

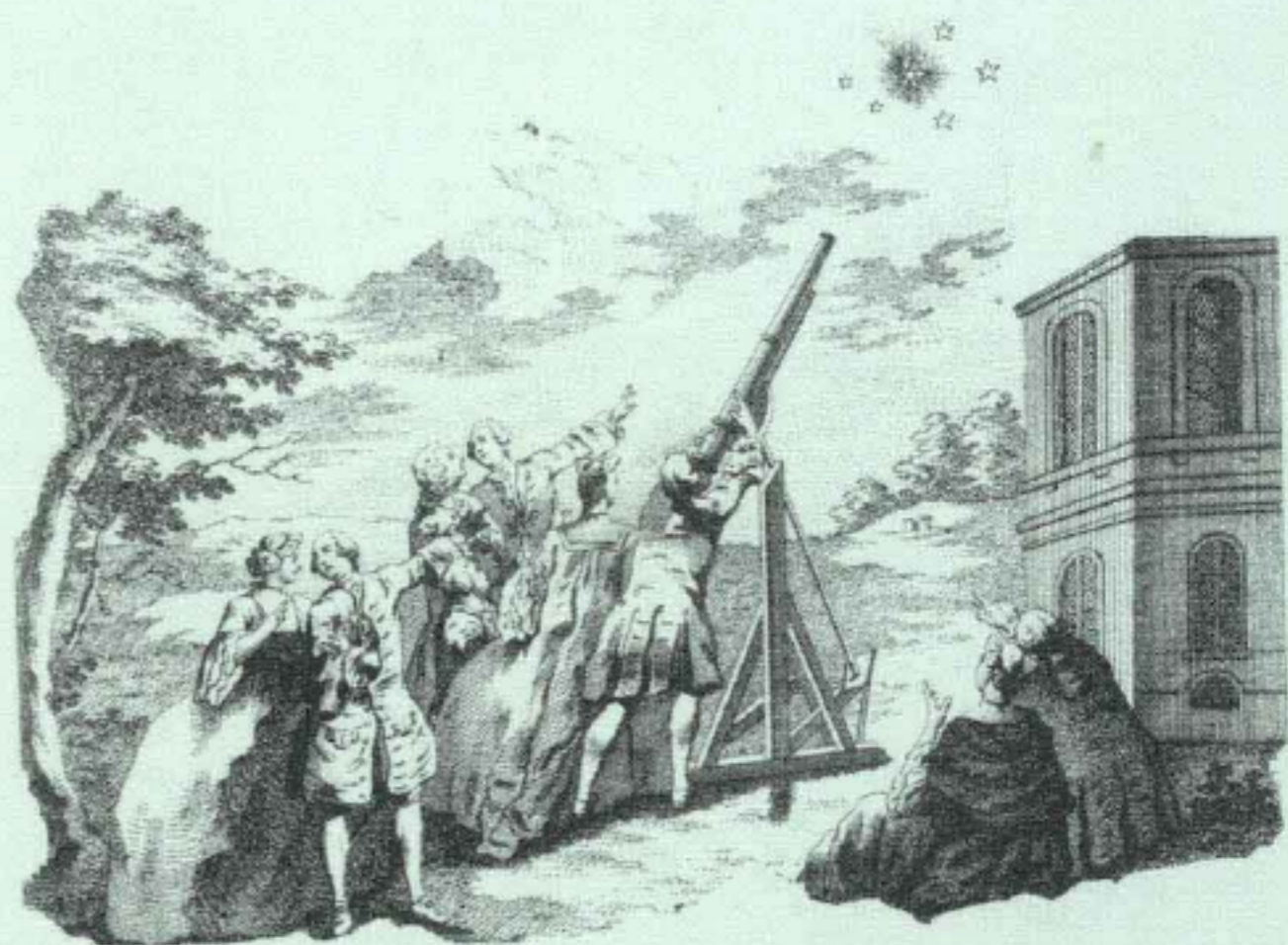


西方思想文化史研究丛书

The History of Western Ideas and Cultures

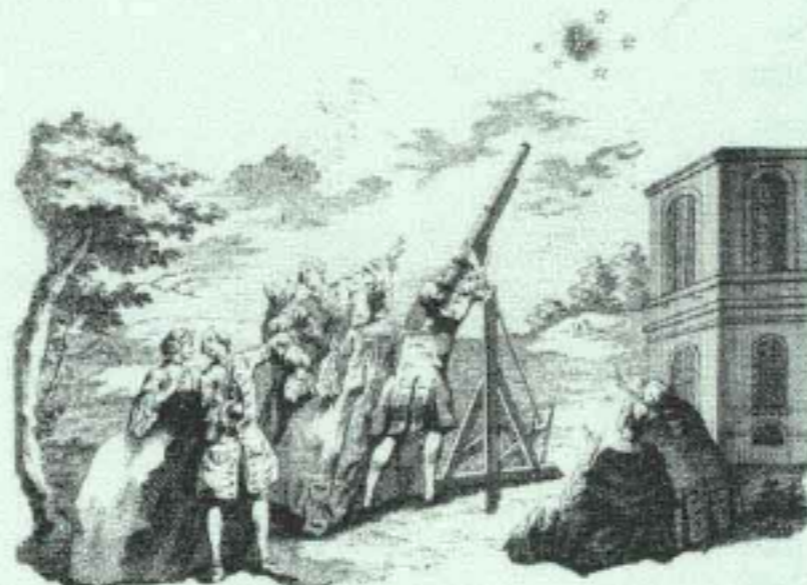
科学革命的历史分析： 库恩与他的理论

吴以义 著

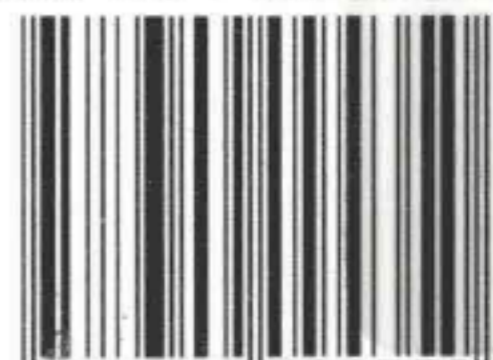


 复旦大学出版社

The History of Western Ideas and Cultures



ISBN 978-7-309-09435-0



9 787309 094350 >

定价：28.00元

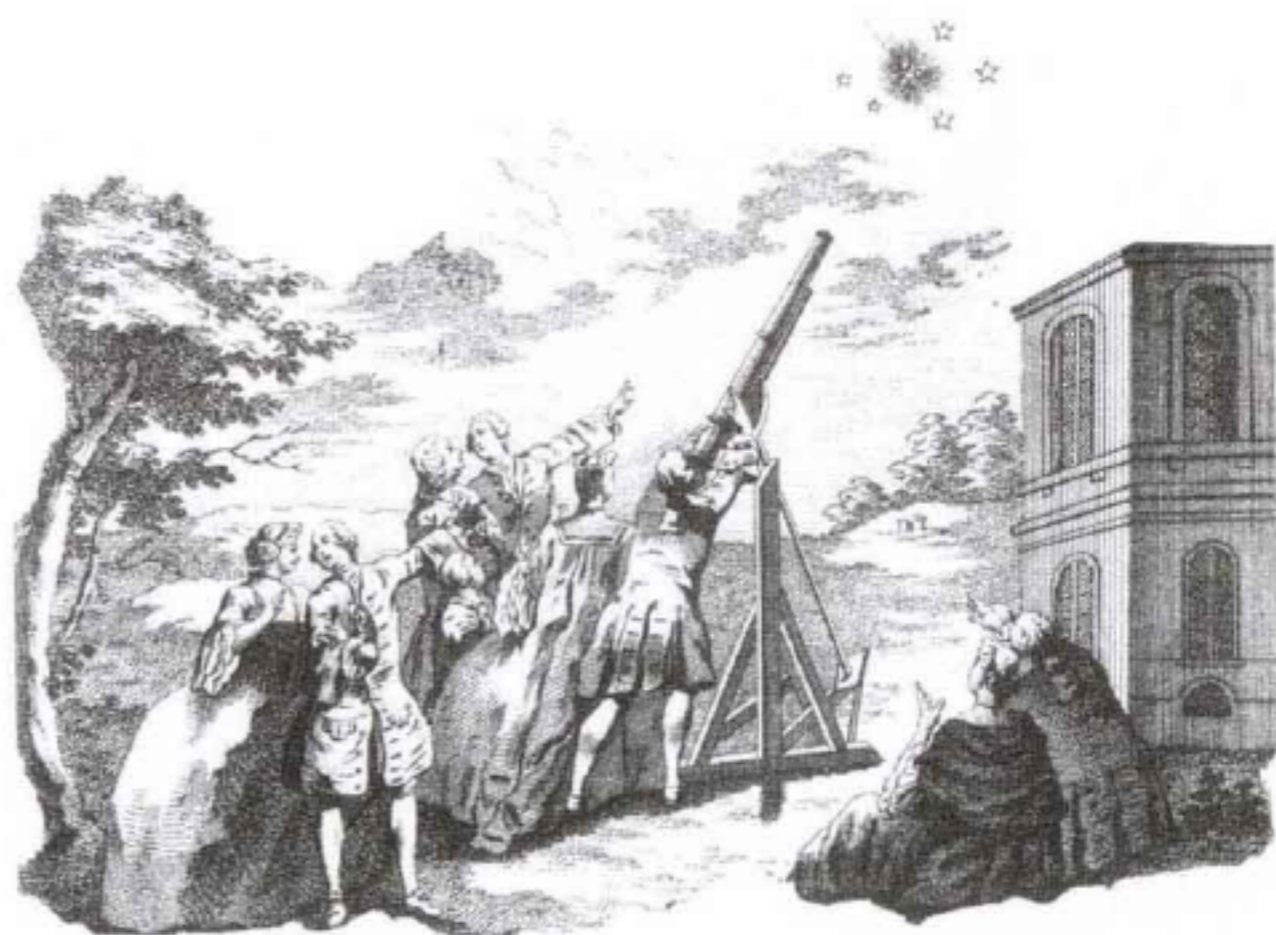
www.fudanpress.com.cn

西方思想文化史研究丛书

The History of Western Ideas and Cultures

科学革命的历史分析： 库恩与他的理论

吴以义 著



復旦大學出版社

图书在版编目(CIP)数据

科学革命的历史分析:库恩与他的理论/吴以义著. —上海:复旦大学出版社,2013.1
(西方思想文化史研究丛书)
ISBN 978-7-309-09435-0

I. 科… II. 吴… III. 库恩, T. S. (1922 ~ 1996) - 科学史学 - 思想评论 IV. N09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 316830 号

著作权所有:© 东大图书股份有限公司

本著作中文简体字版由东大图书股份有限公司授权复旦大学出版社在中国境内(台湾、香港、澳门地区除外)独家出版。

本著作禁止以商业用途于台湾、香港、澳门地区散布、销售。

版权所有,未经著作权所有人书面授权,禁止对本书之任何部分以电子、机械、影印、录音或其他方式复制或转载。

著作权合同登记号 图字:09-2012-826

科学革命的历史分析:库恩与他的理论

吴以义 著

责任编辑/史立丽

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

常熟市华顺印刷有限公司

开本 890 × 1240 1/32 印张 7.625 字数 202 千

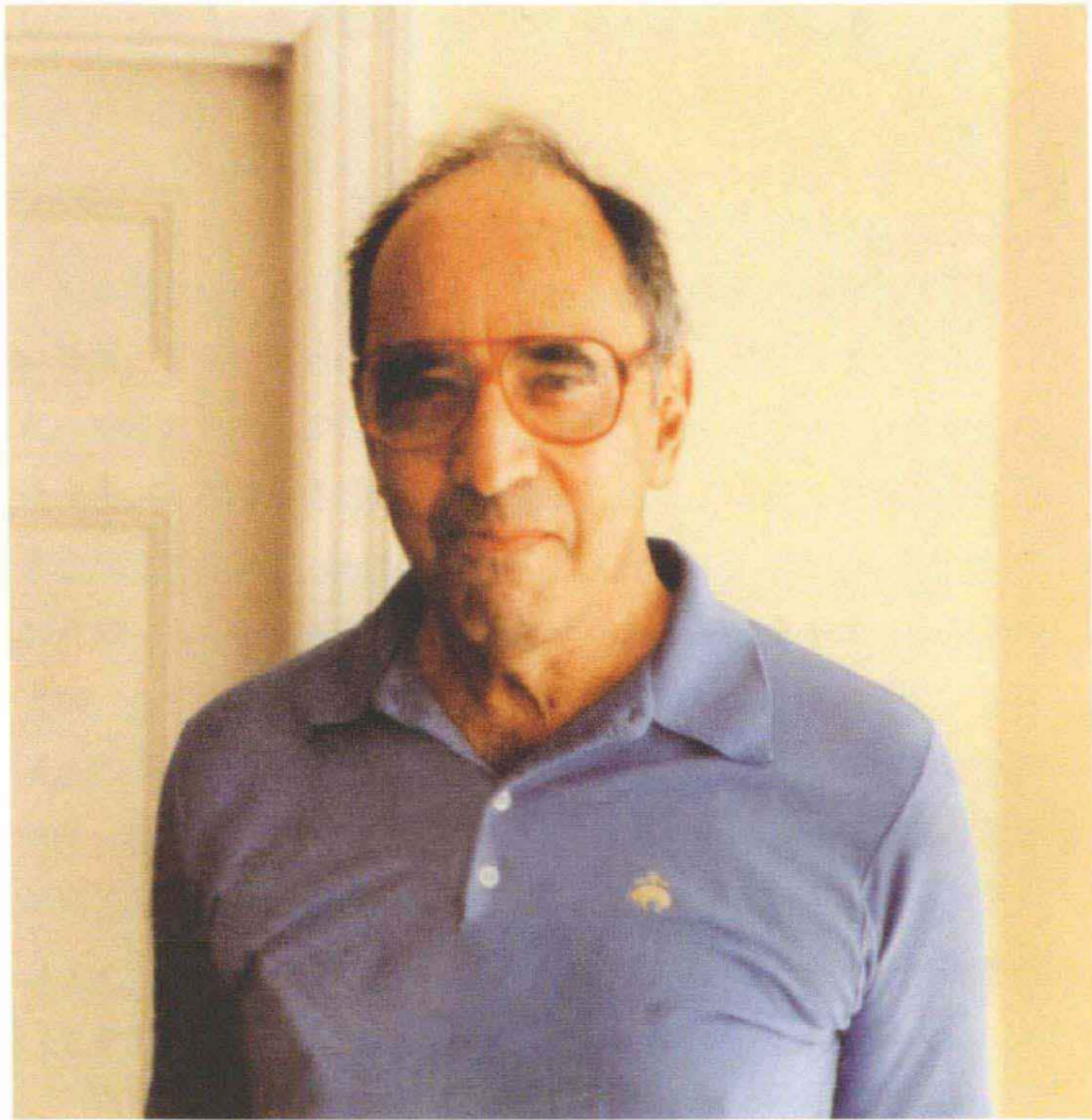
2013 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-09435-0/N · 16

定价:28.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究



库恩 (Thomas S. Kuhn, 1922—1996)，于他在波士顿纪念大道的寓所，大约摄于1993年或1994年

出版说明

自 2011 年开始,复旦大学历史系在建设世界史一级学科的过程中,本着从本系世界史学科的现实出发,考虑其学术传统,也着眼于未来的发展,并符合国际学术的主流走向的主旨,拟议在本学科中提炼出相关的数个方向进行发展,而思想文化史也列在其中。为此,经过从事本方向研究的各位老师数次的讨论商议,决定编辑出版“西方思想文化史研究”系列丛书,一则将本方向同仁的研究成果及时出版面世,以供学界批评参考之用,二来也可建立起一个学术平台,从而可以吸引本系同仁之外的其他学者参与,求得更多和更好的学术著作进入本丛书,以扩展影响,进而形成一套具有学术展示和引领作用的学术研究丛书。而在此过程中,复旦大学出版社也为了支持我们的学科建设和学术发展,欣然同意将本套丛书列为该社的出版计划,于是便有了这套丛书的问世。

早在 20 世纪 80 年代,复旦大学历史系世界史学科就编辑出版过“世界文化史”研究丛书,在当时的学术界产生了重大的反响,既推动了文化研究和世界历史研究的深入,同时也对国内世界史学科的建设起到了很大的促进作用。在一定意义上,本研究丛书当然是这一学术传统的承续,也是其光大和发扬。将史学史、思想史和文化史三者融为一

体,侧重于在思想观念、仪式象征以及话语表达等方面展开,既讨论精英的思想,也探讨大众的观念、情感和心态;既研究个人的思想和概念的形成,也关注某个群体以及社会思潮和社会观念;既注重文本的分析,也考察仪式、象征和话语表达;既在史学演进的层面来研究其思想观念和不同流派的演进,又将史学本身也看成为文化和思想观念的一种表达。由此,在研究内容上,我们不囿于以往的思想史和文化史研究的独立划分,而是在新的思想史和文化史研究逐渐合一、互有交叉的背景下,拓展其思路。这也就意味着从前思想史和文化史各自进行独立的分支研究已经过去,两者之间的融通已为学界之主流,更值得关注的是,目前的新文化史研究大有取代以精英和文本为主的思想史研究之趋势。难怪国外有学者称,是思想史还是文化史?正是在研究内容不断扩展和研究理论与方法不断推陈出新的学术背景下,我们将之冠名为“西方思想文化史研究丛书”也凸显和呼应着这样一种国际学术界的新变化。并且,我们还设想在这一学术视野中形成学术研究的新路径,打造一套具有特色的学术丛书,进而也推动着我们自身研究领域的深化,改变历史研究的实践方式与提升学科队伍的建设水准。

在编辑和出版这套丛书的过程中,世界历史学科,特别是从事思想文化史研究方向的各位同仁全力参与,奉献出了各自的学术成果;复旦大学出版社的诸位编辑也为此花费了很多时间与精力,并且为本丛书成功地申请到上海市文化发展基金的资助,这不仅是对这套丛书设想的肯定,同时也赋予了我们更多的责任来回报如此高规格基金的支持。同样,复旦大学和历史系在进行“211 三期”学科建设的过程中,也将本丛书列入其计划予以支持。在本套丛书即将面世之际,我们对上述提及以及没有提及的个人和机构表示衷心的感谢。这种谢意并非是一种常规的客套,实际上也印证了,在学术性知识生产的过程中,需要这一生产链或者说学术共同体的多个环节相互配合和支持,可以设想,没有这些支持和帮助的话,这些知识无法得以面世和进入市场来进行展示

与流通。

本套丛书的面世还仅仅只是一次启动,后面的工作还有很多,也许更为沉重的压力在等待着我们,但可以相信,在全球化不断加深的今天,正在成长中的中国比以往任何时刻都需要理解外部世界,特别是西方世界。而在这种理解中,从思想文化入手是比较好的路径。因为思想文化既是引领行动的基础,又作为独立的存在而建构其实践性内容,塑造着实体性存在本身。正因为如此,复旦大学历史系世界史学科的诸位同仁将会在今后更加努力地工作,并将此丛书的编纂坚持下去,以取得新的进展。

“复旦西方思想文化史研究丛书”编辑委员会

2012年9月



范岱年

托马斯·库恩(1922—1996)可能是20世纪影响最大的一位科学哲学家。他在1962年发表的《科学革命的结构》一书,是被最广泛阅读、引用、讨论和争论的科学哲学经典著作。在20世纪上半叶,逻辑实证论(逻辑经验论)在西方科学哲学界占据统治地位。他们主张在科学理论中取消形而上学,科学理论的演绎推论经过经验的证实就成为真理,科学真理、科学知识是不断积累的。批判理性论者波普尔反对可证实性标准,认为科学发展的过程是:提出理论假说,经过经验的证伪,修改或提出新的理论假说,再进行证伪,再提出新的理论,如此逐渐逼近真理。库恩根据他对科学史的深入研究,认为科学的真实发展过程不是理论假说的简单证实或证伪,而是在一定阶段,科学共同体遵循统一的范式(其中包括形而上学、世界观和方法),进行常规科学研究,解决疑难;当解决不了的疑难愈来愈多、愈来愈严重时,就出现反常和危机,就引起革命;革命科学提出新的范式,解决疑难和反常,当新的范式战胜旧的范式,为科学共同体所接受时,就进入了新的常规科学阶段。库恩还认为科学革命前后的新旧范式是不可通约的(或不可共量的),科学知识不是累积的。

库恩的学说对科学哲学产生了巨大的影响。他是科学哲学历史主

义转向的主要代表人物，也是把诠释学方法引进到科学哲学研究的先驱。他的学说促进了科学社会学的研究，特别是科学知识社会学的研究。他的学说在物理科学家中引起了共鸣，也引起了社会科学家的巨大兴趣。同时，他的范式概念的多义性引起了热烈的讨论，他认为革命前后科学具有不可通约性的论断引起了经久不息的争论。

1949年以后的中国大陆，逻辑经验论哲学因被认为是资产阶级的反动哲学，遭到取缔，自然辩证法（马克思主义的自然哲学和科学哲学）成为正统学说。逻辑经验论和批判理性论哲学只是作为批判材料才有一些翻译介绍，而这类翻译介绍工作在“文化大革命”期间也完全停止。所以，对库恩学说的介绍是在改革开放以后，在20世纪80年代初才开始的。

1979年，我在中国社会科学院哲学研究所创办了《自然科学哲学问题丛刊》。该刊1980年第1期刊载了介绍库恩其人的译文；第3、4期刊载了纪树立翻译的库恩的论文。《自然辩证法通讯》1980年第3、5期刊载了李宝恒翻译的《科学革命的结构》和《必要的张力》中的两个章节。同年10月，李宝恒、纪树立翻译的《科学革命的结构》由上海科学技术出版社出版。1980年，我到中国科学院《自然辩证法通讯》杂志社任副主编，负责日常工作。为了与国际接轨，我们把自然辩证法解释为关于自然科学的哲学、历史和社会学的科学群。在那年的年底，杂志社和哲学研究所、自然辩证法研究会在北京召开了第一届全国科学哲学学术会议，主题是波普尔的科学哲学。1981年，又召开第二届科学哲学会议，主题是库恩的科学哲学（《哲学研究》和《自然辩证法通讯》的1982年第2期都有关于这次会议的报道）。为了配合这次会议，纪树立、范岱年、罗慧生、邱仁宗、黄亚萍等联合翻译了库恩的《必要的张力——科学的传统和变革论文选》，在福建人民出版社出版。1981年，罗慧生发表了《对综合趋势的长期探索——库恩科学观的形成和发展》（载《自然辩证法通讯》第5期）。1982年纪树立发表了《论库恩的范式概念》（载《自然辩证法通讯》第3期）。1984年，周寄中发表了《对范式论的再思考》（载《自然辩证法通讯》第1期）。文章介绍了1965年7月

的伦敦会议(主题是科学知识的增长)、1969年3月的厄巴那会议(主题是科学理论的结构)、1978年9月的比萨会议(会议的第一个议题是理论变革的结构)、1978年的雷诺会议(主题是科学发现)对库恩的范式论的讨论,最后还介绍了劳丹企图取代“范式”的“研究传统”概念。1987年,周寄中将拉卡托斯和马斯格雷夫编的伦敦会议的论文集《批判与知识的增长》翻译出版(北京:华夏出版社)。这是一部非常重要的文集。在这个文集中,科学哲学的名家波普尔、图尔敏、拉卡托斯、费耶阿本德、沃特金斯、威廉斯等针对库恩的《是发现的逻辑还是研究的心理学?》一文进行批评讨论。玛斯特曼的《范式的本质》一文分析了库恩的范式概念的歧义性,指出了库恩至少以21种不同的意思使用“范式”一词。最后是库恩的《对批评的答复》。

1987年,在金融家索罗斯的资助下,在武汉大学举行了讨论波普尔哲学的国际学术会议,由英国牛顿·斯密斯教授和武汉大学江天骥教授主持。他们原计划在1989年召开讨论库恩哲学的国际会议,据说还准备请库恩本人参加,可是这次会议因为1989年的风波引发的事件而没有开成。在这以后,索罗斯也撤销了资助这类会议的计划。为了配合这次会议,1988年,纪树立翻译并发表了库恩的《科学知识作为历史产品》一文(载《自然辩证法通讯》第5期)。当时,纪树立已征得库恩同意,准备出版一个中文版的《库恩选集》,这篇文章就是库恩提供给中文选集的。1989年《自然辩证法通讯》第3期还发表了章士嵘的《认知科学和库恩的范式》一文。

1989年至1990年,美国波士顿集中了一批中国的科学哲学工作者,其中包括纪树立、范岱年、金吾伦等。在那期间,杜维明和纪树立组织了一个中国学者的讨论班,每月一次,由一位学者主讲,然后大家讨论。讨论班曾请库恩专门给大家作一次报告。1990年5月18—19日,麻省理工学院召开了主题为《库恩对科学史和科学哲学近期工作的影响》的会议,我们都去参加了。金吾伦在回国后,写了《托马斯·库恩的理论转向》一文(载《自然辩证法通讯》第1期),在“附记”中提到了这次会议。1990年10月,美国科学哲学协会在明尼苏达举行年会。库

恩是协会 1988—1990 年的主席，所以他在那次会上作了主席致词。我参加了那次会议，这也是我最后一次见到库恩本人。

自那以后，纪树立就定居在美国。中文版的《库恩选集》也没有翻译出版。可是库恩倒早就为这个选集写好了“序言”。后来，纪树立翻译了这个序言，先在《读书》杂志 1997 年第 1 期发表，后收录在他 2002 年自编的文集《理性与心性之间》中。此外，他的文集中还有两篇有关库恩的文章。这本书在 2004 年初出版，而纪树立却在 2003 年末去世了。2002 年，河北教育出版社出版了日本野家启一著《库恩——范式》一书（毕小辉译，陈化北校）（原著完成于 1997 年）。

2002 年，北京大学出版社开始编辑出版《北京大学科技哲学丛书》。2003 年，出版了金吾伦、胡新和重译的库恩的《科学革命的结构》，吴国盛、张东林、李立翻译的库恩的《哥白尼革命》，2004 年出版了范岱年重新校译的库恩的《必要的张力》。2005 年，北京大学出版社出版了英国蔡汀·沙达著的《库恩与科学战》（金吾伦译）（英文版出版于 2000 年）。2000 年美国芝加哥大学出版了科南特和豪格兰德编的库恩文集《结构之后的路》，这是库恩的第五部著作，也是他逝世后才出版的遗著。2012 年，该书中译本由邱慧翻译，在北京大学出版社出版。

在台湾，1985 年出版了由傅大为、程树德、王道还合译的《科学革命的结构》（允晨文化实业公司出版）。傅大为为此书写了很好的“导言”。1994 年台湾远流出版公司出版了金吾伦著的《托马斯·库恩》，这是高宣扬主编的“西方文化丛书”之一。1996 年，台湾东大图书公司出版了吴以义著的《库恩》，这是傅伟勋、韦政通主编的“世界哲学家丛书”之一。现在，复旦大学出版社决定出版吴以义的这本书的大陆版，我觉得是十分必要的，因为大陆还没有出过有关库恩这位大科学哲学家的研究专著。

本书作者吴以义是我在 21 世纪初在纽约结识的好友。他在 1981 年获华东师范大学科学史硕士学位，后到美国深造，在著名科学史家、《科学家传记大词典》的主编格力斯比指导下，于 1989 年获历史学博士学位。1990 年在宾夕法尼亚大学随著名科学史家席文（他是研究中国

科学史的一个权威)做博士后研究。吴以义对中国和西方科学史都有很好的素养。他写的这部专著,详细地介绍了库恩成长的历史,介绍了对库恩有较大影响的科学史家、哲学家、科学社会学家、师长和同事,介绍了他早年对科学史的研究,介绍了库恩的4部主要著作,即《哥白尼革命》、《科学革命的结构》、《必要的张力》和《黑体理论和量子不连续性》。作者既介绍了库恩写作这些著作的背景和过程,也介绍了这些著作的主要内容,以及这些著作的影响和引起的讨论和争论。所以这是一部帮助理解库恩其人和他的著作的很好的参考书。在最后一章中,作者探讨了中国古代的自然知识。本书只写到1978年出版的《黑体理论和量子不连续性》,没有介绍库恩以后的论著,特别是2000年出版的库恩的遗著《结构之后的路》。如果作者在以后再版此书时,能够补充一章,介绍并讨论这部译著,就更为圆满了。

今年是库恩的《科学革命的结构》出版50周年。库恩在该书出版之后,就被批评为“非理性主义”和“相对主义”,甚至是什么“暴徒心理学”。对于这些批评,库恩是不接受的。为此,他提出了理论选择的5个标准,即精确性、一致性、广泛性、简单性和富有成果性。科学家依据这些标准来选择理论,是理性的行为,不是非理性的。科学革命后,科学家依据这些标准,信奉新范式,选择新理论,也是有进步意义的,不是相对主义。但是,库恩不同意科学革命后的新范式、新理论更接近真理、更符合实在。在这点上,他承认自己有一点相对主义。从这里也可以看出,库恩的真理观更接近于经验融贯论和约定论,而不是真理符合论。

库恩在晚年,也一再表示不同意科学知识社会学中的强纲领。强纲领认为,在权力、利益的驱动下,科学共同体可以随意地建构出自然科学理论。库恩认为,“科学是认知的,科学的产物是关于自然的知识”,“世界不是发明或建构的”,“它完全是坚硬的:它丝毫都不尊奉观察者的心愿和期望;它完全能够提供决定性证据来反对所发明的与它的行为不符合的假说”;“人们能够影响或发明的不是世界,而是世界在某些方面的变化”。库恩相信存在着康德的物自体,“但它是不可说的,

无法描述的”。他认为自己是一个“实在论者”，是一个“内在实在论者”。

关于范式，库恩后来改用“学科基体”、“分类学”、“词典”等概念。他坚持科学革命前后“范式”或“词典”的不可通约性。不可通约不是不可比较，而是没有公约数。不可通约的两本词典可能有部分词汇是相通的，有的即使词汇相同，意义却不同，老词典中有的词汇，在新词典中没有了，而在新词典中出现了老词典中所没有的新词汇。所以，新老词典是不可翻译的，但可以诠释。

从库恩晚年的工作可以看出，他虽然开辟了科学哲学的历史主义进路，但他自己没有在这条进路上继续前进。他所探讨的科学案例，还是局限在物理科学和基础科学。

即使在物理科学方面，库恩也没有探讨 20 世纪出现的大科学。参加大科学工作的不仅是科学家，还有工程师、技术员和科学行政管理人员。大科学所用的仪器设备是那么昂贵，所以建造与否的决定权已不在科学家的手中，而在大国的政府领导人和国会议员的手中，甚至在若干国家的政府领导人手中。因此，科学家必须用日常语言向这些领导人诠释他们的专业学科的意义和价值。

20 世纪物理科学和生物科学的应用，产生了核武器、毒气、细菌武器。分子生物学和基因工程的发展提出了许多伦理问题。所以，科学已不仅是认识自然的问题，不仅是纯粹理性的问题，而已涉及实践理性、伦理道德问题。在基础科学的范式和评价标准中，也需要考虑到这些方面。

20 世纪的应用科学（工程科学、农业科学、医药科学）也有巨大的发展，促成了 20 世纪的技术革命。在工程科学方面，通讯网络技术的发展，把全球紧密地联系在一起。计算机技术的发展，取代了大量脑力劳动，大大提高了劳动生产率。农业科学的发展，带来了绿色革命，转基因作物的推广应用，既带来希望，也带来巨大的风险。医药科学的发展，大大提高了人类的平均寿命，但试管婴儿、器官移植、克隆技术，也提出了许多伦理问题。这些学科的范式和评价标准不同于基础科学，

必须考虑到经济效益、安全、生态环境。像建筑、园艺、整容等专业还必须考虑到美学标准。这些学科的科学共同体不仅有科学家,还有工程师、农艺师和医生、护士。他们还需要和工人、农民、用户、患者打交道。他们也有把他们的专业词汇诠释为日常语言的义务。

20世纪的社会科学也有巨大的发展,像经济学已相当成熟、日益数学化和精确化,虽然它仍然不能预测金融危机,不能解决贫富差距日益悬殊的问题。政治学虽有巨大发展,但世界还是战争频繁,还摆脱不了恐怖主义的威胁。社会科学的范式和评价标准同价值观的关系更为密切。社会科学的研究对象和服务对象都是人。社会科学的专家如何同普通人交往、交流,也是重要的问题。在社会科学哲学方面,从康德、马克思到哈贝马斯的批判哲学十分重要,可是库恩并未涉及。

库恩在晚年,把科学的发展类比为生物的进化。科学革命后出现的新学科就像生物进化树的新的枝桠。但是他没有考察现代自然科学的研究成果如何日益迅速地转化为技术和生产力,大大改变了自然和社会的面貌,也给人类社会的持续发展带来了前所未有的威胁。他也没有考察现代社会科学的研究成果日益迅速地影响了人们的社会实践,甚至引起了社会革命。总之,现代科学与人类的生死存亡、人类的持续发展、人类的幸福苦难息息相关。科学向何处去?人类向何处去?这是历史主义的科学哲学家不能回避的问题,也是库恩后的科学哲学家有义务回答的问题。

2012年9月17日于北京中关村



这是一篇命题作文。1992年春节,在史语所王汎森博士家小酌,坦普(Temple)大学傅伟勋教授出题,命以义作一篇讨论托马斯·库恩(Thomas Kuhn)学问的文字。当时未假思索,即答应下来。

以义想作介绍西洋科学史科学哲学的文字也久矣。因为科学的发展,一方面与社会政治经济互为因果,一方面与学术文化互为因果,实在是理解历史进程、了解今日文化环境至为重要的一环,又是历史和哲学研究中发展较晚的一个部类。以传统中国文化为研究重心的中国学术界,对此一领域亦稍觉隔膜。近年来以李约瑟《中国古代科学技术史》为起点,讨论科技进程,特别是中国古代的科学或者中国古代到底有没有科学,又使这一领域更见纷繁。因而介绍西洋学术在这一方面的主要成果,或者不为无功。

又历史研究常不同于他种科学或学术研究,有只能为专家所理解、只有专家才感兴趣的工作,更有供非专业人员阅读的文字。在学术要求上,后者常不低于前者;在社会功用上,后者甚至更多地承担了“通过事例传授哲学”的使命,更多地发挥了历史的文化功能。在谈及黄仁宇博士的历史著作乃至高阳先生的历史小说时,先师刘子健先生曾多次

提及历史研究的这种文化功能并亟加强调。以义耳闻既久，遂跃跃欲试焉。

一个多月以后，东大图书公司刘振强先生惠下书约，即着手准备资料，甚觉不足。以以义的学识功力，欣赏他人著作，或能有一孔之得；及至操觚濡毫，构造规划，则力常不逮！于是知奋发读书，问学于大师之门，间有所得，点滴成篇，斟酌损益，至今四年。

按吕文穆论老杜^①，称其笔力“少而锐，壮而肆，老而严”。以此比托马斯·库恩的学问，差强近矣。库恩纵横学术界几五十年，建树尤多，要作系统介绍，颇是不易。为行文方便起见，全书大略分为三部分，一是库恩生平和学术环境概况，一是主要著作评述，一是以库恩的观点看中国古代史。从篇幅来看，三者决不匀称。非不欲稍加调整，实恐以辞害意，为识者所哂也。

库恩的一生是学者的一生。他的大部分时间是坐图书馆阅读，伏案写作或与人讨论。他的传记就是他的思想发展的历程。当然他也有常人的喜怒哀乐，也生儿育女，但与库恩之所以为库恩，之所以享誉天下关系似乎不大，因此本文不拟追寻其生活琐事。即使其生平小传，亦止于学术氛围与环境而已。

库恩的哲学首先是历史哲学，多为对科学史的研究所发。因此要理解其哲学，必对于有关的科学史史料故事有比较全面的了解才好。在一定的意义上，真正了解了这些史实，就自然地理解了库恩的哲学。或谓“描述就是解释”，当指此意。库恩为文，于科学史特为广博，时代、专科跨度很大。所涉及的史料故事，散见于各处，有时不易骤然汇总。以义在下文中，常用相当比例的篇幅，介绍相关史实，一则以为这种介绍本身有益于对库恩工作的理解，一则也试图为读者提供一些便利。

^① 吕蒙正：《跋子美年谱》，引自胡仔：《苕溪渔隐丛话》后集，卷30，廖德明校点本，北京：人民文学出版社，1962年，第226页。

所用史料,尽可能指明出处,以利进一步研究。

库恩的哲学又特别具有启发性。所以每出一论,注家蜂起,各执一端;而发挥经义,更是各逞其能。所有这些“后论”是否是库恩原意,甚至是否为库恩同意,均在可议之中。但一本书,一种哲学观念,一旦发表刊出,即有了自己的生命,实在不是任何人能把握的,是所谓“作者未必然,读者何必不然”^①,本来也无可厚非。唯以义功力不逮,面对这些大块文章,岂敢遽言企及? 所以对于这一类发挥,除个别一两处外,本书均不涉及,以免枝蔓。

以库恩的观念来考察中国古代,尤其是古代关于自然的知识的积累进化,常能有些新的见地。但题目既大,前人先进议论也多,自难一一照顾,只能作简单探讨了。议论“有同于旧谈者,非雷同也,势自不可异也;有异乎前论者,非苟异也,理自不可同也”^②。所期望者,是提出一个新的考察问题的角度,或者可以引发一些新意。

库恩一书,难在内容多,牵涉面广,挂一漏万自不可免。唯希望以义或可充一导游,陪同读者到处游历一番。走马看花,多少为读者介绍几处佳境,以俟他日有暇,即可再往探看焉。

除了上文提及的诸位师友之外,本书的写作还得到库恩先生的帮助,格力斯比(C. C. Gillispie)先生和马豪尼(M. S. Mahoney)先生的帮助。肯尼迪(E. S. Kennedy)先生、斯渥德娄(N. Swerdlow)先生、外斯(Norton Wise)先生曾拨冗与笔者多次长谈。瞿国凯先生惠借《必要的张力》中译本,汪芸小姐惠赠《结构》第二版中译本,普林斯顿大学图书馆、葛斯德

① 此处戏用谭献论词语,语见谭评《词辨》卷2,页3反面,在《宋四家词选》,广文书局影印,不著印年。张海惠小姐帮助查对,谨致谢。又见谢章铤《赌棋山庄词话》续编一,他说得很有意思,兹稍摘如下:“……字笺句解,果谁语而谁知之? 虽作者未必无此意,而作者亦未必定有此意,可神会而不可言传。”见唐圭璋编《词话丛编》第四集,台北:新文丰影印,第3486页。由此引申,下文将尽可能避免诸如“库恩说……”之类的写法,以推求师意,或有不逮,以讹传讹,有貽笑大方之惧。所有引文,尽量限于公开发表的文字。

② 《文心雕龙》序志第五十,王利器汇校本,上海:上海古籍出版社,1980年,第295页。

(Gest)东方收藏和莫德(Mudd)档案馆予以查阅资料的方便。谨此致谢。家人的理解和支持,则是此书得以完成的一项不可须臾或缺的条件。本书写完,欣逢吾母八十诞辰,谨以为寿,并颂吾母更登期颐。

吴以义

一九九六年三月

劳伦斯维尔,新泽西



目录

序	范岱年 / 1
自序	/ 1
第一章 库恩的学术生涯	1
一、库恩简历	1
二、哈佛 1: 从三重奏到四重奏	3
三、哈佛 2: 柯南	7
四、从哈佛到伯克利	11
五、从伯克利到普林斯顿	16
六、普林斯顿	20
七、从普林斯顿到麻省理工	24
第二章 “化学史”和库恩早年对科学史的研究	30
一、“疑问 31”的史料研究	31
二、对波义耳的研究	36
三、库恩对科学史的哲学意义的最初探索	39
第三章 哥白尼革命	43
一、哥白尼以前的宇宙图景	45

二、哥白尼及其工作简述	48
三、库恩对哥白尼的研究	59
四、科学史家对《哥白尼革命》的反应	72
第四章 必要的张力：科学发展的内在原因	75
一、犹他大学会议：常规科学的概念	76
二、“反常”的典型事例	82
三、“科学共同体”的“意见一致”和“范式”	87
四、再论科学共同体的意见一致	91
五、“范式”及其转换和科学革命的结构	96
第五章 科学革命的结构	106
一、“科学革命”的经典理论	107
二、科学革命结构理论的哲学背景	114
三、柯列依及其科学史工作的影响	120
四、科学革命的结构 1：常规科学、反常与危机	127
五、科学革命的结构 2：革命	134
六、科学革命的结构 3：应该怎样写科学史	139
七、哥白尼革命的结构分析	143
八、科学哲学界对《结构》的讨论以及库恩的发展	148
第六章 黑体与早期量子论问题	155
一、20 世纪初的辐射理论	156
二、玻尔原子和量子论的决定性胜利	162
三、1960 年代库恩对量子物理学史的研究	167
四、库恩的《黑体》一书要点	177
五、《黑体》未能尽如人意	180
六、什么是科学革命？	186
第七章 以库恩做法为范例对中国史的检讨	193
一、“关于自然的知识”如何不同于“科学”或“概念体系”	194

二、“中国古代对自然的研究”如何不同于西洋的“科学”	200
库恩年表	206
参考书目	209
索引	211
附录：对《孔恩一生的历史与社会脉络——评吴以义著〈库恩〉 一书》的回应	216
2013年再版后记	219



第一章

库恩的学术生涯

库恩传颇不易写,因为库恩一生未见有什么戏剧性的事可以让我妙笔生花。他一生七十多年,极为平静:从一所大学转到另一所大学,从一间图书馆转到另一间图书馆。既未受过迫害,也没有成为明星。

作为历史学家,库恩是幸运的:他享受了长达五十年的平静的学者生活。如果说动乱和灾难会造就文学家的话,历史学家绝对需要太平盛世。他们从而可以慢慢地收集、排比资料,充分地思考、讨论,静静地写作。在这个意义上,库恩是幸运的。

这一章就是写这平静而幸运的一生。第一节概述,以后六节分段略作发挥。与库恩发展关系密切的人、事、组织机构也随时简单介绍,希冀有助于勾画时代背景。第二章起五章,分别讨论库恩一生各时期的学术思想和贡献,而本章又为其概述和线索云。

一、库恩简历

托马斯·塞缪尔·库恩(Thomas Samuel Kuhn)^①,1922年7月18

^① 本段据 *Directory of American Scholars*, 8th ed., N. Y. & London: R. R. (转下页)

日生于俄亥俄州的辛辛那提市。父亲是律师，整个家庭弥漫着犹太知识分子阶层自由沉思的气氛。

库恩在私立学校受中等教育。17岁入哈佛大学物理系，1943年毕业。毕业以后继续在母校攻读，1949年以“单键金属聚合能量和原子量子缺失的关系”为题获博士学位。先是，以欧战方殷，学生必须参与战时服务。库恩于1943—1945年、1945—1948年两度在科学研究管理部门任职，历任科学研究发展办公室助理研究员和国家研究委员会“博士前研究员”。1948年起，获哈佛学社“青年学者”奖助金，凡三年，其间写完博士论文，并作进一步研究。1951年起在哈佛任教学辅导，担任“一般教育和科学史”课程，旋升为助理教授。1954—1955年获古根汉姆(Guggenheim)奖助金，嗣后在“行为科学高等研究中心”做研究。1956—1964年，在加州大学伯克利分校，从助理教授依次升至教授。1964年起在普林斯顿大学任教职，稍后任该校科学史和科学哲学专业主任。在此期间，先后同时兼任“量子物理学原始资料汇集计划”主任，“科学家传记大辞典”编委，“社会科学研究委员会”中心组成员，美国科学史协会主席，普林斯顿高等研究院特聘研究员。1968年升为普林斯顿大学历史系泰勒·佩恩(Taylor Pyne)讲座教授。1979年移砚麻省理工学院(MIT)，任科学史和科学哲学教授，稍后升洛克菲勒(Rockefeller)讲座教授。

库恩得过三个荣誉博士学位，分别来自1973年的圣母大学、1979年的瑞德(Rider)学院和1980年的瑞典林科平(Linköping)大学。

库恩至此出版过三本专著，即1957年由哈佛大学出版社出版的《哥白尼革命》，1962年由芝加哥大学出版社出版的《科学革命的结构》和1978年由牛津大学出版社出版的《黑体问题和量子不连续性》。前两本书都曾多次再版。库恩还在各种杂志上公开发表过大约九十篇论文^①，

(接上页) Bowker Co., 1982, v. 8, pt. 3 写成，稍作补充。库恩大陆通译“库恩”，台湾译“孔恩”，香港以及其他一些中文资料上也有译作“科恩”者。孰优孰劣，非以义学识所能判断——也许根本无所谓优劣。为此，凡西洋人名，除已有一致通用的成译如“牛顿”者外，下文常录用原文，以免混淆。2013年再版注：再版已按大陆通行译法，转用中文。

① 著作目录见 Paul Hoyningen-Huene, *Reconstructing Scientific Revolution*, The University of Chicago Press, 1993, pp. 273 - 278 及 p. 302。

其中最重要的,尤其是和他科学史、科学哲学思想有关的论文后来又在1977年由芝加哥大学出版社结集出版,是为《必要的张力》。在上述著作中,《科学革命的结构》1980年由上海科技出版社出版李宝恒、纪树立简体版译本,1989年台北远流出版社出版傅大为、王道环、程树德、钱永祥繁体版译本。《必要的张力》最早有1981年福建人民出版社译本,译者为纪树立、范岱年、罗慧生等多人^①。

二、哈佛 1: 从三重奏到四重奏

从库恩在剑桥纪念大道公寓客厅的窗户向东望去,可以看见树荫深处查尔斯河静静流过。河水有时在夕阳下会灿烂地闪耀,但大多数时候只是静静地流过,提示着一种发人深省的沉静,这和五十五年前,库恩第一次来哈佛时看见的没有什么两样。

20世纪30年代末库恩所感受到的首先就是这种发人深省的沉静。库恩是物理系的学生,而30年代正是现代物理学的巅峰时代。1920年代量子力学所建立的辉煌理论,吸引了每一个对自然、对自然哲学感兴趣的年轻人。但是,哈佛绝非一个以系科局限学生的技术训练班。哈佛所要培养的不是规规小儒,而是真正的通才大器。这一点,对于库恩日后的发展直至名满天下是决定性的。

科学史在这时候还没有独立成为一门专科,但已吸引了足够的注意;而且,哈佛也聚集了足够的人才把这种一般的、常人或者会以“业余兴趣”看待的课题变成一门真正的、令人为之付出毕生精力而不后悔的学问。国际科学史学会会长, *Isis* 杂志的创办人乔治·萨顿(George Sarton, 1884—1956)从欧洲来美国就在哈佛住下,并留意培养自己的学术传人^②。在哈佛学院,生物学家汉德森(L. J. Henderson,

^① 2013年再版注:这儿是指直到1995年的情形,以后翻译情形见范岱年先生序。

^② 作为科学史专家,萨顿的专业生涯颇不顺利。他1916年到哈佛,主讲科学史直到1951年,但终身教职却晚至1940年代在校长柯南(J. B. Conant)的干预下才得到。关于萨顿,见他的女儿May Sarton, *I Knew a Phoenix*, N. Y., 1969,及比较简单的回忆录, *Taxes Quarterly*, 5(1962)101-112。

1878—1942)^①早在 1911 年就开设了科学史课；1924 年，他成为美国科学史学会的首任会长。哈佛化学家柯南(J. B. Conant)是热心的科学史教育家，他坚信真正的科学教育必蕴于科学史研究之中。这位哈佛科学史科的创立人在 1932 年正式受命为哈佛大学校长。我们稍后还有机会仔细研究柯南——事实上，库恩几乎可以说是出于柯南门下。这样的学术环境，自然常常让人有机会从历史的角度考察知识整体。

在库恩的老师 and 学长中，有三个人当时正在演出“三重奏”。这三个人后来都在各自领域中创立一片天地，但这时还只是锋芒初试。最年长的是罗伯特·莫顿(Robert K. Merton, 1910—2003)，社会学家，科学社会学的开山人，以“莫顿命题”和关于英国清教徒的宗教伦理与资本主义发展关系的研究著名^②。其次是萨顿的及门弟子伯纳德·科恩(I. B. Cohen)。科恩 1937 年在哈佛获物理学学士学位，这时正在孜孜攻读萨顿的科学史学位。按萨顿的要求，一位合格的科学史家必须在四个方面，即科学专业、语言及语言学、历史和哲学四大门类中受苦行僧式的训练。科恩日后证明他只花了十年时间就完成了上述要求，成为美国第二个获得科学史学位的人——当然，这是后话。最年轻的是巴博(Bernard Barber)，莫顿的学生，这时正热情地进行科学社会学研究。

库恩在 1943 年获学士学位，同时获 Summa cum laude(最优等)荣誉称号。这是哈佛学士学位获得者所能得到的三级荣誉中的最高一级，常标志着与诸如 Π BK 和 Σ E 之类的荣誉称号相联的社会公认的成就。的确，库恩从来就不是一个靠死读书、靠考试吃饭的学生。在毕业的时候，他已参与了学生杂志的工作。库恩公开发表的近九十篇论文的第一篇，正是在大学毕业时写的对于“开放社会的普通教育”的看

① John Parascandola 博士论文, Univ. of Wis., 1968。简要的叙述见作者为 DSB 写的条目。据 Parascandola 考证，汉德森 1911 年起在哈佛的科学史课是哈佛最早的同类课程。另外，汉德森对于萨顿能在哈佛获得教职也起了关键作用。

② R. K. Merton, *Osiris*, 4(1938)360-632, 1970 年由 N. Y.: Howard Ferting 再版。再版有范岱年、吴忠译本，成都：四川人民出版社，1986 年。

法,取名为《我的意见》^①。虽说不长,倒也充满了年轻人的创见。

在攻读硕士学位时,库恩成了日后莫顿所谓的“四重奏组”的一员^②。我们方才提及的“莫顿三重奏组”中最年轻的巴博,同时也厕身于这一四重奏组,从而透出这两组学者的关系来。除了库恩和巴博,另外两位成员是查尔斯·格力斯比(Charles Gillispie)和亨特·杜普瑞(Hunter Dupree)。有趣的是这四人年龄相仿:格力斯比和巴博生于1918年,杜普瑞1921年,库恩1922年;而且其中三人都在1949年获得博士学位。

格力斯比在完成历史学学位后,即往普林斯顿任教,十年后创办科学史专业。除了研究法国和欧洲科学史的专著外,他以主持DSB计划享誉科学史界。DSB即《科学家传记辞典》,从1970年起,费时十年,参加撰写的包括世界各国的500多名科学史专家,涵盖两千年来5000多位科学家、自然学者的生涯和学术研究。尽管莫顿力图说明格氏是有“社会学取向”的学者,其实他首先是一位历史学家。他1962年出版的、后来被广泛采用作为教科书的名著就是明证^③。他历来反对先入为主的框架,历来主张细致地排比事实。他个性的平和,文风的典雅,知识的广博,无一不令人深信他生来就是最优秀的历史学家。他和库恩的五十年的友谊,无疑深深地影响了后者对历史的研究。

巴博主修社会学。他的老师莫顿是萨顿的学生,在20世纪30年代末就注意到了科学发展的社会因素。一般认为,莫顿的这一取向和苏联人格森(Boris Hessen)的工作有关。1931年6月29日到7月3日,国际科技史会议在伦敦举行。当时苏联国内政治、经济甫定,社会主义、马克思主义这些概念对西方学者还相当陌生。格森为苏联代表团的主要发言人之一,在会上作了《牛顿〈原理〉的社会经济根源》^④的

① T. Kuhn, "Subjective View," *Harvard Alumni Bulletin*, 2 (22 Sept., 1945) 29-30.

② 据莫顿的回忆录 *The Sociology of Science*, Carbondale: Southern Illinois University Press, 1977, p. 73。下文多处出于此,不另注明。

③ *The Edge of Objectivity*, Princeton: Princeton University Press, 1962.

④ B. Hessen, "The Social and Economic Roots of Newton's *Principia*," rpr., N. Bukharin et al., *Science at the Crossroads*, London: Frank Cass, 1971, pp. 149-229.

报告,用马克思主义的经济—历史决定论分析了牛顿的工作。自有牛顿、有以牛顿为题的科学史以来,17 世纪的科学大革命从来是被看作是 人类心智、人类认识的伟大跃进。把科学和社会的发展,尤其是社会经济的发展联系起来分析,这对当时的西欧学术界来说,几乎是闻所未闻的,自然引起了极大的兴趣和广泛的注意。在英国,李约瑟则是最著名的,他力图利用中国的社会经济情形来解释“中国为什么没有科学”或者“中国实际上有科学”之类^①。另一位深受影响的是贝尔纳(J. D. Bernal),1948 年在牛津大学瑞斯金(Ruskin)学院演讲,以后叠加扩充,成《历史上的科学》一书^②。至于莫顿的前引著作,则被认为是该学派在美国的滥觞。格森的书 1971 年重印,莫顿的书 1970 年重印,均加长篇前言,可见这个学派在 1960—1970 年间的活跃程度。

巴博在莫顿影响下投身科学社会学,先在哈佛,后在哥伦比亚大学,与库恩过从甚密。稍后库恩为《社会科学百科全书》撰写“科学史”条目,巴博则作“科学社会学”条;库恩撰《结构》,巴博又是最初的评讲人之一;库恩在行为中心工作时,巴博正从事功能理论的研究^③,注意力集中在和库恩一致的方向上。当库恩在谈论“科学共同体”的时候,巴博正在研究科学家对科学发现的抵制,并引库恩关于哥白尼的工作为证^④;而巴博和福克斯(R. C. Fox)关于偶然发现的理论^⑤和研究又为库恩引用。

这个“三重奏”组,莫顿,科恩和巴博,和“四重奏组”对库恩的影响是深远的。一方面,这些学者在库恩以后近五十年的学术生涯中将与库恩密切来往,另外一方面他们的学术兴趣和学术方法又相一致又不

① 李约瑟与格森的渊源可见于李氏在格森文章再版时写的前言,自然这是四十年后的文字,但多少反映了李氏对格森的心情。

② J. D. Bernal, *Science in History*, London: Watts, 1957。是书有伍况甫中译本:《历史上的科学》,北京:科学出版社,1959 年。

③ 参见 B. Barber, *American Sociological Review*, 21 (1956), pp. 129 - 135。

④ B. Barber, *Science*, 134 (1961), pp. 596 - 602, 引用库恩在 p. 596。

⑤ B. Barber and R. C. Fox, *American Journal of Sociology*, 64 (1958), pp. 128 - 136。库恩的引证见《必要的张力》,曾庆宏译中译本第 201 页。

相一致,所以常可以相互发明,相互启迪。在学术方向上,我们由此可以预见,库恩将兼顾社会的影响和科学内部逻辑的作用,兼顾社会学和历史学,真正把科学史的内在学派和外在学习派联合起来——并不是以一者取代另一者,并不是把两者机械地合并,而是通过深入的历史研究,真正揭示这两方面因素在科学发展过程中共同作用的机制,从而在文化、社会、历史的宏大背景上展示科学的发展。这种包举全局、囊括各个发展方面的视野和做法,又可以追溯到哈佛当时的校长、库恩工作的热情支持者和引导者柯南。

三、哈佛 2: 柯南

在攻读硕士学位期间,库恩先后在两个半政府机构中工作。先是 1943—1945 年间的“科学研究与发展办公室”,继而是 1945—1948 年的“国家研究会”。这两个机构都与哈佛有密切联系。从学术上看,这些机构未必对库恩日后的科学哲学有直接的影响,但对于一个大学刚刚毕业的理论物理专业学生说来,这是一个走向现实社会,重新发现科学在现实社会中的地位、功用和各种“外在联系”的好机会。

1946 年,库恩获硕士学位进入博士阶段。1948 年,他获得哈佛学社的“青年学者”奖助金,日后库恩时常称自己为“青年学者”。

哈佛的“学社”最初由哈佛的老校长洛厄尔(A. L. Lowell)匿名赞助,由柯南任校长起正式开始工作。这个学社不授任何学位,而且甚至不鼓励争取学位。它的主要宗旨是克服研究生教育中日益严重的“专业化”倾向,鼓励学生自选范围阔大的多学科综合课题。这种柯南式的教育思想,意义深远。让我们先作一稍微详细的考察。

柯南对于美国学界 1950 年代后期到 1980 年代科学史的蓬勃发展起了关键的作用。一方面他在任哈佛大学校长时大力鼓吹提倡科学史研究,并且自己亲自参与,著书立说;另一方面他在哈佛设立的科学史教学研究班的确培养出了一大批最优秀的科学史家,这些人毕业以后散居美国各个著名大学,形成一个巨大的研究系统。库恩正是在柯南

的这一事业处于巅峰时进入哈佛大学学习物理学，进而转向科学史的。

詹姆斯·柯南(James B. Conant)^①，1893年生于新英格兰的一个小城，从小就是优秀学生，1914年以优异成绩毕业于哈佛学院。他的兴趣在化学方面，所以尽管20世纪最初十几二十年对于欧洲的优秀学生说来是理论物理的黄金时代，柯南还是用比较实际的美国方式选择了应用化学。两年以后获博士学位，并被留在母校作为辅导教师。当时欧洲的情形正是越来越紧张，战争似乎是不可避免的了。柯南因此有机会加入了一个秘密计划，研究制造毒气。这种研究工作使得他这样一个年轻的有机化学家得以接触最优秀的大学教授、军事指挥人员、工业家和军火商。这种经验无疑大大扩张了他的视野和社会交往。

欧战结束，柯南回到哈佛，先任助教授，旋迁副教授，再迁化学系主任。他不同于其他教授之处在于他与化学工业的密切联系。从那时起，他一直任杜邦(DuPont)公司的顾问，并兼洛克菲勒医学研究院的科学顾问。在第二次世界大战期间，他还担任过负责制造原子弹的曼哈顿计划的顾问。

这一类的行政和人事管理工作引发了柯南对于教育的兴趣。1933年，他出任哈佛大学校长。以后的时期中，他不遗余力地宣传、推行科学教育。在柯南看来，科学教育当然在于科学知识自身，但更重要的是“科学方法”或“科学精神”。而此二端，非通过对于科学史的深入了解，不能做到。

他的这种观念在《论对科学的理解》^②一书中阐述最为详尽。这本书写于1947年，最初是柯南在耶鲁大学的一个学术讲座。当校长柯南在着意发挥他认为对于“美国”以后几十年有头等重大意义的主题时，24岁的库恩正坐在哈佛的教室里听课。根据库恩日后的说法——比如在下文要讨论的《哥白尼革命》和《科学革命的结构》中所再三强调

① 柯南有自传 *My Several Lives*, NY: Harper & Row, 1970, 简要的介绍见 Jurgen Herbst 为 *Encyc. World Biography*, NJ: The MacGraw-Hill, 1973, 写的条目。

② *On Understanding Science, An Historical Approach*, New Haven: Yale University Press, 1947。下文引用此书时，仅以括弧注出页数，不再另注书名。

的,柯南的影响对库恩后来几十年的工作方向有决定性的作用。

《论对科学的理解》的缘起是耶鲁大学的坦瑞(Dwight Harrington Terry)讲座。按照捐款人坦瑞的规定,这个讲座的内容应当是“在科学和哲学的背景上对宗教的研究”,特别注重于对科学成果的“消化和吸收”过程的研究。柯南认为,对于美国这样一个非宗教化国家,对于现在这样一个“机器和技术专家”主导的时代,进行科学,尤其是“科学精神”的教育,是“美国民主制度”取得成功的一大关键(第3页),也是提高一般非科学专业的各界人士思维水准的一种需求(第5页)。

所谓“科学精神”,柯南说:“准确而无偏颇的对事实的分析只有在科学领域里才有可能;而这一原则的影响所及,则又造就出一种对所有事物都能进行无偏颇的分析的思想方法。”这种科学精神的培育和产生,可以追溯到古典文化最精深微妙的部分。柯南认为,哥白尼、伽利略和维萨利乌斯(Vesalius)所代表的那种精神,并不来自为他们积累无数实验或观测事实、无数方法技能的工匠和自然爱好者。这些人提供了关于科学的事,但没有提供科学自身。启迪科学的人,最直接对于科学革命发生影响的,是彼特拉克(Petrarch)、薄伽丘(Boccaccio)、马基雅维里(Machiavelli)和伊拉谟斯(Erasmus)。他们提供了追寻真理的方法和精神。懂得和科学有关的方法,懂得科学所描述的事实并不等于懂得了科学。“仅仅了解科学并不是理解科学”(第12页),这就是柯南所提出的、行将影响整整一代科学史、科学哲学家的重要命题。

那么怎样从“了解”变为“理解”呢?柯南认为有两条路可走:逻辑的或历史的。所谓“逻辑的”,就是学习科学自身,通过学习科学的精细构造和具体推理来体会“对事实进行的准确而无偏颇的”分析精神;所谓“历史的”,则是通过对科学史的学习和研究,重新经验科学家当年从不知到知、从谬误到正确的艰辛历程,从而体验这种“准确而无偏颇的”分析精神。以这两条途径而言,作者认为,“历史方法十九是理解或正确理解复杂事物的方法”。

对科学的研究并没有固定的方法和程式,就好像作战一样。军事学院所作的战争史课程,正是为学生提供以后运用时可资参考的“范

例”。如果真有所谓“科学研究的方法”，那么为什么科学家要花这么长的时间一步一步摸索探求，最后才能阐明人人耳闻目睹的事实呢？科学家早年的种种困惑、误解，是最值得向学生介绍的科学的精华（第15页），可是现在的教科书却总是力求把事情写得简明严谨。为了培养“科学精神”，柯南认为，应当大力发展科学史研究（第17页）。

这是不言自明的。要懂得美国的民主制度，最好了解这种制度所以产生的美国历史；要懂得作战应变，机动灵活，最好熟读战争史。问题是如何做。

科学发展，至少可以追溯三四百年，形态纷繁；各科各行，岂能一语道尽？为适应科学专业的学生需要，也因为当时还很少有能纵横几门学科、上下几个世纪的专业科学史学者，柯南提出了“案例研究”^①的方法。正如一滴水也能反映太阳的光辉，柯南认为，利用一些在科学发展上有典型意义的事例，着重研究，当能提示科学精神的某些最重要的方面。

他选的个案是波义耳。波义耳(Robert Boyle, 1627—1691)与牛顿约略同时而稍早，同是皇家学会的重要成员，一生崇尚宣扬科学，据说他随时根据温度计更换衣服。他最重要的工作之一是对气体性质的研究，有连接气体在温度不变的情形下压力与体积的关系的“波义耳定律”。波义耳在进行气体研究时，曾系统地运用了假说、实验验证、分析、观察等“科学方法”。整个研究过程宛如一个以理性指导的层层深入，探究自然本来面目的引人入胜的故事，而在理性的冷峻分析之中又常常透出优美的和谐。明睿透辟的逻辑所展示的必然性、人的悟性与自然界固有理性之间的深刻的和谐都非常迷人。于是很快就有一大批学生听从校长的教导，走进了科学史领域。我们在本书后面几章里将会看见，库恩是其中最优秀的一人。十五年后，库恩在他那本使他名扬天下的小书的前言里满怀感激之情写道：“哈佛当时的校长柯南最先把我引向科学史研究，并使我关于科学进展本质的想法开始发生转变。

^① 这种“案例研究”后来汇编成册，是为 *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Cambridge: Harvard University Press, 1957, 其中除了柯南本人的工作外，还有他的同事纳什(Leonard Nash)、罗勒(Duane Roller)等人的工作。

嗣后又慷慨给予批评意见,并费时阅读本书初稿,提出了多处重要的修改建议。”

事实上,《科学革命的结构》一书就是献给柯南的。献词写道:

献给

詹姆斯·B·柯南

本书始于他的启迪

柯南是受之无愧的。

四、从哈佛到伯克利

1943年,库恩以最优等成绩(Summa cum laude)从哈佛物理系毕业。这或者以最隐而不露的方式向我们提示了这位未来的哲学家将要离开物理学这个当时人人羡慕、人人敬佩的领域。库恩的“自由研究”取向很快在哈佛的学术环境中发展:与“Summa”相当的 Π BK和 Σ Ξ 荣誉加上在两个机构中的工作经验,使库恩获得了“青年学者”奖助金。如前所介绍的,这个奖助金不压迫学生为学位拼命,没有约束力,也没有一定之规,从而真正为学生创造了一个“自由环境”。金额未必丰厚,但对于青年学子说来,已是远胜于“一簞食,一瓢饮”了。换言之,他们可以坐下来无忧无虑地考虑他们所想要追寻的问题了。这个奖助金时效三年,给了库恩一个宝贵的机会发展他的个人兴趣。他因而更远离了纯物理学一步。

1951年“青年学者”三年修行期满,库恩又马上得到了哈佛的教职,这一教职持续了五年,库恩受命主讲科学史。在这期间,他系统地阅读了亚里士多德。他发现,亚里士多德绝不能以现在观点来评判;亚氏自有亚氏的道理^①。这一点成了他理解希腊以下直至文艺复兴的科

^① 见库恩自己的回忆;库恩为《必要的张力》所写的序言,中译本,第Ⅲ—Ⅳ页。

学观念的基础。他的《哥白尼革命》也酝酿于这一阶段。

1954年，库恩进一步获古根汉姆奖助金，从而使得他可以充分利用哈佛的五年一度的休假，专心做一些事。他要做的，首先是把这几年最有心得的几项研究写下来。而古根汉姆奖助金本身，又正是为此一目的而设立的。可以特别提出的是，1954年与库恩同样在1295名候选人角逐中取胜的还有前文提过的，普林斯顿历史学家格力斯比以及科学史家萨顿的女儿、诗人(May Sarton)。古根汉姆奖助金无疑又把库恩向“综合科学家”的方向上推进了一步。

约翰·西蒙·古根汉姆(John Simon Guggenheim)基金会所设立的古根汉姆奖助金总部设在纽约，赞助范围也比较广，特别鼓励研究和独创性的工作。在诸多类似的奖助金中，数额也比较丰厚，可以维持一年的研究工作而无后顾之忧，所以竞争自然也很激烈^①。在1953年库恩申请这份奖助金时，他并没有多少文章发表：除了由博士论文改写、发在两家数学物理杂志上的三篇文章之外，只有讨论牛顿和波义耳的三篇文章^②——而且从后来的发展看，这三篇文章在学术界并未得到很好的评价。虽然库恩一直坚持他对牛顿《光学》一书所附的《疑问》的重新诠释，其他的牛顿学者似乎并未接受他的看法。库恩的幸运之处，也可能就是长处在于，他毕业于哈佛并在哈佛执教已近五年，他的老师和同事对他的工作和他的潜在能力有充分的了解和期望。所以，按莫顿的说法，有出版物当然好，没有的话，也不一定不能接受：因为那些真正第一流的学者常常大器晚成。

但是，传统习惯的压力仍是不可忽略的。即使是才高气远的库恩仍感觉到出版物太少是个问题。现在，可以坐下来写作了。1954—1955年古根汉姆奖金期间产生出来的最重要的成果、库恩三本专著中的第一本、谈论科学史的传统主题《哥白尼革命》，后来由哈佛出版社出版^③。这对于库恩取得终生教职是必需的。

① 例如1991年的奖金额平均为26469美元/年，共有3474人申请而最终167人获得。

② 见下文“化学革命”一章。

③ 见下文“哥白尼革命”一章。

就《哥白尼革命》一书自身来看,这本长达三百页的专著更像是一本教科书。事实上,这也确实是库恩在哈佛担任“科学史与普通教育”课程时所用的一份主要的材料。库恩在前言中满怀激情地提到了他的两位哈佛的同事,纳什(L. K. Nash),一位热情支持他工作的哈佛化学家,还有柯南。库恩说,和柯南一起工作使得他懂得对科学史的研究可以产生对科学研究的结构和功用的全新的想法。而且,要不是有了对哥白尼革命的研究,其他关于科学史的工作也不可能顺利进行。库恩对柯南的感激敬佩之情,柯南对《哥白尼革命》一书的影响,库恩用一句话来概括:“He fathered it.”的确,除此以外什么样的说明都是多余的了。

在《哥白尼革命》中,库恩对科学史和科学哲学作了第一次系统的阐发。首先,他提出科学史就是思想史:

科学概念其实就是思想观念,因此科学概念就成了思想史的一个主题。科学史的这种做法至今还不多见,那只是因为几乎没有历史学家受过处理科学材料的技术方面训练而已。^①

然而库恩——哈佛大学的物理学博士,当然有能力承担这样的工作。在《哥白尼革命》中,处处透露出库恩用思想史的大框架处理科学发展的迹象来。从七八年后他的《结构》的主要观念反观《哥白尼革命》,我们已经可以寻见诸如“规范”的概念、“革命转折”的概念和“反常”的最初形态了。尤其是如何“按亚里士多德的方法理解亚里士多德的理论”,更是本书力图追求的。《哥白尼革命》和1954—1955年的古根汉姆奖助金因此被莫顿称为库恩想法与做法的“分水岭”。在这以后,库恩就成了强烈哲学取向的科学史家或者是强烈历史取向的科学哲学家了。

在获得古根汉姆奖助金后不久,库恩又得到了正在筹办的伯克利

^① *The Copernican Revolution*, p. vii, 在1981年第十一次印刷本中是 p. viii。2013年再版补注:本书写作较早,未及利用后来出版的中译本。这次再版,势难一一核对,谨向诸译者致歉。

行为科学高等研究中心的邀请。这一意外收获来自一个冗长的程序：

行为科学研究中心是一个研究机构，其组织方式颇为特别。简单地说，它的成员是邀请来的而不是通过美国常见的“申请→审核→面谈→决定”的程序遴选的。但是这种“邀请”模式并不容易实施。行为中心首任主任泰勒(R. W. Tyler)对于他的组织法有有趣的说明^①。他把可供考虑的候选人分为三个年龄组：45 岁以上的，这通常都是大学的正教授，在各自领域里都已事业有成，因此不难选出。35 岁到 45 岁的，多数也都已获得终生教职。以上两组在本专科内已为人所熟知，著作已经刊行，所以评价比较容易。问题是 35 岁以下的年轻学者，他们的学术水准不易判断，更不用说他们的学术潜力了。为此，泰勒的工作班子为主要的年轻学者建立了一个资料库。这个资料库为每位学者做了一份档案，其中含有一份通常的履历、主要出版物和评价，特别是由本中心邀请的由资深学者所作的分析和估价。这个资料库涵盖了 2 000 多位人选，历时两年才初见规模。

这个资料库为一个全国性的遴选委员会提供基本资料，而后这个委员会提出提名，再由中心的主管行政部门审核。如果一切顺利，则对当事人发出邀请，而这个被幸运地选中的人到这时才真正与中心发生关系。

1955—1956 年间组建的第一代中心工作人员共有 36 人，库恩是其中六个最年轻的学者之一，时年三十二岁。主要研究成员的专业集中在心理学、社会学、人类学、政治学 and 经济学方面，这正是这个研究所——“行为科学”所理所当然地要研究的学科。此外还有一位“行为生物学家”。但一位研究科学史的物理学博士也在被邀之列，则令人小感意外。

按莫顿的追述，当年力荐库恩的主要是库恩在哈佛的老师。首先是西尔斯(Edward A. Shils)，一位对社会学和知识发展很早就怀有强烈兴趣的老教授，早在 1936 年就同别人一起翻译了曼赫姆(Mannheim)的书，在哈佛一直进行着合作研究项目。莫顿也是荐主之一。莫顿对于科学

^① R. W. Tyler, "Study Center for Behavioral Scientists," *Science*, 123(1956)405.

史一直怀有特别的好感。他本人是社会学家,但他坚信必须融合科学史的研究,才能对社会作完整和深入的说明。他长年担任国际科学史专业期刊 *Isis* 的编辑工作,和哈佛科学史专业有密切的联系。

出于这些德高望重的老师的大力推荐,库恩被选入行为科学中心的第一届研究人员名单。但当库恩接到邀请时,他已是古根汉姆奖助金的领取者了。不得已,库恩谢绝了行为中心的邀请。古根汉姆一年期满,库恩转入伯克利参与该校的一个试验性的科学史专业班。虽说1955年未能进入行为中心,但既然在伯克利任教,自然有近水楼台之便。库恩又再次得到邀请,是为1958年。

这个机会在库恩来说实在是太理想了。行为科学中心是一个非教学部门,他因此免去了沉重的教学任务,可以专心做研究。而且,行为中心聚集了一批优秀学者,各自学有专精,不少人的专业是社会、政治和组织方面的,这和库恩所熟悉的物理、历史相去颇远。库恩在这儿,既有静心澄炼他自己的想法的时间和安宁,又有学习讨论扩展自己的可能。这一机会到来的时刻,按莫顿所说,也是绝好的:库恩进入研究中心的1958年,距他最初注意到“科学革命”的概念大约十一年,距他第一篇科学史文章发表八年,距《哥白尼革命》的写作三年。

这一静心澄炼的结果,就是四年后出版的《科学革命的结构》。先是,芝加哥大学的莫瑞斯(Charles Morris)、卡尔纳普(Rudolf Carnap)和哈佛的法兰克(Philipp Frank)主持一套《统一科学百科全书》,邀请库恩撰写有关“科学革命的结构”的文字。这个题目既已盘旋在库恩心中十多年,现在各方面条件具备了,自然下笔如有神。1959—1961年,仅仅两年多一点的时间,全书完成。这时库恩四十岁。“四十而不惑”,库恩对这本书当然有信心。但他当时也没有想到,在以后的三十年里,这本书将被一再重印至七十五万册,被移译为十九种文字^①;这本书所讨论的问题,将伴随他走过一生。

^① 这个统计数字截至1991年。其中中文实际上有两个译本,即以第一版为原本的李宝恒译本(1980)和以第二版为原本的程树德译本(1989)。

五、从伯克利到普林斯顿

莫顿说，库恩写《科学革命的结构》，在于“机缘巧合”，遂得尽展其才，确实有一定的道理。《科学革命的结构》一书，来自库恩长年的科学史研究和对于科学史的哲理性沉思。这种精神上的，甚至是潜意识上的追寻，起于他最初从一个理论物理研究生的角度理解亚里士多德的努力，继以作为专业科学史家对科学史的研究，尤其是对哥白尼的研究。这些观念，这些想法的影子，已是酝酿胸中多年了。一旦接触到行为科学研究中心的一大批社会科学家，这些想法即迅速成熟。

1958年库恩进入行为科学中心对于库恩思想的发展有重要的建设意义。简言之，就是他离开了他所培育的、他所熟悉的自然科学和科学史的环境，进入了一个社会科学，尤其是社会学家的群体。库恩后来追述说，这是“这个专题研究的最后阶段”^①。把整个思考串接起来，使整个科学发展的历程突然显示出一种理性，关键在于以下问题的提出：何以社会科学中能有诸多不相容的理论和模式共存，而自然科学一般不允许相互抵触的理论和做法同时存在？伯克利行为科学研究中心的研究人员向库恩展示了一种他所完全不曾了解的研究学问的方式。自然，库恩把社会科学和自然科学的研究作为两大门类作了比较。他发现，自然科学的研究中有一种对科学家行为的隐而不露的约束，这种约束的作用方式非常奇特，这种约束的转变方式也非常奇特。库恩认为，这是研究自然科学几百年来的发展、理解自然科学史的核心概念，他给这种约束起了个名字，叫做“规范”。

1959年犹他大学召开了一个“科学人才识别研究会议”。这种会议现在是不多见了，但在20世纪50年代末，举国上下关心为何被苏联超过，让苏联抢先发射了人造卫星的气氛中，这种讨论教育革命的会议并不少见。与会者以教育家、心理学家为多。库恩既然是“行为科学研究

^① 《科学革命的结构》，李译本，第iii-iv页；程译本，第38页。

中心”的一分子，自然也在邀请之列。

在会上，库恩作了题为《必要的张力》的发言，并散发了一个题为《测量在现代物理科学中的作用》的书面发言^①。后来的发展表明，这两篇文章是库恩构思《结构》时的少数关键文章之一。在《必要的张力》一文中，库恩提出了日后引起整个学术界热烈讨论的“规范”概念。在《测量》一文中，他又提出了“常规”、“反常”和“危机”等一系列相互关联的概念。由此可知，结构的主要论点，在1959年早些时候已经形成了。

在1959年的犹他大学会议两篇论文发表的同时，另外一篇“纯历史研究”，《能量守恒定律作为同时发现的一例》也在《科学史的关键问题》一书中发表^②。这本书是一个论文集，当时科学史界最活跃的学者均有贡献。库恩的《能量守恒》一文，在历史学界颇受好评，他的历史学家的声名由是确立。库恩研究了一个颇为复杂的历史事件，对科学中最重要、最基本的定律作了历史的追寻，显示了他作为历史学家的实力。从库恩的思想发展上来看，这篇文章更偏重于常规科学研究的特点。

进入行为中心标志着库恩的研究工作进入第一个安定时期。1958年，库恩发表文章、书评四篇，1959年高达六篇，其中包括上面提到的《必要的张力》和《能量守恒》这样重要的进展。事实上，《测量》一文也在1959年完成，只是其出版因故推迟到1961年而已。与此相对照，1960年库恩只发表一篇会议论文，内容是他四五年前所热心的卡诺(S. Carnot)，1961年只发两篇，一篇就是前述的《测量》，实际上属于1959年，另一篇还是关于卡诺内容与上年会议论文接近。显然，库恩在1959—1961年间全力从事《结构》的写作，无暇旁骛。

《结构》一书的主题，据库恩在“前言”中说，酝酿胸中十五年之久。1958年进入行为中心以后，又得与诸多社会科学家讨论，继而在学术会议如犹他人才会议上发表片断，又有《哥白尼革命》的研究基础和写作经验，所以写作过程相当顺利。有一些片断曾寄给同行如莫顿阅读，

① 两文见于《必要的张力》，第九篇与第八篇，黄亚萍、曾庆宏译。

② 后来也收入《必要的张力》，是为第四篇，罗慧生译。

但总的说来可以说是“一气呵成”，总结了库恩的科学哲学和科学史观念。写完重读全书，库恩自己马上认识到，这一进展该有重大意义。于是写信给莫顿，询问该篇文字是否可以单独成册出版^①。

莫顿与芝加哥大学出版社商讨的结果是，《科学革命的结构》——库恩对于科学史科学哲学的重要阐述，同时作为单篇专著和《统一科学百科全书》的一部分出版，时为1962年年底。

《结构》出版的最初两年，学术界的反应是谨慎的。在书中，库恩对科学的历史发展作了哲理性的思考，把科学发展分为“常规科学”、“反常”或“危机”、“革命”诸阶段，对历史学家来说似乎无可无不可。科学发展有时快一些，有时慢一些，科学中的变革有时大一些，有时小一些，所有这些都是历史学家所熟知的——当然库恩这样说也没有什么错。事实上，库恩学说中真正新鲜的东西，学术界还需要时间来消化和理解。

1961年，《结构》一书接近完成时，库恩又参加了另一个大项目工作。19世纪末到20世纪初的四十年，在物理学的发展上是一个足以与“科学革命”时代媲美的辉煌时期。量子物理学、相对论和量子统计理论的产生和发展，百千倍地扩大了人的知识和力量，也同时造就了百千优秀的科学家，形成了一个真正的英雄时代。如何把这一段壮丽的历史记录下来、整理出来，一直是科学史家所关心向往的。1955年爱因斯坦在普林斯顿逝世，1958年泡利(W. Pauli)在苏黎世逝世，向科学史界提示了这项工作的急迫性：如不立即行动，很多历史发展的细节可能永远无法了解，很多宝贵的经验可能会永远丧失，遂有“量子物理学史史料”计划之议，目的在于通过对老一辈物理学家的采访，尽可能地收集量子物理学发展的第一手资料^②。1961—1964年间，库恩与他的学生黑尔布隆(J. L. Heilbron)以及另外两人，受美国物理学史协会

① 莫顿的前引回忆录，pp. 104 - 105。

② 这一计划最后完成后做成两份，主要是录音带，分在哥本哈根的玻尔研究所和纽约东45街上的物理学史研究所(Institute for History of Physics)。库恩与其他参与者曾作过一个简要的介绍：*Sources for the History of Quantum Physics: An Inventory and Report*, Philadelphia: American Philosophical Society, 1967。这份原始资料内容丰富，但使用颇为不便，所以至今未闻有基于这份资料的大型研究。

委托,从事此项计划。这对理论物理学出身的科学史家库恩说来,当然令人愉快。然而,还有更令人愉快的事。

1963年底,哈佛大学校长向当时在普林斯顿教科学史的格力斯比教授发出邀请,请他前往哈佛担任科学史系主任。可是,这时格力斯比已在普林斯顿安了家,再加上普林斯顿严谨的学院气氛也很合他的个性,格力斯比决定试图不去哈佛。他面见了普林斯顿的校长,申诉了他希望在普林斯顿建立科学史专业以便做到与哈佛旗鼓相当的意见。结果是,他被任命为历史系科学史专业主任,受命组建这个专业。

格力斯比当时手上有三个教职的空位。首先想到的当然是他近二十年的朋友,当时正在伯克利的库恩。当年他们两人都在哈佛研究院时,曾同任一个“学院”的指导教师。按哈佛的管理习惯,大学生常被编入较小的管理单位,称为“学院”。各个不同专业的学生,因此有机会同处一处,相互学习。每个学院又有一些教学辅助人员,常由研究生或青年教师担任。库恩与格力斯比为同届研究生,兴趣气味相投,又同任指导教师,自然较为亲密。于是,1964年上半年,库恩辞去伯克利的工作,移砚普林斯顿。

1964年对库恩来说真是令人愉快的一年。普林斯顿的终身教职使得他可以安顿下来静心研究,《结构》的出版使他声誉鹊起,“量子物理学史史料”计划的顺利进行又为库恩提出了无数全新的、令人神往的研究课题。严格地说,物理学从经典领域过渡到量子领域,是一次最典型的规范转换。刚刚写完《结构》,库恩自然想利用这一段史料把他的科学史和科学哲学理论再推上一个新的高度。而且,以量子物理的学科内容,库恩是哈佛的本专业的博士,受过系统的专门训练;以对史料的占有和熟悉,库恩参与主持了庞大的史料计划;以学术环境而言,库恩在普林斯顿,周围有一大批训练有素的历史学家,产生过十二位诺贝尔奖获得者的物理系^①近在咫尺,领导科学哲学一代风气的亨佩尔(Carl Hempel)和将要领一代风气的劳丹(Larry Laudan)就在同一小

^① 2013年再版补注:这是1960年代中后期的情形,现在大约是十四五位。

组里工作，库恩的学术生涯这时真正处在辉煌的顶点。

六、普林斯顿

1964年夏天，库恩移居普林斯顿，不久搬进了魁斯顿(Queenston)6号，开始他一生中最长一段安定的教学写作生活。安顿下来总是令人愉快的，何况是在普林斯顿这样的“柏拉图的天堂”，何况是和好多老朋友共事呢！

普林斯顿大学的科学史与科学哲学专业建立于1964年^①。但早在1956年，格力斯比已开设大学高年级学生适用的“1900年以前的科学思想：历史及其影响”和研究生适用的“科学史”。根据普林斯顿的传统，这些科学史的相关课程归在历史系。1960年，“科学史和科学哲学”被列为“专科”，由一个五人小组负责，格力斯比任组长，其他成员包括物理系的柏格曼(V. Bergman)，哲学系的亨佩尔和普南(Hilary Putnam)。这一小组进行了三年工作，到1963年进一步扩充为“多系科教学组”，又加入了鲍克纳(S. Bochner)、欧兹(W. J. Oates)和瑞那尔兹(G. T. Reynolds)等人，分别负责数学、物理史和古籍的教学。至于1964年，由哈佛对格力斯比的邀请为契机，正式成为与系同级的“学科”，教员也不再如以前那样兼职，而设专任教授四人，是为鲍克纳、亨佩尔、格力斯比和库恩，仍由格力斯比任主任。另外还有副教授一人，是为萨布拉(A. I. Sabra)，这时他正忙着写他那本日后让他出大名的《从笛卡尔到牛顿的光学理论》。次年，1965年，克莱吉特(M. Clagett)加入这一教学团体。硕学鸿儒，一时济济。对于学者说来，能有一个这样的学术环境，自然是再让人满意不过的了。

普林斯顿大学素以重视本科教学著名。本科生的导论课往往都由最著名的大学者执教，对教员教学方面的要求也比较严格。库恩到普

^① 以下关于普林斯顿科学史专业的介绍、课程设置的教员情形，均据学校档案，藏 Seeley G. Mudd Lib. Arch。

林斯顿,第一件事就是要安排一个教学计划。

1964—1965 学年,库恩和格力斯比合讲“科学思想:历史及其影响”。这本来是格力斯比开设多年的课,现在充实内容,分两个学期,在大学三年级授课。格力斯比讲前半,第一学期,内容到 1800 年止;库恩讲后半,内容从 1800 年起。据库恩的课程内容来看,他要介绍“化学革命与原子理论”、“科学和工业化”、“科学机构的组织与政治”、“新兴的生物学”、“能量学说”和“现代物理学思想的历史背景”^①。很容易注意到,这些题目与库恩在 50 年代和 60 年代初的研究课题是一致的,库恩要向大学生们介绍他的研究成果。至于为研究生所开的课,则是听起来平实得多的“科学史”。同一年,科学史研究班的研究生们还必须学习“科学哲学”。尽管由于《科学革命的结构》库恩正蜚声哲学界,这门课仍旧由老前辈亨佩尔主持,而库恩则被认为是一个历史学家。亨佩尔的课的主旨在于研究“自然科学和社会科学的结构、方法和前提”,听起来与库恩的口味颇为相合。

1966—1967 年间,库恩开出现代物理学史,这和他在“量子物理学史史料”计划中的工作有密切的关联,和他后来撰写《黑体问题》也有密切的关联,当是一件承启前后的事。1967—1968 年库恩更开出“科学知识的发展”,力图把科学作为连续历史活动的成果来研究,分析其中一系列的哲学问题,考察旧的观念系统被替换时新旧科学知识系统在价值上和观念上的关系。这两门课都是为研究生开设的,在以后的十年中经常出现在库恩的授课目录上,成为他所心爱的“保留剧目”。

与此同时,亨佩尔仍旧教他的科学哲学。1968 年起,柏那赛拉夫(Paul Benacerraf)开设“数学哲学”,劳仑兹·斯克拉(Lawrence Sklar)则教起了“物理哲学”,而传统的史学科目则仍由格力斯比和当时正当三十岁的马豪尼(M. S. Mahoney)担任。总的说来,库恩授课不多。一方面他不太喜欢教书,尤其是本科生的课,他始终觉得是一个负担;

^① 库恩为 1964—1965 *Undergraduate Announcement* 写的“课程介绍”,同藏上引图书馆。下引课程介绍,均据各年 *Announcements*。

另一方面他的《科学革命的结构》正迅速成为学界讨论中心，他需要更多的时间去注意这方面的发展。

先是，《结构》于1962年出版，反应并不十分热烈，注意的人也仅限于历史学家。可是，《结构》对历史学家说来似乎没有提供什么十分新鲜的东西。《结构》所谈的科学史，不论大的时代还是个别历史事实，均为史界所熟知。至于分析，那么对“科学革命”的分析实在是汗牛充栋，读不胜读。

可是一年多一点以后，1964年起，《结构》一书开始引起普遍的重视。首先是社会学家。一如前述，哥伦比亚大学的莫顿，一直注视着科学史的发展。他认为科学和技术的发展，是构造社会学理论、解释社会现象的必不可少的一环。在库恩的著作中，他发现社会学进一步发展的一条途径是建立“规范”之类的概念，社会学家们立即热情地讨论起“库恩主义”(Kuhnism)来。

科学家则从另一个角度欣赏《结构》。《结构》给出的科学发展的阶段理论：“常规科学”进而发展引出“危机”或“反常”，通过被称为“革命”的手段加以调整以后继续发展，对于科学家来说非常畅晓明白，非常亲切。他们觉得他们在从事具体的研究的同时，眼界一下子开阔了许多。20世纪60年代中期，科学发展已进入这样的一个纷杂繁复的阶段，没有人能自称为“科学家”，也没有人能自称为“物理学家”。或者有少数人能称得上“核物理学家”，但大部分人则是在更窄的专行中的“专门家”，如对某一型核反应堆的减速剂的核化学性能的专家或对登月火箭返回地面时弹头形状与发热关系理论的专家。这种趋势为科学发展所必然，但对科学本身却不啻是一个嘲笑。科学本来是为了了解我们厕身其间的世界而发展起来的，而现在科学家成了对世界整体了解最少的人。通过《结构》，科学家重新发现了自己，发现了自己在人类认识的伟大图画上的地位——他们仍旧在处理非常专门的问题，但至少他们知道他们是这张伟大图画的一部分，甚至哪一部分；他们知道他们是这一伟大进程的一环，甚至哪一环。

心理学家所看见的又不同。因为库恩的工作明白地采用了心理学

的方法和术语,广泛地利用了发展心理学的成果,他们觉得库恩所开辟的,是心理学的一个新世界。

科学哲学的研究也因此深得启发。至于库恩为止的科学哲学,一直是只有专业哲学家才感兴趣、才有能力讨论的科目。科学哲学家的最终目标是把科学归纳到哲学分析中去。因此,研究科学的逻辑结构、科学分析或结论的“合法性”以及科学用语的语言学问题,是科学哲学的主要话题。为了保证论述无歧义的精确性,科学哲学家用的都是人为构造出来的、比较单纯的例子。但是论证“所有乌鸦都是黑的”和“凡不是黑色的东西就不是乌鸦”等价或不等价,在外行人看来如同痴婆说梦,在科学家看来枯燥无味,在历史学家看来不知所云。科学哲学的深奥繁琐,令大部分读者昏昏欲睡。现在库恩的文章,植根于科学史的研究,内容具体,分析明白,正好像在科学哲学界吹起一阵新鲜的凉风,让人精神为之一振。

到1964年,《结构》成了谈论的中心,1965—1966年间讨论库恩论题的重要文章有十七八篇之多,并且展示了一种趋势:不是因为这些讨论解决了大家所关心的问题,而是由之产生了大家所共同关心、都有兴趣的问题。

所有这些反应都是库恩始料所不及的。三十年后,他不无踌躇满志地回忆说,“人们,对我说来似乎是大群大群的人……非要从我的著作中挖掘出那些本来不存在的想法,其中有些是我所丝毫不能苟同的……”^①

库恩当然重视别人的讨论。但是,一本书一旦出版,就有了它自己的生命,谁也无法规定别人的想法。库恩在普林斯顿的最初几年,并没有打算做深入的答辩,只是注意阅读别人的批评罢了。因为除了上课教学之外,他还在准备他的“下一本”书。既然《结构》引起了如许反响,下一本书必须是一本真正出色的书,这是库恩当时注意力所贯注的地方。

这本书的主题选定为量子物理学史。1961—1964年间为“史料计划”的工作,使得库恩成为世界上少数几个对量子物理发展的第一手资

^① 库恩为 *Parl Hoyningen-Huene, Wissenschaftsphilosophie Thomas Kuhns*, Braunschweig: Vieweg & Sohn, 1989, 所写的序。该书有 Alexander T. Levine 的英译, Chicago: Chicago University Press, 1993, 引文见 p. xi。

料了解得如此深入广泛的人。而且量子物理的发展从本质上说来，是关于“规范”替换、新旧概念体系更新的最好的例子。《结构》一书的主题，将在这里得到最好的发挥。库恩在这本书上下的工夫、寄托的希望是显而易见的。1967—1968年间，库恩发表了两篇关于量子物理史的文字^①，为九本关于量子物理学史的书写了书评。事实上，这两年他除了应邀为《社会科学百科全书》写了一个条目“科学史”之外，只有一篇短文与量子物理学史无关。

在普林斯顿，库恩是个真正的忙人。1964年，他参加了一个“社会科学研究”的工作小组，不久又参加了格力斯比主持的《科学家传记辞典》的编写委员会。1967年起任普林斯顿大学科学史专业的主任，1968年至1970年任美国科学史研究会主席。他的学术工作也充分被肯定：1968年，他被选为泰勒·佩恩(Taylor Pyne)讲座教授，是为普林斯顿历史系的第十二个讲座教席。

讲课、研究，写作、讨论，这大概就是学者的生活了。除此之外，他们还需要什么呢？

七、从普林斯顿到麻省理工

其实学者也和常人一样，需要一个世界。他们的工作需要别人理解，他们需要和别人讨论交流，他们还需要别人的关心和爱护。

1970年初，库恩明白地感觉到他的《结构》未被很好地理解，有些部分他本来也未能讲清楚，所以他企图做一些澄清和修正。在60年代末70年代初，最引发争议的是“规范”一词。在《结构》和别的文字中，库恩从未正面定义过这个库恩理论的核心概念^②。“规范”或“范式”或

① 即上文提及的 *Sources for the History of Quantum Physics: An Inventory and Report* 和“*The Genesis of the Bohr Atom,*” *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1 (1969)211-290。后一篇文章与 J. L. Heilbion 合写。

② 英文为 paradigm，这儿的三个译名分别见于李译《结构》第19页，《必要的张力》第229页，以及程译《结构》第67页。本书中三种译法杂用，文从字顺而已。

“典范”在库恩理论中,是一种隐秘的、具有约束力的样板,对科学的发展起重要的制约作用。因为没有明确的定义,所以这个神秘的词获得了最广泛的讨论和发挥,也招致了尖锐的批评。

面对科学哲学界的批评,库恩写了两篇文章,发表在拉卡托斯(I. Lakatos)等人编写的讨论知识成长的论文集中^①。稍后,又借《结构》再版的机会,撰写了一篇很长的跋,即“1969年再版后记”^②,讨论有关的批评。但是这些文字显然未能解决问题,反而使问题的争论更趋热烈,而且离库恩原意更远了。

争论主要在哲学家们之间进行,而理论的发挥则是社会学家和心理学家的功绩;至于历史学家,他们不为所动,依旧致力于史料的发掘与史实的重建。1974年,库恩发表《再论范式》^③时,他讨论的对手几乎清一色地变成了哲学家:拉卡托斯(I. Lakatos),波普尔(K. Popper),科恩(R. S. Cohen),和素普(F. Suppe)。哲学的力量就这么大,科学史家库恩为了想说明科学史的哲学意义,身不由己地变成了哲学家。

比库恩更新一代的科学哲学家,迅速地接过库恩历史主义的做法,把科学哲学的历史学派发展到焕然一新的局面。

1970年拉卡托斯和玛斯格瑞夫(A. Musgrave)主编的《批评与知识的增长》出版^④。这是英国伦敦政治经济学院拉卡托斯及其学派主要代表作的汇编,其中拉卡托斯自己写的《证伪和科学研究纲领的方法论》一文,正是这一学派主要意见的正面陈述。拉卡托斯批评库恩在批判波普尔(K. R. Popper)的证伪主义时,未能注意到还有“精致”的一面,这种精致证伪主义可以避免库恩的批评,并把科学革命当作合理的

① 即《发现的逻辑还是研究的心理学?》,原载于 *Criticism and the Growth of Knowledge*, ed. I. Lakatos & A. Musgrave, Cambridge: Cambridge University Press, 1970, pp. 1-20, 中译本见上引《必要的张力》第十一篇,纪树立译。另一篇“Reflection on my Critics”,见于上引拉卡托斯编的文集, pp. 231-278, 未闻有中译本。

② 这一篇跋见于《结构》英文第二版, pp. 174-210, 中译见上引程译《结构》第233—270页,傅大为译。

③ 中译见上引《必要的张力》第十二篇,纪树立译。

④ 即前文所引拉卡托斯所编文集。

进步而不当作信仰的改变展现出来。

次年，拉卡托斯再发表文章^①，论述科学的理性结构及其重建。

与拉卡托斯在英国约略同时而稍早，加州大学的费耶拉班德(P. K. Feyerabend)在美国刊出一系列文章引起科学哲学界注意。在上述拉卡托斯主编的文集中，也有他的大作。1976年，他的代表作《反对方法》出版^②。在某种意义上，费耶拉班德更赞成强化科学史在科学哲学中的地位。他利用科学史强调说，事实上没有任何普遍适用的东西在科学中起过支配作用。那么库恩的核心概念——神秘的约束者“规范”就没有存在的空间了。1978年，费耶拉班德再在德国发表两篇文章，正面讨论库恩的科学革命理论。

库恩在普林斯顿的同事普南(H. Putman)等人则从语意哲学的角度来看问题。1974年在纪念波普尔的文集中先有一文，1975年，他的《哲学论文集第一卷：数学、物质与方法》出版^③，提出了全面的论述。

夏班(D. Shapere)对库恩的发展是从对《结构》的书评开始的，接着1964、1969、1971、1974、1977年逐年发展，最后提出一种“科学实在论”^④。夏班既不同意库恩，也不同意波普尔，对拉卡托斯和费耶拉班德也都有修正，自成一派。

70年代的科学哲学界，学派林立，观点纷繁。库恩对于这新一波的发展，当然有开辟之功，间或也参与讨论，但显然已不再是讨论的中心了：对科学哲学这样迅速发展的学科，十五六年前的《结构》，已经是历史了。

① I. Lakatos, "History of Science and its Rational Reconstructions," in *In Memory of Rudolph Carnap*, eds. R. C. Buck and R. S. Cohen, Dordrecht: Reidel, 1971, pp. 91 - 136.

② P. K. Feyerabend, *Wider den Methodenzwang. Skizze einer anarchistischen Erkenntnistheorie*, Frankfurt: Suhrkamp, 1976. 该书英译本迟至1988年由 London: Verso 出版，但是一个修订本。

③ H. Putnam, *Mathematics, Matter and Method, Philosophical Papers*, v. 1, Cambridge: Cambridge University Press, 1975.

④ D. Shapere, *Philosophical Review*, 73 (1964) 383 - 394, 以后好几篇论文都收在 *Reason and the Search for Knowledge*, Dordrecht: Reidel, 1984.

但是历史学家库恩还在工作。1972年,他受聘任普林斯顿高等研究院研究员。按该院制度,总聘有百余研究人员,但其中仅二三十人为常任,其余皆为短时聘任。这样可以不断有人员交流,保持研究所始终处于学术前沿。库恩当然极为愉快,一则他可以进一步减少在大学的教学任务,二则这个曾由柯列依(A. Koyré)担任的工作对任何科学史家都是终生的光荣。——柯列依在法国高等研究院的一席,则由格力斯比兼任。

1978年,谈论已久的“下一本书”出版,是为《黑体理论与量子不连续性,1894—1912》^①。这本书所依据的工作,或者它的最初肇始,在“量子物理学史史料”计划,距库恩动笔撰写已有十五年了。十五年的间隔产生了两个后果:一是这个主题经历了长年的思索和收集资料;二是有些细节,尤其是技术细节,又由于年代相隔久远而变得模糊不清了。

写作者有时会经验到这样一种情形:一个主题,资料越是丰富,对主题的思索越是长久和深入,越是想写得好,反而有害于写作。因为资料在头脑里杂陈罗列,主要论点又常常交织纷繁,写作时反而觉得难于排比,线索也不能流畅爽捷。库恩在写《黑体》一书时,正是这种局面。

但是他决心写好这部书。这部书贯穿他一生三个主要学术方向——理论物理学、科学史、哲学,应该是他一生学问的概括和结晶。在写作期间,他身心全为之吸引。好在普林斯顿大学的事不多,所任一两门课也与写作方向一致,又讲授多年,驾轻就熟,而且还有几个得力的学生和助手如海尔布隆(J. L. Heilbron)和外斯(Norton Wise),1975—1977年三年时间,书稿也就写完了。

这是一部标准的科学史著作:三大部分,十章,正文254页,注释94页,征引书刊手稿近370种,这还不包括“史料”计划录音带所提供的內容。连出版者也是“标准的”:1978年,这部谈论已久的书由牛津

^① T. S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 - 1912*, N. Y.: Oxford University Press, 1978.

大学出版社出版。这部他倾注了巨大的精力、寄托了诚挚的希望的书出版的时候，库恩的心情的确不是外人所能了解的。在感谢了他的家人为他的写作所付出的种种牺牲之后，库恩写道：“有时候他们一定会感到困惑，不知道这些牺牲会不会得到相应的回报。”^①

“Whether the flame is worth the candle”，答案是令人失望的。《黑体》所产生的影响不如《结构》远甚，书评也非常一般——甚至还不能说是“一般”。量子物理学史久负盛名的研究者克莱恩（Martin Klein），耶鲁大学物理学史的希金斯（Eugene Higgins）讲座教授，在一年后的书评中直率的写道：“……本书未符所望。……作者花了这么多努力来讨论这一事例，却未能展示复杂性与多样性，也未能展现量子物理学发展最初年代在知识界激起的兴奋和激动。”^②

来自哲学界的和社会学界的评论也是平平——如果能称得上是“平平”的话。哲学界惊讶地发现诸如“规范”之类的概念并未得到阐发，社会学界则对于《黑体》是一部纯粹的概念史感到失望。的确，《黑体》所处理的 1894—1912 年量子物理史，是人类认识史上最令人困惑，也是最令人振奋的年代，因而历史学研究也多，其中不乏名家手笔，不乏深刻精辟的分析。要百尺竿头，再进一步，实在很难。

最感到失望的，不用说，是库恩本人。就像人们常常相信预感一样，《黑体》在写作时就让库恩费了很多气力，及至出版，他在序言里写下的“Whether the flame is worth the candle”——得不偿失的担忧，竟成了事实。

《黑体》所讨论的主题，同样也是库恩在普林斯顿大学的拿手课程的主题。“20 世纪物理学史”或“量子物理学中的哲学问题”是他心爱的题目。对于这些问题的种种研究、种种沉思，往往最先出现在课堂讲授里。“现代物理学史”他讲了不下十次。可是 1976—1977 学年的最后一堂课，当库恩讲完这一段精深玄妙、灿烂庄严的历史时，学生没有

^① 上引库恩，p. xiii。

^② *Isis*, 70 (1979)429-440, 引文在 p. 434。

按普林斯顿的习惯鼓掌致敬。库恩被深深地伤害了。这是他最后一次讲授这个主题。

这时他住在高等研究院幽静的宿舍区,除了婉转鸟语、松林里的风声之外,有时可以听见邻家的钢琴。在忙碌的人看来,这幽静是不可企求的享受;对孤独的人说来,这简直成了不可忍受的压力。1978—1979年,库恩有例行的教授休假,他借此去了纽约大学;次年,恰好麻省理工学院有不用担任教学任务的研究教授席缺,库恩遂辞去了他的讲座教授席位,移居波士顿。以后他还多次回到普林斯顿,包括1990年专程来参加老友格力斯比的退休仪式,但再也没有在这个他度过了他最辉煌和最孤独的岁月的小镇久住过。

麻省理工学院的教授席很适合库恩的口味,事实上,他也要作一静静的反思。1981年和1982年,他基本上没有发表文章。1983年,他又重新讨论他最早提出的基本概念如“可共量性”、“可比性”和“沟通可能性”。以后各年,都有一些论文发表,包括接受贝尔纳(Bernal)奖金时的讲话。1992年,在哈佛科学史系作《科学的历史哲学所遭遇的困扰》,回顾和讨论了这个他为之努力一生的大题目^①。

1993年冬,库恩开始觉得时有不适。1994年春天,医生诊断为肺癌。旋入院手术治疗,效果良好。在这以后,库恩一直静静地住在他纪念大道的公寓里。从公寓的窗口向东望去,可以看见树荫深处查尔斯河静静流过。河水有时在夕阳下会灿烂地闪耀,但大多数时候只是静静地流过,提示着一种发人深省的沉静。

^① 即“The Trouble with the Historical Philosophy of Science”,这是库恩1991年11月19日在哈佛作的 Robert and Maurice Rothschild 荣誉讲演,后由 MIT 印成小册子非正式发行。



“化学史”和库恩早年对科学史的研究

说“化学史是科学史的母亲”，这究竟在多大程度上可以成立，恐怕一时难以判定。但于库恩个人来说，倒很有几分道理。

从哈佛毕业以后的最初几年，库恩的主要注意力显然是在化学史上：除了 1951 年三篇由博士论文改写衍化的物理学文章外，他一连气发表了四篇讨论 17 世纪化学的文字，其内容大致可以分为两类。

一是从牛顿《光学》所附的一个“疑问”出发，质疑原文，认为史料有问题，进而讨论牛顿的化学反应机理理论，即“锁匙”理论。这一系列努力并不成功：科学史界显然不接受库恩对史料的质疑，而库恩也未能因此建立起他的科学史家的声誉。——这一声誉还要再过八年，等他的《能量守恒定律作为同时发现的一例》发表，才最终建立起来。

另一方面是对波义耳和 17 世纪“结构化学”的研究。从本质上说，这一研究与对牛顿《光学》“疑问”的研究不同，属于历史学或者是哲学的分析而不是对史料的校核考证。以后我们会看到，这是库恩的当行本色。事实上，库恩以后漫长的科学史科学哲学生涯中，史料研究再也没有占主要地位了^①，而对科学发展的历史学和哲学研究，最终使库恩

^① 库恩后来参加、主持的《量子物理学史料》计划旨在史料搜集，非史料研究。而据此产生的《黑体问题》，更是着重利用史料重建量子物理学史的发展，当不致与上面的说法太矛盾。

得享几乎“第一人”的大名。

本章讨论库恩 1951—1952 年间的有关化学史的文章,依上面所说的两类,分节进行。

一、“疑问 31”的史料研究

库恩在科学史方面发表的第一篇文章是关于牛顿的,题为《牛顿的“疑问 31”和黄金的递降分解问题》,见于 1951 年的 *Isis* 第 42 卷^①。这篇短文写于库恩获得博士之后不久,其做法与哈佛的“柯南(Conant)学派”有很大的联系。

“疑问 31”是附在牛顿《光学》一书之后的一系列札记的最后一篇^②。牛顿初作《光学》,对关于“光的折射、反射、衍射和颜色”的实验规律作细致探究,所论题目都是可以通过实验观察的,切实确证的东西。可是还有一些似乎不能为实验所触及,却又非常重要不能割舍的问题,牛顿遂以“疑问”的形式讨论:先是 17 问,后增加为 24 问,1717 年牛顿最后一次修订该书,增至 31 问。

对于牛顿以后的科学家、科学史家来说,“疑问”的价值绝不低于《光学》正文本身。——恰恰相反,这部分的文字被认为是牛顿探索自然、询问自然的最活跃、最富创造性的思索的原始记录,因此研究者殊多。其中“疑问 31”篇幅最长,几占整个“疑问”的二分之一。这一问的主要内容是对物质本性的沉思、揣想和假说,包括能做“超距作用”的物质微粒在物理和化学过程中的行为,对“豪斯比(Hausbee)实验”的试探性解释,尤其是被后世引为“微粒说”滥觞的关于物质是由小而硬的粒子构成的假说。库恩所讨论的一段,对现代化学家来说是化学亲和力问题。牛顿的“疑问”起于金、银对两种强酸有不同反应。牛顿原文

① *Isis*, 42 (1951)296 - 298。

② *Opticks*, N. Y.: Dover, 1952,这是根据 1730 年第四版重印的。“疑问”在原书第 339 页到 406 页上。未闻有《光学》一书的全译本,但其中“疑问”有部分中译,见《牛顿自然哲学著作选》,上海:上海人民出版社,1974 年;下面的引文在该书第 195—196 页上。

不长，不妨照录如下：

强水能溶解银子而不能溶解金子，王水则能溶解金子而不能溶解银子。是否可以说，强水已经微细到不但能钻进银子而且足以钻进金子中去，但缺少的是使它能钻进金子的吸引力；而王水已经微细到不但能钻进金子而且足以钻进银子中去，但它缺少的是使它能钻进银子的吸引力呢？因为在王水中除了强水和加在其中的一些盐精或者硃砂之外，什么也没有……

牛顿在这儿使用的语言，尽管已经经过中译者的疏通，仍旧同现在通行的说法相去颇远，有些是词义，有些是语义，正确的诠释因而就不是一件容易的事^①。

牛顿谈论的两种“溶液”(aqua)已为化学史家确定为两种我们现在常用的酸。aqua fortis，“强水”，在17、18世纪炼金术文献中常作AF（即A与F两字母的合写），近乎今日所谓的硝酸；aqua regia则接近于今日的硝酸盐酸混合物，俗称“王水”：因为牛顿紧接着写道，aqua regia不过是aqua fortis和“盐精”或“硃砂”的混合物，他还注意到甚至普通的食盐溶解在aqua fortis里也会使这种混合物溶解黄金的能力大为增加。

牛顿在这里描述了两种化合物。“盐精”即今日的氯化氢(HCl)；而硃砂(Sal ammoniac)，则很可能是氯化铵(NH₄Cl)。Sal ammoniac原意为Ammon之盐。Ammon是希腊化了的埃及神，一个长着大角的

① 诠释、考究17世纪的化学用语是现在仍在进行的工作。好在以下涉及的几个化合物都是相当常见、业已考释明白的，其来源恕不一一注出：一则枯燥，一则枝蔓。主要参考书为M. P. Crosland, *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Mass.: HUP, 1962；有些故事见于J. R. Partington, *A History of Chemistry*, London: MacMillan, 1962, 3 vols. Partington又作《化学简史》，有胡作玄中译本，北京：商务印书馆，1976年。惟Sal ammoniac牛顿原文作Sal armoniac，案此词原作amon，或牛顿时代讹写作armon，待查。其历史参见，例如，*The Merriam-Webster New Book of Word Histories*, Mass.: Merriam-Webster, 1991, pp. 12-13。

公羊头人形怪物。远古时代,供奉 Ammon 的主要神殿在利比亚距孟菲斯不远的的一个绿洲。神庙附近有一小池,往来的骆驼均在此休息。骆驼的尿、烟炱和海盐混在一起,经过数百年的积累,形成了一层特别的“盐田”。因其近 Ammon 神殿,所以被晚期炼金家称为 Ammon 盐,而不知其实为何物。直到牛顿以后很久,1782 年,才由瑞典化学家博格曼(Torbern Olof Bergman)杜撰了一个字形相近的字写入拉丁化的化合物名词表中,这就是我们今日所熟知的 ammonia——氨,俗译“阿摩尼亚”。

这样牛顿当时谈论的现象大致明了了:他注意到强水(硝酸)可以溶解银但不能溶解金,而王水可以溶解金但不能溶解银。他的问题是,如何解释这一现象。

如果不作深思,“解释”一词很可能被看作一个毫无问题的概念,其意义即如这个词本身所提示,不能也不必再进行任何的分析。自然界是外在于人的,自然科学的观察和实验方法又如此细致谨慎,其推理逻辑又如此严格缜密,如果不经过深思熟虑,很容易相信一旦现象被注意到,一旦观察测量达到了必要的精度,“解释”就会相应地产生,科学也就随之发展。其实不然。

牛顿对上述现象的解释基于他的“微粒说”。假定物质均由小粒子构成的微粒说起源很早,但到笛卡尔写完他的《哲学原理》时,这一假说才由臆想完全演化为科学家的“工作假定”^①。17 世纪的化学家力图以这一预设来解释或改造当时的化学知识体系,构造统一的图景。他们假定这些小粒子上带有“钩”、“环”、“孔”,以及类似锁匙锁眼的结构,这些微观结构决定了不同粒子,亦即不同物质的物理、化学性质。为什么甲物质和乙物质能够发生化学反应而不能与丙物质发生类似的反应

^① 参见,例如笛卡尔对磁性的微粒说解释,在 *Oeuvres*, Paris, 1824, t. 3, *Principia Philosophiae*, Ar. 133 - 183. R. S. Westfall, *The Construction of Modern Science*, Cambridge: Cambridge University Press, 1971, pp. 36 - 38, 以此为机械哲学—微粒说的典型例子。有趣的是,《哲学原理》的两个英译本, E. S. Haldame & G. R. T. Ross 1911 年本和 J. Cottingham et al. 1985 年本都把这些段落略去了。

呢？无他，因为甲的微观结构与乙相合而不与丙相合，一如一把钥匙可以开一把锁而不能开另一把锁一样。比如酸，就是由带有针尖状的微观结构的小粒子构成的。何以知之？试以舌尝尝任何一种酸，即有一种被刺疼的感觉，正如表皮被任何尖锐的东西刺疼一样。

这种诠释方式在 17 世纪相当流行。如上面举的关于酸的例子，即见于赖末瑞(N. Lemery)所著《化学教程》^①。这本书曾被一再重印，其论述直至赖末瑞 1715 年去世时，仍被法国科学院总干事方丹纳耶(Bernard le Bovier de Fontenelle)称为“激发每个人的好奇心的闪闪发光的新科学”。

牛顿对这种诠释的理解与上引赖末瑞的解说在原则上很相近。在与赖末瑞差不多同时，他以“猜想”的形式写道：

……当把任何金属放进富于盐酸的水里时，就像放进强水、王水和硫酸时一样，在水中飘流的盐酸粒子撞击金属……金属粒子因连续震动而进入水中。^②

他的确谈到了盐酸粒子进入金属粒子的“孔”的问题。但是，牛顿对化学作用的微粒说的解释，似乎总是存有遗憾。在同一段文字中，他又写道，普通的水不能如上述“盐酸粒子”那样撞击金属，进入“孔”中——

并非因为水由过分粗大的粒子组成，而是因为水与金属不相交际：因为在自然界里，确有某种神秘的原则，根据这一原则，液体与有些东西有交际，与另一些却不相交际。……所以强水能溶

① N. Lemery, *A Course of Chemistry*, 1686 年英译本, pp. 23 - 26。这本书在作者生前至少出了十版。

② 这段话见于牛顿 1678 年或 1679 年 2 月 28 日给波义耳的信，见 T. Birch, *The Life & Work of the Honourable Robert Boyle*, V, p. 72。这本出于 1744 年的书后来很不容易见到。1958 年, I. B. Cohen 和 T. Kuhn, C. Gillispie, Marie Boas, Perry Miller 合编《牛顿自然哲学书信选》时又特别辑入这一封信。

解银,但不能溶解金;而王水能溶解金,却不能溶解银,等等。

牛顿在这儿,正如很多科学家在某一领域草创时一样,用了一些日常生活的词汇如“交际”(sociable),因而意思有些模糊,但整个的诠释构架则无疑是微粒说的一系列假定。在上引《光学》“疑问 31”中,牛顿的基本取向仍是微粒说,所以有“进入”(entrance)之说;但是对于纯粹的粒子论与机械哲学的诠释仍有不满,所以又有“吸引”(attractive force)之说。正因为牛顿在粒子说取向之上的种种考虑,正因为这些考虑牵涉困扰牛顿多年的“力”的概念,牛顿才把这个题目列入他认为还不能当作严谨的“实验科学”来研究的“疑问”之中;也正因为如此,牛顿在这儿的用语也特别佶屈聱牙,晦涩难解。

牛顿的“微粒说”与他的“吸引力”概念的冲突在库恩阅读《光学》,撰写《“疑问 31”和黄金的递降分解问题》时还几乎没有人研究过。“吸引力”以及这一概念的神秘主义背景,与之相关的帕拉塞尔苏斯(Paracelsus)的工作也都还未引起科学史界的充分注意^①,所以库恩——当时才 28 岁,从这一段文字中看出来的还只是文字上的费解。

库恩的意思是,既然这一段文字不可解读,那一定是印错了,并举“金属置换秩序”为证。根据这一假定,库恩猜想,王水(aqua regia)不能溶解银这件事在牛顿那儿应该是以“粒子的大小粗细”来解释的。他进一步推论说,这样看来,原来上面一段话中,“最后两个分句在印刷时正好换了个位置”。

这种论证方式实在有点武断,听起来让人想起中国古代读书人随意改经的故事。其实这一段历史中含有日后库恩得以成大名的“科学革命”分析的典型例子,只是库恩现在还没有从这个角度看问题罢了。

^① 关于“隐秘学术”对科学发展的影响,见 Paolo Rossi 的综述, *Francis Bacon: From Magic to Science*, Chicago: The University of Chicago Press, 1968, 更细致的见 Allen G. Debus, *The Chemical Philosophy: Paracelsian Science and Medicine in the 16th and 17th Centuries*, 2 vols., New York, 1977, 以及同一作者为剑桥科学史丛书写的小册子 *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge: Cambridge University Press, 1978。在库恩研究牛顿光学“疑问 31”时,这些工作还远远没有出现。

当然，这是后话。

库恩对牛顿《光学》原文的质疑几乎立即受到专家的质疑。博埃斯 (Marie Boas)^①是以研究 16、17 世纪科学史、特别是化学史著名的学者。在给 *Isis* 编辑部的信里她指出库恩的做法有问题：即便不论有没有假定“印刷错误”的任何依据，库恩用来证明“可能有”印刷错误的主要论据，即牛顿关于金属置换次序的文字，是关于强水 (aqua fortis) 而不是关于王水 (aqua regia) 的，没有理由把这两种在 17 世纪化学家看来截然不同的东西相提并论，更遑论互相取代。博埃斯还举出了牛顿 1678 年 (或 1679 年) 2 月 28 日写给波义耳的著名的信，认为牛顿当时就“明白提出王水对于金有一种吸引力而对银则没有”。博埃斯还提到，在这封信里，牛顿明白谈论了“亲和”即 sociable 的概念。所以尽管库恩挑选出来的这一段话听起来不顺耳，可是没有理由把它推翻直至重新写过，更没有理由假定有“印刷错误”。

库恩在杂志上再次答辩。他承认 2 月 28 日的信与他的“对牛顿关于……亲和力的想法的重建”相冲突。但是，这封写于“三十八年前的、主题是讨论以太的信”似乎不能完全用作说明牛顿《光学》中物质结构思想的充分依据。然而他同时也承认，用王水 (aqua regia) 代替强水是一种“未经证实的推广”。这就在他原来的论证上退后了一大步。而库恩与博埃斯的讨论也没有再进行下去——如果再由博埃斯发言的话，她一定会指出，在答辩中库恩又犯了一个史料上的错误：疑问 31 最早刊于 1706 年版《光学》上，编号为 24。而 1717 年修订时，由于在原来的“疑问 17”后又加入七个疑问，所以编号推至 31。由此，牛顿写给波义耳的信至多是在“疑问”撰写的 28 年而不是 38 年前。

二、对波义耳的研究

库恩在 1950 年代最初几年关于 17 世纪化学的另一成果是《波义

^① *Isis*, 43 (1952)123.

耳和 17 世纪结构化学》^①。和《“疑问 31”和黄金的递降分解问题》一文相比,虽然在时间上只差一年,无论在写作方法上、论证的侧重面上,还是在材料的运用上,这篇文章表现出了明显的不同。

以波义耳为研究的主题是很自然的。我们已经看见这位 17 世纪的贵族化学家曾经是柯南(J. Conant)的一个心爱的题目。对波义耳关于气体、尤其是气体弹性的研究,在 50 年代初很为科学史界所留意。至于波义耳参与并作出重要贡献的大气压力的研究,几乎被当作科学史和科学方法论的一个经典例子,一直到现在仍然是科学史学生学习的一个重要主题。

库恩所选择的研究角度与这一研究主流稍有不同。他研究的是波义耳的“粒子论”或者甚至说他的“粒子学说”。库恩的目的并不在于说明波义耳在这一方面有多少发明或阐述,或者波义耳如何是一个不同流俗的、傲视同辈的科学伟人——恰恰相反,库恩所力图说明的,是波义耳“并不是一个孤独的‘先驱者’,而是一个极大限度地发展了化学的概念体系,使之与他当时的科学思潮主流相协调一致的人”。

文章分为十段,各段并无独立标题,只是以花样印刷记号区分。第一段类似引言,介绍分析当时各家科学史流派或研究者对波义耳的工作,特别提出了“原子论”(Atomism)和“粒子理论”(Corpuscular theory)不同;库恩强调说,波义耳所谈论的是后者而不是前者。对于波义耳在化学史上的地位和对化学史本身的理解,因之亦产生相应问题。

化学史在波义耳一段,有一个大家都注意到了的问题,即 18 世纪起“化学思想”有一“明显的衰落”。何以波义耳的工作在今天看来似乎是引向原子学说的正确的阐述,未被 18 世纪化学家理解采纳? 库恩列出两派主要学说。帕丁顿(J. R. Partington)和霍尔米亚德(E. J. Holmyard)以及更早些的戴维斯(T. L. Davis)认为波义耳尚有未能说

^① T. Kuhn, "Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century," *Isis*, 43 (1952)12-36.

清楚的地方，也未能真正把实验方法和元素概念连接起来。另一派研究者如梅耶尔森(Émile. Meyerson)和马兹格尔(H. Metzger)则认为，波义耳之所以未能作出化学革命，是因为化学革命并非是通过与炼金术或经院哲学的决裂而形成的——恰恰相反，这种革命是一种对古代希腊哲学和医药化学的精心改造，经过一种连续不断的发展和扩充而来的^①。

尽管解释完全不同，这些研究者在一点上似乎并无异议：波义耳是一个孤独的先行者，是因为“时机不成熟”，所以他不可能成功。

库恩在这段引言以下，洋洋洒洒，花了八段的篇幅，力图说明，如果从17或18世纪化学发展的主流传统来看，波义耳不是一个孤独的人。

库恩首先区分了“原子论”和“粒子哲学”这两个不同的概念。库恩指出，波义耳一方面大力批判森纳尔(Sennert)、巴索(Basso)、马农(Magnen)、埃提纳·德克累夫(Etienne de Clave)和容格(Jung)的“原子论”，一方面发展了这种理论——其最重要的就是加上了“运动”的概念。库恩三次引用波义耳原话，说“宇宙是一自身包含运动的大机器”，物性不外乎“物质和运动”。

波义耳这种诉诸运动的原子论，库恩认为，近接培根、伽桑第和笛卡尔的物质理论，远一些则可以追溯到伊壁鸠鲁和德谟克利特学派的一些议论，而这正是17世纪中叶的“科学观念的大气候”。波义耳所做“仅此二端”：“粒子哲学”和“系统地运用实验方法”来发展“哲学”，即我们今天所谓的自然科学。

库恩进一步比较了“原子论”与“粒子理论”。他认为，对经典原子论来说，运动是感觉、性质变更的原因，但在波义耳的粒子哲学中，运动就是“性质自身的起因”。这种机械哲学的信念使他着力强调粒子的排布与运动，又使他坚决拒绝诸如用“元粒子的固有特性”来解释化学反

^① E. Meyerson, *Identity and Reality*, Tr. fr French ed., London: George Allen & Unwin Ltd., 1930; H. Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du XVIII^e à la fin du XVIII^e siècle*, Paris: Presses Universitaires de France, 1923, 以及他的另外两本书。这几本书对库恩的影响“特别大”。

应的尝试。这在波义耳关于嬗变的论述中清晰可见。

在 17 世纪波义耳时代的化学家中,相信金属能从一种“元素”变为另一种是很普遍的。这种变化叫作“嬗变”。萨顿(G. Sarton)等早年研究者都曾注意到这一事实,并把这种想法归为炼金术的“残余”。库恩援引了波义耳的原来论述并以此说明,波义耳不仅相信一种金属可以变成另一种金属,而且相信世间任何一种物质,经过其所以组成的元粒子适当地重新排列,都可以变成任何一种另外的物质。波义耳的这一结论,并不是建立在实验上的。实验在当时化学家的心目中,还没有重要到超过“哲学”的地步。波义耳的结论,恰恰是由他的粒子哲学提出来的:既然万物由粒子组成,粒子的排列结构当然决定性地构造了万物。

库恩力图说明,这就说明了波义耳不同于他同时代化学家的地方。所以波义耳一方面是他自己时代的一员:相信嬗变,即使没有实验依据也相信这一先验的结论,但他又不是这时代的一员:他对嬗变的解释是建立在他自己的“粒子论哲学”之上的。

正因为这一种困难,在波义耳的著作中常常可以看见怀疑派的论调和折中主义的处理方式。“波义耳担负起了把中世纪和文艺复兴时代遗留下来的陈旧神秘的残余从化学中清除出去的任务,并努力利用他所处时代中最先进、硕果非凡的科学理论来重建化学。……但是,以风靡 17 世纪的形而上学原子论导出的概念体系来取代旧有的元素理论的建设性工作却是失败了……因为这一努力与当时的流行观念相冲突。依照这种关于化学的见解,化学是一种分解和组合的艺术,其最终目的是把元素分离出来和确定物质的组成成分。”^①

三、库恩对科学史的哲学意义的最初探索

从化学史的角度来看,库恩早期关于波义耳、牛顿的工作影响不

^① 库恩上引文,第 36 页。

大。在他的文章发表五年后出版的研究波义耳的专著^①，并未将库恩关于波义耳不是孤独的先驱者的观念收入，文章也未被选入“参考文献”；以后的《科学家传记辞典》^②中的波义耳条也未收此文，尽管当时库恩已经因为后来的工作出了大名。最后，晚近的讨论科学革命的总结性专著——科恩(I. B. Cohen)的《科学中的革命》^③所附的长达五十五页的重要文献表中，仍未给库恩的波义耳研究一席之地，尽管作者是库恩的老师、朋友和同事。

但这并不是说这些化学史研究在库恩的思想发展中不重要。事实上，这些工作揭示了库恩最初进入研究领域时的情形，提供了库恩工作的最初取向，还提供了库恩日后一些重要概念的最初形式。

库恩是在哈佛“通才教育”纲领的影响笼罩之下进入研究领域的。如前述，柯南自身就是一个化学家，他的科学史研究也集中于化学，特别是波义耳和17世纪化学的发展。库恩从这一点上入手，正表露了他和哈佛柯南学派的血缘关系。

最初取向是对科学史的反思，或者说是科学史的哲学意义。最初关于史料的研究以及因之产生的《牛顿疑问31》，即使不是不成功的，至少是不令人鼓舞的。我们以后还有机会看到，库恩于纯历史，尤其是历史文献的细枝末节的考证，成绩平平。对库恩来说幸运的是，他似乎很快发现了自己的专长，而转向阐述哲学性的历史发展。另一方面，化学史史料的研究，也可能只是一个小小的插曲，因为库恩后来多次说过，对于科学史的哲学沉思，早在1947年就开始了，只是因为学业的安排，未能深入持续下去而已^④。

这种“最初取向”后来就成了库恩工作的主要取向。这对于像库恩这样由自然科学，尤其是物理学这样的精密科学转入历史学、哲学研究

① Marie Boas, *Robert Boyle & Seventeenth Century Chemistry*, Cambridge: CUP, 1958.

② C. Gillispie ed., *DSB*, N. Y.: Scribner, 1970 -.

③ I. B. Cohen, *Revolution in Science*, Cambridge, M. A.: Harvard UP, 1985.

④ T. Kuhn, "Preface to *The Essential Tension*", *The Essential Tension*, Chicago: Chicago University Press, 1977, p. xvi. 中译见纪树立等译,《必要的张力》,福州:福建人民出版社,1981年,第viii页。库恩说,在1947年,他曾“困于科学革命的概念”。

的人说起来颇为自然。科学家所关心的是科学自身的发展和科学家自己在其中所扮演的角色,于是这种反思即在相当程度上表现为对科学发展的内在规律的追寻——至于是否有这样的内在规律,则被认为不是一个问题。

库恩认为,科学的概念只有在其特定的背景,尤其是历史背景中才能是有意义的。这儿“特定的历史背景”是什么意思,并不容易一下子说清楚。在《波义耳》一文中,他多次接触到类似的论点。在陈述这些论点时,他用了 intellectual climate(第 15 页)^①、scientific tradition(第 18 页)、chemical doctrines(第 21 页)、conceptual scheme(第 36 页)等字眼。“理论氛围”也好,“科学传统”也好,“化学原则”也好,“概念体系”也好,又似乎都不足以传达他所力图要说明的、制约波义耳想法,无形中规范波义耳的研究方向的东西;但这一神秘的东西,正是波义耳破旧立新的对象,波义耳企图摒弃而代以自己的发明,从而改造化学的一个关节点。1650 年波义耳未能说清楚他心里在想什么,从而也未获得他的朋友和同事的普遍注意;同样,1950 年库恩也未能说清楚他心里在想什么,也没有引起普遍的注意。

差不多六十年后的今天,重新检讨库恩在 1950—1952 年间关于化学史,尤其是关于波义耳的工作,平心而论,当年学术界未予库恩以充分的注意实在没有什么不公平——他并不是被忽略,也不曾被遗漏,是他自己的学术思想还有待丰富,有待深入,有待展开。他的想法还相当零散,因此在陈述中忽隐忽现。库恩因此还要再磨炼十年,才能在科学界正式与像波普尔这样的人分庭抗礼。

但是,他的研究取向和一些重要的概念已经显现。和一般“纯历史学家”如格力斯比(C. Gillispie)不同,盘旋于库恩脑海之中的,首先是而且一直是“科学家是如何做科学的”——他们受什么引导? 他们被什么制约? 我们常说的“科学革命”,即科学中的破旧立新,又是指的什么?

^① 这儿的页次均指 *Isis* 原文页次。

要回答这些问题，波义耳和 17 世纪化学史还不够，还不能提供一个足够阔大的视野，使读者能把这种常被称为“革命”的巨大变革尽收眼底；还不能提供一个足够宽敞的舞台，让库恩把他对于科学史的精深微妙的反思一一展示出来。

幸运的是，为了执行他在“通才教育”计划中所担任的教学任务，库恩很快转向了关于哥白尼的研究，这一研究导致了库恩第一部单行本著作的出版。更重要的是，在对哥白尼革命^①的研究中，他的科学哲学思想获得了很大的进步。

① 我在这儿在一种不严格的、广义的意义上使用“哥白尼革命”这一术语。下一章将作进一步的讨论。



第三章 哥白尼革命

库恩常说,他关于科学史和科学哲学的研究起于 20 世纪 50 年代初他在哈佛担任的,为非自然科学专业的学生开设的一门介绍科学发展的课。这门课的一个主题就是哥白尼关于太阳系的工作。在《哥白尼革命》和《科学革命的结构》两书的前言里,库恩都特别提到了这一教学经验^①。我们还会陆续看到,关于哥白尼工作的研究的确构成了库恩日后发展起来的科学哲学的历史依据。于是,熟悉、研究哥白尼革命以及相关史料,对于了解和评价库恩的工作自然是十分必要的了。

对哥白尼的研究一向是科学史的一个中心论题。早在科学史成为一门独立的学科之前,关于哥白尼的生平和著作就有了相当的研究。1879 年,哥白尼的《天体运行论》德文全译本出版,使得近现代不熟悉拉丁文的研究者得以方便地阅读这一著作;稍后,1883—1884 年间,普鲁厄(L. Prowe)的《哥白尼传》^②出版。这一传记至今仍是哥

① *The Copernican Revolution*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1957, p. ix; *The Structure*, Chicago: Chicago Univ. Press, 1962, p. ix。又见程译本第 35 页,李译本第 iii 页。

② L. Prowe, *Nicolaus Copernicus*, Berlin, 1883 - 1884. 1967 年由 Osnabrück 重印。N. Swerdlow 称之为“辉煌的学术成就”,见氏著 *Mathematical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, pt. I, p. 3。

白尼的标准传记。世纪初，杜昂(P. Duhem)的《世界体系》(1913—1917)、萨顿(G. Sarton)的《科学史导论》(1927)、希斯(T. L. Heath)的《阿里斯塔克斯传》(1913)和德雷耶(J. L. E. Dreyer)的《从泰勒斯到开普勒的行星理论史》(1906)为哥白尼研究提供了大量的背景材料。稍后，罗森(Edward Rosen)^①又把最重要的相关原始史料译成英文(1939)；与此差不多同时，阿米塔奇(A. Armitage)的《哥白尼传》(1938)也为英语世界提供了第一部比较完整的学术性传记。至此，关于“哥白尼革命”的重要史料工作均已完成。从库恩所列的，他所据以进行研究的参考文献来看，上述工作构成了他的史料基础^②。

史料一旦丰富，对史料的分析即相应展开。在库恩以此为题进行教学和写作的时候，这种分析工作正达到热烈的高潮。1948年，洛夫乔埃(A. O. Lovejoy)发表了《伟大的存在之链》，库恩后来称之为他得以“塑造”他的想法的最主要的源泉。1949年，巴特菲尔德(H. Butterfield)的《现代科学的起源》正式明确了被习惯上称为“现代科学”的东西，其起源应当在哥白尼及其时代。1952年中，三部本论题中最具影响力的著作相继刊出，即克朗比(A. C. Crombie)的《从奥古斯丁到伽利略》、萨顿的《科学史古代史部分》和纽格巴尔(O. Neugebauer)的《古代精密科学史》。以上这五本书，都出自专家之手，以后都被列为科学史经典著作。它们集中在短短的三四年中出现，或可视为对哥白尼革命的“解释性研究”进入了高潮。同年，哥白尼《天体运行论》的第一个英文全译本出版；1954年，霍尔(A. R. Hall)《1500—1800年的科学革命》正式喊出了“革命”的口号。这时，距库恩的《哥白尼革命》发表，只有三年了。

① E. Rosen, *Three Copernican Treaties*, New York: Dover, 1939, rpr. 1959。E. Rosen是英语世界研究哥白尼的先驱之一。在他的书里，附有1938—1958年和1959—1970年(仅见于1971年修订版)“哥白尼书目”，是了解研究哥白尼状况的最方便的目录学工作。他自己写过或编辑过七部专著，120多篇论文，均列在 *Studia Copernicana*, XVI, Wroclaw: The Polish Academy of Science Press, 1978, pp. 9—25。

② 参见“Bibliographical Notes,” *The Copernican Revolution*, pp. 283—285。

细看这几部书,很容易注意到它们的写作方式或研究方式颇相类似:“夹议夹叙,以叙为主”。和以前的大部分作者不一样,这几位作者在描述历史发展、介绍历史事实时,都有一个解释性的框架。他们都力图把科学发展放在从文艺复兴起的西方思想大变革、大解放的背景上讨论,又都重视科学发展的内在的、自身的承继关系。同时,他们都力图说明 16—17 世纪科学领域中发生的剧烈变革;而哥白尼的工作,正是这种剧烈变革的开始。这就使得对哥白尼的研究重新成了科学史研究的一个焦点。

本章先对哥白尼的工作以及相关史料作一简单介绍,为阅读库恩的《哥白尼革命》张目。其次介绍库恩的书。以上凡三节,于内容则不厌其详。因为唯有对历史有充分的了解,才可能充分理解库恩对这一段历史的分析和反思。完成对本题的陈述之后,加赘介绍晚近科学史家在哥白尼革命研究上的进展——这些知识为下两章的分析所要求;最后以一段小结性的文字为本章终结。

一、哥白尼以前的宇宙图景

对天象的研究是最古老的一门学问。其意义,或者说支持其久盛不衰的原因,大概有两个方面。一是务实方面的,希冀通过观察天象来安排节令,计划农事,以后发展为授时制历。另一是务虚方面的,希冀通过观察,了解过去未来,追寻休咎的原因,以后发展为占星术。无论这两方面的哪一边,都希望尽可能地了解天象的规律——如果真有规律的话。行星的周期性的运动,当然最早被注意到,种种关于行星运动的理论也就相应地产生出来。

这种理论所最终追求的是一套完整的图景,这图景一方面应该可以用来说明、预测天象,一方面必须符合一些基本的原则。这些原则在不同的时代当然各有不同。可是从远古到哥白尼以前,基本上是一套被后人称为亚里士多德原理的约束条件。其中最主要的,是天体

必须作圆周运动，而且其速度必须是定常的^①。

初看起来，这是很幼稚、很武断的前提。为什么天体运动必须是这么简单的呢？难道人的智慧，即使是在古代，仅限于此吗？其实，这一前提正是深思熟虑的结果。按亚里士多德的物理学，运动可以分为“向上”的和“向下”的——这两种运动可以概括我们日常生活中所看见的大部分运动，其特点之一是这种运动总有终结。但天体的运动最明显的特点恰恰是它们永远没有终结，它们是永恒的。什么运动是永恒的呢？只有圆周运动。因为在圆周运动中，没有起点，也没有终点；无所谓上，也无所谓下。每个运动既可视为前进，又可视为后退。而且，在圆周的每一点上，运动的情形与别的点上完全相同，无所谓原因，无所谓结果，因而情形永不改变。恒定速度的圆周运动，正是天体运动之永恒、之无原因的最好说明。

可是，这样建造出来的图景，还必须与实际观察到的天象运动相合。“现象”从古到今都是理论的出发点，又是理论的归宿。所以天文学家必须灵巧地在“现象”和“原则”之间周旋。两边都照顾到的，就是好的天文学家，只顾一头的，就不为大家接受。

托勒密(Ptolemaeus)是公元2世纪人^②，他对从亚里士多德以来天文学家所做的种种尝试，加上他自己的补充、修正，作了一个总结。在他的时代，行星的运动已经有了很细致的观察。当时已经了解到，在不同的季节，不同的时期，行星相对于恒星背景的运动是很复杂的：有时快，有时慢；有时从东向西，有时从西向东——这叫“逆行”。为了同时满足亚里士多德在四百多年前订出的原则和行星每天晚上在夜空中展示出来的现象，托勒密采用了三项技术，即偏心圆、本轮—均轮系统和

① 本段以及下面关于三项技术的叙述参见 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, New Jersey: Princeton University Press, 1986(1961年英译初版), I, C, a, pp. 54 - 60, 有刘珺珺等中译, 北京: 求实出版社, 1985。2013年再版补注: 此处所谓“刘珺珺等中译”实误, 盖因1995年撰写此书时, 无法得到中译原书, 仅由友人通信了解中译情形, 误以为刘译即 Dijksterhuis 的原书, 其实是该书的一个改写或简写本。承北京大学吴国盛教授指出, 谨此更正并致谢。

② 托勒密传见 G. J. Toomer 的 DSB 本传, 在 DSB 第 11 卷, pp. 186 - 206。

等位点。

偏心圆假定行星运动的中心与地球并不相合,因此行星有时距地球较近,有时较远。对于在地球上的观察者说来,行星在近处运行较快,在远处较慢,就好像我们觉得在我们面前呼啸而过的马队比远处奔驰的马队快得多一样。这就解释了为什么行星运行在我们看来有时快有时慢,虽然行星始终以恒定不变的速度绕地球运行。这一技术应用于分析太阳的运动时特别成功——留意在托勒密体系中太阳是一颗行星,而地球才是占据中心地位的特殊球体。

本轮—均轮系统更复杂一些。行星在一个小圆上逆时针匀速运行;而这个圆即本轮的中心又在一个大圆即均轮上逆时针匀速运行。地球在均轮的中心。对于地球上的观察者来说,行星的运动就是上述两重逆时针匀速运动的合成。适当地选取本轮和均轮的速度,可以构造出非常复杂的运动模式。如果本轮的速度比较快,当行星行至某点的时候,地球上的观察者会看见它是在做顺时针运动,尽管“事实上”行星及其均轮都是在作逆时针匀速运动。这就解释了“逆行”。

但是利用这两项技术还不足以作出和行星运动的观察数据相合的星表,所以真正普遍采用的还是上述两项技术的联合使用和等位点技术。除了我们已经熟悉的偏心圆和本轮—均轮系统之外,又多了一个点,叫做等位点(Equant)。由偏心圆技术我们知道地球不在均轮的圆心,而偏向一边。等位点则正是偏心圆中与地球对称的但偏向相反方向的一点。而对于本轮—均轮系统中相对中心点而言的匀速要求也相应地变作相对于等位点的要求。换言之,等位点取代了地球的偏心位置,又取代了均轮圆心作为匀速的参照点位置。

利用这三项技术,托勒密保住了亚里士多德的原则,作出了行星运动的星表,这个星表可以用来推算行星在恒星背景上的位置,准确度令人满意。他把这些写入了他的《天文学大全》,这部书的阿拉伯文本在哥白尼之前三百年又被译成了拉丁文,并得到了一个半阿拉伯半拉丁

的名字,叫 *Almagest*,中译《至大论》^①。

托勒密利用这三项技术构造了一套完整的理论,包括基本原则、概念、术语和计算方法。他还列出了对于一些星体运动的计算实例,有时称为“表”。这种表给出具体的行星位置和出现时刻,可以通过观察来验证。令人钦佩的是,托勒密的结论常常被细心的观察者证实。如果不太准确,还可以通过灵巧地应用上述三项技术,重新调整理论所构造的图景,最终获得理论预期与观察的一致。

亚里士多德—托勒密对于天体运动的解释,实在是人类理智理解自然的一大成功。其前提直观明晰,其技术包容性和适应性很强,其结果与观察常常吻合,即使有误差也还是在可以理解的范围之内。这就使得它成为在科学史上维持最久、最令人赞叹的理论之一。从它出现到哥白尼的工作,整整一千多年,几乎没有遇到任何困难的挑战。——即使是哥白尼,我们马上就会看到,也没有抛弃托勒密的原则和主要技术手段。哥白尼所做的,还是“重新调整理论所构造的图景”,使之更加优美而已。

二、哥白尼及其工作简述

哥白尼出生于 1473 年 2 月 19 日。父亲经商,家道殷实^②。他的名字原来写作 *Koppernigk*,现在的写法 *Copernicus* 是他上大学后按当时的习惯改的拉丁化名字。哥白尼长大的地方叫厄姆兰德(*Ermland*),

① “至大论”一名从李珣译《科学史》,北京:商务印书馆,1979年,第93页;这本书书名也有译作《天文学大全》的,这是因为托勒密的希腊文原著用“大全”为名,而《至大论》则是其阿拉伯文译本的名字。因为最后通行的拉丁文本最初是由阿拉伯文本译出的,所以书名从后者。该书有 R. C. Taliaferro 英译,在 C. G. Wallis 主编的 *Great Books of the Western World*, Chicago, 1952, 第 16 卷中。

② 哥白尼的学术性传记数量有限且仅见于德文,其中最享盛誉的是 L. Prowe 在 19 世纪 80 年代写的: *Nicolaus Copernicus*, Berlin, 1883—1884, 1967 年由 Osnabrück 重印,两卷三册。M. Biskup 1973 年编纂传记资料荟萃, *Regesta Coperniana*, 在 *Studia Copernicana* 第八卷中。N. Swerdlow & O. Neugebauer, *Mathematical Astronomy*, N. Y.: Springer-Verlag, 1984, 包含一个几乎长达 100 页的引言,多数篇幅处理哥白尼传记和相关资料,是最新的研究成果。A. Koestler, *The Sleepwalkers*, New York: MacMillan, 1959, 是通俗传记的代表作,其中第三篇写哥白尼。

是一处夹在波兰和条顿骑士团势力范围之间的半独立的领土。哥白尼的舅父卢卡斯·瓦增若德(Lucas Waczenrode)在当地很有势力,后来升到厄姆兰德(Ermland)的主教。哥白尼父亲早逝,十岁以后全由舅父抚养。舅父生性刚强自信,哥白尼以后的生活道路完全出于舅父的安排。1491年哥白尼十八岁,舅父把他和他哥哥安德瑞阿斯(Andreas)送去克拉科夫(Krakow)大学。克拉科夫是当时波兰的首都,波兰又正处于欧洲东西两部交流的要冲。波兰的鼎盛期杰格隆尼(Jagellonian)王朝刚刚过去,克拉科夫仍旧弥漫着强烈的文艺复兴时期特有的人文气氛。五年以后,哥白尼兄弟在舅父的安排下又游学意大利。先在波罗那(Bologna)大学学习教会法规,稍后也学习诸如希腊文、占星术之类的课程。天文学也占很大的比重,因为教会法规的学生应当能利用星表来推算重要的宗教节日。在波罗那哥白尼结识了著名的占星家诺伐拉(Domenico Maria Da Novara, 1454—1504)^①。诺伐拉和哥白尼一起做过星表的计算。大部分研究者认为哥白尼在诺伐拉那儿第一次听见对托勒密体系的批评。诺伐拉认为托勒密在《地理学》里描述的若干地方的纬度已不适用,他进一步推论说北天极以大约四十万年的周期在移动。诺伐拉的这一理论非常著名,虽然哥白尼未能同意此说,但论者以为对于哥氏日后地动说的创立,诺伐拉对托勒密权威的质疑当有深远的影响。

1500年,哥白尼兄弟去罗马参加教会庆典,其间哥白尼应邀作过几次数学或天文学的讲演。1500年11月6日,他还在罗马观察了月食。1501年,哥白尼返回厄姆兰德参加了就任教会职务的典礼,随后又返回意大利。这次他的目的是学习医学,所以转入帕多瓦(Padua)大学。在中世纪和科学革命时代,学生们在各大学之间转来转去是很普通的事。

在帕多瓦大学,哥白尼从弗拉卡斯托若(Girolamo Fracastoro)教

^① 对 Novara 的研究 DSB 本传。另有 P. J. Melchior, "Sur une observation faite par Copernic et Dominique Maria," *Bulletin dell'Academic r. de Belgique*, 5th ser., 40 (1954)416。

授学习哲学、医学和占星术。很可能在这一阶段，哥白尼还接触到了阿拉伯天文学的一些成就——我们自然不能肯定，因为没有任何史料帮助我们了解他这一阶段的生活^①。1503年5月31日哥白尼在法拉拉(Ferrara)大学获教会法博士学位。在此之前，舅父已为他在海尔斯堡(Heilsberg)安排了一个教会职位，哥白尼从此可以不愁衣食。

回到海尔斯堡之初，哥白尼充当他舅父伐米亚(Warmia)区主教的私人医生和助手。1510年，他离开海尔斯堡去弗昂堡(Frauenburg)，开始独立生活。哥白尼所以离开舅父的原因并无史料记载，但科学史家相信这很可能和他的“日心观念”的形成有关。

哥白尼的“日心说”的第一次系统的、半公开的表述见于一个现在被科学史家称为《提要》的文件。据分析，这份《提要》写于1508年到1514年间，多数可能在1512年之前，甚至在1510年^②。这份《提要》是匿名的，流传的份数也不多。最令人惊讶的是哥白尼以后再也没有提到过这份文件，他留下的书籍和笔记记录中也没有提到过这份文件。

《提要》的写作时间和哥白尼离开海尔斯堡去弗昂堡的时间一致，所以很多史家猜想这两件事有关联。如果真是如此，那么这个科学史上最重要的事件应当发生在1510年——恰是伽利略观察到木星的卫星系统的100年前。有趣的是，和一般猜想相反，晚近的科学史研究表明，哥白尼的这份《提要》，或哥白尼关于日心体系的最初设想，与天文观察似乎没有什么关系，而与泊尔巴克(Peurbach)，尤其是他的学生瑞

① 科学史家对于哥白尼在大学里学习的情形还几乎是一无所知。但15世纪的大学，尤其是哥白尼曾学习过的那几所大学，我们现在仍有所了解。见例如P. W. Knoll, "The Arts Faculty at the University of Cracow at the End of the Fifteenth Century," 载于R. S. Westman ed., *The Copernican Achievement*, Berkeley: Univ. of California Press, 1957, pp. 137 - 156; R. S. Westman, "The Astronomer's Role in the Sixteenth Century," 载于*Hist. Sci.*, 18 (1980)105, 其中第三章专论天文学教授在大学中的工作情形。

② 这是E. Rosen的结论，见*Three Copernican Treaties*, New York: Octagon, 1971, pp. 334 - 335。这一研究被N. Swerdlow称为是“对哥白尼工作和生平的重要而深刻的考察”，见Swerdlow前引*Mathematical Astronomy*, p. 6。

吉欧蒙坦那斯(Regiomontanus)的星表有直接联系^①。

《提要》分九段论述日心体系^②。第一段为引言。引言开宗明义地指出先前的天文学家所遵奉的基本原则是“天体应常依正圆作匀速运动”。但在天文学实践中,无论克里帕斯(Calippus)和尤多克斯(Eudoxus)的同心圆技术,或是托勒密的等位点技术都未能达到完美表述这种原则的地步。因此,哥白尼认为他有理由试探一种“更加合理的”方案。这一方案先由七条基本“公设”建立日心体系的图景。第一条论“天体运动的中心”。对今天的读者来说,这一概念一定颇为怪诞,但从亚里士多德物理学的角度考察,这一中心非先定义不可,不然重物向什么方向下坠、轻物何以上升都不好解决。哥白尼没有否定这个概念,但他说事实上没有这么一个中心存在。——所谓的中心,对哥白尼来说,是天体运动的“轨迹”“轨道”或是“圈”“球”的中心^③。哥白尼也没有原则上定义这两个概念;抑或是天体运行所画出的空间里的路径,还是真正承载天体,使之运行的,有实在物质可言的球体。

第二、第三两条分别说地球绕日、太阳居于宇宙的中心。第四条说太阳和地球的距离较之整个宇宙的尺度是非常小的,第五、六条说太阳和恒星的运动只不过“看来如此”,实际上是地球在运动而不是日月星辰。最后一条即第七条说行星的逆行也是由于地球运动造成的。

细看这七大公设,可以看出在撰写《提要》时,哥白尼的日心体系已经形成,其基本图景与今日我们所了解的,也就是三十年后他本人在《天体运行论》中所描写的,已没有大的不同。但在这几段简短的文字

① 这一说法的主要依据是哥白尼的一份手稿。因在 Uppsala 大学图书馆发现,故常称为“U手稿”。U 是一组对 Peurbach 和 Regiomontanus 星表的数据摘录和分析,而这份星表的 1490 年和 1492 年的两个版本又正巧与 U 装订在一起。细致的考证见 N. M. Swerdlow, *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 117 (1973), 6: 424 - 426。库恩撰写《哥白尼革命》一书实在 Swerdlow 前好多年,当然未及利用这些史料分析哥白尼革命。

② 《提要》最先由 E. Rosen 英译,在“*Three Copernican Treaties*”,初版于 1939 年, N. Swerdlow 的注译本最善,见 *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 117 (1973) 6: 423 - 512。

③ 从现在对天文学的了解看,“圈”(Orbium)和“球”(sphaerarum)的差别甚大:“圈”提示了一种非实体性的轨迹概念,而“球”仍未脱“水晶球”的基本图景。哥白尼在这儿用的是“圈或球”,令人小感困惑。Swerdlow 译本将两字均译作 spheres,于是文章成了“celestial spheres or spheres”,似不可取。

中,我们还可以注意到,哥白尼的表述仍有很重的亚里士多德体系的色彩。我们上面力图指明,谈论“运动中心”,谈论“圈”或“球”,自然还是在亚氏、托氏理论框架中,而且整个图景以“公设”的形式提出,自然也为日后的理解留下争论的余地^①。

在“公设”以下,哥白尼花了整整一段说明以前关于地球不动的说法,最主要的依据是“外在现象”。如果说在“公设”中我们看见很重的亚氏理论色彩的话,这儿对“外在现象”的质疑,虽然只是在公设后的说明里,则是非常非亚里士多德化的。在这以后的一个半世纪里,也就是所谓的“科学革命”时代里,理性对现象的理解和批判,将成为科学的新精神和主流。

《提要》第二段谈“天球次序”,基本上是“公设 3”的细微阐述,第三段是对“公设 6”即太阳的视运动的阐发,也是哥白尼理论的概念核心。哥白尼认为,太阳有三种视运动,对应于地球的周年、周日运动和地球轨道的偏斜。这就解释了年复一年,太阳东升西落和四季交替的现象。

地球一旦被赋予运动,立即发生的问题是宇宙万物的运动原来所依据的一个不动的参照点消失了。——以后再谈论运动时,我们应该以什么为判断的最终依据呢?哥白尼《提要》的第四段即致力于建立一个新的“绝对参照体”,那就是全体恒星,或者说是布满恒星的苍穹。

第五段是月球理论。晚近的研究表明,哥白尼的月球理论与一位 14 世纪的阿拉伯天文学家沙蒂尔(Ibn al-Shāṭir)一模一样,只不过所用的参数稍有不同而已。

六、七、八三段讨论行星,其中六讨论外行星,七、八分别讨论金星和水星。这不仅因为后两者较地球更靠近太阳,而且,对哥白尼以前的天文学家说来,此两者实在是周天除日、月外最引人注目的天体。而恰恰是在行星理论上,哥白尼对于托勒密显示出巨大优势。这倒不是哥

^① 见前引 *Proceeding*, p. 436; Rosen 译作“celestial circles or spheres”,见前引 *Treaties*, p. 58, 似有“诠释”*Orbium* 一词之嫌。其困难在于,哥白尼本人究竟意属“圈”或“球”,实在很难一言判明。参见 E. J. Aiton, “Celestial Spheres and Circles”, *Hist. of Sci.*, 19 (1981)75-114。

白尼比他的先人少用了多少本轮均轮,而在于哥氏在数学上更加优美,在天文学上更加合理。

但是这种判断是从以后的发展倒推出来的。对于我们这些在整幅图景已经完成、机制已经明了、物理基础已经确立以后受教育的人来说,这是当然的。因为我们据以判断理论“好坏”的标准正是这个我们正在研究其好坏的理论所提供的。对于哥白尼同时代人,这个理论的“巨大优势”完全不是不言而喻的,甚至不是明显可见的。《提要》在一些同人中传阅以后,未闻有革命性的后果。——唯一有史料支持的后继事件是1514年5月1日一位名叫马修(Matthew)^①的克拉科夫(Krakow)医生在笔记本里写下他收到或见到一份手稿。据他的描述,这份手稿只可能是哥白尼的《提要》。但我们还知道这份手稿引起了相当的注意,因为二十几年以后瑞蒂克斯(Rheticus)就以此为因缘来见哥白尼并促成了《天体运行论》的出版。这是后话。

《提要》原稿上有些因为疏忽造成的错误,研究者据此推想《提要》是一时匆忙中的即兴之作。关于哥白尼的早期工作,除了《提要》之外,就是在1514年他曾应米德尔堡(Middelburg)的保罗(Paul)之邀讨论过历法。他似乎没有给出什么“革命性的”意见。他之所以被选中征询对历法的意见,一则是因为他颇有天文学学术上的名声,更重要的是教士们原来就应该懂得利用天文学知识推算重要的宗教节日。

以后十几年,哥白尼都忙着履行他教士职务的另外一些义务。东普鲁士与波兰之间的争斗一直在恶化,直至1519年两边正式开战为止。哥白尼的教区大部分被东普鲁士军队占领,哥白尼本人逃到了附近的阿兰斯坦(Allenstein)。这场战争断断续续地延续到1525年,哥白尼有几次还必须亲自身披甲胄,效命沙场。这和我们的天文学关系似乎很远了。但是,对于了解为什么早在1510年前后就形成的日心说会迟至三十年后才发表,不无帮助。

从《提要》写作到1529年差不多二十年时间里,哥白尼时有天文观

^① E. Rosen, *Three Copernican Treaties*, pp. 343 - 344。但作者未引证原始资料的出处。

察记录。这些记录中有一部分后来用于《天体运行论》。细看这些记录可知它们既非持续不断的像日后第谷那样的职业观察家的工作，又非一个天文爱好者偶然兴趣所至的完全零散的札记。这些记录更像介于两者之间的文字。与此同时，哥白尼的日心体系的主要观点已经在欧洲传播开来。1533年，甚至梵蒂冈教廷都有正式的关于哥白尼工作的解说和报告。差不多同时，1535年，波兰学者也提到了哥白尼的工作，并把它推荐给维也纳的同仁。在他们看来，哥白尼的工作是重要的，因为“没有行星运动的真实知识，任何气象的或星相的预言都不能完成”^①。

从这些通信来揣测，哥白尼在1530年代中期就已经能相当系统地阐述他的工作了，但他仍未打算发表。其原因，就现在所知，有宗教教廷人事更迭，也有个人生活琐事，但似乎与天文学学问本身并没有多大的关系。一直到1539年，一个二十五岁的年轻人瑞蒂克斯(Georg J. Rheticus)慕名来到哥白尼处，才在哥白尼的挚友盖尔斯(Tiedemann Giese)的帮助下，促成了《天体运行论》的发表。

瑞蒂克斯是1539年5月到达哥白尼所在的弗昂堡的。作为送给哥白尼的礼物，他带去了一大批佩特雷乌斯(Petreiuss)出版的科学书籍。接着，他同盖尔斯一起在劳柏(Löbau)待了几个星期，研究哥白尼的手稿。科学史家相信，他所看见的很可能就是《天体运行论》的初稿。是年九月，瑞蒂克斯完成了一篇长文，他把它叫做《初论》(*Narratio prima*)，尽管他以后并未再写“再论”“三论”。这篇文章是现代科学史家知道的《提要》以后、《天体运行论》之前唯一一份阐述哥白尼理论的文件，1540年3月在旦泽(Danzig)发表。这篇论文写得非常好，“文采飞扬，清晰翔实”。这就使得哥白尼《天体运行论》的发表提到议事日程上来了：一则哥白尼对瑞蒂克斯的才智热诚有了信心，二则欧洲学界对哥白尼理论的全面、细致的阐述有了兴趣。于是瑞蒂克斯介绍的出版商佩特雷

^① 这是波兰学者 Bernard Wapowski 1535年10月15日给在维也纳的同事写信时说的，详见前引 N. Swerdlow, p. 17。

乌斯正式与哥白尼商讨接洽出版事宜^①。

具体做法大概是这样的。哥白尼先对初稿作修改润色,再送去纽伦堡佩特雷乌斯处印出校样,校样再由哥白尼校核改定,再送回出版商印刷出来。在整个工作中,瑞蒂克斯起了两头奔走的联络人的作用。在修改过程中,哥白尼一定重新检讨了他的体系的整个构架。1540年7月1日他给不少朋友写信,提及如何应付“哲学家和神学家”的可能的批评。因为一方面他坚信他所说的地动说是对的,另一方面他也确实无法“证明”他的理论。1541年4月20日,一位叫做奥西安德(Andreas Osiander)^②的路德教派人士回信说,据他所见,天文学家的“假说”不一定是关于信仰的宣言,而可以只是用于提供计算方便的模型,仅是再现“现象”。在他给瑞蒂克斯的一封信里他还说这样的提法可以使新理论更易于为人所接受。

在当时的气氛之下,奥西安德的建议也不失为一种解决问题、化解歧见的办法。但哥白尼与瑞蒂克斯都不赞成。尽管如此,修订出版工作继续进行,到1541年10月,修订工作大概就完成了;1542年5月,瑞蒂克斯把书的清样交给了出版商,同时哥白尼写了给教皇保罗三世的献词。——整个出版工作至此顺利完成,余下来的只是瑞蒂克斯负责监督印刷出版就是了。

1542年10月,瑞蒂克斯得到了莱比锡一所大学的教授职位,必须赶去赴任,而且《天体运行论》的出版想必也没有什么大事要他非在左右不可。他于是离开纽伦堡而委托奥西安德权董其事。这就使得奥西安德有可能擅自给哥白尼的著作加了一个序言——《就本书所用的假说敬告读者》。他在这篇序言里发挥了他上年4月给哥白尼的信中所提出的“天文学理论只是假说,只提供计算的基础”的论点,进一步说天

① G. Rheticus 对于《天体运行论》的出版,出力厥伟。但对他本人的情形的研究尚称不多。最方便简明的——很可能是仅有的英语文献是他在 DSB 中的传,在 DSB 第十一卷。

② A. Osiander 常被描述为一个破坏哥白尼工作的人,其实这种说法不确。细致的研究见 B. Wrightsman, “Andreas Osiander’s Contribution to the Copernican Achievement”, 载上引 R. S. Westman 所编的 *Copernican Achievement* 中。

文学的假说根本不可能追溯到事物的真正原因，除非上帝有意披露这些原因。因此，在天文学领域中对假说信以为真的人实在比不研究天文学的人更蠢。他的这些说法显然没有得到瑞蒂克斯或是哥白尼的挚友盖尔斯的赞同，因为奥西安德的序言刊出后，瑞蒂克斯和盖尔斯曾预备去纽伦堡控告他擅改原著。更糟的是，《天体运行论》出版两天以后，1543年5月23日，久病在床的哥白尼就去世了。而奥西安德的“序言”又未署名，所以之后相当长的一段时间里，读者颇为这篇序言困惑，弄不清哥白尼的原意是什么。据瑞蒂克斯后来追述说，哥白尼对这篇文字也“深感不快”。

《天体运行论》这本宣告一个时代到来的书^①，就其本身说来，倒不见得处处显着划时代的革命性。全书分为六篇。第一篇讲宇宙的基本构造和地球在宇宙中的位置。这一篇很有些像先前的《提要》，又与托勒密的《至大论》和泊尔巴克、瑞吉欧蒙坦那斯的《至大论提要》有相同的结构。我们在以后章节中还有机会再讨论这一篇。但第一篇的第12—14章则是相当纯粹的数学工作，对于哥白尼同时代的人说来，绝非轻易可以看懂。第二篇在某种意义上是这一讨论的继续，完全注重于球面三角的数学讨论。如果说哥白尼的工作有特别重要的意义，那么这种意义正藏在他的数学工作里。如果他仅仅对于地球的位置或运动作了一个猜想，尽管这种猜想为以后的发展所证实，他还是没有比古希腊的思辨哲学家前进了多少。正如库恩在研究了哥白尼工作以后说的，哥白尼工作的高度数学化使他免于被“哲学家”击倒，从而使他的工

① 如前所记，哥白尼的原著1543年5月21日或稍早在纽伦堡出版。这个版本被认为是符合哥白尼的原意的。第一个刊出的译本是1854年在华沙出版的波兰文译本，其后是1879年的德译本。奇怪的是这本书的英译本直到1952年才出现，收入C. G. Wallis主编的《西洋名著》第十六卷中，译文颇遭批评，参见，例如O. Neugebauer, *Isis*, 46 (1955)69-71。随后又有A. M. Duncan 1976年译本和E. Rosen 1978年译本。本书还有俄译和印地文译本。遗憾的是，本书没有中文全译本，下文大略提出几点讨论实在是为以后文字所必需，非敢遽言“介绍”这样一本对人类思想史有重要作用的大书也。2013年再版补注：哥氏的著作在2006年和2011年已由叶式辉、姚守国译成中文，分别由北京大学出版社和江苏人民出版社出版。另外有张卜天译本（台北：大块文化，2005年），未及利用。

作真正成为传世之作。

在数学准备完成以后,哥白尼在第三篇里处理天体的非均匀进动和天体轨道平面的倾斜问题。这是一个托勒密处理过的天文学传统问题。哥白尼同时代人弗尔纳(Johann Werner)在1522年曾作《论第八层天球的运动》。哥白尼也参与讨论,所以对他说来这不是一个生疏的题目。对我们的主题饶有兴味的是,哥白尼在讨论中采用了所谓的“Tūsi 连环”技术,显示了他对于阿拉伯天文学成果的了解。稍后我们会看见,库恩在《哥白尼革命》里对《天体运行论》的讨论止于第一篇的前十一章,所以未能注意到阿拉伯天文学的影响。当然,这是后话。

第三篇表明哥白尼所遭遇的困难是双重的。首先,天体运行的参数从托勒密时代到他当时已有变化;其次,这些参数的测定常常带有很大的误差。这两种不准确度又同时显示在相同的参数里,要在这样的基础上完成理论,实在很困难。哥白尼采用的方法也是两套:一是采用非常复杂的数学技术,实在不行时索性采用“凑”的办法;二是把这些古代的数据或理论搁置一边,简化问题,自做一套。但是不管采用哪一种方法,都表明哥白尼深受阿拉伯天文学的影响。

第四篇谈太阳和月亮的距离、视差和半径。在这一篇里,哥白尼显得更加地受益于瑞吉欧蒙坦那斯的《提要》。论者以为本篇是《天体运行论》中“最令人困惑”^①的一段。哥白尼为了能凑出合宜的结果来,对本来就含有错误的解说作了一系列不自洽的修正。但是从科学史的角度来看,这一篇实在是非常重要的,因为在这里可以看见沙蒂尔的月球理论——哥白尼的陈述与这位比他早200年的阿拉伯人一模一样,只是在参数上有所修正。而参数修正的依据,有来自希腊、印度、阿拉伯和中世纪拉丁文的资料。

哥白尼这样处理他的月球理论,或者说精心凑出“合宜的结果来”,自有其苦衷。与月球理论直接相关的就是月食日食,既为人人重视,又为人人可以测验。所以要“合宜”自是不易。第五篇进而研究行星理

^① N. Swerdlow 语,见前引 *Mathematical Astronomy*, p. 75。

论,情形即迥然不同。首先这是哥白尼新理论的一个核心问题,其次这多少比较理论化,观测不尽是人人可为,因此哥白尼有可能在理论上发挥。初看起来,本篇大部分内容都由托勒密的理论出发,似乎在方法上无重要突破。其实在运用托氏方法的同时,哥白尼引进了两方面的革新。首先是引进了地球的运动,并以此解释、归算外行星的运动、计算一系列参数。这正是我们现在看到的哥白尼日心体系明显优于地心体系的地方;其次是通过上述革新,所有的行星运动即可以重新归化为匀速正圆运动的组合。这一点对我们今日而言似乎不太重要,但对哥白尼时代的人说来实在是重要得很。

第五篇文字最长,内容最丰富,而且对科学史家说来,另有一处引人注目地方:哥白尼采用的模型常与13、14世纪阿拉伯天文学家的做法暗合。有一些重要的方面,哥白尼除了在“日心”这一点上和若干参数上与阿拉伯人不同之外,简直就是一模一样。这一点在二十五年以前还很少为人注意到,而对于现今的科学史学者来说,则是一个基本事实了。这一科学史研究成果的哲学意义,容稍后作更细致的讨论。

第六篇继续讨论行星理论,但哥白尼于此鲜有建树。大部分的内容与托勒密类似,而他引用的“观察资料”并非他自己所作,亦非托勒密所作。在讨论火星时,哥氏甚至改动“观察”资料以迁就理论模型。

但是无论如何哥白尼是第一个在完整的理论构造和模型的基础上提出了日心说的人,他在科学史上的地位亦因此确立。如果说日心说是一场“革命”的话,那么哥白尼是揭开序幕的人。在哥氏当时,恐怕并没有一个人认识到“革命”已经开始了。而哥白尼对于《天体运行论》出版的不安,则更多地来自于他内心的冲突。至于小说中常说的他是看见了《天体运行论》的一个印本才溘然长逝一节,固然能激发文学家的才思,构造戏剧性的情节,于科学史及其哲学意义,却无甚关联了。

在哥白尼能提笔写字的最后几天里,他曾在一张小纸条上抄下了一段托马斯·阿奎那(Thomas Aquinas)的话:

生命短暂,感官迟钝,加之性情的疏陋和生活的负担,人所能

了解知道的事本来就很少。知识的误用,记忆的缺失,甚至使得那些我们先前有所了解的东西也随着时间的流逝从我们的心灵中忽忽褪去……^①

带着这样的遗憾,哥白尼于 1543 年 5 月 24 日去世,下距牛顿的诞生恰一百年。

哥白尼把“地不动日动”的托勒密体系换成了“日不动地动”的新体系,从这一点上看,很容易相信这是一场把一切都正恰倒了个位置的革命。在欧洲中古史上,又找不出任何事件或人物作为哥白尼工作的真正先声。换言之,哥氏的工作在三十五年前的科学史家看来,真正如高山坠石,从天而降,这就很容易使人相信这是一场突然爆发的革命。库恩所要处理的,就是这么一个事件,这样一段历史。

三、库恩对哥白尼的研究

《哥白尼革命》^②一书,如前所述,是由课程教学材料发展起来的,自然就有很重的教科书的味道。全书七章,另外还有一个技术性附录,处理天文学中采用的一些技术和算法,因为这方面的基础知识实为理解哥白尼的工作所必需。

《哥白尼革命》副题为“西方思想发展中的行星天文学”,即把本书主题扩充到“西方思想发展”的大框架之中。留意前述库恩写作时先后问世的几部以西方文化为背景的史学著作,如洛夫乔埃(A. O. Lovejoy)、巴特菲尔德(H. Butterfield)和霍尔(A. R. Hall)的写作方法和考查问题的角度,可知库恩的做法实在是这一潮流的自然演进。全

① 这段笔记先为 Ernest Zinner 所引,见 *Entstehung und Ausbreitung der Copernicanischen Lehre*, Erlangen, 1943, p. 244,但有一词 *neglegentiae* 似误印作 *negligentiae*。

② T. Kuhn, *The Copernican Revolution, Planetary Astronomy in the Development of Western Thought*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1957。自出版以来,大约重印了 15 次。下文引述用的是 1981 年的第 11 次印刷本,页码均置于括弧中,不再另注。

书七章中，四章叙述哥白尼之前的行星天文学，占全书篇幅一半之多。第一章介绍古代宇宙论，从原始宇宙论中的苍穹观念（第4—5页），到希腊“科学宇宙论”中的“双球宇宙”学说（第27页前后），到太阳在该宇宙体系中的运动情形（第33页），洋洋洒洒，意在使读者对于哥白尼前的宇宙理论有一充分的了解。其所叙内容，则几乎全是科学史常识，唯“双球宇宙”，即以人为一圈的内层和以星为一圈的外层的双球型的宇宙模型，为库恩所心爱，特设专名以引起注意。第二章承第一章余绪，进一步介绍行星理论。从严格的意义上说，哥白尼天文学实在是一行星理论，其对太阳的种种议论均在与行星的关系方面，所以对于行星运动前史的了解自然也很重要。本章从“视运动”概念谈起，迭经圆轨道、本轮均轮系统、偏心轮等技术手段的讨论，完成了对托勒密天文学行星理论的概述。

古代这些关于天文的研究在哲学上有什么意义呢？这是库恩所要极力阐发的一个问题。不然的话，如他在前言中所说，重复一个被反复讲述的故事，应当是很无聊的。库恩在这一段为大家所熟知的科学史中看出了新的问题。

首先，库恩指出，古天文学知识，尤其是以“双球宇宙”为名的天文学是一个概念系统、一种理论，是“人类想象的产物”（第36页），“源于观察而又超越观察”。事实上和传统的或者直觉的想法相反，科学谈论的不是自然界而是人对自然界的理解。一方面，科学的内容确实是关于我们厕身其间的宇宙万物的；另一方面，科学又是人对于这种外在世界的理解，因而又是人脑的创作。最初明白系统地指出这种“既非客观存在，又非主观臆造”的概念的，是英国哲学家波普尔^①。我们以后还会看到他对库恩观念的影响。

“双球宇宙”的理论即是这样一种概念体系。它提供了一个研究者可以方便使用的框架，把纷乱杂陈的观察归纳到了一个有序的结构之

^① K. Popper 的系统阐述出现较晚，见他 1967 年在国际科学哲学大会上的讲演，后来成为《客观知识》的第三章，《没有认识主体的认识论》，邱仁宗译，收在《科学知识进化论》一书中，北京：三联书店，1987 年，第 309—360 页。

中,从而大大简化了关于宇宙的描述,这是这一理论在“逻辑上”的存在意义。从简单性原则来看,“双球宇宙”实在是很成功的。它提供了对自然现象的一种理解、一种世界观,按库恩的说法,这是这一理论在“心理上”存在的意义(第 39 页)。当人们从逻辑上能够“解释”,从心理上能够“理解”日月星辰升降隐现,他们就愿意用这一概念构架来考虑问题,作出进一步的预测。哥伦布对地球为球形的信念,库恩认为(40—41 页),就是这种概念体系富有成效的一个好例子。

所以这种概念体系就成了一种“信念”。但是科学既非纯主观的臆造,自然还受制于客观的自然界,其联结点正在观察,尤其是对科学所预期的事实的观察。预言有而果然有,则理论为“真”,反则反之。此即所谓“证伪”,其论甚明。但库恩认为(第 75—76 页),事情没有那么简单。在科学史上,未见如此单纯的事;在技术上,也不可能做到如此清晰决断,因为“观察从未在绝对的意义上与一概念体系不合”。

比如说托勒密的地心说,一方面在其存在并被利用为基本的解释框架的一千多年中,不断地与观察数据发生或小或大的冲突,一方面又经历不断的、或小或大的修改使之与观察更加一致。哥白尼以前的天文学家并没有立即抛弃旧有的托勒密体系。事实上,他们在这一体系中坚持工作了一千多年,进行了各种各样精巧的修补和改建。那么,库恩问道:

是什么把时而显现的偏差与不合变成了无可规避的冲突的呢?被一代人怀着敬意称道为精深宏大、气象万千的概念体系怎么到了后代眼里就变得含混晦涩、繁琐愚拙了呢?为什么科学家有时无视种种理论和观察的不一致而坚持一种理论,有时又转而放弃他们所坚持的理论呢?(第 76 页)

库恩说,这就是剖析科学信念所产生出来的问题,即一个运作顺畅的概念体系如何被替换的问题。“这一问题,简而言之,就是科学革命的逻辑结构。”(第 75 页)

库恩写下这些问题的时间当在 1956 年夏天，时年 34 岁。他接着写道，他要用下面两章来讨论这些问题。这个年轻人显然没有想到，为了回答这个问题，他在五年后还要再专门写一本书；在他今后的生涯里，还要再写十多篇论文作进一步讨论。他当然更不会想到，在以后的半个世纪中，这个问题将成为科学史科学哲学的一个中心问题。他当时的想法是，这种概念体系的替代变更，应该是一个多重因素作用的共同结果。因此，他进而考察导致哥白尼革命的非技术性的、非天文学的，甚至非关科学方面的原因。

亚里士多德的物理学和天文学当然是首先要考查的一大流源。在第三章里，库恩介绍了亚氏“物理学”的主要概念。亚氏的“物理学”大略同于今日的“非生命科学”^①，上至天文地理，下至物质生成、物体运动，都在其视野之内。而亚氏的目的，在于建立一个包罗这纷繁万象世界，给出统一解释的大体系。这一出发点与托勒密的描述性的理论不同。为了“解释”，亚里士多德构造了世界赖以建立的要素：对于宇宙整体而言，是一种后来被称作“以太”的无所不在的东西；对于我们人类厕身其间的现实世界，或者依亚氏所说“月下界”，则是水土气火四大要素。宇宙中没有“空”的地方，因为“自然厌恶真空”。日月星辰也非悬浮在空中，而是镶嵌在一套同心球上。对于“月上”即天体，和“月下”即地球表面附近的物体，各有一套原则约束规范其运动。要而言之，“月上”为圆周运动，于是永恒，无所谓开始，也没有终点；“月下”万物的自发运动，在于寻找其自然位置。于是轻者自浮，冉冉上升，云、气是也；浊者自沉，訇然下坠，石块、泥土是也。“月下”的理论当然不能用于“月上”，反之亦然。这样，亚里士多德就从另一个角度，在不太精确的意义上或者可以称作从力学或物理学的角度提出了对行星运动的解释。这种解释日后同基督教的教义相结合，构成了以后一两千年西方思想界对宇宙理解的正统概念系统。

① 亚里士多德的物理学，综合性的介绍似以 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton: Princeton Univ. Press, 1986, I, E, 最为常用。

库恩多次说起阅读亚里士多德是他关于科学发展史观念形成的非常重要的一步。在《哥白尼革命》的写作中,这一影响已经可见端倪。在稍后关于科学革命结构的讨论中,我们还有机会进一步考察这一问题。

远古思想、托勒密和亚里士多德构成了哥白尼以前的关于天体运动的三大流源。尽管内部不尽自洽,尽管与观察时见冲突,这一理论体系稳稳地持续了十五六个世纪,直到文艺复兴前后,一些直接导向哥白尼革命的因素才出现。这些因素构成了库恩的第四章,也是叙述哥白尼工作前的最后一章,照库恩的写法,革命临近了。

库恩认为这些前导因素可以分三个方面考察:宗教方面的、学术方面的和天文学技术方面的。

对于早期基督教教义说来,亚里士多德的理论是个异端。因为《圣经》明明白白地说“神坐在地球大圈之上……铺张苍穹如幔子,展开诸天如可住的帐篷”(《以赛亚书》,40:22,中文用“神”版),明显与亚氏对宇宙的描述不同。但经过长期演化,到了11、12世纪,亚氏的理论又被采纳为正统,最明显的例证是托马斯·阿奎那(1225—1274)在他的《神学大全》中明白引入了对《圣经》的非章句解,即以《圣经》为启示性文字,并不能作逐字逐句、拘泥于字面意义的解释。这样,尽管在细节上亚里士多德与《圣经》还有不合甚至抵牾,其间根本的冲突终于得到了化解。所以古希腊特别是亚氏的学说,在哥白尼革命前的两三个世纪里,颇是流传。

这种流传一方面使人有机会了解古代学术,一方面也使得古代学术有机会受当时学者的批评质疑。这种学术上的质疑,库恩列为前导因素的第二方面。其中最为突出的,是巴黎学派的奥瑞姆(N. Oresme)。对于哥白尼革命最有意义的,是奥瑞姆关于运动的相对性的论述。奥瑞姆举了很多例子,强有力地说明,没有任何论证,逻辑上的也好,《圣经》上的也好,物理上的也好,可以断然判定地球是运动的还是静止的。这就为哥白尼地动说扫除了障碍。

在讨论这两方面的前导因素时,库恩常从整个西方思想史的角度

去考察问题。这样做的好处是视野开阔,尤其是对初学者说来,容易建立一套完整的历史演变图景,从该书的副标题看,这似乎也是库恩写这本书的一个目的。库恩在该书写作时,当颇留意西洋思想通史。他在这一时期发表的书评,证实了这一推断。

在为丁格尔(H. Dingle)著《科学探秘》(*The Scientific Adventure*)写的书评里^①,库恩讨论了作者对科学革命,尤其是哥白尼革命的处理,颇多称道。“但是”,库恩紧接着写道,这种讨论“过于琐碎,过多地征引佚事,过分注意科学发现本身,而对当时并存的其他科学概念体系和实验所产生的相互作用留意不够,因此未能提供科学思想发展模式的真实情形”。在另一篇书评中,库恩提到这一类的科学史或思想史书籍,应能同时兼顾西方传统的“延续和多样”。参照他对哥白尼革命的直接起因的处理,可以看出他正在艰苦地探求一条能达到这样高标准的路。

采用这一写法,同时又引发了另一方面的问题。既然强调历史流源,强调重视整个历史演进而不是“发现本身”,这种关于前导因素的讨论就好像又变成了历史背景的叙述,而不是库恩先前所称的“直接的、有因果联系的”(第83页)因素了。为此,库恩又回到天文学本身。

在以“哥白尼时代的天文学”为小标题的一段中,库恩提到了德国人泊尔巴克(Georg Peurbach, 1423—1461)和他的学生穆勒(Johannes Müller, 1436—1476),但马上转入了作为时代大发现的葡萄牙航海以及稍后的哥伦布发现新大陆。这一标题下最大部分的文字是介绍5世纪学者普罗克鲁斯(Proclus)及其他“新柏拉图主义”学派的学者。最后归结到哥白尼,认为“新柏拉图主义可能对哥白尼关于以太阳为中心的新体系的构想有所帮助”,并且进一步断言“新柏拉图主义在哥白尼关于太阳和数学简单性的考虑中是显然可见的”(均在第131页)。

和前面三章相比,讨论哥白尼革命的“直接原因”的第四章显得无力得多。作者多次声称要考察“直接的、有因果联系的”前导因素,却又

^① *Speculum*, 28, 1953: 879 - 880。下面引文见 p. 880。

一再回到整个西洋思想史的背景与流源的一般性介绍上。细看当时科学史的研究状况,可以知道这一明显的薄弱环节并不是作者写作上或材料剪裁上的简单失误。在库恩撰写《哥白尼革命》一书时,关于哥白尼走向他新学说的历史过程即“年代表”已经为史家所掌握,但导向这新学说的思想史过程,即这一发现的具体细致的发展,哥白尼由哪些问题入手,其间利用过哪些考察方法,哪些为主要的影响因素及其作用途径,均因史料匮乏而暂付阙如。作为以史料分析为出发点的研究者,库恩自难为无米之炊。

讨论哥白尼工作的第五章本质上是对哥白尼《天体运行论》前十小节的评述,长达50页。首先是哥白尼的献词和前言,库恩用以分析哥白尼提出他的新体系的动机。因为科学史的研究表明,哥白尼考虑他的新体系时,即16世纪的最初三四十年里,并没有特别严重的,把托勒密体系逼向绝境的事情发生。哥白尼决定对托勒密体系做根本修改,是因为13个世纪以来对托勒密体系的修正未能奏效,“一个富于洞察力的天文学家自然会对在同一体系里的进一步修补努力能否切实成功感到毫无把握”(第140页)。所以,哥白尼的工作并非起于某一项具体观察的结果,也非是某一个因素的作用。当这种对进一步修补的成功希望随着时间的推移变得越来越杳渺无据的时候,当我们前一章所描写的科学和哲学的“大气候”达到了这一关键的转折点时,哥白尼即觉悟到新体系为进一步发展所必需。

库恩接下来逐段讨论了哥白尼《天体运行论》第一部的前十章。案《天体运行论》共六部,第一部为其引言和理论依据。库恩把他的研究限制在这一部分里,一是因为这一部分与他的主题关系最大,一是因为对其他的五个部分的研究在当时还未展开。

库恩注意到,并且在所引的哥白尼原文中也着意指出毕达哥拉斯与新柏拉图主义的影响(例如第141、142、145—146、149页)。这种影响可以在第一小节“宇宙是圆球形的”、第二小节“地球是圆球形的”和第四小节“天体运动是匀速的、永恒的,循圆形或组合圆形轨道”的论证中看出来。但是,这种以圆为完美几何图形的观念固然是毕氏和新柏

拉图主义的典型议论，却不为他们所专有。亚里士多德阐述天体的运动也循相同的论证途径。所以库恩写道，直至第四小节，“哥白尼的论证是亚里士多德式的或经院哲学式的，并未与传统宇宙论明显不同”（第 148 页）。从第五小节起到第九小节，哥白尼提出了地球的运动。他的论证程序是这样的：既然星辰运动已是大家所共见的，而这种运动只能用或者是天穹运动而地球不动，或者是地球运动而天穹不动两者之一来解释，而“正是天穹包罗万物，那么为什么运动不应该是被包含者（指地球）的运动而反而是包罗万象的包含者的运动呢？”哥白尼进而援引毕达哥拉斯派学者赫拉克里底斯（Heraclides）和埃克菲都斯（Ecphantus）来支持他的看法。哥白尼接着推进他的论证。

其次，既然地球运动，它即不可能在宇宙的中心，因为所谓中心当是不动的。地球与各行星之间的距离也常在变化。如果把这些都考虑进去，即可为行星的运动及其种种变化提出一个“合理的原因”。哥白尼接着援引了费劳鲁斯（Philolus），同样也是一个毕达哥拉斯派学者，来支持他的看法。

这种论证方式在今天的，受现代科学教育的读者看来自然是难以置信的。哥白尼的论证当然不止于此，在他的《天体运行论》的后几部里，他还要从数学上作进一步的分析。但这并不是说上面引述的那些论证就不重要了。在哥白尼的时代，它们的重要性不亚于后面的数学讨论。对于西洋思想界的震撼，甚至更多地来自这样的论证而不是数学。但是，要不是后面的数学论证，哥白尼的学说充其量不过是古人猜想的一个 16 世纪再版，“如果哥白尼讨论宇宙论的部分（即第一部）单独出版的话”，库恩非常正确地指出，“哥白尼革命就不会，也不应该以他的名字来命名了”（第 184 页）。

根据哥白尼的构想，太阳独居宇宙中心，地球绕日运行，年复一年，而太阳也因此出现在不同的恒星背景上。如果有任何星体相对于恒星背景离我们地球较近的话，我们地球上的观察者也会看见，或更严格地说，也能通过精密的仪器观察到它们在恒星背景上的位移。这种位移天文学上叫周年视差，虽说这一现象在哥白尼时代从未被观察到。对

于行星说来,哥白尼理论要直观得多。利用运动叠加,即使是对天文学没有什么了解的人,只要记住相加的法则,都可以明白地解释困惑了天文学家多年,逼使托勒密学派采用复杂的本轮均轮系统的现象,尤其是逆行、留,和内行星的大距。

对哥白尼著作的其他部分的考察需要更多的数学和天文学的专门知识,库恩于是转向对哥白尼工作的总评:“因为他是第一个基于地球运动探讨天文学的人,哥白尼常被称为第一个现代天文学家。但是,正如《天体运行论》行文所显示的,说他是托勒密天文学的最后一个传人也同样令人信服。”(第 181 页)的确,如果从哥白尼考虑问题的角度,论证的方式和他所追求的解答来看,他的工作是和托勒密一脉相承的。这样看来,与通常印象不一样,哥白尼不是一个摧毁旧的、创造新的革命家;他更是新旧两个传统的联结环节。这正是库恩所要着力说明的:

要问哥白尼的工作是古代的还是现代的,就好像要问一条道路上的转弯弧段是属于转弯前的那段直路还是转弯后的那段直路。从转弯的地方看,前后两个路段都可见。可是从转弯前面的那段路向转弯处看,路似乎先是平直地伸展出去然后即消失了,而转弯处正是这段直路的最后一点。如果从转弯以后的路来看,路是从转弯处开始的,并且开始以后一直是平直的。转弯弧段既分别属于前后两个路段,又不属于任何一段。(第 182 页)

这就叫转折点。这是库恩对哥白尼革命的一个基本评价。哥白尼是在一个大的概念体系中作了一点小改进,但这小改进引发了以后一个世纪的变革。在这个意义上,我们称它为革命。“《天体运行论》的意义并不主要在于它说了什么,而在于它使得别人说出了些什么。”(第 135 页)

库恩接下来花了一章,即第六章,探讨哥白尼让“别人说出了些什么”。和讨论导向哥白尼革命的诸因素和传统的四章洋洋洒洒的文字相比,这似乎单薄了一些。但哥白尼以后的发展,特别是库恩行将讨论的第谷、开普勒、伽利略已为一般人所熟知,而真正细致的研究又为主

题和篇幅所不容，库恩的这一处理也就可以理解了。

第谷(1546—1601)为16世纪提供了最完整、最精密的观察资料。现在的天文学史家常称他为望远镜使用以前天文观察的顶峰。他在丹麦的观象台，有皇室的赞助，设施地点为一时之冠。但是在他的长达几四十年的工作中，他没有观察到周年视差。根据哥白尼的理论，如果地球绕日运行，应该可以观察到这种较近的天体在较远的恒星背景上的以年为单位的周期性位移。既然没有观察到这种位移，第谷即觉得哥白尼方案碍难接受。他重新提出了一个“在几何上与哥白尼体系相同的”体系(第205页)，所不同的是地球回到了宇宙的中心并不再运动。

第谷的贡献是他的模型使得哥白尼学说受到了广泛的注意。特别是他的模型与亚里士多德的“天球”即天体镶嵌其上，赖以运行的透明实物球体的概念有明显冲突，因而把哥白尼的理论中所隐含的物理的或力学的革命因素凸显出来了。到1572年以后，他对新星的观察，特别是1577年对彗星的观察向亚氏的“月上”“月下”分野提出了严重的质疑。“哥白尼去世后的一个世纪里，天文学观察和理论所引进的新发现和发明，不论是哥白尼的支持者还是反对者作出的，都在某种意义上为哥白尼理论提供了例证”(第208页)。

第谷的学生开普勒(1571—1630)利用第谷留下的完整而且精密的观察资料，以哥白尼模型为框架重算了行星运动的主要参数。他发现哥白尼模型内蕴含了令人惊异的数学和谐。包括地球在内的当时已知的六颗行星，其轨道所在的大球以从“宇宙的中心”太阳向外伸展的次序，依次内切或外接正方体、正四面体、正十二面体、正二十面体和正八面体。从几何上看，只有这五种正多面体为可能，所以应当有六颗而不是五颗行星，所以地球也只可能是一颗行星。他进而发展了“宇宙和谐”理论，建立了他的三个关于行星运动的定律。这些定律的真实性或真理性由第谷的观察资料和它们所显示的与柏拉图、毕达哥拉斯数学和谐观念的一致性所支持。

与开普勒同时有伽利略(1564—1642)的工作。开普勒的兴趣和成果在于用数学或神秘的和谐理论整理第谷的工作，寻出其中“真的原

因”，他认为他在他的“宇宙和谐”里找到了这种原因。伽利略则更注重天文学和“物理的”原因。他第一个使用望远镜，看见了木星的卫星系统——这就是一个缩小了的哥白尼太阳系。他观察了金星，看见了金星的位相变化，哥白尼曾在《运行论》(I, 10)里预言过。这是对哥白尼体系的第一个直接证明。至此，哥白尼学说不再以假说的面目出现，而成为天文学中一个与旧理论竞争其生存权利的新理论。这一竞争在以后一个世纪里渐次完成——

对地心说的信仰先是神经正常的标志，后来变为僵强固执的保守主义的标志，再变为非同一般的孤陋寡闻的标志，最后成为疯狂盲目的信仰主义的标志。(第 227 页)

在 17 世纪中叶，重要的天文学家里即很少有人怀疑哥白尼学说了；到 17 世纪末，没有一个天文学家还执著于托勒密了。

哥白尼学说在 17 世纪的发展还有另外一个，或者可以不太恰当地称为“物理的”层面。库恩在第七章也是最后一章考察这一层面。开普勒为哥白尼理论体系找出的数字学的神秘原因并未能说明天体为什么是这样运动的，他只说明上帝为什么是这样安排的。从伽利略尤其是笛卡尔起，追寻天体运动的“机制”成了 17 世纪科学的一大潮流。英国的迪格斯(T. Diggs)提出了无限宇宙的概念，笛卡尔提出了涡旋理论，胡克(Hooke)提出了万有引力的概念，最后牛顿建立了力学。比及牛顿工作完备的形式刊行时，正恰是哥白尼的《天体运行论》问世的 145 周年。

库恩对哥白尼理论以后的发展当颇为留意。在撰写《哥白尼革命》一书的同时，他细读了不少关于“物理”发展，即探求上面所说的哥白尼理论的物理学原因的书籍。在《哥白尼革命》写作的同年，他对于柯列依的《开普勒至牛顿落体问题文献史》一文的书评发表在 *Isis* 上^①。细看这一篇书评，很容易发现它的论述与《哥白尼革命》是平行的。以

^① *Isis*, 48 (1957)91-93.

1600年为分界线,16世纪的研究被称为是“第一阶段”,其主要的论证集中在重物的直线下坠的解释上。亚里士多德和托勒密关于地球中心以及静止不动的理论的一个重要论据就是重物竖直下落,并落回它们被抛起来的那一点。如果地球运动,例如从西向东,重物落下时应该较其被抛起的地点偏西。奥瑞姆(N. Oresme)对此提出了不同的解释,他认为重物“也可能”落回原地。奥瑞姆的这一论证,库恩说,被哥白尼在他的著作中引用。1600年以后的第二阶段,开普勒、费马、伽利略、布列奥(Bullialdus)、波雷里(Borelli)都参与了这个问题的研究,直到1679年胡克和牛顿的关于万有引力和自由落体的通信。库恩在这儿看见了哥白尼革命的真正进程——不是他说了什么,而是他使得别人说出了什么。

稍微前一两年,库恩还一连发表了另外两篇书评^①,评述五本讨论笛卡尔的专著。连同他在书评中征引的其他专著,所涉及的书在十部以上。这显然不是蜻蜓点水式的研究所能做到的。在对英国研究者斯科特(J. F. Scott)的工作的评论中,他还援引了十年前发表的一篇法文论文。在评论中,库恩特别强调历史学研究和哲学的结合。事实上,他正是从历史和哲学两个角度去评价这些书的。

再前,我们还看见他对霍尔(A. R. Hall)《十七世纪的弹道学》一书的评论^②。弹道学,或者狭义地说对抛射体路径的研究,和落体问题一样是17世纪物理学的一个大问题。在援引皇家学会诸成员的研究同时,霍尔还讨论了伽利略和以前的塔尔塔吉利亚(Tartaglia)的工作。书评中,库恩引用了戴克斯德惠斯(E. J. Dijksterhuis)的《世界图景》一书,该书当时还没有英译本,显示了库恩的阅读范围和对二手文献的鉴赏能力。

与此差不多同时的是库恩对伽利略《两大世界体系》的钻研^③。他对这本书的两个译本都有评论。这两个译本都出自名家之手:一是加

① *Isis*, 44 (1953)285 - 287; *Ibid.*, 46 (1955)377 - 380.

② *Isis*, 44 (1953)284 - 285.

③ *Science*, 119 (1954)546 - 547.

拿大学者德雷克(S. Drake)的全译本,爱因斯坦为之作序;一是萨鲁斯伯瑞(T. Salusbury)的改写本,赛蒂拉纳(Giorgio de Santillana)注释并作历史背景介绍。被爱因斯坦称为“对于每一个对于西方文化史及其在政治经济发展上的影响感兴趣的人来说,都是一个知识的宝库”^①的《世界体系》是对哥白尼学说的最重要的发挥之一,也是科学史上少数几本经典著作之一。库恩对它的研究明显地反映在《哥白尼革命》的最后一章里。

综观全书,库恩努力在历史的进程中描述和解释哥白尼革命的意图甚为明显。库恩引入了西方思想发展的源流,并以对此源流的分析作为整个事件的背景。他力图考察纷繁众多的历史因素,并称他自己的这种方式为“多元化”的考察。这是他在本书序言中就说明的(第 vii 页)。但是这种考察时常陷入困难。比如在相当细致地介绍了奥瑞姆关于运动和重物下落的非亚里士多德的观念之后,作者必须承认,事实上我们并不知道哥白尼是否真正读过奥瑞姆(第 144 页)。整个哥白尼革命与事件发生前的历史事件的联系只能说是“他想必总知道一些他们的(案指奥瑞姆或类似学者的)工作”,或者“他可能至少听说过这些非常有影响的学说……”(第 144 页)。在这个最重要的关键点上作者之所以深感无力,是由于纯科学史研究并没有能提供可资分析的资料。

另一方面,库恩在同时间的另一篇书评^②中也提到,过分细致的史料追寻和分析可能会使文章显得“零散”,他又怕史料罗列会使读者觉得“炫耀细节过分而分析解释不足”。库恩在这儿所谈论的,正是困扰每一个历史学作者的问题:究竟如何把历史陈述与相关分析安排在他们的著作里?用他们的行话来说,“史”“论”究竟如何结合?

尽管几乎所有的科学史研究者都声称他们的研究是基于科学史进程、事件或者事实的,他们对如何处理这些素材的见解却是很不一样的。

① A. Einstein, "Foreword to Dialogue Concerning the Two Chief World Systems," trans. by S. Drake, Berkeley: Univ. of California Press, 1953. 引文在 p. vii。爱因斯坦的这篇序言有中译,在《爱因斯坦文集》第一卷,北京:科学出版社,1975年,第579—585页;伽利略的书也有中译:《关于两大世界体系的对话》,上海:上海人民出版社,1974年。

② *Isis*, 48 (1957)92.

马豪尼(M. S. Mahoney)教授曾说过一个故事。有一天亨佩尔(C. G. Hempel)走进办公室看见马豪尼,随口问他一段科学史是不是如此如此的。当马豪尼告诉他“不是”时,亨佩尔教授说:“啊,那我得另找一个例子。”

从科学史家的角度看,亨佩尔的态度简直是一种不负责任的挑选史实,是不可容忍的随意性。他们认为,任何对历史的分析应当是从总体出发的,谈论一个孤立事件是没有意义的。从科学哲学研究者的角度看,这正是他们对繁纷的历史事件去粗取精、去伪存真的过程。因为历史如此复杂,不可能要求每一事件都能恰当地反映所有科学发展的逻辑,而科学史的研究正是要选取适当的事件或历史片段,加以说明和发挥,使得这种本来隐蕴的逻辑得以彰显。

库恩在《哥白尼革命》一书中并没有明白表示他倾向于哪一取向。因为本书的教科书性质——其本来也起源于在哈佛的教学,书中的确介绍了不少历史材料,但绝大部分都是当时科学史界所熟知的,并不出于库恩的独创性研究。如果真要把本书的历史和哲学两个取向作一比较的话,库恩还是在后一方向上表现出较多的独创性。但这种独创性不是表现在对哥白尼革命的任何哲学判断上,也不是表现在对哥白尼方法或理论的结构分析上,而是表现在对整个历史发展,“概念体系”如何形成,这种“概念体系”如何限制和规范科学研究,使之呈现长时间的稳定,科学家们为什么有时又突然放弃一个概念体系而转适别的概念体系:表现在对所有这些问题的沉思之上。这种沉思并未导向,更不用说构造出任何具体结果。但是,如此明白地把这些问题从纷繁的历史现象中抽提出来、表达出来,无疑具有强烈的启发性。

四、科学史家对《哥白尼革命》的反应

《哥白尼革命》一书出版以后的最初反应可以在分析其相关书评中看出。1957年6月15日的《图书馆杂志》^①大概是最早发表意见的。

^① Milton B. Wenger, *Library Journal*, 82 (1957)Pt. 2, 1669 - 1670.

以该杂志的性质而言,其评论当然不是科学史或科学哲学的专业分析,而是为图书馆管理经营服务的。评论者温格尔(Milton B. Wenger)似乎是纽约市一家公司的工程师,他注意到的唯一与我们的主题相关的一点是库恩的书“对于为什么自然研究者要花那么长的时间才能接受日心体系给出了一个不错的说明”,因而这本书是“引人入胜的,并值得一读——不论是为了知识还是为了消遣”。

一年多以后,另一位评论者注意到库恩把构成哥白尼革命的数学和物理上的发现与“当时的哲学和学术气候环境”一起研究,认为颇为可取^①。差不多同时,库恩的书得到了当时最负盛名的哥白尼研究权威罗森(Edward Rosen)的评论^②。罗森对本书的评价不高,在他篇幅不长的评论中,罗森以随口列举的方式一口气举出了二十八个错误,从数据错误到名词的拼法错误都有。罗森最后以“令人遗憾”之类的词结束了他的评论。

罗森当时是纽约城市学院(City College)的教授。这位波兰裔的犹太教授是差不多所有最重要的哥白尼史料的最初英译者。哥白尼的《提要》,给瓦波夫斯基(B. Wapowski)主教讨论弗尔纳(J. Werner)“第八重天运动”的信,以及瑞蒂克斯的关于哥白尼工作的解释性文字均由他介绍到英语世界中来。在他一生漫长的学术生涯中,罗森发表了一百多篇介绍哥白尼或哥白尼革命的论文、通俗读物或小品。他的评论自然重要。他对史料的熟悉和占有程度,当然不是库恩当年可以遽言企及的。对于这样把一生都奉献给哥白尼研究的老学者,任何一个小错都是不可原谅的,何况库恩还把他的名字拼错了四次。

罗森的批评不可谓不对。但从差不多四十年以后的今天看,还有更深的的一个层面值得注意。像罗森这样的学者,钻研史料,考比事实,一生不倦,而他的主要取向也更多地是在史料和史实方面。对于志在探求“科学发展规律”的三十五岁的库恩说来,“细节”差不多是“小

① *Saturday Review of Literature*, Sept. 12, 1959.

② Edward Rosen, *Scripta Mathematica*, 24(1959)330 - 331.

节”的同义语，他的注意力不在“细枝末节”之上，而在于历史的整个演进。很多年以后，史学界开始谈论“大历史”“小历史”^①。这种做法上的分歧，这种着眼点上的偏侧，实在不是一种简单的“细致”与“不细致”的分歧。

^① 参见，例如，黄仁宇：《自序》，《万历十五年》，台北：食货出版社，1985年，第1页。此一用法与黄博士的概念不甚相合，戏用之。



第四章

必要的张力：科学发展的内在原因

库恩在《哥白尼革命》最后写的“道路转弯”的比喻是意味深长的。科学发展既似直路又不似直路，转弯部分既属于弯前的道路又属于弯后的道路，哥白尼的工作既是对传统的发展又是对传统的否定，所有这些黑格尔辩证思维意味很浓的论证方式在 20 世纪 50 年代末的科学哲学领域里还是闻所未闻的，对沉溺于历史细节的科学史家也提示了历史研究在大尺度上的哲学意义。在库恩创造力最旺盛、著作最丰的年代里，这种黑格尔辩证思维的影响一直贯穿。此点在研究库恩时当不能忽视。

库恩关于“常规科学”和“科学革命”的概念可以作为这种思维方式的一个好例子。1959 年在犹他大学发表的这些见解，后来常被误会。其中重要的原因盖为读者未能以这种黑格尔方式考察这些概念的真义。科学发展中，“常规”和“革命”是一直存在着的相反相成的两个方面，相互制约，相互平衡；有时一方为主导，有时一方展示为次要方面，但两者一直是共存的，形成一种张力，使得科学一直处于这种紧张状态之中。这一观念的精深微妙之处，在于“共存”，在于两者的相反相成，在于从动态的角度考察历史。这一精深微妙的特点，在 50—60 年代，对于科学哲学和科学史来说，颇为新异；尤其是美国学者，对黑格尔学

说留意不多，因此库恩此论一出，令学者刮目，俨然有领一代风气之势。

库恩对于黑格尔的渊源，在梅耶尔森(Émile Meyerson)，在柯列依(A. Koyré)。前者专精哲学，与霍夫丁(H. Høffding)善，而霍氏时为黑格尔学说大师之一。后者被视为30—40年代科学史界的精神领袖，而其哲学工作则常在复兴黑格尔学说。库恩心仪这两位学者既久，学问做法上自然日趋接近。后来库恩论文结集出版，题名曰《必要的张力：科学中传统与变革研究》，当指此意。

本章讨论库恩1957—1960年间的几篇文章，追寻库恩《结构》一书的早期发展，与下一章共同构成库恩对科学进步理论的系统介绍和解释。

一、犹他大学会议：常规科学的概念

现在的问题是，为什么有时候科学家会遽然抛弃已经成立多年的理论，转向新说；有时候又执著旧的理论，无视种种问题层出不穷？在对哥白尼的研究中，这一问题以最鲜明的形式摆在库恩面前：为什么在托勒密至哥白尼的长达十二三个世纪的时间间隔中，科学家所汲汲追求的只是以理论去“凑”观察资料，甚至以观察去“凑”理论，却始终没有想到过别的试探方式？

这种科学进步中的革命与非革命演变的模式，一定一直盘亘于库恩心头。在写完《哥白尼革命》以后不久，库恩有机会去犹他大学参加科学人才识别研究会议，在会上他散发了一篇论文，宣读了另一篇。这两篇论文构成了日后库恩得享大名的《科学革命的结构》的非常重要的一部分。

在会上散发的论文，后来几经增删，改名为《测量在现代物理科学中的作用》，刊登在1961年的*Isis*上^①，这时已是一篇长达三十页的大

① Kuhn, *Isis*, 52 (1961)161-193。中译见前引《必要的张力》，论文8，《测量在现代物理科学中的作用》，第176页起。以下引用此文，如不另加说明，均据此一中译本，页次亦然。

文章了。在修改增删中，作者显然大量利用了近代物理学史的资料，因为正是在这一领域，“测量”表现出特于其他任何学术领域中的作用。

在《测量》的一开头，库恩就提出了一个乍一听来耸人听闻的论断：“教科书中（关于测量的）表述的方式必然会把人们引向歧途。”（第179页）

说库恩的这个论断“耸人听闻”，是因为任何教科书都教导说物理理论的最初起点和最后证明都有赖于测量。如果测量的结果与理论的预期相一致，那么这个理论就是“正确的”。比如我发展了一套关于地球自转的理论，并由之推出明天，12月15日太阳应该在早晨7:35升出地平线，结果在指定的地点做上述测量，发现太阳“果然”在那一预期的时刻出现，那么从现代科学的观点来看，不仅这一个预测被认为是正确的，而且整个理论的推导、前提，乃至假定，都会被认为是正确的。

库恩从一个“前物理学家”的角度（第177页）提出异议。他问道，当人们谈论“与理论的预期相一致”中的“相一致”三个字作何解释？稍微了解物理学的人都知道，测量永远是近似的，而物理理论也不能总是产生出绝对精确的结果。对于测量说来，仪器精密程度的限制，测量时偶然因素的作用，以及所谓的“人差”即基于观测操作人员技术水准、工作习惯的误差总不会小到零。对于科学说来，要建立一个理论，首先必须使对象“纯粹化”：研究平面运动时当然假定平面是“无摩擦”的，研究真空时当然假定真空真的是“空”的。但所有这些前提与测量时的实际情形并不相合。于是“纯粹化”就成了“简单化”。所有这些关于仪器，测量，理论的假设、前提及其“简单化”问题在物理学中都是熟知的，谁也不认为有进一步讨论的必要，因为在物理学中，这种不一致被“热力学第五定律”所概括地归纳为一个大家所接受的概念，即所谓的“相一致”是指一种“合理的一致”而不是指“绝对的一致”。换言之，测量与预期不必无限精确地相一致，只要落在一个“合理的”范围之内，全局从假设前提起至计算出预期值止均告成立。

库恩考察了这种“合理的一致”说法以后，即利用他的哥白尼学说发动进一步的攻击，这一攻击具有强大的杀伤力。“对于托勒密及其直

接继承者来说是天文学理论与观察之间合理一致的东西，在哥白尼看来，恰好是证明托勒密体系肯定错了的有力证据”（第 183 页）^①，那又是怎么回事呢？原来这儿对“合理的”三个字没有作明晰的诠释。谁、凭什么来判断一种相对的、近似的“相一致”是“合理的”还是“不合理的”呢？库恩发现，“科学实践证明，没有始终适用或始终可用的外部判据”（第 183 页）。如果大部分专家——“同行”们——认为并且接受一个偏差是“合理的”，那么它就是“合理的”。这些专家判断这个偏差是不是“合理”，又依赖于他们对所要证明的理論的信心。库恩发现，我们似乎在“证明”合理性上兜圈子。他认为必须对这一测量理论问题作细致的考察。

首先要考察的是一种被库恩称为“常规测量”的东西。什么叫“常规测量”？库恩的例子是爱因斯坦的广义相对论^②、牛顿的运动定律和拉瓦锡(A. Lavoisier)的化学理论。牛顿从定义“力”、“质量”和“运动”出发，发展了一套理论，用之于天体，成果斐然。然而按牛顿理论，要分析一颗行星的运动，必须考虑太阳与此一行星的相互吸引以及其他诸天体——在牛顿时代是五颗其他行星——对这一行星运动的影响。这种复杂的多元问题，或可戏称之为“七体运动”，不要说在牛顿当时，即使在三百多年后的今天，仍不可能在数学上获得精确解答。牛顿于是简化问题，忽略其他天体的影响而只论太阳与一个行星的相互作用，即“二体问题”，推出了（注意：这是从理论上推出）开普勒在七八十年前从观测测量数据中“悟出”的开普勒定律，名声大噪。但是行星运动的实测数据与牛顿理论相去有间，于是大数学家如欧拉辈又把被牛顿简化掉的种种因素一一拾回，理论越来越复杂，乃至发展为一套完整的“摄动理论”，而与观察也越来越接近。一直到爱因斯坦，对水星的运动理论一直在修正之中。这种理论与测量相互走近、相辅相成的例子还

① 库恩原注，参阅《哥白尼革命》，第 72—76、135—143 页。

② 爱因斯坦的广义相对论的最清晰准确的通俗解说见氏著《狭义与广义相对论浅说》，杨殷润译，上海：上海科技出版社，1964 年。原文出自爱氏本人之手，而译文之流畅传神更使阅读成为真正的享受。谨此向译者致敬。

很多,库恩引用沃尔夫(A. Wolf)的著名科学史著作作为例证^①。

库恩认为,起于牛顿的这种科学活动,是把“潜在的秩序”变成“现实的秩序”的活动:

大多数科学实践都是这样一场复杂的和消耗性的清理工作,它巩固上一次理论突破所开创的阵地,并为下一次突破作好基本准备。在这场清理工作中,测量无疑具有最一般的科学作用。(第186页)

“常规测量”,这样看来,正是在理论已经确立,但尚未完善的时候出现的。精度的提高,哪怕是从百分位、千分位上的一小点修正,对理论的完善都有很大的意义。这种工作是积累性的,换言之,非革命性的。其目的不在于建立一个新的理论,而在于为一个已经建立的理论确立更加坚实精细的基础。

如果理论并未真正确立,测量则可能更多地充当“评判者”的角色。库恩以道尔顿关于NO,NO₂和N₂O的例子说明了测量的这种作用——氧的氮化物之间的重量整数比,无疑“证明了”道尔顿的定组成定律,进而证明了他的原子论,至少道尔顿自己是这么认为的。但是,库恩所要说的恰恰是“当时存在的大量资料毕竟是不能支持道尔顿定律的”(第193页),例如普鲁斯特(Proust)关于氧化铜的工作证明,在不同的铜的氧化物中,氧的重量比不是简单整数比。这就从根本上打击了原子学说。我们今天之所以相信实验“证明了”原子学说,是因为我们是被现在的教科书教导出来的。我们所相信的,不是历史事实,不是科学发展的真实情形,而是“物理科学中的一些自圆其说的预言”(第194页)。

库恩接下来考察理论与观察、测量的关系。这是一个大问题。早在20世纪20年代,这就是爱因斯坦与海森堡这样的人讨论而无法得

^① 沃尔夫:《十八世纪科学技术史》,周昌忠译,北京:商务印书馆,1986年;库恩原注为注释20,引该书第75—81页。

出结果的题目^①。究竟是观察测量决定了理论向何处去，还是理论决定了观察测量什么才是有意义的，实在与鸡生蛋蛋生鸡雷同。库恩认为，从科学史整体考虑，似乎后者，即理论决定观测为多。他承认有些定律，诸如气体压强的波义耳定律，有关局部电路的一些定律真是从测量发展起来的。但是，“它们是如此地例外，而且，在它们出现之前进行测量的科学家已经知道了一切，唯独不知道他要得到的定量结果的特殊形式”（第 196 页，着重点是原有的）。与此同时，也有很多理论，如静电相互作用的库仑定律，“非常像是不用测量而猜出来的。尤其是，库仑的结果似乎没有使几位科学家感到吃惊”（第 198 页）。这是一个有趣的例子，让我略作发挥。

所谓电学的库仑定律，是指两个静电荷之间的作用力与电荷量大小成正比，与它们相互距离的平方成反比^②。这一“平方反比”关系，从科学史上看，是同牛顿的万有引力定律类比而得出的。库仑提出以后，测量相继展开，其简要情形略如下表^③。

实验测量者	年份	库仑定律 r 的指数 “2”的可能误差
卡文迪许(M. Cavendish)	1773	2×10^{-2}
库仑(C. A. Coulomb)	1785	4×10^{-2}
麦克斯韦与麦克阿里斯特(J. C. Maxwell & D. MacAlister)	1873	4.9×10^{-5}
福利普顿与劳顿(S. J. Plimpton & E. Lawton)	1936	2.0×10^{-9}
考克任(Cochran)等	1967	9.2×10^{-12}
巴特莱特(Bartlett)等	1970	1.3×10^{-16}
威廉(R. Williams)等	1971	$(2.7 \pm 3.1) \times 10^{-16}$

① 《爱因斯坦文集》第一卷，北京：商务印书馆，1976年，第211—212页。这是爱因斯坦1926年春天同海森堡的一次谈话记录。

② 参见，例如，D. Haliday & R. Resnick, *Fundamentals of Physics*, New York: John Wiley & Sons, 1988, § § 25-6, 25-8, esp. p. 578. 中译见郑剑玲等译：《物理学》，北京：人民教育出版社，1965年。唯中译是据较早版本译出，故有关章节序次稍见不同，见28-5及28-6，但内容相去不远。

③ 郭奕玲：《库仑定律的实验验证》，《物理》1981年第12期，第761页。

为了清楚地凸显我们正在讨论的问题，上表中的一些技术细节，如精度涨落之类，都不予追究。分析上表，至少可以看出三个方面的问题：一是这些实验测量工作持续了两百年，也就是说，两百年来，我们对库仑定律的信心，似乎并不建立在实践测量的坚强支持之上；二是这种测量至今没有能断言距离 r 的指数是 2，只是说它很接近 2 而已；三是这种测量中的每一微小进步，从百万分位到千万位的一个微小前进，都有赖于测量设计思想、仪器装备和技巧的巨大改进，因而也不能指望在看得见的将来会有什么重大突破，虽然我们常常看见新闻报道说某人“一举解决了几百年悬而未决的问题”。

那么是什么理由使我们相信库仑定律是正确的呢？任何一个高中或大学学生都会理直气壮地说，这是因为教科书里这么写的。那么是什么理由使写教科书的人，相信库仑定律是正确的呢？他们会理直气壮地说，因为科学家都这么认为，或曰科学家一致的看法如此。那么是什么理由使所有科学家相信这是正确的呢？他们会回答，他们的老师，那些令人尊敬的已故的科学家们就是这么说的；他们的教科书，那些被那些令人尊敬的人奉为经典的文字就是这么写的。但这样的追寻似乎在逻辑上是循环的，鸡生蛋，蛋又生鸡，那么第一只鸡的情形是怎么样的呢？

第一只鸡库仑是一个土木工程师，所以他能设计一只很精巧的扭力秤，这一只秤又能很精巧地测量一些很小的力。他将这一新技术试用于静电力的测量，发现静电力大抵为平方反比。因为牛顿曾经说过万有引力是平方反比的，库仑于是很自然地假定电力也是平方反比的。一则挟牛顿的余威，一则实测与平方反比的猜想也相去不远，库仑定律由是成立。

现在我们总算跳出了逻辑循环，由第一只鸡库仑找到了第一只蛋牛顿。且不说库仑的类比，即“电和引力差不多”有没有依据（实际上是没有，不过当时人以为很快会发现），我们自然要问，那么牛顿的平方反比定律又是以什么为依据的呢？细致的科学史研究使我们有可能了解到“平方反比”的概念最初起于一个名叫布里阿德(Ismael Bullialdus)的人，他猜

想力的作用应该和光的传播差不多^①。光的强度是以平方反比形式变化的，所以力的作用“想必也是”。由光类比到引力，再由引力类比到电，利用科学史的工作，我们在理清物理学的逻辑结构方面似乎颇有斩获。

那么光的平方反比又是从哪里来的呢？科学史也知道得很有限。大略而言是把光比作微粒的假说。若一定量的光微粒飞离光源，以球形扩散出去，分布在单位面积上的粒子数与此单位面积与光源的距离平方成反比。如果以上种种假定都成立，那么这一点可以由数学简单地证明出来。而这一猜想与实际情形颇为相合：光强度的确相当迅速地随距离减弱，所以光强度的平方反比定律也没有遭到严重的质疑。

基于这一分析，库恩写道：

一个高度发展的理论体，通常就是物理科学中富有成果的测量的前提。……在这些科学中，理论一定总是引导实验，并且后者最多也只能起第二等的作用。（第 199 页）

这就是库恩的结论。从测量在技术上的相对性和它在历史上对理论的依赖，库恩证明，它的作用是“第二等的”，而理论，或者说是科学家的共同信念，更占真正的主导地位。

二、“反常”的典型事例

上一节所讨论的，是理论与测量结果大体一致的情形。库恩引进了“合理的一致”，意在说明这种一致并非绝对的，这样就在理论与测量验证或测量资料的关系中加入了一个弹性环节，留下了一个人为判断和人为调整的余地。因为如果以测量或实测数据作为理论唯一的判据，在理论上既与构造概念时采用的“纯粹化”即“简单化”的做法不合，

^① Max Jammer, *Concepts of Force*, Cambridge: Harvard University Press, 1957, 对这段历史作简要描述，见该书第五至第七章。上引布里阿德(Bullialdus)，见 p. 92，留意 Bullialdus 的名字有多种不同写法，DSB 作 Boulliau，该是比较通行的拼写。

在技术上又为实验操作的有限精度不容——这种“绝对的一致”实在是外行人的误解。如果库恩的分析仅止于此，那么他不过为这一个热门主题增加了一篇新文章而已。但库恩接着考虑了下列问题：

“如果不一致怎么办？”或者用库恩自己的“相当浓缩的和图解式的描述”（第 202 页），就是：

〔理论与实测之间的〕不一致有时可以通过对理论或者是对仪器的调整来消除。……但是这种不一致有时也可能持续。一旦如此，我们即面临了一种“危机”或者“反常”的局面。这时，这种挥之不去的不一致就会影响那些在这一领域中进行研究的人。在竭尽全力利用通常的近似方法或改良仪器而又鲜有成效时，他们会不情愿地承认“有些事是弄错了”。（译文稍有改动）

对该项课题的研究者来说，这种挥之不去的不一致无疑是一种严重的警告。库恩一口气举出了海王星的发现、氯和一氧化碳的本性、惰性气体的发现、电子概念的提出、自旋概念的提出、中微子的发现六个例子来说明这种反常在科学发展中的意义。而且，如果把眼光再放大一些，如果不仅研究发现，而且研究科学理论的发展，“情况还要有力得多”（第 204 页）。库恩再次提出一长列名单支持他的论点，即“在形成通常引起理论革新的特别深刻的危机中，测量对于科学前进有……最有意义的贡献”（第 206 页）。

这种测量与理论不一致并进而引起“理论革新”的最典型的例子，是库恩研究过不久的哥白尼革命。丹麦人第谷以精致的天文观测驰名于世，他的观测资料在他去世时传给了他的学生兼助手开普勒^①。

① 开普勒(J. Kepler)完整的介绍见 Max Caspar, *Kepler*, NY. & London: Abelard-Schuman, 1959, C. D. Hellman 英译。本节所讲的大部分史料，亦可以在前引 E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture*, Princeton: Princeton University Press, 1986 年新版中找见；又见德 Wusing, *Kepler*, 是为开普勒的简要传记，有中译本，《开普勒传》，北京：科学普及出版社，1980 年。

开普勒和第谷不同，他首先是一个理论家。他所关心的是“宇宙的构造”。1596年，开普勒发表了一本讨论宇宙图景的书，时年25岁。早在图宾根(Tübingen)大学，师事梅斯特林(Mästlin)时，他就已经深信哥白尼学说了。在上述那本后来常被称作《宇宙的秘密》的名著中，他图文并茂地介绍了哥白尼体系。他认为，正是引进了地球自身的运动，火星大到不成比例的本轮，木星、土星小到不成比例的本轮，均可得到合理的安排；这三颗行星在冲附近的运动也可以得到合理的解释；而且，托勒密系统为解释进动所引进的“大而无当，又不含载星体的第九层天球”也可以舍去。

开普勒进一步提出了他自己的图景。他认为，木、土、火、地球、金、水六颗行星之间有纯数学的联系：土星天球内接正方体，而此一正方体又外切木星天球；木星天球内接正四面体，而此一正四面体又外切火星天球；诸如此类，在六颗星的天球之间，正恰嵌入正方体、正四面体、正八面体、正十二面体和正二十面体。——所谓“天球”，用我们今天的话说，就是以行星轨道为大圆的假想的球。而且，最令开普勒鼓舞的是，从数学上看，一共只可能有五个正多面体，因而最多也只能构造六个行星天球。开普勒的目的是为了给哥白尼理论提供理论基础。由此计算的外切天球半径可以与测量作以下比较^①：

		计算值	测量值
假定各个内接球 半径约为1 000	土	木 577	635
	木	火 333	333
	火	地 795	757
	地	金 795	747
	金	水 577 或 707	723

从表中可以看出，除了水星以外，其他值似乎是“合理的一致”。而

^① J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy*, N. Y.: Dover, 1953, p. 375。此书一直在再版，但内容未见增删。以下的关于开普勒的火星工作，均见该书。

水星的计算值可以进一步修正；如果计入地球卫星月球轨道，上表第二栏数值则会表现为更加一致的吻合。开普勒接下来又作了大段的技术调整，希冀取得更完美的一致。他因此重新检查测量资料；万一测量不精确而误差正好加强了这种不一致性，再调整理论也没有用。

最好的测量资料就在班纳特基(Benatky)堡的第谷那儿。1600年2月，开普勒终于见到了第谷。一年半以后，1601年10月，第谷去世，他的被称为登峰造极的观测资料就传到了开普勒手中。这些资料不仅精密，而且系统，其可靠性是毋庸置疑的。开普勒立即利用这些资料重新核对了他的理论。在火星的情形中，出现了一个8'的“挥之不去”的不一致性。虽然观察的精度极限在10'，换言之8'的不一致是落在可能的涨落之中，开普勒仍未轻易放过这一点。因为第谷作为精密观察者的名气太大了，开普勒宁愿相信理论有问题而不是测量不精密：“既然上帝造就了第谷这么一个孜孜不倦的观察者，我们应该满怀感激之情利用这一恩赐去发现天体的真实运动。”^①

“去发现天体的真实运动”，谈何容易！要不是满怀着对上帝的感激之情，他可能早就做不下去了。

在很多尝试以后，开普勒发现，以椭圆代替设置偏心的圆轨道可以取得与测量结果最为一致的吻合。在火星的情形中，偏心率 e 常为 0.09264，而椭圆与圆轨道的差常为 $\frac{1}{4}e^2 \sin 2\alpha$ ，取方位角 $\alpha=45^\circ$ ，可得差为 $7'4$ ，恰与“挥之不去的” $8'$ 一致。我在这儿用几行文字概括的以椭圆代替圆轨道的做法事实上耗去开普勒几年的时间，其中以1603年的工作最为紧张。但是一旦发现了这一替代，“就好像被人唤醒，骤然看见从未见过的光明”，开普勒立即把它推广到整个火星运动的计算中去，换言之，他把椭圆作为火星运动的真实轨道，而不是修补测量和理论的偏差的技术性措施了。于是火星的方程也由偏心圆技术的 $r = a + ae \cos E$ 变成了 $r \cos v = ae + a \cos E$ 。

从希腊时代开始，火星就使得诸如优多克瑟斯(Eudoxus)和亚里

^① 这是一段很著名的话，为 Caspar 和 Dreyer 一再引用，见 Dreyer, p. 385。

山大学派的观测者感到困惑，以后普列尼(Pliny)又称之为“不可观察的”。现在利用第谷的精密系统的观测资料，开普勒竟然做出了这颗行星的运动的理论解释。为了寻求宇宙的构造图景，开普勒采用了哥白尼理论，发展了正多面体的“内切外接”模型。从这个模型出发，为了寻求理论和测量的一致性，开普勒发展了椭圆轨道理论。把椭圆轨道试以其他行星，更显出这种替代绝非仅对火星有效，而是普遍通用的：这一结论后来被称为开普勒第一定律。以哥白尼的日心图景发展起来的开普勒理论既然被第谷的测量资料所证实，事情似乎就彻底解决了。

其实恰恰相反。我们还记得哥白尼以及开普勒以前所有天文学家选用圆轨道的道理：因为圆是这样一种奇妙的图形，其上每一点与任何另一点都绝对相同；对圆周运动来说每一点都是起点，每一点都是终点，所以这种运动可以无始无终，所以这种运动可以没有原因，所以这种运动是永恒的。而正是这一特点，使圆轨道成为天体运动的唯一可能的轨道，不然的话，我们就必须不断说明为什么运动的速度和方向时时变化，而这些参数既然时时变化，运动为什么又是永恒的。换言之，开普勒的替代，抛弃了圆轨道，求得了理论与测量的一致；作为这一成功的代价，他发现他对问题所作的解答提出了一个新的问题，或许是一个更难回答的问题，即天体运行的机制是什么，或者说他现在要回答一个关于椭圆轨道的力学原因的问题，而这个问题对于圆轨道来说是根本不存在的。

当测量与已有理论表现出“挥之不去”的不一致时，测量往往比理论表现得更加执拗。这种情形在科学发展中有异乎寻常的意义。“异乎寻常”这个词在流行的库恩著作的中译中均被译作“反常”。这种“反常”被认为是科学危机和革命的重要标志。库恩说，“在两种理论的斗争中，测量可能是威力巨大的武器”(第 209 页)。

显然，从托勒密到哥白尼再到开普勒，天文学是大大地变化了。这是科学史上少数几个最重大的变化之一，它于人类的宇宙图景，于科学，于认识论，于哲学必有其特别的意义。这意义是什么呢？

“在晴朗之夜，仰望星空，就会获得一种愉快，这种愉快只有高尚的

心灵才能体会出来。在万籁无声和感官安静的时候，不朽精神的潜在认识能力就会以一种神秘的语言向我们提示一些尚未展开的概念。这些概念只能意会，不能言传。”^①这种不朽精神的潜在认识能力在科学发展的异乎寻常的时刻向我们提示的尚未展开的概念，就是库恩现在要展开的论题。

三、“科学共同体”的“意见一致”和“范式”

1959年春的“科学人才识别会议”上，库恩散发了一篇文章，讨论测量问题，这在上两节已作了讨论。与此同时，他还在会上作了一个简短的发言，题为《必要的张力》，讨论科学中的传统和变革^②。参加这个会议的时候，正是库恩最初构思后来让他成大名的《科学革命的结构》的时候，所以这两篇文章对于了解库恩关于“结构”的早期想法有很重要的意义。

细看《张力》和上面谈过的《测量》两文，发现它们的确是姊妹篇。虽然说谈论的内容似乎颇不一样，其旨意却相去不远，两文均论科学发展中看来相矛盾的两个方面：与理论相合的常规测量和与理论不相合的非常规测量；与传统相合的渐近式理论和与传统不相合的变革。其或有不同者，大概是前面一篇例证多，谈论科学发展的历史实例多，后面一篇则更加理论化，哲学意味更重一些。

这时，库恩已经明确地提出了科学发展的两种不同模式，在这两种模式中，他认为，思维的模式首先不同：一为“收敛式”，一为“发散式”。库恩为自己设立的目标或主题，是讨论这两个模式的关系问题。如果从历史的角度上看，它们是前后相继的，那么就是它们的衔

① 康德：《宇宙发展史概论》，上海：上海人民出版社，1972年，第223页。

② 《必要的张力：科学研究的传统和变革》，收入《必要的张力》，前引文集。黄亚萍译，在中译本第222—238页。原文第一次刊于C. W. Taylor, *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent*, Salt Lake City: University of Utah Press, 1959, pp. 162 - 174. 在收入论文集时，作者未作实质性修改。

接问题。

主题展开不久，库恩即未加定义地引入了一个概念——“科学共同体”^①。其确切涵义为何，只有从他其他阐述中去揣摩，或者由读者自己体验。这种写法颇是库恩著作的一个特色，而以他同时代的评论者而言，则毁誉参半。称之者谓这种做法可以留出足够空间作进一步发展，使得概念更具启发性；訾之者则指其缺乏明确性、精确性，任意东西，引起讨论的困难。

以至此为止的库恩理论来看，“科学共同体”在狭义上说就是一时在一个领域中的大部分科学家结成的一个人群。这些人从事相类似或相关联甚至是相同的研究，经常交流；他们的见解未必统一，或者常有分歧，可是他们总有共同承认、信赖的理论和事实，或者说有共同的语言和基础使得他们可以就他们相互不同意的部分加以争论。一如一群学童在争论是非，他们可以在孰是孰非上各执己见，但他们有共同的老师，并同尊老师所教导的是非原则为他们的原则。问题是谁更正确地发展、发挥或者运用了老师的原则。如果有一顽童杂厕其间，他认为老师所述的原则也不必予以重视遵从，则辩论即无法进行，或者说这一顽童不为此一科学共同体所包含，即所谓“不可与语”也。

这种“老师所教导的原则”在库恩看来，在科学史上表现为教科书。细看现代、近代科学家的个人成长道路，无不是由教科书“教”出来的。这些教科书为学生提供本专业的主旨和概念结构。库恩注意到（第226页），教科书并不提供解题的方法，而只提出“范式”即例题，要求学生用自己的纸和笔，或者在实验室内重新演习那些“无论是在方法上还是在实质上都十分接近于教科书的”题目。库恩称这种训练方法为一种“收敛式”的思维训练，以期在这些现在的教科书使用者、将来的科学人员中建立一种精神氛围，使他们的观念趋向一致。库恩特别用了一个德文字来形容教科书对其读者的作用。他说，教科书所产生的，是一

^① Scientific Community 译“科学共同体”，如上引书；也有译“科学群体”，如林正弘：《伽利略·波柏·科学说明》，台北：东大图书公司，1988年，第90页。如果各种译文并无实质上的差异，本文将不再一一注出，而自动采用所引用的译者的译法，以免枝蔓。

种 *Einstellungen*^①，即一种调节，使其读者的注意力、处理方式和看问题的态度趋于一致。库恩称这种教育是一种“根本不需要学生考虑、作出评估判断的”、“教条主义的”教育法。但是，正是这种教育法，这种定鼎于一尊、排斥任何其他考察方式的严格僵强的教育传统，在最具历史意义的革新中表现得“成果无比卓著”（第 227 页）。

这是怎么一回事呢？这种模式为什么会这样成功呢？库恩用光学的例子加以说明。自从牛顿关于光的理论以来，物理学在回答“光的本质是什么”时发生过三次明显的变革。先是以牛顿的粒子说为基础的“光是粒子”，再是 19 世纪中叶起的“光是一种波”，最后是 20 世纪 20 年代起的“光是兼具波动和微粒两重特性的一种实体”。库恩认为，不管这些“前后相继的传统中各种次要变化如何”（第 227 页），我们关于光的本质的观念是由牛顿开始的。这些都体现了意义明白的范式的作用。

库恩在这儿未经任何准备即采用了“范式”一词。这个词对于库恩后来的思想发展以及库恩理论的传播起了无比重要的作用。但是，正如“科学共同体”的观念一样，“范式”从来没有被清楚地定义过。在下一章中，我们还有机会讨论这个概念。而就眼前的主题而言，“范式”一词即在语言学词典所定义的意义上使用。

库恩引用伐斯科·让奇（Vasco Ronchi）的《光学史》^②为他讨论的主要依据。让奇的书是从“希腊罗马”开始，一直讲到现在的。在牛顿以后的发展，只占了全书八章中的五、六、七三章。在牛顿的模式出现以前，对光学的研究是完全不一样的；其中最突出的，就是物理光学研究始终没有成为单一的学问，而光的本性也没有占到光学研究的中心地位。——光的本性问题上有很多不同的观点，各自有一些持久的学派，他们从来没有达成什么一致的意见。这种意见纷繁杂陈，各人可以灵活

① *Einstellung* 一词，意为“调节”，“调整”从而使注意力或别的被调整的东西汇聚一处，其英文相关解释是“adjustment”、“focus”等，见，例如，Harper Collins 德英词典。

② Vasco Ronchi, *Histoire de La Lumière*, Paris: Librairie Armand Colin, 1956, Traduit par J. Taton, 原文为意大利文，库恩用的是法译本。本书似乎没有英译本。与本论题关系最直接的中文参考书是苏联人 B. И. 斯杰潘诺夫《光学三百年》的中译本，北京：科学普及出版社，1981 年。

对待自己专业的阶段，当然可以产生不抱偏见、对新现象敏感的研究者，但另一方面，历史给人的印象是，在这一时期，物理光学进展甚小。

库恩认为，大部分自然科学在文艺复兴前后所达到的“意见一致”的境界对自然科学发展极为重要：

历史强有力地向我们提示，虽然人们没有取得坚定的一致意见也能从事于科学实践——像从事哲学、艺术、或政治科学一样——但是这种更灵活的实践不会产生近几个世纪我们所习见的科学迅猛发展的模式。（第 221 页）

这种科学共同体中的意见一致，在库恩看来，是一种发展的模式。但是科学共同体分享一种一致意见，又不是一成不变、不进化、不运动的。在某些“相当特殊的条件下”，科学共同体的某些成熟的成员会“停下来检查其他不同的解释方式或实验方式”。

纯科学是旨在理解自然的智力活动。当科学传统一旦建立，科学工作大部分就表现为“试图调整现有理论或现有观察，使之越来越趋于一致”（第 230 页）。这种被库恩未加说明地称作“基础科学的常规研究项目”的东西，常常耗去科学家毕生的时间精力。这时，科学家不是革新者，而是释疑者。

但是，这种由传统确定方向，在高度约束状态下工作的人，怎么会容忍新思想的产生呢？库恩在这一篇发言中未作充分的展开——也许当时他还没有考虑成熟，因而未能作充分的展开。但是，他至少提到了有关的三个方面：首先，“新理论并不是从什么绝异于旧理论的‘全新’中产生出来的。相反，它们是从旧理论中渐次显现出来的；它们是从关于这个世界所包含的，甚至不包含的现象的整套的老旧观念中产生出来的”（第 231 页，译文有改动^①）。其次，一旦科学传统不再能维持，

^① 原文中库恩用了一个拉丁文词组 *de novo* 来强调他的意见。为了传达他的这种特殊加重的语气，译文改得比较松散一些，希望能达到预期的效果。

“发展总是从一种一致意见转向另一种”(第 229 页),即这种转换所涉及的,常不是个别的科学研究者而是整个科学共同体。最后,既然科学研究的“范式”常有很大的宽容性,换言之,科学研究者的主要工作是在范式规划的范围之内调整科学理论,既然与范式不相一致的反常并不一定常常导致对范式的放弃,那么什么时候该固守旧有传统,什么时候该寻求新的范式呢?换言之,什么时候“述旧”较好,什么时候“编新”较好呢?这个问题绝不容易回答,因为“基础科学最根本的进展正是依赖于对这种困难和危机的识别”(第 231 页)。因此,评估和识别反常成了科学发展的一个重要因素。在这个意义上,库恩回到了他早先提出的中心论题上,即科学要求——

一个成功的科学家必然常能同时显示维持传统和反对崇拜偶像这两方面的性格。(第 225 页)

这就是科学发展、前进中最精粹的、和科学的本质不可须臾或分的“必要的张力”,库恩后来以此为他的唯一的科学史、科学哲学论文集命名。在他看来,科学中的传统和变革即构造了科学前进的相反相成的两个方面,它们并非简单地相互排斥,而是在相反的方向上工作,从而展现出一种张力。这种张力规范了科学的前进。

四、再论科学共同体的意见一致

在上三节讨论的犹他讲演中,“科学共同体”和“意见一致”是两个重要的概念。或欲以前者定义后者,或欲以后者定义前者。很容易发现,这两者不能区分孰先孰后,并不能在逻辑上定出高下。论者或因此诟病库恩概念的含混。事实上,库恩科学哲学的最重要的特点是它与科学史的血缘联系,从逻辑上审查,自然不如从历史事例中理解来得合宜。这也正是本书常追述大量历史事例,不厌其详的一个原因。

较之犹他讲演早些时候，库恩写了《能量守恒作为同时发现的一例》^①，这篇文章后来被他的同行评为“确立库恩科学史家地位的”关键性一文。这篇文章是一长列库恩关于热力学研究，尤其是关于 S·卡诺的研究的结果^②，又是“科学共同体”及其“意见一致”的概念最清晰的阐发，对理解库恩哲学有很重要的意义。

早在阿基米德时代^③，物理学就注意到，提举或移动重物的过程，并不能单用“力”一个概念来描述讨论。要完整地研究这一类现象，必须加上重物实际移动的距离。而且，在这样的过程中，为了达到相同的效果，“力”并不一定要是相同的，“距离”也不一定要是相同的，事实上存在有多种途径可以完成相同的任务。比如提举重物，可以直接用手抬，也可以利用杠杆，也可以利用滑轮。在这些情形中，“力”有大有小，力所作用的“距离”有长有短，但力与作用距离的乘积，后来叫做“功”的物理量，对于某一个指定的任务而言，却是不变的。阿基米德发现，种种机械对人的帮助，或者是以延长作用距离来换取作用力的减小，或者

① 最初为 M. Clagett 主编的 *Critical Problems in the History of Science*, Madison: Univ. Wisconsin Press, 1959 中的一篇，见该书第 321—356 页，后收入《必要的张力》，中译本见前引版本，第 67—102 页，罗慧生译。

② 库恩关于卡诺(S. Carnot)的研究，起步甚早，自成体系。先是 1955 年对“卡诺循环”的研究，见于 *Amer. J. of Phys.*, 23, 91—95; 23, 387—389; *Isis*, 49 (1958) 132—140。写完本文后，意犹未尽，1960 年再作关于卡诺的报告，后刊于 *Actes du IX^e Congrès d'Histoire des Sciences*, Barcelona: Asociación para la historia de la ciencia española, 1980, pp. 530—535。最后还在热机上再著一笔：“Sadi Carnot and the Cagnard Engine”, *Isis*, 52 (1961) 567—574。从这张简略的目录上即可看出，库恩对热力学的历史研究，同他早年对化学和哥白尼天文学的研究一样，对历史发展的主要线索甚为留意，涵盖也广。本书未能充分介绍库恩在这一方面的工作，实属作者一大遗憾。简志于此，以俟将来。

③ 能量守恒定律早已是科学史家注意的论题。在能量守恒定律进入物理学还不到 25 年时，英国学者 B. Stewart 就已经在追寻这条定理上溯至赫拉克利特(Heraclitus)时代的历史根源了，见氏著 *The Conservation of Energy*, London: Henry & King & Co., 1874, 其第五章，特别是 pp. 130, 131—133, p. 135, pp. 140—141, 又论及焦耳, von Helmholtz, Clausius, 和当时科学界的领袖人物 Tait 和 Maxwell。稍后 E. Mach 作 *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, P. E. B. Jourdain 英译本, Chicago: The Open Court(同时也在英国出版), 1911。Mach 的书是近世最重要的关于这一专题的研究。库恩的文章列出所有主要的原始文献，这儿自然不再重复。

是以加大作用力来省除长距离的移动,但不可能两者得兼。换言之,这叫做“省力不省功”。这个定律后来被尊为“力学的黄金规律”,成为科学常识,经过了 20 个世纪,再也没有有什么进一步的发展和讨论。

19 世纪最初 40 年,物理学在热学和电学方面取得长足的进展。先是 1843 年前后,焦耳发现机械功与热有一个固定的转换比例,即所谓“热功当量”是一个常数,然后又发现电流所做的功与热也成固定比例,于是当时物理学的三大门类一下子趋于统一。在焦耳同时,欧洲大约有十几二十人都得出了类似的结论——虽然其出发点和实验手段不尽相同,最后由德国人霍尔姆亥兹(Hermann-Ludwig F. von Helmholtz, 1821—1894)作了哲学性的阐述,物理学于是又多了一个量,用以形容不同的过程中不同的自然力的“做功的能力”,是为“能量”^①。

能量的概念是高度抽象的,所以这个概念的发明实在与它的“转换”尤其是在转换中守恒分不开的。正如不能谈论抽象的“人”的概念一样,能量也总是具体的,即总是以一定的形式,或热,或电,或机械的,或化学的形式,表现出来。在各种形式的转换之中,能量总量不变,这就是“能量守恒定理”。库恩 1957 年研究的,就是这个定理的发现情形^②。

库恩注意到,1842—1847 年间,四位欧洲科学家先后发现了这一定理。如果把表述形式的要求和普遍性放得宽一些,还可以把这张“同时发现”的名单扩大到十二人或更多(第 69 页)。库恩问道,为什么在 1830—1850 年间会出现这样令人惊奇的“巧合”(第 72 页)呢? 他从三

① “能量”(energy)一词进入英语颇早,其词根是希腊字 érgon,意为“工作,做事”。前缀 en-,意为“在……”“正在……”,共组成一个词 energōs。这个词亚里士多德曾在他的《修辞学》中用过,意为“一种能使事物活动起来或运动起来的東西”。随后这个词进入拉丁,取 energīa 的形式,再由晚期拉丁转入英语,时在 16 世纪。到 19 世纪科学界煞费苦心寻找一个合适的词,以扩充力学中原有的 vis viva 的概念时,energy 自然是最能表达我们现在所熟悉的“能量”的意义的词了。

② 这一发现情形,尤其是 19 世纪相关的科学背景,见 P. M. Harman, *Energy, Force, and Matter, The Conceptual Development of 19th Century Physics*, Cambridge: Cambridge University Press, 1982, 尤其是第三章。

个方面作了研究。

一是实验已经提供了这些能量转换的实例，自然引起科学家的广泛注意。先是被作为孤立现象加以注意，嗣后与其他不同领域中的实验事实加以对比，明白了能量实在是一个贯穿物理学各个分支门类的基本量。

二是对热机的研究。从卡诺起，欧洲科学家为当时从英国迅速发展开来的产业革命所鼓舞，普遍重视热机的研究。这些研究最后的理论果实就是热力学。库恩注意到，“发动机本身就足以导致〔能量〕转化过程这一概念”，而“发动机设计概念”又很容易转化为“比较抽象的能量守恒问题”（第 90—91 页）。

三是自然哲学的影响。库恩注意到这些先驱者中，德国人占了很大的比重。他认为这种高度抽象的关于能量守恒的表述，有赖于科学家的哲学训练。当时正是德国的自然哲学，由谢林、费希特和康德所倡导的关于整个宇宙、整个自然现象的理性理解、系统化、理论化的最后阶段。这些科学家中的大部分人都在不同阶段接受过这种哲学教育。库恩指出，如果不把这一因素考虑进去，这种发现在区域上的巧合“就很难解释”（第 99 页）。

库恩对这三个因素的分析，意在指出“在 1850 年前的二十年中，欧洲科学思想界的大气候中即包藏有一些因素，这些因素能引导敏锐而善于接受新鲜概念的科学家用一种意义深远的新观念来考察自然”（第 69—70 页，译文稍有变动）。先是，1800 年伏打发明电池，这在今天看来，就是化学能与电能的转换，再是奥斯特 1820 年发现的磁能产生动能，这与古代就知道的摩擦生电恰相对称；紧接着 1822 年西柏克 (Seeback) 发现现今称作热电偶的现象：把不同的金属接在一起加热能产生电流；再是 1831 年法拉第的一系列电学实验，感生电流的发现真正明白指出了运动和电流的关系；与此同时，麦洛尼 (Melloni) 花费十年时间 (1827—1837) 证明了光和热辐射的同一性，整个电学研究——当时最新、最引人注目也是最令人困惑的研究，强烈地提示了一种与运动或“功”相关联却又远远较一般的碰撞、运动来得抽象的东西，

结合了热功当量的研究,整个科学界在不同的方向以不同的方式接触到了这一件事,即能量的概念。

库恩在这儿谈论的,除去他明白列出的对能量守恒有过明白表述的科学家之外,至少还提到了另外二十多人。这些人,正如库恩所说,他们的研究主旨,他们的表述往往并不一定是同一事物。但是以我们上节讨论的“科学共同体”而言,他们则是一个典型的例子。这一群科学家的教育背景相近:他们都是在相类似的教育原则下成长起来的。他们共同遵从牛顿的物理理论,他们采用相同的数学工具,实验在他们的研究工作中占相同的地位,如此等等。这一群科学家的工作又是可以沟通的,他们未必完全相互了解别人的工作,但别人的工作对他们来说是可以理解的,在技术上也是可以想象的。最后,这一群科学家在哲学上的观念也相近;他们自己未必一定同意这一点,但后世的历史学家或者任何认真读过他们的著作的人绝不会怀疑这一点。他们都相信物理世界外在于人,而且这个世界有一定的规律,即不是完全随机的;更进一步,他们都相信这种规律可以为人所了解和理解,并且可以通过数学和实验方法完成这种了解。所有这些,使得现在所谈论的科学家构成了有别于他们当时世界上其他人,也有别于历史上其他科学家的独立的一群。因此,可以称他们为一个“科学社群”,或者叫“科学共同体”。

既然这个共同体有如此多的共同特点,经过一段时间,自然能对他们所共同研究的东西,小到具体项目,大到整个自然,取得相当一致的意见。既然教育的背景、崇奉的原则、论证的方法、判断的标准,乃至语言习惯有如此多的一致,在研究中即使暂时不一致,也总能辩个是非出来,此所谓“自有公论”者是。这种意见一致是科学共同体的一个产物,但反过来又加强了科学共同体的社会组成。这样看来,科学共同体的构成、意见一致的达到,又和这个共同体内部的信息沟通切切相关。没有意见的交流,自然没有办法比较意见是不是一致。所以,“科学共同体”、“意见一致”与“沟通的可能性”实在是从三个方面探讨了同一科学家群体的现象。库恩的《同时发现》一文正是研究群体的,自然最能顺

畅地阐发这些观念。

但是这种“意见一致”又不是如同宣言一般的条文，而是一种默契，一种不言而喻的相互理解。这种理解又不是抽象的，而是通过对各人具体工作的观摩品评来领会的。既然要通过个人的和各人的工作实例来领会，这种“意见一致”就不是教条，就不能巨细无遗地形诸笔墨，是所谓“运用之妙，存乎一心”了。不难想见，这种“一致的意见”在各人手里又小有差别，在一个人手里随时代先后也可能小有差别，这是我们从上面的推论中顺理成章地得出的一个附带结论。我们以后会看到，这种小差别在科学史上有重要的意义。

五、“范式”及其转换和科学革命的结构

在 1957 年《哥白尼革命》出版到 1962 年《结构》出版的五年中，库恩最后完成了他关于科学发展进步的理论。这一理论的系统阐述，当然是日后出版的专著《科学革命的结构》，但重要的观念却散见于这五年中的各篇著作或会议文献之中。前四节以库恩的犹他大学会议文件和一篇杂志文章，研究了他关于常规科学的观念、范式的观念和科学共同体的阐述。本节紧接上文，研究他的一篇书评和另外一篇论文。两者发表时间约略相差两年半，但讨论的问题颇有相通之处：它们所研究的都是范式的变动情形，或可戏称为“动态研究”，以与研究范式在形成后对科学研究的“静态作用”相对称。

先是，哥伦比亚大学历史学家林恩·肖恩戴克(Lynn Thorndike)穷五十年的精力，专治古代科学史，至于 1958 年，题为《幻术与实验科学史》皇皇八巨册出齐^①，足以与萨顿(G. Sarton)的《科学史导论》前后辉煌。库恩必定对其最后两册有特殊的兴趣，遂以书评的形式细致地

^① Lynn Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, N. Y.: Columbia Univ. Press, 1921 - 1958。到 1941 年先出前六册，自成体系。库恩所评的七、八两册，处理 17 世纪，较前六册成书稍晚。

探讨了与之有关的一些问题^①。

库恩首先注意到，肖恩戴克的工作是建立在扎实的史料研究之上的。这种或者可以称为“老一代史学家”的治史方法，的确使年轻史学工作者瞠目：单以全书处理 17 世纪的第七、八册而言，肖恩戴克就引述了 1 600 多位 17 世纪学人的著作，其中半数以上还摘引了原著。这种以史带论的做法的一个明显的好处是能为读者提供一个比较完整、全面的图画。读者可以不同意作者的分析，但是仍旧可以从这类著作中感受到几百年前学术的意趣气息。库恩特别指出，这种做法避免了以现代科学为模板或为目的的按图索骥式的“倒写历史”，有利于重现当时的风貌。在肖恩戴克笔下，17 世纪的关于自然的研究就不再是后来科学的不成熟的、未完成的模型，而是一个胎儿：它同以后长成的个体不是仅仅形态上肤浅的相似，而是有通过发育渐渐展示出来的一种深刻的联系。“肖恩戴克教授迫使我们认识到，这种长成情形较之我们想象的要复杂多少倍。十七世纪关于隐秘幻术奇迹的文献汗牛充栋，而蕴藏其间的观念绝不是一个已经消逝死亡了的世界留下来的残碎的遗迹，亦非人类智力中无知与保守赖以苟延残喘的避难所”（第 54 页）。他注意到，开普勒的著作中，火星运行的三大定律与星座符号的神秘意义不仅是兼收并蓄，而且是一种和谐的共存，是一种不可以劈裂的共存。我们今天阅读开普勒著作时最感困惑的关于行星的音乐，宇宙的和谐的理论，与行星运动的椭圆轨道、轨道半径与运行周期的 $3/2$ 次方定律是同一套基础理论的产物，正如脐带、胎盘、羊水和胎儿本身都是同一位母亲的产物一样不可须臾分离。“几乎没有什么观念事实上被完全拒绝”（第 54 页），而与此同时，新的科学又在长成。

17 世纪前后科学上的变革是如此的明显，任何人只要读一下这个时代的科学文献，马上就会感受到时代的差异。被开普勒著作中神秘的符号、音乐的和谐弄得昏昏欲睡的读者，翻开伽利略的著作时会“本

^① Kuhn, *Manuscripta*, 3 (1959)53-57.

能地感觉畅快”^①。但是，开普勒和伽利略又绝不是新旧世界的代表、不共戴天的对立面。恰恰相反，他们书信往来，共同讨论宇宙体系，互有发明。对他们两人说来，对方可能并没有如同我们今天所见的那种令人惊异的不同。长年以来，对于科学的发展有两套历史哲学理论。一套主渐进，以为科学知识是慢慢积累起来的。事实资料既多，理论也就渐渐进步。另一套主突变，以为人对自然的认识，常作假定形式。一旦这种假定被证明与事实不合，理论即被推翻，科学家则必须再重觅合宜的假定，重建能站得住的科学理论。

库恩从肖恩戴克的非常细致的历史学研究中看到的，似乎不是这两种情形的任何一种。在16—17世纪时，西欧正经历一场深刻的科学思想大革命。这一阶段导致了所谓的近代科学的产生。但是这场革命究竟是怎样的，其来龙去脉是如何，竟是没有谁能说清楚。库恩现在所能看见的，根据他关于“范式”、“科学共同体”的说法，是一种“范式”形成，从无到有的情形。但这一过程究竟如何，现在库恩还没有明了。从肖恩戴克的巨细无遗的研究中所能看见的，只是一幅五彩缤纷的图景，线索似乎并不清楚。库恩在他的书评中不无遗憾地指出，由于印刷书籍的产生与迅速发展，书籍以及其他文字资料的数量变得如此巨大，一项研究牵涉的文献动辄数以百计，要概括一个时代真还不容易（第55页）。库恩现在所能得到的唯一比较靠得住的结论就是，科学的发展、范式的形成与变更是非常复杂的过程，绝非一瞬间或一个内容单纯的短时期可以概括。要深入了解科学史，要真正理解科学史的哲学意义，必须研究科学革命的“结构”。

最早谈论结构问题的文章发表在1962年的《科学》杂志上^②，比专著的出现早不了几个月。这篇文章同上面引述的书评都是谈范式变更

① 丹皮尔(W. Dampier)语，见氏著《科学史及其与哲学和宗教的联系》，北京：商务印书馆，1975年，李珩译，张今校，第195页。这个译本是根据丹皮尔第四版译出的。丹皮尔的书最初出现于1929年，第四版为Cambridge University Press在1958年印行的。

② Kuhn, "The Historical Structure of Scientific Discovery," *Science*, 136(1962)165-177, 后收入 *The Essential Tension*, 前引版本，中译见《必要的张力》，前引版本，163—175页，刘珺珺译。

的，所不同的是，在“书评”中重点在从无到有，阐述也不甚明白，而现在是在谈一个范式向另一个范式的转换，而且经过两年的检讨，叙述讨论已近乎成熟。库恩的论述是以氧的发现为典型例证展开的，为此这儿先回顾一下氧发现以前化学的发展以及氧的发现的戏剧性的故事^①。

燃烧从来是一个引人注目的现象。从实用方面说，人最重要的两件事——温暖和光明，均系于斯，更遑论闪耀跳动的火焰曾勾起过多少才子佳人的激情，曾启迪了多少学者哲人的沉思。中世纪炼金术既兴，火、燃烧以及与此有关的变化，更成了这一门隐秘科学的研究中心。一个能概括燃烧的理论，自然为进一步研究所必须。

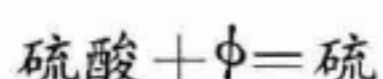
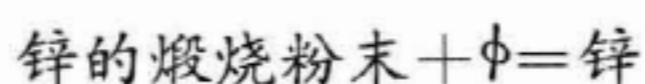
17世纪60年代，比切尔(J. J. Becher)提出一个理论，把三种炼金术士所熟悉的“质”，即“硫质”、“汞质”和“盐”抽象化为三类，即 inflammable、mercurial 和 vitreous，其中第一种即为“可燃质”。他的理论引起了另一位学者，出生于安斯巴克(Anspach)的斯塔尔(Georg E. Stahl, 1660—1734)的注意。1703年，斯塔尔把比切尔的书注释后再版，并把比切尔的理论写入了他1723年出版的著名教科书 *Fundamenta Chymiae* 即《化学初阶》。在他的书里，斯塔尔把比切尔的“可燃质”进一步抽象化为一种特别的“质”，写作 $\phi\lambda\omicron\upsilon\iota\sigma\tau\omicron\nu$ ，常简写为 ϕ ，因为他在拉丁化文字中找不出合适的字来代表“火之质或燃烧之原，但不是火焰本身”这么一样东西。

很多科学史家认为，斯塔尔对火或“火之质”的理论概括得益于牛顿。事实上，17世纪整个物理科学的气氛的确是力图以机械的观念来说明自然现象——这一思潮后世称为“机械哲学”。按这种观念，物质

① 库恩在原书中给出的史料参考资料是 A. N. Meldrum, *The 18th Century Revolution in Science*, Calcutta, 1930; 而另一“颇可信赖的”研究是 J. B. Conant 的《案例研究》，我们在前面曾讨论过该书。另外还有 M. Daumas 的 *Lavoisier*, Paris, 1955 和 H. Guerlac 的一篇论文，最后还有 J. R. Partington 的《化学简史》。下面的科学史补白在总体上采用 H. Guerlac 后来的一本书, *Lavoisier, Chemist and Revolutionary*, N. Y.: Charles Scribner's Sons, 1975, 间或加入其他各书的材料。这样做一则是因为 Guerlac 的资料最新，涵盖了以上各项研究，二也因为 Daumas 和 Partington 各为法国人和英国人，在 Lavoisier 和 Priestley 的问题上，各为其主，不无偏颇，而优先权的问题与本文关系不大，我也不想以此影响主题，致使枝节蔓生。

的性质必可由机械的原因来解释。我们先前看见的牛顿、波义耳力图用微粒的微观形状，如针尖，如孔隙，如匙与锁，来解释化学反应。现在，斯塔耳提出一种“质”来对“可燃性”这一性质负责，自然顺理成章，很快为大家所接受。

按斯塔耳的理论，金属如锌在煅烧以后变出灰末，实在是因为燃素 ϕ 在高热下逃逸，而所余者只是没有燃素的锌的“尸体”。对于非金属说来，我们今天所说的含氧酸则是基本的，而非金属元素恰是含氧酸在被夺走燃素后剩下来的残余。比如硫酸，是硫在燃烧以后生成物加水生成的。在斯塔耳看来硫则是硫酸与燃素的合体。用类似于今日的化学反应式来描写这两个变化，则有



燃素理论在 18 世纪上半叶的巨大意义是，一如法国化学家马克尔 (Pierre J. Macquer) 所说，提供了分析、解释一大类化学变化的“最切实的指导原则”，而“每日每月所进行的无数的实验”亦都在证明其正确。在 1749 年出版的教科书里，他对燃素说作了详尽的发挥和阐述。这位 27 岁即当选为院士的领一代风气的化学大师，还以相同的理论基础编写了他著名的《化学辞典》。用我们所关心的库恩理论的术语来说，这为燃素理论指导下的化学研究构造了范式。

现在令化学家心醉的一项工作就是分离出纯净的燃素来。大概在 1770—1773 年间，瑞典人席勒 (C. W. Scheele, 1724—1786)^①最先注意到把汞的氧化物加热，可以得到一种无味的气体。这气体与“普通空气”未见大不一样，只是蜡烛在其中燃烧时显得更加明亮而已。1777 年他写了一本书，系统地讨论了这种“火焰空气”。他注意到氢在空气

① 库恩自注 Scheele 的资料主要来自 J. R. Partington《化学简史》，2nd ed.，London, 1951 (*Essential Tension*, p. 168)。该书有胡作玄中译本，北京：商务印书馆，1978 年，唯该译本是以原书第三版(1957)为基础译出的。

中燃烧,会把空气中的“火焰空气”成分烧掉。但是被烧掉的火焰空气变成了什么,却使他百思不解。他在做实验时,用的是排水集气法。热水在烧瓶壁上形成的水珠把氢和氧燃烧时生成的水珠掩盖掉了,所以在实验前后他所能注意到的唯一变化是大量生成的热。于是 Scheele 自然解释说:

“火焰空气”+燃素 ϕ = 热

从而造出“火焰空气”的实验就可以写成:

汞的渣滓 + [ϕ + 火焰空气] = [汞的渣滓 + ϕ] + 火焰空气

这儿 [ϕ + 火焰空气] 正是热,而 [汞的渣滓 + ϕ] 正是汞。席勒的理论与实验结果相合,所以在追寻燃素本身的道路上化学家又真正前进了一步,他们现在明白:

ϕ 燃素 + 火焰空气 = 热

席勒以后不久,英国人普利斯特雷(J. Priestley, 1733—1804)^①在1774年8月以基本上相同的方法获得了氧。据他自己说,这一发现似乎颇是意外的幸运。先是,伦敦科学仪器制作名匠柏克(Parker)送了普利斯特雷一块直径12吋、焦距20吋的大透镜。普利斯特雷随即兴冲冲地利用这块透镜到处试验,想看看“各种各样的、天然的或人造的物质会产生出些什么样的气体”。在用氧化汞,当时他称为“锻汞”的红色物质试验时,他发现大量的气体逸出。普氏很快发现,这种气体不溶于水,因此可以很方便地利用排水集气法收集起来,从而有足够的数

^① 关于 Priestley 的资料,本文除上述《化学简史》之外,更多地利用了同一作者的《化学史》,v. 3, ch. VII, pp. 237 - 301,特别是这一章的前半段: J. R. Partington, *A History of Chemistry*, London: MacMillan, 1962。

量为他的进一步实验服务。

用大透镜聚光加热氧化汞与席勒的直接加热在化学原理上没有什么不同,但在实验技术上,前者要方便得多。至于席勒和普利斯特雷同选用氧化汞为试验对象,似也不能完全说是偶然巧合。事实上,红色氧化汞变化多,且变化现象最具戏剧性,早在炼金术、炼丹术研究中,就引起了很大的注意。在席勒,普利斯特雷时代,这种有毒的氧化物出现在化学实验室里的机会比今天我们看见它的机会要多得多。

普利斯特雷和席勒一样,首先注意到这种新气体对燃烧特别有贡献,火焰明显地变得更加“生气勃勃”。半年以后,普氏又让两只小白老鼠生活在这新气体中,不仅未见异样,而且这两只小动物活得比在普通空气中更好。普氏最后自己试吸了几口这种新气体,颇觉舒适,“胸气特别轻畅”。他立即想到,“若干年后呼吸这种新气体可能会成一种时髦的享受,虽然到目前为止只有我和两只小白鼠有幸享用过”。既然火焰在这种气体中特别明亮,燃烧特别热烈,普氏利用燃素理论指出,这种气体一定是燃素的有力的吸取者。当蜡烛燃烧,放出燃素时,这种气体迫不及待地吸收燃素,燃烧从而进行得特别迅速。据此,普利斯特雷称这一新气体为“去燃素空气”,时在1774年上半年。

1774年10月,普利斯特雷以随员身份陪同舒尔本(Shelburne)爵士访问巴黎。在一次晚宴上,Priestley提及了他关于“去燃素空气”的实验。据普氏自己说,“当时所有在场的宾客,包括拉瓦锡(Lavoisier)夫妇,都表示极为吃惊”。

法国人拉瓦锡(Antoine-Laurent Lavoisier, 1734—1794)最初研究地学,以关于石膏矿的工作为人所知。稍后,被提名进入法国科学院,时仅25岁。1766年,他在阅读柏林科学院的《通报》时留意到欧勒(J. T. Eller)的一个猜想,即空气可能不是如亚里士多德所说的“原素”,而是“水和火质”的结合物。1768年,他更注意到有些发泡反应会制冷,他猜想这是因为与火质结合空气被释放出来了。至于1774年,法国化学家巴扬(Pierre Bayen)和嘉西古(Cadet de Gassicourt)在研究水银红色烧渣时发现,并不一定要加入富于燃素的物质,如木炭,而只要持续

对这种“红色烧渣”加热，即可获得一种金属。而按燃素理论，金属是燃素和烧渣的结合物，这一实验结果就使化学家深感困惑。法国科学院于是组织了一个委员会，拉瓦锡亦厕身其间，来检查这一结果。

是年秋，拉瓦锡又接到席勒的一封信。在信中，席勒通报了他用加热碳酸银的方法制得氧气，并要求拉瓦锡用蜡烛与小鼠试验此种气体的性质。正在这时，普利斯特雷来访，在宴会上提及了他在实验中发现的、能使蜡烛更加明亮、能使小鼠呼吸更久的新气体，自然会令拉瓦锡“吃惊”。

拉瓦锡在 1774 年 4 月曾做过类似的实验。他发现在密封容器中煅烧金属并不会使重量发生变化，这就否证了大约一个世纪以前波义耳关于“火粒子”在煅烧时透过容器与金属结合的假说。1775 年 4 月，在重做普利斯特雷，或许也有席勒的实验时，他发现煅烧金属重量增加了，而且金属也变成了烧渣。这就是说，如果坚持燃素理论，坚持金属是烧渣与燃素的结合，就必须假定燃素的重量是负的，换言之，物质与之结合将损失重量。

1779 年，经过四年的工作，拉瓦锡写出了论酸的文章，指出“空气中的一个最重要的成分”对形成酸有决定的意义。这一成分与多种非金属如碳，如硫，如氮结合成酸，与金属结合成金属烧渣。用希腊文字根，他称这一成分为 Oxigine^①，意为“我生成酸”，即今日我们所熟知的氧。

利用氧的概念，拉瓦锡系统地解释了燃烧、呼吸以及一大类化学现象。现在燃素就成了一个多余的概念了。其实，早在 1777 年他关于燃烧的第一篇总结性论文中，拉瓦锡已经开始攻击燃素说。到 1786 年，他已能对燃素说进行全面的抨击了。1787 年，他主持的《化学命名法》出版。这本命名法以氧化学说为基础，重新命名了当时所知道的化合物，列举了五十五种“原素”——其中当然没有燃素。紧接着，1788 年，拉瓦锡夫人翻译的科旺 (Richard Kirwan) 1784 年的《燃素论文集》出

^① 这个字到 1787 年 *Nomenclature Chimique* 即《化学命名法》出版时改写为 oxygène。

版。这本书从头到尾由拉瓦锡和他的氧化学说的支持者评注，可谓是对燃素学说的正面冲击。再下一年，1789年，氧化学派自己控制的刊物《化学年鉴》创刊。几乎与此同时，氧化学派另一位主将，拉瓦锡的学生福克瓦(Antoine de Fourcroy)撰写的半通俗读物《自然史和化学原理》出版。这本书非常畅销。两年后，1791年，出到第四版，1793年第五版，并被移译成英、意、德、西等主要欧洲语言。1802年，完全以拉瓦锡氧化学说和命名法为准的总结性著作，汤姆森(Thomas Thomson)的《化学体系》出版，宣告氧化学说对燃素说取代的基本完成。

1790年2月2日，拉瓦锡写信给美国科学家B·富兰克林，随信寄上他的新著《化学初论》，并解释他的氧化学说的益处：

对我来说这样阐述的化学较之先前的容易学得多。头脑未被任何体系理论充塞的年轻人很热烈地接受这一新体系，而年老的化学家则拒绝它。……法国化学家现在已分为新老两派，我这一边有莫福(de Morveau)先生、Berthollet先生、福克瓦先生、拉普拉斯先生、蒙奇(Monge)先生，以及科学院的大部分物理学家。伦敦以及英伦各地的科学家正渐渐地放弃斯塔尔的理论，但德国化学家仍抓住它不放。所以可以说，自你离开欧洲后，我们这儿，在人类知识的一个重要领域里发生了一场革命。^①

“一场革命”！这就是被科学史家称为“化学革命”的历史事件。即便是我们上面的非常简单的介绍也已显示出这一“革命”并非一蹴而就的——事实上，从科学史的其他革命来看，“氧—燃素”革命还是历时最短，最直截了当的。库恩所看见的，是这样的重大事件一定有一个自身发展过程，他称之为“结构”。

关于“结构”，库恩说有三件事，或者三个特征值得注意。一是反常现象的出现。在氧的发现中，燃素的负重量问题，被分离出的氧气不具

^① 译自前引 H. Guerlac 1975 年的书，pp. 111 - 112。

有当时科学家认为“应当具有的”惰性，等等问题，不一而足。二是反常出现以后，有一个“或多或少的扩展时期”（《必要的张力》，中译本，第173页）。这时科学家力图调整、修改他们的设想和仪器规格。第三个特征库恩认为最复杂，意义也最大，即新发现“在某种意义上”表现出“对于早先已有的知识的一种作用，对早先已熟知的事项提供新的看法，同时也改变了科学某些传统部分的做法”（第173页，译文稍有改动）。

怎么改变法呢？关键在那些领先的科学家在处理、研究反常时，“常常以不同的眼光看待周围世界和他们自己的工作”。在“氧”的故事中，这种“从新的角度去考察老的问题”，这种“消化新事物所要求的调整”非常深刻，“当这种调整越来越明显的时候，我们可以把它看作是科学革命”（第175页）。库恩认为，这种调整的深刻与广泛，就使得“科学发现的过程必须而且必然展示一种结构，因而在时间上也是延展的”（第175页，译文稍有变动）。



第五章

科学革命的结构

库恩关于科学革命的结构理论,当然是他学问的精华所在,或者也可以说是库恩之所以为库恩。其学术源流有四,试分析如下。

心物二分以后,“心”“物”的关系常是西洋哲学的一个大题目,是为认识论。科学作为人对外在世界探索与理解的前锋,自然备受关注,于是有种种关于科学前进的理论,培根以下,至于康德。把人对自然的认识作为一个客体来考察,而不是简单地把它规定为对外在世界的反映或外在世界的影子,是这种认识论研究区别于素朴反映论的一个要点,于是认识论研究才有意义。库恩所强调的,正是科学是人的认识,是人对外在世界的能动的活动,而不是被动的反映。因此有认识的组织、结构,有所遵循的方法和为之制约的规范。这一点,自康德以下,一气贯穿。科学或再推而广之曰人类认识是人作为认识主体与作为认识客体的客观世界之间的相互作用,而不是后者渐渐输入前者的单向变化。

库恩工作的一个特点是他与科学史的密切关系。这种关系由柯列依(Koyré)上溯到梅耶尔森(Meyerson)上溯到惠尔(W. Whewell),重点在于把哲学建立在历史研究之上而不是仅仅利用若干经过挑选的历史故事来为哲学论说增色。这种历史研究自然必须是精细审慎的、全

面的和巨细无遗的——如果可能的话。这种研究与上面谈的康德以降的哲学传统在库恩这儿最紧密地交织在一起,形成库恩的特色。于是历史不只是零散事件的总汇而表现出一种结构,而哲学不再是枯燥的教条而展现为一种对发展的沉思。

第三个源流是自20世纪20年代以来的科学哲学传统。尽管客观上库恩的工作对科学哲学有很大影响,甚至可以充当一个转折点,库恩的学问实在既非起于斯,亦非终于斯。科学哲学的讨论,辩驳诘难,则常使库恩的结构规范理论更为精细准确,并在1960年代末到1970年代末成为库恩哲学方面工作的一条主线,请于下文第八节稍作进一步的说明。

第四方面或可称为辩证法的影响。其作用至为间接,传递线索也晦晦然。我们注意到库恩奉为宗师的柯列依是黑格尔哲学专家,在欧洲复兴黑格尔研究;库恩心仪殊甚的梅耶尔森和丹麦哲学家霍夫丁(H. Höffding)交游最密,而霍夫丁,一方面承接黑格尔,一方面承接郭尔克加德(Søren Kierkegaard),实在是20世纪初年欧洲辩证学派的一个重要学者。在库恩的工作中,发展的观念始终是统领研究的主线,而“规范”和发展阶段分析的辩证本质又常是库恩哲学中最迷人和最具启发性的部分——当然也是常被误解和常被讨论的部分。下文试图从第七节和第六节某些部分的对比,提请读者注意这一微妙之处,但可惜无法再作进一步的展开,盖不敢枝蔓过甚也。

以上四端,对于库恩的工作,依不同问题、不同年代,影响自然不同,也不宜作等量齐观。库恩提出的见解与模式,也不是唯一正确的理论:他既补充别人,同时又被别人补充。科学史科学哲学由是丰富,我们对科学发展的认识也因此加深。

一、“科学革命”的经典理论

“科学革命”的概念不是库恩的创造。但究竟是谁在什么时候提出了这个概念,却不是一个容易回答的问题。据科恩(I. B. Cohen)

的研究^①，第一个提及类似观念的似乎是弗兰西斯·培根(F. Bacon, 1561—1626)，以后休谟、康德和19世纪西洋关心自然科学发展的哲学家亦迭有贡献。

培根生当16、17世纪之交，与伽利略约略同时。1620年，在他的名著《新工具》中，“科学”和“革命”两个词第一次合为一个新概念。他写道：

细检人类知识记忆所及的二十五个世纪，其中科学发展顺利，果实丰硕者差强六个而已。历史上荒芜的沙漠并不比地理上的少。只有三个学术时代宜乎称为革命：希腊人中掀起过一次，罗马人又一次，再一次即发生于吾人之中，即西欧各国之中。三次各自涉及大约两个世纪的时间。其间各个阶段，若以科学繁荣丰富来看，则不称焉。^②

《新工具》发表于1620年，上距伽利略关于木星“小太阳系”的观察不到十年，距开普勒的天文学工作不到二十年，距哥白尼约八十年，距哥伦布百三十年。知识的力量从来也没有如此令人信服地展示在人自身面前。《新工具》的扉页是一幅版画。透过一对柱头装饰繁富的门柱可以看见浩渺的大海，波涛汹涌，而怪兽隐约其间。画的主题是一艘鼓浪前进的大船：风好水极，扬帆致远，正是这个时代的精神。作为这个时代最具洞察力的先驱，培根自然亲切地感受到了他身边，他的时代，他所热爱关心、期寄厚望的科学界，正在经历一场最深刻的变革。正是在这一意义上，培根称之为只有希腊、罗马的辉煌文化才能与之相提并论的“革命”。

在《新工具》发表的时候，伽利略和教廷的冲突还没有变成一场真

① I. B. Cohen, *Revolution in Science*, Cambridge: Harvard University Press, 1985, p. 500 ff.

② F. Bacon, *The New Organon*, Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1960, Bk. 1, apho. 78, pp. 75-76. 任华中译，北京：商务印书馆，1964年，但此处未及利用译文。

正的悲剧,以笛卡尔为代表的机械论哲学还没有出现,巴罗(Barrow)和惠更斯在数学方面的工作还没有开展,而最终把这场革命推向高潮、作出总结的牛顿还没有出世。培根所说的科学革命,切中这个时代的精神。而我们所赞叹的,正是他敏锐深刻的洞察力;至于深入细致的、建立在历史分析上的概念,自然不会产生于这样早期的发展阶段。

在培根那儿,“科学革命”或者“科学兴盛、发展顺利的学术时代”的标准并没有明白的阐述。“科学革命”一词只是被直觉地、按字面意义理解和使用的。它可以是指“科学成果特别巨大”的时代,也可以指“破旧立新,改弦更张”的时代,也可以两者兼而有之。在培根的时代,没有人,也没有可能对这一概念作学术性的研究讨论。

一个半世纪以后,当激动人心的“科学革命”已经接近尾声或者说已完成,历史事实已经明白提示了“科学革命”的概念时,深入的分析渐有可能。在培根所划定的、与“科学革命”切切相关的西欧各国学人中,都出现了对这一主题的深入探究。

法国人贝耶(Jean-Sylvain Bailly, 1736—1793)的说法首先引起我们的注意,因为从“科学革命的结构”来分析历史进程,他似乎是第一人。贝耶^①生在一个世代为皇帝服务的宫廷侍从官家庭,从小受良好教育。和大部分18世纪法国青年学子相同,他对自然和自然史兴趣浓厚。1760年,他自费建立了一座观象台以便研究天文。他关于木星卫星的论文使他得以进入法国科学院。他曾集中精力研究过行星与行星、与太阳或行星及其卫星与太阳的相互作用问题,即后来被称为“三体问题”的数学解,但很快就被拉格朗日(Joseph-Louis Lagrange, 1735—1813)在这一问题上的辉煌成就所取代。他转而撰写了一部总结性的大书,即四卷本的《天文学史》,并在1775—1782年间出版。这部书使得他得以进入法国国家科学院。稍后,又被选入法国文学院,成为除了德高望重的科学院终身书记方丹纳耶(Bernard de Fontenelle)

^① J.-S. Bailly 传在 *DSB*, Seymour L. Chapin 撰。更细致的介绍见 E. B. Smith, *Trans. Amer. Phil. Soc.*, n. s., 44 (1954)427-438。

之外唯一一个拥有三重院士身份的法国人^①。

贝耶除了科学之外，也参与科学院的行政工作，或者说更参与行政工作。他的兴趣很大一方面是在政治上。法国大革命时，他当选并连任了巴黎市长。除了稍后被送上断头台之外，他的行政、政治经验当有助于他对科学和科学的发展作更深一层的思考。他认为，“科学革命”应该有两个层次，即摧毁旧观念和创立新观念。1785年，他在论述牛顿时写道：“牛顿推翻了，或者重新检查了所有的概念。亚里士多德和笛卡尔曾分享学术王国，教导整个欧洲。牛顿摧毁了几乎所有他们的教条并宣告了一种新的自然哲学的诞生。这一哲学导致了一场革命。”^②

以这一概念检查开普勒和伽利略，贝耶发现，开普勒摒弃了哥白尼所承用的中世纪的本轮均轮模型，引进了椭圆轨道和其他相关概念，“伟人之领一代风气常在于他们能改变已被接受的概念并阐发真理，这些真理在以后世代传播，影响深远”。贝耶认为，据此数端，开普勒当可归为有史以来最伟大的人物之一。伽利略的情形也一样，他所摧毁的是亚里士多德整套的自然哲学概念，建立的是他自己的运动学。

贝耶的这些理论在他当时和后世影响都不大，贝耶其为人也多有让人不悦之处。我也不敢断言库恩曾否从贝耶处接受过任何影响或启迪。但贝耶关于科学革命的“两阶段”理论仍是有趣的，并且很可能是在历史上最早的对于科学革命的“结构”的理论。我在这儿特别花篇幅讨论，意在引起读者对“结构”这一概念的注意。事实上，库恩对科学哲学以及科学史理论的贡献，常不在于讨论一个孤立的观念或事件之所以引发革命，而在于对这种历史进程的结构的研究。

与贝耶约略同时而稍早，英国哲学家休谟(1711—1776)讨论了人

① 法国科学院系统为三个独立的单位组成。一是 Académie des Science, 1666年起设；一是 Académie Française, 1635年起设；一是 Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 1713年起设。其中 Académie Française 历史最久，地位亦高。

② 语出自氏著 *Histoire de l'astronomie, moderne depuis la fondation de l'école d'Alexandrie, jusqu'à l'époque de 1730*, 2^e ed., Paris: chez de Bure fils aîné, t. 2, p. 560。

的认识问题。虽然休谟未对科学革命有明确的评论探讨,他的哲学的重点无疑是在认识论。休谟认为,感觉印象是事实知识的唯一源泉,“我们所有的观念不过是我们印象的摹本。换言之,我们不可能想象我们外部和内部感官先前没有感觉到的任何东西”^①。休谟彻底贯彻了他的感觉论,因此自然得出结论,因果关系本身是虚妄的,因为我们事实上无法感觉一事件产生另一事件的力量和机制;我们所能了解的,只是一事件的发生总是伴随着另一事件的相继发生。“类似事例反复出现之后,当一个事件出现时,习惯就会把心智引向预期通常伴随着它的另一事件的出现……”^②这就是我们心智追寻因果关系的最大限度:我们所能了解的“因果关系”最多只能被确定到这种根据以往经验判断的对事件发生时前后伴随的关系,如此而已。

因此,知识的必然性就不再是不证自明的了。休谟的认识论对于以获取“真知”为目的的自然科学当然是摧毁性的,因为“来自经验的论据”并不能无条件地推广到别的事例上去,而普遍适用的自然科学理论也失去了存在的可能。自然科学所能做的,只是尽可能地收集事例,从而培养出“习惯”。科学的发展——如果有“科学”而且有所谓的“发展”的话,应该是经验的累积。事例逐个增加,感觉印象逐渐丰富,于是产生了“习惯”,遵循“习惯”就好像我们今天遵循种种做事的规矩一样。

休谟的这套认识论发表于1748年,上距牛顿去世二十年。怀疑论哲学在论证上是严密的,既非简单的狡辩,也非异想天开;怀疑论的结论则常呈消极,它不仅摧毁科学,摧毁人类一般公认的知识,还摧毁信仰。它的摧毁力量,并不在于指出这些知识体系中个别的谬误,而在于从根本上摧毁了它们存在的依据。无怪乎休谟不被学术界接受,终生

① D. Hume, *An Enquiry Concerning Human Understanding*, London, 1758, 这本书先以 *Philosophical Essays* 于 1748 年出版,十年后改版始用今名,以后迭有再版。这儿采用的是 Chicago: Open Court 1927 年的复印本,语在 p. 63。本书有洪谦中译本,北京:商务印书馆,1964 年,可惜本文写作时未及利用。

② *Ibid.*, p. 77.

未能谋得一份教职。

但是休谟的哲学并不能用简单的排斥消灭掉。1775年，德国人康德(1724—1804)读了休谟著作的德译本，决心重新审查科学知识的发展。与休谟不同，哲学家康德在自然科学方面颇有专精^①。他第一个领悟出潮汐会使地球自转变慢，第一个考察贸易风，第一个解释月球为什么总是一面对着地球。他的关于“宇宙”即太阳系的形成的理论，至今仍以“星云假说”厕身于诸多星系形成的理论之中。作为一个对自然科学有深入了解，对其力量有深切认识的哲学家，康德自然不会同意休谟。

康德认为，从休谟的推理部分看，怀疑论是无懈可击的。问题在休谟的前提。科学不仅仅是把感觉所提供的资料加以复制、复合、变换，而且对这种资料实行加工。他认为感觉提供了材料，而智力即认识主体则负责以这些资料构造知识本身：事实之间的关系和关系所依据的规律。

用来整理、加工感性材料的概念、框架，关系的基本模式在康德那儿是先于经验的，也就是说，这些基本的东西，或“范畴”，不是后天由经验中总结出来的而是人作为认识主体与生俱来的。这就有可能建立科学的演绎结构：从一些最基本的原理或不证自明的公理，以及若干基本事实出发，有可能建立逻辑上自洽，包罗各种经验事实的知识体系。康德认为，欧几里得几何学和牛顿力学就是这种知识体系的代表或例子。

所以对康德来说，科学不是单向的从外部世界流入人的心灵的东西，而是双向的。人有一定的模式，用之于外部世界提供的经验，组织成章，而后可以谈科学。他认为，科学是通过革命实现其前进的。

^① 康德对潮汐的研究见于他1754年送交柏林科学院的一篇应征论文；风的成因见于1756年4月25日的演讲，以上两文参见，例如，Gabriele Rabel的康德著作选本，Oxford: Clarendon Press, 1963, pp. 9-11和pp. 33-35。他的星云学说见于他的《宇宙发展史概论》，发表于1755年，此书副题提示了这位当时三十一岁的哲学家的雄心壮志：“利用牛顿的原理处理整个宇宙的组成和机械生成起源的论述”。是书有中译，上海外国自然科学哲学著作编译组，上海：上海人民出版社，1972年。

康德在他著名的《纯粹理性批判》^①第二版前言中分析了伽利略、托里切里(Torricelli)和斯塔尔(Stahl)的科学实验,指出科学家的工作实在是“构造”科学。无目的、无计划的观察“从来不能用来发现真理”。科学家绝不能像循规蹈矩的小学生事事听从老师那样不加分辨地抄录自然现象,而应当像经验丰富的法官审问嫌犯一样依照自己已有的程式迫使自然回答问题。康德接着谈了哥白尼的工作:

基于所有天体都绕观察者运动这样一种假设既然不能令人满意地解释天体运动,他(哥白尼)于是让观察者作回转运动而让星星不动,并以此来试试他能不能把理论做得更好。^②

康德把这种“程式的更替”叫做“革命”,并说这种革命在自然科学中已经发生了。

就本书所关心的科学发展而言,康德的科学与科学革命理论有这么几层意义。首先,康德肯定外在世界并非“就是”科学所描写、处理的世界。“自在之物”是科学研究的终极对象,但科学研究本身首先是人的活动,因此受制于人的观念范畴和先前存在的概念系统。其次,科学革命的发生在于一种“程式”的更替。这种程式的变换,可以是看问题的方法的变换,如对等腰三角形的研究;也可以是概念框架的变换,如康德先前列举的伽利略、斯塔尔的研究工作。

正像每一位植根于西欧哲学传统的思想家一样,库恩当然也熟悉康德并深受其影响。这一点容稍后再作探讨。对于康德来说,先验的观念范畴系统,始终是科学研究的指导,又同时是对这一智力活动的约束,而经验事实只是提供素材而已。这一理论的必然结论是,科学革命是“单一的、突然的、激烈的”变化,而这种变化又常是由“个别人的快乐

① 《纯粹理性批判》,Norman Kemp Smith 英译,London & N. Y., 1963,下文的引语见英译本 p. 20=Bxiii。是书有中译本,蓝公武译,北京:商务印书馆,1960年。引言在译本11页。

② *Ibid.*, p. 22=Bxvii - xviii.

的思考”^①所产生的。康德的注意力常在人的认识活动上，而不似以往的研究者常注意科学自身的发展，这是理解康德，同样是理解库恩的一个关键。

二、科学革命结构理论的哲学背景

做历史的人常常假定自己是处在历史之外在看历史，因而有超越历史的高见。其实这很不可能。以科学史，尤其是以对科学发展的理论总结归纳来看，各个作者无不受制于各自的时代。上节诸位，去革命较近，因而革命的感受稍深。至于19世纪，物理学进入平稳发展，化学、地学亦然。生物学的大革命还在酝酿，这时的科学史的研究就现出这种平静来。

惠尔(William Whewell, 1794—1866)^②所处的正是这个时代。惠尔出生于一个木匠家庭，靠自己的勤奋努力，进入三一学院，递迁至三一学院院长，最后到剑桥大学副校长。他任三一学院院长长达二十五年，其间颇致力于科学教育和科学史研究。英文 scientist 就是由他创造并引入英文正规语汇的。从1830年起到1866年去世，惠尔的主要兴趣在科学史和科学哲学。1838年出版《归纳科学史》三卷，1840年出版《归纳科学哲学》^③。《归纳科学史》一书在上世纪出版后，长久被认为是这一领域中最优秀的著作，其希腊、罗马部分至今仍是重要的科学史文献，与密尔(J. S. Mill)的《逻辑系统》、赫歇尔(J. Herschel)勋爵的《自然哲学研究初阶》并称维多利亚时代科学哲学的杰作。

① *Ibid.*, p. 19=Bxi 以及 p. 21=Bxv-xvi。

② William Whewell 传比较容易找到的有 Robert Robson, W. F. Cannon, *Notes and Record, Royal Soc. of London*, 19 (1964)168-191。另外有 R. E. Butts 为 DSB 写的本传，颇太简略，DSB 卷十四之中。

③ *History of the Inductive Sciences*, 三卷，1837年伦敦出版，但现在可以用的是 N. Y.: D. Appleton & Co., 1859年版。*Philosophy of the Inductive Science*, 两卷，1840年初版，1847年再版，现在可以用的是 1858年增订第三版，London: J. W. Parker & Sons.

惠尔本人的专业是天文学，所熟悉的科学方法也是长年累积资料、分析的方法。他注意到在以往的科学哲学研究中，科学史常被作为例子引用。这种科学史对科学哲学的依赖关系，惠尔认为，必须倒转过来：科学哲学的结论应当产生于对科学史的细致的分析。换言之，“论从史出”。

惠尔对科学的基本分析与康德的一致：他认为科学的发展是事实与观念的成功结合。但是，什么是“事实”，什么是“观念”，则是他的理论中的重大问题。不难看出，“事实”和“观念”在自然科学中只有相对的意义，其区分本质上是心理学的，因为任何事实多少都涉及观念，“纯事实”即外在于人的认识的客观存在对于科学本身没有什么意义。但是，惠尔对这一关键问题作了很有意思的分析。他说：

如果我们把理论看作是基于感官感知的现象的有意识的推论，而事实是由此而来的无意识的推论，那么事实和理论之间即存在可以发现可以理解的区别。^①

换言之，在事实和理论观念之上，还有一个“意识”。我们以后会看到，在这一点上，惠尔恰站在康德和库恩之间。

惠尔认为，科学发现最初起于对事实的精细分解，对观念的透辟阐明。然后是两者的综合归纳，于是一种惠尔称为“现象定律”的理论的初级形态出现了，再进一步提炼丰富，即成理论。虽然由于宗教和哲学上的偏见惠尔未能出色地处理伽利略，但他关于牛顿的研究被后世研究者称为“辉煌的”。可以看出，他的科学史论正是牛顿科学发现的理论归纳。与他约略同时而稍晚的达尔文，则更可以看作是他的理论的一个活生生的实例。

惠尔把整个科学的进程比作江河汇合：各种归纳范围较小的、理论层次较低的科学成就，渐渐汇入归纳范围大的、理论层次高的构架之

^① 上引 *Philosophy*, 1858 ed., v. 1, p. 42.

中，一如开普勒、伽利略以及别的很多 16—17 世纪物理学家的的工作渐次归入牛顿理论一样。这样累积性的发展，聚沙成塔，集腋成裘，终于建立起了宏伟的科学大厦。

库恩很重视惠尔的工作，特别是他利用史料作细致分析的科学史。在前面一章讨论过的《测量》一文中，库恩即把他对“18 世纪和 19 世纪最伟大的数学家”关于太阳系乃至水星运动的异常现象的研究，建立在惠尔的工作上，引用《归纳科学史》凡 58 页。稍后，在同一篇论文里，库恩又引惠尔关于光学史的研究，长达 70 页，作为他分析“反常”的基础。再后，在同文中，引惠尔对于仪器与理论的关系的工作，长达 158 页。说《测量》一文是《结构》一书的一个重要基础，该不会太错。而在这篇文章中惠尔多次被征引，而且篇幅之大，显然表明他的工作对库恩的不可忽视的影响。

库恩在《结构》中还提到，梅耶尔森在化学史方面的著作和他对科学史的反思对他有很大的影响^①。这当是指库恩最早研究“化学和波义耳”时的事^②。

梅耶尔森(Émile Meyerson, 1859—1933)是波兰人^③，但在他的青年时代，波兰正为沙俄所统治。和很多中产阶级的孩子一样，梅耶尔森十二岁即往德国留学，到二十三岁又去法国，进入法兰西学院学习工程化学。

20 世纪初欧洲知识分子有沙龙即小团体聚会的习俗。梅耶尔森属于所谓的“M 俱乐部”：莫瑞阿斯(Jean Moréas)、毛哈(C. Mauras)和梅登(M. Maindon)以及他自己。这种沙龙的好处在于专业方向不同的学者可以有一个自由交谈、交流的机会。1898 年，梅耶尔森开始参加和犹太复兴有关的政治活动，视野愈大。受化学史家柯普(Hermann

① *Structure*, 1st ed., p. viii, 李译本第 ii 页, 程译本第 36 页。

② 在前引“Robert Boyle and Structure Chemistry”一支中，库恩几次用了 E. Meyerson 的著作，见，例如，该文注 4，注 14。

③ E. Meyerson 最早的评传是 T. R. Kelly, *Explanation and Reality in the Philosophy of Émile Meyerson*, N. J.: Princeton Univ. Press, 1937。

Kopp, 1817—1892)著作的影响,梅耶尔森开始留意科学史与科学发展的哲学问题。在哲学上,他倾向于克朗曼(Kristian Kroman),主张因果关系和可确认性。1908年,他的第一部著作也是成名作《同一与实在》出版^①。库恩在《结构》的“序”中说,这本书对他影响至大。

从哲学的源流承继来看,梅耶尔森兼承德、法两国的学术传统。在接受柯普影响的同时,他又沿着孔德(Comte)、瑞诺弗哀尔(C. Renouvier)、拉西利埃(Jules Lachelier)等人的方向,坚持认为科学和哲学研究有密不可分的关系。这一点,可以在他同时代的法国科学和哲学研究者如杜恒(Pierre Duhem)、彭加略(Henri Poincaré)、白尔贡(Henri Bergson)等人身上清楚地看出来。

因此,梅耶尔森在他的著作中就有能力同时拒绝马赫的现象论和孔德的实验主义,强调科学的目的绝非仅仅是记录现象或通过对事件进程的预测来控制现象。对梅耶尔森来说,科学还有更多的东西。科学前进的取之不竭的原动力在于科学家理解外部世界的渴望。他认为科学是从经验发生,渐入自然定律,最后建立完整的在时间进行序列中的因果定律。

这样,梅耶尔森就自觉地扩充了惠尔关于“经验”与“因果”是认识的不同层次定律的说法,梅耶尔森曾说惠尔是第一个正确理解这一点的人。梅耶尔森进一步认为,不管科学怎么发展,科学家所追寻的是一种不变的东西。如在化学反应中,原子不变。正是这种不变性,反映出我们对于其内在规律的真正把握。

梅耶尔森的理论在力学和原子理论中有很多好的例子。可是随着分析的增加,问题也越来越多。梅耶尔森对世界、自然界的简单僵硬的“同一性”的归划,对守恒定律的一味推崇,都出现了问题。尤其是下面我们有机会讨论的量子物理学的出现,更是引进了一个梅耶尔森框架所不能容纳的概率概念。所以梅耶尔森理论在科学史、科学哲学领域

^① *Identité et réalité*, Paris, 1908;库恩用的是英译本,N. Y.: 1930。同年有德译本问世,梅耶尔森本人认为德译较英译为佳,但库恩似乎未用德译本。

内的影响并不如惠尔的归纳哲学来得大。在法国，梅耶尔森的确有一大批科学家朋友，如朗之万（P. Langevin）、德布罗意（Louis de Broglie）。他又有一些科学史科学哲学界的朋友。其中特别值得一提的是柯列依（A. Koyré），同梅耶尔森一样出生于沙俄，经德国到法国的学者。

柯列依小梅耶尔森三十三岁。论者以为，梅耶尔森对柯列依的影响一直被低估了。事实上，当梅耶尔森写信给丹麦哥本哈根大学哲学教授霍夫丁（H. Høffding）介绍柯列依时，他称他是一个“真有天才的饱学的年轻哲学家”^①。柯列依的工作我们将在下一节作细致讨论，但就梅耶尔森—柯列依的传统来看，重视原文的细致研究，即后来柯列依所津津乐道的 *Explication de texte*，实在是一脉相承的。

与梅耶尔森约略同时，乐夫焦尔（A. O. Lovejoy）发展了他的科学史观念，强调把科学史作为思想史来研究，强调科学的认识论。

乐夫焦尔（1873—1962）的父亲是美国人，母亲沙拉（Sara）是德国人^②。就像他的名字^③提示的那样，乐夫焦尔承继了父母双方的文化传统。他在伯克利获得学士学位后在哈佛获博士学位，而他这时所接受的主要是美国哲学家詹姆斯（William James）的实用主义哲学。以后在各校任教，1910年移砚约翰·霍普金斯（John Hopkins）大学，并在巴尔的摩定居，1938年退休。

他的最主要的著作，也是库恩提及的最为之影响的，是《伟大的存在之链》（*The Great Chain of Being*）^④。这个书名颇不易译，容稍后再讨论。这本书最初肇始于哈佛1933年春天的詹姆斯讲座。自1929年起，哈佛利用皮埃尔斯（Edgar Pierce）的捐款举办纪念詹姆斯的讲座，专请校外专家主讲，内容则常是哲学或历史分析。乐夫焦尔所担任的，

① 语见 H. W. Paul 为 Meyerson 写的 *DSB* 本传，*DSB*, v. 15, p. 424。

② A. O. Lovejoy 生平材料都集中在他 75 岁时 *Journal of the History of Ideas* 为他出的祝寿文章，见该刊 9(1948)404-446。

③ Lovejoy 的名字同时用父母的姓：其中间姓 Oncken 为其母婚前的姓。

④ *The Great Chain of Being*, Cambridge: Harvard University Press, 1936, 下面的引文均出自 1982 年第十五版，页数注在括弧中。

是这一讲座的第二次。讲完以后,讲稿经补充修改,是为本书。

乐夫焦尔的认识论的最基本的前提是,人的经验在本质上有时间性,其内容随时间的推移而演变。这种经验对时间进程的依赖性又由于时间流逝的不可逆转而变得复杂。所以认识论的一个重要问题是要了解我们感官所提供的关于“客体”的影像与“客体”并非完全同一。例如我们所看见的星其实是几十上百年前的星,因为光的传播需要那么长的时间才到达地球,我们也无由知道星这一客体“现在”是什么样子。

在詹姆斯讲座中,乐夫焦尔进一步发挥他的观念。他认为:

历史的片段或故事实在已经讲过多次,因而大家也一定颇感熟悉了。但这些历史事件如何与一套贯穿全局的观念相联,或者它们相互之间常常如何相联结,则似仍有进一步提出的必要。(第vii页)

这种理解历史的成套的观念或者形成一种框架,使得事件得以各得其所。乐夫焦尔认为,所谓“思想史”或“观念史”较之“哲学史”而言,既宽一些,又窄一些(第3页),因为思想史所研究的是想法。但是,“想法”的研究必须涉及整部的历史——哲学史、文学史、科学史、艺术史、宗教史和政治史(第15页);这些想法不为少数先进人物、深刻的思想家所独有,而是大群人所共有(第19页);研究的中心和重心应当是“新的想法和思想方式”如何引进与扩散,如何变得清晰;“旧有的、支配一代人或至少是在一代人中风行的观念想法如何失去其对人们心智的支配而让位给别的想法”,又是如何发生的(第20页)。

乐夫焦尔以后又花了大量时间和篇幅,讨论了科学家在观念进步中的作用。这些观念的前进演化,一环一环,环环相扣,在我们人类的认识史上展示了一条线索。这一伟大的进展,与人类的存在相始终,形成了“the Great Chain of Being”。

乐夫焦尔的影响在20世纪40年代达到顶峰。1940年,他与维纳(Philip Wiener)一起创办了《思想史杂志》,1948年出版《思想史论文

集》，1959年在格拉斯(Bentley Glass)等人主编的纪念达尔文的文集^①中刊出一系列文章，1961年再出版两本专著。

这儿罗列的三位学者，在思想史上与库恩渊源较深。如果仔细研究他们的生平学说，当能有不少发明。就我们很粗浅的分析介绍来看，也有几个明显有趣的方面值得一提。

一是库恩思想背景的“欧洲根源”。以上三位，再加上下一节的柯列依，四位学者之中，有两生人于俄国，三人持德国文化的背景，这当不能径以“偶然”解释。

重要的是，在哲学上，一条贯穿的线索是把科学当作认识论来研究。科学在这儿首先展示为以人为认识主体的认识活动。大家所关心的，是科学家如何提升知识、认识自然。只有在认识论的范围里，库恩的理论才能被深入地理解。

科学于是不是被机械地简化为“自然的反映”，而是“对自然的认识”。于是科学史即成为一种思想史或更广义地说一种文化史。既然是人的观念的演变，历史的概念即随时间推移的概念就自然而然地成为研究的中心了；科学发明与发现就不再是孤立的故事或事件了——事实上，孤立事件在历史上是没有意义的。历史不能仅回答“过去发生了什么事”，而必须回答事情是怎么发生，或更确切地说，是怎么演变的。

这种演变或随时间推移的观念与康德、黑格尔的哲学传统有重要的血缘关系。梅耶尔森与霍夫丁的亲密友谊，乐夫焦尔著作中强调的“历史过程”，都是这种关系的反映。在1930—1940年代柯列依实践了这种观念，使得科学史面貌焕然一新。

三、柯列依及其科学史工作的影响

前文曾经多次提到，库恩关于科学革命结构的理论，很大程度上是

^① Bentley Glass, Owsei Temkin, and William L. Struns, Jr., ed. *Forerunners of Darwin*, Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 1959.

建立在他的科学史研究之上的。这种研究包括他对波义耳和 17 世纪的化学,对卡诺及有关的热学的专门研究,包括他对哥白尼及其时代的研究,还包括他对其他科学史家工作的研究。其中对他影响最大的是柯列依(Alexandre Koyré, 1892—1964)^①。

柯列依对西洋史学学术的影响是多方面、多国的。在法国,他对黑格尔的研究真正称得上领一代风骚。20 世纪 30 年代法国哲学界黑格尔的复兴,以及对斯宾诺沙的纯哲学研究,都与他的著作有直接的关系。对俄国——他的祖国,他的贡献在思想史方面。在美国,他则是科学史 30 年代以后的宗师。他的科学史著作哺育了不止一代的美国和法国科学史专家。在以后五十年中渐渐进入大师级的美国史家中,克莱吉特(M. Clagett)在普林斯顿研究院,科恩(I. B. Cohen)在哈佛,格力斯比(C. C. Gillispie)在普林斯顿,古埃拉克(H. Guerlac)在康奈尔,默多克(J. Murdoch)在哈佛,先后成为他的学问的公认的传人^②。而巴黎高等研究院的塔东(R. Taton)、考斯塔贝尔(P. Costabel)和鲁梭(F. Russo)则在法国把柯列依的学问发扬光大。

柯列依最早的工作是关于思想史的,1922 年和 1923 年相继以法文发表了对笛卡尔和安赛姆(S. Anselme)的研究,其中关于安赛姆的文字为巴黎大学文学院接受为学位论文。1929 年完成波依米(Boehme)哲学研究并以此获得法国国家博士资格。1930—1931 年间在法国中部的蒙白利埃(Montpellier)任教,1932 年回到巴黎进入高等研究院,开始科学史研究。他第一个研究主题是哥白尼。他从翻译哥氏的《天体运行论》中关于宇宙的基本论述着手。他的翻译并非一种机械性的技术工作,而是一种真正的再创造。哥白尼在柯列依笔下是探索宇宙的思想家而不只是一个摆弄本轮均轮的匠人。

① A. Koyré 传以 Yvon Belaval 在他去世时写的评传最为详细,见 *Critique*, 207 - 208 (1964), 675 - 704。同一作者为 *International Encyclopedia of Social Science*, David L. Sills ed., The MacMillan Co., 1968, 所写的条目可视为上文的简单摘要。在 *DSB* 中, Koyré 条由主编 Charles Gillispie 亲自撰写,文在第七卷。

② Yvon Belaval 语。上引百科全书卷八,第 448—449 页。

柯列依用以奠定他在科学史界领导地位的是 1939 年出版的《伽利略研究》^①。论述凡三部分：“经典科学的诞生”、“伽利略和笛卡尔的落体定律”和“伽利略的惯性定律”。这本书的影响要推迟四五年才能看出来，因为欧洲正被战事搅得乱七八糟，实在没有什么人还能有心静坐下来读伽利略和自由落体了。事实上，柯列依也避乱西迁，辗转于各家学校之间。

《伽利略研究》被很多科学史家推为科学史著作的典范，同时也是柯列依科学史研究的代表作。柯列依是从思想史角度进而作科学史研究的，自然首先把科学史理解为思想史。柯列依认为伽利略的工作与柏拉图一脉相承，这种继承可以归纳为数学和自然科学之间的一种血缘关系：自然科学的精髓正在于把数学贯彻到研究中去，而自然自身的优美正在于其自身包含的数学的和谐。

柯列依把研究建立在大量文献工作上。他不仅研究重要的、在主流研究线索上的科学家，也非常重视那些名不见经传的作者。这样做使得他有可能向读者展示一个时代的风貌。他重视那些从现在、从科学后来的发展看来是错误的想法、不成功的实验。他要做的不是到古代去寻找现代的影子或符合我们口味的片段，而是力图表现古代科学发展的自身逻辑。在柯列依看来，伽利略如何进行科学研究较之他的成果中有多少后来被现代科学所肯定重要得多。

20 世纪 50 年代中，柯列依又以同样的方式研究了 16 世纪德国的几个主要炼金术士，起于施温克费尔德(Schwenkfeld)，止于巴尔塞拉斯(Paracelse)^②。1955 年，他受聘于普林斯顿高等研究院，次年成为正式成员。在他生命的最后十年，1955 年到 1964 年中，他每年来往于巴黎与普林斯顿之间，半年一地。1955 年，他的第一篇英文论文发表于

① *Études galiléennes*, Paris: Hermann et Cie., 1939。这本书实际上直到 1940 年 4 月才真正印完出版，这时离德国入侵只有几个月时间了，而 Koyré 本人又正巧在开罗任教，所以一时很少有人注意此书的出版。该书后来有英译本，但未闻被广泛采用。

② Alexandre Koyré, *Mystiques, spirituels, alchimistes du XVI^e siècle allemand*, Paris: Gallimad, 1955, rep. 1971.

《美国哲学学会通报》^①上。这篇研究落体定律的论文又为科学史界再立一个范例：通篇三分之二为引文，经过精心组织，系统地展示了从开普勒到牛顿这一令人困惑激动的主题的发展。紧接着 1957 年的《从封闭世界到无限宇宙》^②、1961 年的《天文学革命》^③，连同前几篇著作，柯列依完成了对整个 17 世纪科学革命的描述。科学革命不再是少数天才的杰作或意外的发现，而是一个时代的潮流和风貌。

从学术渊源上来说，柯列依所心仪者为梅耶尔森。他的大作《伽利略研究》就是献给这位波兰裔的哲学家的。梅耶尔森生前和身后，柯列依还两次撰文讨论他的人品学问^④。我们在上一节已经看见，库恩对梅耶尔森的推崇；在这儿，我们可以进一步说，梅耶尔森对库恩的影响实在是双重的。

就好像柯列依之于梅耶尔森，库恩对柯列依最为推崇。在库恩发表的近九十篇论文之中，有四篇是专为柯列依写的。其中两篇书评写于伯克利，讨论柯列依在美国发表的《落体》一文和《封闭世界》；专文一篇写于柯列依去世那年^⑤，那时库恩已是声名卓著的科学哲学专家了，另一篇写于 1968 年，这是为柯列依的一个英文论文集写的序^⑥。这四篇文章给我们的一个线索，由之可以看见柯列依对库恩的影响。

在对《落体》的评论^⑦中，库恩首先注意到柯列依研究的基本取向：

① *Trans. Amer. Phil. Soc.*, 45 (1955)329 - 395.

② *From the Closed World to the Infinite Universe*, Baltimore: John Hopkins, 1957.

③ *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*, Pads: Hermann & Cie., 1961. 该书英译本出版于 1973 年, tr. R. E. W. Maddison, N. Y.: Cornell University Press.

④ A. Koyré, *Deutsch-Französische Rundschau*, 4 (1931) 197 - 217; Idem, *J. de psychologie normale et pathologique* (1946), 124 - 128.

⑤ T. Kuhn, "A Function for Thought Experiments", 最初见于 I. B. Cohen 和 R. Taton 合编 *L'aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré*, Paris: Hermann et Cie., 1964, t. 2, pp. 307 - 334, 后收入《必要的张力》，是为该书第十篇，中译见前引中译本，范岱年译。

⑥ T. Kuhn, *Encounter*, 34 (1970) 67 - 69, 这是库恩为 A. Koyré 的英文论文集 *Metaphysics and Measurement*, London: Chapman & Hall, 1968 年写的。

⑦ *Isis*, 48 (1957)91 - 93. 下面的引文见于 p. 91.

他(指柯列依)再次把哲学家的直觉同思想史研究者的方法结合在一起,阐明了蕴藏在一般人熟悉的或不熟悉的文献中的思想发展的新模式。

库恩进一步注意到,柯列依的分析不再是以牛顿力学的概念为中心,而是以当时科学界的核心问题为中心展开的了。

库恩显然对柯列依的工作有深刻的理解,因为他的分析一语中的。科学史研究不同于常规历史研究的一个重要方面在于研究者常常不自觉地利用科学后来的发展来品评、衡量历史进程,从而把这种研究变成了一种在历史中寻找现代科学的活动。研究者常常不加深辨,以为我们现在所采用的概念在历史上是一蹴而就地创造出来的;他们没有注意到,即使是诸如“质量”、“惯性”这些最基本的词,对我们和对伽利略说来都有完全不同的内涵和意义。把研究重心从“概念”转移到概念由之产生出来的“问题”,可以最有效地防止历史研究的“现代化”。柯列依在这一转换上的贡献,怎么强调都不过分。

库恩对柯列依工作之细致深表赞赏。对行星轨道的研究,所谓的哥白尼轨迹问题,柯列依援引了五位学者的工作,加上近十位哥白尼的追随者的意见。现代读者因之有可能读到诸如安吉利(Stefano degli Angeli)对于“自然运动”的看法,因为所有的引文或摘要都由柯列依译成了英文。

但是库恩的问题也随即而来:如此巨细无遗的研究,必然会使思想发展的主要线索变得晦暗不明,那些真正精髓的论述也混迹于平庸的著作之中,这些弱点如何避免呢?在写这一篇书评时,库恩自己的《哥白尼革命》刚刚出版,他想必对这些问题有过思索。

一年以后,库恩再次注意到柯列依的新著《封闭世界》对这一问题的处理^①。在这部半通俗的著作中,柯列依讨论了近二十位学者的工作,其中包括牛顿、笛卡尔,也包括不常见的学者如拉甫森(Raphson)。

^① *Science*, 127 (1958)641.

柯列依的做法与《落体》很接近。几乎一半的篇幅用于引文，引文均被译成了现代英文。在这部三百页多一点的书里，柯列依描述了16、17世纪欧洲学者对宇宙的想法和看法。但是，如何在这种引文的翻译注释之中不失原意，如何适当地把握原著和评议的比例分寸，一句话，如何能使有水准的读者既见树木，又见森林，库恩认为，仍旧是一个问题。

在读《封闭世界》一书时，库恩的《结构》已在构思之中。库恩所提的问题，在本质上是一个关于如何确切地理解和把握一个历史时代的问题。库恩后来追述说，这时，在50、60年代之交的时候，他看见的是一场发生在科学史研究中的史学革命^①。这场革命有两个层次，一是科学史真正成为了思想史的一部分，一是科学史正在发展为社会文化史的一部分。库恩写道，柯列依以他三卷“辉煌的”《伽利略研究》为后来的史家建立了典范式的榜样。在思想史层面上，柯列依比任何别的学者贡献都多：

要了解比如说伽利略对科学发展的贡献，他（指柯列依）先要让伽利略回到他所置身其间的那个时代，弄清楚在伽利略看来科学究竟是什么样的，哪些问题对伽利略说来是核心问题，伽利略对科学的看法和这些问题又是从哪里来的，以及他对这些科学传统继承中又做了哪些更变。柯列依认为，非深入伽利略全部著作的精深微妙之处，非了解伽利略的前驱者、同时代人和后继者，这一任务不能完成。

这是库恩在《结构》写完以后对柯列依工作的归纳。库恩在柯列依著作中看见的，也是柯列依史学的精华，是“回到他所置身其间的那个时代”，是“他在继承传统中又做了哪些更变”，我们行将看到，这些观念如何以稍微不同的形式，重新出现在库恩的科学发展理论之中的。

^① 见 *Encounter*, 34(1970), p. 67。下段引文在 p. 68。

柯列依认为伽利略乃至科学革命发展的主线是数学与对自然的研究的有机结合,而且发展本身也主要表现为概念上的变更。库恩在多处指出,柯列依未能对社会文化层面多作研究,因此在他评柯列依的文章开始时提出的,科学史作为社会文化史一部分的方面,仍有待后来学者补充。柯列依的这一柏拉图式的观点,来源于他的作为思想史研究者的学术渊源,也来自他注重原著解读的工作方式。从某种意义上说,柯列依在思想史上的贡献正是他在社会文化史方面缺失的原因。这不是他忽视了全面考察问题的要求,而是他考察问题的角度未能提示另外一面的存在,一如我们欣赏一本书封面的优美设计时不能看见印在封底上的昂贵的定价一样。柯列依在晚年也谈过这些问题,他认为科学史和其他学问一样,必须是整个学者群的世代相袭的努力才能有所建树,而各个学者所能贡献的,只是其中一个小片段而已。

柯列依对科学发展的研究的最重要的贡献是在这种研究中注入了历史学观念,即事物的推移演化前承后继的观念。科学成就不再只是年表上罗列的互不相关联的事实,科学家也不再是孤独怪僻的天才。“前驱者、同时代人和后继者”的事业展示出一种人对自然理解的演进,这种由不知到知,由错谬到正确的进程揭示自然的奥妙,同时也展示人类理解力的尊严和力量。科学史的优美正在于此。

柯列依关于伽利略的柏拉图式的解释现在已为更多更平衡的研究所取代^①,但是柯列依的著作并没有过时。后来几代科学史家都从其中学习科学史,汲取营养。在评论柯列依的工作时,格力斯比引用了柯列依对波依米(Jacob Boehme)的评论,认为同样可以用于柯列依自己——

我们确信……一如他们所着意表达反映的实在世界,一如他们

^① 参见,例如 L. Geymonat, *Galileo Galilei*, tr. S. Drake, N. Y.: McGraw-Hill, 1965(意大利文原书于 1957 年出版), S. Drake, *Galileo at Work*, Chicago: The University of Chicago Press, 1978。

所为之鼓舞制约的精神直觉,大师们的哲学体系是不可穷尽的。^①

四、科学革命的结构 1: 常规科学、反常与危机

在学术界引起巨大反响的《科学革命的结构》其实并不长,英文原书 172 页,中译不到十五万字。全书分为十三章,这十三章又可以大略分为四个部分——如果第一章“导言”不算一个独立的部分的话。在导言中,库恩主要阐发了他的历史观。他坚决摒弃那种把历史看作是“轶事和年表”,把科学的发展看作是“各种科学方面的技术与知识”一点一点地加入到科学这个大货栈中去的做法。他认为,除了记录发现发明之外,科学史家必须“描述和解释”影响科学发展的诸多因素(英文本第 2 页,李译本第 2 页,程译本第 44 页)^②。换言之,不是要研究历史上那些发明发现的孤立事件,不是要去“寻拣出老旧科学体系对今日之科学的永恒贡献,而是要在其自身的整个历史环境中展现这门科学”(3,2,45)。

以下从第二章开始,库恩着手展示科学及其历史环境的联系。总的说来,库恩描述了科学从产生到规范化,到发生困难危机,到由他称为“革命”的突变解决这些危机、科学从而重入正常状态这样一个首尾相接的历史过程,叙述也依“正常状态”、“危机”和“革命”分成三个部分,分别为是书第二到五章,六到八章和第九、第十一章。第十二、十三两章又成一部分,专题讨论上面论述中的几个比较重要的问题。

第二至五章论常规科学。首先要解决的问题是“什么是常规科学”。库恩开宗明义地指出,“常规科学”就是“以过去的科学成就为基

① C. Gillispie, “Koyré,” in *DSB*, v. 7, p. 483; A. Koyré 的原文见于 *La philosophie de Jacob Boehme*, Paris, 1929, p. viii.

② 本节以及下节在引《结构》原文时,常同时注出三个版本,以利对照。所谓“英文本”是指 *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago: The University of Chicago Press, 1962, 在本书别处有时也称它为“第一版”或“初版”,以别于 1970 年同一出版社印行的“第二版”。所谓“李译本”是指上海科技出版社 1980 年出版的李宝恒、纪树立译本,而“程译本”则是台湾远流 1989 年出版的“增订新版”。三个本子的页数依其出版先后列于引语后的括弧中,译文常稍作调整。(2013 年再版补注:上文“中译本”系指 1980 年的第一个中译本,以后的译本在本书写作时尚未出版,因此未及利用)

础”所展开的研究(10,8,53)。这种“过去的成就”通过公认的权威书籍或教科书传达给新一代,既给出解决问题的范例,又提出继续研究的方向。这些成就被库恩定义为“规范”。值得强调指出的是,“规范”既以榜样的方式告诉了科学家下一步该怎么做,而且规定了该做什么,即规定了下一步的选题(11,9,55)。

但是“规范”如何“告诉”、如何“规定”呢?库恩长年来一直强调,这是通过“某一专业的科学共同体成员对于某些具体的解题方式”的接受实现的^①。如果某一天规范发生了变化,革命就发生了:

规范依次地转换,经过革命变成另一规范,则是成熟科学发展的常见模式。(12,10,55)

当然规范不是上帝给的,而是在科学研究中自然产生出来的——但科学研究又必须在规范的指导制约下才能进行。这就产生了第一个或最初的规范从何而来的问题。库恩认为,“最初搜集资料的活动,较之以后发展出来的科学说来,似乎近于一种全无章法的活动”(15,12,58)。但是,“令人惊讶的是,这种众说纷纭的现象竟会消失殆尽,这或许是被我们称为‘科学’的这个领域所独有的”(17,14,60)。

第三章着重分析“规范”概念。库恩力图指出,规范贯穿常规的科学活动:搜寻、整理事实是科学研究的第一步。但正是这一步,常在规范的制约之下。因为规范告诉实验者去找什么事实,而找来的事实也在规范约束指导下整理,看看是不是合于规范所预期的。至于规范所没有提示的东西,常规科学会熟视无睹:

常规科学决非意在把新类型的现象引入视野。事实上,那些

^① 如在《必要的张力》一文中,见《必要的张力》英文本 p. 229,中译本第 226 页。这个说法后来库恩又有重复,见“The Function of Dogma in Scientific Research”,以后我们有机会再提此文。在《结构》的英文第二版中,pp. viii, 10, 11, 42, 以及 pp. 186 - 187 等处,都有类似说法。

与此框架不合的现象常常根本不会被注意到。(24,20,68)

所以常规科学并不要求惊人发现,它的目的也不是为了寻找出乎意外的东西。“常规科学就是解难题”,这是库恩以第四章一章对常规科学作的最简明的概括(35,29,81)。比如说测量波长,其实在整个实验活动中,除了最技术性的细节之外,几乎所有的事都为事先已知。所要求得的,不过是略微扩大一些测量的范围或略微提高一些读数的精确度,如前引库仑定律。

大部分科学家所从事的,就是这种“解题”活动。留意规范的作用不仅在指明什么样的解是可以被整个科学共同体所接受的,还规定了什么样的问题是有意义的。这就使得想要投身科学的人意无旁骛,这就使得全社会的科学家世代相袭地在某些方向拼命努力,这就说明为什么17世纪现代科学在规范确立以后会持续几个世纪突飞猛进地发展(37,31,83)。

常规科学和“解决难题”由它们的定义紧密地联系在一起,站在它们背后的,还是“规范”:

概念上、理论上、仪器设备上、思想方法上的约束构成了一整套牢固的、牵一发而动全身的网络。这一网络的存在是我们可以把常规科学比作“解难题”的主要理由。(42,35,89)

在第五章里,库恩进一步指出,对于一个特定时代的特定专科,规范对其历史发展的作用是第一位的,他称这个规范所具有的最基本的特征为“规范的优先性”(43,36,91)。这种“优先”主要是因为规范较之规则有更深刻的结构地位和更深远、持久的历史影响。在一门科学中,“规则”这一概念比较复杂。库恩虽然反复强调“规则”和“规范”的不同,他事实上并未正面定义过“规则”。据上段及本段文意看,“规则”盖指一门科学中已建立的一些准则,其内容可以是实质性的,如科学定律或定理,也可以是方法性的,如作研究的既定程序。“规则”是科学结构

中所包含的,可以看得见的东西,是科学家工作的具体的指导和准则。但是,科学家未必共同遵守一个单一的准则,而且准则也好,定理也好,所有这些规定并没有告诉科学家如何去运用这些规定,以及用得合理不合理。而规范则是以典范的形式向科学家提供了这方面的消息。科学家在受教育时不仅仅学会了科学的相关规则——仅有此点他们仍不会去“解难题”,他们同时还必须去钻研教科书所提供的例题,在库恩看来就是典范的一种形式,并从模仿开始学习运用相同或类似的方法去解类似的或不类似的问题。科学研究的实践和科学教育的实践向科学史提出了规范的优先性:在没有规则介入的情况下,规范仍旧可以决断性地确立科学(46,38,95)。

至此,库恩完成了他对常规科学的论述。如果库恩只是指出科学发展有一种由常规到反常到革命再回复到常规的大模式,他的著作只是给很多分析类似主题的书在数量上再增加一本而已。重要的是库恩提出了“规范”的概念,并以此统帅了他对科学发展的分析,这就把我们对常规科学,或者科学史家所习称的科学发展的平稳或平缓阶段的认识大大推进了一步,而科学本身也表现为一个动态的认识过程,表现为人对自然界的理解。

第六、七、八三章处理科学发展上的异常或“危机”,也就是讨论规范改变的情形。一方面,在规范指导下的常规科学研究是高度积累性的,有时甚至是保守的;另一方面,“科学史表明”,这种规范指导下的研究又必然是“引起规范改变的一个特别有效的途径”(52,43,101)。库恩认为,这种规范改变可以由发现新的事实和发明新的理论两个角度发生,虽然这两个不同的角度常常是有联系的。

所谓“异常发现”是指“自然不知怎地与由统领常规科学的规范引出的预期相冲突”(52,93,102)。但在科学史上,这类事件会显得复杂得多。库恩以三类事件来分析这种发现。

一类如氧的发现。在上一章里,我们有机会细致地回顾了这段历史。库恩认为,如以时间的绝对顺序而言,发现者当然是席勒(C. W. Scheele)。如以发表或研究的自觉程度而言,则是普利斯特雷(J.

Priestley)。但要从科学史、从历史进程和影响看,与“化学革命”相连的氧的发现当然与拉瓦锡(A. Lavoisier)连在一起。这就发人深省地提示了“发现”与“发明”的关系,或者用库恩的原话说,就是“在科学发现中新事实和新理论多么密切地交织在一起”(53,44,102)。

第二个例子是X-光的发现,与氧的发现稍有不同。让我们来作稍微细致的研究。

德国人伦琴(W. C. Röntgen, 1845—1923)^①是一个实验物理学家,以晶体的电学性质为其主要研究项目,素以实验装置精细、观察敏锐称。1895年11月8日他在以阴极射线管做实验时注意到不远处的涂有铂氰酸钡的屏上出现荧光。与阴极射线相关联的气体放电现象很早就为物理学家所熟知,早如法拉第(1791—1867),近如赫兹(H. Hertz, 1857—1894)、勒纳德(P. Lenard, 1862—1947)都有研究。阴极射线管的技术和生产也以德国最精,从盖斯勒(H. Geissler, 1814—1879)到高登斯坦(E. Goldstein, 1850—1931),阴极管成了实验室里常见的仪器。当伦琴看见荧光时,他想到赫兹和勒纳德晚近发表的关于阴极射线的工作,决定再细致地看一看是否还有什么遗漏的现象未被记录下来。他很快就发现,他现在碰到的似乎是另外一种东西:这种射线穿透力极强,在电场和磁场中均不偏转,在空气中的射程远远大于阴极射线。紧接着的一系列实验帮助伦琴对这一射线有了更深的了解。1895年12月22日,伦琴利用这种射线成功地在照相底片上显示出了他夫人的手骨。这种射线可能的实用价值立即是人人可见的了。12月28日伦琴向伍兹堡(Würzburg)城的同事、朋友发出报告。1896年1月4日,消息在柏林发表,5日这一发现已传遍了全世界。一个星期以后,伦琴奉邀在德国皇帝面前展示了科学的这一最新进展。科学界所受的震动几乎比公众所感受到的还要大。1896年一年,共有36本介绍伦琴其人,一千多本讨论介绍X-射线的书出版。

^① W. R. Nitske, *The Life of Wilhelm C. Röntgen*, Tucson: Univ. of Arizona Press, 1971.

常规科学的成就，无论多精细、复杂，所引起的是赞叹而不是惊讶，因为这一结果是被预期的，而现在只是令人折服地实现了。X-射线所引起的惊讶诧异，是因为这一发现并非当时物理学所遵奉崇信的规范所能把握，这种意外被称为“异常”。

X-射线实际上被很多科学家很多次地注意到过，但是只有伦琴给予认真的观察与研究。原来当实验展现出超规范预期的结果时，科学家会有两种截然相反的方式处理这种异常：一是完全忽略，熟视无睹；一是调整理论使之与实验相合。这种调整必然是逐步的，依次扩大调整的范围和深刻程度，直至异常消失。那些挥之不去的异常则直接危及已建立的规范。库恩总结说，“伦琴的发现始于觉察到不应该发光的屏幕发光了。……所谓异常，就是研究者所服膺的规范对之毫无准备的现象，而对异常的觉知又是接受新事物所必不可少的一环”（57，49，107—108）。

第三个例子是“莱顿瓶”，库恩以此例说明那一类不产生“新事实”的科学发现。所谓“莱顿瓶”，是一种在现在看来本质上同于一个容量极大的电容器的装置，用以贮存电荷^①。当时的科学家猜想电应当是一种流体，库恩称之为解释电流的“许多理论”中的“一个”。既然是流体，应该可以用瓶子盛起来，这就是莱顿瓶设计的最初想法。但实验表明这种“流体”盛不起来，必须把瓶子稍作改进才行。这就形成了对电流的“流体说”的一个异常。

新鲜现象总是同困难或异常现象一起出现的。常规科学的目的并非要搜寻“新现象”，它甚至“倾向于压制”（64，53，115）新事物的产生。但是，常规科学既是有条理的、最精细缜密的研究，它就不可能避开或忽略新现象。常规科学的研究具有明确的目的性，知道它在期待什么，因而也就最能感觉到那些它所未曾期待的异常的出现。异常出现即为

① 莱顿瓶的发现发明史见 Sir E. Whittaker, *A History of the Theories of Aether & Electricity*, N. Y.: Harper & Brothers, 1960, pp. 45-47。该书是 1951 年修订版的重印。此外似乎没有英文的详细介绍，酌见 C. A. Crommelin, *Leidsche Jaarboekje*, 1939, pp. 135-149，这本书我只读过介绍，因此未能多加利用。

科学整体带来一个重新配置、重新调整以消化异常的问题。所以微妙的是,异常是常规科学发展的必然归宿。

理论于是必须调整。库恩在第七章里紧接着写道:“第六章中所考察的种种发现,或直接或间接地导致了规范的变化,而这些发现所涉及的变化,常既是破坏性的,又是建设性的”(66,55,117)。说“这些发现所涉及的变化”是建设性的有两层意思:一是通过这种异常发现,科学家们最初的也是直接的反应是调整、修正理论,使之更臻完美;二是如果前一方法不能解决问题,异常不能被纳入理论可以消化的范围,这种异常就会促进规范的改变,令整个学科改弦更张、推陈出新。哥白尼天文学就是一个好例子。13、14 两个世纪中,天文学家一直在努力修改托勒密的本轮均轮理论,以符合观察结果。但是,人们最后注意到,这种修改使得“天文学的复杂性比其精确性增加得快得多”(68,57,120)^①。同样的事也发生在氧的发现所引起的问题上。为了坚持燃素说,必须假定燃素有负重量,而贯彻这一假定的代价亦即在科学中引起的混乱要比放弃整个燃素说大得多。

这种变换规范的活动,库恩着重指出,都只能在常规解谜活动宣告完全失败时才会出现(74—75,62,126)。科学的本质是保守的。只要理论调整或局部修改、扩充规范有可能使异常消除或缓解,科学家就不会考虑更换规范,这与通常小册子或通俗科学史所描绘的科学形象截然相反。因此,如果出现系统的、挥之不去的异常,科学就真正进入了危机。“危机的意义在于:它指出更换工具的时机已经到了。”(76,63,128)

异常出现的情形非常复杂,远非是一种简单的否证。因为异常作为违反规范预期结果的事件所造成的破坏性随各个案例不同,科学家一般也不会马上抛弃成规、抛弃已有的规范。“科学发展的历史学研究所揭示的所有发展事例,还没有一个与所谓通过和自然界的对比而被证伪的方法论模式相合。”(77,64,129)库恩在第八章里讨论科学家在

^① 这是库恩当时的说法,参见本章第七节的讨论。

危机出现时的行为。和大部分人想象的相反，科学家多数会愿意等待。只有异常被普遍地认识到，并且尖锐化，只有当新的、与旧有规范有竞争可能的候选规范出现时，科学才会发生革命性变化。没有新规范的产生，再严重的异常乃至危机，仍不能被必然地发展为革命。

第九章到十一章论革命。库恩对“革命”的定义是：

科学革命是指那些科学发展的非累积性阶段；在这阶段中，旧有的规范或全部或部分地被新的、与之不相兼容的新规范所替代。
(91,76,145)

库恩在第八章中就提到，规范的替换就是革命。在危机时期，旧规范约束力松弛，平行的候补规范则进入竞争状态。这种百家争鸣的局面很像科学最初产生时的情形。但在严格意义上的“规范交接”，又往往有两个规范重叠的情形。“在过渡时期会有一大批问题，既能在老规范下解，也能在新规范下解。”(85,70,137)

一个候补规范如何战胜与之竞争的其他规范而实现“定鼎于一尊”，独霸天下，成为新的规范呢？即科学革命如何完成呢？库恩指出，绝非一蹴而就。于是，就有必要对革命作细致的结构分析。

五、科学革命的结构 2：革命

前八章意在说明科学革命的产生。九至十一章讨论科学革命进程和如何实现。在一定意义上说，这就是“科学革命的结构”。

库恩首先把科学革命和通常意义下的社会政治领域里的革命作比较，他认为两者非常相像。相像之处在于，两者都发生于旧有成规不能再良好地起作用的时候；同时也在于新产生的成规总是力图消灭旧有成规。这儿的“成规”对社会政治革命而言就是制度和社会体系，对科学而言就是规范。

但是这种弃旧图新的选择是如何实现的呢？这是真正的困难所

在。“正如对相互竞争的政治体制的选择一样,对相互竞争的规范的选择实在是对不相容的科学共同体生活模式的选择。由此,这种选择不取决于也不可能取决于常规科学所特有的评价程序,因为这程序多少依赖于规范,而规范本身已不再是双方的共识了。”(93,77,147)

库恩接着指出,规范的改变不可能是知识或对于自然的认识渐渐积累的一种自然结果,这种事“事实上很少而且一般说来也不太可能”(95,79,149)。革命也不可能是由一个适用范围更广、更加精确的理论代替一个旧理论而实现。把科学发展看作是理论的扩充,例如爱因斯坦的力学公式代替了牛顿的公式,后者作为前者的一个特殊情况继续在运动速度远远小于光速时的一个极限情形继续存在,是一种“最流行的”意见。库恩认为,这是“凭空杜撰的”,因为尽管牛顿理论与爱因斯坦理论都谈论诸如“质量”、“时间”之类的概念,但这些概念的内涵是完全不同而且是不相容的。例如质量,在牛顿那儿是一个基本的守恒量,在爱因斯坦那儿只是一个与运动速度相关的物理量。一者守恒,一者可变,根本谈不到相同,甚至谈不到可比。在科学史上,还可以看到很多类似的情形。所以在研究历史上规范转换的过程,两三种规范并存竞争时,企图利用科学内在的概念分析或逻辑框架来判断规范的优劣在逻辑上是一种循环论证:用以判断规范的逻辑基础本身是建立在被判断的规范之上的。所以

正如关于标准孰优孰劣的争论一样,关于价值的问题必须用处于常规科学之外的判别准则和程序来解决。这种对外在于常规科学的标准的要求使得关于规范的辩论更具革命性。(109,90,164)

换言之,革命的要求是常规科学自身发展自然而然地提出的;可是革命并不能在常规科学内部完成,因为这在历史上没有发生过,在逻辑上也没有跳出循环论证。

库恩认为,视觉格式塔转换在解决这个问题上有启发作用(110,

91,165),并由此转入科学发现的心理学研究。

所谓格式塔是一组德国心理学家在20世纪20年代发展起来的一个概念。以这个概念为中心和基础发展起来的理论后来习惯上称为格式塔心理学。格式塔一词源于德文的“形态”、“形式”和“结构构造”。格式塔理论所处理或所面对的,是一不能再划分为更小独立事件的事件,这一事件可以是一种经验,也可以是一种行为或行动。由研究感性知觉起,格式塔心理学进一步发展到研究思维。在思维的研究中,两个方面的问题占主导地位:理解和洞察深微是如何实现的,发现是如何实现的。格式塔理论认为,理解是把已知事实的关系找出来,识别出来的活动;而创造性思维是对新的结构或组织的发展。一个问题的解起于认识到要达到已设目标要经过若干步努力,完成于补足这过程的每一步。所以思索、思维并非一点一滴地通过积累完成的,而是通过组织与重新组织完成的。这就使得零散的独立事实的收集积累与结构构造成为泾渭分明的两回事。如果全无基本原理的指导,创造性思维根本是不可能的。

对于库恩来说,科学规范就是这样一个不可以再划分的事件。规范形成一种形式,一种构造方式,一种价值观念,起着一种格式塔的作用。当库恩撰写《结构》时,他读到了汉森(N. R. Hanson)的《发现的模式》^①。这本书以最清晰的语言和最令人印象深刻的图形提示了心理状态和接受事实时的格式塔对于接受的影响。库恩引用了汉森的论述。论述的要点在于如何认识“事实”这一概念以及它在科学中的作用。

库恩对“事实”概念的思索起于1949年或1950年^②,当时他正在阅读默顿(R. Merton)的著名论著。在《十七世纪英格兰的科学、社会和

① N. R. Hanson, *Patterns of Discovery, An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge: Cambridge University Press, 1958。这本书在1958年底问世,据前章讨论库恩撰写《结构》的时间可知,两者正恰约略同时。库恩在《结构》中引用了汉森“详尽阐述”的结果(112,93,167)。

② T. Kuhn, “Foreword” (to L. Fleck, *Genesis and Development of a Scientific Fact*, Chicago: University of Chicago Press, 1979), p. x.

技术》一书第 221 页的一条注释里^①,库恩注意到了心理学家皮亚杰(J. Piaget)的工作,这是他对心理学的最初接触。稍后在德国哲学家赖欣巴赫(Hans Reichenbach)的《经验与预测》一书第 224 页的一条注里,库恩注意到了弗莱克(Ludwik Fleck)的“几乎完全无人知晓的”书——《科学中事实的产生与阐明》^②。

这个标题本身令库恩极感兴趣。“事实”本来一直被看作是最素朴、最单纯、最不能变易的东西——而弗莱克,一个在德国集中营里的犹太医生竟在谈论“事实的产生和阐明”。

问题在“事实”这个概念上。弗莱克从考察对梅毒的认识开始他的分析。他注意到在科学史上,梅毒被当作一种疾病从不同的角度处理过:道德方面的、临床经验性的、病理学的,乃至病原学的研究,依次揭示了这个令人恼怒的疾病的各个方面。弗莱克接着对这一段科学史作了认识论上的分析。他提出,概念本身是历史发展的产物,因而是发展的。“事实”是无穷多的,但是原始的想法始终在科学发现和发展中起引导作用。思想方式和科学家作为一个整体的想法始终引导制约事实的收搜。从这个意义上说,客观实在在知识构成中是一种被动的成分;而假说和其他先入条件则主动地去构造知识,并由此使得事实成为科学研究中真正起作用、有意义的东西。弗莱克提到,所谓的“先入条件”可以是文化的,也可以是社会历史的,也可以是思想方法的。弗莱克称这种把整个观念体系联结在一起的、造成整个图景和谐相容的东西叫 Gebilde。

① 这儿的页次是指该书 1970 年纽约重印本。下文 Reichenbach 的页数是指 1938 年芝加哥英译本。这两个版本是库恩后来用的。

② L. Fleck 的书当时印了六百本。据现在推测,大概售出两百本或多一些。原书 1935 年由 Benno Schwabe & Co. 在瑞士的巴塞尔出版,因为当时的政治气候已不适于一个犹太人在德国控制下的利沃夫(Lvov)出版这样的书籍了。出版后两三年内这本书得到了十一个书评,其中一个为法文,其余是德文,包括一些发行相当广的杂志。所以在当时德语世界中,本书并不能说是“无人知晓”。但不久利沃夫即为苏联占领,旋又为德国夺取,作者本人被送进臭名昭著的奥斯维辛集中营。可能因为作者在血清和传染病方面的专长,才令他免于死,上了“辛德勒名单”。战后作者为波兰工作,至去世前三年移居以色列,所以此书在英语世界中大概确是“无人知晓”。

所以汉森所揭示的格式塔转换和弗莱克所谈论的“事实”概念，以及引导科学家重新审度事实的 Gebilde 实在是一回事：他们从两个各自独立的方面揭示了科学发生重大改变时的情形。Gebilde 是格式塔的内容而格式塔为 Gebilde 提供了作用的渠道、方式或形式。当科学危机发展到一个程度，一部分研究者试图用新的角度、新的基本假定和出发点、新的仪器和方法去重新检查审验旧有的和新近发现、注意到的事实材料时，一种新的规范就产生了。如果这种方式进一步发展，一直发展到取代了旧有规范而取得了支配地位，科学革命就发生了。

库恩引用了大量科学史事例来说明这种格式塔转换。首先是天文学中赫歇尔(William Herschel)的例子。1690年到1781年近一个世纪中，天王星至少17次被观察到。但直到赫歇尔，这颗星或者被解释为一颗彗星，或者整个地被忽略了。这才是真正的“熟视无睹”(114, 94, 169—170)。为什么会有这种事情发生？库恩利用伽利略对单摆的观察指出，就描述而言，亚里士多德学派的学者和伽利略类似，他们的知觉同样精确。这儿真正发生的，是中世纪经过几百年发展起来的一个规范转换，一个以冲力分析运动的新方法。“经院哲学的规范出现以前，摆并不存在，学者们看见的只是左右晃荡的石头罢了。摆是由规范导致的转换这样的事件创造出来的。”(119, 95, 176)

所以在不同的规范约束下，科学家所看见的是不同的东西——尽管他们所注视的客体是一回事。库恩由此证明，说感官经验是固定的、中性的，说理论是对固有资料的诠释的这种知识理论并“不能有效地起作用、说明问题”(125, 103, 180)，因为在规范改变以后，“经验资料本身已非原来的东西。归根到底我们要指出的是，在科学革命以后，科学家就是在另外一个世界里工作了”(134, 111, 190)。所以库恩把论述革命的第十章叫做“革命是对整个世界看法的改变”。

这种规范改变一旦取得统治地位，革命就完成了。但这种完成是不露形迹的：没有一门科学曾经宣布过革命的完成。这种完成表现在教科书或相当于教科书的权威的、帮助下一代研究者建立规范的著作的出现和广泛采用之上。这种著作的任务是“记录过去革命产生的稳

定的结果,并由此表现当前常规科学传统的基础”(136,112,192)。

至此,库恩完成了他对科学革命的论述,其要点如下:常规科学在一种科学家所共同遵守崇奉的约束规范下进行极其细致缜密的研究,这种研究会自然而然地、必然地导致异常的出现。所谓异常,就是现存规范所无法包容的结果和事实。但是,事实本身并不是完全中性的,事实在不同的规范下有不同的诠释和意义。改变规范则渐渐显得是消除上述异常的唯一可取的办法。可是规范改变不能由常规科学在其内部完成,正如我们不能通过把头发向上拉使我们自己飞离地面一样。规范的改变是一个对整个世界看法的改变,类似于心理学格式塔转换。这种转换既非通过一点一滴的积累、渐臻完备的,也不是通过一个重大改动,一蹴而就的,而是通过一个相对于常规科学来说常为短暂的混乱期渐次完成的。规范的这种转换就是科学革命。革命前后整个科学、科学家对自然的看法完全改变,就好像进入了一个新的世界一样。

六、科学革命的结构 3: 应该怎样写科学史

库恩的工作从本质上说是历史学家的的工作,至少他自己是这么说的。——1968年3月在密歇根州立大学作伊森伯格(Isenberg)讲演时如是说,几乎十年以后该文发表时仍旧这么说^①。《结构》发表以后,最先注意到的也都是历史学家。1963年4月,库恩的老朋友,十年前曾在 *Isis* 和他公开讨论牛顿疑问 31 的波埃斯(Marie Boas)^②,在对《结构》评论中引了两个历史学家的标准著作,即布里顿(Crane Brinton)的

① T. Kuhn, “The Relations between the History and the Philosophy of Science”, 这是 1968 年 3 月 1 日库恩在密歇根州立大学的演说。库恩在开场白里说:“我是以一个科学史家的身份来演讲的。我的大部分学生都是历史学家,不是哲学家。我是美国历史学会会员,不是哲学学会会员。”后来该讲演在《必要的张力》中发表, pp. 3 - 20, 中译见《张力》第 3—20 页,又见程译第 271—292 页。

② Marie Boas Hall, *American Historical Review*, 68 (1963)700 - 701。Hall 是 Boas 博士婚后加冠的 A. R. Hall 的夫姓。

《革命剖析》^①和萨顿(G. Sarton)的《科学史》，来同《结构》比较。她说，库恩的著作会受到很多人的“热烈欢迎”。库恩的另一个老朋友，哈佛“四重奏组”的巴博(Bernard Barber)则从科学社会学的角度对《结构》作了评介^②。巴博最感兴趣的是“科学共同体”。他特别注意到，库恩在《结构》中明白提出的很多结论是“关于科学家的社会学或社会心理学的”。这两篇1963年的书评几乎是戏剧性地预示了《结构》发表以后至1969—1970年间库恩工作的发展。

在《结构》写作甫成、即将发表时，库恩为英国学者海斯(Mary B. Hesse)的新著《力和场：超距作用概念史》^③写了一篇书评^④。这篇书评当然可以看作是库恩写《结构》的规范的反映。库恩注意到，海斯并非为历史而写历史，而是“可能更注重哲学分析”：

对我来说，海斯博士在哲学方面清晰的论述至少和她在历史方面的清晰论述同样值得赞扬，但是把两者结合起来的努力却是本书主要弱点的来源。科学史和科学哲学在很多方面相得益彰，……但写哲学和写历史在其侧重点、价值取向和材料组织原则上颇不相同，而海斯博士未能时时处处成功地把这两方面的论述糅合在一起。

话是不错，可是谈何容易！稍后在评阿格西(J. Agassi)的一本讨论科学史写法的书^⑤时，库恩有机会进一步阐发他的史学观念^⑥。阿格西批评一种他称为“归纳主义”的史学理论，认为大部分科学史著作把

① Crane Brinton, *Anatomy of Revolution*, New York: Prentice-Hall, 1950. C. Brinton 是哈佛历史系的 McLean 讲座教授，他与 J. B. Christopher 和 R. L. Wolff 合著的《文明史》是大学广泛采用的标准教科书，1955 年出版，1967 年出至第三版。

② B. Barber, *American Sociological Review*, 28 (1963)298 - 299.

③ M. B. Hesse, *Forces and Fields: The Concept of Action at a Distance in the History of Physics*, London: Thomas Nelson & Sons Ltd., 1961.

④ T. Kuhn, *American Scientist*, 50 (1962)442A - 443A. 下文引文在 p. 442A 右栏。

⑤ Joseph Agassi, *Towards an Historiography of Science*, The Hague, 1963.

⑥ T. Kuhn, *British Journal for the Philosophy of Science*, 17 (1966)256 - 258.

科学知识与教科书中的定理、理论混为一谈,把科学描绘为通过对原始材料的深思熟虑、分析组织,最终发展起来的,而这些原始材料又是由无偏颇的观察实验所收集、组合而成的。阿格西认为,如果历史果然如此,则科学就成了一团无内在联系的杂烩。如果科学中的谬误和误解只是由于方法不当造成的,科学家就必须被描绘为具有分裂人格的精神病患者:他们一边为错的理论拼命辩解,一边为增进真正的知识作出贡献。

尽管库恩说他的史学观念与阿格西相近,但他不同意阿格西对科学史现状的分析和批评。1968年初,库恩一连发表了两篇文章,比较系统地从事史学角度讨论了如何写科学史的问题。库恩认为,科学史和科学哲学是两门关系非常密切的学科,但仍旧是两门学科。如果强行将两门学科归并为一,则两方面都要受到损害。因为历史靠描述。描述得合理,毋需明白的概括也能起到解释作用。哲学要概括,其目的不是了解特定时间、地点所发生的事^①。

库恩认为,科学哲学对科学史未必有用,但科学史却能使科学哲学更加丰富,能帮助科学哲学家更好地了解科学。历史“是一种解释性事业,一种启发理解力的事业,因此它不仅表现事实,还要表现事实之间的联系”。

就1968年的情形来说,科学史的研究有两个主要的取向:一是以研究科学概念自身发展为主的内在史学派,一是以研究科学的社会文化关系的外在史学派。前者是思想史在科学史领域里的延伸,柯列依是这一方向最主要的代表;后者与社会学、社会心理学有亲密的联系,从思想根源上说与马克思主义强调经济社会背景、韦伯强调文化宗教背景有明显的继承关系。库恩认为,这两个学派实际上在讨论科学发展的不同成熟阶段。对新学科发展初期,社会需要与社会价值、经济和文化这些“外部的”因素当然是主导的。可是随着科学的发展,由科学家、专业从业人员组成的亚文化群形成,科学的成果、著作常在这一特

^① 见库恩1968年3月1日在密歇根州立大学的演讲。

定的人群中分享,科学渐次独立,问题和答案、读者和作者、评判标准与程序,都在这个亚文化群中,内在研究方式就自然成为主导方式,而且常常很成功^①。

对于库恩的规范理论来说,在常规科学阶段,规范自然是内在的标准;在规范转换即革命期,规范的选择淘汰又必须诉诸常规科学以外的因素。这种因素,如果认为历史进程应当是理性的、有因果关系可言的,就只能是社会的经济文化因素。历史学家和社会学家于是在《科学革命的结构》中读到了他们各自所能理解、所想要读到的东西。本节开头所引的两则书评,清晰地反映了这两方面的评价。

库恩还进一步认为,科学史和历史应当是可以融合、可以相得益彰的两个学术领域^②。他举出达尔文对西洋文化潮流的影响;同样西洋文化的其他精湛部分也影响了达尔文的工作。科学在历史中的作用,有影响的科学思想的来源,科学进步在更大的文化领域中担当的角色,都是科学史和一般历史共同注意的问题。在引进科学的外在即社会经济文化因素后,科学史更加引人注目地成了历史研究中不可须臾或缺的一环。

在纪念柯列依的前引文章^③中,库恩总结了科学史发展的两大方面:作为思想史的科学史,由柯列依倡导,注重研究科学和科学家在其各自的时代之中的发展和行为,已经取得了很大的成绩;另一方面是研究科学的社会背景,库恩认为,这种社会文化史方向的研究,应该可以为科学史研究开辟一个崭新的天地。

库恩的《结构》在历史学方面的重要性常不在于发掘史料,也不在于重建某些发现过程。《结构》的贡献在于提出了一个概括科学发展整个过程的线索,这显然有助于构造整个画面。《结构》又提出了科学革命的细致构造,引入“危机”、“规范”之类相当具体的概念,这显然有助

① T. Kuhn, "History of Science", 这是他为 *International Encyclopedia of Social Science*, New York: Crowell, 1968, 写的一个条目, 见该书第 14 卷, pp. 74 - 83。中译收于《必要的张力》第 103—126 页, 刘珺珺译。

② T. Kuhn, "The Relation between History and History of Science," *Daedalus*, 100 (1971) 271 - 304, 中译收于前引《必要的张力》第 127—160 页, 邱仁宗译。

③ T. Kuhn, "A. Koyré and the History of Science," *Encounter*, 34 (1970) 67 - 69.

于构造细节。但是,库恩最重要的贡献并不在此,而在于史学方法和史学观念上。通过“规范”以及相关概念,库恩无疑大大发扬了柯列依以来的思想史传统,使之深化;通过对规范转换尤其是对相关社会经济文化背景的诉求,库恩无疑大大开拓了史学尤其是科学史史学的领域和思路。在1960年代之初,科学史向社会文化经济方面的发展已见端倪。科学史中在1960年以后出现的大量社会文化史研究虽然不一定完全得力于库恩的教导和指引,但是,库恩无疑是最早最明确最自觉地提出这一方向的一个科学哲学家。这一方向上日后的发展,不仅加深了我们对科学自身历史的了解,而且加强了科学史和传统历史学的联系,并使两者都因此受益。这种对思想史、社会经济史兼收并蓄的史学方法,融合各种历史因素,使我们有可能构造出更加均衡生动的画面。在此以后,科学史中的“内在学派”和“外在学派”就不再是对立的、相互驳难的两派,而成为历史的相辅相成、相反相成的两个方面了。

七、哥白尼革命的结构分析

与库恩《科学革命的结构》写作和发表约略同时,对哥白尼革命的纯历史学研究有了长足的进展^①。我们知道主要参与其事的一些阿拉伯史、早期天文学史作者并没有读过库恩的书,但他们的工作确实揭示出了库恩先前只能含糊其辞地讨论的“从托勒密以来的十四世纪”^②中许多重要的细节,客观上丰富了哥白尼革命的内容,也提示了库恩理论中隐含的一些困难^③。让我们对这一工作作一稍微细致一些的考

① 最早一篇论文可追溯到 V. Roberts, *Isis*, 48 (1957)428-432。以后的论文主要有 E. Kennedy & V. Roberts, *Isis*, 50 (1959)227, Fuad Abbud, *Isis*, 53 (1962)492, V. Roberts, *Isis*, 56 (1966)208 以及 E. Kennedy, *Isis*, 57 (1966)365。

② 见《哥白尼革命》第四章,特别是第101—102页,库恩还提了一句“伊斯兰天文学”。

③ 库恩写作《哥白尼革命》约在1957年前,当时本节所讨论的阿拉伯史工作尚未开展,所以库恩的资料与19世纪没有太大差别。E. Kennedy 1982年3月在 Instituto Hispano-Arabe de Cultura 讲演,列出的35种关于哥白尼革命的重要文献和参考书中,仅一部在1957年前出版(《天体运行论》的德译本):由此可以窥见这一专门方向被刷新的程度。

察,并由此来看看库恩理论在科学史工作中的遭遇。

近年来的研究表明,大约在 11 世纪时,阿拉伯学者海塞姆(Ibn al-Haytham)就指出,托勒密利用等位点技术来解决行星运动问题隐含了对亚里士多德关于天体运动应该是完美的基本论断的否定^①。案亚氏要求天体以圆形轨道运行实在包含两方面的要求,即(a)以地球为起点、以行星为终点的矢径长度为一恒量和(b)此矢径以地球为中心的角度为恒量。但等位点技术放弃了“以地球为中心”而代之以“以等位点为中心”,此一替代没有理论根据,因而不能令人满意。12 世纪学者乌马·卡杨(‘Umar Khayyām)也提出过类似诘难,但他们都没有给出解答。另外一位著名学者阿凡森纳(Avicenna)据说也提过这一问题。这些史料表明,“托勒密问题”在当时已引起了普遍的关注,因为像阿凡森纳这样的学者提出的问题,不可能不引起广泛的回应。

这个时代正是阿拉伯文明的黄金时代。成吉思汗的孙子,巴格达的征服者旭烈兀在伊朗阿塞拜疆的玛拉干建立了一座观象台,其主要学者图西(Nasīr al-Din al-Tūsī, 1201—1274)^②是我们现今所知道的第一个从正面考察“托勒密问题”的学者。他最重要的改进和发明被现代学者称为“Tūsī 连环”^③,这是两个相内切的圆,小圆的直径恰为大圆的半径。小圆以常速在大圆内部沿圆周滚动。这一设计连同等位点以某一合适的速度运动,可以既保证所有涉及的矢径长度和速度同时为常量,从而满足了亚氏的要求,又能与观察结果相符合。其提出时间不晚于 1261 年。

差不多同时,1259 年,另一位阿拉伯学者伍尔蒂(Mu’ayyad al-Dīn

① E. Kennedy, *Awraq*, 5-6 (1982/3)19; Idem, *Al-Abhath*, 23 (1970)327-344.

② Carra de Vaux, “Les sphères célestes selon Nasīr-Eddīn Attūsī,” dans P. Tannery, *Recherches sur l’histoire de l’astronomie ancienne*, Paris: Gauthier-Villars, 1893, pp. 337-361.

③ “Tūsī 连环”最近的研究见 G. Saliba and E. Kennedy, *Arabic Science and Philosophy*, 1 (1991)285-291, 并见 E. Kennedy, *Centaurus*, 27(1984)109-120。E. Kennedy 先生还深信玛拉干学派与中国元代天文学有联系,见氏著 *Isis*, 55 (1964)435-443。

al-‘Urđi)^①提出了解决这一问题的另一方案。科学史家已经弄清,图西和伍尔蒂的两套方案有类似之处,但他们两人的确是相互独立地做出来的。

这种“同时发现”(或发明)在科学史上常有重要的史学意义。我们前面已经看到,库恩对这种现象曾深感兴趣,不过他所用的例子是能量守恒而不是阿拉伯天文学中图西和伍尔蒂的关于托勒密的工作。

在图西所创立的玛拉干学派中,史拉齐(Qutb al-Din al-Shirāzī, 1236—1311)^②引起了科学史家的注意。他后来离开了玛拉干在中亚和地中海地区作长时间漫游,最后死在大布里士(Tabriz)。他对于行星的理论类似于图西,所不同的是他的矢径起点既不是图西所用的等位点,也不是托勒密所用的均轮中心,而是两者连线的中点。从几何上说,他的体系与图西的等价,所以结果自然也差不多。

稍后,沙蒂尔(Ibn al-Shāṭir, 1305? —1375?)^③继续这一改良托勒密体系的工作。他构造了一个与图西、史拉齐在几何上等价的体系。因为史拉齐的生活年代正恰在图西和沙蒂尔之间,而他又是玛拉干学派的一个成员,又在中东地中海区广作旅行,科学史家颇倾向于假定他是沙蒂尔与玛拉干学派的桥梁。沙蒂尔的理论与他的先驱者的不同之处在于,他把矢径的起点再次移到地球自身。也就是说,经过了大概一千年的努力,天文学家又好像回到了他们工作的起点,回到了亚里士多德说的天体作匀速圆运动的基本假定。对沙蒂尔来说,现在天体,包括行星、太阳和其他“星星”,又重新“真正地”围绕地球运行了。这儿“真正地”意思是地球在物理上又被假定为这些运动的中心了。

把沙蒂尔和哥白尼的工作作一比较,科学史家吃惊地发现如下相

① G. Saliba, *Journal of History of Arabic Science*, 3 (1979)3 - 18.

② 本传见 *DSB*, v. 11, pp. 247 - 253。史料见 G. Sarton, *An Introduction to History of Science*, Baltimore: Williams & Wilkins, 1941, v. 2, pp. 1017 - 1020.

③ Ibn al-Shāṭir 已引起广泛注意。大部分重要成果汇集在 E. Kennedy and Imad Ghanem ed., *The Life and Work of Ibn al-Shāir*, Aleppo: University of Aleppo, 1976。

似性：

(1) 哥白尼、沙蒂尔和玛拉干学派的天文学家都毫无保留地接受亚里士多德的矢径“完美”原则，即模型中的矢径长度应为恒量，速度应为恒速；

(2) 哥白尼、沙蒂尔和玛拉干学派的天文学家都利用两套附加矢径取得和等位点技术相同的效果；

(3) 哥白尼的月球运动理论就是沙蒂尔的理论，较之托勒密有很大的改进；

(4) 哥白尼的水星理论的后期形式，即在《天体运行论》中的形式，与沙蒂尔一样，只是矢径长度略有不同；

(5) 同沙蒂尔一样，哥白尼在水星理论里采用了上文所说的“Tūsī 连环”技术。^①

1972年，科学史研究者还发现，在1536年欧洲确实已经知道了“Tūsī 连环”技术：一位亚里士多德研究者阿米科(Giovanni Batista Amico)在他的工作中采用了这一技术^②。

我们不知道哥白尼能不能阅读阿拉伯文或波斯文，但我们确实知道他的希腊文相当流利，他并以此为自豪。上面所说的玛拉干学派的主要著作都有希腊文译本。从这些研究看，哥白尼很有可能在他游学意大利时接触到玛拉干学派的工作并以这一工作为起点推进了他的日心体系^③。

但是，从最严格的历史学要求看，这一结论仍旧是一个推断，并没有直接的史料证明——也许永远也不会有，因为在哥白尼时代利用别

① E. Kennedy, *Isis*, 57 (1966)377.

② N. Swerdlow, *Journal of Astronomy*, 3 (1972)36 - 48.

③ 哥白尼曾翻译过一些希腊文的诗，以此知他希腊文造诣当有一定程度。哥白尼时代 Cracow 及其附近地区的生活环境和学术气氛的研究表明阿拉伯天文学当时在东欧今日波兰一带颇为人知，见 Grazyna Rosinska, *Isis*, 65 (1974)239 - 243.

人的研究成果并不需要加以说明。然而即使以上面这样非常简略的介绍来看,哥白尼和玛拉干学派,尤其是后来的沙蒂尔之间的联系和类似性绝不似简单的巧合^①。

如果真是这样的话,哥白尼的工作中最关键的一点就是他把沙蒂尔的体系中的地球和太阳互换了位置。为什么要这样做?科学家有时可以在一个概念体系里坚持工作一千年,修补各种漏洞和裂缝;有时又一下子放弃一个概念体系去另起炉灶,这究竟是怎么一回事呢?以库恩的“结构”理论来分析,这当然是一次典型的规范转换。在“托勒密以后的十四世纪”中,尤其上面所引的阿拉伯学者在11世纪到14—15世纪的工作中,我们可以看见库恩所说的常规科学。各种技术的采用,越来越复杂的模型修正,目的都是希望能贯彻亚里士多德的完美原则,使之与观测尽可能地一致。

但是历史并没有显示出真正的“异常”,更不用说“危机”来。科学史所提供的画面越是精细,整个科学的发展就越显得是一个连续的整体,我们好像很难一定在沙蒂尔和哥白尼之间画出一条明白的界线出来。库恩在《结构》中有两处提及哥白尼革命的原因,但似乎与科学史的图景不甚相合^②。而且,哥白尼所做的改变,是把沙蒂尔的图景中地球和太阳的位置对调;至于亚里士多德的“完美”原则则完全保留,而托勒密的具体技术细节也未加重大变动。何以判断这一变动就是“规范变换”,或简言之,何以判断何者是规范呢?

这就引起了热烈的讨论,众说纷纭,莫衷一是。有人同意库恩的分析,有人不同意。其实讨论的结果对库恩、对理解库恩恐怕只有第二位的意义。真正重要的是,讨论在进行。库恩关于科学发展的史学观点,

① 1985/86年间这一问题的主要研究者,故 O. Neugebauer, N. Swerdlow, G. Saliba 和 C. Gillispie 曾在普林斯顿科学史讨论班上谈过这种巧合所提示的可能的联系。库恩曾描述过这种讨论班,见《必要的张力》,中译本,第156—157页。这些专家都认为这种联系是“可以想象的”。又见 N. Swerdlow and O. Neugebauer, *Mathemethical Astronomy in Copernicus's De Revolutionibus*, N. Y.: Springer-Verlag, 1984, pp. 41—48。

② 参见《结构》,68,57,119—120;83,69,136。

最重要的是对发展整体的把握,他没有,也不可能给出对具体历史事件的万能判定准则。他的工作最重要的贡献是其特有的启发性。有趣的是,所有参加讨论的人,不管主张什么,都无例外地,有时甚至是不自觉地利用了库恩的论证方式和理论范畴。在这个意义上,库恩的规范理论倒成了史学,尤其是科学史理论的一个规范了。

八、科学哲学界对《结构》的讨论以及库恩的发展

《结构》一书在科学哲学界引发关注讨论比在历史学界晚三四年,这可能是因为在20世纪60年代初库恩对于哲学界还是一个新人,而他的理论离开当时哲学界的中心问题也稍远,哲学界需要一些时间来发现和消化库恩的见解。到1965年、1966年,《结构》渐渐引起了足够的注意。据粗略的估计,自这时起,哲学界讨论《结构》或相关概念的论文,重要的不下五百篇^①,其中不少还出自大师之手。讨论主要集中在“规范”和“革命”两大概念上,库恩对这些文章也有数次答辩^②,这就客观上丰富发展了原来的科学革命理论。

“规范”概念是库恩的重大发明,在整个理论中起枢机作用,贯穿始终。库恩尝戏称幸好《结构》一书未做索引,不然“规范”一词只能列为

① 据 Paul Hoyningen-Huene, *Reconstruction of Scientific Revolution*, Chicago: Chicago University Press, 1993, 所附文献表,但其中不包括东方语言如中日文的文献,也不包括非科学哲学专业如社会学、心理学、历史学的讨论,也不包括对库恩理论的发展和应用。

② 最主要的大概有六篇,即“Logic of Discovery or Psychology of Research”和“Reflections on My Critics”,刊于 I. Lakatos and A. Musgrave ed., *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge: Cambridge University Press, 1970, pp. 1 - 20 和 pp. 231 - 278。前一篇又收入《必要的张力》,中译本第 264—283 页,纪树立译;“Postscript 1969”,收入《结构》英文第二版,中译见前引程译本第 233—270 页,傅大为译;“Notes on Lakatos”,刊于 R. C. Buck and R. S. Cohen, *PSA*, 1970, pp. 137 - 146; “Second Thoughts on Paradigms”收入 F. Suppe ed., *The Structure of Scientific Theories*, Urbana: University of Illinois Press, 1974, pp. 459 - 482, 后收入《必要的张力》,中译本第 289—313 页,纪树立译;以及“Theory Change as Structure-Change,” *Erkenntnis*, 10 (1976) 179 - 199.

“见第 1—172 页”^①。批评主要集中在库恩原著中这一词用法含混、定义不清上。库恩也同意这一点,所以他首先作了以下澄清:

……规范一词有两种意义不同的使用方式:一是某一特定社群的成员所共享的信仰、价值和技术等构成的整体,一是上述整体中的一个环节,一种可以被当作典范来替代规则的“问题的具体解法”,这一解法为常规科学中尚未解决的问题提供一个解答的基础。(175,234)^②

为了理清这一处混淆,库恩在 1970 年前后一系列文章中引进了“学科规矩模式”和“典范”两个概念^③,分别取代原来“规范”一词上述两方面的意思。这两层意思并非并列的,按库恩的说法,后者是前者的一个子集,或者说,前者是“规范”一词的广义运用,后者是狭义应用。前者囊括使一门学科之所以成为这门学科的规定、规则,专业人员的做法、价值观念,一如铸造时的模式,一如胎儿长成过程中的子宫,一如匠人手中的矩尺圆规以及营造作所开列的法式。至于后者,“典范”,则如教科书中的例题,也许通过教师的帮助,学生最终能由此理解如何把原理定理运用到相似的问题中去。

但是“学科规矩模式”也好,“典范”也好,并不出于上帝的指定,而在于全体从事这一学科的专业人员的崇信遵从。这儿“全体”一词又成了问题,因为“规范”是专业共同体共享的东西,而专业共同体又是共享规范的人群,库恩承认,这儿“出现的方式本质上是循环的”(176,235)。库恩说,如果有机会重写《结构》一书,最要改变的,就是要在全书开头

① 见“Second Thoughts”, p. 459,《结构》初版共 172 页,故云。

② 这儿的页次指《结构》英文第二版和程译本页次。李译本据第一版译出,因此不含本篇文章文字。译文稍有变动。

③ 参见《再论范式》,《张力》英文本, pp. 293 - 294, 297 - 298, 中译本第 289, 293 页; “Reflections on My Critics”, pp. 271 - 272; 《1969 年后记》,《结构》第二版, p. 175, pp. 182 - 187, 中译本第 234, 241—245 页。

就讨论专业共同体^①。他在《再论规范》一文中，即采用这一方式。文中共同体成员除了“共享”之类比较不易判断的共同点之外，还有诸如阅读类似专业期刊，参加专业会议，正式和非正式的通讯网，论文中相互引证，尤其是采用相同的、定义明晰的符号系统和语言^②。在注释中很容易看出，这是《结构》发表以后引出的重要成果。正因为这种有形无形的联系，这一群人的思想交流比较充分，判断也相接近。

这种 1970 年的说法与 1962 年相比有何不同呢？库恩写道：由于以前过分地强调了“规范”概念，“确实促成了这样一种看法：规范是一种半神秘的东西或属性，像一种能引起大众狂热拥护却又不能言传的领袖气质，使那些受它感染的人观念完全改变”^③。库恩是不是放弃了这种“不能言传”的表达或定义呢？他说，“我的基本观点，可以说几乎没有改变……”（174, 233）这样看来，1970 年前后库恩所努力的，是消除原来因为“规范”这个词引起的误解，用更加清楚确定的语言把这种本来不能言传的神秘气质表达出来。他似乎做到了这一点，可是原来蒙眬意味所带来的神秘的感染力和几乎无所不至的“启发性”^④，也因为薄雾的消散而丧失殆尽了。

“规范”也好，后来对之所做的种种正名也好，不是空洞的概念，不是玩弄辞章。——如果仅以词语字面来看，的确比玩弄辞章好不了多少。但是，这个概念有其实实在的对应物。细看科学史，任何人都会感觉到有这么一种东西存在；专门从事科学研究的人，都能很亲切地体验到个中精深微妙的意义，库恩有时也诉诸他们个人的感受。或许这是一种感受，只能意会，不能言传。这就是库恩之所以一开始就把它描述为“范例”和“规则”的联合体。特别具有深刻意义的，是这一概念与科学共同体概念的联系。两者互为表里，相辅相成。库恩用以定义这两个概念的方式不能简单地归为循环论证。循环论证本身属形式逻辑的范

① *Criticism and the Growth of Knowledge*, *op. cit.*, p. 252.

② 《张力》，中译本第 292—296 页。

③ *Criticism and the Growth of Knowledge*, *op. cit.*, p. 272 fn.

④ 库恩自己对《结构》的评价，见《张力》中译本第 289 页。

畴。在这儿,当我们谈论历史时,机械论和形式逻辑显然已经不敷应用。这一点在关于“革命”的概念的讨论中,表现得甚至更加明白。

如果说哲学界大部分学者觉得库恩没有把“规范”说清楚,因而需要修正;那么他们对库恩关于“革命”的概念则持明白的批评态度,认为库恩说错了,需要改正。

前面提及,库恩对革命的定义是规范的替代。在《结构》第十二章和第十三章中,库恩着力讨论了这种替代的特点。库恩认为,这种替代很有些像政治领域中的革命,不同规范所控制的科学家集团有完全不同的语言、完全不同的价值标准、完全不同的世界。因此,他们相互之间无法沟通,无法进行理性的讨论,因为没有有一个共同的理性基础允许他们这样做。这一特点库恩称之为“不可共量性”(147,122,201)。不可共量性最基本的一面既在于,由于规范不同,两组科学家所注视的同一个现象如石块下落有截然不同的、不可比较的意义;也在于他们所用的概念可能表面上相同而实质不一样,就好像对日本人看见“汽车”两个字会在脑子里产生一个全不是汽车的形象一样。

不可共量性从原则上否认了比较科学理论好坏的可能性。新理论为什么替代了旧理论?并非持新理论的科学家集团向其反对者证明了或说明了其优长之处,而在于大部分尤其是年轻的科学从业者转向了新理论,或者说“改变了信仰”。库恩接下来花了不少笔墨说明,理论检验的频率、检验的严峻程度、精确性、比较主观的美学标准、解决问题的能力,都不能用来判定孰优孰劣,所发生的事只是信仰的改变,而且说变就变,这真有些像库恩后来被人批评的“神秘的改宗”。

既然无所谓优劣,何以说明新规范代替旧规范是一种进步呢?库恩认为,本来就不能说明。如果一定要说进步的话,那只是胜利一方根据他们所崇信的规范作出的判断^①。但是“革命以两个敌对阵营中的一方取得完全胜利而结束,得胜的一方会说它胜利带来的结果不是完

^① 库恩认为“进步”这个概念本身就隐含了预设的规范概念。见例如《发现的逻辑还是研究的心理学?》,《必要的张力》中译第284页,亦见《革命》,英文初版 pp. 159-160,李译本第133-134页,程译本第217-218页。

全的进步吗？那简直就是承认他们自己是错的而对方是正确的一样”（165, 138, 224）。这么说，科学的进步与否，全然决定于哪一方来看、哪一方怎么说了。这真有点“成则王、败则贼”的意味了。难怪有人马上批评这是非理性或反理性的相对主义了。

为了贯彻“规范”是科学发展中的统领概念，库恩提出了规范的不可共量性，于是规范改变也不可比，于是科学进步只有相对的意义。这对于整个孜孜追求科学的客观标准、津津乐道科学的进步意义的科学哲学界而言，震动岂止是“革命”两字可以概括的！库恩点名讨论的，是两个“当前最流行的哲学理论”（144, 120, 200），一是纳格尔（E. Nagel）^①的，一是波普尔（K. R. Popper）的。

波普尔 1950 年第一次见着库恩，当时波普尔是应哈佛之邀去主持詹姆斯（William James）讲座及相关讨论，而库恩是一个刚刚拿到博士学位的青年助教。以后又有几次往来，但没有在一起工作过。所以波普尔认为库恩实质上“不太了解”他的工作^②。

和波普尔不一样，库恩认为在谈论科学发展及其规律时，第一位重要的就是科学发展的历史事实。他多次以“科学史证明……”或“科学史从未显示……”之类的论述方式来反驳波普尔。他认为，按波普尔及其学派的说法，对理论，尤其是两个竞争中的理论，选择合理性的标准完全由逻辑和语法决定是没有根据的^③。但是库恩本人又没有提出替代的准则，所以只有破坏，没有建设，因此有人称之为“暴徒心理学”^④。

① 库恩开列的关于 Nagel 的书是 E. Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, Chicago: University of Chicago Press, 1939。E. Nagel, 1901 年生于捷克, 1930 年获博士学位(哥伦比亚), 以后即在哥伦比亚任教, 1954—1955 年间在普林斯顿做访问教授。他另外还有多部著作, 与《结构》相先后出版的是 *The Structure of Science*, N. Y.: Harcourt Inc., 1961。因为库恩以后的答辩多是针对波普尔的, 正文中也不再讨论 Nagel。

② 波普尔与库恩的交往和“不太了解”之说见 P. A. Schilpp ed., *The Philosophy of K. Popper*, 1974, p. 1144 et sq., 中译见《波普尔科学哲学选集》, 纪树立、邱仁宗、查汝强等译, 北京: 三联书店, 1987 年, 第 292 页及以后, 是为波普尔《答批评者》一文的第三十九节。

③ *Criticism and the Growth of Knowledge*, op. cit., pp. 234 - 235.

④ *Ibid.*, p. 178, I. Lakatos 语。

这当然不行。库恩不由自主地进入科学哲学的传统领域,在科学理论的真理标准问题上与科学哲学家们展开决战。结果是大大修正了他自己的理论。

首先选择是由科学家集团作出的,“集团行为将决定性地受共有信念的影响”^①。但是,“很清楚,解释归根到底必然是心理学或社会学的。就是说,必须描述一种价值体系、一种意识形态……知道科学家重视什么,我们才有希望了解他们……在发生冲突的特殊条件下将选择什么理论”^②。

四年以后,库恩正面描述了他心目中的这个“价值体系”。1973年11月30日他在弗曼(Furman)大学作马其特(Machette)讲演,开列了五个条件,“不是因为这五条可以穷尽一切,而是因为每一条都很重要”——

这五个特征——精确性、一致性、广泛性、简单性和有效性——都是评价一种理论是否充分的标准准则。如果过去没有说清楚这一点,那我本来应当给予更多的说明,因为我从来就完全同意……这五种特征具有关键作用。^③

留意波普尔《科学发现的逻辑》一书第四章到七章的标题是“可证伪性”、“经验基础”、“验证准确程度”和“简单性”,不难看出,库恩也在很大程度上接受了逻辑判断原则。

综上所述,库恩的“规范”和“革命”两大概念的确在《结构》出版以后,特别是1970—1972年间有了重大的发展。简要地说,“规范”概念得到澄清而“革命”概念不再是那么激进极端了。这当然得力于科学哲学界学人的激烈批评。以库恩为基础的进一步发展,在拉卡托斯(I. Lakatos, 1922—1974)和费尔拉班德(P. Feyerabend, 1924—)的工作

① *Ibid.*, pp. 240 - 241.

② *Ibid.*, p. 21, 即《发现的逻辑还是研究的心理学?》,中译收入《张力》,引文见第286页。

③ 这个讲演第一次发表于《张力》,中译见是书第十三篇,引文在第316页上。

中最引人注目，但细致的讨论自然不是笔者学力所能承担的了^①。

从科学哲学发展的整体来看^②，库恩是一个重要的转折点。他的贡献是在科学哲学中引进了历史，当然尤其是科学史的概念和材料。虽然很早已有把科学哲学真正建立在科学史研究上的要求和尝试，但在这个方向上的第一次认真并且成果卓著的努力应当归于库恩。库恩的功劳在于，他用对历史的探讨代替了纯逻辑的探讨。库恩以前的科学哲学，着重已成科学理论，特别是那些成果影响至大者，而未能留意其发展，因此其分析必然只能是针对理论的静态结构。通过引进历史观念，动态分析代替了静态分析。库恩所要重点研究的，不是科学家做了什么，而是他们怎么做的；不是科学理论的构造，而是它们如何发展长成；不是逻辑而是认识论，一句话，“科学认识如何可能”。

① 傅大为为《结构》中译本写的“导言”有进一步介绍。林正宏论文多篇，分别收于《伽利略·波柏·科学说明》和《知识·逻辑·科学哲学》，台北：东大图书公司，1984年及1987年，有诸多深入的讨论。John Losee, *A Historical Introduction to the Philosophy of Science*, Oxford: Oxford University Press, 1972, chaps. 12 - 14, 有比较细致的介绍。这本书有邱仁宗、林夏水等中译本，据1980年第二版译出，武汉：华中工学院出版社，1982年，可资参考。

② 江天骥：《当代西方科学哲学》，北京：中国社会科学出版社，1984年，特别是五、六、七三章。



第六章 黑体与早期量子论问题

要想研究“科学认识如何可能”，量子力学史当是最好的一个题目。杨振宁后来谈到他对量子力学最早的发展的感受时写道：

对我们这些在事情已经弄清楚、量子力学已经最终建立后才受教育的人来讲，在量子力学问世之前的那些奥秘的问题和大胆探索的精神，同时充满着希望与失望的情况，看来几乎像是奇迹一样。我们只能以惊讶的心情来揣想，当时的物理学必须依靠着明显和不能自相一致的推理来达到正确的结论，那是怎样的一种状态。^①

杨振宁是在 1959 年 11 月普林斯顿大学凡诺森(Vanuxem)讲座上讲这番话的。他同时认为，量子力学的戏剧性的历史，仍有待“人们去叙述”。留意这正是库恩开始从事“量子物理学史”计划的时代，这一见解似乎是当时的一个潮流。库恩于是决定着手研究量子力学史，并撰

① 杨振宁：《基本粒子发现简史》，杨振玉译，上海：上海科技出版社，1963年初版，1979年再版，引文在中译本第9页，原书 *Elementary Particles*, N. J.: Princeton Univ. Press, 1962, 引文见 p. 9。

写一系列的专著，分门别类，按问题、按时代对量子力学及旧量子论的历史作一系统的探究。起点自然是黑体辐射和普朗克(Planck)，这位公认的辐射定律量子化的开山人。库恩这个计划因故未能实现，所以我们看见的，只是一本只谈论量子论开端的专著了。

本章叙述库恩这次用力最勤、收效最小的最后的努力。第一、二两节提供历史背景知识，第三、四两节介绍库恩的书。第五节讨论这本书的得失。第六节亦即最后一节从时间上说属于这一期，但从内容上说稍稍不同于前五节，为库恩在1980年代初对自己主要论点的小结。从某种意义上说，这也是对全书的一个小结。

一、20世纪初的辐射理论

量子论或粗略地说关于能量只能取某些特定的值而不能取任意的数值的物理理论起源于19世纪末对当时已有的物理理论，特别是电磁理论的研究。在物理学史上，后者常被称为“经典理论”或“经典物理学”。

早在19世纪中叶，物理学就形成了以牛顿学说为基础的力学理论和以麦克斯韦理论为基础的电磁理论两大领域。自然界中的物理现象，大至星球小至尘埃，甚至为人目力所不能及的遥远的河外星系和细微的原子分子，巨细无遗，都遵从这套理论的描述解释，其精密程度常达 10^{-10} ，其适用范围横跨50个数量级。就这座宏伟的知识大厦的完美程度而言，似乎只有两点尚未能尽如人意^①。一是关于以太存在的实验验证，一是关于黑体发光时能量依频率的分布定律。所谓以太，是一种连续的媒质，充斥宇宙，承担传递电磁波的任务，为电磁理论模型的一个基本假设。唯其存在，始终未得到实验的验证。从严格的科学理论要求看来，仍属先验假设范畴，所以必须存疑，直至有实验资料为

^① Kelvin勋爵尝举此二事为“乌云”，语见 *Philosophical Magazine*, 2 (1901)1, 后来常被引用，遂成描述20世纪初物理学困难的经典分析。原文指第二个困难是 Maxwell-Boltzmann 能量均分原理，但从本质上与下文叙述相同。

止。所谓黑体发光,实在是一种热辐射的研究。一切物体,只要其温度不为绝对零度,理论上都有热辐射。这种辐射,可以是可见光,也可以是红外或紫外线,视其不同情形而异。所谓“不同情形”是指所论物体的温度和物性。研究者为纯化研究课题,构造出一种“绝对的”物体,其发光或发射辐射能力仅受自身温度的影响:不论什么材料的黑体,在同样的温度下都放出相同形式的辐射,——所谓相同形式,是指其辐射出来的能量对于辐射频率来说有相同的分布。

这个说法听起来有些高深,实际上在应用中几乎表现为常识。比如,一盏灯它所用去的电主要消耗在两个方面:一是可见光,是我们使用者所喜欢要的;一是发热,或者叫红外光,一般来说是我们所希望降低的。有多少电变成了可见光,多少变成了热,就是一种频率的分布。不言而喻,这种分布是这一盏灯的一个重要性能、重要技术指标。19世纪70年代以后,火车在欧洲渐渐普及,其他如大工厂的车间、堆栈,都和火车调车场一样,需要大面积照明,因此发光和辐射的研究引起了普遍的关注。

这个题目又涉及很高深的电磁理论和统计理论。大家如基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)、本生(R. W. Bunsen, 1811—1899)、维恩(W. Wien, 1864—1928)均曾致力于斯,特别是波尔兹曼(L. Boltzmann, 1844—1906)在1884年用电磁理论导出空腔辐射在腔壁上的压力为辐射能的三分之一,成功地把热力学概念和电磁学概念结合起来,被洛伦兹(H. A. Lorentz, 1853—1928)称为理论物理学的明珠^①。洛伦兹的说法又被德国下一代物理大家劳厄(M. von Laue, 1879—1960)援引^②,劳厄的书又被爱因斯坦所援引^③,可见这一工作的永久的价值。

1896年,维恩(W. Wien)利用热力学和实验数据,得出一个依频率而变的能量分布公式。在黑体辐射中,维恩公式认为,频率为 ν 的辐射

① Boltzmann 的理论简介参见 S. G. Brush, *Arch Hist Exact Sci.*, 4 (1967)145-183.

② 劳厄:《物理学史》,戴念祖等译,北京:商务印书馆,1978年,语在第13章,第119页。

③ 《爱因斯坦文集》第一卷,许良英等译,北京:商务印书馆,1976年,第482页。

所承担的能量转移为 $\rho(\nu)$, $\rho(\nu) = B\nu^3 \cdot e^{-A\nu/T}$ 。换言之,能量的多少随 ν 的变化表现为两部分:一是 ν 的三次方 ν^3 ,显示当频率增高时能量增加很快,一是 $e^{-\nu}$ 即 $\frac{1}{e^\nu}$,这个因子在 ν 很大时迅速变小,所以当频率真正很高时 ν^3 、 $e^{-\nu}$ 相互抵消, $\rho(\nu)$ 则表现为一个增长但不发散的量。

维恩公式在 ν 很大时与实验结果符合甚佳,换言之,如果辐射是紫光或紫外光或是波长更短的辐射, $e^{-\nu}$ 和 ν^3 两者以相反相成的方式搭配得很好。但在 ν 较小时,理论与实验的一致性不能尽如人意,而且在推导中,有些步骤是利用实验结果倒推出来的,也还不够严谨^①。

1900年,英国人瑞利(J. W. Rayleigh, 1842—1919)从经典电磁理论和热力学导出一个形容 $\rho(\nu)$ 的新公式 $\rho(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} KT$,这儿 c 是光速, T 是温度。和维恩公式比, $e^{-\nu}$ 一项消失了,而能量的总量仅与 ν 平方 ν^2 成正比。在 ν 比较小时,瑞利的公式与实验符合很好;但一旦 ν 增大, ν^2 增大极快,到紫外线部分, $\rho(\nu)$ 已趋于发散,即大到不可想象,这显然不是自然界中真实的情形。从数学上说,这是因为瑞利表达式中没有 e 的负指数项,因而无法抵消、抑制 ν 高次项的增长;从物理上说,这是完全不可接受的,时称“紫外灾难”,意指到了紫外线波段,辐射完全脱出控制。

问题的严重性在于,瑞利的公式是从麦克斯韦和波尔兹曼(Boltzmann)的理论直接推导出来的,其中没有经验或假设的环节,因而也没有可以调整、化解冲突的余地。换言之,如果瑞利公式有错,错必在前提,即麦克斯韦的理论。但麦氏理论是整个电磁理论的基石,如果麦氏理论有错,整个电磁理论都成了问题。这一点,在当时就已被指出。

^① W. Wien 以及下文讨论的辐射定律的历史发展,详细介绍见 Max Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York: McGraw-Hill, 1966, chap. 1.

德国物理学家普朗克(Max Planck, 1858—1947)细致地考察了这一问题的^①。瑞利的结果在1900年6月为德国物理学界了解。10月7日,鲁本斯(H. Rubens)告诉普朗克他们实验显示出维恩定律在长波段背离实测值,并告诉普朗克实验表明能量和温度成正比。普朗克当天开始以此为起点重新计算辐射公式。10月19日在德国物理学会会议上发表一新的公式,兼及维恩和瑞利之长。10月20日,鲁本斯经过彻夜苦战,完成实验,证实普朗克的公式与实验结果相合,由是普朗克辐射定律成立。按普朗克,能量

$$\rho(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \cdot \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1}。$$

这一公式前半类似于瑞利,后半类似于维恩,而当 ν 很大或很小时,又自动以维恩和瑞利表达式为极限。

现在的情形是,有理论基础的瑞利表达式与实验不合,与实验相合的普朗克表达式又没有明晰的理论基础。为此,普朗克再作理论探讨,1900年12月14日在德国物理学会报告,引进一新的假定,称能量的变化不是可以取任意数值的连续变化,而是只能取一系列分立数值的不连续跃进。这种不连续性,颇为高妙,非一般人所能想象,也为大部分物理学家所拒绝。

按普朗克的假设,能量一定是一个最小单位 ε 的整数倍。对于不同频率的辐射,能量不同;但一旦频率 ν 确定,这一辐射所对应的能量即确定为 $h\nu$,这儿 h 是一个常数。于是 $\varepsilon = h\nu$ 就表现为一种能量子,而一个系统的能量可以是 $\varepsilon, 2\varepsilon$ 或 3ε ,或 ε 的任何整数倍,但不能是诸如 1.5ε 之类的量。这一假设叫做“量子假说”。

尽管量子假说听起来很奇怪,而且眼光深邃的物理学家还看出它同以连续量为基本假设的牛顿、麦克斯韦理论有无法协调的不一致,但要完全抛弃它又实在很困难:与实验相合的唯一的表达式普朗克定理

^① M. Planck 的工作后来为很多科学史家“重建”,笔者早年曾有短文介绍,载《华东师范大学学报自然科学版》1981年第3期第127—133页(与张瑞琨先生合撰)。

是建立在这个假说之上的，而实验又从来是物理学理论正确与否的最高和最终的裁判。一边是严谨的理论，一边是精密的实验，物理学家现在被迫在两者之间作出选择。他们以前还从来没有遭遇过这样窘迫的情形。

很多著名的物理学家被吸引参加了这一问题的讨论。上文提及的洛仑兹，电子论的创立人，婉转地表示实验结果可能有误^①。普朗克本人也近于接受这种看法。瑞利认为辐射定律可能本来就是分段有效的，而把各段公式综合在一起未必全然妥当。金斯（James Jeans, 1877—1946）提出一种新的物理模型，假定辐射过程中能量转变相当缓慢，所以整个系统不是一个平衡过程。如果系统不处于平衡态，则整个分析即将大为改观。普朗克本人倾向于能量均分定律可能有使用范围，而上述结果则是由不加限制地运用均分定律而产生的谬误。实验物理学家则采一种沉着的谨慎态度。普朗克理论的一个主要实验研究者帕森（Friedrich Paschen, 1865—1947）对于实验结果很有信心，但仍表示希望普朗克能进一步提出理论依据来^②。

从1901年普朗克提出量子假说到1905年，物理学界就在这样的困惑和希望中等待着。1905年，事情有了重大的发展，但他们等到的与他们期待的正好相反。一个名叫爱因斯坦的专利局职员在读了普朗克的量子假说以后写了一篇短文^③，把量子概念用到光电效应的研究上，给人留下了深刻的印象。

所谓光电效应，是指某些金属在被光线照射时会激发出电子来。如果用这些金属作为真空管的一极，而把真空管接进电路，当光照发生

① A. Lorentz, “La partage de l’ energie entre la matière pondérable et l’ éther”, 这是他1908年4月8日在罗马的演讲，但其中观点则已散见于先前发出的多篇通讯上了。这篇演讲在 *Oeuvres*, t. 3, 1934, p. 341。

② 此段简述据 Armin Hermann《量子论初期史》第二章(1)，周昌忠译，北京：商务印书馆，1980年，第32—37页。比较细致的介绍，见前引 Jammer, chap. 1, 散见各处。

③ A. Einstein, *Ann. Physik*, 17 (1905) 132; 英译见，例如，D. ter Haar, *The Old Quantum Theory*, Oxford: Pergamon, 1967, pp. 91—107; 中译见《爱因斯坦文集》第二卷，许良英等译，北京：商务印书馆，1977年，第37—38页。

时,电路中会记录到电流。这个现象最早被赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)和勒纳德(P. Lenard, 1862—1947)注意到,他们发现,很弱的紫光或紫外光可以激发出电流;而红光,不论其强度多大,都不能产生电流。这是令人困惑的。因为根据光的电磁理论,光是一种电磁波,这种波所承担的能量,应该和波的强度而不是频率有关。换言之,根据波动理论,激发出来的电流应随光照强度而变,而与颜色即光的频率无关。但实验显示正恰相反。

爱因斯坦论文的一开头即从物理空间是连续的还是量子化的提出问题。按电磁理论,是连续的,一如麦克斯韦方程式所表现的那样。按原子分子论,是分立的或量子化的。“所以”,爱因斯坦写道,“可以想见,在处理光的产生和转化时,运用空间中连续函数的光的理论将与经验矛盾”。这是从完全不同的角度来考察问题,这叫做高屋建瓴。按爱因斯坦,不仅能量是量子化的,而光根本就是一个一个的粒子,其能量就是普朗克所假定的 $h\nu$,换言之,其能量与频率,也就是光的颜色成正比。当频率低到一定程度,相应的光量子所承担的能量 $\varepsilon = h\nu$ 也小到了一定的程度。对于金属内的电子而言,要飞逸出金属表面有一个最低限度的能量要求,叫做阈。如果 $h\nu$ 小于这个阈值,则无论强度多大的光都不可能在金属中激发出电子来,就好像读一篇英文文章,十个百个不通英文的学者都于事无补,但只要有一个能读英文的人就能读出来一样。

我们还记得开普勒的行星理论对于阐发哥白尼日心说革命意义的贡献。如果仅仅限于哥白尼的工作,日心说可以作为一种计算方式、一种模型、一种工作假说存在于旧有的地心说之中。但开普勒把它变成了对物理实在的描述,把它固有的革命意义明白地表现出来。爱因斯坦之于普朗克的工作,与此颇有可以类比之处。普朗克的量子假说,可以作为一种假说、一种计算方式,存在于经典理论之中。但是,现在这位 26 岁的专利局职员,竟然为纯粹的理论创造物“能量子”或“量子”找到了物理的现实对应物“光子”,并且以此解释了一个令人困惑的物理现象,还提出了实验验证的可能性,这就太革命了。

量子假说的提出者普朗克 1907 年 7 月 6 日写信给爱因斯坦时坚持麦克斯韦的电磁理论不应当抛弃，量子概念也不应当取代电动力学：“在我看来，真空中的过程已由麦氏方程作了精确的描述。至少我还未发现什么令人非相信不可的理由，去抛弃这个目前看来似乎是最简单不过的假说。”^①

爱因斯坦的反应同样可以在他给朋友兼同事劳伯(J. J. Laub)的信中看到。爱因斯坦写道：“普朗克是一个和我志趣相投的通信者。只是他有一个弱点，就是不会寻找通往那些他觉得格格不入的思想的门径……”^②

1909 年 9 月 19 日到 25 日在第 81 届德国物理学家和医学家会议上，爱因斯坦系统地介绍了他的光量子理论。在致答词时，普朗克对当时恰满 30 岁的爱因斯坦表示了非常的尊敬，但同时拒绝了光量子的概念。

二、玻尔原子和量子论的决定性胜利

爱因斯坦关于光量子的文章，一如特哈尔(ter Haar)所指出的，常被误解为是用光电效应来验证量子理论的。事实上，爱因斯坦谈论的是光量子概念，即把普朗克的能量子与一物理实在联系起来。下一步如何，仍是不清楚，多数物理学家的谨慎态度和问题本身的困难程度使得量子问题在 1905 年到 1912 年间再度陷入一种僵持状态。

在德国人对理论深感困惑时，英国人仍在发展他们的工作。英国的实验物理学传统有悠久的历史，在 20 世纪初的那些年月里，工作集中在两个中心。在剑桥的卡文迪许(Cavendish)实验室，号称 J. J. 的汤姆逊(Joseph John Thomson, 1856—1940)主持着这个先后培育出二十六个诺贝尔奖获得者的团体。汤姆逊在 1898—1899 年间以实验精

^① 原件在普林斯顿图书馆，爱因斯坦档。这封信非常有名，引用者极多，参见例如上引 Armin Hermann, p. 57。

^② Op. cit., C. Seelig, A. Einstein, Zürich, 1960, p. 147.

密分析,判定了电子的存在,并因此获 1906 年诺贝尔奖。现在,他正致力于分析这些电子的来源。——来自原子,当然没有问题,但电子在原子中是如何的,则是一大问题。如所周知,原子呈电中性,如果假定电子来自原子,那么必须同时假定原子中还有一个正电成分。汤姆逊假定这种正电成分是连续分布的,电子以一定的方式排布在这正电的环境里,并可以在各自位置上作不同形式的振动^①。根据麦克斯韦的电磁理论,这种振动导致发光。汤姆逊认为,这就是光谱的来源。换言之,光谱是我们了解原子内部消息的一个手段。

早在 19 世纪中叶科学家就知道了光谱,并一直在对各种原子的光谱作最精细的研究。光谱学知识和实验材料不仅多,而且极其精密,有效数字动辄可达六七位。当时已经知道,原子发光的光谱常是线状的,即只有若干个特定频率的光,而不是我们通常见到的“白光”,即包含各种频率的光。对氢原子,当时大家猜想中的最简单的原子,更有一些经验公式可以推出各个谱线的频率来。最著名的巴尔末(Balmer)公式,可以把光频率表达为两个整数变数项的差: $\nu = R_c \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$, 这儿 n_1, n_2 是两个整数, R 是一个经验常数,常称黎德堡(Rydberg)常量,实测值为 $109\,721.6\text{ cm}^{-1}$ 。为什么正恰是 $109\,721.6$,这可还不知道。

在曼彻斯特,卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)领导的一个中心也在研究原子结构。与 J. J. 不同,他们不用光谱,而用散射^②。所谓散射,就是把一些粒子,卢瑟福用的是带正电的比氢原子重 4 倍的 α 粒子,高速射向由金箔做成的靶。当时已经知道金原子比氢原子重 197 倍,即约 50 倍于 α 粒子,所以想象之中, α 粒子相对说来很小。按 J. J. 的模型, α 粒子穿过均匀分布的正电区域,而金原子又那么重,应该不会有有什么大的反应,最多只会有一些由于正电对正电同性相斥而产生

① J. J. Thomson, *Phil. Mag.* 7 (1904)237.

② E. Rutherford, *Phil. Mag.* 21 (1911)669, 并见前引 ter Haar 书的介绍。细致的历史研究见 J. L. Heilbron, *Archive for History of Exact Science*, 4 (1968)247 - 307。

的温和的偏转。这个实验的目的是通过这种偏转来确定原子内正电的分布，就好像在黑暗中投石问路一样。

卢瑟福的两个学生具体参与这个实验，结果令人吃惊：大约有八千分之一的 α 粒子完全被反射回来，其他的如入无人之境，仅以微小的偏转通过金箔。显然，被反射回来的粒子是撞在一个坚实的实体上，就好像一只网球由墙上弹回来一样。合乎逻辑的结论是，金原子的197份重量，连同正电荷，都集中在相当小的几点上。对大部分 α 粒子来说，穿过的是一无所有的空间；对那些八千分之一的倒霉的粒子说，它们正恰撞上了比它们重五十倍、带正电的部分，高山坚城，绝对过不去，于是被反弹回来。卢瑟福由此推测，原子有一个小而重、带正电的核心。至于带负电的电子，J. J. 所发现的由原子中来的另一个成分，自然是在核外。在核外如何排布？最可以想象的一个类比就是太阳系：原子核居中，重而不动，一如太阳；电子环绕运行，一如行星。卢瑟福的模型因此叫行星模型。

早在1904年日本人长冈半太郎(1865—1950)就从理论上讨论过类似的模型^①。但几乎立即有人指出，长冈模型有一大困难，即电子在绕核运行时，按电磁理论，要发出辐射，因而损失能量，因而会在很短的时间里落到核上，原子因而会坍塌，整个物质世界因而是稳定的，寿命只在秒的数量级。这显然是不可接受的；而且，长冈模型与光谱无联系，也因此无法利用光谱学丰富的资料。长冈模型因此未受重视。

卢瑟福知道长冈的工作，当然也知道长冈的困难。从工作经历看，卢瑟福更是一个实验物理学家。在他的论文最后，“结论”的最后几行，他谨慎地探讨了原子模型的进一步图景。对卢瑟福来说，原子有一个小而重、带电的核已是没有问题了，问题在电子排布。

^① 长冈的工作曾发表在 *Phil. Mag.* 7 (1904) 445，因而为大多数西洋科学家所了解。Rutherford 引用的正是这一篇文章。长冈和同时期日本物理学家的的工作，中文研究以徐毅毅的硕士论文最细致深入，论文藏华东师范大学图书馆，提要见《自然杂志》1986年第9期，第611页。

丹麦物理学家玻尔(Niels Bohr, 1885—1962)此时正在卢瑟福实验室工作^①,他正恰刚刚访问过剑桥,所以对汤姆逊的工作也很熟悉。他的最初目的,是把汤姆逊利用原子中电子排布解释周期表的努力和卢瑟福的有核图景结合起来,以构造新的模型。这时,普朗克的量子假说已为物理学家所了解,不少人试图利用量子假说去重新分析物理学的困难问题。玻尔也尝试了假定电子动能和频率之比为整数,但未获特别的进展。

1913年年初,玻尔回到哥本哈根,继续研究氢分子。利用经典力学、电磁学理论,玻尔算出了轨道电子的能量、轨道半径,以及电子运行的频率,并且对这些值做了量子化。这些理论工作并没有显示出特别的意义,因为它既未提供和经验事实的联系,又未回答困惑物理学界已久的稳定性问题。

1913年2月,丹麦光谱学家汉森(H. M. Hansen)过访玻尔,晤谈之中讨论了前述巴尔末光谱公式 $\nu = R_c \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$ 。玻尔以后多次说过:“一看见巴尔末公式,我就什么都明白了。”在巴尔末公式中,玻尔看见的是一个能量表达式:因为由普朗克的量子假说,能量 $E = h\nu$,于是此公式两边乘以 h ,即得到电子在原子中能量差的表达。利用他自己以前算出的能量式,玻尔推出光谱学中最基本的、在实验中已被最精密地测定了的黎德堡(Rydberg)常量 R 在理论上应该是 $2\pi^2 me^4 / h^3$,这儿 m, e 是电子的质量和电量, h 是 Planck 常量,以当时的实验能力,得出这个量的“理论值”为 3.1×10^{15} ,而实测值为 3.29×10^{15} ,误差落在实验测量涨落范围之内。稍后,实验再度测得带有核质量修正的

① 玻尔关于原子模型的工作见 J. L. Heilbron & T. Kuhn, *Historical Studies in the Physical Science*, 1 (1969)211 - 290。玻尔的生平及很多有趣的回忆见 A. P. French & P. J. Kennedy, *Niels Bohr*, Cambridge: Harvard Univ. Press, 1985, 其他文献见下节相关注释。玻尔的主要论文和著作均已译成中文:《玻尔集》(前四卷),戈革译,北京:科学出版社,1987—;另外三部非科学论文专著,《原子论和自然的描述》、《原子物理学和人类知识》及其续编,也已由拜鞠译出,1964年和1978年由商务印书馆出版。(2013年再版补注:《玻尔集》十二卷中译本已由华东师范大学出版社在2012年出齐)

R_{He} 和 R_{H} , 氦核和氢核修正后黎德堡(Rydberg)常量为 4.001 6, 而玻尔的理论值为 4.001 63^①。

按玻尔模型, 原子就是一个缩小了的太阳系。重而小的原子核居中, 电子如同行星绕核运行。玻尔针对这样的原子的不稳定性, 提出两条假设: (a) 电子在绕核运行时并不遵从电磁学理论, 并不辐射能量, 因而也无所谓能量损失, 这一状态叫“定态”; (b) 电子可以在能量高低不同的定态之间迁移, 同时依 $E=h\nu$ 的公式把多余的或不足的能量放出或吸收, 从而形成光谱, 这种迁移叫“跃迁”。

物理学界立即意识到玻尔工作的重大意义。爱因斯坦听说玻尔解释光谱的消息时第一个反应是: “这是一个极大的成就, 玻尔理论一定是对的。”两周以后, 在苏黎世理工学院的讨论班上, 劳厄(von Laue), 我们还记得他对波尔兹曼(Boltzmann)的称赞, 断然拒绝玻尔理论: “这直是一派胡言。麦克斯韦方程式在任何情形下都应该是有效的。”而爱因斯坦再度反驳说: “我想其中必有缘故。我绝不相信黎德堡常数的绝对数值可以生搬硬套, 勉强凑出来。”^②两个月以后, 英国第 83 届科学促进会大会上, 对辐射理论做过最重要贡献的金斯(J. Jeans)说玻尔理论“非常天才, 富有启发性, 并且, 我想我们还必须说非常令人信服”^③。与此同时, 德国物理学研究原子光谱的另一位重要作者索末菲(A. Sommerfeld)写信给玻尔, 告诉玻尔他认为玻尔模型非常有意思, 并拟再进一步探讨, “虽说我现阶段对原子模型总的说来还是持怀疑态度……”^④。

理论物理学家的分歧和注意力都集中在玻尔的假设上。相关的实验工作迅速展开。1914 年, 玻尔的助手莫斯利(H. G. J. Moseley,

① 这儿采用的量纲与前引不一致, 故数值也不同。这里引用的数据是玻尔论文 *Phil. Mag.* 26 (1913)1 所用的。

② 见前引 M. Jammer, p. 86。这是 F. Tank 的回忆。

③ J. H. Jeans, *Report of the 83rd Meeting of BAAS*, p. 376.

④ A. Sommerfeld 致 N. Bohr 的信, 1913 年 9 月 4 日, 为前引 A. P. French 全文译出, 在该书 p. 48。

1887—1915)获得 X 光光谱学证据,支持玻尔理论^①,这项工作在 1915 年经柯赛尔(W. Kossel, 1888—1956)进一步完善。紧接着,弗兰克(J. Frank, 1882—1964)和赫兹(G. Hertz, 1878—1975)测定水银光谱数据,获得肯定结论^②,稍后对史塔克(J. Stark)1913 年发现的光谱在电场中的劈裂的研究也显示支持玻尔理论^③,最后,先前尚自游移的索末菲做出光谱精细结构理论,更完善了玻尔的假定。

对于纷沓而至的实验证明,物理学家一则以喜,一则以惧。一方面,玻尔的工作被如此直接、如此准确、如此优美地肯定,让人领略到人类理解力的尊严和力量;另一方面,玻尔的工作引起的混乱和挑战,其锋芒直指麦克斯韦的电动力学和牛顿科学的普遍原则,又令人困惑恐惧。问题是电子跃迁。

早在玻尔原子模型发表以前,卢瑟福在读了玻尔的初稿以后就提出,玻尔理论有一个“重大困难”,就是“电子从一个定态移向另一个定态时如何决定以什么频率振动呢?在我看来你必须假定电子事先就知道它应该在什么地方停下来”^④。这个问题在当时的物理学家看来,既不能回避,又不能解决。

三、1960 年代库恩对量子物理学史的研究

无论从哪一个角度看,量子论的早期发展都是印证库恩关于科学

① H. G. J. Moseley 的工作情形见 J. L. Heilbron, *Isis*, 57 (1966)336 - 364, Z. Kopal, *Isis*, 58(1967)405 - 407, 下文 W. Kossel 的工作见 J. L. Heilbron, *Isis*, 58 (1967) 451 - 485。

② 他们的论文 *Verh. Dtsch. Phys. Ges. Berlin*, 16 (1914)512 在前引 D. ter Haar 有英译。库恩曾两次指出,在 *Isis*, 58 (1967)416 和 *The Brit. J. for the Hist. Sci*, 4 (1968)81, 这一实验未见得可称为玻尔理论的验证,但 J. L. Heilbron 在 1985 年仍如是引用,见前引 A. P. French, pp. 47 - 48. 细致的分析自然非本书所能承担,这儿只是按通行说法引证而已,见 Jammer, p. 85, fn. 105。

③ J. Stark, *Ann. der Phys.* 43 (1914)965 - 1047, 48(1915)193 - 235。如何评价 Stark 此项工作,见 A. Hermann, *op. cit.*, p. 81。

④ 1913 年 3 月 20 日 E. Rutherford 致 Bohr 的信。这是一封被反复引用的信,参见,例如,上引 A. P. French, p. 77。

发展的理论的绝佳例证。以我们上面极为简略的历史介绍，即可见库恩理论的所有要点。

量子论最初发生于经典理论的完善之中。对于黑体辐射发光的研究导致了反常的发现：维恩公式在长波段与实验不合。于是一系列修补、协调性的工作出现，但是反常依旧，挥之不去，甚至更有紫外灾难的发展。于是有普朗克的尝试。我们看见在普朗克的工作中，从麦克斯韦电动力学延续下来的逻辑中断了；普朗克的工作不是麦氏理论的一个逻辑上相洽的后果，而是一个某种意义上的孤立的假设。说它是“孤立”的，有两方面的意思：在理论上，它似乎与其他已有的理论不相合；以科学共同体而言，大部分科学家或全体主流科学家，包括它的提出者普朗克本人，都持一种谨慎态度。

爱因斯坦的工作可以说是把普朗克假说作了一次应用性发挥，从而给出了一个新的、可供考虑的例子。J. J. 的失败，卢瑟福小组的实验进一步揭发了反常。玻尔在这基础上去解原子图景，提供了又一个范例。这些范例对于青年物理学家来说，正是一种新的考虑问题的方式，一种新的提出问题的角度，一种新的判定是非价值的标准。一言以蔽之，一种新的规范。

按玻尔，物理学家不再追寻物理事件的连续的过程，而只关注其在不同时刻的不同状态。这是量子不连续性的本质。上节末尾，卢瑟福1913年3月20日给玻尔的信里所提出的问题，至今未被回答。——并非因为这些问题过于困难所以无法回答，而是因为量子物理中问题不再是如此提出所以毋庸回答。卢瑟福是在经典科学的规范下提问的，这问题本身无法进入量子领域。

以后的发展，包括康普顿散射效应、汤姆逊和戴维森(C. J. Davisson, 1881—1958)获得的电子衍射花样，也包括对周期表的理论解释、测不准关系，还包括20世纪30年代的核反应堆和40年代的原子弹，证明了量子力学及其基本原理的正确性，同时也肯定了渊源于此的新规范。

以对规范的接受程度所划分的科学共同体也壁垒分明到了有趣的

程度：在理论物理学家中，除个别一两人外，所有生于 19 世纪的“老师们”效忠经典规范，而生于 20 世纪的“学生们”无例外地接受新的、量子物理的规范。

但是，“老师们”和“学生们”的对立不是如有些人想象的那种世俗的，“保守”与“革新”、“正确”与“错误”的对立，而是一种深刻的相反相成。首先，一如库恩在讨论别的例子时一再强调的，“新”的是从“旧”的自身发展中产生出来的，而不是外在的、强加于旧有理论的东西。这一点的意义在于，一方面旧有理论作为新理论长成的基础为新理论必需，一方面新理论作为旧理论的结果因而革命为不可避免。这种相反相成正是规范交接的要求。

“老师们”的谨慎态度为保证科学稳定、排除异想天开的投机见解所必需；“学生们”的革新尝试为科学发展、解决已有困难所必需。所以这儿所显示的，是一种已发展的同正在发展的事物之间的平衡，按库恩的说法，这是科学发展的性命攸关的必要的张力。

这种张力甚至可以在玻尔一人身上看出来，这也是玻尔之为玻尔的决定性一环。爱因斯坦在玻尔模型发表近四十年后这样写道^①：

在普朗克的基本工作发表以后不久，所有这些我都已十分清楚……可是我要使物理学的理论基础同这种认识论相适应的一切尝试都失败了。这就像一个人脚下的土地被抽掉了，使他看不到哪里有可以立足的巩固基地。至于这种摇晃不定、矛盾百出的基础，竟足以使一个像玻尔那样具有独特本领和机智的人发现光谱线和原子中电子壳层的主要定律以及它们对化学的意义，这件事对我来说就像是一个奇迹——而且即使在今天，在我看来仍然像是一个奇迹。这是思想领域中最高的音乐神韵。

① 爱因斯坦：《自述》，中译见《爱因斯坦文集》，第一卷，许良英等译，北京：商务印书馆，1977年，第21页。这段话是爱因斯坦对早期量子论小结中的一部分。译文个别字有改动。原文见 P. A. Schilpp, *Albert Einstein*, N. Y. : Tudor, 1949.

库恩自然深知量子物理学史的特殊重要的意义，并且早就留心此一领域。在他 1959 年在犹他大学会议上的讲演中可以见到他使用量子物理史的例子^①。20 世纪 60 年代初他被聘为“量子物理学史料”计划负责人，一方面说明他在这方面确有专精，用力甚勤，因而获选；另一方面又鼓动了他在这方面作更细致、深入的研究。

“量子物理学史料”计划是一个由美国国家科学基金会赞助的抢救史料的工作。先是，爱因斯坦在 1955 年去世。接着不相容定律的发现者泡利(W. Pauli)在 1959 年去世，仅得年五十五岁。哈佛的两位历史学家、物理学家注意到这情形，遂在各种场合提出抢救史料的问题。因为量子物理学的发展，稍不同于经典物理的是有许多资料实际存于私人信函、未发表的会议记录和手稿，甚至电话电报通信讨论之中。随着当事人年迈谢世，这些资料，当年这些令人沮丧的或令人振奋的探索，就可能永远消失。1960 年 8 月，正当《结构》撰写的关键时期，“量子物理学史料”最热心的倡导者，美国物理学会哲学学会的主要负责人维勒(John A. Wheeler)在伯克利同库恩以及杜普雷(Hunter Dupree)、沃尔夫(H. Wolff)、凯坦尔(C. Kittel)谈起了这一计划，并且撰写了一份“实施草案”^②。

要完成这么一个没有先例的大计划的审批工作可能需要几年时间。但三个多月以后传来了量子力学奠基人之一，1933 年诺贝尔奖获得者薛定谔(E. Schrödinger)去世的消息。这个计划的急迫性已是不言而喻。1961 年 2 月 17 日，库恩接到弗莱克(J. H. VanVleck)以美国物理学会、哲学学会联合会的名义发来的邀请，出任此一计划主任。

这一计划的主要工作人员有四人，除库恩外，主要的历史学家是黑尔布隆(J. L. Heilbron)，库恩在伯克利的学生；以及罗彻斯特大学的

① 参见《必要的张力》，曾庆宏译，见《必要的张力》，第 203 页，注 37 和 38。库恩的例子是电子自旋和中微子的发现。库恩说他不知道是否有“对中微子发现的更详细的”记载。他显然没有注意到 F. Reines and C. L. Cowan, Jr., *Physics Today*, 8 (1957), #12, 以及这两人同别人共同撰写的详细的报导, *The Physics Review*, 117 (1960)159.

② 据 J. Wheeler 的回忆, “Preface to *Sources for History Quantum Physics*”, 见下引是书。

弗曼(Paul Forman),负责资料编目、转录、分类收编工作。爱仑(Lini Allen)夫人为秘书兼行政、财务事务主管。计划共进行三年,第一、第三两年在伯克利,第二年在哥本哈根。在这三年特别是后两年中,库恩造访了九十五位参与量子物理学早期工作的学者,同他们进行了深入的交谈,并且都录了音。他还和黑尔布隆一起,浏览了各主要图书馆收藏的量子物理学作者们的手稿和通信,包括位于哥本哈根的玻尔档案和位于普林斯顿的爱因斯坦档案。

很少有人有机会在这么大的范围,这样的深度接触到这么多的第一手资料。而且整个资料工作又是在玻尔的直接参与下开展的。玻尔多次披阅收集计划,收集到的资料,并且与库恩作了四次长谈。最后一次是1962年11月17日下午进行的,谈论主题是原子模型最初的构想。库恩问及在卢瑟福有核模型与玻尔模型之间还有没有中间形态的过渡模型,还有没有其他假想,玻尔一时想不起来了,于是相约下次再谈。第二天中午,玻尔在午睡中去世。库恩和玻尔的讨论于是成了一个永远没有完结的交谈,而玻尔当夜在工作室黑板上画的一个曾经同爱因斯坦讨论过的“光子箱”的简图,几乎被以后论20世纪物理学史的书无例外地引用,从而真正成为人类理解力的永在的丰碑。

“量子物理学史料”计划开始时,库恩恰四十岁。年龄、资历、职位、机缘都表明,撰写量子物理学史,把这一人类洞察自然精深幽微的秘密的最辉煌的胜利写入史册,非库恩莫属。库恩当然深知这一点。但是“史料”计划事务极多,一直到1966年底交出整理完的史料,分手稿、录音带、个人档案、原始文献、缩微胶卷等部分,并加说明、索引、转录样本等技术辅助部分,库恩的工作才告一段落,才可以稍稍静心读一些别人的工作。

1966—1967年间量子物理学史研究特别活跃。这一方面同“量子物理学史料”搜集有关,另一方面也是因为到了60年代,量子物理发展的脉络形势也已渐次分明,不少当年躬逢其盛的学者渐近老年,撰写回忆乃至历史既多,历史学家的注意力也随之转移。

库恩前后对八部专著作了评述^①。

对伽莫夫(G. Gamow, 1904—1968)的《震撼物理学的三十年》^②库恩最为不满,称之为量子物理学史著作的“灾难”。案伽莫夫^③1928年在列宁格勒大学获博士学位,以多方面的物理科学研究成果移师哥廷根大学做研究,在核理论和实验上均称杰出,1928—1929年、1930—1931年两度往丹麦玻尔处工作,后移居美国,在华盛顿大学任教。除了核物理以外,伽莫夫还是DNA遗传密码子解读的关键人物,他首先领悟到密码是由四个核苷酸中的三个构成一个有意义的环节,即密码子,从而为解读整个遗传信息的DNA分子奠定了基础。

伽莫夫一生写过140多篇论文和通俗科学文艺。这在20世纪专业科学家中极为少见。他的《物理世界奇遇记》^④和其他一些科普著作曾获联合国教科文组织1956年卡利那(Kalinga)奖。《震撼物理学的三十年》正是这一系列普及读物和他自己的学术生涯的一个结合,换言之,个人回忆和通俗易懂是这部书的主要特点。伽莫夫个性诙谐,又富于创造力,所以文中引了很多小故事,有些颇能说明一些事,有些则完全是趣味性的发挥。这样一来,文章的历史真实性就大大下降,甚至很多最重要的史实如玻尔博士论文的主题之类都有错。这是库恩称之为“灾难”的主要原因。

莫尔(Ruth Moore)的《尼尔斯·玻尔》^⑤是供非专业读者阅读的文学传记。和每个与玻尔有过接触、或者阅读过玻尔主要著作的人一样,

① 下引前六部著作的书评见 *Isis* 58(1967)409,后两部的文字随引随注。

② G. Gamow, *Thirty Years that Shook Physics: The Story of Quantum Theory*, New York: Anchor Books, Doubleday, 1966.

③ Gamow 生平见他的讣告 *Nature*, 220(1968)723,并见 R. H. Stuewer 的 DSB 本传。本文按本传写成。

④ *Mr. Tompkins in Wonderland*, 中译为《物理世界奇遇记》,吴伯泽译,北京:科学出版社,1978年。承许晖小姐帮助核对译本,特此致谢。

⑤ Ruth Moore, *Niels Bohr: The Man, His Science, and the World They Changed*, New York: Alfred A. Knopf, 1966。本书有中译《尼尔斯·玻尔》,暴永宁译,北京:科学出版社,1982年。

库恩对玻尔的人品学问钦服有加。库恩宣称：“自古到今只有少数几个人，20世纪以来没有任何一个人能像玻尔那样在他所从事的科学工作中留下其品格风范的印记。”于是写好这样的传记自然不易。库恩认为，莫尔的文字以描述玻尔其人还差强人意，以展示其事业则远未令人满意。库恩引用了玻尔的学生和助手海森堡(W. Heisenberg)对“量子物理学史料”的谈话，认为量子物理的情形是非常奇妙的，问题在于物理学家们必须用非常难以理解的方式去描写奇怪的概念。而这一点，库恩认为，莫尔夫人在物理学方面的训练太少，显然无法完成清晰的叙述。

库恩认为对非专业读者来说，克莱恩(Barbara Cline)的《质问者：物理学家和量子理论》(*The Questioners: Physicists and the Quantum Theory*)最好^①。这本书涵盖普朗克量子假说到1930年代玻尔和爱因斯坦的大辩论。虽说未能尽量扫除一些技术性错误，克莱恩还是完成了当年量子物理学家探询自然的历史回顾，尤其是物理学家作为人对自然的探索和研究的回顾。

范德瓦尔登(B. L. van der Waerden)收集编纂的《量子力学原始论文集》^②本来不能说是一篇历史学著作，但因编者在书前加了长达60页的前言，库恩认为，也应加以评论。首先，库恩指出论文集选题颇为合适，并始终以量子力学的原理为出发点和着眼点，颇具深意。库恩特别指出，范德瓦尔登本人深通量子力学，所以选入的文章多为以专家为阅读对象者。库恩称这个文选具有“不可估量的价值”。

以色列学者雅墨(Max Jammer)在科学史领域久负盛名。1954年在哈佛做访问学者时曾著《空间概念史》，为爱因斯坦所称，并为之作序。以后又往奥克拉荷马大学德高耶尔(DeGolyer)科学史图书馆，再著《力的概念史》，在60年代也为一时之选。稍后往以色列希伯莱(Hebrew)大学

① Barbara Cline的书1965年由New York: Thomas Y. Crowell出版，未闻有中译。

② B. L. van der Waerden, *Sources of Quantum Mechanics*, Amsterdam: North-Holland, 1967。本书由复旦大学物理系同仁译出，1988年由复旦大学出版社出版。笔者只见过油印稿本。

任教,撰写《量子力学在概念上的发展》,并于1966年出版^①。

在雅墨的致谢名单中,有当时活着的大部分最重要的量子物理学创始人,德布罗意(L. de Broglie)、波恩(M. Born)、海森堡(W. Heisenberg)、狄拉克(P. A. M. Dirac)只是其中最引人注目的而已。科学史家如霍尔顿(G. Holton)、费尔拉班德(P. K. Feyerabend)和库恩也均被提出致谢。其权威性即可见一斑。

在将近四百页的篇幅中,雅墨讨论了和量子物理学史相关的每一个主题,而且每一个讨论都建立在扎实的第一手资料研究上,繁征博引,这是库恩指出的第一个,“如果不是最后一个”,最令人印象深刻的特点。库恩认为,这本书会成为以后很多研究的起点。库恩对文章在历史学上的严肃性没有多提意见,但对全书的史学方法和整个写法表示不满。简单地说,库恩提出了一个缺点,但表现为两种形式:正面叙述过分地显示了历史发展的“逻辑性”,整篇文章让人想起19世纪惠特克(E. Whittaker)电学史的写法^②,或者用库恩的原话说,雅墨力图把某些实验或理论与它们今日的意义——而不是当时的意义,挂上钩。这就引起了一些年代的误记。与正面叙述相对称,雅墨又常忽略一些当时颇为重要但后来又为更新的成果所取代了的工作。这就把历史发展的过程不适当地简化了。索末菲对光谱精细结构的工作,鲁宾诺维茨(Rubinovicz)的光谱选择定则均未能得到充分的讨论。

虽然库恩觉得雅墨的书总的来说不错,“提供了关于卷帙浩繁的原始文献的准确的描述”,但梅耶-阿比奇(Klaus Meyer-Abich)的博士论文《对应、个体性和互补性》^③似乎更中库恩的意。作者梅耶-阿比奇是

① Max Jammer, *the Conceptual Development of Quantum Mechanics*, New York: McGraw-Hill, 1966。此书和1974年出版的 *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York: John Wiley & Sons, 合为上下篇,完成 M. Jammer 对量子力学史的经典叙述。

② 当指 E. Whittaker 爵士 *A History of the Theories of Aether & Electricity*, 这书有 New York: Harpers 平装本, 1960, 上下两卷。

③ Klaus Michael Meyer-Abich, *Korrespondenz, Individualität, und Komplementarität: etne studie zur Geistesgeschichte der Quantantheorie in den Beiträgen Niels Bohrs*, Wiesbaden: Franz Steiner, 1965。未闻此书有英译本。库恩下文的评论见前引 *Isis*, 58(1967)417-418。

魏扎克(C. F. von Weizsäcker)的研究生,后者自己也写些量子物理史的通俗小册子。库恩认为,梅耶-阿比奇能深入领会玻尔物理哲学和认识论,所以写出来的文章能切中要害,语语中的。但从文章的题目即可看出,梅耶阿比奇不是在为一般读者写作,——甚至他的语言风格,库恩注意到,也“不必要地艰深”,从而不便于阅读。

库恩对以上六部著作的评论在一定程度上反映出他心目中理想的量子物理学史的形象:叙述在技术细节和史料上应当是精确的,在历史上应该能充分地在那时当地的环境和气氛中展示事件的发展。库恩注意到这六部书不是为同一个读者群写的。但是,库恩认为,应该仍旧有可能写出雅俗共赏的东西,从而克服“两种文化”层面的问题。如果说这一点以前尚未被充分地注意、讨论,那么现在,面对高度数学化、带有强烈的专门技术特色的现代科学,科学史作者已是不得不重视这些问题了。

与对上面六书评论约略同时,库恩还分别讨论了威廉(L. P. Williams)著《法拉第》(*Michael Farady*)^①和罗森塔尔(S. Rozental)主编的《尼尔斯·玻尔的工作和生活》^②。后者是一部由玻尔的同事和友人撰写的回忆录性质的传记,库恩特别欣赏其内容的“细致准确”。与莫尔夫人(Ruth Moore)的书相比,库恩说这本书更合他的口味。

在这一阶段库恩评述的最后一本书是特哈尔(ter Haar)的《旧量子论》^③。特哈尔的书在形式上与上引范德瓦尔登(van der Waerden)的书一样,是一部论文集,但收集范围恰与范德瓦尔登不相重合,库恩称之为“幸运”:特哈尔的注意力在量子论初期史,而范德瓦尔登则侧重于量子力学自身的发展。与范德瓦尔登一样,特哈尔也有一个长达70页,几乎是全书三分之一篇幅的历史背景介绍。特哈尔是一个经验

① *British Journal for the Philosophy of Science*, 18(1967)148-161.

② *American Scientist*, 55(1967)339A. S. Rozental 所编的 *Niels Bohr: His Life & Work as Seen by His Friends & Colleagues*, North Holland Pub. Co. 下引文句见 p. 340. A. Rozental 的书有中译,黄绍元等译,上海翻译出版公司出版,1985年,前有杨福家小序。

③ D. ter Haar, *The Old Quantum Theory*, Oxford: Pergamon, 1967.

丰富的物理教师，所以他很成功地用不多的笔墨介绍了现在看来已经过时，甚至是物理学家都觉得不熟悉的世纪初物理学的基本想法和数学工具。库恩认为这是“很有用的”，因为没有这些介绍，就很难理解这些技术细节；而没有对技术细节的理解，就不能体会世纪初量子物理发轫之时物理学家的种种困惑，种种尝试，种种艰辛和快乐。

畅论他人工作以后，1969年初，库恩和他的学生、主要助手黑尔布隆(J. L. Heilbron)联名发表了一篇研究玻尔原子模型的长文章^①。玻尔模型在量子物理史上的意义自然是无与伦比的，所以研究讨论也特别多。上引八部谈量子物理史的著作，七部都以大量篇幅讨论这一主题。但库恩与黑尔布隆的文章以细致精密独立一帜。文章仅限于玻尔在1913年前两年的工作，而且仅是他在原子模型方面的工作，竟洋洋洒洒，长达八十页。有些重要的时刻，文章甚至是逐日追寻。文章的另一特点是技术内容甚强。库恩和黑尔布隆都是物理学博士，理解、补足从而再现玻尔当年的工作自然没有太大的问题。文章的有些片段，对于大部分读者来说，与其说是历史，不如说是物理。

库恩与黑尔布隆文章从正面展示了库恩心目中理想的量子物理史的形象：未加简化的科学内容，严整的逻辑推理和分析，对概念形成过程的清晰而完整的描述，使得这篇文章在学术深度上达到了一个前所未有的水平。对一般读者来说可能稍嫌艰深，但仍有相当数量的一群读者，经过一定的努力，能读懂原文，而且更重要的是能从中领略到在一般通俗的科学史叙述中不能感觉到的精深微妙的物理直觉和透辟深邃的洞察力。

但是这篇文章毕竟是黑尔布隆执笔的，库恩虽说时时参与其事，仍旧不能简单地归为库恩的作品。科学史界、科学哲学界、社会学家乃至物理学家，都在期待库恩自己的著作问世。一等就是十年。十年一剑，霜锋未试。1978年春天，库恩的专著《黑体辐射和量子不连续性：

^① “The Genesis of the Bohr Atom,” *Historical Studies in the Physical Science*, 1(1969) 211.

1894—1912》由牛津大学出版社出版。

四、库恩的《黑体》一书要点

《黑体理论和量子不连续性：1894—1912》^①全书正文 254 页，注释 68 页，征引文献目录 26 页，直接征引出版物 360 多种，外加大约 10 个图书馆的档案、手稿馆藏，大约 10 个重要物理学家亲友的私人收藏，当然还有花了巨大人力物力建立起来的“量子物理学史料”档案的录音带和其他资料。仅就史料而言，库恩就可以傲视同侪。

文章主要研究“量子”或“量子不连续性”这一概念的产生，并主要是普朗克(M. Planck)的工作：全书十章，有七章在标题上标明普朗克字样。库恩根据他对普朗克工作的理解，把“量子”概念的发展分为三个时期。第一期 1894—1906 年，普朗克自研究辐射起进而研究统计，进而能量均分原理，进而普朗克辐射定理。第二期 1905—1912 年是普朗克概念的发展，同时也是“量子不连续性”概念的产生。这一期与上一期在 1905—1906 年间有交错重叠。第三期相对颇短，库恩未给出具体起讫年代，但就其内容陈述看，约为 1911—1913 两年。全书也相应分成三个部分，第一篇称“1894 年至 1906 年间 Planck 的黑体理论：经典时期”，约占全书一半篇幅而稍强；第二篇“量子不连续性概念的出现，1905—1912 年”，约占全书三分之一稍强；最后一篇即第三篇“尾声”最短，不到全文十分之一。

第一篇从普朗克最初着手黑体问题说起。特别研究了普朗克的热力学、气体运动学理论和普朗克对连续性、电磁理论的看法。库恩特别强调普朗克在统计物理上所受的训练，这一章提到了波尔兹曼(Boltzmann)的 H 定理及其诠释，洛斯米特(Loschmidt)悖论之类的专门理论和熵的概念。在这两章的基础上，第三章“普朗克和电磁 H 定

^① T. S. Kuhn, *Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 - 1912*, N. Y.: Oxford University Press, 在英国是 Oxford: Clarendon Press, 1978。下文的征引情形，略见于库恩在“前言”中的致谢栏。

理”介绍了普朗克研究的基本取向即电磁学和热力学的联合。第四章正面叙述了著名的普朗克辐射定律。先是简单地介绍相关的实验和较早的工作，然后是长达八页半的“定律导出”（第 102—110 页）。我们还记得普朗克定律导出以后面临的问题，即定律表达式的物理意义问题才是真正革命性的，——从而在当时是真正令人困惑的。第五章讨论普朗克对此的最初努力和当时物理学界的最初反应。

第二篇叙述 1905 年至 1912 年的情形，共四章，即第六章至第九章。先介绍埃仑菲斯特 (P. Ehrenfest)，瑞利 (Rayleigh) 和金斯 (J. Jeans) 对普朗克工作的反应。这儿埃仑菲斯特是一个当时尚未为人知的年轻人，瑞利和金斯都是老一代物理学家。本篇的重点在下一章，介绍爱因斯坦的工作。库恩把爱氏工作又分为三个主题，约略为三个阶段，即 1902—1903 年的统计热力学、1904—1905 年的涨落现象和黑体理论研究，以及 1906—1909 年关于普朗克理论的工作。库恩力图说明，爱因斯坦 1905 年 3 月发表的文章是关于黑体问题的，并且爱因斯坦一直致力于黑体研究。库恩提出爱因斯坦 1906 年 3 月的文章，认为这在量子不连续性上具有头等重要的意义（第 184—185 页）。既然量子不连续性概念已经建立，后两章完全处理当时物理学界的反应：先是举足轻重的大师洛仑兹 (A. Lorentz)，再是光谱专家维恩 (W. Wien) 和金斯 (J. Jeans)，再是 1911—1912 年间的比热，最后到“辐射的结构”与原子能级、量子状态。

第三篇相当短，恰为 20 页，介绍普朗克关于辐射的“第二个理论”。这既包含普朗克 1911 年到 1912 年的工作，也包括他后来在 1913 年出版的《热辐射理论》第二版中的修改。在这些工作中，普朗克明确采用了量子化概念，这标志着这一概念的最终完成。

在这么多量子物理学史专著相继出版之后不久，库恩还要再写一本，当然不是重复、改写别人的东西。他是拥有、掌握第一手资料最多的人，他的著作应当有些新意。当专家们读到渴望已久的库恩的大作时，他们发现《黑体理论》的确有新意，而且新得令人吃惊。一言以蔽之，库恩力图推翻量子物理史的一贯说法，力图重建量子物理史的基本

时间表,力图说明普朗克当时并未提出量子化概念。正如库恩后来以最清楚的语言所宣称的,“我现在相当肯定〔传统量子物理史的说法〕是错的”^①。

库恩认为,普朗克的工作直接发端于波尔兹曼 1877 年关于熵和气体速度分布理论。在这一理论中,波尔兹曼引进了能量元 ϵ 。对波尔兹曼来说,这个能量元有一定的大小;既要大到包含足够多的粒子以使统计方法可以有效合理地使用,又要小到积分方法可以取代通常的求和。普朗克发现,他在运用波尔兹曼方法时有一点重要的差别,那就是波尔兹曼的能量元 ϵ 的大小与物理体系并无直接联系(第 59 页),而他采用的能量元 $\epsilon = h\nu$, ν 是振子的频率。换言之,普朗克的能量元有一个固定的大小。

库恩认为,这一差别令普朗克困惑。普朗克始终把 $h\nu$ 视为一种限制,但只是对能量元大小的限制,而绝不是什么“能量量子化”。在能量意义上,波尔兹曼的粒子和普朗克的振子没有原则的差别(第 104 页,第 130—134 页)。在对经典物理学定律的运用及其有效性的考察上,两者亦无本质差别。普朗克把常数 h 叫做“作用量子”,认为这不过是为相空间提供了一种物理结构(第 129、250 页)。

但是用普朗克的上述考虑实际上并不能导出辐射定律。其中关键在于如何在整个理论中引进温度变量。库恩认为,普朗克在研究了波尔兹曼的 H 函数之后发现(第 39—42 页), H 下降正恰导致熵上升,而且 $\partial S / \partial E = 1/T$ 又是熟知的热力学公式,于是得到了导出“辐射能在各个不同的温度区间关于辐射频率的分布”来。这就是普朗克最初的工作(第 86—91 页)。

然后,在 1899—1900 年间,关于辐射的实验进一步发展到红外区,维恩(Wien)定律与实验的偏离渐渐显示出来,这使得普朗克在 1901

① 以下要点见于库恩自己对本书的总结,“Revisiting Planck,” *Historical Studies in the Physical Science*, 14(1984)231—252。虽然这篇文章写于本书出版五年以后,库恩在其中声称对本书的介绍仍与 1978 年时相同。下文引语在 p. 232. 括弧中的页次是指本书页次。

年又以“补遗”的形式再次发表了关于辐射的进一步工作。但是，直到1908年，量子不连续性概念才出现在普朗克的著作中。所以，库恩认为，普朗克的最初的工作并不包含量子化或类似概念。这个概念是爱因斯坦和埃仑菲斯特(Ehrenfest)在1905—1906年间提出来的，而对普朗克来说，是在1911—1912年间采用，正式出现在1913年第二版《热辐射》之中的。

关于爱因斯坦的贡献，库恩认为是他的研究中最具独创性的部分^①。库恩注意到爱因斯坦引用普朗克是在爱氏著名的“1905年论文”系列的第三篇。他特别提及了爱氏引用普朗克的一句话，“普朗克理论蕴含了对现今所讨论的光量子假说的应用”^②，并认为这句话足资证明是爱因斯坦首先明白阐发量子化概念的，——虽然库恩声称这样说法一点也不隐含贬低普朗克贡献的意思^③。

库恩的这本书，用他自己的说法，是力图建立一个与传统科学史所不同的“异端”。在此以前，库恩并没有做过诸如爱因斯坦或普朗克或量子论初期史的文章。那么，他所说的“传统说法”或他力图推翻或大幅度修正的，是他的同事们以往数十年的工作，尤其是这一领域的主要研究者、耶鲁大学的克莱恩(Martin J. Klein)所描述的图景^④。这就引发了近年来科学史界最引人注目的一场论战。

五、《黑体》未能尽如人意

《黑体》发表后约略一年，1979年3月14日，普林斯顿高等研究院

① 库恩在1979年年初的一个会议上着力发展了这一点。见 H. Woolf ed., *Some Strangeness in the Proportion*, Addison-Wesley, 1980, pp. 186 - 190。我们在下一节中还有机会讨论这一会议。

② A. Einstein, *Ann. d. Phys.*, 20(1906)199.

③ 上引 H. Woolf 的书, p. 186.

④ M. J. Klein 的主要说法可以在他 1962—1973 年间发表的十一篇论文, 尤其 *Archive for History of Exact Science*, 1(1962)459 - 479, *The Natural Philosopher*, 1(1963) 83 - 108, *Physics Today*, 19(1966)23 - 32 看到。这些文章均被库恩在本书中引用。

假庆祝爱因斯坦诞生一百周年的机会,召开了一个大型讨论会,全面检讨爱氏对物理学的贡献。这是一次空前的盛会^①。各个领域的权威人物云集普林斯顿:历史学和哲学背景分别由霍尔顿(G. Holton)和纳吉尔(E. Nagel)介绍。欧洲文化背景则有吉尔伯特(Felix Gilbert)的报告。相对论部分讨论由诺贝尔奖获得者杨振宁主持——他本人也是普林斯顿高等研究院的研究员,与会者有量子力学的最终建立者,诺贝尔奖获得者狄拉克(P. A. M. Dirac),哈佛的霍尔顿,前文引用过的德国科学史家赫尔曼(A. Hermann),以色列物理学家纳埃曼(Y. Ne'eman)。量子论部分的讨论由诺贝尔奖获得者普林斯顿大学的施温格(Julian Schwinger)主持,克莱恩(M. J. Klein)和库恩作了报告。参加讨论和报告的还有普林斯顿大学物理系的派斯(A. Pais),他是爱因斯坦标准传记《上帝高明》^②的作者,诺贝尔奖获得者拉比(I. I. Rabi)、贝斯(Hans Bethe)、温伯格(S. Weinberg)以及陈省身。最后由当时的美国总统卡特作闭幕演讲。两支最负盛名的室内乐演奏组朱莉亚(Juilliard)和爱默生(Emerson)负责席间演奏。——单单由这张简单的与会者名单就可以知道这个会议的重要性,与会者的意见或可以看作是当时学术界的流行的或占领导地位的意见。

库恩在会上报告了他的关于量子论初期史的最新研究成果^③。这份后来印成五页多一点长的报告基本上是《黑体》一书的简要介绍。尽管增加了两个关于克莱恩工作的长注,库恩仍把注意力集中在他关于量子概念是由爱因斯坦而不是普朗克,是在1905—1906年而不是在1900年发展起来的说法上。

库恩显然未能成功地吸引与会者的注意,更不必说说服与会者放弃传统说法而皈依他的“重新解释”。和克莱恩长达二十五页的论文相

① 这次讨论实况记在 Harry Woolf ed., *Some Strangeness in Proportion*, Addison - Wesley, 1980。下面的情况介绍和发言均出自该书。

② A. Pais, *Subtle is the Lord*, Oxford & N. Y.: Oxford University Press, 1982。参加讨论会时 A. Pais 在物理系任教。

③ T. Kuhn, "Einstein's Critique of Planck," 上引书, pp. 186 - 190。讨论附在正文之后。

比，库恩四五页的发言显然处于一种补充说明或“又一说”的地位。至于在会后的讨论中，克莱恩九次被邀请回答问题，而库恩只被问及一次——而且这次还是因为普林斯顿的维格纳(E. Wigner)因显然不同意库恩的说法而提问的。

半年以后，克莱恩对《黑体》的正式评论见于科学史权威杂志 *Isis*^①。这个评论对该书持明白的否定态度。

克莱恩一开始就指出，20 世纪初建立的量子力学是人类心智探索自然的一次如此伟大辉煌的奋斗，可以期望，其历史必是辉煌的；库恩对这个题目进行了多年的研究和探索，占有了无人可以稍望其项背的有利条件，可以期望，其书当可承继马克思《路易·波拿巴的雾月十八日》那样的学术传统。但是库恩实际上未能做到这一点。库恩提出的修正观念在历史学上未被有力地建立起来。克莱恩认为，库恩的基本架构不对。

库恩之所以在整个解释或重建方向上走错了路，克莱恩认为，是因为库恩过分地强调了普朗克工作中的自洽性和一贯性。科学家们在他们创造性工作的关键时刻有时会显得自相矛盾，但库恩“似乎不想考虑有这样一种可能，不认为普朗克自己有时对自己所从事的研究不完全明了”。因此，库恩在做历史时，过多地注入了事后才阐发出来的逻辑联系。

克莱恩还毫不客气地指出库恩对别人的工作引用不当，特别对库恩所说的他的工作是以克莱恩的工作为基础，但又对之有所背离的提法不满^②。克莱恩还列举了库恩的错误，包括把拉格朗日(Lagrange)方程与汉米尔顿(Hamilton)方程混为一谈，也包括“更为不可忽略的”错误如断言 1902 年吉布斯(Gibbs)统计工作发展之前没有统计理论而只有气体运动论。事实上，库恩所着重讨论的波尔兹曼(Boltzmann)在

① M. Klein, "Paradigm Lost," *Isis*, 70(1979)430 - 434.

② 库恩实际上在这儿说了一句俏皮话。他说他的工作“departed from Klein ... in both senses.”案 depart 一词，既可为“以……为起点前进”，又可为“背离……”。此处以意译出，自然笨拙。下文引文见是文 p. 434。

1871年就有著名的热力学第二定律的统计力学研究。因此,克莱恩认为库恩关于波尔兹曼的章节很容易被证明是不能成立的。“他把注意力集中于为他的说法辩护,从而忽略了量子物理学发展初期的复杂性与多样性,及其振奋人类心智的力量。”

克莱恩的说法未必能当作定论,但至少科学史界为库恩的书定下了基调。同一期 *Isis* 发表的物理学家的评论^①,在某种意义上更加强了克莱恩的批评力量。物理学家们发现,库恩的说法提供了一个比以前历史诠释更“清晰”的说明,而普朗克也不再是一个在黑暗中摸索的人。他们要求库恩更多地利用“晚近的发展”去解释普朗克的工作。

与此几乎同时,署名 L. A. F. 的评论者在《形而上学评论》上发表短评,称库恩的书是一本“扎扎实实的好书”,但整篇评论似乎没有十分大的说服力^②。一年多以后,加里森(Peter Galison)发表了一篇长达十五页的书评^③,力图协调这两位“现代物理学史顶尖的研究者之间的”不一致的说法。加里森当时还未去西部,所以署名为“哈佛大学加里森”,他本人的研究兴趣也在现代物理,尤其是原子核和量子理论的实验与理论的关系,应该说是这场争论的“圈内人”。有趣的是,现在美国东部的三大名校,哈佛、普林斯顿、耶鲁的科学史家都卷入了这一问题的讨论,而其要点并不是在谁做了什么,或归功于谁,而是力图为阐明现代物理学基础发生重大变化的基本因素而追溯、澄清历史的发展线索。

加里森的文章分成四个部分,先是介绍问题的缘起和背景,然后介绍库恩的工作,哪些是库恩的创见或新引进的资料,同时介绍普朗克工作的主要线索,最后发挥他自己的看法。

加里森首先引用库恩的话,说库恩一辈子是戴两顶帽子的人:一顶是科学史家,一顶是科学哲学家,并不能混淆,也不能同时戴两顶。

① 同上页注①, pp. 434 - 436。下文引文见是文 p. 435 和 p. 436。

② *The Review of Metaphysics*, 33(1980)3: 131, pp. 639 - 41, 下文引文在是文 p. 641。

③ P. Galison, “Kuhn and the Quantum Controversy,” *British Journal for the Philosophy of Science*, 32(1981)71 - 85。下文的“第三种诠释”见是文 p. 82 及其后。

这一说法库恩颇为欣赏，并说是来自柯列依(A. Koyré)，因为柯列依在做科学史时不谈哲学，做哲学时不谈科学史。

书评的主要部分在对比库恩和克莱恩的说法。按加里森，两种说法不尽相同，但绝非一般人印象中的那么对立。文中大约十次提及两人的相一致处，诸如“库恩和克莱恩两人都认为……”之类的话处处可见。然后引进作者自己的“第三种诠释”，这种诠释是由前两人的一致之处着眼的。

加里森首先指出，在1900—1901年前后，连续或不连续的问题并未成为一个压倒一切、重于一切、先于一切的问题，比如说恩斯特·马赫(Ernst Mach)在他的书里就没有这样处理这一问题。很可能是由我们这些在量子理论已经发展，已经成为20世纪领头的科学理论以后再受教育的人过分地强调了这一“划时代的”意义。如果用比较朴素的观点来看，普朗克感兴趣的，就是利用电磁H定理去分析统计力学问题，并由此做了一系列的推导演算：他未必能自觉地分析或面对“连续不连续”的问题——倒不是他不敢面对或回答这个问题，而是他未见得把这一点看得那么重要。因此，加里森认为库恩和克莱恩在分析上都过分地要求普朗克取或“量子”、或“经典”的立场，而事实上普朗克当时并无什么立场可言。

约略同时，加拿大西渥太华(West Ontario)大学的尼古拉斯(J. Nicholas)指出，库恩关于普朗克工作的描写，实际上合于库恩在《结构》一书中的理论，并颇为库恩之受克莱恩严厉批评鸣不平^①。最后，1983年，阿西格(Joseph Agassi)再发表一篇长达十五页的文章^②，给库恩关于黑体的书作了一个小结。阿西格在科学哲学界颇有影响，身兼以色列、英国和加拿大三所大学的教职，与库恩也相识，他的意见当然是要留意的。

阿西格一开头就声明他的书评是对库恩的书的一个“颂词”，“因为

^① *Philosophy of Science*, 49(1982)295 - 297.

^② Joseph Agassi, "The Structure Of the Quantum Revolution," *Philosophy of the Social Sciences*, 13(1983)367 - 381.

不然的话,读者很容易误会”,以为他整个地取批评态度;然后即开始了他的批评。首先是所谓的“量子革命”问题。事实上,历史上的革命未必有库恩在《结构》中所描绘的那种清晰的结构,所以库恩就必须面对有些当时并不曾发展起来的或未占据主流的概念,因为事实本身并非像理论中假定的那么简单直接。其次是社会学影响问题。阿西格认为,库恩所讨论的不是社会学因素而是社会心理学因素;库恩的这种倾向,使他的书“令人困惑,片断零散或明显地谬误”;库恩过于重视逻辑一贯性,过分地为现时教科书产生的引导束缚。阿西格引用了克莱恩前引评论中的说法,认为库恩在建立普朗克工作的内在自洽性方面用力太多,但不愿意正视普朗克对自己的工作并非“从头到尾都有清晰认识”的这种可能性。最后,全书也未能显示任何方法论上的意义,虽说真要找出什么方法论上的结论也太困难了,因为方法论本身是抽象的。阿西格认为,要想有真正的富有批判精神的科学史著作,科学史作者要真正清晰地展示科学家们的想法、做法,展示他们之间的异同,还必须“假以时日”。

差不多同时,库恩在一篇长文章中为《黑体》一书作了全面的辩解^①。他断然拒绝对他的几点主要批评。他认为,写历史就是“重建”或“重现”历史过程,并声称这是他从柯列依那儿继承来的。为什么不能说科学家们在工作中有困惑,为什么说普朗克或波尔兹曼的工作是合乎逻辑、首尾贯通的呢?因为不这么做就会使科学史对科学发现的研究变得毫无意义。库恩希望,科学史的研究能显示出科学发展的脉络,并能展示它在科学认识论和哲学上的意义。

有趣的是,库恩和克莱恩在这场争论中各自都似乎和自己原来的做法倒了个方向:库恩一贯强调要把历史事件放回历史环境中去研究,以“当时的语言”来谈论历史,但现在正积极为量子物理发展的逻辑性和自洽性辩护;而克莱恩则大谈科学家工作中的困惑和迷茫,尽管他以前一篇又一篇的文章都在分析量子概念的产生和发展。这一有趣的

^① T. Kuhn, “Revisiting Planck,” *Historical Studies in the Physical Sciences*, 14(1984) 231 - 252.

现象本身是科学史研究的两个方向之间的张力的反映。科学、科学革命，在事实上和历史上都是处于既循逻辑，又摸索试探，既令人困惑，又方向鲜明的这种相反相成的状态之中的。关键是如何恰如其分地表现、再现出来。

《黑体》一书所承担的这一任务有其先天的严重困难。这是一个现代科学史作者所面临的共同问题。现代科学高度技术化，内容绝非一般人在未经准备的情形下凭常识和“愉快的思考”^①可以理解。因此，以一般人为读者目标的科学史必须放弃技术细节，放弃描述的准确性。伽莫夫(Gamow)所著是这种类型，库恩曾深表不满。但如果大量引入细节，写成非专家不能阅读的科学史，又令大部分读者如堕五里雾中。事实上，《黑体》未被接受的很重要的一个原因，在于它未能处理好这一问题。

库恩认为，如果放弃细节，泛泛而谈，将使科学发现和发明过程中的精深微妙之处丧失殆尽。读者将无从了解，更不要说体验科学发展的内在机制，因而也无从揭示科学史的哲学和认识论意义。我们再一次看见了科学史研究中的两难抉择，或者用库恩的话来说，这恐怕又可视为一种张力。

六、什么是科学革命？

好像是要总结一下一生对科学史的哲学意义的研究成果，1981—1983年不到两年的时间里，库恩写了两篇各长达20页的文章^②，全面

① 爱因斯坦语，见氏著《狭义与广义相对论浅说》，前引版本，第iii页，原文是爱氏1916年为该书写的序中的一句话。

② Kuhn, "What are Scientific Revolutions?"这是1982—1983年间在西德的一个讨论班上的论文讨论稿，后来发表在该讨论班的论文集*The Probabilistic Revolution*, M. A.: MIT Press, 1987, ed. by L. Krüger et al., 列为第一章第一篇, pp. 7-22. 先是，论文在MIT校内非正式出版，是为*Occasional Paper* #18, Center for Cognitive Science, 1981, 周颖中译，载《科学学译丛》1987年第一辑，第1页。另一篇是科学哲学协会1982年的年会（两年一次）上的论文，“Commensurability, Comparability, Communicability”，刊在*PSA* 1982, v. 2, ed. P. D. Asquith and T. Nickles, Michigan: Philosophy of Science Association, 1983, pp. 669-688, 并附讨论，在pp. 712-716。下面的大段引文见前一篇文章p. 7。

阐述了他的“科学革命”理论。这时,距《结构》最初问世已有二十年了。经过多次论战、讨论、增补、修改,结构理论现在该是一个“定本”了。

库恩认为,科学革命或者那些“最典型的科学革命”,应当有一些基本特征,从而同常规科学区别开来。库恩用最简单明了的说明概括了他对科学发展阶段的划分:

……我先把我认为的科学发展的两种形态,常规的和革命的形态区别清楚。大多数成功的科学研究产生一类成果,其本质可以由这样一种典型的说法来把握:常规科学生产科学经年不歇地成长,加砖添瓦所需要的知识材料。这种累积性的科学发展观念是人所共知的,而且它还引导出数量可观的方法论文献。常规科学及其方法适用于大量的科学研究工作。但是科学发展还表现为一种非累积性形态。这种非累积性阶段提供了理解科学知识核心层面的唯一线索。

所以库恩对科学的革命阶段更感兴趣。那么究竟什么是“革命阶段”呢?库恩下文以三个例子来说明。

第一个例子是库恩提过多遍的也是事实上把他的注意力吸引到科学观念变化问题上来的一项研究:亚里士多德物理学和牛顿物理学的对比。库恩又重新回到了1947年那个“炎热的夏天”,因为要为非物理专业学生讲物理学的发展,库恩去阅读亚氏的原著。库恩先从自己所熟悉的牛顿力学着手,看看亚氏到底懂多少物理学,他又为伽利略、牛顿提出了什么问题。库恩很快得出结论,亚里士多德完全不懂物理学,亚氏关于物理学、力学特别是运动的理论,全然错谬充斥,逻辑上也不对,观察更成问题。

但在历史上,在亚氏去世以后的两千年里,他的工作备受重视;亚氏的观察,尤其是动物方面的观察,无论如何都是不能稍稍轻视的。库恩因此倍感困惑。

他说,当时的情景还历历在目。他坐在桌前,手里拿着四色活动钢

笔,突然,一切都明白了:库恩突然注意到,“运动”一词在亚氏那儿并不是指位置的变更,一如在牛顿那儿和在现在的物理学中那样,而是指一般的“变化”,这是一个内涵广阔得多的概念,而现今的运动概念只是这一大概概念的一个特例而已。同样,亚氏的“质”的概念、“量”的概念、“力”的概念,均是如此。只有在亚氏的概念系统中这些词才有意义,或者说才有正确的、可以用于理解亚里士多德的意义。比较或用牛顿体系来衡量、理解亚里士多德是没有意义的。

第二个例子是电池。库恩复制了1800年伏打(Volta)给皇家学会的图,特别在其中摘出了一个问题。原来电池对于电池的发明人伏打来说,与今天我们的理解不一样,尽管电池的结构在伏打那儿与今日的形式颇相接近。库恩注意到,在伏打那儿,两个电极,锌和银是直接相连的,用作电介质的湿纸或皮革是夹在两个“电池”之间的,即整个电池组的排列顺序是“锌(Z)—银(A)—介质—Z—A—介质—……”。在伏打的想法中,Z—A组构成类似于莱顿瓶的结构,而介质只是连接两组“电池”的中介。现在略有电学常识的人都会重画这图,而把“A—介质—Z”列为一个单元,或一个原电池。这种理解,据库恩的研究,可能比伏打的最初方案晚了四十多年。

库恩认为,这种不同的画法反映了对电池本质的不同的理解。在伏打时代,整个理论和理解方式是建立在静电学上的,特别是在莱顿瓶的理论和实践之上的。如果不做细致的科学史研究,概念的发展线索就会被模糊掉。在这一例中,从莱顿瓶的概念到原电池的概念,从静电学到电流学的研究框架的变换就会被忽略掉。

第三个例子是上章讨论过的普朗克量子论。库恩重述了他在《黑体》中发展起来的关于普朗克的说法,即波尔兹曼最初发明的气体理论是整个量子论的最早开端。普朗克的工作与波尔兹曼很接近,但是普朗克直到1909年才接受“量子”概念。

库恩认为,综观这三个例子,确实有一些与科学革命相连接的、一般性的特点可以从历史故事中概括出来。首先,革命性的变化多少是整体性的。革命性的变化“不能被分解为部分,不能被分解为各个步

骤,这种特性与常见的或累积性的变化正相对……”^①这种变化因而是一种“整个儿的”变化。其次,革命性的变化还涉及词汇语式与自然联系方式的变化、词义的变化。也就是说,在不同的革命阶段,术语所含的意义是不一样的,因而它们所指的自然界的实在对象也是不一样的。“粗略地说,革命性的变化在语言中最突出的特征是:语言不仅改变它与自然联系的方式,而且,在很大程度上,术语所连接的客体或情况也有所改变。”库恩认为,不仅词语内涵有了改变,而且整个科学所注意的客体、所讨论的问题和这些问题的解答方式都有改变,或者说,语言的对象改变了。这种改变可以在亚氏物理学中看得最清楚,而亚氏对语言的使用就可以看作是一种“规范性的范例”。

应该承认,上面一段是够费解的——译笔生涩当然是主要原因,但库恩的原意也的确表达得很费力。从上下文通篇看来,一件事特别值得提出,就是在不同的规范结构中,语言与自然客体联系的方式不同,而且,某种意义上更重要的是,科学或关于自然的研究的着眼点和对象也不尽相同,从而问题的提法和解答方式也全然不同。

所以对于不同的规范结构,并不能不加分析地进行比较。用库恩的术语来说,这就牵涉不同分析对象的可公度性、可比性和可沟通性。这些概念是如此重要,库恩后来撰专文予以阐发^②。

库恩首先讨论“不可公度性”。这是库恩理论中最著名也是争议最大的一个概念。两个有着不同的规范前提的系统,可不可以——如果可以又如何比较呢?既然如上文,两者差距殊绝,应当是不能比较,也就是没有一个中立的语言—概念系统可以同时用于两个被比较的对象。库恩说,最初的概念是:等边直角三角形的斜边与直角边是“无公度的”,也就是说,不存在一个长度单位,可以把斜边直角边同时表为这个长度单位同两个整数的积。库恩称这种无公度性为“局部无公度性”。

库恩接着引述了他早年在普林斯顿的同事普特南(H. Putnam)和

^① *Op. cit.*, pp. 19 - 20。下面的引语亦见是页或 p. 7。

^② 即上引 PSA 1982 论文。

别的几位科学哲学家的工作,问道,既然有这种无公度性,既然不存在一种兼容的语言来表达两个不同的规范结构,比较这种不同的结构的可能性和意义又是什么呢?

库恩认为,概念、术语的意义是历史性的,随着时间的推移,这些概念、术语的内涵自然变化。所以,尽管词语概念是无公度的,其意义仍可通过“诠释”来传达。这一做法有些像是“翻译”。库恩转而引用奎恩(W. V. O. Quine)的语义翻译理论,但他不同意后者的意见。库恩说现行的翻译理论有两点值得注意,一是翻译所涉及的语言本身早已存在,二是译者不必也不应加上自己的补充资料。“诠释”的情形颇不一样。一般来说,历史学家或人类学家所做的诠释只涉及一种语言,而诠释者在诠释过程中慢慢学习发展了另外一种语言。这种诠释不一定成功。要创造或发展一种新的语言以完成诠释与把已知的事实在另外一种已知的语言中表达出来颇是两回事。

比如说关于燃素说的一段历史。一些研究者如凯切尔(P. Kitcher)认为可以“翻译”,如“去燃素空气”即我们今日谈论的氧气,或富于氧气的空气,而“ α 比 β 含有更丰富的燃素”则可表为“ α 对氧的亲合力较 β 大”。至于“燃素”一词本身,有时可以略去或避掉,有时可以译为氢气。

库恩认为这样做不行。他杜撰了一段18世纪的化学论文,其中包含若干18世纪化学家认为最基本的概念,如决定物质化学性质的“质”(Principle),这种“质”的最著名的例子是燃素,它决定可燃性;还有“素”(Element),如“土”和“火”。这些词义有的是已完全改变,如“素”,有的则已完全消失,如“质”。但是,对于研究18世纪化学来说,这些在我们今日化学中不存在的概念却是不可剔除的。这就使得历史学家必须担任“诠释者”的工作,当个“语文老师”。

再以“燃素”一词为例。“燃素”可不可以用现代语言翻译出来呢?库恩回答说:不能。因为

用来表述“燃素”一词的词汇用语有好多个,诸如“质”、“素”之

类,也是不可翻译的。所有这些词项概念构成了一套相互联结、相互定义的完整体系。这一体系只能作为一个整体来接受,而不能把个别的概念孤立出来,先于体系而应用于自然现象。^①

只有如此,我们才能理解 18 世纪化学,我们才会理解 18 世纪化学之不同于 20 世纪化学,“并不简单地在于它对个别物质或个别过程的说法,而在于它构造整合化学世界的方式”。

这种“翻译”上的困难,还不止于是概念不相合或整个体系不相合,而且在于不同时代的人有不同的“感受”。库恩以法文和英文词的关系来解说这一点。他举例说,法文的 *doux* 根据上下文,可以翻译成很多个不同的英文字,于蜜糖是“甜蜜的”、“甘美的”,于羊毛则是“柔软的”,于味道是“清淡的”,于记忆是“易逝的”,于山坡是“平缓的”,其实还可以加上于声音是“悦耳的”,于光线是“柔和的”,于人可以是“温存的”,于老人可以是“安详的”,诸如此类。是不是法文字含意含糊,模棱两可,必须用很多英文字来配呢? 从上文的翻译看,岂止英文,中文亦然,当不是法文比中、英都差,意义都不明了。这是因为,库恩指出,*doux* 对法国人来说是一种单一的概念,这一种感觉或感受涵盖上面所说的诸多例子,但在法国人来说,是一种感觉,这种感觉不是非以法语为母语的人所能亲切体会的,我们只能从各个方面去分立地、近似地体验这种在法国人看来是同一的感觉。一个词在两种语言中尚无等价对应可言,遑论更复杂的思想体系、科学理论,或一个时代的哲学?“燃素”之于 18 世纪的化学家的意义,绝非一个或几个现代术语可道尽。

词意如此,比词意再奥妙一些的词性更不必说,*doux* 和 *douce*,有时只是语法上的要求,但常常又有感觉上的差异。不恰当地说,它们所唤起的直觉不一样。在历史上,科学家或“关心自然的人”和现代大学训练出来的科学工作者面对相同的实验也有不同的感受。加热氧化汞和汞的混合物,可以看见这种朱红色的化合物中银光闪动,它上方有时

^① *Op. cit.*, p. 676.

会突然出现炫目发光的火星。这种场景曾激起 16 世纪化学家或术士多少诗意的想象啊！但对现代人来说，第一个念头恐怕无例外地是对弥漫的汞蒸气的恐惧。

库恩所强调的，是两个系统的“不可沟通性”。这一点颇为他的评论者如凯切尔(Kitcher)所难，但库恩仍坚持是说^①。

案库恩的意思大概是说不同的规范结构一如不同种的语言，即使有翻译可言，仍只能在近似、粗略的意义上谈论“沟通”，其间困难不仅在语言的表述方式不同，而且在语言所代表的概念也不同。在某一种语言中，有规范制约其表达。这种规范与其说是语法条文、语法教科书上的规定，不如说是语言大师的范例性的用法：写文章的人，几乎没有是通过语法书学习写作的。对他们来说，早先的作家，公认的语言的典范使用者的著作，起着范式作用。比如哈姆雷特说的“The King is a thing of nothing”^②，就是一种无法翻译的例子。不仅其韵味、其用词，不仅其为貌似通俗的疯话，还包括了 King 这个概念，中译为“国王”，但必须通过注释即诠释才能使中国读者明白——因为中国历史上和文化中并无“国王”一事，有的只有“天无二日”、“君临天下”的皇帝。两者有相似之处，但绝非等同。

库恩所要求的，就是在历史背景上、在文化传统中去理解科学，理解人类对自然、对宇宙的理解。在这个意义上，库恩的哲学是真正历史性的，或者说，他的本意在于科学史的哲学意义。

① *Op. cit.* , pp. 712 - 713.

② 见 *The Tragedy of Hamlet* ,用 Barbara A. Mowat ed. 本, Act IV, Sc. 2, ll. 28 - 30。原文这一句是两行，中间插入一句 Guidenstern 的道白。本句朱生豪译作“国王是一件东西——一件虚无的东西”，见《莎士比亚全集》第九卷，北京：人民文学出版社，1978 年，第 97 页。梁实秋译作“国王这种东西——不成东西的东西”，见《莎士比亚全集》第 32 卷，台北：远东图书公司，1967 年，第 141 页。



第七章

以库恩做法为范例对中国史的检讨

以强调“范例”的作用为其哲学特色的库恩,在其科学史工作中未能真正给出一个完整的范例,当然使后来的科学史学者为之遗憾。但是,库恩的工作影响如此之大,以至于不管赞成他的、反对他的人,都被不自觉地卷入了他探讨问题的方向、方式和方法模式之中去了。在这个意义上,库恩的科学哲学思想确有其规范意义。兹择其要者,第举如次。

科学是文化之一部,是与文化不可须臾或分的一个方面门类。这种不可分割性,就是库恩在 20 世纪 80 年代初明白提出的整体性。在科学内部来看,这种整体性又表现为概念、概念间的联系、知识与自然的联系之类诸多不可分割的环节。这种“概念体系”就像一个生命体一样,任何一个部分都不能同整体分离,抽象地谈论其中个别部件是没有意义的。

但是这种概念体系又不是静止不动的。用历史学的眼光看,它是不断地发展、演变的。制约、引导这种变化的内在根据叫做“规范”。规范既是规矩约束,又是模拟的范例。小的演进变化,不涉及规范更替,叫做常规的;大的变化,包含了对规范自身的改变的要求,就是革命。

“概念体系”的运动,最终表现在这一体系所运作的人群的共同崇

奉的规范上,也表现为这群人特定的行为:他们有相类的信念,有共同的价值标准,有可以沟通的无歧义的语言。这一群人叫科学共同体。

所以,“整体性”、“规范”和“科学共同体”实在是从三个方面——本质上的、机制上的和运作上的三个方面,共同揭示了“概念体系”的哲学、历史和社会学特征。这样,库恩就从分析科学史出发,为我们建立了一个分析历史、文化上的“概念体系”的范例。这一范例如同库恩所建立的科学中的范例一样,当然不是放之四海皆准的通用工具,但利用这种做法重新检讨历史,或能发人未发。

一、“关于自然的知识”如何不同于 “科学”或“概念体系”

要是用这样的科学史观来考察中国古代的情形,可以得出一些颇具启发性的结论来。

讨论“中国科学史”或“中国科学落后的原因”起自科学传入中国之初,亦即19世纪末。至于20世纪20年代,形成一个高潮。先贤大儒如冯友兰、任鸿隽均有说焉^①。至于英人李约瑟著《中国科技史》,国内竞相移译^②,而研究著作亦多,蔚然大观,至于今日,仍是一个饶有兴味的问题。美国学者席文(N. Sivin)、韩国学者如金永植,日本学者多人,均有专论^③。

要能在学术上有效地探讨此一课题,自然必先要明白“科学”一词

① 任鸿隽:《说中国无科学之原因》,《科学》第一卷(1915年),第8—13页;冯友兰,“Why China has no Science,” *The International Journal of Ethics*, 32(1922)237-263.

② 陈立夫主译《中国之科学与文明》,台湾商务印书馆,1972—;“编译组”译《中国科学技术史》,北京:科学出版社,1975年;香港:中华书局同年。

③ 如席文1982年在耶鲁大学的Hume讲座,“Why the Scientific Revolution Did Not Take Place in China — Or Didn't It?”后载 *Chinese Science*, 5(1982), 45-66;叶晓青中译,载《科学与哲学》1984年第一辑,第5—43页,并作评介,载《辩证法通讯》1986年第6辑第63页。韩国金永植,“Natural Knowledge in a Traditional Culture,” *Minerva*, 20(1982)83-104;王道还中译,载《史学评论》1985年第九期,第59—92页。日人薮内清及其京都学派,用力亦勤,见 *Japanese Studies in the History of Science*, 9(1970)1.

的定义,是所谓界说。中文中“科学”一词,盖来自日文,所谓分门别类、逐科研究的学问,而不同于中国传统的“天地人儒也”的综合性学问。案“科学”一词,在西洋文字如英文中,起于文艺复兴时代^①,之前的学问也不叫科学。所谓科学,如此看来,当不是一般的“关于自然的知识”,而是关于自然的一种知识体系。诚如黑格尔所说^②,一堆知识的累积并不能叫做科学。在西洋学术史上,自牛顿或稍早以下,这一点当是明白而无疑义的了。在库恩的工作中,“科学”一词无疑是指一种依一定原则组织起来的概念结构,同时还涉及判别程序和标准、方法之类的知识实体的外延部分。下文谈“科学”,常以此界说为限。至于本词约定俗成的用法,泛指和自然有关或企图和自然有关的种种学问,姑置不议。

不少学者主张中国古代有科学,于是有中国科学史研究。这种研究的一大特点,是以现有的科学知识为出发点去考察中国古代文献。王国维读辛弃疾词至《木兰花慢》,词云“可怜今夕月,向何处去悠悠?是别有人间,那边才见,光影东头”,即评此词曰:“词人想像,直悟月轮绕地之理,与科学家密合,可谓神悟。”^③

案国维论词,精警辟透,常发人所不能,是谓神悟;但幼安此词,实在和“月轮绕地之理”扯不上。下文即有“飞镜无根谁系,姮娥不嫁谁留?”语,此实幼安之“天问”,驰骋想象,抒发情怀,非关哥白尼事。这当然不能说中国浙东安抚使辛某在12世纪即有“月轮绕地”之说。案静安亦一时兴致所至,未必定执是说。

努力建立一个体系的是谭戒甫先生^④。戒甫治《墨经》,用力颇勤。

① John Ayto 说起用于14世纪,见氏著 *Dictionary of Word Origins*, N. Y.: Arcade, 1991, p. 461.

② 黑格尔:《哲学史讲演录》卷1,北京:商务印书馆,1956年,第35页。

③ 王国维:《人间词话》,用《人间词话及评论汇编》本,姚柯夫编,北京:书目文献出版社,1983年。上引文编号为47,在第20页。稼轩原词在《稼轩长短句》卷4,上海:上海人民出版社,1975年,陈允吉点校本,第49页。此词不见于汲古阁刻六十家词,志此备考。

④ 《墨辩发微》,北京:科学出版社,1958年,1964年二版。下面的引文见第65—66页。

至《经上》21有“力，刑之所以奋也”，认为即牛顿定律。这一说法有两方面的问题，谨次第举之。

谭先生引《经说》本条，“力，重之谓。下，与。重奋也”。摘“重”一词，称“今力学亦曰重学”，其实与本文无十分关联；而《经说》“力，重之谓。下，与”一句，实不可解。孙诒让读经至此，不可读，改“与”为“举”，但“下，举”仍然费解。谭先生疏之曰，下是地球引物下坠，举为举物向上，两者必要有力的作用，似嫌牵强。案细检前后各条，得《经上》19云“任，士损己而益有所为也”；20云“勇，志之所以敢也”；22云“生，刑与知处也”；23云“卧，知、无知也”；24云“梦，卧而以为然也”；25云“平，知无欲恶也”；26云“利，所得而喜也”等。统看这一段，似乎是在讲人生，而“刑”也指“人体”。骤然插入一段论“牛顿定律”，殊不可解。

再看牛顿定律。谭先生称系动力学，注英文为 Kinetics，实为一时误记。案 Kinetics 恰系不计入力的作用的“运动学”；而谭说“然则令物体动，须加外力耳”亦不确。外力只用于改变物体动态行止，非关动与不动。所以牛顿谈外力的作用，实在必须引用“加速度”的概念，即速度自身的改变。速度可以为零而加速度不为零。这一概念的建立，要而言之，需要有时间的概念、速度的概念和速度对时间的微分概念。另外，要把力和加速度联系起来，还要有质量概念，尤其是质量区别于重量的概念。再次，要有速度的概念，又必须有时空，尤其是绝对时空和参照系的概念。以上诸点，仅就理论言，尚未及实验及测量。但由此可见，要有“牛顿定律”，实际上牵涉牛顿力学的最初的基本定义和法则，非可信手拈来，简单地加以比附可成。上文我们说到的“概念体系”，恰是指这种概念上环环相连、丝丝入扣的情形。整个体系构成一个结构，各部件不可须臾或缺。

我颇花一些篇幅论谭先生之释《经上》21，非有意发难，实在是因为这一工作是中国科学史研究中一个常见的例子。中国古籍流传既久，文字增改，句读不清，已属极难，再加上诠释，见仁见智，歧义异说本来就多，如不充分照顾上下文，断章取义之失或恐不免。此所以古汉语研

究者极其谨慎^①，不敢稍作猜测。盖望文生义，牵强附会，学者病之。而不顾科学发展的完整图景，必经程序，随意比附，则更易坠误解之中。

在一本不太常见的小说《剪桐载笔》^②中有段故事，叫《丹客记》。后来流传，见于《智囊补》，又见于《古今谭概》，最后由凌濛初润色，收入《拍案惊奇》，亦见于《今古奇观》。说一道人用诈术骗人，伪称能从铜铅中炼出银来。说完故事后，作者解释说：“看官，你道药末可以变化得铜铅做银，却不是真法了？元来这叫得缩银之法。他先将银子用药炼过，专取其精，每一两直缩作一分少些。今和铅汞在火中一烧，铅汞化为青气去了，遗下糟粕之质，见了银精，尽化为银。不知元是银子的原分量，不曾多了一些。”案这段话，如果从今日化学角度看，无疑是物质不灭定律，元素在化学反应中质量守恒定律的表现了。较之上引《墨经》，还无版本、文字上的争议。但显然没有人预备以此为依据，支持凌濛初和拉瓦锡打官司争取优先权。倒不是这段文字摘自“小说家者流”，出身微贱，而是科学定律是一个完整的概念体系的一个有机部分，不可以与整体割裂开来，独立诠释。其意甚明。

至于沈括、赵友钦、朱载堉，他们关于自然知识的记录当然非常有趣，但未见有概念体系结构，称之曰“关于自然的知识”可也，径名之曰“科学”似仍未令人心服。研究这些文化遗产，当然极为重要，但题目既大，非三言两语可论，请他日以专门研究来分析，本章下一节也还有机会再议一两句。所以就“中国古代科学”一题，鄙意以为，要说是“关于自然的知识”，不仅有，而且丰富有趣；要径称之“科学”，恐怕还有可议之处。

① 如曹冲称象，如华佗的“外科手术”，常被人津津乐道，其实问题尚多，见陈寅恪《三国志曹冲华佗传与佛教故事》，在《陈寅恪先生全集》下卷，台湾：里仁书局，1979年，第1119—1122页。再如胡道静治《梦溪笔谈》，穷毕生精力，成一家之言，繁征博引，排比例证，权衡事实，绝不妄作一词。先生温文尔雅，常悛悛然，故能持平如此。先生作《梦溪笔谈校证》，上海古籍出版社，1987年新版，香港商务同，初版见于1956年。

② 《剪桐载笔》，明王象晋撰，收入《王渔洋遗书》中；《智囊补》，清鲍祖祥选，收入《鲍红叶丛书》，均不易见到，而后者尤甚。传至凌濛初，列为《拍案惊奇》第十八卷，下引文见《拍案惊奇》，王古鲁校注，章培恒整理本，北京：人民文学出版社，1979年，第303—304页。人民大学图书馆张海惠小姐帮助核对原始资料，特此致谢。

这个说法自然是个“别调”。但细致考察一下现有研究，事实上并没有什么人认真地证明其有，而只是列出诸多事例，“既然这些精彩陈述反映了古人对自然的认识，古代科学发展或发达即不问可知”。这是一种推论，但在逻辑上实在是以部分证整体。为什么不少人宁可信其有呢？大概有三件事可以提出来讨论。

一是把古代技术成就与科学混为一谈。从弘扬中国文化、介绍古代文明而言，谈谈古代技术成就，自是十分精当。但若以讨论科学发展、概念演进，则仍须再作考究。案科学与技术两者常有联系，但并不一定一者为另一者之不可分离的一个部分。在很多时代，很多文化中，两者并无一定的因果或共生关系。现在普遍见到的两者的有机联系，实在是科学革命以后的事。不加分析地把两者归为一类，或是因为晚近的情形而形成的先入为主的观念，或是出于某些哲学或历史学理论的要求，都不能在历史上找到令人信服的证明。所以以“中国古代既有种种技术发明，其科学发达自不必问”为基本推理基础的说法，并不能成立。“科学”的基本目标，社会价值和与之相联的社会功用，科学的概念结构和逻辑体系，科学与实验和数学的结合方式，与“技术”都有明显而且深刻的差别；两者的关系也非常复杂。如综论两者，丝多绪乱，端或不可得焉。

一是研究古书，对时代背景、整个历史时期的思想线索，乃至一本书的上下文、前言后语未能充分留意。上引谭先生论《经上》²¹是一个例子，前已论及，不再赘述。案中国古代关于自然的记录和知识，绝少长篇巨制，多在笔记之类的闲野之作之中，因此常比较零散，以是特别要注重全文考察和时代考察。不然的话，剪裁古书，锻炼章句，拼凑成篇，不仅不能把古人事迹说清楚，反而把今天的读者也弄糊涂了。现在有些流行的中国科学史研究不能得到传统史学家的承认和共鸣，这大概是一个原因。

一是与西洋科学发展的进程强索比附。其实“中国为何无科学”一问的前提就是中国必须或者应该有科学。这一前提的认定，或是由于近世以来，“科学”在中国成了进步、正确的代名词，一旦说中国无科学，

则何以面对列祖列宗；或是认为科学是技术、经济发展的自然归宿，一旦说中国无科学，则于这种史学、哲学理论不合，何以自圆其说。既然西洋有，中国必定有，且比西洋早、比西洋好，只是近代落后而已。这或应了鲁迅笔下的故事：“我们先前——比你阔得多啦。”^①

其实这种爱国心是褊狭的。首先，中国文化发展的道路，不必与西洋一样。以西洋比中国，或以中国攀附西洋，本身对中国文化是一曲解。案各种文化，自有其道路规模，不必，也不可能强求一律。做艺术史的人似乎没有什么必要为中国古代何以没有油画感到惴惴不安。我国古代的泼墨山水、工笔花鸟，同样确立了我们的先人在艺术上的无可争辩的光荣地位，何必非油画不可呢？

或谓“油画”之说类比不伦，因为画毕竟是人的自由创造，而科学则面对自然。案对自然的理解可以是多方面、多角度的。现代科学是一种形式，古代中国人的想法是另一种形式，各有侧重。如何重现当时当地的研究风貌，自然是历史研究的一个中心问题。我国古代，并非没有留意自然，更非没有能力研究自然，而是对自然现象发展了另一套认识。用库恩的说法来看，则是有另一套运作规范，唯独这不是一套仅限于自然现象的规范，而是一套把自然现象纳入更大综合规模，更加注重人和自然的联系的一种研究和认识的模式。其基本规范不同，自然不必也不能强行比附，不能用研究西洋科学史的方法、概念、框架来研究古代中国人对自然的看法和观念。

考虑到宗教在西洋科学发生、发展上的关键性作用，李约瑟早年颇致力于中国道教的研究，以为这或为中国古代科学发达或不发达的一个重要因素。对古代中国人自然观念或关心自然的学者如沈括、朱熹，对古书如《墨经》、《考工记》，稍有了解的人都会相信要建立这样一种联系该极为困难。何也？巧妇难为无米之炊也。

利用西洋史经验反察中国情形，自无绝对不可，但必须有明白的分

^① 鲁迅语，见所著《阿Q正传》，参见，例如，《鲁迅全集》第一卷，北京：人民文学出版社，1956年，第363页。

析与应用是否妥当的考量。陈寅恪曾作以下简要评论，要求我们十二分小心：

此种比较方法，必须具有历史演变及系统异同之观念。否则古今中外天人龙鬼，无一不可取以相与比较。荷马可比屈原，孔子可比歌德，穿凿附会，怪诞百出，莫可追诘，更无所谓研究之可言矣。^①

这样看来把“关于自然的知识”强比于“科学”，问题在于未能于“系统异同”作充分的留意。“概念体系”本身如库恩一再强调的，是一个不能再进一步划分的整体。作为一个完整的文化，一个独立的规范构造，中国古代对于自然的研究自成一体，与西洋知识体系在概念上、功用上、价值观念上、结构上迥异。

二、“中国古代对自然的研究”如何不同于西洋的“科学”

中国之于西洋的情形，就研究自然一事而言，大概可视为另外一个规范结构。库恩也曾有些这类的说法，但术业既非专修中国情形，研究上也未做特别的发挥。

以义既为中国学者，自然留意此一案例。窃以为最引人注目一点，在于人和自然的一体化。所谓一体化，是指在中国的学问传统中，对自然的研究常纳入对人类和自然的整体研究之中。此所谓“天地人儒也”。赤子慈母拳拳眷眷和磁石铁片相互吸引是在同一原理的指导下的现象^②。所谓磁石，石之慈者也；铁片奔趋，实在是天理如此，并没有

^① 陈寅恪：《与刘叔雅论国文试题书》，《金明馆丛稿二编》，上海：上海古籍出版社，1980年，第223—224页。

^② 这个说法见于《吕氏春秋》卷9，许维通集注本，1933年，第15页反面。此书有北京文学古籍刊行社1955年景印本。

什么不可解的、令人困惑或需要进一步研究、说明的地方。沈括注意到磁石可以做指南针,但又有时磁针指北不指南^①。这些当然用“慈孝”概念不能概括,所以他说“莫可原其理”;而文天祥著名诗篇中则再把“孝”扩展为“忠”：“不指南方不肯休”。磁石在他们心中引起的困惑或高昂激荡的感情,确非我们这些晚一千年的人容易理解、体验的。

赵宋上接五代。案五代政事纷繁,五行灾异之说遂盛。这倒有点像开普勒时代的占星术,人人希冀知道不测的将来。1006年客星出。这星究竟是什么,现代学者倾向于认为是一颗新星或超新星^②。宋代文献说其明亮异常,不能忽视。天黑以后,竟然“煌煌然可以鉴物”。一时朝野议论纷纷,或以为凶,或以为瑞^③。

这时候司天监春官正周克明从外地回到首都,上书亟以为瑞,认为这是一种“周伯星”,“所见之国大昌”。这一解释很快被真宗采纳^④。

以现存的可以说是还算完善的资料来分析,实在看不出为什么这颗星一定是周伯,而且是瑞。事实上,相同的占书又说周伯星可以是凶。这常令现代读者困惑,但是这种困惑,并非来自周克明解释的任意性或不自洽性,而在于现代读者不自觉地把现代科学解释的自洽要求加于克明的解释。周克明的解释之所以被认为是正确的,在于这样的解释合乎当时的政治形势,或合于人事。此点克明的同时代人文莹看得最清楚。文莹后来写道：“时方朝野多欢,六合平定,銮舆澶渊凯旋,方域富足,赋敛无横,宜此星之见也。”^⑤这里值得注意的是“宜”字：星出必须遵从统帅天地人一切的天理。

所以两三年后,有为人造“天书”：王钦若时在政府,在北宋早期

① 沈括在《梦溪笔谈》中两次提及磁现象“不可解”,见该书卷24,胡道静校证本,上海:上海古籍出版社,1987年,第768页,《补笔谈》卷3,同书第1030页。文天祥的诗见《文山先生全集》卷30,四部丛刊本,上海:商务印书馆,1933年,第293页。诗题曰“扬子江”。

② 对阿拉伯记载的研究见 B. R. Goldstein, *Astro. J.*, 70(1965)105,对中国古代记录的研究见薄树人等文章,载《自然科学史文集》第一辑,上海:上海科技出版社,1978年。

③ 《宋会要辑本》瑞异一之十,台北:世界书局影印本,1964年,第2069页。

④ 《宋史》卷461,北京:中华书局,1977年,第13504页。

⑤ 文莹:《玉壶清话》卷1,丛书集成本,第4页反面。

重要的军事行动，上文提及的“澶渊之盟”中无功，乃力主要造天书夸示天下。这一做法也未引起惊诧或反对，因为圣人“神道设教”，自是可以接受的^①。

反对王钦若、周克明的解释，最初见于王济，以为“瑞星实符圣德，然唐太宗以家给人足丰年为上瑞……”^②以后张知白上书，认为如果皇帝好好做事，“虽休勿休”^③，则瑞星出不出没有什么十分大的关系。这个张知白，以后一直做到参知政事，代表的是正统的儒学。他的意见为帝师、德高望重的学者孙奭所支持。图龙阁学士戚纶也发表了类似的意见。

有重要意义的是，所有意见，正面的和反面的，都没有否认客星和人事的关系。分歧在于是应当“托国朝之嘉瑞”，还是应当振作人事。

仁宗继位，有含誉星见，但远远没有引起如1006年那样的注意。1037年秋七月戊申，“有星数百皆西南流”，大者“光烛地，久之不散”。十一月，忻、代、并三州地震。这在当时人看来实在是个坏年头。星流地震，何以复加？朝臣认为，这是因为人事：“盖人事之已形，致天变之嗣发，其犹影响，谅非倏然”^④。所以是人事未尽。年轻一代颇领风气的苏舜钦上书，以为朝政不明，“积阴郁不和之气，上动于天，天于是为下变异以警戒之”。另一位重要官员张方平上书，称“故考政者必求于天瑞，弥灾者必推于人事。天人之际，其应甚明”。

这些都是对自然现象的议论研究。稍后，1066年，当震惊欧洲的大彗星照临英宗治理下的北宋时，整个学者阶级表现出一种庄严的沉静。先是，欧阳修撰《新五代史》，分析研究了历史上的治乱和天瑞之间的关系，发现两者并无关联。欧阳修论王氏：“予读《蜀书》……所谓王

① 参见，例如，陈邦瞻《宋史纪事本末》卷22，北京：中华书局，1977年，第162页。

② 《续资治通鉴长编》卷63，台北：世界书局印本，第1页。

③ 张知白：《上真宗论周伯星见》，收入赵汝愚《国朝名臣奏议》卷36，宋史资料萃编本，第1页反面至第4页。

④ 这是韩琦奏折中的一段话，原文见《续资治通鉴长编》，北京：中华书局标点本，第2841页。下文两段引文分别见《苏舜钦集》卷11，北京：中华书局，1961年，第148—149页；《乐全集》卷11，台北：商务印书馆，1983年，第1—13页。

者之嘉瑞，莫不毕出其国，异哉！然考王氏之所以兴亡成败者，可以知之矣。或以为王氏不足以当之，则视时天下治乱，可以知之矣。”再论庄宗，“呜呼，盛衰之理，虽曰天命，岂非人事哉！原庄宗所以得天下与其所以失之者，可以知之矣！”^①欧阳修对自然现象的研究，着眼点不在自然本身，而在自然和人的关系，即人与自然这一个整体。他的研究方式，不是实验，而是历史分析。他提出的问题，不是自然自身外在于人如何运动，而是自然与人事的关系。

很可以说这就是一种规范，制约指导宋代知识分子、士大夫对天象的看法和研究。粗略一点说，这一基本取向，在我们的传统文化中一直占主导地位。

这种规范不是宋人发明的。早如我们所知最早的典籍之一，《春秋》庄公十八年，就记录了子产的看法“天道远，人道迩”。这一说法在上文讨论的宋儒的自然观念中一再被引用。石介说“天道至远，不可得而知。后世执推步之术，案交会之度而求之，亦已难矣”^②。范仲淹在差不多同时提出，“臣观自古国家皆有灾异，但盛德善政及于天下，人不敢怨叛，则虽有灾异而无祸变”^③。欧阳修在他著名的历史著作中明白表示：“予述本纪，书人而不书天。予何敢异于圣人哉！”他们都认为他们是在发扬“古人”的做法、遵循圣贤的教导，这种对自然的态度，自有其历史依据。

进一步，天上的事，也实在难以说清。而尘世里，我们这个大帝国里的事，还有很多要我们去留意、研究。苟能做到君君臣臣父父子子，岂虑治世升平之不至？自古以来，何以治，何以乱，昭然史册，凿凿然可考，而天象的异变，虽有记载，却晦晦然不明。舍其可考而求诸不明，绝非我们这个务农务实的文化所能理解的。

欧阳修继续写道，“至于三辰五星，常动而不息，不能无盈缩差忒之

① 《新唐书》卷 63，中华书局本，第 794—795 页；下一段引文见《新五代史》卷 37，第 397 页。

② 石介：《徂徕先生文集》卷 5，中华书局本，第 60 页。

③ 范仲淹：《范文正公集》，政府奏议卷 1，四部丛刊本，第 197 页。

变，而占之有中不中，不可以为常者，有司之事也”^①。换言之，主持国家政事的官员，讨论人民幸福天下安宁的学者，读圣贤书，研究历史的著作家，大可不必过分重视这些事。这就把社会的精英集团、社会文化的代表阶级排除在这种研究之外了。

为什么不去研究呢？因为这种研究没有意义。1054年，明亮的大星突然出现于昴毕之间，史称至和新星。这是历史上第一颗记录完整、没有争议的河内超新星。对这么一个异常，有人或以为忧，奔告宰相、魏国公韩琦。琦曰：“借使复有一星出，欲何为乎？”^②稍后，提举司天监即国家对天象观察的最高负责人司马光上书：“前代以来，流星或大如杯斗，或有光烛地，或有声如雷、动人耳目者，方记于史籍，以为灾异。……缘流星每夜有之，不可胜数，本不系国家休咎，虽令瞻望，亦不能尽记，虚费人工，别无所益……”这就很明白地指出，对于天象的研究，实在意义不大，“虚费人工”。既然如此，何必纷纷然断断然，“夫天道宵冥恍惚，若有若亡，虽有端兆示人，而不可尽知也。是以圣人之教，治人而不治天，知人而不知天”。

案人的一种社会活动，比如观察自然，比如制造工具，比如发明宗教，比如研究人生，总要有一在当时当地的人看来有意义的动因才能持久。个别人忽发雅兴、突生奇想的个案是有的，但在历史上既不能持久，就鲜有后续事件，就不足以产生史学意义。科学研究亦复如是。近世以来，科学的力量如此巨大，深入人类生活的每一方面，无微不至，所以科学研究是否“有意义”即成了一个不成问题的问题。你我未必能知道，恐怕也未必想知道，橡树岭、冷泉港，或普林斯顿的国家实验室在搞什么名堂，但一律怀有敬意，绝不会蠢到问“为什么要研究科学”。但于古人则不然。在当时，科学或者对自然的理解研究的意义远非不言而喻，远非为人所接受理解。正是忽略了这一点，才使我们困惑地问“为什么中国古代没有发生科学”。如果以这个问题去问司马光，我想君实

① 见上页注①。

② 《宋会要辑稿》职官十八之八十三，第2795—2796页。下面一段引文在《司马文忠公传家集》卷67，台北：商务印书馆，第833页。

先生一定更加大惑不解。尽管他会破缸救人,他仍然不会回答这个问题——倒不是他无力回答,而是他不屑回答,因为“圣人之教,治人而不治天,知人而不知天”,如此而已矣,何“科学”欤?

限于本人学力,也限于本书体裁主旨,上面的讨论自是粗糙,简化历史正恐不免,唯希望论述的大概要线索能引起读者进一步考察的兴趣。中国古代对于自然的认识与研究,应当放在历史的源流、文化的框架背景中来考察,是我所主要想说的一点。这种考察,正如其他历史研究一样,不能用于证明我们的文明优于别的文明,我们的民族优于别的民族;正如别的文明、别的民族也不能反过来证明他们优于我们一样。这种考察所能做的,是展示研究自然的历史及其多样性,展示以人为一方自然为一方,从不知到知,从知之甚少到知之甚多,从蒙昧到文明的伟大进程。如此,格局稍大,格调自高。

库恩年表^①



- 1922年7月18日 生于俄亥俄州的辛辛那提市。
- 1939年 入哈佛大学,在物理系学习。
- 1943年 哈佛大学毕业,继续攻读博士。
- 1943—1945年 在科学研究发展办公室任助理研究员。
- 1945—1948年 国家研究委员会“博士前研究员”。
- 1948—1951年 获哈佛“青年学者”奖助金。
- 1949年 以单键金属聚合能量和原子量子缺失的关系研究获得哈佛大学博士学位。
- 1951—1953年 在哈佛任课,为非物理专业学生讲授物理学和一般科学。
- 1951年 发表对牛顿“疑问 31”的研究,是为他的第一篇科学史论文,在 *Isis*, 42(1951)296 - 298。
- 1952年起 在哈佛任助理教授。
- 1954—1955年 获古根汉姆(Guggenheim)奖助金。
- 1955—1956年 伯克利行为科学高等研究中心聘为客座研究

① 2013年再版注:本书撰写在1995年,材料使用大致到1993—1994年。以后人事学问道迭有进展变迁,自难一一补正,遂全按原来初版印行,读者请留意之。

- 员。以古根汉姆奖助金在先,未赴。
- 1957—1964 年 在加州大学伯克利分校任教,由助理教授累迁至教授。
- 1957 年 《哥白尼革命》由哈佛大学出版社出版。
- 1958—1959 年 再入伯克利行为中心。
- 1959 年 参加犹他大学“人才会议”,会上提交两篇论文:一篇发表在该会通讯上,是为《必要的张力》,后收入同名论文集, pp. 225 - 239;另一篇《测量的作用》,稍后刊出,在 *Isis*, 52(1961)161 - 193,同见于上述文集, pp. 178 - 224。这两篇文章是稍后《科学革命的结构》的先声。
- 1959 年 发表《能量守恒定律作为同时发现之一例》,载 M. Clagett 主编的 *Critical Problems in the History of Science* 中,科学史家地位由是奠定。
- 1962 年 《科学革命的结构》由芝加哥大学出版社出版。
- 1961—1964 年 受美国物理学史协会之聘,任“量子物理学史史料”计划负责人。
- 1964—1979 年 受聘往普林斯顿大学任教授。
- 1964 年起 受聘任《科学家传记大字典》(DSB)物理学科部副主编。
- 1964—1967 年 任社会科学研究会(Soc. Sci. Res. Coun.)负责人。
- 1967 年 《量子物理学史史料》出版(与 J. L. Heilborn 合作)。
- 1967—1972 年 任普林斯顿大学科学史专业主任。
- 1968 年 获普林斯顿大学历史系派恩(M. Taylor Pyne)讲座教授教席。
- 1968—1972 年 任美国科学史研究会主席。
- 1970 年 发表《科学发现的逻辑还是研究的心理学? 2》,

- 载 I. Lakatos and A. Musgrave ed. , *Criticism and the Growth of Knowledge* 中, pp. 1 - 20。
第一次正面讨论《结构》一书引出的种种问题。
发表《科学革命的结构：1969 年再版后记》。
- 1972—1979 年 受聘为普林斯顿高等研究院(IAS)客座研究员。
- 1973 年 获圣母大学法学博士荣誉学位。
- 1974 年 发表《再论范式》，载 F. Suppe, ed. , *The Structure of Scientific Theories* , Urbana: University of Illinois Press, pp. 459 - 482.
- 1977 年 获普林斯顿大学贝尔曼(Howard T. Behrman)奖。《必要的张力》出版。
- 1978 年 获瑞德学院(Rider College)(1994 年改瑞德大学)荣誉学位。
- 1978 年 《黑体理论和量子不连续性,1894—1912》出版。
- 1979 年 转往 MIT 任教,稍后获洛克菲勒(Rockefeller)讲座教授教席。
- 1980 年 获瑞典林科平(Linkö-ping)大学荣誉博士学位。
- 1981 年 发表《什么是科学革命》，后收入 K. Krüger *et al.* ed. , *The Probabilistic Revolution* , v. 1, pp. 7 - 22。
- 1983 年 获社会科学研究会(4S)贝尔纳(John Desmond Bernal)奖。
- 1991 年 自麻省理工学院退休,发表《科学的历史哲学所遭遇的困扰》，这是库恩在哈佛作的罗斯切尔德(Robert and Maurice Rothschild)荣誉讲演,由麻省理工学院印成小册子非正式发行。
- 1994 年 因肺癌住院,手术后恢复甚好。



参考书目

库恩生平未见专书介绍,比较多谈及他学术生涯的是 R. K. Merton, *The Sociology of Science*, Carbondale: Southern Illinois University Press, 1977。

本书所涉及的科学史资料,常见于正文注释之中。“剑桥科学史丛书”提供比较新而且全面的考量。“丛书”共七册,依次为:

- E. Grant, *Physical Science in the Middle Ages*, 1978
- A. Debus, *Man and Nature in the Renaissance*, 1978
- R. S. Westfall, *The Construction of Modern Science*, 1971
- T. Hankins, *Science and the Enlightenment*, 1985
- W. Coleman, *Biology in the Nineteenth Century*, 1977
- P. M. Herman, *Energy, Force, and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth Century Physics*, 1982
- G. Allen, *Life Science in the Twentieth Century*, 1975

均由 London: Cambridge University Press 出版(以上出版时间均指第一版,几乎每册在第一版后都有重印、修订本,不暇一一考订)。最后一册,Allen 的《二十世纪的生命科学》有谭茜等的中译本,北京:北京师范大学出版社,1985 年,其他六册未闻有译本刊行。

本书讨论较多的 16—17 世纪史,有 A. Wolf, *A History of*

Science, London: George Allen & Unwin Ltd., 1935, 叙述颇详。有周昌忠等中译,《十六、十七世纪科学技术和哲学史》,北京:商务,1985年。A. Wolf 还有 *A History of Science, Technology & Philosophy in the 18th Century*, New York, Happer, 1961 (Rev. ed.), 有同译者中译本。

量子力学史的通史性著作,如库恩所称,当推 M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, N. Y.: McGraw-Hill, 1966 (以后迭有重印), 最为全面。另外 Jagdish Mehra and Helmut Rechenberg, *The Historical Development of Quantum Theory*, N. Y.: Springer-Verlag, 1982, 洋洋洒洒四卷五册, 提供大量历史或技术细节。

库恩的学术流源的哲学层面,德国学者 P. Hoyningen-Huene, *Reconstructing Scientific Revolution*, A. L. Levine 英译, Chicago: Chicago University Press, 1993, 作了很多讨论。江天骥《当代西方科学哲学》,北京:中国社会科学出版社,1984年,简明清晰,特别值得一读。比较专门的研究或单篇论文正文中常有引述,此不赘。



A

爱因斯坦 18, 71, 78, 79, 135, 157,
160-162, 166, 168-171, 173, 178,
180, 181, 186

B

必要的张力 3, 6, 11, 17, 24, 25, 40,
75, 76, 87, 91, 98, 105, 123, 128, 139,
142, 147, 148, 151, 169, 170, 207,
208, 214

波义耳 10, 12, 30, 34, 36-42, 80,
100, 103, 116, 121

玻尔 18, 162, 165-169, 171-173,
175, 176

“不可共量性” 151

C

测量 17, 33, 77-87, 116, 129, 165,

196, 207

测量在现代物理科学中的作用 17, 76

常规 17, 75, 76, 87, 90, 124, 128, 130,
133, 139, 187, 193

“常规测量” 78, 79

常规科学 17, 18, 22, 75, 96, 127-
130, 132, 133, 135, 139, 142, 147,
149, 187

D

第谷 54, 67, 68, 83-86

“典范” 24, 149

F

反常 13, 17, 18, 22, 82, 83, 86, 91,
104, 105, 116, 127, 130, 168

范例 9, 123, 128, 150, 168, 189, 192-
194

范式 24, 25, 87-89, 91, 96, 98-100,

125,149,192,208

G

概念结构 88,195

概念体系 24,37,39,41,60-62,64,
67,72,147,193,194,196,197,200

概念系统 60,62,113,188,189

哥白尼 6,9,16,42-45,47-61,63-
73,75-78,84,86,92,108,110,113,
121,124,133,145-147,161,195

哥白尼的“日心说” 50

哥白尼革命 2,8,12,13,15,17,42-
45,50,57,59,62-67,69-73,75,
76,78,83,96,124,143,147,207,212

哥白尼《天体运行论》 44,54,65

革命 6,16,18,22,38,40,42,44,53,
56,58,59,63,67,68,75,76,79,86,
94,98,104,108-110,112-114,
123,125,127,128,130,134,135,
138,139,142,148,151-153,161,
169,178,185,187-189,193

革命转折 13

格式塔转换 135,138,139

工作假定 33

共同体 95,149,150,212

沟通的可能性 95

孤立事件 72,120,127

观察 10,31,33,45-50,53,54,58,
60,61,63,65,66,68,69,76,78-80,
85,86,90,108,113,131-133,138,
141,144,187,204

规范 13,16,17,22,24,26,28,41,62,
72,91,106,107,127-130,132-
136,138-140,142,143,147-153,
168,169,189,192-194,199,200,
203,212,214

规范的优先性 129,130

规范结构 189,190,192,200

规范转换 19,135,138,142,143,147

规则 129,130,149,150

H

“合理的一致” 77,82,84

黑体 27,28,155-157,168,176-
178,180-182,184-186,188

黑体理论 177,178,208

黑体理论与量子不连续性,1894—1912
27

黑体问题 2,21,30,177,178

化学革命 12,21,38,104,131

化学原则 41

J

伽利略 9,44,50,67-71,88,97,98,
108,110,113,115,116,122,124-
126,138,153,187

伽利略研究 122,123,125

假说 10,31,33,55,56,69,82,103,
112,137,159-162,165,168,
173,180

教科书 5,10,13,59,72,77,79,81,
88,99,100,128,130,138,139,141,

149, 185, 192, 212

结构 6, 13, 17 - 19, 21 - 26, 28, 30, 33, 34, 36, 39, 56, 60, 63, 72, 76, 82, 87, 96, 98, 104 - 107, 110, 112, 114, 116, 117, 120, 125, 127 - 129, 134, 136, 139, 140, 142, 143, 147 - 154, 163, 167, 170, 174, 178, 179, 184, 185, 187, 188, 190, 196 - 198, 200, 207

解释 6, 22, 31, 33 - 35, 38, 39, 44, 45, 47, 48, 52, 58, 61 - 63, 66, 67, 70, 71, 73, 76, 77, 84, 86, 88, 90, 94, 100, 101, 103, 104, 112, 113, 120, 126, 127, 132, 138, 141, 153, 156, 161, 165, 166, 168, 181 - 183, 197, 201, 202, 212

“绝对的一致” 77, 83

K

开普勒 44, 67 - 70, 78, 83 - 86, 97, 98, 108, 110, 116, 123, 161, 201

开普勒第一定律 86

科学传统 41, 90, 125, 139

科学的概念 41, 76, 198

科学方法 8, 10, 37, 115

科学革命 9, 15, 18, 22, 25, 26, 35, 40, 41, 44, 49, 52, 63, 64, 75, 98, 105, 107, 109 - 111, 113, 114, 120, 123, 126, 134, 138, 139, 142, 148, 186 - 188, 198, 208

科学革命的结构 2, 3, 8, 11, 15, 16,

18, 21, 22, 43, 76, 87, 96, 106, 109, 127, 134, 139, 142, 143, 207

科学革命的逻辑结构 61

科学共同体 6, 87 - 92, 95, 96, 98, 128, 129, 135, 140, 150, 168, 194

科学观念 11, 38, 187

科学家的共同信念 82

科学精神 8 - 10

科学信念 61

库仑定律 80, 81, 129

L

理论 3, 6 - 8, 13, 16, 18 - 22, 24 - 27, 30, 37 - 39, 41, 44 - 46, 48, 49, 52 - 55, 57, 58, 60 - 63, 65, 67 - 70, 72, 76 - 80, 82 - 91, 94 - 101, 104, 106, 107, 110 - 117, 120, 125, 129 - 133, 135, 136, 138, 140 - 148, 151 - 154, 156 - 169, 172 - 174, 177 - 180, 182 - 185, 187 - 191, 196, 198, 199, 214

理论构造 58

理论体系 63, 69

量子物理学史史料 18, 19, 21, 27, 207

M

模式 14, 16, 47, 64, 76, 87, 89, 90, 107, 112, 124, 128, 130, 133, 135, 136, 149, 193, 199, 212, 213

N

能量 17, 21, 91 - 95, 145, 156 - 162,

164 - 166, 177, 179, 206, 207

能量 2

能量守恒定律作为同时发现的一例

17, 30

牛顿 2

牛顿 5, 6, 10, 12, 20, 30 - 36, 39, 40,

59, 69, 70, 78 - 81, 89, 95, 99, 100,

109 - 112, 115, 116, 123, 124, 135,

139, 156, 159, 167, 187, 188, 195,

196, 206, 213

牛顿《光学》 12, 30, 31, 36

R

燃素理论 100, 102, 103

日心说 53, 58, 61, 161

日心体系 50, 51, 54, 58, 73, 146

S

实验 9, 10, 31, 33, 35, 38, 39, 64, 79 -

83, 88, 90, 93 - 96, 100 - 103, 113,

117, 122, 128, 129, 131, 132, 141,

156 - 168, 172, 174, 178, 179, 183,

191, 196, 198, 203, 204

史学革命 125

事实 4, 5, 9 - 11, 13, 17, 18, 22, 24,

26, 28 - 30, 39, 40, 45, 47, 51, 58, 60,

61, 70 - 73, 79, 85, 88, 91, 92, 94,

97 - 99, 102, 104, 109 - 113, 115,

118 - 120, 122, 126, 128 - 132, 135 -

139, 141, 152, 162, 165, 182, 184 -

187, 190, 196, 198, 201

T

天体运行论 43, 51, 53 - 58, 65 - 67,

69, 121, 143, 146

天文学大全 47

同时发现 91, 93, 95, 145, 207

托勒密 46 - 49, 51, 52, 56 - 63, 65,

67, 69, 70, 76 - 78, 84, 86, 133, 143 -

147

W

“危机” 17, 18, 22, 83, 127, 130,

142, 147

危机 83, 86, 91, 127, 133, 134, 138

X

现象 22, 33, 46, 52, 55, 61, 66, 67, 72,

90, 92, 94, 95, 99, 102 - 104, 113,

115 - 117, 128, 129, 131, 132, 145,

151, 156, 161, 178, 185, 191, 199 -

203

限制 65, 72, 77, 160, 179

“学科规矩模式” 149

Y

亚里士多德 11, 13, 16, 46 - 48, 52,

62, 63, 66, 68, 70, 71, 93, 102, 110,

138, 144 - 147, 187, 188

亚里士多德物理学 51, 187

亚里士多德原理 45

氧的发现 99, 104, 130, 131, 133

一致意见 90,91

异常 116, 130, 132 - 134, 139, 147,
201, 204


意见一致 87, 90 - 92, 95, 96

约束 11, 16, 25, 26, 45, 62, 90, 113,

128, 129, 134, 138, 139, 193, 213

Z

“正常状态” 127



附录：

对《孔恩一生的历史与社会脉络——评吴以义著〈库恩〉一书》的回应

承《台湾社会学研究》编辑好意，给我转来傅大为先生为拙作《库恩》写的书评^①，并问我的意见，颇殷殷然，因此写下下面一些感想，以备读者考究。

1996年夏天，在收到《库恩》初版样书的第三天，我收到了库恩先生去世的消息，又一年，提议要我写《库恩》的傅伟勋先生去世。傅先生生前还托人给我带信，提及《库恩》，而我竟未及时和他联络，以为总有机会。在这本小书出版后的一年多时间里，我常常怀着这样的遗憾想起撰写时的情景。在四年的写作中，时时出现在我眼前的，正是言语犀利的库恩，正是情词恳切的傅先生。在我下笔的时候，我有时会不自觉地想问：“如果库恩读到这一段，如果傅先生读到这一段，不知会怎么想？”当时万没有想到，最后竟是这样永久的遗憾。

正是这样的想法，加上我平常所受的历史学训练，使得整个写作中时时留意的是杜绝即兴发挥。上海三联书店的一位编辑看了《库恩》以后曾问什么是作者自己的观点想法，让我有些尴尬。因为我所追求的，

^① 载《台湾社会学研究》1998年第2期，第201—214页。

是一种让史料说话的写法，即尽可能利用原著重现当时的研究气氛和研究方向，供读者欣赏品味。我的工作不应是我对库恩著作的解释，而应是通过我对史料的取舍剪裁间接地表现出来的我对库恩思想发展线索的追寻和理解。这或者说可以说成“描述就是解释”：库恩的想法受什么启发，所依据的是什么史料，他如何发挥，引进什么概念，得出什么结论——大概大至全书，小到章节，多少都是这样的一种描述模式，力图避免写成教科书或百科全书式的资料汇编，而留出让读者思考的空间。现在看来，此一努力不太成功。

所谓取舍剪裁，自然以传主为转移，在大部分的章节中，我的取舍原则来自我所讨论的库恩的相关著作：他提到的，我也尽量追寻；他未提的，自然也暂付阙如。至于库恩的主要观点概念发表以后引起的“后论”，尤其是傅大为先生强调的科学哲学方面的发展，以这样一本小小传记的主题和篇幅，似均不足以作充分的讨论。如果仅仅介绍几句，杂陈罗列，炫人眼目，拆卸下来，不成片断，深恐识者哂笑，学者迷茫。所以我就用了一个躲懒的办法，在“自序”里声明“均不涉及，以免枝蔓”。现在有傅大为先生在书评里的介绍，似颇可补我所未达。

库恩的学问和著作有很多特点，而其中我所最欣赏的，是其启发性。这种启发性的来源，在我看来，盖在于库恩的强烈的历史取向，而他用力最勤的哥白尼革命和量子力学史，又是科学史中最脍炙人口的两段。库恩所分析的历史事例本身的丰富多彩，为他提供了进行哲学发挥和哲学概括的广阔天地，而据此提出的一系列概念，如“规范”，如“共同体”，如“无公度性”等都由具体的历史分析中产生。库恩哲学的这一起源，固然使得他的不少观念显得不够严整甚至模糊不清，但却也正因为此，为人留下了玩味揣摩、探讨驳难的余地。库恩在学问上领一代风骚，并不常在于他对科学的发展给出了一个或几个模式，或为科学哲学提供了一个或几个新的概念，而在于他提出了问题，提出了考察问题的新的角度。他的问题和研究方式规范了与他同时或稍后的整整一代的科学哲学和科学史研究——研究者有时会忘记他们的出发点，但是，重要的是，问题已经提出，新的方向已经为大家所把握，如果从单纯的

哲学角度来看所谓的库恩主义(Kuhnism),恐不易得其真,更不必说得其深了。

在行为科学中心时库恩曾对人文研究方式和自然科学研究方式作了一个比较。他发现,在自然科学的研究中有一种排他的模式存在,换言之,如果你要做力学,你好像非得按牛顿的办法做不可;但是在人文研究方面似乎没有这种排他性的约束。人们不断地提出新的问题,从新的角度考察问题,但这些新的发展常常并不造成排他性的替代。于是所研究的方面不断增多,而对问题的理解也不断加深。以这样的想法来看我写的《库恩》,就知道这只是各种库恩研究中的一种,这一研究强调库恩学问的历史学渊源,强调通过对库恩思想发展的历史追寻来理解库恩而不致力于对他的学术观念以后的发展作哲学分析。这种分析在西洋学术界已进行了几三十年,直到最近,去年11月在波士顿召开的纪念库恩的学术会议上,仍可看见库恩学问的各个方面引起的热烈讨论。

因为写完《库恩》以后又忙于另外一本书,外加日常俗务琐事,接到《台湾社会学研究》的稿约,恍惚间真有“老僧已死成新塔,断壁何由见旧题”的感慨。拉杂写下一些当初撰稿时的考虑,或者对读者有些帮助云。

(原刊《台湾社会学研究》1998年第2期,1998年4月)

2013 年再版后记



要想“库恩”地理解历史，不妨先试试历史地理解库恩。这是本书撰写的初衷。撰写时其他的一些考量则见于书前自序。台湾清华大学傅大为教授对本书作过长篇评论，见于《台湾社会学研究》，我也奉该杂志编辑部之命写了一段说明，借再版的机会，附于书后。这些大概可以说是初版的情形。

本书得以再版，很是高兴。承蒙范岱年先生为本书作序，拙作因此生色。范先生是最早把库恩介绍到大陆读书界的前辈学者之一，我们这一代人正是读他的书长大的，他的论说，对过去的三四十年中这一课题发展的来龙去脉，对理解库恩的理论，自有不可替代的作用。另外，2011年库恩去世十五周年时，我写了一篇短文介绍库恩理论的主旨，刊于《自然科学史研究》2011年第4期，大概可以充作本书的一个提要，或者对阅读有些帮助。

本书第一章的末尾谈到库恩患肺癌入院手术，“效果良好”。和很多人的希望相反，我说错了；仅仅勉强过了两年，1996年，库恩去世。他曾说 K. M. K. 是他“最中意的末世评判者”（这是库恩论文集《必要的张力》1977年芝加哥大学出版社初版扉页上的献辞，不见于中译

本)。从规范理论的提出到现在,四十年过去了,“Kuhnism”引发了热烈的讨论和严苛的批评,但末世始终没有降临。

吴以义

2012年10月11日

于上海张谈