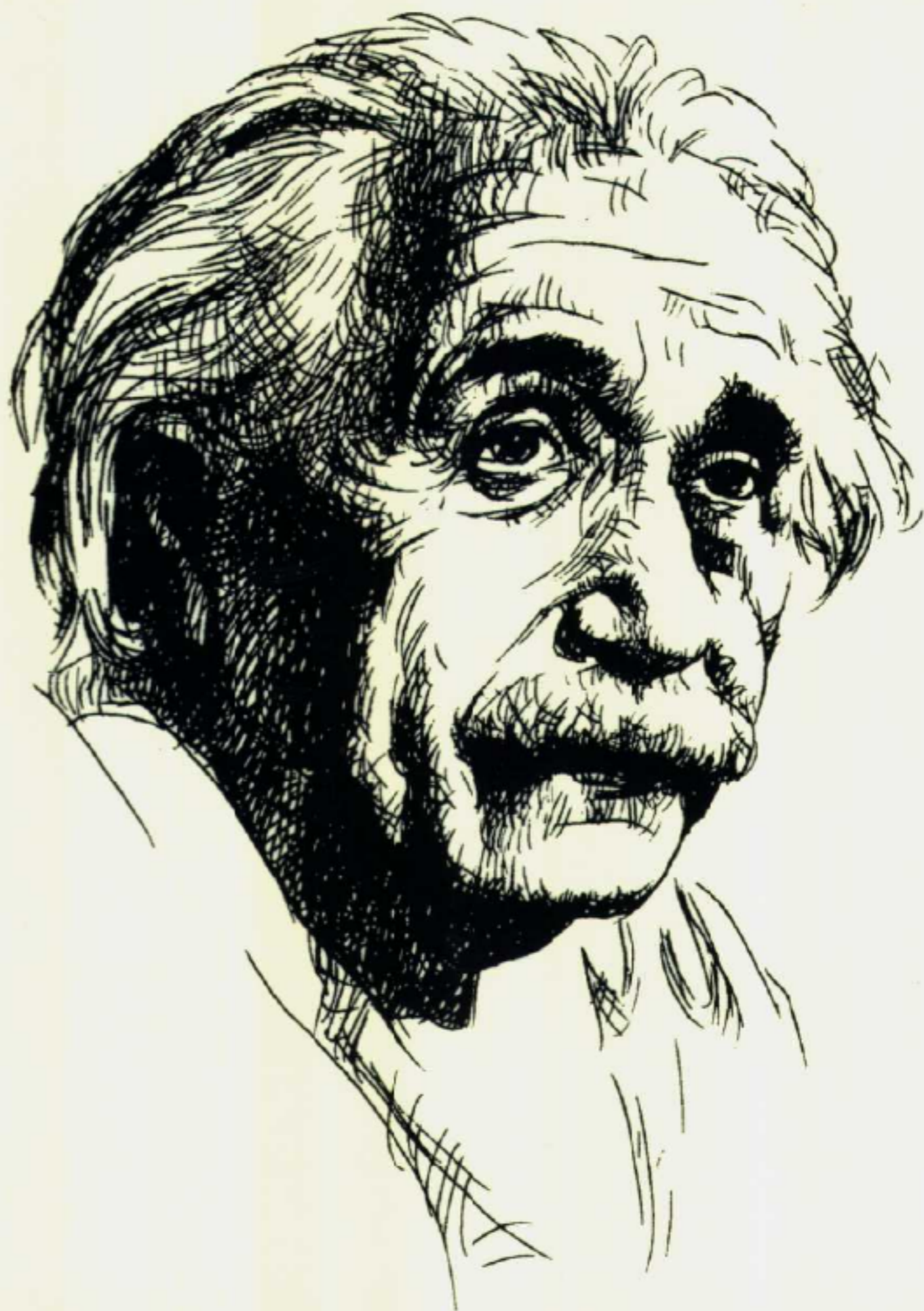


世界名人传记丛书

• SHIJIE MINGREN ZHUANJI CONGSHU •



# 爱因斯坦传

下册



〔美〕亚伯拉罕·派斯著

商务印书馆

封面设计：李淑敏  
封面头像画：李有良

ISBN 7-100-03882-0



9 787100 038829 >

(全二册)

ISBN 7-100-03882-0/K·779

定价：45.00元



---

世界名人传记丛书

# 爱因斯坦传

下册

〔美〕亚伯拉罕·派斯 著

方在庆 李勇 等译

商务印书馆

2004年·北京

图书在版编目(CIP)数据

爱因斯坦传/(美)派斯著;方在庆等译. - 北京  
商务印书馆,2004

(世界名人传记丛书)

ISBN 7-100-03882-0

I. 爱… II. ①派…②方… III. 爱因斯坦, A.  
(1879~1955)-传记 IV. K837.126.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061389 号

所有权利保留。

未经许可,不得以任何方式使用。

世界名人传记丛书

爱 因 斯 坦 传

(全二册)

[美]亚伯拉罕·派斯 著

方在庆 李 勇 等译

---

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北京市白帆印务有限公司印刷

ISBN 7-100-03882-0/K·779

---

2004 年 4 月第 1 版

开本 850×1168 1/32

2004 年 4 月北京第 1 次印刷

印张 26 $\frac{1}{4}$  插页 5

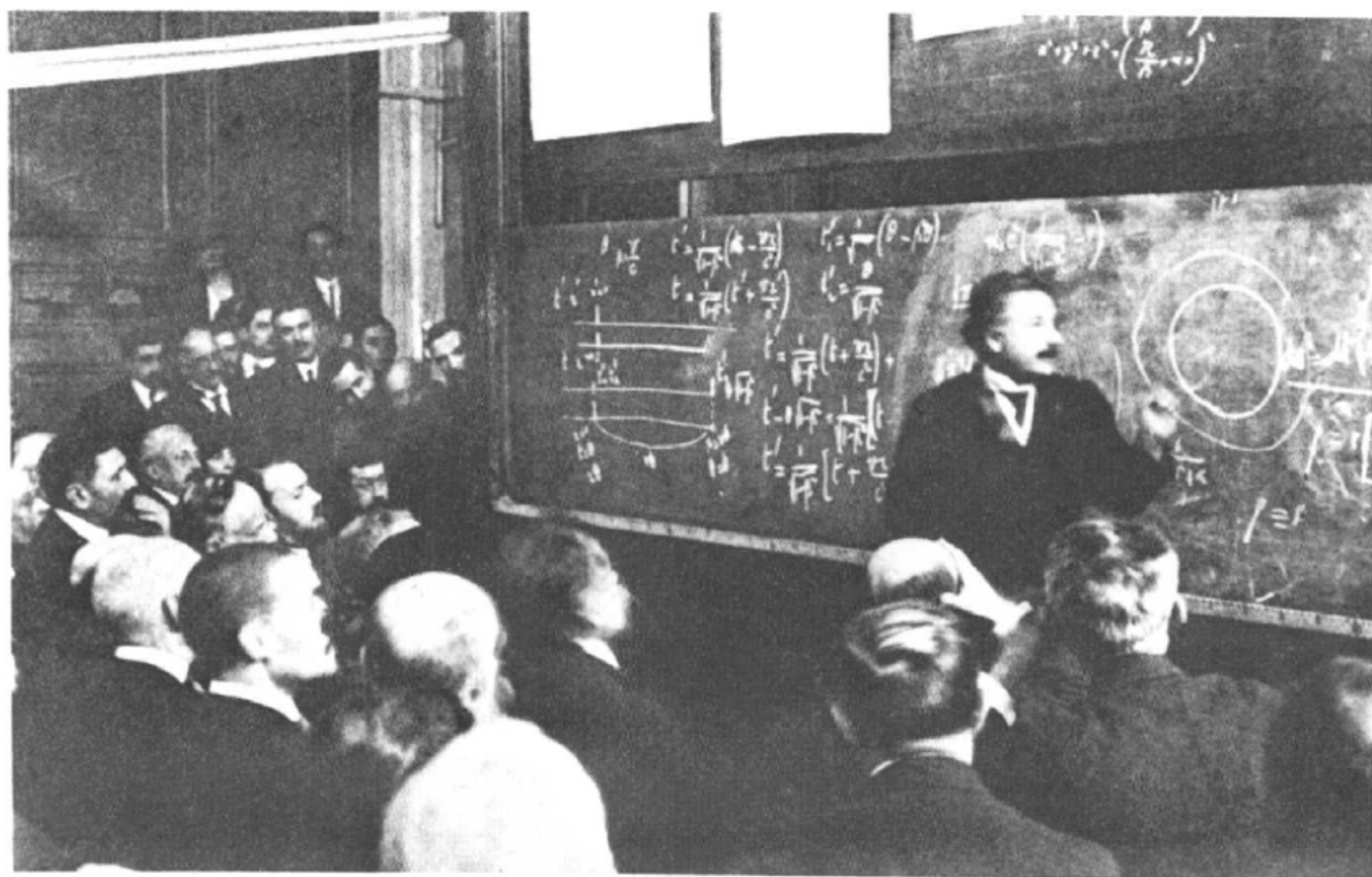
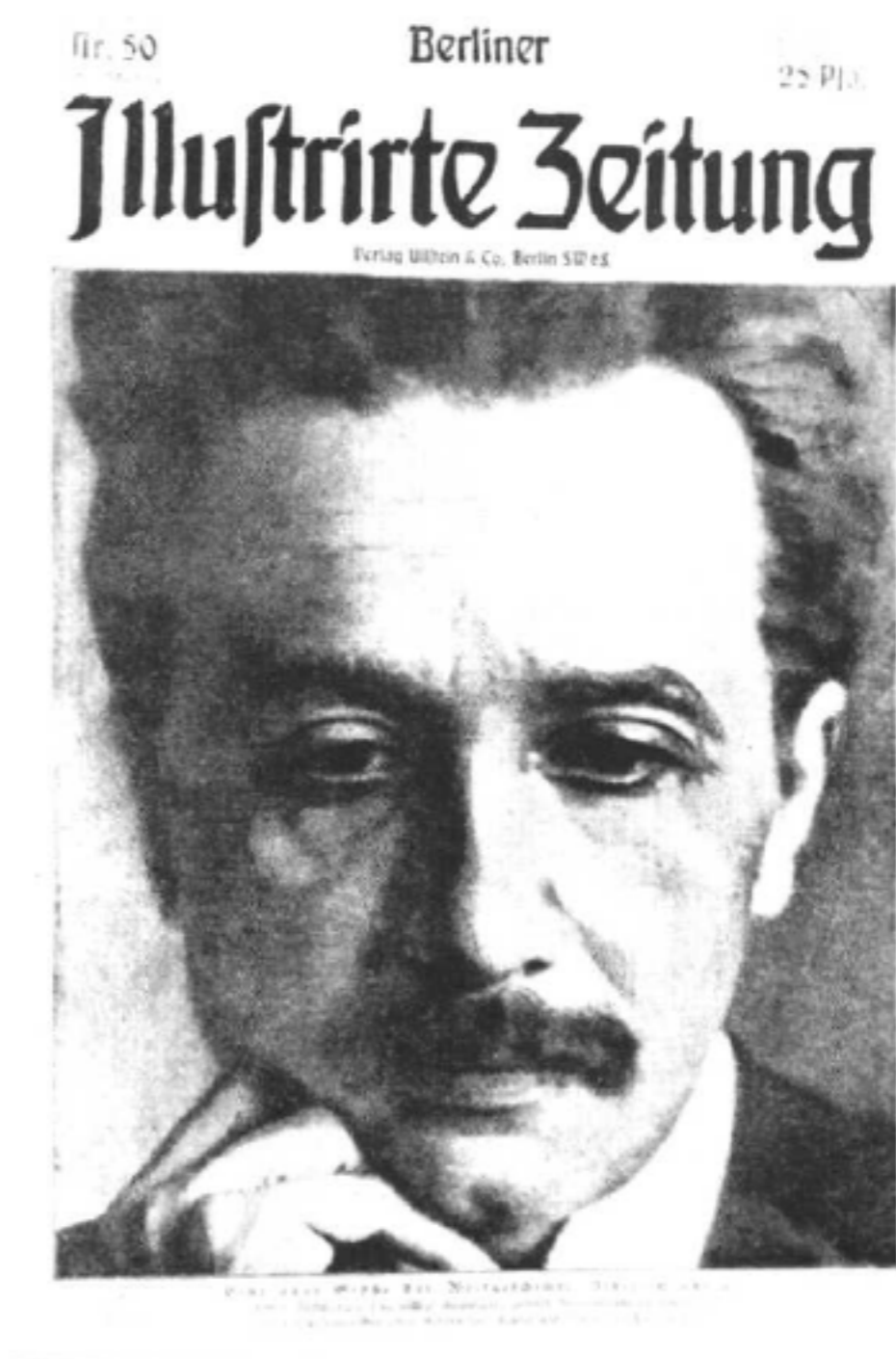
印数 5 000 册

定价:45.00 元



I . 爱因斯坦在专利局办公桌旁，伯尔尼，约1905年。  
(爱因斯坦档案馆，蒙美国物理学联合会AIP尼尔斯·玻尔图书馆惠允)

II. 1919年12月14日《柏林画报》封面。标题为：“世界历史新巨人：阿尔伯特·爱因斯坦，他的研究意味着我们自然观的一场彻底革命，将与哥白尼、开普勒和牛顿等人的洞察同辉。”



III. 1922年，爱因斯坦在法兰西学院演讲。  
(爱因斯坦档案馆，蒙AIP尼尔斯·玻尔图书馆惠允)

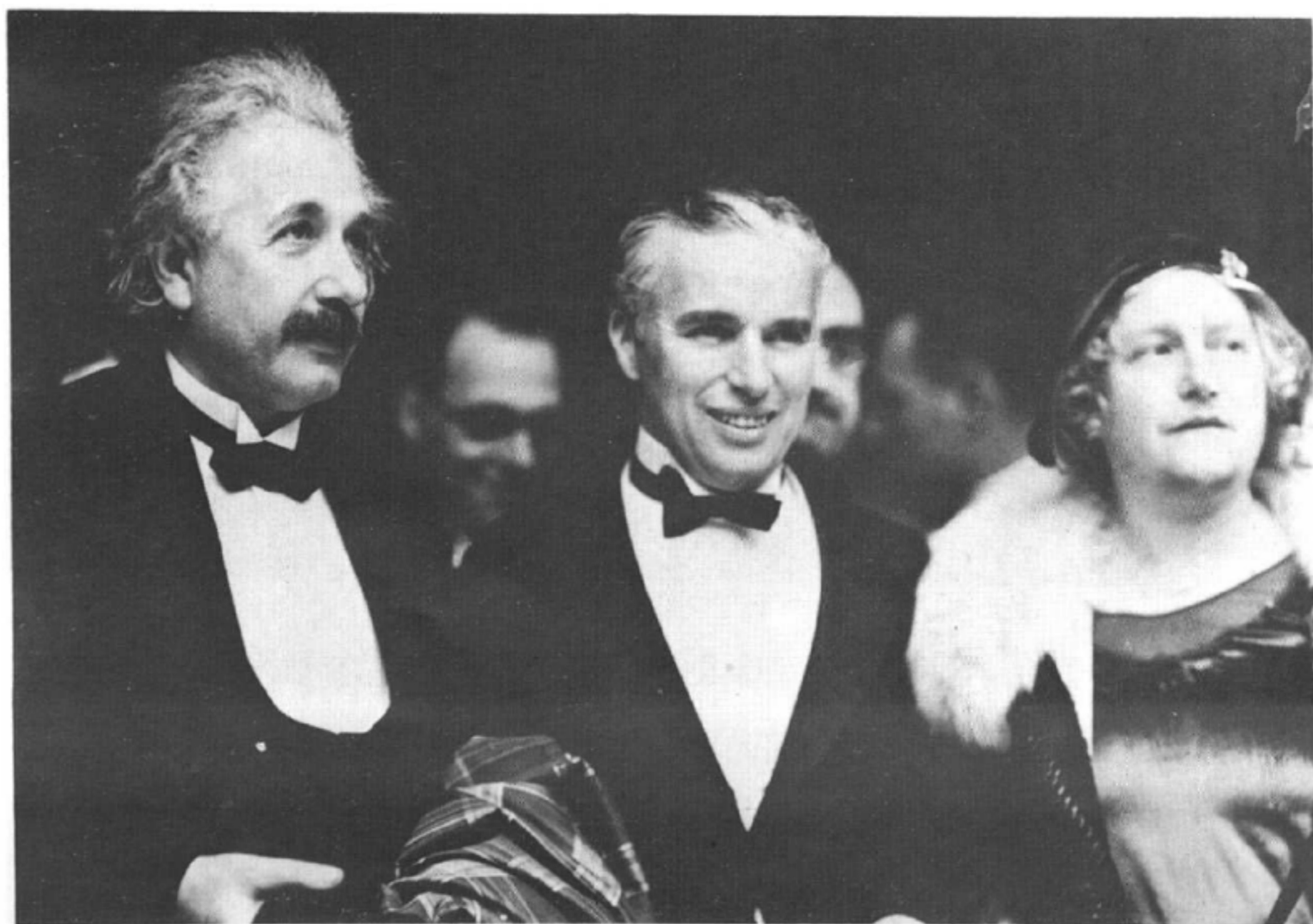


IV. 1929年6月28日，普朗克和爱因斯坦在柏林，这一天，普朗克第一次、爱因斯坦第二次接受普朗克奖章。  
(蒙美国物理学联合会AIP尼尔斯·玻尔图书馆惠允)

V. 1931年初，爱因斯坦在加利福尼亚。(他带着一顶巴拿马帽子，那是船在巴拿马运河边的巴尔博亚(Balboa, PCZ)停泊时，人们送给他的。)(华纳兄弟与第一国民公司 [Warner Bros. and First National] )  
I. 李普曼(Irving Lippman)摄



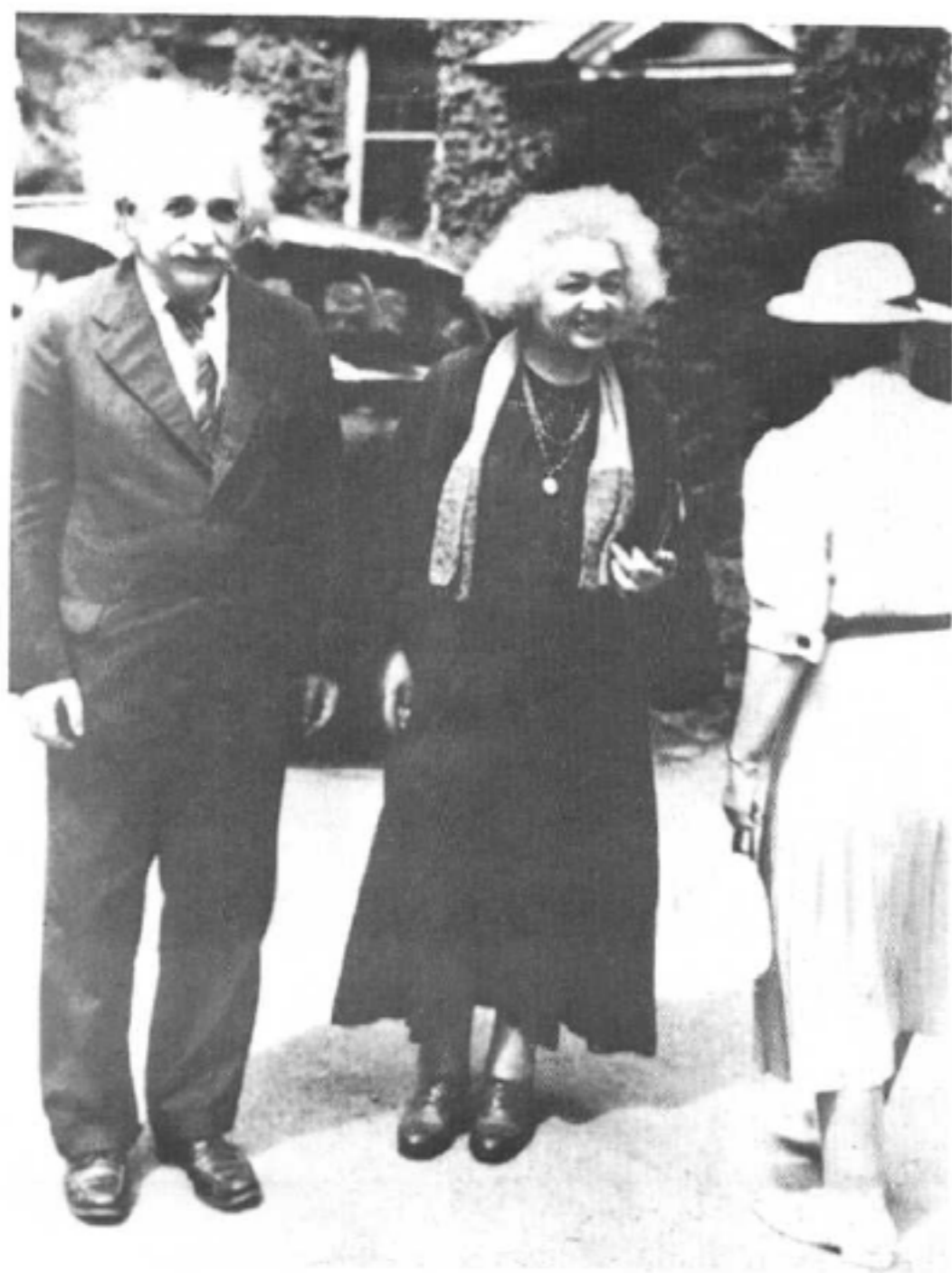
VI. 爱因斯坦、卓别林和爱尔莎在洛杉矶剧院《城市之光》的世界首映式上。1931年1月30日，洛杉矶。





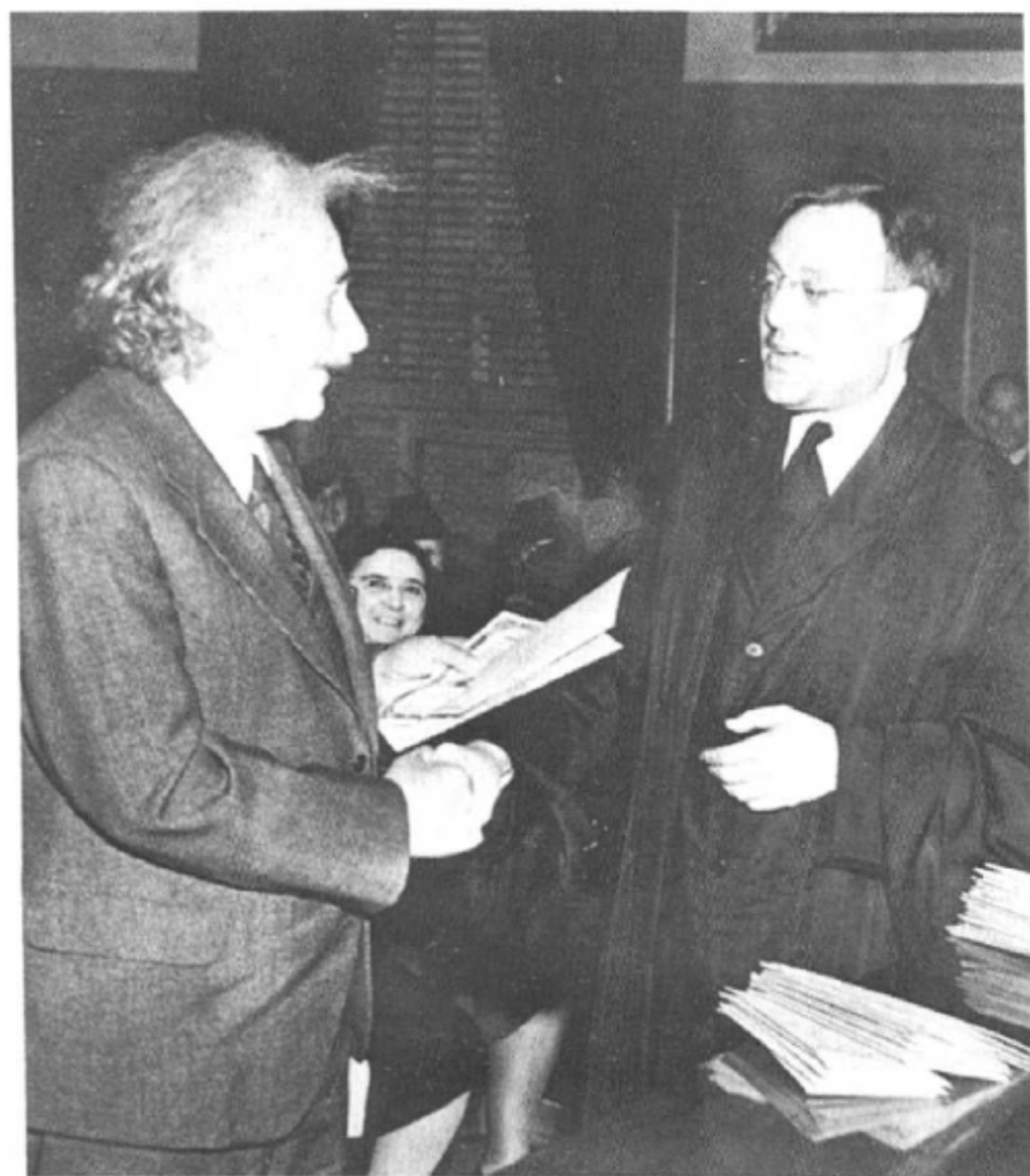
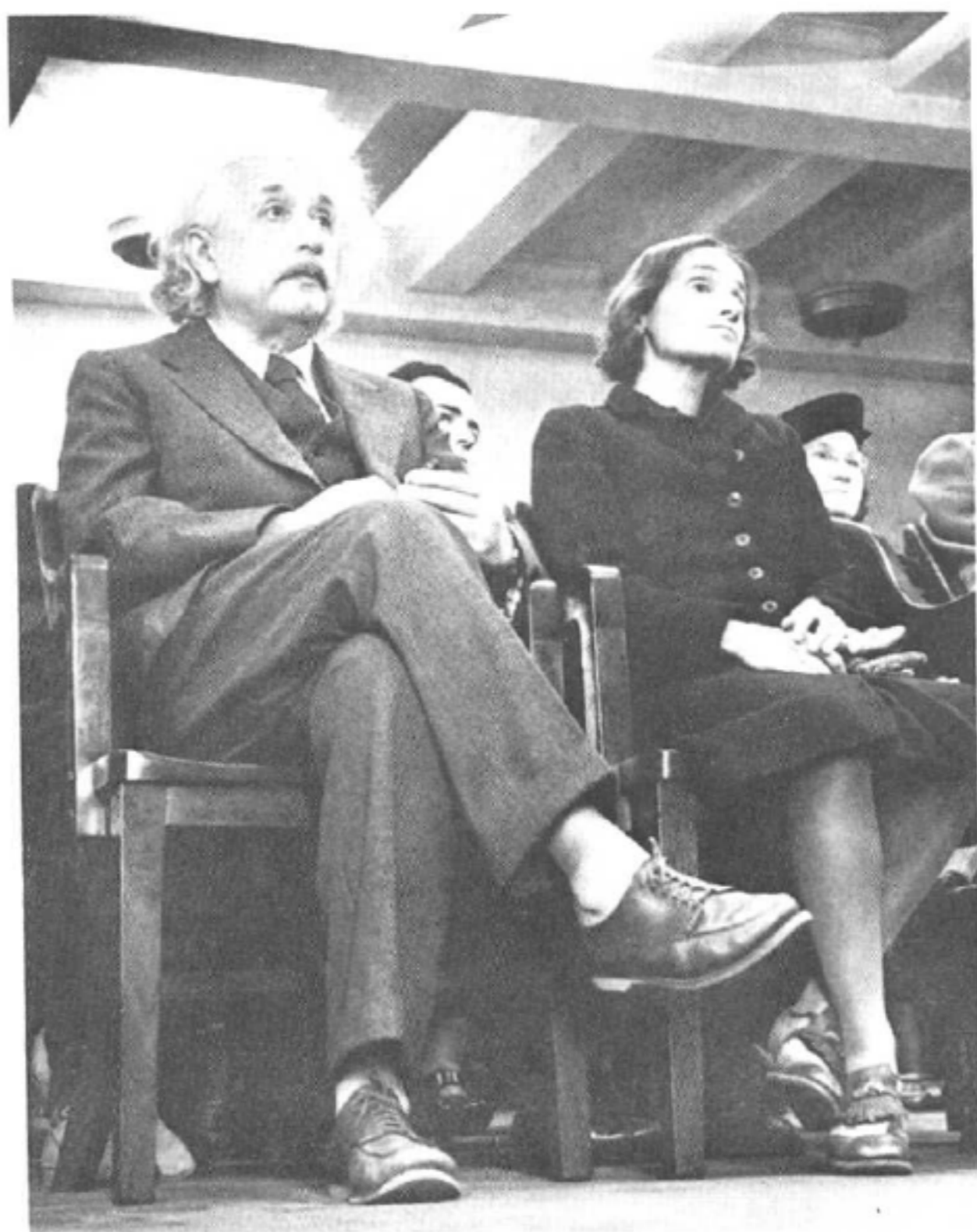


VII. 1931年2月28日，阿尔伯特和爱尔莎在【科罗拉多河】大峡谷。



VIII. 爱因斯坦和妹妹玛雅，  
1939年(背影是托马斯·曼夫人)  
(蒙 I .W. 布朗夫人惠允)

IXa. 1940年10月1日，美国公民宣誓仪式，新泽西特灵顿。爱因斯坦左边的是他的继女玛戈特。



IXb. 1940年10月1日，特灵顿：法官菲利普·福尔曼祝贺爱因斯坦宣誓成为美国公民。  
(蒙菲利普·福尔曼夫人惠允)



X. 济科(爱因斯坦家的狗)、海伦·杜卡斯和爱因斯坦在梅瑟街112号门前。(约摄于1940年初), (蒙海伦·杜卡斯惠允)

XI. 献给爱因斯坦70寿辰的生日蛋糕(1949年)。公式取自《相对论的意义》第3版附录II, 普林斯顿大学出版社, 1950。(蒙海伦·杜卡斯惠允)





XII. 爱因斯坦的最后一张著名照片，1955年3月摄于梅瑟街112号。  
(爱因斯坦档案馆，蒙合众国际社[United Press International]惠允)

# 目 录<sup>①</sup>

中文版序.....	1
致读者.....	2
凡例.....	6
I. 导论.....	3
第 1 章* 目标与计划 .....	5
第 2 章 相对论和量子理论 .....	38
(a) 有序的转变和革命时期 .....	38
(b) 时间囊 .....	47
第 3 章 年轻的物理学家 .....	52
有关爱因斯坦的众多传记的补充说明 .....	71
II. 统计物理学.....	77
第 4 章 熵和几率 .....	79
(a) 爱因斯坦贡献一览 .....	79
(b) 麦克斯韦和玻耳兹曼 .....	86
(c) 1905 年的前奏曲 .....	93

---

① 带\*的章节,其内容几乎全是传记性质的。

(d) 爱因斯坦与玻耳兹曼原理 .....	101
第 5 章 分子的实在性 .....	112
(a) 19 世纪的简单回顾 .....	112
(b) 普费弗尔坩埚和范特霍夫定律 .....	123
(c) 博士论文 .....	126
(d) 11 天后:布朗运动 .....	132
(e) 爱因斯坦和斯莫鲁霍夫斯基:临界乳光 .....	143
III. 狭义相对论 .....	155
第 6 章 上帝难以捉摸 .....	157
(a) 迈克尔逊-莫雷实验 .....	157
(b) 先驱者 .....	170
(c) 庞加莱在 1905 .....	184
(d) 1905 年以前的爱因斯坦 .....	187
第 7 章 新运动学 .....	198
(a) 1905 年 6 月:狭义相对论的确立,洛伦兹变换的导出 .....	198
(b) 1905 年 9 月:关于 $E=mc^2$ .....	212
(c) 早期反应 .....	214
(d) 爱因斯坦与 1905 年后的狭义相对论 .....	220
(e) 电磁质量:头 100 年 .....	222
第 8 章 历史的边缘 .....	235
IV. 广义相对论 .....	255
第 9 章 “我一生中最快乐的思想” .....	257
第 10 章 爱因斯坦教授先生 .....	267

(a)* 从伯尔尼到苏黎世 .....	267
(b) 三年半的沉默 .....	272
第 11 章 布拉格论文 .....	279
(a)* 从苏黎世到布拉格 .....	279
(b) 1911 年,光线弯曲是可测的 .....	282
(c) 1912 年,拓荒者爱因斯坦 .....	292
第 12 章 爱因斯坦—格罗斯曼合作 .....	302
(a)* 从布拉格到苏黎世 .....	302
(b) 从标量到张量 .....	305
(c) 合作 .....	314
(d) 绊脚石 .....	320
(e) 后来发生的事 .....	323
第 13 章 引力场理论:最初 50 年 .....	329
(a) 爱因斯坦在维也纳 .....	329
(b) 爱因斯坦—福克尔论文 .....	340
第 14 章 引力场方程 .....	344
(a)* 从苏黎世到柏林 .....	344
(b) 插曲:磁化旋转 .....	352
(c) 最后几步 .....	358
(d) 爱因斯坦和希尔伯特 .....	369
第 15 章 新动力学 .....	381
(a) 从 1915 年到 1980 年 .....	381
(b) 三个成功 .....	388
(c) 能量与动量守恒;比安基恒等式 .....	393
(d) 引力波 .....	399

(e) 宇宙学 .....	403
(f) 奇点;运动问题 .....	414
(g) GR9 还有别的新东西吗? .....	418
V. 后来的历程 .....	427
第 16 章* “一举成名的爱因斯坦博士” .....	429
(a) 疾病;再婚;母亲去世 .....	429
(b) 爱因斯坦走上神坛 .....	435
(c) 传奇的诞生 .....	440
(d) 爱因斯坦和德国 .....	448
(e) 后来的著作 .....	457
第 17 章 统一场论 .....	469
(a) 1920 年前后的粒子和场 .....	469
(b) 又一个孕育的 10 年 .....	473
(c) 第五维 .....	475
(d) 相对论与后黎曼微分几何 .....	485
(e) 后来的历程:科学年表 .....	492
(f) 统一理论的终曲,量子理论的前奏 .....	504
VI. 量子理论 .....	513
第 18 章 引言 .....	515
(a) 爱因斯坦贡献一览 .....	515
(b) 粒子物理学:最初 50 年 .....	518
(c) 量子理论:影响路线 .....	521
第 19 章 光量子 .....	525



(a) 从基尔霍夫到普朗克 .....	525
(b) 爱因斯坦论普朗克:1905,瑞利—爱因斯坦—金斯定律 .....	536
(c) 光量子假说和启发性原理 .....	541
(d) 爱因斯坦论普朗克:1906 .....	544
(e) 光电效应: $h$ 的第二次出现 .....	546
(f) 对光量子假说的反应 .....	551
第 20 章 爱因斯坦和比热 .....	561
(a) 19 世纪的比热 .....	561
(b) 爱因斯坦 .....	568
(c) 能斯特:第一届索尔未会议 .....	572
第 21 章 光子 .....	579
(a) 粒子与波动的融合与爱因斯坦的命运 .....	579
(b) 自发和感生辐射跃迁 .....	583
(c) 粒子图景的完成 .....	586
(d) 对或然性第一次感到不安 .....	590
(e) 题外话:不可分离的经典运动的量子条件 .....	593
(f) 康普顿效应 .....	594
第 22 章 插曲:BKS 提议 .....	599
第 23 章 一致性的丧失:量子统计学的诞生 .....	609
(a) 从玻耳兹曼到狄拉克 .....	609
(b) 玻色 .....	612
(c) 爱因斯坦 .....	616
(d) 关于玻色—爱因斯坦凝聚的补充 .....	622
第 24 章 承先启后的爱因斯坦:波动力学的诞生 .....	625
(a) 从爱因斯坦到德布罗意 .....	625

(b) 从德布罗意到爱因斯坦 .....	627
(c) 从德布罗意和爱因斯坦到薛定谔 .....	629
第 25 章 爱因斯坦对新动力学的反应 .....	632
(a) 1925—1931: 争论开始 .....	632
(b)* 爱因斯坦在普林斯顿 .....	645
(c) 爱因斯坦论客观实在 .....	653
第 26 章 爱因斯坦的理想图景 .....	662
(a) 爱因斯坦、牛顿和成功 .....	662
(b) 相对论与量子理论 .....	665
(c) 超因果性 .....	668
VII. 旅程的终点 .....	677
第 27 章* 最后 10 年 .....	679
第 28 章* 尾声 .....	688
VIII. 附录 .....	689
第 29 章* 张量、助听器及其他: 爱因斯坦的合作者们 ...	691
第 30 章* 爱因斯坦是如何获得诺贝尔奖的 .....	720
第 31 章* 爱因斯坦为诺贝尔奖写的提议 .....	737
第 32 章* 爱因斯坦年表 .....	747
人名索引 .....	766
主题索引 .....	783
译后记 .....	809

# V 后来的历程



## 第 16 章 “一举成名的爱因斯坦博士” 299

### 16a. 疾病；再婚；母亲去世

在本书第 IV 部分开头，我们讲了爱因斯坦到柏林，离开米列娃，反对第一次世界大战和他早期的政治活动。接着讲了他创立广义相对论的最后几步。在上一章，我们讨论了爱因斯坦在广义相对论进一步发展中的作用和他对后代物理学家的影响。在这一章里，我们转向广义相对论对世界的普遍冲击，它使爱因斯坦像神一样地突然出现在世界面前，成为人们崇拜、敬畏和憎恨的焦点。我还要继续讲从 14a 开始的爱因斯坦在柏林的故事。让我们先回到 1915 年 11 月后的日子，那时，爱因斯坦刚建立广义相对论的基础。

我们曾说过，爱因斯坦在 1915 年 12 月写信给贝索，说他“zufrieden aber ziemlich kaputt”，感到满意，但差不多累垮了[E1]。但是，他没有停歇。1916 年，他写了 10 篇论文，它们包括，广义相对论的第一次总结，他的自发和感生辐射理论，第一篇关于引力波的论文，关于能量—动量守恒定律和施瓦兹席尔德解的系列论文，以及测量爱因斯坦—德哈斯效应的新建议。他还写了关于相对论的第一本半普及性读物。劳累过度，又缺乏适当照顾，他终于在 1917 年的某一天病倒了，这场病持续了好几年。

我不知道他的病从哪天开始,不过 1917 年 2 月,爱因斯坦曾写信给埃伦费斯特说,他因肝病不能去荷兰访问了,他必须遵从严格的饮食,过很平静的生活[E2]。在平静的生活中,他还坚持写了一篇广义相对论宇宙学的开创性文章。洛伦兹很遗憾爱因斯坦没能去荷兰,不过,他写道,“艰苦工作了几年,你也真需要休息一下了”[L1]。爱因斯坦的回答表明,他病得不轻。他说,靠着他在柏林的家与他在德国南部亲戚的联系,还能得到必要的营养。“如果没有这些帮助,我简直不能呆在这儿,但我也不知道,这种状况是否能维持下去”[E3]。作为一个瑞士公民,他有权利也确实收到过来自瑞士的食品包裹[E4],但那显然弥补不了柏林因战争造成的食物短缺。他的医生曾劝他去瑞士疗养,他没有听从医生的劝告[E5]。

那段日子里,爱尔莎料理着一切。爱尔莎 1876 年出生在霍亨佐伦(Hohenzollern)的赫辛根(Hechingen),是阿尔伯特的第一代表姐,也是他的第二代堂姐。她父亲鲁道夫是阿尔伯特父亲赫尔曼的堂兄;她母亲芬妮(Fanny Koch)是阿尔伯特的母亲保莉妮的姐姐。爱尔莎与阿尔伯特从小相识,那时爱尔莎常去慕尼黑亲戚家,阿尔伯特也常来赫辛根,他们相互倾慕。爱尔莎刚过 20 岁,就嫁给了一个叫勒温塔尔(Löwenthal)的商人,和他生了两个女儿,伊尔莎(生于 1897)和玛戈特(生于 1899)。不久就离婚了。爱因斯坦来柏林时,爱尔莎和两个女儿住在哈伯兰大街 5 号一所公寓的楼上,她的父母住楼下。爱尔莎在柏林是吸引爱因斯坦到这里来的原因之一。

爱因斯坦患病期间,正是爱尔莎在照顾她的这位表弟。1917 年夏天,爱因斯坦从维特尔斯巴赫大街搬到邻近爱尔莎的一所公

寓。9月,他请贝索到他宽敞舒适的新居来做客[E6]。12月,他写信给仓格尔,说自己好多了,“多亏爱尔莎的照顾,我从去年夏天以来,体重增加了四磅,她亲自为我做每一样饭菜,看来,这是必要的”[E7]。但是,他还得严格限制饮食,根本不知道剧烈的病痛会不会再来[E8]。

1917年底,爱因斯坦的健康状况更坏了,他得了胃溃疡[E9, E10]。随后几个月中,他只好躺在床上[E10]。他感觉消沉,“精神不振,力气也没有了”[E11]。他在病床上导出了引力辐射的四极公式。1918年4月,爱因斯坦获许可以走出户外了,但还得小心翼翼。“几天来,我的病又重了,那显然不过是因为我拉了一个小时的小提琴”[E10]。5月,他又躺倒了,这次是黄疸病[E12]。但他还写了一篇关于能量—动量—应力张量的文章,他曾梦见(8月时[E13])自己用剃须刀切断了喉咙,这多少反映了他的健康状况。11月,他发表了关于双生子佯谬的文章。12月,他写信给埃伦费斯特说,他可能不会康复了[E14]。

这时,阿尔伯特和爱尔莎决定结婚。于是,他不得不先费些工夫办理与米列娃的离婚手续[E15],离婚判决是1919年2月14日下达的。判决规定,到时候,米列娃可以得到爱因斯坦的诺贝尔奖金。<sup>①</sup>

米列娃在苏黎世度过余生。最初,她用自己的娘家姓玛丽琦 301 (Marity),但是依据1924年12月24日苏黎世地方政府的判决又允许她恢复用爱因斯坦的姓。爱因斯坦偶尔去看孩子时,也住在她家里。米列娃是个较难相处的女人,她多疑,神经质[她的妹妹

---

<sup>①</sup> 更详细的内容见第30章。

佐尔卡(Zorka)曾患严重精神病],1948年去世。多年后,爱因斯坦在谈到她时写道:“她对分居和离婚一直很不情愿,性情更加忧郁,常令她想起古老的美狄亚(Medea),<sup>①</sup>这给我同两个孩子的关系投下了阴影,我爱我的孩子。这幕生活的悲剧一直伴我到老”[E16]。

阿尔伯特同爱尔莎于1919年6月2日结婚,他40岁,她43岁。家安在爱尔莎的住处,在楼上又加盖了两间,作为爱因斯坦的书房和休息室。爱因斯坦的胃痛偶尔也发作[E17],但他在1920年给贝索的信中说,他的身体和精神都很好了[E18]。也许这段时期最引人注目的是,爱因斯坦在病中从未中断过科学活动。

爱尔莎温柔、热情、母仪大方,是典型的有教养的布尔乔亚女性,甘心情愿地照顾她的阿尔伯特,也为他的成就感到骄傲。卓别林(Charles Chaplin)1931年第一次见爱尔莎,他这样描绘她:“她身材丰满,精力充沛,能做伟人的妻子,她喜形于色,从不掩饰,她的热情很可爱”[C1]。丈夫与她的两个女儿的亲密关系更使她高兴。阿尔伯特,这个流浪汉,终于找到了一个家,这个家也给了他多方面的好处。他愿意别人关心他,也爱在小屋里接待络绎不绝的客人——科学家、艺术家、外交家和其他私人朋友。不过,另一方面,这种生活对他来讲是太奢侈了。一个来访的朋友曾这样描绘:“他,一个奔放不羁的人,开始了中产阶级的生活……在那样一个良好的典型柏林家庭中……在漂亮的家具、美丽的地毯、精美的图画中间……当人们进去后……总会发现爱因斯坦依然是这个环

---

<sup>①</sup> 希腊神话:美狄亚是科尔喀斯(Colchis)国王埃厄忒斯(Aeetes)的公主,曾帮助伊阿松(Jason)取得金羊毛并与他私奔;后被遗弃。“如同复仇女神一样,她跑去给她丈夫和她自己以致命的打击”。她亲手杀死了自己的两个儿子。——译者



境的一个‘外来客’——一个中产阶级家庭里的波西米亚<sup>①</sup>客人”[F1]。爱尔莎曾向另一位客人透露过他们的家庭生活：“还是小姑娘时，我就爱上阿尔伯特了，因为他用小提琴演奏的莫扎特太妙了……他也弹钢琴，音乐总有助于他思考。他在工作中，常常回到钢琴旁，敲几个音符，记下些东西，又回到他的书房去。玛戈特和我都不去打扰他，我们悄悄给他放些吃的，把外衣取出来。有时，甚至在天气很不好时，他不穿外衣不戴帽子就出去了，然后回来，站在楼梯上”[S1]。人们感觉不出他们之间有多亲密。爱尔莎隔壁是女儿的卧室，爱因斯坦住在楼下[H1]。他们也从不在一起计划商量什么。“不知阿尔伯特在想什么。”爱尔莎曾给埃伦费斯特写信说[E19]。与丈夫不同，她很在乎社会地位和别人的意见。<sup>②</sup> 302

爱因斯坦常在不同场合对人说到婚姻，表明他并不以为婚姻幸福有多神圣。例如，有一次，有人见他不停地挖弄烟斗，就问他是喜欢抽烟，还是喜欢挖空烟斗然后装满烟丝，爱因斯坦回答说：“我本来想抽烟，但结果烟斗却总是让什么东西给堵住了，生活中的事情恐怕也是如此，特别是婚姻”[I1]。

在1936年爱尔莎过世后不久，爱因斯坦写信给玻恩说：“我在这里已经习惯了像熊在洞穴中的生活，与我过去多事的生活相比，我在家中感觉到了更多的东西。因为女伴[Kameradin]去世，我像熊一样生活的特点更突出了，她[比我]更依恋别人”[E20]。爱因斯坦曾多次坦率但并不优雅地描写他的家庭[E21]，这不过是其中的一次。

---

① bohemian, 又译为放荡不羁的。——译者

② 弗兰克说她在柏林社交界内并不大有名[F1]。

1955年3月,爱因斯坦在他的终生朋友贝索死后不久,给贝索家人写信说:“我最羡慕他的是,作为一个人,能够长期安静而和谐地同一个女人生活在一起——在这方面,我两次都很不光彩地失败了”[E22]。

阿尔伯特同爱尔莎结婚半年后,爱因斯坦的母亲保莉妮来到柏林,后来在儿子家中去世。

保莉妮的生活从来没有轻松过。1902年丈夫死后,留给她一点遗产,没有别的收入。她先去了赫辛根的姐姐芬妮家,之后又在海尔布隆(Heilbron)住了一段时期,替一个名叫奥本海默的鳏居银行家做管家,并教他的几个孩子,孩子们都很喜欢她。过后一段时间,她又帮着丧妻的哥哥科赫(Jakob Koch)操持家务。然后,又去卢塞恩(Lucerne),与女儿玛雅和女婿温特勒一起住在布兰伯格街(Brambergstrasse)16a号。正是按这个地址,爱因斯坦寄过一张剪报,“不管怎样,这已经是一个母亲的巨大骄傲,愿它给妈妈添加更多的荣耀”[E23]。

在女儿那里,保莉妮患了结肠癌,只好去罗森瑙(Rosenau)疗养院住院治疗。不久,她表示想跟儿子在一起。1919年12月,爱尔莎写信告诉埃伦费斯特,母亲生命垂危,要搬到柏林来了[E24]。大约1920年初,保莉妮在玛雅、一名医生和一名护士的看护下来到了柏林[E25],住在爱因斯坦的书房。吗啡治疗影响了她的心智,但“她依恋生命,气色还好”[E25]。2月,保莉妮去世了,葬在柏林的勋伯格(Schöneberg)公墓。事后,爱因斯坦写信给仓格尔说:“母亲已去世……我们也精疲力竭……人从骨子里感到血缘关系是多么重要”[E26]。

## 16b. 爱因斯坦走上神坛<sup>①</sup>

1919年初秋,保莉妮还在疗养院,她收到儿子的一张明信片,开头写道:“亲爱的妈妈,今天有好消息,洛伦兹来电说英国远征队实际上已经证明了光线经过太阳发生偏折”[E27]。那封几天前发来向爱因斯坦传消息的电报说:“爱丁顿发现,恒星在太阳边缘初食时的移动,在十分之九秒和两倍于它之间。特此祝贺。洛伦兹”[L2]。这是非正式的通信,并没有确定什么。爱因斯坦还是几乎立刻给《自然科学》发去一个很短的说明,只为报告他收到的电报的内容[E28]。他太兴奋了。

我们还是来简单说说爱因斯坦认识光线弯曲的发展经过。1907年,他在伯尔尼专利局当职员,发现了等效原理,意识到原理本身隐含着光线的弯曲,但他相信这个效应对观测来说太小了。1911年,他在布拉格当教授,发现在日全食时星光掠过太阳可能会发生弯曲,在这种情况下,弯曲度是 $0''.87$ 。但他那时还不知道空间也是弯曲的,所以他的结论是错的。他跟牛顿还太亲近,即牛顿相信空间是平直的,而且用他自己的引力定律和光微粒理论也算出了 $0''.87$ (现在称为牛顿值)。1912年,他在苏黎世当教授,发现空间是弯曲的。许多年过去以后,他才认识到空间的曲率会改变光的路线。1915年,他是普鲁士科学院院士,发现广义相对论意味着太阳使光线偏折 $1''.74$ ,即爱因斯坦值,是牛顿值的2倍。

---

<sup>①</sup> 原文用的是一个宗教词语:canonized(谥圣),原意是追认死者为圣徒。——译者

这个因子 2 预示着爱因斯坦和牛顿的对立。

1914 年,爱因斯坦在找到正确答案前,就带着特有的自信给贝索写信说:“无论日食观测成功与否,我一点儿也不怀疑整个体系的正确性”[E29]。几次历史的变故使爱因斯坦免于陷入相信错误结果的尴尬境界。1912 年,一支阿根廷日食远征队去巴西,实验计划中有光线偏折的观察,但是因为下雨,计划落空了。1914 年夏,由弗洛因德里希领导、克鲁普(Gustav Krupp,一个不太熟悉的慈善家角色)资助的德国远征队前往克里米亚(Crimea),观测 8 月 21 日的日食。(俄国政府告诉他们的士兵和农民,不要害怕所谓凶兆:将要来临的日食是一种自然现象[N1]。)战争爆发后,304 队伍被警告及时返回,有些人回去了。不愿走的被挡在那里,最后虽然安全回家,但当然什么结果也没得到[N2]。1915 年 11 月 18 日,爱因斯坦宣布了正确的光偏折值  $1''.74$ [E30],此后,观测仍接连遭到挫折。10 天以后,爱因斯坦写信给索末菲,谈到弗洛因德里希为测量光偏折提出了一个新设想,他说:“只是那些可怜虫们的阴谋阻碍了对这个理论的新的重要验证的实现。”他还不同寻常地署上:“您愤怒的爱因斯坦”[E31]。1916 年在委内瑞拉有一次观测日食的机会,因战争错过了。早些时候,人们想从以往日食观测照片中寻找光的偏折,那些努力也没有结果。一个美国人曾想在 1918 年 6 月的日食中测量这种效应,但没有得到明确的结论。<sup>①</sup>直到 1919 年 5 月,两个英国远征队才获得第一组有价值的照片。11 月,他们正式宣布了结果。

英国人对光线偏折发生兴趣是在德西特从荷兰把爱因斯坦广

---

<sup>①</sup> 关于这些早期尝试的细节,特别参见[E32]。

义相对论的论文寄给剑桥的爱丁顿之后不久(估计这是传到英国的关于广义相对论的第一批论文)。另外,德西特 1916 年发表在《天文台》(*Observatory*)[S2]上的关于这个题目的漂亮的评论,以及他发表在《每月评论》(*Monthly Notices*)[S3]上的 3 篇重要文章,更扩大了它的影响。后来的爱丁顿报告[E33],也起着同样的作用。1917 年 2 月,爱丁顿在致皇家天文学会的信中,强调了光线偏折的重要意义[E34]。1917 年 3 月,皇家天文学家戴森爵士为观测预言的偏折,特别注意了 1919 年 5 月 29 日(另一次日食时间)的恒星位置特点,另外,“辛克斯(Hinks)先生已经愉快地答应为皇家学会获取可能已被占用了的观测点的信息”[D1]。两个日食远征队准备好了,一个去巴西的索布腊尔(Sobral),由格林威治(Greenwich)天文台的克罗梅林领队;一个去西班牙几内亚海岸外的普林西比(Principe)岛,由爱丁顿领队。临行前,爱丁顿写道:“我们今天的远征队可能第一次证实光的质量(即牛顿值);也可能证实爱因斯坦那奇怪的非欧空间理论;还可能会有一个意义更为深远的结果——没有光偏折”[E35]。以“最新消息”为标题,6 月的《天文台》杂志有两封电文,一封来自索布腊尔:“日食壮观,克罗梅林”;一封来自普林西比:“穿过云层,有希望。爱丁顿”[O1]。远征队回来后,开始处理资料。<sup>①</sup> 9 月 9 日到 13 日,英国天文学会在伯恩茅斯(Bournemouth)召开会议。根据爱丁顿在会上的原始报告,光线弯曲在 0."87 与 1."74 之间。消息传到洛伦兹,<sup>②</sup>洛伦兹电告爱因斯坦。经过 7 年的等待,爱因斯坦现在收到这个消息,

<sup>①</sup> 在这里,我不详细讨论实际的观测、原始数据的分析和几年后的再分析。关于这些问题,我请读者去读几篇很好的文章[B1, E32, M1]。

<sup>②</sup> 消息是范德坡(van der Pol)带到莱顿的,他出席了伯恩茅斯会议。

该是多么高兴！接着，1919年11月6日来到了，这一天，爱因斯坦一下成了圣者。<sup>①</sup>

自1905年以来，爱因斯坦已经被宣福为“天国享至福者”(*beatus*)，他在那年创造了两项一流的奇迹。11月6日这一天，皇家学会与皇家天文学会联合召开会议，仿佛一个礼拜圣会(*Congregation of Rites*)。<sup>②</sup>戴森像是呈请人(*postulator*)，克罗梅林和爱丁顿帮助他做辩护代理人(*advocate-procurators*)。戴森首先发言，最后做出如下陈述：“经过对底片的详细研究，我郑重宣布它们证实了爱因斯坦的预言。我们已经得到精确的结果，光线完全按照爱因斯坦的引力定律偏折。”克罗梅林补充了进一步的细节。接着，爱丁顿讲话，他说，普林西比的结果也支持索布腊尔获得的数据。然后，他又重复了爱因斯坦在继他被“宣福”之后的两个必要的真正的奇迹：水星的进动与光的偏折，在索布腊尔和普林西比测到的光偏折值分别为 $1.''98 \pm 0.''30$ 和 $1.''61 \pm 0.''30$ 。西尔伯斯坦(*Silberstein*)<sup>③</sup>，那个辩护恶魔(*advocatus diaboli*)<sup>④</sup>提出责难(*animadversiones*)：“我也承认光的偏折，但现在就断定这个事实是由引力引起的，这是不科学的。”他主要的反对理由是没有引力红移的证据：“如果红移现在还不能证实，理论就要崩溃。”他指着悬挂

---

① 我发现，为死者宣福(*beatification*，宣告死者已升天并授“天国享至福者”的称号及有限的公开宗教荣誉。——译者)和谥圣的仪式是相似的，尽管我们在这里谈论的是活人。注意，*beatus*可由某个主教管区或机构(在这里，是物理学家们)举行公开礼拜而授予，但封一个人圣者则要求严格的公开礼拜仪式。这里用的一些术语，请参阅《新天主教百科全书》(*New Catholic Encyclopedia*)[N3]。

② 这里引述的会议经过详见《天文台》的一篇文章[O2]。

③ 希尔伯斯坦，波兰人，移居英国，后又定居美国，写过3本关于相对论的书。他曾几次顽固但理智地反对相对论。

④ *advocatus diaboli*=*devil's advocate*，红衣主教会议成员，其职责是指出入圣者的缺点和过失。——译者

在会议大厅的牛顿像，警告大家：“我们在修正和改造他的引力理论中小心翼翼地向前，这都该归功于他老人家。”

大会主席、皇家学会会长 J. J. 汤姆逊教授被再三急切地<sup>①</sup>请求宣布[爱因斯坦]为圣者：“这是自牛顿时代以来取得的关于引力理论的最重要的成果，在这个与牛顿有着亲密关系的皇家学会宣布它，是很适合的……它是人类思想的最高成就之一。”几周以后，他又说，“光被物质弯曲，是牛顿提出的第一个疑问(Query)<sup>②</sup>，这本身就是一个具有科学等科学重要性的结果；今天，它的数据证明了爱因斯坦提出的引力定律，这个问题就更加重要了”[T1]。

事实上，11月6日以前，爱因斯坦和很多人就已经知道，事情很顺利。

10月22日，心理学家、普鲁士科学院院士斯图姆普夫(Carl 306 Stumpf)写信给爱因斯坦：“在您的引力理论获得新的辉煌成功之际，我怀着急切的心情向您表示热烈的祝贺。我们心中分享着您心中的巨大喜悦，我们也满怀自豪，德国在军事和政治失败后，科学还是取得了这么伟大的胜利……”[S4]。<sup>③</sup> 11月3日爱因斯坦回信说：“从荷兰回来后，看到了您的贺信……我最近在莱顿获悉，爱丁顿发现的证据从定量上看是很完美的”[E36]。11月6日会议开过几天后，洛伦兹又给爱因斯坦发了一封电报，证实这一消息[L4]。1919年11月7日，爱因斯坦的传奇故事开始了。

---

① 原文此处用的是拉丁文 *instante* (急切的、将发生的等意)及其比较级和最高级：*instantius*, *instantissime*。——译者

② 参见 11b 下的译者注。——译者

③ 我感谢赫尔曼告诉我柏林报纸在 10 月就已经登载了一些报道。1919 年 10 月 8 日的《柏林日报》(*Berliner Tageblatt*)有一篇莫斯科夫斯基(Alexander Moszkowski)的文章，题目是“让太阳来说明”(Die Sonne bracht' es an den Tag)，那一定是根据爱因斯坦自己提供的情况写的。

## 16c. 传奇的诞生

“停战与签约/德国人向巴黎投降/破碎的法兰西/重建计划/战争蹂躏塞尔维亚”，打开 1919 年 11 月 7 日的伦敦《泰晤士报》，我们可以在第 11 页上看到这些大标题，翻到第 12 页，我们看到，第一栏的标题是“辉煌之死/国王号召人民/停战日庆典/工作暂停两分钟/”；第六栏的标题是“科学中的革命/宇宙的新理论/牛顿思想被推翻”，这栏下面，中间有一个简洁的小标题：“空间弯曲了”。在这期报纸上，我们可以看到，它第一次向这个因战争而疲惫的世界报道前一天在那个联合会议上所发生的事情。第二天，这家报纸又刊登了一篇关于这个题目的进一步的文章，用的标题是：“科学革命/爱因斯坦对牛顿/大物理学家的评论”，文章说：“这是昨天国会下院的活跃话题。皇家学会会员、下议员拉莫爵士到剑桥大学……说他被质问包围了。人们问他，牛顿是否被推翻，剑桥是不是‘完蛋了？’”（爱丁顿在剑桥讲新结论时，有几百人都挤不进场 [E37]。）消息立即被荷兰报刊转载 [N3a, A1]。各日报纷纷邀请著名物理学家发表评论。洛伦兹在 11 月 19 日的《新鹿特丹报》（*Nieuwe Rotterdamsche Courant*）上用浅显的语言向读者解释广义相对论，他说，“我不能不表示惊讶，照 [伦敦]《泰晤士报》的报道，竟有那么多人抱怨这个新理论太难理解了。显然，爱因斯坦的那本小册子《狭义与广义相对论浅谈》在战争期间还没有传到英国。”<sup>①</sup>11 月 23 日，玻恩所写的一篇题为“Raum, Zeit und Schwerkraft”（空间、时

---

<sup>①</sup> 《纽约时报》后来刊登了这篇文章的译文 [N4]。



## REVOLUTION IN SCIENCE

### NEW THEORY OF THE UNIVERSE.

#### NEWTONIAN IDEAS OVERTHROWN.

Yesterday afternoon in the rooms of the Royal Society, at a joint session of the Royal and Astronomical Societies, the results obtained by British observers of the total solar eclipse of May 29 were discussed.

The greatest possible interest had been aroused in scientific circles by the hope that rival theories of a fundamental physical problem would be put to the test, and there was a very large attendance of astronomers and physicists. It was generally accepted that the observations were decisive in the verifying of the prediction of the famous physicist, Einstein, stated by the President of the Royal Society as being the most remarkable scientific event since the discovery of the predicted existence of the planet Neptune. But there was difference of opinion as to whether science had to face merely a new and unexplained fact, or to reckon with a theory that would completely revolutionize the accepted fundamentals of physics.

SIR FRANK DYSON, the Astronomer Royal, described the work of the expeditions sent respectively to Sobral in North Brazil and the island of Principe, off the West Coast of Africa. At each of these places, if the weather were propitious on the day of the eclipse, it would be possible to take during totality a set of photographs of the obscured sun and of a number of bright stars which happened to be in its immediate vicinity. The desired object was to ascertain whether the light from these stars, as it passed the sun, came so directly towards us as if the sun were not there, or if there was a deflection due to its presence, and if the latter proved to be the case, what the amount of the deflection was. If deflection did occur, the stars would appear on the photographic plates at a measurable distance from their theoretical positions. He explained in detail the apparatus that had been employed, the corrections that had to be made for various disturbing factors, and the methods by which comparison between the theoretical and the observed positions had been made. He convinced the meeting that the results were definite and conclusive. Deflection did take place, and the measurements showed that the extent of the deflection was in close accord with the theoretical degree predicted by Einstein, as opposed to half that degree, the amount that would follow from the principles of Newton. It is interesting to recall that Sir Oliver Lodge, speaking at the Royal Institution last February, had also ventured on a prediction. He doubted if deflection would be observed, but was confident that if it did take place, it would follow the law of Newton and not that of Einstein.

DR. CHROMELIN and PROFESSOR EDINGTON, two of the actual observers, followed the Astronomer-Royal, and gave interesting accounts of their work, in every way confirming the general conclusions that had been enunciated.

#### "MOMENTOUS PRONOUNCEMENT."

So far the matter was clear, but when the discussion began, it was plain that the scientific interest centred more in the theoretical bearings of the results than in the results themselves. Even the President of the Royal Society, in stating that they had just listened to "one of the most momentous, if not the most momentous, pronouncements of human thought," had to confess that no one had yet succeeded in stating in clear language what the theory of Einstein really was. It was accepted, however, that Einstein, on the basis of his theory, had made three predictions. The first, as to the motion of the planet Mercury, had been verified. The second, as to the existence and the degree of deflection of light as it passed the sphere of influence of the sun, had now been verified. As to the third, which depended on spectroscopic observations there was still uncertainty. But he was confident that the Einstein theory must now be reckoned with, and that our conceptions of the fabric of the universe must be fundamentally altered.

At this stage Sir Oliver Lodge, whose contribution to the discussion had been eagerly expected, left the meeting.

Subsequent speakers joined in congratulating the observers, and agreed in accepting their results. More than one, however, including Professor Newall, of Cambridge, hesitated as to the full extent of the inferences that had been drawn and suggested that the phenomena might be due to an unknown solar atmosphere further in its extent than had been supposed and with unknown properties. No speaker succeeded in giving a clear non-mathematical statement of the theoretical question.

#### SPACE "WARPED."

Put in the most general way it may be described as follows: the Newtonian principles assume that space is invariable, that, for instance, the three angles of a triangle always equal, and must equal, two right angles. But these principles really rest on the observation that the angles of a triangle do equal two right angles, and that a circle is really circular. But there are certain physical facts that seem to throw doubt on the universality of these observations, and suggest that space may acquire a twist or warp in certain circumstances, as, for instance, under the influence of gravitation, a dislocation in itself slight and applying to the instruments of measurement as well as to the things measured. The Einstein doctrine is that the qualities of space, hitherto believed absolute, are relative to their circumstances. He drew the inference from his theory that in certain cases actual measurement of light would show the effects of the warping in a degree that could be predicted and calculated. His predictions in two of three cases have now been verified, but the question remains open as to whether the verifications prove the theory from which the predictions were deduced.

308 间和引力)的文章出现在《法兰克福汇报》(*Frankfurter Allgemeine Zeitung*)上。11月30日,弗洛因德里希在《福斯报》(柏林)的一篇专栏文章的开头写道:“在德国,一个具有非常意义的科学事件还没有引起相应的反响。”然而,12月14日的《柏林画报》(*Berliner Illustrierte Zeitung*)周刊还是在封面刊了爱因斯坦的照片,配有说明:“世界历史新巨人:阿尔伯特·爱因斯坦,他的研究意味着我们自然观的一场彻底革命,将与哥白尼、开普勒、牛顿的洞察同辉”。据我所知,瑞士报纸出现的第一条消息是在12月10日的《新苏黎世报》(*Neue Züricher Zeitung*)上。报道说,天文学家德斯兰德里斯(Henri Deslandres)在12月8日的法国科学院会议上,报告了5月29日的日食观测,他把爱因斯坦的理论概括为能量吸引能量。

爱因斯坦“愉快而感激地”应邀为11月28日的伦敦《泰晤士报》写了篇文章,因为这让他“在科学家之间从前的国际交往令人悲哀地断绝之后”,有了一次交流的机会。“英国科学家用他们的时间和心血……去检验一个在战争期间在他们的敌国完成和发表的理论,这正是同英国科学伟大而光荣的传统相一致的。”对照这家报纸前些天对他的描述,爱因斯坦最后写道:“为了让读者满意,我举一个应用相对论原理的例子。今天,在德国,我被称为德国科学家,而在英国,我被说成是瑞士犹太人。如果我最终成了一个令人厌恶的家伙(*bête noire*),这些说法就会倒过来了。对德国来说,我成了瑞士犹太人,而在英国,我却是德国科学家!”同一期报纸刊有编者的话,对爱因斯坦的第一个评论,他说:“爱因斯坦博士好心地赞扬了英国科学的公正,他过奖了。”接着,他评论爱因斯坦的第二段话:“我们承认,他在开玩笑。但我们看到,根据他的理论,爱

因斯坦博士是不会对自己做绝对描述的。”就我所知,1919 年对爱因斯坦最好的刻画是《柏林画报》封面的那张照片。我们看到,那是一个充满智慧的人,一个思想敏锐的人,一个对美好事物敏感的人,他现在累极了——因为多年来强烈思想的紧张,因为至今还没恢复的健康,因为看着母亲去世的痛苦,以及,我想还因为围绕在他身边的喧嚣……(看图版 II)。

爱因斯坦和相对论并不是到 1919 年才成为新闻的。弗兰克记得,他在 1912 年一家维也纳报纸上见过一篇文章,题目是《时间的危机,数学的冲击》[F2],显然,这指的是狭义相对论的时间膨胀效应。1914 年,爱因斯坦自己还为《福斯报》撰文介绍相对论[E38]。因此,爱因斯坦早就出名了,不过还只限于德语国家,但是到 1919 年 11 月,爱因斯坦真的成了世界名人,比如,在 1919 年 11 月 9 日前,《纽约时报索引》(*The New York Times Index*)根本没有爱因斯坦的名字,但从这天起直到爱因斯坦去世,没有哪一年的报纸找不到他的名字。他常常是与科学联系着,但更多的是与其他问题联系着。所以,我们可以说,爱因斯坦传奇的诞生从 1919 年 11 月 7 日《泰晤士报》发布新闻的那一天开始。 309

《纽约时报》(以后我们叫它《时报》)11 月 9 日的文章是一篇很理智的报道,它只有一点花絮。据说,汤姆逊曾说过:“这是人类思想史上其中一个最伟大的——也许就是最伟大的——成就。”中间那几个黑体字,不是汤姆逊说的,但它们更易被认为是他说的(甚至只有这样才客观)。11 月 9 日的《时报》有这样一些要闻:“11 月 7 日赤色分子图谋世界暴动/列宁的密探谋求在整个欧洲发动起义”。关于爱因斯坦的专栏,有 6 个标题:“天空光线弯曲/科学家期待日食观测结果/爱因斯坦胜利了/恒星不在我们看到或

计算的地方,但是不必担忧/一本为 12 个聪明人写的书/世上没有更多的人能理解它,在大胆的出版者接受那本书时,爱因斯坦如是说”。文章报道,“在皇家学会会议上,有人说欧几里得几何学被击倒了”(没人这么说,但后来人们又把这话当真了),最后说:“当他(爱因斯坦)将最新的重要著作交给出版者时,他警告他们,世上不会有 12 个人理解它,但出版者还是甘愿冒险。”也许,这个故事是记者杜撰的。不过我认为,这句经常可以听到的话可能真是爱因斯坦自己说的。大概在 1916 年,他出版了一本小册子[由莱比锡的巴尔特(Barth)出版社出版]和一本相对论的“普及”读物(由[德国]不伦瑞克州(Braunschweig)的非韦格(Vieweg)出版社出版)。1919 年 12 月,《时报》通讯采访了家中的爱因斯坦,请他谈谈自己的工作,以便有比 12 个更多的人能理解它。“博士和蔼地笑了,但还是坚持认为,他很难让外行理解他自己”[N5]。

《时报》的编辑们现在开始强调普通人与英雄之间的差距的性质,这对创造一个英雄并永久地神化他的作用是必不可少的。我们来看看那些报道吧:11 月 11 日:“这消息是一个巨大的冲击,对我们的信念、哪怕对乘法表的信念的忧虑就要出现了……两个皇家学会的主席应该向大家说明,像光有重量和空间有限之类的诊断可能是合理的甚至是可以想象的——对普通人来说,根据定义,这些事情是不可能发生的,它们正是这些定义的终结;不过,对高级的数学家来说,可能真是那样。”11 月 16 日:“这些先生们也许是伟大的天文学家,但却是糟糕的逻辑学家,爱挑毛病的门外汉们反对说,那些宣扬空间会在某处走到尽头的科学家们有义务告诉我们尽头之外又藏着什么。”11 月 18 日:《时报》劝告它的读者,不要为只有 12 人能懂那位一举成名的爱因斯坦博士的理论感到难

过。11月25日：一个新闻专栏，标题是“爱因斯坦奠基的新物理学/奥利弗·洛基爵士说它会流行的，数学家将有一段难过的日子。”11月26日：题为“学者的苦难时代”的社论。11月29日：题为“不懂爱因斯坦”的新闻报道说，“伦敦《泰晤士报》……承认它跟不上细节……”。12月7日：题为“向绝对进攻”的社论说，“诅咒空间和时间的声音不停地出现，将一些[天文学家]抛向了恐惧的深渊，他们似乎感觉到，至少在一段时间里会感觉到，人类思想的基础被破坏了。”我们不难注意到有些话是挖苦人的，然而，它们也带着伴随着新秩序取代旧思想而生的神秘感。这样的变迁足以带来恐惧。哥伦比亚大学天体力学教授普尔(Charles Poor)在就相对论接受《时报》采访时说：“几年来，整个世界无论在物质上还是精神上，都处在动荡不安之中，我们有足够的理由认为，外在的动荡，如战争、罢工、布尔什维克起义，实际上是更深处精神骚动的外在表现，它是全球性的……这个动荡的幽灵，已侵入到科学中来了……”[N6]。

如果将这些各式各样的反应归因于新事物短暂而强烈的冲击，那就误解了爱因斯坦现象。对神秘事物的向往是不会衰竭的，对相对论[的向往]也是如此。10年后，我们在《时报》上看到，“几乎所有关于相对论的说明，都认为有必要告诫读者，最好不要想去理解这、理解那”[N7]。

关于爱因斯坦传奇的世界性，可以从爱因斯坦访问过的国家的德国外交官向外交部的下列报告中，得到很好的说明[K1]。奥斯陆，1920年6月：“[爱因斯坦的]演讲不同寻常地受到公众与报界的欢迎。”哥本哈根，1920年6月：“几天来，各种观点的报纸纷纷在长篇文章或访谈中，强调爱因斯坦教授这位‘当今最著名的物

理学家’的巨大意义。”巴黎,1922年4月:“……轰动一时,首都知识界的人们不愿放弃这一机会。”东京,1923年1月:“爱因斯坦抵达车站时,那里人山人海,警察也挡不住狂热的人流……菊花节那天,人们注意的不是举办宴会的皇后、摄政王<sup>①</sup>和公子王孙们,爱因斯坦成了一切的中心。”马德里,1923年3月:“到处洋溢着巨大的热情……报纸每天都辟专栏报道他的行踪……”里约热内卢,1925年5月:“……巴西报刊大量详尽的文章……”蒙得维的亚(Montevideo),1925年6月:“整个城市都在谈他,他是一个星期的新闻话题……”1921年4月25日,爱因斯坦第一次访问美国时,受到哈定总统(President Harding)的接见。同年,爱因斯坦在维也纳一个大音乐厅做了一次演讲,听众处于“一种奇妙的兴奋状态,他们不在乎听懂什么,只是感觉一下子与那奇迹发生的地方靠近了”[F3]。

311

在爱因斯坦的有生之年,每时每刻每个地方,都是这样,这种情形一直持续着。同时代的人们对爱因斯坦的科学品质的赞誉,从他博得他们的钦佩那天起,就一直延续着。依靠20世纪新兴的传播媒介所创造的图像的、文字的和视觉的形象,他的名字家喻户晓。这些形象,有的太平庸,有的却很光彩(例如,把《圣经》里的东方博士[kings]和耶稣门徒[apostles]混合成12个聪明人[wise men])。<sup>②</sup>然而,爱因斯坦的科学和媒介的宣传只是产生传奇的必要条件,还不充分。例如,我们拿它来跟早一点的例子进行比较,

---

① 即日本皇太子裕仁,他在1921—1926年间以太子身份执政,prince regent(摄政王)大概是西方的习惯说法。——译者

② 据《圣经》《新约·马太福音》,耶稣初生时,有3个博士从东方来耶路撒冷拜他。“博士”一词,《新约》新国际本用的是magi,钦定本用的是wise men,而在圣诞歌曲里也有用kings的。——译者

那时,物理学的发现也在报刊的影响下产生过世界性的冲击。那是在1895年伦琴发现X射线时,但那里成为瞩目中心的,是发现本身,而不是发现者。那个发现的价值依旧,也从未被大众遗忘,但是,它的新闻价值却从顶峰跌落下来。

爱因斯坦的独特地位的本质,在我看来,似乎处处与星体和语言有关。一个新人突然出现,“一举成名的爱因斯坦博士”,他带着宇宙新秩序的信息,他是新摩西(Moses),带着律法从[西奈]山上下来;他是新约书亚(Joshua),控制着天体的运动。<sup>①</sup> 他说的话与众不同,但智者断言群星将证明他的真实。无论什么年龄,无论孩子还是大人,一样怀着幻想遥望星空,津津乐道那些新鲜事物,X射线、原子和那些令人敬畏的东西。但是,群星永远在他们的梦里和神话里,它们周而复始的出现表现着超越人类的秩序。天空的奇异现象,彗星和日食曾是某些事情的征兆,那些事情多半是灾难。看!一个新人出现了,他的数学语言虽然神圣,却能让凡人传抄。第四维;星星不在它闪光的地方,但不必担忧;光有重量;空间被弯曲了。他满足了人类的两大需求:对知识的需求以及不对知识而是对信仰的需求。他出现的戏剧性因为一个巧合而更强烈了(尽管在我看来,这是次要的)。这个巧合本身,在很大程度上是战争的变幻引起的——两个皇家学会的联合会议与刚过去的那场灾难的周年纪念会同时举行。那场灾难使千百万人丧生,使帝国衰败,使未来更加渺茫。这个出现在那个时代的新人,代表着秩序和力量,他是20世纪的神(θεῖος ἀνὴρ)。

---

<sup>①</sup> 参见《旧约·出埃及记》和《约书亚记》。——译者

在爱因斯坦晚年,当我认识他之后,这种荣誉和知名度对他来说成了笑谈,有时还令他恼怒。他那样的人是不信神的。照片和电影剪辑表明,在他年轻的岁月里,他还能够从新闻界和民众的崇拜中得到欢乐。当我试图寻找一种方法来刻画爱因斯坦对过分奉迎的内心反应时,想起了霍尔丹爵士(Lord Haldane)在1921年6月13日向伦敦国王学院(King's College)听众介绍爱因斯坦时说过的话。爱因斯坦第一次访英时曾住在霍尔丹家,当这位杰出的客人第一次走进他家时,他的女儿激动得昏了过去。霍尔丹介绍说,[那天早上]看到爱因斯坦离开他的屋,凝视着威斯敏斯特大教堂的牛顿墓,“他很感动”。接着,他用下面的话来描述爱因斯坦:

一个总在渴望淡泊而与众不同的人,却被天才的完美力量所驱使,不许他有片刻安宁。[L5]

## 16d. 爱因斯坦和德国

1914年4月,爱因斯坦离开苏黎世,来到当时还和平的德意志帝国的首都柏林定居下来。1932年12月,爱因斯坦永远离开了德国。这段时期,他经历了世界大战,帝国崩溃了。1919年,他名扬天下,魏玛共和国在动荡中建立起来。他离开德国时,共和国也衰亡了。

荣誉会招来嫉妒与憎恨,爱因斯坦也不例外。这方面,那些敌视的反应尤为强烈,因为在那骚动的环境中他处于那样显赫的地位。整个20世纪20年代,他都是一个鹤立鸡群的人物,原因很多。他是圣者,是科学旗手,也是德国制度(establishment)的重要



代言人；他走遍了世界——穿越整个欧洲，到日本，巴勒斯坦，穿过美洲大陆，他敢于为诸如和平及犹太人命运之类的问题大声疾呼。

爱因斯坦在制度中的作用，首先是为了尽他对科学的责任，其中有许多行政事务。他用心做好所有的事情，有些工作还令他愉快。作为著名的普鲁士科学院的一名院士，爱因斯坦经常在它的《报告》上发表文章，忠实地参加物理学部的会议以及全体院士的会议，担任委员会成员，裁决提交给《报告》的有疑问的稿件[K2]。1916年5月，爱因斯坦继普朗克之后任德国物理学会主席，直到1918年5月31日由索末菲接任。在这期间，他主持了学会的18次会议，并做过多次演讲。1916年12月30日，帝国法令批准，他被任命为物理技术研究所（一个联邦机构）的理事，参与审议确定实验计划[K3]。离开德国以前，他一直担任这个职务。1917年，他开始负责威廉皇家物理研究所的工作，这基本上是个行政职位。研究所最初的工作是管理各大学的物理研究费用。<sup>①</sup>（爱因斯坦 313 离开德国后，它才成为研究机构。）1922年，科学院任命爱因斯坦为波茨坦天体物理实验室理事会成员[K4]。同年，他又被提名为爱因斯坦基金会主席，这是一个旨在推动广义相对论实验验证工作的基金组织，就坐落在实验室大院内，这是一座样子有些古怪的新建筑，人们叫它爱因斯坦塔楼。它的主要设备爱因斯坦望远镜是专为太阳物理实验设计的。爱因斯坦在柏林大学没有正式职位，不过也偶尔去上课、主持讨论班。在他心里还总感觉欠着苏黎世什么，从1919年1月到6月，他在苏黎世大学开了系列讲座，以

---

<sup>①</sup> 早些年，只有天文学家弗洛因德里希是这个机构的自然科学成员，他给爱因斯坦和另外一些人惹过不少麻烦[K4]。

了却自己的心愿。

爱因斯坦在荷兰还有一个教授职位,1920年6月24日,荷兰皇家为他在莱顿特别安排了一个职位,他可以在方便时来那所大学作短期访问。1920年10月27日,爱因斯坦为这个新职位作了关于以太和相对论的演说。<sup>①</sup>后来,在1921年11月、1922年5月、1924年10月、1925年2月和1930年4月,他多次回到莱顿,做过几次演讲。他在这里感到很舒适,常常穿着短袜和汗衫在周围散步[U1]。原先约定聘期为3年,但一直延续到1952年9月23日才正式终止[B2]。

然而,在20世纪20年代,爱因斯坦的物理学并不仅仅体现在管理人员和教授的职位上,也是他的娱乐,他和米萨姆(Mühsam)测量了毛细管的直径;和戈德施密特(Goldschmidt)发明了助听器;和西拉德设计了几种制冷装置,<sup>②</sup>(关于这些,更多的内容请参阅第29章)。但是除上述那些事情而外,爱因斯坦的主要兴趣依然在物理学的原理问题上,我们在下一节将回来讨论这个题目。现在先说说爱因斯坦在柏林的其他活动。

第一次世界大战初,爱因斯坦第一次公开宣扬和平理想,从那时起,他就一如既往,因而引来众多的敌人。战争期间,柏林军事区参谋部长官写信给柏林市警察局长指出,允许和平主义者出国是极其危险的。随信附上的著名和平主义者名单上就有爱因斯坦

---

① 演讲稿[E39]发表时把日期弄错了。爱因斯坦用以太指引力场(可能有人会奇怪,这个新名字恰当吗?)“广义相对论中的以太,是一种没有力学和运动学性质的介质,但是它协同[其他因素]决定力和电磁的事件。”

② 爱因斯坦还与荷兰的一家叫“吉洛(Giro)”的技术贸易公司一起,申请了一项回转罗盘的专利(德意志帝国专利394677)[M2],他做这项工作的时间是20世纪20年代中期。

的名字[K5]。第一次世界大战后,爱因斯坦这位坦率的超国家主义者成为越来越多的德国沙文主义者憎恶的对象。

爱因斯坦把自己的和平主义看成是一种直觉的感受,而不是一种思想理论的结果[N8]。早期,他的主要理想之一是建立一个联合的欧洲国家,因此,他成为新祖国同盟(后来改名为德国人权同盟(German League for Human Rights))的积极分子。这个组织自1914年成立以来,一直提倡欧洲统一。1928年,他成为该组织理事会成员。1923年,他参与建立了新俄罗斯之友(Freunde des Neuen Russland)[K6],尽管这个组织主要热心于文化交流,但从未放弃对政治的关注[K7]。20世纪20年代末,爱因斯坦的和平主义更加激进,他开始表示拥护无条件拒服兵役的主张,在他签名的大量宣言中,有几个是要求普遍和全面裁军的宣言。在致1931年反战者国际大会的信中,他表示,人民应该把裁军问题从政客和外交家的手中接管过来[N9]。 314

在给阿达玛的信中,爱因斯坦说,他不敢给非洲土著部落宣讲他的战争抵制信条,“因为在治疗发生作用以前,病人早就死了”[E40]。他费了很长时间来诊断欧洲疾病的严重性(在这个问题上,他并不是例外的)。诚然,1932年,他在致德国社会党和共产党的呼吁书上签了字,呼吁他们联合起来阻止德国“成为法西斯的可怕危险”[K8],但是,直到1933年5月,希特勒上台3个月后,爱因斯坦还在坚持绝对的反战主义立场。后来,如我们将在25b看到的,他改变了观念。

爱因斯坦对犹太人命运的积极关注也是在柏林开始的。对他来讲,这种关注绝不与他的超国家主义理想相矛盾。1919年10月,他写信给物理学家爱泼斯坦(Paul Epstein):“一个国际主义的

头脑也可以充满对民族的关心”[E41]。12月,他给埃伦费斯特写信说:“这里反犹主义势力猖獗,政治反应强烈”[E42]。德国对最近刚从波兰和俄国的悲惨命运中逃出来的犹太人的态度,令他感到非常愤慨,<sup>①</sup>“煽动人民来反对这些不幸的逃亡者……已经成为一种有效的政治武器,每一个蛊惑人心的政客都在成功地运用着它”[E42a]。爱因斯坦对他们的处境深有感触,因为确实有一些难民找上门来请求他的帮助。对爱因斯坦来说,只有这些犹太同胞得到关怀,他的超国家主义才能实现。在这里,我们又一次看到,病人还没得到医治,就可能(实际上常常是)已经死了。

还有一件事令爱因斯坦恼火,“我总为那些不顾尊严而渴望和追求同化的人感到难过,而我已经在太多的我的(犹太)朋友那里看到了……这些事情和其他类似的事件,它唤起了我作为一个犹太人的民族感情”[E43]。我相信,爱因斯坦认同感的最强大的源泉,首先是来自科学,其次就来自他要做一个犹太人。随着岁月流逝,这一点不断加强,这种忠诚没有宗教色彩。1924年,他成为柏林犹太人大会缴会费的会员之一,但这只是为了团结。在他看来,犹太复国主义首先是争取个人尊严的一种形式。他从没加入过犹太复国主义者的组织。

对爱因斯坦的犹太感情的觉醒,有一个人比其他人有着更大的影响,他就是布卢门费尔德(Kurt Blumenfeld)。从1910年到1914年,他是世界犹太复国主义组织执行秘书长,那时,组织的总部设在柏林。从1924年到1933年,他任德国犹太复国主义者联

---

<sup>①</sup> 他们的流入,在柏林格外引人注目。1900年,92000个柏林犹太人,11000个是“东方犹太人(Ostjuden)”。到1925年,这两个数变成172000和43000[G1]。

盟主席。本一古里安称他是犹太复国主义运动的最伟大的精神革命家,他是第七代解放了的自由德国犹太人。在一篇优美的文章里,布卢门费尔德写了他 1919 年与爱因斯坦的谈话,也写了他“试图去揭示人的本来面目,而从不想向人灌输人的本性以外的东西”的努力[B3]。后来,爱因斯坦常常请他为自己起草有关犹太复国主义思想的讲话。也正是布卢门费尔德,说服爱因斯坦应该同魏茨曼去访问美国(1921 年 4 月 2 日至 5 月 30 日),为未来的希伯来大学募集资金。布卢门费尔德知道自己在同什么人打交道。说服爱因斯坦后,他写信给魏茨曼说:“你知道,爱因斯坦不是犹太复国主义者,我请你不要劝他加入我们的组织……我听说……你希望爱因斯坦发表演说,这一点请你慎重。爱因斯坦……常说些幼稚的话,我们可不欢迎这样”[B4]<sup>①</sup>。至于爱因斯坦与魏茨曼的关系,爱因斯坦有一次对我说:“Meine Beziehungen zu dem Weizmann waren, wie der Freud sagt, ambivalent.”<sup>②</sup>

爱因斯坦在 20 世纪 20 年代的奇异而复杂的生活画卷逐渐在我们面前展开,他中年的变化越来越清晰:学者、科学管理者、客座教授、积极的和平主义者、道义上的犹太复国主义发言人,以及在美国的募捐者。尽管名义上他还是瑞士公民,<sup>③</sup>德国依然宣扬他们是他们最杰出的公民。他因和平主义而受当局怀疑,他是来自右翼的反犹主义者的攻击目标。他为那些主张同化主义的德国犹太人而恼火,因为他不能对犹太人的自我表现保持沉默。在这样的环境下,我们不会奇怪,爱因斯坦有时也很难坚持自己的观点,如

---

① 这封信的部分内容见[B3](日期错了),全文在[B5]中。

② 我与魏茨曼的关系,正如弗洛伊德所说的,曾是矛盾的。

③ 尤其是围绕着授予爱因斯坦诺贝尔奖的事,请参见第 30 章。

下两个例子可以说明。一个是 1920 年的骚乱,另一个是国际联盟。

1920 年 2 月 12 日,爱因斯坦在柏林大学演讲时,爆发了一次骚乱。官方事后的解释是,会场太小,座位不够。在给报社的声明中,爱因斯坦指出,存在某种直接冲他而来的敌意,它不一定来自反犹太主义者,尽管可以这么解释[K9]。

1920 年 8 月 24 日,一个新成立的组织,德国自然研究者研究小组(Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher),在柏林最大的音乐厅召开大会,目的是批判相对论的内容和它的作者为它进行的无聊的宣传,<sup>①</sup>爱因斯坦也出席了。3 天后,爱因斯坦在《柏林日报》头版回答那些批判[E44]。他指出,如果他是“一位德国公民,不管有没有纳粹十字装饰(卐),只要不是有自由和国际主义倾向的犹太人”,反对者就会完全两样地看待他。他援引了如洛伦兹、普朗克、爱丁顿等权威对他工作的支持,并且公开蔑视勒纳德。人们还是有同情心的,从那时起,勒纳德已逐渐成为德国所有科学家(无论地位高低)中最卑劣的小人。但是,不管怎样,爱因斯坦的文章苍白无力,一点也不像以他的名义发表的其他文章。9 月 6 日,德国文化部长写信给爱因斯坦,对 8 月 24 日事件深表遗憾[K10]。9 月 9 日,爱因斯坦给玻恩写信说:“不要对我太苛刻,在改变愚昧的过程中,有时每一个人都免不了有一些牺牲……而我献出了我的文章”[E45]。

从 9 月 19 日到 25 日,全德自然研究者与医生协会在瑙海姆

---

<sup>①</sup> 该组织后来出版了一本名为《反爱因斯坦百人集》(100 Autoren Gegen Einstein)的书[I2]。

温泉(Bad Nauheim)举行会议,爱因斯坦和勒纳德都出席了。官方记录只说,他们陷入关于相对论的无用但友好的争论[E46]。不过,玻恩却记得,勒纳德用满怀恶毒和露骨的反犹主义思想攻击爱因斯坦[B6],而不久爱因斯坦也向玻恩保证,他不会再像在瑙海姆那样激动了[E46 a]。会议大楼被武装警察把守着[F4],但是没有发生什么事故。

当然,爱因斯坦离开德国另找一个好地方可能是很容易的,他没有这样做,是因为“柏林是我与人类和科学联系最密切的地方”[E46b]。

应法兰西学院的邀请,爱因斯坦 1922 年 3 月去巴黎,与那里的物理学家、数学家、哲学家一起讨论他的工作。那时,法国和德国的关系还很紧张,这次旅行立刻遭到两个国家的民族主义者的尖锐批评。为避开示威游行,爱因斯坦在巴黎郊外的车站下了火车[L6]。访问后不久,爱因斯坦应邀成为国际联盟学术合作委员会的委员。德国直到 1926 年才加入这个联盟,所以爱因斯坦又一次处于众目睽睽之下。6 月 24 日,刚上任几个月的德国外交部长拉特瑙被谋杀,他是犹太人,和爱因斯坦很熟。7 月 4 日,爱因斯坦写信给玛丽·居里,说他必须退出委员会,因为拉特瑙的遇害表明,强烈的反犹思潮使他不能做一名合格的委员[E47]。一周以后,他又写信给她,说他想放弃科学院的位置,想一个人住到别的地方去[E47]。同月下旬,他又以“我在犹太事业中的作用,更一般地,我的犹太身份(nationality)”为辞职理由[E48],然而,他还 317 是被劝留了下来。1923 年 3 月,在法国与比利时军队占领鲁尔区不久,爱因斯坦再一次提出辞职,他声明国际联盟既没有良好的愿望也没有力量去完成它伟大的使命[E50]。1924 年,他又重新加

入联盟,因为他现在感到,“他曾受一种沮丧心情所支配,而没有清醒地考虑过”[E51]。<sup>①</sup>

显然,20世纪20年代早期,爱因斯坦的生活和情绪受当时德国的冲突与动乱的强烈影响。1922年10月8日,他和妻子去国外旅行了5个月。“拉特瑙被谋杀后,我特别愿意能有机会长期离开德国,远离日趋严重的危险”[K11]。在科伦坡、新加坡、香港、上海作了短暂访问之后,他们在日本逗留了5个星期。途中,爱因斯坦听说他被授予诺贝尔奖。<sup>②</sup>归途中,他们在巴勒斯坦停留了12天,然后访问了西班牙,最后,于1923年2月回到柏林。他们的另一次旅行是在1925年5、6月,这次,他们到了阿根廷、巴西和乌拉圭。从新加坡到蒙得维的亚,无论走到哪儿,他们都受到当地犹太组织的盛情款待。

人们可能会说,这才是真正的生活。接着,爱因斯坦该付出代价了。1928年初,在瑞士楚奥茨(Zuoz),他因过度疲劳,身体一下子垮了下来,诊断为心脏肿大。他被迅速地送回柏林,卧床4个月。他几乎用了一年来的恢复健康,但还是很虚弱。“有时……他似乎喜欢病房的环境,因为他可以在那里不受打扰地工作”[R1]。

患病期间,准确地说是1928年4月13日,星期五,海伦·杜卡斯开始为爱因斯坦工作。她是后来爱因斯坦的能干而可信赖的秘书,并成为这个家庭的一员。

1929年夏天,爱因斯坦在柏林附近的卡普特(Caputh)的一个小村庄买了一小块地,离宽阔的哈韦尔(Havel)河只有几分钟的

---

<sup>①</sup> 1927年,爱因斯坦、居里和洛伦兹为委员会准备一份有关国际气象总局的报告[E52]。爱因斯坦最后一次向委员会提出辞职是在1932年4月[D2]。

<sup>②</sup> 参见第30章。



路。在这里，这一家人建了一幢小别墅。那是在爱因斯坦 50 岁生日刚过不久，<sup>①</sup>他的几个朋友来庆祝别墅落成，并送给爱因斯坦一艘小船。在哈韦尔河上泛舟成为他最喜欢的娱乐。

刚恢复健康，爱因斯坦又开始旅行生活。1930 年 12 月到 1931 年 3 月，他访问了加州工学院，1931 年 12 月到 1932 年 3 月，他再次去那儿访问，<sup>②</sup>这正是德国的局势开始恶化的岁月。1932 年 12 月，爱因斯坦再次离开德国去加利福尼亚。在关闭卡普特别墅的大门时，爱因斯坦转身对爱尔莎说：“Dreh dich um. Du siehst’s nie wieder”，回头看看吧，你将再也看不到它了。真是这样的，后来的事情，我们在 25b 说。

我用哈里(Harry)[即克斯勒伯爵(Count Kessler)，魏玛时期柏林生活的记录者]所讲的一则趣闻来结束爱因斯坦在柏林的故事。1930 年的某一天，雕塑家马约尔(Mailol)来到柏林，爱因斯坦应邀出席为他举行的欢迎午宴。当爱因斯坦进来时，马约尔看到了：“Une belle tête; c’est un poète?”<sup>③</sup>克斯勒对我说：“我只好向他解释爱因斯坦是什么人；显然，他从未听说过他”[K12]。

## 16e. 后来的著作

**1. 文化之人** 爱因斯坦在完成广义相对论前，发表的文章都是科学研究或科学评论方面的，只有极少数例外：一篇是 1913 年

---

① 柏林市想送他一所避暑住宅，但多次争论后，(它们并非都是好笑的)，计划落空了[R1]。

② 这主要是因为密立根，他自 1924 年就一直劝爱因斯坦在帕萨迪纳住一段时间[M3]。

③ 法文：多美的头啊，他是诗人吗？——译者

为庆贺普朗克写的文章[E53],一篇是对布里尔(Brill)和洛伦兹所著相对论小册子的评论[E53a]。以后,他的文章变了,最初变得很慢,从1916年到1920年,我们会看到他早期的一些对马赫、施瓦兹席尔德、斯莫鲁霍夫斯基和阿龙等人的颂扬;更多的是对别人工作的评论,例如,评洛伦兹在巴黎的演讲[E54],评亥姆霍兹关于歌德的演讲[E55]和外尔的相对论著作[E56]。1920年后,这种变化更显著了,这时,他开始关注公共事物、政治问题和教育问题,写了大量文章,其重要文章多次被收集在各种爱因斯坦文集中,在这里我就不多谈了。

1920年后,爱因斯坦常爱写评述科学巨人的文章。当然,为纪念开普勒[E57]、牛顿[E57a]和麦克斯韦[E58],他是最有资格写的。在这些文章里,他强调的是一般性原理。别的场合,他又明显地喜欢就具体的问题写文章,不管它是理论的,还是实验的。比如,关于开尔文[E59]和瓦尔堡的文章[E60]。他曾在洛伦兹墓前演讲,也在其他场合纪念他[E61]。他悼念过[E62]埃伦费斯特、居里夫人、能斯特、朗之万、普朗克以及朱利叶斯[E63]、爱迪生[E64]、迈克尔逊[E65]和诺特[E66]。他还写文章赞扬阿拉戈[E67]、纽康[E68]和他的朋友伯林纳(Berliner)[E69]。正如我以前所说,这些人物素描充分展示了爱因斯坦对人的敏锐洞察力,从而也构成了爱因斯坦本人的各个侧面,同时也说明,他的物理学兴趣远远超越了他自己的研究领域。

爱因斯坦一生都对哲学感兴趣。中学时,他就读过康德。他和伯尔尼的朋友们研究了斯宾诺莎的《伦理学》、休谟的《人性论》、密尔(Mill)的《逻辑体系》、阿芬那留斯(Avenarius)的《纯粹经验批判》以及其他哲学著作。如我在第1章所说的那样,爱因斯坦喜

欢音乐,我们方便地称他为音乐家;当我们说他是哲学家时,也是同样的道理。有一次,他说:“不是所有的哲学著作都似乎写得很迷人吗?当人们关注它的时候,它看来是很奇妙的,但当人们再看它时就什么都没有了,只剩下一堆废话”[R2]。

尽管爱因斯坦对哲学的兴趣和影响都很强烈,但他本人从未写过一篇从专业上看可以称为哲学的文章。不过,1920年后,他偶尔也为哲学著作写些介绍和评论。他对温伯格(Weinberg)[E71]和温特尼茨(Winternitz)[E70]有关认识论的著作的评论,表明他很熟悉康德。1922年,他与法国哲学家的谈话记录也说明了这一点。当时,有位哲学家提出,爱因斯坦的思想可能和康德思想有联系,爱因斯坦回答说:

关于康德的哲学,我相信,每一个哲学家都有他自己的康德……为构建科学,任意的概念都是必要的。至于这些概念是先验给定的,还是任意约定的,我无话可说。[E72]

从爱因斯坦为伽利略的《对话》(*Dialogue*)[E73]的新译本写的序,我们看到,他曾读过柏拉图。他还为卢克莱修(Lucretius)的《物性论》(*De Rerum Natura*)的新德译本写过序[E74]。他熟悉罗素的知识理论[E75]。他的哲学兴趣还体现在他对迈耶逊《相对论的推论》(*La Déduction Relativiste*)的评论和他为普朗克[E77]和弗兰克[E78]的著作写的序中。在东方哲学家中,他最欣赏孔子。有一次,在普林斯顿,他在禅宗的讲座上睡着了,也许,那天晚上他太累了。

爱因斯坦晚年仍然保持着对哲学的崇敬感。1944年,他在给

克罗齐(Benedetto Croce)的信中说到：“我不会认为哲学与理性本身在可预见的未来会成为人的向导；不过，它们还将一如既往地是我们选择的最美好的殿堂”[E79]。

在众多表现爱因斯坦作为文化人的材料中，我再选两段来说明。

第一段话是爱因斯坦对他的先驱者之一麦克斯韦的赞扬[E58]。在爱因斯坦看来，麦克斯韦是一个革命者，纯粹的力学世界图景毁于一场“永远与法拉第、麦克斯韦、赫兹的名字紧密相连的伟大革命。这场革命的最大功劳是属于麦克斯韦的……麦克斯韦时代以后，物理实在被认为表现为连续场……实在性概念的改变是物理学自牛顿以来经历的最深刻、最富有成果的变革。”在其他地方，爱因斯坦关于麦克斯韦写到，“想象一下吧，当他建立的微分方程向他表明，电磁场以偏振波形式以光速  $c$  在空间扩展，他会有怎样的感觉啊！”[E80]。

第二段话是关于宗教观点的[E81]。“一个宗教者的虔诚，在于他从不怀疑那些既不需要也不可能具有理性基础的超越个人的目的和目标的意义。”这样，照爱因斯坦看来，“科学与宗教之间不可能存在正当的冲突……没有宗教的科学是瘸子，没有科学的宗教是瞎子。”按爱因斯坦个人的说法，他自己当然是一个具有深深的宗教感情的人。

2. 科学之人 随着1915年11月引力场方程的建立，经典物理学(也就是非量子物理学)达到了完美境界，爱因斯坦的科学生涯也达到了顶点。以后，他的作品没有表现出任何突然下降的迹象。从1916年到1920年，尽管病得很重，他在相对论和量子理论的研究成果依然是丰硕的。1920年后出现了一点衰退，到1924

年底他又活跃起来(单原子气体的量子理论)。从那以后,他的创造期突然终止了,尽管在后来30年中,他的科学探索从来没有间断过。

谁能估量,爱因斯坦在20世纪20年代的不安定生活在多大程度上导致或影响了他的创造力的衰退?有许多影响显然不是凭他的意志所能决定的:年龄、疾病、过多的行政事务、国际声誉以及魏玛共和国早期的动荡。同时,从他1916年后的著作中我看到,创造的紧张程度自然地减弱了。他的社会活动,无疑一方面是因为他内心强烈的愿望,另一方面也因为客观对他的要求,其中很大部分来自名望的重负。我不太清楚,假如他还像早年那样为物理学倾注全部心血,他对这些压力会有多大反应。我觉得,1916年以后,爱因斯坦最终还是为他生活的这个世界耗费了他的精力。从克斯勒的年表[K12]和凯泽尔的传记[R1]我们看到,柏林的社交生活和与拉特瑙、斯特里斯曼(Stresemann)<sup>①</sup>、白里安<sup>②</sup>以及后来还有丘吉尔和罗斯福等政治家的谈话,都给爱因斯坦带来过极大的乐趣。爱因斯坦在20世纪20年代初写的信[不在普林斯顿档案]表明,有好几年,他强烈地爱恋着一位少妇,向她倾吐了也许在他两次婚姻中都没能感受到的激情。这段插曲于1924年结束,当时,他给她写信说,他不得不向星空寻找,究竟是什么毁了他。这句话,正好写在量子力学发现的几个月前,这时候,年轻的一代

---

① Gustav Stresemann(1878—1929),德国政治家,曾任大联合政府总理,后任外交部长,1925年签订《洛迦诺公约》。主张德法和解,1926年与白里安共享诺贝尔和平奖。——译者

② Aristide Briand(1862—1932),法国政治家、外交家。曾六任法国总理,1925年签订《洛迦诺公约》,主张对德友好,1926年与斯特里斯曼共获诺贝尔和平奖。——译者

物理学家已经站在了物理学的前沿,而爱因斯坦还在走他自己的路。

我们再回来谈爱因斯坦的物理学。主要有两个方面还需要讨论:统一场论和量子理论。我将先说爱因斯坦在统一场论的工作,因为它是广义相对论——我们大谈一举成名的爱因斯坦博士前所讨论的最后一个科学题目——所产生的自然结果。然后,我再谈爱因斯坦和量子理论,再一次从1905年的事情说起,直到他生命的最后几天。

爱因斯坦1928年给埃伦费斯特的信中的一句话,可以用来作为他后来著作的题记:

我比以往更不相信事件的基本统计性质,我已经决定,在远离现在喧嚣的道路上,发挥我仅有的一点力量。[E82]

### 参考文献

A1. *Algemeen Handelsblad*, November 10, 1919.

B1. B. Bertotti, D. Brill, and R. Krotkov in *Gravitation* (L. Witten, Ed.), p. 1. Wiley, New York, 1962.

321 B2. A. M. Bienfait-Visser, letter to A. Pais, February 12, 1980.

B3. K. Blumenfeld in *Helle Zeit, dunkle Zeit*, p. 74. Europa Verlag, Zürich, 1956.

B4. —, letter to C. Weizmann, March 15, 1921; *ETH Bibl. Zürich Hs. 304*, 201—204.

B5. —, *Im Kampf um den Zionismus*, p. 66. Deutsches Verlag Anst, Stuttgart, 1968.

B6. M. Born in *Einstein-Born Briefwechsel*, p. 60. Nymphenburger, Munich, 1969.

C1. C. Chaplin, *My Autobiography*, p. 346, The Bodley Head, London,

1964.

- D1. F. W. Dyson, *M. N. Roy. Astr. Soc.* **77**, 445 (1917).
- D2. A. Dufour, letter to A. Einstein, April 23, 1932.
- E1. A. Einstein, letter to M. Besso, December 10, 1915; *EB*, p. 59.
- E2. —, letter to P. Ehrenfest, February 14, 1917.
- E3. —, letter to H. A. Lorentz, April 23, 1917.
- E4. —, letter to H. Zangger, March 10, 1917.
- E5. —, letter to M. Besso, May 13, 1917; *EB*, p. 114.
- E6. —, letter to M. Besso, September 3, 1917; *EB*, p. 121.
- E7. —, letter to H. Zangger, December 6, 1917.
- E8. —, letter to P. Ehrenfest, November 12, 1917.
- E9. —, letter to M. Besso, January 5, 1918; *EB*, p. 124.
- E10. —, letter to D. Hilbert, undated, April 1918.
- E11. —, letter to H. Zangger, undated, early 1918.
- E12. —, letter to P. Ehrenfest, May 8, 1918.
- E13. —, letter to M. Besso, August 20, 1918; *EB*, p. 132.
- E14. —, letter to P. Ehrenfest, December 6, 1918.
- E15. —, letter to M. Besso, December 4, 1918; *EB*, p. 145.
- E16. —, letter to C. Seelig, May 5, 1952.
- E17. —, letter to P. Ehrenfest, September 12, 1919.
- E18. —, letter to M. Besso, July 26, 1920; *EB*, p. 151.
- E19. E. Einstein, letter to P. Ehrenfest, April 5, 1932.
- E20. A. Einstein, letter to M. Born undated, probably 1937; *Einstein-Born Briefwechsel*, p. 177. Nymphenburger, Munich, 1969.
- E21. —, *Lettres à Maurice Solovine*, p. 134. Gauthier-Villars, Paris, 1956.
- E22. —, letter to V. Besso, March 21, 1955; *EB*, p. 537.
- E23. —, letter to P. Winteler and family, undated, May 1919.
- E24. E. Einstein, letter to P. Ehrenfest, December 10, 1919.
- E25. A. Einstein, letter to H. Zangger, undated, January 1920.
- E26. —, letter to H. Zangger, undated, March 1920.
- E27. —, postcard to P. Einstein, September 27 1919.

- E28. —, *Naturw.* **7**, 776 (1919).
- E29. —, letter to M. Besso, undated, March 1941; *EB*, p. 52.
- E30. —, *PAW*, 1915, p. 831.
- E31. —, letter to A. Sommerfeld, November 28, 1915.
- E32. J. Earman and C. Glymour, *Hist. St. Phys. Sci.* **11**, 49(1980).
- E33. A. S. Eddington, *Report on the Relativity Theory of Gravitation*. Fleetway Press, London, 1918.
- E34. —, *M. N. Roy. Astr. Soc.* **77**, 377(1917).
- E35. —, *Observatory* **42**, 119(1919).
- E36. A. Einstein, letter to C. Stumpf, November 3, 1919.
- E37. A. S. Eddington, letter to A. Einstein, December 1, 1919.
- 322 E38. A. Einstein, *Die Vossische Zeitung*, April 26, 1914.
- E39. —, *Aether und Relativitätstheorie*. Springer, Berlin, 1920.
- E40. —, letter to J. Hadamard, Sept. 24. 1929.
- E41. —, letter to P. Epstein, October 5. 1919.
- E42. —, letter to P. Ehrenfest, december 4. 1919.
- E42a. —, *About Zionism* (L. Simon, Tran.), p. 40. Macmillan, New York, 1931.
- E43. —, [E42a], pp. 41, 43.
- E44. —, *Berliner Tageblatt*, August 27, 1920.
- E45. —, letter to M. Born, September 9, 1920.
- E46. — and P. Lenard, *Phys. Zeitschr.* **21**, 666(1921).
- E46a. —, letter to M. Born, undated, autumn 1920.
- E46b. —, letter to K. Haenisch, September 8, 1920; [K1], Vol. 1, p. 204.
- E47. —, letter to M. Curie, July 4, 1921.
- E48. —, letter to M. Curie, July 11, 1921.
- E49. —, letter to M. Murray, July 25, 1922.
- E50. —, letter to the Committee on Intellectual Cooperation, March 21, 1923, *New York Times*, June 28, 1923.
- E51. —, letter to G. Murray, May 30, 1924.
- E52. —, M. Curie, and H. A. Lorentz, *Science* **65**, 415(1927).



- E53. —, *Naturw.* **1**, 1077(1913).
- E53a. —, *Naturw.* **2**, 1018(1914).
- E54. —, *Naturw.* **4**, 480(1916).
- E55. —, *Naturw.* **5**, 675(1917).
- E56. —, *Naturw.* **6**, 373(1918).
- E57. —, *Frankfurter Zeitung*, November 9, 1930.
- E57a. —, see Refs. [E8]—[E11] in Chap. 1.
- E58. — in *James Clerk Maxwell*, p. 66. Cambridge University Press, Cambridge, 1931.
- E59. —, *Naturw.* **12**, 601(1924).
- E60. —, *Naturw.* **10**, 823(1922).
- E61. —, *Mein Weltbild*, pp. 32, 35, 39. Europa, Zürich, 1953.
- E62. —, *Out of My Later Years*, Philosophical Library, New York, 1950.
- E63. —, *Astrophys. J.* **63**, 196(1926).
- E64. —, *Science*, **74**, 404(1931).
- E65. —, *Z. Angew. Chemie*, **44**, 658(1931).
- E66. —, *New York Times*, May 4, 1935.
- E67. —, *Naturw.* **17**, 363(1929).
- E68. —, *Science* **69**, 249(1929).
- E69. —, *Naturw.* **20**, 913(1932).
- E70. —, *Naturw.* **18**, 536(1930).
- E71. —, *Deutsche Literaturzeitung*, Heft 1, p. 20, 1924.
- E72. —, *Bull. Soc. Fran. Philosophie*, **22**, 91(1922).
- E73. —, foreword to *Galileo's Dialogue* (S. Drake, Tran.). University of California Press, Berkeley, 1967.
- E74. —, introduction to *Lukrez, Von der Natur* (H. Diels, Tran.). Weidmann, Berlin, 1924.
- E75. — in *The Philosophy of Bertrand Russell* (P. A. Schilpp, Ed.), p. 277. Tudor, New York, 1944.
- E76. —, *Rev. Phil. France* **105**, 161(1928).
- E77. —, prologue to M. Planck, *Where Is Science Going?* Norton, New York, 1932.

- E78. —, foreword to P. Frank, *Relativity, a Richer Truth*. Beacon Press, Boston, 1950.
- E79. —, letter to B. Croce, June 7, 1944.
- E80. —, *Science* **91**, 487(1940).
- E81. —, *Nature* **146**, 605(1941).
- E82. —, letter to P. Ehrenfest, August 23, 1928.
- F1. P. Frank, *Einstein, His Life and Times*, p. 124. Knopf, New York, 1953.
- F2. —, *Einstein, Sein Leben und Seine Zeit*, p. 106. Vieweg, Braunschweig, 1979.
- F3. —, [F2], p. 290.
- F4. —, [F2], p. 275.
- G1. P. Gay, *Freud, Jews and Other Germans*, p. 172. Oxford University Press, New York, 1978.
- H1. F. Herneck, *Einstein Privat*, p. 29. Der Morgen, Berlin, 1978.
- I1. J. Ishiwara, *Einstein kōen roku*, p. 193. Tokyo-Tosho, Tokyo, 1978.
- I2. H. Israel, E. Ruckhaber, and R. Weinmann(Eds.), *100 Autoren Gegen Einstein*. Voigtlander, Leipzig, 1931.
- K1. C. Kirsten and H. J. Treder, *Einstein in Berlin*, Vol. 1, documents 148–160. Akademie Verlag, Berlin, 1979.
- K2. —, [K1], Vol. 1, documents 59–68.
- K3. —, [K1], Vol. 1, documents 81–87.
- K4. —, [K1], Vol. 1, pp. 22, 54, 58.
- K5. —, [K1], Vol. 1, p. 198.
- K6. —, [K1], Vol. 1, p. 215.
- K7. —, [K1], Vol. 1, p. 219.
- K8. —, [K1], Vol. 1, p. 223.
- K9. —, [K1], Vol. 1, p. 202.
- K10. —, [K1], Vol. 1, p. 210.
- K11. —, [K1], Vol. 1, p. 231.
- K12. H. Kessler, *In the Twenties*, p. 396. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1976.

- L1. H. A. Lorentz, letter to A. Einstein, March 22, 1917.
- L2. —, telegram to A. Einstein, September 27, 1919.
- L3. —, letter to P. Ehrenfest, September 22, 1919.
- L4. —, telegram to A. Einstein, November 10, 1919.
- L5. *London Times*, June 14, 1921.
- L6. J. Langevin, *Cahiers Fundamenta Scientiae*, No. 93, 1979.
- M1. D. F. Moyer in *On the Path of Albert Einstein*, p. 55. Plenum Press, New York, 1979.
- M2. K. von Mayrhauser, letter to A. Einstein, October 11, 1926.
- M3. R. Millikan, letter to A. Einstein, October 2, 1924.
- N1. *New York Times*, August 16, 1914.
- N2. *Nature* **94**, 66(1914).
- N3. *New Catholic Encyclopedia*, McGraw-Hill, New York, 1967.
- N3a. *Nieuwe Rotterdamsche Courant*, November 9 and 11, 1919. 324
- N4. *New York Times*, December 21, 1919.
- N5. *New York Times*, December 3, 1919.
- N6. *New York Times*, November 16, 1919.
- N7. *New York Times*, January 28, 1919.
- N8. O. Nathan and M. Norden, *Einstein on Peace*, p. 98. Schocken, New York, 1968.
- N9. —, [N8], p. 141.
- O1. *Observatory*, **42**, 256(1919).
- O2. *Observatory*, **42**, 389(1919); see also, *Proc. Roy. Soc* **96A**, i(1919).
- R1. A. Reiser, *Albert Einstein*. Boni, New York, 1930.
- R2. I. Rosenthal-Schneider, *Reality and Scientific Truth*, p. 62. Wayne State University Press, Detroit, 1980.
- S1. N. Saz, *Forschungen d. Päd. Hochsch.*, 'Karl Liebknecht', *Naturw. Reihe B*, No. 14, p. 59.
- S2. W. de Sitter, *Observatory* **39**, 412(1916).
- S3. —, *M. N. Roy. Astr. Soc* **76**, 699(1916); **77**, 155, 481(1917); **78**, 3, 341(1917).
- S4. C. Stumpf, letter to A. Einstein, October 22, 1919.

- T1. J. J. Thomson, *Proc. Roy Soc.* **96A**, 311(1919).
- T2. M. Talmey, *The Relativity Theory Simplified*, p. 164. Falcon Press, New York, 1932.
- U1. G. E. Uhlenbeck in *Some Strangeness in the Proportion* (H. Woolf, Ed.), p. 524. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1980.

## 第 17 章 统一场论

325

### 17a. 1920 年前后的粒子和场

爱因斯坦是在一个星期一的清晨去世的。就在前一天,他还让人将自己最近刚写的几页统一场论的计算草稿拿给他。他一直惦念着自己未竟的事业,直到弥留之际,他知道自己离死神不远了。统一场论就这样伴着他的一生。早在近 40 年前,他曾写信给 F. 克莱因:

尽管我们用简单性原则从自然界选择复杂[现象],但是没有任何根据说明这种理论方法是永远恰当的(充分的)。例如,牛顿的理论用势  $\phi$  以貌似完整的方式表示引力场,这种描述被证明是不够完全的; $g_{\mu\nu}$  函数取代了它。但我毫不怀疑,总有一天,因为我们现在还不能想象的理由,会出现另一个新的描述来代替现在这一个。我相信,这种理论代谢的深化过程是没有尽头的。[E1]

这是 1917 年,在他开始寻找引力和电磁力的统一之前不久写的。那时,凭着正确的直觉,他知道如何从自然界中挑选出复杂性来指引他的科学道路。虽然那时他已经强烈地感到了数学的优美,但

是他不相信,单纯的形式论证能够作为物理学的下一次进步所依据的路标。因此,当1917年后期,克莱因写信向他谈到麦克斯韦方程的共形不变性时[K1],他回信说:

我确实感觉到你过高估计了形式化思想的价值。当一个已经发现的[他用的黑体]真理需要建立最终形式时,它们可能有用,但却几乎总是不能帮助我们去发现[真理]。[E2]

326 在他的后30多年里,再没有比他在这一点上完全改变立场更令人吃惊的了。我以为,他后来对形式简单性的过分依赖对他并没有什么好处,尽管我不接受某些人的观点,认为这种变化是一个悲剧。爱因斯坦的科学生涯中没有悲剧,尽管他的工作有的将永世铭刻,而有的也将被遗忘。无论如何,爱因斯坦开始统一场论的计划时,完全是出于物理学的动机。为看清这一点,我们得先来看看在1920年前后的粒子和场的物理学。

在20世纪第二个10年里,理论物理学取得了最高水平的进步。卢瑟福发现原子核,玻尔发现原子的量子理论,爱因斯坦发现广义相对论。这个时代也向人们展示了一个最为惊人的事例,让人们看到,物理学家是如何会暂时被他们凭着简单性从自然中选出来的复杂东西引入歧途的。由质子和电子构成的原子核模型便是这样的一个例子。

卢瑟福发现了质子(1919年命名),即最轻的原子的核。玻尔首先认识到 $\beta$ 衰变是一种电子从核中脱离的过程。当时,人们自然地假定,核重几乎完全归于组成的质子数,它等于质量数,而质

量数与电荷数之差则等于组成的电子数,还有比这个更显而易见的吗?他们一定以为原子核“有很复杂的结构……由带正电荷的粒子和电子组成,在目前情况下讨论核自身的可能结构还为时太早(而且也不会有什么结果)”[R1],这就是卢瑟福在1914年3月19日举行的皇家学会会议上所表达的对原子结构的看法。即使卢瑟福很谨慎,他在力的特性上,也只有一个选择。1914年他又写道:“原子核尽管小,自己却是一个很复杂的系统,由正电荷与负电荷被强大的电力(我加的黑体)紧紧地束缚在一起”[R2]。他猜想,核结合能是一种电磁效应。“如洛伦兹所指出的,电荷粒子如果彼此很靠近,那么[它们构成的]电系统的质量将不仅依赖于这些粒子的数目,还依赖于它们的场的相互作用方式。由于我们所考虑的正负电子[正电子为质子]的线度[很小],为了产生由于这个原因引起的可以察觉到的质量变化,[粒子的]聚集一定是很紧密的。这一点可能解释了某种事实,比如,氮原子的质量并没有氢原子质量的4倍”[R3]。

这样,原子内的力,不论边缘的还是中心的,最初都被认为是属于电的,这是很自然的想法。特别是,原子核的发现是从 $\alpha$ 散射的观察开始的,粒子在原子的散射受它与点状原子中心的库仑相互作用的支配。直到1919年,这些散射实验才第一次暗示,所有的力都不是电的[R4]。1921年,实验才不容置疑地证明,在短距离上 $1/r^2$ 的力作用定律失效了。“我们的任务是发现一些能表达这些效应的力场……目前的实验……表明这些力是非常强的”[C1]。最后这几个字(我强调的),据我所知,是文献中说明存在强相互作用的第一个例子。这是查德威克(James Chadwick)的第二个大发现。他的第一个发现是在1914年:初级 $\beta$ 光谱是连续的

[C2]。进入 20 世纪 20 年代相当一段时期后，人们相信这种连续性有次要的原因。中微子假定是 1929 年才提出来的。

这样，核物理学从没有中子的原子核和没有中微子的  $\beta$  衰变开始了。物质由质子和电子构成，既不存在弱相互作用，也不存在强相互作用，当初就只有一种电磁作用；当然，别忘了，还有引力作用。

引力，把我们带回到统一场理论来。

爱因斯坦、外尔和其他一些人开始他们的统一场论的工作时，我们可以自然地认为，他们的任务绝对包含着引力和电磁力的统一。这两种场的分离并没有显现出什么矛盾和悖论，没有出现像迈克尔逊—莫雷实验那样的疑惑，也没有像惯性质量与引力质量等价那样奇妙的巧合。不过，无论如何，提出下面的问题还是有很好的物理根据的，也是很诱人的：自然界仅有的这两种同样具有长程特性的力场，有共同的起源吗？

接着，物理学新纪元来到了。爱因斯坦既不是这个新纪元的开创者，也不是追随者。首先登台的是量子力学，接着是量子场论。新的力不得不引进，新的粒子在不断提出、不断发现。在这样的氛围下，爱因斯坦还守着引力与电磁力的统一，这是他赋予自己的最终使命。

在他去世以后，统一的追求又兴起来，内容也更广阔。但是，现在目标和方法不同了。在本章最后，我将进一步说明这种新统一蓝图的观点。下面我谈谈爱因斯坦自己为统一尽的努力。有个问题还需要说清楚：他的方法与未来的理论物理学是否相关？当然，他的工作没有产生过有物理意义的结果，从而我相信，指出（尽可能地省略细节）他寻求实现目标的两个主要方向也就够了。一



个是基于四维时空向五维流形的延拓,在 17c 讨论,另一个基于黎曼几何的推广,在 17e 讨论。在第二个问题的讨论中,我们将浏览后黎曼几何,谈谈爱因斯坦的广义相对论对数学的影响。

20 世纪 20 年代初,原子核结构尽管有趣,但也是次要的问题,而力的统一更加微不足道,量子现象提出了主要的挑战。40 328 岁的爱因斯坦在开始寻求统一时,就很明白这一点。实际上,那时他相信,统一力和解决量子疑难是相互联系着的当务之急。在后来的年月里,他成为一个孤独的统一追求者,一个孤独的量子力学的批评家。他独持己见,认为这些问题领域之间存在着联系。在这一章,我不再更多地谈爱因斯坦和量子物理学,然而到第 26 章里,还要回过来谈他所希望的以广义相对论的推广为基础的新动力学,量子力学在这个新动力学体系中将得到解释而不仅是假设。

## 17b. 又一个孕育的 10 年

1922 年 1 月,爱因斯坦完成了他的第一篇统一场论的论文。

自从 1915 年 11 月他完成广义相对论那些紧张的日子以来,发生了很多事情。他把理论用于能量-动量守恒,用于引力波,用于宇宙学;他在量子理论中引进 A、B 系数;他病了;他又结婚了。1919 年 11 月以后,他成为世界名人,他生活在德国的动乱喧嚣中;他第一次到美国旅行。那些年里,他已经在考虑统一问题了,尽管没有发表过一篇关于这个题目的论文。1918 年,他写信给外尔:“最终必将证明,作用量密度不需要相加在一起。我也在构想

别的情况”[E3]。1920年,他对埃伦费斯特说:“广义相对论没有什么进步,电磁场仍然无联系地站在那里”[E4],这句话表达了他不相信外尔的理论(在17d讨论),而认为统一是值得探索的事业。1922年他向外尔谈统一理论时认为,“我相信,为了取得真正的进步,我们还必须从自然中找出一些普遍原理来”[E5],这时他还在从物理学那里获得灵感。

那些年,他的物理兴趣不仅只限于广义相对论,无论它是正统的,还是统一理论的。他给埃伦费斯特的信总是充满令他着迷的物理思想,谈得最多的是量子理论。1921年,他兴奋地提出一个新实验来检验多普勒现象的量子效应[E6]。1922年他又被斯特恩-盖拉赫(Stern-Gerlach)实验迷住了[E7]。那些信从来没有提到他1922年1月与格罗梅合写的统一场论的文章[E8],但在那篇文章完成几周后,他谈了与格罗梅关于量子问题的工作[E9]。1923年,他同埃伦费斯特共同研究辐射平衡的量子理论[E10],又和另一位朋友<sup>①</sup>发表了他最后一篇实验物理学的论文:测定薄膜毛细管的直径[E11]。1924年末到1925年初,他的3篇关于玻色-爱因斯坦气体的论文完成了(见第23章)。

同时,对统一场论的研究,他也不懈怠。我们能看到1922年为回答卡鲁扎理论(Kaluza theory)的爱因斯坦-格罗梅论文(见17c),1923年的几篇说明爱丁顿的统一试验的论文(在17e中讨论)。但直到1925年,我们才看到他第一次真正深入这个问题,创造性地提出自己关于统一的新观点。

从此以后,爱因斯坦的科学产物的特征发生了变化。1926

---

<sup>①</sup> 参见第29章关于米萨姆的那一段。

年,他写了3篇幽默但一点也不随便的东西,是他年轻时经常发表的题目。一篇关于河流的弯曲[E12],另外两篇关于阳极射线的光发射[E13,E14],这是他的最后几篇这种风格的文章。他已进入晚年,都快50岁了。他偶尔也写些传统广义相对论的文章,诸如谈运动问题之类的。但是现在,伴随着寻找一种新理论来取代量子力学作为基本理论的地位,统一场论成为他奋斗的主要目标。我已经说过,这两个问题在他看来是密切相连的,在26e我们还会更详细地回到这一点上来。

海森伯第一篇矩阵力学的论文[H1]和爱因斯坦自己创造的第一个统一场理论[E15],都是在1925年7月完成的;1926年1月,薛定谔也完成了第一篇关于波动力学的论文[S1]。像狭义相对论和广义相对论的情况一样,爱因斯坦又经过10年的思想孕育,才真正投身到统一场中去。然而这回,最终迎来新物理学的不是他,而是别人。接下来的10年也是这样,再下个甚至更下个10年,直到他放下了自己的笔,闭上双眼,都是这样。他关于统一的工作也许完全是徒劳的,但他必须追求在他看来最重要的目标,他永远也不害怕这么做。这是他的命运。

我们接着来看,他做了些什么。先从五维理论开始。

## 17c. 第五维

1. 卡鲁扎和奥斯卡·克莱因(Oskar Klein) 这两位统一场论的先驱都是数学家。1918年,外尔提出第一个统一理论,它以黎曼几何在普通四维时空的推广为基础(见17d)。数学家、同时也是绝顶语言学家的卡鲁扎有着同样的心愿。他受外尔论文的激

发,首先提出,统一应该通过把时空推广到五维流形来实现。<sup>①</sup> 他  
330 关于这个题目的一篇论文发表于 1921 年[K2],但他在 1919 年就  
已经有这个想法了,因为那年 4 月,爱因斯坦给他写信说:“我还从  
没想过用五维的柱状世界去达成[一个统一的理论]……初步看  
来,我非常欣赏你的想法”[E16]。那时候,爱因斯坦还深深地抱  
着马赫思想,他说应该审查这个新理论,看它是否允许有一个合理  
的宇宙学问题的解。<sup>②</sup> 几周后,他又写信给卡鲁扎,“你的理论在  
形式上的和谐令人惊讶”[E18]。1921 年,他向普鲁士科学院介绍  
了卡鲁扎的工作。(我不知道这篇文章为什么拖了那么久才发  
表。)

卡鲁扎的优美的论文几乎包括了五维方法的所有要点:

(1). 引进不变线元

$$ds^2 = \gamma_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad \mu, \nu = 1, \dots, 5 \quad (17.1)$$

其中度规张量  $\gamma_{\mu\nu}$  满足两个约束条件。首先,  $\gamma_{\mu\nu}$  只与时  
空坐标  $x^i$  有关,  $i = 1, \dots, 4$ :

$$\frac{\partial \gamma_{\mu\nu}}{\partial x^5} = 0 \quad (17.2)$$

其次,设  $\gamma_{55}$  为正的数值不变量,可以标准化为

$$\gamma_{55} = 1 \quad (17.3)$$

这样,我们面临一个柱状世界,第五个坐标轴是优先选  
定的,第五方向是类空的。方程(17.3)便是著名的柱状  
条件。

---

<sup>①</sup> 1914 年诺德斯特勒姆为了统一电场和标量引力场,就已经给我们提出了一种  
五维空间[N1]。

<sup>②</sup> 像 15e 说的那样,爱因斯坦在 1919 年为了把电磁力同引力联系起来,引用了  
宇宙学项[E17]。

(2). 假定与黎曼时空子流形  $R_4$  相关的 4-矢量场  $\gamma_{i5}$  正比于电磁势。

(3). 场方程为

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\kappa T_{\mu\nu} \quad (17.4)$$

这里,  $R_{\mu\nu}$  和  $R$  是我们所熟悉的  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  及其一阶导数的函数,  $T_{\mu\nu}$  是纯电磁贡献以外的能量-动量张量。卡鲁扎只考虑了场源质量为  $m$  而电荷为  $e$  的单质点的情况,  $T^{\mu\nu} = mu^\mu u^\nu$ ,  $u^\mu = dx^\mu/ds$ , 并证明在  $\mu, \nu = i, j$  的情况下, 可以得到引力场方程; 在  $\mu, \nu = i, 5$  的情况下, 则得到麦克斯韦方程; 在  $\mu, \nu = 5, 5$  情况下, 归结为一个普遍的恒等式。为得到麦克斯韦方程, 要求  $u^5$  正比于  $e/m$ , 这样,  $mu^\mu$  是一个“动量-能量-电荷”5-矢量。

(4). 柱状世界的测地线, 可以认为是带电检验粒子在联合的引力-电磁场中的运动轨迹。

卡鲁扎只在弱场(即  $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$ ,  $|h_{\mu\nu}| \ll 1$ ,  $\eta_{55} = 1$ )和低速 ( $v/c \ll 1$ ) 的情况下证明了他的结果。克莱因又向前推进了重要一步, 他在 1926 年<sup>①</sup>证明, 这两个约束是不相关的[K3], 统一(至少在这种形式下)与弱场和低速没有一点关系。最后的形式, 从此叫卡鲁扎-克莱因理论, 下面说说它的要点。

(1). 从二次型(17.1)出发, 要求它在变换群  $G_5$  下不变。这里  $G_5$  是  $R_4$  中熟悉的点变换群  $G_4$  与群  $S_1$  的直积, 由

$$x'_5 = x_5 + f(x^i) \quad (17.5)$$

定义。关系(17.2)和(17.3)在  $G_5$  下不变。

<sup>①</sup> 同年, 曼德尔(Mandel)也独立发现了五维统一理论[M1]; 也可以参阅[M2]和[F1]。

(2). 由

$$g_{ik} = \gamma_{ik} - \gamma_{i5} \gamma_{k5} \quad (17.6)$$

定义的  $g_{ik}$  是对称的, 是  $G_4$  下的张量, 而在  $S_1$  下不变。

于是我们定义  $g_{ik} dx^i dx^k$  为  $R_4$  中的标准线元。

(3). 定义电磁势

$$\phi_i = \sqrt{2\kappa} \gamma_{i5} \quad (17.6a)$$

它们是  $G_4$  下的 4-矢量, [因为方程(17.1)在  $G_5$  下不变], 在  $S_1$  下的变换为

$$\phi'_i = \phi_i - \sqrt{2\kappa} \frac{\partial f}{\partial x^i} \quad (17.7)$$

这就证明,  $S_1$  是局域电磁规范群的几何化形式。

(4). 令  $R^{(5)}$  是五维空间的曲率标量, 直接计算表明

$$R^{(5)} = R^{(4)} + \frac{\gamma_{55}}{4} F^{ik} F_{ik} \quad (17.8)$$

$$F_{ik} = \frac{\partial \phi_i}{\partial x^k} - \frac{\partial \phi_k}{\partial x^i} \quad (17.9)$$

这里  $R^{(4)}$  是  $R_4$  中的曲率标量。这样,  $R^{(5)}$  便是引力与电磁场的统一拉格朗日量! 方程(17.8)说明了, 为什么在(17.6a)中引入因子  $\sqrt{2\kappa}$ , 为什么  $\gamma_{55}$  取正值(正规化到+1)是那么重要。

(5). 还在 1926 年, 克莱因就相信, 第五维大概同量子化有关 [K4], 这个想法伴随了他好些年 [K5]。他特别指出, 对质量为  $m$  的粒子, 拉格朗日量

$$L = \frac{1}{2} m \left( \frac{ds}{d\tau} \right)^2 \quad (17.10)$$

[这里  $ds$  由方程(17.1)给出,  $d\tau$  则是原时的微分]产生

5 个共轭动量  $p_\mu$ :

$$p_\mu = \frac{\partial L}{\partial(dx^\mu/d\tau)} \quad (17.11)$$

它使  $p_5$  沿测地线为常量。对于  $i=1, \dots, 4$ , 相应的运动方程给出卡鲁扎的引力—电磁场中的测地线运动的结果(例如参见泡利的评论[PI]), 只要我们选择

$$p_5 = \frac{Ne}{c \sqrt{2\kappa}} \quad (17.12)$$

这里  $Ne$  是检验粒子的电荷,  $e$  是电子电量。这时, 克莱因论证说[K4], 因为大自然告诉我们  $N$  是整数, “[方程(17.12)]提醒我们, 可以将电荷的原子性解释为一个量子理论定律。实际上, 如果假设五维空间在  $x^5$  方向上以周期  $l$  封闭, 再把量子力学的形式化用于我们的测地线, 我们可以预料,  $p_5$  应该服从下面的法则:

$$p_5 = N \frac{h}{l} \quad (17.13)$$

于是, 长度  $l$  走进了理论, 它是

$$l = \frac{hc \sqrt{2\kappa}}{e} = 0.8 \times 10^{-30} \text{ cm} \quad (17.14)$$

克莱因猜想: “[ $l$ ]那么小, 也许能够解释为什么第五维没有在一般的实验中出现, 因为第五维的效应被平均掉了”。<sup>①</sup> 20 世纪 30 年代后期, 爱因斯坦也在怀疑, 第五

---

① 量子力学刚发现的那几年, 人们存在着许多迥然不同的假设, 第五维是不是同这种新力学有关呢? 例如, 有人提出  $\gamma_{55}$  应该是一个标量场(而不是常量), 它可能扮演着薛定谔波场这个角色[G1]。

乌伦贝格告诉我: “我记得, 1926 年夏天, 奥斯卡·克莱因向我们讲他的思想, 说它不但统一了麦克斯韦和爱因斯坦的方程, 而且还带来了量子理论。当时我感到欣喜若狂! 现在终于有人理解这个世界了!”

维也许有某种实在的意义,那时他研究卡鲁扎-克莱因理论已经好些年了。不过,在克莱因 1926 年的那些论文发表以前,爱因斯坦就已经对卡鲁扎的思想产生了很大的兴趣。

**2. 爱因斯坦和卡鲁扎-克莱因理论** 1922 年,爱因斯坦和格罗梅提出一个问题:方程(17.4)在无“源”,即  $T_{\mu\nu}=0$  的情况下,有类粒子解吗?这个问题,爱因斯坦曾在传统的广义相对论中考虑过。他论证说,在那种情况下,我们不知道如何像引力方程的左边那样严格地约束  $T_{ik}(i, k=1, \dots, 4)$ 。完全不用  $T_{ik}$  行吗?也许可以,他说,因为对纯引力来说,方程是非线性的,应该考虑到零  $T_{ik}$  也可能有非奇异类粒子解。我们在后面会看到,爱因斯坦又一再坚持无源方程存在非奇异解,把它作为他能接受的理论所必须满足的条件。

在卡鲁扎的理论中,零  $T_{ik}$  的问题成为零  $T_{\mu\nu}$  的问题。爱因斯坦和格罗梅[E8]证明,“卡鲁扎的理论存在着仅依赖于  $g_{\mu\nu}$  的中心对称解,而这个解也许可以解释为一个(非奇异)电子。”这个结论,当然与统一场论没有关系,因为它在平常的广义相对论背景下,同样能够提出来。

爱因斯坦接着关于五维理论的文章是 1927 年 2 月写的两则短讯[E19, E20]。我应该解释一下,为什么这两篇短文对我来说有些奇怪。回想一下,1926 年(准确地说,是 4 月),克莱因曾改进过卡鲁扎理论。1926 年 8 月,爱因斯坦写信告诉埃伦费斯特,格罗梅已经注意了克莱因的论文:“主题:卡鲁扎、薛定谔、广义相对论”[E21]。10 天以后,他又给他写信:“克莱因的文章优美动人,但是我发现卡鲁扎的原理太不自然了”[E22]。然后,爱因斯坦写



了刚才提到的两篇文章,接着又写信给洛伦兹:“引力与麦克斯韦理论的统一似乎通过五维理论(卡鲁扎—克莱因—福克)以完全满意的方式达成了”[E23,F1]。

对一个理论,爱因斯坦先认为它不自然,几个月后又完全感到满意,这样的思想变化没什么奇怪的;令我迷惑的是他给第二篇论文[E20]加的小注:“曼德尔先生向我指出,我通报的那些结论并不新鲜。所有内容在克莱因的论文里都能找到。”这表明爱因斯坦具体参考了克莱因 1926 年的论文[K3],我不明白,他当初为什么会发表这两篇文章。

从此以后,爱因斯坦对五维问题沉默了,到 1931 年,他才和迈尔(Walter Mayer)(见第 29 章)提出一种新形式,“它同著名的卡鲁扎理论有着心理上的联系,但是避免了把物理连续统向五维的扩张”[E24]。他热情洋溢地向埃伦费斯特写道,这个理论“在我看来,明确地解决了宏观领域的问题”[E25](后面几个词意味着: 334 量子现象除外)。他的动机是这样的:“以五维连续统来代替四维的,然后,为了解释其中一维没有表现出来这一事实,又人为地把那一维束缚起来,这是很不正常的。我们成功地建立了一个理论,形式上近似于卡鲁扎的理论,但不会遇到刚才提出的反对,它的实现在于引入了一个全新的数学概念”[E26]。

爱因斯坦和迈尔在两篇论文中[E24, E27]提出的新数学思想,不涉及黎曼流形  $R_4$  在五维空间中的嵌入,相反,  $R_4$  的每一点联系着一个五维矢量空间  $M_5$ , 而局域闵可夫斯基空间(称为  $M_4$ ) 则局域地嵌入具有  $(4+1)$ -度规的  $M_5$  中。他们还引入了将  $M_5$  中的张量相对于  $M_4$  分解的法则,定义了 5-张量从一个  $M_5$  向与  $M_4$  中的邻近点相联系的另一个  $M_5$  的迁移。这样就卷入了一个五维

联络,它的一些分量与  $R_4$  中的黎曼联络一致,另外,则只出现一个反对称张量  $F_{\mu\nu}$ ,它与电磁场等同(联络也就是这样构造的)。<sup>①</sup>然而,(正如爱因斯坦在给泡利的信中说的那样[E28]),我们只好假设  $F_{\mu\nu}$  是一个 4-矢量的旋度;而且,爱因斯坦-迈尔方程不能从变分原理导出来。1932年后,我们在爱因斯坦的工作中再也看不到这个理论的影子。

在另一种环境下,爱因斯坦又最后一次作五维理论的努力,那是 1938 年,他在美国。老朋友埃伦费斯特离开了他,离开了人世。他在想为  $x^5$  赋予比卡鲁扎-克莱因理论更多而不是更少的实在性。起初,他与伯格曼合作;后来伯格曼来了。总之,他们的计划积极考虑了 3 年左右。伯格曼在他的教科书里向我们讲了他们的动机:

看来,严格的四维理论无论如何不可能解释量子理论的结果,特别是海森伯的测不准关系。因为用四维形式来描述五维世界是不会彻底的。曾有人希望,“四维”定律的不定性可能解释测不准关系,而量子现象则总可以用[经典]场论来解释。[B1]

他们沿用克莱因的思想方法[K4],认为五维空间在第五方向上以固定周期封闭。群还是  $G_5$  [参见方程(17.5)]。线元[方程(17.1)]、 $\gamma_{55}$  的条件[方程(17.3)]以及  $g_{ik}$  的定义[方程(17.6)]也

---

<sup>①</sup> 这些法则总结在泡利和所罗门(Solomon)的文章[P2]里,此文已收入泡利文集[P3]。

都保留下来,但方程(17.2)推广了。 $\gamma_{i5}$ 仍假定(电磁势)仅依赖于 $x^i$ ,但(这一点是新的) $g_{ik}$ 可以周期性地依赖 $x^5$ 。伯格曼的著作(还有[B2]和[P1])对最终形式有很详尽的讨论。他们的理论考虑了两种情况。第一种情况[E29],场方程从变分原理导出。因为新考虑的对 $x^5$ 的依赖性,这是一组积分-微分方程(保留着 $x^5$ 的积分),还包含着几个任意常数,因为作用量可能包含新的不变量(依赖于 $g_{ik}$ 对 $x^5$ 的导数)。第二种情况[E30],放弃变分原理,提出限制这些常数的比安基恒等式。

在这样的理论中, $g_{ik}$ 可以(周期归化到 $2\pi$ )表示为:

$$g_{ik}(x^5, x^i) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_{ik}^{(n)}(x^i) e^{in x^5}$$

$$g_{ik}^{(-n)} = g_{ik}^{(n)*} \quad (17.15)$$

伯格曼和伯格曼告诉我,爱因斯坦认为高阶傅里叶分量也许同量子场有关。这些希望没有实现,他从此便放弃了五维方法。

3. 补充 还有人继续尝试用五维或更高维的形式来描述物理世界。

a) 爱因斯坦-迈尔理论之后不久,另一个五维理论,即著名的射影相对论也发展起来了,很多作者都参与进来。<sup>①</sup>在这个理论中,时空坐标 $x^i$ 被假定为五维坐标 $X^\mu$ 的零次齐次函数,在五维射影空间(符号差为 $4+1$ )里引入具有不变线元 $ds^2 = g_{\mu\nu} dX^\mu dX^\nu$ 的黎曼度规。

$$g_{\mu\nu} X^\mu X^\nu = 1 \quad (17.16)$$

替代了圆柱条件。量 $\gamma = \partial x^i / \partial X^\nu$ 实现从五维空间到四维空间的

<sup>①</sup> 关于细节,特别参见[S2],对这个问题最好的介绍是泡利的两篇文章[P4]。

投影。<sup>①</sup> 有人证明,

$$X_\mu = \frac{\sqrt{2\kappa}}{c} \gamma_\mu^k \phi_k + \frac{1}{F} \frac{\partial F}{\partial X^\mu} \quad (17.17)$$

这里  $\phi_k$  为电磁势,  $F$  是  $X^\mu$  的任意一次齐次函数。于是, 射影坐标本身在某个五维规范变化下直接同势相联系。

泡利讨论了射影空间的狄拉克方程[P4]。派斯[P5]将变分法用于这个理论而得到下面的结果。令

$$336 \quad \delta \int (R - \kappa \mathcal{L}) \sqrt{g} d^5 X = 0 \quad (17.18)$$

为变分原理, 其中  $R$  是五维曲率标量。关于  $\mathcal{L}$ , 我们所能确定的是, 它是场变量及其导数的标量函数。另外, 必须允许  $\mathcal{L}$  对坐标  $X^\mu$  的某种具体的依赖性。把诺特的方程推广到这个更一般的情况, 我们可以导出, 用  $\mathcal{L}$  以及  $\mathcal{L}$  对场和  $X^\mu$  的导数来表示的源张量  $T_{\mu\nu}$  的具体形式, 它满足

$$T_{;\nu}^\mu = 0 \quad (17.19)$$

这 5 个守恒定律可以证明是能量、动量和电荷守恒定律的微分形式。

b) 很多作者, 特别是约当(Jordan)[J1], 研究过把这种形式推广到方程(17.16)左边为标量场的情况, 伯格曼告诉我, 他和爱因斯坦也研究过这种推广[B3]。

c) 20 世纪 80 年代以来, 粒子物理学家们在  $(4+N)$  维流形里研究场方程, 这里“4”代表时空, 另外的  $N$  个变量则张扩成一个紧致的  $N$  维类空区域, 这个区域小到不会以我们不允许的方式影响通常的物理学。为了包含非阿贝尔规范场,  $N$  的值有不同的考

---

<sup>①</sup> [B1] 讨论了 this 理论与卡鲁扎-克莱因理论的数学联系。

虑。有些作者提出,取消方程(17.2)和(17.3)那样的限制,希望附加维的紧致性可以从“自发紧致化”,即一类自发性对称破缺中产生出来。这些努力会有什么结果,未来将告诉我们。末了,我们注意一下,1981年出现了一篇文章,题目叫“寻找实在的卡鲁扎-克莱因理论”[W1],<sup>①</sup>这样来结束这一节,我看是合适的。

4. **两个选择** 爱因斯坦在五维理论上没花多少力气,他更多的精力用在另一种统一的努力上,还是四维流形,但赋予了比黎曼几何更普遍的几何。

在这里,我向读者提供两个选择。

选择1,同意我说的,这些努力迄今还没有带来什么结果,跳过下一节,掠过它后面的两节,去读量子理论。

选择2,如果您有兴趣知道,不仅爱因斯坦,还有爱丁顿和薛定谔等人为那些几何做了些什么,就接着往下读。

## 17d. 相对论与后黎曼微分几何

著名数学家陈省身(Shiing-Shen Chern)在普林斯顿的爱因斯坦诞辰100周年纪念会上,就广义相对论与微分几何发表演讲,其中有两句话,同样适合于我们现在这一节:“讲有一半自己不懂的题目,那感觉是很奇异的。”而且,“我马上发现他[爱因斯坦]的问题极端困难,我也看到了数学与物理学的区别。”不过,另一方面,我们这一节要说的,与陈讲的,没有多少重复的东西。他讲的是微分几何的现代整体性问题,如纤维丛理论,这是爱因斯坦从来没写

---

<sup>①</sup> 在那篇文章里,我们会看到它参考了在这个方向上的最新成果。

过,也没向我说过的题目。我自己的目标是为了解释爱因斯坦时代的统一场理论,那时还只同局域微分几何有关,主要的应用工具是现在看来有些过时(而且整体性不够)的一般里奇计算,这也就是这一节的目的:轻松地谈谈这些计算的主要思想。<sup>①</sup> 一个简单办法是先考虑黎曼几何的一些标准方程和结果,它们在任何一本广义相对论的教科书中都能找到,然后从此开始推广。

在黎曼几何里,线元

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \quad (17.20)$$

在一切连续点变换  $x^i \rightarrow x^{i'} = x^{i'}(x^j)$  下都不变,而联络  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  由

$$\Gamma_{\mu\nu}^\lambda = \frac{1}{2} g^{\lambda\sigma} \left( \frac{\partial g_{\sigma\mu}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial g_{\sigma\nu}}{\partial x^\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\sigma} \right) \quad (17.21)$$

与  $g_{\mu\nu}$  相互联系。为以后讨论,我把它们的性质分为两组。

### 第一组

1. 协变矢量场  $A_\mu$  和逆变矢量场  $B^\mu$  的变换如

$$A'^\mu = \frac{\partial x'^\mu}{\partial x^\nu} A^\nu \quad B'^\mu = \frac{\partial x^\nu}{\partial x'^\mu} B_\nu \quad (17.22)$$

从这里,用标准法则可以导出高阶张量的变换。

2.  $n(\geq 2)$  阶张量缩并成一个  $n-2$  阶张量。

3.  $A_\mu$  的协变导数定义为

$$A_{\mu;\nu} = \frac{\partial A_\mu}{\partial x^\nu} - \Gamma_{\mu\nu}^\lambda A_\lambda \quad (17.23)$$

这是一个二阶张量。高阶协变张量的协变导数用标准方法导出,特别地,由

$$Q_{\mu\nu\lambda} = g_{\mu\nu;\lambda} \quad (17.24)$$

<sup>①</sup> 有兴趣的读者应该读薛定谔关于这个题目的一本精彩的小册子[S3]。

所定义的  $Q_{\mu\lambda}$  是一个三阶张量。

4. 联络变换如

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda'} = \frac{\partial x'^{\lambda}}{\partial x^{\alpha}} \frac{\partial x^{\beta}}{\partial x'^{\mu}} \frac{\partial x^{\gamma}}{\partial x'^{\nu}} \Gamma_{\beta\gamma}^{\alpha} + \frac{\partial x'^{\lambda}}{\partial x^{\alpha}} \frac{\partial^2 x^{\alpha}}{\partial x'^{\mu} \partial x'^{\nu}} \quad (17.25)$$

5. 曲率张量定义为

$$R_{\mu\nu\rho}^{\lambda} = \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}}{\partial x^{\rho}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\rho}^{\lambda}}{\partial x^{\nu}} + \Gamma_{\mu\nu}^{\alpha} \Gamma_{\alpha\rho}^{\lambda} - \Gamma_{\mu\rho}^{\alpha} \Gamma_{\alpha\nu}^{\lambda} \quad (17.26)$$

这个张量在后面讨论的所有统一场论里都扮演着一个中心角色。

6. 里奇张量  $R_{\mu\nu}$  定义为

$$R_{\mu\nu} = R_{\mu\lambda\nu}^{\lambda} = \frac{\partial \Gamma_{\mu\lambda}^{\lambda}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}}{\partial x^{\lambda}} + \Gamma_{\mu\lambda}^{\alpha} \Gamma_{\alpha\nu}^{\lambda} - \Gamma_{\mu\nu}^{\alpha} \Gamma_{\alpha\lambda}^{\lambda} \quad (17.27)$$

**第二组**

$$1. \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda} = \Gamma_{\nu\mu}^{\lambda} \quad (17.28)$$

$$2. \Gamma_{\alpha\lambda}^{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial \sqrt{g}}{\partial x^{\lambda}} \quad g \equiv -\det g_{\mu\nu} \quad (17.29)$$

$$3. R_{\mu\nu} = R_{\nu\mu} \quad (17.30)$$

$$4. Q_{\mu\nu\rho} = 0 \quad (17.31)$$

5. 如果  $A^{\mu}$  是有如下定义的协变导数的逆变矢量场,

$$A_{;\nu}^{\mu} = \frac{\partial A^{\mu}}{\partial x^{\nu}} + \tilde{\Gamma}_{\alpha\nu}^{\mu} A^{\alpha} \quad (17.32)$$

那么

$$\tilde{\Gamma}_{\alpha\nu}^{\mu} = \Gamma_{\alpha\nu}^{\mu} \quad (17.33)$$

6. 量  $R$  定义为

$$R = g_{\mu\nu} R^{\mu\nu} \quad (17.34)$$

是标量。

$$7. (R^{\mu\nu} - 1/2 g^{\mu\nu} R)_{;\nu} = 0 \quad (17.35)$$

8. 方程

$$R^{\lambda}_{\mu\nu\rho} = 0 \quad (17.36)$$

339

是黎曼空间处处平直(伪欧几里得的)的充要条件。

现在来推广上面的结果。不要方程(17.20)、(17.21)和第二组性质,留下第一组,这就带来不仅一个新几何,而是一类新几何,或者,像有人说的那样,一类新联络。我们看看几个一般特征。

a) 不再有度规,只有联络。方程(17.25)是规定的,而不是以  $g_{\mu\nu}$  的变换性质导出来的,它完全能够确保  $A_{\mu;\nu}$  和  $R_{\mu\nu}$  都是张量。这样,我们还保留着张量计算。

b) 由 128 个  $\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}$  和  $\bar{\Gamma}^{\lambda}_{\mu\nu}$  定义了一个普遍联络,它们在一个坐标系确定后,也就在所有坐标系中确定了,只要我们加一个规则:即使  $\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu} \neq \bar{\Gamma}^{\lambda}_{\mu\nu}$ ,  $\bar{\Gamma}^{\lambda}_{\mu\nu}$  也仍照方程(17.25)变换。

c) 在第一组性质中,方程(17.24)还留着与  $g_{\mu\nu}$  有关的量,所以这么做,是因为在这些推广中常常引进一个基本张量  $g_{\mu\nu}$ ,但不借助于不变的线元。于是,这个基本张量也不再适合度规张量的名字了。但  $g_{\mu\nu}$  仍然很重要,它通过  $A_{\mu} = g_{\mu\nu} A^{\nu}$  将任何逆变矢量  $A^{\mu}$  同一个协变矢量  $A_{\mu}$  联系起来,高阶张量也类似。 $g_{\mu\nu}$  一般并不满足方程(17.31),也不需要它是对称的(如果它不对称,那么,当然  $g_{\mu\nu} A^{\nu} \neq g_{\nu\mu} A^{\nu}$ )。

d) 因为方程(17.28)不一定成立,所以方程(17.23)里的指标  $\mu, \nu$  的顺序就很重要,而且应该保留下来。对非对称的  $\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}$  而言,在方程(17.23)中以  $\Gamma^{\lambda}_{\nu\mu}$  代替  $\Gamma^{\lambda}_{\mu\nu}$  也定义了一个联络,但是与原来的不同。



e) 即使  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  关于  $\mu, \nu$  对称, 也得不出  $R_{\mu\nu}$  是对称的; 我们可以用方程(17. 27), 但不能用方程(17. 30)。这一点对于后面讨论的外尔和爱丁顿的理论是很重要的。

f) 对任何对称联络, 比安基恒等式

$$R_{\mu\nu\rho\sigma}^\lambda + R_{\mu\sigma\nu\rho}^\lambda + R_{\mu\rho\sigma\nu}^\lambda = 0 \quad (17. 37)$$

成立。

g)  $R_{\mu\nu}^\lambda$  仍是张量, 但  $R_{\mu\nu}^\lambda = 0$  一般来说并不意味着平直; 参见下一节讨论的距离平行理论。

h) 我们总可以把曲率张量缩并为里奇张量。但是, 在没有基本张量的情况下, 我们却不能从里奇张量得到曲率标量。

i) 缩并的比安基恒等式(17. 35)一般说来是不成立的, 甚至没有意义。最后这两点事实已经让物理学家清醒了: 用广义联络就意味着自寻烦恼。

联络的理论从 1916 年兴起, 以数学家赫森堡(Gerhard Hessenberg)的论文[H2]为起点。这些新发展完全是广义相对论出现的结果。如我们看到的, 在那些年发表的有关联络的论文没有 340 不提到广义相对论的。文章的作者是外尔、勒维-契维塔、舒顿、斯特鲁克, 特别是嘉当, 他在 1922 年引入挠率[C4], 而他的专题研究“仿射联络的类型与广义相对论”(Sur les Variétés à Connexion Affine et la théorie de la Relativité Généralisée)[C5]是现代纤维丛理论[C3]的先声。所以说, 爱因斯坦的工作对数学有着巨大影响。

第一部关于联络的著作是 1924 年出版的舒顿的《里奇计算》(*Der Ricci-Kalkül*)[S4], 书中罗列了一大堆联络, 它们因为  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$

与  $\bar{\Gamma}_{\mu\nu}^\lambda$  的相对性质、 $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  的对称性质和  $Q_{\mu\nu\rho}$  的性质而各不相同。在我们下面要讲的所有统一理论中, 方程(17.33)的确成立, 这对读者大概会轻松些吧。因为在这种情况下, 而且只有在这种情况下, 乘积规则

$$(A^\lambda B_\lambda)_{;\mu} = A^\lambda_{;\mu} B_\lambda + A^\lambda B_{\lambda;\mu} \quad (17.38)$$

才成立。重要说明: 方程(17.23)和(17.32)的指标次序是这样定的, 它使方程(17.38)对非对称联络也正确。

作为这种形式的一个例子, 我们来考虑外尔 1918 年的理论 [W2]。它的基础是方程(17.33)、一个对称(也叫仿射)联络和一个对称基本张量  $g_{\mu\nu}$ 。然而,  $Q_{\mu\nu\rho}$  不为 0, 而代之以

$$\left(\frac{\partial}{\partial x^\rho} + \phi_\rho\right) g_{\mu\nu} - g_{\mu\sigma} \Gamma_{\nu\rho}^\sigma - g_{\nu\sigma} \Gamma_{\mu\rho}^\sigma = 0 \quad (17.39)$$

( $\phi_\rho = 0$  时, 它归结为  $Q_{\mu\nu\rho} = 0$ )。  $\phi_\rho$  是一个 4-矢量。方程在变换

$$g'_{\mu\nu} = \lambda g_{\mu\nu} \quad (17.40)$$

$$\phi'_\mu = \phi_\mu - \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial x^\mu} \quad (17.41)$$

$$\Gamma'^\sigma_{\mu\nu} = \Gamma^\sigma_{\mu\nu} \quad (17.42)$$

下不变。这里,  $\lambda$  为  $x^\mu$  的任意函数。方程(17.40)–(17.42)是相容的, 因为方程(17.39)包含

$$\Gamma_{\mu\nu}^\lambda = \Gamma^{\lambda*}_{\mu\nu} + {}^{1/2} g^{\lambda\sigma} (g_{\sigma\mu} \phi_\nu + g_{\sigma\nu} \phi_\mu - g_{\mu\nu} \phi_\sigma) \quad (17.43)$$

这里,  $\Gamma^{\lambda*}_{\mu\nu}$  是方程(17.21)左端所决定的黎曼表达式。外尔的群是点变换群与由方程(17.40)和(17.41)所确定的  $\lambda$  变换群的积。  $x^\lambda$  在  $\lambda$  变换下不变,  $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \rightarrow \lambda ds^2$  也不变。如果我们大胆地认为  $ds$  是长度, 那么长度是被重新规范的 (regauged, 在相同意义下, 这个词也用于铁路两轨道间的距离), 规范变换 (gauge

*transformations*)这个词就这样以非物理的方式进入了物理学。

$R_{\mu\nu}^{\lambda}$ 与如下定义的  $F_{\mu\nu}$ ,

$$F_{\mu\nu} = \frac{\partial\phi_{\mu}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial\phi_{\nu}}{\partial x^{\mu}} \quad (17.44) \quad 341$$

都是规范不变的张量。那么,  $R_{\mu\nu}$  (现在不对称了)也是规范不变的;  $R$  是标量,但不是规范不变的:  $R' = \lambda^{-1}R$ , 因为  $g^{\mu\nu'} = \lambda^{-1}g^{\mu\nu}$ 。

外尔所追求的,现在很明白了:  $F_{\mu\nu}$  应该是电磁场。另外,他可以证明,他的群自然导出能量、动量和电荷的 5 个守恒定律。如果我们要求存在惟一基本的拉格朗日函数  $L$  以使引力场和电磁场方程成立,那么外尔的理论就不是统一的,因为对任何  $L$ ,我们总可以给它加一个规范不变标量  $\int F_{\mu\nu}F^{\mu\nu}\sqrt{g}d^4x$  的任意乘子。关于这个理论的细节和批评,参见泡利[P1]和伯格曼[B1]的著作。

外尔完成论文后,给爱因斯坦寄去一份,请他转给普鲁士科学院[W3]。爱因斯坦回答说:“你的思想表现出一种奇妙的内在一致性。除了与实在的符合之外,无论如何,它都是巨大的思想成果”[E31]。爱因斯坦当然会批评线元要改变的观点。因为那样的话,杆的长度与时钟读数将会依赖于它们以前的历史[E32],与之矛盾的却是氢原子都有相同的光谱,而与它们的来源无关。不过,他还是让外尔的文章发表了,但加了一段说明,表达他自己的保留意见[E33]。<sup>①</sup> 外尔的反应并不令人信服。几个月后,他写信给爱因斯坦说:“[您的批评]令我很不安。当然,经验证明,您的直觉是可以信赖的。”[W4]

---

<sup>①</sup> 1921年,爱因斯坦写了篇不太有意思的短文,根据外尔的思想探讨了一种相对性理论,在那里只有  $g_{\mu\nu}dx^{\mu}dx^{\nu}=0$  是不变的[E34]。

外尔的理论很短暂,但局域规范变换却幸存下来,尽管不是原始的重新度量长度和时间的那种意义。20世纪20年代末,外尔带来了这些变换的现代观点:物质波函数的局域相变换。这个新概念适当扩展后,已经成为理论物理学中最有力的工具之一。

## 17e. 后来的历程:科学年表

统一场论占据了爱因斯坦最后阶段的科学活动,而同时量子理论也没离开过他的思想。在所有这30年里,他很清楚自己的目标,而对达到这些目标的方法却感到茫然。在后来的科学历程中,他依然像一个游子,为了到达心中的终点,常常被迫改变自己的路线,但他永远也没有达到。

他那些年最显著的工作风格并不都和过去不同:满腔热情地投身到科学旅程中去;毫不在乎地抛弃一切;在回顾中反思;几乎不停步地开始新的计划。20年间,他大概每过5年尝试一次五维的方法;同样,后来他也在这期间用过四维联络,一会儿这种,一会儿另一种,以寻求实现他的目标;他也为广义相对论问题而费心(在第15章已经说过了),还在考虑量子理论的基础(将在第25章讨论)。

回到统一场论,我想设计一张科学年表,看爱因斯坦的目标是多么坚定,方法是多么灵活,而结果又是多么无奈。读者在有关统一的条目间,还可以看到其他内容(那是为了全面考察这段时期)。在17b讨论过的关于五维方法的条目,都记上\*号。列表之前,我还要强调,爱因斯坦推广广义相对论,带着3个不同的动机:第一,他想把引力同电磁力结合起来;第二,他没能从无源的广义相对论

场方程中得到能代表粒子的无奇异解,他希望更一般的理论会带来好运;第三,他希望那种理论有助于理解量子理论(见第 26 章)。

1922\* 与格罗梅共同研究卡鲁扎方程的无奇异解。

1923 关于爱丁顿的统一场论计划的 4 篇短文[E35, E36, E37, E38]。1921 年,爱丁顿在外尔工作的激发下提出一种理论[E39]。我们刚才看到,外尔引入一个对称的联络和一个对称的基本张量作为首要研究对象。在爱丁顿的建议中,只有对称的  $\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}$  是基本的,对称的基本张量则是从“后门”进来的。这一类理论包含着不对称的里奇张量  $R_{\mu\nu}$  (尽管联络是对称的)。令

$$R_{\mu\nu} = R_{\mu\nu}^{(+)} + R_{\mu\nu}^{(-)} \quad (17.45)$$

这里,第一(第二)项是对称(反对称)部分。 $R_{\mu\nu}^{(-)}$  不仅反对称,还是一个旋度:根据方程(17.27),

$$R_{\mu\nu}^{(-)} = 1/2 \left( \frac{\partial \phi_{\mu}}{\partial x^{\nu}} - \frac{\partial \phi_{\nu}}{\partial x^{\mu}} \right) \quad \phi_{\mu} = \Gamma_{\mu\lambda}^{\lambda} \quad (17.46)$$

[别忘了,由于方程(17.29),在黎曼情况下,  $R_{\mu\nu}^{(-)} = 0$ ]。于是爱丁顿建议,  $R_{\mu\nu}^{(-)}$  扮演着电磁场的角色。

进一步注意

$$ds^2 \equiv \frac{1}{\lambda} R_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu} = \frac{1}{\lambda} R_{\mu\nu}^{(+)} dx^{\mu} dx^{\nu} \quad (17.47)$$

是标量,这里  $\lambda$  是某个常数。定义  $g_{\mu\nu}$  如

$$R_{\mu\nu}^{(+)} = \lambda g_{\mu\nu} \quad (17.48)$$

这个方程近乎带宇宙学常数的爱因斯坦方程。那么,从方程 343 (17.47)和(17.48),我们就导出而不是假设了度规。

在这里,里奇张量太奇怪了,它是度规和电磁场张量之和。1923 年,外尔声明,这个理论不适合讨论(“undiskutierbar”)

[W5],而泡利则给爱丁顿写信说,“与你和爱因斯坦不同,我在考虑数学家的发明,可以在仿射联络上建立一种几何学,而不用现在还对物理学没有意义的[基本的]线元”[P6]。

爱因斯坦最初的反应是,爱丁顿建立了一个优美的框架,但毫无内容[E40]。不过,他还是开始检验这种思想会有什么结果,最后决定“我必须确实地发表一些东西,因为对爱丁顿的思想必须进行彻底的考察”[E41]。这是他给外尔的信,3天后,他又写信给外尔谈统一场论:“无情的大自然高高地站在上面笑着,它赐予我们的是渴望多于智慧。”[E42]<sup>①</sup>于是,爱因斯坦带着广义联络浪漫地走上了科学历险,一直走到生命的最后时刻。

爱因斯坦自己回答的问题,爱丁顿并没有完全处理过:什么样的关于40个基本 $\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}$ 的场方程,会取代广义相对论中关于 $g_{\mu\nu}$ 的10个场方程?他能得到的最佳方程形如

$$\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda} = \Gamma_{\mu\nu}^{*\lambda} - 1/2 g_{\mu\nu} i^{\lambda} + 1/6 (\delta_{\mu}^{\lambda} i_{\nu} + \delta_{\nu}^{\lambda} i_{\mu}) \quad (17.49)$$

这里 $\Gamma_{\mu\nu}^{*\lambda}$ 是方程(17.21)的右端, $i^{\lambda}$ 只好解释为电磁场源。然后,他碰到一个奇怪的障碍:不可能导出无源的麦克斯韦方程!另外,过去的悲哀依然存在:“这个理论……没有为我们揭示出电子的结构”[E38],方程没有无奇异解。

1925年,爱因斯坦在爱丁顿关于相对论的一本书的德文版附录的最后,曾提到过那两个问题,“不幸的是,在我看来,这个考虑的结果给人以这样的印象:外尔-爱丁顿[理论]不能带来物理知识的进步”。[E43]

---

<sup>①</sup> “... Darüber steht das marmorne Lächeln der unerbittlichen Natur, die uns mehr Sehnsucht als Geist verliehen hat.”

1924—1925. 3篇关于玻色—爱因斯坦气体的论文是爱因斯坦对物理学最后的革命性的贡献(见第23章)。

1925 爱因斯坦自己构筑了他的第一个统一场论,也第一次公开表达了他对一个特别的统一场论形式的盲目乐观,但紧跟着,这个思想就被放弃了。爱因斯坦在这篇短文的开头写道:“经过这两年不断的探索,现在我相信,我已经发现了真正的答案”[E44]。

在这个新观点下,联络和基本张量  $g^{\mu\nu}$  都是不对称的。于是,出现了80个基本场,每一个场在他的变分原理

$$\delta \int g^{\mu\nu} R_{\mu\nu} \sqrt{g} d^4x = 0 \quad (17.50)$$

中,都独立地变化。这里  $R_{\mu\nu}$  还是里奇张量(如我们以前指出的,它的确还是张量)。方程(17.50)看起来当然很像广义相对论中的变分原理。实际上,在对称的极限情况下,它又还原到方程(17.21)(一点也不奇怪,因为这种情况下,运算过程归结为帕拉蒂尼(Palatini)方法[P1])。一般说来,只有在引入一个任意4-矢量时,才能获得  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  和  $g_{\mu\nu}$  之间的关系。

爱因斯坦试图把  $g_{\mu\nu}$  的对称部分同引力等同,而把它的反对称部分  $\varphi_{\mu\nu}$  同电磁场等同起来。然而,  $\varphi_{\mu\nu}$  一般并不是旋度。他能得到的最接近第一组麦克斯韦方程的结果,是证明在弱场极限下

$$\frac{\partial}{\partial x_\alpha} \left( \frac{\partial \phi_{\mu\nu}}{\partial x^\alpha} + \frac{\partial \phi_{\nu\alpha}}{\partial x_\mu} + \frac{\partial \phi_{\alpha\mu}}{\partial x^\nu} \right) = 0 \quad (17.51)$$

论文到此结束。论文发表不久,爱因斯坦很快就认识到,这些结果并不动人。在3封给埃伦费斯特的信里,他这么表示过。在第一封信里他写道:“我又有了一个引力—电学理论,形式优美,但令人怀疑”[E45]。在第二封里他写道:“今年夏天,我写了篇很诱人的关于引力—电的文章……但是现在我怀疑它是不是对的”[E46]。

两天以后,他又说:“我去年夏天的工作没有结果”[E47]。在1927年的一篇文章里,他指出,“无数次失败以后,我现在已经相信,那条路[外尔→爱丁顿→爱因斯坦]并不能带我们向真理走得更近些”[E48]。

[说明:嘉当也独立做过爱因斯坦的工作,他是第一个引入不对称联络的人( $\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}$ 的反对称部分现在被普遍称为嘉当挠率系数)。这类所谓的爱因斯坦-嘉当理论[H3]是广义相对论专家们很感兴趣的,他们的主要目的是将挠率同自旋联系起来。当然,这些发展与统一无关,爱因斯坦也从没沿这个方向走过。]

**1927\*** 爱因斯坦回到卡鲁扎理论,他的改进方法看来同克莱因的一样。1928年1月,他写信给埃伦费斯特说,这是进步的正确方向,“第五维万岁”[E49]。半年后,他又回到联络上来。

**1928** 迄今说过的一切统一的努力,普遍都让人想象或者希望一个标准的广义相对论,能以某种方式在更大的框架里再现。爱因斯坦的下一步则是异乎寻常的,因为“旧”的理论的最基本特征,从一开始就没有了:存在着方程(17.26)以联络表示的非零曲率张量。

这次,爱因斯坦从一篇纯粹的数学论文[E50]开始,这在他的科学活动中是少有的,他在文章里发明了距离平行性(也叫绝对平行性或远距离平行性)。用上一节的形式,这种几何就跟下面讨论的一样。考虑一个逆变的标架(Vierbein)场,即一组4个正则矢量 $h_a^{\nu}$ ,  $a=1,2,3,4$ ;  $a$ 为矢量数, $\nu$ 是矢理的分量。设在任意位移下,标架可以整体地保持与自身平行,也就是说对每个 $a$ ,  $h_{a,\mu}^{\nu}=0$ , 或者,对每个 $a$ ,普通地写成



$$\frac{\partial h_a^\nu}{\partial x^\mu} + \Gamma_{\lambda\mu}^\nu h_a^\lambda = 0 \quad (17.52)$$

如果这是可能的,那么我们显然可以定义直线(不要与测地线混淆)和平行线概念。令  $h_a^\nu$  是  $h_a^\nu$  的行列式的正规化子,那么(对  $a$  求和)

$$h_{\rho a} h_a^\nu = \delta_\rho^\nu \quad (17.53)$$

这个记号是恰当的,因为  $h_a^\nu$  是协变量矢量场。从方程(17.52)和(17.53),我们可以解出联络:

$$\Gamma_{\lambda\mu}^\nu = -h_{\lambda a} \frac{\partial h_a^\nu}{\partial x^\mu} \quad (17.54)$$

从这里很容易导出

$$R_{\lambda\sigma}^\mu = 0 \quad (17.55)$$

于是,距离平行性只有对一类特殊的非对称联络才可能,在这种情况下,64个  $\Gamma_{\lambda\mu}^\nu$  可以用16个场来表示,而曲率张量则为零。爱因斯坦发现这一点时,还不知道嘉当已经知道了这种几何。<sup>①</sup>

所有这些性质与任何度规无关。然而,我们可以用

$$g_{\mu\nu} = h_{\mu a} h_{\nu a} \quad (17.56)$$

来定义一个不变线元  $ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu$ 。这样得到的几何,即一种带挠率的黎曼几何,是爱因斯坦独立发现的。一个星期以后,他提出把这种形式用于统一理论[E51a]。当然,他得做些不同寻常的事情,因为他没有里奇张量了。不过,他找到一个新的张量  $A_{\mu\nu}^\lambda$  来用,定义为

---

<sup>①</sup> 见嘉当给爱因斯坦的信[C6](嘉当在信中还指出,他在1922年与爱因斯坦的一次讨论中,就已经提到过这个几何了),见《嘉当—爱因斯坦通信集》[D1]。1929年,爱因斯坦对这一理论写了篇评论[E51],根据他的建议,嘉当加了一个历史注记[C7]。

$$A_{\nu\mu}^{\lambda} = \Gamma_{\nu\mu}^{\lambda} - \Gamma_{\nu\mu}^{*\lambda} \quad (17.57)$$

346 这里  $\Gamma_{\mu\nu}^{*\lambda}$  由方程(17.21)的右端定义[根据方程(17.25),  $A_{\mu\nu}^{\lambda}$  是一个真张量]。他希望能把  $A_{\mu\nu}^{\lambda}$  等同于电磁势,但即使在弱场情况下,他也没能发现分离的引力场和电磁场的方程,老问题又来了。这个问题留了几个月,接着怪事发生了。

1928年11月4日,《纽约时报》刊载了一篇报道,题目是:《面临伟大发现的爱因斯坦讨厌干扰》,接着14日又报道“爱因斯坦不谈新的工作”,不“数还未下出来的蛋”。这些传说,《自然》杂志[N2]也引用了,消息不会来自爱因斯坦自己,因为,传说他正在准备一本关于新理论的书,实际上,他在考虑一篇短文,用距离平行性来表达新的统一思想。1929年1月11日,他向报界发表简短声明,说“这个研究的目的是在统一观点下写出引力场和电磁场的定律”,另外还提到他前一天提交的一篇6页长的论文[E52]。一个记者给爱因斯坦的话加了一句不朽的评论:“这部以一年半页的速度写成的作品,其篇幅实在令人惊讶,我们看到,他的相对论的原始表达[1915年11月25日]只占了3页”[N3]。一个星期后,又报道说,“爱因斯坦对他的理论激起的喧嚣感到惊愕,他让100个记者困惑了一个星期。”又补充说,他对公众的注意漠不关心。不过,爱因斯坦的名字令人着魔,不久他就收到爱丁顿的信:“您可能感到好笑,我们伦敦的一家大商店(Selfridges),把您的论文(6页的论文,一页一页贴出来)展示在橱窗里,让过路人都能从头到尾地读一遍。一大群人正围着看呢!”[E53]。1929年2月3日,《纽约时报》星期版的“特写”栏目,用满满一页刊登了爱因斯坦关于早期相对论发展的文章,文章最后说明距离平行性,他告诉那些

无疑感到迷惑的读者,在这样的几何里,平行四边形是不封闭的。<sup>①</sup> 大众一片哗然,他只好躲进小楼去了[N4]。

真是白忙了。爱因斯坦曾发现

$$B_{\mu\nu}^{\lambda} = \Gamma_{\mu\nu}^{\lambda} - \Gamma_{\nu\mu}^{\lambda} \quad (17.58)$$

是一个三阶张量[从方程(17.25)立即就能得到],现在又把 $B_{\mu\nu}^{\lambda}$ 看作电磁势。他真的提出了一组场方程,但又说“还得进一步审查,看看[它们]是不是能够解释空间的物理性质”[E57]。他想从变分原理推导这些方程[E54],但失败了[E55]。不过,到了1929年时,他“几乎毫不怀疑”自己已经走上了正道[E56]。他在英国[E52]和法国[E58]演讲他的理论,还写了些半通俗的文章介绍距离平行性[E59, E60, E61, E62]。一位合作者写道,它是“爱因斯坦几年来在严肃认真地宣传的理论”[L1]。

爱因斯坦的同行们也不满意。爱丁顿[E63]和外尔[W6]表示了批评(其他观点见[L2]和[W7])。泡利则想知道,水星的运动、光线的弯曲和能量-动量守恒定律变成什么样子了[P7]。对这些问题,爱因斯坦没有什么好的回答[E64],但他似乎并不太关心这些,因为一周后他给迈尔写信说:“几乎所有同行都反对这个理论,因为它又令人怀疑以前的广义相对论了”[E65]。另一方面,泡利在1932年写的关于这个题目的评论中,却说得很刻薄,“[爱因斯坦]在追求[统一]中的坚韧性和永不衰竭的独创性,确保我们在最近几年里平均每年有一个理论……有时候,流行的理论往往被他的作者当成‘确定的解’,这在精神上是很有意思的。”[P8]

---

<sup>①</sup> 考虑四条直线 $L_1, \dots, L_4$ ,令 $L_1$ 和 $L_2$ 平行, $L_3$ 与 $L_1$ 和 $L_2$ 相交,从 $L_1$ 上(不在 $L_3$ 上)一点作 $L_4$ 平行于 $L_3$ ,那么 $L_4$ 与 $L_2$ 不一定相交。

爱因斯坦坚持不懈,1930年研究他的方程的特解[E66],并开始寻找一个恒等式(不用借助于变分原理),它像比安基恒等式在普通理论中那样起着作用[E67]。关于这个恒等式的论文[E68],在1931年完成了。后来,又放弃了。在给《科学》杂志的说明中,他指出,方向错了[E26](他后来对距离平行性有什么观点,见[S5])。不久以后,他写信给泡利,“不管怎么说,你这个家伙是对的”[E69]。在最后一篇关于距离平行性的论文写过半年以后,爱因斯坦又回到了五维。

**1931—1932\*** 局部5-矢空间的爱因斯坦—迈尔理论的研究。

**1933** 在第16章提到过的斯宾塞演讲中,爱因斯坦表达了他对纯粹数学结构的信念,相信它能使我们发现物理概念和联系这些概念的定律[E70]。我不敢相信,这竟是那个爱因斯坦,他1917年还在警告F.克莱因过高估计了形式化观点的价值,说它们“几乎总是不能帮助我们去发现”[E2]。

**1935** 与罗森和波多耳斯基(Podolsky)合作,研究量子理论的基础。

**1935—1938** 传统广义相对论的研究——独自关于引力透镜的研究,与罗森关于引力波和两叶空间的研究,与英费耳德和霍夫曼关于运动问题的研究。

**1938—1941\*** 与伯格曼和巴格曼最后一次考察卡鲁扎-克莱因理论。

**20世纪40年代初** 这期间,爱因斯坦的兴趣在这样一个问题上:物理学最基本的方程会不会有别的结构,而不是我们所熟悉的偏微分方程的形式?他与巴格曼关于双矢量方程的研究,大概

属于这方面的探索[E71, E72]。<sup>①</sup> 这并不意味着一定与物理学有什么联系。他还同施特劳斯一起进行过这类考察[S6], 但都还没有发表。<sup>②</sup>

**1945 年到逝世** 爱因斯坦的最后方程。这时, 爱因斯坦 60 348 多岁了。他在用他的余生研究他过去热爱的理论, 那要回到 1925 年: 基本张量与联络都是非对称的理论。原先, 他以为这些量是复的但是厄米的[E73](也见[E74])。然而, 用不着基本的改变, 我们就可以回到实非对称的形式(这也是他在后来论文里所做的)。因为群还是实点变换群  $G_4$ , 必然不会将  $g$  和  $\Gamma$  的实部和虚部混合在一起。这里提到的两篇文章和他另外的两个贡献, 一个关于比安基恒等式[E75], 一个关于理论中离散质量和离散电荷的位置[E76], 都是他一个人完成的, 但主要工作还是合作进行的, 先与施特劳斯[E77](也见[S7]), 然后与考夫曼[E78, E79], 他的最后一个助手。爱因斯坦去世不久, 考夫曼在伯尔尼会议上总结了这些工作[K6]。这篇清晰而实用的报告还将爱因斯坦的工作同薛定谔[S3]和库尔苏诺格鲁(Behram Kursunoglu)[K7]差不多同时进行的关于非对称联络的工作, 进行了比较。<sup>③</sup>

因为熟悉大量的文献, 爱因斯坦在最后 10 年里为征服非对称理论而进行的工作, 比他 1925 年时要精巧得多了。在技术上, 他曾多次修正研究计划。我对这一研究的看法, 又要追溯到前一节发展起来的普遍形式, 在那里我们已经注意到, 方程(17.24)所定

---

① 见第 29 章。

② 我感谢巴格曼和施特劳斯两位教授就这一阶段问题与我进行的讨论。

③ 薛定谔的研究是只以联络为基础, 基本张量是通过爱丁顿发明的宇宙学项引进的。库尔苏诺格鲁理论更像爱因斯坦的, 但多含了一个附加的参数。有关非对称联络的进一步文献, 请参阅[L3, S8 和 T1]。

义的三阶张量  $Q_{\mu\nu\rho}$  的性质,对具体确定一个联络是很重要的,这是爱因斯坦的新起点。1945年,他假设如下关系:

$$g_{\mu\nu;\rho} \equiv \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\rho} - g_{\lambda\nu} \Gamma_{\mu\rho}^\lambda - g_{\mu\lambda} \Gamma_{\nu\rho}^\lambda = 0 \quad (17.59)$$

从  $g_{\mu\nu}$  和  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda$  [方程(17.25)] 的变换性质可以得出,方程(17.59)是一个协变假设[不论  $g_{\mu\nu}$  是否对称,它总是按过去那种“好的”方式变换;见方程(17.22)和它后面的说明]。而且,既然我们消除了距离平行性,于是又一次得到分别由方程(17.26)和(17.27)所给的非零曲率和里奇张量。另外,由

$$\Gamma_\mu = {}^{1/2} (\Gamma_{\mu\lambda}^\lambda - \Gamma_{\lambda\mu}^\lambda) \quad (17.60)$$

定义的  $\Gamma_\mu$ , 也有意义; $\Gamma_\mu$  是 4-矢量[用方程(17.25)], 在黎曼情况下恒等于零。我们的目的是根据这些性质来构造一个理论 (像 1925 年那样), 使  $g_{\mu\nu}$  的对称部分和反对称部分能够分别对应于度规场和电磁场, 还要考察这个理论有没有类粒子解。这个计划, 1925 年失败了, 这次又失败了。我概述一下结果。

a) 方程(17.59)中  $\Gamma$  的指标次序很重要, 我们是这样来选择的: 在  $g_{\lambda\mu} \rightarrow g_{\mu\lambda}$  和  $\Gamma_{\mu\nu}^\lambda \rightarrow \Gamma_{\nu\mu}^\lambda$  时, 方程仍然有效。爱因斯坦和考夫曼把这个规则推广到非平凡约束, 该理论中所有的最终方程在这样的置换作用下, 都应该是不变的。(  $R_{\mu\nu}$  虽然在置换下会变, 但最终的方程还是不变的。注意, 方程(17.26)的指标次序是为了适应爱因斯坦和他的合作伙伴们的选择。)

b) 在对称情况下, 方程(17.21)是(17.59)的结果。在这里, 就不对了。

c)  $g_{\mu\nu}$  是这个置换群的一个可约表示; 它的对称和反对称部分在  $G_4$  下不会混合。于是, 引力和电磁的统一在形式上是任意的。

“由于这个原因,当我给泡利讲了这个理论后,他大吃一惊” [E80]。想通过扩张  $G_4$  来克服这个问题的努力,没有成功。<sup>①</sup>

d) 同 1925 年一样,变分原理也由方程(17.50)给出。经过很长的计算,爱因斯坦和他的伙伴们发现场方程是:

$$\begin{aligned} g_{\mu\nu,\rho} &= 0 \\ \Gamma_{\mu} &= 0 \\ R_{\underline{\mu\nu}} &= 0 \\ R_{\underline{\mu\nu},\lambda} + R_{\underline{\lambda\mu},\nu} + R_{\underline{\nu\lambda},\mu} &= 0 \end{aligned} \quad (17.61)$$

第一个同于方程(17.59),从此它不再是假定,而是变分原理的结果。 $R_{\underline{\mu\nu}}$  和  $R_{\underline{\nu\mu}}$  分别是  $R_{\mu\nu}$  的对称部分和反对称部分。

这些就是爱因斯坦的最终场方程。

用爱因斯坦自己的话说(写于 1954 年 12 月),“在我看来,这里提出的理论是在逻辑上最简单的相对论性场论,它是完全可能的。但这并不意味着,大自然不会服从一个更为复杂的场论” [E81]。然而,必须说明,我们又一次看到,逻辑简单性不仅没能产生物理学的新东西,而且旧的结果也没能再现。还像 1925 年那样[见方程(17.51)],他甚至没能在弱场近似下导出电磁场方程(见[K6], p. 234)。令我奇怪的是,他为什么没留意他自己 30 年前得到的这个结果。实际上,爱因斯坦推广黎曼联络的努力,没有哪次产生过自由场的麦克斯韦方程组。

1949 年,爱因斯坦为他的《相对论的意义》第三版新写了附

---

<sup>①</sup> 这种想法要求在  $\Gamma_{\mu\nu}^{\sigma} \rightarrow \Gamma_{\mu\nu}^{\sigma} + \delta_{\mu}^{\sigma} \partial\lambda/\partial x^{\nu}$  下的不变性,这里  $\lambda$  是任意标量函数。这就迫使  $\Gamma_{\mu\nu}^{\sigma}$  是非对称的,而且同时保持  $R_{\mu\nu}$  不变。然而,最后的方程  $\Gamma_{\mu} = 0$  在新变换下并不是不变的。

录,描述他最近关于统一的研究。《纽约时报》头版在“新爱因斯坦理论带来征服宇宙的钥匙”的题目下,登出他的一页手稿[N5],<sup>①</sup>  
350 这不干他的事。他谢绝会见记者,并让海伦·杜卡斯转达他的意思:“20年后,再来见我”。[N6]3年后,爱因斯坦的科学又上了报纸的第一版,这是最后一次。他已为第四版重写了附录,而他的方程(17.61)出现在《时报》上,题目是《爱因斯坦统一宇宙定律的新理论》[N7]。

“从那些在直接感觉经验看来表现为毫不相关的复杂现象中去认识它们的统一特征,那是一种奇妙的感觉。”[E82]。这是爱因斯坦在1901年完成他的第一篇统计物理学的论文后,给格罗斯曼的信中写的。那种奇妙的感觉一直伴随着他献给科学的一生,使他努力不懈,永远清醒。他也从来没有失去过他的科学的平衡感。最后我们用他自己的话来结束关于统一场论的讨论:

怀疑论者会说,“很可能,这个方程组从逻辑立场上看是合理的,但这并不证明它符合自然”。你说对了,亲爱的怀疑论者,惟有经验能够判定真理。[E83]

## 17f. 统一理论的终曲,量子理论的前奏

现在人们普遍认识到,力的统一是最重要的物理学使命之一,或者说,它也许就是最最重要的。如果爱因斯坦注意——他是能

---

<sup>①</sup> 普林斯顿大学出版社在纽约举行的一次 AAAS(美国科学促进会)会议上,展出过这部手稿。



够注意到的——自然界除了引力和电磁力外,还有其他力,那么统一对他来说大概会有些不同了。那时,统一的时刻还没有到来。

泡利是熟悉并一度活跃于统一场论的,他常像梅菲斯特(Mephisto)那样去戏弄爱因斯坦的浮士德(Faust)。<sup>①</sup> 他喜欢说,人们不该把上帝弄碎的东西再拼接起来。现在看来,这话过于诙谐而不够理智。20世纪70年代,统一第一次获得了不容置疑的成功,电磁力同弱相互作用(而不是引力)已经联在一起了。把这两种力同强相互作用联系的努力已经获得了有希望的理论框架,但还不是我们向往的大统一理论的最终图景。

引力与其他已知的基本力的统一,在今天,依然像爱因斯坦时代那样,是一个梦。超引力<sup>②</sup>也许会同这个超级的统一有点关系,它也许会结束我们的、也是爱因斯坦曾时时感到悲哀的对  $T_{\mu\nu}$  的无知,然而,这也不过是一点希望罢了。

爱因斯坦推广广义相对论,从来就怀着两个目标。一个是把 351  
引力与电磁力联合起来,让这个新场论有非奇异类粒子解,我们在前面已经说过了。

第二个目标是为量子理论奠定基础,或者,我们也可以说,统一相对论和量子理论。

爱因斯坦的物理定律大综合的思想,我们将在下一篇讨论完量子理论以后,再来说它。在这一篇的开始,我们还是跟着年轻的爱因斯坦回到那灿烂的1905年。

---

① 梅菲斯特是歌德《浮士德》中的魔鬼。——译者

② 关于超引力现状的权威性论述,请参阅[Z1]。

## 参考文献

- B1. P. Bergmann, *Introduction to the Theory of Relativity*, p. 272, Prentice-Hall, New York, 1942.
- B2. —, *Phys. Today*, March 1979, p. 44.
- B3. —, *Ann. Math.* **49**, 255, (1948).
- C1. J. Chadwick and E. S. Bieler, *Phil. Mag.* **42**, 923(1921).
- C2. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **16**, 383 (1914).
- C3. S. Chern, in *Some Strangeness in the Proportion* (H. Woolf, Ed.) p. 271, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1980.
- C4. E. Cartan, *C. R. Ac. Sci. Paris* **174**, 437, 593(1922).
- C5. — *Ann. Ec. Norm.* **40**, 325(1923); **41**, 1(1924). reprinted in *Oeuvres Complètes*, Vol. 3, p. 569. Gauthier -Villars, Paris, 1955.
- C6. —, letter to A. Einstein, May 8, 1929.
- C7. —, *Math. Ann.* **102**, 698(1929).
- D1. R. Debever(Ed.) *Elie Cartan-Albert Einstein Letters on Absolute Parallelism*. Princeton University Press, Princeton, N. J., 1979.
- E1. A. Einstein, letter to F. Klein, March 4, 1917.
- E2. —, letter to F. Klein, December 12, 1917.
- E3. —, letter to H. Weyl, September 27, 1918.
- E4. —, letter to P. Ehrenfest, April 7, 1920.
- E5. —, letter to H. Weyl, June 6, 1922.
- E6. —, *PAW*, 1921, p. 882.
- E7. —and P. Ehrenfest, *Z. Phys.* **11**, 31(1922).
- E8. —and J. Grommer, *Scripta Jerusalem Univ.* **1**, No. 7(1923).
- E9. —, letter to P. Ehrenfest, February 20, 1922.
- E10. —and P. Ehrenfest, *Z. Phys.* **19**, 301(1923).
- E11. —and H. Mühsam, *Deutsch. Medizin. Wochenschr.* **49**, 1012(1923).
- E12. —, *Naturw.* **14**, 223(1926).
- E13. —, *Naturw.* **14**, 300(1926).
- E14. —, *PAW*, 1926, p. 334.
- E15. —, *PAW*, 1925, p. 414.

- E16. —, letter to T. Kaluza, April 21, 1919.
- E17. —, *PAW*, 1919, pp. 349, 463.
- E18. —, letter to T. Kaluza, May 5, 1919.
- E19. —, *PAW*, 1927, p. 23.
- E20. —, *PAW*, 1927, p. 26.
- E21. —, letter to P. Ehrenfest, August 23, 1926.
- E22. —, letter to P. Ehrenfest, September 3, 1926.
- E23. —, letter to H. A. Lorentz, February 16, 1927.
- E24. — and W. Mayer, *PAW*, 1931, p. 541.
- E25. —, letter to P. Ehrenfest, September 17, 1931.
- E26. —, *Science* **74**, 438(1931).
- E27. — and W. Mayer, *PAW*, 1932, p. 130.
- E28. —, letter to W. Pauli, January 22, 1932.
- E29. — and P. Bergmann, *Ann. Maty.* **39**, 683(1938).
- E30. —, V. Bargmann, and P. Bergmann, *T. von Kármán Anniversary Volume*, p. 212. California Institute of Technology, Pasadena, 1941.
- E31. —, letter to H. Weyl, April 8, 1918.
- E32. —, letter to H. Weyl, April 15, 1918.
- E33. —, *PAW*, 1918, p. 478.
- E34. —, *PAW*, 1921, p. 261.
- E35. —, *PAW*, 1923, p. 32.
- E36. —, *PAW*, 1923, p. 76.
- E37. —, *PAW*, 1923, p. 137.
- E38. —, *Nature* **112**, 448(1923).
- E39. A. S. Eddington, *Proc. Soc.* **99**, 104(1912).
- E40. A. Einstein, letter to H. Weyl, June 6, 1922.
- E41. —, letter to H. Weyl, May 23, 1923.
- E42. —, letter to H. Weyl, May 26, 1923.
- E43. —, appendix to A. S. Eddington, *Relativitätstheorie*. Springer, Berlin, 1925.
- E44. —, *PAW*, 1925, p. 414.
- E45. —, letter to P. Ehrenfest, August 18, 1925.

- E46. —, letter to P. Ehrenfest, September 18, 1925.
- E47. —, letter to P. Ehrenfest, September 20, 1925.
- E48. —, *Math Ann.* **97**, 99(1927).
- E49. —, letter to P. Ehrenfest, January 21, 1928.
- E50. —, *PAW*, 1928, p. 217.
- E51. —, *Math Ann.* **102**, 685. (1929).
- E51a. —, *PAW*, 1928, p. 224.
- E52. —, *PAW*, 1929, p. 2.
- E53. A. S. Eddington, letter to A. Einstein, February 11, 1929.
- E54. A. Einstein, *PAW*, 1929, p. 156.
- E55. —, *PAW*, 1930, p. 18.
- E56. — *Festschrift Prof. Dr. A. Stodola*, p. 126. Füssli, Zürich, 1929.
- E57. —, *Science* **71**, 608(1930).
- E58. —, *Ann. Inst. H. Poincaré* **1**, 1(1930).
- E59. —, *Die Koralle*, 1930, pp. 486—487.
- E60. —, *Forum Philosophicum* **1**, 173(1930).
- E61. —, *The Yale University Library Gazette* **6**, 3(1930).
- E62. —, *Die Quelle* **82**, 440(1932).
- E63. A. S. Eddington, *Nature* **123**, 280(1929).
- E64. A. Einstein, letter to W. Pauli, December 24, 1929.
- E65. —, letter to W. Mayer, January 1, 1930.
- 353 E66. —and W. Mayer, *PAW*, 1930, p. 110.
- E67. —, *PAW*, 1930, p. 401.
- E68. —and W. Mayer, *PAW*, 1931, p. 257.
- E69. —, letter to W. Pauli, January 22, 1932.
- E70. —, *On the Method of Theoretical Physics*. Oxford University Press, Oxford, 1933.
- E71. —and V. Bargmann, *Ann. Math.* **45**, 1(1944).
- E72. —, *Ann. Math.* **45**, 15(1944).
- E73. —, *Ann. Math.* **46**, 578(1945).
- E74. —, *Rev. Mod. Phys.* **20**, 35(1948).
- E75. —, *Can. J. Math.* **2**, 120(1950).

- E76. —, *Phys. Rev.* **89**, 321(1953).
- E77. —and E. Straus, *Ann. Math.* **47**, 731(1946).
- E78. —and B. Kaufman, *Ann. Math.* **59**, 230(1954).
- E79. —and —, *Ann. Math.* **62**, 128(1955).
- E80. —, letter to E. Schrödinger, January 22, 1946.
- E81. —, *The Meaning of Relativity* (5th edn. ), p. 163, Princeton University Press, Princeton, N. J. 1955.
- E82. —, letter to M. Grossmann, April 14, 1901.
- E83. — *Sci. Am.*, April 1950, p. 17.
- F1. V. Fock, *Z. Phys.* **39**, 226(1926).
- G1. F. Gonseth and G. Juret, *C. R. Ac. Sci. Paris* **185**, 448, 535(1927).
- H1. W. Heisenberg, *Z. Phys.* **33**, 879(1926).
- H2. G. Heisenberg, *Math. Ann.* **78**, 187(1916).
- H3. F. Hehl, P. von der Heyde, G. D. Kerlick, and J. Nester, *Rev. Mod. Phys.* **48**, 393( 1976).
- J1. P. Jordan, *Schwerkraft und Weltall* (2nd edn. ). Vieweg, Braunschweig, 1955.
- K1. F. Klein, *Gesammelte Mathematische Abhandlungen*, Vol. 1, p. 533. Springer, Berlin, 1921.
- K2. T. Kaluza, *PAW*, 1921, p. 966.
- K3. O. Klein, *Z. Phys.* **37**, 895(1926).
- K4—, *Nature* **118**, 516(1926).
- K5—, *Helv. Phys. Acta. Suppl.* **IV**, 58(1956).
- K6. B. Kaufman, *Helv. Phys. Acta, Suppl.* **IV**, 227(1956).
- K7. B. Kaufman, *Phys. Rev.* **88**, 1369(1952).
- L1. C. Lanczos, *Erg. Ex. Naturw.* **10**, 97(1931).
- L2. T. Levi-Civita, *Nature* **123**, 678(1929).
- L3. A. Lichnerowicz, *Théories Relativistes de la Gravitation et de l'Électromagnétisme*, Chap. 4. Masson, Paris, 1955.
- M1. H. Mandel, *Z. Phys.* **39**, 136(1926).
- M2. H. Mandel. *Z. Phys.* **45**, 285(1927).
- N1. G. Nordström, *Phys. Zeitschr.* **15**, 504(1914).

- N2. *Nature*, **123**, 174(1929).
- N3. *New York Times*, January 12, 1929.
- N4. *New York Times*, February 4, 1929.
- 354 N5. *New York Times*, December 27, 1949.
- N6. *New York Times*, December 28, 1949.
- N7. *New York Times*, March 30, 1953.
- P1. W. Pauli, *Theory of Relativity* (G. Field, Tran.), Supplementary Note 23. Pergamon Press, London, 1958.
- P2. — and J. Solomon, *J. Phys. Radium* **3**, 452, 582(1932).
- P3. —, *Collected Scientific Papers* (R. Kronig and V. Weisskopf, Eds.), Vol. 2, p. 461. Interscience, New York, 1964.
- P4. —, *AdP* **18**, 305, 337(1933); *Collected Papers*, Vol. 2, p. 630. Interscience, New York, 1964.
- P5. A. Pais, *Physica* **8**, 1137(1941).
- P6. W. Pauli, letter to A. S. Eddington, September 20, 1923. Reprinted in *Scientific Correspondence*, p. 115. Springer, New York, 1979.
- P7. —, letter to A. Einstein, December 19, 1929. reprinted in *Scientific Correspondence*, Vol. 1, p. 526.
- P8. —, *Naturw.* **20**, 186(1932); *Collected Papers*, Vol. 2. p. 1399.
- R1. E. Rutherford, *Proc. Roy. Soc.* **A90**, addendum(1914).
- R2. —, *Scientia* **16**, 337(1914).
- R3. —, *Phil. Mag.* **27**, 488(1914).
- R4. —, *Phil. Mag.* **37**, 537(1919).
- S1. E. Schrödinger, *AdP* **79**, 361(1926).
- S2. E. Schmutzer, *Relativistische Physik*, Chap. 10. Teubner, Leibzig, 1968.
- S3. E. Schrödinger, *Space-Time Structure*. Cambridge University Press, Cambridge, 1950.
- S4. J. Schouten, *Der Ricci-Kalkül*. Springer, Berlin, 1924.
- S5. H. Salzer, *Arch. Hist. Ex. Sci.* **12**, 88(1973).
- S6. E. Straus in *Some Strangeness in the Proportion* (H. Woolf, Ed.), p. 483. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1980.

- S7. E. Straus, *Rev. Mod. Phys.* **21**, 414(1949).
- S8. J. Schouten, *Ricci-Calculus* (2nd edn.), Chap. 3, Sec. 11. Springer, Berlin, 1954.
- T1. M. A. Tonnelat, *Einstein's Unified Field Theory*. Gordon and Breach, New York, 1966.
- W1. E. Witten, *Nucl. Phys.* **B186**, 412(1981).
- W2. H. Weyl, *PAW*, 1918, p. 465.
- W3. —, letter to A. Einstein, April 5, 1918.
- W4. —, letter to A. Einstein, December 10, 1918.
- W5. —, *Raum, Zeit, Materie* (5th edn.), Appendix 4. Springer, Berlin, 1923.
- W6. —, *Z. Phys.* **56**, 330(1929).
- W7. N. Wiener and M. Vallarta, *Nature* **123**, 317(1929).
- Z1. B. Zumino, *Einstein Symposium Berlin*, p. 114. Springer, New York, 1979.





# VI 量子理论

Apart, adv. , 4. 在行动上或功效上远离其他;分离地、独立地、各自地。……

《牛津英语词典》



### 18a. 爱因斯坦贡献一览

1948 年,我着手编辑爱因斯坦 70 诞辰纪念文集[R1]。在给预期的撰稿人的信中,我写道:“我们打算,文集的第一篇文章应多一点私人性质,由有代表性的同行来写,以表达所有撰稿者对爱因斯坦的敬意”[P1]。然后,我请年事最高的密立根来担当此任。<sup>①</sup>他答应了,文章以他惯有的风格,写得很坦率。在文中,关于光电效应方程  $E=h\nu-P$ ,他是这样说自己的:“我曾花 10 年来检验爱因斯坦 1905 年的方程,结果同我所希望的一切相反。我不得不在 1915 年声明,它得到了确实的证明,尽管它不合理;因为它似乎违背了我们所知的一切有关光的干涉的事实”[M1]。

物理学在前进,密立根自 1915 年光效应论文后也变得更成熟,这可以从他稍早一点的论文中看出:“爱因斯坦的光电效应公式……在任何情况下都精确地预言了测量结果……但是,爱因斯坦推导公式所依据的半微粒理论,现在看来是完全站不住脚的”[M2];在后一篇论文里,他又说到那“大胆的,且不说草率的电磁

---

<sup>①</sup> 后来又决定请 L. 德布罗意、M. 冯·劳厄和 P. 弗兰克各写一篇同类性质的文章。

光微粒假说”[M3]。我们马上将看到,当时,在一流的物理学家中,不只密立根一个人有这种观点,甚至整个物理学界都普遍不相信光量子假说,或近乎嘲笑地怀疑它。作为 1925 年之前的“旧”量子理论的奠基人之一,爱因斯坦很快就为他在这一领域的两大贡献之一的比热的量子理论,找到了强有力的支持(没有理由认为它是为了满足爱因斯坦的任何特殊需要)。形成鲜明对照的是,从 1905 年到 1923 年,他一直远离(apart)大家,独自一人或几乎只有他一人,在重视光量子。

358 关于爱因斯坦光量子假说的这些批评反应,对理解量子物理学的早期发展是很重要的。这些反应在爱因斯坦的科学生涯里也是绝无仅有的。当然,他在 1905 年以前的论文没有引起多大关注。但他对布朗运动的研究立即就赢得了赞赏。相对论更是这样,理论发表才几个月,普朗克就成了相对论的拥护者;青年人也很关心;洛伦兹、希尔伯特、F. 克莱因等人,紧紧跟随着他在广义相对论的进步,1915 年,他们和别人一道,马上开始研究它的结果;他的统一场论受到了普遍的批评,许多人认为这种努力不合时宜,但很少有人抛弃它的基本思想。然而,在量子理论方面,从 1905 年直到逝世,爱因斯坦几乎一直是孤立的。这段时期可分为两个不同的阶段,第一阶段(1905—1923)我们刚才说过了。在 1926 年至他去世的第二阶段,他还是一个人,或者说几乎只有他一个人,对量子力学抱深深的怀疑态度。在第 25 章里,我将讨论爱因斯坦在量子力学中的地位,但忍不住要先在这里提一句:爱因斯坦的怀疑态度不能等同于完全否定的态度。他的确一贯在批判量子力学,但同时,他也有自己的一个不同的综合理论的计划,粒子、场以及量子现象都将在这个理论中占有各自的位置。大约从

1920年(量子力学诞生之前!)起,直到生命终结,爱因斯坦一直在寻找这个理论。在他晚年,我同他讨论过多次,使我更好地理解了他的思想。

我们还是回到旧量子力学的时代。爱因斯坦的贡献大致可以归纳为以下几部分。

**(a)光量子** 1900年,普朗克发现黑体辐射定律时,没有用光量子。1905年,爱因斯坦发现光量子时,也没有用普朗克定律。第19章将讨论光量子假说,讨论普朗克思想和爱因斯坦思想的相互影响;还要简单回顾光电效应从1887年到1915年的那段历史。最后将说明,为什么光量子论文会引起那么强烈的反对。

**(b)比热** 19世纪末,比热的实验数据与经典统计力学的能量均分定理的解释相互矛盾。1906年,爱因斯坦完成了关于固体量子效应的第一篇论文,这篇论文为摆脱这些疑难指明了方向,对热力学第三定律的最终建立也起了重要作用。这些内容在第20章讨论。

**(c)光子** 光量子最初定义为一个能量包。光子作为具有一定能量和一定动量的粒子的概念是逐渐形成的。爱因斯坦本人1917年才讨论光子的动量。包括光子在内的相对论性能量—动量守恒关系直到1923年才表达出来。爱因斯坦在这些发展中的作用将在第21章讨论。在那里,我们先说爱因斯坦1909年在电磁辐射情况下,波粒二象性思想的形成,然后说他的A、B系数的发现和他第一次对经典因果律遭到破坏的忧虑,最后谈他对康普顿效应的意见。

读者也许奇怪,为什么在1905年发现光的 $E=h\nu$ 、同年又提出狭义相对论的人,竟没有马上得到关系 $p=h\nu/c$ ? 这个问题,我

将在 25d 讨论。

(d) 爱因斯坦在量子统计方面的工作,在第 23 章讨论,在那里还要讨论玻色的贡献。

(e) 爱因斯坦在波动力学的发现中所起的承先启后的作用,将在第 24 章讨论。

在 18c,我还会继续讲述爱因斯坦对量子理论的贡献。不过,为说明光子在粒子和场的物理学发展史中所起的奇特作用,我们得先暂时离开主题。为此,我只好不顾历史次序,而方便地借今天的观点来做些评论。

## 18b. 粒子物理学:最初 50 年

暂时不说光子,我们先来看看,物理学家对新粒子的实验发现或理论预言(不管哪个在先)是如何反应的。为简化我对这一主题的评论,我就不列详尽的参考文献了。

1897 年的第一个粒子即电子的发现是出乎人们意料的一个实验成果,它结束了阴极射线是分子激流还是以太扰动的持久争论。结果完全令人惊讶:两种看法都不对,阴极射线是一种新的物质形式。开始时,还有人不信。J. J. 汤姆逊曾回忆一个同事的评论,那个同事当时在听他关于新发现的第一次演讲:“很久以后,一个听过我演讲的著名物理学家告诉我,他以为我‘拖了他们的后腿’”[T1]。然而,没几年,电子获得了广泛的承认。到 1900 年,人们已经很清楚, $\beta$  射线也是电子流。显然,因为自由电子的发现,加上(1896 年发现的)塞曼效应,事实上已经发现了一般的原子结构,而原子光谱就来源于原子内部的电子激发。

电子的发现处在实验物理学的外前沿。首先,它使人们抛弃了原子不可分割这一早期定性概念,但是,它还不需要、至少不立即需要对已经建立的理论物理学体系进行修正。

在以后的 50 年里,物理学舞台上又出现了 3 种粒子,它们的发现过程跟电子的情形没有什么不同,即也是通过一些外前沿的实验而意外发现的。它们是质子(或者说核子)、中子<sup>①</sup>和  $\mu$  子。 $\mu$  子正好是在发现电子 50 年后发现的,比电子重,是电子的第一个伙伴。至于这些粒子的接受情况,实际上,人们很快就意识到,它们的到来,在每个情况下,都解放了物理学。在卢瑟福提出核模型后不到两年,玻尔就做出了原子物理学的第一次真正的理论预言。而中子一发现,人们几乎立刻就提出了第一个有生命力的核模型,原子核物理也真正诞生了。但在粒子动物园里, $\mu$  子仍然是一个怪物,不过,它的发现也是物理学的一次解放,因为它使我们能够理解宇宙线吸收中出现的某些反常(而在这之前,理论物理学家就设想过,这些反常需要另外一个粒子来解释)。

为了完整地开列最初 50 年发现的粒子清单,还需要加上 4 种已经进入物理学的粒子(引力子还没到时候),它们的出现与以前的粒子不同:都是先从理论上提出来的。第一个中微子是为保证在  $\beta$  辐射时能量守恒而提出的。第一个介子(现在叫  $\pi$  子),则是作为核力的传递者提出的。这两个设想巧妙、大胆而新颖,也很成

---

<sup>①</sup> 人们常以为(也不是没有根据),中子实际上早就被人们想到了。事实上,在发现中子 12 年前,卢瑟福在一次贝克演讲(Bakerian lectures)[R2](1920)中就提出“可能存在质量为 1 核荷为零的原子的观点。”无疑,中子思想在卡文迪许实验室的流传,对它的发现者查德威克是很重要的[C1]。尽管如此,连卢瑟福自己也没有想到,他 1920 年的中子(那时认为是质子和电子的束缚系统)同后来那个叫中子的粒子是根本不同的。

功,而且不需要对原有理论做大的修改。在中微子假说公开亮相几个月后,人们就提出至今仍在广泛应用的第一个弱相互作用理论。介子假说也立即引起了巨大的理论反响。

在实际观测到中微子之前,中微子假说已深入人心了。第一次观测到中微子是在它提出很久以后,比光子从预言到观测的经历更长。而介子假设,很快就得到实验支持——当时是这样认为的。10多年后人们才发现,大量观测所涉及的是 $\mu$ 子而不是 $\pi$ 介子。

然后,正电子出现了,“一种还不为实验物理学所知的新粒子,具有与电子相同的质量和相反的电荷”[D1]。这是1931年,在人们对狄拉克方程的负能解争论了3年以后提出来的。在那场争论中,有人表示了对“量子力学的新危机”的担忧[W1],而危机很快就过去了。1932年,正电子的实验发现宣告了理论物理学的胜利,正电子理论成为20世纪30年代最重要的进展。

最后是光子,第一个从理论上预言的粒子。

无论在最初50年,还是在后来的岁月里,从没有哪种新粒子的设想经历过像光子那么持久的阻力。甚至在其他方面无限推崇爱因斯坦的一些大物理学家,也认为光量子假说有几分错误。在经历了比其他粒子更激烈和持久的争论之后,光子才为人们所接受。因为那时候,除光子外,还没有哪个粒子能导致物理学的新的内前沿的产生。光量子假说似乎自相矛盾:因为我们知道,光由波组成,那么它就不可能是粒子的。然而仅凭这点矛盾,不能完全说明爱因斯坦假说遭受的阻力。在19f,我们将更深入地考察当时的情形。



## 18c. 量子理论:影响路线

下面的框图将量子理论的发展历史以最简单的线条勾勒出来,同时,它也是后文的指南;图中, $X \rightarrow Y$ 表示“X的工作促进Y的进展。”用M和R标志的箭头分别表示影响通过物质理论或辐射理论而产生。

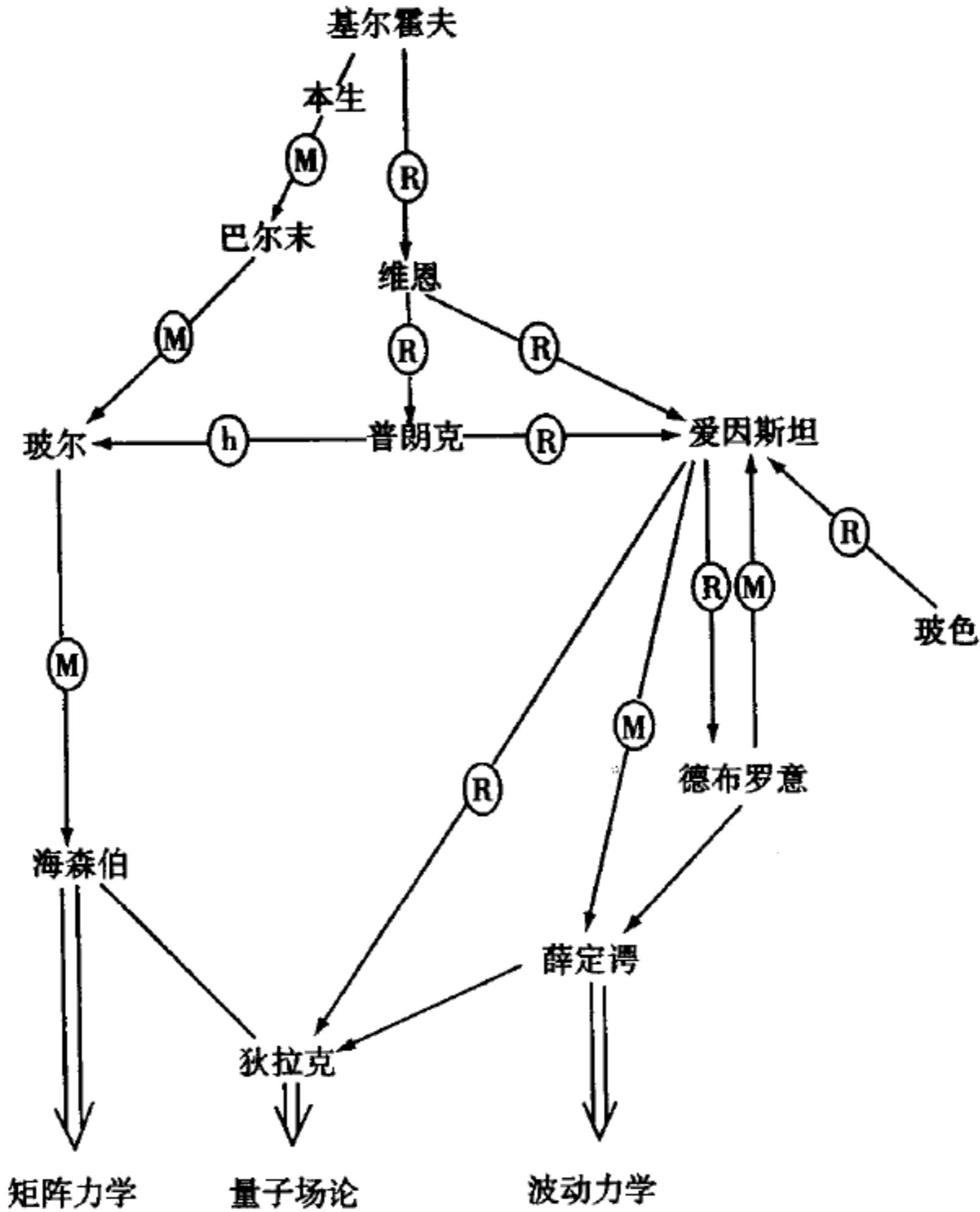
如果说普朗克、爱因斯坦和玻尔是量子理论之父,那么,基尔霍夫便是量子理论的祖父,因为基尔霍夫[1860年与本生(Robert Bunsen)一起[K1]]创立了光谱分析。从他和本生引出箭头指向巴耳末(Johann Jakob Balmer),即巴耳末公式[B1]的发现者,从巴耳末指向原子的量子力学的奠基人玻尔,再回到作为黑体辐射普遍特性发现者的基尔霍夫。我们看到,他通过维恩(Wien)影响普朗克(进一步讨论见19a)。

从维恩到普朗克的箭头表示普朗克黑体辐射定律的公式化,维恩—普朗克—爱因斯坦三角形,表示三者的相互影响,导致了光量子假说(19b—d)。

从玻色(Bose)到爱因斯坦的箭头,表示玻色对电磁辐射的研究及其对爱因斯坦在物质气体的量子统计中的贡献所产生的影响(见第23章,那里还将简单提到爱因斯坦对狄拉克的影响)。

爱因斯坦—德布罗意—薛定谔三角形表示爱因斯坦在波动力学诞生过程中所起的承先启后的作用,在第24章具体讨论。

从普朗克到玻尔的箭头标记 $h$ 是为提醒我们,普朗克对辐射的许多具体工作都不如他引入的普适常数 $h$ 对玻尔的原子稳定性思想更具有决定性的意义。至于玻尔对海森伯(Heisenberg)的影



量子理论:影响路线

响以及海森伯和薛定谔对狄拉克的影响,已经超出了本书的范围。

对于爱因斯坦与玻尔,很难说谁的工作促进了另一个人的进展,因而,简单的框图不能也不应包括他们之间的联系。实际上,40年间,他们的相互影响是很大的,不过是在不同的层次上。他们本着友好和无畏的斗争精神争论原则问题。在22章将讨论玻尔对爱因斯坦光子思想的抵制,这只是一段小小的插曲,它以光子概念获得具体的实验证明而结束,从此,玻尔相信了光量子。1927

年,他们开始更重要的关于量子力学基础的论战。论战中,他们在观念上对对方基本观点的抵制和反对,直到爱因斯坦逝世,也丝毫未曾减弱。争论的焦点在于应该以什么标准来判定物理世界描述的完备性。虽然,他们的争论不影响物理学理论的发展,然而,我们将永远记住这两个时代巨人对科学原理的这场伟大论战。

玻尔与爱因斯坦的对话有一个积极的结果:它促使玻尔不断地用更精确的语言来表述互补原理。这场论战是 25 章的一个主题,我们将在那里讨论爱因斯坦对量子力学的反驳。

我们以前谈过的观点又在这里重复了:爱因斯坦本人对物理学问题的看法常常是反潮流的,但这些观点绝不消极,对量子力学也是如此。1930 年以后,他认为这个理论是自洽而成功的,但不完备。同时,对于未来的粒子和场的理论,他有他自己的愿望,我将在 26 章说明,他在想些什么。

我不相信爱因斯坦对量子理论的不完备性提出过有效的论证,也不认为当时就成熟到能够回答量子力学描述是否完备的问题。因为时至今日,粒子和场的物理学还仍然被许多基本问题困扰着。其中一个问题是爱因斯坦最钟爱的,即量子物理学与广义相对论的综合,他(和我们今天所有的人)曾为之奋斗而徒劳无获。在第 2 章的概述中我已经说过,我们离这综合还有漫长的路要走。因而,我在第 26 章对爱因斯坦在这个问题上的观点的评价,必然只能是推测性的。

### 参考文献

B1. J. J. Balmer, *AdP* **25**, 80(1885).

C1. J. Chadwick, *Proceedings Tenth International Conference on the History of Science*, Ithaca, Vol. , 1, p. 159. Hermann, Paris, 1962.

- D1. P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **A133**, 60(1931).
- K1. G. Kirchhoff and R. Bunsen, *Ann. Phys. Chem.* **110**, 160(1860).
- K2. —, *Ann. Phys. Chem.* **109**, 275(1860).
- M1. R. A. Millikan, *Rev. Mod. Phys.* **21**, 343(1949).
- M2. —, *Phys. Rev.* **7**, 18(1916).
- M3. —, *Phys. Rev.* **7**, 355(1916).
- P1. A. Pais, letter dated December 9, 1948.
- R1. *Rev. Mod. Phys.* **21**(3)(1949).
- R2. E. Rutherford, *Proc. Roy. Soc.* **A97**, 374(1920).
- T1. J. J. Thomson, *Recollections and Reflections*, p. 341. Bell, London, 1936.
- W1. H. Weyl. *The theory of groups and quantum mechanics* (2nd edn.), pp. 263—264 and preface. Dover, New York, 1930(original edition published in 1928 as *Gruppentheorie und Quantenmechanik*).

### 19a. 从基尔霍夫到普朗克

在 1859 年的最后 4 个月,一系列事件的发生改变了科学的进程。

9 月 12 日,勒维烈向法国科学院递交了他给费伊的信的内容,涉及到尚未解释的水星近日点的进动问题(见 14c),1915 年 11 月,爱因斯坦解释了这个效应。1859 年 11 月 24 日,达尔文的《物种起源——通过自然选择或生存竞争中的适者生存》在伦敦出版。10 月 20 日,海德堡的基尔霍夫报告了他的观测结果:太阳光通过钠火焰后,光谱中的暗 D 线仍然存在,而且变得更加暗淡 [K1]。几周以后,他证明了一个定理,同时提出一个挑战。对基尔霍夫挑战的回答导致了量子理论发现。

考虑一个与辐射处于热平衡的物体,设物体所吸收的辐射能量只转化为热能,而不转化为其他形式的能。令  $E_\nu d\nu$  表示物体在单位时间内,每平方厘米面积所发出的、在频率间隔为  $d\nu$  间的总能量;令  $A_\nu$  为对频率  $\nu$  的吸收系数。基尔霍夫定理 [K2] 说,  $E_\nu/A_\nu$  仅与频率  $\nu$  和温度  $T$  有关,而与物体的其他性质无关:

$$E_\nu/A_\nu = J(\nu, T) \quad (19.1)$$

如果  $A_\nu = 1$ ,基尔霍夫把这种物体称为绝对黑体。因而,  $J(\nu,$

T)就是黑体的发射功率。他还为一个行为类似于绝对黑体的“空腔”系统,提出一个可操作的定义:“由辐射不可渗透的等温物体围成一个空间,这个空间里的每一束辐射,在性质和强度上,就像是由来自相同温度的绝对黑体辐射组成的。”

365 基尔霍夫向理论家、也向实验家提出挑战:“寻找这个函数 [J]是一个很重要的任务。从实验上确定它,还存在着巨大的困难。不过,我们有理由希望它有很简单的形式,就像我们已经熟悉的其他所有不依赖于个别物体性质的函数一样”[K2]。

基尔霍夫对实验困难的强调后来证明是很有根据的。即使  $J$  有一个明显的极大值随温度降低而向低频移动这样简单的性质,也是大约 20 年后才由实验严格确立的[K3]。实验者必须解决三大问题:(1)构造易于操作并具有绝对黑体性质的物体;(2)设计足够灵敏的辐射探测器;(3)发现扩大测量频率范围的方法。实验进行了 40 年,最后才获得足够的数以回答基尔霍夫的挑战。

基尔霍夫用反证法导出了方程(19.1)。如果它不成立,就意味着第二类永动机是可能的。该定理的奇特,不在它的内容,而在于它完全以新生的热力学为基础证明的精确性和普适性。四分之一世纪过去以后,才出现第二个关于黑体辐射的理论进展。

1879 年,斯特藩(Josef Stefan)在实验基础上猜想,热物体辐射的总能量正比于绝对温度的四次方[S1]。这个说法并不普遍正确。精确的公式是 1884 年提出的,那时,玻耳兹曼(当时是格拉茨[Graz]的实验物理学教授)从理论上证明,严格的  $T^4$  定律只适用于黑体。他的证明也用了热力学,不过这一次,他还结合了更年轻的理论物理学分支:麦克斯韦电磁学。

在空腔情况下,辐射是均匀的、各向同性的和非偏振的,因而有:

$$J(\nu, T) = (c/8\pi)\rho(\nu, T) \quad (19.2)$$

这里,  $\rho(\nu, T)$  是谱密度, 即单位体积内频率为  $\nu$  的能量密度。这种情况下, 斯特藩—玻耳兹曼定律为 ( $V$  是空腔的体积):

$$E(T) = V \int \rho(\nu, T) d\nu = aVT^4 \quad (19.3)$$

这个定律是从麦克斯韦定理导出的第一个热力学结果, 由此得出, 辐射压力在数值上等于单位体积能量的三分之一。1893年, 维恩证明了他的位移定律[W1]:

$$\rho(\nu, T) = \nu^3 f(\nu/T) \quad (19.4)$$

这是在热力学和普通电磁理论基础上, 我们所能达到的最远结果了。[方程(19.3)和(19.4)的证明, 请参考一般的教科书。]

另一方面,  $\rho$  的正确形式, 早在 19 世纪 60 年代就提出来了。这些猜想, 我们都可以忘记, 但有一个不能忘, 即维恩在 1896 年提出的指数定律[W2]:

$$\rho = \alpha\nu^3 e^{-\beta\nu/T} \quad (19.5) \quad 366$$

这时候, 实验技术的发展已足以检验这个关系。实验是来自汉诺威的帕森(Friedrich Paschen)完成的, 他的测量(非常好)是在近红外区进行的,  $\lambda = 1 \sim 8\mu\text{m}$  ( $T = 400 \sim 1600\text{K}$ )。他在 1897 年公布了他的数据, 结论是: “看来, 很难再找到另一个 [ $\nu$  和  $T$  的] 函数 [方程(19.5)], 能用这么少的常数来表达这些数据”。[P1]。短时期内, 维恩定律似乎是最终答案了。然而, 到 1900 年, 发现这个结论是不成熟的, 这时, 基尔霍夫的挑战得到了正确的回答。这包括两个决定性的因素: 一是远红外实验技术的突破; 二是普朗克的坚韧性和洞察力。

事情发生在柏林。在帝国物理技术研究所当时也许是世界上设备最先进的物理实验室里,有两个小组在独立进行黑体辐射实验。卢默尔(Otto Lummer)和普林斯海姆(Ernst Pringsheim)的第一组,在以前从未探测过的波长区 $\lambda = 12 \sim 18 \mu\text{m}$ ( $T = 300 \sim 1650\text{K}$ )进行了实验。1900年2月,他们发表结论:在这个区域,维恩定律失效[L1]。<sup>①</sup>鲁本斯和库尔鲍姆(Ferdinand Kurlbaum)的第二组,更深入到远红外区: $\lambda = 30 \sim 60 \mu\text{m}$ ( $T = 200 \sim 1500^\circ\text{C}$ ),也得出相同的结论[R1]。

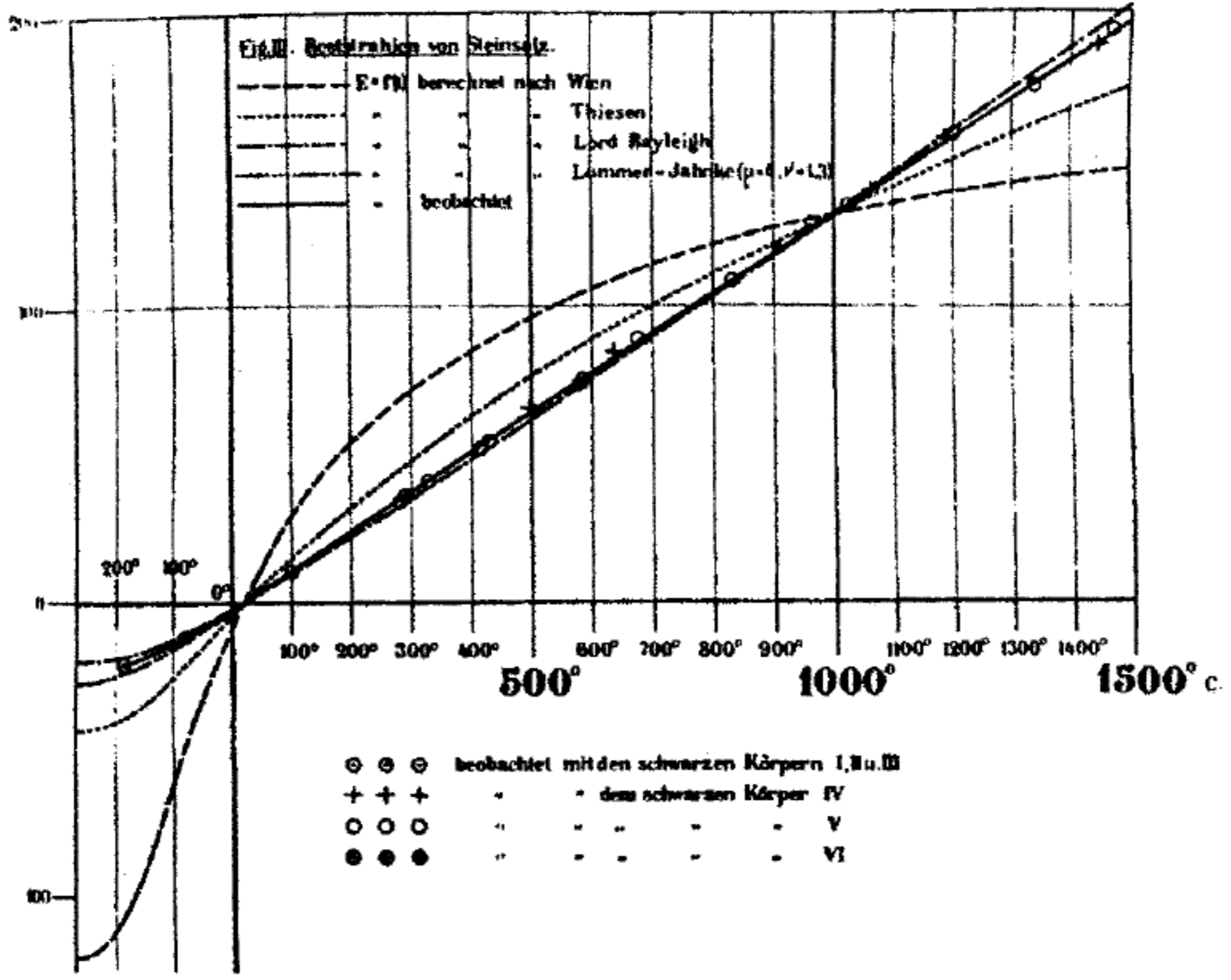
关于后来的结果,我们还需要多说几句,但是,我应该先评述一下实验在量子理论的发现过程中所起的作用。鲁本斯—库尔鲍姆论文是经典的,除他们的工作外,还有帕森、卢默尔和普林斯海姆的工作,也都是开拓性的。到19世纪中叶,波长已测到 $\lambda \approx 1.5 \mu\text{m}$ 。后来40年进步缓慢,兰利(Samuel Pierpont Langley)1885年在安阿伯(Ann Arbor)召开的AAAS(美国科学促进会)会议上的演讲中所提的问题可以说明这种状况。他问,“大气层所能传播的极限波长,是否对应于能从地面源获得的最低[频率]?”[L2]。19世纪90年代,飞跃来临了。《物理学评论》第一期第一篇文章的第一句话是:“几年来,红外射线的色散关系的系统研究,大大促进了还不明朗的辐射问题的研究。”这句话写于1893年,作者是尼科尔斯(Ernest Fox Nichols)。大约在这个时候,新技术的发展到达顶峰,那就是鲁本斯和尼科尔斯提出的“剩余射线”法[R2]:让一束辐射经过石英面或其他表面多次反射后,将短波部分除去。这个过程就将辐射束中的长波部分分离出来了。这些实验进展,对于

---

<sup>①</sup> 早就有人指出过维恩定律的偏差,但他们的这些意见没有被很好地记载下来。



我们所讨论的主题量子理论是至关重要的,因为它们发现黑体辐射定律的关键。



鲁本斯-库尔鲍姆的数据样本,普朗克根据这些数据提出了他的辐射公式猜想[R1]。图中给的是  $\lambda = 51.2 \mu\text{m}$  时的  $\rho$ - $T$  曲线(“berechnet nach”意为“后来计算的”,“beobachtet”意为“观测到的”)。注明“Wien”和“Lord Rayleigh”的曲线相应地与方程(19.5)和(19.17)符合得很好。注明“Thiesen”和“Lummer-Jahnke”的曲线是理论假设,本书不予讨论。普朗克公式没有点在图上。

鲁本斯和库尔鲍姆的论文在 1900 年 10 月 25 日提交普鲁士

科学院。上图画出了他们记录的一些测量点<sup>①</sup>和他们用来同他们的发现进行比较的理论曲线。其中有维恩曲线,是失败的;另一条瑞利提出的曲线也不好(在 19c,我还要回来讨论瑞利的工作)。368 他们画的其余两条曲线,我就不讨论了。现在转到最重要的“第五个公式,它是 M. 普朗克先生在我们的实验结果出来后提出来的……[而且它]在误差范围内,[从 $-188^{\circ}\text{C}$ 到 $1500^{\circ}\text{C}$ ],重现了我们的结果”[R1]。

基尔霍夫已经离开海德堡去柏林主持理论物理学的研究。他死后,曾请玻耳兹曼来继任他的职位,但被谢绝。又请赫兹,也被谢绝。被请来的下一位候选人是普朗克,为他安排了一个 *extraordinarius*(副教授)的职位,普朗克答应了,而且很快被升为正教授。新的职位使普朗克接近了上面谈到的那些实验进展,这个因素对他非凡的一生有着决定性的意义。

普朗克很可能<sup>②</sup>是在 10 月 7 日、一个星期天的傍晚发现他的定律的。那天下午,鲁本斯夫妇来访问他。交谈中,鲁本斯谈到,他已发现在低频情况下, $\rho(\nu, T)$ 与  $T$  成正比。客人刚走,普朗克就开始工作,找到了鲁本斯结果和维恩定律[方程(19.5)]之间的一种内插结果。当晚,他用明信片把公式寄给鲁本斯,10 月 19 日,库尔鲍姆的一篇论文提交后,普朗克在一篇评述里公布了他的结果[P3]。用他两个月后引入的记号表示,他提出:

---

① 指在  $\lambda=51.2\mu\text{m}$  时的观察。这个波长是辐射经食盐多次反射而分离出来的。黑体辐射强度是作为  $T$  的函数点画的。(回想一下,经过多次反射之后,剩余下来的绝大部分频率都对应于作为反射器的晶格的离子振荡频率。)

② 这里,我根据的是赫特纳(Gerhard Hettner)所写的鲁本斯的报告[H1],他本人是黑体辐射方面的实验专家,他讲的与普朗克本人在八十七八岁左右写的回忆录略有出入[P2]。

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad (19.6)$$

它包含了 1896 年的维恩定律：

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} e^{-h\nu/kT} \quad \text{当 } \frac{h\nu}{kT} \gg 1 \quad (19.7)$$

在量子区间  $h\nu/kT \gg 1$ ，它确实是正确的，这个条件，在前面提到的帕森实验里 ( $h\nu/kT \approx 15$ ，在  $T = 1000\text{K}$ ， $\lambda = 1\mu\text{m}$  时)，很好地得到了满足。刚在远红外区观测到[辐射]对量子区的经典偏离后，量子理论就被发现了，这听起来也许很奇怪。

如果我让读者觉得，普朗克的发现只不过是实验数据的内插结果，那就太不公平了。多年来，他就渴望着能从第一原理导出正确的辐射定律。因而，他对鲁本斯的话的迅速反应，就不比他猜到的正确答案更令人惊奇。这里，我们只好不再讨论普朗克的早期研究(参见[K4])，也不谈他是怎样猜的，然而，为理解爱因斯坦 1905 年的起点和他后来对光量子的反应，我们有必要简单地说明一下普朗克在 1900 年 10 月到 12 月的活动，那是他最辉煌的时期。

即使普朗克在 10 月 19 日以后什么也没做，他也会因为发现 369 辐射定律而永远为人们所怀念。他真正的伟大在于他迈出了更大的一步。他要解释方程(19.6)，这使他成为量子理论的发现者。我来简单谈谈他走过的三步[P4]。

**电磁学的一步** 这涉及到普朗克早些时候得到的一个结果 [P5]。考虑在单频周期性电场(频率为  $\omega$ ，在运动方向上)作用下的一个质量为  $m$ 、电荷为  $e$  的线性振子，运动方程是

$$m\ddot{x} + fx - \frac{2e^2}{3c^3}\ddot{x} = eF\cos 2\pi\omega t \quad (19.8)$$

$\nu$  为自由振子的频率,  $f/m = (2\pi\nu)^2$ 。特别考虑由  $\ddot{x}$  项决定的辐射阻尼很小的情况, 即  $\gamma \ll \nu$ , 这里,  $\gamma = 8\pi^2 e^2 \nu^2 / 3mc^3$ 。这样, 就可以用  $-(2\pi\nu)^2 \dot{x}$  来近似  $\ddot{x}$ 。方程(19.8)的解可以写成(见[P6])  $x = C \cos(2\pi\omega t - \alpha)$ , 马上就可上求出常数  $C$  和  $\alpha$ 。振子能量  $E$  等于  $m(2\pi\nu)^2 C^2 / 2$ , 从而得到

$$E = \frac{e^2 F^2}{2m} \frac{1}{4\pi(\nu - \omega)^2 + \gamma^2} \quad (19.9)$$

接下来, 设电场由在热平衡温度  $T$  下各频率的非相干各向同性的叠加构成。这种情况下, 把方程(19.9)中的电场能量密度  $F^2/2$  用  $4\pi\rho(\omega, T)d\omega/3$  来代替, 然后对  $\omega$  积分, 就得到振子的平衡能量  $U$ :

$$U = \frac{4\pi e^2}{3m} \int \frac{\rho(\omega, T) d\omega}{4\pi(\nu - \omega)^2 + \gamma^2} \quad (19.10)$$

由于  $\gamma$  很小, 振子的响应在  $\omega = \nu$  时最强, 因而, 可用  $\rho(\nu, T)$  来代替  $\rho(\omega, T)$ , 并把积分限延拓为  $-\infty$  到  $+\infty$ , 这就得出

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} U(\nu, T) \quad (19.11)$$

这个关于物质和辐射共同平衡的方程, 是普朗克对经典物理学的重要贡献之一, 也是他发现量子理论的起点。很快我们将看到, 同样这个方程, 也是爱因斯坦 1905 年批评普朗克的推导和爱因斯坦的比热量子理论的出发点。

**热力学的一步** 普朗克根据方程(19.11)认为, 为求  $\rho$ , 只要决定  $U$  就够了。(对于这个听起来很简单的说法, 还有很多要说明的, 见 19b)。从方程(19.6)和(19.11)反推, 他得到  $U$ , 然后, 他  
370 通过积分  $TdS = dU$ , 来决定线性谐振子的熵  $S$ , 这里把  $T$  作为  $U$  的函数(对某一固定的  $\nu$ ), 从而得出:

$$S = k \left[ \left(1 + \frac{U}{h\nu}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{h\nu}\right) - \frac{U}{h\nu} \ln \frac{U}{h\nu} \right] \quad (19.12)$$

只要能导出方程(19.12),就有(19.6)。

**统计学的一步** 我喜欢说,普朗克所用的是一个统计学方法。考虑数目为  $N$  的大量线性振子,它们的振动频率都是  $\nu$ 。设  $U_N = NU$  和  $S_N = NS$  分别为系统的总能量和总熵,令  $S_N = k \ln W_N$ ,这里  $W_N$  是热力学几率,现在,量子假设来了。

假定总能量  $U_N$  由有限个能量元  $\epsilon$  组成,即  $U_N = P\epsilon$ ,这量  $P$  是一个大数。定义  $W_N$  为  $N$  个不可区分的振子在  $P$  个不可区分的能量元中的占据方式数,例如: $N=2, P=3$ ,分配的方式是  $(3\epsilon, 0), (2\epsilon, \epsilon), (\epsilon, 2\epsilon), (0, 3\epsilon)$ ,一般地,

$$W_N = \frac{(N-1+P)!}{P! (N-1)!} \quad (19.13)$$

把它代入  $S_N = k \ln W_N$ ,用  $P/N = U/\epsilon, S_N = NS$ ,并用斯特林近似,给出

$$S = k \left[ \left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) \ln \left(1 + \frac{U}{\epsilon}\right) - \frac{U}{\epsilon} \ln \frac{U}{\epsilon} \right] \quad (19.14)$$

从方程(19.4)和(19.11)以及  $TdS = dU$  得出,  $T$  只是  $U/\nu$  的函数。从而,

$$\epsilon = h\nu \quad (19.15)$$

于是,又得出方程(19.12)。量子理论就这样诞生了。这个推导,最早出现在1900年12月14日[P4]。

以1900年的物理学观点来看,普朗克的电磁学和热力学的两步的逻辑是无懈可击的,但统计学的那一步,却有些粗野,它完全就是为了从方程(19.13)–(19.15)反推(19.12)而设计的。1931年,普朗克认为这是“一种冒险……我必须得到正确的结果,不管

在什么情况下,付出什么代价”[H2]。实际上,风险不只一个,而是两个。第一,赋予有限“能量元”[方程(19.15)]以物理意义,这是前所未有的。第二,方程(19.13)所确定的计数过程同样是前所未有的。在普朗克看来,“辐射的电磁理论没有为我们提供任何能够在确定意义下说明这种几率 $[W_N]$ 的思想基础”[P7]。这句话当然是不对的。正如 19b 将要讨论的,经典的能量均分定理可以为他提供相当确定的方法,以决定他感兴趣的所有热力学量——但不会给出他想要的结果。

然而,我们现在暂时离开普朗克可能没做过或者也许已经做过的事情,来谈谈他对玻耳兹曼原理的非正统处理。普朗克在论文中暗示,玻耳兹曼的统计方法给他带来了灵感。<sup>①</sup>但是,玻耳兹曼的问题,是决定一定数目、一定总能量的不可分气体分子在相空间格子中分布的最可几方式,它对应的计数问题在 4b 已经讨论过了,与普朗克对不可分事物,即能量元的配分计数没有关系。实际上,这比玻色—爱因斯坦还早四分之一世纪的新计数法,是不可能为任何经典观念所认同的。普朗克自己也知道,也这样说过。谈到方程(19.13),他写道:

经验将证明**这个假说**[我用的黑体]是否能在自然界实现。<sup>②</sup>

这样,普朗克两个冒险行为的惟一验证,就是它们给出了他想要的结果。他的推理是疯狂的,但他的疯狂却具有一种只有最伟大的

---

① 在 1905 年 1 月和 1906 年 1 月,普朗克两次提名玻耳兹曼为诺贝尔奖候选人。

② 有人提出一个有趣的说法,普朗克可能是根据玻耳兹曼文章[K4]中的一个数学公式导出方程(19.13)的。

承先启后的人物才能为科学带来的非凡品质。它把倾向保守的普朗克卷入了一场他并不情愿的革命。他深深植根在 19 世纪的思想 and 偏见中,却率先实现了观念的突破,使 20 世纪的物理学离开了过去的时代而呈现出完全不同的面貌。尽管 1900 年 12 月以来,物理学还有别的重要革新,却没有出现一个像普朗克这样的人物。

从 1859 年到 1926 年,黑体辐射始终是理论物理学的前沿问题,最初,它出现在热力学领域,然后,在电磁学领域,接着在旧的量子理论领域,最后在量子统计领域。从实验来说,正确答案在 1900 年就得到了,如普林斯海姆 1903 年在一次演讲中所说的,“普朗克公式与实验符合得非常完美,可以认为,至少在极高近似下,它是基尔霍夫函数的数学表达式”[P8],这个论断现在也仍然正确。后来的几年,不过是对早先结果的一些修正而已。

实验先驱们的工作性质可以用下面的数字来说明。1901 年,普朗克从有效数据得到他的常数  $h=6.55 \times 10^{-27}$  尔格·秒[P9],现代值是  $6.63 \times 10^{-27}$ 。对于玻耳兹曼常数,他得出的值为  $k=1.34 \times 10^{-16}$  尔格·开<sup>-1</sup>,现代最佳值为  $1.38 \times 10^{-16}$ 。用他的  $k$  值,由  $R=Nk$ ,他得到阿伏伽德罗常数  $N$ ,这里  $R$  是普适气体常数。然后,根据法拉第单价电解定律,  $F=Ne$ ,他得出电子电量  $e=4.69 \times 10^{-10}$  静电单位[P7],现代最佳值为  $4.80 \times 10^{-10}$ 。而在普朗克定出  $e$  时, J. J. 汤姆逊[T1]测量的结果为  $e=6.5 \times 10^{-10}$ ! 1908 年发现  $\alpha$  粒子电量为  $9.3 \times 10^{-10}$  时[R3],人们才认识到,普朗克的  $e$  值是多么准确。 372

一开始,爱因斯坦就既为普朗克的结果感到鼓舞,又深感困惑。1929 年,他在谈普朗克时说,“29 年前,我就为他天才的辐射公式的推导所感动……他以那么新颖的方式运用玻耳兹曼的统计

方法”[E1]。1913年,爱因斯坦写道,普朗克的工作“使物理学家的生活充满生机,同时也更加困难……如果我们能称出物理学家献给[基尔霍夫函数]这个祭坛的脑汁有多重,那将会是很有启发的;而这种残酷的牺牲,还远远望不到头!”[E2]。爱因斯坦自己为理解量子理论所做的最早努力,是在1900年之后不久。他后来回忆,“我所做的一切……为使物理学理论的基础去适应这种[新型的]知识的努力都彻底失败了。脚下的大地仿佛空了,到处都找不到坚实的基础”[E3]。

从与爱因斯坦的多次讨论中,我知道他把普朗克当作量子理论的发现者来尊敬,而且他非常敬重普朗克的为人,在他的个人生活和他的国家忍受异常痛苦之时,仍然能够坚强地生活着。此外,爱因斯坦还非常感激他:“您是第一个拥护相对论的人”[E1]。1918年,他提名普朗克获诺贝尔奖。<sup>①</sup> 1948年,普朗克去世后,爱因斯坦写道:“这个发现[即量子理论]为科学赋予了新的使命:为所有物理学寻找一个新的概念基础。尽管有了部分显著的成果,但问题离圆满解决还很遥远”[E4]。

让我们再回到量子理论的开端。1901年以后,量子理论没有更进一步的发展,直到爱因斯坦提出光量子假说。

## 19b. 爱因斯坦论普朗克:1905, 瑞利-爱因斯坦-金斯定律

爱因斯坦发表的关于量子理论的第一句话,写于1905年3

---

<sup>①</sup> 见第30章。



月,那是他第一篇关于光量子的论文的题目:《关于光的产生与转换的一个启发性的观点》[E5, A1]。(这一章里,我把这篇论文称为3月论文)。《韦氏辞典》对“启发性的(heuristic)”这个词,是如下定义的:“为问题的解决提供帮助或方向,但另一方面却没有得到辩护,或不可能得到辩护”。以后,我还要提到爱因斯坦关于科学所发表的最后一句话,也写在三月,那是半个世纪以后,也是关于量子理论的。它与开头的那句话有一点是相同的,它们都表达了爱因斯坦的观点:量子理论在本质上是暂时的。有关爱因斯坦对这种观点的固执是本书探讨的主题之一。无论人们对1955年量子理论的状况怎么看,在1905年,这个观点是完全合理的。 373

在3月论文里,爱因斯坦称方程(19.6)为“普朗克公式,它与到目前为止的所有实验数据都相符。”但普朗克对那个方程的推导,意义是什么? “[推导的]缺陷,最初被掩盖着,这对物理学的发展来说真是太幸运了”[E3]。3月论文开头一节的小标题为“关于黑体辐射理论的一些困难”,在这一节里,他非常集中地指出了这些不完善的地方。

他的简单论证以经典理论的两个确定的结果为基础。第一个是普朗克方程(19.11),第二个就是经典力学的能量均分定理。将均分定理用于方程(19.11)中的 $U$ ,即用于一维谐振子的平均能量,它给出:

$$U(\nu, T) = (R/N)T \quad (19.16)$$

这里, $R$ 是气体常数, $N$ 是阿伏伽德罗常数, $R/N(=k)$ 是玻耳兹曼常数(多年来,爱因斯坦在论文里从不用 $k$ )。根据方程(19.10)和(19.16),爱因斯坦得到:

$$\rho(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{R}{N} T \quad (19.17)$$

接着,他指出,这个经典关系与实验不符,而且有一个灾难性的结果: $a = \infty$ ,这里  $a$  是方程(19.3)中的斯特藩—玻耳兹曼常数。

“如果普朗克得出了这个关系,他可能就不会有他那伟大的发现了”,爱因斯坦后来这样说[E3]。普朗克得到方程(19.11)是在1897年,当时,均分定理差不多已知30年了。19世纪90年代,普朗克在得到他的辐射定律前,有几处推导错误,不过这些错误比起他没能第一个导出(19.17)的那种幸运的失败来,并不令人惊奇,也没有多大历史意义。这个疏漏无疑与他(1900年之前)对玻耳兹曼统计思想断然的否定态度有关。

方程(19.17)就是大家知道的瑞利—金斯定律。它有一段有趣的历史,可以从下列编年事件看到。

**1900年6月** 瑞利的短文问世[R4]。文中第一次提出把“麦克斯韦—玻耳兹曼的能量分配原则(即能量均分定理)应用到辐射问题上。”从这个原则出发,瑞利继续推导出关系  $\rho = c_1 \nu^2 T$ ,但没有估计常数  $c_1$ 。必须强调,瑞利对这个结果的推导,明显优于普朗克的地方在于他不考虑一切物质振子。<sup>①</sup> 瑞利还意识到,这个关系应理解为一个有限制的定律:“我们提出的 $[\rho = c_1 \nu^2 T]$ ,在 $[T/\nu]$ 很大时(我用的黑体),可能是对的,而[维恩定律,(19.5)式]不

<sup>①</sup> 普朗克是通过他的物质振子的平衡性质,间接导出辐射定律的。他这样做是因为他同时在考虑两个问题:辐射平衡是如何建立的?平衡分布是什么?普朗克希望,引入物质振子能同时解决这两个问题。瑞利明智地专注第二个问题。他考虑一个充满了假定处于平衡的“以太振子”的空腔,这就使他能直接把能量均分定理应用到这些辐射振子上去。

对。”<sup>①</sup>为了抑制灾难性的高频行为，他接着引入一个特设的指数截断因子，提出总的辐射定律：

$$\rho(\nu, T) = c_1 \nu^2 T \exp(-c_2 \nu/T) \quad (19.18)$$

这个表达式就是有名的瑞利定律。早在1900年，鲁本斯和库尔鲍姆（还有卢默尔和普林斯海姆）就感到需要这样一个定律，像我们在本章开头的那张图中看到的。

这样，普朗克身边的实验者们都很熟悉瑞利的工作。那么有人会问，普朗克本人是否知道这篇比他自己的论文早半年的重要文章呢？无论如何，在1900年，普朗克没有提到瑞利的成果。<sup>②</sup>

**1905年3月17日和6月9日** 爱因斯坦导出了我们在上面已经讨论过的方程(19.17)。他的论文于3月17日交出，6月9日发表。

**1905年5月6日和18日** 在一封给5月18日出版的《自然》杂志的信中，瑞利又回到他的 $\nu^2 T$ 定律，这回，他计算了 $c_1$ ，答案少一个因子8[R5]。

**1905年6月5日** 金斯在为一篇已完成的论文加的“后记”中，修正了瑞利的疏忽。论文一个月后发表[J1]。1905年7月，瑞利对金斯的工作表示感谢[R6]。

从这些历史事件可以看出（这并不很重要），瑞利-金斯定律应该更恰当地叫瑞利-爱因斯坦-金斯定律。

关于方程(19.17)的这些题外话，并非只是为了表明谁先说了

---

① 这同一观察爱因斯坦在1905年也独立发现了。[E5]

② 洛伦兹也没有。他在1903年给出了 $\nu^2 T$ 定律的另一种推导[L3]，细节与我们无关。应该指出的是，洛伦兹给出了常数 $c_1$ 的正确答案。但是，他没有直接推导 $c_1$ 的表达式，他是借助普朗克定律的长波极限发现 $c_1$ 的。

375 什么,更有意义的是,这个公式在对量子理论的早期反应中所起的作用。从1900年到1905年,普遍认为普朗克辐射公式正好表达了实验数据(见[B1])。然而,物理学危机来临了,尽管在1905年它才初露端倪,尔后,也只是那么一点[E6]。瑞利—爱因斯坦—金斯定律的失败是这场转折的原因。

关于公式(19.17)不能作为普适定律,瑞利的观点是,“我们必须承认,能量均分定理在这些极端的情况下(即在高频时)不成立”[R5]。金斯有不同的观点:均分定理是正确的,但是,“以太能量与物质能量均衡的假定,对以太在实验条件下以短波长振荡的情况来说,是完全错误的”[J2]。于是,金斯认为普朗克常数 $h$ 作为满足实验数据的辅助工具,是很合适的唯象参量,但它不具有根本意义。非平衡的观点与均分定理失效的观点之间的争论持续了很多年[H2],在1911年第一届索尔未会议上还有人提出过,但那时,这种非平衡的观点已经不再有多少人感兴趣了。

爱因斯坦的3月论文,即1905年6篇论文的第一篇,是在他1904年惟一一篇论文[E7]发表差不多一年以后完成的。在1904年的文章里,爱因斯坦第一次提到普朗克(见4c)。论文的中间一节题为“关于运动原子能量中常数 $\kappa$ 的意义”, $\kappa$ 是玻耳兹曼常数的一半。在最后一节对“辐射的应用”中,他讨论了热平衡附近辐射能量的涨落。他以独特的方法,从研究热力学第二定律出发,找到了确定 $k$ 或——几乎一样的——确定阿伏伽德罗常数 $N$ 的方法。他也走在从统计物理到量子物理的路上。1904年论文以后,他休息了一年,他的长子出世了。他的第一个在专利局的固定职位也得到了。我相信,在这一年里,他苦思了很长时间。后来,在

3月论文的第二部分,他提出了决定  $N$  的新方法,这是他1905年要提出的许多种方法之一。把方程(19.17)与长波实验数据进行比较,他得到:

$$N=6.17 \times 10^{-23} \quad (19.19)$$

这个值,与普朗克从他的辐射定律得到的一样好,但是,爱因斯坦认为,如果我用的是(19.17)来代替普朗克定律(19.6),那么,我就会根据公认的第一原理知道我在做什么。

爱因斯坦在1905年3月完成的光量子的论文里导出了上面的  $N$  值。一个月后,在他的博士论文里,他发现  $N=2.1 \times 10^{-23}$ 。他没有说明是3月的值好,还是4月的值留下了需要的东西,原因很简单,当时对  $N$  的认识还很不够。我们已经讨论过,爱因斯坦1905年5月的方法,即布朗运动方法,在  $N$  值的确定中起着重要的作用。

现在,我们离开3月论文的经典部分,来看它的量子部分。

### 19c. 光量子假说和启发性原理

376

我在第3章说过,3月论文是唯一被爱因斯坦自己称为革命性贡献的一篇论文。我们现在来仔细研究这个革命是怎样构成的。

1905年,在爱因斯坦看来,方程(19.6)与实验相符却与现有理论不符,而方程(19.17)与现有理论相符却与实验相悖。于是,他开始用新方法研究黑体辐射,这个方法“不以辐射的产生和传播图像为基础”,也就是,不用普朗克方程(19.11)。但是,这要求找到其他东西来代替这个方程,所以,爱因斯坦进行了唯象的(“im

Anschluss an die Erfahrung”)推理。他的新出发点在于,从实验来看,维恩猜想(19.5)在大的  $\beta\nu/T$  区域,即维恩区内成立,根据维恩区内的辐射与经典物质粒子的经典理想气体的类比,他得出了光量子假说。

开始,爱因斯坦用自己的方法重新推导了一个熟悉的公式,即常温下,体积为  $v_0$  的  $n$  个气体分子被限制在一小体积  $v$  中所引起的熵  $S$  的有限可逆变化:

$$S(v, T) - S(v_0, T) = \frac{R}{N} \ln\left(\frac{v}{v_0}\right)^n \quad (19.20)$$

3月论文中,爱因斯坦用两页半的篇幅来推导和讨论这个关系。他对此的看法,已经在方程(4.15)后面讨论过了。

接下来,他讨论辐射问题。设  $\phi(\nu, T)d\nu$  是频率在  $\nu$  到  $\nu + d\nu$  之间的单位体积的熵密度,那么( $\rho$  还是谱密度)

$$\frac{\partial \phi}{\partial \rho} = \frac{1}{T} \quad (19.21)$$

假定维恩猜想(19.5)可用,那么

$$\phi = -\frac{\rho}{\beta\nu} \left( \ln \frac{\rho}{\alpha\nu^3} - 1 \right) \quad (19.22)$$

令辐射限制在体积  $v$  中,那么,  $S(\nu, v, T) = \phi v d\nu$  和  $E(\nu, v, T) = \rho v d\nu$  分别是该体积内频率间隔  $\nu$  到  $\nu + d\nu$  之间的总熵和总能量。在维恩区,  $S$  平凡地满足方程(19.22),而且我们很容易发现:

$$S(\nu, v, E) - S(\nu, v_0, E) = \frac{E}{\beta\nu} \ln\left(\frac{v}{v_0}\right) = \frac{R}{N} \ln\left(\frac{v}{v_0}\right)^{NE/R\beta} \quad (19.23)$$

比较方程(19.23)与(19.20),我们得到爱因斯坦的

光量子假说：低密度单频辐射[即在维恩辐射公式成立范 377

围内]的热力学行为,就像它是由相互独立的大小为  $R\beta\nu/N$  的能量子所组成( $\beta=h/k, R/N=k, R\beta\nu/N=h\nu$ )。

这个结论,读起来像一个定理,却还是一个假说,因为它是以本身还需要第一原理来证明的维恩猜想为基础的。再说一次,这个推导是以纯经典的理论物理和一些与经典描述相悖的实验信息的混合为基础的。光量子假说的天才在于凭直觉选择了一点正确的实验材料,加上正确而简单的理论成分。也许有人会问,究竟是什么东西促使爱因斯坦想到,以熵的体积依赖关系为工具来进行他的推导。回想一下,<sup>①</sup>一年前,体积的依赖性问题对他辐射的能量涨落分析是非常重要的,那么这个选择也就不奇怪了。

爱因斯坦在维恩状态下引入光量子,是通向建立辐射的玻色光子气概念的第一步。像普朗克推导他的辐射定律一样,爱因斯坦的光量子假说的导出,也是从统计力学生长起来的。他们两人的工作都带着点疯狂色彩,尽管爱因斯坦的更微妙。要明白这点,请注意假说里的用词:相互独立。自 1925 年以来,我们就知道,(这要归功于玻色,特别是爱因斯坦),所有频率的光子气都遵从玻色统计规律,能量子的统计独立性并不是普遍正确的,用玻耳兹曼统计关系[方程(19.20)]的气体类比,也是不对的。我们还知道有一点很重要,正如爱因斯坦在他的推导中实际做的那样:不假设能量子数目在一般情况下守恒。不管怎样,说天才也好,说运气也好,在维恩状态下用玻耳兹曼方法计数和用玻色方法计数,恰好给

<sup>①</sup> 见方程(4.14)后面的讨论。

出相同的结果,因为光子不守恒这时不起什么作用。这需要一些解释,我们将在第 23 章讨论。

到这里为止,还谈不上什么革命。1905 年的物理学家认为光量子假说不过是热平衡状态下纯辐射的一个奇异性质,没有任何物理结果,而对它随意取舍。爱因斯坦非凡的胆略在于他又向前迈进了一步,这一步为他 1922 年意外地赢得了诺贝尔奖。<sup>①</sup>

**启发性原理:**如果,考虑到熵的体积依赖性,单频辐射(密度足够低)的行为像由大小为  $R\beta\nu/N$  的能量子所组成的离散介质,那么,它暗示着这样一个问题:光的产生和转换规律是不是也可以这样来建立,好像光也是由这种类型的能量子所组成?

378 换句话说,光量子假说是关于自由电磁辐射的量子特性的论断;启发性原理是把光的这些特性推广到光和物质的相互作用。这的确是革命性的一步。

我把爱因斯坦对启发性原理的应用留到 19e 再来讨论,下面我们会看到,爱因斯坦不再顽强地抵制普朗克公式(19.11),而把它作为一个新的假设接受下来。

## 19d. 爱因斯坦论普朗克:1906

1906 年,爱因斯坦又一次回到了普朗克 1900 年的理论。这

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦得的是 1921 年的诺贝尔物理学奖,但 1922 年才颁发。个中详情请参见第 30 章。——译者



回,爱因斯坦对普朗克的辐射定律很肯定。这种态度的转变是因为他意识到“普朗克的理论隐含地用了……光量子假说”[E8]。爱因斯坦重新考察了普朗克的推导以及它与自己工作的联系,这可以归纳成以下几点:

1. 普朗克已经用了方程(19.11)的  $\rho-U$  关系,而这是经典力学和经典电磁学的一个结果。
2. 普朗克已经引入了一个与  $U$  有关的量子化,即设  $U = Ph\nu/N$  379 [见方程(19.12)–(19.15)]。
3. 如果接受与经典理论相悖的第二步,那么就没有理由再相信方程(19.11)了,因为它是经典理论的一个正统结果。
4. 爱因斯坦已经引入了一个与  $\rho$  有关的量子化:光量子假说。在这一过程中,他没有用  $\rho-U$  关系。
5. 问题来了:能否在普朗克的  $U$  量子化与爱因斯坦的  $\rho$  量子化之间建立某种联系?

爱因斯坦的回答是肯定的。他引入一个**新假设**:方程(19.11)在量子理论中仍然成立!尽管在量子效应明显时,方程(19.11)的理论基础还是一个谜,爱因斯坦却仍然认为它成立。借助于这个新假设,他再次检验了普朗克定律的推导过程。细节不谈,结论是:“我们必须认为下述原理是普朗克辐射理论的基础:一个[普朗克振子的]能量值只是  $h\nu$  的整数倍;在发射和吸收中,一个[普朗克振子的]能量改变也是以  $h\nu$  的整数倍跃变的。”这样,早在1906年,爱因斯坦就已经正确地猜到量子力学的物质振子的主要特性和它在辐射跃迁中的行为。在19f我们可以看到,一开始普朗克

根本不想接受爱因斯坦的理由,尽管事实上它有力地支持了他的结果。至于爱因斯坦本人,虽然他把普朗克的方程(19.11)只是作为一个假设来接受,还是使他的工作取得了很大的进展:比热的量子理论,这将在下一章讨论。

## 19e. 光电效应: $h$ 的第二次出现

爱因斯坦的3月论文中最令人难忘的是他对光电效应的解释。关于这个课题,我们是这样安排的。先给出一些一般性评论,大致考虑从1887年到1905年这段历史,然后谈谈爱因斯坦的工作。最后综述到1916年为止的发展情况,到这个时候,爱因斯坦的预言已经得到了证实。

目前,光电光谱学是一个很大的研究领域,它拥有自己的专业期刊,研究范围有气体、液体和固体。应用范围遍及固体物理学到生物学,而且还不断出现新的分支,如紫外光谱学和X射线光谱学。然而,在1905年,这门学科尚处幼年。在爱因斯坦完成他的光量子论文之前的几个月,光电光谱学的状况是这样的:1904年12月第一篇关于光电效应的论文问世[S2],这表明当时的光电光谱学,如同辐射学、阴极射线物理学以及(在更小范围内的)赫兹波的研究,同属于前沿学科。

1905年,所有上述领域的实验水平也同样处于初级阶段;但是,无论在哪个领域,都有重要的基本发现。毫不奇怪,一位主要从事于某一领域的实验工作者,也会在其他领域进行工作。赫兹就是这样,他在提出光的电磁本性的学说的同时,又第一个观察到光电现象(如果我们仅考虑所谓的外在的光电效应)。中学教师埃

尔斯特(Julius Elster)和盖特尔(Hans Geitel)首次在真空管中研究光电效应并制成了第一支光电管[E9];他们还做了许多放射学方面的基本实验。居里和他的一个同事首先发现可以由 X 射线激发电光效应[C1]。J. J. 汤姆逊最为人纪念的是在阴极射线研究中发现了电子[T2];不过,他最精妙的实验也许是关于光效应的。

让我们把这些先驱者的工作回顾一下。

**1887:赫兹** 他在 10 年间的 5 个实验观测,很大程度上塑造了 20 世纪物理学。按时间顺序,这五大发现是:光电效应、X 射线、放射性、塞曼效应和电子。前三个是偶然的。光电效应是赫兹在研究光的电磁波本性的过程中,因为对一个副效应感兴趣而发现的[H3]。一次,他正在研究两个金属表面电势差产生的火花放电,一个表面产生的原始火花会在另一个表面引起二次火花。由于后者难于看见,赫兹在二次火花周围包了一层东西,以除去散光,结果令他吃惊:二次火花变短了。后来他发现,这个效应是由于包裹物的一部分插入到两个电火花之间而引起的。这不是静电效应,因为不管插入的是导体还是绝缘体,效应在本质上都没有区别。赫兹开始怀疑,这可能是原火花发出的光引起的。一系列令人兴奋的实验证实了他的猜想:光可以产生电火花。例如,他增大两金属表面的距离,直到电火花不再产生,然后用靠近的电弧灯照射金属表面:电火花又产生了。他还得出(不太正确的)结论:“如果所观察到的现象确实是一种光作用,那么,它只能是紫外光。” 380

**1888:哈尔瓦克斯** 受赫兹工作的激发,哈尔瓦克斯(Wilhelm Hallwachs)接着证明,在紫外光的照射下,本来不带电的金属物体会获得正电[H4]。

关于光电效应性质的最早猜测,可以追溯到1897年发现电子以前,1889年,有人提出,紫外光可能会使金属尘埃中的微粒逸出金属表面[L4]。

**1899:J. J. 汤姆逊** 他第一个断言,紫外光诱发的光效应是由电子的发射构成的[T3]。他从测量光激发粒子的  $e/m$  值来研究光电效应。这是他两年前研究阴极射线(穿过正交的电场和磁场的电子束)曾用过的方法。他的结论是,“在紫外光情况下, $m/e$  的值……与阴极射线的情形一样。”1897年,对于阴极射线,他还不能分别确定  $m$  和  $e$  的值。现在他发现,他的方法对于光电子能够做到这一点。他的第二个结论是:“ $e$  的大小与电解后溶液中氢原子所带的电量相同。”

汤姆逊发现  $e$  的方法是很有意思的,因为这是最早使用云室技术的实验之一。他的学生威尔逊(Charles Thomson Rees Wilson)发现,带电粒子在过饱和水蒸气里可凝结成核。汤姆逊用这个方法来计算带电粒子个数,也就是计算微滴。总的电量用电测量方法给出。考虑到这是一种新的实验技术,他的  $e$  值( $6.8 \times 10^{-10}$  静电单位)应该认为是很好的了。

**1902:勒纳德** 1902年,勒纳德以碳弧光源研究光效应,他能在1000倍范围内改变光源强度。他得到一个重要的发现:电子能量“与光强没有丝毫关系”[L5]。那么,光电子的能量又如何随频率变化呢?一个随着另一个的增大而增大。在1905年,所知道的也不过这些[S2]。

**1905:爱因斯坦** 在启发性原理的基础上,爱因斯坦为光电效应提出如下的“简单图像”:一个光量子把它所有的能量交给一个电子,一个光量子所能传递的能量独立于其他光量子的存在。他

还注意到,一个从物体内部逸出的电子在它到达物体表面以前,有一能量损失,令  $E_{\max}$  为能量损失为零情况下,逸出电子的能量,那么,爱因斯坦提出,我们有如下关系(用现代记号):

$$E_{\max} = h\nu - P \quad (19.24)$$

这里,  $\nu$  为入射辐射的(单色)频率,  $P$  为功函数,即电子从表面逸出所需的能量。爱因斯坦指出,方程(19.24)能够解释勒纳德的观察结果:电子能量与光强无关。

方程(19.24)代表着  $h$  的第二次出现。这个方程给出了崭新有力的预言。首先,  $E$  应随  $\nu$  线性变化;第二,  $(E, \nu)$  曲线的斜率是一个普适常数,与辐照物质的性质无关;第三,所预言的斜率值就是由辐射定律得到的普朗克常数。这些在当时都还是不知道的。

爱因斯坦还多次运用了他的启发性原理:(1)光致发光产生的光的频率不可能超过入射光的频率(斯托克斯定则)[E5];(2)光致电离时发射电子的能量不可能大于  $h\nu$ , 这里  $\nu$  为入射光频率[E5];<sup>①</sup>(3)1906年,他讨论了[启发性原理]在光效应的逆效应(伏打效应)中的应用[E8];(4)1909年,他处理了由X射线产生的二次阴极射线[E11];(5)1911年,他应用此原理预言了韧致辐射中的高频极限[E12]。

**1915: 密立根; 杜安—洪特极限** 1909年,第二篇关于光效应的评论出现了[L6]。从这篇文章中,我们可以看到,关于  $E_{\max}$  频率相关性的实验都在进步,但还没能做出明确的结论。在后来几年得出的结果中, J. J. 汤姆逊的关门弟子休斯(Arthur Llewel-

---

<sup>①</sup> 1912年,爱因斯坦[E10]指出,启发性原理不但能用于光致电离过程,而且还能以非常相似的方法用于光化学过程。

lyn Hughes)的工作特别有意义。他发现了线性的  $E-\nu$  关系和斜率参数,参数值在  $4.9 \times 10^{-27} \sim 5.7 \times 10^{-27}$  的范围内变化,与照射材料的性质有关[H5]。这个结果和其他一些结果在 1913 年受到了批评,还有人对休斯的结果表示了技术上的保留意见[P10]。然而,不久以后,金斯宣布了他对辐射理论的重要考察[J3],方程(19.24)“几乎普遍成立”。虽然观点存在分歧,但实验工作者显然开始向爱因斯坦关系靠拢了。

同时,在芝加哥大学,密立根已经在他的实验室里对这些问题研究好几年了。他曾以可见光(汞光谱中的一组谱线)为源,以各种碱金属为靶子(其光敏度高达  $0.6 \mu\text{m}$ )。1914 年 4 月 24 日和 1915 年 4 月 24 日,他在美国物理学会上两次报告了他的实验进展[M1,M2]。在 1916 年发表的长篇论文里,他详细叙述了实验过程,总结了漂亮的实验结果:方程(19.24)很好地成立,而且,“普朗克的  $h$ ,已经用光电效应的方法在 0.5% 的精度内确定了,大小为  $h=6.57 \times 10^{-27}$ 。”

伏打效应也证实了启发性原理。证据来自杜安(William Duane)和他的助手洪特(Franklin Livingston Hunt)1915 在哈佛做的 X 射线实验[D1]。(杜安是美国最早的生物物理学家之一,他对 X 射线感兴趣,很大程度上是因为它对治疗癌症有重大意义。)在常电势  $V$  下操作 X 射线管,他们发现产生的 X 射线频率有一个很陡的上限  $\nu$ ,正如爱因斯坦在 1906 年所预言的那样, $\nu$  由  $eV=h\nu$  决定。这个频率限,现在叫杜安—洪特极限。他们还得到相当不错的值,  $h=6.39 \times 10^{-27}$ 。

我在 18a 讲过密立根对这些发展的反应。杜安和洪特在论文里根本没有提到爱因斯坦。下面,我想系统评述一下对光量子思

想的各种反应。

## 19f. 对光量子假说的反应

普朗克、能斯特、鲁本斯和瓦尔堡 1913 年对爱因斯坦的评论，为我们下面要谈的内容定下了基调。那时，他们提议爱因斯坦为普鲁士科学院院士，联名写了推荐信，高度赞扬了爱因斯坦的成就，结尾是这样写的：“总之，我们可以说，在具有丰富内容的现代物理学的所有重大问题上，几乎没有哪个问题没有爱因斯坦的巨大贡献。可能有时他的设想会迷失方向，例如，他的光量子假说，但不能以此来否定他，因为即使在最精确的科学中，也不可能不冒一点风险而能提出新的观点”[K5]。

**1. 爱因斯坦的谨慎** 爱因斯坦的书信充分体现了他对物理学和人类的洞察力。他同量子理论在一般原则上的斗争和具体的同光量子假说的斗争，从来没有停息过。1951 年，他在给贝索的信中写道：“Die ganzen 50 Jahre bewusster Grübeleien haben mich der Antwort der Frage ‘Was sind Lichtquanten’ nicht näher gebracht”[E13]。<sup>①</sup>

在爱因斯坦的整个科学生涯中，量子物理学对他来说始终是一种危机现象。他对这场危机性质的看法可以改变，但危机并不会消失。这使爱因斯坦在他的著作中，总是小心翼翼地对待量子问题。3 月论文的标题所用的表达方式，已经明显地表现出这种

---

<sup>①</sup> “整整 50 年的冥思苦想，还是没能让我更加接近对这个问题的回答：光量子是什么？”

谨慎。提出光量子假说后的最初几年,爱因斯坦有充分理由认为它只不过是暂时性的。只有在  $h\nu/kT \gg 1$  区域,即维恩的黑体辐射定律成立的区域,爱因斯坦才可以很清楚地建立他的光量子理论。而且,他把它作为实验定律来用,不作任何解释。更重要的是,从一开始,他就明显地感到他的原理与电磁辐射的波动图像存在着尖锐的矛盾,而且,在他看来,这个矛盾无论当时还是以后都无法解决。像爱因斯坦这样一个坦荡诚实的人不会自欺欺人,因而他只有不断地强调他的假设的暂时性,除此之外别无选择。很清楚地表明这一点的,是在 1911 年第一届索尔未会议上,他说:“我坚持认为这个概念[光量子]具有暂时性特征,因为它与已由实验验证过的波动理论的结果不相协调”[E12]。

常常有那么多物理学家认为爱因斯坦打算放弃他的观点,这是很耐人寻味的。头一个就是爱因斯坦的崇拜者冯·劳厄。他在 1906 年给爱因斯坦的信中有这样的话:“至少在我看来,任何把几率概念应用于真空的论文,都是很值得怀疑的”[L7]。1907 年,他又写道:“我要告诉您,我对您已经放弃光量子假说,感到多么高兴!”[L8]。1912 年,索末菲写道:“爱因斯坦根据普朗克(作用量子)的发现,得到了极其深远的结果,并且把发射和吸收现象的量子性质转为空间光能的结构,今天,如我相信的,他已不再保留一点他原来[1905 年]的大胆的观点了”[S3]。说到光量子,密立根 1913 年说,爱因斯坦“放弃了……我想,大约在两年以前”[M3]。1916 年,他又写道:“尽管……爱因斯坦的[光效应]方程显然很成功,但那些符号所表达的物理理论看来是毫无根据的,我相信,爱因斯坦本人也不会再坚持它了”[M4]。

我感到,光量子假说的阻力太大了,爱因斯坦的谨慎几乎总是



被误解为有人所希望的那种动摇。但是,从他的论文和书信中,我没有找到什么证据说明他在什么时候否定过他 1905 年的任何陈述。

**2. 电磁学:自由场和相互作用** 爱因斯坦的 3 月论文是旧量子理论的第二篇革命性论文。第一篇革命性论文自然是普朗克在 1900 年 12 月所写的[P4]。两篇论文都提出了超越经典概念的建议,然而,普朗克思想所遭遇的阻力——肯定不是没有——就远不如爱因斯坦所遭遇的那么显著和强烈。为什么?

首先,我们来一般性地评述一下旧量子理论。旧量子理论的主要发现是关于物质和纯辐射的定态的量子规律。大体来讲,关于物质与辐射相互作用方面的电磁现象的最困难的问题,还没有出现过可资比较的突破。在这方面,只有当量子场论出现,建立了粒子的产生和湮灭的概念之后,才有可能取得进展。从此以后,相互作用问题的研究进步很大。然而,甚至在今天,它无论如何还是一个超出了本书范围的问题领域。

如我们在 19a 所看到的,普朗克为描述纯辐射的光谱性质引入量子概念,他的方法是把量子化过程用于物质,即用于他的物质振子。他不知道他的假设意味着要求对经典辐射场自身进行修正。他的推导只包含对物质与辐射相互作用的修正。这也没什么奇怪的,因为相互作用问题本身就很模糊。相反,爱因斯坦在提出光量子假说时,敢于大胆对人们(有充分理由)相信已经理解得很透彻的麦克斯韦自由场方程组进行修改。因而,接受普朗克的狂想,比接受爱因斯坦的,似乎会在心理上更坦然一些。

普朗克和爱因斯坦分别提出的这两个理论观点得到了不同的评价,这在当时一些大理论家们的文章中表现得很明显。普朗克

本人对光量子就有很大的保留。1907年,他在给爱因斯坦的信中写道:

我不在真空中去寻找作用量子[光量子]的意义,而是在吸收和发射发生的地方去寻找,[我]认为,真空中所发生的一切,都由麦克斯韦方程严格地描述了。[P11]

普朗克在1909年的一次物理学会议上的一段评论,生动地说明了他和其他一些人倾向于让辐射场“走到一边去”,而宁愿在相互作用中寻求量子佯谬的解决:

我相信,我们应该首先努力把量子理论的所有困难,都转移到物质与辐射相互作用的领域中去。[P12]

同一年里,洛伦兹表示,他相信“普朗克的能量元假说”,但是对“在传播中保持独立的光量子”,他也抱很强的保留态度[L9]。

因而,到20世纪头10年结束时,理论权威们开始准备接受这样的事实:量子理论走到头了。然而,单纯而简单的麦克斯韦自由场理论,似乎既没留下修正的余地,也不是无知的避风港,同关于物质和辐射的相互作用的不太明朗的情形,形成了鲜明的对照。直到20世纪20年代,这种状况也没有多大改变,仍然是反对爱因斯坦观点的最深刻的思想根源。

**3. 实验的冲击** 关于旧量子理论的头三篇革命性论文,是普朗克[P4]、爱因斯坦[E5]和玻尔[B2]写的那3篇。3篇文章都提出了超越经典概念的建议,然而,普朗克和玻尔的思想所遭遇的阻

力,当然也不是没有,却远不如爱因斯坦遭遇的那么显著和强烈,为什么?回答是:因为实验的冲击。

物理学家,特别是好的物理学家,喜欢一个人进行科学思考而不满意大家做的。他们是保守的革命者,只要有可能就挖空心思 385 反对改革,但当证据确凿时,他们又会欢迎改革。如果不这样,物理学就会抛弃他们。

我同爱因斯坦常就用于确认基本新思想的证据的实验可靠性进行争论。在第 25 章,我将更多地讨论这个问题。这里,我接下来谈实验发展对人们接受普朗克、玻尔和爱因斯坦思想所产生的影响。

先说普朗克。他很熟悉柏林的帝国物理技术研究所做的第一流的黑体辐射实验数据,这无疑是他 1900 年发现的关键因素(尽管不能说是惟一的决定性因素)。一开始,实验就为普朗克公式被人们接受奠定了基础。人们可以(的确也应该)像 1905 年爱因斯坦那样怀疑他的推导,而同时,无论是爱因斯坦或是其他任何人,都不能否认普朗克得出的非凡的普适曲线与实验结果惊人地符合,不管怎么说,他总做对了什么。

1913 年 4 月,玻尔关于氢原子的论文[B2]是革命性的,当然也没有马上被普遍接受。但是,没有人能否认他提出的氢原子的里德伯常数的表达式  $2\pi^2 e^4 m/h^3 c$  是相当精确的(1913 年,误差在 6%以内)。1913 年 10 月,他又为一价氦离子与氢原子的里德伯常数之比提出了基本推导,结果与实验在五位有效数字上符合[B3],这就更明显地说明,玻尔的思想与现实世界有着极大的关系。据说,当爱因斯坦知道氦/氢比后,曾这样说玻尔的工作:“那么这是最伟大的发现之一”[H6]。

相比之下,爱因斯坦就没有什么可以向人们表现的东西了。

的确,爱因斯坦也提出过许多在他 1905 年论文中的假设下的实验结果。但是,他没有拟合曲线,没有精确可靠的数据。他指出,在光电效应中,电子能量对于固定频率的光为常数,这解释了勒纳德的结果。但是勒纳德的测量精度不高,还不能阻挡 J. J. 汤姆逊和索末菲提出的其他类型的光电效应理论,在这些理论中,勒纳德定律不能严格成立[S4]。爱因斯坦的光电方程  $E = h\nu - P$ , 预言了  $E$  与  $\nu$  的线性关系,但在爱因斯坦提出他的启发性原理时,除了  $E$  随  $\nu$  增加这一点事实外,没有人知道  $E$  是如何依赖  $\nu$  的。爱因斯坦没有玻尔和普朗克那么幸运,他等了 10 年,才看到他的一个预言, $E-\nu$  的线性关系被证实,这在上一节已经讨论过了。这些实验发现的一个直接有力的结果,是令其他光电效应理论一下子就从物理学舞台上消失了。

不过,即使这个时候,爱因斯坦仍然是远离大家(apartness)的。

我已经说过,密立根欣赏爱因斯坦关于光效应的结果,但尽管  
386 如此,他仍然宣称,光量子理论“似乎毫无根据”[M5]。1918 年,卢瑟福评论杜安—洪特的结果说,“关于能量和频率这种引人瞩目的关系,现在还没有可能的物理解释”[R7]。类似的例子还可以举出一些,事实上,即使在爱因斯坦的光电效应被广泛接受以后,除了爱因斯坦本人,几乎没有人还与光量子有关。

这种情形持续到 20 世纪 20 年代初。作为最好的说明,我引用 1922 年诺贝尔奖委员会对爱因斯坦的评价:“因为他对理论物理学的贡献,特别是因为他的光电效应定律的发现”[A2]。这不仅是历史的轻描淡写,也是当时物理学界的共同看法的反映。

总之,对光量子的强烈反对,植根于波-粒佯谬。反对势力的增强是由于光量子假说抛弃了据信是研究透彻了的电磁学的部分理论:自由场理论。不仅如此,实验的验证也姗姗来迟,即使光电效应的预言得到验证,光量子还是很难被人们接受。爱因斯坦自己一直强调光量子假说的暂时性特征,又反过来稳固了其他物理学家对此的保留态度。

1905年3月之后,爱因斯坦坐下来写他的博士论文。然而,布朗运动、狭义相对论和等效原理接踵而至。直到1909年他才又回到光量子。然而,1906年,他为量子物理学又有过一大贡献:他的比热理论,这是下一章的内容。我们在第21章再来谈光量子。

#### 参考文献

- A1. A. B. Arons and M. B. Peppard, *Am. J. Phys.* **33**, 367(1965).
- A2. S. Arrhenius in *Nobel Lectures in Physics*, Vol. 1, p. 478. Elsevier, New York, 1965.
- B1. U. Benz, *Arnold Sommerfeld*, p. 74, *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft*, Stuttgart, 1975.
- B2. N. Bohr, *Phil. Mag.* **26**, 1(1913).
- B3. —, *Nature* **92**, 231(1913).
- C1. P. Curie and G. Sagnac, *C. R. Acad. Sci. Paris* **130**, 1013(1900)
- D1. W. Duane and F. L. Hunt, *Phys. Rev.* **6**, 166(1915).
- E1. A. Einstein, *Forschungen und Fortschritte* **5**, 248(1929).
- E2. —, *Naturw.* **1**, 1077(1913).
- E3. — in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Ed.), p. 2. Tudor, New York, 1949.
- E4. — in *Out of My Later Years*, p. 229. Philosophical Library, New York, 1950.
- E5. —, *AdP* **17**, 132(1905).
- E6. —, *Naturw.* **1**, 1077(1913).

- E7. —, *AdP* **14**, 354(1904).
- E8. —, *AdP* **20**, 199(1906).
- 387 E9. J. Elster and H. Geitel, *AdP* **41**, 166(1890).
- E10. A. Einstein, *AdP* **37**, 832(1912); **38**, 881, 888(1912).
- E11. —, *Phys. Zeitschr.* **10**, 817(1909).
- E12. — in *Proceedings of the First Solvay Congress* (P. Langevin and M. de Broglie, Eds.), p. 443. Gauthier-Villars, Paris, 1912.
- E13. —, letter to M. Besso, December 12, 1951, *EB* p. 453.
- H1. G. Hettner, *Naturw.* **10**, 1033(1922).
- H2. A. Hermann, *Frühgeschichte der Quantentheorie 1899 — 1913*, p. 32. Mosbach, Baden, 1969.
- H3. H. Hertz, *AdP* **33**, 983(1887).
- H4. W. H., *AdP* **33**, 310(1888).
- H5. A. L. Hughes, *Trans. Roy. Soc.* **212**, 205(1912).
- H6. G. de Hevesy, letter to E. Rutherford, October 14, 1913. Quoted in A. S. Eve, *Rutherford*, p. 226. Cambridge University Press, Cambridge, 1939.
- J1. J. H. Jeans, *Phil. Mag.* **10**, 91(1905).
- J2. —, *Nature* **72**, 293(1905).
- J3. —, *The Electrician*, London, 1914, p. 59.
- K1. G. Kirchhoff, *Monatsber. Berlin*, 1859, p. 662.
- K2. —, *Ann. Phys. Chem.* **109**, 275(1860).
- K3. H. Kangro, *History of Planck's Radiation Law*. Taylor and Francis, London, 1976.
- K4. M. Klein in *History of Twentieth Century Physics*. Academic Press, New York, 1997.
- K5. G. Kirsten and H. Körber, *Physiker über Physiker*, p. 201. Akademie Verlag, Berlin, 1975.
- L1. O. Lummer and E. Pringsheim, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **2**, 163 (1900).
- L2. S. P. Langley, *Phil. Mag.* **21**, 394(1886).
- L3. H. A. Lorentz in *Collected Works*, Vol. 3, p. 155. Nyhoff, the

Hague, 1936.

- L4. P. Lenard and M. Wolf, *AdP* **37**, 443(1889).  
L5. —, *AdP* **8**, 149(1902).  
L6. R. Ladenburg, *Jahrb. Rad. Elektr.* **17**, 93, 273(1909).  
L7. M. von Laue, letter to A. Einstein, June 2, 1906.  
L8. —, Letter to A. Einstein, December 27, 1907.  
L9. H. A. Lorentz, letter to W. Wien, April 12, 1909. Quoted in [H2],  
p. 68.  
M1. R. A. Millikan, *Phys. Rev.* **4**, 73(1914).  
M2. —, *Phys. Rev.* **6**, 55(1915).  
M3. —, *Science* **37**, 119(1913).  
M4. —, *Phys. Rev.* **7**, 355(1916).  
M5. —, *Phys. Rev.* **7**, 18(1916).  
P1. W. Paschen, *AdP* **60**, 662(1897).  
P2. M. Planck in M. Planck, *Physikalische Abhandlungen und Vorträge*  
(M. von Laue, Ed.), Vol. 3, p. 374. Vieweg, Braunschweig, 1958.  
P3. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **2**, 202(1900); *Abhandlungen*, Vol. 1,  
p. 687.  
P4. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **2**, 237(1900); *Abhandlungen*, Vol. 1,  
p. 698.  
P5. —, *AdP* **1**, 69(1900); *Abhandlungen*, Vol. 1, p. 614.  
P6. W. Pauli, *Collected Scientific Papers*, Vol. 1, pp. 602 — 607. Inter-  
science, New York, 1964.  
P7. M. Planck, *AdP* **4**, 553(1901); *Abhandlungen*, Vol. 1, p. 717.  
P8. E. Pringsheim, *Arch. Math. Phys.* **7**, 236(1903).  
P9. M. Planck, *AdP* **4**, 564(1901); *Abhandlungen*, Vol. 1, p. 728.  
P10. R. Pohl and L. Pringsheim, *Phil. Mag.* **26**, 1017(1913).  
P11. M. Planck, letter to A. Einstein, July 6, 1907.  
P12. —, *Phys. Zeitschr.* **10**, 825(1909).  
R1. H. Rubens and F. Kurlbaum, *PAW*, 1900, p. 929.  
R2. — and E. F. Nichols, *AdP* **60**, 418(1897).  
R3. E. Rutherford and H. Geiger, *Proc. Roy. Soc.* **A81**, 162(1908).

- R4. J. W. S. Rayleigh, *Phil. Mag.* **49**, 539(1900).
- R5. —, *Nature* **72**, 54(1905).
- R6. —, *Nature* **72**, 243(1905).
- R7. E. Rutherford, *J. Röntgen Soc.* **14**, 81(1918).
- S1. J. Stefan, *Sitzungsber. Ak. Wiss, Wien, Math. Naturw. Kl, 2 Abt.* **79**, 391(1879).
- S2. E. von Schweideler, *Jahrb. Rad. Elektr.* **1**, 358(1804).
- S3. A. Sommerfeld, *Verh. Ges. Deutsch. Naturf. Ärzte* **83**, 31(1912).
- S4. R. H. Stuewer, *The Compton Effect*, Chap. 2. Science History, New York, 1975.
- T1. J. J. Thomson, *Phil. Mag.* **48**, 547(1899).
- T2. —, *Phil. Mag.* **44**, 269(1897).
- T3. —, *Phil. Mag.* **8**, 547(1899).
- W1. W. Wien, *PAW*, 1893, p. 55.
- W2. —, *AdP* **58**, 662(1896).



## 第 20 章 爱因斯坦和比热

389

量子理论越成功，它就越显得无聊。

A. 爱因斯坦，1912 年

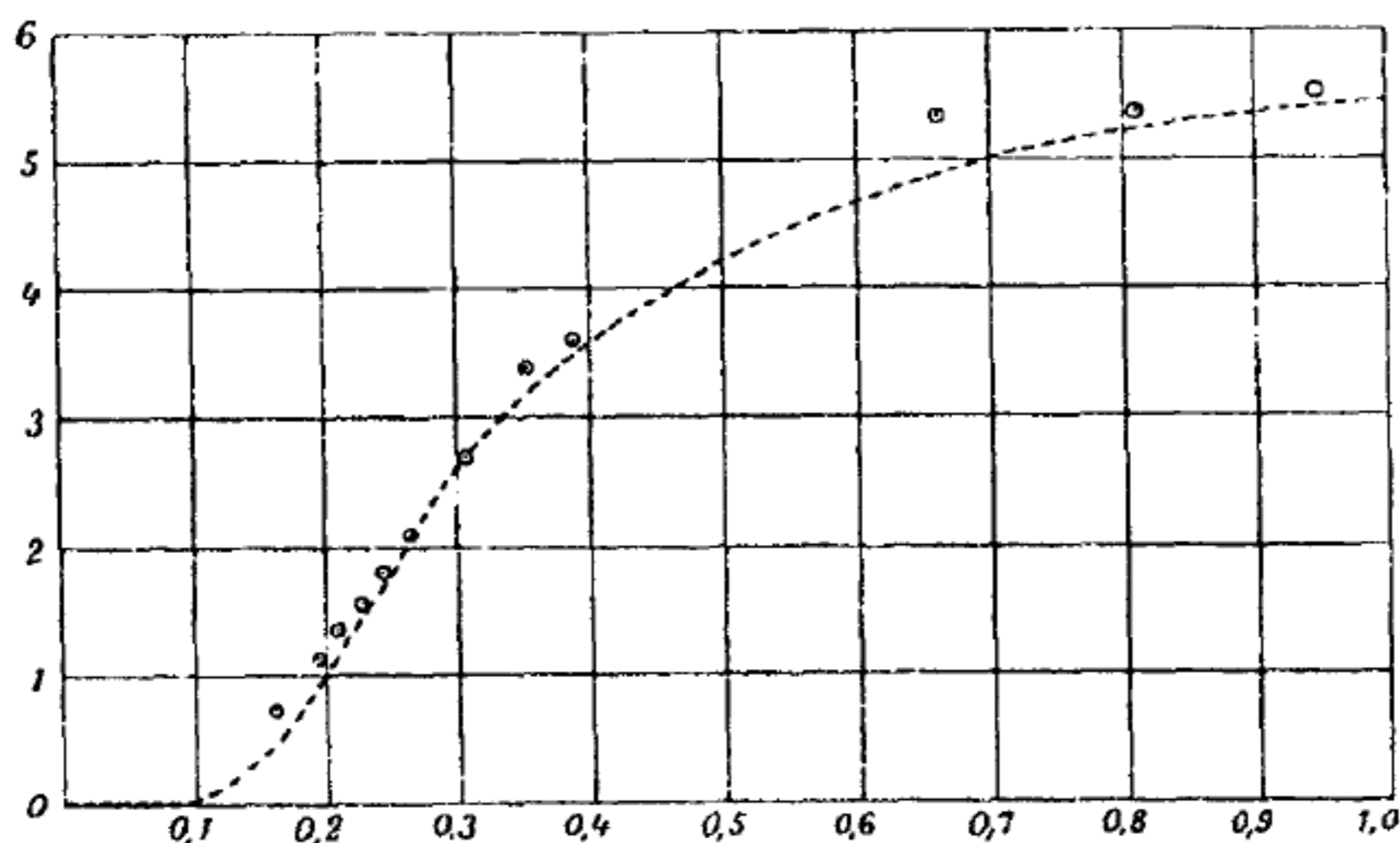
### 20a. 19 世纪的比热

20 世纪头 10 年结束的时候，量子理论的三大发现都已完成。它们是：黑体辐射定律、光量子假设、固体比热的量子理论。虽然它们都是从统计观点产生出来的，然而，从理论进步到各自的实验验证，三者却有着截然不同的经历。普朗克获悉远红外实验补充了早期的高频结果后，很快便建立起他的辐射定律。光量子的经历就大不相同。爱因斯坦的假设在其判决性实验检验好多年前就提出来了。下面我们还将看到，比热还有不同的故事。爱因斯坦 1906 年 11 月提交的关于比热的第一篇论文[E1]，在定性上正确解释了早在 1840 年就发现的一个反常现象：室温下金刚石的低比热现象。爱因斯坦证明，那可以理解为一种量子效应。文中有一张图（见下页），把比热作为温度的函数。这是固体量子理论史上的第一幅图，而且据我所知，爱因斯坦只发表过三次用图来进行理论和实验的对比，这是其中的一个例子（另外一个例子将在 20b 说到）。

为了认识反常，人们需要一种理论或一个原则，或至少是某种偏见。刚才我说过，比热的特性，在爱因斯坦解释它们之前，已经发现半个多世纪了。而且，1906 年前，我们知道气体的比热呈现

着更为奇异的性质。从哪些方面来看金刚石异乎寻常？其他物质又怎么样？为了透彻地了解爱因斯坦的贡献，有必要概述一下这些问题的答案。于是，我先来简单谈谈 19 世纪的比热研究。

1819 年，两个法国青年杜隆 (Pierre Louis Dulong) 和珀替 (Alexis Thérèse Petit) 从合作多年的计温学研究中得到一个意外发现。他们看到，对许多金属和硫 (在室温下) 来说，每克原子的比热



关于固体量子理论的第一张图：图中曲线是爱因斯坦的固体比热 [由方程 20.4 决定] 对  $h\nu/kT$  的关系。小圆是韦伯 (Weber) 的金刚石实验数据。爱因斯坦与韦伯测量的最佳拟合对应于  $h\nu/k \cong 1300K$ 。

$c^{\text{①}}$  (以后我们叫它比热) 有相同的实验值，约等于 6 卡/摩尔·度 [P1]。他们当然不会认为这只是偶然的巧合：“[从这些数据]我

① 准确地说，这里和以后要提到的固体比热测量值，都是在大气压力下的  $c_p$ 。之后还要把它同  $c_v$  的理论值进行比较，这要求从  $c_p$  到  $c_v$  的一个小小修正，但我们不考虑它 [L1]。

们可以推断出下面的定律：所有简单物体[元素]的原子都有相同的热容量”。他们没有把结论限于固态元素，而从一开始便相信，进一步的实验也许会证明这个定律对气体也成立。然而，1830年发现，他们的定律最多只能适合于固体。

在近代化学的萌芽时期，关于原子的重量还有好些东西需要研究。实际上，为了使数据满足他们的定律，杜隆和珀替曾多次正确地把从前用其他方法获得的原子重量减半[F1]。多年来，他们的规则一直是确定原子重量的一个重要工具。

但后来很快就明白，即使对于固体元素，杜隆-珀替定律也不像提出者原先想象的那么普遍适用。阿伏伽德罗第一个注意到了碳的偏差，不过他的测量也不很精确[A1]。<sup>①</sup> 1840年，当两个瑞士物理学家德拉里维(Auguste de la Rive)和马尔塞(François Marcet)报告碳的研究结果时，情况更加严峻。特别是，他们“费了好大气力”才弄到足够的金刚石粉做实验，发现  $c \approx 1.4$  [R1]。几乎同时，勒尼奥(Henri Victor Regnault)也在研究金刚石，在19世纪，他是进行比热的实验研究最多的一个物理学家，他得到的值是  $c \approx 1.8$  [R2]，而且他关于碳的结论也直截了当：碳“完全是简单物体的一个例外：它不满足联系比热和原子重量的普遍定律。”接着的20年间，他不断研究比热，发现了更多偏离那个普遍定律的例子，尽管偏离的程度都没有金刚石那么大。

我们现在来到19世纪的70年代，当时在柏林的H. F. 韦伯<sup>②</sup>取

---

① 1833年，阿伏伽德罗得到碳在室温下  $c \approx 3$ ，这个值太高，因为它恰好是杜隆-珀替值的一半，于是阿伏伽德罗错误地猜测，“我们必须把硫和一般的金属原子[即原子量]减少一半”[A1]。

② 韦伯是爱因斯坦的老师，我们曾在第3章谈到过他。爱因斯坦听韦伯讲课的笔记现在还在。那些笔记说明，学生时代的爱因斯坦还不知道韦伯的结果。

得了新进展。他先重新分析了德拉里维和马塞的结果,以及勒尼奥等人的数据。他从而得出一个正确的结论:这些作者所获得的金刚石比热的不同数值不是系统误差造成的,而在于德拉里维—马塞值适合  $3\sim 14^{\circ}\text{C}$  的温度范围,勒尼奥的值则满足  $8\sim 98^{\circ}\text{C}$  的范围。韦伯指出,如果碳的比热是随着温度改变的,那么上面两个实验都是正确的[W1]! 对有些物质(如水)来说,比热随温度的微小变化早已为人所知了[N1]。然而,韦伯却提出(比热)强烈依赖于温度——一个全新而大胆的想法。他从  $0^{\circ}\text{C}$  到  $200^{\circ}\text{C}$  进行 12 次测量,证实了自己的猜想:金刚石的比热  $c$  在这个温度范围里的变化高达 3 倍。他还想继续他的实验,可惜 3 月来临,他的冰量热器没有足够的雪源。他声明,“一旦天气允许”,他会继续进行测量。当他在  $-100\sim 1000^{\circ}\text{C}$  完成了硼、硅、石墨和金刚石比热的漂亮测量时,已经是 1875 年 3 月了[W2]。在那个温度范围内,金刚石的  $c$  值的极端变化达 15 倍。

到 1872 年时,韦伯已经猜到他将在 1875 年证实的结果:在高温  $T$  下, $[c]$ 基本上接近杜隆—珀替值。用韦伯的话说,“令杜隆—珀替定律不安的那三个奇怪的例外[碳、硼、硅],现在已经排除了, 392 杜隆—珀替定律对固态元素的比热是无一例外地严格成立的”[W2]。当然,这句话不太正确,但它明显进步了。上面那个图中的实验点就是韦伯 1875 年做的。<sup>①</sup>

1872 年,除韦伯外,另一位物理学家迪尤尔(James Dewar)也在想,也许碳在高温下能达到杜隆—珀替值  $c\approx 6$ 。他研究碳的方

---

<sup>①</sup> 19 世纪末,人们看到  $c$  随温度下降的例子要普遍得多,远不止碳、硼、硅几个[B1]。

法与众不同：因为涉及太阳温度，他便去注意碳的沸点，这将他引向高温实验，得到的结论认为[D1]，碳从  $0^{\circ}\text{C}$  到  $2000^{\circ}\text{C}$  的平均比热大约等于 5，而“在  $2000^{\circ}\text{C}$  时，实际比热[每克]至少应为 0.5，才能使碳在这样的温度下满足杜隆—珀替的定律。”<sup>①</sup>

对我们现在的主题来说，迪尤尔的最大贡献是极低温下的研究。1898 年他液化了氢，1905 年他报告了首次在这个新开辟的温度区内进行的比热测量。一点也不奇怪，他选的第一批实验物质就有金刚石。这一次他发现，在 20K 到 85K 的范围内，碳的比热平均值很低， $c \approx 0.05$ ，“比热测定这一无限的研究天地，现在向人们敞开了。”迪尤尔在他那篇论文[D2]中这么写道。他的研究，包括在维甘德(Alfred Wigand)的一篇详尽汇集了有关固体元素比热研究文献的文章里[W3]，这篇文章与爱因斯坦第一篇关于比热的量子理论的论文，发表在同一期《物理学纪事》上。有关在爱因斯坦研究以前的实验发展，我就说到这里了。

杜隆—珀替定律的理论解释要归功于玻耳兹曼。1866 年，他曾为这个问题花费过不少精力，但没成功[B2]。又过了 10 年，他才认识到，这个定律可以通过经典统计力学的能量均分定理来解释。1860 年，人们就知道了能量均分定理的最简洁形式：每一自由度的平均动能为  $kT/2$ 。<sup>②</sup> 1871 年，玻耳兹曼证明，对其中的每个粒子都在外加谐和力下做简谐振动的粒子系统来说，它的平均动能等于平均势能[B4]。1876 年，他把这个结果用到三维晶格点

---

① 韦伯与迪尤尔之间发生过一场优先权之争，不过，按 19 世纪的标准来看，这场争论是很小的。不管怎么说，我们相信，这个观点是韦伯一个人通过 1875 年详尽的测量确立的。

② 这个结果属于瓦特斯頓(John James Waterston)和麦克斯韦[M1](他们的叙述有些不同)。关于瓦特斯頓的奇特故事，见[B3]。

阵[B5],得到平均能量为  $3RT \cong 6$  卡/摩尔。于是,定容比热  $c_v$  等于 6 卡/摩尔·度。这样,经过半个多世纪,杜隆—珀替值终于找到了理论根据!用玻耳兹曼自己的话来讲,他的结果“对于除了碳、硼<sup>①</sup>和硅以外的所有简单固体”,都符合得很好。接着,他进一步设想,反常也许是自由度减少的结果,而自由度的减少是因为邻近格点的原子在低温下的“相互粘结”。其他作者曾发挥过这个想法[R3],1906年维甘德在他的评论里把它作为这个效应的最好解释。我谈这个错误的假设,无非想强调重要的一点:在爱因斯坦1906年的论文发表之前,人们还没有认识到金刚石反常在于经典的均分定理失效了(或者说它不适用了)。爱因斯坦第一次明确指出了这个事实。

另一方面,人们却清楚地知道,均分定理用于气体比热时困难重重。对19世纪的大师们来说,这太值得注意了。尽管这个话题与爱因斯坦1906年的工作没有直接关系,但是我相信,简单地说说为什么气体会引起那么多麻烦,以完成19世纪的物理图景,也许还是有用的。

其中的原因,麦克斯韦在1875年的演讲中,已经说得很清楚了:

分光镜告诉我们,有些分子能够进行许多种不同的振动,从而它们必然是一个高度复杂的系统,远不止有6个变量[刚体的特征数]……每多一个变量,就提高一分比热。……我们每次为分子增加一点复杂程度,便只会增加协调比热的观测

---

① 这位可爱的教授写的是 *bromine*(溴),实际上指的是 *boron*(硼)。

值与计算值的困难。现在我已经将我所认为的分子理论正面临着的最大困难摆到了你们面前。[M2]

麦克斯韦深感疑惑的是,振动消失到哪里去了。下面这个过于简单的图像足以说明,他在为什么烦恼。考虑由  $n$  个无结构原子组成的分子,自由度是  $3n$ , 3 个平动的自由度,最多还有 3 个转动的自由度,其余是振动的自由度。联系每个自由度的动能对  $c_v$  的贡献是  $kT/2$ , 另外,还有一份正的贡献来自势能。麦克斯韦认为,这差不多总是会使比热太大的。在他演讲的影响下,单原子气体成了人们注意的焦点。1876 年,能量均分定理获得重大成功:它发现,对汞蒸气,  $c_p/c_v \approx 5/3$ , 符合  $c_v = 3R/2$  和理想气体定律  $c_p - c_v = R$ [K1]。从勒尼奥的时候起,<sup>①</sup>人们就知道有几种双原子分子(包括氢)的  $c_v$  近于  $5R/2$ 。但是,麦克斯韦也没能认识到这个值正是均分定理用于刚性哑铃型分子的结果,那首先是玻耳兹曼发现的[B5]。那么,均分定理还是很有用的,尽管从总体上看,气体比热还模糊不清。

情况越发严重了。当 1900 年来临时,好些例子都说明  $c_v$  与温度(微弱地)相关[W4],这显然有悖于经典概念。难怪玻耳兹曼很烦恼。他对固体比热反常的解释在气体情况不适用了,稀薄的气体分子几乎不可能互相粘结! 1895 年,他想了一条出路:均分定理对气体是正确的,但不适用于不存在热平衡的气体—以太联合系统:“全部以太没有机会进入同气体分子的热平衡,而且,如果

---

<sup>①</sup> 韦尔纳(Wüllner)的教科书[W4]详细评述了从拉瓦锡时代到 1896 年的气体比热的研究历史。

它和气体分子在同一容器内封闭无限长时间,它就不可能保持它所具有的状态”[B6]。

开尔文的观点不同,他认为,经典的均分定理是错误的。尽管他没能发现那个定理在理论来源上的缺陷,但他还是坚持自己的看法。1900年,他在皇家研究院的演讲中说[K2]:“停留在满足于关于玻耳兹曼—麦克斯韦原则的那些未经证明的数学论断和不正确的实验判决,是……不太可能的。”他总结自己的立场说:“排除这些困难的最简单的办法,就是放弃那个原则”[K3]。

最后,我们来看瑞利的观点:均分定理的证明是正确的,而且在气体分子与以太之间也存在着热平衡。于是危机出现了:“看来,需要的正是那些避免了[从均分导出的]普遍结论有害的简单性的东西”[R4]。

爱因斯坦就是在这样的背景下,研究比热问题的。

## 20b. 爱因斯坦

直到1906年,普朗克的量子依然只是黑体辐射问题中的一个孤立角色。爱因斯坦关于比热的研究[E1]便尤其重要了,因为他首先指出量子概念有着更加广泛的适用性。他1906年的论文是不寻常的,我们会看到,爱因斯坦想用一個他知道是近似的模型,来得到一个基本原理。另一方面,这篇论文和他别的开创性文章一样,直截了当地揭示出了问题的实质。

早在1906年,爱因斯坦就接受了普朗克关于 $\rho$ 与平衡能量 $U$ 的关系[方程(19.11)],把它作为一个新的物理假定(见19d)。我们在19a看到,普朗克通过引入一个修正了玻耳兹曼的状态计数



方式的法则,从而得到了如下的表达式:

395

$$U(\nu, T) = \frac{\xi k T}{\exp \xi - 1} \quad \xi = \frac{h\nu}{kT} \quad (20.1)$$

爱因斯坦的论文从一个新法则出发,得到同样结果。他把  $U$  写成<sup>①</sup>

$$U(\nu, T) = \frac{\int E e^{-E/kT} \omega(E, \nu) dE}{\int e^{-E/kT} \omega(E, \nu) dE} \quad (20.2)$$

指数因子代表能量  $E$  的统计几率,权重因子  $\omega$  蕴含着  $E$  到  $E+dE$  之间的状态密度的动力学内容。在我们目前考虑的(线性谐振子)情况下,  $\omega$  在经典理论中是平凡的:  $\omega(E, \nu) = 1$ 。这就得到均分的结果  $U = kT$ 。爱因斯坦为  $\omega$  提出一个新形式。令  $\epsilon = h\nu$ 。那么,  $\omega$  只有在  $n\epsilon < E < n\epsilon + \alpha, n = 0, 1, 2, \dots$  时,才不为零,“这里  $\alpha$  同  $\epsilon$  相比,是一无穷小量。”因而,对一切  $n$ ,有

$$\int_{n\epsilon}^{n\epsilon + \alpha} \omega dE = A \quad (20.3)$$

常数  $A$  的大小无关紧要。从数学来看,这正是  $\delta$  函数的前身! 现在我们写成  $\omega(E, \nu) = \sum_n \delta(E - nh\nu)$ 。从方程(20.2)和(20.3),我们又回到方程(20.1)。这个新公式的重要性在于,它第一次明确地将问题的统计特性和动力学特性区别开来。正如索末菲后来指出的[S1],“自由度必须加权,而不是计数”。

爱因斯坦在评论方程(20.1)的新推导时指出:“我相信,我们是不会满足于这个结果的”[E1]。他问,如果为了解释辐射特征,我们必须修正关于周期性振动结构的理论,那么,对于热的分子理论中的其他问题,我们是否也必须这么做?“在我看来,答案是明

---

① 我并不总是采用原始论文的符号。

确的。如果普朗克的辐射理论深入了事物的本质,那么我们也只好希望去发现,在热理论的其他领域内,目前的[即经典的]运动理论与实验之间有什么矛盾——这些矛盾可以按照这个新途径来解决。我认为,这个希望实际上已经实现了。”

接着,爱因斯坦讨论固体的比热。他引进下面的三维晶格模型,格点上的原子独立地、各向同性地做谐振动,在平衡位置附近  
396 具有单一的频率  $\nu$ , (爱因斯坦注明,忽略由热引起的体积变化和原子内电子的运动对比热的贡献)。他强调,由于这些近似,当然不能指望有严格的答案。

**第一个推广** 爱因斯坦把方程(20.2)用于他的三维振子。在热平衡下,振子的每克原子的总能量等于  $3NU(\nu, T)$ , 这里  $U$  由方程(20.1)给出,  $N$  是阿伏伽德罗常数,由此,

$$c_v = 3R \frac{\xi^2 e^\xi}{(e^\xi - 1)^2} \quad (20.4)$$

这就是爱因斯坦的比热公式。

**第二个推广** 爱因斯坦起初相信,他的振荡格点是一些带电离子,他为什么这么想,对我们今天来说,没有特别的意义。几个月以后,他发表了对论文的修正,发现那个假定是不必要的[E2] (在普朗克的情况下,线性振子当然是带电的!)。(附带说一句,我们可以认为),爱因斯坦的修正使量子脱离了与电磁的任何特殊的依赖性。

爱因斯坦的比热公式首先给出了高温极限下的杜隆-珀替定律,而且,在我们知道的比热公式中,它第一个有如下的性质:

$$c_v(T) \rightarrow 0 \quad \text{当 } T \rightarrow 0 \text{ 时} \quad (20.5)$$

我们在下一节将看到,在能斯特热定理的最后形式中,方程

(20.5)起着重要的作用。

爱因斯坦的比热公式只含一个参数,能自由选择的只有频率 $\nu$ <sup>①</sup>或者与它等价的,“爱因斯坦温度” $T_E$ ,即 $\xi=1$ 时的 $T$ 值。前面我们说过,爱因斯坦曾把他的公式同韦伯的金刚石测量点进行对比,用温度来说,他的公式在 $T_E \approx 1300\text{K}$ 时,与实验符合得最好,“点实际上几乎都在曲线上。”那么高的 $T_E$ 值说明,为什么像金刚石那样轻而硬的物质在室温下表现出量子效应(对比一下,对铅来说, $T_E=70\text{K}$ )。

爱因斯坦自己说,他用的韦伯数据来自兰多尔特—玻恩斯坦(Landolt-Bornstein)表,他用的可能是1905年版[L2],在专利局大概很容易找到这个版本。那些表没有包括迪尤尔早在1905年就提出的结果,显然,爱因斯坦在1906年还不知道这些数据(尽管德国物理学家在那一年注意过这些结果[W3])。也许,这是幸运的,不管怎么说,迪尤尔的金金刚石值 $c_v \approx 0.05$ 意味着 $\xi \approx 0.02 \sim 0.07$ 的平均区间,这个值太大了,不能同爱因斯坦的方程(20.4)(同时也同韦伯的观点)协调起来:那个方程表明,当 $T \rightarrow 0$ 时, $c_v$ 按指数下降,太陡了。

爱因斯坦1911年确实知道这一矛盾,那时,能斯特获得的更好数值表明,方程(20.4)在低温 $T$ 下失效了[N2]。能斯特正确地将矛盾归因于点阵振荡为单一频率这个错误的假定。爱因斯坦自己曾修正过这个假定[E4]。在低温下,正确的温度关系是德拜首先获得的;对于非金属物质,当 $T^3 \rightarrow 0$ 时, $c_v \rightarrow 0$ [D3]。当德拜的

---

<sup>①</sup> 在后来的一篇论文里,爱因斯坦试图将这个频率同物质的可压缩性联系起来[E3]。

结果出现时,玻恩和冯·卡门(Theodore von Kármán)对点阵振荡的更精确的处理也完成了[B7]。这时候,爱因斯坦则已经结束了比热的研究。于是,以后的进一步发展就用不着在这里讨论了。

然而,爱因斯坦在1913年又回到比热上来,这次他考虑的是气体情况。这是自1912年奥伊肯(Arnold Eucken)的关键发现以来,在这方面的实验取得重大进步的结果。很久以前人们就知道,对氢分子来说,在室温下 $c_v \approx 5$ 。奥伊肯证明,这个值随着温度的降低而降低,当 $T=60\text{K}$ 时, $c_v \approx 3$ [E5]。如我们今天所知道的,这个结果的原因是分子在那样低的温度下,两个转动自由度被冻结了。爱因斯坦在1913年就正确地想到,这个效应与转动行为有关,并想给出一个定量的理论。在有关这个题目的一篇论文中,我们又一次看到爱因斯坦用来比较理论和实验的曲线[E6],不过,这一回他错了。他的答案在根本上依赖于一个错误的假定:转动自由度具有零点能。<sup>①</sup>

1925年,爱因斯坦还要最后一次回过头来关注极低温下的气体,我们将在23b看到。

## 20c. 能斯特:第一届索尔未会议<sup>②</sup>

“当温度趋于绝对零度时,体系的熵将趋于一个普遍的常数,它与体系的化学或物理的组成无关,也与它可能依赖的那些参数

---

<sup>①</sup> 1920年,爱因斯坦声明他将发表一篇关于氢分子惯量矩的论文[E7],但是,这篇文章从来没有发表。

<sup>②</sup> 在克莱因的一篇文章[K4]和赫尔曼的一本书[H1]的帮助下,我写这一节是很轻松的。

无关。可以认为这个常数是零。”这个热力学第三定律的一般形式,暗示着(除几个例外的情况),当  $T \rightarrow 0$  时,比热趋于 0(见 [H2])。这个“热定理”的最早也最原始的陈述是在 1905 年爱因斯坦写他的第一篇比热论文之前提出来的,而热力学第三定律的最后形式,却是在经过了几十年的争论和混乱之后,<sup>①</sup>才得到并被接受的。现在,我们来注意爱因斯坦的工作对这段历史发展的影响是很重要的。

1905 年 12 月 23 日,能斯特在哥廷根科学院宣读了一篇题为《从热的测量到化学平衡计算》的论文,为液体和固体在绝对零度的行为提出了新的假说[N3]。在我们看来,这个 1905 年假说特别有意思的地方在于它在化学性质均匀的物质上的应用。在这种情况下,假说本质上认为,对于这样一种物质的两个异构体(例如对碳来说,石墨与金刚石)之间的熵差,在  $T \rightarrow 0$  时趋于零。因此,它没有排除零温度下的非零比热。实际上,能斯特 1906 年设想,所有比热在  $T=0$  时趋于 1.5 卡/度[N3, N4]。然而,他注明,他不能证明这个想法,因为没有低温数据。他强调,去获得这些数据是“最急迫的任务”[N3]。能斯特的决心很大,精力也一样充沛。他与同行一道投身于一个宏伟的实验计划,测量低温下的比热。他们计划的温度范围也是迪尤尔研究过的,但精度高多了,实验物质也更丰富,显然,其中有金刚石。

到 1910 年,能斯特已经可以宣布他的第一批结果了[N5]。从他的曲线,“人们可以清楚地看到,在极低的温度下,比热为零,或者至少是一个很小的数值。这定性符合爱因斯坦先生所发展

---

<sup>①</sup> 西蒙(Simon)对这段历史的发展有很精彩的回顾[S2]。

的理论……”

那么,现在我们看到,事情的经过是这样的:1905 年后期,能斯特提出第三定律的原始形式。1906 年,爱因斯坦提出第一个理论的例子,说明在固体情况下,当  $T \rightarrow 0$  时  $c_v \rightarrow 0$ 。1910 年,能斯特注意到,爱因斯坦的结果与“我所发展的热定理”是相容的。然而,1910 年后期,实际上,却是普朗克向前迈了一步,它“不仅在形式上,而且在内容上都超越了能斯特本人[所提出的理论]。”在普朗克的理论中,固体和液体的比热在  $T \rightarrow 0$  时不趋于零[P2]。还应该强调一句,不论能斯特还是普朗克,都没有证明第三定律。这个定律的状况显然有些混乱,正如爱因斯坦 1914 年所指出的:那些“试图借助比热在  $T=0$  时消失的实验事实,用热力学方法从理论上推导能斯特定理的努力,都可以认为是失败的。”爱因斯坦还是那么理直气壮地接着说,理解这个定理,离不开量子理论[E8]。在早些时候给埃伦费斯特的一封信中,他尖锐地批评了能斯特和普朗克的猜想[E9]。

399 能斯特在 1910 年的论文中提到爱因斯坦时,也是他第一次在出版物中承认量子理论。然而,他对量子理论的新热情,却是彻底的实用主义的。在(皇帝的生日那天的)演说中,他说:

现在,量子理论基本上是一个计算法则,我们完全可以说,那是一个有着奇怪的、实际上是可笑的性质的法则。然而,……它却给普朗克和爱因斯坦带来那么丰硕的果实,以至我们现在有义务在这一点上明确立场,并让它接受实验的检验。

接着,他把普朗克同道尔顿和牛顿进行了比较[N6]。在 1911

年,能斯特还着手去修正确实需要修正的爱因斯坦方程(20.4) [N7]。

能斯特是一位有多方面才能的人,他是一位有才华的物理学家,也热衷于实际应用,对学生也有着强烈的影响,而且还是一位能干的组织者。有很多人不喜欢他,不过,“只要他没有表现出以自我为中心的弱点”[E10],也能博得人们的尊敬。现在,他感到有必要举行一次最高水平的会议来讨论量子问题。由于他多方面的才能,特别是他的交往,帮助他实现了这个愿望。他发现实业家索尔未(Ernest Solvay)愿意承担这次会议。他同普朗克和洛伦兹讨论制定了会议的科学纲领。1911年10月29日,第一届索尔未会议召开了。爱因斯坦应邀作闭幕讲话,题目是《比热问题的现状》。他对此作了极好的评论——而且,还利用这个机会表达了他对电磁辐射的量子理论的看法,他对后一课题的贡献无疑比他对比热的研究要深远得多。不过他对固体的量子理论的研究还是产生了巨大而迅速的影响,越来越多的旁观者愿意认真地看待量子物理学了。

在前面说的整个时期里,第三定律都只适用于固体和液体。到1914年,能斯特才想着把他的定理推广到气体。奥伊肯关于氢分子的比热的结果是迈出这一大步的主要动力[N8]。和固体的情况不同,能斯特没有提出一个令人信服的气体理论模型能满足 $T \rightarrow 0$ 时, $c_v \rightarrow 0$ 。这种情形一直持续到1925年,那年,第一个这样的模型被找到了,发现者是爱因斯坦[23b]。

爱因斯坦当然知道,他在固体比热的研究是在正确方向上迈出的一步。也许这使他高兴,实际上却令他迷惑。1912年,他在向一个朋友谈他关于低温下气体比热的工作时,写了下面这段话:

最近这些天来,我为这个题目建立了一个理论。理论这个字眼用得大冒失了——它不过是毫无正确基础的摸索罢了。量子理论越成功,它就越显得无聊(sillier)。如果非物理学家能够跟随这段奇异的发展过程,他们该会如何地嘲笑我们啊! [E11]

#### 400 参考文献

- A1. A. Avogadro, *Ann. Chim. Phys.* **55**, 80(1833), especially pp. 96—98.
- B1. U. Behn, *AdP* **48**, 708(1893).
- B2. L. Boltzmann, *Wiener Ber.* **53**, 195(1866). Reprinted in *Wissenschaftliche Abhandlungen von L. Boltzmann* (F. Hasenöhrl, Ed.), Vol. 1, p. 20, Reprinted by Chelsea, New York, 1968. These collected works are referred to below as WA.
- B3. S. G. Brush, *The Kind of Motion We Call Heat*, Vol. 1, Chap 3; Vol. 2, Chap. 10. North Holland, Amsterdam, 1976.
- B4. L. Boltzmann, *Wiener Ber.* **63**, 679, (1871); WA, Vol. 1, p. 259.
- B5. —, *Wiener Ber.* **74**, 553, (1876); WA, Vol 2, p. 103.
- B6. —, *Nature* **51**, 413, (1895); WA, Vol. 3, p. 535.
- B7. M. Born and T. von Kármán, *Phys. Zeitschr.* **13**, 297, (1912); **14**, 15 (1913).
- D1. J. Dewar, *Phil. Mag.* **44**, 461(1872).
- D2. —, *Proc. Roy. Soc. London* **76**, 325(1905).
- D3. P. Debye, *AdP* **39**, 789(1912).
- E1. A. Einstein, *AdP* **22**, 180(1907).
- E2. —, *AdP* **22**, 800(1907).
- E3. —, *AdP* **34**, 170(1911).
- E4. —, *Ad* **35**, 679(1911).
- E5. A. Eucken, *PAW*, 1912, p. 141.



- E6. A. Einstein and O. Stern, *AdP* **40**, 551(1913).
- E7. —, *PAW*, 1920, p. 65.
- E8. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **16**, 820(1914).
- E9. —, letter to P. Ehrenfest, April 25, 1912.
- E10. —, *Sci. Monthly* **54**, 195(1942).
- E11. —, letter to H. Zangger, May 20, 1912.
- F1. R. Fox, *Brit. J. Hist. Sci.* **4**, 1(1968).
- H1. A. Hermann, *Frühgeschichte der Quantentheorie, 1899 — 1913*. Mosbach, Baden, 1969.
- H2. K. Huang, *Statistical Mechanics*, p. 26. Wiley, New York, 1963.
- K1. A. Kundt and E. Warburg, *AdP* **157**, 353(1876).
- K2. Kelvin, *Baltimore Lectures*, Sec. 27. Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1904.
- K3. —, [K2], p. xvii.
- K4. M. Klein, *Science* **148**, 173(1965).
- L1. G. N. Lewis, *J. Am. Chem. Soc.* **29**, 1165, 1516(1907).
- L2. H. Landolt and R. Bornstein, *Physikalisch Chemische Tabellen* (3rd ed.), p. 384. Springer, Berlin, 1905.
- M1. J. C. Maxwell, *The Scientific Papers of J. C. Maxwell* (W. P. Niven, Ed.), Vol. 1, p. 377. Dover, New York.
- M2. —[M1], Vol. 2, p. 418.
- N1. F. E. Neumann, *AdP* **23**, 32(1831).
- N2. W. Nernst, *PAW*, 1911, p. 306.
- N3. —, *Goett. Nachr.*, 1906, p. 1.
- N4. —, *PAW*, 1906, p. 933.
- N5. —, *PAW*, 1910, p. 262.
- N6. —, *PAW*, 1911, p. 65.
- N7. —and F. Lindemann, *PAW*, 1911, p. 494.
- N8. —, *Z. Elektrochem.* **20**, 397(1914).
- P1. A. T. Petit and P. L. Dulong, *Ann. Chim. Phys.* **10**, 395(1819).
- P2. M. Planck, *Vorlesungen über Thermodynamik* (3rd Edn.), introduction and Sec. 292. Von Veit, Leipzig, 1911.

- R1. A. de la Rive and F. Marcet, *Ann. Chim. Phys.* **75**, 113(1840).
- R2. H. V. Regnault, *Ann. Chim. Phys.* **1**, 129(1841), especially pp. 220—225.
- R3. F. Richarz, *AdP* **48**, 708(1893).
- R4. J. W. S. Rayleigh, *Phil. Mag.* **49**, 98(1900).
- S1. A. Sommerfeld, *Gesammelte Schriften*, Vol. 3, p. 10. Vieweg, Braunschweig, 1968.
- S2. F. Simon, *Yearbook Phys. Soc. London*, 1956, p. 1.
- W1. H. F. Weber, *AdP* **147**, 311(1872).
- W2. —, *AdP* **154**, 367, 533(1875).
- W3. A. Wigand, *AdP* **22**, 99(1907).
- W4. A. Wüllner, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Vol. 2, p. 507. Teubner, Leipzig, 1896.

### 21a. 粒子与波动的融合与爱因斯坦的命运

我现在接着讲光量子的历史,关于这个问题,爱因斯坦相继在 1905、1906 年发表过两篇文章。之后不久,就开始了我在前面所说的“三年半的沉默”,这期间,爱因斯坦又沉浸在辐射问题中。他写信给劳博说,“辐射问题令我忙得不可开交……这个量子问题太重要,也太难了,每个人都应该来关注它”[E1]。我们下面要谈的主题,是爱因斯坦 1909 年发表的有关辐射的两篇意义深远的文章。完成第一篇[E2]时,爱因斯坦还是专利局的一个二级技术专家,第二篇[E3],是他为 9 月的萨尔茨堡会议提交的,这时他刚到苏黎世当副教授。这两篇文章远未引起应有的重视,原因是它们只讨论了一些原则问题,而不像关于光量子问题的第一篇论文(光电效应)和比热论文那样,提出了新的实验结果和预言。

1909 年,基尔霍夫定律已经半个世纪了,普朗克也在这时发现了黑体辐射定律。只有少数物理学家认识到它重要的内涵。这个定律还没有被证明,不过,无论如何,“人们不想拒绝[接受]普朗克的理论”,爱因斯坦在萨尔茨堡会议上的讲话,是他在那时最坚定的信念。接着,他为他的信念提出了新的理由:盖革和卢瑟福已

发表了他们所测的电荷值,普朗克的  $e$  值已经被“辉煌地证实了”(19a)。

在 4c,我解释过爱因斯坦导出能量涨落公式的方法,

$$\langle \epsilon^2 \rangle = kT^2 \frac{\partial \langle E \rangle}{\partial T} \quad (21.1)$$

其中,  $\langle \epsilon^2 \rangle$  为均方能量涨落,  $\langle E \rangle$  为与温度为  $T$  的热库接触的系统的平均能量。跟他一贯作风相同,爱因斯坦是在 1909 年的一篇关于量子理论的文章中导出这个统计物理学方程的。他导出这个公  
403 式的目的,在于把结论用于黑体辐射在  $\nu + d\nu$  频率区间内的能量涨落。我们来看他的推理是如何地精妙。考虑充满热辐射的空腔中的一个小体积  $v$ ,用器壁将  $v$  隔离出来,不让频率在  $d\nu$  区外的热辐射离开  $v$ ,而在  $d\nu$  区内的则可以自由进出。这时,我们可以用方程(21.1),以  $\rho v d\nu$  代替  $\langle E \rangle$ ,那么,  $\langle \epsilon^2 \rangle$  现在成为  $\nu$  和  $T$  的函数,我们有:

$$\langle \epsilon^2(\nu, T) \rangle = kT^2 v d\nu (\partial \rho / \partial T) \quad (21.2)$$

这个方程,用谱函数  $\rho$  将能量涨落表示出来,而与  $\rho$  的具体形式无关。现在考虑下面三种情形。

1.  $\rho$  由瑞利—爱因斯坦—金斯定律[方程(19.7)]给出,这时

$$\langle \epsilon^2(\nu, T) \rangle = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \rho^2 v d\nu \quad (21.3)$$

2.  $\rho$  由维恩定律[方程(19.7)]给出,这时,

$$\langle \epsilon^2(\nu, T) \rangle = h\nu \rho v d\nu \quad (21.4)$$

3.  $\rho$  由普朗克定律(方程(19.6))给出,这时,

$$\langle \epsilon^2(\nu, T) \rangle = (h\nu \rho + \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \rho^2) v d\nu \quad (21.5)$$

(在这三个方程中,尽管每一个  $\rho$  都是  $\nu$  和  $T$  的不同的函数,我还

是用了同一个符号,我想这是大家可以理解的。)①

爱因斯坦在讨论方程(21.5)时强调:“现在的辐射理论和这个结果是不相容的。”他说的“现在的理论”,当然是说光的经典波动理论。实际上,经典理论只能给出方程(21.5)的第二项:“波动项”[比较方程(21.5)和(21.3)]。至于第一项,爱因斯坦这样说:“如果它单独出现,并认为辐射是由独立运动的能量为  $h\nu$  的类点量子构成,那么,它将带来[所希望的]涨落。”换句话说,他这是在比较方程(21.4)和(21.5)。方程(21.4)对应着维恩定律,而正是在它成立的范围里,爱因斯坦引入了光量子假说。

注意,在以上爱因斯坦的陈述中有一点新的东西:类点一词出现了。尽管,爱因斯坦在1909年的两篇文章中都不曾使用这个词,但他现在明确地认为,量子是粒子,他自己在说光的粒子性时,常说它是“牛顿的微粒说的观点”。他的光量子是粒子的观点,在给索末菲的信中,说得特别明白,那是1909年,他谈到了“光的能量分布于某些不连续的点上,这些点以光速运动”[E4]。

公式(21.5)意味着,(大致而言),辐射一方面是粒子的,另一方面是波动的。这个问题,和其他一些争论,导致爱因斯坦在1909年用下面的话总结了他对辐射理论状况的看法!② 404

我早就试图说明,我们必须放弃现有的辐射理论的基础……在我看来,理论物理学的下一个发展会给我们带来一个关于光的理论,它可以认为是波动理论与微粒理论的融

① 方程(21.3)和(21.4)在爱因斯坦自己的文章中没有明确出现。

② 下面一段引文,是从1月和10月论文中摘出的几句话组成的。

合……[这种]波动结构和[这种]量子结构……不会被认为是互不相容的……从金斯定律[方程(19.7)]似乎可以看到,我们必须修正现在的理论,但不会完全抛弃它们。

这个融合,现在流行的名字是互补性。对金斯定律的参照,现在我们可以说它是对应原理的一个应用。

爱因斯坦的总结,对 20 世纪物理学的重大意义,无须多讲。我还看到了另一具有深远意义的方面,那就是作为科学家而不是作为普通人的爱因斯坦的命运。1909 年,爱因斯坦 30 岁时,开始考虑融合理论,那时,他是独自一个人,普朗克自然不会支持这种观点,而玻尔还没有出现在这个领域。然而,当融合理论在 1925 年以量子力学形式出现时,爱因斯坦却不能接受这个理论所固有的波粒二象性是基本的和不可避免的。也许,苦恼的是他 1909 年所说的话需要修改:能量为  $h\nu$  的运动光子不是类点的。以后,我还将多次说明,有什么科学的原因,使爱因斯坦从一个站在时代前面的人孤独地变成一个时代的旁观者,正如我以前指出的,我不知道是否仅从他的科学哲学背景就能完全解释这一转变过程。

(作为对这一节的补充,我再对爱因斯坦的能量涨落公式作一简要说明。方程(21.3)–(21.5)是根据统计推理得到的。我们也可以直接用动力学方法导出它们。爱因斯坦自己曾定性地讨论过方程(21.3)的情况。他注意到,涨落是频率在  $d\nu$  区间内外的波相互干涉的结果。几年后,洛伦兹进行了详细计算,从经典电磁理论得到方程(21.3)[L1]。然而,在普朗克[方程(21.5)]的情况下,动力学的努力遇到了麻烦,这是在 1919 年两位荷兰统计物理学家

欧恩斯坦 (Leonard Ornstein) 和泽尼克 (Frits Zernike) 指出的 [O1]。埃伦费斯特对此做过更仔细的研究 [E5]。

那时都知道,只要引入一个量子化规则,<sup>①</sup>认为电磁场谐振子的能量只能为  $nh\nu$ , 就可以得到  $\rho$  的普朗克表达式,但欧恩斯坦和泽尼克以及埃伦费斯特都发现,把同一规则用于涨落公式时会得出错误的结果。问题似乎出在爱因斯坦的熵的可加性假定 [见方程(4.21)]。照乌伦贝克的看法(私人交流),在好多年里,这些困难都被认为是很严重的。海森伯、玻恩和约当在他们 1925 年合写的一篇文章中指出,这是一个根本性困难 [B1]。然而,那篇文章却表明,将新的量子力学用于无相互作用的一组振子,确实能得到爱因斯坦的答案。在这个推导中,坐标与动量的不可对易性起作用了。同样,在乌伦贝克看来(私人交流),这个困难的克服曾被认为是量子力学早期的一个成功。(对我们来说,没有必要再进一步讨论海森伯—玻恩—约当方法后来的改进。))<sup>②</sup>

## 21b. 自发和感生辐射跃迁

1909 年后,爱因斯坦潜心于光量子差不多又有两年。如我们在第 10 章说过的,1911 年 5 月,他给贝索写信说:“我不再理会这样的量子是否真的存在,也不再想构造它们,因为我现在知道,凭我的大脑是无法这样去彻底明白这个问题的” [E6]。从那时起,他就想放弃了。1911 年 10 月,爱因斯坦(这时在布拉格当教授)

---

① 关于这一点,德拜的基本推导见 24c。

② 对这些发展感兴趣的读者,请参看冈萨雷斯 (Gonzalez) 和威格兰 (Wergeland) 的文章 [G1], 它还附有这个专题的参考文献。

在第一届索尔未大会上作了一篇关于量子理论的报告[E7],不过此时他的主要精力已在广义相对论,这种兴趣一直持续到1915年11月。1916年,他又一次回到黑体辐射问题,并取得了进展。1916年11月,他写信给贝索:“一片绚丽的曙光出现在我面前,照亮了辐射的吸收和发射[问题]”[E8]。爱因斯坦终于明白了他那启发性原理的意义,由此得出一个普朗克辐射定律的新推导。这些工作包括在三篇文章中,两篇[E9,E10]发表于1916年,一篇[E11]发表于1917年。爱因斯坦所用的方法以辐射与物质相互作用的一般性假设为基础,而没有关于与辐射相互作用的物质的内在性质的特别假定。这些物质,“在下面的讨论中,我们称它为分子”[E9]。(在他的论证中,这些分子完全没有必要是普朗克的振子!)

爱因斯坦考虑了一个由与电磁辐射相互作用的他那种分子气体所组成的系统,整个系统处于热平衡状态。分子能级记为  $E_m$ ,  $E_m$  能级上的平衡分子数为  $N_m$ , 则

$$N_m = p_m \exp[-E_m/kT] \quad (21.6)$$

这里  $p_m$  是权重因子。考虑一对能级  $E_m, E_n, E_m > E_n$ , 爱因斯坦的新假设是,在每个时间间隔  $dt$  内的跃迁总数  $dW$  由下式给出:

$$dW_{mn} = N_m (\rho B_{mn} + A_{mn}) dt \quad \text{对 } m \rightarrow n \quad (21.7)$$

$$dW_{mn} = N_n \rho B_{nm} dt \quad \text{对 } n \rightarrow m \quad (21.8)$$

系数  $A$  对应于自发跃迁  $m \rightarrow n$ , 它出现的几率与当时辐射的谱密度无关。系数  $B$  相应于感生辐射和吸收。在方程(21.7)和(21.8)中,  $\rho$  是  $\nu$  和  $T$  的函数。这里“我们假设,一个分子可以通过吸收一定频率  $\nu$  的辐射,从  $E_n$  态跃迁到  $E_m$  态,对于发射,也有[类似]的过程”[E9]。微观的可逆性意味着  $dW_{mn} = dW_{nm}$ 。利用



方程(21.6),我们可以得到,

$$A_{mn} p_m = \rho \{ B_{nm} p_n \exp[(E_m - E_n)/kT] - B_{mn} p_m \} \quad (21.9)$$

(注意,右边第二项对应于感生辐射。这样,如果没有感生辐射,就得到维恩定律。)爱因斯坦指出:“如果我们有一个在量子假设意义上修正的电动力学和力学,就可以直接计算常数 A 和 B”[E9]。事情当然不是这样的。于是,爱因斯坦继续他如下的论证。对于固定的  $E_m - E_n$  和  $T \rightarrow \infty$ ,我们可以得到瑞利-爱因斯坦-金斯定律[方程(19.17)]。这意味着

$$B_{nm} p_n = B_{mn} p_m \quad (21.10)$$

从而

$$\rho = \alpha_{nm} \{ \exp[(E_m - E_n)/kT] - 1 \}^{-1} \quad (21.11)$$

这里  $\alpha_{nm} = A_{mn}/B_{mn}$ 。借助  $\rho$  的普适性和维恩位移定律(19.4),爱因斯坦最后得到了他的推导:“ $\alpha_{nm}$  和  $E_m - E_n$  不依赖于分子的特殊性质,而只与作用频率  $\nu$  有关,这是下述事实的结果: $\rho$  是  $\nu$  和  $T$  的普适函数。进一步说,根据维思的位移定律, $\alpha_{nm}$  和  $E_m - E_n$  分别正比于  $\nu$  的三次方和一次方,所以我们有

$$E_m - E_n = h\nu \quad (21.12)$$

这里  $h$  是某个常数”[E9]。

方程(21.12)的内涵,比一个符号  $\nu$ (和  $h$ )的定义深远得多。407 它是一个相容性条件。它的物理意义在于,为从方程(21.7)和(21.8)导出普朗克定律, $m \leftrightarrow n$  的跃迁必须伴随一个单色辐射量子。爱因斯坦以这个奇异的推理在黑体辐射与玻尔光谱理论间搭起了一座桥梁。

关于他在以上推导中所做的假设,爱因斯坦写道:“假设的简洁性使我感到,它们可能成为未来理论的基础。”事实证明了这一

点。

在我们讨论的这三篇文章中,有两篇[E10, E11]还包括另一个结论,爱因斯坦自己认为这个结论比他对辐射定律的推导要重要得多:光量子携带着大小为  $h\nu/c$  的动量。这是我们下面讨论的话题。

## 21c. 粒子图景的完成

1. 光量子和光子 光子是具有如下特性的电磁场的一个态:

(1) 具有一定频率  $\nu$  和一定波矢  $\vec{k}$

(2) 它的能量  $E$  为

$$E = h\nu \quad (21.13)$$

动量  $\vec{p}$  为

$$\vec{p} = h\vec{k} \quad (21.14)$$

满足色散定律

$$E = c|\vec{p}| \quad (21.15)$$

这是静止质量为 0 的粒子特征。<sup>①</sup>

(3) 自旋为 1(像所有非零自旋的无质量粒子一样),有两个极化态,单个粒子的状态由这三种性质惟一确定[W1]。

一般说来,在粒子反应和衰变中,光子数是不守恒的。现在,我想在这里讲一个有趣的历史小插曲。光子一词,首先出现在

---

<sup>①</sup> 偶尔也有人设想光子可以具有一个微小的非零质量,因此,直接的关于光子质量的实验是很有趣的。光子质量的最好确定都来自天文观测。最近得到的质量上限为  $8 \times 10^{-49}$  克[D1],在下面的讨论中,可以认为光子质量严格为零。

1926年的一篇题为《光子的守恒》的文章中,作者是伯克利的一个物理化学家刘易斯(Gilbert Lewis),他说的是设想光“由一种新的原子[组成]……它不能创造,也不能消灭。我[为它]……起一个名字,光子”[L2]。这个思想很快就被遗忘,但这个新名词几乎一下子传开了。1927年10月,第五届索尔未会议的主题就是“électrons et photons”(电子和光子)。

爱因斯坦1905年引入光量子时,它们还是满足方程(21.13)的能量子。在那篇文章中,没有出现方程(21.14)和(21.15)。换句话说,赋予光子一词以完全的粒子意义,不是一下子完成的。为此,在这节里,将严格区分光量子(light-quantum)(“只是 $E=h\nu$ ”)与光子(photon)。当然,在1905年文章中,能量与动量的不对称性是与平衡态统计力学中光量子假设的起源紧密联系着的。在平衡态统计力学中,总能量和其他宏观变量之间的重要关系,都可以推导出来,但是总动量却是一个平凡的附属的角色。当我们考虑平衡态附近的能量涨落时,也没人关心过能量与动量之间的区别。爱因斯坦正是通过对黑体辐射统计涨落的分析,最终才把一定的动量与光量子联系起来,那是1916年的事了。在谈他的工作之前,我请大家注意这样一个显著的事实:这位狭义相对论之父为了把 $p=h\nu/c$ 与 $E=h\nu$ 写到一起,花了12年的时间。关于这一点,我在25d还要更详细地谈。

**2. 动量涨落,1909年** 爱因斯坦关于光子动量的第一批结果出现在1909年的两篇论文中。他得到了与能量涨落公式(21.5)类似的动量涨落公式。爱因斯坦考虑了这样一种情况:在空腔中放一个质量为 $m$ 、面积为 $f$ 的平面镜;平面镜在时刻 $t$ 以速

度  $v$  沿垂直其平面的方向移动, 在从  $t$  到  $t + \tau$  的小时间间隔内, 镜子的动量由  $mv$  变为  $mv - P\tau + \Delta$ 。第二项表示由于辐射压力而产生的拖曳阻力 ( $P$  是相应的阻尼常数)。如果没有由辐射压力的涨落而产生的动量涨落项  $\Delta$ , 阻尼力最终会使平面镜停止运动。在热平衡状态下, 均方动量  $m^2 \langle v^2 \rangle$  在间隔  $\tau$  内应保持不变。于是, <sup>①</sup> $\langle \Delta^2 \rangle = 2mP\tau \langle v^2 \rangle$ 。将均分定理用于平面镜动能, 有  $m \langle v^2 \rangle = kT$ 。因此

$$\langle \Delta^2 \rangle = 2P\tau kT \quad (21.16)$$

考虑一个平面镜, 它对频率在  $\nu$  和  $\nu + d\nu$  以外的辐射完全透明, 而对在这个间隔内的频率全反射, 在这种情况下, 爱因斯坦利用  $\rho$  计算了  $P$ 。用  $\rho$  的普朗克表达式, 他发现

$$\langle \Delta^2 \rangle = \frac{1}{c} \left[ \rho h\nu + \frac{c^3 \rho^2}{8\pi\nu^2} \right] f\tau d\nu \quad (21.17)$$

409 方程(21.5)与(21.17)是惊人相似的。两个公式对应的第一项, 在  $h\nu/kT \gg 1$  时, 成为主要部分, 这时,  $\rho$  近似服从维恩的指数定律。回想一下, 爱因斯坦曾经说过, 方程(21.5)的第一项对应于“独立运动的能量为  $h\nu$  的类点量子”, 那么我们也能想到, 方程(21.17)的第一项, 会令爱因斯坦在 1909 年提出他的“动量量子化假设”: 对于压力涨落, 低密度单色辐射的行为就像它由大小为  $h\nu/c$  的相互独立的动量量子所组成。在我看来, 爱因斯坦没有这样想过是不大可能的, 但是, 他确实没有这样说过。

爱因斯坦说的是: “如果辐射由几乎没有广延性的具有能量  $h\nu$  的复合体构成——这些复合体独立地在空间运动, 独立地被镜

<sup>①</sup> 忽略  $O(\tau^2)$  的项, 又因为  $v$  与  $\Delta$  无关,  $\langle v\Delta \rangle = 0$ 。

面反射,代表着一种光量子假说所构想的最质朴的图景——那么,辐射压的涨落的一个结果是,作用于我们镜面的,将只是由我们公式[方程(21.17)]的第一项所表达的那个动量。”他没有明确指出动量量子的存在或  $E=h\nu$  与  $p=h\nu/c$  之间的相对论性关系。不过,粒子的概念(光子)已经在思想上形成了,因为,他接下来猜想:“光的电磁场联系着奇异粒子,就像静电场在电子论中的出现一样”[E3]。这句话完可以这样说:光量子很可能与电子在相同意义下也是粒子。把粒子概念与高度的空间定域性联系起来,在那时是很典型的,当然,也并不总是正确的。

同年,即1909年,光子动量也出现了。斯塔克出席了萨尔茨堡会议。会上,爱因斯坦讨论了涨落问题。几个月后,斯塔克指出,根据光量子假设,“一个加速电子发射的总电磁动量不为零……其绝对大小为  $h\nu/c$ ”[S1]。他以韧致辐射为例,写出了下面的方程:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 + \frac{h\nu}{c} \vec{c} \quad (21.18)$$

光子明确走进基本过程的动量守恒定律,这是第一次。

**3. 动量涨落,1916年** 直到1916年,爱因斯坦才在电磁场同分子气体的热平衡研究中,明确引入光子动量[E10,E11]。除了重新讨论普朗克定律以外,他又提出下面的问题:热平衡状态下,分子平动速率有麦克斯韦分布,如果考虑到分子受辐射压力的影响,这个分布将如何维持?换句话说,辐射存在时,分子的布朗运动是什么样的?

技术上讲,还有下面的问题。如果一个分子发射或吸收了同 410  
一方向上运动的一定总量的辐射能  $\epsilon$ ,那么它将经历一个大小为

$\epsilon/c$  的反冲。如果辐射完全没有方向性,如球面波的情况,就不会有反冲。问题来了:对于我们所考虑的系统,我们知不知道辐射发射或吸收的定向程度有多大?爱因斯坦用他 1909 年处理平面镜问题的方法开始讨论这个问题。这次,他考虑的不是平面镜,而是沿同一方向运动的一群分子。于是,阻尼项  $P_{\nu\tau}$  和涨落项  $\Delta$  又都出现了。能量均分又给出  $m\langle v^2 \rangle = kT$ , 我们便再次得到方程(21.16)。

接下来的是相容性问题。利用方程(21.7)和(21.8),爱因斯坦分别计算了以  $A$ 、 $B$  项和  $\rho$  表示的  $\langle \Delta^2 \rangle$  和  $P$ , 在这里  $\rho$  用普朗克表达式。<sup>①</sup> 计算的细节我不想多讲,但要指出一些要点。为了方程(21.16)两端的项得到同样的答案,爱因斯坦只好求助于一个定向条件:“如果一束辐射引起一个分子的总能量为  $h\nu$  的吸收或发射,则将会有一个大小为  $h\nu/c$  的动量传递给分子,动量方向与吸收束的方向相同,而与[感生]发射束的相反”[E11](自发辐射问题在下面讨论)。于是爱因斯坦发现,若要与普朗克分布[以及方程(21.7)和(21.8)]一致,辐射必须是完全定向的(通常这被称为针状辐射)。就这样,爱因斯坦借他所喜爱的可靠的涨落方法,又得到一个重要的发现:动量量子与能量量子的联系。实际上,如果不管自旋问题,我们可以说,完全基于统计力学的考虑,爱因斯坦所提出来的不仅是光量子,而且是更一般意义的光子概念。

## 21d. 对或然性第一次感到不安

关于光子动量,爱因斯坦在说上面引用的那几句话之前,先指

---

<sup>①</sup> 1910 年,爱因斯坦与霍普夫一起进行过一次与此相关的计算[E12]。那时,他用经典电磁理论来计算  $\langle \Delta^2 \rangle$  和  $P$ , 这样,方程(21.16)变成  $\rho$  的微分方程,解为(19.17)。

出,那些结论是“als ziemlich sicher erwiesen”,相当可靠地被证明过了。如果他还有点犹豫,那主要是因为有些方程的推导的基础是“量子理论,[一个]与麦克斯韦的电磁场理论不相容的理论”[E11]。而且,他的动量条件是充分而不必要的,正如泡利在1924年所写的一篇评论文章中所强调的:“从爱因斯坦考虑……不能完全肯定地看出,他的假设对于确保热力学的统计平衡是惟一的”[P1]。不管怎样,通过1917年的工作,爱因斯坦对光量子不再像以前那样小心和犹豫,光量子对他来讲,已经成为实实在在的东西。在给贝索的一封谈针状辐射的信中,他写道:“Damit sind die 411 Lichtquanten so gut wie gesichert”[E13]。<sup>①</sup>在两年后的另一封信中,他又说:“我不再怀疑辐射量子的实在性,尽管还只有我一个人相信。”他在“实在性”(Realität)一词下面画了根线[E14]。

另一方面,大概在爱因斯坦清除了光量子存在的最后一丝疑虑的同时,我们又看到他流露出来的不安(Unbehagen),为新的量子概念在理论上所蕴涵的“Zufall”(或然性)感到苦恼。最初的不安,来自自发辐射的结论,那是爱因斯坦被迫根据一致性条件(21.16)做出的:针状辐射不仅适用于感生辐射(如上面讲的),也适用于自发辐射。也就是说,在自发辐射跃迁中,分子同样受到一个动量为 $h\nu/c$ 的反冲。然而,反冲的方向却不可能预言!他强调,(当然,很正确),它是“这个理论的弱点……它把基本过程的时间和方向留给了随机性”[E11]。是什么决定光子自发辐射的时间?又是什么决定它的方向?

这些问题,都不新鲜,在别的辐射过程中也有,那些过程的自

---

<sup>①</sup> 这样,光量子[的存在]实际上是肯定的了。

发性自世纪之交以来,一直困惑着物理学家。事实上,自发辐射系数最先是卢瑟福引进的,那是1900年,他导出时间间隔 $dt$ 内,数目为 $N$ 的放射性钍原子的衰变数满足方程 $dN = -\lambda N dt$ [R2]。<sup>①</sup>爱因斯坦注意到了这种相似性:“它表明,为[自发]辐射所提出的统计规律正好就是卢瑟福的放射性衰变定律”[E9]。我另外写过一篇文章讨论物理学家当年对这个令人终生困惑的问题是如何反应的[P2]。现在我要再补充一点,爱因斯坦首先认识到自发辐射几率是一个非经典量,1917年前,也没有哪个比他更先看清,具有确定寿命的自发过程的出现将在概念上产生多么深刻的危机。他以预言性的语言,表示了他的观点:

方程(21.16)要求的基本过程所具有的性质,几乎不可避免地会促成一个真正量子化的辐射理论。[E11]

紧跟在对或然性的评论后,爱因斯坦写道:“无论如何,我完全相信我走的路”[E11]。如果那时他真的相信这条路线,他也会强烈感到那是很漫长的。自发过程的或然性特征意味着一定有什么东西不同于经典的因果性,这一点永远地困惑着他。早在1917年3月,他就写信给贝索谈了这一点:“我觉得迄今为止,那永生的谜的发明者呈现给我们的真正的玩笑,还根本没有被理解”[E15]。几乎我们所有的人都相信,那个真正的玩笑,在1925年后很快就明白了,那时,可以根据基本原理来计算爱因斯坦的 $A_{mn}$ 和 $B_{mn}$ 。

---

<sup>①</sup> 从这里开始发展起来的放射性物质转变的理论,在两年之后达到了顶峰[R1]。



如我们稍后将讨论的,爱因斯坦最终接受了这些原理,但是绝不认为它们是**第一原理**。他在整个后半辈子都坚持认为,这个玩笑还没有被理解。再举一个例子可以说明,为什么从1917年起,爱因斯坦就一直与量子理论唱对台戏。1920年他在给玻恩的信中写道:

因果性问题也给我带来许多烦恼。光的量子吸收和发射,应该以完全的因果性要求去理解呢,还是一定要留下一点统计的残余?我得承认,在这一点上,我没有自信的勇气,然而要放弃完全的因果性,我会很难过的。[E16]

## 21e. 题外话:不可分离的经典运动的量子条件

1917年5月,爱因斯坦在完成三篇关于辐射的量子理论的文章不久,又写了一篇文章,讨论“旧”量子理论加在相空间经典轨道上的限制条件[E17]。几个月后,他又补充了一点数学[E18]。以后,他没有再回到这个问题,而且相当长时期内,也不见有人对它413感兴趣。然而,最近许多数学家、量子物理学家和量子化学家认识到了这项工作的重要性和开创性。我们特别在这里说它,只不过是因为在爱因斯坦对量子理论的贡献中,它正好出现在这个时候。

爱因斯坦所做的,是推广关于一个自由度为  $l$  系统的玻尔—索末菲条件。这些条件是  $\int p_i dq_i = n_i h, i=1, \dots, l$ , 其中  $q_i$  是坐标,  $p_i$  是对应的共轭动量,  $n_i$  是整量子数。导出这些条件的前提是,我们可以找一个坐标系,使经典运动的坐标变量是可分离的。因此,这些条件即使完全能够实现,也依赖于适当的坐标系选择。爱

因斯坦发现了一个关于这些条件的坐标不变量的推广,它不再要求运动是可分离的,只要它是多周期的。这一推广令数学家很感兴趣。它与现代物理学和化学的关系源于旧量子理论的轨道与量子力学的经典(WKB)近似之间的关系。例如,分子中核运动的经典处理可与电子运动的玻恩-奥本海默方法相结合。关于最近的参考文献,请参阅,如[B2]和[M1]。

## 21f. 康普顿效应

我再回来讲光子的故事,在这里把它讲完。

因为1917年后,爱因斯坦坚信光量子到头了,所以我们不会奇怪他要找一种新方式,光子的存在可能会以这种方式导致与经典图景的可观测的偏离。在这一点上他没有成功。有一次,在1921年,他以为自己发现了量子的新准则,但很快发现那不过是一个误会[E20, K1]。事实上,1917年以后,关于光量子,没发生过什么值得纪念的事情。后来,康普顿[C1]和德拜[D2]取得了重大进展。<sup>①</sup>他们独立导出了光子被静止电子所散射的相对论运动学关系:

$$h\vec{k} = \vec{p} + h\vec{k}' \quad (21.19)$$

$$hc|\vec{k}| + mc^2 = hc|\vec{k}'| + (c^2 p^2 + m^2 c^4)^{1/2} \quad (21.20)$$

这些基本方程,本应在5年甚至10年前出现的,为什么没有呢?要知道,即使那些反对量子化辐射的人,也可能会喜欢这些关系,

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦看重的是这几年间在另一方向上所取得的进展,即斯特恩和盖拉赫所发现的效应[E21]。他与埃伦费斯特一起,对这个效应做过不成熟的解释[E22]。

因为它们(独立于任何量子动力学)马上就表现出与光被物质散射的经典理论的巨大差异,<sup>①</sup>从而因此也为光子思想提供了简单的检验。

我对这个问题没有满意的答案。特别是,我不清楚为什么爱因斯坦本人没考虑过这些关系。不过,有两个明显的因素。首先,因为绝大多数物理学家都拒绝光子,没有人会迫切要求对他所不相信的思想进行检验。其次,到1922年,才发现明显偏离经典图景的证据,这一情况驱使康普顿和德拜选择了量子化。<sup>②</sup>德拜附带提到了爱因斯坦针状辐射的研究对他的影响[D2],康普顿在他的文章中完全没有提到爱因斯坦。

在讨论方程(21.19)和(21.20)的同一篇文章中,还有一个决定性的实验结果。这两个方程表明,终态光子与初态光子的波长差 $\Delta\lambda$ 满足。

$$\Delta\lambda = (h/mc)(1 - \cos\theta) \quad (21.21)$$

这里, $\theta$ 是光子的散射角。康普顿发现,在误差允许的范围内,这个关系是令人满意的。<sup>③</sup>康普顿波长 $h/mc \approx 0.0242\text{\AA}$ 的获得,也很好说明了实验的意义,它与现代值的差别在百分之一以内(这个专题的现状,请参阅[W2])。康普顿总结说:“理论的实验支持 414

---

① 经典理论的细节,请参阅斯图维尔(Stuewer)优美的论康普顿效应的专题论文[S2]。

② 两个人同时都提出光子动力学不是偶然的。德拜在他的文章中感谢康普顿1922年的一个报告,这篇报告评论了反经典理论的事例。从1922年到1923年有关这方面发展的一个完整年表,请参阅[S2]235页。康普顿思想演变的详细说明,请参阅[S2]第6章。

③ 钨阴极发出的K谱线X射线被石墨散射。康普顿强调,人们只能把光作为散射物,这样电子实际上才会是准自由的。他分析了 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 和 $135^\circ$ 方向上的X线散射。

令人信服地表明,辐射不仅携带能量,也携带着定向的动量。”<sup>①</sup>

康普顿和德拜的发现“在当时的物理学家中间引起了轰动”[A1]。围绕这样一个重大发现,不可避免地会出现一些论战。无论如何,光子的思想还是迅速被接受了,索末菲在他新版的《原子结构与光谱线》(*Atombau und Spektrallinien*)中加入了康普顿效应,评论说:“这或许是目前物理学状况下可能获得的最重要的发现”[S3]。

爱因斯坦有什么反应呢?康普顿实验一年后,爱因斯坦为《柏林日报》(*Berliner Tageblatt*)写了一篇通俗文章,最后是这样写的:康普顿实验确凿的结果说明,辐射的行为就像它由一些“离散的能量子弹组成,这不单表现为能量的转移,同时表现在 *Stosswirkung*(动量转移)上”[E24]。他用子弹(即粒子)来说“动量假设”,话也同 1905 年的能量量子假设差不多,在这两种情况下,我们都碰到这个句子:“辐射行为……就像它由……组成……”

爱因斯坦仍然(并且永远)不满意。那时还没有一个真正的理论。在同一篇文章中,他还写道:“于是,现在有两个光理论,都必不可少,而且,尽管 20 年来理论物理学家在这方面付出了巨大的努力,我们今天还是必须承认,还没有发现它们之间有任何逻辑联系。”

1923—1924 年,爱因斯坦在量子理论理论上的孤立结束了第一阶段。不过,依然存在着一个抵抗光子的大堡垒,它以尼耳斯·玻尔为中心。

---

<sup>①</sup> 康普顿和德拜的工作,促使泡利将爱因斯坦 1917 年的工作推广到辐射与自由电子处于平衡态的情况[P3]。爱因斯坦和埃伦费斯特后来又接着讨论了泡利和爱因斯坦二人的冲击系数(*Stosszahlansatz*)之间的联系[E23]。

## 参考文献

- A1. S. K. Allison, *Biogr. Mem. Nat. Acad. Sci.* **38**, 81(1965).
- B1. M. Born, W. Heisenberg, and P. Jordan, *Z. Phys.* **35**, 557(1965).
- B2. M. V. Berry, *Ann. N. Y. Ac. Sci.* **357**, 183(1980).
- C1. A. H. Compton, *Phys. Rev.* **21**, 483(1923).
- D1. L. Davis, A. S. Goldhaber, and M. M. Nieto, *Phys. Rev. Lett.* **35**, 1402(1975).
- D2. P. Degye, *Phys. Zeitschr.* **24**, 161(1923).
- E1. A. Einstein, letter to J. Laub, undated, 1908. Quoted in Se, p. 103.
- E2. —, *Phys. Zeitschr.* **10**, 185(1909).
- E3. —, *Phys. Zeitschr.* **10**, 817(1909).
- E4. —, letter to AmSommerfeld, September 29, 1909.
- E5. P. Ehrenfest, *Z. Phys.* **34**, 362(1925). 415
- E6. A. Einstein, letter to M. Besso, May 13, 1911; *EB*, p. 19.
- E7. — in *La Théorie du Rayonnement et les Quanta* (P. Langevin and M. de Broglie, Eds.), p. 407. Gauthier-Villars, Paris, 1912.
- E8. —, letter to M. Besso, November 18, 1916; *EB*, p. 78.
- E9. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **18**, 318(1916).
- E10. —, *Mitt. Phys. Ges. Zürich* **16**, 47(1916).
- E11. —, *Phys. Zeitschr.* **18**, 121(1917).
- E12. — and L. Hopf, *AdP* **33**, 1105(1910).
- E13. —, letter to M. Besso, September, 6, 1916; *EB*, p. 82.
- E14. —, letter to M. Besso, July 29, 1918; *EB*, p. 130.
- E15. —, letter to M. Besso, March 9, 1917.
- E16. —, letter to M. Besso, January 27, 1920; in M. Born (Ed.), *The Born-Einstein Letters*, p. 23. Walker, New York, 1971.
- E17. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **19**, 82(1917).
- E18. —, *PAW*, 1917, p. 606.
- E19. —, *PAW*, 1921, p. 882.
- E20. —, *PAW*, 1922, p. 18.

- E21. —, letter to M. Besso, May 24, 1924; *EB*, p. 201.
- E22. — and P. Ehrenfest, *Z. Phys.* **11**, 31(1922).
- E23. — and —, *Z. Phys.* **19**, 301(1923).
- E24. —, *Berliner Tageblatt*, April 20, 1924.
- G1. J. J. Gonzales and H. Wergeland, *K. Nor. Vidensk. Selsk.*, No. 4, 1973.
- K1. M. Klein, *Hist. St. Phys. Sci.* **2**, 1(1970).
- L1. H. A. Lorentz, *Les Théories Statistiques en Thermodynamique*, p. 59. Teubner, Leipzig, 1916.
- L2. G. N. Lewis, *Nature* **118**, 874(1926).
- M1. R. A. Marcus, *Ann. N. Y. Ac. Sci.* **357**, 169(1980).
- O1. L. S. Ornstein and F. Zernike, *Proc. K. Ak. Amsterdam* **28**, 280 (1919).
- P1. W. Pauli, *Collected Scientific Papers*, Vol. 1, p. 630. Interscience, New York, 1964.
- P2. A. Pais, *Rev. Mod. Phys.* **49**, 925(1977).
- P3. W. Pauli, *Z. Phys.* **18**, 272(1923).
- R1. E. Rutherford and F. Soddy, *Phil. Mag.* **4**, 370, 569(1902).
- R2. —, *Phil. Mag.* **49**, 1(1900).
- S1. J. Stark, *Phys. Zeitschr.* **10**, 902(1909).
- S2. R. H. Stuewer, *The Compton Effect. Science History*, New York, 1975.
- S3. A. Sommerfeld, *Atombau Spektrallinien* (4th ed.), p. VIII. Vieweg, Braunschweig, 1924.
- W1. E. P. Wigner, *Ann. Math.* **40**, 149(1939).
- W2. B. Williams (Ed.), *Compton Scattering*. McGraw-Hill, New York, 1977.

## 第 22 章 插曲：BKS 提议

416

*Sie haben sich heiss und innig geliebt.*

海伦·杜卡斯

1924 年 1 月,玻尔、克雷默和斯莱特(John Clarke Slater)向《哲学杂志》提交了一篇论文[B1],提出一个大胆的光与物质相互作用的理论提议。文章写在康普顿效应发现之后,也在爱因斯坦与玻尔会面之后。不过,它还在拒绝光子。这一章讨论 BKS 提议有双重目的:既作为光子历史的补充,也作为我们将在后面详细讨论的玻尔—爱因斯坦对话的引子。

我已经说过,爱因斯坦一下子就被玻尔 1913 年的工作强烈地吸引住了。那时两人还不相识,他们第一次见面还要等好几年;同时,两人都在跟随对方发表的研究。埃伦费斯特不断向爱因斯坦报告玻尔的每一步思想进展,“埃伦费斯特告诉了我许多来自玻尔的 Gedankenküche[思想库]的东西;他一定有着一流的头脑,极端的批判精神和远见卓识,这些品质使他绝不会迷失宏伟计划的路线”[E1]。爱因斯坦对玻尔的开拓性工作一直怀着深深的敬意。近 70 岁时,他还这样写道:“仅凭那个危险和矛盾的[1910 年到 1920 年间的物理学]基础,就使玻尔这样一个具有独特直觉和机智的人,发现了谱线和原子的电子壳层的定律以及它们对化学的意义,这对我来说,是一个奇迹——甚至在今天,我还感觉它是一

个奇迹。这是思想领域里最美妙的乐章”[E2]。

1920年春天,爱因斯坦和玻尔终于在柏林相会了。这时他俩都是大家公认的在20世纪物理学上留下了不可磨灭印记的命运之神。他们的相会产生强烈的影响,其意义远远超越了两个思想家的会见。玻尔来访后不久,爱因斯坦给他写信说:“在我一生中,还没有谁像您这样,仅凭他的出现,就给我带来那么大的欢乐”<sup>417</sup> [E3]。两天后,他写信给埃伦费斯特:“玻尔来过这儿,我和你一样也很喜欢他,他像一个机灵的孩子,出神地在这个世界里游荡”[E4]。一个月后,玻尔回信说:“与您相见和谈话,是我有生以来最伟大的经历”[B2]。几年后,爱因斯坦给玻尔的一封信的开头是这样称呼的:“Lieber oder viehmehr geliebter Bohr”(亲爱的,或非常非常讨人喜爱的玻尔)[E5]。有一次,当我和海伦·杜卡斯谈到联系这两个人的纽带时,她说了本章开头那句话:“他们热烈而亲密地热爱对方。”

这也是他俩在科学上和谐的年月。1922年,爱因斯坦给埃伦费斯特写信说:“眼下,我正在读玻尔的一篇重要演讲,<sup>①</sup>它表明玻尔的思想世界惊人地清晰,真是一个天才。有这样的人真是我们的幸运。我完全相信他的思维方法”[E6]。爱因斯坦当时印象最深的是玻尔关于对应原理的阐述和处理[E6]。从那时起以及以后,他们对这个概念就一直争论不休,互不相让。

所有认识玻尔的人都会为爱因斯坦对玻尔的充满洞察力的刻画所感动:“他发表见解时总像一个不断摸索的人,从不像一个相

---

<sup>①</sup> 这大概是玻尔为第三届索尔未会议准备的东西(1921年4月),由于健康原因,玻尔没有亲自宣读[B3]。



信自己已占有了真理的人”[E7]。玻尔的写作风格能使所有的人都看清他是如何摸索和斗争的。“不要写的比你想的还要多”，他过去曾多次这样告诫自己和别人。玻尔的文章有时很紧凑，有好多次，他想把思想写成文章时，请我帮过忙。我看到，为找到恰当的表达方式，他花了多么大的功夫。爱因斯坦怎么写作，我没有第一手资料。不过，我们也都看到，他的文章清澈如水。他早年的文章很简洁，内容质朴，语言精炼。即使处理一个还不成熟的论题，也能得出结果。例如，即使从光理论后来的发展看，他1905年那篇关于光量子的文章，现在也没有哪句话是需要修改的。

爱因斯坦和玻尔第一次见面是在1920年。几年后他们发现，在物理学的重大原则问题上，他们有着不同的科学观。以后岁月里，他们见面少了，有过通信，但也不多。大约在他们第一次相遇30年以后，我与两人有过几次接触，那时，他们各自对量子力学基础的观点，已经对立好多年了。不过，无论是流逝的岁月还是后来发生的事件，都没有影响他们相互尊敬和爱戴。

现在我们来谈 BKS 提议。

如我在 19f 所强调过的，量子时代的最初 10 年里，大多数理论物理学家的立场是，应该不惜一切代价保留自由辐射场的传统连续描述方法，关于辐射的量子疑难，最终应该通过对辐射与物质间的相互作用的性质的修正来解决。BKS 提议是这种立场的一个极端例子。作者们提出，辐射过程有高度的非传统特性，“[它的]原因，不应该违背关于光在自由空间传播规律的电动力学理论，而应该从虚场与受照原子的相互作用的特殊性中寻找”[B1]。在描述这些性质前，我先要指出，BKS 代表了一个纲领，而

不是一个详尽的研究报告,它没有任何形式化的东西。<sup>①</sup> 这个纲领也不是摆脱旧量子理论困难的正确途径。不过,它有着持久的影响,(如我们将看到的),它刺激了一些重要的实验发展。下面我们来讨论 BKS 提出的两个主要佯谬。

**第一个佯谬** 考虑一个原子,从高能态向低能态跃迁发射辐射。BKS 假定,在这一过程中“能量[有]两种,即连续变化的场能和不连续变化的原子能”[S2]。但是,由不连续变化的和连续变化的两部分组成的能量,怎么满足能量守恒定律呢? BKS 的回答是[B1]:“关于跃迁的发生,它是量子力学的最基本特征,我们放弃……能量和动量守恒原理的直接应用。”他们提出,能量和动量守恒对个别的基本过程并不成立,而只有在大量这些过程的平均下,才能统计地成立。

在 BKS 提议前几年,玻尔就在考虑了能量不守恒的思想[B5]。<sup>②</sup> 然而,最先提出这种可能性的不是玻尔,而是爱因斯坦,但他又把它否决了。1910年,爱因斯坦给一位朋友写信说:“现在,我很有希望解决辐射问题,而且不需要光量子。我很想知道,这个问题会怎么解决。我们必须放弃现在形式的能量定律”[E9]。几天以后他清醒了,“辐射问题的解,又一次落空了。这个魔鬼狠狠地耍弄了我一回”[E10]。在1911年的索尔未会议上,他又提出这个问题,指出他的黑体辐射能量涨落公式可以从两个

---

<sup>①</sup> 玻尔1925年写的一个续篇也是这样[B4]。薛定谔[S1]、特别是斯莱特[S2]曾做过将BKS思想更形式化的尝试。还可以参考斯莱特关于那段时期的个人回忆[S3]。

<sup>②</sup> 一封埃伦费斯特给爱因斯坦的信表明,玻尔至少从1922年就开始往这方面想了[E8]。

途径来解释。“人们可以在辐射的[量子]结构与能量守恒定律绝对有效性的否定之间做出选择。”他拒绝了第二种选择。“谁有勇气做这样的决定？……我们应该同意能量原理保留下来”[E11]。然而，有些人显然还不信。1916年，能斯特采纳了统计的能量守恒建议[N1]。<sup>①</sup> 在1922年1月以前，索末菲指出，调和光的波动理论和量子现象的“良方”是放弃能量守恒[S4]。还有许多科学家也有类似的考虑[K1]。在这种情况下，BKS提议自然被认为是一个良好的尝试，它可能会给一个争论已久的思想带来结果。 419

为理解玻尔在1924年的立场，首先要认识到，对他来讲，对应原理是沟通经典物理与量子物理的可靠桥梁。然而，对应原理无助于理解光量子：光子与波动的问题是它无能为力的。光子—波动二象性是后来所谓互补状态的最早例子。BKS理论否定光子的存在，以牺牲守恒定律为代价坚持光的连续图景，是历史上旧量子理论的最后一个阵地。几年后，由于多方面的理由，量子力学的一位主要创立者认为，这个建议独特地描绘了旧量子理论中深刻的危机[H1]。<sup>②</sup> 个别过程的能量与动量的不守恒，并不是BKS提出的惟一的基本建议。

**第二个佯谬** 自1917年以来，另一个令爱因斯坦迷惑的问题（如我们已经看到的）是在自发跃迁中，电子如何知道在什么时候发出辐射？

---

<sup>①</sup> 能斯特文章的题目(译为)《关于从量子力学考虑回到连续能量变化假设的尝试》。

<sup>②</sup> 这里说的是海森伯，他在1929年说BKS理论的特征是，“比当时其他任何为澄清量子理论状况而进行的工作”，都更加透彻。——译者

BKS 在一般形式下回答了这个问题：没有真正的自发发射。他们为每一个定态原子联系一个“虚辐射场”，它包含着到另一定态的所有可能频率，并且假设，“[1917 年爱因斯坦理论]所指的那种自发的跃迁，在我们看来，是被虚场所诱导[我强调的]的。”照 BKS 的观点，到一个特定终态的自发跃迁，“通过一个类似于在爱因斯坦的诱导跃迁中成立的几率定律”而与虚场机制相关联。这样的话，“原子就没有必要事先知道该进行哪种跃迁”[S2]。于是，自发发射归结为虚场的作用，而这种作用是非因果性的。我不打算详细讨论 BKS 关于感生辐射和吸收以及其他辐射过程的图景，提出一点就够了：所有这些过程都被认为是虚场作用的结果，而在所有情况下，因果性都被放弃了。斯莱特在 1924 年完成的一篇文章[S2]中指出，理论“有些很乏味的东西……[但]在现阶段还很难看清如何避免[这些]。”

但是，康普顿效应又如何呢？方程(21.21)的成功证明依赖于守恒定律(21.19)和(21.20)。然而，(BKS 论证说)，这些方程在平均意义下的确成立，而  $\Delta\lambda$  的实验不过指波长的平均变化。事实上，在 BKS 提议时，没有任何关于个别过程的能量—动量守恒或因果性的直接的实验证明。这就是为什么(许多，或“也许绝大多数”物理家[P1]<sup>①</sup>)对 BKS 的反对最初都以某种缓和的方式来表达的原因。于是，泡利写信给玻尔说，他不相信他的理论。但是，“人们也找不到什么逻辑的东西和足够的可靠数据来决定赞成或反对您的观点”[P1]。所有这些，很快就改变了。

我相信，其他人对 BKS 提议没有那么激烈的批评，还有第二

---

① 玻恩、薛定谔和莱登堡等人最初相信，BKS 可能在正确方向上迈出了一步。

个原因。这在物理学界是罕见的。爱因斯坦当然一点也不喜欢BKS提议。早年他曾考虑过能量不守恒,又否定了它。放弃严格的因果性更是他所不能接受的。于时,爱因斯坦和玻尔,这两位当时的最高权威,陷入了矛盾冲突(冲突一词是爱因斯坦自己用的<sup>①</sup>)。支持哪一边意味着在两个最令人尊敬的物理学家间做出选择。理想地讲,这种个人考虑不应该影响科学事业,但理想并不总是可以完全实现的。泡利在一封关于BKS问题的信中反映了这一点:“对我来说,即使从心理上说,有可能基于某种对权威的崇信而形成科学观点,(然而,如您所看到的,情况并不是这样,)但从逻辑上说,这也是不可能的(至少在这件事情上),因为在这里,两个权威的观点是完全对立的”[P1]。

在那段时期,即使这两位主人公之间的相互反应,也是很谨慎的。他们没有关于BKS问题的通信[E12],(就我所知)也没会过面,尽管玻尔多次告诉泡利,他非常想知道爱因斯坦的看法[P1]。海森伯曾写信告诉泡利,他在哥廷根见过爱因斯坦,而他表示“一百个反对”[H2]。一段时间后,泡利也见到爱因斯坦,于是,他给玻尔寄去一份详尽的爱因斯坦批评意见的清单[P1]。

爱因斯坦也曾对这篇文章发表谈话,在谈话里,他提出了许多反对意见。这个想法(他给埃伦费斯特写信说),“是我的一个老相识,然而,我并不把它当成一个忠实的伙伴”(… den ich aber für keinen reellen Kerl halte)[E13]。大约那时,他列举了9条反对

---

<sup>①</sup> 1924年10月25日,丹麦《政治家》(*Politiken*)报刊登一则关于玻尔同爱因斯坦对立的新闻,这引起一家德国报纸编辑写信问爱因斯坦[J1],爱因斯坦作了简短的答复[E12],承认冲突是存在的,但又附加一句,他和玻尔在这件事上还没有形成书面上的交锋。

意见,在此我不想重复。看几个例子吧:“当以前的那个自由电子重回到玻尔轨道时,对应的虚场该由什么来决定?(很成问题)……只有在最极端的情况下才能允许放弃作为原理的因果律”[E14]。因果性问题(到那时,已折磨他7年了)是他最强烈反对的问题。他向玻恩吐露,对他来说,一个电子可以自由选择运动的时机和方向这种思想,简直不能忍受[E15]。在实验表明BKS理论对两个佯谬的回答都不正确后,这个因果性问题还会长期困扰着他。

**因果律的实验验证** BKS思想激发波特(Walther Bothe)和盖革发展了一种计数器符合技术,目的是在康普顿效应中测量是否存在如因果律所要求的那种次级光子与撞击电子同时产生的现象[B6]。他们的结果是:两个粒子都是在 $\lesssim 10^{-3}$ 秒的时间间隔内产生的[B7,B8]。在精度极限内,因果律被确立了,而BKS所要求的粒子相对产生次数的随机性被否定了。那时以来,这个时间间隔在实验上已经减小到 $\lesssim 10^{-11}$ 秒[B9]。

**能量—动量守恒的实验验证** 这些守恒定律在个别基本过程的有效性,是康普顿和西蒙在康普顿效应中确立的。根据云室对光电子和撞击电子的观测,他们可以证明如下个别事件的关系的有效性:

$$\tan\phi = -\left[\left(1 + \frac{h\nu}{mc^2}\right)\tan\frac{1}{2}\theta\right]^{-1} \quad (22.1)$$

这里, $\phi, \theta$ 分别是电子与光子的散射角, $\nu$ 是入射频率[C1]。

至此,光子的最后一点阻力也消失了。爱因斯坦的观点完全

得到了证明。实验结果获得了普遍的承认(参见,例如[P2]<sup>①</sup>)。玻尔坦诚地接受了这一结果,并提议“让我们以最荣耀的葬礼告别我们的革命性努力吧”[B10]。当时,他正准备解决一个更严重的量子疑难。1925年7月,他写道:“我们必须准备面对这样的事实:经典电动力学的推广,要求对现在的自然描述所依赖的观念,进行一场深刻的革命”[B4]。

玻尔在文章最后提到了德布罗意的学位论文和爱因斯坦关于量子气体(下一章的主题)的研究:深刻的革命已经开始了。

### 参考文献

- B1. N. Bohr, H. A. Kramers, and J. C. Slater, *Phil. Mag.* **47**, 785 (1924).
- B2. —, letter to A. Einstein, June 24, 1920.
- B3. Niels Bohr, *Collected Works* (L. Rosenfeld, Ed.), Vol. 3, pp. 28, 357. North Holland, New York, 1976.
- B4. N. Bohr, *Z. Phys.* **34**, 142(1925). 422
- B5. —, *Z. Phys.* **13**, 117(1923). especially Sec. 4.
- B6. W. Bothe and H. Geiger, *Z. Phys.* **26**, 44(1924).
- B7. —and—, *Naturw.* **13**, 440(1925).
- B8. —and—, *Z. Phys.* **32**, 639(1925).
- B9. A. Bay, V. P. Henri, and F. McLennon, *Phys. Rev.* **97**, 1710 (1955).
- B10. N. Bohr, letter to R. H. Fowler, April 21, 1925.
- C1. A. H. Compton and A. W. Simon, *Phys. Rev.* **26**, 289(1925).
- E1. A. Einstein, postcard to M. Planck, October 23, 1919.
- E2. —in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Ed.). Tudor, New York, 1949.

---

① 泡利关于BKS的个人描述写于1925年初,见他的文集[P3]。

- E3. —, letter to N. Bohr, May 2, 1920.
- E4. —, letter to P. Ehrenfest, May 4, 1920.
- E5. —, letter to N. Bohr, January 11, 1923.
- E6. —, letter to P. Ehrenfest, March 23, 1922.
- E7. —, letter to B. Becker, March 20, 1954.
- E8. P. Ehrenfest, letter to A. Einstein, January 17, 1922.
- E9. A. Einstein, letter to J. J. Laub, November 4, 1910.
- E10. —, letter to J. J. Laub, November 7, 1910.
- E11. — in *Proceedings First Solvay Conference* (P. Langevin and M. de Broglie, Ed.) pp. 429, 436. Gauthier-Villars, Paris, 1912.
- E12. —, letter to K. Joel, November 3, 1924.
- E13. —, letter to P. Ehrenfest, May 3, 1924.
- E14. —, undated document in the Einstein archives, obviously written in 1924.
- E15. —, letter to M. Born, April 29, 1924. Reprinted in *The Born-Einstein Letters* (M. Born, Ed.), p. 82. Warkner, New York, 1971.
- H1. W. Heisenberg, *Naturw.* **17**, 490(1929).
- H2. —, letter to W. Pauli, June 8, 1924; see [P1], p. 154.
- J1. K. Joel, letter to A. Einstein, October 28, 1924.
- K1. M. Klein, *Hist. St. Phys. Sci.* **2**, 1(1970).
- N1. W. Nernst, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **18**, 83(1916).
- P1. W. Pauli, letter to N. Bohr, October 2, 1924. Reprinted in *W. Pauli, Scientific Correspondence* (A. Hermann, K. v. Meyenn, and V. Weisskoff, Eds.), Vol. 1, p. 163. Springer, New York, 1979.
- P2. —, letter to H. A. Kramers, July 27, 1925; see [P1], p. 232.
- P3. —, *Collected Scientific Papers*, Vol. 1, pp. 83 — 86. Interscience, New York, 1964.
- S1. E. Schrödinger, *Naturw.* **36**, 720(1924).
- S2. J. C. Slater, *Phys. Rev.* **25**, 395(1925).
- S3. —, *Int. J. Quantum Chem.* **1s**, 1(1967).
- S4. A. Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien* (3rd edn.), p. 311. Vieweg, Braunschweig, 1922.



## 第 23 章 一致性的丧失： 量子统计学的诞生

423

### 23a. 从玻耳兹曼到狄拉克

这一章从 1924 年 6 月的一封信[B1]谈起,写信人是年轻的孟加拉人,他叫玻色。那时,玻色已经发表了 5 篇论文,都没什么特别的地方。这封信的主要内容是他的第六篇文章。他曾把文章[B2]寄给《哲学杂志》,被拒绝了。信则是写给爱因斯坦的,这时爱因斯坦 45 岁,是同行和大众公认的世界名人。我将在这里叙述,在爱因斯坦收到玻色信后 6 个月中,在两个人的科学生活中发生了什么事情。这些事情对玻色来讲太重要了,默默无闻的他,将成为一个不朽的科学家。对爱因斯坦来说,这段时期不过是一段插曲。<sup>①</sup>他这时正全身心地寻找他的统一场论。在爱因斯坦广博的研究中,这 6 个月的发现甚至不能列入他的五大贡献,仅凭这五大贡献,就足以使他不朽了。

玻色在第六篇论文里重新推导了普朗克定律,他随信还寄给爱因斯坦一份用英文写的手稿,请爱因斯坦帮忙在《物理学杂志》

---

<sup>①</sup> 1925 年,爱因斯坦谈到他在量子统计学方面的工作时说:“那只是附带做的”[S1]。

(*Zeitschrift für Physik*)上发表,如果他认为这个工作还有些作用的话。爱因斯坦答应了,亲自将它译成德文交出去,并加译者注:“在我看来,玻色对普朗克定律的推导含着一个重要的进步,他所用的方法还可以导出理想气体的量子理论,关于这一点,我将在别的场合详细讨论。”

本章的目的不是讨论量子统计学的发展史,而在于描述爱因斯坦对它的贡献。不过,因为以下种种原因,我还是要简单谈谈玻色的工作。(1)从这里我们能更清楚地看到,什么使爱因斯坦暂时偏离了他的主要追求目标。(2)它有助于说明爱因斯坦自己关于分子气体的研究,这些工作,我们将在 23b 讨论,但还有一点留在下一节讨论:爱因斯坦最后一次遇到涨落问题。(3)它有助于解释爱因斯坦对玻色工作的不同看法。在 7 月写给埃伦费斯特的信中,爱因斯坦虽然还在赞扬玻色的论文,却很有限了:他的“推导很优美,但本质还很模糊”[E1]。(4)它将帮助我们说明,光子概念在当时仍然是那么新奇。另外,它还将从一个侧面对光子自旋问题做出一个有趣的说明。

许多年后,玻色回忆说,他不知道他的文章在多大程度上挑战了经典逻辑。(在那个过渡时代,这种感觉是很普遍的,但也不能一概而论。爱因斯坦 1905 年的光量子文章就是一个光辉的例外。)“我不知道我的工作实际上是新的……我不是统计学家,还不足以真正理解我正做着一些与玻耳兹曼所做的即与玻耳兹曼统计全然不同的事情。我没有光量子就是粒子的思想,而是讨论了一些状态。某种程度上,这和爱因斯坦见到我时(1925 年 10 月或 11 月)所问的是同一个问题:我是怎样得到推导普朗克定律的这种方法的?”[M 1]。

为回答爱因斯坦的问题,理解什么原因使玻色认为他自己正做着和玻耳兹曼做过的一样的事情,我需要先说点题外话。

正如我们在 4b 讨论过的,经典统计学在逻辑上和历史上,都是沿着如下次序发展的:

细粒计数→粗粒计数

当然,量子统计发展的逻辑次序也是这样,但是它的历史过程却走着一条相反的路线:从粗粒计数到细粒计数。对最老的量子统计,即玻色—爱因斯坦(BE)统计来说,历史过程如下:

**1924—1925** 引入新的粗粒计数,首先是玻色,然后是爱因斯坦。这个新方法是本章的主题。

**1925—1926** 发现非相对论量子力学。起初人们并没有看到,新理论还需要增补一个能导出 BE 统计的细粒计数原则 [H1]。

**1926** 狄克拉发现了这一原理。先回想一下玻耳兹曼的细粒计数公式,考虑由  $N$  个粒子组成的总能量为  $E$  的经典理想气体模型,设有  $n_i$  个粒子具有能量  $\epsilon_i$ ,那么[参阅 4b,特别是方程(4.4)和(4.5)]:

$$N = \sum_i n_i \quad E = \sum_i \epsilon_i n_i \quad (23.1)$$

于是,相应的微观状态数为

$$w = N! \left( \prod_i n_i! \right)^{-1} \quad (\text{玻耳兹曼统计}) \quad (23.2)$$

狄拉克发现,在 BE 情况下,方程(23.2)应该以下式来代替

425

$$w = 1 \quad (\text{BE 统计}) \quad (23.3)$$

在这个  $N$  粒子系统中,允许存在一个惟一的对称的微观状态。狄拉克接着证明,可以从方程(23.3)导出黑体辐射定律(19.6) [D1]。这样,他把持续了刚好四分之一世纪的普朗克定律基础的

研究引向了终结。

当然,即使玻色与爱因斯坦在完成关于量子统计的一系列文章时,也不知道方程(23.3)。他们的工作是猜测性的,但很有启发性。让我们先来看玻色的工作。

## 23b. 玻色

玻色的文章[B3]是旧量子理论的第四篇也是最后一篇革命性论文(其他三篇分别是普朗克的[P1],爱因斯坦的[E2]和玻尔的[B4])。玻色的论证使普朗克定律摆脱了所有多余的电磁理论成分,将推导建立在很少的基本事实基础上。它实际上就是具有下列性质的粒子所满足的热平衡定律:粒子无质量,有两个极化,粒子数不守恒,服从新的统计规律。在玻色的文章中,有两点新思想几乎悄悄地进入了物理学。一点是粒子有两个极化态,令玻色感到迷惑,另一点是光子数不守恒。我不知道玻色是否注意到了这两点,他没有在文章中明确提出来。

玻色给爱因斯坦的信是这样开头的:“尊敬的先生,我冒昧地随信把文章给您寄来,请您审阅。我急切地想知道您对它有什么看法。您会看到,我大胆地用独立于经典电动力学的方法导出了普朗克定律的系数  $8\pi\nu^2/c^3 \dots$ ”[B1]。爱因斯坦给埃伦费斯特的信中有这样一段话:“印度的玻色先生有一个普朗克定律的包括那个常数[即  $8\pi\nu^2/c^3$ ]的优美推导”[E1]。两封信都没有提到普朗克公式的其他部分,为什么单强调  $8\pi\nu^2/c^3$ ?

为导出普朗克定律,首先需要知道在  $\nu^s$  和  $\nu^s + d\nu^s$  频率间隔内的状态数  $Z^s$ 。习惯上通过计算体积为  $V$  的空腔内驻波的数目

来计算  $Z^s$ , 结果是

$$Z^s = 8\pi(\nu^s)^2 V d\nu^s / c^3 \quad (23.4)$$

玻色高兴的是, 他发现了这个  $Z^s$  表达式的一个推导, 并可以用粒子语言赋予它新的意义。他推导的基本点是用单粒子相空间的相格数来代替波频数。过程如下: 先在空间  $V$  内和动量区间  $p^s$  到  $p^s + dp^s$  内对单粒子相空间元  $d\vec{x}d\vec{p}$  进行积分, 再乘以一相极化因子 2, 这就可得  $8\pi V(p^s)^2 dp^s$ , 利用  $p^s = h\nu^s/c$ , 这个量就等于  $h^3 Z^s$ 。从而,  $Z^s$  就是所考虑的粒子相空间区域中所包含的大小为  $h^3$  的相格的数目。现在看来, 这很天真, 但在当时却很新鲜。回想一下, 那时康普顿效应运动学才出现不过一年半, 这里却有了  $p = h\nu/c$  的新用场!

在继续讨论玻色推导的其余部分前, 我先简单谈谈光子自旋的问题。当玻色引入那个极化因子 2 时, 他说“似乎需要”这样做。这点犹豫是可以理解的。在 1924 年有谁听说过有两个极化态的粒子呢? 一段时期里, 这一直是个令人费解的问题。电子自旋发现后, 埃伦费斯特请爱因斯坦“告诉(他), 对于光一微粒, 在相对论下该如何正确表达类似的假设”[E3]。众所周知, 当时由于没有确切的自旋定义, 这是很令人伤脑筋的事。再加上规范变换使轨道角动量和内禀角动量的区分不清楚(可看[J1]); 所以, 毫不奇怪, 1926 年时爱因斯坦对光子自旋问题还是很混乱的。事实上, 他甚至说他已“倾向于怀疑角动量定律还能在量子理论中保留。不管怎么说, 它的意义远没有动量定律那么深刻”[E4]。我认为这是对 50 年前学术状况的有趣说明, 关于其他方面, 我看也用不着多说了。

再来说玻色。玻色对  $Z^s$  的新解释是“相格数”, 而不是“粒子

数”。这可能使他在用玻耳兹曼的计算时,都用“相格”来代替“粒子”,这个过程,他没有证明,也不可能证明,但能得出正确答案。如果在这里回想一下曾在 4b 详细讨论过的玻耳兹曼的粗粒统计,可能会帮助我们理解玻色说的,他不知道他“正做着一些与玻耳兹曼所做的即与玻耳兹曼统计全然不同的事情。”

**玻耳兹曼** 将总能量为  $E$  的  $N$  个粒子分配到单粒子相空间相格  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_A$  内有  $N_A$  个粒子,平均能量为  $E_A$ ,我们有

$$N = \sum_A N_A \quad E = \sum_A E_A N_A \quad (23.5)$$

粗粒状态的相对几率

$$W = N! \prod_A \frac{\omega_A^{N_A}}{N_A!} \quad (23.6)$$

平衡态的熵由下式给出:

$$S = k \ln W_{\max} + C \quad (23.7)$$

427 其中  $C$  是常数,  $W_{\max}$  服从以下极值条件,

$$\sum \delta N_A (\ln \omega_A - \ln N_A + \lambda - \beta^{-1} E_A) = 0 \quad (23.8)$$

它包含两个约束:(a)  $N$  固定,(b)  $E$  固定。

**玻色** 将  $Z^s$  分解为  $p_r^s, p_r^s$  定义为含有  $r$  个频率为  $\nu^s$  的量子相格数,令  $N^s$  为具有此频率的光子总数,  $E$  为总能量,于是

$$Z^s = \sum_r p_r^s \quad (23.9)$$

$$N^s = \sum_r r p_r^s \quad (23.10)$$

$$E = \sum_s N^s h \nu^s \quad (23.11)$$

而

$$N = \sum_s N^s \quad (23.12)$$

为光子总数。接着,玻色引入他的新的粗粒计数

$$W = \prod_s \frac{Z^s!}{p_0^s! p_1^s! \dots} \quad (23.13)$$

然后,他把  $W$  作为  $p_r^s$  的函数,在保持  $Z^s$  与  $E$  固定条件下求极大值,有

$$\sum_{s,r} \delta p_r^s (1 + \ln p_r^s + \lambda^s + \frac{1}{\beta} rh\nu^s) = 0 \quad (23.14)$$

然后,用标准方法导出  $E(\nu, T)$  的普朗克定律——文章就这样结束了,没有更进一步的说明。

玻色认为他的假定 (Ansatz) (23.13) 是“显然的”[B3],没有什么远离实际的东西。我大胆猜想,对玻色来说,相格计数方程 (23.13) 完全类似于玻耳兹曼的粒子计数方程 (23.6)。而他固定  $Z^s$  的相格约束条件,同样类似于玻耳兹曼的固定  $N^s$  的粒子计数约束条件。同样,方程 (23.14) 中的两个拉格朗日参数是方程 (23.8) 中的参数的类比。玻色以固定  $Z^s$  代替固定  $N$ ,已经暗示着  $N$  不守恒。最后一点可笑的地方是,固定  $Z^s$  这个约束条件是没有根据的:如果取消这个约束,就必须取消方程 (23.14) 中的  $\lambda^s$ 。容易看到,即使这样,我们还能得到普朗克定律! 关于这一点,我们现在是很熟悉的:普朗克定律能从玻色统计在固定  $E$  这个惟一约束下导出。概括起来,玻色的推导引入了 3 个新特征:

1. 光子数不守恒。
2. 玻色的相格分配数  $p_r^s$  是以相格中的粒子数来定义的,玻耳兹曼的可分性公理不见了。
3. 假定方程 (23.13) 意味着相格的统计独立性,粒子的统计独立性不见了。

令人惊讶的是,玻色的这三点都是正确的(在他的文章中,一

个也没有说明)。我相信,自普朗克 1900 年引入量子以来,还没有出现过像这样成功的猜想。正如爱因斯坦在 1924 年评论普朗克的新版《热辐射》时所回忆的那样,普朗克也在用一些奇异的统计方法:“普朗克定律的导出……是通过在处理有质物体与辐射场的相互作用中,假设统计法则,这些法则似乎已经得到证实,一方面因为它们简单的,另一方面因为它们有着和对应经典理论关系的类比”[E5]。

爱因斯坦仍然对玻色的文章有兴趣。1924 年 10 月 4 日,爱因斯坦在卢塞恩召开的瑞士自然研究者协会会议上的讲话中,强调了玻色方程(23.4)的新推导“对理论概念的特殊意义”[E6]。这时,他自己已经发表了关于量子统计的第一篇文章。

### 23c. 爱因斯坦

只要爱因斯坦活着,他就不会停止同量子物理学的斗争。他在量子统计问题上的建设性贡献是 3 篇论文。第一篇发表于 1924 年 9 月,后两篇发表于 1925 年初。3 篇文章都代表着真正的爱因斯坦。和他早期对量子理论所做的全部重要贡献一样,它们的结论都是用统计方法得出的。其中著名的结果是他对玻色—爱因斯坦凝聚现象的推导,接下来我将讨论这个题目。文章的另一结果,我留在下一节讨论,那个结果可能好多人都忘了,尽管它的意义更深远。

首先,对爱因斯坦 1905 年的光量子论文做一点补充。

它的逻辑关系可以图示如下:



维恩定律  
 爱因斯坦 1905: } → 光量子  
 气体类比

现在该讨论 19c 提出的一个问题了。我们知道,当辐射被作为光子来处理时,BE 统计是正确的,那么,爱因斯坦是怎么根据玻耳兹曼分布正确地猜想光量子的存在呢? 答案如下:按照 BE 统计,光子数  $n_i$  的最可几值  $\langle n_i \rangle$  是  $\langle n_i \rangle = [\exp(h\nu_i/kT) - 1]^{-1}$ ,这意味着在维恩条件  $h\nu_i \gg kT$  下,  $\langle n_i \rangle \ll 1$ 。因此,除去一个无关的因子  $N!$ <sup>①</sup>,方程(23.2)与(23.3)在维恩极限下是一样的。后来发现 *ex post facto*,这个维恩极限内的渐近关系充分证明,爱因斯坦在 1905 年向前迈出了非凡的一步!

玻色 1924 年的推理如下:

光子  
 玻色 1924: } → 普朗克定律  
 量子统计

而爱因斯坦在 1924—1925 年,又转了一圈:

玻色统计  
 爱因斯坦 1924—1925: } → 量子气体  
 光子类比

也许会有人说,爱因斯坦当然会那样做。“如果证明将辐射想象为量子气体是合理的,那么量子气体也能完全与分子气体类比” [E7]。

在 1924 年的论文 [E8] 中,爱因斯坦采用玻色的计数公式

---

①  $N!$  只是影响方程(23.7)中的  $C$ ,所以说与它无关。然而常数  $C$  也有意思,例如,它的值依赖于  $S$  能以多大几率定义为一个广义的热力学变量。有关这些正规化问题的有趣历史, M. 克莱因在 [K1] 中有详细的讨论。

(23.13),但加了两个修正,这是当然的,他需要  $Z^s$  适合于质量为  $m$  的非相对论粒子:

$$h^3 Z^s = 2\pi V (2m)^{3/2} (E^s)^{1/2} dE^s \quad (23.15)$$

$$2mE^s = (p^s)^2$$

其次,(与玻色不同!)他需要  $N$  固定的约束条件,他为此在方程(23.14)的括号中加入了下面一项。<sup>①</sup>

$$-r \ln A \quad (23.16)$$

经这样修正过的方程(23.14)的结果之一就是,拉格朗日乘子  $(-\ln A)$  由下式决定

$$N = \sum_s N^s = \sum_s \left[ \frac{1}{A} \exp\left(\frac{E^s}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} \quad (23.17)$$

从而,爱因斯坦指出,“简并参数” $A$  必须满足

$$A \leq 1 \quad (23.18)$$

在他的第一篇文章[E8]中,爱因斯坦讨论了  $A$  没有达到单位临界值的情况。推广到连续的极限,这时,方程(23.17)中的求和以全相空间上的积分来替代,他发现

如果  $A < 1$ :

$$\frac{1}{v} = \frac{\phi_{3/2}(A)}{3}$$

$$\frac{p}{kT} = \frac{\phi_{5/2}(A)}{3} \quad (23.19)$$

$$\phi_n(A) = \sum_{m=1}^{\infty} m^{-n} A^m$$

同时  $v = V/N$ 。然后,他又讨论了  $A \ll 1$  的情况,在这种情况下,状

<sup>①</sup>  $A^{-1}$  定义为  $\exp(-\mu/kT)$ ,  $\mu$  是化学势。爱因斯坦当然不会在括号中引入多余的  $\lambda'$ 。在方程(23.16)–(23.22)中,我用了与爱因斯坦不同的符号。

态方程[在方程组(23.19)中消去  $A$  得到]表现出与经典理想气体的微扰偏差。所有这些结果都很好,尽管对爱因斯坦这样的人来说太简单了。

在第二篇,也是3篇中最重要的一篇论文[E7]中,爱因斯坦从  $A=1$  时的  $\nu-T$  关系开始:

$$kT_0 = \frac{h^2}{2m[\nu_0 \phi_{3/2}(1)]^{3/2}} \quad (23.20)$$

然后问,如果  $T$  下降到  $T_0$  以下(给定  $\nu_0$ ),会发生什么现象? 他回答:

我认为,在这种情况下,随着密度的增大,会有越来越多的分子进入第一个量子态(没有动能的态),同时,其余的分子则按参数  $A=1$  分布……它实现了一种分离:一部分凝聚起来,其余的保持为一种“饱和的理想气体”。[E7]

他发现了第一个纯粹从统计学导出的相变例子,即现在所说的玻色-爱因斯坦凝聚。在下一节我再评论这一现象。现在先看这三篇文章的其他几个重要方面。

**1. 爱因斯坦关于统计相关性** 在玻色的文章[B3]和爱因斯坦的第一篇文章[E7]发表后,埃伦费斯特和其他一些人表示反对(在爱因斯坦的第二篇文章中可读到这些意见[E7]:“不分别把量子与分子处理为统计独立的,我们的文章(即[B3]和[E8])没有特别强调这个事实。”爱因斯坦回答,“这个[反对]完全正确”[E7]。他接着强调,玻耳兹曼和 BE 统计的差别“间接表达了关于分子间相互影响的某种假说,它的性质现在还很神秘。”爱因斯坦已走近

了全同粒子系统量子力学的大门。那种神秘的影响,当然是全对称波函数的要求带来的。

2. 爱因斯坦关于不可分辨性 为进一步说明新旧宏观状态计数方法的差异,爱因斯坦用一种不同于方程(23.13)的形式计算了 $W$ 。他计算了 $dE^s$ 能量间隔内的 $N^s$ 个不可分辨粒子在 $Z^s$ 个相格上,有多少种分配方式,结果是

$$W = \prod_s \frac{(N^s + Z^s - 1)!}{N^s! (Z^s - 1)!} \quad (23.21)$$

现在所有教科书都采用这个公式,而不用玻色的方程(23.13)。

3. 爱因斯坦关于热力学第三定律 在20c结束时,我们讲过能斯特在1914年提出将热力学第三定律应用于气体的设想,同时还提到,当时还没有具备那种性质的合理的气体模型。1925年,爱因斯坦指出,BE气体就满足第三定律,(他又说明,玻耳兹曼气体则不是)。这是他对热力学的最后一个贡献。的确,当 $T \rightarrow 0$ 时,由于所有的粒子都要进入零能量状态,在这个极限下,我们有 $N^0 = N$ ,所有其他的 $N^s = 0$ 。因此,当 $T \rightarrow 0$ 时, $W \rightarrow 1, S \rightarrow 0$ 。对爱因斯坦来讲,BE分子气体导出能斯特定律,与BE光子气体导出普朗克定律,是一样重要的。

4. 爱因斯坦和光子数不守恒 1917年后,爱因斯坦不再写有关辐射问题的科学论文。<sup>①</sup> 1924—1925年的论文中,惟一一次提到辐射的是“玻色先生和我自己的统计方法是绝不是没有疑问的,但它似乎在辐射问题成功以后才得到证明”[E11]。

---

<sup>①</sup> 有一篇短文是例外,那是为了反驳别人对他针孔辐射工作的反对[E9]。我见过爱因斯坦在1930年写的短评[E10],说他有一篇关于辐射涨落的新论文,然而,这篇文章从没发表过。

毫无疑问,爱因斯坦一定注意到了光子数的不守恒。用他的话来说,只令方程(23.16)中的  $A=1$  就行了。无论在他的科学著作还是他的通信中,我都没有见他谈过光子不守恒。我说不准,他为什么对这一点以及其他有关光子的进一步观点,总喜欢沉默。不过,我相信下面的猜测是合理的:爱因斯坦感到,只有等到他找到一种方法克服他 1917 年就提出的因果性难题时,他才可能对光子有基本的认识。但这一天从未到来。

其他物理学家满怀兴趣地跟随着爱因斯坦的量子统计研究。洛伦兹请爱因斯坦在 1927 年[布鲁塞尔]索尔未会议上就这个问题发表讲话,爱因斯坦写于 1927 年 6 月的答复,也许可以作为我以后讨论量子力学最合适的前言:

我想起曾答应您在索尔未会议上就量子统计问题做一个报告,想来想去,我终于相信,我没有资格来做一个适应当前状况的报告。原因是,我不具备承担这个建议的必要条件,我没能深入参与量子理论的现代发展。这一方面因为,总的说来,我几乎没有接受能力以完全跟上那暴风雨般的发展,另一方面因为,我不赞成把一个新理论建立在纯粹的统计思想上……直到刚才,我还在希望能为布鲁塞尔<sup>①</sup>做一些有益的工作,现在,我放弃了这个希望。我请求您不要因此而生我的气;我没有小看它,也尽力了……或许博洛尼亚的费米先生……或朗之万……能做好这件事。[E12]

---

① 这一届索尔未会议是在布鲁塞尔召开的。——译者

## 23d. 关于玻色—爱因斯坦凝聚的补充

(1) 1924年12月,爱因斯坦在给埃伦费斯特的信中写道,“在某一温度以上,分子‘凝聚’,而没有吸引力,也就是说,它们以零速度聚集。理论很漂亮,但是它有多少真实性呢?”[E13]。

(2) 1925年,爱因斯坦提出,最有可能在氢、氦和电子气体中观测到他的凝聚现象[E7]。当时,这自然是很合理的建议。回想一下,费米—狄拉克统计是在泡利1925年宣布不相容原理([P2])之后的1926年才发现的[F1, D1]。<sup>①</sup> 即使那时,要选出哪种统计,也是在BE和FD统计分别使用过后。针对狄拉克的文章[D1],泡利在1926年12月写道:“我赞同狄拉克主张的观点,对物质气体,应该用费米统计,而不是爱因斯坦—玻色统计”[P3]。这些问题到1927年才清楚。

(3) 爱因斯坦在1925年的文章中没有将凝聚现象称为一种相变。照乌伦贝克(私人通信)的说法,1925年还没有人认识到相变的存在是一个“深刻的”问题。1926年,乌伦贝克自己对爱因斯坦凝聚问题的处理提出反驳[U1],这些批评意见将导致一个更精确的相变发生条件的理论体系。乌伦贝克指出,当 $A \rightarrow 1$ (对于固定的 $T$ )时,方程(23.17)中的 $N^0 \rightarrow \infty$ ,从而 $N \rightarrow \infty$ ;因此,如果 $A \rightarrow 1$ ,就不可能实现 $N$ 固定为有限数的约束。这样, $A=1$ 只能渐近地达到,而且没有两相区。

乌伦贝克最近谈了爱因斯坦和埃伦费斯特有关这个问题的通

---

<sup>①</sup> 狄拉克曾就这方面发展的时间次序做过精彩的说明[D2]。

信[U2]。乌伦贝克和爱因斯坦都是正确的。尖峰相变只能发生在所谓的热力学极限  $N \rightarrow \infty, V \rightarrow \infty, \nu$  固定。这个观点,在 1937 年 11 月范德瓦尔斯 100 周年纪念会上争论了一个早晨。问题是,配分函数对于描述尖峰相变是否包含了必要的信息?相变意味着等温线存在不同的解析区,还不知道这是怎么来的。争论毫无结果,会议主席克雷默决定用投票解决。乌伦贝克回忆说赞成的与反对的大概差不多。不过,最后大家终于认识到,克拉默提出的热力学极限是正确答案。不久以后,乌伦贝克在与他的得意弟子、后来的卡恩(Boris Kahn,一位纳粹受害者)合写的文章中,撤回了对爱因斯坦的反驳[K2]。 433

(4)1938年前,BE凝聚一直以它“只有纯粹的想象特性而出名”[L1],我们记得,HeI—HeII相变到1928年才被基索姆(Willem Hendrik Keesom)发现[K3]。1938年,伦敦(Fritz London)提出用BE凝聚来解释氦相变,实验的相变点在2.19K,而更鼓舞人心的是方程(23.20)给出  $T = 3.1\text{K}$ [L2]。普遍认为(但没证明),这两个温度值间的差异是由于在理论推导中忽略了分子间的相互作用。

### 参考文献

- B1. S. N. Bose, letter to Einstein, June 4, 1924.
- B2. W. Blanpied, *Am. J. Phys.* **40**, 1212(1972).
- B3. S. N. Bose, *Z. Phys.* **26**, 178(1924).
- B4. N. Bohr, *Phil. Mag.* **26**, 1(1913).
- D1. P. A. M. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **112**, 661(1926).
- D2. —, *History of Twentieth Century Physics*, Varenna Summer School, pp. 133—134. Academic Press, New York, 1977.
- E1. A. Einstein, letter to P. Ehrenfest, July 12, 1924.

- E2. —, *AdP* **17**, 132(1905).
- E3. P. Ehrenfest, letter to A. Einstein, April 7, 1926.
- E4. A. Einstein, letter to P. Ehrenfest, April 12, 1926.
- E5. —, *Deutsche Literaturzeitung*, 1924, p. 1154.
- E6. —, *Verh. Schw. Naturf. Ges.* **105**, 85(1924).
- E7. —, *PAW*, 1925, p. 3.
- E8. —, *PAW*, 1924, p. 261.
- E9. —, *Z. Phys.* **31**, 784(1925).
- E10. —, *PAW*, 1930, p. 543.
- E11. —, *PAW*, 1925, p. 18.
- E12. —, letter to H. A. Lorentz, June 17, 1927.
- E13. —, letter to P. Ehrenfest, November 29, 1924.
- F1. E. Fermi, *Z. Phys.* **36**, 902(1926).
- H1. W. Heisenberg, *Z. Phys.* **38**, 411(1926).
- J1. J. M. Jauch and F. Rohrlich, *The Theory of Photons and Electrons*, p. 40. Addison-Wesley, Reading, Mass., 1955.
- K1. M. Klein, *Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch. Amsterdam*, **62**, 41, 51 (1958).
- K2. B. Kahn and G. E. Uhlenbeck, *Physica* **4**, 399(1938).
- K3. W. H. Keesom, *Helium*. Elsevier, New York, 1942.
- L1. F. London, *Nature* **141**, 643(1938).
- 434 L2. —, *Phys. Rev.* **54**, 1947(1938).
- M1. J. Mehra, *Biogr. Mem. Fell. Roy. Soc.* **21**, 117(1975)
- P1. M. Planck, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **2**, 237(1900).
- P2. W. Pauli, *Z. Phys.* **31**, 625(1925).
- P3. —, *Z. Phys.* **41**, 81(1927).
- S1. E. Salaman, *Encounter*, April 1979, p. 19.
- U1. G. E. Uhlenbeck, 'Over Statistische Methoden in de Theorie der Quanta,' PhD thesis, Nyhoff, the Hague, 1927.
- U2. —, *Proceedings Einstein Centennial Symposium 1979* (H. Woolf, Ed.). Addison-Wesley, Reading, Mass., 1980.



## 第 24 章 承先启后的爱因斯坦： 波动力学的诞生

435

我们现在离开旧量子理论时代而进入过渡时期,那时,还没有物质波动力学理论,只有几个物理学家在进行着物质波的研究。这段时期从德布罗意 1923 年 9 月给法兰西科学院的两封短信 [B1, B2] 开始,到薛定谔 1926 年 1 月发表关于波动力学的第一篇论文结束。本章的主要目的是强调爱因斯坦在这些发展中的关键作用,我们将说明他对德布罗意的影响,德布罗意接着对他的影响,以及他们后来对薛定谔的影响。

因为爱因斯坦对于薛定谔波动力学发现之前的另一个同样重要的海森伯的矩阵力学 [H1] 的发现,没有直接或间接的贡献,因此在本书中,我们没有机会详细评论海森伯的主要成就。

### 24a. 从爱因斯坦到德布罗意

从爱因斯坦对针孔射线的研究(1917)到德拜和康普顿发表关于康普顿效应的论文(1923),这段时间还有其他几位理论物理学家在研究光子问题。他们<sup>①</sup>之中,只有一个人的贡献是永久的,他

---

<sup>①</sup> 就我所知,其他几位是布里渊(Brillouin)[B3]、沃尔夫克(Wolfke)[W1]、波特[B4]、贝特曼(Bateman)[B5]、欧恩斯坦和泽尼克[O1]。

就是德布罗意。

德布罗意在第一次世界大战前就完成了他的研究。在法国军队服役多年后,1919年,他加入了他哥哥莫里斯(Maurice)主持的物理实验室,主要课题是X射线的光效应和光谱学。因此他面临着许多与电磁辐射本性有关的问题,他为此发表过几篇文章。在其中一篇文章里[B6],德布罗意利用粒子(光子)概念独立于玻色计算了辐射态的密度(文章也比玻色先发表),这是1923年10月——一个月以前,他曾宣布他那划时代的新思想:波粒二象性不仅适用于辐射,也适用于物质,“在独自冥想很久以后,我突然产生一个念头,爱因斯坦1905年的发现应该普遍推广到所有的物质粒子,特别是电子”[B7]。

在1923年9月10日的文章[B1]里,德布罗意实现了飞跃: $E=h\nu$ 不仅对光子成立,对电子也成立,他将这归于一种“假想的相关的波”。在9月24日的文章里[B2],他向人们指出了一个方向,可以沿着这个方向“寻找我们思想的实验验证”:穿过线度比电子波长小的小孔的电子束,“将出现衍射现象”。

德布罗意工作的其他重要方面超出了本书的范围(更详细的内容,可参阅,例如[K1])。上面提到的两篇文章扩充后,成为他的博士论文[B7],于1924年11月25日通过答辩。爱因斯坦从审稿人之一的朗之万那里收到一份论文副本,他在(12月)给洛伦兹的信中表明,论文给他留下了深刻印象,并且他还发现了德布罗意思想的新应用:

……(莫里斯·)德布罗的弟弟为解释玻尔-索末菲量子化规则,进行了很有意思的尝试(1924年,巴黎学位论文),我

相信,它是投向我們物理学迷雾的第一丝微光。我还发现了一些支持他构想的东西。[E1]

## 24b. 从德布罗意到爱因斯坦

1909年和1917年,爱因斯坦曾两次从热平衡附近的涨落的研究中,得出关于辐射问题的主要结论。因此,当他1924年将注意力转向分子量子气体时,自然会再来检验他的涨落理论。

为帮助我们理解爱因斯坦这时的工作,现在把以前给过的电磁辐射均方能量涨落公式[方程(21.5)]再写出来:

$$\langle \epsilon^2 \rangle = (\rho h\nu + \frac{c^3 \rho^2}{8\pi\nu^2}) V d\nu \quad (24.1)$$

令  $V\rho d\nu = n(\nu)h\nu$  和  $\langle \epsilon^2 \rangle = \Delta(\nu)^2 (h\nu)^2$ 。  $n(\nu)$  可解释为在能量间隔  $d\nu$  内的平均量子数,  $\Delta(\nu)^2$  则是它的均方涨落。于是,方程(24.1)可以写成如下形式:

$$\Delta(\nu)^2 = n(\nu) + \frac{n(\nu)^2}{Z(\nu)} \quad (24.2)$$

这里  $Z(\nu)$  是由方程(23.4)确定的每个间隔  $d\nu$  内的状态数。爱因斯坦1925年1月8日提交的论文表明,方程(24.2)对他的量子气体也 437 同样很好地成立。在这种情况下,只需要我们以  $E = h\nu = p^2/2m$  来定义  $\nu$ , 以方程(23.15)代替(23.4)来计算状态数[E2]。

1909年讨论辐射时,爱因斯坦看出方程(24.1)的第二项是熟悉的波动项,而第一项是陌生的粒子项。1924年当他在量子气体中又回到涨落问题时,他注意到情况反过来了。曾经在辐射问题中陌生的第一项,现在成为原来(可分辨的)粒子泊松分布的涨落项。那么在气体情况下,第二项(它体现粒子的不可分辨效应)是

什么呢？由于这一项在辐射问题中与波动相联系，这就引导爱因斯坦“以对应的方法，在气体情况下，把它解释为与气体相连的一种辐射现象”[E2]。他又补充道，“我要进一步研究这个解释，因为我相信，它不仅仅是一个类比的问题。”

**但这种波是什么呢？**

关于这一点，爱因斯坦又转向德布罗意的学位论文[B7]，“一篇很值得注意的文章”。他提出气体应该与一种德布罗意类型的波场相联系，并指出，这样假设可以解释方程(24.2)中的第二项。和德布罗意一样，他也特别提到，分子束应该显示衍射现象，但他又说，对可操作的小孔来讲，这种效应可能会太小了。他还指出，德布罗意波场必须是一个标量[如上所述，对方程(23.4)，极化因子是2；但对方程(23.15)，极化因子是1!]。

爱因斯坦大概从涨落的分析得出了物质波存在的必然性，这是他的又一功绩。人们可能会问，如果他把类比法更推进一步，20世纪物理学历史会是什么样子？然而，随着爱因斯坦关于物质波粒二象性的独立论证这一贡献，他一生中无与伦比的、最富科学创造性的20年也就走到了终点。

**后记,1978年夏** 在准备这一章的过程中，我看到一篇泡利关于爱因斯坦1924年在因斯布鲁克(Innsbruck)召开的物理学会议上的谈话的回忆。据泡利讲，爱因斯坦曾在会议期间提出“寻找分子束的干涉和衍射现象”[P1]。核对日期我发现，会议是9月21—27日召开的，这令我很感兴趣。它表明，爱因斯坦是沿着与德布罗意不同的路线，达到物质的波粒二象性的。德布罗意的论文11月才答辩。如果泡利没记错，那么爱因斯坦在两个月前就发表了他的观点。爱因斯坦会不会独立于德布罗意想到物质的波动

性质呢？毕竟，他从7月开始就在考虑分子气体的问题了，我们要问，爱因斯坦在什么时候知道德布罗意的工作？特别是，他在什么时候从朗之万那里收到德布罗意的论文？显然，我们都想知道，德布罗意教授对这些问题会怎么说。于是，我给他写了封信，他友好地写了回信。征得他的同意，我引用一些他的回答。

德布罗意不相信爱因斯坦会知道他1923年发表的3篇短文[B1, B2, B3]。“然而，由于爱因斯坦会收到《报告》(*Comptes Rendus*)，而他的法语也很好，他可能会注意我的文章”[B8]。德布罗意还写到，他给朗之万第一份打印本是在1924年初，“我肯定爱因斯坦从1924年春就知道我的学位论文了”[B9]。事情是这样的，“我在1923年就拟好了博士论文的内容，想以此获科学博士。我打印了3份，一份送给了朗之万先生，请他决定是否可以作为学位论文。朗之万先生也许对我的新思想感到一丝惊奇，要我再为他打印一份，好送给爱因斯坦。也就在这时，爱因斯坦读完我的文章后说，我的思想似乎令他很感兴趣。朗之万因此决定接受我的论文”[B8]。

于是，爱因斯坦不仅是量子理论三个“父亲”之一，还是波动力学的惟一“教父”。

## 24c. 从德布罗意和爱因斯坦到薛定谔

1925年底，薛定谔写了一篇题为“关于爱因斯坦的气体理论”的论文[S2]，这是他发现波动力学前写的最后一篇论文，它对理解波动力学的产生具有决定性的意义[K2]。

为跟上薛定谔的思路，我们得先来回顾一下德拜在1910年提

出的普朗克公式的推导方法[D1]。考虑一个充满热平衡辐射振子的空腔,谱密度为  $8\pi\nu^2\epsilon(\nu, T)/c^3$ , 这里  $\epsilon$  是频率为  $\nu$  的辐射场振子的平衡态能量。然后,德拜引入量子规则,振子可允许的能量应为  $nh\nu, n=0, 1, 2, \dots$  平衡态下,每一能级都带一个玻耳兹曼因子的权重,于是,  $\epsilon = \sum nh\nu y^n / \sum y^n, y = \exp(-h\nu/kT)$ , 由此得出普朗克定律。这一推导不同于普朗克,后者是量子化物质,而不是辐射振子;也不同于玻色,这里的能量  $nh\nu$  表示一个振子的第  $n$  个状态,而不是像第 23 章那样代表  $n$  个能量为  $h\nu$  的粒子状态。<sup>①</sup>

再来看薛定谔。薛定谔自己说,他并不看重新的 BE 统计[S2],相反,他提出,为什么不用德拜的方法来处理爱因斯坦分子气体,以避免这种统计呢?也就是说,为什么不从气体的波动图像开始,然后加上德拜的量子化条件呢?这时,他在文章里说了句关键的话:“那只不过意味着,我们必须认真对待德布罗意—爱因斯坦的运动粒子的波动理论”[S2]。这正是薛定谔做的事。文章是 1925 年 12 月 25 日收到的,它的细节不必在这里进行讨论了。

薛定谔的另一篇文章[S1]是 1926 年 1 月 27 日收到的。文中有他的氢原子方程,波动力学诞生了。在这篇新文章里,他向德布罗意和爱因斯坦表达了谢意:

我最近证明了[S2],爱因斯坦的气体理论可以根据服从德布罗意色散定律的驻波的考虑建立起来……以上那些关于原子的思想,可以认为是这些考虑的推广。

---

<sup>①</sup> 这一推导不同于普朗克,后者是量子化物质,而不是辐射振子;也不同于玻色,这里的能量  $nh\nu$  表示一个振子的第  $n$  个状态,而不是像第 23 章那样代表  $n$  个能量为  $h\nu$  的粒子状态。

1926年4月,薛定谔再次感谢德布罗意的影响,感谢“爱因斯坦简短而极富远见的意见”[S3]。

### 参考文献

- B1. L. de Broglie, *C. R. Acad. Paris* **177**, 507(1923).  
B2. —, *C. R. Acad. Sci. Paris* **177**, 548(1923).  
B3. L. Brillouin, *J. de Phys.* **2**, 142(1921)  
B4. W. Bothe. *Z. Phys.* **20**, 145(1923).  
B5. H. Bateman, *Phil. Mag.* **46**, 977(1923).  
B6. L. de Broglie, *C. R. Acad. Sci. Paris* **177**, 630(1923).  
B7. —, preface to his reedited 1924 PhD thesis, *Recherches sur la Théorie des Quanta*, p. 4. Masson, Paris, 1963.  
B8. —letter to A. Pais, August 9, 1978.  
B9. —letter to A. Pais, September 26, 1978.  
D1. P. Debye, *AdP* **33**, 1427(1910).  
E1. A. Einstein, letter to H. A. Lorentz, December 16, 1924.  
E2. *PAW*, 1925. p. 3.  
H1. W. Heisenberg, *Z. Phys.* **33**, 879(1926).  
K1. F. Kubli, *Arch. Hist. Ex. Sci.* **7**, 26(1970).  
K2. M. Klein, *Nat. Phil.* **3**. 1(1964).  
O1. L. S. Ornstein and F. Zernike, *Proc. K. Akad. Amsterdam* **28**, 280 (1919).  
P1. W. Pauli in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Ed), p. 156. Tudor, New York, 1949.  
S1. E. Schrödinger, *AdP* **79**, 361(1926).  
S2. —, *Phys. Zeitschr.* **27**, 95(1926).  
S3. —, *AdP* **79**, 743(1926); footnote on p. 735.  
W1. M. Wolfke, *Phys. Zeitschr.* **22**. 315(1921).

## 440 第 25 章 爱因斯坦对新动力学的反应

每个熟悉现代物理学的人都知道,爱因斯坦对量子力学是持怀疑态度的,没有哪一本他的传记不提到他说的那句“上帝不掷骰子”的话。他的确喜欢这样说(我凭经验知道),语气还更强,比如,“要看上帝的牌似乎很困难,但我一刻也不相信上帝会玩骰子,或者用‘精神感应’之类的方法(像现代量子理论说他做的那样)”[E1]。然而,诸如此类的话不应造成这样一个印象:爱因斯坦为了探究统一场论,已经失去了对量子问题的兴趣。事实远非如此。即使在统一场论的研究过程中,量子之谜也还一直挂在他的心头。这一点我将在第 26 章讨论。在本章中,我将描述爱因斯坦关于量子力学的立场是如何随时间演变的。在某种程度上,这反映在他以后的科学论文中。从他的几篇自传性作品和往来书信中,这一点可以看得更清楚。我本人对他观点的了解更多地受益于跟他的讨论。

首先,我们来看在 1925—1931 年间爱因斯坦较多关注的问题:量子力学是自洽的吗?

### 25a. 1925—1931: 争论开始

从爱因斯坦关于新气体理论的 3 篇文章中获益的不只薛定谔一人。在薛定谔发表波动力学论文的半年前,埃尔萨瑟(Walter



Elsasser)也承认受到爱因斯坦文章的激发,提出慢电子可能适合于检验“[爱因斯坦的]假设:每一个平移运动的粒子,都应该联系一个决定其运动学的波场”[E2]。他还指出,现有的实验结果,如拉姆绍尔(Ramsauer)的、戴维逊(Davisson)的、昆斯曼(Kunsman)的以及另外一些人的,似乎已经给出了物质波的干涉与衍射的证据。海森伯写信给泡利说,在研究爱因斯坦的文章之后,他开始对埃尔萨瑟的思想感兴趣了[H1]。

爱因斯坦自己也在考虑旧的和新的波场的意义。1925年曾在柏林的威格纳(Eugene Wigner)告诉我说,爱因斯坦那时认为, 441  
波场是一种光子或其他粒子的“引导场”(Führungsfelder),每个粒子都有这样的一个场。“爱因斯坦尽管很喜欢[这个想法],却从没发表过”[W1],因为他这种一个粒子一个场的概念不符合严格的能量—动量守恒定律。这个困难,后来被薛定谔解决了,他为联系粒子构形引入一个引导场,即薛定谔波函数。

前面说过,爱因斯坦认为自己关于量子气体的工作不过是暂时离开研究主题的一些题外活动。在量子力学的最初一段时间,<sup>①</sup>我们发现,他“正在为进一步发展联系引力与电的理论而拼命地工作着”[E3]。不过,量子理论新进展的伟大意义还是影响着。玻色曾于1925年11月访问柏林,他回忆说,“新量子力学使爱因斯坦非常激动。他希望我去尝试发现,光量子统计和辐射跃迁几率在新理论中会是什么样的”[M1]。后来回答这个问题的,不是玻色而是狄拉克。他在一篇奠定了量子电动力学基础的

---

<sup>①</sup> 回忆一下,海森伯关于这个题目的第一篇文章写于1925年7月,薛定谔的文章写于1926年1月。

文章中给出了爱因斯坦 A 和 B 系数表达式的动力学推导[D1]。最初,爱因斯坦对狄拉克工作的反应是断然否定的,1926 年他写信给埃伦费斯特,“狄拉克令我烦恼。这简直是在天才与疯狂之间走钢丝,太可怕了”[E4]。几天后,他又说:“我一点也不能理解狄拉克(康普顿效应)”[E5]。然而,几年后,他却满怀敬意地写道,“在我看来,我们应该将[量子力学]最完美的逻辑表达归功于狄拉克”[E6]。

我们再回到 1925 年秋。在海森伯的论文发表后[H2],爱因斯坦对量子力学强烈的兴趣驱使他立刻给海森伯写信。<sup>①</sup> 不过所有这些信件现在都遗失了,幸好还有几封海森伯给爱因斯坦的信保存着,其中一封(日期为 1925 年 11 月 30 日)显然是一封回信,爱因斯坦可能在他的来信中对新量子力学作了一些评论。海森伯说的一段话特别令人感兴趣:“在这一点上您可能是对的,我们的量子力学方法更接近于玻尔—克雷默—斯莱特的观点,事实上,它[BKS 理论]也的确构成了辐射现象的一个侧面。另一个侧面,就是您的光量子理论,我们希望,终有一天,能量和动量定律在我们的量子力学中的有效性,能够把量子力学与您的理论联系起来”  
442 [H4]。我发现有一点值得注意,爱因斯坦显然感觉到,BKS 理论与量子力学间存在着某种联系。当然,实际上并不存在什么联系。不过,BKS 提议含有我们在前面所看到的统计特征。<sup>②</sup> 爱因斯坦能不能早在 1925 年就想到,这些统计因素会被量子力学的描述继

---

① 两人在 1926 年第一次见面,有关他们早期讨论的回忆,请参阅[H3]。

② 海森伯很久以后指出,“无论如何,玻尔、克雷默和斯莱特为解释量子力学所做的尝试中包含着后来的正确解释的一些非常重要的因素”[H5],我不同意这个观点,不过,我不想在这个问题上讨论超出第 22 章说过的那些东西。

承下来呢？

随后的几个月，爱因斯坦对海森伯理论的反应一直是犹豫不决的。1925年12月，他流露出不安[E7]，但在1926年3月，他又写信给玻恩夫妇说，“海森伯—玻恩概念令我们所有的人都大吃一惊，它给持不同理论观点的人都留下了深刻的印象。现在，我们这些怠慢的人，也不再木然沉默了，而感到了奇异的紧张”[E8]。一个月后，他又表示，他相信海森伯—玻恩误入歧途了，这是在一封祝贺薛定谔取得新成就的信中写的[E9]。从爱因斯坦和薛定谔工作的科学联系来看，我们不会惊讶，爱因斯坦会对波动力学表现出真正的情：“薛定谔已经写了两篇关于量子法则的奇妙的文章”，这是1926年5月写的[10]，也是爱因斯坦最后一次拿笔来称赞量子力学。

到这里，他们分路了。

海森伯那篇文章发表大约一年后，量子力学的概念基础有了第一次澄清。它始于玻恩1926年6月的发现：薛定谔波函数的绝对值的平方可以解释为一种几率密度。玻恩简短而基本的文章，触到了决定论的心脏。关于原子碰撞，他写道：

人们无法回答这个问题：碰撞后的状态是什么？而只能回答这样的问题：碰撞的某个效应有多大可能？……从我们量子力学的立场来看，没有任何量[Größe]可以在个别事件中因果地确定碰撞的后果。我们是不是应该希望在今后寻找这些性质……并在个别事件中确定[它们]呢？……我本人倾

向于在原子世界里放弃决定论。但这是一个哲学问题，单凭物理的论证还不能建立一个标准。[B1]

一个月后，玻恩又写了一篇更漂亮的续文，文章指出，他的考虑的出发点，是“爱因斯坦关于波场与光量子之间的关系的说明：他[爱因斯坦]大概说过，这些波将为我们指明通往微粒光量子的道路，并在这种意义下，他提出一种‘鬼场’（Gespensterfeld）”  
443 [B2]。显然，那是指爱因斯坦的“Führungsfeld”（引导场）。不久以后，玻恩给爱因斯坦写信说：

我把薛定谔的波场当作您所说的那种“鬼场”的思想，在任何时候看来都很有用……几率场的传播，当然不是在普通空间，而是在相空间（或位形空间）。[B3]<sup>①</sup>

在这里，我们又一次，但也是最后一次，看到在量子力学诞生时期，承先启后的爱因斯坦。

起初，玻恩的文章在不同程度上为人们所接受。几位最杰出的物理学家发现，放弃经典意义的因果性，即使不是没有可能，但总是难以容忍的。薛定谔就是这样的一位。玻尔不止一次地对我说，薛定谔告诉他，如果他早料到自已的文章会产生那样的后果，当初就不会发表它们。<sup>②</sup> 爱因斯坦在随后几年的立场，可以简洁地用一句话来总结：他反对玻恩在文章中和在后来给他的信中的

---

① 这封重要信件没有收入出版的《玻恩—爱因斯坦通信集》，我感谢斯塔切尔提醒我注意它。

② 薛定谔在他晚年也仍然不太满意量子力学的[几率]解释[S1]。

每一句话。据我所知,他的持久的对立,第一次表达是在 1926 年 12 月,事实上,是在给玻恩来信的回答中说的:“量子力学是很动人的。但有个内在的声音在告诉我,它还不是那真正的东西。这个理论产生了很多结果,但它却几乎不可能使我们更接近上帝的秘密。我无论如何相信,他不会玩骰子。 $3n$  维空间的波动(例如橡皮筋),它们的速度是由势能决定的……”[E11]。

对玻恩来说,“爱因斯坦的论断……如当头一棒”[B4]。还有其他一些时候,爱因斯坦的反应令许多人感到失落,像是在战场上被自己所敬重的指挥官抛弃了一样。高德斯米特告诉我,在 1927 年中期(就他所记得的,具体日期忘了[G1]),埃伦费斯特与他有过一次谈话,埃伦费斯特流着眼泪说,他被迫在玻尔与爱因斯坦的立场之间做出抉择,没办法,他只好同意玻尔,显然,爱因斯坦的反对对老一代科学家的影响比对年轻一代要强得多。

1927 年所发生的重大事件中,下列 4 项对我们现在的话题来说,有特别重要的意义。

**1927 年 2 月** 据报道,在柏林的一次演讲中,爱因斯坦说过,“大自然向我们要的,不是一个量子理论或波动理论;它向我们要的是这两种观点的综合,这远远超越了物理学家的智力”[E12]。这方面的发展将由别人来把握;我们还是再来回想一下,早在 1909 年,爱因斯坦就第一次强调波粒二象性需要纳入物理学理论的基础(见 21a)。 444

**1927 年 3 月** 海森伯提出测不准原理[H6](在这篇文章中,海森伯也提到了“爱因斯坦关于波与光量子之间的关系的讨论”)。1927 年 6 月,海森伯在给爱因斯坦的信的开头写道:“衷心感谢您

友好的来信。尽管我确实不知道什么新东西,但我还是想再说一次,为什么我相信不确定性,或者说,严格的因果性的失败是必然的[他强调的],而不仅在[逻辑的]一致性上是可能的”[H7]。这封信显然是对遗失了的爱因斯坦来信的答复,来信很可能对海森伯的3月工作有兴趣。在第26章,我还会回到海森伯的这封重要信件上来。我在这里提到它,只为要强调爱因斯坦在这些新的发展中并不仅是一个被动的旁观者。事实上,爱因斯坦自己在这时候也正做着量子力学的研究(我想,这是他的第一次)。他问:“薛定谔的波动力学对系统运动的确定,是完全彻底的还是仅在统计意义下的?”<sup>①</sup>海森伯从别人那里听说爱因斯坦“已写了一篇文章……您在文章里主张,比我所期望的更精确地知道粒子的轨道,总还是有可能的”。他希望知道更多的情况,“特别是因为我自己对这些问题也想了很久,经历许多良心谴责之后,还是只能相信测不准关系,尽管现在我已经完全相信它了”[H8]。爱因斯坦最终撤回了他那篇文章。

**1927年9月16日** 在科莫(Como)的伏打(Volta)会议(爱因斯坦收到邀请但没有出席)上,玻尔第一次宣布了互补原理:“量子理论的这种性质……迫使我们统一刻画经典理论特征的时空坐标和因果性要求,作为描述的互补和互斥的两个方面,分别象征着观察的理想化和确定性”[B5]。

**1927年10月** 第五届索尔未会议。量子理论的所有奠基人都来了,从普朗克、爱因斯坦、玻尔到德布罗意、海森伯、薛定谔和

---

<sup>①</sup> 这是爱因斯坦1927年5月5日为柏林普鲁士科学院会议提交的文章的标题,会议记录表明,当爱因斯坦打电话要求撤回时,文章已经印好了。这篇未发表的原稿现存爱因斯坦档案馆。也可参见[K1]。

狄拉克。会议期间，“爱因斯坦除了对几率解释表示了很简单的反对外，几乎没有说什么。……然后他又陷入沉默”[B5a]。如我们在第23章所说的，爱因斯坦谢绝了在会上做关于量子统计的报告邀请。

不过，并非正式的会议才是讨论问题的场所，所有与会者都住在同一家饭店，在餐厅里，爱因斯坦非常活跃。斯特恩为我们提供了第一手材料：<sup>①</sup>

爱因斯坦下楼来吃早餐，总会表示他对新量子理论的不安，[他]每次都发明一些漂亮的实验，让人一看就觉得[这个理论]错了……在场的泡利和海森伯并不太在意，总说，“ach was, das stimmt schon, das stimmt schon”[“噢，什么？是这样的，是这样的”]。但是，另一方面，玻尔却很认真。傍晚或午餐，我们都在一起，玻尔仔细思考着那些问题。 445

于是，玻尔与爱因斯坦之间的一场伟大论战开始了。两人不断推敲和强化自己的观点，从未达成一致。从1925年到1931年，出现在科学文献中的爱因斯坦的反对文章只有1927年索尔未会议的一篇[E13]。不过，还有一篇关于那些年间玻尔—爱因斯坦对话的权威性论述，那是玻尔在1949年发表的[B6]。我在别的场合写过一篇文章[P1]，<sup>②</sup>讨论与爱因斯坦的争论对玻尔一生的

---

<sup>①</sup> 摘自与约斯特1961年12月2日的谈话录音。非常感谢约斯特为我提供了这次谈话中的部分手稿。

<sup>②</sup> 可参阅派斯为玻尔写的思想传记：*Niels Bohr's Times, in Physics, Philosophy, and Polity*. Clarendon Press, Oxford, 1991. ——译者

深远影响。

关于人们对爱因斯坦评论的反应,索尔未会议记录没有留下多少情况,玻尔在后来的一篇文章中做过仔细分析。我们下面来考虑爱因斯坦评论的内容。

爱因斯坦在开幕词中对自己的评说,比许多都说得更好:“Je dois m’excuser de n’avoir pas approfondi la mécanique des quanta,”很抱歉,我没能足够深入地了解量子力学[E13]。<sup>①</sup>

爱因斯坦接着讨论了一个实验,让一束电子打击带孔的固定屏,穿过小孔的电子束形成的衍射图形,可以在第二个屏上观察。问题是:量子力学能对个别电子事件给出完备的描述吗?他回答:不能。因为设A和B是第二个屏上的两个不同点,如果我知道某个电子到达A,那么我立刻就知道它没有到达B。但这意味着在A和B之间存在着一种奇异的瞬时超距作用,这是与相对论前提矛盾的。爱因斯坦还[指出],在盖革一波特关于康普顿效应的实验中[B7],我们能够以原则上没有限制的精度,观测到个别过程之间的一致性,而无需求助于超距作用。这种情况,更让人感到衍射描述的不完备性。

对爱因斯坦的诘难,量子力学的回答如下:量子力学的确适用于个别过程,但测不准原理规定和限制了能从给定的实验装置获得的信息量。测不准原理的限定,完全不同于经典统计力学中包含在粗粒描述中的事件信息的限制,那里的限制,是为了能够利用

---

<sup>①</sup> 德语原文如下:“Ich [bin] mir des Umstandes bewusst dass ich in das Wesen der Quantenmechanik nicht tief genug eingedrungen bin”[E14]。



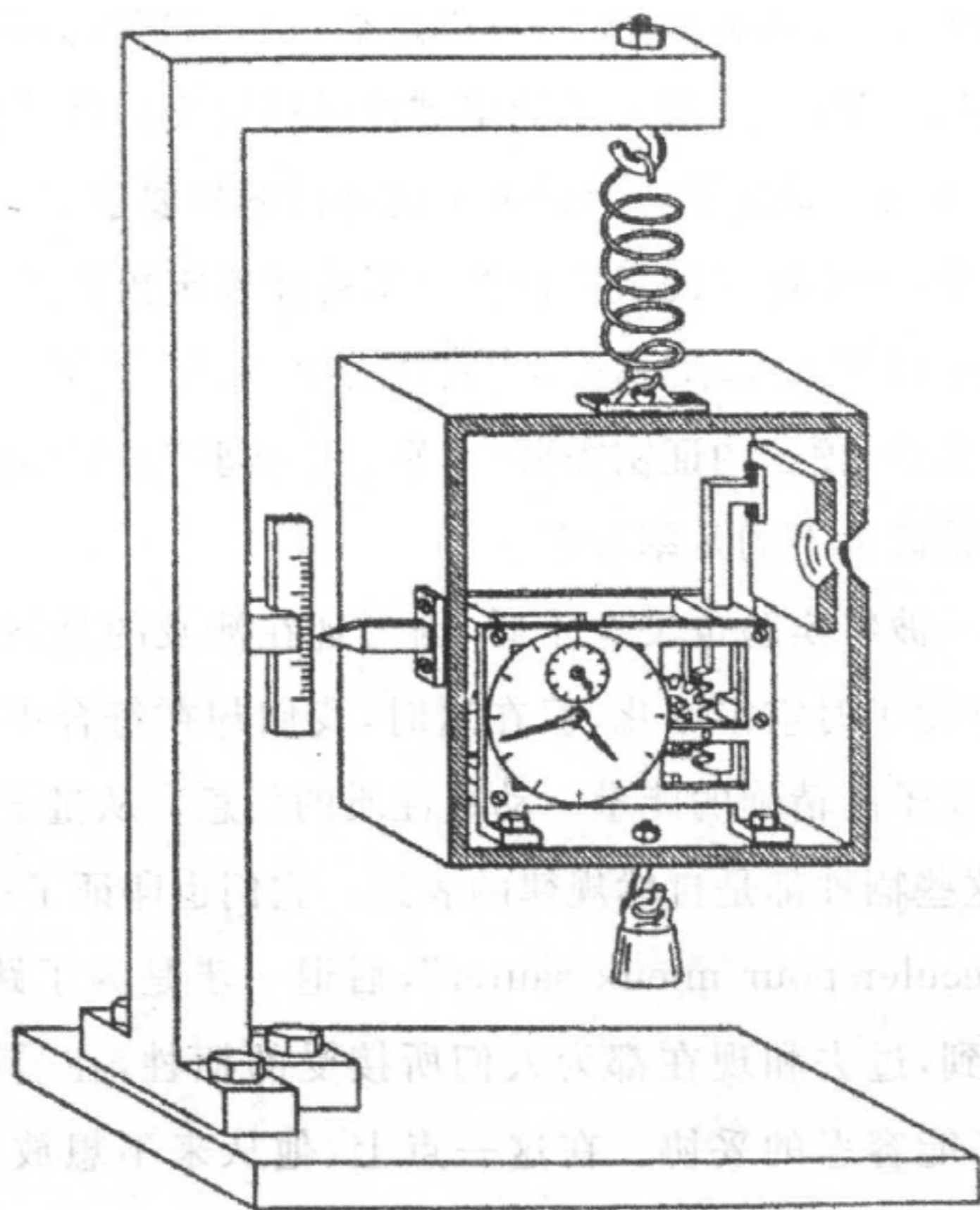
在理想情况下可知的完备的关于个别粒子的动量和位置的明确陈述,来获得一个有效的近似描述,而由理论本身聪明地加上去的。而在量子力学中,刚才说的限定不是理论自身加上去的,它是对第一原理的否定(在细粒水平上,可以这么说)。的确,如果我们坚持在实验的每一步骤上,对电子的定域性进行完全的因果性描述,就需要超距作用。而量子力学否定了这种描述的要求,并且断言,在这个实验中,个别电子的最终位置是不可能确定预言的。不过,关于个别电子以多大几率到达第二屏上某给定点,量子力学是能够预言的。当然,预言的证实需要“个别电子实验”足够多的重复,以获得期望精确度下的几率分布。

盖革—波特实验也没有矛盾,因为现在涉及的是另一套实验装置,它获得了时空定域化,但在这时,我们却在符合中失去了关于被观测粒子的精确的能量—动量性质的信息。从量子力学的观点来看,这些牺牲都是自然规律的表达。它们也印证了一句俗语:“Il faut reculer pour mieux sauter”,后退一步是为了跳得更远。我们将看到,过去和现在都为人们所接受的牺牲,在爱因斯坦看来,却是不能容忍的妥协。在这一点上,他从来不想放弃任何东西。

关于这个简单的问题,我讲那么多,是因为它有爱因斯坦立场的萌芽,关于他的立场,在以后的岁月里,他说得更明白。同时,玻尔和爱因斯坦之间的论战,在1930年第六届索尔未会议(主题是磁学)上,又继续展开了。这次,爱因斯坦以为找到了一个测不准原理的反例。论证很精巧。考虑一个盒子,一面壁上有个洞,洞口有扇可以开启和关闭的小门,由盒子内的钟控制,盒内充满辐射。先称盒子的重量,然后,在很短时间内将小门打开,放出一个光子,

过些时间,再称盒子的重量。于是(在原则上),我们可以任意精确地得到光子的能量和它通过小门的时间,这就与能量-时间测不准原理相矛盾了。

447



玻尔画的爱因斯坦盒子里的钟的实验草图[B6](希尔普教授惠允在此复制)。

如,相同 白即更贵的时,里只更的武以海,就立即断于天,书前四

“这对玻尔真是一个巨大的冲击……他没能马上找到答案。整个晚上,玻尔沮丧极了,他从一个人走到另外一个人,试图说服大家这是不可能的,如果爱因斯坦是对的,物理学就完了;但他讲不出什么反驳的理由。我永远不会忘记这两个对手离开[Fondation 大学]俱乐部时的情景:爱因斯坦大模大样,带着讥讽的微笑,

安详地走着,玻尔疾步赶上去,样子十分激动……第二天早上,玻尔赢了”[R1]。

玻尔后来利用下面复制的实验装置说明了他的论证[B6]。初始的称量,可以用装在盒子上的指针在固定框架上的标尺所指的位置来表示。因光子逃逸而缺失的重量,可以用一个重物(挂在盒子下面)来补偿,它使指针回到原来位置,回复的距离是 $\Delta q$ ,相应地,重量测量有 $\Delta m$ 的不确定量。挂上去的重物给盒子一个动量,我们只能在 $\Delta p \Delta q \approx h$ 所限定的精度范围 $\Delta p$ 内测量它。显然, $\Delta p < t g \Delta m$ ,其中 $t$ 是调整指针所需的时间, $g$ 是重力加速度。这样, $t g \Delta m \Delta q > h$ 。接着,玻尔用了红移公式,<sup>①</sup>引力场中这只钟的位置的不确定量 $\Delta q$ ,意味着一个确定时刻 $t$ 的不确定量 $\Delta t = c^{-2} g t \Delta q$ 。因此, $c^2 \Delta m \Delta t = \Delta E \Delta t > h$ 。这样,测量光子能量的精确性限制了决定逃逸动量的精度,符合能量与时间的测不准关系。 448

注意,图中的每一细节都有着它的实验目的:大螺栓用来固定标尺,指针沿标尺移动;弹簧确保盒子可以在引力场中活动;加在盒子下的重物,用来调整盒子的位置,等等。玻尔强调的这些细节,没有一样是想象的。因为所有物理测量的结果都是用经典语言表述的,所以玻尔宁可把它们都画出来,用以阐明有必要用同样的语言详细说明测量工具。

玻尔如此反驳后,爱因斯坦不再去寻求矛盾了。到1931年,他在量子力学的立场有了显著的改变。

首先,他随后在1931年2月提交的一篇关于量子力学的文章

---

① 回想一下,这个公式的推导只需狭义相对论的时间膨胀和等效原理。

[E15]中表明,他已接受了玻尔批评。<sup>①</sup> 文章讨论了一个新的钟盒子实验。这篇文章是下面将要讨论的爱因斯坦—波多尔斯基—罗森文章的前奏,但它的结论,不需要我们记住。<sup>②</sup>

关于爱因斯坦意见更重要的表达,我们可以在他9月的一封信中看到。在这封致斯德哥尔摩诺贝尔委员会的信中,他提名海森伯与薛定谔为诺贝尔奖候选人。在他所陈述的原因中,他对量子力学做了这样的评价:“Diese Lehre enthält nach meiner Überzeugung ohne Zweifel ein Stück endgültiger Wahrheit。”<sup>③</sup>爱因斯坦在1928年就曾提名海森伯与薛定谔,1932年,他再次推举薛定谔(见第31章)。爱因斯坦自己从来不为名誉和荣耀所动,即使如此,他的提名还是显示了他的自由精神和坦荡胸怀。另外,我们从这里最清楚不过地看到了他的思想:他承认量子力学不是离经叛道,而是对物理学的真正的技术性贡献。

449 爱因斯坦并没有就此停止对量子力学的批判。他已经认识到它有着部分真理,但是他相信,而且永远深信,它还不是全部的真理。从1931年起,对他来讲,问题不再是量子力学的自洽性,而是它的完备性。

在生命的最后25年里,爱因斯坦坚持认为量子力学是不完备的。他不再认为量子力学是错的,但他相信,物理学界普遍地认为量子力学假设是最终的理论,那就错了。他认为那还是原始的和未经证实的。他的异议的内容和形式将在下面逐步向大家展开。

---

① 这篇文章中的理想实验(Gedankenexperiment)涉及到时间测量。作者特意这样安排实验,以使“钟的速度……不受称量盒子时引力效应的干扰。”

② 作者们“被迫得出这样的结论:没有办法测量一个粒子的动量而同时又不改变它的值。”这个结论,当然是不能让人接受的。

③ “我相信,这个理论无疑包含着—部分终极真理。”

1931年11月,爱因斯坦在柏林有过“关于测不准关系”的谈话[E16]。谈话的报道没有说爱因斯坦反对海森伯的关系。不过它给人一个感觉,爱因斯坦对下面这样的自由选择感到很不舒服:要么精确测量光线的颜色,要么精确测量光线到达的时间。我的朋友卡斯米尔(Casimir)曾写信告诉我,在埃伦费斯特的主持下,爱因斯坦在莱顿有过一次讲话[C1](很可能是在1930年11月)。谈话中,爱因斯坦讨论了钟盒子实验的几个方面。在随后的讨论中,有人提到量子力学不存在矛盾,爱因斯坦对这句话的反应是:“Ich weiss es, widerspruchsfrei ist die Sache schon, aber sie enthält meines Erachtens doch eine gewisse Härte”(我知道,这里没有矛盾的事,不过在我看来,它含有一些不合理的东西)。

到了1933年,爱因斯坦已十分明确地表示,他相信量子力学没有逻辑矛盾。在他的斯宾塞演讲中,他说薛定谔波函数:“如果要测量的话,我们假定这些函数只不过以数学方式确定了那些客体处在某一特定地方或特定运动状态的几率。这一概念在逻辑上是无懈可击的,而且已经带来了巨大的成功”[E17]。

1935年,爱因斯坦第一次明确表示了他的迫切需要,这就是客观实在的标准,他为此奉献了他的余生。这时,爱因斯坦已定居普林斯顿。现在,我们暂时不谈量子理论,来看看从1932年到1945年,爱因斯坦和他的家庭,发生过什么事。

## 25b. 爱因斯坦在普林斯顿

从1933年10月开始,爱因斯坦永远定居美国。不过,两年前,他就有了离开德国的念头。1931年12月,爱因斯坦在旅行日

记上写道：“今天，我已基本上决定放弃我在柏林的职位”[E18]。那时，他正在去他旅行的第一站帕萨迪纳的船上。考虑到最近在  
450 德国发生的事情，他的行为也是为环境所迫。一年前，国家社会主义者有了惊人的扩张，他们在帝国议会中的席位，从 12 席增加到了 107 席。

爱因斯坦去普林斯顿的决定是在与弗莱克斯纳 (Abraham Flexner) 3 次会面以后决定的 [F1]。第一次见面纯属偶然。1932 年初，弗莱克斯纳来到帕萨迪纳，同加州理工学院的一些研究人员讨论关于设立一个新研究中心，即高等研究院的设想。这一次，他被介绍给爱因斯坦，两人一般性地讨论了研究院的计划。1932 年春，他们在牛津第二次见面，弗莱克斯纳询问爱因斯坦，是否有兴趣到研究院来。1932 年 6 月在卡普特，他们第三次相见了。爱因斯坦说，如果能带助手迈尔的话，他非常愿意去。他为自己提出 3000 美元的年薪。“他问……‘我能少点儿吗？’”[F2]。马上就开始了正式谈判 [E19]。协议是 1932 年 10 月达成的 [I1]。他的薪金定在每年 15000 美元。值得我们注意的关于迈尔的谈判的故事，我在第 29 章再讲。

爱因斯坦原想每年在普林斯顿住 5 个月，其余时间住在柏林 [K2]。不过，从来没有这样实行过。1932 年 7 月，纳粹在帝国议会新大选中获得 230 个席位。就是在这年的 12 月，爱因斯坦告诉妻子，她不会再见到卡普特了 (16d)。1932 年 12 月 10 日，爱因斯坦携带 30 件行李，搭乘奥克兰 (Oakland) 号轮船离开不来梅港，再次前往加利福尼亚。我们以后会看到，这次他们真的永远离开德国了。

1933 年 1 月 30 日，希特勒上台 3 天后，爱因斯坦还为薪水如

何处理的问题给普鲁士科学院的秘书写过信[K3]。然而,形势迅速恶化,在一封日期为1933年3月28日的信中,爱因斯坦向柏林的科学院提出辞呈[K4]。<sup>①</sup>一周前,《纽约时报》报道了“一次最近的德国历史上最彻底的搜查”[N1]。冲锋队员搜查了爱因斯坦在卡普特的别墅,目的是找暗藏的武器,据《时报》的说法,他们搜到的不过是一把餐刀。

同在3月28日这天,爱因斯坦夫妇从加利福尼亚来到[比利时]安特卫普。他们再次回欧洲是因为爱因斯坦有些紧要的事情,再就是为移居普林斯顿也必须做些安排。当然,普林斯顿现在是他们惟一的家了。家人和朋友帮他们找了一处临时的欧式住所,比利时勒科克海滨(Le Coq sur Mer)的一栋法式别墅(villa Savoyard)。他们在这里同伊尔莎和玛戈特团聚了,两个孩子刚去过巴黎。后来,海伦·杜卡斯从苏黎世来了,迈尔也从维也纳来了,爱因斯坦的大家庭就这样建起来了。另外还来了两名警卫(比利时政府派来的),负责他们的安全。当时谣传有人想谋害爱因斯坦。

各方面都安排妥了。在女婿凯泽尔的关照下,爱因斯坦在柏林的资料被抢救出来,以法国外交邮件的方式寄到了凯道赛街(Quai d'Orsay)。<sup>②</sup>哈伯兰大街家中的家具也准备托运(不久安 451  
全到达普林斯顿)。这段时间,爱因斯坦在各处旅行。他在布鲁塞尔作过几次演讲;在苏黎世最后一次见了他的儿子爱德华;他又来到牛津,6月10日作了我常引用的斯宾塞演讲[E17]。

---

① 4月21日,他也辞去了巴伐利亚科学院的职务。

② Quai d'Orsay(或简称 le Quai),法国外交部所在地,一般用来代表法国外交部。——译者

两天后,他在牛津又作了一次报告。6月20日,他在格拉斯哥作了第一篇吉布斯演讲,题目是关于广义相对论的起源[E20]。<sup>①</sup>在这短短的第二次访英期间,他在7月会见了丘吉尔和其他大人物。同时,各方面都在向他提供研究职位。魏茨曼请他去耶路撒冷,爱因斯坦断然拒绝了,因为他非常讨厌希伯来大学的行政管理。他更倾向于去莱顿和牛津。马德里和巴黎也向他提供了职位。

在这些事务活动间隙,爱因斯坦和迈尔还是设法做了些物理研究工作,完成了两篇关于半矢量的论文,他们将这两篇文章从勒科克寄到荷兰,在《荷兰皇家研究院院刊》上发表[E21,E22],这两篇文章是他们在爱因斯坦离开帕萨迪纳几天前完成的另一篇文章[E23]的续篇。他们的工作是受埃伦费斯特的激发而进行的。埃伦费斯特坚持要弄清楚洛伦兹群的单值表示与双值表示之间的关系[E23],为回答这个问题,他们是这样做的:为每个狭义相对论性4-矢量  $x_\mu$  联系一个  $2 \times 2$  矩阵  $X$ :

$$X = \begin{pmatrix} x_0 + x_3 & x_1 - ix_2 \\ x_1 + ix_2 & x_0 - x_3 \end{pmatrix} \quad (25.1)$$

使矩阵行列式  $\det X$  等于矢量的(不变长度)<sup>2</sup>。对  $X$  施行变换

$$X' = AXB \quad (25.2)$$

这里  $A$  与  $B$  是  $2 \times 2$  复矩阵。如果  $\det A \cdot \det B = 1$ ,则这种变换保持长度不变。选择标度使  $\det A = 1$ ,则  $\det A = \det B = 1$ 。在这样的约束条件下,方程(25.2)表示一个包含反射的一般复洛伦兹

---

<sup>①</sup> 《纽约时报》关于爱因斯坦在8月出席了在布拉格召开的犹太民族主义者大会的报道[N2],是错误的。



群。若要保证它是实的,则要求  $B=A^+$ , 经过下列变换

$$X' = AX \quad (25.3)$$

$X$  中的每一列都变成它自身。爱因斯坦和迈尔称这些列矢量为半矢量,它们是正洛伦兹群的双值表示。在线性组合下,它们都是旋量。<sup>①</sup> 这个工作并不都是新的[K5],但它是独立完成的,做得很漂亮。他们接着把半矢量与狄拉克方程联系起来,还把它的形式推广到广义相对论。半矢量的研究使他们“第一次[相信]……它已经可以解释,存在不同质量而有[等量]相反电荷的两种带电基本粒子”[E21],这个结论没能保留到现在。<sup>②</sup> 452

9月9日,爱因斯坦永远离开了欧洲大陆。从安全角度讲,勒科克离德国边界太近了。他又来到英国,在乡下过了几周平静的生活。10月3日,他在伦敦一次由卢瑟福主持的群众集会上讲话,希望各界都来关注迫切需要帮助的被驱逐的学者[N3]。转眼他就要走了。伊尔莎和玛戈特回到巴黎;爱尔莎、海伦·杜卡斯和迈尔<sup>③</sup>在安特卫普登上“威斯特莫兰(*Westmoreland*)”号客船。10月7日,爱因斯坦与他们在南安普顿(Southampton)会合,四个人持旅游护照,开始了新的生活。

10月17日,他们到达纽约。在检疫处,爱因斯坦见到了研究院的理事班伯格(Edgar Bamberger)和马斯(Herbert Maass),他们交给他一封第一任院长弗莱克斯纳的信。信中说:“毫无疑问,在这个国家中仍会有有组织的不负责任的纳粹团伙。我已与地方当局……和华盛顿的政府协商过,他们忠告我,您在美国的安全,

---

① 巴格曼详细讨论了半矢量与旋量的关系[B8]。

② 因为作者知道当时新发现的正电子,所以这些文章就显得有点奇怪了。

③ 有本传记[C2]说迈尔与爱因斯坦在英国会合,那是不对的。

要靠您自己多沉默,少抛头露面……您和夫人在普林斯顿将受到热烈的欢迎,但从长远看,您的安全还得靠您的小心谨慎”[F3]。一艘特别拖轮将一行人直接从检疫处带到巴特里(Battery),从这里出发,他们乘车直达普林斯顿,房间早在那里的孔雀旅馆安排好了。几天后,爱因斯坦夫妇和海伦·杜卡斯搬进了图书馆广场2号的一所公寓。他们在那里住了3年。1935年,爱因斯坦用现金从马尔登(Mary Marden)处买下一所在梅瑟大街112号的房子。那年秋天,他们搬进新居,这是爱因斯坦的最后一个家。1939年,墨索里尼(Mussolini)实行种族歧视政策,爱因斯坦的妹妹玛雅·温特勒被迫离开佛罗伦萨郊外爱因斯坦为她和其丈夫保耳买的一小片住宅,来到普林斯顿,和哥哥住在一起。保耳去日内瓦与贝索夫妇住在一起。

刚来的几年里,亲人的离去给爱因斯坦带来了沉痛的打击。伊尔莎在病痛中死于巴黎。后来,玛戈特来到普林斯顿的家。1935年,爱因斯坦和妻子以及玛戈特和她的丈夫<sup>①</sup>为获移民护照,乘船前往百慕大(Bermuda)。这是爱因斯坦最后一次在美国之外旅行。不久以后,伊尔莎病情加重,因心脏病于1936年12月20日去世。

1938年,爱因斯坦的儿子汉斯·阿尔伯特来到美国。1926年  
453 他在ETH获土木工程师文凭。1928年,他和弗里达·克内希特(Frida Knecht)在多特蒙德结婚,他在那里做了几年钢铁设计师。1930年,他们的儿子伯恩哈德·凯撒(Bernhard Caesar)出生了,是爱因斯坦的第一个孙子。1936年,汉斯在ETH获博士学位。

---

<sup>①</sup> 玛戈特与马利亚诺夫(Dimitri Marianoff)的婚姻没有维持多长时间。

从1947年到1971年,他是加利福尼亚大学伯克利分校的水利工程学教授。关于父亲对他的影响,有一次他说:“也许他一生中惟一放弃过的计划就是我。他曾力图教导我,但他很快发现,我太倔了,只能浪费他的时间”[N3a]。

到美国不久,爱因斯坦写信向比利时王后描述了他对普林斯顿的最初印象:“一个古朴而重礼节的村庄,到处是高傲而软弱的被崇拜的人物。”[E24]一年半后,他又写信给王后:“我把自己锁在毫无希望的科学问题中。我老了,自从与这里的社会疏远以来,我更是这样的”[E25]。爱因斯坦来美国后,还是那么神奇。1934年1月,他和爱尔莎去白宫会见罗斯福,在富兰克林厅度过一个夜晚。他有时还得为一些古怪的要求费心。例如,有人请他为纽约国际博览会的一个要等到6369年才能打开的时间囊写封信(他写了,[N4])。但是,普林斯顿很小、很恬静,不像魏玛时期的柏林那么大,那么动荡而败坏,即使爱因斯坦这样一个有强烈内心生活的人,也得去适应新环境。他真的适应了,而且很满意,他开始过一种更平静的生活。他的房间常响起音乐,他在这里会见老朋友,结交新朋友。他常在卡内基(Carnegie)湖上划船,这条小船是他自己买的,海伦·杜卡斯叫它 *Tinnef* [意第绪语(Yiddish),“便宜货”的意思],名字很贴切。他从未有过汽车,也没学过开车。他偶尔去纽约和其他城市旅行,也去长岛(Long Island)海滨或阿迪朗达克(Adirondacks)度假。1936年,爱因斯坦获得了美国公民证书。1940年10月1日,他和玛戈特以及海伦·杜卡斯,在法官福尔曼(Phillip Forman)主持下,在特伦顿(Trenton)宣誓成为美国公民(我珍视这段回忆,因为我也是在福尔曼主持下宣誓的)。接

下来的 11 月 5 日,该他们三人在罗斯福对威尔基(Willkie)的竞选中投票了。

爱因斯坦还在继续他的物理学研究。他做些什么,我们留在其他章节谈,下一节也会回到这些内容来。爱因斯坦刚来时,研究院还没有自己的大楼,他和其他研究人员都在普林斯顿大学“老”费因楼办公[现在是杰斯特(Gest)东方研究所]。1939年后,他们迁入研究院新建的福尔德楼(Fuld Hall),他的惟一公务就是出席教职员工会议。他在 1944 年 65 岁退休前一直是这么过的,而且还继续这样,直到 1950 年初。很多人都来这里跟他一起工作过,我们在第 29 章会看到这些人。对所有想同他讨论科学问题的人,他都是和蔼可亲的。

1933—1945 年间,关于政治问题,爱因斯坦说得很少,比以前少,也比二战后少。<sup>①</sup> 他沉默的原因是显然的。早年他还不是美国公民。战争爆发后,他只有一个念头:打赢它。从 1933 年到战后,他不再宣传世界性裁军和拒服兵役。“组织起来的力量只有靠有组织的力量来抵抗。对此我非常遗憾,但是没有别的办法”[N6]。战争年代,他还担任过海军军械局的临时顾问。

关于爱因斯坦就发展原子武器的重要性给罗斯福总统的信[E26],好多人都谈论过了。至于这些信起过多大作用,则是众说纷纭。<sup>②</sup> 在我的印象里,影响是有限的。的确,罗斯福在回复爱因斯坦第一封来信的当天,任命了一个三人组成的铀顾问委员会,然而到 1941 年 10 月,他才决定全面推进原子武器的发展。我相信,

---

① 可以参阅[N5]中爱因斯坦在 1933—1945 年的见解。

② 格罗夫斯将军(General Groves)、拉比(I. I. Rabi)和 E. P. 威格纳的评论,请参阅[L1]。

他这时候受的影响,主要来自英国的原子弹行动。直到这个时候,陆军部长史汀生(Stimson)才第一次听说这个计划[S2]。爱因斯坦晚年不止一次地说过,他悔恨自己签署这些信,“如果我知道德国人不会造出原子弹,我肯定不会做这种事”[V1]。<sup>①</sup>

爱因斯坦在普林斯顿的故事,我们在第27章还要接着讲,而且把它讲完。在谈下面的客观实在性之前,我先讲一则爱因斯坦刚到美国的轶事,这是海伦·杜卡斯告诉我的。

在一次欢迎爱因斯坦的大会上,一位高级官员正在讲话时,这位尊贵的客人拿出笔来开始在节目单后面演算他的方程,把什么都忘了。讲话在结束时高度赞誉了爱因斯坦。所有的人都站起来热烈鼓掌,转向爱因斯坦。海伦悄悄告诉他,应该站起来,他站起来了,但不知在为谁欢呼,也跟着鼓掌。海伦忙告诉他,大家在为他鼓掌,他才住手。

## 25c. 爱因斯坦论客观实在<sup>②</sup>

玻尔在科莫的讲话中指出,和相对论一样,量子力学也需要对我们关于非生物自然现象的日常感性知识进行提炼。“我们发现自己眼下正走在爱因斯坦曾经走过的路上,通过这条路,我们要使靠感觉得来的感性认识形式适合于逐步深化的关于自然律的知识”[B5]。玻尔在1927年就已经强调过,在记录有量子效应的观

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦与美国原子弹计划的关系,可参阅 Richard Rhode 的 *The Making of the Atomic Bomb* (Simon & Schuster, 1986)。中译本为《原子弹出世记》(李汇川等译,世界知识出版社,1990年版)。——译者

<sup>②</sup> 可参考 A. Fine, *The Shaky Game, Einstein, Realism and the Quantum Theory* (The University of Chicago Press, Chicago & London, 1986)。——译者

455 测结果时,我们对语言的使用必须格外小心。“我们在这条路上所遇到的障碍,可以说,首先源于这样的事实:语言的每个词所涉及的,都是我们普通的感性知识。”玻尔一直深切地关注着语言在恰当解释量子力学中的作用。1948年,他曾这样说:

在物理文献中,常常看到这样的词句,比如“观测对现象的扰动”,或“因测量产生的客体的物理属性”,在这些词句中,一些词的用法,如“现象”和“观测”以及“属性”和“测量”,与普通用法不同,也与实际定义不同,从而容易造成混乱。作为更恰当的表达方法,我们可以坚决地主张,现象一词,应该严格限于指那些在包括整个实验过程在内的特定环境下所获得的观测结果。[B9]

现象一词的这种用法,即使没被普遍接受,但还是得到了几乎所有物理学家的赞同。

现象的概念不可避免地包含着具体的实验观测条件,同这个观点相反,爱因斯坦坚持认为我们应该寻求一个更深层的理论框架,它允许对现象进行不依赖于任何条件的描述。这就是他的客观实在性含义。1933年以后,大概只有他一个人还在认为,量子力学虽然在逻辑上是自洽的,但它只不过是某个基本理论的不完备的表现,只有在那个基本理论中,客观真实的描述才有可能。

在1935年与波多尔斯基和罗森合写的文章中[E27],爱因斯坦通过讨论一个像往常一样简单的例子,来阐明他的立场的理由。这篇文章“在物理学家中间产生了巨大反响,也极大地影响着哲学

讨论”[B10]。<sup>①</sup> 文章有下述定义：“如果系统没有任何扰动，我们就可以确定地（即以 1 的几率）预言一个物理量的值，那么相应于这个物理量，存在着一个物理实在的元素。”作者接着考虑以下问题：动量和坐标分别为  $(p_1, q_1)$  与  $(p_2, q_2)$  的两个粒子处于有确定总动量  $P = p_1 + p_2$  和确定相对距离  $q = q_1 - q_2$  的状态。由于  $p$  与  $q$  对易，这当然是可能的。两粒子间可以有相互作用。在相互作用发生很长时间后，观测第一个粒子。测量  $p_1$  后，我们可以在不干扰粒子 2 的情况下知道  $p_2$ 。因此（用他们的话说）， $p_2$  就是一种实在的要素。接下来测量  $q_1$ ，我们可以在不干扰粒子 2 的情况下知道  $q_2$ 。因此， $q_2$  也是一种实在的要素，所以， $p_2$  与  $q_2$  都是实在的要素。但是，量子力学告诉我们， $p_2$  和  $q_2$  不能同时是实在的，因为一个给定粒子的动量算符和位置算符是不可对易的。因此，量子力学是不完备的。 456

作者强调，“如果谁要坚持认为，仅当两个物理量能够同时测量或预言时，这两个……物理量才能同时被认为是实在的元素，那么，[他们]就不会得出我们的结论”（黑体字是他们用的）。然后，接下来的一段话，是爱因斯坦哲学的关键，我强调了部分语句：

这[同时的预测性]，使得  $p_2$  与  $q_2$  的实在性依赖于对第一个系统的测量程序，而这个程序在任何情况下都不会影响第二个系统。不能指望哪个合理的实在性定义能容许这一点。

---

<sup>①</sup> 报界也惊动了，1935 年 5 月 4 日，《纽约时报》以“爱因斯坦攻击量子理论”为题载文，文中还有对另一位物理学家的采访。5 月 7 日，又登出一则爱因斯坦的声明，反对报纸未经许可而发表他的东西。

我认为,这篇文章最终还会保留的东西就是最后这句话,它极深刻地总结了爱因斯坦晚年的量子力学观点。这篇文章的内容,有时叫做爱因斯坦—波多尔斯基—罗森[EPR]佯谬。应该指出,这篇文章实际上既没有佯谬,也没有逻辑缺陷。它只是说明,客观实在性与量子力学的完备性假设是不相容的。这个结论,没有影响过后来的物理学发展;将来会不会,也值得怀疑。

“只有任意两个过程的相互排斥,才允许毫不含糊的关于互补物理量的定义,这些量为新物理学定律提供了存在的空间。”玻尔在反驳中这样写着[B11]。他不相信爱因斯坦—波多尔斯基—罗森文章会带来量子力学解释的任何改变,大多数物理学家(包括我自己)都同意这个观点。

关于爱因斯坦的立场,我们就在这里讲完了。他后来又在几篇文章[E28,E29,E30,E31]中回到他的客观实在标准,几次重复EPR的论证,没有增加任何实质性的新东西。在其中一篇文章[E30]中,他还讨论了量子力学概念是否也该适用于日常尺度的物体的问题,回答自然是肯定的。

当然,玻尔不是惟一表示反对客观实在的人,爱因斯坦也不是惟一批判互补解释的人。<sup>①</sup>我本人更愿意在爱因斯坦和玻尔之间沟通信息,因为我相信,和玻尔相比,爱因斯坦的观点同样是清晰的。另外,在这些问题上,我很了解他们的思想,因为我跟他们分别讨论过。1949年,玻尔在普林斯顿,那时,他刚完成一篇文章

---

<sup>①</sup> 1950年,爱因斯坦说过薛定谔和劳厄是仅有的支持他观点的人[E32],当时(和以后)还有许多人也怀疑互补解释,但是他们的观点同爱因斯坦的观点并不一定一致,或者有部分一致(参见[E33])。还请注意,就我所知,在爱因斯坦的所有文章和书信中,从来没有出现过隐变量这个词。



[B6],我们常讨论这些问题。(有一次讨论中,爱因斯坦偷偷溜进 457  
来,拿走了几支烟[P1]。)不过,我还应该强调一点,在这个问题领  
域,还有一些理论物理学家和数学家做出了重要贡献,实验家也积  
极地参与进来,他们做了大量实验,一般性地检验量子力学,也检  
验那时建立的不同理论体系所做的具体预言。<sup>①</sup> 不过,这些实验  
没有什么惊人的东西。

我们已经多次强调,为理解爱因斯坦的思想,必须认识到他既  
是批评家,也是理想家(a visionary)<sup>②</sup>这一章,我完成了[爱因斯坦  
作为]一个批评家的肖像。下一章,我们会看到一个理想家。

### 参考文献

- B1. M. Bron, *Z. Phys.* **37**, 863(1926).  
B2. —, *Z. Phys.* **38**, 803(1936).  
B3. —, letter to A. Einstein, November 30, 1926.  
B4. *The Born-Einstein Letters*, p. 130. Walker, New York, 1971.  
B5. N. Bohr, *Nature* **121**, 580(1928).  
B5a. L. de Broglie, *New Perspectives in Physics*, p. 150. Basic, New  
York, 1962.  
B6. N. Bohr in *Albert Einstein; Philosopher-Scientist* (P. Schilpp, Ed.),  
p. 199. Tudoe, New York, 1949.  
B7. W. Bothe and H. Geiger, *Naturw.* **13**, 440 (1925) *Z. Phys.* **32**, 639  
(1925).

---

① 典型的实验是检验各种不同的 EPR 设计,比如自旋或极化之间的长距离关  
联。我得承认,自己对有关这些题目的大量理论的和实验的文献掌握得很不够。我主  
要的指南是雅默(Jammer)的一本书[J1]和皮普金(Pipkin)的一篇综述文章[P2],两家  
都列有大量的参考文献。

② 由本书中的一个关键词汇“version”演变而来。表明爱因斯坦心目中有一套自  
己的设想,展望或希望达到的图景。“versionary”就是指具有这种想法的人。他不光只  
是批评旧的或现有的理论,而且还努力朝他的理想图景迈进。他深信他的想法一定会  
实现,决不是什么幻想之类。——译者

- B8. V. Bargmann, *Helv. Phys. Acta* **7**, 57, (1933).
- B9. N. Bohr, *Dialectica* **2**, 312(1948).
- B10. —, [B6], p. 232.
- B11. —, *Phys. Rev.* **48**, 696(1935).
- C1. H. B. G. Casimir, letter to A. Pais, December 31. 1977.
- C2. R. W. Clark, *Einstein: The Life and Times*, p. 603. Avon Books, New York, 1971.
- D1. P. A. Dirac, *Proc. Roy. Soc.* **A114**, 243(1927).
- E1. A. Einstein, letter to C. Lanczos, March 21. 1942.
- E2. W. Elsasser, *Naturw.* **13**, 711(1925).
- E3. A. Einstein, letter to R. A. Millikan, September 1, 1925.
- E4. —, letter to P. Ehrenfest. August. 23, 1926.
- E5. —, letter to P. Ehrenfest, August 28, 1926.
- E6. — in *James Clark Maxwell*, p. 66. Macmillan, New York, 1931.
- E7. —, letter to M. Besso, December 25, 1925, *EB*, p. 215.
- E8. —, letter to H. Born, March 7, 1926. Reprinted in *The Born-Einstein Letters* (M. Born, Ed.), p. 91. Walker, New York, 1971.
- E9. —, letter to E. Schrödinger, April 26. 1926. Reprinted in *Letters on Wave Mechanics* (M. Klein, Ed.). Philosophical Library, New York, 1967.
- E10. —, letter to M. Beso, May 1. 1926; *EB*, p. 224.
- 458 E11. —, letter to M. Born, December 4, 1926; *The Born-Einstein Letters*. p. 90.
- E12. —, *Z. Angew. Chemie* **40**, 546(1927).
- E13. — in *Proceedings of the Fifth Solvay Conference*, p. 253. Gauthier-Villars. Paris. 1928.
- E14. —, letter to H. A. Lorentz, November 21, 1927.
- E15. —, R. Tolman, and B. Podolsky. *Phys. Rev.* **37**, 780(1931).
- E16. —, *Z. Angew. Chemie* **45**, 23(1923).
- E17. —, *On the Method of Theoretical Physics*. Oxford University Press, New York, 1933. Reprinted in *Phil. Sci.* **1**, 162(1934).
- E18. —, personal travel diary, December 6, 1931.

- E19. —, letter to A. Flexner, June 8, 1932.
- E20. —, *Origins of the General Theory of Relativity*, Glasgow University, Publ. No. 30, 1933.
- E21. — and W. Mayer, *Proc. K. Ak. Amsterdam* **36**, 497(1933).
- E22. — and. —, *Proc. K, Ak. Amsterdam* **36**, 615(1933).
- E23. — and. —, *PAW*, 1932, p. 522.
- E24. —, letter to Queen Elizabeth of Belgium, November 20, 1933.
- E25. —, letter to Queen Elizabeth of Belgium, February 16, 1935.
- E26. —, letters to F. D. Roosevelt, August 2, 1939; March 7, 1940. Reprinted in [N3], pp. 294, 299.
- E27. —, B. Podolsky, and N. Rosen, *Phys. Rev.* **47**, 777(1935).
- E28. —, *Dialectica* **2**, 320(1948).
- E29. — in *Albert Einstein; Philosopher-Scientist* (P. Schipp, Ed.). Tudor, New York, 1949.
- E30. — in *Scientific Papers Presented to Max Born*, Hafner, New York, 1951. p. 33.
- E31. — in *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*, p. 5. Michel, Paris, 1953.
- E32. —, letter to E. Schrödinger, December 22, 1950.
- E33. —, letter to M. Born, May 12, 1952.
- F1. A. Flexner, *I Remember*. Simon and Schuster, New York, 1940.
- F2. —, *The New York Times*, April 19, 1955.
- F3. —, letter to A. Einstein, October 13, 1933.
- G1. S. Goudsmit, letter to A. Pais, January 16, 1978.
- H1. W. Heisenberg, postcard to W. Pauli, June 29, 1925. Reprinted in *W. Pauli Scientific Correspondence*, Vol. 1, p. 229. Springer, New York, 1979.
- H2. —, *Z. Phys.* **33**, 879(1926).
- H3. —, *Der Teil und das Ganze*, pp. 90—100. Piper, Munich, 1969.
- H4. —, letter to A. Einstein, November 30, 1925.
- H5. — in *Niels Bohr and the Development of Physics* (W. Paul, Ed.), p. 12. McGraw-Hill, New York, 1955.

- H6. —, *Z. Phys.* **43**, 172(1927).
- H7. —, letter to A. Einstein, June 10, 1927.
- H8. —, letter to A. Einstein, May 19, 1927.
- I1. The Institute for Advanced Study, excerpt from minutes, October 10, 1932.
- J1. M. Jammer, *The Philosophy of Quantum Mechanics*. Wiley, New York, 1974.
- K1. G. Kirsten and H. J. Treder, *Einstein in Berlin*, Vol. 2. p. 268. Akademie, Berlin, 1979.
- 459 K2. — and —, [K1], Vol. 1, p. 241.
- K3. — and —, [K1], Vol. 1, p. 242.
- K4. — and —, [k1]i, Vol. 1, p. 246.
- K5. F. Klein, *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19 Jahrhundert*, Vol. 2, Chap. 2, Sec. 2. Springer, New York, 1979.
- L1. A. B. Lerner, *Einstein and Newton*, pp. 212–15. Lerner, Minneapolis, 1973.
- M1. J. Mehra, *Biogr. Mem. Fell. Roy. Soc.* **21**. 177(1975).
- N1. *New York Times*, March 20, 1933.
- N2. *New York Times*, August 22, 1933.
- N3. O. Nathan and M. Norden, *Einstein on Peace*, p. 236. Schocken, New York, 1968.
- N3a. *New York Times*, July 27, 1973.
- N4. *New York Times*, September 16, 1938.
- N5. O. Nathan and M. Norden, [N3], Chaps. 8–10.
- N6. — and —, [N3], p. 319.
- P1. A. Pais in *Niels Bohr*, p. 215. North-Holland, Amsterdam, 1967.
- P2. F. M. Pipkin, *Adv. At. Mol. Phys.* **14**, 281(1978).
- R1. L. Rosenfeld in *Proceedings of the Fourteenth Solvay Conference*, p. 232. Interscience, New York, 1968.
- S1. W. T. Scott, *Erwin Schrödinger*, University of Massachusetts Press, Amherst, 1967.
- S2. H. L. Stimeson, *On active Service in Peace and War*, Chap. 23. Har-

per New York, 1947.

V1. A. Vallentin, *The Drama of Albert Einstein*, p. 278. Doubleday, New York, 1954.

W1. E. P. Winger, *Proceedings*, Einstein Centennial Conference at Princeton, p. 461. Addison-Wesley, Reading, Mass. 1980.

## 第 26 章 爱因斯坦的理想图景

### 26a. 爱因斯坦、牛顿和成功

爱因斯坦从来就不相信量子力学是原理理论,但他同时又认识到,这个理论是高度成功的。早在 1927 年,他就公开表示,他肯定波动力学“与经验实事惊人的一致”[E1]。1936 年,他写道,“很明显……玻恩对量子理论的统计解释是惟一可能的”[E2]。1949 年,他声称:“统计的量子理论[是]我们时代最成功的理论”[E3]。但是,为什么他又从来没有被它所说服呢?

我想,爱因斯坦在 1933 年的斯宾塞演讲里,已间接地回答了这个问题。是他对后期思考方式最清晰、最深刻的表述。其中关键的部分可在他对牛顿和经典力学的评论中找到。在这篇演讲里[E4],爱因斯坦指出,“牛顿绝不会满意绝对空间……绝对静止……[和]超距作用的引入。”接下来,他讲了牛顿理论的成功:“因为他的理论在实践上的巨大成功,使他和 18、19 世纪物理学家没能认识到他的体系的原理所包含的虚构(fictitious)特征。”应该说明,爱因斯坦所谓的虚构,是指人类思想的自由发明。于是,他把牛顿的力学同他自己的广义相对论工作进行了比较:“原理的虚构特征可以从下面这个事实明显地看出来:有可能展现出两种截然不同的基础[牛顿力学与广义相对论力学],每一个基础都能产

生与经验高度一致的结果。”(别忘了,这些话说过很久之后才发现在强引力场起作用时,牛顿力学的预言与广义相对论的预言是那么显著地不同。)

在斯宾塞演讲中,爱因斯坦不仅提到了经典力学的成功,而且也提到了量子理论的统计解释的成功。“这个概念在逻辑上是无可非议的,而且取得了重大成功。”但他又说,“我仍然相信会有一种实在的模型,它能表示事件本身,而不仅是它们出现的几率。”

根据那篇演讲和同他进行的关于量子物理学基础的讨论,我得到下面的印象:爱因斯坦想把经典力学的成功与量子力学的成功作番比较。在他看来,两个理论是同等的:都成功,也都不完备。有十多年时间,爱因斯坦都在想一个问题:如何将匀速运动下的不变性推广到更一般的运动,他最后得到的理论,即广义相对论,只产生了与牛顿理论的微小偏离。(大偏离的情形,在好些年以后才讨论。)他同样希望,也许微小的修正就能够使量子力学继续保持实践上的成功。他也准备开始他自己的客观实在的研究,而不怕道路会多么漫长。很可能正是广义相对论(他的最高成就)的成功,激发了他独自研究的热情。我们不应忘记,这个特点代表着他的一切成果和风格。

爱因斯坦关于量子理论的思想,最重要的不在他反对别人做什么,而在于他深信自己研究量子问题的迥然不同的方法。他的信念可以总结如下:

(1) 量子力学代表着重要的进步,不过它只是一个有待发现的理论的一种极限情况:

毫无疑问,量子力学已经抓住了真理的美妙成分(*beauti-*

ful element),对它未来的理论基础来说,将是一块试金石,它必须能够作为一个极限情况从那个基础推演出来,正如静电学能从麦克斯韦电磁场方程推导出来,或者热力学能从统计力学推导出来一样。[E2]

(2) 我们不应该试图从量子力学开始,通过它的精致化或新解释去发现新理论:

我相信,量子力学不会是寻求那个基础的出发点,正如我们不能从热力学或统计力学出发而达到力学的基础一样。[E2]

(3) 相反,我们应该一切重新开始,努力去获得作为广义相对性理论或其推广的副产品的量子理论,这才是爱因斯坦的主要观点。一切重新开始,从来也没吓倒过爱因斯坦,这是一根最重要的纽带,联结着他的青年和老年。他敬佩洛伦兹,还是头也不回地拒绝了关于刚性杆收缩和斐索实验解释的动力学观点。他仰慕牛顿,但仍然坚决地抛弃了绝对空间。相对性理论,他个人最伟大的成就、他的原理理论,都是从新起点出发而达到的。关于量子理论,他又想走他从前的路,而不在于花多少工夫。1950年,他写信给玻恩说,“我相信[客观实在],尽管时至今日,[量子理论]的成功是和它背道而驰的”[E5]。

462 爱因斯坦知道,他的观点是孤立的,他也没有忘记别人的反应。他写信给一个朋友说[E6]:“在同行的眼里,我成了顽固的异端分子”,又对另一个人说:“人们都以为我老眼昏花,是个顽固不



化的东西。这个角色我想还不算讨厌,正好符合我的脾气”[E7]。他自己明白,有时甚至也说,他的路太孤独[E8],不过,他还是顽强地坚持走下去。“暂时的成功令多数人信心倍增,却很少有人去对原理进行反思”[E9]。

爱因斯坦在为自己的量子理论立场进行辩护时,既不像一个圣者,也不乏幽默。有时,他还会很尖刻。有一次他说,玻尔想的明晰,但写得晦涩,还自以为是个先知[S1]。又有一次,他说玻尔是个神秘主义者[E10]。另一方面,在给玻尔的一封信中,爱因斯坦引了一句古诗来说明自己的地位:“Über die Reden des Kandidaten Jobses/Allgemeines Schütteln des Kopses”[E11]。<sup>①</sup>他常感到孤独,“我确信你不理解我是如何走上我的孤独的道路的”[E12]。也许他还没有把他对这些问题的全部感受说尽,这是他的风格。“像我这种类型的人,一生中基本的东西完全在于他想什么和他怎么想,而不在于他做什么或经历什么”[E3]。

爱因斯坦在量子理论的基础问题上远离大家,是在量子力学发现以前。这是另一条联系爱因斯坦的青年和老年的重要纽带。在26c里,我将对这个问题加以述说。但我们还是先来对第2章的主题:爱因斯坦对量子理论和相对论的一般态度,做最后的一点评论。

## 26b. 相对论与量子理论

爱因斯坦的早期科学著作有一个鲜明的特色,那就是他把相

---

<sup>①</sup> 大意是:听了候选人约伯的话,众人都摇头。

对论与量子理论分别开来,即使在把它们联系在一起会更自然和更直接的场合也是如此。这种区分,早在他第一篇狭义相对论的论文里就很明显,他在文章里指出:“值得注意的是,光复合体的能量和频率按相同的规律随着观察者的运动状态而变化”[E13]。显然,在这里他完全可以提到他刚在几个月前完成的那篇关于光量子的论文里的一个关系, $E=h\nu$ ,但是,爱因斯坦没有那么做。在1905年9月关于相对论的论文里[E14],他只谈辐射,而不提光量子。在1909年的萨尔茨堡讲话中,他讨论他对相对论和量子理论的看法,但是把这两个领域分得很开[E15]。像我们在21c所看到的,爱因斯坦在1917年的论文里为光量子赋予了 $E=h\nu$ 的  
463 能量和 $p=h\nu/c$ 的动量。这篇文章最后指出:“能量与动量是密切相关的;于是,只有当一个理论能够表明,根据[这个理论],从辐射向物质转移的动量会导致热力学所要求的运动时,才能认为它是被证实了的”[E16]。为什么他只提热力学,而不同时也提相对论呢?我认为,在他看来,唯象的和暂时的量子理论还不成熟,也许还没到能与相对论相提并论的程度,而相对论已是被揭示出的真理了。

在旧量子理论时代,爱因斯坦还是这样;在量子力学出现之后,他依然是这样。在上一节里,我说过,爱因斯坦认为量子力学是高度成功的。现在,我来把这点讲得更详细些,并且还要指出,他的这种观点完全适用于他对非相对论量子力学的看法。我凭经验知道,同爱因斯坦讨论量子场论会多么困难。他不相信非相对论量子力学为相对论性理论的推广提供了可靠而完全的基础[E17,E18],相对论量子场论对他而言是不能接受的[B1]。瑟林(Walter Thirring)曾写信向我说起他同爱因斯坦的讨论,“说到量

子场论时,他的反对越发强烈,他对它的任何结果都不相信”[T1]。巴格曼告诉我,有一次爱因斯坦请他从二次量子化开始,谈谈他对量子场论的个人看法,巴格曼为此花了一个月的工夫。此后,爱因斯坦的兴趣就没有了。

我以上讲的量子场论,主要指的是狭义相对性的场论。在2b的“时间囊”里,我曾插过一句话:时至今日,量子理论与广义相对论的综合仍面临着概念的困难。爱因斯坦困惑的就是这个吗?不是,关于这一点,我们从他颂扬麦克斯韦的文章的结束语可以清楚地看出来:

我倾向于这样的信念:物理学家不能暂时满足于……一种对实在的间接描述,即使那个[量子]理论能成功地适合于广义相对论的[我加的黑体]假设。那么,他们应该回过头去努力实现那样的纲领,也许可以恰当地叫麦克斯韦纲领:用场来描述物理实在,它满足一组没有奇点的偏微分方程。  
[E19]

“那样的纲领”是非爱因斯坦莫属的。他认为,不应该从接受量子假设为基本法则出发,然后让这些原则去适合广义相对论。相反,他相信,应该从一个经典的、统一的场理论和那个理论的需要出发,它要求量子的法则应该作为它本身的约束而出现。

在讨论量子理论的下一节,也是最后一节,我将概括地谈谈爱因斯坦是如何希望达到他的目标。他为什么怀有那种期待,这个问题将把我们带到历史的又一边缘。要确切地回答是不可能的。作为个人意见,我认为,伟大的发现似乎会同时伴随着精神的创伤

(trauma), 爱因斯坦的相对论的纯粹性也使他花了眼。他差不多是这样对自己说的:“对发现者来说……他的想象的产物显得那么必然和那么自然, 他简直不能把它们当成是他的思想的创造, 而应该把它们当成是既定的实在”[E4]。他对客观实在的一往情深, 完全是这种思想过程的表现。

最后, 我想重申自己的看法: 虽然爱因斯坦对量子力学的具体反驳是没有根据的, 但我不知道量子力学或广义相对论是否完备, 也不知道人们所期待的二者的综合, 是否仅凭它们各自假设的简单糅合就能圆满完成。

## 26c. 超因果性

1923年, 爱因斯坦发表了一篇文章, 题目是《场论为量子问题的解决提供了可能性吗?》[E20]。文章开头回忆了电动力学和广义相对论在因果描述方面所取得的成功: 事件是由微分方程结合类空曲面上的初始条件因果地决定的。然而, 爱因斯坦接着说, 如果不进一步努力, 这种方法不能用于量子问题。正如他所指出的, 玻尔轨道的不连续性意味着不能自由选择初始条件。然后他问, 我们能不能用什么办法把这些量子约束补充到以偏微分方程为基础的(因果)理论中去? 他的回答是:“当然可以: 我们只好通过[恰当的]方程组以‘超决定’(overdetermine)<sup>①</sup>这些场变量。”接着, 他提出自己的纲领, 有三点基本要求: (1) 广义协变性; (2) 所期待的

---

<sup>①</sup> 用爱因斯坦自己的话来说(1924年1月5日给贝索的信), “这个想法可以称为定律的超决定, 即微分方程的数目超过场变量的数目”。——译者

方程至少应该与引力理论和麦克斯韦理论一致；(3)用以超决定场变量的方程组应具有静态球对称解以描写电子和质子。如果这种超决定性可以实现，那“我们就能希望这些方程照如下的方式相应地决定奇点(电子)的力学行为：场和奇点的初始条件也服从约束条件”。接下来，他讨论了一个试验的例子，最后说：“在我看来，本文的重点是超决定性的思想。”

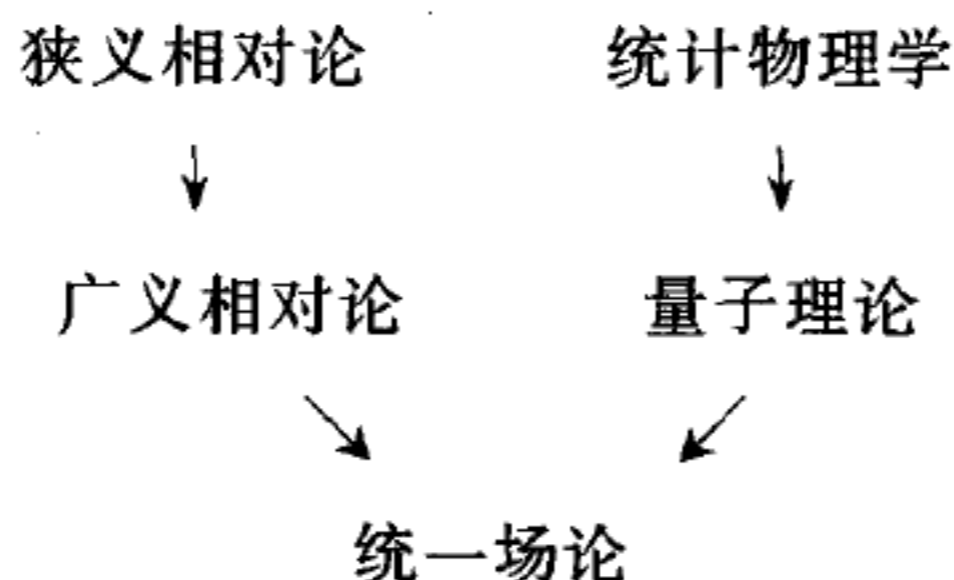
到1923年，爱因斯坦的这些思想已经考虑了好些年。1920年，他就写信给玻恩说，“看来，还不能为我心爱的思想[meine Lieblingsidee]提出一个确实的形式。这个想法是根据微分方程决定的多余的场变量，来理解量子的结构”[E21]。就我所知，这是他最早谈自己的战略，这个想法似乎从1917年后不久就开始令他激动，那时他不仅完成了广义相对论，还发现了自发辐射中因果性的缺陷[E16]。玻恩记述了别人对爱因斯坦这些尝试的最初反应：“那时[1925年初]，我们都认为，他的目标……是可以达到的，而且也是非常重要的”[B2]。爱因斯坦自己则感到他别无选择。“路可能完全错了，但必须试一试”[E22]。

超决定曾经是而且一直是爱因斯坦为回答量子问题的希望。6年以后，在写信给普朗克时，他使自己的观点非常鲜明：对量子现象的理解，并不需要像量子力学所做的那样削弱经典的因果性。相反，经典的因果性应该加强。 465

自然现象似乎在这样一个程度上是决定的：不仅暂时次序，而且初始状态，都高度地由[物理]定律决定着。在我看来，我应该通过寻找超决定的微分方程组来表达这种思想……我坚决地认为，我们不会终结于 Subkausalität[亚因果

性],而将在我们的意义上,达到 Überkausalität[超因果性]。  
[E23]

最后,我可以详细来解释爱因斯坦的理想图景(version)了。他在寻求一种统一场论,但这个概念所意味的东西,对他来讲,与当时和现在人们所理解的不一样。他要求那种理论应该是严格因果的,它能统一引力作用和电磁作用,物理粒子应作为普遍的场方程的特解而出现,而量子假设应该作为普遍的场方程的一个结果。当他在1949年写道:“我们的问题是寻找总场的场方程”时,所有这些准则,早就生在他的思想中了[E3]。于是,爱因斯坦的科学思想的发展,可以用序言里的那个图来概括:



在第17章,我讨论过爱因斯坦在统一场论的部分工作,所涉及的是综合引力与电磁力。这里,我再来对量子的各方面作一些说明。

从爱因斯坦的往来书信中,我们看到,他常常同时在考虑统一场论和量子理论的问题。这里略举几个例子。1925年,他正在研究非对称度规的理论时,写信给一个朋友说:“现在的问题是,这个场论能不能与原子和量子的存在相协调”[E24]。在1942年的一封信中,他讨论了推广后的同一个理论,“我现在做的事情,你也许

会觉得有些疯狂。然而,我们必须注意,波粒二象性要求一些闻所未闻的东西”[E25]。1949年,他写道:“我相信……统计的[量子]理论……太肤浅了,我们必须依靠广义相对论的原理”[E26]。1954年,他又写道:“我大概像一只鸵鸟,为了躲开讨厌的量子,总把头埋进相对论的沙堆里”[E27]。

爱因斯坦一直在寻找线索借以帮他实现从统一场论导出量子理论的理想图景,然而总是徒劳的。因为心怀这种渴望,他常在意 466 想不到的地方提到量子理论。在与格罗梅合写的关于运动的第一篇论文(参见 15f)的最后,他写道:“我们已经首次证明了,场论可以包含力学的不连续性的理论,这一点也许对量子理论……很有意义”[E28]。然而,在接着的一篇文章里,他推翻了这种说法[E29]。1930年,他就统一场论发表演说,报道中有这样的话:“他强调,他无法注意量子计算的结果,因为他相信[用场论]处理微观现象时,这些结果会自然出现”[E30]。1931年,他作过一次关于统一引力与电磁力的五维理论的报告,最后指出:“这个理论还没有包含量子理论的结论”[E31]。在爱因斯坦—波多尔斯基—罗森论文两个月之后,爱因斯坦和罗森又完成一篇论文,这次讨论了引力-电磁场方程的无奇点解[E32]。文章有句话说,“人们并没有先验地看到这个理论是不是包括了量子现象”,这又一次说明了爱因斯坦头脑中纲领的范围。他的纲领现在还是无从捉摸的理想图景。引力和电磁还没统一,量子物理学也没有囊括进来,令人满意的类粒子解也还没有发现。

我再零星地补充几点。

爱因斯坦在不经意地与狄拉克方程打交道后(见 25b),他相信,寻找的那个总场方程,将会以非球对称的类粒子解的形式产生

非零自旋的粒子(与巴格曼的私人交谈)。他大概希望自己的超决定思想能够产生离散的自旋值。<sup>①</sup>

他还希望,未来的理论应当包括这样的解:它不能绝对定域化,而且对应着带量子化电荷的粒子[E4]。

1925年,爱因斯坦指出,如果联合的引力—电磁场方程有电荷为 $e$ 和质量为 $m$ 的类粒子解,则也会有 $(-e, m)$ 的解[E33]!证明利用了联合方程的时间反演。(在一个类似情况下,泡利[P1]首先指出了 $(\pm e, m)$ 解的存在。)这个结果使他有点怀疑,引力与电磁的统一到底是不是还可能。(别忘了,他要求已知的粒子应作为统一场论的特解而产生出来。)

简单性是爱因斯坦的探索指南。“我认为,存在着某条正确的道路,而且……我们有能力发现它。迄今为止的经验使我们有理由相信,自然界实际体现着数学简单性的理想”[E4]。早在1927年,海森伯在给爱因斯坦的一封信中就强调,他的简单性思想和量子力学内在的简单性是不可能同时实现的。“假如我没有误解您的观点,那么,您是很乐意为[经典的]因果性原则而牺牲[量子力学]的简单性的。也许我们都愿意[相信]亲爱的上帝会超越[量子力学]而保留因果律。然而,我实在看不出,更多地要求一些超出实验之间的联系的物理描述之外的东西,会有什么美妙的”[H1]。

迟暮的爱因斯坦也开始怀疑自己的理想图景了。

“相对论和量子理论……似乎不适合融于一个统一理论”,

---

<sup>①</sup> 我偶然注意到,在1925年,爱因斯坦曾帮助过乌伦贝克和高德斯米特解释原子中电子的自旋-轨道耦合的起源[U1]。



1940年,他这么说[E34]。大概是1949年,他写信给玻恩,“我们各自的木马<sup>①</sup>已经永不回头地向着不同方向奔去了……甚至我也没有绝对的信心坚持[我的东西]”[E35]。20世纪50年代初,他有一次对我说,他不知道微分几何是不是进一步发展的框架,但如果真是那样的话,他相信自己的路没有走错。<sup>②</sup>在给英费尔德的一封信中,还可以读到类似的评论:“我越来越倾向于认为,我们不能靠连续理论走得太远”[E36]。1954年,他给亲爱的朋友贝索写信说:“我想,物理学很可能不能以场的概念,即连续的结构为基础。在那种情况下,我的整个城堡,包括引力论,以及其他现代物理学,都将荡然无存”[E37]。这话太苛刻了,我想,大概没有哪位物理学家会同意。爱因斯坦为别人的著作写过许多序言,在写的最后一篇序里,他说:

我试图去完善广义相对论……部分原因是我猜想一个合理的广义相对论性[经典]场论,也许能为更完备的量子理论提供一个答案。这只是一个朴素的愿望,而绝不是一种信念。  
[E38]

但是,海伦·杜卡斯告诉我,爱因斯坦有一次在餐桌上说(她记不清是哪一年了),他认为100年后的物理学家会理解他。当他以下面的话描述斯宾诺莎时,我也觉得他是夫子自道:

---

① hobby-horse,也指“如得意的想法、热衷谈论的话题”。——译者

② 巴格曼告诉我,20世纪30年代后期,爱因斯坦也向他讲过类似的话。

尽管斯宾诺莎生活在 300 年前,但是他不得不与之抗争的那个精神世界,却同我们自己的很相似。原因是,他完全相信一切现象的因果依存性,在那个时候,伴随着为获得自然现象间因果关系的知识的努力所取得的成功还是相当质朴的。

[E39]

爱因斯坦临终前一直还在思考量子理论。大概在去世前一个月,1955 年 3 月,他在普林斯顿写了他最后的自述片段,最后几句话就是关于量子理论的:

看来完全值得怀疑的是:一个[经典]场论能否解释物质的原子结构和辐射以及量子现象?大多数的物理学家会充满信心地用一个“不”字来回答,因为他们相信,量子问题在原理上已经通过别的手段解决了。无论怎样,我们还是想起莱辛那句令人鼓舞的话:对真理的渴望比对它的实际占有要宝贵得多。[E40]

#### 参考文献

- B1. M. Born, letter to A. Einstein, October 10, 1944.
- B2. — (Ed.), *The Born-Einstein Letters*, p. 88. Walker, New York, 1971.
- E1. A. Einstein, *Smithsonian Institution Report for 1927*, p. 201; *Naturw.* 15, 273 (1927)
- E2. —, *J. Franklin Inst.* 221, 313(1936).
- E3. — in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Ed.). Tudor, New York, 1949.
- E4. —, *On the Method of Theoretical Physics*. Oxford University Press, New York, 1933. Reprinted in *Phil. Sci.* 1, 162(1934).

- E5. —, letter to M. Born, September 15, 1950.
- E6. —, letter to M. Born, August 8, 1949; *EB*, p. 407.
- E7. —, letter to M. Born, April 12, 1949.
- E8. —, letter to M. Born, March 18, 1948.
- E9. —, letter to M. Besso, July 24, 1949; *EB*, p. 402.
- E10. —, letter to E. Schrödinger, August 9, 1939.
- E11. —, letter to N. Bohr, April 4, 1949.
- E12. —, letter to M. Born, March 18, 1948.
- E13. —, *AdP* **17**, 891(1905).
- E14. —, *AdP* **18**, 639(1905).
- E15. —, *Phys. Zeitschr.* **10**, 817(1909).
- E16. —, *Phys. Zeitschr.* **18**, 121(1917).
- E17. —, letter to M. Born, March 22, 1934.
- E18. —, letter to A. Sommerfeld, December 14, 1946.
- E19. — in *James Clark Maxwell*, p. 66. Macmillan, New York, 1931.
- E20. —, *PAW*, 1923, p. 359.
- E21. —, letter to M. Born, March 3, 1920.
- E22. —, letter to M. Besso, January 5, 1924; *EB*, p. 197.
- E23. —, *Forschungen und Fortschritte* **5**, 248(1929).
- E24. —, letter to M. Besso, July 28, 1925; *EB*, p. 209.
- E25. —, letter to M. Besso, August 16, 1949; *EB*, p. 409.
- E26. —, letter to M. Besso, August 16, 1949; *EB*, p. 409.
- E27. —, letter to L. de Broglie, February 8, 1954.
- E28. — and J. Grommer *PAW*, 1927, p. 2.
- E29. —, *PAW*, 1927, p. 235.
- E30. —, *Science* **71**, 608(1930).
- E31. —, *Science* **74**, 438(1931).
- E32. — and N. Rosen, *Phys. Rev.* **48**, 73(1953).
- E33. —, *Physica* **5**, 330(1925).
- E34. —, *Science* **91**, 487(1940).
- E35. —, letter to M. Born, undated, probably written in 1949.
- E36. —, letter to L. Infeld, March 6, 1941.

- E37. —, letter to M. Besso, August 10, 1954; *EB*. p. 525.
- E38. — in *Louis de Broglie, Physicien et Penseur*, Albin Michel, Paris, 1953.
- E39. —, introduction to R. Kayser, *Spinoza, Portrait of a Spiritual Hero*, p. xi, Philosophical Library, New York, 1946.
- E40. — in *Helle Zeit, dunkle Zeit* (C. Seelig, Ed.). Europa Verlag Zürich, 1956.
- H1. W. Heisenberg, letter to A. Einstein, June 10, 1927.
- P1. W. Pauli, *Phys. Zeitschr.* **20**, 457(1919).
- S1. R. S. Shankland, *Am. J. Phys.* **31**, 47(1963).
- T1. W. Thirring, letter to A. Pais, November 29, 1977.
- U1. G. E. Uhlenbeck, *Physics Today* **29** (6), 43(1976).

## **VII 旅程的终点**



## 第 27 章 最后 10 年

473

直到生命最后一息,爱因斯坦的头脑还相当活跃,充满机智,然而,在最后 10 年里,他的年龄和健康,他对物理学永不衰竭的渴望,他大量的科学以外的活动,都要求他不能太多地耗费自己的精力和时间,他尽可能地过一种简单的日常生活。通常 9 点钟左右,他下楼吃早饭,然后读早晨的报纸。大约 10 点半,他去高等研究院,在那里工作到下午一点,然后步行回家。我知道有这么一回事。一个司机忽然认出了在街上行走的这位慈祥老人,黑色的羊毛帽,紧紧戴在花白的头发上。吃惊之际,他的汽车正好撞在了树上。午饭后,爱因斯坦一般上床休息几个小时。然后,他喝一杯茶,再工作一会儿,或者处理来信,或者会见为非私人事情找他讨论的人。晚餐一般在下午 6 点半到 7 点之间。然后,他又开始工作或听广播(他的房间里没有电视),偶尔也见见朋友。他通常在深夜 11、12 点才休息。每个星期天的中午,他都收听史密斯(Howard K. Smith)的新闻分析,这段时间从不会客。下午,他出去散步或坐朋友的汽车兜风。他很少看戏或听音乐会,极少看电影。他偶尔参加帕尔默(Palmer)实验室的物理学讲习班,令敬畏他的人们一下子安静下来,这是我以前说过的。在最后的几年里,他不再拉小提琴,但每天都要即兴弹一会儿钢琴。他也不再用他喜欢的那只烟斗抽烟了[D1]。

在他最后 10 年的开始,即 66 岁时,他同妹妹玛雅、继女玛戈

特和海伦·杜卡斯一起,住在梅瑟街的家中。从邮件到饮食的所有日常事务,都由海伦·杜卡斯料理。战后不久,玛雅就准备与丈夫保耳团聚。那时保耳与贝索一家住在日内瓦[E1]。然而事与愿违,1946年她突然中风,然后就卧床不起。病情越来越恶化,后来话也不能讲了,神智还算清楚。每天晚上晚饭以后,爱因斯坦就来到他最亲爱的妹妹的房间,念书给她听,1951年6月,她死在梅瑟街的家中。

在爱因斯坦生命的最后10年中,物理学仍然是他的中心。正如我以前说的,在这段时间里,他主要关心的是统一场论和量子理论的原理问题。发表的著作包括8篇统一场论的论文;一篇在泡利474的鼓动下为《辩证法》(*Dialectica*)杂志写的文章,在这篇文章中,他解释了他对量子力学的观点[E2];还有那篇他称为讣告的重要的“Autobiographisches”(自述)[E3]。偶尔他也在研究院开会讨论他的工作,为避免好事者,特别是新闻界,这类谈话都是口头通知的。讨论会本身很单纯,不下结论,也不谈学术以外的东西。那正是量子电动力学取得惊人进展的年代,新粒子是意想不到的发现的年代,也是爱因斯坦的物理学和年轻一代的物理学之间鸿沟越来越宽的年代。

第二次世界大战结束以后的那些年,爱因斯坦比任何时候更醉心于政策和政治问题。“战争是赢了,但和平却没有”,他1945年12月这样告诉听众[E4]。他认为战后的世界是危险和不稳定的,他相信,需要一种新型的政府模式。“第一颗原子弹不光摧毁了一座广岛城,也打破了我们固有的、过时的政治观念”[E5]。早在1945年9月,他就指出:“拯救文明和人类的惟一办法,在于创



立一个以法律来保障各国安全的世界政府”[E6]。在他看来,应该为这个世界政府赋予约束其成员的决策能力。他怀疑联合国,因为联合国不具备这种能力。在他的暮年,世界政府仍然是他一次次以各种形式谈论的话题。1950年,在一封题为“论科学家的道德义务”的信中,他又谈到它了:“只有创立一个以法律为基础的超国家体系来消除暴力手段,人类才能得救”[E7]。他相信,这才是人类应该为之奋斗的目标,即使环境不能容忍这种思想。“而同时,下面这一点是千真万确的:一个天生自由和小心谨慎的人,可能会被消灭,因为这样一个人,永远不可能被奴役或被当做一个盲目的工具任人玩弄”[E7]。在当时很有名的几封信中,<sup>①</sup>他提倡温和和抵抗。“我相信,要在超国家的基础上为世界带来和平,只能大规模地使用甘地的方法”[E8]。“为了反对[这个压制教学自由的]罪恶,少数的知识分子应当怎么办呢?坦白地说,我想只有采取甘地所主张的那种革命性的不合作办法”[E9]。这些话在丑恶的麦卡锡时代是非同寻常的。

爱因斯坦还相信,正如原子科学家非常委员会宪章所说的,有必要“以有利于人类的方式,促进原子能的使用,[并且]传播原子能的知识与信息……以便每个有知识的公民能够理智地决定形成 475 他的行为,为自己和人类的最高利益服务。”他在这个组织短暂存在的几年中,担任着它的主席。<sup>②</sup> 1954年,他坚决站在绝大多数原子物理学家一边,公开谴责美国政府因安全问题对奥本海默的指

---

① 一封信谈拒服兵役[N1],另一封信给弗劳恩格拉斯(William Frauenglass),他是一位中学老师,曾受到众议院非美活动委员会的传讯[N2]。

② 这个委员会成立于1946年8月。其他成员有巴切尔(R. Bacher)、贝特(H. Bethe)、康顿(E. Condon)、霍格尼斯(T. Hogness)、西拉德、尤里(H. Urey)和韦斯科夫(V. Weisskopf)。这个组织于1949年1月停止活动。

控。

我想,爱因斯坦在战后的政治观点,主要就集中在刚才说的这些方面。对他的行为和信仰感兴趣的读者,我还是建议去读《爱因斯坦论和平》一书[N1]。这本书用长达几百页的篇幅记述了爱因斯坦在他最后的岁月里,是如何献身于世界未来问题的。他的建议,有的也许不实际,有的也许不成熟,然而,可以肯定的是,它们都来自一个清晰的头脑和强烈的道德信念。

与爱因斯坦的政治观点有关而更为深刻的我们还应该谈两点。他从不原谅德国人,“在德国人在欧洲屠杀了我的犹太弟兄们之后,我就不会再与德国人有什么关系了……在可能的领域内保持坚定的少数几个人则是例外”[E10]。对他来说,那少数的几个人包括哈恩(Otto Hahn)、冯·劳厄、普朗克和索末菲。

爱因斯坦致力于以色列事业,尽管他有时会公开批评以色列政府。他把以色列说成“我们”,把犹太人说成“我的人民”。在我看来,爱因斯坦的犹太人身份认同,随着年龄的增长而越来越强。他可能从来没有找到哪个地方是他真正的家,但他确实发现了他所属的部落。

在生命的最后几年,爱因斯坦的身体并不好。

多年来,他上腹部经常疼痛。一痛就是两天,还伴着呕吐,几个月就重犯一次。1948年秋,曾为爱因斯坦看过病的外科医生尼森(Rudolf Nissen)诊断,<sup>①</sup>爱因斯坦腹内有一个葡萄柚大小的赘物。他建议做手术,爱因斯坦同意了。12月12日,他住进布鲁克

---

<sup>①</sup> 这里我采用了尼森医生的非正式解释[N3]。

林(Brooklyn)的犹太医院,尼森大夫为他动了手术,发现赘物是腹部主动脉的一个动脉瘤。瘤很完整,里面的东西很坚硬。正确的办法是手术后疗养,他得住在医院里等刀口完全愈合。护理记录 476 表明,他在回答有关他的健康询问时,总是说他感觉很好。1949年1月13日,他出院了。

一年半以后,人们发现他的动脉瘤还在生长。从那时起,“我们在他周围的人都知道……达摩克利斯(Damocles)的剑,正悬在我们头上。<sup>①</sup>他自己也知道这一点,平静地、微笑着等待它的降临”[D2]。

1950年3月18日,爱因斯坦在他的遗嘱和遗言上签了字。他指定他的朋友、经济学家奥托·纳坦为执行者,纳坦和海伦·杜卡斯为他所有信件、手稿和版权的保护人;同时说明,他的所有论文将最后转交希伯来大学。其他的条文包括:他的书遗赠给海伦·杜卡斯,小提琴遗赠给他的孙子伯恩哈德·凯撒。

其他继承人是,他的儿子汉斯·阿尔伯特,那时是伯克利的工程学教授;爱德华,那时呆在苏黎世的布格霍尔茨里(Burghölzli)精神病医院。他们的母亲米列娃已于1948年8月4日在苏黎世去世。我对米列娃的印象是相当模糊的。在她一生所经历的许多艰难中,爱德华不幸的精神病一定是她特别沉重的负担。直到逝世前,她都定期去看望她的“特德”。爱德华1965年死于布格霍尔茨里;汉斯·阿尔伯特1973年死于伯克利。

爱因斯坦晚年发生过许多事情,我只说其中的一件。

以色列第一任总统魏茨曼于1952年11月9日逝世。于是以

---

<sup>①</sup> 指随时可能发生的危险或飞来横祸。见希腊神话。——译者

以色列政府决定请爱因斯坦任总统。这个消息,爱因斯坦是一天下午在《纽约时报》上看到的。接下来的事情,那天晚上和爱因斯坦在一起的一个朋友已做了描述:“大约九点钟,华盛顿的以色列大使阿巴·爱班先生……发来一封电报。电报措辞用心良苦……它清楚地表明,早先的报道一定是真的,这在这个小小的平静的家庭掀起了波浪。‘真是太糟了,太糟了!’老人被激怒了,那样子是很少见的。他一边楼上楼下地走来走去,一边向我解释。他没想自己,而是在想如何能让大使和以色列政府不会因为他坚决的拒绝而丢面子……他决定不回电报,而是立刻打电话到华盛顿。[他接通]大使,向他简短地、并且几乎是低声下气地说明他的立场”[M1]。

1955年,他的终点到来了。

3月,爱因斯坦想起了3位老朋友。他写信给布卢门费尔德说:“向你表示迟到的谢意,你曾唤醒了我自己的犹太灵魂”[E11]。他为《瑞士大学报》(*Schweizerische Hochschulzeitung*)为庆祝ETH100周年的专号写了他的最后的自传片段[E12]。在这篇自传中,他说:“在我生命中,至少应该向马塞耳·格罗斯曼说一声谢谢。”爱因斯坦当学生时,曾向他借过笔记本,又在他的帮助下在专利局找到工作。爱因斯坦曾把自己的博士论文献给他,并同他合作写了广义相对论张量理论的第一篇论文。同一个月,米歇尔·贝索去世了。他是另一位爱因斯坦自学生时代起就值得信赖的朋友,后来成为他在专利局的同事,在狭义相对论创立的那些日子,他曾与爱因斯坦共鸣。在给贝索家属的信中,他写道:“现在他比我先行一步,离开了这个离奇的世界”[E13]。

4月11日,他最后一次在和平宣言上签署自己的名字。这一

次,宣言是罗素起草的,号召所有的国家都放弃核武器[N4]。

4月13日,星期三早晨,以色列领事来到爱因斯坦家里,同他讨论爱因斯坦要在即将来临的以色列独立周年纪念日作的广播电视讲话稿。未完成的草稿[N5]是这样结尾的:“没有哪个当权的政治家敢走超国家安全这条惟一有希望[通向稳定和平]的道路,因为这意味着他的政治生命的结束。政治激情一旦被到处煽动起来,就一定会有人成为受害者。”这可能是爱因斯坦所写的最后几句话。

当天下午,爱因斯坦在家虚脱了。动脉瘤已经扩散。他的私人医生迪安(Guy K. Dean)立即赶来。当天晚上,两个医生朋友也从纽约赶到普林斯顿,一个是爱因斯坦在柏林时的医生埃尔曼(Rudolf Ehrmann);另一个是放射学医生布基(Gustav Bucky)。星期四,纽约医院的心脏和动脉外科专家格伦(Frank Glenn)也来会诊。医生们商讨后,爱因斯坦问迪安,会死得很痛苦吗?医生告诉他,也许,但谁也不知道。也许几分钟,也许几个小时,也许几天[D3]。“他能忍受痛苦”,几天后,迪安医生这么说。在这段时期,爱因斯坦坚持不注射吗啡,坚决反对手术。“当我必须走时,就应该走。人为地延长生命是毫无意义的,我已尽了我的责任,是该走的时候了。我会走得很体面的”[D2]。星期五,他转到普林斯顿医院。晚上,伯克利的儿子汉斯·阿尔伯特接到电话后,马上动身,星期六下午来到普林斯顿。“星期六和星期天,我都和父亲在一起,他很高兴我来陪他”[E14]。星期六,爱因斯坦问家人要他的眼镜。星期天,他想写东西[D3]。那天晚上,他似乎休息得很好。

医院的夜班护士罗泽尔(Alberta Rozsel),是最后一个见爱因

斯坦的人。4月18日凌晨1点10分，“罗泽尔夫人注意到他呼吸异常。她唤来另一个护士，帮她抬高床头。那护士刚离开，她听到爱因斯坦博士在用德语嗫嚅着。然后，如罗泽尔夫人说的，‘他深深地呼吸了两下，就溘然长逝了’”[D4]，这是凌晨1点15分。

早晨8点，消息公布了。上午的遗体解剖<sup>①</sup>表明，死亡原因是  
478 “主动脉水肿，最后像一个内部坏了的管子一样破裂了”[D4]。近中午时，赫尔曼·外尔赶到医院，与迪安医生一起，跟记者讲话。

下午两点，遗体送到普林斯顿马瑟(Mather)殡仪馆，90分钟后，又从这里送往特伦顿的埃温(Ewing)火葬场，在那里聚集着爱因斯坦最亲近的12个人。<sup>②</sup> 一个人作了简短讲话，吟诵了几句歌德的《席勒大钟歌的跋》(*Epilog zu Schiller's Glocke*)。<sup>③</sup> 随后，遗体马上火化，骨灰撒在一个不让人知的地方。

### 参考文献

- D1. H. Dukas, letter to C. Seelig, Bibl. ETH, Zürich, HS 304; 133.  
D2. —, letter to A. Pais, April 30, 1955.  
D3. —, letter to C. Seelig, May 8, 1955; Bibl. ETH, Zürich, HS 304:90.  
D4. G. K. Dean, *The New York Times*, April 19, 1955.  
E1. A. Einstein, letter to M. Besso, April 21, 1946; *EB*, p. 376.  
E2. —. *Dialectica* 2, 320(1948).

---

① 据哈维(Thomas Staltz Harvey)所述，他取下爱因斯坦的大脑，其中一部分装在一个瓶子里，现在仍放在密苏里(Missouri)的威斯顿(Weston)的某个地方。

② 这些人的名字可在[S1]中找到。[据泽利希的回忆，这12个人是：汉斯·爱因斯坦、海伦·杜卡斯、纳坦、埃尔曼、布基和夫人、两个儿子、一个儿媳及助手诺伊施泰因(Lotte Neustein)和奥本海默夫妇。——译者]。

③ 《席勒大钟歌的跋》是1805年8月10日歌德在魏玛悼念席勒时而在席勒名作《大钟歌》后写的。据泽利希的回忆，纳坦在讲话结束时朗诵了诗的最后几句：“我们全都获益匪浅/全世界都感谢他的教诲/那专属他个人的东西/早已传遍人间/他像行将陨灭的彗星，华光四射/无限的光芒与他永远相连。”——译者

- E3. — in *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* (P. A. Schilpp, Ed.), p. 2. Tudor, New York, 1949.
- E4. —, *The New York Times*, December 11, 1945.
- E5. —, co-signing a statement published in *The New York Times*, October 10, 1945.
- E6. —, *The New York Times*, September 15, 1945.
- E7. —, *Impact* 1, 104(1950).
- E8. —, letter to G. Nellhaus, March 20, 1951.
- E9. —, letter to W. Frauenglass, published in *The New York Times*, June 12, 1953.
- E10. —, letter to A. Sommerfeld, December 14, 1946.
- E11. —, letter to K. Blumenfeld, March 25, 1955.
- E12. —, *Schweizerische Hochschulzeitung* 28, 1955, special issue. Reproduced with a small deletion in *Helle Zeit, dunkle Zeit* (C. Seelig, Ed.). Europa, Zürich, 1956.
- E13. —, letter to V. Besso, March 21, 1955; *EB*, p. 537.
- E14. —, H. A. Einstein, letter to C. Seelig, April 18, 1955; *Bibl. ETH*, Zürich, HS 304:566.
- M1. D. Mitrany, *Jewish Observer and Middle East Review*, April 22, 1955.
- N1. O. Nathan and M. Norden, *Einstein on Peace*, p. 524. Schocken, New York, 1968.
- N2. — and —, [N1], p. 546.
- N3. R. Nissen, letter to C. Seelig, June 29, 1955; *Bibl. ETH*, Zürich, HS 304:906/911.
- N4. O. Nathan and M. Norden, [N1], p. 631.
- N5. — and —, [N1], pp. 643—644.
- S1. C. Seelig in *Helle Zeit, dunkle Zeit*, p. 86. Europa Verlag. Zürich, 1956.
- W1. N. Wade, *Science* 213, 521(1981).

## 第 28 章 尾声

我最后一次见爱因斯坦,是在 1954 年 12 月。

因为身体不太好,他已经有好几个星期没去研究院了。他通常上午在那里工作几个小时。因我将离开普林斯顿一学期,打电话给海伦·杜卡斯,请她代我向爱因斯坦教授问好。她建议我到爱因斯坦家里去,见见他,喝杯茶。当然,我高兴地去了。到了以后,我走上楼,敲爱因斯坦书房的门。听他轻轻说了声“请进”。我进来时,他正坐在扶手椅上,膝上盖着毛毯,毯子上有块垫子,他正在工作。他马上把垫子拿开,向我问好。我们愉快地度过了大概半个小时。我忘了我们谈了些什么。然后,我告诉他,我要走了。我们握手道别。我走向门口,不到四五步。开门时,我转过头来,看他坐在椅子上,又把垫子放回膝盖,手里拿着一支铅笔,忘了周围的一切。

他又回到工作中去了。



# VIII 附录



## 第 29 章 张量、助听器 及其他：爱因斯坦的合作者们

爱因斯坦的主要论文都是单独完成的。然而多年来，他有过一群工作伙伴，大概有 30 多位。爱因斯坦不善合群，不爱教书，也没有创立什么学派。但是，他喜欢谈物理学，在普林斯顿开的一次主题为“与爱因斯坦一起工作”的研讨会上，大家都愉快地谈到了这一点[W1]。4 位回忆者在 20 世纪三四十年代期间都分别跟爱因斯坦工作过，同他一道研究广义相对论和统一场论，那是爱因斯坦在这期间惟一感兴趣的事情。他们都比他年轻很多，在他们发展的成形阶段，来到他的身边。

早些时候，情形就不大一样。即使与那时的青年物理学家在一起，爱因斯坦也还有与自己同辈的合作者，如劳博、哈比希特兄弟、格罗斯曼、埃伦费斯特、布基、米萨姆和托尔曼。还有泡利，尽管他比爱因斯坦小 20 岁，但他同爱因斯坦合写论文时，已经是一个成熟的物理学家了。另外，那时候，即使相对论还是中心问题，但爱因斯坦的研究兴趣却是丰富多彩的，例如，他同别人一起研究过制冷机、助听器、旋磁性以及胶体薄膜的渗透性，还写过实验论

文。看来,早年的爱因斯坦有更多的兴趣。<sup>①</sup>

为了认识物理学家爱因斯坦,请他所有的合作者再团聚到一起,哪怕只是集中一些论文,也还是很有意思的。这正是本附录要做的。我想通过一系列简短的说明来实现这个目的,我将说明不同的合作的性质,而且还会指出这些与爱因斯坦工作过的人,后来都怎么样了。<sup>②</sup>

484

1. 雅可布·约翰·劳博(Jakob Johann Laub) 1872年生于奥地利的贾格恩多夫(Jägerndorf)。1906年11月在维尔茨堡(Würzburg)跟维恩获博士学位。劳博早在1907年就发表过狭义相对论的论文[L1]。1908年初,他写信给伯尔尼的爱因斯坦,问能不能去跟他一起工作[L2]。他们合作的结果,是两篇关于有质介质的电动力学的论文[E1, E2]。<sup>③</sup> 1910年,劳博写了第一篇评论狭义相对论实验基础的文章[L3]。不久,他成了阿根廷拉普拉塔(La Plata)的物理学教授。后来,他进入阿根廷外交部,1939年德国入侵波兰时,他是阿根廷驻波兰大使。1962年在瑞士弗里堡(Fribourg)去世。

2. 瓦尔特·里兹(Walter Ritz) 1878年生于瑞士锡昂(Sion)。1902年在哥廷根跟伏依特获博士学位。1908年起为哥廷根大学的无薪讲师,这一年,他发现线光谱的组合原则。里兹不接受狭义相对论,却相信需要放弃偏微分方程所描述的场的概念(见[P2]第3节)。里兹与爱因斯坦在1909年4月联合发表了一

---

① 我相信但不能确证下面所列出的合作者名单是完全的。我这里没有把诸如贝索等人包括在内,爱因斯坦同他们进行过重要的科学讨论,但没有有什么具体的合作项目。

② 关于爱因斯坦早年的科学合作者,还可以参见[P1]。

③ [P2]的33、35两节讨论了这些论文。

篇很小的短文。我把它包括进来当成合作,是有点牵强的。因为这不过是一个简短的联合声明,两人在文中表示,他们各自相信的是不同的。他们的争论点在于,电磁场方程的超前解和推迟解是否是两类都可允许的解。“里兹认为,把解限定在……推迟势,是以[热力学]第二定律为根据的,而爱因斯坦相信,不可逆性完全依赖于概率基础”[R1]。里兹才华横溢,可惜百病缠身,生命短暂,1909年死于哥廷根。

**3.4. 哈比希特兄弟** 约翰·康拉德(Johann Conrad)生于1876年,弗朗茨·保耳(Franz Paul)生于1884年,都在瑞士的夏夫豪森。<sup>①</sup>康拉德是伯尔尼奥林匹亚科学院的成员,1903年获数学博士学位,后来当中学教师,先在[格劳宾登州(Graubünden)的]谢尔斯(Schiers),后来到夏夫豪森,1958年去世。保耳是工程师,办了一家制造电学和声学设备的小工厂。1948年,他也在夏夫豪森去世。

1907年,爱因斯坦写了篇短文,讨论电容器的电势涨落,“一种类似于布朗运动的现象”[E3],然后,他考虑有没有可能将小电势差放大。为实现这个目的,他设计了一个办法:在低压和最大电容情况下对可变电容器充电,而在高压和最小电容情况下,让它放电到另一个电容器上。这个过程通过一组并联电容器重复进行。他希望这个静电装置能够用于放射性研究。1907年12月,爱因斯坦写信给康拉德说,保耳计划在他的实验室里造这个 485  
“Maschinchen”(小机器),爱因斯坦总喜欢这么叫它。爱因斯坦为

---

<sup>①</sup> 有关康拉德和保耳的传记,可以分别在[H1]和[R2]中找到。我要感谢夏夫豪森国家档案馆的利伯(H. Lieb),他为我提供了这些文章。

自己的发明感到很兴奋,甚至还想过为它申请专利。“我很想知道能获得多少结果——我是满怀希望的。我没去申请专利,主要是因为制造商对它不感兴趣[?]”[E4]。几个月后,他公布了他的方案[E5]。1908年,他还试过自己做他的小机器[E6]。1910年,哈比希特兄弟发表了“与 A. 爱因斯坦一起在苏黎世大学实验室进行的”实验结果。实验中,爱因斯坦的设想是借助于 6 个旋转电容器的组合而实现的[H2]。在其他方面的研究做完以后,爱因斯坦仍然对这个计划有兴趣。1911年[E7]和 1912年[E8],他从布拉格写信告诉贝索,保耳在柏林演示这台装置,取得了巨大的成功。

然而,放大技术的迅速发展,取代了爱因斯坦的设计。1948年保耳去世后,爱因斯坦写信给康拉德,“记忆将我带回与你弟弟一起研究……小机器的日子……真美啊,[Schön war es],尽管它没有产生什么有用的东西”[E9]。

**5. 路德维希·霍普夫(Ludwig Hopf)** 1884年生于纽伦堡(Nürnberg),1909年跟索末菲获博士学位。霍普夫1909年9月在萨尔茨堡物理学会议上遇到爱因斯坦,很快成为他的助手,来到苏黎世大学。他们一起写过两篇文章,讨论辐射的经典统计性质,包括辐射场中共振器的运动问题[E10,E11]。霍普夫曾安排爱因斯坦与精神分析学家荣格(Carl Jung)相见[S1]。1911年他陪爱因斯坦到布拉格,过些时候,他接受了亚琛工业大学的助教职位。后来,他在那里成为流体动力学和空气动力学教授,他在这些领域都做过重要工作,著有《物理学手册》(*Handbuch der Physik*) [H3],还与别人合著了一本很有声誉的空气动力学教科书[F1]。因为不是雅利安人,1934年,他失去了在亚琛的职位。不久,他移居都柏林成为三一学院(Trinity College)的数学教授,1939年去世。

6. 爱米尔·诺赫尔 (Emil Nohel) 爱因斯坦在布拉格的助手。文献没有他的记载,只有在弗兰克的传记中看到简短的介绍:“诺赫尔……是一个犹太小农场主的儿子,孩提时,他就跟在爬犁后面走。他有农民平静沉着的个性,绝少那种常常在犹太人中看到的神质……”[F2]。应该感谢海法(Haifa)的 Y. 诺赫尔(Yehoshua Nohel),他为我提供了有关他父亲的更多的材料。得到他的允许,下面我引他给我的信[N1]。

爱米尔·诺赫尔生于捷克麦塞里(Mcelly)的一个小村庄,是农场主的儿子。<sup>①</sup>他在布拉格接受德国式的教育。1904年在那里进入德国大学。布拉格的实验物理学教授兰帕劝这位青年学生不要以物理学为专业,“因为所有创新的工作都做完了,定律都建立起来了,而新的重要的发展,还没有希望。”因此,诺赫尔选数学为 486 自己的主修专业,而以物理学为第二专业。爱因斯坦来布拉格后,在兰帕的推荐下,诺赫尔成为他的助手。诺赫尔以后的研究没有留下记录。“很多时间,爱因斯坦和我的父亲都一起呆在爱因斯坦的书房里。爱因斯坦的世界观和性格给我父亲留下了深刻的印象……他喜欢爱因斯坦的第一个妻子,为他们的离异感到遗憾”。诺赫尔在1912年或1913年获得博士学位。爱因斯坦回苏黎世后,诺赫尔成为维也纳商学院(Handelsakademie)的数学教师,直到1938年德奥联合。从1938年到1940年,他先在夏耶斯中学(Chayes Gymnasium)当老师,后来成为校长。这是维也纳保留的惟一一所可以让犹太儿童读书的中等学校。1942年,他被拘禁在特雷西亚城([现为波兰的]特雷津[Teresin])。据说,他在集中营

① 19世纪60年代,犹太人在这个地方获得土地是合法的。

里对人生问题的研究,同教育工作一样有兴趣。在家人都死在特雷津之后,他自愿加入妹妹的组织,逃离纳粹集中营。诺赫尔给儿子的信,保存在耶路撒冷的亚发森纪念档案馆(Yad va-Shem Memorial Archives)中。爱因斯坦试图帮助诺赫尔,但没有成功[E2]。

**7. 奥托·斯特恩(Otto Stern)** 1888年生于上西里西亚的索劳(Sohrau)[现在波兰佐里(Zory)]。1912年,在布雷斯劳跟萨库尔获物理化学博士学位。为跟爱因斯坦在一起,斯特恩独自来到布拉格,当爱因斯坦得到在ETH的职位时,斯特恩又陪他去苏黎世。爱因斯坦与斯特恩合写过一篇文章,试图解释在低温时气体比热的反常(但没有成功)[E13]。在爱因斯坦帮助下,斯特恩1913年成为苏黎世的无薪讲师。第二年,他来到法兰克福。1920—1922年间,他在那里成功地进行了斯特恩—盖拉赫实验。1933年,他在汉堡发现质子的反常磁矩。纳粹上台后,斯特恩离开德国,成为匹茨堡的卡内基工学院[现在的卡内基—梅隆大学]的物理学教授。1944年,“因为他对分子射线方法和发现质子磁矩的贡献”,他获得1943年度诺贝尔物理学奖。1946年退休后,他往来于伯克利和苏黎世之间。约斯特和我在20世纪60年代去伯克利拜访他时,他满眼噙着热泪给我们讲述了他同爱因斯坦在布拉格的那段美好的日子。<sup>①</sup> 1969年,他在伯克利去世。

**8. 马塞耳·格罗斯曼(Marcel Grossmann)** 1878年生于布达佩斯。1896—1900年,是爱因斯坦在ETH的同学。1902年在苏黎世跟费德勒(Wilhelm Fiedler)获博士学位。格罗斯曼和父亲

---

<sup>①</sup> 亦可见[S2]。



为爱因斯坦在伯尔尼专利局的职位,帮过大忙。1905年,爱因斯坦把他的博士论文献给年轻的格罗斯曼。爱因斯坦—格罗斯曼合作,我们在第12章已经详细讨论过了。1936年,他在苏黎世去世。爱因斯坦在最后写的自述片段[E14]<sup>①</sup>中,怀着感激的心情回忆了格罗斯曼。

### 9. 亚德里安·丹尼尔·福克尔 (Adriaan Daniel Fokker) 487

1887年生于荷兰东印度群岛的布登佐格[Buitenzorg,现在印度尼西亚的茂物(Bogor)]。1913年在莱顿跟洛伦兹以辐射场中电子的布朗运动研究[F3]获博士学位。这项工作引导了马尔柯夫过程的福克尔—普朗克方程。1913—1914年冬季学期,他在苏黎世跟爱因斯坦工作。他们的合作论文,论引力的诺德斯特勒姆理论[E15],我们已经在13b讨论过了。后来,福克尔写了几篇关于相对论的论文和一本荷兰文的相对论教科书。他后来成为哈勒姆的特勒基金会主任,同时还兼着莱顿的教授。他还热情倡导31音调音乐和荷兰语言的纯洁性。1972年,他在荷兰贝克伯根(Beekbergen)去世。

### 10. 万德尔·约翰尼斯·德哈斯 (Wander Johannes de Haas)

1878年生于荷兰利瑟(Lisse)。1912年在莱顿跟昂内斯获博士学位。获学位不久,德哈斯和妻子[洛伦兹(他有3个孩子)的大女儿格尔特鲁依达·卢贝塔·洛伦兹(Geertruida Luberta Lorentz)]来到柏林,先在杜波伊斯(Henri du Bois)实验室工作,后来跟爱因斯坦到了帝国物理技术研究所,结果发现爱因斯坦—德哈斯效应,我已经在14b讲过了。1925年,德哈斯接替了昂内斯在莱顿的职

---

<sup>①</sup> 关于格罗斯曼的其他详细传记材料,请参阅[K1]和[S3]。

位。他是低温物理实验的领先人物,有许多实验成果。1948年从莱顿的职位上退下来,1960年在荷兰比尔多芬(Bilthoven)去世。

**11. 雅可布·格罗梅(Jakob Grommer)** 生于布列斯特-里托夫斯克(Brest-Litovsk),格罗梅出生那年(我不知道具体是哪一年),这还是俄国的一个小城;1921年至1939年,它属于波兰(格罗梅曾有过波兰护照),现在是苏联的布列斯特。年轻时,格罗梅完全献身于犹太圣法经传[Talmud(塔木德)]的研究。<sup>①</sup>强烈的数学兴趣把他引到哥廷根。据海伦·杜卡斯说,格罗梅到德国时只会讲意第绪语。“他刚到不久,就对数学产生了强烈的好奇心。在极短的时间内,他不但掌握了高深的数学知识,而且写了一篇圈内人认为很杰出的博士论文……如果考虑到患有恶性疾病毁了形象,而且身体也很虚弱,那么,我们就能感到这个人为这个世界所带来的天才,是多么不同寻常”[E16]。

格罗梅跟爱因斯坦工作了10年,比任何人跟爱因斯坦的时间都长。爱因斯坦第一次提到他,是在1917年的宇宙学论文中[E17]。6年后,他们合作发表了一篇论文,在文中证明,卡鲁扎理论不允许中心对称的无奇点解[E18]。不久,爱因斯坦在自己的一篇论文[E19]里,又提到格罗梅的工作。1925年,爱因斯坦写道,格罗梅“最近几年忠实地协助我做了广义相对论中的一切计算”[E20]。1927年,他们合写了一篇论广义相对论中运动问题的论文(见第15章)[E21]。从爱因斯坦的另一则感谢[E22],我们  
488 知道,格罗梅至少1928年还在柏林,他的资助部分来自威廉皇家

---

<sup>①</sup> 这是爱因斯坦在一篇回忆[E16]中说的。1953年,一个以色列委员会准备编一部布列斯特-立托夫斯克的犹太人史,爱因斯坦应他们的请求,写了这篇文章。

研究所[K2]。在德国时,格罗梅曾准备为巴勒斯坦的中学用希伯来文写一本数学和物理学的教科书,魏茨曼曾下令为这项计划提供财政支持[R3]。20世纪20年代后期,格罗梅接受了明斯克(Minsk)某大学的一个职位。1929年,他从明斯克写信给爱因斯坦说,他的一些演讲用的是俄语,而不是意第绪语[G1]。后来,他被选入明斯克的白俄罗斯科学院。1933年,他在明斯克去世。

**12. 保耳·埃伦费斯特(Paul Ehrenfest)** 1880年生于维也纳。1904年跟玻耳兹曼获博士学位。1912年,埃伦费斯特在布拉格第一次遇到爱因斯坦,他们的深厚友谊一直持续到埃伦费斯特去世。1922年,他们合写了一篇关于斯特恩-盖拉赫效应的论文,文章清楚地说明了在量子力学以前,理解这个现象所存在的困难[E23]。第二年,他们又合写了一篇论文,讨论如何把爱因斯坦早期关于自发和感生辐射的发射和吸收的研究,推广到两个光子的状态,并将这个方法应用于康普顿效应[E24]。从1913年到1933年,埃伦费斯特是莱顿的理论物理学教授。1933年,他在阿姆斯特丹自杀。《悼念保耳·埃伦费斯特》是爱因斯坦最好、最感人的文章之一,他写它,为的是纪念一个朋友和“我所认识的我们这个行业中最好的老师。”<sup>①</sup>从这篇文章我们看出,爱因斯坦对物理学和物理学家的命运是很敏感的。

**13. 汉斯·米萨姆(Hans Mühsam)** 1876年生于柏林。<sup>②</sup>1900年米萨姆通过了医学毕业考试,成为一名私人医生,然后进

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦纪念埃伦费斯特的文章,最初发表在1934年出版的《莱顿大学生联合会年鉴》(*Almanak van het Leidsche Studentencorps*)上,英译本出现在爱因斯坦的一本论文集[E25]中。

<sup>②</sup> 我对米萨姆的传记情况大部分是通过他和他的妻子与泽利希之间的信件来了解的。这些信件现存苏黎世ETH主图书馆的科学史藏书室。

了柏林的犹太人医院。1915年他第一次遇到爱因斯坦。“那时，[物理]圈外还不知道他的名字”[M1]。他们的会见，是米萨姆夫妇与爱尔莎偶然相遇引来的。那次，米萨姆告诉爱尔莎说，他听说过爱因斯坦，还说她，爱尔莎很出名。爱因斯坦听说后，感到很奇怪，并与米萨姆夫妇交往，友谊也发展起来。星期天，两个男人常常去乡间旅行，在旅行中谈物理学，也谈医学和生物学的问题[S4]。

1923年，爱因斯坦与米萨姆合写了一篇有关实验测定过滤器渗透性的论文[E26]。实验目的是寻找能够渗透给定刚性膜的胶体粒子的最大半径。刚性膜由一端敞开的一个管壁构成。敞开的那一端与一个空气泵相连。空管悬浮在乙醚(选它的原因是其毛细常数 $\sigma$ 很低)池中。乙醚充满了膜的细孔。空气泵用以增大管内压力，直到某个压力 $p$ ，这时空气泡开始在乙醚中出现，那么 $p=4\sigma/d$ ，这里， $d$ 是膜孔的最大直径，因而就是要测定的胶体的最佳的直径。作者记录了实验结果，获得的直径大约为 $1\mu\text{m}$ 。

两人的友谊越来越深，在爱因斯坦的生活中也变得非常重要。“很长一段时间，在柏林时，爱因斯坦每天都来我们家”[M2]。米萨姆夫人在丈夫去世后，给泽利希写信说：“爱因斯坦曾对我说过，最初是你丈夫的到来，然后很长一段时间没什么人来，也只有在此之后，来其他的人才来了，你知道吗？”[M3]。我有理由相信，米萨姆是爱因斯坦在柏林那些日子里最亲密的知心朋友。爱因斯坦也给米萨姆讲自己的故事：他12岁时，写过许多赞美上帝的歌，常在上学的路上唱给自己听[S5](见第3章)。米萨姆有一次问爱因斯坦，如果生在一个贫穷的俄国犹太人家里，他会成为什么人？爱因斯坦回答说，他可能会做一名犹太教士[S6]。米萨姆比其他任何

人能告诉我们更多的爱因斯坦个人的事情,这些事情很可能有助于我们理解爱因斯坦如何在 1926 年以后,独自走上一条孤立的物理学道路。

爱因斯坦定居美国后以及米萨姆从德国逃到以色列以后,他们还保持着联系。从爱因斯坦 1942 年写的一封信,我们还能看到他们的私人交往:“我已成为一个孤独的老头,他出名主要是因为不穿袜子,而且,在特殊场合,他像怪物一样被展览出来”[E27]。在同一封信中,他也谈了自己的工作:“至于工作,我比以前更着迷。我真希望能解决我的物理场统一的老问题。然而,那像一艘飞船,可以在云端遨游,却看不清怎样在现实中,也就是在地球上着陆。”1957 年,米萨姆在海法去世。

**14. 莱奥·西拉德 (Leo Szilard)** 1898 年生于布达佩斯,在柏林读大学。“当西拉德清楚地认识到他真的对物理学感兴趣时,就带着特有的坦率,向阿尔伯特·爱因斯坦自荐。我相信,爱因斯坦举行统计力学研讨班,主要是西拉德促成的……研讨班对大多数参与者来说,都是一次难得的经历;我认为,它也为西拉德的博士论文带来了灵感”[W2]。1922 年,他在柏林跟冯·劳厄获博士学位。1933 年以前,西拉德在柏林威廉皇家研究所的一个机构工作。1928 年到 1933 年,他还是柏林大学的无薪讲师。

爱因斯坦和西拉德合作申请了许多专利。其中 8 个是向德国(1927 年 11 月—1930 年 12 月),6 个是向英国(1927 年—1929 年 12 月),一个是向美国(1927 年 12 月 16 日)申请的。除了向英国申请的两个以外,其余的专利均获批准。向德国申请的专利,都是在爱因斯坦离开德国后获准的。1927 年,爱因斯坦委托西拉德以爱因斯坦自己的名义为他们的合作成果向国外申请专利[E28]。

490

这些专利的详细讨论,可以在西拉德的文集[F4]<sup>①</sup>里看到。简单地说,爱因斯坦和西拉德为他们自己定的目标,是设计一个无噪音的家庭制冷机。他们的主要创新是所谓的爱因斯坦—西拉德泵,后来,爱因斯坦用通俗的语言描述过它:“利用交变电流产生一个引导磁场,它促使钠钾混合液运动,混合液在套管内来回移动,起着泵的活塞的作用;制冷剂[在套管内]被机械液化,重新蒸发就产生冷却”[E29]。看来他们因为这个发明得到了一笔钱[S7],但也没有富起来。“后来证明,这种制冷机从没有商家生产过,因为机械制冷机的迅速进展已经消除了它们的那些令人讨厌的噪音、来自有毒制冷剂泄漏的危险以及不稳定的运行状态”[F4]。然而,它还有别的用场。“很多年来,这样的液泵系统没有显示出任何其他的实际应用。但是,随着原子能的出现,它们的需要成为显然(首先,对西拉德来说是如此),之后人们为进一步改进这种机械花费了大量的心血”[F4]。

1933年,西拉德来到英国。1938年,他移居美国。他先在哥伦比亚大学任教,然后到芝加哥参与了第一个核反应堆计划。1946年,他被任命为芝加哥的恩里科·费米研究所(Enrico Fermi Institute)的生物物理学教授。“在生物学研究中,西拉德充分发挥了他的能力”[W2]。他有强烈的政治意识。1939年8月2日,他和维格纳访问了爱因斯坦,劝他提醒罗斯福总统,注意采取行动发展原子武器。这次访问的结果,是一封由西拉德起草、爱因斯坦签署的信。1939年10月11日,信交到了罗斯福总统手上。后

---

<sup>①</sup> 也可以参阅[K3]、[M4]和[M5]。[F5]和[M5]中提到了瑞士专利,但[F4]没有。

来,西拉德建议爱因斯坦再给总统写封信,促使他加快行动。这封信1940年3月7日发出。1964年,西拉德在加利福尼亚的拉霍亚(La Jolla)去世。

**15. 鲁道夫·戈德施密特(Rudolf Goldschmidt)** 1876年生于德国的诺伊布科夫(Neubukow)。1898年获工程学文凭。<sup>①</sup>1899年到1909年,戈德斯密特在英国与西屋等几家电工技术公司合作。回德国后,他先做达姆施塔特(Darmstadt)的无薪讲师, 491后来做教授。他主要的成就是发明了首次用于德美联系的高频无线电报装置,1914年6月19日开通时,威廉二世(Wilhelm II)和伍德罗·威尔逊(Woodrow Wilson)通了电报。

在20世纪20年代,戈德施密特任柏林—莫阿比特(Moabit)工业研究实验室主任。他有许多专利。其中一项,即德国专利590783,与爱因斯坦共享。情况是这样的:爱因斯坦的朋友、一位著名歌唱家的听力不行了,1928年,爱因斯坦请戈德施密特帮忙,为她设计一个新型助听器。当时,他给他朋友寄去一首自己的诗:

Ein bisschen Technik dann und wann  
Auch Grübler amüsieren kann.  
Drum kühnlich denk ich schon so weit:  
Wir legen noch ein Ei zu zweit.<sup>②</sup>

---

<sup>①</sup> 感谢英国萨里郡(Surrey)新莫尔登(New Malden)的戈德施密特教授的儿媳戈尔迪(Rose Goldie)和波茨坦的梅尔切(Horst Melcher),在我准备记述爱因斯坦—戈德施密特专利过程中,他们为我提供了很有帮助的情况。我最早就是通过梅尔切教授的论文[M4, M5],才知道有这项专利的。

<sup>②</sup> 大意是:偶尔玩点小技艺/也令思想者欢喜/于是我大胆往前想/我们总有一天会共创奇迹。

最终的专利被称为“一种器械，一种特别适于声音再现的装置。电流的变化凭磁致伸缩产生磁化体的流动。”批准日期为1934年1月10日。爱因斯坦的地址是这样登记的：“原在柏林，现在地址不详。”

1934年，戈德施密特移居英国。后来也与爱因斯坦保持着书信往来。1950年，他在英国伯恩茅斯(Bournemouth)去世。

**16. 科尼留斯·兰佐斯(Cornelius Lanczos)** [出生时叫科尼尔·洛维(Kornel Loewy)，这个名字后来匈牙利语化了。]1892年生于匈牙利的塞克希费黑瓦尔(Szekesfehervar)。1921年跟奥特维(Rudolf Ortway)在塞格德(Szeged)获博士学位。从1919年起，兰佐斯就与爱因斯坦有通信联系。当他来到爱因斯坦身边工作时，已经写了十几篇有关广义相对论的论文了。1928年，爱因斯坦给美因河畔法兰克福的马德龙(Erwin Madelung)写信，问兰佐斯作为法兰克福大学的无薪讲师，是否能离职一年，来同他一起研究统一场理论问题[E30]。一周后，兰佐斯写信给爱因斯坦说：“人们正考虑让年轻的贝特来代替我”[L4]。1928年11月，兰佐斯来到柏林，呆了一年时间，他们没有合写过论文。爱因斯坦在他关于距离平行性的论文中[E31]提到过兰佐斯的工作。两年后，兰佐斯就这个题目写了一篇评论[L5]。

1929年底，兰佐斯回到法兰克福。他的重要经历包括：普渡大学教授(1931—1946)；在工业界工作的一段时间；1954年后为都柏林高级研究所教授。他写过许多书，其中有三本讨论与爱因斯坦的交往和他的著作以及他的影响[L6, L7, L8]。1974年，他在布达佩斯去世。



17. 赫尔曼·明茨 (Hermann Müntz) 关于明茨的传记材料,我只有一点。他生于波兰,但后来成为德国公民[M6]。至少在1927年,他就与爱因斯坦通过信。1928年,爱因斯坦写信与他讨论距离平行性:“这个在数学上那么自然的理论,值得认真考虑,特别是鉴于理论物理学目前令人失望的状况”[E32]。明茨来爱因斯坦身边时,兰佐斯还在那里。两个人的薪金由德国科学家应急委员会 (Notgemeinschaft Deutscher Wissenschaftler) 承担 [K4]。<sup>①</sup> 爱因斯坦在两篇讨论距离平行性的论文中 [E31, E33], 感谢了明茨的工作。1929年,明茨成为列宁格勒大学数学教授,1935年,他在那里接受荣誉博士学位。在谢绝做苏联公民后,明茨只好在1937年离开苏联[M7]。1938年,他来到瑞典。爱因斯坦曾与几位犹太机构联系,为他争取财政资助。他在1938年之后的情况,我就知道了。

18. 瓦尔特·迈尔 (Walther Mayer) 1887年生于奥地利格拉茨 (Graz)。在苏黎世 ETH 和维也纳、巴黎以及哥廷根等大学学习过。1912年在维也纳获博士学位。1926年,他成为那里的无薪讲师。1929年,他写了一本关于黎曼几何的书,这是微分几何教科书的一部分 [D1]。

兰佐斯和明茨离开爱因斯坦后,爱因斯坦与维也纳的冯·米色斯 (Richard von Mises) 联系,问他有没有人愿意跟他一道工作。1929年12月,冯·米色斯向爱因斯坦推荐了迈尔 [M8]。爱因斯坦—迈尔合作不久就开始了,并且很快有了成果。1930年1月,

<sup>①</sup> 这个基金会存在于1920年至1924年,主席是施密特—奥特 (Friedrich Schmidt-Ott), 它的目的在于给那些没有外界援助就不能开展科学工作的年轻有为的博士和无薪讲师提供资助。

爱因斯坦向普鲁士科学院为迈尔申请一份薪金[K5]。1930年2月,他们发表了第一篇合作论文,讨论距离平行理论的静态解[E34]。爱因斯坦大概很快就感到,他需要迈尔紧跟在身边,因为他在6月写信给柏林的数学家比伯尔巴赫(Ludwig Bieberbach),问他能不能给迈尔找一份工作[E35]。10月,爱因斯坦向普鲁士科学院提交一篇和迈尔合作的论文,提出了一个新的统一场理论。这个理论的基础是四维时空连续统,它的每一点都联系着一个五维正切空间[E36]。<sup>①</sup> 爱因斯坦夫妇第一次去加利福尼亚旅行(1930年12月到1931年3月),迈尔(还有海伦·杜卡斯)也跟着,因为爱因斯坦不希望中断他们的合作。刚回柏林,他们就发表了1930年10月论文的续篇[E37]。1932年12月,他们完成了最后一篇以德文发表的论文,讨论半矢量和旋量[E38],这也是爱因斯坦在普鲁士科学院会议报告上发表的最后一篇论文。

同时,1932年10月爱因斯坦被聘为普林斯顿高等研究院教授。他的条件是从1933年10月才到普林斯顿来。在与研究院第一任院长弗莱克斯纳的整个谈判中;爱因斯坦坚持为迈尔要一个  
493 职位,这是他接受新职位的基本条件。在其他条件谈好以后,爱因斯坦写信给弗莱克斯纳说:“现在我惟一的愿望是,W. 迈尔博士,我的卓越的合作者,应该得到一个与我独立的正式职位。到目前为止,他的卓越才能和辉煌成就还没有得到应有的承认,他因此承受了巨大的痛苦。我们应该让他感到,他得到的职位完全是因为他自己的成就,而不是因为我的缘故”[E39]。

接下来的两篇爱因斯坦—迈尔论文又讨论了半矢量[E40,

---

① 请参阅第17章。

E41],这是他们在比利时的勒科克海滨写的(见 25b)。那是在1933年春天,迈尔在普林斯顿的职位还没有落实,爱因斯坦又写信给弗莱克斯纳,劝他用心选择,因为他可能听到过一些别人对迈尔的看法[E42]。接着的一封给弗莱克斯纳的信表明,如果需要施加压力,他也是能够做到的:“你现在可能已经从报纸上知道,我已接受了马德里大学的教授职务……鉴于我与西班牙政府的关系,我感到有责任写信给你谈谈我的助手 W. 迈尔教授。西班牙政府已承认我有权向他们推荐一位数学家,在我指导下做正教授。现在,我非常看重迈尔教授的才能,不仅作为我的合作者,而且是作为纯数学的一个独立研究者,他的成绩是显著的,有价值的。他完全适合来做这个教授。如果他不是感到在你的研究院的职位受挫,没有被聘为正教授,而是一个副教授,拿与他的特长和需要不相称的薪金,他是不会让我把他推荐给西班牙政府的。因而,我发现自己很为难:要么,看你能不能把他升为正教授。这将是把他留在你的研究院,留下来与我继续合作的惟一途径;他不在研究院,还会给我的工作造成一些困难。另外,他的辞职也将是你的研究院的一个巨大损失”[E43]。

爱因斯坦一直认为,他与迈尔的合作是很重要的,这一点,从他给弗莱克斯纳的回信可以明显看到。弗莱克斯纳提出,迈尔应该比爱因斯坦早几周到普林斯顿。爱因斯坦说:“[这]将损害我们的合作……[因为]我们将彼此分开[voneinander gerissen]整整一个月……”[E44]。

爱因斯坦说服了弗莱克斯纳。迈尔获得了一个永久的职位,名义上是副教授,这个职位在研究院是惟一的。爱因斯坦与迈尔在美国的全部合作,是合写了最后一篇关于半矢量的论文[E45]。

1934年以后,迈尔又回到了他自己的纯数学研究。我想,他不再愿意跟着搞统一场论了,他相信,独立的研究会更有助于他的科学生涯。在他晚年,我才认识他。他举止温和,但多少有点与众不同。办公室在福尔德楼的三楼。1948年,迈尔在普林斯顿去世。

**19. 理查德·切斯·托尔曼 (Richard Chase Tolman)** 1881年生于马萨诸塞州西牛顿镇(West Newton)。1910年跟诺伊斯(Arthur Noyes)获物理化学博士学位。1922年成为加州理工学院教授。他写了两本关于相对论的书[T1, T2]。在爱因斯坦第一次访问加利福尼亚期间,托尔曼与埃伦费斯特和波多尔斯基合作研究了光产生的引力场[E46],又与爱因斯坦和波多尔斯基不太成功地合作研究了量子理论中的测量问题[E47]。1948年,他在加州帕萨迪纳去世。

**20. 威廉·德西特 (Willem de Sitter)** 1872年生于荷兰斯尼克(Sneek)。在格罗宁根(Groningen)跟卡普坦(Jacobus Kapteyn)获博士学位。1917年提出“德西特宇宙”。1919—1934年任莱顿天文台台长。爱因斯坦第二次访问加利福尼亚期间,曾与德西特合作发表了一篇提要[E48],提出宇宙学意义上的平坦宇宙(没有宇宙学项,压力为零)。1934年,德西特在莱顿去世。

**21. 鲍里斯·波多尔斯基 (Boris Podolsky)** 1896年生于俄国塔甘罗格(Taganrog),1913年移居美国。1928年在加州理工学院跟爱泼斯坦获博士学位。1931年,波多尔斯基在帕萨迪纳遇见爱因斯坦,并同他和托尔曼合作。20世纪30年代初,他在查尔科夫(Charkov)与福克和狄拉克研究量子电动力学。1934—1935年,他在高等研究院,爱因斯坦—波多尔斯基—罗森合作就是这时开展的[E49](25c)。他们的合作论文,用了**波函数**一词。我确信

爱因斯坦并没有实际参与写作,因为他一惯用 $\psi$ 函数来代替。罗森告诉我,文章是波多尔斯基写的。后来,波多尔斯基成为辛辛那提(Cincinnati)萨威尔大学(Xavier University)教授[D2]。1966年,波多尔斯基在辛辛那提去世。

**22. 内森·罗森(Nathan Rosen)** —1909年生于纽约布鲁克林(Brooklyn)。1932年在麻省理工学院获理学博士学位。罗森的硕士论文是讨论距离平行性的,后来他到普林斯顿研究理论分子物理学。<sup>①</sup>在普林斯顿期间,他向爱因斯坦征求对他硕士论文的意见。这种接触导致了他们一个时期的合作。1934—1935年,罗森进入高等研究院。第一个合作就是爱因斯坦—波多尔斯基—罗森论文,它的主要思想来自罗森。接下来的两个月,他们又发表了一篇论文,讨论引力场和电磁场结合起来的无奇异解[E50]。1936年,他们发表了一篇关于广义相对论的两体问题的短文[E51]。1937年,发表了一篇关于柱状引力波的论文[E52]。

在最后这个问题的研究过程中,爱因斯坦有时相信,他已经证明了严格的相对论场方程并不允许引力波的存在[I1, S2]。发现论证的错误后,手稿已准备好,而且送到了《物理学评论》。论文再回到爱因斯坦手中时,附带着一篇很长的审查报告,要他澄清某些问题。爱因斯坦很生气,写信给编辑,反对将他的论文在发表以前给同事看[E53]。编辑很礼貌地回信说,所有交给他们期刊的论文,一般都要经过审查这一步;还说,他很遗憾爱因斯坦不了解这个惯例[T3]。爱因斯坦把论文交给了《富兰克林研究院刊》。后来,除了一篇简短的反驳而外,他再没有在《物理学评论》上发表论

---

<sup>①</sup> 感谢罗森把他的经历告诉我。

文。

引力波论文的最后形式是 1937 年完成的。当时罗森在苏联，爱因斯坦帮他在那里找了一个临时职位。他曾给当时的人民委员会主席莫洛托夫 (Vyacheslav Molotov) 写信，请他为罗森的计划提供些方便 [E55]。那位戴夹鼻眼镜的小个子大人物一定给我们这位可爱的教授回过信，因为不久以后，爱因斯坦又写了封信感谢莫洛托夫对罗森的帮助 [E56]。1952 年起，罗森为海法理工学院教授。

**23. 古斯塔夫·布基 (Gustav Bucky)** 1880 年生于莱比锡。布基是放射科医生，在柏林为伊尔莎·凯泽尔—爱因斯坦 (Ilse Kayser-Einstein) 治病时，见过爱因斯坦。在布基夫妇和爱因斯坦夫妇都移居美国后，两家人成为好朋友。1936 年 10 月 27 日，爱因斯坦和布基以一个光电装置共同获得美国专利局第 2058562 号专利。这是照相机前的一个开启的光电眼，相机固定时，它摄取被摄物体，并移动镜头前的一块具有可变透明度的屏幕。1963 年，布基在纽约去世。

**24. 利奥波德·英费耳德 (Leopold Infeld)** 1898 年生于克拉科夫 (Cracow)。1921 年在克拉科夫跟那坦森 (Ladislas Natanson) 获博士学位。学生时代，英费耳德曾在柏林拜访过爱因斯坦 [I1]。并且从 1927 年后，一直与爱因斯坦保持着通信联系。1934 年，爱因斯坦为英费耳德写的一本科普读物写过序 [E57]。1936—1937 年，英费耳德是高等研究院的一员，与爱因斯坦合写了 3 篇关于广义相对论的运动问题的论文 [E58, E59, E60]。第一篇就是我们在第 15 章提到过的著名的爱因斯坦—英费耳德—霍夫曼论文。1938 年，爱因斯坦与英费耳德合写了《物理学的进化》

(*The Evolution of Physics*),<sup>①</sup>这是为在经济上帮助英费耳德而写的一本科普读物[E61]。在自传《探求》(*Quest*)中,英费耳德记述了他与爱因斯坦相处的日子。爱因斯坦对写这本书没多大热情。“一个人不应该做任何有损于人们之间那点可怜的和沟通的事情”[E62]。1938年到1950年,英费耳德为多伦多大学教授,1950年以后,他为华沙大学教授。1968年,在华沙去世。

**25. 班尼希·霍夫曼(Banesh Hoffmann)** 1906年生于英国里士满(Richmond)。1929年霍夫曼开始跟维布伦研究射影相对论。1932年,在普林斯顿在维布伦指导下获博士学位。1935—1937年在高等研究院工作。霍夫曼与爱因斯坦和英费耳德一起写了前面提到过的那篇论文[E58]。从1952年起,他是纽约市立大学女王学院教授,写过一本很精彩的爱因斯坦的通俗传记[H4],还与海伦·杜卡斯一起,编过一本爱因斯坦的令人难忘的语录选[D3]。<sup>②</sup> 496

**26. 彼得·加布里尔·伯格曼(Peter Gabriel Bergmann)** 1915年生于柏林。1936年在布拉格跟弗兰克获博士学位,弗兰克也向爱因斯坦推荐过他。从1936年到1941年,伯格曼跟爱因斯坦一起工作,他们合作发表过两篇论文,讨论电磁场和引力场的五维统一(卡鲁扎—克莱因理论),第二篇论文还有巴格曼参与[E63, E64]。爱因斯坦为伯格曼的一本相对论教科书写过序[E65]。1950年后,伯格曼为雪城大学(Syracuse University)教授。

---

① 有中译本,周肇威译,上海科学技术出版社,1962年。——译者

② 建议读者去读[W1]中的霍夫曼、巴格曼、伯格曼和斯特劳斯的回忆文章。

**27. 瓦伦丁·巴格曼 (Valentine Bargmann)** 1908 年生于柏林, 父母都是俄国人。1936 年在苏黎世跟温泽尔 (Gregor Wentzel) 获博士学位。1925 年到 1934 年为德国公民, 1934 年被剥夺了德国公民权。1937—1946 年, 成为高等研究院的一员。巴格曼与爱因斯坦一起发表过两篇论文, 其中, 刚提到的那篇还有伯格曼参与 [E64], 另一篇是讨论双矢量的 [E66]。<sup>①</sup> [双矢量这样一个量  $T_{\mu\nu}(x_1, x_2)$ , 它依赖于一对时空点, 在一般坐标变换下, 它像积  $A_\mu(x_1)B_\nu(x_2)$  那样变换, 这里  $A_\mu(x_1)$  和  $B_\nu(x_2)$  是普通 4-矢量。] 巴格曼为匹茨堡大学教授, 后来, 为普林斯顿大学数学物理教授。

**28. 沃尔夫冈·泡利 (Wolfgang Pauli)** 1900 年生于维也纳, 1921 年在慕尼黑跟索末菲获博士学位。爱因斯坦撰文 [E68] 赞扬了泡利为百科全书写的相对论评述 [P2]。1940—1946 年, 泡利在高等研究院工作了 6 年, 以躲避战争迫害。1943 年, 他与爱因斯坦合写了一篇文章 [E69], 文章证明, 无源引力场方程的处处正则的静态解, 在远距离的行为类于施瓦兹席尔德解, 一定有一个为零的施瓦兹席尔德质量 (卡鲁扎—克莱因理论也证明成立同样的定理)。<sup>②</sup>

显然, 这个简短的说明, 无论如何不能完整地评价泡利对相对论和相对论量子理论的贡献和影响。对泡利著作的评论, 请参阅 [E71]。1958 年, 泡利在苏黎世去世。

**29. 恩内斯特·加博·施特劳斯 (Ernst Gabor Straus)** 1922 年生于慕尼黑, 1944—1948 年为爱因斯坦的助手。施特劳斯去跟

---

① 爱因斯坦还为它写了续篇 [E67]。

② 这是爱因斯坦早先独立得到的一个结论的改进。



爱因斯坦工作时,正对不以微分几何为基础来推广广义相对论的问题感兴趣。那时,他也同泡利讨论过这些问题。在斯特劳斯的回忆文章[W1]中,我们可以看到这类推广的两个例子(爱因斯坦从没发表过)。他们的合作论文,关于空间膨胀对个别星体周围引力场的影响[E72],是在不知道别人以前对这个问题的大量工作的情况下写出来的。第二篇文章讨论非对称联络(见第17章)[E73]。1948年,施特劳斯在哥伦比亚大学获博士学位。他现在是加州大学洛杉矶分校(UCLA)的数学教授。

**30. 约翰·凯梅尼(John Kemeny)** 1926年生于布达佩斯。1948—1949年为爱因斯坦的助手。凯梅尼写信给我说:“当施特劳斯(1948年)离开西海岸后,爱因斯坦在找新助手。我的一位认识爱因斯坦的朋友就把我介绍给他……当时,他正在发展统一场理论的最后阶段。他已经把理论的寻找范围限定为三种形式,正试图从中进行选择。那年他得到了一种形式,于第二年发表。选定具体的理论之后,下一个问题显然就是要解偏微分方程。你可以想象,这个问题远远超出了我的数学能力!因此,我极力劝爱因斯坦,不要再找我,应该找一个专家来”[K6]。<sup>①</sup>

1949年,凯梅尼在普林斯顿大学获数学博士学位,1951年为该校的哲学副教授。1970年以来,他为达特茅斯(Dartmouth)学院院长。

**31. 罗伯特·哈利·克莱奇南(Robert Harry Kraichnan)** 1928年生于费城。1949年在麻省理工学院(MIT)跟费谢巴赫(H. Feschbach)获博士学位。1949—1950年为爱因斯坦的助手。

<sup>①</sup> 凯梅尼的其他回忆,见[K7]。

现在,他是独立的顾问。

**32. 布鲁莉娅·考夫曼 (Bruria Kaufman)** 1928 年生于纽约城。1947 年在哥伦比亚大学获博士学位。1947—1948 年在高等研究院做冯·诺伊曼的助手。从 1950 年直到 1955 年 4 月爱因斯坦逝世,都是爱因斯坦的助手。(1955 年 3 月,爱因斯坦建议延聘她到 1956 年 6 月[E74]。)

考夫曼是爱因斯坦的最后一个合作者,她和爱因斯坦合写过两篇论文,都讨论非对称联络[E75, E76]。1955 年 1 月,爱因斯坦完成了一生中最后一次与别人的合作。爱因斯坦逝世以后,考夫曼和哥德尔整理了福尔德楼 115 房间爱因斯坦办公室的科学论文。1955 年下半年,在伯尔尼会议上,考夫曼报告了爱因斯坦统一场理论计划的最后进展[K8]。

布鲁莉娅现在住在[以色列]埃梅克的米什玛基布兹(Kibbutz Mishmar ha'Emek)。

### 参考文献

B1. C. Burstin, letter to A. Einstein, April 20, 1933.

C1. N. Chinitz, letter to A. Einstein, March 29, 1953.

D1. A. Duschek and W. Mayer, *Lehrbuch der Differentialgeometrie* (2 vols.). Teubner, Leipzig, 1930.

D2. H. H. Denman, *Physics Today*, March 1967, p. 141.

D3. H. Dukas and B. Hoffmann, *Albert Einstein, the Human Side: New Glimpses From His Archives*. Princeton University Press, Princeton, N. J., 1979.

E1. A. Einstein and J. J. Laub, *AdP* **26**, 532(1908); corrections in **27**, 232 (1908) and **28**, 445 (1908).

E2. —and—, *AdP* **26**, 541(1908).

E3. —, *AdP* **22**, 569(1907).

- E4. —, letter to C. Habicht, December 24, 1907.
- E5. —, *Phys. Zeitschr.* **9**, 216 (1908).
- E6. —, letter to J. Stark, December 14, 1908. Reprinted in A. Hermann, *Sudhoffs Archiv* **50**, 267(1966).
- E7. —, letter to M. Besso, December 12, 1911; *EB*, p. 45.
- E8. —, letter to M. Besso, February 4, 1912; *EB*, p. 45.
- E9. —, letter to G. Habicht, August 15, 1948.
- E10. — and L. Hopf, *AdP* **33**, 1096 (1910).
- E11. — and —, *AdP* **33**, 1105(1910).
- E12. —, letter to F. R. Schwarz, February 7, 1946.
- E13. — and O. Stern, *AdP* **40**, 551(1913).
- E14. — in *Helle Zeit, dunkle Zeit* (C. Seelig, Ed.). Europa Verlag, Zürich, 1956.
- E15. — and A. D. Fokker, *AdP* **44**, 321(1914).
- E16. —, statement prepared for N. Chinitz, April 7, 1953.
- E17. —, *PAW*, 1917, p. 146.
- E18. — and J. Grommer, *Scripta Jerusalem Univ.* **1**. No. 7(1923).
- E19. —, *PAW*, 1923, p. 359.
- E20. —, *PAW*, 1925, p. 419.
- E21. — and J. Grommer, *PAW*, 1927, p. 2.
- E22. —, *PAW*, 1929, p. 7.
- E23. — and P. Ehrenfest, *Z. Phys.* **11**, 31(1922).
- E24. — and —, *Z. Phys.* **19**, 301(1923).
- E25. —, *Out of My Later Years* (3rd edn.), p. 236. Citadel Press, Secaucus, N. J., 1977.
- E26. — and H. Mühsam, *Deutsch. Medizin Wochenschr.*, 1012(1923).
- E27. —, letter to H. Mühsam, undated, summer 1942. Quoted in Se, p. 412.
- E28. —, letter to L. Szilard, September 12, 1927.
- E29. —, letter to M. Jäger, April 13, 1934.
- E30. —, letter to E. Madelung, September 29, 1928.
- E31. —, *PAW*, 1929, p. 156.

- E32. —, letter to H. Müntz, July 1928.
- E33. —, *PAW*, 1929, p. 156.
- E34. — and W. Mayer, *PAW*, 1930, p. 110.
- E35. —, letter to L. Bieberbach, June 19, 1930.
- E36. — and W. Mayer, *PAW*, 1931, p. 541.
- E37. — and —, *PAW*, 1932, p. 130.
- E38. — and —, *PAW*, 1932, p. 522.
- E39. —, letter to A. Flexner, July 30, 1932.
- E40. — and W. Mayer, *Proc. K. Ak. Amsterdam* **36**, 497(1933).
- E41. — and —, *Proc. K. Ak. Amsterdam* **36**, 615(1933).
- 499 E42. —, letter to A. Flexner, March 24, 1933.
- E43. —, letter to A. Flexner, April 13, 1933.
- E44. —, letter to A. Flexner, August 4, 1933.
- E45. — and W. Mayer, *Ann. Math.* **35**, 104(1934).
- E46. —, P. Ehrenfest, R. C. Tolman, and B. Podolsky, *Phys. Rev.* **37**, 602(1931).
- E47. —, A. Einstein, R. C. Tolman, and B. Podolsky, *Phys. Rev.* **37**, 780(1931).
- E48. — and W. de Sitter, *Proc. Nat. Ac. Sci.* **18**, 213 (1932).
- E49. —, B. Podolsky, and N. Rosen, *Phys. Rev.* **47**, 777(1935).
- E50. — and N. Rosen, *Phys. Rev.* **48**, 73(1935).
- E51. — and —, *Phys. Rev.* **49**, 404(1936).
- E52. — and —. *J. Franklin Inst.* **223**, 43(1937).
- E53. —, letter to J. T. Tate. July 27, 1936.
- E54. —, *Phys. Rev.* **89**, 321(1953).
- E55. —, letter to V. Molotov, March 23, 1936.
- E56. —, letter to V. Molotov, July 4, 1936.
- E57. — in L. Infeld, *The World of Modern Science*, p. 5. V. Gollanca, London 1934.
- E58. —, L. Infeld, and B. Hoffmann, *Ann. Math.* **39**, 65(1938).
- E59. — and L. Infeld, *Ann. Math.* **41**, 455(1940).
- E60. — and —, *Can. J. Math.* **3**, 209(1941).

- E61. — and —, *The Evolution of Physics*. Published simultaneously by Cambridge University Press, Cambridge; Sythoff's, Amsterdam; and Simon and Schuster, New York; 1938.
- E62. —, letter to L. Infeld, undated, probably April 1941.
- E63. — and P. Bergmann, *Ann. Math.* **39**, 65(1938).
- E64. —, V. Bargmann, and P. Bergmann in *Th. von Kármán Anniversary Volume*, p. 212. California Institute of Technology, Pasadena, 1941.
- E65. — in P. Bergmann, *Introduction to the Theory of Relativity*, p. v. Prentice-Hall, New York, 1942.
- E66. — and V. Bargmann, *Ann. Math.* **45**, 1(1944).
- E67. —, *Ann. Math.* **45**, 15(1944).
- E68. —, *Naturw.* **10**, 184(1922).
- E69. — and W. Pauli, *Ann. Math.* **44**, 131(1943).
- E70. —, *Rev. Univ. Nac. de Tucuman*, **2**, 11, (1941).
- E71. —, C. P. Enz in J. Mehra. *The Physicists' Conception of Nature*, p. 766. Reidel, Boston, 1973.
- E72. —, A. Einstein and E. Straus, *Rev. Mod. Phys.* **17**, 120(1945); correction in **18**, 148(1946).
- E73. — and —, *Ann. Math.* **47**, 731(1946).
- E74. —, letter to J. R. Oppenheimer, March 31, 1955.
- E75. — and B. Kaufman, *Ann. Math.* **59**, 230(1954).
- E76. — and —, *Ann. Math.* **62**, 128(1955).
- F1. F. Fuchs and L. Hopf. *Aerodynamik*. R. C. Schmidt, Berlin, 1922.
- F2. P. Frank, *Einstein, His Life and Times*, p. 82. A. Knopf, New York, 1953.
- F3. See a. D. Fokker, *Phys. Zeitschr.* **15**, 96(1914).
- F4. B. T. Feld and G. Weiss-Szilard(Eds). *The Collected Works of Leo Szilard*. Vol. 1, p. 527. MIT Press, Cambridge, Mass. 1972.
- F5. M. Flückiger, *Einstein in Bern*, p. 148. Paul Haupt, Bern, 1974.
- G1. J. Grommer, letter to A. Einstein, 1929, undated.
- H1. M. Habicht, *Verh. Schw. Naturf. Ges.*, 1959, p. 405.
- H2. C. Habicht and P. Habicht, *Physik. Zeitschr.* **11**. 532(1910).

- H3. L. Hopf, *Handbuch der Physik*, Vol. 7, p. 91. Springer, Berlin, 1927.
- H4. B. Hoffmann, *Albert Einstein, Greator and Rebel*. Viking Press, New York, 1972.
- II. L. Infeld, *Quest*, pp. 261–270. Doubleday, New York, 1941.
- K1. L. Kollros, *Veh. Schw. Naturf. Ges.* **118**, 325(1937).
- K2. C. Kirsten and H. J. Treder, *Albert Einstein in Berlin*, Vol. 1, p. 154, Akademie, Berlin, 1979.
- K3. —and—, [K2], Vol. 2. p. 290.
- K3. —and—, [K2], Vol. 2, p. 290.
- K4. —and—, [K2]Vol. 1, pp. 36, 137
- K6. J. G. Kemeny, letter, to A. Pais, November 27, 1979.
- K7. — in *Einstein, a Centenary Volume* (A. P. French, Ed.), p. 34. Heinemann, London, 1979.
- K8. B. Kaufman, *Helv. Phys. Acta Suppl.* **IV**, 277(1956).
- L1. J. J. Laub, *AdP* **23**, 738(1907).
- L2. —, letter to A. Einstein, February 2, 1908.
- L3. —, *Jahrb. Rad. Elektr.* **7**, 405(1910).
- L4. C. Lanczos, letter to A. Einstein, October 6, 1928.
- L5. —, *Erg. Ex. Naturw.* **10**, 97(1931).
- L6. —, *Albert Einstein and the Cosmic World Order*, Interscience, New York, 1965.
- L7. —, *Space Through the Ages*. Academic Press, New York, 1970.
- L8. —, *The Einstein Decade, 1905 — 1915*. Academic Press, New York, 1974.
- M1. M. Mühsam, letter to C. Seelig, July 10, 1955.
- M2. —, letter to C. Seelig, May 3, 1956.
- M3. —, letter to C. Seelig, September 10, 1959.
- M4. H. Melcher, *Spektrum, Monatszeit. für Wiss. Akad. der Wiss.* DDR, September 1978, p. 23.
- M5. —, *Der Neuerer*, May/June 1979, p. 202.
- M6. H. Müntz, letter to A. Einstein, March 14, 1938.

- M7. —, letter to A. Einstein, November 25, 1937.
- M8. R. von Mises, letter to A. Einstein, December 17, 1929.
- N1. Y. Nohel, letter to A. Pais, January 1, 1980.
- P1. L. Pyenson, *Hist. St. Phys. Sci.* **7**, 83(1976).
- P2. W. Pauli, *Encyklopädie der Mathematischen Wissenschaften*. Vol. 5, Part 2, p. 539. Teubner, Leipzig, 1921. In English: *Theory of Relativity* (G. Field, Tran.). Pergamon Press, London, 1958.
- R1. W. Ritz and A. Einstein, *Phys. Zeitschr.* **10**, 323(1909).
- R2. M. Russenberger, *Mitt. Naturf. Ges. Schaffhausen* **23**, 301(1949).
- R3. Rosenblueth, letter to the University Committee, c/o Zionist Executive, London, March 25, 1925.
- S1. Se, p. 181.
- S2. Se, pp. 215—216.
- S3. W. Saxer, *Viertelj. Schrift Naturf. Ges. Zürich* **81**, 322(1936).
- S4. Se, p. 412.
- S5. Se, p. 15.
- S6. Se, p. 16.
- S7. L. Szilard, letter to A. Einstein, October 12, 1929.
- T1. R. C. Tolman, *The Theory of the Relativity of Motion*. University of California Press, Berkeley, 1917.
- T2. —, *Relativity, Thermodynamics and Cosmology*. Oxford University Press, Oxford, 1934.
- T3. J. Tater, letter to A. Einstein, July 30, 1936.
- W1. H. Woolf(Ed.), *Some Strangeness in the Proportion*, p. 459. Addison-Wesley, Reading, Mass, 1979.
- W2. E. P. Wigner, *Biogr. Mem. Nat. Ac. Sci.* **40**, 337(1964).

## 第 30 章 爱因斯坦

### 是如何获得诺贝尔奖的

瑞典皇家科学院授予诺贝尔物理学奖的程序大致是这样的：由全体科学院院士中选出的五人诺贝尔委员会（以后简称委员会）发出提名邀请，委员会研究各提议和证明材料后，起草一个评议，经多数投票通过后向科学院推荐。推荐意见写成报告形式（以后简称报告），报告应总结所有提交给委员会的提议的优点，并提出推荐决定的理由。推荐首先经科学院物理学部投票决定，然后由科学院全体成员（并不仅是物理学家）进行决定性投票，投票不必与委员会推荐一致。例如，1908 年，委员会一致提名普朗克，物理学部投票结果也支持普朗克，但科学院却选择了李普曼（Lippmann）。

普朗克的情况，从一个侧面体现了早期量子理论的有争议的性质。“这个[普朗克的]提议在科学院受到了粗暴的对待……经过 1908 年的失败后，只要涉及普朗克，委员会就‘胆寒’。当然，自 1910 年以来，量子理论的重要性以及对它的反驳，逐渐成为人们注意的焦点，所以，人们总是希望量子理论的那些疑难能够被消除，也在这样的希望中，延误了对普朗克授奖”[N1]。

我荣幸地被特许利用与爱因斯坦诺贝尔奖有关的委员会报告和提名信。在此，我再一次感谢那些把材料交给我的负责人，特别要感谢纳格尔教授，他还热情回答了我提出的另外一些问题。



科学院的决定几乎总是被物理学界完全接受。当然,也有令人(包括我自己)吃惊的时候。然而,这是不可避免的,它与本文所要叙述的无关。我只关心那些有重要历史意义的材料:那些提名的物理学领袖们的科学判断和那个声名显赫而又因循守旧却高度负责的委员会的判断。在我们这个故事里,没有英雄,也没有罪犯。

1922年11月10日,一封电报送到了爱因斯坦在柏林的寓所。电文说:“Nobelpreis für Physik ihnen zuerkannt näheres brieflich<sup>①</sup>[签名]奥里维留斯(Aurivillius)”。同一天,哥本哈根的玻尔大概也收到了同样内容的电文。也是在同一天,瑞典科学院秘书奥里维留斯教授写信给爱因斯坦:“正如我已在电报中告诉您的,在昨天举行的会议上,皇家科学院决定授予您去年度[1921]的诺贝尔物理学奖,这是考虑到您在理论物理学尤其是您对光电效应定律的发现,但没有考虑您的相对论和引力场论在未来获得证实以后将应有的价值”[A1]。玻尔被授予1922年度的物理学奖。

爱因斯坦不在家,没有收到电报和信。他和妻子爱尔莎正在去日本的途中。9月,冯·劳厄写信给他:“据我昨天接到的可靠消息,11月可能会有事件发生,您最好在12月留在欧洲,请考虑一下,您是否一定得去日本”[L1]。爱因斯坦没顾这么多,直到1923年3月才回柏林。回想一下,以前的3年,是他一生中的紧张日子。<sup>②</sup>1919年1月,他与米列娃离婚。当时,他答应如果获得

① 您被授予诺贝尔物理学奖,详情见信。

② 见第16章。

诺贝尔奖,他将把奖金给她。1923年,全部奖金121572克朗54欧耳(Øre)(在1923年,大约合32000美元或180000瑞士法郎)真的转交给了她。<sup>①</sup>1919年6月,他同爱尔莎结婚。11月,他为光线的弯曲被证实感到兴奋。1920年,他的正直品德和工作受到德国某些地方的攻击。1921年,他去美国和英国旅行。1922年初,他访问了法国。在爱因斯坦去日本前几个月,拉特瑙被谋杀,他很庆幸自己脱离了那个极危险的境地。获奖的消息可能是他在旅途中听到的。不过,他具体在哪天,在什么地方接到消息,我就知道了。他在旅行中的日记,也没有提到过这件事情。

1922年12月10日,德国驻瑞典大使纳多尔尼(Rudolf Nardolny)代表爱因斯坦领了诺贝尔奖。当天晚上,在斯德哥尔摩举行的宴会的祝酒词中,纳多尔尼表达了“我国人民的喜悦,他们当中又有一个人已经为全人类做出了贡献。”对此,他又补充说,“希望多年来为这位学者提供了安身之处和工作机会的瑞士,也沉浸到这一快乐之中”[L2]。

纳多尔尼在两天以后呈给柏林外交部的报告表明,他曾为处理这件事情所涉及的国际关系问题而煞费苦心。11月,瑞典科学院就请他代表爱因斯坦。接着,瑞士大使要求澄清此事,因为据他所知,爱因斯坦是瑞士公民。12月1日,纳多尔尼打电报询问柏林大学。12月4日,他收到普鲁士科学院的回电:“Antwort: Einstein ist Reichsdeutscher”。<sup>②</sup>12月11日,外交部通知他,爱因斯坦是瑞士人。1923年1月13日,普鲁士科学院通知柏林的文

---

① 与海伦·杜卡斯的私人交谈。

② 德文:“答复:爱因斯坦是德意志帝国人。”——译者

化部：爱因斯坦 1920 年 5 月 4 日已经宣誓作为国家职员，因而是德国人。因为只有德国人才能作国家职员。普鲁士科学院 1 月 18 日的议定书还引证了法律条文，说明爱因斯坦是德国公民，但他的瑞士国籍也不会因此失效。2 月 15 日，普鲁士科学院向爱因斯坦通报了 this 裁决。3 月 24 日，爱因斯坦写信给普鲁士科学院，他并没有改变国籍以作为他在柏林任职的条件。6 月 19 日，爱因斯坦亲自拜访了外交部的负责官员罗滕堡 (Rottenburg)，重申了他的立场。他指出，他是持瑞士护照旅行的。1924 年 2 月 7 日，爱因斯坦为普鲁士科学院《议事录》，写了关于这次访问的备忘录，其中一段说：“[罗滕堡]明确认为，我在……科学院供职就意味着我接受了普鲁士国籍，因为根据《议事录》，相反的意见是不能成立的。他的观点，我不反对。”<sup>①</sup>同时，1923 年 4 月 6 日，伊尔莎写信告诉斯德哥尔摩诺贝尔基金会，如果把奖章和证书送到柏林来，爱因斯坦教授会对此表示感谢。她说，如果一定要通过外交途径，“就应该考虑瑞士大使，因为爱因斯坦教授是瑞士公民”[E1]。最后，瑞典驻德国大使拉梅尔男爵 (Baron Ramel) 到柏林访问了爱因斯坦，把证书交给他，这件事情才了结。

1923 年 3 月，委员会委员阿列纽斯 (Svante Arrhenius)<sup>②</sup>写信给爱因斯坦，建议他不要等到 12 月才来瑞典访问，最好在 7 月来。这样，他就能参加斯堪的纳维亚科学协会为哥特堡 (Göteborg) 建城 300 周年而举行的纪念会。他让爱因斯坦自己选一个题目作一般性演讲，“但是，最受欢迎的肯定还是关于您的相对论的演讲”

---

① 有关这件事情的官方文件，可以在 [K1] 中找到。

② 阿列纽斯曾获 1903 年诺贝尔化学奖，而今天我们更该记住的是，他是现代“温室效应”研究的先驱者。——译者

505 [A2]。爱因斯坦回信说,他同意他的建议,尽管他更愿意讲统一场理论[E2]。在7月的一个大热天,爱因斯坦身穿长长的黑色大礼服,在哥特堡的朱必利大厅(Jubilee Hall)向约2000名听众讲“相对论的基本思想和问题”[E3]。国王古斯塔夫五世(King Gustav V)也在场,会后还与爱因斯坦进行了愉快的交谈[H1]。后来,爱因斯坦又为大约50名科学协会成员在查尔默斯(Chalmers)技术研究院做了一次更专业的演讲。

接下来我谈谈委员会的工作。

委员会的记载表明,除1911年和1915年外,从1910年到1922年间,爱因斯坦每年都获得物理学奖的提名。为了便于完成任务,委员会经常把被提名者分到更具体的领域中,以便确认各领域的领先候选者,然后只需在这些领先者之间进行比较。在下面的对照表中,我列出了每一年爱因斯坦所在的领域和该领域中的其他被提名者,括号中列的是当年的获奖者。

**1910年** 理论物理学和数学物理学方面的研究。古耳斯特兰德(Gullstrand)、普朗克、庞加莱;(范德瓦尔斯)。

(在此之前,庞加莱已经被提名好几次了。1910年,提名他的信件特别多(34封),这是米塔格-莱弗勒发起的一场运动的结果。一些物理学家也签了名:布里渊、居里夫人、洛伦兹、迈尔克逊和塞曼。委员会在报告中指出,不论是庞加莱卓越的数学贡献,还是他的数学哲学论文(许多提名者都特别提到这一点),都不能作为物理学的发现或发明,“除非人们对这些概念给出一个特别广泛的解释。”)

**1911年** 爱因斯坦未被提名;(维恩)。

**1912年 理论物理学。**亥维赛、洛伦兹、马赫、普朗克；[达伦(Dalén)]。(洛伦兹，这位与塞曼分享1902年奖的人，被维恩提名与爱因斯坦分享本年度奖。马赫的提名人是由于对无线电报的实际贡献而与马可尼[Marconi]分享1909年度奖的布劳恩[Ferdinand Braun]。庞加莱只被达布[Darboux]一个人在另一个领域提了名。)

**1913年 理论物理学。**洛伦兹、能斯特、普朗克；(昂内斯)。  
[齐伯林伯爵(Count Zeppelin)和莱特兄弟(Wright brothers)在另一个领域被提名。]

**1914年 更具思辨性质的理论物理学研究。**厄缶、马赫、普朗克；(冯·劳厄)

(马赫由奥斯特瓦尔德提名。)

**1915年 爱因斯坦未被提名。**[布拉格父子分享]

**1916年 分子物理学。**德拜、克鲁森、勒曼(Lehmann)、能斯特。当年未授物理学奖。

**1917年 与普朗克在量子假说方面卓有成效的研究有关的研究。**玻尔、德拜、能斯特、普朗克、索末菲；(授奖时间推迟)。

[玻尔的名字第一次出现，彼得格勒(Petrograd)<sup>①</sup>的肖尔森(Chwolson)提名他与克鲁森分享。]

**1918年 量子物理学。**玻尔、帕森、普朗克、索末菲；[奖推 506  
迟；1917年的奖授予巴克拉(Barkla)]。

---

① 即现在圣彼得堡。它曾拥有许多不同的名称：圣彼得斯伯克、圣彼得伯克、彼得格勒、列宁格勒和圣彼得堡。一次世界大战爆发后，沙皇尼古拉二世将圣彼得堡改为具俄国风味的名字“彼得格勒”。苏联成立后，为纪念列宁，圣彼得堡于1924年更名为列宁格勒。苏联解体后，圣彼得堡才又改为原名。——译者

**1919年** 理论物理学。克鲁森、勒曼、普朗克；(斯塔克；另外,1918年奖授予普朗克)。

**1920年** 数学物理。玻尔、索末菲；[纪尧姆(Guillaume)]。

**1921年** 与1920年提名一样。(奖推迟)。

**1922年** 爱因斯坦未归入任何领域。11月9日,爱因斯坦获1921年度奖、玻尔获1922年度奖。

谁提名爱因斯坦?基于什么理由?委员会的反应又如何?

第一个提名爱因斯坦的是物理化学家奥斯特瓦尔德。1901年春,爱因斯坦曾向他申请助教,但没有成功(见第3章)。这位1909年的化学奖获得者是唯一在1910年提名爱因斯坦的人。他在1912年和1913年又重提了爱因斯坦的名。所有3次提名中,他唯一的动机都是相对论(除非特殊说明,相对论都指狭义相对论)。1910年,他写道:相对论是自能量原理发现以来,影响最为深远的新概念[O1]。在第二次提名中,他强调,相对论把人们从几千年来的古老束缚中解放出来[O2]。在第三次提名中,他强调,相对论思想是物理学的而不是(像其他人指出的那样)哲学的。他还把爱因斯坦的贡献与哥白尼和达尔文的相提并论[O3]。1912年提名爱因斯坦的,除奥斯特瓦尔德外,还有普林斯海姆、舍费尔(C. Schaefer)和维恩;在1913年的提名者中,又有维恩,还有一个德国医学教授瑙宁(Bernhard Naunyn)。这些提名,都是为了相对论,尽管瑙宁对量子理论也加了一句评语。普林斯海姆写道:“我相信,诺贝尔委员会将很少有机会为具有同样意义的工作颁奖”[P1]。

实际上,维恩两次都是提名爱因斯坦和洛伦兹共享一个奖(舍费尔也提名爱因斯坦独享或者与洛伦兹共享)。这里,有必要再次

引用维恩在第二封提名信中的话：<sup>①</sup>“关于阴极射线和 $\beta$ 射线的新的实验，我不认为它们有决定性的证明能力。这些实验非常微妙，人们不能保证所有误差来源都已排除在外”[W1]。这里所讨论的问题，是证实静止质量、能量和自由电子速度之间的爱因斯坦关系式。正如我们在第7章所讨论的，到1908年，一些实验家已经宣布证实了爱因斯坦关系式，然而，如维恩的信所表现的，疑问犹存。直到大约1915年，这些疑问才被消除。这样，相对论的一个重要验证不再有争议，是在1912年的提名以后。索末菲的光谱线的精细结构理论用了一个基本上相同的爱因斯坦关系式，也是后来在1916年出现的。到那时，广义相对论的新的重大发展已经剧烈地改变了这种状况。

在详细谈论后来的提名之前，我先来谈谈委员会对前期提名的反应。在1910年的报告中，委员会指出“在人们能够接受[相对论]原理，特别是为它授予诺贝尔奖之前”，应该等待更进一步的实验证实。“这个[进一步证实的要求]大概就是为什么只是到了现在[我用的黑体]爱因斯坦才被提名的原因，尽管那些原理在1905年就被提出来，并引起了最强烈的轰动。”委员会还指出，爱因斯坦在布朗运动方面的工作，已为他赢得了许多人的认同。1912年的报告中关于相对论的评论，与1910年的相似。它指出，“洛伦兹无疑比爱因斯坦更为谨慎地对待自己的假说。”在1913年的报告中，还看到这样的话：相对论正在成为获奖的重要竞争者，尽管（委员会指出）把爱因斯坦与哥白尼和达尔文相提并论，可能还存在很大的疑问。对这段时间，我以后再来评论，现在只说一句：在那些以

---

<sup>①</sup> 我在7e中曾提到这段话。

狭义相对论为理由提名爱因斯坦的人中,没有洛伦兹,我一点儿也不觉得奇怪。

接下来的几年很平静,这是难免的,爱因斯坦正全身心地投入广义相对论的奋斗中,他的混合理论也正在搅乱每一个人,包括他自己。在他的混合理论中,除引力场方程外,所有物理方程都是协变的。1914年他被瑞宁提名(因为他的相对论、扩散、引力),也被肖尔森提名(因为他在理论物理学多个领域里的贡献)。1914年的报告模糊地指出,对爱因斯坦的相对论和其他工作的最后评价,可能还需要等很长时间。1915年,他没有被提名。1916年,只有一封提名信。那是埃伦哈夫特(Felix Ehrenhaft)因为他对布朗运动和狭义与广义相对论的研究而提名的。委员会的报告注意到,广义相对论的工作还没有完成。

1917年,提名爱因斯坦的人慢慢地多起来。A. 哈斯(A. Haas)以爱因斯坦的引力新理论而提名他,还引用了理论对水星近日点进动的解释。E. 瓦尔堡也因为他在量子理论、相对论和引力论方面的工作而提他的名。这一年的第三封也是最后一封提名信,来自苏黎世的外斯(Pierre Weiss),这也是所有提名爱因斯坦的信中,对他评价最好的一封[W2]。我们第一次看到一个人对爱因斯坦全部工作的欣赏,说他的工作代表着“un effort vers la conquête de l'inconnu。”<sup>①</sup>这封信首先描述了爱因斯坦在以玻耳兹曼原理为核心的统计力学领域的工作,然后是狭义相对论的两条公设,接下来是光量子假设和光电效应,然后是关于比热的工作,最后还谈了爱因斯坦在实验方面的尝试。1917年的报告说他

---

<sup>①</sup> 法文:“一种征服未知的努力。”——译者



是“著名的理论物理学家爱因斯坦”，对他的工作也作了高度评价，但最后又提出一个新的实验障碍：圣·约翰(C. E. St. John)没有在威尔逊山上发现广义相对论所预言的红移。“看来，爱因斯坦的相对论，尽管可能在其他方面是成功的，但还不值得获诺贝尔奖。”

**1918年** 瓦尔堡和埃伦哈夫特重申了他们以前的提名；维恩和冯·劳厄也以狭义相对论而分别提议由洛伦兹和爱因斯坦共享一个奖；苏黎世的E. 迈耶(Edgar Meyer)提到布朗运动、比热和引力论；维也纳的S. 迈耶(Stefan Meyer)提到相对论(从现在起，相对论指狭义和广义相对论)。当年的报告本质上与上一年的相同。

**1919年** 瓦尔堡、冯·劳厄和E. 迈耶继续他们去年的提名，普朗克因为“[他]迈出了超越牛顿的第一步”[P2]的广义相对论而提名爱因斯坦；阿列纽斯因布朗运动而提名爱因斯坦。所有对布朗运动的实验做出过重要贡献的人：佩兰、斯维德伯格(Svedberg)和古伊也都被提了名。这一年的报告在统计问题上说得很详细，爱因斯坦的博士论文及其修订以及他在临界乳光的研究都包括进来了。然而，报告指出，爱因斯坦的统计学论文不像相对论和量子物理学方面的工作那样卓越。“毫无疑问，如果爱因斯坦是因为[统计物理学]……而不是他的其他主要成果而获奖，这对知识界来说，将是很奇怪的。”它建议，人们应该等待红移问题的澄清——而且还应该等待5月29日的日食！

**1920年** 瓦尔堡还是提爱因斯坦的名；柏林的瓦尔德耶—哈兹(Waldeyer-Hartz)和乌得勒支的欧恩斯坦提到了广义相对论。1920年1月24日，一封由洛伦兹、朱利叶斯、塞曼和昂内斯签署

的联名信强调了引力理论。对近日点运动和光线弯曲的成功给予了特别的强调。信中提出,红移实验太灵敏,现在还不应该下什么确实的结论。爱因斯坦“已将自己置身于有史以来第一流物理学家的行列”。洛伦兹对 1919 年的日食考察结果印象深刻,几个月前,他写信给埃伦费斯特,把这些结果描述为“一个理论所能获得的最辉煌的证实之一”[L3]。

我们还听到了玻尔的声音,他提名爱因斯坦,是因为布朗运动、光电效应和比热理论,但“最重要的”还是因为相对论。“人们在这里面对着一个对物理学研究的发展有决定性意义的进步”[B1]。

1920 年的报告附录了阿列纽斯应委员会要求写的一篇关于广义相对论结果的说明。阿列纽斯指出,红移实验仍然没能与理论相符;但那些从不同角度提出的反对 1919 年日食考察的光线弯曲结果的批评,已经平息了。有些反对意见确实是合理的(详情和参考文献,请见[W3])。不太幸运的是,阿列纽斯所参考的所谓进动效应解释,是以另一个理论为基础的。<sup>①</sup> 委员会认定,相对论在目前还不能作为获奖的依据。

1921 年 普朗克在一封简短有力的信中重申了他对爱因斯  
509 坦的提名,哈斯和瓦尔堡也再次提名爱因斯坦。在达伦巴赫(W. Dällenbach)(巴登)、爱丁顿(剑桥)、雅费(G. Jaffe)和 E. 马克思(E. Marx)(莱比锡)、诺德斯特勒姆(赫尔辛基)、沃尔科特(C. Walcott)(华盛顿)以及维恩纳(O. Wiener)(莱比锡)的提名信中,

---

<sup>①</sup> 这里指格尔克(E. Gehrcke)的工作,他是“德国自然研究者联合会”的领导者之一(第 16 章)。早在 1917 年,爱因斯坦就指出,格尔克的理论是以矛盾的假定为基础的[E4]。1921 年,勒纳德提名格尔克获诺贝尔奖。

都提到了广义相对论。阿达马(巴黎)提名爱因斯坦或佩兰;莱曼(T. Lyman)(哈佛)提到了爱因斯坦对数学物理的贡献。爱丁顿写道:“像牛顿那样,爱因斯坦站在他同时代的人之上”[E5]。

乌普萨拉大学的欧森(Carl Wilhelm Oseen)教授因光电效应而提名爱因斯坦。

这时候,委员会要求它的委员古耳斯特兰德准备一份关于相对论的说明,要求另一位委员阿列纽斯准备一份关于光电效应的说明。

自1894年起,古耳斯特兰德就成为乌普萨拉大学的眼科学教授,他是一位具有很高威望的科学家。1890年,他获医学博士学位,并成为世界上将眼睛作为光学仪器来研究的先驱人物。1960年,有人这样写他:“眼科学专家们认为,继亥姆霍兹以后,对人眼光学系统的数学理解,他的贡献比任何人都多……在这些研究中,他发现了许多关于光学成像的普遍的错误概念,他像一个斗士,后来的许多论文都投入来肃清那些错误概念”[H2]。1910年和1911年,他两次被提名获诺贝尔物理学奖。“1911年,委员会的最初的意见是,奖应授予乌普萨拉的古耳斯特兰德教授,‘因为他在几何光学中的工作’。同年,古耳斯特兰德成为委员会成员……然而,生理学和医学委员会看来有同样的意愿,‘因为他在眼睛屈光学方面的工作’而将奖授予古耳斯特兰德。因此,古耳斯特兰德谢绝了物理学奖,委员会另写了一个报告(这时,签名者有古耳斯特兰德),建议维恩获奖”[N1]。从1911年到1929年,古耳斯特兰德是物理学委员会的委员,从1923年到1929年,他是这个委员会的主席。

古耳斯特兰德的那篇严厉批评相对论的报告,并不是一篇好

文章。在 1921 年的报告中,可以看到它的摘要,我在这里引用一些话。关于狭义相对论:“然而,可以用物理手段测量的效应真是太小了,一般说来,它们比试验误差极限还要小”。除这句话外,还有他对广义相对论的看法:“如古耳斯特兰德已经表明的那样,爱因斯坦的这个理论能否完全与勒维烈的近日点实验相符[!]在没有更进一步的认识之前,还仍然处于未知状态。”古耳斯特兰德(不仅仅是他一个人)已经陷入了下列想法的泥潭,即,他自以为已经证明了近日点效应的答案是与坐标相关的。他还认为(比前一个观点更有道理,尽管不是很重要),长期以来为人们所熟悉的其他一些对纯两体[问题]的牛顿定律的偏离,在即使能够尝试确认这些需要解释的剩余效应之前,也应该先用广义相对论的方法对它们进行重新估价。1921 年 5 月 25 日,他提交了一篇关于这些思考的论文,论文的抽印本附在他的报告中[G1]。<sup>①</sup>

阿列纽斯报告的主要观点是:第一,物理学奖刚因为量子理论而授予了(普朗克,1918);第二,如果光电效应应该得到荣誉,那么更应该把奖授给实验者。

那一年没有颁发物理学奖。

1922 年 提名者的名单越来越长:埃伦哈夫特、阿达马、冯·劳厄、E. 迈耶、S. 迈耶、璠宁、诺德斯特勒姆,瓦尔堡又回到名单上来了。索末菲有一封优美的信。布里渊写道:“想象一下,如果爱因斯坦的名字没有出现在荣获诺贝尔桂冠的名单上,50 年后的公众舆论会是什么样的”[B2]。还有来自东代尔(T. de Donder)

---

<sup>①</sup> 在此之前,古耳斯特兰德从未发表过有关相对论的文章。他可能会对广义相对论感兴趣,因为他曾在一个完全不同的背景下研究过其中的一个问题:光线的弯曲。当然,这至多是我的猜测而已。

(布鲁塞尔),埃蒙顿(R. Emden)和瓦格纳(E. Wagner)(慕尼黑),朗之万(巴黎)和普尔顿(E. Poulton)(牛津)等人的提名信。

普朗克提议,将1921年和1922年的奖分别授予爱因斯坦和玻尔。

欧森重申了他为光电效应的提名。

委员会请古耳斯特兰德另写一篇关于相对论的报告,请欧森写一篇关于光电效应的报告。

古耳斯特兰德固执己见。他去年的论文[G1]受到了哥尼斯堡的无薪讲师克雷奇曼(Erich Kretschmann)的批评[K2]。古耳斯特兰德发表了反驳文章,又附在他的新报告中[G2]。

理论物理学家欧森对爱因斯坦1905年关于光量子的论文以及1909年关于黑体辐射的能量涨落的工作,作了精彩的分析。

委员会提议,授予爱因斯坦1921年度诺贝尔物理学奖,科学院投票通过。

这就是为什么爱因斯坦会“因为他对理论物理学的贡献,特别是因为他的光电效应定律的发现”而获诺贝尔奖的原因。这也是为什么1922年11月10日,奥里维留斯写信给爱因斯坦说他获奖并不是因为相对论的原因。

1922年12月10日,阿列纽斯在颁奖仪式上的讲话中说:“大多数[关于爱因斯坦工作的]讨论都集中在他的相对论,那是属于认识论的问题,因而已成为哲学界激烈争论的话题。当其他哲学家在由衷地为它喝彩时,巴黎的著名哲学家柏格森已经向这个理论挑战了,这不会是什么秘密。”

柏格森的文集出版于1970年[B3]。编者没有选他那本《连续性与同时性:关于爱因斯坦的理论》(*Durée et Simultanéité: A*

*Propos de la Théorie d'Einstein*)。后来爱因斯坦结识了柏格森，喜爱他而且尊敬他。对柏格森的哲学，他常说：“Gott verzeih ihm”，上帝宽恕他吧。

511 古耳斯特兰德和克雷奇曼通过进一步交流，满意地解决了他们之间的分歧[K3]。

爱因斯坦为什么没有因为相对论获诺贝尔奖？我认为，主要是因为科学院是在巨大的压力下给他授奖的。为他提名的信件那么多，绝不是任何竞选号召的结果，物理学领袖们已经因为他的成就而承认他。在实验问题，首先是狭义相对论的，其次是广义相对论的，没有澄清之前，科学院并不急于为相对论颁奖是可以理解的。在那些早期年月里，科学院的成员中没有哪个人有能力对相对论的内容进行评价，这是它的不幸。欧森建议以光电效应给爱因斯坦授奖，大概是为了缓和冲突带来的压力。

光电效应值得获诺贝尔奖吗？这是毫无疑问的。爱因斯坦的那篇论文，第一次把量子理论应用到纯辐射以外的系统，表现出了真正的天才。为量子物理学颁的奖，次序是很理想的：首先是普朗克，其次是爱因斯坦，然后是玻尔。具有保守倾向的委员会，最终还是因为爱因斯坦的那个对物理学的最革命性的贡献而将荣誉授予给他，这真是一段曲折的历史。

### 参考文献<sup>①</sup>

A1. C. Aurivillius, letter to A. Einstein, November 10, 1922.

---

<sup>①</sup> 在本章注释中，SAS 代表瑞典皇家科学院 (Royal Swedish Academy of Science)。

- A2. S. Arrhenius, letter to A. Einstein, March 17, 1923.
- B1. N. Bohr, letter to SAS, January 30, 1920.
- B2. M. Brillouin Letter to SAS, November 12, 1921.
- B3. H. L. Bergson, *Oeuvres* (A. Robinet, Ed.). Presses Univ. de France, Paris, 1970.
- E1. Ilse Einstein, letter to Prof. Sederholm, April 6, 1923.
- E2. A. Einstein, letter to S. Arrhemius, March 23, 1923.
- E3. —, *Grundgedanken und Probleme der Relativitätstheorie*. Imprimerie Royale, Stockholm, 1923.
- E4. —, *Verh. Deutsch. Phys. Ges.* **20**, 261(1917).
- E5. A. S. Eddington, letter to SAS, January 1, 1921.
- G1. A. Gullstrand, *Ark. Mat. Astr. Fys.* **16**, No. 8(1921).
- G2. —, *Ark. Mat. Astr. Fys.* **17**, No. (1922).
- H1. J. A. Hedvall, letter to H. Dukas, November 19, 1971.
- H2. M. Herzberger, *Opt. Acta* **7**, 237(1960).
- K1. C. Kirsten and H. J. Treder, *Albert Einstein in Berlin*, Vol. 1, pp. 113–118. Akademie Verlag, Berlin, 1979.
- K2. E. Kretschmann, *Ark. Mat. Astr. Fys.* **17**, No. 2(1922).
- K3. —, *Ark. Mat. Ast. Fys.* **17**, No. 25(1923); with an added comment by Gullstrand.
- L1. M. von Laue, letter to A. Einstein, September 18, 1922.
- L2. *Les Prix Nobel*, pp. 101–102. Imprimerie Royale, Stockholm, 1923.
- L3. H. A. Lorentz, letter to P. Ehrenfest, September 22, 1919.
- N1. B. Nagel, letter to A. Pais, May 7, 1981; see also B. Nagel in *Science, Technology and Society in Time of Alfred Nobel*, Nobel Symposium, Karlskoga, 1981, to be publicshed.
- O1. W. Ostwald, letter to SAS, October 2, 1909.
- O2. —, letter to SAS, December 21, 1911.
- O3. —, letter to SAS, December 30, 1912.
- P1. E. Pringsheim, letter to SAS, January 12, 1912.
- P2. M. Planck, letter to SAS, January 19, 1912.
- W1. W. Wien, letter to SAS, early January, 1912.

W2. P. Weiss, letter to SAS, January 21, 1917.

W3. L. Witten(Ed. ), *Gravitation*, Wiley, New York, 1962.



## 第 31 章 爱因斯坦 为诺贝尔奖写的提议

513

从爱因斯坦为诺贝尔奖所写的提议,我们能够看到,据他的判断,在他那个时代里,什么问题是重要的,什么问题是不重要的。读者会发现,我在下面谈的,既不是关于诺贝尔奖与奖金的功效、愚蠢或危害的专门评述,也不是关于个人的闲言碎语专档。

下面的提议中,9个是关于物理学的,除非特别说明,它们都是以书信的形式写给斯德哥尔摩的诺贝尔委员会的。还有7封关于和平奖的提名信是直接写给在奥斯陆的挪威议会的。另外,还有一封关于提名弗洛伊德获诺贝尔医学奖的回信和一封提议布洛赫(Hermann Broch)获文学奖的通信。

**1. 1918 年秋** 1918年9月,爱因斯坦收到来自斯德哥尔摩的信,请他为1919年度诺贝尔物理学奖提名。在回信中,<sup>①</sup>他提名普朗克,原因是普朗克在热辐射方面的成就,特别是他的两篇论文《论正常光谱的能量分布规律》和《论物质和电的基本量子》。“由于这项工作,作者不仅第一次精确决定了原子的绝对大小,而且,特别是[他]已经为量子理论奠定了基础,而量子理论在最近几年里,已经向所有的物理学表现出了它的丰富内涵。”<sup>②</sup>爱因斯坦

---

① 没有日期,但无疑写于1918年秋。

② [P1]和[P2]所给出的参考文献,也清楚地出现在爱因斯坦的信中。

还强调,玻尔的光谱理论也是以普朗克的工作为基础的。

1919年11月13日,普朗克被授予1918年度诺贝尔物理学奖。

**2. 1921年1月19日** 爱因斯坦赞成捷克国会的提议,给捷克斯洛伐克这个年轻国家的第一任总统(1918—1935)马萨里克(Tomáš Garrigue Masaryk)授予诺贝尔和平奖。在信中,爱因斯坦称赞了马萨里克在保护受压迫的少数民族,特别是在保护捷克人和犹太人的行动中所起的作用。还说,“我确信,授予他诺贝尔奖将代表国际和解的一个美好的胜利……”<sup>①</sup>

**3. 1923年10月26日** 在答复另一次物理学奖提名的请求时,爱因斯坦写道,他发现很难提出一个明确的建议。“为了良心不受折磨”,他提出下列“差不多一样有可能获奖的[名单]:

[J.]弗兰克和[G.]赫兹,因为他们对光与电子碰撞而产生光的激发的研究。

[P.]朗之万和[P.]外斯,因为磁的统计理论。

[O.]斯特恩和[W.]盖拉赫,因为从实验上证明了量子理论所要求的原子在磁场中的定向。

[A.]索末菲,因为对量子力学的贡献。A. H. 康普顿,因为发现伦琴辐射的量子散射。

C. T. R. 威尔逊,因为[发明]证实微粒射线所产生的电离的云室[方法](*Nebelmethode*)。

P. 德拜,因为他对我们关于分子力的认识的贡献。”

1925年,物理学奖授予了弗兰克和赫兹。

---

<sup>①</sup> 详见[N1]。

4. 1925年5月22日 爱因斯坦提议授予著名的巴西探险家朗登元帅(Cândido Mariano da Silva Rondon)和平奖。“我冒昧提醒您注意里约热内卢的朗登将军的作为,因为我在巴西访问期间,获得了这样的印象:此人非常值得获诺贝尔和平奖。他的工作就是不用武力或强制手段而使印第安部落适应文明世界。”

5. 1927年9月28日 在一封短简上,爱因斯坦又提名康普顿,“因为[他]发现了以他名字命名的康普顿效应,这是我们在认识辐射本性道路上的一个里程碑”。

1927年,物理学奖授予了康普顿和威尔逊。康普顿的获奖证书上写着:“因为发现以他的名字命名的效应。”

6. 1928年2月15日 《精神分析教育学期刊》(*Zeitschrift für Psychoanalytische Pädagogik*)编辑、斯图加特的门格博士(Dr. Heinrich Meng)和作家茨威格(Stefan Zweig)(当时在萨尔茨堡)写信给许多著名人物,号召他们支持弗洛伊德的诺贝尔奖提名。1928年2月15日,爱因斯坦给门格回信说:“出于[我]对弗洛伊德的杰出成就的敬慕,我决定不介入目前的状态。关于弗洛伊德学说的真理内容[Wahrheitsgehalt],我自己都不能确信,更不用说为别人做出什么权威性的判断了。我想进一步告诉您,那样的精神分析学家的成就是否属于诺贝尔医学奖的授奖范围,是有疑问的,[尽管]这是可以考虑的惟一奖项。”

收到门格的回信后,爱因斯坦在1928年10月26日的信中重申了同样的观点,还说,“我没有什么材料,看来只有让有经验的专家来评判了。”

比授奖问题更吸引人的是这两位以各自的方式改变了当代和未来的巨人之间的关系。两人合写的小册子《为什么战争?》

515 (*Why War?*), 不过微微露出一丝他们各自对对方的情感[E1]。更多的情况, 还在琼斯(Ernest Jones)的那部精彩的弗洛伊德传记里[J1]。在这里, 我提一句爱因斯坦在 1949 年的一封信中附带对弗洛伊德的评论: “这位老人有……敏锐的想像力, 除去常常对自己的思想太迷信, 他是不会为任何幻觉所迷惑的”[E2]。<sup>①</sup> 当然, 这句话对弗洛伊德和爱因斯坦说明了什么, 我留给读者, 也留给自己去分析。

7. 1928 年 9 月 25 日 这一天, 爱因斯坦写了他将注意力集中在量子力学基础的第一封提名信, 这样的信, 他共写过 3 封。“依我的看法, 物理学中最重要的而还没获奖的成就, 是关于力学过程的波动性质的洞见。”他提出几个建议。首先, 一个奖的一半, 应该归德布罗意, 另一半应该由“Davison[原文如此]和(und ein Mitarbeiter)”(C. J. Davisson and L. H. Germer)<sup>②</sup>来分享。他发现, 这是“一件困难的事情, 因为德布罗意是决定性的创始人, 但他没有完全解决这个问题, [因为他]没有想到从实验上证明[物质波存在]的可能性。”(这话不完全对, 德布罗意在他的博士论文中确实提到过物质衍射的可能性。)爱因斯坦继续说: “同样地, 理论家海森伯和薛定谔(分享完全的诺贝尔奖)也应该被考虑(1930 年的奖吗?)。从成就来说, 他们每人都应该得一个诺贝尔奖, 尽管他们的理论关于实在性的内容是大体一致的。不过, 在我看来, 德布罗德应该先获奖, 特别是因为[他的]思想是肯定正确的, 而后两个

---

① Der Alte hat aber scharf gesehen; er hat sich durch keine Illusion einlullen lassen ausser manchmal durch ein übertriebenes Vertrauen in die eigenen Einfälle.

② 爱因斯坦原文是: “Davison 和一位同事”。有笔误, 人名应为 Davisson(戴维逊)。——译者

研究者的宏伟构想的理论,最终会有多少能够保留下来,看来还有些问题。”

作为别的可能性,爱因斯坦提出,德布罗意和薛定谔分享一个奖,海森伯、玻恩和约当分享另一个奖。他认为并不理想,因为海森伯在这3个人中相对来说是最强的。另外,他对只把奖授予量子力学的理论家,感到不满意。

狄拉克方程在1928年初就发表了。有意思的是,不论在1928年还是后来的任何时候,爱因斯坦都从来没有推举过狄拉克。

1929年的物理学奖给了德布罗意,“因为他发现了电子的波动性质”。1937年,戴维逊和G. P. 汤姆逊“因为实验发现晶体电子的衍射”而分享了一个奖。

**8. 1931年9月20日** 爱因斯坦现在确信,量子力学会存活下来。<sup>①</sup> 他提名“波动、或者叫量子的奠基者,柏林的E. 薛定谔教授和莱比锡的W. 海森伯教授。在我看来,这个理论无疑包含着一些终极真理。两人的成就各自独立而且又那么重要,所以叫他们分享一个诺贝尔奖,是不恰当的。”

“谁应该先获奖,这个问题很难问答。照我个人看,我认为薛定谔的成就更大些,因为我感到,他创造的概念比海森伯的意义更深远。[在这里,爱因斯坦加了一个注脚:不过,这只是我个人的观点,它可能是错的。]另一方面,海森伯发表的第一篇重要论文在薛定谔之前。如果一定要我决定,我会先给薛定谔授奖。” 516

关于薛定谔和海森伯的科学短长,爱因斯坦的判断确实是错误的,于斯德哥尔摩的评议,大概没有什么帮助。1931年没有授

---

<sup>①</sup> 见25a。

物理学奖。

**9. 1932年1月** 爱因斯坦写信支持和平奖授予英国人 H. R. 布朗。<sup>①</sup>（几乎与此同时，25名英国国会议员也提出同样的建议。）关于这位国际反战者协会荣誉秘书长的布朗，爱因斯坦写道：“在我看来，朗哈姆·布朗先生在为和平主义事业的奋斗中，是最活跃、最有功绩的战士，他以极大的勇气不屈不挠地为这一重要的事业而奋斗着……”

**10. 1932年9月29日** “今年，我还是提名柏林的 E. 薛定谔教授。我的看法是，我们对量子现象的理解，大多是由于他与德布罗意相联系的工作而得以推进的。”他也还在说薛定谔和海森伯之间的差别。

诺贝尔物理学委员会决定取消1931年奖，还把1932年奖推迟到1933年，他们把1932年奖授予了海森伯，而把1933年奖授予了薛定谔和狄拉克。

**11. 1935年10月27日** 以前，爱因斯坦曾两度支持别人的和平奖提议，这回，他自己提出了建议：“按规定，我无权为诺贝尔和平奖提出候选者”，但是，他又说，他的良心驱使他无论如何应该写点什么。然后，他提名奥西厄茨基(Carl von Ossietzky)，“这个人，凭他的行为和遭遇，比活在世上的任何一个人更值得获奖。”爱因斯坦继续说，这次颁奖，将是“一次历史性的行为，它将适用于高度完美地解决和平问题。”<sup>②</sup>

奥西厄茨基是柏林一家和平主义者的政治周刊《世界论坛》

---

① 关于这一行动的社会背景，请参阅[N2]。

② 爱因斯坦和其他人的这个提议，引出了一些棘手的问题，关于它们的详细说明，请参阅[N3]。奥西厄茨基的详细传记，请参阅[G1]。

(*Die Weltbühne*)的主编。1929年3月12日,周刊载文揭露德国民用航空业的许多研究和开发都秘密地有直接的军事目的。文章作者和奥西厄茨基都被指控有叛国罪,并被判刑18个月。奥西厄茨基在1932年12月被释放。1933年2月,纳粹上台不久,他又被送到集中营。从1934年起,提名他获和平奖的努力,逐渐发展成为一个国际运动。1936年1月,捷克斯洛伐克、英国、法国、荷兰、挪威、瑞典和瑞士的500多名国会议员在为他的诺贝尔和平奖提名的请愿书上签名。1936年5月,他因严重结核病才从集中营中出来,被送进监狱医院。1936年秋,戈林(Göring)提出:如果他宣布拒绝接受授予他的和平奖,他就能获得自由,奥西厄茨基拒绝了戈林的交易。1936年11月,他被授予1935年度和平奖。1937年1月,希特勒颁布法令:从今往后,不允许任何德国人领取任何类别的诺贝尔奖。不过,诺贝尔委员会还是将1938年的化学奖和1939年的医学奖授予了德国人,两个奖都被谢绝了。奥西厄茨基一直住在监狱医院,1938年5月死于结核病。

**12. 1940年1月17日** 爱因斯坦写信给德哈斯·洛伦兹夫人(Mrs de Haas-Lorentz):“我和当地的同事一起,已提名奥托·斯特恩和[I. I.]拉比,因为他们发明了测量分子磁矩的新方法。”

在1944年,1943年度奖授予了斯特恩,当年度奖授予了拉比。

**13. 1945年1月** 爱因斯坦发出如下电报:“提名沃尔夫冈·泡利获物理学奖。他因所谓泡利原理或不相容原理对现代量子理论的贡献,已成为独立于现代量子物理学其他基本公理的基础部分。阿尔伯特·爱因斯坦。”

1945年,泡利“由于发现不相容原理,也叫泡利原理”而获物

理学奖。

14. 1947年11月18日 爱因斯坦写信给达得尔(Guy von Dardel):“我发现,拉乌尔·瓦伦伯格(Raoul Wallenberg)获诺贝尔[和平]奖将是相当合理的。你可以对任何人讲我的想法,我会很高兴的。”<sup>①</sup>1947年12月10日,瑞典国会三名议员正式向挪威议会提名瓦伦伯格。

瓦伦伯格1912年生于斯德哥尔摩,1944年被任命为瑞典驻布佩达斯大使馆三等秘书,任务是组织一个消除纳粹恐怖的大规模行动。他和他的成员们设法将20000人置于瑞典公使馆的直接保护下。他的名字很快传开了。纳粹分子的几次诱捕和暗杀都失败了。1945年初,瓦伦伯格落入苏联军队手中,那时苏军正占领布达佩斯。他失踪了。可以肯定的是,1946—1947年之际,他还在莫斯科的鲁比安卡(Lubianka)监狱牢房。有些人认为他现在还活着。1947年,爱因斯坦写信给斯大林(Joseph Stalin):“作为一个老犹太人,我请求您寻找并且把拉乌尔·瓦伦伯格送回他的祖国……[他]冒着生命危险,营救了我成千上万的不幸的犹太同胞”<sup>518</sup> [E3]。斯大林的一个下属说,在回信中,斯大林授权他转告爱因斯坦,没能找到瓦伦伯格[T1]。

15. 1951年3月5日 爱因斯坦给纽约社会研究新学院名誉院长约翰逊博士(Dr. Alvin Johnson)写了一封信,看来,这是对约翰逊先写来的一封关于布洛赫获诺贝尔文学奖可能性的信的回复。爱因斯坦写道,他对现代文学没什么见识,不过,从他已经读

---

<sup>①</sup> 从瓦伦伯格的异父兄弟、我的朋友达得尔那里和弗里德(G. B. Freed)谈瓦伦伯格的文章中,我了解到这件事情的许多情况,弗里德的文章我也引用了不少[F1]。



过的一部分布洛赫的作品来看，“我相信[提名布洛赫]可能是非常合理的。”

（布洛赫 1886 年生于维也纳，1938 年移居美国，不久，就和爱因斯坦成为朋友。爱因斯坦读过他的主要著作《维吉尔之死》，也很推崇他[B1]。1951 年，布洛赫在纽黑文去世。）

**16. 1951 年某时** 爱因斯坦提议弗尔斯特(Friedrich Wilhelm Förster)获和平奖：“要找出哪个人为保卫和平而进行的努力已经确实获得了成功，那是很困难的。”然而，他又补充说，弗尔斯特属于那种坚定地献身于这项事业的伟大人物，特别是他在德国、后来在瑞士、最后在美国，通过他的著作，揭露了“普鲁士—德意志军国主义”的危险。

弗尔斯特是一位重要的教育家，他一生都在反对并在大量著作中抨击德意志军国主义，因而激起了从第二帝国到第三帝国的统治集团的仇视。1895 年，他被控诽谤皇帝而监禁 3 个月。1926 年，他发表德国秘密重新武装的活动内幕，又被说成是卖国贼。1940 年他来到美国，成为美国公民。1966 年，他在苏黎世附近的一所疗养院里去世。关于弗尔斯特的详细情况，请看[F2]和[N4]。

**17. 1954 年 1 月 12 日** 爱因斯坦写信支持冯·劳厄提出的授予波特物理学奖的建议。在信中，爱因斯坦把波特—盖革实验作为波特的主要贡献。

1954 年，波特和玻恩分享了当年的物理学奖。

**18. 1954 年 3 月 3 日** 通过电报，爱因斯坦提出了他一生中的最后一次建议：“我荣幸地向你们推荐一个叫青年阿利亚的国际组织，请考虑把即将颁发的诺贝尔和平奖授予他们，72 个国家的儿童通过这个组织得到了保护并在以色列重新安居下来。

1954年的和平奖授予了联合国负责难民事务的高级专员办事处。

最近我才注意到,1925年12月19日,爱因斯坦还向斯德哥尔摩写信提名康普顿为诺贝尔物理学奖候选人。

### 参考文献

- B1. H. Broch, *The Death of Virgil*. Grosset and Dunlop, New York, 1965.
- E1. A. Einstein and S. Freud. *Why War?* First published in German in 1933; English translation by Institute of Intellectual Cooperation, League of Nations, Paris, 1933.
- 519 E2. —, letter to A. Bachrach, July 25, 1949.
- E3. —, letter to J. Stalin, November 17, 1947.
- F1. G. B. Freed, *Papers of the Michigan Ac. Sci. Arts and Letter* **46**, 503 (1961).
- F2. F. W. Ferster, *Erlebte Weltgeschichte*. Glock und Lutz, Nurnberg, 1953.
- G1. K. R. Rrossmann, *Ossietszky*. Kindler Verlag, Munich, 1963.
- J1. E. Jones, *The Life and Work of Sigmund Freud*, Vol. 3. Basic Books, New York, 1957.
- N1. O. Nathan and H. Norden, *Einstein on Peace*, p. 41. Simon and Schuster, New York, 1960.
- N2. — and —, [N1], p. 162.
- N3. — and —, [N1], p. 266.
- N4. *New York Times*, January 22, 1966.
- P1. M. Planck, *AdP* **4**, 553(1901). Reprinted in M. Planck, *Physikalische Abhandlungen und Vorträge (PAV)*(M. von Laue, Ed.) Vol. I. p. 717. Vieweg, Braun schweig, 1958.
- P2. —, *AdP* **4**, 564(1901); *PAV*, Vol. I, p. 728.
- T1. S. K. Tsarapkin, letter to a. Einstein, December 18, 1947.

## 第 32 章 爱因斯坦年表

520

- 1876 年 8 月 8 日, 赫尔曼·爱因斯坦(1847 年生)与保莉妮·科赫(生于 1852 年)在坎城(Cannstatt)结婚。
- 1879 年 3 月 14 日, 上午 11:30, 阿尔伯特·爱因斯坦在乌尔姆市火车站大街 135 号诞生。
- 1880 年 6 月 21 日, 爱因斯坦全家搬到慕尼黑, 登记注册。
- 1881 年 11 月 18 日, 爱因斯坦的妹妹玛雅诞生。
- ~1884 年<sup>①</sup> 经历第一次惊奇: 爱因斯坦被罗盘迷住。接受家庭教师的启蒙教育。
- ~1885 年 爱因斯坦开始学小提琴(直到 13 岁)。
- ~1886 年 爱因斯坦进慕尼黑的公立学校。照宗教教育的法令, 在家学犹太教常识。
- 1888 年 爱因斯坦进卢伊特波耳德文法中学。<sup>②</sup> 此时学校仍继续宗教教育, 弗里德曼一直教他到准备受戒以前。
- 1889 年 第一次见塔耳梅德(后改名塔耳梅), 他那时是 21 岁的医科大学生。他引导爱因斯坦读伯恩斯坦的《物理科学普及读物》(*Popular Books on Physical Science*), 毕希纳(Friedrich Büchner)的《力与物质》(*Force and Mat-*

---

① 符号“~”表示时间准确到一年内。

② 这所位于慕勒大街(Müllerstrasse)33 号的学校毁于第二次世界大战期间。

ter), 康德的《纯粹理性批判》(*Kritik der reinen Vernunft*), 以及其他一些著作。1894 年以前, 塔耳木德一直是爱因斯坦家的常客。在这期间, 他和爱因斯坦讨论过科学和哲学问题。

~1890 年 爱因斯坦的宗教狂热阶段, 持续了大约一年。

~1891 年 经历第二次惊奇: 爱因斯坦读了一本“神圣的几何书”

1891—1895 年 爱因斯坦通过自学熟悉了包括微积分在内的高等数学基础。

521 1892 年 爱因斯坦没有成为犹太受戒少年。

1894 年 全家移居意大利, 先到米兰, 然后去帕维亚, 最后又回米兰。爱因斯坦留在慕尼黑上学。

1894 或 1895 年<sup>①</sup> 爱因斯坦寄给他在比利时的舅舅科赫一篇题为《对磁场中以太状态的考察》的论文。

1895 年 春, 爱因斯坦没毕业就离开卢伊波耳德中学, 来到帕维亚的家。

秋, 爱因斯坦没考上 ETH,<sup>②</sup> 尽管他的数学和物理学考得很好。

10 月 28 日—1896 年早秋, 爱因斯坦进入阿劳州立中学的职业学校部 (*Gewerbeabteilung*)<sup>③</sup>, 住在老师温特勒“爸爸”家中。在这段时间里, 他用法文写了篇《我未来

---

① 这是爱因斯坦在 1950 年说的时间。

② ETH=Eidgenössische Technische Hochschule, 即苏黎世联邦工学院。

③ 这所州立中学由“文法中学 (*Gymnasium*)”和“职业学校 (*Gewerbeschule*)”两部分组成, 后者也是某种形式的补习班。此处据《爱因斯坦全集》第一卷 (*The Collected Papers of Albert Einstein, Vol. 1*), Princeton University Press, 1987, p. 11。——译者

的计划》。

1896年 1月28日,爱因斯坦花3马克,拿到证明他不再是德国(更精确地说是符腾堡公国)公民的文件。接下来的5年里,他没有国籍。

秋,爱因斯坦获阿劳的中学毕业文凭<sup>①</sup>从而有资格进入ETH。10月29日,来到苏黎世。同学有:格罗斯曼和米列娃·玛利奇(或玛利蒂)。为能当中学教师,他开始为文凭读书。

~1897年 爱因斯坦在苏黎世遇见贝索,也开始了他们的终生友谊。

1899年 10月19日,爱因斯坦正式申请瑞士国籍。

1900年 7月27日考试委员会要求,应试者(其中有格罗斯曼和爱因斯坦)参加文凭考试,7月28日获得毕业文凭。爱因斯坦的成绩是:理论物理学、实验物理学和天文学,5分;函数论,5.5分;毕业论文,4.5分(满分为6分)。秋,爱因斯坦为获得ETH助教职位的努力都失败了。12月13日,爱因斯坦从苏黎世向《物理学纪事》投出他的第一篇论文。

1901年 2月21日,爱因斯坦成为瑞士公民。3月13日,他因双脚平板和静脉曲张而被宣布为不适于服瑞士兵役。3月至4月,为找工作,爱因斯坦分别向莱比锡的奥斯特瓦尔德和莱顿的昂内斯提出申请,都没成功。

---

<sup>①</sup> 他最后的成绩是:历史、代数、几何、画法几何、物理学,6分;德语、意大利语、化学、自然史,5分;地理学、绘画(艺术)、绘画(技术),4分。满分为6分。

5月17日,爱因斯坦决定离开苏黎世。

5月19日至7月15日,爱因斯坦在温特图尔中等技术学校临时代数学课,一直在那里住到10月14日。

10月20日至1902年1月,临时在夏夫豪森当教师。

12月18日,爱因斯坦向伯尔尼专利局申请职位。

1902年 2月21日,爱因斯坦来到伯尔尼。最初,他的生活来源是家里寄的一点钱和当数学、物理学家庭教师的报酬。

6月16日,瑞士联邦议会任命爱因斯坦为伯尔尼专利局临时三级技术专家,年薪3500瑞士法郎。爱因斯坦从6月23日开始工作。

10月10日,爱因斯坦的父亲在米兰去世。

1903年 1月6日,爱因斯坦与米列娃·玛利奇结婚。哈比希特、索洛文和爱因斯坦建立“奥林匹亚科学院”。

12月5日,向伯尔尼自然研究者协会提交“电磁波理论”的论文。

1904年 5月14日,爱因斯坦的长子汉斯·阿尔伯特诞生(1973年死于加利福尼亚伯克利)。

9月16日,在专利局的试用职位转为正式职位。

1905年 3月17日,爱因斯坦完成光量子假说的论文。

4月30日,爱因斯坦完成博士论文:《论分子大小的新测定法》。他将这篇在伯尔尼印刷的论文提交苏黎世大学,7月被接受。论文献给“meinem Freunde Herrn Dr M. Grossmann”(我的朋友 M. 格罗斯曼博士先生)。

- 5月11日,关于布朗运动的论文被收到。<sup>①</sup>
- 7月30日,第一篇关于狭义相对论的论文被收到。
- 9月27日,第二篇关于狭义相对论的论文被收到。文中提出关系式  $E=mc^2$ 。
- 12月19日,第二篇关于布朗运动的论文被收到。
- 1906年 4月1日,爱因斯坦升为二级技术专家,薪水升到4500瑞士法郎/年。
- 11月,爱因斯坦完成关于固体比热的论文,这也是第一篇固体量子理论的论文。
- 1907年 “我一生中最快乐的思想”:爱因斯坦发现匀加速力学系统的等效原理。他把这个原理推广到电磁现象,得出红移的正确解释,并且指出这个推广还导致另一个结果:光线通过大质量物体时将发生弯曲,但这个效应太小了,不可能检测到。
- 6月17日,爱因斯坦申请伯尔尼大学无薪讲师职位,被拒绝了,因为没提交必须的资格论文。
- 1908年 2月28日,第二次申请通过,爱因斯坦获伯尔尼大学无薪讲师职位。他那篇未发表的资格论文题为《根据黑体能量分布定律导出的辐射构成的一些结果》。
- 年初,劳博成为爱因斯坦的第一个科学伙伴,他们合作发表了两篇论文。
- 12月21日,玛雅以优异成绩(magna cum laude)从伯尔尼大学毕业,获罗曼斯语(Romance languages)博士学

---

<sup>①</sup> 被《物理学纪事》收到,下同。

位。

1909年 3月和10月,爱因斯坦完成两篇论文,每一篇都有关于黑体辐射理论的猜想。照现代的说法,这两个猜想就是互补原理和对应原理。10月论文是为萨尔茨堡的一个会议写的,那是爱因斯坦参加的第一个物理学会议。

7月6日,爱因斯坦向专利局提出辞呈(10月15日获准);还辞去了无薪讲师的职位。

7月8日,在日内瓦大学获第一个荣誉博士学位。<sup>①</sup>

10月15日,爱因斯坦为苏黎世大学副教授,起始年薪为4500瑞士法郎。

1910年 3月,玛雅与温特勒的儿子保耳结婚。

7月28日,爱因斯坦的次子爱德华出生。“特德”或“特德儿”于1965年死于布格霍尔茨里的精神病医院。

10月,爱因斯坦完成了他在经典统计物理学方面的最后一项主要工作:一篇论临界乳光的论文。

1911年 弗朗茨·约瑟夫皇帝签署命令,从4月1日起,任命爱因斯坦为布拉格的卡尔-菲迪南大学正教授。

3月,爱因斯坦移居布拉格。

7月,爱因斯坦认识到,光线弯曲可以在发生日全食时从实验上检测到。他预言光线经过太阳时的偏折为 $0''.83$ (这是正确答案的一半)。

---

<sup>①</sup> 后来,爱因斯坦还得到下列大学的荣誉学位:苏黎世、罗斯托克(Rostock)、马德里、布鲁塞尔、布宜诺斯艾利斯、索邦、伦敦、牛津、剑桥、格拉斯哥、利兹(Leeds)、曼彻斯特、哈佛、普林斯顿、纽约州立大学奥尔巴尼(Albany)分校以及犹太法典学院(Yeshiva)。这个名单很可能还不完整。



10月30日—11月3日。第一次索尔未会议召开,爱因斯坦作最后发言:《比热问题的现状》。

1912年 2月初,爱因斯坦被任命为ETH教授。

8月,爱因斯坦回苏黎世。

1912—1913年 爱因斯坦与格罗斯曼(当时为ETH数学教授)合作研究广义相对论的基础。引力第一次由度规张量来描述。他们相信,他们已表明了引力场方程不可能是广义协变的。

1913年 春,普朗克和能斯特在苏黎世访问爱因斯坦,劝他去柏林,为他提供下列职位:普鲁士科学院下属的一个研究职务、柏林大学教授(可以不讲课),以及(筹建中的)威廉皇家物理研究所所长。

6月12日,普朗克、能斯特、鲁本斯和瓦尔堡正式提议爱 524  
因斯坦为柏林普鲁士科学院院士。

7月3日,提议以21:1投票通过(并在11月12日被威廉二世批准)。

12月7日,爱因斯坦接受柏林的职务。

1914年 4月6日,爱因斯坦携妻小移居柏林。不久,爱因斯坦夫妇分居,米列娃与儿子回苏黎世,爱因斯坦搬到维特尔斯巴赫街13号的单身公寓。

4月26日,爱因斯坦的第一篇报刊文章在柏林《福斯报》上发表。文章讨论了相对论。

7月2日,爱因斯坦在普鲁士科学院发表就职演说。

8月1日、第一次世界大战爆发。

1915年 初,爱因斯坦担当柏林帝国物理技术研究所访问学者,

与德哈斯进行了旋磁性实验。

爱因斯坦在《致欧洲人宣言》上签字。宣言号召所有热爱欧洲文化的人组成一个欧洲人联盟。这可能是爱因斯坦签署的第一个政治文件。

6月底到7月初,在哥廷根作了6次关于广义相对论的演讲,“让我高兴的是,我完全成功地令希尔伯特和[F.]克莱因信服了。”

11月4日,爱因斯坦回到广义相对论的广义协变性问题上,然而,他的协变性只限于么模变换。

11月11日,爱因斯坦用一个更严格的条件 $(-\det g_{\mu\nu})^{1/2} = 1$ 来代替么模的限制。

11月18日,爱因斯坦得到第一个后牛顿结果(post-Newtonian results):水星近日点进动值为每世纪 $43''$ 。他还发现光线弯曲是他1911年所想的两倍。

11月20日,希尔伯特向哥廷根科学协会提交一篇文章,其中包括了引力场方程的最终形式(同时伴随着一个多余的关于能量-动量张量结构的假定)。

11月25日,广义相对论的逻辑结构完成。爱因斯坦发现他能够而且应该取消他11月4日和11月11日引入的限制条件。

1916年 3月20日,第一次系统总结广义相对论的文章《广义相对论的基础》,被《物理学纪事》接受。后来出版单行本,成为爱因斯坦的第一本书。

5月5日,爱因斯坦继普朗克之后任德国物理学会主席。

6月,爱因斯坦完成第一篇引力波的论文。他发现(照现

代说法),引力只有两个极化状态。

7月,爱因斯坦回到量子理论。在后来的8个月里,他发表了3篇相互交叉的关于这个课题的论文:包括自发和感生辐射的吸收系数,普朗克定律的新推导,以及爱因斯坦第一次在文章中对光量子的描述:一个能量为 $h\nu$ 的光量子携带着大小 $h\nu/c$ 的动量。另外,他第一次对量子物理学中的“或然性”感到不安。

525

12月,爱因斯坦完成《狭义和广义相对论浅说》,这是他流传最广的一本书,后来被译成多种文字。

12月,威廉皇帝任命爱因斯坦为帝国物理技术研究所董事会成员。爱因斯坦从1917年到1933年,一直担任这个职务。

1917年 2月,爱因斯坦写第一篇关于宇宙学的论文,引入宇宙学项。

爱因斯坦不断受到肝病、胃疼、黄疸病的折磨,身体很虚弱。表姐爱尔莎一直照顾他,直到1920年,他还没有完全恢复。

10月1日,威廉皇家研究所开始在爱因斯坦领导下进行(实验和理论研究)工作。

1918年 2月,爱因斯坦发表第二篇关于引力波的论文,提出引力辐射的四极公式。

11月,爱因斯坦谢绝苏黎世大学和ETH的联合邀请。

1919年 1月至6月,爱因斯坦大部分时间在苏黎世,在大学里举办系列研讨班。

2月14日,爱因斯坦和米列娃离婚。

755

5月29日,日全食为测量光线弯曲提供机会。测量是由爱丁顿在普林西比岛和克罗梅林在巴西北部完成。

6月2日,爱因斯坦与寡居的表姐爱尔莎·爱因斯坦·勒温塔尔<sup>①</sup>(生于1874年)结婚。她的两个女儿,伊尔莎(生于1897年)和玛戈特(生于1899年)也通过法律手续改姓爱因斯坦,全家迁往哈伯兰街5号的一幢公寓。

9月22日,爱因斯坦收到洛伦兹的电报。电报告诉他,对5月日食数据的初步分析表明,光线弯曲量在“牛顿值”(0".86)和“爱因斯坦值”(1".73)之间。

11月6日,皇家学会和皇家天文学会在伦敦联合举行会议,宣布5月的日食观测证实了爱因斯坦的预言。

11月7日,伦敦《泰晤士报》头版新闻标题为《科学中的革命/宇宙的新理论/牛顿思想被推翻》。

11月10日,《纽约时报》的头版新闻标题:《光线在天空中弯曲/爱因斯坦理论成功》。报刊的这类宣传,标志着在大众心目中,开始认为爱因斯坦是一个世界性人物。

12月,爱因斯坦接受他惟一的德国荣誉学位:罗斯托克大学医学荣誉博士学位。

与布卢门费尔德讨论犹太复国主义。

526 1920年 2月12日,爱因斯坦在柏林大学发表演讲时出现骚乱。他在报纸上声明,尽管骚乱可能是一种反犹活动,但还没听到反犹言论。

---

<sup>①</sup> 爱尔莎的父亲鲁道夫·爱因斯坦是爱因斯坦的父亲赫尔曼的堂兄;她的母亲芬妮·科赫,是爱因斯坦母亲保莉妮的姐姐。所以,不论从父亲一方还是母亲一方说,爱尔莎都是阿尔伯特的cousin(堂姐或表姐)。

3月,爱因斯坦的母亲在他家中去世。

6月,爱因斯坦在挪威和丹麦演讲。

爱因斯坦与玻尔第一次在柏林相会。

8月24日,柏林举行反广义相对论群众集会,爱因斯坦也参加了。

8月27日,爱因斯坦在《柏林日报》上撰文反击。德国报纸报道,爱因斯坦计划离开德国。冯·劳厄、能斯特、鲁本斯和文化部长赫尼希(Konrad Haenisch)等人表示,他们团结在爱因斯坦一边,支持他在报界的声明。

9月8日,在一封给赫尼希的信中,爱因斯坦表示,柏林是他感到他同人类和科学联系最密切的地方;他还说,只有当外在环境迫使他出国时,他才会响应国外的邀请。

9月23日,与勒纳德在瑙海姆温泉会议上发生冲突。

10月27日,爱因斯坦以特别访问教授身份在莱顿发表就职演说。他因为这个职位,每年要来莱顿讲学几星期。<sup>①</sup>

从这一年起,爱因斯坦开始发表非科学的文章。

12月31日,爱因斯坦被选为名贤(Ordre pour le Mérite)。

1921年 4月2日—5月30日,陪魏茨曼第一次访问美国,目的是为耶路撒冷的希伯来大学募捐。在哥伦比亚大学,爱

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦后来又在1921年11月、1922年5月、1923年5月、1924年10月、1925年2月和1930年4月多次访问莱顿。他的访问教授职位于1952年9月23日正式结束。

因斯坦接受伯纳德奖章。他在白宫受到哈定总统接见。访问芝加哥、波士顿和普林斯顿。作了4次关于相对论的演讲。

归途中,爱因斯坦在伦敦停留,瞻仰了牛顿墓。

1922年 1月,爱因斯坦完成第一篇统一场论的论文。

3月至4月,爱因斯坦的巴黎之行有助于促使法德关系正常化。

爱因斯坦应邀成为国际联盟学术合作委员会(CIC)的成员。4年后德国才加入这个联盟。

6月24日,爱因斯坦的朋友、德国外交部长拉特瑙被暗杀。

10月8日,爱因斯坦与爱尔莎在马赛乘“北野丸(*Kitano Maru*)”轮船前往日本。一路上,他访问了科伦坡、新加坡、香港和上海。

11月9日,爱因斯坦在去日本的途中,听到1921年度诺贝尔物理学奖授予他的消息。

11月17日至12月29日,爱因斯坦访问日本。

12月10日,在诺贝尔奖颁奖仪式上,德国大使纳多尔尼<sup>①</sup>代表爱因斯坦领奖。颁奖词说:“此奖授予阿尔伯特·爱因斯坦,因为他对理论物理学的贡献,特别是因为他的光电效应定律的发现。”

1923年 2月2日,在从日本回国途中,爱因斯坦到巴勒斯坦访问了12天。2月8日,他成为特拉维夫的第一个荣誉市

---

<sup>①</sup> 爱因斯坦从日本归来后,瑞典大使将获奖证书送到他在柏林的家中。

民。在从巴勒斯坦回德国的途中,他访问了西班牙。

3月,爱因斯坦向CIC提交辞呈。因为尽管国联有良好的愿望,但它的能力令他很失望。

6月至7月,爱因斯坦帮助成立新俄罗斯之友协会,成为执行委员会委员。<sup>①</sup>

7月,爱因斯坦在瑞典哥德堡为答谢诺贝尔奖作关于相对论的演讲。<sup>②</sup>

康普顿效应的发现消除了长期存在的对光子概念的阻力。

12月,爱因斯坦第一次在科学论文中提出猜想:量子效应可以从超约束的广义相对论场方程中产生出来。

1924年 为表示团结,爱因斯坦加入了柏林的犹太人组织,成为缴纳会费的成员。

爱因斯坦编辑第一本希伯来大学物理系科学论文集。

坐落在波茨坦的“爱因斯坦塔楼”办公室的“爱因斯坦研究所”开始活动,其主要仪器是“爱因斯坦望远镜”。

伊尔莎与鲁道夫·凯泽尔结婚。

6月,爱因斯坦经再三考虑,重新加入CIC。

6月7日,爱因斯坦声明,他不反对德国文化部的意见:他到普鲁士科学院任职就意味着他已经获得了普鲁士国籍。(他仍保留瑞士国籍。)

---

① 爱因斯坦从未访问过苏联。该协会于1933年解散。

② 1923年7月11日,爱因斯坦在瑞典哥德堡北欧自然科学家会议上作了《相对论的基本思想和问题》的报告,这个演讲不是提交授奖大会的,不过也收在诺贝尔基金会编的《诺贝尔获奖者演讲集》(物理卷)(*Nobel Lectures, Physics, Vol. I, Elsevier 1967*)中,作为爱因斯坦的获奖演说。——译者

12月,爱因斯坦最后的主要发现:从统计涨落分析出发,他独立论述了波与物质的关系。玻色-爱因斯坦凝聚也是他在这时发现的。

1925年 5月至6月,到南美洲旅行,访问布宜诺斯艾利斯、里约热内卢和蒙得维的亚。

爱因斯坦(与甘地以及其他人士)签署反对义务兵役的宣言。

爱因斯坦接受科普莱(Copley)奖章。

爱因斯坦任希伯来大学董事会成员(直到1928年6月)。

1926年 爱因斯坦接受皇家天文学会金质奖章。

1927年 5月7日,汉斯·阿尔伯特与弗里达·克内希特(Frida Knecht)在多特蒙德结婚。

10月,第五届索尔未会议。爱因斯坦与玻尔关于量子力学基础的对话开始。

528 1928年 2月或3月,爱因斯坦因过度疲劳而病倒了。诊断结果是心脏肿大。他不得不卧床一个月,不能吃多盐的食物。后来,病好了,但几乎在一年里,身体仍很虚弱。

4月13日,星期五,海伦·杜卡斯开始做爱因斯坦的秘书。

1929年 第一次拜访比利时王室,与伊丽莎白女王建立友谊,在去世前一直与她保持着通信。

6月28日,普朗克第一次、爱因斯坦第二次获普朗克奖章。接受奖章时,爱因斯坦说,获得这么崇高的荣誉,他感到“惭愧”,因为他对量子物理学的所有贡献都是在



“与主要问题的毫无结果的奋斗”过程中产生出的“偶然觉悟”。

1930年 汉斯和弗里达夫妇的儿子,即爱因斯坦的长孙<sup>①</sup>伯恩哈德·凯撒(“哈迪”)出生。

5月,在国际妇女和平与自由联盟关于世界裁军的宣言上签字。

11月29日,玛戈特与马里亚诺夫结婚(后来又离婚)。

12月11日至1931年3月4日,爱因斯坦第二次来美国,主要活动在加州工学院。

11月13日,沃尔克市长(Mayor Jimmy Walker)把象征纽约市的钥匙交给爱因斯坦。

12月19日至20日,爱因斯坦访问古巴。

1931年 4月,爱因斯坦抛弃了未经证明的多余的宇宙学项。

12月30日至1932年3月4日,爱因斯坦第三次来美国,也主要在加州工学院活动。

1932年 2月,爱因斯坦在帕萨迪纳为德国和平主义者奥西厄茨基被控叛国罪提出抗议。

4月,爱因斯坦辞去CIC的职务,再也没有加入。

10月,爱因斯坦受聘为新泽西州的普林斯顿高等研究院教授。他原打算每年各在普林斯顿和柏林住半年。

12月10日,爱因斯坦和妻子离开德国来美国,原计划也是来访问,然而,他们再也没有回德国。

---

<sup>①</sup> 第二个孙子在6岁时夭折。附带说一句,爱因斯坦还有一个叫伊夫琳(Evelyn)的孙女。

1933年 1月30日,纳粹上台。

3月20日,爱因斯坦在外访问时,纳粹搜查了他在卡普特的避暑别墅,据说是寻找共产党藏在那里的武器。

3月28日,在回欧洲途中,爱因斯坦向普鲁士科学院提交辞呈。他和妻子暂时住在比利时勒科克海滨的法式别墅,两名比利时警卫奉命保护他们。伊尔莎、玛戈特、海伦·杜卡斯和助手迈尔也来了。在后来的几个月里,爱因斯坦到英国做了短暂旅行,又去了瑞士,最后一次与儿子爱德华见面。凯泽尔设法把爱因斯坦在柏林的论文保存下来,以法国外交邮包形式将它们寄到凯道赛(法国外交部)。

529

4月21日,爱因斯坦向巴伐利亚科学院辞职。

爱因斯坦和弗洛伊德的往来书信以名为《为什么战争?》的小册子出版。

6月10日,爱因斯坦在牛津做斯宾塞演讲。

9月9日,爱因斯坦去英国,永远离开了欧洲大陆。

10月17日,爱因斯坦、他的妻子、海伦·杜卡斯、迈尔持旅行签证来到美国,同一天前往普林斯顿。几天后,爱因斯坦夫妇、海伦·杜卡斯迁到图书馆广场2号。

伊尔莎和玛戈特留在欧洲。

1934年 伊尔莎在巴黎去世。不久后,玛戈特和丈夫来普林斯顿与父母团聚。

1935年 5月,爱因斯坦到百慕大旅行,在那里正式提出定居美国申请。这是他最后一次离开美国。

秋,全家和海伦·杜卡斯搬到梅瑟街112号。

- 爱因斯坦获得富兰克林奖章。
- 1936年 9月27日,格罗斯曼去世。  
12月20日,爱尔莎去世。  
汉斯在ETH获技术科学博士学位。
- 1939年 玛雅来到梅瑟街与其兄团聚,在这里度过余生。  
8月2日,爱因斯坦签署致罗斯福总统的信,提醒总统注意原子能的军事用途。
- 1940年 10月1日,在特伦顿,福尔曼法官宣布玛戈特、海伦·杜卡斯和爱因斯坦为美国公民。爱因斯坦同时保留瑞士国籍。
- 1943年 5月31日,爱因斯坦与美国海军军械局研究与发展部签订了一份顾问协议(协议延至1946年6月30日)。顾问津贴为每天25美元。
- 1944年 爱因斯坦1905年狭义相对论论文手稿复本以600万美元在堪萨斯城拍卖,作为对美国反法西斯战争的支持(手稿现存美国国会图书馆)。
- 1945年 12月10日,爱因斯坦在纽约发表演讲:《战争赢了,但和平却没有》。
- 1946年 玛雅中风瘫痪。  
爱因斯坦同意担任原子科学家非常委员会主席。  
10月,爱因斯坦致联合国大会公开信,号召建立世界政府。
- 1947年 汉斯任加州大学伯克利分校的工程学教授。
- 1948年 8月4日,米列娃在苏黎世去世。  
12月,爱因斯坦作剖腹手术,发现腹部动脉瘤。

- 530 1949年 1月13日,爱因斯坦离开医院。  
“讣告”发表,这是爱因斯坦写的科学回顾,题为《自述》。
- 1950年 3月18日,爱因斯坦在遗嘱上签名并加封。他指定纳坦博士为惟一遗嘱执行人;纳坦博士和海伦·杜卡斯为财产的共同保护人;希伯来大学为书信和手稿的最终保存者。遗嘱还有一条规定,小提琴遗赠给孙子伯恩哈德·凯撒。
- 1951年 6月,玛雅在普林斯顿去世。
- 1952年 7月,保耳·温特勒在日内瓦的姐夫贝索家去世。  
11月,爱因斯坦被邀请出任以色列总统,他谢绝了。
- 1954年 4月14日,正当奥本海默受美国政府起诉时,爱因斯坦在报上发表支持他的声明。  
爱因斯坦与玻尔(在普林斯顿)最后一次见面。  
爱因斯坦患溶血性贫血症。
- 1955年 3月15日,贝索去世。  
4月11日,爱因斯坦签发最后一封信(给罗素)。在信中,他同意签署一份号召一切国家都放弃核武器的宣言。同一周,爱因斯坦准备最后一篇讲话稿,但没有写完:“政治激情一旦被到处煽动起来,就一定会有人成为受害者”。  
4月13日,主动脉瘤破裂。  
4月15日,爱因斯坦住进普林斯顿医院。  
4月16日,汉斯从伯克利赶到普林斯顿。  
4月17日,爱因斯坦打电话告诉海伦·杜卡斯,他想写点儿东西,让她把最近的计算草稿找来。

4月18日凌晨1时15分,爱因斯坦去世。遗体在当天下午4时火化,骨灰撒在保密的地方。<sup>①</sup>

11月21日,阿尔伯特·爱因斯坦的曾孙、汉斯·阿尔伯特的孙子、伯恩哈德·凯撒的儿子,托马斯·马丁(Thomas Martin)在伯尔尼出生。

---

<sup>①</sup> 纳坦和奥本海默撒的骨灰。

# 人名索引<sup>①</sup>

## A

- Abraham, Max (1875 - 1922) 亚伯拉罕  
155 - 157, 159, 204, 211, 229 - 232,  
234, 235
- Adler, Friedrich (1879 - 1960) 阿德勒 11
- Allen, Woody (1935 - ) 艾伦 18
- Ampere, Andre-Marie (1775 - 1836) 安培 246
- Arago, Dominique Francois Jean (1786 - 1853) 阿拉戈 118, 318
- Arons, Leo (1860 - 1919) 阿龙 318
- Arrhenius, Svante (1859 - 1927) 阿列纽斯 504, 508, 510
- Aurivillius, Christopher (1853 - 1928) 奥里维留斯 503, 510
- Avenarius, Richard (1843 - 1898) 阿芬那留斯 318
- Avogadro, Amedeo (1776 - 1856) 阿伏伽德罗 81

## B

- Bach, Johann Sebastian (1685 - 1750) 巴

赫 16

- Bacher, Robert (1905 - ) 巴切尔 475
- Balmer, Johann Jakob (1825 - 1898) 巴尔末 361
- Balzac, Honoré de (1799 - 1850) 巴尔扎克 16
- Bamberger, Edgar (1883 - 1952) 班伯格 452
- Bargmann, Valentine (1908 - 1989) 巴格曼 147, 152, 275, 334, 335, 347, 451, 463, 466, 467, 496
- Barkla, Charles Glover (1877 - 1944) 巴克拉 506
- Barnett, Samuel Jackson (1873 - 1956) 巴尼特 246, 248, 249
- Bateman, Harry (1882 - 1946) 贝特曼 435
- Becquerel, Jean (1878 - 1953) 贝克勒尔 163
- Beethoven, Ludwig van (1770 - 1827) 贝多芬 16, 38, 183
- Ben Gurion, David (1886 - 1973) 本-古里安 11, 315
- Bergmann, Peter Gabriel (1915 - ) 伯格曼 268, 334 - 336, 341, 347, 496
- Bergson, Henri (1859 - 1941) 柏格森 12, 28, 163, 510

① 译名后的数字表示在原书中出现的页码,即本译本中出现在正文两侧的页码。由于成书较早,当时许多人还在世。遗憾地是,许多人(包括作者派斯本人)已离我们而去。译者据现有资料对有些人的生卒年月做了更新。——译者

- Berlin, Isaiah (1909 - 1997) 伯林 13
- Berliner, Arnold (1862 - 1942) 伯林纳 318
- Bernoulli, Daniel (1700 - 1782) 伯努利 82
- Bernstein, Aaron (1812 - 1884) 伯恩斯坦 520
- Besso, Michele Angelo (1873 - 1955) 贝索 41, 48, 114, 139, 164, 173, 185, 189, 201, 210, 257, 282, 299 - 301, 303, 405, 411, 452, 467, 473, 477, 483, 485, 521, 530
- Bethe, Hans (1906 - ) 贝特 475, 491
- Bianchi, Luigi (1856 - 1928) 比安基 276
- Bloom, Harold (1930 - ) 布卢姆 170
- Blumenfeld, Kurt (1884 - 1963) 布卢门费尔德 315, 476, 525
- Bohr, Niels Henrik David (1885 - 1962) 玻尔 6 - 8, 15, 20, 24, 28, 144, 190, 247, 326, 360 - 363, 384, 385, 414, 416 - 421, 425, 441 - 448, 454 - 456, 462, 505, 506, 508, 510, 511, 526, 530
- Bois, Henri du (1863 - 1918) 杜波伊斯 245, 487
- Boltzmann\*, Ludwig (1844 - 1906) 玻耳兹曼 19, 44, 55, 56, 59 - 68, 72 - 74, 82, 83, 100, 365, 368, 371, 377, 392 - 394, 424, 426, 430, 488
- Bork, Alfred (1926 - ) 玻克 121
- Born\*, Max (1882 - 1970) 玻恩 141, 167, 168, 172, 214 - 216, 232, 302, 306, 316, 397, 405, 412, 420, 421, 442, 443, 460, 461, 464, 467, 515, 518
- Bose\*, Satyendra Nath (1894 - 1974) 玻色 59, 361, 377, 423 - 431, 435, 438, 441
- Bothe, Walther (1891 - 1957) 波特 421, 435, 518
- Boyd, Julian (1903 - 1980) 波伊德 147
- Bragg, William Henry (1862 - 1942) H. 布拉格 505
- Bragg, William Laurence (1890 - 1971) L. 布拉格 505
- Braginsky, Vladimir 布拉金斯基 217, 278, 279
- Brahms, Johannes (1833 - 1897) 勃拉姆斯 16
- Braun, Ferdinand (1850 - 1918) 布劳恩 505
- Brecht, Bertolt (1898 - 1956) 布莱希特 16
- Briand, Aristide (1862 - 1932) 白里安 320
- Brill, Alfred (1885 - 1949) 布里尔 154, 318
- Brillouin, Leon (1889 - 1969) L. 布里渊 435
- Brillouin, Marcel (1854 - 1948) M. 布里渊 505, 510
- Broch, Hermann (1886 - 1951) 布洛赫 16, 513, 518
- Brogie, Louis de (1892 - 1987) L. 德布罗意 20, 357, 361, 421, 435 - 439, 444, 515, 516
- Brogie, Maurice de (1875 - 1960) M. 德布罗意 435
- Brown, Herbert Runham (1879 - 1949), H. R. 布朗 12, 516
- Brown, Robert (1773 - 1858) R. 布朗 86, 93
- Brunschvicg, Leon (1869 - 1944) 布伦斯维格 163
- Brush, Stephen (1935 - ) 布鲁希 121
- Bucherer, Alfred (1863 - 1927) 布赫雷尔 159
- Büchner, Friedrich (1824 - 1899) 毕希纳 520
- Bucky, Gustav (1880 - 1963) 布基 477,

483, 495

Bunsen, Robert (1811 - 1899) 本生 361  
Burkhardt, Heinrich (1861 - 1914) 布尔  
克哈特 89

## C

Canizzaro, Stanislao (1826 - 1910) 康尼  
查罗 80, 81  
Cantoni, Giovanni (1818 - 1897) 坎托尼  
93  
Carbonelle, Ignace (1829 - 1889) 卡尔博  
内勒 93  
Carnot, Sadi (1796 - 1832) 卡诺 60  
Cartan, Elie (1869 - 1951) 嘉当 163,  
224, 340, 344, 345  
Casimir, Hendrik (1909 - 2000) 卡斯米  
尔 449  
Cauchy, Augustin-Louis (1789 - 1857) 柯  
西 119  
Cervantes, Miguel de (1547 - 1616) 塞万  
提斯 47  
Chadwick, James (1891 - 1974) 查德威克  
327, 360  
Chaplin, Charles Spencer (1889 - 1977)  
卓别林 301  
Chern, Shiing-Shen (1911 - ) 陈省身  
336 - 337  
Choquet-Bruhat, Yvonne (1923 - ) 肖  
凯-布吕阿 291  
Christoffel, Elwin Bruno (1829 - 1900)  
克里斯托菲尔 217  
Churchill, Winston (1874 - 1965) 丘吉尔  
320  
Chwolson, Orest Daniilovich (1852 -  
1934) 肖尔森 505, 507  
Clausius, Rudolf Julius Emmanuel  
(1822 - 1888) 克劳修斯 60, 61, 82,  
768

84, 185

Clemence, Gerald Maurice (1908 - 1974)  
克莱门斯 7  
Cohn, Emil (1854 - 1944) 科恩 120, 121,  
164  
Compton, Arthur (1892 - 1962) 康普顿  
413, 414, 421, 435, 514, 518  
Condon, Edward (1902 - 1974) 康顿 475  
Confucius (公元前 551 - 479) 孔子 319  
Copernicus, Nicholas (1473 - 1543) 哥白  
尼 192, 308, 506, 507  
Corelli, Arcangelo (1653 - 1713) 科莱里  
16  
Croce, Benedetto (1866 - 1952) 克罗齐  
319  
Crommelin, Andrew (1865 - 1939) 克罗  
梅林 177, 304, 305  
Curie, Marie (1867 - 1934) 玛丽·居里  
(居里夫人) 12, 16, 85, 86, 186, 209,  
316 - 318, 505  
Curie, Pierre (1859 - 1906) P. 居里 86,  
379

## D

Dalen, Nils Gustaf (1869 - 1937) 达伦  
505  
Dällenbach, Walter (1892 - 1990) 达伦巴  
赫 509  
Dalton, John (1766 - 1844) 道尔顿 79 -  
81, 399  
Darboux, Jean-Gaston (1842 - 1917) 达  
布 505  
Dardel, Guy von 达德尔 517  
Darwin, Charles Robert (1790 - 1882) 达  
尔文 44, 364, 506, 507  
Davisson, Clinton Joseph (1881 - 1958)  
戴维逊 440, 515



Dean, Guy K. 迪恩 477, 478

Debye, Peter (1884 - 1966) 德拜 27, 397, 405, 413, 414, 435, 438, 439, 505, 514

Delsaulx, Joseph (1828 - 1891) 德尔绍克斯 93

Democritus (公元前 5 世纪后期) 德谟克利特 79

Deslandres, Henri (1853 - 1948) 德朗德 尔 308

Dewar, James (1842 - 1923) 迪尤尔 392, 396, 398

Dewitt, Bryce (1923 - ) 德威特 270

Dicke, Robert (1916 - ) 迪克 217, 234

Dickens, Charles (1812 - 1870) 狄更斯 16

Dirac, Paul Adrien Maurice (1902 - 1984) 狄拉克 20, 361, 362, 424, 425, 432, 441, 444, 515, 516

Donder, Theophile de (1872 - 1957) 东代 尔 510

Dostoyevski, Fyodor (1821 - 1881) 陀思 妥耶夫斯基 16

Douglass, David (1932 - ) 道格拉斯 279

Dreyfus, Bertha (1871 - 约 1944) 德雷弗 斯 12

Droste, Johannes (1886 - 1963) 德罗斯特 291

Drude, Paul (1863 - 1906) 德努德 121

Duane, William (1872 - 1935) 杜安 382, 386

Dukas, Helena (1896 - 1982) 海伦·杜卡 斯 11, 35, 47 - 49, 114, 115, 147, 171, 182, 187, 240, 317, 350, 417, 450, 453, 454, 467, 473, 476, 479, 487, 492, 496, 503, 528 - 530

Dulong, Pierre Louis (1785 - 1838) 杜隆 390 - 392

Dyson, Frank Watson (1868 - 1939) 戴森 177, 304, 305

## E

Eban, Abba (1915 - ) 爱班 11, 476

Eddington, Arthur Stanley (1882 - 1944) 爱丁顿 177, 273, 276, 281, 288, 304 - 306, 316, 329, 336, 339, 342 - 344, 346 - 348, 509

Edison, Thomas Alva (1847 - 1931) 爱迪 生 16, 318

Ehlers, Jörgen (1929 - ) 埃勒斯 280, 281, 290, 291

Ehrenfest, Paul (1880 - 1933) 埃伦费斯 特 16, 55, 64, 66 - 68, 88, 151, 154, 159, 193, 210, 213 - 215, 223, 240, 241, 245, 249, 252, 261, 271, 272, 280, 281, 285, 299 - 302, 314, 318, 320, 328, 333, 334, 346, 398, 404, 405, 414, 417, 418, 420, 424, 425, 426, 430, 441, 443, 449, 451, 483, 488, 494, 508

Ehrenfest-Affanasjewa, Tatiana Ale xeyevna 埃伦费斯特-阿弗纳斯耶娃 55, 64, 66 - 68, 245

Ehrenhaft, Felix (1879 - 1952) 埃伦哈夫 特 507, 510

Ehrmann, Rudolf (1879 - ) 埃尔曼 477

Einstein, Abraham (1808 - 1868) 亚伯拉 罕·爱因斯坦 35

Einstein, Albert (1879 - 1955) *passim* 阿 尔伯特·爱因斯坦(随处可见)

Einstein, Bernhard Caesar (1930 -) 凯撒 453, 476, 528, 530

Einstein, Eduard (1910 - 1965) 爱德华 187, 451, 476, 528

Einstein, Elsa (1876 - 1936) 爱尔莎 10, 300 - 302, 318, 452, 453, 477, 488, 503, 525, 526

Einstein, Evelyn 伊夫林 538  
Einstein, Frida (nee Knecht) (1895 - 1958) 弗里达(娘家姓克内希特) 187, 451, 476, 523, 588  
Einstein, Hans Albert(1904 - 1973) 汉斯 47, 186, 453, 522, 527 - 530  
Einstein, Hermann (1847 - 1902) 赫尔曼 35, 36, 39, 41, 45, 47, 300, 520, 525  
Einstein, Ilse(1897 - 1934) 伊尔莎 48, 300, 450, 495, 504, 525, 527 - 529  
Einstein, Jakob (1850 - 1912) 雅可布 36, 37, 39, 41  
Einstein, Lina (1875 - 约 1944) 林纳 12  
Einstein, Margot (1899 - ) 玛戈特 11, 16, 49, 300, 301, 450, 452, 453, 473, 525, 528, 529  
Einstein, Maria (Maja) (1881 - 1951) 玛丽亚(玛雅) 35 - 37, 40, 41, 48, 149, 150, 302, 452, 473, 520, 523, 529, 530  
Einstein, Mileva (nee Marić) (1875 - 1948) 米列娃(娘家姓玛利奇) 10, 45, 47, 186, 187, 193, 240, 241, 299 - 301, 476, 503, 521, 522, 524, 525, 529  
Einstein, Pauline (nee Koch) (1858 - 1920) 保莉妮(娘家姓科赫) 35 - 38, 47, 300, 302, 520, 525  
Einstein, Rudolf 鲁道夫 525  
Einstein, Thomas Martin (1955 - ) 马丁 530  
Elizabeth, Queen of the Belgians ( 1876 - 1965) 伊利莎白, 比利时女王 453, 528  
Elsasser, Walter (1904 - ) 埃尔萨瑟 440  
Elster, Julius (1854 - 1920) 埃尔斯特 379  
Emden, Robert (1862 - 1940) 埃蒙顿 510  
Engels, Friedrich (1820 - 1895) 恩格斯

12

Eötvös, Roland (1848 - 1919) 厄缶 204, 216, 217, 505  
Epicurus (公元前 341 - 270) 伊壁鸠鲁 79  
Epstein, Paul (1871 - 1939) 爱泼斯坦 314, 494  
Eucken, Arnold (1884 - 1950) 奥伊肯 397, 399  
Euclid (约公元前 325 - 270) 欧几里得 309  
Exner, Felix (1876 - 1930) 埃克斯纳 101

## F

Faraday, Michael (1791 - 1867) 法拉第 23, 30, 82, 319  
Faye, Herve (1814 - 1902) 费伊 254, 364  
Feinberg, Gerald (1933 - ) 费因伯格 146  
Fermi, Enrico(1901 - 1954) 费米 432  
Fiedler, Wilhelm (1832 - 1912) 费德勒 486  
FitzGerald, George Francis (1851 - 1901) 菲茨杰拉德 116, 120 - 124, 141  
Fizeau, Armand Hippolyte Louis (1819 - 1896) 斐索 115 - 119, 123, 127, 139, 145, 150  
Flexner, Abraham (1866 - 1959) 弗莱克斯纳 450, 452, 493,  
Flückiger, Max 弗吕基格 49  
Fock, Vladimir(1898 - ) 福克 291, 333  
Fokker, Adriaan (1887 - 1968) 福克尔 126, 236, 237, 253, 487  
Föppl, August (1854 - 1924) 弗普尔 44, 132  
Forman, Phillip, Judge (1895 - 1978) 弗尔曼法官 452, 529

Föster, Friedrich Wilhelm (1896 - 1966) 弗尔斯特 518  
 Fra Angelico (约 1400 - 1455) 安吉利科修士 16  
 France, Anatole (1844 - 1924) 弗兰斯 16  
 Frank, Philipp (1884 - 1966) 弗兰克 49, 140, 193, 302, 319, 357, 495  
 Franz Joseph, Emperor (1830 - 1916) 弗朗兹 192, 523  
 Frauenglass, William 弗劳恩格拉斯 474  
 Freed, G. 弗里德 517  
 Frenkel, Elsa (1888 -?) 弗伦克尔 240  
 Fresnel, Augustin Jean (1788 - 1827) 菲涅尔 111, 118, 119, 123, 124  
 Freud, Sigmund (1856 - 1939) 弗洛伊德 315, 513 - 515, 529  
 Freundlich, Erwin (1885 - 1964) 弗洛因德里希 254, 303, 304, 308, 312  
 Friedmann, Aleksandr Aleksandrovich (1888 - 1925) A. 弗里德曼 268, 288  
 Friedmann, Heinrich H. 弗里曼 38, 520  
 Fürth, Reinhold 菲尔特 93, 98

## G

Galilei, Galileo (1564 - 1642) 伽利略 29, 319  
 Gandhi, Mahatma (1868 - 1936) 甘地 16, 474, 527  
 Gauss, Carl Friedrich (1777 - 1855) 高斯 217  
 Gay-Lussac, Joseph Louis (1778 - 1850) 盖-吕萨克 80, 81  
 Gehrcke, Ernst (1878 - 1960) 格尔克 508  
 Geiger, Hans (1882 - 1945) 盖革 402, 421  
 Geiser, Carl Frederick (1843 - 1934) 盖泽尔 44, 212

Geitel, Hans (1855 - 1923) 盖特尔 379  
 Gerlach, Walther (1889 - 1979) 盖拉赫 413, 514  
 Germer, Lester (1896 - 1971) 格默 515  
 Gibbs, Josiah Willard (1844 - 1906) 吉布斯 19, 55, 59, 63, 64, 70, 72, 73  
 Giotto di Bondone (1276? - 1337) 吉奥托 16  
 Glaus Beat (1935 - ) 格劳斯 48  
 Glenn, Frank (1901 - 1982) 格伦 477  
 Gödel, Kurt (1906 - 1978) 哥德尔 7, 13, 497  
 Göring, Hermann (1893 - 1946) 戈林 517  
 Goethe, Johann Wolfgang von (1749 - 1832) 歌德 318, 478  
 Goldschmidt, Rose Goldie R. G. 戈德施密特 490  
 Goldschmidt, Rudolf (1876 - 1950) R. 戈德施密特 313, 490 - 491  
 Gonzalez, J. J., 冈萨雷斯 405  
 Gorki, Maxim (1868 - 1936) 高尔基 16  
 Goudsmit, Samuel (1902 - 1978) 高德斯米特 143, 249, 443, 466  
 Gouy, Louis Georges (1854 - 1926) 古伊 94, 97, 508  
 Grommer, Jakob (? - 1933) 格罗梅 290, 328, 333, 342, 466, 487 - 488  
 Grossmann, Elsbeth 埃尔斯贝特(格罗斯曼之女)E. 格罗斯曼 224  
 Grossmann, Marcel (1878 - 1936) M. 格罗斯曼 22, 41, 44, 46, 48, 57, 88, 132, 169, 184, 193, 204, 208, 209, 212, 213, 216 - 225, 228, 234, 235, 243, 251, 256, 257, 350, 476, 486, 521 - 523, 529  
 Groves, Leslie, General (1896 - 1970) 格罗夫斯 454  
 Guillaume, Charles (1861 - 1938) 纪尧姆 506

Gullstrand, Allvar (1862 - 1930) 古耳斯特兰德 505, 509 - 511  
Gustav V, King (1858 - 1950) 古斯塔夫五世国王 504  
Guye, Charles Eugene (1866 - 1942) 居伊 152

## H

Haas, Arthur (1884 - 1941) 哈斯 507, 509  
Haas, Wander Johannes de (1878 - 1960) W. J. 德哈斯 245 - 249, 253, 487  
Haas, Geertruida de (nee Lorentz) G. 德哈斯(原姓洛伦兹) 387, 517  
Habicht, Conrad (1876 - 1958) C. 哈比希特 47, 133, 148, 187, 483 - 485, 522  
Habicht, Franz Paul (1884 - 1948) P. 哈比希特 187, 483 - 485  
Hadamard, Jacques (1865 - 1963) 阿达玛 163, 314, 509, 510  
Hänisch, Konrad (1876 - 1925) 赫尼希 526  
Hahn, Otto (1879 - 1968) 哈恩 475  
Haldane, John Scott (1860 - 1936) 霍尔丹 311, 312  
Haller, Friedrich (1844 - 1936) 哈勒尔 46 - 48  
Hallwachs, Wilhelm (1859 - 1922) 哈尔瓦克斯 380  
Harding, Warren, President (1865 - 1923) 哈定总统 310, 526  
Harvey, Thomas Stoltz (1912 -) 哈维 477  
Harward, A. E., 哈瓦德 276  
Hasenöhrl, Fritz (1874 - 1915) 哈泽内尔 148, 200

Havas, Peter (1916 - ) 哈瓦斯 281, 290, 291  
Hawking, Stephen William (1942 - ) 霍金 267, 279, 292  
Heaviside, Oliver (1850 - 1925) 亥维赛 123, 229, 505  
Heine, Heinrich (1779 - 1856) 海涅 16, 36  
Heisenberg, \* Werner (1901 - 1976) 海森伯 20, 24, 249, 290, 329, 362, 405, 420, 435, 440 - 442, 444, 445, 448, 467, 516  
Helm, Georg Ferdinand (1881 - 1923) 黑尔姆 84  
Helmholtz, Hermann (1821 - 1894) 亥姆霍兹 44, 318, 509  
Herglotz, Gustav (1881 - 1953) 赫尔格罗兹 215  
Hermann, Armin (1933 - ) 赫尔曼 164, 306, 397  
Herneck, Friedrich (1909 - ) 亨尼克 282  
Hersey, John (1914 - ) 赫西 16  
Hertz, Gustav (1887 - ) G. 赫兹 514  
Hertz, Heinrich (1857 - 1894) H. 赫兹 44, 119 - 121, 131, 145, 278, 319, 368, 379, 380  
Hertz, Paul (1881 - 1940) P. 赫兹 67  
Herzog, Albin 赫尔佐格 186  
Hessenberg, Gerhard (1874 - 1925) 赫森堡 339  
Hettner, Gerhard (1892 - 1968) 赫特纳 368  
Hilbert, David (1862 - 1943) 希尔伯特 22, 152, 170, 208, 243, 250, 257 - 261, 268, 274 - 276, 280, 358, 524  
Hirosige, Tetu (1928 - 1975) 广重彻 121  
Hitler, Adolf (1889 - 1945) 希特勒 314, 450, 517  
Hoff, Jacobus Henricus van 't (1852 -

1911) 范特霍夫 85 - 88, 95  
Hoffmann, Banesh (1906 - ) 霍夫曼  
49, 290, 347, 495 - 496  
Hogness, Thorfin (1894 - 1976) 霍格尼  
斯 475  
Holton, Gerald (1922 - ) 霍尔顿 119,  
282  
Hopf, Ludwig (1884 - 1939) 霍普夫 187,  
193, 211, 213, 410, 485  
Hubble, Edwin Powell (1889 - 1953) 哈  
勃 22, 268, 288  
Hughes, Arthur Llewellyn (1883 - 1978)  
休斯 381  
Hume, David (1711 - 1776) 休谟 47,  
133, 318  
Hunt, Franklin Livingston 洪特 382, 386  
Hurwitz, Adolf (1859 - 1919) 胡尔维兹  
44

## I

Infeld, Leopold (1898 - 1968) 英费耳德  
290, 347, 466, 495  
Ishiwara, Jun (1881 - 1947) 石原纯 118  
(应为 Ishihara, 疑误)  
Israel, Werner (1931 - ) 以色列 279

## J

Jaffe, Georg (1880 - 1965) 雅费 509  
Jammer, Max (1915 - ), 雅默 457  
Jeans, James Hopwood (1877 - 1946) 金  
斯 177, 374, 375  
Johnson, Alvin (1874 - 1971) 约翰逊 518  
Jones, Ernest (1897 - 1958) 琼斯 515  
Jordan, Pascual (1902 - ) 约当 336,  
405, 515

Jost, Res (1918 - ) 约斯特 41, 444,  
486  
Jouvenel, Bertrand de (1903 - ) 茹弗内  
尔 11  
Julius, Willem (1860 - 1925) 朱利叶斯  
209, 318, 508,  
Jung, Carl (1875 - 1951) 荣格 485

## K

Kac, Mark (1914 - ) 卡克 100  
Kahn, Boris (1911 - 约 1944) 卡恩 433  
Kaluza, Theodor (1885 - 1954) 卡鲁扎  
329 - 334, 342, 344  
Kamerlingh Onnes, Heike (1853 - 1926)  
卡梅林·昂内斯 45, 245, 505, 508,  
521  
Kant, Immanuel (1724 - 1804) 康德 13,  
37, 318, 319, 520  
Kapteyn, Jacobus (1851 - 1922) 卡普坦  
494  
Karman, Theodore von (1881 - 1963) 卡  
尔曼 397  
Kaufman, Bruria (1918 - ) B. 考夫曼  
348, 349, 497  
Kaufman, Walter (1871 - 1947) W. 考夫  
曼 154, 156, 157, 159, 165, 166  
Kayser, Rudolf (1889 - 1964) 凯泽尔 6,  
48, 131, 320, 450, 527, 528  
Kazantzakis, Nikos (1885 - 1957) 卡赞查  
基斯 16  
Keesom, Willem Hendrik (1876 - 1956)  
基索姆 433  
Kekule von Stradonitz, August (1829 -  
1896) 凯库勒 80  
Kelvin, see Thomson, William 开尔文(见  
W. 汤姆逊)  
Kemeny, John (1926 - ) 凯梅尼 497

Kepler, Johannes (1571 - 1630) 开普勒  
308, 318  
Kessler, Harry (1868 - 1937) 凯斯莱尔  
318, 320  
Kirchhoff, Gustav Robert (1824 - 1887)  
基尔霍夫 26, 44, 361, 364 - 366, 368  
Kirsten, Cnrista, 基尔斯滕 49  
Klein, Felix (1849 - 1925) F. 克莱因 83,  
217, 259, 260, 274 - 276, 278, 325,  
344, 347, 358, 397, 524  
Klein, Martin (1924 - ) M. 克莱因 60,  
61, 66, 429  
Klein, Oskar (1894 - 1977) O. 克莱因  
329, 331 - 334  
Kleiner, Alfred (1849 - 1916) 克莱纳 89,  
185, 186, 193  
Knudsen, Martin (1871 - 1949) 克努森  
59, 505  
Koch, Caesar (1854 - 1941) C. 凯撒·科  
赫 130, 521  
Koch, Fanny (1852 - 1926) 芬妮 302,  
525  
Koch, Jakob (1850 - ?) 雅可布 302  
Kottler, Friedrich (1886 - 1965) 科特勒  
228  
Kox, Anne (1948 - ) 科克斯 126, 167  
Kraichnan, Robert Harry (1928 - ) 克  
莱奇南 497  
Kramers, Hendrik Anton (1894 - 1952)  
克雷默 144, 416, 433, 441, 442  
Kretschmann, Erich 克雷奇曼 510, 511  
Krupp, Gustav (1870 - 1950) 克鲁普 303  
Kruskal, Martin (1925 - ) 克鲁斯卡尔  
270  
Kunsmann, Charles (1890 - ) 昆斯曼 440  
Kurlbaum, Ferdinand (1857 - 1927) 库尔  
鲍姆 366 - 368, 374  
Kursunoglu, Behram (1922 - ) 库尔苏  
诺格鲁 348

## L

Ladenburg, Rudolf (1882 - 1952) 拉登堡  
151, 420  
Lagerlof, Selma (1858 - 1940) 拉杰里夫  
16  
Lampa, Anton (1868 - 1938) 兰帕 192,  
485, 486  
Lanczos, Cornelius (1893 - 1974) 兰佐斯  
491, 492  
Landau, Lev Davidovich (1908 - 1968) 朗  
道 269, 277  
Lande, Alfred (1888 - 1975) 兰德 249  
Langevin, Paul (1872 - 1946) 朗之万 16,  
97, 149, 159, 163, 318, 436, 438,  
510, 514  
Langley, Samuel Pierpont (1834 - 1906)  
兰利 366  
Larmor, Joseph (1857 - 1942) 拉莫尔  
120, 122, 123, 126, 306  
Laub, Johann Jakob (1872 - 1962) 劳伯  
151, 154, 169, 187 - 189, 192, 200,  
402, 484, 523  
Laue, Max von (1879 - 1960) 劳厄 145,  
150, 151, 165, 200, 211, 232, 233,  
239, 357, 383, 456, 475, 489, 503,  
505, 507, 508, 510, 518, 526  
Lavoisier, Antoine-Laurent (1743 - 1794)  
拉瓦锡 393  
Le Bel, Joseph Achille (1847 - 1930) 勒  
贝尔 85  
Lecat, Maurice 勒卡 268  
Lehmann, Otto (1855 - 1922) 勒曼 505  
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646 - 1716)  
莱布尼兹 26  
Lenard, Philip (1862 - 1947) 勒纳德 200,  
380, 381, 385, 508, 526

Lenin (1870 - 1924) 列宁 12  
 LeRoy, Edouard (1870 - 1954) 勒鲁瓦 163  
 Lessing, Gotthold Ephraim (1729 - 1781) 莱辛 468  
 Leverrier, Urbain Jean Joseph, see Verrier Urbain Jean Joseph, Le 勒维耶, 见 维耶, 勒  
 Levi-Civita, Tullio (1873 - 1941) 勒维-契维塔 212, 216, 217, 224, 225, 244, 268, 278, 291, 340  
 Lewis, Gilbert (1875 - 1946) 刘易斯 407  
 Libb, Hans (1930 - ) 利博 484  
 Lifshitz, Evgenii Mikhailovitch (1915 - 1985) 栗弗席兹 277  
 Lippman, Cabriel Jonas (1845 - 1921) 李普曼 502  
 Lodge, Oliver Joseph (1851 - 1940) 洛奇 123, 124, 177, 310  
 London, Fritz (1900 - 1954) 伦敦 433  
 Loon, Hendrik van (1882 - 1944) 房龙 16  
 Lorentz, \* Hendrik Antoon (1853 - 1928) H. A. 洛伦兹 8, 12, 13, 15, 16, 21, 27, 30, 44, 59, 63, 73, 112, 113, 115 - 131, 133, 139, 141, 145, 146, 152 - 157, 159, 163 - 167, 169, 171, 172, 177, 193, 194, 201, 209, 210, 228 - 230, 235, 236, 240, 243, 245, 250, 258, 259, 268, 270 - 273, 275, 278, 279, 282, 283, 291, 303, 304, 306, 316 - 318, 326, 358, 374, 384, 399, 404, 431, 436, 461, 487, 505 - 508, 525  
 Lorenz, Richard (1863 - 1929) R. 洛伦兹 99  
 Loschmidt, \* Johann Joseph (1821 - 1895) 洛施米特 61, 67, 83 - 85, 91  
 Löwenthal 勒温塔尔 300  
 Lucretius (全盛期在公元前一世纪) 卢克

莱修 319

Lummer, Otto (1860 - 1925) 卢默尔 366  
 Lyman, Theodore (1874 - 1954) 莱曼 509

## M

Maass, Herbert (1878 - 1957) 马斯 452  
 McCarthy, Joseph (1908 - 1957) 麦卡锡 10  
 McCormach, Russell (1933 - ) 麦科马赫 121  
 MaCullagh, James (1809 - 1847) 马库拉 119  
 Mach, \* Ernst (1838 - 1916) 马赫 13, 15, 44, 47, 83, 86, 103, 133, 216, 282 - 288, 318, 505  
 Madelung, Erwin (1881 - 1972) 马德龙 491  
 Maillol, Aristide (1861 - 1944) 马约尔 318  
 Mandel, Heinrich 曼德尔 331, 333  
 Mandl, Rudi 曼德 273, 274  
 Marcet, François (1803 - 1883) 马尔塞 391  
 Marconi, Guglielmo (1874 - 1937) 马可尼 505  
 Marden, Mary 马登 452  
 Marianoff, Dimitri (1889 - ?) 马利亚诺夫 452, 528  
 Marić, Mileva, see Einstein, Mileva M. 玛利奇, 见米列娃  
 Marić, Zorka (1883 - 1938) Z. 玛利奇 301  
 Markov, Andrei Andreievich (1856 - 1922) 马尔科夫 98  
 Marx, Erich (1874 - 1956) 马克思 509  
 Masaryk, Tomas Garrigue (1850 - 1937)

马萨里克 12, 513  
 Maxwell, \* James Clerk (1831 - 1879) 麦克斯韦 13, 15, 19, 29, 30, 44, 59 - 62, 65 - 67, 82, 85, 94, 111, 112, 119 - 121, 131, 229, 230, 237, 246, 283, 289, 318, 319, 392 - 394, 463  
 Mayer, Walther (1887 - 1948) 迈尔 333, 334, 347, 450 - 452, 492 - 494, 528, 529  
 Mebra. Jagdish 梅布拉 139  
 Melcher, Horst (1927 - ) 梅切尔 490  
 Mendeleev, Dmitri Ivanovich (1834 - 1907) 门捷列夫 81  
 Meng, Heinrich (1887 - 1972) 门格 514  
 Meyer, Edgar (1879 - 1960) E. 迈耶 507, 508, 510  
 Meyer, Stefan (1872 - 1949) S. 迈耶 103, 508, 510  
 Meyerson, Emile (1859 - 1933) 迈耶逊 163, 319  
 Michelson, \* Albcert Abraham (1852 - 1931) 迈克尔逊 16, 21, 112 - 117, 119, 123, 125, 129, 131, 145, 318, 505  
 Mie, Gustav (1868 - 1957) 米 (1868 - 1957) 229, 234, 235, 257, 258, 260  
 Mill, John Stuart (1806 - 1873) 密尔 318  
 Miller, Arthur (1940 - ) A. 米勒 121  
 Miller, Dayton Clarence (1886 - 1941) D. C. 米勒 113, 114  
 Millikan, Robert Andrews (1868 - 1953) 密立根 317, 357, 381 - 383, 385  
 Minkowski, Hermann (1864 - 1909) 闵可夫斯基 44, 122, 151, 152, 159, 165, 194, 230, 275, 282  
 Mises, Richard von (1883 - 1953) 冯·米色斯 492  
 Misner, Charles (1932 - ) 迈斯纳 267  
 Mittag-Leffler, Magnus Gustaf (1846 - 1927) 米塔格-莱弗勒 171, 505

Molotov, Vyacheslav (1890 - ) 莫洛托夫 495  
 Montaigne, Michel (1533 - 1592) 蒙田 89  
 Morley, Edward Williams, (1838 - 1923) 莫雷 112, 113, 115, 117, 123, 145  
 Mosengeil, Kurd von (1884 - 1906) 莫森盖尔 164  
 Moszkowski, Alexander (1851 - 1934) 莫斯科夫斯基 170, 306  
 Mozart, Wolfgang Amadeus (1756 - 1791) 莫扎特 16, 38, 183, 301  
 Mühsam, Hans (1876 - 1957) H. 米萨姆 313, 328, 483, 488 - 489  
 Mühsam, Minna M. 米萨姆 488, 489  
 Munitz, Milton Karl (1913 - ) 穆尼兹 267  
 Müntz, Hermann 明茨 491 - 492  
 Musil, Robert (1880 - 1942) 穆西尔  
 Mussolini, Benito (1883 - 1945) 墨索里尼 452

## N

Nadolny, Rudolf (1873 - 1953) 纳多尔尼 503, 504, 527  
 Nägeli, Carl von (1817 - 1891) 内格里 93, 101  
 Nagel Bengt (1927 - ) 纳格尔 502  
 Natanson, Ladislav (1864 - 1937) 纳坦松 495  
 Nathan, Otto (1893 - ) 纳坦 242, 476, 530  
 Naunyn, Bernhard (1839 - 1925) 瑙宁 506, 507, 510  
 Navon, Itzhak, President (1923 - ) 纳翁总统 11  
 Nernst, Hermann Walther (1864 - 1941) 能斯特 16, 239, 240, 318, 382, 391 -



398, 419, 431, 505, 523, 526  
 Neumann, Franz (1798 - 1895) F. 诺伊曼 119  
 Neumann, John von (1903 - 1957) J. 冯诺伊曼 497  
 Newcomb, Simon (1835 - 1909) 纽康 254, 318  
 Newton, \* Isaac (1643 - 1727) 牛顿 13 - 15, 24, 29, 30, 194, 200, 243, 254, 257, 283, 289, 303, 305, 306, 308, 312, 318, 319, 390, 399, 460, 461, 508, 526  
 Nichols, Ernest Fox (1869 - 1924) 尼科尔斯 366  
 Nissen, Rudolf 尼森 475  
 Noble, H. R., 诺博 119  
 Noether, Amalie Emmy (1882 - 1935) 诺特 16, 259, 276, 318  
 Nohel, Emil E. 诺赫尔 193, 485 - 486  
 Nohel, Yehoshua Y. 诺赫尔 485  
 Norden, Heinz (1905 - ) 诺登 242  
 Nordström, Gunnar (1881 - 1923) 诺德斯特勒姆 204, 229, 232 - 236, 240, 329, 331, 509, 510  
 North, John 诺斯 267  
 Nye, Mary Jo 奈 99

## O

Oppenheim, Paul (1885 - 1977) 奥本海姆 530  
 Oppenheimer, J. Robert (1904 - 1967) J. R. 小奥本海默 7, 10, 11, 38, 269, 289, 530  
 Ornstein, Leonard Salomon (1880 - 1941) 欧恩斯坦 98, 404, 405, 435, 508  
 Oseen, Carl Wilhelm (1879 - 1944) 欧森

509 - 511

Ossietsky, Carl von (1889 - 1938) 奥西厄茨基 12, 516, 517, 528  
 Ostwald, Friedrich Wilhelm (1853 - 1932) 奥斯特瓦尔德 45, 83, 86, 103, 186, 505, 506, 521

## P

Painlevé, Paul (1863 - 1933) 潘勒韦 163  
 Pais, Abraham (1918 - 2000) A. 派斯 182, 335  
 Pais, Sara (1942 - ) 派斯夫人(莎娜) 170  
 Panofsky, Wolfgang (1919 - ) 帕诺夫斯基 118, 155  
 Panov, V. I. 帕诺夫 218  
 Paschen, Friedrich (1865 - 1947) 帕森 366, 368, 506  
 Pauli, Wolfgang (1900 - 1958) 泡利 6 - 8, 13, 26, 140, 144, 149, 153, 154, 182, 185 - 187, 215, 257, 267, 270, 277, 278, 332, 334, 335, 341, 343, 350, 410, 414, 420, 421, 432, 437, 440, 445, 446, 474, 483, 496, 517  
 Penrose, Roger (1931 - ) 彭罗斯 62  
 Perrin, \* Jean Baptiste (1870 - 1942) 佩兰 92, 95, 97, 103, 508, 509  
 Petit, Alexis Therese (1791 - 1826) 珀替 390 - 392  
 Pfeffer, Wilhelm (1845 - 1920) 普费弗尔 19, 87  
 Phillips, Melba (1907 - ) 菲利普斯 118  
 Picasso, Pablo (1881 - 1973) 毕加索 16, 18  
 Piccard, Auguste (1884 - 1962) 皮卡德 240

Pick, Georg (1859 - 1942) 皮克 212  
 Piero della Francesca (约 1420 - 1492) 弗朗切斯卡 16  
 Pipkin, Francis (1925 - ) 皮普金 457  
 Planck, \* Max Karl Ernst Ludwig (1858 - 1947) 普朗克 13, 15, 16, 20, 21, 26 - 28, 31, 60, 62, 68, 69, 74, 82, 119, 145, 149 - 151, 164, 165, 179, 192, 203, 239 - 243, 283, 312, 316, 318, 319, 358, 361, 362, 366 - 375, 378, 382 - 385, 389, 394, 395, 398, 399, 402, 404, 405, 425, 428, 438, 444, 465, 475, 502, 505, 506, 508, 510, 511, 513, 523, 524, 528  
 Plato (公元前约 428 - 约 348) 柏拉图 267  
 Podolsky, Boris (1896 - 1966) 波多尔斯基 347, 448, 455, 456, 466, 494  
 Poincaré, \* Henri (1854 - 1912) 庞加莱 8, 21, 27, 29, 47, 94, 115, 120, 121, 126 - 130, 133, 145, 155, 157 - 159, 162 - 172, 194, 209, 230, 270, 279, 505  
 Pol, Balthasar van der (1889 - 1959) 范德坡 304  
 Poor, Charles Lane (1866 - 1951) 普尔 310  
 Poulton, Edward Bagnall (1856 - 1943) 波尔顿 510  
 Pringsheim, Ernst (1859 - 1917) 普林斯海姆 366, 371, 374, 506  
 Prout, William (1785 - 1850) 普劳特 82  
 Purcell, Edward (1912 - ) 珀塞尔 155

## R

Rabi, Isidor (1898 - ) 拉比 7, 454, 517  
 Racine, Jean (1639 - 1699) 拉辛 47  
 Ramel, Baron Sten Gustav (1872 - 1947)

拉梅尔 504  
 Ramsauer, Carl (1879 - 1955) 拉姆绍尔 440  
 Ramsey, William (1852 - 1916) 拉姆齐 93, 94  
 Rathenau, Walther (1867 - 1922) 拉特瑙 12, 16, 316, 317, 320, 503, 526  
 Rayleigh, Lord (1842 - 1919) 瑞利 70, 84, 102, 103, 112, 113, 367, 373 - 375, 394  
 Regnault, Henri Victor (1810 - 1878) 勒尼奥 391, 393  
 Reik, Theodor (1888 - 1969) 赖克 16  
 Rembrandt van Rijn (1606 - 1669) 伦勃朗 16  
 Renger, Karl (1887 - ?) 伦格尔 240  
 Renker, Hans (1886 - 1954) 伦克尔 240  
 Ricci-Curbastro, Gregorio (1853 - 1925) 里奇 212, 216, 217, 225  
 Richardson, Owen Willans (1879 - 1959) 里查德逊 246, 247  
 Riemann, Bernhard (1826 - 1866) 黎曼 170, 212, 217, 225, 258, 281  
 Ritz, Walter (1878 - 1909) 里兹 484  
 Rive, Auguste de la (1801 - 1873) 德拉里维 391  
 Robertson, Howard Percy (1903 - 1961) 罗伯逊 7  
 Röntgen, Wilhelm Conrad (1845 - 1923) 伦琴 97, 311  
 Rondon, Candido Mariano da Silva (1865 - 1958) 朗登 514  
 Roosevelt, Franklin Delano (1882 - 1945) 罗斯福 12, 149, 320, 453, 454, 490, 529  
 Rosen, Nathan (1909 - ) 罗森 280, 289, 347, 448, 455, 456, 466, 494 - 495  
 Rosenfeld, Leon (1904 - 1974) 罗森菲尔德 6

Rottenburg, Otto von 罗滕堡 504  
Rozsel, Alberta 罗泽尔 477  
Rubens, Heinrich (1865 - 1922) 鲁本斯  
240, 366 - 368, 374, 382, 523, 526  
Russell, Bertrand (1872 - 1970) 罗素 13,  
319, 477, 530  
Rutgers, R. 拉特格斯 92  
Rutherford, Ernest (1871 - 1937) 卢瑟福  
85, 86, 326, 360, 386, 402, 411, 552

### S

Sackur, Otto (1880 - 1914) 萨库尔 193,  
486  
St. John, Charles Edward (1857 - 1935)  
圣约翰 507  
Scarlati, Domenico (1685 - 1757) 斯卡拉  
蒂 16  
Schäfer, Clemens (1878 - 1968) 舍费尔  
506  
Schapiro, Meyer (1904 - ) 沙皮罗 16  
Schiller, Friedrich von (1759 - 1805) 席  
勒 36  
Schilpp, Paul Arthur (1897 - ) 希尔普  
16, 49, 447  
Schmidt-Ott, Friedrich (1860 - 1954) 施  
密特-奥特 492  
Schottky, Friedrich Hermann (1851 -  
1935) 绍德基 57  
Schouten, Jan (1883 - 1971) 舒顿 276,  
340  
Schrödinger, \* Erwin (1887 - 1961) 薛定  
谔 6, 20, 24, 63, 268, 278, 290,  
329, 333, 336, 337, 348, 361, 362,  
418, 420, 435, 438 - 444, 448, 456,  
515, 516  
Schubert, Franz (1799 - 1828) 舒伯特 16  
Schüpp, Hermann (1884 - 1971) 舒普

186  
Schwarzschild, Karl (1873 - 1916) 施瓦  
兹席尔德 16, 255, 270, 299, 318  
Sciama, Dennis (1926 - ) 夏马 267,  
270, 271  
Seelig, Carl (1894 - 1962) 泽利希 49,  
488  
Serber, Robert (1909 - ) 塞伯 269  
Shankland, Robert (1908 - ) 香克兰  
113, 116  
Shapiro, Irwin (1929 - ) 夏皮罗 272  
Silverstein, Ludwick (1872 - 1948) 希尔  
维斯坦 305  
Simon, Francis (1893 - 1956) 西蒙 398,  
421  
Sitter, Willem de (1872 - 1934) 德西特  
268, 285, 287, 288, 291, 304, 494  
Slater, John Clarke (1900 - 1976) 斯莱特  
418, 419, 441, 442  
Smellie, William (1740? - 1795) 斯梅里  
79  
Smith, Howard Kingsbury (1914 - ) 史  
密斯 473  
Smoluchowski, Marian Ritter von Smolan  
(1872 - 1917) 斯莫鲁霍夫斯基 16,  
93, 100 - 103, 318  
Snyder, Hartland (1913 - 1962) 斯尼德  
269, 289  
Soddy, Frederick (1877 - 1956) 索迪 85  
Soldner, Johann George von (1776 -  
1833) 佐尔德纳 200  
Solomon, Jacques 所罗门 334  
Solovine, Maurice (1875 - 1958) 索洛文  
47, 133, 522  
Sommerfeld, Arnold (1868 - 1951) 索末  
菲 27, 83, 103, 152, 189, 216, 250,  
257, 259, 304, 312, 383, 385, 395,  
403, 414, 419, 475, 485, 496, 505,  
506, 510, 514  
Sophocles (公元前 496 - 406) 索福克勒斯

- Specker, Hans Eugen 施佩克 49
- Spinoza, Benedict de (1632 - 1951) 斯宾诺莎 16, 47, 318, 467
- Stachel, John (1928 - ) 斯塔切尔 202, 443
- Stalin, Joseph (1879 - 1953) 斯大林 517, 518
- Stark, Johannes (1874 - 1957) 斯塔克 57, 164, 165, 179, 189, 409
- Stefan, Josef (1835 - 1893) 斯特藩 365
- Stern, Alfred (1846 - 1936) A. 斯特恩 41, 209
- Stern, Otto (1888 - 1969) O. 斯特恩 9, 193, 413, 444, 486, 514, 517
- Stimson, Henry, Secretary of War (1867 - 1950) 史汀生 454
- Stokes, George Gabriel (1819 - 1903) 斯托克斯 119, 155
- Straus, Ernst Gabor (1922 - 1988) 施特劳斯 210, 213, 261, 347, 348, 496 - 497
- Stresemann, Gustav (1878 - 1929) 斯特里斯曼 320
- Struik, Dirk (1894 - ) 斯特瑞克 217, 276, 340
- Stuewer, Roger (1934 - ) 斯图维尔 413
- Stumpf, Carl (1848 - 1936) 斯图姆普夫 306
- Stürgkh, Karl von (1859 - 1916) 斯蒂尔格 12
- Sutherland, William (1859 - 1911) 苏特兰 89, 92
- Svedberg, Theodor (1884 - 1971) 斯维德伯格 508
- Szekeres, George (1911 - ) 塞克勒斯 270
- Szilard, Leo (1898 - 1964) 西拉德 97, 313, 475, 489 - 490

## T

- Tait, Peter Guthrie (1831 - 1901) 泰特 61
- Talmud (later Talmey), Max (1869 - 1941) 塔耳木德(后来的塔耳梅) 37, 38, 520
- Tanner, Hans (1886 - ) 坦纳 186
- Teske, Armin 特斯克 100
- Thirring, Walter (1927 - ) 瑟林 463
- Thomas, Llewellyn Hilleth (1903 - 1992) L. H. 托马斯 143, 144
- Thomson, George Paget (1892 - 1975) G. P. 汤姆逊 515
- Thomson, Joseph John (1856 - 1940) J. J. 汤姆逊 85, 86, 149, 155, 156, 305, 309, 359, 372, 379 - 381, 385
- Thomson, William (Lord Kelvin) (1824 - 1907) W. 汤姆逊(开尔文勋爵) 19, 61, 84, 112, 113, 119, 318, 394
- Thorne, Kip (1940 - ) 索恩 267, 278, 279
- Todd, David Peck (1855 - 1939) 托德 112
- Tolman, Richard Chase (1881 - 1948) 托尔曼 269, 483, 494
- Tolstoi, Leo (1828 - 1910) 托尔斯泰 16
- Trautman, Andrzej 特劳特曼 278
- Treder, Hans-Jürgen 特雷德 49
- Trouton, Frederick (1863 - 1922) 特罗顿 119
- Truman, Harry, President (1884 - 1972) H. 杜鲁门总统 6
- Tyndall, John (1820 - 1893) 丁铎尔 102

## U

- Uhlenbeck, George Eugene (1900 - 1988)

乌伦贝克 143, 249, 332, 405, 432,  
433, 466  
Urey, Harold (1893 - 1981) 尤里 475

## V

Veblen, Oswald (1880 - 1960) 维布伦  
114, 495  
Verrier, Urbain Jean Joseph Le (1811 -  
1877) 勒维耶 253, 254, 364, 509  
Vivaldi, Antonio (1678 - 1741) 维瓦尔第  
16  
Voigt, Woldemar (1850 - 1919) 伏依特  
120 - 122, 125, 484  
Volkoff, George (1914 - 2000) 伏尔科夫  
269  
Voss, Aurel (1845 - 1931) 福斯 275

## W

Waals, Johannes Diderik van der (1837 -  
1923) 范德瓦尔斯 19, 84, 86, 505  
Wagner, Ernst (1876 - 1928) E. 瓦格纳  
510  
Wagner, Richard (1813 - 1883) R. 瓦格  
纳 16  
Walcott, Charles Dooittle (1850 - 1927)  
沃尔科特 509  
Waldeyer-Hartz, Wilhelm von (1836 -  
1921) 瓦尔德耶-哈兹 508  
Walker, Jimmy, Mayor (1881 - 1946) 沃  
克 528  
Wallenberg, Raoul (1912 - 1947?) 瓦伦  
伯格 517, 518  
Warburg, Emil (1846 - 1931) 瓦尔堡  
209, 240, 318, 382, 507 - 510, 523  
Waterston, John James (1811 - 1883) 沃

特斯顿 392  
Weber, Heinrich Friedrich (1843 - 1912)  
H. F. 韦伯 44, 45, 390 - 392, 396 -  
397  
Weber, Joseph (1919 - ) J. 韦伯 279  
Weinberg, Steven (1933 - ) 温伯格  
216, 267, 319  
Weiss, Pierre (1865 - 1946) 外斯 507,  
514  
Weisskopf, Victor (1908 - 2002) 韦斯科  
夫 475  
Weizmann, Chaim (1874 - 1952) 魏茨曼  
11, 315, 451, 476, 488, 526  
Wentzel, Gregor (1898 - 1978) 文泽尔  
496  
Wergeland, Harald (1912 - 1987) 威格兰  
405  
Weyl, Hermann (1885 - 1955) 外尔 7,  
177, 194, 212, 257, 259, 267, 268,  
275, 276, 288, 290, 318, 327 - 329,  
339 - 344, 347, 478  
Wheeler, John Archibald (1911 - ) 惠  
勒 267, 269  
Whittaker, Edmund Taylor (1873 - 1956)  
惠特克 168  
Wiechert, Emil (1861 - 1928) 维歇特 120  
Wien, Wilhelm (1864 - 1928) 维恩 146,  
153, 159, 232, 361, 365, 366, 368,  
376, 377, 484, 505 - 507, 509  
Wiener, Otto (1862 - 1927) 维恩纳 509  
Wigand, Alfred (1882 - 1932) 维甘德  
392, 393  
Wigner, Eugene (1902 - 1995) 威格纳 7,  
441, 454, 490  
Wilhelm II, Emperor (1859 - 1941) 威廉  
二世皇帝 491, 523  
Wilkinson, David (1935 - ) 维尔金森  
279  
Will, Clifford Martin (1946 - ) 威尔 279  
Williamson, Alexander (1824 - 1904) 威

廉森 81

- Wilson, Charles Thomson Rees (1869 - 1959) R. 威尔逊 380, 514  
Wilson, Woodrow, President (1856 - 1924) W. 威尔逊总统 491  
Winteler, Jost (1846 - 1929) J. 温特勒 40, 521, 523  
Winteler, Paul (1882 - 1952) P. 温特勒 46, 302, 452, 473, 523, 530  
Winternitz, Josef 温特尼兹 319  
Wolfke, Mieczystaw (1883 - 1947) 沃尔夫克 435  
Wright, Orville (1871 - 1948) O. 莱特 505  
Wright, Wilbur (1867 - 1912) W. 莱特 505  
Wüllner, Adolph (1835 - 1908) 维尔讷 393

## Y

- Young, Thomas (1773 - 1829) 杨 83, 84

## Z

- Zangger, Heinrich (1874 - 1957) 仓格尔 200, 209 - 211, 232, 240, 241, 250, 300, 303  
Zeeman, Pieter (1865 - 1943) 塞曼 505, 508  
Zeppelin, Ferdinand (1838 - 1917) 齐柏林 505  
Zernike, Frits (1888 - 1966) 泽尼克 404, 405, 435  
Zweig, Stefan (1881 - 1942) 茨威格 514

注:带\*的人名在《主题索引》中有专门条目。

# 主题索引

## A

- Abraham-Einstein debate 亚伯拉罕-爱因斯坦论战 231 - 232
- Abraham theory of gravitation 亚伯拉罕引力论 229 - 235
- Aether 以太(参见“迈克尔逊-莫雷实验”) 20 - 21
- aberration of light and 光行差 117 - 119
- definitions of ~的定义 111
- Einstein and 爱因斯坦和~ 130 - 131, 313
- Fresnel's hypothesis 菲涅尔假说 123, 124
- Hertz and 赫兹和~ 119, 120
- historical accounts 历史叙述 119 - 128
- Larmor and 拉摩和~ 126
- Lorentz and 洛伦兹和~ 166 - 167
- Maxwell and 麦克斯韦和~ 111, 112, 119 - 120
- Michelson and 迈克尔逊和~ 112
- Poincaré and 庞加莱和~ 127 - 128
- review of theories 理论评述 111 - 112
- special relativity and 狭义相对论和~ 114 - 115, 138
- Aether drift 以太漂移 140
- nonzero 非零(结果) 113 - 114
- Akademie Olympia 奥林匹亚科学院 47
- Ampère's molecular currents 安培分子流 246 - 247

- Analytical mechanics 分析力学 203
- Anti-semitism 反犹太主义 184 - 186, 192, 314 - 317, 502
- Atomic nucleus 原子核 326 - 327
- Atomic theory 原子理论 79 - 82
- Atomic weapons 原子武器 454, 474, 490
- Atomicity of matter 物质的原子性(见“分子实在性”)
- Atoms, molecules vs 原子、分子(比较) 80
- Avogadro's law 阿伏伽德罗定律 81
- extension of ~的推广 88
- Avogadro's number, methods of determining 阿伏伽德罗常数, 确定方法
- Brownian motion and 布朗运动和~ 88 - 92, 94 - 95, 99
- current knowledge about 关于~的当代认识 95
- Einstein's 爱因斯坦的~ 55, 56, 88, 89, 92, 94 - 95, 103, 375
- Loschmidt's 洛施米特的~ 84 - 85
- molecular reality and 分子实在性和~ 88, 89, 92, 94 - 95
- overdetermination of ~的多方决定 94 - 95
- Planck's law of blackbody radiation and 普朗克的黑体辐射定律和~ 99 - 100
- Perrin's review of 佩兰关于~的评论 99

## B

- Barnett effect 巴尼特效应 246

Bavarian Academy 巴伐利亚科学院 450  
Beta decay  $\beta$  衰变 326, 327  
Beta rays  $\beta$  射线 359  
Bending of light 光线的弯曲 181 - 182  
  is detectable ~是可测的 194 - 200  
  Einstein's progress recapitulated 爱因斯坦进展概述 303 - 305  
  general relativity theory and 广义相对论和~ 30  
  Nordström vs Einstein-Grossmann theories 诺德斯特勒姆与爱因斯坦-格罗斯曼理论比较 240  
  solar eclipse expeditions 日食远征 268, 273, 303, 304  
Bianchi identities 比安基恒等式 256, 258, 274 - 278  
Big bang 大爆炸 289  
Binding energy 束缚能 149  
Black holes 黑洞 269, 270, 278, 279  
Blackbody radiation 黑体辐射(参见“普朗克黑体辐射定律”) 27  
  Einstein on 爱因斯坦论~ 20, 402 - 405  
  energy fluctuations of ~的能量涨落 20  
  history of, from 1859 to 1926 ~的历史, 从1859年到1926年 371  
  Kirchhoff's law of ~的基尔霍夫定律 364 - 366  
  and light-quanta ~和光量子 364 - 378  
  Lummer and Pringsheim on 卢默尔和普林斯海姆论~ 366, 368  
  new derivation of ~的新推导 58  
  Nichols on 尼可尔斯论~ 366  
  Paschen's experiment 帕森的实验 366, 368  
  Planck on 普朗克论~(见“黑体辐射定律”)  
  as problem in theoretical physics 作为理论物理学问题的~ 28  
  Rubens on 鲁本斯论~ 366, 368  
  Rubens-Kurlbaum paper 鲁本斯-库尔鲍

姆论文 366  
Stefan-Boltzmann law 斯特藩-玻耳兹曼定律 365  
Wien's law 维恩定律 365 - 368, 402, 406, 409  
Bohr, Niels 尼尔斯·玻尔  
  Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对~工作的认识 416  
  Einstein's personal relationship with 爱因斯坦与~的个人关系 416, 417, 420  
  experimental evidence and acceptance of new ideas 新思想的实验证据和接受 385 - 386  
  Nobel prize 诺贝尔奖 503, 505, 506, 508, 510, 511  
  photons 光子(参见“玻尔-克雷默-斯莱特提议”)  
  resistance to ~的阻力 24  
  waves vs 波与~ 418 - 419  
  quantum theory 量子理论 28, 361 - 363  
  complementarity interpretation of quantum mechanics 量子力学的互补性解释 444, 456  
  Einstein dialogue with 爱因斯坦与~的对话 6 - 9, 443, 448  
  probability interpretation of ~的几率诠释 6 - 9  
  spectra 谱 407  
  stationary atomic orbits 定态原子轨道 247  
  writing style of ~的写作风格 417  
  other references 其他文献 15, 20, 24, 28, 144, 190, 326, 360 - 363, 384, 414, 416 - 421, 425, 441 - 448, 454 - 456, 462, 505, 506, 508, 510, 511, 526, 530  
Bohr-Kramers-Slater proposal (BKS proposal) 玻尔-克雷默-斯莱特提议 416 - 421, 441, 442



- causality 因果性 419 - 421
- conservation of energy-momentum 能量-动量守恒 418 - 419, 421
- difficulties of old quantum theory 旧量子理论的困难 418 - 419
- Einstein on 爱因斯坦论 ~ 419 - 420
- first paradox 第一个佯谬 418 - 419
- second paradox 第二个佯谬 419 - 421
- Bohr-Sommerfeld conditions 玻尔-索末菲条件 412
- Boltzmann 玻耳兹曼 (参见以“玻耳兹曼”开头的条目)
- Dulong-Petit law 杜隆-珀替定律
- derivation of ~ 的推导 60, 392
- interpretation of ~ 的解释 392 - 394
- Einstein and 爱因斯坦和 ~
- second law of thermodynamics 热力学第二定律 72 - 73
- statistical mechanics 统计力学 59
- thermodynamic probability 热力学几率 62 - 63, 65
- Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对 ~ 工作的认识 44, 55, 66 - 68
- entropy and probability 熵和几率 19, 60 - 68
- Loschmidt's influence on 洛施米特对 ~ 的影响 61
- molecular reality 分子实在性 82
- Nobel prize 诺贝尔奖 371
- Planck influence on 普朗克对 ~ 的影响 62
- second law of thermodynamics 热力学第二定律 72 - 73
- thermodynamic probability 热力学几率 62 - 63, 65
- writing style of ~ 的写作风格 65 - 66
- other references 其他文献 56, 59 - 68, 72 - 74, 83, 365, 371, 377, 424, 426, 430, 488
- Boltzmann's counting complexions 玻耳兹曼的计数配分 63, 71, 72
- Boltzmann's equilibrium distribution of stars 星体的玻耳兹曼平衡分布 285
- Boltzmann's equipartition theorem 玻耳兹曼的均分定理 60
- Boltzmann's principle 玻耳兹曼原理 60, 65, 70 - 75
- Einstein and 爱因斯坦和 ~ 70 - 75
- summary of ~ 总结 74 - 75
- Planck's use of 普朗克对 ~ 的运用 371
- term coined 术语的创造 19, 65
- Boltzmann's statistical method 玻耳兹曼的统计方法 63 - 65, 70 - 72, 377, 424
- Born, Max 玻恩
- determinism 决定论 442
- Einstein correspondence with 爱因斯坦与 ~ 的通信 443
- Einstein on 爱因斯坦论 ~ 442, 443
- Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对 ~ 工作的认识 214
- gravitation 引力
- accelerated finite system 有限加速系 214
- rigid bodies 刚体 214 - 216
- other references 其他文献 141, 167, 168, 172, 232, 302, 306, 316, 397, 405, 412, 421, 460, 461, 464, 467, 515, 518
- Bose 玻色 (参见以“玻色-爱因斯坦”开头的条目) 423 - 425, 428
- derivation of Planck's law 普朗克定律的推导 423, 425 - 428
- other references 其他文献 59, 361, 377, 423 - 431, 438, 441
- Bose-Einstein condensation phenomenon 玻色-爱因斯坦凝聚现象 59, 428 - 430, 432 - 433
- postscript on ~ 的补充 432 - 433
- Bose-Einstein gas 玻色-爱因斯坦气体 329, 343

Bose-Einstein statistics 玻色-爱因斯坦统计 438 - 439

Boltzmann counting vs 玻尔兹曼计数 (比较) 430

Bose statistics 玻色统计 377, 427, 429, 430

chronology of ~ 年表 424

phase transitions in ~ 中的相变 432 - 433

Brownian motion 布朗运动

Avogadro's number and 阿伏伽德罗常数与~ 88 - 92, 94 - 95, 99

Boltzmann on 玻尔兹曼论~ 56

diffusion as Markovian process 作为马尔可夫过程的扩散 97 - 98

Einstein's contribution to 爱因斯坦对~ 的贡献 19, 56, 58, 86, 89, 94 - 100

Einstein's knowledge of history of 爱因斯坦对~ 的历史的认识 94

experimental confirmation of ~ 的实验证实 99

Gouy on 古伊论~ 94

invisibility of molecules and 分子的不可见性与~ 86

molecular reality and 分子实在性与~ 93 - 100

Nägeli-Ramsey objection 内格里-拉姆齐的反驳 93 - 94, 99, 101

in nineteenth century ~ 在 19 世纪 93 - 94

Perrin on 佩兰论~ 99

Poincaré on 庞加莱论~ 94

Smoluchowski on 斯莫鲁霍夫斯基论~ 100 - 101

subsequent to 1905 1905 年以后的~ 99 - 100

Bucherer extended electron model 布赫雷尔广延电子模型 159

## C

Carnot's principle 卡诺原理 94

Cartan-Einstein correspondence 嘉当-爱因斯坦通信 224, 345

Cauchy problem 柯西问题 291

Causality 因果性(律)

Einstein and 爱因斯坦和~ 15, 20, 24, 31, 252, 411 - 412

experimental verdict on ~ 的实验判据 421

Heisenberg on 海森伯论~ 444

nineteenth century view of 19 世纪的~ 观点 5 - 6

Planck on 普朗克论~ 465

quantum theory as issue in 作为~ 问题的量子理论 6

Schrödinger on 薛定谔论~ 443

spontaneous emission of radiation and 辐射的自发发射与~ 418 - 421

Centrifugal field, gravitational field vs 中心场, 引力场与~ (比较) 243

Chemistry, birth of modern 化学, 现代~ 的诞生 79

Christoffel four-index symbol 克里斯托菲尔四指标符号 217, 218

Classical mechanics 经典力学(见“牛顿经典力学”)

Clausius's principle 克劳修斯原理 60

Clock paradox 时钟佯谬 145

Closed system, total energy-momentum of 封闭系统, ~ 的总能量-动量 277

Cloud chamber techniques 云室技术 380

Coarse-grained probability 粗粒几率 64

Committee on Intellectual Cooperation 学术合作委员会 12, 316 - 317

Complexions, counting 配分, 计数~ 63,

71, 72  
 Compton effect 康普顿效应 24, 412 - 414, 426, 445, 446  
 Connections 联络  
   nonsymmetric 非对称 ~ 348 - 349  
   theory of ~ 理论 23, 339 - 340  
 Conservation laws 守恒定律 127, 196, 205, 220, 256, 274 - 278, 341 (参见“能量-动量守恒”)  
   of momentum 动量 ~ 127  
   nonconservation 不守恒 418 - 419, 425, 428  
   photons and 光子和 ~ 431 - 432  
 Constructive theory 构造性理论 27, 31  
 Contraction hypothesis 收缩假说 141  
 Correspondence principle of relativity 相对论的对应原理 29  
 Cosmological term 宇宙学项 330  
 Cosmology 宇宙学 267, 268, 281 - 288, 299  
   chronology of Einstein's involvement with 爱因斯坦涉足 ~ 的年表 287 - 288  
   general relativistic 广义相对论的 ~ 285  
   in 1917 1917 年的 ~ 286  
   in nineteenth century 19 世纪的 ~ 285  
 Critical opalescence 临界乳光 58, 100 - 103  
 Cygnus A 天鹅座 A 270

## D

Dalton's chemistry 道尔顿化学 79 - 81  
 Density, fine and coarse-grained 密度, 细粒与粗粒 ~ 64  
 Determinism 决定论 442  
   indeterminism 非决定论 444  
 Differential geometry 微分几何

Einstein and 爱因斯坦和 ~ 8, 44, 212, 213, 467  
 relativity and post-Riemannian 相对论与后黎曼 ~ 336 - 341  
 Diffusion as Markovian process 作为马尔可夫过程的扩散 97 - 98  
 Dimensionless constants 无量纲常数 34  
 Distant parallelism 距离平行性 346  
 Doppler effect 多普勒效应 121, 154, 328  
 Double refraction 双折射 119  
 Duane-Hunt limit 杜安-洪特极限 381 - 382  
 Dulong-Petit rule 杜隆-珀替定则 60, 390 - 393

## E

Eddington and unified theories 爱丁顿和统一理论 339, 342, 343  
 Einstein, Albert 阿尔伯特·爱因斯坦  
   in Aarau 在阿劳 40, 131  
   academic career 学术生涯 45 - 46  
   administrative 行政的 184 - 185, 239, 240, 249, 312 - 313  
   applications for university positions 申请大学职位 45 - 46  
   Bavarian Academy, resignation from 巴伐利亚科学院, 辞职 450  
   Berlin, University of 柏林大学 209, 239, 313  
   Cal Tech 加州工学院 317  
   Collège de France 法兰西学院 316  
   Columbia University 哥伦比亚大学 209  
   Institute for Advanced Study 高等研究院 6, 7, 450, 453, 492 - 493  
   Leiden, University of 莱顿大学 313, 451, 526  
   Madrid 马德里 451

Physikalisch Technische Reichsanstalt  
帝国技术物理研究所 209, 249  
Prague, Karl-Ferdinand University 布  
拉格, 卡尔-菲迪南大学 192 - 193  
Oxford 牛津 451  
Privatdozentship 无薪讲师 184 - 185  
Prussian Academy 普鲁士科学院 239 -  
241, 243, 312 - 313, 316 - 317, 450,  
504  
Utrecht, University of 乌得勒支大学  
209 - 210  
Vienna 维也纳 209, 228  
Zürich, ETH 苏黎世 ETH 208, 209,  
239  
Zürich, University of 苏黎世大学 185 -  
187, 193, 208 - 209  
administrative duties 行政工作 184 -  
185, 239, 240, 249, 312 - 313  
Emergency Committee of Atomic Sci-  
entists 原子科学家非常委员会 475  
Kaiser Wilhelm Institute 威廉皇家研  
究所 312  
Physikalisch Technische Reichsan-  
stalt, kuratorium of 帝国技术物理研  
究所, 理事 249  
Prussian Academy 普鲁士科学院 313  
Akademie Olympia 奥林匹亚科学院 47  
anti-semitism and 反犹太主义和 ~ 184 -  
186, 192, 314 - 317, 502  
apartness 离群 13, 14, 39, 385, 386,  
461  
arts, visual 视觉艺术 16  
atomic weapons 原子武器 454, 474,  
490  
authority, attitude to 对权威的态度  
38 - 39  
awards 奖(参见下面“荣誉博士”)  
Nobel prize 诺贝尔奖(见“诺贝尔奖”  
条)  
Planck medal 普朗克奖章 30 - 31

Bergson's philosophy 伯格森哲学 510  
in Bern 在伯尔尼 46 - 48, 186 - 187  
Bern lecture 伯尔尼演讲 132  
in Berlin 在柏林 239 - 244, 312 - 318  
Besso and 贝索和 ~ 477  
biographies of ~ 传记 48 - 49  
birth of 爱因斯坦的出生 35  
birth of grandchild 孙子出世 453  
birth of greatgrandchild 重孙出世 530  
birth of sons 儿子出世  
Eduard 爱德华 187  
Hans Albert 汉斯·阿尔伯特 18, 47  
Bohr and 玻尔和 ~ 416, 417, 420, 462  
Caputh summer house 卡普特避暑别墅  
317, 318, 450  
chronology of ~ 年表 520 - 530  
1907, 195  
1911, 195  
1920s, 313 - 317  
1932 - 1945, 449 - 454  
1945 - 1955, 473 - 478  
confidence of ~ 的自信 236  
conscientious objection 拒服兵役 474  
culture, as man of 作为文化人的 ~ 318 -  
319  
death of ~ 之死 325, 476 - 478  
death of Elsa (wife) 爱尔莎(妻)之死  
302, 452  
death of Hermann (father) 赫尔曼(父)  
之死 47, 302  
death of Ilse (step-daughter) 伊尔莎(继  
女)之死 452  
death of Maja (sister) 玛雅(妹)之死  
473  
death of Mileva (first wife) 米列娃(前  
妻)之死 476  
death of Pauline (mother) 保莉妮(母)  
之死 302 - 303  
death of sons 儿子之死 476  
decline of creativity 创造力衰退 320

disarmament 裁军 12, 314, 454  
divorce of Mileva 与米列娃离婚 240 - 241, 300 - 301, 503  
doctoral thesis 博士论文 46, 48, 58, 87 - 92  
  acceptance of ~ 的接受 88  
  Avogadro's number 阿伏伽德罗常数 88, 89, 92, 94 - 95  
  calculations in ~ 中的计算 90, 91  
  error in ~ 中的错误 92  
  importance of ~ 的重要性 89 - 90, 92  
  later work and 以后的研究与 ~ 92  
Dukas and 杜卡斯和爱因斯坦 317, 473  
education 教育 47  
electromagnetic theory 电磁理论 131 - 132  
empiricism 经验主义 14  
in England ~ 在英国 311 - 312  
English language, knowledge of ~ 的英语知识 66  
ETH examination ETH 考试 40  
as ETH student ETH 学生 41, 45, 131 - 132  
First World War 第一次世界大战 242 - 244, 313  
fresh start, importance of 新起点的, ~ 意义 461  
Gandhi's methods 甘地的方法 474  
on German people ~ 论德国人 475  
Germany and 德国和 ~ 308, 312 - 318  
leaves 离去 449 - 450  
Gibbs and 吉布斯和 ~ 72 - 73  
Gibson lecture 吉布森演讲 148, 451  
Grossmann and 格罗斯曼和 ~ 476, 486  
Heisenberg and 海森伯和 ~ 441  
Hilbert and 希尔伯特和 ~ 257 - 261, 274 - 275  
honorary doctorates 荣誉博士 45, 186, 523  
illness 病 299 - 301, 317

last 最后几年 475 - 476  
Israel and 以色列和 ~ 475 - 477  
Israeli presidency offered to 请 ~ 出任以色列总统 11, 476  
Jewish identity of ~ 的犹太人身份认同 314 - 315, 475, 476, 517  
Jews, fate of 犹太人命运 12 - 13, 312, 314, 475, 518  
knowledge of work of others 爱因斯坦对别人工作的认识  
Bianchi identities 比安基恒等式 256  
Bohr 玻尔 416  
Boltzmann 玻耳兹曼 44, 55, 66 - 68  
de Broglie 德布罗意 437 - 438  
Born 玻恩 214  
Eötvös 厄缶 204, 216 - 217  
Gibbs 吉布斯 19, 55, 70, 72  
Hertz 赫兹 131  
Levi-Civita 列维-契维塔  
literature on relativity 相对论文献 164 - 166  
Lorentz 洛伦兹 121, 125, 131, 133  
Loschmidt objection 洛施米特的反驳 67  
Maxwell 麦克斯韦 66 - 67, 131  
Michelson-Morley experiment 迈克尔逊-莫雷实验 21, 115 - 119, 131 - 133, 141, 165  
Poincaré 庞加莱 133 - 134, 165 - 166  
Rayleigh 瑞利 70  
Ricci 里奇 212  
Soldner 佐尔德纳 200  
Weber 韦伯 391  
Kyoto address 京都演讲 132, 139, 179, 211  
last will and testament 遗愿和遗嘱 476  
in Le Coq 在勒科克海滨 450, 452, 493  
League of Nations, Committee on Intellectual Cooperation 国际联盟, ~ 学术合作委员会 12, 316 - 317

legend 传奇 7-8, 306-312  
  canonized 圣化 303-306  
  response to 反响 311-312  
Lenard and 勒纳德和~ 316  
literature 文献 16, 36, 47, 518  
Lorentz and 洛伦兹和~ 8, 169, 209-210, 271-272  
Mach and 马赫和~ 216, 282-284  
Mach's phenomenalism 马赫的现象论 13  
marriage to Mileva(first wife) ~与米列娃(第一任妻子)结婚 47  
marriage to Elsa ~与爱尔莎结婚 300-301, 503  
on married life ~谈婚姻生活 301-302  
mathematics, emphasis on 数学,对~的强调 172  
on Maxwell ~论麦克斯韦 319, 463  
military service 兵役 39, 45  
Mühsam and 米萨姆和~ 489  
in Munich ~在慕尼黑 37-40  
music 音乐 16, 36, 301, 473  
Navy Bureau of Ordnance 海军军械局 12, 454, 529  
in New York ~在纽约 452, 528  
newspaper articles by ~的报刊文章 241  
newspapers and 报纸和~ 11, 171, 306, 308-311, 346, 350, 420, 455  
Nobel prize 诺贝尔奖(见“诺贝尔奖”条)  
Noether and 诺特和~ 276  
on Oppenheimer case 关于奥本海默事件 11, 38  
overview of personal biography of ~对个人传记的看法 10  
pacifism 和平主义 11-12, 242-244, 312-314, 516  
parents of ~的父母 35  
in Paris ~在巴黎 316  
patent applications 专利申请 489-490

patent office in Bern 伯尔尼专利局 18, 26, 46-48, 184, 208, 476, 477  
Pauli and 泡利和~ 8, 347, 349, 496  
in Pavia ~在帕维亚 39-40  
Pavia essay 帕维亚论文 130-131  
personal habits 个人习惯 473  
personal life in 1904 1904年的个人生活 18  
personality 个性 7-8, 17  
philosophical reading/discussion 哲学阅读/讨论 13, 47, 133, 318-319  
physical appearance of ~的外貌 36, 46-47  
*Physical Review* and 《物理学评论》和~ 495  
Planck and 普朗克和~ 26-27, 68, 372  
political ideas/activities 政治思想/行动 11-12, 312, 316-317, 452, 454, 474-475  
popular articles 通俗文章 299, 414  
in Prague ~在布拉格 187, 192-193  
precursors, acknowledged ~承认的先驱者 13, 283  
to Princeton 到普林斯顿 449-454  
Rathenau murder and 拉特瑙谋杀案和~ 316-317, 503  
response to reactions of others 对别人反应的回答 462  
religion 宗教 17, 27, 30, 35-36, 38, 39, 41, 192, 319  
retirement 退休 453  
in Schaffhausen 在夏夫豪森 46  
school years 中学时代 36-41  
scientific collaborations 科学合作(参见“爱因斯坦的科学合作”)  
scientific method 科学方法 13-15, 31  
scientific papers by ~的科学论文(见“爱因斯坦的科学论文”)  
scientific work and ideas of ~的科学研究和思想(见具体题目,即布朗运动、

- 因果性、量子理论)
- separation of relativity theory and quantum theory 相对论和量子理论的分离 462 - 464
- sister Maja and 妹妹玛雅和~ 35, 452, 473
- Smoluchowski and 斯莫鲁霍夫斯基和~ 101 - 103
- Spencer lecture 斯宾塞演讲 449, 451, 460 - 461
- on Spinoza ~谈斯宾诺莎 467
- students of ~的学生 186, 239 - 240
- supranational ideals 超国家理想 12, 313, 314
- Swiss citizenship 瑞士公民权 41, 45, 308, 315, 503 - 504
- teaching, attitude toward 教学,对~的态度 46, 186, 239 - 240
- theoretical work, summary of 理论工作,总结 17 - 24
- travel 旅行 317, 503
- in Ulm ~在乌尔姆 35 - 36
- U. S. citizenship 美国公民身份 453
- in Vienna ~在维也纳 228 - 236
- Weber and 韦伯和~ 44, 45
- Winteler family 温特勒一家 40
- in Winterthur ~在温特图尔 46
- world government 世界政府 313, 314, 474
- writing style 写作风格 16, 194 - 195, 417
- as young child 作为小孩子 36 - 37
- Zionism 犹太复国主义 314 - 315, 451
- in Zürich ~在苏黎世 40 - 45, 184 - 187, 208 - 210
- Einstein-Bose condensation phenomenon 爱因斯坦-玻色凝聚现象 59, 428 - 430, 432 - 433
- Einstein-de Haas effect 爱因斯坦-德哈斯效应 245 - 249
- Einstein-Grossmann correspondence 爱因斯坦-格罗斯曼通信 224 - 225
- Einstein-Mayer theory 爱因斯坦-迈尔理论 333 - 334
- Einstein-Podolsky-Rosen argument 爱因斯坦-波多尔斯基-罗森论证 456
- Einstein-Richardson effect 爱因斯坦-里查德逊效应 246
- Einstein-Smoluchowski correspondence 爱因斯坦-斯莫鲁霍夫斯基通信 100 - 103
- Einsteinian universe 爱因斯坦宇宙 286
- Einstein's scientific collaborations 爱因斯坦的科学合作 187, 483 497
- Bargmann 巴格曼 347, 496
- Bergmann 伯格曼 347, 496
- Bucky 布基 495
- Ehrenfest 埃伦费斯特 328, 488
- Fokker 福克尔 236 - 237, 487
- Goldschmidt 戈德施密特 313, 490 - 491
- Grommer 格罗梅 290, 328, 329, 333, 342, 466, 487 - 488
- Grossmann 格罗斯曼 204, 212 - 213, 216 - 225, 231, 233, 237, 243 - 244, 251, 257, 285, 486
- aftermath ~后来的事情 223 - 226
- derivation of equations by ~对方程的推导 237
- developments prior to ~以前的发展
- general covariance 广义协变性 243 - 244
- Grossmann's contribution 格罗斯曼的贡献 217 - 221
- second paper 第二篇论文 244
- stumbling block 绊脚石 221 - 223
- de Haas 德哈斯 245 - 249, 487
- Habicht brothers 哈比希特兄弟 484 - 485
- Hoffmann 霍夫曼 290 - 291, 347, 495 - 496
- Hopf 霍普夫 485

Infeld 英费耳德 290 - 291, 347, 495  
 Kemeny 凯梅尼 497  
 Kraichnan 克莱奇南 497  
 Kaufman 考夫曼 497  
 Lanczos 兰佐斯 491 - 492  
 Laub 劳博 154, 188 - 189, 484  
 Mayer 迈尔 333 - 334, 451 - 452, 492 - 494  
 Mühsam 米萨姆 313, 488 - 489  
 Müntz 明茨 491 - 492  
 Nohel 诺赫尔 485 - 486  
 Pauli 泡利 496  
 Podolsky 波多尔斯基 347, 448, 455 - 457, 466, 494  
 Ritz 里兹 484  
 Rosen 罗森 280, 289, 347, 448, 455 - 457, 466, 494 - 495  
 de Sitter 德西特 494  
 Stern 斯特恩 486  
 Straus 施特劳斯 347, 496 - 497  
 Szilard 西拉德 313, 489 - 490  
 Tolman 托尔曼 494  
 Einstein's scientific papers 爱因斯坦的科学论文  
 1900 45  
 1901 18  
 1902 18, 55  
 1903 19, 67  
 1904 19, 67 - 68  
 1905 17 - 19, 24, 28, 30, 38, 47 - 48, 89, 94, 138, 140, 266, 357, 372, 375 - 378, 402, 417, 428, 462  
 1906 58, 89, 358, 389, 402  
 1907 95, 153, 164 - 166, 179 - 183, 189, 194, 195  
 1908 - 1911 185  
 1909 185  
 1910 72, 95  
 1911 89, 194, 230  
 1912 201 - 206  
 1913 194

1914 243 - 244, 250  
 1915 241, 247  
     November 4 (11月4日) 250 - 252  
     November 11 (11月11日) 252 - 253  
     November 18 (11月18日) 253 - 256, 260  
     November 25 (11月25日) 256 - 257  
 1916 89, 272, 276 - 278, 280, 299, 405  
 1917 285, 299, 405, 462  
 1920s (20世纪20年代) 328 - 329  
 1920 297  
 1921 142, 177 - 178  
 1922 328, 342  
 1923 342 - 343  
 1924 - 1925 343, 431  
 1925 343 - 344  
 1926 329  
 1927 333, 344, 444  
 1928 344  
 1929 - 1930 346  
 1931 347  
 1932 451  
 1935 455  
 1937 494 - 495  
 1938 495 - 496  
 1939 289  
 1941 347  
 1943 496  
 1944 496  
 1945 - 1955 474  
 Bose-Einstein gas 玻色-爱因斯坦气体 329  
 Brownian motion 布朗运动 95 - 99  
 collaborative 合作的(见“爱因斯坦的科学合作”)  
 critical opalescence 临界乳光 101 - 104  
 later writings 后来的著作 318 - 320, 456  
 miscellaneous 多才多艺 329



- Morgan manuscript 摩根手稿 142, 178  
 Prague 布拉格(见“引力布拉格论文”)  
 purely mathematical 纯数学 344 - 345  
 review of relativity 相对论评论 164 - 166  
 specific heat 比热 58, 89, 358, 389, 402  
 statistical physics, chronology of 统计物理学, 年表 56 - 59  
 Electrolysis 电解 56 - 57  
 Electromagnetic field, gravitational field and 电磁场, 引力场和~ 203 - 204  
 Electromagnetic mass 电磁质量 155 - 159, 166  
 Lorentz on 洛伦兹论~ 166  
 Electromagnetism 电磁学  
 covariance and 协变性和~ 129, 145 - 146  
 Einstein's interest in before 1905 1905 年以前爱因斯坦的~兴趣 130 - 134  
 free fields and interactions 自由场和相互作用 383 - 384  
 Lorentz on 洛伦兹论~ 123  
 Maxwell's theory of ~的麦克斯韦理论 119 - 120  
 Mechanical pictures of ~的力学图景 138  
 unified field theory and 统一场论和~ 23  
 Electron 电子 120, 359 - 360  
 Electron spin 电子自旋 426, 466  
 Empiricism 经验主义 14  
 Energy fluctuations 能量涨落 20, 58, 402 - 405, 418  
 Energy-momentum conservation 能量-动量守恒 220, 256, 274 - 278, 418 - 419, 421  
 experimental verdict on ~的实验证明 421  
 Energy-momentum pseudotensor, 能量-动量赝张量 63, 277, 300, 301  
 Entropy, term 熵, 术语 60  
 Entropy and probability 熵和几率(参见“热力学第二定律”) 19, 55 - 75  
 Boltzmann on 玻耳兹曼论~(参见“玻耳兹曼原理”) 60 - 68  
 definition of *entropy* 熵的定义 60  
 definition of thermodynamic probability 热力学几率的定义 62 - 63, 65  
 Einstein's contribution to, summary of 爱因斯坦对~的贡献, 总结 55 - 60  
 Maxwell on 麦克斯韦论~ 60 - 62, 65 - 67  
 to 1905 到 1905 年的~ 65 - 70  
 statistical vs absolute character of ~的统计特性与绝对特性 61 - 62  
 Eötvös experiments 厄缶实验 57, 204, 216 - 217, 235  
 Equipartition theorem 均分定理 6, 393 - 395  
 Boltzmann's 玻耳兹曼的~ 60  
 of classical statistical mechanics 经典统计力学的~ 29  
 Equivalence principle 等效原理 179 - 181, 195 - 196, 203 - 205, 214, 219  
 Ergodic theory 各态历经理论 65, 68, 69  
 Ether 以太(见“Aether”)  
 Euclidean geometry 欧几里得几何 213, 235  
 Expanding universe 膨胀的宇宙 268, 288
- ## F
- Fermi-Dirac statistics 费米-狄拉克统计 432  
 Ferromagnetism 铁磁性 246 - 249  
 Fiber bundles, theory of 纤维丛理论 240  
 Field concept 场概念 289  
 Field equations of gravitation 引力场方程

221, 239 - 261  
 final steps to general relativity 通向广义相对论的最后几步 250 - 257  
 November 4 11月4日 250 - 252  
   November 11 11月11日 252 - 253  
   November 18 11月18日 253 - 256  
   November 25 11月25日 256 - 257  
 general covariance in ~的广义协变性 250 - 251, 253  
 Hilbert and 希尔的伯特和~ 274 - 275  
 Newton's law and 牛顿定律和~ 252  
 Perihelion of Mercury 水星近日点 253 - 256  
 variational principle and 变分原理和~ 274 - 275  
 Field theories of gravitation 引力场论 228 - 237  
 to 1912, summary of 1912年前的~综述 234  
 to 1913 1913年的~ 228  
 c. 1920 1920年前后的~ 325 - 328  
 Abraham on 亚伯拉罕论~ 229 - 235  
 Einstein-Grossmann 爱因斯坦-格罗斯曼 240  
 equivalence principle in 引力场论中的等效原理 234, 235  
 Lorentz on 洛伦兹论~ 229 - 230  
 Maxwell's vector theory 麦克斯韦的矢量理论 229, 230  
 Mie on 米论~ 229, 234, 239  
 Nordström on 诺德斯特勒姆论~ 240  
 overdetermination 超决定 464 - 468  
 scalar 标量 233 - 235  
 various 不同的 229  
 Fine-grained probability 细粒几率 64  
 First World War 第一次世界大战 242 - 244, 313  
 FitzGerald-Lorentz contraction 菲茨杰拉德-洛伦兹收缩 122 - 123, 166, 167, 168

FitzGerald's work, Lorentz' knowledge of 菲茨杰拉德的工作, 洛伦兹对~的认识 123 - 124  
 Fizeau experiment 斐索实验 115 - 119, 123, 127, 139, 145, 150  
 Einstein and 爱因斯坦和~ 139, 145  
 von Laue and 冯·劳厄和~ 150  
 Lorentz and 洛伦兹和~ 123  
 Poincaré and 庞加莱和~ 127  
 Fluctuations, theory of 涨落理论 55, 69 - 70, 435 - 436 (参见“能量涨落”)  
 Foucault pendulum 傅科摆 282  
 Fresnel's aether hypothesis 菲涅尔以太假说 118, 123, 124  
 Fresnel's drag coefficient 菲涅尔拖曳系数 118, 123, 144 - 145  
 Friedmann universe 弗里德曼宇宙 62, 291

## G

Galactic motions 银河系运动 286  
 Galilean invariance 伽利略不变性 140  
 Galilean transformations 伽利略变换 140  
 Gandhi's methods 甘地的方法 474  
 Gauge condition 规范条件 280  
 Gauge fields, local non-Abelian 规范场, 定域非阿贝尔~ 32, 33  
 Gauge transformations 规范变换 340 - 341  
 Gauss's theory of surfaces 高斯曲面理论 211 - 212  
 Gay-Lussac law 盖-吕萨克定律 81  
 Geiger-Bothe experiment 盖革-波特实验 445 - 446  
 Geometrization, program of 几何化纲领 33  
 Germany, Einstein and 德国, 爱因斯坦和~ 308, 312 - 318, 449 - 450, 475

Gibbs's papers 吉布斯论文  
 Einstein knowledge of 爱因斯坦对~的认识 19, 55, 70, 72  
 Einstein on 爱因斯坦论~ 72 - 73  
 Gravitation 引力(参见“爱因斯坦论引力”)  
 equivalence principle in ~的等效原理(见“等效原理”)  
 field equations of ~场方程(见“引力场方程”)  
 field theories of ~场论(见“引力场论”)  
 general covariance 广义协变性 219 - 223  
 Lorentz on 洛伦兹论~ 279  
 Maxwell's equations 麦克斯韦方程 181 - 182  
 Nordström on 诺德斯特勒姆论~ 229, 232 - 236  
 Poincaré on 庞加莱论~ 129, 279  
 rigid bodies 刚体 214 - 216  
 structure of matter and 物质结构与~ 253  
 variational principle applied to 变分原理对~的应用 258  
 Gravitation, Einstein on 引力, 爱因斯坦论~ 178 - 182, 192 - 206  
 bending of light 光线的弯曲 181 - 182, 194 - 200  
 detectable 可测 194 - 200  
 $E=mc^2$  for gravitational mass 引力质量的  $E=mc^2$  182  
 energy of ~能量 196 - 198  
 equivalence principle 等效原理 179 - 181, 195 - 196, 203 - 205  
 general covariance 广义协变性 221 - 223  
 Maxwell's equations 麦克斯韦方程 181 - 182  
 Prague papers 布拉格论文 192 - 206  
 bending of light 光线的弯曲 198 -

200  
 equivalence principle 等效原理 195 - 196  
 gravity of energy 引力能 196 - 198  
 red shift 红移 180 - 181, 196 - 198

## H

Hawking radiation 霍金辐射 292  
 Heisenberg 海森伯  
 causality 因果性 444  
 Einstein and 爱因斯坦和~ 441  
 indeterminacy 非决定性 334  
 Nobel prize 诺贝尔奖 24, 515, 516  
 quantum mechanics 量子力学 249, 441 - 442  
 simplicity 简单性 467  
 uncertainty principle 测不准原理 444, 445  
 other references 其他文献 20, 24, 249, 329, 362, 405, 420, 435, 440 - 442, 448, 516  
 Hidden variable, term 隐变量, 术语 456  
 Hilbert condition 希尔伯特条件 280  
 Hubble's law 哈勃定律 268

## I

Indistinguishability 不可分辨性 430 - 431  
 Indivisibility of matter 物质的不可分性 85 - 86  
 Inertia 惯性  
 Einstein on 爱因斯坦论~ 287  
 Mach's law of 马赫的~定律 284  
 Inertial frames 惯性系 138, 140, 141  
 Institute for Advanced Study in Princeton 普林斯顿高等研究院 6 - 7, 450, 453,

492 - 493

Invisibility of atoms 原子的不可见性 86

Ions 离子 120

Israel, Einstein and 爱因斯坦和以色列  
475 - 477

presidency offered 请当总统 11, 476

## J

Jeans law 金斯定律 404

Jews fate of 犹太人命运 12 - 13, 312,  
314, 475, 518

Jupiter effect 木星效应 111

## K

Kaluza theory 卡鲁扎理论 329 - 334

Kaluza-Klein theory 卡鲁扎-克莱因理论  
331 - 335, 347

Einstein on 爱因斯坦论~ 334 - 335

Kinetic theory of gases 气体运动论 82 -  
85

Kirchhoff's law of blackbody radiation 基  
尔霍夫的黑体辐射定律 26, 364 - 366

Klein theory 克莱因理论 329 - 336

Einstein on 爱因斯坦论~ 333 - 336

Kursunoglu's theory 库尔苏诺格鲁理论  
348

## L

Landé factor 兰德因子 247

Langevin extended electron model 朗之万  
广延电子模型 159

League of Nations 国际联盟 12, 316 - 317  
796

Lense-Thirring effect 伦斯-瑟林效应 284

Leptons 轻子 33

Light aberration of 光行差 117 - 119

Light emission by canal rays 阳极射线  
的光发射 329

Light-quantum 光量子 19, 38, 56, 58,  
364 - 368, 376 - 378 (参见“光子”)  
cloud chamber techniques and 云室技术  
和~ 380

Compton effect proves 康普顿效应证实~  
24

Duane-Hunt limit 杜安-洪特极限 381 - 382

Einstein's cautious attitude toward 爱  
因斯坦对~的谨慎态度 382 - 383,  
410 - 411

Einstein's discovery of 爱因斯坦的~发  
现 71

experimental evidence for ~的实验证据  
384 - 385

heuristic principle and 启发性原理和~  
377 - 378, 381, 382  
statement of ~的表述 377

Lorentz on 洛伦兹论~ 384

momentum properties of ~的动量性质  
20, 407 - 409

paradox of ~佯谬 361

as particles 作为粒子的~ 403

photon and 光子和~ 407 - 408

Planck on 普朗克论~ 372 - 375, 378,  
384

Rayleigh-Jeans law 瑞利-金斯定律 373 -  
375

reactions to 对~的反应 357 - 358,  
361, 382 - 386

reality of ~的实在性 410 - 411

Light scattering, classical theories of 光散  
射, 经典理论 414

Liquid surfaces, thermodynamics of 液体  
表面, 热力学 56 - 57

Lorentz 洛伦兹(参见以“洛伦兹”开头的

条目)

aberration of light 光行差 117 - 119

aether 以太 166 - 167

atomistic electromagnetic theory 原子的电磁理论 123

death of ~之死 171

Einstein and, personal relationship 爱因斯坦与~, 个人关系 8, 169, 209 - 210, 271 - 272

Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对~工作的认识 121, 125, 131, 133

electrodynamics 电动力学 120

electromagnetic mass 电磁质量 155 - 159, 166

equation for electron 电子方程 139

FitzGerald-Lorentz contraction 菲茨杰拉德-洛伦兹收缩 21, 167, 168

FitzGerald's work, knowledge of ~对菲茨杰拉德工作的认识 123 - 124

Fizeau experiment 斐索实验 117 - 119

gravitation theory 引力论 229 - 230, 279

on Kaufman ~论考夫曼 166

light-quantum, attitude toward ~对光量子的态度 384

Michelson-Morley experiment 迈克尔逊-莫雷实验 112 - 113, 123, 125

Nobel prize 诺贝尔奖 153, 505 - 507

Poincaré and 庞加莱和~ 127 - 129, 169

relativity and, attitude toward ~与相对论, 对~的态度 167

special relativity 狭义相对论 21, 27, 120 - 127

contributions prior to 1905 1905年前对~的贡献 123 - 126

on time ~论时间 125, 167

Voigt's work 伏依特的工作 121 - 122

other references 其他文献 12, 13, 15, 16,

44, 59, 63, 73, 112, 113, 115 - 131, 133, 139, 141, 145, 146, 152 - 157, 159, 163 - 167, 171, 172, 177, 193, 194, 201, 209, 210, 228 - 230, 235, 236, 240, 243, 245, 250, 258, 259, 268, 270 - 273, 275, 278, 279, 282, 283, 291, 303, 304, 306, 316 - 318, 326, 358, 374, 399, 404, 431, 436, 461, 487, 505 - 508, 525

Lorentz covariance 洛伦兹协变性 126

Lorentz-FitzGerald contraction 洛伦兹-菲茨杰拉德收缩 21, 144, 167, 168

Lorentz group 洛伦兹群 129

Lorentz invariance 洛伦兹不变性 140 204, 231

Einstein on 爱因斯坦论~ 145

general relativity and 广义相对论和~ 183

Lorentz transformations 洛伦兹变换 21, 120, 123 - 126

Einstein and 爱因斯坦和~ 21, 142 - 144, 202, 204

Poincaré and 庞加莱和~ 129, 130

special theory relativity and 狭义相对论和~ 142 - 144

Loschmidt 洛施米特

Avogadro's number, method of determining 阿伏伽德罗常数, 决定方法 84 - 85

Boltzmann, influence on ~对玻耳兹曼的影响 61

Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对~工作的认识 67

on molecular reality ~论分子实在性 84 - 85

other references 其他文献 83, 91

## M

Mach 马赫

- death of ~之死 282
- Einstein and 爱因斯坦和 ~ 11, 13, 216, 282 - 288
- law of inertia 惯性定律 284
- mechanics 力学 283, 284
- molecular reality 分子实在性 83, 86, 103
- phenomenalism 现象论 13
- philosophy 哲学 283
- relativity theory 相对论 283
- rotation 旋转 282
- other references 其他文献 15, 44, 47, 133, 216, 282 - 288, 318, 505
- Mach's principle 马赫原理 284 - 288
- Magnetization by rotation 旋转引起的磁化 246
- Mass-energy equivalence 质-能等价 148 - 149
- for gravitational mass 引力质量的 ~ 182(参见“微分几何”、“黎曼几何”)
- Mathematics, Einstein and 数学, 爱因斯坦和 ~ 23
- education ~教育 37, 212
- impact on 对~的影响 340
- paper on 论~的论文 344 - 345
- Matrix mechanics 矩阵力学 20, 329, 425
- Matter 物质(参见“分子实在性”)
- current picture of basic constituents of ~基本结构的现代图景 33
- gravitation and structure of 引力和~结构 253
- Maxwell 麦克斯韦(参见以“麦克斯韦”开头的条目)
- on aether ~论以太 111 - 112
- death of ~之死 112
- demons of ~妖 61
- Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对~工作的认识 65 - 67, 131
- Einstein on 爱因斯坦论~ 319, 463
- on entropy and probability ~论熵和几率 60 - 62, 65 - 67
- field concept 场概念 119
- gyromagnetic effects 旋磁效应 246
- Michelson on 迈克尔逊论~ 112
- molecular reality 分子实在性 82, 85
- second law of thermodynamics 热力学第二定律 60 - 62
- specific heat of gases 气体的比热 393 - 394
- vector theory of gravitation 引力的矢量理论 229, 230
- other references 其他文献 13, 15, 19, 29, 30, 44, 59, 62, 94, 119 - 121, 131, 230, 237, 283, 289, 318, 392 - 394, 463
- Maxwell-Boltzmann distribution 麦克斯韦-玻耳兹曼分布 64
- Maxwell-Lorentz equations in electrodynamics 电动热力学的麦克斯韦-洛伦兹方程 139
- Einstein and 爱因斯坦和 ~ 140, 145, 147
- tensor form of ~的张量形式 152
- Maxwell's electrodynamics 麦克斯韦电动力学 119 - 120, 181 - 182, 288, 289, 325
- Einstein on 爱因斯坦论~ 140, 154
- for free fields 自由场的~ 384
- generally covariant form of ~的一般协变形式 220 - 221
- Meandering of rivers 河流的弯曲 329
- Mechanics, classical 经典力学(见“牛顿经典力学”)
- Mercury, perihelion of 水星, 近日点 22, 253 - 255
- Meson (pion) 介子( $\pi$ 子) 32, 360
- Michelson 迈克尔逊(参见以“迈克尔逊”开头的条目)
- on aether ~论以太 112
- death of ~之死 116
- on Maxwell ~论麦克斯韦 112

Nobel prize 诺贝尔奖 114  
 reaction to special relativity 对狭义相对论的反应 113 - 114  
 other references 其他文献 16, 21, 112 - 117, 119, 123, 125, 129, 131, 145, 318, 505  
 Michelson-Morley experiment 迈克尔逊-莫雷实验 111 - 119, 141  
 Einstein and 爱因斯坦和 ~ 145, 172 - 173  
 Einstein's knowledge of 爱因斯坦对 ~ 的认识 21, 115 - 119, 131 - 133, 141, 165  
 FitzGerald and 菲茨杰拉德和 ~ 122 - 124  
 Larmor on 拉摩论 ~ 123  
 Lorentz on 洛伦兹论 ~ 123, 125  
 Miller's results 米勒的结果 113, 144  
 Michelson-Rayleigh correspondence 迈克尔逊-瑞利通信 112 - 113  
 Mie's theory of gravitation 米的引力 229, 234, 235, 257, 258, 260  
 Molecular binding energy 分子束缚能 149  
 Molecular dimensions 分子大小 58  
 Molecular reality 分子实在性 79 - 104  
     Avogadro's law and 阿伏伽德罗定律和 ~ 81  
     Avogadro's number and 阿伏伽德罗常数 and ~ 88, 89, 92, 94 - 95  
     Brownian motion and 布朗运动和 ~ 93 - 100  
     critical opalescence and 临界乳光和 ~ 100 - 103  
     Marie Curie on, 玛丽·居里论 ~ 86  
     Einstein's doctoral thesis 爱因斯坦的博士论文 87 - 92  
     Einstein's interest in 爱因斯坦对 ~ 的兴趣 18 - 19  
     estimation of molecular dimensions 分子大小的估计 83 - 85

in nineteenth century 19 世纪的 ~ 79 - 86  
 in chemistry 化学中的 ~ 79 - 82, 85  
 indivisibility 不可分性 85 - 86  
 invisibility 不可见性 86  
 kinetic theory ~ 的运动论 82 - 85  
 osmotic pressure and 渗透压和 ~ 87  
 Ostwald on 奥斯瓦尔德论 ~ 83, 86, 103  
 Pfeffer conjecture 普费弗尔猜想 87  
 Prout's hypothesis 普劳特假说 82  
 Smoluchowski on 斯莫鲁霍夫斯基论 ~ 101 - 103  
 van't Hoff laws 范特霍夫定律 86 - 88  
 Morgan manuscript 摩根手稿 142, 178  
 Motion 运动  
     absolute 绝对 ~ 129  
     of resonator in radiation field 辐射场中的共振 ~ 58  
     singularities ~ 奇点 288 - 291  
 Muon  $\mu$  介子 360

## N

Navy Bureau of Ordnance 海军军械局 12, 454, 529  
 Needle radiation 针状辐射 431, 435  
 Nernst's heat theorem 能斯特热定理 396 - 399, 431  
 Neutrino 中微子 327, 360  
 Neutron 中子 360  
 Neutron star 中子星 278, 279  
     nuclear and gravitational forces in ~ 中的核力与引力 269  
 Newton 牛顿(参见以“牛顿”开头的条目)  
     absolute space 绝对空间 30  
     causality 因果性 5 - 6  
     Einstein on 爱因斯坦论 ~ 14

law of gravitation ~ 引力定律 252, 254, 305, 325  
general relativity and 广义相对论和~ 204  
Poincaré on 庞加莱论~ 129  
special relativity and 狭义相对论和~ 204  
law of inertia ~ 惯性定律 284  
on rotation ~ 论旋转 243, 282  
other references 其他文献 13 - 15, 24, 29, 194, 200, 257, 283, 289, 303, 306, 308, 312, 318, 319, 399, 460, 461, 508, 526  
Newton-Poisson equation 牛顿-泊松方程 221, 252, 285  
Newtonian classical mechanics 牛顿经典力学 203  
Einstein on 爱因斯坦论~ 460 - 461  
first axiom of ~ 的第一公理 63  
relativity and 相对论和~ 164  
Newtonian infinite, conundrum of 牛顿无限, 疑难 286, 287, 306  
Newtonian limit, Grossmann's difficulty with 牛顿极限, 格罗斯曼疑难 220, 222  
Nobel prize 诺贝尔奖  
Einstein's award 爱因斯坦获奖 48, 153, 300, 315, 317, 377, 386, 502 - 511  
Arrhenius's report 阿列纽斯报告 510  
citizenship status and 国籍状况与~ 503 - 504  
Gullstrand's reports, 古耳斯特兰德报告 509, 510  
news of award 获奖消息 503  
Oseen report 欧森报告 510, 511  
relativity vs photoeffect 相对论与光效应 511  
nominations by Einstein for 爱因斯坦为~ 的提名 13, 24, 448, 505 - 506,

513 - 518  
nominations of Einstein 爱因斯坦的提名 45, 506 - 510  
procedures of Academy for awarding 科学院授奖程序 502  
various recipients of ~ 不同的获得者 88, 103, 114, 153, 371, 448, 503, 505 - 506  
Noether theorem 诺特定理 259, 274, 276  
Nordström theory of gravitation 诺德斯特勒姆的引力论 204, 229, 232 - 236, 240  
Nuclear binding energy 核束缚能 149, 326  
Nuclear physics 核物理 326 - 327

## O

Objective reality 客观实在性 449, 451, 454 - 457, 464  
Oppenheimer case 奥本海默事件 7, 10 - 11, 38, 475  
Oppenheimer-Volkoff limit 奥本海默-沃尔科夫极限 269  
Osmotic pressure, molecular reality and 渗透压, 分子实在性和~ 87

## P

Pacifism, Einstein on 和平主义, 爱因斯坦论 11 - 12, 242 - 244, 312 - 314, 516  
Particle physics, history of 粒子物理学, 历史 359 - 361  
Particle-wave duality 波粒二象性 48, 49, 402 - 405, 443 - 444  
Particles 粒子  
ca. 1920 1920 年前后的~ 325 - 328



- new 新~ 33
- Patent applications 专利申请 489 - 490
- Patent office in Bern 伯尔尼专利局 18, 26, 46 - 48, 184, 208, 476, 477
- Perihelion of Mercury 水星近日点 22, 253 - 256
- Perrin 佩兰
- Brownian motion 布朗运动 99
- Nobel prize 诺贝尔奖 103, 508, 509
- other references 其他文献 92, 95, 97, 508, 509
- Pfeffer's conjecture 普费弗尔猜想 87, 88
- Phenomenalism, Einstein and 现象论, 爱因斯坦和~ 13
- Phenomenon*, usage of word 现象, 词的使用法 455
- Photoelectric effect 光电效应 357, 378 - 382
- Photochemical process, thermodynamics of 光化学过程, 热力学和~ 58
- Photon 光子 24, 358 - 359, 361, 402 - 414 (参见“BKS 提议”)
- Bohr on 玻尔论~ 418 - 419
- chance and 几率和~ 410 - 412
- Compton effect 康普顿效应 412 - 414
- condition of directedness 定向性条件 410
- Einstein on 爱因斯坦论~ 380 - 381, 410 - 412, 431 - 432
- light-quantum and 光量子 and ~ 407 - 408
- momentum fluctuations 动量涨落 408 - 410
- nonconservation ~ 不守恒 425, 428, 431 - 432
- particle picture 粒子图景 407 - 408
- properties of ~ 的性质 407
- resistance to 对~ 的阻力 357, 361, 382 - 386, 416 - 421
- spontaneous and induced radiative transitions 自发和感生辐射跃迁 405 - 407
- term 术语 407, 408
- waves vs 波与~ 418 - 419
- Photon spin 光子自旋 426
- Physical observation, knowledge and 物理观测, 知识和~ 5
- Physical Review*, Einstein and 《物理学评论》, 爱因斯坦与~ 495
- Physics 物理学
- everyday intuition and 日常直觉和~ 141
- history of ~ 的历史 26 - 31
- revolution and transition in ~ 中的革命和转变 26 - 31
- special theory of relativity and modern 狭义相对论与现代~ 155
- Pion (meson)  $\pi$  子(介子) 32, 360
- Planck 普朗克(参见以“普朗克”开头的有关词条)
- application of relativity to quantum theory 相对论在量子理论中的运用 151
- Boltzmann's influence on 玻耳兹曼对~ 的影响 62
- on Boltzmann's principle ~ 论玻耳兹曼原理 371
- causality 因果性 465
- Einstein and, personal relationship 爱因斯坦和~, 个人关系 26 - 27, 68, 372
- experimental evidence and acceptance of ideas ~ 思想的实验证据和接受 385 - 386
- light-quantum, attitude toward 光量子, 对~ 的态度 384
- molecular reality 分子实在性 82
- Nobel prize 诺贝尔奖 372, 505, 506, 508, 510, 511
- quantum mechanics 量子力学 404
- quantum theory 量子理论(见“量子理论”、“普朗克和~”)
- Rayleigh-Jeans law 瑞利-金斯定律 374 -

- relativity, first paper on 相对论, 第一篇论文 150 - 151
- specific heat at low temperatures 低温下的比热 397
- special relativity and 狭义相对论和 ~ 28, 150 - 151
- other references 其他文献 13, 15, 16, 20, 21, 26 - 28, 31, 60, 62, 69, 74, 119, 145, 149 - 151, 164, 174, 179, 192, 203, 239 - 243, 283, 312, 316, 318, 319, 358, 389, 394, 395, 398, 399, 402, 405, 425, 428, 438, 444, 465, 475, 502, 505, 506, 508, 510, 511, 513, 523, 524, 528
- Planck's constant 普朗克常数 60, 151
- Planck's law of black body radiation 普朗克黑体辐射定律 26, 27, 358, 368 - 378
- Avogadro's number and 阿伏伽德罗常数和 ~ 99 - 100
- Bose's new derivation of 玻色对 ~ 的新推导 423, 425 - 428
- Debye derivation of 德拜对 ~ 的推导 438 - 439
- Einstein's derivation of 爱因斯坦对 ~ 的推导 20, 280, 405 - 407
- Einstein on 爱因斯坦论 ~ 372 - 375, 378, 394 - 395
- Ponderomotive force in magnetic field 磁场中的有质动力 154
- Poincaré 庞加莱
- Aether 以太 127 - 128
- Brownian motion 布朗运动 94
- Carnot's principle 卡诺原理 94
- covariance of electrodynamics 电动力学的协变性 129
- Einstein and 爱因斯坦和 ~ 169 - 172
- Einstein's knowledge of work of 爱因斯坦对 ~ 工作的认识 133 - 134, 165 -

- electromagnetic mass 电磁质量 157 - 159
- gravitation 引力 129, 230, 279
- Lorentz and 洛伦兹和 ~ 127 - 129, 169
- Lorentz transformations and 洛伦兹变换和 ~ 21, 129, 130
- in 1905 ~ 在 1905 128 - 130
- on simultaneity ~ 论同时性 127
- special relativity 狭义相对论 21, 27, 126 - 130
- other references 其他文献 8, 29, 47, 115, 120, 121, 126 - 130, 133, 145, 155, 157 - 159, 162 - 172, 194, 209, 230, 270, 279, 505
- Positron 正电子 360 - 361, 452
- Probability 几率(参见“熵和几率”)
- Boltzmann's definition of 玻耳兹曼的 ~ 定义 62 - 63, 65
- coarse-and fine-grained 粗粒和细粒 ~ 64
- Einstein on 爱因斯坦论 ~ 62 - 63, 65, 73 - 74
- Einstein's definition 爱因斯坦的 ~ 定义 72
- Proton 质子 360
- Prout's law 普劳特定律 149
- Prussian Academy 普鲁士科学院 239 - 241, 243, 312 - 313, 316 - 317, 450, 504
- Pulsars 脉冲星 269, 270, 281

## Q

- Quadrupole formula 四极公式 279 - 281
- Quantum electrodynamics 量子电动力学 32
- Quantum field theory 量子场论 32, 463

Quantum mechanics 量子力学 404, 405  
complementarity interpretation 互补性  
诠释 456  
completeness 完备性 449  
Einstein's response to 爱因斯坦对~的  
反应 24, 31, 440 - 457  
incompleteness of ~的不完备性 456  
1925 - 1931, early debate 1925 - 1931,  
早期论战 440 - 449  
nonrelativistic version of ~的非相对论  
形式 24, 463  
Planck and 普朗克和~ 404  
relativistic version of ~的相对论形式  
32, 463  
Quantum statistics 量子统计 423 - 433  
Quantum theory 量子理论  
Bohr-Einstein dialogue on 关于~的玻  
尔-爱因斯坦对话 6 - 9, 445 - 449  
causality as issue in 作为争论焦点的因  
果性 6, 15  
discovery of ~的发现 27  
Einstein and 爱因斯坦和~ 153, 179,  
188 - 190, 197, 280, 320, 327 - 328  
contributions to 对~的贡献 19 - 20,  
23 - 24, 30 - 31, 358 - 359  
discomfort with 对~的不满 410 -  
412  
summary of beliefs 信仰总结 461  
interaction between radiation and matter  
辐射和物质的相互作用 28  
of molecular gas 分子气体的~ 59  
nonseparable classical motion 不可分经  
典运动 412  
"old" (1900 - 1925) "旧"~ (1900 -  
1925) 28 - 29, 383 - 384, 412, 425,  
462 - 463  
difficulties in ~的困难 418 - 419  
Planck and 普朗克和~ 28, 29, 361 -  
362, 368 - 372, 383 - 384  
probability interpretation of ~的几率解

释 6 - 9  
relativity theory and 相对论和~ 146 -  
147, 151  
resistance to ~的阻力 383 - 384  
as revolution 作为革命的~ 28 - 30  
solid state 固体~ 28, 358  
statistical mechanics, link between 统计  
力学,与~之间的联系 19 - 20, 56,  
74  
Quarks 夸克 33  
Quasars 类星体 270, 274  
Quasi-static world 准静态世界(宇宙) 288

## R

Radiation 辐射(参见“黑体辐射”)  
Einstein's application of statistical rea-  
soning to 爱因斯坦的统计推理在~  
中的运用 70  
Einstein's theory of 爱因斯坦的~理论  
185, 404  
equipartition applied to 用于~的能量均  
分定理 58  
quantum puzzles concerning 关于~的  
量子疑难 418 - 421  
status of theory in 1909 1909年的~理  
论状况 404  
Radiative equilibrium, quantum theory of  
辐射平衡,~的量子理论 328  
Radiative fluctuations 辐射涨落 409  
Radiative transitions, spontaneous and induced  
辐射跃迁,自发的和感生的~ 405 - 407  
Radio galaxy 射电星系 270  
Radioactive substances, transformations  
of 放射性物质,~的转变 149, 411, 412  
Rayleigh-Einstein-Jeans law 瑞利-爱因斯  
坦-金斯定律 403, 406  
Rayleigh-Jeans law 瑞利-金斯定律 373 -

Rayleigh scattering 瑞利散射 102, 103  
 Red shift 红移 177, 180 - 181, 196 - 198  
 Relativity, general theory of 相对论, 广义~  
 8, 9, 15, 266 - 292, 450 - 457 (参见“引力”、“爱因斯坦论~”)  
 1915 - 1980, 266 - 271  
 1915 - 1925, 268  
 after Einstein 爱因斯坦以后的~ 269 - 271  
 1930s (20 世纪 30 年代), 268 - 269  
 bending of light 光线的弯曲 30, 181 - 182  
 Bianchi identities 比安基恒等式 274 - 278  
 coordinate conditions 坐标条件 224  
 cosmology 宇宙学 (参见“宇宙学”条) 281 - 288  
 discovery of ~ 的发现 20 - 23  
 Einstein-Grossmann collaboration 爱因斯坦-格罗斯曼合作 (参见“爱因斯坦的科学合作”、“格罗斯曼”)  
 Einstein's response to 爱因斯坦对~ 的反应 440 - 457  
 energy and momentum conservation 能量和动量守恒 274 - 278  
 equivalence principle in ~ 中的等效原理  
 final steps toward 通向~ 的最后几步 250 - 257  
 gravitational energy 引力能 181 - 182  
 gravitational red shift 引力红移 180 - 181  
 gravitational waves 引力波 278 - 281  
 Lorentz invariance 洛伦兹不变性 183  
 Maxwell's equations 麦克斯韦方程 181 - 182  
 mechanical equations of ~ 的力学方程 203  
 predictions of ~ 的预言 273 - 274  
 Prague papers 布拉格论文 (见“引力”下

条目)

red shift 红移 197 - 198  
 solar eclipse expeditions 日食远征 268, 273  
 stellar structure and 星体结构和~ 269  
 tensors of ~ 的张量 218 - 219  
 three successes of ~ 的三个成功 269, 271 - 274  
 Relativity, special theory of 相对论, 狭义~  
 9, 15, 20, 21, 138 - 159  
 to 1905 到 1905 年时的~ 130 - 134  
 June 1905 1905 年 6 月 138 - 147  
 September 1905 1905 年 9 月 148 - 149  
 after 1905 1905 年后 153 - 155  
 aesthetic origins of ~ 的美学渊源 138  
 aether and 以太和~ 138  
 aether dynamics and 以太动力学和~ 114 - 115  
 applications of ~ 的应用 144 - 146  
 assimilation of ~ 的认同 27 - 28  
 discovery of ~ 的发现 21, 27  
 $E=mc^2$  148 - 149  
 early responses to 对~ 的早期反应 149 - 153  
 electromagnetic mass 电磁质量 155 - 159, 166  
 FitzGerald and 菲茨杰拉德和~ 122 - 124  
 historical background leading to 导致~ 的历史背景 111 - 134  
 impact on modern physics ~ 对现代物理学的影响 155  
 Larmor and 拉摩和~ 122 - 123, 126  
 Lorentz and 洛伦兹和~ 21, 27, 120 - 127  
 Lorentz transformations 洛伦兹变换 142 - 144  
 mass-energy equivalence 质能等价 148 - 149  
 Maxwell's theory of electromagnetism

and 麦克斯韦电磁理论和~ 119 - 120  
 Michelson-Morley experiment and 迈克尔逊-莫雷实验和~ 114 - 119  
 Michelson's reaction to 迈克尔逊反应 113 - 114  
 Minkowski's response to 闵可夫斯基对~ 的反应 151 - 152  
 Newtonian theory of gravitation and 牛顿的引力理论和~ 178 - 182  
 nonconstant light velocity and 非常数光速和~ 230  
 Planck and 普朗克和~ 28  
 Poincaré and 庞加莱和~ 21, 27, 126 - 130  
 postulates of ~ 的假设 140 - 142  
 precursors of ~ 的先驱 119 - 128  
 quantum theory and 量子理论和~ 146 - 147, 151  
 simplicity and 简单性和~ 138 - 140  
 tensor methods for ~ 的张量方法 152  
 time and 时间和~ 139  
 as transition in physics 作为物理学转变的~ 27 - 30  
 transition to general relativity ~ 向广义相对论的转变 154  
 Voigt and 伏依特和~ 120 - 122  
 Relativity theory 相对论(参见“狭义”和“广义”相对论)  
 experimental status of in 1979 1979 年的~ 实验状况 272 - 273  
 international conferences on ~ 的国际会议 163, 269 - 270, GR9, 270, 288, 291 - 292  
 Mach and 马赫和~ 283  
 as new way of thinking 作为新的思维方式的~ 163 - 164  
 Newtonian mechanics and 牛顿力学和~ 164  
 popular exposition of ~ 浅说 272  
 as transition 作为物理学转变的~ 29 -

30

Whittaker and 惠塔克和~ 168  
 Religion 宗教 17, 27, 30, 35 - 36, 38, 39, 41, 192, 319  
 Ricci calculus 里奇计算 276, 337 - 339  
 Ricci tensor 里奇张量 219, 221, 223, 237, 342 - 345  
 Riemann-Christoffel tensor 黎曼-克里斯托菲尔张量 218, 236 - 237, 276  
 Riemann space 黎曼空间 339  
 Riemannian geometry 黎曼几何 22, 23, 210, 212, 213, 277, 337  
 tensor calculus of ~ 的张量计算 217 - 219  
 with torsion 带挠率的~ 345  
 Rigid bodies 刚体 154  
 Rotation 旋转  
 Einstein on 爱因斯坦论~ 189  
 Mach on 马赫论~ 282  
 Newton's argument for absolute character of 牛顿对~ 的绝对性质的论证 243  
 zero point energy of 零点能 247  
 Rubens-Kurlbaum paper 鲁本斯-库尔鲍姆论文 366  
 Rutherford law of radioactive decay 卢瑟福辐射衰变定律 411  
 Rydberg's constant 里德伯常数 28

## S

Schrödinger 薛定谔  
 causality 因果性 443  
 Nobel prize 诺贝尔奖 24, 515, 516  
 wave function of ~ 波函数 441, 443, 449  
 wave mechanics 波动力学 444  
 other references 其他文献 6, 20, 24,

63, 268, 278, 290, 329, 333, 336, 337, 348, 361, 362, 418, 420, 435, 438 - 444, 448, 456, 515, 516

Schwarzschild singularity 施瓦兹席尔德奇点 289

Schwarzschild solution, Kruskal treatment of 施瓦兹席尔德解, 克鲁斯卡尔对~的处理 270

Scientific method 科学方法 13 - 15, 31

Self-induction 自感 131, 133

Semivectors 半矢量 451 - 452

Simplicity 简单性 138 - 140, 273, 325 - 326, 347, 349, 466 - 467

special relativity and 狭义相对论和~ 138 - 140

Simultaneity 同时性 21, 127

concept of ~概念 142

definition of ~的定义 180 - 181

Einstein's treatment of 爱因斯坦对~的处理 180 - 181, 183

Poincaré on 庞加莱论~ 127

Singularities 奇点

gravitational collapse with 具有~的引力坍缩 32

problem of motion 运动问题 288 - 291

Schwarzschild 施瓦兹席尔德 289

Solid state quantum theory 固体量子理论 58

Solar eclipse expeditions 日食远征 268, 273, 303 - 304

Solvay conferences 索尔未会议 200, 209, 270, 399, 408, 418, 444 - 446

Space 空间 22, 201 - 202

absolute 绝对~ 30, 284

Euclidean 欧几里得~ 235

limits of ~的极限 309

Mach's mechanics 马赫力学 284

measurement of ~的测量 219

Riemannian 黎曼~ 339

special theory of relativity and 狭义相对

论的~ 151 - 152

Specific heat 比热 58, 358, 389 - 399

diamond anomaly 金刚石异常 391 - 399

Einstein on 爱因斯坦论~ 394 - 399

of gases 气体的~ 393 - 394

at low temperatures 低温下的~ 397 - 399

Nernst's work on 能斯特关于~的研究 396 - 399

in nineteenth century 19世纪的~ 389 - 394

of solids 固体的~ 395 - 397

Spin values 自旋值 466

Spontaneous radiative transitions 自发辐射跃迁 405 - 407, 411, 419 - 421

Statistical dependence 统计相关性 430

Statistical laws 统计定律 31

Statistical mechanics 统计力学

Boltzmann's equipartition theorem 玻耳兹曼的均分定理 60

Einstein on 爱因斯坦论~

Boltzmann's influence on 玻耳兹曼对~的影响 59

Gibbs' influence on 吉布斯对~的影响 59

prior to 1905 1905年前的~ 74 - 75

equipartition theorem of classical 经典~的均分定理 29

foundations of ~基础 58, 74

phenomenological approach of Einstein 爱因斯坦的唯象方法 59

quantum theory link between 量子理论和~之间的联系 19 - 20, 74

Statistical physics 统计物理学

Einstein's contribution to, summary of 爱因斯坦对~的贡献, 总结 55 - 60

entropy and probability in ~中的熵和几率(见“熵和几率”)

molecular basis of ~的分子基础 19 - 20

molecular reality in ~中的分子实在

性(见“分子实在性”)

Stefan-Boltzmann law 斯特藩-玻耳兹曼定律 365

Stern-Gerlach experiment 斯特恩-盖拉赫实验 328

Stokes's law 斯托克斯定律 96

Strong interactions 强相互作用 33, 327

Supergravity 超引力 350

Supernovas 超新星 278, 279

Sutherland-Einstein relation 苏特兰-爱因斯坦关系 92

Synchronicity 同步 142, 145, 181

## T

Tachyons 快子 149

Tensor(s) 张量

of general relativity theory 广义相对论的~ 218 - 219

special relativity theory and 狭义相对论和~ 152

Tensor calculus, Riemannian geometry and 张量计算,黎曼几何和~ 217 - 219

Theory of principle 原理理论 27, 31, 460

Thermal conductivity in gases 气体的热传导性 58 - 59

Thermodynamic probability, definition of 热力学几率,定义 62 - 63, 65

Thermodynamics 热力学

Boltzmann's interpretation 玻耳兹曼的解释 100

Einstein on 爱因斯坦论~ 56 - 57, 67 - 69, 431

first law of, discovery of ~第一定律的发现 60

of liquid surfaces 液体表面~ 56 - 57

of photochemical processes 光化学过程~ 58

relativistic 相对论~ 58, 154

second law of ~第二定律 19, 60 - 62, 82, 94

Einstein's proof for irreversible processes 爱因斯坦对不可逆过程的证明 67

Einstein's statement of 爱因斯坦的~表述 68

third law of ~第三定律 397

Einstein on 爱因斯坦论~ 431

Thomas factor 托马斯因子 143 - 144

Time 时间 201

everyday intuition and 日常直觉和~ 141

general 一般~ 125

inertial frames 惯性系 141

local 地方~ 128, 141, 167

Lorentz on 洛伦兹论~ 125, 128, 141, 167

Poincaré on 庞加莱论~ 126 - 128

measurement of ~的测量 219

special relativity and 狭义相对论和~ 139, 141, 151 - 152

*Time of an event*, definition 一个事件的时间,定义 142

*Timelike vector* 类时矢量 152

Trouton-Noble experiment 特罗顿-诺博实验 119

Tyndall phenomenon 丁铎尔现象 102

## U

Uncertainty principle, Heisenberg's 测不准原理,海森伯的~ 444, 445

Unified field theory, Einstein and 统一场论,爱因斯坦和~ 8, 9, 20, 23, 31 - 34, 261, 325 - 351, 460 - 468

chronology of ~年表 341 - 350

cosmological problem 宇宙学问题 330  
 doubts about 关于~的疑虑 467 - 468  
 final field equations 最后的场方程 349  
 final words on 关于~的最后的评论 350  
 first attempt at ~的第一次尝试 287  
 electromagnetism in ~中的电磁学 23  
 five-dimensional theories 五维理论 329 - 336, 466  
 gestation 孕育 328 - 330  
 meaning of, to Einstein ~对爱因斯坦的意义 465 - 466  
 motivation for ~的动机 325 - 326  
 nonsymmetric case 非对称情形 348 - 349  
 pioneers of ~的先驱 329  
 post-Riemannian differential geometry and 后黎曼微分几何与~ 336 - 341  
 postscript on 关于~的补充 350 - 351  
 reaction to 对~的反应 347  
 superunification 超统一 33  
 Weyl's theory 外尔理论 329, 338 - 341  
 Universal molecular force 普适分子力 57, 68

## V

Van't Hoff's law 范特霍夫定律 86 - 88, 95, 96  
 Variational principle 变分原理 203, 223 - 235, 258, 274 - 275  
 Velocity of light 光速 128, 139, 167, 198 - 200, 202, 230  
 Voigt transformation 伏依特变换 121 - 122

## W

Wave function, term 波函数, 术语 494  
 808

Wave function of Schrödinger 薛定谔的波函数 441, 443, 449  
 Wave mechanics 波动力学 20, 329, 435 - 439  
 birth of ~的诞生 435 - 439  
 from de Broglie and Einstein to Schrödinger 从德布罗意和爱因斯坦到薛定谔 438 - 439  
 from de Broglie to Einstein 从德布罗意到爱因斯坦 435 - 438  
 from Einstein to de Broglie 从爱因斯坦到德布罗意 435 - 436  
 Schrödinger's 薛定谔的~ 444  
 Weyl's theories 外尔理论 329, 338 - 341  
 Wien regime 维恩区间 376 - 377  
 Wien's guess 维恩猜想 376, 377  
 Wien's law 维恩定律 365 - 368, 402, 406, 409  
 World government 世界政府 313, 314, 474  
 World line 世界线 152

## X

X-rays X 射线  
 discovery of ~的发现 311  
 sources of ~源 270

## Z

Zeeman effect, gyromagnetic anomaly and 塞曼效应, 旋磁异常和~ 249  
 Zionism 犹太复国主义 314 - 315, 451



## 译 后 记

两年多前,在一个颇为隆重的酒会上,我遇到了商务印书馆的一位编辑。通过交谈,才发现我正是他要找的人。原因是商务买了派斯这本书的版权,而早在几年前,广东教育出版社通过派斯本人授权,已出版了本书的中译本,我是主要译者之一。后来商务印书馆与广东教育出版社经过友好协商,同意让我们的中译本在商务重新出版。趁着这个机会,我决定对译稿进行一次全面的校对。

本来应该是件很轻松的事,但我却花了一年多的时间。尽管我们的译本当年出版后,曾获得过一些学人的好评,但我还是有点诚惶诚恐,如履薄冰。这一年多来,我逐句对照全文,重新校对了译稿,改正了一些错译之处,根据情况的变化加上了一些注释,使之与原文更为接近。尽管比较枯燥,对于自己的工作结果还算满意。由于水平有限,错误之处肯定在所难免,真诚欢迎读者诸君不吝指正。

本书作者派斯(Abraham Pais, 1918—2000,我们曾译为派伊斯<sup>①</sup>),1918年5月19日出生在荷兰阿姆斯特丹的一个犹太人家庭,2000年8月4日在哥本哈根因心脏病突发而去世,享年82岁。1938年派斯从荷兰乌特勒支大学毕业,获学士学位。随后又

---

<sup>①</sup> 有些学者曾质疑我们的译法。我们是想以更为准确的音来翻译。比如,乌克兰首都 Kiev 一般被译为“基辅”,其实,发音为“Ki-ie-f”,译为“基伊辅”或许更准确一些。将 Pais 译为“派伊斯”是基于同一理由。

在那里随比利时物理学家罗森菲尔德(Léon Rosenfeld)攻读物理学博士学位。为了赶上德国当局限定的可以让犹太人获得博士学位的最后期限(1941年6月14日),派斯废寝忘食,终于在6月9日通过答辩得到了博士学位,并留校任教。随着纳粹对犹太人迫害的升级,派斯的厄运也随之来临,尽管东躲西藏,1945年3月他还是被盖世太保抓起来,投入监狱,直到战争结束后,才被释放。派斯在1997年出版的一部自传本著作《双洲记:乱世中的一名物理学家的生活》(*A Tale of Two Continents: A Physicist's Life in a Turbulent World*)里,详细地叙述了这一悲惨的经历。

战后,派斯在1946年初去了哥本哈根,在那里作过短暂停留。经玻尔推荐,他在同年秋去美国普林斯顿高等研究院访问。正是在普林斯顿期间,他与爱因斯坦有过不少接触。他在基本粒子物理学方面所做的不少第一流的研究工作,也是在普林斯顿完成的。派斯1954年加入美国籍,1963年成为纽约洛克菲勒大学教授。1985年退休后,任该大学的Detlev W. Bronk荣休教授。1962年当选为美国国家科学院院士,1979年获罗伯特·奥本海默奖,1993年获丹麦皇家科学院科学奖章。他还担任过荷兰皇家科学院院士和美国文学与科学院院士。逝世前几年,他每年有一半时间在丹麦哥本哈根度过。

他的第一个重要贡献是确立新粒子“协同产生”的经验规则。第二个重要贡献是提出两种中性K介子的混合和再生。他的其他贡献有G宇称的提出,SU(6)对称性破缺的研究等等。从20世纪70年代末开始,派斯转入物理学史研究,成为该领域举足轻重的人物。由于他曾与众多的物理大师,如爱因斯坦、玻尔、奥本海默、狄拉克、费曼等人一起工作过,他在研究过程中形成了一个独

特的视角,他写的科学家传记获得了非常高的评价。<sup>①</sup>

本书初版于1982年,1983年即获美国国家图书奖。同年还获美国物理学会、钢铁基金会物理学和天文学著作奖。1997年时已重印12次。据说累积销量达50万册以上。著名华裔物理学家杨振宁教授曾向国内推荐过本书。“这可能是爱因斯坦本人最喜爱的关于自己的传记。”

派斯,这位在爱因斯坦生前最后9年里与他熟知的物理学家,向我们提供了一个全面了解牛顿以来最著名的物理学家的生活与思想的向导。通过利用一些迄今为止尚未发表的文献,加上他多年来与爱因斯坦私人交往的经历,十分生动同时又异常准确地向我们叙述了爱因斯坦的历程,因而使这本书成为不可动摇的权威的爱因斯坦传记。

这本书出版后,获得了广泛的好评。《纽约时报》(*New York Times*)的书评这样写道:“它是科学家传记文体的里程碑……精确、诙谐、如溪水一样明晰。它成了衡量未来的科学家传记的标准。任何对爱因斯坦有兴趣的人都应该读一下这本书。”《科学》(*Science*)杂志这样评论:“首尾连贯地解释了爱因斯坦的科学贡献的几乎每个方面……这是一部独特、不可或缺的书。”《纽约图书评论》(*The New York Review of Books*):“第一本极有价值的、全面研究爱因斯坦对科学所作的主要贡献的著作……既清晰又权威。”《科学美国人》(*Scientific American*)杂志:“以一种同情而又十分精确的眼光来看待爱因斯坦的生平……全面审查了爱因斯坦

---

<sup>①</sup> 有关派斯的生平,此处参考了关洪:《杰出的物理学家阿伯拉罕·派斯和他的物理学史著作》(手稿,已被《物理》杂志接收);刘兵:《派斯:从物理学家到物理学史家》,1998年7月8日《中华读书报》,以及 <http://physicsweb.org/>上的有关文章。

的大量文件,并补充了迄今从未发表的丰富资料……。”《今日物理学》(*Physics Today*)杂志:“一部杰出的爱因斯坦传记,阅读它将会得到极大的快乐。”

1994年他又出版了《爱因斯坦往事录》(*Einstein Lived Here: Essays for the Layman*),主要涉及到爱因斯坦的科学以外的方面,可以说是本书的姊妹篇。其他比较有影响的著作有1988年出版的《内界》(*Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*),1991年出版的《玻尔传》(*Niels Bohr's Times: In Physics, Philosophy, and Polity*),1998年与人合编的《狄拉克传》(*Paul Dirac: The Man and His Work*)以及2000年出版的《科学天才》(*The Genius of Science: A Portrait Gallery of 20th Century Physicists*)。目前,除《狄拉克传》、《科学天才》以及前面提到的《双洲记》外,派斯的书都被译成了中文。其中本书在此之前就有两个中译本。除了我们的译本外,1988年科学技术文献出版社还出版过陈崇光等人的译本《上帝是微妙的》。

这本曾花了我们数年功夫来翻译的书,真有这么重要吗?值得一再翻译吗?答案无疑是肯定的。

在现代社会中,科学已逐渐主宰了我们生活所在的各个层面。作为20世纪最伟大的科学家,被评为“世纪之人”(Man of the Century)<sup>①</sup>的爱因斯坦,早已成了现代科学的象征。有关他的传记可谓汗牛充栋,但精品不多。除了极少数恶意贬低爱因斯坦的传记外,总体来说,大部分传记属“歌功颂德”性质,或拘于某些方面,或限于某一时段,采通俗化的做法,宣讲爱因斯坦其人及其成

---

① 见《时代杂志》(*Time Magazine*)1999年12月31日号封面文章。

就的高明和伟大。鲜有能全面而深入论述爱因斯坦整个一生的科学与生活的著作。只有派斯这本著作能达到这一要求。难怪连潜心研究爱因斯坦达40年之久的科学史家约翰·斯塔切尔(John Stachel)都极力推崇这本书,称之为“对于任何一个严肃的研究爱因斯坦的学者来说都是独特的,不可或缺的。”他甚至期望这本书能进一步地刺激目前正在复兴的爱因斯坦研究。<sup>①</sup>

再没有第二个人能像派斯这样来写爱因斯坦传了。首先他是一位很有造诣的科学家,又同爱因斯坦有过私人交往,在写作过程中,还得到了爱因斯坦的秘书海伦·杜卡斯的鼎力相助。同时,他又仔细地研究了爱因斯坦的主要论文,深入挖掘了相关的档案资料,比如,他为了研究爱因斯坦为什么受到新闻界的青睐,亲自查阅了几十年的《纽约时报》的微缩胶片。考虑到派斯写这本书时已是六十开外的人了,这是非常难得可贵的。所有这些因素综合在一起,使得这本传记具有无可替代的地位。

这本书对爱因斯坦的科学成就做了非常连贯的解释,对相关的历史背景给出了生动并充满机智的介绍。它绝不仅是一部科学传记,同时也是迄今为止对爱因斯坦的复杂个性给出了最令人信服的说明的著作。派斯对爱因斯坦的政治观点和社会观点的介绍虽然简短,但却非常准确。他对爱因斯坦的和平主义、国际主义的主张,对犹太复国主义的复杂态度以及前后立场转变,都给予了准确的说明。派斯对爱因斯坦的概括性说明也是非常到位的,比如他说爱因斯坦是他所见过的“最自由的人”。我们完全有理由相

---

<sup>①</sup> John Stachel, *Einstein from 'B' to 'Z'*, Birkhäuser, Boston, Basel, Berlin, 2002, p. 554.

信,这句话是作者多年反复思考后得出的结论。派斯在本书中还提到了一些非常独特的观点。比如,他对爱因斯坦的名声为何这么大的解释,他对科学革命的看法,以及他所谓的超越“历史的边缘”来达成个人创造行为的说法,都非常具有启发意义。书后的四个附录,也让人耳目一新:爱因斯坦的合作者、爱因斯坦是如何获得诺贝尔奖的、爱因斯坦为诺贝尔奖写的提议以及一份详尽的爱因斯坦年表。这些内容具有很强的人文色彩。惟一让人不是特别满意之处,或许是派斯在叙述的过程中有意无意地消除了爱因斯坦身上的“反叛者”的色彩。对于这一点爱因斯坦本人曾承认过。

与一些其他的传记作者不同,派斯并不是随意地称赞和批评爱因斯坦,他的每一论证都是建立在广泛而又坚实的资料基础上。他并不忌讳在一些非常基本的问题,比如对量子力学的解释上与爱因斯坦不一致,但他清楚地表明,爱因斯坦的观点并不是不正当的,而只是基于对物理学的未来发展的一个完全不同的看法。派斯对爱因斯坦对量子理论的发展所做的贡献,给出了一个极佳的陈述,他解释了爱因斯坦为什么在量子力学得到成功发展后,仍不认为它是一个他所认为的原理理论。他清楚地阐明了爱因斯坦对量子力学的批评与其对统一场理论的追求之间的关系。他也明确地指出了爱因斯坦的思想发展过程中所走的许多弯路。

如果人们非要挑这本书的毛病的话,那就是公式太多。对于没有受过物理学训练的读者来说,要想完全理解书中的深刻含义恐怕有一定的难度。应该说,这本书不是读一遍就能完全弄懂的,它需要反复地研读。但我相信,任何一个对思想史有兴趣,想真正了解科学发展的真实历程(包括犯错误、走弯路在内)的读者,都能从每一次的重读中得出新的体会。

当然,派斯本人主要是一位科学家,他不是职业的物理学史家。在一些具体问题的处理上难免会有不当之处,比如,他在解释狭义相对论的起源时,花了大量篇幅谈迈克尔逊—莫雷实验,结论是后者对狭义相对论的产生没有多大影响,但却对光行差和斐索实验所谈甚少,尽管他在书中也指出后两者对爱因斯坦提出狭义相对论产生过重要的影响。派斯对 EPR 论文作用的贬低和批评,也值得商榷。但是这些都不是什么大的问题,因为每位历史学家都会有取舍材料的标准,有时难免会有所失重。

总之,无论从哪个方面讲,这都是一本值得极力推荐给广大读者的好书。

目前这个译本是在广东教育出版社 1998 年版《上帝难以捉摸》的基础上修订而成的。对于以前译本的形成过程,也有必要对读者有所交待。好在 1998 年版的“译后记”中已作了清楚说明,这里不妨直接引用过来。

12 年前(这里指 1986 年),上海翻译出版公司准备出版一套科学家传记丛书,这本爱因斯坦的权威传记由于曾得杨振宁先生的赞扬,也被列入选题之中。我一人无力担此重任,便邀请了当时同在浙江大学的李勇同学(现任职于中国科学院成都分院)、物理系的姜立才讲师(现在美国)与我一起合译。李勇译相对论部分(第六至第十五章),姜立才译量子论的前两章(第十八章和第十九章),其余部分由我翻译。我将所有译稿统校完毕,交给上海翻译出版公司。其中我译的第三十一章《爱因斯坦为诺贝尔奖写的提议》还发表在 1988 年

10月号的《世界科学》(上海)杂志上。整本书的翻译持续了一年多时间。书稿上交后,征订单也发了,其后却杳无音讯。这期间几位译者各奔东西,责任编辑也因出国不便联系。直到1995年,我从欧洲回到清华园,才被告之此书还未出版。

广东教育出版社的姚沙沙女士知道这种情况后,非常热心,表示愿意联系出版。于是前年底(此处指1996年底)我把译稿要回,准备直接交给新出版社。在交稿时,我发现当年的译作还是略显幼稚,语句处理方面也并非完全得当。为了对读者,同时更是对自己负责,决定花大力气对之重译,确保译文质量。为尽快完成如此重任,我与多年未联系的主要合作者李勇取得了联系。李勇毫不犹豫就答应了与我一起来承担此任。当时的具体分工是先由李勇进行初步修改,我再第二次修改,李勇再次校订,最后我再把关。由于我们相距遥远(北京—成都),再加上我们同时还要从事自己的一些课题研究,使得我们的计划很难按时完成。李勇花大气力把原稿重新译校,有些稿件已被改得面目全非,不得不重新录入,打印成稿,然后再寄给我。由于章节太多,不可能一下子改好,为加快速度,只能是改好一章,寄给我一章,我改好后,再用特快专递寄给李勇,这期间的工作量可想而知。我在今年(指1998年)年初到MIT(麻省理工学院)前,已把李勇寄给我的修改稿全部对照原文又校改了一篇,分多次寄给李勇。最后,他又反复校对,才将打印稿和磁盘交给责任编辑。即使这样,仍不可避免地存在许多错误。好在责任编辑姚沙沙女士十分认真,对照原文逐字逐段推敲,增补遗漏,改正打印错误,使得译稿在质量上又多了一层保障。8月初我从美返国后,利用



赴英之前的短暂休息间隔,又重新把译稿校对了一遍,同时也发现了一些以前不曾发现的错误,深感力不从心,翻译工作实非易事。

尽管经过多次反复修改,我还不敢说,我们的译稿就毫无问题了。在校改过程中我们发现,有些问题一时还不能获得令自己满意的答案。比如,作者所引用的大量文献,有许多在文中都只是出现一个片段、一两句话甚至一两个单词,我们尽可能地查找了有关文献,有时还根据这些文献对作者过于简单的叙述作了适当的说明(译者注)。但是,我们没有办法找到全部原始文献,而离开原始文献仅凭“只言片语”来理解,就不可避免地产生歧义和疑问。对于那些我们认为难以确定的地方,除反复斟酌,选出我们认为较为贴近的译法外,还附上了原文,供读者参考,非常希望读者能大力斧正。

必须指出的是,原书中所有出现德文引文的地方,我们均参考德文原文,而不只是按照派斯的英译来翻译的。

在这本跨度长达12年的翻译、校改、重译、重校过程中,我们曾得到过许多人无私的帮助。在这里要特别提到黄普生、秦垣(现在美国留学)先生、李先华教授、余斌博士以及打字员夏莲英、王隆花小姐。如果缺少他们当中的任何一个人的帮助,本书的出版将是不可能的。派斯教授在我们翻译之初就写来了热情洋溢的中文版序,并惠赠了原书。他在丹麦玻尔档案馆工作时,还把他写的玻尔传的部分打印稿寄给我,并谦虚地请我多提意见。去年初,正当我为此书的版权弄得焦头烂额时,他又慷慨地答应我们免付版税。在此谨对派斯教授为我们所做的一切表示衷心感谢。需特别指出的是,合

作者李勇君和责任编辑姚沙沙女士为此书的校改花了大量的、常人难以想象的心血,他们的认真执著、默默奉献、淡泊名利、勤恳敬业精神,令我十分感动,再次感谢并致以钦佩之意。

之所以大段引用 1998 年版的“译后记”,是想表达所有曾对我们的翻译工作给予过帮助的人的深深谢意。在这里,我还要再次感谢姚沙沙女士,如果没有她的慧眼,这本译稿可能至今仍躺在抽屉中。如果不是她同意,这本书也不可能在商务再版,我也没有机会再次校对我们的译文。商务印书馆的编辑始终非常热心,花了不少精力,他们的敬业精神让我感动。我还要感谢刘钝所长的知遇之恩。正是他的宽容大度和积极支持,使得我可以花大量时间做自己喜爱的事情。

我的合作者李勇(又称李泳)才思敏捷,涉猎广泛,语文功力远在我之上。如果他来做这件事,应该是最理想的人选。近几年来,他出版了多本译作,仅湖南科技出版社《第一推动丛书》中就收有他的四本译作。真是可喜可贺!期待着有机会与他再度合作。他早先曾写过一篇颇有深度的文章,本想这次放在译文前面作为导读,但他当时并没有存稿,无从找到,甚为可惜。

如果读者诸君能从我们的译本中获得些许收益,我们就非常满足了。同时希望诸位不吝指出译文中的不妥之处,以便再版时修订。

方在庆

2003年10月14日 于北京孚王府