万年前？有分别吗？天地间，只剩下孤寂无助的你，独自望着陌生的地球，验证着沧海桑田这个成语的科学内涵。白发在风中飞扬。

最悲催的不是这个，而是你付出了如此代价，却一点也没感觉到自己多活了 12450 年。在宇宙中流浪的这 50 年，你的心理感觉、生理活动、环境变化等一切，都实实在在地只过了 50 年。

也就是说，你用 50 年的时间，来到了地球的 12500 年之后。这，或许可以称之为“穿越”吧。

2010 年初，美籍华裔科学家詹姆斯·周钦文率他的团队完成了在地面上验证相对论的实验，他们研制出一种超精准原子钟。这种原子钟以单粒铝原子为基准，精确得令人发指——每 37 亿年误差不超过 1 秒，这是人类目前最精准的计时器。有了这个精度，就不必高速飞行或日积月累，也能测出极其微小的变化了。

第一项实验：两台铝原子钟，把其中一台平稳升高 33 厘米，升高后的钟比另一台快，每 79 年快 900 亿分之一秒。验证了广义相对论有关引力越大，时间越慢的理论。这表明，一个人住得越高，“老”得也就越快。周钦文说，在美国纽约 102 层高的帝国大厦，一个生活楼顶上的人，比生活在楼底层的人每秒衰老速度快 1.04 亿分之一秒。当然，住高层的人不必担心，这个值太小了，以至于你在帝国大厦顶层住 50 年（约 16 亿秒），打死也不下楼，与住在 1 楼、打死也不上楼的老兄比起来，你只多老了 15 秒。

第二项实验：对铝原子钟内的铝原子施加不断变化的电磁场，使铝原子快速往复运动，结果显示运动中的铝原子钟所示时间慢于静止铝原子钟。验证了狭义相对论有关速度越快，时间越慢的理论。

开篇说过，GPS 技术应用了相对论的时间效应方程，不然无法精确定位。我们先看看狭义相对论对卫星钟的影响（下面有公式，我们可以不看，只要了解相对论在高科技领域的实际应用就可以了）：

原理：时间膨胀。钟的频率与其运动速度有关。

若卫星在地心惯性坐标系中的运动速度 v ，在地面频率为 f 的钟，安放到卫星上之后，频率 f_1 为：

$$f_1 = f[1 - (\frac{v_1}{c})^2]^{1/2} \approx f(1 - \frac{v_1^2}{2c^2})$$

二者差 Δf 为：

$$\Delta f = f_1 - f = -\frac{v_1^2}{2c^2} \cdot f$$

GPS 卫星的平均速度为 $v_1=3874\text{m/s}$ ，真空中的光速 $c=299792458\text{m/s}$ ，则：

$$\Delta f = -0.835 \times 10^{-10} \cdot f$$

这是狭义相对论随速度增加时间膨胀的效应，GPS 还要考虑广义相对论关于引力越大（离地球越近）时间越慢的效应，这两个值本来就很微小，二者相抵后的净效应值更小。那么对如此细微的差值进行校正的意义何在呢？

美国华盛顿大学圣路易斯分校的克利福德·威尔为我们算了一笔账：

每个 GPS 卫星每小时行程 1.4 万公里，根据狭义相对论，星载时钟每天要比地球上的钟慢 7 微秒。

GPS 卫星离地面大约在 2 万公里左右，它受到的引力约为地面引力的四分之一，根据广义相对论，星载时钟每天要比地球上的钟快 45 微秒。

二者冲减后的值是：星载卫星每天比地球上的钟快 38 微秒。

100 万微秒=1 秒。

38 微秒很小，但会给卫星定位每天增大 11 公里的误差，所以卫星上的钟必须补偿这个差，与地面上的时钟“同步”。当然，这种效应事实上更为复杂，因为卫星沿着一个偏心轨道，有时离地球较近，有时又离得较远。计算时，要把这些因素都

考虑进去才够准确。

要使导弹、飞机等飞行器定位误差控制在 3 米之内，GPS 的计时精度必须达到十亿分之一秒才行；对核潜艇进行导航，时间测量精度如果没达到百万分之一秒，误差就会在 300 米以上。时间上差一丝丝的一点点的一丁丁，那么反映到测距结果上，其误差可能就是致命的，这跟狙击手远程射击是一个道理，你趴在月球上朝希特勒开枪，偏一点就可能射中罗斯福。

质能关系

$$E = mc^2$$

在地球上，不知道阿根廷、大米饭、奥巴马的人可能不少，但没见过这个公式的人不多。当然，真正理解这个公式的人要少得多。

这就是著名的爱因斯坦公式，也叫质能关系公式，它表达了质量与能量之间的当量关系。

看你迷惘的眼神和欲言又止的嘴唇，你好像不太明白这个公式意味着什么，是吧？

好吧，这个公式是说，质量和能量之间，可以相互转换，也就是说，质量可以是能量，能量也可以是质量。不仅如此，公式还简单明确地告诉我们，质量和能量相互兑换的汇率是多少。所以，它的名字叫“质能关系”公式！

啊？！

瞧瞧，自从开始学习相对论，你总是一副惊诧的表情。

这也难怪，这个公式是那般惊世骇俗，又是这样简洁美丽。如果初见时，没被她秒杀，那只能说明你没读懂她。

所以，恭喜你。任何刚刚理解这个公式的人，包括那些物理大牛们，都是你现在这副尊容。

质量这家伙看起来老成持重，没想到是能量这个爆烈无常的家伙变的？！这么说，我们前面八卦的，质量和速度的花边新闻，八成是真的了？

哈，你真是越来越厉害了，居然从“质能关系”联想到“质速关系”。是啊，虽然很多八卦的水分多得堪比统计局数据，但是还有很多八卦，比发改委的涨价通告还要真。质速关系的八卦，就属于后者。质量和速度之间，纠缠不清，关系远不是暧昧那样简单，经爱因斯坦深度八卦，发现它们比夫妻还密，比情人还腻。

说到这，我们先了解一下，什么是能量。

可能一提起能量，我们首先就会想到火、电、炮弹等很拽很暴力的东西。这也没错，因为这些东西很直观地告诉我们，瞧，我就是能量！

其实，能量无处不在，它是物质运动的一种度量。也就是说，能量就是物质的运动。

由于物质的运动形式有很多种，所以，与之相对应，能量也以各种不同的形态存在，比如光、电、磁、热、振动、爆炸、各种力等等。

运动的物体有“动能”，有机会下落的物体有“势能”。说到这里，我们还得回到 19 世纪 40 年代。那时，6 个国家、不同领域的 10 余位科学家从不同侧面、各自独立地发现了同一个定律，能量守恒。这些科学家包括：法国人卡诺、伊伦、塞甘，德国人迈尔、莫尔、亥姆霍兹，英国人焦耳、格罗夫，瑞士人赫斯，丹麦人柯耳丁，俄国人盖斯……，其中，医生迈尔、物理学家焦耳、物理学和生理学家亥姆霍兹是主要贡献者。他们一致认为：能量既不会消灭，也不会创生，它只会从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到另一个物体，而在转化和转移的过程中，能量的总量保持不变。

那么，能量转换和转移常见吗？

太常见了，不想见都难。可以说，这个世界，包括我们，就是能量转换的结果。

阳光普照大地，植物通过光合作用生长（其实就是把光和

热储存起来)，动物（包括你我）吃了植物，它们就转换成我们生存所需的能量，除了生存，我们还能用这些能量做一些力所能及的事情。

比如：我把你的杯子举起来，用来举杯子的力就转化成杯子的势能，我一松手，你的杯子下落，势能转化为动能，杯子落地摔碎，恭喜你成功地证明了这是动能造成的；如果没摔碎，恭喜你的杯子获得了新生，说明我举得不够高，杯子获得的势能不足以破坏它自己的结构。

你说我用你的杯子做实验不够厚道？那好，说点别的吧。

阳光普照大地，水受热蒸发上天（光转换为热、动能、势能），遇冷空气凝成水珠下落（热传递给冷空气、势能转化为动能），汇成河流（势能转化为动能），我们拦河修坝，水位升高（蓄成势能），用水的落差发电（势能转化为动能、动能转化为电能、还有磁生电等），电被我们用来转化为很方便控制的光、热、机械力等。我们用一只机械手举起你的杯子，你的杯子获得势能……咦，怎么又弄碎了你一只杯子？杯具啊！我也很难过。好吧，这个话题很沉重，我们换个话题。总之，世上没有无缘无故的爱，也没有凭空而来的能量。

在经典物理学中，正如空间和时间一样，质量和能量也是两个完全不同的概念，质量与能量关系不太大。如果有人问，一公斤炸药和一公斤膏药哪个能量更大，我们多数正常人会毫不犹豫地选择前者。是吧？

与质量有关的能量概念也比较局限——现在我们只知道动能、势能与质量有关。

但是，这个有局限的表面关系，却为我们找到它们之间的隐秘关系，提供了一把钥匙。

这把钥匙被爱因斯坦拿到了。他打开那扇隐秘的匣子，说：质量和能量也是一回事！他们之间居然可以相互转换，并且它们之间，有着确定的当量关系！

太疯狂了！这是为什么呢？

在搞清楚小爱是怎么利用的这把钥匙之前，我们先温习一下，质量、速度、能量三者之间，到底有着怎样纠结不清的故事。

我们知道，一颗稍大一点陨石以每秒 10 公里的速度撞在地球上，会造成灾难。具体会造成多大灾难，要看这块陨石有多重，准确地说，要看它质量多少。如果只是把这颗陨石平稳地放在地球上，它顶多在地上压一个大坑，然后幸福安分地矗立在那，成为另一座飞来峰，供我们看风景编故事，而不会造成任何灾难。

这说明什么？说明速度也是能量的一种。陨石撞地不仅需要质量，也需要速度。

如果只有速度而没有质量会怎么样呢？960 万平方公里那样大片的阳光以每秒 30 万公里的极速撞到咱家，所到之处除了更明媚、更温暖些之外，没有发生什么变化。至少没发生什么显而易见的变化。可见没有质量的速度，也不会蕴含能量，想想换成同样大片的陨石、以光速拍在地球上会怎样。光没有惯性质量，阳光本身具有的能量与频率有关，与速度无关（不同频率的电磁波能量差别很大，但速度一样）。

看来，能量这家伙，它与速度和质量都是正比的关系，速度越快，质量越大，则能量越大。可见质量、能量并不是独立的，而是与运动状态相关的。

这位老师说了，上面的例子是“动能”吧？咱们要讨论的是质量，你不要偷换概念哦。

您说的太对了老师。我们来看看动能的定义：

物体由于运动而具有的能叫动能。物体的速度越大，质量越大，具有的动能就越大。速度相同的物体，质量越大，它的动能也越大。动能公式是：

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

物体的动能，是它的质量和速度平方乘积的二分之一。

这些是动能的基本概念，它离不开质量，而质量也和速度密切相关，陨石和光的例子恰好说明了这些。瞧，我们其实很早就发现了质量和能量有关系。所以，我们可以先从这个角度来理解一下质能关系。

前面说过，爱因斯坦深度八卦了质量和速度的关系，得出的结论是，它们比夫妻还密，比情人还腻。这么隐秘的关系，爱因斯坦是靠什么挖出来的呢？

相对论因子。小爱用它推导出一个公式：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

根号那一套我们很熟，好像没什么特别，是吧？

这就是大名鼎鼎的“质速公式”。它是在告诉我们，速度越快，质量越大。群雄逐鹿时，有的大牛也得出了这个结论，亥维赛甚至也给出了一个“速度越快，质量越大”的公式，只是长得不太一样。所以，我们对这个结论不是太意外。

现在，我们用这个公式算一下，画个图看看，当质量遭遇速度，会发生什么故事吧。

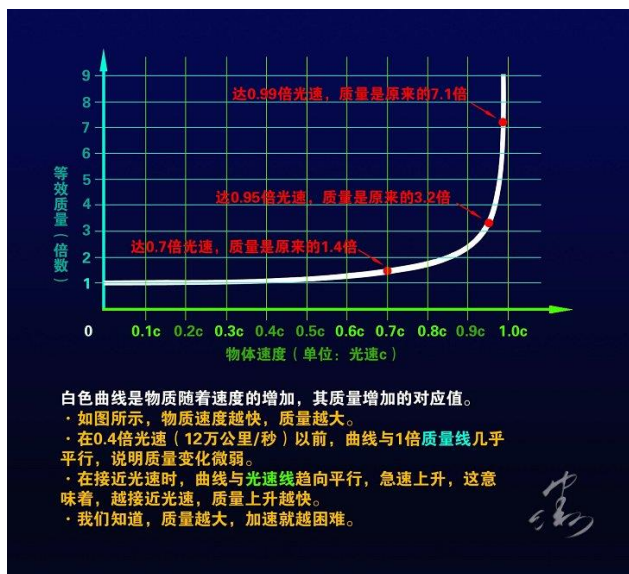
我们看到，物质的质量，的确随着速度的增加而增加，不过，好像增加得不怎么均匀。

在 0.4 倍光速（12 万公里/秒）以前，质量曲线几乎就是沿着 1 倍质量的水平线在走，有一点点微弱的增加。

到 0.5 倍光速（15 万公里/秒）时，我们看见曲线开始抬头了，但变化仍然不是很大。

到 0.7 倍光速（21 万公里/秒）时，质量达到原来的 1.4 倍，有点明显了。

到 0.95 倍光速（28.5 万公里/秒）时，质量达到原来的 3.2 倍。很明了了。



【图 13.1】质量与速度的关系。

到 0.99 倍光速（29.679 万公里/秒）时，质量达到原来的 7.1 倍。太明显了！

比较一下，0.5 倍以前，速度成倍增加，质量只增加一点点；到了 0.95 倍光速以后，速度增加一点点，质量就成倍增加！

接近光速时，我们发现这条曲线与光速线趋向平行，急剧上升，越接近光速，质量上升越快！

这些值已经在粒子加速器中得到很好的验证。理论值与测量值相当吻合。

其实，随着速度增加，时间膨胀、长度收缩的曲线图，也大致是这样的。在说“时间膨胀”、“长度收缩”时没画出来，是为了避免“重复”。

难怪人类以前没发现速度和质量的关系，原来是速度不够！

看着这个神奇的公式，爱因斯坦想：速度和能量关系密切，于是有了动能公式；速度和质量关系也很密切，于是有了质速公式。

那么，有了速度这个中间人，质量和能量又是个啥关系？

小爱看着这两个公式，笑了。

他把这俩公式在草纸上推来导去（此处略去 N 个公式）。山重水复疑无路，柳暗花明又一村。突然，亮了，那个壮丽得令人颤抖、美丽得令人心醉的公式跃然纸上：

$$E = mc^2$$

那么，质量和能量的关系就是：他俩互为彼此。

天呐！

后来，有人利用俄国物理学家列别捷夫的“光压”关系式，更简洁地推导出了质能关系式，还有人利用狭义相对论原理和洛伦兹变换式简洁地推导出质能关系式。可见，条条大路通罗马。

之所以条条大路通罗马，是因为，罗马真实存在。只要脚踏实地地去走，无论是坎坷还是坦途，无论是弯路还是捷径，我们总能找到同一个目标，它坚实可靠、真实可信。如果固步自封，投机取巧，我们会得到许多不同的结果，虽目不暇接，却浅薄虚妄，不值一提。

1905年9月，小爱发表了他这一年的第6篇论文，题目让人昏昏欲睡：《物质的惯性同它所含的能量有关吗？》。这篇论文只有3页纸，发表后也没有引起谁的注意。但它完美诠释了质能关系，给出了永垂不朽的质能公式。后来，当狭义相对论得到广泛认同和验证时，这个公式顿时名满天下，成为爱因斯坦的象征，成为物理的象征，甚至成为科学、智慧的象征！这是后话不提。

根据狭义相对论，我们可以这样认为，质量（所谓物质实体的量）是能量储存的一种形式。质量可以全部转换为能量。

至于为什么，我们在后面会说到，此处不赘述。

那么，各位老师，现在，我们可以和爱因斯坦同学达成一致意见：速度、质量都是一回事，是能量的不同存在形式和表现形式。

在上面那个无比著名的公式中，E 是能量，M 是质量，C 咱们在前面认识 N 次了，它不是广告里的那个 C，而是光速（瞧瞧，又和速度联系上了，谁能把静能和动能完全分开？）。能量等于质量乘以光速的平方。这样看来，炸药也好，膏药也罢，其能量大小不能看它的功用和形状，更不能看它的名字和质感，而要看它的质量，都是一公斤？那 OK，它们能量相当。神奇吧？

质量、能量可以相互转换，这件事固然神奇，但更神奇的，是他们的数学关系，不是吗？咱略略分析一小下下：

能量=质量×光速的平方。也就是：

能量=质量×光速×光速

物质的静能量，竟然等于它的静质量与某个速度值的乘积！

这个速度值不是太阳引力加速度，不是地球公转的速度，也不是猎豹奔跑或刘翔跨栏的速度，偏偏是恒定不变的光速，为什么？

并且，还非得是光速的平方，也就是光速×光速，为什么不是光速的立方，或者光速×3.1415926？这是谁安排的？这些都是为什么？

没有答案。

发现大自然规律之前，我们感叹大自然太神奇了。

发现大自然规律之后，我们感叹大自然更神奇了！

质量守恒定律、能量守恒定律，这两条伟大的定律被相对论统一在这个简洁的公式中。在此之前，人们只知道它们各自解释了不同的自然规律，甚至有人以为，物质不灭定律是一条化学定律，能量守恒定律是一条物理定律，它们就像奥巴马和

巴拿马、维多利亚和澳大利亚，风马牛不相及。

爱因斯坦告诉我们，质量是惯性的量度，能量是运动的量度。

这个公式以及相关的理论，最初受到多数人的反对。然而，随着科学的发展，大量的科学实验却伤了多数人的心，它们纷纷站出来证明爱因斯坦的理论是正确的。我们来看个证据：

质能关系公式正确地解释了各种原子核反应。比如氘聚合成氦 4 的奇异现象。

一个氘原子核是由 1 个质子和 1 个中子构成的，而一个氦 4 原子核是由 2 个质子和 2 个中子构成的。

小学算术告诉我们，两个氘原子核正好聚合成一个氦 4 原子核。

哈，原来小学算术也能解决原子聚变问题！以此类推，氦 4 原子核的质量就应该等于 2 个质子和 2 个中子质量之和，也就是等于 2 个氘原子核的质量之和。

但事实告诉我们，这道题算错了。

氦 4 核的质量比 2 个氘原子核的质量之和少了 0.0302 个原子质量单位！

奶奶个熊，这些质量哪去了？

根据质能关系理论，核聚变将释放出巨大能量。在 2 个氘核聚合成 1 个氦 4 原子核时，必须释放出大量的原子能。大量，有多大量呢？

生成 1 克氦 4 原子，要放出约 2.7×10^{12} 焦耳的原子能。

1 克有多少呢？买 2 斤盐分成 1000 份，看其中 1 份，就知道 1 克是多少了。或者，把 1 张 A4 纸裁成 8 份，用手拿起其中一份，掂一下它的重量体验一下也差不多。就是生成这一点氦 4 原子，所损失的那一丁丁的一丝丝的微不足道的质量，便能转换成 2.7×10^{12} 焦耳的能量！

2.7×10^{12} 焦耳的能量有多大呢？1 瓦的机械工作 1 秒释放

的能量为 1 焦耳，我草草算了下，这些原子能，能供 100 瓦的灯泡亮 856 年（如果灯泡不坏的话），可以从李清照时代亮到现在，如果你是个环保人士，换成同样亮度的 20 瓦节能灯，可以从公元前 2269 年照到现在，开灯那年，尧帝大概正在带领全国人民抗洪救灾。这些能量可以把 45 万吨的重物在 1 分钟之内举高 60 米。45 万吨相当于满载（4 人）的 30 万辆捷达车。不知算错没。

（不知算错没，哪位数学强人帮验算下。）

质量转化为能量释放了！所以氦 4 原子核的质量减少了。

这个例子似乎在说明：核聚变时，质量好像并不守恒。然而，用质能关系公式一算，怎么会这么巧——把原子核聚变释放的能量换算成质量，刚好等于其聚变后失去的质量！

一千克物质完全等价于：

89,875,517,873,681,764 焦耳（是上述 2.7×10^{12} 焦耳的 33287 倍）

21,470,501,160,000 卡路里

24,965,421,632 千瓦时

21.48076431 千吨 TNT 当量

爱因斯坦从新的高度，阐明了质能守恒的实质，指出了它们之间的密切关系，质能同源，它们可以相互转换，此消彼长。质能关系是狭义相对论最重要的结果，它将原来各行其是的质量、能量守恒定律，统一成质能守恒定律，让我们更接近物质的本质，至少我们知道，因具有质量而“实实在在”的物质，可以转换为因不具质量而相对“虚无”的能量，比如热、可见光、各种射线、使其他物质产生运动的力等。借此，咱人类对大自然的认识又加深了一步。

文盲有联 [只有一个永远] 云：

群生暂过，凭哪来哪去，无所谓长，无所谓短，毋须论也。

一字亘恒，任谁灭谁生，不可能溢，不可能缺，何必忧之！

四维时空

狭义相对论横空出世以前，时间和空间有着很明确的关系，那就是没关系。

现在，人们都喜欢用一个词：时空。人类时间概念大颠覆就是从这个词开始的。那么，时间和空间是什么时候开始纠缠不清的？一般说来，是从深刻认识洛伦兹变换的数学性质开始的，把时间和空间紧密联系起来处理问题，使相对论的数学变得简明优美。也就是说，从相对论开始，时间和空间在物理性质上紧密联系起来。

在建立起狭义相对论之初，爱因斯坦就意识到，时间、空间概念的变革，是他理论的核心。1905年5月，他在给朋友的信中说，自己正热衷于研究“利用空间、时间概念变革的电力学”。

爱因斯坦的老师闵可夫斯基（德国著名数学家）在时空统一上做出了关键贡献。1905年以后，闵可夫斯基把几乎所有精力都放在电动力学上，他在研究狭义相对论时，发现其中的时间、空间关系很神奇，它们不再是绝对的、不变的，而是与物质运动密切相关的，在这一思想的启发下，他灵机一动，发现把时间作为另一维空间来处理，可以使数学物理变得简洁优美，更符合自然法则，他由此认识到，可以将独立的时间、空间统一到四维时空结构中。1907年，他建立了闵可夫斯基时空。

1907年11月，闵可夫斯基指出，我们的时空观将发生彻底的变革。

1908年9月，闵可夫斯基在“时间与空间”讲演中，预言了爱因斯坦的思想将要产生的深远影响：“从现在起，孤立的空间和时间，注定要销声匿迹，只有二者的融合体才能继续存在下去。”

其实，多维空间并不是出现在狭义相对论以后，早在十九世纪，一位神人就有了这个意识。

卡尔·弗里德里希·高斯。

本来，可以不用介绍他的，因为本文是写物理的。但是，这个人粉丝太多，不介绍一定会被围攻，所以还是简单说说吧。

高斯，男，1777年出生，德国人。虽然他在电磁学上颇有研究，还与韦伯一起发明了电报，并且是哥丁根天文台台长，而且在大地测量学上贡献卓著，但是，物理学家、天文学家、大地测量学家仍然只是他的副业。他的主业是数学家——历史上最重要的数学家。能与他比肩的，有阿基米德、牛顿、欧拉。没了。

谁要是不承认世界上有天才，我就……生气。

并且让他解释一下，这是怎么回事：

高斯的母亲是一个穷石匠的女儿，父亲是一个泥瓦匠，双方都没有接受过什么教育。父亲一直希望高斯从事泥瓦匠这份很有前途的职业。总之一切学术氛围也没有。

但是，高斯3岁就能指出父亲账册里的错误。

有个大家都知道的故事，老师给同学们出了道很费时间的数学题：从1加到100。题刚出完，一个孩子给出了答案：5050。我们都知道，他用的方法叫等差数列求和，这孩子就是高斯，那一年，他10岁。

聪明好学的高斯受到舅舅的喜爱和支持，也受到老师的喜爱和支持，他们给高斯买的书，总是很快就被高斯吃透。

11岁那年，他不顾父亲反对进了高等学校，数学老师看了他的作业说，“你用不着上数学课了。”然后，他的拉丁文成绩让全班同学鸭梨山大。

12岁时，高斯开始怀疑欧氏几何学中的基础证明。这一年，他还证明了欧拉的二项式定理。

不到15岁时，高斯已经在研究数论了。喜欢数学的人都知道，数论是数学中的皇冠。

15岁时，高斯就意识到，欧氏几何中的平行公理不成立，

在欧氏几何外，还存在着一个无逻辑矛盾的几何。欧老爷子表示鸭梨很大。

17岁时，找到了用尺规画正17边形、乃至正N边形的方法，破解了困扰数学界2000多年的难题。

18岁时，他对数论中的二次互反定律首次给出严格证明。此定律是一个了不起的成就，由欧拉首次发现，但欧拉没给出证明。这个证明被高斯运用数学归纳法搞定，见过这证明的数学家无不为之倾倒。

19岁时，他预测必然诞生新的几何学——与几何学的圣经“欧氏几何”完全不同的非欧几何。

1801年，人们观察到一颗新星，在天空出现41天，扫过8度角之后，便消失在灿烂的阳光中。这是颗小行星，后来人们管它叫谷神星。由于它形迹可疑，当时，谁也搞不清楚，它是彗星还是行星，所以很快成为学术界的焦点，甚至成了哲学问题。辩证法大师黑格尔嘲讽天文学家说，煞费苦心去找第八颗行星是白费劲，他宣称，用哲学就能证明，太阳系的行星只能是七颗。但高斯只相信科学和事实，在大家茫然无助之际，高斯只用了观察三次的数据，准确地预言了谷神星的位置，几个月后，谷神星无视黑格尔的哲学和情绪，在高斯预测的位置如约而至。那年，高斯24岁。他使用的计算方法，就是他独创的秘笈“最小方法”。此后，大小行星（包括海王星和冥王星）陆续被发现。

也是这一年，高斯著成《算术研究》，一部划时代的作品横空出世，它终结了数论的无系统状态。

.....

高斯一生为数学王国开疆扩土，攻无不克，所向披靡，成果太多，不一一列举了。牛顿、爱因斯坦等许多大牛的创造力集中在青年时代，而高斯则是生命不息、创造不止，可喜可贺的是，高斯活到78岁，这位天才的高寿，实在是人类之福啊！

由于高斯十分严谨，他的许多研究成果都在日记或手稿里，不为人知，直到他去世很久才陆续被发现。如果高斯及时发表了这些世界一流的数学成果，那么在一些重要领域，完全可以省去一大批天才数学家的苦苦摸索——他们的大量精力可以用在别的领域——数学的发展可能要比现在先进半个世纪之多！

高斯被称为“数学王子”、“数学家之王”，人类史上最伟大的三位或四位数学家，不论怎么排，必须有高斯。实际上，任何赞扬人类智力的词句，用在高斯身上都不为过。他是人类的骄傲。

我发现一个秘密：难怪德国那么牛，后来一度成为世界数学、科学的中心。原来他们有高斯！

切！如果这也叫秘密，那天上的太阳就是绝对隐私。

高斯与本文密切相关的贡献有两点，一个是非欧几何，二是四维空间。

1817年，高斯在一封信中指出，我们不能证明欧氏几何具有物理的必然性。“或许在另一个世界中，我们可能洞察空间的性质”。他已经开始怀疑空间的平直性。

1827年，高斯的《论曲面的一般研究》出版。它是微分几何发展史上一块重要的里程碑，标志着以曲面为基本对象的微分几何的创立。将来在广义相对论中，我们将体会到微分几何的重要性。该书出版一个世纪后，爱因斯坦说：“高斯对于近代物理学的发展，尤其是对于相对论的数学基础所作的贡献，其重要性是超越一切，无与伦比的。”

1823年，雅诺斯证明了非欧几何的存在，并于1831年在其父亲鲍耶的著作中公布了这一成果。高斯盛赞这位青年“具有第一流的数学天才。”

1829年，俄国数学家罗巴切夫斯基出版了著作《论几何学的原始基础》，论述了非欧几何。但没有引起注意。1840年，老罗又用德文写了《平行线理论的几何研究》。高斯看了十分重视。

为了能直接阅读老罗的著作，63岁的高斯开始学习俄语——不仅是学点日常用语就算了，还要看得懂艰深晦涩的数学论著！背几个英语单词都抓狂的我，看了这件事，有种用头撞墙的冲动。

高斯积极推荐老罗的论著，为世人逐渐接受非欧几何发挥了重要作用。

高斯、雅诺斯、罗巴切夫斯基三人并称为非欧几何的开创者。

在他发表了《曲面论上的一般研究》之后大约一个世纪，爱因斯坦说：“高斯对于近代物理学的发展，尤其是对于相对论的数学基础所作的贡献，其重要性是超越一切，无与伦比的。”

后来，高斯开始从数学上考虑多维空间。在汉诺威大地测量时，他曾试图通过测量三个山头构成的三角形的内角和，探测三维空间是否存在曲度。

三维空间存在曲度，意味着存在四维空间。

这很好理解，想想是不是这样：一条直线是一维的，它想要弯曲，至少要借助二维空间才能实现；平面是二维的，它想要弯曲，至少要在三维空间里才能实现。

所以，要证明四维空间的存在，只需找到三维空间的弯曲即可。这次，高斯没有取得成功。以后我们会知道，以这种探测方法，以那时的探测技术，成功，绝无可能。

不过，纯粹的数学家是不需要考虑物理世界的。高斯起了个头，一时间，数学家们一发不可收拾，奏响了任意维度和曲率的空间狂想曲。

但是，这恣意飞扬的数学乐章，只是数学家中一个小圈子的学术兴趣，没有与真实的物理世界产生关系。直到狭义相对论打开了那扇窗，人们才认识到，这些神奇的表达式、方程、坐标，居然具有深刻的物理意义！

这次，才华横溢、坦诚率真的闵可夫斯基走在了前列。

爱因斯坦在联邦工业大学上学时，闵可夫斯基是他的数学老师。在那些阳光灿烂、挥斥方遒、情意绵绵的日子里，爱因斯坦经常逃课，闵老师骂他“懒胚”。当然，小爱仍然很敬重闵老师。后来，小爱也为他逃数学课付出了代价——为了解决广义相对论的数学问题，他狂补了一年的数学课。那句话怎么说来着？出来混，迟早要还的。可惜了那一年的时间啊！要知道，那时节，是这个伟大天才创造力最强的阶段，分秒无价啊！这是后话不提，我们接着说闵老师。

有一天，风度翩翩、绅士味十足的闵老师路过实验室，恰逢一个蓬头垢面的学生从实验室飘出，您知道，那就是我们亲爱的爱因斯坦。看着这款非主流的欠扁造型，恨铁不成钢之情在耿直的闵老师心中油然而生，他果断拦住小爱说：“爱因斯坦，你也许是个聪明人，但你决不适合搞物理，为什么你不尝试一下其它职业，比如学医或者法律呢？”难以想象，如果接受了老师的建议，爱因斯坦大夫或许就是史上最渴望成为物理学家的律师了。

这个原本对爱因斯坦同学印象很糟的老师，在领悟了狭义相对论之后，凭着敏锐的科学洞察力，认识到了爱因斯坦思想的深远意义，便立即开始为爱因斯坦的相对论摇旗呐喊。

闵老师讨厌小爱不羁的做派，但他没有因此对小爱的学说抱有任何偏见，还建立了四维时空，从数学上给予有力支撑，夯实了相对论的基础。当然，他自己也因此声名大振。可见，理解和支持一下与自己不太一样的年轻人，也没什么不好。诺贝尔物理奖得主玻恩曾说，他从闵可夫斯基的数学工作中找到了“相对论的武器库”。1909年，年仅45岁的闵可夫斯基身患重病（其实只是急性阑尾炎，那时的医疗手段太落后），临终，他无限遗憾地说：“在发展相对论的年代里死掉，真是太可惜了。”

是啊，的确是太可惜了。假设闵可夫斯基不是英年早逝，说不定可以参与广义相对论的创立。

四维时空观是相对论的重要理论基础，是了解相对论的前提。

数学强人都知道，数学中有各种多维空间，就像我老婆切的土豆一样，每一块或每一根都匠心独具，不胜枚举。但目前为止，我们认识的物理世界只是四维，即三维空间加一维时间。后面量子力学提到的高维空间，目前只有数学意义，暂不讨论。

那么，四维时空是个什么样？我们能想象出来吗？用语言能表达出来吗？

没有谁敢说“能”，但几乎所有人都有兴趣去尝试——好奇是人类最可爱的品格。至于是不是成功了，没人能做评判，毕竟，我们的感官都是配合三维空间而生的，四维，谁也没“亲眼见”过。

虽然我们要做的，是一件没有正确答案的事，但一旦认真去做了，这绝对是一场奇妙的思维盛宴，所以，我们，入席吧！

正式进入四维时空之前，我们先做做脑运动：类比。

我们日常活动和直观感知是三维空间：长、宽、高（所谓立体）。人在具象意识中，对时空其实没什么感觉，因此，理解起来不是很容易。但是，正如高中生做大学题困难，而做小学题就容易一样，我们向高维度感知不易，但向低维度感知就容易了。所以先感知一下低维度，类比一下，就明白了。

蚂蚁本身虽然是三维构造，但只能感知到二维空间：长、宽（所谓平面），也就是说，它能感知的只有前后左右，没有上下。人将蚂蚁面前的一块食物拿起来，这个勤劳勇敢的小家伙只当它凭空消失，它不会抬头或低头找找看，因为它意识里没有第三维——高。人也一样，如果四维空间的生物取走我们的东西，我们也只知道前后（长）左右（宽）上下（高）找找，报了案警察也是这样找，而无法在第四维——时间的将来、过去之间穿越寻找。

时间只对应于事物发展顺序，而空间只对应事物存在位置

——从光屁股撒尿和泥时起，我们就一直是这样认为的。但是错了。错了很正常，因为人可以在三维空间胡作非为，而不能在时间中穿越自如，所以很自然地把空间和时间割裂成两种概念。就像很久很久以前，人们把雷电割裂成雷公电母一样。

实际上，发展顺序也好，存在位置也好，都是事物运动的产物。这些，我们在前面分析“绝对空间”、“绝对位置”时已经有所了解。这就是为什么爱因斯坦在本文第二章中说，时间和空间是人类的一种错觉。现在，相对论告诉我们，时空是统一的，它们是一回事，此消彼长。

这该怎么理解呢？

别急，我们先把时间放到一边，让它歇会儿。

现在，我们先体会一下四维空间（对，不是四维时空，是四维空间）的魅力，再去拜会四维时空。

四维空间也没法体会啊，谁也没有经历过啊！靠谱吗？

没有经历，我们有想象力；缺乏想象力，我们还有逻辑；搞不掂逻辑，我们还有大脑的基本能力——理解和记忆。总之，我们的口号是：宁可错想三千，不能死抱一个。

假设每个维度的空间都有智慧生物。

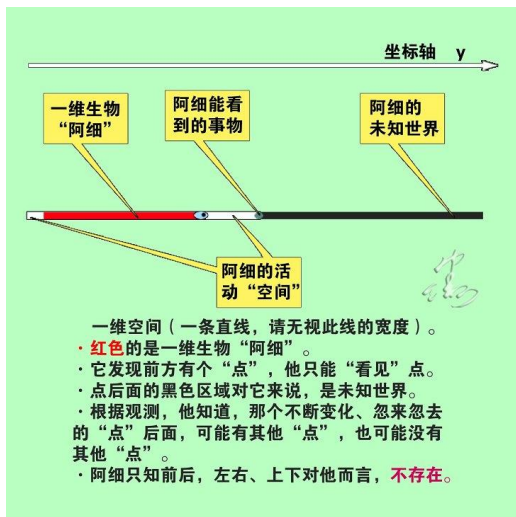
我们就从一维空间开始。

一维空间就是一条线。他叫阿细，一维空间的智慧生命。因为一维空间只有长度，没有厚度，也没有宽度（怪不得他叫阿细），所以，在阿细的意识里，只有前面和后面，没有上下、左右。

于是，不论什么东西切入他所在的那个一维空间，他只能“看”见一个点，这个点的变化很有限：出现、消失、逼近、离开、变色。没了。

我朝前走啊走，何处是尽头？尽头外面是什么？难道尽头只是尽头？点出现很多次，也变过很多次，点的背后还有多少点呢？它们的速度是快是慢？为什么它们会突然消失又突然出

现？世界真大、真奇妙啊！阿细由衷地感叹道。



【图 13.2】阿细的一维世界

现在是二维的故事。故事的主角叫阿扁，二维世界的智慧生命。他的世界有长度，有宽度，但是没有厚度。其实就是一个平面。所以生活在其中的阿扁是名副其实。

我们可以这样认为：二维世界是由无数个一维世界组成的，一维世界只是二维世界的“切片”。

我们可以用两根坐标轴来表示二维世界。别看只多出一维，但多出无限可能。阿扁的视野、活动空间比阿细大出无数倍。

无论什么物体切入阿扁的二维世界（如果不明白怎么切入，回头看看祖暅原理），阿扁他看见的都是线和点。它们变化多端：长、短、远、近、平、斜、弯、直、断、连、交叉、出现、消失……

前后左右都没有尽头，点与线交相辉映、飘曳回旋，长短不一，曲直万变，更有许多封闭的线，无法逾越，其中藏有多少秘密？茫茫大千、无限可能啊！阿扁豪情万丈。

突然有一天，他在其中的一条线里发现阿细。咦，居然还有一维生命！他的世界太小了！这怎么生活啊。拯救他之前，跟他开个玩笑吧。淘气的阿扁在阿细的前后各拦了一个点——不能吃的点。这对阿细来说，就是坚不可摧、不可逾越的障碍。

阿细悲催了，他被囚禁了，他的构造和思维，都是一维的，他只能前后移动，根本不知道、也理解不了、你说了他也不会信：上下左右有 N 个方位可供他逃出这个可笑的“囚笼”。

左？右？！是另外一些点吗？我能吃吗？能吃我吗？

神马？你说是“方向”？！前和后是我们老祖宗自古以来确定的方向，怎么会有左和右这种虚妄荒唐的歪理邪说？如果它真实存在，我怎么从未感觉到？即使有，也不适合我们细族，想要我们背叛历史、数典忘祖、万劫不复吗？！

即使处于寸步难行的困境，阿细的质问也是气势磅礴、一气呵成。这也难怪，他一直在固守，从未想改变。所以守得很熟练。

唉，世界上还有那么多秘密等待我去探索，那个点后面有几个点都没搞清楚，就被困死在这，真是太遗憾了。阿细正暗自神伤，打算捱过一时是一时，却被阿扁一把撕扯住衣领，质问道：为什么你不适合出笼？点、线不属于空间吗？点、线可以出笼，那你怎么就不适合出笼呢？

线？！世界上怎么会有如此怪异的东西？阿细不肯相信。

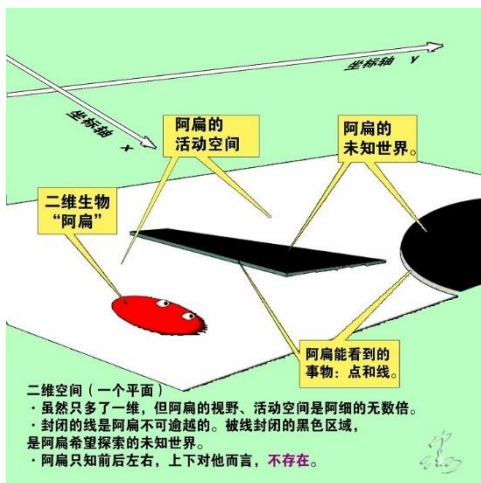
拜托，你自己就是一根线好不好？难道越搞不懂自己，就越自信？！快被阿细搞崩溃的阿扁说完，一把将阿细拖进二维空间。

阿细一阵眩晕，不是阿扁用力过猛，而是阿细的眼前猛然开阔了无数倍，世界顿时不同了，一辈子也没见过这么多东西啊！大量的信息令阿细从肉体到精神上都应接不暇、措手不及、唏嘘不止。

他回头看了看奇特的阿扁，神仙？妖怪？谢谢。眼前的景

象，能看一眼，虽死无憾！原来，我看到的点，只是线切进我的世界的一个小切片！

God！阿细望着阿扁叫道。



【图 13.3】阿扁的二维世界

看着阿细由内而外敬畏的目光，阿扁满足得像连升三级的张好古，他拉着阿细尽情游弋于广阔的二维空间，在阿细的惊呼和膜拜声中陶醉。

阿扁带着阿细穿过一片密集的点线阵群，来到一条封闭的线旁，阿扁得意地对阿细说，这是我的私密空间。

说着，阿扁扯住线头一拉，露出另一个线头，他拉着阿细从两个线头之间走进，顺手一带，两个线头又合上了。

现在，全世界谁也看不见咱俩在干嘛。Look，我这里还有一只保险柜，是用两道线圈起来的，绝对保险，没见过吧？我们这个世界，还有很多打不开的线，每个封闭的空间，都是一个未解之谜；每一个谜团，都比你的世界要丰富得多！

阿细真是大开眼界，他只顾贪婪地东张西望，似乎想把所有的东西都刻进记忆，迫不及待得忘了回应、忘了提问。

三维世界的咱俩正俯瞰这一切。

从小就养成了看蚂蚁搬家、破坏各种昆虫正常生活的好习惯，却被达尔文抢先出版了《物种起源》。

还好，此刻，咱俩有幸看到了阿扁和阿细。就好比退休的局长见到了铁窗里的老上司。这让我们卑微无奈的生活顿时显得高贵给力起来。

人海之中，找到了雷，一切变得有意义。你哼起歌来。

阿细真可怜，比蚯蚓还可怜。我生了恻隐之心。

阿扁好幼稚，比蚂蚁还幼稚。你动了怜悯之情。

在咱俩看来，阿扁的所谓私密空间，只是一个可以把线头拉开的线圈，圈里的一切，就好比陈老师的电脑硬盘及私生活，包括围了两层线的“保险柜”，都毫无私密可言，更不要说“保险”了。

我们看他俩，就像阿扁当初看两个点困住的阿细一样，一切是那样的一目了然。

那个所谓的“保险柜”，他就是围上十圈百圈的线，我们也能直接看到最里圈的东西。

我们从他们的空间里取走或放置任何东西，都不需要拉开什么线头，只需从“上”、“下”任何方向信手操作即可。

对他们而言，咱俩就是上帝，无所不能。

我决定做一件事，在阿扁最得意的时候。不知道这是慈悲，还是残忍。你念叨着。

我知道你要做什么。把一个刚刚解决了温饱，望着猪圈踌躇满志，正对着乞丐神吹海侃的人突然请到七星级酒店，让他知道，他把猪和猪圈都卖了也换不来那里的一盘菜。的确很残忍。但是，不管离知识和期待有多远，真相也是最珍贵的。

给出真相，就是最大的仁慈！我说道。

我话音未落，你伸手就把阿扁从他的“私密空间”拿出来。

啊！呀！噢！哇！（你没听错，这不是 AV 发出的声音）这

是哪？！广阔、广阔、广阔，真他娘的广~~~阔啊！！

God！还是 God！阿扁望着咱俩叫道。

而阿细只看了一眼三维世界，便昏了过去。短短的时间里，谁能受得了这么大、这么多的刺激啊。

没什么，我们只是比你的世界多了一维。你谦逊地说道。

我是怎么到这里的？阿扁到底比阿细见识多，看着纷繁神奇的三维世界，他还没忘记问来由。

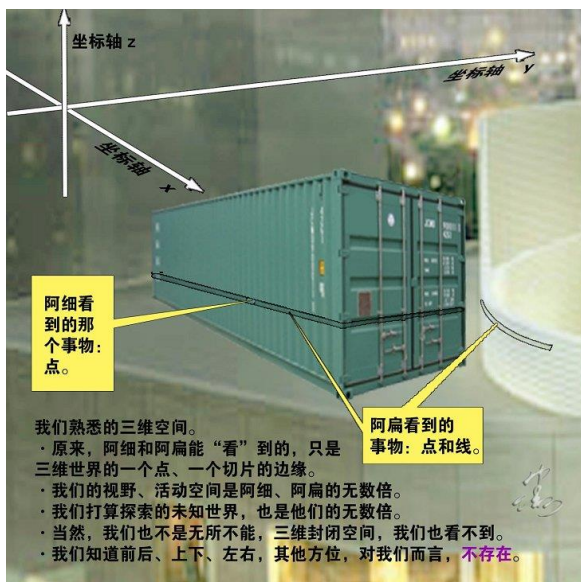
是我们从上方直接把你拿起来的，欢迎来到三维空间。你彬彬有礼地答道。

“上方”？“起来”？什么概念？阿扁一边迷惑地念叨，一边左顾右盼看个没够。搞得咱俩一度怀疑这个平凡的世界是不是又发生了什么神奇的事情。不过转念一想又释然：如果哪一天，我们的世界没有什么神奇的事情发生，那倒是真的是匪夷所思了。

咱俩搜肠刮肚，利用摆事实、举例子、讲道理、看现场、做实验、作类比、晒逻辑等各种办法，费了九牛二虎之力，才说服阿扁承认，他看见的线，只是我们三维物体切片的边缘，他所谓的封闭空间，在三维世界是完全敞开的，高维看低维的“封闭”空间“内部”，是直视，不是透视——这是他从上面亲眼俯瞰了自己的私密空间，又回去做了体验，再被我们拿出来……N遍以后，他才相信的。

难以想象，如果不把他拿到三维空间，让他亲身经历一下三维体验，我们该用什么办法才能让他明白这些？如果阿扁没有见到过三维物体，我们该怎样向他描述，才能让他想象出三维物体的样子呢？难比登天啊！

让低维生命理解高维空间，实在是太难了。所以阿扁替阿细着急，我们又替阿扁和阿细着急。但阿细、阿扁比我们幸运，因为有人帮他们突破生活其中的低维，穿越到更高维，体验到了不可思议的震撼。



【图 13.4】我们的三维世界。原来，阿细、阿扁刚才看到的是这里！

谁替我们着急呢？只有我们自己。

好在我们从小就习惯了一件事：一切自己解决。

首先要解决的是，通过阿细、阿扁从低维跃向高维的感受经验，理清思路：

第一，低维世界是高维世界的切片。反过来，高维世界由低维世界累积而成。从一维到四维，类似“纤维→纸张→图书→图书馆”的关系。那么，在低维空间“看到”的东东，就只是高维空间的一部分，反过来说，维度越高，看事物越“全面”。

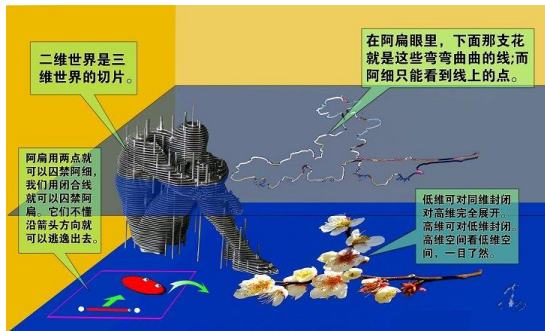
第二，高维世界再“小”，也比低维世界“开阔”。一根丝再长，它在我们眼里都很“细”，一张纸再大，它在我们眼里都很“薄”。再想想蛛丝上的水滴，一个细菌在长长蛛丝里游动，与在小小的水滴里游动相比，哪个更开阔？

第三，低维世界封闭的事物，对高维世界是敞开的；而高

维世界封闭的事物，对低维世界更是封闭的。这很好理解，跟咱的社会一个样，底层的事情，高层清楚无比，而高层的事情，对底层永远是个谜。

第四，低维生物对高维多出来的“方位”完全没有意识。无论怎么描述，我们三维生物能想象的，只能是三维空间的任何方向，跳不出去。但这也不妨碍我们极尽想象之能事——存在一个我们感受不到的“方向”，你就让想象力尽情撒野吧！

第五，我们看高维物体，感觉是震撼的，就像以前只见过线和点的阿扁，一下子看到三维立体物体一样震撼。这种震撼不是尺度问题，而是“角度”问题。举个例子：一根细鱼线，它的长度能绕地球一两圈或更多圈，我们不会震撼，再长它也只是鱼线而已；一间办公室，你推门进去，却发现面前一架直升机，你需要飞行 10 分钟才能到达主人的办公桌，这才会震撼——那是多辽阔的一间办公室啊！



【图 13.5】一、二、三维世界的关系。图中，韩国雕塑艺术家朴赞女的金属切片雕塑很好地表达了二维与三维的关系。

借助阿细、阿扁高维穿越旅游的经验，我们总结了五条规律，认识高、低维之间关系的规律。

我们可以根据这些规律，来推测我们去高维空间旅游时，会“看到”什么。

会看到什么呢？当然是“形状”。然后才是质感啊、颜色啊

等等细节的东西，这里不讨论细节。

在三维世界，咱们人类不管“看”什么东西，都是物体的反射光跑到我们的眼睛里，刺激咱们的视网膜、视神经和大脑，形成与物体相对应的“形状”概念。

我们通过复杂的“形状”罗列，来区分各种不同的事物，包括人的面孔。离开了形状，我们什么也分辨不清。

你要是觉得这是废话，就去找蝙蝠，问问它怎么看。

蝙蝠说，我看东西不靠光源，靠自己。发射超声波，遇到物体反射回来，刺激我的听觉神经和大脑，建立与物体相对应的“形状”概念。

声音刺激建立的形状，和光刺激建立的形状是不是一回事呢？有质感吗？

如果不是一回事、没有质感，那怎么解释它能准确地吃到树叶间的飞虫，而不误食大小差不多、随风飘舞的树叶呢？

研究表明，在复杂的噪声中，蝙蝠能精确分辨各种声波信息，就像我们在花花绿绿的世界里，能准确分辨物体的颜色信息一样。它不仅能“看”出空中飞的是昆虫还是石块，而且能“看”出哪只昆虫是可食的，哪只昆虫是不可食的！可见，它用声波“看”的事物不仅有形状，还有质感，“分辨率”还挺高呢！ $>800 \times 600$ ？

虽然我们和蝙蝠的“看法”不一样，也想象不出彼此“看”到的东西在大脑中建立的形状是不是一回事，但大家都是通过形状“看”世界，是吧？

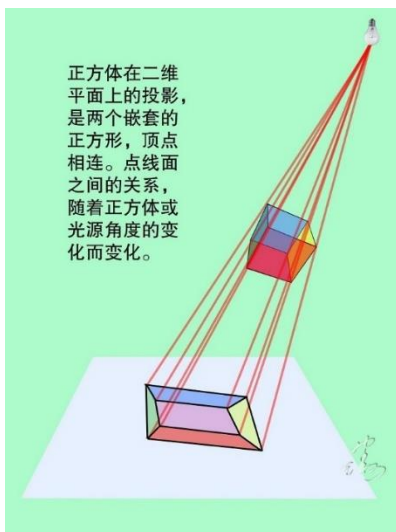
那么，现在我们就来解决第二件事，形状问题。

根据刚才总结的维度穿越五条规律推测，低维“形状”只是高维“形状”的一部分，或者叫切片、投影。

我们还是从低维看起。

任何物体在一维空间的投影都是点或线，这个很简单，不多说了。

三维空间在二维空间的投影，我们以一个透明的正方体为例，来视察一下。



【图 13.6】正方体的二维投影（本来以为这个图挺好做，没想到做了三个小时）

正方体有 8 个顶点、12 条边和 6 个面。投影后会怎么样呢？

我们发现，虽然正方体被“压扁”了，但是它的 8 个顶点数、12 条边数没变。

等等，好像丢了一个面，数数看，应该是 6 个面，但是现在成了 5 个，是不？

我们仔细想想，就会发现，最上面那个面的投影，重叠在其他 5 个面的投影上了。所以看起来像是 5 个面。让正方体转动角度，投影的点、线、面之间的位置啊、大小啊、长短啊这些关系，也随之发生变化，总有一个以上的面与其他面重叠。

因为立方体和它的投影都在我们的视线范围内，所以，我们很容易知道，投影的某个变化，对应于立方体角度的某个变

化。

当我们熟悉了这些变化规律时，即使不看立方体本身，也能通过投影的变化，推测立方体的角度变化，乃至立方体的形状。换个圆锥体，让你只看投影，我就不信你还能以为是个正方体。

以此推论，我们也可以利用四维物体在三维空间的投影，推测四维物体的“形状”。

这些很好理解，是吧？

那么，重点来了。我们要完成一个光荣而艰巨的任务：试着推测四维空间的立方体——超立方体是个什么样子。

由于我们无法想象三维以外的“方向”，所以，只能通过它在三维空间的投影来了解它。

根据推算，四维空间的超立方体有 16 个顶点，24 个面，32 条边。

怎么推算的呢？说起来很麻烦，不看也不耽误什么。我们把这段蛇足上下画横线分离出来，有兴趣的就看看，没兴趣直接跳过两条横线好了。

简单列举（很枯燥哦）：

零维：1 个点（点是零维元素）；

一维：1 条线（线是一维元素）、2 个零维元素；

二维：1 个正方形（面是二维元素）、4 个一维元素；

三维：1 个正方体（三维立体是三维元素），6 个二维元素，12 个一维元素，8 个零维元素。

据上列下：

$$(x+2)^0=1$$

$$(x+2)^1=x+2$$

$$(x+2)^2=x^2+4x+4$$

$$(x+2)^3=x^3+6x^2+12x+8$$

归纳出：

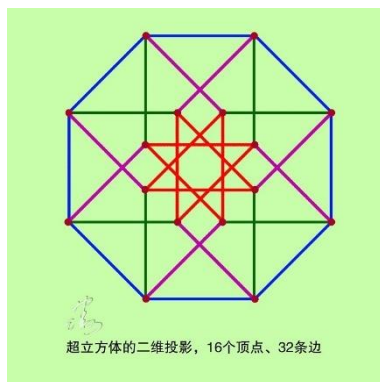
一个 n 维立方体，它所包含的 k 维元素个数，等于 $(x+2)^n$ 展开式的 k 次项“系数”。那么，4 维立方体就这样算：

$$(x+2)^4 = x^4 + 8x^3 + 24x^2 + 32x + 16$$

看“系数”：超正方体有 8 个立方体（组成超立方体的立方体叫胞），24 个面，32 条线段，16 个点。

投影的话，面有重叠交错，不好数，但这些顶点和边数起来还是很清晰的。

我们先看它的二维投影。



【图 13.7】超立方体的二维投影。

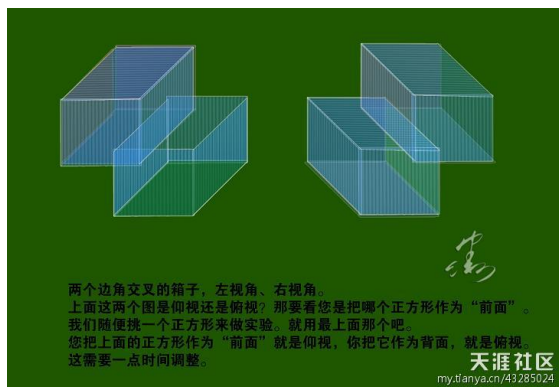
这是一个不太复杂的图案嘛，还没有某种古代纹饰复杂。但是，我们现在的视察工作不是欣赏花纹，而是把它作为一个投影，和一个未知物体的实体联系起来。想想刚才正方体的投影，是多么的简洁。然后我们再用这个 32 条边的投影去推测，它的实体是个神马样子。提示一下，图中每一个平行四边形，都是一个面，一共 24 个，不服就数数。别忘了正方形、长方形是平行四边形的特殊形式哟。

你会发现，有些面是相互交叉的，有的是在“内部”交叉！

一个实体，它的“表面”会相互交叉？！怎么交叉啊？是不是越想越诡异？

别急，还有更诡异的，当你把这些面在大脑中组装成功后，会发现，这其实像两个边角相交的箱子，它的左、右、俯、仰各个视角同时展现在你面前——这在我们三维世界本就是不可能的。

这种构造难以想象，我们试着做个图，把它拆开来看，还得结合想象力，才能体会一二。



【图 13.8】超立方体的拆分图。

如图，我们把超正方体拆成左视角、右视角两部分，其实这两部分还各包括仰视和俯视两部分，所以应该是四部分。左右视角我们很容易看出来，就不讨论了。重点是俯仰视角。

为什么不直接把仰视角和俯视角也分别画出来呢？因为它们表现在二维平面上，仰视和俯视的图像基本是一样的，没必要。

更重要的是，我们如果能在同一个图上既看出仰视，又看出俯视，对于我们在后面想象神奇的四维空间，是有一定帮助的。

如果我们有耐心，并且不怕眼花，那现在就试一试，左和

右随便选一个，实验一下。是俯是仰，关键在于，你把哪个面看成“前面”（然后把相对的那个面看成“后面”）。

预备~开始。

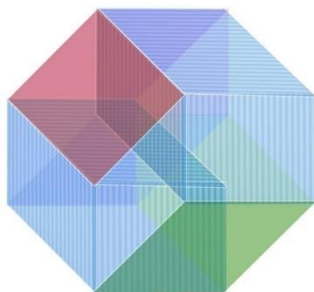
我们就选最上面那个正方形（你非要选其他的我也不拦着），如果你把它看成是“背面”，那么这个图就是仰视“如果你把它看成是“正面”，那么这个图就是俯视。

实际上，在四维空间，你能同时看见正面和背面。

也就是说，没有背面。是不是有点抓狂了？

其实这很好理解，一张纸，我们忽略它的厚度，把它当成二维的，那么在二维空间无论怎么看它，都只是一条线，绕过去才能看到“背面”那条线。但是在三维空间看这张纸，它的四条线不存在“背面”，我们就能同时看见。依此类推，我们在三维空间看到的物体，在四维生物看来，也不存在背面，全能同时看见。对了，忘了介绍，四维生物他叫“阿全”。

于是，一个完整的超正方体大概就是下面这个样子：



四维生物“阿全”只看空集装箱的情形。
· 三维世界对阿全而言，没有“封闭”的概念，三维物体在他眼中完全“展开”。
· 阿全能够全景式围观三维物体，就像我们看一副画，画面上的一切都一目了然。



【图 13.9】超立方体。

为嘛要说“大概”呢？因为在二维的平面上，实在是不能

表现出同时看到所有面的样子，只能是“尽量”往“近似”靠拢。

我们看到图中的面相互交错穿插，那是由于二维图像的表现力和我们三维思维的限制所致。实际上，它在四维空间，表面是不会交错穿插的。

具体的形象，还得靠想象力。下面我们就来假装想象一下。

记得前面那只集装箱吗？它在阿全眼里完全展开，阿全能同时看到它每个面的样子，对里里外外的一切细节一目了然。

这倒不是阿全有什么特异功能，因为在四维空间，三维物体就是“全景式”展开的，没有背面，也没有里面，全是“正面”和“外面”。晕了吧？那就缓缓神，转过这道弯（其实转过这道弯也难以想象，但这道弯都转不过来，你会对后面的东西越来越不服气）。

如果还转不过弯，就回去参考阿扁的保险箱 100 遍。

神马？只参考 88 遍你就转过这道弯了？天才啊！坐好，让我好好膜拜一下。

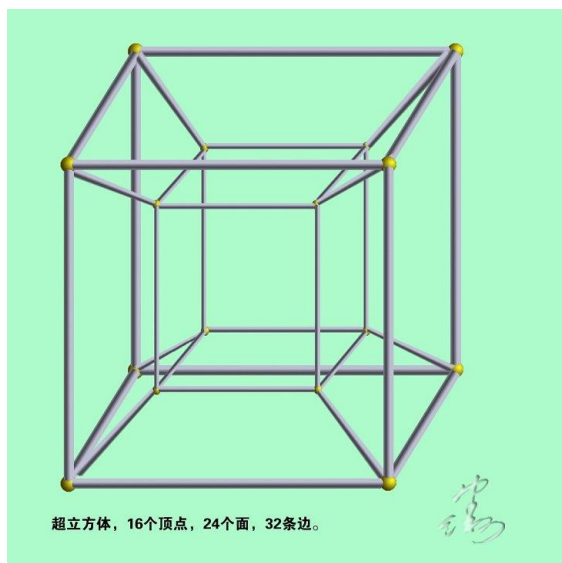
OK，我们搞定了一个比较复杂的想象力测试，有点疲惫了，现在，我们做点轻松的事，看一些简单的图形，再加以想象。

先看一看，四维空间的超正方体在三维空间的投影。强调一下，这个投影是三维的，别忘了，三维空间本身就是四维空间的投影，或切片。

为了我们看得有“通透”感，我们把面去掉，只留线和顶点，形成一个框架。32 条线段，16 个点。

我们可以在想像中把面“贴”上，一共 24 个面，什么颜色随你，就像糊灯笼。糊好就形成 8 个立方体（胞）。

也许你会失望地说，这也没什么了不起嘛，不就是一个正方体套着另一个正方体吗？我们眼里的超正方体投影，好像和阿全眼里的三维立方体展开图差不多嘛。甚至就是一回事！



【图 13.10】超立方体在三维空间的投影。

是啊，作为一个投影，它这样已经很了不起了。难道我们忘了，三维物体的二维投影吗？可不就是差不多（一个方形套着另一个方形那个）？

其实，我们用简单的方形做例证，这些图无论怎么画，都是表现在平面上的，在平面上看，无非就是方形的各种不同组合，不是太难。就是真拿到四维空间，实际情况也不会比这复杂多少。

只是上面那个所谓的“嵌套”正方体，在四维空间，它们不仅是一体的，还是是并列关系，不是嵌套关系，这就需要另一个“空间维度”，才能实现。

所以，最关键的是它们的“空间”构造，那才是难以理解的。不信？我们看一个更简单的图，这个图大家在网上或许都看过，就是那个著名的三角构造。

对，就是这个纠结的三角形。

如果你只是好奇地看一眼就算了，那没什么。



【图 13.11】纠结的三角构造。

如果你打算和它较真，那就越看越纠结。任你在脑子里怎么摆布，也想不出在三维空间，如何才能把它构建出来。因为你按照图纸在一条边上安好另外两条边后，就会发现，这三条边分别伸向三个坐标轴的方向，那两条边永远也无法相接。

所以，这个简单的图形很拉风。

但它只是在三维空间拉风。

因为在四维空间，我们能在另一个“方向”把另外两条边接上，轻易构建出这样一个三角形，不用费什么力。所以，在四维空间，它就像数学老师的三角板一样低调。

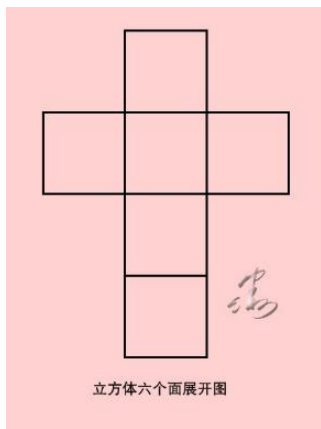
想象出“另一个方向”了吗？

记住关键是“空间构造”了吗？

OK，那我们就来看看，把刚才那个八胞的超立方体展开，变成三维的，是个神马样子。

展开四维的超立方体之前，我们先把三维的立方体展开成二维的，类比一下。

我们都知道，三维立方体有 6 个面，怎么展开呢？拆过纸盒子吧？喂，住手，咱们说好是拆开盒子，不是撕烂盒子！对，就是那样。看图。



【图 13.12】立方体的六个面展开图。

我们把立体的盒子拆开，6 个面就铺成了 1 个平面，它有 12 个点、12 条线（面上的折线不算），对，跟图里画的一样。

现在，不必动手，我们只需用脑子虚拟，沿着折线折叠，就能把它恢复成六个面的立方体，没问题吧？

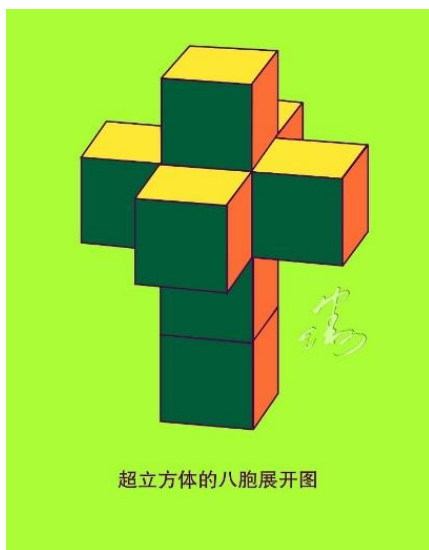
那么，把这个平面恢复成立体最重要的条件是什么呢？

最重要的是有人去折它！你抢答完欠扁地看着我。

拜托，这不是脑筋急转弯。我们在说“空间”的事，最重要的，当然是“有空间”允许平面折弯了！平面至少在三维空间才能折，是不？

嗯，知道了这个道理，我们就可以去拆四维的超立方体了。

瞧，超立方体有 8 个胞，展开后，就是排列成类十字的 8 个立方体（其中一个立方体被包住了），我们数了数，它有 32 个点、30 个面和 60 条线（平面上的接缝线不算）。看图。



【图 13.13】超立方体的八个胞展开图。

那么，我们是不是可以像刚才恢复三维立方体那样，把这个超立方体也恢复起来？

哈，你发现三维的物体，在三维空间是可以折的，用不着第四维嘛！于是我们兴致勃勃地搭起积木来。

慢慢地，我们发现，这个积木你可以随意搭，但永远也搭不出 32 条线、16 个点、24 个面的超立方体，超立方体的特征是：8 个胞都在“外面”，并且没有嵌套和包容关系，它们是并列关系。强调一下，并列不是“毁成一排”的意思，而是在空间上“平等”，就像三维正方体的 6 个面那样平等。

这下傻眼了吧？

是的，不是我们搭积木的水平不够，而是我们三维世界缺少那个“方向”，所以不可能建造出超立方体。

于是我们闭上眼睛想啊想，想了半天，也想不出，那个方向究竟在哪儿。

明知道有，却抓不着，甚至连想象也做不到，这种感觉，比新郎新娘隔着防弹玻璃洞房还要抓狂。

是不是很失落？

其实不必失落，因为到目前为止，还没人能想象出来，那个方向具体在哪儿。也就是说，在这件事上，我们不比别人笨。别说是凭想象了，就算有人去过四维空间，回来也不知道如何告诉你，那个方向是怎么回事，就像阿扁没到三维空间以前，你无论怎么形容“上、下”，他也不会形成任何具体的概念一样。高维度，真正的只可意会，不可言传。

那么，是不是找不到那个方向，我们就无法想象四维空间呢？

当然不！

虽然找不到那个方向，但是，通过前面的旅程，我们知道存在这样一个方向，并且，还理解了认识高、低维之间关系的五条规律。这就足够了——也只能做到这些了。

“方向”本来就很不抽象，想象一个我们的世界里不存在的“方向”，就更抽象，所以，第四维难以想象，是正常的。

但是，四维世界是具象的，不是抽象的。所以，虽然没有第四维的感觉，但凭着前面的经验，我们思想的翅膀仍然可以试着去四维世界扑腾扑腾。

往高飞，往远飞，就不信飞不到第四维！

哟，还真飞起来了。你飞就飞吧，怎么还带了个MM？等会不要后悔啊。

咦，那朵云怎么看起来怪怪的？它的边缘居然是圆的！

仔细看看，哇，好大一个气泡啊，能装进一辆轿车！谁这么能吹？

这个气泡看起来轻轻薄薄的、似透明又不透明，反射着蓝天白云的影像，就这样在蓝天白云背景中漂浮，好像是天使在透明的天幕上吮出了一个晶莹的泡，如果不是它反射的云天图

像在云天背景中有淡淡而明锐的圆弧边界，不仔细看，还真难以发现！

飞过去看看好吗好的。你说完拉着 MM 就一头撞过去。

唉，你总是这么急。

我眼看着你撞向气泡，急忙跟过去，怕气泡被你撞破，但来不及了，你太快了——每当有 MM 在场的时候，你总是如此神速。难怪结婚第二天，你跟新娘谈感受时，新娘诧异地反问道，你做过什么了？

嗨，走神了。你已经撞到气泡，气泡居然没破，但是你的头消失了！撞进气泡了？！我惊得差点掉下去，急忙扑腾了两下思想的翅膀，才勉强跟上，却发现你的肩膀也在气泡的表面消失，就像一根金属棒插入水银池，悄无声息地切了进去，不带走一片云彩。MM 发现大事不妙时，已经被你带进去一半。我急忙抓住你和 MM 的脚，把你们拽了出来。还好，你们不仅毫发无损，并且惊魂未定，这表明，你们从肉体到精神都没受到什么损害。要是出来后哈哈大笑或呆若木鸡，那就麻烦了。

我来到气泡旁，睁大眼睛向里面看，但是，我只能看见气泡后面的蓝天白云，以及我自己和身后的云天镜像，看不见气泡里面！天呐，它居然不是透明的，那我是怎么看见气泡后面的？！

我把钢笔拿出来，探进气泡，抽出来看看，没什么异样。于是把手探进去，手没有任何触感，却在气泡壁上渐进消失，真是怪异啊！

刚才你们看到什么了？我问。

什么也没有，好像什么都有！你说完自己也觉得哪不对，但这就是你的感觉。

我摸摸你的脑袋，一点没发烧。又摸摸 MM，哪都没发烧。

撞到球时，我闭上了眼睛。然后，刚把眼睛睁开，就被你拖了出来。你解释道。

MM 缓过神来说，我也是啊，虽然没来得及看清什么，但感觉里面好大，好大！

难道这么容易就找到四维空间？废话，我们思想的翅膀本来就是往四维空间飞的！

现在，我们就在云端。这种感觉比坐飞机爽多了，因为在飞机上，我们只能通过小小的舷窗看外面，视角极其有限，即使那样，也能体会天地之大。而此时，我们自己漂浮在空中，目光所及之处，毫无障碍，极目望去，就是天际，这时，我们才知道“宽广”的意义。

我倒要看看，能有多大。说完，我拉起你和 MM，一头撞进气泡。

眼前，豁然开朗。

每个“方向”都在无限延伸。

就好像我们在一条长长的、狭窄的管道爬了若干年，终于爬到管口，探头望去，却发现自己置身太空之中，所有方向都没有尽头。巨大的反差令人战栗、不安。

通透。

无处不在的通透。

那种从未体验过的深度、广度，让我们失去了依托感，一时无所适从。

适应了片刻，我们才开始注意眼前的细节。

其实无所谓细节，因为任何事物在这里都是细节。包括我们对整个世界的感觉。似乎全世界所有的东西都在眼前了，却毫不拥挤杂乱，反而错落清晰，可是具体观察任何一个单独的事物，它所展现的海量细节，却又是无尽无休。其广远博大而又无微不至的包容感，让人渺小到忽视自己的存在，却又神清气爽。

震撼。由周身到细胞的震撼。

舒畅。由灵魂到肉体的舒畅。

自由。从心灵到感官的自由。

广阔。从整体到细节的广阔。

这才是真正的世界。我们以前所谓的“海阔天空”，其实只是憋闷的角落。我们以前的视野，不如井底之蛙。

忽然，我意识到，旁边还有同类——你和 MM。

我朝你看去，你仍然闭着眼。我却看见你构造精密的眼球正在欣赏眼前的一切，颅骨、大脑和面部表情清晰地泛动神秘的光泽。

三维构造在四维无法封闭。所以，在这里，我们可以闭着眼睛看东西。

其实，你们第一次进入四维空间时，一直是闭着眼睛的，只是时间太短，等你们意识到有视觉时，却被我拖了出来。

虽然你和 MM 已经是第二次进入四维空间，但仍然被眼前的世界摄入忘我境界，淹没在汹涌而来的视觉信息中，不能自己。

我轻声对你说，好像什么都能看见。

嗯？你还没回过神来，依然闭眼直视前方，享受着梦中都无法想象的视觉盛宴。

现在，咱们好像什么都能看见。我重复道。

哦？是吗？你睁开眼睛，可能被前方某物的细节吸引，目不转睛地回应着，突然想起了什么似的，眼睛又冒出了绿光。

唉！你眼里的绿光，就像曹操败走华容道的大笑，不是什么好兆头。

我在你耳边提示道：“你想看的，你的确能看见。但是你看见的，绝对不是你想看的！”你没听错，这句话也没有语病。

哦？你收回盯着前方某处的目光，把头转向我，惊讶地张开了嘴，随即相信了我的话。

其实你不张嘴，我也能清楚地看到你的牙齿、舌头、以及牙缝里的那根韭菜，只要我注目，甚至能目测你的牙髓发没发

炎，总之，你身上的、体内的一切尽收眼底，就像你能看见我的一切。

这一切不是透视，而是直视，三维的密闭体，在四维是敞开的。我劝你不要看 MM，否则你会后悔的。无论隔着多少层，比方说羽绒服、毛衣、内衣、皮肤、肌肉、骨骼、隔膜、血管，血管里流动的血，肠子……你已经在皱眉了，我这么厚道，就不提你能直接看见她肠子里的便便这种事儿了。

唉，人体太恶心了。我们还是欣赏其他东西吧。

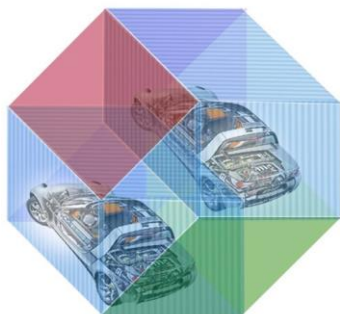
离我们最近的这个是什么？哦，就是那个集装箱，它的样子没变，但所有的面都向我们展开，包括截面——全景式展开。里面的——不，现在没有“里面”，一切洞若观火。是的，一切。包括所有三维物体的内部构造，及其材料的纹理。

我们围着集装箱飞行，集装箱在我们面前缓缓转了起来。匪夷所思的影像梦幻般地呈现在我们眼前：集装箱的内外构造，像一台精巧的机械，随着我们的运动，极有规律地交错游移，总的运动趋势是，在转向我们的一侧向外翻开，就像一朵侧面对着我们正在开放的花，“花瓣”分流到转离我们的那一侧，向内收合，流转到另一侧再绽开，如此往复。但神奇的是，这些信息在我们头脑中建立的图像，仍然是那只集装箱，并没有感觉它的构造有任何改变。运动中，看单个事物是这样，看多个事物，其整体变化也是这样。请原谅我刚才用了“内”和“外”这两个字，其实没有所谓“内外”。

在三维世界里，我们只能看见三维封闭物体的“外表面”，里面的一切都是秘密。如果我们把一个三维物体比作花蕾的话，那么，它在四维世界里，就是一朵全方位绽放的花。

全方位绽放是什么情况？

见过烟花吗？那就“类似”全方位绽放，如果用高清摄影把它定格，你能看见它的每一个细节。



四维生物“阿全”看装有物品的集装箱的情形。
· 三维世界对阿全而言，没有“封闭”的概念，三维物体在他眼中完全“展开”。
· 阿全能够全景式围观三维物体，就像我们看一副画，画面上的一切都一目了然。



【图 13.14】四维世界看三维集装箱。这只是作者本人想象的图像，实际图像要比这神奇得多。

但，与烟花不同的是，我们的花蕾本身在四维世界并没有发生什么变化，形状、体积比涛声还旧，各层花瓣依然层次分明，然而，现在它没有里面和背面，就像阿扁的保险柜，不管他是用多少层线围成的，不管这个保险柜对他来说是多么的严密，但我们在三维空间，不必动它一分一毫，也是一览无遗。不习惯是吧？在四维旅途中，如果一时纠结起来，我们就像阿里巴巴念叨“芝麻开门”那样，念叨一下“阿扁的保险柜”，用以打开思想的重门。

是的，就是因为多出来的那一维。在那个角度，我们不仅能看到内部，还能直接触及内部，而不必破坏三维物体的“外表面”。三维世界高精尖的切除手术，在四维空间，就像我们在田里捡豆子一样方便，什么肿瘤、异物，想清除它，伸手摘出来就是了——只要小心点，别碰断藤蔓一样的血管。

我顺手捡起一粒指甲盖大小的石子，它很普通。但目前很深邃。表皮、截面、纹理、颜色、质感……内部真是多姿多彩。

一沙一世界，一花一天堂。难道英国诗人布莱克到过四维空间？

四维世界也有封闭物体，那就是四维物体。

看，眼前这个，就是一个简单的四维物体——超立方体。它的尺度不大，色彩明快，但看上去却有一种慑人的巍峨、厚重之感。它是封闭的，我们看不见它的内部。但那光洁的外表面却极富层次感，表面的视觉纵深甚至超过了它的厚度许多倍。实际上，三维的我们很难理解四维物体的“厚度”，或许应该叫“广度”。但这些词都不准确。因为厚度也好、广度也罢，都是三维世界的概念。四维物体除了可以用长、宽、高三个值表示大小以外，它还有另外一个值能表现大小，那个值是三维世界不具备的，正是这个多出来的值，使我们看任何一个四维物体，都有一种压倒性的厚重高远感。

不要去试图拿起四维物体，我们拿不了，就像厚度为零的阿扁拿不起三维物体一样。

“高维空间的生物那么牛，为什么不来侵占或控制我们呢？”MM突然问了一句。

“嗯。这个问题我们等会再答。现在我们设想下，咱仨去侵占阿扁的二维空间，会怎么样？”我反问道。

“那还不是轻而易举？”你不假思索脱口而出，但转念一想，不对，于是纠正道：“不过，我们没法发现二维生命，因为它们没有厚度，完全透明，如果它们真的存在，那么，它们就不是我们三维意义上的物质，我们既看不见他们，也无法破坏他们的结构，因为对于我们来说，0厚度，等于没有。也就是说，我们无从下手。”

MM赞许地看着你，眼球在颅骨上面的那两个眼框里闪着晶莹的光。

“如果我们进入二维世界，会怎么样？”我又问道。

“进不去。”你果断说道，“因为我们是具有厚度的，即使我

们身上的原子、质子、中子啊这些极微小的东西，都是有厚度的。从理论上讲，即使是一粒米，把它变成 0 厚度，它也会展开为无限大——当然实际上是有限的——基本粒子结构必须被破坏，变成 0 厚度的弦或膜（弦论的概念）才行。再说，我们拥有蓝天大地，乃至整个宇宙，为什么要侵占老鼠洞？二维世界的“资源”对我们来说没有任何意义。”

MM 已经已经开始崇拜你了。此刻，一个胸怀坦荡、骨骼清奇、有血有肉、玉肤冰肌的女孩，却对我们毫无吸引力。这些美丽的词汇，此刻用来形容猥琐的咱俩也很贴切。

“简直太对了！”我激动地赞叹，并问道：“那么，四维物体进入我们三维空间，会怎么样？”

“会展开成三维物体。也就是说，它的结构会被彻底破坏！”MM 抢答道。

“对嘛！”我更激动地赞叹，又问道：“那么，四维生物会侵略我们吗？”

“当然不会。即使他们疯了，也不会。就像打死我也不会去侵犯阿扁一样。0 厚度，比火化还可怕。”你和 MM 一起果断抢答。

“这样说，倒是低维更有优势了。低维进入高维没问题。咦？貌似进入更高维，可以华丽转身，做同维世界的上帝呢！”你发现新大陆一样地兴奋起来。

“是啊，三维的我们，现在进入了四维空间，就可以对三维世界为所欲为了！”MM 也兴奋起来。

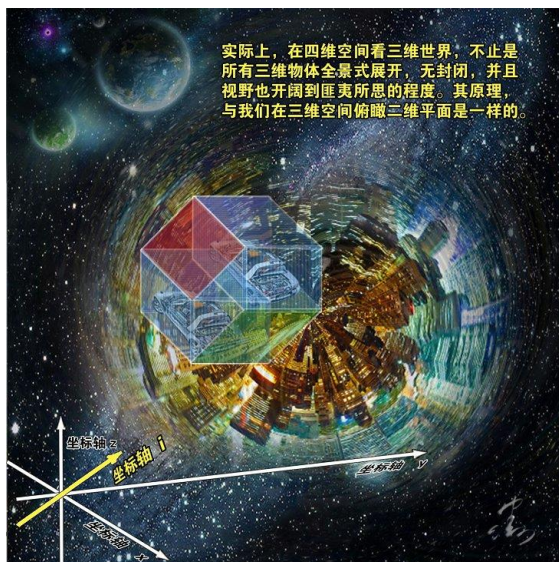
“可是，我们在这儿吃什么？再说我们不能呆在这儿，因为我们身体的所有构造在这儿都是开放的。”我忧虑地说，“万一飞进来一只四维小虫，或者落点四维的灰尘，又或者下个雨起个沙尘暴什么的……那我们体内就……也许，有人进入过四维空间，但都回不来了，因为灰尘无所不在，把四维灰尘包在体内带到三维，哪怕只有一粒，它的展开也是一场惨绝人寰的

大爆炸……”

话还没说完，我感觉自己的双臂被你俩抓住，往身后拖去，眼前一暗，我们又回到这个拥挤的世界。

我们互相看看，彼此已经不是那么坦诚相见了。MM 还是那么美。你长舒一口气。

我们都没有爆炸。因为，我们刚才的思想很单纯，没有沾染尘埃。



【图 13.15】我们在四维世界看楼顶集装箱时的全景。

在这张图中，我们把眼前多余的事物删去，只留下一只集装箱。用二维平面表现四维图像，就像在一维的线上表现三维世界一样，表现力小得可怜，再加上作图技术有限，就更难表现四维的神奇之处了。所以，这个图只是一个小小的参考，想领略四维的开阔和广远，只能靠想象。

我们的思想尽情地在四维空间撒了把野，现在，该收收想象力的翅膀，回到坚硬的现实了。

其实我们要说的是：四维时空。

时空是一个整体，就像老婆，你不能把她划分成两部分，这部分叫“老”，那部分叫“婆”。

我们的世界是四维时空——这是我们目前比较容易理解和感知的物理世界。前面讨论和想象了四维空间，相信我们对四维时空的理解就更容易了。

为什么这样说呢？因为四维时空一点也不神秘，我们很久以前就把时间和空间紧密联系在一起应用了，只不过没意识到它们居然是一回事！

不是吗？请看对话。

一个祖先：报告酋长，额刚才在山腰泉眼旁发现一只鹿。

另一个祖先：依个龟孙，干嘛不逮回来！

这里重点是报告内容。山腰泉眼代表鹿所在的空间位置，我们可以用三维坐标中的一个点来表示。那么，鹿总是在这吗？或者“我”总是在这里发现鹿吗？当然不是，所以，这里用了“刚才”——这是事件的“时间”点。两相结合，才能准确表达“发现鹿”这件事。错过那个时间点，鹿就不在那个坐标点了，这事儿祖先都懂，所以酋长很生气，后果很严重，创造了不文明语言。

那么，下一例就更好理解了：1908年11月15日，慈禧病死在丽景轩。“慈禧死”这个事件不假，但她不是满世界死的，所以给出了事件发生的空间位置“丽景轩”，“死”在这里作为一个动词，表示一个短暂的事件过程，所以她也不是从古死到今，于是这里给出了事件发生的时间点“1908年11月15日”。这个时间点放诸四海而皆准，比“刚才”这个时间概念要清晰得多，经得起历史考验。

看，我们从原始社会（或许更早）时起，就在运用四维时空描述事件。只是还没意识到，时空其实是一个整体。

所谓四维时空，就是三个空间维和一个时间维的结合。

在我们的印象里，时间和空间好像不是一个概念，空间是运动位置的尺度，而时间是运动过程的尺度，它们的计量单位都不一样，怎么往一起放呢？

1斤+1尺+1次=?

谁要是敢说等于3，大家一定说他脑子滞了。

但是，在根本上，世界万象都是紧密相关的——只要我们抓住问题的关键，就能摆布好事物间的关系。这里的关键是：运动。

既然大家都与运动密不可分，那么，让运动做媒，时间与空间就能完美地结合在一起了。

有运动就有速度，时间×速度=距离。距离就是空间尺度。

看，时间就这样转换成了空间尺度。

那么，这个速度，以什么为准呢？

太阳自转速度？地球公转速度？黄河水流速度？政策变化速度？油价上涨速度？我们知道这都不靠谱——凭什么啊，是吧？

时间流逝是恒定的，快速的，单向的，无法超越的……

等等，你确定你说的是时间的流逝？听起来怎么这么耳熟？

没错，光速。只有光速，才具备这个特质。

但是，特质相同，速度不一定相同吧，同一支枪里射出的两发子弹速度还不一定相同呢，何况一个是光，一个是时间！凭什么说“光速=时间速度”呢？

凭公式。

还记得我们用独孤五式导出的洛因子吗？我们算出：当速度达到光速时，时间停止。也就是说，达到了光速，便追上了时间的脚步。翻译过来就是“光速=时间速度”。

于是，闵可夫斯基把第四维写成“ict”。

光速 c 乘以时间 t ，就是距离，与空间坐标单位概念统一了，驴唇对上马嘴了。那么，已经皆大欢喜了，为啥又要放个

i 呢？咱们等会再说。

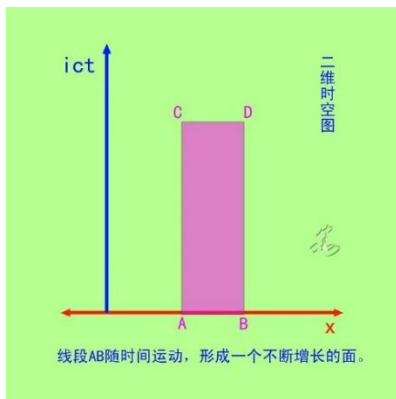
其实，这个时间维不仅仅可以做第四维，它还可以和任意维度的空间结合，组成 N 维时空。

我们从一维开始。

一维空间+时间维=二维时空。画成坐标，空间维就是一根 x 轴，时间维是 ict。

我们在 x 轴上取一个线段 AB，它含有 2 个点，1 根线。随着时间运动，我们发现，线段的运动轨迹是一个平面，现在它有 4 个点，4 条线，1 个面。

嗯，一个空间维，加上时间维，也可以构成二维平面，区别是，有时间维的平面是运动的。任何一个时间点的切片，都是一根线段。看图。



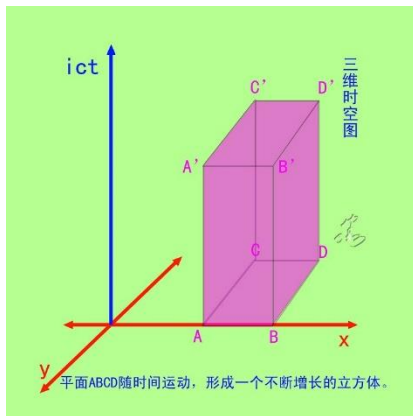
【图 13.16】二维时空。

现在来看二维。

二维空间+时间维=三维时空。画成坐标，空间维就是一根 x 轴、一根 y 轴，时间维是 ict。

我们在 x、y 轴坐标上取一个平面 ABCD，它含有 4 个点，4 条线，1 个面。随着时间运动，我们发现，面的运动轨迹是一个立方体，现在它有 8 个点，12 条线，6 个面。

对，两个空间维，加上时间维，也可以形成三维立方体，区别是，有时间维的立方体是运动的。任何一个时间点的切片，都是一个平面。如图。



【图 13.17】三维时空。

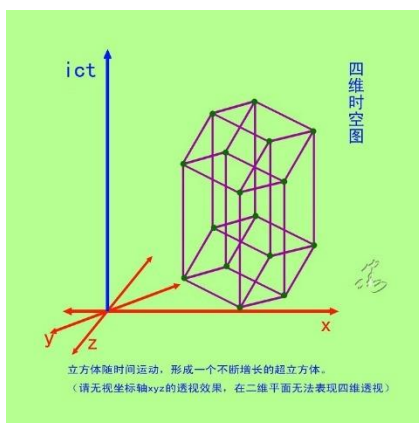
点运动成线，线运动成面，面运动成立体，这个我们好像N久以前就学过，没什么稀奇，是吧？

亲，重点来了。因为立体，也可以运动。接下来，就是见证奇迹的时刻。

三维空间+时间维=四维时空。

我们照样要画成坐标，空间维就是一根 x 轴、一根 y 轴、一根 z 轴，时间维是 ict。

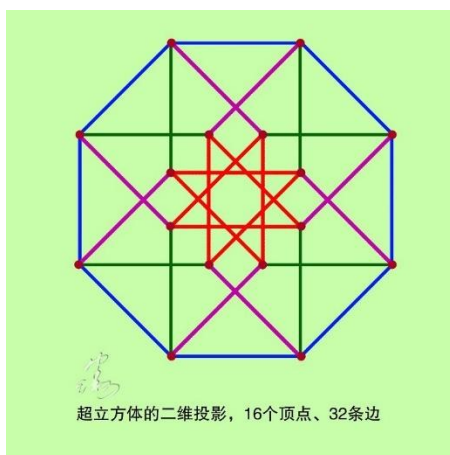
学过画画、制图的人都知道，在平面上，要表现出三维立体感，靠的是透视关系，就像上面“三维时空图”的三根轴，x 轴、ict 轴相互垂直，y 轴用斜线表示纵深，可以看做三根轴相互垂直。但是再多一条线，就乱了，弄不好会画成一把破蒲扇。二维平面没办法表现四维空间的透视关系。所以请无视下面“四维时空图”的透视效果。另外，由于面太多，为了避免遮挡“后面”，所以面不填色。看图。



【图 13.18】四维时空图。

我们知道，三维坐标 x 、 y 、 z 可以定义一个立方体，由于运动起来顶点太多，就不标字母了。一个立方体有 8 个点，12 条线，6 个面。它随时间运动，其轨迹就形成了一个有 16 个点、32 条线、24 个面的东西。

咦？好像这组数字好眼熟啊。把这个东西换个角度看看。



【图 13.19】超立方体的二维投影。

很熟是吧？看看图的编号，又穿越回去了。

对了，它就是传说中的超立方体！前面在四维空间中介绍过。不同的是，四维时空的超立方体，是随时间不断“拉长”的。

它在任何一个时间点的切片，都是一个立方体。

我们所处的三维空间，就是四维时空的一个切片。

这个切片，有一个最值得我们珍惜的名字，叫做“现在”。

如果我们能同时“看到”一个立方体的过去1秒、现在和将来1秒的样子，就“看见”了超立方体。

那么，这个运动方向是什么？

有人做了个精巧的设计，认为时间维是以三维坐标的原点为中心，以光速向外暴胀的球，三维的坐标轴都垂直于球面的切线，这样既符合运动特点，又符合数学要求，哈，还切合宇宙大爆炸理论。

可是，有一点很遗憾，它沿着三维坐标轴，无论怎么扩张，那也是三维的。

另外，一个向外暴胀的球，其内部结构等比例扩大，则星系间的测量距离不会变。而据观测，宇宙中的物质正在暴胀中变“稀”，也就是说，物质并没有“等比例扩大”，扩大的只是物质集团之间的距离。

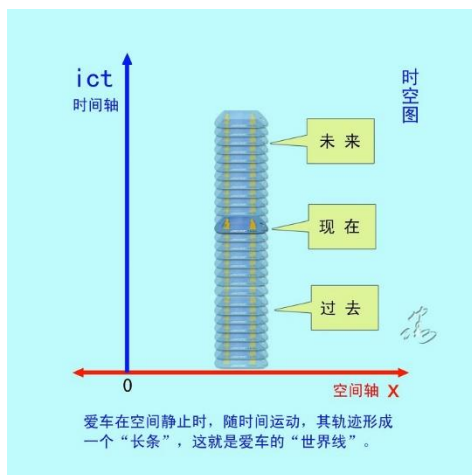
这个设计还有个小 bug，如果时间维是沿三个空间维暴胀的球，那么，这意味着时间流动有无数个方向，其中每个方向都有其反方向，这样，宇宙的日子就纠结了，在空间轴的一侧，事物沿“正时间”发展（以鸟为例）：一只蛋→破壳→雏鸟→成鸟→老鸟→死鸟；在空间轴另一侧，事物沿“负时间”发展：死鸟→复活成老鸟→成鸟→雏鸟→进壳→封好蛋壳→一只蛋。

闵可夫斯基认为，时间是单向的，为了强调这一点，闵老师在时间轴的 ct 前加了个虚数“ i ”，以区别于其他三维。这就是“ ict ”的由来。

前面罗嗦过，在二维平面上，表现四维时空坐标，是一件很别扭的事儿。为了避免把坐标画成破蒲扇，闵可夫斯基手起刀落，砍掉三维坐标轴的一个轴，用两个轴来代替三维空间，这样，就有了时间轴的位置。后来，干脆一不做二不休，顺手又砍掉一个空间坐标轴，用一根轴代表三维空间，另一根轴代表时间，一个内涵丰富的四维时空图，无比简洁地出现在我们面前。哗，整个世界清净了。

下面，我们就看看，爱车在时空图里是个啥样子。为什么要看爱车，而不看小白兔或者自行车呢？等会就知道了。

先看“静止”的爱车。



【图 13.20】静止爱车的世界线。

相对论认为，一个粒子在任何时刻，都只能处于唯一的位置，它从“生”到“灭”的全部过程，在四维时空中，形成一条连续的曲线。这条曲线，就是它的“世界线”。

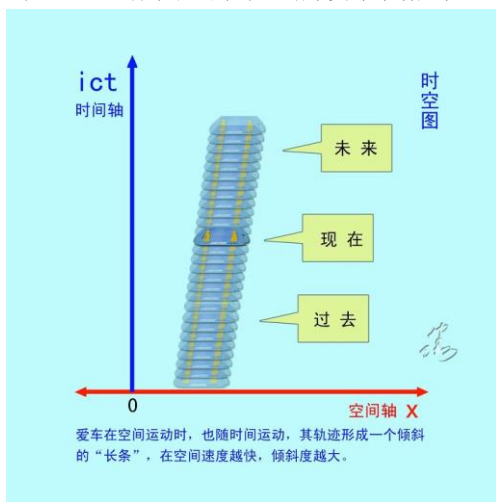
爱车在三维空间“静止”，但它必须随时间以光速运动，所以，在四维时空里，它就是一个由无数三维爱车连续叠加的长条。我们管这个“长条”叫爱车的“世界线”。构成爱车的每一

个部件、每一个基本粒子，都有自己的“世界线”，所以，爱车的世界线，实际上就是构成爱车的粒子的世界线的集合。

在生活中，我们看到的爱车，就是它的世界线中“现在”时刻的一个切片。

再看运动的爱车。

爱车在三维空间以 0.1 倍光速行驶，同时，随时间运动，于是，我们看到，在四维时空图里，爱车的世界线倾斜了一点，这是因为爱车在随时间运动的同时，还在空间运动了一段距离。由于时间速度太快，所以爱车即使以十分之一光速狂奔，它的世界线也只是倾斜了一点点。如果换做小白兔或者自行车，以他们的速度，这个世界线看起来与静止时没什么区别，画出来给大家看，就是上一张图，那就纯属没事找抽了。

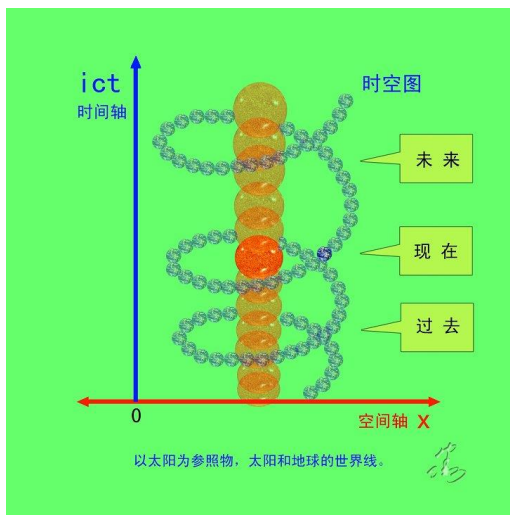


【图 13.21】运动爱车的世界线。

实际上，我们在爱车时空图里画出的世界线，是在匀速直线运动的理想状态下作出的。在现实中，物体运动变化多端、非常复杂，所以，绝大多数事物的世界线，都是不规则的曲线。速度越低，弯度越小。对于我们这个低速世界来说，近乎直线。

现在，我们顺便观摩一下太阳和地球的世界线。

这里以太阳为参照物，它在时空中做匀速直线运动。地球绕太阳转，跟着老太阳在时空中出一条长长的螺旋线，一起随时间飞逝。



【图 13.22】太阳和地球的世界线。

图中，地球绕太阳转的速度被夸大，以便我们绘图和观摩。如果按照光速与地球公转速度的实际比例绘图，那就惨了：光速大约是地球公转速度的 1 万倍，按真实比例绘图，时间轴的长度要达到地球世界线宽度（螺旋直径）的 15000 倍以上，才能表现地球公转一周的世界线。如果我们在图中，把地球世界线的宽度设定为 1 厘米，那么，这张图的长度至少要做 150 米以上才行，那将是多长的一个图啊！所以还是凑乎看这张比例失调的图吧。

我们已经欣赏了爱车静止的、运动的简单世界线，还观摩了太阳、地球运动关系的复杂世界线。从中，可以总结出一个简单的规律：世界线的状态，是在时间流逝中，随着事物发展

而变化的。

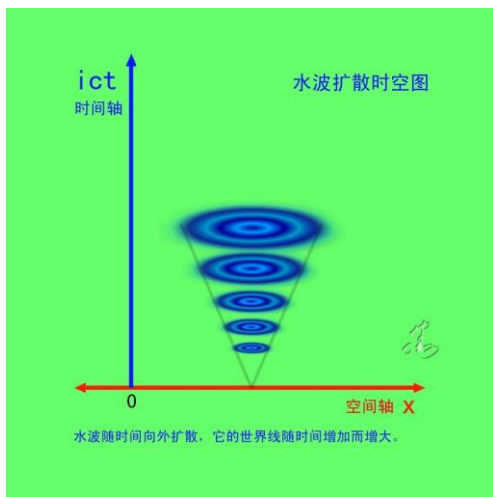
现在，根据这个经验，我们就能推测其他运动状态的世界线了。现在就试一下好吗好的。

你往湖里扔块石头，如果湖里有水，并且没结冰也没被污染成浆糊，那么水面上会泛起涟漪。这个涟漪会以石头的入水点为中心，随着时间流逝，不断向四周扩散。

我们的问题是：这个涟漪在时空图里的世界线是个啥样呢？

那应该是涟漪从小到大，随时间连续叠加起来的图像吧？你想了想答道。

“师傅，二师兄说得对啊！”沙僧在电视里插话道。沙僧是个好裁判。



【图 13.23】太阳和地球的世界线。

我们看了下，涟漪扩散，在时空图里连续叠加的形状，是个圆锥体。这个不难理解，是吧？

下面是重点。

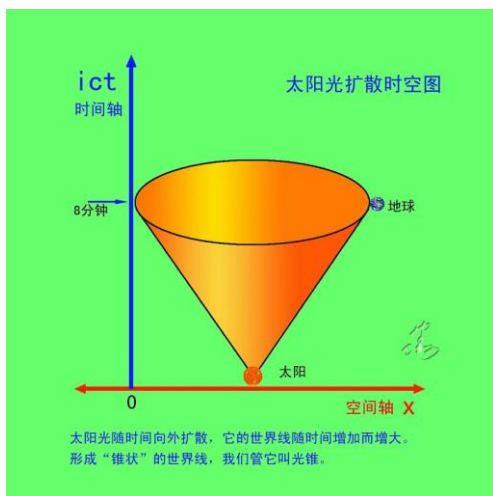
世上任何一个事件，都会发出某种信息，随时间四散传播，影响其他事物。

比方说，距今 1900 年前，蔡伦发明了造纸，这个事件慢慢开始影响人类社会的学习、生活、生产等方方面面，乃至加快提高了人类改造自然、影响自然的能力。这是大事件。其实，每一个事件，哪怕再微小，也在产生它的影响，蝴蝶效应不可小觑，是吧？

那么，这些信息的传播速度是多少呢？

根据狭义相对论，任何有静质量的事物都不能超过光速，光作为没有静质量的事物，是光速。所以，在这里，事件信息传播的最高速度被限定为光速。根据这一原理，蔡伦造纸产生的影响，到 2012 年，不会超过地球向外 1907 光年的半径（蔡伦于 105 年奏报朝廷造纸成功）。

那么，事件信息传播的世界线又是个什么样子呢？有的信息是看不见的，不太好弄。既然事件信息的传播速度限定在光速以内，那么，我们干脆就借用太阳光的世界线，来体会一下时间信息世界线的风采吧。



【图 13.24】太阳光的世界线。

某个时间点，太阳所发出的光，以太阳为中心，迅速扩散

为一个大大的光球，有多大呢？那要看时间。光速是 30 万公里/秒，那么，1 秒钟后，这个光球的直径就是 60 万公里，2 秒钟后，就是 120 万公里。我们把光球放在四维时空图里，不太好描述，于是就借用水波扩散的世界线，来描述光球扩散的世界线。

毫无意外地，这也是一个圆锥体，我们管这种事件传播的世界线叫做“光锥”。

地球距太阳 149597870 公里，阳光需要大约 8 分钟到达地球，也就是说，在时空图里，光锥的边界经过大约八分钟，到达地球的世界线。该事件开始影响地球。

从上图我们可以看到，太阳是光锥的底部的一个点（这个点我做的有点大了），我们以后做图，可以把它当成时空坐标的原点。

时空坐标的原点，就代表“事件”。无论是宇宙大战、恒星相撞之类的“大事”，还是细菌分裂、露珠滑落之类的“小事”，每件大大小小的事儿，都是一个“事件”。

事件发生后，其影响信息开始散播，散播速度有快有慢，但最快不能超过光速。

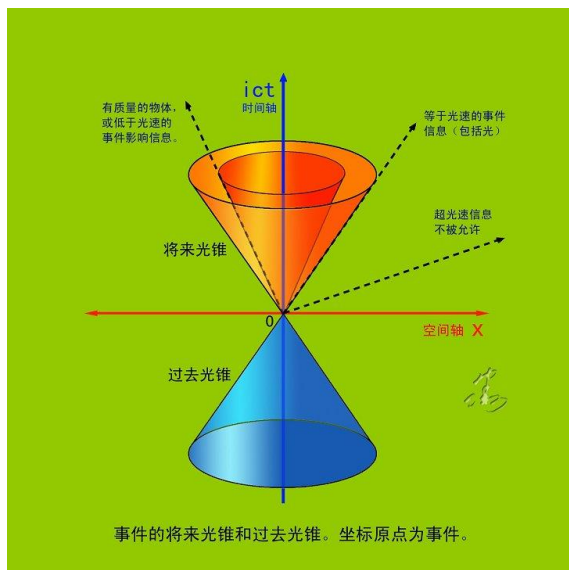
我们看到，整个光锥随着时间，向事件的将来扩散，所以这个光锥，又叫“将来光锥”。它的含义是：事件发生后，只能影响到它的将来光锥以内的范围。也就是说，事件将来光锥以外的范围，完全不会受到它的任何影响。

这是闵可夫斯基研究和完善狭义相对论的过程中，对宇宙奥妙的又一个深刻发现。

那么，一个事件是怎么发生的呢？当然是在过去很多事件的综合影响下而发生的。过去事件的将来光锥相互叠加，成为“现在”事件的初始条件——过去光锥。

所以，一个事件的时空图全貌是：一个将来光锥、一个过去光锥的结合体。因为过去事件影响信息的传递速度也不允许

超过光速，所以，过去光锥的形态，就是把将来光锥倒过来，
哗，原来是一个沙漏的形状，沙漏作为一个古代计时工具，和
现代的时空图在形状上联系起来，的确是一件很奇妙的事，这
是现代智慧穿越时空，向古代智慧的致意，还是古代智慧穿越
时空，给现代智慧留下的印迹？



【图 13.25】事件的将来光锥和过去光锥。

网上有个段子：

假如潘金莲不开窗户，不会遇西门庆；不遇西门不会出轨；
不出轨武松不会上梁山；武松不上梁山，方腊不会被擒，可取
大宋江山；不会有靖康耻、金兵入关，不会有清朝；不会闭关
锁国，不会有鸦片战八国联军。中国将是世上唯一超级大国，
其他诸侯都浮云。小潘呀！闲着没事你 TMD 开什么窗户！

这是一个幽默段子，由于潘金莲是虚构人物，所以看上去
有点扯。但是，类似的事情，却天天在发生。虽然大宋的灭亡
是必然的（因为那种体制必然导致政府越来越昏庸腐败），但是

它灭亡的时间点、被谁取代等重大变数，却是由以往无数大大小小的事件综合影响所决定的，那些无数偶然，共同决定了这个必然。在那些无数偶然中，只要有一个偶然是另外一个样子，那么，这个“必然”的结果，“必然”会随之改变。

在现实生活中，我们每天都在不经意地做一些事，很少有人会注意到，这些“小事”正在参与历史的演化，改变着这个世界。

你随手扔出一块石头。一只蚂蚁遇到这块石头，微微换了个角度出发了，十几分钟后原路返回，挥动触角告诉它的同伴们：这边也没饭辙。

如果你没扔这块石头，那只蚂蚁会沿着原来的方向，在不远处顺利找到那只死蚂蚱，早些解决已饿死过半的蚁群的生存危机，蚁后产下的幼蚁会多存活一些，其中一只雌蚁飞出蚁窝，与一只雄蚁交配后在大堤落户，N年后一个雨夜，大堤毁于那个蚁穴，洪水淹没了山村，村人淹死过半……如果大堤毁于白天，如果没死那么多人，他们中会走出怎样的人物？他会为这个世界带来什么？恐怕天也不知道。

这就是著名的“蝴蝶效应”，它是混沌学理论中的一个概念：初始条件输入的微小差别，会迅速放大到输出端。美国系列电影《蝴蝶效应》很好地诠释了这一点。那块石头扔出去是好事，还是坏事，我们永远无法预知。

不信？离我们的直接影响太远？好吧，我们就来看看直接影响。

随地吐痰、在公共场合高声喧哗、垃圾没扔进垃圾箱、买票时随大流跟别人去挤、在饭店吃剩很多菜、上厕所没冲水、无论如何先感谢领导和国家、麻木不仁地跟着举手……干过没？你说只干过一次？

大家或多或少都干过？都干过，就成为一种风气，成为一个民族的标签。“国人素质低”的结论就是这样得出的——我们

每个人或多或少都为之做过贡献。如果这个结论在世界上得到认同，那么，我们被边缘化就是必然的了（少数人讨厌我，我仍可自信满满，多数人讨厌我，我就该照照镜子了）……这是小事吗？这是关系民族发展的大事！我们制造的每一个微小的“事件”，都是向将来的“大事件”的过去光锥输入初始条件，决定大事件的变数。所以，不要忽略自己对历史进程的微小影响力，民主自由幸福美好不会从天而降，它是我们每个人努力争取的结果。勿以善小而不为，勿以恶小而为之。与诸君共勉。

又扯远了，再扯回来。

世间万物是相互作用的，大到宇宙涨缩、星系离合，小到一草一虫的生灭，每件事都是在其他事件错综复杂的影响下发生的。所以，一个事件的发生，既是过去其他事件影响的结果，也是将来影响其他事件的因素。把这些概念用时空图表现出来，就是无数光锥的集合。

从图中可见，光锥由于光速限制，以及时间的单向性，每一个事件，都只受其过去光锥范围内事物的影响，并只影响其将来光锥范围内的事物，这意味着什么呢？

这意味着，我们的宇宙是“定域”的——以往的事件，作为“因”，以有限的速度波及有限的区域，确定将来事件的“果”。

那么，根据这一原理，如果我们知道了某一时刻宇宙中所有事件的状态，那么，按照事物发展的定律，就能准确得出宇宙将来发展的结果，这就是因果律。

简而言之，就是有了确定的“因”，必然导致确定的“果”。这就是拉普拉斯的决定论。

在因果律上，小爱 and 牛爷达成了共识。

只要知道某行星现在的位置，根据其周围物质的分布情况，我们就能精确算出它将来某个时刻在哪；我们只要知道太空某颗石块现在的位置和运动状态，就能算出它将来会不会撞到地球……远程狙击手精确了解风速、风向、温度、湿度、目标距

离等诸多因素的状况，精确调整射击角度，就能使这些“因”共同促成一个“果”——子弹精确击中目标。

实际上，我们在生活中有意识去做的事，说到底，都是在种“因”，希望取得想要的那个“果”。所谓高人，就是善于种“因”的人。

看来，古往今来的无数观测、实验、实践都证明了因果律的可靠性。

因果律像一根线，穿起了经典物理这串璀璨的科学之珠，指导了人类科技大进步、人类社会的大发展，但是，有一天，它遇到了严峻的挑战。这是后话，按下不提。

因为，我们还要去看看，四维时空为我们揭示的另一个大秘密。

实际上，如果我们真的认识到时空是一个整体，时间、空间是一回事，那么，下面要说的事，就是自然而然的了，算不上什么秘密，更算不上什么大秘密。

话说牛郎织女虽获准跟咱俩做实验，但只允许分坐爱车两头，爱车又长得离谱，在少得可怜的闪光中遥望对方，或偶尔偷偷跑到爱车中间小聚片刻，牵个手都搞得跟通奸似的，越来越满足不了二人日益增长的需求。而且，实验也不是天天做，所以，二人对一年一度光明正大的鹊桥会，还是倍加珍惜的。可惜，鹊没了，桥也就成了一个无法证伪的传说。

还好，织女是神仙，人家会飞。

这不，七月初六，一大早，牛郎就发来光信号：我等你，明天早点来哦亲。

织女回信：我会很早的亲。

牛郎又发：别忘了咱俩的距离是 90 万公里，记住掌握好时间，莫飞过头了亲。

织女回信：不会滴，俺以 $1/4$ 光速飞，12 秒钟到，我会掌握好时间滴亲。

.....

祥林嫂的画外音：郎女会面的全过程，暂时忽略掉高速飞行的时胀和尺缩效应。

七月初七凌晨 0 点，织女起飞，其间，她眼睛一眨不眨地盯着表，唯恐飞过头了或提前降落，耽误了见面时间。

0 点 0 分 12 秒。时间到。织女悬停，深情地抬眼望去。咦，俺的牛郎呢？

向下一看，原来没到对岸，脚下是滔滔星河！

搞什么？难道上次对表时，距离测短了？！

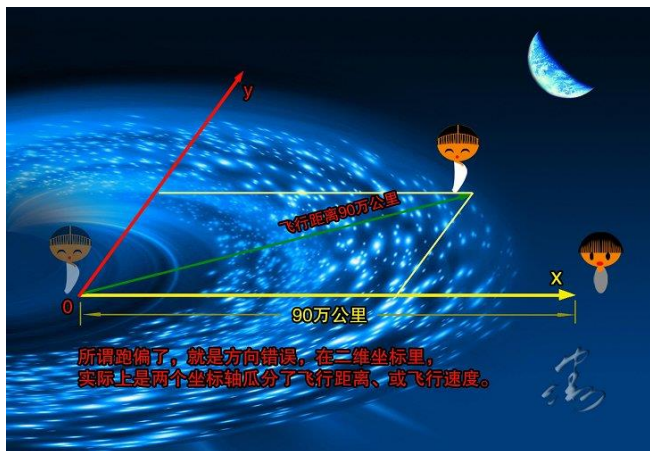
织女举目四顾，远远看见牛郎在右前方朝自己挥手大喊：娘子，你只顾看表，跑偏了！

织女这次朝牛郎直飞过去。本想一秒不耽搁，没想到，倒多耽搁了几秒！怎么回事呢？

于是，这次见面，成了学术研讨会。

为什么飞了同样的距离，跑偏了就不到对岸，短了的那一段距离哪去了？

牛郎画了个图：



【图 13.26】坐标轴瓜分速度和距离。

我们把织女和牛郎隔河对望时，他俩的连线作为 x 轴，他们在 x 轴上的距离是 90 万公里。再以织女的起飞点为原点，做另一根坐标轴：y 轴。

从图中可见，在二维坐标中，织女的飞行情况，可以用她在两个坐标轴上的速度和距离的合成情况来表示。

如果织女没跑偏，那么，她在 y 轴上的速度是 0，飞行距离也是 0，而在 x 轴上的飞行速度是 1/4 光速，飞行距离是 90 万公里，正好落在目的地。

但实际上，织女跑偏了，这导致她在 x 轴上的速度不足 1/4 光速，距离也就不足 90 万公里，少了的速度哪去了？

当然是被 y 轴瓜分去了！瓜分了多大比例呢？

我们来看图。织女的实际飞行路线，是一条斜线。这条斜线对应在两个坐标轴上的飞行距离，是两条相互垂直的线，平移其中任何一条线，都可以和斜线组成一个直角三角形。那么，在斜线长度不变的情况下，它朝哪根轴偏移，在哪根轴对应的距离就变长，另一根轴上对应的距离就变短，其变化比例符合勾股定理。我们用勾三股四弦五来说明一下：斜线速度是五，x 轴速度是四，那么 y 轴速度必然是三。反过来说，y 轴速度三，x 轴速度四，“合成了”斜线速度五。

所以，虽然织女沿着那条斜线，的确是用 1/4 光速飞行了 12 秒，但是，她在指向目的地的 x 轴上，速度不足 1/4 光速，12 秒内没有完成 90 万公里的渡河距离，因此没能上岸。

这次会面，既解了相思之苦，又长了文化知识，所谓天庭失鹊，安知非福！

织女一激动，说，牛郎哥哥，俺回去再飞一遍，加深一下印象，下次相会，俺定会在 0 时 0 分 12 秒出现在你面前。如何？

牛郎一想，反正老婆是神仙，来回不过几十秒钟，天色尚早，就当再体验一遍小别胜新婚了。于是嘱咐：天仙 MM，早

去早回！

于是，回到原点的织女对准 x 轴方向，一飞冲天。

还是 12 秒。

织女把眼睛从表盘上移开，眼前还是不见牛郎。

有冇搞错？！这回在 y 轴上，速度和距离都是 0，一点也没分给它，为嘛还是到不了对岸？！

郁闷间，耳畔又传来牛郎的呼声：娘子，刚才忘了说 z 轴了！我们只考虑了“长和宽”，没考虑“高”，你的飞行不是平移，而是向斜上方飞的， z 轴也分了你的速度，所以，还是到不了！

织女在天风中凌乱。衣袂伴长发齐飞。牛郎口含食指，醉了。

在三维空间中飞行，飞行速度被三根空间轴瓜分。原理与二维分速一样，只不过多了一根轴。

织女一咬牙，我懂了，再来！又飞回原点。这俩实验助理不白雇啊，业余时间都这么有职业道德。

又是 12 秒。

这回准了。

但是牛郎被撞飞。

悲催啊，算得太准。

牛郎不是一个质点。

为什么？这些都是为什么？！为什么，这都是为什么？！

在马教主的疾呼声中，牛郎苏醒过来，痛定思痛，沉痛地对织女说：老婆，马虎大意害死人呐！我想起来了，还有一根坐标轴！

ict。织女闻言脱口而出。

是的，时间轴！牛郎揉揉胸口，肯定地点点头。

这，意味着什么呢？它也要分速度？织女沉吟道。

三根空间轴可以分速度，时间轴难道不能吗？！要知道，

时空是一个不可分割的整体啊！它们是一回事啊！牛郎沉痛地分析道。

神仙就是神仙啊，这两口子跟咱们做了几次实验，比咱俩还明白，他们还举一反三，窥见了“时空速度合成”的真相。

我们在前面提到过两个问题：

一是世间万物沿时间轴以光速运动。这句话翻译过来就是，世上所有事物的速度都是 c 。

二是任何有静质量的事物，包括其事件影响的信息传播速度，都不允许超过光速。

由以上可知：

我们在空间不动，速度是 c ，方向是时间轴。

那么，我们在空间运动，空间轴就必须分割时间轴上的速度，不然，时间、空间轴的合成速度就超过了 c 。

因此，我们无论怎么运动，或者不运动，在四维空间的合成速度只能是 c 。

那么，我们在空间运动越快，从时间轴上分割的速度就越多，这句话翻译过来就是：运动越快，时间越慢。

原来如此！

这就是运动会使时间变慢的真相！

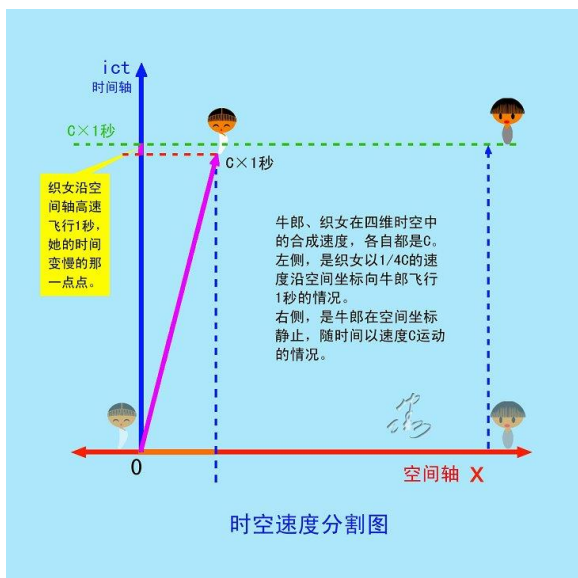
这一事实与时空图的完美契合，也反证了四维时空是一个整体。

我们把刚才牛郎织女相会时，织女飞行 1 秒钟的情况，画一个“时空速度分割图”。图中可见，高速飞行中的织女，在四维时空中的合成速度是 c ，站在岸边痴等老婆的牛郎，其合成速度也是 c 。

因为牛郎在空间轴上的速度是 0，所以他的世界线与时间轴方向一致，在时间轴上的速度是 c 。

而织女以 $1/4c$ 的高速，沿空间轴飞行，那么，她的世界线就偏离了时间轴一些，是一条斜线，相应的，她在时间轴上的

运动就慢了一小段，换句话说，她通过运动，延缓了一点点衰老。



【图 13.27】时空速度分割图。

从图中可以预见，织女在空间轴上的速度越快，她在时间轴上的速度就越慢。当她在空间轴上的速度接近光速时，她在时间轴上的速度会急剧下降。如果画成曲线图，那根曲线的形状，与“质速关系”那一节里的曲线图形状一致。

那么，达到光速，会如何呢？

其实，这不用推论，因为光本身就是例证。

宇宙的年龄长到我们难以想象，约 137 亿年，而据美国物理学家组织网 2012 年 1 月 10 日报道，天文学家利用哈勃望远镜，发现了 5 个星系，距离地球 131 亿光年。从这个消息里，我们发现了什么？

嗯，在这个信息里，至少有两点值得我们注意：

一是，这 5 个星系在宇宙诞生 6 亿年就形成了，现在，它

们是否还在，都是未知数。

二是，从那里到达哈勃望远镜的光，已经在宇宙中行走了 131 亿年。

我们知道，在 131 亿年的漫长时空里，即使是发出这些光的星系，也会发生难以想象的巨变，或许其中的很多恒星已经死亡，为什么它们发出的光，在宇宙中行走 131 亿年后，却能够涛声依旧呢？就单个光子而言，和 131 亿年前刚出发时相比，它现在没什么变化，是什么让它在时间的长河里所向披靡？

速度。

光在空间里的速度达到 c ，那么，在时间中的速度就是 0。时间的流逝对光无效。

我们和光的速度，都是 c ，只是，“方向”不同。我们基本是朝时间轴方向飞奔，而光以这个速度朝空间轴方向飞奔。

想永远年轻吗？唯有跟上光的脚步！

在学习小爱论文期间，咱俩对速度越快，时间越慢的推论感到有点迷糊，现在，一看时空速度分割图，是不是就全明白了？多简洁的关系啊！

先不要发感慨，因为事情还没说完。

我们看看上面的时空图，牛郎在空间“静止”，织女在空间“运动”。他们俩在空间的参考系不同，一静一动。那么，能不能用时空图来分析一下，两个参考系对事件的观测有啥不同？

嗯，当然能。只不过，这个坐标图要稍稍麻烦一点，因为，动系、静系的坐标要画在一起才行。

静系的坐标，就用原来的时空坐标。因为牛郎在空间“静止”，他的世界线与时间轴方向一致，这个坐标非他莫属。

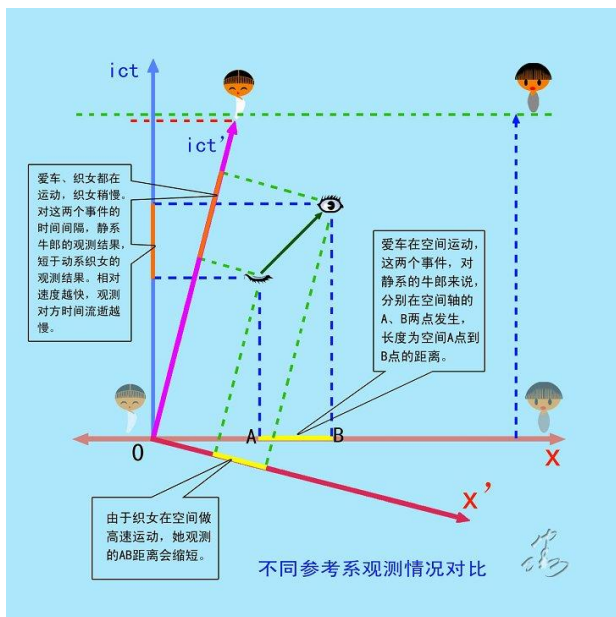
那么，动系的坐标呢？当然是“以动系为参考系”所做的坐标了！

以动系为参考系，那么，牛郎的参考系可看做是“相对运动”的。

我们把织女的世界线作为一个坐标轴，叫 ict' 。与牛郎共用一个原点。那么，她能不能和牛郎共用 x 轴呢？

当然不能。对不同参考系而言，坐标轴就像裤子，即使是两口子，也只能对齐，不能同穿。因为，坐标轴之间的关系，必须是垂直的，所以，我们只能再为织女准备一条轴： x' 。

看图：



【图 13.28】时空速度分割图。

现在，牛郎织女在车外观测，只好咱俩坐爱车。你在速度为 $0.5c$ 的爱车中，做了一个动作，眨眼。其实这个动作由两个事件组成：眼睛一闭、眼睛一睁。历时 0.3 秒。

这两个事件，其“空间距离”，分别向两个坐标的“空间轴”投影；其“时间距离”，分别向两个坐标的“时间轴”投影。

这很直观，我们前面说过，三维空间里的事物，就是四维时空该事物的投影。

我们来看看，静系牛郎、动系织女对这两个事件的观测情况。

从图中很容易看出：

空间距离，静系观测比较长。

时间距离，动系观测比较长。

几何分析与以前的逻辑推论和数学计算结论相符。解释下：先说空间距离。

我们没忘记火车上玩乒乓球的事吧？在车外的静系看来，乒乓球一起一落两个事件，相隔一段距离，好像是 30 米吧？这段距离无论是多少，对静系来说，它就是那么长，不会变。

同样的，牛郎在车外静系观测，爱车里的你眼睛一闭、一睁，一段距离过去了，由于这两个动作分别发生在空间的 A 点和 B 点，那么，这段距离的长度就是图中 A 点和 B 点的距离，不会变。

那么，对于在空间高速运动中的织女而言，她以自己为参考系，可以把 A 和 B 那段路看成是相对运动的，必然发生尺缩效应。

于是，对这段空间距离，牛郎观测的，比织女观测的长。再说时间距离。

爱车在运动，织女也在运动，而牛郎在静系。对爱车来说，它与织女的相对速度小，与牛郎的相对速度大。

观测对象的相对速度越大，时间流逝越慢。

于是，你在爱车上眼睛一闭、一睁，一段时间过去了。这段时间，投影在牛郎时间轴上，它流逝就少；投影在织女时间轴上，流逝就多。

所以，牛郎观测的时间流逝距离，要短于织女观测的时间流逝距离！

刚才，你在爱车上搞的那两个事件：眼睛一闭、一睁，对同在爱车上的我来说，是发生在同一地点的，因为你就坐在靠

WC 的那个位置没动。是发生在同一地点、不同时间的两件事。

但是，对于车外的牛郎织女来说，闭眼发生在 A 点，睁眼发生在 B 点，这两件事不是在同一地点发生的。

归纳一下：对某个观测者来说，发生在同一地点、不同时间的两件事，在另一个观测者看来，却可能是在不同地点发生的。

那么，根据时空等效的原则，或者对称性的原则，我们把上述句子中的时间、空间对换一下：对某个观测者来说，发生在同一时间、不同地点的两件事，在另一个观测者看来，却可能是在不同时间发生的。

时空一体→四维时空。

这真是一个集简洁、优美于一身，并深刻、震撼于一统的伟大科学发现，闵老师、小爱，大爱你们啊！

漫漫时空中，万物都是匆匆过客，我们在时空坐标上的投影，小到看也看不见。但，这并不妨碍我们仰望星空，任思绪纵横古今。我想用自创联体“词联”一首，为四维时空收尾：

西江月

影动千秋夜色，光夺几度春寒。爱恨情仇俱不关，自律圆缺勿乱

波涛将相王侯，浪滚商周秦汉。祸福因果皆无算，人司涨落休谈

光障 VS 中微子

有没有发现，我们好像一直在谈“光”？

嗯，光之于物理，恰似灵之于肉体。

它以简洁、直接、轻盈、恒持、浩渺、剽悍的存在，坚定、简明而又神秘地指向遥远的宇宙奥义。

我们不仅依仗它去认识世界，还通过理解它去解读世界，并且利用它去征服世界。

这里要说的，是它的速度。299,792,458 米/秒，真空中，无

论是谁、在哪、怎么运动，你都会测到它的速度是这个值。

实际上，拥有这个速度值的，不仅是包括光在内的电磁波家族，还有引力、引力波、电磁力等。在自然界里，还有哪个速度值能做到，让大家约好了一起去认真遵守？

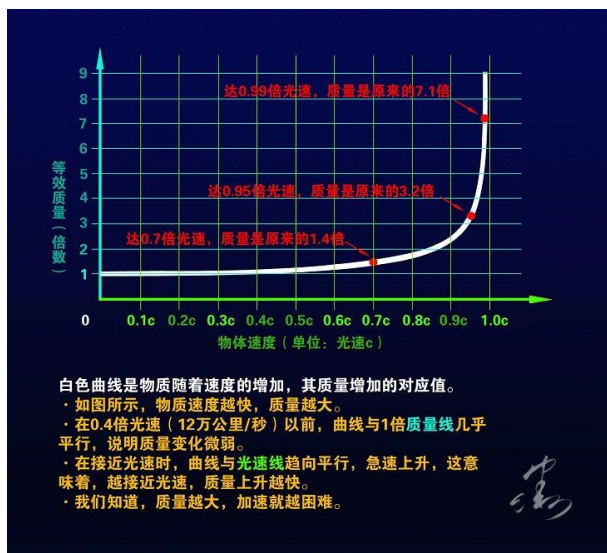
为什么？

因为不能再快了。

所以达到极限的，大家都扯齐了。

宇宙中任何有质量的物质，运动速度都不能超过光速，这是狭义相对论得出的结论。光速，像一道无法逾越的速度屏障，简称光障。

这个结论是怎么得来的呢？还记得“质能关系”里的那个质速公式吧？就是由它推导出来的，当时，我们还画了个图，用来分析：当质量遭遇速度，会发生什么故事。我们把这个图再贴过来：



【图 13.29】质量与速度的关系。

如图，当物质近光速时，我们会发现，它的质量会急剧上升，越接近光速，质量上升越快，曲线与光速线趋向平行。

它的物理意义在哪呢？

根源还是质能关系。

能量和质量等价，物体运动所具的能量，应该加到它的质量中去。这句话换个说法就是，要加速一个运动中的物体，将变得越来越困难，因为这要消耗越来越大的能量。

当然，只有当物体运动达到亚光速时，我们才会感受到这一点，因为，当你以 10% 光速，也就是每秒 3 万公里的速度散步时，你的质量只比原先增加了 0.5%，相当于吃了个包子喝了点粥，没什么异样；当你发足狂奔，以 90% 光速，也就是每秒 27 万公里的速度运动时，你的质量会超出正常值的 2 倍还多；而当你接近光速时，即使不吃不喝还拉了两天痢疾，质量也会急剧增大，需要越来越多的能量才能让你的步子迈得再快些。

实际上你永远达不到光速，因为那时，你的质量会变成无限大，根据质量、能量等价原理，需要无限大的能量才能继续给你加速。

而无限大的能量是不存在的。

所以，相对论发出禁令：任何有质量的物体（能量），及其发出的信息，永远以低于光速的速度运动。

狭义相对论以后，宇宙中的速度有了极限。而制定这个极限规则的，是一个三级技术员。

你以为自己是上帝吗？很多人这样想。

这个规则，对于不信邪的人而言，与其说是一个挑战，不如说是一次挑逗。它以近乎荒诞的结论也斜着物理界，人们似乎还看到了它嘴角隐约透出的轻佻冷笑。太气人了。这激起了无数战士的斗志：寻找超光速。

只要找到一例：任何有静质量的物质，以及能量、信息，传递速度超过 299,792,458 米/秒。只要一例。

应该不会很难。现在没发现，那是因为我们没去找。我们没去找，那是因为没人挑逗我们。

所有战士都在冷笑。

然而，在对宇宙的认识上，结果若是不出人意料，那就太出人意料了。

似乎所有物质都心甘情愿地臣服在光速的淫威之下。于是寻找超光速的结果促成了两件事：

1.人们被迫接受了光障，并且成为心障，乃至于一提超光速，大家的第一本能反应就是：怎么可能？

2.令无数战士折戟沉沙的三级技术员，成为物理帝国的王者（当然，王者的地位远不是这一件事促成的）。

似乎没什么搞头了。

然而，有些事，虽一直未做到，但始终有人做。

这就是人类不断进步的原因。

要说寻找超光速的努力没有一点结果，甚至没有一点希望，那不公平，也不符合事实。这个宇宙最令人生疑之处在于，虽然存在不可能，却也存在无限可能。

人们观测、推理、思想实验、甚至是假设，找到了一些超光速的证明。

相速度。

在某种情况下，光波的相速度会超过光的传播速度。

“相速度”名字听起来挺深奥的，但实际上，它只是名字拗口而已，没啥了不起，我们在以前就接触过。还记得波的“相位”吧？所谓相速度，就是波的相位的移动速度。

见过彩带舞吧？赤橙黄绿青蓝紫，谁持彩练当空舞。美女挥动彩带，无论彩带本身是在前进、后退、或者悬停，我们都可以看到，彩带的螺旋或者波浪，从彩带的手柄这端产生，向彩带末梢移动，这就是它的相位移动，这个速度就是相速度。多数情况下，相速度远超彩带本身的移动速度，但它永远也超

不过彩带末梢，因为到这里，相位就结束了。

如果我们对彩带舞印象不深，那么，再举个例子，电钻总见过吧？电钻一开，我们会看到钻头的螺纹高速前进，比钻头的速度快多了。即使你把钻头往后移动，它的螺纹还是随着钻头转动前移，钻头转得越快，螺纹前移的速度就越快。不过，无论螺纹前移的速度怎么快，它也超不过钻头尖，因为到那里，螺纹就结束了。这个螺纹的前移速度，就是相速度。

我相信，说到这，聪明的咱俩已经明白了，光波的相位移动速度，会不会超过本身。

宇宙膨胀速度。

宇宙膨胀表现在宇宙中的物质集团（包括星系、星系团啊什么的）相互远离。

观测显示，远距离的星系之间，以超过 c 的速度彼此飞离。这个速度呢，是采用同移距离和宇宙时间来计算的。打个比方：两列爱车以 $0.8c$ 的速度相背而行，你去观测两辆爱车移动的相对距离，除以自己的观测时间，就得出了两列爱车的相对速度是 1.6 倍光速。但你知道，高速运动下，速度是不能简单叠加的，两辆爱车的“时间”与第三者不一样，所经空间的尺缩效应也与第三者的观测不同，因此，两列爱车的相对速度，正确算法，是用下面这个公式计算的：

$$V = \frac{v + u}{1 + \frac{v \times u}{c^2}}$$

其中， v 、 u 分别是两个相对运动物体的速度。

这是根据相对论速度合成公式。

根据广义相对论，我们一般所说的速度，只是个局域性的度量，光障所指的光速限制，就是这种定义下的速度。

举一个不太贴切的例子：你原地转一圈，相对你而言，遥远的星系绕着你转了一圈，远远地超过了光速——这种度量办

法，不仅和速度合成的正确算法不相洽，而且和你简单叠加爱车速度的度量办法，也不能相提并论。

天文观测超光速。

在观测电波星系、类星体等极远星体时，经常可以“观测”明显的超光速运动。

先别激动，这一点也不稀奇，因为它只是一种光学现象。这种“视觉”上的超光速效应，在没观测到之前，就有人根据光学原理做出了预言，这属于一种光学幻觉，是星体移动方向和观察者视方向相同引起的，做速度计算时，忽略掉这个前提，就可以得出超光速的结论。

有意思的是，经过校正，计算结果也十分神奇：这些星体的速度，相对于地球参考系，居然是近光速的！这么大的星球，达到近光速（相对我们而言），需要多大能量啊。要知道，我们在实验室里，把无比轻微的基本粒子加速到近光速都十分困难。

嗯，想起来了，刚刚说过的宇宙膨胀速度。不奇怪了。

宇宙暴涨超光速。

宇宙大爆炸之初，暴涨速度远快于“现在的”光速。有人提出一种光速可变理论：根据相对论，暴涨时，时空结构比物质先行一步，而光呢，是时空结构一部分，根据暴涨时的物理条件，光的扩张还是快于其他物质的扩张——当时的光速比现在的光速快多了。随着宇宙膨胀速度的减慢，光速与时空结构的扩张速度一起，逐渐降低到现在的值。当然，这个理论和宇宙暴涨理论一样，都是一种推理和假设，而不是观测结果。

影子超光速。

有聪明人名曰小聪，他设计出两个超光速信息传递方案：利用影子。设备很简单，一个光源，还是用那只手电筒好了；一个遮挡物，就用你的手吧。嗯，少了样东西，还有投影的屏幕，就用火星吧。

火星离我们最近的时候，大概是 5500 万公里，光需要约 3

分钟才能走完这段路。现在我们要向火星发布一个信息，告诉他们什么是鸡爪。你说你的手不模仿鸡爪？那就模仿凤爪好了。我们打开手电，照向你的手，与火星成三点一线，于是光就射向火星，当光到达火星时，就投下了你手的影子。

现在，关键来了。

小聪认为，有两种方法可以实现超光速信息传递：

方案一：你的手在手电前变换各种手形，火星上的手影会立即随之变换，如果火星也用这种办法向地球投影，就可以用手语对话了。这就实现了超光速信息传递。

乍听起来似乎很有道理。但仔细一想，完全没有道理。

因为，所谓影子，就是由于物体遮挡，光照不到的位置。也就是说，光是影子的前提，有光才有影，它们同时出现。

你在手电光柱里变手形，其实只是在变换“挡光的位置”而已，它对光影的扰动，也必须随着光传递，花3分钟才能到达火星，速度无法超过光速。

小聪想了想，表示同意。说，那看方案二吧。

方案二比较复杂：牛郎织女分别站在火星两极，把手电光影投在牛郎面前，快速转个角度，手影就会飞快地掠过火星，突然移动到很远的织女面前，这个移动速度可以超过光速，那么，在牛郎、织女之间，就可以实现超光速信息传递。

嗯，这个乍看起来很靠谱，但仔细一分析，一点也不靠谱。

首先，你在地球转动手电，3分钟以后，火星上的光影才会有反应。因为手电筒光不是一根无法弯曲的刚性柱，而是源源不断的光子，你在地球上的任何操作，都要通过光子的传递才能反应到火星上。

这时，小聪说了：假设火星足够大。牛郎织女的距离超过了3分钟的光程，比方说，达到5分钟光程，也就是 $5 \times 60 \times 30$ 万公里/秒=9000万公里。那么，即使扣除光从地球传递到织女的3分钟时间，那个光影从牛郎到织女也只用了3分钟，比

光速快 2 分钟。

嗯，的确如此。

但是，这是否违背相对论呢？有请祥林嫂，带领我们复习一下，相对论是怎么说的。

祥林嫂：任何有静质量的物质，以及能量、信息都不能超过光速。

光影没有静质量，所以不存在质量传递。这个就不用讨论了。

问题的关键是：牛郎织女之间，存在能量或者信息传递吗？

先说能量，光也是能量，不假，但射到牛郎织女面前的手电光，都是从地球分别传递过去的，而不是由牛郎发射到织女。换句话说：从地球到达牛郎的光子已经被牛郎面前的地面吸收，到达织女的，是从地球上传来的另外的光子。打个比方，就好比你用一架高速机枪，不断射出密集的子弹，你转动机枪，从牛郎扫射到织女，不管你转多快，牛郎接到的子弹是你射去的，织女接到的子弹也是你射去的。所以，牛郎和织女之间，不存在能量传递。

现在就剩信息了。

投射到牛郎面前的光影，在 3 分钟内掠过 9000 万公里，到达织女，速度达 50 万公里/秒，超过了光速。那么，这个光影是不是信息呢？当然是信息。

但，它不是从牛郎直接传到织女的信息，而是和上面说的机枪扫射一个道理：这个信息是从地球分别传到牛郎和织女的。

假如牛郎要用这种方法对织女说一句：钓鱼岛是中国的。那么，请看可操作过程：

第一步：咱俩获取牛郎要发的信息。最快操作：牛郎把这句话用光信号传给地球上的咱俩。用时 3 秒。没有第一步，咱俩不知道牛郎要说啥，也就没办法传给织女。

第二步：由咱俩用手电筒传影法，把这句话传给织女。最

快操作：我们接到光信号后，用手电把它发射到牛郎面前，需要3秒，再转动手电，让光影移动到织女面前，忽略掉转动手电的时间，手电对准织女后，光也需要3秒才到。

两步用了9秒！

就算我们改革一下，扔掉手电，不玩移形换影了，而是拿着照妖镜，把牛郎说的“钓鱼岛是中国的”直接反射给织女，整个过程也需要6秒。

而光直接从牛郎传到织女，5秒足矣。

织女回信说：这有啥稀奇的，咱俩谈恋爱那会儿，地球人就都知道了。

织女这句话通过咱俩传到牛郎那，也用了6秒。一来一回用了12秒。

看来，用移形换影传信，还不如牛郎织女用光信号直接通信。一来一回10秒足矣。

因为无论咱俩、牛郎、织女这三个点的位置怎么安排，除了摆成直线，其余都是三角形，三角形的任意两边都大于另外一个边。

所以，用影子传递信息的设计，实际上是一个似是而非的误会——相当于说，脱了裤子放屁比不脱散发要快，但我们忘了，脱、穿裤子也要时间。

快子。

快子就是为超光速而生的。但它并不违反相对论。相反，它是基于狭义相对论的原理假想的一种粒子。

最早提出快子概念的，是阿诺·索末菲（德国物理学家，一个奇人。斩获普朗克奖章、洛仑兹奖章、奥斯特奖章等大奖，被提名81次诺奖未果，但他的学生却纷纷获得诺奖。他的学生包括海森堡、泡利等神人）。

所谓快子，简而言之，就是超光速粒子。

与快子相对应，我们这个世界的粒子，都叫“慢子”。

快子是理论预测的一种假想粒子，与我们认识的物质相反，它的速度必须保持在超光速状态。这是因为它的物理性质十分奇特：质量是虚数，能量散耗越快，速度越快，能量趋于零时，速度趋于无穷大。反之，能量供给越多，它的速度越慢。要想给它减速，就必须为它提供越来越多的能量。想让它减速到 c ，所需能量趋于无穷大。

想象中的快子与我们熟悉的慢子，从性质上看，互为镜像，动作相反、对称。

并且，快子和我们的物质互不干涉，相互之间难以发生作用和反应，所以，尽管相对速度大得吓人，也不会因猛烈撞击而发生什么灾难。

一切看上去很美很和谐。但，我们至今也没在观测、或者实验上找到快子，也没能在理论上证明它的存在。

它到现在，还只是一个假设。

别的东西不能超过光速，那么，光本身呢？

一些前沿物理学家认为，光速不变或许会有例外——光的波长如果很极端，或许会改光的速度。比方说极短的波长，波长越短，意味着频率越高、能量越大。

而这种波长极短、能量极高的光（电磁波），目前只能通过“ γ 射线暴”来观测。

γ 射线暴是宇宙能量大爆发的产品之一，可遇不可求，只有类似高密度星体相撞这样的大动作，才能上演这种大戏。

科学界就是这样较真，有人敢说，就有人敢验——只要能验。2009年，日本科学家组成一个研究小组，用美国宇航局的费米 γ 射线空间望远镜，观测了距离地球73亿光年远的一次 γ 射线暴，没有发现极短波长的光速有什么特别。这再一次证明，无论波长波短，能量大小，光的速度都一样。

100多年来，无数战士前赴后继，通过实验、观测、思想实验、理论假设等多种战略战术手段，试图一举打破光障不可逾

越的神话。

刚开始以为这只是一层纸，用手指头捅捅就破，后来发现用锥子都扎不进，连凿子也搞不掂，人们开始陷入深深的沉思与疑惑，大家一商量，得，改用炸弹吧！您猜怎么着？居然给弹回来了！搞得焦头烂额的人们在迷惘中渐渐清醒过来：原来爱因斯坦那家伙的公式是对的！

于是，越来越多的人开始相信狭义相对论，越来越多的实验也证明狭义相对论是正确的。

有静质量的物质，以及能量、信息，其运动、传递速度，均不能超过光速。

正当人们开始习惯光速一统江湖且千秋万代时，一则来自微观世界的新闻，让人们重新不淡定起来，一时间心里莺飞草长，此起彼伏。

2011年，本不是个缺新闻的年份，小药小郭小胖小李脊梁苹果，老金老卡老登老李地震动车……里里外外哪个都不省心，当真是：哭声骂声欢呼声声过耳，人事房事天下事事揪心。神奇二字，已不足以形容当今天下。在这奇闻迭出、人心麻木的年代，一个细小的微粒，不仅在这个失去灵动的大酱缸里激起了阵阵波澜，并且，居然跻身全球年度十大新闻之列！

中微子超光速。

自狭义相对论诞生以来，超光速的呼声年年有，为何这一次特别拉风？

因为这次的消息来源，看起来十分的靠谱。

《自然》(Nature)。英国科学周刊，首版于1869年，历史悠久。是世界最有名望的科学杂志之一，是科学界普遍关注的、国际性、跨学科的周刊类科学杂志。搞科研的，在《自然》上发表文章，相当于中国的民间歌手上了春晚，是相当光荣的。

欧洲核子研究中心(CERN)。成立于1954年。世界上最大的粒子物理学实验室。作为精干高效的科学实验室，它现已

经聘用大约三千名的全职员工，80多个国家500余所大学机构的6500余位科学精英，在此搞试验。可以说，全球粒子物理学界的一半都在这儿。

2011年9月27日，《自然》发表的一篇论文称，欧洲核子研究中心发现了超光速运动的中微子。

两个特靠谱的机构，联合爆了一剂超级猛料。

信的、不信的，都狠狠震惊了一把，一时间流言四处走，八卦满天飞。

人们从华尔街的游行中放慢脚步，从阿拉伯之春的浪潮中减缓激流，从利比亚朝鲜阿富汗的舞台上收回目光，甚至，玛莎拉蒂与爱马仕、钢琴与刀、软体与脊梁、故事会与绿卡都宛如平常一段歌，人们的目光被中微子吸引。

在这无比现实的现实中，科学的气息突然降临人间。

所有人都被狠狠地科普了一把。

以至于当城管出现在西瓜车旁边时，瓜农视若无物——他正在为爱因斯坦担心——相对论被推翻了会怎样？用中微子做辆马车，是不是可以在播种之前拉来满车熟瓜，并且赶在城管诞生之前卖光？

看着顷刻间满地的瓜瓢和西瓜子，瓜农在思考一个问题：究竟什么是中微子？

事情还得从19、20世纪之交说起。我们先穿越一下，借一点将来要提到的量子力学知识。那时，科学家们在研究放射性问题时发现，能量的吸收和发射，普遍是不连续的。这事很奇怪，我们到量子力学再细说。

这里说的是，人们好不容易习惯了能量的传递不是连续的，而是一份一份的，然而，在研究中子的衰变时，却发生了奇怪的现象。

中子衰变成质子和电子，会发射出 β 射线，所以也叫做“ β 衰变”。

1914年，英国科学家查得威克用计数器和电离室观测 β 衰变，发现 β 射线能谱是连续的！

这就够奇怪的了。更奇怪的在后面。

根据能量守恒定律，中子衰变后，它释放的能量和剩余能量的总和，应该就等于它衰变前的能量总和。守恒嘛。

科学家一测中子衰变释放的能量，发现有一部分能量玩失踪，莫名其妙地不见了！

β 衰变所发出的 β 射线，是由电子组成的。而据查，电子这家伙虽然看起来顽皮好动不老实，但骨子里却特守规矩。中子小帝国衰变，电子被流放出去时，它只带走了自己应得的那一份。

另一份能量被谁偷去了？

这点能量本身微不足道，但是它的失踪，比金条从金库里失踪，皇帝从皇宫里失踪还要令人震惊，因为它触动了人类认识世界的根本规律之一：能量守恒定律。

这怎么得了？！

但是，在一个神人眼里，这还真不是个事儿。

1924年，丹麦物理学家玻尔（天才中的神人，关于他的传奇，我们在量子论时再流连景仰）和另外两名科学家克拉莫尔、斯莱特发表了《辐射的量子理论》，对能量失窃案做了一个惊人的分析：

只有放弃单一过程中的守恒定律，代之以“能量和动量的统计守恒”，才能搞掂此案。说白了，就是能量守恒定律在 β 衰变面前失效。

看到没，在神一般的波尔眼里，没有权威。铁一般的能量和动量守恒定律，他随手就拨到一边，只是为了失踪的那一点微不足道的能量。

但是，我们不要忘了，这可是物理的黄金时代！

不要说是神人，就算是神仙，到这个时代也难称老大。

眼看能量、动量守恒两大定律就要冤死在玻尔的魔爪之下，在这关键时期，另一个神人挺身而出，力挽危局。他就是奥地利物理学家泡利，神人中的纯爷们儿，在他眼里，从来就没有什么救世主，也不靠神仙皇帝。他的精彩传奇，咱们以后再追溯沉迷。现在，我们先听他的。1930年12月4日，他在致图宾根国际物理学会议的“公开信”中说：

在原子核中，可能存在“中性的粒子”，我希望管它叫“中子”，它的自旋是 $1/2$ ，不以光速传播，它的质量最大不超过电子，并且无论如何也不大于质子质量的 0.01 倍。也就是说，在 β 衰变中，被辐射出来的，其实不只是电子，还有一个“中子”。那份丢掉的能量，就是被这个神秘的家伙带走的。

这样一来，能量还是守恒的。

虽然泡利个性爽直犀利，敢说敢做，口无遮拦，谁都不在他话下，不过，他在科学上，态度是十分严谨的。他知道，毕竟，自己假设的那个“中子”，谁也没看见，在得到验证之前，决不能拿假设当真事。

于是他谨慎地向放射性研究者们提出一个问题：“如果中子有大约 10 倍于 γ 粒子的穿透能力，那么能否用实验验证中子的存在？”

这里所说的“穿透”能力，其实就是物质间的作用，物质间的作用越小，穿透能力越强。如果我们与墙不发生任何作用，那么，我们撞了南墙也用不着回头了，直接穿过去了。

前面所说的“中性的粒子”，中性指的是电中性。我们以后会明白，粒子不带正电，也不带负电，就很难与一般物质发生什么关系，也就很难被一般物质构成的我们感知到，很难被一般物质构造的工具探测到了。

1931年6月，泡利在美国物理学会的一次会议上，报告了 β 衰变放射一种穿透力很强的中性粒子的预言。报告中，美国物理学家费米（中子物理学之父，原子时代的重要启动者，100

号元素锿、费米子以他的名字命名)激动地嚷道:“那就叫它中微子吧!”

所以,中微子,其实是“中性的微小粒子”的简称。

有了一个很帅的名字,但名字的主人却始终不见踪影。好比婚前就给孩子取了个响亮的名号,但婚后几年过去了,却连孕都没怀上。

泡利清楚,不管中微子在理论上多么美丽和不可缺少,不能被实验验证,就只能是镜花水月。

然而,在当时看来,中微子的性质,本身就决定了验证它是一件“不可能的任务”。连泡利自己也一度这样认为。

但是,多大的障碍,也阻挡不住天才的脚步。泡利终于提出一个检验中微子的预言:从核里辐射的 β 粒子和中微子,其能量总和应该有一个明晰的上限。他清晰地进一步指出,决定性的标志是:电子的 β 谱是否显示一个明晰的上限。

其实,泡利的这个灵感,来自能量失窃案问题上的对手玻尔。根据玻尔的意见, β 谱必然有一条强度逐渐减弱的长尾巴。

泡利敏锐地意识到,如果 β 谱的上限是明晰的,而不是渐变减弱的,那么结论就是:自己对,玻尔错。

于是,期盼已久的时刻终于到来了,因为下一个出场的,是一个中国人。

不仅是黑眼睛黑头发黄皮肤,不仅是来自中国,关键是,他还有中国国籍。

王淦昌。

1907年5月28日出生,江苏常熟人。中国老熟人。因为他是“中国核武器之父”、“中国原子弹之父”,中国实验原子核物理、宇宙射线及基本粒子物理研究的主要奠基人和开拓者。

王淦昌1929年毕业于清华大学物理系,1930年入德国柏林大学,1933年获博士学位,次年年4月回国,干了诸多大事。比如:在苏联领导一个研究小组,首次发现反西格马负超子;

独立提出用激光打靶实现核聚变的设想，成为世界激光惯性约束核聚变理论和研究的创始人之一等等。

这里要说的，是他在柏林大学所做的事。

话说 1930 年秋，23 岁的王淦昌赴德留学。官费哟，并且不是因为地位，而是因为才华。

在柏林大学威廉皇帝化学研究所，他成为物理学家梅特娜的学生。

莉斯·梅特娜，女，奥地利人，犹太裔，杰出的物理学家，曾任普朗克助手 3 年，爱因斯坦称之为“我们的居里夫人”，自 1907 年起与哈恩合作，从事了 30 年放射性化学研究工作，取得了诸多耀眼的成就。她挚爱科学，终身未嫁，科学家们浪漫地称之“嫁给了科学”。

还记得前文中，泡利向“放射性研究者们”提出验证中子的问题吧？梅特娜正是泡利所指“放射性研究者们”中重要的一员。

1914 年查德威克用计数器发现 β 谱是“连续的”，梅特娜等科学家随后用实验予以证实。

在梅特娜的指导下，王淦昌开始介入中微子的研究。

还记得成功等式吧？天才、勤奋是王淦昌身上固有的品质，现在，幸运女神悄然降临，剩下的，还有两个考验：智慧和勇气。

显然，研究幽灵般的中微子，智慧和勇气尤为重要。

此处略去两万五千字。

如果用“苦心人，天不负”来引出王淦昌的成果，似乎能描述王淦昌的勤奋，但不能准确描述他的效率。因为这时，他来德国才两年，介入中微子的研究怎么也不会超过两年。然后，王淦昌取得了突破性成果，他用自制的计数器，精确测定了 RaE 辐射的 β 能谱，证实了泡利预言的那个“明细的上限”。1932 年 1 月，他发表了《关于 RaE 的连续 β 射线谱的上限》，公布了这

一成果，有力支持了中微子假说。这一年，王淦昌 25 岁。

这里不得不说的是，王淦昌的论文发表后，其他科学家也发表了两篇证实“ β 连续谱明细上限”的论文：

1933 年，《 β 射线类型的放射性衰变中能量关系》，作者是著名物理学家艾利斯和莫特，来自英国剑桥大学卡文迪许实验室。

1934 年，《钍 C 和 C' 的连续 β 谱的上限》，作者是艾利斯的学生亨德森。

不同的科学家，不同的实验室，用不同的方法，纷纷证实了泡利的预言。王淦昌、艾利斯和莫特、亨德森各建其功。

但公正地说，王淦昌的工作，有两点特别突出：

第一，王淦昌的实验元素，是国际上更关注、更适合作这个测定的，因为它在 β 衰变时不夹杂 γ 射线；

第二，他的论文发表时间最早。

按理说，在这个重要的科学成就中，王淦昌无论如何也应该占有重要的位置。但神奇的是，不知为嘛，他的贡献被无视了。科学家们一提到“ β 连续谱的明细上限”，就提起艾利斯和莫特、亨德森，似乎王淦昌是空气。甚至十分崇敬王淦昌的李炳安和杨振宁，他们在《王淦昌先生与中微子》一文中，也这样写道：“亨德森于 1934 年发现 ThC 和 ThC' β 谱的上限确实如泡利所预言的那样是尖锐中断的。”

艾利斯和莫特、亨德森的贡献固然很强很重要，我们必须予以肯定。但王淦昌的贡献也没理由被无视啊！

真是见了鬼，难道王淦昌发表论文的那一期《物理学期刊》是用火星文印的？

无论大家怎样说，论文就在那儿摆着，我们有责任还原历史的真相！

王淦昌不仅研究了 RaE 的 β 谱，还研究了钍的 β 谱。

1933 年 7 月，梅特娜和王淦昌联名在德国《科学》上发表

了《 γ 射线的内光电效应》一文，介绍他们对磁场中 $\text{ThB}+\text{C}+\text{C}'$ 的 β 射线的测量结果。

1933 年 12 月 9 日，已经回国的王淦昌把自己的博士论文《关于 $\text{ThB}+\text{C}+\text{C}'$ 的 β 谱》寄往德国，发表在《物理学期刊》上。文中，王淦昌分析了艾利斯等人所做工作的利弊，取长补短，大胆创新，得到了比同行们精确得多的结果，这对 β 衰变理论发展起到重要作用。

1933 年，费米提出“ β 衰变的定量理论”，指出除了引力和电磁力以外，自然界还有第三种相互作用力——弱相互作用力，简称弱力。所谓的 β 衰变，就是核内的一个中子，通过弱力，衰变成一个电子、一个质子和一个中微子。 β 连续能谱之谜真相大白。

至此，在理论上，中微子已经不是一个传说，而是一个传奇。

然而，在科学上，作为一种粒子，一种物质，不论你有什么样的古怪性质，在没有被捕获、没有被真真切切地观测到之前，再剽悍的传奇，也会随时变回飘渺的传说。

这不，1936 年，香克兰为光子散射设计了一项新实验，实验结果似乎支持当年玻尔、克雷默尔、斯莱特的理论。香克兰发表了《光子散射理论的明显失败》一文，那些讨厌新粒子的物理学家就像朝鲜贫民见了金正日，不由自主地欢呼起来。

欢呼的人群中有一个牛人，英国理论物理学家狄拉克，他迅速相应，发表了《能量守恒在原子过程中成立吗？》，在文中嘲笑道，中微子这个观察不到的新粒子，是某些研究者们专门造出来的，求能量守恒。

一时间，风雨飘摇。刚刚走进人们视野的中微子，眼看就要成为过眼烟云。

然而，戏剧性的一幕出现了。

一个强悍的团队捍卫了泡利和费米的理论。

玻尔的哥本哈根研究所。他们几乎是立即重复了香克兰的实验，得到相反的结果。

著名的《自然》杂志几乎同时收到两封信。一封是玻尔同事雅各布森的，他在信中公布了实验结果。

另一封是玻尔的，他在信中捍卫中微子，反驳了狄拉克的观点。只认事实，不计其他，这就是伟大科学家的伟大之处。

香克兰的实验虽然被摒弃，但是，狄拉克等人的诘难并未随之消失。

验证中微子，这个不可能的任务愈发迫切起来。

这个似乎与我们的世界无关的幽灵粒子，又该怎样去验证呢？

这注定是一条不平凡的路，从起点开始，便荆棘遍地，迷雾叠嶂。也就是说，没有路。

路，总是在貌似山穷水尽时被开辟出来。

虽然，有的路仍然通向悬崖边、水穷处，但，总有通幽的曲径，纵横交错，贯古通今。这，就是人类世界的由来。

那些开路者，失败的，是垫脚石，成功的，是里程碑，他们有一个共同的名字，叫做先驱，我们的勇者。

科学家中从来不缺少思想的勇者。面对不可捉摸的中微子，他们没有犹豫，一脚踏进迷雾。

1936年，美国物理学家雷朋斯基，首次测量了 β 衰变中的原子核反冲。

所谓反冲，就是粒子相互碰撞所获得的运动——就像台球，或者发射另一粒子所获得的运动——类似手枪的后坐力。总之，大致就是粒子通过反作用力所获得的运动。

观察反冲，目的很明确，中微子就相当于子弹，中子就是手枪。手枪发射的子弹虽然看不见，但我们可以通过手枪的后坐力来感知子弹的运动，判断它的存在。

1938-1939年，美国物理学家克兰、哈尔彭，先后对反冲效

应进行了实验，观察了电子在磁场中的偏转，还观察了原子核在云雾室中的射程等。

但是，中子衰变这支手枪发射的子弹，成分有点复杂，不仅是中微子，还有电子和质子，看似不太复杂，但各种量各种值交互影响，情况就复杂多了，为啥说三个女人一台戏，而一个女人就唱不起来？还记得“三体问题”不？大致就是这个意思。好在电子和质子这两样东西我们可以测量到，反正总数是不变的，把能测到的测好，剩下的，大约就是那个想要的值了。

终于，卡兰、哈尔彭都没能测出那个反冲振动的动量，因此都没能“确凿地”证实中微子存在。

王淦昌指出，虽然他们的实验很牛很精确，测出了一些反冲数据，这些数据确实指向一个大大的可能：中微子存在。可是，由于发射物成分复杂，效应又太微弱，所以，结果不够明晰。想获得更好的效果吗？那需要更好的办法。

跟很多事后诸葛亮不同的是，王淦昌不仅提出了问题，还提出了解决方案，“用K电子俘获的方法探测中微子”。原理是：当某种 β 类的放射元素，不是放射一个正电子，而是俘获一个K层电子时，它的反冲效应就很纯洁了——只来自中微子。说白了，就是找个机会把电子的效应甩了，只留中微子的反冲效应。

王淦昌建议，用“铍”。

铍核的质量轻，受到的反冲作用明显。

王淦昌的合理化建议很快被采纳。美国物理学家艾伦兴致勃勃地做了实验，迅速得到了肯定的结果。1942年6月，艾伦发表了一篇题目很直白的论文：《一个中微子存在的实验证据》。

1943年，美国《现代物理评论》将“王淦昌-艾伦实验”列为国际物理学重大成就之一。

但是，艾伦的数据还是不够精确，结果还是不够清楚。科学问题，永远不能“差不多就行”。确定一定以及肯定，那是必

须的。

直到 1952 年，戴维斯用这个实验设计，证实了中微子的存在。

于是，很长一段时期，人们提到这个实验，就提到戴维斯。

这当然没什么问题。问题是，他们只提戴维斯，而把这个实验的最初设计者王淦昌、最初尝试者艾伦置之不理。

不过，历史在某些时候，还是公正的。终于，有人回过头去，把历史的真实还原到我们的眼前。

王淦昌在 1947 年发表的一篇论文中，更明确、更具体、更深入、更广泛地探讨了利用硼、氮、钠、铍、钙、铬等各种元素的核反冲来探测中微子，这些元素各有千秋，其中一些家伙，不仅对验证中微子有用，而且在后来研究中微子性质时，也各显其能。这篇论文还有两个富有远见的亮点：

一是把对介子衰变的研究引入中微子的研究。这对五十年代和七十年代，科学家们发现除电子中微子外，还存在 μ 中微子和 π 中微子，是功不可没的。

二是预言了用裂变可以探测中微子。这一思路，极具创见性和预见性，为进一步研究中微子指明了方向。他是说，利用核裂变产生的大量中微子，使之与原子核发生反应，就可以直接观测中微子。

关于第二个亮点，这里得多说几句。在基本粒子家族中，中微子是唯一只参与弱相互作用，而不参与电磁相互作用和强相互作用的另类。并且，弱相互作用的势力范围特别的小，你不撞到我身上，我都懒得管你。

所以，它与一般物质发生反应的概率极低。

这样说把，如果你有这样的运气：随便发射一个中微子，它在穿过地球的途中，能与地球上的某个原子核发生一次反应（简称核反应）——只要一次，那么，你上街买一千次彩票，每次都能中头彩。不开玩笑哦！

实验证明，一个中微子要穿过一千亿个地球，才可能与其中的一个原子核发生一次反应。这个概率有两个名字，学名叫零，小名叫绝望。

如果单看这个概率，那么你能只能欲哭无泪地宣布：直接探测中微子，是不可能的。恭喜你，很多科学家跟你的意见一致，于是他们认为，探测中微子的唯一实验方法，就是上面说到的核反冲了。

但是王淦昌用他的这个观点告诉大家，我们可以从上面那个概率中看到希望，这个概率告诉我们，若有 1000 亿个中微子穿过一个地球，那么就会发生一次核反应。翻译成彩票原理就是，我们买 1 亿张彩票才有一次头奖的可能，那么，我们买 1000 亿张彩票，就有中 1000 次头奖的可能。

虽然我们没那么多钱，但中微子有的是。每秒钟穿过我们眼球的中微子就有 10 亿个，何况地球乎？

不过，我们不用担心眼球会被核弹摧毁。首先，中微子与单个原子核的反应，其能量也是微乎其微，不然地球得有多热啊？

其次，是更重要的，地球有多少原子核？1000 亿个中微子，穿过整个地球，才可能和其中一个原子核有一次反应的机会，我们眼球里的原子核数量，与地球原子核数量相比，跟“没有”有什么区别？答案是真没啥区别。再精确的计算，也会把这个可怜的比值忽略掉。

眼球接收中微子概率可以被忽略，这是好事。可惜的是，这个原理对我们接收中微子的设备，也同样适用——想得到一次反应的机会，太不容易了！怎么办呢？还是上面说到的：数量。

总之一句话，就是人海战术，利用量变求质变，我中微子排山倒海源源不断往上冲，谁好意思一点反应没有？

于是，我们就有了这样一个探测中微子的方案：利用核裂

变，产生密集的、强悍的中微子束，朝我们的接收设备猛射，只要穿过设备的中微子达到一定数量级，就一定会有那么一个中微子，能在探测器中产生核反应。

那么，我们的接收设备，又该如何设计呢？

说起来，中微子的探测，和我们在网上干的事差不多，有三个大招：刷屏、挖坑、灌水。

这时，已经是 80 年代了。在此之前，物理理论假设中微子的静质量为零，速度是光速。

现在，中微子这一震荡，科学家们突然意识到，三代（电、缪、套）中微子的静质量应该是有差别的，否则不会相互转换。静质量有差别翻译过来，就是说，它们的静质量不可能都等于零。

不等于零，那等于多少呢？到现在也没测出来。如果它有静质量的话，那太微弱了，比电子的静质量还要小很多。不过，不管这个值是有多微小，只要有静质量，它就不能超过光速。这是狭义相对论的铁律，要么你就遵守，要么你就推翻我。

根据狭义相对论，中微子的质量越小、越接近零，那么，它的速度就越可能接近光速。多年来，科学家们也确实发现，中微子的速度跟光速还真是“差不多”。中微子以接近光速运动，已成为物理界的共识。

实际上直到现在，中微子的静质量是不是零，还没有定论。也就是说，中微子的静质量问题，到今天也是一个前沿课题。

话说回来，失踪的三分之二中微子被找到了。科学家们很欣慰。

太阳也长舒一口气，他的模型不用改来改去了。

自从中微子可以被捕获，人类就又多了一双千里眼。此前，我们更多是通过包括光在内的各种电磁波来观测天象，现在，中微子也可以用来观测遥远的天体。

如果有人问，太阳内部产生的光和中微子，哪个先传播到

地球，你会怎么回答？

一般情况下，我们给出的答案应该是光先到地球，因为光速最快嘛。

但是，这道题答错了。

光速最快不假，它从太阳表面到地球，只需 8 分钟。但光子参与的相互作用多。从它在太阳内部诞生时起，光子所到之处，无不迎来送往，应酬频繁，反复被途中的粒子拥入怀中，再一脚踹出。太阳的半径达几十万公里。这就意味着，一个从太阳核心产生的光子，至少要经历几十万公里那么长的粒子队列的迎送、拥戴，这一趟下来，少则要一万多年，多则可达十几万年。因为光子被粒子抱过后，不一定是朝太阳表面的方向踹出。可见，沉迷于虚浮的迎来送往、逢场作戏，即使是宇宙最强的光子，也照样效率低下，何况平常之辈乎？

中微子的优势在于，它一旦产生，就立即出发，毫无挂碍，对我们观察者来说，它来得相当及时。这是因为它不与一般物质发生反应，少了缠绵悱恻，从不拖泥带水。

所以，我们看到的太阳光，可能是一万年、十几万年以前产生的，而观察到太阳中微子，我们能断定，它的出生时间不会超过 13 分钟。

所以，中微子的信息传递，是实时传播。对恒星发射的中微子进行探测，可以获得有关恒星内部的某些信息。科学家们怎么会放过如此好用的工具？于是，中微子天文学应运而生。

1983 年，在日本岐阜县神冈矿山的一个深达 1000 米的废弃矿中，东京大学建造了一个大型探测器，名曰：超级神冈探测器。建造之初，只是为了观测质子衰变现象的。1985 年，探测器进行了扩建，灵敏度大大提高。它的主要部分是一个高 41.4 米、直径 39.3 米的大罐，灌水 5 万吨——这次真的是灌水，高纯度的水。

我们知道，光速虽拽，但它进入某些介质中，就会减速。

比方说，光在纯净水中的速度，是 22.5 万公里/秒，减速很明显。

但有些东西，在水里不减速，或者减速没那么明显，于是，这些东西一下水，其速度 PK 掉光，是不在话下的。就像浪里白条 PK 黑旋风那样。岸上一个样，水里又一个样，所谓此一时也，彼一时也。

1934 年，俄罗斯物理学家帕维尔·阿列克谢耶维奇·切连科夫发现，在介质里，运动比光还快的东西，会拖出一种电磁辐射——蓝色辉光。这种辐射，就叫“切连科夫辐射”。这个大水罐，就是通过观测切连科夫辐射，来观测高速粒子的。

在这个大罐的内壁上，安装了 11200 个“光电倍增管”，一看名称就知道，这东西能把容器内发生的光电效应成倍放大，以利观测。

一个右臂有些残疾的老人在苦苦地等待。他就是日本物理学家小柴昌俊。

他知道，这个超级探测器不仅可以观测到质子衰变，还可以观测中微子。如果银河系哪个超新星爆发，神冈探测器就能捕捉到它发射来的中微子。但是，他也知道，在银河系，这种事，平均 30 年左右时间才会发生一次。而他，已经快到退休年龄了。

不过，他也清楚，超新星爆发这种事，不像日升月落那样精确，30 年是平均值，不是规定值。所以，他决定：等。

16 万年前，大麦哲伦星系。一颗恒星走向生命的末端，回光返照，是一次华丽的爆炸，照亮了整个麦哲伦星系。这就是传说中的超新星爆发。

探测器扩建已经一年多了，1987 年新年的钟声已经敲响，离退休还有不到 3 个月时间了。在漫长的等待中，小柴昌俊开始为自己的退休时间读秒。

离退休时间只有 1 个月了！

1987年2月23日上午7点35分35秒，探测器观测到1个中微子匆匆飘过，在接下来的13秒钟内，又有10个中微子默默飘过。13秒钟观测到11个！这是有多密集的中微子暴才能达到的捕获频率啊！估计值是1平方厘米有100亿个中微子！与此同时，世界上其他两个中微子探测器也探测到5个以上的中微子。

三个小时后，大麦哲伦星系超新星爆发的光线来到地球。
咦？！

光居然比中微子迟到3小时！为什么？

难道中微子超过了光速？！

16万年前，智人才刚刚诞生，对人类而言，那是远古的远古。整个人类的文明史也不过几千年。

3小时，对一个人而言，也没什么了不起。我们随随便便一个会议，就能让3小时生命在不经意间溜进不可回收的垃圾箱。

在漫长的16万年里，3小时，实在是太短太少了！何止跟没有一样，简直就是没有，完全可以忽略不计。

然而，这是一场与光速的赛跑，你落后多少都很正常，但超过1秒就是惊天大事。就好比我们的人均收入，比卢森堡、挪威落后二十几万元人民币都毫不奇怪，我们在初级嘛，没有底线的。但你超过他们5毛试试？不用别人震惊，我们自己就先惊毙了，月亮都会被我们的锣鼓震掉下来，各种TV、AV、MV会把你教育到不用这二十几万全买锦旗送出去你都不好意思出门。

所以，先到1秒，也是先到。

所以，这3小时，让科学家们狠狠地震惊了一把。

但随即，科学家谨慎而理智地判断，这大约是那颗超新星爆发时，先发射了低调的中微子，尔后才发出了超炫的光子。
具体过程：

超新星爆发前，按照广义相对论的吩咐，星球内核引力坍塌，温度激增。在大约 10^{11} 摄氏度的高温撩拨下，质子与电子把持不住了，它们幸福地结合成中子，生出大量中微子。你知道，中微子一出生，就出发了，以它最快的速度。

这一系列反应，产生强大的激波，以匪夷所思的速度激动地向外猛烈扩散。

在星球外层围观的物质没学过广义相对论，不明真相，一点心理准备都没有，猛然被加热到几十万度，一时不知如何是好，只好猛烈爆发，发出大量的光辐射。

激波从核心传到表面所用的时间，大约就是 3 小时。

如果把爆发比作起跑的信号枪，那么，中微子是在信号枪响之前 3 小时起跑的，他抢跑犯规了！

不过，根据狭义相对论，假设中微子有质量的话，那么，无论如何，它也该比光速慢一点点。这一点点，经过 16 万年的积累，那区区 3 小时的优势，就不是什么优势了。不信我们可以算一下，光速每秒 299792458 米，假设中微子的速度每秒比光速慢 1 米——这个数对于光速来说，是一点点吧？那么，16 万年，一共慢 5049216000000 米，用每秒 299792457 米的中微子速度跑，需要跑 16842.4 秒——4.7 小时。也就是说，即使中微子先跑 3 小时，到最后，它也会比光晚到 $4.7-3=1.7$ 小时。

就算它与光的速度再接近一点点，也不应该比光早到 3 小时，除非，它没有静质量，速度等于光速。当然，如果它的质量无限接近于零，它的速度就有可能无限接近于光速。

关于中微子比光早到 3 小时，本文盲私下分析，也可能另有原因。所谓太空，也不是完全真空，难免漂浮着细小的尘埃和微小粒子，虽然极其稀薄，但经过 16 万光年漫漫长路的大量积累，把这些尘埃、微粒收集起来，相当于多大一块玻璃啊！因此，光在这 16 万年的旅程中，也可以看做是在接近真空的介质中穿行，而在这些介质中穿行，光要减速，中微子是不减速

的。这样算起来，16 万年晚到 3 小时，就是再正常不过的事了。

16 万年前，遥远的麦哲伦星系中，一颗毫不起眼的恒星的一次终极绽放，历经 16 万光年的漫漫旅程，赶在小柴昌俊退休前的一个月，与他完美邂逅，成就了一段传奇。

这真是上帝精心准备的一份厚礼！包装有 N 层，小柴昌俊拆了大半辈子，当最后一层包装纸揭开的那一刻，耀眼的光芒令小柴昌俊几乎不敢相信眼前的一切，他怕自己被突如其来的幸福击倒。

2002 年，76 岁高龄的小柴昌俊获得诺贝尔物理学奖，获奖理由是“在探测宇宙中微子方面所做出的先驱性贡献”，获奖感言是“我实在是太幸运了”。各种大奖一发不可收拾，就像嗅到铜臭味的拜金女，急不可待地向小柴昌俊投怀送抱。

很多人也都认为，小柴昌俊实在是太幸运了。

但是，繁华过后，冷静下来的小柴昌俊扪心而问：为了迎接这短短的 13 秒，我准备了大半辈子，任生命流浪到到绝望的边缘，她才姗姗走来，我都搞不清，这是不期而至，还是如约而至？这样的一生，能用“幸运”两个字一写了之吗？

不管怎么说，这项观测结果，开辟了“中微子天体物理学”这一全新领域。人类伸向宇宙深处的触角，又增添了美妙的一根。

对了，那颗超新星，华丽消逝 16 万年后，人类给它起了个干巴巴的名字：SN1987A。

无论是天才降世、恒星爆炸，又或者是冬绽海棠、六月飞雪，大惊小怪的永远只是人类自己。时间继续飞逝，太阳照常升起。

转眼间，又到了我们前面提到的 2011 年 9 月 27 日。《自然》说，中微子超光速了，是 CERN 干的。

CERN 就是“欧洲核子研究中心”。位于瑞士日内瓦。

尽管它是世界上最大、最权威的粒子物理学实验室，科学

家们听到超光速的消息时，第一个反应仍然是：有冇搞错？！

围绕“有冇搞错”的问题，全球物理界、新闻界、民科界、评论界、围观界、酱油界各界人士娱乐了半年，娱乐界表示鸭梨山大。

那么，CERN 到底有冇搞错呢？我们现在就加入娱乐大军，八卦一下事情的内幕外景。

话说 CERN 所做的这个实验，叫做 OPERA 实验，OPERA 就是“利用 2000 吨重的乳胶寻迹设备开展中微子振荡实验项目”的英文简称。这台“乳胶寻迹设备”位于意大利中部山区的格兰萨索国家实验室。这个实验本来不是为了测中微子速度的，而是为了检测中微子振荡现象的。

大概做法是，用 CERN 的超级质子同步加速器，产生高强度、高能量的缪子中微子束，射向格兰萨索实验室。

格兰萨索实验室的“乳胶寻迹设备”接收中微子，检测中微子振荡现象。

发射设备和接收设备之间的距离，测得相当的精确：大约 730 公里，误差只有 20 厘米左右。

后来，这个实验取得了突破性成果，他们果然从缪子中微子束中，首次观测到了套子中微子的魅影。2010 年 5 月 31 日，OPERA 兴奋地公布了他们的战果。

我们知道，“可重复”是科学的基本特征，那些套子中微子说不定是从别的什么地方混进来的。所以，这个实验不是做一次两次就可以完事大吉的。

于是，接着实验。

在 2011 年的实验中，实验小组意外地发现，中微子比假定其为光速早到了 1 亿分之 6 秒，也就是 60 纳秒。这是一个极其细微的瞬间。但是，正如前面所说，只要是超过光速，再小的值也是大事件。

因为，如果中微子超光速被验证是事实，那么，说明相对

论是错误的，或者是有漏洞的，需要推翻重建，至少需要进一步修订——这可是整个现代物理的两大支柱之一啊！

即使如此，一个科学理论被证明是错误的，也没什么稀奇，要命的是，在此之前，这个理论被无数次证明是正确的！

但话又说回来，相对论就算对其他所有事物都适用，只要对中微子不适用，那就必须毫不犹豫地进行修改，或者推倒重建。这就是科学。

不破不立。推倒任何一个科学理论，都是一件好事，因为，既然找到了旧理论的漏洞，也就找到了开创新理论的突破口。这里的前提是，正确地找到错误。或者说，错误找对了才行。

所以，对中微子超光速，科学家们都很慎重。包括相信的和不信的。

我们听听各方大神的看法。

日本名古屋大学的副教授小松雅宏参加了这个实验，并在发布中微子超光速的论文上署了名。他说：“没人能像我们这样，使用加速器进行试验，感觉到相对论就在身旁，就像是亲自触摸到相对论的正确性。但是这次，实验结果却是‘中微子到达时间比它以光速行进提前了 60 纳秒’，而且不可能是观测的错误或者误差造成的。”重点在最后一句。

小松副教授透露，他们为了减少误差，做了大量细致的工作，他们专门请意大利、瑞士的高手来协助测距和对表。为什么没请牛郎织女呢？因为他俩的护照办不下来，想从西边悄悄走过去吧，要经过阿富汗、伊朗、伊拉克等国，不是很不稳定，就是敌对势力；往东南游过去吧，恐怕要经过菲律宾，那里也很凶险，军舰很多，万一有了什么危险遇到菲警来救，就更危险了。所以哪都去不了，只能在过两地生活，隔着天河用眼神沟通，那个词叫什么来着？道路以目？不，怎么能这么说话呢，那叫眉目传情。

小松在名古屋大学的同事、一起参加这个试验的副教授中

村光宏表示，一开始，他们自己也认为，肯定是搞错了，因此，实验小组从 2012 年 3 月开始，用了大约半年时间，重复进行了实验。他说：“我相信这次的结果是正确的。”

但另外一些科学家表示怀疑。在第一次公布结果时，参加试验的很多成员拒绝在论文上签名，他们表示，这事儿要进一步验证才行。

CERN 的理论家阿尔瓦罗·德·鲁尤拉表示，“这是一项令人震惊的结论。我们应该自问什么地方出现纰漏，这才是一种正确的态度。”

其他一些研究组织也表示，要反复试验，再现实验结果，并寻找潜在的实验失误。

在这个实验中，要确保结果精确，必须保证两个关键值的测量是精准的：空间尺度、时间尺度。

实验小组解释道，他们所用的精密测距设备，是“GPS”（全球定位系统），误差是前面说过的 20 厘米左右，够精准。

而对时间的测量，用的是原子钟，发射方、接收方两地的钟，对时精度非常高，误差仅为 1 纳秒，也就是 10 亿分之 1 秒。

实验小组还强调，为了确保精确，他们还考虑了观测设备之间的电缆传输信号的所花的时间，以及可能存在的误差。这样算起来，所得到的中微子飞行时间，误差不会超过 10 纳秒，也就是 1 亿分之 1 秒。

距离和时间的精度足够，那么，距离除以时间，得到的速度值，也就足够精确了。

然而，霍金、丁肇中等著名物理学家对此深表怀疑。

霍金听到这个消息想了想，调皮地歪着脑袋说：“目前对中微子发表评论是言之过早，还须进行更多实验及澄清工作。”

萨里大学物理学教授阿哈里里表示，中微子超光速？有可能，但更可能是数据出错。

澳洲物理学家科斯特拉也表示，答案可能跟 1+1 为什么不

等于 2 是一样的：因为算错了。

除了口头表示怀疑外，科学家中的文艺青年短短几天就写了几十篇论文，其中不乏诺贝尔奖获得者。

一些科学家很坚定地说，肯定是 OPERA 实验错了。

诺贝尔奖获得者格拉肖在论文中说，如果中微子超过了光速，它的能量会在飞行过程中损失，实验结果会自相矛盾。建议重复实验结果。

诺贝尔奖获得者鲁比亚也建议，其他实验室应该验证这个结果。

夏威夷马诺大学的中微子物理学家约翰·莱纳德表示，该实验在时差测算中，可能依然存在深层次的系统错误。

还有的科学家认为，中微子可能是走高维空间的捷径，抄了近路，才导致提前到达。这样一解释，相对论仍然对的，这个实验结果也是对的。你好我好全都好，大家好才是真的好。

一些科学家想到了 SN1987A，也就是大麦哲伦星云的那颗超新星，他们说，如果中微子的速度真的像 OPERA 实验结果那样，730 公里快 60 纳秒，也就是比光速快 0.0025%，那么，SN1987A 发出的中微子，应该比光先到 4 年才对。这样一比，那 3 个小时还不够塞牙缝的。

面对诸多口水，OPERA 实验组的负责人安东尼奥·埃雷迪塔托表示，他的研究小组用了大约 6 个月时间，试图解释中微子为啥就会超光速，但没啥结果。“我们无法用系统误差解释这一发现。测算结果表明微中子的速度超过光速。”他说：“今天，我们只是将这一异常发现告诉你们。”意思很明确，反正实验结果就是这样，信不信由你。

不管怎么说，任何结果必须经过反复验证才行。众说纷纭间，大家都很期待下一次的实验结果。

一些科学家相信实验结果没问题，他们认定，是相对论错了，光速是可以超越的。并断言，虽然 9 月份公布实验结果时，

大部分 OPERA 成员不愿在报告上签名，但是，在第二次实验报告上，人们将看到全体研究成员的签名。

后来证明，这个说法是对的，但只对了一半。

在期待与彷徨中，在兴奋与焦虑中，在淡定与纠结中，在围观与酱油中，纤尘不染、自由来去的中微子被审视、被娱乐，经历了人间百态。

人间悲喜，无关寒暑。

转眼之间，2011 年 11 月份带着凛冽的寒风降临欧洲，而从这里发出的新消息，却让中微子的热度激增：实验的结果，中微子还是超光速！

冬天里又火一把。没脱，没修电脑，没假装走光，也没丢手机和 U 盘，居然火了一把又一把，让人情何以堪啊。

为了让实验结果更精准更可靠，这次试验，研究人员改变了做法，他们以极短的频率发射中微子，每次间隔只有 3 纳秒。

OPERA 表示，他们这次新做法，加上对数据的周密分析，现在，这个实验的误差已经微不足道了。

OPERA 的负责人之一、来自法国里昂核物理研究所的达里奥·奥蒂耶罗说：“这次略好于之前的结果。”他还说，上次，OPERA 的多数成员曾拒绝在最初的论文上签字，他们需要反复检验实验结果，不过现在，他们都签了字。是啊，作为实验小组的成员，看着自己亲手得到的两次相同的实验结果，怎么能不签字呢？

一片欢呼。来自多年来坚持不懈用各种哲学反对相对论的民科反相界。

TNND，朕 N 年前就说相对论是错的，你们就是不信，说什么所有证据都表明相对论是对的，这次呢？看看中微子，苍天啊大地呀这是哪个神仙姐姐给的证据啊！太他娘的给力了！一时间，锣鼓喧天、鞭炮齐鸣、红旗招展、人山人海，泪飞顿作倾盆雨。

然而，想要得到主流物理学家的认可，谈何容易？！大部分物理学家还是顽固地认为，这事儿不太靠谱。

荷兰格罗宁根大学物理学家罗纳德·范·艾尔博格认为，OPERA 其实犯了个简单的错误：没有考虑时钟的相对论运动。

OPERA 使用全球卫星定位系统（也就是 GPS）来测距、同步时钟，卫星信号以光速传播，且与卫星运动速度无关。但由于卫星在不断运动，所以在卫星参考系看来，中微子飞行的距离，小于中微子发射和接收设备的实际距离。而 OPERA 是以地面参考系为准的，因此忽略了这个效应。

艾尔博格计算了卫星飞行高度、轨道周期、轨道与地球赤道平面夹角等无比复杂的数据，结果显示：OPERA 的实验有 64 纳秒的误差。

CERN 的阿尔瓦罗·德·鲁尤拉认为，实验结果只能有两种解释：

1. 实验者尽管偶然、但确实完成了一项革命性的伟大发现。
2. 实验者选择相信中微子超光速，这两次实验，都存在着没被发现的一个错误。

不幸的是，第二条被言中了。

2012 年 2 月 22 日，美国著名期刊《科学》杂志网站报道，OPERA 实验有关中微子超光速的结果，实际上是由于电脑与 GPS 信号接收器之间的光缆连接松动，造成了 60 纳秒的延时。GPS 接收器的作用，就是对中微子的飞行时间和电脑电子卡的时间进行校正。本来，各个环节设定都相当精密，结果头一松，杯具了。

别说，还真跟 GPS 有点关系。

玩笑开大了。一个接头松动，忽悠了全世界！蝴蝶效应算神马？接头效应一出，蝴蝶神马都是浮云！可见，高精尖固然重要，机房检修也很重要。该提高布线技工的待遇了。

这个失误实在是太隐蔽，太意外，太狗血，太弱智。中微

子表示伤不起。

不过，在其他实验室尚未拿出实验结果之前，这个失误发现得还不算晚。把那个接头搞定后，中微子就再也没超过光速了。

其实，中微子还是那个中微子，速度还是那个速度，折腾的只是人类自己。

CERN 实验室的另一个实验团队 ICARUS 实验组也开始了中微子测速实验。这次检验，由著名粒子物理学家、1984 年诺贝尔物理学奖获得者卡罗·鲁比亚领导。2012 年 3 月 15 日，ICARUS 宣布，他们测得的中微子速度与光速相同。鲁比亚说，“没超光速，俺还能说啥？”跟着，鲁比亚又说了句：“我琢磨着，爱因斯坦会赞同我们实验的结果。”这句话被多家媒体引用。

2012 年 4 月 2 日，中微子超光速异常实验结果已确定有误。由于团队的委员会通过不信任投票，实验团队的两位领导自动辞职。

咱国官员、官员科学家、科学家官员纷纷表示不解，大哥，你这是下的哪门子棋？责任是电缆的，铺电缆的很显然是临时工，关你屁事？哪里就轮到你辞职？是不是脑子秀逗了？要是这样，俺们怕是把 360 行的每一个职务都辞一遍还不够用呐！

那么，被光缆接头忽悠了的 OPERA 团队成员现在作何感想呢？

安东尼奥·埃迪塔托说：“我们对新成果表示欢迎。这结果符合我们最近的调查结论，也就是一些实验装置的组件可能出了差错。”

有人问道，你们对此是否感到失望？

安东尼奥说：“这是科学在走的路。最重要的是，科学知识在全球进展。”

美国福克斯新闻网报道这事儿时，也拿小爱说事儿，给出的标题是《爱因斯坦可高枕无忧》，文中侃道：“现在爱因斯坦

在九泉之下可以松一口气了……”

其实，了解小爱的人都知道，他只有在记者的围追堵截下突出重围时，才会松一口气，并不会因为中微子超不超光速倒吸一口气或长松一口气。

祥林嫂说，爱因斯坦对相对论、量子论的不满，早就溢于言表了，因为它俩之间不和谐、不相容，所以，一定都有缺陷，一定都不是终极理论。对爱因斯坦这个超级天才来说，这是不能容忍的。所以，他才会豁出去宝贵的后半生时间，去搞统一场论。可惜的是，那时，人类还只知道有引力和电磁力，不知道有弱力和强力，所以小爱必然不能获得成功。这是他一生最大的遗憾。

现在，如果真是发现了超光速的物质，我们就找到了创建新理论的突破口。这对我们来说，是好事。对小爱来说，也是喜闻乐见的事儿。

中微子是目前人类了解最晚、最少的基本粒子。它无形无迹，无声无息，却又无处不在，无所不“通”。它极速穿越，不知疲倦，潇洒自如，乱花丛中过，片叶不沾身。由于中微子可以穿透任何物质，难以捕捉和探测，被称为宇宙中的“隐身人”、“幽灵粒子”。

别看中微子“人微身轻”，大量谜团的包装却让它神秘无比：它的质量还是个迷，是大是小？有还是没有？

一般粒子与它自己的反粒子，所带电荷正负相反，而中微子不带电，那么，它的反粒子是它自己，还是另外一种粒子？

关于中微子振荡，还有两个参数没测到。这两个参数，很可能跟宇宙中的反物质缺失之谜有关。

中微子有没有磁矩？

……

不管中微子超没超光速，现在，它已然成为粒子物理、天体物理、宇宙学、地球物理的交叉学科兼热点学科，科学研究

的新宠。

到这里，中微子的故事告一段落，本文的上部也接近尾声了。

借着四维时空坐标，我们回到伟大的 1905 年，回顾一下那 6 篇论文。其中 2 篇是相对论范畴的，已经说得很详细了，这里按下不提，咱说另几篇。

我相信，前面一串串巨牛无比的科学理论，已经把大家的神经搞得很麻木了，经历了它们，这世界上似乎没什么大事了，但，这几篇的确值得我们关注。

爱因斯坦拿了其中分量最轻的一篇——《分子大小的新测定法》，作为申请苏黎世大学博士学位的论文，他成功了。他成了小爱博士。

《热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮小粒子的运动》、《布朗运动的一些检视》，这两篇与上面那篇《份子大小的新测定法》都是关于分子的论文，这几篇论文本身的贡献有多大就不多说了，我们从侧面来看：佩兰在物理学领域验证了爱因斯坦的理论，斯维德伯格在化学领域验证了爱因斯坦的理论，他俩因此分别获得了 1926 年的诺贝尔物理学奖和化学奖。

《关于光的产生和转化的一个试探性观点》，提出光量子概念，给出光子能量公式 $E=h\nu$ ，完美解释光电效应。光电效应是物理学中一个重要而神奇的现象，在光的照射下，某些物质内部的电子会被光子激发出来而形成电流，也就是“光生电”。虽然，光电现象是德国物理学家赫兹发现的，但正确的解释是爱因斯坦给出的（这非常重要，他因此获得 1921 年的诺贝尔物理奖）。科学家们对光电效应的深入研究，对发展量子理论起了根本性的作用。而我们知道，量子理论是现代物理学的两大基石之一，另一大基石我们也知道，它是爱因斯坦的相对论。

重提这些陈年旧事的原因是，当年，狭义相对论受到关注，很大程度上是托了它们的福。

爱因斯坦的狭义相对论发表后，没有理所当然地引起强烈反响，也没有谁感到很振奋。人们对这篇奇文只有一个态度：不信。

想想啊，连洛伦兹、庞加莱这两个已经十分接近相对论的天才都不信，还有谁具备这个眼力和深度？

我们前面已经说过，还真有，普朗克注意到了他的文章。这个世界最可恨和最可爱之处就是——什么人都有。

普朗克认为，爱因斯坦的这一贡献可以与哥白尼相媲美。由于普朗克的推动，加上爱因斯坦在光电效应、分子、原子研究等方面的贡献，爱因斯坦才开始受到了学术界的注意，狭义相对论随之被人注意起来，并成为人们研究和讨论的课题。

这个过程也比较漫长。

1907年，朋友建议爱因斯坦，提交《论动》给瑞士苏黎世联邦工业大学（迄今为止获诺贝尔奖人数最多的学校），申请编外讲师职位。爱因斯坦照做了，但得到的答复是：论文无法理解。

那时，爱因斯坦在德国物理学界已经很有名气（得益于另几篇论文），许多有名望的人纷纷表示，联邦工业大学的这个答复，比那篇论文更无法理解。

于是在1908年，爱因斯坦终于得到了编外讲师的职位。他终于可以名正言顺地做学问了。

1909年，爱因斯坦当上了副教授。

1912年，爱因斯坦当上了教授。

1913年，爱因斯坦应普朗克之邀，担任柏林大学教授，还顺便当了个干部——威廉皇帝物理研究所所长。

你依我依，忒煞情多；

情多处，热如火。

把一块泥，捻一个你，塑一个我。

将咱两个一齐打破，用水调和。

再捻一个你，再塑一个我。

我泥中有你，你泥中有我。

我与你生同一个衾，死同一个椁。

时间与空间是一回事，速度与质量是一回事，质量和能量也是一回事。一些看似八竿子打不着的东西之间，关系瓷实着呢，分不清你我。

在广义相对论时我们还会发现，时空与能量动量之间，也存在着深刻的联系。

空间和时间随物质运动而变化，质量随运动而变化，质量和能量的相互转化……高速运动时，钟表变慢、尺子缩短、质量增加……这些结论，用牛顿力学完全不能理解。但，狭义相对论并不是与牛顿力学势不两立的。当运动速度远低于光速时，它俩的结论就没什么区别，也就是说，牛顿力学是狭义相对论低速下的近似。

这些思想，我们一时接受不了很正常，因为它不那么容易掌握，很多物理学家也是花了很多年时间才能够接受相对论。可见，能够孕育出相对论的大脑，其想象力是多么的超凡脱俗。

What? 你已经悍然接受了? 额滴神呐，赶快恭喜一下你自己吧，居然没让标准答案把思想统一掉。如此说来，我们可以继续讨论下去!

历史发展证明，狭义相对论大大推动了科学进程，成为现代物理学的基本理论之一。

那么，这样是不是就像我们所有的会议那样，获得圆满成功了?

当然不!

时空到底能不能弯曲，有没有虫洞?

爱因斯坦究竟还有多少不得不说的故事?

薛定谔猫究竟是死是活?

玻尔与小爱的世纪论战为我们带来了什么?

麦克斯韦妖是让宇宙变得有序还是更乱？

宇宙是怎样形成的，黑洞是怎么回事？

我们能不能回到过去、插队未来？

我们的世界，是实在的吗？

地球上为什么会有生命这样神奇的事情发生？

看，咱俩还有这么长的路要走。前方，峰回路转之处，有多少未知和惊喜？那无限风光，又是怎样的动人心魄？

想去吗？来，让我牵着你的手，或者，让你牵着我的手，一起出发吧！

让我们一直在一起，追寻着那些大神们伟大的脚步，仰望着他们伟岸的身影，共同体验广义相对论的匪夷所思，量子力学的不可思议，宇宙学的深邃广远，热力学的混沌与清晰，弦论、M 理论的神秘与纠结，生命学的美丽与神奇！

GO!

后记 写给我挚爱的同好们

本文的来历，其实很偶然。

面对现实，总有一种深陷酱缸的感觉。越捂越臭，越臭越捂。当你意识到这一点，就会试图寻找一个方向。

终于，你有了方向。

但那边是逆流。

想逆流而上，却发现这是泥石流。你挥不动双臂，驾不了扁舟。

你想顺流而下，却越陷越深，蓝天不再，视听不明。

出路，就是变成泥石流中的一份子，去把别人卷进来。

你向往那一江春水，虽然不是那么清澈，虽然也有湍流漩涡，险滩浊浪，但水下鱼虾草石，水上荷萍舟鸟，万类霜天竞自由，无限生机，无限可能。

而你身在其中的泥石流，看似声势浩大，强悍无匹，同向同色，但举目四顾，却只有泥沙翻滚，毫无生机，一朝势能尽，顿成烂泥滩。

但此刻，你身在其中，无力、无奈、无助。除非无知、无良、无耻。

你无计可施。

为什么？凭什么？！搞什么？！！

问天问地问自身，终于发现，我们自己骨子里，有些东西需要唤醒，有些东西需要剔除。

几千年来，我们越来越现实，越来越功利。

不可否认，一部分人现实和功利，可以促进社会发展。

但全社会都现实和功利，那会毁了一个民族。

我们唯上而不唯真，尚利而不尚义。

我们崇尚无底线的忍耐和承受。

我们津津乐道不择手段的成功。

我们沉溺于势利奸狡的混世哲学。

我们敬畏强力而怀疑善良。

我们推崇中庸而畏惧不同。

我们漠视他人的苦难。

我们的幸福是比出来的。

我们恨强梁无所不能，更恨自己竟然不能。

我们羡慕“皇上圣明”喊得巧的人，而诧异“给我个说法”说得掷地有声的人。

于是，我们陶醉地把打掉的牙咽进肚子，还故作高深，一副看破不说破的屌样。

这种风气已经浸淫到咱国多数人的骨子里，所以怪状才会天天有，所以我们才在人群中孤独。

没人会舒服。看起来有条件舒服的，却选择了离开。

你一直想说点什么，但又不知从何说起。

这才是真的无语。

无语，是思考的开始。

有的东西不能说，它不让。我们只能剖析自己。

我想，我们的世界观，缺乏对真理的尊重；我们的价值观，缺乏对人才的尊重；我们看待、分析和处理问题，缺乏科学精神和方法。

那么，我知道自己能说什么了。

作为一个文盲+小百姓，我为自己的这点责任感既感到汗颜，又忍不住不自量力勉强为之。既然身处其中，不做点什么，心里总怅然若失。很矛盾。终于下决心做了，就希望，更多人接受这些先进的科学思想，让更多人知道，世界上除了金钱、地位是成功标准，除了争斗、劫掠、潜规则是成功的手法，其实，还有更美丽、更辉煌的成功，还有更令人心动、更令人景仰的手段获得成功。

但是，说了，会有人认同吗？我试过，在生活中跟人说这

个，多数人会觉得你该去看心理医生了。这个现状，不能不考虑。

然而，光考虑不行。你不说，怎么知道，这世上还有多少人认同？

于是，就在键盘上敲了起来。

于是，心如鹿撞地发到网上。

结果真的是令人欣慰，居然引来了很多同好，还得到了同好的鼓励、支持和帮助。

动力，就是从这里来的。

作为一个技校毕业的文盲，边学边写高深的科学理论，其中的艰辛冷暖，只有自己清楚，没有众同好的支持和帮助，是无论如何也走不完这段路的。

在此，感谢诸位同好，尤其是无论在什么情况下，都始终如一、不离不弃伴我走到今天的朋友。

本来，凡是顶过贴的朋友，都是支持者，于我而言，是恩公，理应同等对待。但是，不把那些顶帖更多、给我帮助更大的同好挑出来，我感觉对不住他们的无私付出，所以，排名靠后的朋友，万望谅解。

当列出下面这些名单时，才知道，统计和宣读名单，是多么庄严和神圣的一件事。

（1740位同好的ID，在下心里感念着。为了开篇版面，这里就不像原帖那样一一列出了，名单在原帖 64-65 页：
<http://bbs.tianya.cn/post-no05-211009-64.shtml>）

人生一世，草木一秋。

不同于草木的是，生而为人，我们有思考能力。这是上天赐予我们的最珍贵的礼物。

生活很苦逼，但思想很飘逸。

思考自然，其实就是思考我们自己。

追寻自然真谛，是一种人生修行。修行到哪个境界不重要，

重要的是，我们来过、想过，就没白过。

也许，本文不能为你带来实惠，我的想法也并不一定“正确”，但如果，它能让你疲惫的心在此栖息片刻，又或者，它让你想起了些什么，那么，这就是我莫大的安慰。

文盲正侃时间史

(下部)

物理传奇

(相对论、粒子物理、量子力学)

前言

在很久很久以前，我们的祖先学会了思考。

他们好奇地看着能看到的一切，不明白为嘛会有这么多稀奇古怪的东西。

他们凭经验，能判断和预测很多事情。比方说，乌云来了可能会下雨，老虎来了可能会吃人，月亮既然从西边落下去了，那么太阳就可能从东边升起来。

但他们不知道这一切是为了什么。

于是，他们向天空看去，相信那里，有巨牛无比的神仙在管理着万事万物，这些神仙勤劳勇敢，事必躬躬，业务包括斗转星移、莺飞草长、以及我们的吃喝拉撒睡。

有一天，祖先发现，不管神仙咋样，万物该咋样还咋样。于是，一些祖先的头脑逐渐清醒起来。

泰勒斯（Thales）上看下看左看右看，说，水是万物之本。

毕达哥拉斯（Pythagoras）表示严重不同意，他认为，自己挚爱的数才是万物之本。

留基伯（Leukippos）和德谟克利特（Demokritos）相互对视了下，摇摇头，你们都不对，原子才是万物之本。

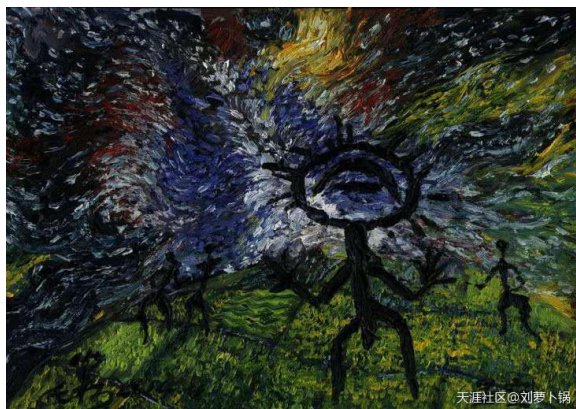
老子骑在青牛上掐指一算，哪有什么万物之本，无，才是一切的开始。

苏格拉底（Socrates）一听急了，无中生有可不行，咱们还是先搞清楚怎么思考，再去思考吧！

墨子已经搞清楚怎么思考了，他在研究力学、光学、数学之余，还思考了时空问题。但是，千学万学，不如孔子研究的帝王心理学。墨子被无视。

柏拉图（Plato）用纯粹的理性去寻找万物的真相，这是一条新路子。而他的学生亚里士多德把这条路走到了极致，他认为，万物依靠自己的本性运行，而我们仅凭思考，就能搞清楚

这个本性。



【图 0.1】星空

亚里士多德（Aristotélēs）凭着智慧的脑袋瓜，取得了很多成就，当然，也犯了很多错误。但是，他的形式逻辑学，成为人类开疆拓土的超级武器。

欧几里得（Euclid）把这一超级武器耍到了极致，用十条傻瓜式的公理和公设，构筑了人类智慧的一个巅峰：《几何原本》。方法和成就都令人叹为观止。

阿基米德（Archimedes）忠实践行了理论联系实践的宗旨，以史上最著名的一次裸奔，向人类昭示了：力学的魅力，丝毫不亚于行为艺术。

旷世全才达·芬奇（Leonardo Da Vinci）扯破了中世纪漫长的夜空，引领了伟大的文艺复兴，使科学方法进一步推向实践。

人类认识事物的方法，从直觉走向经验，从经验走向归纳，从归纳走向理性、逻辑，乃至公理演绎、数学、观测、实践的完美结合。

每一个台阶，都要跋涉漫漫长路；每一个台阶，都让我们上升到前所未有的高度。

而每一个高度，都让我们看到不一样的世界。

往前看，一片幽深；往回看，一路稚嫩。

看得越远，感觉世界越大，我们知道的越少。

我们的知觉太有限，就像朝铁窗外张望的囚徒，渴望振翅冲向蓝天。

时间是嘛？空间是嘛？物质又是嘛？

还有，我们在哪儿？

有人说，我们的大地是平的，漂在水上，或者驮在龟背上。

天是一个圆圆的盖子。

亚里士多德告诉我们，大地其实是个球。

托勒密（Ptolemy）制造了史上最精密的宇宙模型，日月星辰都绕着老亚说的那个地球转来转去。

教会表示大力支持。

老亚还说，一轻一重两个球，重的落地比较快。

一切似乎很美很和谐。

但哥白尼（Mikolaj Kopernik）破坏了这个大好局面，他说模型正中间那个东西放错了，它应该是太阳，而不是地球。

伽利略（Galileo Galilei）也来凑热闹，说老亚太主观，要不咱就试试看，到底谁先落地。这一试，老亚的粉丝明白了，不联系实际，脑袋瓜再聪明，也有不灵的时候。

伽利略还搞了个望远镜，亲眼看到木星的四个卫星围着木星转，不像托勒密说的那样非得围着地球转。略哥还搞来一条船，告诉大伙，力学定律在所有匀速直线运动的参考系都是相同的，这叫伽利略相对性原理。

哥白尼、伽利略说了真话，教会很不爽。于是他俩一个终身监视，一个被终身监禁。哥白尼的粉丝布鲁诺（Giordano Bruno）更惨，因为宣扬偶像的学说被烧死。

人类正在迷茫之际，第谷（Tycho Brahe）和开普勒（Johannes Kepler）开始了那段奇妙的合作。

开普勒继承地心说粉丝第谷老师的遗志，把日心说发扬光

大，他给天空的星星们制定了法律。

星星很听话，人类很惊讶。

因为大家不知道星星为嘛这般听话。

一只苹果砸醒了人类史上最伟大的脑袋。

牛顿（Isaac Newton）摸了摸头说，那是因为万物之间有引力！

其实笛卡尔（Rene Descartes）、布里阿德（Bulliadus）、惠更斯（Christiaan Huygens）、胡克（Robert Hooke）这些大牛也在猜引力的事，但他们只是猜，那个引力有多大？怎么统治万物，谁也算不出来。

牛爷算出来了。

他还顺便铸成了史上最伟大的科学利剑——微积分，它被无数大大小小的科学家当成最趁手的兵器，披荆斩棘，所向披靡。

牛顿一鼓作气，出了一本人类史上最伟大的书，告诉人们，力啊、运动啊、质量啊、时间啊、空间啊这些东西都是怎么档子事儿。

人类恍然大悟，噌噌进步，一脚踏进工业文明。如果说，此前的人类发展是在爬行，那么现在，人类开始直立行走了。

牛爷还研究了光。

其实不止牛爷研究光，很多人都在研究光。

莫洛利克观察彩虹堪称史上最牛，他看出了 7 种颜色。

开普勒用实验搞定了小孔成像原理，但是折射定律却怎么也搞不定。

擅长测量的斯涅耳搞掂了这件事。人们总结出几条简洁的光学定律。

但是国家干部、史上最牛业余数学家费马（Pierrede Fermat）还嫌麻烦，他用一句话把这几条定律搞掂：光走最短路径。

正当大家玩得很 happy 之际，那边打了起来。为了一个在

大清看来闲得蛋疼的问题：光到底是波还是粒？

古人云，光是粒。

笛卡尔说，光可能是粒，还可能是波。

格里马尔迪（Grimaldi Francesco Maria）把一根小棍棍伸进光束，看着衍射说，光是波。

从此光学界分成波粒两派。

波义耳（Robert Boyle）吹了个肥皂泡，双方都严正声明：这是我方证据。

胡克说，别吵了，光就是波，看我的证明！

牛爷那时还年轻，他说，我也有证明，光是粒。胡克立即严重鄙视之。二人从此针尖对麦芒。

波粒互殴，打了个平手，关键时刻，惠更斯插了一脚，用先进的理论武装了波军头脚。胡惠联手，一时间，粒军形势急转直下。

但是牛爷为了全面摧毁胡克理论，在胡惠死后，祭起牛顿环，用他的力学理论为粒军开了个大挂，所向披靡，波军全面溃败。

危急时刻，托马斯·杨（Thomas Young）挺身而出，千里走单骑。奇人杨出马，粒军鸭梨山大。

拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）为了结束这场噩梦，下战书，布军阵，欲使波粒试比高。

马吕斯（Etienne Louis Malus）用一块冰洲石挡住了波军的去路。

而玩转了考古的奇人杨重装归来，抛出横波理论，把这块魔法石收归己有。

粒军安排了一场论文赛，发动大决战。阵前，粒军名将如云，既是裁判员又是运动员。

眼看对峙就要变成围捕，却不料，波军阵前杀出一匹黑马，菲涅耳（Augustin-Jean Fresnel）单刀赴会，一套横波理论耍得

滴水不漏，娴熟霸气，势不可挡。

粒军大将泊松（Simeon-Denis Poisson）敏锐地发现一个破绽，领军杀入，却不料，这是个钓饵，后以上钩者名之：“泊松亮斑”。

白门楼变成了长坂坡。菲涅耳一战成名。

多年以后，波粒二军才发现，原来他们是在同根相煎，遂握手言和，敲定了光的波粒二象性。

两军对垒期间，罗默（Romer）、布拉得雷（Bradley）、斐佐（Fizeau）、傅科（Foucault）等牛人做了一件牛事：测光速。

卡文迪许（Henry Cavendish）、库仑（Coulomb）、伽伐尼（Galvani）、伏打（Volta）、奥斯特（Oersted）、欧姆（Ohm）、安培（Ampère）玩电磁玩出了名堂，他们发现电和磁的关系越来越密切，还鼓捣出一些公式。

法拉第（Michael Faraday）玩得最爽，在实验中捉住了电磁感应，发电机降临人间，人类对蒸汽时代的新鲜劲儿还没过去，就惊喜地跨进电气时代。刚刚学会直立行走的我们开始跑步前进了。

法拉第还发现了电场、磁场，图解了电力线和磁力线，提出了最重要的科学概念之一：力场。

遗憾的是，法拉第数学成绩不太好，研究不能继续深入。

各科成绩都很优异麦克斯韦（James Clerk Maxwell）加入了这场游戏，他把众多大玩家的经验融会贯通，单枪匹马在电磁学世界攻坚克难，开疆扩土，收伏光、电、磁三大门派，一统江湖，建立了以人类最美方程组——麦克斯韦方程组为标志的电磁王国。

麦克斯韦方程不仅中看，而且中用，在电磁世界言无不信，攻无不克，它毫不犹豫地预言了一个精灵——电磁波。

看着大家将信将疑的眼神，赫兹（Heinrich Rudolf Hertz）挺身而出，捉住了这个看不见摸不着的精灵。电磁波无处不在、

神通广大，开启了人类文明的新纪元，刚跑没几步的我们，骑上了欢乐的自行车。幸福来得太快了！

麦爷的电磁王国与牛爷的力学王朝共同支撑着人类的科学世界。

但是，他俩闹起了矛盾。

麦爷说，电磁波的速度——也就是光速——是“固定”的。

牛爷一听急了：要么你找出它相对于什么固定，要么你推翻我再说。

这可了不得，他俩不和谐，科学的天就要塌！离开了科学，人类还不如猴子呢！

为了拯救世界，让两位大神团结友爱共创美好未来，有人和稀泥说，光速相对于以太固定。

迈克尔逊（Albert Michelson）和莫雷（Edward Morley）兴致勃勃地搞了个 MM 实验，然后一头雾水地宣布：没有以太。

不管光源怎么动，也不管观测者怎么动，任何参考系测任何参考系，测得的光速都 TMD 固定的！

整个物理界凌乱了。

见多识广的白胡子老头开尔文勋爵（Lord Kelvin）说，虽然我们见过很多乌云，但这是最苦逼的两朵。其中一朵，说的就是光速不变。

其实在 MM 实验时，马赫（Ernst Mach）就看牛顿力学不爽，给牛顿体系挑了很多刺，还把牛爷用来证明绝对时空观的那只水桶抢过来，用来证明自己的相对时空观。

牛顿王朝遭到空前挑战。

为了解决高速运动的问题，福格特（Vogt）、拉莫尔（Larmor）、亥维赛（Heaviside）先后鼓捣出一些奇怪的公式，这些公式的关键因子很相似，好像运动都和 c 有着扯不清的关系。

斐兹杰惹（Fitz Gerald）和洛伦兹（Hendrik Antoon Lorentz）提出了长度收缩假设，洛伦兹还用这个假设推导出了变换式，

用来解决 MM 实验的数学障碍。

史上最后一个数学全才庞加莱（Jules Henri Poincaré）把式子完善了下，赐名“洛伦兹变换式”，嘴里嘀咕道：物理世界要改天换地了。

速度让经典物理后院起了火，这边专家正忙着辟谣呢，那边发来贺电说质量叛逃了！

罗兰（H. A. Rowland）、汤姆逊（J. J. Thomson）、亥维赛、西尔（Searle）、维恩（W. C. Wien）、考夫曼（Kaufmann）、亚伯拉罕（Abraham）等著名群众纷纷举报，牛爷认定忠贞不变的质量，其实说变就变，这不，他不仅是叛逃，而且还是和速度一起私奔！哈瑟罗尔（Hasenrol）等人还惊奇地发现，能量这家伙也靠不住。佛祖啊，上帝在搞什么？这正是：

骝马新跨白玉鞍，将登太行雪满山。

不识庐山真面目，拔剑四顾心茫然！

阿门陀佛！同志们集体晕菜了。

但是爱因斯坦（Albert Einstein）没晕菜，这个瑞士专利局的三级技术员说，只要我们举起手来，放下绝对时间观念，那就一切都好商量。他说，光速无论如何也不变，是吧？那正好，咱拿它当公设；物理定律在匀速直线运动系都一样，没问题吧？咱也拿它当公设。他用这两个简单的公设推来导去，导出一堆惊天秘密：

质量可以随运动变化，速度越快，质量越大。

时间可以随运动变化。速度越快，时间越慢。

空间可以随运动变化。速度越快，距离越短（距离是空间尺度哦）。

任何有质量的物质或信息都不可能超过光速！

能量和质量是一体的！

时间和空间也是一体的！

闵可夫斯基（H. Minkowski）老师见小爱同学玩得有板有

眼，深以为然，一时技痒难挨，用优美的数学把这些思想表达了出来，四维时空横穿六合，纵贯古今。

这个理论叫做狭义相对论。它所发掘的这些秘密，只有在高速运动，也就是近光速运动下，才能显现出来。

低速运动下，它的结论和牛顿力学保持高度一致。所以，牛顿力学只是狭义相对论在低速下的一级近似。

至此，牛爷和麦爷的争端，总算是得到了解决，物理世界的天，好歹是没塌下来。

但是，硝烟散尽，并不代表幸福来临。乌云还在天上游荡，虽然面积看起来不大，但位置很重要，它挡住了阳光！

斯时，正值物理大牛辈出的年代，他们眼里不揉沙子，又岂能容忍乌云在头顶闲逛！

那么，我们的盖世天才们，在驱散乌云、追寻光明的征程上，又踏平了多少坎坷，写就了怎样的传奇呢？

第一章 广义相对论（上）山重水复

一个矛盾与一个 BUG

话说 1905 年，爱因斯坦挑战物理帝牛顿成功，成功地把自己晋级为挑战对象，被各种挑战至今。

挑战者中有数学家、物理学家、哲学家、神学家、政治家、党棍、流氓、民科等，但无论是正规军、游击队、预备役，还是绿林好汉、江湖郎中、大仙半仙，至今无一挑战成功。

不同的是，业内挑战者越来越少，业外挑战者却前赴后继。

这些业外挑战者的结论各种不同，但有一点惊人地相似，那就是都宣布自己成功了。他们深信，人有多大胆地有多大产，用嘎子哥就能摆平蝗军，只要把脑袋埋在沙子里，宇宙就和谐了。读少想多，概莫如是。当然这些都是后话，不提。

这里要说的是，为什么会有这么多人来挑战呢？抛除追寻更靠谱理论的业内人士不说，单说其他人士：

一个重要的原因是，一旦挑战成功，金钱美女就会像滔滔江水连绵不绝，荣誉地位就会像黄河泛滥一发不可收拾。

另一个重要原因是，狭义相对论的结论与我们的日常经验太不相符了，你不承认它吧，理论与实际闹别扭；你承认它吧，自己和自己闹别扭。

怎么别扭呢？

牛顿理论体系跟我们的日常认知和经验相符得很好，所以《原理》诞生后，它迅速得到各方面的广泛接受和认同，大家看了，是“原来如此”的感觉，而狭义相对论与日常经验相悖，人们看了是“岂有此理”的感觉。

狭义相对论颠覆了牛顿时空观，用全新的时空关系、质速关系、质能关系，向人们揭示出一个全新的世界。

它成功地解释了为什么光速对所有观察者都是一样的，还

成功地描述了当物体以接近于光速运动时会发生什么。这给当时陷入尴尬的理论物理学界开启了一扇光明之窗。

尽管多数人并不理解它，但它与实验、观测相符的那样好，由不得你不信。

然而，即使与观测相符，也不是全盘通吃的。

因为它还存在一个很大的问题：它与牛顿引力理论不相协调。

为什么一定要和牛顿引力理论相协调呢？

因为描述自然、宇宙问题，是离不开引力的。而那时，在引力理论方面，牛顿引力论依然是最牛的一一与观测最相符。

狭义相对论在解释运动、时空关系等方面更靠谱，而牛顿理论在解释引力方面更靠谱。

什么意思呢，打个不太恰当的比方，人家牛顿理论是套装，虽然上身很紧，扣子都系不上，但好歹穿上也能出门；你狭义相对论虽然大方合体，雍容华贵，但是只有上衣，没有裤子，想出门还得混搭牛顿引力论的裤子。

所以呢，如果狭义相对论与牛顿引力理论相协调，它们就可以相洽为一个“统一的理论”，大家都能站住脚，混搭成功，皆大欢喜；如果狭义相对论与牛顿引力理论不相协调，也就是说爱装和牛裤不搭，那就必须建立这样一套引力理论：它与牛顿引力论有一拼、与狭义相对论有基情。这样，狭义相对论才能站住脚，而牛顿理论就退居二线，甘当新理论的“一级近似”，发挥余热。

那么，它们搭不搭呢？当然不搭。

因为这两个理论的基础概念不同，比方说空间啊、时间啊等等，这是根子上的不搭，就好比羊皮大袄 VS 齐 B 小短裙。

但当时的物理还真就只剩这两件东西可穿了，一件都不能少。

尴尬是尴尬了点，总比树叶强。有人开始忆苦思甜。这虽

然是一种有效的心理治疗手段，但是，它解决不了现实问题。

根据牛顿理论，物体间的引力，其大小与距离关系密切，但它们的传递与距离无关，如果移动一个物体，另一物体所受的力就会立即改变。

这就是说，引力的传递速度是无限的（超距作用），这与狭义相对论的光障限制相矛盾。

假如太阳突然消失，牛爷认为，地球立马就得脱轨，而小爱认为，地球至少得 8 分钟后才能有反应，8 分钟以内，它还是绕着原来的轨道公转。

看，分歧不是一般的大。

爱因斯坦还发现，除了与牛顿理论闹矛盾之外，狭义相对论自身还存在一个较大的 BUG，说起这个 BUG 的根源，还是在于它没有彻底解决引力和参考系问题。

还记得三位大师的相对性原理吧？

伽利略：力学定律在任何惯性系中都相同。

庞加莱：运动定律在任何惯性系中都相同。

爱因斯坦：物理定律在任何惯性系中都相同。

瞧瞧，都是“惯性系”。也就是说，三位大师的理论只适用于一种特殊情况：匀速直线运动，也就是惯性系。

如果速度、方向发生了改变（非惯性系），他们的理论——当然包括狭义相对论就不成立了。

在惯性系中，狭义相对论所向披靡，不仅能够解释低速运动，还能够解释牛顿理论无法解释的高速运动。

但是，狭义相对论没有解决加速度的问题，而在自然界里，受错综复杂的各种力的相互影响，物体运动都有加速度，基本上不存在什么直线运动，所以很难找到真正的惯性系。

是不是开始迷糊了？

还是请牛郎织女这两口子来帮咱俩认识这个问题吧，反正他俩闲着也是闲着。

这实验需要他俩见面，所以你的任务是，负责把王母的眼睛捂上，台词是：“猜猜我是谁。”以咱俩的名望，我估计那个八婆下辈子也猜不出来。所以，牛郎织女有充足的时间和理由来帮助我们做完这个实验。

牛郎织女沿着河岸同向、匀速、直线运动。神仙嘛，这个容易。

那么，根据三位大师的相对性原理，这都可以解释，我们可以说是牛郎织女在运动，也可以说是整个银河在运动。

现在，我们请牛郎织女从天上降落到人间相会（想什么呢？不是降落到天上人间相会）。

怎么降落呢？作自由落体运动就 OK 了，对，就像 2008 年的股票那样。

咱俩知道，由于地球引力，他俩的速度会越来越快。重力加速度嘛。

现在，关键来了。

这时，站在瑶池边捂着王母眼睛的你，以及随着地球运动的我，处于不同的惯性系，这没错吧？

那么，不同的惯性系观测同一个事物的运动，观测结果会有所不同。比方说，观测一列时速 200 公里的火车。你站在铁道边，观测结果是 200 公里/小时；我坐在反方向行驶、时速 200 公里的另一列火车上观测，它的速度就是 400 公里/小时。对吧？

同理，咱俩观测牛郎女二人的运动状态，也会不一样，是不？不一样怎么办？好办。

我们前面说过，不同参考系，可以用洛伦兹变换式来处理一下，就能把观测结果相互变换。嘿嘿，好像不怎么复杂。

很多事情往往是这样，动手做之前，好像没什么复杂的事；动手做起来，又好像没什么事不复杂。

咱俩列式子的时候，突然发现，强大无比的洛伦兹变换式不灵了！他俩有加速度，并且，这个加速度对你我都是相同的，

都是“ 9.80665m/s^2 !”

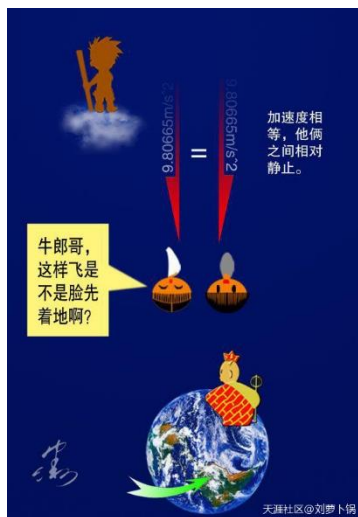
咦? 这个怎么办?

你说看起来没什么大不了的? 那是你广告看多了, 问题想少了!

这事, 还真不好办!

在牛顿理论中, 加速度被规定是绝对的。无论观测者的运动状态如何, 加速度总是相同的。这样解释看起来好像没问题。

但是, 牛郎不干了, 他说, 别看我也是牛门之后, 那我也不同意牛顿 DD 的意见, 我看织女 MM 就没有加速度。织女也说, 是啊, 牛顿叔叔, 我看牛郎 GG 相对我是静止的, 没有什么加速度啊。



【图 1.1】

对啊, 他俩一起自由下落, 加速度一样, 所以彼此看对方是没有什么加速度的!

这就存在地位特殊的参考系了——这个参考系的物理定律与别处不同, 为什么?! 凭什么?! 搞什么?! 要知道,

搞特殊化，是违反宇宙规律的，不管你是参考系还是参谋长考官系主任。狭义相对论对此也没有给出解释。

存在特殊参考系，就破坏了自然的美感，不符合科学发展观，必须淘而汰之。科学规律应该是普适的，而不应该在这儿看是这样，在那儿看又是那样。

也就是说，物理定律应当与观测者的运动状态无关。

对于狭义相对论的局限性，爱因斯坦非常清醒，不论从美学出发，还是从科学出发，他都希望物理学彻底摆脱“特殊参考系”这个大 BUG 的困扰。

于是，刚刚建立狭义相对论的小爱，没等别人醒过神来，就率先发起了对狭义相对论的挑战。

俯瞰地球，大家忙着理解狭义相对论时，爱因斯坦却忙着构建广义相对论。

这个天才的思想远远地走在了人们前面，他的目标很清晰：给出更概括的理论，它对所有观测者都是一样的，不论运动状态如何。

但怎么走，才能接近这个目标？没谱。

知道什么是痛苦吗？眼看着，心想着，手够不着，这就是痛苦。

等效原理

痛苦的爱因斯坦紧紧攥住那个抓手：

引力。

就是引力！引力之于宇宙，胜过钱之于人，它不是万能的，但没有它是万万不能的！

星空灿烂。

爱因斯坦深邃的目光探向更深邃的宇宙，一个声音在胸中回荡：必须要考虑引力，不仅要能解释时间，还要解释引力！

可是，从何入手呢？没有资料可供翻阅，没有实验可供参考，没有经验可供借鉴，甚至，没有教训可供吸取……

思考，还是思考，只有思考！

思想是自由的，然而，它难以飞跃我们自身经验认识的壁垒，冲出去，就是另一番天地！但，这要思想的翅膀够硬才行！

一个思想实验，可以连续做几天，几个月，甚至一年、两年……伯尔尼专利局四楼八十六号办公室里，已升为二级技术员的爱因斯坦完成本职工作后，眼望窗外，外表沉静如水，内心战火纷飞，无数次冲刺，转眼又陷入重围，暗夜中的那颗星，似触手可及，又似远隔几十亿光年。

灵感，就像梦中情人，又像那枝头灵雀，你知道她就在那儿，你为之辗转反侧、魂牵梦萦、痴醉癫狂，却无法触及，那般滋味啊，有词联为证：

卜算子·枝头灵雀

入眼即入心，待近如何近。只恐惊飞杳渺时，举目空遗恨。

忽来亦忽去，将寻为底寻。尤惜巧点灵犀处，开怀更动人。

等等！如果我从这扇窗跳下去会怎样？在下落的过程中，如果我被一个盒子封闭起来，盒子随我一起下落，那么，我无法判断自己是否在下落，但这时，引力在哪？

亮了！就是它！

牛郎织女呢？还没落到地面？那太好了，麻烦你俩回去重新降落一次。

这次我们准备了一个电梯，电梯地板上放一台秤，牛郎织女就站在秤上，看了一下秤的读数，体重和两千年前一样正常。思念，就是最好的瘦身运动。然后，我们让电梯向地球作自由落体加速运动，会发生什么呢？

电梯内，一切如旧，牛郎和织女处于同一参考系，看对方以及其他物体都是静止的。

但有一点不同，他俩发现，随着电梯的下落，秤的读数快速归零，电梯里所有物体，包括秤的重量都消失了，现在，织女 MM 拔下发髻的金钗，松手，金钗飘在空中，不落向地板。

这种状态和在失重的太空没什么分别，重力来自引力，重力消失意味着引力消失。当然，这是电梯参考系的想法，在电梯外的咱俩看来，引力依旧，导致他们正在随电梯飞速撞向地球。



【图 1.2】电梯向地球自由下落，电梯内一切呈失重状态，引力消失。

Stop!

这个游戏很危险，请小盆友们不要模仿。

OK，牛郎 GG 织女 MM，为了减少交通事故，咱不去地球了。

这回咱离地球远点，还是乘这个电梯，逃出地球的引力场，停下来，对，就是这儿，这里几乎是没有什么引力了。

“和刚才没什么分别啊！”织女 MM 说道。

“是啊，大家都在飘，没有重量。”牛郎 GG 一贯赞同织女 MM 的任何意见，但这次是心里话。

OK，现在让电梯朝顶棚方向运动，运动的加速度和刚才向下落的加速度一样，会有什么好玩的事情发生呢？

只见所有物品都落到地板上，牛郎织女站到秤上，秤的读数正是两个人的正常体重。织女又拔下一支金簪，松手，金簪

毫不犹豫地落到地板上。

“七妹，我们是不是又回到地球上了？又可以我耕田来你织布了！”牛郎 GG 兴奋地叫道。

.....



【图 1.3】电梯在无引力状态下，以地球重力加速度 9.80665m/s^2 运动，加速度产生的惯性力等效于地球引力。

其实这种体验，咱们这些凡夫俗子每次乘电梯都经历过，上升加速时重力增强，下降加速时重力减弱，只不过速度没那么快，效应没那么明显而已。

所以说，这个体验简直太平常了！平常到老少皆懂，妇孺尽知，就像脑袋撞了墙会痛一样，一个小常识而已。

上帝把打开真理大门的钥匙放在我们眼前，可我们往往因熟视而无睹。

没错，是个小常识，但这个小常识到了爱因斯坦这里，意义就完全不同了。

1907 年，经过上面这个思想实验，爱因斯坦在《关于相对性原理和由此得出的结论》一文中，第一次提到“等效原理”：加速度运动和引力是等效的。

爱因斯坦说，一个封闭箱中的观察者，不管用什么方法，也无法确定他究竟是静止于一个引力场中，还是处在没有引力场的加速运动中。

爱因斯坦敏锐地觉察到这一原理的重大意义，他说，这是他一生最幸运的思想。他穷追不舍，使“等效原理”的思想不断发展。

嗯？小爱都兴奋起来了，怎么你看起来很淡定的样子？没明白等效原理意味着什么，是吧？

等效原理是广义相对论的第一个基本原理，也是整个广义相对论的核心。

这一思想是伟大的，划时代的，它把看起来八竿子打不着的引力与速度紧密联系起来，实现了物理规律的又一次统一。

这位同学醒醒，统一耶！统一有多重要，咱上部说过N次了，不用再强调了吧？

有了这个思想，我们只要解决了加速度的问题，也就解决了引力问题！

大智慧啊！

重新认识一下质量

怎么又转回去了？

没办法，要理解广义相对论，必须搞清楚质量是怎么回事。

日常生活中，对我们这些真呀真高兴的小老百姓来说，质量就是重量，去菜市场，你向同一个卖家买质量为1000克的黄瓜也好，重量为1公斤的黄瓜也罢，得付同样多的钱，没什么分别。计量质量的工具，不管是用杆秤、磅秤、弹簧秤、天平还是电子秤，都是利用地球引力来计量的。所以这种质量就称作“引力质量”。

OK，既然说到了黄瓜，那咱就买根黄瓜吊起来推一下，是的，不用大力就能把它推出去，但我们感觉还是微微有些阻力；现在把装着黄瓜的卡车吊起来，推一下，好像推不动哈，阻力

太大，拼命推一下，车微微晃了下。这说明两个问题：一是物体反抗我们要给它的加速度；二是物体越重，也就是惯性越大，反抗加速度的力也越大。这个实验，我们在前面和林 MM、姚 GG 做过一次。这种反抗加速度的质量，叫作“惯性质量”。

那么，引力质量、惯性质量，他俩是什么关系呢？

人们最早发现，引力质量和惯性质量成正比。

后来人们发现，引力质量和惯性质量严格地成正比。

我们选择适当的单位，就可以使物体的引力质量的数值等于它的惯性质量的数值。

勤劳勇敢的人们用秤来计量引力质量，用牛顿定律来计算惯性质量，还做了 N 多试验，来测量同一物体的引力质量和惯性质量，然后惊奇地发现：

引力质量=惯性质量！

起初，人们认为这两种质量只是近似值，随着测量手段精度的提高，人们发现，多高精度也测不出他俩的差别。匈牙利物理学家厄特弗斯·罗兰德（Eotvos Lorand）多年如一日地投身到引力质量和惯性质量测量事业当中，使精度达到十亿分之一，还是没差别。现在，测量精度又提高了 1000 倍，得出的结论是：

这俩质量真相等！

牛顿认为这只是一中有趣的简单巧合，因为用牛顿定律解释不了。

爱因斯坦却认为，这是创建新理论的利器，因为用牛顿定律解释不了。

伽利略同志早就教导我们，两个不同重量的物体，不管是皮球 VS 铅球，还是姚明 VS 姚晨，都会以相同的速度下落。重的物体受到的引力较轻的大，却等速下落，是因为物体越重，对加速度的反抗越强。即：惯性力=加速力，二者抵消了（为方便叙述，咱造个词：把产生加速度所需的力简称为“加速力”）。

这时我们应该明白了：这是惯性质量和引力质量相等的结

果。

这里面其实就暗含了引力与加速度等效的思想。只是当时大家没想那么多。

但爱因斯坦注意到了，导出了“引力与惯性力等效”的等效原理。



【图 1.4】惯性质量、引力质量势均力敌

引力与惯性力、加速度等效。加速度，是矢量速度，沿着运动方向变化。

而狭义相对论适用的惯性系，是匀速直线的，速度是不变的。

那么，在矢量变速中，狭义相对论是不是不成立了？

是，也不是。

这可不是在玩儿玄虚。

说是，那是因为狭义相对论本来就只适用于匀速直线运动。

说不是，就有点小复杂了。我们需要把运动细细地分解来看。那么分解到什么程度呢？分解之前，我们分析一下：

由于有了加速度，速度不断发生变化，所以即使是分解成再小的一段距离，它也是有变化的。那么，我们只好把它分解到“最小”，只看加速度运动区域的一个点，在这个点上，物体运动的速度和方向都只有一个，也就是所谓“匀速直线”。

所以，在加速运动的一个点上，狭义相对论成立！

在时空区域中，一个点内的引力场，可以将其等同于惯性参考系去描述，而狭义相对论在这个“局域惯性参考系”中完全成立。

有了这个思想，狭义相对论就成了这个新理论的一部分。这就是“强等效原理”。

上面说到的那个等效原理，当然只能叫“弱等效原理”了。

还记得狭义相对性原理吧：物理定律在所有惯性系中都相同。

有了等效原理，爱因斯坦把相对性原理又推进了一步：物理定律在一切参考系中都相同。

这就是“广义相对性原理”。那么，原来的那个相对性原理，只好叫做“狭义相对性原理”了。

这是一个质的飞跃，物理定律从此不受参考系的制约，无论你是直线的、匀速的，还是曲线的、加速的，都没关系，到爱因斯坦这儿，都一样。

物理定律要终结参考系的束缚，太牛×了！这是多么伟大的一个构想啊！

我们期待已久的又一次科学理论大统一，由此拉开序幕。

但爱因斯坦清楚，得到一个基本原理，只是拿到一只鸡蛋，想靠它办养鸡场，早着呢。

敢问路在何方？

路在脚下。

废话。

爱因斯坦放下笔，拿起小提琴，优美的旋律在琴弓的舞动下倾泻而出，自由流淌。窗外，万灵律动，宇宙和谐。

光线弯曲

电梯还在向上加速。

电梯外，遥远的太阳，光芒何止万丈，射向电梯的那道光，

方向与电梯运动方向垂直。

电梯内，牛郎织女感受着向下的“引力”，起舞弄清影，好似在人间！

“可是，牛郎哥，我们明明知道自己没在人间，而是在太空里啊！”七仙女看着立即就要我耕田来你织布的牛郎，有点犯迷糊。

“噢，墙上有个盖板，咱打开看看外面，不就心里有底了？”牛郎说开就开，可打开一看，盖板后面没窗，更没门，是一条横缝，正对着远方的太阳。

一道阳光迫不及待地闯了进来，在对面的墙上投射出一道光条。细心的七仙女发现，这个光条比它刚刚通过的横缝低一点点，也就是说，阳光透过横缝后，向下弯曲着投射到对面墙上！

听起来是奇闻，说起来是笑谈。一统光电磁帝国的麦克斯韦说过，光是走直线的，这是个久经众多牛人考验、无数常人见证的真理。在我们人类印象中，自从盘古开天辟地以前，光就始终直来直去，爱谁谁，谁见它弯过呢？

可就是现在，我们眼巴巴地看着它弯了。

不仅弯了，它还弯得那样自然、淡定、优雅，那样理直气壮、天经地义和毋庸置疑。

似乎它从来就不曾直过。

世事难料啊！

其实想想也不奇怪，我们知道，光是不受任何参考系速度影响的，光穿过横缝，向对面墙射去的时间里，电梯正在向上加速运动，而光却没有跟着向上作加速运动，所以它到达对面墙的落点就偏下了。

可是，为什么不是斜线，而是弯曲呢？

我们在练“独孤五式”时，解释过乒乓球和光子同是在火车上跳动，为嘛轨迹不一样的事，乒乓球向上跳逐渐减慢、向

下落逐渐加快，上下用的都是加速度，所以画弧线；而上下跳动的光子，速度不变，又是在匀速直线运动的爱车上，所以它划的是斜线。

现在，电梯在做加速运动，而光速是不变的，所以它相对于做加速运动的电梯，划出了一条奇异的弧线。

这很好理解。

可是，一想到加速度带来的惯性力和引力等效，就得到一个奇怪的结论：引力应该也可以使光弯曲！

然而，根据久经考验、战无不胜的麦克斯韦方程，光线必须是直线，或者说，光不会拐弯抹角，宁“折”不弯，那么，它的“弯曲”该如何实现呢？

爱因斯坦说出了他的答案：是空间弯曲了。



【图 1.5】光线弯曲

光在弯曲的空间里走“直线”，实现了它的弯曲。我们用三明治来打个不太恰当的比方，把两片切得很平的面包比作空间，把一片切得很平的肉比作光，肉被夹在面包里，就是光在空间直线穿行，我们把三明治折弯，肉就随着被折弯了，而生活在面包里的细菌感觉不到三明治被弯曲了。如果使面包透明，让

细菌可以在远处“看”到这片肉，它会发现肉弯曲了。当然，这个例子里的弯曲，还是三维意义上的弯曲，举这个例子，是因为我们没有四维意义上的弯和直的概念，所以只能先类比一下。

那么空间又怎么会弯曲呢？

是引力。爱因斯坦推论道，空间被引力场弯曲，顺便弯曲了光线。引力场又来自哪儿呢？源于物质。这就是说，物质的存在会影响空间几何！

物质存在于空间之中，同时影响空间，使空间几何发生变化。可是，在我们看来，空间就是空荡荡容纳物质的场所，它是三维的、连续的、广袤无垠的，那么，在它内部的弯曲是个什么情形、该怎么去理解呢？

空间弯曲

什么叫“弯曲”？作为形容词，它的解释是：弯曲，即不直。

词语解释如此简洁的原因在于，这个词太平常、太简单了，以至于连简单的解释都显得多余。

现在，报告首长一个不幸的消息：我们得重新认识一下“弯曲”。

一般情况下，我们所说的弯曲，是指在三维空间里，欧几里得几何所定义的那种弯曲，按维数分：

一维：曲线。它是指“动点”运动时，方向连续变化所形成的轨迹。

二维：曲面。它是指“动线”运动时，方向连续变化所形成的轨迹。

有了一维的曲线、二维的曲面，我们日常生活中所谓的“弯曲物体”就比较容易定义了。

三维：具有长、宽、高的弯曲物体，其体积由曲线和曲面所围成。

说到弯曲，不能不提到圆，因为曲线可以由若干个圆弧拟合。

相同长度的弧，半径越短，弯曲程度越大，半径越长，弯曲程度越小，越接近直线。同理，相同面积的球面，半径越长，就越接近平面。这就是为什么地球明明是个大球，我们可爱的祖先却以为它是一块驮在巨龟背上的平板。

不管怎么样，这种弯曲是可以用一些简单的数值来表示的，比如半径啊、弧度啊、弯度啊什么的，通俗易懂。

这是以前我们对“弯曲”的认识。人类的几何老师欧老爷子定义的这种弯曲，充满了生活气息，是显而易见、易于理解的。

那么，空间弯曲又如何理解呢？OK，现在我们来复习一下，怎么理解“弯曲”。

阿细身处一维，他的概念里只有长，没有宽和高，于是意识不到曲线救国是个什么意思，由于他只能“看见”一个点，无法通过观测数据来计算出弯曲的结论。所以他至少要站在二维空间的角度去“看”，才能理解“弯曲”。

阿扁身处二维，他的概念里只有长和宽，没有高，所以二维的平面一时想不开，变成了曲面，这对阿扁是个考验。最直观的方法，就是像我们一样，处在三维空间去观察曲面，但是，二维生物到三维空间去观测，可没那么容易。不过好在，阿扁所处的世界，有机会建立平面几何，他知道圆周率！这很重要，他可以通过对半径和圆周的精确测量和计算，推测出自己所处的空间不是一个平面！我们当然也可以通过测量和计算的方法，推测所处的三维空间是否弯曲。这个我们以后再说。

那么，三维空间的我们，怎样理解三维空间的弯曲呢？

这的确是个问题。

狭义相对论让我们认识了四维时空，虽然难以理解，但这个四维时空好歹是平直的，就像我们“看到”的那样。现在，

我们不得不承认自己眼拙了，坦荡的空间欺骗了我们，它是弯曲的！比起三维空间，四维时空虽然只多出一维，但它的这种“弯曲”理解起来就困难多了，因为人类只能感知三维，对所谓四维，我们的感官集体失灵，看不见摸不着，超出了我们的生理能力和经验直觉，只能靠想象去理解。

但是，想象毕竟是只是想象。正如穷孩子和富孩子都难以想象对方的生活一样，咱想象这个空虚的、无边无际的空间在其内部产生弯曲，也不是一件容易的事。

所以我们只好接着类比：

一维弯曲，如果不跳出一维去观察，阿细永远也无法理解他所在的一维是“弯曲”的，因为他的概念只有前后，没有上下左右。

二维弯成曲面，身困二维、只有前后左右概念的阿扁，也无法想象上下弯曲是什么，即使弯了他也感觉不出来。

以此类推，三维空间实现了弯曲，身在其中的我们，也不容易明白那个弯曲是指什么，更不易察觉空间已然弯曲了。这很正常。

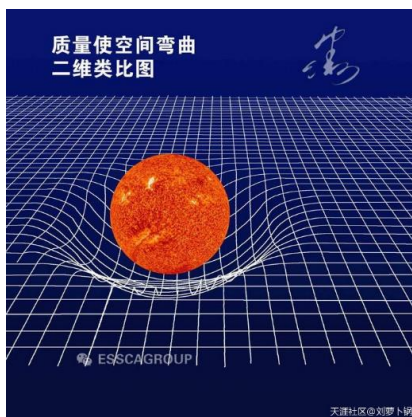
看来，还是要跨维度类比想象，这样理解起来容易些。

所以，比较大众的类比法是，把我们现在的三维空间想象成一张有弹性的膜，这张膜上最好画上经纬线，以便我们识别它的弯曲变化，把物体比如一个球放在这个平面上，重力会使球把膜压出一个凹陷，我们用这个凹陷来类比空间的弯曲。嗯，这就是用二维的弯曲来类比三维的弯曲，从三维的角度看二维的弯曲，非常容易，也很好理解。

如果我们想把这个类比搞得更恰当些，可以把膜想象成完全透明的，无数张这样的膜摞起来成为一块整体，球在其中使之整体弯曲。这样一来，我们应该有个大致的印象了。

当然，每个人脑子中的印象不一样，目前，笔者印象中，空间的内部弯曲，大概就像木材里的节，或者水体里面的一个

旋流，只不过它弯曲的方向，实在是难以想象，是我们熟悉的长宽高吗？



【图 1.6】空间弯曲

我们知道，欧几里得先是开发了处理二维的“平面几何”，接着又在此基础上，搞定了研究三维物体的“立体几何”，更高维度，欧老爷子没来得及考虑。

2000 年后，欧老爷子的 N 代徒孙们把欧式几何扩展到可以应用于任何有限的维度（这种空间叫 n 维欧几里得空间）。于是，2000 多年前的欧老爷子，又在多维空间一展雄风、君临天下。

不过，再强的高手也有命门，欧老爷子的空间不管是几维，都离不开一个根本性质：它是“平”的！欧式几何的小名就叫“平面几何”嘛。

现在，时空不仅多出一维，而且不老实，它要弯曲。这一弯曲就不好办了。欧老爷子表示，老夫可管不了那么许多。

没有一个合适的手段把它描述出来，再好的思想，也只是个传说，形不成学说。这怎么办？！

爱因斯坦圆盘

在描述空间弯曲以前，我们先综合八卦一下：质量、惯性、

空间、时间、引力、加速度这些重要人物之间的基情、激情和畸情。

狭义相对论时，我们已经挖出了他们的一些绝对隐私，但挖得不够坚决，晒得不够彻底。现在，要继续深究猛晒！也不怪我们狗仔八婆，谁让你们这些家伙在物理学中的地位至关重要了？哪位不小心咳嗽一声，整个物理学就得跟着感冒。所以你管得越宽，行事就要越阳光。你越神秘，这个世界就会越诡异。因此，我们的口号是，不求透露，但求透明。

在深挖这些重要人物隐私之前，我们先热热身，欣赏一下杂技。

什么？你说这两件事挨不着？

唉，前面是不是说过你，看问题太表面化了？你把该扒的都扒开，就会发现，这些重要人物做的事，其实就是魔术杂耍，谁耍得最好，谁就是主角，耍得没他好的，就是配角。不会耍的，就是不明真相的围观群众，简称观众。

我们观众现在要围观的是，环球……先别吐，那么敏感干嘛——是飞车。

环球飞车。

我们看见，一辆摩托在球笼内面飞奔，上下八方往复游移，不分上下前后左右，它都一样跑，车轮始终紧压笼网，掉不下来，地球引力对其完全无效！准确地说，好像那只球笼的网面有引力，能够随时随地、牢牢地吸住摩托！

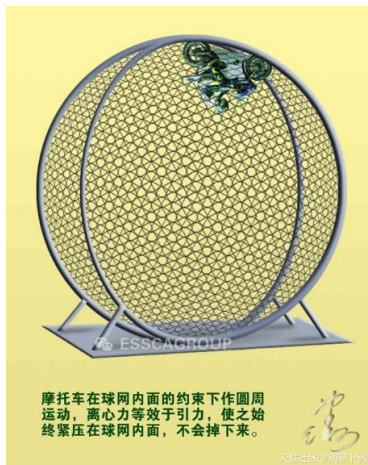
这是为嘛？

其实很简单。还记得水桶实验不？

做圆周运动，也就是“绕圈儿运动”的物体，有一个共同的倾向，向外逃脱——说白了，就是它们都想沿着弧的切线飞出去，做无拘无束的匀速直线运动。

摩托想向外飞，而球网克服了它向外飞的惯性力，拦住了它，这个力就作用在球网上，这就是所谓离心力。这个离心力，

就是摩托向外飞的惯性力。



【图 1.7】环球飞车

还记得前面不远处，我们说过什么力与惯性力相当吗？一重一轻两个物体等速下落，是因为“惯性力=加速力”。这就是说，匀速圆周运动，实际上就是加速运动。

加速度力等效于引力，这就是为嘛那个摩托在圆球里做圆周运动，就掉不下来。

不信，你把上球面变成平面，看谁还敢骑上去？

关于圆周运动的杂技，有很多，比方说，用一根绳子，两端各系一只碗，碗口向内，碗里盛水，绳子把碗甩起来，各种圆周运动，碗里的水流不出来。

碗水不落，这个道理与摩托一样。运动速度很要紧，但更要紧的是，必须做加速运动（这里是圆周运动）。不信，你盛一碗水，把碗底粘在高速、匀速运动的动车墙壁上，碗口方向与墙面垂直，看看水还能不能老老实实呆在碗里？

OK，欣赏完杂耍，咱们该干点正事了。实际上，杂耍也没白看，那就是发现，匀速圆周运动就是加速运动，离心力与引

力等效。



【图 1.8】碗水不落。

牛郎哥哥，你们在电梯里干嘛呢？你冲电梯大声问道。我们一年没见了，你说能干嘛？织女的回答听起来气呼呼的。

出来吃饭了！一心实验的你好不知趣地开着玩笑。

牛郎织女手里拎着砖从太空电梯中出来，还没找到你，却被眼前的景象惊呆了：哇，好大一个饼干盒啊！

一个大大的圆盘状飞行器悬浮在眼前。它叫爱因斯坦圆盘，简称爱盘。

几点了？你凑过去问道。

牛郎织女见到你很惊喜，砖有地方扔了。他俩齐齐地看了一眼表：0 点！俺俩的表走得特别的齐。你抬腕看了一眼表，嗯，一样。对得很准。

你把砖从头上拿掉，踩在脚下，悬浮在爱盘边的空中。没办法，脚下没什么垫底，心里就没底。

现在，我们请织女 MM 到爱盘中央待命，也就是圆心位置；

牛郎 GG 到爱盘边的内壁上待命。

这个实验很简单，就一个字：转。

当爱盘以圆心为轴，转动起来时，牛郎 GG 和织女 MM 会有什么不同的感觉呢？

爱盘缓缓转动起来，逐渐加速。

站在圆心的织女说：好无聊哦，就是转，没有任何变化啊！

站在爱盘边的牛郎说，哇，很神奇啊，我感到自己被一股力拉向盘外，幸亏盘沿内壁挡住了我，不然就飘向太空了！这股力越来越大。嗯，现在我站在内壁上，不觉得爱盘在转，只感觉到引力，现在感觉身体重量正常了！

爱盘开始匀速转动。牛郎感觉很踏实，就像回到地球上一样。

我们刚才看杂耍得知，这是因为，圆盘转圈儿，做圆周运动，也就是加速运动，产生的离心力等效于引力。

这个不新鲜，没意思，反正闲着也是闲着，再对下表吧。

牛郎织女心有灵犀，“同时”报时，但数字不同：织女报的时间与你同步，而牛郎报的时间比你慢。

嗯，这个也不新鲜，爱盘转动，织女在盘心，等于没动，与悬浮在盘边的你同处一个参考系，属于静系，所以报时与你相同；牛郎在盘边做加速运动，属于动系，所以时间流动比你和织女慢。

是不新鲜。

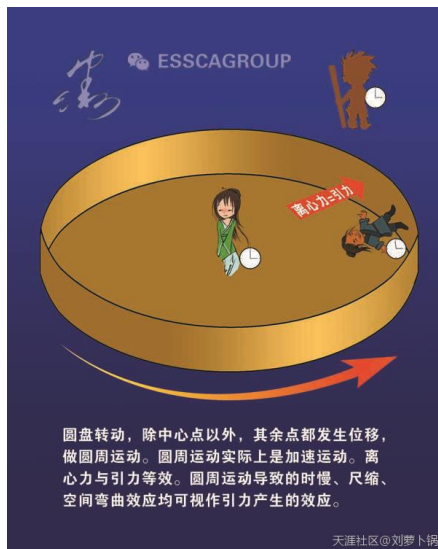
等等，好像有哪儿不对劲。

对牛郎来说，他并没有感觉到什么运动，而只是感觉到引力，所以对牛郎来说，是引力让时间流动变慢——时间膨胀了！

加速度等效于引力，不仅力效应等效，运动效应也等效！加速运动能使时间变慢，引力也能！

织女一听，哦，这么好玩儿啊？嘴撅起老高，“我不在盘心玩了，我也要去牛郎 GG 那儿！”

好吧，你去吧，不过，每走两步，你就得报一次时。美女一撇嘴，你一向是有求必应。但这次，你是正中下怀，因为咱俩刚好要了解一下，从盘心到盘边，时间变慢的幅度是如何变化的，所以顺水推舟答应了织女的要求。



【图 1.9】爱因斯坦圆盘。

织女从盘心向牛郎走去——与其说是走去，不如说是被甩过去，因为离开圆心向外沿走，就有了离心力，越向外，离心力越大，幸好织女是神仙，掌控力强，居然保持匀速向外移动！

随着织女的报时，咱俩发现，离盘心越远，时间变慢的幅度越大。

这很正常，因为离盘心越远，转动的速度也就越快，引力就越大，时间当然就越慢了！

那，咱俩把织女报时变慢的幅度记在坐标上，每次报时的变慢幅度标记成一个点，用线连起来，会是什么样子呢？

哇，原来是一条美丽的曲线！

我们可以这样理解：随着引力的变化，时间弯曲了。

引力可以使时间弯曲！

你说不可能？时间怎么会弯曲？

你不会是忘了吧，时间和空间是一体的啊！怎么就不能弯曲呢？

那，空间弯曲，有证据吗？你疑惑道。

别急嘛，实验尚未成功，同志仍需努力。我说道。接着做试验！

你俩才“同志”呢。织女嗔道。

好吧。现在，需要七仙女大显神通了！你是天庭的著名裁缝……

人家现在都叫服装设计师。织女瞪眼。

嗯，你是天庭的著名服装设计师，量体神尺应是随身携带，可否一展神通，帮俺们量量这爱盘的尺寸？

这好办！说到织女的特长，她兴奋起来。量哪儿的尺寸？

量一下爱盘的半径。我说道。

好办。织女话音未落，玉臂轻扬，眼见一道白光，却是软尺顺衣袖飞出，尺头直落盘心，尺身笔直地贴在盘面，延伸到盘边。

半径是 r 。织女话音刚落，白光一闪，衣袖飞扬间，尺已收回袖中。

酷！

神仙办事效率就是高啊！我由衷赞道。不过，七仙女啊，你尺子收得太早，咱还没量盘的周长呢！

刚展示了才艺的织女不屑道，有了半径，周长还用量么？
周长= $2\pi r$ 啊！当我白痴啊！

是吗？你确定一定以及肯定？世事无常啊，还是量量比较放心。我说道。

唉，不和你这个文盲计较了，量完看你还有什么话说。织

女说着，纵身悬停在空中，玉臂轻舒，白光再现，神尺精准地绕盘沿一周，盘动尺不动，那个刻度静静地展示在织女眼前。这手法，叹为观止啊，咱俩等着观赏织女报完数以后收尺的 Posse。

然而，织女似乎石化了，她迟迟没有声音，尺也不收了。咱俩仔细观瞧，却见织女瞠目结舌：怎么不等于 $2\pi r$ ，居然比 $2\pi r$ 短？！

不必怀疑精度，这是神尺。

牛郎见老婆演砸了，尴尬地打圆场：咳咳，嗯嗯，肿么回事？圆周率不灵了？

狭义相对论有一个已经被证明的预言：物体会沿着它运动的方向变短。那么，这个圆盘做圆周运动，其圆周就会变短，沿着圆心所做的圆，越靠外，速度越快，圆周变短的比例就越大。你神采飞扬地抢答道。

牛郎织女和我用倾慕的目光看着你。

那么，作为一个圆盘，它在半径不变的情况下，周长是怎么做到变短的呢？！

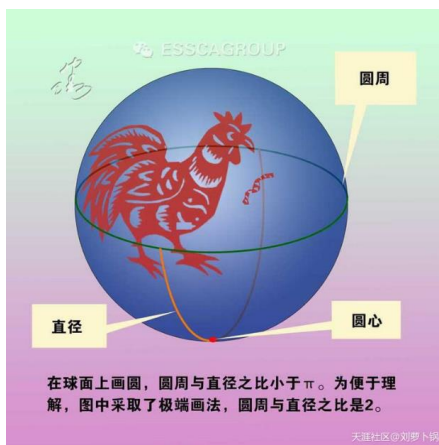
答案是：空间弯曲。具体什么情况呢？

我们所说的圆周率 π ，即圆周与直径之比，只在平面几何中有效。

也就是说，你在平面上画个圆，再画出它的直径，这个圆周长与其直径之比，就是 $\pi(3.1415926535\cdots\cdots\text{无限不循环 ing})$ 。

但是，如果我们把这个圆画在球面上，比方说画在足球上，再画出它的直径，你就会发现，圆周变短了，直径变长了，圆周与直径之比，就会小于 π 。

不信？我们可以这样极端地想：在地球上画圆，以南极为中心，沿赤道画一个圆，在地球表面画出它的直径，应该是过南极的一条经线，两端到赤道截止，其长度是地球周长的一半，现在，这个圆的周长和半径之比就是 2，小于 π ，是吧？



【图 1.10】在球面画圆。

那么，有没有大于 π 的情况呢？

有的。

见过马鞍吧？就是相对的两边下垂、另两边翘起的面。在马鞍曲面上画圆，再画出它的直径，这个圆周与直径之比，就大于 π 。

嗯，只要空间是弯曲的，圆周与直径之比就不等于 π ，周长自然就不等于 $2\pi r$ 了。

圆盘转动，产生狭义相对论的尺缩效应，那是由于空间弯曲了。

原来，狭义相对论已经隐含了空间弯曲的结论！

好吧，刚才说时间弯曲，现在又说空间弯曲，那么，到底是谁弯曲了呢？

时空弯曲了。

“时空一体”这四个字可不是随便说说的。时与空不是亲密关系，比如夫妻，可以拆成夫与妻。我们说过，时空是一体的，就相当于老婆，我们不能把她拆成两部分，一部分叫老，另一部分叫婆。

因此，我们可以这样理解，从深层次上讲，时胀和尺缩效应，其实是时空弯曲这件事表现的两个方面。就好比闪电和雷声，实际上是电流在空气中传导所制造的两个表象。

至此，广义相对论的基本原理就叙述完毕了。我们小小地回顾一下：

1. 弱等效原理：引力质量=惯性质量。加速度与引力等效。

2. 广义相对性原理：物理定律在一切参考系中都相同。

根据以上原理：

3. 加速度可使光线弯曲，那么引力也可以使光线弯曲。

4. 圆周运动实际上是加速运动。

5. 由“光线弯曲”推出：空间弯曲。“圆周率失效”也可以推出空间弯曲。

6. 引力源于质量，也就是说，质量可使空间弯曲。

8. 引力越大、时间越慢、空间越弯曲。

上面的都很简单，下面这条我们也应该不难理解：

9. 强等效原理：在时空中，一个点内的引力场，我们可以把它当做“局域的惯性参考系”。也就是说，可以用狭义相对论去描述引力场中的任何一点。

你会发现，广义相对论的基本原理，原来如此简单。至少，不像想象中那样难以理解。为什么？

那是因为，广义相对论是关于引力和时空关系的理论。我们已经接受了狭义相对论，崭新的时空观在我们的头脑中已经形成了概念，广义相对论的基本原理是很新奇，但对我们来说，已经不难接受了。

接下来，我们就要追随着伟大的小爱，在基本原理的框架下，去寻找一个舒适、美丽的表达方式，把这一伟大的思想，变成一套完整的科学理论。

第二章 广义相对论（中）柳暗花明

超级武器

前面说到过，小爱发现了等效原理、提出了广义相对性原理，并且据此推出时空弯曲等一些听起来是奇谭、但又相当有前途的结论，可以用来解决物理学衣裤不搭的尴尬。但新的烦恼出现了：用什么手段来描述这一光辉思想？

当然是数学手段。

但是，数学大餐比满汉全席丰盛多了，哪盘才是我的菜呢？小爱很纠结。

其实这很正常，数学发展到这个年代，已经没有谁能掌握全部数学手段了，都是各专一门，才华横溢的，会专多门，但不可能全通。何况，小爱学数学那会儿，正在热恋。所以，对小爱来说，自己擅长的一门数学，恰好可以解决这个问题的概率，就等于 1 除以所有数学分支。

不过，解决时空问题，首当其冲的，是几何学，因为它就是研究空间结构及性质的一门学科。

所以，小爱饥渴的眼神，首先就得瞄向几何学。我们就顺着小爱的目光，用同样饥渴的眼神，借机在几何女神的身上一掠而过，一饱眼福吧。

1. 欧氏几何

始自公元前 300 年前。由希腊亚历山大里亚学派的创始者、伟大数学家欧几里得创建，他集前人几何研究之大成，编写了数学巨著《几何原本》（以后简称《原本》）。这个在上部开篇说过，现在就当复习吧。

《原本》先摆出基本、简单、显而易见的公理、公设、定义，作为已知条件，先证明第一个命题，然后以此为基础，再证明第二个命题，以此类推，环环相扣，证明了 465 个命题，

砌成一座巍峨的几何大厦。现在我们来瞻仰一下著名的五条公理、五条公设：

五条公理（适用于所有科学）：

1. 等于同量的量彼此相等。
2. 等量加等量，其和相等。
3. 等量减等量，其差相等。
4. 彼此能重合的物体是全等的。
5. 整体大于部分。

五条公设（适用于几何学）：

1. 过两点能作且只能作一直线。
2. 线段可以无限地延长。
3. 以任一点为圆心，任意长为半径，可作一圆。
4. 凡是直角都相等。
5. 同平面内一条直线和另外两条直线相交，若在直线同侧的两个内角之和小于 180° ，则这两条直线经无限延长后在这一侧一定相交。

冷眼一看，是不是简单得像废话一样？金碧辉煌的平面几何大厦，居然就是由上述这些简单至极的材料砌成的。古往今来的数学家一致认为，《原本》论证之精彩，逻辑之周密，结构之严谨，命题之精辟，影响之深远，令人叹为观止。

欧老爷子用公理进行逻辑演绎，建立科学体系的方法，成为后人建立科学理论的强大武器，牛顿的《原理》、爱因斯坦的相对论等，莫不如是。

《原本》在数学发展史上、乃至人类科学史上树立了一座不朽的丰碑。欧氏几何两千多年来一统天下，至今其地位也没有被动摇。咱俩上初中时学的几何，就是欧几里得几何。

2. 微分几何

始自 1736 年。它的产生和数学分析密切相关，是在数学、物理学、天文学、工程学等日益增长的迫切需要中逐步建立的，

实是形势所急、形势所需，是 N 多人共同努力的结果。

1736 年，瑞士数学家欧拉（Leonhard Euler）把曲线的弧长作为曲线上点的坐标，开始了曲线的内在几何的研究。这是为微分几何奠基的第一锹土。

1807 年，法国数学家蒙日（G. Monge）发表了《分析在几何学上的应用》，提出把微积分应用到曲线和曲面的研究中去。宣告了微分几何的创立。

1827 年，天才的高斯（Johann Carl Friedrich Gauss）发表了《关于曲面的一般研究》，建立了曲面的内在几何学，阐明了在曲面上，长度、面积、夹角、测地线、曲率等概念的基本性质。

1872 年，德国数学家克莱因（F. Klein）发表了《埃尔朗根纲领》，用变换群对已有的几何学进行了分类，它成了几何学的指导原理。

微分几何学是以微积分学为主要武器，主攻三维欧氏空间的曲线、曲面等图形性质。在曲面上，有两条重要概念，一个是距离，一个是角。比如，连接两个点的路径是无数的，但最短的路径只有一条，对曲面来说，这条最短的路径叫“测地线”。微分几何深入研究了测地线、曲率等重要内容。

微分几何学的研究对数学、力学、物理学、工程学等的影响是不可估量的。

3. 罗氏几何

始自 1826 年。由俄罗斯数学家尼古拉斯·伊万诺维奇·罗巴切夫斯基（N. I. Lobachevsky）建立。罗氏几何也称非欧几何，它的建立得益于一个著名的失败。

这还得从《原本》的公理、公设说起，故事开始之前，我们再回头看看欧老爷子的第五条公设，这条公设可以导出这个命题：“通过直线外的一点，仅可作一条直线与已知直线不相交（平行）”，所以第五公设也叫平行公设，有木有感觉它与其他公理、公设不太一样？

有木有？！有的。

好的，那恭喜你，两千年来的数学家们一致同意你的意见，他们对五条公理和前四条公设都十分喜爱，唯独看第五公设不顺眼，因为无论从长度还是从内容上看，左看右看前看后看怎么看它都不像一个公设，倒像是一个可以由其他公设推导出来的定理。

其实，当初欧老爷子对此也是与你所见略同，但他没能找到第五公设的证明，所以只好把它放在公设里。于是引发了几何史上最著名的“平行线理论”的讨论，这一讨论就是两千多年。

它看起来无比简单、无比正确，却无法证明？！

无数数学家前赴后继，试图证明它，但均遭失败，所有的证明都陷入循环论证的泥潭，无法逃脱。败下阵来的数学家似乎听见了它的嘲笑：连欧老爷子都没搞定我，就凭你？哼哼！！

为你心动，却致心焦，痛到心碎，终于心死……苦苦的追求，换来的往往不是硕果满树、鲜花一路，而是块垒满腔、清泪两行。

罗巴切夫斯基也未能免俗，他顺理成章地失败了。但不同的是，他发现此路不通，便挥刀开辟了另一条路。

他作出假定：过直线外一点，不只有一条直线与已知直线不相交（平行）。

如果证明这条假定是不可能的，那就反证了平行公设是对的。

意外的是，他不仅没能否定这个命题，而且用这条假定代替第五公设，与欧老爷子的五条公理和其他四条公设一起，展开推论，得到了一个逻辑合理的、全新的几何体系！

尽管这个体系逻辑严谨，毫无谬误，但由于它得出的命题看起来很古怪，非常不合乎常理，在现实中找不到它所表示的原型和类比物，所以罗巴切夫斯基把它叫做“想象几何”。这门

新几何本身，就是对“第五公设不可证性”的逻辑证明。

罗氏几何和欧氏几何的关系很奇妙：凡与平行公理无关的命题，在欧氏几何中正确，则在罗氏几何也正确；凡与平行公理有关的命题，在欧氏几何中成立，在罗氏几何中都不成立。例证对照表：

欧氏几何	罗氏几何
同一直线的垂线和斜线相交。	同一直线的垂线和斜线不一定相交。
垂直于同一直线的两条直线或向平行。	垂直于同一直线的两条直线，当两端延长时，离散到无穷。
存在相似的多边形。	不存在相似的多边形。
过不在同一直线上的三点可以做且仅能做一个圆。	过不在同一直线上的三点，不一定能做一个圆。

如上可见，罗氏几何的命题与我们的直观常识相矛盾，不象欧氏几何那样容易接受。因此，同所有新鲜事物一样，罗氏几何一出现，大家就很不以为然，立即遭到人们的冷落、反对甚至攻击。

1868年，意大利数学家贝特拉米证明，罗氏几何可以在欧氏几何空间的曲面上实现。也就是说，罗氏命题可以转换为欧氏命题。

这样一来，你说欧几里得几何没有矛盾，那就是说罗氏几何也没有矛盾。呵呵，开挂了。

罗氏几何研究了当平面变成双曲面（鞍马型）之后，平面几何到底还有多少可以适用，以及会有什么特别的现象产生。在双曲几何的环境里，平面的曲率是负数。

直到这时，被弃蒙尘的罗氏几何才重见天日，得到数学界的普遍注意和深入研究。人们对罗巴切夫斯基的态度也来了个一百八十度大转弯。罗氏从倍受诟病到盛誉加身，被称为“几何学中的哥白尼”。

斯时，已经去世 12 年的罗巴切夫斯基终于可以含笑九泉了。

罗氏几何对数学的发展起了巨大的作用，这些赞誉，他当之无愧。

4. 黎曼几何

始自 1854 年，由黎曼（G. F. B. Riemann）创建。

波恩哈德·黎曼，德国数学家，看看以他命名的 N 多牛词，就知道这是一个牛人：黎曼 ζ 函数，黎曼积分，黎曼引理，黎曼流形，黎曼映照定理，黎曼-希尔伯特问题，柯西-黎曼方程，黎曼思路回环矩阵、黎曼-罗赫定理等等，他提出的黎曼猜想，至今未解决。

我们在前面提到过，天才高斯试图探测三维空间是否存在曲度，虽然没有成功，只开了个头，但数学家们认为这是个好点子，太好玩了，大有潜力可挖，于是纷纷出手，涌现出一批牛叉人物，黎曼是其中的佼佼者。

黎曼名字很婉约，人是个纯爷们儿，一部考究的大胡子强有力地证明了这一点。1854 年，黎曼在格丁根大学所作的题为《论作为几何学基础的假设》的就职演说中，把高斯关于曲面的微分几何研究发扬光大，提出用流形的概念来理解空间的实质，他发展了空间的概念，将曲面本身看成一个独立的几何实体，而不是看作欧氏三维空间中的一个几何实体，把空间想象成弯曲的，使用球型空间概念，建立了新的空间体系。这是一个革命性的思想，黎曼几何把欧氏几何、罗氏几何囊括其中，后二者是前者的特殊情况。

对于欧老爷子的第五公设，黎曼也有自己不同的看法：过直线外一点，没有一条直线与该直线不相交。也就是说，任意画一条直线，它都和其他的所有直线相交，木有平行线！怎么可能？！

施主莫急，随老衲先来看看欧老爷子的第一公设：过两点

能作且只能作一直线。

我们知道，黎曼几何是弯曲的球面几何，所以也叫“椭圆几何”，我们在球面上画直线，所得到的一定是大圆——也就是与球面同心、同半径的圆。大圆可视为球面上的直线。因为大圆具有直线在平面上的一些最基本的性质：过两点能作且只能作一直线；两点之间的连线直线最短等等。

而在一个球面上，所有的大圆都是相交的。因此黎曼得到的结论是正确的！

现在，我们来比较一下欧氏、罗氏、黎曼几何三者之间比较有代表性的不同之处，有点像绕口令。

对比项目 类别	过直线外一点	三角形内角和	三角形面积
欧氏几何	只有一条直线与该直线不相交	180度	与内角和无关
罗氏几何	不只一条直线与该直线不相交	小于180度	与180°减内角和成正比
黎曼几何	没有一条直线与该直线不相交	大于180度	与内角和减180°成正比

我们可以看到，在上表里，黎曼几何和罗氏几何的结论正好相反。

当然，它们也有相同的地方，例如：三角形中两边之和大于第三边；若两个三角形的三对边对应相等，则两个三角形全等；两个三角形的两对边对应相等，且其夹角对应相等，则两个三角形全等……

黎曼几何与欧氏几何、罗氏几何之间，可以相互转换，比如关于三角形内角和的分歧：

第一步：我们先在罗氏几何的双曲面上画一个三角形，发现不管怎么画，三角形的内角和都小于180度。

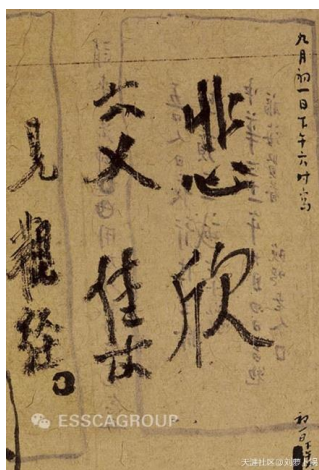
第二步：我们朝弯曲的反方向用力，把这个曲面慢慢展开，会发现三角形内角和越来越接近欧氏几何，成为平面时，得数与欧氏几何相等，180度。

第三步：还是顺着刚才那个方向继续用力，用力，用力，不要停，不要停，三角形慢慢出现在球面上，这就是球面几何，也就是黎曼几何，这时我们会发现，三角形的内角和大于180度！

三者都是正确的。

黎曼几何统一了欧氏几何与非欧几何，是研究弯曲空间的强大武器，它不仅可用于研究球面、椭圆面、双曲面等，还可用于高维弯曲空间的研究。

爱因斯坦发现引力场导致的空间弯曲后，悲欣交集。欣的不用说，当然是得到了新的结果；悲的是，没有一个称手的工具来描述这一结果。也就是说，不仅路找对了，而且已经走到门口，一摸兜，没钥匙！鸭子煮熟了，无从下口不说，丫的还要飞！坑爹啊！



【图 2.0】弘一法师绝笔

没办法，他找铁哥们格罗斯曼（Grossman）求助，老格特仗义，很快回电话推荐了黎曼几何。

爱因斯坦喜出望外，这真是：

众里寻他千百度，

山重水复疑无路，

惊回首，包子就在包子铺，

得来全不费功夫！

当然，学习黎曼几何并不是一件容易的事。

爱因斯坦拿出当年钻研物理的精神，刻苦钻研了黎曼几何，用这把钥匙打开了广义相对论的大门。

在爱因斯坦看来，引力不存在了，取而代之的是弯曲的空间，这叫空间中的引力几何化。黎曼几何与爱因斯坦的思想配合得天衣无缝。

利刃在手，物理学又一场伟大革命开始了。

测地线

质量的存在导致了空间的弯曲，这就是说，物质存在之处，就是空间弯曲之处。

大质量导致大曲率，小质量导致小曲率，正如大美女搞定大干部，小美女搞定小干部。

他们还相互影响，干部告诉美女如何弯曲，美女告诉干部如何运动，对不起，口误，应该是“物质告诉时空如何弯曲，时空告诉物质如何运动”，大大小小的质量相互影响，关系十分错乱暧昧。

虽然黎曼几何精确地描述了纷杂的弯曲空间，但在如此错综复杂的弯曲环境里，物质应该怎样运动？

大自然法则是简洁的，运动也是一样，无论情况怎么复杂，物质总是以当前条件下最直接、最简单的方式运动。它不可能遇到心仪的曲率，便一段拉丁舞迂回着跳过去，遇到不待见的曲率，便做做俯卧撑、躲躲猫猫什么的。

结论就是，物体都会走最短的路径。

那么，问题来了，什么是最短的路径？

直觉和经验告诉我们：直线。两点之间直线最短。

罗氏几何、黎曼几何告诉我们，在弯曲的空间里，是不存在“直线”的。在黎曼几何中，我们提到过，在球面上画直线，所得到的一定是大圆。

大圆可视为球面上的直线。

现在，为了接下来旅途顺利，我们先熟悉几个名词：

大圆：通过球心的平面与球面的交线。因为它是球面上最大的圆，所以叫“大圆”。

弧：圆或曲线上的任意一段。

优弧、劣弧：将一个圆截成不同长短的两个弧，大于半圆的称“优弧”，小于半圆的那个只好叫“劣弧”了。我们马上就会知道，虽然它名字叫劣弧，但却是最优的选择。可见名字不重要，利用价值才重要。

一个球面上，两点之间最短的距离，就是经过这两点的大圆的劣弧。最长的直线距离当然就是优弧了。所以，在球面上，你坐出租车从一点到另一点，你最优的选择，是这两点所在大圆上的劣弧。而优弧，是出租机的优选。

哇，这么快就找到弯曲空间最短的路了？那么，我们现在就能描述宇宙中物体的运动路线了，耶~！

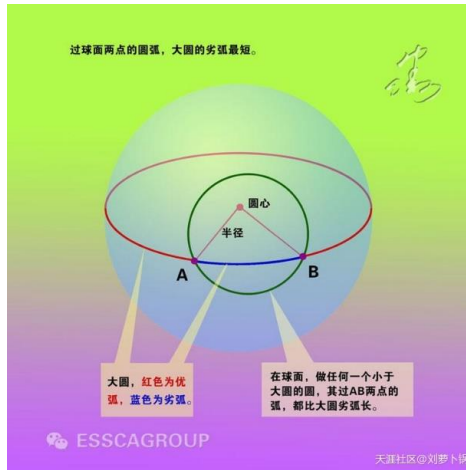
哼哼，别高兴得太早，自然界的弯曲，很少找到像球面这样简单和规矩的。是不是？

现在，我们低头看看自己，衣服是不是还在身上。如果不在，就赶紧穿上。

穿衣服了吗现在？没熨是吧？

嗯，假设我们遇到的弯曲就像我们衣服上的褶皱一样，错综复杂，那根测地线怎么找呢？

傻眼了不是？



【图 2.1】测地线

由于不同质量的相互影响，空间的弯曲一般都比较复杂。在复杂的弯曲空间，准确描述测地线，就更复杂。但不是一点办法没有。

我们知道，曲线可以由弯度不同的若干圆弧拟合，曲面也可由曲率不同的若干圆面拟合。这样，按照刚才我们在圆面上找出劣弧的方法，我们仍然可以在不规则的曲面上找出两点之间最短的连线，这条连线就叫做“测地线”。嗯，地球上的测地线就是它的大圆。

我们可以这样去理解一下，在四维时空中，物体总是沿着最短的路径，也就是沿着“直线”运动，但反映到三维空间，就是沿着弯曲空间的测地线运动。

不同维度所感觉的“直线”是不一致的，比如，烈日当空，一架飞机低空飞越山川，地面上，飞机的影子随之同步前进，飞机在三维的空中穿越，而影子在二维的地面漂移，地面是明显的曲面。所以穿越同样的距离，影子的路径是随地面起伏弯曲的，而飞机则是直线穿越三维空间。四维坐标中的直线，可

转化为三维坐标的短程线——测地线。

所以，我们用广义相对论的视角仰望星空，看到小的围着大的转，并不是那个叫“引力”的家伙用力强迫同志们绕着轨道转，而是大家都沿着弯曲空间中最接近直线的“测地线”运动，它边走边说，“我走的是直线，我走的是直线”，而我们只看到它们在傻乎乎不知疲倦地绕圈。

同样的，光线经过一个家伙的附近时，就进入了这家伙搞出来的弯曲空间，路线自然会发生偏转，这种效应就叫“测地线效应”。

OK，咱俩和爱因斯坦一起，又得到了一个结论：物体沿着弯曲空间的测地线运动。

那么，这个运动该如何表示？又该怎么计算出来？

问题的关键来了：对于一个科学理论而言，不能做出精确的预测，别说是天花乱坠，就算是说得天仙乱坠，也敌不过浮云半朵。

张量

当里个当，当里个当，
闲言碎语不要讲，
表一表，专业术语叫张量。
这术语，名字很有人情味，
大众化的姓氏弓长张。
大街上，你喊一声小老张，
一半人回头把你望，
不是老张就是小张。
另外一半不姓张，
那是老张的同学、死党和街坊，
还有小张的表兄、媳妇和丈母娘！

所以，同属大众的咱俩，要是不认识大众化的老张，不搞定它，让它继续高高在上供咱俩瞻仰，我心何甘？你心何甘？！

按照国内惯例，为了方便接近老张，我们先从老张的亲友团入手。

分量：总量的一部分，分量与总量的关系，相当于省与国的关系。分量、总量也是相对的，别看省是国的分量，但在县面前，省就是总量；在世界面前，国又成了分量。这个很好理解，是吧？

标量：别号“无向量”，好像和我佛有点关系。简而言之就是只具有数值大小，而没有方向的量，我们这样记：可以用某种“标尺”测量的量，比如质量、密度、温度、功、功率、动能、势能、引力势能、电势能、路程、速率、体积、时间、热量、电阻等。

矢量：别号“向量”。我们这样记：矢量这个名取得很形象，矢，就是箭，一箭射出去，它有方向，它的力度、速度、路线都是沿方向渐变的，这种既有大小又有方向的量，就叫做矢量。电脑里的矢量图可以无限放大永不出现马赛克，因为它的颜色是矢量定义的，而不是色素点拼合的。相关的分量按照大小个儿排成一排，形成一个一维的数据表格，也就是一行有序的数组，叫矢量。比如力、力矩、线速度、角速度、位移、加速度、动量、冲量、角动量等。哇，好像矢量比标量复杂很多耶，俺看一个数字都晕，这个矢量要 N 多数字站一排的！

矩阵：即 **Matrix**，本意是子宫、控制中心的母体、孕育生命的地方。记得《黑客帝国》吧，那里的矩阵，就是一个连接无数人意识，模拟人类世界，类似角色扮演网络游戏的控制系统。矢量是矩阵的一个分量，若干行矢量排列成二维的数据表格，这个纵横排列的有序数组，就叫矩阵。晕！这个矩阵更复杂，居然是 N 多矢量排成的方队！

主角张量呢？我们可以说，它是矢量分析的推广。上面说过，一排数据组成的一维表格叫矢量，多排数据组成的二维表格叫矩阵，三维以上的数据表格就是张量了。天呐，这回真倒

了，这个张量居然是 N 多矩阵的无敌组合！这么多数字像砖一样砌在一起，对俺这样的文盲而言，别说运算了，看一眼都得吐血而亡！

那么，张量搞这么复杂，能干嘛呢？

我们举个例子：坐标变换。

坐标变换是咋回事呢，咱们在前面提到过，就不罗嗦了。

那么，坐标之间变换，需要某种“有规律的关联”才行，总不能根据领导的梦话，随便捏造些数字乱搞，搞科普不可以像搞政绩那样不严肃，是吧？坐标这东西可不是顺民，你骗它一分，它能骗你一亿，你当它大头，它一定让你头大！

那么，这种“有规律的关联”到底是嘛呢？

是函数关系。

如果是简单的匀速直线运动，我们搞清楚它的位置啊、时间啊、距离啊、相对速度啊等一些标量，函数关系也不是那么太难搞定。

但是，在自然界中，标准的匀速直线运动，就像老卡老金之流治下的民主自由，那只是老光棍梦里的俏老婆，用来意淫解馋的，真正的滋味只有权贵尝过。他们不在自然界。很不自然。

自然界的运功，实际情况要复杂得多，有时会超出我们的想象，还记得难倒无数大牛的三体问题不？三体而已啊，就已经是人类世界的难题了，浩瀚的宇宙又何止三体！

那么，这样的函数关系又该怎么确定呢？

还是有办法的。我们可以把纷繁复杂的因素分解来看，分成一块一块的，各个击破。用某种方法，比如微积分，给每一块配一个御用因子，专门负责描述它。这个因子不是一个数，而是一个有序的数组。我们将各块的规律因子放在一起，就得到了若干数组（我们可以形象地叫它“表格”）。

把这些数组综合起来，运算分析，就是张量的工作。

哦，原来张量就是子公司的会计师，他负责综合分析下属公司的数据，供母公司使用。母公司可以是一个或一组方程式。

张量根据表格（数据组）的维数分“阶”，就好比我们用条条杠杠给小盆友划分等级：N 维表格就叫 N 阶张量。

所以呢，我们也可以这样看：

普通队员（标量），没杠，是 0 阶张量；

小队长（矢量，一维表格），一道杠，就是 1 阶张量；

中队长（矩阵，二维表格），二道杠，就是 2 阶张量；

大队长（三维表格），三道杠，就是 3 阶张量；

区总队长（四维表格），四道杠，就是 4 阶张量；

市总队长（五维表格），传说中的五道杠，就是 5 阶张量……

与条条杠杠不同的是，张量是名符其实，它的确可以表达、分析对应维数的数据组。

概而言之，张量这家伙，就是一种高维的数学量，是一种数学分析方法。它可以解决曲线坐标系中的微分运算等变态难题。它像微积分一样，是一种强大的数学武器，用来对付复杂多变的、有一定规律的量的计算。

它的功能有多强大呢？我们先来看看，它在强大的黎曼几何发展中的地位。

黎曼几何是通过微分几何建立起来的，在公理系统里引进了“弯曲几何空间”。

黎曼在构想这个新几何大厦时，就千方百计要建立一个相应的代数结构，用来描述它。可惜的是，天才的黎曼没有时间来实现在这一目标，他 40 岁时就因肺结核去世了。

虽然如此，黎曼提出的 N 维流形的概念，以及弯曲空间中二次微分形式的变换问题，成为通向张量分析的起点。后来，经过贝尔特拉米、克里斯托夫、里奇等数学家的发展，终于打造了这一神奇的武器。

强大的张量分析力挺强大的黎曼几何，前者成为后者的核

心内容。比如黎曼空间中的曲率是一个张量，黎曼空间的度量以“度量张量”表达等等。

张量分析和黎曼几何就像计算机软件和硬件一样，相互促进，交织发展，几何学与代数学更紧密地联系起来，极大地促进了现代数学的进步。

爱因斯坦场方程

从1907年到1915年，爱因斯坦独自开展他艰苦卓绝的八年抗战。

天下黄河九十九道弯，九十九道弯上九十九只船，九十九只船上九十九根杆，只有一个艄公来把船来扳……新的思想不断闪现，又无奈湮灭，走出无数个死胡同，广义相对论思想终于初步成形！

爱因斯坦以其非凡的智慧、超群的洞察力、渊博的知识、过人的耐力，独自构建了广义相对论的思想框架。

要知道，爱因斯坦的思想已经远远超出他所处的那个年代，他的理论，没有经验可供借鉴，没有实验手段予以支持，可供他使用的，只有思想、逻辑、数学手段，几乎是赤手空拳打天下，谈何容易！

方程，理论的核心。

一个没有方程的物理理论，就是一支没有子弹的AK47，一台没有CPU的电脑，一个不会歌舞的MJ，外表再酷、再光鲜都是浮云。

爱因斯坦开始尝试建立他的方程，有方向，无手段，可以想象，这时的他如步泥沼，用他自己的话说：每走一步都是极其困难的。

闵科夫斯基对狭义相对论的数学表达，启发了爱因斯坦。从一九〇九年开始，爱因斯坦寻寻觅觅，苦苦思索，想为新的引力理论配备一套合适的数学语言。

思想我有、智慧我有、方向我有，武艺精通只欠兵器！有

木有？！兵器！我只需要称手的兵器！老龙王，有木有？！！

有了！我还有哥们，格罗斯曼！这小子上学时数学就好，现在是几何学教授和 ETH 的数理学部主任。他是我的福星，是上帝赐给我的天使，每当我遇到困难时，小格同学就会扇动他那可爱的小翅膀及时出现，他详细的数学课笔记、耐心的讲解，帮助我通过了每次数学考试。就连我在专利局的稳定工作，也是格罗斯曼帮忙推荐的。格罗斯曼，I love you！这次，你必须帮助我，否则我就要疯了！

正如我们在黎曼几何里说到的那样，格同学向爱同学推荐了黎曼几何，我们已经知道了黎曼几何和张量的关系……那么，你猜对了，黎曼几何、张量，与爱因斯坦的引力理论简直就是天造地设的绝配！这是构建广义相对论最有力的武器！

遥想小爱当年，和小格一起在苏黎世联邦工业大学上学时，小爱把精力都投入到物理和恋爱上，经常不上数学课，作为哥们儿，小格曾告诫小爱：出来混，早晚要还的。哈哈，他原话是“你早晚会为此付出代价的”。现在，时候到了。爱因斯坦开始还债，疯狂地补习数学。

黎曼几何、张量这两个相辅相成的强大武器，好像是专为广义相对论而生的，而爱因斯坦的铁哥们——格罗斯曼正好是这方面的专家！

岳鹏举挺起了沥泉枪，喜羊羊遇见了灰太狼，孙悟空抢来了金箍棒，猪八戒回到了高老庄。

什么叫如鱼得水？这就是如虎添翼！

天才+勤奋+幸运=无敌！

金猴奋起千钧棒，天翻地覆慨而慷，不到长城非好汉，战地黄花分外香，当里个当……

1912年，爱因斯坦与格罗斯曼并肩作战。

这个伟大的合作是必然的，广义相对论无论从深度还是从广度上来说，都已经远远超出了人类的普遍认知能力，超出了

当时一流物理学家、数学家的理解能力。

当时的情况很尴尬，物理学家即使勉强理解了广义相对论的深刻本质，却对天书般的数学公式高山仰止，望而生畏；数学家就算看得懂那些该死的公式，但对神话般的物理内涵如牛听琴，望而却步。

方程，方程，方程！爱因斯坦立功了！格罗斯曼立功了！不要给困难任何的机会！！伟大的人类之子，他继承了全人类的光荣的传统，哥白尼、开普勒、伽利略、牛顿、麦克斯韦在这一刻灵魂附体，爱因斯坦一个人，他代表了人类科学的悠久的历史传统！在这一刻，他不是一个人在战斗！他不是一个人！！！！

1913年，爱因斯坦和格罗斯曼联名发表了重要论文《广义相对论纲要和引力理论》。终于啊~！

成功了？

经验告诉我们，成功哪有那么容易？这次得到的引力场方程，只对线性变换是协变的，而不像广义相对论原理所要求那样，在所有坐标变换下都是协变的。

原因是，爱因斯坦当时还没学好张量分析，所以他得出一个错误的结论：要坚持守恒定律，就得有坐标系的限制。为了维护其因果性，他忍痛放弃了普遍协变的要求。

这相当于，本来要造一台爬山涉水趟沙越沟无所不能的超级越野车，但千好万好，轮子太小，还是只能在公路上跑！坑爹啊！不适度啊！

这条弯路，爱因斯坦一走就是两年多。

数学！数学！妈的数学！

由于不掌握一些重要的数学工具（主要是比安基恒等式），所以，这次没有得到方程的正确形式。

1915年7月初，爱因斯坦按照广义相对性原理的普遍协变要求，思考、探索他的引力场方程。恰逢此时，它在哥廷根结识了数学家希尔伯特。

大卫·希尔伯特（Hilbert David），德国人，19世纪和20世纪初最具影响力的数学大牛之一，证明论、数理逻辑、区分数学与元数学的奠基人之一，名下成果众多，比如不变量理论、公理化几何、希尔伯特空间等，堪称伟大。

物以类聚，人以群分，两个伟人凑到一起，自然惺惺相惜，“基情”四射，很快成为好朋友。

小爱兴高采烈地写信给朋友说：“我说服希尔伯特接受了广义相对论。”

他向老希详细介绍广义相对论的原理、框架、前期工作以及今后的主攻方向，并就引力方程的数学问题求教于老希。

老希何许人也？听了小爱的物理课，很快心领神会。从这时起，老希开始研究广义相对论，帮助老爱解决数学问题。

搞着搞着，老希一阵坏笑，表示要跟老爱比赛，看谁先算出正确的引力方程。

一个专业的、伟大的数学家，在掌握了广义相对论原理、框架、前期工作以及今后主攻方向后，想要用数学去描述它，这种优势对一般人来说，应该是压倒性的。小爱表示鸭梨很大。好在这时，他的数学补习成效显著，进步神速，对黎曼几何和张量分析的运用已经游刃有余。

于是，二人开始了半真半假的数学竞赛。

（这段讲的是纳粹当时搞臭爱因斯坦用的几招，实际上，现在网上一些诋毁爱因斯坦的文章，很大部分都是源自于此）

第一招：证明爱因斯坦的相对论是错误的。

第二招：如果证明不了相对论是错误的，那么就证明相对论不是爱因斯坦的——代笔。

第三招：如果上述都证明不了，就证明爱因斯坦的人品不好。

第四招：如果上述还证明不了，那就杀了再说，或者杀了也不说。

我们来大致看看这几招进行得怎么样。

首先，证明爱因斯坦的相对论是错误的。

在持久批判的同时，动作最大的一次，是凑了 100 名科学家，出了那本臭名昭著的书：《100 名科学家证明：爱因斯坦是错的》。

（……略）

第二件事：相对论的知识产权问题。

先说狭义相对论。

（……略）

再说广义相对论。

广义相对论最终成型时，老爱和米列娃已经分居快两年了，分居前也闹得不亦乐乎，所以要把广义相对论往米列娃身上扯，就太扯了。于是，老爱的反对者又把目光转向大卫·希尔伯特。

一个常见的说法是：爱因斯坦于 1915 年 11 月投寄了他最终定稿的文章，而希尔伯特至少比爱因斯坦提前 5 天完成了广义相对论。这就是所谓广义相对论优先权的问题。而这个优先权的判别，主要纠缠在 1915 年 7 月到 11 月之间，老爱 and 老希的通信内容，以及他们论文内容和提交的日期上。

在讨论这些问题之前，我们先简要回顾一下广义相对论的创建历程，其中，涉及希尔伯特、引力方程数学问题的部分，稍稍详细些：

1907 年，爱因斯坦第一次提到“等效原理”。这是整个广义相对论的核心。

1912 年，爱因斯坦与格罗斯曼合作。借助格罗斯曼在黎曼几何上的造诣，构建了广义相对论的基本框架。

1913 年，爱因斯坦和格罗斯曼联名发表了《广义相对论纲要和引力理论》。不过，这次得到的引力场方程，是在放弃了普遍协变的情况下得到的。

后来，爱因斯坦意识到广义协变性原理是引力方程的关键，但由于不掌握一些重要的数学工具（主要是比安基恒等式），没有得到方程的正确形式。

1915 年 7 月初，爱因斯坦在哥廷根结识了数学家希尔伯特，两位伟人很快成为朋友。老爱欢快地写信给朋友说：“我说服希尔伯特接受了广

义相对论。”他向老希详细介绍广义相对论的原理、框架、前期工作以及今后的主攻方向，并就引力方程的数学问题求教于老希；老希从这时起开始研究广义相对论，帮助老爱解决数学问题，老希来了老顽童精神，表示要跟老爱比赛，看谁先算出正确的引力方程。老爱表示鸭梨山大。其间，老希与老爱频繁交换意见。

1915年11月，老爱爆发了，分别在4日、11日、18日、25日连续完成了4篇论文，第一篇论文发表了遵从“普遍协变”思想的引力场方程，但多了一个“限制变换群”的蛇足，离正确方程仅一步之遥。第三篇论文根据这个新方程，预言了光线偏转角度，算出了水星进动角度。第四篇论文放弃了那个蛇足，得到了正确的引力场方程。这篇论文于1915年12月2日发表，标志着广义相对论理论工作的正式完结。

1916年3月1日，老希那篇含有正确引力方程的论文发表，但他提交稿件的日期显示，这篇论文是在1915年11月20日完成的，比老爱那篇早5天。这就是“优先权”之争的由来。

1916年3月，老爱完成总结性的长篇小说《广义相对论的基础》，尘埃落定。

此后，老爱根据广义相对论，得出一系列重要理论，简列如下：

1916年5月，提出宇宙空间有限无界的假说。

1916年6月，提出引力波理论。

1917年，发表《根据广义相对论对宇宙所做的考察》，推论宇宙在空间上是有限无边的，现代宇宙学宣告诞生。

1937年，在两个助手的协作下，从广义相对论的引力场方程，推导出运动方程，广义相对论取得重大发展。

看了这个过程，广义相对论是谁的，应该很清楚了。

事实上，两位伟人间也不存在优先权的争论，至少没发现公开争论的记载。倒是后来人在争论不休，争论涉及大量文物和史料，人物、事件关系和相关推理多而杂，一一列出恐怕要写一本书，所以在这里我们只拣关键之处了解一下。

争论的内容集中在两个方面：

一是前面提到的，俩人最终论文的提交日期，老希比老爱早 5 天的问题。

二是俩人通信中，互相给对方介绍自己的研究成果，有信件显示，老爱收到过老希的方程式的问题。

虽然大局清楚，不过，既然说到这里了，我们就把争论的主要细节也拿出来摆摆。

1997 年以前的争论，多是双方拿着自己认为有利的证据纠缠不休，双方史料都不全，分析也不够全面和深入，谁也说服不了谁。

1997 年 11 月 14 日，科里等人对大量史料（包括新发现的档案文献）进行了研究，发表了一篇承前启后的重要文献《被延误的判决》，经过全面、系统、细致的分析，基本厘清了完成广义相对论最后关键的几周内发生的事情。

老爱方面的证据很清楚，手稿完成、提交、发表的日期都很吻合，没有异议。关键的证据是老希的那篇论文，及其相关证明性文献。

这份文献和老希的通讯录上，都标记着“1915 年 11 月 20 日发出”。这可能是手稿的最初完成日期。为什么这样说呢？接着向下看。

文献中，还有一份老希亲笔标注的副本，写着“第一份我最初笔记的证明”（以下简称“证明”），盖着“1915 年 12 月 6 日”的邮戳。

还有一份文献，就是正式出版的那个手稿版本，其内容被修改得面目全非，它的封皮上却标记为 1916 年 3 月 31 日。

而在他的“证明”中，引用了老爱 11 月 25 日递交、12 月 2 日发表的论文内容。

据此推测，老希可能在看到老爱的文章后，对自己的论文进行了修改。

随后，科里把“证明”和发表的论文相对照，指出“证明”里没有正确的引力场方程。而且从原始内容上看，老希没有把握好广义协变性原理，在引入决定性的迹项方面，显得很不自在。科里谨慎的分析和推理，指向一个可能：这一关键想法朝老爱借的。

有人想以此说明，老希剽窃老爱的成果，这太偏颇。首先，以老希的高尚人格和伟大成就，他是不屑干这种事的。其次，以他的智慧，他就算

有这想法，也不会拿自己至高的学术荣誉和个人声望去冒这个险。

科里等人深入、细致、全面、谨慎的工作，逐渐获得了广泛的认同。但争论仍然存在。所以，我们有必要弄清楚两个方面的问题。

一方面，有几个关键的事实是争论双方都认可的：

第一，在 1915 年 11 月中，老爱与老希书来信往，交流频繁，加速了广义相对论的建立。

第二，他们的工作保持了独立性，得出引力方程的过程截然不同，老爱的推导包含更多的物理学因素，而老希的推导采用的是变分法。借鉴思想一定有，但抄袭真没有。

第三，虽然老爱和老希最终的论文里都包含同样正确的引力方程，但总体来看，老爱的论述思想更富物理意义。这也难怪，因为老希是个数学家，而不是物理学家。

第四，老希的确修改过论文稿，但他清楚地引述了老爱的工作，并给予了高度评价。

老爱和老希的关系始终很好。在这件事上，他俩的品行是经得住考验的。

另一方面，广义相对论的诞生不存在优先权问题，不值得争论。

第一，广义相对论是爱因斯坦在没有现实需要的情况下，为了解决物理定律的参考系限制问题，而独自发起的一场物理理论变革，他是始作俑者。

第二，广义相对论的核心等效原理（广义协变原理属于强等效原理）是老爱的独创，如果说广义相对论是一个生命体，引力方程是它的任何一个重要器官的话，那么，等效原理就是它的 DNA，这是基础。所以，就算老希的公式比老爱的公式早生 5 天，也不代表老希拥有广义相对论的优先权。何况，没有证据表明老爱得到公式比老希晚。

第三，在老爱因数学问题求助于格罗斯曼和希尔伯特之前，老格和老希不知道广义相对论是怎么回事，而在合作过程中，老格和老希都是在老爱广义相对论思想的指导下，利用数学工具对这一思想进行描述和计算。在这个过程中，老爱也通过老格和老希，汲取数学营养，丰富广义相对论

思想。

第四，可以肯定的是，没有老爱，老格和老希不可能建立广义相对论；而没有老格和老希，老爱可以有两个途径建立广义相对论，一是学习数学（事实上他已经在做了），解决问题，这个可能会慢些出结果，但别忘了，到1916年老爱才37岁；二是找别的数学家帮忙解决数学问题，因为掌握这些数学工具的，可不止是老格和老希。

第五，老格和老希对自己在广义相对论中的位置十分清楚，他们从未对所谓的优先权有过什么争议。他们树立了数学家与物理学家合作的典范，足令一些锱铢必较的合作者汗颜。

事实上，老希也确实公开承认了老爱对广义相对论的完整优先权。他幽默地说：“也许哥廷根大街上的男孩都比爱因斯坦更了解四维空间几何，但正是爱因斯坦，而不是那些数学家们完成了这项工作。”

客观地讲，老希对广义相对论的贡献，相当于格罗斯曼，他们分别为老爱提供了一个数学工具，帮助老爱解决了不同的数学问题。

从某种意义上看，后人对他们的优先权之争，倒显得有些可笑了。

其间，两位大侠不断向对方展示阶段性成果，频繁交换意见，互相促进，加快了双方的研究进度。

1915年到1917年，是爱因斯坦科学成就的第二个高峰。

1915年11月，爱因斯坦一连向普鲁士科学院提交了4篇论文。

第一篇论文发表了新的引力场方程，既满足了守恒定律，又遵从了“普遍协变”的要求，但有一个蛇足，加了一个对变换群的限制。

爱因斯坦！爱因斯坦面对这个方程，他面对的是多年后全世界的目光和期待！不必要的蛇足曾经在论文中浪费过两个方程，他深知这一点，他还能够微笑着面对他面前的这个蛇足？二十天以后，他会是怎样的表情？

第三篇论文根据这个新方程，预言了光线经过太阳表面偏转的角度，还推算出水星近日进动的角度，解决了困惑天文学

60 多年的一大难题。

第四篇论文《引力的场方程》，他放弃了第一篇论文里的那个蛇足，建立了真正普遍协变的引力场方程。

广义相对论诞生了！

蛇足砍掉了，战斗结束了，爱因斯坦获得了胜利！淘汰了所有怀疑的目光！他没有再一次倒在数学面前，伟大的爱因斯坦，伟大的爱因斯坦精神！广义相对论今天生日快乐！！爱因斯坦万岁!!!

1916 春天，爱因斯坦写了一篇总结性的论文《广义相对论的基础》，尘埃基本落定。

他没有辜负全人类的期望，这是一个绝对理论上的绝杀，绝对的死角。人类科学进入了新时期！胜利属于爱因斯坦，属于麦克斯韦，属于牛顿，属于伽利略，属于普朗克，属于哥白尼，属于所爱真理爱科学的人!!!

1916 年 6 月，爱因斯坦根据他的方程预言，一个力学体系变化时，必然发射出以光速传播的引力波，提出了引力波理论。该预言在 1979 年得到了间接证明。

1916 年 8 月，爱因斯坦在《论辐射的量子性》一文中，提出了受激辐射理论，成为激光的理论基础。

1917 年，爱因斯坦在《根据广义相对论对宇宙所做的考察》一文中，推论宇宙在空间上是有限无边的，这又是人类历史的一个大胆创举，宇宙学从此摆脱了纯粹猜想的思辨，进入现代科学领域。

现代宇宙学诞生了！

1937 年，在两个助手合作下，他从广义相对论的引力场方程推导出运动方程，进一步揭示了空间——时间、物质、运动之间的统一性，这是广义相对论的重大发展，也是爱因斯坦在科学创造活动中所取得的最后一个重大成果。

说了半天爱因斯坦场方程，却还没见过她的真容，其实，

她很难看懂，反正我是看不懂。不过，人类最伟大的思想内核，即使看不懂，我们扫一眼应该不会吃什么亏吧？

准备好了吗？下面就是传说中惊天地泣鬼神，前不见古人后不见得有来者的爱因斯坦引力场方程！

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^2}T_{\mu\nu}$$

其中， G 是引力常数， c 是老熟人了，真空中的光速。 R 和 π 咱也认识吧，应该是半径和圆周率。下面是几个拖家带口、自带装备的复杂因子。我们发现，张量这家伙在公式里无处不在：

$G_{\mu\nu}$ 爱因斯坦张量。

$R_{\mu\nu}$ 从黎曼张量缩并而成的里奇张量，代表曲率项。

$g_{\mu\nu}$ 4 维时空的度量张量。

$T_{\mu\nu}$ 能量-动量-应力张量。

用一个什么词来形容她才算适度呢？我决定，把眼前蹦出来的第一个词写下来：

神妙。

相对论思想就浓缩在这一个公式里，其形式之简洁令人赞叹，其内涵之深广令人着迷，其计算之复杂令人敬畏（好多张量啊）！她是美妙的，但并不完美，计算时只能得到近似解。1916 年，德国天文学家、物理学家史瓦西找到了广义相对论球对称引力场的严格解，即史瓦西解。为了纪念史瓦西的功绩，德国科学院天文台被命名为史瓦西天文台。这就相当于，一个红学家因为正确解读了《红楼梦》金陵十二钗的判词，于是金陵便以他的名字命名，这从侧面衬托了曹雪芹更伟大。

广义相对论是人类有史以来最伟大的思想成就之一，它统合了狭义相对论和牛顿的万有引力定律，将引力描述成因物质与能量存在而弯曲的时空，取代了传统对于引力是一种“力”的看法，它代表了现代物理学中引力理论研究的最高水平。

广义相对论是典型的三无产品：无矛盾相逼，无观测征兆，无现实需要。但爱因斯坦仅凭对“万物平权”这一简洁的自然美、科学美的不懈追求，以一人之力建起一座巍峨的科学大厦，使人类对宇宙本质的认知向前狠狠地迈出了一大步。爱因斯坦说，如果我不发现狭义相对论，5 年之内肯定有人发现它，如果我不发现广义相对论，50 年内也不能有人发现它。看来，他把时间估算得太保守了，从广义相对论发表近百年的现在来看，别说是发现相对论，就是研究相对论，称得上精通的也不多。

广义相对论颠覆了人类的认知，在时间流逝、空间几何、自由落体、光的传播等问题上，提出了与经典物理和人类日常认知完全不同的看法。

广义相对论得到了诸多当时看起来不可能，以后却广为接受的预言：引力场内的时间膨胀、光的引力红移、引力时间延迟、黑洞、光线弯曲、引力透镜、引力波、有限无边宇宙、虫洞、时间旅行等等。

和狭义相对论诞生时一样，广义相对论的发表，如同英王室适度允许威廉王子迎娶芙蓉姐姐的消息发布在寰球时报，立即激起了轩然大波。

狭义相对论横空出世时，毕竟是处于物理学遇到空前危机、各种理论割据混战之时，同志们都很迷糊，出现些奇谈怪论大家都能理解，反对者还算客气，说爱因斯坦的狭义相对论不是物理，而是魔术。

现在，在铁的事实面前，人们不得不违背日常认知，不甘又无奈地尝试接受狭义相对论，一只脚踏进陌生的天地，还没等适应呢，爱因斯坦又抛出一个更奇怪的理论，叫我如何说爱你？

所以，广义相对论一发表，反对的声音此起彼伏，甚至一些人言之凿凿地说，广义相对论就是爱因斯坦精神失常的证据，他们对这个发疯的天才表示同情。很多原来支持爱因斯坦的人

也纷纷倒戈，因为他走得太远，何止是难望项背，简直连影子也看不见了。只有少得可怜的革新派信心满怀，但他们中的大多数还得面临一个大问题，那就是先搞懂广义相对论。

千辛万苦披荆斩棘搞出的成果，没人懂不说，还遭人攻击，爱因斯坦很痛苦。虽然这一切尽在意料之中。

世界上有一件事情最难：让别人放弃相信自己，转而相信你。

还有一件事更难：让别人放弃相信自己和其他人，转而只相信你。

所以，摆在爱因斯坦面前的只有一条路：实验，证据，用事实来说话。

实验？广义相对论的实验？！谁能做得了？！当时反对广义相对论的物理学家有句形容相对论的名言：理论家的天堂，实验家的地狱。这句怨言，一语道出验证广义相对论实验的难度。

不好找不等于找不到，你们找不到，我自己找！为了方便人们验证广义相对论，爱因斯坦的任务是，找出可以验证的引力效应，它们需要具有这样几个特点：

- 1.离得近，可以被观测。这样便于人们验证。
- 2.可以由广义相对论定律算出。这个当然是必须的。
- 3.用牛顿定律算不出来。这个也是必须的，如果牛顿定律算得出来，广义相对论又得出同样的结论，就有打哪指哪的嫌疑，证明不了广义相对论的正确性。

实际上，爱因斯坦在构建相对论之初，就已经着手为他的思想寻找证据支持了，他先后提出了三个著名的预言，不出太阳系就能验证的三个预言：

- 1.太阳附近光线的偏折，角度是 0.87 角秒（这是 1911 年的计算结果）。
- 2.水星近日点进动，每 100 年的进动是 43 秒。

3.引力红移,从引力场中发射出来的谱线,波长会被拉长,向红端移动,也就是红移。

我要的,不是一个表扬,只是一个……证明。

第三章 广义相对论（下）铁证如山

光线偏折

其实，早在 1704 年，不朽的牛人牛顿就在他的《光学》一书中，推测巨大引力可能会使光线弯曲，根据就是光的微粒说。一个世纪后，法国天体力学家拉普拉斯也提出了这一看法。1801 年，德国慕尼黑天文台的索德纳把光当做有质量的粒子，用牛顿力学计算出：光经过太阳边缘的偏折角是 0.875 角秒。但是，大家知道，光是没有质量的，更重要的是，当时光的波动说占了上风，光“波”有质量，比光“粒”有质量更荒谬，所以他们的预言没有引起大家的兴趣。

根据广义相对论，光线与其他物质一样，必须沿着时空的测地线走。1911 年，爱因斯坦根据等效原理预言，光线经过太阳附近时，会向内稍微偏折。当时他给出的偏折数是 0.87 角秒。

由此推论，当太阳挡住遥远的恒星时，经过太阳表面附近的星光由于偏折，会有一部分射向地球，这就是说，我们应该能看见太阳背后的星光。

可是，太阳那么亮，他老人家一出来，满天星星都不见了，看他一眼，神马浮云鬼都看不见了，更甭提他背后的星光了！怎么验证啊？！熟归熟，这样整蛊我也要告你玩人呐小爱！

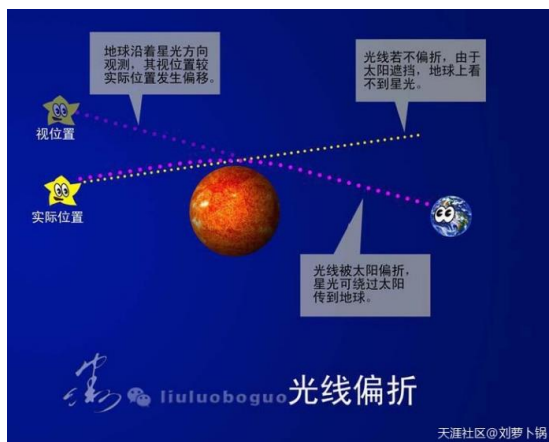
爱因斯坦说，别急，有办法，我们可以选个恰当的时间，那就是日全食的时候。

那一刻，太阳 GG 被月亮 MM 完美地挡在身后，天空一片漆黑，繁星满天。

这时，我们就可以出来数星星了。

我们将看见太阳周围的星星，其中，就有由于光线偏折，本该在他身后、现在却出现在他旁边的星星。我们根据这些星星本来应该在的位置，和他们这时的观测位置，利用二者之差，

很容易算出来光线偏折了多少，对照一下广义相对论的运算结果，不就可以验证了？



【图 3.1】光线偏折

道理是这个道理，但是，事情永远不是想象的那样简单。再完整的日全食周围也有日冕，还能看见日珥啊什么的，周围有散射光，所以在紧贴太阳边缘处，是不可能看到星光的，能被拍到的恒星，都离太阳边缘有一定的距离。

那怎么办呢？

别急，尽管离太阳边缘有一定距离，但是，它们的光怎么也算是经过太阳附近到达地球的，也应该会发生弯曲，只不过是，离太阳越远，偏折越小。有了这个规律，我们就可以利用拍到的星光，由外而内归算出偏折强度的曲线，进行推算、拟合，也可以给出太阳边缘的偏折角。

天才啊！I服了 you！ I love you！

那我们大家立刻开始这段观测吧！

好，就立刻开始！

.....

虽然原理很直观，直观得看似简单，但实施起来真的很麻

烦。

就全球而言，日全食并不太少见，大致每三年可以发生两次日全食。按理说不少了。可是方便观测的日全食不多，比如，日全食出现在海洋上（地球 71.8%是海洋）、喜马拉雅山区、撒哈拉沙漠（沙漠占陆地总面积的 10%）、不方便去的国家等等，这样一算，便于观测的机会也不多。

再说星星和太阳的位置，由于地球、太阳都在不停地运动，太阳、星空背景的视位置都在不断变化，全年正好移动一周。所以，不仅要拍出日全食时的精确照片，还要拍出太阳不在这片天区时，同一视位置星空的精确照片，以供对比。

就算等到了日全食，也不一定正好赶上它背后有可供观测的星星，就算有这样的星星，也不一定能赶上好天气，就算赶上了好天气，也不一定就能测准，因为那个偏折太小了，非十分精确而不足为证，甚至拍照时、洗相片时的温度差异等毫不起眼的条件都会导致测量不准。

这样一算，观测成功的概率，大概略高于咱国官员引咎辞职的概率。不等于零，但希望相当渺茫。

从 1911 年爱因斯坦给出第一个光线偏折结果开始，人类又一个伟大的验证之旅戏剧性地拉开了帷幕。

这个故事很长，情节很狗血。如果这是一部电视剧，我相信即使是最整脚的导演，也不好意思让故事情节曲折得如此做作。但上帝好意思。世界就是这样，生活就是这样，它永远出乎人的意料，你别无选择。

起初，没有人对这个观测感兴趣，天文学家和物理学家都很忙。1912 年 10 月，南美洲北部来了一次日全食，好不容易有人想起这事，阿根廷科多巴天文台兴冲冲地准备观测光线偏折，但日食当天，阴云密布，于是大家洗洗睡了。

此后很长一段时间，观测之事无人问津。

正在爱因斯坦感到受挫时，柏林天文台的欧文·芬利·弗里

德里希 (O. F. Friedrich) 站了出来, 表示愿意干这件事, 他是天文台的助理, 一个充满激情的年轻人。他知道, 参与这一重要新理论的验证, 是一次名垂青史好机会。小伙子, 有眼光!

但这真的不是一件容易的事, 即使有日全食, 月亮 MM 扫过地球的影子只有几英里宽, 要及时赶到阴影里才行, 当然, 你自己及时跑过去也只能看看热闹, 向当地人借个脸盆敲敲, 帮忙赶一赶吃月亮的哮天犬。搞测量要有精密昂贵的设备、器材啊等等, 这是一个团队的工作, 这又涉及到资金、人力、运输等等, 来回火车票找谁报? 搬运费怎么开发票? 离开岗位去搞测量, 工资朝谁要? 鸡要下蛋人要吃饭, 这些现实问题不能不考虑。

小伙子和他的同盟算了一下, 下一次日全食时间是 1914 年 8 月 21 日, 地址是在俄罗斯克里米亚 (后来俄罗斯与乌克兰同居, 俄把克送给乌当礼物。再后来, 俄乌分居了, 俄不厚道地把礼物抢了回去)。

弗里德里希鼓足勇气, 对他的上司说: BOSS, 咱俩去俄罗斯吧, 验证爱因斯坦的广义相对论, 顺便去比较大的城市旅旅游, 我看他以前的理论都比较靠谱, 相信这回的也错不了, 万一火了呢? 要不你批一下台里出资?

一曲肝肠断, 天涯何处觅知音! 这番话声情并茂, 山河为之倾倒, 鬼神为之动容, BOSS 果然干脆, 当即清晰地答了两个字: 做梦!

爱因斯坦很生气, 但后果不太严重, 就是后人每次提起这事, 大家都不提 BOSS 的名字, 让他的名字被时间掩埋吧, 我们只需知道柏林天文台曾有个眼力不好的 BOSS 就行了。

弗里德里希没有气馁, 他见自己的 BOSS 死心眼, 就给别人的 BOSS——美国里克天文台的台长威廉·华莱士·坎贝尔 (W. W. Campbell) 写了封信, 说: BOSS, 咱俩去俄罗斯吧, 验证爱因斯坦的广义相对论, 顺便去比较大的城市旅旅游, 我看他以

前的理论都比较靠谱，相信这回的也错不了，万一火了呢？要不你批一下台里出资？

坎贝尔一看，正合朕意，准了！

临行，坎贝尔激动地说，我们一定要成功！

他们带着笨重的设备出发了，路很长，要横跨欧亚大陆，穿越世界上最辽阔的国家俄罗斯，目标：黑海北部海岸上的一个半岛——克里米亚。

为了尽可能拍到好照片，他们提前到达，选择了不同地点宿营，以免同时遇到糟糕的事情，比如狗血天气啊什么的，让观测功亏一篑。

然而，更糟的事情发生了，1914年8月1日，德国对俄国宣战，双方打得如胶似漆。

一天，弗里德里希的营地来了一队俄军，他们发现这个密林深处的营地里住的是德国人，还带着精密的照相机、望远镜……可以想象，那个背景下，傻瓜也能猜出他要干嘛。果然，根据观测，傻瓜们得出结论：

这是一德国间谍。

可怜的弗里德里希，还没看到日全食的影子，就成了战俘，人被关，设备被没收……碰到城管了。人生若此，还有更倒霉的吗？

有的。

坎贝尔。

因为他是中立国美国人，俄军给了个面子允许他继续观测日全食，他在观测点调试好设备，时刻准备着。

期待已久的日全食终于到来了！

But，天边飘来一片云。也不太厚，也不太大，恰到好处地挡住了他要观测的星星。

坎贝尔幽怨地凝视了云朵N秒钟，二话没说，丢下先进的设备（打仗呢，设备被扣），心灰意冷地回国了。他说，我只想

从后门偷偷溜回家，不见任何人。伤不起啊！

真是没有最霉，只有更霉！

下一个适合观测的日全食在 4 年之后。

希望又破灭了。

我们的希望就像小盆友吹泡泡，边破边吹，边吹边破，直到兴致全无。

爱因斯坦失望之余，重新审阅他的计算结果，他发现，这次观测失败，对自己而言，简直太幸运了！

因为，这次算错了。囧……

爱因斯坦意识到，1911 年根据等效原理，只算了时间弯曲产生的效应，这个值类似牛顿引力势的效应，所以，得出的值与牛顿值大抵相当。空间弯曲的效应当时没有考虑。1915 年，爱因斯坦根据广义相对论计算出空间弯曲产生的偏折效应，对以光速运动的粒子来说，偏折大小恰好与时间弯曲效应相等。这样，时空弯曲综合效应正好是原值 0.87 角秒的两倍，即 1.74 角秒。

如果弗里德里希他们观测成功了，那么他们会发现爱因斯坦失败了。

这个幸运来得真是尴尬。

知错必改是我们中华民族的传统美德，它有力促进了国外社会的发展。爱因斯坦毫无疑问把这一美德发扬到了极致，他很快改正了错误，把太阳边缘星光的偏折度修正为 1.74 角秒。

1916 年 2 月，荷兰天文学家威廉·德·西特（W. de Sitter）把爱因斯坦的论文翻译成英文，寄给了亚瑟·斯坦利·爱丁顿（A. S. Eddington）。

爱丁顿，英国天文学家、物理学家、数学家，也是著名的科普作家，剑桥大学天文学和实验物理学终身教授，剑桥大学天文台台长，英国皇家学会会员。自然界密实物体的发光强度极限被命名为“爱丁顿极限”，“无限猴子任意敲打键盘，最终

会写出大英博物馆所有的书”出自他口。

具有敏锐科学洞察力的爱丁顿立即意识到这篇论文的巨大科学价值。而当他得知，爱因斯坦曾逆德国之狂潮，写了份反战宣言，并因此遭受打击时，爱丁顿决定，必须为这个理论做点什么。当时，爱丁顿也因反战受到孤立，他要以此证明，科学无国界，敌对双方科学家可以为了崇高的目标站在一起。

这个想法很美崇高，爱丁顿同志为之激动不已。

但激动归激动，星球运转可不管你心情怎么样，任你恨海情天，下一个日全食只能等到 1918 年 6 月 8 日。

等啊等，这一天终于临近了。

但不幸的是，大战正酣，爱丁顿被困在英国。

幸运的是，这次日全食出现在美国，因上次壮志未酬心未死而耿耿于怀的坎贝尔离此不远，天赐良机啊！

可不幸的是，坎贝尔的尖端设备还被扣在俄国。

万幸的是，坎贝尔人缘不错，东挪西凑，终于用散件 DIY 出一套设备，可以凑合用。

无论如何，也要办成这事，这也许是我最后的机会。坎贝尔想。

1918 年 6 月 8 日，星期六，阴转多云有时晴，西北风转东南风一二三四五六级。

月亮 MM 依偎在太阳 GG 身边，GG 乐弯了腰，多么温馨的一幕！

可是，杯具了，天边又飘来一片云。

每次都来这一手，一点都不好玩。敢不敢再俗套一点？！拜托你来点新鲜的好不好？！

坎贝尔抓狂了，他没有心情漫随天外云卷云舒，而是咬牙切齿地望着那片云，泪飞顿作倾盆雨：我这辈子就毁在你手里了！

反正也看不成星星了，我就多站会儿，看你丫还能怎么

样？！！看着那片无所事事的云，坎贝尔恨不能手掷炸弹轰散之。如果要评史上观云最狰狞表情，坎贝尔必斩其魁。

奇迹出现了，就在日全食的时候，云开雾散，繁星满天！悲痛欲绝的坎贝尔顿时幸福满怀，泪流满面，太刺激了！老天，这样搞法会出人命的！

不抛弃、不放弃，这话谁说的来着？高，实在是高啊！拍照，拍照，就是拍照，时间宝贵此时沉睡再无机会啊！

根据爱因斯坦预言，照片上的某些恒星会有位移，不过，这个位移十分细微，大概相当于在几十米外拍照一根火柴棍——要是没概念，就举起你的手机拍下试试，在 10 楼窗口拍 1 楼地面，只有不到 30 米，看看能不能分辨出火柴棍。这要求照片十分精确才行。

照片洗出来了，好像有几张能用，比了又比，对了又对，未发现传说中的位移！难道是临时 DIY 的设备不够精确？

可不能因为这套山寨设备毁了自己的名声！谨慎的坎贝尔想出一个绝妙的主意，那就是先闭嘴。我不说，不就没事了吗？哈！

云白看了，牙白咬了。

下一个日全食，在 1919 年 5 月 29 日，月亮 MM 的倩影，将从智利和秘鲁的接壤处开始，越过南美，扫过大西洋，飘到非洲的中部。离赤道都不远。那一带，风景如画，同时紫外线、闷热、暴雨、蚊虫等也很狂躁。

爱丁顿把希望寄托在这次日全食上，但他知道政府不可能批准自己组团观测去。

因为当时英德两国正拼个你死我活，英国反对德国的一切，而爱丁顿是个和平主义者，拒绝参战，所以政府对他的立场比较恼火，没让他进牛棚躲猫猫接受贫下中农再教育已经很给面子了，还谈什么外出观测？！

爱丁顿只好鼓动别人来干这件事。

在他的鼓动下，一些强人技痒难熬。其中包括英国天文学家戴森（F. W. Dyson）。这家伙喜欢看月亮，也喜欢看太阳，两个一起看当然更爽，所以日食观测经验十分丰富。他欣然指出，这次日食，是检验相对论最理想的机会，因为日食发生时，它的星空背景是毕星团，其中有比较亮的恒星可供观测。

戴森向政府提交了他的观测计划。

政府一看，what? why? oh yes! 你去吧，带上爱丁顿，告诉他，这只是一个警告，下次再反战，罚他天天去赤道看月亮！

太意外了！爱丁顿欣喜若狂，我伟大的英国政府，一面杀红了眼，一面还清醒地认识到，爱屋及乌和恨屋及乌都是不可取的！你焉能不胜？！

1918年11月，战争结束。虽然硝烟尚未散尽，尘埃尚未落定，但有了政府强有力的支持，一切困难就都是浮云了。戴森和爱丁顿屁颠屁颠地出发了。

英国这次派出了两支观测队，一支由戴森领队，观测点是南美洲巴西的索贝瑞尔；一支由爱丁顿领队，观测点是非洲西岸的普林西比岛。这次的设备还算比较精良，为防万一，戴森除了天体照像仪，还带了一架小望远镜。

1919年4月下旬，爱丁顿观测队一到普林西比岛，立即开始周详的准备工作，一切都是为了那一刻：1919年5月29日下午，2:15~2:20。一共5分钟的观测。

1919年5月29日凌晨，爱丁顿被他最怕听到的声音吵醒，风声雨声打雷声声声入耳，普林西比岛一片风雨飘摇，爱丁顿举目四顾皆金星，万念俱灰，化为一念：愿戴森好运！

爱丁顿准备收拾行李回家。没想到下午2点，居然雨过天晴，风和日丽，好像那场雨是上个世纪的事。爱丁顿欣喜若狂，忘了感谢上帝，狂拍了很多照片，但到底是刚下过雨，大气层能见度受到影响，仅有2张显示出恒星的像。这已经是意外之喜了。

戴森运气似乎好些，巴西的索贝瑞尔天气好极了，十分适宜观测。

他们用天体照像仪拍了 19 张照片，为稳妥起见，还用小望远镜拍了 8 张。这下保险了吧？

铁一般的事实告诉我们，这个世界上，没什么事是保险的。

天体照像仪关键时刻掉链子了，焦点不准，导致星像模糊！根据预言，底片上的星位位移只有 $1/60$ 毫米，现在图像模糊，测量的精确度自然就不高了。幸亏小望远镜还拍了 8 张，幸亏它拍的照片很清楚很锐利，但是，它的原始底片尺度小，位移更细微，需要更精准的测量手段，要知道，这是天体测量啊，差之毫厘何止谬以千里！

几个月后，3 个观测资料的处理结果出来了：

爱丁顿在普林西比拍的照片： 1.61 ± 0.30 角秒

戴森在索贝瑞尔用天体照像仪拍的照片：0.93 角秒

戴森在索贝瑞尔用小望远镜拍的照片： 1.98 ± 0.12 角秒

好像都跟爱因斯坦预言的 1.75 角秒不太一样。

爱丁顿和戴森经多次讨论分析，一致认为：小望远镜的测量结果应该更精确。原因有二：其一，爱丁顿拍照时受到天气的影响比较大，而戴森的天体照相机犯的错最离谱：模糊！其二，星光的偏折程度，与其离太阳边缘的远近密切相关，而小望远镜的视场比较大。综合来看，这次，小望远镜给出的结果更精确。

根据上述分析，爱丁顿和戴森评判出 3 个观测结果的重要程度，用加权平均法，给出 1.64 角秒的结果。与爱因斯坦的预言比较接近。

1919 年 11 月 6 日，戴森在皇家学会和皇家天文学会上宣布：观测结果支持爱因斯坦的理论。汤姆逊说：“爱因斯坦的相对论是人类思想史上最伟大的成就之一，也许是最伟大的成就。……这不是发现一个孤岛。这是发现了新的科学思想的新

大陆。”

会场沸腾了。

伦敦《泰晤士报》于 11 月 7 日发出头版头条新闻“科学革命：牛顿的思想被推翻。”

世界沸腾了。

1919 年 9 月 22 日，洛伦兹发来贺电：“欣闻爱丁顿验证星光经太阳边缘发生偏转……”

爱因斯坦很高兴得到这个结果，但并不激动。结果公布前，爱丁顿告诉爱因斯坦结论时，爱因斯坦说：“我从来没有想过会是别的结果”。他对自己的理论十分自信，所以这一切都在他的意料之中。

意料之外的是，他一夜之间名扬全球，成为科学界、艺术界、教育界、娱乐圈、时尚圈、文化圈等各界各圈竞相追逐的明星，人们出于千奇百怪的理由，关注他的相对论和他本人的一切，令爱因斯坦猝不及防。这就是当代活牛顿啊，怎不令人痴醉迷狂？！

除了理智坚定的支持者、盲目的崇拜者、狂热的追随者，当然少不了各种怀疑者。甚至有人说，这次公布的日食观测结果经过了爱丁顿的“烹调”。瞧，说造假都说得这样婉约。

戴森公开了原始底片的拷贝，以正视听。

尽管如此，一些科学家还是认为，他们宣布这一成果是草率的，因为在这样复杂的一个检验中，导致误差的因素很多，比如天气、设备状况，底片成像质量，就连不起眼的温度变化，也可导致大气扰动、望远镜聚焦、底片尺寸等一系列变化，这些都会影响最后结果。温差小于 10 华氏度的结果是可以接受的，但爱丁顿他们观测当天温差达 22 华氏度。

1920 年，在华盛顿召开了一次史称“大辩论”的重要会议，会议的主要目的是为沙普利和柯蒂斯提供一个打口水仗的战场。此前，在宇宙结构问题上，他俩一直企图说服对方同意自己的

观点，但双方都没有成功。

我们在这里要说的不是他俩的辩论，而是本次大会的组织者阿伯特，他拒绝把相对论列入议题，并说了一句：“我向上帝祈祷，科学的进步会把相对论送到四维空间之外的某个地方，它就永远不会回来折磨我们了。”

是啊，广义相对论结论怪诞离奇，怎么看怎么像谬论，但逻辑完整严密，形式简单优美，怎么看怎么像真理，一半是魔鬼，一半是天使，一般人还真是伤不起。

相对论还没有到达四维空间之外，阿伯特先去了。

倒霉的坎贝尔台长也是怀疑、反对者之一，他反对的原因就是，自己没能找到支持相对论的证据。坎贝尔只相信事实，他以严谨、客观的作风为人称道。

1922年，坎贝尔又一次出发了，目标是澳大利亚，那里将发生一次日全食。

失败经验十分丰富的坎贝尔总结了经验教训，进行了周密的准备，行程、设备、人员等方面，每一个细节都在掌控之中。

更重要的是，不知是什么吸引了老天爷的注意力，这次他老人家没时间捉弄坎贝尔，天气很好。这一切保证了观测的精度。

得到的结果是： 1.72 ± 0.11 角秒。

这个结果从更高的精度为相对论提供了证据。

我成功了！爱因斯坦成功了！可爱的坎贝尔立即发表声明，承认自己错了，相对论是对的。

大家一看，不撞南墙不回头的坎贝尔都站在相对论阵营了，我们还等什么？呼啦一下，又站过去一大堆。剩下的那部分，有的还在愣神，有的感觉时空弯曲啊什么的太难以接受，于是脖子一扭屁股一扭转身去探求新的理论，还有几个撞了南墙也不回头的家伙仍站在原处，干嘛？继续撞墙。

我们知道，在多个理论提出不同弯曲值的情况下，仅仅检

验出光线弯曲，不能证明谁的理论正确。我们只能通过检验结果，判断哪种理论与观测更接近。

那么，观测精度就至关重要了。

坎贝尔之后，世界各国天文学家多次组织了光线弯曲的检验，手段越来越强，精度越来越高。一直到二十世纪六十年代初，检验结果离牛顿力学预言越来越远，离爱因斯坦的预言越来越近。爱因斯坦赢了。

可这时，半路杀出个程咬金，出现了一种新的引力理论——“布兰斯-迪克理论”，这个理论也给出了星光被太阳偏折的预言，偏折量比相对论给出的结果小 8%。以当时的检验精度，无法判断哪个更接近观测，一时间，刚刚消散的迷雾又聚拢起来。

1973 年 6 月 30 日，非洲撒哈拉沙漠西部的毛里塔尼亚，那里将发生一次日全食，这是一个绝佳的观测机会，论时长，在二十世纪所有日全食中排名第二，论星空背景，日全食在恒星最密集的银河背景下发生。

为了利用好这次机会，美国观测队提前做好周密的准备，他们选定欣盖提沙漠绿洲作为观测点，建造了专门用于观测的绝热小屋，围绕提高观测精度做了大量细致的工作，比如，把暗房和底片洗液保持在 20℃、对整套仪器各个部分的温度变化进行监控等等，可谓无微不至。

天气很好。

日食照片拍摄后，观测队封存了小屋，用水泥封住了望远镜上的止动销。

半年后，又回去拍摄了同一视位置的星空照片作为比较。那时，以超大规模集成电路为标志的第四代电脑已经问世。他们用精心设计的计算程序对所有的观测量进行了分析，得到的结果是 1.66 ± 0.18 角秒。这一结果进一步接近了爱因斯坦的预言。

但是，这个精度，仍然不足以裁定相对论和“布兰斯-迪克理论”的胜负。

就光学观测手段而言，这次观测的精度，似乎达到了极限。还能怎么样呢？

我奶奶说，只要肯办事，就能办成事。

人们很快想出一个新办法：观测太阳对射电波的偏折，这就不用等日全食了，咱高兴啥时测，就啥时测，只要有太阳。

观测射电波，可以运用“甚长基线干涉技术”，给这个技术命名的人，小学语文可能是体育老师教的，毫无道理地把个名字搞成这样，很高深的样子，其实就是联合地球上不同位置的射电望远镜，对同一射电源——也就是太阳旁边的星光进行观测，“基线”是指射电望远镜之间的距离；“甚长”是指这个距离特别长，有的在湖北，有的在东北，有的在藏北，基线就有几千公里长；“干涉”是电磁波的一种物理特性，类似前面说过的光干涉，不同之处是人眼看不见，得用仪器看。

这种技术的优点是，基线长度不受限制，定点准，精度高。

这些远隔千里的望远镜，“同时”接收太阳边缘的恒星射电波，各自记录在磁带上，然后把磁带一起送到处理机中，算出结果。

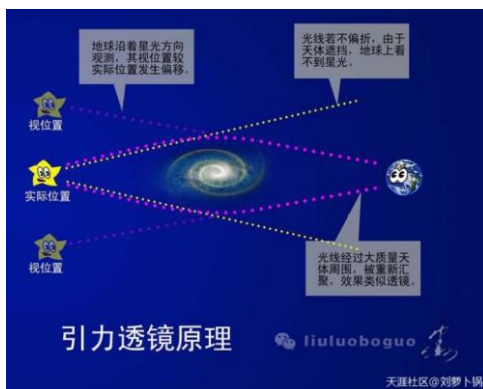
1976年，他们得到 1.761 ± 0.016 角秒的值，以误差小于 1% 的精度证实了广义相对论的预言。爱因斯坦又赢了。

可以说，广义相对论光线偏折预言经受了严苛的检验，从 1919 年到 1973 年，进行了 12 次光学观测检验；从 1970 年到 1991 年，进行了 12 次射电观测检验。

1991 年，精益求精的科学家们又以万分之一的观测精度证实了广义相对论的预言。

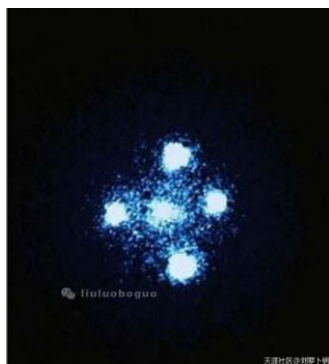
此时，身在第四维空间之外某个地方的阿伯特，如果看到这些结论，一定也会承认，至少在万分之一精度范围内，相对论是对的。

在光线偏折方面，广义相对论还预言了“引力透镜效应”，一个天体发出光线，遇到另一个大质量天体，光线会重新汇聚，类似光学透镜的作用，故名“引力透镜效应”。



【图 3.2】引力透镜原理

这个效应让我们可以观测到被天体挡住的恒星。一般情况下，看到的应该是个环，被称为爱因斯坦环。但由于诸多因素的影响，有时会遇到不同的景象，比如爱因斯坦十字等。黑洞、星系、星系团等强大引力源，会造成空间剧烈扭曲，使天体影像严重变形。



【图 3.3】爱因斯坦十字

随着宇宙观测技术的进步，人们找到越来越多引力透镜效应的证据，并根据观测效果命名为爱因斯坦十字、爱因斯坦环等等。

引力透镜是一个特好用的工具，比如用来寻找暗物质、寻找星系团、测定星系团里暗物质分布、测定宇宙物质分布等等。

水星进动

水星是太阳系中特别奇怪的一颗行星。没说它最奇怪，是因为有地球在，地球上有什么都奇怪的你和我，还有比这更奇怪的吗？

水星创造了很多太阳系之最，我们列举几个：

1.离太阳最近。水星和太阳的平均距离为 5790 万公里，约为日地距离的 0.387，八大行星中，它离太阳最近。

2.轨道速度最快。水星是太阳陛下 的贴身近臣，围着太阳转得最快，轨道速度为每秒 48 公里，比地球快 18 公里。

3.一年时间最短。它绕太阳一周只用咱地球时间的 88 天，我们知道，地球绕太阳一周约 365 天。

4.表面温差最大。水星没有大气层，又离太阳太近，所以只能被太阳干烤，向阳面最高温 430℃，背阳面最低温零下 160℃，温差达 600℃。

5.卫星最少。水星没有卫星，和金星一样穷，而太阳系其他 6 颗行星已发现并命名的卫星总数达 170 多个，被降格为矮行星的冥王星还有 3 颗卫星呢，如果你住在木星上，就能看见好多月亮，有 60 多个！不说具体个数的原因是，说不定明天又有新发现。现在要紧的是，赶紧定义卫星的最小尺度，不然会发现几千万颗卫星，但不会有水星的份。

6.一天时间最长。水星自传、公转方向相同，它每自转 3 周，才是 1 昼夜，这需要它公转 2 周的时间才能完成，所以水星上 1 天就是 2 年，相当于地球的 176 天。很绕是吧？嘿嘿，好好琢磨琢磨就绕过来了。

7.最小。它平均半径只有 2440 ± 1 公里，仅比地球的卫星月亮 MM 大 $1/3$ 。冥王星被开除行星籍，降格为矮行星，就是因为个儿太小，半径只有 1137 公里，没有足够的引力清空其轨道附近的天体。

由于水星太接近太阳，所以常常被无比灿烂的阳光淹没，常常看不见它，这使它的行踪十分诡异，时常交替出现在太阳的两侧，以至于在前 5 世纪，水星被看成两个不同的行星，它出现在傍晚时，人称墨丘利；它出现在早晨时，人称阿波罗。后来毕达哥拉斯拆穿了它的鬼把戏，指出这其实是同一颗行星。

实际上，八大行星各不相同，总要有大小远近快慢长短之最，尽管上面 7 个“ $\times \times$ 之最”集中在水星上，也还算基本正常。所以，科学家每发现水星的一个“之最”，虽然都会像娱记发现巨星绯闻一样兴奋一下，却也并不意外。

然而，水星还有一个“之最”，却让物理学家、天文学家们感到困惑，头痛不已——最不听话。

它不遵守牛顿定律！

按照牛顿天体力学，一个孤立行星是在一个固定的椭圆轨道上围绕太阳运转（椭圆的长轴不动）。由于其他行星的存在，这个运动受到干扰，椭圆轨道会缓慢地进动。

那么，什么是“进动”呢？

进动又叫“旋进”。就是“物体自转时，它的自转轴又绕着另一轴旋转”的现象。

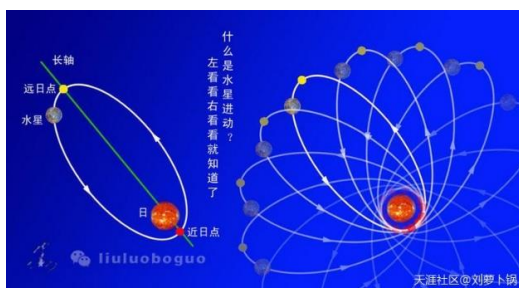
我们都玩过陀螺，陀螺自转时，它的自转轴一般并不垂直于水平面，它会往复摇摆，仔细看，其实是它的自转轴在绕着尖脚旁的垂直线旋转。

行星在自转时也有进动现象，有的进动比较明显，导致赤道并不总是正对着太阳，从而产生温度变化（就像地球上的春夏秋冬一样），所以，星球进动现象，也叫“岁差”现象。当然，地球的四季不是由进动引起的。

实际上，只要物体在转，就会产生进动。自转有，公转也有。天体公转的轨道也在进动。如果我们把天体公转的椭圆轨道都画上长轴，会发现，这个长轴不是总指向同一个方向，而是在缓慢转动。

为方便观测、对比轨道的变化，我们需要在行星轨道上找一个点作为标记。因为大家都是绕着太阳转的，所以选离太阳最近的那个点观测比较方便，这个点叫“近日点”。

水星从一个近日点出发，转一周后，由于轨道进动，它不能回到原来的那个点上，近日点已经“转移”了，因此，水星的轨道不是一个封闭的椭圆，而是一个接续转动的开口椭圆，画出来就像是一朵花。



【图 3.5】

还记得勒威耶 (U. Le Verrier) 吧？就是那个发现海王星的幸运儿，他因此一举成名。

1859 年，勒威耶又狠狠地激动了一场。因为他感到，自己又将发现另一颗行星。

上次发现海王星，是对天王星诡异行动的研究引起的。

这次，勒威耶又发现水星行迹十分可疑。

他运用得心应手的牛顿力学，详细计算了水星轨道近日点的进动速率。之所以说“详细计算”，是因为真的算得很详细，不仅考虑了太阳引力、水星本身自转和公转等因素，还考虑了其他行星引起的微弱扰动因素，最后得出水星每百年进动的精

确结果：5557.62 角秒。

但观测结果是，5600.73 角秒。

算少了 43.11 角秒。

5500 之多，差 43，本就不算什么，何况是角秒这么小的单位！我们知道，1 角度=60 角分=3600 角秒。一个圆是 360 度，用角秒表示，有 1296000 角秒。

我来画一个圆，由你来把它分成 1296000 份圆弧，你一定会惊叹：每一段实在是太小了！

如此说来，计算值与观测值的差距，实在是太细微了，牛顿理论太牛了！

所以，即使这个圆圈是金的，让你把它切成 1296000 段，把其中一段作为你的劳务费，你也会很干脆地送我一个特有快感的字：不！

但，你会后悔的。

因为这是一次天文计算。所以，那是一个大圈。

很大的圈。

我们粗略算一下：

水星公转速度是每秒 48 公里，每天是 86400 秒，每转一圈耗时 88 天。那么这个圈的周长是： $48 \times 86400 \times 88 = 364953600$ 公里。

每一角秒对应的弧长是： $364953600 \div 1296000 = 281.6$ 公里。

对不起，你刚才放弃了一根 281.6 公里长的金条。

你想从头到尾检阅一下你的金条，以 70 码的车速，得跑 4 个多钟头。这根金条即使高和宽都只有 1 厘米，那也有 28.16 立方米，重 544051200 克，按 2014 年 4 月金价 260 元/克算，价值约 1415 亿人民币，约 227 亿美元。您放弃了在福布斯全球富豪榜上叱咤风云搔首弄姿的机会！

43 角秒对应的弧长就是 12108.8 公里，24217 里，即使是红军叔叔的铁脚板，也要跑 13 个月。

所以，这 43 角秒是咱俩不能容忍的。

也是勒威耶不能容忍的。

所以，勒威耶推测道：

1. 我以前的实践证明，牛顿理论是很牛的，不会出错。
2. 我的计算是很牛的，不会出错。
3. 我和大家的观测也是很牛的，不会出错。

因此，只剩下一个可能，存在一个我们还没发现的行星，它给水星的扰动带来这 43 角秒的差异。

我一定要找到它，重塑当年发现海王星的辉煌！太阳系中一共就这么几颗行星，其中两颗行星都是同一个人发现的，这是空前的，也是绝后的，这等美事，想想都失眠。

勒威耶估算了新行星的位置：在太阳和水星之间。

甚至为这颗新行星取了一个酷酷的名字：火神星。

被水星诡异的行踪搞得十分懵懂的人们纷纷表示，勒威耶的观点代表了天体物理学的发展要求，代表了太阳系行星研究的前进方向，代表了牛顿力学的根本利益，我们大家都喜欢，必须一以贯之，坚定、坚决、坚持拥护五十年不动摇。

他们是这样说的，也是这样做的。

地球上无数天文望远镜一齐瞄准太阳，目标：太阳贴身秘书火神星。

即使有不少人被阳光灼伤了眼睛，也在所不惜。

因为，发现者只有一个：地球上第一个看见并予以描述的人。

毕竟，全球第一的机会，实在是一个稀有资源。

而且，有人告诉你，就在那儿。你要做的，只是对准那儿，仔细看，记下来，就 OK 了。

这等好事，不干白不干，白干谁不干？

很快，喜讯传来。

巴黎远郊的一个美丽乡镇，勒斯卡博师傅，三级木匠，骨

灰级的天文爱好者。喜讯是从他这里传出的。

1859 年的一天，勒斯卡博家门前传来一阵急促的马蹄声，一位风度翩翩、风尘仆仆的绅士跳下马车，直奔勒斯卡博的工棚。

打柜？修车？谢谢。

看着勒斯卡博疑惑的目光，绅士自我介绍道：我是勒威耶。

偶像突然出现在自己面前，腼腆的勒斯卡博激动不已。一切语言都是多余的，他转身从工棚搬出一堆木板，用手一指：都在这里了。

勒威耶一看，木板上写满了观测记录。勒斯卡博师傅以木为纸，以刨子为橡皮，写错了就拿出来刨一刨，很有创意。

勒斯卡博介绍道，自从听到勒威耶的预言时起，他就一心扑在太阳上，望眼欲穿，终于看到，太阳圆面上有个未知行星的投影，根据他的观测，它的直径是水星的 $1/4$ 。

此后，很多观测者纷纷宣布：火神星找到了。

人证这么多，勒威耶一时幸福满屋。

何止是勒威耶，整个欧洲都轰动了。这是一件大事。

巴黎科学院紧急召开专门会议，勒威耶作专题报告。

勒威耶根据木板上的资料，结合水星进动的计算结果，得出火神星离太阳约 2100 万千米，绕太阳一周约 20 天，下一次在日面上出现（凌日）的日期是 1877 年 3 月 22 日。

这是万众瞩目的一天。

1877 年 3 月 22 日，所有望远镜都对准了太阳。同志们，同学们，同乡们！同谋们！你们即将看到一颗新星，那是一颗璀璨的新星！激动人心的时刻就要到来了！有木有？！有木有？！！

木有。

没人看见火神星。

火神星放了全地球人的鸽子。

怎么回事呢？阳光太强看不到？或者，火神星不堪众目睽

睽，扑进了太阳的怀抱？

你还别说，当时，“火神星被太阳吃掉”的说法还真流行了一阵子。

难道它绕太阳转了几十亿年，单等人们企图窥视它时，才义无反顾地纵身火海？凭什么啊？！

但谁也没有怀疑计算错误。这道计算题，牛顿不会说错，勒威耶不会算错。

火神星一定有！否则，那该死的 43 角秒怎么解释？！有木有？！！

勒威耶对此深信不疑。1877 年 9 月 23 日，勒威耶去世。临终时，他叮嘱人们，尚未成功，仍需努力，找到火神，勿失信心！

坚信火神星存在的，又何止勒威耶？很多人像信徒一样，把满腔热情投入到寻找火神的这场修行。

另一个骨灰级天文爱好者、德国药剂师施瓦贝就是其中的一员，他自制望远镜，17 年如一日地寻找火神的倩影，但伊人如梦，无影无踪。

找不到火神星，也不能当那 43 角秒不存在啊。肚子还得饿，日子还得过，理论还得符合观测。是不是没错？

所以，为了解释水星近日点进动，一些聪明的家伙把牛顿理论稍加修改，成功地弥补了这 43 角秒！

但是科学家们一点也不兴奋，因为照这样搞法，其他行星的近日点进动就都算不准了，比如金星、地球和小行星伊卡鲁斯等等。一个理论只为一颗行星服务，而视其他行星为无物，是不是太儿戏了？！

后来，人们发现，越是靠近太阳的行星，近日点进动的观测值与理论值相差越远。所以有人提出，寻找太阳本身形变产生的扰动力。这倒是个很不错的思路。同志们纷纷表示拥护。

太阳很圆很强大，它的变形应该能引起行星近日点进动。

于是大家开始研究太阳的变形，以及由此对行星运转产生的扰动。

但研究结果与预期结果差得太多了。

太阳虽然不像理论球形那样圆，但它现在那点变形，根本不足以引起那么大的扰动。

也就是说，太阳还是太圆了。总不能把太阳拍扁来适应这43角秒吧？

牛顿引力理论改，或者不改，都解释不了这是为嘛。人们说，这又是飘浮在牛顿的引力理论上空的一朵乌云。

为什么要说“又”？

断壁撑楼台，

乌云滚滚来。

何故一而再？

东方鱼肚白！

1915年，爱因斯坦构建了广义相对论的完整框架，但有一个很大的问题，我们前面提到的：没人信。

广义相对论的思想太过超前，没什么实验基础，它主要是靠一颗聪明的脑袋，建立在一种数学式的推理之上。所以，许多物理学家都把它看做一种数学游戏，鄙而视之。

必须找到一个证据，有木有？

必须找到一个广义相对论能准确预言的证据，有木有？！

必须找到一个广义相对论能准确预言，但牛顿理论却不能预言的证据！有木有？！！

有了！

爱因斯坦眼前一亮。

他看到了水星。

水星轨道近日点进动，这是一个困扰人类近百年的天文学之谜，我相信，我的广义相对论一定能够拆穿这一重大疑团！

广义相对论的计算结果：水星每百年进动值为 5600.53 角

秒。

与牛顿理论的计算结果相差 42.91 角秒。

与观测数据 5600.73 角秒十分接近。

这个精度，何止是完美？简直就是完美！

纸上的方程式，与天外遥远行星运行方式神奇地吻合，该是怎样美妙的一种快感！

尤其是，只有这一个方程式与之吻合。

爱因斯坦说，不存在火神星。不需要请火神来解释水星的进动。

牛顿力学认为，引力与距离有关，与质量有关，与行星自转速度啊等其他因素无关。

广义相对论认为，引力不仅与物体的质量和距离相关，与物体的自转速度也密切相关。也就是说，物体自转也参与引力的相互作用。这样，引力影响自转轴的进动，而自转轴的进动、自转的速度也会扰动引力，对公转轨道进动产生影响。这些小动作非常细腻微妙，产生的效应值就非常细微。牛顿理论不考虑这些因素，也能得出很精确的近似值。

那么，这些个小动作，你有我有全都有，为什么单单水星近日点的进动，会给牛顿定律出难题呢？

主要原因不在这些小动作上。还记得广义相对论描述的重点吗？

是的，弯曲时空。

根据广义相对论，越靠近太阳，时空曲率越大。而水星运动轨道的偏心率较大，它在近日点和远日点所受到的时空曲率作用的差异也更明显，这会增加其进动值。

爱因斯坦的理论综合了各种因素，尤其是在对时空的认识上，更胜一筹，所以得出了更准确的结果。不仅计算水星进动的理论值与观测值相符，而且计算地球、金星等进动值也与观测值十分相符。

人们正要为水星疑云的成功化解长舒一口气，却突然发现，一个严重的问题出现在面前。

如果承认他是对的，那就意味着牛顿理论崩溃了。

取而代之的是自己难以接受的一个奇谈怪论，它从一个匪夷所思的角度描述我们的宇宙，使我们本来以为一目了然的宇宙顿时披上一层神秘的面纱。

不，是一床神秘的棉被！

错，我始终坦诚相待，是你们自己用棉被蒙住了的眼睛！宇宙纠正道。

于是，一些天文学家仍在孜孜不倦地继续寻找他们心中的火神。

1970年3月8日，墨西哥日全食，一个国际观测小组宣称，观测到太阳旁边有颗很灿烂的行星。

1973年6月30日，肯尼亚日全食，比利时天文学家多森和赫克拍摄了二十多张底片，显示太阳附近有一颗比水星还亮的行星。但国际天文学界未予承认，他们认为这不过是底片上的一点瑕疵。

1973年11月，美国发射水手10号宇宙飞船，专程去会晤水内行星，一年后，徒劳而归。

1976年1月，德国、美国联合发射了太阳神2号太空探测器，在距离太阳0.3天文单位处苦苦搜寻火神，未果。

1980年2月16日，中国昆明日全食，中国科学院的观测队也把搜寻火神列入重要任务。搜寻未果。

许多年过去了，多少少年鬓成霜、身成仁。

火神星说，不要迷恋哥，哥只是一个传说。

水星进动效应的精确验证，成为广义相对论的一根牢固支柱。

引力红移

这是普通的一天。一个普通的铁路道口。

那件普通的事情，本不适合在这里做。

散步。

但，他们已然来到这里。

一次普通的路过。

两个普通的身影。

是一个父亲，带着他的孩子。

隆隆声。不用看，是火车正呼啸而来。

因为那时，汽车还没有诞生。

那我们就离它远点，等它过去再走吧。毕竟，我们不是来参与意外的。

充满张力的汽笛声。高唱而来，呜咽而去。

孩子目送火车渐行渐远，拉起父亲的手，要完成这次散步。

而父亲，却陷入沉思。

为什么汽笛声总是高唱而来，呜咽而去？无数次在站台听过火车启程时的汽笛声，音调平稳而悠长。

没有音调起伏。

这是正常的，因为火车汽笛没有设计变调的功能。毕竟，它的主要功能是发出噪音提醒人们远离自己，而不是奏出迷人曲调引诱人们亲近自己。

那么，为什么火车在快速靠近我们时，音调越来越高，越来越尖锐，而在快速离开我们时，音调越来越低，越来越沉闷？

这的确是个问题。

但多数人没注意到。少数注意到的，只是“咦？”了一声，然后像我一样，把这个问题抛在脑后，忙着打酱油去了。

只有这个父亲，不仅注意到了，而且一研究就是很多年。

这个比孩子更好奇的父亲，就是大名鼎鼎的多普勒（C. J. Doppler），奥地利物理学家、数学家和天文学家。他的大名鼎鼎，得益于这次著名的好奇。

研究越来越深入，事情就变得越来越有趣：

当观察者与声源相对静止时，听到的声源频率不变。如果你坐在火车里，火车开得再快，这列火车的汽笛声，你听起来也是不变调的——从车窗外传来的声音除外。

观察者与声源之间相对运动时，则听到的声源频率就会发生变化。规律是：相互靠近，音调变高，也就是频率升高；相互离开，音调变低，也就是频率降低。并且，相对速度越快，变化越明显。

站在铁路旁，相互有一段距离的两个人，一列向前开的火车头运动到他俩之间的时候，鸣笛，在车头前方的人，听到的音调高，在车头后方的人，听到的音调低。

不同的观测者，听同一声笛鸣，音调不同。原来频率也是相对的！

这种效应就是著名的多普勒效应，也称多普勒频移。

多普勒还给出了速度与频移的关系式。

多普勒频移不仅适用于声波，也适用于其他所有波形，譬如光波、电磁波、甚至水波。

嗯，就算是这样，又有个毛用？

用处大了去了。这是一个基础性的发现。一般来说，越基础的东西越不起眼，但用处越大。

比如，我们发现，种子埋到土里，可以复制更多种子，于是农业诞生了。

比如，人们发现，身上披些东西既可遮羞，又可御寒，于是服装业萌芽了。

比如，牛顿发现，万物都是有引力的，于是现代科学奠基了。

比如，瓦特发现，蒸汽力大无比，于是第一次工业革命爆发了。

现在，多普勒发现，波谱可以频移，虽然不像种子那般基础，但作为通行波界的一种普遍现象，它为人们带来了怎样的

变革呢？

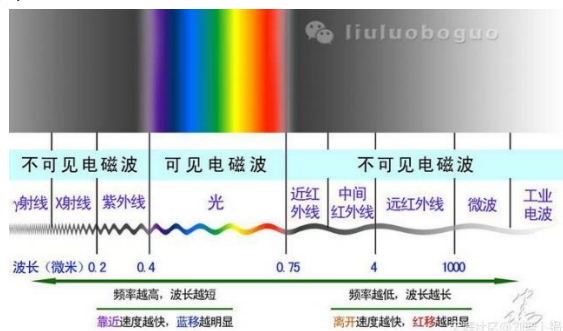
1842年5月25日，美丽的布拉格，皇家波希米亚学会科学分会会议胜利召开。

多普勒提交了题为《论天体中双星和其他一些星体的彩色光》的论文，正式提出了多普勒原理，解释天体运动和光谱变化之间的关系，他总结道：

光源沿着我们的视线方向运动，会导致光的颜色和频率（其实是一回事）发生变化，速度越快，变化越明显。规律是：光源趋近我们，光频增高，颜色向蓝端变化，所谓“蓝移”。（其实最外端是紫色，应该叫“紫移”才准确）

光源离开我们，光频减弱，颜色向红端变化，所谓“红移”。

如图：



【图 3.6】为了看起来方便，图中波长的分段不是按实际比例划分的。电磁波波长差别巨大，长的达几公里，甚至上千公里，短的几微米，甚至不足 1 纳米。不同波长对应不同性质的电磁波。可见光只占电磁波中极小的波段。

其实，多普勒效应不难理解，波的传递速度不变，那么当波源向波的运动方向加速时，波长必然被压缩，频率增高；反之，波长必然被拉伸，频率降低。

我们可以这样想象：手电筒射出的光，是一根笔直的、向前匀速延伸的弹簧，弹簧最前端速度不变，那么，手电筒前后

移动，是不是必然导致弹簧被拉伸或压缩？

我们还可以做试验，其实这个实验大家都做过。小时候在湖边玩，都拿棍子划过水面，我们稍慢些划，会发现水波的最外围是圆的，这说明水波以同样的速度向四周传递，棍子运动方向的波纹细密（波短，频率高），而反方向水波宽松（波长，频率低）。

当然，如果棍子划得太快，就会超出水波传递范围，此时，棍子运动前方没有波，这可以类比超音速效应。这从一个侧面也证明了波速是不可以叠加在波源上的。

扯远了，呵呵，再扯回来。

如果波源不动，而是观测者动，那更好理解。波以稳定的速度向观测者传递。观测者向波源运动，则同等时间内，接收到更多的波，等于频率增高；反之，则在同等时间内，接收到更少的波，等于频率降低。

多普勒把这一原理与天体观测联系起来，推测道：

星星与我们不管是趋近还是离开，如果速度够快，白光和彩色光最后都变得不可见。

如果一颗星星与我们的相对速度发生变化，那么它的颜色和频率也会发生变化。

比方说，注意，是“比方”说，一颗发黄的星星变得有些发红了，说明它在加速离开我们，或者说，我们在加速离开它。如果这个速度再加快些，那么我们就看不见它了，因为我们眼睛接收的是红外线的频率。

这怎么可能？！

质疑声此起彼伏。

荷兰皇家气象学院院长巴洛特也是这样说的，他先批评了多普勒关于星星颜色随速度变化的预言，然后策划实验。我不仅要在理论上放倒你，还要在实验上放倒你！

因为当时的技术原因，星星的颜色是不是随速度变化，无

法用实验验证，于是兴致勃勃的巴洛特院长选择了对声音的频移进行验证。

1845年，乌得勒支铁路，一辆机车拉着一节平板车厢，上面坐着一个乐队。他们当然负责演奏。

铁路旁，是一些音乐家。他们负责欣赏乐队的演奏。似乎是件好事。

不幸的是，这个乐队全是小号手，音色单一。

更不幸的是，音调也单一。这是为了更好地甄别速度与变调的关系。

最不幸的是，他们连续欣赏了两天。

小号手奏乐，机车快速地跑来跑去，铁路旁的音乐家们负责辨别音调变化。

然后音乐家坐在车上，乐队在铁路旁演奏。

如此往复。

这样折磨了两天后，音乐家们得出结论：音调的确发生了变化，就像多普勒说的那样。

好吧你是对的。

巴洛特对多普勒说。

虽然巴院长的实验放倒了自己，但他认真严谨、绝不要赖的科学精神得到了更大、更长久的尊敬。

当然，从声波的实验上来看，多普勒是对的。但他确有错误之处，只是巴洛特没发现。

当时，多普勒是把光波类比声波来看待的。但光波是横波（质点的振动方向与波的传播方向垂直），声波是纵波（质点的振动方向与波的传播方向平行）。多普勒把光波作为“以太”中的横向位移来处理。

不过，不论是横波还是纵波，在多普勒效应上是类似的，所以他得到的结果是对的。

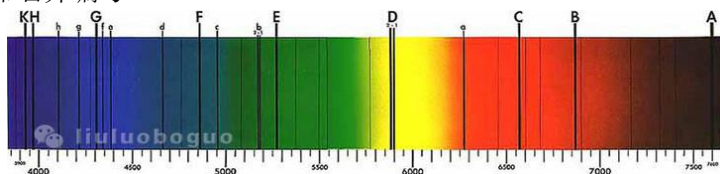
1848年，巴黎，科学普及协会。斐佐，还记得吧，就是用

齿轮测光速的那个牛人，他在会上提出几点看法：

1.光源静止时，每一种光占据相应的谱线位置。

为什么要说“每一种光”呢？因为基本找不到那么变态的自然光源，只发一个频率的光。

什么是谱线呢？谱线是光谱上的线条，有的亮，有的暗，是光子在某个频率范围内，比邻近的频率多或少造成的。每个谱线在静止光谱上有自己的固定位置和名字。还记得吧？前面说过，1814年，夫琅和费（J. V. Fraunhofer）发现太阳光谱中有许多暗线；1823年，小费自制精密光栅，观察到576条暗线（现在人们已经发现了1万多条），并编制成表，这些线以他的名字命名并编号。



【图 3.7】谱线

2.光源运动时，根据运动方向，所有的光都以当前频率为起点，谱线向红端移动或向紫端移动。

注意，是谱线移动，而不是颜色移动。

3.颜色本身不会移位。

光源发出的光多数是什么频率都有，黄色光频向红色移动时，绿色光频也在向黄色移动。被补充了。所以我们一般看不到颜色移动，但能看见谱线移动。

4.谱线位移只跟速度关系密切，跟距离一毛钱关系没有。

5.所以，多普勒效应可以用来确定观察对象（光源）光谱中的谱线位置，对照一下这些谱线本来应在的标准位置，就可以得出光源的速度。

为此，也有人把这一原理称为“多普勒-菲佐原理”。

1870年，意大利天文学家赛奇（A. Secchi）想到利用太阳

自转观测这一效应。太阳自转，自然就有一侧朝我们而来，另一侧离我们而去（除非它的自转轴正好瞄准我们。若想象不到，转一下拳头看看就知道了），他发现了两侧谱线位置存在差异。

1871年，德国天文学家沃格尔（H. C. Vogel）用分光镜测定了太阳东西两侧的光谱，算出了太阳自转速度，与利用太阳黑子移动算出的速度一对比，非常接近。后来这一结果被多次验证，精确度越来越高。法国物理学家考纽以3%的精度验证了这一效应。

1891年，沃格尔通过金星的谱线位移算出它的速度，证实反射光同样适用多普勒效应。

此后，人们开始在实验室来验证多普勒效应，1907年到1919年间，严谨的科学家们多次在实验室验证了这一效应。

如今，多普勒效应广泛应用于在科学研究、工程技术、医疗诊断等领域，如分析恒星大气、星体运动测量、激光或声波测速等等。

我们现有的多数星体运动知识，都是依仗这一基本的测量工具得来的。如双星特征、银河系转动、宇宙爆炸等等。

在飞机、卫星等高速运动的设备通信中，也要充分考虑到多普勒效应，解决由于速度造成的变频问题，才能保证通信质量。

利用多普勒效应原理可测量气体、液体的流速。如：研究风洞里的速度分布、远距离测量风速（空中任意高度的风速）、监视飞机着陆前后机场上的湍流、测量人体血管内血流的速度等等。

我们比较熟悉的多普勒效应设备：雷达、测速仪、彩超等等。

那么，说了这么多，这与广义相对论有什么关系呢？
有很大关系。

多普勒效应是运动引起的。

爱因斯坦根据他的广义相对论等效原理推论道：引力也应该能引起多普勒效应！

电磁波从恒星上发出，速度不变，但引力等效于加速度，会拖电磁波的后腿，也就是拉伸电磁波的波长，产生的效应，就像光源在后退一样，电磁辐射的频率减小，产生红移。

这就是著名的引力红移，也称相对论红移，爱因斯坦提出的相对论三大验证方案之一。

这个验证方案看上去很美，但是，实施起来那是相当的困难。因为我们不仅仅要验证引力是否能引起红移，还要验证理论值与检测值是不是吻合。

第一个难题，观测什么。

太阳。逃脱太阳引力的速度称为第三宇宙速度。从太阳表面逃逸需要 617.7 公里/秒的速度，在地球轨道上，逃脱太阳引力场的速度就只需要 42.1 公里/秒（我们地球人可以利用地球公转的速度，与地球公转同方向发射速度为 16.7 公里/秒的火箭就可以摆脱太阳引力了，所以我们常说的第三宇宙速度就是 16.7 公里/秒）。

这点速度就可以逃脱太阳引力，对于光速而言，真是太小菜一碟了，小到几乎没有。也就是说，太阳引力对光频的影响微乎其微。以当时的实验精度，难以得到准确结果。

太阳系外的大质量恒星。即使找到一个质量比太阳大得多，能带来更强红移效应的恒星，也会由于多种因素导致检测不准。

比如，恒星与我们的相对运动带来的多普勒效应，要比引力效应大得多，如何能精确地把复杂的运动效应剔除，得到那么一点点细微的引力效应，是个很大的技术问题。

再比如，不同元素发出的电磁波是不同的，不知道恒星的成分，那就不知道电磁波的初始频率，连起点都不清楚，又怎么测得准它移动了多少？

理想的状态是，能在天空中到频率比较单一、引力比较大

的光源。但我们都知道，这和坐在迪拜塔地下室等着天上掉馅饼一样困难。

第二个难题，用什么观测。

观测这一精细的效应，关键是精度，时间、频率的精度。

因为这个效应十分细微，所以我们要从原子和光子说起。

原子核情绪稳定、行为正常的基本状态，称为“基态”。当一个原子吸收了足够能量(比如光子)，类似大力水手吃了菠菜，有劲无处使，或者你看了 A 片，TA 又不在身边的那种激动待发的状态，称为“激发态”。

原子核想从激发态恢复到基态，需要放出能量——光子。光子遇到别的原子核，会被接收，但不同类型的原子核、相同类型不同状态的原子核，接收光子的能量与它射入时相比，各有差异。

我们知道，光子的能量和它振动的频率成正比。而我们要测的就是频率。接收的频率和射入的频率不相等，还怎么测？

直到 1957 年，德国物理学家穆斯堡尔 (R. L. Mössbauer) 提出，一个激发态原子核释放出的光子，遇到另一个同类的基态原子核时，就能够被共振吸收。

这种“共振”吸收的状态很理想，光子能量不减，也不增，利于测量。

这种效应，被称为穆斯堡尔效应。

但是，它只停留在理论上。

因为，原子核自由散漫惯了，都是不老实、不稳定的。所以在放出一个光子的时候，原子核自身的反冲动量会使光子的能量减少。同理，吸收光子的原子核，其反冲动量会使光子能量增大。接收的光子能量仍然不等于射入的光子能量。所以，稳定压倒一切啊！

原子核不老实。这个自从原子核诞生就存在的问题，突然让科学家们一筹莫展。

实现共振吸收，关键是消除反冲。穆斯堡尔的办法是，囚禁。把发射和吸收光子的原子核都固定在固体晶格里，这样，原子再出现反冲效应，受力的就是整个晶体，相当于固定在航空母舰上的迫击炮，那点后坐力就可以忽略不计了，这样就能实现穆斯堡尔效应。

1958年，穆斯堡尔在实验上实现了原子核的无反冲共振吸收。由于这些工作，穆斯堡尔获得1961年的诺贝尔物理学奖。

准确测量入射光频率的技术问题解决了，就意味着足够的精度，就意味着不需要太大引力，也就是说，在地球上也能进行测量了。

那么，还剩下一个大问题：频率单一的光源。

频率单一的意思是颜色极纯。

极纯这个概念怎么理解呢？白色，被人类一厢情愿地作为纯洁的象征，但我们知道，白光由7色光混合而成，最不纯洁的就是它了。所以有时离开理性，只凭着感官去判断本质，是一件十分不靠谱的事。

其实不光白色不纯洁，七种颜色的每一种，也都不太纯洁。

虽然可见光只占电磁波频率范围的极小一段，但相对于可见光来说，想得到“极纯”的光，每种颜色的波长分布范围还是显得太广了。比方说红色，波长分布在630到750纳米之间，即使取整数，以1纳米为单位算波长，那它也有120多种红色，相当的不纯。所以，氖灯、氦灯、氩灯、氢灯等虽然属单色光源，但是跟“在地球上实现精确测量”的要求相比，其波长的分布范围实在是太宽了。

后来，从某种意义上来说，这个大难题是爱因斯坦自己解决的。还记得吧，1917年，爱因斯坦提出了受激辐射原理。这个原理几句话就能说清楚：

第一句：从刚才说过的激发态和基态可知，原子所含的能量是不一样的。

第二句：按能量分级：高能级、低能级。能级越高，背的包袱越多。

第三句：合适的光子会激发高能级的粒子，帮它卸掉包袱，跳到低能级上，代价是，辐射出与那个光子相同的光，比翼双飞。

看见没，一个光子进，两个光子出，弱光激发出强光，这就是“受激辐射的光放大”，简称激光。

注意到“放大”两个字没？什么概念？

投入少产出多啊！这买卖有搞头！

原理详情在量子论部分再说。先说这个原理的技术前景，实在是太诱人了！于是世界各地的科学家纷纷埋头苦干，拼搏进取，试图抢先把激光发明出来。这是理想，是荣誉，是金钱，是事业，更是对全人类的贡献！无论从哪方面看，都值得为之痴迷。

但经验告诉我们，越是大家都想要的东西，就越难得到。

由于普通光源中粒子产生受激辐射的概率极小，所以激光之路虽然目标光明，却荆棘遍地。

爱因斯坦的原理给出后 40 年间，激光壁垒无人能破。人生能有几个 40 年啊？直到爱因斯坦 1955 年去世时，激光也没被研发出来。

1958 年，美国科学家肖洛（Schawlow）和汤斯（Townes）发现，氦光会使一种稀土晶体分子发出鲜艳的、不散射的强光。他们据此提出了“激光原理”：物质在受到与其分子固有振荡频率相同的能量激励时，就会产生激光。之后，各国科学家纷纷提出各种实验方案，但都未获成功。

1960 年 5 月 15 日，美国科学家梅曼（Maiman）获得了波长为 0.6943 微米的激光，这是人类获得的第一束激光，梅曼成为世界上第一个使激光具有实用功能的人。

1960 年 7 月 7 日，梅曼制成世界上第一台激光器。他用一

个高强闪光灯管，来刺激在红宝石里的铬原子，从而产生了激光。它可以使物体达到比太阳表面还高的温度。

同年，前苏联科学家巴索夫（Basov）发明了半导体激光器。半导体激光器尺寸小、效率高、响应速度快、波长和尺寸合适……实在是居家旅行、杀人越货……必备佳品。

激光是继原子能、计算机、半导体之后，人类的又一重大发明，江湖人赠诸多名号：最快的刀、最准的尺、最亮的光……。激光大家都很熟，它辉煌的发展应用史这里就不罗嗦了。

话说激光波长分布范围非常之窄，因此颜色极纯。比方说氦氖激光器发出的红光，波长分布范围可以窄到纳米（小数点后面 9 个零再跟个 2），它的纯度远远超过任何一种单色光源。

这不正是我们苦苦求索的频率单一的光源吗？！

随着激光的出现，光刻技术飞速发展，出现了每毫米数百条刻线的光栅，大大地提高了对电磁波谱进行量化研究的分光技术精度。

然后是飞秒技术取得突破，1 飞秒等于一千万亿分之一秒，光速牛吧？每秒能走 30 万公里，但每飞秒只能走 0.3 微米（1 毫米=1000 微米），不到头发丝直径的百分之一。什么叫精度？这就叫精度！

这一切，为验证引力红移做好了技术准备。

1960 年，哈佛大学的庞德（R. V. Pound）和瑞布卡（G. A. Rebka）运用这些技术，完成了这个著名的实验：在地球上同时做红移、蓝移实验，来验证相对论。

哈佛大学的杰弗逊物理实验室的塔顶。距地面 22.6 米高。

他们把 γ 射线的放射源放到塔顶，把探测器放在塔底，测量射线频率的变化。

然后把实验装置对换位置，放射源在地面，探测器在塔顶，测量射线频率的变化。

两个方向的实验数据相结合，可以消除一些不同因素造成

误差。

这个实验在百分之十的精度内验证了爱因斯坦的理论预言。

对这个精度，野心勃勃而又刁钻苛刻的科学家们当然是不会满足的。

1964年，他们应用新技术，改进了这个实验，使理论与实验在百分之一的精度内相吻合。后来人们又以千分之一的精度验证了广义相对论预言。

华盛顿大学的克利福德·威尔（C. Will）评论道：这是一个卓越的科学成果，不仅仅因为这个实验是对相对论的一个经典检验，而且在于它独创性的实验设计。

这个实验的成果还为全球定位导航系统（GPS）提供了技术支持，卫星上的钟按照广义相对论的计算，校正由引力红移带来的误差，才能保证定位精准。

精度达到了千分之一，应该满足了吧？

绝不！

吹毛求疵，是科学界的传统美德。一五一十、一清二楚不行，精度太低。小数点以后不带几个零，出门都不好意思跟人打招呼！

近年，美国和德国的三位物理学家马勒（H. Müller）、彼得（A. Peters）、朱棣文通过物质波干涉实验，将引力红移效应的实验精度提高了一万倍，证实了爱因斯坦预言。

精益求精

不论是对人们的生活常识和经验直觉来说，还是对人们已经接受的科学理论来说，相对论都显得太疯狂了。

广义相对论比狭义相对论更匪夷所思。

所以，在专业领域，比起狭义相对论，广义相对论更难让人接受。在广义相对论提出很长一段时间内，物理学家们对它都不太感兴趣。究其原因，除了它的颠覆性之外，很大一部分

因素在于，当时物理学的触角所及之处，有狭义相对论、量子力学作为基础和支柱就够用了。对物质理论啊、辐射理论啊等等这些研究课题来说，思想超前的广义相对论不是必须的。就像计算月亮绕地球运转周期等这些事，狭义相对论不是必须的一样，用牛顿理论足矣，甚至用开普勒定律就搞定了。

但是，科学进步开阔了人类视野，拓展了研究领域，知道的越多，会发现不知道的就更多，科学需要一个强有力的理论作为支撑。随着广义相对论预言的不断证实，还在为适应狭义相对论热身的人们惊奇地发现，这个看起来荒谬不经的理论居然很可能是对的，难道这就是我们需要的那个理论？

还等什么？一个字：验！

不验活你，就验死你，反正不能让你在那便宜着。

除了光线偏折、水星进动、引力红移外，广义相对论还预言了许多颠覆人们直觉的现象，这些预言被全面、反复验证。

时钟变慢效应：

在大质量的物体附近，时间流逝得更慢一些。也就是引力越大，时间越慢。

根据等效原理，更大的引力意味着更大的加速度。这样看来，引力越大时间越慢，与狭义相对论的速度越快时间越慢是一个道理。条条大路通罗马。

1962年，人们选了一对非常精确的钟，一只放在水塔顶上，另一只放在水塔底下，哦，忘了说是同一座水塔，验证了更接近地球那只钟，也就是水塔底下的那只钟走得更慢些。

还记得詹姆斯·周钦文在2010年利用铝原子钟做的实验吧，这个实验以每79年只快900亿分之一秒的变态精度证实了这一效应。

在我们看来，时间是最冰冷坚硬的，它不屈不伸，可以蚀刻尘世间的一切，以及尘世外的一切。

但是，当我们用更清澈的目光审视它时，横容寰宇、纵纳

古今的时间，顷刻间柔软随和起来。

电磁波传播时间延迟效应：

电磁波在引力场中一般沿曲线传播。所以，电磁波在两点之间的传播，没有引力场时，花的时间短，有引力场时，花的时间长。

前苏联实验物理学家沙皮罗领导的小组对水星、火星、金星进行了雷达回波实验，得到的结果与广义相对论一致，地球与水星之间雷达回波最大延迟时间可达 240 微秒。

虽然取得了与理论一致的实验结果，但是，沙皮罗并不满足。因为，行星的皮肤都不太好，服装——也就是大气层的款式太过丰富多彩，有的还穿着皇帝的新装，条件迥然不同，所以利用行星进行雷达回波实验，很容易造成各种干扰，心里总是不托底。

沙皮罗说，必须用人造设备来搞这个实验，才能取得精确、靠谱的结果。他是这样说的，也是这样做的。在 1967 年-1971 年期间，沙皮罗在太阳两侧各发射卫星一枚，一个是雷达发射器，负责发送电磁波，另一个是探测器，负责接收电磁波。这一发一收，证明确有此事，电磁波果然走了弯路，实验结果与理论预言非常地一致。

在下不才，探讨下：

球形是引力的结果，引力也可以使时间“变慢”。

因为引力要大到一定程度（质量达到一定程度）才会迫使天体变成球形，从这个角度来说，在一定范围内，越球的天体附近，时间越慢。

但球与时间快慢没有必然联系，它们都只是引力的结果。

就好比我们登高望远，我们登的越高，就越累，也望得越远，但累和远，二者都是高的结果，在某种情况下还是正相关，但不能因此就说我们越累就会望得越远。

所以不能从形状推论时间快慢。

引力波

爱因斯坦由引力场方程推导出波动方程，预言了引力波的存在。引力波是横波，以光速传递。它是怎样产生的呢？

前面说过，质量会使空间弯曲。那么，当大质量物体的速度或质量突然发生改变时，比方说两个黑洞相撞，就会扰动周围的时空，产生时空涟漪，向外辐射，这就是传说中的引力波。为了便于理解，我们完全可以用“投石击破水中天”来类比。

还有另外的情况，当被加速的质量在失去能量的时候，也会发射出引力波。这和物体降温辐射出热是一个道理。其实这个过程互为因果，我们也可以反过来说，热辐射使物体降温，引力波辐射使运动的质量失去能量。

什么意思呢？举个例子：

还记得双星吧，我们拿高密度、大质量、近距离的双星做例子，这样的双星系统轨道周期很短，只有几天（地球轨道周期是365天+），甚至更短，互绕的速度非常快，也就是说，动量非常大。

如果它俩永远这样绕下去，也就罢了，但是，被瞬息万变的世界搞得麻木不仁的我们深知，没有什么永恒，这个系统必然会走向衰落，直到灭亡。

当它们的轨道衰减的时候，能量必然随之耗损。

但是，根据热力学第一定律，能量是守恒的，双星系统的能量，耗损到哪里去了呢？对了，这就是刚才说到的——以引力波的形式，散播到宇宙中去了。

我们知道，宇宙中并不缺少这样的系统，也不缺少大质量天体相撞之类的活动，那么，也就不缺少引力波。如果这个真的有，应该很好探测吧？

事实恰恰相反，探测引力波，比登天还难，甚至比探测中微子还难。主要原因有二：

一是非常弱。有人计算，一根长20米，直径1.6米，重500

吨的圆棒，即使以每秒 28 转的濒临断裂的极限速度转动，所发射的引力波功率也只有 2.2×10^{-19} 瓦，这个功率弱到无法察觉。所谓“弱爆了”，说的就是它。那么，上面说的双星系统，以及大质量天体对撞所产生的引力波，应该很强吧？没错，可是距离太远，再大的基数也架不住广袤时空的耗散，我们可以用引力大小与距离平方成反比来帮助理解，由于传播距离导致的衰减，遥远星体传到地球的引力波强度，还是微乎其微。

二是尺度大。由于产生条件和传递距离等原因，引力波只有在宇宙大尺度下，才能显现出来。这很好理解，我们坐在神九里鸟瞰地球海面，很容易感受到海面的曲率，但是身在海水中的一条鱼，就无法感受到海面的曲率。如果把引力波比作大海，那么，地球就是海里的那条鱼。

那么，引力波会对物质造成什么样的影响呢？

引力波是时空涟漪，它能够畅通无阻地穿过物质，却不会使物质发生改变。就像我们的每次会议都很顺利很成功，却都和没开一样。但引力波经过时，能够让物质随着时空涟漪产生波动，也就是拉伸和收缩，引力波过后，恢复正常。就像会上的讲话，左耳进右耳出，然后一切如常。

物质的拉伸和收缩又怎么理解呢？举个例子吧，我们先忘掉皮鞋，把美丽的果冻比作时空，把里面的果肉比作物质，那么，果冻发生波动时，果肉也会随之波动，固态物质的所谓波动，实质上就是拉伸和收缩过程。

既然有拉伸和收缩，是不是就容易检测了呢？

当然不是。无论什么，必须达到一定的量，才可以被检测到。当然，这个量的大小，与检测它的技术手段是密切相关的。

由于上述原因，即使是大质量黑洞相撞这样的大动作，其引力波传到地球上，也只能造成大概 10^{-18} 米/千米程度的改变。直观地说，它会使帝国大厦的高度改变一个质子宽度的百分之一！

一个质子有多宽呢？它大概是一个原子宽度的千分之一。

原子多宽也不好想象？好吧，我们把一根头发的宽度平均分成一百万份，其中一份，大概就是一个原子的宽度了。

呃，这个帝国大厦，那个质子的百分之一……我随便在大厦里跺一脚，它的颤动也不止这些吧？这个太难测了，那个还是不要测了吧？东鞋西毒南地北钙已经够我们喝一壶的了，还搞什么引力波？洗洗睡了吧！

不行。必须探测。

因为它的意义太重大了。

它不仅验证广义相对论和其他引力理论的优劣，还可以推动相关科学、技术的发展。

最显而易见的，引力波天文学将是继电磁波天文学、宇宙射线天文学和中微子天文学之后，人类认识世界的又一双眼睛。

目前，我们人类接收和发送信息，最重要的工具是什么？是电磁波。

但是，电磁波有它的局限，尤其是在宇宙大尺度下，它的局限显而易见。比方说，宇宙尘埃啊、天体啊都能挡住它的去路；引力啊、发送和接收者的相对速度什么的还能改变它的频率，使它失真；遇见黑洞，它还会被吸引逃不出来……这些死穴，大大缩小了我们的观测范围和信息传递的有效范围。而引力波就不存在这些死穴。

如果我们掌握了引力波的接收和探测技术，那么，很多我们原来看不见、不知道的东西，就会神一般地降临在我们眼前，宇宙的重重面纱会再揭去一层，世界在我们眼里将变得更加清晰、更加透明、更加绚丽多彩，我们就可以在古远梦幻的时空涟漪中徜徉，尽情享受宇宙演化的恢宏钜献！

这相当于给高度近视配上度数合适的眼镜——不戴它死不了，但有了它死也要戴。

此外，引力波探测还有助于推动引力场量子化等理论研究。

同时，也由于引力波探测难度极大，对设备精度要求极高，所以在研究制造引力波探测设备的过程中，必然会推动激光、晶体、精密机械制造、精密测量等高新技术的发展。

我们前看后看左看右看，这件事的每一个侧面都躁动着摄人心魄的诱惑，让我们心驰神往，无法逃脱。

那么，拿什么探测她呢，我的爱人？

刚刚说过，引力波可以拉伸和收缩物质。

上世纪 60 年代，根据这个原理，美国物理学家约瑟夫·韦伯（J. Weber）建造了世界上第一台引力波探测器。其实这个高科技仪器的主体很简单，是一根直径 1.5 米，长 2 米的铝棒。如果有引力波打酱油路过，那么，铝棒的长度将随波伸缩。

但是我们也知道，这个伸缩程度不会像金箍棒那样夸张，大鸣大放的。引力波导致的伸缩，那是相当的细腻含蓄，以至于我们对研发变态精度仪器这档子事儿饥渴难当。

由于引力波伸缩物质的效应是那样的微弱，一点点小小的干扰——比方说下个片，发个帖，做个俯卧撑什么的，都会导致误测。说不定打个嗝引起的效应，都比引力波来的效应大呢！那么问题就来了：

假如引力波真打这儿路过了，面对探测仪的记录，我们怎么确定这就是引力波到此一游，而不是探测器旁边有人在做“爱的发声练习”呢？

好像很难很复杂耶。但对那些专门跟难题过不去的聪明脑袋瓜来说，处理起来不难也不复杂，他们用了个相当聪明的笨办法：再造一个探测器，让它俩发扬牛郎织女身相隔心相连的精神，天南海北分开安置，同时记录探测信息，这样，两个探测器记录信息不一致，那就是噪音；两个探测器在相同时间记录到同样的信息，那八成是引力波。因为无论是打嗝、打雷还是打炮，统统做不到同时对两个远隔千里的探测器造成同样的干扰。

1969年，韦伯宣布了一条爆炸新闻，他探测到了引力波！

这条消息让整个物理界狠狠地震惊又振奋了下，但很快，物理学家们冷静下来，他们认为这个探测结果很可能是“诈和”，首先，其他探测团队无法重现这个探测结果；其次，韦伯探测到的引力波能量大到匪夷所思；再者，韦伯说，他探测的引力波来自银河系中心。产生如此高能量的引力波，银心必须发生剧烈的天文事件才能做到。这与观测不符，因为观测结果是：银心情绪十分稳定，生活轨道十分正常，没有任何过激言行。

综上，这次观测结果虽不能确定是诈和，但可以暂时被无视，除非将来找到确凿证据。

韦伯的探测结果虽然没被承认，但他使用的探测方法还是可行的，叫做共振质量探测法。主要原理是引力波引起天线（相当于那根铝棒）振动，感应器对这些振动予以记录。为了抵制噪音，探测器天线一般要放在真空、低温环境下。

因为共振质量探测器可测量的频带太窄，只对特定的引力波源敏感，所以，这种探测器已经面临淘汰，比较著名的旧版引力波探测器，有瑞士的探索者、意大利的鸚鵡螺、荷兰的小圣杯等。

那么，新版引力波探测器又有何神奇之处呢？

看着你期待的眼神，我只能残忍地告诉你，对不起，新版探测器比旧版的还老。

迈克尔逊干涉仪。就是迈克尔逊和莫雷做MM实验测以太漂移的那台。

新版引力波探测器把迈克尔逊干涉仪的光源换成了激光，名曰“激光干涉探测器”，听起来很潮很高新的样子，其实是照搬了MM实验干涉仪的原理。其技术细节在上部已经讲过了，就是利用相互垂直的两臂光波干涉变化来实现探测，这里就不重复了。

通过调整干涉仪的臂长，我们可以让两臂的光干涉降到最

低，然后坐等引力波华丽路过。

我们知道，当引力波翩然飘过时，干涉仪的两臂将会随之共舞，其臂长哪怕只发生一点点变化，两束激光脆弱的同相同步关系就会瞬间崩溃，从而产生旖旎的干涉条纹，望眼欲穿的光电二极管将即时接收，迫不及待地向唯恐天下不乱的人类打小报告。

尽管激光干涉对臂长变化很敏感，但是由于引力波伸缩物体的单位量太小太含蓄，臂长变化达不到一定量的话，还是探测不出来！

那怎么办呢？为了能够捕获到这个细微的效应，研究人员使用的，依然是个聪明的笨办法：花大本钱，把两臂建得长长的，用足够的总量，让单位量的细微变化能够累积到足以探测的程度。

我们选几个有代表性的“激光干涉引力波探测器”围观一下。

TAMA（这个音译起来不好听，就免了）。位于日本东京附近。臂长 300 米。

GEO600（地球？）。位于法国汉诺威，英德合作项目。臂长 600 米。

VIRGO（处女座）。位于意大利比萨附近，意大利和法国合作项目。臂长 3000 米。“处女座”可感知相当于质子直径 1% 的细微间距变化。

LIGO（这个很直观，就是激光干涉引力波观测所的英文缩写）。美国的项目。拥有两套干涉仪，一套在利文斯顿，臂长 4000 米，一套在汉弗，臂长 2000 米，分踞两州。

这些新版激光探测仪，一个比一个雄伟壮观，一个比一个敏感精确，灵敏度比旧版的共振棒探测仪高出 3 到 4 个量级，可探测的引力波源是旧版的 109~1012 倍！

虽然新版探测器看起来很强很震撼，但事实却很囧很遗憾。

探测技术在不断进步，探测结果却始终高度一致：0。探测不到引力波，再精密的仪器都将成为传说！



【图 3.8】LIGO

这样搞法都探测不到，引力波这事儿是不是就没有希望了？不！这么容易就放弃，科学还能走到今天吗？虽然我们没能直接探测到引力波，但是，我们找到了引力波存在的间接证据。

还是双星。

根据广义相对论，双星的运动模式会产生引力波，而引力波辐射会带走能量，使双星的绕转周期越来越短。

可以推断，大质量、高密度、近距离、高速度运转的双星系统，这个效应会更加明显，甚至明显到可以观测的程度。

1974 年，美国物理学家约瑟夫·泰勒和拉塞尔·赫斯发现了脉冲双星（其中一颗星是脉冲星的双星系统）PSR1913+16。这个双星系统轨道周期只有 7.75 小时，轨道偏率达 0.617。

自从 PSR1913+16 的情影映入眼帘时起，泰勒和赫斯的目光就再也没有离开过她们。四年的目不转睛，四年的体察入微，换来了百亿分之几的观测精度！

终于，他们发现，该双星的轨道周期在稳定地变短，每 10 年减少 4 秒，双星每年相互靠近大约 1 厘米。这个数值，与爱因斯坦广义相对论的理论预言符合得相当好，误差不超过 0.5%。现在，我们知道的是，广义相对论对脉冲双星的预测精度，已经与观测符合到 10^{-14} 。到目前为止，人类还没有任何其他理论可以达到这个变态精度！对于如此精准的预测，最简单、也是让更多物理学家接受的解释是，广义相对论对其引力辐射给出了准确的说明，方得如此。

这就是引力波的间接证据。

别小看这个间接证据，它让泰勒和赫斯共享了 1993 年的诺贝尔物理学奖！

这种用观测双星系统发展来间接“探测”引力波的方法，叫做“脉冲双星探测法”。

2004 年发现的 PSRJ0737-3039A/B，是迄今为止唯一的双脉冲星（两颗星都是脉冲星的双星系统），她们的轨道周期只有 2.4 小时，轨道较圆，椭率为 0.088，这是一个更理想的引力波探测对象。

脉冲双星探测法虽然不能说不靠谱，但毕竟是间接证明，就算我们发现的所有脉冲双星都得到了相同的结果，也不如真真切切地直接探测到引力波给力。就像当年的电磁波，没有实验验证，无论理论上电磁波的存在是多么理所当然、多么毋庸置疑，它也只能徘徊在物理大厦的边缘，站在哪儿都底气不足，撑不起科学的大梁。

所以，间接证明，只是给了我们继续探测引力波的信心。

就像道听途说苦苦追求的姑娘对自己似乎有了好感，虽然不那么确定，但足以让我们的追爱步伐更加坚定起来。

这不，在地面上施展各种绝技，也未获引力波芳踪的我们，被双星这么间接地鼓励了下，就决定胆子再大一些，步子再快一些，把目光投向了美丽的星空。

欧洲航天局（ESA）和美国国家航空航天局（NASA）搞了一个空间合作项目：激光干涉空间天线（LISA），这是目前最宏伟的引力波探测计划。

之所以叫做“计划”，是因为它真的只是一个计划，实施时间，计划在 2015 年。此计划之于物理界，相当于咱国领导之于本级官媒，倍受瞩目。

LISA 怎么进行引力波探测呢？其实一看名字就知道，它的基本原理，还是利用激光干涉来感应引力波对空间造成的拉伸和压缩。

不过，它的形状与地面上的激光干涉探测仪有很大差别。造成这么大差别的原因，只有两个字：环境。

在地面上，有空气尘埃、风云雷电、雨雪霜露、人虫鸟兽等等诸多干扰。为了抵抗这些千奇百怪的干扰，对探测器的关键部分，包括激光路径等，必须进行密封、防震、低温、恒温、真空等技术处理，这需要一大堆笨重的配套设施、设备才能做到，这些配套设施，无论是数量还是体积，都远远超过了激光干涉仪本身。所以，我们在地面看到的所谓“激光干涉引力波探测仪”，通常是一个长达几百米甚至几公里的庞大建筑群。

而在太空中，不存在地面上常见的那些干扰，不用密封隔绝，本来就是真空，用不着防震，温度很低很稳定，所以，只要搞定激光干涉本身就 OK 了，用不着那些配套设备，甚至连那根长长的、用层层管子套装的长臂都省了。

根据现在的设计，LISA 其实是三个一模一样的航天器，三兄弟在太空相互等距分布，作三足鼎立状，每两个兄弟之间的连线，都是 500 万公里（地球的直径只有 1 万多公里哟）。嗯，这是一个巨大的等边三角形。

每个航天器都有两个相同的光学台（包括光源、分束器、检测器、光学镜组等），分别与另外两个航天器上的对应光学台有激光交流，构成一套悬浮在太空的激光干涉仪。激光在两个

航天器之间走一趟，要用大约 16 秒钟的时间。

虽然 LISA 的工作环境很理想，不需要那么多配套设施，但它仍然需要解决很多技术细节问题，如：激光长距离传输的损耗问题、航天器运行对激光频率造成的多普勒效应问题，保护关键部件不受光压和太阳风粒子影响的问题、如何减少地球引力影响的问题等等。

比方说，LISA 将采用与地球相同的日心轨道，LISA 与太阳的连线，和地球与太阳的连线之间的夹角为 20 度。这是为减少地球引力影响所采取的措施。

下了这么大力气，只为了一个很简单的目的：提高灵敏度和可靠性。那么，LISA 的灵敏度能达到多少呢？它能够在 500 万公里的长度上，探测到 10 皮米（1 皮米等于 10^{-12} 米）量级的长度变化！

这一精度，远远高于现有的各种引力波探测器。所以，物理学家们对她的殷切期待，远非其他引力波探测器可比。甚至有人期待，她可能探测到宇宙大爆炸时产生的“原始引力波”！

不管前景多么振奋人心，LISA 现在毕竟还在孕育之中，我们多数人现在所能做的，只能是像盼望选票一样，好好活着，翘首以待。

不过，科学探索有山重水复，就有峰回路转、柳暗花明，苦苦追寻而不得的她，往往在蓦然回首间，就会俏生生地出现在你面前。2014 年 3 月 17 日，美国哈佛大学史密森天体物理中心宣布，他们找到了宇宙膨胀理论的最有力证据，顺便找到了引力波存在的直接证据！

怎么找到的？哈佛大学的约翰·科瓦克（John Kovac）带领他的团队，在南极架了套 BICEP2 望远镜，探测宇宙微波背景辐射——也就是利用宇宙中最古老的光，绘制宇宙地图。现如今，探测宇宙微波背景辐射只能算是常规的天文观测手段，因为这事儿，人类已经干了 50 年了。不同的是，现在探测精度越

来越高。从 BICEP2 望远镜搞到的宇宙图中，科瓦克团队分析了微波背景辐射的分布，找到了宇宙暴胀期留下的痕迹——时空涟漪，也就是引力波。宇宙膨胀理论认为，138 亿年前，宇宙诞生于大爆炸。爆炸初期，宇宙在不到 10^{-34} 秒的时间里膨胀了 10^{78} 倍，这就是所谓的“暴胀”。在暴胀期，时空涟漪被急速放大，促成了现在的宇宙结构。这是该团队利用三年时间，小心翼翼地排除了他们已知的噪声干扰后得到的结果，这个发现如果被证实，那就是补上了广义相对论、大爆炸理论缺失的拼图，进一步证明了两理论的完备性、正确性，意义重大。有意思的是，暴胀是基于量子力学而提出的，引力波却属于相对论的范畴，我们以后会知道，两者有着不共戴天的矛盾，但这个发现，能够同时证实这对冤家的重要推论。这一成果如果被确认，诺贝尔物理学奖唾手可得。

检验、确认，对科学理论而言，与创建同等重要。科学理论的自检自查系统，比人类现有的任何系统都要严苛。自从科瓦克团队宣布发现引力波证据后，这个自检自查系统就启动了。欧洲空间局普朗克卫星首先介入了调查，随后，夏威夷的凯克望远镜也加入了鉴定。BICEP2 望远镜探测到的引力波涟漪证据，是某种细微的卷曲偏振图像。但经过普朗克、凯克等望远镜的图像分析，认为银河系的尘埃也可以让光线发生这样的偏振，他们的结论是，BICEP2 可能被银河系尘埃给耍了！所以，目前靠谱的结论是，我们不能确认已经探测到了宇宙暴涨的遗迹，宣布发现引力波，还为时尚早。值得一提的是，调查并确认 BICEP2 错误的组织，是欧洲空间局和科瓦克团队组成的。

现实的剧情就是这样狗血和无奈。

那么，是不是这种探测方法不靠谱呢？不，方法靠谱，只是观测位置、观测精度、观测频段范围需要进一步斟酌、提升，直到可以确保两点：1.精确地去掉尘埃噪声；2.留下比噪声微弱的引力波信号。希望在不久的将来，我们可以看到科学家们拿

下这个宇宙学的圣杯。

那么，用这种办法可以找到引力波存在的直接证据，LISA 是不是就没用了？当然不，她会更有用。因为，人类如果能够探测到引力波，就相当于多了一双天眼，不仅会诞生引力波天文学，还会衍生引力波通信等高端大气上档次的福利，前途不可限量。不确定引力波存在时，制造 LISA 很可能是竹篮打水；一旦我们确定引力波存在，制造 LISA 就成了一项好处看得见的投资，不做白不做！所以，希望这个项目尽快上马吧！

参考系拖曳

也叫时空拖曳，更形象些叫“时空漩涡”。天体自转时，能吸引附近的时空一同转动。大致就像在蜂蜜里转动一个球，球附近的蜂蜜随着一起转动一样，区别是时空拖曳的效应非常微弱。天体质量（密度）越大，这种效应越明显。

麻省理工学院崔伟领导的组、意大利罗马天文台路易吉·斯特拉领导的组都对致密天体（中子星、黑洞等）进行了大量观测。致密天体引力强大，可以把围着自己转的恒星上的物质夺到自己身边，形成一个随着自己转、不断扩大的圆盘，参考系拖曳效应导致圆盘上物质以致密天体的自转轴为中心旋转、发生脉动。观测过程很复杂，比如还要测 X 射线强度什么的，这里不赘述。

1997 年 11 月初，美国天文学会在科罗拉多州召开会议，科学家们宣布，他们的观测证实了“参考系拖曳”的预言。

加州理工学院天体物理学家基普·索恩说，这是对爱因斯坦思想的一个极其重要的检验。

广义相对论的经典预言已经被反复验证，新预言也不断被验证，为什么我们还要反复、不断地从更高的精度去验证它？

这其实是相对论的创立者、拥护者、反对者、酱油党等方面共同需要的结果。

创立者希望，通过更高精度的验证，使自己的理论给人们

更高的信心。

拥护者希望，通过更高精度的验证给自己以信心，同时摧毁反对者的信心。

反对者希望，通过更高精度的实验把相对论证伪，把自己的反对论证实。

酱油党虽超然，却也希望知道到底谁胜谁败，管他是王是寇，都很适合围观。

无论怀着什么样的目的，实际上都在检验同一个问题：我们赖以描述世界的理论到底有多靠谱？

剽悍的人生不需要解释，但剽悍的理论却需要很好的解释。

在繁荣的引力实验时代，还有这样一群人，他们不是拥护者，不是反对者，也不是围观者。

这是一群冷静哥。

他们不赞同谁，也不反对谁，甚至不去研究你这个理论如何，以免先入为主的想法影响判断力。你赞同？你反对？那好吧，我们一起来，客观、冷静地做这件事：实验，反复实验，不断提高精度，再实验。

只看实验结果，不论其他。

吹尽狂沙。始到金。

当然，验证相对论，还有更充足的理由。

作为一个引力理论，广义相对论诞生于太阳系，所以只好利用太阳的引力场做实验。

而太阳系的引力场用来验证相对论，它的效应就显得太微弱了，以至于不达到一定的验证精度、不达到一定的实验数量，我们心里总感觉不踏实。

上次实验结果是不是凑巧？这次实验的结果是不是偶然？

反对者也在发出这样的疑问。

释疑，只有一条路可走：再实验。

足够的数量，足够的精度，相同的结果。就是赢家。

事实胜于雄辩。

而且，这些神奇的实验结果引发了理论家们的丰富想象，他们纷纷提出理论，来符合实验结果，与相对论竞争。

这些理论与相对论比起来，更符合人们的经验和直觉，广大人民群众容易接受。这当然是一件好事。

但它们有一个共同的 BUG，那就是必须附带一些参量，通过调节这些参量，来使理论结果与实验结果相符。简单地说就是打哪指哪。

小盆友们都知道，这好像是在耍赖。

但他们有很多理由为这些参量辩护。

好吧，还是那条路：再实验。

分两个方面判断优劣：

精度。看谁的理论预言与实验结果更接近。你总不好意思每次实验结果出来都调整一次参数吧？

广度。看谁的理论能解释更多的事物。这次观测光线偏折，你提出一个理论符合了它，那好，下次再观测时间膨胀、引力红移，你的理论还能相符吗？这么巧又相符了？好吧，后来又观测到中子星，然后又发现了黑洞，再后来又发现黑洞有辐射……你的理论有产生这些怪异天体的预言吗？

更高精度的实验很艰难，新发现也很艰难，但规则却很简单。

谁更符合实际，谁就赢了。

目前，广义相对论是最大的赢家。

现在，让我们用一个最新、最高端的实验结果，来暂停广义相对论的验证之旅吧。

引力探测器 B。

这是一项发明。一项只为验证相对论两个预言而产生的发明。

叫这个名字也是没办法，因为她有个姐姐，1976 年发射的

“引力探测器 A”。

引力探测器 B 的任务，是探测广义相对论预言的“测地线效应”和“参考系拖曳效应”。

太阳系里的这两个效应实在是太微弱了，所以对探测设备精度的要求极其苛刻。

苛刻到什么程度呢？咱俩得从侧面看（如果用技术参数来表达，还没等你看明白，我自己就先懵了）：

这是美国国家航空航天局历史上研发时间最长的计划，研发周期达 40 多年。

这是历史上第一颗由 NASA 资助，由大学研发并投入运作的人造卫星。

耗资达七亿五千万美元。

由于它的研发，开发并完善了至少十几种新技术，产生了 92 篇博士论文。

它所用的陀螺仪，稳定性超高，是最好的导航陀螺仪的 100 万倍。

为了制成完美球体的陀螺仪转子，研发团队用十多年时间，开发出一套全新的制造工艺。



【图 3.9】熔凝石英制成的陀螺仪转子。背景是爱因斯坦像。

得到了人类迄今为止最完美的球体：它们约为乒乓球大小，相对于理论上的完美球体，其误差小于 10 纳米（40 个原子）。

按比例放大到地球那么大，这个球上的最高峰只有 2.4 米高。

它的超导量子干涉仪可以探测到 0.1 毫角秒的角度倾斜。这个角度有多大呢？你把一个直角分成 90 份，然后拿出其中 1 份，再分成 2160000 份。你没看错，后面是 4 个零。

为了把分子运动产生的扰动降到最低，陀螺仪温度保持在 -271°C 。而宇宙最低温，也就是绝对零度为 -273.15°C 。

.....

无所不用其极。

好了，技术成熟了，可以开始工作了！

格林威治时间，也就是国际标准时间 2004 年 4 月 20 日 16 点 57 分 23 秒，范登堡空军基地，德尔塔-2 运载火箭腾空而起，当然没忘了带上我们的宝贝：引力探测器 B。发射时间之所以精确到秒，是由于对运行轨道的高精度要求，发射窗只能维持一秒钟。18 点 12 分 33 秒，探测器进入轨道。卫星运行时间持续 17 个月。

四个堪称完美的陀螺仪被电场悬浮起来。一束氦气流如约而至，温柔地推动它们开始旋转。超导量子干涉仪开始监测它们的自转轴方向。

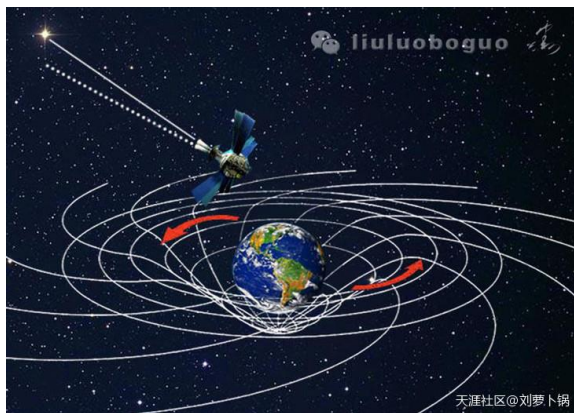
方位参考望远镜死死地盯住那里——飞马座双星 HR8703，这也是陀螺仪自转轴的初始方向。

两个目标：

1.测地线效应造成陀螺仪的进动，进动值是每年 6.606 角秒。还记得水星进动吧？每百年 5600.73 角秒，那么每年就是 56.0073 角秒。比起水星进动，陀螺仪进动值小多了。也就是说，更难测。

2.地球自转的时空拖曳效应会使陀螺仪自转轴发生每年 0.041 角秒的偏移，那么它的指向就会与望远镜的指向形成一个小小的夹角。这个效应值更小，只有上面那个效应值的 1/170。因此，探测器必须具备 0.0005 角秒的精度，相当于我们测量 160

公里外的一张纸的厚度！如果你对此没什么概念，就在家晾衣架上夹一张纸，然后离它 5 米开外，想办法用某种仪器隔空测量一下它厚度试试看，之后想想，如果这个距离是 50 米会怎样，是不是让人崩溃？



【图 3.10】引力探测器。

这两个微不足道的值，就是我们花了 40 年时间、750000000 美元所要探测的！

在此之前，这两种效应还没有被精确测量过，至少从未达到过引力探测器 B 预计的精确量级：万分之一。别小看这个精度，这可是针对极其细微的效应的，大象的万分之一，和跳蚤的万分之一，能是一个概念吗？

我们来看看引力探测器 B 的任务日程表：

2004 年 4 月 20 日，成功发射并进入预定轨道。

2004 年 8 月 27 日，进入科学探测阶段。

2005 年 8 月 15 日，完成科学探测阶段，转入最终数据校正模式。

2005 年 9 月 26 日，校正阶段完成，等待恒温室残留的液氦完全耗尽。

2006 年 2 月，数据分析第一阶段完成。

2006 年 9 月，数据分析团队宣布数据分析时间表延长到 2007 年 4 月之后。

2006 年 12 月，数据分析第三阶段完成。

2007 年 4 月 14 日，美国物理学会四月年会，项目首席科学家、斯坦福大学教授弗朗西斯·埃弗瑞特报告初始成果：观测数据证明，爱因斯坦的理论对测地线效应的预言误差低于 1%；由于参考系拖拽效应要比测地线效应弱 170 倍，一些噪声信号造成的干扰不低于拖拽信号本身的效应，数据分析仍将继续下去。这个过程持续了 4 年。

2011 年 5 月 4 日，美国航天局发布消息，地球周围确实存在时空漩涡，参考系拖拽效应各项观测参数与广义相对论预言的完全符合。

这项工程自 1963 年开始，艾福瑞特和他的一部分同事们已经在这个项目上花费了整整 47 年时间。一项史诗般的工程！

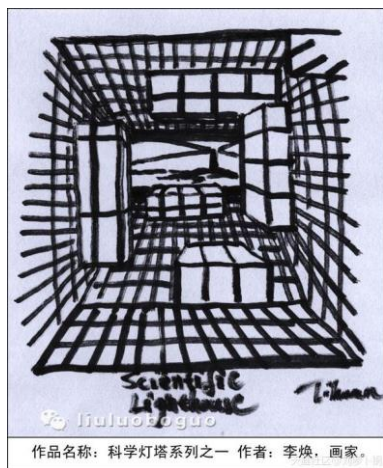
美国航天局天体物理学家威廉·丹奇说：这项成果对理论物理学具有长期影响，将来要想挑战爱因斯坦的广义相对论，就必须获得比引力探测器 B 观测结果更精确的数据。

负责对引力探测卫星 B 的数据进行检查和评估的科学家、美国华盛顿大学圣路易斯分校的克利福德·威尔表示：“这是一个历史性的时刻……有一天，今天的这个实验将被作为经典案例写进物理学教科书。”

埃弗瑞特说：“我们在研制引力探测器 B 的过程中开发了 13 种新技术，谁知道这些新技术会将我们引向何方？”

蓦然回首，狭义相对论、广义相对论建立百年以来，经受了各种考验，成为人们普遍承认的真理。相对论不仅奠定了现代物理学的基础，对现代科学产生了巨大的影响，也对现代人类思想的发展产生了深远的影响。

狭义相对论统一了牛顿力学和麦克斯韦电动力学，牛顿力学是物体在低速运动下的一级近似。



【图 3.11】科学灯塔（李焕作品）

广义相对论建立了广义协变的引力理论，从根本上解决了物理定律限于惯性系的问题，牛顿引力理论、狭义相对论只是它特殊情况下的特例。狭义相对论是在没有重力、匀速直线运动时的情况；牛顿引力定律是在距离近、引力小和速度慢时的情况。

相对论更深刻地考察了时间、空间、物质和运动的基本概念，建立了科学、系统的时空观和物质观，使物理学体系在逻辑上更趋完美。

自从人类得到了相对论，宇宙的起源和终结有了依据，小裂变产生大能量不是幻想，黑洞和暗能量的存在合情合理，时间旅行成为可能……人们惊奇地发现，以前想都不敢想的东西，逐步入我们的视野，宇宙几乎所有的奥秘，都隐藏在相对论那几行简单的公式中！

至今为止，广义相对论的预言，能被直接实验和观测的，已经通过了所有实验和观测的验证。不能被直接实验和观测的，其间接证据也很靠谱。

广义相对论不是唯一的引力理论，但它是与实验数据最相符、形式最简洁的理论。目前，我们只能相信它。

但是，它并不完美。

最大的问题是，它与同样久经考验的量子论不能相洽统一，甚至相互矛盾。

这说明一个事实：它们都不是终极理论。

反对相对论的人虽然不像相对论诞生之初那么多，但反对的声音一直未曾间断。

科学理论正确与否，不是辩论出来的，而是试验和观测验证出来的。就像皇恩浩荡与否，那不是歌颂出来的，而是从百姓真真切切的生活上体现出来的。

因此，反对一个理论最好的办法，不是批驳这个理论有多荒谬，而是比结果——拿出另一个理论，解释现有观测，预言新的结果，这些结果被证实的那一天，就是你反对胜利的那一天。

过程正如相对论、量子论取代经典物理理论那样。

请相信，这正是爱因斯坦所希望的——建立一个可以取代相对论和量子论的理论。

不幸的是，直到现在，我们对宇宙的理解，仍然没能超越爱因斯坦。百年来的发展和完善，说到底，只是在爱氏框架基础上的修修补补。

我们的宇宙，从根本上说，就是爱因斯坦的宇宙。

挑战爱因斯坦，已经成为物理学——乃至整个科学进步的当务之急。谁是下一个爱因斯坦？！

2003年，NASA的“超越爱因斯坦计划”闪亮登场，它由一系列野心勃勃的太空探测任务组成，包括前述的“激光干涉空间天线计划”（LISA），以及“星群-X”计划（Constellation-X）等。星群-X计划包括探测宇宙大爆炸释放出来的引力波，观察黑洞，追踪暗物质、暗能量等任务。

如果这个计划的最终结果与相对论不符，那么，我们就以这些观测结果为突破口，完善现有理论或建立新理论，朝宇宙的终极真相再迈进一步。

如果这个计划的最终结果与相对论相符，那么，我们就可以确定那些还在怀疑的东西，也算是朝宇宙的终极真相又迈进了一步。

至少，改善目前狐疑而又不得不信任的状态，暂时跳出“疑人重用”的尴尬。

但是，目前，有个残酷的现实，我们不得不面对：超越爱因斯坦计划，仍然只是一个计划。

计划永远没有变化快。尤其是，在缺钱的情况下。

不幸的是，这个烧钱的计划，恰好面临缺钱的尴尬。

缺钱的理由很充分，这个计划对技术的高要求，是史无前例的，无与伦比的。

比方说，LISA 的轨道精度问题。

按理说，三个航天器各自相隔达 500 万公里之多，如此大的尺度，它们的轨道位置也应该比较粗放才对，有个百十公里的误差，应该不算什么，对吧？

但是，实际的技术要求恰恰相反，三者的关键部件在太空所处的位置，必须精确地保持在正确的轨道上。

怎么样才算“正确”呢？答案相当恐怖：轨道精度要以毫微米（10 亿分之 1 米）计算！

这个精度，不要说是三个相隔 500 万公里在空中飘浮的航天器，就算是同一个航天器，由于阳光照射的角度不同，热胀冷缩所导致的变化，也不止毫微米的量级吧？！

你我都知道，苛刻的条件肯定不止轨道精度这一条，还有 N 多。不过就这一条，一般人听了以后的反应，大概也没有比立即吐血身亡更恰当的了。

达到这样的苛刻要求，事情就变得无比复杂。事情一复杂，

最直接的反应就是，成本上升。成本一上升，最直接的反应就是缺钱。一缺钱，最直接的后果就是，计划搁浅、延迟。

不过还好，由于这个计划太重要了，不实施不好意思平民愤，所以，实施是早晚的事。我们能做的，就是健康快乐地生活和等待！

或许，现在正在读书的某位天才，你将来会参与其中，出手搞定某个恐怖的技术指标。

地球人都知道，爱因斯坦倾尽后半生精力，试图建立一个大一统理论——统一场论，用以取代相对论，然而，这也许是整个人类的遗憾：这一次，他没有成功。

是的，没有人会永远成功，即使是爱因斯坦，也不例外。但是，这并不妨碍他的伟大。

智慧头脑，科学精神，纯粹人格，无与伦比的巨大贡献……这一切，已经让爱因斯坦成为一种真正意义上的象征。他是德国的爱因斯坦，是瑞士的爱因斯坦，是美国的爱因斯坦，是我们的爱因斯坦。

第四章 量子论前传（上）雾锁迷云

世界是什么

这是一个古老的问题。一个闲得蛋疼却又无比重要的问题，也是始终折磨地球人却又持续推动人类发展的问题。

通俗点具体点问：世界是由神马构成的？

是金石土木、风火水云、虫鱼禽兽、日月星辰。哦哟，这么理直气壮，看来答案很靠谱。好吧，那么它们又是什么构成的？

它们是由不同的小颗粒构成的。嘿嘿，好像有点底气不足了，那么好吧，这些不同的小颗粒又是什么构成的呢大神？

.....

咱俩发现，顺着这个思路，用不了 10 个问号，那个看似在眼前晃来晃去的答案，就会“笔油”地一声遥远到我们的视线之外。

抬头，假装让目光穿透雾霾刺向星空，低头，再看看自己身上这些物件。虽然这一切都很坦然地面对着我们，但，一股神秘的气息仍旧扑面而来。（画外音：已经洗澡了啊怎么还这么味儿！）

仅仅是几个问号，就让咱俩感到，这个曾经熟悉得乏味的世界，包括我们自己，突然变得陌生起来！

于是，咱俩习惯地把迷惘的目光转向先贤——神呐，又要开始回忆了！

有什么关系呢？子曰：忘记过去，就意味着错过了复习。下面我们来复习一下开篇，过去的地球人对这事儿是怎么看的。

世界是神马？

佛：是浮云（凡所有相，皆是虚妄嘛）。

老子：是虚无（天下万物生于有，有生于无。有无相生嘛）。

泰勒斯：是水（答案开始明确了，但是好像有点……）。

毕达哥拉斯：是数（够明确，但太抽象）。

留基伯和德谟克利特：是原子（这个嘛……）。

中国古代人民集体智慧：金木水火土（天有五行，水火金木土，分时化育，以成万物嘛。清晰而又具体）。

……

学过一点点一丢丢自然常识的我们，会很文艺地认为，原子的答案最靠谱。但是，很快我们就会知道，这种文艺的“认为”其实很二逼。站在公平的、科学的角度讲，在他们得出结论的当时，抛开偏见，这些答案没有优劣之分，都差不多！

不服气？就知道你不服。

那你想想，上面哪个答案最不靠谱：浮云？虚无？水？数？五行？

你挑出其中任何一个，然后咱俩去 Look Look 人家的哲学思辨和理论基础，我们会发现，这些大神说的，都相当有道理了！

既然，既然这些答案，都是经过深思熟虑后，各自提出的一种假设（记住哦，都是“假设”），而且，都满脸道理，那么，你凭什么断定，哪位爷思考出来的假设靠谱，而哪个孙子思考出来的假设不靠谱？拼爹拼胸还是拼下限？

我们发现，这些个拼法，不能跟国际接轨，而且水越搅越混，说是适合摸鱼，其实只适合摸石头，所以幡然醒悟：想断定什么靠谱，一定要用别的法子！

其实答案很简单，就摆在那，用不着摸，拿来就能用：验证。

任何假设——你不喜欢“假设”这个词，也可以叫做“猜想”，或者“语录”、“梦呓”，都行，随你喜欢。嗯，任何假设，在经过反复验证、确认之前，你都只当是看娱乐八卦好了，它们与谁谁谁是不是真的真的真的赌博了接吻了拍照了 PS 了没

啥两样——对咱俩都没毛意义。不管哪个看起来更美丽迷人，哪个看起来更猥琐恶心，它们都只是假设而已。但是，有一点必须得认真对待：一旦“最终”验证了哪个是“正确”的，或者，换句话说，一旦验证了哪个最好用——不论它看起来有多荒谬，那么，它就是王道，而其余的竞争理论就都是垃圾——无论它们看起来有多合理。这就叫成王败寇。

哦，明白。验证是吧？那么好，我们大家都爱思考，各有各的看法，在这千千万万不计其数的假设中，我们有什么靠谱的手段，来验证、判定谁的假设更靠谱呢？

连续遭遇这么多耗费脑细胞的问题，咱俩是不是累了？

嗷！我讨厌问号，下面插播广告：

滚滚红尘，立言无数，纷繁争艳，乱花迷眼，想知道谁更靠谱？请使用“冷酷清洗大法”！

面对玄妙的哲学，你皈依吗？

面对严谨的逻辑，你膜拜吗？

面对美丽的猜想，你痴迷吗？

面对翔实的数据，你臣服吗？

咱俩的答案是：不！这不是我想要的！！

冷酷清洗大法要诀：我要的不单单是哲学，或者逻辑、猜想、数据什么的，而是一个完整的、耐用的科学理论。

必须冷静到冷酷的程度，才能清洗掉我们不想要的，得到我们想要的。就算得不到我们想要的，也绝不凑乎要不想要的。所以，为了冷酷到底，我们从一个悲剧说起。

这个故事来自美国人斯蒂夫·列维特·斯蒂芬都伯纳所著的《超爆魔鬼经济学》，比较火的一本书。

说的是19世纪40年代，产妇分娩极易染上一种病：产褥热。一旦染上，常常母婴双亡。伦敦产科总医院、巴黎产科医院等欧洲最好的医院，都饱受威胁。

维也纳总医院也不例外。1841~1846年，产妇死亡率达1/10。

到 1847 年，产褥热导致产妇死亡率达 1/6。太恐怖了！院长助理、匈牙利籍医生赛梅尔维斯（Ignaz Semmelweis）看在眼里，急在心里。他殚精竭虑想解决问题。

第一步，查原因。

反复检查接生过程、医疗环境等，但一无所获。

其实，当时的主流医生也能说出一堆理由：妊娠期间胸衣和衬裙太紧；产房的空气恶臭；宇宙影响……

聪明的赛梅尔维斯看出，这些纯属胡猜。

于是，他开始了第二步，统计数据。

取得了充足的第一手资料，经分析，小赛发现几个诡异的现象：

一、在医院生产的产妇死亡率，远远高于民间产婆接生的产妇死亡率。后者是前者的 1/60。也就是说，接生同样数量的产妇，在医院里死 60 个产妇，产婆手里只死 1 个。

二、男医生负责的产房的死亡率，是女接生员（不是医生哦）负责的产房的死亡率的 2 倍还多！

这不是要逆天吗？俺们医生又不是在屠宰场培训的！没道理啊！

接下来的分析，得到了更离谱的事实：

A. 产妇就算是在大街上生产，也比在医院里生产死亡率低。

B. 先在医院外分娩，再去医院的，无论贫穷还是富有，一般不会得产褥热。

C. 接生的医生没有染上产褥热，因此，该病没有传染性。

所有的数据分析指向一个结论——问题出在医院！

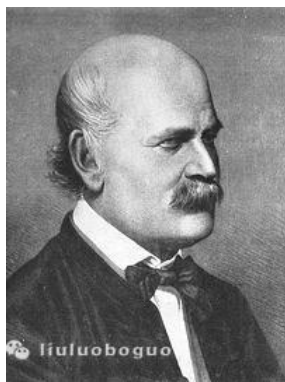
悲剧啊！

数据很翔实，是不是可以公布，请居委会大妈通知产妇不要去医院、不要找医生帮助生孩子了？

当然不行，你数据是有了，可是没有理由啊！这不等于宣

布医生是凶手吗？凭什么？你欠世界一个解释。

科学需要解释。



【图 4.1】塞梅尔维斯

如果看到不一样的东西，就急着发表意见，那么，在生活中，在实验室，几乎天天都会涌现“新发现”。其中，绝大多数的“新发现”都相当不靠谱。

小赛很清楚这一点，所以他进行了第三步：找这个解释。

答案在又一个悲剧中找到了。一位老教授指导学生解剖尸体，被手术刀划伤手指，随即患病而死，症状与产褥热极其相似。

是“进入他血管系统的死尸粒子”害死了他。赛梅尔维斯推测道。

那个时期，欧洲的医院兴起解剖热，病人死了直接送解剖室。离开解剖室，医生往往直接去产房，顺便将死尸粒子带给了产妇！

上面那些诡异、离谱的现象，一下子都有了答案。

现在，有了数据，也有了配套的理论解释，可以公布了吧？

不行，这个解释靠不靠谱还很难说，没有实验证据啊！

于是小赛进行第四步：实践。要求维也纳总医院的医生解

剖后必须洗手，结果立竿见影，产妇死亡率比 2008 年股票下跌还快，直接降到了 1%！

神医啊！

这回统计数据、理论解释、实验证据都有了，可以公布了吧？

Yes！赛梅尔维斯认为可以了。

但是，可怜的小赛万没想到，其他医院的医生们对洗手的建议十分不屑，认为这是小赛对医生们的集体羞辱和诽谤。尸体粒子？哼！这是什么东西？你拿出来给我们观测观测先！它是用什么机制导致人死亡的？你说来听听？

不能观测，并且缺乏一个靠谱的机制。这不能称之为科学。

解开产褥热之谜，不仅没有被认可，还受到医生们的讥笑和侮辱！小赛压力倍增，精神崩溃。后来，他凄凉死去。惜哉！悲哉！

那么，医学界没有接受小赛的建议，错了吗？

没错。

这位童鞋愤愤不平：太没道理了！人家小赛数据详实，论据充分，还有理论解释和实验证明，这些还不够？！你们凭什么不信？！

是的，你说的这些确实有，但不够。科学必须经受质疑、异见和争论。否则，科学早死了。

关键的东西不能观测，不能提供有效的机制，如果这样也行，那么，同一件事就会拥有无数个理论，如果都付诸实践，那才是愚蠢的。

科学，不仅需要统计数据、理论解释、实验结果——这些很有可能是巧合，或者其他什么因素导致的相似结果。科学还需要答案明确，需要机制清晰有效，需要可观测、可重复、可验证。

可怜的小赛死了，但洗手的故事还没结束。赛梅尔维斯死

后一二十年，路易斯·巴斯德（Louis Pasteur 法国著名生物学家、化学家、在《影响人类历史进程的 100 名人排行榜》中名列第 12 名）奠定了工业微生物学和医学微生物学的基础，并开创了微生物生理学。英国医生李斯特（Joseph Lister）据此解决了创口感染问题。



【图 4.2】巴斯德

那个问题现在看起来很简单：是微生物感染伤口杀死了病人。

知道是谁干的，解决办法也就简单了：避免伤口感染。手段：消毒杀菌、包扎隔离，当然也包括洗手。

微生物可观测。

有些微生物可以感染伤口、致人死亡，这个机制很清楚很靠谱。

这个机制可验证、可重复——向无辜的小白鼠们致哀。

还是那个顽固的医学界，这次一句废话没有，立即信了。这才是一个靠谱的科学理论。

有了这个靠谱的科学理论，整个医学从此迈入细菌学时代，得到了空前发展——不仅是产妇，其他病例的死亡率也迅速下

降。巴斯德发明的巴氏消毒法至今仍在应用。

这个理论的优先权归谁呢？当然没有小赛的份，它是巴斯德和李斯特等人的功劳。

我们在上部专门讨论过关于科学理论的问题，并且拿到了奥卡姆剃刀等神兵，为什么还要插播这段广告呢？因为量子之路太艰险、太诡异，我们必须手握利器，外武装到牙齿，内武装到头脑，才有可能保持清醒，一往无前。所以，后面还有几段广告在等着我们。

现在，让咱俩回到那个问题：世界是什么。我们快跑几步，跟上牛人们的脚步，踏上发现和验证之旅，顺便看看，前面那些假设，谁靠谱，谁不靠谱。

留基伯和德谟克利特所说的“原子”，在希腊文里是“不可分”的意思，用以表示构成物质最基本的微粒。而亚里士多德和柏拉图认为，物质是由离散的单元组成的，能够被任意分割。我们知道，以上双方的这些想法，都只是由哲学推理，并非实验观察而来的。

1661年，波义耳，对，就是在波粒大战中玩肥皂泡的那个波义耳，他出版了《怀疑派化学家》，近代化学由此发轫。他认为，物质是由不同的“微粒”或原子自由组合而成，气、土、火、水等不是基本元素。

1789年，一个喜欢玩火的法国贵族给“原子”下了定义：化学反应的最小单位。他是安托万·洛朗·拉瓦锡（Antoine-Laurent de Lavoisier），近代化学之父，化学领域的牛顿。

拉瓦锡还发现了燃烧原理，说起来是个“意外”。

在当时，物体燃烧被认为是“燃素”脱离物体的结果。按照这个理论，物体燃烧后，应该减轻才对。

1772年秋，拉瓦锡想测量“燃素”的含量是多少。他称量了一些红磷，点燃，冷却后又称量灰烬，然后惊奇地发现，质量竟然增加了！好奇心立即被勾起来了，他又燃烧硫磺，同样

发现质量增加！

难道有什么气体被吸收进去了？那就罩上烧烧看！

拉瓦锡把白磷放进一个钟罩，点燃，同时监测罩内的空气压力。他发现，燃烧后，灰烬增加的重量，和罩内所消耗的空气重量基本接近。



【图 5.3】拉瓦锡

结论与“燃素说”预言正好相反！一边是强大的“燃素说”，一边是小小的天平，相信哪个呢？

当然相信天平！相信实验结果。

无论多强大的理论，无论这个理论有多久远、有多少人信奉，只要确定一例与实验或观测不符（注意，句子里有“确定”），这个理论就立即被证伪，你必须认账，毫无商量余地，你可以修补，也可以推翻重建，但就是不能坚守不降。抱着一个不符合观测、经不住验证的理论拒不撒手、死不松口，无论在自然科学界还是在社会科学界，都是孱弱和无耻的表现。

1773 年 2 月，拉瓦锡在实验记录本上写道：“我所做的实验，使物理和化学发生了根本的变化。”他说的没错。

通过玩火，拉瓦锡发现了一种大家都喜欢的气体，物质燃烧离不开，动物呼吸也离不开，于是，他给它起了个名：氧气。

1775年，他发现物体燃烧时增加的质量，恰好是氧气减少的质量。这说明，物体燃烧，实际上就是与氧气化合。



【图 5.3.1】scientific lighthouse 之拉瓦锡（李焕作品）

这火，拉瓦锡真是玩出了国际水平，他不仅用氧化学说彻底地推翻了燃素说，指出水由氧和氢构成，还顺便证明了化学反应中的质量守恒定律。我们发现，按照这个说法，不光泰勒斯的“水”说、咱家的“五行”说，都靠不住了，古希腊的四元素说和三要素说，也都靠不住了。在《化学概要》里，他列出了第一张元素一览表，这应该是元素周期表的前世吧。

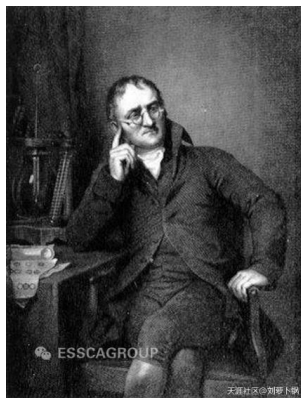
元素周期表

由于亚里士多德和柏拉图太抢眼，原子说长期徘徊在公众的视线之外，流落蛮荒。

直到一个色盲患者拔刀相助，原子说才摘掉非主流的帽子，登上科学的舞台，吸引越来越多的眼球。

约翰·道尔顿（John Dalton），英国化学家、物理学家、气象学家，1766年生于坎伯兰的伊格尔斯菲尔德村。他天生色盲，却没有影响科学研究，反而利用这个“优势”，研究了颜色视觉问题，发表了《关于颜色视觉的特殊例子》的论文，用亲身体

验，对色盲症给出了的最早描述。难得啊！



【图 5.4】道尔顿

1803 年，道尔顿创立了原子说。为什么创立原子说的是道尔顿，而不是留基伯和德谟克利特呢？我们看看道尔顿的工作就门儿清了。

我们现在知道，碳和氧联姻，可以产生两种气体：一氧化碳 CO 、二氧化碳 CO_2 。

道尔顿很好奇，在这两种气体中，碳和氧的比重关系是怎样的。说量就量，结果是：

一氧化碳，碳：氧=5.4：7；

二氧化碳，碳：氧=5.4：14。

道尔顿注意到，两种气体所含的氧，重量之比为 1：2。是个整数。

其实这个工作，有个牛人早在 3 年前，也就是 1800 年就做了。法拉第的老师戴维（Sir Humphry Davy），他测定了三种氮的氧化物，即一氧化二氮 N_2O 、一氧化氮 NO 、二氧化氮 NO_2 。他只测出了氧和氮在这三种气体中各占了多大比例，却没纵向换算一下，在这三种化合物之间，氧、氮的同类比例关系各是多少。可惜了。就差一步：“注意到”。好在戴维老师的发现多

得是，尤其是还包括法拉第，够用了。

道尔顿注意到这件事后，有点小激动。因为，他相信，物质是由原子构成的，但是那东西太小，看不见摸不着，没有证据。如果这个整数的倍比关系普遍成立，就说明元素是“一个一个”的，而不是可以无限分割的，那么，原子说也就可以成立！

于是，他一鼓作气，兴奋地分析了沼气等其他化合物，结果如他所愿：当甲乙两种元素联姻，可以生成不同的化合物时，如果甲的重量恒定，那么，乙在各化合物中的重量成简单的倍数比。这就是著名的“倍比定律”。道尔顿以此论证了他的原子说。

之后，瑞典化学家、有机化学之父贝采里乌斯（Jons Jakob Berzelius）也做出了类似的试验，以精确的数据证实了倍比定律。1840年，两位原子、分子测量方面的高手，比利时化学家斯达（J. S. Stas）、法国化学家杜马斯（J. B. Dumas），他俩严格测定了多种化合物，把元素的质量关系搞得相当精确，得出了相同的结果，倍比定律再次过关。

道尔顿提出，原子是构成物质的最基本的砖块，每一种元素只包含一种原子，而这些原子的聚散离合——产生化学反应，形成了一切物质。

他著成了《化学哲学的新体系》，创立了原子论。比起当时的其他学说，原子论能解释更多的现象，包括气体的行为、物质的化学变化等方面。比方说，为什么某些气体更容易溶于水；再比方说，水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的。等等。

开始，化学家们对此将信将疑，不过这没关系，反正作为一种工具，原子用来解释实验数据更方便。当然，也有反映比较激烈的，比如刚刚这位杜马斯，他曾说，“要是我能做主，我会把原子这个词从科学上抹掉。”

路遥知马力。原子不是你想抹，想抹就能抹。星移斗转，

花落雪飞，大家慢慢发现，越来越多的独立证据，纷纷向原子论暗送秋波、投怀送抱。

但是，仍然有很多人反对原子说，比如马赫(Ernst Mach)，对，就是跟牛爷抢水桶的那个马赫，还有德国物理学家、化学家奥斯特瓦尔德(F. W. Ostwald)等。谁也没见过原子的真身，是吧？于是他们强调，谈论一个无法看到的东西，是毫无意义的。

再唠叨一下，这里的“看”，指的是观测、检测、感知，以后也是一样。

那么，谈论无法看到的东西，到底有没有意义呢？

这是个大问题。以后我们将发现，在量子论的创立过程中，那些大牛们也在这个问题上纠缠不休，大伤脑筋。没法看到的东西，要不要挥起我们的奥卡姆剃刀，断然削除呢？

这个，就要看情况了。

根据奥卡姆剃刀“如无必要，勿增实体”的八字方针，操刀要诀是：

对同一现象，假设最少的解释最接近真相。所以多余的假设，以及假设多的解释，必须斩除。这一条，科学家们不反对。

永远无法检测到的条件，等于不存在，必须斩立决。这一条，科学家们也不反对。

那么，他们在争论什么呢？让他们先吵着，咱俩再来详细讨论一下操刀诀：

一、有的东西不能直接观测，但是可以间接观测，我们根据这些间接的观测结果，来确定可信度，同时，慢慢寻找直接观测的办法。这样的例子也不少，比方说弯曲的空间、引力波、黑洞、希格斯粒子等。

这种情况，我们不能贸然动用奥卡姆剃刀。

二、由于技术条件等方面的限制，有的东西现在看不到，但将来可能看得到。

第二种情况就比较麻烦了，我们怎么断定，哪些东西将来可能看到，哪些东西根本就不“存在”呢？这才是科学家们争论的焦点。

其实，在一般情况下，也很简单。因为科学允许假设。观测不到的东西，可以作为一个假设条件引入理论。

引入该假设后，如果这个理论能够很好地解释现象，与观测相符，并且能做出明确+准确的预言，我们就暂时保留它，相信这个可以有，等观测到了再确信。比方说暗物质、暗能量、高维空间等。

引入该假设后，出现这三种情况：A.和没引入一样；B.引入后理论与观测不相符；C.理论不能做出明确+准确的预言。符合这三条中的任何一条，我们就不管它“事实上”存在不存在，一律斩立决，比方说光以太、龙王爷等。

所以，马赫等科学家反对原子说，也有他们的道理。

道尔顿需要观测证据，哪怕是间接的也行。

一个爱玩水的植物学家实现了他的愿望。英国人罗伯特·布朗（Robert Brown）。

布朗是一名热爱科学的军医，后来受邀乘船去澳洲搞沿海测绘，他顺便搜集标本、研究植物，成了一名植物学家。

1827年，布朗想知道微粒在水中悬浮时，是个啥情况，就用显微镜去观察。他惊奇地发现，在看起来无比平静的水里，微粒们不是老老实实在地悬浮着不动，而是勤奋地做运动！并且运动路线一点也不规则。它们一个劲儿地折腾什么？全民健身运动？或者，是什么让它们这样不厌其烦地瞎折腾？动力何来？难道有回扣吃？

布朗当时观察的是花粉里迸出的微粒（这里澄清一下，不是花粉，花粉颗粒的直径大约是水分子的十万倍，难以产生不规则振动），难道花粉里迸出的微粒是“活性因子”，可以美容美发美肤包治百病的那种？他迫不及待地观察了灰尘等微粒，

这些小家伙是一样一样一样的爱折腾啊！这是怎么回事？！

现象很简单，似乎是小菜一碟。但是当时，没人能解释。后来，微粒在液体里瞎折腾的现象，被叫做“布朗运动”，记录在案，坐等高人破解。

布朗一定不会想到，这一等，就是 78 年。他更不会想到，杀这只鸡用的不是牛刀，而是屠龙刀！

屠龙刀还要等 50 多年才出世。我们先按下不表。1834 年，门捷列夫出世了，但是要等他 37 岁时，才会给我们带来那个惊喜。

所以，我们还是把 1820 年代的事情搞清楚吧。曾记否，那些年，我们一起追过的星，集工艺技术、科学理论于一身的强人夫琅和费（Joseph von Fraunhofer），他发明了光栅，还越搞越精密，能够精确观测光谱线。

从 1850 年代开始，这个技术在元素识别工作中大显神通。德国物理学家基尔霍夫（G. R. Kirchhoff）和本生（R. W. Bunsen）发现，不同的元素，有着不同的光谱线，光谱线就是元素的指纹。有了这个利器，基尔霍夫、本生、瑞典物理学家埃格斯特朗（A. J. Angstrom）、英国化学家克鲁克斯（W. Crookes）、德国化学家赖希（F. Reich）等众多科学家纷纷抢滩登陆，发现了多种元素，同时记录了这些元素的光谱线。

科学家们的发现越来越多，元素越来越丰富。但这些，只能换来短暂的欢欣。因为，有些现象，天天见，却解释不了。比方说，为什么气体会对容器产生压力。

这个问题看起来很简单，可是，那么多科学家，就是拿不出一个靠谱的解释。

一个纯粹的科学家，是不能容忍难题在自己面前耀武扬威的。麦克斯韦更是如此。

麦爷刚刚搞定电磁学，就一边筹建卡文迪许实验室，一边抽空搞起了气体动力的研究。他把气体看做一群刚性球的集合，

它们不停地冲撞容器壁，这种过程，可以用牛顿力学描述。气体越热，分子运动越快，对容器的压力也就越大。这样，就解释了气体为什么会为容器壁产生压力。

虽然刚性小球疑似原子，并且引入后，理论非常符合观测，但是，它依然属于假设。根据刚才讨论的操刀诀，这个可以有，暂时保留，以观后效。

那么，这些“原子”，或者元素，它们有什么性质、关系如何呢？

1840年代，一个超级敬业的俄国教师开始了对元素规律的艰辛探索。

德米特里·伊万诺维奇·门捷列夫（Dmitry Ivanovich Mendeleev），1834年生于俄国西伯利亚的托博尔斯克市，著名科学家。



【图 4.5】门捷列夫

那时候，我们已经发现了 63 种元素。这些元素相互化合，可以产生成百上千种化合物，组成形形色色的物质。身为化学教师的门捷列夫意识到，这些东西太杂乱，讲上几个月也讲不完，枝枝桠桠的，可能讲得越多，听的人就越糊涂。怎么办？

大自然如此美妙，这些元素绝不可能毫无章法、乱凑乱搭。一定要找出那个普遍的、统一的规律！

可是，谈何容易！当真正面对的时候，才发现，这是一团乱麻，每一种元素都有自己的个性，好像很偶然很随机的样子，毫无 PS 痕迹！最基本的，这些元素按什么排列，就是个大问题，颜色？比重？电磁性质？身价？三围？姓氏笔画？都不靠谱。

那个隐秘的自然秩序究竟是什么？

静下心来，细细地分析整理，门捷列夫发现，一些元素相似性极强。这决非偶然！门捷列夫基于这个想法，把所有的元素，连同它们的各种化合物，综合排行布阵。然后再去分析，决定元素位置的，到底是什么里格楞。原子量、原子价。门捷列夫脑子里蹦出两个词。

所谓原子量，其实就是原子的质量。为了方便计算，从上世纪 60 年代起，我们以碳-12 原子质量的 $1/12$ 为标准，其它原子的质量跟它相比较，从而得到一个相对质量，作为原子量。

所谓原子价，就是一个原子形成氢化合物时，需要跟多少氢原子结合，它的原子价就是多少。

门捷列夫抓住这两根线，玩起了卡片游戏——用厚纸板切成 63 张卡片，每张卡片写一种元素的名称、重要性质和原子量，然后不厌其烦地排布调整，寻找规律。

1867 年 2 月 17 日，那个苦苦寻求的规律，终于浮出水面：各元素的性质和它们的原子量，呈周期性的依赖关系。于是，那些小纸片排布得越发美妙起来。1869 年 3 月 1 日，他公布第一稿元素周期表，由此得出 8 个原理，其中，最主要的是“元素的物质性质和化学性质随着原子量作周期性的变化”。

1870 年，门捷列夫将周期表加以修缮补充，宣告元素周期分类已趋成熟。

按照周期表排布原理，他在表中留出了一些空格，预言在

这些位置应该填入的未知元素，并描述了它们的性质。后来果然陆续发现了那些元素。比方说，他预言，在钛的下面，应该填入一个原子量 72、密度 5.5，其氯化物为液体的元素，后来果然发现了这个元素：锆。它的原子量为 72.61，密度为 5.323，氯化锆为无色液体。预言正确。

门捷列夫的第一张元素周期表（1869年）				
		Ti=50	Zr=90	?=180
		V=51	Nb=94	Ta=182
		Cr=52	Mo=96	W=186
		Mn=55	Rh=104.4	Pt=197
		Fe=56	Ra=104.4	Ir=198
		Ni=Co=59	Pl=106.6	Os=199
H=1		Cu=63.4	Ag=108	Hg=200
Be=9.4	Mg=24	Zn=65.2	Cd=112	
B=11	Al=27.4	?=68	Cr=116	Au=197?
C=12	Si=28	?=70	Sr=118	
N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
O=16	S=32	Se=79.4	Te=128?	
F=19	Cl=35.5	Br=80	I=127	
Na=23	K=39	Rb=85.4	Cs=133	Tl=204
	Ca=40	Sr=87.6	Ba=137	Pb=207
Li=7	?=45	Rb=85.4		
	?Er=56	Sr=87.6		
	?Yt=60	Ce=92		
	?In=75.6	La=94		
		Di=95		
		Th=118?		

【图 4.6】门捷列夫的第一张元素周期表

元素周期率的发现，是近代化学史上的一个创举。元素周期表的发明，使我们对元素的认识更加简洁、优美、深刻，那神秘玄妙的化学，变得连中学生都能理解了。直到现在，我们的化学课本里，都少不了元素周期表。

但是，这只是一个开始。

为什么元素性质非要随着原子量的递增而呈周期性的变化？

为什么原子量的一个小变动，就会引起元素性质的大变动？比方说，氟和氦的原子量只差 1，但个性迥异，氟最活泼，和几乎所有元素都合得来，甚至能与铂、金等发生剧烈反应；而氦最不活泼，一般不跟任何元素发生反应，包括氟在内；而铁和钴的原子量差值达到 3，可是它们的化学性质却差不多！

是谁在和我们开玩笑？

我们从雾霾中跌跌撞撞、一路走来，偶一抬头，前方白云飘渺，豁然开朗，谈笑间却身入其中，希望灰飞烟灭，但见迷云漫漫，深渊暗壑，隐隐其间。

原子之谜

原子在理论上作为一个假设，逐渐被接受。相当一部分人相信它的存在，也有相当一部分人怀疑它的存在，只把它作为一种工具来使用，有的甚至不屑使用这个工具。不信当然有不信的道理，因为作为一个科学理论，原子说缺少关键的东西：

没有观测证据，间接的也没有。

元素周期表固然美丽，把看起来毫不相干的元素，组成了一个完整的自然体系，但是，它是建在沼泽地上的豪宅，没有地基——理论基础，造成元素性质不同的机制是什么？问谁谁傻眼。

我们发现了原子的条码身份证——光谱线，藉此发现了越来越多的原子，积累了大量的、精确的光谱数据，但是，谁也不知道光谱线何时出现、为啥出现。

我们从这些数据、经验中所得到的知识，确实能解决很多问题，但是，它们有时候好使，有时候不好使，这让科学家们情何以堪？！

七彩光谱诡异莫测，究竟谁是幕后黑手？基本粒子似隐似现，到底在隐藏什么秘密？原子为何频频变脸，究竟哪个才是真身？这一切到底是上帝的疯狂还是人类的偏执？敬请追随科学牛人的脚步，关注原子之谜！

无论这些问号怎样让我们愁肠百转，问题，还得一步一步解决。

在科学家们纷纷用光栅观测原子光谱，发现新原子的那个激情燃烧的年代，瑞典物理学家埃格斯特朗也跻身其中，关注了氢的光谱中，处于红、绿、蓝、紫色区域的四条光谱线，他

给这四条线起了个名：阿尔法、贝塔、伽马、德尔塔（ α ， β ， γ ， δ ）。并精确测量了它们的波长：656.210；486.074；434.01；410.12。单位是纳米哟。精确到了骨子里。

瑞士，有间女子学校。

约翰·巴尔末（Johann Jakob Balmer）老师今天有点无聊，抱怨道，没啥有趣的事可做。巴尔末老师是教数学的，课余喜欢玩玩有点挑战性的数学游戏，比如数字占卦术之类的。

物理教授哈根拜希（E. Hagenbach）正为光谱纠结呢，听到巴老师的抱怨，就说，三条腿的蛤蟆不好找，N条线的难题有的是！你摆弄一下埃格斯特朗的四条线吧，正好你喜欢玩数学游戏，试试看，能不能找到它们的数学关系？

这些谱线，看似纤弱懒散，却巍然不动；看似毫无章法，却不越雷池。怎一个拽字了得？！喜欢刺激的巴老师立即就被光谱线的神秘勾住了魂。解谜的渴望，让巴老师的业余文化娱乐生活立即充实起来——凑公式，凑公式，以及凑公式。其实方法无非就是三长一短选最短，三短一长选最长，长短不一选择B，参差不齐就选D，同长为A同短为C……口诀好像背串了是吧？总之就是各种人工暴力破解。



【图 4.7】巴尔末

1884年6月，巴老师快满60岁的时候，终于凑出一条公

式，可以再现四条谱线的波长。我们来欣赏欣赏巴老师的劳动成果：

$$\lambda = B \frac{m^2}{m^2 - n^2}$$

m 和 n 为整数。

$B=3.6546 \times 10^{-7}m$ ，是个常数。

这个式子是硬凑出来的，用的都是数学技巧，至于 m 和 n 为啥必须是整数，B 的值为啥必须是这个常数，它的描述代表什么意义，巴老师一概不知。他只知道，眼前的这个式子好用。

奇怪吗？不奇怪。凑式子这种事，并不少见。我们不能解释某个现象，但可以根据手里掌握的观测资料，用数学予以描述，先凑出一个公式，作为一个工具来用，确定它好用、实用后，就可以试着读出它隐藏的秘密。

巴尔末发现，如果 $n=2$ ，让 m 分别等于 3、4、5、6 的话，那么，这个公式会分别得出那四条线的波长。

不仅如此，他还用这个公式预测到，氢谱线应该还有第五条，那就是当 $n=2$ ， $m=7$ 时。

巴尔末还不知道，埃格斯特朗后来已经发现了第五条线，当然也测量了它的波长，这个成果是在瑞典发表的，没人告诉巴老师这件事。你知道，那个时候没有互联网，无墙可翻，信息不畅啊！

后来，人们拿着第五条线的测量值，与巴老师的理论值一比照，嗨，那是相当吻合了！

再后来，巴尔末用他的公式，分别让 n 等于 1、3、4、5，让 m 也取不同的值，预测出氢原子在红外和紫外区域还存在其他光谱线。预测本是寻常事，偏偏此事不寻常——这些预测被证实是对的，简直太成功了！

可是，就是没人能解释，是什么让这个公式频频得手。

1885 年，巴尔末公式被刊载在《物理、化学纪要》杂志上。

这一年的 10 月 7 日，在丹麦的哥本哈根，维特·斯特兰顿 14 号，一座名副其实的豪宅里，年轻的母亲艾伦在自己生日这天，产下她的第二个儿子，尼尔斯·亨利克·大卫·玻尔（Niels Henrik David Bohr）。隐藏在这个公式背后的惊天秘密，将在 28 年后，由这个男孩一手揭开。

所以，关于巴尔末公式的故事，我们 28 年后再说。现在，我们去看看另一位牛人对原子干了什么。

约瑟夫·约翰·汤姆逊（Joseph John Thomson），著名物理学家，1856 年 12 月 18 日生于英国曼彻斯特。



【图 4.8】J. J. 汤姆逊

天才都很善于学习。上曼彻斯特大学那年，汤姆逊年方十四。后来他又去了剑桥，听过麦克斯韦老师的课，也不知道他是用什么办法听懂的。汤姆逊还在卡文迪许实验室第二任主任瑞利勋爵（Third Baron Rayleigh）的指导下，完成了几篇论文。

经历了这么多名师，汤姆逊显得很出色，但是那时，他还没做出什么突出贡献。

1884 年，瑞利如约辞去了卡文迪许实验室主任兼物理教授职务（他承诺只任 5 年）。时年 28 岁的汤姆逊试着申请了一下，没报什么希望，所以即使落选也不会失望。但是，天上真掉了个馅饼，还直接砸到汤姆逊头上。经瑞利推荐，汤姆逊居然当

选了！申请人自己先吓了一跳，这才想起来，自己还“没有认真考虑过这项工作和所要负的责任”。这些选举人，要么是极不负责任的，要么是极有远见的。后来的事实证明，汤姆逊极其认真负责，并且具备担任这一职务的实力。估计是大家相信瑞利的眼光，才让汤姆逊坐上了这个重要位置。

汤主任治学严谨，他注重培养会思考、有独立工作能力的人才，要求学生在做研究之前，必须先学好相关实验技术。不仅做实验的观察者，更要做实验的创造者。

汤姆逊在担任这一要职的 34 年间，创立了一个极为成功的研究学派，新成果、新发现从卡文迪许实验室不断涌出，培养了一大批牛人：卢瑟福（E. Rutherford）、威尔逊（C. T. R. Wilson）、斯特拉特（R. J. Strutt，瑞利之子）、汤森（J. S. E. Townsend）、巴克拉（C. G. Barkla）、理查森（O. W. Richardson）、阿斯顿（F. W. Aston）、泰勒（G. I. Taylor）、以及 G. P. 汤姆逊（G. P. Thomson 汤主任之子）……在汤姆逊的学生中，有九名诺奖得主，加上他自己的诺奖，汤主任这个老师当的可谓十全十美了，真正做到胡锦涛同志所倡导的“创新智慧竞相迸发，创新人才大量涌现”。

这里要说的，不是汤主任的教育勋业，而是他和阴极射线的那些事儿。

阴极射线是什么玩意儿？这还得从一根玻璃管说起。

1858 年，德国的盖斯勒（H. Geissler）制成了低压气体放电管。就是一根密封的玻璃管，内充少量气体，两端通电，一端是阳极，另一端你来猜猜看？对嘛是阴极！给电极通电，电压达到一定高度时，电流就会击穿管内的气体，开始放电。

1859 年，德国的普吕克尔（Plücker）觉得这根管挺好玩，于是给它通电，发现阴极的对面冒出了绿光。咦？

为什么不直接说是阳极那边冒出绿光呢？等 17 年就知道了。

1876年，德国的戈尔兹坦（E. Goldstein）回答道，是阴极产生的某种射线，撞击到对面，从而发出绿光。他给这种射线起了个名：阴极射线。

阴极射线本身跟它的名字一样神秘，有人说它是电磁波，也有人说它是带电的原子束，还有人说是以太波……二十多年过去了，只有争论，没有结果。

1897年，汤姆逊决定试试看。他拿来一块小玻璃片，涂上硫化锌，放在阴极射线的必由之路上。阴极射线能让硫化锌闪光。利用这个原理，他搞清了阴极射线的“径迹”。发现，一般情况下，阴极射线是走直线的。接着，他拿来一块U型磁铁，跨放在放电管外面，结果见证了奇迹——阴极射线跑偏了！根据这个偏折方向，可以断定，阴极射线是带负电的微粒。顺便说一下，用电场，也可以让阴极射线跑偏。

那么，阴极射线是原子还是分子呢？测一下质量就知道了！可是，这么小的东西，怎么能测出质量呢？这需要多精细的设备啊！

这时，汤主任的功力就显现出来了。他设计了一套既简单又巧妙的实验：

首先，电场，或者磁场，都能使带电体偏转。而磁场呢，对粒子施加的力，是与粒子的速度密切相关的。汤教授同时施加电场和磁场，让粒子受夹板气，并精心调节，直到双场造成的粒子偏转互相抵消。这时，粒子在双场的淫威下，仍作直线运动。然后，用电场和磁场的强度比值，就能算出粒子的运动速度。

有了速度值，单靠磁偏转，或者电偏转，都可以测出粒子的电荷与质量的比值。

算出这个值后，汤姆逊惊奇地发现，它比电解质中氢离子的比值还要大得多！

这说明什么呢？说明这种粒子的质量，比氢原子的质量要

小得多——前者大约是后者的 1/2000。

我们看看元素周期表就知道，氢原子是最轻的原子，比它还小 2000 来倍的东西，不可能是原子！

那么，它是谁？一股寒意倏然袭来。

纵览科学史，从来没有这样的概念：比原子还小得多的带电微粒。

汤主任漂亮的实验结果，肯定地证实了阴极射线是由电子组成的。这是人类首次用实验证实了一种“基本粒子”——电子的存在。

我们一直在为原子找证据，因为无法观测，而总是怀疑它的存在。为这事儿，不知白了多少少年头，熬了多少不眠夜！没想到，我们首先观测到的微粒，竟然是比原子轻 2000 倍的电子！而原子，到现在也没看到，真是造化弄人啊！

先不要忙着感慨，好像有点不对劲——发现了电子，这意味着什么？

这意味着，八成存在原子。即使存在原子，它也不是原来大家认为的那样，是一个不可分割的基本颗粒，Look，电子就是从原子身上拆下来的！

它同时还意味着，除了电子，原子中还存在别的什么东西。

什么？你说原子都是电子不可以吗？

不可以，因为原子不带电，也就是说，它是电中性。而电子带负电，只有跟带正电的东西在一起，才可能抵消，表现出整体的电中性。所以，原子一定还有带正电的结构。

这位童鞋说了，就不能是带正电的电子吗？

不能，以后我们会知道，如果这个世界上，负电子非要和正电子往一块儿凑，那么，世界就毁了。

原子还没被证实，它的“基本粒子”身份就被取消了。科学进入了一个新时代。

发现电子后，汤主任火了，被誉为“最先打开通向基本粒

子物理学大门的伟人”。1906年，他因此获得诺贝尔物理学奖。

1940年8月30日，汤姆逊逝世，他的骨灰与牛顿，达尔文（Charles Robert Darwin）、开尔文等伟人的骨灰安放在一起。

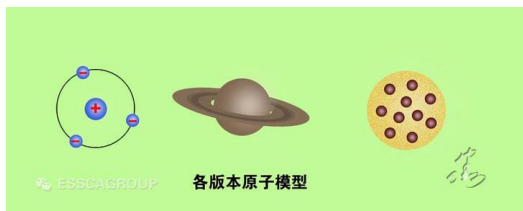
话说发现电子后，人们都在想，电子貌似原子的零件之一，那么，原子的构造是个什么模样呢？这时，想象力占了主场，科学家们纷纷提出各种原子模型。

1901年，法国物理学家让·佩兰（J. B. Perrin）提出，带负电的电子，围着一个带正电的粒子旋转，组成了原子。原子的光谱不一样，是因为电子的运行周期不一样。

1903年，日本物理学之父长冈半太郎受到麦克斯韦土星模型的启发，提出原子就是像土星那样。

1904年，汤姆逊提出，原子是个球，带正电，镶嵌着带负电的电子。有点像葡萄干蛋糕。

.....



【图 4.9】各版本原子模型

众说纷纭，各有各理，很难说哪个靠谱，哪个不靠谱。揭开原子之谜的道路太曲折，太漫长。我们也累了。现在，咱俩静静地坐下来，插播一段广告。

客观世界纷繁复杂，你想撇开次要因素吗？你想抓住主要矛盾吗？你想让科学研究更纯粹、更基本、更简洁吗？请使用科学模型！

科学离不开模型。科学研究中的计算，针对的都是模型，而不是“现实”的东西。这个模型，要能够尽量简洁地模拟现

实对象。比如计算天体力学关系时，最简洁、最有效的办法是，把天体简化成质点，这样计算起来又快又准。如果不依赖这个“质点模型”，那我们就把自己逼疯了：我们必须考虑每一个天体、及其每一个原子之间的力学关系！就算我们有这个能力、精力和时间，也是麻烦无比，还很难算得准。

有人说了，模型这东西，虽然好用，但太主观。

不错，不仅模型主观，就连我们对客观世界的观察，也撇不开主观。因为，我们的感知能力有限。所以，观察到的东西，只能是世界的一小部分，究竟是多小的一部分，还不知道。这些碎片信息，通过感官，映射到我们的大脑，做出分析理解，这个过程本身，就是客观刺激、主观反映。我们所能做的，就是尽量多地去观测客观世界，尽量客观地去模拟现实对象——用我们的模型。

这位童鞋问，模型再好用，它也不是“真实”，科学追求的不是真理吗？

是的，科学是在追求真理、拼命鞭策自己去接近真理，但是，对于科学，最科学的表述是：我们追求的真理，是有限的，但必须是有效的。

绝对真理也许存在，也许将来有一天，能够找到我们这个宇宙的绝对真理。但是，你能保证我们的宇宙是唯一的吗？你能保证其他宇宙的真理也和我们一样吗？

研究绝对真理，是哲学家、神学家、玄学家、政治家们的事，他们可以仙风道骨，很拽很大气；坐而论道，很玄很肯定。唯一的遗憾是，他们不能肯定、准确地预测一件事。

科学家们没那么潇洒，他们谨小慎微，很清楚地知道，自己建的模型很简陋，对大自然的描述很片面，他们承认自己没有能力客观地、全面地、历史地、辩证地看问题，他们只能用这些简陋的、片面的、孤立的東西，战战兢兢地搞些观测、做些实验，好不容易总结出可怜的几条规律，还心虚不已，一个

劲儿地预测、验证，一旦发现某处与观测不符，就立即推翻自己苦心经营的理论，从头再来。他们唯一的骄傲是，总算能够肯定、准确地预测一些事了。比方说，能把飞行器送上太空的预设轨道、月球和火星的指定位置；预测几千年的日食月食，发生时间敢精确到秒；土星在 2022 年 2 月 2 日 2 点 2 分处于什么位置；130 亿光年远的那颗恒星含有什么元素……有一次不准，他会立即认栽，比谁都认真地找出到底错在哪，一旦找到原因，改得比谁都快。这就是有自知之明的科学，知道自己不代表真理的科学。

咦？到底谁更主观？

哈，扯远了，违反了广告法。下面，接着说模型。

原子还没观测到，模型倒是提出不少。那，到底有没有原子呢？

别急，咱俩熟悉的奇迹年——1905 姗姗而至。三级技术员爱因斯坦同志在创立狭义相对论之余，关注了一下微观世界。他的目光落在布朗运动谜题上。5 月份，小爱同志接连发表了《热的分子运动论所要求的静止液体中悬浮小粒子的运动》、《布朗运动的一些检视》两篇论文，用来解释布朗运动。

在论文里，小爱说，研究布朗运动，就是要找到证据，证实原子存在或不存在。原理是，假设存在水分子、构成水分子的原子，把它们看做微小的圆球，那么，按照热分子运动理论，观测悬浮颗粒的运动，就可以用数学手段精确测定小球的大小。如果做不到，那就说明，不能把水看作小球的集合，也就是说，原子不存在。

他做到了。在论文里，小爱创立了相关数学定律，成功统计了在一定体积的液体中，分子的数量和质量，准确描述了布朗运动，还给出了完美的解释：是分子（原子）的热运动，不停地撞击悬浮在其中的微粒，使它们不停地瞎折腾。

这个结论，不仅证明了原子的存在，终结了两千年来关于

原子存在与否的争论，还顺便为现代统计力学作出了基础性的重大贡献。

小爱为解释布朗运动所创立的统计方法，可以用来描述和预测那些信息海量庞杂、变化微妙多端的复杂事物，比方说，模拟空气污染物的行为，或者股票市场涨落走势等等。

后来的事，我们在上部里说过，佩兰在物理学领域验证了爱因斯坦的理论，斯维德伯格（T. T. Svedberg）在化学领域验证了爱因斯坦的理论，他俩因此分别获得了 1926 年的诺贝尔物理学奖和化学奖。验证同一个结论的两个实验，分别获得不同领域的诺贝尔奖，这在诺奖历史上应该是绝无仅有的，足见这个理论的重要性。

多年来不遗余力捍卫原子论的著名科学家玻尔兹曼（Ludwig Edward Boltzmann）胜利了，但他已身心俱疲，于 1906 年自杀身亡。玻尔兹曼是热力学和统计物理学的奠基人之一，我们以后会谈到他。

原子，你是有多让人操心啊！

初露端倪

科学家们提出品类繁多、形态各异的原子模型，到底哪个更靠谱呢？这个问题不能靠口才来解决，科学家们用的都是笨办法：实验。

1910 年。

这个实验，被评为物理最美实验之一。

伟大的实验，自然要由伟大的人物来做。

欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford）。

“法拉第之后最伟大的实验物理学家”的名头，不是说有就有的。

如果你嫌不够，那么，卡文迪许实验室第四任主任，也不是说当就能当的。

他的名头当然远远不止这两个。如果列一张清单给你，你

一定会后悔看到它。因为它很长。

长到你无法承受。

卢瑟福可以承受。凭实力。

但现在，他把这些名头都忘在了九霄云外。

因为，他正盯着一个模型。原子模型。

每个人心中都有一个原子模型。但这只不同。

如果选择一只模型去相信它，自然要选老师的那只。

可以肯定，这位老师，就是汤姆逊，那个尊敬的长者。

而模型，却未必是原子的真身。

葡萄干蛋糕？其实这个模型更像一只西瓜。当然是削了皮的那只。

西瓜瓤，应该就是原子。而西瓜子，自然就是电子。

揭开它的面纱！这是卢瑟福的一个梦。也是整个物理界的一个梦。

梦想很丰满，但武器太骨感。

一张纸，涂了硫酸锌的纸。这张纸围成一个圈，让人想起天坛的回音壁。纸壁上有一个孔。纸圈当中，一张箔孑然而立。

够薄才能称箔。但这张，薄得让人心酸。寒酸的厚度，却由上好材质打造。是的，这是一张金箔。做靶，是它的宿命。

带正电的氦核，江湖人称 α 粒子，昵称阿尔法。它现在是射线，由放射性元素衰变射出，当然，裂变亦可。

纸圈外， α 粒子发射孔透过纸孔，正对着那张箔。

当阿尔法遭遇硫酸锌，便有微光闪逝。

武器太寒酸，相对于名震物理江湖的实验。但放在卢瑟福手中，已然足够。

兵刃未动，卢瑟福却已在心中过招。事实上，每一个高手都会在心中过招。

α 粒子，射中金箔中的原子，会发生什么？

实力决定结果。

α 粒子冲击电子，就像卡车撞上乒乓球，毫无挂碍。而西瓜瓢这种疏松之物，只作容纳电子之用，不足为虑。

所以， α 粒子将直贯而过——穿透金箔，砸在发射孔对面的纸壁上，就像子弹穿透纸靶射进墙壁。这是卢瑟福的推测。也是所有人的推测。

然而，失算乃兵家常事。即使是高手也不例外。

比如现在的卢瑟福。

不错，果然有微光频闪，但不止是在发射孔对面。大半个纸壁上都有！

那些散落在别处的微光也不容小觑。

事实上，每一点微光都不容小觑。一点微光，就是一个 α 粒子。

少数 α 粒子被反弹偏角超过 90 度！

它撞上了什么，被弹得四处飞散？！

电子？绝无可能。

那么，就只有一种可能：原子内部，一定还有异物！

质量大、硬度高，才有如此功力。

原子居然有这等神器？

失算的不是卢瑟福，而是那个模型。

“这就像你用一发十五英寸的炮弹去轰击一张纸，可这发炮弹却被弹回来打到你一样。”

卢瑟福这样形容他对“ α 粒子散射实验”的不可思议。

实际上，这个实验，比上述要复杂得多。比方说，为了多打探些原子内幕信息，必须干一件又费力又无聊的事——数清闪光次数。需要在完全黑暗的环境中老老实实盯几个小时，去捕捉那一闪而逝的、孱弱的微光。达摩面壁，还能看见蚂蚁搬家呢，这小黑屋谁伤得起？对一般人来说，这活儿还不如守墓。好在卢老师门下奇人辈出，都不一般。

盖革（H. W. Geiger）尤其不一般。卢瑟福评价说，盖革工

作起来像个魔鬼，可以整夜定时计数，而且极其淡定，丝毫不乱。

于是盖革老是被安排干这类事。

于是盖革发明了一个仪器替自己工作，这就是名震江湖的盖革计数器。当然不是为这次实验发明的。

这次试验，还是要靠眼力。因为不仅要计数，还得搞清楚散射位置。

盖革发现，阿尔法粒子要么直接穿过金箔，要么稍有偏转。这都很正常。但意外的是，盖革还发现，一些 α 粒子偏转角“相当可观”。

而那时，物理学家卢瑟福刚刚获得了诺贝尔化学奖。因为他发现，所谓放射性，是嬗变产生的一种现象，而所谓嬗变，就是一种元素变成另一种元素。突然从物理学家嬗变为化学家，这是在恶搞吗？喜欢幽默的他为这件滑稽的事发生在自己身上有点小得意：“这真是太妙了！我研究了那么多变化，但是最大的变化是这一次，我从一个物理学家变成了一个化学家。”

幽默归幽默，工作归工作。卢老师算了下，按照汤老师的模型， α 粒子被大角度偏转的可能性不大。这时，盖革向卢老师推荐了一位很有前途的研究生——马斯登（E. Marsden），并建议给这位新人安排一个项目。

卢老师当场拍板：那就让他去看看，有没有 α 粒子反弹回来。

卢老师安排这件事的时候，只是给这位年轻人找点事干，也没抱什么希望，怎么可能反弹回来呢，还恰好被你看见，是吧？

于是马斯登就屁颠屁颠去了盖革的小黑屋。

没想到啊没想到，他真看到了！

于是卢瑟福拿炮弹作比喻，表示了这件事的不可思议。

事情到这儿还没完。搞出这么大个怪事，盖革和马斯登更

来劲了，他们召集不同材料的箔，组织了一场比赛，就比谁弹回的 α 粒子多。赛后，盖革和马斯登发布了成绩榜：金是银的 2 倍，是铝的 20 倍……然后就兴冲冲干别的去了。

但卢瑟福没心思干别的了。他想为这张成绩榜找个解释。

在此之前，他得先理清思路：

第一，爱因斯坦对布朗运动的解释，加上自己刚发现的元素嬗变，这两个证据都毋庸置疑地证明了原子的存在。

第二，汤老师发现了电子，不容置疑地证明了原子不是基本粒子，它是可以拆开的。

第三，汤老师认为，原子主要是由电子构成的，还提出一个镶了很多电子的球形原子模型。

第四， α 粒子有大角度的散射，说明原子中存在大质量的硬物。汤老师的模型不对。

第五，绝大部分 α 粒子直贯而过，说明这个硬物体积不大。那么它到底有多大呢？可以根据 α 粒子散射的数量，以及分布情况的数据算出来。

第六，这个数据已经被盖革和马斯登这两小子弄出来了。

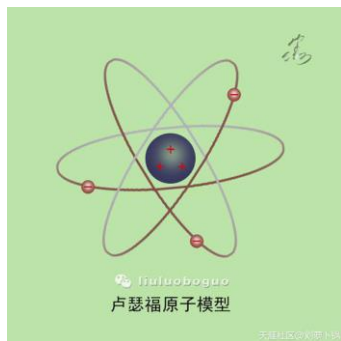
Yeah!

1910 年 12 月，卢老师告诉盖革：“俺晓得原子是嘛模样了！”

卢瑟福原子模型闪亮登场：一个小小的、带正电的核心，叫原子核，只占原子中极小的一部分空间，就像教堂中心悬浮的一只苍蝇，电子绕着原子核转，就像教堂的墙。也就是说，原子基本上是空的。如果非要想象一下电子的大小，我们就只好把原子放大到地球的尺寸，原子核就相当于一个棒球场，而电子就是棒球。

实际上，原子核只占原子体积的几千亿分之一，却集中了原子 99.96% 以上的质量！原子核的密度是一样的，质量越大的原子，其原子核体积越大，所以弹回的 α 粒子越多。如果原子

不是空的，而是都充满原子核，那么，1 立方米的任何物质都将重达 1 百万亿吨！



【图 4.10】卢瑟福原子模型（原子核被夸大，电子轨道被缩小）

卢老师原子模型简直就是一个小行星系统的翻版，就像我们的太阳系——原子核是太阳，电子就是行星，史称“行星系统”模型。多美妙啊！微观世界竟然是宏观世界的超级袖珍版！

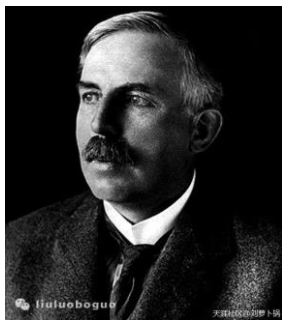
这个原子模型，直接由实验数据计算而来，原子核的概念从此出现在人类的词典里，颠覆了此前人们对原子的认识，开辟了物理学的一个崭新分支，向原子核物理学最终确立迈出了决定性的一步。在卢瑟福的主持下，卡文迪许实验室涌出一系列重大发现，成为实验物理学圣殿。卢瑟福因此被誉为“原子核物理学之父”。

“原子核物理学之父”于 1871 年降生于新西兰纳尔逊，父亲是个手艺人，车轮工匠、木匠、机械、农活，样样拿得起。

但是样样拿得起的人，往往有一样拿不起，钱。并不是每个人都可以做达芬奇。所以爱好不要太广泛，盯住一样做到极致，你就赢了。

卢瑟福自小家境贫寒。好在智力和快乐并不是按价购买的。小卢聪明淘气，建过土炮，Diy 过相机，拆过闹钟，心灵手

巧的劲儿比父亲有过之而无不及。如果你对此不以为然，那是你不知道，这对一个实验物理学家是有多重要。所以，看见孩子拆东西，鼓捣稀奇古怪的玩意儿，千万不要粗暴禁止，说不定你一不留神，就扼杀了一个伟大的科学家。



【图 4.11】卢瑟福

咱爹就是个明白人，咱俩拆啥他都不管，但是后来，咱俩都没变成科学家。那是因为，咱俩管拆不管装，把成品变成零件，就算万事大吉了。什么？你现在是报废汽车回收公司经理？嗯，算是专业对口，人尽其才了！

人家小卢比咱俩厉害，他不仅能拆，还能装上，坏了还能修好，比如那只钟；自己没有的东西能 Diy 出来，比如那个相机，真能拍照片，厉害吧？

其实他更厉害的是，淘气学习两不误，很小就爱思考，爱读书，但目标不明确。直到 10 岁那年，他看到一本书，《物理学入门》。小卢立即被书里简单而神奇的实验、美丽而优雅的自然规律所吸引，从此心里种下一个梦。也算是冥冥之中的巧合吧，这本书是他后来的老师汤姆逊的老师写的，说起来，还是师祖点化他投入师父的门下。

小卢靠自己劳动，解决了小学的学费。小学以后的学费，他靠奖学金解决。我们知道，奖学金可是个稀罕物，它只青睐两类人：凤毛、麟角，你得用成绩 PK 掉绝大多数对手才行。

小卢一路过关斩将，进入了新西兰大学，毕业时还赚了三个学位：文学学士、理科学士和硕士学位。这个时候，他也可以凭本事养家了。但卢瑟福同学心里的那个梦发芽了，于是申请了剑桥的奖学金，这回竞争对手更多了。而且，你知道，敢申请剑桥奖学金的，那都是神人，否则就是神经了。果然，这次竞争特别激烈，一个叫迈克劳林的人跟小卢杠上了，他俩条件差不多，基金委员会很为难，最后经过争论，决定把机会给迈克劳林。小卢只好回家等下次机会。1895年4月，小卢正在菜园里挖土豆，母亲兴奋地给他送来一份电报，原来基金委员会改了主意，奖学金归卢瑟福了。小卢立马扔掉铁锹，雀跃道：“这是我挖的最后一个土豆了！”

卢瑟福从菜园子一路走来，取得巨大成就，靠的不仅仅是聪明的头脑，更有勤奋、坚持和勇气。还记得我们的成功等式吗？那几个因子，小卢一个也不少。他也许不是最牛的物理学家，但绝对是最牛的物理学导师，没有之一。

他真挚、爽朗、淳朴、诚恳、热忱、负责、渊博、智慧、幽默、勤恳，几乎具备作为好朋友、好导师所要求的一切优点，这绝不是搞浮夸，搞高大全，他被科学界公认为“从来没树立过一个敌人，也从来没失去过一个朋友”，让整个科学界这帮吹毛求疵的家伙公认一件事，容易吗？

当然不容易！他作为导师，对学生的影响和帮助，无论在精神、知识还是其他方面，都是无可比拟的。

俄罗斯物理学家卡皮查（Peter Leonidovich Kapitzka）勤奋、有思想、还有幽默感，在卢老师门下工作了14年，师生俩情同父子，小卡给他敬爱的卢老师起了个外号：鳄鱼，寓意老师从不回头、勇往直前的精神，还做成一个鳄鱼徽标，挂在卢老师为他建的“蒙德实验室”，用来激励自己。

1934年秋，卡皮查回国探亲，被苏联留在国内出不来了。一个实验物理学家，离开了实验室，那就是龙游浅水、虎落平

阳，卡皮查一连三年无所事事。卢瑟福做了一件谁也没想到的事，他说服了苏英两国政府，把“蒙德实验室”的所有设备、仪器送到莫斯科，还派了个得力助手前去协助安装。小卡后来在液氦的超流动性、球型闪电研究等方面取得成功，于1978年获得诺贝尔物理学奖，成为史上最高龄捧回诺奖者，那年他84岁。这个记录保持了24年，后来被打破两次，2002年，88岁的美国科学家雷蒙德·戴维斯与另外三位科学家分享了诺贝尔物理学奖，打破了这一纪录。2013年，84岁的希格斯与81岁的恩格勒分享诺贝尔物理学奖。获奖时，希格斯比当时的卡皮查大1个半月。

卢老师对学生不仅“能帮”，还“善导”。一天深夜，卢瑟福见实验室仍亮着灯，进去一看，一个学生正在那忙乎，便问道：“大半夜的你干嘛呢？”学生答道：“我加班呢。”交谈中，他得知学生从早到晚不是上班就是加班，就不满意的问了句：“那你用什么时间思考问题呢？”一个真正有头脑的老板，不是想方设法让手下加班，而是想方设法提高手下的效率和能力。

所以，他门下神人辈出，他的学生和助手，至少有11人获诺奖。物理学奖：索迪（F. Soddy 1921）、玻尔（1922）、查德威克（J. Chadwick 1935）、赫维西（G. C. Hevesy 1943）、哈恩（O. Hahn 1944）、阿普顿（E. V. Appleton 1947）、布莱克特（B. P. M. S. Blackett 1948）、鲍威尔（C. F. Powell 1950）、科克拉夫特和瓦尔顿（J. D. Cockcroft、E. T. S. Walton 1951）、卡皮查（1978）。

受卢瑟福影响获奖的还有：阿斯顿（F. W. Aston 1922）、狄拉克（P. A. M. Dirac 1933）、贝特（H. Bethe 1967）等等。

当然，还有些牛人没获诺奖，比方说刚才在小黑屋数数的盖革、马斯登等。没办法，诺贝尔物理学奖太少，卢老师门下神人太多，不够分呐！这不，还匀了几个化学奖给他们！

这个纪录超过他的老师汤姆逊，稳居世界第一。

导师当得够完美，那么，刚刚设计的这个原子模型怎么样

呢？

这个模型既符合刚刚结束的实验观测，又符合自然的美感，何止是完美？简直就是完美！

但是，经验告诉我们，每当我们迎接一段光明时，后面总会跟着一个大大的阴影。

这次也不例外。科学家们很快发现，如果原子是这样的，这个世界就毁了。为了拯救世界，必须反对这个模型！

这次反对者的后台特别硬：牛爷、麦爷。

牛爷证明：做圆周运动的物体都经受加速度。

麦爷证明：带电粒子加速，会产生电磁辐射，不断损耗能量。

这位童鞋问：两位爷说得都没错，但是，损耗能量很平常啊，有什么大不了？

问题很严重，一个做圆周运动的物体，损耗能量，就必须缩小半径，能量损耗越多，半径越小。这下你懂了——电子会坠毁在原子核上。

这个坠毁过程需要多长时间呢？科学家们算了下：大概不会超过万亿分之一秒！

也就是说，如果原子系统是这样运行的，那么。它刚出生，就会毁在自己手里。

有的同学又问了，如果电子不是绕核“公转”，而是离原子核一定距离，老老实实呆着不动，不就没有能量损耗了吗？那就不能坠毁了吧？

答案是：坠毁得更快。带负电的电子，怎么能抗拒带正电的原子核的强大魅力？它会立即投向原子核的怀抱，比绕转坠毁还快！

事情闹大了。

第五章 量子论前传（中）乌云来袭

辐射家族

每一个科学新发现都表明，世界永远比我们想象的要简单。但每一个新发现，永远出乎我们的意料之外。这是因为，我们第一眼看到的，永远只是表象。

卢瑟福搞清了原子的大概模样，却弄不清楚它的机制。如果原子按照卢瑟福的“行星系统”模型运转，电子就坠毁了。电子坠毁了，原子也就不存在了。原子不存在了，我们的世界也就 Over 了。可是，大家睁开睡眠，太阳照常升起，老鼠照常偷米，物业照玩小区，阿希照玩相机，阿芝照演烈女，世界好好的，还那德性，任你河狮猫了个咪。于是我们长舒一口气。

不管同志们有多放心，卢瑟福也是清醒的，他意识到，这是个大难题，要搞清楚“稳定的原子结构”，没那么容易，所以他选择暂时放弃：“对于这个模型的稳定性问题，现阶段不一定需要考虑。”并指出，这是由原子的极细微结构——带电荷的部件的运动所决定的。言外之意，这是细节问题，并不影响原子结构的大局。

伟大导师卢瑟福的话还是先听为妙。我们暂时放下把持不住的电子和原子核，回到波粒大战如火如荼的岁月，去观观光。还愣着干嘛？走啊，这次是真的观“光”！

1800年，英国。有间小黑屋。唯一的窗，被木板堵得密不透光。然而，板上居然有个矩形孔，孔内还放了一块三棱镜！场景好像很熟。

不错，一束光被棱镜折偏，在试验台投出一道七彩光带。

这是牛爷的色散实验？

人物和实验都猜错了。牛爷已经在 70 多年前仙逝了，而这个实验也不是色散实验。

这个实验，比牛爷的实验多了一样东西：温度计。每种颜色的光带上，都放了一支温度计，相当精确的温度计。

从紫到红，温度计的读数一个比一个高。这说明，红端的光更容易让物体发热。这个发现让实验者有点小激动，一时好奇，他在红光外侧放了一支温度计，发现，光带外的这支温度计，读数竟然比其他温度计都高！

这说明什么？说明红光外侧有一种看不见的光！实验者管它叫“热线”。在光谱中，“热线”位于红光外侧，所以我们后来管它叫“红外线”。

这个实验者，就是鼎鼎大名的弗里德里希·威廉·赫歇尔(F. W. Herschel)，英国人，天文学家、古典作曲家、音乐家。英国皇家天文学会第一任会长。

赫歇尔用自己亲手研制的大型反射望远镜发现了天王星及其两颗卫星、土星的两颗卫星，研究了太阳的空间运动，编制了第一个双星和聚星表，出版了星团和星云表，还研究了银河系结构，被誉为恒星天文学之父。

自然很神奇，科学研究也很神奇。赫歇尔发现红外线的第二年，紫外线就不甘寂寞地被发现了。

德国的约翰·里特(J. W. Ritter)听说赫歇尔发现了红外线，特感兴趣。他想，光谱是如此美丽，红端外侧有看不见的辐射，凭什么让紫端外侧空着？一定也有！这个信心满满的推测，来自一个简单而深刻的信念：科学规律的对称性。

但是怎么才能找到它呢？越向紫端，热效应就越不明显，所以，用温度计肯定是不灵了。里特开始琢磨另辟蹊径。

1801年，一瓶氯化银溶液来到里特手中。里特眼睛亮了。氯化银在受热、受光时，会解析出银。

我们平时看到的银砖银条银首饰，都是晶体，呈金属白色。啥叫晶体呢？就是“原子啊、分子啊呈平移周期性规律排列的固体”，自然界里的固体物质，大部分是晶体。那，啥叫“平移

周期性”呢？哦，跑题了，向后转——但氯化银受光析出的银，是极小的微粒，光反射跟晶体不一样。所以，氯化银受光时，看起来是颜色逐渐变深，先紫后黑。

那时，化学家们都知道这码事儿。

怎么会那么巧？里特恰好是化学家！他深情地看着这瓶氯化银溶液：Only you~……！

他拿来一张纸片，蘸了点氯化银溶液，放在紫光的外侧。好期待哦。

果然，黑了，它黑了，纸片上的氯化银慢慢变黑了！真的存在那个射线！！

里特管它叫“去氧射线”，以强调这是化学反应。随后，它被简称为“化学光”，颇为流行了一段时间。一年后，改成我们熟悉的“紫外线”。

等等，好像不太对劲儿，前面不是说，频率越高的光，能量越大吗？上面说的三种光，按照频率高低排序，紫外线最高、可见光由紫到红越来越低、红外线最低，为什么比起热效应来，反而是红外线最强，而紫外线最弱？

虽然又问跑题了，但问题还是要回答的。因为，当时的人们也挺纳闷。还因为，辐射这事儿，跟量子论的内容有点关系，算是预习一下吧。

当时人们以为，物体发热是由于“热质”进入了物体。

本杰明·汤普逊（Benjamin Thompson），也就是伦福德伯爵（生于美国，后入英国籍，物理学家）表示了反对，还做了个摩擦生热的实验，但没人相信。因为人们认为，物质一摩擦，周围那些喜欢凑热闹的热质就来了。你看，还是“热质”惹的祸。

后来，法拉第的老师戴维也向同志们演示了一个实验：在与周围环境隔离的真空容器里，用机械让两块冰互相摩擦，直到融为水。这回“热质”进不来了，冰照样化，总该相信运动

生热了吧？

事实是，相信的人仍然不多，只有托马斯·杨表示过对“热质”说的反对。

再后来，随着热力学的日益成熟，人们才慢慢相信，热是一种运动。物体中分子或原子振动越快，其温度就越高。

共振原理我们都知道，物质化学键的振动能级都差不多，一般处于红外线的频率范围，所以，红外线的照射，最容易引起分子、原子共振，表现为温度升高。反过来，物体分子、原子振动，也会辐射出红外线。

紫外线频率太高，很难引起分子和原子共振。所以，它的热效应比不上红外线。不过，能量高自有能量高的用武之地，紫外线的化学效应比红外线明显。

由上可知，红外线频率与原子振动能级越接近，热效率就越高。而原子振动能级又略有不同，所以，如果你办厂，需要使用电磁波加热，那就一定要弄清楚，你所加工的东西，用哪个频率的电磁波热效率最高。搞对路子了，就节能环保又省钱。

既然聊到红外线、紫外线，咱们就顺便聊聊关于辐射的那些事儿好吗？好的。

辐射。一见到这个词，我们通常会联想到一些比较恐怖的东西，比如核弹啊、变异啊什么的。其实，我们每天、时刻都沐浴在辐射之中，逃不了是事实，离不开也是事实。

阳光是那样美好，无线电波是那样给力，它们都有一个共同的名字：辐射。

辐射族成员很多，按照血统，可以分两支：电磁辐射、粒子辐射。

电磁辐射就是电磁波，从麦爷一统光电磁王国那时起，我们对电磁波就不那么陌生了。现在复习下，电磁波由于波长和频率不同，导致能量也不同，所以咱就按频率和波长给电磁波分类，频率由高到低排列： γ 射线、X光、紫外线、可见光、

红外线、微波、无线电波、长波无线电。

粒子辐射也叫高能粒子辐射。听起来很神秘，其实，比“电磁辐射”好理解，就是一些运动速度很快的粒子，比方说 α 粒子，就是高能粒子辐射的一种，它其实就是氦原子的核，由两个中子和两个质子组成，带正电。除了 α 射线，还有 β 射线、中子、质子等粒子流。

粒子辐射是在 1896 年发现的。

但它的发现，却是由一种电磁辐射的发现引起的。

十九世纪末，研究阴极射线成了物理界的时尚，各实验室唯恐 OUT 慢，纷纷投入研究。德国维尔茨堡大学物理所也不甘落后，所长威廉·康拉德·伦琴（Wilhelm Conrad Röntgen）更是醉心于玩“勒纳德管”，研究阴极射线的荧光效应。勒纳德（P. Lenard）曾是赫兹（Heinrich Rudolf Hertz）的助手，他研制出一种阴极射线管，管上用铝做了个窗口，可以把阴极射线引导出来，更好地研究放电过程。



【图 5.1】伦琴

但是，人们发现，伦琴玩着玩着，就变得古怪起来，他天天把自己关在实验室，不告诉任何人自己在干嘛，包括他老婆在内。伦琴夫人发现，老公不仅食不甘味，而且夜不归宿，难道……？！

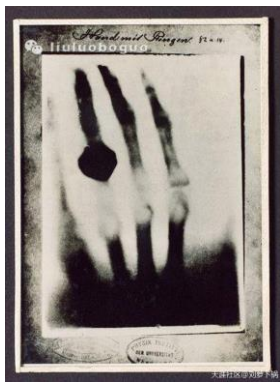
这一切，都是从那晚开始的。1895年11月8日，星期五，夜生活刚刚开始。

伦琴摸黑进入实验室，回眸间，突然发现，一块涂了氰亚铂酸钡的荧光屏在发光。他有些吃惊，因为当时是夜间，屋里一片漆黑，是谁让荧光屏暗送秋波？

他想起了通着电的放电管。但在此前，为了防止阴极射线逸出，他已经用锡纸、厚纸板把放电管包得严严实实的了。难道锡纸和厚纸板挡不住？

伦琴就随手在实验室拿些物件，挡在放电管和荧光屏之间，书本、木板、铝片……发现效果差别很大，有的根本挡不住，有的可以起到遮挡作用，越试越觉得神奇。

他判断，让荧光屏发光的，可能是一种穿透力极强的、未知的新射线。于是就用未知数的代号X给它命名。他怕自己判断失误影响了名声，所以守口如瓶。



【图 5.2】伦琴夫人的手的 X 光片，手指上有戒指。

伦琴拿各种东西在 X 射线下拍照，发现，这种射线可以拍到木盒里的砝码，可以拍到金属片内不均匀的纹理……每次都有新惊喜。科学家的幸福感和满足感，有谁能懂？这一试就是四十多天，搞得老婆疑窦丛生，闺怨满屋。

终于，伦琴确认自己发现了一种新射线。索性不改名了，就叫它 X 射线吧。

1895 年 12 月 22 日，他把狐疑不已的老婆请到实验室，用 X 光拍下了她的手。世界上第一张人体 X 光照片诞生了。

据调查，当时有多个国家的、N 个实验室进行了类似的研究，他们也发现了 X 射线，时间相当接近。甚至在伦琴发现 X 射线之前，宾夕法尼亚大学就已经制造出 X 射线，还拍了照片。但是，他们没意识到，这是一个重大发现，只是把资料归了档，就忙别的去了。估计这些大神是卡文迪许同志的传人。伦琴没犯这个错误，他确认发现后，立即完成了论文《一种新的 X 射线》，于 1895 年 12 月 28 日出版。

阴极射线实验的意外收获，让伦琴获得巨大的声誉，他因此在 1901 年获得世界上第一个诺贝尔物理学奖。X 射线也被人们称为伦琴射线。

X 射线的发现引发了一连串重要发现，标志着现代物理学的产生。它的广泛用途，咱俩在上部聊过，这里就不罗嗦了。值得一提的是，伦琴射线被发现后，由于它的超强透视功能，引发了全世界的研究热潮，一年之中就有上千篇相关论文，但当时的人——包括伦琴本人在内，都不知道这种 X 射线到底是什么。直到 20 世纪初，人们才发现，它也是一种电磁波，只不过频率更高，能量更大，穿透力更强。

伦琴发表论文的同时，也给庞加莱寄了一份相关资料。

1896 年初，庞天才看了资料后推测，X 射线与勒纳德管中强烈的磷光有关，就提出假设：被日光照射而发磷光的物质，也应该发出一种不可见的、有穿透能力的辐射。

法国物理学家安东尼·亨利·贝克勒尔（A. H. Becquerel），想起另外两件事：

法拉第听说奥斯特把电变成了磁，于是就把磁变成了电；莫尔斯（Morse）听杰克逊医生闲聊，说电能发出信号，于

是就让电报改变了世界。

现在，俺贝克勒尔听庞天才说有一种未知的辐射，咋办？
赶紧找呗！

事情进展很顺利。1896年2月24日，贝克勒尔发现，把硫酸钾铀酰在阳光下曝晒几个钟头后，就能发出一种射线。这种射线很厉害，可以穿透黑纸，让照相底片感光。

开始，贝克勒尔和庞加莱都认为，这种射线类似 X 射线，用阳光对铀盐晶体进行激发，就可以放出这种射线。



【图 5.3】贝克勒尔

贝克勒尔刚要大干一场，多搞几次实验，却郁闷地发现，天阴了。

没有阳光，就只能鸣金收兵。他把底片用黑纸包好，放进暗室的抽斗，把铀盐也用黑纸包好，压在底片上，关上抽斗。Over。出去等天晴。

几天后，1896年3月1日，贝克勒尔冲洗了一张底片，立即惊呆了——底片上放铀盐的部位感光特别明显。铀盐即便是经过曝晒后，发出的射线也不能让底片感光这么明显！底片恰巧出毛病了？再试试看！

他在暗室又准备了一张底片，在上面放了一个纽扣状的铀盐片。5个钟头后，冲洗底片，底片上出现了那个铀盐片的形

状。

贝克勒尔确定，这不是巧合，就开始研究各种铀化合物，发现它们都“不停地发出不可见的射线”，用纯铀粉也一样。他得出结论：铀是主要因素，它可以放射这种射线。

物质的放射性就这样被发现了。

1903年，贝克勒尔因发现放射性喜获诺奖。可惜的是，贝克勒尔因为过多地接受有害辐射，于1908年逝世，年仅58岁。

贝克勒尔让我们知道，一些物质具有放射性，这种神秘的射线，被称为“贝克勒尔射线”。可是，“贝克勒尔射线”是什么？贝克勒尔没给出答案。

1898年，卢瑟福发现，铀发出的射线有两种，一种极易被吸收，他称之为 α 射线；另一种穿透力强，他称之为 β 射线。

不久，贝克勒尔发现， β 射线带负电，在电场、磁场中会偏转——是不是有些眼熟啊？对了，贝克勒尔也很眼熟，后来他确定，所谓 β 射线，就是跑得飞快的电子流，本质上跟阴极射线是一回事！神奇吧？神奇的还在后面。

卢瑟福把注意力集中在 α 射线上了。他确认， α 射线是一种粒子，能量和动量巨大，特别适合作为“炮弹”，来轰击其他粒子，研究其结构。我们知道，正是 α 射线，敲开了核物理学的大门。

但是，它究竟是什么呢？

卢瑟福也很想知道，所以各种实验、各种计算，终于扒开了她的婚纱，不，是揭开了它的面纱。主要实验：

电磁偏转实验。证明了 α 射线带正电荷，与阴极射线相反。还顺便求出了它的速度和荷质比。所谓“荷质比”，就是电荷量和质量的比值。一看电荷量和质量，跟原子差不多，怎么看怎么像是氢原子。但是我们知道，原子是电中性，也就是不带电啊！

拿到证据之前，不能乱讲，万一是钓饵呢？情急之下灵光

一闪——查暂住证，哦不，查条码身份证啊！

光谱实验。得到高速粒子射线的光谱，可不是用手电筒一照就能搞掂的。得让它老老实实停下来，并且凑够一定数量，才好实验。

卢瑟福的办法是，用 0.01 毫米厚的薄玻璃管，底部连通水银，上部留空充氧气，接通电管，密封。设备 OK。

现在该 α 射线上场了，它穿过管壁，由于穿透性不强，所以穿过一层薄玻璃就没劲儿了，被氧气留下一起混。两天后，数量凑够了。让管中的水银提升，混合气体就被压缩到电管里，通电，发光，就查到了它的身份证——光谱线，果然是这厮——氦原子！

原来铀可以放射出氦！不过，氦怎么会带正电呢？

答案在汤老师的阴极射线里。电子带负电。那么，电子丢了，剩下的部分，可不就是要带正电？！原来神秘的 α 射线，就是丢了两个电子的氦原子！

那么，铀为什么可以放出氦，而它放出的氦又为什么会丢电子呢……问号忒多，扑倒一个问号，便得到一块板砖，核物理学大厦就是这样盖起来的。

被“贝克勒尔射线”吸引的，不止是卢瑟福，法国的一对夫妇也立即迷上了这些神秘的射线。玛丽·居里（Marie Curie）和她的丈夫彼埃尔·居里（Pierre Curie）。

居里夫人的注意力不在“射线是什么和为什么”的问题上，而在“还有什么能发出射线”的问题上。她先发现，铀化合物发出射线的强度，与其含铀量成正比，不受环境影响，冷暖、干湿、明暗……都没关系。她认为，能放出射线的应该不止是铀，这应该是一种比较普遍的自然现象，她建议，管这种现象叫做“放射性”。怎么验证呢？

普查。就是把所有元素都查一遍。你懂的，这活儿相当艰苦，相当繁重。终于，他们发现钍也有放射性。

有了发现，她再接再厉，从普查各种盐、各种氧化物，扩展到一切矿物，逮什么查什么。苦心人，天不负，他们发现，有些矿物放射性的强度，甩铀和钍几条街。难道，这是一种新元素？



【图 5.4】居里夫妇

在一些同行们怀疑的观望下，丈夫居里放下手头工作，友情加盟，组成夫妻档，并肩作战。1898年7月，他们找到一种新元素，放射性比铀强400倍。居里夫人起名“钋”，以纪念她的祖国，当时被俄、德、奥瓜分的波兰。8月，又发现了一种放射性元素，放射强度又甩钋N条街！两口子很直白地给它取名，叫“镭”，拉丁语意思是“放射”。

但，科学是谨慎的，在没测出原子量之前，就承认找到新元素，有点太儿戏了。可是，镭的含量极低，提炼出足够多、足够纯的镭，达到测量要求，谈何容易！

一无矿石二无设备三无资金的居里夫妇四处奔波，获赠一些铀矿残渣，借来一间冬冻夏焖的废旧棚屋，烟熏火燎地奋战了4年，终于在1902年，从7吨铀矿残渣中炼出0.1克纯净的氯化镭，测得镭的原子量为225。镭元素正式归入族谱——元素周期表。不幸的是，居里1906年因车祸去世。

1903年，居里夫妇与贝克勒尔共同获得诺贝尔物理学奖。

居里夫人成为第一个获诺奖的女性。

1911年，居里夫人获得诺贝尔化学奖。

居里夫人发现了两种元素，两次获得诺贝尔奖，并以顽强拼搏的意志、淡泊名利的情操、无私奉献的精神而为人称颂，加上她的性别原因，获得了更高的关注度和知名度，成为世界妇女的骄傲和偶像。

卢瑟福从铀矿中发现了 α 、 β 两种射线，法国物理学家维拉德（P. U. Villard）想看看，铀矿中还有没有其他射线可以发现。他还真发现了。这种射线比 β 射线穿透力更强。卢瑟福给它起了个名： γ 射线。

用一张纸就可以挡住 α 射线。为啥它的动量那么大，却这么容易被拦截呢？等下就知道了。

用几毫米厚的铝板挡 β 射线，只能减弱它的强度，却不能完全拦住它。

而要挡住 γ 射线，几毫米厚的铝板都弱爆了，只能用厚重的铅块。

γ 射线在磁场里不偏转，说明它不带电。后来，维拉尔搞清楚， γ 射线是一种电磁波，频率比X射线还高。

1902年，卢瑟福和他的助手、英国化学家、物理学家弗雷德里克·索迪研究钍的放射性，突然发现，放出 α 粒子或者 β 粒子后，钍就变身了，成为另一种元素！这是怎么回事？！索迪惊呼，这不就是“嬗变”吗！

“嬗变”是炼金术的术语。而在卢瑟福那个年代，炼金，早就是巫术、骗术和笑话的代名词了。卢瑟福听索迪用了这个词，就说，索迪，拜托你别管它叫“嬗变”好吗？他们会把我们当成炼金术士砍头的。

玩笑归玩笑，他俩很快就意识到，所谓放射性，就是原子本身分裂，或者蜕变成另一种原子所引起的。它不是原子或者分子之间的变化，也就是说，这不是化学反应，而是原子本身

的变化。在汤老师的支持下，他俩的论文发表后，得到物理界、化学界的一致反对——原子怎么能变呢是吧？你拿石头变一坨金子给俺瞧瞧？

这句话放在当时问出来，绝对没人敢接茬儿。但是我们别忘了，所谓历史，就是一个不断把不可能变成可能的大杂烩。现在，我们的理论骄傲地宣布，原则上，咱俩可以利用加速器，撞击原子核，把铅、汞之类的重金属变成贵金属——金。只不过，以现在的技术，要制造出1克金，需要一台加速器工作10万年！用整个森林去换一片树叶，也比这买卖赔得少。

1903年3月，索迪离开了卢瑟福实验室，回到伦敦。他和惰性气体发现者拉姆塞（W. Ramsay）合作，进一步证实了 α 射线就是带正电的氦离子流。

啥叫“离子”呢？我们知道，原子核带正电，电子带负电，二者电荷量平衡时，原子整体就是电中性。电中性的原子捡到一个电子，就带负电；丢掉一个电子，就带正电。带电的，不止是原子，也有原子团或分子团，这种带电的微粒，就叫做离子。而它们丢掉或者捡到电子的过程，就叫“电离”。

还记得刚才的问题吗：冲量巨大的 α 粒子为啥那么容易被拦截？因为它很容易跟别的粒子发生电离反应，一反应就留下了。所以没派他去取西经。

有的童鞋问了， β 射线也带电，为啥没那么容易发生电离反应呢？

所谓电离反应，其实就是粒子与电子之间的纠葛。带电量越大、体积越大、速度越慢，就越容易跟电子发生纠葛。而带电量、体积、速度这三个指标，前两者增其一，或后者减慢，都会造成电离发生率倍增。 α 粒子比 β 粒子：带电量增1倍，体积增1800多倍，速度减9/10，

我们可以把拦截物想象成诺曼底，它的电子，就是德军的负电子弹。 β 是电子，也是负电子弹，与德军子弹同性相斥。

而 α 是抢滩登陆的大兵，背了两块磁铁，与子弹异性相吸。我们还可以加一条探雷犬，就算它是中子吧。现在，让 β 子弹、探雷犬、背磁铁的 α 大兵一起，都以自己最快的速度冲向诺曼底……是的，你脑海里出现的印象，就是 α 射线、中子射线和 β 射线撞击障碍物的情景。

哈，为了个电离，我们居然动用了二战。罪过。下面回到一战之前的和平时期。

那段时间的理化界，寻找放射性元素也很时尚，物理学家、化学家纷纷加入寻宝大军，各种查，各种炼，一时间，“新”放射性元素层出不穷。

开始还好，后来人们发现，有点不对劲。因为到 1907 年，寻宝大军居然找到了将近 30 种放射性元素！

元素周期表顿感鸭梨山大，它收不下这些冗员，就算是谁谁谁的亲妹子干闺女也不行。因为周期表是按原子序数排列的，不能随意扩编，不能因人设岗，坑只能挖那么多，萝卜嘛宁缺毋滥。否则，整张表就废了。

有人开始怀疑，周期表是不是对放射性元素不适用了。

还有人研究这些放射性元素本身，一对比，发现，有的元素，放射性有区别，但化学性质完全一样。索迪研究了这类现象，于 1910 年提出：存在“原子量和放射性不同，但其它物理、化学性质完全相同”的元素变种，这些变种应该处于周期表的同一位置。这就是“同位素”。

同位素的提出，进一步加深了人类对元素的认识，还顺便解决了元素周期表的编制问题。坑还是那些坑，但一个坑里可以放多个萝卜，前提是，它们必须互为对方的变种，并且物理、化学性质一模一样，就像体重有变化的自己。不明白？那就再打个比方。元素周期表就好比饲养场，我们饲养了三个动物：鸡、狗、驴。每个动物一间屋子，现在又找到一只动物，长得跟驴差不多大，但经鉴定，它是狗，不是其他新物种，只是个

头比较大。那么，我们应该给它安排在哪个屋子呢？当然和狗放在一起。这两只狗就是同位素。

既然，元素放出氦（ α 射线），或者放出电子（ β 射线），就可以蜕变成别的元素，那么，蜕变前后的两种元素，它们在周期表上是啥关系呢？索迪提出了“位移规则”：

α 蜕变后，在周期表上向前（即向左）移两位，原子序数减 2，原子量减 4；

β 蜕变后，向后移一位，即原子序数增 1，原子量不变。

英国化学家罗素(Russell)、德国化学家法扬斯(K. K. Fajans)也独立地发现了这个位移规则。

根据同位素假说，天然放射性元素被分为三个系：铀-镭系、钍系、锕系。按照位移规则推测，三个放射系蜕变到最后，都是铅的同位素。1914 年，美国化学家里查兹(T. W. Richards)验证了这个推论。

插播一个小广告。这期间，英国物理学家阿斯顿(F. W. Aston)发明了一个小玩意儿，可以测量带电粒子的质量，精确测量各种原子的原子量。这下测粒子质量方便了，实在是居家旅行、化学物理、科学实验之必备良品！对了，请认准它的名字：质谱仪。

同位素的提出，质谱仪的使用，解决了元素周期表的一桩悬案。

1815 年，英国医生普劳特提出，所有元素的原子量，应该都是氢原子量的整数倍。

一开始，化学家们认为很有道理。但是一测，坏了，数据显示，普大夫说错了。于是大家只好放弃这个美丽的假说。

元素周期表诞生后，化学家们看看极有规律的元素队列，又想起普大夫的假说，很不甘心地测了又测，结果涛声依旧。

元素周期律很好用，大家认为可以信赖，但是在周期表中，钾 VS 氫、钴 VS 镍、碲 VS 碘的位置，按照原子量看，顺序是

颠倒的！

一个大大的问号一直悬在物理学家、化学家们的头上，大家都很难堪。直到阿斯顿手托质谱仪降临。

经过各种测、各种算，阿斯顿指出，几乎所有的元素都存在同位素。我们原来提取的某种元素，实际上是其同位素的混合体！

混合体比例不同，测得的原子量，数值就略有差别，怪不得老是搞不太准，只能得出平均值！比方说氯 Cl，有两个同位素： Cl_{35} 和 Cl_{37} 。它俩的原子量当然分别是 35 和 37，但是，我们原来分不开它们，测的是混合物，它俩在自然界的丰度大致是 3:1，所以，我们得到个平均的大约值：35.46。

所有的化学家长舒一口气：普劳特医生提出的那个美丽的假说是对的，成了又一个美妙的法则。

为什么会有如此美丽的法则呢？别急，一会就知道了。

α 粒子散射实验后，卢瑟福知道了原子的大致结构：原子核+电子。所以，丢了电子的氢原子，应该就是氢原子核。

发现原子嬗变后，卢瑟福知道原子可以嬗变，嬗变时可以放出电子和氦核。

α 射线也就是飞驰的氦核冲量大，还特愿意跟别的粒子起反应……

一个大胆的想法从卢瑟福脑中蹦了出来：用氦核当炮弹轰击其他粒子，能不能引起嬗变呢？不能引起嬗变也能讹来点援助吧？

卢瑟福可不是光说不练的主，他说干就干。1918 年，他不仅把氦核弹对准了氮，还发射了！不仅发射了，还击中了！果然，氮乖乖送出了氢原子核。卢瑟福一量，氢原子核的质量是电子的 1836 倍。这是地球人第一次有意识完成的核反应，看来，不是所有的核反应都那么可怕哦。这次核弹轰炸，标志着核物理时代的开始。

用氦核弹轰击氮原子，可以得到氢原子，这说明，原子核也是可以拆开的。那么，原子核又是啥玩意儿构成的呢？

卢瑟福想，既然氮原子中含有氢核，而氢的原子序数为 1，没有比它更小的原子核了，那么，可以认为氢原子核是一个基本粒子。带一个正电荷的氢原子核，就叫质子。所以，一个原子的序数，实际上就是指原子核中的质子数。简直太美妙了！

OK，这样说，所谓原子核，其实就是质子。不同数量的质子，组成了不同的原子核？

恭喜你，卢瑟福发现质子后，当时物理界也都是这样认为的。

但是，人们的美好愿望老是和现实差那么一截。

如果原子只由质子组成，那么原子量就是质子数，而每一个质子都带一个正电荷。那么，一个电中性的原子，就应该是这样的：有多少电子，就有多少质子。是吧？

又因为氢原子核就是 1 个质子，而氢原子的原子量是 1，所以，一个原子有多少电子，它的原子量就应该是多少，对吧？

上面说的太绕，写成公式：

电子数=质子数=原子序数=原子量

没错吧？

很美很强大。

电子数、原子序数、质子数这哥仨相等不假，可是，很多元素的原子量跟它们仨谁都不相等，有些原子所携带的电子，只有原子量的一半！就比如原子序数排行老 7 的氮-14，它的原子量是 14，却只带 7 个电子，因为它的原子核只带 7 个正电荷。

1920 年，卢瑟福提出，可能有一种电中性的粒子，与质子一起组成了原子核。也有一些物理学家认为，氮-14 的原子核就是由 14 个质子组成，只不过有 7 个电子在原子核内，抵消了 7 个质子的正电荷，所以，另外 7 个质子才对外显现出 7 个正电荷，于是，在核外可以带 7 个电子。

后来呀，量子力学就兴起了。量子力学指出，没有什么力量能把电子这样轻的粒子束缚在像原子核这么小的区域中。

1930年，苏联的安巴楚勉（V. A. Ambartzumian）和伊瓦年科发现，原子核里确实存在某种中性的粒子。

1931年，德国物理学家博特（W. W. G. Bothe）和贝克尔发现，用 α 射线轰击铍、硼、锂之类的元素，会产生一种穿透力极强的辐射。他们认为，这是 γ 射线。

1932年，英国物理学家詹姆斯·查德威克各种实验，证明楼上两位说的 γ 射线站不住脚。他认为，这种新辐射，可能就是卢瑟福说的那个中性粒子，它的质量和质子差不多。然后，他用实验证实了这个说法。这种中性粒子，叫做“中子”。

中子降临人间后，成了轰击各种元素的新武器。意大利皇家科学院院士恩里克·费米（Enrica Fermi，又是牛人一个啊！后来被伟大领袖墨索里尼逼入美国籍）用得最来劲儿，他带领一群年轻人，按照元素周期表的顺序，从头到尾挨个挑逗已知的各种元素，期待见证奇迹。

1934年，奇迹终于出现了，他们轰击周期表上最后一个元素——92号元素铀时，发现铀被“激活”了，产生出多种元素。他们认为其中出现了一种新元素——93号元素，是中子打进铀核，使其原子量增加而产生的。虽然有很多人怀疑，但当时当地的技术所限，没法对轰击后的产物进行精确的分离和分析。

1934年10月，又一个奇迹出现了。他们发现，用减速的“慢中子”轰击放射性物质，更容易引起核反应。这一招很快传遍物理江湖。

德国化学家哈恩也学会了这一手。1938年，他和斯特拉斯曼（F. Strassmann）用慢中子轰击铀核时，发现产生了钡，他很困惑，为什么中子+铀核会生成比铀小的钡，还能发出些中子和 β 射线之类的。于是，哈恩给著名女物理学家迈特纳（Lise Meitner）写信，倾诉困惑。迈特纳本来和哈恩合作呢，后来为

了躲避伟大元首希特勒，逃到瑞典去了。看到哈恩的信，迈特纳和她的侄子、核物理学家弗里施（K. Frisch）敏感地认识到，这是铀核被中子搞破了，分成两半的结果。她给这个现象起了个名：裂变。还利用爱因斯坦质能公式算出了裂变释放的能量。随后，弗里施用实验证实了裂变。

1938年11月10日，费米接到斯德哥尔摩方面的电话，原来是瑞典科学院宣布他获得诺贝尔物理学奖，授奖理由是：发现93号新元素，发现慢中子更易引起核反应。

1938年11月22日，哈恩把分裂原子的论文寄给《自然科学》杂志，1939年1月份发表刊出。大家一看哈恩的论文，OMG，诺贝尔奖发错了！费米轰击出来的不是新朋友93号元素，而是一个熟人——56号钡！还有比这更衰的事吗？

费米听到消息，赶忙跑到设备比较过硬的哥伦比亚大学实验室，重复哈恩的试验，结果与哈恩一致。于是，费米坦率地检讨和总结了自己的错误。

诺奖发错了成果，却没发错人。很快，在核裂变理论的基础上，费米提出：中子使铀核裂变时，又会放射出中子。这些中子又会击中其它铀核，就会发生一连串的核反应。这就是大名鼎鼎的“链式反应”理论。

至此，核能的理论基础就差不多打好了。1942年12月2日，费米领导他的团队，建成了地球上第一座核反应堆。1945年7月16日，在奥本海默的领导下，世界上第一颗原子弹爆炸成功。1945年8月6日，在罗斯福的领导下，原子弹“小男孩”夷平了广岛。

再后来呀，就不能跑题太远了，钻到粒子物理、核物理学的迷宫里面绕不回来就糟了。咱们打住。接着说辐射。

咱俩在上部说了很长时间的“光”，现在又说了半天和“辐射”有关的事儿，我们知道，包括“光”在内的“辐射”，的确帮助我们敲开了通往自然秘密的大门。这都是好事儿。接下来，

我们顺便了解下辐射的危害好吗？好的。

我们前面说过，根据辐射的性质，可分为“粒子辐射”和“电磁辐射”。而按照辐射的效果，又可以分为“电离辐射”、“非电离辐射”。

我们已经知道“电离”是什么意思了，所以，不难理解，可以电离出至少一个电子的辐射，就叫电离辐射。

波长短、频率高的辐射——比如 γ 射线，以及能量高的射线——比如 α 射线，虽然它俩一个是电磁辐射，一个是粒子辐射，但都属于电离辐射。一般来讲，电离辐射对人体伤害比较大。具体怎么个危害法，咱们等会再说。

粒子辐射的来历，刚才已经说了不少。电磁辐射又是从何而来的呢？它们都是带电粒子运动的产物。这里的“运动”，包括振动，也包括电子在原子轨道中的迁移运动，叫做“电子跃迁”，这个名词会在后文经常出现。

带电粒子运动，产生电磁波，这个上部电磁学里涉及过，根据麦克斯韦的方程组，运动的电场会产生变化的磁场，而变化的磁场又会产生变化的电场——电生磁、磁生电，以光速向外扩散，这就是电磁波。

频率较低的无线电波和微波，是自由电子震荡运动产生的。它们能量比较低，只要强度不太大，就没什么危害。

频率高一些的红外线，是物体分子、原子震荡、旋转，导致原子核和电子也能跟着震荡、旋转，从而产生电磁波。物体温度越高，这种电磁波就越强。它的能量比楼上两种稍高些，至于危害性，也要看强度是多少。

以上三种波对人体主要是产生热效应，使细胞温度升高，如果温度没有高到伤害细胞的程度，就没什么问题。

频率再高些的可见光、紫外线、X射线，主要是电子跃迁产生的，以后我们会知道，电子跃迁的能量差越大，放出的电磁波能量就越强。紫外线、X射线、 γ 射线对人体主要产生化

学作用，都有不同程度的危害。当然，这也要看强度。相同强度的情况下，紫外线危害最小， γ 射线危害性最大，并且由于它穿透力极强，所以危害距离更远。

粒子辐射的危害性，在于它们携带的能量和速度。

α 射线的速度大约是光速的 1/10，其电离效应会对人体细胞产生伤害。由于它非常容易被拦截，所以一般不会穿透衣服或皮肤，一旦被拦截，它就是一个氦核，起不了什么大风浪。

可怕的是，放射性物质通过口鼻或其它渠道进入体内，在体内放射 α 射线，搞电离，就会对人体造成直接伤害。

β 射线速度接近光速，是电子流，可烧伤皮肤，也可穿透皮肤伤及内脏。放射源吸入体内就造成直接伤害。中子射线也是这样。

彼埃尔·居里为了搞清楚辐射危害，曾用自己的手臂做辐射伤害实验，并记录了症状、感觉及愈合过程。

电离辐射伤害人体，实际上就是用它们的高能量来砸坏细胞，本质上是破坏组成细胞的生物分子的化学键，造成细胞受损死亡。

更可怕的是，有时碰巧，某种辐射砸坏了 DNA，如果破坏了某些基因，细胞就会不受控制地生长，获得“永生”，这种细胞叫做癌细胞。一个高能粒子刚好砸中某个基因，概率很低。但是，如果有足够的放射源，这个概率就会大幅提升。嗯，关于概率的事，咱在上部中微子那段说过。

所以，防止被粒子辐射伤害，最好的办法，一是躲放射性物质远点，二是直接屏蔽。而不是一些稀奇古怪的办法。

这里，顺便扒一个伪窍门。有人说，在电脑显示器旁放一些仙人球之类的植物，可以防辐射。这个办法搞笑到可爱。

首先，显示器的辐射不大。咱国在上世纪 90 年代对 CRT 显示器做过一次检测，这种老式显示器，的确会发出少量的 X 射线，不过能量低、强度小，伤害性极小，如果不是长时间盯

着它，就没问题。现在一般都是液晶显示器，辐射比老式显示器更小，对人体不造成什么伤害。

其次，大家都知道，电磁波是走直线的。咱俩使用显示器，通常是和它面对面，对吧？那么，在显示器旁边，你即使是吊装一块铅锭，也改变不了电磁波直射我们的事实，何况是仙人球。想让某物防辐射，只有把它挡在你和放射源之间才行。而用仙人球来挡，它所起的作用，跟一团毛线、一本书没啥区别。非要找出差别，那就是搬走它时，要留神扎手。

黑体传说

窑火腾游，五彩瓷胎被柔软的暗红色火舌舔得周身燥热。火越燃越旺，慢慢透出鲜亮的樱桃红。而瓷胎，早就把持不住，身上的矿物颜料、金属丝、釉、陶泥等缤纷的色彩都缓缓褪去，代以鲜亮的樱桃红，与窑火融为一色。温度渐高，颜色渐变：桔红、橙黄、黄白……

这是瓷窑司空见惯的场景。早在 1800 年代以前，陶瓷师傅们就已经发现，所有物体，不管它是什么材料，也不管它“原本”是什么颜色，加热到一定程度时，在同样的温度下，它们都发出同样颜色的光。

1859 年，一个喜欢玩火的物理学家对这种现象发生了兴趣。

古斯塔夫·罗伯特·基尔霍夫。那时，他和好基友罗伯特·威廉·本生正在兴致勃勃地玩“烧烤”，把各种元素放在本生灯火焰中烧，如痴如醉地用光谱分析仪观测神奇的光谱线。

观测光谱线之余，基尔霍夫对温度与颜色的关系产生了浓厚的兴趣。很明显，这里肯定存在一个美妙的规律。

基尔霍夫很快就列出这个规律的关键：吸收和释放辐射。这就是给物体加热，使之发光的过程。

为了简化分析，基尔霍夫提出了一个完美吸收和辐射的概念，叫做“黑体”。

什么是黑体？要了解这个家伙，咱得先了解什么是“黑”。

前面说过，咱们的眼睛之所以能看到这个色彩缤纷的世界，是由于物体把光反射到我们眼睛里。

如果说，所有物体（包括空气呀等等），反射的光都完全一样的话，那么，我们就只能分辨有光或者没光，这跟什么都看不见没啥区别，只好靠触角行走江湖了。

好在物体各有各的脾气，反射光的频率、强弱、距离不同，我们感受到的色彩、明暗、清晰度就不同。有些家伙特别贪婪，属貔貅的，光射到它们身上只进不出，或出的很少，于是，我们就“看”到它是“黑”的（实际上是看不到）。这就是“黑”。

光是电磁辐射的一种。黑色的物体吸收辐射的本领特别强，比如煤炭，对电磁波的吸收率可达到80%左右。由于物体只要吸收了辐射就会升温，而温度越高，物体对外的辐射就越强——能吸善射，十分有利于简化研究，相信科学家们都喜欢。

那么，黑色的物体就是“黑体”咯？恭喜你答对了……一小半。现实中的黑色物体，都黑得不够彻底，或多或少会反射出一点点光，所以我们仍能分辨出它的深浅明暗。

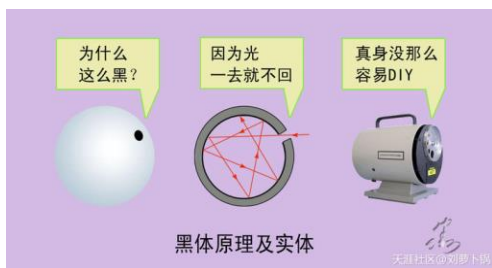
为了从理论上完整地研究吸收、发出辐射的现象，基尔霍夫定义了一个理想的黑色物体：在任何条件下，它都完全吸收任何外来辐射，毫无反射和透射。这种理想中的黑色物体，才是“黑体”。

我们知道，所谓黑体，在现实生活中是找不到的。但这难不倒基尔霍夫。他想象一个空心球，壁上开个小孔。辐射进入小孔，就有去无回——在空腔内壁来回反射，直到被吸收殆尽。基尔霍夫还让这个球体内壁与外界绝热，这样，内壁吸收辐射加热后，只有内壁才会释放辐射。我们任何时候看这个小孔，它都是“全黑”的。这个小孔，就是传说中的“黑体”。

定义了这个完美的“黑体”，基尔霍夫就开始用它与实物进行对比研究。

为了围观得清楚一点，我们来熟悉几个新词：

刚才说过，实物不能完美吸收辐射。不同的物体，吸收辐射的能力也不同。正如不同的男人，泡妞的能力也不同一样（你是个妞？那就把“男人”和“妞”这俩词对换下）。假如我们要比一比泡妞的能力，用一个值来精确表示，应该怎么做呢？是比“一共泡了多少妞”的绝对值，还是比“一共泡成多少妞”的绝对值？显然都不是，因为很多男人很能泡，但是他并不广泛去泡，所以用某个绝对值是没有说服力的。最好的算法你知道，是“泡成数/泡妞总数”。所以，物体吸收辐射能力，就是“吸收量/辐射总量”，精确表述麻烦点：“吸收辐射能量/射达它身上的总辐射能量”。这个值叫做“吸收率”。



【图 5.5】黑体原理及实体示意图

吸收能力搞掂了，那么，想表示某物发出辐射的能力，又该怎么办呢？这个比较难办，因为它没有总量来对比。不同温度，发射量不一样，怎么能确定比值？这时，“黑体”就派上用场了。因为黑体具有完美吸收与发射的神功，所以，我们可以把它当成一个标尺，想知道自己的发射能力怎么样？那就来和黑体比比看！在相同温度下，“实物辐射能量/黑体辐射能量”。这个值叫做“发射率”。

还有一个很好理解的概念：单色。就是指单一波长的辐射。经过研究，基尔霍夫发现了一些规律：

任何一个物体，它发出辐射的同时，也吸收其他物体发来的辐射（所以冷艳高贵其实是一件很可笑的事，因为只要你能

看见某物，就一定和 TA 发生了辐射交换，从某种意义上来说，辐射交换，是比单纯触摸更“深度”的接触。

在热平衡的状态下，其发出、吸收的辐射总能量相等，也就是收支平衡。

在相同温度下：对单色辐射，所有物体的“发射率”与“吸收率”的比值都相等，并等于黑体对单色辐射的“发射率”。

这些规律，与物体的材质、形状、大小一律无关，只与温度相关。

根据上述的规律，我们假装列个算式看看：

$$\text{发射率} \div \text{吸收率} = \text{黑体发射率}$$

$$\frac{\text{实物发射量}}{\text{黑体发射量}} \div \frac{\text{实物吸收量}}{\text{射达总量}} = \text{黑体发射率}$$

得：

$$\frac{\text{实物发射量}}{\text{黑体发射量}} \times \frac{\text{射达总量}}{\text{实物吸收量}} = \text{黑体发射率}$$

式中可见，当热平衡时，“实物吸收量”和“实物发射量”相等，“黑体发射量”和“射达总量”相等，可以抵消，变成：

$$1 = \text{黑体发射率}$$

符合黑体完美吸收与发射的定义。

计算结果里，明摆着一个结论：关于温度与辐射的问题，搞清楚黑体就 OK 了。

利用黑体，基尔霍夫天才地简化了物体温度和光色的关系问题，简化后，这个问题变成：某温度下，黑体发出了多少辐射量。

找出这些基本规律后，基尔霍夫向自己及同行们出了一道题：

尽快找到那个公式：可以描述任何一个温度下，黑体发射

出的单色辐射的分布情况。比方说，在 30℃ 的温度下，黑体发出的波长为 0.5 纳米、1 纳米、3 公里的辐射量各是多少。

看样子，一切都进展地很顺利。

基尔霍夫做梦也没想到，带着这道题，黑体越走越远，引发一个又一个意外，撩拨着整个物理界脆弱的神经。

黑体像一个路标，给物理学家们指明了方向。基尔霍夫总结的规律告诉大家，我们要找的那个公式，只有两个变数：温度、波长。

目标很简洁，但道路很艰险。以当时的技术条件，要 Diy 出“黑体”，以及配套的精密检测仪器，是不可能的。Diy 不出黑体，就没法取得精确数据；没有精确数据，就 Diy 不出正确的公式。即使你撞大运撞上了，你也不知道它对不对，没有精确数据验证，是吧？

但是，眼巴巴地等待黑体降临，也不是个好办法，研究还要继续。况且，这事儿已经牵扯到了国家荣誉和利益。

一个伟大的科学发现，往往会引发一连串的新发现、新发明，伴生一批新创业家、新产业，新创业家、新产业先诞生在哪个国家，哪个国家就抢占了发展先机。可以说，正是在“发现→发明→创业”的交替推进中，我们的现代文明才得以建立和发展的。谁抢占了先机，谁就最牛逼。

那么，“抢占先机”最便利、最有效的途径是什么？

当然是国家有着孕育发现者、发明者和创业者的优质土壤。三者排名，当以发现者为首，没有他，发明和创业的空间很窄。这里的“土壤”，当然指的是意识形态、社会文化、思维方式、价值观（这些词意有交叉）等方面的软环境，而不是广袤、丰饶、富有之类的东西。

十七、十八世纪的英国为什么那么牛？因为它孕育了人类的骄傲：牛顿。还有在本文中出场的胡克、波义耳、卡文迪许、托马斯·杨、戴维、法拉第、赫歇尔等一线科学大牛。哈雷、布

拉得雷、吉尔伯特都算不起眼的了。

十八、十九世纪的法国为什么那么牛？因为此前，它有笛卡尔、费马等大牛打底，科学跟不上，它知道着急，也拿出了行动，例子在前文：1666年，法国皇家科学院刚刚成立，便迫不及待地邀请荷兰人惠更斯出任院士（后来又挖来了伯努利等牛人）。然后库仑、傅科、拉普拉斯（Pierre-Simon Laplace）、菲涅尔、拉格朗日（Joseph-Louis Lagrange）、泊松、安培、庞加莱、卡诺（Sadi Carnot）、巴斯德等牛人就纷纷出现在本文中。有了他们，马吕斯、阿拉果（D. F. J. Arago）、斐佐都算小角色了。所以，那时，虽然英国坐拥伟大的麦克斯韦、达尔文，但是神也无法阻挡法国的崛起。

十九世纪的德国为什么越来越牛？因为它孕育了人类的又一个骄傲：高斯（Johann Carl Friedrich Gauss）。还有本文出现的夫琅和费、赫兹、希尔伯特、欧姆、基尔霍夫、赫尔姆霍茨（Hermann von Helmholtz），以及尚未出现的克劳修斯（Rudolf Julius Emanuel Clausius）、洪堡（Alexander Humboldt）等大牛。他们带来的辉煌，增强了即位不久的脑残皇帝威廉二世的信心，坚定树立了统治地球的伟大理想，挑起了第一次世界大战，然后被群殴，惨败，签订不平等条约，经济面临崩溃很多年，使新政权魏玛共和国始终处于水深火热之中，短命夭折。即使如此，德国的科学地位却顽强地屹立不倒，一直延续到二十世纪初，普朗克（Max Planck）、能斯特（Walther Nernst）、维恩、伦琴、闵可夫斯基、索末菲（Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld），以及他们大张旗鼓请回来的人类的又一个骄傲：爱因斯坦。他们赶超开普勒、莱布尼茨（Gottfried Wilhelm Leibniz）等前辈的荣光，在恶劣的经济环境下，把德国缔造成世界科学中心。

世界科学中心，一般会成为经济、文化的中心，如果这一切能够保持，那么，德国摆脱困境的日子不会太久。但是，二

十世纪的德国科学却开始衰落，而没什么文化底蕴的新国家美国却越来越牛！为什么？

这都是拜伟大元首希特勒同志所赐，他上台后，先是清洗异见、异族，大批科学家出逃，然后把欧洲打了个稀巴烂，科学家们只好逃到当时最适宜人类居住、最有利于科学家发挥才干的美国，于是很快，美国神一般地崛起了！

物理史，实际上就是人类现代文明史的缩减版。

有人说，这太片面，科学家固然很重要，但是，难道政治家不是推动人类发展的领头羊吗？是的，政治家当然很重要。这里，我们要搞清楚政治家与政客的区别。历史上，真正的政治家不多，常见的是政客。你当上高官，不一定是政治家，就像你当上校长，不一定是学者，当上书记，不一定是党员一样。那些不择手段攀爬高位、弄权谋私，而罔顾社会发展的，不是政治家，只是政客。真正的政治家也是社会科学家，他们创造和实践利于社会发展的规则，并用科学的方法验证，被实践证明伪了，能够主动改进，积极、持续地创造利于科学、文化蓬勃发展的那个优质“土壤”，以实现社会的健康协调可持续发展。人类的发展，得益于这些伟大政治家的创造。是的，人类的发展，就是创造；没有创造，就是原地踏步；毁灭创造，就是倒退。所以说，一个政治家成功与否的检验标准，是看在他的治下，社会创造力如何；而一个政客成功与否的检验标准，就简单得多：权在手，成功了，权离手，失败了。

世界上最无耻的事，不是写了日记，也不是被写日记，而是占着无穷的资源、握着无敌的权力，却对责任无感无力。

世界上最无良的事，不是卖了文凭，也不是买了文凭，而是扣着博士的帽子、揣着院士的待遇，却拿不出实际的成果。

世界上最无语的事，不是戴错手表，也不是摘错手表，而是挺着骄傲的脖子、扬着傲慢的眉毛，却只能炫耀千年前的祖宗。

我们骄傲了几千年，有一天，却发现自己怜悯的目光只能落在人家后背上，一时间百感交集，五味杂陈，放眼世界发展史，邓小平同志恍然大悟：科学技术是第一生产力！

好吧，我们接着聊生产力的事儿。

我们可以看到，紧跟着发现之后的发明和创业，充满着创造的激情，也充满着竞争的残酷。没办法，生产力就是这样发展起来的。

1831年，第一台发电机在法拉第手里诞生后，虽然那个贵妇人对这只丑小鸭很不感冒，但识货的人有的是，他们很快就嗅出，这只丑小鸭蕴藏着不可估量的巨大价值。

1832年，法国人毕克西发明了手摇式直流发电机。轻轻摇一摇，电流飘呀飘。

1866年，德国电工学家、实业家恩斯脱·韦尔纳·冯·西门子（E. W. V. Siemens）发明了自激励式发电机。不用永磁铁就能发电了。

1870年，比利时人克拉姆研制发明了环形电枢发电机，开始利用水力发电。经过不断改进，电机技术走向成熟。

1877年，具有实用价值的发电机开始投入商业化生产。

1882年，特斯拉（Nikola Tesla）发明了交流发电机。那时，他在爱迪生（T. A. Edison）公司打工。而爱迪生正在为电的技术问题苦恼——他大力推广的直流电传输距离越远，成本就越高。特斯拉的交流电发电、配电成本低，配套的变压器解决了长途输电中的低电压、高消耗、高成本的一系列问题，特别适合商业推广。但爱迪生却对此不屑一顾，他太爱直流电了。随后，爱迪生把交流发电机及电动机的专利权卖给了西屋公司。特斯拉很郁闷。后来，由于爱迪生在支付报酬等方面不守承诺，特斯拉辞职。

1882年，美国人戈登制造出了输出功率447KW，高3米，重22吨的两相式巨型发电机。

1886年，特斯拉取得西屋公司的支持，研发交流电系统。这让直流电忠贞不渝的爱迪生愤恨不已，开始不择手段打压交流电。他出了一本小册子，细数交流电的危险，还抓些小猫小狗，用交流电将其电死（虐杀啊！），以验证小册子的理论。他还发明了电椅——用交流电。一时间，在人们心中，交流电跟死神划上了等号。但是，交流电那实实在在的优越性，代表了先进生产力的发展要求，生产力的发展，谁也无法阻挡。

1889年，西屋公司在俄勒冈州建设了发电厂。

1897年，著名的尼亚加拉水电站中，第一座10万匹马力的交流发电站投入运营，随后，十几座发电站相继建成，一直运营至今。

有了电，各种电器自然应运而生。其中的不二首选，当然是电灯泡。照明，是人类对电最基本、最普遍的应用需求，可以说，哪里用电，首先就会用电灯。

所以，电灯的巨大价值，也是无可比拟的。我们的发明家、创业家当然不会放过这片广袤的沃土。

因此，早在发电机诞生之前，人们就已经迫不及待地探索用电照明了。

第一个吃螃蟹的，仍然是法拉第的老师戴维，1801年，他给铂丝通电、发光。我们知道，金属丝热到能发光的程度，很快就会烧毁。不能持久，总是尴尬和痛苦的，是吧？

于是持久就成了最大追求。

1810年，戴维老师让两根碳棒之间形成电压，发出电弧光，名曰“电烛”。这个可以持久，但你知道，电弧光照明的诡异效果，是不堪实用的。

1854年，美国人亨利·戈培尔（德裔）想到，用真空保护灯丝，他把炭化的竹丝放在真空玻璃瓶里通电发光，可维持400小时。第一个白炽灯泡诞生。那时，电还没走进千家万户，戈培尔没有申请专利。

1878年，英国人约瑟夫·威尔森·斯旺申请了电灯在英国的专利——碳丝真空灯泡，他是从1850年开始研究电灯的。

1874年，加拿大的两名电气技师发明了另一种灯泡，把氮气充满灯泡，灯丝是碳杆。他们取得了专利，但没钱投入发展，就把专利卖给了爱迪生。

爱迪生买到专利权后，就开始了我们很熟悉的那个奋斗故事——不断用各种材料搞试验，目标是：灯丝可以持久到有实用价值。1879年，他让碳丝维持了13个小时。1880年，他研制的竹炭丝灯泡维持了1200小时。可以实用了，并且那时，爱迪生的直流电已经商业化了。爱迪生搞电灯，也是官司不断。先是斯旺告他侵权，前者成了后者在英国的电灯公司的合伙人。后来，斯旺把自己的合伙人权益及专利都卖了给爱迪生。在美国也不太顺，专利局曾判决爱迪生的发明已有前例——戈培尔的碳丝灯，打了N年官司，在戈培尔临去世时，爱迪生输了官司，后来只好从戈培尔遗孀手中，买下了碳丝白炽灯的专利。1906年，爱迪生终于搞定了廉价制造电灯钨丝的方法——这是他对电灯最大的贡献，钨丝电灯泡沿用至今。

今天看起来再普通不过的一个小小的灯泡，何以让这么多的人魂牵梦萦，连大发明家、大企业家爱迪生对它也情有独钟，不惜耗费大量精力去研究开发、拼争谋夺？

因为无论贫穷还是富有，无论疾病还是健康，人类都需要照明，而电灯，集廉价、便利、清洁、高效于一身，社会价值、商业前景无限光明，谁要是把握了它，谁就引领了时代！所以，我们抛除商业竞争手段不谈，单说爱迪生的眼光，那真是杠杠的！

有眼光的当然不止是爱迪生，很多国家、很多强人都在抢占这一领域的制高点。德国的各家公司当然也不甘落后。开发出更高效的照明工具，击败美国和英国的对手，是骄傲的德国公司共同的梦想。

他们知道，黑体，作为辐射的完美吸收和发射体，它能够释放出最大的热辐射。在能量一定的情况下，物体辐射总量也是一定的，如果热辐射多，那么，光辐射就少。利用黑体的完美辐射特质，精确测量它的光谱，作为标准，可以用来校准电灯技术指标，让它尽量多发光，少发热，实现高效照明。所以，研究好黑体问题，成了开发高效照明工具最科学、最高效的手段。

于是，精确测量黑体光谱、Diy 出基尔霍夫梦想的那个公式，成为这些德国公司的追求目标。一个完整的、有效的、成熟的理论，必须有一个精确描述它的公式。

电力的应用，让人类相见恨晚。相关发明、产业如雨后春笋，于是，建立一套全球统一的度量单位和标准，就越来越重要、越来越迫切了。

1881 年，农历也是 1881 年。确定电力度量单位的第一次国际会议在巴黎召开。22 个国家的 250 余名代表参加了会议。会议在亲切友好的气氛中进行，会上，定义了安培、伏特等度量单位，大家以为这又将是一个胜利的大会，没想到，却在光照度的标准上卡了壳。与会人员纷纷发表声明，对此表示遗憾，并将继续关注事态发展。

这时，基尔霍夫已经快 60 岁了。黑体问题成为焦点——作为辐射的标杆，你没有公式，拿什么确定标准？

有的童鞋问了，制定国际标准有那么重要吗？

是的，相当重要。国际标准不仅是产品质量的标尺，也是产品市场的保证，有了统一的国际标准，大家都遵照标准去做，产品才在各国各地都具有通用性、互换性，这是产品的生命。不信？你生产电视机，只有在 400 伏电压下才能打开，并且插销是 6 项的，电视台必须调整制式，才能把信号传送到你的电视机，你觉得你能卖出去几台？

好吧，我知道制定国际标准很重要了，但是，让别人制定，

咱照做，问题总不大吧？

标准制定权同样重要。

掌握了某个产品标准制定权，你就牢牢把握了这个产品的发展方向。你的产品，就是国际标准，大家都要照你的产品来做——谁能做得过你？但掌握标准制定权，不是靠口才，也不是靠武力，而是靠产品质量、技术水平，这个没法忽悠。2006年，海尔派出专家，作为亚洲企业唯一的代表，参加了在罗马召开的国际电工委员会家用洗衣机技术标准的制定，成为中国电工业的一个里程碑。

德国政府清晰地认识到掌控国际标准的重要价值，大企业家西门子当然也认识深刻。1887年，西门子捐赠了一块土地，德国政府狠狠地投入了一把，在这块土地上建立了帝国理工学院（PTR），历经10多年的建设，为它配备了强悍的科研队伍，拥有世界上最精良的设备、最昂贵的科研设施，软硬件双优。这个看一眼吓一跳的豪华阵容，它的使命是什么？就是制定标准、测试产品，推动科学成果转化为生产力，引领世界新潮流。

制定国际光照度标准，是它任务清单中的首选项之一。你想到了什么？是的，黑体。

PTR光学实验室由卢默尔（O. R. Lummer）负责，他有一个强悍的同事：维恩。对，就是上部里那个名字特长的维恩。他俩都曾做过亥姆霍兹（H. L. F. Helmholtz）教授的助手。

他们研制黑体，以及配套的、先进的测光仪。1893年，也就是维恩在29岁时，他发现了一个简单公式，可以描述黑体辐射情况。温度越高，黑体辐射中最大的波长会越变越短。

什么叫最大的波长？它本身很简单，只是解释起来比较绕口：一个物体发出的辐射，一般不会是单一的波长，而是很多种波长的大杂烩，这些波长的量，肯定不是平均的，而是有多有少的，其中，量最大、即强度最大的那个波长，就是上面说的“最大的波长”。这个名字很不专业，所以，我们以后管它叫

“峰值波长”。

在此之前，我们只知道，温度升高，辐射总量增加。现在维恩告诉我们：峰值波长 \times 黑体温度，得出的结果永远是个常数。你把温度提高一倍，峰值波长就会降一半。也就是说，温度 $\times 2$ ，则峰值波长 $\div 2$ 。注意：降的是波的长度，而不是量。

太给力了！你拿一个黑体，只要测出它此刻的温度和峰值波长，就能算出那个常数。拿到这个常数后，不管它在什么温度下，你都能算出它当时的峰值波长。峰值波长代表什么？波长=颜色。峰值波长=主要颜色。也就是说，我们只要知道物体的温度，就能知道它发出的光是什么颜色。

温度升高，峰值波长向光谱中的短波方向“位移”：红 \rightarrow 橙 \rightarrow 黄 \rightarrow 白 \rightarrow 蓝白……

这就是维恩位移定律。

现在我们知道了，为什么瓷胎在窑火里，会随温度升高而变色，并且能够预测，如果温度可以继续升高，而陶胎又不会被气化的话，它将变成蓝白色。

反过来，我们“看”到物体发出的“光”，就能知道它的温度是多少。这个相当牛。比方说，让咱俩去测织女星的体温，这在以前是不可想象的，先不要说牛郎让不让，单说距离，咱用人类最快的飞行器（美国探测冥王星那个），大约 16 公里/秒的速度，飞到 26.5 光年远的织女星，需要 50 多万年！而现在，有了维恩位移定律，我们只要在地球上测出织女星光波长，就能算出她的体温！

维恩是个理论和实验都很棒的物理学家，他在业余时间发现了位移定律。在没有得到 PTR 官方确认时，就作为“个人沟通”发表了。

现在卢默尔和维恩要做的是，Diy 出黑体，测出精确数据。他们边研制、改进黑体，边收集数据、寻找公式。

1896 年，维恩发现了一个公式。

汉诺威大学的帕邢（Friedrich Paschen）兴致勃勃地验证这个公式，他收集了大量黑体辐射数据，经比对，确认这个公式与“黑体辐射短波中能量分布”的数据相符。

这个公式让维恩获得了 1911 年的诺贝尔物理学奖。我们来欣赏下：

$$\rho = b\lambda^{-5}e^{-\frac{a}{\lambda T}}$$

公式中， ρ 是能量分布函数； λ 是波长； a 、 b 是常数； T 是绝对温度。

这个公式，是从热力学理论出发，在实验数据的基础上，对黑体辐射作了一些特殊假定之后推导出来的。我们可以管它描述的定律叫“分布定律”。

那个特殊的假定是：辐射都是由分子发射出来的。这些分子服从麦克斯韦的速率分布定律。

1896 年 6 月，维恩在 PTR 取得了这个辉煌的战绩后，一个华丽的转身，潇洒地走开——到德国最牛的理工科大学之一、位于威斯特法伦州的亚琛工业大学当特别教授去了。

卢默尔还在兢兢业业地背负 PTR 赋予的光荣使命。他得对维恩公式进行严格的测试。

怎么个“严格”法呢？一是要更精确地测，二是要更广泛地测。

“精确”就不必说了，指的是波长、温度数据，是否足够精准地与公式相符。

“广泛”指的是波长范围。刚才说过，经帕邢比对，确认“短波中的能量分布数据”与公式相符，那么，长波数据呢？更短的波长呢？还没比对，是吧？

没比对的原因，倒不是帕邢懒，或者帕邢不认真，而是那时，没有标准的黑体，就没法获得准确、全面的波长数据。没有数据，他们又不会编造数据，所以，只好坐等黑体出现。

但卢默尔不能等，他有 PTR 的使命在身。维恩走了，他先后找到库尔玻姆（F. Kurlbaurn）、普林舍姆（E. Pringsheim）合作，为了那个梦寐以求的黑体，各种不眠、各种钻研。终于一

1898 年，一个真正的、顶级水平的黑体诞生了！传说变成了现实。这个电加热的黑体，可以达到 1500°C 的高温。

真是十年磨一剑！

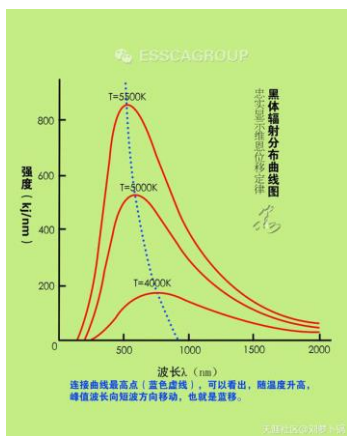
卢默尔和普林舍姆迫不及待地搞起了黑体辐射的“测绘”——测量波长能量分布，绘制坐标图。坐标图很简洁。

横轴：波长。

纵轴：强度。

坐标显示，随着波长的增加：强度提高，到达顶峰后，开始下降，然后缓缓趋平。

这种曲线的形状，我们可以这样想象：在桌面上平放一根线，用牙签拦腰挑起来一点，稍稍左倾，线两端自然下垂在桌面。温度升高，线就挑高。那个最高点，就是峰值波长。这说明，温度越高，峰值波长的强度越大，也就是越“亮”。



【图 5.6】黑体辐射波长、强度分布情况

如果让黑体不断加温，在不同温度下，分别划出辐射波长的分布曲线，然后把峰值——也就是这些曲线的最高点连起来，我们会发现，这条曲线随着温度的升高，缓缓朝短波方向——也就是蓝色方向移动。

这些情况，符合维恩的位移定律。

1899年2月3日，在德国物理学会的会议上，卢默尔和普林舍姆报告了这个研究成果。

卢默尔告诉大家，俺们验证了维恩“位移定律”。但是，“分布定律”的情况还不是很清晰。虽然，理论预测与实验数据大致相符，但是，在红外区域，还有点不太对劲儿。实验数据有误差？现在还不太确定。我们量得已经很认真了！如果让我们给出确定一定以及肯定的答案，那就等等吧，待到山花烂漫……技术条件成熟，可以在更大范围（包括波长和温度范围）上进行实验时再说。

大家听完卢默尔和普林舍姆的报告，虽然隐隐有点悬心，但感觉不至于出什么大乱子。剩下的事，无非是搞好黑体实验技术升级，取得更全面、更精确的数据，进一步验证维恩定律。万一有什么偏差，也不要紧，大不了就是修补一下维恩公式，让它与观测相符就行了。大家数学都不错，是吧？于是，与会人员高高兴兴地回家了，度过了充实而有意义的一天。

谁也不会想到，那点不对劲儿，是一枚顽固的路标，虽然苔痕斑驳，毫不起眼，却明确而坚定地指向迷雾深处——自古华山一条路，你爱走不走，不容置疑地把我们带进荆棘丛、乱石岗、崎岖路，无论你愿意，还是不愿意，你都回不去，只能踽踽苦行，带着难舍的记忆，告别温馨的未来，去面向未知的恐惧。当然，还有惊奇。

紫外灾变

见到卢、普二人的报告结果，帕邢也开始了测试，温度范围比卢、普实验的温度要低一些，不到三个月，帕邢宣布，他

普朗克也这样认为。于是，他选择了一个理想：当音乐家，做舒伯特！

然后，他信心满满地去见父亲的朋友，慕尼黑著名钢琴演奏家科林先生。科林先生听了他的演奏，很负责任地告诉他，你还是干点别的吧，你不适合专门从事音乐工作。

挚爱钢琴的普朗克有点失落。不过这不算太糟，自己还可以写作嘛。于是，他把自己的作品拿给同学们看，想听听他们的意见。同学们给意见比还钱快多了：你还是干点别的吧，你写的东西很刻板，缺乏技巧和热情。

人如其文。普朗克没心思去分析，这个评论，到底指的是他本人还是他的作品。他在想，我数学不错，并且对自然科学的挚爱不亚于音乐和文学，那么，数学、物理也是蛮不错的选择！

于是，咱俩和普朗克一起回到了那个熟悉的场景。1874年，德国慕尼黑大学，约利（Philipp von Jolly）教授告诉16岁的普朗克，你还是干点别的吧，物理学已经完成了，没啥好干的了。

悲哀啊！

如果我一无所长，就不会为选择而迷茫；如果我只有一条路，就不会为错过而疯狂；现在我有许多选择，却条条大路都堵死，上帝啊，你倒底要闹哪样？！

虽然如此，普朗克还是选择了物理，大自然太奇妙了！约利教授口中那个完美的物理学，让他着了迷！

在大自然这位神奇美人面前，抑制不住好奇心，Hold不住诱惑，是一个科学家必备的品质。

普朗克虽然自认循规蹈矩，但他恰好具备这种品质。数学、物理学得有板有眼，乐队也搞得有声有色，慕尼黑的校园生活让普朗克过得有滋有味。都是自己爱干的事儿，人生若此，夫复何求？

经验告诉我们，当你脚下的路越来越直、越来越平的时候，

那意味着，前方不远处一定是曲折和坎坷。不过话又说回来，哪条溜光大道不是人走出来的？！

1875年冬。一场肺病从天而降。普朗克不得不回家养病。

养病是一件痛苦的事，不仅是因为病痛，更因为没事可做。但普朗克给自己找了不少事——专心学习。有了充足的时间博览群书，病榻上的普朗克视野居然一下子开阔起来。赫尔姆霍兹、克劳修斯、基尔霍夫、玻尔兹曼……这些闪光的名字，以及他们闪光的思想，让病中的普朗克每每激动不已，难以自持，如果不是病痛压身，他不知跳起多少回了！

柏林！柏林！

1877年，普朗克得偿所愿，转入了心中的圣地——柏林大学。这里，可以聆听赫尔姆霍兹，可以直面基尔霍夫，热血沸腾的青春，遇上生机勃勃的名校，想不燃起理想的烈焰都难！

然而，普朗克的激情之火似乎总是惨遭泼水。这回泼水的，正是让他慕名而来的偶像。泼水的手法，不是劝他干点别的，而是给他上课。

赫尔曼·赫尔姆霍兹，德国物理学家、生理学家兼心理学家，很拽的一个科学家，却是很衰的一个教授。他记性不太好，却从来不备课，讲起课来吞吞吐吐，常常出错。他的课堂有一点十分协调：讲的人、听的人都同样厌恶这堂课。

还好，基尔霍夫备课特别认真。甚至每字每句都经过反复斟酌，一旦备好课，他就严格照讲，不会少说一句，也不会多说一句，比背课文还枯燥。

好吧，这样我也忍了，可是，你就不会讲点最前沿、最尖端的东西，让我们受受启发吗？事实证明，不能。

这些大神都不会讲课？

当然不，克劳修斯就是一位难得的好老师。

鲁道夫·朱利叶斯·埃曼努埃尔·克劳修斯，德国物理学家和数学家，热力学第二定律的提出者，热力学的主要奠基人之

一。

虽然克劳修斯不在柏林大学，但仅仅是阅读克劳修斯的论文，就已经让普朗克激情澎湃了。可见，作为一个物理学教授，传道授业，口才固然重要，笔杆子也是相当重要的。

普朗克依然坚持去听赫尔姆霍茨老师、基尔霍夫老师的课，即使课堂上只剩下3个人，也有一个是普朗克，充分体现了坚忍不拔的顽强意志、不畏艰险的献身精神。

与此同时，他被克劳修斯笔下神秘而美妙的热力学征服了。

能量既不能被创造，也不能被消失，只能从一种形式转化为另一种形式。这简直就是“神的启示”！

热不会自发地从较冷的物体传给较热的物体。这个生活中随处可见的寻常现象，竟然是大自然的一条铁律！它是如此简单，如此显而易见，看似平凡无奇，却没有任何力量可以违背！

为什么？

这些，我们到热力学的时候再说。

反正普朗克是被彻底迷住了，并且很快就有了研究成果。

1879年，21岁的普朗克以论文《论机械热力学第二定律》拿到了博士学位。论文把克劳修斯的思想概括为“任何方法也不能使导热过程变为可逆的”，拓展了理论宽度。

普朗克满怀期待地把论文分别寄给了赫尔姆霍茨、克劳修斯、基尔霍夫，前两位也不知看了还是没看，反正论文如石沉大海。基尔霍夫倒是仔细阅读了论文，还给出了意见：

你的思维过程是错误的。

郁闷啊！

遭到打击不要紧，要紧的是，在自己热爱的每个专业都遭到打击。

就算各专业都打击你也不要紧，可如果出手的，都是这些专业的权威，你会怎样？

好吧，你不在乎权威？可这些权威是你的偶像。你的偶像

们都在打击你，你当如何处之？

放在一般人身上，早就趴下了。

但他是普朗克。

1880年6月14日，普朗克又提交了一篇论文，题目很枯燥：《各项同性体在各种温度下的平衡状态》。这篇论文让他获得了在大学教授理论物理的权利。

大雪压青松，青松挺且直。普朗克虽然连遭打击，但情况还不错，他的两篇论文，分别为他争得了学位和授课资格。他回到慕尼黑大学，当上了讲师。并开始尝试，把热力学和电动力学统一起来。

虽然我们总是注意到普朗克所遭受的打击，但不得不承认，他的路，还是比较平坦的，至少，比在这个年龄时的爱因斯坦强多了。并且，热力学上的公平原则，开始在他身上充分体现了，好运气不会总是集中在同一个人身上，坏运气也是。普朗克转运了。

1885年5月12日，27岁的普朗克收到了一份邀请函：去基尔大学担任特别教授，主讲理论物理。这份工作有2000马克年薪，足以支撑一个家了。

于是，他娶了青梅竹马的玛丽·默尔克。她是慕尼黑一位银行家的女儿。

在学术上，他也取得了一些成果，著成了《普通热化学原理》、《热力学讲义》，影响不小，他已经成了热力学的新锐。

1888年11月，一份意外荣誉降临到普朗克头上，柏林大学邀请他接替基尔霍夫，任理论物理学教授。基尔霍夫在1887年10月去世了。本来，在柏林大学拟的候选人名单上，头一名是赫兹，还有其他几位，但这些大神都以各种理由拒绝了，于是赫尔姆霍茨推荐了普朗克。

普朗克欣然接受了这个邀请。1889年，他来到柏林大学，接替了基尔霍夫的教授一职，还兼任了新设的物理研究所所长。

那时，赫尔姆霍茨已经去管理 PTR 了。1892 年，普朗克提升为正教授，此时的他，已经是德国顶尖大学的高级物理学家了。

1894 年，赫兹去世了，赫尔姆霍茨也去世了。克劳修斯早在 1888 年就已经驾鹤而去，玻尔兹曼那时正陷入痛苦不能自拔。

36 岁的普朗克左看看，右看看，吓了一跳：自己成了屈指可数的顶梁柱之一！

作为一根顶梁柱，是没有选择的，你只能承担重任。

这些个重任里，有一项是担任德国顶尖物理学杂志《物理年鉴》的理论物理顾问。与咱国现在的顾问不同的是，人家这个顾问是真顾问，影响力非常大，有权决定所有理论物理来稿的生杀去留。所以，爱因斯坦那篇不朽的《论动体的电动力学》才得以发表。

PTR 的工作，顶梁柱当然也是了如指掌。基尔霍夫的黑体谜题，普朗克一直很在意。现在，不能只是在意了，他必须直面。

但这项工作远远不是看起来那样简单。你越深入其中，就越感压力山大。还好，关键时刻，维恩挺身而出。

维恩的工作先后得到了卢、普和帕邢的证明，普朗克当然要长舒一口气。但他没有忘记自己的责任。

他要给维恩定律找一个坚实的理论基础。

1899 年 5 月，普朗克成功地把维恩定律纳入热力学第二定律麾下。有人开始称这个加强版的维恩定律为“维恩-普朗克法则”。当然也有人不同意这个冠名。

普朗克建议：进一步测试分布定律，要从重从快，不仅是检验维恩，也是检验热力学第二定律！

卢默尔和普林舍姆其实已经在干这事儿了。他俩花了 9 个月的时间，扩大了测试范围，减少了实验误差。1899 年 11 月，他们的报告显示：在长波范围，维恩理论预测的强度总是偏高。

但是，帕邢的新测试报告却显示了相反的结论：维恩定律与实验相当吻合。不止是帕邢，除了卢、普二人的实验，其余所有测试都支持维恩定律。

普朗克虽然十分愿意相信帕邢等支持派的实验结果，但理智告诉他，你必须认真审视，谨慎处之。

冲动可以创造世界，但理智可以拯救世界。1900年9月，普朗克的朋友海因里希·鲁本斯（Heinrich Rubens）带来最新实验结果：在远红外线一端，维恩定律被证实无效。

35岁的鲁本斯是工业大学的普通教授，他也是PTR的客座工作人员。他和PTR的同事费迪南德·库尔玻姆合作，Diy出了一个黑体，可以精确测试远红外线区域。他们发现，辐射波越长，与维恩定律的预测差距越大。

维恩公式预言，当波长趋向无穷大时，能量密度——也就是在一定空间或质量中所储藏的能量，与温度无关。但是实验表明，这时，能量密度与绝对温度成正比！

这是一个噩耗。

瑞利勋爵（对，就是汤姆逊的老师）见维恩公式在长波上出了糗，便出手相助，他拿着维恩公式左看右看，最不顺眼的就是那个分子假设！还是用麦克斯韦的电磁学理论靠谱。

于是，瑞利也得出了一个公式，后来经英国数学、天文学、物理学家金斯（J. H. Jeans）修订成型，史称“瑞利-金斯公式”：

$$\rho = kT \frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

其中， k 是玻尔兹曼常数， c 我们都认识， ν 是频率。

公式的具体意义咱们文盲先不研究，这里出现了不止一个熟悉的东西。

看到没？频率！

这个公式成功地描述了长波上的黑体辐射规律。

但没人能高兴起来。因为，这个公式告诉我们，当 ν 趋向无

穷大时，也就是波长 λ 趋于 0 时，能量将疯狂暴涨，在短波段，黑体将释放出无穷大的能量！

如果这个公式的预言属实，我们还抢夺什么能源？造一个黑体扔在那，够全宇宙用的了！

这是一个更大的噩耗。

物理学家们面对这两个噩耗，哭笑不得。他们重新审视这两个公式：维恩从分子假设——也就是粒子的角度出发，得到的公式搞定了短波，却在长波上丢盔卸甲；瑞利、金斯从波的角度出发，摆平了长波，却在短波上铩羽而归。

就好像你定制一双鞋，由两个顶级设计师亲手制作，左脚的那只舒适无比，右脚的那只无比舒适，可悲催的是，它俩不是一双，而是两个单只！

这么好的两只鞋，扔掉怪可惜的，改成一双不就得了？对不起，左脚那只是尊贵俏丽的高跟鞋，右脚那只是休闲憨实的登山靴！

这不是物理，是恶作剧！

在上部，波和粒这两个家伙已经折腾得天昏地暗，令人头晕目眩。现在，正当大家余悸未消、注意力刚要成功转移之际，它俩又不合时宜地冒了出来。

保罗·埃伦费斯特（Paul Ehrenfest）对这事儿也很无语。与麦克斯韦、基尔霍夫、赫尔姆霍茨那些物理很牛、但授课很糗的大神不同，这个荷兰籍的奥地利人是真正一流的教授，那些复杂的、高深的物理理论，他总是能够清晰地、浅显地表达出来，善于概括本质。爱因斯坦这样评论好友埃伦费斯特：“我所知道的最好的教授。”

老爱心中最好的教授看着瑞利-金斯公式，无比纠结，它的推论，实在是骇人听闻！于是，埃伦费斯特给它起了个骇人听闻的名字：紫外灾变。

然后，我们的老熟人，白胡子老头开尔文勋爵驾着两朵乌

云出场了，其中一朵是 MM 实验带来的光速不变和以太之死，另一朵是黑体辐射危机，也就是眼前的“紫外灾变”。

虽然这个名字听起来好像有点瘆得慌，但是没关系，它既不会引起生化危机，导致医药费上调，也不会引起经济危机，导致 CPI 上调。

不过，物理学家们看着它，血压会上调。搞不掂黑体，还搞什么物理！

俗话说，天塌下来，有大个儿顶着。普朗克个子虽然不大，但他是顶梁柱。

什么是顶梁柱？就是你顶得住也得顶，顶不住也得顶！

所以，关键时刻，普朗克朝那朵乌云挥出了谨慎的一剑。却没想到，这一剑，割裂了经典物理的天空。不仅让整个物理界惊悸狂躁，更令挥剑人自己颤栗不安！

第六章 量子论前传（下）不诉离殇

量子幽灵

维恩公式、瑞利-金斯公式出生没多久，就直接被实验证伪，那么，它们到底算不算科学理论？

当然算！这都是正正经经、如假包换的科学理论，即使被证伪以后，它也是科学理论！想辨别科学和伪科学吗？请认准科学标签：可证伪性！

什么是“可证伪性”？

是指从一个理论推导出来的结论、解释、预言等，必须要有被证明是错误的可能。

这是卡尔·波普尔（Karl Raimund Popper）在《猜想与反驳》中提出的概念。波普尔是著名的科学哲学家，他原籍奥地利，犹太人，二战期间被迫移民英国。他的研究，涉及科学方法论、科学哲学、社会哲学、逻辑学等等，是当代西方最具影响力的哲学家之一。

波普尔认为，判断一个理论、一个命题是否科学，其标准就是，它是否具有“可证伪性”。他有一句名言：“科学经常是错的，而伪科学倒有时是对的”。这话乍听起来，很难让人接受，但稍加分析，我们就会发现，这才是分辨科学与伪科学的必杀技！

我们在上部“所谓科学理论”里提到过：任何物理理论都只是假设，在这个意义上，它只能是暂时的，你永远不能证明它。

为什么？因为科学理论的表述，永远是最清晰、最确定、最具体的。这样的表述，验证起来，也永远是最明确、最直接、最老实的。而这种验证方法，谁也不能保证，永远不会出例外。

比如，咱俩发现一个科学理论：人，都是胎生动物。

这个表述，任何人拿来就能用——这正是科学理论的显著特征。我随便指一个人，你用这个理论，都能推断出 TA 是胎生的。而且你也能预测，今后出生的人，也是胎生。

为啥使用效果这么好？因为它的表述足够清晰、明确、具体，这种表述，是最诚恳、最可靠的，因而是最有用的。

那么，我们怎么去验证这个理论呢？非常简单：观测。
不停地观测。

只要观测范围内的每个人都是胎生的，我们就相信这个理论。如果有一天，发现有人是卵生的，只要一例，这个理论就立即被证伪，我们就必须修正它，或者放弃它。

规则极其公平、简单、清晰、有效。

那么，我们能不能一劳永逸，证明这个理论“永远”正确，或者“绝对”正确呢？

不能。

因为谁也不能保证以下几点：

在我们的观测范围之外，绝对不存在非胎生的人。

以后永远也不可能出现非胎生的人。

从前绝对没有过非胎生的人。

那么，最清晰、最确定、最具体的表述，并且它的预言有被证伪的可能，就是科学吗？当然不。科学理论，要符合已有的观测。

比方说，我提出一个理论：所有人都不是胎生的。这个够清晰，够确定，也够具体，但是，很显然，这不是科学学说，而是信口胡说。因为它在提出时，就已经明显不符合观测了。

好吧，“科学经常是错的”，这句话我弄明白了。可是，不可能被证伪的理论，怎么就不是科学理论了？

因为不可能被证伪的理论是抖机灵，它的结论就是没有结论，也就是废话。

比方说：有的人是胎生的。

这句话你怎么挑，都没毛病，绝对正确，简直就是传说中的真理！

可是，当你使用这个理论时，就悲哀了。我随便拽来一个人，你用这个理论来推论一下，TA 倒底是不是胎生的？“有的人”里面包括 TA 不？凭什么包括？又凭什么不包括？具体问题具体分析？恐怕越分析越乱，最后只好领导说了算。

悲哀的是，我们却总是沉溺于这种“永远正确”的伪真理中，不能自拔。陶醉于滴水不漏、两头堵、弯弯绕的废话技巧之中。

我们长于纠结“对错”，却不善分辨“真伪”。

尤其是，对一些模棱两可、一言多解、晦涩艰深的所谓至理谏言，我们有一种似乎是与生俱来的尊崇。其实，揭开它故作神秘的面纱，这些所谓的高深理论，就是浅薄的抖机灵，没什么实际意义。

比方说，你有事去请教高人，高人给你吟一首：

子有三般不自由，门庭萧索冷如秋。

若逢牛鼠交承日，万事回春不用忧。

你问这是啥意思，高人捋须微笑：此乃天机，时机一到，你自然会顿悟滴~！

于是——

你失恋了，你顿悟：萧索、冷如秋，可不是咋滴！看后两句，还有希望？你膜拜：高人呐！

你恋爱了，你顿悟：若逢牛鼠“交承”日，万事“回春”不用忧。你慨叹：高人呐！

你罢官了，你顿悟：门庭萧索冷如秋。你拜服：高人呐！

你升官了，你顿悟：万事回春不用忧。你崇拜：高人呐！

.....

看看，伪科学有时是对的。

如果有人还是不服气，那么，这里可以提供一个预测战争

的全能谶言——咱俩倒背如流的《登鹳雀楼》。

白日依山尽，黄河入海流；

欲穷千里目，更上一层楼。

好诗啊！但你没看出它的“深刻内涵”来：

无论哪场战争，无论发生在何时何地，无论是赢是输，这首诗都早已预测到了：

在白天，有“白日”嘛；在夜晚，“白日”已经“依山尽”了嘛；在山上，有山啊；在水里或水边，有河有海；在城里？有楼哦；赢了，更上一层楼嘛；输了，白日依山尽，日落西山象征啥就不用解释了；逃了，入海流嘛，蛟龙入海得自由；没逃掉，入海流嘛，再逃也逃不出大海；一仗打发财了，水生财嘛，又是河又是海的；一仗打穷了，里面那么大个穷字明摆着嘛……你就“悟”吧，越悟越多，越悟越深，就会把这首诗当作天下第一博大精深的神作。

如果你尊崇某人或某理论，那么，千万不要神话化之。因为对于粉丝团以外的人来讲，神化和妖魔化没什么本质的分别，所谓粉到极处自然黑，就是这个道理。

当你对某个高人迷信不疑，就天然地以为，他的每句话里都暗藏玄机。所以，不论这个高人说句什么话，也不管他本来是什么意思，人们都能从中“悟”出许多道理来。同样一句话，能得出多种解释，并且，有的解释完全相反，你却都能“悟”出它的合理性来。这种荒谬的自欺怪圈，让许多人沉迷其中而不自知，陶醉在一次又一次的“顿悟”之中，以为自己越悟越深，其实是越陷越深，一旦有人试图叫醒他们，他们往往勃然大怒：浅薄！无知！高人的理论岂是你们这些寻常之辈能够参透的？！

比方说孔子的一句话：民可使由之不可使知之。

你可以这样解释：民可使由之，不可使知之。意思是，对老百姓，只需使其照我们的意志去做，不能使他们懂得为啥要

这样做。

你按照这个理论，实施了愚民政策后，发现这是巩固你的独裁统治的有效手段，不由得由衷赞叹：孔圣人就是高啊！

但是你也可以这样解释：民可，使由之；不可，使知之。意思是，老百姓认可，就让他们照着去做；不认可，就要使他们明白（这样做的）道理。

你按照这个理论，与百姓加强沟通，发现这样可以有效调动他们的积极性，于是不由得五体投地：孔夫子实在是高啊！

看，同一句话，两种完全相反的认识，却都在说它“高”。

如果这句话是一个无名小卒说的，就会遭人鄙视，至少也会被无视：这都什么乱七八糟的！

不服气？孔圣人的这句话，俺还能给出第三种解释：民可使，由之；不可使，知之。意思是，老百姓可以驾驭（驱使）时，就顺其自然；不可以驾驭时，就得去了解他们。是不是也很有“道理”？

我们玩文字游戏，或者写诗填词，可以用模糊、委婉的表述来增添趣味和美感。但是，用作哲学交流，或者思想沟通，必须表述精确，语义明晰。

语言作为一种交流、沟通工具，它表达的意思不够清晰，不够准确，让不同的人听出不同的意思，让同一个人在不同时期“悟”出不同的意思，这是交流、沟通的失败。也许在当时，古人的表述是明确的，但是后来，随着文字、语境、文化等方面的变迁和缺失，我们在理解上不是那么准确，不是那么肯定，这都很正常，不正常的是，把这种多歧义的理解，作为“博大精深”的一种证据来看待，就太搞笑了。

有人说，难道老子的学说不够优美吗？当然不是这样。老子的学说的确够优美，但是，它是哲学，很美很朴素的古代哲学，影响颇大，可惜它不是科学。作为哲学，它的逻辑体系还不够完整、不够严谨，大多是定性的表述，缺乏定量的证明。

非要比“博大精深”，老子的学说不如墨子。我们可以用它来修身养性，体悟人生，也可以用它树立三观，甚至可以用它指导处世为人，都没问题。但是，用它来附会科学理论，去弘扬中华文化，就不止是坑爹了，还坑祖宗、坑老子、坑子孙、坑文化。

真正的科学理论，无论谁来说，无论谁来用，它都一样，不会因提出者的地位不同而改变，也不会因使用者的身份不同而偏离。

那么，我们怎么识别伪科学呢？

首先是检验。

科学，可以通过严格的科学方式进行检验，在其有效范围内，具有普遍性，没有发现反例，并且具有可重复性。

伪科学，其例证都不能通过科学实验的验证，甚至阻挠严格的检验。就算举例，也只能举那些“特例”，不具有可重复性和普遍性。

其次是预言。

科学可以做出明确的，能够检验的预言。比方说，我根据牛顿定律，预言某月某日的某一天，在某地会发生月食。你只要在那天，去那个地方看一眼，就很容易检验这个预言是否正确。

伪科学的预言躲躲闪闪，语焉不详，大玩文字游戏，在语言上永远立于不败之地，但它无法做出明确的预言。你以为他不想？不屑？他是不敢！因为他的预言一旦明确，立即会被发现不准确。但是无论发生什么，事后，它都能解释一切！典型的“事前糊涂账，事后诸葛亮”。

再次是实用。

科学理论就算被证伪了，也可以在它的有效范围内应用。比方说牛顿定律，在低速运动范围，十分好用，直到现在，包括航天在内的很多领域都在应用。

伪科学就算没被证伪，也没什么用处。比方说灵符治病，你信则灵，不信则不灵。你用它治病，不灵了，就是你不信的结果，灵了，就是灵符治疗的“正常功效”。

有些伪科学很难分辨，所以，辨伪成为一个专门的学术研究，国际上叫做“辨伪学”。伪科学有诸多“必杀技”，十分了得，归纳起来，就是“各种看”。我们来大致了解下：

两面看：凡事必须找出正反两面，一分为二，拉平差距，模糊优劣，能证明“脸上有只瘡子”和“脸上只有瘡子”是一样的，因为你有我有全都有，五十步不能笑一百步。你科学也有治不好的病，我贴了灵符也有病愈的先例。

全面看：你不能只盯着灵符治病不科学这一点，它至少有心理安慰、心理暗示的作用，对一定人群能发挥一定的作用，这不也是科学的么？既然选择了灵符治病，就说明灵符治病适合他们。别有用心地推销你们那一套，你以为我们会上当？我们就是要贴自己的符，治自己的病！

历史看：现在不阔原先阔。现在这些没治好，是因为积重难返，但原先，在那遥远的地方有个好姑娘就被我治好了。

发展看：现在不行以后行。凡事要经得起时间的检验，现在不行，只要我们豁出去几代人，坚持贴灵符去治，将来就不会有病了！到那时，我们的精神也会好很多！

具体看：同一事件，多重标准，具体使用哪个标准，那得看立论者的需要，再具体问题具体分析。

他们极其聪明地躲在一个巨大的愚蠢中，跟你兜圈子，任你怎么叫，他也不出来。

几个圈子兜下来，你再看那驴粪蛋，圆润的表皮上都泛着神圣的真理之光。

所以，你不能跟着他去各种“看”，你只看两点：

1.分析他的理论有没有可能证伪，没有证伪的可能，那就不要信他。

2.如果有可能证伪，就朝他要明确预言，观测现有结果。观测与理论不符，那就不要信他。

一个科学家拿着他的论文，请泡利给个意见。以毒舌著称的泡利说：“你的论文连可证伪性都不具有。”这是对一个理论最彻底的否定，意思是，这篇论文还不如一个错误。这个评论，成为科学史上的经典，没有哪位科学家希望得到这样的评论。

所以，如果一个人对你讲的话无论如何也无法证伪，那他八成是在忽悠你。

这个广告有点长。我们回到黑体迷局上。

1900年10月7日，星期天。柏林西部的富人区，格吕纳瓦尔德郊区，一座花园别墅。普朗克的家。

鲁本斯来这里与普朗克共进午餐。他带来的不仅有妻子，还有他的实验结果，证实维恩分布定律失效。在红外区域，能量密度（这里指辐射强度）与温度成正比。

这个结果让普朗克忧心忡忡。

问题出在哪？信息杂乱，毫无头绪。找不到问题的根源，就无从下手。但是也找不到下家，把问题抛给他。地位是责任，能力亦然。

是夜，无眠。

普朗克理了理思路：

A.维恩位移定律没问题。

B.问题出在分布定律的红外区域。

C.实验表明，正是在这个区域，辐射强度与温度成正比。

虽然找不到问题的根源，但手上有这些资料，可以试试Diy公式，先把数学问题解决了再说！

此刻，多年积累的广博知识，以及深厚的数学、物理功底显露出强悍的力量。灵感共直觉怒放，推理与猜想激荡。

拼拼凑凑，拆拆补补。以算为主，以蒙为辅，蒙算结合，一定及格。几经周折，终于，在算符嘈杂的稿纸堆里，一个看

上去很美的公式，悍然出现在普朗克笔下。

难道是她？！基尔霍夫的梦中情人？那个传说中的公式：可以描述任何一个温度下，黑体发射出的单色辐射的分布情况？

谨慎的普朗克按捺住小小的激动，利用手中的数据算了算。红外区符合，可见区符合，紫外区也符合！灾变消失了！

普朗克的心简直要跳出来了，他赶紧把这个公式写在一个字条上：

$$\rho = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}$$

写完，以沉稳著称的普朗克迫不及待地把手条装进信封，乘月黑风高，把信寄给了鲁本斯。然后，惴惴不安地等待测试结果。似乎邮差也像他一样，不休不眠。他太急于验证这个公式了！

几天之后，鲁本斯带着答案，出现在饱受相思之苦的普朗克面前。是个好消息：公式预言与实验数据完美相符，没有死角！

普朗克又长舒一口气。但随即，他刚刚落下的心又悬了起来，公式是对的，但它倒底啥意思，还没搞清楚。

10月19日，星期五。两周一次的德国物理学会的例会上。在库尔玻姆正式宣布维恩定律在红外区域失效后，普朗克发布了这款公式。

该公式为黑体辐射度身定制，手工精湛，功效卓著，红外区、可见区、紫外区，全方位涵盖无死角， c_1 、 c_2 两个常数高低呼应，又兼一对波长 λ 上下其间，更具平衡美感，指数函数 \exp 暗含其中，隐隐皇家气韵，绝对温度的T线混搭，彰显不羁风情，频率 ν 的悄然褪却，深藏功与名，将淡淡的忧伤，留给无尽的遐想。

与会人员彬彬有礼地点头表示期许。太有绅士范儿了！

大家心里都很清楚：公式的意义太不清楚！况且，自从维

恩分布公式失效的小道消息传出以来，同志们纷纷 Diy 出了不少公式，准备取代维恩公式，填补国内外空白。

普朗克回到家，久久地盯着这个大获成功的公式，目光里充满忧郁。

第二天，鲁本斯到访。昨晚，他又对公式进行了严格的测试，它又过关了！显然，鲁本斯是来给普朗克打气的。

一个星期内，鲁本斯和库尔玻姆拿到 5 个看起来比较有前途的公式，进行了疯狂的测试 PK，结果，普朗克公式胜出。

普朗克压力更大了。这个公式经过严格测试，证明好用。那么，再在 PK 中胜出，其意义已经不是那么重要了。就好比一个武状元，再打败几个高手，他还是武状元。目前更重要的是，找到它的物理意义。如果不找到，那它只是一条靠经验和直觉，加上运气而发现的一个数学公式，形迹可疑，连真正的定律都算不上。

他把探寻的目光，落在热力学和电磁学上。两个优雅而美妙的理论，挂靠其一，这个公式传承了尊贵的血统，有了令人信服的来历。

但是，无论怎么撮合，它就是与这两个王者格格不入，仿佛天生就是来造反的，要么就是来踢馆的！

热力学定律、麦克斯韦方程组，是那樣的优雅、坚实和温暖，在各自的领地，君临天下，仗律执章。变幻莫测的能量生息，神秘奇异的力场演化，莫不宾服臣顺，令行禁止。

直到基尔霍夫的黑体降临人间。

黑体辐射，很明显，这既是热力学的问题，也是电磁学的问题。正常来讲，普朗克手里的黑体公式，应该自然地皈依到二者门下才对。

热力学、电磁学，二者的力量、美感，已经深深融入普朗克的血液，成为生命的信念，为了二者更完善，更坚实，他愿意添砖加瓦，扫地拂尘，就算为之守候一生，操劳一世，也在

所不辞。

而眼前，传承热力学血脉的公式，搞不掂长波；延续电磁学血统的公式，搞不定短波。现在，自己diy出来的这个公式，终于征服了所有波，可是它，却也斜着庄严的热力学、神圣的电磁学，梗着个脖子，死也不肯臣服，甚至连拉个手搞共同开发的意思都没有！

这意味着什么？

一股寒意倏然袭来。

不！不不！普朗克被刚才一闪而过的念头吓了一跳。

我是一个保守派，我愿意做个保守派。我的老师早就告诉过我，物理学已经完成了。我来学习物理的，是要汲取和传播这些知识的，而不是改变这些美妙的知识。这不是我要做的！要知道，我是一个谨慎的人。是的，我做事一向相当严谨。以前是，现在是，将来也是！

一个严谨的人遇到这种矛盾，应当怎么做？对，尊重事实！用事实拷问知识！

现在，事实是：这个公式很成功，它搞定了热力学和电磁学都搞不定的黑体！那么，热力学、电磁学……天哪！难道，这两座巍峨的大厦，只是这个公式站起来的代价？！情感和理智的交锋，真理和忠诚的纷争，把普朗克逼向绝路。

绝处逢生，需要的不仅仅是智慧，更需要的是勇气。可怜的普朗克，你是要克服多大的障碍，才能拾起这偌大的勇气啊！

好吧，好吧！除了热力学第一、第二定律，其余的，我都可以放弃！这就相当于岳飞说：除了汴梁，其余的，我都可以弃守！

“可以牺牲我过去对物理法则所持的每一个信念。”

“要不惜任何代价，为这个公式找得到一个理论解释，不管代价有多高。”

普朗克为自己打气。

当人们喊出“不惜一切代价”的时候，通常，他并不是真的打算付出一切，而是要放手一搏，避免失去一切。否则，“一切代价”就没有任何意义。



【图 6.1】中年普朗克

正因为谨慎，他才更注重事实。正因为坚守，他才更敏锐地察觉到旧的缺憾、新的曙光。

他用了老套的一招，也是沉稳的一招：建立一个模型，来再现公式所描述的黑体辐射。

黑体辐射，是各种频率辐射的大杂烩，随温度的变化，各种频率的强度此消彼长。

根据这个特点，可以想象无数个“振荡器”，排列于黑体内壁。所谓震荡，说白了就是往复运动。每个振荡器负责发射一种单频。所有振荡器一起，就能发射出所有频率。

给黑体加热，就是给振荡器提供了能量。有了能量，它们就开始震荡，向空腔中发出辐射。同时也吸收能量。如果温度保持恒定，慢慢地，这一收一发，就达到平衡。

现在，各种频率的辐射都有了。我们知道，它们的强度是不同的，也就是量不一样，有多也有少。而根据这个模型，某个频率强度高，是因为该频率的振荡器数量多。

现在问题来了，各种频率的强度，怎么分摊给振荡器呢？

普朗克不放过任何一种可能，苦苦探寻联系经典王国的蛛丝马迹。

可是，热力学、电磁学的金科玉律，在黑体这里行不通。必须另走他路！

这是普朗克学术生涯中最黑暗的时光。不是因为失败，而是在成功的路上，他真的付出了惨痛的代价——他最珍视的、已融入生命的信念。

现在，这些信念，由他亲手从生命中割离，血淋淋地抛弃。身后，一片狼藉。

走投无路之际，普朗克悲怆地看着面前的铜墙铁壁，突然，眼中余光一闪，一个不起眼的角落进入眼帘。

气体动力学。

上部说过，麦克斯韦在研究土星光环时，遇到过与气体力学有关的难题。电磁学建立后，麦爷抽了点时间，出手收拾了它。他把气体动力现象，看成气体分子间乱碰乱撞的结果。微小颗粒的碰撞，如果能测出它们的速度、质量、位置等，利用牛顿力学，就能计算。但是，气体分子小到看不见，多到数不清，咱人类没有能力全测量出来。于是，数学功底强悍的麦爷想到了统计学和概率论，用这两个对付模糊事物的工具，算出了气体分子们“最可能的速度和分布规律”，为气体力学奠定了一块厚重的基石。

玻尔兹曼沿着麦爷开辟的道路，把“熵”和无序状态联系起来，给出了热力学第二定律的统计学解释。

所谓熵，通俗来讲，就是衡量事物混乱程度的一种概率单位，越无序，熵值越高，越有序，熵值越低。

热力学第二定律表明，大自然总是倾向于熵值增高，也就是越来越无序。所以，此定律又称“熵增定律”。我们前面说过，自然状态下，热量无法从较冷的物体传给较热的物体，只能是高温体传给低温体，总体趋向平均、无序。你堆起一堆沙子，

自然界会让它消散，这些四散而去的沙粒，永远都不会自动再聚成那个沙堆。这就是“熵增”。有关细节以后再说。

现在的问题是：普朗克始终相信，熵值“绝对、永远”只增不减。而玻尔兹曼的统计学解释是：熵值“几乎”只增不减，换句话说，它存在减的可能。

玻尔兹曼的解释可以用扑克牌来理解：我们买一副新的扑克牌，新牌都是按照顺序排列的，熵值很低。我们洗这副新牌，越洗就越无序，熵值越来越高。这是一般现象。但是，根据概率论，存在这样一种可能，一副本来很无序的牌，你洗来洗去，可能碰巧有那么一次，会变得比以前有序一点，也就是熵值减小了。虽然概率极低，但不是零。

所以，普朗克对概率论的气体动力学一直很不感冒。但是现在，普朗克为了解释这个公式，他不得不求助于它。这就相当于，少林方证大师被迫用九阴白骨爪解决问题。

一个封闭的系统，任其自然发展，它的熵值会越来越大，最终达到最大，也就是达到最无序的状态。

一个黑体也是这样，最无序的状态就是热平衡。热平衡状态，就是普朗克用模型找出辐射分布规律的最佳状态。

在模型里，每个振荡器，振动频率都是不变的。那么：

A.当振荡器吸收、释放的能量大小有变化时，它所能改变的，就只有振动幅度——“振幅”。换句话说，振荡器的振幅，决定了它所释放、吸收的能量大小。

B.某个频率的振荡器数量，决定这个频率的辐射强度——也就是量的大小。

关键：振荡器数量、振幅变化，对应辐射强度、能量变化。这些复杂而微妙的东西，只能用概率、统计的方法来应付。

而且，把能量分摊到相应的振荡器上，更需要这种手段。

根据这些基本条件，利用玻尔兹曼对付气体动力学的概率论技巧，普朗克开始了推导。推来导去，他惊奇地发现，振荡

器必须一股一股地吸收和发射能量，才能推导出黑体辐射公式！

就是说，必须把能量分成若干相等的小段，变成“一份一份”的能量单元，才能得到那个强悍的黑体辐射公式。普朗克管这些能量单元叫做“量份”。

这个“量份”有多大呢？普朗克从这个公式出发，勾结振荡器的频率，去瓜分能量，发现了一个简洁的公式：

$$E = h\nu$$

能量 E 唤醒了我们尘封的记忆，而频率 ν 的高调复出，震荡着激情的涟漪。那个神秘而又高贵的身影，一袭长裙，从容侧立， h ，你从哪里来？

普朗克发现，要调和 E 和 ν 的关系，必须有一个常数坐镇。于是，他创造了 h ，普朗克常数。有了她，科学史上最著名的方程式之一，才得以成立。

至此，物理学中最重要的常数前三甲，已经全部出现在我们眼前，另外两个分别是引力常数 G 、光速 c ，它俩分别在另外几个同样著名的方程里巍然屹立：牛顿的万有引力公式，爱因斯坦的质能方程，当然，广、狭义相对论方程里也有 c 。

回到这个简洁优美的方程。它的意义很明显，某个频率 ν 乘以常数 h ，所得到的，就是在这个频率上，一份能量的值。一个“量份”就是这么大。

普朗克还没意识到，自己完成了一个伟大的发现。他以为自己只是给黑体辐射方程找到了一个来路，而且是用了自己不满意概率论。还没来得及小小地激动一下，普朗克就又被自己吓到了。

他的公式显示：能量的传递不是连续的，而是一份一份的！

介入黑体问题以来，虽然已经不是第一次被自己吓到，但这次，真不是普朗克胆小，换成任何一个物理学家，他们都会被公式显示的信息吓到！

不就“能量是一份一份的”这码事吗？有什么大不了？

相当了不得。这是一个天大的篓子，被普朗克捅了出来。虽然刚刚说过，但我们还是要马上复习一下这个公式：

$$E = h\nu$$

h 的值是 6.626×10^{-27} 尔格/秒，也就是用十万亿个一亿除 6.626，它等于 6.626×10^{-34} 焦耳/秒。这个值十分微小。

每一份能量，都是这个常数乘以频率。这意味着，无论你怎么分，一份能量只能分到 $h\nu$ 为止，不能再小了。

那么，无论哪个振荡器，它所具有的能量，只能是 $0h\nu$ 、 $1h\nu$ 、 $2h\nu$ 、 $3h\nu$ …… $nh\nu$ 。看见没？ n 必须是个整数——再强调下：这是因为 $h\nu$ 最小，不能再分了，所以不存在 $0.5h\nu$ 、 $3.1415926h\nu$ ……之类的小数。

但是，自然界的能量的传递是一份一份的——这个提法，绝对颠覆了我们对世界的认知！

生活中，我们烧水，就是用火向水壶里的水传递能量，使水温升高。那么，在我们看来，火向水传递的能量是“连续的”，水温从 20°C 升到 100°C 的过程，当然也是“连续的”，水温一定经历了 20.5°C 、 $25.0250250250250^\circ\text{C}$ 、 38.383838°C 、 52.0520520°C ……总之，水的温度值一定经历了在 $20\sim 100$ 之间的任何一个数字，它的温度上升线是连续的、平滑的，不可能从 21.5555°C 直接跳到 21.5557°C ，而不经 21.5556°C 。是吧？

一个物体从 A 运动到 B，它都必须经过其路径上的无数个点，因为我们的世界是“连续的”。无论 AB 距离有多短，它也不可能从 A 点“直接”穿越到 B 点，凌波微步也不行。还记得上部开篇里的芝诺悖论吗？他的大前提就是，“任何距离都可以分成无穷个小间隔”。所以，从一点到达另一点，必须“路过”无穷个小间隔。他由此推断“有限的时间内，不可能经过无穷个间隔”，从而得出了“运动不存在”的结论。

虽然我们不想同意这个恼人的结论，但是，对于他的大前提，我们是没有任何异议的，因为“世界是连续的”。我们对世

界的全部认识，都是建立在这个基础之上的。对于运动距离、能量传递之类的东西，我们可以无比精细地进行分割，分割到极致，量度为零，分割效应消失，继而恢复整体。这是最完美的分割，是微积分的核心技巧。消除分割，让它所描述的对象连续、平滑起来，这是微积分的最高境界。

微积分是用分割法描述连续世界的无敌利器。它是我们对世界认识的数学化表达。

而现在，普朗克的黑体辐射公式，以绝对强者的姿态，钢铁一般地戳在我们面前，面无表情地挑衅道：有种你就推翻我，不然，你就必须承认，能量不是无限连续的，它必须有个最小单位，分成有限的份数进行传递！

这就像我们去菜市场买东西，无论怎么讨价还价，无论买的东西有多少，你最少得付 1 分钱，你不可能付 0.5 分钱，因为没有这个面值。所以，你可以不付钱，实施抢劫或乞讨，但，只要你是付钱的，你所付的总钱数，无论多少，一定是 1 分钱的整倍数。

我们坐飞机，登机时可以上 1 个人，也可以上 2、3、50……个人，只要装得下，随便哪个整数都行，但绝不能上 0.25 个人，无论你怎么清点人数，飞机上都是 1 个人的整倍数，不可出现 380.747 个人之类的情况。（不要提残疾啊肢体啊之类残酷的脑筋急转弯式的情况，肢体、尸体都不是真正意义上的人，真正意义上的人，肢体再残缺，他也是“一个”人）。

但是，如果能量的传递也是这样的，分成有限的一份一份，那么，水温“从 21.5555℃ 直接跳到 21.5557℃，而不经 21.5556℃”就成为可能。我们把水的量减少到极致，就好理解了：大家知道，所谓温度，在微观上看，就是分子/原子运动的激烈程度：

你“加热”一个水分子，给它一份能量，它就会从一般的运动状态“直接跳到”激烈的运动状态，而不路过这两个状态

之间的任何一个状态。要知道，在经典物理里，路过，不仅是美德，还是宪法。

普朗克快被折磨疯了。

在维恩公式出世以前，他已经为黑体问题进行了 6 年的探索，维恩公式出生以后，他立即将它归入热力学血统，以为世界从此和平了。可是，实验很快就击碎了 this 美梦，证明维恩公式在红外区无效。

他千辛万苦凑出一个公式，搞定了黑体辐射，却发现，公式与自己膜拜的电磁学、热力学水火不容。

他为寻找公式背后的物理意义而绞尽脑汁，百撕不得骑姐。

为了把这个公式融入经典，他在信念上做出巨大让步，向自己原本抵触的概率、统计手段求援。

终于找到了“整个计算中最带根本性的一点”，却发现，这一点是如此可怖！它一直在公式背后深藏不露，甫一现身，还没来得及看清面目，就见它剑指整个物理大厦的根基！

这是什么怪物？！

仅仅是因为你站起身来，就要搞得整个物理学土崩瓦解？不！

你没有这个资格，谁也没有这个资格！你只是一个假设，只是我用来解决公式出身问题的一个手法，并不是物理真实！普朗克这样安慰自己，他那颗揪紧的心，慢慢放松起来，但仍有一根无形的绳索悬着它，荡荡悠悠，无法踏实。

1900 年 12 月 14 日。星期五下午。柏林大学物理学院。钟声刚刚响过五次。

普朗克在德国物理学会的例会上，报告了他的新发现。

他宣称，只有假设黑体模型里的振荡器吸收、发射能量是一份一份的，才能导出那个公式、准确描述黑体辐射分布规律。

他把一份能量叫做“量子”。这个名称随后就被他改为“量子”。

一个震撼了整个 20 世纪，到现在也余震未消的庞然大物就这样悄然诞生了。

会后，物理学会的会员们纷纷向普朗克表示祝贺，祝贺他找到一个强悍的公式，成功地解决了困扰人们多年的黑体问题，圆了基尔霍夫的梦。但这一切，似乎与量子无关。因为它只是普朗克解决问题的一个技巧而已。物理学家们的这种技巧，就像知心大姐提供的驯夫小窍门，一抓一大把。

量子，就是这样低调。它混迹于天地万物，事了拂衣去，深藏身与名。直到 1900 年，一个谨慎公务员形象的男人，在走投无路之际，随手把它拽出来，晾在众目睽睽之下。

但，人们只把他当作黑体辐射公式的垫脚石，无人关注。只有它的发现者，为它的存在而隐隐不安，那根无形的悬心绳，时时颤动，成为一个飘渺而又顽固的痛。

在此后的日子里，普朗克一直试图回避量子，但量子如影随形，它低调沉着，却强悍坚硬；它不动声色，却无处不在。撼不动、绕不开、改不了、认不清，额亲娘啊！还有比这更可怕的吗？！

它倒底是什么？

就在普朗克跟自己内斗纠结之际，一个年轻人慧眼识珠，第一个接受了量子。而普朗克，虽然不肯接受量子，却慧眼识珠地接受了这个年轻人。

波粒再战

转眼间，到了光辉灿烂的 1905 年。

3 月 17 日。又是星期五。瑞士伯尔尼，26 岁的爱因斯坦投寄了一封信后，匆匆赶去上班。饱暖思宇宙，饥寒问稻粱。专利局三级技术员这份很有前途的工作，解决了爱因斯坦的温饱问题，使他有时间去窥探宇宙的秘密。

那封信是寄给《物理年鉴》的，里面装着他本年的第一篇论文。论文解释了“光电效应”，题目是《关于光的产生和转化

的一个启发性观点》。

普朗克看了，不仅没有受到启发，反而更纠结了。因为爱因斯坦肯定了普朗克的量子概念，还用它来解释“光电效应”。

普朗克本来就对量子避之不及，现在爱因斯坦不仅欣然接受了它，并且更进一步，让量子与光子联姻，生出“光量子”，把量子生米煮成熟饭，变成物理真实。普朗克认为，这个步子迈大了，很扯蛋，所以极度反对这门亲事。

不过，爱因斯坦的观点虽然反叛、出格、颠覆，但他的解释却逻辑严谨，事实清楚，非常完美。所以，普朗克很负责任地允许这篇论文发表。

于是，继普朗克发现量子之后，科学史又翻开了崭新的一页。

说了半天，“光电效应”是什么？也是“浑身是宝皮可制革筋可入药味道鲜美肉可以吃”吗？说起来，话又长了。

还记得当年的波粒大战吗？

菲涅耳单枪挑落粒军大旗，波动理论一统光学河山。但是，江山并不稳固。菲涅耳的光波理论固然锐利无比，却依然是就光论光，就波论波，解决的是表层问题。

虽然如此，粒军也暂时无力抵抗，只能徘徊观望。

1873年，麦克斯韦的《电磁学通论》横空出世，把光学收归电磁学门下，麦爷宣布：光是电磁波的一种。

从此，波军阵营由麦爷坐镇，城堡是尊贵神圣、厚重坚实、庄严优雅的电磁论，那可是上帝的诗歌！

粒军的希望，随硝烟散尽。

然而，谁也没想到的是，赫兹在给电磁学大厦封顶加固时，顺手开了一扇窗，一缕微光射向粒军匍匐的角落。

还记得赫兹验证电磁波的那个实验吗？1887年，赫兹让振荡器发出电信号，然后，在共振器的两个小金属球之间，看见了电火花，这说明，共振器收到了振荡器发出的电磁波，才得

以如此。

赫兹当时看得很痴迷，很仔细。所以，他不仅看见了微弱的电火花，还发现，微弱的电火花，居然有更微弱的亮度变化。

当紫外线照射那两个小金属球时，发生电火花会变得容易一点，而电火花也会变得更亮一点。

对这个“全新的，而且令人十分费解的现象”，赫兹记录下来，却没来得及给出解释。但他写道：“也许正因为它不易解决，所以有望在它解决之时，其他一些新现象也得到了解释。”这话现在看来，也算是一语成讖了。

1899年，J.J. 汤姆逊通过实验，证实那两个小金属球之间的光电流，与阴极射线一样，都是电子流。于是，人们慢慢意识到，这是由于光的照射，使金属内的电子逃逸的现象。也就是说，那些电子流，是光“打”出来的。

1902年，赫兹曾经的助手、德国物理学家勒纳德对这个现象进行了研究。勒纳德是个狭隘的种族主义者，希特勒的脑残粉，纳粹党徒，纳粹德国的疯狂拥趸，或许叫鹰犬也不为过，“勒纳德”这个译名还是相当科学的。他宣扬希特勒的理论，参与和领导了对爱因斯坦等犹太血统的科学家的攻击和迫害。二战后，美国考虑到他年事已高，免除了对他的去纳粹化措施。不过人品归人品，勒纳德的确是一个优秀的实验物理学家。好吧，我们回到实验。

勒纳德给这个现象起了个名：光电效应。

勒纳德的实验装置：一个真空玻璃管，里面有两个金属片，金属片上有导线，导线连接到玻璃管外的仪器上。

勒纳德发现，在真空中，光电效应也会发生。用紫外线照射其中一块金属片，就会有电流产生。他解释道，这是由于紫外光和电子的频率一致，发生共振，所以紫外光能够“触发”电子从金属表面逸出。

但时隔不久，“触发说”被勒纳德自己的实验否定。因为他

不能解释接下来发现的两个诡异现象。

他把照射金属的光做了两个调整，想看看不同的光，“打”出的电子有何不同。

一是调整光的强度，也就是“亮度”。按照常理，光的强度增加了，也就是能量增加了，它打出的电子，能量也应该增加才对。可是，实验的结果刚好相反：电子增加的**不是能量，而是数量**！

那么，金属发射电子的能量归谁控制呢？答案很快就出来了。

二是调整光的频率，也就是“颜色”。按照常理，提高频率，就是振动得更频繁，应该打出更多数量的电子才对。可是，实验给出的结果又是刚好相反：**电子增加的**不是数量，而是能量**！**

勒纳德懵了。

各实验室的相关结果陆续发布，结果更加扑朔迷离：

首先，不是每种光都能打出电子，比方说，黄、红之类的低频光，一个电子也打不出来，无论它的强度有多大，电子也是一毛不拔。而紫外线这样的高频光，再微弱，也能打出电子来！典型的歧视啊歧视！

这就是说，想要在金属上打出电子，光的频率最低有个下限，也就是你至少要达到这个频率，才能打出电子来。嗯，原来，做人，没有下限，可以升官、发财、吃牢饭；做光，没有下限，就什么也得不到！

其次，不同的金属，要求的频率下限也不同。我们举几个例子。频率数字太长，所以这里用波长来表示，单位是“埃”，1埃是0.1纳米，一亿分之一厘米。只要记住“**波长数值越大，频率越低**”就成， $\text{光速} \div \text{波长} = \text{频率}$ 。不同金属要求的频率下限：

铯→6520，钠→5400，锌→3720，银→2600，铂→1960。

再次，每一种频率的光，打出的电子能量有个上限。也就是说，不管你怎么照射金属，就算你照射一万年，只要频率不

变，你所打出的每个电子，其能量也不会超过那个上限。

最后，光射到金属上，电子要么马上蹦出来，要么死也不出来，它绝不会等会儿再出来！

是不是很乱？我们来做个总结，也算是复习，顺便理清思路：

1.不同的金属付出电子，对光的频率下限要求不同。不同频率的光，打出的电子上限也不同。

2.电子能量大小，由光的频率说了算，频率越高，打出的电子能量越高。

3.电子数量多少，由光的强度说了算，强度越高，打出的电子数量越多。

4.光打出电子，是瞬间作用，没有积累过程。

好吧，条理是清晰了，逻辑也没问题，问题是规则太乱了！

所有物理学家都凌乱了。因为这个规则不仅违反了常理，不符合牛斧以来的物理认识，还严重违反了麦斧的电磁学规则！虽然《电磁学通论》只诞生了不到30年，但是，从那以后，所有与电磁相关的问题，都可以在那里找到答案，完美的麦克斯韦方程组，她不仅能解决、描述所有电磁学问题，还能做出准确的预言，以至于自负的玻尔兹曼一见到这套方程，立即被她的美妙所征服，引用歌德的话顶礼膜拜：“书此符号者，舍上帝其谁？！”

按照麦斧的理论，世界该有多美好啊：

电磁波的强度越大，其能量也越大，它所打出的电子能量也应该越大。

电磁波持续给电子输入能量，电子攒够一定能量后，就脱颖而出。那么，它不应该瞬时射出，也不应该千呼万唤不出来，更不应该以频率论英雄。

这既符合逻辑，又很讲道理，是吧？但是，实验给我们的答案完全相反。

咱俩都玩过水枪是吧？假如，咱俩组织一场比赛，大家用水枪去射乒乓球。现在，水枪加满足够的水，压力恒定，扳机就是开关，扣动扳机，水就被释放射出。比什么呢？看谁射飞的球更多、更快、更强。结果，我们发现：

你必须连续扣动扳机，达到一定频率后，比方说每秒扣动5次，才能射飞乒乓球。球速是1米/秒。

如果达不到每秒5次，即使是100个人每人手持双枪，都无法射飞一个乒乓球！

如果扣动扳机的频率高，达到10次/秒，球速就会随之提高，最快可以达到2米/秒。想让球速更快，必须提高扣动扳机的频率。

你提高扣动扳机的频率，只能提高球速，提不高球数；增加水枪的数量，只能提高球数，提不高球速。

不科学啊！虽然上帝跟我们开的玩笑已经够多的了，但是，还没有一个玩笑如此搞恶。

一个小小的光电效应，将物理从帝国美梦中唤醒。陶然其间的物理学家一觉醒来，发现那个富丽堂皇、舒适温暖的安乐窝已荣华不再，柱裂基倾，在宇宙蛮荒中风雨飘摇。普朗克黑体辐射公式，试图拨散紫外灾变带来的乌云，却搅来了量子迷雾。雾霾未消，那暗弱的电光，便裹挟着赫兹的谏言，化作雷霆万钧，撕裂了整个天空。

颤栗吧，人类！为自己的智慧哭吧，人类！

一双明亮的眼睛略带嘲讽地看着这一切，藏在浓密小胡子下的嘴角，透出一丝不易察觉的微笑。爱因斯坦注视着光电效应：就是你了！

小爱同志早就相信，世界是由物质微粒构成的。这些微粒，不管你叫它原子还是血滴子，都无所谓。关键在于，它们都是一粒一粒的，你是你，我是我，可以拥抱，但不连体——不是连续的。每个微粒都有自己的能量，这些能量的综合作用，表

现在宏观事物上，就是我们日常所见的能量形态。



【图 6.2】爱因斯坦

但是，一到了光这儿，情况就变了，好像所有现象都在证明光是波，或者说，波动说能解释所有光现象。到了麦克斯韦，波动说获得了神级后盾，阻断了所有挑战的念头。

小爱相信，从根本上讲，世界的规矩只有一个。我们眼里纷繁复杂的大千世界，只不过是同一规律所衍生的不同表象而已。

所以，光的特立独行，让特立独行的小爱不太舒服。他的目光，又一次落在粒子上。但是，牛爷领衔的粒军早已宣告败北。麦爷的强悍登基，又赐予凌厉的波军以广阔的天空，粒军雪上加霜、落井下石，已被逼到墓地，盖上了棺材板，就差钉几颗钉子、发几句讣告了。

光电现象挟裹的万钧雷霆，让经典物理大厦将倾。但在小爱看来，这是新世界的曙光。

小爱的目光扫过普朗克的黑体辐射无敌公式。

这个公式是 Diy 出来的。尽管事后，普朗克给它找了一个娘家，但爱因斯坦还是有点不太满意。因为，普朗克知道自己想要一个什么公式，从而做出了能得到这个公式的推导。这里，

有深厚的物理功底为基础，有强悍的数学技巧为手段，更有敏锐的科学直觉为指引……好吧，我们不这么委婉，用大白话说：老普，你够牛，但还是有点打哪指哪的意思！

但是，普朗克给公式找娘家时，买一送一，搞出的一个“副产品”，小爱还是蛮喜欢的——“能量是一份一份传递的”。每一份是一个量子。这个靠谱！

尽管这个量子已经把普朗克吓得够呛，但小爱仍嫌不给力，你起步够炫，在下佩服啊佩服，但你落脚太近太谨慎，不够 High。辜负了老衲期待的眼神。

为了让光这家伙合群，跟其他物质一起，共建和谐美好新生活，小爱决定，重打鼓、另开张，我再推导一遍！

他也搞出一个假想模型，但是，跟普朗克版的模型不一样：黑体空腔里充满了粒子，这些粒子包括气体和电子。构成黑体内壁的原子们，也含有电子。

咦？好像有点不对，这这这哪是什么假想模型，一个现实版的黑体不就是这样？！

是的，现实版的黑体模型就能用，干嘛要搞成别的样子？

好吧。现在现实版的黑体模型被加热了，充满了春的气息。于是空腔里的粒子们很兴奋，开始震荡。麦爷告诉我们，这些家伙一震荡，就放电磁波。当然，别处的电磁波送上门，它们也照收不误。这个过程像极了咱国过年走亲赠礼，折腾一段时间后，大家一吸一射两相悦，收支平衡。

注意，关键来了：

热力学第一定律说什么来着？能量是守恒的！

现在，黑体模型达到了热平衡状态，也就是处于“熵”最大的状态。

而空腔的体积，以及其中的能量、温度都是可知的。

条件这么好，数据这么充分，分析一下熵与黑体空腔体积的关系，就不难了吧？

于是，小爱从这个基础出发，开始了他的推导。然后，导出了光的量子。因为出发点不一样，所以，此量子已非彼量子。

还记得不？普朗克是假设振荡器发射和吸收能量必须一股一股地来，每一股能量称为“量子”。也就是把吸收和发射的“过程”量子化了。

而小爱描述空腔里的粒子交换光，空腔里的熵与体积的关系，推导出来的结果是，它们所交换的光本身，其表现就是量子化的。小爱叫它“光量子”，后来改叫“光子”。他把光本身量子化了。

看出区别没？

普朗克：你必须一股一股地交换。就好比咱俩水枪大战，规则是：不许长射水流，必须勤扣扳机，一股一股喷射对方。

爱因斯坦：你交换的东西本身就是一股一股的。就好比咱俩改成塑弹枪大战（这个很危险万勿模仿）——不管你是点射还是连射，也不管你是堵枪还是躺枪，塑料弹本来就是一粒一粒的。你只能一粒粒发，一粒粒收。

既然有区别，小爱的公式也就和普朗克略有不同，但是，在“ $E=h\nu$ ”上没得说，意义一样，都是“一份能量以 $h\nu$ 为单位存在”。所以，小爱对普朗克的量子，是非常拥护的。

要知道，那时候，原子存不存在还是个谜，以玻尔兹曼为首的“拥原派”和以马赫为首的“倒原派”正斗得不可开交，你小爱却在这个节骨眼上，以粒子假设为基础，鼓捣出个“光量子”来，不是嫌热闹不够，就是嫌挨拍不够！

所以，得找个什么不好解释的东西，用光量子解释一下，或许就 OK 了。哈，光电效应，你简直就是为证明光量子而生的！

如果光是量子化的，光电效应立马就失去了全部的神秘感，它再也不是云雾中的蒙面少女，而是那位穿着“新装”在街上迈方步的皇帝。

光的频率越高，光量子的能量越大。一个光量子的能量，只能一次性地传给一个电子。于是：

如果单个光量子的能量不够，它就没办法把电子打出来。这就是为什么低频光无法打出电子。

不同的金属付出电子，对光的频率下限要求不同，那是因为，它们对电子抓得有紧有松，抓得紧的，电子当然需要更大能量才能逃脱。

提高光的频率，就是增加了光量子的能量。电子获得更大能量，当然跑得更快，所以高频光打出的电子能量更大。

增加光的强度，就是增加了光量子的数量。数量更多的光子，当然能打出更多的电子。

是不是很简单？所谓光电效应，其实就是粒子世界的“富豪相亲大会”。每一种金属，都是一个相亲会，入场资格的起点不同；电子就是拜金女，它的能量就是综合得分；光子就是富豪，不论年龄体貌和物种，它的能量就是资产。

这是相当纯粹、相当公平的钱色交易。

首先，不同的相亲会（金属）档次不同。既然叫“富豪相亲会”，那么，不论什么档次，对富豪的资产都有个最低的要求。比方说，铯富豪相亲会，资产最低 1 亿才有相亲资格，银富豪相亲会，资产最低 2 亿才有相亲资格。你参加铯富豪相亲会，但是，你的资产只有 9000 万，没资格相亲，就算你找来 100 位资产 9 千万的人一起来，也没有相亲资格，一个美女也带不走，但是你能付起入场费，可以入场当苦逼观众，喷血围观、舞人浪、热场子（引起分子共振导致热效应）。这就是为什么再多的低频光也打不出电子。

第二，拜金女的相貌、三围、气质、文化、性格等都进行了准确的评分，明码标价，你想带走高分美女，必须拥有更高的资产才行。比方说，50 分的，只配 1 亿资产以上的富豪；70 分的，少于 2 亿资产休想带走；80 分的，只跟 4 亿资产以上的

富豪走。这就是高频光为什么能打出高能量的电子。反过来说，你如果只有 2 亿资产，那么，你最多只能带走 70 分的美女。这就是每种频率的光，打出的电子能量都有个上限的原因。

第三，这是相亲大会，不是菜市场买肉，所以，你有再多资产，也只能带走一位美女。你资产多，只能带走更高分的美女，而不能带走更多的美女。这就是为什么增加频率只能提高电子的能量，却无法增加数量。

第四，拜金女资源足够多，有多少美女被带走，关键要看来了多少具备资格的富豪。但是，根据第二条，来了再多富豪，如果都是不超过 2 亿资产的，也只能带走 70 分以下的那些美女，高于这个分数的，一个也带不走。你也不能哥俩好凑钱带走一个高分的，这些美女虽然拜金，但并不变态。这就是为什么增加光的强度，只能增加电子的数量，而不能提高能量。

是不是很美妙？爱因斯坦的公式更美妙，他只用几个简单的字符，就囊括了上面一大堆条条款款。

$$\frac{1}{2}mv^2 = hv - p$$

END。

完了？

嗯，over 了。

$\frac{1}{2}mv^2$ ，就是打出电子能量的上限，也就是大富豪你能带出的美女的最高分值。

hv ，大家都很熟，一个量子的能量。也就是你持有的总资产。

p ，取得资格的资产底线。小爱鼓捣了一个“功函数”，用来计算不同金属所要求的频率下限。

让无数物理学家如坠云雾的光电效应，被这个简洁的公式一把扯去了底裤。诡异莫测的黑体辐射疑案，真相就此大白天

下。

按理说，喜欢窥视大自然隐私的物理学家们，应该为之雀跃才对，然而，事情恰好相反，物理学家们对它唯恐避之不及！

因为，已经入殓的粒军，在公式里露出了诡异的微笑。这个公式太叛逆了，明白无误地剑指电磁学大厦的根基，直接挑战麦爷经典体系！即使这样，小爱还嫌不够直白，他在论文开头写道：“一个有重物体的能量不可能无限分割，而按照光的麦克斯韦理论，从一个点光源发射出来的光束的能量，则是在一个不断增大的体积中连续地分布的。”这是在说：麦爷让光与众不同，我很不爽。

小爱承认，“光的波动说是十分卓越的，别的理论似乎很难取而代之”。但是——小爱在“但是”后面，提出了一个比粒子更具颠覆性的看法：“不应当忘记，光学观测都同‘时间平均值’有关，而不是同‘瞬时值’有关。”

他的看法是：我们之所以认为光是波，那是因为，我们以前所观测的，都是光在一段时间内的平均状态，“波动”是平均结果。而观测光的瞬时情况，它应该是粒子态的。小爱还给这个不招人待见的看法起了个名：“一元二体认识”。这就是“光亦波亦粒”的源起。虽然它离“波粒二象性”还有一段距离，但在当时，这已经足够石破天惊的了。

叛逆得如此夸张决绝的，不是神人，就是神经病人。把光变回粒，就够所有人喝一壶的了。你还把它弄个雌雄同体，那就不止是调戏整个物理界了，简直就是在挑逗上帝！

因此，小爱同志的观点，得到当时物理学家的一致反对，就在情理之中了。

在反对者的人堆里，普朗克显得格外醒目。他最早看到小爱的论文，第一个站出来反对，他认为，小爱这是“在思辨中迷失了方向”。不要说接受小爱的“一元二体认识”，就算是自己鼓捣出来的量子，他还一个劲地加以条件限制，极力把它推

进经典物理的地盘。到了 1914 年，他成功地把自己送回到经典物理的起点，远远地看着自己的量子越飞越高。公平地说，普朗克绝不是一个反对革命的人，最有力的证据是，他第一个接受了极具颠覆性的相对论——这个见识，可是超越了庞加莱和洛伦兹的。他之所以对量子拒之千里，对“一元二体”更是痛心疾首，是因为它们的颠覆性，已经超出了普朗克观念更新的承受极限。所以，虽然小爱的论文是普氏量子得到的第一个有力支持，但老普根本不领情，就算是在推荐小爱当普鲁士科学院院士时，他还站在为小爱开脱的角度指出：“小爱在现代物理所涉及的重要问题中，几乎都做出了‘令人瞩目的’贡献，当然，他也可能会出错，比方说光量子假说。但是，我们不能对他求全责备……”不过，反对归反对，普朗克有着博大的胸怀，作为一个真的学者，他敢于面对淋漓的公式，敢于在事实面前认栽。所以，他允许这篇离经叛道的论文发表面世。

醒目的反对者，当然远远不止普朗克，密立根就是其中另类的一个。



【图 6.3】密立根

罗伯特·安德鲁·密立根 (R. A. Millikan)，美国实验物理学家。他反对的方式是：实验。我们知道，科学不是耍嘴皮子，你哲思再无敌、辩才再出众，把对手批得再惨，人家只要符合

观测，最后灰头土脸的也是你自己——除非没脸。没脸没皮的人会罔顾观测，沉浸在嘴皮子的快感中洋洋自得。所以，实验，虽然很笨拙，但这是最实在、最有力、最负责的反对手段。密立根用了 10 年时间，完成了一个大名鼎鼎的实验：“油滴实验”。他想通过精确的实验数据，证明爱因斯坦的错误。

然而，事情的发展却让他大跌眼镜。数据显示，小爱的公式好像是对的。

难道是，因为误差太大？那就提高实验精度！

精度提高了，可是得到的数据离公式预测更近了。

难道，我费了这么大劲，设计了这么巧妙的实验，只是为了证明我反对的东西是对的？！不，我要再提高实验精度，找出公式预言的偏差！

于是，精度不断提高。

可是，精度越高，实验结果与公式吻合得越好。苍天呐！

郁闷之下，密立根不得不喷血认栽：“爱因斯坦公式取得了明显的、完全的成功”，“结果完全出乎我的预料”。不过，公式代表的理论解释，打死他也不信：“但是这个公式背后的物理理论基础，却是相当不靠谱，我相信爱因斯坦本人也不会再坚持了。”不管密立根信还是不信，他的这个实验为他带来了 1923 年的诺贝尔物理学奖。

对小爱的光量子，物理学家们的反对，当然不是毫无道理的。相反，他们的反对，理由相当充分，理论基础相当雄厚。我们在波粒大战中，已经跟随波粒双方神一般的将领和统帅，充分体验了波动王国开疆扩土的雄浑背景，那一点一滴验证的翔实数据，一砖一石积累的雄厚基础，一步一个脚印走出的这条溜光大道，无不昭示着波动说取得最终胜利的必然性。麦夸电磁理论的建立，更是让人类对光的认识，提升到了从未有过的高度，本以为从此尘埃落定、宇宙澄清，谁知道，一个不修边幅的小小技术员，让波粒大战风云再起，搅得周天寒彻、一

地鸡毛。

实际上，粒军的复活，早有萌动之象，只不过斯时，坐定江山、根基雄厚、威仪日盛的波军未以为意。而已。即使粒军幽灵驾着光电效应的超级战车重装归来，波军的城堡仍然巍峨地秀着壮丽的帝国 Style。波动，就是这样自信。

你以为驯服了光电效应，光学王国就归你了？别忘了，你还得叫它“电磁波”！不服？不服就用你的宝贝粒儿解释解释这些：牛顿环、肥皂泡、冰洲石、双缝实验、塞曼效应……泊松亮斑？有种你就喊一嗓子：“麦爷的‘磁生电、电生磁’生出来的不是波，是粒！”记得喊完不要忘了躲砖头鸡蛋西红柿哦。还“一元二体认识”，切，你以为娘一点就雌雄通吃了？

总之，对于小爱的光量子，以及“一元二体”，全世界人民就是各种不信。

但是，小爱何许人也？他是天生的万人敌！他早就知道，自己光量子 and “一元二体”，对经典物理来说，意味着什么；他也早就料到，物理界对这个理论，最可能的态度只有两个：围剿，或者放逐。绝不会收留，更不会拥戴。所以，他提出这个理论之后不久，在给朋友哈比希特的信中提到，自己搞出了一个“极具革命性”的理论。这个理论，不是指颠覆了物理三观（时间观、空间观、质能观）的相对论，而是光量子。可见，他十分清楚光量子这个小妖精将给旧世界带来怎样的冲击力。但他并不在乎别人怎么看——这个“别人”，包括他自己以外的所有人——他只管讲出自己的想法。1909年9月，小爱在德意志自然科学协会的一次会议上，告诉一大堆物理学精英，“物理学的新阶段，将给我们带来光的新理论，可以把它想象成‘光的波动说’和‘光的释放说’的某种融合。”不失时机地推销他的光量子 and “光亦粒亦波”理论。

小爱不光善于“广告”，他更善于提高“疗效”。在大力弘扬量子说的同时，他不忘利用量子利剑解决物理谜题。固体比

热问题，就是继光电效应之后的又一场漂亮仗。

什么是“比热”？说来话又长了。家里有老人的，可以回去问问。那是在 18 世纪，苏格兰有个物理学家兼化学家，叫做布莱克（J. Black）。他玩烧烤时发现，相同质量的不同物质，上升到相同温度，所需的热量不同，于是，提出了“比热容量”的概念。

所谓“比热”，就是“比热容量”的昵称，很简单的概念，但是定义念起来挺绕口：“单位质量的某种物质升高单位温度所需的热量。”说白了，就是 1 千克物质，升高 1℃，需要多少焦耳热量。这个值，就是那个物质的比热。每种物质都有自己的比热。各种固体，当然也都有自己的“比热”了。

1819 年，法国化学家杜隆（P. L. Dulong）和物理学家帕蒂（A. T. Petit）一起玩烧烤，给各种固体加热，测量和研究它们的比热关系。由于玩得兴致勃勃，津津有味，所以得到了大量的数据，在数据堆里，他俩发现一个规律：物质的原子量×比热，积是个常数！

这说明什么？说明所有简单物体的原子，都具有相同的比热！

这意味这什么？意味着只要你测出物质的比热，就知道了它的原子量！

我们知道，原子量很不好测，但是比热很好测哦亲。

虽然又是个经验定律。但这是个很好用的经验定律。那些痛恨测原子量的家伙用得很开心。1864 年，化学家柯普（H. F. M. Kopp）把这个定律推广到化合物——不是幼稚园小班那样单纯的原子了，解释了分子的热现象。搞得大家都 Happy。

不过，用着用着，就不好用了。磨损了？不，条件变了。

比方说，铍、碳、硅、硼这几个较轻的家伙，原子热就比其他物质小一点点。

1872 年，苏黎世联邦工业大学的韦伯（H. F. Weber）教授，

对，就是那个韦伯，小爱的老师，小爱老爱旷他的课。韦伯教授一顿实验，发现，物质降温到一定程度，比热也会降低。现象，很简单，但是，规律，不太好找。这是怎么回事？韦伯老师顺便把这个问题带到课堂上。

讲这节课那天，小爱恰好没什么事干，于是没旷课。1906年，也就是他完成5篇震古烁今论文的第二年的某天，他恰好又没什么事干，于是想起这码事：固体比热。

小爱假设：固体中所有原子，都以单一频率 ν 振动，每个原子有3个自由度，然后，求原子的平均能量。在公式里，他引进了我们熟悉的 $h\nu$ 。量子在公式里笑得很灿烂。

小爱把韦伯的数据拿来，跟公式预言比对了一下，理论与实验差不多。于是推测：只要温度够低，所有固体的比热，将随温度的下降而显著下降。他同时声明，之所以在公式里搞“单一频率”，是为了简化，这样的话，在某些地方，就难免造成理论与实验有点出入。

爱因斯坦对固体比热的解释，虽然不比对光电效应的解释更有意义，但是，这个解释却为他拉来了一个同盟。

瓦尔特·赫尔曼·能斯特。1864年6月25日生于西普鲁士的布里森。德国卓越的物理学家、物理化学家和化学史家。热力学第三定律的提出者。等等。

能斯特认为，当系统温度趋近于绝对零度时，熵的变化也就趋近于零了。简而言之，绝对零度不可达到。这是热力学第三定律的主要内容。

能斯特为了检验第三定律有多靠谱，开始了一个艰苦的工作：低温比热实验。

第三定律如此浅白，你我当不难看出，这实验自然是极难的。旁的不论，单是这液氢的温度，已是极难掌控了。 -252.9°C 的极寒，却是液氢的沸点。往日测得的低温比热，算来都是平均值。若细细论起，却是当不得真的。幸而能斯特带着徒儿，

拼了三四年光景，革旧出新，精工善器，好歹算是得了善果。便是如此，那能斯特却也慎之又慎，把那呕心沥血得来的数据比了又比，理了又理，真真儿的没有再准的了。这不，1910年2月间，这才许那宝贝实验结果见了光。



【图 6.4】能斯特

说来也是奇了，能斯特拿了这数据，本是要验第三定律的，却不料，无心插柳柳成荫，这实验，成了双雕之箭，连带着把爱因斯坦的比热理论也验了。

论起来，这爱因斯坦和能斯特，也算有些缘分的。1910年间，能斯特的徒儿林德曼，闻知爱因斯坦的比热说，甚感于心有戚戚焉，仔细斟酌，竟越觉欢喜，便将爱氏学说引为己用，以物质的熔点温度、密度、分子量，来算原子的振动频率，拿来与实验结果一验，符合得竟是极好的！

那能斯特也是极妥当之人，见了这个结果，岂有不喜之理？便急急地去了苏黎世，与爱因斯坦纵论量子，却是未虚此行，获益匪浅。

能斯特用大白话说：“我相信，没有任何一个人，经过长期实践，获得了对理论的可靠验证后，当他再来解释这些结果时，会不被量子论的强大逻辑力量所折服，因为它一下子就澄清了

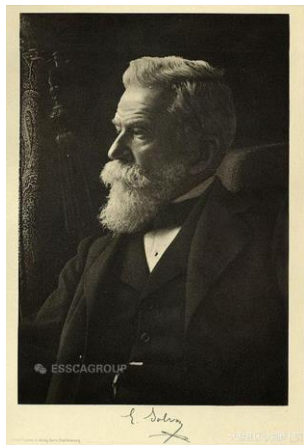
所有基本问题。”

能斯特给量子的支持，当然不止是相信和拥护，还有发展。1911年，能斯特发现，温度接近绝对零度时，比热下降的速度，比小爱公式要求的慢点。于是，能斯特和林德曼完善了小爱的公式。这个瑕疵，正是小爱前面说的，为了简化，用“单一频率”所导致的。小爱表示这对师生的工作很给力。

量子抬头了。

实际上，能斯特不仅自己动手发展量子论，还捕捉时机，运筹帷幄，把量子推到物理最前沿，引起了全球物理界的关注。

话说1910年，春光正好，能斯特来到欧洲比较大的城市、比利时最大的城市布鲁塞尔，拜访他的合作伙伴哥德斯密特。歌德斯密特给能斯特介绍了一位朋友，工业化学家、社会改革家欧内斯特·索尔维（Ernest Solvay）。



【图 6.5】索尔维

索尔维从小就梦想当科学家，在校学习的时候，就勇敢地把自己的宿舍改装成了实验室。21岁时，他听舅舅的话，进工厂工作。其实也不全是为了听舅舅的，因为做这份工作，他有机会玩自己最喜欢的游戏：化学实验。

实验真不白做，他研究出了生产纯碱的化学方法和工业流程。1861年取得相关专利。技术成熟后，索尔维建了个厂，1865年投产运营。索老板既懂技术，又懂经营，工厂发展势头强劲，财源广进。一不留神变成了老板的索尔维，从未忘记自己的梦想——当科学家。

行动力极强的索尔维不仅自己搞科研，还喜欢跟科学家交朋友，支持他们搞科研。

见到能斯特，索尔维聊起了自己的科学著作，《论万有引力和物质的基本原理》，他希望能够引起科学家们的兴趣，同时，他也表示，自己对相对论、量子论的异军突起很感兴趣。能斯特一听，心里合计：自己早就想找个机会，召集一些物理大牛，来探讨物质分子运动、量子论等问题。眼前的索老板既热爱科学，又不差钱，这不就是召开高水平国际科学会议的机会吗？于是他说出了这个打算。土豪我们做朋友吧！索尔维甚是欢喜。

在能斯特的大力张罗下，1911年10月，第一次索尔维会议胜利召开，地点就在布鲁塞尔。这个会议规格相当高，它邀请的都是当时最富盛名的物理学家。

庞加莱、洛伦兹、普朗克、爱因斯坦、卢瑟福等重量级的人物都积极支持。洛伦兹当选索尔维会议主席，他德高望重，学识渊博，口才讨喜，还会几门外语，深受拥戴。会议认真讨论了包括量子在内的既定议题。虽然没有直接解决量子困惑，但科学家们再也无法回避量子了，你信，或者不信，量子就在那里，它已经站在了科学的最前沿。

这次会议，虽然没有给量子论一个明确的结果，但冥冥之中，它对后来事件的影响，是深远的、巨大的。

这次会议的成功，让与会科学家和东道主都很欣慰。1912年5月1日，在洛伦兹的帮助下，索尔维创建了一个有效期为30年的基金会，名曰“国际物理学协会”。1913年春，索尔维又建立了“国际化学协会”。此外，索尔维还在比利时设立了“索

尔维科学奖”。

我们的后文中，物理学的重大事件，将时不时地跟索尔维会议扯上关系。

小爱的朋友贝索在写给小爱的信中戏称，这是一场“巫师盛会”。巫师盛会祭起的量子魔咒，在会后仍然扰动着命运之线。会议配角不经意的生活轨迹，却导入了量子物理的神级人物。

虽然卢瑟福那时已经大名鼎鼎，虽然他的个人魅力十足，但在这次会议上，谁也没提到过他刚刚搞定的 α 粒子散射实验，以及带核原子模型。因为中心议题不是这个。所以卢瑟福只是个醒目的男 N 号。回到曼彻斯特大学后，他的同事，曼彻斯特大学的生理学教授洛伦·史密斯（L. Smith）向他介绍了一位年轻人：尼尔斯·玻尔。平易近人的卢瑟福与这位年轻人一见如故，发挥他的口才，实况转播了索尔维会议的各项议题，把个正在彷徨中的玻尔听得如醉如痴，带着对卢瑟福的无限景仰和对量子世界的无限神往，梦幻般地离开了曼彻斯特。他的生命轨迹在此划出一道优美有力的弧线，转向那片广阔而神秘的彼岸，然后，璀璨的光芒照亮了整个夜空。

为了保证议程顺利进行，大会配备了两名书记员，其中一个身是世显赫的莫里斯·德布罗意（Maurice de Broglie）公爵。在这种国际物理大腕的会议上，书记员，无疑是配角中的配角，简称龙套。或者说，没有角色，只是场务。饶是如此，大会组委会还是看在他在 X 射线实验方面所做出的贡献上，才发出了这个邀请，公爵一看，可以聆听物理巨人们的讨论，机会难得，就立即答应了。重点是，莫里斯公爵有一个 19 岁的、正在彷徨的弟弟，路易·德布罗意（Louis Victor de Broglie）。莫里斯把路易带到布鲁塞尔，每天散会后，莫里斯就把量子的故事讲给路易听。大会闭幕后，莫里斯把会议记录带回家，路易读后，扔掉了他选修的历史书，都换成了物理书。然后，他为量子论带来了第一缕阳光。

粒军幽灵凭借量子驯服的光电效应和低温比热两驾战车，乘着索尔维会议的东风，向波军皇城根发起了冲击。这对波军，虽说完全是个“意外突发事件”，但波动堡垒毕竟实力雄厚，牛顿环、肥皂泡、冰洲石、双缝实验、塞曼效应……乃至泊松亮斑，各个领地都是固若金汤，它们幻化着缤纷的色彩，宣示着对波动王国的无限忠诚。

波动王国的所有人都相信，只要略作修补，搞好统战工作，把光电效应和低温比热收归麾下，那是早晚的事。所以，相当一部分科学家决定固守皇城。

粒军的战车虽然既炫且猛，令波军忌惮不已，却也一时奈何不了波军。正待安营相持，却不料，波军城堡旁，斜刺里杀出一员大将，直奔粒军大营！

冯·劳厄 (M. v. Laue)，德国物理学家，曾任普朗克助手。劳厄是个有骨气、正直的学者，希特勒执政期间，他始终反对民族主义和法西斯主义，曾在精神上、道义上给予爱因斯坦以巨大支持。这次，他挥舞着通过晶体的 X 射线，隆重登场。

自 1895 年伦琴发现 X 射线以来，科学家们对 X 射线究竟是什么一直搞不清，有说是电磁波的——就像紫外线红外线那样，有说是微粒的——就像 α 射线 β 射线那样，各执一词，谁也拿不出证据来。后来，有人想利用光栅，让 X 射线发生衍射，来证明它是波，但由于 X 射线波长太短，以光栅这种人造工具的精细度，无力让它发生衍射，反而差点成了粒方的证据，所以只好作罢。

1912 年，劳厄想到，让 X 射线通过晶体，兴许能发生衍射。我们在前面说过，所谓晶体，是“原子啊、分子啊呈平移周期性规律排列的固体”，也就是说，晶体是由原子、分子规则排列而成，那么它的这个“规则排列”，精细度就达到原子、分子级了，可能正好适合让短波长的 X 射线表演衍射。实验证明：劳厄说的对啊！



【图 6.6】劳厄

犀利的 X 射线遭遇细腻的晶体，顿时妖冶地衍射起来，尽显波氏柔情。从此，X 射线也可以叫 X 光了。电磁波嘛。

粒军有点不淡定了：那么多失地还没收复，现在波方又多了支生力军——X 射线。这个后起之秀，刚被伦琴挖出来，就举世瞩目，成了超级明星。

现在，这个明星为劳厄所用，成了波军的又一利器。麦克斯韦电磁论的魅力果然是不同凡响！劳厄凭借晶体的 X 射线衍射，轻松斩获 1914 年的诺贝尔物理学奖。

波粒双方的战况又尴尬起来：被波军打入墓地的粒军原地满血复活，活蹦乱跳地来挑战。在光电效应主攻、低温比热的助攻下，波军堡垒震撼不已。但是，瘦死的骆驼比马大，何况波军不仅没瘦死，而且根基依然深厚，领地依然广阔。晶体 X 射线衍射的助阵，拓宽了波动的疆域，加固了波军的城防，增强了波动王国的信心。可是，波动王国眼睁睁看着纵横驰骋的光电效应、低温比热两驾无敌战车，束手无策。战车进攻的隆隆炮火，仍然震得波军堡垒蓬草掉灰。

这个尴尬的场景，一直持续到 10 年后。大家都很疲惫。粒军将领刚刚写了一本书，《谈持久战》，准备用来鼓舞士气，还

没来得及发帖呢，一个美国人半路杀出，改变了战局。

康普顿 (Arthur Holly Compton)，美国物理学家。他的兵器，也是 X 光。1922 年，康普顿用石墨作介质，研究 X 光的散射现象。所谓散射，就是光射入某种介质，部分光线改变前进方向，四散乱射的现象。

康普顿发现，散射出来的波长，比入射波长要长，也就是说，频率降低了。频率降低意味着什么？意味它的能量降低了。

看着你无辜的眼神，我得提醒一下：这是一件大事。

有多大呢？比方说，老婆送了你一顶蓝帽子，你兴高采烈地戴着它去照镜子，却惊奇地发现，镜子里的你戴的是一顶绿帽子！你会不会怒发冲冠？

这时，镜子见多识广地劝你：“淡定，淡定，只不过是帽子上的光经过我折射，光波变长了而已，不要大惊小怪嘛！”

你一想，“大师兄说的对啊，蓝光波变长，的确是绿光波！可是，光只是经过你一下，你凭什么改变光的波长啊？！”

看着你抓狂的样子，康普顿知道，你已经和他一样，意识到事态的严重性了。



【图 6.7】康普顿

热力学第一定律告诉咱俩，能量，是守恒的，它不在这儿，就在那儿，绝不会凭空消失。

现在，散射光降低的那部分能量哪去了？

康普顿搬来经典电磁论，想借用麦爷的智慧，来侦破这起离奇的失踪案。但是，麦爷的电磁波理论，在这里居然完全失效了，波遇到物质里的粒子，即使变了方向，也没理由改波长啊！

情急之下，康普顿的目光

落在爱因斯坦的光量子身上。稍加思索，一切豁然开朗了！

假如光和电子、质子一样，都是颗粒，那就圆满了：作为颗粒，光量子就不仅有能量，还有动量（小爱 1916 年提出），它射入介质，遇到电子、质子之类的基本颗粒，碰撞后，改变了前进方向。这就发生了散射。碰撞时，一部分动量分给了它碰撞的粒子，于是能量减弱，表现为频率降低，波长增加。耶~！

根据这个假设，康普顿进行了数学分析，显示的结果惊人地符合光量子假设：散射的角度，决定了丢失的能量！

什么意思呢？见过打台球吧？用母球去撞目标球，撞得越“薄”，母球偏折角度越小，动量损失也越小；撞得越“厚”，母球偏折角度就越大，动量损失也越大。

光的散射角度越大，光的波长越大，也就是能量损失越大。这只能说明，光量子跟台球一样，是微粒。

康普顿还预言，伴随着 X 射线的散射，应该有电子被弹出。于是开始各种查找被散射光踢飞的电子，居然真给找着了！

所谓的光，就是光量子。是颗粒！

被散射的 X 光波长变长的现象，被叫做康普顿效应。

值得一提的是，这个名字，是中国科学家吴有训起的。吴有训于 1922 年初开始，在芝加哥大学跟随康普顿搞 X 射线散射实验。康普顿最初发表的论文，只涉及到石墨一种散射物质，大家认为证据不足。于是，康普顿指导吴有训做了 7 种物质的 X 光散射实验，取得了大量、翔实的数据。有力证明了康普顿

效应。吴有训的工作，把康普顿效应理论推进了一步。前苏联学者为了体现吴有训做出的贡献，曾将这个效应改称为“康普顿-吴有训效应”，被吴有训拒绝了。康普顿曾说，吴有训是他一生最得意的学生。

在长达 10 年的波粒对峙中，双方阵营中还发生了无数插曲。接下来要说的事儿，无疑是这些插曲中比较高亢的一曲。

看着在麦戈城下张扬挑衅的无敌战车，无数牛人只恨不能一砖将其拍扁，令其永世不能得瑟。一位年轻人决定做这个终结者。

尼尔斯·玻尔。



【图 6.8】玻尔

在上部的中微子章节中，我们接触过这位神人。虽然只占短短的篇幅，但他却做了两件令人印象深刻的事：

向能量、动量、角动量守恒定律操刀；出手捍卫了击败自己的泡利。从这两件事中，我们不难看出，此人胆大包天，目无“定”律，同时勇于认错，敢于担当，非大智大勇不能为之。一看就不是凡品。

有人说，勇敢算什么？我也能什么都不在乎，我也想什么

都推翻，我也不守规矩，还敢闯红灯呢，那我是不是也非凡品啊？

实践告诉我们：勇敢和鲁莽的区别在于，前者永远有与之配套的实力。

你有多大实力，才可以有多勇敢。

当然，二者相辅相成，缺少一颗勇敢的心，猫可能被耗子追得满屋躲。反过来，如果耗子真的以为可以干掉猫……

在玻尔的一生里，从来就没有什么权威，也没有什么金科玉律，他相信的，只有事实和自己的判断。当然，当事实与自己的判断发生冲突时，他会立即选择相信事实。

这不，爱因斯坦弄出个光量子。玻尔看着光量子荒谬欠扁的样子，打死也不肯相信，它会真的存在于世。

波粒对峙这 10 年，正是老爱各种理论被各种验证、名望各种飙升的 10 年。到 1920 年代，老爱已经名满天下，是当代活牛顿了，名望大跃进的势头却依然不减，再这样下去，就赶牛超麦，取代上帝了！

可玻尔管你是谁？！就是不信光是什么量子！能量有丢失，就一定是粒子互撞动能转换吗？我看不一定！

玻尔把 X 光能量失踪案、能量守恒定律、动量守恒定律摆在一起。

干嘛？他在权衡。

A. 能量守恒、动量守恒成立，则光量子成立。

B. 能量守恒、动量守恒不成立，则能量丢失案立即结案，光量子可以不成立。

A or B？

玻尔的答案是：B。

这个外表憨厚的家伙，向能量守恒、动量守恒两大定律举起了屠刀。

为了波动说的完美，也为了打掉光量子这个怪胎，玻尔不

惜把经天纬地的两大定律拉下马,认为这对难兄难弟只是观测、统计的平均结果。

上帝惊得从床上跳了起来:住手!玻尔,就算是天神,也不能动我的卧室啊!你可以拆、可以建,但是不能强拆。大家讲道理嘛!

玻尔迎风挺剑:我的道理就是,只认事实,不认事主。

上帝抱着床单弱弱地道:Look,康普顿效应。并且,小康同志找到了被踢飞的电子。

一粒大汗从玻尔脑门滑落:对不起,上帝蜀黍,拆错了,你自己找村东李瓦匠补补吧。

之后不久,当发生了上部提到的 β 衰变能量失窃案时,玻尔又一次举起了屠刀,这次要砍的,是能量守恒、动量守恒、角动量守恒三大定律。前有所述,这里不再赘及。

实际上,要收拾守恒定律的,不止是玻尔。面对辐射现象不符合麦爷理论的困惑,爱因斯坦、薛定谔、索末菲、达尔文都曾对能量守恒产生过动摇,考虑过放弃能量守恒定律的“严格确定性”。爱因斯坦斟酌再三,发现还是坚持守恒定律比较好,于是孕育了光量子这个怪物。

话说康普顿效应被证实后,波军高贵的矜持与从容瞬间消失,厚重的城墙开始坍塌,阵脚大乱。麦爷的城堡真成了麦城?!

他们惊恐地发现,前来助阵的强悍援军X光,原来是前来潜伏的卧底!悲哀啊!朕拿你当左右手,你竟然跟朕玩无间!坑爹啊!

时光流转,造化弄人。当年波军大战粒军时,冰洲石、牛顿环临阵易帜的剧情,今天又激情上演。不同的是,双方对换了位置。

科学这码事,只认谁符合观测,它可不管谁的眼泪在飞。

波军搞不定光电效应、低温比热,而量子轻松优雅地驯服了它们。不过,不管怎么说,这只是粒方的间接证明。所以,

面对这两驾战车，波方虽然无奈又无语，但牙打掉了好歹还可以往肚子里咽，勉强维持名义上的统治地位。

现在，康普顿效应对光量子作出了直接证明，波军再也没法装聋作哑了，只能硬着头皮面对。

符合观测，是科学理论的第一杀器。科学理论，无论是粗糙离谱，或是精妙有理，也无论是高深玄妙，或是平白质朴，这些，都是浮云。只要是在科学的战场上，无论何时何地进行PK，符合观测的，永远秒杀不符合观测的。

如今，康普顿效应确定了光的粒子性，让我们几乎已经看见了光量子，这件事，成为 20 世纪物理学的转折点。那么，波军是不是就可以立即缴械了？

不！

粒军虽然从兵临城下发展到破门逼宫，但决胜并不容易。且不论麦爷的根基尚深，他美妙的理论仍在不断做出准确的预言，只说波军的王牌，便已是粒军无法撼动的——托马斯·杨的双缝干涉实验。粒军无法征服这奇异美丽的干涉条纹！而波军可以。凡是干涉、衍射这些任波军自由驰骋的领地，粒军皆举步维艰。



【图 6.9】scientific lighthouse（李焕作品）

波搞得定的，粒搞不定；粒搞得定的，波搞不定。是不是有一股熟悉的气息扑面而来？

咳咳。要不，凯撒的归凯撒，上帝的归上帝？

不行。大家都知道，这只是托辞。因为后来上帝还是收了凯撒。

那么，现在的问题是，谁是上帝？

这次波粒大战，双方已经不是当年开战初期的阿 Q 和小 D 了，他们是武装到牙齿的正规军，这边有牛顿，那边有麦克斯韦。都知道牛爷惹不得，你以为麦爷就惹得么？

普朗克：惹还是不惹？

小爱说：让我来惹。

于是事情闹大了。

让小爱始料未及的是，曾经不惜抛弃守恒定律、拼死维护麦爷的玻尔，自从接受了量子后，和一群年轻人把事情闹得更大，让普朗克退避三舍，让小爱悲欣交集，让世人目瞪口呆。

原子迷图

哥本哈根，丹麦王国的首都。1885 年 10 月 7 日，尼尔斯·亨利克·大卫·玻尔降生于此。28 年后，玻尔原子模型和小美人鱼雕像的落成，令这座历史名城的文化气息更加浓郁。

尼尔斯有一个幸福得像花一样的家庭。他有个大他两岁姐姐詹妮，还有个比他 18 个月的弟弟哈罗德（Harald Bohr）。仨孩子在又有钱、又有文化的环境中茁壮成长。他们的爷爷、老爸都是教授，老爸克里斯蒂安·玻尔（Christian Bohr）更是哥本哈根大学生物学方面的权威，曾获过诺奖提名。尼尔斯的整个童年，就在他出生的这座豪宅里度过。这是他的银行家姥爷的宅邸。

一座有理想、有文化、环境优雅、主人好客的豪宅，自然是文化名流的好去处。在一个作家、艺术家、科学家络绎不绝的环境里，想不沾上点文化气息都难。何况，克里斯蒂安·玻尔

教子有方，允许小哥俩旁听这些学者神侃。

小哥俩幼小纯洁的心灵，怎么经受得住科学文化的洗礼，以及各种思想的撞击？他俩迅速中招，整个人生都染上了科学文化的魔力。老玻尔成功了，两个小玻尔后来分别成了物理学、数学领域的国际名人，一个去了数学江湖的圣殿哥廷根，一个亲手缔造了名震物理江湖的哥本哈根学派。

两兄弟自小就十分要好，终生保持着知己+兄弟的情义。早期，哈罗德表现更出色，他才思敏捷，机智幽默。

哥俩始终保持者高度的幽默感，但尼尔斯开玩笑显然不是哈罗德的对手。一次，哈罗德提出与尼尔斯玩开玩笑游戏，哈罗德开始不久，尼尔斯就告饶了。哈罗德哪肯罢休，他正告尼尔斯：“现在到你了。”尼尔斯搜肠刮肚，最后徒劳地用尽量邪恶的口气说：“你衣服上粘了个小斑点！”搞得哈罗德汗滴禾下土。



【图 6.10】玻尔

哥俩还喜欢踢足球。哈罗德天赋过人，作为中卫，他参加的丹麦国家队获得了 1908 年奥运会的足球亚军。这事儿要是在中国队发生一次，估计连替补队员都要塑金身，球场的保洁阿姨都得上《感动中国》。而尼尔斯只能当上 AB 队的替补守门

员。哈罗德这样夸他哥哥：“尼尔斯相当不错了，但他起步太慢。”

不过尼尔斯自有尼尔斯的长处。他的同学隆德曾写信告诉朋友，尼尔斯·玻尔是他认识的一位“真正的天才。”

尼尔斯很小时，就显露出理解事物基本关系的能力。一次，老玻尔带着3岁的小尼尔斯溜达到一颗树旁，向小尼尔斯介绍树的优美生长规律：树干分出枝桠、枝桠分出树枝、树枝又长出树叶……小尼尔斯答道：“当然。要不是这样，就一树无成了！”

尼尔斯做事特别耐心、细心。他木工、金工都不错，对机械兴趣也不小。他家自行车链轮出了毛病，尼尔斯在成人的反对下，坚持拆了它，一顿神分析，又组装起来，居然没毛病了！动手能力相当强（据说打架时也是）。当时在旁围观的一个7岁小邻居后来回忆，尼尔斯给了所有围观者一个这样的感觉：自行车的康复，是大家集体智慧的结晶。我们以后会知道，这种品质，对于哥本哈根学派的崛起，是有多重要。

尼尔斯是个好学生，成绩始终不错。除了丹麦语作文。他不能理解，好好的一篇作文，为啥非要前有引言、后有结语，这事儿太折磨人了。所以，他在一篇讨论金属的论文最后写道：至于结论，我想说的是铀。

知道自己作文很烂，做事又极其认真，是一件很辛苦的事。尼尔斯写东西总是改了又改，给弟弟写信也是。不过一旦改到自己认为可以了，他就轻易不愿再改。

作文烂得触目惊心，但物理和数学却相当出色。学生时代，他就能指出，教科书中有些东西不对。一个同学担心道：“要是考试时，出的题正好是那些不正确的，该咋办？”尼尔斯的回答很拉风：“当然要告诉他们，真正的物理是怎么回事！”

1907年，22岁的尼尔斯在一篇文章里，讨论了水的表面张力。这篇文章获得了丹麦皇家科学院的金质奖章。1885年，老玻尔也获得过皇家科学院的奖章，不过那是银质的。所以，这成了老玻尔的骄傲：“我是银质的，尼尔斯那块，可是金质的！”

当然，哈罗德也不甘示弱，他 23 岁就通过了论文答辩，先于哥哥尼尔斯取得博士学位。

1911 年 5 月，也就是哈罗德取得数学博士学位的第二年，尼尔斯一身白色礼服，开始对他的博士论文《金属电子理论的研究》进行答辩。根据当时报纸的一篇报道，这场答辩会吸引了很多人，3 号小礼堂被挤得满满的，连室外走廊都站满了人。但是，大家很失望，因为答辩会的主角显然是被抢镜了。教授们分别点评了他的论文，大部分是在表扬。一个半小时后，尼尔斯还没来得及答辩，答辩就结束了。26 岁的尼尔斯·玻尔博士轻松离场。这位丹麦金童创造了答辩时间最短的记录。

一个有远大理想的丹麦人，通常会去德国深造。玻尔家当然不例外。所以，老玻尔去了莱比锡，数学家哈罗德当然去哥廷根。他们回头张望，却见玻尔去了英国——他选择了剑桥。作为一个天才物理学家，玻尔的选择再正常不过了，开尔文、卡文迪许、卢瑟福都出自剑桥，如果你眼高，嫌他们分量不够，那么，麦克斯韦、牛顿够震古烁今的了？物理以外的达尔文、培根、罗素……这个名单列出来，那就是连发的晴空霹雳，个个响亮得震耳欲聋。剑桥，世界顶尖大学的地位，那是靠实力捍卫的。

尼尔斯·玻尔的目标很明确：伟大导师 J. J. 汤姆逊爵士。

终于有了对话的机会。

汤姆逊稀发游离，胡须随和，教授范十足。他面前站着青春四射的玻尔。

玻尔手里拿着两样东西：自己的博士论文；汤老师的书。

这场交谈，对双方都是个考验。玻尔的母语都没太学好，现在，他不得不用学得更烂的英语。言者和听者都很不容易。看得出来，汤老师相当热情。因为他们谈了很长时间。

交谈中，玻尔打开汤老师的书，指着其中一个公式，说：“这是错误的。”汤老师表示听懂了。这大概是玻尔当时说得最

流利的一句英语了。

然后，玻尔把自己翻译成英文的博士论文呈给汤老师。汤老师很客气地收下了。书桌上的文件堆积如山。玻尔的论文，被汤老师放在山尖上。

这场亲切友好的会晤后，玻尔高高兴兴回去等消息。

然而，玻尔每天等来的都是同一个消息：没有消息。

时间一天一天过去了，玻尔的心也越来越焦躁了。因为，汤姆逊那边依旧杳无音讯，那篇论文、以及那场交谈，就像从来没存在过一样。这种冷寂，和那场会晤的热忱，使玻尔领略了冰火两重天的境界。如果早知道，汤老师忽视学生论文的名声，和他在物理上的名声一样响亮，玻尔就不会如此抑郁了。

既然等不来汤老师的消息，那就出去散散心吧。玻尔想，老爹原来有个学生，叫洛伦·史密斯，现在是曼彻斯特大学的生理学教授，关系不错，去看看他吧。

于是，就发生了前面提到的那场著名的邂逅。玻尔遭遇卢瑟福，恰似麦克斯韦遭遇法拉第。卢瑟福无与伦比的个人魅力，以及“巫师盛会”激荡的量子风云，都令玻尔痴迷不已。

回到剑桥。玻尔的汤老师，是冷的。玻尔的论文，是冷的。玻尔的心，也是冷的。丹麦金童迎来了人生的冰川时代。

转眼间，到了12月初。百无聊赖的玻尔参加了卡文迪许研究生年度夜宴。一个熟悉的身影，像一阵春风，唤醒了玻尔冰封的希望。

卢瑟福。他到哪儿都是焦点，除了索尔维会议。玻尔的心就像铁钉遇见磁石，立即被吸引了过去。

卢瑟福走后，当月，玻尔就跟到曼彻斯特，找卢瑟福探讨这件事：不好做你的师弟，就做你的徒弟吧。会谈很顺利。缘分呐！

征得汤老师同意，1912年3月，玻尔在新学期结束时，离开了他寄以厚望的剑桥，投入曼彻斯特大学卢瑟福门下。

卢瑟福本来不太看好理论物理学家，他认为，理论物理学家们都在玩符号游戏，实验物理学家才拿得出来“大自然真正过硬的事实”。他甚至在一个讲座上说：“理论物理学家们都把尾巴翘上了天，现在是时候轮到我们的实验物理学家把它们拽下来了！”但卢老师对玻尔却情有独钟。谈到理由，他振振有词：“玻尔不同，他是个足球运动员！”哈！你觉得有关系吗？反正喜欢就是了。

卢瑟福无所不聊。他的同事、化学家、后来的以色列开国总统魏茨曼这样描述卢瑟福：“阳光之下的所有话题，他张口就聊，海阔天空，并且常常是在对那事一无所知的情况下。”他不仅自己侃，还善于倾听任何人的看法，无论这个人资历多浅，看法有多幼稚，他都毫不在乎。于是，在他周围，大家有一说一，思想和嘴皮子一样活跃。但是，卢瑟福鄙视吹牛。所以，大家尽情海侃，但绝不胡吹。这种开放、轻松得在传统观念看来有点不太着调的氛围，加上卢瑟福的个人魅力、实力和眼力，形成了独特的卢瑟福文化。这，应该就是孕育诺贝尔奖的神奇土壤了。

卢瑟福的眼光，那真不是盖的。既不善说，又不善写的玻尔，连伟大导师汤姆逊都看走了眼，卢瑟福却相当看好。而玻尔，也用自己的超强实力和独特魅力，在卢老师的巨牛桃李榜上，镶嵌了最璀璨夺目的一朵。

玻尔的魅力，不在花言巧语上，而在实力和人格上。很快，他就和师兄弟们打成一片。赫维西，匈牙利人，英语也不怎么样，可以想象，他与玻尔聊天，是一种什么景象。就是这俩语言交流都费劲的家伙，却毫不费劲地结成了终生挚友。神奇吧？

神奇的事还在后面。

玻尔到曼彻斯特，本来是打算研究放射性问题的。但是，在和赫维西喝茶闲聊中，他迷上了原子。

赫维西告诉玻尔，就在这两三年，人们发现了越来越多的

放射性元素，多到元素周期表房源紧张，不堪重负，怎么调控也不够住。幸好索迪想出了合租的办法，把那些原子重量不同，而化学性质完全相同的元素叫做同位素，同位素住同一个房间……

看不见、摸不着的原子世界，勾起了玻尔强烈的好奇心。

虽然原子的大名已经流传了几千年，但是，原子的研究刚刚起步，汤姆逊打开了大门，卢瑟福一脚迈了进去，下一步怎么走？没人知道，于是上帝让玻尔降临。

随着对原子研究现状的了解，玻尔发现，有太多的问题需要解决。比方说，门捷列夫给元素们盖的公寓，虽然把一盘散沙的流浪汉变成了有组织的团队，但是，公寓入住规则浮于表面化，导致一些根本性的问题模糊不清。

玻尔分析：门捷列夫按照原子量，给元素排队、分房，从大局上来看，还是相当和谐的。但是，涉及到某些细节问题，就有闹别扭的了。比方说，同位素的原子量不一样，化学性质却毫无分别，必须住同一间房。这就让“按原子量排队”的政策执行起来有点尴尬了。

这个现象说明，元素的化学性质，跟原子量有很大关系，但不是本质的、决定性的关系，它只是有很强相关性的表面关系。这就好比，单位有个年轻人甲，提拔得比坐火箭还快，经过观测，你发现，甲提得快，是因为单位一把手特别看好他。你的观测没错，但是，“一把手看好甲”这个观测结果，只是跟“提拔甲”这件事儿十分有关系的表面现象。你知道一把手为何如此看好甲吗？因为一把手的某位领导，是甲之爹，而这个爹，可以决定一把手的前途。这才是本质关系。你知道了“提得快”、“看好甲”背后的这个本质，才能更好地解释和预测相关的一切现象，比方说，比甲优秀但毫无背景的乙，为何就很难得到提拔；甲之爹只要还在位，甲就还会得到提拔，无论你单位一把手是谁。

玻尔现在要干一件大事：找到“原子量 VS 化学性质”关系背后的本质，制定更好的元素公寓分配政策，建设有公信、没特色、放诸四海而皆准的普适公寓——元素周期表 2.0。

那么，该从哪儿下手呢？当然是从原子本身入手！

看不见、摸不着的原子是啥模样呢？综合评判，还是卢老师设计的“行星系统”原子模型最靠谱。因为，它是根据大量的、确凿的实验数据，精确计算后，推导出来的。

核外绕来绕去的电子，是带负电荷的。所以，原子核就一定是带正电荷的。因为，整个原子呈中性嘛。

根据这个推论，玻尔给咱俩出了一道题：

一个电中性的原子，如果拥有 1 个电子，那么，它的核，该带几个正电荷呢？

1 个。恭喜你答对了！

这道题可以引申为：

一个电中性的原子，如果拥有 N 个电子，那么，它的核，该带几个正电荷呢？

答案是 N 个。恭喜你抢答正确！

这就是说，一个貌端体健的正常原子，拥有多少个电子，要看原子核带多少正电荷。

我们知道，氢原子核，是最小的原子核，它只带 1 个正电荷，也就只带 1 个电子；那么，氦原子核，就是两个正电荷，带两个电子……

看见没？电荷数、电子数，会随着原子量的增加而增加。但是，它们却没有严格的正比关系（我们后来才知道，这是因为，原子核里的中子数量，只影响原子量，却不影响电荷量）。

据此，我们完全有理由这样推断：

原来我们以为，决定化学性质的，是原子量。之所以有这个认识，那是因为，原子量的增减，有时会直接影响电荷的增减。

综上，玻尔认为：我们完全可以推测，是原子的电荷数，也就是电子数，决定了原子的化学性质。

这样一来，就很好地解释了：为啥同位素的原子量不同，但是化学性质却完全相同。因为它们的电荷量相同！

天才啊！

关于逻辑，说两句，科学、逻辑当然不能解决一切问题，但是：

【其一】

逻辑是人类得到答案唯一靠谱的思维方式，人脑就只能做到这一点，这不是方法的局限，而是人的能力的局限。也许有一种更高级的生物能不凭逻辑得出答案，比如上帝，他的答案就是事实。

当然，有时候我们也能凭直觉得到答案，这个答案也许是对的，比方说，凭直觉认为上帝存在，或许有一天，人类真的见到了上帝，然而，你凭直觉说他存在，另一人凭直觉说他不存在，我们到底该信哪个？

我们讨论问题的最终目的，是要解决问题，大家凭直觉，尤其是涉及公众时，就没有一个解决渠道。所以，凭直觉处理问题，一般在家庭、朋友之间用得比较频繁，这没问题。但即使家人、朋友，也不能完全凭直觉，而不讲逻辑，比方说：

大前提：有责任感的人都不会为所欲为

小前提：你是有责任感的人

结论：所以你可以为所欲为

你看，再怎么感性的人，也都不太会接受不合逻辑的行为。

【其二】

科学也是这样，因为对人类而言，以现在的思维能力、知识水平、技术实力，就只能靠严密的逻辑、严格的检验等这些手段去靠近真相。

科学理论，可以直接拿来用，即使有的已被证伪，比如牛顿力学。

科学方法的一个最明显好处是，它在不断检验自己，修正自己，被证伪了就否认自己，推翻重来，然后被推翻的也依然“有用”。这种机制，决定了科学理论在不断进化。

而哲学、神学、玄学等都不（以后统称哲学吧），没有一个哲学会这

样做，它们一旦建立，都会用自己的体系证明自己正确，如果要否认，也是别的哲学体系在否认之。所以，某种哲学体系一旦建立，那么，它基本就那样了。可以这样断言：哲学对科学的产生起到了母亲般的作用。但如果没有科学，人类就只能停留在农耕社会，在无数种哲学中耍嘴皮子，百家无限循环争鸣。

【其三】

我们不反对任何人用任何方法去分析问题、解决问题，但如果你的方法不是科学方法，那就不要打着科学的旗号。是的，科学是一种方法，只有使用这种方法得到结果，并且使用科学的机制对其进行验证才叫科学，不然，就不是科学。这就像写对联，你必须做到“上下联字数相等、词性相对”这个最基本的要求，才可以被称作对联。“轻轻地，我走了，正如我轻轻地来”再美，它也不是对联。它是诗好吧？

为什么现在神学、哲学，以及某些莫名其妙的理论，都要打着科学的旗号来宣扬自己？那是因为科学的名声最好，它是经得起考验的，因为它就是被检验出来的。

所以，你可以不信科学，你可以信任何哲学、任何方法。用这些方法，也可以解决问题，就好比治感冒：

1、我科学地检测，你这是普通的病毒感冒，不用治，7~10天就好，抗生素对病毒是不起作用的。但你身体难受，却没有被治疗，却被告知可以自愈，感觉怪怪的。

2、你感冒5天了，受不了了，我让你喝姜汤，或挂抗生素，到第7~10天，感冒也好了。你感觉自己被治愈了，抗生素或姜汤的确起了作用。

你看，方法二的效果更好。因为人在病中，感觉被治疗，是有益的（但你知道姜汤没用的话，这个作用就没有了）。人的状态也包括精神上的。所以说，解决问题不一定非要靠科学不可。

但请不要声称第二种是科学。因为姜汤是杀不死病毒的。仅此而已。

不同的物质，有着不同的化学性质。这个，从我们刚刚成为人类时起，便体会日深。

后来，为了更好地体会神秘的化学性质，我们有了化学家，

他们苦苦探索、勤奋归纳，发现了浩如烟海的化合物质，总结了纷繁复杂的化学特性……终于，在门捷列夫手中，这些东西的脉络，开始变得清晰起来。

但是，物质的化学性质，是谁说了算？对这个问题，化学家们始终是雾里看花。原子量决定化学性质的假设，被丰富多彩、无处不在的同位素击得粉碎。我们可以通过物理性质——比方说重量，来区分同位素，但永远也无法用化学性质来区分之。

化学家们搞不清楚，这到底是为什么，很尴尬。以至于卢瑟福的原子模型出来后，大家都不是很在意。搞得卢瑟福也很尴尬。

而新手玻尔，在和他的哥们儿、化学家赫维西的闲聊中，顺便迈进原子研究的门槛，看了卢瑟福模型一眼，就以独特的视角，窥见了那个困惑无数化学家的、决定物质化学性质的秘密。这种能力的取得，除了勤奋以外，难道没有更重要的东西吗？

按照玻尔的这个新观点，赫维西明白了，自己为啥怎么也分不清铅和镭-D，因为它俩的原子核所带的电荷——“核电荷”都是 82，电子数当然也都是 82，因此，它俩的化学性质，那是一样一样的啊！我们就只能通过物理手段区分之，用核质量：铅是 207，镭-D 是 210。如今，只从核电荷数、或者电子数就看得出来，它俩是同位素，所以，镭-D 终于找到了血亲，改名叫铅 210。

根据这个理论，玻尔判断，所谓的放射性，其实就是一种核现象——原子核变化所产生的现象。元素在发生 α 、 β 、 γ 辐射时，就是它的原子核发生了变化，原子核一变，这个元素也就迷失了原来的自己，变成另一种元素了。原子核的变化，经常会改变核电荷数，也就是改变了它的化学性质。这就是神奇的嬗变的秘密！

这真是一个美妙的发现！玻尔兴冲冲地讲给卢瑟福听，但这次，卢瑟福的表现却保守起来，他认为玻尔的想法不错，但是证据不足，还提醒玻尔要谨慎，“防止过度推测”。可怜的玻尔试了五次，也没改变卢瑟福的想法。于是，这个发现就这样放下了。

可是，有两个人从两个侧面，证明了玻尔的想法。

先是前面提到的，索迪定义了同位素，解决了元素的住宿问题，并发现了元素蜕变“位移规则”。

不久，1911年7月，一位荷兰律师布洛克看到卢瑟福原子模型，突然想到，元素在周期表里应该住哪个房间，不是原子重量说了算，应该是原子序数说了算。他的这个结论还是不错的。不过，依据却不怎么样，那是一些没有什么根据、浮于表面的假设，比如：一个元素的核电荷，是它的原子重量的一半。等等。卢瑟福看了布律师的文章，很生气：这纯属猜测嘛！既没有实验依据，也没有理论依据。

到了1913年底，布洛克看到了盖革和马斯登关于 α 粒子散射方面的数据分析，意识到“核电荷=1/2原子重量”的假设是错的。不过，索迪却从“元素的位置由原子序数说了算”受到启发：原子序数=核电荷数！这不就是说，元素的位置，由核电荷数说了算吗？多美妙啊！

卢瑟福这次支持了这个提法，还写信表示称赞。他似乎忘了，玻尔曾经5次试图告诉他：元素的化学性质，是由元素的核电荷数、电子数说了算！

有了这个理论，元素排队分房的规矩，就一下子变得简单明了、易于操作了。就是按照核电荷数，或者电子数排队。这就相当于，原来分宿舍，是按体重。这个规矩，也能大致把男女分开，但总有一些女的因为过重，被分到男宿舍，或者有男的过轻，被分到女宿舍。现在，重新定了规矩，直接按照性别分宿舍。这两种分法，单看最终的结果，虽然不会相差太多，

但是，二者却有着质的区别。

由于卢瑟福的保守，在“电子数决定化学性质”理论的优先权上，玻尔吃了亏。但是，如果只在化学性质这棵树上吊死，那就没有玻尔了。在玻尔眼里，还有大片的森林。比方说，别人的研究成果。

对别人的研究成果，通常有两种态度，一是学而习之，为我所用；一是剽窃之，为我所用。比方说那些混待遇的无耻之徒。

玻尔当然不走寻常路，他属于第三种：从别人的研究中，敏锐地发现错误，然后对这个错误进行穷究，找出正确的路，得到正确的成果。

玻尔这次注意到的，当然是眼前人的研究：卢瑟福、达尔文。

前面说过，卢瑟福用精心采集来的实验数据，计算、推导出了“行星系统”原子模型，但是，对于电子是如何做到绕来绕去、坚持不坠的问题，却采取了鸵鸟政策，避而不谈。

而玻尔的同事，卢瑟福手下的工作人员达尔文（我们大家都很熟的那个达尔文，是他爷爷），专门研究了电子的问题。他关心的是，在 α 粒子散射实验里， α 粒子穿越金箔，即使没被散射的那一部分，也会丢掉一部分能量，这些能量哪儿去了？达尔文的答案是， α 粒子玩穿越时，跟电子撞上了。

这就涉及到一个严重的问题： α 粒子是在哪儿撞上电子的？换句话说，在原子里，电子的位置在哪儿？它们是怎么排布的？随便占位？按大小个儿排队？花钱请老师排座？总得有个规矩吧。

达尔文搞不清楚，只能根据 α 粒子总是撞上电子这个现象，猜测道：电子在原子的整个体积中都可以存在，或者，它只均匀分布在原子的表面。根据这两个猜测， α 粒子撞电子的数据，就应该跟原子的半径息息相关了。达尔文自己算了下，发现不

对。但又想不出是哪不对。

玻尔一眼就看出来了，达尔文只顾考虑电子的位置，却忘了电子和原子核属于同一个系统，它们互相作用，共同组成了完整的原子。那么，电子的位置，必然是要受制于原子核的。

所以，搞清楚电子的位置，实际上就是要搞清楚原子的结构。

对，这就是我的下一项工作。玻尔对自己说。

然后，他又对卢瑟福这样说。

卢瑟福听了，虎躯一震，这又是一件大事儿！这次，他同意了玻尔的想法，还鼓励他好好干，允许他不去实验室，专攻原子结构。

玻尔自己很心急，因为除了原子，他心里还装着另一件事：玛格丽特·诺兰德（Margrethe Nrlund）。他的爱。

他们相识已经 10 余年了，她是哈罗德的同学的妹妹。那时，他只有 16 岁，而她，不到 16 岁……多么美好！

更美好的是，玛格丽特优雅端庄，品质高尚，知识面广，忠贞贤良，是玻尔太太的上佳人选！从他们婚后 50 多年的生活来看，玻尔这小子算是捡到宝了。当然，玛格丽特也是。

我们都知道，玻尔写东西特费劲，写论文更费劲，手里的笔总是跟不上思路。并且那一手玻氏书法，比文章还烂，写出来鬼都不认识。天晓得他上学时的一路考试是怎么过来的。他的博士论文，也是由他口授，母亲执笔。父亲对此很无语。

说起玻尔的书法，那绝对是个神迹。一次，玻尔在黑板上随手甩出一根后现代抽象派的曲线，据他自己介绍，这是一个单词。讲了一会儿，他需要写另一个单词，无论是词意，还是字形，跟前一个单词都毫无瓜葛。我们伟大的玻尔审视了一下那道上帝般的曲线，抬手加了个点，因为这个单词里有 i。点毕说，OK。围观群众拜倒。玻尔写任何单词，只需调整这个点即可。后来，这家伙有了助手，就常把手稿甩给助手抄写，虽然

助手认命，甘愿接受上帝借玻氏书法来惩罚自己，但是，这个技术难度太高，总是完成不好，于是，玻尔干脆手稿也不写了，一律改口授。助手顿感阳光灿烂起来。虽然玻尔的口齿也不是那么清晰。据说，海森堡来到哥本哈根之后，一手本来还过得去的字，生生被玻尔传染，满纸废铁丝，一把辛酸泪！

玻尔觉得，在思考的同时，还要写东西，那就是一种折磨。但是，他在形成某种想法的时候，需要把思维过程说出来。于是在涉及科学问题时，玻尔特能聊。薛定谔同志体会最深，他第一次见玻尔，就被玻尔直接用话聊撂倒。不仅需要聊，而且聊的时候，最好在运动中，比方说散步、围着桌子转圈什么的。于是，在他思考时，就需要一位听说读写能力比较强的助手，随时记下他说的话。你懂的，玻尔作文很烂，需要反复修改。于是，助手深受锤炼。但是，助手毕竟只是助手，怎么可能随时随地在身边呢？

自从有了玛格丽特，玻尔不仅有了妻子，有了朝夕相伴的朋友，还有了贴身助手。写作的问题迎刃而解。这样说有点不厚道，玻尔娶玛格丽特，当然是因为爱她，而不是为了找个贴身秘书。但是，事实上，玛格丽特很称职地担任了这个角色，五十多年如一日。贤内助啊贤内助！当然，这都是后话。

现在，我们的玻尔还没结婚，他需要把原子结构的问题梳理一下，然后去迎娶心爱的玛格丽特。

玻尔已经预感到，自己即将揭示出来的这个家伙，个头不小，但他绝没料到，这家伙不仅庞大到超出了所有人的想象，而且，还是个不可思议的怪物！

玻尔来不及完成论文了。他匆匆离开曼彻斯特，回到丹麦。1912年8月1日，在妙曼小城斯劳厄尔瑟的市政厅，警察局长主持了玻尔和玛格丽特的婚礼。婚礼没在教堂举行的原因是，玻尔在婚前几个月已退出了教会。退会理由：“我无法理解，这些怎么能哄得了我……它对我毫无意义”。

婚前没写成论文，只好在蜜月写。又要旅行，又要拜访朋友，又要蜜月，又要写论文，你知道，这日日夜夜的，够小两口忙乎的。



【图 6.11】揭示（李焕作品）

不过，有了玛格丽特，论文写起来顺畅多了。一篇关于“带电粒子穿越物质时速度减小”的理论论文诞生了。

曼彻斯特。卢瑟福对玛格丽特相当满意，就像眼前这篇字迹娟秀的甜蜜论文。他答应玻尔，进行相关的实验验证后，就为这篇论文写上寄语，投给《哲学杂志》。这篇文章在 1913 年如约发表。论文交给卢瑟福后，玻尔就携妻回到丹麦，接受了罗瑞安斯塔特技术学院的邀请，当了一名助教。

后来，这篇文章被科学史学家称为“卢瑟福备忘录”。当然，也有人叫它“曼彻斯特备忘录”。

玻尔分析了卢瑟福的原子模型：电子们不可能围着原子核形成一个环，因为电子都带负电，互相排斥；电子不可能固定不动，因为它 hold 不住；牛爷和麦爷一致认为，电子不可能绕核公转，因为它会失掉动量而坠毁。但是，很显然，电子们都好好的，并没有坠毁。

为什么？

不是电子错了，就是牛爷和麦爷错了。

玻尔，你倒底要闹哪样？牛爷和麦爷都错了，还有物理吗？
有的。玻尔的目光落在他曾经拼命想摧毁，现在不得不接受的量子身上。不过现在，他需要足够的勇气。

还是让电子绕核公转吧。先假装它公转时不耗散能量。

如何才能让它既公转，又不耗散能量呢？这就像要求人既要干活，又不吃饭一样难。

先解决稳定的问题。

电子绕核公转，轨道可以有无数个，在原子核周围任意划个圈，都可以是电子的轨道。经典物理学对轨道的要求很宽松。

但是，如果这样，电子必然会连续释放辐射，于是必然坠毁。为了让电子情绪稳定，玻尔认为，必须把电子限制在指定的轨道上！

换句话说，轨道必须是量子化的，电子不能连续地盘旋着坠入原子核，它只能存在于几条指定的轨道上，在这几条轨道上，电子处于“稳定态”，它不辐射能量。

为什么呢？

因为它处于特殊轨道啊。

为什么它处于特殊轨道？

因为它不能辐射能量啊。

.....

好吧你赢了。我撞墙去。

玻尔在回答时，脑后大汗不断。他知道这个循环论证很赖皮。凭什么啊？他自问道。滴汗丝毫没有缓解压力，必须找到一个站得住脚的解释！

玻尔又请了几个月假，带着玛格丽特，躲进远离尘嚣的乡村，寻寻觅觅，冷冷清清，恩恩爱爱绵绵。乍有还无时候，最难将息。三条两道轨迹，怎敌他、电子坠急？圣诞也，正揪心，却见旧相识：尼克尔森。

玻尔在剑桥见过此人。此刻，这位旧相识的文章吸引了玻

尔。

尼克尔森也在建立原子模型。他假设：所有元素都是由四种“基本原子”组合而成。每个基本原子，都有个原子核，绕转着若干电子，形成一个环……它们各种组合，就成了各种原子。

先别管这家伙是不是把分子和原子弄混了，我们看重点。玻尔看到的重点是：尼克尔森正在证明，电子的角动量，只能以 $h/2\pi$ 为倍数来改变！

h ，多么熟悉的身影！当然， π 更熟。

这才洞房花烛夜，就又他乡遇故知啊！玻尔很激动。满眼轨道堆积。能量损，如今有谁堪坠？必须量子，不然怎生稳定？角动量成整倍，要辐射、点点滴滴。这次第、怎一个牛字了得！

角动量量子化了，轨道自然就量子化了！太美妙了！

不是吗？你看：

动量=质量×速度。写成 $P=mv$ 。

作圆周运动的物体，它的动量要用“角动量” L 表示，角动量=动量×半径。写成 $L=Pr$ 。

尼克尔森认为，“电子环”里的电子，其角动量的变化，是要量子化的，只能是 $h/2\pi$ 、 $2h/2\pi$ 、 $3h/2\pi$ …… $nh/2\pi$ 。很显然， n 是整数。

那么，电子的角动量，就是 $L=nh/2\pi$ 。

上述可得： $nh/2\pi=Pr$ 。

看看，左边的 n 这个整数一变，右边的 r 就会突然从一个值变成另一个值，它没有变成中间值的机会。它的半径会直接从 1 变成 2，不经过 1.5、1.55 的过渡。

也就是说，电子的轨道，就像古罗马角斗场的阶梯式看台，你只能呆在这个台阶或另一个台阶，而不能悬在两个阶梯之间的任何一个地方。

r 突变，不就是轨道突变么？这样一来，就成功实现了电子轨道的量子化。

那么，电子为什么必须在指定的轨道呢？

眼前，玻尔还回答不了这个问题，因为轨道的量子化，就够忙乎一阵子的。

现在，咱俩跟着拔剑四顾的玻尔，捋顺一下他的思路，顺便学几个看上去很牛×、实际上也很牛×的术语：

因为角动量变化必须量子化，所以轨道变化必须量子化。在角动量突然改变之前，电子只能老老实实地呆在现有的轨道上，它想坠毁都不行，这就是拯救世界的“稳定态”。

电子王国，等级森严，但规则绝对公平，你拥有多少份能量，决定你占据哪一层的轨道，低能占低层，高能占高层。绝不会因为你情商高，和高层某个电子关系好，就能搞逆袭，以低能占高层。所以，电子轨道的层级，也叫“能量层级”。

那么，在不同的原子中，电子的轨道是不是都一样呢？当然不，因为它们的原子核不一样，所以，允许存在的轨道也不一样，绝对不能私搭乱盖。

一套允许存在的轨道，以及与之关联的电子能量，就是原子的“量子态”。

玻尔把“能量层级”用 E_n 表示。 E 我们都很熟，它表示能量。那么， n 当然表示“层级”了！

$n=1$ ，就表示电子在第一层轨道，最底层——离原子核最近的那一层，再往下，就没命了——坠毁了。

电子想要活命，它至少要有一份最低能量保障，以保持这种“最基本的状态”。对于一个原子来说，所有轨道上的电子都持有最低能量的状态，就叫做“基态”。对氢原子来说，唯一的电子处在最底层 E_1 时的状态，就是“基态”。和人一样，基态是最屌丝的状态，却也是最稳定的状态。稳定的意思是，你保持这个状态很容易，达到这个状态也很容易，但要改变这个状

态，就没那么容易了。

那么，电子一不小心，拐了能量从基态私奔，占了基态以外的层级，又叫啥态呢？

这样的电子，虽然可以在较高层级的轨道上游荡，但毕竟持有剩余能量，比较亢奋，比较容易发生改变，不太稳定，所以叫做“激发态”。

玻尔说，这是可以算出来的玩意儿。他拿出一个氢元素做例子。因为这家伙只有一个电子，够简洁，好算。注意，是用经典物理学就可以算的哟！这真是一个天大的好消息——经典物理大厦还没塌！

氢原子的基态，是 -13.6eV 。所谓 eV，就是“电子伏特”。所谓电子伏特，就是一个电子，经过 1 伏特的电场加速后，它所获得的动能。

基态这个层级的能量算出来了，其他层级的能量呢？跟基态有关系吗？当然有！而且这个关系简洁美妙：

$$E_n = E_1/n^2$$

不管是哪个层级，它的能量都等于基态能量除以 n^2 。根据这个公式，我们很容易算出，当电子处于第二层级，也就是 $n=2$ 时，它的能量是：

$$E_2 = E_1/2^2 = -13.6\text{eV}/4 = -3.40\text{eV}。$$

“能量 VS 层级”的问题解决了，该解决位置问题了。对于电子轨道来说，位置就是半径。

我们知道，原子的半径有多大，那要看它最外面、也就是最高层级的电子轨道半径有多大。因为氢原子只有一个电子，所以，这个电子轨道的半径，就是氢原子的半径。

由于电子的轨道层级是可以变化的，有时处于基态，有时处于激发态，轨道不同，半径自然就不同。

能量层级之间的关系很美妙，那么，轨道半径之间的关系又如何呢？玻尔发现，轨道之间的关系更美妙，它们拥有一个

相同的因数：

$$n^2。$$

如果电子在基态时，也就是 $n=1$ 时，轨道半径是 r 。那么：

当电子处于第二层级轨道，也就是 $n=2$ 时，它的半径就是

$$2^2r=4r；$$

当电子处于第三层级轨道，也就是 $n=3$ 时，它的半径就是

$$3^2r=9r；$$

.....

看得出来，一个持有剩余能量、处于激发态的原子，它会膨胀不老少。

现在，玻尔抓住了电子的角动量，成功地把它量子化了，从而使电子的轨道也成功地量子化了，让一本正经随时自主坠亡的电子情绪稳定了下来，拯救了世界。根据这个轨道量子化了的模型，玻尔搞清了能量层级之间、轨道之间的数学关系，玻尔拿着他的计算结果，和当时的实验估测值一对照，那是相当的接近了！

事情做到这，是不是就功德圆满了？不，还有几个严重的问题没回答呢：是什么让电子必须呆在指定的轨道？角动量死也要量子化究竟是为了谁？这一切的背后究竟隐藏了怎样的神秘机制？

看，机制。我们在第一段广告中，就强调了机制的重要性。玻尔当然知道机制的分量，可是到哪儿去找这个机制呢？

光阴似箭，转眼间到了 1913 年 1 月底。玻尔给卢瑟福写信：“我希望，能够尽快把原子论文寄给您，它花费的时间，比预想的多得多。”

一个美丽的理论建设到一半，停工待料，眼巴巴地看着韶华飞逝。玻尔这个急啊！正揪心，又见旧相识。

2 月初，玻尔的老朋友汉斯·汉森来访。汉森在德国研究过光谱学。俩人都是搞物理的，很自然就聊起了各自研究的东西。

汉森听说玻尔正在研究原子结构，就问玻尔，搞清楚原子结构，对搞清楚光谱线的产生，是不是有所帮助？

玻尔听后，一脸茫然，很明显，他鼓捣原子结构时，根本没想过这里能有光谱什么事儿。汉森见状，就建议玻尔，看一下巴尔末公式。

还记得不？28年前，玻尔出生的那一年，喜欢数学游戏的巴尔末老师发表了一个公式，完美描述了氢原子发出的光谱线：

$$\lambda = B \frac{m^2}{m^2 - n^2}$$

m 和 n 为整数。

$B=3.6546 \times 10^{-7}m$ ，是个常数。

这个公式发表后，大家只知道它相当好用，相当强悍，却没人知道它究竟在表达什么。

愁云不展的玻尔一见到这个公式，头顶那片雾霾豁然洞开，透出一泓明澈的天穹，一束天光似灵泉直泻而下，清越的天音倏忽盈耳，直扣心扉。

啥叫醍醐灌顶？啥叫茅塞顿开？玻尔指指自己的头：这就是！

巴老师公式里的那个 m 和 n，都是整数，这不也是量子化的表述吗？！

原子辐射的波长，也有量子化的规律，它只能释放出特定波长的辐射。辐射的波长代表什么？代表能量大小啊！

普朗克和爱因斯坦说什么来着？能量的吸收和发射，是一份一份的，不是 h ，就是 $2h$ 、 $3h$ ……不会是 $1.22h$ 、 $2.5h$ 。

那么，原子是怎么吸收和发射能量的呢？玻尔脑海里浮现出自己建立了一半的氢原子模型：

原子核周围，分布着一些允许的电子轨道。一个电子在第一轨道上无聊地转来转去。

不管是失去能量，还是获得能量，都必须是一份一份的。

因此，它不会无缘无故地慢慢失去能量，或者无缘无故地慢慢地得到能量。于是，它就保持了这个稳定的状态，安心地呆在这个轨道。

它在等待。等待一个时机。

一个电磁波飘然经过。按照爱因斯坦的说法：一个光子飘然经过。不管怎么说，这无疑是一份能量。玻尔更喜欢“一份能量”这个说法，他现在可以接受“能量的吸收和发射必须是一份一份的”，还不能接受“光就是量子”。

这个电子，虽然不止喜欢一个频率，但很明显，它也不是每个频率都喜欢。

这份能量的频率跟电子正对脾气，所以电子将其揽入怀中。出事了。

能量拿多了，电子就没法呆在现在的轨道，它只能向更高层级的轨道迁移。具体移到哪一层，那要看刚才拿到的那份能量有多大。换句话说，那要看那个辐射的频率有多高。它拿到的能量越大，占有的层级就越高。

就像你有千万元，就上千万富翁榜；你有一亿元，就上亿万富翁榜；你有千亿元，就上千亿富翁榜。

财富越大，花销也就越大。爱马仕、玛莎拉蒂各种消费。如果不继续赚钱，千亿富翁就会跌到百亿富翁。电子也是这样。屌丝电子拿到能量，升迁到高层级轨道，就会很亢奋，很得瑟，各种炫富，情绪很不稳定，财富把持不住，就会向下跌，直到跌成屌丝状态——基态为止。跌的同时，它会以辐射的形式释放出能量——这就是我们看到的原子光谱。当然，如果上升后，又拿到新的能量，财富增加了，它还可能继续向上层升。升得越高，就越不稳定。

所以，不同的“能量层级”，也可以看成不同的“势能位置”。电子要向上去，必须获得向上的能量才行。而一旦上去了，就证明它蓄积了一定的“势能”，下跌时，就释放这些势能，跌的

“落差”越大，释放的“势能”也就越大。

具体释放多大的能量，也就是说，具体发射多高频率的辐射，那要看它从哪儿跌到哪儿。它所释放的能量，就是起点层级和目标层级之间的能量差。这也是可以算出来的玩意儿。我们现在就假装算一下：

一份能量是 $h\nu$ 。

如果一个电子从第 4 层跌到第 1 层，那么，它释放的能量是：

$$E_4 - E_1 = h\nu$$

咱俩假装研究下： E_n 的值是一定的，那个 h 是普朗克常数。这个式子里，唯一可变的，就只有频率 ν 了。

我们发现，电子的“落差”越大， ν 也就越大。电子在不同的层级间坠落，就发出不同的辐射。由于每一种原子所允许的轨道层级是有限的、并且轨道数量和半径是不同的，所以，不同的原子就有了自己特定的光谱线！

原来如此！原来如此！！天呀！魔幻、神奇、让无数天才迷恋、又让无数天才迷惑的原子光谱，成因原来如此简单！

现在，巴尔末公式背后的秘密，一下子就昭然天下了。

还记得埃格斯特朗测出的那 4 条可见光谱线吧？它们分别处于红、绿、蓝、紫色区域，名字分别叫：阿尔法、贝塔、伽马、德尔塔（ α ， β ， γ ， δ ）。不管氢原子怎么折腾，发出多强的光，这几条线是雷打不动，何至于此呢？玻尔算了下，原来，这 4 条线，是氢原子的电子分别从 3、4、5、6 楼跌到 2 楼发出的频率！这就是为什么当巴尔末公式里的 $n=2$ ， m 值分别为 3、4、5、6 时，得数就分别是这 4 条谱线的波长：656.210；486.074；434.01；410.12。而让 $m=7$ 时，又准确预测了第 5 条线的波长。现在我们明白了，为什么 m 、 n 必须是整数， m 代表电子从第几层向下跌，而 n 表示电子最终跌到第几层。所以它俩不可能不是整数。

有的童鞋问了：电子不会总是跌到 2 楼吧？是不是也会从各种楼层跌落到 1 楼、3 楼或者别的楼层啊？

这个问题提得很及时，也很靠谱。的确，上面所说的这几条线，都是可见光区域的，所以发现得早。因为巴老师的公式能准确描述之，所以，这个系列的光谱线，就叫“巴尔末系列”。后来，人们又从不可见光中发现了氢原子的光谱线：当电子从 2 楼以上跌到 1 楼，也就是不管它爬多高，都是一下子跌回扁丝状态——基态时，它所发出的辐射在紫外区域，叫“莱曼系列”；而从 4 楼以上跌到 3 楼时，它所发出的辐射在红外区域，叫“帕邢系列”。

咱俩稍加分析，就发现了一个奇怪的现象：跌落多少层，对光谱波长有着决定性的影响。而跌到哪一层，对波长有着更大的影响！跌到基态，放出的能量最大。哪怕是从 2 楼跌到 1 楼，只跌落了 1 层，它发出的也是强悍的紫外线，波长 122；而刚才算出来的巴尔末系列中，它从 6 楼跌到 2 楼，共跌了 4 层，它发出的也是可见光波长 410，放出的能量明显低于前者（波长越短、能量越大没忘吧？）。

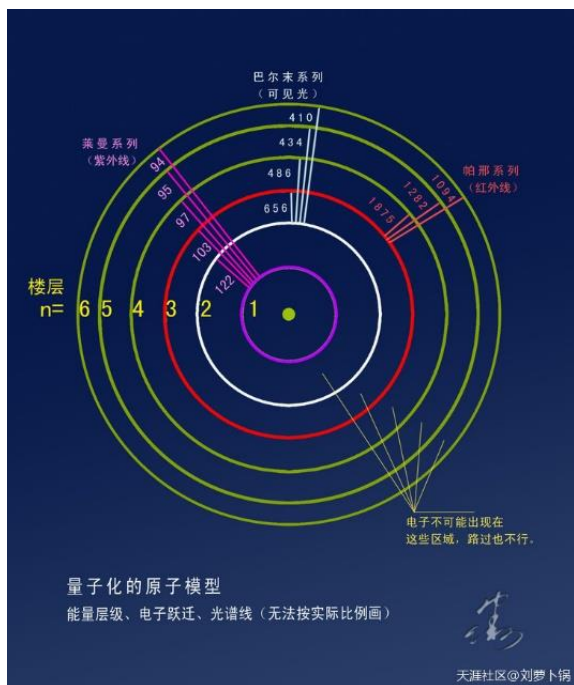
玻尔还发现了一个惊悚的现象：电子上升或跌落，直接就是结果，没有过程！

看着你无辜的眼神，玻尔就知道，他得再强调一遍，电子是“直接”从一个轨道“出现”在另一个轨道的，没有空间过渡。不像咱俩一样，从客厅沙发走到卧室床上，必须经过一段路、无数点，比如卧室的门。而电子偏不。它可以从 6 楼消失，而直接在 1 楼出现，不必经过 5、4、3、2 任何一层。从 1 楼跃到 2 楼，也是这样，电子不必经过这两层之间的任何地带、任何一点。

它是怎么做到的？常常跟我们玩瞬间移位的魔术师们在电子面前全部傻眼。

玻尔给电子的这种穿越现象起了个名：跃迁。

正因为电子有这个特异功能，它才能够发出那些“固定”波长的辐射。不然的话，它在迁移过程中，应该连续发射出辐射才对。如果它可以连续发出辐射，那么，就像我们前面说的那样，它死定了。世界真 TM 奇妙啊！



【图 6.12】玻尔-卢瑟福原子模型。

正因为电子跃迁是量子化的，它吐纳能量也是量子化的，所以，它的角动量是量子化的，轨道也就只能是量子化的了。于是它无法连续失去能量，也就不能坠毁了。上帝啊，宇宙就这样得救了！

1913 年 3 月 6 日，玻尔把修改了无数遍的第一篇论文寄给了卢瑟福，论文题目是《论原子和分子的结构》。

虽然，这个新理论很自然地融合了经典力学，但这次，开

明的卢瑟福还是被玻尔搞晕了：一方面，玻尔漂亮地解决了卢瑟福原子模型的电子自主坠亡问题，潇洒地拯救了世界。卢瑟福很欣慰；另一方面，玻尔拯救世界的招数违反了经典物理的根本法则，世界的连续性、物理过程的连续性被无情践踏。卢瑟福很忧郁。

我们的世界一直是连续的，现在，被玻尔搞得很分裂。就说这个电子跃迁吧：

电子在轨道上运行一个周期——说白了就是转一圈，就完成了了一次震荡。电子每秒沿轨道转多少圈，就是它的振荡频率。按照牛爷、麦爷的理论，电子按照自己的振荡频率释放能量，是很自然的事情。在各个轨道上，电子的频率是不同的，那么，它在跃迁时，频率变化是如何“过渡”的？玻尔体系表示，电子从一个频率变到另一个频率，没有“过渡”，没有中间环节！

好吧，为了世界和平，卢瑟福连这一点也忍了。但另一个问题实在是忍无可忍，不吐不快。他问玻尔：电子怎么知道它要去哪层？

这实在是一个很严重的问题，也是一个不得不说的。从玻尔的理论看，电子在跃迁之前，应该是未雨绸缪，事先打算好了它要去哪一层。不信你看，拿到相同能量、同样住6楼电子，它有可能跃到3楼，放出红外线；也有可能跃到2楼，放出可见光；还有可能跃到1楼，放出紫外线。

它凭什么决定放出多少能量？是什么因素“让”它跃到哪层楼？答不出来？难道电子也像银屏玉女一样很随便吗？在所有条件都相同的情况下，会出现不同的结果？！

这对一个骄傲的物理学家来说，简直就是侮辱！

玻尔被问得很尴尬。目前，他的确答不上来。

不过，让玻尔感到更恐怖的，并不是物理卢老师的提问，而是语文卢老师对这篇作文的批语：你写得太长了，应该改改，删一些。

玻尔吓傻了。他知道自己作文超烂，所以寄给卢老师前，已经修改无数遍了，两口子都累坏了，现在卢老师说太长了，还要改……玻尔一咬牙一跺脚，那就改吧！

卢老师欣慰地打开玻尔寄来的修改稿，读起来确实比上一稿好多了，不过狗血的是，论文更长了！如果不是见多识广，恐怕卢老师的一口老血会毁了这篇新稿。

新稿刚到卢瑟福手中，玻尔随后就出现在卢瑟福面前。多亏卢瑟福头脑清醒，否则会以为，玻尔是搭这封信的邮车来的。

玻尔说我来曼彻斯特是度假的。卢瑟福差点就信了。

同志们很快就发现，玻尔其实是来折磨卢老师的。连续几天几夜，玻尔都坚持不懈地跟卢瑟福讨论这篇论文，从理论细节到章法结构，从逻辑推导到语法修辞……一个循循善诱，一个苦口婆心，卢老师“显示了天使般的耐心”，而玻尔则魔鬼般地死缠烂打，寸步不让。结果是，口拙的玻尔战胜了健谈的卢瑟福。论文一字没改，卢瑟福筋疲力尽，无条件投降，同意推荐发表。有意思的是，后来，玻尔承认，卢老师的建议其实是对的。

谁说玻尔口才不好？我们以后会发现，这小子的辩才简直就是无坚不摧！你没崩溃过，那是因为你没跟玻尔辩论过。

随后，玻尔的《单原子核体系》、《多原子核体系》分别于9月、11月发表在《哲学杂志》上，也是几乎一字未改。这三篇论文，就是名震量子物理史的、伟大的“三部曲”。为什么会是三部曲呢？前面不是说了吗，论文实在太长，玻尔这小子又不肯删，只好拆开发表，于是就成了“三部曲”。

不管怎么说，一个崭新的时代就此拉开了帷幕。

鬼神莫测的原子结构，奇幻精巧的原子光谱……厚厚的神秘面纱，被这个年轻人一手揭开，世界的基础——原子，面貌焕然一新，真正属于微观世界的理论宣告诞生！

旧体系的基因，虽然仍在它的血液中涌动，但量子灵魂的

注入，仍然令旧世界惊疑不已。

让旧世界黯然神伤的，不仅在于它的叛逆，更在于它的力量。量子所到之处，你拒无可拒，逃无可逃。在此起彼伏的反对声中，在浩浩荡荡的白眼乜斜下，大量的实验数据纷纷送来噩耗：它是对的！

人们从厌恶、怀疑到惊惧，又从激愤、叹服到嘉许。

玻尔“三部曲”一时间游转攀旋，响彻物理江湖，悬在头顶的恼人乌云被震得仓皇四散。年轻的玻尔一举成为原子物理的领军人物，救世主的圣光在哥本哈根上空若隐若现，似有似无，抓挠得全世界物理学子心荡神移，几不自持。

然而，正当物理学界上下深入学习贯彻“三部曲”精神，量子 and 经典理论安定团结，能量辐射一片光明，原子核和电子共建和谐美丽原子世界之时，更多问题接踵而至，破坏了墨迹未干的灿烂篇章和乳臭未干的大好局面，形势急转直下，已臻化尽的乌云又迅速聚拢，块头居然比以前更大，刚刚建立的新理论与旧体系一起，顶着乌云，交换着黯然销魂的眼神，顾影自怜地追忆往日种种……



【图 6.13】无题（李焕作品）

残垣断壁掩夕阳，孤影长，正神伤，一个冒失鬼从瓦砾间
轰然而起，直刺云天，纵声长啸：让暴风雨来得更猛烈些吧！

高尔基欣喜地循声望去。

对不起。我不是海燕。我是量子。

第七章 量子论一 风云际会

雾里昙花

青年问法师：我付出很多，发明了一个非常好用的果蔬去皮器，可什么也没得到。

法师：非常好用？

青年：嗯…这个…好吧，它只在削标准圆形的土豆时好用。

法师：阿门陀佛。骚年，你见过只在极特殊情况下才好用，但是他的发明者却因此名利双收的东西吗？

青年略一沉吟，拿出玻尔原子模型。

玻尔给卢瑟福行星原子模型动了手术，把量子植入其中，让电子一份一份地吐纳能量，从而胁迫电子角动量、轨道量子化，让电子没法自主坠亡，维护了原子的稳定大局，拯救了宇宙。

有人说，思想就像内裤，要有，但不能逢人就证明给他看。你秀出这个思想又在证明什么？出此言者，大概是心灵鸡汤喝多了。为人低调点、内涵点没错，不能逢人就炫思想，也没错。但把思想当内裤的人，估计不是脑子里没啥自己的思想，就是思想里只有内裤里那点事儿。你让古往今来的思想家们和各位领导情何以堪啊？难道他们干的事儿，不是在传播内裤，就是在交流内裤？

可以说，人类今天的文明，就是交流和发展思想的结果。

把思想当内裤，禁锢在裤裆里，正中谁的下怀，大家都很清楚。

玻尔当然也很清楚。所以，他在思想上搞出这么拽的手笔，当然要拿出来炫炫，让各路英豪灌灌水拍拍砖，也是极好的！1913年9月12日，英国科学促进协会第83届年会，物理江湖各路大神登录，荟萃于伯明翰论坛，一时间大V闪耀：J.J. 汤

姆逊、卢瑟福、瑞利、金斯（J. H. Jeans）……当然除了英国土著，还有老外：洛伦兹、劳厄、居里等等。

帖子的主题是：量子化原子，你怎么看？

楼主玻尔以为必火无疑，没想到，发帖后秒沉了！连抢沙发的都没有。为了打破尴尬局面，版务团队@了N个物理论坛老鸟。

瑞利慢吞吞回帖：“70岁以上的长者，不宜急于对新理论发表意见。”这老头不是外交部发言看多了吧？

J. J. 汤姆逊倒是蛮直接，一砖拍过来：“完全没必要！”

但金斯力顶：“非常重大的成功！”

还没顶起来呢，劳厄又一砖拍下去：“完全胡扯！圆形轨道中的电子不可能不放出辐射！”

埃伦费斯特抓狂了，拿砖拍自己：“逼得我快绝望了！非得这样，我宁可用了物理学。”

拍砖的、撞墙的、加粉的、转黑的、歪楼的、夹着一两个献花的，一时间，倒也热闹起来。

楼主的朋友、资深潜水员赫维西浏览了一遍网页，发现爱因斯坦同学没上线，就屁颠屁颠把帖子转述给老爱。还顺便爆了个料：太阳光谱摊上大事了，氢元素被栽赃了！氢离子，嗯，也就是两个电子丢了一个、还剩一个的氢元素，它发出的光谱，特像本来就只有一个电子的氢元素发出来的，蒙骗了无知的人类。玻尔用他的理论，掐模一算，把这事儿拆穿了，卢瑟福团队中的某位童鞋一通神测，实习记者玻尔挖的内幕靠谱！

老爱一听，把纯洁的大眼睛瞪得更大：“如此说来，这就是最伟大的发现之一了！”

以经典的眼光来看，量子化原子甭提多丑了：皮肤不好，不平滑；身体不好，断断续续的；不稳重，走路用跳的；神经质，啥时候发作闹不清……让它来支撑世界？宁可不要这个世界！

可是，世界不是你想扔，想扔你就扔。你没法抛弃世界，就像你不能趴在地上意淫自己睡了银河系一样。经典物理瞪眼没辙的一些问题，量子原子这个丑八怪能轻松拿下。

1913年11月，卢瑟福门下的亨利·莫塞莱(Henry Moseley)用实验确认了一件事：原子序数，也就是核电荷数，也就是原子正常情况下该带的电子数，决定了元素在周期表中的占位。



【图 7.1】莫塞莱

说起莫塞莱，这小子天生是个实验科学家。他天资过人，精力充沛，意志坚定，心细如发，跟盖革那小子颇有一拼。但他比盖革眼光好，搞定了一个大项目：用电子束射击各种元素。

为什么呢？因为玻尔说，X光是这样来的：离原子核最近的、也就是最基层的某个电子被踢出后，高层的某个倒霉电子就会跌下去补位，高富帅变屌丝，也是有条件的，你得交出能量。交出多少呢？当然就是两个能量层级的差值了。这个差可不小，能量大，频率就高，它就是X光。

那时，大家已经知道，X光是电磁辐射，还知道，用电子射击金属，就能产生X光。但这是为什么，没人知道。

现在，玻尔给出一个谜底。莫塞莱听了，相当上心。

怎么验证玻尔的谜底呢？很简单，根据玻尔的理论，不同原子，各自有不同的能量层级，而且他们与原子核电荷数密切相关。刚刚说过，核电荷数决定了元素在周期表中的位置。

据此，用电子束逐个射击不同的元素，它们所发出的 X 光频率，应该随着元素在周期表中位置的变化，相应地呈规律性变化。

原理简单，但是实验起来，可不是谁都托得住的。具体难度可脑补盖革深夜小黑屋里数 α 粒子。不得不说，卢老师门下猛人辈出！

小莫一闭关就是两个来月，他发现：

1. 每种元素发出的 X 光频率都是独有的。
2. 随着原子序数不断提高，X 光频率也跟着提高。
3. 元素周期表上相邻的元素，所发出的 X 光频率非常接近。

这几条完全符合玻尔的理论预测。根据以上几条，小莫还顺手纠正了氩、钾等几种元素的位置，并预测：应该还存在 42、43、72、75 号元素，后来，人类果然找到了它们：钼、锝、钷、镱。

如果没有意外，这个项目肯定能拿一份诺奖。悲催的是，意外发生了，第一次世界大战爆发后，小莫被征兵，当了个信号官，被一弹爆头。时年 27 岁。卢瑟福相当看好小莫，认为他天才无限、前途无量……说什么都是遗憾了。天妒英才、暴殄天物啊！那些动不动就喊打喊杀、视别人生命如草芥的人，良心何在、人性何在？！

如果说，小莫的实验，只是在推理上验证了玻尔理论，那么，在数学上验证它的机会，很快就来了。

1914 年 4 月，德国物理学家詹姆斯·弗兰克 (James Frank)、古斯塔夫·赫兹 (Gustav Hertz) (那个大牛叫海因里希·鲁道夫·赫兹)，用电子射击汞元素 (咱俩约好，以后管射出的叫弹，被击中的叫靶)，这一射，又鼓捣出一起失踪案：弹电子丢了

4.9eV 的能量！

弹能量低于 4.9eV 时，不管你怎么射、射多少，都毫无反应；只要弹能量超过 4.9eV，打中靶，弹就立即丢掉 4.9eV 能量，汞射出紫外线。

弗兰克和赫兹推测，从汞原子踢出一个靶电子，应该需要 4.9eV 的能量。

但，为什么是 4.9eV 呢？

跟玻尔混到现在，相信现在的你已经有答案了。其实，这个实验刚做出来，爱因斯坦就认识到，这是存在能量层级的证明。

见大家很迷糊很不开心的样子，清醒的玻尔开心地解释道：4.9eV，就是汞原子两个能量层级的差。具体是哪两个呢？喏：

第一激发态能量 - 基态能量 = 4.9eV。（二楼能量减一楼能量）

这份能量释放出来，波长是 253.7 纳米，正是汞刚刚射出的那道华丽丽的紫外光！这就是存在能量层级的铁证。不服来辩？！

这还有啥不服的？科学嘛，是最讲道理的，你符合观测，你就是王。

于是，帖子里的板砖越来越少，鲜花和加粉的越来越多。玻尔楼主想把哥本哈根大学讲师这个头衔换成理论物理学教授。但是，这个头衔仅德国论坛里有。哥本哈根论坛表示研究研究再说。卢瑟福一看，赶忙声援他的爱徒，还在曼彻斯特论坛给玻尔弄了个高级讲师的头衔。

玻尔 1914 年离开哥本哈根，在曼彻斯特论坛一挂就是两年，声望日隆，ID 成了大 V。到 1916 年 5 月，哥本哈根大学的研究结果出来了：同意设置理论物理学教授头衔一枚，由玻尔领衔。

斯时，想把这个头衔送给玻尔的，早就远远不止一所大学了。但玻尔最终还是选了哥本哈根，他太爱丹麦了！

荣誉纷纷送上案头，问题也悄悄浮出水面。玻尔理论牛哄哄地预测了一些光谱线，于是大家兴高采烈地去找，还真找到一些，但是，还有一些，真找不到，因为根本不存在！

这下麻烦了，咱又不是阴阳先生，预测不准时，解释起来比预测准了还有道理。

科学理论不是讲道理，而是讲什么？答答看？

讲什么都不对！哈，答错了不是？

咱不讲，只老老实实计算、观测，二者一致，就 OK；不一致，改你的理论去！

系统出现漏洞，第一反应是什么？当然是打补丁！

新锐系统构架师玻尔一出手，啪叽就是一个大补丁：选择定则。大致就是定了这样一个规矩，让大家选那些比较灵验的预测来用。

这个补丁打得太像补丁了！你看，补丁自己都出汗了。就不多说了。自己脑补掩耳盗铃儿响叮当吧。因为还有更严重的问题要面对：玻尔系统只对带一个电子的氢好用。

干嘛单给体型最小的氢搞一个理论？难道理论是靠卖萌换来的？其他元素表示严重鄙视。

咱俩都见过元素周期表，氢以后，那些货带的电子一个比一个多。你连俩电子的氦都搞不掂，还怎么在原子物理界混？

还好，也不是所有问题都没法解决。比方说，光谱线分裂的问题。

原来以为，氢光谱里的阿尔法、伽马线是时尚版的单线条，没想到，观测升级后，发现这些光谱线竟然是古典版的双线条！精细而优雅，但玻尔看了惊讶而忧郁。为什么是双线？！

玻尔正在踌躇，一个德国人出手救了场。

阿诺德·索末菲（Arnold Sommerfeld），1868 年出生，慕尼黑大学理论物理学教授。一个很牛的物理学家，也是一个相当牛的老师，门下也是神人辈出，数量上虽不如史上最强剑桥

门的卢老师和汤老师，但质量上毫不逊色：德拜、贝特都是响当当，诺奖得主，更有即将出场的海森堡、前面打过酱油的泡利，他俩同是量子论这部群星领衔的大片中的男主角，他们将以令人头晕目眩的华丽天才，一遍遍刺激我们这些凡夫俗子的柔软心脏。



【图 7.2】索末菲

索末菲不仅物理教得好，人格也立得住。在纳粹风潮中，他逆流而上，公开与反犹运动和所谓“德意志物理学”唱反调，被纳粹赠了一项“犹太文化代理人”的帽子。

又扯远了，再扯回来。索老师在慕尼黑大学创办了一个袖珍研究所，只有四室一堂：办公室、研讨室、图书室、实验室、讲堂各一。索园丁立志把它建成理论物理学的“苗圃”。

所以，苗圃虽小，操心不少。理论物理学的苗子不好栽呀！

栽苗的事，咱以后再聊。现在，索园丁要去当裁缝——给玻尔系统打补丁。

实践证明，爱好园艺的索老师是个好裁缝。他端详了一下玻尔模型，但见轨道圆圆、电子匆匆，横看成岭侧成峰。

动作简单，Pose 呆板，怎么能放射出精细典雅的双线光谱呢？

索老师顺手打了个大补丁： k 。

你扔出一张黑桃 A 是啥意思？人家索老师的这张、不，这枚 k ，是允许电子轨道椭圆，并且用 k ，规定了椭圆的哪些形状是可以有的！

还记得玻尔电子轨道的“ n ”吧？“ n ”规定了哪些轨道是可以有的，把轨道量子化了；索老师的 k 就是把轨道的形状给量子化了。

对电子放风这事儿，他既放宽了政策：你可以走椭圆；又坚持了原则：我让你怎么椭，你就得怎么椭！ k 和 n 互动，就混搭出虽然不同、但绝对有限的几种椭圆。

罗嗦半天，有位童鞋终于憋不住了：索老师，你把好端端的圆搞扁了，就能鼓捣出双线吗？

索老师说：当然！还记得上部不？开普勒研究行星椭圆轨道那段。忘了？把下面这句背 100 遍：

根据行星运动第二定律，沿椭圆绕核心运动的东东，接近核心时，其速度加快，远离核心时，其速度减慢。

要知道，电子的转速，可是相当快的！足以产生相对论效应：质量随速度的变化而增减！

老爱的狭义相对论还记得不？质量和能量是一回事儿。

电子在近核点速度最快，质量最大，在远核点速度最慢，质量最小。瞧瞧，同一个电子，转到不同的点，质量不一样，这就产生了能量差。这个变化，可以解释光谱线的某些宽度变化；另外，同一个电子，当 k 值发生变化，即使它的层级 n 不变，轨道也会从一种椭圆变成另一种椭圆，椭圆形状不同，它的速度就会产生变化，其能量当然也就产生了变化。虽然这个差值非常微小，但足够劈开光谱线了——能量不一样，发出的光当然不会在同一条谱线上了！

漂亮！真漂亮！玻尔对这个大补丁相当满意。

如果你只是把圆拉成椭圆，问题就圆满解决了，那这个世界也太幼稚了。所以，问题还在往出冒，比方说塞曼效应。

这个效应在上部说过，又忘了？回去把这段看 100 遍：

把光源放在磁场里，光源发射的各种谱线，会受磁场影响分裂成几条，各分谱线之间间隔的大小，与磁场强度成正比。

嗯，磁场让光谱分裂，这就是“塞曼效应”。1896 年 10 月由塞曼发现的。

别急，还有刚刚发现的另外一个效应，1913 年，德国物理学家约翰尼斯·斯塔克（Johannes Stark）发现，电场也可以让光谱分裂！你把原子放在电场中，一条光谱线也会分裂成好几条！

对，电场让光谱分裂，就叫“斯塔克效应”了。

斯塔克效应发现后，索老师和卢老师都曾向玻尔建议过：你是不是要试一试，把这些效应结合到你的理论里去呢？

倒底都是伟大导师啊，连出的题都不谋而合！

不过，这道题玻尔没答上。

索老师见玻尔顶了下就潜了，也不能让一道好题就这样沉了，只好亲自操刀。

索末菲注意到，在玻尔模型里，不管电子轨道是正圆还是椭圆，它们的轨道面都在同一个平面上！也就是说，可怜的电子们被限定在二维空间活动。

电子干嘛站这么齐，还非要在同一个平面里运动？迎送教育局领导？这不自虐吗？一定不是这样的！

于是，索老师又引进了 m 。他说， m 就是磁量子数，电子轨道可以不总是限制在同一个平面上。当电子处于磁场、电场中时，轨道的运行方向受到影响，发生改变，当然，方向不是乱变的，而是有限的，因为 m 值也是量子化的。这个变化有一个明显的规律：轨道面倾角的法线，与磁场方向不是平行，就是垂直。就好比开车过十字路口，你不是走这条，便是走与之垂直的另一条，其他方向没路！轨道方向的改变，也可以导致光谱线的分裂。这就圆满解释了塞曼效应、斯塔克效应。

OK，现在我们来围观一下这个量子化原子模型：

1.普朗克常数：能量吐纳被量子化。

2.运动变化：角动量被量子化。

3.能量层级：轨道大小被量子化。

4.椭圆轨道：轨道形状被量子化。

5.轨道面：运转空间被量子化。

现在的原子模型，在外表上，还是卢瑟福的行星模型，但是，在政治上、思想上、行动上，已经完全不是原来的它了，简而言之，经典三观已毁，一个全盘量子化的崭新模型，在摇摇欲坠的经典物理王国上空冉冉升起。

索末菲的 k 和 m 引入后，不仅可以解释，还可以计算，在数学上过了关。后来，关于轨道面倾角，在实验上也潇洒过关。

1922年，德国物理学家奥托·斯特恩（Otto Stern）、沃尔特·格拉赫（Walther Gerlach）做了一个实验，证明电子磁矩在磁场中会偏转，并且偏转角度是量子化的。实验原理：

麦爷曰：电运动会生磁。电子带电荷，它绕着核转，就会产生一个磁矩，磁矩与磁场、电场一定会相互作用，所以，这个磁矩到了磁场里，就乖乖地发生偏转。怎么偏转呢？看实验：

一束银原子，穿越一个非均匀磁场，分裂成两束，强度各是原来的一半！这说明，原子们偏转的角度，只有两个选项，而且是单选，非彼即此。否则，原子应该随便偏转，我们就不可能看到原子束一分为二的奇观了！

这个实验难度系数大，技术含量高，不仅拿到了空间量子化存在的证据，还为“电子自旋”的提出提供了实验基础。成为现代物理史上的著名实验。

当然，这都是后话，现在，面对这个超级大补丁，玻尔心里的一块石头落了地。他发信息给索老师：读书，没有比拜读您的大作更爽的！

“我很丑，可用起来很顺手。”量子化原子从板砖中站起身

来，在闪耀的白眼中劈荆斩棘，高歌猛进，终于赢来鲜花满路，成就了年轻的玻尔在原子物理论坛的大 V 地位，各类实验报告都在重复一句话：这小子又对了！

然而，大自然可不是那么容易应付的。你对的再多，也不表示不会错。

这不，刚解释了塞曼效应，新观测就证明，这个解释也不靠谱，至少不完善，因为在多数情况下，磁场中光谱线的分裂效应，比塞曼观测到的那个，要复杂得多！

这个发现和塞曼同学看到的情况不一样，又很难解释，搞得大家都很反常，于是大家管它叫“反常塞曼效应”。要解释它，得引进 $1/2$ 量子数。

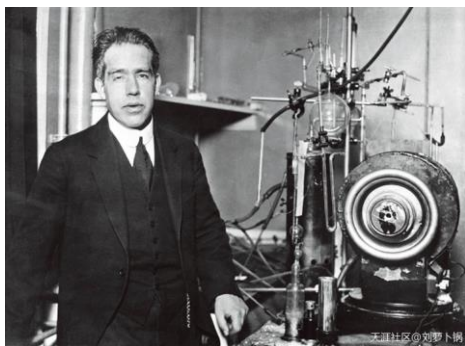
这位童鞋说了，引进就引进呗，索老师一下子就引进了两个， k 和 m ，也不多个 $1/2$ 吧？

说得轻巧，如果量子可以再分，那还叫量子吗？引进了它，就等于推翻了量子本身！不亡党便亡国，很尴尬。

反常塞曼效应就像一块无法愈合的疮疤，你可以假装不管它，但你没法避免触碰它，一碰就疼得跳起来，你还拿它没辙！这让天才们十分恼火。比方说泡利。有一天，某位仁兄吃饱了飘进哥本哈根公园，见泡利正作思想者状，便屁颠屁颠上前亲切关怀：大神有啥子不开心吗？没想到泡利大叫道：“当然了，当你想到反常塞曼效应时，还开心得起来吗？！”

如果只有反常塞曼效应这一个疮疤，还可以忍忍，放在那慢慢解决嘛。但是，由于先天不足，玻尔系统的疮疤层出不穷，就说它最擅长的氢原子吧，氢的光谱，也只是刚刚搞定了某些情况下的谱线数量、频率。对反常塞曼效应，连谱线数量都搞不掂。至于谱线的宽度、强度、间距等问题，也是一本糊涂账。氢以外的原子，就更甭提了！

这样一个系统，也让玻尔获得了 1922 年的诺奖。因为它是最好的，解决了不少问题，是唯一的希望。



【图 7.3】玻尔。笔者认为这张最具玻尔风采。

诺奖可以让人开心，但没法抹平疮疤、堵住漏洞。到了 1923 年，玻尔系统还在勉强支撑运行，运行的这几年间，程序漏洞百出，令人无法淡定。玻尔、泡利、兰德、克拉默斯等优秀程序员就负责打补丁，他们发现自己越来越忙，因为漏洞越来越多，补丁也就越打越多。由于很多补丁后来都成了垃圾，所以就不细说了，详情请参阅《那些年，我们一起打过的补丁》。

正如药不能乱吃，补丁也不能乱打。你不能用黑丝补制服，那样于事无补。所以，玻尔在 1918 年定了个规矩：对应原理。

大意是：任何结论，都不得违背宏观尺度上的观测。而宏观尺度，以经典物理定律为准。

这是一种妥协，原因有二：

一是玻尔的量子原子模型，本来就是建立在经典框架内的，在人屋檐下，不得不低头。

二是牛犇、麦犇的理论太强大，虽已破旧不堪，但瘦死的骆驼比马大，瞪眼推不翻呐！

玻尔体系本身也孱弱多病，立新尚且勉强，破旧哪来实力？所以，玻尔企图找一个万全之策，即不伤了和气，又能让量子茁壮成长。对应原理的任务，就是调和经典和量子的关系：

经典是对的，量子也是对的，只是适用范围不同。量子在

原子尺度有绝对统治权，冲出原子，走向世界时，渐渐地就由经典理论接管，直到完全接管。但量子理论的任何结论，都必须和经典理论有确定的对应关系。想借助经典体系的雄厚基础，来支撑量子论。往好里说，这是一计：借尸还魂；往坏里说，这是中计：驴唇马嘴。

虽说，对应原理的思想也颇有可圈可点之处，但同行们不怎么看好，认为它只是玻尔的一根魔棒，出了哥本哈根，就玩儿不转了。卢瑟福建议玻尔：你干脆告诉大家，星期一、三、五用量子理论，二、四、六用经典理论吧。

诚然，玻尔的原子模型经过修修补补，由内而外全盘量子化，从骨感的行星模型，发展成丰满的三维电子壳层模型，取得了一大堆的成就。但，它的问题一点也不比成就少。我们放下氢以外的原子，以及反常塞曼效应、谱线宽度、强度、间距等这些伤疤先不揭，单说基础，电子壳层模型不是来自严密的数学推理，而是天才们的即兴灵感，七拼八凑而成。连卢瑟福都在纳闷，俺的模型是怎么变成现在这个样子的呢？更糟的是，这事儿玻尔也在纳闷！

量子原子模型，说是革命者，却打着执政者的旗号，出身不明，血统不正，形迹可疑。连打补丁的裁缝们都开始嫌弃它了！

再好的补丁，也挽救不了一个落后的版本；再好的模块，也撑不起一个落后的系统。

这边补丁打得热闹，锦衣帮搞成了污衣帮。老爱干嘛呢？他鼓捣出一个后来自己痛恨的东西：几率。电子跃迁几率。

1916年，爱因斯坦简化了玻尔原子模型，只留两个能量层级，用它来推算原子吐纳光子的机制。我们知道，老爱擅长把复杂的事情简单化，大师嘛。他发现，电子跃迁有三种方式：

第一种，吸收一个光子，向上跃迁。第二种，是向下跃迁，射出一个光子，老爱管它叫“自发释放”。这两种跃迁方式，前

面说过，就不复述了。

第三种，是一个身在 E_2 能级、处于激发态的电子，被一个能量为 $E_2 - E_1$ 的光子投怀送抱时，电子没法接受，为啥呢？前面说过，它要想向上层 n 跃迁，必须接受一整份 $E_n - E_1$ 的能量才行。怎么办呢？人家带着诚意扑面而来，也不好啥表示也没有啊，于是，一激动，只好忍痛割爱，扔掉本来搂在怀里的一份 $E_2 - E_1$ 的能量，让它跟新来的光子比翼双飞，自己则45度远目，深藏功与名，跌入屌丝层。

这个动作，为啥非要是 E_2 能级的电子来做呢？因为在激发态中，处于这个能级的电子相对稳定些，有足够的时间来完成相待、相遇、相弃这一整套剧情。由于这套动作是受另一个光子刺激而导致的，所以老爱管它叫“受激发射”。

别急，剧情还在延续：比翼双飞而去的两个光子，这姐儿俩的频率、相位、方向、甚至偏振态，都一模一样，难怪电子不要，你把领导老婆克隆一个送给他，他不杀了你才怪。杀了你，他就跌回屌丝态了，连原来的老婆也没了，这就是受激发射的惊天秘密。闲言少叙。如果这姐儿俩一路遇到很多处于 E_2 能级的电子，她俩也会投怀送抱，而 E_2 电子照例不纳反抛，就这样2变4、4变8……OMG，如果这不是光子而是那啥该多好！

玻尔模型只囊括了前两种跃迁，而第三种，是老爱独家发现，这成了后来发明激光的理论基础。老爱列了个公式，用数学再现原子吐纳光子的绝世神功。算来算去，他惊奇地发现，电子“自发释放”时，它跃迁时间、释放能量的时间和方向，完全随机！

喂！说到“随机”了！没反应？这可是个后果很严重的问题！如果这个随机性是必然的，是本质的，那么，经典世界的重要根基——因果律就被摧毁了！老爱希望，这个“随机”，只是公式的一个瑕疵，以后量子论发展成熟了，再慢慢解决掉。

他哪曾想到，这个问题不仅没解决，还冒出一个更加匪夷所思的怪物，他倾其一生也未能降伏。

经典世界楼危基裂，大厦将倾；玻尔模型尚未化茧成蝶，便已千疮百孔、奄奄一息。放眼物理天空，隐隐末日之象。大家绝望之余，想起卢瑟福的那句名言。当年他建立行星系统原子模型，解决不了电子自主坠亡问题时，在论文结尾说：我们的事业除了今天，还有明天。卢老师说完这句话，接力棒就塞到了玻尔手里，如今，玻尔跑到三岔口，他迷路了，举棒四顾心茫然：明天？谁来接棒？

爱玻相会

“迟早有一天，欧洲大战会在巴尔干半岛的某个该死的蠢货手里爆发出来。”俾斯麦预言道。为了印证俾相的预言，那个该死的蠢货迫不及待地跳出来了——俾斯麦的新皇帝威廉二世。1914年，第一次世界大战爆发，欧洲打成了一锅粥，一些科学家脑子一热，就短路了，忙着支持打仗，普朗克、能斯特、维恩、伦琴等 93 人还忙着在臭名昭著的《告文明世界的宣言》上签字，遭到爱因斯坦、劳厄等人的鄙视。

有的科学家还被迫或自愿应征入伍，以至于一些科学上的合作伙伴，现在变成了战争中的敌人，比方说马斯登、莫塞莱加入了协约国部队，而盖革、赫维西在同盟国入伍。卢老师都快疯了，但无力改变。莫塞莱在一场战争中，稀里糊涂地被打死，这场战争在一战中无足轻重，他的死对这场战争也毫无意义，但人类却痛失一个天才。瑞典物理学家西格班（Karl Siegbahn）仅仅是继承了莫塞莱的工作，便获得了 1924 年的诺贝尔物理学奖。死在战场上的，不止莫塞莱。比较有名的，还有德国物理学家、天文学家史瓦西（Karl Schwarzschild），他参加了德军，当了个炮兵上尉。1915 年在俄国服役期间，研究相对论，得出引力场方程的一个精确解，并寄给了爱因斯坦，老爱十分欣赏，立即推荐发表。可惜的是，还没等刊出，史瓦西

就在前线染病死了。他的死也是毫无价值。后来，他的一系列贡献：史瓦西解、史瓦西空间、史瓦西度规、史瓦西半径以他的名字命名，黑洞就是史瓦西解的一个结果。俄国地理学家高尔察克（Aleksandr Kolchak）卷进了内战，被苏俄打败后处死。

当然，除了爱因斯坦，还有一些彻底反战的科学家。其中，爱丁顿就是比较拽的一个。这家伙是贵格会成员，反对一切形式的暴力和战争。一战期间，爱丁顿被征召服役，但这小子断然拒绝。他当时已经大名鼎鼎了，而莫塞莱尸骨未寒，于是科学界纷纷谴责英国国防部。政府顶不住了，就帮爱丁顿想了个借口，说他因病没法服兵役，好让双方都有个台阶下。没想到爱丁顿又一口拒绝：贫道没病，洒家还就不服兵役了，你能把老衲怎么着？！要说这万恶的大英帝国对内也真是软弱无能，见爱丁顿不给台阶，他们只好自己找台阶下，单方面宣布同意爱丁顿“缓服兵役”。这一缓，就是N久。1918年光棍节，11月11日11时，一战结束。正好这期间爱丁顿张罗验证广义相对论，于是政府说，你这么不听话，给你人财物，罚你跟戴森去观测日食，让太阳晒死你、让蚊子叮死你算了！爱丁顿嗔道：讨厌，你好残忍哦！后来的事情大家都知道了。难怪英国盛产科学家。什么？你说德国也盛产科学家？德国当然也盛产科学家，不过，有两个类似的时期基本不产，不信你去翻翻历史，看看希特勒德国、后来的东德，产科学家吗？别说产了，连原来攒的科学家都跑了一大半！没跑了的，领导咋说他咋说——科学家还有，但科学走光了。

话说老爱搞定广义相对论的同时，也研究了电子跃迁，就是前面刚刚说到的。在他的公式里，出现了一个讨厌的东西：概率。

其实，概率这货，老爱不仅相当熟悉，而且玩儿得溜溜转，真正的概率高手。解决布朗运动，就是老爱玩儿概率的大手笔。

说起概率这玩意儿，它的出身不太光彩，起源于赌博！

16 世纪，意大利百科全书式的学者卡尔达诺（Girolamo Cardano）开始研究掷骰子等赌博中的一些简单概率问题。



【图 7.4】卡尔达诺

到了 17 世纪中叶，在法国，掷骰子风靡官府贵族。庄家梅莱定了个简洁的规则：1 个骰子，玩家连掷 4 次，不出现 6 点，玩家赢；出现一次 6 点，庄家赢。梅莱想，骰子 6 个面，每个面出现的概率都是 $1/6$ ，每局都掷 4 次，出现 6 点的概率就是 $4/6=0.6666\cdots$ ，显然，庄家赢的概率大。实践证明，他果然在赢。

后来，为了更刺激，梅莱改了规则：2 个骰子，玩家连掷 24 次，不同时出现 2 个 6 点，玩家赢，否则庄家赢。梅莱想，2 个骰子掷 1 次，出现 2 个 6 点的概率，是 $1/(6\times 6)=1/36$ ，掷 24 次，就是 $24/36=0.6666\cdots$ ，庄家赢的概率没变。但狗血的是，他总是输！

玩来玩去破产了，梅莱这才想起，有个朋友叫帕斯卡（Blaise Pascal），伟大的数学家、物理学家、思想家。于是去求教。

帕斯卡一算，蛮有搞头，概率这东西，原来不是大家想的那样简单！他给国家干部费马写信，哥俩牛哄哄地讨论了这事儿，概率论就这样在书来信往中诞生了。

对了，那两种规则的概率是这样算的：

旧规则： $1 - (5/6)^4 = 0.517747$ （险胜啊！）

新规则： $1 - (35/36)^{24} = 0.4914$ （这还不输？）

数学不好，就去开赌场，坑爹啊！但是梅莱用自己的破产催生了概率论，这是一种什么样的精神？这就是“毫不利己、专门利人”的精神啊同志们！

看，梅莱的推理相当严谨，但得到的结果，却是错的。因为他的前提不对。可怕的不是前提错误，而是这个错误的前提，看起来是正确的！所以，用推理下结论之前，必须先审视自己的大小前提，是不是毫无问题。否则把自己绕进去，坑爹害己啊。这可不是随便说说就能做到的哦！

后来，瑞士数学家伯努利（J. Bernoulli）对概率论产生了兴趣。顺便八卦下：伯努利家族可不白努力，3代出了8个数学家，伯努利 1.0、伯努利 2.0、伯努利 2.1……令人惊羡的活体版本升级换代啊！除了这些数学家，他们的子子孙孙，至少有一半很拉风，在数学、科学、文学、技术、艺术、工程、法律、管理等方面各展千秋，至少 120 多位被人们追溯过。现在，我们擦掉口水，看看 J. 伯努利的工作。他在《猜度术》中，建立了伯努利大数定律，这是概率论的第一个极限定理。

之后，法国数学家莫弗 De Moivre）、拉普拉斯（P. S. Laplace）、俄国数学家切比雪夫（Chebyshev）、马尔可夫（A. A. Markov）、李亚普诺夫（A. M. Lyapunov）一千人等，一拥而上，把概率论发展到一个新阶段。

1933 年，苏联数学家柯尔莫哥洛夫（Andrey Kolmogorov）出版了《概率论基础》，首次给出了概率的测度论定义和一套严密的公理体系。他的公理化方法成为现代概率论的基础，使概率论成为严谨的数学分支。



【图 7.5】柯尔莫哥洛夫

此外，惠更斯、高斯、泊松等数学家也对概率论各有贡献。

不管怎么说，人类搞概率论，是为了对付信息海量庞杂、变化微妙的东西，比如掷骰子，或者是气体、流体运动规律等。这是个权宜之计，我们现在没有能力收集精确初始数据，没有能力计算如此庞杂的数据，算不出确定结果，于是，我们就计算各种可能性的大小。

在经典物理学眼里，自然的变化虽然无比微秒、无比庞杂，但是，这一切，都是完全遵从物理定律的，在理论上，是可以掌握的。概率，只不过是一种技巧。现在，在老爱自己的公式里，出现了“概率”。并且，看样子，这家伙还很难消除。随机？那是什么玩意儿？！

概率魔瓶就像一柄达摩克利斯之剑，悬在头顶。悬剑的那根马鬃一定会断开，但你不知道它啥时断，因为马鬃有自由意志，啥时候断，要看它的心情！这还是物理吗？简直就是玩笑！

爱因斯坦很郁闷。

但是玻尔很兴奋。因为他接到一个重量级的邀请。

在爱因斯坦的力荐下，由普朗克出面，请玻尔到柏林大学做原子理论方面的讲座。柏林大学是什么地方？二战之前，那

是欧洲乃至全球的学术中心！产生过 29 位诺贝尔奖得主。受邀去这地方开个人专场，那相当于向全世界宣布，你在这个领域是绝对一流的！

让玻尔兴奋的，当然不止这个。这趟行程，意味着他可以同时与爱因斯坦、普朗克会面。普朗克自不必说，成名比他俩早。而老爱，1919 年以来，已经是誉满全球的超级明星，那时一战刚结束，大家饿着肚子在街头争论空间扭曲这事儿是不是靠谱，科学话题火热至此，在人类史上是空前的。老爱 and 老普，对全世界人民来说，是顶尖的物理学家。而对玻尔，还有着更深层次的意义——在自己主攻的量子世界，他俩是开天辟地的先驱。

对这次会面，双方都有殷切的期待——论剑量子之巅！

1920 年 4 月 27 日。

玻尔出了车站，有点小紧张。但很快，这点小紧张就烟消云散了。不仅是因为老爱和老普的亲合力，还因为三人用生命去热爱的话题：物理。

在一阵愉悦的笑声中，量子论三教父聚齐。那一天的柏林，蓬荜生辉，不要太灿烂了！

从某种意义上讲，他们的聚会，比二战三巨头聚会更有意义。因为无论你把统帅们做的事说得如何伟大，其本质也只是各拉一票人群毆，打赢的，就引领大家重建人类社会新秩序。不是你带着打，就是他带着打。只要打，就一定有胜者，胜者一定被看得很伟大。人类，永远也不缺少这样的人才。量子论三教父，则引领人类开启了一个新智慧时代。缺少了他们，说不定智慧升级的这一步就迈不出去。而人类，是以智慧为标志的。

玻尔的潇洒气度，普朗克的刻板形象，爱因斯坦的拉风造型，这仨人凑一块，颇具喜感。

反差大的，不仅是形象，还有思想。欢悦的神聊之下，观

念的冲击暗流汹涌。

顶尖高手的过招，已经是一种可遇不可求的享受。如果能顺便把对方拉到自己的阵营，那就是人间至乐了。

可是，“至乐”这玩意儿，天上也是稀罕物，人间那得几回寻？

就说爱因斯坦的光量子吧。玻尔就不信，他宁可相信是守恒定律出了问题。普朗克就更不用说了，他连自己的量子都不信，何况老爱的光量子！老爱落单。

再说老爱鼓捣出来的自发释放概率。老爱很不服气，就拿出来吐槽。可玻尔认为，你没理由吐槽啊，电子向下跃迁，本来就是随机的！普朗克当然相信物理不是随机的，所谓概率只是权宜之计。玻尔落单。

有意思的是，后来证明，落单者才是对的。

难怪量子论充满争议，连它的三个创立者都针锋相对！不管他们三个人怎么互掐，玻尔这趟柏林，双方收获都不小。由于是个人专场，所以，玻尔可以在全球学术中心酣畅淋漓地传播他的学说；而柏林大学呢，在玻尔新版的量子化原子模型里，领略了前所未有的崭新思想。

爱因斯坦喜欢玻尔本人，但是不喜欢玻尔的这次讲座。因为玻尔说，要精确确定光释放的时间和方向，那是不可能的。不是技术上不可能，而是理论上就不可能，因为光释放的时间和方向，本来就是随机的！

随机也好，确定也好，从那时起，一段神奇的友情开始了。两人被对方的才学与人格所深深吸引，又因为学术上的分歧而互不相让，世纪论战由此埋下伏笔。

爱因斯坦此时还没意识到，他遇上了此生最强劲、最难缠的对手。

毫无疑问，玻尔 EQ 相当高，除了真情，他还有方法、有手腕，在人情世故方面，比爱因斯坦强多了。但是，在一些原

则性问题上，他根本不像看起来那样随和。和老爱一样，寸步不让。有一点不同的是，老爱只是坚持。而玻尔，必须想办法让对手放弃坚持。他平时有点口拙，也不会写文章，但一旦辩论起来，你会惊奇地发现，他的表达能力让你发疯，他压倒对手的愿望和耐力更让你抓狂，这小子似乎是专门为辩论而生的！

还记得不？他见汤姆逊第一面就拿出老汤的书，指着一个公式，说了这次会面中最流利的一句英语：“这是错的。”老汤没跟他辩论，而是安排他去做实验、吹玻璃。玻尔觉得吹玻璃很无聊，就去找卢瑟福。聪明的卢老师因为修改“三部曲”饱受这小子辩论摧残后，就再也没向玻尔挑起过辩论。不过，这不代表别人也能幸免于难。

玻尔被任命为教授后，依照惯例，要随众觐见一次国王。然后国王杯具了。

见到玻尔，国王大概是想活跃一下气氛，调侃道：“很高兴见到著名足球运动员玻尔。”

“对不起，陛下可能是想到了俺弟弟。”玻尔纠正国王，弟弟才是那位著名足球运动员。

因为无关紧要的一句问候，国王被当众反驳，十分意外。但国王肚里跑航母，既然表达有误，就重新表达吧：“很高兴见到玻尔”。

岂料，玻尔又纠正道：“不过，玻尔的确是一名足球运动员。但他弟弟才是‘著名’足球运动员。”

在场的人都抓狂了。国王很尴尬。朕这才跟玻尔教授说了两句话，错误率便达 100%，下面怎么继续？于是，国王说了一句不会错的话：“觐见结束”。

冒犯了国王，一点也没影响玻尔在丹麦的前途。丹麦给了他 N 多优待，支持他创建了玻尔研究所，1939 年任命他为丹麦科学院院长，他在丹麦地位渐高、声望日隆。所以你看，丹麦只有 4.31 万平方公里，人口现在也只有 560 万，也就相当于咱

国一个三线城市的城市人口吧，却拥有 10 位诺奖得主，物理 2 个、医学 5 个、和平 1 个、文学 2 个，各方面独立思维、自主创新能力都强得很呐！试想，如果 700 多万人口的长春拥有 10 位诺奖得主，俺们还不得集体疯掉！

玻尔不仅虐自家国王，也不放过别国首脑。由于饱受战乱，玻尔认为，国家之间要开放合作才行，于是见缝插针地推销他的理念。1944 年 5 月，丘吉尔接见了玻尔。3 个月后，罗斯福也接见了玻尔。

然后，大概是被玻尔虐惨了，老丘和老罗见面，正为二战焦头烂额的两位首脑居然谈起了玻尔。老丘告诉下属：老罗和我一致认为玻尔教授太烦人了。老丘觉得应该把玻尔关起来。

当然，这只是丘首相的一个理想，他不是希特勒，不能随便关人。尤其是玻尔。

事情还没完。因为感觉上次没谈好，所以，玻尔打算再次约见罗斯福。老罗一看，这可不得了，赶忙在 1945 年 4 月去世了。惹不起我还躲不起吗？

这下玻尔没辙了？不，他把目光转向了国务卿马歇尔。马歇尔虎躯微震，赶忙 75 度远目，闲看天外云卷云舒。

你以为政治家们玩儿点冷处理的小把戏，我们伟大的玻尔就放弃了吗？当然不！1950 年，玻尔发表了一封致联合国的公开信，还特意寄给联合国秘书长一份，继续推销他的政治理念。这还不算完，为了防止一些懒虫不读书看报，错过他的零分作文，他又 Copy 了几千份，寄给包括美国大使和丘吉尔在内的各国政要。

你知道，玻尔先生没达到目的，但是，他的努力并没有白费——光荣地被苏联评为“资产阶级反动派”。得到这顶帽子的还有爱因斯坦。因为这哥俩的政治理念相近。

关于玻尔虐辩的事儿，以后有的是，海森堡、薛定谔、爱因斯坦等都在劫难逃，咱以后再说。玻尔暂时还没太多时间找

人辩论，他正忙着筹建研究所。这个研究所从 1917 年开始筹建，已经忙乎三四年了，现在，终于建好了。承建商长出了一口气，他熬过了从业以来最凄惨的日子。这几年间，玻尔积极参与到建筑的整个过程，反复修改图纸，每一个细节都锱铢必较，建筑商又说不过他，这次第……！

当初，为了让理论物理在哥本哈根发扬光大，玻尔拒绝了卢老师为他介绍的优越工作，回到哥本哈根，筹建了这个研究所。漂布塘路 17 号，这是座三层小楼。一楼有讲演厅、图书馆、办公室、接待室；二楼有两个小实验室，其余都是玻尔的家庭公寓；三楼是服务人员和贵宾的住处；主要实验室在地下室。1921 年 3 月 3 日，研究所正式开办，注册 ID：理论物理研究所。昵称：玻尔研究所。



【图 7.6】玻尔研究所（图片来自维基共享资源）

这里，将聚集一堆天才，你没看错，是一堆；这里，将成为全球量子物理学的圣殿；这里，将迸发最璀璨的思想，重塑人类的宇宙观。这一切，都源于令人热血沸腾的哥本哈根精神。自由平等，激情勃发，活力四射，乐观进取。它的缔造者，正是让领导们避之不及的尼尔斯·玻尔。

这都是以后的事了。现在，玻尔研究所只有玻尔搬了进去。万事俱备，只缺天才！求贤若渴的滋味，并不比饥渴的滋味好

受。

所以，玻尔处处伺机出击。他是个绝佳的猎手。

机会来了。1922年，玻尔应邀去哥廷根大学讲学。哥廷根大学是啥地方？那是德国的学术之都！这里聚集了世界各地的精英，尤其是数学，全球无出其右！在此读过书、教过学的，有40多个诺奖得主，如果不是希特勒带来的那场浩劫，这个数字会翻番！不信？听听纳粹德国教育部长与大数学家希尔伯特的一段对话吧。当时，纳粹风潮浸淫每个角落，处处以阶级斗争为纲，以种族斗争为纲，与啥斗都其乐无穷，哥廷根学者饱受迫害，没死的纷纷逃走。纳粹教育部长不相信他们正义的斗争会影响学术，就问希尔伯特，真的是这样吗？老希正气不打一出来呢，立即揶揄道：“哥廷根不会受到影响，部长先生，因为它已经不存在了！”当然，这是后话了。

话说纳粹得势以前，在哥廷根大街上随便拽出一个毛头小伙，数学都比玻尔和爱因斯坦强。但玻尔，是以发展数学的名义，去哥廷根开专场，因为这样，就可以名正言顺地花基金了。

这个专场一开就是11天，玻尔搞了由7个部分组成的系列讨论，史称“玻尔节”。除了哥廷根的师生，还有百余名物理学家从各地赶来听讲。

玻尔这次主讲的，仍然是量子化的原子模型。重点讲了电子壳层，解释了“元素的化学性质，是由电子的排列决定的”，电子排列决定了元素在周期表中的位置。有些元素，原子量不同，但化学性质却一样，那仅仅是因为，它们的电子壳层中，最外层的电子数是一样的。

在讲座中，玻尔根据自己的理论，牛哄哄地做了个预测：72号未知元素，将与40号锆和22号钛这俩元素的化学性质相同。

由于那时，希特勒已成为纳粹党首，虽尚未控制政府，但纳粹风潮汹涌，他们造谣、污蔑、扣帽子、大字报、批斗、暗

杀……什么缺德事儿都干，光政要就刺杀了 354 名，爱因斯坦已被列入刺杀的头号目标。出于安全考虑，老爱没有出席玻尔节。但他读了玻尔 3 月份发表在《物理学报》上的论文：《原子的结构以及元素的物理及化学特性》。看到电子壳层与化学性质的关系时，老爱说，这像个奇迹，他用了一个对他来说最高的评价，说这个理论是“音乐细胞在思维领域中的最高体现形式”。这是在说，玻尔的工作具有艺术的美感，而且还是顶尖的那种。

那么，老爱眼里的顶尖美感，究竟美在哪儿呢？我们现在就去欣赏下好吗好的。

跟玻尔混了这么久，加上索末菲的帮衬，咱俩已经知道，所谓的能量层级，一点也不像楼层或运动场阶梯看台。要是非得用俗物打比方，还不如说它像一个透明的洋葱。一层洋葱皮就是一个能量层级。不同能量的电子，只能“生活”在指定的能量层级里，就像是由电子组成的一层套一层的壳，所以，我们管它叫电子壳层。为了方便，我们还是像以前一样，管最底层，也就是最里层叫一楼，往外依次叫二楼、三楼……每个楼层允许入住的电子数不一样。至于这是为了啥，往后，泡利会告诉我们。

现在，我们来看看电子是怎么入住的。入住之前，先熟悉原子城堡的规则：不同楼层住不同居民。每个楼层的生活标准是一样的，但是，楼层越低，物价也越低。所以，你离屌丝层越远，物价就越高，生活压力就越大。

如果是咱俩，选哪层呢？当然是毫无出息地首选最底层！可惜一楼“K”只有 2 间房，被设计师玻尔和索末菲给抢占了，满层！所以只好选 2 楼“L”，L 最多有 8 间房，但是被八仙抢占，靓女、老者、大肚子的，拄拐的……各显其能，抢完后，还见多识广地教育咱俩：世上没有绝对公平，谁让你们不使法宝呢？与其抱怨，不如埋头抢座！什么？规定排队？！活该你俩永远被挤到最差的位置！

虽然没得到好位置，还被果老和铁拐打得鼻青脸肿，但咱俩熟悉了入住原则：尽量抢低楼层。好在 3 楼“M”最多有 18 间房！这下够住了，可是左看右看，就剩咱俩了，闲置房 16 间……一不留神变“房叔”了？美呀！好吧，这个原子城堡叫镁，12 号元素。

从底层被挤到高层的奇幻之旅中，咱俩还发现，K、L、M、N……这些楼层，都分“子楼层”，就像宿舍里的上下铺，叫做“亚层”，分别是 s、p、d、f……这些亚层最多容纳电子数分别是 2、6、10、14……

情况很复杂是吧？实际上，情况比这还复杂。比如，说好的“楼层低，物价就低”，但是，原子城堡在每个楼层都设置了高税房，说是为了抑制房价。于是，就出现下层物价比上层还高的现象。比如 3 楼 M 的 d 亚层（门牌号 3d），比 4 楼 N 的 s 亚层（门牌号 4s）物价更高。

出现这种情况怎么办呢？还是先选低楼层吗？不！当然是哪个物价低先选哪个。所以，有时就出现了这样的情况：3 楼的房间没住满，就开始抢 4 楼的房间。

原子城堡增税，一向是“悄悄进村，打枪的不要”，既不征求意见，门上又不贴告示，怎么知道先选哪个房间呢？这种问题，当然由咱国同胞来想办法。

徐光宪，1920 年 11 月 7 日出生，中国浙江人，物理化学家，无机化学家。北京大学化学系教授。徐先生总结出—条规律：外层电子能级，由 $(n + 0.7l)$ 确定，值越大，能级越高，也就是物价越高。

先解释一下 $(n + 0.7l)$ ：n 就是楼层，分别对应 1、2、3、4……；0.7 后面那个是 L，小写成 l，不要错认成数字 1 哦。l 是亚层，s、p、d、f 分别对应 0、1、2、3。我们现在就假装算—下。还是用 3、4 楼来说事儿，请听题：“3d” VS “4s”，哪个能级更高？

3d: $n=3, l=d=2$ 。列式: $(3+0.7 \times 2) = 4.4$ 。

4s: $n=4, l=s=0$ 。列式: $(4+0.7 \times 0) = 4$ 。

可见, 4s 比 3d 物价低, 先选 4s。

这条经验, 就叫“徐光宪定则”。

有了这条选房秘籍, 我们就能很方便地找到物价低的地段了。所以, 当你看到 3 楼闲置 4 个房间, 而 4 楼却游荡着 2 个电子时, 千万不要奇怪, 这个原子城堡叫做“铁”, 26 号元素。

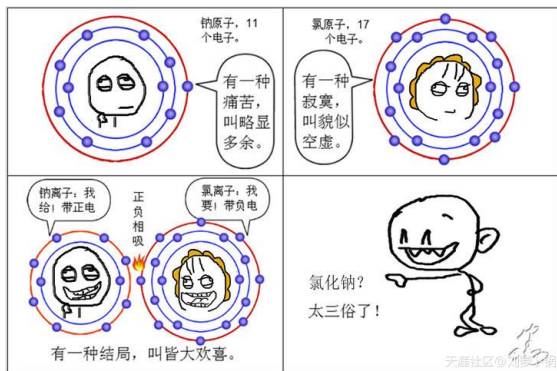
每种原子的电子数都不一样, 入住后, 总有些电子抢不到低楼层, 就像咱俩, 只好抱着高能量, 在成本高、压力大的最外层游荡。殊不知, 正是这些抢不到好位置的电子, 决定了原子在化学江湖的角色。

如果最外层刚好满员, 大家共同分担压力, 那么, 这个原子就异常稳定, 不需要和任何原子合作, 喜欢独处, 懒得和任何元素(包括同类)化合, 这种元素就叫惰性元素, 数量不多, 一共 6 种, 咱列一下名单: 氦、氖、氩、氪、氙、氡。咦? 为啥都是“气”? ! 因为它们不愿意跟任何元素搞到一起, 所以一般情况下, 只能是离散的“气体”了!

像人类一样, 好环境都争先恐后去抢, 如果沦落到不好的境地, 就巴不得更多人陪着自己共患难。所以, 如果最外层没住满, 那么, 这个原子就有凑“满层”的倾向。

比方说 11 号元素钠, 最外层只有 1 个电子; 17 号元素氯, 最外层只有一套空房。怎么办? 钠一想, 反正我也不能把氯的 7 个外层电子都夺过来, 干脆, 我就把这 1 个外层电子给他, 这样, 俺俩的外层电子就都是满层了!

还记得离子是咋回事不? 钠少了个电子, 就成了钠离子, 带正电; 氯多了一个电子, 成了氯离子, 带负电。于是二者就异性相吸, 结合到一起, 成了著名的氯化钠——咱俩吃的盐。让氯和钠结合的, 就是所谓的离子键。



【图 7.7】氯化钠

由于外层电子数不一样，空房间数也不一样，所以，各类元素之间凑满层的办法千奇百怪，并不总是一对一，也有可能玩 3P，只要凑得满层，具体谁和谁、几比几，都无所谓。

比方说 8 号元素氧，1 楼 2 个房间，2 个电子填满。2 楼 8 个房间，6 个电子，闲租房 2 套；而 1 号元素氢，它只有 1 个电子，所以它的第一层就是最外层了，2 套房闲置 1 套。怎么办呢？那就 2 个氢原子和 1 个氧原子结合，成为水分子： H_2O 。

当然，元素们不一定非要和异类合作，它们也可以和同类合作，比方说，两个氢原子结合，变成氢分子，也可以凑成满层。这样结合的化学键，就叫共价键。

有时候，即使有两种原子的外层电子数是一样的，它的空房间数也不一定相同。

比方说，5 号元素硼，一楼住 2 个电子，还剩 3 个，但二楼有 8 个房间，这就空出 5 个房间；而 13 号元素铝，一楼住 2 个电子，二楼住 8 个，也剩 3 个，但三楼有 18 个房间，这就空出 15 个房间。

这就导致，它俩的化学性质虽然很相似，但物理性质却不相同，一个是金属，一个是非金属。实际上，它俩在化学性质上的那点区别，也是因为空房间数量不同。

有些原子，外层电子少，在相互靠近时，谁也不索取，都会丢掉外层的电子，成为满层的离子。这让它们距离更近，排成密集、规则的晶体。那些丢掉的电子哪去了？它们变成了“自由电子”，在离子晶格间闲逛。由于自由电子带负电，丢掉电子的离子带正电，所以，自由电子就能像胶水一样，把这些离子粘到一起。这样的组合，让原子显示出金属性。让金属原子结合的，叫金属键。

我们来看看金属的物理特性：

1.具有光泽。这是由于自由电子具有更强的反射能力。

2.富有延展性。这是因为，离子换了位置，自由电子有本事重建连接。

3.导电性好。这是因为自由电子多。

看看，是自由电子造就了金属。

实际上，最外层的房间数，并不怎么固定，不过，也不是完全没章法。

1916年，德国物理化学家柯塞尔(Walther Kossel)注意到：最稳定的元素，也就是号称“贵族元素”的惰性元素，外层都是8个电子。难道，摇到一个吉祥数字，情绪就稳定了？再看看其他元素，外层电子数一般都不到8个。为啥要说“一般”呢？因为有极个别元素搞特殊化，比方说46号元素钪，外层17个电子，77号元素铀，外层18个电子。柯塞尔发现，那些外层不足8个电子的元素，都有凑足8个电子的渴望，一旦凑齐，就满足了，特稳定。

1923年，美国化学家路易斯(Gilbert N. Lewis)发展了这个理论。

后来，美国化学家兰茂尔(Irving Langmuir)把这个规律进行了比较完整的表述，叫做“八隅体”规则。

这只是一条经验规则，没有推理，没有原理，甚至没啥道理。例外情况也不少。所以，咱俩只要稍稍了解下，不至于问

出“为啥钠元素第三层不需要凑够 18 个电子”这样的问题，就 OK 了。

同一个世界，同一个梦想——只为凑满层，却凑出千奇百怪的结果，连存在形态都迥然不同，固态、液态、气态，千姿百态。同样是原子、电子排布，形态差距咋就那么大呢？还不是因为前面说过的：原子外层电子数不一样、空房不一样，加上元素品种繁多，不一样的组合，就有不一样的特性，原理简单，但变化无穷。

就拿水来说吧，我们都见过它的三种形态：液态水、固态冰、气态水蒸气——其实我们看到的白色水蒸气是小水滴，真正的气态水，是混迹于空气中的水分子，看不见的。

上面说过，水分子由 2 个氢、1 个氧混搭而成，结构简单，但性质微妙，它的 3 个原子不是排成一条直线，而是站成 104.5 度角，看这架势，是氧老大，身后站俩氢保镖。话说氧老大占有欲更强，所以，在分享电子时，就把本来属于氢的电子拉得更靠近自己，这样一来，氧这边就带负电，而两个氢那边就带正电，像一个燕尾状的小磁铁。

咱俩都玩过磁铁，不管多少磁铁，随便放在一起，它们肯定正负相吸，如胶似漆地黏在一起。黏在一起的分子，可以是固态，也可以是液态，具体是啥态，关键看两点：一是看它们之间的磁性、也就是吸引力大不大、感情深不深；二是看它们的运动状态——这个很好理解，同样是你和心爱的 TA，可以紧紧相拥跳慢四，也可以若即若离跳探戈，但是没法抱在一起跑 110 米栏，如果在汹涌的波涛中玩冲浪，就更难接触了。

由于共享电子偏向氧的距离很适度，所以水分子磁性不太大，也不太小。只要 100℃ 的温差，就可以切换固、液、气三态。在我们地球，1 标准大气压下，温度低于 0℃，水分子相互拉得很紧很规则，结成晶体，变成固体；0~100℃ 之间，水分子之间既相互吸引，又不死抱着不松手，在一起，但不太腻，就

呈液态；超过 100°C ，分子运动加剧，没法牵手了，被分开，分到一定距离，吸引力没了，就散成气体。

像水一样，固、液、气态，不是物质的“本来形态”，它们是可以相互转换的。变成啥形态，全看温度高低、压力大小。温度、压力发生变化，粒子们的运动、作用力、结构就发生变化，存在形态就跟着变了。你看，铁可以化成铁水。二氧化碳可以制成干冰。当我们的眼睛冲出地球，看向宇宙深处时，你会惊奇地发现，氢在高压下，可以化身水银般的金属！你在地球上看不到，是因为目前，地球上制造不出这么大的压力！不过，你可以看到，跟谁也不亲的惰性气体，被制成液体。最难液化的是氦，它的沸点是 -269°C ，接近绝对零度 -273.15°C 了。

1927 年，德国物理学家海特勒（W. H. Heitler）和伦敦（F. W. London）用刚刚建立的量子力学处理氢分子，基本阐明了化学键本质，开创了量子化学。

后来，美国化学家鲍林（L. C. Pauling）、马利肯（R. S. Mulliken）等人把化学键的理论解释搞得越来越完美。

量子化原子理论，把化学成果囊括其中，用粒子的物理性质，完美解释了元素的化学行为，让古老、神秘的化学变得简洁、清晰起来。

嗯，有点跑题了。现在，应该说的是：“你看，多么美妙神奇的世界啊！”然后，结束我们的化学自习课。

量子原子理论的美感，就这样迷住了热爱自然的爱因斯坦。

玻尔根据他的理论，重建了元素周期表。虽然数学基础欠点火候，但思路够野，就像在在牢房踹开一堵墙，一幅别致的风景直扑眼底，令人精神为之一振，七窍倒也通了六窍！

为啥还有一窍不通呢？因为，就在玻尔牛哄哄预测 72 号元素时，巴黎发布了一项实验结果，确认 72 号元素是稀土类元素！理论很美，但预测不准呐！大家很迷茫。

玻尔吓了一跳，外层电子决定化学性质，这个规矩，周期表里的已知元素都不敢违反，唯独 72 号元素敢抗天规？摇到一个好号就自以为齐天大圣了？惊疑之余，玻尔头顶冒出一个大问号：这位法国朋友的实验靠谱吗？

关键时刻，好朋友赫维西挺身而出，跟考斯特 (Dirk Coster) 合作，成功分离出了足够的 72 号元素，最终确认，这家伙的化学性质，跟锆极其相似，跟稀土八竿子打不着！这个元素被命名为“铪”，发音源自哥本哈根古称。

玻尔松了一口气，这个结果来得太及时太给力了！

然而，另一个实验的消息，让玻尔感到很无力。康普顿效应。

玻尔虽然搂着全盘量子化的原子模型当宝，漏了补、补了漏，就是不肯扔，但他怎么也不相信真的存在“量子”这个东西，尤其是“光量子”。现在，索末菲透露出，康普顿正在进行的 X 射线实验，基本确认，光这家伙，就是量子。全世界只有爱因斯坦自己相信的事儿，马上又要变成常识了！

于是就发生了我们前面提到的案情：玻尔挥刀斩向守恒定律。为了让这一刀砍得更更有型，玻尔还搞出一套心法：BKS 理论。这个咱以后再说。因为，爱因斯坦有点着急。

他要拯救玻尔。他发现，在光量子面前，玻尔情绪很不稳定。

1923 年 7 月，领完诺奖以后，爱因斯坦突破会场 2000 人的围观，坐上了前往哥本哈根的列车。

玻尔已在车站迎候多时。他俩都有点迫不及待。因为，玻尔要告诉老爱，光不是量子；而老爱要告诉玻尔，光就是量子。于是，一坐上市区的有轨电车，俩人就卿卿我我地聊开了，时间过得真快，耳边响起报站声：“终点站到了，请带好您的随身物品准备下车。”坐过站了，只能往回坐。时间过得真快，耳边又响起报站声：“终点站到了，请带好您的随身物品准备下车。”

又坐过站了……以上重复 N 次。司机都快疯了，他不明白，两个男人为啥聊得如此悱恻缠绵，并且是那么无聊的话题。尤其是，下车后，他们还在聊。

玻尔和老爱也快疯了，因为谁也没说服谁，白费了这么大力气。

他们都对自己的理论充满信心，同时又对对方十分欣赏，于是他们有了一个共同的理想：把对方拉入自己的阵营。

这也难怪，双方在才学、人格、三观等方面惺惺相惜，在物理上，又同是量子论的开创者，如果二人并肩站在同一条战线，这个世界就完美了！但是，慢慢地，他们发现，虽然他们在多方面相当接近，但对自然本质的认识上，却水火不容。

玻尔继续跟光量子较劲。

爱因斯坦继续对光量子充满信心。1924 年 4 月 20 日，老爱在《柏林日报》上发表文章，概括了光理论发展时况：“现在，有两种光理论，缺一不可。而且，尽管经过 20 多年的努力，我们也不得不承认，它们之间没有任何逻辑关联。”老爱是说，粒和波，都不能抛弃。这是他一直以来积极推销的“一元二体认识”，就差说出那几个字了：波粒二象性。

这篇文章发表不久，老爱收到一个包裹，是法国朋友、著名物理学家郎之万（Paul Langevin）寄来的。包裹里面有一篇博士论文。

二象世界

郎之万随包附言，让老爱给点意见。这篇论文的作者不是郎之万，而是一位法国王子：路易·维克多·皮埃尔·雷蒙德·德布罗意（Louis Victor Raymond de Broglie）。

这个“王子”，并非国王之子的意思，而是地位低于子爵、高于男爵的一个封号。子爵往上，依次还有伯爵、侯爵、公爵，公爵最高。而男爵，就是最低的贵族爵位了。所以，“王子”这个封号并不高，翻译成“公子”或许更合适。不过，这位王子，

却是名副其实的贵 N 代、官 N 代、富 N 代，他出身于法国最荣耀、最显赫的贵族之一：德布罗意家族。这个家族，在法国自 18 世纪以来的历史中非常拉风，出过将军、元帅、首相、外交官……王位征战闪过光，七年战争练过枪，独立战争飘过洋，法国革命验过伤，外交场上圆过谎，内阁案上安过邦……N 代人文治武功，勋业凶猛，所以被册封为世袭公爵。路易之所以只是“王子”，那是因为，在这一代活下来的 4 个孩子中，他排行老四。只有大哥莫里斯才有资格顶着公爵的光环。1960 年，莫里斯驾鹤西去，68 岁的路易成为第七世德布罗意公爵。莫道桑榆晚，为霞尚满天。别看起步晚，这个爵位，他顶了 27 年！直到 95 岁逝世。

路易王子小时候没上过学，因为这个家族都是请私人教师的。后来，在大哥莫里斯的建议下，聪明的路易被送到巴黎大学。1909 年，17 岁的路易取得了哲学、数学双学士学位。路易小时候看起来蛮有政治天分，对帝国干部花名册了如指掌，还能以时事政治为题材，进行像模像样的演说。和家人一样，路易也以为，自己将来会继承家族传统——混政坛。所以，他又选修了中世纪历史。但是，他很快发现，自己对政治家这个很有前途的职业不感冒。他左看看，右看看，还是大哥干的事儿好玩。

莫里斯是个科学控，在家里弄了个实验室，什么无线电、X 射线，各种高精尖，还搞出点名堂，圈子里小有名气。路易没事儿就往大哥的实验室跑，慢慢地喜欢上了物理。狗血的是，刚喜欢上物理，物理考试就得了一次不及格。难道，天将降大任于路易王子，已经开始苦其心志了？花样年华的路易很彷徨：搞得掂的提不起兴趣，提起兴趣的搞不掂，我这是在跟上帝撒娇吗？

路易正纠结间，大哥莫里斯捡到一件好事儿，去布鲁塞尔，参加第一次索尔维会议。

意气飞扬的弟弟冷不丁深沉起来，莫里斯很担心。参加索尔维会议，自己虽然只是书记员这个龙套角色，但是，有机会见到一群物理大腕，还能聆听他们的讨论，机会实在难得。正好，带弟弟去见见世面，就当旅游散心了。

后来的事情，在前面都说过了。书记员莫里斯公爵利用职务之便，每天会议结束，见到路易，就绘声绘色地转播会议时况，路易王子无限神往、激情澎湃。回家后，路易王子欣赏了大哥带回家的会议记录，扔掉历史书，拿起物理书，树立了当一名物理学家的远大理想。

1913年，21岁的路易拿到了理学学士学位。他没有摩拳擦掌继续深造，因为，他知道自己要服兵役了。

当兵这事儿，对德布罗意家族来说，那真不叫事儿，别的不说，光是元帅，就出过三个！但人家不靠关系，都是从基层干起的。比方说路易王子，他加入法国陆军，在工兵连当了一名倒霉的二等兵。不想当将军的王子不是好士兵，路易既不喜欢打仗，也不喜欢指挥打仗，所以，他后来被调到无线电通信部，干技术活去了，在埃菲尔铁塔下面，一干就是4年多，度过了人生中最无聊的岁月。

1919年，路易王子翻身得解放，他光荣退役了。回到了久违的实验室。哥俩做实验，写论文，讨论问题，不亦乐乎。功夫不白费，慢慢的，哥俩对光的认识越来越深。他们认为，光粒说，光波说，在某种意义上说，都没错。这种看法相当前卫，因为当时，只有爱因斯坦宣扬这种看法，但是没人信。

1922年，路易·德布罗意写了一篇论文，采用了“光子”的概念。这种看法更前卫，因为当时，也只有老爱自己相信光是“量子”。

然后，康普顿效应证实，光真的是量子！后来，光子被称为“光子”。而这时，德布罗意已经完全接受老爱的“一元二体”这种奇谈怪论了。

只要有实验支持，不管看着多丑陋、多荒唐的东西，德布罗意都能接受。这种大胆的包容性，可不是谁都能有的。也许，正是这巨大的包容性，让他眼界更宽，完成了又一个伟大的统一。



【图 7.8】德布罗意

波？粒？这个纠结了几百年的问题，正在纠结德布罗意。

1923 年，冥思苦想的德布罗意头脑中划过一道闪电，一个大胆怪诞的问题浮现出来：光波可以表现得像粒，那么，电子之类的粒，可以表现得像波吗？

德布罗意略一沉吟，答道：可以。爱因斯坦大叔 1905 年的发现，应该推广到所有物质粒子。

老爱 1905 年的发现很多，王子指的是哪个呢？当然是光电效应，论文里有句话，我们复习下：

“光学观测都同‘时间平均值’有关，而不是同‘瞬时值’有关。”

他的看法是：观测光在一段时间内的平均状态，你看到的是“波”；观测光的瞬时情况，你看到的是“粒”。这就是小爱同学推销了 18 年，直到变成老爱大叔，也没推销出去的“一元二体认识”。这个步子迈得太大，物理界的同仁们不肯跟，怕扯得蛋疼。

现在，德布罗意打算迈出更大的一步：把老爱大叔的这个认识，推广到所有物质粒子，尤其是电子！

这个想法太感人了！

光、电、磁；质量、能量、运动；引力、加速度、惯性；固体、液体、气体、分子、原子……大自然中千奇百怪的现象，似乎各自遵守着不同的规律，但是，经过不懈探索，我们渐渐发现，这些花样，都服从某个更高层次的规律。就像眼花缭乱的制度要服从行政法规，法规服从法律，而法律又服从宪法一样。你觉得杂七杂八的制度和法规不可理喻，那是因为你没搞懂宪法。宪法不能保证的东西，再多的法规条款都是逗你玩。自然规律也是这样，幼稚的地球人感到宇宙浩瀚无极，诡异莫测，不可思议，那是因为我们没看到宇宙的本质。层次越高越简洁。从经验上看，追求统一、追求融合、追求简洁的思路，似乎总是指向正确的方向，让我们越来越接近世界的本质。万有引力定律、热力学、电磁论、相对论……这些理论的建立，都是谋求统一的结果。

如果波粒合体，统一物质的存在形态，会发生什么呢？

这个问题提得太早，因为，现在有一个更要紧的问题：怎样才能让波粒合体？

为这两家伙，人类动用最高智慧，已经斗了几百年，战鼓未歇，烽烟又起，这时节，你让它俩合体？！开什么星际玩笑？你能想象，一只足球，同时又是一缕波吗？神马？你说国足们一直是把球当波玩儿的？I服了you！You win了！德布罗意用法语说道，俺既然采纳了老爱大叔的“一元二体”，为啥不顺便动用他的相对论呢？

老爱告诉我们，能量、质量可以相互转化。我们目前知道的物质，不外乎以这两种形式存在。那么，任何物质，光子也好，电子也罢，俺都可以当作能量来看。OK，现在，咱俩手上，有2套关于能量的方程：

爱因斯坦： $E = mc^2$

普朗克： $E = h\nu$

大家都很熟，所以不介绍了。能量面前一律平等，那么：

$$mc^2 = h\nu$$

哗，一个简单的交换，就异象环生：质量和频率这两个风马牛不相及的家伙，闷骚地盘踞在公式的两侧，各自坐拥一款妖娆的常数。

如果你觉得不奇怪，那麻烦你称一下，这缕波的质量是多少？

质量是粒子的属性，而频率是波的属性，这两种没法联系在一起属性，居然可以划等号！

假设物体以速度 v_0 在运动，根据相对论，会产生质量、时间膨胀的效应。

看看上面这款闷骚的公式， c 和 h 都坚挺不变，如果质量 m 膨胀，那么频率 ν 必须如何？当然要提高，才能 hold 住这个等号，是吧？

可是，频率是什么？频率就是“单位时间内，运动的周期性变化”呗！时间膨胀，意味着“周期”延长，周期延长的意思是，频率降低！

矛盾啊矛盾！

可是，等一下，频率真的降低了吗？我们用小学数学算算看：

由： $mc^2 = h\nu$

得： $\nu = mc^2/h$

以速度 v_0 运动，则：

① $E = m_0c^2$

② $\nu_0 = m_0c^2/h$ 。

记住这两个等式哦，等下用得上。

根据 $E = h\nu$

$$\text{得 } v = E/h = m_0 c^2/h = v_0$$

洛伦兹因子没忘吧？没忘就相对论一下：

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

看，频率没降低，是增加了，但是丫超速了！

算来算去，这个波的速度是 c^2/v_0 ，超了光速！

这还了得？敢超光速！尤其，这是用相对论算出来的。你是在挖苦中微子吗？这个节骨眼，整蛊很好玩吗？

不是整蛊。德布罗意沉声道。

这个波，不含任何信息，也没有任何质量。所以，不违反相对论。还记得上部提到的“相速度”吗？对，就是这个意思。不明白？回去复习咯。有没有发现？前面提到的东西，后面总能用得上。嘿嘿！

不对啊！我们刚刚不是在八卦光子、电子等等这些粒子物质吗？怎么变成谈论“波”了？难道是两个大妈在谈物理吗这么容易跑题。回去看看是从什么时候开始的？哦，从老爱和普朗克的方程开始的，能量，把粒的质量、波的频率联系到了一起！

如此看来，波和粒这对冤家，还真是分不开！实际上，从 $mc^2 = hv$ 开始，德布罗意就已经知道，自己是对的，电子这样的粒子，也可以表现得像波。因为这个等式本身，就是在暗示我们：粒子，有内禀频率。它的频率，刚才已经算出来了： $v = mc^2/h$ 。

德布罗意左算右算，发现，所谓粒子，是甩不掉波的！它不管怎么运动，都是“随波”逐流，这个波，就是刚刚说到的，那个超光速的波，德布罗意管它叫“相波”。但是后来，大家都更喜欢叫它“德布罗意波”。

那么，“随波”逐流的粒子，是一个神马样的粒子呢？如果

非要形象化，你可以脑补一下冲浪运动，冲浪者，就是随波逐流的粒子。

但是，德布罗意波上，不存在一个随波运动的粒子，因为这个波本身就是那个粒子。

啊？！你确定自己是在跟地球人说话吗？

粒子是个波？！先不要管它是什么样（实际上，你也没法想象作为波的粒子是个啥造型），单说咱们这个世界吧，都是由粒子组成的，但是粒子都是波，也就是说，咱俩，还有一切，都是波？！

波是啥东西？我们前面已经说了，波不是东西，它只是物质的一种周期性运动现象，离开了物质，怎么会有波？

物质本身就是波。所谓“物质波”。德布罗意残忍地回答道。

上帝啊！有爱因斯坦、玻尔这些标新立异的地球居民已经够受的了，怎么又冒出德布罗意这样异想天开的家伙？

这就受不了了？更奇葩的还在后面，因为泡利、海森堡、狄拉克……这群冒失鬼还没正式登场呢。

我们先安抚下扑扑鹿撞的小心脏，看看德布罗意接下来要干嘛。

电子是“驻波”。德布罗意沉吟道。

驻波？很眼熟的样子，对了，上部，赫兹测电磁波波长的实验里说过。所以，咱俩对它不陌生。在这里，需要拓展补习的是：

1.两个相邻的波节的距离，就是半个波长。这半个波长，拥有一个“波腹”，画出来像一节藕，咱俩可以私下叫“一节”。

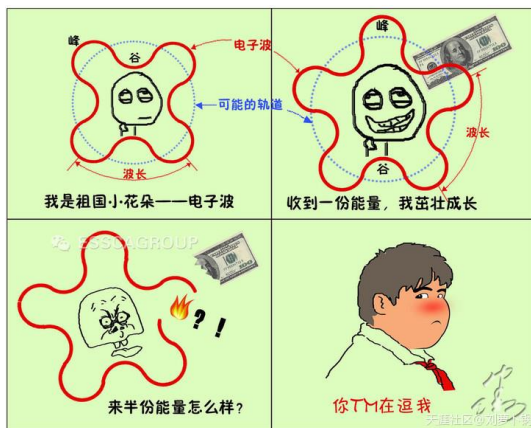
2.作为驻波来讲，它的节数总是整数。不可能出现半节。

电子作为一缕驻波，盘旋在原子核周围。我们原以为的“电子轨道”，变成了一个误会。也就是说，原子核周围，不存在什么绕着轨道转的小颗粒，只有一圈一圈的驻波！

这个设计虽然荒诞，但它回答了一个问题。一个玻尔回答

不了的问题：为嘛能量吸收和发射必须是一份一份的？

那是因为，一缕环状驻波，总是波峰→波谷→波峰……起伏平滑、首尾循环相接，不可能在波峰处突然消失，然后接着波谷，这没法接，所以，波峰也好、波谷也好，都是整数。就像自行车链条，一节一节地首尾相接，才能形成一圈完整的链条，如果把其中一节链拦腰斩断，那就接不上了。



【图 7.9】一份一份吐纳能量，是驻波原子生存之道。

这样的环状驻波，该怎么吸收、释放能量呢？很明显，不管是吐，还是吞，必须保证能凑足整数波节，否则它吐不出、吞不进！这就是能量必须按份吐纳的秘密，同时也是轨道数有限的秘密。

还有一个更好的消息：如果电子是一圈驻波，那么，就没有加速度了，就不会连续损失什么能量了，也就不会自主坠亡了！

1923 年秋，德布罗意的这些思想形成了三篇短文，发表在《法国科学院通报》上。又是三篇？不要紧张，德三篇比玻三篇精炼多了！所以，1924 年春，他把这三篇短文毁成一篇论文：《量子理论的研究》。合成一篇后，仍然不太长。

论文虽然不长，但相当精悍，提出了石破天惊的概念：光子、电子这些东西具有“波-粒二元性”，波即粒，粒即波。不仅光子、电子如此，其他所有粒子都一样！

你别以为我们的德布罗意王子在玩哲学，这可是正儿八经的科学！他拿出了一个公式，把波与粒紧紧地联系起来：

$$\lambda = h/p。$$

简约而又旖旎。

波军的专属族徽“ λ ”，闪耀着古老的荣光，速度和频率的暗纹，簇拥出灵动的“波长”。

粒军的传世帅旗“ p ”，招展着历史的辉煌，速度与质量的底色，烘托出鲜活的“动量”。

雍容华贵的普朗克常数 h ，从容肃立，令波粒这对宿敌，传奇般地融为一体，混搭成一袭神迹！

是谁在颤栗？是谁在哭泣？不要嫌我诡异。不要怪我忤逆！
奴本佳人，出落名门。 $E = mc^2$ 和 $E = hv$ ，是我双亲！

德布罗意把这篇精炼的论文给他和大哥的导师郎之万看过后，作为博士论文交了上去。郎之万看了，拿不定主意，就寄给了爱因斯坦。

老爱看了，于吾心有戚戚焉！德布罗意发展了自己的“一元二体认识”，还搞得有板有眼，很高兴。老爱从 $\lambda = h/p$ 中读出了一个预示：一场大戏就要开演了。于是，称德布罗意“掀开了大幕的一角。”

转眼间，大约到了冬季，11月25日，德布罗意论文答辩。考官有4个，保罗·郎之万和他的伙伴们：让佩兰（验证老爱的布朗运动理论得诺奖那个）、查尔斯·莫甘（Charles Mauguin，当时以研究晶体特性闻名）、艾里·嘉当（Elie Cartan，著名数学家）。看到德布罗意的论文，郎之万的小伙伴们都惊呆了。虽然他们都不懂量子论，但也感到一股怪诞的气息扑面而来。

不过，一篇博士论文，得到当世活牛顿的好评，着实不易，

博士论文千千万，有几篇能入老爱的法眼？况且，自己又不懂，你凭什么反对？又有什么理由不予通过呢？

于是，路易王子成了德布罗意博士。他喜欢这个称号，因为这个不能祖传，只能靠自己争取。

老爱没看走眼。评委们没信错人。这是迄今为止，人类史上含金量最高的博士论文。作者凭它获得了 1929 年的诺贝尔物理学奖——这是诺奖首次、也是截至目前唯一一次颁发给一篇博士论文。并且，它还衍生出至少两枚诺贝尔物理学奖！

这些都是后话，现在的问题是，虽然评委们通过了这篇论文，但是，不代表他们相信粒真的可以是波。这时，全世界可能只有三个人相信这件事：路易、莫里斯、爱因斯坦。是莫里斯引导路易重视“辐射的粒子、波动二元性”的。

也难怪大家不信，如此出格的论调，你又没个证据，单凭一款看上去很美的公式，就让大家相信整个世界都是波？！想让人信你，还是那句话：你有证据吗？

会有的。德布罗意做出了一个很拽的预言：电子穿过一个小孔，应该有衍射。

说完，他把目光转向大哥的私人实验室。莫里斯正带领他的团队忙乎别的，认为让电子衍射的实验太难，没时间做。路易也就没再坚持。德布罗意家族就是牛啊，很随便地就放弃了一个诺奖。

所谓难题，从来都是只对大部分人来说的。哥廷根大学的埃尔泽塞尔（Walter Elsasser）同学很快就提出实验办法：可以利用晶体让电子发生衍射。爱因斯坦听了，觉得靠谱。老爱有十足的信心，波粒二象性是对的，我们一定能看到电子衍射，看到电子衍射，就看到了诺奖。于是，老爱给小埃提了个醒：小伙子，你坐到金矿上了！

话是不假，不过，你以为坐在你屁股底下，这座金矿就是你的？就在大家眼巴巴等着小埃挖金矿的节骨眼上，两个家伙

从天而降，误打误撞地把金矿从小埃屁股底下抢走了！

克林顿·戴维逊（Clinton Davisson），1911年取得普林斯顿大学的哲学博士学位，同年被卡内基理工学院任命为物理学助理教授。1917年加入西部电力公司实验室——就是后来鼎鼎大名的贝尔实验室。

这段时间，戴维逊和助手革末一直都在玩一个很无聊的游戏：用电子轰击各种金属，看看会发生什么。虽然没有什么神迹发生，但，他们一直在期待，发生点什么震撼的事情。

1925年4月，神迹终于发生了：一瓶液化空气爆炸了，真的很震撼。

这不是重点。重点是，一个真空管被炸坏了。虽然人类炸坏的东西就像天上星亮晶晶数也数不清，但这支管，堪称舍生取义的典范，被无数次写进物理史。真空管里，装着用来接受电子轰击的镍靶。镍靶为什么要装在真空管里呢？因为只有靶的表面够纯净，细微的电子弹射到上面，才有可能观测到发生了什麼。现在真空管坏掉了，空气浪荡地侵蚀了镍靶娇弱纯洁的肌肤。实验装置基本报废。

这也不是重点。重点是，为了节能减排，戴维逊和革末打算勤俭节约一把，修复这个装置。恢复镍靶纯净肌肤的最好办法，就是加热，高温会除去氧化层。但是他们忘了一件事：高温还会改变晶体结构——镍靶本来由N多微小的镍晶体镍晶体构成，高温让它们融成了几大块晶体。

这还不是重点。重点是，这种巨变是内在的，镍靶表面还是很无辜的老样子。戴医生和革护士都以为手术成功，丫痊愈了，于是，很有成就感地接着做实验。然后，他们发现，观测结果跟以前不一样了！数据曲线出现了好几处尖锐的峰值！What？是以前看走眼了，还是现在看走眼了？公司一位显微镜专家诊断了下，发现这是一起医疗事故，镍靶变性了！先不管了，折腾了一年多，也该歇歇了。这时已经是1926年7月了。

还有个人挥汗如雨。

英国物理学家乔治·帕吉特·汤姆逊（George Paget Thomson）。他爱电子的一切，因为电子是他们家发现的。没错，他就是 J. J. 汤姆逊的儿子。德布罗意说电子应该有波动性，G. P. 汤姆逊当然要验证一下。也是 1927 年，他另辟蹊径，用特制的金属箔，也搞到了电子的衍射图像！

1937 年，埃尔泽塞尔眼巴巴地看着戴维逊和汤姆逊分享了诺贝尔物理学奖。

30 年前，老爹 J. J. 汤姆逊因为发现了电子这个粒子而喜获诺奖，30 年后，儿子 G. P. 汤姆逊因为证明电子是个波又喜获诺奖。谁说 30 年河东 30 年河西？波粒二象被老汤家玩儿了个够。好吧，你们爷儿俩赢了。

但是，整个物理界抓狂了。电子是个波！电子是个波？！
电子是个波吗？

还记的汤姆逊发现它时，是怎么算出它的质量的吗？如果它是波，这样能算出它的质量？

还记得康普顿效应吗？不是粒撞了粒，怎么解释那遗失的能量、精致的散射角、被踢飞的电子？

还有，1912 年，英国科学家威尔逊（Charles Thomson Rees Wilson）改进了自己在 1895 年发明的云室，电子经过云室中的水蒸气时，划出了一道道清晰的轨迹——电子是个粒子，这就是直接观测证据！为此，威尔逊和康普顿分享了 1927 年的诺贝尔物理学奖。如果电子是波，怎么解释这些轨迹？

还有，你怎么解释电子在感应屏上砸出的小点？

还有……

粒军扫射一梭子问号。波军看了看城墙上的弹孔，扔回一颗问号：那你怎么解释美丽的衍射图案？

再美丽的图案也是由一个一个小点组成的！粒军急了，飞回一柄叹号。

有种你用颗粒搞出个干涉、衍射图案给俺膜拜下？波军一把接过叹号，折弯了又扔回去。

.....

波、粒这对生死冤家，无论是看概念，还是看形态，无论是看外表，还是看内心，它们之间都没有任何逻辑联系，如果非要说有联系，那就是你死我活！在光的本质之争中，它们各司疆域，各领风骚，势成水火，来来往往斗了几百年，直杀了个硝烟弥漫、天昏地暗，从波义耳、牛顿、胡克、惠更斯、托马斯·杨、马吕斯、菲涅尔、拉普拉斯、泊松……到麦克斯韦、赫兹、普朗克、爱因斯坦、玻尔……两军阵前，随便拽出任何一个将领，都会把咱俩和小伙伴们惊呆了！波粒大战，是人类顶级智慧的大PK！现在，光的波粒之争还没平息，又把围观群众——以电子为代表的粒族——也就是所有物质卷了进去，光的内战，变成了真正的世界大战！德布罗意，你是唯恐天下不乱吗？！

双方打得鼻青脸肿、丢盔卸甲，却丝毫没有结果。物理世界的天幕神秘而厚重，肃穆的背景深处，隐约透出阵阵郁积已久骚动，似乎有某种恐怖的东西在逐渐接近，沉着而坚定，从容、舒缓而势不可挡。

大幕掀起了一角。幻光乍泄。转瞬便湮灭在一片巨大的阴影之中。

你可以瞠目结舌，但架没打完干嘛要扔掉刀呢？神马？敌人也扔了？！压力再大，饭也得吃、路也得走不是？兄弟，拾起跌落的盔甲，横刀跃马，继续前行吧！

不相容

话说哥廷根“玻尔节”，这是合作双赢的典范，哥廷根引进了原子物理的新鲜空气，玻尔更是赚得钵满盆满，交了友，扬了名，立了言，还挖了墙角，为哥本哈根谋取了两个栋梁之才。

其中一位，就是在前文打过几次酱油的泡利。这是个真正

的奇才，同行们公认，在对物理的直觉理解能力上，这厮跟爱因斯坦有一拼。

沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli），美籍奥地利物理学家。1900年4月25日出生在多瑙河畔的音乐之都——维也纳。其实他是沃尔夫冈 2.0，因为他父亲与他同名。



【图 7.10】毒舌泡利的花样年华

沃尔夫冈 1.0 是个医生、维也纳大学教授，妻子贝莎是个著名的记者和作家。泡利的教父更有名，他是马赫，对，还是跟牛爷抢水桶的那个马赫。

音乐之都、书香门第、教父是哲学和物理学大腕，三者居其一，就够一般人汲取半辈子营养、臭屁一辈子的了。但是这些，对于学习能力强到变态的泡利来说，很快就不够塞牙缝的了，这里变成了他的“精神沙漠”。

1918年9月，18岁的泡利迫不及待地走出维也纳，一头撞到慕尼黑，投入索末菲门下。那时，索末菲正在苦心经营他的理论物理学“苗圃”。经营苗圃，有两个关键，一个是苗，一个是圃。索末菲建的研究所，起点就不如玻尔，只有办公室、研讨室、教室、小图书室四个房间，加一个地下实验室。圃是小了点，但更关键的是苗。好在索园丁眼光独到、园艺精湛，培

育出不少好苗子。

索末菲很快就发现，泡利天赋异禀、前程似锦，是棵打着灯笼都难找的好苗子。好苗子遇到好园丁，那是双方的幸运。你负责精心培养，我负责茁壮成长，师生各展其长、相得益彰。

索末菲对这棵神速健康可持续成长的苗子相当满意、对泡利的能力相当有信心，在这一点上，泡利和索老师始终保持高度一致。

工作之余，索老师揽了个瓷器活：编辑《德国大百科全书》的物理部分。本来，他想请爱因斯坦写相对论部分，但老爱没时间干这事儿，于是，就找泡利江湖救急。泡利同学 18 岁那年，就发表过一篇关于广义相对论的论文，已经是内行人眼里的相对论专家了。泡利没辜负索老师殷切期待的眼神，很顺利地写完了初稿。索老师一看，太深刻了！太成熟了！一个字都不用改！！顿时想起玻三篇，卢老师泪奔啊！索老师还真不是吹，爱因斯坦看了这篇长达 237 页的文章后，赞不绝口：“对该领域的理解力、熟练的数学推导能力、对物理深刻的洞察力、使问题明晰的能力、系统的表述、对语言的把握、对该问题的完整处理及其评价，足令所有人羡慕！”当老爱得知，这篇“成熟的构思、宏伟的文章”出自一位 21 岁的毛头小子之手时，感到很震撼。直到现在，这篇雄文还是相对论领域的经典之一。

在索老师手下，泡利最大的收获，应该是接触到量子论。那时，大家都在忙着拯救玻尔，给他的原子模型打补丁。最大的补丁当然是索老师几年前打的 k 和 m 。

泡利刚听到量子理论的基本假设时，真的“惊呆了”。但他很快就适应了。接受了索老师指派的另一项任务：用玻尔理论和索老师的补丁搞定电离氢分子。啥叫电离氢分子呢？前面说过，2 个氢原子核共享 2 个电子，这就是氢分子；把电子踢飞 1 个，它就变成了电离氢分子。

泡利的任务完成得相当完美，但他很失望。因为，他的分

析固然无懈可击，结论却与实验不符。虽然大家对玻尔理论与实验不符已经习惯了，但泡利一点也不适应，因为这是他的“处女败”。虽然责任并不在他。他的这顿分析，直接证明了玻尔-索末菲模型搞不掂电离氢分子！

虽然结果不尽人意，但泡利同学的分析相当给力。

1921年10月，泡利顺利取得博士学位后，就去了哥廷根，给德国物理学家玻恩当助手。

马克斯·玻恩（Max Born），1882年生于布雷斯劳。他本来喜欢数学，后来在父亲古斯塔夫教授的建议下，选修了物理、化学、逻辑学、动物学等七七八八的东西，却爱上了天文学。不过，他还是数学最厉害。1906年，拿了哥廷根数学博士。后来，他去了剑桥，又移情物理。回到家乡后，他打算像汤姆逊老师那样，搞搞实验，教教学生，拿拿诺奖什么的，但很快，他悲哀地发现，自己根本不是这块料。因为搞实验，是一门技术活，而且是需要超强耐心的技术活。技术、耐心，这两样他一样都不占，咋办？改理论物理！

这个选择看似很搞笑，实则很靠谱。因为那时，玻恩博士已经是哥廷根数学系的讲师了。虽然是无薪讲师。不过，别忘了，哥廷根的天才们，能用强大的数学武器解决几乎所有问题。只要你提出问题，我就能用数学解答问题。所以，他们不厚道地炫技：“对物理学家来说，物理太难了！”因为物理怎么也离不开数学，而物理学家，可不是个个数学都好，比如法拉第、爱因斯坦等。哥廷根的学生尚且如此强悍，何况是讲师！

果然，玻恩小试牛刀，就尝到了新鲜牛肉——他用数学，悍然解决了一连串物理问题。比做实验爽多了！

但是，武器，永远只是武器，解决问题的能力固然重要，如果不能发现和理解物理问题，那就像找不到目标的猎手，手里的枪再高档，也是摆设！所以，数学家成为物理学家，也不容易。

好在玻恩颇有物理天赋。所以，他的选择还是比较伟光正的。后面，我们将细细领略他对物理的理解能力。



【图 7.11】玻恩

1914 年，玻恩应邀任柏林大学理论物理学教授。这个职务，可不是闹着玩的，看看同事就知道了：普朗克、能斯特、爱因斯坦……老爱比玻恩来得早一点，哥俩都是音乐爱好者，很投缘，所以常在一起混，Happy 物理、High 音乐会等。后来，自从玻恩解读了那个神秘的 ψ ，他俩就开始吵架，那时玻恩早就离开柏林大学了，只能写信吵，牛人吵架也是成果——这些信后来结集成了一本书！

1919 年，玻恩转战法兰克福大学。1921 年杀回哥廷根，已经不是数学系无薪讲师了，而是响当当的理论物理学教授！

玻恩也在卯足了劲建设理论物理培训基地，暗暗跟索末菲较劲，培育出不少新人，人称“玻恩幼儿园”，哥廷根被建成国际理论物理研究中心。

泡利的到来，让玻恩很 Happy，人才宝贵，天才无价啊！可是这个天才不太好控制。泡利的缺点和优点一样明显：他是个直筒子。直筒子很正常，但这位，是个反应异常敏锐、看问题异常尖刻的直筒子。这几个词凑在一起，如果你依然无感，那咱俩就看看，跟异常敏锐尖刻的直筒子在一起，会发生什么。

在开扒这些雷事之前，我们得先了解泡利的优点，不然，谁都受不了这厮的所作所为。

首先，泡利的实力不同凡响，说他是最聪明的物理学家，他的同行们谁都不会反对。有人认为，在物理王国，泡利是个征服者，而不是殖民者，他似乎只注重解决问题，而不在乎问题是谁解决的。所以，他大量的工作没有发表，包括一些相当牛的发现，他只是在信里提出一番见解就过去了，而懒得去搞出一个成型的成果去发表。具体事例，后文会提到两三个，那时，咱俩会像当时的物理学家一样，为之所倾倒。

其次，泡利的眼光也是顶尖的，物理学的任何新理论拿给他，他都能迅速给出一个明确的评价，这不算牛，牛的是，他的结论准确度相当高！并且，他有一眼就能发现错误的能力，这一点，当时的物理学家们都服气。

再次，对于科学，泡利是真正的一丝不苟。问题搞不清楚，绝对要打破沙锅问到底。他喜欢争论，轻易不肯服输，但是，一旦验证了某个结论是正确的，无论这个结论是自己还是辩论对手得出的，他都会如获至宝，立即把争论时的不快抛到九霄云外。他关注的，从来只是科学本身。

最后，泡利的自信和坦荡人所共知，圈里人习以为常。而这个优点，也是缺点的开始。

他说话从来不掖着藏着，语气也毫不客气。除了对索末菲恭顺一些外，其他人一律不在话下，包括对他心中的 King——爱因斯坦。

作为二十世纪的“世纪伟人”，在大家心里，爱因斯坦简直就是神一般的存在。泡利拿到诺奖后，普林斯顿高级研究所为其开庆祝会，老爱发表演讲以示祝贺。泡利给玻恩写信回忆道：“那情景，就像是物理学的王传位于他的继承者。”这句话至少包括两个内容：老爱是物理学之王；泡利自信自己就是继承者了。可见，老爱在物理学中的地位，在泡利看来，是至高无上

的。饶是如此，泡利对老爱也没客气过。一次，老爱演讲。时年 20 岁的泡利赶去，坐在最后一排听讲。讲到半路，泡利杀出来，提了一连串问题，火力十分凶猛，老爱险些招架不住。据传，老爱一朝被蛇咬，十年怕后排，打那以后，以后每次演讲时，目光都要扫过最后一排，生怕再蹦出那个毛小子来。

该来的总会来，在一次国际会议上，老爱做完报告，泡利又站了起来，这次没提问，不过评论让老爱哭笑不得：“我觉得爱因斯坦不那么蠢。”这在泡利来说，就是至少四星的好评了。

如果看了谁的论文，泡利给出一句：“哦，这竟然没什么错。”这就是五星级好评了！得到这个评语的人通常会欣喜若狂。

有这个幸运的人不是太多。由于新理论并不总是对的，所以，同仁们给泡利展示成果时，经常得到的是恶评。

一次，意大利物理学家塞格雷（Emilio Gino Segrè）做完报告，泡利当面点评：“我从来没听过这么烂的报告。”塞格雷顿时抑郁了。瑞士物理化学家布瑞斯彻在旁窃笑，不料，泡利转头冲他道：“你上次在苏黎世的那个报告除外。”这下轮到塞格雷 Happy 了。

才华横溢、放荡不羁的费曼（Richard Feynman）对别人的看法，总是摆出一副“你爱怎么说就怎么说”的姿态，可是，当别人提起泡利对当代物理学家的评判时，费曼却迫不及待地想知道，泡利是怎么评判他的。泡利的评判是：“费曼那家伙，讲起话来像是混社团的。”费曼听了，哈哈大笑。至少，泡利的点评名单里有他。费曼的泡利恐惧症不是凭空而来的，他在自传《爱开玩笑的物理学家》中讲过一件事：费曼和老师惠勒（John Archibald Wheeler）合作关于“量子电动力学的推迟势”问题，恰逢一个国际会议，二人决定把研究成果拿到会上宣读，费曼讲上半部分，惠勒讲下半部分。中场休息时，泡利降临，和费曼打了个招呼，费曼顿时很紧张。当费曼谈到上述成果和分工时。泡利想了想，露出诡异的微笑，冲费曼耳语道：“惠勒永远

做不出那部分报告的。”果然，惠勒没做那部分报告，并且以后也没有，因为那是错的。费曼被这个神预测震得目瞪口呆。



【图 7.12】泡利

当然，泡利的毒舌也不全体现在工作上。一次，泡利想去某地，却不知怎么走，一位被他骂过的同事热心地画了张图给他。回来后，那位同事问泡利，此行是否顺利。泡利赞曰：“不谈物理时，你思路还蛮清晰的。”

在物理学上，泡利是个完美主义者，容不得一点瑕疵，他发现问题又快又准，评论绝不留情，被称为“物理学的良心”、“上帝的鞭子”。大家对他的毒舌司空见惯。后来甚至发展到，谁得到泡利的点评，哪怕是虐评，也可以是拿出来炫耀的资本。

这帮变态的家伙还编出一个笑话：说泡利死后去见上帝，上帝拿出自己的宇宙设计方案给泡利看。泡利看了挠挠头，评曰：“居然找不到什么错。”上帝刚松口气，不料泡利又耸耸肩：“你本来可以做得更好些……”

不论泡利怎么刻薄，在同代同行眼里，他也是那个璀璨的物理夜空中最耀眼的巨星之一。以至于在他去世 N 久以后，每当物理又有新理论时，大家还常常设想：“如果泡利还在，不知有何高见？”

按照性格，泡利的名字应该译作“炮利”。不过，这厮并不总是在放炮，偶尔也会安慰人。一位同事写了篇论文，被泡利发现一个错误后骂了一顿。但论文已发表，没法改了。该同事追悔莫及。泡利良心发现，温柔地安慰道：“我其实并不在意你思维迟钝，我只是反对你发表文章的速度比你思考的速度还快。”同事听了痛不欲生。泡利一看，疗效不好，于是恳切地补充道：“没关系，不可能谁都像我一样，论文写得滴水不漏。”神呐！

泡利的学生说，他们可以问泡利任何问题，而不必担心太愚蠢，反正在泡利眼里，任何问题都是愚蠢的。

泡利的毒舌让朋友和同事饱受暴虐，却毫无办法，因为事后证明，他总是对的。所以，大伙就盼着能看到泡利出糗，也好让饱受欺凌的劳苦大众扬眉吐气一次。

最正常的期待是，出现一个超级天才，跟泡利 PK 一下，看看泡利表现如何。在那个天才辈出时代，你还真别盼什么，因为什么都可能发生。这样的天才还真出现了一——朗道（Lev Davidovich Landau）。简单介绍下，朗道是前苏联人，此人比泡利晚生 8 年，天资卓绝，4 岁就被誉为神童，被称为世界最后一名全能物理学家，他所做的十项物理贡献被称为“朗道十诫”。朗道命运多舛，1938 年差点被斯大林整死，秀才遇到匪，咋整都后悔，多亏恩师玻尔多方周旋、师兄卡皮查以命担保，总算捡回一条命。但 1962 年的一场车祸剥夺了他的工作能力。可惜了。话说朗道也是极其狂傲自负之人，并且，圈里人都承认他有这个资本。一次，朗道去苏黎世演讲，而泡利正好在苏黎世联邦工业大学任理论物理学教授。圈里人立即兴奋了：当朗道遭遇泡利，会擦出神马火花呢？所有人都认为，这回有戏看了。

事情的发展，却让殷切期待的围观群众大跌眼镜。也许是到了人家的地盘，知道泡利这条地头蛇不好惹吧，一向狂傲的朗道破天荒地摇身一变，作谦谦君子状，讲完后，居然谦称自己所讲的可能是错的。泡利很能尽地主之谊，立即安慰道：“噢，

绝不可能。因为你讲得乱糟糟，根本闹不清对错。”

面对这个出人意料的结果，那些唯恐天下不乱的家伙很不甘心。不过，他们还是有幸见到了泡利俯首帖耳的窘态，在索末菲老师出现的时候。

不论何时，哪怕是泡利名满天下、声望极高以后，只要索老师走进泡利的屋子，泡利就会立即站起来，甚至鞠躬行礼。说话也极为恭顺：“是的，枢密顾问先生……是的，那是最有趣的……我可以这样说吗？”这哪是雄狮般的泡利？活脱脱一只温顺的小羊羔！所以，索末菲老师到苏黎世，就是泡利同事、学生们的节日，因为他们能免费欣赏一场绝世魔术：一头飞扬跋扈、横行霸道的犀牛，瞬间变成一只柔顺乖巧、五讲四美三热爱的小乖猫。这次第，怎一个爽字了得！



【7.13】索末菲面前的泡利。瞧那个手足无措低眉顺眼的大块头。

顺便八卦下，索末菲本人注重德国式的传统礼节，也喜欢他的学生遵守这种礼节。不止是泡利，索老师的所有学生，在他面前无不毕恭毕敬。枢密顾问，是德国对成就卓著的教授的一种荣誉尊称。索末菲当得起这个称号。在他的学生之中，有

6 人获得过诺贝尔奖，几十人成为一流教授。索末菲一生斩获无数荣誉，独缺诺贝尔奖。不过，他保持了一项别致的纪录：被提名诺奖次数最多的物理学家，他曾被 81 次提名诺奖。

回到泡利。这家伙不光是毒舌，他生活习惯也不太好，喜欢喝酒泡吧，还酷爱舞蹈艺术。第二次索尔维会议，泡利没去参加，仅寄去一篇论文了事，为毛这么忙呢？居然是为了赶去参加一个舞蹈比赛！难以想象，一个大眼暴突、身材敦实的物理学家飙起舞来，评委会不会集体疯掉。

除了酒文化、舞蹈艺术和夜店体验，泡利还喜欢晚上工作和思考，属夜猫子型。他晚上睡觉时通常已经是早晨了，而早晨起床时一般已经是下午了。这也算正常。但是，作为助教，他完全不顾及教授早出晚归的正规作息时间表。玻恩有事不能讲课时，他只能差人提供叫醒服务，才能让泡利及时赶去代课。

如此自由的空间，泡利还是受不了，因为哥廷根作为大学，够大，但作为小城，太小，不够 High。于是经常开溜。

对这些，玻恩特淡定地表示理解：“他受不了小城生活。”

玻恩还给老爱写信炫耀：“泡利现在是我的助手。他极聪明，特能干。”

实际上，无论是作为物理学家来说，还是作为导师来说，玻恩一点也不比索末菲差，手下也是英才辈出。玻恩在自传中谈到学生的天赋，最聪明的学生居然不是泡利，而是中国的黄昆。黄昆最牛的贡献是在玻恩手下做出的。50 年代，黄昆回国。他后来的成就，与师兄弟们相比，算是比较低的。跟泡利就更没法比了。

玻恩爱极了泡利，对泡利的评价也是一点没错。但是，泡利和玻恩在工作上不怎么合手。算起来，还是数学惹的祸。

玻恩是个数学控，他大概有个理想：在物理学家家里数学最好，而在数学家家里物理学最好。但我们知道，这个目标永远也实现不了，因为有麦克斯韦、阿基米德和牛顿。尤其是牛爷，

在物理学家家里物理最好，而在数学家家里数学最好。无论如何，神也阻挡不了玻恩对数学的依赖，不管遇到啥问题，玻恩总是物理未动、数学先行，以数学主导物理研究。

泡利虽然数学也不赖，但他更重视对物理的理解，喜欢靠自己的直觉认识，寻找逻辑完美的论据，然后再动用数学。

别看只是先后顺序的差别，但合作起来，可就不是小问题了。就像生活习惯完全相反的两口子，一个必须上了床再脱，一个非要脱了再上床，别扭大了。

1922年4月，泡利跑到汉堡大学当助教。玻恩黯然神伤，却无力挽留。他承认，自己从这个小毛孩身上学到的东西，比泡利从自己身上学到的还多。

1922年6月，玻恩邀请玻尔来哥廷根讲学。泡利赶回哥廷根，欢度“玻尔节”。玻尔的理论让泡利耳目一新，泡利也很快适应了量子论。泡利的才华与做派，是在哪都特显眼的那种，所以，玻尔很快就注意到这家伙。空荡荡的研究所，是玻尔心中的痛，这种天才不赶紧笼络过来，更待何时？！于是赤裸裸地挖起汉堡大学的墙角，邀请泡利去哥本哈根当助教。泡利刚刚被玻尔的理论吸引，加上玻尔独特的魅力、优越的研究场所、丰沛的研究资金、朝阳般的研究领域，这对任何一个科学家来讲，都是不可抗拒的。泡利答应了，他信心爆棚地说：“物理不是问题，丹麦语可能费点劲。”

1922年秋，泡利如约而至。他惊奇地发现，这下弄拧了，他很快就学会了丹麦语，但物理出了问题。因为玻尔给他出了个难题：反常塞曼效应。

前面说过，这个问题把凡是涉足其中的物理大牛都折磨够呛，比方说洛伦兹、玻尔、索末菲等，都束手无策。现在，哄来个顶缸的，玻尔甭提多高兴了，把这个烂摊子往泡利手里一撂，欢天喜地地挖别的墙角去了。

对于原子、电子这些莫名其妙的东西，泡利手里只有刚刚

学来的玻尔-索末菲理论。他很快就把这些理论玩儿得溜溜转，可以搞定很多问题，但也有很多问题搞不定，拿反常塞曼效应更是无可奈何。这很正常，要是拿现有的理论能搞定，玻尔和索末菲早就拿下了，还会搬来你这个大神？

对这些，泡利当然门儿清。所以，担子虽重，但他咬牙扛了起来，NND，舍我其谁？！

咬牙扛重担的滋味并不好受，所以，趾高气扬的泡利在相当一段时间里，总是一副焦头烂额的样子。玻尔建议，用原子核的有限角动量试试，被泡利否决。

一天，泡利溜达到玻尔家里。玻尔太太热情地问候：“你好泡利。”

“我当然不好！我不能理解反常塞曼效应！”泡利暴躁地抱怨道。

“要不……我煮碗面给你吃？”隔壁张姨婆探头怯怯地道。

转眼就是一年。反常塞曼效应依旧反常，泡利与玻尔研究所的合同却很正常地到期了。他只好在 1923 年 9 月扛着这副担子回到汉堡。好在汉堡离哥本哈根不远。

在这一年里，泡利和玻尔相处得很和谐。

和爱因斯坦的独行侠风格不同，玻尔更喜欢集团作战。他幽默、外向、合群，是那种“在生活、思想上都迫切需要和别人在一起”的人。这样的人，如果有较强的能力，那就是天生的领袖。而玻尔，恰好具有这个能力。他继承和发扬了恩师卢瑟福的伟大导师品质，魅力倍增。并且，他亦师亦友、思想开放，善于发掘人的潜力，“栽下梧桐树，引得凤凰来”，把研究所的软硬环境搞得像家一样自在和温暖。所以，泡利离开后，也不忘常回家看看。

我们知道，那些奇奇怪怪的原子光谱，其实是电子跳来跳去扔出来的能量。所以，要搞定该死的反常塞曼效应，你就必须先搞清楚电子的情况。

现在，泡利摆弄着几份众所周知的电子生活隐私：

1. 喜欢低楼层。先到先得（能量最低原理）。

2. 不同楼层房间数不一样。规律是： $2n^2$ 。 n 就是楼层。特好算：1、2、3……楼房间数分别是 2、8、18……这是 1914 年，瑞典物理学家里德伯（Johannes Robert Rydberg）搞到一个经验公式。

3. 现有 3 种量子数可以确定电子的状态：主量子数 n 、角量子数 k 、磁量子数 m 。我们很熟悉，它们分别代表电子轨道的大小、形状、方向。这些量子数，构成了一个丰满的 3D 原子。

问题是：电子喜欢低能低耗，为啥不都住到一楼，凭什么有的电子顶着压力住高层，它们究竟有着怎样的难言之隐？每层的房间数凭啥限制这么死，到底是政策的不公还是利益的角力？

现在看来，手里掌握的这些隐私，还不足以扒出反常塞曼效应的秘密。线索！我需要线索！泡利在浩如烟海的实验数据、论文中苦苦寻觅。

说来也巧，一天，泡利读索末菲写的新教科书《原子结构和谱线》，要说他对老师的敬重，那真是有如滔滔江水连绵不绝，他连序言都看了，而序言里，刚好提到一篇文章，好像跟他要找的那个线索有点关系。而这篇文章的出处，就在他刚刚看过的一本《自然科学》杂志里，当时他没注意这篇文章。泡利一秒没耽误，立即跑到图书馆，找到这本杂志。

这是剑桥大学研究生斯托纳（Edmund Stoner）1924 年 10 月发表的论文：《原子能级中的电子分布》。还记得前面说过“每个楼层都有亚层”吧？斯托纳给出一个经验公式，亚层房间数是 $2(2k+1)$ 。

每个楼层房间数最多是 $2n^2$ 。为啥 n 的平方还非得乘以 2？

每个亚层房间数最多是 $2(2k+1)$ 。为啥要+1？表示顶楼上？

敏锐的泡利断定，这是因为还有第 4 个量子数！

这个量子数有两个值，与其他量子数相互影响，贡献出多一倍的量子数，所以，从整层楼来看， n^2 还得乘以 2；从亚层来看， $2k$ 还得+1。

这样一算，不管是什么原子，没有两个电子的 4 个量子数是完全相同的！也就是说，在一个原子中，任意拿出两个电子，它们的 4 个量子数，至少有 1 个是不一样的。

是这样吗？泡利综合大量的数据，运筹帷幄，埋头苦算，有多少数据够泡利玩儿命干的呢？比当年开普勒推算行星运动定律的数据还要多得多，泡利运用的是现代数学手段，难度超高超变态，令人叹为观止。此处略去 5 万字。

哦~！原来，一山不能容二虎，除非一公和一母，在同一个原子中，电子不能容忍有另外一个自己！

自然界又一个伟大的基本规律诞生了：一个原子中，不能容纳运动状态完全相同的电子！

这个简洁的规律，完美解释了为什么电子不能一拥而上，都挤到最低能级。因为都到这儿来，那几个量子数不够区分它们。所以，为了让每个电子的运动状态有区别，它们只能占据不同的楼层、不同的房间。所以，原子才会拥有一定的体积。所以，原子结构基本保持稳定，物质一般不会坍塌……

根据计算，第 4 个量子数只能有两个值，泡利管它叫“二值性”。有了这第 4 个量子数，反常塞曼效应里的那些复杂分裂，也就很正常了。这么多问题，被泡利一招搞定。这个发现，叫做“泡利不相容原理”。它把玻尔模型抬举到辉煌的顶点。

1925 年，泡利发布了这个光辉成果。物理界一片吐血声。为什么不是喝彩声呢？因为大家感到，这个不相容原理，比它的发现者本人还要霸道蛮横。电子凭什么不能容忍另外一个自己啊？那个神秘兮兮的“二值性”是个神马东西？上帝啊！快给我一面墙，我要撞死它！

其实，让物理学家们想撞墙的，不仅是泡利毒舌、泡利不相容原理，还有无比搞恶的“泡利效应”。跟反常塞曼效应相比，泡利效应更反常。因为这个效应是泡利本人引起的。它是物理界无人不知的效应，却不是物理效应。所以，我们就当饭后八卦，开心一下。

话说当年，有几个理论物理学家的实验水平之烂举世公认：海森堡、杨振宁、泡利……海森堡还好，仅仅是自己实验水平烂而已。而杨振宁和泡利的实验水平是“负”的，不仅自己实验水平烂，还对实验有害！Where is yang, where is bang（哪儿有杨振宁，哪儿就有爆炸）这句警世恒言让杨振宁名声更噪。但是，有实验破坏神泡利在，杨振宁简直就是实验之友了。

可能是为了平衡，上帝给了泡利极灵的头脑，却给了他极笨的手脚，你让他搞实验，准砸。这种症状，就该离实验室远点，安心搞理论去。但是，这货偏偏好奇心极强，看到啥新鲜玩意儿都要摆弄下。不幸的是，实验室里净是些新鲜玩意儿。更不幸的是，这些玩意儿往往又精密又娇贵。于是，泡利所到之处，故障频发。善于总结经验的各大实验室望风披靡，纷纷把泡利列入黑名单。

但是，百密一疏，防不胜防。一次，泡利在某车站停半个小时，很无聊，恰好附近有个实验室，就决定：临时性参观。实验室领导眼见大名鼎鼎的泡利驾到，来不及“整理”实验室，又不好阻止，只好无比蛋疼地看着泡利各种鼓捣。幸好时间很快就到了，泡利及时赶回车厢。不过，实验室已经是硝烟弥漫了。

泡利动手搞砸实验，倒也罢了，可怕的是，这厮不用动手，也能搞砸实验，活脱脱一个实验瘟神，令各实验室闻风丧胆。

一次，实验物理学家弗兰克（J. Frank）在哥廷根的实验室出现了一次事故。这次，没人发现泡利出没。于是弗兰克告诉泡利，这回不赖你。泡利很诚实地回忆说，那天，他从苏黎世

坐车去哥本哈根，路过哥廷根时，车停了一会儿。那个时间正好是事发当时！天呐，居然有超距作用，还让不让人活了？！

传言，某年某月的某一天，意大利的某实验室故障频发，实验人员实在找不到原因，就打听泡利的行踪，得知泡利刚好乘火车经过此地后，毫不犹豫地在本记录本上写下：事故原因，泡利路过。

但是泡利不信邪。一次，这家伙路过一个天文台。他想，到这里走两步，总没啥问题吧？说进就进！刚进门走两步，一块铁板就很给面子地掉了下来，泡利吓得赶紧逃跑。

如此功力，谁不生惧？所以，另一个天才费米（Enrica Fermi）在做实验时，是绝对不敢放泡利进实验室的。有问题请教泡利，只敢隔着门问。你知道，费米搞核物理的，炸不起啊！

泡利效应名头越来越响，其波及范围也越来越广。话说某次学术会议，台上的人讲出一个让泡利十分不爽的理论，泡利便上台抨击之。讲演者乖乖回到台下听讲。重点是，泡利讲到激动处，突然手持粉笔向演讲者凌空一指，吓得演讲者往后一仰，居然把屁股下的椅子弄垮了。坐在那人身后的捣蛋鬼伽莫夫（George Gamow 俄裔美籍核物理学家、宇宙学家、科普大牛）跳起来喊道：“泡利效应！”

你以为这只是巧合吗？对，它就是巧合，还有更巧的。一次，泡利赴会稍晚，见两位体面的女士中间有个空座，便一屁股坐了下去，你猜怎么着？两位女士的椅子双双垮掉！

真是没有女人缘啊！泡利在物理上所向披靡，但在情场上却是弱势群体。结婚一年的老婆，居然被一个名不见经传的化学家抢跑了。

泡利很受伤，就去找荣格（Carl G. Jung 瑞士心理学家，分析心理学的创立者）帮忙。经过梦境分析，结果很狗血：原因是泡利的理性思维太过强悍，忽略了情感交流，性欲严重压抑。于是，泡利以科学的态度配合荣格，进行梦境分析、心理疏导。

荣格惊奇地发现，这位病人很快就能和自己一起进行精神分析了，还在不知不觉之间，教会了自己很多物理学知识！

即使在跟心理学家交流，泡利也坚持吹毛求疵的原则，给荣格带来不少压力，竟然迫使荣格完善了他的心理学理论。后来，这两位居然还合作出了一本书！荣格后来提出了“共时性”，用来解释机缘巧合类的事件，引起很大的争议。不过，用来解释泡利效应足够了。

泡利效应更为传奇之处，在于它“损人利己”——破坏别人的实验，但可以保护自己。泡利的两个助手派尔斯(R. Peierls)、韦斯科夫(V. Weisskopf)，都在各自的自传里提到这件事：一次，泡利要去参加一个会议。与会的物理学家们决定跟泡利开个玩笑，在门上安了个触发开关，只要泡利一推门，就会发出爆炸声。反复测试、确认无误后，大家兴奋地等着看戏。泡利果然推门而入，却看到大家惊奇的眼神，这个触发开关竟然卡壳了！泡利效应又一次破坏了实验装置，成功“拯救”了自己！

这下，泡利更牛了，他还把“损人利己”作为依据，来判断事故是不是泡利效应引起的。1956年，泡利夫妇与助手恩兹(C. P. Enzo)夫妇在意大利共乘出租车，路过一个小山坡时抛了锚，恩兹说这是泡利效应。但泡利不承认，因为这次故障给自己带来了不便，不符合损人利己的特征。

泡利效应是一些巧合+传说杂拌而成的逸闻，是物理学家们拿泡利解闷的一个打趣话题，从中也可以读出大家对泡利的一种特殊感情。

泡利搞出不相容原理后，他收到一张明信片：恭喜你，把量子论的“骗局”发展到了新高度。

第八章 量子论二 谁主沉浮

天降神童

这张明信片的作者，是屈指可数的物理奇才——海森堡。泡利的师弟、朋友。

沃纳·卡尔·海森堡(Werner Karl Heisenberg)，德国人，1901年12月5日生于维尔茨堡，老爸是慕尼黑大学拜占庭语言学教授，爷爷是马克西米廉斯中学的校长，海森堡的中学时光，就是在爷爷的治下度过的。普朗克也曾在这儿上过学。



【图 8.1】海森堡

老师们很快就对海森堡青眼有加，倒不仅因为校长是他爷爷，更多的是因为，这孩子智力上特别耀眼。“他能迅速抓住事物的本质”、“思维非常敏捷，而且一般不出错”……老师们的评价一点也不过分。海森堡12岁就玩微积分，并且开始啃希腊哲学著作。同时，他对物理、宗教、音乐、文学都有强烈兴趣。研究这么多东西，他还有大量精力无处挥霍。如果不是那个脑残皇帝以民族和国家利益的名义挑起一战，搞得大家饿肚子，小海的文化生活会更加丰富多彩。他参加了学校的准军事训练

营，一种“童子军”式的组织，这样可以吃饱饭，还可以经常搞些户外活动什么的——大概就是这种经历，养成了他后来有些偏执的爱国主义。

一战终于结束了，本来已经被战争拖垮的德国经济，又压上了战争赔款的大山，彻底崩溃了。爱国贼们终于把国家搞得一片混乱。好在学术界还算比较宁静，这是社会最后的希望。小海不仅幸存下来了，还把学业修炼得光彩夺目。

1920年，历史悠久的慕尼黑大学。在数学教授林得曼（Ferdinand von Lindemann）面前，海森堡展示了当一个数学家的远大理想。对物理学来说，万幸的是，林德曼拒绝了小海。原因是，教授问他最近看了哪些数学书，小海天真无邪地回答：“时间、空间和物质什么的”。林德曼马上告诉他，你走错门了。海森堡的第一个远大理想泡汤了。

于是，他去找老爸的朋友索末菲蜀黍，展示了当一个物理学家的远大理想。索老师只一眼，就让这颗好苗子进了他的苗圃，还特许18岁的小海参加高年级的科研讨论班。

在研讨班上，有个黑头发、脸上长着青春痘的家伙，很引人瞩目。索老师告诉小海，那小子就是传说中的泡利，他已经快20岁了，你可以从他身上学到很多东西。

小海是个乖孩子，再去研讨班，总是往泡利身边凑，还老向泡利请教问题。一来二去，俩人就熟了。要说这哥俩，在一起简直就是绝配，除了脑子好、性别男以外，其他毫无相似之处，一个安静、含蓄、友好，一个热烈、直爽、刻薄，一个似浪子奇葩，一个似美玉无瑕，若说有奇缘，今生他好像总在欺负他。这对宝，水和火一样的差别，居然很快就过起了懒虫师兄和勤快师弟的幸福生活。

由于作息时间几乎相反，他俩见面的时间倒也不多。但是，泡利依然严重影响着海森堡的生活、学习和思想。他开玩笑时，就骂小海一顿。他认真时，就狠骂小海一顿。但小海完全不在

乎。就算小海名满天下后，泡利看他的理论不爽，也是照骂不误，而小海在讲台上聆听师兄的痛骂以后，依然淡定地继续演讲。物理界早都习惯了这个剧情，见怪不怪了。

小海见泡利在写百科全书的相对论部分，感觉这哥们太酷了，就嚷着要研究相对论。泡利免不了又骂他一顿，告诉他，相对论被老爱蜀黍一个人搞定了，只剩下些残羹剩饭，没啥搞头了，还是搞量子论有前途！不是每个人都有机会被泡利骂，也不是每个人都有机会得到泡利的建议。海森堡很听话地去研究量子论。

他俩在理论物理上顺风顺水的，吵吵闹闹过得很开心。但是，学物理，一般是逃不过实验课的。他们的实验课教授，是1920年新来的维恩。对，就是搞出位移定律的那个维恩。一个认真的实验教授。我们都知道，泡利和海森堡都是实验渣。渣就渣吧，你倒是找个好搭档啊，这两位还不知死，老凑在一块搞实验，结果就没有最烂、只有更烂。可想而知维恩对这两位印象了。不过，他俩的实验也不是每次都失败告终。有次，哥俩又一起去上实验课，内容是测音叉的振荡频率。做着做着实验，俩人又开始讨论一个问题，又有分歧（为什么老说又？），于是又放下实验，又开始激烈辩论。终于吵完，二人觉得很过瘾，却发现快下课了。实验没做完，时间又很紧迫——只剩几分钟，神仙也做不完了。这时，神都想不到，海森堡来了句：“泡利，你敲一下音叉俺听听。”泡利还真敲了。他敲了！海森堡的音乐天分首次得到了实验证明：他准确地听出了音高，并光速计算出了振荡频率！实验老师拿着他俩的计算结果直犯嘀咕：团结协作时老出错，吵架居然可以出正确结果？！

海森堡不仅不爱做实验，还特贪玩，下棋、弹琴、爬山滑雪露营等各种户外。索末菲忍无可忍，对这位资深驴友、文艺青年下了禁令，这些杂七杂八的爱好，太浪费他的天才和时间了！

小海的天赋让索老师信心爆棚，他开始给小海布置一些超级作业。比方说：反常塞曼效应。海森堡的任务是，建立一个公式，来描述那些光谱分裂。这个初生牛犊一猛劲，还真搞出一个理论。虽然后来被证明是错的，但成功地吸引了一些高手的眼球，比如玻尔。

1922年6月，哥廷根玻尔节。海森堡本来没奢望去听玻尔讲座，因为他没路费。一点也不慈祥但无比善良的索末菲再次爱心泛滥，出了这笔钱，于是小海屁颠屁颠地去了哥廷根。又可以欢乐地听师兄骂人了！下面这个自然段是玻尔的作文：

美丽的夏日，花园里飘来阵阵玫瑰的清香。大厅中座无虚席，一排排地坐满了著名的物理学家和数学家，人们都点头赞许着我的学养和智慧。突然，跳出一个毛头小伙，指出我的数学计算是错的！

这次，毛头小伙不是泡利，而是海森堡！老谋深算的玻尔很随便一句“课后再说”，当场敷衍过去。

就这样被无视了？小海很受伤。演讲结束了，小海收拾东西准备走人。突然，玻尔降临：“咱俩干嘛不出去散散步，顺便把那个问题彻底搞清楚呢？”其实，在课堂上，玻尔已经被这个男孩的洞察力着实震惊了一把。玻尔当时就盘算着，绝不放走这小子！这不，一下课，就来下套儿了。

玻尔请散步，小海当然应邀了。下午，一大一小俩爷们儿就在学校附近的小山上转呀转。

我比你所能想象的还要更赞同你。一开始，玻尔就立场坚定地站在海森堡这一边。

哦，原来咱俩是一伙的。海森堡放下心来。

谈心，是玻尔的独门神功。接下来，玻尔就开始袒露心扉，恳切地谈了自己工作的心路历程、对物理学现状的困惑和苦恼。正当小海感到玻尔太坦诚，自己无以为报时，玻尔说，我的，你都看见了，该你了。

于是，小海只恨自己的故事太少，遂竹筒倒豆子，一股脑全交代了。酣畅淋漓。

玻尔表示聊得很开心。他的确开心，因为目的差不多达到了。可以进入正题了。于是，他不经意地提出一个建议：你可以来哥本哈根访问一个学期。

小海受宠若惊，但他已经答应玻恩，下个学期要到哥廷根学习。

原来玻恩先下手了。玻尔不动声色，热心地介绍哥廷根的物理、数学大腕，以供小海参考。小海心里暖洋洋的。

分手时，小海欣喜地看到，前途一片光明。

我真正的科学职业生涯，是从那个下午开始的。小海如是说。

索老师要去美国，离开的这段时间，他很负责地把海森堡托付给了玻恩。

玻恩的眼力一点也不比索末菲差，他看出来，海森堡可以媲美泡利！对于天才，玻恩是见一个爱一个。何况，小海又勤快，性格又那么好。这趟哥廷根没白来，小海不仅受到玻恩的教诲，还得到希尔伯特的点拨。超值啊！

玻恩邀请小海：来当我的助教吧。拿到博士以后。

如果你以为，反常塞曼效应是索老师给小海出的最难的一道题，那就太低估索老师对小海的期望了。他给小海出的博士论文题目更变态：湍流。说是为了拓宽小海的知识面。这个问题有多变态呢？老实说，直到现在也没完全解决。索老师当然知道它的难度系数，所以，他只要求：用基本方程推出特定情况下的结果，就 OK 了。饶是如此，海森堡还是发现，这个问题无比复杂，按部就班地去搞定，臣妾做不到啊！情急之下，敲叉听音的温馨一幕又浮现在眼前。于是，他看了一遍森林般的方程，眉头一皱，恶向胆边生——凭感觉猜出一个答案，交差。

对这个完全是蒙出来的答案，索老师居然表示理解：方程太复杂，近似解就可以了。论文过关。这就是大结局？No！20多年后，有人终于得出了那个解，海森堡蒙出来的不是近似解，而是完全正确的准确解！神呐！都出来膜拜上帝吧！

好吧，海森堡，你赢了，你是天才，你数学好，你猜都猜得对，你玩转理论没商量，可是，有实验在等着你。

维恩教授虽然没放水，但至少，他应该是没打算为难这个实验渣。你看看，他满脸严肃地问了些幼稚的问题：电池的工作原理是什么、某显微镜的分辨率多少……维恩老师，严肃点，我们这儿考博士生呢，你把初中题念出来是要闹哪样？

海森堡的答案让维恩教授本来就严肃的脸变得铁青，该混球净玩儿高端了，没注意这些技术细节，所以一概说不清。

差评！维恩教授给了小海应得的实验分。

好评！索老师给了小海畸高的论文分。



【图 8.2】三个死鬼。左起：费米、海森堡、泡利

于是，小海得了个平均值：III级分。比最差好一点，勉强拿到哲学博士。作为一名知名天才，跟博士里面的差生混在一起，这可怎么活！泡利师兄得的可是I级分，全优！鬼知道他当初是怎么混过实验关的。也许，维恩教授是怕这家伙炸了他的实验室，或者，怕这家伙在课堂上突然跳出来给他挑刺？反

正他是过了。

大家都知道，我是泡利那个档次的，现在搞成这样，同学们怎么看？师兄怎么看？今后在天才界怎么混？跑吧！

往哪跑呢？当然去投奔玻恩。小海从新晋博士庆祝会上溜了出来，连夜坐上开往哥廷根的火车。

他还记得，上次去见玻恩，就很糗。还是索老师去美国那回，正值假期，小海听说偶像爱因斯坦要去莱比锡讲座，就欢乐地去了。没想到，有个疯子前去捣乱，只因为老爱是个犹太人。小海很郁闷。但接下来的消息让他更郁闷：那个捣乱的疯子是个有名的实验物理学家——我不说你也知道那是勒纳德了。小海惊呆了：科学家怎么也会干出这种脑残勾当？！讲座没听成，还毁了三观。老天仍嫌小海不够倒霉，又派了个小偷，把小海的钱偷了个精光！没钱怎么去哥廷根？就这样回家，老爸会不会不高兴？于是，海森堡找了份伐木的工作，狠狠地户外了一个假期，赚了点钱……难怪玻恩看见他时，感觉他像木工坊的孩子。

上次给玻恩这种印象，这次，以III级分得了个博士，不知道玻恩会怎么看。小海心里很没底。

玻恩跟小海本来是约好冬天见的，所以，当大热天的发现小海站在面前时，他吓了一跳。小海深吸一口气，红着脸坦白了考试的事，然后直奔主题：“不知道您还肯不肯要我？”

玻恩的表情早就从惊讶转为同情了。作为一个资深实验渣，玻恩惺惺相惜地收留了小海。

现在，物理学有太多事情需要去做了，天才紧缺！量子物理靠玻尔-索末菲模型苦苦支撑，但实验结果却总是不合时宜地宣布：再完美的补丁，也救不了一个破旧的系统！玻恩、泡利等都看到，这个系统的根基有问题，得推倒重来。谁能率先杀出一条血路呢？海森堡认为，是玻尔。

1923年底，小海给玻尔去信，谈了自己研究反常塞曼效应

的情况。玻尔回信勾搭道：你可以来哥本哈根聊聊。

于是，小海兴冲冲地来到玻尔研究所。那一天是 1924 年的 315。玻尔挖人的功夫很变态，短短两年，就把空荡荡的研究所搞得人满为患，不得不建了两座新楼，才实现居者有其屋的宏伟目标。

没新鲜几天，小海就抑郁了。本来，他以为一来就能和玻尔在一起搞研究，没想到，玻尔这家伙神出鬼没，基本见不到人影。这还罢了。更郁闷的是，他惊奇地发现，在这儿，再也找不到那种鹤立鸡群的优越感了，因为，几乎每个年轻人都是那样的出类拔萃，在这种群体里，想崭露头角，和玻尔并肩作战，机会很渺茫啊！这帮家伙不光专业好，有各种特长，还都会好几门外语，而自己，只懂德语，聊起来挺别扭。另外，业余爱好也不一样，玩儿不到一起去。所以，还是老老实实宅在房间里比较好。

正宅得黯然销魂之际，玻尔飘了进来。他是来约小海出去溜达的。

这一溜达，就是三天。边聊边走走了 160 多公里。两人从相识到相知，三天速成。咱俩知道，和玻尔聊，你就得敞开心扉，不然，他会敞得让你过意不去。小海这趟聊得很 Happy，这小子已被玻尔的魅力打败。

天真烂漫的小海从来没想过，一直很忙的玻尔，为啥突然肯抽出三天时间，专门用来勾搭自己呢？玻尔会说，是因为收到一封信吗？信上说：“现在的物理学家可以分两类：一类是先用量子数算一遍，如果不行，就改用整量子数；另一类是先用量子数算一遍，如果不行，就改用半量子数——海森堡除外，因为他更有头脑。”一看这睥睨群雄的句型，我不说你也知道，信是泡利写的。

目光如炬、毒舌似刀的泡利夸过几个人？这厮把所有搞量子的物理学家都损了一顿，独独把小海刨了出去，甚至用“杰

出的天才”来形容他——这究竟是何等人物？聪明的玻尔意识到，自己可能慢待了一个大神！于是，玻尔这才豁出去三天时间，专程陪海森堡溜达。事实证明，这实在是一个英明的决策，就算专门陪他溜达一年也值！如果没有海森堡，哥本哈根在量子论中的地位，就得重新掂量了。当然，这对海森堡，也是意义非凡。泡利知道，海森堡的知识与天资没的说，但是，总还欠那么一点点火候，需要一套坚实的哲学思想固本强基。而这个，玻尔可以给他。泡利又对了。玻尔和海森堡讨论的都是基础性、原理性、哲学性的问题。多年以后，小海深情地回忆道，那段日子，是上天的馈赠。他总结道：“跟索老师学到了乐观主义，在哥廷根学到了数学，从玻尔那儿学到了物理。”

跟玻尔混，当然不都是好事，一不留神，就会被涮。一日，小海童鞋欢乐地跟玻尔去散步。走上一座小桥，玻尔晃了晃一侧桥栏上的铁链。小海惊奇地发现，对面栏杆上的铁链也跟着晃了起来！看着小海很懵的样子，玻尔善良地提醒，这是共振现象，并让小海解释一下。共振是一种普通的物理现象，小海童鞋当然知道。于是，一本正经地发表了一番生动的共振演说。讲完，玻尔虽然一脸诡异的笑，但看上去很满意的样子。于是两人继续 Happy 地散步。

故事还在继续。另一位童鞋跟玻尔散步时，玻尔故伎重演。但这位童鞋认真研究了半天，仍然百思不得其解。怎么我晃就不共振？！于是，玻尔解密：栏杆上有根轴，转动之，可以带动对面的链条，刚才是在捣鬼。这位童鞋听了狂汗。玻尔安慰道：至少你没被玩得像小海那样惨，他到现在还不知道自己被玩儿了，哈！

唉，发表演说前，小海就懒得自己动手试一下。实验渣啊！

海森堡也不是每次被玩儿都毫无知觉。前面说过，到了哥本哈根，小海意识到，不会几门外语真的比较尴尬。于是开始学外语。在丹麦，首选当然是丹麦语。和泡利一样，他很快就

学会了，随时准备施展一下。机会说来就来，玻尔让小海准备一次演讲。小海顺理成章地用丹麦语做了充分准备。开讲前半小时，玻尔飘过来对牛哄哄的小海曰：“很显然，我们应该讲英语。”小海当场凌乱了，英语俺还没学好啊！这位神仙只好在半个小时内用自己不熟悉的英语又准备了一遍。你当然知道，小海的这次演讲是有多糗。

玻恩不会这样玩儿小海，他越来越喜欢这小子。对小海的栽培，也是走传统路线。不过，小海在哥廷根比较纠结。他最早想学数学，被拒，便下决心学物理，但到了哥廷根发现，这里的物理学家似乎比数学家更爱数学。所以，数学成绩越来越好的小海，越来越想提高物理成绩，哥本哈根的吸引力也就越来越大。

1924年秋，小海获得了在德国大学任教的资格。那时，他已经发表了十几篇论文，物理界的一颗新星冉冉升起。玻恩要去美国开会，要等1925年的5月才回来。所以，小海出去疯玩了三个星期。9月份，又来到哥本哈根。

小海慢慢地融入了哥本哈根团队，和所有人相处得都很好，除了玛格丽特。玻尔夫人从第一眼起，就不喜欢小海，要知道，她对那个动不动就咆哮的泡利还很友好呢！女人的直觉有时候真的蛮厉害。

我们先把女人的直觉放到一边。因为玻尔研究所很忙。为了拯救玻尔-索末菲模型，消灭爱因斯坦的光量子，终结波粒大战，玻尔说服他的助手克拉默斯（Kramers）、斯莱特（Slater），隆重推出了以三者名字命名的“BKS理论”。

为什么是“说服”呢？因为这件事儿，真的是靠玻尔的三寸不烂之舌促成的！

这里有必要深度八卦一下玻尔的领袖力，因为这对量子论的发展影响很大。以后涉及到玻尔的时候，我们首先要考虑的，是他的超强影响力。玻尔智商高，情商更高，他对身边的人，

有极强的吸引力和控制力，是天生的领袖。玻尔借这种神力，把众多天才聚拢到身边，为其效力。作为一个研究中心的中心人物，这种素质，当然是打着灯笼都难找的。

但是，由于他的口才和韧劲也同样强大，所以，你只要在他身边，就一定会被他说服。这就导致，玻尔身边的人，就只能跟着玻尔走——这句话翻译过来就是：玻尔的影响力会压倒性地消灭不同意见——当然，他不是故意的，因为他更需要正确的意见(稍后有证据)。在前面，通过卢老师与玻三篇的战斗，我们已经领教过玻尔的这种能力，这无疑会影响天才们的创造力，虽然玻尔非常善于诱发你去创造。听起来是不是特绕、特矛盾？事实就是如此纠结。

我们可以拿卢老师、玻尔二者的门下做个对比，玻尔聚集的天才，质量上应该是略高于卢老师的，至少不比卢老师手下的天才少，研究所的条件也不差，但是，获诺奖的人数，却跟卢老师没法比。我们稍稍留意一下，就会发现一件非常狗血的事实：海森堡、泡利、狄拉克这些大神最重要的贡献，都是玻尔不在身边时做出的！但是，又不可否认，这些贡献，离开了玻尔的影响，也不会如此集中地爆发。所以，现在看来，哥本哈根的成功秘诀是：要跟玻尔在一起充实自己，然后躲开他去创造。苍天呐！怎么会这么纠结？！

玻尔的超强影响力是一柄锋利的双刃剑。他的伟大之处在于，他虔诚地企盼得到真理，并千方百计地去追求她。这里有一个费曼的故事，比较典型。

1940年代初，那时，玻尔已名震江湖，而费曼刚刚出道，在洛斯阿拉莫斯国家实验室当小厮。这个实验室负责研制原子弹，而玻尔是曼哈顿计划的顾问。一天，玻尔带着他的儿子玻尔 2.0 来到实验室，讨论炸弹的事儿。即使对实验室的头头脑脑们来说，玻尔也是个神，每个人都想离玻尔近点。所以，在讨论会上，小厮费曼只能坐在角落里，从前排人的脑袋之间找

个缝看到玻尔。

第二次会前，费曼接到一个电话，是玻尔 2.0 打来的，说是玻尔要约费曼聊天。费曼不敢相信：“找我？我是费曼，我只是个小厮……”

“没错，找的就是你。8 点见行不？”

于是 8 点见。下面是他们的对话：

玻尔：“咋能让炸弹更给力呢？我的想法是……”

费曼：“不行。因为……”

玻尔：“那么，这样呢……”

费曼：“稍好点，但愚蠢之处在于……”

以上过程重复 N 次，玻尔的烟斗灭了又点，点了又灭。费曼这小子火力太猛，战斗很激烈。

最后玻尔边点烟斗边说：“现在可以把其他头头脑脑叫来讨论了。”

后来，玻尔 2.0 对费曼解密：上次开会，老爸就对他说，记住后排角落那小子，他是这里唯一不怕我的人，只有他才能指出我的想法是否疯了。所以下次，我们先不和那些只会说“是”的人讨论。把那个小家伙叫来，我们先跟他讨论。

看看，玻尔十分清楚自己的影响力，生怕这种影响力压制了正确意见，所以，他会想办法去诱导异见的充分表达。但是，当玻尔认为自己的想法正确时，他会毫无节制地施展无敌神功，锲而不舍地把身边所有人拉上自己的船——有时候是贼船——比如这个 BKS 理论。

我们知道，关于这个理论的目标，大致可以用一救一杀一调停来概括：拯救量子原子模型，消灭光量子，终结波粒大战。这个理论繁琐得要命，而且特别短命，所以就没必要细说了，主要想法有三：

1.原子之间有一种神秘的联系，叫做“虚辐射场”，它最牛逼的作用之一，就是可以引起量子跃迁。

2. 毙掉光量子，重新考虑能量吸纳机制。

3. 砍掉守恒定律。

这样一来，玻尔模型就可以抛弃讨厌的光量子了，光不是量子，也就不存在什么波粒大战了，劝架成功，世界一片和谐，除了一个小小的问题：久经考验的伟大战士、自然法则先驱守恒定律被牺牲。

这可不是小事，物理界认为，这不是革命，是谋杀，赤裸裸的谋杀！玻尔的两个小伙伴不怎么在乎光量子的死活，他们也知道，消灭光量子，最省事的办法，就是干掉守恒定律。但是，当玻尔真的要干掉守恒定律时，小伙伴们还是惊呆了，他们联合起来反对玻尔。但是你知道，玻尔的无敌神功是所向披靡的，斯莱特很快被说得哑口无言。克拉默斯坚持得久一点，但是代价也大，他刻骨铭心地享受了玻尔夜以继日的神聊，终于被聊倒，在病房里举手投降了。

有了同盟，玻尔开始各个击破，搞定身边的每一个人。怀疑海森堡被玻尔成功洗脑，他不仅自己归顺 BKS，还把玻恩拉下水。玻恩上了贼船，还喜滋滋地祝贺玻尔找到了“最终答案”。最终答案！这是被洗得有多彻底啊！拿下小海、玻恩，对玻尔来说，宛如平常一段歌。他最大的战绩是，搞定了反对派泡利。泡利一听到这个 BKS 理论，立即跳起来反对，但不幸的是，他那时去了趟哥本哈根，玻尔可以随时找他聊。经过 N 个昼夜，这位以思维犀利著称的物理学良心，终于被聊晕了，居然神使鬼差地归顺了 BKS！小海、泡利这对神组合，在玻尔的指使下，尝试巩固这个形迹可疑的 BKS 理论，当然，他们不可能成功。

泡利毕竟是泡利。一离开哥本哈根，他的脑子就清醒了，立即向玻尔宣战：我反对……。

光量子本来就不招人待见，再加上玻尔的无敌神功，一时间，BKS 兵团居然节节胜利，征服了越来越多的降军。可是，

有一个人始终坚定不移地反对 BKS 理论，即使在他访问哥本哈根期间，玻尔施展无敌神功，也没能把他的意见撼动分毫，更别提洗脑了！咱俩知道，这位，是爱因斯坦。他说，这个理论太烂了，如果想拉一张反对意见清单，绝对能列满整整一大页纸。老爱宣称，如果 BKS 这种理论是正确的，他宁可去当修鞋匠，或者赌场伙计。



【图 8.3】玻尔、海森堡、泡利

不管玩儿理论的闹得多欢，终审判决还得靠实验。BKS 的判决来得挺快。KBS 论文刚发表一个月左右，康普顿效应的进一步研究成果表明：反冲电子和散射光，总是同时出现，并且角度密切相关，这不是粒子相撞是什么？光不是量子是什么？BKS 理论八成是错的！1924 年 4 月，盖革（Hans Geiger）和博特（Walther Bothe 德国物理学家）通过实验证实，光子与电子相撞，能量和动量依然守恒。守恒定律又一次经受住了考验，坚挺不倒。所以 BKS 理论应声而亡。

玻尔不得不接受那个讨厌的光量子，他伤感地写道：“除了为我们的革命努力举行一场尽可能体面的葬礼外，已经没啥可干的了。”他向斯莱特表达了歉意，斯莱特当面表示不介意，但 40 多年后，玻尔已去世，斯莱特在一次访谈中，表达了强烈的不满：“我对玻尔先生不曾有过任何敬意，因为我在哥本哈根度

过了一段可怕的日子。”实在是令人唏嘘呀！

BKS 理论的葬礼不算体面，可也不算太糟。因为，它并不非一无是处。海森堡和克拉默斯联手，用 BKS 理论成功地处理了色散问题。这项研究，对于 BKS 理论是否成功，已经无关紧要了，要紧的是，它首次讨论了不依靠电子轨道如何解决问题。这算得上是通向新量子论的一块垫脚石吧。

BKS 理论是旧量子论的最后一根救命稻草，它的倒掉，意味着玻尔量子论的根基被摧毁，粒军的崛起，让麦爷帝国自顾不暇，更无力支撑量子论，劝和波粒的努力宣告失败，波粒大战风云突变，一切都得从头再来，场面相当混乱。打架的还没停，劝架的被打倒，还扔下一大堆麻烦。泡利抓狂了：“我希望我是一个喜剧演员，并且从来没听说过物理是什么！”说实话，泡利当喜剧演员，比老爱当修鞋匠更靠谱，因为他是卓别林的铁杆粉丝。

更惨的是海森堡，因为他已经被玻尔搞成了 BKS 理论的信徒。现在，BKS 理论就像一座冰雪大厦，被实验结果瞬间融化，所有凉水都浇到可怜的小海头上，让他一时明白一时晕菜，他十分清楚必须另找一条出路，但方向在哪儿？心里完全没底。

泡利也在痛并寻找着。他十分羡慕老爱用几个简单原理，一步一步演绎出新理论的手法。但是，当你去找时，就知道，这有多难。他和海森堡一直在交流这方面的看法。

玻尔对海森堡已经倾囊以授，剩下的，只是殷切期待：交给你了，小伙子，去吧，找到解决办法！

方法。我需要一个方法！

带着这个问题，海森堡在 1925 年 4 月底回到哥廷根。一场风暴在小海头脑中肆虐。我们已经试了无数办法，这些努力没有白费——效率奇高地得出同一个结论：此路不通！

问题出在哪？原子核、电子、椭圆轨道、电子跃迁、电子壳层、光量子……这些东西，素材具体，结构清晰，机制美丽，

论点有趣，论证有力，多么美妙的篇章啊！但它解决不了一个实际问题：不管怎么搞，很快就会出现杀不死的 BUG！

为什么？一定是有些东西靠不住！那么，谁是靠得住的？这是个问题。

原子核、电子、甚至光量子，是实验证实的东西，但它们的结构和运动，却是人类“猜”出来的。虽然不是胡猜，而是根据辐射观测，比照我们的经验世界，去揣摩、描绘出来的，但是，谁也没验证过：这个美丽温馨的图像到底靠不靠谱？

谁见过电子长啥样？谁见过电子像行星那样沿轨道绕转？我们为啥要给原子画出一个经典图像？泡利师兄早就对这事儿不满了，尤其是塞给电子一个“确定的轨道”！

对，问题就出在这儿，这些东西，很有可能是不可靠的！

既然我们不能像爱因斯坦那样，找到靠谱的基本假设，那么，对那些不怎么靠谱的假设，为什么不直接搁置不用？让轨道见鬼去吧！让对应原理见鬼去吧……等等，这些都不用，我们手里还剩什么？还有什么是可以相信的？

是的，只有可以“看”到的东西，才是可以相信的！

这就好比考察宇宙干部，他的讲话、宗旨、语录、所属社团，都反复告诉你，他在为谁服务；而观测其豪宅档次、数量，及其治下的人群生态等，才可以确定他究竟在为谁服务。至于他打的旗号是红是黑，走的路是正是邪，这些不可靠的东西统统可以忽略不计。

只讨论看得见的东西，以“可观测的量”为基础，去建立理论，这就是“实证论”。在 BKS 理论垮台荡起的烟尘中，哥本哈根悄然兴起了这股思潮。

但思潮，只是想，没人做。海森堡作出了一个勇敢的决定：不管前面是地雷阵，还是万丈深渊，这第一步，由自己来走。

实际上，小海不走也不行了。因为他染上了严重的花粉热

病。

有多严重呢？鼻塞、鼻涕、喷嚏、双目瘙痒、眼脸肿胀、畏光流泪、哮喘咳嗽……人要是倒霉啊，闻一下花香也能让帅哥变猪头！小海还不知道这是天将降大任于斯人也，所以快被折磨疯了。他向善良的玻恩请了两个星期假，想找个没有鲜花的地方躲一阵子。

6月7日，小海来到黑尔戈兰岛。这里没有花香、没有树高，只有一些无人知道的小草。而且，这里离大陆有50公里。

女房东只看了小海一眼，就认定这倒霉孩子刚刚被海扁了一顿，于是，爱心泛滥地保证会精心照料他。还叮嘱道：以后出去卖瓜躲着点城管。

远离了尘嚣，小海每天游游泳、散散步、读读诗，过起了悠闲而又文艺的生活。这时候思考物理，心静如水、渐臻澄澈。他挑挑拣拣，发现，按照实证论，手头上只剩两样东西是靠谱的：谱线的频率和强度。似乎又回到原点。这不是从夫琅和费开始，到基尔霍夫和本生年代就可以掌握的数据吗？闹得这么欢，一竿子打回石器时代了？

当然没那么惨！现在，我们掌握的谱线频率和强度数据更丰富、精度更高。更重要的是，现在我们知道：光谱线是电子跃迁吐出的能量。跃迁的能级差，决定了谱线的频率（能量大小），而不同能级之间的跃迁率，决定了谱线的强度（数量多少）。那么，有了频率和强度，我们就应该能倒推出电子的运动状态！

这也太激动人心了！小海摩拳擦掌，说干就干。

现在，电子这个“幽灵电梯”开动了！我们已经知道，它从一层开到另一层，是用跳的，不路过中间地带，所吐纳的能量，也是一份一份的，我们现在能记录的，就只是它吐纳的能量，至于层级这些东西，我们是看不见的，不能引入计算。

为了偷懒，我们把原子大厦设计得简洁一点，它一共只有5层：屌丝层、中产层、富裕层、富翁层、大富豪层。已知耗

能：

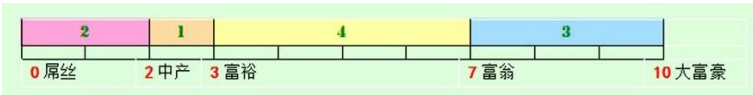
屌丝—中产：2

中产—富裕：1

富裕—富翁：4

富豪——大富豪 3

电子可以在任何楼层之间穿越。现在，我们要做的是，准确算出各种穿越吐纳的能量。最简单、最经典的办法是，画一把尺，以屌丝层为原点 0，以邻层间的能耗为长度，依次累加，得数依次为各层的刻度。这样，想知道任何两层之间的能耗，用它们刻度数相减，就 OK 了。看图：



如图，绿色数字代表邻层之间的能耗；红色数字代表刻度。现在咱俩操练一下，因为算的是能级差，所以都取绝对值：

屌丝—中产： $|0 - 2| = 2$

大富豪—富裕： $|10 - 3| = 7$

中产—富翁： $|2 - 7| = 5$

.....

很爽很好用。是吧？咱俩画出这把尺，居高临下，一目了然。但是，这些刻度，是无法观测的，也就是说，幽灵电梯到底是从屌丝到中产，还是从大富豪到富裕，谁也观测不到。我们能观测到的，就是“能耗”——频率。

所以，这把经典的尺，虽然用起来很爽，但是，它的基础——刻度，好听点说是“假设”，难听点说是“臆测”。这样做，一开始就把主观因素引入了计算。而这个主观因素稍有偏差，以后的计算，就会离真相越来越远，蝴蝶效应、准星误差，你懂的。那么，怎样才能只用靠谱的，而把不靠谱的都扔掉呢？

海森堡想了个“笨办法”：记账。把每个观测到的能耗罗列

成一张表：

	屌丝	中产	富裕	富翁	大富豪
屌丝	0	2	3	7	10
中产	2	0	1	5	8
富裕	3	1	0	4	7
富翁	7	5	4	0	3
大富豪	10	8	7	3	0

这里的量，都是观测结果，没有计算，相当靠谱；不管从哪层到哪层，不用算，找对应的观测结果，就 OK 了，相当直接。就像列车价目表，一目了然。

小海列的表，比上面这个表要复杂。而且不止一个表。比方说，跃迁率，也要弄个表。

前面说过，有了这些可观测的数据，就可以想办法倒推出电子的运动状态。比如动量 p 和位置 q 。怎么做呢？咱俩知道，电子的运转周期，与它发出的辐射频率，是密切相关的。所以，有了频率，就能求出周期。有了周期，就不愁速度。速度 \times 质量，就是动量 p 了。有了这么丰富的素材，加上跃迁率，位置 q 也就不远了。大致就是这样。当然，实际情况要比这复杂得多得多。比如现在，小海就面临另一个问题：

他所列的每一张表，在方程里都只是一个因子，比方说刚才这张表，用 x 表示，另一张表，用 y 表示。现在， x 非要乘以 y ，出事了。

如果 $x=3$ ， $y=7$ ，就万事大吉了，不管三七二十一，它就等于 21。

但是，现在咱俩面前有两颗因子， x 是一张表， y 也是一张表。每张表里都有 N 多数，这怎么乘？！总不能胡乱抓几个数，让它们随便互乘吧？又不是在抓地富反坏右。

海森堡分析了下，只有用一种非常奇葩的算法，才能解释

得通：用 x 表的“列”中各数，去乘 y 表“行”中对应的数，简单点说就是“ x 列 \times y 行”，或者反过来“ y 列 \times x 行”。这样一来，路走通了，任督二脉打通了。但是，出现一个大问题： $xy - yx$ 不一定等于 0！也就是说， xy 不一定等于 yx 。

这还了得？不管你管不管三七二十一，你 $7 \times 3 - 3 \times 7$ 都必须等于 0 啊！这叫乘法交换律，自从地球上有了乘法以来，一直是这样交换的，怎么可以不遵守？！

小海也知道这不得了。可是，他搞不懂这是为什么。小海只知道，他的新物理成功地解决了几乎所有问题。虽然算法很陌生，很麻烦，但是，它不需要任何补丁，也不用任何假设，就能再现已知的任何情形！

真的是这样吗？小海很没底，决定用守恒定律验证一下。于是，激动的心，颤抖的手，算来算去，还行，一高兴，就弄错了，算术错误，晕！再算！又是算术错误，汗……，又算……

凌晨 3 点，小海终于撂下笔，长舒一口气：各种守恒定律还健在。公式很强大。

春风得意马蹄疾，一日看尽长安花。现在天还没亮，小海也不敢看花。于是决定奖励自己看日出。他推开门，披星戴月，独自飘到黑尔戈兰岛南端。那儿有一块探出海面的巨石。这些天，他一直想爬上去，可惜没心情、没体力。现在，什么都有了。小海摸黑爬了上去，意气风发地坐等日出。

终于，无尽的海平面上，东方渐白，一轮红日喷薄而起。物理学的黎明到来了！

男孩物理

6 月 19 日，又是星期五。海森堡把花粉热留在了黑尔戈兰岛，带着兴奋、激动和紧张，惴惴不安地回到大陆，他不知道自己找到的是宝藏还是垃圾，怎么办？

还能怎么办？找火眼金睛的师兄啊！让泡利鉴定下，反正天天被他骂，顶多再被他骂死一次，也比去外面丢人强！于是，

小海的稿子到了泡利手里。

小海正顶着锅盖等挨骂，没想到被泡利狠狠地夸了一顿！

师兄不是被我的奇葩想法气糊涂了吧？他居然在夸我？！并且是“狠狠地夸奖”！这是自地球上有泡利以来就没发生过的事啊！爱因斯坦和玻尔都没享受过这待遇啊！小海受宠若惊地看着泡利，确信这是真的，然后欢天喜地、雄赳赳气昂昂地回到哥廷根。

小海含辛茹苦，忙乎了十来天，把自己的发现细细整理了一番，变成论文，寄给泡利一份，然后交给玻恩一份。泡利十分高兴，他在给同事写的信中道，这篇论文是新的希望，给生命带来了新的乐趣……如果是别人写的，很正常，但这种话出自泡利口中，就是肉麻的颂扬了！

玻恩在拿到这份论文之前，完全不知道小海在鼓捣些什么。当他有时间坐下来慢慢看这篇论文时，才领会小海为什么说这是“一篇疯狂的论文”。

玻恩很快就沉浸在小海的奇思妙想里了，那一簇繁茂的表格，那一袭诡异的乘法，越看，越觉似曾相识。说到这，咱俩是不是也觉眼熟了？

恭喜你，跟玻恩一起想起来了：这就是传说中的矩阵——**Matrix!**

在跟着爱因斯坦痛苦地补习数学，描绘广义相对论的弯曲时空时，我们接触到了让人吐血的“张量”，为了搞清楚什么叫“张量”，我们提到过“矢量”、“矩阵”等一些呆板枯燥的东西。大意就是：

相关的分量按照大小个儿排成一排，形成一个一维的数据表格，也就是一行有序的数组，叫“矢量”。我们画的那把尺，就相当于矢量。

若干行矢量排列成二维的数据表格，这个纵横排列的有序数组，就叫“矩阵”。小海列的那些个表，就是矩阵。

若干矩阵组成的三维数据表格，就是“张量”了。

老爱的广义相对论用到了张量。现在，小海用到了矩阵。

矩阵是 19 世纪的著名数学家、剑桥教授凯利提出的。作为一个数学概念，它不新，但鲜有人知。小海为了解决手头的问题，在毫不知情的状况下，竟然重新发明了矩阵！这数学天分，是有多强悍啊！这事儿传出去后，当初把小海关在数学门外的林得曼教授不知作何感想？

矩阵看起来很孤僻，但在适合的领域，相当好用。现在，咱俩就用工作生活常遇到的事，来列阵演习一下。

你是一个老板。什么？你更喜欢当会计？这个爱好真别致。好吧，你老板的公司有 2 个工厂，它们都生产 2 种产品：飞机、航母。不管是作为会计，还是作为老板，你都得会算它的产量、利润、库存什么的，是吧是的。

下面是上个月的产量报表 x ：

工厂 \ 产品	飞机	航母
一厂	4	1
二厂	3	2

$$\text{写成: } x = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix}$$

上面两种格式的表看懂了没？看懂了咱就偷偷懒，把本月产量 y 直接写成：

$$y = \begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 6 & 5 \end{pmatrix}$$

那么，怎么算这两个月的总产量呢？相当简单， $x+y$ 就 OK 了。矩阵加法很简单，相同位置的数字相加：

$$x+y = \begin{pmatrix} 4+2 & 1+0 \\ 3+6 & 2+5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & 1 \\ 9 & 7 \end{pmatrix}$$

看，两个厂两个月的飞机、航母总产量一目了然。你怎么开始两眼皮打架了？要不给你来碗心灵鸡汤？吐吐就好了。

矩阵的加法很简单，那么乘法呢？前面说过，矩阵乘法是“列×行”。下面，我们要算利润，就不得不用诡异的“行列相乘”了。我们假设一架飞机的利润是 8，一艘航母的利润是 10。那么，上个月，一厂的利润就是： $4 \times 8 + 1 \times 10 = 32 + 10 = 42$ 。

但是，现在我们要算的不是一个厂、而是两个厂的利润 L，所以，需要用矩阵一下子全搞定。那位童鞋，打盹也要讲公德，不要把哈喇子甩来甩去的，枯燥的不是公式，而是你的内心，你的内心！知道不？看题：

$$\text{单位利润 } 1 = \begin{pmatrix} 8 \\ 10 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} L &= x \times 1 = \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 8 \\ 10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \times 8 + 1 \times 10 \\ 3 \times 8 + 2 \times 10 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 32 + 10 \\ 24 + 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 \\ 44 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Over。唉，擦擦汗，我们再坚持一会儿。

上个月，一厂利润是 42，二厂利润是 44。如果想知道单项产品利润，看倒数第二步：纵向左侧，就是飞机利润；纵向右侧，就是航母利润。相当清晰。

矩阵不仅能同时表达 N 个厂、N 种产品的利润指标，还能在此基础上，同时表达其他 N 个指标。

喂，这位大神，你打呼噜我也忍了，干嘛说梦话？说梦话就好好说吧，你背啥子政治题？！

救命啊！打起精神，下面要讲形势任务了！

由于当今时代主题是和平与发展，所以，飞机航母的销量不会很大。因此，库存问题不能不考虑。假设，一架飞机的体积是 1，一艘航母的体积是 9，接下来，咱俩就把利润、储存空间需求同时算出来：

$$\text{单位利润、体积 } k = \begin{pmatrix} 8 & 1 \\ 10 & 9 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} x \times k &= \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 8 & 1 \\ 10 & 9 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 4 \times 8 + 1 \times 10 & 4 \times 1 + 1 \times 9 \\ 3 \times 8 + 2 \times 10 & 3 \times 1 + 2 \times 9 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 42 & 13 \\ 44 & 21 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Look, 行列相乘, 很方便地算出: 一、二厂的利润分别是 42、44; 储存空间需求分别是 13、21。

那么, 我们交换一下, 用 k 乘以 x , 会怎么样呢?

$$\begin{aligned} k \times x &= \begin{pmatrix} 8 & 1 \\ 10 & 9 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 4 & 1 \\ 3 & 2 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 8 \times 4 + 1 \times 3 & 8 \times 1 + 1 \times 2 \\ 10 \times 4 + 9 \times 3 & 10 \times 1 + 9 \times 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 35 & 10 \\ 67 & 28 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

看看, 乱套了不是? 得数完全不相等! 驴唇不对马嘴。为什么呢? 就是因为行、列颠倒了, 相乘、相加的数字、项目都不是原配了, 结局自然就很诡异了!

在量子世界, xy 可以不等于 yx , 驴唇完全对得上马嘴, 乘法交换完全合法! 那么, 这个公式在告诉我们什么?

我们又遇到了巴尔末、普朗克的尴尬, 公式很强大, 但是它在嘀咕些什么, 我们听不懂!

但玻恩意识到了小海设计思想的意义, 他把这篇论文投给了《物理期刊》。然后, 继续陶醉在小海的设计方案里。

海森堡, 这个年仅 24 岁的男孩, 大笔如椽地勾勒了量子王国的建设纲领, 实证论的设计思想, 立意深远, 基础牢靠, 结构稳健, 隐隐大师气象。玻恩认出了小海的核心算法——矩阵, 就清楚地知道, 怎样把它变成一个完整的理论框架。现在要做的, 就是尽快修整完善, 让量子论大厦拔地而起! 至于它背后的深层寓意, 以后再解读不迟。

玻恩知道自己很难独立完成这个浩大工程，必须找个同伙才行。他立即想到一个人：泡利。这小子物理和数学都很强悍，效率奇高，他来干这事儿，再合适不过了！

恰好，玻恩与泡利都去参加汉诺威的一个会，一见到泡利，玻恩就迅速邀请他联手，没想到，泡利同样迅速地拒绝了合作。拒绝就拒绝吧，他还来了句“我知道你喜欢沉闷和复杂的形式主义”。泡利一直对玻恩的数学控不爽，他担心玻恩的数学会“把海森堡的物理思想破坏掉”！

玻恩乘兴而来，却碰了一鼻子灰，在败兴而归的路上，把幸运女神顺手推给了一个 22 岁的男孩——约当。

帕斯库尔·约当（Ernst Pascual Jordan），1902 年生于德国汉诺威，1921 年进入汉诺威理工高等学校学物理，后来发现这里的物理教学水平还不如自学，就改学数学。1922 年到哥廷根学物理，后来投入玻恩门下，物理成绩、数学成绩双优。约当内向而腼腆，说话有点口吃，但这都不要紧，因为他有个讨人喜欢的特点：学过矩阵。

约当开心地拥抱了这个机会。把小海的方案用正宗的矩阵来写，顿时顺眼 5 倍。玻恩和约当很快发现了一个矩阵公式，把动量 p 和位置 q 撮合到一起。当然，你知道的，在这个公式里， $p \times q$ 不等于 $q \times p$ 。玻恩和约当取得的一个突破性成果是，他们得到了 $pq - qp$ 的值：

$$pq - qp = \frac{h}{2\pi i} I$$

这个公式后来被称为“海森堡非对易关系”。

简洁未减瑰丽，优雅又添神秘。

p 旗飘移着动量， q 旗昭示着位置。动静相宜，扑朔迷离。面对面读你。背靠背品你。那一刻的你我，模糊了彼此，却，扰乱了平衡。

普朗克常数 h ，端然坐镇。从容而又坚硬。虚数 i 摇曳着朦

胧的烛光，映射 π 值妙曼而圆润的身影。

天大地大。有物混成。独立不改。周行不殆。却是奇诡的单位矩阵——定海神针 I 在支撑！

这一切，都衍生于小海的大设计。一个崭新的力学——矩阵力学，在玻恩和约当的笔下奠基。量子基因活蹦乱跳地跃然其上，守恒定律等经典结论自然而然地囊括其中，一切都是那么美好。

玻恩和约当合著的“二人论文”叫《论量子力学》，9月底发表在《物理学杂志》上。海森堡在哥本哈根 Happy 期间，抽空学了矩阵。

10月中旬，小海回到哥廷根，与玻恩、约当组成三人团队，趁热打铁，构建了矩阵力学的主体，完美解决了让物理学家们吐血的原子光谱难题，并很快取得了一个辉煌战果：发现了氢的同素异形体。这篇“三人论文”也于11月底发表在《物理学杂志》上，名字叫《论量子力学II》。你知道，海森堡发表的那篇发轫之作，当然就是“一人论文”了。

波尔的“老三篇”，已经随着旧量子王国的衰落，成为刻满沧桑的遗迹，镀着夕阳的金光，诉说着昔日的辉煌。现在，玻恩幼儿园的“新三篇”在半年内骤然问世，取而代之。这是一场为物理学开办的数学盛宴，它标志着哥廷根在量子领域的崛起，百业待兴的量子王国，呈现哥本哈根、哥廷根、慕尼黑三足鼎立的盛况。

矩阵力学的兴起，让海森堡声名鹊起，当玻恩、约当建立的 $pq - qp = (h/2\pi i) I$ 被称为“海森堡非对易关系”时，玻恩无语，小海不言。1933年，海森堡斩获1932年的诺贝尔物理学奖，但玻恩、约当却被晾在一边，这事儿摊在谁身上，都会不高兴。但玻恩到底是伟大导师，他风度十足地压住抑郁，给小海写了封贺信，小海这才良心发现，回信道：“当初是咱仨合作完成的工作，现在我却独占了诺奖，这让我感到羞愧。”实际上，

即使没有建立矩阵力学，玻恩后来的几率诠释、小海后来的测不准原理，也都够获诺奖的了。不过，在矩阵力学的建立上，虽然小海的作用最大，但玻恩和约当的工作也至关重要，所以，小海独揽矩阵力学带来的诺奖，还是值得商榷的。



【图 8.4】约当

约当除了参与矩阵力学的建立以外，还在量子场论、量子电动力学等领域做出了贡献，也是强人一个。他曾被三次提名诺奖，都名落孙山。有人认为，这跟他当时太年轻，并且不善交流、不善表现有关，但是，狄拉克获奖，有力否定了这一说法。还有人认为，这跟他倾向于纳粹，并被指告密，从而声誉受损有关，这一说法有些道理，但是，当时的物理学家们了解约当，他在政治上有些幼稚和偏执，属书呆子型，并非人格败坏的阴谋者和投机者，他不支持极端种族主义的做法，还因此影响了政治前途，战后，泡利、海森堡都曾为其开脱，所以，这方面也并不能成为约当无缘诺奖的主因。就他所取得的成果而言，建立矩阵力学是最大、最有影响力的一个，约当在矩阵力学建立中做的工作不少，但是，科学贡献不是看工作量，而是看创造力。是小海开辟了矩阵力学这片疆土，泡利和玻恩发现了它的价值和意义，由玻恩的主导，在小海的设计思想基础上，完成了主体构建。在这个工程里，小海是总设计师，玻恩

是设计兼项目经理，而约当是施工单位。在具体施工时，小海和玻恩也参与了添砖加瓦，盖楼时，他们一起克服了一些技术上的困难。其中，约当搬的砖也许最多。这就是约当在这个工程里的作用。这个楼盖成这样，没有小海，是不可能的。没有玻恩（甚至泡利），这个方案可能就作废了。但是，没有约当，换一个施工单位就行了，也能盖成这样，甚至更好——狄拉克证明了这一点。就约当所起的作用而言，他与其他二人一起因矩阵力学获诺奖，是没问题的，但是，如果这个诺奖没玻恩的份，那么，约当也应该没份——他的贡献不是非得诺奖不可的。要怪，也只能怪约当生不逢时，在那个巨星璀璨年代，物理贡献比他强、声望比他高的人随处可见，各种成果火山爆发般地涌现出来，以至于面对 1920 年代的大量成果，诺奖委员会难以取舍，纠结到蛋疼。综合这些因素来看，约当获奖，不过分；不获奖，也不十分冤枉。作为我们这些坐享其成的围观群众，只要记住，有个诺奖级别的牛人，叫做约当，也就可以了。

1953 年，当玻恩终于因几率解释捧回迟到的诺奖时，他已经年过古稀了，爱因斯坦发来贺信，提到诺奖来迟了，玻恩回信道，当年被诺奖遗忘，一直深深地伤害着他。1970 年初，玻恩去世，临终前，他吩咐把“ $pq - qp = (h/2\pi i)I$ ”刻在墓碑上。唉！这些都是后话，不提。

现在，玻恩将面临他科学生涯中的“最大一个惊喜”。12 月的一天，他打开一个邮件，里面是一份来自英国的论文，作者的名字叫保罗·阿德瑞恩·毛里斯·狄拉克（Paul Adrien Maurice Dirac）。

玻恩和约当挥汗如雨、大干快上时，小海正在 Happy 地爬山，他当时把论文甩给玻恩，拍拍屁股就出去疯了，现在已经乐不思蜀，他说，“过去的一个月，我一秒钟也没想过物理，我都搞不明白自己现在还懂不懂物理了！”玩儿得意犹未尽的脸上，隐隐透出“欠扁”二字。



【图 8.5】狄拉克

这篇论文囊括了量子力学“新三篇”的所有内容，这不算牛，牛的是，这篇论文的完成时间，在哥廷根“三人论文”《论量子力学II》之前。也就是说，在玻恩率领小海和约当群体作战时，这个叫狄拉克的家伙单枪匹马打赢了这场战争。更绝的是，同样的效果，但这小子用的数学简洁多了！让数学圣殿哥廷根的数学控玻恩为之倾倒，这会儿，如果让玻恩选一篇十全十美的论文，他会毫不犹豫地举起手里这篇！

狄拉克，这小子到底是何方神圣？！

小狄是剑桥男孩。哥本哈根、哥廷根、慕尼黑在量子王国闹得那么欢，怎么可以没有剑桥的份？所以，剑桥不出手则已，一出手，就亮出一柄神剑。小狄 1902 年 8 月 8 日出生于英国。完成这篇论文时，他才 23 岁，比小海还小 1 岁。

狄拉克的父亲是个教法语的瑞士人，母亲是英国人。狄拉克有一个哥哥和一个妹妹，按理说，如此完美的家庭结构，应该幸福得像花一样才对。但是，由于父亲的刻板和独裁，这个家很压抑。父亲规定，孩子们和他讲话只能用法语，因为这样容易学好法语，至于孩子们怎么想，不在他的考虑之中。小狄不喜欢用法语表达自己，就选择沉默。如果仅仅是父亲太严

厉，也就罢了，他的父母还相互憎恶，这让家里有种随时要崩塌的紧张和不安。后来，哥哥雷金纳德自杀，这让狄拉克更难接受父亲。尘世间最痛苦的事，不是生离死别，而是亲人活生生站在你面前，你却无法接受他！这种家庭环境，让小狄成为一个喜欢独处、沉默寡言的人，他羞于社交，尤其是对异性，达到了害怕接触的程度，这种性格，加上他卓越的天资，你想起了谁？是的，如果小狄不是个实验渣，大家一定以为这是可爱的卡文迪许同志再世。

狄拉克在 12 岁时，就被送到他父亲任职的职业技术学校，学习电气工程，毕业后可以从事电气工程师这份很有前途的职业，他的表现不是很突出，只是狂爱数学。这一点的确异于常人。中学毕业后，狄拉克获准在母校免费学习两年数学。沉醉在数学海洋中，两年很快就过去了。小狄想去剑桥接着学，但是，剑桥给的奖学金不够花。

因为奖学金里不包括路费，不会先寄给你。所以，狄拉克还需要 5 英镑才能到剑桥。这时，他的父亲拿出了这笔钱，狄拉克认为，这次是父亲帮了他。然而，直到他父亲 1936 年去世后，他才得知，就连那 5 英镑也不是父亲给的，而是当地一个教育机构赞助的！他父亲不是没有钱，去世时攒了 7500 英镑，相当于 15 年的年薪！冰冷的事实，残酷地掠去了小狄心中对父亲仅存的一丝温馨。

好在小狄可以在理论物理中体味安宁和快乐。这一切，造就了小狄独特的个性。

狄拉克极少与人交流，但只要是交流，不管是写还是说，遣词用句都极为谨慎，说出去的话，在他看来，就是最清晰准确的了。于是，在他演讲时，要是有人没听明白，提出疑问时，小狄的做法是：把之前说过的话复读一遍，分毫不差。这种授课法，颇具麦爷遗风啊！

小狄对语法的理解也很古板。一次，他演讲后，一位学生

起立道：“狄教授，俺不明白黑板左上角那个公式是咋推导出来的。”狄拉克不理他，这位同学以为小狄没听清，就又复读了一遍刚才的话，狄拉克久久凝视之，一言不发。主持人实在看不下去了，就问狄拉克，干嘛不回答问题。狄拉克惊奇地回答道：“回答问题？他刚才说的是一个陈述句，不是一个疑问句！”

还有一次，一个法国物理学家来见狄拉克，他英语超烂，讲得很折磨。这时，狄拉克的妹妹飘过，用法语说了句话，狄拉克用流利的法语回应（父亲没白逼着他们学法语）。这个法国人顿时感觉被耍了，气愤地问狄拉克干嘛不说他懂法语。狄拉克满脸无辜地说：“你又没问过我。”

狄拉克说话简洁，也是名垂青史的。小狄的一个同事说，经过坚持不懈的努力，他终于学会了怎样和小狄交流：你简单、直接地提问，然后等着小狄回答“yes”或“no”就可以了。当然，他的回答都是对的。但是有人纠正道，小狄有时还会说“I don't know。”喜欢神侃的费曼跑去跟狄拉克聊，结果费曼巴拉巴拉半天，狄拉克最后只回应了5个单词。费曼很郁闷，回去跟别人抱怨。结果人家安慰道，狄拉克肯跟你说5个单词之多，说明他对你聊的那些还是感兴趣的，否则你只能得到一个单词：yes 或者 no。

不过，狄拉克有时也会主动发表一些评论。一次，他跟玻尔去参观哥本哈根艺术博物馆。在一幅印象主义油画面前，小狄评曰：“这条船应该是没画完。”玻尔大寒。小狄似乎嫌玻尔不够冷，一会儿又评论另一幅：“这画不错，就其不准确度来看，是整体一致的。”

当然，你要是以为小狄不喜爱艺术，那就大错特错了。在绘画艺术方面，他喜欢连环画，还大爱米老鼠动画片。在文学艺术方面，他喜欢看侦探小说。在音乐方面，他是美女歌手雪儿（Cher）的粉丝。

狄拉克后来和海森堡开始了纯真的友谊，也擦出了不少火

花。1929年，小狄和小海结伴赴美日游访讲学，到了夏威夷，由于这两位太年轻，主办方把他俩当成游学者，说是欢迎他俩来听讲，小狄简洁回应：“no。”

他俩乘船离开美国时，被记者缠上了。小狄很无奈，小海答应由他来搞定。记者找到小海，问道：“我跑遍了整艘船，也没找到狄拉克教授，你能帮我不？”小海诚恳地表示遗憾：我也不知道狄拉克在哪儿，但是如果你有什么问题，我乐意替他答。于是，记者就问了一堆关于狄拉克的问题，小海慷慨作答。在一旁东张西望、假装围观群众的狄拉克也听得很认真。

旅途很长。在船上，小海不停地跟美女跳舞，小狄每次都迷惑地在旁围观。后来小狄终于忍不住，好奇地问小海：“你干嘛老跟她们跳舞呢？”小海说，她们都不错，干嘛不跳呢？小狄研究了半天，不明就里，又问：“But，跳舞之前，你是怎么预知她们都不错的呢？”小海完败。



【图 8.6】Happy 中的小狄和小海

当然，小狄也不是对女人的任何事都不感兴趣。一次，他参加聚会，发现有个教授的太太在织毛衣，便一言不发地凝神观摩，半晌，小狄一拍大腿，表示他发现还有一种新织法！举座皆惊。女士停下针好奇地看着他。小狄比划了半天，女士明白过来后，大笑道，狄教授，您说的，就是“反针”，已经流传

几百年了！小狄大汗。不过，只凭看，就搞懂了毛衣的织法，还顺便重新发明了“反针”，也着实不易啊！

小狄不善于女性交往，大家都习以为常。于是他成了大家眼中的天然单身汉。以至于狄拉克结婚后，大家各种不适应。

狄拉克的妻子是匈牙利裔美国科学家维格纳（Eugene Paul Wigner 1963 年诺贝尔物理学奖得主）的妹妹玛姬特·维格纳（Margit Wigner），一位贤妻良母。他俩婚后不久，一位朋友去看狄拉克，发现小狄房间里有女人。小狄房间里有女人？这太过分了！于是很震惊地问道，这是谁。这个问题很突然，搞得小狄一阵发呆，惭愧地答道：“嗯……这位是……是……维格纳的妹妹。”朋友当场晕倒：你把人家妹妹弄到屋里，倒底是要闹哪样？

后来，小狄介绍老婆的句式有所改进：“请允许我为您引荐维格纳的妹妹。当然，现在她是我的妻子。”嗯，脉络相当清晰。

小狄婚后，发了两篇很烂的论文，玻尔看后扔给助教说，“Look，这就是结婚的下场。”

狄拉克在社交上糗点很多，在学术上，却是亮点无数。他才思敏捷，令人敬畏。

有小狄的地方，天资卓绝的小海绝不谈学术，下棋、散步、打球、闲聊……什么都行，就是不谈物理。因为狄拉克太强悍。他对自己的学生们说，英国有个叫狄拉克的家伙，他太聪明了，和他竞争，根本没有任何胜算！实际上，海森堡也是这样做的，他始终坚持不和狄拉克搞同一个课题。后来大家发现，这样做是对的。

别看小狄社交有些天然呆，但搞起学术来，才思那叫一个敏捷！他数学功力深厚，反应奇快。在哥本哈根的一次物理学会议上，一名日本物理学家作报告，卖力地在黑板上列满了无数复杂公式，天才们正看得晕头转向，狄拉克突然站起来，指出：最后导出的公式中，括号里的第四项符号应为负号！众皆

惊呆，演讲者更是吃惊不小，因为这套无比庞杂的公式推演，他是第一次展示，在这浩瀚的字符中，狄拉克能看出某处算错了？！见大家很疑惑，狄拉克肯定地指出，是从什么地方开始错的，一共用错了多少次。后来一验算，小狄所言分毫不差！唉，狄拉克，其实……你化妆成地球人很失败。

狄拉克数学成绩好，什么都算得出来。一次，玻尔从办公室飘出来，满脸不开心，好事之徒们一问方知，原来是因为美国某报纸大骂苏联，用词很不文明。狄拉克听后，掐指一算，曰：再骂几个星期就 **game over** 了。玻尔欣慰地问为啥。狄拉克一本正经道：因为再过几个星期，英语里所有骂人的话都用光了。言毕，众皆倾倒。

话说小海把他的“一人论文”甩给玻恩后，获准到剑桥讲学。小海的新发现虽然得到泡利的盛赞，玻恩的大爱，但他明白，这毕竟只是个设计方案，还没形成体系，没经过时间的考验。所以，在公开场合，他一般不拿出来炫。7月底，他参加了卡皮查（对，就是卢瑟福的那个苏联学生）组建的“卡皮查俱乐部”。狄拉克当时出去打酱油，没在剑桥，但他的导师福勒（William Alfred Fowler）参加了这次活动。在讨论中，海森堡提到他刚发现的新理论，回去后，小海给福勒寄了一份文本。福勒看着很晕菜，但感觉这个新理论也许还不错，就甩给狄拉克。过了一个星期，狄拉克才重视起这篇论文，他立即抓住了问题的要害：

$$AB \neq BA。$$

和玻恩一样，他对这个奇怪的乘法规则也感到眼熟。一向超级冷静的狄拉克猴急起来，他太想去图书馆看看了：记忆深处那个违反乘法交换律的东西到底是什么？！可是当天恰好周日，图书馆不开门！第二天一大早，狄拉克就守在图书馆门前，门一开，他便嗖地一声冲进去，找回了遗落的记忆：泊松括号。

狄拉克发现，用泊松括号，以经典的代数方法，就可以取

得跟矩阵同样的效果，不同的是，那些矩阵表格不见了，整个过程顺畅多了，也顺眼多了！小狄建立了新代数，并称之为“q数”（表示奇异、量子），把动量、位置、时间等概念，重新打造成这种不守乘法律的q数。同时，他管那些遵守乘法交换律的量，叫“c数”（表示普通、可交换的）。在狄拉克开发的新数学中，令人望而生畏的矩阵不见了，取而代之的，是经典舒适、符合人体工学的泊松括号 $[x, y]$ 。把它用于同样经典的哈密顿函数，连接量子条件，于是，经典力学和新力学便通过c数、q数，自然而然地联系起来，更简洁、更深刻地导出了那个梦幻般的 $pq - qp = (h/2\pi i)I$ 。

狄拉克完成论文后，不慌不忙地甩给英国皇家学会。这时，哥廷根三人团正在甩膀子大干，苦苦修炼《论量子力学II》。后来，小狄给了小海一份论文手稿。小海看完大赞，认为狄拉克的结果“比玻恩和约当的研究更超前”，公式更精确，甚至论文也写得更好。小海这番点评，绝非恭维。狄拉克出品，颇多神品。

当哥廷根三人团的矩阵力学面世时，物理学家们对这个面貌突兀、虽好用但麻烦无比的怪家伙一百个不待见，直到狄拉克的神作出现，才略感适应。可惜，这次得出的结果，面世时间比哥廷根三人团晚一点。小狄化郁闷为工作量，再接再厉，很快，就把这个新力学成功地应用于氢谱线。然后，他更加郁闷地得知，自己又晚了！而且，只晚了5天！！不过，这次也不算太冤，因为捷足先登的那家伙，是泡利。

不管怎么说，哥廷根这几个人属团伙作战，信息共享，在时间上抢尽先机，是情理中事。试想，如果小海从黑尔戈兰岛回来后，直接把论文甩给狄拉克，那会是个什么情况？

不过，历史告诉我们，世间没有如果，只有结果。历史还告诉我们，是金子早晚會花出去的！在后文，我们仍将看到，小狄扬眉出剑，怒放出更璀璨的光芒！

至此，在物理学激荡变幻的风云中，量子巨人摇摇晃晃地站了起来，雄视脚下八方的断壁残垣、硝烟哀鸿，胸中王者激情正待燃起，却一个踉跄。

他不是喝多了，而是没睡醒。

惺忪的睡眼向下一看，咦？我怎么只有一条腿？！

没有大典，没有口号，没有宣言，无论如何，量子巨人从此也站起来了！

献身这一伟业的，是一群挥洒着青春荷尔蒙气息的男孩。在量子领域做出他们的最大贡献时：德布罗意 31 岁，爱因斯坦 26 岁，玻尔 28 岁，这三位算大的了；海森堡矩阵力学 24 岁、不确定性原理 26 岁，泡利 25 岁，约当 23 岁，狄拉克 23 岁。后面还有两个 23 岁的。

1933 年，海森堡、狄拉克、薛定谔三人同去领诺奖，按照规定，领诺奖是可以带家人的。时年 45 岁、骄傲地带着老婆的老薛郁闷地发现，人家小海小狄都是带妈妈去的。太年轻了！

在老派物理学家眼里，这些男孩，是一群天才冒失鬼，他们顽劣叛逆，年轻气盛，视经典为无物，敢挑战一切，任何阻挡新理论前进的东西，他们都可以弃如敝履，绝不惋惜！

但你毫无办法，只能眼巴巴看着他们东闯西突，大步前行。

这不仅靠胆，更要靠识，所谓“胆识”。无识有胆、有识无胆，都是徒增笑料而已。

花样年华，在吃喝玩乐谈恋爱的季节，他们却建立了光耀人类的伟业！量子世界，几乎都是年轻人的天下。所以，量子力学，被称为“男孩物理学”。

当然，43 岁的玻恩、36 岁的薛定谔总算证明了：年纪大了，照样有资格谈量子力学！

纠结的自旋

还是 1925 年。

这一年发生的事儿太多了：BKS 理论垮台，泡利提出不相

容原理，戴维逊和革末证实了电子的波动性，海森堡发现矩阵力学，哥廷根三人团完成了矩阵力学的主题构建，狄拉克提出 q 数，并与泡利先后将矩阵力学应用于氢原子……这是量子论凤凰涅槃之年。

事情还没完。脱胎换骨，可没脱衣上位那么容易。新生的量子巨人不仅独腿，还缺顶王冠。这两个问题不解决，他还没法登基。

还记得吧，泡利提出不相容原理时，留下一个问题：第 4 个量子数是什么？

我们来复习一下，已知的 3 个量子数：主量子数 n 、角量子数 k 、磁量子数 m ，分别代表电子轨道的大小、形状、方向。它们已经构成了一个丰满的 3D 原子。

为了防止电子一拥而上，挤到最低能级造成世界崩溃，泡利规定：原子不允许存在量子数完全相同的两个电子。

但麻烦的是，这 3 个量子数不够用，必须有第 4 个量子数，才能实现这个蛮不讲理的规定。并且还有个条件：这第 4 个量子数必须具有两个值才行，多一个少一个都玩不转。那个神秘兮兮的“二值性”，究竟是个神马东西？！

这个纠结的问题，让喜欢啃硬骨头的好战分子们头疼不已，而又兴致勃勃。搞清这个量子数，值一个诺贝尔奖。最早，一个 21 岁的男孩有了一个异想天开的想法。

拉尔夫·克罗尼格 (Ralph Kronig)，德裔美国人，哥伦比亚大学哲学博士。当时，他正在哥本哈根访问。

一天，朗德 (Alfred Lande) 给克罗尼格看了一封泡利的来信。朗德是索末菲的学生，泡利的师兄。那时，泡利虽然还没提出不相容原理，但凭着过人的实力，已经大名鼎鼎。尤其是他对新理论准确而又犀利点评，常常成为经典。他的信，连玻尔都很珍惜，逢人就拿出来炫一下。何况是朗德！

泡利写这封信时，他正在鼓捣不相容原理。克罗尼格仔细

读了这封信，注意到，泡利认为，原子需要第 4 个量子数。

克罗尼格的兴致立即被勾了起来。几经考虑，他突然蹦出电子绕轴自转的想法——就像行星那样，不仅绕太阳公转，还绕轴自转。他把这个想法告诉朗德，朗德感觉很新鲜，却拿不定主意，正好他知道，不久之后泡利会来哥本哈根，于是，这二位就兴奋地等着泡利出现。如果这个想法成立，诺奖差不多就到手了！所以，克罗尼格暗暗期待泡利的支持。

泡利终于出现了，但这次，他不是救星。电子绕轴自转的想法，遭到了泡利毫不留情的炮轰，对看不见的电子，他反对用经典图像来说事儿，另外，如果电子真是像一个微缩的行星那样绕轴旋转，那么，它既不符合麦克斯韦的电磁论，也不符合爱因斯坦的相对论——表面速度会超过光速。实际上，玻尔、海森堡等也反对这个想法，但克罗尼格却没当真。现在，泡利的反对，让他彻底死了心，立即偃旗息鼓了。这时，是 1925 年初。

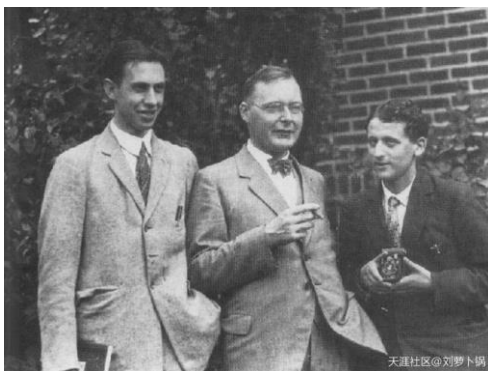
泡利的反对，影响的不仅是克罗尼格。所有知道这事儿的圈里人，都放弃了这个可能。但是，只要是圈子，就是有限的。何况，那时又没有微博。

世界就是这样，一个人的遗憾，往往会成为别人的幸运。

秋天很快就到了。又有两位毫不知情的同学想到了电子自旋：乌仑贝克（George Eugene Uhlenbeck）和古兹密特（Somuel Abraham Goudsmit）。他们是荷兰莱顿大学的学生，此时都是 23 岁，后来同是荷兰-美国物理学家。他俩的导师是我们的熟人埃伦费斯特。乌仑贝克擅长经典物理，而古兹密特是原子波谱方面的行家。埃老师有意安排他俩合作，好让这哥俩互相学习，取长补短。实践证明，效果相当不错。

研究谱线，自然就涉及到了泡利刚发现的不相容原理。乌仑贝克突然想到，要想搞到第 4 个量子数，电子必须是旋转的。并且，它必须只有两种转法才行：向“上”旋转、向“下”旋转。

乌仑贝克认为，电子在绕核公转的同时，还顺时针、或者逆时针绕轴自转。这样，就会产生一个小小的磁场，相当于一个小磁铁。由于自转方向不同，即使是前 3 个量子数都相同的电子，也会导致能级有一点点差别。就是这点小小的差别，导致了光谱线的分裂，也避免了两个相同的电子凑在一起聚众闹事，真正把泡利的蛮横规定落实到行动上，为维持原子世界和谐稳定的大好局面提供了强有力的保障。



【图 8.7】左起：乌仑贝克、克拉默斯、古兹密特

多美的想法啊！乌仑贝克和古兹密特迫不及待地进行了数学证明：电子自旋的值有两个，恰好满足泡利要求的“二值性”！他俩赶紧写出一篇短小精悍的单页纸论文，拿给埃伦费斯特看。埃老师觉得这个想法不错，但拿不定主意。乌仑贝克和古兹密特又去问大神洛伦兹。时年 72 岁的洛老师兢兢业业地工作了一个多星期，算了厚厚一摞纸，得到一个噩耗：自旋的电子表面速度超过了光速 N 倍！

可怜的小哥俩光速通知告知埃老师，不要发表那篇论文。但为时已晚，论文早已寄出，追不上了。小哥俩痛心疾首：丢不起那人呐！

埃老师贴心安慰：“年轻人嘛，干点蠢事没关系。”

这篇不想发表的论文顺利发表了。嗅觉灵敏的物理学家们

表示严重关注。玻尔当然也注意到这篇论文。别看 BKS 理论垮台了，但玻尔在量子论领域的威名依然霸气侧露，所以大家都想知道他是怎么看的。天知道，玻尔也想知道大家是怎么看的。所以，短时间内，没人能给出一个确切的答案，直到一个大熟人出现。

12 月份，玻尔去莱顿大学参加一个活动，列车驶入汉堡时，他发现两个人已经久等了：泡利、斯特恩。泡利看了那篇论文，猴急地想知道，玻尔是怎么看电子自旋的。玻尔给出了一个外教辞令：“非常有趣。”有趣你个头。泡利知道，玻尔觉得某个概念不靠谱，就会拿“有趣”来搪塞。

列车到达莱顿，玻尔又见到两个急不可耐的朋友：爱因斯坦、埃伦费斯特。他们也问了同一个问题：关于电子自旋，你怎么看？

玻尔解释了为什么感到“非常有趣”，因为根据计算，它会导致一些讨厌的累赘，比如，实验结果与计算有两个系数相矛盾，“双重线分裂中的额外系数”，它还有个**大 BUG**，不符合相对论。埃伦费斯特赶忙告诉玻尔，这个**BUG**，已经被老爱用相对论干掉了。现在，电子自旋跟相对论是好基友。老爱解密了他的解决办法，玻尔恍然大悟，觉得老爱已经彻底把问题搞清楚了。**大 BUG** 被干掉，剩下的小股流寇，不成气候，很快就会被歼灭。玻尔的看法来了个 180 度的大转弯。

带着新思想，玻尔踏上归途。列车到达哥廷根站，两个男孩眼巴巴地在等着他：海森堡、约当。他们也十分好奇，玻尔对电子自旋这玩意是怎么看的。玻尔给了一个**High** 评：这是个伟大的进步！

玻尔继续乘车前进，去柏林参加量子论诞辰 25 周年纪念活动。还记得吧？1900 年 12 月 14 日，普朗克在德国物理学会上报告了他关于“正常光谱能量分布”方面的新发现， $E=h\nu$ 第一次面世，量子论宣告诞生。到了柏林站，玻尔下车时，有一

种下错了站的感觉，因为泡利昨日重现般地站在眼前。这家伙专程从汉堡赶来，就为检验玻尔的革命意志是否坚定，他失望地发现，“自旋黑”玻尔去了趟莱顿，果断叛变了，现在是“自旋粉”。因为玻尔的临阵易帜，泡利气鼓鼓地给电子自旋扣上一顶帽子：哥本哈根新邪说。

电子自旋被认可后，克罗尼格悔恨交加，当初的众多反对者，他一个都没记住，除了泡利。从此，他对泡利颇有微词。

这是泡利仅有的两个错误之一（另一个是反对宇称不守恒）。是的，克罗尼格够倒霉，遇上了顶尖高手“百密一疏”中的那个“一”。即使如此，也不该对别人心生怨尤。你如果不能坚持正确的理论，那只能说明你功力不够。老爱的光量子，被全球物理学家反对了 N 年，但他依然坚信自己的理论是对的，这绝非固执，而是他功力深厚，看到了其他人看不到的地方。

克罗尼格的惨痛教训告诉我们，即使得到权威的否定，也不要垂头丧气，哪怕这个权威是泡利。当然，还是那句话，这需要自身的功力达到一定高度才行。毫无实力地藐视权威、固执己见，是一种低级的无知。

后来，大 BUG 之外的小股流寇被围歼。英国物理学家莱维林·托马斯 (Llewellyn Thomas) 证明，那个两个系数的矛盾，是计算误差导致的。1926 年，海森堡和约当用矩阵力学成功地处理了电子自旋。

这时，泡利还孤独地站在反对的一方。看着越来越像行星系统的原子，他气不打一处来，总是觉得哪儿有点怪怪的，横竖不顺眼，但一时又不确定。这种感觉，就像醋坛子老婆闻到老公衣服上若有若无的女士香水味，逮也逮不到，说也说不清，抓狂啊！

终于有一天，泡利用矩阵力学解开了这个谜底：电子的所谓自旋，并不像行星的自转。在经典世界里，我们转动任何东西，都是转一圈回到原状，比如，你和 TA 跳贴面舞，跳着跳

着，TA 转一圈，你们还贴面。如果 TA 也像电子那样，可就惨了：TA 转一圈，你贴的就说不定是哪儿了，必须转足两周才能回到“贴面”状态。转两周回到原状的性质，叫做“ $1/2$ 量子数”。这和经典世界的“旋转”是完全不同的两个概念，所以，我们不能把电子自旋简单地理解为“微粒在旋转”。从这个角度讲，泡利反对他们所说的自旋，还真没错。

其实，不止是电子自旋，所有粒子都有自旋。自旋，是粒子的 4 个基本属性之一，另外 3 个基本属性都大名鼎鼎、如雷贯耳：质量、能量、磁矩，你有我有全都有，一个都不能少。猜猜看，这 4 个基本属性，哪个最重要？

自旋最重要。

为什么呢？举个例子，就明白了。人类也有 4 个基本属性：智力、体质、人种、性别。哪个最重要？

当然是性别。它把人分成两类：男人、女人。

有了男人和女人，人类的其他一切才有可能。

自旋也是这样，它把粒子分为两类：费米子、玻色子。

所谓费米子，就是指自旋为半整数（ $1/2$ 、 $3/2$ 、 $5/2$ ……等）的粒子。这种粒子在宇宙中有个重要的任务：构成实物。也就是说，所有实物都是费米子构成的，厉害吧？中子、质子、电子、中微子……等等，都是费米子。

费米子遵循泡利不相容原理，它们不能同时以同一个状态出现在同一个位置。就像大奶和二奶，同时出现在你面前，还撞衫了，仔细一看连戒指都撞了，你的世界也就毁了。后来发现，费米子之所以不相容，正是由于它们的自旋数是半整数，搞不到一起去。所以，如果你既要有二奶，又要世界和平，那么，想办法让她俩的自旋数都是半整数，她俩就永远不可能出现在同一位置，你就鱼和熊掌通吃了。

所谓玻色子，就是指自旋为 0 或者整数（0、1、2……等）的粒子。这种粒子的任务是：传递作用力。也就是说，费米子

们全靠它才千变万化，宇宙也是靠它才生命不息、运动不止。光子、介子、胶子……等等，都是玻色子。玻色子不遵守泡利不相容原理。

那么，旋来旋去，是怎么个旋法、那些个自旋数又代表什么呢？

咱俩先用一个老办法，类比一下，观察一下，看看能不能总结出一个简单的办法，去认识一下这个新朋友：自旋。温馨提示：下面的图像，只是比喻。比喻哟！

电影《大内密探零零发》里，有一种无相神功——跟《天龙八部》里面的无相功不搭边，我们略去功法，只看“头部形态”。电影里的无相神功练成后，没有五官面目，却可以变出任何面孔。注意，我们下面所说的图像，都是“无相神功之头”，简称“相头”。OK，我们现在结合波粒二象性，来试着理解下自旋。提示：粒子有波的性质，波有频率，也就是周期性的变化。

自旋为 0 的粒子，相头是一个质点，从任何方向看，它都一样。于是，不管它怎么“转”，它都是一样的。转不转都一个样，怎么努力都白费，所以记为 0。

自旋为 1 的粒子，相头是一个正常的脑袋，换个方向，你看到的就有变化。转动它，想让它和原来一样（恢复原状），必须转满 1 圈才行。也就是说，你转 1 圈，就能看见 1 次“原状”，所以记为 1。

自旋为 2 的粒子，相头是“两面人”的脑袋，两张脸毫无分别，你转半圈，就能看见 1 次原状。那么，你转满 1 圈，就可以看见 2 次原状，所以记为 2。

以上是整数。那么，半整数的自旋又是什么样呢？这个比较复杂。我们以电子为例，它的自旋为 $1/2$ 。

这个相头是变化的，它一会是“正常脑袋”，一会是“质点”，循环变化，相当有规律：电子每转两圈，它就变化一个周期。

这样一来，如果你第一眼看到的是一张脸，那么，你想再看到这张脸，必须等相头转两周。同样，如果你第一眼看到的是后脑勺，那么，你想再看它一眼，也须转满 2 周才行。转 2 圈可以看见 1 次原状，记为 $1/2$ 。

这下，咱俩好像有点明白了：自旋数=看见原状次数/转动圈数。

强调一下，上述所谓“相头”，是为了给咱俩提供一个可供想象的图像。实际上，自旋是没法用经典图像来描述的。因为经典世界里，不存在又是波又是粒的怪物。不过，等玻色-爱因斯坦凝聚实现大“体积”凝聚的“实体”后，或许咱俩能见到这种“怪物”。扯远了。这个以后再说。回到自旋。我们从波粒二象性出发，用粒子的“转动”，结合波动的周期“变化”，可以帮助理解。顺便复习下：

如果转动 1 圈，没有变化，或者见到“原状”的次数是 1 次、2 次、3 次……这些整数次，那么，这个粒子就是玻色子。否则，它就是费米子。

没有费米子，这个世界就没有实物。而没有玻色子，那么，所有的费米子之间就没有任何关系，还是虚无缥缈。而这两个最重要的性质，都源于低调隐秘的“自旋”。

泡利虽然反对过自旋，但是，自旋跟他还真是相当有缘。

首先，我们知道，自旋的概念，是由于泡利不相容原理需要第 4 个量子数而提出的。反过来，不相容的根源，正是源于“自旋”。

在挺旋派的围剿下，1926 年，电子自旋大大小小的所有 BUG 全军覆没，海森堡不仅和约当用矩阵力学成功地处理了自旋，还指出了搞定氢原子的道路，氢原子有两个电子！搞定带有两个电子的原子，是旧量子论梦寐以求、求之不得、辗转反侧的目标啊！胜利来得这么快吗？泡利举手投降。

1927 年，泡利用二分量波函数和泡利矩阵，把自旋纳入非

相对论量子力学的描述。

1928年，狄拉克在数学上解释了电子为啥会有 $1/2$ 自旋，也就是为啥它非得转两圈才能恢复原状。

1940年，泡利又证明，量子场论必须引入自旋。自旋是所有粒子的内禀性质、基本参量，只因参量取值不同，导致性质各不相同。

自旋的基本参量地位坐实后，泡利十分后悔当初炮轰自旋，对克罗尼格负疚不已。多年以后，他提起这事儿，还在自责：“我年轻时真蠢啊！”

1927年，时年28岁的泡利受苏黎世联邦工学院之邀，赴任理论物理学教授职位，他迅速做了一件事：邀请克罗尼格做他的助理。并嘱咐道：“以后不管我说什么，你都要用翔实的论据反驳我。”

由于泡利-克罗尼格事件，电子自旋的诺奖陷入两难：给克罗尼格吧，他没发表；给乌仑贝克和古兹密特吧，又众所周知是克罗尼格首先提出的。诺奖最终没法落脚，干脆绕开了自旋，留给克罗尼格、乌仑贝克和古兹密特三人幽婉绵长的遗憾。当然，这更是泡利心中深切悠远的遗憾。

也许，我们的世界，正因曲折而异彩纷呈，亦因缺憾而意味深长吧。

波动疑云

他谦虚而文雅，却热情而固执；他远离名利场，却在多个学术领域夺人眼球；他博学多才，却大器晚成；他在政治上极其幼稚，却在经济上城府颇深，政治经济学在他身上完全分裂；他不懈追求纯洁崇高的爱情，却把浪漫搞成了浪荡、多情搞成了滥情；他自认少有原创，却善于借种生花，做出独一无二的创建……此公便是本节的男主角，风度与智慧并重，情圣与学霸的化身，影响社会风气，风靡少妇少女，刺激文化市场，冲突与矛盾的统一体——薛定谔同志。



【图 8.8】薛定谔

埃尔文·鲁道夫·约瑟夫·亚历山大·薛定谔（Erwin Rudolf Josef Alexander Schrodinger），1887年8月12日生于奥地利首都维也纳。他父亲的理想本来是要当一个科学家，但为了生活，不得不继承了家族的油毡厂，生意相当火爆。

薛定谔的童年是快活的。他一边享受着优裕的梦幻生活，一边沐浴着父亲润物无声的诱导，一个天才就这样低调而茁壮地成长起来。

小薛爱好相当广泛，物理、数学、生物学、哲学、文学、诗歌、各种语言、体育运动、雕塑……这么多的爱好，却没落下博而不精的毛病，实属不易。后来，他在物理各个领域，以及物理以外的生物学、生理学、气象学、哲学等多个领域产生过重要的影响。

小薛在学校也比较会耍酷。同学们都没见过他怎么学习，但学校教的知识，却没他不会的。如果你只简单地认定他“功夫在课外”，在家偷着学，那也有些冤枉他了，因为他在课堂上绝不会放过老师讲的每一个关键点，在家学不假，但人家小薛学的可是课外书。既会听，又会学，高效低耗。所以，除了课程，他还有大把时间来学习各种语言，什么德语、英语、法语、

西班牙语、甚至古希腊语等等，他都搞得熟如母语。另外，他还有大把的精力去搞艺术鉴赏、雕塑创作、户外运动什么的。

1906年，在同学们眼里总是在玩儿的小薛，以让人羡慕嫉妒恨的成绩考入了维也纳大学。

这当然是一所世界名校。咱们的老熟人多普勒、马赫、玻尔兹曼，以及本书没提到的爱丁豪森、斯忒藩、哈泽内尔、埃克斯纳等，都是出自本校。

薛定谔入学时，满校悲伤。因为玻尔兹曼教授刚刚自杀。

玻老师走了，但他的思想留了下来，继续改变着世界，也改变着薛定谔。小薛把自己汲取玻尔兹曼的思想称为“科学上的初恋”，“没有别的东西如此让我狂喜”。

学习玻尔兹曼思想，竟然是恋爱般的感受！这是一个真正的学霸。

所以，整个大学生活，小薛如鱼得水。

所以，他的博士论文选题，直接命中本校第二物理研究所攻而未克的一道难题：潮湿空气中绝缘体的导电性。

他顺利过关。用一个简单的思路：在潮湿空气中，很难有静电。从这个众所周知的现象出发，他用橡胶、玻璃、琥珀、硫磺、石蜡等材料，制成绝缘棒，一头包上锡纸、通电，另一头接上验电器，调整空气湿度，电流通过绝缘棒表面。这样，就能记录、推导电阻与湿度的函数关系。猜猜看，上面这些材料，在潮湿的空气中，绝缘性最好和最差的各是哪个呢？

小薛给出的答案是：玻璃最差，石蜡最好。（难道，相同湿度下，玻璃表面更容易形成导电膜？）

1910年5月，薛同学变成了薛博士。戴上博士帽后，他没啥研究啥，涉及物理学的多个领域，并且，他还爱上了一个女孩。4年间，他发表了10篇论文，1914年1月，喜获大学教师资格。但他忧郁地发现，以大学教师的薪水，养家很成问题，何况，过惯了高富帅生活的自己，理应给心爱的姑娘一个安逸

的生活。

于是，小薛问老爹：我是不是也该继承家族生意？

深藏科学梦的老薛果断阻止：你不该干这个。你要留在大学，继续搞学术。

一年后，薛老爹去世。他的价值观，让世上少了个老板，多了个伟大的科学家。

那个差点让小薛放弃科学的女孩渐行渐远，终于不见。而小薛，我们不用替他担心，因为，他的感情生活，对“空白”二字是零容忍。他很快就爱上了新的女孩——同样情炽如火、心赤如裸。

这位差点成为老板的未来科学家当上了一名军官。因为第一次世界大战爆发了。26岁的薛定谔作为一名炮兵指挥官，来到意大利前线。和多数有作为的科学家一样，他不喜欢军旅生活。况且，他敬爱的大学导师哈泽内尔在一次冲锋中阵亡。这让他更加厌恶战争和军营。

幸好，小薛可以收到一些书和科学期刊，能够追踪物理学的最新发展，把握科学的脉搏。对他来说，这才是生活。

可是，生活并不容易。战争终于熬过去了，但薛氏企业终于没熬过战争。一场仗下来，资产阶级被打成了无产阶级。全家经常要到赈济所去吃饭。

饿着肚子搞学问的滋味，不好受。但总比饿着肚子无所事事，老想着肚子饿强。战争后期和战后，薛定谔一直在关注相对论、量子论、气象学、涨落理论等领域的发展。同时，还对哲学情有独钟。他已经准备好了，只是一时不知从何下手。

本来，小薛是想献身哲学的，物理学作为爱好。但是造化弄人，战争打乱了一切，哲学的饭碗随着帝国的瓦解，被打得粉碎，于是，世上少了个爱好物理的哲学家，多了个哲学味十足的物理学家。

1920年，薛定谔移居德国，在耶拿大学任讲师。有了可以

养家的收入，他立即迎娶了安妮玛丽·贝特尔小姐。这大概是他爱上的有据可查的第 5 个女孩。

小薛恋爱和搞学问的效率都不低，在业界，他的声望持续上升，一如他对爱情的热忱。

为了让生活更好些，薛定谔先后折腾到斯图加特理工学院、布雷斯劳大学任教授。由于薪酬原因，他又折腾到瑞士苏黎世大学任教。可是刚到瑞士不久，他就染上了支气管炎，不得不离岗休养，在阿尔卑斯山上的阿罗萨疗养院，一住就是 9 个月。

不过，疗养归疗养，学问归学问，薛定谔发表论文的速度与激情丝毫不减，一如他对爱情的追求。

时间飞速流逝。薛定谔成了著名物理学家。但是，他始终迈不过那道坎，成为一流的物理学家。

但他已经成为一流的情人。婚后，薛定谔依然不懈追求炽烈的爱情，不断爱上不同的女人。如果说他像个花花公子，到处拈花惹草，又有点冤枉他了。因为他每次付出的都是真爱，掏心掏肺的那种，有他创作的大量情诗为证；如果说，这是真正的爱情，又有点亵渎爱情的意思。因为他的女朋友数量实在是有点多，以至于怎么看也不像是爱情。

薛定谔与妻子安妮玛丽没有儿女，但他却有 N 个私生子。他与情人们相处得非常和谐，每个情人都对他死心塌地的。她们中，有演员、办公室职员、学生、同事的妻子等等，相当丰富多彩。他对别人的老婆一见钟情，就请那位先生来当他的助手，好方便自己和她在一起。后来，这个女人给薛家生了个女儿。如果说，这对薛定谔还算正常的话，那么，身为发妻的安妮玛丽却心甘情愿地照顾这个婴儿，就让人看不懂了，并且，妻子、情人、私生女与薛定谔公开生活在一起，真是有点骇人听闻了。

更乱的是，安妮玛丽也没闲着，她和薛定谔的好朋友赫尔曼·威尔（Hermann Weyl）搞到了一起，而威尔的老婆也和别人

爱得不亦乐乎……苍天呐！生活，真的是一团麻啊！真的是没有最乱、只有更乱啊！放在一般人身上，世界早就毁灭N次了。

但薛定谔显然非同一般？虽然直到花甲之年，他仍然乱花丛中过、是叶就沾身，但与安妮玛丽却做到了白头偕老，共享了41年的喜怒哀乐，走到人生的尽头。真是一言难尽呐！这些都是后话，不提。

薛定谔最近有点烦有点烦有点烦。因为他正在和安妮玛丽闹矛盾。两个人一起劈腿，不闹点矛盾，就显得太不正常了。

不过这次闹得有些认真，他们很正式地谈到了离婚。但算了算，费用太贵，离不起。再说，宗教也不允许。安妮玛丽信天主教的。

还有一件事更烦。薛定谔突然发现，自己已经37岁了。当年意气风发的正太小薛，不知什么时候变成了成熟古怪的大叔老薛。根据经验，在物理界，到了这把年纪，要么功成名就，要么退隐江湖。而自己，少年得志，坐拥博学才子的美名，却悬在二者之间，既非 winner，又非 loser，进而无门，退而不忍，像一个奔五的科长，很尴尬。

老薛大叔不是没啥成绩，他已经发表了近50篇论文，涉及相对论、统计物理、原子物理、放射性、色原学说等方方面面的领域，范围广、跨度大，这还没算什么哲学、文学、生理学等方面的东西，够渊博，够坚实，但不够靓丽，不够气派。出产顶级品牌，谈何容易！

1925年的夏天真的很难熬。但秋天终于还是来了。

10月份，薛定谔读到一篇论文，作者是爱因斯坦。老爱的论文，当然要细读。于是，老薛大叔读到了注脚——读书不仔细的童鞋们请注意，已经不是第一次提到注脚了。

有一处注脚说，文中有一部分内容来自德布罗意的波粒二象性论文。看得出来，老爱对这小子的看法赞赏有加。

薛定谔风风火火搞到这篇论文，读来读去，想来想去，当

他终于想明白了的时候，立即被这位王子的奇思妙想所征服。

11月份，苏黎世大学和联邦工学院每两周一次的物理学例会如期召开。主持人是联邦工学院的教授德拜(Pieter Debye)，他让老薛聊一下德布罗意的论文。

老薛刚刚闯进德布罗意的波粒二象世界，新鲜劲儿还没过去呢，于是，兴奋地广而告之。正当大家听得如坠云雾之时，德拜嗤之以鼻，兜头就是一盆凉水：这玩意儿不仅没有实验证实，甚至连一个基本方程都没有，这算哪门子理论？！

此言一出，万籁俱寂。

德布罗意当时只是想写一篇博士论文，过关后就扔到一边去了，从没想过要弄个啥劳什子方程。老薛虽然喜欢德布罗意的创意，但也没想过要给它配一款方程。现在，德拜揪出了这条大尾巴，真是一语点醒梦中人！

老薛大叔讲的就是一个速度，他马上热情高涨，说干就干，很快，他就搞到一个方程，立即拿来试用：看看它能否描述“带有三维驻波的氢原子模型”。但是，失败来得更快，方程给出的答案与实验不符。为什么呢？因为那时，电子自旋的论文刚刚发表，老薛还没看到。就算看到，也得搞清楚了才行。所以，这次失败，败就败在动作太快。看来，成大事，光有实力、有抓手、有机会还不够，还得讲求时机：早了干不成，晚了被抢光。难怪晚生几年的朗道面对已经崛起的量子力学，酸溜溜地说：漂亮姑娘都被别人抢光了！

爱情事业两不利，老薛很抑郁：方程不给力，老婆正怄气。怎么破？三十六计，走为上计！

恰好，圣诞节假期快到了。老薛是个很讲原则的人，婚姻是婚姻，爱情是爱情，工作是工作，休假是休假。假期来了，神也无法阻止老薛去休。不仅如此，他还忠贞不渝地挚爱一个地方：阿尔卑斯山的阿罗萨。要去，就一定要住黑薇谷别墅！

这也不怪老薛死心眼，去了你就知道，这地方真的很适合

休假。尤其是，还有美人在侧。

前两年，老薛都是带着老婆去的。现在，两人正在战争中，如果连休个假也要带去继续战斗，那真是 2B 中的战斗机了！

我们不必担心老薛的假期空虚寂寞冷，因为他立即想到了一个绝佳旅伴，他的一位神秘情人。说她神秘，是因为老薛把那段日子的日记弄丢了。竟然没被人捡去发到网上，让反贪局假装追查一番，真是地球人的损失——现在史学家掘地三尺，也找不到有关那位神秘女郎身份的半点信息，只知道老薛爱得很疯狂。

接下来的两个星期。雪山、森林、别墅、圣诞节、美人……如果这不是一场偷情，那真是一场美丽纯洁的童话了。

不管怎么样，老薛和他的女神很快活。每一夜、每一天，美人都在鼓励他：薛葛革，加油加油加油，一定要加油哦。于是薛葛革就加油干。当然，有时也写写方程。

这位美人在该热烈时热烈，在该娴静时娴静，让老薛如沐春风，焕发了二次青春，带来旺盛的激情和喷涌的灵感。简直就是缪斯女神降世！

我们让女神作为红袖添香的背景，先去看看，小宇宙大爆发的老薛都干了些什么吧。在接下来的 6 个月里，他连续发表了 6 篇论文，囊括了量子理论、哈密顿光学+力学、原子模型、光谱学等多个物理领域，集新老量子论成果之大成，建立起形式完整、逻辑自洽、应用广泛的波动力学体系。

薛定谔立足德布罗意波的概念，把电子看成环形波，能级与波节联系起来，经典物理的利器哈密顿-雅克比方程、变分法、德布罗意公式在老薛笔下水乳交融。量子在这一刻灵魂附体，波动精灵腾空而起。史上最伟大的公式之一，薛定谔波动方程横空出世：

$$\Delta\psi + \frac{8\pi^2m}{h^2}(E - V)\psi = 0$$

这就是名震物理江湖，在原子物理学中应用最广、影响最大的公式。老薛因此获得 1933 年的诺奖。先别忙着陶醉，这个公式虽然比海森堡的矩阵看着顺眼许多，但总感觉有点怪怪的。

Δ 是什么？好像在哪儿见过。对！它是拉普拉斯算符。在麦爷的方程组里出现过，就是微分形式那组。是的，它是微分运算符，经典中的经典！

那个大 V 是势能，被体制内总能量 E 减掉，因为它不是正能量。这两位，大家都不陌生。至于 h 、 π 、 m 什么的，大家也都很熟。

这些，我们都不必太关心。

现在，有个关键问题：那个渔叉一样的 ψ 是个什么东西？ ψ ，发音“普赛”。第二十个希腊字母。

薛定谔说，那是我的波函数，波的空间分布函数。

可是，它什么意思？通俗点说：它的物理意义是什么？

谈到这个问题，我们不得不遭点儿罪，动用一下脑细胞，重新审视一下这个方程，顺便追溯一些干巴巴的东西。让我们深吸一口气……准备好了吗？

这个方程，涉及到光学、力学的研究。而早在上个世纪，英国数学家、物理学家威廉·哈密顿（William Rowan Hamilton）就做过这方面的研究——把牛顿力学和光学进行类比。结果，有了一个绝妙的新发现：在零波长极限，光波轨道趋向于明确的路径。

而这个路径，服从“最小作用量原理”。啥叫“最小作用量原理”呢？通俗地说：任何作用、任何行为，自然界总是采用最简单的方法。所谓高效低耗、绿色环保，就是顺应自然规律而已。还记得费马同志提出的“光走最短路径”吧？这就是最小作用原理的早期表述，也是一个代表性的表述。

波的传播趋向于明确的运动，这句话的通俗说法是：波的运动原来是抽象派艺术，也许波大师自己也不太明确自己要

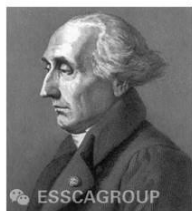
什么，现在好了，改成了产品示意图，清晰多了。这就提供了一个可能：波可以用方程来描述。哈密顿没搞出波动方程，但他在“拉格朗日力学”的基础上，用微分法，演化出“哈密顿力学方程”。

后来，普鲁士大数学家卡尔·雅可比（Carl Gustav Jacob Jacobi）对这个方程进行了改良，成为偏微分方程：“哈密顿-雅可比方程”。

一连说了这么多陌生、拗口的名词，看起来很高深的样子。其实，什么“哈密顿-雅可比方程”、“拉格朗日力学”、“哈密顿力学”，它们跟“牛顿力学”是完全等价的，只是表述方式不同，用起来各有亮点罢了。牛顿力学，听起来多亲切啊！

OK，咱俩从“不明觉厉”的幻境中跳出来，回到“哈密顿-雅可比方程”。由于它脱胎于哈密顿对光学、力学的类比研究，所以，它有一个“特异功能”：能把粒子的运动，搞成“波动的力学表达”，也就是能用“波的力学”来描述粒子运动！

哈密顿、雅可比的研究到此为止。那个时候德布罗意王子还没降世。于是，一个世纪后，老薛大叔完成了这件事：从哈密顿-雅可比方程出发，用经典的微分来处理德布罗意波（当然，其中还用了 N 多高深的数学，咱俩就不迎难而上了），导出了伟大的薛定谔波动方程。



拉格朗日 1736—1813



雅可比 1804—1851



哈密顿 1805—1865

【图 8.9】认识下这三位大神吧。

方程把粒子看成波，质量为 m 的粒子在势场 V 中，其运动

状态，就描述为波函数 ψ 。粒子在空间的分布被摸清，也就掌握了微观粒子的行为。三俗地说：“一撮尾巴，就知道它拉几个粪蛋”。

前面说过，我们把粒子看成环形驻波，那么，为了保持环形，它的波节只能是整数，这就很自然地实现了量子化。在这个思想的基础上，薛定谔方程的函数，就是“本征函数”了。啥叫“本征函数”呢？通俗地说，某函数经过微分后，等于它自己的倍数，这样的函数，就叫“本征函数”。所以，薛定谔的论文题目很直接，叫做《量子化是本征值问题》，一语点破了方程为什么适合量子。

费了半天劲，总算把来路摸了个大致。还是八卦比较轻松。是吧？现在，我们该回到那个让人头疼的问题了：老薛大叔，你说的这个“波函数”，它的物理意义是什么？

哦，它是描述电子的一个函数，可以说它表示电子的位置，说是位置呢，呃，它又没有明确的基本度量值，比如长短、体积、坐标、时间什么的。说不是位置呢，它又明明在那儿，却又不在于某个点上，而是从那里弥散开来，像云朵，随着电子运动而演化，这种演化，不像云那样看起来毫无节操，按照我的方程，它的演化是连续的、有规律的，这个规律是确定的，总之，这个函数，它就是……波，飘逸、梦幻而又真实存在的波，像雾，像雨，又像风……老薛大叔说着说着，声音越来越小，面色突然凝重起来。

那，它到底是什么？是什么在波动？电子吗？波动的介质是什么？大家众说纷纭，谁也不服谁。1926年夏天，有好事之徒作诗为证：

埃尔文用 ψ ，
计算特别灵。
 ψ 是神马？
谁也说不清。

我们又遇到了老问题：有了方程，却搞不懂方程在说什么。

咱俩先当一回鸵鸟，不理这个问题。现在，我们只知道，这个方程好用极了，海森堡矩阵力学能做到的，薛定谔波动力学全能做到。难能可贵的是，老薛大叔这款方程结构简单，轻便小巧，界面亲和，操作起来非常人性化，不仅方便快捷，而且功能强大，简直就是上品中的极品！就说巴尔末公式吧，泡利大神用矩阵力学，浩浩荡荡的公式，费了九牛二虎之力，推演出巴尔末公式，其深厚的功力，恰如百川归海，令人叹为观止。但是，薛大叔用他的波动方程，三下五除二，就推出了巴尔末公式，其简洁自然，却似推窗望月，令人惊艳不已，泡利和他的小伙伴都惊呆了，这款公式简直神了！

大家一试用，发现，薛定谔方程可以纵横原子、分子、固体物理、核物理、化学等领域，处理原子、分子、核、固体等问题，都能轻松闯过实验关。

拥抱着这款熟悉的偏微分方程，饱受矩阵折磨的物理学家们顿时内牛满面。自从玻尔体系垮台以来，华美辉煌的量子物理瞬间跌回蛮荒时代。矩阵力学的崛起，为量子王国带来伟大的复兴，但是，矩阵的繁杂、冰冷、陌生、蛮横，令人望而生畏，难以亲近。但是，你别无选择，因为它是 No.1，它是 Only，你，只能屈服在矩阵力学的淫威之下。总之，你越看它，就越想家。真是“人言落日是天涯，望极天涯不见家。已恨碧山相阻隔，碧山还被暮云遮！”搞得大家迷茫、抓狂、凄楚而又彷徨。现在，老薛大叔用经典的微分方程，把我们带回梦中的家园，这里乡音袅袅，故土悠悠，波动的连续性，让脚下的大地坚实起来，杨柳岸，晓风残月，唯有门前镜湖水，春风不改旧时波，天边飘过故乡的云，它不停地向我召唤，当身边的微风轻轻吹起，吹来故乡泥土的芬芳……

回家了！太舒服了！物理学家们狠狠地松了一口气，纷纷向老薛大叔发来贺电。

普朗克：这个谜团被解开了。

爱因斯坦：这想法来自一个真正的天才。

索末菲：完全疯了！随即改口：帮我们解了围。

乌伦贝克：让我们大大地松了一口气。

泡利：它是最近发表的论文里最重要的一篇。

玻恩：量子定律的最深刻形式。

埃伦费斯特：迈出了决定性的一步。

.....

大家都很爽。但是，有一个人比中国还不高兴：海森堡。不仅不高兴，他还很生气。因为，原来鼎力支持矩阵力学的几个大神，用了老薛的波动方程后，都叛变了。小海很伤心，尤其是玻恩的“变节”——是你亲身引导了矩阵力学的建立啊大叔！

小海认为，他的矩阵力学才是量子江湖的武林正宗。

本来，小海对薛定谔方程的评价还是措辞考究的：不可思议，非常有趣。（中玻尔的毒太深）

但是，随着两人的相互质疑，这种学术探讨，逐渐升级，变成了激烈的争吵。

海森堡：我越是想到薛定谔理论的物理部分，就越感到厌恶。

薛定谔：一想到“我将告诉学生们，矩阵计算代表了原子的本质”，我就不寒而栗。

一件产品，大家用了都说好，你能怎么样？不管小海怎么厌恶，神也无法阻挡波动力学汹涌的浪潮，它压倒性地席卷了差不多整个量子江湖，所到之处，众生倾倒。

小海对薛定谔方程，由学术上的反对，变成了羡慕嫉妒恨，尤其是，当玻恩美滋滋地使用薛定谔方程时，小海简直不敢相信自己的眼睛，愤怒地管玻恩老师叫“叛徒”。

但是，你以为三星总裁没玩过苹果、360老板没用过QQ、

朝鲜伟光正没喝过美国啤酒、麦当劳 CEO 没尝过肯德基吗？1926 年 7 月，小海忍不住用波动力学成功地解释了氦分子的光谱现象——这可是量子力学的一个伟大突破啊！但是，小海的注意力显然不在“这个突破有多大”上，他此地无银三百两地声明：我没怎么用波动方程，好吧，我用了，但这只是权宜之计！

这孩子，太幼稚了。

波动方程诞生以来，薛大叔也没闲着。因为他心里有个结——用矩阵力学、波动力学去解决同一个问题，它俩会给出同一个答案。为什么？难道，这两个看起来风马牛不相及的家伙有血亲？！

薛大叔埋头苦干了两个星期，被矩阵折磨得死去活来之后，他欣慰地得出一个结论：波动力学和矩阵力学八竿子打不着，没有任何联系。老薛顿时感到一阵轻松。

是啊，这两个家伙怎么可能有血亲？连街坊都不应该是！它们一个强调间断性，一个强调连续性，一个用微分法，一个用矩阵，一个是水中月，一个是镜中花，怎么可能有血缘关系？！

哈哈！你以为笑出声的只有老薛大叔吗？海森堡同学笑得更大声！他俩都不希望双方的方程之间扯上任何瓜葛。因为，他们都坚信，自己才是唯一正确的，对方只在数学上有效，而在物理上是错的。

但是，很快，他们就笑不出来了。1926 年 3、4 月间，薛定谔、泡利、约当纷纷证明：二者在数学上完全等价！

这是怎么回事？！我们不妨回忆一下，当初狄拉克同学用泊松括号取代矩阵时，靠的是哈密顿函数，而老薛的波动方程，更离不开哈密顿函数，本是同根生啊！相煎何太急？

世界和平了？

哪那么容易！现在的量子巨人，虽然四肢健全，但完全是一个精神分裂者。他的两个“我”都非常强悍，对外所向披靡，

可以解决一切问题，但是，自身却矛盾重重，两个“我”性格迥异，三观不合，水火不容，内斗不休，似有不共戴天之恨！

问题出在哪？！仔细一诊断，我们会发现，它们的生命源于经典，而问题，也来自经典。原来，那个缠斗不休的系统内核，是古老的波粒大战！

波粒又战

矩阵力学抛弃了各种假设，用矩阵处理谱线的观测结果，倚仗数学基础，反映了物理现实的跳跃性、不可视性，描述了粒子的行为。

波动力学传承了经典，用微分处理德布罗意波，重视物理意义，强调了物理客观的连续性、直观性，勾画了波的行为。

一个打算完全与经典决裂，一个提倡温和改革，恢复经典的荣光。路线斗争啊！

一个是波，一个是粒。世仇啊！

原来如此，原来如此啊！你以为你穿上矩阵的马甲、披上微分的外衣，我就不认识你了？

摸清双方的来路后，世界不仅没和平，反而更乱了。海森堡与薛定谔的战斗，也就更激烈了。

1926年7月，老薛应索末菲、维恩两个老头子之邀，前去慕尼黑讲他的波动力学。第二场讲完，海森堡实在按捺不住了，站起来逐条批驳薛定谔的观点。老薛倒是习惯了小海的批判，因为他们私下写信辩论时，措辞也比较直率。但维恩愤怒了，他严厉地打断了小海。对维恩来说，小海这个实验渣所说的，基本可以当胡扯处理。小海后来向泡利诉苦：“那个老物理学家，差点把我扔出会场！”

小海本来想以讲堂为战场，与老薛一决雌雄，没想到被对手的老粉丝用太极神功逼出场外，他很尴尬，只好骑驴看唱本——拉偏架是吧？走着瞧！

别看波动力学横扫千军，倾倒众生，令矩阵力学的粉丝团

纷纷取消关注，转粉波动力学，但是，小海也不是一个人在战斗，他还有个强大的同盟：玻尔。

小海败走慕尼黑，发了个战报给玻尔。玻尔看后，眉头一皱，计上心来：邀请老薛到哥本哈根演讲他的波动力学。

1926年10月1日国庆节，薛定谔精神抖擞地踏上哥本哈根的土地，开始了一次让他没齿难忘的历险。为啥会“没齿难忘”这么严重呢？咱俩脑补一下玻尔的无敌神功，就猜到了。如果你忘了，那就屈驾回去复习一下。

薛定谔一下火车，就被玻尔抓住讨论问题。薛定谔虽然风尘仆仆，但两人聊的是物理，所以聊得挺来劲儿。玻尔顺势邀请老薛住自己家里。

薛定谔此时还没意识到事态的严重性，他想，既然大家聊得这么开心，那就接着聊吧，于是他做了一个错误的选择：住在玻尔家里。

如果老薛能用自己的方程预测后果，他一定会在车站直接买当天的返程票，至少，他会找个离玻尔家远一点的旅馆住下。

然而，老薛已经住在玻尔家了。于是，正儿八经的辩论开始了。

前面，我们已经领教了玻尔的无敌神功，但不知薛定谔在辩论中会作何表现。所以，我们有必要了解下他的个性。实际上，薛定谔也非等闲之辈，他一向我行我素，绝少受人左右。比方说，老薛在柏林大学任教授时，纳粹上台整犹太科学家，老薛不愿同流合污，果断辞掉了教授职位。同行们敬佩不已。因为，老薛是雅利安血统，并且作为普朗克的继承人，地位不低，整人也整不到他头上。所以，他的辞职，完全是跟纳粹划清界限，以及对犹太人的声援。5年后，他在奥地利格拉茨大学任教期间，社会环境持续恶化，迫于纳粹的压力，他发表了一个声明，对自己以往的“不敬”表示“忏悔”，这事儿被媒体炒作：老薛向纳粹低头的。后来，老薛好不容易逃到英国，却

遭到质询。你猜老薛怎么着？他从容应道：这是我个人的自由。言外之意，俺权且发个声明保命，干你屁事？搞得质问他的人自己倒尴尬起来。剽悍的人生不需要解释。老薛从来不会改变自己去讨好世俗。何况，他还收到那么多贺电。重要的是，他有爱因斯坦和普朗克的支持。老薛对爱因斯坦说：“您和普朗克的认可，于我而言，比半个世界的认可还重要。”

老薛的强悍个性 PK 玻尔的无敌神功，有戏看了。我们先了解下双方阵营。

玻方——哥本哈根、哥廷根集团军。

领袖：玻尔。

将领：海森堡、玻恩、约当等。

论点：世界是粒。

薛方——独行侠明星队。

领袖：爱因斯坦。

将领：德布罗意、薛定谔。

论点：世界是波。

原来还是波军与粒军在对垒！这双死对头互殴已经不是一天两天了，咱俩早就见怪不怪了。可是，今天的战场上，气氛有些诡异，好像有哪儿不对劲！仔细看看，双方的领袖站错队了！

上一场波粒大战，是爱因斯坦力挽狂澜，以一架光电效应的无敌战车，拯救粒军于垂死之中，变单方屠杀为两军对峙，差点端了波军的老窝。

而玻尔，打死也不信光是量子，为了干掉光量子，保住电磁波，他甚至向守恒定律举起了屠刀。

现在，粒军的救星爱因斯坦庇护着波军，而波军守护者玻尔引领者粒军，这是要闹哪样？你们是嫌波粒大战不够刺激，要给剧情猛添 High 料吗？

不管怎么说，玻尔诱敌深入，老薛中了埋伏。身陷敌占区，

这场仗，打也得打，不打也得打了。战况比较混乱：玻尔 VS 薛定谔；海森堡负责添油加醋，给玻尔帮腔；玻尔夫人玛格丽特负责两军后勤。

“世界是什么？”玻尔投石问路。看起来是个哲学问题，实际上是探薛方物理的底。玻尔哲学、物理双绝，你怎么回答，都会陷入无敌神功的泥潭。

“世界是波。”老薛何尝不知玻尔的实力！但他自恃功力深厚，我行我素，单刀直入。他相信，能对抗实力的，只有实力。

“那么，您如何解释光电效应、康普顿效应？”这招不新鲜，但玻尔深知，沉稳须老道，伤不到自己，还可探敌情。

“是啊，双缝实验、泊松亮斑我们又作何解释呢？虽然这是光的实验，但我坚信世界的统一性。”老薛抛出了更古老的法宝，稳住阵脚。

“正如您所言，这是光的实验。”玻尔笑了。

“可是，一个多月前，英国科学促进会上，玻恩提到戴维逊的镍晶实验数据，您真的没注意到？”薛定谔也笑了。

“这个实验只是个初步结果。您肯定最后结果如君所愿吗？”面对新式武器，玻尔出招谨慎。

“那么，它最终得出相反的结果，这个概率有多少呢？”薛定谔一招斗转星移，以彼之道，还施彼身。

.....

“好吧，我们把将来的事留给将来。现在，我们谈谈电子跃迁，这是量子的标志动作。量子本身，就说明了世界不是连续的，而是跳跃的。而这，正是粒子的体现！”玻尔由实验上升到逻辑。

“事实上，根本就不存在什么跃迁、轨道、能级，只有波，电子只是环形驻波，它的振动产生本征值的变化，就可以解释量子，包括您的所谓跃迁、轨道、能级。”薛定谔针锋相对。

.....

“算了吧，不要强行用经典的图像去描述量子世界。自从 h 出现，量子已经跟经典决裂。 h 本身就在告诉我们，量子王国是有量子的国情，任何用经典那一套对量子指手画脚的图谋，都是注定要失败的！”海森堡斜刺里杀入战团。

“是吗？经典的微积分能轻松自然地处理 h 。我的波动方程已经明明白白地证明了这一点，你的矩阵难道没跟经典的哈密顿函数接轨吗？任何抹黑、颠覆经典的行为，最终都是搬起石头砸自己的脚！”老薛见招拆招，从容应对。

.....

“矩阵虽然庞杂晦涩，难以理解，但量子行为本来就是经典所不能理解的。三观不同，何以相容？我们不能按照自己的意愿，去给人家原子电子光子画像，干涉人家的内战。它们究竟是什么样，我们无须知道，也无从知道。现在，我们能理解的，只有数学。我们只需顺着矩阵的推演，了解它的行为，就OK了！”海森堡声调渐高。

“恰恰相反！量子行为是可以理解的，虽然不是那么容易。三观不同，但世界相同。同一个世界，同一个梦想。它的像素虽然不是那么清晰锐利，但波动的图像是显而易见的。就算不那么显而易见，难道我们就甘心做一只心虚的鸵鸟，把头埋在数学的沙堆中，将黑暗中的幻想当作寄托，而放弃面对真实的世界吗？”薛定谔语气渐凛。

.....

“难道，离开图像去谈物理就那样难以理解？用数学之眼看世界就那样难以接受？跟实在世界说拜拜就那样难以启齿？抛除偏见是有多难？！”海森堡的排比问句有如阵雷滚滚。

“这里明明有座波动的连续的桥梁，可以直接通向坚实光明的彼岸，你却偏要去摸离散的石头，探险未知的不实的河床，追寻暗夜中的微光，真是不可理喻！”薛定谔奋力回击。

“不可理喻？矩阵力学，察物理，合哲学，高端大气上档

次，哪像那个 ψ ，都不知道你想说什么，三俗搞恶无节操！”到底是年轻人，火气大。

“What?！我这 ψ 奢华经典有内涵！你用数学掩耳盗铃，怎么察物理？用幻想的跃迁去‘合哲学’？！我看你是冷艳乡村非主流！”老薛也是个暴脾气。

.....

战况突变，阵地战变成了口水战。

“晒出波的爱，逼着粒离开。看见你这图像的我眼泪掉下来。物理印象派，你背了良心债，就算涂出再多色彩也再画不出来！微分是你解开，解开就解开。现在又要用普赛（ ψ ），把图画出来。世界不是你想晒，想晒就能晒。让粒挣开、让粒表白、别用波阻碍！”为了舒缓气氛，玻尔伴着旋律期期艾艾作阶段总结。

“狠心把波来伤害，粒这么意外。跳跃世界的伤害，有谁能明白？守恒不是你想害，想害就能害。让我看透，世界图像，只能连起来。矩阵是你展开，展开就展开。现在又要用粒子，把世界散开。经典不是你想甩，想甩就能甩。让波荡开、让波飘摆、别用粒破坏！”薛定谔顺水推舟，紧跟节奏报之以李。

.....

“量子跃迁的全部观点纯属幻想！”薛定谔接着说。

“但你无法证明量子跃迁不存在！”玻尔一招顺手牵羊，“这恰好证明我们真的不能想象它。”

“可是你无法想象的这个东西是不存在的！”薛定谔毫不客气。

“你不能真的怀疑量子论的整个基础吧？！”玻尔大叫。

“但的确有很多地方需要进一步解释，你有吗？”薛定谔反唇相讥。

“现在，这个真没有，但将来，这个可以有！现在没有满意的解释，就能全盘否定吗？！”玻尔气恼。

“如果这该死的量子跃迁真的存在的话，我宁愿从来没涉足过什么量子力学！”薛定谔火了。

“幸运的是，你已经涉足了，我们都感谢你所做的工作……”玻尔的回击话里有话。

.....

“呐，不管是波是粒，最重要的就是开心。连续也好，跳跃也罢，发生这种事大家都不想的。可视，或者不可视，世界就在这里。所谓吉人自有天相，如果不开心就哭出来吧。饿不饿，我给你们煮碗面？”玛格丽特出现在两军阵前。

.....

这一战，直杀得天昏地暗。实际上，两军大战，比上述要精彩、丰富、激烈、复杂得多，可惜的是，这次没邀请战地记者、书记员德布罗意哥莫里斯，所以我们看不到实况，只能干巴巴地转播大致战况。

玻尔从理论谈到实验，从经典谈到量子，从方法谈到信仰，从物理谈到哲学……谈什么倒不打紧，别忘了，薛定谔可是百科全书式的博学才子，你谈什么都接得住，而且哲学正是他的至爱，在玻尔面前丝毫不落下风。关键是，玻尔没完没了。

本来，玻尔是个温和体贴之人，否则也不会有那么多朋友。但是，一遇到辩论，这家伙就变身了，争强好战，打了鸡血一样，精力极其充沛，战斗指数急剧飙升，“无情地、狂热地”缠斗不休。按说，薛定谔也是精力极充沛之人，可以同时处理那么多女朋友，还有精力在物理界跻身一流，爱情事业两不误。但是，这次遇到玻尔，他算是领教到“累”字怎么写了！累，倒不是受不了，关键是，现在身陷玻尔家，主人如影随形，你躲无可躲，逃无可逃，日夜应战。能上台讲讲学，倒成了难得的休息时间。薛定谔何曾经历过如此残酷的虐辩？！几天后，精力旺盛的他被累病了，卧床不起。玻尔太太费尽心思，精心照料这位战士。

寂寞冷的目光移向海森堡，倒霉的小海脊梁渐凉。

小海的遭遇，以后再说。现在，我们应该让波粒大战做个了断。

实际上，德布罗意方程组出现后，大战就该结束了。波粒合体，万法归一，世界和平，情绪稳定，那该多和谐啊！但是，从1924年底波粒二象性论文发布，直到1926年初波动力学建立，这一年多来，肯接受波粒二象的，薛定谔是全球第一人，前三位是爱因斯坦和德布罗意哥俩。其间，1925年6月矩阵力学的成功，更向人们强调了世界的粒子性。电子衍射实验的成功，是1927年的事。所以，除了前述这四位相信世界可以是波，其余人都认定世界是粒。于是，玻尔与薛定谔的这场恶仗，就是必然的了。

其实，波粒二象的终极例证，早在1924年，就已经初露端倪了，只是，大家都没注意到。还记得不？自旋把粒子分为两类：费米子、玻色子。费米子服从泡利不相容原理，而玻色子不服从。由于性质不同，所以，它们的作用、行为、形态等等，也各不相同。行为不同，它们的分布，当然也就不同了。举个不太恰当的例子：

沙子、豆包、水、豆油、黄豆各一碗，从1米的高度，分别倒在地板上，它们的分布，肯定不一样，是吧？

那么，如果我们要用数学来表达它们的分布规律，该怎么做呢？测量它们每一个个体的形状、体积、质量、弹性、摩擦力、黏度……然后计算出它们之间的相互作用，最后得出每一个个体的精确位置？

这太不现实了。前面说过，麦克斯韦、爱因斯坦对付分子运动时，比方说布朗运动之类的海量庞杂运动，都用概率统计的办法，这样，虽然不能预测个体的精确行为，但是能很好地描述整体行为、预测大趋势。

所以，对费米子、玻色子的分布状况，我们也是用这种

方法。只不过，不同的微粒，行为不同，所以，统计的办法，自然就不尽相同。在自旋以前，人们对付微观粒子的分布，用的是“麦克斯韦-玻尔兹曼统计”，描述的是“定域粒子”体系。这个体系假设：

粒子之间，没有任何相互作用，互不影响；你是你，我是我，可以区分彼此；粒子们的运动，都严格符合力学规律，其运动轨迹，是“可确定”的。

这种粒子体系，叫“定域粒子体系”。“麦克斯韦-玻尔兹曼统计”用在水、空气等分子分布上，还是相当好用的。但是，用它对付费米子、玻色子，就力不从心了。比如用它来处理黑体辐射，就不准确。普朗克用的办法是，Diy 出一个公式，导出 h ，搞定了这个问题。其中，也从经典的统计物理中寻求了援助。

问题已经被普朗克解决，大家也就没再费神去研究另外的办法。但，我们说过，这个世界上什么人都有。



【图 8.11】玻色

1924 年，爱因斯坦收到一封陌生人的来信。虽然他经常收到陌生人的来信，但这封，有点意外，它来自遥远的印度。写信的是一位年轻人，名叫玻色（Satyendra Nath Bose），时年 30 岁。他提出了一个看起来非常简单的假设：

光是不可区分的粒子的集合。

它的核心概念：光子都一样，分不出谁是谁。这一点，跟刚才提到的定域粒子体系假设中的“可以区分”正好相反。这个概念叫“微观全同粒子不可分辨”（以后称“全同不辨”）。

从“全同不辨”观念出发，每个光子都满足爱因斯坦的光子假设，也满足玻尔兹曼最大几率分布统计假设，使之成为“光子理想气体”模型，很自然地推导出神奇的普朗克黑体辐射公式，当然也就得到了美丽的 $E=h\nu$ 。

但是，他得到的结果，没有什么新鲜玩意儿，而是二十多年前，普朗克得到的结果，所以，他的论文遭到退稿。

玻色一着急，病急乱投医，就把论文寄给了老爱。

老爱一看，马上意识到，这个印度小伙的工作很重要，他把玻色的论文翻译成德文，推荐发表了。并且，立即着手研究。他接连发表了两篇论文，将玻色对光子的统计方法，推广到原子——把整个世界收了进来。根据这种统计方法，老爱做了一个预言：

当温度足够低时，不同状态的原子，会突然聚集到统一状态，这时，奇迹发生了：物质形态发生相变，既不是固态、液态，也不是气态，而是一种新的形态——凝聚态。叫做玻色-爱因斯坦凝聚（简称“玻爱凝”）。

工作太超前的结果是，世界反应迟钝。即使是老爱发表的那两篇论文，也没引起物理界的重视。直到1938年，朗道提出，液氦超流，就是“玻爱凝”的反应，并计算出临界温度：3.2K。物理学家们这才如梦初醒，开始重视“玻爱凝”，由于技术原因，进展极其缓慢。

刚才提到的“液氦超流”是怎么回事？这还得从卡皮查说起，就是回苏联被祖国扣，没条件搞研究，然后敌国老师卢瑟福不远万里送设备的那个卡皮查。这小子后来成为“低温物理学之父”。1937年，卡皮查把液氦的温度降到2.17K（-270.98℃。K是绝对温度开尔文）以下时，他见证了一个奇迹：液氦成为

没有摩擦力的神奇液体。没有摩擦力，也就没有了液体的黏性，它在任何东西上流动，都毫无阻力，毫无挂碍，它可以沿着垂直的容器壁，爬上去，爬出去！这种毫无牵挂的流动，就是“超流”了。除了超流，液氦还有很多神奇之处，比方说，导热性极好，它的导热率居然达到常温铜的 800 倍！



【图 8.12】超流体视频截图。粘滞系数 0，表面张力 0。这样的液体会覆盖容器整个表面。于是……它爬出来了！

朗道指出，超流在一定程度上验证了“玻爱凝”。

但是，在实现超流之前，氦已经是液态了，粒子间相互作用力比较大，所以超流并不单纯是“玻爱凝”的反应。想要严格验证老爱的预言，必须用气体实现“玻爱凝”才行。但是，实现气体“玻爱凝”，物理学家们面临着一个大问题：需要更低的温度。

实际上，实现低温，是一件很难的事，并不是把咱家电冰箱串联、并联起来，或者加大压缩机功率就可以搞定的。我们知道，宇宙最低温是绝对零度（ -273.15°C ）。根据热力学第三定律，绝对零度是绝对不可能实现的。我们人类不管使什么花招，都只能尽量去接近绝对零度。就像越接近光速，所需能量就增加得越快一样，越接近绝对零度，制冷技术的难度也呈几何梯级飙升。

卡皮查获诺奖的原因是“在低温物理学领域中根本性的发现和发明”。自然科学大奖很少是奖励给发明的，在迄今为止产

生的 106 个诺贝尔物理学奖中，与发明有关的只有 16 个，其中 50% 是伴随相关发现才得的奖，纯靠发明得奖的，只有 8 个。即使这区区 8 个，有的还在被鄙视，被大家纷纷吐槽不值诺奖，比方说 1912 年达伦关于“灯塔控制装置”的发明，以及 1920 年纪尧姆关于“推动精密测量的镍钢合金”的发明等。卡皮查关于低温技术的发明列入获奖原因，业内无人提出异议，这就足以表明，低温技术，比我们想象的要难得多。

这项诺奖级别的技术发明，可以把温度降到 2.17K。2.17K 很了不起吗？相当了不起。因为在我们的宇宙中，最寒冷的地方，是只有微波背景辐射的外太空，温度约为 3K。根据热力学定律，热只能从高向低传（说冰箱内温度比外部温度高的，请搞清楚冰箱制冷原理），你想把某系统的温度降低，普遍的办法是，把它的热传给另一个温度更低的系统。所以，在地球上制造出低于外太空自然温度的低温，相当不容易。

我们的正常室温，大约是 300K 左右。现在，降到离绝对零度只剩 2.17K，看起来只有一步之遥了，是吧？正如刘翔的最好成绩是 12 秒 88，离 12 秒 80 只有 0.08 秒，你让他跑一个 12 秒 80 试试？我们发现，从 2.17K 出发，向绝对零度迈进，哪怕是前进 0.1K，也比从 300K 降到 2.17K 难！

而要实现气体的“玻爱凝”，需要达到 0.00000017K（千万分之 1.7）！比 2.17K 低一千多万倍！！这有多难呢？说实话比登天还难，不过比咱国官员公布财产容易一点，从卡皮查算起，科学家们只用了 58 年就实现了（真比登天难，比载人航天晚 34 年，比人类登月晚 26 年）。

我们简单介绍一下技术，膜拜一下科学家们的聪明才智。实现“玻爱凝”低温，主要用了两项技术。

一是激光冷却技术。

在我们印象里，激光大概可以跟高能划等号，用激光制冷，听起来有点像“用雷声制造安静”那样荒唐。

经历了这么多，咱俩已然明白，经验和表象，往往是用来迷惑人类的。我们知道，温度是粒子振动的结果，常温下，空气振动的速度，大概是每秒几百米。把气体粒子的振动速度减慢，就是冷却。那么，怎么能用激光减慢粒子振动速度呢？

想象一下，我们迎风扔一个乒乓球，会怎么样？乒乓球脱手后，它的前进速度，会在某个点为 0，这一刻，它就是“停”了（无视它向下落的运动）。为什么会停止呢？因为迎面有无数空气分子反方向运动，撞击在乒乓球上，形成反作用力，抵消了乒乓球前进的力。就这么简单。

激光是光子束，相当于风，而被冷却的粒子，比方说钠原子，就相当于乒乓球。光子“撞”在钠原子上，形成反作用力。具体细节是：光子迎面扑向钠原子怀抱，钠原子不断电子跃迁、吐纳光子，由于吸收方向确定，而释放光子方向不确定，所产生的作用力，大方向与钠原子运动方向相反，这样，钠原子不断被减速，就实现了降温。为毛要用钠原子呢？因为氧、氮等气体，到几十 K 的温度就冻成固体了。

这位童鞋问了：首先，钠原子的振动，是一种往复运动，而不是像扔乒乓球那样，只朝一个方向跑，那么，它的运动方向，迎着激光时，固然可以减速，但顺着激光时，岂不是要加速？其次，钠原子气体，就是 N 多钠原子的集合，它们的集体运动方向更乱，而激光的方向可是笔直的，一束激光照过去，只能是给一部分减速，而给另一部分加速，那怎么能实现给钠原子气体减速呢？

这就需要用到前面学过的电子跃迁知识了：并不是所有频率的光子，都能被电子吐纳，换句话说，每种原子带的电子，只会吐纳特定波长的光。利用电子挑食的习惯，科学家们选择的激光波长，比电子肯吐纳的波长再长一点点。为什么呢？这是在利用多普勒效应。当原子迎着光跑时，波长会变短。顺着光跑，波长会变长。这样一来，当原子迎着激光跑时，光子的

频率恰好适合钠原子口味，更容易发生作用被减速，而顺着激光跑时，不容易发生作用被加速。

从上下前后左右 6 个方向，全方位朝钠原子气体发射激光，这样，总的来讲，各个方向都是在不断减速了。速度越来越低，温度也就越来越低。终于，达到 0.00024K。真是一个惊人的成绩！这个温度，是 1985 年实现的。这项工作，是美国人朱棣文（华人血统，现任美国能源部部长）、威廉·菲利普斯（William Daniel Phillips），以及法国人克洛德·科昂-唐努德日（Claude Cohen-Tannoudji）合作搞定的。他们因此获得了 1997 年的诺贝尔物理学奖。

然而，0.00024K 仍然不足以实现“玻爱凝”。还能怎么办呢？

十年磨一剑。人类终于搞出新花样：磁势阱蒸发冷却法。看名字，好高端的样子。其实没那么冷艳高贵。所谓“磁势阱”，我们可以把它看成一个监狱，它利用磁场，囚禁带磁性的原子。“蒸发冷却”，就更好理解了，我们知道，不管什么东西，实现“蒸发”，都要做同一件事：带走更多能量。这里的“更多”，是指那部分能量，高于系统的平均值。

能量是守恒的。蒸发掉的那部分东西，带走更多能量，那么，剩下的部分东西，平均能量自然就降低。

OK，现在，一款高高的“磁势阱”里，充满了被激光冷却的原子气体，虽然这些原子，从外壳到内心都是冷的，但它们的能量，还是有区别的，能量高一点的向上爬，能量低一点的向下跳。咱俩从上至下强拆磁势阱，不断降低其高度，能量高的原子无家可归，只好带走高能量蒸发，留下能量更低的原子。这样，就可以在激光冷却的基础上，继续把温度降低。

1995 年 6 月，美国物理学家卡尔·威曼（Carl E. Wieman）、埃里克·康奈尔（Eric A. Cornell）实现了铷原子的“玻爱凝”，凝聚了大约 2000 个铷原子，太少了，不够观测啊！

同年 10 月，身在美国的德国物理学家沃尔夫冈·克特勒（Wolfgang Ketterle）实现了钠原子“玻爱凝”，凝聚了超过楼上百倍的钠原子，虽然还是少得可怜，我们看不见，但是，可以依靠精密仪器管中窥豹了。

上述三位先生因实现“玻爱凝”及相关研究，分享了 2001 年的诺贝尔物理学奖。

被“玻爱凝”的原子，政治上思想上行动上高度统一，成为一个整体。一个整体，什么意思呢？

一块铁，是一个整体吗？在我们看来，是的。但实际上，它还是由一个一个铁原子构成，严格来讲，谈不上一个整体。

“玻色-爱因斯坦凝聚”所形成的一个整体，指的是“全同不辨”的原子们，随着温度不断降低，能量越来越趋同，波长越来越长，距离也可以越来越近，当它们之间的距离小于波长时，就会相互叠加，形成一个整体的分布，凝聚成一个量子，你没看错，是一个量子。不管凝聚的原子有多少，是 3 个还是 3 亿个，它们都是“一个量子”，可以用一个波函数来描述。这样一来，就会发生很多神奇的事情。这些神奇的东西有多大价值，目前与咱俩无关。现在，咱俩关心的是，一些能满足你我探秘猎奇好奇心的事儿。

在前面，我们说了那么多，其实只为一件事：扒开量子的小褂，看它个通透。但是，不管那些天才有多牛，离真相有多近，他们还没解决一个问题：光子、电子、中子……这些家伙体型太渺小，我们这些俗人干瞪眼看不到！干涉是怎么发生的？自旋是什么情况？波粒二象是什么样子的？只能靠想象，就像梦中的莲花仙子，不要说“褻玩”了，连“远观”都做不到。现在，我们有了一个希望：如果有一天，人类能够实现“大块”的，真正的宏观“玻爱凝”——像乒乓球甚至篮球一样大，那么，我们就能亲眼见证这些神妙无比的东西！想想看，亲眼见到两个凝聚之间，发生干涉的过程，那是一种什么感觉？亲眼

看到又是波、又是粒的物体，那是多大的眼福？量子化的自旋清晰地展示在眼前，该有多震撼？！

你以为这是开玩笑？！当然不是。虽说目前，我们鼓捣出来的“玻爱凝”，还没有大到乒乓球那么夸张，但是，比猫还好奇的人类已经观测到了一些有趣的东西。比方说，两个玻爱凝的干涉条纹，这两团小东西真的是波！在超流中发现“涡旋”，它的动作是量子化的，量子化的！那么，它会在我们面前表演自旋吗？现在，真正意义上的“宏观量子”，离我们究竟有多远？是不是很期待？这种东西，不要说真的去亲历，就算是梦到，也要笑醒的！

美梦，留待睡觉时再做。现在，我们先记两个概念：服从玻色-爱因斯坦统计的粒子，都叫“玻色子”；服从费米-狄拉克统计的，都叫“费米子”。然后，咱俩回到现实：薛定谔波动方程。

遭到玻尔的凶猛追杀，薛定谔累垮了，但他的观念毫发未损。他的方程后来成为量子力学的基本方程，掌控着量子世界。薛定谔方程之于量子力学，相当于牛顿定律之于经典力学，是整个体系的核心。狄拉克评曰：薛定谔方程，囊括了全部的化学和大部分物理学！

英国科学期刊《物理世界》让读者投票评选了“最伟大的公式”，在TOP10中，薛定谔方程仅次于质能方程，排名第六。总排行如下：

No.1 麦克斯韦方程组。见上部。

No.2 欧拉公式。 $e^{i\pi} + 1 = 0$ 。

No.3 牛顿第二定律。 $F = ma$ 。

No.4 毕达哥拉斯定理。上部用过。

No.5 爱因斯坦质能方程。见上部。

No.6 薛定谔方程。如前。

No.7 $1+1=2$ 。不解释。

No.8 德布罗意方程组。 $p = h\lambda$, $E = h\omega$ 。

No.9 傅立叶变换。太复杂，自己去搜。

No.10 圆的周长公式。 $C = 2\pi r$ 。

薛定谔方程后来被简化为一个极简等式：

$$H\Psi = E\Psi$$

学过小学算术的咱俩一看，就忍不住要把 Ψ 从等号两边约掉，这样就清爽多了。约掉等式两边相同的因子，对其他公式，都没问题，唯独这个 Ψ ，是万万不能被约掉的。波函数是量子游戏的内核，相当于电脑的 CPU，拿掉它，就有电无脑了！



【8.13】老薛带着老婆、小海和小狄带着妈妈同去领诺奖。

对于量子力学的创立，自三教父之后，我们已经习惯了集团作战，大舞台飙戏、飙嫩，现在，老薛绝地逆袭，小舞台上唱大戏，老树干上发新芽，老当益壮，后来居上。这还不算，他不甘寂寞地留下一条大尾巴—— ψ ，飞起玉龙三百万，搅得周天寒彻，一截遗欧，一截赠美，一截还东国。让全世界为之抓狂、迷惑，最后，将自己苦苦维护的体系击得粉碎。这，实在是老薛大叔始料未及的。

第九章 量子论三 世纪论战

上帝的骰子

薛定谔管 ψ 叫波函数。这个波函数完美地符合粒子行为。老薛认定，他的波函数 ψ ，就代表了波本身。

但是，这样一来，老薛大叔就面临一个大问题：怎么解释这些小家伙的粒子性。比方说，在光电效应、康普顿效应中，光和电子明明都是粒。光也好，电子也好，你把它单独发射到显示屏上，它都会打出一个点，怎么看，这都是粒子干的事儿。

青年们用求知的眼神望向老薛法师：粒子性怎么破？

老薛法师略一沉吟，拿出一个“波包”，反问道：看上去很娘的，就一定是女人吗？

光子、电子这些小家伙，只是看上去像粒子罢了。实际上，它们只是一个一个小小的“波包”，是一组波长不同的波叠加在一起，凑成一个“波组合”。由于这些“波组合”结构紧凑，体积小巧，所以看起来很像粒。就好比一团毛线，虽然实际上是一堆纤维，但看起来是个球一样。

这样，既能解释波的干涉、衍射之类的现象，又能解释它为什么有时看起来像个粒。更重要的是，可以把“不连续性”、“跳跃性”这些乌七八糟的鬼东西从物理学中赶出去，光复温馨熟悉的经典世界。答完收工！

多么美妙的世界啊！这简直就是又一场革命：反清复明！青年们差点就要被感动得热泪盈眶了。但是，且慢。薛老师在皱眉头。为嘛呢？

因为按照波动方程，波包应该先是散开的，弥漫在空间。当人们检测时，它们必须立即聚成一个点，动作比光还快！为了避免跟相对论闹矛盾，老薛绞尽脑汁，也不能防止波包散开。

这些波不仅非要散开，而且无组织无纪律——思想不统一，步调不一致，速度有快有慢，简直就是一盘散沙！而这样一盘散沙，在合适的时机，必须以超光速在某个点聚成团！你信吗？好吧，即便这样，为了光复经典世界，我们也忍了。

但是，把这个推论应用于有两个电子的氢分子时，这些波要求 6 维空间才行，更过分的是，每增加一个电子，就要增加一个 3 维空间，否则玩儿不转。这样一算，金元素要 237 维空间，铅元素需要 246 维空间！太过分了。这种无理要求，是新旧两个世界都无法容忍的，我们必须坚决抵制，怒目而视！

另外，还有一些让老薛大叔尴尬的问题：即使是波包，也解释不了光电效应和康普顿效应。最简单的，一个高能的光子，可以把电子踢飞，并且有折射角。就像两个台球相撞一样。两个波包相撞，可以做到这样吗？不可以。

还有，波包的电荷怎么来的？电子可是带电的哦，不然怎么叫电子呢？波包是怎么自旋的？这些问题，一股脑摆在面前，老薛大叔才意识到，自己摊上大事儿了！

但是，摊上大事儿的，又何止是老薛？！搞不懂波函数的，是全世界。现在，同志们隐隐约约感觉到，在波函数里，藏着上帝的秘密！任何一个稍稍有点眼光的物理学家，在这个诱惑面前，都淡定不了。

玻恩更淡定不了。他正在后悔。因为，当他看见老薛神妙无比的波动方程时，呼喇一下子想起了爱因斯坦去年的一封来信。老爱在信中兴奋地提醒玻恩，要注意德布罗意的论文。玻恩于是真的看了这篇论文。但是他没往心里去，只是礼貌性地给老爱回信说：“物质波可能具有伟大的意义。”

然后，他专心地组织团队建立矩阵力学去了，把德布罗意王子抛在脑后。然后，老薛读到了老爱论文的注脚……。

当玻恩从矩阵中抬起头，一眼望见波动方程时，他眼前一亮，有一种走出森林，蓦然看见田野和村庄的幸福感。而当他

丢下矩阵，运用波动方程解决问题时，有一种放下屠刀，端起机枪的驾驭感。这么强悍的东西，跟自己失之交臂，连掺合都没掺合上，怎么说也有点遗憾。

不过，玻恩发现，虽然这个好姑娘被老薛抱走了，但是，所有人都读不懂姑娘的心，包括老薛本人。哈！莫道桑榆晚，为霞尚满天啊！玻恩决定，自己去开采姑娘心中那座金矿！

老薛说 ψ 是波，还说粒其实是波包。这样，彻底把粒开除了宇宙，以此换取一个连续的、可视的、祥和的世界。但是，正如前面所说的那样，这样一来，就摊上大事儿了，冒出一堆想想都头疼的问题。玻恩当然清楚，解决这些问题是有多难！所以，他决定，放弃老薛的波解释，只要波动方程。

扔掉波，就得回到粒。这是想都不用想的答案。但是，事情真的这样简单吗？当然不是。如果 ψ 不是波，而是粒，那么，怎么解释“弥散的云”呢？ ψ 很清楚地描述了这朵故乡的云，把温馨的经典图像，展现在迷失蛮荒的我们面前。现在，玻恩老师要用粒去解释这朵云，何从下手？！粒组成的云，沙尘暴？！雾霾？！！

哈，玻恩，你是在开玩笑吗？



【图 9.1】帅呆了的玻恩。有木有大片感？

物理学家们很快就笑不出来了。因为玻恩给出的答案，比

沙尘暴和雾霾还可怕：概率。

ψ 描述的那朵云，不是真实的波，而是粒子在某处出现的概率！在不同的点，它出现的概率值不同，并且分布得极具规律美感，就像波那样妖娆地展开。所以， ψ 其实是“概率波”。

What 纳尼神马？！你你你说啥？概概率？你确确定自己是一名物理学家，而不是赌徒或算卦的？！！

又没人憋着标准答案采访你，结结结巴啥？就是概率！这不是占星学也不是博弈学，而是真正的物理学！

概率！概率！

概率就像一只狐狸，闯进了鸡窝，又像一颗小行星，撞上了物理星球，整个物理界都炸了锅，还带着冲击波！

是不是物理界的神经太脆弱、反应太夸张？！当然不是！概率这次出现，不是来挠痒痒的，而是在挑战物理学的基本宗旨——决定论！

什么是决定论？

想理解这个概念，我们先得搞清楚，什么是物理学。

所谓物理学，就是研究物质结构、相互作用、运动规律的自然科学。从本文开头，我们就八卦了物理学的兴起，它源于人类对大自然强烈的好奇、以及对掌握自然规律的迫切需要：我们为什么会在这里？花鸟虫鱼、山石土木、云天星辰、风雨雷电，春夏秋冬，日升月落，莺飞草长、生老病死……为什么会有这些稀奇古怪的东西？这一切怎么发生的？东西为什么不朝天上掉？月亮姐姐为什么不会掉到地上？明日此时，太阳、月亮还会在这个位置出现吗？500年后呢？

带着这些问题，姥姥、村西马大爷、占星家、神学家、哲学家、数学家等纷纷给出不同的答案，而聪明的我们，靠观测、验证，大浪淘沙，从泰勒斯、毕达哥拉斯、苏格拉底、墨子、柏拉图，到亚里士多德、欧几里得、阿基米德、达芬奇、托勒密、哥白尼、伽利略、开普勒……逐渐摸索出一套科学方法，

终于可以用人类最精确的语言——数学，来描绘万物规律，这就是物理学。它给出的答案明确、具体，绝不模棱两可。诚实、可靠、清晰，是它的标签，是的，这就是物理学！

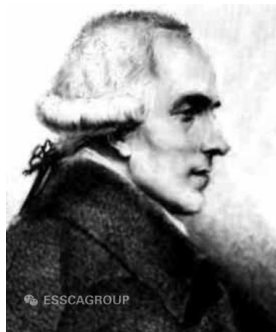
到 17 世纪，牛顿降世，物理学到达一个最辉煌的巅峰。牛爷以来，人类不仅能解释天上地下万物的种种奇葩行为，还能准确预测它们以后的猫腻，甚至只通过计算，就能找到素未谋面的行星！下一次九星连珠在什么时候？明年中秋节午夜火星在什么位置？1000 年后的第一次月食将在哪个地区几时几分几秒出现？这些在以前看来，神仙都搞不清楚的问题，物理学家们都可以清晰、肯定地告诉咱俩！这个时期，如果要在地球上评选最拽最牛最值得骄傲的人群，他们一定是物理学家！

我们相信，世间万物都乖乖地听物理定律摆布。在相互作用下，事件一个一个发生，前面发生的事，决定后面发生的事。我朝你家玻璃上扔石头，玻璃会碎，你家人会到窗前查看到底是谁干的……最简单的例子，就像打台球，从你击出母球开始，球桌上所有球将来的位置，就已经确定了。因为球之间、球与桌之间的相互作用，都严格遵循物理定律。这个结论毫无问题，因为这种实验，是可重复的。看过“花式台球表演”吧？高手们可以把“同一个”高难度表演重复多次，只要器械条件相同、球的位置相同，表演者把出杆的角度、力度精确地控制在允许范围，就可以重复预定的结果。再说一遍：这个结果，是事先设计好的。这说明什么？说明我们只要掌握了足够多、足够精确的条件、数据，就可以根据物理定律，预测事物的将来。

台球，是一种比较理想条件下的运动模式，因为球是标准圆球体，球桌是水平的，桌面是平整的，连表面的摩擦力、弹性什么的，都有严格的标准，比较容易计算。物理学家们有这个自信：我们可以像对台球那样，对自然界的一切行为进行准确预测。只不过，大自然的条件更复杂而已。而在大自然里，一块石头从山上滚下来，我们只要掌握了相关事物的精确形状、

位置、质量、角度、弹性系数、摩擦系数等等，就可以准确地预测，这块石头将与哪枝野花相遇、被哪块石头硌偏、撞到哪根树干、最后到达哪里，等等。这个原理，可以推广到空气、水等更复杂的运动。我们现在不能精确地计算各个空气分子的运动，那是因为目前，我们还没法精确掌握与之相关的海量数据，还不具备处理那么多数据的计算能力，但这只是能力问题，并不是不可能的事情。即使目前我们不具备这个能力，也能够利用概率，发展出统计物理学，来应付这些海量庞杂的运动，预测复杂运动的整体趋势。所以，物理学家们有理由骄傲！

于是，骄傲的拉普拉斯同志写了一本科普书，在介绍概率这个权宜之计，他牛哄哄地写道：“我们可以把宇宙现在的状态，当成它过去的果，以及未来的因。假如，有这样一个智者，他能知道某一刻大自然的所有精确数据，并且能够处理这些数据，那么，宇宙中所有物体的运动，都会包含在一条简单公式中。对这位智者来说，没有什么是不确定的，而未来，只会像过去一样，清楚地展现在他面前……”知道现在，就可以倒推过去，预测未来！这番宏论，就是传说中的“拉普拉斯决定论”，文中的“智者”，就是传说中的“拉普拉斯妖”。他代表了物理学的根本宗旨。是的，明确地告诉人们，万物何以至此，万物将会如何，这才是物理学，光荣的、骄傲的物理学！



【图 9.2】拉普拉斯

麦克斯韦的电磁论、爱因斯坦的相对论，挑战了牛爷的理论根基：时间观、空间观，但是，他们没动“决定论”一根汗毛，反而让决定论更加灿烂辉煌、固若金汤：我们搞懂了宇宙最快的光速运动、摸清了来无影去无踪的电磁运动，计算更精准了，水星进动、光线偏折、时涨尺缩……物理学家掌握宇宙深处的天体运动，比心腹掌握上司的软肋还精准！这意味着什么？意味着我们对将来的预测更靠谱了！决定论，是宇宙真理，虽然，这将是一项长期的艰巨任务，是需要几代人、十几代人、乃至几十代人长期艰苦努力才能实现的目标，但它是宇宙真理啊宇宙真理，是物理学的根本指导思想，是振兴物理的第一要义，值得把咱们及子子孙孙都豁出去，我们必须牢牢掌握决定论的精髓和核心，坚持几个 250 年不动摇！

而现在，玻恩同志，在全物理界上下玩命学习、拼命领会、死命贯彻决定论的大好形势下，你突发奇想、猛出怪招、疾走邪路，搞出个什么“概率”来，你对得起那些在暗夜中摸索的先驱、风浪中拼搏的前辈、荆棘中挣扎的英雄吗？他们，殚精竭虑，用科学把人类从蒙昧引向文明；他们，呕心沥血，让人类的认知突破一个又一个极限，让地球闪烁着智慧的光芒！正是这些天才、伟人，缔造了物理学的无上荣光！而你，玻恩，现在却来告诉我们，世界是靠概率支撑的，上帝这个老顽童在玩儿骰子，而我们，只能躲在概率的窝棚里胡猜：月亮此时出现在天心的机会是 38.38%，明早 5 点太阳八成出不来，登月飞船发射出去有 2.50% 的可能性会飞到火星？！大概、可能、也许……这是物理学？这是侮辱物理学！街头摆摊算命的都不好意思这样讲话！你以为你是领导吗？

什么？你说麦克斯韦、玻尔兹曼、爱因斯坦、拉普拉斯等大牛也是玩概率的高手？都磨叨多少遍了，那是权宜之计，权宜之计你懂吗？只是为了对付那些没法收集、无力处理的庞杂数据，所用的一种技巧、一条捷径而已，说穿了，是人类能力

不足，并不等于“世界本身就是无法确定的”。这跟玻恩说的概率是两码事。还记得吧？爱因斯坦鼓捣电子跃迁时，在没动用统计学的情况下，他的公式里，出现了“概率”这个二货，于是，老爱郁闷地停下了这个工作，看来不找到消除概率的办法，他是不打算继续了。现在，玻恩却兴奋地跳出来，明确指出，用概率去理解世界，并不是由于我们人类能力不足，而是世界本来就无法确定！



【图 9.3】概率物理

这开的不是国际玩笑，是星际玩笑！

有人问你：“嗨，这位披着物理学家外衣的先生，您能为我预测下一次月食吗？”

“好的。稍等。”你边答边拿工具，不是纸和笔，而是一把骰子。掷出去后，你数了数点数：“呃……下一次月食大概……可能……”

“你确定？”

不确定

玻恩说，薛定谔的波函数不是具体的、真切的物理现实，而是抽象的、魔幻的概率。他还向经典宣战：“在原子世界中，我倾向于放弃决定论。”不过，他依然留恋故土的坚实感，特意

强调：“概率本身是遵守因果律的。”因果律的事情，我们先放到一边。单说概率，老薛一听玻恩给心爱的波函数扣了顶不靠谱的帽子：概率，第一个跳起来反对：你搞不清不要紧，但是你因此说世界“本来就搞不清”，那就是你的不对了！

老薛认为，玻恩是被能级、跃迁这些奇葩概念施了魔咒，才做出如此判断。他说：“我没法想象，一只电子会像跳蚤那样蹦来蹦去！”

反对玻恩的，当然不止老薛一个，他的队友里，爱因斯坦是最坚定的一个。按说，把概率这条狼引入量子内室的，老爱应该是第一人，10年前，他解释光子的自发发射时，引出概率这条狼，虽然它很好地搞定了量子跃迁，但是，为了不伤及因果性，老爱不玩儿了。10年后，面对玻恩的概率解释，老爱愁肠百转，他认为，新理论绕来绕去，也没让我们离旧理论的未解之谜更近一点。他说：“无论如何，我确信，上帝不掷骰子！”就是这句名言，让多数人忽略了老爱维护的核心问题。这个话题我们以后再谈。因为有人比老爱还愁。

前面说过，把薛定谔吵跑后，玻尔顿觉时间和精力充裕起来，于是把空虚寂寞冷的目光锁定了海森堡。

老薛在时，海、玻意见完全一致，好像没什么可吵的了。但是，小海的侥幸很快就化为泡影了。跟老薛大战几百回合后，玻尔已经开始相信，波动说也许有一部分是对的——虽然当着老薛的面时他死不松口。小海害怕的事情终于发生了，在量子力学的解释上，玻尔要求，波粒都试试。不要说试试了，在小海面前，波动提都不要提，一提他就急，更别说是他最在乎的玻尔在提，而且与他的矩阵力学相提并论！

所以小海强烈反对。我们知道，面对反对，玻尔的本能反应，就是说服之。说服的意思是，说到你服为止。无敌神功再度发作。

这下海森堡傻眼了，因为从此，不论清晨还是深夜，随时

会有人敲门，把他从不管什么梦中惊醒。是谁？玻尔。干嘛？聊天。

玻尔只要想起来，就会找海森堡聊，毫无节制。你知道，夜半鸡叫虐身，夜半聊天虐心呐！

实际上，就算没架可吵的和平日子，小海处也常有玻尔出没，一聊就是大半夜，只是没这么频繁。当然，在平时，玻尔也不是每次降临都是来谈心的（不然哥本哈根的天才们还不都被聊跑），有时也搞搞文化娱乐活动。总的来说，跟玻尔混，还是相当刺激的。比方说踢足球。

玻尔的足球踢得还是上了一定档次的，至少用手接球蛮有准头——丹麦国家队曾经的替补守门员嘛。据说某场比赛中，玻尔替补被喊上去守门。比赛正酣，对方前锋过五关斩六将威风凛凛直奔球门，而伟大的守门员玻尔先生却淡然无视之，他正色眯眯地盯着门柱！观众、教练、裁判全体疯了，对方前锋自尊心严重受挫，含羞朝玻尔射出一球，在赛场汹涌澎湃的心跳和叫喊声中，玻尔惊回首，眼见一球路过，条件反射一伸手，整个赛场的人心脏骤停——他居然接住了！赛后，他给出了一个令人心肌梗死的答案：我当时在门柱上演算一道题。大家一致认为玻尔替补还是搞物理比较适合丹麦国情，毕竟丹麦人不如中国人心脏那样强健，于是他要建研究所就让他建，要扩研究所就让他扩，在那里算题比较健康安全环保。与物理男孩们在一起时，足球就越踢越没劲了，因为守门员在场上无所事事是一件相当无聊的事。还是和大家一起看电影比较 happy。

一次，伽莫夫等一干童鞋拖玻尔去看西部片。散场后大家一致认为比踢足球还没劲。玻尔这次表示同意。大家险些认为玻尔是同类的。但是这时，玻尔开始影评了：“那个坏蛋拉着女主跑到桥上，桥就突然断了，这种不可能我也就不当回事了；女主挂在桥上那么久掉不下去，这种不可能不管你信不信反正我也信了；男主赶来枪战那一段假得他自己都不好意思，种种

不可能我也忍了。但是，我怎么也不能相信的是，刚好有个人及时路过，并拿摄像机拍下了这一切！”言毕，众皆石化。大家一致认为，跟玻尔还是谈物理比较省心。不过，玻尔先生的影评也不是每次都错。

又一次，轮到伽莫夫抱怨电影太假了：“每次坏人悄悄拿枪想偷袭男主角时，总会惊奇地发现，男主角的枪已经先对准了他。”这回玻尔反对了，他认为，坏人偷袭，是有意识的行为，而主角属于本能反应，本能比有意识要快。伽莫夫当然不服气，于是两人各备一支玩具枪，相约实验。不久，乘大家乱哄哄讨论问题，伽莫夫悄悄掏枪偷袭，果然被玻尔秒杀。

接球准，出枪快，是不是已经开始佩服玻尔手脚麻利了？伽莫夫会告诉你，你又错了。证据是开车。玻司机车技不怎么样，大家习以为常；玻司机爱聊天，大家也都知道。但是，一旦你坐上玻司机的车，就会发现，一个爱聊天的蹩脚司机是有多可怕——他经常脚踏油门、扭过头来，和后排乘客聊到物我两忘，搞得车里车外的人无比崩溃。但是，你别指望哥本哈根的好事之徒们长记性。1929年某天，伽莫夫跟玻尔去卢瑟福家串门，倒霉的老卢刚买了一辆超拉风的摩托车，伽莫夫一见倾心，极力怂恿玻司机试驾。玻司机禁不住诱惑，一路惊险地表演到闹市，摩托受不住刺激，果断死火趴窝。一向慈祥友好的老卢赶来，气急败坏地教育伽莫夫：这家伙汽车都开不稳，你敢喊他开摩托车？还好趴窝的是摩托不是玻尔，否则整个物理界都饶不了你！

总的来看，跟玻尔混，日子还是蛮欢乐的，尤其是玻尔亦父亦兄亦友的关怀和引导，让这些天才们欲罢不能。但是，根据上帝礼物规则，他不可能只把好事快递给你，所以，忍受玻尔无敌神功的摧残，就是天才们要接受的代价了。

现在，小海正在忍受这个煎熬。自从把老薛折磨走后，玻尔越来越像热锅上的蚂蚁，急着弄清真相。不管他逮到谁，都

只有一个话题：解释量子力学。而海森堡，是玻尔的重点光顾对象。于是，可怜的小海不得不随时警惕玻尔来袭。聊天的内容，是比聊天本身更让人头疼的事：波粒二象性。

跟老薛吵架后，玻尔越来越感到，必须认真对待德布罗意的波粒二象性了。然后，玻尔和小海悲催地发现，“波粒二象”说起来挺酷，但是无论如何，你也没法把粒和波两个图像联系在一起——它俩硬件软件都不兼容！就算你能让张飞爱上吕布，也没法让波粒共融。

更不幸的是，玻尔和小海慢慢发现，他俩的观点，也像波粒一样，越来越互不相容。海森堡的出发点很单纯，他用数学去描述可观测的现象，至于数学背后的故事，他不太在乎。而玻尔，更希望摸清数学背后的物理意义。对波粒二象性，海森堡想用粒子主导。但玻尔希望找到一个办法，让波粒和平共处。

所以，在波粒和平共处之前，玻尔和小海之间，爆发了一场残酷的战争。这是一场真正的持久战，一吵就是几个月。小海的悲哀在于，他不能像老薛一样潇洒地走开。当初，玻尔把这孩子拐到哥本哈根时，几乎是在对整个物理界一再保证，海森堡不会在哥本哈根待太长时间，但是，他一年后，海森堡合同到期时，玻尔做了一件事，给海森堡涨工资，而且力度不小，直接乘以 2。赤裸裸的勾引呐！玻尔拿不出那么多工资，也不好耽误小海前途，只好再次受伤。玻尔一定看过三国，把小海当成荆州了。不厚道啊！小海就这样上了贼船。在这段黑暗的日子里，小海一定很怀念哥廷根的幸福生活。他回忆道：我们一聊就没完，一直到午夜，双方拼了几个月，也没什么起色。好在小海年轻力壮，没被累倒。但谁都不是铁打的，俩人都快累散架了。

双方都又累又烦，于是决定分开一段时间，冷静冷静。

玻尔：我去滑雪。

海森堡：bye。

.....

1927年2月，玻尔去挪威滑雪，假期有4个星期。班主任溜达去了，最开心的当然是被班主任盯死的海森堡同学。一丝无法抑制的笑意从心底浮上眉梢。终于可以静下心来思考问题了，关键是想几点睡就几点睡。哥本哈根的天顿时晴朗起来。

去年4月28日，柏林的天似乎也很晴朗。不过，小海没心情观察天气，他很紧张。因为，他正站在柏林大学的讲台上，讲他刚创建的矩阵力学。让他紧张的不是矩阵，而是台下坐着的某些听众，比方说劳厄、能斯特、普朗克、爱因斯坦等。这也难怪，任何一个25岁的小伙子，面对这么多业内大神时，如果像国足输球一样淡定，那只能说明他见识短，有眼不识珠峰。

课讲得还算清楚。不过这不是重点。重点是课后，爱因斯坦找海森堡聊天。

老爱问：“你假设原子内有电子，却不考虑它们的轨道，即使我们可以在云室里观测到电子的轨迹。为什么？”

小海做梦都想让老爱提这个问题，因为这样，他就有机会拉老爱入伙。因此他热情洋溢地回答：“我们观测不到电子在原子内的轨道，却可以观测到辐射——这就足以推出电子的频率和波长。一个好的理论，必定以可直接观测到的量为基础。”

“只有可观测到的量才能纳入物理理论？”老爱反问。

“这难道不正是你处理相对论的手法吗？”小海反问道。他认为说到这里，老爱应该就是战友了。

“一个好把戏不能玩儿两次。”老爱神秘地笑了。他认为，用可观测的量去建立理论没错，但只用可观测的量去建立理论，就大错特错了。老爱强调：“是理论决定了我们能观测什么。”

“啊？！”这句话的输入，把小海的大脑搞得差点死机。

“理论决定了我们能观测什么。”不管是谁，第一次听到这句话的人，脑子里一定蹦出两个字：荒谬。小海也不例外。但这句话是爱因斯坦说的，所以他本能地认真考虑起来：我们的

理论不都是以观测为基础建立的吗？没有观测，哪来的理论？理论，是人类对客观现象的主观认识。你见，或者不见它，现象就在那里，不来不去，你爱，或者不爱它，事实就在那里，不变不移呀！主观认识，能决定我们从客观世界中看到什么？！如果这是真的，世界也太疯狂了！

老爱当然看得出，眼前的年轻人被这句话困住了，于是继续点拨：在观察之前，我们就会不自觉地，用已有的理论，对观察对象进行某些假设。

这个需要解释下。我们的肉眼靠可见光看东西，于是我们得到了“可见光可以用来观测”的理论，根据这个理论，我们制造放大镜、光学显微镜、望远镜、照相机等，于是观测到了更小、更远、更具体的东西。电磁波被发现后，我们得到了“红外线、远红外线、紫外线、x射线、 γ 射线也可以用来观测”的新理论，根据新理论，我们制造红外望远镜、x光透视器、射电望远镜等，观测到了原来想都不敢想的东西：人体内部结构、137亿光年外的星系、太阳表面活动的清晰图像等等。

这些观测设备，是怎么设计出来的？我们按照已知的电磁波的性质，假设电磁波在仪器里怎样被反射、折射、放大、聚焦，怎样变成人类眼睛可以接受的图像信息，等等，综合这些因素，去设计、实验、制造、应用。所涉及到的成千上万个技术细节，都是围绕我们已知的理论来进行的。所以说，能看到什么，是选择“怎样去看”决定的，而选择怎样去看，是理论决定的。

“理论决定了我们能看到什么。”现在看看这句话，还荒谬吗？

老爱认为，实际上，观测本身，也是个相当复杂的过程，观测对象发出的信息，比方说振动、气味、声波、电磁波、引力波之类的，传到仪器，仪器按照设计要求，发挥各种作用：接收、反射、放大、聚焦等，然后把信息输出给我们的感官，

通过一大串神秘的反应,在意识中形成结果,成为我们的认识。这些过程,是我们事先就知道的。这就是说,我们在观测之前,已经对“能看到什么”有了一个大致的预期。这一切,都是我们的理论决定的。

老爱当时没解释这么细,他只是告诉小海,你那些所谓“可观测到的量”,都是这样观测来的,观测之前,已经用理论做了假定——尽管不是有意的。老爱强调,如果你掌握的理论完全不同,就会做出完全不同的假定,那么,你观测到的那些量,可能也就不同了!

小海听得目瞪口呆,但他又不得不承认,老爱的观点是“有说服力的”。

小海本来是想拉老爱入伙的,没想到不但没说服老爱,反倒被老爱灌输了一顿完全陌生的思想。这个观念来得太突然,他觉得还是回去慢慢消化好些。于是小海提起另一个话题:说好了给玻尔当助手,兼职哥本哈根大学讲师。现在,莱比锡大学邀请他去当教授,像他这个年纪,接到这样的邀请,是个了不起的荣誉,弃之可惜。怎么破?老爱当场建议:给玻尔当助手。小海决定,听老爱的话,出新成果再说。小海这时还没意识到,这场谈话的两个成果:一个新思想,一个新决定,对他将来的前途产生了多大的影响。

1926年底,小海在和玻尔的持久战中,也没忘和泡利师兄通信。一次,泡利聊起他的新发现:电子互撞,当动量 p 可控时,位置 q 就不可控。动量 p 有变,则位置 q 必变。

泡利总结道:用 p 眼看世界,或者用 q 眼看世界,都没问题,但同时用两眼看世界,你就看不清了!

泡利总结完就收工了。这厮总是这样,有了新发现,通常是兴致勃勃讨论一番,然后扔到一边,屁颠屁颠忙别的去了。

现在,泡利师兄在干嘛?又在跳舞?玻尔先生在干嘛?已经在滑雪了吧?这二位的造型,既不适合跳舞,又不适合滑雪,

但他们偏偏乐此不疲，灵气可鄙、勇气可嘉啊！一丝久违的、轻松的笑意，浮现在小海脸上。



【图 9.4】玻尔和海森堡某次外出滑雪时

没多长时间，小海就 Happy 不起来了，因为这会儿，他脑子有点乱。他始终没忘记自己最大的理想——用矩阵力学一统量子江湖。但是，薛定谔搞出的那个方程，在物理界越来越吃香，原来支持矩阵力学的朋友、同事们，纷纷倒戈，连跟他一起建立矩阵力学的队友玻恩都被波动方程迷住了，自己最敬重最依赖的玻尔，都站出来支持波动说。面对玻尔，小海负隅顽抗了几个月，也无济于事。幸好有狄拉克在。他去年 9 月份来到哥本哈根，准备访问半年。前不久，他搞出一个量子力学方程，矩阵力学和波动力学，分别是这个方程的两种特殊情况，小狄的这个成果被称为变换理论。有了这个方程，原来波动方程擅长的领域，现在用矩阵处理起来也很方便了——比方说概率问题。在变换理论基础中，不连续性占有重要位置，这让小海心里踏实多了。但是，在处理某些问题时，不连续性就露怯了，比方说电子轨迹。

就算电子是个粒，它总要运动吧？它一动，就会有轨迹吧？这个轨迹，总不会是不连续的吧？

还记得威尔逊云室不？电子每次经过云室中的水蒸气，都会潇洒地划出一道轨迹，你爱看不看，它就在你眼前。一个粒子，飘过空间，划出一条连续的轨迹，这是它的本分。你能怎么办？

现在，小海要独自面对这个看起来很小，其实很大的问题。

上次离开玻尔，海森堡童鞋爆发了小宇宙。这次玻尔离开，海森堡的小宇宙还能爆发吗？

小海希望答案是：完爆。

所以，他给自己出了一道题：从云室里观测到的那个轨道，怎么才能和量子扯上关系呢？

于是，哥本哈根的同行人，总是看见小海飘来飘去，他的思想在游荡，他的脚步也在游荡。因为，爱因斯坦的那句话，正在他心中游荡：“理论决定了我们能看到什么。”老爱没想到，这句点拨，引出了自己无比厌恶的怪物。

好吧，让我们忘掉过去。现在，听从量子论指引，重新审视云室中的电子轨迹，我们能看到什么？

如果电子是波，就不会划出什么轨迹。因为波是缥缈的、飞散的，这样的东西在空中飘过，如果能弄出一道轨迹，那真是活见鬼了。

但是，如果电子是粒，就必须有一道轨迹。这不就结了吗？我们在云室中看到的，正是一道轨迹啊！

是吗？你确定？

别忘了，现在是量子论说了算，它来决定怎么看！量子论认为，不应该存在一条连续的轨迹。那么，云室中那条该死的线是什么？

等等，我们看不见电子，却能看见它划出的轨迹！我们看不见车，却能看见车辙一路爬到天尽头？可能吗？不可能！

那，不见电子只见轨迹说明了什么？说明“轨迹”比电子本身大多了！大多少呢？即使电子扩大几万倍，我们也看不见！什么东西能搞出比自己宽几十万倍的轨迹呢？答案是，没有这样的东西。那么，我们就更该仔细看看，这个所谓的“轨迹”，它究竟是谁？

原来，是比电子大得多的一串水珠！一“串”水珠，是连续的吗？当然不是！

水珠是怎么来的呢？是电子路过时，电离了亲密接触过的分子，把它们变成离子，吸引周围的水分子，聚成了水珠。所以，我们看到的，只是一串断断续续的水珠。这只能说明：电子曾经和这些水珠中心的某个分子亲热过。而不能证明存在一条连续的、完整的路径。

小海已经游荡到了研究所邻近的公园里。午夜，星空冷漠，寒风凛冽。他脚下的轨迹零散模糊，但电子的“轨迹”却越来越清楚。如果电子真的有一个连续的轨迹，那么，我们就可以精确追踪电子的速度和坐标，这个速度和坐标是确定的，所以，可以得到确定的动量 p 和位置 q 。 p 和 q 一确定，那么， $pq=qp$ 。矩阵力学就 Game over 了。

泡利师兄说什么来着？当动量 p 可控时，位置 q 就不可控。单看 p 很清楚，单看 q 也很清楚，两个一起看就不清楚！从云室轨迹来看，泡利是对的，因为这条轨迹不是连续的，所以，就没法精确追踪电子的速度和坐标了。但是，云室轨迹没法定位 p 和 q ，就代表用其他方法也不行吗？

我的理论说什么来着？ $pq \neq qp$ 。这是什么意思？

pq 不等于 qp ， qp 也不等于 pq ，这段绕口令难道是说：你“先看 p 再看 q ”，跟“先看 q 再看 p ”的结果不一样？

观测的顺序，居然影响观测结果？凭什么？！月亮姐姐在天上飞啊飞，我先看她的位置 q ，再看她的动量 p ，这跟你先看她的 p 再看她的 q 有区别吗？不管咱俩怎么看，她都会像几分

钟前、上个月、十几亿年前一样飞！

等等，小海现在考虑的是量子论，不是相对论。所以，他只能去看那些小家伙的 p 和 q 。

天地之间，单影子立。风，是冷的。星，是冷的。夜，也是冷的。整个公园，都是冷的。但小海却未被冻上，因为他的大脑是沸腾的。他在想办法看电子的 p 和 q 。

怎么看呢？拿尺子量？猪脑子也不会想出这么笨的办法，电子那么小，你量个毛啊量！当然是用比它更小的东西了！我们平时看东西，靠的是光子，现在看电子，当然也是光子最合适了！

我们想知道电子的动量 p 和位置 q 。现在，先测它的位置 q 。一个电子没心没肺地飞过，一个光子爱心泛滥地冲了上去……电子只感到它被青春撞了一下腰，一个趔趄，改变了生命的轨迹。光子用它的转折点，得到了电子的位置，但是，这一撞，电子变了方向，这还不算，它的速度也变了！速度变了，动量当然就变了。

原来如此！测量电子之类的小家伙的位置，还真能影响它的动量。进一步考虑这个测量过程，小海发现，根本不可能同时得到精确的位置 q 和动量 p 。

我们想要得到 p 和 q ，最好的办法，只能是用光子追踪电子的运动轨迹。我们看 av 或者 $cctv$ ，分辨率越高，画质就越清晰。光子是波粒二象性的，它有频率，电子那么小，光子的波长（频率）直接决定测量的精确度，光子的频率，就是分辨率，波长越短（频率越高），测得的位置就越精确。但同时，频率越高，能量也就越大。能量越大，撞上电子，对电子速度的改变也就越大，测得的速度就越不精确。如果你想最大限度地保持电子本来的速度，只能降低光子频率。频率降低，对速度的影响倒是减少了，但是，波长增加，测量位置的精确度就降低了！有测量，必有干扰。测一个值，必定干扰另一个值。想把二者

一起量个差不多，那 p 和 q 就一样模糊。这就是泡利师兄说的，两眼一起看，你看不清。

结论：动量测得越准，位置就越测不准；位置测得越准，动量就越测不准。一起测？做梦吧！这正是：花自飘零水自流，一种测量，两处闲愁。此情无计可消除，才下眉头，却上心头！

还有比这更别扭的事吗？！理论决定了我们能看到什么，这还不算，它还决定了我们看不到什么！原来，上帝在提示我们读他的同时，在最基本、最隐秘的地方，设置了一道底线——掌控自然？哼哼，谁也别想取代我！

摸到了上帝底线，小海激情澎湃，他欢天喜地跑回他的阁楼，一顿方程推导，搞出一个诡异的公式：

$$\Delta p \Delta q \geq h/2\pi$$

又是一个不等式！这个奇形怪状的公式什么意思？它就是上帝底线的具体值！

Δ 的发音有种马车飞奔的感觉，念“啾儿踏”，在这里代表“不精确性”。 Δp 就是“动量不精确性”， Δq 就是“位置不精确性”了。 \geq 号，以及它后面的 h 、 π ，我们都很熟。所以，这个公式告诉我们，同时测动量 p 和位置 q 到底是有多不精确。

这里的 Δp 、 Δq ，就是一对“共轭”变量，啥叫“共轭”呢？首先得知道啥叫“轭”。上面提到马车，如果是两匹以上的马拉车，就得让它们速度和方向一样，它们又不考外语，听不懂人话，咋办？就用一个架子把它们连起来，这样，它们就只能共进退了。这个架子，就叫“轭”。所以，“共轭”，就是按一定的规律相互匹配、相互制约的关系。

$h/2\pi$ 是个常数，它的值铁打不动，雷打也不动，那么， Δp 和 Δq 的变化，就是此消彼长的“共轭”关系了。这就是在告诉我们，你把位置 q 量得越精确（ Δq 的值越小），动量 p 就越不精确（ Δp 的值越大）。

那么，如果我们人品大爆发，把动量 p 量得绝对精确，也

就是 $\Delta p=0$ ，会怎么样呢？这下坏了， $\Delta q=\infty$ ，位置的不精确性是无穷大！这是什么意思？也就是一个粒子，如果你把它的动量搞得100%准确，那么这时，它的位置在哪儿？答案很恐怖：它无处不在，整个宇宙任何一点都“有可能”！上帝啊！

还记得矩阵力学的基本公式吧： $pq - qp = (h/2\pi i)I$ 。

为什么 $pq - qp \neq 0$ ？为什么量子规律不遵守乘法交换律？！这个让所有人大惑不解的谜团，现在终于解开了！答案就藏在公式里！原来，是因为 $\Delta p \Delta q \geq h/2\pi$ 。

因为 $\Delta p \Delta q \geq h/2\pi$ ，所以 $pq - qp$ 不等于零，而等于奇怪的 $(h/2\pi i)I$ 。

这真是一个让人无可奈何的玩笑， p 和 q ，就像跷跷板，一头上来，另一头就得下去，不可能两头同时翘起来；又像婊子和牌坊，如果你是认真的，那你只能要其中一个，两者都要，就不伦不类贻笑大方。总之，你得到 p ，就得不到 q 。既想闲云野鹤，又想炙手可热，上帝说，你这是得瑟！

不过，用不着担心我们的世界都这么不靠谱，不会出现这种事：你把车速控制准了，你的车就满宇宙乱飞。为什么呢？因为这个误差很小，瞧： $\Delta p \Delta q \geq h/2\pi$ ，前面说过， h 的值是 6.626×10^{-27} 尔格·秒，也就是用十万亿个一亿除6.626，它等于 6.626×10^{-34} 焦耳·秒。这个值十分微小。用这个微小的值除以 2π （也就是 2×3.14 ），就更小了。

一般情况下，我们测量的 Δp 和 Δq ，数量级都差不多，大约在 10^{-17} 米左右， 10^{-17} 米这个误差，对半径只有 10^{-18} 米的电子来说，大约是它本身大小的10倍。10倍！这个误差不小。如果让你测长城的位置，测得的误差是它长度的10倍，那就是把长城开除地球籍了。

但是， 10^{-17} 米，对我们人类来说，这点误差可以忽略不计，因为我们接触的一般都是宏观事物。我们测量月亮姐姐、足球弟弟、米粒妹妹等宏观物体，光子撞到他们身上，基本没什么

影响，所以还算测得准。所以我们能用狙击步枪准确地击中 1000 米以外的物体（最远狙击距离目前是 2430 米），所以能把千年后月食的时间精确到秒，所以能把车速精确到小数点以后 N 位，车的位置也不会到处飘忽不定。这是大自然留给我们的福利，否则，什么都搞不准，我们还怎么繁衍到今天？

人类繁衍的事，我们以后再讨论。现在，海森堡正忙着整理他的成果，他把新发现叫做“不确定性原理”。为了说明不确定性，他举例说明，想探测电子的 p 和 q ，需要一个高端大气上档次的显微镜，它发射 γ 射线，来刺探电子的位置。高能光子撞到电子后，返回时报告自己的速度、方向等数据，根据这些数据，我们可以算出电子的位置。为了达到精确，显微镜必须要配备大直径透镜或反射镜，它可以将光聚焦到一个点上。这样，测量倒是精确了，但是，有个大问题，光子撞了电子后，光子返回时，我们没法判断这个光子是从哪儿来的。因为，强悍的聚焦能力，让光子更多地改变了路径。但是，如果减小半径，显微镜的聚焦能力——分辨率也按比例打折，你看不清。看不清怎么测得准？！

与此同时，光子踢飞电子的剧情必定继续上演，所以，不可能测得准。

在经典力学和量子力学之间，不确定性原理的金簪生生划出一道银河，鹊桥在哪里？海森堡测不准。就像他测不准玻尔会怎么看他的新发现。

所以，1927 年 2 月 23 日，小海给泡利写了封 14 页的长信，激动地详述了他的新发现，这一次，又 Happy 地得到泡利师兄的盛赞：“量子论的黎明到了！”

当然，小海也给玻尔写了一封信。只是时间稍晚。都 3 月 9 日了。这时，小海已经把写给泡利的信变成了论文。准备发表论文了，这才写信给玻尔，并且，信里不包括新发现的细节，只包括新发现的消息：“我应该是搞定了 p 和 q 的精度问题，论

文昨天寄给了泡利。”

是的，海森堡想先得到泡利师兄的有力支持，以防不测——新发现被玻尔一枪击毙。

但是，该来的总归会来。接到海森堡的来信，伟大的、无所畏惧的、百折不挠的战士玻尔扔掉滑雪板，急忙杀回哥本哈根。小海心头一凛。

在玻海大战第二波激情上演之前，我们接着说小海的新发现。搞清 p 和 q 这对冤家的关系之后不久，小海又发现另一对共轭的量。能量 E 、时间 t 。Et？这对东西怎么会“共轭”？能量是真真切切的物理现实，时间是什么？难道不是人类用以描述物质运动、事件发生过程的一个概念、一个参数、一个度量衡吗？人类为了使用方便，所发明的一个度量衡，会和真切存在的物理现实发生“共轭”？太荒谬了！

其实，一点也不荒谬。记得狭义相对论吧？时空一体，时间跟空间，作为物理量，地位一样，所谓“时空”嘛。而空间，又跟位置 q 有关。再说能量 E ，质能可以互换。上部也说过，什么速度啊、动量 p 啊，这些东西，都跟能量有关。这样看来， q 和 p “共轭”了，那么， E 和 t 不“共轭”，简直就天理难容。所以：

$$\Delta E \Delta t \geq h/2\pi$$

和 p 、 q 类似，你把 E 搞得越准， t 就越不准；反过来，你把 t 测得越准， E 就越不准。经历了前面的心跳历险，咱俩已经见怪不怪、不怪反怪了，再坚利的现实，也刺激不了我们坚强的内心了！那么，关于 Et 共轭，要不要继续深入翻译一下呢？要的。

上面那个怪怪的公式是在说：

你把能量搞得无比精确， $\Delta E=0$ 了，那么， $\Delta t=\infty$ ，时间的不确定性就纵贯古今！如果你对恋人海誓山盟一辈子的期限还不足言爱，你就给 TA 个 $\Delta E=0$ 吧，从宇宙诞生到灭亡，无

时不刻，皆有可能——表明你们在万年内结束这段感情的概率接近 0。好恐怖的浪漫！

很神奇吗？还有更神奇的。

如果，时间无比确定时， $\Delta t=0$ 了，会发生什么？聪明的你算出来了， $\Delta E=\infty$ ！能量的不确定性无穷大，什么意思？！

意思已经很明白了：能量从 0 到 ∞ ，皆有可能！这就是说，在时间无比确定的那一瞬，将凭空出现巨大的能量起伏！

这一瞬是多长时间呢？取决于时间有多确定！

确定性越低，这一瞬就相对越长，能量起伏就越小。时间越确定，时长就越短，能量起伏越大。绝对精确，能量起伏就无穷大！时间确定度 VS 能量起伏大小，可以参考相对论的质速关系曲线图，理解起来容易些。

等等！不对啊大师！这样搞法，你当能量守恒定律是空气么？守恒定律跟你们哥本哈根有仇？凭空出现巨大能量起伏？凭空？凭空？！

是的，凭空。是的，它触犯了伟大的能量守恒定律！但是，上面说了，时间不怎么确定时，能量就不怎么起伏，微乎其微，我们感觉不到，测不出；时间精确，起伏越大，但时长就越短——还是感觉不到。重要的是：起伏。翻译一下，就是“起”了还会“伏”。一切尘归尘，土归土，涛声依旧。

我们的时空里，时时处处，沸腾着能量。真空不空。只是，这些能量瞬间生灭，总体平衡。所以听似惊天动地，我们却无知无觉。能量，依然守恒。

但，这丝毫没有降低宇宙的神奇度。我们已经知道，能量，和质量是一回事。能量在时空中生生灭灭，翻译过来，就是每时每刻，都有物质凭空产生，又瞬间消失！物质居然可以在我们的时空来去自如，如入无人之境。这就太恐怖了！想想看，你正在窗前对着秋雨想憋出几句诗来，眼前突然出现半颗火星，上面坐着刚出道的芙蓉姐姐，然后神秘消失，是不是很崩溃？

恐怖吗？崩溃吗？有人认为，我们的宇宙，可能恰恰就是这样诞生的！但是这位童鞋问了：物质凭空生灭，尚可接受，但只生不灭，那不就是悍然违反守恒定律吗？这是需要表示强烈谴责和严重抗议的星际大事啊！弄不好要坚持谴责他一万年不动摇的！

这位童鞋先莫激动，宇宙诞生之类的小事，用不着动用外事部这么严重。我们知道，有物质，就有引力，而引力，是一种负能量——它是一种吸力。凭空出现的物质，被它们的引力场相互抵消，总能量还是零。举个不太恰当的例子：假设地球刚开始是个绝对标准的球体，每个点的海拔都是 0。那么，在它不与外界进行物质交流的情况下，要出现一座山，就必定有其他地方低下去。保持总体平衡。这座山就是物质，低下去的地方就是引力。关于宇宙的诞生，咱以后再关心。

海森堡的不确定性原理，提供了宇宙诞生的一种可能，让我们减轻了对“自己是从哪儿来的”的一些疑惑。但是，他自己摊上大事了。

每当悟空想静一静的时候，唐僧就会及时出现，孜孜不倦地开展群众路线教育。小海又在面临这个问题。

玻尔先生滑雪时，脑子也没闲着。他在思考一个老问题：波 and 粒。一个想法渐渐成熟，但是，缺少有力的支持。听说了小海的新发现，玻尔心头一动，急忙赶回来看小海的论文。

他要跟小海好好交交心。

互补原理

自从搞上了物理，玻尔就始终被一件事纠结着：波 or 粒？

一开始，玻尔相信波，甚至为了波，面对光电效应的无敌战车，他不惜斩杀守恒定律，来捍卫麦爷的王国。对爱因斯坦和德布罗意兄弟相信的波粒二象，他嗤之以鼻。

矩阵力学建立后，玻尔渐渐转向了粒，面对薛定谔伟大的波动方程，他宁可承担死不认错、悍主虐客的恶名，也要遏制

波动的复兴。

老薛走后，他解放思想、转变观念、与时俱进，认清一个残酷的现实：任何抹杀波或粒的企图，都是逆历史潮流而动，都不过是螳臂当车、不自量力，搬起石头砸自己的脚，必将碰得头破血流、自取灭亡。

于是他试图说服小海与波和平共处，结果两人大战数月，互相折磨得筋疲力尽，火烧火燎，却毫无结果。这是他辩论生涯中的第三个败笔——于玻尔而言，没捡到，就算丢了；不胜，就算败了。辩论中，玻尔错过，但从未败过。当然，一旦意识到自己错，他一定会认。

为什么小海死也不服？因为连玻尔自己都不服：波和粒怎么可能和平共处？虽然矩阵力学、波动力学分别表明：粒、波都是必然存在的；虽然双缝实验、光电效应也分别证实：波、粒都是真实存在的。但是，怎么能从物理上去理解，一个又是粒、又是波的世界呢？这将是一幅多么荒谬和不可思议的图像啊！

玻尔的痛，有谁懂？他需要一个解释，给世界。

挪威。童话般的雪山上，玻尔脚踏滑雪板。耳畔，有风掠过。一幅温馨的图像倏然闪现：钱。太俗了！换个说法：货币。硬币、纸币都有正反面，一面是波，一面是粒，它们互斥而又互补。你看到一面，就看不到另一面。但是没有另一面，它就不完整。不要玩儿“折弯两面皆可见”之类的脑残急转弯，全世界人民都知道，这只是比喻。玻尔的这套理论，叫“互补原理”。

但这个解释，只是一个哲学式的物理外壳，它缺少一个强悍稳固的物理内核。

而当玻尔看到海森堡论文时，他知道，这就是他要的那个内核。但是，这个内核与外壳不配套，需要改造。于是，海森堡一直提心吊胆的事件终于拉开了序幕——玻尔带着满脸诚意

和执著扑面而来。

玻尔提出的问题是：为什么不确定？

小海的回答是：因为测不准。

玻尔：为何测不准？

小海：电子本来就没有什么准确的 p 或 q 。你只有测量了其中一个，它才有意义。但只要你一测量，就会因为干扰，丢掉另一个。

玻尔：你的结论，是从什么推导出来的？波还是粒？

海森堡一听“波”这个字就冒火：波？我讨厌波！好吧，我从来没考虑过什么波。Look, 我的显微镜实验，“聚焦能力(分辨率)提高”与“路径改变增大”之间的矛盾，导致我们无法知道光子从何而来；光子踢飞电子造成的干扰，导致我们无法同时获得 p 和 q 。很明显，这个结论，当然是从不连续的粒而来！

小海倒霉就倒霉在这显微镜上了。他大概忘了：博士论文答辩时，他的实验题就栽在显微镜上——而且，也是关于分辨率的问题！

玻尔早就看出，这个实验渣的显微镜实验分析中，有一个关键错误：

聚焦导致路径变化，实质上只是折射角的问题，我们知道，折射、反射的计算，早在 300 年前，就已经被斯涅耳、费马他们搞定了。而显微镜的各类参数，都是已知的，我们可以根据这些数据，倒推光子从何而来；至于动量，根据康普顿效应，光子和电子相撞后，也是可以计算动量变化的。

所以玻尔说：“你的显微镜实验是错的。”

小海的反应很果断——他义无反顾地哭了，内牛满面地跟玻尔吵了一架。这场物理学术交流，差点变成江湖恩怨。

玻尔认为，显微镜无法精确测量 p 和 q 的根源是，不可能确定光子是从哪个点入射的。当光子撞上电子，在测量之前，

我们没法确定二者的位置，也没法限制光子必须从哪个点入射；同时，不管多牛的显微镜，它的孔径是有限的，也就是说，分辨率有限。这些，都从理论上一致否定了用显微镜精确测量的可能。

其实，对海森堡来说，显微镜实验分析错误，还不是大问题，改过来就行了。让他火冒三丈的是，玻尔认为，必须动用波函数，来分析漫射的光子，波粒结合，才能完美地解释不确定性原理。

为什么不确定？因为“粒”同时也是“波”。是波粒二象性导致了不确定！

具体来讲，用波来解释不确定，更方便。如果把电子看成波，那么，你想得到它的确切位置，首先得要求它在空间越集中越好，界限分明，不能飞散。但是，计算表明，你越想让它局部化，需要的波长种类就越多。举个不太恰当的例子：你用一堆大小、形状差不多的石块，砌一个圆球，只能做到形状上大致类似圆球，因为它的表面肯定起伏不平、石块之间也不牢靠，想让它更牢、更圆、边界更清晰，必须用更小块的材料，比方说石子、沙粒、水泥来填充、补平、黏结。但是，波长的种类越多，它的动量就越模糊。反过来，你想要一个确定的动量，就只能用单一的波长。波长种类越少，波就越分散，空间局限性越差，位置也就越不确定了。所以，不是测不准，是本来就不确定。

海森堡坚决不接受这种解释。

薛定谔的波动方程问世以来，一直仗着讨喜的外表、广袤的人脉，以压倒性的优势，欺负着长相怪异、性格孤僻的矩阵力学。海森堡强烈不满、强烈抗议、强烈谴责，也无济于事，只能深表遗憾。现在，他终于从不连续的粒子性出发，导出了伟大的不确定性原理。这个新成果，让他信心倍增，尤其是得到泡利师兄的盛赞之后。他本来打算，尽快发表这篇论文，用

这个新武器击溃波动力学。但是，半路杀出了玻尔，生生要把不确定性原理分一杯羹给波，与粒平起平坐，共同开发！真是岂有此理！不确定性原理自古以来就是粒方的固有领土啊，不可分割啊！海森堡严正交涉，玻尔不为所动。双边关系骤然紧张起来。

互相看着不爽，都想避而不见，以免引发新一轮冲突。但是，这二位的房间门对门，办公室也相邻，一衣带水，低头不见抬头见。不容易啊！

小海情绪很不稳定，玻尔精神高度紧张。改变 or 维稳？这是个问题。整个哥本哈根的空气变得不和谐起来。大家都别别扭。

一直这样别扭下去，谁都不好受。为了打破尴尬局面，敌我双方同时想到一个终极裁判——泡利。玻尔和海森堡纷纷邀请泡利来哥本哈根一趟：我俩闹僵了，赶快滚过来评评理。但泡利这时在兴致勃勃忙乎别的，果断表示他没时间来当裁判。于是这二位只好硬着头皮，继续杠下去。

凭借“粒”起家的海森堡，对“波”有着天然的、强烈的排异反应。但玻尔的互补原理、以及他对不确定性原理解释，都是以波粒二象为基础的。“互补原理”不能没有“不确定性原理”。因此，把“波粒二象性”这个古怪玩意儿，妥妥地植入不确定性原理发现者的思想，是玻尔大夫必须完成的高难手术。

玻尔强调：波和粒，虽然是“互斥”的，看上去不共戴天，但实际上，它们是“互补”的，谁也离不开谁，就像一个硬币的两面、一块磁铁的两极。我们单看其中任何一面，都是不完整的。

说到这，那个老问题又冒出来了：既是粒又是波的物体是个什么样？我们能见到吗？

玻尔的答案是：不能。不管何时、何地，也不管你前看后看左看右看垂涎看批判看，总之无论用什么办法去看，电子，

或者光子之类的小家伙，只肯给我们展示其中一面，要么是粒，要么是波，绝对不会是二者合体或叠加的“粒状波”、或者“波式粒”。

重点来了：它究竟什么时候是粒，什么时候是波呢？

玻尔神秘一笑：它任何时候都是粒，任何时候也是波。它只是有时看起来是粒，而有时看起来是波。

好吧玻尔，我们全都被你打败了。现在才是真正的重点：它什么情况下看起来是粒，什么情况下看起来是波呢？

这实在是个好问题，因为用词比较准确：“什么情况下”、“看起来”。

玻尔诡异地一笑：这事儿，你说了算。

啊？！

玻尔：也就是说，它什么情况下看起来是粒，什么情况下看起来是波，取决于你怎么看。

啊？！！

所有人听到这句话，都会目瞪口呆。因为这句话，出自一个物理学家之口，而不是一个玄学家、神学家或者哲学家之口。虽然玻尔本身也称得上是一个哲学家。但是，他正在说的，是一个物理问题！

民间传说，苏轼和佛印论禅，相对打坐，问对方看到什么。佛印说看到一尊佛，苏轼说看到一坨屎。苏轼以为得胜。传说中的苏小妹评曰：“心中有佛，看什么都是佛；心中有屎，看什么都是屎。”断定哥哥输了。这种论断，在玄学、佛学等领域，作为一种机智思辨，用于谈经论道、心灵鸡汤之类的闲事，我们可以理解，也可以接受，毫无问题。但它经不起哪怕是哲学式的严格推敲：如果有人看希特勒、斯大林、东条英机、生化武器、梅毒之类的玩意儿也是佛，那么，TA脑子里装的是什么呢？应该不是佛，而是水，是吧？这种一较真儿就露馅的偈语，如果用在科学上，那就让人大跌眼镜了。

现在，玻尔的观点，乍听起来，简直跟苏小妹的禅悟如出一辙。怎不令闻者瞠目结舌、下巴落地！

玻尔当然明白这一点，所以，他解释得相当清楚：你选择什么观测手段，决定了你看到的是什么。就拿光来说吧，在双缝实验中去观测，你看到的就是波的一面；在光电效应实验中去观测，你看到的就是粒的一面。

举两个简单的例子：

在一个平面上，画两个相切但不重合的圆圈。我们来 Look 下，它是 8？是 ∞ ？是眼镜？很显然，三者都可以是，你看它是什么，它就是什么。但它不可能同时是 8 又是 ∞ 还是眼镜。

(^_^)这是什么？这是一堆数学符号，可是你为什么要把它看成一张笑脸？是的，你在数学公式里看，它们就是数学符号；你把它们这样组合起来看，它们就是人脸器官。

所以，你看到的是什么，是由你自己决定的。你选择怎么去看，决定了你能看到什么。

嗯，理是这么个理。可是，怎么听，也有法师点化青年的意思。

好吧，上面的例子，虽然够直观，够简单，但说服力不那么强，并且有点诡辩的意思。因为，我们讨论的是世界本质问题，用这些抖机灵式的论辩技巧，说得赢，但说不服，说不清，说不通。不能让人真正地理解问题。

所以，下面，咱俩说点正经的。

实际上，我们看世界，都是借助观测工具去看的，这些“工具”，包括手电筒、显微镜、望远镜这些人造物，也包括我们的眼睛、鼻子等等自然物。

用不同的工具，能看到不同的东西，也就是能观测到不同的结果。这个，没意见吧好的一致通过……这位同学说什么？你有意见？！

OK，虽然我们的台词里没有这句，但，既然你说出来了，

咱俩就较个真儿。

夜。无月。天，是黑的。地，是黑的。上下都是黑的！

黑夜给了你黑色的观测工具——眼睛，而你，却正在用它寻找光明。

光明未现，一袭黑影，却迎面飘来。悄然无声。仿佛一缕风。

但你心中，却惊雷乱炸！难道……？！

强光乍闪。不是雷电，而是你的手电，射出一道光。

一个美女俏生生地出现在眼前。肤白如雪。

黑影怎么变成了美女？答案很简单：因为夜里光线弱，你只能看见黑影。而用手电筒一照，有了足够的光源，你也就欣赏到了美女。用不同的工具，可以看到不同的东西，没错吧？

这还是诡辩！的确，在夜里，有手电和没手电，看到的东西当然不同。但是，手电只是帮助我们看清了事物的本来面目，并不是改变了事物的形态——她“本来”就是个美女，只要我们看清楚了，就能确定她是个美女，不可能我换个观测工具，她就不是美女了。

是吗？你用 X 光 Look Look 她，看看还是不是美女？

你这是抬杠，不管用什么看，她也不会变成一条鱼！

OK，不要激动。通过美女的例子，咱俩至少可以在两方面达成共识：A.工具可以帮助我们看到更多东西；B.看到更多东西，会改变我们对事物的认知。就像刚才，对同一个物体，先是被吓死，然后被迷死。

以上没问题吧？好的继续。

你刚才提到“本来”，是吧？你认为，不管什么东西，它都有一个客观的、“本来”的面貌、特性，不管你怎么看，也不管你看不看，它都是那样，富贵不能淫，贫贱不能移，威武不能屈，对吧？而人们要做的，就是用尽各种手段，看清它的本来面目，没错吧？

好的，现在，咱俩就来探讨“本来”的问题。

咱俩在上部已经讨论过，不同动物的感官，各有所长：响尾蛇能看到红外线；蜜蜂可以看到紫外线；大象能听到次声波；蝙蝠和蛾子能听到超声波；老鼠、狗、王蝶等动物的嗅觉比人灵敏成千上万倍；许多昆虫、鱼类、两栖类、爬行类、鸟类和哺乳类动物都能感觉地球的磁场，用它来导航……看，各路英雄都到齐了，可以公平、公正、公开地探讨事物“本质”了。

题目是：上述那个美女的皮肤“本来”是什么颜色？

颜色，对人类的认知来说，是个直逼“本质”问题，因为我们的第一感，就是视觉。世界在我们眼里，就是各种颜色的组合。想准确地观测一个物体，如果只能选择一种感觉，首选就是视觉。不信？买一样东西，但不准你看，只让你从摸、听、舔、嗅中选一样，你肯定不干——哪怕是买吃的。而只看，不准摸、听、舔、嗅，这个还是勉强可以接受的——回想下，你买食物时，在很多时候，是不是只用看，不用摸、听、舔、嗅就可以买？是的！

现在，你我都同意，通过分辨颜色，来探讨“本来”，是毫无问题的。所以，回到这个问题：上述那个美女的皮肤“本来”是什么颜色？

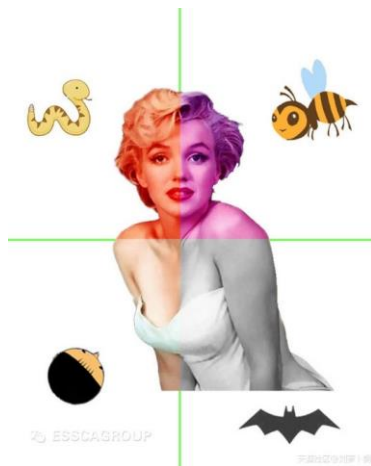
这还用探讨吗？咱俩都看见了，妥妥的：“肤色如雪”。她很白。

但响尾蛇不同意，因为，在它看来，美女的皮肤是红色的！

响尾蛇话音未落，蜜蜂就笑了，因为眼前这个美女，皮肤明明是紫色的！

噗通！蝙蝠掉下来了，怎么回事？这家伙笑岔气了。在它看来，颜色是没有意义的，因为它既能用眼睛看东西，同时也能用超声波精确地“看”到各种物体，这种“看”法，没有颜色，但能够清晰地分出大小、形状、质感。对蝙蝠来说，这样“看”，也足够清楚了。蝙蝠用超声波“看到”的图像是什么样

呢？这个目前还不好说，但可以借鉴 B 超图像去理解——用 B 超“看”美女，大致就是蝙蝠对美女的印象。



【图 9.5】意见不一致

这下坏了，大家意见不一致！搞少数服从多数也搞不赢，这种事还不好集中。那么，谁的意见是对的？谁看见的是“本来”颜色？

这里，我们公平地、客观地、理性地说，大家的意见都是对的，因为，物体其实……没有什么“本来”颜色！

物体的颜色，是什么决定的？是你选择的观测工具决定的。你用蜜蜂的眼睛去看，她就是紫色；用响尾蛇的眼睛去看，她就是红色；而用蝙蝠的超声波去“看”，她的表面，跟任何颜色的雕像表面都没啥分别，只是质感有别。追问她“本来”是什么颜色，毫无意义。这一点，我们跟色盲患者交流一下，各种颜色的区别，可能会加深理解——谁也不能肯定她“本来”是什么颜色。

可以肯定的是，不管你用哪种观测方法，她的皮肤不可能同时是白的，又是紫的，而且是红的——不要玩儿什么受伤后

姹紫嫣红的脑残急转弯，全世界人民都知道，我们是指同一处的颜色，不可能又白又紫又红，把美女换成一张白纸，这个结论依然有效。

白、紫、红，这几种“互斥”的颜色（光），其实都在，只是，你选择任何一种观测方法，都只能看到其中一种颜色。波和粒也是这样，物质是波，也是粒，波粒二象，是物质的“完整”特性，但，不管你怎么去观测，都只能看到其中一面，要么是粒，要么是波。好吧，这就是玻尔的“互补原理”。

玻尔认为，海森堡的不确定性原理，恰好从数学上表达了波粒二象性。而互补原理，则是从哲学上概括了波粒二象性。

上面的颜色本质讨论，一定让人心有不甘：难道，就没有一个统一的认识？难道，就只能让观测工具说了算？难道，颜色就没有一个客观的、公认的本质？

其实，这个问题，我们可以分两步继续探讨：1.颜色；2.我们眼中的颜色。

1.颜色。这个问题，在上部就已经探讨过。不同颜色，实际上是不同频率的光，刺激视网膜后，反映到大脑中的结果。还记得“一块蓝布”吧？我们之所以看它是蓝色，实际上是因为它“不要”蓝色光波，将其反射（我们忽略掉电子跃迁过程）到我们的视网膜。它把蓝色都抛弃了，那么，它“本质”上是什么颜色？肯定不是蓝色！

2.我们眼中的颜色。有多少人想过这个问题：你感觉到的红色，是不是我感觉到的红色？换句话说，我看到红色的感觉，跟别人看到红色的感觉，是一样的吗？如果没认真想过这个问题，人们会天然地认为，大家看到的是同一种颜色，那么，在大脑中造成的“映像”，就必定是一样的。相同的颜色，就是相同频率的光波，对每个人都一样。我们的眼睛能够辨别一部分不同的光波，反映到大脑中，分别形成某个固定的“映像”，就是“颜色”。通过交流，大家能统一认识，一致认定某个波长的

光是某色。但是，仔细想想，同一频率的光波，反映在不同人大脑中的那个“映像”，姑且叫“色感”吧，果真一样吗？同样是国旗红，你感觉到的，会不会比我感觉到的淡一点？或者干脆，你感觉到的那个“红”，其实跟我感觉到的“绿”是一样的？你说不可能？那我们只好不厚道地请色盲患者出山证明。有的色盲患者完全分不出红色和绿色，认为它们是同一种颜色。那么，他对这“一种颜色”的感觉，是和你的“绿”感觉一样，还是和你的“红”感觉一样呢？至少有一种颜色，与你的色感不同，或者，和你的这两个色感都不同。

这就出现一个问题，有没有这样一种可能：我们这些所谓“视力正常”的人，所认为的一种颜色，在某种动物看来，其实是两种完全不同的颜色？

答案是：完全有这种可能！

因为，所谓“色感”，本质上是不同光波刺激视网膜，反射到大脑中，形成的映像。不同的动物，视网膜结构不一样，对光波分辨的敏感程度也就不同，色感，当然就不一样了！最直接的证据就是，红外线和紫外线，在我们“视力正常”的人看来，是“无色”，但在蜜蜂和响尾蛇看来，那可是浓浓的、绚丽的色彩哦！那么，你怎么知道，你看来的“纯”红色，在其他动物看来，是不是两种、甚至几种完全不同的色彩呢？

瞧，这就是“观测工具”不同，造成了观测结果不同。

现在回头想想看，那个美女皮肤的“本来”颜色是什么？

玻尔说，脱离了“观测”，去谈事物的“本质”，是毫无意义的。

观测，就是一个相互作用的互动过程，谁和谁互动？观测工具跟观测对象噢！你看，仪表指针的摆动，接收屏上的小点，计数器的声音，监视器上的数据，都是观测对象发出的光啊、电啊、波啊，等等，触发了观测工具引起的。有的观测工具，还主动向观测对象发射光、电什么的，引起反应，用来帮助观

测。所以，在观测对象和观测工具之间，至少要进行一个粒子的能量交接，才能完成一次观测。

没有互动，就没有观测。互动作用产生的信息，被观测者截获、处理，变成观测结果。

由此看来，观测行为，不可能不影响观测对象。这些影响，对月亮、沙粒之类的大家伙，倒没什么，可以忽略不计，但对电子之类的小玩意儿，那可是要了亲命了。所以，观测行为必然影响观测结果，造成“测不准”，导致我们对量子行为“不确定”，这是无法改变的事实。

但是，玻尔认为，这样去认识“不确定”，还不够深刻。他指出：波粒二象性，才是“不确定”的根源。物质是不断运动的，量子行为，在粒运动的不连续性、波运动的模糊性之间摇摆不定，这才是“不确定”的本质，你观测也好，不观测也好，它都是不确定的。这句话翻译过来，很恐怖：

量子“本来”就没有什么确定的位置、动量。

结合刚才对颜色“本质”的探讨，结论更恐怖：

离开了测量，我们认识的所有自然量，包括动量、时间、质量、位置等这些物理量，都是毫无意义的。电子的质量是多少？动量是多少？它的位置在哪……这个，没人能告诉你。你必须先确定一个测量方式，从这个测量方式出发，去探讨这些所谓的量，才是有意义的。

上述翻译过来，主要有三方面的意思：

A.离开观测谈物理量，完全无意义。

B.完全没有可能观测的量，完全无意义。这样的量，理论完全用不着。比如上帝。

C.观测之前，电子没有什么动量或者位置，只有你观测了，才会有一个结果，也就是说，观测后，它才具有这些量！

经历了前面的几个广告，A和B，我们都不难接受。唯独这个C，简直让人忍无可忍！

什么叫“观测之前，电子没有什么动量或者位置”？难道，你不去看它，它就没有动量？连位置也没有？！

什么叫“观测后，它才具有这些量”？难道，你看了它一眼，它才突然生成一个动量，或者位置，供你赏玩？！

你以为你是谁？上帝吗？

自从盘古开天辟地、女娲造人补天时起，我们不管观测什么，从来都是不考虑、也不需要考虑观测者自身的。你看，或者不看，山就在那里，不来不去；你测，或者不测，云就那样飘，不徐不疾。是吧？滚滚红尘，浩浩宇宙，会因我们人类看或不看而改变？太自作多情了吧？！

“古人今人若流水，共看明月皆如此”。人啊，生生死死，已经换了不知多少茬了，但是，星星还是那颗星星哟，月亮还是那个月亮，山也还是那座山哟，梁也还是那道梁。物，是客观存在的，不会因为你我眼里有没有它，而改变性质。就算你是村长，星星也不会对你抛媚眼；就算你是皇上，月亮也不会给你笑一个。“花自飘零水自流”，它才不管你有没有“一种相思，两处闲愁”！在自然规律面前，所有人的最终结局，就是“物是人非事事休”，面对生命的脆弱和无奈，我们只能“欲语泪先流”。现在，你却说出“电子本没有动量和位置，我们观测后才有了动量和位置”这种话来，你还是物理学家吗？！

玻尔和海森堡一起点头，是的，我们当然是物理学家！其实，俺俩也很困惑，但，事实如此，俺俩也木办法！玻尔说：“如果谁不为量子论感到困惑，那么，他就是没理解量子论。”

你俩？！上述观点，海森堡全盘同意？你们的架吵完了？

是的，小海接受不了的是波，对于观测行为与物理量的关系，他跟玻尔意见一致。经过两个多月的大战，小海终于投降了，他同意波粒和平共处，共同开发不确定性原理。他在论文中承认，是玻尔让他注意到了“不确定是波粒二象性的结果”，在论文结尾，他对玻尔表示了感谢。这篇论文终于在5月底发

表了。

玻海大战也终于结束了。但直到这时，玻尔和小海的感情也没能回到从前。唇枪舌剑太激烈，两败俱伤，伤神伤身伤感情，搞得大家很不爽。后来，泡利同志专门去了趟哥本哈根，总算是消除了误会，平息了这场风波。



【图 9.6】玻尔和海森堡

对自己在辩论中的一些表现，年轻气盛的小海又羞又悔。6 月份，他专门给玻尔写信道歉。

不确定原理论文发表后，各个大学对小海的邀请如约而至。小海这次接受了莱比锡大学的邀请，成为德国最年轻的教授。这时，他还不满 26 岁。

论文发表前，应小海的要求，玻尔给爱因斯坦寄了一份副本，还顺便谈了一下他的互补原理。这时，他俩还在吵架。把论文寄给老爱，是希望老爱能给个意见。

但他俩失望了。老爱没有回音。原因不详。也许，老爱看到论文后，感到很忧伤，不想回复吧。

这也难怪，纯粹、优雅的物理理论中，突然闯进了“观测行为”这个怪胎，一出场，就挑战物理的根基——物理量的客观性，这不是革命，这是夺命！

本来，搞测量，只是我们取得客观物理量的手段，测量固然重要，但在物理学中，它只是一个必不可少的辅助行为，物

理量、物理理论才是主角。怎么搞来搞去，“测量”这事儿喧宾夺主了？这下可好，谈物理，必先谈测量。今天，你测量了吗？不谈测量，物理学家都没法和人打招呼。凭什么啊？！

尘埃未定

玻尔滑雪归来后，主要做了两件事：拼命说服小海改论文；拼命改自己的论文。这两项工作都相当辛苦。一个作文超烂的人，一边要改自己的作文，一边还要劝别人照自己的想法改作文，容易吗？！

海森堡让了一步，作文发表了。天才就是这样让人羡慕嫉妒恨：只讨论看得见的东西，得到矩阵力学；而讨论看不见的东西，又得到不确定性原理。上帝是你家的小时工？

而玻尔，还在奋发图强地改自己的作文。入我相思门，我在改作文。曾经沧海难为水，我在巫山改作文。洛阳亲友如相问，就说我在改作文……

和往常一样，内容改了又改，题目也换了又换，这可苦了助手克莱恩：大师，您就不能想好了再写么？干嘛一个劲儿地改？折腾来折腾去，已经完全跑题了！本来，是想写《量子论的哲学基础》，干净利落地推出互补原理。现在倒好，改来改去，不知啥时变成了《量子假说和量子理论的近期发展》，谬之千里啊大哥，你把整个新量子论都绕进来了，互补原理只是其中一部分！你是在学人家侃物理史吗？

其实玻尔也不想跑题的。他是没办法。这篇作文习惯性难产，耗时太长，写着写着，发现离9月份不远了——这个月中旬，在意大利科莫，要召开国际物理学大会，纪念电池之父伏打逝世100周年，会期10天。玻尔打算在这个会上报告量子论的新成果。反正也要写一篇报告，恰好手头这篇没写完——这篇都费劲，再加一篇还不要命！于是笔锋转了几转，就跑题了。

玻尔认为，量子论的主体结构已经完成，他要给整个量子论一个说法。这很重要。

矩阵力学和波动力学建立后，新量子论有了相当成功的运行内核，功能强大，但始终没有一套合适的理论框架，也没有基本原理。就像一支强悍的军队，已经实质上掌控了一方疆土，攻无不克，四海宾服，却没有一套科学的建国理念，没有一个有效的政府组织，全仗蛮力维生。这种场景，有点像攻陷了京城，却一时不知干点啥好的农民军。

现在，终于到了收拾河山、整纲肃纪、结束混乱局面的时候了。

光阴似箭。1927年9月11日，科莫。大会胜利召开。而玻尔，还在紧张地改作文。直到16日，才不得不定稿。因为这天，轮到他讲演，他要读这篇报告。

这是互补原理的首次公开亮相。在互补原理的框架下，玻尔梳理了新量子论的基本脉络，把不确定性原理、观测的离奇作用、概率解释混搭在一起，构成量子力学的理论基础，这套混搭，史称量子力学的“哥本哈根解释”。准备了几个月，玻尔的讲演思路清晰、结构严谨、语气柔和，但大家听起来，却是字字惊雷，如坠云雾，饱受了一场思想过山车——这些新观念太奇特、太疯狂、太不可思议，个顶个的不省心！互斥又互补啊！不确定啊！概率啊！观测逆袭啊！一下子搞这么多古怪，谁受得了？！

看看吧：物质既是粒，又是波；波是连续的，但粒是间断的，所以世界既是连续的又是间断的；波粒互斥又互补，缺一不可，但从不同时出现；你看到的是粒还是波，取决于你怎么看；物理量这东西，你测则有，不测则没有；世界是不确定的，在我们穷追微观世界的路上，这是一道不可逾越的红线；所以它是概率的；概率和不确定性说，因果律靠不住，而不确定性和互补原理说，客观性靠不住；想知道结果？请用波动方程或矩阵！

不管是谁，第一次听到这种话，都会认为说话的人神志不

清。如果台上讲演的不是玻尔，台下一定会有很多物理学家联系精神病院。

在物理界的一片哗然声中，量子论三大核心原理——玻恩的概率诠释、海森堡的不确定性原理、玻尔的互补原理，携手强势登场了。

概率，是量子世界的客观表现；互补性，是量子世界的哲学框架；而不确定性，是整个量子论的核心。这一切，都来自波粒二象性。

三百年来，当波粒大战风起云涌，各路英豪逐鹿正酣时，谁曾想到，势同水火，不共戴天的波和粒，有朝一日竟然双剑合璧，催生了疯狂的量子巨人，尚未站稳脚跟，便摧毁了经典物理王国的根基。

这位童鞋问：说得这么热闹，有实验支持吗？

当然有！不然的话，这个神神叨叨、无数牛人欲诛之而后快的哥本哈根解释，早就灰飞烟灭了！

实验名叫“单电子双缝实验”。经过 N 次的波衍射、干涉实验，咱俩已经知道，衍射、干涉的发生，跟波长与缝的宽度、缝的间距，有密切的关系。由于电子波长太短，想让它发生衍射和干涉，它所通过的缝宽、缝间距必须十分微小才行。前面提到过，也是在 1927 年，戴维逊、小汤姆逊搞成了电子衍射实验。他们利用的金属晶格，奋斗了一年多时间，只得到了衍射图像——也就是只解决了缝宽的问题。而干涉，不仅需要合适的缝宽，还需要缝间距合适的双缝，可见，想要得到电子的双缝干涉图像，是有多难。当然，除了尺寸问题，还有许多技术难题，比方说，你怎么保证每次只发射一个电子？等等。

所以，这个实验一搞就是几十年，直到 2013 年，才算完成了全套动作。为了验证哥本哈根解释的预言，全套动作包括：

1. 让单电子过双缝，看它怎么过，过去后会怎么样。
2. 两缝任意开关，看电子的反应。

3. 监控某缝，看看电子究竟走的是哪条。

实验发展的大概历程：二十世纪 60 年代初，实现了电子束的疑似双缝干涉；70 年代中期到 80 年代末，用电子双棱镜、晶体层间距等代替双缝，取得了单电子双缝干涉的统计结果；从 2008 年开始，在纳米加工技术支持下，实现了第一个真正的、可供电子进行干涉的双缝，但不能随意开关双缝；2013 年，完成整套规定动作。

过程太琐碎，就不细说了。但是为了满足咱俩的好奇心，聊两个技术问题：

足够细微的缝宽、缝间距，先是利用晶体的层间距实现的。晶体的原子排列够规则，间距也够小。但是，不管你怎么弄，原子排列是纯天然自动的，在尺寸等各方面不那么尽如人意。后来，纳米技术的兴起，为制造标准双缝提供了技术可能：用聚焦离子束在 100 纳米左右厚的氮化硅薄膜上，成功开了两个 60 纳米左右宽的窗口——这是真正的“狭缝”，还镀了层金！两个窗口的间距为 270 纳米左右。为嘛要镀金？当然不是为了扮土豪，而是因为氮化硅是绝缘体，电子打在上面，会带负电，电荷积累到一定程度，会骚扰路过双缝的电子。金子性质稳定，导电性强，镀上金，就有了一层绝佳的导电膜，电子打到上面，随时导走，免除了拦路骚扰。

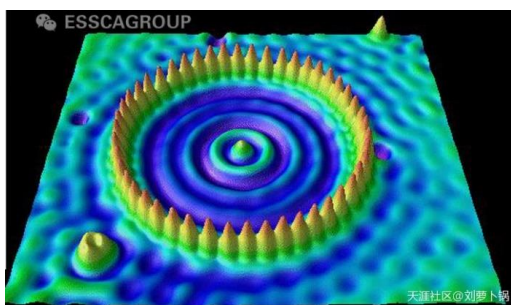
电子发射，还不能做到像手枪那样，把子弹一发一发打出去。但是，可以减少发射量，就像机枪那样，虽然子弹也是连发，但分得出先后，而不至于像水枪喷水那样，无数水分子一泻而出，搞不清谁是谁。这样，在发射的间隔时间内，只要保证屏上只能接收到一个电子，就 OK 了。接收方面的技术难题，包括接收屏的感应（电子能量的检测）、精确计时等等，就不细说了。对了，实验中，电子的速度大概是 12000 公里/秒。

由于实验设备高端大气上档次，所以，目前国内还做不了。不过，在国外一些高端实验室，这个实验是想做就做，立等可

做，可随便重复。所以，实验结果相当靠谱。下面，轮到咱俩做这个实验了。整套实验设备虽然相当的高端，但基本原理，跟托马斯·杨当初玩儿的差不多：电子经过双缝，投射到接收屏上，Over。整个实验过程，咱俩相当熟悉。下面做个经典的实验，就当热身复习：

一束电子，经过单缝，投射到屏上，会怎么样呢？我们知道，屏上一定会出现衍射图像。这个实验，就是戴维逊和小汤姆逊抢挖的那座金矿：电子衍射实验；那么，电子还是那束电子，经过双缝，投到接收屏上，又会如何样呢？我们知道，被双缝衍射后的两束电子，相互干涉，一定会出现那熟悉的、美丽的干涉条纹。

这说明，电子真的是波。实际上，电子是波这件事，已经被“直接观测”证明。1993年5月，美国人克罗米(M. F. Crommie)和他的同事，在 4K 温度下，用电子束，把铜表面的铁原子排列成一个圆圈，这个圈很小，只用了 48 个铁原子，半径才 7.13 纳米(10 亿分之 7.13 米)，铁原子之间的距离，只有 0.95 纳米。所以，这个圈有一个很酷的名字，叫“量子围栏”。它能围住铜表面的电子。围栏里，可以观测到“同心圆柱状驻波”——它就是传说中的电子。



【图 9.7】电子围栏（图片来自网络）

OK，热身完毕。现在，我们要搞的是，单电子双缝实验。

朝双缝发射一个单电子，在接收屏上，会出现什么？

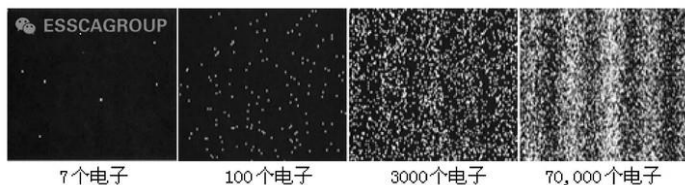
对不起，让大家失望了，是一个小点。没错，是个小点，而不是一滩模糊的“波晕”。小点，这事儿，只有“粒”才干得出来。看来，电子又变回了“粒”！那，为什么一束电子打上去，就能看见条纹呢？

为了看清楚条纹是怎样炼成的，我们一个一个电子来发射，一直发，一直发……发现，电子并不总是打在同一个地方，而是弄得到处都有——国足出身？照这样下去，接收屏上的每一处，似乎都有可能打到。不过，随着电子越打越多，你会发现，虽然每一处都可能被打到，但有的地方多，有的地方少，疏密有致，打着打着，图像就慢慢显现出来了——那个干涉条纹神一般地浮现在屏上！原来，干涉条纹，是由无数小点组成的！宛若像素，打得多的地方亮，打得少的地方暗。这说明，电子还真是按照“概率”落脚的！虽然不知道它一定落在哪儿，但可以算出，它落在各点的概率是多少！这一轮实验，得出两个结论：1.电子行为，果然是概率的；2.至少从显示屏上小点来看，电子本质上还是粒啊！

But，等等，同志们，好像有点不对劲：电子束穿过双缝，被衍射成两束扩散的电子，然后相互干涉，搞出条纹，这很好理解。可是，现在，咱俩每次只发射一枚电子。单电子出发后，发现前面有两条缝，它会怎么过？要过，只能过其中一条缝，顶多发生衍射，它不会发生干涉，干涉这件事，从来都是团队合作，它一个电子，孤孤单单的，跟谁干涉去？以此类推，不管哪个电子，单独上路，它只能通过其中一条缝到达接收屏，是吧？所以，单电子双缝实验，屏上应该出现两个差不多的衍射图像才对，怎么会会出现干涉条纹呢？！

可是，屏上偏偏就出现了干涉条纹！问题出在哪儿？刚才的分析，思路清晰，逻辑严谨，高屋建瓴，内涵深刻啊！实践告诉我们，当严谨的逻辑，得出与事实不符的结论时，八成是

前提出了问题！



【图 9.8】单电子双缝干涉实验图样

上述有两个前提：1.单电子打到屏上，只能经过某一条缝；
2.单电子没法发生干涉。

实验结果是：出现了条纹。

我们现在开始反推：

1.条纹是干涉造成的。而我们每次只发射一枚单电子，所以，每个电子，一定都发生了干涉。

2.如果电子只经过了其中一条缝，它就只能衍射，而不可能干涉。所以，每个电子都经过了两条缝！

然后……它自己和自己发生了……干涉！因为当时没别人，只有它自己！电子自我解决问题的能力，值得广大干部和屌丝学习。

啊？！

一枚电子，在屏上只能砸出一个小点的电子，会“同时”经过两条缝？！穿越这条缝时，也在穿越那条缝！这句话翻译过来就是：在同一时刻，电子可以既在这里，又在那里。

喂，你在哪儿？

我在北京和纽约——这是人话吗？

这事儿，连孙悟空都做不到，老孙分身，那是化身。而电子玩儿的，到处都是真身！

这怎么可能！可是，不管这事儿看上去有多荒唐，它就是发生了，一如你我生活中的所见所闻那般神奇。所以，咱俩强悍的心脏顶得住，可以继续。

上面这些个推论，让我们不得不接受一个残酷的事实：电子可以自己和自己发生干涉！

好吧，就算这样，也不能证明，电子一定是同时穿过了两条缝！

那么，亲，它怎么做到干涉呢？你必须注意，干涉条纹，是由缝宽、缝间距、电子波长相互影响决定的。缝间距不同，条纹也不一样，缝间距过大，就没条纹了。如果电子不是同时经过了两条缝，而是经过了一条缝，比方说 A 缝吧，那么，它是怎么知道，另一边还有一条 B 缝，并且，它又是怎么知道两缝的间距，从而计算出自己应该按照某个概率砸在哪儿呢？

咳咳……没错，电子它是个粒子。但是，不是说好了“波粒二象”吗？那，伴随着它的，必然有一种波，就像物质都会有引力，带电物体运动都会伴随着电磁场一样。薛定谔方程也显示有波相伴，玻恩说是概率波。这个很自然吧？那么，电子前往双缝时，这个概率波也伴随着它，虽然电子的真身最终只经过了一条缝，但它的波是在空中弥漫，完全可以探测到还有另一条缝，并且可以探知两缝的间距。这样，它就知道了应该以怎样的概率砸到屏上！概率波嘛，对概率当然门儿清……咳咳，俺知道，这话听起来不是很靠谱，但是，它一点也不比“单电子同时过双缝”更荒唐！

听君一席话，差点雷趴下。如君所言，电子是个驾着筋斗云飞来飞去的孙猴子，他还是个数学不错的测绘师？电子落脚的概率，不是通过干涉来决定，而是通过自己探测和计算来决定？！它为什么要探测旁边有没有缝？探测范围是多少？有统一标准吗？好吧，就按你说的办：电子驾着概率波，一个筋斗翻到 A 缝，与此同时，它的波探测到远方还有一条缝，有多远呢？两缝距离是自己身高的 270 亿倍（电子半径约 10^{-18} 米，缝间距 270×10^{-9} 米）！如果把电子增高到 1.7 米，缝间距按比例应扩大到地月距离的 120 倍！距离虽远，但毕竟有另一条缝在，

不干涉下，也过意不去，于是迅速算出落点概率，准备以一个风骚走位上屏。OK，就在它刚要进入 A 缝、走位、上屏时，咱俩关上 B 缝，电子会怎么做？是按照算好的双缝间距走“干涉位”，还是按照单缝走“衍射位”？如果它还是走干涉位，那它走错了。因为现在只有一条缝，该衍射才对，干嘛干涉？如果它走衍射位，那它违反了相对论。因为它必须在 B 缝被关的同时，立即得到消息，才能做到立即改走衍射位。如此遥远的距离，做到这一点，没有有超光速信号是万万不行的！

啊？！这个……世界上最遥远的距离，不是我就站在你面前，你却不知道我爱你，而是 270 纳米远的那扇窗，它是开是关，无论我知道与否，都是错的！好吧，我承认，我刚才的解释有问题。不过，你有更好的解释吗？

当然！最简单的解释是：电子砸到屏上之前，它是一缕波，概率波。只有波，才会飞散在空中，同时经过两条缝，自己和自己发生干涉！你关上一条缝，就少了一条路，它就没法干涉，只能衍射了！是不是又简洁又合理？

好吧，你的概率波穿过单缝走衍射位也好、穿过双缝走干涉位也罢，然后呢？

咳咳……然后嘛，概率波就来到屏前，按照相应的概率……落到……屏上……突变成了一个点。

哈！听君一席话，十分想撕书！说着说着，你自己就底气不足了吧？一缕幽灵般的概率波，在空中按照波函数漂移，穿过狭缝，来到屏前，那一刻，它在想什么？是三生石畔的月影，还是五行山下的年轮？以至于一触屏，便立即决绝地坍缩成一个小点？！凭什么啊？那缕旖旎的波哪儿去了？传说中的 72 变？！

这个……出于某种不为人知的原因，也许，将来会搞清楚……

不为人知？！是官员财产？是国家机密？难道都是？！

.....

这下坏了，不管电子怎么做，都会得出一个荒诞的推论。但是，单电子双缝实验的干涉条纹，却结结实实地摆在我们眼前，不容置疑，谁质疑我跟谁急！电子究竟是怎么做到的？干涉条纹的出现，到底是电子的测算成果，还是分身过缝的干涉结果？电子过缝风骚走位的背后，到底隐藏着怎样不为人知的秘密？砸上接收屏之前，电子到底是驾着概率波的粒，还是纯粹飘渺的概率波？敬请期待终审裁决：观测实验！

实验很简单：看看电子到底是走双缝还是单缝。

如果走双缝，那么，在上屏前，它就是概率波，上屏后才突变成了粒。

如果走单缝，并且产生了干涉条纹，那它就是驾着概率波的粒。

可是，有一个大问题：电子那么小，怎么“看”呢？最早提出要窥视双缝的费曼说，用光子观测之！所以这个实验也叫光子窥探。所以这个实验的原理就是：将仪器（这里就叫“监视器”吧）安在两缝，发射光子，撞上路过的电子，检测光子的散射角，就能判断电子行踪。但是，这样搞，会遇到一个解决不了的问题：测不准原理。前面说过这事儿，因为电子太小，想搞准电子的位置，就得用高频光子，用了高频光子，位置倒是搞清楚，但也把电子踢飞了，严重干扰了电子的正常走位，就好比跳水健将起跳后，到半空被一条大汉凌空一踹，预定落点、动作全废。电子遭此一踹，什么干涉、衍射，就都别提了。所以，这样搞法，与其说是“观测它路过哪里”，还不如说是“不管它路过哪儿，一律踢跑”，改变了监视对象的正常行动，就达不到“窥探”的目的。

怎么办呢？造成这种尴尬局面的原因，是光子能量足以踢飞电子。咱俩找不到更小的东西替光子去踢，却可以找到更大的东西替电子挨踢，体型大到让光子不那么容易踢飞它。于是，

就有了“原子双缝窥探实验”。原子是“质子+中子+电子”的混搭，这些小东西都有波粒二象性，所以原子过双缝，也能搞出干涉条纹来。是的，这个替身非常完美。

注意，原子来了！它像一缕清风，又像一支无影箭，迎着双缝大步来！它会经过哪儿？守在双缝旁的两个监视器，纷纷射出娇小敏捷的光子，Yes！有的光子撞上了原子这个庞然大物，螳臂当车的光子惨遭散射，横冲直撞的原子行踪暴露了！它路过了这条缝！哈！终于……咦？！

干涉条纹不见了！

这是怎么回事？！就连最小的氢原子，也比电子质量大 8 个数量级，也就是 1000 万倍以上，何况是光子？光子撞上原子，就像皮球撞上卡车，单从这一撞的能量上来看，对原子的预定动作，产生不了决定性的影响。

但，干涉条纹神秘消失了。就像从未存在过！见鬼！

关掉监视器，让原子自由自在地飞，干涉条纹又诡异地出现了。就像从未离开过！见鬼见鬼见鬼！

究竟发生了什么事？！单粒子过双缝，会产生干涉条纹，为了弄清楚条纹到底是“过双缝自我干涉”、还是“过单缝自我测算”产生的，咱俩需要“看”清楚粒子究竟路过了哪些地方。于是就“看”。然而，只是在人群中多看了你一眼，知道了你路过哪儿，你条纹却消失了——这就是说，你路过这儿，就不会产生条纹了！搞了半天，我们还是不知道，在可以产生条纹时，粒子是怎样路过的！

你不看他，他就把游戏玩儿得鬼泣神惊，你看他，他就把 Pose 摆得爱岗敬业，粒子拿人类当老板耍？！本来是想拿这个实验做终审裁决的，没想到，终审本身扯进了案中案！

这让我们产生了一个新的疑惑：导致条纹消失的，到底是“观测”，还是“泄密”？

这里要解释下：所谓观测，是指“看”的过程，比方说通

过发射光子等方式，去探测观测对象的行踪。所谓泄密，是指“可看”的结果，也就是观测对象的行踪信息被泄露出来，这个信息可以被我们看见。

二者的区别是：

“观测”，你去看，不一定看得见。比方说，你用波长过长的光子去探测，光子被散射后，你还是搞不清楚粒子的行踪。当两条原子路径的差，小于光子波长的一半时，就完全搞不清原子到底路过哪条路径。

“泄密”，不去“测”，也可以看得见。比方说，原子飞着飞着，掉了钱包。咱俩捡到钱包，就看到了它的路径。

总之，你“观测”，不一定得到信息；你得到信息，不一定非要靠“测”。

概念搞清楚了，那么，现在回到这个问题：导致条纹消失的，到底是因为我们去“观测”，干扰了它，还是因为我们得到了它的信息——哪怕没干扰它？

这个问题，引出两个实验：观测实验、泄密实验。

先是“观测实验”。重点在“测”。发射波长很长的光子，让它撞击原子。由于光子波长太长（能量太小），被原子撞飞散射后，我们还是测不出原子行踪。但是，这一撞表明：观测行为已经对原子造成了骚扰——尽管这个骚扰特别轻微。猜猜看，干涉条纹还在不？

竟然还在！这说明什么？

说明，我们也“测”了，也“看”了，也造成“骚扰”了，但是没看准，干涉条纹就不消失！

下一个实验：“泄密实验”。这个稍稍麻烦点：既要知道原子行踪，又不能骚扰它，怎么破？聪明的实验物理学家还真想出了办法！咱俩都知道，原子得到能量后，成了土豪，处于很能得瑟的受激态，一得瑟，就会掉钱包——发射光子，跌回屈丝态。我们要做的是，守住两个狭缝，只要捡到钱包，就能确

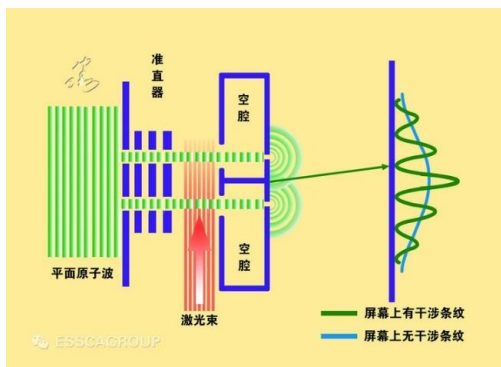
定它究竟走了哪条路。

用来捡钱包的设备是一种“空腔”，每缝配备一个，双缝当然就配备俩空腔，激发态的原子路过 A 腔，就会从 A 缝飞到屏上，路过 B 腔，就会从 B 缝飞到屏上。

这项试验，有个技术细节：要让原子保持受激状态的时间长一点，以免刚出发，还没进入空腔，就把钱包得瑟丢了。

瞧，一个个土豪原子穿过空腔，越过狭缝，撞向接收屏。这一路走来，钱包纷飞。这回，我们想知道这些土豪路过了哪条狭缝，就简单多了：A 腔捡到钱包（接收到光子），原子就是路过 A 缝；B 腔捡到钱包，原子就是路过 B 缝。我们没“测”，原子一路上丝毫也没受到骚扰，干涉条纹还在不？

竟然不见了！干涉条纹神秘消失了！！为什么？！还不赶忙看看，不用空腔，结果会怎么样？



【图 9.9】泄密实验。有兴趣的话可以了解一下“量子擦除实验”。

尽管经历了那么多，咱俩还是会被这个实验结果吓到：不用空腔，干涉条纹又神一般地出现了！

为什么？！面对这个实验结果的人，只有两种情况不会抓狂：1.他没看懂；2.他是上帝。

同样是土豪原子，同样是边走边掉钱包，同样是在泄露信

息，同样是一路丝毫没受到观测者的骚扰，但是，一个实验有干涉条纹，一个实验没有干涉条纹。而两个实验的唯一区别是：是否可以通过钱包判断它的行踪！

钱包掉在空腔里，我们可以推断原子走了哪条缝，于是干涉条纹消失；没有空腔时，我们即使捡到钱包，也没法判断土豪原子究竟走了哪条路，于是干涉条纹出现。

看来，只要泄露的信息对我们有用，干涉条纹就消失，泄露的信息我们没法用，干涉条纹就出现！

问题是，原子是怎么知道，它所泄露的信息，哪个对我们有用，哪个对我们没用？！

在两个实验中，土豪原子掉了钱包后，在钱包还没“落地”时，原子都是继续往前飞的，它不可能停下来看看，钱包到底掉在哪儿，并且也没时间分析掉在哪儿对人类有用，从而做出干涉或者不干涉的决定。但，它做到了：只要你能判断我的行踪，我就不干涉；在你没法判断我行踪时，我才肯干涉。

它是如何做到的？说到这儿，是不是感觉后脊梁一阵发凉，一种毛骨悚然的感觉倏然袭来？

实验的结果：

1.当我们知道粒子行踪时，不管用的是啥招，也不管有没有骚扰到它，干涉条纹都会果断消失。“知道粒子的行踪”，也就是确定它穿过了哪一条缝。翻译过来就是，当它确定地穿过一条缝时，就没有干涉条纹。它在什么情况下确定地经过一条缝呢？在它的信息可供我们了解其行踪的情况下。这句再翻译一下：不管是你“测”来的信息，还是它自己泄露的信息，只要你可能通过这些信息了解它的行踪时，它就立即给你一个确定的行踪。

2.在出现干涉条纹时，我们完全不能确定粒子走了哪条路。这句话翻译过来就是，在出现干涉条纹的情况下，我们完全不能确定“粒子不是同时穿过了双缝”。那么，根据 1，只要它确

定路过一条缝，就不干涉。而不干涉，就不会有条纹，所以，我们只好承认这个假设：出现条纹，是因为粒子同时经过了两条缝。

什么东西能同时经过两条缝？波。

综上，在我们没可能了解其行踪的情况下，物质表现出波动性，没有什么确定的动量和位置，或者说，它处于所有可能性的叠加态，各种可能性的概率不同，但不为 0，它“无处不在，又无处在”；而在有可能了解其行踪的情况下，这些可能性立即集中到一个点上，在这个点上的概率为 1，物质表现出粒子性，你可以观测出位置、动量之类的物理量。

再翻译一下：你不看它，它是虚无缥缈的波，呈叠加态；你一看它，它立马坍缩成粒给你看！这就是让你抓狂，让你神伤，披靡万千牛人，刺激无数心脏的“波函数坍缩”！

一缕波怎么知道自己何时应该变成粒子呢？它是怎么变的——坍缩的过程和机制是什么？上帝，你是在考验人类的承受能力吗？！

薛定谔方程与这些诡异的实验结果，神迹般地保持一致，那个莫名其妙的波函数，不仅在方程里排布迷阵，它竟然还真的游弋在空间，一本正经地演给你看，好让你开窍：这个世界是有多么的不可思议！

哥本哈根解释如果真的是荒诞的，那倒没什么，古往今来的荒唐事儿多了去了，也不多这一个。愁人的是，实验表明，面对这个荒诞的世界，不信荒诞的哥本哈根解释，倒显得荒诞了。

咱俩紧跟物理学家们踉踉跄跄的脚步，兴致勃勃地攀爬到今天，却发现前方的路越来越奇诡，路上的风景，越来越让人抓狂。让人稍感安慰的是，物理学家们一点也不比咱俩好过（这是啥心态！）：

玻尔：如果谁不为量子论感到困惑，那他就是没理解量子

论。

薛定谔：如果最终，量子力学被证明必然导向这种结果，我将后悔我的名字竟然会和它联系在一起。

爱因斯坦：我像鸵鸟一样把头埋在沙子里，就是为了不看到量子论那丑恶的面容。

海森堡：我们正陷入极为困难的境地，神经都要崩溃了。

费曼：没有人真的理解量子力学。

克拉默斯：量子力学很像这样一种理论，它先让你笑俩月，然后让你哭一年。

它毁的不止是三观，更有人类千百年来积累的知识自信。我们的每一个新发现都在说：你原来的认识是错的！还有比这更愁人的吗？

好吧，就算识尽愁滋味，我们也无怨无悔。思想，只有点亮在追寻真理的路上，生命才有意义。所以，就算是为哥本哈根解释做个小小的总结，我们也要“为赋新愁强填词”：

江城子·哥本哈根诠释

物质迷云量子说。它是粒，也是波。互斥互补。演化时间河。函数本征概率波。一观测，便坍缩！

人机测量影响多。是什么？凭观测。不等共轭。不确定为核。挑战客观抛因果。二象性，作俑者。

哥本哈根解释后来成为量子力学的主流解释。所谓“哥本哈根解释”，它的版权并不归哥本哈根，因为它的成果不全是哥本哈根的人做出的，只是以玻尔研究所的学术群体为代表。不管你是研究所的、卫生所的还是派出所的，也不管你是哥本哈根的、哥廷根的还是阿根廷的，只要你拥护哥本哈根解释，就归为“哥本哈根派”。这不是一个具体的组织。不是哥本哈根成员，也可以是哥本哈根派的主力，比如玻恩；在哥本哈根访问学习并做出贡献的，也可以反对哥本哈根解释，比如狄拉克。

嗯，既然提到这两位了，那就接着聊聊他们的事儿吧。

有了矩阵力学、波动力学的数学基础，又有了概率诠释、不确定性原理和互补原理这三大核心原理，新量子力学就算是建立起来了。但是，打下了江山，并不代表这个国家能正常运转起来，要做的事儿太多了，建国，好像并不比造反轻松。放眼物理世界，量子王国内外形势都不容乐观。从内部来看，虽然有互补原理拉关系、和稀泥，但矩阵力学、波动力学两大军阀还是互不愿理，仍然各占山头、各展所长，矛盾不断，亟待协调统一；从外部看，相对论对量子论作冷眼旁观状，似乎并没打算支持量子论的建国大业。虽然旧量子论和矩阵力学引入了狭义相对论的部分思想，但整个新量子论并没有得到相对论的支持。这可不是什么好兆头。要知道，相对论似乎已臻化境，独步天下，把宏观世界治理得服服帖帖，小到沙尘粒，大到银河系，无不令行禁止，尽在掌握。政通人和，源于相对论体系的完整自治。对于一个如此完美的体系，最好的办法是与之并肩携手，而不是与之不共戴天。即使你要建设有量子特色的物理理论体系，也犯不着执意与其他所有理论体系为敌。毕竟，和平与发展才是主题。是吧？

所以，把量子论与相对论结合起来，引入先进思想，让矩阵力学和波动力学统一起来，做到外部和平、内部和谐，成了量子群英角逐的下一个目标。干这种事儿，除了卓绝的天才，还需要完美的逻辑、透彻的理性、稳健的作风，以及广博的知识。最佳人选，当然是倾倒众生的狄拉克先生了。

没错，狄拉克是一个彻头彻尾的理性主义者，他出神入化的逻辑思维能力，常常令天才们叹为观止。别看小狄平时不爱说话，但你只要听过他演讲，就会立即被他的神逻辑所收伏，那美妙绝伦的理性精髓，一环紧扣一环，每一环都那么诱人，你只要跟着他走一步，就会不知不觉地融入他的逻辑，再也无法逃脱——你也不想逃脱，然后，他给出一个离奇的结论，让你由衷拜服，从此成为这个离奇结果的脑残粉。前面说过，小

狄借助泊松括号,单枪匹马搞定矩阵力学,在时间上只比玻恩、海森堡、约当三人团队晚了区区 5 天,并且在数学上更优美,逻辑上更清晰,堪称神作。实际上,小狄出品,除了偶有败笔之外,神作颇多,常令天才们艳羡不已,自愧弗如。聪明绝顶的海森堡早就发现,每当自己的研究跟狄拉克撞车时,狄拉克总是能拿出不一样的东西来,思路完全不同,你比来比去,最后都不得不跟着小狄走,他看问题,总是正中要害,深刻简洁,透彻得令人胆寒。小海搞不懂小狄的思路是从哪儿来的,他写信向泡利诉苦,称自己“一直被狄式想法不可理解的神奇所烦恼。”所以,小海总是有意识地避开小狄的工作,以免撞车受伤。

话说自旋鼓捣出来后,配套的理论却不见踪影。小海就和小狄打赌,赌这个理论啥时出现。乐观主义者小狄赌三个月之内出现,悲观主义者海森堡赌三年内也不会出现。

好事之徒泡利听说这事儿后,羡慕小海有外快赚,于是找克拉默斯打了个类似的赌,克拉默斯哪是泡利的对手?被骗去 10 块钱。泡利很得意。

但小海和小狄的赌搞砸了:三个月过去了,小狄的希望小鸟一去不回来,他后悔,要是多说一个月就好了。可是一年过去了,还是没动静。两年过去了,小狄 45 度角低头找原因,而小海已经 45 度角远目,开始寻找胜利的曙光了。小狄见小海一副即将得志的欠扁相,决定不给他机会。1928 年,小狄亲自操刀,引入相对论思想,一统矩阵力学和波动力学,并神奇地实现了简化和升华,鼓捣出了名震物理江湖的“狄拉克方程”。简而言之,这个方程基本就是“薛定谔方程的洛伦兹协变式”,狭义相对论和新量子力学的思想,在这里水乳交融。

这东西好用不?相当好用!首先就拿氢原子开练,得出的精细结构,跟实验符合得极好。妙不可言的是,从这个方程,能自然而然地导出电子自旋,还得出自旋量子数是 $1/2$ 。此前,自旋都是硬塞到公式里的,咋看咋不搭。而狄拉克方程导出的

自旋，一切浑然天成。好像从宇宙诞生时，它便蛰居在此，坐等你来唤醒它。整个框架优雅自然，连细节都精准妙曼：有关自旋磁矩、角动量的性质，原来是由实验分析总结出来的，一没出处二没依据。现在，狄拉克方程也自然导出同样的结果。

自旋就这样找到了根基。在狄拉克方程里，它的理论基础雄厚、数学基础坚实，再也不是昔日那个来路可疑的异类了。

其实，狄拉克方程不光是解决了自旋的根基问题，它还解决了量子论的所有主要顽疾，比方说矩阵力学、波动力学与生俱来的矛盾，被狄拉克方程用优美的数学统一起来，妥妥的。看到这个方程，饱受折磨的物理学家们顿时内牛满面，就像迷失在撒哈拉沙漠中央的驴友见到一泓清泉。玻恩一激动，天真烂漫地整了一句：“咱现在的物理学，用不了六个月，就走到头儿了！”他可能忘了，以前有 N 个前辈说过这话，无一例外地沦为物理史上最不准的预言。

自旋找到了组织，小狄和小海的那个赌怎么破？算平手？赌的时候秀逗了，赌约设计有 Bug，竟然留了两年零九个月的真空地带！只好不了了之。

不过，小狄的工作并没有不了了之，他还在继续。1930 年，小狄辍笔收工。这项工作是有何宏大，能花掉狄拉克两年多的时间？

这是一本书：《量子力学原理》。书名依然简洁而有威仪。是的，从那时起，直到现在，这本书一直是量子力学的经典教材。这是狄大侠的又一神来之笔，增一分则太肥，减一分则太瘦，它拉拢了狭义相对论，整编了矩阵力学和波动力学两大军阀，搞掂了量子力学的理论体系和数学基础，毙掉了许多让人蛋疼的问题，安插了狄拉克 δ 函数，后来又植入了狄拉克符号，集量子力学之大成，是物理史上重要的里程碑——你没看错，不是量子力学史，而是整个物理史上的重要里程碑。

1932 年，狄拉克成为剑桥大学第十五任卢卡斯数学教授，

就是牛顿曾任的那个席位。1933年，狄拉克与薛定谔同获诺贝尔物理奖。小狄却忧郁地对卢瑟福说，他想拒绝这个荣誉，因为他不想出名。卢瑟福心想，你30岁时就霸占了卢卡斯座，怎么低调得起来？！于是哄他说：“如果拒领诺奖，你会更出名，只怕人家更要来麻烦你。”于是，1933年12月12日，狄拉克满脸诗人气质，出现在斯德哥尔摩的诺奖领奖台上。

狄拉克方程的出现，让量子论向前迈出了重大的一步。但是，像以前一样，伴随着胜利，问题很快就出现了。一天，玻尔的助手克莱恩同志把玩狄拉克方程，让 N 个电子扑向一个高能势垒（势能较高的空间区域），结果反弹回来的电子不仅一个没少，反倒比去时还多！克莱恩很想找块豆腐撞上去，和手里的计算结果同归于尽——能量守恒定律那受伤的眼神让他心碎。

自己的方程惹了祸，狄拉克当然不能坐视不管，他告诉克莱恩，你用不着撞豆腐，只要把方程里的负解算进去，就可以抵消多出来的电子，你假设那个负解的能量正好跟电子相等、并且相反就行。

泡利一听急了：神马？要是那个负解是真实存在的，就会得出无穷大的能量解，除非，它放弃能量变成反电子！嘛叫“反电子”？它也是电子，只不过，人家带的是正电荷。

狄拉克索性一不做，二不休，假设道，我们的所谓真空，其实不是什么真空，而是充满了反物质——正电子海。这就是充满魔幻色彩的“狄拉克海”。事情搞大了，狄拉克方程导来导去，导出了一个魔幻传说：在数学上还存在一个“反世界”，跟我们所在的这个世界完全相反。这还不算太恐怖。恐怖的是，这两个相反的世界，并不像照镜子那样，以镜面为界，两边泾渭分明，互不干扰。而是相互包含，你中有我，我中有你，纠缠不清。

我们的世界，电子都带负电，而真空中的正电子海，就像是充满宇宙的蜂窝，这一个个空洞，是怎么来的呢？原来，当

一束高能光子从真空中激发出一个电子时，狄拉克之海中就出现一个洞，这个洞对于那个反世界来说，是一个电子，也就是刚才说的反电子。当电子遭遇反电子，就像蜜蜂回巢，正好填上那个空，放出能量——光，正负电子相互湮灭，世界清静了。

听了狄拉克的解释，大家只是认为很有趣——你懂的。不料，1932年8月2日，那个“反世界”的电子——正电子还真被发现了！发现者是美国物理学家卡尔·戴维·安德森（Carl David Anderson），他研究宇宙线时，在云室的轨迹中发现了这家伙。由于发现了正电子，安德森斩获1936年的诺贝尔物理学奖。实际上，早在1929年，就有不止一个人见到了正电子的魅影。德米特里·斯科别利岑（Dmitri Skobeltsyn）用威尔逊云室看伽马射线路径时，发现某种东西形迹很像电子，但在磁场中，它的路径弯曲方向与电子正好相反，斯科别利岑摸了摸脑袋，没有深究。同年，在加州理工学院，一名黄皮肤的研究生也发现，有个家伙很像电子，只不过它的电荷为正。他甚至还观测到，这家伙可以和电子相互湮灭，释放出能量，他管这个现象叫“ γ 射线通过量子物质时的‘反常吸收’”。1930年，他在《硬 γ 射线在物质中的吸收系数》和《硬 γ 射线的散射》等论文中，记录了这些发现，但他没有继续追查下去。此人叫赵忠尧，中国人，1902年生于浙江绍兴。1927年赴美留学，在加州理工学院师从密立根。1931年获博士学位后，赴德国哈勒大学任职。1932年回国，先后在清华大学、云南大学、西南联合大学（清华、北大、南开合并而成）、中央大学任教。学生有王淦昌、钱三强、钱伟长、王大珩、杨振宁、李政道、朱光亚、邓稼先、赵仁恺、冯端、朱清时等。1946年再次赴美，在加速器实验室、地磁研究所、核反应实验室工作。1950年回国，主要工作是：把核物理学实验室、加速器之类的新鲜玩意儿在中国建设起来；把真空、高电压、离子源等高端大气上档次的高新技术引进来，发展中国高技术工业；抽空搞搞教学。赵忠尧同志，是中国核

物理、中子物理、加速器和宇宙线研究的先驱和启蒙者。安德森是赵忠尧的同学，他发现赵忠尧的发现可以是个大发现，于是接着研究，他把电子诱入一个强磁场中，发现它们分裂成方向相反的两伙——不是不想靠近你，而是一靠近你，你我就会在闪光中消弭痕迹，不留一丝回忆。他发现这个发现确实是个大发现，因为这个很像电子的家伙正是电子——狄拉克说的那个反电子，带正电荷，于是起名“正电子”。诺奖到手了。

正电子是第一个被发现的反物质，它就是反物质存在的证据。

“狄拉克之海”虽然是个枯燥无聊的物理概念，但由于这个名字很奇幻很拉风，所以经常被科幻、被文学、被各种炫技。比方说，在著名科幻小说《狄拉克之海的涟漪》中，它有实现穿越的功能；在系列小说《舰队》中，它能为某武器提供能量；《新世纪福音战士》中，它是可吞噬物质的神秘空间（有点像黑洞）……

“狄拉克之海”模型虽然成功预言了反粒子，但它的缺陷很明显很狗血，说起来比较绕，就当绕口令听吧：想让狄拉克之海存在，真空中必须充满无限多的负能量态电子，那么，想要得到“绝对真空”，还需要无限多的正能量态电子！同时，由于有了无限多负能量态的电子，因此真空中的能量密度无限大。并且，这是不可测量的。可测量的，只有密度的变化！是不是很迷糊？迷糊不要紧，因为咱俩可以不去管它。

1934年，泡利等人证明，即使不存在稳定的负能粒子海，也会存在反粒子。于是大家就兴高采烈地去找反粒子。仰仗加速器越来越强悍，反粒子还真被找到了，反质子、反中子一个一个浮出“海”面，记不记得我们的物质是啥构成的？是原子，原子是啥组成的？质子+中子+电子。反质子、反中子、反电子都齐了，反物质也就板上钉钉地存在了。还真有个“反世界”？！

根据自然“对称美”的规律，有物质，也有反物质，是情

理中事。但是，除了加速器中撞击出来的反物质，自然界中的那些反物质在哪儿呢？当然不会和我们的物质在一起，否则就同归于尽了。2011年，有报道称，《天体物理学通报》中的一篇论文描述道：在地球附近，发现了一条狭长的“反质子带”，是由高能宇宙射线打碎了大气分子形成的，跟加速器制造反质子是一个道理。只不过这些反质子被地球磁场跨国追捕，囚禁在一条狭长的带状空间，有的没的全招了。这些反质子，随时产生，遇到物质随时被湮灭。我们现在纳闷的是，在宇宙诞生之初，产生物质时，也该产生一样多的反物质，这些反物质哪去了？！难道，上帝是个偏心眼，只喜欢制造物质，而不喜欢制造反物质？

这些问题，咱今后再说。上面说的什么反电子、反质子、反中子，都是“反费米子”。后来，反光子、反胶子之类的“反玻色子”也被找到了。这是一件可喜可贺的事，但狄拉克犯愁了，因为他的狄拉克之海不能解释“反玻色子”。直到量子场论兴起，重新诠释了狄拉克方程，这才让“反玻色子”的存在显得不那么尴尬。这个解释允许有“绝对真空”，但消除不了真空中无限大的能量。反正按下这个问题，就会冒出那个问题。不管怎么搞，总是里出外进的。所以，玻恩整的那句“6个月走到头儿”的豪言壮语，就只当“用15年时间赶英超美”的口号处理吧。

量子巨人从此站起来了，就像我们1949年以为的那样，看似四肢健全，甚至有点衣冠楚楚。它一成型，便统治了半个物理世界，不可谓不强悍。但是，这个强悍的家伙不仅没有征服所有人，反而立即受到质疑，其中包括它的缔造者。

论剑峰巅

1. 巨星际会

玻尔在科莫会议上发布“哥本哈根解释 1.0”时，台下各路大神云集，洛伦兹、普朗克、索末菲、玻恩、海森堡、泡利、

德布罗意、康普顿等等，阵势不小。随便拽出一个，都比如今走路要铺红地毯的那些人含金量高。但是，大家都注意到，有两个重量级人物没来：爱因斯坦、薛定谔。老薛大叔当时刚接替普朗克的职位，正忙着安顿自己。老爱是因为对法西斯深恶痛绝，坚决不踏入他们的地盘。所以，我们永远也无法想象：如果有老爱和老薛在，“哥本哈根解释首发式”上会发生什么。

历史的精彩之处，正在于它永远无法预料和无法操控——换个更恰当的说法——正在于它的“不确定性”。过去的憾事，往往铺垫了如今的美事；此处的喜剧，或许成就了彼处的悲剧。这不，索尔维会议还在一期一期地开。第一次世界大战后，骄傲的德国人成了瘟神，既招人恨，又招人烦，各种国际活动，大家都不带德国小伙伴玩儿。索尔维物理学会议也不例外。在那时，有一个德国人，你不带他，就没法玩儿，就算你玩儿起来，心里也没底。咱俩都知道，此君只能是爱因斯坦。

有人问了：“老爱不是早就扔了德国国籍、变成瑞士人了吗？”老爱也是这样想的。所以，1922年，当德国大使出现在1921年度诺贝尔物理学奖的颁奖现场时，老爱大吃一惊：“俺怎么依然是个德国人？”有人科普道：“你接受了在柏林的这个职位，就接受了一个超值附赠：德国国籍。这是买一送一。”但对老爱来说，这是强制搭售，是甩不掉的小烦恼。老爱是德国人，索尔维会议筹委会心里明白，但他们以国际化为借口，每次开会都请老爱。但老爱是个有原则的倔脾气，他讨厌用政治影响科学，更讨厌把种族主义的东西掺在科学活动中。虽然他不想是个德国人，但既然已经是了，就要遵守“规则”：你不带德国人玩儿，却要带我玩儿，是啥意思？我也不玩儿了！直到你带德国人玩儿为止。

1926年，洛伦兹发挥不答应我就烦死你的聪明才智，争取到了比利时国王的批准：1927年索尔维会议，可以请德国科学家。

布鲁塞尔。1927年10月24日。星期一。张罗了小一年的索尔维会议终于胜利召开了。但老天不给面儿，阴着个脸，一副全部身家投了2008年股票的表情，他其实是在正告大家：这个会，绝不是那种打个嗝也有掌声、放个屁都一致通过的和谐盛会。

不过，这是一次真正的巨星争辉的盛会，爱因斯坦、普朗克、玻尔、洛伦兹、海森堡、狄拉克、薛定谔、泡利、德布罗意、玻恩、居里夫人、郎之万、康普顿、埃伦费斯特、德拜、克拉默斯、布拉格……在这群人里，手里没个诺奖什么的，你都不太好意思跟人打招呼。这么多在人类发展史上影响深远的重量级人物凑在一起，还一本正经地照了张合影，应该是空前绝后的。有人说，地球上三分之二的智慧都在这张照片里了。从某种意义上讲，这并不夸张：我们现在对世界的全部认识，以及基于这些认识的现代文明，依然建立在他们搭建的框架里。



【图 9.10】第五次索尔维会议，1927年10月24~29日。本杰明·库普里拍摄。后期上色版来自网络。

盖世巨星，荟萃一堂，顶级智慧，交织碰撞。如果不发生点故事，那真是上帝对不起佛祖，佛祖对不住真主了。幸运的是，故事还真就发生了。实际上，热盼这个故事的，不光是我们这些围观群众。故事的主角，也都各有期待。一切都源自会

议的主题：新量子力学及其相关问题。

说白了，这场会，就是为了解决量子论的各种闹心问题。量子力学在数学上很美很强悍，但在哲学上让人抓狂：它到底什么意思？世界的本质是什么？

玻尔认为，哥本哈根解释，就是答案。他的追随者已经统一了思想。对他们来说，现在，答案不是问题，问题是让人接受这个答案，尤其是让爱因斯坦接受这个答案。把老爱拉进队伍，量子论就有了精神领袖。这是哥本哈根派的想法。老爱，你愿，或者不愿意，我都会拉你上船！这是玻尔的想法。

那时，多数物理学家和咱俩一样，属于不明真相的围观群众，围观着一个匪夷所思的事件，不敢相信自己的眼睛和耳朵，急切地想知道意见领袖的想法，那个意见领袖还能是谁呢？当然是爱因斯坦。

对老爱来说，别人怎么看他，都不重要，重要的是，他怎么看眼前的量子论。量子论的数学基础，他没意见。对概率的数学结果、不确定的数学结果，他也能接受，但是，概率、反因果律、反客观性的解释，他无法接受。在他看来，物理学如果搞成这样，那是物理学家的悲哀。世界是不确定的，我们只能用概率来描述世界——这不是物理学，这是物理学的耻辱。所以，我不能因为你的期待，就背上良心债。对不起，亲爱的，无论如何爱我，我都要做你的敌人！

会议日程很简洁：1.宣读 5 篇报告；2.讨论。这 5 篇报告是：布拉格（Sir William Lawrence Bragg）的《X 射线反射的强度》；康普顿的《辐射实验与电磁定理间的不一致》；德布罗意的《量子的新动力学》；玻恩+海森堡的《量子力学》；薛定谔的《波动力学》。日程安排相当精当，这一套报告下来，新量子论的简历和标准照就历历在目了。组委会曾邀请老爱做报告，但老爱找来一堆理由拒绝了。

第一天。布拉格、康普顿报告后，所有重要人物都发了言，

除了老爱。

第二天。德布罗意王子提出了“导波理论”：电子是一种既是粒又是波的存在，就像浪里浮萍，浮萍要去哪，浪说了算。这和哥本哈根解释正好相反：首先，不管王子描述的这个画面有多荒唐，但毕竟有个经典图像让你去想象，甚至可以画出来。而哥本哈根解释的波粒二象，是没有经典画面的——人类脑子里能冒出来的画面，都是经典画面，想象力再丰富，也离不开对现实经验的改装。其次，小德认为，电子在你没观测之前，它也是以波粒二象存在的，你观测它，会看到其中一面；而哥本哈根派认为，在没观测前，电子无所谓是波是粒，它什么都不是，只有你观测了，才由观测方法决定它以何面目出现。所以，德布罗意刚把观点亮出来，就遭到泡利的强烈炮轰，玻恩和海森堡在旁助阵。吵架，小德哪是泡利的对手，何况对方还有帮腔的，遂寡不敌众，用忧郁的眼神瞟向山一样沉默的爱因斯坦，脸上写满 SOS。但老爱坚持沉默是金的本色，脸上写满麻木不仁。王子一看，没戏了，就很绅士地宣布放弃观点，跳出阵外，加入了围观团。

第三天。

上午。海森堡、玻恩发布了量子论联合声明，包括：数学体系、物理解释、不确定性原理、量子力学的应用。巴拉巴拉之后，他们表示，新量子力学，实际上是普朗克、爱因斯坦、玻尔“三教父”所创老量子论的“直接延续”。最后，他俩骄傲地宣布：“量子论已经搞定了，它相当完整，它在物理上、数学上的基本假设，都用不着再作任何修改了！”听了这句话，老爱脸上浮现出一丝笑意。埃伦费斯特读出，这是一个嘲笑，于是写了张纸条给老爱：“别笑……”。老爱回条曰：“我笑，是因为它太幼稚……”。会上，老爱依然沉默。

下午。薛定谔发布波动力学声明，给出了回归经典的观点，算是围魏救赵地声援了德布罗意。但他亮出来的，还是老掉牙

的电子云图——尽管他引入了抽象的多维空间。这回，连德布罗意都觉得不给力。果然，薛定谔被哥本哈根派群起攻之，玻尔、玻恩、小海主攻老薛，上演了一场欧版“三英战吕布”。老爱：我是一个木头人，不会说话不会笑……

第四天。法国科学院举办纪念菲涅尔逝世一百周年纪念活动，索尔维会议休会一天半，爱因斯坦、玻尔等 20 人赴巴黎向菲涅尔致敬。

第五天。下午。索尔维会议复会。大神们都很亢奋，纷纷用不同的语言申请上台发言，主持人兼翻译洛伦兹被英、法、德、丹麦等各种语言的混合立体声搞得头大。埃伦费斯特决定维护秩序，他走到黑板前，写下一行字：“上帝让地球人语言不通。”这是圣经里的一个传说：勤劳勇敢有理想的人类团结奋斗，搭建通天塔，也就是巴别塔。上帝一看不得了，于是设计破坏：让人类说不同的语言。相互说话听不懂，一时又没人能过外语 4 级，无法沟通，计划失败，遂作鸟兽散。天才们见字会心一笑，绅士起来。洛伦兹点名玻尔发言。玻尔强调了哥本哈根观点：在观测之前，没有什么“客观现实性”。所谓客观现实性，不能独立于观测者。也就是说：从来就没有什么速度，也没有质量位置。要创造伟大的世界，全靠我们观测！

在你测量电子的位置之前，电子不存在于任何位置。翻译一下：没观察到的电子是不存在的！

啊？！

先别忙着诧异，因为接下来，玻尔得出一个更让人忍无可忍的结论：

物理学的任务，不是要找出自然是什么，而是对于自然，我们能说什么。

玻尔，你是在开玩笑吗？你知道自己现在的言论更像一个神棍吗？你没观测之前，电子不存在；只有你观测了，它才有动量、质量和位置？！你拿自己当上帝，俺们忍忍也就过去了。

可你现在连物理学家的神圣使命也给改了！不去探索自然是什么，不去追问客观世界的本质是什么，要我们物理学家干嘛？

神马？你说不存在什么“客观”，不存在什么“本质”，甚至不存在什么“真实的”基本粒子？！这些虚无缥缈的所谓粒子，只是构成“可能出现的世界”，至于究竟出现什么世界，取决于我们怎样观测？！！

OMG！太不像话了！不是上帝疯了，就是你疯了！我必须出手了！爱因斯坦朝手里一看，既没拿柿子，也没拿鸡蛋，于是走到黑板前，画出一款模型：一只电子穿过一个小孔，冲向屏幕。老爱指出，现在，有两种解释：

根据哥本哈根解释：电子穿过小孔后，冲向屏幕的，不是所谓的电子或它的分身，而是一团概率波，呈各种可能的叠加态。别看只是一个电子的概率波，它占的空间可不小，覆盖了整个屏幕。电子会选屏幕上的哪个点落脚呢？波函数告诉我们，任何一点都有可能成为落脚点，只是各点的概率不同而已——它落在屏幕上任何一点的概率都大于零。OK，现在电子决定，落在A点。那么，此刻，重点来了：电子落在A点的概率一下子变成了100%，与此同时，其余无数个点的概率立即变成了零！这就是所谓“波函数坍缩”。其他各点概率波的瞬间消失，是因为A点中奖——问题是，别处的概率波怎么能立即知道A点信息呢？难道有超光速信号？这可是违反相对论的！也是违反“局域性”要求的。所谓局域性，通俗点说，是指在一定时间内，事物的影响范围，都是有限的，而不是无限的。所以说，哥本哈根派认为的“完整的”量子力学，其实不完整。

第二种解释：电子穿过小孔打到屏幕，存在N多可能的路径，而电子实际上走的是其中一条路。但是，现在的量子力学方程，不能精确地描述这条路，只能描述这些路的集合，并给出概率，这就是波动函数描述的所谓概率波——老薛所说的电子云。它说的是，电子出现在某处的可能性有多大。所以，这

是一个“统计分布”的函数。这跟处理布朗运动的算法差不多，都是一种统计手法，权宜之计。从这个角度看，现在的量子力学，也算不上是终极版。

玻尔和他的小伙伴们表示：不太明白老爱在说什么。但他们觉得，“波函数坍缩”的猥琐形象需要洗白一下：波函数只是一个抽象的概率波，而不是真实飘荡在空间的波，所以，它在 A 点坍缩时，不需要把消息传给其他各点，也就是说，其他各点的波函数，不需要接到 A 点通知，就能在同一时刻把概率集中到 A 点，不管离 A 有多远。但是，这套含糊不清的说辞，又怎么能让老爱心悦诚服？所以，玻尔感到很受挫，他伤感地说：“我不知道什么是量子力学。我想，我们是在耍些数学手段，这些手段适合描述我们的实验。”

对老爱的这款思想实验，玻尔和他的小伙伴们当时没有正面回应。不过后来，这个实验不断改进，由单孔衍射，变成双缝干涉，又变成自由开关双缝（没错，就是咱俩前不久做过的那个系列实验），进化出 N 个升级版、加强版，衍生出多少精彩绝伦的分析、匪夷所思的假设、不可思议的结果……这些后话，我们在前面说过，这里按下不表。

这个思想实验，虽然在会上没有结果，但它拉开了世纪论战的帷幕，两个幕后主角由此亮相台前，短兵相接，针锋相对，为我们留下一场精妙绝伦的精神大餐。

2. 爱氏光盒

索尔维会议开着开着，变成了一场激烈的量子论战，场上阵营对峙，泾渭分明：

正方：玻尔、玻恩、泡利、海森堡。

反方：爱因斯坦、薛定谔。还有一位，但是大家都没有留意，倒不是分量不够，而是他不怎么说话——狄拉克。他始终对哥本哈根解释不感冒。老爱，我在精神上支持你！

无所谓方：德布罗意。怎么都好，不凶我就行。但这个和

平主义者内心还是偏向老爱的。

这里似乎有个规律，集团军都偏向玻氏，而独行侠都倒向爱氏。

裁判组：布拉格、康普顿等。他们只相信实验结果。好吧，其实他们是酱油组，因为这里没实验可做。于是，酱油组的阵容顿时强大起来，其他那些叱咤风云的牛人，在这里基本插不上嘴，只能用迷茫的眼神围观。

实际上，围观的又何止是酱油组，正反双方的成员后来也加入了围观团，因为场上变成了主帅的单挑。

老爱和玻尔的论战，不分时间和场合，会场上、餐桌旁、房间里，随时过招，爱因斯坦步步紧逼，花样迭出，招招奇绝，令人目不暇接；玻尔一一化解，沉稳老道，式式精妙，让人眼花缭乱。海森堡、泡利、埃伦费斯特等一干好事之徒这下可饱了耳福，却苦了德布罗意，因为他只懂法语，只能眼巴巴地看着小伙伴们兴奋地凑热闹。其实听得懂的，也不比德布罗意舒坦。比方说洛伦兹老先生，会场里的每一种语言他都听得懂，但量子新人类的思想，却让他困惑不已，这还不算太折磨，更折磨的是，他还要时不时地把这些毁三观的东西翻译给别人听，以至于他常有这种错觉——这些胡话是从他自己嘴里说出来的。洛老师在这种双重折磨下度过了索尔维会议的主持生涯。

小海和泡利在休息时，常常试着去拆老爱的招，玻尔会找他们交流，再次见到老爱时，玻尔就有了化解老爱攻击的新招。

值得一提的是，虽然老爱攻击的目标是哥本哈根解释中的哲学认识，但他提出的思想实验本身，完全是从纯物理的角度出发，而玻尔拿来应对的招数，则借助了更多的哲学思想（埃伦费斯特语：玻尔总会从哲学的迷雾中找到工具来粉碎一个又一个例证）。玻尔的无敌神功在索尔维会议上又一次大展神通：在与老爱 PK 的同时，玻尔锲而不舍，逐个击破，说服酱油党接受哥本哈根解释——至少不提出过多的质疑。他成功了。但

他最想争取的目标却毫无进展。两人一直争论到散会。结果是：没有结果。

“上帝是不掷骰子的！”老爱说。

“别指挥上帝该怎么做！”玻尔说。

“爱因斯坦，我为你感到羞愧。你反驳新量子论，就像你的对手反驳相对论一样。”埃伦费斯特说。

潮流是任何人也挡不住的，哪怕他是爱因斯坦。第五次索尔维会议之后，玻尔研究所逐渐成为世界量子物理中心。玻尔认真考虑了老爱的质疑，把他在科莫会议上发布的“哥本哈根解释 1.0”打了些补丁，减了些赘肉，升级成了“哥本哈根解释 1.1”，用英、德、法三种语言发布在物理期刊上。虽然玻尔对老爱讨厌哥本哈根诠释这事儿很不爽，但他承认：爱因斯坦的关心和质疑，促进了新量子论的自省和改进。

玻尔把新版本给了薛定谔一份。老薛建议，对新量子论，最好是创造一套新概念，用来描述它在时间、空间、因果性等方面的认知。但玻尔认为，用不着劳什子新概念，旧瓶儿完全可以装新酒，把“观测”搞清楚就 OK 了。玻尔还建议老薛：你可以跟普朗克和老爱讨论下。老爱听了，大摇其头，认为玻尔和海森堡在偷懒、在掩耳盗铃，这瓶新酒是一项能安神催眠的发明，“它给信徒提供了一个舒服的枕头，让他们沉睡，很难叫醒，就让他们躺在那儿吧。”老爱不无气恼地写道。但老爱并非反对量子力学。相反，他认为量子力学在形式上、应用上都是非常成功的。他说：“我无比羡慕新生代物理学家的成就，这些物理学家的名字将与量子力学永远联系在一起……”老爱多次向诺贝尔奖委员会推荐海森堡、薛定谔、狄拉克、泡利、玻恩、约当、乌仑贝克和古兹密特等新量子论的主要建立者，并提出了十分中肯的授奖建议。但他同时认为，目前的量子力学，是“一个局限于统计规律的理论”，它“是一个暂时的理论。”正如他认为相对论也是暂时的一样。很多人说老爱反量子力学，

就像说张志新反革命、彭德怀里通外国一样，实在是冤枉了。他极力反对的，只是哥本哈根解释指向的一个根本问题。看清楚这个问题的，只有一个人——泡利。具体是什么问题，咱们以后想起来再说。

世界上溜得最快的，就是时间。尤其是在你思考的时候。

三年的时间，很短，但可以发生很多事。对本文而言，这三年最大的一件事，是洛伦兹于 1928 年 2 月逝世。索尔维会议上，从此少了那个兢兢业业、德高望重的伟大物理学家的身影。

但是，历史，仍在阔步前进。以量子力学为基础的粒子物理蓬勃发展，新发现大量涌现，新成果竞相迸发，科学走到了人类思想成长之路的最前端。

1930 年很快就到了。第六届索尔维会议如约而至。爱因斯坦、玻尔、狄拉克、海森堡、泡利、索末菲、克拉默斯等 34 名物理学家到会，其中有 12 个诺奖得主（有的是后来获奖），精英数量仅次于上次索尔维会议。

军号已吹响，钢枪已擦亮，大幕已拉开，不上也得！既然非上不可，要打，就打个漂亮仗！老爱意识到，在边边角角搞旁敲侧击，在边城远塞玩儿战术骚扰，对于强大的哥本哈根派来说，都是隔靴搔痒，不解决问题，只能陷入没完没了的哲学纠缠。擒贼先擒王，诛敌先诛心，老爱犀利的目光盯向了新量子论的核心——不确定性原理，手中宝刀寒光游弋。

这三年，磨刀嚯嚯的当然不止是老爱，玻尔也没闲着。他系统分析了上次的战况，把老爱出的思想实验一一重演，整理思路。与此同时，玻尔自己站在老爱的角度，设计出各种精巧的思想实验来攻击量子论，然后自己化解，左右搏击之术炼得炉火纯青。没问题了！他对自己的攻防策略十分满意。

不过，当他见到爱因斯坦时，心里又开始打鼓了：老爱似笑非笑，一派帐下埋伏了刀斧手、只等捧杯为号的倜傥风情，难道小宇宙又要爆发？！

还是那个季节。落叶在寒风中舞动着火一般的色彩，回顾着短暂生命的绚丽，一如物理学的昨天。10月20日，两个老对手再次面对面。会议的主题是“物质的磁性”。

显然，玻尔没被磁性吸引。因为，对手神秘的微笑让他有点小紧张，又有点小期待。好奇害死猫，却成就了智慧。这才是最致命的吸引。他没失望，因为老爱终于开口了：

你想象一个盒子，盒上有小孔，给小孔配个快门，用计时器控制快门，可以随便设定开关小孔的时间。盒里有物，可射光子。称出盒子的重量。然后把计时器调到你喜欢的时间，开关一下快门，打开的时间 t 刚好放出一个光子……



【图 9.11】爱因斯坦光盒

剧本图像简洁，节奏明快，随着老爱的叙述，剧情在玻尔脑海里同步放映。听到这儿，玻尔的小紧张跟着光子飞走了，表情顿时轻松起来。因为，不确定性原理只对共轭变量——也就是玻尔所说互补变量起作用：动量 VS 位置；能量 VS 时间。老爱所述剧情对哥本哈根解释来说，绿色环保无污染，完全无害。于是，玻尔愉悦的脸上出现一个简洁的单词：So？

再次称盒子的重量。这句话从老爱微笑的小胡子下轻轻飘出，眼里笑意更浓。

然而，玻尔却似遭到重重的一击。作为绝顶高手，他立即掂量到这句话的分量——这是一场凶猛的冲锋，有了这次冲锋，

前面的剧情就成了十面埋伏！他苦心经营的哥本哈根解释，现在身陷重围。但是，作为一个身经百战的高手，他明白，在论战中，探明敌情，确定其最终意图，是绝地反击的关键——哪怕这时刀已架在脖子上。于是，他稳了稳神，把爱因斯坦的结论一字不漏地收入耳中：

1.用计时器控制开关，时间 t 是确定的。

2.光子飞走前后，两次所测盒子的质量之差，就是光子的质量 m 。

3.因为 $E=mc^2$ ，所以，光子的能量 E 也确定了。

老爱借助自己版权所有、名满天下的质能公式，亮出老辣更兼雄浑、刁钻益加精准的一招。Look: E 和 t 都相当确定！ $\Delta E \Delta t \geq h/2\pi$ 这款拉风的公式也就不成立了，不确定性原理是错的，以此为核心的哥本哈根解释还有脸面对江东父老吗？回去收拾收拾，像 BKS 理论一样，找个台阶，体面地死去吧！

玻尔和他的小伙伴们这回真的都惊呆了。比利时物理学家罗森菲尔德（Leon Rosenfeld）赶到会址见玻尔，恰巧目击了玻尔的败状，他回忆当时的情景：玻尔呆若木鸡，瞠目结舌，面如死灰。老爱形象高大威严，含笑不语，从容前行；玻尔亦步亦趋，一路小跑跟在老爱身边，激动、绝望、徒劳、无力地辩称：如果你的光盒真管用，物理学就完蛋了！

似乎是为了留下证据，在这个节骨眼上，好事之徒埃伦费斯特按下快门，拍下了这张千载难逢的照片。只见老爱满面春风，一派凯旋回朝的王者风范，含蓄的小胡子藏不住嘴角的微笑。玻尔的脚步和神情一样急切，脸上写满懊恼、不甘和失落，却又执著地想挽回点什么。

罗森菲尔德缺德地给了一个形象的形容：那晚，玻尔看上去就像“一只刚被暴打了的狗”。

那晚，索尔维会议的所有物理学家都不得安宁。因为面前随时会出现受伤的玻尔。他不停地游说各个物理学家，企图施

展无敌神功，说服他们相信“如果爱氏光盒实验是正确的，那将是物理学的末日。”但是，他又作不出任何有效的辩驳。在玻尔的辩论生涯中，从未发生过这种事：没词儿了。是的，这是唯一的一次！



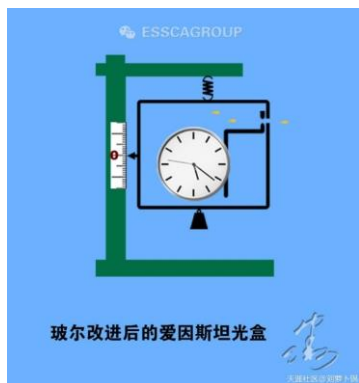
【图 9.12】第七届索尔维会议爱因斯坦和玻尔在回大都会旅馆的路上埃伦费斯特摄

不开心更不甘心的玻尔度过了一个不眠之夜。孤灯、只影，愤懑、忧伤。空乏其身、苦其心志之后，一闪灵光终于撕破了玻尔头顶无边的愁云。“物理学得救了。”罗森菲尔德笑道。

第二天一早，人们惊奇地看到一个神采飞扬的玻尔，与昨晚忧郁颓废的玻尔判若两人。他找到了克敌制胜的神器：测量。这是新量子论的重要支柱。

玻尔画了张“爱氏光盒”图，给老爱设了个埋伏：你不是要测量光子飞出前后盒子的重量差吗？那就必然涉及到测量方法。怎么测量呢？Look：用一根弹簧吊着盒子，盒子上有一根指针，指向刻度 0。飞出一个光子后，盒子变轻 Δm ，获得动量，

指针位移 Δq ，我们再把盒子下面的砵换个大的，让指针回到0，砵需要增加的质量，就是光子的质量。这个测量方法，大家都没意见吧？



【图 9.13】玻尔版爱氏光盒

现在，关键来了：根据广义相对论，盒子在引力场中位置发生改变，测量用的时间 T 的快慢也要随之改变。在本案中，盒子丢了一个光子，变轻，就向上游荡，时间变快了 ΔT 。

这个变化是多少呢？当然不能靠猜，只能靠观测到的指针位移来算： Δq 。而根据测不准关系（老爱承认），要想把指针位置 q 搞得绝对确定，是不可能的，因为那样的话，动量 p 就得无穷大！所以，这个 Δq 也不是一个确定值。玻尔用公式导来导去，导出一个讨厌的公式：

$$\Delta T > h / \Delta mc^2$$

这个公式好像在哪儿见过，但又的确没见过！别急，玻尔用完老爱的独创神功广义相对论，又把老爱的独门神兵质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 代入上面那个公式，得到一个简洁的公式：

$$\Delta T \Delta E > h$$

这个公式真的很眼熟，是的，它正是海森堡的测不准关系！海森堡在 1927 年那篇著名的论文里，给出的公式是 $\Delta q \Delta p \approx h$ ：

不久，他改善成 $\Delta q \Delta p \geq h$ ；后来，经肯纳德（Earl Kennard）等人的证明，发展成 $\Delta q \Delta p \geq h/2$ 、以及 $\Delta q \Delta p \geq h/2\pi$ 等形式。

老爱承认，你想同时去测能量和时间，一定得到不确定的结果。于是，他设计出这个光盒，把“测 T”和“测 E”两个动作分开来做，用可控的快门搞定 T 后，再用反复测量去搞定 E。没想到，玻尔利用广义相对论证明，你没法把这两个动作完全分开——盒子扔出光子、质量变轻的同时，快门的时间就被广义相对论效应改变了。

高手啊！这招“借力打力”，玩儿得炉火纯青。老爱发出的致命一击，眼看无人能挡，却被自创的独门武功顷刻间化于无形，并以排山倒海之势反击回来！奄奄一息的玻尔逆袭成功，场上形势惊天逆转——爱因斯坦忘记了广义相对论！匪夷所思的一幕骤然出现，令在场的所有人眼镜大跌，忘记了呼吸。最遗憾的是，埃伦费斯特忘记了拍照。绝顶高手巅峰对决，没有眼花缭乱的架式和缠斗，只有深厚的内力和奇绝的谋略，沉稳老辣的一招一式令围观的同道们拍手叫绝，峰回路转的刺激剧情更是让广大观众的小心脏兔奔鹿撞！

这下，轮到爱因斯坦自己目瞪口呆了，他一声叹息，嘀咕了几句，被哥本哈根派胜利的欢呼声淹没。爱因斯坦精心打造的超级武器“爱氏光盒”被哥本哈根派当场夺走，作为量子正宗的明证。似乎是嫌文字资料不给力，所以他们还做了个光盒的实体模型，存放在玻尔研究所，以供观瞻。哥本哈根解释就像春天的柳絮，洒满量子江湖，在多数物理学家心中生根发芽。是的，世界是随机的、不确定的，因果律已死，宇宙自由了！

浩瀚壮美的大自然看上去仍然因果明晰、严守章法、秩序井然、分毫不爽。但是，在最隐蔽、也是最基本的地方，上帝留了一张底牌，圈了一片禁区。在这里，它摆脱了牛顿铁腕的禁锢，逃离了麦克斯韦圣手的摆布。爱因斯坦很痛苦，拉普拉斯很幸福，因为他没赶上这惊心动魄的一幕。

老爱口头上承认，量子力学是自洽的，它的内部没有矛盾。但这绝不代表量子力学就是全部真相，量子论也只是瞎子摸象，摸到了很大一部分，甚至摸到了象的整个轮廓，然而，这头大象的内部机制还没搞清楚。你只看到象在溜达，却摸不清它的方向和目的，但这不代表它真的没有方向和目的。所以，量子力学是不完备的。爱因斯坦相信，在我们的量子力学没看见的地方，一定隐藏着某种因果性的机制，它还没被我们揭秘，所以，量子世界的行为才显得如此风骚怪异。搞清楚这个机制，那个循规蹈矩的、客观的世界，就会三从四德地回到物理学家面前——是的，我们的目标是“找出世界的本质是什么”，任重而道远，绝不接受“对于世界我们能描述什么”这种没出息的懒汉思想！

人的耳朵总是习惯跟着强者转，也就很少对准其他声音。实际上，哥本哈根派宣布胜利后，与会人员的观点并不是一边倒，有人当场对玻尔提出了质疑：“你不是主张实验设备应该按传统方式来处理吗？怎么今天在处理指针、标尺、光盒时，用的都是量子化的手法？”这个质疑无疾而终，因为连玻尔自己也没搞清楚，微观和宏观的界限在哪儿，这是一笔糊涂账。爱因斯坦的那几句嘀咕也无人关注，他认为，盒子里的时钟变化，是可以利用盒子外面的标准时钟修正的（前面讲过，塔顶、塔底两个时钟由于在引力场中的位置不同，时间不同步，但可以根据塔底的时钟读数，用广义相对论来精确计算、比较出塔顶时钟究竟变快了多少），所以，盒子里的时间是可以确定的。老爱没有玻尔的无敌神功，耐心地向每一个物理学家广而告之，他只把这个想法告诉了埃伦费斯特。埃老师已经完全接受了哥本哈根解释，他半开玩笑地劝老爱：“你不要再试图制造‘永动机’了。”老爱闻言，一笑而过。随后，埃老师把老爱的看法转告给玻尔，玻尔不以为然，他认为，根据量子论，对一个孤立的粒子来说，不可能同时包括精确能量和时间。

无论如何，玻尔在这场辩论中赢得漂亮。光盒实验之后，爱因斯坦不再找量子力学“不自洽”的茬，把目标转向量子力学“不完备”。老爱对哥本哈根解释的态度，让诸多量子物理学家怅然若失，玻恩说：“我们失去了我们的领袖。”不过，老爱并没有站在量子力学的对立面。1931年9月，他再次推荐海森堡、薛定谔获诺奖，在推荐函中写道：“这个理论毫无疑问包含了某些最高真理”。



【图 9.13.1】争论中的爱因斯坦和玻尔

第六届索尔维会议结束后，10月28日，老爱溜达到伦敦，出席了由罗斯柴尔德男爵主持、为东欧穷苦犹太人募捐的晚会。时年74岁的萧伯纳（George Bernard Shaw）也出席了晚会，他是英国杰出的现实主义戏剧作家、世界著名语言大师、1925年诺贝尔文学奖获得者，擅长用三句话总结任何事。在演讲中，老萧对到会的差不多一千人说：“托勒密造了个宇宙，hold了1400年；牛顿也造了个宇宙，hold了300年；现在，爱因斯坦又造了个宇宙，我不知道这个能hold住多长时间。”所有人都被老萧搞笑了。老爱也笑得很大声，却抹不掉眼中淡淡的忧伤，为物理，也为欧洲。不久前，纳粹党在国民议会选举中得到640

万张选票，是上次选举赢得选票的 8 倍。老爱知道，这不是好兆头，欧洲将面临的灾难，并不比因果律面临的灾难小。

爱氏光盒一役后，物理江湖风云突变，不确定性的凯旋门在因果律的废墟中拔地而起，伴之而来的，是新发现的大爆发，1932 年更是出现了第三个“奇迹年”，前两个分别是牛斧和老爱个人的创造。而 1932 年的奇迹，则是全体科学家智慧的结晶：中子、质子模型、液滴模型、人工放射性、正电子、物质产生和湮灭……诺奖委员会傻眼了，物理学奖只有一个，掰成几瓣也不够发啊！并且，海森堡、狄拉克、薛定谔、玻恩、泡利这些个大神还没来得及打点，于是痛苦地决定，1932 年不发了，拖到 1933 年再说！这才有了老薛大叔和两个男孩一起领诺奖的剧情。

不确定性原理带来的新思潮席卷了整个物理江湖，但它自身也面临着不断的挑战。2003 年，日本名古屋大学教授小泽正直提出“小泽不等式”：

$$\Delta q \times \Delta p + \Delta q \times \sigma(p) + \sigma(q) \times \Delta p \geq h/(4\pi)$$

其中， $\sigma(p)$ ：测量前动量涨落， $\sigma(q)$ ：测量前位置涨落。

我们知道，海森堡不等式 $\Delta q \times \Delta p \geq h$ 是说，“ $\Delta q=0$ ，绝对确定时， Δp 无限大”。

而小泽不等式在说：“当 Δq 、 Δp 都等于 0 时， $\sigma(p)$ 、 $\sigma(q)$ 才会无限大”。意思很明白： Δq 、 Δp 可以同时量得相当精确。这一点，已被小泽团队的实验表明。他们测量中子自旋的相关值，精度突破了海森堡测不准关系式的极限值，服从“小泽不等式”。然而，不管你怎么精确，它也不完全确定，因为，这个新公式依然是个不等式，而 $\sigma(p)$ 、 $\sigma(q)$ 也不肯无穷大，所以，不确定性依然成立。这篇论文于 2012 年 1 月 15 日发表在英国的《自然—物理学》杂志上。

福无双至，祸不单行。同年 9 月 7 日，美国《物理评论期刊》上又发表了一篇论文，多伦多大学的罗泽马（Lee Rozema）

团队利用他们的新式武器“弱测量技术”对付光子，海森堡测不准关系再次遭到无情的摧残。

但是，不确定性原理仍然坚挺，是粒子内秉的量子性质在顽强地支撑着它，继续接受着前赴后继的无情拷问。是的，在真相面前，没有哪个理论是天然神圣不可侵犯的，你符合观测，就是王；不符合观测，就是王八蛋。没商量。

3.量子纠缠

时光如水，无关落花。1933年，第七届索尔维会议召开，主题是春花般怒放的原子物理。爱因斯坦没有出席。因为西方乐、太阳热，德国出了个希特勒——这厮火了！丫成功扮演了德国大救星的角色，迅速掀起了爱党爱国爱民族的新高潮，举国统一思想：异见、异族、异国者亡德之心不死。纳粹党亢奋地一手抓头脑清洗，一手抓异类清洗，两手都特硬，洗得很干净，被整、被驱逐的人不计其数，别的不说，光学者就1600多名，其中包括已经获诺奖和将会获诺奖的20名科学家。慷慨得令人瞠目结舌！老爱哪受得了这般大手笔？！于是再次扔掉德国国籍，辞掉在柏林的职务，开始了一次说走就走的旅行。后来，辗转到美国普林斯顿研究所。

然而，他仍然接到一个噩耗：1933年9月25日，埃伦费斯特朝16岁的智障儿子瓦斯里开了一枪，然后饮弹自杀。他留给爱因斯坦、玻尔等挚友的遗书表明，他的崩溃，不仅因为社会、家庭的风雨飘摇，也因为物理学的冲突动荡。他已无法理解这个世界。

埃伦费斯特选择离开，而爱因斯坦却只能选择留下来。他的心，又何尝不是饱经风雨！一直以来，不论是在生活上、三观上、学术上，他都是一个不入主流的局外人，从到离群索居的习惯、世界公民的三观，到光电效应、波粒二象、狭义相对论、广义相对论，没人理解他，他的每一个新观念，不管是物理的还是人文的，都得不到主流认同。他的身影，总是疏离在

人群之外。但是，经过实践后，人们慢慢发现，你不得不朝那个孤单的身影走去，这个局外人，原来是领路人。

又逢物理江湖的乱世，老爱选择了继续战斗。须发已白，赤兔已老，征程坎坷，夕照如歌。他，还会是那个开路人吗？

多数新生代的物理学家没兴趣讨论量子力学，他们认为，东西好用就行了，八卦它的本质干嘛？那些老头子争论量子力学的意义，其实没啥意义。这也不怪年轻人，因为要忙的事情太多了，在那个奇迹频发的年代，讨论那些本质问题实在是浪费时间，不说别的，单说“用加速器撞碎原子核”这一项，就是一座挖不完的金矿！狄拉克说过，自海森堡取得突破以来，理论物理迈入空前的黄金时代，任何一个二流的学生都可能在其中作出一流的发现。在一猫腰就能捡到金子的时代，放着金矿不挖，却去讨论金矿的来路，这种费力不讨好的傻事谁干？

只有老爱干，并且是两件傻事一起干：构建统一场论，拷问量子力学。这两件事，一个是不可能的任务，一个是讨人厌的任务。但终须有人去做。他的选择，总是远离人群。

然而，这次，他有了两个伙伴：一个是他的同事，俄国出生的美国物理学家波多尔斯基（Boris Podolsky）；另一个也是他的同事，以色列裔美国物理学家罗森（Nathan Rosen）。

1935年5月15日，他们联名发表了一篇论文，论文由爱因斯坦创意，波多尔斯基撰文，罗森运算，史称“EPR论文”，论文的题目是一个问句：《量子力学所描述的物理实在可以认为是完备的吗？》。对这个问句，论文给出的回答很干脆：“No”。

这次攻击的目标，是哥本哈根解释的两大概念：观测、波函数。我们来复习一下，对这两个概念，哥本哈根解释是怎么说的：

观测：你能看到什么，取决于你怎样去看。观测行为，会不可避免地骚扰观测对象。也就是说，观测行为本身，就是观者与被观者相互作用，这是一个互动过程。“人机测量影响多。

是什么？凭观测”嘛。

波函数：它描述了粒子的量子态和量子行为，它是一缕抽象的概率波，而不是真实飘荡在空间的波。在你观测之前，波函数描述的那个粒子没有任何物理量，它不在任何地方。它是不确定的。

那么，你去观测概率波，会怎样呢？

答：它会坍缩。你不看它，它是虚无缥缈的波；你一看它，它就立马随机选取一个值，确定下来——坍缩成粒给你看！

真的是这样吗？EPR 建议，我们假装观测一下，然后大家来猜猜结局：

有两个粒子，一个叫小小，一个叫圆圆，她俩亲密接触、互动了一下，然后光速各奔东西。我们知道，作为一个粒子兼青年舞蹈艺术家，自旋是必须的。前面说过，粒子的自旋只有两个量子态：向左转，向右转。学名一般叫上旋、下旋。但叫啥都无所谓，只要二者方向相反，就没错。为了方便，我们记住“左”、“右”就 OK 了。问题的关键是，她俩分手后，如果你向左转，我也跟着向左转，思想上行动上高度统一，那，这个世界就失衡了。

世界没有失衡，因为守恒定律这根定海神针还在。于是，只要其中一个一路向左，另一个就必须一路向右。平衡，才是稳定之本。

背景资料介绍完毕，现在，我们请新老两代大侦探“哥本哈根解释”、“经典解释”来分析一下：这个美妙的平衡是怎么实现的？

哥本哈根解释：

在观测之前，没有什么小小和圆圆，她们的状态是不确定的，什么位置啊、动量啊、速度啊、方向啊……这些都是胡扯，你可以说她们在这儿，也可以说她们在那儿，反正她们哪儿也不在——噢，我是在胡扯吗？当然不是，她们现在只是一缕抽

象的概率波。什么？你说她俩应该是两缕波？不，一缕，就是一缕。观测之前，她们没有物理量，说“两缕”？太可笑了！

哦，你说没观测之前，情况很乱很狗血，不如观测一下？好的，那就观测。前面那首《江城子》怎么说的来着？“一观测，便坍缩。”波函数坍缩之后，她们就现出原形，变成粒子真身了。那，她是“左”还是“右”呢？这个不好说，因为观测之前，她的状态是不确定的，既是“左”，又是“右”，呈狂拽炫酷的叠加态，在这种状态下，你去观测，不论是小小还是圆圆，她选左或选右的可能性都各占一半，好吧说句术语：左右概率各 50%。

现在我们来观测小小，她随机选了一个风情万种的“左”旋，果然花气袭人、艳色惊心啊！恍然间，差点忘了圆圆！她那边是什么情况？哇，“右”旋！万种风情的右旋！果然是个有责任敢担当的奇粒子！那一刻，正义女神灵魂附体，小小向左的同时，圆圆果断向右，世界守恒了，宇宙平衡了！

经典解释：等等，哥大侦探，你观测小小时，圆圆已经离小小十万八千里了，小小又是“随机”选左，也就是提前无暗箱无内定无剧本无串供，圆圆怎么知道自己在那一刻必须“同时”选右呢？就算她俩用光信号沟通，也来不及啊！发超光速信号之前，麻烦你推翻相对论先！

哥本哈根解释：愿聆典大侦探高见。

经典解释：

按照哥大侦探的解释，你得解决两个问题：

一是解决超光速信号问题，这个违反了相对论。

二是解决圆圆的坍缩问题，观测小小时，圆圆的状态只有两种可能：A.坍缩了；B.没坍缩。那么好，我们按照哥大侦探的说法，来分析下：

A.坍缩了。你不是说“一观测、便坍缩”吗？你观测的是小小，小小从命坍缩便是，可圆圆凭什么也去坍缩？难道“不

观测，也坍缩”？果真如此，你说的“观测之前，不存在真实、客观的物理量”就是梦话了。现在你没观测圆圆，圆圆也坍缩了，并且坍缩得如此真切如此具体，那她算不算真实、客观的存在？！

B.没坍缩。如果你说小小坍缩后，圆圆坍缩与否不确定，或者根本没坍缩——总之一切不确定，你得去观测，使她坍缩了才能确定，那就更不对了，小小左旋，而圆圆处于不确定状态，所谓左右叠加状态，你是要守恒定律去死吗？！

要解释“你瞄到小小左旋的同时，圆圆必然右旋”的问题，很简单：没有什么坍缩，也不用什么超光速信号，不管你观测还是不观测，谁左旋、谁右旋，她们在分手的那一刻，就已经确定了。此后，不管你啥时去观测，你只能得到这个早就确定好的结果。总结：两粒子亲密互动后，从分开的那一刻起，就是一个左旋，一个右旋。这个解释简约明理有内涵。再看看哥大侦探你的解释，把剧情搞得如此曲折离奇，你当奥卡姆剃刀是削土豆用的？

.....

EPR 让新老两大侦探在论文里打了一架，史称“EPR 佯谬”。实际上，EPR 原版要测的，是动量、位置，但是它俩涉及的物理量多，情况变化多端，数值也千奇百怪，解释起来很麻烦，容易绕晕。于是，爱因斯坦的追随者、美国物理学家戴维·玻姆（David Joseph Bohm）把 EPR 佯谬改成了测量自旋，自旋只有两个量，要么左，要么右，讨论起来简明酣畅，效果毫不逊色，实在是融精简版、升级版为一体的精品设计。当然，这已经是 1951 年的事儿了。

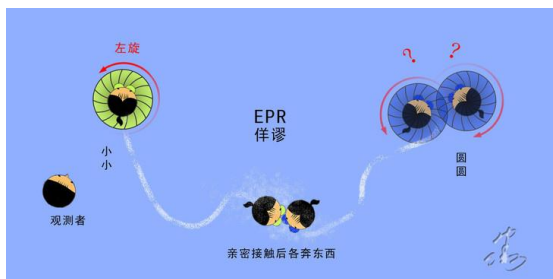
话说 EPR 论文发表后，引起了哥本哈根派的一阵小恐慌，声称爱因斯坦又一次抨击量子论——他们早就把哥本哈根解释与量子论画上了等号，却不知老爱的目标是给量子论找到一个新解释。泡利得到消息，立马写信给海森堡，准备组织反击，

但他自己不打算出手，因为这事儿挺麻烦。小海一向最听师兄的话，立即提刀跃马，来到阵前，却拎起了酱油瓶只顾围观——文章写好了，却压在抽屉里不发。因为，主帅出马了。

玻尔乍见 EPR 论文，如遇晴空霹雳，家事国事天下事，事事皆扔，专心应付老爱扔过来的一对诡异粒子。一开始，当玻尔冷静下来时，他惊喜地发现，EPR 的问题不难解答。但当他更冷静时，他惊奇地发现，问题并不那么简单……这个过程重复 N 次，搞得他时而欣喜，时而郁闷，时而沉思，时而激动，让研究所的小伙伴们着实领略了表情帝的倾情巨献。

10 月 15 日，也就是在 EPR 论文发表 5 个月后，玻尔的答复也发表在同一论坛，连题目也 Copy 了 EPR 论文：《量子力学所描述的物理实在可以认为是完备的吗？》。对这个问句，玻尔给出的回答也很干脆：“Yes”。

但他的答复内容，却一点也不干脆。这次，他忍痛让了一步，承认 EPR 成功地偷窥了圆圆——既“观测”了，又没造成“力学”骚扰。同时，他又认为，通过观测小小，去判断圆圆的情况，怎么说也是间接的，只有对圆圆进行“实际的”观测，你才能说圆圆“真的”右旋了。但是，这样，就说不清“观测小小之后、观测圆圆之前，守恒定律怎么办”——小小确定左旋，而圆圆不确定，左右叠加 ing，不守恒啊！



【图 9.14】EPR 佯谬

于是，玻尔作出一个连自己也不大容易接受的判断：对小

小的窥视行为，虽然不会立即对圆圆产生“力学”骚扰，但还是会对圆圆的“行为预测”产生“某种影响”。也就是说，虽然你没直接观测圆圆，但也是通过间接骚扰，才搞到圆圆的情报——她右旋了。所以，不存在没有相互作用的观测。你搞到了谁的情报，就一定对谁造成了骚扰，至少是间接骚扰。所以，“是什么，凭观测”，以及“一观测，便坍缩”还是没错。玻尔强调，这种间接的信息骚扰，不是物理上的真实的超距作用，所以并不违反相对论。但这个神秘的骚扰究竟是什么呢？玻尔没给出谜底。不是力学骚扰，不是真实的超距作用，却又产生了作用，这种神奇的解释让人抓狂，于是，爱因斯坦称之为“玻尔的妖术力”、“幽灵般的相互作用”。玻尔自己也感到，这个解释不给力，没有对爱因斯坦形成有效反驳，顶多算是反对。

于是，玻尔把注意力放在详解互补原理上。他说，没有什么量子世界，只有抽象的量子力学描述。你要是跟一个实在的粒子图象认真，你就输了。在观测之前，不存在什么自旋，甚至不存在什么粒子，小小和圆圆不是亲密互动过吗？从那一刻起，不管她们是形影不离还是天各一方，在观测之前，她都是一个整体，这个整体，你也不要看成是个双倍大的粒子，因为没有观测之前，它只是一缕抽象的概率波，而不是一个实在的系统。只有当你观测了，这个虚无的系统才变成了小小和圆圆这绝代双娇。正因为她们是一个整体，所以，你观测了小小，也就骚扰了圆圆——虽然是“间接”骚扰。

双方立足点不一样。所以吵起来，就是鸡同鸭讲，说不到一起去。

老爱认为，两个粒子亲密互动后分开，她们依然是两个实在的、客观的粒子。分开后，你观测其中一个，就知道另一个的情报，那么，如果没有超光速信号，就只有一种可能：她们分开时，各自的状态就已经确定了。粒子是客观的、实在的，它本就如此，而不是你观测了它才变成这样。

而玻尔认为，两个粒子亲密互动后，就成了一个虚无的整体，不管它们分开不分开。既然是一个整体，就用不着超光速信号，你观测其中一个，自然就骚扰了另一个。观测前，不存在什么客观、实在。你看到什么，都是观测方式决定的。

这次交锋，谁也没说服谁，双方都很苦恼。尤其是玻尔。玻尔也知道，自己的这次回复不太给力。1949年，他承认，当初的回复“表达不充分”，还有含糊不清的地方。他强调，EPR问题论战的重点是，搞清楚哪个是事物本身的行为，哪个是它们与观测者的相互作用。

双方的论战本身，倒是十分符合哥本哈根解释中的“观测”：你看到什么，取决于你怎样去看。双方站的角度不同，对论战胜负判断也不一样。论战伊始，狄拉克认为老爱给了量子论致命一击，而哥本哈根派宣布玻尔胜利了，但薛定谔却兴奋地宣称，老爱揪住了对方的尾巴。

老薛在与老爱讨论EPR佯谬的信中，用到一个词：纠缠。这个词后来成为量子论的一个术语：两个粒子发生了亲密互动，分开后依然保持纠结不清的暧昧关系，就叫“量子纠缠”。

EPR论文的目的在于挑战哥本哈根诠释，却在不经意间打开了一扇门——这个副作用的意义似乎更大，因为对EPR实验的较真，让物理学家们不知不觉走进了神秘的量子纠缠世界：天各一方的两个粒子高度协作，到底受谁摆布？波函数的神秘坍塌究竟因何而起？玻尔妖术力到底是真是假？超距作用的背后究竟谁是幕后黑手？对它的刨根问底，挖出了又一座学术金矿，引发了无限可能。欲知后事如何，咱俩以后再说，因为，现在论战还没有结束。

4. 薛定谔猫

玻尔感觉自己对EPR的回复不够给力，其实爱因斯坦觉得EPR论文写得也不够给力，关键点没表达清楚：此处某物的状态，不能取决于对彼处另一个物体的观测。身在天狼星的圆圆

是否右旋，不是靠我们偷窥地球上的小小是否左旋来决定的，就算她俩是闺蜜也不行。这个要点就是：分离原理。

物理学是在描述现实，这没错。但是，我们的描述可能是完整的，也可能是不完整的。为了把这个简单的道理说清楚，老爱又提出一个思想实验：

这回是两个盒子，1号和2号。都是密封的。其中一个盒子里有个球——真的有个球。打开盒子看有球没球，就叫“观测”。OK，现在你打算观测1号盒，在开盒之前，它有球的概率是50%。但是当你开盒之后，球在，概率就是100%；球不在，概率就是0。两个盒子，球在其中一个里面，对这个“现实”，有两种描述法：

1.球在1号盒的概率是50%。

2.球在1号盒里，或者不在1号盒里。

很显然，第1种描述是不完整的。开盒之前，如果第2种描述你做不到，那你只能老老实实地说，“两个盒中，有一个没球。球在哪儿？打开一个才知道”。而不是一句“球在1号盒的概率是50%”就万事大吉了。至于2号盒里，有球就是有球，没球就是没球，那是2号盒自己的事，跟1号盒里有没有球完全没球关系。你事先知道两个盒子里只有一个球，从数学上，可以用“一个盒里有球的概率是50%”来描述，打开1号盒，就知道2号盒有没有球，这时，2号盒有球的概率就是确定的1或者0。但是，你不能说，这就是完整的描述。假如你事先不知道这两个盒里是否有球、有几个球，那么，你再怎么观测1号，也没法知道2号的情况，因为这时，2号有球/没球的概率依然是不确定的50%，至于有几个球，就更不确定了。所以，回到那个结论：2号盒的情况，不是由观测1号盒来决定的，跟你是否观测、如何观测1号，都没一毛钱关系。这就是“分离原理”。

为了进一步搞好哥本哈根解释的拆迁工作，老爱搞来一桶

炸药：不是说“观测前，各种可能呈叠加态”吗？那好，这桶炸药将在下一年某时自爆。一开始，我们的波函数描述得很好——这是一桶未爆的炸药。但是一年后，波函数是这样描述的：这桶炸药，处于已经爆炸和没爆炸的叠加态！在我们的真实世界里，存在这种呈癫狂状态的炸药吗？嗯哼，还说这种描述是完整的，什么“观测之前，小小和圆圆处于不确定的左右叠加态”，这不就等于在说，这桶炸药既爆炸了又没爆炸吗？

老爱虽老，但这套动作耍起来也是行云流水，一口气扔出两个粒子、两个盒子、一桶炸药，动作优雅，威力惊人。饶是这套强力组合拳，老薛犹嫌不够给力，他融汇物理学、生物学、哲学三大神功，一举炼就爱氏炸药的疯狂升级版、物理学的超级怪兽——薛定谔之猫！

又是一个盒子，盒子里关着一只无辜的猫咪，还配置了魔鬼装备：一丁点放射性原子，放在盖革计数器中，盖革计数器控制一个锤子，锤子下有一瓶剧毒气体。原子一小时内“可能”发生衰变，射出一个中子，盖革计数器收到中子，就用锤子打碎毒气瓶，毒死那只猫咪。

根据哥本哈根解释，在没观测之前，原子处于暧昧状态，那个中子射还是不射、什么时候射，完全是不确定的，你不观测，它就处于“射了、没射、秒射、12秒射……”各种可能的叠加态，你一观测，它就随机选一个确定的剧情给你看，比方说在第12秒 Hold 不住射了，锤落瓶碎，毒溢猫亡。

好吧，对于原子这种看不见的东西，你可以用所谓概率、叠加态之类的神器来应付我们，反正只凭想象，眼不见心不烦。现在好了，原子的叠加态直接导致了猫的叠加态：中子射出，猫死；中子没射出，猫活；中子处于射与未射的叠加态，那么，猫，也处于死和未死的叠加态！

薛定谔嘴角现出一丝神秘的微笑：亲爱的，在没观测之前，这只猫既是死的，又是活的，是吗？



【图 9.15】薛定谔猫

老薛的意图很明显，生物学上不可能存在“有的猫活着，它已经死了；有的猫死了，它还活着”的恐怖景象。所以，要么，你就改哥本哈根解释，要么，你就背起违反生物学常识的罪名，承认存在又死又活的生物！

太歹毒了吧？一个解释而已，大家随便聊聊也就过去了，用不着玩儿这么大吧？！哥本哈根派幽怨的眼神有些受伤。

“好吧，算你狠！”哥本哈根派权衡利弊后，强咽一掬苦泪，咬牙切齿地答道：“是的，没观测之前，这只猫确实既是死的，又是活的！”我的痛，你永远不懂。

上帝啊！宽恕我们这些无聊的人类吧！

薛猫一出世，没等炒作，就火了，在物理学界精灵圈里如日中天，风头压过了麦克斯韦妖、拉普拉斯妖等老牌明星。在薛猫咄咄逼人的瞪视下，几个恼人的问题再也捂不住了，它们被迫来到你面前，用手撑开你的眼皮作自我介绍，你再也没法假装看不见了。现在，我们就在眼前随便抓几个问题假装探讨下：

最现实的问题：猫真的既死了又活着吗？

不管是根据方程，还是根据哥本哈根解释，在没观测之前，原子“发射了中子，没发射中子，发射到哪儿，何时发射”这

些项目的所有可能性都叠加在一起，混搭成一缕幽灵般的概率波。而猫的命运，的确捏在这个叠加态的原子手中，所以，猫的死活，也只能处于叠加态。因此，哥本哈根派就算咬碎钢牙，也得信誓旦旦地发布“此猫死了，它还活着；此猫活着，它已经死了”的消息。于是，我们不得不面对第二个问题。

最纠结的问题：观测仪器和观测对象的关系问题。

我们这些观测者，以及我们依仗的这些观测仪器，不管是加强版的还是袖珍版的，都属于宏观世界，而我们观测的那些粒子，属于微观世界。老薛强迫微观的原子和宏观的猫同呼吸共命运，让人不得不追问：微观世界和宏观世界有分界线吗？说“没有”，应该不对，因为量子论解释不了宏观现象，而相对论又搞不定微观现象，很显然，有一条鸿沟横亘在此；说“有”，那就相当纠结，这个分界线在哪儿？究竟几个原子以下是量子论说了算？几个原子以上是相对论说了算？这个问题，就像“多少粒沙子可以算一堆”一样不好回答。于是，接下来的问题就更纠结了：观测仪器和观测对象之间的界限在哪儿？咱俩派一个光子去撞原子，原子受激发射一个光子（在我们看来是“反射”），被我们的仪器接收，于是我们挖到了原子的隐私。那么，这个光子，是仪器的一部分还是观测对象的一部分？对这个问题，玻尔给了个不算答案的答案。他说，宏观世界和微观世界之间，没有明确的界线。观测者和被观测者的关系就更模糊了，它们不仅界线不清，关系更是密不可分。就好比盲人拄拐，他通过拐杖“观测”世界，那么，你来说看看，他的“感知”是从拐杖尖开始的，还是从拐杖柄开始的？但是，对提问者来说，你如此回答，只是在应付问题，而不能解决问题。不管是多么宏观的物体，都是由微观粒子组成的，你搞不清分界，就只好乖乖地回答第三个问题。

最狗血的问题：月亮姐姐在哪儿？

你不观测它时，它就是各种可能的叠加态，按照波函数展

开，它是不确定的，非客观、非实在的。面对这个解释，爱因斯坦愤慨地揶揄道：“难道我不看月亮，月亮就不存在吗？！”没想到哥本哈根派认真地点了点头，是的！因为组成月亮的，说到底也是一个一个粒子。粒子嘛，我们大家都知道，你不看它时，它是不确定的，不确定的粒子不是粒子，只是概率波，按照波函数演化弥漫在空中。既然组成月亮姐姐的每一个粒子都是不确定的，那么，月亮姐姐本身也就是不确定的了，她是无数粒子的无数可能的叠加，你不看她时，她是无数抽象的、虚无的波函数，不存在一个客观的、实在的月亮姐姐。但是，只要你一观测，她就立即坍缩成一个星球，无辜地挂在那儿给你看。“青天有月来几时，我今停杯一问之。人攀明月不可得，月行却与人相随？”如果李白知道，自己挚爱的明月只是一团概率波，他还会跳水去捞她么？当然，李大诗人的问题，相对于宇宙生命的问题，还是小问题：地球是怎么来的？在没观测之前，地球也应该是不确定的概率波，不是客观的、实在的，在一团非客观、非实在的概率波中，生命是怎么产生的？难道非要有个外星生命一通观测，才有了一个地球，然后才有了生命？好吧，就算真的是这样，解决了地球生命的问题，可是，那个外星生命又是从何而来？要知道，没观测之前，宇宙里都是不确定的概率波啊，哪有什么星球？！好吧，扯远了，再扯回来：你看她，她才出场，那么，究竟谁才有资格令她出场呢？这就是我们不得不硬着头皮硬扛的第四个问题。

最抓狂的问题：猫可以是观测者吗？

在没观测之前，猫处于死/活叠加态。问题是，“谁”观测之前？你？我？物理学家？凭什么啊？不是谁都行吧？那么，有条件？年满 16 周岁身高不低于 160cm 小学以上文化程度？你说这种条件太荒唐？是的，我也同意，大自然不应该有如此势利眼的限制。那么，婴儿行不行？婴儿行的话，猫凭什么不行？难道盒子没打开之前，猫在里面没观测？它也有眼睛啊！并且

很犀利。它在盒子里观测自己，让自己的波函数不停地坍缩、确定，就没有什么“死/活叠加态”的猫了，是不？答案居然是“不”？因为猫不能观测自己的生命状态，说白了，就是它没有判断自己是死是活意识。神马？“意识”？太扯了吧？！波函数要不要坍缩，竟然是观测者有没有“意识”决定的？你还真别不信，实验表明，如果你只是放一个设备在那儿，不去观测，波函数是不坍缩的，比方说，你在双缝实验中，把一个监视器放在其中一条缝上，不启动它——让它处于非工作状态，像石头那样闲置在那儿，那么，条纹依然存在，一旦你启动它，并且能够观测粒子究竟通过哪条缝时，干涉条纹就不见了——波函数坍缩了！苍天呐……好吧，就算是这样，波函数又是怎么知道，哪个观测者有“意识”、可以坍缩，而哪个观测者没“意识”、不必坍缩呢？

……

薛定谔猫那欲生欲死的暧昧身影，不死不活邪魅眼神，消蚀着哲学家的敏感的大脑，啃噬着物理学家脆弱的神经，不管你怎么去讨论它，最后都会被你自己的思路逼疯，就连把全部生命都用来思考的霍金都受不了，他说：“我一听到薛定谔之猫，就跑去拿枪。”好在霍金既不能跑，又拿不了枪，所以，不知死活的薛猫还在我们眼前晃来晃去，让你焦虑，让你好奇，让你抓狂，让你着迷。

真正的科学理论，就是不怕辩驳。越是害怕辩驳的理论，越是容易破产。不自信，才会反复强调“不容辩驳”。这场论战的发起者早已随时光逝去，但论战仍在继续。伟大的世纪论战动用了最强悍的智慧，也没有挖到那个理想的、清晰的、唯一的答案，却挖出无数神秘的暗道，通向未知的远方。这让我们愈加清楚地意识到，量子论不是我们以为的那样不可思议，而是比我们以为的更加不可思议！

第十章 量子论四 何去何从

第六根手指

“最终，我们必须能将这一切解释给玛格丽特听。”玻尔在话剧《哥本哈根》中如是说。很显然，玻尔的梦想要落空。因为，薛定谔之猫带来的每一个问题，都是挑战人类智慧承受极限的重磅礁石，把物理江湖的顶尖高手都砸得晕头转向，何况是玛格丽特？！

物理学的辉光，对开启人类智慧的作用，怎么说也不为过。遥想物理当年，拿破仑翻完拉普拉斯的整本《天体力学》后，纳闷地问小拉：“你说你的大作里包括了宇宙所有的东西，但是，上帝在哪儿？”小拉爆屁地答道：“陛下，我不需要这个假设。”这个无比拉风的回答，不仅是物理学家的荣光，更是人类智慧上升到一个巅峰的骄傲宣言！

是的，我们不再向龙王求雨，不再恐惧彗星出现，不再害怕天狗吃月，不再沉迷无法证伪的花言巧语，不再相信某颗恒星代表某人的命运……这一切，得益于物理学及其带来的科学方法！

我们经历了多少蒙昧与挣扎，走过了多少思考与恐惧，才把神从自然规律中请出去，创造了一个规则简洁、因果明晰、运转有序的美丽世界，一切尽在优雅的物理定律掌控之中。

更重要的是，这个世界是客观的、实在的，它不以任何人的意志为转移，也不因任何人的行为而存在。

而眼下，量子论，准确地说是量子论的哥本哈根解释，却把“观测、意识、非客观、非实在”这些主观恶魔引入了自然。这也太不自然了！难怪爱因斯坦生气。估计牛爷和麦爷听说这事儿，也免不了吹胡子瞪眼。

为了搞定这些让人吐血的问题，物理学家们不得不寻找理

想的理论——它既能解释量子世界的诡异行为，又能让大家心里舒坦些。于是，各种稀奇古怪的理论如雨后春笋，呼喇喇扑哧哧钻出地面，迫不及待地脱袍举竿，甩枝摇叶，一时间热闹非凡。

一马当先的，当然是听起来最舒坦的“隐变量理论”。因为这个理论的种子，早在世纪论战之初就种下了。还记得德布罗意在 1927 年第五届索尔维会议上的发言不？他提出了“导波理论”：电子是一种既是粒又是波的存在，就像浪里浮萍，浮萍要去哪，浪说了算。那个“浮萍”，就是粒子。这个“浪”，就是“导波”，也就是控制粒子运动的“变量”。但是目前，我们搞不清楚导波丞相究竟是怎么做到挟天子以令诸侯的，这让粒子陛下的运动看起来像是一种“有规律的随机行为”，所以，这个看不清的变量就叫“隐变量”。因此，“隐变量理论”是在说：粒子运动“本来”不是随机的，只是我们还没搞清楚那个隐藏的变量究竟是怎么回事儿。

是的，一切的根源，就在于那梦幻般的波函数，什么叠加态、什么坍缩，什么与观测者相互作用，都是因为我们搞不清其中的具体机制，只能描述它的行为概率，所以，才捅出那么多幺蛾子。搞定隐变量，就搞定了物理，就可以让脚下不再绵软，让头顶不再虚幻，让内心不再飘摆，让世界充满爱。

然而，当梦想照进现实，我们才知道，现实并不爱梦想。德布罗意的这颗隐变量种子刚撒到地里，就被泡利伙同玻恩和海森堡冲上去一通狂踩，深埋在地下不能呼吸、不见天日。当薛定谔之猫飞沙走石，搅得周天寒彻时，物理学家们自然而然地想到这颗希望的种子，准备松松土，浇浇水，让它生根发芽，成为量子大厦的栋梁。还没等动手呢，一座山突然砸下来，山上还贴了一条封咒，上书：唵嘛呢叭咪吽。

这位佛祖，就是鼎鼎大名的约翰·冯·诺依曼（John Von Neumann）。

冯·诺依曼是匈牙利裔美国人，神级天才，在多个领域都是大腕，20 世纪最伟大的全才之一，他是物理学家、发明家，他搞经济学，是博弈论之父；搞数学，成为 20 世纪最杰出的数学家之一；发展计算机，成为现代电子计算机之父。虽然天妒英才，只给了他 54 年生命，但他的传奇，从童年时代就上演了，他滥情学问，见一个爱一个，爱一个就搞定一个，读过的书过目不忘，多年以后仍能准确复述。据说，他 6 岁就能心算 8 位数乘法，还可以用古希腊语和老爸闲聊，一生熟悉 7 门外语，不到 18 岁就和老师合作发表了第一篇数学论文，不到 23 岁成为布达佩斯大学数学博士。28 岁时，与爱因斯坦一起，成为普林斯顿大学的首批终身教授，一生载誉无数。他的贡献太多，清单拉出来太长，所以我们只好免单了。



【图 10.1】冯·诺依曼

在高手云集的量子论领域，冯·诺依曼照样战功卓著，抢了一席之地。1932 年，冯·诺依曼写了一本书：《量子力学的数学基础》，给了量子力学一个严格的、统一的数学体系，这本书成为量子物理的圣经。不过，在这里，它的历史地位不是重点，重点是，书中有一个有趣的探讨：是否可能通过引入隐变量，把量子力学变成一个确定性的理论？小冯的答案是：否。他知道，空口无凭，于是顺手甩出一个数学证明，抹煞了隐变量理

论逆袭成功的希望。

小冯也承认，量子力学在数学上与实验符合得很好，但它只是最好的经验总结，而不算已经被证明了的理论。尽管如此，也没有谁怀疑冯大师给出的那个数学证明。人们一看，这个证据是冯·诺依曼给的，就全盘接受——当代最伟大的数学家之一嘛！

然而，还真有不信邪的——又是两个年轻人：一个叫玻姆，另一个叫贝尔。爱因斯坦的追随者。

戴维·约瑟夫·玻姆（David Joseph Bohm），1917年12月生于美国宾夕法尼亚。犹太血统。企业家父亲想让玻姆继承父业，搞好家具生意，但玻姆迷恋自然规律，好学不怠。1939年，玻姆取得宾夕法尼亚大学科学学士学位，又到加利福尼亚大学的伯克利分校，成为奥本海默（Julius Robert Oppenheimer 曼哈顿工程的主要领导者之一）的博士生。1947年，玻姆到普林斯顿大学任助理教授。

玻姆早就迷上了相对论和量子论，而来到普林斯顿大学，相对论的缔造者和量子论的奠基人爱因斯坦就成了他的同事。玻姆对哥本哈根解释也不感冒，尤其是对EPR实验的解释。他相信，一定是某个隐秘的机制没搞清楚。在研究中，他把EPR实验升级成了简洁明快的自旋版。玻姆把自己的想法跟老爱聊了聊，老爱鼓励这个年轻人，多多研究哥本哈根解释。

玻姆要搞清楚的那个隐秘机制，也就是所谓的隐变量。玻姆也知道，小冯大师早就给隐变量判了死刑。但是，跟老爱聊过之后，玻姆感到很振奋，决定完成这个不可能的任务：复活隐变量理论。他做到了。

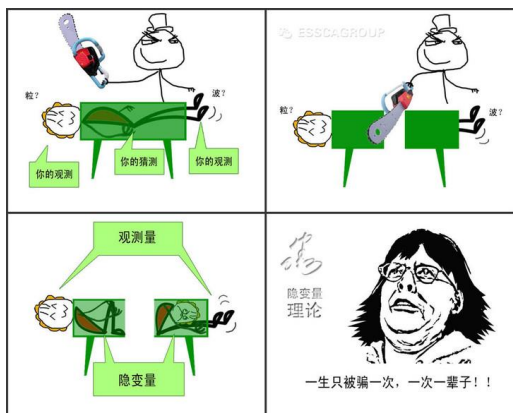
实际上，隐变量这东西并不稀奇，还记得布朗运动吧？花粉微粒的运动，就是由看不见的液体分子撞击导致的，它们来回折腾，冲撞花粉微粒，让微粒看起来莫名其妙地运动。如果我们得到液体分子运动的翔实数据，就能算出花粉的运动路线。

但是在布朗时代，人类不知道有液体分子这码事儿，那么，液体分子就是“隐变量”。后来老爱用统计方法，搞定了布朗运动，这个统计方法，就相当于量子论的数学公式。它很好用，但没有完整描述每个微粒的精确运动，只是描述了它们的运动概率。

另一个类似的例子是，波义耳发现了气体定律：温度一定时，气体体积与压力成反比。虽然公式很好用，但他不知道为什么会这样。后来，麦克斯韦发现，气体压力是分子运动、撞击容器壁引起的。对波义耳来说，分子运动就是隐变量，他的“体积与压力反比”公式，就相当于量子力学的数学公式。它与实验相符，但所描述的不是事实的全部。

这样的例子还有很多，比方说，牛顿发现了万有引力，然而，引力是什么，他不知道，但这并不代表引力是无源之水，那么，引力子、时空弯曲对牛顿来说，就是隐变量，他给出的万有引力公式，就相当于量子力学的数学公式，而牛顿力学解释，就相当于哥本哈根解释。再比如：希格斯粒子曾经是质量的隐变量，原子能量层级曾经是光谱的隐变量，维护无效的监督制约机制现在是官员贪腐的隐变量，老婆的情人常常是受冷落丈夫的隐变量等等。

玻姆为量子力学量身打造的隐变量理论，实际上是德布罗意导波理论的升级版。在这个升级版中，粒子陛下还是那个粒子陛下，然而，导波丞相却已变身为“量子势”丞相。量子势继承了波动的性质，按照薛定谔方程演化，却有着波族望尘莫及的手段，波的影响力随着传播范围的扩大，强度逐渐衰减，而量子势完全不用考虑强度问题，因为它可以弥漫到整个宇宙，而毫无衰象，其势力范围令人匪夷所思。但是我们都不用担心被浩瀚的量子势挟持，因为量子势虽然霸道，却并不滥情，所以每个量子势丞相只掌控自己的那个粒子陛下。宇宙中的任何时空角落发生了什么，量子势丞相都会实时掌握消息，并即时作出反应，控制粒子陛下的行动。



【图 10.2】隐变量

一个经典粒子发出一个神通广大的量子势，并受控于它。在这个基本原理的指导下，玻姆玩儿起了他的拿手好戏——数学，巧妙、精密地建立了隐变量理论系统，试驾了下，运转自如。1952年，玻姆的新版量子力学——隐变量理论悍然矗立在原版量子力学面前，耍了一套量子神功，用实力宣示：“你能做到的一切，俺全能做到；哥本哈根派能解释的，俺全能解释！俺们的口号是：一切为了取代原版，为了取代一切原版，为了取代原版一切！”

原版一看，不得了，你这是要跟老衲死磕啊！仔细一看，可不是！隐变量的这套量子神功招法精到，内力雄浑，不管从哪方面看，都毫不逊于原版！就说高难度动作单粒子过双缝吧，用量子势来对付，就显得游刃有余；当粒子殿下浑浑噩噩地朝双缝溜达时，量子势丞相已然探明前方有两条缝，以及缝宽缝间距等情报，于是启动干涉模式。而当有人搞破坏，堵上其中一条缝时，量子势丞相也会立即得知，并随时调整粒子陛下的行程，启动衍射模式。至于让大家纠结的 EPR 实验，就更好解释了，两个粒子的量子势即时联络，随时调整配合，不存在什么诡异的“完全随机+高度协作”矛盾共同体！

另一位不信邪的年轻人贝尔看了玻姆的隐变量理论，欣慰地写道：“我看到不可能的任务完成了。”

约翰·斯图尔特·贝尔（John Stewart Bell），1928年7月生于北爱尔兰的一个工人家庭，由于父亲的工作时有时无，所以家境窘迫。苦孩子贝尔从小就定了个不切实际的目标——当个科学家。为了实现他的理想，全家都喊他“教授”，但是光喊外号是不解决问题的，于是家人又做了第二件事：举全家之力供他上中学。这让他有一个姐姐和两个弟弟没了上中学的机会。贝尔没让家族失望，他中学毕业后，靠自己打工和奖学金完成了皇后大学的学业，捧回了实验物理、数学物理两个学位。



【图 10.3】贝尔

量子论的深邃、神秘、不羁和瑰丽，都让贝尔痴迷。然而，量子论的哥本哈根解释，贝尔一点也不喜欢，这就像给心中的女神穿了一件僧衣，怎么看怎么别扭。贝尔相信，世界是实在的、客观的、确定的，而不会是“你去观测它，它才根据你的观测方式，随机甩给你个结果”那样不着调、不踏实。贝尔憧憬爱因斯坦理想中的世界。所以，他也考虑过隐变量的问题。然而，他悲哀地读了玻恩写的一本书，在这本书里，玻恩提到，隐变量已经被小冯大师判了死刑。冯·诺依曼的书是德文的，贝

尔不懂德文，所以没法看原著。不过，冯·诺依曼何许人也？！那不是人，是神！何况是数学控玻恩在书里介绍的，谁还会怀疑那个数学证明呢？于是，贝尔断了隐变量的念头。

所以，当他看见玻姆的隐变量理论时，一种他乡遇故知的感觉油然而生。不可能的任务完成了，这说明什么？说明这个任务不是不可能的！恰好，1955年，冯·诺依曼著作的英文版出版了，于是，贝尔用狐疑的目光重新审视小冯大师的那个证明。真是不看不知道，一看吓一跳。

我们知道，所谓概率波，就是所有可能的叠加，换言之，这些概率分布是可以叠加的。那么，你多次观测波函数坍缩的结果，把每次观测的结果叠加起来，计算一下，就可以得到波函数坍缩后的平均值，或者叫期望值。举个例子：

大家都知道，扔硬币得到正、反面的概率各占50%，扔1枚得到正面的概率是0.5。那么，我们一次扔3枚，可能得到几个正面呢？有4种可能：0、1、2、3，平均起来是 $(0+1+2+3)/4=1.5$ 个。这个平均数，就是扔币总数的50%，也是扔硬币单面出现的概率。那么，我们2次共扔6币，得到正面的期望值就可以这样算： $1.5+1.5=3$ 个。以此类推，扔100次（300枚），得到正面的期望值就是150个。

现在，咱俩就来玩儿这个无聊的游戏：扔硬币。规则是，每一轮，我扔1次，每次扔3枚；你扔3次，每次扔1枚。你我每轮都是扔3枚硬币，每轮得到正面的可能都包括了0、1、2、3，很公平。

好，游戏开始，每扔一轮，就自己观测自己扔出了多少正面，并记录下来，强调一下，这些结果当然是完全随机的。咱俩分别把自己记下的结果叠加起来，算一下，就会发现，扔的轮次越多，正面个数就越接近扔币总数的50%，也就是越接近期望值。这是什么意思呢？就是说，我1次扔3枚，你3次各扔1枚，得到正面的概率是一样的，换句话说，我1次扔3枚

所得正面的期望值，等于你 3 次各扔 1 枚所得正面的期望值。所以说，完全随机的结果的平均值可以叠加。那么，你我扔币的统计结果，就有线性叠加关系：

$$(A + B + C, \psi) = (A, \psi) + (B, \psi) + (C, \psi)$$

左面，是我 1 次扔 3 枚所得正面的期望值；右面，是你 3 次各扔 1 枚所得正面的期望值。

A、B、C，就是对各硬币的一次观测，也就是观测 A、观测 B、观测 C；那个 ψ ，咱俩都认识，它是 0、1、2、3 这 4 种可能的叠加，我们扔币后观测的结果，就相当于波函数坍缩的一个随机结果。

这个式子换成具体的期望值，看起来就清楚了：
 $1.5=0.5+0.5+0.5$ 。

OK，冯·诺依曼给出的数学证明，一共 5 个假设，其中，第 5 个假设给出的数学形式大致是这样的：

$$(A + B + C, \psi, Y) = (A, \psi, Y) + (B, \psi, Y) + (C, \psi, Y)$$

那个 Y，就是传说中的隐变量。咱俩刚才玩扔币游戏，是没有隐变量的。现在，冯·诺依曼考虑了隐变量。

这个式子在说：即使有了隐变量，这个系统依然是可以叠加的！

贝尔惊奇地发现，这个假设摊上大事儿了，问题就出在 Y 身上：隐变量 Y 的结果是确定值， ψ 是概率的，你观测它，会得到一个随机结果。这些随机结果，按照波函数的概率分布，而波函数，是所有可能的叠加，其中自然包括了 Y 的可能分布。也就是说， ψ 和 Y 不是并列关系。更重要的是，Y 导致的是确定值。确定值是不能线性叠加的。

还是刚才那个游戏，我 1 次扔 3 枚，得到一个确定的正面数：3 个。你 3 次各扔 1 枚，得到 3 个确定的正面数：0、0、1。很显然， $3 \neq 0+0+1$ 。再扔一轮，我得到 1 个确定值 1，你得到 3 个确定值：1、1、0。 $1 \neq 1+1+0$ ……按照概率，如果一轮一

轮累加下去，等式两面的值会越来越接近，问题也不大。但是，冯·诺依曼上面给的式子在说，你我每轮扔币得到的确定值必须相等！这可玩儿砸了！

贝尔简直不敢相信自己的眼睛，但他不得不相信自己的眼睛，白纸黑字，毋庸置疑啊！这个错误好像很幼稚，但的确是数学大师冯·诺依曼犯下的！

冯·诺依曼狂拽炫酷的天才曾经惊呆无数牛人，不说学识，单说他闪电般的思维，就可以用恐怖来形容。他的周围常常是诺奖获得者之类的牛人，但冯·诺依曼仍然可以鹤立鸡群。一次，美国物理学家塞格雷（Emilio Gino Segrè 诺贝尔物理学奖获得者）和另一位诺奖获得者为一个积分奋力拼搏，却毫无结果。一筹莫展之际，他俩发现冯·诺依曼在走廊飘过，于是拖来办公室请教，那个难题就写在黑板上，冯·诺依曼来到门口，瞟了一眼黑板，立即给出了答案，然后飘走了，留下俩目瞪口呆的诺奖获得者，他们被另一个问题难住了：俺们俩奋战了一小天都没解决的问题，冯·诺依曼是用什么办法在 3 秒之内解决的？冯天才类似的故事一抓一大把，就不多说了。总之，大家都怀疑他不是地球人，所以叫他外星人。然后，圈子里出了个“冯·诺依曼公式”：

（A）冯·诺依曼可以证明任何事。

（B）冯·诺依曼所证明的任何事都是正确的。

然而，他的第五假设证明这个公式是错误的。上部说过，2300 多年前，欧老就被他的第五公设折磨得寝食难安，而如今，冯天才干脆直接栽在他的第五假设上。真是造化弄人啊！

事实又一次有力地证明，小沟翻船莫骂娘，高手失足更坑爹！慑于冯·诺依曼的威名，30 年来，从来没人怀疑这套数学证明会有错误，尤其是不敢想象竟会有如此低级的错误。所以后来大家怀疑，这套证明根本就没人仔细看过，估计是大家只关心冯·诺依曼的结论，反正这套证明已经告诉我们隐变量不靠

谱就 OK 了，相信他，没错的，管他怎么证明的？！发现这个错误后，贝尔说，这个证明不仅是错误的，更是愚蠢的！

对不起，佛祖，你的封咒写错字了！孙猴子已经上天了！

宣判无效，隐变量是合法公民。世界还是那个世界，熟悉、亲切、踏实、温暖，爱因斯坦的梦想要实现了！好像有两个字要跳出来了：完美！

不过，等等，经验表明，每当我们以为问题已经完美解决时，就要出大事！果然，有人在反对，并且很大声。谁啊？

爱因斯坦。为什么呢？玻姆是在支持老爱，老爱为什么要反对？

很简单，作为一个孤独的探路人，爱因斯坦始终是在寻求真相本身，而不是在寻求支持者。表面上看，玻姆的隐变量理论可以替代哥本哈根解释，光复实在和决定的美好世界，但是，他付出的代价和使用的手段，都是爱因斯坦不能忍受的。



【图 10.4】玻姆

首先，玻姆扔掉了经典世界的一项重要属性：局域性，或者叫定域性——前面说过，这是指在一定时间内，事物的影响范围都是有限的，而不是无限的。因果关系也是一样。而玻姆的量子势完全不拿局域性当回事儿，不论远隔天涯海角，还是

宇宙洪荒，量子势都能随时把消息传给粒子，并即时左右粒子的行动，视相对论的禁令为无物。想想看，浩瀚宇宙中有多少个粒子啊！每个粒子的量子势都能即时刺探和通报宇宙任何一个角落的消息，所有粒子都知道所有粒子的隐私，整个宇宙通透无比，多大的屏障也不是屏障，多远的距离也不是距离，这是一个多么恐怖和荒谬的世界啊！

其次，这款理论虽然马力强悍，转向平稳，钣金厚道，操控性强，但是，多了一样东西，而这个多余的东西，正是隐变量本身！这就好比改装了一辆赛车，这次改装以加了一个备用油箱为标志，它可以让车跑得更远，但是，你忘了，这是F1赛车，油够跑一圈就OK了，并且，备用油箱的增重，减慢了速度！所以，那个标志性的改装就成了多余的第六根手指！隐变量理论说，量子行为之所以在我们看来是概率的，那是因为隐变量的扰动在捣乱，让我们观测不到粒子们的确定行为。我们观测不到，不代表它不存在。现在，隐变量拿出量子势，来解释这些扰动，但也只是停留在“解释”上，至于那个“确定的行为”，它还是没描述出来。也就是说，你弄了个九转十八弯，得出的结果跟原版量子力学一样，依然是概率的！只不过是把哥本哈根解释踢下马，又把隐变量解释扶上马。如果仅仅是一个上马、一个下马，倒也没问题，优胜劣汰嘛！问题是，同样的结果，原版数学形式体态玲珑、线条明晰、健康优雅，美得自然而又科学。而用了隐变量解释，没改变概率的结果不说，还把整个数学的体态搞得臃肿不堪，仔细一看，那坨多余的肉正是隐变量！大家都是玩儿奥卡姆剃刀长大的，你搞这么累赘不是找削么？

最后，老爱客气地回帖点评：此理论价值不大。

恐惧与挣扎

物理学被冲击到一个陌生的险境，进退不能，危机四伏，看哪儿都头大。

不过，有的科学家却没啥烦恼。因为，他们认为，根本不存在任何问题，什么这解释、那解释，统统都是庸人自扰。这些实用主义、工具主义的科学家认为，对于世界，我们只需会“算”，无需去“懂”。世界是什么样？世界为什么是这样？那是哲学的事，科学只要有实验、观测、方程、计算就 OK 了，对于量子力学，我们只需留下它的数学体系，让什么哥本哈根解释、隐变量解释等 N 多解释统统见鬼去吧！康奈尔大学的物理学家大卫·默明（David Mermin）的这句话相当到位：“闭上嘴，计算它！”。史称“闭嘴计算解释”，也就是传说中的“不解释”。

然而，留下技术，扔掉认识，很多物理学家无法接受。因为，多数物理学家的初衷，是做一个世界真相的探险家，而不是当一个制造工具的高级技术员——虽然实用性是科学的主要属性之一。

是的，没有了对世界的精确计算，物理学将失去 99% 的生命力，而离开了对世界的深刻认识，物理学也就失去了 99% 的吸引力。好吧，我们需要解释！

一套倾倒众生的数学体系，配着一套雷倒众生的哲学解释，这款怪异混搭，让量子力学成为物理江湖的风暴眼，看似纯净无辜，却聚焦了四海涌动的思潮，所到之处，地覆天翻。是的，物理江湖从未如此动荡。乱世无宝，很多珍如生命的东西，就像生命一样被弃如敝履。

为了回归经典，玻姆扔了不少东西，包括经典本身。看来，经典不那么容易回归。然而，跟着哥本哈根解释走，似乎也只是无奈之举，没有多少人心甘情愿。因为，哥派指的路，更是让人心惊肉跳。

我们回到薛定谔猫对哥派解释的拷问：

猫真的既死了又活着吗？这是关于叠加态、坍缩、概率的问题，为了搞定它，玻姆壮士断臂，不惜抛弃定域性，却只能

作出“解释”，而没能改变叠加态、坍缩和概率的数学结果。

观测仪器和观测对象的关系问题。玻尔给的“盲人拐杖”解释，让人嗅到一股浓烈的哲学应付味道，听起来满是道理，却毫无用处。玻尔谈物理必先谈观测，但始终没清晰地定义什么是一次“观测”，如果说，眼睛看是观测，那么，用手摸、用耳朵听，用鼻子闻、用舌头舔、用照相机拍算不算观测？如果科学家“看”是观测，那么，警察看、十二岁女孩看、一岁半男童看、摄像头看、猫看算不算观测？这些问题，玻尔不会给你一个明确的答案。

冯·诺依曼提供了一个解决方案，他指出，仪器本身也是粒子的组合，所以，仪器也有波函数。这个说法，我们并不陌生，这其实就是“月亮姐姐在哪儿”的问题，人造的仪器也和纯天然的月亮姐姐一样，都由不确定的粒子组成，你不观测它，它就处于朦胧的叠加态。所谓月朦胧鸟朦胧，只不过是观测问题。就像薛猫一样，盖革计数器观测原子射没射中子，原子处于射与未射的叠加态，计数器就处于收到与没收到中子的叠加态。那么，锤子砸\没砸，药瓶碎\没碎、猫死\没死……都处于叠加态。同理，你用别的仪器去观测盒子里发生的某件事，这个仪器也会处于叠加态。

与玻尔不同的是，冯·诺依曼不只是解释，他还买一赠一，提供了数学模型。冯大师的数学模型动用了他命名的“希尔伯特空间”。在冯版量子力学中，一个物理系统可以表示为一个复希尔伯特空间。模型显示，所谓波函数，是复希尔伯特空间的一个向量，所谓坍缩，就是这个向量在某个方向的投影。盖革计数器“观测”原子，原子的波函数倒是坍缩了，但计数器自己却癫狂了——叠加态转移到计数器身上了——它处于收到与未收到的叠加状态，坐等下家来观测；如果来了一台仪表去“观测”计数器，仪表就杯具了，叠加态转移到仪表身上了；而用摄像机去观测仪表，好吧你已经知道了——仪表的波函数坍缩

了，确定了，叠加态又转移到摄像机身上了……不管你加多少仪器，最后那台，总是处于叠加态，整个系统还是处于不确定状态！这个疯狂的机制叫做“无限复归”。粒子就像大话西游里的紫霞/青霞仙子，二人叠加在同一个肉身上。而观测就是移魂大法。想让青紫叠加态坍塌成一个，就得有下家多接一个灵魂，变成叠加态。那么，谁来终结这个狗血的叠加态呢？大话西游里真的用了一只狗，它的肉身分担了一个人的灵魂，这才解决了整个系统总有一个叠加态的尴尬。不过，这个办法本身也很尴尬：狗身上是不是叠加了两个灵魂呢？香香+狗叠加态？如果“意识”算是灵魂的话，按照哥派对薛猫的解释，猫既然处于生/死叠加态，就说明，它的观测没有让波函数坍塌，也就是说它没有意识。因此，狗也一样，应该是没有意识的，所以，这个神话中的“意识叠加态”也就终结了。

那么，在量子世界，谁能终结整个系统的不确定状态呢？这就是“猫可以是观测者吗？”的问题。是我们——只有人可以终结叠加态。实验表明，我们观测时，波函数的确坍塌了。可见，在波函数面前，比的不是眼力，而是理解力！在观测这个问题上，人与阿猫阿狗的区别，竟然在于：人有“意识”！

难道，世上本没有粒子，只有散漫的波函数被意识到了，才有了粒子，也便有了一个“实在的”世界？！或者说，一个庞大的复希尔伯特空间弥漫着无数向量，无怨无悔地苦等意识之光的照耀，好屁颠屁颠地去投个影？！这简直就是胡说八道！然而，让人胸闷的是，到目前为止，所有观测结果都证明这不是胡说八道，至少没有一例实验证明这是错的。可是，凭什么只有意识才会让波函数坍塌？波函数又是怎么知道它自己“被意识”到的？意识究竟是什么东西？意识究竟是不是东西？！

意识，是人的头脑对于客观物质世界的反映，是感觉、思维等各种心理过程的总和，也是人类知道自我、了解世界的核心。

意识，人类大脑的一切活动及结果，即作为具有自觉性的思维。

意识，是知觉、感觉或觉察的状态。

还有有很多种，一般来说，能肯定地告诉你什么是意识的，都是各有侧重的哲学定义。虽然我们不能冒昧地说，这些哲学定义是片面的，但是，在这里，我们要的，就是一个严格的、完整的、精确的、被普遍接受的科学定义。

对不起，让大家失望了，关于意识，目前，憨直、厚道、一根筋的科学还没给出一个确切的定义。可以说，关于意识的探讨，还在模糊和混乱之中。这样也好，我们可以乘乱探讨一番，而不必担心“错”得太离谱。

还是从薛定谔猫开始。根据测不准原理，观测必然产生骚扰，比如光子撞原子什么的。那么，薛猫盒子里的瓶碎了，它的声音传出来，是不是一次观测？我们没有对盒子里的任何东西产生骚扰，因为即使我们不在那儿，声音该传出还传出，是吧？所以，这应该不算一次观测。

但是，根据冯氏数学模型，这就是一次观测。空气振动传到耳朵里，这时候，空气分子就成了观测手段的一部分，它们用振动向人传递了信息，让人“意识”到猫应该是死了。

然而，在声音传出之前，我们是不是可以“确定”猫还活着呢？没有声音时，猫还是死/活叠加的吗？

哈，晕了吧？其实，上述都是不该问的问题。要知道，薛猫的盒子是不允许这些问题出现的。因为，盒子的作用，是让你“不能观测”，而不仅仅是让你“眼睛看不见”，所以隐含了隔音、防震等功能，让你不能通过任何手段去观测。

既然都是不该问的问题，为什么还要一本正经地来探讨呢？因为，所有这些，都直指一个让人头疼的问题：即使没有什么光子观测扰动，这也是一次观测——只要信息泄露给了人，让人“意识到”了，波函数就会坍缩！

那么，如果在盒子里安一个麦克风，连接到盒外的音箱，实验相关人员统统撤离后，一个人打酱油路过，他听到了音箱传出药瓶破碎的声音，却不知道这是什么声音，也就是说，他没“意识到”这声音关系到一只猫的生死，那么，这算不算一次观测？这时节，猫是死了还是处于死/活叠加态呢？

猫应该是死了。因为，这个实验有个狗血的假设：声音被音箱传出。这说明瓶子已经碎了。另外，接了麦克风和音箱，盒子就是透明的了，跟不设置盒子区别不大。

然而，打酱油的问题依然存在：盒子的作用，是为了不让人观测，如果没有盒子，把“敲碎药瓶”改成“引爆炸药”，把猫拴在炸药旁边，撤离所有实验者。那么，路人经过，听到爆炸声，却为了酱油大业绝尘而去，根本没去观测究竟发生了什么，这时，猫是死是活？

什么？你说猫死定了？你怎么能“确定”路人听到的一定是猫旁的炸药爆炸声？你又怎么确定爆炸现场的死亡率一定是100%？所有这些问题，都可以参照有关“月亮姐姐在哪儿”的探讨。

哈哈，这其实是一次小小的意识体操。为什么要搞这次头脑热身？因为，前面来了一个很容易让人崩溃的朋友。

维格纳的朋友。

前面介绍过，狄拉克娶了维格纳的妹妹。但维可不是靠当狄的大舅哥出名的。在美国，他在几所著名大学及许多科研机构任职，著作颇丰。由于“在原子核和基本粒子理论方面的贡献，尤其是对称性原理的发现和应用”而获诺奖。维格纳认为，既然外部世界可以影响意识，意识为什么不可以影响外部世界呢？当然“可以”。这是牛爷早在三百年前就制定的第三定律——作用与反作用啊！

根据这个古老的原理，维格纳升级了薛定谔猫：他让一个朋友戴着防毒面具在盒子里与猫共舞，而维格纳本人则躲这个

盒子远远的(损友啊!),一副不忍直视那个凶残盒子的样子(节操啊!)。那么,对维格纳来说,他观测不到盒子,盒子里的一切对他来说,是不是处于(活猫+高兴的朋友)/(死猫+悲伤的朋友)叠加态呢?



【图 10.5】维格纳(右)和海森堡

维格纳给出的答案是:不。可以肯定,朋友出来后,一定会告诉维格纳一个确定的答案,而不是一个“叠加”的答案。因此,可以确定,当一个系统中包含了意识时,叠加态就消失了!

又是意识!并且这回更明朗了,意识,正是叠加态终结者!

于是,我们不得不对前面提到的那个让人头疼的问题:意识究竟是什么东西?意识究竟是不是东西?!

既然维格纳把牛爷第三定律搬出来了,我们也只能先设定“意识”是东西,是物质行为。因为,能与物质产生作用与反作用的,只能是物质。除非你能用严谨的、可重复的科学实验证实某些玄玄乎乎的“神迹”。

当然,意识本身不是电子啊、介子啊、夸克啊之类的具体物质。然而,意识的存在,却离不开物质。

正如信息,信息本身绝不是物质,但它却绝对需要靠物质来承载和表达。没有了物质,也就不存在什么信息。比方说“同

意”，是一个信息，但你能说它是某种物质吗？“同意”是房子？是泪水？是人头？是文字？是眼神？都不是，然而，这些东西统统可以用来承载和表达“同意”这个信息。你对女孩说：“嫁给我吧。”女孩可以有无数种反应：

普通版：嗯。

文艺版：妙目噙泪。

现实版：有房吗？

浪漫版：上天的安排？

女汉版：艾玛，你咋才说呢！

猫鼠版：死鬼，太突然了。

.....

所有这些千奇百怪的反应，都是在向你传达同一个信息：同意。不管用哪种，都会让你幸福得像花一样。

那么，这些表达方式都是“同意”的意思吗？当然不是，如果换一个场合，意义就完全不同了，比如，你面对的是一个医生，问：“我真的没救了吗？”上面的每一个回答就都很恐怖，不管哪一个，都会让你毛骨悚然。

你把这几句话单独写出来，贴在电线杆小广告旁，或者录音，在人民大食堂播放，不会有人知道这些话代表什么意思。如果放在老鼠洞里，或者放在火星上，这些文字就毫无意义。这说明什么呢？说明离开交流和理解，物质无论怎么折腾，也不能成为信息。反之，只要可以用来理解和交流，怎么样都可以是信息。不信？你在山路上看到一块很随便的石头，或者一根很普通的断树枝，这是信息吗？当然不是。因为你完全不能理解某块石头为什么躺在那儿，你也完全不关心某根树枝为什么会死在这儿。然而，如果这石头、断树枝是驴友用来做标记的，那么，对驴友而言，它就是生死攸关的信息！

我们的所谓“意识”，其实就是大脑在接收、存储、处理和产生信息。那么，大脑是怎么工作的？虽然这个问题的难度丝

毫不亚于“宇宙是如何运行的”，但是，一个很基础的答案却很靠谱：大脑是靠神经元、神经网络之间传递、重组某种物质来工作的。这些物质，有蛋白质、电信号、激素等等，不管是什么，归根结底，都是原子、电子等粒子的运动、排布，以及它们间的相互作用——我们在这里称之为“物质行为”。正是这些物质行为，承载和创造了我们的“意识”。

或许，就是这类物质行为，跟波函数相互作用，让它坍塌了？

这话，乍听起来，很有道理，然而，稍微一分析，就很难站住脚了。因为阿猫阿狗们的大脑也是这样工作的，为什么它们大脑的“物质行为”就不能让波函数坍塌呢？

这位说了，因为阿猫阿狗的头脑太简单，那些物质行为不足以让波函数坍塌。当真如此吗？其实，阿猫阿狗们的大脑也有神经元、神经网络这些高端大气上档次的配置，大致结构跟人脑差不多，大脑工作原理一样，也是靠传递、重组蛋白质、电信号、激素之类的物质来实现的，构成大脑的基本物质更是别无二致。那么，凭什么它们的观测就不能让波函数坍塌？难道，是因为人脑大，物质行为的作用力也就比其他动物大？可是论体积，蓝鲸大脑是人脑的5倍，大象大脑是人脑的4倍，差远了！这位童鞋说了，那可能是因为“人脑与体重的比值”最大吧？这就更不靠谱了，难道波函数先要测算一下观测者的脑化指数，再决定是不是要坍塌？！

从物质的角度看，人脑也好，动物大脑也好，成分都差不多：近80%的水、10%的脂肪、8%的蛋白质，还有些矿物质什么的。更基本地说，就是碳、氢、氧、氮、硫、磷、铁、锌、铜、硼、锰、碘、钼等等各种原子。要是硬找人脑与动物大脑的区别，还真有：人脑的“带状前回”中，有一种“巨型纺锤神经元”。这种神经元，成分没什么特别，功能上，目前也看不出它有什么特殊，只知道它比其他神经元胖很多，而且很奇葩，

只有在人脑和类人猿脑中才找得到。并且，数量不一样，人的比较多。相同单位的“带状前回”截面上，比较一下胖神经元数量，大致关系是：人 90 个，倭黑猩猩 70 个，黑猩猩 40 个，大猩猩 20 个。当然，“90”这个指数，是成年人的标准。我们的婴儿出生时，没那么多胖神经元，长到 4 岁时，才达到标准。

难道，是这种巨型纺锤神经元的活动造成了波函数坍缩？这也很难站住脚。首先，一个最现实的问题就很难回答：波函数怎么会识别什么巨型纺锤神经元呢？难道就因为它是神经元帝国唯一的胖子？“除了它我们谁都不认”？！其次，如果他们真的只认它，那么，要不要辜负猩猩们的观测呢？要知道，猩猩们的神经元里也有胖子啊！如果猩猩们观测不坍缩，那么，不足 4 岁的人类娃娃去观测，会不会坍缩？！值得期待的是，两三年的娃儿已经会说话了，能描述他们所见简单现象，如果实验设计合理，娃儿们就可以告诉我们，他们看到了什么，这就是说，即使娃儿们的神经元胖子的密度只比得上猩猩，照样能造成波函数坍缩，因为他们能意识到自己看到了什么。

然而，即使胖子是闹饥荒的原因，也不能断定胖神经元是搞坍波函数的原因。所以，从大脑物质结构来分析波函数坍缩机制，极有可能是死路一条。

但是，如果不考虑物质运动，单从“有没有意识”这个角度去判断波函数该不该坍缩，恐怕路更难走。

根据咱俩的能力，我们只能把“什么是意识”这种不可能出结果的问题放到一边，先假设我们人类拥有一种叫做意识的东西，它以记忆的信息形式存储在大脑里。那么，这种信息，就可以看做电脑磁盘中的数据，是分子、原子的某种排列方式。我们前面讨论过，分子、原子是物质，但它们的排列方式不是物质，而是信息。

我们的大脑产生记忆，实际上是一种叫做“克列伯蛋白”的东西进入神经细胞核内，让基因产生某种特定物质，就算是

完成了信息的“写入”。工作原理跟“数据写入磁盘”差不多，都是重组原子、分子的阵列。既然如此，就存在这样一种可能：拷贝大脑信息。其实，关于这方面的研究，科学家们早就有了设想，甚至有人已经设想通过储存记忆来实现“长生不老”。

好吧，问题又出现了：如果把尹志平的记忆拷贝到小龙女大脑里，他会不会自恋得发疯？此时他去观测杨过，是该爱他、怕他还是恨他？或者，把科学家的记忆拷贝到电脑里，用这台电脑去观测薛猫，盒子里的情形是叠加的还是坍塌的？如果因为电脑拷贝了人脑的数据，而具有了意识，便可以让波函数无条件坍塌，那么，就说明电脑磁盘中的物质经过适当的排列组合，也可以催生高端大气上档次的意识——从 1997 年超级计算机“深蓝”战胜人类国际象棋冠军卡斯帕罗夫那天起，我们就不敢怀疑这种可能性。问题是，这种排列组合，需要复杂、精巧到什么程度才可以产生意识？或者说，机器也好、生命也好，处理信息的能力达到什么程度才算有了意识？讨厌的“谷堆悖论”又来了：1 粒、10 粒、200 粒谷子都不算一堆，那么究竟从多少粒谷子开始，才算是一堆？

OK，咱俩必须承认，作为非专业人士，讨论这些连专业人士都没解决的“意识”问题，只会让我们的意识越来越模糊。所以，我们还是回到实验的坚实土地上 OK？OK。

首先是思想实验。莱布尼茨（Gottfried Wilhelm Leibniz）假设：一台超大机器，靠复杂精巧的物质结构造就了意识，那么，我们走进机器去旅游观光，只能看见零件运转，根本没有任何东西可以解释思想、知觉之类的东西，所以用物质来讨论精神是不靠谱的。但是大卫·科尔（David Cole）反驳道：你把一滴水放大，直到水分子像拳头那样大，我们进去参观，也看不到任何湿的东西，但你能否认这滴水是湿的吗？

1950 年，英国著名数学家、逻辑学家、密码学家，计算机科学之父、人工智能之父艾伦·麦席森·图灵（Alan Mathison

Turing) 提出一个“冒充游戏”，让一个人提问，一台计算机和一个人藏在幕后回答。提问者想尽办法，通过各种提问，试图分辨出谁是计算机。如果不管怎么问，也分不清谁是机器，那么，就证明这个机器有了智慧，也就是我们要的意识。这个实验叫做“图灵检验”。计算机技术的飞速发展，让人相信，人机难辨指日可待，甚至有个关于“2029年是否有计算机通过图灵检验”的专门赌局。



【图 10.6】水分子是干的。

然而，美国哲学大师约翰·塞尔（John Searle）却兜头泼了一盆凉水：就算你分不出谁是计算机，也不能说计算机就有了意识。1980年，塞尔提出“中文屋”思想实验：一个懂英文的中文盲被锁在屋子里。屋里只有一本工具书，英文的，叫做《收到中文字条攻略》。第一天，从门缝里塞进一张中文字条。于是中文盲按照工具书介绍的规则，在纸条上找到特定的字符。第二天，又收到一张中文字条。中文盲按照工具书的进一步指示，把两张字条结合起来，进行关联加工，并且按照规则，挑出一些字，抄到一张空纸上，从门缝塞出去。从始至终，中文盲仍然一个中文也不认识，他只是很熟练地应用了规则。他不知道的是，第一张字条写的是一个故事，第二张字条写的是基于这个问题的问题，而他抄写的字条，就是这个问题的答案。塞尔说，这个中文屋的机制，就是一个复杂而巧妙的算法，这个算

法完美到可以模拟一个懂中文的人。然而，不管屋子里传出来的答案有多完美，即使跟真懂中文的人不相上下，也不能说明“中文屋”懂中文了。结论：再高明的算法也只是算法，它不是意识。

“中文屋”悖论争议不断，具有代表性的反对意见，叫做“系统观念”：中文屋是一整个系统，比方说，屋子是机箱，门是输入输出设备，工具书是存着应用程序的硬盘，人是 CPU，纸条是输入输出介质。这个系统是“认识”中文的。你不能因为那个 CPU 不识中文，就断定这整个系统不识中文。正如人的大脑，也是一整个系统，大脑的某个部位没有意识，但你不能因此就说，这个系统不存在意识。意识是整个系统工作的结果。中文屋也一样，整个系统的工作过程，让这个系统“认识”了中文。

塞尔说，好吧，就算这个系统认识中文。那么，让我们把这个系统浓缩一下：先破门而入，强行揪出那个中文盲，烧掉工具书，推平房子，把地卖给开发商。斯时，就只剩下这个立于天地间的人，好在他已经把工具书倒背如流——也就是说，没有了屋子和书，他仍然可以重复整个中文屋系统的工作！是的，现在，这个人就是整个系统！问题是，他认识中文吗？

所以，再高明的算法也只是算法，它不是意识！



【图 10.7】中文屋

哗！让咱俩长舒一口气，因为用我们的意识进行思想实验

来讨论意识，实在是一种折磨！那么，在实验室里，用真正的实验来研究意识，会不会轻松些呢？

1980年，美国加州大学旧金山分校神经学科学家本杰明·利伯特（Benjamin Libet）搞了个自由意志实验。实验很简单，让被测试者抬手臂，测量3个时间点：1、决定行动（人意识到自己要抬手臂）时间；2、大脑准备电位发生时间；3、实际行动（抬手臂）时间。猜猜看，哪一步最先发生？

按照“我的身体我做主”的原则，当然是人的自由意识先决定抬手臂，然后把指令下达给大脑中的“手臂管理员”，由它去操纵手臂抬起来。

然而，结果却出乎所有人意料之外：竟然是大脑先计划抬手臂，然后意识才“决定”抬手臂。注意：大脑计划抬手臂，这是我们意识不到的！大脑计划做出0.3秒之后，意识才决定抬手臂，决定0.2秒后，手臂执行命令。也就是说，我们以为自己的意志可以决定身体行为，殊不知，所谓“自由意识”，只是在执行大脑0.3秒前制定的计划而已！难道，是我们无法察觉的神经活动在起主导作用，而自由意志是个假象？！

我们以为行为是由意识发起。可事实是，大脑的所有工作，都是神经元们闹腾的结果，意识也是这样来的。所以，先有大脑活动，再有意识，也算情理中事。我们所说的“我”，其实主要是指自己的自由意识。意识与肉体一起，构成一个完整的人。这个整体，当然是由“我”——自由意识主导。我们从未怀疑这一点。然而，这个实验残忍地揭开了真相：神经元们才是老板，它们开完董事会，做出决策后，才把“我”这个CEO叫到会议室，公布规划，由“我”领导肢体员工去执行！而“我”这个高级打工仔，还一直以为自己是老板！

嘛？你怀疑利伯特实验不靠谱？嗯，有道理，整个科学界都在怀疑。所以，大家纷纷实而验之。结果，还是那个结果。2008年，德国普朗克学会神经学科学家海恩斯（John Heinze）

升级了利伯特实验，让受测试者选择用左手或右手按钮，研究人员监测其大脑活动。结果显示，大脑扫描器可以提前 7 秒预测其行为！7 秒！意识“选择用哪只手去按钮”的决定，早在 7 秒前就由大脑的神经元活动计划好了！所以，在这个实验里，研究人员比被测试者更早知道他要用哪只手去按钮！够恐怖吧？！

那么，我们的所谓“自由意识”，当真就是彻头彻尾的傀儡？利伯特给了我们一丝安慰：在行动实际发生前，我们的意识有 0.2 秒的时间可以否决大脑无意识的计划。这个观点让我们稍稍舒服了一些。然而，又有实验显示，似乎连否决也是由无意识率先发起的！

佛祖啊！

波函数只有被意识到才坍缩成实在的粒子，而我们引以为豪的意识却不由“自主”，那个“我”是大脑生化作用的副产品！这套倒霉机制的设计，PS 痕迹太重，以至于让人不由自主地想起《黑客帝国》——电影里的“现实”是，人被机器禁锢起来当生物电池，人所感觉的一切，其实是矩阵制造的幻象。这绝不是我们的想象力过于丰富，实在是哥本哈根解释的世界太疯狂。

如果世界的“实在性”真的是靠意识这个打工仔来实现的（观测前不存在物理量），那么，这个世界的形成，就和诺兰电影《盗梦空间》里的造梦机制差不多了。电影中，可以通过梦境，去有意识地创造一个虚拟世界。这已经够疯狂了。而我们的“现实”世界，竟然要靠意识去创造一个“梦境”（你不观测它就弥散在空中，不在了），而且是头脑清醒的白日梦？！

1981 年，美国著名哲学家普特南（Hilary Whitehall Putnam）提出“缸中之脑”思想实验。这其实是庄周梦蝶、笛卡尔恶魔、柏拉图洞喻说的现代升级版。

关键词句：你如何确定自己不是一颗“缸中之脑”？

技术背景：世界脑神经学鼻祖彭菲尔德（Wilder Graves Penfield）用电流刺激大脑的不同部位，大脑的主人感到的不是头疼，而是嗅到某气味、听到某声音、看到某颜色……实际上，实验室里并不存在这些气味、声音或颜色。那些所谓感觉，全部来自电流对大脑的刺激。这就是说，在理论上，可以用足够精密的设备，让大脑“感受”到任何东西——要知道，人脑延伸出的脑神经只有 12 对，脊神经也只有 31 对，我们与外界的全部沟通，都靠它们来输入输出——也就是说，直接与神经相连的线路并没有想象的那么复杂。

普特南说，假如有个疯狂的科学家，或者邪恶机器人什么的，把“你”的大脑放在一口缸中，靠营养液供养存活，然后用设备刺激你的大脑，你所知所觉的一切，都来自这台设备无微不至的精密刺激。你的“意识”可以与设备互动，使你“经历”的场景无比细腻、无比真实、无比鲜活：秋月寒清，邻里温馨，木纹繁复，美酒香醇，诗文曼妙，美目勾魂……但这一切都不是“真实”的。那么，你能如何确定自己不是一颗缸中之脑？

既然已经来到这个恐怖境地，那就让我们再大胆地往前走一步：你如何确定“你以为的这个世界”不是 5 秒钟前才被“创造”出来的？你所有的记忆，以及你现在的一切知觉，都是 5 秒前，由那台勤劳善良的设备拷贝给你的。“实际”上，你的世界才刚刚启动 5 秒钟，而你却以为这个所谓的宇宙已经运行了 137 亿年！

是的，我们谁也无法确定。然而，笛卡尔说，即使我所知的一切都是恶魔制造的幻象，也不能否认“我的存在”。因为，“我”在怀疑，而“怀疑”是需要一个“思考者”的，所以，至少可以确定，“我”是存在的！这就是传说中的“我思故我在”。笛卡尔认识论哲学的起点。他以此推出真实世界的存在。

笛卡尔是个“心物二元论”者，认为世界存在意识和物质

两种实体。这个认识的对错不论，我们单说“意识”。

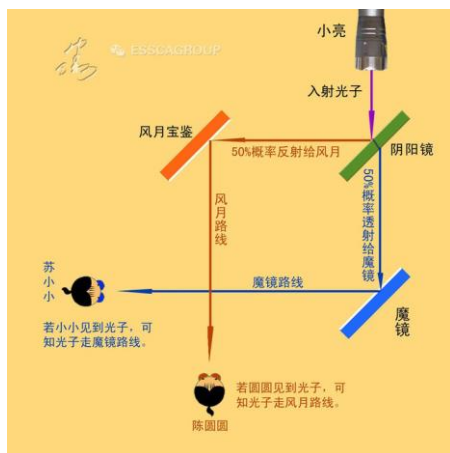
是的，即使“我”是缸中之脑，“我以为的世界”只开始了5秒，也不能否认“我”的存在。而只要我“存在”，就该有个存在之“处”。也就是说，最终，存在一个“真实”的外部世界。

是的，你那颗悬于“虚无”的心，可以踏实一小会儿了。我们在意识迷宫中已经陷得太深（画外音：好好说话！），咳咳，好吧我承认，咱俩已经跑题了。哲学探讨很难不跑题。

实际上，即使抛开意识，也并不好过。

为了跟哥本哈根解释较真儿，把双缝实验带来的问题搞清楚，老爱扔出个“分光实验”。你不是说，粒子在观测之前，不存在物理量么？它只是叠加了无数可能的波函数，因此，它可以玩儿单粒子过双缝的把戏，实现自我干涉。那好，我们把迈克耳逊干涉仪借来改装一下，看看粒子究竟是怎么走的！

看过本书上部的你，对测量以太漂移的MM实验的装备，应该很熟悉了。我们把主要装备的位置和角度稍稍变一下，Look，多么温馨的画面：



【图 10.8】爱因斯坦分光实验 1

照旧，小亮负责发射光子；阴阳镜是半透镜，与入射光路

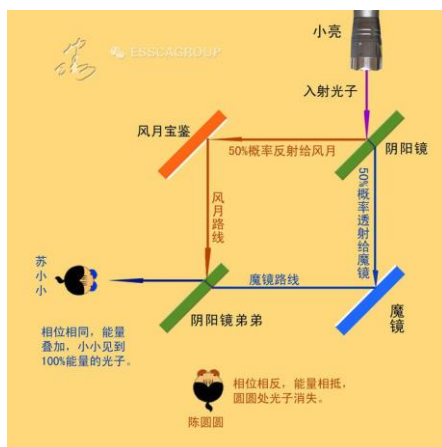
线成 45 度角，光子射到阴阳镜上，被反射、透射的概率各占 50%；风月宝鉴和魔镜是全反射镜，镜面朝向阴阳镜，并与之平行。

好，实验开始：小亮发出光子，光子溜达到阴阳镜上，是被反射、走风月路线，还是被透射、走魔镜路线？这是个问题。阴阳镜随机给了它一个答案。那么，我们怎么知道它走哪条路呢？当然是让小小在魔镜路线上观测、圆圆在风月路线上观测，哪条线上发现光子，光子走的就是哪条线——正确得像废话一样！

按照经典解释，在你观测之前，光子就已经在那儿了。光子射出后，不管它走哪条线，我们都可以确定，在观测到它之前的某个时刻，它必然在某条线的某个位置上。

当然，不管是哪种解释，在确定光子走哪条线的办法上，意见是统一的：小小看见，魔镜路线；圆圆看见，风月路线。

OK，现在我们叫来阴阳镜弟弟，派到两条路线出射的交汇处，角度跟其他三块镜子平行：



【图 10.9】爱因斯坦分光实验 2

光到了阴阳镜弟弟这里，照样会被透射或反射，于是，如

果光同时从两条线来，就会被掺合到一起了——就是说，小小和圆圆的位置，都可以同时看见从两条路来的光了。这样可以造成干涉。OK，现在咱俩精心调整阴阳镜弟弟的位置，让圆圆处的光相位相反、能量相抵而消失，同时让小小处的光相位相同、能量叠加而增强——这其实就相当于双缝实验中的明暗条纹。设置完毕。注意：风月、魔镜两条路线相当于双缝。

按照这个设置，如果光同时走了两条路，那么就会发生干涉，小小总能收到（叠加），而圆圆总是收不到（相抵）；如果光只走了一条路，那么，就不会发生干涉，小小、圆圆收到光的概率各占 50%。

现在，小亮只发射一个光子，会怎么样呢？按照哥派解释，光子同时经过了两条路线，那么，我们就总是能得到同一个确定的结果：光子 100%被小小收到。

爱因斯坦说，嗯，光子同时经过了两条路线？好吧。那么，为什么阴阳镜弟弟没来时，光子就只走一条路线？同样是一个光子，怎么可能既只走一条路，又非要同时走两条路？！而决定因素居然是：快到终点时有没有阴阳镜弟弟？！

玻尔给出的解释是，就算你只在实验过程的结尾动手脚，也会改变整个实验过程。所以这不是一个实验，而是两个不同的实验，你不可能同时做这两个实验，所以光子既走一条路、又同时走两条路的矛盾不会出现。这个解释，听起来让人很不服气，但也无从反驳。

然而，有人同样使用哥本哈根解释，却给出了完全不同的解读。

约翰·阿奇博尔德·惠勒（John Archibald Wheeler），美国著名的物理学家、物理学思想家、物理学教育家。他跟玻尔合作揭示了核裂变机制，参加过曼哈顿工程，参与过氢弹设计，当过爱因斯坦的同事，带过 50 多个博士生，其中多人成为美国宇宙学、天体理论物理的一线人物，费曼是他的学生。“黑洞”由

他命名。

惠勒说，这不是两个实验，而是一个实验。说完，顺手把这个实验升了级，让阴阳镜弟弟来去自如——可随时插入和拔出。那么，阴阳镜弟弟什么时候出现才合适呢？这正是问题的关键。我们可以让光子经过了风月宝鉴或者魔镜之后，快到达阴阳镜弟弟的地盘时，再作决定！

如果阴阳镜弟弟不出现，则光子只走一条路，小小和圆圆各有 50% 的概率收到光子；如果阴阳镜弟弟出现，则光子走两条路，小小收到光子，圆圆收不到。

什么意思？意思很明确，只是我们不愿面对而已：我们可以在事件发生之后，再决定它怎样发生！先给你定个罪，再决定你是怎样犯罪的！

没有阴阳镜弟弟时，光子通过了风月宝鉴或者魔镜，走到终点时，一看，阴阳镜弟弟突然出现，你个死鬼要来不早说，你在这儿，就必须干涉啊！可我只走了一条线，干涉个毛啊？怎么办？篡改历史吧，俺嘛呢叭咪吽，我走的是两条线！

于是，干涉了。我们延迟决定了光子之前的行为！这就是传说中的“延迟选择实验”。1979 年，惠勒在普林斯顿纪念爱因斯坦诞辰 100 周年的专题讨论会上，提出了这个著名的思想实验。

太荒唐了吧？比意识还荒唐吧？！

不荒唐。这才是正儿八经的哥本哈根诠释。在我们观测之前，不存在什么物理量，也就是说，光子不在任何一条路线上，它没有位置，也没有动量之类的其他任何物理量，它不是一个真实的存在，所以，也就谈不上什么“历史”，因为它还没有发生，它只是无数可能的叠加。只有我们观测了，光子才成为光子，历史也就随之有了配套的剧本。有阴阳镜弟弟，就观测到干涉的结果，配套的历史是走两条路；没有阴阳镜弟弟，就得到没有干涉的结果，配套的历史是走一条路。很雷，但是很合

理，是吧？

事情还远远没完。根据延迟实验，惠勒把哥派理论向前推进了一步：没有一个量子现象是一个现象——直到它被记录为止；不存在一个现成的“过去”，除非它被“现在”所记录。哥派原来怎么说的？在观测之前，不存在任何物理量。

两个说法，其实没什么本质区别，只不过惠勒的说法更具体。玻尔对“观测”的解释，实际上正如惠勒说的那样：你不观测，就没有位置、动量、质量、时间等物理量——也就是连“客观存在”都没有，还哪儿来什么“历史”？

没有什么比“存在”与“历史”的关系更好理解的了：一只足球进了希尔顿的球门，于是镜头回放，追溯它的历史，发现这球是马拉多纳用手拨进来的。这就是球进门之前的历史——上帝之手。这个历史的根本前提是：球存在。如果这只球根本不存在，它自然也就没有什么“历史”。怎样让它“存在”呢？哥派给的答案是：观测。你一观测，就有了物理量。有物理量就是存在。

然而，根据不确定性原理，你观测到什么物理量，比方说动量大小、位置如何、路径怎样……这些都是由观测手段决定的。你选择的观测手段，决定了观测对象“现在”的物理量，也就决定了它的历史。也就是说，我们现在的观测，可以创造历史！无需穿越，只需选择观测手段，我们就可以左右历史！

这个结果，不会因为你把头埋进沙堆就会消失。问题是，这个推论靠谱吗？我们只能说，从目前的实验结果来看，它很可能是最靠谱的。请注意，“最靠谱”前面必须搭上“很可能”。因为，以后还有别的理论，同样可以解释这些现象。这些以后再聊。现在的第一要务，就是把实验做了。惠勒提出疯狂的延迟选择思想实验，让人一本正经随时受不了，大家争着争着，忽然发现，这个思想实验完全可以搬进实验室！

仅仅是 5 年后，延迟选择实验就被马里兰大学的卡洛尔·

阿雷（Carroll Alley）和同事实现了，结果竟然和惠勒说的疯话一模一样！不服？慕尼黑大学也做了这个的实验，证明了惠勒说的不是疯话！

观测前，光子作为一个悲哀的波函数，弥漫在空中。我们的观测让波函数瞬间坍缩了，于是它有了物理量，观测方式顺便决定了相应的历史。好吧惠勒，这个实验可以接受。不管有多疯狂，观测也是老大。

然而，惠勒决定，将疯狂进行到底。把因果律谋杀在实验室里，不够壮烈，不够火爆。于是，他雄心勃勃的目光瞄向了宇宙深处。1979年，瓦尔希（Walsh）等人发现了一对相距 5.7 角秒的类星体 0957±561A, B。离我们人类有上亿光年远。它俩的亮度、光谱什么的都差不多。后来才知道，这是同一个类星体，它的万道光芒，各走各路，有两道碰巧被引力透镜弯到了同一个地球，于是我们看到它的两个像。惠勒提出，用望远镜、光导纤维等工具，把两条路上的光子引诱到延迟实验装置，可以完成星际延迟选择实验！

星际延迟选择？听起来好难！其实，只是多了两个望远镜和光导纤维而已，所以，这个实验基本没什么难度。然而，实验结果却让人咋舌：阴阳镜弟弟出现与否，可以瞬间决定星际光子的旅行路线。要知道，它们上亿年前就已经出发了呀！因果的时间顺序惨遭蹂躏，事件的定域性倍受摧残。

“整体论”从单纯的空间拓展到了时空。这样说有点敷衍，因为，有些大眼睛同学意识不到，这句话的意思其实是：观测之前，光子的波函数在它所掠过的漫漫时空长河中，始终都是一个整体！这……这这……你以为毁的只是因果律、定域性吗？还有三观和经典物理破碎的心！引力透镜本身证明了定域的广义相对论是对的；而利用引力透镜搞出的延迟实验证明：宇宙不是定域的！

佛主啊，你在搞什么？

相对论告诉我们，这个现实世界是有多奇怪。而量子论说，真正奇怪的是，根本不存在什么现实世界！相对论没法解释量子行为，而量子论根本没空解释相对论，因为它自己也解释不了量子行为！

玻尔强力催生了哥本哈根解释，但他念了那几句咒之后，就再也不肯往前走了。一观测，便坍缩。为什么？不可说……这个鸟解释，让很多人不满意，而这个鸵鸟态度，让更多人不满意。

延迟实验把残酷的现实摆在我们面前，犹嫌不过瘾，他兴奋地解读道：

观测之前，没有什么客观现实，只有无数可能的叠加。只有观测了，波函数才能被坍缩成客观现实。好吧，这个说过了。那么，谁来观测才算数呢？实验表明，仪器不行，而我们行。嗯，这个也说过了。——于是，冯·诺依曼、维格纳、惠勒等人给出一个惊人的判断：意识，可以让波函数坍缩成真。这个，前面也说过，不足为奇。

然而，惠勒的解读还没完：所以，在没有意识出现之前，没有什么宇宙，只有波函数。当意识第一次出现时，它才坍缩成现实世界。既然有了眼前这个世界，那么，就需要有这个世界的来历，是的，你猜对了，坍缩的不仅是眼前、现在，还有历史——你的观测决定了历史！是有意识的观测创造了宇宙！

这简直就是彻头彻尾的疯言疯语！本来，让意识掺合到物理中来，就已经激起了民愤，引起了科学家们的强烈不满。看在量子行事风格一贯诡异的份上，大家权当意识神马的是一剂调味品，学玻尔睁一只眼闭一只眼也就过去了。现在，你弄个劳什子延迟实验，搞得因果律、定域性很难看也就罢了，还把意识提升到上帝的高度——创造宇宙，这不是作死的节奏么？

平行宇宙

咱俩去吃饭店，你只注意菜好吃就行了，你不能细琢磨擦

桌子那块抹布是不是也擦碗，洗碗那桶水是不是也洗菜，剩菜那滩油是不是还回锅……否则你没得吃。哥本哈根诠释就是玻尔掌柜开的量子江湖饭店，你知道好用就是了，你不能细琢磨谁有资格做观测者，波函数究竟是怎么坍缩的，月亮姐姐到底在哪儿……否则就会像冯·诺依曼、维格纳和惠勒那群冒失鬼一样，顺藤摸出一些匪夷所思的歪瓜，让大家在意识迷宫的歧途迷雾中恐惧，在因果纠结的荆棘藤蔓中挣扎。这样看来，玻尔的鸵鸟政策，倒成了最明智的选择。

然而，马蜂窝已经捅了，就算你把眼一闭，爱咋咋地，蜂儿也不会离你而去。所以，解决问题，才是正题。那么，我们要解决的，是哪个问题？换句话说，从哪儿下手？其实，那些乱七八糟的问题，都是一条藤上的瓜，这条藤就是波函数坍缩。波函数的概率分布，这是叠加问题；波函数是怎么坍缩的，这是机制问题；坍缩的物理量，这是观测手段问题；谁能让波函数坍缩，这是观测者资格和意识问题……所以，搞定了坍缩，也就搞定了世界！

不过，这件事是说来不易，做起更难。你只要回忆一下，建立量子论、又被坍缩折磨的都是哪些牛人，就不难得出结论：搞定坍缩，基本上是一件不可能的任务，蚍蜉撼树的事谁肯干？然而，还真有人挑战这个不可能。

休·艾弗雷特III (Hugh Everett III)。为什么他的名字后面有个“三”呢？因为他老爸、老爸的老爸都叫“休·艾弗雷特”，所以，那个“III”其实是“三世”的意思。艾三1930年出生在美国。他从小善学好问，是爱因斯坦的粉丝，12岁时就给老爱写信问宇宙之类的问题，老爱还认真地回了信。1953年，艾三在美国天主教大学化学工程系毕业后，入读普林斯顿大学数学系，随后转投物理，指导教授是惠勒。钻研了冯·诺伊曼和玻尔的量子力学之后，一股使命感在艾三心中油然而生：坍缩问题是关系到宇宙真理生死存亡的问题，必须立即马上抓紧解决掉！



【图 10.10】艾弗雷特

波函数怎样坍缩、为谁坍缩、凭啥坍缩……解决这些狗血问题，定是超乎想象地麻烦。然而，艾弗雷特给出了一个超乎想象的简单方案：波函数没有坍缩！

这就好比宇宙群众惊呼：“CPI 涨太快受不了了！”而宇宙将军的回答是：“没有 CPI。”很显然，这是在描述幻想，而不是在陈述事实。大家各取所需、没有 CPI 固然爽到飞，但问题是，你说没有就没有么？

艾三说，还真没有。Look：一枚电子遛到双缝前，接下来的路怎么走？我们的纠结是，你不观测，它就走双缝，你一观测，它就随机选一条确定的路线走单缝——我们说这是波函数坍缩了。但是，这个蛋疼的坍缩其实是个误会，波函数没坍缩，它依然是各种可能的叠加，只不过，在咱俩的世界，你去观测，只能观测到其中的一种可能，至于其他可能，实际上也都发生了——在其他世界。大千世界，无限可能，每一种可能对应一个世界！

小伙伴们，不要一副雷劈相，好歹我们也是让“意识”炼过的铜头铁臂，还有啥过不去的火焰山？怎么也得问问那么多世界是咋来的吧？

1957 年，艾弗雷特把这个想法写成了一篇论文，详解了多世界的来历：你用仪器去观测电子时，电子、仪器、你就发生

了关联，观测对象、仪器、观测者成为一个系统，根据薛定谔方程，电子把它的不确定性传给了整个系统，这样，整个系统也就进入了叠加态！观测对象有多少种可能，系统就有多少个叠加分支。在每一个分支中，都有一个确定的电子、一套测到确定值的仪器、一个看到确定值的你。每一个分支都是独立的。然而，世界上，有什么东西称得上真正独立呢？只有世界本身。所以，每一个分支都对应一个不同的世界。你在双缝前观测电子，看到它在我们的世界走了左缝；而在另一个世界里，另一个你看到它走了右缝。也就是说，世界也是叠加的！我们的世界，只不过是这无数叠加世界中的一个。

是量子过程的不确定，造成了世界的叠加！

艾弗雷特管这个过程叫“分裂”。惠勒看了，感觉用词不当，容易造成误会。于是在论文空白处写了句：“分裂？最好换个词。”显然，这个批注很没创意，远远比不上费马同志的那个批注吸引眼球，所以大家都没注意。于是，很多同志认为，观测对象的量子过程一发生，世界就分裂。具体分裂成多少个，那要看观测对象的波函数叠加了多少种可能！分裂开来的世界相互独立，几乎一模一样，除了观测对象的值。打开薛猫盒子，你在这个世界观测到活猫，另一个世界的你就观测到死猫！这样一来，大家就不用为波函数坍缩各种揪心了。

可是，可是，这个代价太大了！物理学家们煲一碗量子汤，哥派大厨倒进去整袋盐，很难下咽，而艾三大厨的高招是，把整个西湖的水倒进锅里，这下不咸了！

如果这是一首歌，我们可以管它叫狂想曲，然而，这是篇正儿八经的物理论文！它不叫狂想曲，而叫“多世界解释”。解释中的世界彼此独立，是谓“平行宇宙”。为了消灭坍缩，这个理论付出的代价让人心里堵得慌，闻者无不想一脚踩死，再用力拧蹭几下。然而，这个疯狂的创意，在逻辑上竟然没什么毛病！你没处下脚。苍天呐！

不过，它也不是一无是处，至少，在数学上，还是相当凑合的。刚刚说了，“分裂”（splitting）是个误会。简单讲，你别把它当动词，而是当形容词理解，就差不多接近艾弗雷特的本意了。前面提到过，一个物理系统可以表示为一个复希尔伯特空间。所谓波函数，是复希尔伯特空间的一个向量，所谓坍缩，就是这个向量在某个方向的投影。现在，我们就简单聊聊这些东西大致是什么意思。

关于多维空间，以及“投影”之类的概念，咱俩在上部已经做过头脑热身，这里就不重复了。我们知道，一个二维的坐标，你在两根轴上分别随便取一个值，那么，这两个值就确定了二维空间的一个点。这两个值是什么？就是这个点在两根轴上的投影！坐标轴上的数值可以是变量，比方说动量、位置什么的，这样，它们确定的那个点就可以是运动的。反过来看，这里的变量值，就是运动的点在坐标轴上的矢量投影。2 维空间的 1 个点有 2 个投影，3 维空间的 1 个点有几个投影呢？哈，聪明的你答对了，确实是 3 个。因为这个点在每根轴上都有 1 个投影，除非，它在某个轴上的值是零。以此类推， n 维空间就有 n 根轴， n 维空间的一个点，就会有 n 个投影。注意：这些投影都在描述同一个点。这就是说，不管多少个变量，就 n 个吧，都可以用 n 维空间的 1 个点来表示。

OK，现在有两个点，A 点有 3 个变量（投影），B 点有 4 个变量，运动很复杂，怎么破？嘿嘿，我们可以把它们描述为 7 维空间的 1 个点！这种用数学构造出来的高维空间，就是我们描述的那个系统的“相空间”。

每一个物体都是由很多粒子构成的，你分别去描述这些粒子，实在是太难了。那么，利用相空间去描述，顿时就简单多了：上面提到，一个粒子可以用一个点来表示，很多不同的点也可以用 1 个点来表示。这样，我们就可以把任何宏观物体（比方说一只猫）表示成一个点。只不过构成它的粒子越多，我们

增加的维度越多罢了。别看多维空间想象起来难得不得了，但用数学处理起来却十分方便。你用哈密顿方程来描述，更是好处看得见。

聊起哈密顿方程，你是不是想起了点啥？是的，曾经不共戴天的矩阵力学和波动力学，都是从哈密顿方程出发，妙手改造而来。本是同根生嘛。

OK，还是回到前面：一个物理系统可以表示为一个复希尔伯特空间。你可以把这个复希尔伯特空间看成“相空间”的升级版。刚才，我们已经把那只猫描述成了一个点，这个点可以作为希尔伯特空间的一个向量，这个向量包括了那只猫所有可能的状态，比如死、活等等。在希尔伯特空间，死呀、活呀等等这些个状态，都只不过是那个点在不同方向的投影而已。在数学上，每个投影都严格按方程随时间演化，不会莫名其妙消失。也就是说，这些投影同根相生，但不相煎，它们互不相扰，每一个投影都是一种可能，这就是我们前面无数次提到的所谓“叠加态”。



【图 10.11】多世界投影

按照哥派解释，你一观测，观测对象就随机选个可能，确定下来——也就是只剩下一个方向的投影，其他投影从此消失

了。“从此消失”什么意思？就是说这个过程不可逆，你没法根据坍缩后的结果，推导出坍缩前的叠加态是个什么样。这就是惊天地泣鬼神的所谓波函数坍缩。还记得吧？在经典物理中，你只要拿到某物（比方说彗星）在某时刻的全部资料，就能算出它从哪里来，要到哪里去，其前世今生后世，都能八卦得分毫不爽。在美丽厚道的经典故乡，所有物体的状态在时间轴上都是可逆的。坍缩过程跟经典物理正好相反。

不仅如此，坍缩，还会扯上机制、资格之类的问题，拔出这些萝卜，必然带出意识之类的烂泥。

于是，艾弗雷特说：所谓坍缩，纯属虚构。你去看看薛定谔方程，它有坍缩的触发机制吗？木有！它有坍缩的远大理想吗？木有！它有坍缩过吗？木有！就是嘛，老薛的波函数从来都在健康协调可持续发展，确定就确定，叠加就叠加，一个粒子有自己的波函数，无数粒子构成的物体（比如猫、月亮姐姐、银河系等）也都有自己的波函数。这些波函数构成了我们的世界。我们的世界可以用一个更大的波函数来表示。那么，这个世界在哪儿？

在一个巨大的复希尔伯特空间里。

它的发展，可以用一个更大的波函数来表示。这就是宇宙。我们的世界，只不过是它无数投影（无数可能）中的一个。我们知道，不同的投影，对应不同的空间维，它们都是相互垂直的，所以各投影之间，是相互孤立的、隔绝的、不发生任何物质交流的。

作为投影的一部分，我们就相当于阿细或阿扁，能观测到的，仅限于我们所在的投影。这个巨大投影中的一切，都只是无数可能中的一个，其他可能也都发生了，不过，只能在其他投影（世界）中观测到。

所以，宇宙并未分裂，更不会因为你去观测而分裂，它的“全貌”本来就是叠加了各种可能的大杂烩。或许，阿全可以

一睹真容。

宇宙从诞生的那一刻起，就随着时间按波函数不断发展演化，可能性越来越多，世界分支也就越来越多，就像一棵枝条越生越多的超级大树，看似繁复庞杂，却枝桠清晰、因果分明、过程可逆——**Stop!** 因果分明、过程可逆?! 这不回到从前了吗? 经典物理那沁人心脾的芬芳，已经萦绕鼻端了! 这不正是我们苦苦寻觅的坚实的故乡热土吗?

薛定谔建立了连续、可逆的薛定谔方程，正是要牵着量子力学荣归故里，而哥派这帮家伙，把人家的波函数搞坍缩了不说，还抛出“薛定谔方程比薛定谔本人更聪明”这种刻薄话，让老薛干了活儿还没落下好儿，那是相当的憋屈。不厚道啊!

现在，艾三的多世界理论站出来，主持公道：波函数还是老薛的波函数，它从未坍缩。你观测也好，不观测也罢，它就是严格按方程演化，包括你是否观测、如何观测，随你怎么选，任你看到啥，都在波函数的手心里了。每一个世界的你，都“注定”只能观测到一个确定量。为啥要说“注定”呢? 因为你在那个投影里，那个投影就是你的世界，你看不到世界以外的东西。

是的，世界是决定的，不是随机的；世界是实在的，不是虚无缥缈的；世界是客观的，与意识无关!

多么幸福美好的家园啊! 我们再见到牛爷、麦爷，就不用担心他们吹胡子瞪眼了! 这是多大的成功啊同志们!

然而，艾弗雷特没有享受到成功的眩晕感。因为物理界的反应是：没有反应。

玻尔的态度很有代表性。他看了这篇论文后，连反对的意见都没有，完全无视。就像一粒沙，飘进了撒哈拉。可怜的艾三不知道，玻尔不只是对多世界解释不感冒，他抱定了哥本哈根解释，所以，对其他任何新解释都不感兴趣。

值得一提的是，惠勒老师表示，艾三同学的多世界解释是

个不错的想法，虽然这个解释把他热衷的意识说一脚踢开，但他还是积极修改和推荐了这篇博士论文。

然而，孤掌难鸣，惠勒的热情之火，也燃烧不了整个沙漠。反而是无边的冷漠，窒息了艾三同学的希望之火。他恋恋不舍地改了行，去做了几份很有前途的职业，也干出了名堂。比方说在国防部进行军事研究时，改良了拉格朗日乘数法，发明了一套很拽的“艾弗雷特算法”，解决了工作难题；在五角大楼搞过最高机密武器系统评估；与人合作，创建了 Lambda 公司，赚到了不少钱。一度成为世俗的成功人士。

然而，艾弗雷特就是高兴不起来。他游戏人生，嗜烟酗酒，对老婆孩子不好。晚年搞得差点破产时，还在编程计算各种贷款。最后一次醉酒，心脏病把他带去了另一个世界。那时是 1982 年。他的骨灰被老婆丢进了垃圾堆。别误会，不是艾夫人绝情，这是艾三自己的主意。

别看艾弗雷特一家亲情淡漠，却在一点上惊人地一致：举家相信平行宇宙。女儿丽兹患精神分裂症，嫁给了一条毒虫，夫唱妇随，酗酒嗑药，丽兹 1996 年自杀，遗书约家人“在另一个世界再相见”。儿子马克·奥利弗·艾弗雷特是摇滚乐队 Eels 的组建者和主唱。直到父亲的尸体被医护员拉走那一刻，马克才忽然发现，记忆中，没有碰触过父亲，甚至对父亲生前的印象也很模糊。他说，父亲“活在自己的平行世界”。

退相干

多世界解释简称 MWI，是 Many Worlds Interpretation 的缩写。这三个字母拼成了过山车轨道，像极了它的命运，也折射了艾弗雷特传奇的一生。

MWI 一出世，就不招人待见，姥姥不疼舅舅不爱，差点葬身历史的垃圾堆。这也难怪，虽然它带来了经典故土的诱惑，但冷静到冷酷的物理学家们可没那么好忽悠。没错，你在数学上没啥毛病，但在物理上，我们接受无能。就算我们无视悬在

头顶的奥卡姆剃刀，承认有 N 多观测不到的世外世界，也无法弥补你 MWI 的先天不足。

比方说，你打着决定论的旗号，干着概率论的勾当。说电子是“确定地”走了左右两条缝——在两个世界，但还是没法预测哪个我到左世界，哪个我到右世界，我们观测到左或右的概率依然是 50%！这个结果，和哥本哈根解释下的量子论有区别吗？

好吧，再退一步，就算上面的问题不是问题。那么，既然粒子确定地走了双缝，那为什么我们观测时，它就不干涉，不观测，它就干涉？要知道，这两条路分属两个世界啊！它是怎么做到的干涉的？难道，我们不观测时，它就能探测到另一个世界中自己的信息，两厢叠加，从而发生干涉？！既然如此，我们为何观测不到由粒子组成的猫死活叠加？这是不是个大 BUG？

呃……这看上去的确是个大 BUG。在科学论坛，任谁背上这么大一 BUG，都死定了。于是果然，MWI 和艾三的心一起沉入了海底。

然而，咸鱼也有翻身时。一转眼十几年过去了，到了 20 世纪 70 年代，挖坟者骤然降临。布莱斯·德威特 (Bryce S. De Witt)，德州大学物理学家。他刚看到 MWI 时，也是难以置信。然而，艾三的一句话打动了他：MWI 的内涵比抽象的哲学推理重要得多。最终，德威特成了 MWI 的粉丝，从 1970 年起，他就以一种布道的使命感，著文游说，极力宣扬多世界解释。

1973 年，德威特伙同弟子格雷厄姆 (Neill Graham)，编辑出版了《量子力学的多世界诠释》，MWI 随风潜入夜。1976 年 12 月，著名科幻杂志《模拟》上发表了一篇名为《量子物理学与现实》的文章，文章中的多世界理论迷住了不少年轻读者。

征服了少年的心，你就征服了世界。多世界理论火了。艾弗雷特红了。尤其是在德州大学。因为 WMI 的两个金牌推销

员惠勒、德威特都在这儿。1977年，他们组织了一次会议，艾三应邀演讲 MWI，受到前所未有的礼遇。考虑到艾三烟瘾很重，官方特许他在四个小时的演讲中吸烟。此乃该礼堂的唯一例外。这场演讲，是艾三最后一次“公开露面”，也是他以著名科学家的身份唯一的一次露面。这次牛哄哄的叼烟演讲后，艾三曾雄心勃勃计划复出，重返物理界，但没来得及实施，就去了另一个世界。

然而，对艾三来说，这趟演讲最重要的不是得到什么礼遇，而是和师弟的一次讨论。大卫·德义奇（David Deutsch），英国人，惠勒的学生。会后，德义奇找艾三聊了一通，从此成为 MWI 的王牌推销员，正是他消除了“分裂”的歧义，揭示了 MWI 的概率规则是如何自然生成的。虽然没改变概率的结果，但减轻了大家思想上的排异反应。

几乎是在 MWI 悄然还魂的同时，也就是德威特开始为 MWI 刷公益广告那年，一种新理论的兴起，为 MWI 的逆袭做好了准备。十几年后，它推波助澜，提供军火，让 MWI 成为对 峙哥派解释的主力。它就是传说中的“退相干”理论。

1970年，德国物理学家迪特·泽赫（Dieter Zeh）证明，薛定谔方程自身具有一种“审查”机制。这一效应被称为“退相干”。此后，美国物理学家沃奇克·祖瑞克（Wojciech Zurek）等倾情加盟，七手八脚地把这个理论发扬光大。这个退相干，搞定了 MWI 的那个大 BUG。

退相干理论怎么回事？我们简单讲。讲起来很麻烦，前面说过，每一个向量可以对应一个空间维。这些向量呢，不都是正交的。所谓“正交”，你可以简单理解成“向量之间的夹角相互垂直”。

在低维状态下，两个空间维完全垂直的可能性不大。不信，你随便凌空扔两根筷子，录影中随机定格看看，让它俩相交并完全垂直，是不是比中六合彩还难？

OK, 由于单个粒子的相空间维度不高, 所以, 它所在的世界一般都不是正交的, 既然两根轴不相互垂直, 那么就会相互投影。这就是说, 两个世界可以相互察觉 (虽然“图像”变形)、相互关联——通俗讲, 它们之间有牵连, 也就是“相干”。所以, 单粒子过双缝, 虽然这两条路分属两个世界, 但二者“相干”, 就可以相互叠加、相互干涉。

这是单粒子的情况。如果是很多粒子组成的某物, 会怎么样呢?

前面说过, 很多粒子也可以表示为一个点, 只不过它的相空间维数就急剧上升。维数越多, 自由度越大, 向量之间的干涉程度越小, 也就是越趋向于正交。当维数达到一定量级, 基本上你随便取两根轴, 它俩都基本“正交”。比方说一只猫, 组成它的粒子要达到 10^{27} 量级, 多少? 1 千亿亿亿个。还没概念? 你要是有这么多一元纸币, 码起来体积跟地球差不多! 如此庞大的粒子系统, 它的相空间维数至少也是 10^{27} 的量级。维数如此之高, 引无数投影都正交! 世界之间的关联被抹消, 所以你看不到死活叠加的猫!

粒子数增多, 向量相干程度就减小, 这个过程, 就叫“退相干”。

好吧, 你赢了。可是, 为什么你不观测, 粒子就走双缝, 跨世界干涉; 你一观测, 粒子就跨不了世界了呢?

很简单, 宏观的仪器, 宏观的你, 都是由无数粒子构成的——想想刚才那只猫咪。你一观测, 就和粒子发生了关系, 彼此关联成一个系统, 你和仪器这些个极高维的相空间就被引入, 与粒子同处一个希尔伯特空间, 粒子的两个世界正交了, 那两条路不再叠加、不再纠缠, 相忘于江湖, 劳燕分飞两不相干。所以不会干涉了!

漂亮! 好一招借力打力! 退相干利用量子力学原有的数学, 糅合了测不准原理的思想, 巧妙地引入了环境对粒子的相互作用

用，干净利落地搞定了 MWI 的大 BUG。经典物理把环境的作用当成噪音和干扰，能排除的都排除，但到了量子物理，影响观测对象的这些“噪音”、“干扰”根本就剪不断、扯还乱，我们再也无法忽略、无法逃脱，它们紧密关联、纠缠，它们的爱恨情仇，决定了观测结果！

哗！多世界+退相干，简直就是绝配！意识被一脚踢飞。观测者不再霸占主宰地位。物理学家不再为坍塌劳心伤肺。薛猫不再又死又活让人羞愧。世界是实在的，万类循规，不再虚无吊诡。宇宙是决定的，因果清晰，不再孟浪邪魅！

我们屡战屡溃，踏破铁鞋，败而不馁，误闯太虚幻境，丢掉了故国山水！多少次末路穷途，汗洒泪飞。无谓？无畏！终于闯过最后一道险峰，哈，故土就在眼前，我们载誉荣归！

真他猫的完美！是不是可以点根火箭庆祝下？

“不！”奥卡姆剃刀在怒吼。“这个理论看上去很美，却拖着一个大大的累赘！”这个累赘，就是那些世外世界。不管你的理论有多性感、有多诱人，那无数个世界仅仅为了搞定波函数坍塌而存在，是不是也有点扯？代价也太大了点吧？这不是买卖，而是拐卖！何况，那无数个世界，一个也观测不到，这是在自欺，还是在欺人？无法观测的量，在物理上是没有意义的，你如何证明那些世界“真的”存在？！

嘿，你还别说，有挖坑的，就有搭桥的。还真有人提出了证明办法：一个“猛士游戏”——量子自杀。只听名字，就够恐怖。这个不人道的的设计，其实是薛猫真人 cosplay 暴力版。

按照哥本哈根解释，薛猫不管是死是活还是死活叠加，那猫仅有一只，别无分体；但按照多世界解释，情况就完全不一样了，因为多世界理论认为，每一种可能都已经在不同的世界发生了，也就是说，每一种可能，都会对应一个世界。于是，薛猫盒打开，有一只活猫存在于此世界，就有另一只死猫存在于彼世界。

根据这个原理，某位猛士去代替猫，用手枪代替毒气瓶。中子射出，枪响人亡；不射，再来一遍。每次实验，猛士都会面临两种可能：死，活。我们勤劳残忍地把这个实验不断做下去，对照一下哥派和 MWI 双方的预测结果，就立即分得出谁是谁非了！

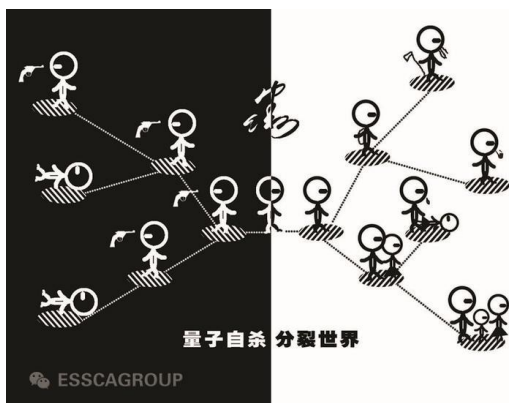
根据哥本哈解释，每次实验只有 50% 的生存可能，你知道的， $50\% \times 50\% \dots$ 算来算去，活下来的概率越来越小。几次实验后，这人八成就挂了。运气再好，他也活不长。

而根据 MWI，每次实验，猛士都会在一个世界中死去，在另一个世界活下来。那么，不管他一直活下去的可能有多少，其概率也不为零。于是，不管他在某些世界死了多少次，也永远会有一个世界中的他还幸运而苦逼地活着！这叫“量子永生”。我们晓得，“永生”这东西，自古以来就毫不靠谱，专门骗人。然而，根据 MWI，量子永生在逻辑上是没问题的。推而广之，不管你用什么办法自杀，也不管你在多少个世界中壮烈牺牲，但总有一个世界的你，因为种种令人崩溃的奇遇，让你自杀未遂——不管你有多想离开和多想不开。

严正声明：量子自杀、量子永生自古以来只是思想实验及推理的固有领地，是不可尝试的那部分，正告企图尝试者万勿铤而走险！否则，必将搬起石头砸自己的脚，置自己于万劫不复，令亲者痛，仇者快，并背上脑残罪名，受到全世界各族人民的强烈谴责、严重鄙视和死命嘲笑！

嗯，打住。说正经的，验证办法是，如果猛士同志彻底挂掉了，那么哥派解释胜出；如果猛士同志一个劲儿地做实验，而且他感觉自己一直活着（实验装置无故障），他就有理由越来越相信，MWI 胜出的可能性越来越大。什么？你说这不可能？不好意思，这是可能的，证据随处可见：宇宙中的两个粒子结合在一起的概率是多少？有人估算，宇宙有 10^{80} 个粒子，宇宙尺度又这么大，两个特定的粒子结合在一起的概率无比接近 0，

如果要三个特定的粒子结合在一起，这个概率就加倍减小，然而，你身上的 10^{28} 个原子真真儿地构成了神奇的你，对这些粒子来说，是不是巧合到地裂天崩？然而，“你存在”这个事实告诉我们，你身上的这 10^{28} 个粒子组合成你的概率是 100%！这是个奇迹吗？对不起，地球、以及地球上的每个生物，都是由 N^n 个粒子无比巧合地凑在一起构成的，所以，谁的存在都不算奇迹，我们人类一起在地球上思考宇宙，才是奇迹！咳咳，跑偏了——在量子自杀实验中一直活下去，概率不是零。



【图 10.12】量子自杀与分裂世界

然而，悲催的是，即使有个真的猛士来做这个实验，我们依然无法判断胜负。因为存在一个严重的问题：我们没法跨世界观测。其一，猛士同志是否“彻底”挂掉，无法验证，即使你亲眼看见他挂掉，也无法证明他在其余所有世界都挂掉了；其二，即使你亲眼看他做了 999 次实验，枪都没响，也不能保证下一场实验枪依然不响；其三，就算他真的在某个世界永远不死，也没法跨世界来告诉咱俩，多世界理论是正确的。也就是说，这个量子自杀实验，以我们人类现有的能力，是无法搞到完整的观测结果的。或许，只有放阿全这种神物去观测才行。但是，如果咱俩有阿全，TA 只需看一眼就知道多世界是不是靠

谱，根本用不着搞什么“量子自杀”去画蛇添足！

所以，量子自杀实验带来的不是揭开谜底的曙光，而是不可证伪的绝望！科学理论最大的悲哀，不是被证伪，而是不可证伪。牛爷的理论被证伪，依然光芒万丈，高山仰止；而某些愚民理论永远都无法证伪，却只能靠自吹自擂自嗨自慰。所以，对那些多出来的世界，理当动用奥卡姆剃刀，斩立决！

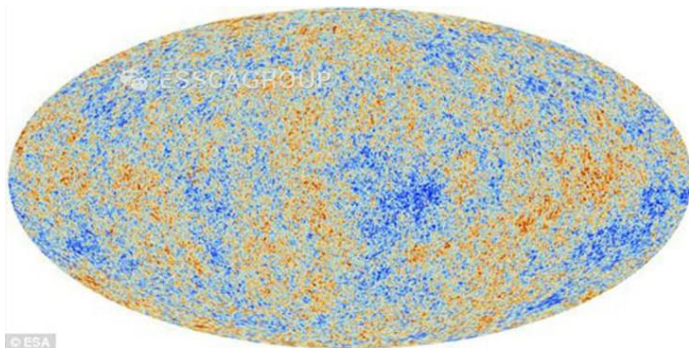
不过，有一个问题却让我们举刀四顾心茫然：粒子可以同时出现在很多地方，粒子组成的我们为什么不可以？世界为什么不可以？如果你相信粒子可以做到，那就应该相信宇宙也可以做到！

所以，不管有多少人信，也无法阻止另一部分人相信 MWI。比较有名的 MWI 信徒有费曼、盖曼、温伯格等。我们熟悉的霍金同志也是个多世界粉丝，他认为，根据大爆炸理论，幼年的宇宙只是一个奇点，比电子小得多，它本身就是一个波函数。那么，它长大后，就成了好大一棵树——超级波函数，我们的世界是它无数分枝中的一根，实属情理中事。然而，粉归粉，不能证伪的尴尬，就像中学生错发到班主任手机里的短信告白，你心再大，也难免耿耿于怀。求求你，证伪我吧！就算找不到可证伪的可能，你找一点证明也行啊！

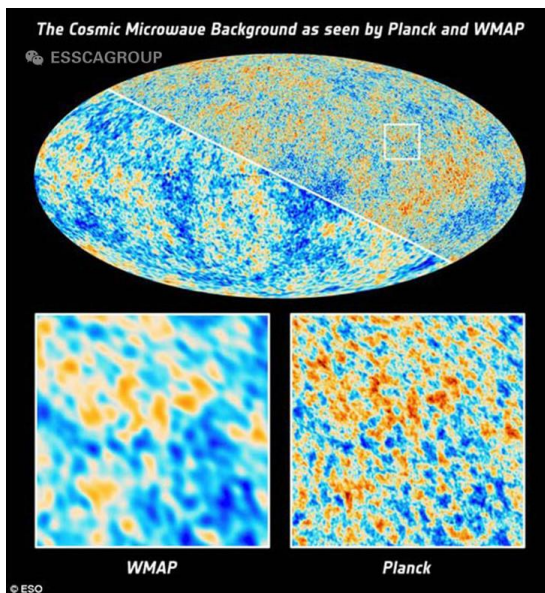
有一种力量，是专门为梦想照进现实而生的，那就是技术进步。进入 21 世纪，宇宙探测技术的发展，让我们看到了一点希望。2005 年，两个美国人提出了一种可能。劳拉·梅尔西尼-霍顿（Laura Mersini-Houghton，北卡罗来纳州大学理论物理学家）、理查德·霍尔曼（Richard Holman，卡内基米隆大学教授），他俩根据广义相对论提出，如果有其他宇宙，那么，引力拖曳作用一定会对宇宙微波背景辐射（我们以后简称“宇宙地图”）造成骚扰。当然，科学预言很多，这个预言没什么特别，所以没几个人放在心上。

2009 年 5 月，欧美合作的“普朗克巡天者”空间望远镜升

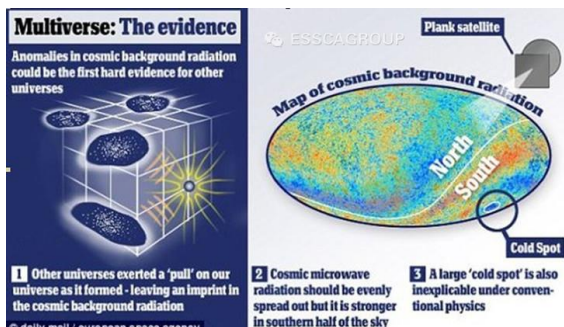
空，开始了一项艰巨的任务：探测完整的宇宙地图。它做到了。花了 15 个多月。这个耗资 5.15 亿英镑的家伙搞到的图像高清无码，分辨率是那些老前辈望尘莫及的，所以，虽然它的设计寿命只有数年，却捧回了让人眼馋的众多成果，其中之一，就是拍到 138.2 亿年前的光，也就是说，宇宙至少有 138.2 亿岁。2013 年，劳拉在普朗克望远镜发回的数据中，找到了她要的那个骚扰。在宇宙地图上，发现了微波背景辐射分布异常，在南部天空辐射更密集，而且存在一个用目前的物理学无法解释的“冷点”。劳拉认为，这就是她和霍尔曼预言的那个“骚扰”，是由其他宇宙的引力拖曳造成的。剑桥大学理论物理学家马尔科姆·佩里（Malcolm Perry）、天体物理学家乔治·艾夫斯塔休（George Efstathiou）等科学家表示，这个说法靠谱，那个冷点很可能就是其他宇宙存在的真实证据。



【图 10.13.1】普朗克望远镜搞到的宇宙微波背景辐射全景图



【图 10.13.2】新老地图对比，左侧为老探测器作品，右侧为普朗克望远镜作品。



【图 11.13.3】宇宙微波背景辐射异常分布示意图

不管你信不信，不管它是不是多宇宙的证据，科学家们的共识是：这个发现，将改变我们对宇宙的看法。

然而，即使真的存在另一个宇宙，它也不一定像 MWI 所

说的那样，是我们这个世界的另一个投影，这里看到活猫，那里就看到死猫；这里电子走左缝，那里电子就走右缝。也许，那个造成冷点的宇宙，仅仅是另外一个不相干的宇宙而已，它跟我们这个世界没有任何关系，也许那里根本不适合生物生存，甚至连恒星都不能形成……即使如此悲观的结果，也只是停留在假设阶段。想要确认多宇宙是否存在，我们还有相当长的路要走。

第三者

山高路远坑深，悲欢总是泪奔。这厢横刀立马，那厢卧槽将军。路很长，不容易。走过来、走过去，没有根据地，汗也流、泪也落，心中不服气，山也多、水也多，分不清东西，人也多、嘴也多，讲不清道理……这一路走来，有两个字几乎成了我们的口头禅：疯、狂。

是的，所谓疯，就是不走寻常路；所谓狂，就是不屑寻常路。宇宙真理不能靠发明，只能去探明。发明是私人定制，而探明是开疆扩土，你会碰到啥，鬼都不知道。于是，看起来很疯狂。所谓不疯魔不成活。实际上，相对于宇宙的浩瀚深邃，人类感知能力实在是弱爆了，你不出点格，还真就找不到真相。尤其是到了我们看不见摸不着的量子领域。曾几何时，爱因斯坦被人怀疑疯了，而普朗克怀疑自己疯了，可后来，大家发现，恰恰是这些“疯子”，在引导人类走近真相。因此，在某些时候，疯、狂二字，对一些物理大神来说，简直就是“正确”的代名词！所以，玻尔的看法是，该疯疯，该狂狂，千万别客气。海森堡拿出匪夷所思的矩阵力学时，泡利的第一反应是“这简直是疯了”，而玻尔还嫌小海疯得不够，所以在这匹狂奔的小马身上抽了一鞭子。一次，泡利到哥伦比亚大学浦宾实验室，讲到小海的基本粒子非线性新理论，玻尔听了，朝桌子对面的泡利摇摇头：“这不可能是对的。因为它还不够狂妄”。而泡利则指尖对麦芒：“它够狂妄的了。”你知道，泡利在说，小海是对的。

他们说的“狂妄”，当然不是莫名其妙的轻妄自大，而是“有充分根据的违例或怪诞”。艾弗雷特的 MWI，正是这种“狂妄”的产品。多宇宙理论一面世，所有人都认为艾三同志疯了，连唯恐疯得不够的玻尔都接受不了，认为这伙计疯过头了。让你使劲疯，没让你真疯啊老大！只有惠勒认为艾三疯得还不够。分裂的宇宙让人难以忍受，但缜密的逻辑令反对者无从下口！于是，1988年，美国哲学家阿尔伯特和洛厄挺身而出：既然我们受不了宇宙分裂，就让我们自己分裂了吧！他俩提出了 MWI 的精神变种——多精神理论。大意是，宇宙还是一个宇宙，它从未分裂，但我们，也就是观测者，都有无数个精神，或者说是意识。说白了，精神是分裂的。看上去是你，实际上是你们。每一个你，都会意识到一个确定的测量结果……不往下说了，一来你们已经明白了；二来，这个理论提出没多久，就被提出者扔进了废纸篓。

这些让人抓狂、蛋疼的理论，其实都是量子力学本身逼出来的。你有砸碎旧世界的勇气，就得有建好新世界的能力。你强拆了决定论，就得交代清楚，概率是怎么来的，波函数是怎么坍缩的，什么才算是一次观测。你搞不清，还不想把意识扯进物理，那就得承认有隐变量；你找不到隐变量，就得承认波函数没有坍缩；你说波函数没有坍缩，那就只能委屈宇宙搞分裂了……所有这些纠结，实际上都来自矩阵力学和波动力学。正是它俩，把我们从经典的热炕头勾引出来，扔到雾霾密布的荆棘丛中，还甩了句：“又想过猪的日子，又不想要猪的结局，哪捡这便宜事儿？奋斗吧骚年！”然后，就没有然后了。

那么，离开了它俩，我们是不是就无枝可依了呢？答案相当得人心：不！除了它俩，量子力学家族还有一位新成员，我们没来得及介绍。说来话长，波粒这对冤家闹了几百年，终于修成矩阵力学、波动力学，在量子阵前遭遇、冲突、会师，最后喜结良缘，双剑合璧，睥睨天下。眼见这场强强联姻要美翻

天，却不料，半路杀出个第三者：路径积分。

引来这个第三者的，是另一位大神：理查德·费曼（Richard Feynman）。这位爷在前面跑过几次龙套，但现在，是他当角儿的时候了。

费曼 1918 年 5 月出生于美国。父亲麦尔维尔·阿瑟·费曼热爱科学，但疲于谋生，没有实现当一名物理学家的理想，于是，立志让孩子们圆这个梦。他做到了。儿子理查德和女儿琼都成了物理学家。

毫无疑问，费曼是个天才。他心灵手巧，少年时期就可以给人家修电器赚零花钱了。上高中后，学长们用高年级的数学难题考他，他总是三下五除二搞定，令学长们膜拜不已。他认为自己最不擅长绘画，但被一位画家朋友诱导学画后，他的很多画被多人买去收藏（署名是笔名）。

高三那年，费曼参加纽约大学数学锦标赛，一举夺魁，得分甩了第二名几条街，惊呆了裁判。

1935 年，费曼进入麻省理工学院，啃了物理啃数学。从狄拉克的《量子力学原理》中，读到了大家对量子电动力学（QED）现状的各种不爽。于是，费曼决定，拿出一个大家都满意的答案。不得不说，这是一个宏伟到狂妄的目标。



【图 10.14】科学顽童费曼

但费曼只知宏伟，不觉狂妄。因为，他认为自己设计的路线很靠谱：搞定经典电动力学的发散困难，把它量子化，差不多就 OK 了。

1939 年，费曼在《物理评论》上发表了大学毕业论文，内有一个量子力学公式，后来以他的名字命名。这已经很牛了，但离他的宏伟目标还差得很远。毕业后，他报考普林斯顿大学的数学和物理研究生，以空前的满分入学。导师是大他 7 岁的惠勒。这是一对好师徒。

费曼决定，继续跟发散困难死磕。这“发散困难”是何方神圣呢？在经典电动力学中，每个点电荷——就说电子吧，都要产生一个电磁场。产生场干嘛用呢？说来很无聊，既自扰（作用于场主自身），又扰民（作用于其他电子）。这个场所具有的能量，就是场主电子的“自能”。问题就出在这儿，你想精确计算它，就会得出一个吐血的结果：无穷大。这个，我们并不陌生。从来访的频率上看，无穷大同志应该是物理界的老朋友，然而，从实际效果上来看，这厮绝壁是物国人民的死敌。这就是发散困难。它的根源是，场有无穷多的自由度，你越是往精确里算，把所有的微扰项都加进去，积分的上限就越发散为无穷大。从公式里看，罪魁祸首是高能光子，它们为无穷大的入侵做出了不可磨灭的贡献。所以，这个发散又叫“紫外发散”。

费曼发现，如果场只扰民，不庸人自扰，就可以解决无穷多自由度等问题。然而，如果电子不自扰，你就解释不了辐射阻尼。这“辐射阻尼”又是哪路神仙呢？说起来不陌生，所谓阻尼，简单讲，就是阻碍物体运动的一种作用。跟直接挖陷阱使绊子这种下三滥的招数相比，阻尼更腹黑，它利用各种相互作用，把运动能量逐渐耗尽，达到衰减运动的目的。比方说弹簧，都是开始弹得欢，然后它的动作一定会越来越小，最后彻底老实。这就是由于粒子间的各种作用，弹力转化成了热能等其他能量，被耗散干净的结果。嗯，振动系统由于某种作用，

引起的振动幅度逐渐下降的特性，就叫阻尼。前面说过，电子一旦加速运动，就必须辐射能量——电磁波，如果没有补充，谱线变宽，振幅下降，系统能量很快就被耗尽，这种阻尼，就叫“辐射阻尼”。

让电子的场只扰民，不自扰，其实不光是费曼的愿望，也是洛伦兹的愿望。为了补偿加速电子的经济危机，洛老师早在世纪之初，就利用电子“推迟势”的相互作用，来大搞投资，维持系统能量 GDP。所谓推迟势，简单讲，就是由于有距离，需要推迟一点时间才能相互影响的电磁作用。然而，这样搞，虽然保住了 GDP，却造成了一个无法愈合的内伤：电磁质量无穷大！

费曼一筹莫展之际，惠勒出马来援：你消灭自扰的想法可以试试，但不要纠结于辐射阻尼，攘外必先安内，可以曲线救国嘛！惠勒引入了狄拉克的一个假设：电子用来自扰的作案工具，有推迟势，也有超前势。两股势力的一半用来自扰，另一半用来扰民。它们相互作用、相互牵制。虽然超前势不符合因果律，但在数学上用一用，还是无伤大雅的。这样一搞，用来自扰的半推迟和半超前两股黑恶势力火拼，这就消除了自扰，顺便踢跑了无穷大，还保留了一个有限的辐射阻尼！为麦爷操作系统添了一款超值附件！美翻了？不，这仅仅是开始。

应用半超前半推迟的相互作用，费曼发现了一个新的作用量！

“作用量”很了不起吗？需要加个叹号？是的，作用量是经典物理的一个重要基本概念，它是指一个运动系统内在的演化趋向。我们要搞清楚一个系统的变化，只需取两个“时空点”的状态，也就是初态和末态，然后求解作用量，就可以搞到这两点之间每个点的状态。那么，作用量千变万化，无限可能浩如烟海，我们怎么求是好呢？这个好办，大自然是最高效低耗、节能减排的，所以，我们只要求解作用量的极值（当然是最小

值)，就恰好合了自然规律，这就是前面说过的“最小作用量原理”：任何作用、任何行为，自然界总是选最简单的方法。这是经典物理的重要基石之一。牛顿运动定律用的是微分方程，而用积分方程来处理作用量，能得到相同的结果。

费曼用恰时积分表示电子的四矢位置，处理那两股势力的直接相互作用，得到这个“新作用量”。又从这个作用量出发，导出了配备这款超值附件的麦爷方程。哈，这是经典电动力学的一个新形式！

这里面涉及到哈密顿、拉格朗日等大神的一堆术语，就不细说了。我们只要没忘记前面说过的：什么“哈密顿-雅可比方程”、“拉格朗日力学”、“哈密顿力学”，它们跟“牛顿力学”是完全等价的，只是表述方式不同，就 OK 了。

我们知道，矩阵力学、波动力学这对冤家之所以喜结良缘、双剑合璧，就因为“本是同根生”，它们脚上的那根红线，就是哈密顿函数！隐约有个声音在说：费曼，你的路子是对的。然而，费曼现在挠心的是，怎么才能把他的“新作用量”量子化？说起来，真是“苦心人、天不负”，一位到普林斯顿访问的欧洲学者聊到：狄拉克同志的某篇论文讨论过这事儿。费曼光速去图书馆，找到这篇 1932 年的论文，果然，小狄一本正经地把作用量和拉格朗日函数引进了量子力学。只不过，他还没有把作用量一本正经地量子化。费曼中奖了，他把小狄的思想向前发展了一步，直接写进公式，处理作用量，华丽丽地导出了薛定谔方程！

1942 年，费曼发表了他的博士论文《量子力学的最小作用原理》。费曼博士导来导去，把传统的波函数，变成了从初态到末态的概率幅。在这里，作用量被描写成概率幅，舞台搭在初态和末态的时空点之间，全程表演叠加原理。

随后，费曼参加了曼哈顿计划，和罗伯特·奥本海默（Robert Oppenheimer 原子弹之父）、汉斯·贝特（Hans Bethe 美国物理学

家，1967年诺贝尔物理学奖得主）、恩利克·费米（Enrica Fermi 1938年诺贝尔物理学奖得主）、爱德华·泰勒（Edward Teller 氢弹之父）、冯·诺依曼等大神共事。费曼的坦诚直率、敏锐聪慧很快就受到大神们的赏识，其中包括玻尔。维格纳更是把费曼誉为翻版狄拉克，看样子，如果维格纳有另一个妹妹未嫁，他会让她嫁给费曼。贝特把老跟自己唱反调的费曼弄到自己手下，让他当了计算组的组长。贝特没看走眼，他跟人炫耀：“费曼能做任何事情。”还请费曼到康奈尔大学共事。

费曼的工作真是顺风顺水，然而，家庭却祸不单行。1945年，爱妻阿琳去世。次年，慈父麦尔维尔去世。费曼一度低迷忧郁，他戴上面具，表现得正能量十足，不断找难题挑战自己。比方说，他看见某学生抛起一个餐盘，就去用公式描述盘子转动与摆动关系，最后证明：当摆动角度很小时，转动速度是摆动速度的两倍。贝特兴致勃勃地听了费曼的飞盘研究，问道：这能干嘛呢？

费曼想来想去，飞盘研究的确没啥实际价值。于是决定，继续专注那个宏伟目标。在费曼的博士论文中，“路径积分”的思想已经萌芽，他要在路径复概率幅的框架内，建立一个更简单的相对论性电子理论。说白了，就是不用狄拉克方程，但是能得到狄拉克方程的全部结果。这太疯狂了！不用说，他遇到很多难题，比方说关于“自旋 1/2 的相对论性电子”方面的问题。

说到路径积分，其实一点也不新鲜。我们知道，自从牛爷和莱布尼兹鼓捣出了微积分，大家一有麻烦就拿出来用。这微积分也真长脸，经过各种改编、混搭，几乎是攻无不克！到了20世纪30年代，人类的野心越来越大，逮啥就想算啥。比方说，你偏不用称，却非要靠计算来搞清一块矿石的质量，你知道的，矿石这东西，密度不均，形状怪异，前重后轻，左宽右窄，算不出来就很不舒服，整晚失眠。为了不连累维格纳的妹

妹，狄拉克提出了“曲线积分法”，也就是路径积分。可以把矿石的密度等变化用曲线表示，进行积分计算，它不是沿着区间取值，而是沿着特定的曲线（路径）取值，故名之。至于积分的对象，可以是弧长，也可以是坐标轴的曲线，两者殊途同归，让陈家村的铁匠改一改，就能相互转换。



【图 10.15】路径积分。从 A 到 B，是所有可能世界线的叠加。

灵感终于降临，费曼走出雾霾，5 年的苦思冥想，换来一幅奇妙的世界图像：万类时空竞自由！粒子运动的所有可能路径——也就是世界线，漫空飞舞，叠加成妙曼的概率幅！费曼找到了量子力学的第三种表现形式——作用量量子化的路径积分法。1948 年，费曼发表了题为《非相对论量子力学的时空描写》的论文。关注初态和末态，在这两个时空点之间，把粒子所有可能的路径（世界线）遍历求和，看起来很麻烦是吧？妙就妙在大部分路径可以直接相互抵消，剩下的那些路径的值，始终与波动、矩阵力学保持高度一致！也就是说，路径积分跟波动力学、矩阵力学是等价的！顺便八卦一下，费曼在解决电子自旋难题时，用到了飞盘研究。

哈，你看出来了，费曼的这个路径积分，和狄拉克的路径积分不是一回事：费曼是对每条路径的概率函数进行积分，而狄拉克是对路径上的取值进行积分。不过，这都不是事儿，因为在费曼的路径积分形式里，也离不开狄拉克的路径积分法。

说到这，顺便聊一下普朗克常数 h 。在普朗克看来， h 跟频率紧密关联， $h\nu$ 是能量子；在玻尔-索末菲体系中， h 是用来维持角动量的基本单位；在矩阵力学中， h 支撑着非对易关系、共轭关系；在波动力学中， h 协调波粒二象……现在，路径积分中的 h 唱什么角色？它出现在概率幅的相位之中！相位和那个新作用量成正比。前面说过，费曼的概率幅所表示的，其实是作用量。翻译过来： h 现在是作用量的量子！哈！

如此看来，费曼的路线就十分耐人寻味了：处理经典电动力学的发散困难，找到了新的作用量；从作用量出发，导出了麦戈方程的新形式。也就是说，作用量里包含经典电动力学的全部信息；把这个作用量引入量子力学，导出了薛定谔方程，采用传统的积分形式，对所有路径的概率幅求和，经典作用量被成功量子化，水到渠成地得到了量子力学的全部结果！这就是说，从古老的经典电动力学出发，可以得到冷艳高贵的量子力学！原来，我们之间不存在什么无法拉近的距离。没错，我是在爬，你是在飞，但你没道理搞什么地域攻击。因为，我们是毛毛虫和蝴蝶的关系！

经典和量子的隐秘关系就这样被挖出来了。没办法，大神就是这样善于把复杂的问题简单化。这种素质，在费曼的各项工作中，都展露无遗。他讲课幽默生动，让听者“走心”。1986年，他受命调查了挑战者号航天飞机失事原因，只用一杯水和一个橡皮环，比划一通，就让大家瞬间明白了事故原因。对付量子难题时，费曼照样能找到简单办法。他大搞路径积分的那些年，正值物理界饱受量子场论发散困难折磨之际。

啥叫量子场论？这样说吧，咱们前面说了几十万字的量子论，其实只是微观理论的一个基本框架，它八卦的是单个粒子的隐私。多粒子系统的复杂行为，就涉及到“场”的作用了。量子论以前，咱认识电磁场，当然是以麦克斯韦方程组为核心了；量子论以后，咱还是离不开麦戈方程，于是就把麦戈的电

磁场量子化，这就是量子场论。量子场论也是一场浩大工程，别说讲一遍，就算拉出参与工程的各路大神名单，也是长长的一大串，咱就不说了。

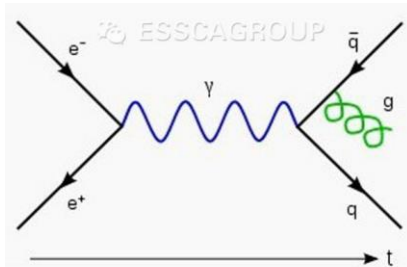
单说这里的发散困难，已经不是前面提到的那个发散困难了。话说 1947 年，美国加州斯坦福大学的兰姆（Willis Eugene Lamb）发布了一个坏消息：经过俺精密测定，氢原子有两个能级不太对劲，它俩相差 1000MHz。但狄拉克方程显示，这俩能级应该是简并的。也就是说，它们虽然是两个能级，但差别极小，可以粗略地看成一个能级。然而，测出来的 1000MHz 这个值虽然不大，但足以让我们再也不好意思去简并人家了。这个观测就是著名的“兰姆位移”。兰姆为此获得了 1955 年的诺贝尔物理学奖，和他分享这个奖的，是美国纽约哥伦比亚大学的库什（Polykarp Kusch），他精密测定了磁矩。

科学铁律：当理论不符合观测时，再伟光正的理论也得改，改不了就废！

于是，贝特等纷纷出手，但搞来搞去，总是躲不开无穷大这个不速之客！不是战士心太软，而是敌人壳太硬：量子场论除了前面提到的紫外发散困难，还有红外发散困难。前者是拜高能光子所赐，后者就是拜低能光子所赐了。不同的是，红外发散困难，不关自由度的事儿，而纯粹是数学方法问题。这些杂七杂八的毛病表明，量子场论不仅有物理问题，也有数学方法问题。不得不说，这是物理学界的眼中钉，不拔掉它，可怎么活哟！费曼当然也参加了这场战斗。

为了处理粒子系统的相互作用，比方说微扰展开问题，费曼发明了一种直观简便的方法：看图说话。用图来标记微扰展开的每一项，标上配套因子，简洁地表达了粒子散射、反应和转化等过程，看图就能写出电子自能的矩阵元，用来计算跃迁概率之类的量子问题，比方便面还方便。这就是名满天下的“费曼图”。后来费曼把它画在车上，一有路人问他为啥要在车上画

费曼图，这家伙就很屌地甩一句：“因为我就是费曼！”



【图 10.16】费曼图。是不是有点眼熟？粒子物理学家的黑板上，经常画满了这玩意儿。粒子一律用线表示：费米子—实线，光子—波浪线，玻色子—虚线，胶子—圈线。线的连接点称为顶点。下面那个长箭头是时间轴，向右为正。向左代表初态，向右代表末态。与时间方向相同的箭头代表正费米子，反之表示反费米子。

有了费曼图，那个神秘的概率幅，就不那么抽象了——我们可以对费曼图进行积分，像搭积木一样把它写出来。方程中那些呆头呆脑的因子们，活色生香地在我们眼前摆起了 Pose。问题变得清爽起来。

费曼对电子的质量和电荷动了点手脚，说好听点，叫技术处理，比方说，修正了函数 δ 、让时间空间平起平坐、搞些常数潜伏到公式里、除掉某些因子等等，如此折腾干嘛？当然是为了逼跑无穷大！这些手段，叫“重整化”。1949 年，费曼就电子和光子的相互作用，给出了配套的费曼图和费曼规则。效果不错，不仅无穷大没了，计算精度还出奇的高。虽然 PS 痕迹太重，令人不忍直视，但数学结果却让人五体投地。英国物理学家戴森 (Freeman Dyson) 见状，认定此法十分了得，必定正确。于是加以研究。结果，证明了费曼理论靠谱，跟日本物理学家朝永振一郎、美国物理学家施温格 (Julian Schwinger) 的理论等价，这三位，用不同的方法，分别对 QED 进行重整化，搞定

了发散困难，建立了 QED 新体系，分享了 1965 年的诺贝尔物理学奖。经过重整化的量子电动力学（QED）有如浴火重生、天神附体，计算电子磁矩之类的玩意儿，居然与观测值一直符合到小数点后 11 位！这种变态精度，我们在前面见过一次，就是广义相对论对脉冲双星运转的预测，与观测值符合到了小数点后 14 位！虽然 QED 少了 3 个数量级，但这个精度，足以在众多物理理论中傲视群雄了。实际上，也正是这个精度，让 QED 成为量子场论中最成熟的一个分支，成为有史以来最精确的理论之一。不管你有多不喜欢重整化，也只能在这个精度面前充满敬意——作为一个理性的人。

矩阵力学一出世，就摆明了要跟经典说拜拜。波动力学怀着的一颗回归经典的赤子之心，却只能望着脚下的鸿沟悠悠长叹。种种努力付东流。大家以为，经典王国只能带着曾经的荣耀，彻底退出历史舞台。万万没想到啊！费曼竟然用了一招路径积分，让经典直接涅槃为量子力学！怎不令人狂喜泪奔？！

幸福来得太快了？当然不会！如果幸福真的来得这么快，那么，1948 年以后，我们拼死拼活搞出那么多古怪理论，又是为了什么？

实际上，路径积分刚鼓捣出来时，待遇不比 MWI 好多少，只是它看上去没那么让人抓狂而已。玻尔先生乍见费曼图，以为是粒子轨迹，当场予以毫不留情的批评。

路径积分的出人头地，全仗犀利的计算。费曼把他的方法推广到刚刚火起来的介子理论，一战告捷：用正则哈密顿方法，艰苦奋斗几个月才能搞定的某些问题，用费曼的方法，一夜就拿下。

波动力学是量子力学的微分形式，而路径积分，就是量子力学的积分形式，两者完全等价。不过，用路径积分来表述量子力学，似乎更自然，更简洁、逻辑结构更严谨，还实现了经典力学到量子力学的完美过渡。因此，它越来越受物理界广大

人民群众欢迎。简直就是功德圆满！

然而，问题依然存在。费曼规则，不是用公理化方法演绎推导而来，而是凭借天才直觉、经验、拼凑、检验等各种技术手段，硬鼓捣出来的，难免令人生疑。就像武馆天降莽汉，仗一身蛮力所向披靡，必然让挨揍的练家子各种不服。路径积分也不是一套理论系统，只是为量子论提供了一个方法。正如费曼所言，几率概念并未改变，改变的只是计算几率的方法。大家渴望回归经典，要的是那种踏实感，而不是把经典搞得跟量子一样不踏实。

抬眼望路，依然迷雾。

前途漫漫

转眼到了 80 年代，量子开山元勋纷纷老去，那串深深的脚印里，闪烁着光华，也折射着迷惘。光华背后是财富，而迷惘深处是宝藏。这一切，都让新生代物理学家心跳不已，纷纷加入挖宝大军，各种古怪理论层出不穷。

1984 年，美国物理学家格里菲斯（Robert Griffiths）发表了一篇论文，乍一看，好像跟 MWI 和路径积分都有点关系：在两个时空点之间，轻舞飞扬的不是路径，而是历史，所有可能的历史。

历史面无表情地飘到 1991 年，这篇论文总算激起了点波澜——加州理工大学博士生哈特尔（James Hartle）发现这个提法很有搞头，就拖来他的老师、“夸父”盖尔曼（Murray Gell-Mann 美国物理学家，夸克之父，获 1969 年诺贝尔物理学奖）一起添砖加瓦，改建扩建，搞出了个“退相干历史”（DH）。DH 说，没有多世界，只有多历史，那些历史退相干了，所以，咱俩只能看见一个结果。

我们知道，当物理定律被表达成公式后，时间就是展现在我们面前的一条线。大家都按照方程，乖乖地随时间线演化，就像展开的电影胶片，一切历历在目，没有什么过去、现在和

未来。手握方程，我们可以逆时间推演到几亿年前，也可以顺时间推演到几亿年后，用不着穿越，就可以觅到月亮姐姐在任何时间点的芳踪。就像你可以随便欣赏胶片上的任何一格图像。

那么，根据 DH，两个时空点之间，展开了无数条电影胶片，每条电影胶片的剧情都不太一样，一条胶片是一个历史。这些历史之间，会相互干涉。胶片叠加会重影，单粒子过双缝会干涉。

如果每一条胶片都朝银幕上投影，多数图像会相互抵消，丢掉很多的细节，在数学上，就像路径积分那样。嗯，我们观测到的，是“退相干”了的历史。也是被“粗粒化”了的历史。一个系统的粒子越多，它的历史越容易退相干。

前面说过，所谓退相干，在数学上，是由于粒子增加，相空间维度随之倍增，造成投影正交，世界之间的关联被抹除，互不相干，所以我们就看不到神马叠加、干涉之类的玩意儿了。历史的退相干也是这样，只不过随着粒子增加，正交的是历史，而不是世界。

那么，啥叫粗粒化呢？看看人肉 LED 就知道了。那一幅幅变幻莫测的图像，其实是人举着一块块色板。色板反射的光，经过我们眼睛的调和处理，就成了一幅幅完整的图像。我们看整体时，会忽略掉细节。这就叫粗粒化。我们观测任何东西，都是这样。粒子的所有可能历史都存在，只不过被粗粒化了。



【图 10.17】退相干历史。图下方，可以看见跳舞的人，以

及人组成的弧线构图，他们的样貌、身材、汗毛刮没刮等细节都被粗粒化；上方的“屏幕”上，我们只看见巨型的横幅和地球图案，举着色板的人、色板的材质等等这些细节被粗粒化。虽然我们没观测到那些细节，但它们是存在的。



【图 10.18】退相干历史

人肉 LED 从 A 图变成 B 图，虽然构成 A 图的那些色板并没有消失，甚至有的色板连翻都没翻，但在 B 图上，你的确观测不到 A 图了。粗粒化的图像是不相干的。

粗粒化历史也是这样。DH 用数学来描述一只猫，实际上是描述它身上的所有粒子，及其与外界互动的所有历史细节的总和，这些精细历史相互干涉，相互抵消，只留下不相干的死猫、活猫的粗略历史。于是，你去观测它，不管它是死是活，那些细节，都被粗粒化了。所以，我们看到的，只有一只“真实”的死猫或者活猫！妙，妙，妙！

“退相干历史”中，观测者不再起决定作用，也用不着隐变量了，世界和精神也不用分裂了，深受部分物理学家的喜爱！

可是，为什么是“部分”而不是全部？因为，还有一部分

物理学家，从 DH 身上看到的是毛病：每一个粒子都处于所有可能历史的叠加状态，我们分分钟都在经历 N 种历史……这听起来，好像不比做分裂世界手术、吃隐变量偏方舒服多少。好吧，只要能治好量子病，不舒服我们也认了。

然而，DH 治好了胃，却伤了肝。你说所有可能的历史都发生了，那么，在刚才那个人肉 LED 屏上，我们也可能看到菊花，或者看到英文，这在 DH 理论上是毫无问题的。但我们还是忍不住要问：难道在某个经历里，菊花、英文真的在那个“屏幕”上出现过，而只是我们没看到？！更可怕的是，如果 DH 是对的，那么，我们就不会有一个靠谱的、经典的历史了。因为历史只是无数可能的叠加，我们观测到的，不过是粗粒化的图像。这样推论起来，你现在看到恐龙化石，就不能断定恐龙曾在世上存在过，因为这些化石只是观测粗粒化的结果，它们很可能是粒子闲着没事突然组合出来的！就像色板拼成图那样。

还有很多问题，这里就不细说了，总之，反 DH 者认为，不管怎么看，DH 也只是处理矛盾的一种技巧，而不是物理真实；它更像发明，而不是发现。一点也不比哥本哈根解释更靠谱。

哈，说句公道话，到目前为止，我们所见过的这些量子力学解释，又有哪个不像发明呢？程度不同而已！

反对 DH 比较强烈的团队之一，是 GRW 阵营。所谓 GRW，是三个意大利物理学家名字的简拼：吉拉迪（G. Ghirardi）、瑞米尼（A. Rimini）、韦伯（T. Weber）。1986 年，这三位提出一个模型，这个模型就叫“GRW 理论”。它有一个野心勃勃的目标：揭秘波函数坍缩！

GRW 认为：每个粒子的波函数都会随机、自发地变态——从朦胧的弥漫态，变成一个比较确定的定域态——也就是所谓坍缩（所以 GRW 又叫“自发定域理论”）。但一次坍缩要等很久。多久呢？平均大概 10^{15} 到 10^{16} 秒，差不多几亿年才坍缩一

次。为什么又是“大概”又是“差不多”呢？因为这个数字，是根据观测结果的需要，倒估出来的。

坍缩一次要等这么久，还测个毛啊？！莫急，GRW 还有一个机制：任何系统都会和外界发生关系，互动互扰互折腾。一个粒子坍缩了，和它发生纠缠关系的粒子会惨遭连坐，一起坍缩……就像在弹药库引爆了一颗炸弹。这样一来，坍缩就变得相当容易了：一只猫有 10^{27} 个粒子，就算一个粒子平均 10^{16} 秒才坍缩一次，这只猫身上每秒钟也会有 10^{11} 个粒子坍缩，也就是 10^{-11} 秒就有一个粒子坍缩，它们会瞬间连累其他粒子，沿着纠缠不清的关系网，连锁坍缩下去，于是，整个猫的叠加态消失了！一个系统的粒子越多，它坍缩得也就越快。

如此说来，薛猫的确经历了又死又活的叠加态，只不过这个过程太短，不超过 1 纳秒（ 10^{-9} 秒），我们根本无法感知。所以，我们看见的，不是死猫，就是活猫！妙妙妙！

GRW 用“自发随机坍缩”+“纠缠连坐”一套小机制，貌似轻松地揭开了坍缩之谜：什么让波函数坍缩？自发的；如何坍缩？随机的；为什么宏观物体是定域的？因为粒子量够大，一人结扎全家光荣…哦不…一个坍缩集体连坐；既然是随机的那为嘛一观测就坍缩？因为宏观的仪器和你被引入纠缠关系网，连累人家坍缩……是不是简洁自然？不仅如此，通过调整理论参数——包括上面提到的单粒子自发坍缩时间，这个理论和目前的实验结果相当的一致！并且，不用意识点炮，不用隐变量顶包，世界、精神、历史都用不着分裂了！这种理论，岂不花见花开人见人嗨？！

然而，事实正好相反。多数物理学家不喜欢它。因为，它虽然够简洁，但不够优雅。看上去是在帮你忙，骨子里却在逗你玩。比方说，慢性谋杀能量守恒定律，虽然造成的破坏极微小，等待的时间极漫长，乍看上去几乎就守恒了，但是，不守恒就是不守恒，不在于它有多不守恒。能量守恒定律久经考验，

深受广大科学家信赖和拥戴，任何企图置之死地的行为，都是搬起石头砸自己的脚，必将受到物理界的鄙视。何况，GRW 还有个关键问题没交代清楚：粒子自发坍缩因何而起？难道是因为不开心或太开心？技术问题还有 N 多，细说也没什么意义，因为，GRW 团队对 GRW 也不太满意。

所以，珀尔、吉拉迪和瑞米尼组成了新三人团，于 1990 年鼓捣出“连续随机局域化”模型，简称 CSL，宣布揪到了自发坍缩背后的黑手：引力。几乎是同时，日内瓦大学的吉森（N. Gisin）等几位物理学家也纷纷提出类似的方案，用来修正 GRW。看这架势，引力是难辞其咎了。

然而，1994 年，佩西瓦（Ian. Percival）也搞了个新理论：基本量子态扩散理论，简称 QSD。他也宣布揪出了自发坍缩的幕后黑手：时空随机涨落。当然，遭到群众举报的黑手不止这两只。坍缩虽然很难搞，但不至于团伙作案。谁是真正的幕后黑手？线索太多，一时间纷乱如麻，让人心里草长鹰飞。

如果集齐 100 个理论，便可领取超值新版真相一枚，倒也值了。然而，上帝明显不喜欢这种游戏。想要真相，你只能踏踏实实去找。可找来找去，人们绝望地发现，你避开一座悬崖，就陷进一片泥潭，甩开一团迷雾，就跌入一个怪圈，你怎么也找不到一条脚底踏实、头顶明媚的康庄大道。难道，每条路都是通向死胡同的旁门外道？就没有一条妥帖通达的中庸之道？

当然有！它叫“系综解释”。所谓系综，是个统计概念。粒子们的脾气秉性虽然差不多，但个体行为却自由散漫，它们聚在一起，绝不会整齐划一，好在我们聪明，知道利用其秉性，以统计的方法，去掌握它们的总体行为趋向。这个手段很眼熟是吧？所以，下面这句，我们就不难理解：对相同性质体系的集合，使用统计手段，得到平均结果，就是系综的任务。

“系综解释”谁提出来的？支持者喜欢说是爱因斯坦。因为从第五次索尔维会议起，爱因斯坦多次提到这个观点： ψ 所

描述的，不是单个体系，而是多个体系，从统计力学上讲，就是“系综”。我们知道，老爱的意思是，量子力学“不完备”，它不能准确描述粒子行为，只好使用统计手段，得出概率结果，就像当初自己搞定布朗运动一样。老爱希望量子力学进一步完善，直到扔掉概率，描述单个粒子的确定行为。

然而，系综派的意思略有不同：量子力学的确是统计的，它的确搞不定单个粒子行为，那是因为，世界本来就是统计性的，根本就不存在描述单个粒子的可能！只有“系综”才有物理意义。任何窥视单个粒子的企图，都是自讨苦吃，必将被坚硬的现实撞得头破血流！

老爱的意思，大家不可能不懂，然而，系综派坚持打着老爱的大旗，似乎这样，才能让他们的现实更坚硬一些。

20世纪40年代，前苏联轰轰烈烈地开展了批判哥本哈根学派的思想运动，系综解释勇挑重担，代表辩证唯物主义，狠批了哥派“唯心主义”。科学院通讯院士布洛欣采夫提出了量子力学的系综解释，给出了量子系综的定义：从属同一宏观环境的“粒子或体系的集合”。这跟经典系综概念差不多。

系综解释说，没有什么叠加，也没有什么坍缩，更不存在什么隐变量，关键是，不存在什么“单个粒子的状态”，那没有物理意义。所以，我们不能描述个体粒子，只能统计系统的“集合”状态。而量子力学已经做到了。它是完备的。

薛定谔方程描述的是什么呢？哈，你们都误会了！那不可能是单个粒子的叠加态，只能是在同一环境下，无数粒子的统计平均值。它说粒子穿过了左缝，也越过了右缝，那不是指单粒子同时左右逢源，而是指很多粒子过缝时，左右机会对等：各50%！

这下圆满了，我们不用为叠加纳闷，因为没有叠加；也不用为坍缩操心，因为没有坍缩；更不用为完善量子力学费神，因为它本来就是完备的！并且它也没那么神秘了，因为它只是

经典统计手段在量子领域的应用!这样一来,量子力学爽飞了:既保留了数学形式,又掩盖了哲学问题,还回归了经典故土。哈,见过共赢的,没见过赢得如此八面玲珑的!

然而,八面玲珑、两头堵、和稀泥这种事,在政治上玩玩儿还行,用到科学上,就土鳖了!这不,一根筋的物理学家刨根问底:单电子是怎么过双缝的?它老人家是怎么自我干涉的?

这些硬邦邦的问题,岂是一句“个体粒子行为没有物理意义”就能敷衍过去的?何况,你打着辩证唯物主义的旗号,却辩证地证明:自己和唯心主义是没法分辨的!比如,哥派说,不存在客观的物理量,主客观不可分。而布洛欣采夫同志说,存在客观物理量,主客观可以分。但是,布同志又承认,测量者、仪器必然与观测对象产生相互作用,量子的统计性,是微观与宏观相互作用的结果。这就是说,你去测量时,统计性才存在。也是测量,也有观测者……你的客观性都去哪儿了?这和唯心的哥派有何区别呢?如果再问一句“经典环境为啥会让微观系统产生概率结果”之类的问题,是不是就焦头烂额了?

所以,这个耍小聪明、走投机路线的系综解释,是不得民心的。群众的眼睛虽然没雪那么亮,但你掩耳盗的是钟,夜半钟声都到客船了呀大哥!

中庸之道也跑偏了,难道无路可走了吗?当然不,量子之路就像叠加态,你数不清,很多小众之路,抬脚便是。

只一件事,便坐拥这么多高端大气上档次的理论,你幸福吗?

不!我们要的理论,不在乎它特色有多鲜明、内涵有多丰富、立意有多深远、建瓴那屋有多高、翻新周期有多短,只在乎它是不是有用、好用,最关键的,它是不是真相!

那么,怎么才能辨别真伪呢?最有效的手段当然是:实验。

说起实验,也不是那么容易。因为我们要观测的,是不可捉摸的粒子。不可捉也不可摸还不算难,更难的是,多数解释

的预测，都差不多啊差不多，甚至大部分数学结果一样！

数学一样的部分，就没法拿来评判谁是谁非了，只能在哲学上死缠烂打，最后当然是谁也不服谁，翻云覆雨各种看，搞不出个公母来。

即使你找到数学结果不一样的地方，差别也是细微到几乎没有。你知道的，这时，测量精度就成了大问题。比方说波函数坍缩：哥派认为，是瞬时坍缩，没有过程；而退相干系列认为，这个坍缩是有过程的；GRW 同意坍缩有过程，但在数学上，这个过程用的时间长短不同。诸如此类，讲起来立场分明，但实际测量起来，数学上差别极小，以至于很难达到明确区分的精度！

所以，在测量技术没达到精度要求之前，要找，就优先找基本预言不一致的地方。比方说，哥派、退相干、GRW 一致认为“有坍缩”，而系综、MWI 等解释认为“没有坍缩”，这该很好宣判了吧？可事实是，照样不容易！是的，你一观测，粒子就随机甩给你一个确定的结果，但你凭什么断定，它是波函数坍缩来的，或者它不是波函数坍缩来的？波函数是抽象的，它不能直接观测！坑爹吧？

因了个此，想一决雌雄，不仅要“基本预言不一致”，还要“可以直接观测”！这样的理论预言有吗？有的。比方说“交易解释”（TIQM）。这是美国物理学家克拉玛（John Cramer）于1986年提出的。

当年，费曼利用超前势和推迟势概念，找到了新作用量，还取得了麦谷方程的支持，鼓捣出了路径积分。克拉玛却从这两股势力的博弈合作中，看到了一条新路：推迟势发出一个波“出价”，超前势回一个波“确认”，两波在时间线上一顺一逆，交互干涉，催生一款华丽丽的“驻波”。这个驻波不是虚无缥缈的，它在物理上真实存在。是波，也是粒。但绝非一个抽象的函数！只是你一观测，骚扰了驻波，它顺手甩给你一个概率的

结果罢了。这个解释，非常合理，也非常物理。并且，人家还宣称，这个机制，跟哥本哈根解释不符，但跟阿弗沙尔实验相符！这是伊朗裔美籍科学家阿弗沙尔（Shahriar Afshar）2001年搞的一个光学实验。光子在这个实验里，既有粒的侠骨，又有波的柔情，让人抓狂。而根据互补原理，在同一个实验里，你要么看见粒，要么看见波，鱼和熊掌不可兼得。分歧大了去了。那么，究竟谁是谁非，是不是一目了然呢？对不起，目前还不能给你一个明确的答案，观测结果还有待进一步验证。不过，虽然结论还不是很明朗，但这一记小闷棍，也把强悍的哥派解释打了个趔趄！

你以为这样就算完了吗？当然不！因为祸怕孤独，它从不单行！这不，还有个实验，让哥派很难堪。

2006年，法国科学家阿罗什（Serge Haroche）特制了铈质镜子，镜面相对，距离3厘米，凑成一个空腔。然后，让光子在镜子间蹦跶了100多微秒，这个运动系统，可以看成经典世界：一只猫。光子蹦跶得正欢时，让一个处于叠加态的铷原子路过，与光子暧昧纠缠。根据咱俩的经验，铷原子的叠加态该坍缩了，是吧？然而，这个实验的神奇之处在于，它可以保持一小会儿叠加！于是，整个系统就成了薛猫。更神奇的是，阿罗什还可以对它进行测量啊测量！这一测不要紧，他们发现，系统丢掉叠加态前后，有个时间差！这说明什么？说明如果真的有什么波函数坍缩，那它至少不是瞬时的，而是有过程的！至少在这一点上，哥派预言不是想象的那么靠谱。

不靠谱的预言还不止这一个。阿罗什的实验，实现了操控单个粒子，并且保持了它的量子态！翻译过来就是，现在量子态逆天了，你一观测，它不立马坍缩！美国物理学家维因兰德（David Wineland）用不太一样的办法，也达到了同样的效果。于是，他俩因为“让测量和操纵单个量子系统成为可能”，分享了2012年诺贝尔物理学奖。他们使用的手段包括超低温、电磁

场捕获、激光脉冲控制等。具体细节就不说了，你懂的。

照这样说，哥派解释是不是废了？恰恰相反，它仍是无数解释中最坚挺的一个！不错，它是有些问题，但同时，它也是最准确、最简洁的解释之一！在已有的实验 PK 中，它的战绩仍然名列前茅，它依然是新量子派对垒经典派的前锋！比方说下面这场旷日持久的战役，就给这个招牌解释挣来不小的面子。

这场战役，就是把 EPR 实验从理想转为现实。当初，爱因斯坦和玻尔一致同意，小小和圆圆两个粒子亲密接触、分手后，一个左旋，一个右旋。分歧在哪儿呢？

玻尔认为：你观测前，两者是个整体，大家都处于叠加态，没有具体物理量；观测时，小小被骚扰，随机坍缩成左旋，同时，圆圆也感应到骚扰，果断选择右旋。

老爱认为：没有什么坍缩，也不用什么超光速信号，不管你观测还是不观测，谁左旋、谁右旋，在它们分手的那一刻，就已经确定了。

从 1935 年 EPR 佯谬提出时起，把这个理想实验搬进现实，就成了无数物理学家的梦想。不仅仅是要断个输赢，更重要的是，大家真的很想知道：这个世界究竟是什么？

然而，实验难度真的很大。首先，所谓的左旋右旋，只是为了说明一对纠缠的粒子自旋方向相反，它并不真的一个向左转，一个向右转，一目了然，而是任何方向都有，你怎么测？其次，粒子速度快，分手后运动方向不确定，它们又小到不可捉摸，你怎么测？第三，实验要求俩粒子分手一段距离再测，我们的空间各种粒子乱窜，无数干扰纷繁微妙，你怎么测？第四，就算前面的问题都搞定了，你又怎么判断，左右旋是分手时就已经确定的，还是你观测时骚扰坍缩的？技术难题多了去了，直到 1964 年，贝尔才找到验证的可能。

对，就是发现冯·诺依曼同学数学题做错了的那个贝尔。贝尔的高招是，统计“协作程度”。啥叫“协作程度”呢？就是甲

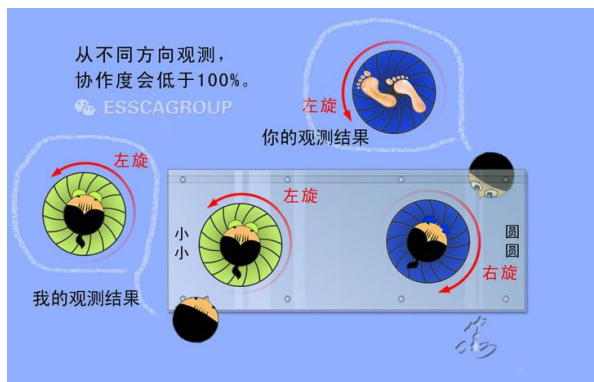
乙双方行为的相关程度。就拿夫妻来说吧，夫唱妇随，当然叫协作程度高；夫唱，妇一定不随，也是协作程度高，因为只要观测到“夫唱了什么”，就知道“妇一定不会跟着唱什么”；夫唱，妇不一定随，这就是协作程度低，你观测这个，跟另一个基本没关系。是的，不管是特别一致，还是特别不一致，都属于协作程度高。所以，谁忠诚落实“凡是敌人反对的，我们就要拥护；凡是敌人拥护的，我们就要反对”，谁就是主动与敌方合作。你提高国民文化素质，我就认定知识越多越反动；你习惯挑剔总统，我就习惯山呼万岁；你说老爱是牛顿再世，我就说老爱是牛鬼蛇神；你说不能靠吃屎过日子，我靠……！

小小和圆圆两粒子亲密接触、分手后，咱俩远隔星际，在同一个方向上分别监测，如果我测到小小是左旋，那么，你必定会测到圆圆是右旋，其相关率——也可以叫“协作度”——是 100%。这一点，爱玻双方都同意。

然而，如果你我从不同方向上测量，结果就不一定了：在玻璃茶几上，反向转两个陀螺，咱俩正常俯视，小小顺时针，圆圆逆时针，特别不一致，相关。但你这个坏人钻到茶几下面仰视圆圆，而我还是在正常俯视小小，那么，咱俩会发现它俩都是顺时针！如果始终这样观测，特别一致，也属相关。但你不老实，一会俯视、一会仰视、平视、斜视，这样的观测结果，就会破坏相关性。如此观测后，我们再去统计它们的协作度，会发现，总体协作度少于 100%了。这个很好理解，是吧？

观测粒子自旋，虽然比茶几看陀螺复杂得多，但道理一样。粒子在空中飘过，居住在三维空间的咱俩，很自然地想到，要从三个方向（不一定非要彼此垂直）去测量之。在同一个方向上，只有你左我右，或者你右我左这 2 种可能组合 ($2^1=2$)。毫无疑问，相同方向上测的结果，协作度一定是 100%，也就是 1。然而，如果咱俩分别从 x、y、z 三个方向上测，就会有 8 种可能组合 ($2^3=8$ ，不信自己列)。不同方向上测的结果，协作度一

定会低于 100%，因为，我在 x 方向上测的是右，你在 y 方向上测的就不是左是右了。但它会按照一定的概率来分布。



【图 10.19】从不同角度观测，协作度低于 100%。

正儿八经统计起来，“夫唱，妇一定随”、“夫唱，妇一定不随”这两种奇葩的高协作度，就让它们相互内耗了好么？好吧，世界清静了？

不，还有“夫唱，妇不一定随”的剧情，让这个世界高潮迭起！这里，就涉及到一个极限问题：从三个方向上测，总体协作度最高是多少？

这是一个简单的统计问题（网上很容易搜到推导过程，这里就不写了），对贝尔这种数学尖子生来说，实在是小菜一碟。所以，他很快就得出一个公式：

$$|P_{xz} - P_{zy}| \leq 1 + P_{xy}$$

P_{xy} ：小小在 x 方向为左，同时，圆圆在 y 方向上也为左的相关性。那么，公式左边的 P_{xz} 、 P_{zy} 是嘛意思，就很清楚了。

别看这款公式其貌不扬，只是把 x、z、y 三个方向的观测结果各种倒腾，十分无聊，但它被一些物理学家誉为“20 世纪科学最深刻的发现之一，宇宙中最神秘、最深刻的定理之一”，之所以没用“宇宙真理”这个土豪 ID，是因为大家更喜欢那个

优雅的名字：贝尔不等式。

公式如此多娇，引无数英雄竞折腰？

很遗憾，没折腰的，倒是有夭折的。1964年，贝尔把推导这条公式的论文《论EPR佯谬》发表在《物理》杂志的创刊号上，整篇论文简洁深刻，明晰优雅，堪称大手笔！然而，这篇佳作跟《物理》一起被大家神奇地忽略了，一如当初他指出冯天才数学作业错误的那篇论文。一年后，《物理》寂然倒闭。不过，也不用太伤心。5年后，这颗明珠终于还是被人捞了出来，璀璨的光芒照亮了前程。短命的《物理》因为发表了贝尔不等式而名垂千古。

公式为什么这样牛呢？因为，它就是经典世界的紧箍咒！推导这款公式，贝尔用了两个基本假设：

世界是定域的。小小和圆圆没有心灵感应，没有超光速信号。

世界是实在的。不管我们观不观测，小小和圆圆都在那儿，至于谁向左、谁向右，早在两粒子分手时就已经确定了。

在这两个经典假设的基础上，贝尔使用经典的统计手法，导出了经典世界中，两粒子协作度的极限。也就是说，如果这两个假设是真的，粒子的诡异行为都是隐变量导致的，那么，两粒子的协作度绝无可能突破贝尔不等式！

如果世界不是定域的，粒子不管相隔多远，都可以即时通信，或者世界不是实在的，它们的物理量是我们观测的那一时刻才确定的，那么，两粒子的协作度会更高，就可以突破贝尔不等式。

贝尔拿到了上帝管制经典世界的法器。我们可以用它来判断，粒子到底服不服经典定律的管制？贝尔相信，爱因斯坦的世界是靠谱的，她客观、实在、独立，严守物理法则，不以人的观测为转移！理论物理学家有了解决方案，剩下的事，就看实验物理学家的了。

实验物理学家掂了掂公式，略一沉吟，果断做了个决定：等。

等什么？技术进步。因为实验条件要求太高。这一等，就到了 20 世纪 70 年代。技术条件刚刚允许起步，物理学家们就迫不及待地开始了艰难的检验。

在伯克利、哈佛、德克萨斯等地，人们利用原子产生“关联光子对”——也就是亲密接触后分了手的小小和圆圆，它们的物理量（包括偏振方向）也是对称、反对称的关系。小小和圆圆出发后，我们再用偏振器拦路收费，统计闯关光子数，就可以检验协作度了。偏振器滤光原理在上部说得很详细，这里就不啰嗦了。可以说，这是一个相当巧妙的设计。但是，由于技术所限，只能直接搞到“夫唱妇随”的情况，其他情报要靠推理转手搞到。让人心里很不踏实。不过，更不踏实的是，实验结果隐隐偏向玻尔！实际上，偏向谁，都让人不爽。经典世界的踏实感引人神往，而量子论的强悍功能也令人迷恋。

世界真的那样玄幻吗？！大家很想知道，也很怕知道，迫切而又忐忑，就像即将打开一个魔瓶，你不知道放出来的东西是来顶你的还是来毁你的。所以，对那个不怎么靠谱的实验结果，人们心情很复杂：侥幸？不安？失落？不甘……或许都有。然而，任何情绪都挡不住人类的好奇心和追寻真相的勇气！面对魔瓶，大家不仅没有犹豫不前，反而急不可耐地搞起了开瓶比赛。这回，法国实验物理学家阿斯派克特（Alain Aspect）拔得了头筹。

阿斯是个纯粹的人。他 1947 年生于法国西南部浪漫的阿让，大学毕业后做了一件浪漫的事：去非洲喀麦隆做社会工作。其间，自修量子力学，对 EPR 实验搞不定这事儿耿耿于怀，于是去更浪漫的巴黎大学攻读物理博士，直奔那个纯粹的目标：搞定 EPR 实验。他做到了。

物理学史太过宏大，在有限的篇幅里，我们只能粗线条地

了解一下物理学的大事记，所领略的，大都是理论物理学家的鸿篇巨制。其实，实验物理学家的华章巨献，读起来也是荡气回肠。接下来，我们就借这次实验，膜拜一下实验天才的华丽风姿。



【图 10.20】阿斯派克特

想要得到靠谱的实验结果，阿斯派克特有太多难关要闯，时间关系，这里我们就观摩两关。

其一，光子对“乱点鸳鸯谱”的问题。

一说到量子物理实验，我们马上会联想到“高大上”的材料、仪器什么的，其实不尽然。比方说早期 EPR 实验，用紫外光照射钙原子，让电子跃迁，扔出一对纠缠的光子：一绿一紫。钙原子是哪儿来的呢？居然是把骨头、石灰石、粉笔头之类的垃圾放在烘箱里爆烤，产生含钙气体。然而，这种手法有明显缺陷：光子对产生率太小，只有百万分之一。更严重的是，光子对被发射出来后，方向完全不确定，乱七八糟，你根本就没法分出谁是谁的谁，所以搞得实验结果很可疑。

阿斯的办法是，找到一种晶体，它是神射手，可以定向发射光子。这类晶体，其实并不难找，甚至随处可见，比方说镜子，它收到光子后，多是以反射的形式把光子发射出去。如果你看过上部，那么，对波粒大战中马吕斯的魔法石——冰洲石

应该记忆犹新，它可以把光劈成两种偏振，于是，我们用它看东西，都是“双眼皮”的、也是基本定向的。然而，这些光子只是偏振方向不同，而不是纠缠的光子对。

阿斯找到了他要的神射手：硼酸钡、碘酸锂。用强度足够的激光照射之（刚好那时激光技术够用了），它们会射出纠缠的光子对，而且，发射角度差不多是固定的：小小总是朝这个方向，而圆圆总是朝那个方向，这样，就大大降低了乱点鸳鸯谱的概率。

其二，光子对、仪器“传信密谋”的问题。

如果不同方向的检测器之间、光子对之间可以传递信息（比方说检测角度、偏振方向等），合谋给出一个实验结果，那么，人类就被它们给耍惨了。怎么办呢？

嗯，实验的目的，是看粒子行为是否受经典定律管制。而贝尔不等式是经典世界的禁令。所以，也应该按照“定域性”的经典认识，来避免它们之间传信。

玩儿隐变量的玻姆有个好主意：光子飞行时，不断改变检测器的方向，这样，光子直到通过检测器时，才知道检测器的方向，来不及向同伙泄密。但是，有个关键的技术问题——速度。

检测器之间的距离，相对光速来讲，简直短到可以忽略不计。假如检测器之间、光子之间以光速传递信息，那是瞬间就到，防不胜防啊！这就提出了两点要求：一是检测器变换角度应该是随机的，这样它们之间就不会有默契；二是检测器变换角度的速度够快，让它们来不及把信息传递给同伙。但是你知道，机械的东西随机起来很不容易，达到实验要求的速度就更不容易，相机的快门够快了吧？用在这个实验里就弱爆了。因为检测器要每秒变换角度几百万次以上，才可以防止光速传信。什么机械变角能达到这个速度？！打着灯笼都找不到这种东西。

但阿斯没打灯笼，就找到了一种好用便宜量又足的材料：

水。

上部说过，光通过透明介质的面会被折射。如果温度、密度恒定，那么，从固定角度入射的光，也会以固定的角度折射。同时，不同密度的介质，都有个临界角，光以这个角度入射，会发生全反射，只要角度稍有改变，光就会穿过介质表面，折射出去。阿斯的方案是，快速挤压水体，形成压力波，瞬间改变水的密度，让临界角快速切换，光子就会在全反射和可透射之间切换。被反射，就到偏振器 A，被透射，就到偏振器 B。可是，什么东西能每秒钟几百万次地挤压水呢？如果有这种机械，还不如直接让它去给检测器变角了！是吧？

然而，阿斯又给出一个意外的答案，他的办法，虽然不是直接给检测器变角，却能让光子路线每秒钟变角 2500 万次——你没看错，是 2500 万次（后来提高到 1 亿次）。用的是类似扬声器振动的原理。音波振动频率比快门可快多了。不过阿斯不是让空气振动，而是让水振动，他 DIY 了个“电声转换器”，通电后就极速变形（也叫高频振动），挤压水体。水体的变化，让临界角快速切换，也让偏振器随之变角。虽然这种变化不是随机的，而是有规律的，但是，光子的发射是随机的，这就让它们到达偏振器时，不一定赶上哪个角度，加上变角速度快，先到偏振器的光子，根本就来不及通知同伙，串通合谋。狗不如的光子对、检测器们背叛人类天大的信任和深恩的栽培，妄图以光速通信密谋的恶毒计划，就这样可耻地破产了！

是的，无语。你能说些什么呢？丢了定域性，客观性也受到威胁，任谁心里都没底。实验之前，量子力学在数学上、应用上已经所向披靡，令人无法怀疑它的正确性。我们纠结的，在于“透过数学看世界”。大家拿出各种解释，去附会数学结果，企图认清世界的本质，或者企图维护自己心中的那个世界。同志们心里都清楚，量子力学将揭示的世界，可能会取代我们经验里的那个温馨家园，摧毁我们的三观，让我们在这个寂寥空

漠的宇宙中，更感无根可系、无枝可依。你以为玻尔就希望世界不客观、不实在吗？你回头看看他对 EPR 的解释，那遮遮掩掩的神秘骚扰，“不是物理上的真实的超距作用”、“不违反相对论”……在玻尔的潜意识中，他分明就是爱因斯坦的伙计！他也怕失去那个踏实可信的世界！所以，这个勇敢的探索者在“对于世界我们能描述什么”的问题上停步，拒绝去追问“世界的本质是什么”。

所以，很多科学家不愿面量子论数学背后的世界。他们故作潇洒地说，好用你就用，管它是什么！

作为一个物理学家，不去想世界是什么，这就像一个不择手段爬上高位的政客，一脸真诚地宣布自己其实淡泊名利一样。就算全世界信了，他自己也不信。

现在，在“世界是否定域”的关键性质上，贝尔不等式给出了判决标准，而阿斯派克特实验依法做出了判决。我们能做的，就是什么也不说，尝试着接受这个结果，习惯新的世界。

1955 年，老爱用自己的离开，终结了伟大的世纪论战。27 年后，阿斯派克特实验似乎给这场论战做了个迟到的了断。

然而，尘埃并未落定。

爱因斯坦反对哥本哈根解释的核心，不是因果性，不是概率，而是“实在性”。他的宇宙，是独立于观测的，客观、真实存在的宇宙。

只有一个人读懂了这个核心。没错，他是泡利。

泡利综合分析了爱因斯坦的观点，告诉玻恩：老爱并不像大家以为的那样，认定“决定论”是基本的，他的出发点是“实在性”，而不是“确定性”，他认为电子本来就有自己的物理量，不管你测不测量。接着，泡利道破了一个让玻恩啼笑皆非的事实：你们树立了一个假想的爱因斯坦，再去把他打倒，以显示自己武功盖世。分析造成这个误会的原因，多半是“上帝不掷骰子”这句夺人眼球的广告词太深入人心了，以至于让大家以

为这才是他的根本认识。

我们回头看看 EPR 实验，小小和圆圆怎么才能实现神迹般的亲密协作呢？有两种方式：

A. 观测之前，它们不是客观存在，而是一缕概率波，没有确定的物理量，在观测的那一瞬，小小坍缩为左，而圆圆坍缩为右。

B. 它们是客观存在，有物理量，同时，存在一种不受距离限制的即时互动方式，以保持高度协作。

以上两者，只要做到其一，就可以突破贝尔不等式，得到阿斯派克特实验的结果。现在，实验结果强迫我们做出选择：要么放弃实在性，要么放弃定域性。贝尔怎么看？贝尔选择放弃局域性。他崇尚爱因斯坦的世界——即使无人观测，这个世界依然是实际存在的。

1990 年，62 岁的贝尔突发脑溢血逝世，他不知道，那年他被提名诺奖。阿斯和另外两名实验物理学家也曾被提名 2011 年诺奖，但未获成功。不过，2010 年，他们三位获沃尔夫物理奖。这是诺奖之外，最重要的物理学奖之一。

阿斯派克特实验毁三观的影响力，大概可以媲美迈克尔逊-莫雷实验。不过，MM 实验进行到今天，经过不断改进，已经没有设计缺陷，它的结果，是定论。而阿斯实验的设计，由于某些技术尚未达到理想水平，所以并非十全十美，似乎，经典世界还存在一丝翻盘的希望。不过，多数物理学家认为，即使将来技术能力够用了，也搞不出相反的结果。

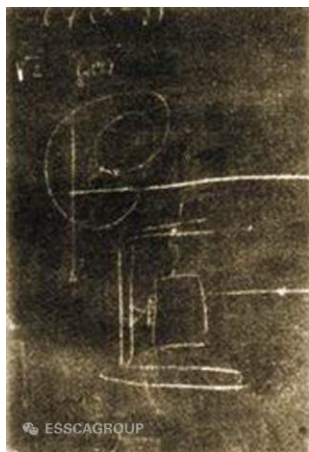
让人纠结的是，我们手里有 N 个解释——哥本哈根、MWI、退相干、DH、GRW、QSD、CSL、系综、交易等等各种解释，都可以描述量子行为，包括 EPR 实验结果。究竟谁是对的？可以肯定的是，至多只有一个是对的，或者，答案根本不在其中。上世纪 70 年代末，年逾古稀的狄拉克说，证明一个解释，要比建立一个方程组困难得多。这是天才的叹息。

普朗克、爱因斯坦、玻尔、海森堡、薛定谔、狄拉克、玻恩、德布罗意、泡利、约当、索末菲（这个名单远未结束）……他们发现了神奇的量子行为，创建了伟大的量子力学，却发现，他们的发现无法解释。量子力学拥有最强悍、最毋庸置疑的数学形式，但叠加态、波函数坍缩仍然迷雾重重。最主流的解释，在质疑中也是首当其冲：观测之前，宇宙中不存在什么物理量，它只是无数可能的叠加，那么，观测者又是如何出现的呢？宇宙的本质是什么……饱受这些困惑折磨的，是这个星球上最智慧的天才。

以玻尔为代表的部分物理学家号召：不要去想什么量子世界，因为它不存在。宇宙就是这样，对于它，我们只要描述可以描述的，就 OK 了。而量子力学已经做到了。问题解决了。

但另一部分物理学家可不这么看。盖尔曼说，玻尔对整整一代物理学家洗了脑，以为问题已经解决了。我们知道，伟大的玻尔有这个影响力。然而，即便如此，也不能证明玻尔给大家灌输的是错误认识。

1955年4月18日凌晨1点多，76岁的爱因斯坦用德语嘀咕了几句，就留下一头雾水的夜班护士和抓耳挠腮的史学家，找牛爷、麦爷斗地主去了。玻尔十分悲伤，他说，老爱的成就是“是丰富、多产的，超过整个文明史中的任何人。”他们是人生观、价值观的知音，却不是世界观的同盟。这是玻尔最大的人生遗憾。他认为，老爱游离于量子力学主流认识之外，对老爱而言，是个人的悲剧，而对量子物理学界来说，是失去了领袖和旗手。在老爱离开的日子，玻尔思考物理问题时，首先想到的是，老爱怎么看？1962年11月17日，77岁的玻尔突发心脏病逝世。他留在书房黑板上的最后一张图保存至今——爱因斯坦光盒。



【图 10.21】玻尔逝世前画的爱氏光盒草图

论战还没有结束。因为谜底尚未揭开。

再玄奥的谜底，也挡不住人类无法抑制的好奇。基因不灭，探索不绝！在苦苦寻求理论突破的同时，人们也在用最笨、也是最有说服力的方法——实验，去探询量子世界，以期找到灵感，去破解叠加态、坍缩、观测等量子谜题。我们不知道能否最终找到真相，但可以肯定的是，我们正在不断逼近真相。

2014年3月18日，美国哈佛大学史密森天体物理中心宣布，他们首次观测到引力波存在的证据。从微弱的宇宙微波背景资料中，他们找到了“B-模式偏振”，它只可能是原初引力波造成的。这个观测结果，是宇宙大爆炸之初留下的遗迹，不仅验证了广义相对论，还支持了暴胀理论。2013年因为希格斯粒子被发现而输掉一百美元的霍金，终于在科学赌局上打了一场翻身仗。不过，收获更大的，显然是物理学。关于宇宙大爆炸的理论模型，现在有几百个，哪个是对的？一直闹不清。这次发现，是一场大浪，会淘掉90%的相关理论砂砾，留下金矿。所以，这个发现，可能是本世纪最大的观测发现。估计获诺奖没问题。这里，值得一提的是，暴涨理论支持“多宇宙理论”。

虽然还没有证据表明，这个多宇宙，就是 MWI 所预言的那个多宇宙。但，这也可以看做 MWI 的福音。

上世纪 90 年代末，物理学界利用两次有关量子力学的会议，分别做了问卷调查，让物理学家们为自己相信的量子论解释投票。结果如下：

1997 年，在马里兰大学的会议上：哥本哈根解释 13 票；多宇宙 8 票；隐变量 4 票；退相干历史 4 票；自发定域理论 1 票。其余 18 票是以上都不信，或者不确定。

1999 年，在剑桥牛顿研究所的会议上：多宇宙+多历史（无坍缩派）30 票；哥本哈根解释 4 票；修正的量子动力学 4 票；隐变量 2 票；

不管怎么说，MWI 正在被越来越多的人接受。艾弗雷特被《科学美国人》(Scientific American) 誉为“20 世纪最重要的科学家之一”。MWI 被称为“20 世纪隐藏得最深的秘密之一”。

阿斯派克特实验显示，亲密接触后的粒子之间，确实存在不可思议的神秘关联——量子纠缠。野心勃勃的人类还没搞懂它们是怎么纠缠的，就在纠缠上玩儿出了许多花样，并琢磨利用纠缠实现某些疯狂的构想：量子通信（多远都即时，还保密）、量子计算（几分钟搞定全球计算机合作几百万年的工作）、物质传输（相当于瞬移）等等，实现任何一个，都是一场规模空前、影响空前的技术革命，都将给人类社会带来翻天覆地的巨变。不要怀疑，在科学面前，千万不要说“不可能”！

1997 年，奥地利物理学家塞林格 (Anton Zeilinger) 团队首次成功实现了“量子态隐形传送”，也就是所谓的“瞬移”，只不过，这是利用量子纠缠，把小小的态转移到圆圆身上，而不是把小小本身转移过去。所以，有人喜欢管这玩意儿叫“量子心灵传送”。这种传送，不靠任何载体，也不携带任何能量，不违反相对论。值得一提的是，塞林格团队有个中国学生：潘建伟。次年，他们实现了纠缠态交换。量子通信技术萌芽了。接

下来，就是想办法让纠缠分发和传输的距离更远。2004年，这个团队用光纤让纠缠态传输跨过多瑙河，达到600米。

潘建伟学成回国后，组织团队跟塞林格老师PK，双方都扔掉了光纤，比谁在自由空间传得更远。于是，量子通信距离的纪录不断被刷新：13公里、16公里……

2012年8月，潘建伟团队实现了百公里传输。仅仅是一个月后，塞林格团队就实现了143公里的传输。这都是在高干扰的地面实现的，同等条件下，如果把实验搬到太空，这个距离可以突破1000公里。量子通信卫星技术成为可能。

在对叠加态、坍缩的认识上，大家在竞相制备“薛定谔猫”。比什么呢？嗯，我们之所以看不到薛猫态，是因为粒子数越多，退相干越快，并且一观测就坍缩。所以，要比就比谁的尺寸大、时间长、观赏性强。1996年，实现了单个原子的猫态，用的是铍离子；2000年，利用超导量子干涉仪，使上亿个电子循环流动，实现了两个流向的叠加态，并且这个循环有人发那么粗，算是宏观系统了；2010年，美国国家标准技术研究所制备出光子的猫态；同年，美国80后物理学家奥康奈尔（Aaron Douglas O'Connell）制成全世界第一台量子机器——压电音叉，它有1013个原子，可处于振动与非振动的叠加态。鼓捣这些猫腻，虽然尺寸越来越大，但坚持的时间还不够长，多是靠超低温技术维持。如此看来，这项事业还处于修长城找砖块阶段。不过，这些成果已经足以让人振奋了。

所以，2010年，德国人得寸进尺地提出，要制备活体薛猫——叠加态的病毒。大致思路是，用“光镊技术”（聚焦激光束，形成光阱，可以操控小东西），让病毒与世隔绝，制备出活体叠加态。别以为这是做梦，该想法提出不久，美国奥斯丁大学的李统藏等人就真的使用光镊，完成了对微米级小球的操控和测量，2011年，他们又把小球温度冷却到1.5毫开尔文！那又怎么样呢？这说明，下一步，我们试着把小球冷却到基态，然后

用病毒取而代之，一只活体薛猫就华丽丽地诞生了！拼了命去折腾一个病毒，是有多无聊啊？！其实不无聊，因为我们可以用它来做很多事。说一个最邪恶的：量子谋杀。我们把病毒搞成叠加态，然后用激光谋杀之……后面的事你知道了，这是“量子自杀”的改编版。这样搞法，会不会得到一个永生的病毒呢？谋杀个病毒给你兴奋成这样，一定很变态。好吧，让我们拭目以待！

在搞清观测方面，我们也是如饥似渴。2010年，几个科学家玩儿一个40微米长的压电材料，让它处于伸缩的叠加态。然而，当他们想看看这个杰作时，叠加当场被破坏。猫可以有，但不可以看。郁闷。麻省大学的物理学家雅各布斯(Kurt Jacobs)出了个“看猫”的主意：弄一根微米级细丝，让它处于两个反向振动的叠加态，之后给它加点电荷。麦爷早说过，电荷振动会形成一个变化的电磁场。我们去探测电磁场，就可以间接了解那根细丝的振动，还是不是两个反向叠加的。这就实现了探测宏观物体叠加态，而不退相干。这个想法还需要一些时间去实现。说到观测，还有一个模糊的成果，2002年，《物理评论》有篇论文，估算出量子退相干时间，远远短于神经元动作时间。这说明什么呢？好像是在暗示：坍缩神马的，跟我们大脑的神经活动没啥关系！不过，这样的结论，也需要更多证据的支持。

虽然量子之路仍然雾霭淫荡，虽然我们对量子世界的认识，仍然赖在社会主义初级阶段，但是，量子力学的应用，已经迫不及待地深入到人类社会的每一个角落，在科学、哲学、经济、技术、生活等方方面面，都产生了巨大的影响。天上飞的、地上跑的、水里游的、家里用的、手里玩儿的……无所不在，无所不能，好吧，你是上帝。

宏观世界再大牌，它也是由微观物件构成的。而量子力学正是从微观着眼，去认识世界。因此，它的认识“更基本”。所以，量子力学的兴起，刷新了人类对整个世界的认知。搞清了

量子行为，什么粒子物理、核物理、原子物理、固体物理、流体物理、热力学、化学，甚至生物学等等这些学科，都豁然开朗，突然就有了一个坚实、精准的共同基础！这还不算，它还开辟了 N 个新领域，让人类视界大开，功力倍增，野心暴胀……咳咳……这回，天上掉下来的不是馅饼，也不是林妹妹，而是拿着馅饼的林妹妹！

神马？具体点？好的。可是例子太多，细细列出来，也不知道又要写几本书，所以就随便说点点。比方说，开拓了凝聚态物理领域。这个领域有很多福利，其中一个，是让我们认识了电子、离子之类的玩意儿在固体材料中的行为。这为半导体的认识和应用奠定了基础，让我们可以利用它，实现信号处理等功能，开辟了微电子学——研发信息获取、传输、储存、处理和输出的学科。乖乖，这是信息科学的基石啊！试想，如果此时此刻，无所不在的集成电路突然像青春一样小鸟一去不回来，我们失去的是什么？是全部现代生活，还有整个未来文明！值得欣慰的是，活字印刷技术又领先全球了！

再说化学。我们掌握了量子行为，原子的各种隐私也就被扒了个底朝天。那些玄玄乎乎的化学反应，一下子昭然若揭！现在，我们可以在量子论的指导下，编程设定原子属性，用电脑模拟各种化学反应，分析化合物性质，人性化界面、傻瓜式操作、纯绿色安装，附赠高清无码元素周期表一张哦！如此这般，高端大气上档次的化学，几乎搞成了可以培训上岗的工程学！化学如此，材料学更甚。这两门学问对人类发展的重要意义，就不用废话了吧？

超导、超流、激光、核能、芯片、人工智能、信息技术……这些伴生于量子力学的新名词，在几十年前，人类历史上还从未出现过，而现如今，它们让人类创造力呈几何梯级猛增，超过了此前人类漫长发展史的总和，而且未来也必将继续深刻影响人类的发展！谁能设想，当量子通信、量子计算、物质传输

这些梦想照进现实的那一天，人类又将经历怎样深刻的巨变？谁又能想象，当我们踏过量子力学阶梯，一统物理学理论的那一天，宇宙将有多少秘密让我们目眩心跳、魄荡魂销？又有多少新领域、新天地任我们尽情开拓、恣意驰骋？！

说起统一理论，这又是物理学心头的一块顽疮，不碰就奇痒难忍，一碰就剧痛难捱。相对论的成功已不必多说，无论从思想上、形式上、数学上、哲学上，都是那样妥帖、自然、优美、精准，不愧为人类史上最伟大的智慧结晶之一。量子力学虽然在解释上有争议，并且直到现在也没有最终完成，但它的强大功力已然征服了世界，与相对论平起平坐，分庭抗礼，各自成为物理学的两大支柱之一。并且，量子论与麦戈方程密切协作，取得了狭义相对论的支持，得到了量子场论，成为现代理论物理学的主流方法和工具。这一切看上去是那样和谐、完美。

然而，广义相对论在微观世界失效，而量子论在宏观世界铍羽，双方都稳稳地占住自己的地盘，却在对方势力范围无法涉足，它们互相尊重主权和领土完整，互不侵犯，互不干涉内政，却和平而不共处，平等而不互利，看样子，是要坚持不让步、不合作、不相容的政策 100 年不变！

我们的物理就是撑在这样两根不打算同舟共济的大柱上，天才们心里能舒服吗？所以，爱因斯坦迫不及待地出手，豁出去半辈子来搞统一场论，遭遇了举世瞩目的失败。后来人们发现，世界上除了老爱时代掌握的引力、电磁力以外，还有强相互作用力、弱相互作用力（以后称强力和弱力）。坑爹啊！

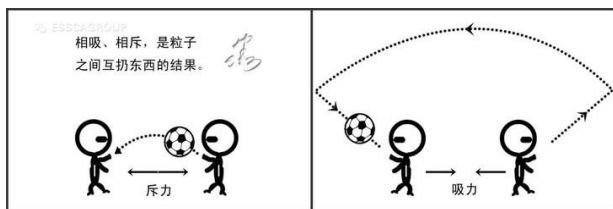
只用一半力，要是搞成了统一场论，你让宇宙怎么出来见人？

万物运转，归根结底都靠力。如果搞清楚这些力是怎么来的，问题是不是就不是问题了？

量子电动力学揭开了电磁力之谜：两人站在溜冰场，面对

面抛接皮球，他俩的距离一定会越滑越远，这就是同性相斥；如果背对背，把球扔到对方墙壁上，再弹到对方手里，他俩距离一定会越滑越近，这就是异性相吸。粒子间的电磁力就是这么回事儿，它们互扔的皮球叫做光子。

日本物理学家汤川秀树一看，嗦嘎，强力和弱力难道不是这样吗？果然，人们发现，弱力、强力也是粒子们互扔皮球的结果！



【图 10.22】斥力、吸力是怎样炼成的

扔“介子”是强力，力气最大，能把质子和中子捆在一起，打包成原子核。扔“中间玻色子”是弱力，力气只比引力强，能让不稳定粒子衰变。

现在，我们集齐了四种力，是不是就可以领取“统一理论”一枚了？

当然没那么简单。牛爷、老爱、麦爷只是分别描述了引力、电磁力，就已经站在人类智慧的巅峰了。统一四种力的难度，哼哼！弱力、强力还没有个理论来描述呢，就想统一？！自从盘古给上帝开天辟地以来，真主也没见过这等美事啊！是吧佛祖？

1954年，美国物理学家杨振宁（华裔）、米尔斯（Robert L. Mills）提出了“杨-米尔斯理论”，将规范理论拓展到“不可交换群”，以解释强力。N个物理学家参与了规范理论的建设，试图提供一个数学形式化的标准模型，去描述这些力。

看这几种力的路数，应该是同门同派，尤其是电磁力和弱力，更像是一个师傅教出来的！就差扔的皮球有点不一样了。

美籍华裔李政道和杨振宁指出“弱相互作用下宇称不守恒”，吴健雄很快证明：两位师弟说得对呀！

这回，知道电磁力和弱力扔的皮球为啥不太一样了：只因在弱相互作用下，宇称是不守恒的，这才让同一种东西有了不同的表现。但是，不知为什么，弱力那么弱，用的皮球质量却大得出奇——比质子的质量大几十上百倍！这让高歌猛进的物理学家们心底泛起一阵淡淡的忧伤。

英国物理学家希格斯（Peter Higgs）提出了一种机制：宇宙中遍布一种场，一些基本粒子跟这个场互动，就会得到神秘礼物——质量。这个机制，就是大名鼎鼎的“希格斯机制”。

摸清了质量的来历，就好办了。美国物理学家温伯格（Steven Weinberg）、格拉肖（Sheldon Lee Glashow）、巴基斯坦物理学家萨拉姆（Abdus Salam）把希格斯机制引入他们的研究，实现了电磁力、弱力的统一，这就是“弱电统一理论”。天呐！这简直就是物理大统一的号角！

以上过程产生了N个诺奖获得者。

宇宙中一共就4种力，这么快就证明其中两种力是一回事儿，那么，实现四力统一，岂非指日可待？！

饼要一口一口吃，地要一块一块占。俄罗斯哦不，物理学家们贪婪的目光盯上了强力。

然而，这块领地已被“夸父”攻克。1964年，盖尔曼提出，所有强子（受强力控制的亚原子粒子。所谓亚原子粒子，就是结构比原子小的粒子）都是由夸克构成的，它们互扔一种叫“胶子”的皮球，把彼此粘在一起。夸克也分很多种，不同夸克不同组合，就成了质子、中子等不同的粒子。为了区分夸克，夸父盖尔曼用味道、颜色标识之，搞得这个理论味飞色舞，所以叫做“量子色动力学”。

量子色动力学出得厅堂入得厨房，斗得小三打得流氓，妥妥征服了强力的心。想一并收伏统一，似乎门儿都没有。

强攻无望，只能走亲情路线——大家都是规范场论、量子场论下的蛋，只要拉来实在亲戚“自发对称破缺的规范场”调和一下，在数学上追溯双方盘根错节的交往历史，许以适当条件，拉拢胶子，和亲结盟，共同开发夸克，再逐步同化，大统一不是没有可能。这个宏伟蓝图，就是雄心勃勃的大统一理论（GUT）。

美好的蓝图诱惑了多少物理英豪投身其中，我们不得而知，只知道大家七手八脚，搞出 N 个 GUT 变种，数量堪比量子力学五花八门的解释，每个变种都一本正经地描述了三种力，放眼望去，哪个都很统一很和谐，让人欢喜过后一筹莫展。不过，它们各自都有不同的预言，可供我们牵出去遛遛，看看谁是骡子谁是马。然而，这些预言验证起来，也是比登天还难。比方说，有的预言质子可能衰变——上部提到过，质子的寿命比宇宙还长，怎么验？再比如，有的预言存在磁单极子（只有 N 极或 S 极），到现在也没找到，可是，没找到，不代表没有，怎么验？无法验证的理论，前途都是灰暗的。

正当大家等得花都谢了、心也快碎了的惨淡季节，晴空霹雳般地传来一个好消息：2012 年 7 月 4 日，欧洲核子中心（CERN）宣布发现了希格斯粒子，可信度大于 99.99994%。希粒子被称为“上帝粒子”，是标准模型的关键部分。这个发现，虽然让霍金又输了 100 美元赌金，但他和大家一样兴奋地意识到，这是物理学在 2012 年最大的进展，是标准模型的又一次胜利。诺贝尔奖有木有？！

标准模型拿到了上帝粒子这个丹书铁券，拉来了量子力学和狭义相对论两大靠山，还得到了三种力实验几乎所有结果的热烈拥护！如此勋业，是不是拽得可以到处煲“成功鸡汤”了？

还早呢！虽然它的成功看上去很纯粹，但实际上屁股还没擦干净。比方说，许多参数不能凭计算得出，而只能靠实验决定，相当于厨师做菜不是凭厨艺，只能靠品尝！还有巨额财产

“弱电对称破缺”来历解释不清等等。这样搞法，分分钟要落马的节奏！所以，它现在最要紧的是恶补反侦察学，而不是狂晒成功学！

标准模型尚且如此，以它为基础的 GUT 能有多靠谱？何况，还搞出那么多变种，分不出哪个是 A 货、哪个是二货，场面这么乱，叫我如何说爱你？更何况，就算 GUT 成功洗白，脱胎换骨，完美地搞定三种力，那也是千里之行始于穿鞋，鞋带还没系好呢！因为，这三种力势力范围太小，只能在小尺度内起作用，尤其是强、弱二力，作用范围竟然只有 10^{-15} 米、 10^{-17} 米那么小，比原子直径（约 10^{-10} 米）小得多！到了大尺度，电磁力、强力、弱力就无能为了，我们的老朋友引力开始接管一切，宇宙运行，星河流转，都乖乖地臣服在引力的君威之下。而 GUT 抢注了“大统一”的商标，版图中却不包括引力这块广袤疆域！

四力疆域图

你以为物理王国是这样的：



其实是这样的：



ESSECA GROUP

【图 10.23】四力疆域图。不解释。

收归引力这事儿，GUT 不是无心，而是无力。hellokitty 自称 Lion King，名儿起大了。hellokitty 算是领教了：有引力一国傲立于此，其余三国都归晋了也只占半壁江山。牛顿、爱因斯坦只凭引力理论便可雄踞巅峰，就是明证。

割裂物理王国的鸿沟只剩最后一条，最大最深的那条。填平它，人类智慧将登上一座新的高峰。我们要用同一个理论，解释同一个世界，小至夸克，大至星系，宇宙万象，无不囊括其中。这个终极理论，叫做“万能理论”（TOE）。

在追寻 TOE 的路上，为了让广义相对论和量子论牵手，物理学家们可谓机关算尽。然而，二者就是水火不容，你耍方天画戟，我玩丈八蛇矛；你有三十六计，我来七十二变；你搞软硬兼施，我就软硬不吃！别说牵手，看都懒得看一眼。谁有办法？

正当大家挤在牵手论坛，闹哄哄莫衷一是之际，却有人无意间打开一道尘封的大门，幽长逼仄的暗道尽头，微光如星。

下一站，就在那里。

弦论怎样悄然降生？超弦革命带来的是什么？M 理论是我们要找的 TOE 吗？

宇宙比我们想象的要大得多、丰富得多。人类可观测的物质，只占宇宙总物质的 4%。我们的理论只能描述这 4%。就这 4%的理论，目前还没能统一。

宇宙如何诞生？如何运行？星空中倒底隐藏了多少不为人知的秘密？

生命从何而来，因何而生？为何至此？我们的存在，究竟仰仗于怎样伟大的设计？

只要心中仍有疑问，我们就该继续前进！

后记 再给我挚爱的同好们

死寂。

真正的空，不是没有物质，而是没有维度——没有空间和时间。

量子涨落是一种神奇的存在。

但，更神奇的存在，是奇点。质量无穷大？密度无穷大？曲率无穷大？温度无穷大？

不。

它只是一个点。量子态的点。没观测之前，它没有物理量。一切，都不确定。是的，它，就是一切。

然而，它不可避免地爆发了。

空间维获释、激展。

时间开始了。

0 秒。宇宙诞生。

10^{-43} 秒，粒子诞生。夸克，轻子，规范粒子。温度 10^{38}K 。引力波凶猛而旖旎。

10^{-36} 秒到 $10^{-33}\sim 10^{-32}$ ，负压力的真空能量发威，宇宙暴胀了 10^{78} 倍+。高度卷曲的时空被拉平，密度急剧下降。温度 10^{28}K 。宇宙结构显现。

10^{-6} 秒，温度 10^{13}K 。上帝也无法阻止夸克的激情相拥。中子、质子出现。质子、反质子开始玩火拼湮没游戏。

1 秒，正电子、电子开始火拼湮没。温度 10^{10}K ，宇宙进入核物理能量范围。

3 秒，温度 10^9K 。那时温度仍然很高，是太阳表面温度的 16 万倍。但质子、中子已感到丝丝凉意，纷纷抱团取暖。原初核开始合成。氦、氘应运而生。

宇宙仍是一片混沌。

但它不可逆转地走向无序——熵值增高。

30 万年，温度 3000K。混沌初开。原子核们抱足需要的电子数，达到正负平衡，变成中性原子。

电子云不安分地挟裹原子核。温度继续下降。原子们相遇时，电子云交叠合并，共同挟裹相斥的原子核，合为分子。直到情绪稳定。

从宇宙诞生之初，引力波的涟漪、量子涨落效应，便已让物质分布不均。气体尘埃在引力作用下，就近聚拢成纤维状的云，织如蛛网。

每根蛛丝中，都尘云罗布，就近聚拢成团。

云团中的尘埃就近聚拢成更多的小云团。密者更密，疏者益疏。10 亿年，孕育出原星系。

在引力相互作用下，原星系开始自转，云团进一步坍塌，结成无数球状星体。恒星形成。这是星云中闪光的微粒。

星系团在宇宙蛛丝中轻舞飞扬。

一个不起眼的角落，旋转着一缕闪光的微粒。这是一座四旋臂的普通星系。它叫银河系。除去散落的气体、尘埃等物，银河系只有二千亿颗恒星。有的恒星伴有更细小的行星。

这些漂游时空的微粒相当脆弱，它们一旦相遇，必定粉身碎骨、飞散成埃。

90 亿年。在银河系猎户臂内侧边缘的一个角落，一颗闪光的微粒，默默地随臂运转。它叫太阳。太阳的八颗行星忠实地相随共舞。带着更细小的微粒。这个小团队叫做太阳系。一个普通的恒星系统。

第三颗行星叫做地球。

这是一颗普通的行星。它的内部，因压力导致高温，呈液态，中心是一个固态核。外部由于热量散失，凝结成一层薄薄的固态壳，分成几块，漂浮在液态球的表面。

这粒脆弱的液滴无辜地飘荡在空中，幸运地保持体态完整。地球虽不起眼，但它的大小、与太阳的距离、绕转轨道等，

都恰好让它的表面保持一个美妙的温度段，可以维持一件稀有物的存在——液态水。地球表面大部分被水覆盖。还包裹着一层薄薄的轻纱——大气层。

高山、河流、湖泊、海洋、阳光、云层、风霜雨雪，月色潮汐，好不热闹。

100 亿年。水溶解了各种元素，奔流、混合、化合……阳光提供了足够的能量。分子们用了足够的时间。大分子越来越多。

一些分子的结构复杂起来。组成花样繁多的物质。

一个分子偶然拼出一款神奇的结构。这款设计，让它可以吸取能量，拿其他分子当原料，来复制自己。

这不是奇迹。在浩瀚的物质之海里，粒子们随机运行，无数叠加态相互侵扰、各种组合，从无限可能中，孕育出一个可能：

某个分子可以从外界获取能量、物质，并释放其中的一部分，让自己形成有序的结构，并保持这种耗散结构的存在。也就是说，它自发地把熵值保持在较低水平。

逆天了？！是的。这种低熵体叫做生命。

生命可以自我复制，数量呈指数增长。它们的结构越来越复杂，个体也越来越大，越来越有序，熵值越来越低。

它们的第一目的，是延续，好把这个游戏玩儿下去。它繁殖、进化、优胜劣汰，以维护这一目的。

渐渐地，它们可以感受环境，比如温度、光……趋利避害。

110 亿年。陆地生命出现。

130 亿年。动物出现水中，它可以去想去的地方。用来“想”的结构，叫神经系统。陆生植物出现。一只动物睁开眼睛。

134 亿年。动物走上陆地。

138 亿年。人类出现。他们抬眼望向星空。

公元前 468 年，墨子出生。

公元前 384 年，亚里士多德出生。

公元前 300 年，欧几里得出生。

公元 1473 年，哥白尼出生。

公元 1563 年，伽利略出生。

公元 1571 年，开普勒出生。

公元 1642 年，牛顿降世。

公元 1791 年，法拉第出生。

公元 1831 年，麦克斯韦降世。

公元 1858 年，普朗克出生。

公元 1879 年，爱因斯坦降世。

公元 1885 年，玻尔出生。

公元 1901 年，海森堡出生。

.....

公元 2011 年。这一年的 10 月，地球人口达到 70 亿。在任何一种生命群体中，70 亿分之 1，都是一个完全可以忽略的数字。然而，他仍然被上述过程搞得心潮澎湃，乃至不忍独自回顾这伟大的创世历程。

和所有生物一样，他需要摄取能量，保持低熵状态。和所有人一样，他喜欢名利。大家都喜欢的东西，就要下更大的力气去角逐。而他更贪心，多了一个嗜好——自然。

此君便是区区在下。一个混迹于滚滚红尘，流连于浩浩广宇，陶醉于绵绵沉思的低熵体。

我始终坚信，自然给人类最大的恩典，是一颗会思考的大脑。

生而为人，我们凭着大脑，不仅可以支配更多资源，完成生物过程。而且，还可以思考，去认识我们身在其中的自然。这是进化附加的超值福利！

凭着大脑，人类拥有了巨大的创造力。从蒙昧走向文明，政治、经济、文化、科学……每个方面，都有一个伟大、辉煌的进步历程。

但，毋庸置疑，科学探索历程，是人类最壮丽、最恢弘的史诗。没有之一。只要考虑生命的意义，就不难得出这个结论。在这个领域，不是一个生物玩弄了另一个生物，也不是一群生物击败了另一群生物，而是人利用其它生物不具备的能力——思考，来克服视野狭小、感官低效的局限，不断拓展视界，突破智慧极限，去认识自然，认识自己。这个历程，赋予了生命更高层次的意义。

人类一思考，上帝就发笑。可是，人类不思考，就没有人类了。上帝这个观众会不会很无聊？

作为物质存在、能量转换的一种形式，生命本身没有特别的意义。除非，你在思考。

宇宙孕育了人类。人类是宇宙的一部分。我们思考宇宙，其实是宇宙在思考自己。

宇宙有 138 亿岁，而人类起源不过 200 万年，智人出现不过 20 多万年，长成现在这个样子不到 4 万年。这 4 万年里的多数时间，我们跟野兽并无多大区别。直到文明的开始。

人类文明史不过 6000 年。懂得用理性的方法去思考自然，不过 2000 年左右。现代科学体系创立不过 400 余年。近代物理学的创立只有 300 多年。而现在，我们认识世界所依赖的两大支柱，只建立了不到 100 年。并且其中一根还在建。

算起来，在宇宙史中，人类史只有短短的一瞬。而我们似乎浪费了这一瞬的绝大部分。为什么？

我们有一颗会思考的大脑，但并非天然会用。正如硬件相同的电脑，会因软件差异，而功用不同。如果没有正确的思考方法，那么，我们只能在思维上耍耍小聪明，拿诡辩术当方法论，自缚于逻辑怪圈，还以为这是大智慧。随处可见的“常有理+没办法+拎不清”就是这个道理。

其实，真正的空，不是没有维度，而是有一颗大脑，却不会思考。

是的，我们终于有了科学认识、科学方法、科学精神。

但它需要传播。当它成为人类的普遍思维模式时，我们的世界会美丽、和谐许多。

当我开始在键盘上敲下这些文字，发到网上时，我知道，这是一个小众的话题。可以理解的是，大多数人更关心的，是那些触手可及的东西。

出乎意料的是，小众话题居然聚来了这么多网友“同好”，并且从开篇起到现在的4年多时间里，有的同好一直跟了下来（甚至下部发第二遍时，老楼里的同好仍跟过来一直暖楼），始终如一地支持、鼓励、帮助、呵护，这让我受宠若惊，又倍感温暖和鼓舞。

一个人写这么长的物理学史，我不知道有多少人做过。但我知道，这是一件相当困难的事，对我这样一个业余爱好者来说。况且，生活中还有那么多烦扰。

我很庆幸，自己能坚持到现在。只因为你们，我挚爱的同好们！

是的，只因为你们。这种支持，是纯粹的，因而是高尚的。要知道，4年多的时间，有的人结了婚已经离了，有的人拜了把子已经掰了，有的桥搭起已经塌了……经济沧海桑田，政治河东河西，文化跟风趋避，而你们，我的同好，凭什么不离不弃？

谁都有工作，谁都有家庭。我们的这个世界，没人不忙。除了富二代官二代，不忙都会饿肚子。但我的同好们，能够总是想着来顶这个帖子。而这个帖子的作者，无权无势，你们根本没见过，他不可能给你们带来任何世俗向往的“好处”。甚至在他长时间不更新时，这种支持也未曾间断，依然无怨无悔、没话找话地顶贴，用一种近乎悲壮的执著！

这一切，令我感动，令我震撼。

这本书，其实是我们大家共同的作品。这个帖子，是我们

共同的精神桃园。

关于这篇文章，我想，它可以不是优美的、深邃的、高远的、犀利的，但，它必须是真诚的。

生命的意义是什么？这是一个古老的哲学命题。

我不能给出一个答案。但于我而言，生命的意义在于：
我来过，我思考过。

谢谢！