

汉译世界学术名著续篇

科学革命的结构

T.S.库恩 著

李宝恒 纪树立 译

汉译世界学术名著续篇

科学革命的结构

T.S.库恩 著

李宝恒 纪树立 译

科学革命的结构

T. S. 库恩

简介

序

I 导言：赋予历史的一种作用

II 走向常规科学

III 常规科学的本质

IV 常规科学即解难题

V 规范的优先性

VI 反常和科学发现的涌现

VII 危机和科学理论的涌现

VIII 对危机的反应

IX 科学革命的性质和必然性

X 革命是世界观的改变

XI 革命是无形的

XII 革命的解决

XIII 由于革命而进步

如果你不知道读什么书，
就关注这个微信号。

本书由“行行”整理，如果你不知道读什么书或者想获得更多
免费电子书请加小编微信或QQ：2338856113 小编也和结交
一些喜欢读书的朋友 或者关注行行个人微信公众号名称：幸
福的味道 id：d716-716 为了方便书友朋友找书和看书，
小编自己做了一个电子书下载网站，网站的名称为
：周读 网址：<http://www.ireadweek.com>



加行行微信，一起读书



加行行公众号，查看更多分
类图书和搜书

公众号名称：幸福的味道

公众号ID：d716-716

小编：行行：微信号和QQ：2338856113

为了方便书友朋友找书和看书，小编自己做了一个电子书 下载网站，网站名称：周读 网址：www.ireadweek.com 小编也和结交一些喜欢读书的朋友

“幸福的味道”已提供**120**个不同类型的书单

- 1、 **25**岁前一定要读的**25**本书
- 2、 **20**世纪最优秀的**100**部中文小说
- 3、 **10**部豆瓣高评分的温情治愈系小说
- 4、 有生之年，你一定要看的**25**部外国纯文学名著
- 5、 有生之年，你一定要看的**20**部中国现当代名著

6、美国亚马逊编辑推荐的一生必读书单100本

7、30个领域30本不容错过的入门书

8、这20本书，是各领域的巅峰之作

9、这7本书，教你如何高效读书

10、80万书虫力荐的“给五星都不够”的30本书

.....

关注“幸福的味道”微信公众号，即可
查看对应书单

如果你不知道读什么书，就关注这个
微信号。

序

本书由“行行”整理，如果你不知道读什么书或者想获得更多免费电子书请加小编微信或QQ：2338856113 小编也和结交一些喜欢读书的朋友 或者关注小编个人微信公众号名称：幸福的味道 id：d716-716 为了方便书友朋友找书和看书，小编自己做了一个电子书下载网站，网站的名称为：周读 网址：<http://www.ireadweek.com>

下文是第一次发表我差不多十五年以来的构思。十五年前，我还是一个就要完成学位论文的理论物理学研究生。我有幸参加了一门为非自然科学家讲述物理科学的实验大学课程，这才第一次使我对科学史有所了解。完全出乎我意外的是，这种对过时的科学理论和实践的说明，竟彻底推翻了我对科学本质及其所以能够获得特殊成就的某些基本想法。我的这些老的想法的形成，一部分来源于以前的科学训练本身，一部分则来源于我对科学哲学的历久不衰的业余兴趣。这些想法，不管什么样的教育作用，也不管理论上怎样言之成理，却怎么也不足以说明历史研究中所呈现出来的实际情况。但它们历来都是许多科学问题讨论中的基本原则，这就需要彻底揭穿它们貌似有理的假象。这么一来，我的专业计划

就完全变了，先是从物理学转到了科学史，以后又从更直接的历史问题逐步回到了同哲学有更大关系的问题，而起初正是这些问题把我引向了历史。在我已发表的著作中，除少数几篇文章以外，本文还是第一次注重谈我早期关心的问题。某种程度上我也想通过本文向我自己和朋友们交代一下，最初我是怎样脱离科学的研究而走向科学史的研究。

我第一次有机会深入探索下面提出的某些思想，是因为我在哈佛大学研究班中当了三年研究生。没有那一段自由时期，要转到一个新的领域就困难多了，甚至于根本办不到。那几年我把一部分时间用到科学史上。特别是我连续研究了亚里山大·柯依列（Alexandre Koyre）的著作，并第一次接触到爱弥尔·梅耶逊（Emile Meyerson）、海伦奈·迈兹热（Helene Metzger）和安奈里斯·麦尔（Annelies Maier）的著作。①这些学者出近年来其他大多数人更清楚地表明，在科学思想准则同今天大不相同的时期中，科学的思维可能是怎样的。虽然我愈来愈怀疑他们的某些历史解释，但他们的著作同A.O.勒沃乔伊（Lovejoy）的《伟大的存在之链》一起，对于我的科学思想史概念的形成，仍然是主要的动因之一。

那几年我还化了很多时间探索其他方面的一些问题，它们表面上同科学史没有什么关系，但

现在却也象科学史一样提出了一些引起我注意的问题。我曾偶而从一条脚注中知道了让·皮亚瑞（JeanPiaget）的实验，他用这些实验阐明了成长中的儿童所感知的各个世界，以及他们从一个世界转到另一个世界的过程。②我的一位同事要我读一读感觉心理学、特别是格式塔心理学③的文章。还有一位介绍我看本杰明·李·沃夫（BenjaminLee Whorf）是怎样考虑语言对世界观的作用。W. V. O.

奎因（Quine）则为我解开了区别分析和综合的哲学之谜。④这是研究班所容许的自由探索，只有通过这样的探索我才能看到路德维克·弗莱克（LudwikFleck）的几乎没有人知道的专题著作《科学事实的出现和发展》（巴塞，1935年），此文先于我而提出了我的许多想法。弗莱克的著作同另一位实习生弗朗西斯·X·萨顿（FrancisX. Sutton）的评论一起，使我意识到需要把这些想法置于有关科学界的社会学之中。读者将发现我在下文很少涉及这些著作或谈话，但我对它们的感激之情都超乎我现在所能复述或估价的。

①影响特别大的是柯依列：《伽里略研究》（3卷本，巴黎，1939年）；梅耶逊：《同一和现实》，凯特·劳温伯格（KateLoewenberg）译（纽约，1930年）；迈兹热：《法国从十七世纪到十八世纪的化学学说》（巴黎，1923年），

《牛顿、斯塔耳、波尔哈夫和化学学说》（巴黎；1930年）；以及麦尔：《十七世纪的先驱者伽里略》（《后期经理哲学的自然哲学研究》；罗马，1949年）。

②这些实验所反映出来的观念和过程，也是直接从科学史中涌现出来的，因此皮亚瑞有两组研究特别重要：《儿童的因果性概念》，马乔利·加贝因（Marjorie Gabain）译（伦敦，1930年），以及《速度观念和家居幼儿》巴黎，1946年）。

③格式塔心理学（Gestalt psychology），也有时译为“完形心理学”，心理学的一个重要流派。它认为心理现象的基本因素不是感觉，而是某种心理结构的“完形”，由个体内部固有的组成简单图形的能力所形成，即以主观的内在规律解释心理现象。这个学派最初在1912年产生于德国，后来扩展到物理、生物、经济等领域。——译者注

④后来约翰·

B·卡洛耳（Job B. Carroll）收集了沃夫的文章编成《语言、思想和现实——本杰明·李·沃夫著作选》（纽约，1956年）。奎因的观点见于《经验主义的两个教义》，在他的《从逻辑观点看》（马萨诸基州，坎布里奇，1953年）一书中再版；第20～46页。

在我作研究生的最后一年中，波士顿的洛厄

尔研究所（LowellInstitute）请我去讲演，这使我第。次有机会测验。下我这个正在形成之中的科学观。于是产生了1951年3月间连续发表的八篇公开讲演，题目是《探索物理学理论》。第二年我开始讲授科学史本身，以后在差不多整整十年中，在一个我从未系统研究过的领域中讲课所带来的问题，使我没有什么时间把我最初产生的各种观点准确地表达出来。幸而这些观点证明，它们可以暗暗指明方向，也可以为我进一步讲授提出一套问题。因此，我得感谢我的学生来听这些宝贵无比的课，在这里既肯定了我的观点的生命力，同时也是一种卓有成效的交流方式。研究班结业以后，我所发表的绝大部分主要关于历史方面的研究，尽管表面上似乎各不相同，却都由这些同样的问题和方向统一起来了。有的课讨论了某一种形而上学在创造性科学研究中所起的必要作用。另外一些则检查了一种新理论的实验基础是怎样被人们积累起来并吸收进去的，这些人本来信奉一种绝不相容的旧理论。在这个过程中，这些课描述了这样一种发展模式，我在下文将称之为新理论或新发现的“涌现”。此外还讨论了其他一些这一类的问题。

1958~1959年间我应邀到行为科学高级研究中心，由此开始了这个专题研究的最后阶段。这时我又一次有可能集中到以下所要讨论的问题

上。特别重要的是，在一个主要是由社会科学家组成的团体中呆了一年，使我碰上一些预料不到的问题：这样的团体同培育了我的自然科学家团体有什么不同呢？特别使我吃惊的是，各个社会科学家对于合理的科学问题和科学方法的本质，竟有那么多、那么深刻的显著分歧。无论从历史上或者从现在的认识上看，我都怀疑，自然科学工作者对这些问题是否就比他们社会科学界的同事们掌握更可靠、更稳定的答案。但今天似乎只是心理学家或社会学家们所特有的根本原则的争论，天文学、物理学、化学或生物学的实践不知怎么总是激不起来。为了要找到分歧的根源，我认清了此后我称之为“规范”^①的东西在科学研究中的作用。我是把“规范”作为普遍承认的科学成就，在一段时期中它为科学工作者团体提出典型的问题和解答。一旦我的这个难点得到了解决，此文的草稿就迅速涌现了。

①规范，原文是

paradigm。这个字来自希腊文，原来包含“共同显示”的意思，由此引出模式、模型、范例等义。特别是用在文法中，表示词形变化规则，如名词变格、动词人称变化等。作者在这个基础上用这个字来说明科学理论发展的某种规律性，即某些重大科学成就形成科学发展中的某种模式，因而形成一定观点和方法的框架。“规范”的译法

比较接近于作者的原义。——译者注

这份草稿产生的经过，这里不需要再说了，但是对这种历经修改，而仍然保存的形式，还必须再说几句。在完成第一稿并大加修改之前，我还一直期望手稿会单独成为《统一科学百科全书》中的一卷。这部先驱著作的编者们先是请求，后来使我明确地承担了义务，最后又以非凡的机智和耐心等待结果。我很感谢他们，特别是查理士·毛里斯（Charles Morris），他挥动着那根必不可少的刺棒，说服我完成了手稿。但限于

《百科全书》的篇幅，我必须以极度浓缩的纲要形式表述我的观点。后来发生的一些事情虽使这个限制有所放松，而且手稿也有可能同时独立出版，但这一著作仍然作为一篇文章，而不是这个题目所最终要求的那样一本完整的书。

我的最根本目的，就是要促使人们改变对熟知材料的理解和评价，因而对这第一次说明的纲要性决不能动摇。相反，如果读者自己的研究工作使他们对这里所提倡的新方向已有所准备，他就会感到本文这种形式不但更有启发，也更容易接收。但也有不利的方面。这证明我在开头所说的还有必要从各方面加以扩大和深入，我希望最后能有这样一个更详细的版本。历史上的有利证据，要比下面有限篇幅中所能容纳的多得多了。而且，既有物理学史的，也有生物学史的。

这里我决定只用前一种证据，一方面是为了文章更为紧凑，一方面也是根据现有的力量。此外，这里所提出的科学观还对许多新的研究领域，包括历史领域和社会学领域，都可能起作用。例如，反常现象也即不合预想的现象是怎样愈来愈引起科学界的注意，就需要仔细加以研究；同样，一直无法解释的一种反常现象所引起的危机，也需要研究。再说，每一次科学革命都要改变经历革命以后科学界的历史面貌，如果这个说法是对的，这种改变也会影响革命以后教科书和科学出版物的结构。其后果之——改变了研究报告脚注中所引用的文献——应作为发生革命一个可能的标志而加以研究。

因为要大大压缩篇幅，我只好放弃许多重要问题的讨论。例如，对科学发展中的前规范时期同后规范时期的区别，我就说得太简要了。一个学派的竞争如果表现出初期的特点，就是由于某种很象是规范的东西引导的结果，而晚期则有两种规范和乎共处的情况，尽管我认为这是罕见的。只掌握一种规范还不足以成为第Ⅱ节所讨论的过渡的准则。更重要的，除了偶而作简要介绍以外，我从没有谈过科学发展中技术进步的作用，或者外部的社会条件、经济条件和精神条件的作用。但只要看着哥白尼和历书的关系就可以知道，外部条件也可以使单独一种反常现象成为

一场严重危机的根源。这个例子同样可以表明，人们如果想找到某种革命的办法以结束危机，可供他们选择的范围就要受到科学以外条件的一定影响。①仔细分析这一类的后果，我认为决不会改变本文所提出的主要论点，却肯定会增添一个对了解科学进展具有头等重要意义的分析方法。

①在T·S·库恩的《哥白尼革命：西方思想发展中的行星天文学》（马萨诸塞，坎布里奇，1967年）一书第122~132、270~271页讨论了这些因素。关于外部的精神条件和经济条件对科学实际发展的作用，我在下列文章中有所阐明：

《同时发现能量守恒之例》，载《科学史中的关键问题》，马歇尔·克莱杰特（Marshall Clagett）编（威斯康星，麦迪逊，1959年）；第321~356页；《沙迪·卡诺工作的技术先驱》，载《世界科学史成就》第XIII卷（1960年），第247~251页；以及《沙迪·卡诺和卡格纳（Cagnard）热机》，《爱西斯》（Isis）杂志，第III卷（1961年），第567~574页。因此，只是从本文所讨论问题的角度看，我才把外部因素的作用看得比较小。

最后，也许最重要的是，篇幅的限制大大影响了我处理本文中由历史所指明的科学观的哲学含义。显然存在这样的含义，我已试图指出并论证了其中一些主要的。但同时，我总是回避详细

讨论当代哲学家们对相应问题的各种不同主张。我所怀疑的，往往更多针对一种哲学态度，而更少针对任何一种首尾一贯的表述。结果，有些人如果不能跳出这种一贯的立场来看待问题和认识问题，他们就会觉得我没有领会他们的意思。我想他们错了，但本文并不打算说服他们。要说服他们，必需另外写一本更长得多的不同类型的书。

对于曾经帮助我形成我的思想的学术著作和研究机构，这个序言所叙述的一些自传片段可以为我表示感谢。我还想通过后文的引证偿还其余的债务。但是无论在上文或下文，我只能暗示一下对许多人的深切感激，他们的批评建议都在一定时期支持并指导了我的思想的发展。从本文这些想法开始形成到现在，时间已经过去太久了，如果把所有那些字里行间受到他们某种影响的人都一一列举出来，那就差不多成了一张我的朋友和相识的总名单。因此我只好限于列举少数对我影响最大的，即使这样，记忆的错误也在所难免。

詹姆士·

B·柯南特（James B. Conant），当时的哈佛大学校长，第一个引导我转向科学史，由此开始改变了我对科学进展本质的看法。从那时以来，他就慷慨地给以意见、批评和时间——包括阅读

我的草稿并建议作重大修改的时间。留纳德·K、纳什（LeonardK. Nash）同我一起教了五年由柯南特博士开始的历史方面的课程。在我的思想最初成形的那几年中，他更积极地参加了筹划，但在最后发展阶段上他却错过了。幸亏在我离开坎布里奇以后，我在伯克利的同事斯坦利·卡维尔（StanleyCavell）起了富有创造性的共鸣作用。卡维尔是一个主要研究伦理学和美学的哲学家，他得出的结论同我的十分一致，一直是一个激励和鼓舞我的源泉。而且，他还是唯一的一个可以同我只用一言半语探索思想。这种交流方式表明，他的理解力足以为我指出怎样通过或绕过我在准备第一个手稿时所遇到的主要障碍。

那还是一个草稿，许多别的朋友帮助我重新系统化。我想他们会原谅我的，如果这里我只举出贡献最广泛、最关键的四个名字：伯克利学院的保尔·K·费耶雷本（PaulK. Feyerabend）、哥伦比亚大学的厄奈斯特·纳格耳（ErnestNagel）、劳伦斯放射实验所（Lawrence RadiationLaboratory）的H·庇尔·诺埃斯（H. Pierre Noyes）和我的学生约翰·L·海耳布隆（John L. Heilbron），在准备最后付印时他经常密切配合我一起工作。我发现，他们的一切保留和建议都极有帮助，但是没有根据可以使我相信（倒有根据使我怀疑）无论是他们还是上面提到的其他

人会全盘赞同最后的手稿。

最后我还得感谢我的父母、妻子和孩子们，当然是完全另外一种感谢。也许最后我还得在许多方面承认，他们每个人也都对我的著作贡献了一些思想片断。但他们还以各种不同的程度作了一些更加重要的事情。那就是，他们保证了这个工作的进行，甚至鼓励我献身于它。任何一个同这样一项工程搏斗过的人都会承认，有时确实是要付出这样的代价的。我不知道应当怎样感谢他们才好。

T.S.库恩

I 导言：赋予历史的一种作用

我们如果把历史不仅仅看成是一堆轶事和年表，就会根本改变今天仍然支配我们头脑的关于科学的形象。从前形成这样一个形象，也包括科学家自己所形成的，主要是由于学习已有科学成就的结果。这种成就载于经典著作之中，近年来也载于那些每一代科学新人从中学到专业的教科书之中。但是这一类书，目的不可避免地是为了说教，它们所描述的科学观，决不会比旅行指南或语文课本所描述的民族文化更合乎实际一些。本文要说明的是，这些书从根本上把我们引入了歧途。本文的目的是要勾画出一大异其趣的科学观，一种可以从科学研究的历史记载本身浮现出来的科学观。但是，如果人们所不断寻找和分析的历史资料，只是为了回答科学课本中那些永恒不变的陈词滥调所提出的问题，那么，即使根据历史，也无法形成新的科学观。比方说，这种课本似乎总是暗示，书中所描述的各种规则、定律、理论已经完美地表明了科学的内容。几乎无一例外，这些书读起来都象是在说：科学方法其实就是搜集教科学材料的技巧，再加上对材料进行理论概括的逻辑推理方法。这就造成了对科学本质和科学发展的一种纠缠不清的科学观。

科学如果只是一堆现行课本中的事实、理论

和方法的总汇，那么科学家不管有没有成就，也只能努力对这个总汇贡献一二而已。科学的发展成了一点一滴的进步，各种货色一件一件地或者一批一批地添加到那个不断加大的科学技术知识的货堆上。科学史成了这样一门学科：它既要记载这个连续不断的积累过程，也要记载阻止这一进程的障碍。历史学家为关心科学的发展，他就负有以下两个主要任务。一方面，他必须确定是什么人、什么时候发现或发明当代科学中的各种事实、定律和理论。另一方面，他还必须描绘和解释妨碍现代科学课本各部分更快积累起来的那一堆错误、虚构和迷信。许多研究工作都是为此而进行的，有一些现在仍然是这样。

但近年来有几个科学史家已经发现，要按照这种渐进积累的观点进行工作，愈来愈困难了。作为这个积累过程的记录者，他们发现，研究得愈是深入，就愈是难于而不是易于回答这样一些问题：氧是什么时候发现的？是谁第一个想到能量守恒？有几个人还愈来愈怀疑，问题可能从根本上就提错了。科学也许根本就不是通过一个一个发现和发明的积累而发展。同时，科学史家要把过去人们所观察和相信的“科学”部分，同前人任意扣上“错误”、“迷信”的部分互相区别开来，也遇到愈来愈大的困难。他们愈是仔细研究象亚里士多德力学、燃素说化学、热质说热力学等

等，就愈会感到，那些一度流行过的自然现，从总体上说，一点也不比今天流行的更不科学些，或者更加是人类天性怪解的产物。如果把这些过时的信念叫做虚构，那么，今天使我们获得科学知识的方法和根据，也同样可以产生虚构，可以证明虚构。另一方面，如果把它们叫做科学，那么，科学里面就包含一些我们今天所绝对不能容纳的信念。在这二者之间，科学史家必然要选择后者。过时的理论不能因为遭到摒弃就一定不科学。但这么一来，我们就再也难以把科学的发展看成单纯的增加了。同样，在科学史研究中把个别的发明和发现孤立起来也会遇到困难，这就有理由从根本上怀疑，科学史究竟是不是这样一个由个别科学贡献复合而成的积累过程。

所有这些疑问，最后引起了科学研究史编写中的一场革命，尽管现在还是刚刚开始。科学史家逐步地、往往并不完全自觉地开始提出另外一类问题，研究另外一条往往并非渐进性的科学发展路线。他们不再去寻求一门古老科学对我们现代文明的永恒贡献，而是试图表现这门科学当时的完整历史。例如，他们并不问伽里略的观点同现代科学观点有什么关系，却要问伽里略的观点同当时他那个集体，即他在科学上的老师、同学和直接继承者的观点之间有什么关系。而且，他们在研究历史上这些集体的观点时还坚持这样一

个出发点；尽可能使历史上的这些观点内部联系得最紧密，又最能符合于自然界。这个出发点通常是同现代科学的出发点大不一样的。通过这样写成的著作，最典型的也许就是亚历山大。

柯依列的著作，我们可以看到，科学已不完全是那种人们在历史编写旧传统中所争论的那样了。历史研究至少已暗示了一种新的可能的科学形象。本文的目的就是要说明编写历史的某些新含义，以勾画出这个科学形象的轮廓来。

这样做，科学的哪个方面将会突出出来呢？首先，至少是说明顺序上的首先，方法论本身并不足以使我们能做到：只要按它的指示办就可以对许多科学问题得出唯一可靠的结论来。叫一个人去观察电学或化学现象，但他只知道什么合乎一般科学，却不懂这两门具体科学，他当然会从许多相互矛盾的结论中随便抽出一个来。他之所以从各种合理的可能性中得出这一个特定结论来，可能是因为他从别的地方得来的先入为主的经验，可能是因为调查研究中的某些偶然事件，也可能是由于他本人的个人特点。比方说，他把哪一些具体知识用到化学或电学研究中去了？在许多可以想到的适合这个方面的实验中，他首先选择哪个实验呢？在由此引起的各种复杂现象中，哪些现象会使他感到特别能说明化学变化和电吸引的本质呢？对这些问题的回答，至少对个

人来说，有时甚至对整个科学界来说，都常常是科学发展中所不可缺少的决定性因素。我们将指出，如第II节所说，大多数科学的早期发展阶段都是经过许多不同自然观之间不断的相互竞争而表现出自己的特征来。其中每一种自然观都是片面地按照科学观察和方法的要求而得出来的，但又大体上都同这种要求没有矛盾。各个学派之间的不同，不在于各派的方法上有这样或那样的缺陷——它们都曾经是“科学的”，而在于，如我们后文要说的，它们看待世界和运用科学的不同方式之间的不可比性。观察和经验可以而且必须严格限制科学信念所容许的范围，否则就没有科学。但它们不能单独决定某一种特定的信念本身。由某一特定时代的特定科学共同体所支持的信念，总是在其构成成分中包含了由个人偶然性和历史偶然性所组成的明显任意性因素。

但这种任意性因素并不表示，任何一个科学集体可以没有一套大家接受的信念而能进行专业活动。这种因素也不会降低那个一定时期内这一集体正是为之而献身的知识总汇的重要意义。科学界如果认为对下面一些问题没有得到可靠的回答，实际研究工作就没有开始：组成宇宙的基本实体是什么？它们之间怎样相互作用？又怎样同感官发生作用？对这种实体提出什么问题才合理？用什么办法才能找到答案？至少在已成熟的

科学中，对这上类问题的回答（或者是完全可以代替答案的东西）已经深入到了学生由以获得专业训练的教学之中。那种教育又严密又刻板，因而这些答案也可以在人们的科学思维中留下深刻影响。这很能说明常规研究活动的特殊作用以及它在任何一段时间中所遵循的方向。在第III、IV、V各节中考查常现科学时，我们最后将说明，那种研究不过是一种狂热而虔诚的尝试：想把自然界强迫纳入专业教育所规定的思想框框里。同时我们还会怀疑，不管在历史来源或以后的发展中有些什么任意性因素，如果没有这样的框框，究竟还能不能进行研究。

这种任意性因素确实存在，对科学的发展也有重要作用，这一点将在第VI、VII、VIII各节中详加考察。大部分科学家都难免要把几乎全部时间化在常规科学上，因为常现科学建立在这样一个假定之上：科学家了解世界是什么样子。科学事业的许多成就都是从科学界捍卫这个假定的决心中得来的，必要时还不惜付出相当的代价。例如，常规科学往往压制重大的革新，因为必然要打破它的一些基本成现。但是只要成规中有任意性因素，常规研究的本性又可以保证革新不会被压制很久。有时一个很普通的问题，本来可以用已知的规则和方法加以解决，但是虽经这个专业的研究集体中最有才能的人反复钻研，仍然不得

解决。也有时，为常规研究制造的某一种设备不合要求，结果出现了反常，怎么努力也不能使之同科学上预期的现象相一致。在这样一些情况下，常规科学就会走入歧途。这时候——也就是当这一专业再也避不开那种破坏科学实践旧传统的反常现象时——就会开始那种非常研究，最后终于把这一专业引向一套新的成规，为科学实践提供一个新的基础。这种使专业的成规发生变革的非常事件，就是本文所说的科学革命。作为常规科学活动所受传统束缚的补充，革命是对这种传统的破坏。

科学革命最显著的例子，是那些在以前科学发展中也经常被称为革命的著名事件。因此，在第一次直截了当地分析科学革命本质的第IX、X节中，我们将反复谈到那些在科学发展中同哥白尼、牛顿、拉瓦锡、爱因斯坦等名字相联系的重大转折点。这些历史事件，至少就物理科学而言，比大多数其他事件更能说明科学革命究竟是怎么回事。每一次革命都迫使科学界推翻一种盛极一时的科学理论，以支持另一种与之不相容的理论。每一次革命都必然会改变科学所要探讨的问题，也会改变同行们据以确定什么是可以采纳的或怎样才算是合理解决问题的标准。每一次革命都彻底改变了科学的形象，以至于最后我们不得不说，那个人们在里面进行科学研究的世界也

根本变了。这些变化同几乎总是随之而来的争论一起，决定了科学革命的特征。

研究一下牛顿革命或者化学革命，这种特征表现得特别明显。但本文却有这样一个基本论点：研究革命性不那么明显的其他事件，同样也可以得到这些特征。麦克斯韦方程对于受到影响的小小专业集体也同爱因斯坦方程一样地革命，从而也一样地受到抵制。创立另一种新理论如果触犯了某些专家的专门职权范围，也照例会激起他们同样的反应。对这些人来说，新理论意味着改变常规科学原来所遵循的规则。因此，新理论不可避免地要指责他们所已经完成的许多科学研究。正因为这样，一种新的理论，不管应用范围是多么专门，都很少会、甚至永远也不会只是已知事实的累加。新理论的同化作用要求重新构思原来的理论，重新评价原来的事实，这个内在的革命过程很少是由一个人单独完成的，更不是一夜之间所能完成的。毫不奇怪，历史学家很难为这个漫长的过程标出确切的日期来，而他们的专业语汇却又总是迫使他们把这个过程看成是孤立事件。

创立新理论，还不仅仅是对有关专业领域专家们致命的冲击。支配常规科学的成规不仅指明了宇宙包含些什么实体，还暗示了宇宙不包含什么实体。由此可以得出——尽管这一点还要进

一步讨论——象氧或X射线那样的发现，决不单单是为了在科学家世界的总汇中多增添一个项目。只要学术界重新评价传统的实验方法，取代它久已熟悉的实体观念，并在这个过程中改变它把握世界的理论框架，最后就会出现这样的结果。除了在单一的常规科学实践中，科学事实和科学理论不能截然分开。正因为这样，意外的发现就不单纯是输入了一些事实，由于这些崭新的事实和理论，科学家的世界既有了量的丰富，也有了质的变化。

这样来引伸关于科学革命本质的概念，下文将样加叙述。大家知道，引伸就会扭曲通常用法。尽管这样，我还是要说新发现是革命的，因为，正是由于有可能把这些发现的结构同哥白尼那样的革命联系起来，我才觉得这个引伸了的概念有这么重要。上面的讨论表明，常现科学和科学革命这两个互补的概念将怎样在以后紧接的第Ⅸ节中展开。本文其他部分安排另外三个重要问题。第Ⅺ节通过讨论教科书，看着科学革命为什么以前是那么难以发现。第Ⅻ节描述了常现科学者传统的拥护者同新传统的追随者之间在革命过程中的竞争。因此，这一节我们也考察了这样一个过程，通过这个过程一定程度上可以在科学探索的理论中代替那种科学中通常所熟悉的证实或证伪程序，科学界不同部分之间的竞争，其实不

过是不断否定一种以前公认的理论或接受另一种理论的历史过程。最后，第XIII节将提出这样一个问题：通过革命而发展怎么能同看起来是科学特有的进步性质一致起来呢？对这个问题，本文只想提供一种答案的轮廓，这个答案还取决于尚待进一步探讨的科学共同体特点。

某些读者肯定已在怀疑，历史的研究究竟能不能得出本书所要讲的那种根本观念上的转变呢？用逻辑两分法的全套武器可以表明：不可能完全做到这一点。历史是一门纯粹描述的科学，这一点我们说得实在太多了。但上面提出的论点却把历史说成是解释的、有时还是规范的科学。而且，我的许多概括还牵涉到关于科学家的社会学或社会心理学，而我的某些结论至少在传统上是属于逻辑学或认识论的。在前面的一段文字中，我可能会侵犯到现代影响很大的“发现的前后关系”同“论证的前后关系”之间的界限。混淆了不同的科学领域和科学上不同的重点，除了造成极大的混乱以外，还能有什么呢？

思想上离开了这一类的界限，我们简直无法更了解它们的含意和力量了。许多年来我一直认为，这关系到认识的本质问题。现在我还是认为，经过适当的修正，这些界限仍然可以为说明一些重要的问题。但是当我试图把这些界限应用到我们获得、接受和消化知识的实际情况

时，即使是广义的应用，也是非常成问题的。这并不是一些基本逻辑或方法论方面的界限，从而比分析科学知识更为重要，现在看来，这正是一套传统可靠答案的一个组成部分，这些答案正是针对提出这种界限的那些问题的。这个逻辑循环绝不会使它们无效。但又确实使它们成为一种理论的组成部分，这样，它们也象其他理论一样需要仔细加以分析。如果它们的内容不仅是一些纯粹的抽象，那就必须看看把它们用到所要阐明的材料时其内容究竟怎样。难道科学史就不能为我们提供这样一些现象，可以合理地要求把认识论用上去吗？

II 走向常规科学

在本文中，“常规科学”是指严格根据一种或多种已有科学成就所进行的科学研究，某一科学共同体承认这些成就就是一定时期内进一步开展活动的基础。今天的一些初级和高级教科书正在重新估价这些成就，尽管并不怎么符合它们本来的面貌了。这些书解释了公认的理论，说明了这些理论许多或全部有效应用，并同示范性的观察和实验作了对比。在十九世纪初期这些书还没有流行起来以前（在刚刚成熟的科学中甚至直到最近），许多科学经典名著也起过同样的作用。亚里士多德的《物理学》、托勒密的《至大论》、牛顿的《原理》和《光学》、富兰克林的《电学》、拉瓦锡的《化学》以及莱伊尔的《地质学》——这样一些著作，都在一定时期里为以后几代的工作者暗暗规定了在某一领域中应当研究些什么问题，采用些什么方法。所以能够这样，因为这些著作具备两个根本的特点。这些著作的成就足以空前地把一批坚定的拥护者吸引过来，使他们不再去进行科学活动中各种形式的竞争。同时，这种成就又足以毫无限制地为一批重新组合起来的科学工作者留下各种有待解决的问题。凡是具备这两个特点的科学成就，此后

我就称之为“规范”。这是一个同“常规科学”密切有关的术语。我采用这个术语是想说明，在科学实际活动中某些被公认的范例——包括定律、理论、应用以及仪器设备统统在内的范例——为某一种科学研究传统的出现提供了模型。这就是一些历史学家在“托勒密（或哥白尼）天文学”、“亚里士多德（或牛顿）力学”、“微粒（或波动）光学”等标题下所描述的那种传统。学习这种规范，包括许多比前面所举的还要专门得多的规范，主要是使一个新手准备好参加那个此后他即工作于其中的科学共同体。他在那里所遇到的人，也是从同一模型中学到专业基础的，因此在他们以后的活动中，就不大会再在基本原则方面碰到重大分歧。根据共同规范进行研究的人们，也受同样的科学实践规则 and 标准所制约。这种制约以及由此所造成的表面上的一致，正是常规科学的前提，也是某一种研究传统形成和延续的起源。

本文经常用规范概念代替各种熟悉的观念，因此，为什么要引进这个概念，还要作一些说明。具体科学成就作为专业性的规定，为什么要比由此抽象出来的概念、定律、理论和观点更为重要呢？共有规范对于科学中的新手来说，在什么意义上是一个逻辑上不能再分成具有同样功能的更小部分的基本单位呢？当我们在第V节中碰

到这些类似问题时，怎样回答这些问题，对于了解常规科学以及有关的规范概念，是具有根本意义的。但是，这种更加抽象的讨论，还要取决于同作用中的常规科学范例或规范范例以前联系得怎样。特别是，如果注意到没有规范，至少是没有上面所举那种毫不含糊而又有约束力的规范，也可以进行某种研究，那么，常规科学和规范这两个相互有关的概念就清楚了。有了一种规范，有了规范所容许的那种更深奥的研究，这是任何一个科学部门达到成熟的标志。

如果历史学家追溯一组挑选出来的现象，他很可能碰上物理光学历史所表现出来的那种发展模式，尽管可能略有变形。今天的物理教科书告诉学生，光是光子，也就是某种波动性和某种粒子性的量子力学实体。由此再研究下去，或者说，根据更精确的数学特征（由此得出语言特征）而研究下去。但是，对光的这种特征的描述，还只有半个世纪。本世纪初普朗克、爱因斯坦和其他人在进行这种描述以前，物理教科书还在教导说光是横波运动，这种认识扎根于一种规范之中，一种从十九世纪初杨（Young）和弗雷斯内尔（Fresnel）的光学著作中最后得出来的规范。波动理论起初也并不是大部分光学工作者所接受的。十八世纪中牛顿的《光学》为这个领域提供了规范，它教导说，光是物质粒子。那时的

物理学家们都在寻求光粒子对固体的压力的证据，而早期的波动理论家们却不这样做。①

物理光学中规范的这种转化，就是科学革。一种规范经过革命向另一规范逐步过渡，正是成熟科学的通常发展模式。但这种模式没有牛顿以前那个时代的特征，我们在这里所关心的也正是二者的差别。从远古开始直到十七世纪末为止，在这段历史时期中没有出现过一种大家都能接受的关于光的本质的看法。相反，总是有许多互相竞争的学派和小流派，其中大多数都拥护伊壁鸠鲁、亚里士多德或托勒密理论的某种变形。一些人把光看作是从物质客体发射出来的粒子；而另一些人认为，光是介入物体和眼睛之间的某种介质的变态；还有的用介质同眼睛发射物之间的相互作用来解释光；此外还有其他各种不同的组合和变形。每一个相应的学派都从它同某一种形而上学的关系中吸取力量，每一个都强调它的理论最能解释的那一组光学现象才是合乎规范的观测。为此，它也精心研究了另外一些观测，以免为进一步的研究留下了悬而未决的问题。②

①约瑟夫·普列斯特利（Joseph Priestley）：
《关于视觉、光和色的发现的历史和现状》（伦敦；1972年），第385～390页。

所有这些学派都在各个不同时代为物理光学的主要概念、现象和技巧作出了重大贡献，而牛

顿则从中引出了第一个几乎为大家一致公认的规范。任何一个关于科学家的定义，如果排除了这些不同学派中富有创造性的成员，也就排除了这些学派的现代继承人。这些人的确是科学家。但如果回顾一下牛顿以前的物理光学。人们完全可以得出结论说，那时这方面的工作者虽然是科学家，而他们工作的最后成果却不怎么够得上科学。既然可以不要什么共同的信念，每一个物理光学家都感到必须从根本上重建这门科学。这么一来，他要支持些什么观测和实验，也就可以相对自由地加以选择，因为并不存在一套每一个光学家都必须加以采纳的标准方法，或必须加以解释的标准现象。这种情况下所产生的

一些著作，就总是对准其他学派的人，而不是对准自然界。这种模式，在今天许多富有创造性的领域中也不陌生，同重大发现和发明之间也没有矛盾。但这却不是牛顿以后物理光学所采取的发展模式，也不是其他自然科学今天所熟悉的模式。

十九世纪上半叶电学发展的历史可以提供一个更加具体、更为熟悉的例子，说明一门科学在获得第一个普遍接受的规范以前是怎样发展起来的。在那时候，几乎有多少重要的电学实验家，象豪克斯比（Hauksbee）、格雷（Gray）、德札古利埃（Desaguliers）、杜·费伊（DuFay）、诺

列特 (Nollett)、沃森 (Watson)、富兰克林等人, 对电的本质就有多少看法。在所有这许多电的概念中, 存在着某些共同的东西——这许多概念, 都是从当时指导一切科学研究的机械粒子哲学的某种变形中片面地引伸出来的。而且, 这些都是真正科学理论的组成部分, 它们部分地来源于实验和观察, 部分地又决定着怎样选择和解释研究中新出现的问题。虽然所有这些实验都是电学实验, 虽然绝大部分实验者都读过彼此的著作, 但他们各自的理论却只不过象是同一家族中的不同成员。①

①杜安·鲁勒 (Duan

Roller) 和杜安·H·D·鲁勒 (Duane

H·D·Roller): 《电荷概念的发展: 电学从希腊人到库伦》(《哈佛实验科学事例史》第8例, 马萨诸塞州, 坎布里奇, 1954年); I. B柯亨 (Cohen): 《富兰克林和牛顿: 探索牛顿思辨的实验科学理论以及由此产生的富兰克林电学著作之例》(费拉德尔菲亚, 1956年), 第Xii~Xii章。对下一段中某些分析的细节, 我感谢我的学生约翰·L·布隆尚未发表的文章。在此文发表前, 对富兰克林的规范的某种更展开、更确切的说明, 见T.S.库恩: 《科学研究中教导作用》, 载A. C. 克隆比 (Crombie) 编: 《1961年7月9~15日牛津大学科学史专题会议》。即将由海涅

曼教育书店出版。

一批早期的理论家们根据十七世纪的实践，把吸引和摩擦起电看作是基本的电现象。这些人倾向于把排斥作为机械回跳所产生的二级效应，并又尽可能拖延对格雷新发现的电传导效应进行讨论和系统研究。另一些“电学家”（如他们所自称的）把吸引和排斥同样看成是电的基本表现，并据以修改他们的理论和研究工作。（实际上他们的人数很少——甚至连富兰克林的理论也从没有充分说明过两个带负电荷的物体为什么互相排斥。）但是他们在同时说明任何一种最简单的导电效应时，也碰上了同前一批人一样的困难。这种效应又为第三批人提供了一个出发点，他们倾向于把电说成是可以穿越导体的“流体”，而不是一种由非导体发射出来的“以太”。于是他们又面临着怎样把他们的理论同大量的吸引排斥效应协调起来的困难。只是通过富兰克林和他的直接后继者的工作才有了一种新的理论，可以同样简便地说明几乎所有这些效应，从而也可以给下一代“电学家”的研究工作提供一个共同的规范。

象数学、天文学这样一些部门，早在史前时期就有了第一个明确的规范，再象由专业的分化和重组而形成的生物化学，也已臻于成熟。除了这几个特殊部门以外，上文所勾画的情况在历史上还是很典型的。虽然我不得不继续采取这种不

恰当的简单化作法，把连续的历史事件硬套上一个简直是信手拈来的名字（例如牛顿或者富兰克林），但我却认为，这样的根本不同正是表现了这样一些学科的特点，象亚里士多德以前对运动、阿基米德以前对静止的研究、布莱克

（Black）以前对热的研究、波义耳和波尔哈夫以前的化学的研究、胡顿（Hutton）以前对历史地质学的研究等等。在生物学的各个分支中——例如对遗传的研究——有了第一个为人们所普遍接受的规范，还是最近的事；而在社会科学中，究竟哪些分支已具备这种规范，还完全悬而未决。历史表明，要使科学研究中意见完全一致，实在是艰巨得很。

但历史也表明了在这条道路上为什么会碰到这样的困难。如果没有一种规范或某种候补规范，凡是可能合乎某一门科学发展的事实，看起来都会同样地合适。结果，最初搜集事实的活动更近乎一种随机活动，而后来科学的发展却使之习以为常了。而且，因为没有必要寻求什么样的更隐秘的信息，最初搜集事实一般也只限于某些信手拈来的材料来源。在由此聚成的蓄水池中，也包含着那些易于受到偶然的观察、实验以及某些更奥秘材料影响的事实，都可以从医药、制定历法和冶金这一类行业中重新找到。由于这些行业可以随时提供不能按照因果关系发现的事实，

因而在新科学的涌现中，它们的工艺经常起着不可缺少的作用。

这样来搜集事实，对许多重要科学的起源尽管很重要，但是只要查阅一下普林尼（Pliny）的百科全书式著作或培根的自然史就会发现，这里有个泥坑。这样所产生的文献究竟算不算科学，人们会有所犹豫。培根关于热、色、呼吸、开矿等的“历史”中充满了消息，其中有一些也很深奥难解。但是在这些历史中，他却把那些后来证明是很能说明问题的事实（如通过混合而加热），同那些在一定时期内由于过分复杂而根本综合不到理论中去的事实（如粪堆中的热），杂然并列起来了。①还有，任何描述总是不完全的，因此，在一部标准自然史的大量详尽叙述中，也总会遗漏一些后来科学家恰好就在这里找到的重要启示。比方说，几乎没有一部早期的电学“历史”曾经提到过，摩擦过的玻璃棒把草屑吸引过来以后又会把它弹回去。这似乎是机械效应，不是电效应。②而且，按照因果关系收集事实的时间很少，也没有必需的方法，因而自然史常常把上面我们所举那些描述同我们现在还不大能肯定的描述并列起来，比方说关于阻抗生热（或冷）的描述。③只有在十分偶然的情况下，例如古代静力学、动力学和几何光学在没有什么预定理论指导下所搜集到的事实，才足以明确地宣告容许

第一个规范的涌现。

①参见培根《新工具》一书中关于热的自然史纲要，《弗兰西斯·培根著作集》第VIII卷，J.斯拜丁（Spedding）、R.L.埃利斯（Ellis）和I.D.希兹（Heath）编（纽约，1869年），第179～203页。

②鲁勒和鲁勒，同上书，第14、22、28、43页。只是在培根书中最后引用了这些话之后，排斥效应作为一种明确的电效应才得到普遍的承认。

③培根，前引书，第235、337页：“微温的水比完全冷却的水更易于结冰。”对这种奇特观察的早期历史，在下书中有一部分记载：马歇尔·克莱杰特（Marshall Clagett）：《乔温尼·马利安尼（Giovanni Marliani）和中世纪晚期物理学》（纽约；1940年）；第IV章。

这就是在一门科学早期发展阶段上建立这个阶段所特有的各种学派的情况。只有有了理论上和方法论上的信念，才能进行选择、评价和批评；如果没有这种信念，至少是某种隐含的信念，任何一部自然史都无法得到解释。如果这种信念的内容没有隐含在所搜集的事实之中——这种情况就不只是现成的“纯事实”了——那就必须通过流行的形而上学、其他科学或个人和历史的偶然事件从外界提供这种信念。因此毫不奇怪，

在任何一门科学的早期发展阶段，不同的人对同样一些领域的现象，尽管未必都是同样一些具体现象，却会作出全然不同的描述和解释。令人吃惊的，而在这些我们称之为科学的领域中也许是最令人吃惊的是，初期的这种分歧总是大部分不见了。

这些分歧，的确在相当大的程度上不见了，而且简直是一劳永逸地不见了。而且，通常总是由于一个前规范学派的成就使这些分歧不见了。这个学派由于它所特有的信念和先入之见，总是只强调那个太大而又太不发达的消息库中的某一特殊部分。有些电学家把电看成是一种流体，并从而特别强调它的传导作用，他们正好提供了一个出色的事例。按照这个信念，他们难以应付已知的大量吸引排斥效应，于是有些人就设想把这种电流体用瓶子装起来。他们努力的直接成果就是莱顿瓶，偶尔随机探索自然的人永远也不会发现这种装置。事实的确是在十八世纪四十年代早期，至少是由两个研究者独立提出来的。①富兰克林几乎从一开始进行电学研究时，就特别注意解释这种新奇而结果又特别有意义的专门仪器。他在这方面的成就，提供了使他的理论成为一种规范的最有力的论据，尽管仍然不能充分解释所有已知的电排斥现象。②一种理论成为规范，一定要比其他竞争对手更好，但并不一定要解

释、事实上也从未解释过一切可能碰到的事实。

①鲁勒和鲁勒，前引书，第51～54页。

②麻烦的是带负电物体的相互排斥；可参阅柯亨；前引书；第

电流体理论为一小部分相信这个理论的人所提供的东西，后来富兰克林的规范也为全体电学家提供了。这个规范指明了哪些实验值得作，哪些则由于只是针对次要现象或明显的复合现象而不值得。只有规范才能有效地完成这个任务，这部分是因为学派内部的争论使他们不需要再去不断地重申那些基本原则，部分则因为科学家们自信路子走对了，从而鼓舞了他们从事更精确、更深奥、也更费劲的研究工作。①电学家们结成的集体不要再去注意所有一切电学现象了，因而他们就有可能去设计更专门得多的装置，比以往任何电学家都要更加顽强而系统地运用这些装置，以便更细心地追踪某一种选定的现象。事实搜集和理论表述都成了高度有目的的活动。电学研究从而更加有效了，效率也更高了，它从社会方面证实了培根的一句锐利的方法论格言：“从错误中比从混乱中更易于出现真理”。②

下一节我们将考察这种高度有目的的或者说根据规范所进行的研究工作，但先要扼要说明，规范的涌现怎样影响到这个领域工作集体的结构的。在自然科学的发展中，当个人或集体第一次

达到了能吸引下一代大多数实际工作者的综合时，老的学派就逐渐消逝了。这部分是由于这个学派的成员转变到新的规范方面去。但是总会有那么一些人墨守某种老观点，于是他们干脆被排除出这个行业，从此，他们的工作就再也无人理睬了。新的规范意味着这个领域有了新的更严格的规定。谁如果不肯或不能同它谐调起来，就会陷于孤立，或者依附到别的集团那里去。③在历史上，这些人往往干脆呆在哲学部门里，反正那么多的专门科学都是从这里孳生出来的。这些迹象表示，有时正是由于接受了一种规范，才使以前只是关心研究自然界的那批人成了同行，或者至少建立了一门学科。在这些科学中（而不是在医学、技艺、法律这样一些领域中，因为它们主要的存在理由是外界社会需要），形成专门化的期刊，创立专家的学会，并在课程中要求专门地位，通常都同一个集团第一次接受某一种规范有联系。至少，从一个半世纪以前科学的专门化第一次成为制度起，直到最近专门化知识已建立了威信为止，情况就是这样。

①应当指出，接受富兰克林的理论并没有完全结束一切争论。

1759年罗勃特·西莫（Robert Symmer）提出了两种流体说；此后许多年中，电学家就是按照电是一种流体还是两种流体而分开来的。但是这

个问题的争论只能证实，上面所说普遍承认的成就就是这样把这个专业联结起来了。电学家们虽然在这一点上还有分歧，却已迅速地提出结论：任何实验都不能把这两种理论区别开来，因此，二者是等效的。这以后，两个学派都能够而事实也都利用了富兰克林的理论所提供的一切好处（同上书，第543～546、548～554页）。

②培根，前引书，第210页。

③电学史提供了可从普列斯特利、开尔文等人的经历中重现的出色事例。富兰克林报告说，那个世纪中叶欧洲大陆上最有影响的电学家诺列特“生前看到他自己是他那个小流派的最后一人；除了他自己优秀的谪传门徒B.君以外”（马克斯·费兰德[Max Farrand]编：《本杰明·富兰克林回忆录》[加利福尼亚州伯克利；1949年]第384～386页）。但更有趣的是。所有的学派一直都是愈来愈从专业学科中独立出来。试以占星术为例，它一度是天文学的一个组成部分，再看看从十八世纪末延续到十九世纪初的一个以前很受重视的“浪漫主义”化学传统。这正是查尔士·C·吉利斯庇（Charles C. Gillispie）在下列著作中讨论过的那种传统：《百科全书派和科学中的雅各宾哲学：关于观念和结论的研究》，《科学史中的关键问题》，马歇尔·克莱杰特编（威斯康辛州康迪逊，1959年），第256～289页；《拉马克进化论

的形成》，《世界科学史成就》第XXXVII卷（1956年），第323～338页。

对科学界更严格的限定，还带来了其他的后果。当个别科学家可以接受某一种规范时，他的主要工作就再也不需要从起码的原则开始，证明每一个引进的概念都合理，来重新确立他的研究领域了。这一些都可以留给教科书作者们。而有了一本教科书，科学家就可以从教科书达不到的地方开始研究，从而可以高度集中到科学界所关心的最微妙、最深奥的自然现象中去。这样做，他的研究公报就要开始改变形式了。对这种公报形式的演化，过去研究得太少了，但它在现代的作用却对所有人都是显而易见的，对许多人也是沉闷的。科学家的研究工作再也不会象以前那样，体现在写给那些对此有兴趣人们的书中了，象富兰克林的《关于电的……实验》或达尔文的《物种起源》。相反，通常只是写一篇简要的文章给同行们看，这些人肯定都知道共有的规范，而且也只有他们能够阅读这些写给他们的文章。

今天的科学书籍，通常要么是教科书，要么是关于某一方面的科学生活的追溯。科学家写这样一本书，很可能会发现他在专业方面的声誉不是得到提高，而是受到损害。只有在各门科学更早的前规范发展阶段上，。这样的书一般才可以同在其他创造性领域中那样，仍然保持与专业成

就的关系。只有在那些仍然把这种书作为一种学术交流工具的领域中，不管有没有专题文章，专门化的界限还是很不严格，外行们还以为只要读了研究工作者的原始报告就可以跟上去。在数学和天文学中，从古以来研究报告就不再是受过一般教育的读者们所能理解的。在力学中，在中世纪后期研究工作已同样深奥，只是到十七世纪早期，在新规范取代曾指导中世纪研究工作的老规范的过程中，才有过一个短暂的时期力学重新为一般人所理解。在十八世纪结束以前，电学研究也开始需要对外行们进行解释，而物理科学的大部分其他分支，到十九世纪一般人就再也不容易接受了。同样经过这两个世纪，从生物科学的各个不同部门中也可以概括出这种过渡来。社会科学有些部门，今天可能还处于这样的过渡之中。专业科学家同其他领域的同行们之间的鸿沟，愈来愈大了，这种哀叹虽已习以为常，肯定也很合理，但人们却太不注意这个鸿沟同科学进展固有机制之间的根本关系了。

从史前期以来，研究领域一个接着一个都跨过了历史学家称之为是一门科学的前史和本史之间的分水岭。这些科学向成熟期过渡，我在这里必须顺序加以讨论，实际上却很少有象我说的那么突然，那么分明。但历史上的这种过渡也不是渐进的，就是说，也不是整个领域一起发展的。电

学作者们关于电学现象，在十八世纪前四十年中比他们十六世纪的先驱们拥有多得多的知识。在1740年以后的半个世纪中，并没有几项新的电学现象增加到他们的清单上。不管怎样，在一些重要方面，卡文迪什（Cavendish）、库仑

（Coulomb）和伏特（Volta）在十八世纪最后三十几年中的电学著作距离格雷、杜·费直至富兰克林的著作，比这些十八世纪早期的电学发现者的著作距离十六世纪这方面的著作，要远得多了。

①只有在1740年到1780年之间，电学家才第一次有可能把建立这样一个领域视为理所当然。从那时起他们就深入进到一些更具体、更深奥的问题上，随后也愈来愈用专题文章的形式把结果报告给其他电学家，而不是用书籍的形式报告给广大知识界。他们作为一个集体，已经达到了古代天文学家的水平，也达到了学生们在中世纪关于运动、在十七世纪晚期关于物理光学、在十九世纪早期关于历史地质学的水平。也就是说，他们已获得一种证明有可能指导整个集体进行研究的规范。除了事后认识到这种好处，很难另外找到什么标准可以明确宣布某一个领域成为一门科学。

①在富兰克林以后，有以下几方面的巨大发展：电探测器的灵敏度，第一种可靠的普遍推广的测量电荷的技术，电容概念以及与最新提炼的电压观念之间的关系的进展。还有静电力的定量

等。可参阅鲁勒和鲁勒，前引书，第66～81页；
W. O. 沃克（walker）：《十八世纪对电荷的探测和估量》，《科学年鉴》，第1卷（1936年），第66～100页；爱德门德·霍普（Edmund Hoppe）：《电学研究》（莱比锡，1884年）第1部，第iii～iv章。

III 常规科学的本质

那么，一个集体因为接受了某一种规范所能容许的更专门、更深奥的科学研究，其本质究竟怎样呢？如果规范代表已经一劳永逸完成了的研究工作，规范还会为这个联合的集体留下什么有待于进一步解决的问题呢？如果注意到迄今我们所用术语都可能正在把我们引入歧途，问题就更迫切了。按既定的用法，规范就是一个公认的模式或模式，这一方面的意义我找不到更合适的用语，只能借用“规范”这个词。但是立即可以看出，借用这个词所能表示的“模型”和“模式”的意义，并不完全是通常用来定义“规范”的意思。例如在文法中，“amo, amas, amat”^①是一种规范，因为它显示了用来组成大量其他拉丁文动词的模式，象构成“laudo, laudas, laudat”。^②在这种典型的应用中，规范只有容许那些原则上可以取而代之的事例重复出现才有作用。但另一方面，在科学中规范又是很少重复的东西。正象共同法中公认的公正判决一样，在新的或者更严格的条件下，规范是一种需要进一步分析并具体化的东西。①拉丁文动词“爱”的第一、第二、第三人称。

②拉丁文动词“称赞”的第一、第二、第三人

称。

如果了解了怎么可能是这样，我们就会认识到一种规范第一次出现时所能达到的范围和精确性是多么有限。规范所以能够获得这样的地位，因为它去解决一批实际工作者公认的重大问题时比竞争对手更为成功。但它更为成功的之处，却既不是完全成功地解决某一个具体问题，也不是显著成功地解决多么多的问题。一个规范的成功——不管是亚里士多德对运动的分析、托勒密对行星位置的计算、拉瓦锡对天平的应用还是麦克斯韦对电磁场的数学化——从一开始就主要是一种在选定的、但仍然未完成的事例中获得成功的指望。常现科学就在于实现这种指望，办法是：扩大对于那些规范特别能够加以说明的事实的知识，加强这些事实同规范预测之间的配合，进一步详细表达规范的本身。

若不是一门成熟科学的真正实际工作者，很难理解一种规范会留下多少有待完成的扫尾工作，而进行这一类工作又是多么使人入迷。这几点必须加以了解。扫尾工作使绝大多数科学家献出了他们的全部生涯。他们创立了我这里称之为常规科学的东西。进一步看，不管是在历史上的还是现代的实验室中，这件事就象是硬要把自然界塞进规范早已制成的相当僵化的框框里。常现科学的目的绝不是引起新类型的现象；凡不适合

这个框框的现象，实际上往往根本就看不到。科学家的目标按常规并不是发明新理论，他们也往往不能容忍别人的这种发明。①相反，常规科学研究总是为了深入分析规范所已经提供的现象和理论。

①帕纳德·巴勃（

这也许是缺点。当然，常规科学探讨的范围微不足道；我们现在所讨论的常规研究，其视野也受到严格的限制。但正是这些因信仰规范而产生的限制，对科学的发展却成为不可缺少的。由于集中注意狭小范围中比较深奥的问题，规范会迫使科学家仔细而深入地研究自然界的某一部分，否则就不能想象。常规科学具有一种固定机构，不管造成这种限制的规范什么时候不再发挥有效作用，它都可以保证把这种束缚研究的限制加以放松。从这一点开始科学家们的行动不同了，他们研究课题的性质也变了。但是，在规范获得成功的间歇期中，这一专业团体将会解决一些问题，其成员如果不信规范，不但想不到，也永远提不出。至少有一部分成就永远都是这样。

为了更清楚地表明常规研究也即根据规范进行的研究究竟是什么意思，让我对常规科学所包括的主要问题加以分类和说明。为了说明的方便，姑且不谈理论研究，先看看事实的搜集，也即科技刊物中所描述的实验和观察，科学家们正

是通过这些刊物的同行们报告他们不断研究的成果。科学家通常报告自然界的哪些方面呢？他们的选择取决于什么呢？而大多数科学观察都要花费大量时间、设备和金钱，推动科学家求得这一选择所导致结果的动力又是什么呢？

我以为，关于事实的科学研究通常只有三个中心，它们之间的区别既不经常，也不永恒。首先是那一类事实，规范表明它们特别能揭示事物的本质。规范用这些事实解题，使事实对更加多样的情况具有更加精确的判决作用。某一个时期的这种关于事实的重大判决有：天文学中——行星的位置和大小、双星星蚀周期和行星周期；物理学中——物质所特有的引力和可压缩性，波长和光谱强度，导电性和接触电位；化学中——化合物和化合量，溶液的沸点和酸性，结构式和旋光性。为了提高认识这些事实的精确性、扩大认识范围所作的努力，占去了实验观察科学的大部分文献。为此目的，一次又一次地设计了复杂的专门仪器，而发明、制造和布署这些仪器都要求第一流的人才，还往往要求相当的财政后盾。同步加速器和射电望远镜不过提供了最新的例子来说明：只要规范可以肯定科学工作者所寻求事实的重要性，他们就能做到这样的程度。从第谷·布洛赫（Tycho Brahe）到E. O. 劳伦斯

（Lowrence），某些科学家之所以获得巨大声

誉，并不是由于他们的发现有什么新颖，而是由于他们为重新判定某种以前已知事实所用方法的精确性、可靠性和广泛性。

第二类的事实判定很普通，但也更少。这类判定针对那样一些事实，它们本身没有什么重要性，但可以直接用来同规范所预测的作比较。当我从常规科学的实验问题转到理论问题时，我们很快就会看到，一门科学理论，特别是主要以数学形式出现的理论，可以直接同自然界相对照的地方是不多的。这样的地方，即使是爱因斯坦的广义相对论所能达到的，也不超过三个。^①而且，即使在这种可以实际应用的地方，也往往要求理论上和实验上更加接近，以免严重限制所期待的一致。为了更加一致，或者为了发现一些新的可以一举证实这种一致的领域，正在不断对实验者和观测者的技巧和想象力提出挑战。特种望远镜证实了哥白尼对周年视差的预测；阿乌德

（Atwood）机是在牛顿《原理》以后几乎一个世纪才第一次发明的，却第一次毫不含糊地证实了牛顿第二定律；傅科（Foucault）的仪器表明光速在空气中比在水中快；设计巨型闪烁计数器是为了证明中微子的存在——象这样一些以及其他许多类似的特殊仪器，说明必需有这些巨大的努力和创造性才能使自然界同理论愈来愈一致起来。^②试图证明这种一致性，是第二种类型的正

常实验工作，它甚至比第一种更明显地依赖于一种规范。规范的存在使问题开始得到解决；规范理论往往直接包含在有可能解决这个问题的仪器设计之中。例如，如果没有《原理》，用阿乌德机所作测量就毫无意义。

①至今仍然得到广泛承认的唯一长期成立的验证，就是水星近日点的岁差。关于远星体光谱线的红移，可以从比广义相对论更基本的原因得出。光线绕太阳时的弯曲可能也是这样，这一点现在仍在争论之中。不管怎样，后两种现象的测量仍然含糊不清。最近可能又增加了另一种检验：穆斯保尔(Mossbauer)辐射的引力迁移。在这个现在很活跃但经过长期休眠的领域中，也许很快地会有变化。对这问题最新的简要说明，见L.I.什夫(Schiff)：《NASA会议上检验相对论的报告》，《今日物理》，第XIV卷(1961年)，第42~48页。

②关于两种视差望远镜，见阿伯拉罕·沃尔夫(Abraham Wolf)：《十八世纪科学、技术、哲学史》(第二版；伦敦，1952年)，第103~105页。关于阿乌德机，见H. R. 汉森(Hanson)：《发现的模式》(剑桥，1958年)，第100-102、207~208页。关于后面两种特种仪器，见M. L. 傅科：《关于测量空气和透明介质中的光速的一般方法》，《科学院的...活动报告》；第

XXX卷（1860年），第551～560页；C. L. 小柯温（Cowan）等；《自由中微子的探测：一个证实》，《科学》；第CXXIV卷（1956年），第103～104页。

第三类实验和观察，我认为穷尽了常规科学的搜集事实活动。它包括详细分析规范理论的经验性工作，以消除某些残留的含混不清，从而使以前只是引起注意的问题可以得到解决。这一类是最重要的一类，要加以描述还得细分。在更加数学化的科学中，旨在进行详细分析的实验是针对物理常数的判定的。例如，牛顿的研究表明，对于宇宙间任何位置上的任何一种物质，两个单位质量在单位距离之间的力都一样。但即使不考虑这种吸引即万有引力常数的大小，这个问题同样可以解决而在《原理》出现以后一百年中，没有其他任何人设计出能够确定这个常数的仪器。卡文迪什在十八世纪九十年代的著名判定也不是最后一个。由于引力常数在物理学中的重要地位，改进其数值就成了此后一大批著名实验室反复努力的目标。①这一类长期研究的其他事例是：确定天文单位、阿佛伽德罗（Avogadro）数、焦耳（Joule）系数、电荷等等。如果没有一种规范理论规定了问题并保证有一个稳定的解，就很难设想会有这么多精心的努力，更不会产生任何成果。

当然，努力把规范表述清楚，并不限于制定普遍常数。努力的目标也可能是定量定律，象波义耳关于气体压力与体积关系的定律，库仑关于电吸引的定律，焦耳关于电阻和电流生热的方程，都属于这一类。规范是发现这一类定律的前提条件，尽管表面上也许看不出来。我们常常听说，这些定律是由于为自己检验测量数据以及没有理论成规而发现的。但是历史并不支持这样一种太过分的培根式的方法。空气以前被认为是一种所有静力学精密概念都用得上的弹性液体，当时波义耳实验一直不为人们所理解（如果理解了，就会接受另一种解释，或者根本不作解释）。②库仑的成功是因为他制造了一种专门仪器来测量两个点电荷之间的力（以前用普通的盘式天平等测量电力，根本没有发现有任何联系或简单规则性。）。但这一设计又依赖于以前的认识：每一个电流体粒子都超距作用于其他每一个粒子。这就是库仑正在寻求的两个这种粒子之间的力——唯一可以有把握假定为单纯距离作用的力。③焦耳的实验也可用来说明，定量定律是怎样通过说明规范而涌现的。事实上，定性的规范和定量的定律之间的关系如此广泛而密切，以至于从伽里略时代起，在设计出用于实验判定的仪器以前许多年，人们就常常借助于规范而确切地猜测出这些定律来。④

最后，还有第三种旨在说明一种规范的实验。这种实验比其他的更象一种探测；在那样一些时期和科学中，即需要更多解决自然界规则性的定性问题而不是定量问题时，这种实验特别盛行。通常从一组现象中提出来的规范，用到其他密切有关的现象时就含糊不清了。于是，怎样才能把规范应用到人们所关心的新领域，实验就必须有所选择。例如，把热质说当作规范用，就是以混合和改变状态来加热或冷却。但热还是可以通过别的方式释放或吸收——例如化学化合、摩擦、气体的压缩或吸收——而且热质说也可以通过几种不同的方式应用到这里的任何其他现象。如果真空也有加热的能力，那么，压缩加热就可以解释为气体同虚空相互混合的结果。要么就是由于特种气体热因压力改变而发生变化。此外还有几种别的解释。许多实验，就是为了试探并辨别这许许多多不同的可能性；而所有这些实验都来自作为规范的热质说，都是利用规范来设计实验并解释实验结果的。⑤一旦压缩加热现象被证实了，这方面一切进一步的实验就都以同样方式依赖于规范了。给定了现象，阐明现象的实验还能有什么别的选择呢？

①J. H. 帕印亭（Poynting）评论了1741年到1901年之间关于引力常数的二十四个测量，见《引力常数和地球平均密度》，《大英百科全

书》，第11版，剑桥，1910~1911年；第XII卷，第385~389页。

②关于液体静力学概念全部移植到气体力学之中；见《巴斯卡物理学论著》，I. H. B斯庇尔（SPiers）和A.G.H. 斯庇尔（Spiers）译，载有F. 拜雷（Barry）的介绍和注释（纽约；1937年）。托里拆里（Torricelli）最初的平行引进（“我们的生活淹没在空气元素的海洋底层”）见之于第164页。这两篇主要论文表现了引进的迅速发展。

③杜安·鲁勒和社安·H·D·鲁勒：《电荷概念的发展：电学从希腊人到库仑》（《哈佛实验科学案例史》，案例8；马萨诸塞州；坎布里奇，1954年）；第66~80页。

④例如，见T. s. 库恩：《现代物理学中测量的作用》，《爱西斯》杂志，第LII卷（1961年），第161~193页。

⑤T.S.库恩：《关于绝热压缩的热质说》，《爱西斯》杂志，第XLIX卷（1958年），第132~140页。

再谈谈常规科学的理论问题，它也几乎要归到实验科学和观测科学同一类中。常规理论工作的一部分，尽管只是很小的一部分，就完全是一种现有理论的应用，即用来预测理论固有意义中所包含的关于事实的信息。编制天文历书，计算

棱镜特征，绘制无线电广播曲线，都是这一类问题的实例。科学家们却一般都把这一些看成是舞文弄墨而扔给了工程师或技师。许多这类工作因而没有机会出现于科学刊物。但是，这些刊物所包含的大量问题讨论，对于非科学家来说，看起来却必然差不多都是一样的。人们所以要利用理论，并不是因为从中得出的预测本身有什么价值，而是因为可以直接对付实验。利用的目的在于表现这一规范的新应用，或者提高一种现有应用的精确性。

扩大理论同自然界之间的接触点经常会遇到巨大困难，正是从这些困难中产生了对上述这一种研究工作的需要。查阅一下牛顿以后的科学史，就可以扼要地说明这种困难。直到十八世纪早期，从《原理》中发现规范的科学家们认为，这本书的结论理所当然地具有普遍意义，他们也有充分的理由这样做。一本著作竟然可以这样大幅度地同时扩大研究范围、提高研究的精确性，这在科学史上已知的著作中还是没有先例的。牛顿为天体推导出了开普勒行星运动定律，也解释了月亮在观察中并不遵守这些定律的几方面的问题。他为地球推导出了关于单摆、斜面和潮汐的一些零星观察结果。借助于外加的但又正是为此目的而作的假设，他本来也有可能推导出波义耳定律和空气中声速的重要方程。就当时的科学状

况说，这些证明的成就是极其令人难忘的。但从牛顿定律所假定的普遍性看，实际应用的数量就不怎么大，牛顿也几乎没有什么另外的发展。而且，同今天任何一个物理学毕业生用这些定律所能达到的成就相比，牛顿的这一点应用甚至也不精确。

对精确性问题我们这里姑不多谈。我们已说过这个问题的经验方面。为了提供具体应用牛顿规范所要求的数据，需要有特殊的装置——象卡文迪什仪器、阿乌德机或改进的望远镜。要取得一致，在理论方面也存在同样的困难。例如，牛顿在应用摆的定律时为了给摆长下一个唯一的定义，就不得不把摆锤作为一个质点来处理。他的大部分理论，除了少数假说性的和预备性的以外，也都把空气阻力效应忽略不计。这是合理的物理学近似。但这些理论作为一种近似，又限制了牛顿的预测和实际实验之间所期望的一致。把牛顿理论应用到天体上，这个困难表现的更加明显。单纯定量的望远镜观测表明，行星并不完全遵循开普勒定律，而牛顿理论则表明，本来就不应该遵循。为了推导出这些定律，除了单个行星同太阳之间的引力，牛顿不得不忽略此外的全部吸引作用。而各行星之间却是互相吸引的，因而在所用理论同望远镜观测之间，人们也只能期望一种近似的符合。①

①沃尔夫，前引书，第

在摆的事例中，所达到的符合超过了得到这种符合的人满意的程度。任何别的理论都不能更符合了。没有一个怀疑牛顿研究工作有效的人能做到这一步，因为它只限于同实验、观察相符合。但这种局限性却为牛顿的后继者留下了很多令人入迷的理论问题。例如，必须有理论技巧才能确定一个重摆的“等效长度”。处理两个以上互相吸引物体的同时运动，也要技巧。这一些以及其他一些类似的问题，在整个十八世纪和十九世纪初叶，耗用了许多欧洲最好的数学家的精力。伯努里（Bernoulli）、欧拉（Euler）、拉格朗日（Lagrange）、拉普拉斯（Laplace）和高斯（Gauss），都为牛顿规范进一步同自然界相称而作出了某些各自最光辉的贡献。许多这样的人物都同时致力于发展牛顿从未想过的实际应用所需要的数学，例如，为解决液体力学和弦振动问题而出现了大量文献和某些非常有效的数学方法。这些实际应用问题占用了十九世纪中可能是最光辉也最耗费精力的那些科学工作。在热力学、光的波动说、电磁理论或者基本定律完全是定量的任何其他科学分支中，查阅一下它们的后规范时期的发展，还可以从中发现其他一些事例，至少在更加数学化的科学中，最理论性的工作还是属于这一种。

但也不是都属于这一种，即使在数学科学中也有说明规范的理论问题。在科学发展主要还属于定性的时期中，这些问题已占主《归纳科学史》（修订版；伦敦，1847年）；第II卷，第213～271页。要地位。在更加定量也更加定性的科学中，有些问题完全是为了通过重新表述而进行分类。例如，《原理》并不是一直证明应用是一件容易事，这部分是因为它保留了初次冒险中某些不可避免的拙劣，部分又因为只有在应用中才能显示出它的许多涵义。因此，从十八世纪的伯努里、达朗贝尔和拉格朗日到十九世纪的汉密尔顿（Hamnton）、雅可比（Jacobi）和赫芝

（Hertz），许多欧洲最卓越的数学物理学家都努力以等效的、但逻辑上和美学上更令人满意的形式把牛顿理论加以重新表述。也就是说，他们想以逻辑上更紧凑的形式展示出《原理》中外在的和内含的训诫，把这种形式应用到新提出的力学问题上以减少一些模糊不清。①

①若内·杜加：《力学史》（细沙特尔〔瑞士〕），

所有科学中都一再发生过一种同规范类似的重新表述，但大多比《原理》的重新表述引起了规范更重要的变化。这变化来源于上述说明规范的经验活动。把那一类研究作为经验工作，这样的分类的确有些任意性。同其他任何一种常规研

究相比，对规范的说明不但更有理论性，同时也更有实验基础；以前所举的例子这里也同样适用。库仑在制成他那个装置并用以进行测量以前，他必须先用电学理论确定怎样制造他的装置。他测量的结果就是那种理论的精心安排。再说，有些人设计了一些实验来区别不同的压缩生热的理论，他们一般也正是那些提出各种观点以进行比较的人。他们进行研究，不仅运用事实，也运用理论；他们的研究，不单单产生新的知识，还产生一种由于消除了他们据以工作的初始规范所残留的模糊不清而取得的更加精确的规范。在许多科学中，大多数常规研究都属于这一种。

这三类问题——判定重大事实、理论同事实相配、说明理论——我认为充斥了常规科学的文献，不管是经验科学还是理论科学。当然，它们并没有充斥整个科学文献。也还有一些非常问题，可能正是为了解决这些问题，才使整个科学事业特别值得如此花费精力。但这些非常问题并不是为了提问而必需的。它们只是在常规研究进展所准备好的特殊时机中才涌现出来的。因此，即使是那些最好的科学家所提出的绝大部分问题，通常也总是不出上面所勾画的三大类之一。在规范的指导下研究工作只能这样进行，抛弃了规范就等于不再研究规范所规定的这一门科学。

我们很快地就会发现人们的确抛弃过规范。这是科学革命所围绕的枢纽。但在开始研究这个革命之前，我们还需要对开辟道路的常现科学探索有一个更全面的看法。

IV 常规科学即解难题

刚刚接触到常规研究问题，其最为引人注目的特点也许就在于：它要求创造的新东西，不管是观念上的还是现象上的都很少。有时候，象测量波长，除结果的最奥妙的细节以外，什么都是事先已知的，只是预期的标准幅度略宽一点而已。库仑的测量也许并不一定符合平方反比定律；研究压缩生热经常得准备出现几种结果中的一种。但即使在这些情况下，预期结果即可接受结果的范围，也总是小于所能想象的范围。研究结果如果不合乎那个更小的范围，这一般正是研究工作的失败，责任不在于自然界，而在于科学家。例如，在十八世纪，人们很少注意到用盘式天平一类的仪器作测量电吸引的实验。这些实验的结果并不一致，也不单一，因而无法用来分析由此导出的规范。所以，它们自然是一些纯事实，用电学研究的进程没有关系，也不可能有关系。只有在回顾时，因为已经掌握了后来的规范，我们才能看出这些实验显示了电学现象的哪些特征。当然，库仑和他的同时代人也掌握了这种后来的规范，也就是那种用到吸引问题上就会产生同样一些预期现象的规范。这就是为什么库仑能够设计出这样一种仪器，它给出一种通过说

明规范就可以接受的结果。但也正因为这样，这个结果才不那么惊人，库仑的好几个同时代人才能够事先预见到。尽管这种只是为了说明规范的研究，目标并不是为了出乎意外的新东西。

但是，如果常规科学的目的并不在于什么真正重大的新发现——如果不能接近预期结果就是一个科学家的失败——那么为什么要完全接受这些问题呢？部分答案已经有了。至少对科学家来说，常规研究获得的结果是重大的，因为扩大了应用规范的可能范围，提高了应用的精确性。这当然还不足以说明科学家对常规研究问题所表现的热情和忠贞。比方说，仅仅为了即将获取的知识重要，没有人肯多年献身于发展更好的分光仪或改进振动弦问题的解法。利用现有工具计算星表或作进一步的测量，也往往同样重要，但科学家照例都拒绝这些活动，因为大都是重复以前经历过的程序。这就可以说明常规研究问题为什么那么令人入迷。尽管结果是可以预期的，并且常常详尽无遗，即使还有待于认识的东西也变得索然寡味了；但如何得出这一结果，却仍然很不确定。要使常规研究问题得出某一结果，也即以一种新的方式实现预期，就需要解决多种多样复杂的仪器上、观念上和数学上的难题。应功者证明自己是解难题的能手，而难题所提出的挑战又是不断推动他前进的重要力量。

“难题”和“解难题者”的术语，突出了前几页显得愈来愈重要的几个论点。把难题在用到这种完全标准的意义上，就是可用以测验解题能力或技巧的特种问题。字典里的例子就是“拼板游戏”（jigsaw puzzle）和“纵横字谜”（crossword puzzle），这正是这些难题同这里需要加以区别的常规科学问题所共有的特征。上面刚刚说过的就是特征之一。难题好不好，标准并不在于其结果是不是本来就有趣或重要。相反，真正迫切的问题，象治疗癌症或谋求持久和平，却往往根本就不是什么难题，因为可能根本就不存在任何一个解。拿拼板游戏来看，从两个不同的木板盒中随意挑出一些木板来。这个问题很有可能（当然也可能不会）甚至使最有才能的人也无能为力，因而无法用来测验解法的技巧。它决不是一个通常意义上的难题。一个难题的固有意义虽然没有标准，但肯定有一个解。

我们知道，科学界利用规范的一个收获是，只要接受了这种规范，就有了一个标准来选择那些可以肯定有解的问题。在很大程度上，这正是科学界承认它们合乎科学、或鼓励其成员从事研究的仅有问题。另外一些问题，包括许多以前曾经作为标准问题的，却被作为形而上学、作为其他学科的对象，或者有时只是因为太成问题，并不值得花费时间而被抛开了。就这一点说，一个

规范甚至可以使科学界离开那些对社会很重要、可以化为难题形式的问题，因为它们不能用规范所提做的观念工具和实验工具来表述。这种问题，可以只是一种消遣，一种十七世纪培根主义某些方面和现代某些社会科学所卓越表明的教训。常规科学之所以看来进步得这么快，原因之一就是，常规科学工作者都集中到只要他们有能力就可以题决的问题上。

但是，如果常规科学问题只是这种意义的难题，就不需要问科学家为什么这么热情而专心钻研这些问题了。一个人可以由于各种各样的原因被科学吸引过去。有实用的要求，有探索新领域的激情，有寻求秩序的希望，还有检验已有知识的动力。类似这样一些动机，也促使他选定了后来他自己也投了进去的特定问题。而且，尽管结果有时遇到挫折，仍有充分的理由说明，这样的动机为什么会首先吸引他，以后又引导他前进。

①整个科学事业的确不断证明自己的作用：打开新的境界，显示秩序，检验长期公认的信念。不过，投到正常研究问题中去的人却几乎永远不会做这一类的事。一旦投了进去，他的动力就完全属于另外一种了。这时向他挑战的是这样一个信念：只要他有足够的能力，就可以成功地解决以前谁都没有解决过或没有解决得这么好的难题。许多最伟大的科学大师们都把他们专业方面的全

副精力用到这一类亟需的难题上。在大多数情况下，任何一个专门领域都没有提出别的任务，这事实却一点也不会使醉心于此的人觉得它并无迷人之处。

①但是，由个人作用同科学走展整体模式之间的冲突所造成的挫折；有时也可以很严重。关于这个问题，见劳伦斯·S·库比（Lawrence S·Kubie），《科学事业的某些未解决的问题》，《美国科学家》，第XLI卷（1953年）；第596～613页；第XLII卷（1954年），第104～112页。

现在让我们再来谈谈在难题和常规科学问题之间另一个更困难也更有特征的共同点。作为难题进行分类，一个问题必须具有一个以上的确定解。还必须有这样的规则，既可以限制可接受解的性质，也可以限制获得这些解时所要通过的步骤。例如，要玩好拼板游戏，不仅要“凑成一幅图”。一个孩子或一个当代艺术家都可以做到这一点，就是把挑出来的木板作为没有意义的形状散到无色的地上。这样构成的图可能会比据以设计成这个游戏的图好得多，而且一定会更独到一些。不过，这样一幅图并不是一个解。要得到这个解，还必须把所有的木板都用上，把背面翻到下面，并把它们很自然地接合得不留一点空隙。这些都是支配着玩好拼板游戏的规则。纵横字谜、谜语、棋局问题等等，要得到可接受解都有

类似限制，这也不难看出。

如果我们大大扩展“规则”这个词的用法——有时会同“既定观点”或“先入之见”等同起来——那么，这些在已有研究传统范围内可以接受的问题，就会显示出某些十分类似于这一套难题的特征。造出一种工具以确定光波长的人，一定不满足于一种只能找出某种光谱线的某一数值的装置。他并不只是一个探索者或测量者。相反，他必须根据既定的光学理论本身分析他的仪器，以表明他的工具所给出的数值正是上升到理论的波长数值。如果在理论中或者在未经分析的仪器部件中，仍然留下了一些含糊之处使他不能完全证明这一点，他的同事们就会得出结论说，他什么也没有测量。例如，电子散射的极限值后来成了电子波长的标志，而在最初观察到并记录下来时，却似乎并没有什么意义。在它成为某种量度以前，它必须先依附于一种已预见到的运动物质类波行为的理论。甚至在指明那种关系以后，也必须重新设计仪器，使实验结果可以毫不含糊地同理论结合起来。①只有满足了这些条件，问题才得以解决。理论问题的可接受解，也受到类似的限制。在整个十八世纪中许多科学家都想从牛顿运动定律和引力定律中推导出人们所观察的月球运动，但一直没有做到。于是，有的人就建议用一个短距离中反平方定律的定律取代之。但这

么一来就必须改变规范，提出新难题，而不是解决老难题。结果，直到1750年有一位科学家发现可以成功地应用牛顿定律时，科学家们才不再维护这些规则。②具有改变了博弈的规则才可能有另一种选择。

①关于这些实验发展的简要说明，见C. J. 戴维逊（Davisson）在《1937年诺贝尔奖金》（斯德哥尔摩，1938年）的讲演，第4页。

②W·惠威尔（Wb6W0ll：《归纳科学史》（修订版；伦敦，1847年）；第II卷，第101～105、220～222页。

对常规科学传统的研究揭示了许多附加的规则，这些规则提供了许多关于科学家从规范得来成规的信息。关于这些规则所属的主要范畴，我们能说些什么呢？①最明显而且也许是最简要的例子，可以举出刚刚提到的那几种命题。那是对于科学定律以及有关科学概念、理论的明确说法。只要这些说法还受重视，它们就促进提出难题，限制认可的解法。例如，牛顿定律就在十八和十九世纪中完成了这些作用。在这样的期间，“物质的量”对于物理学家是基本的本体论范畴，而作用于两块物质之间的力则是主要研究课题。②在化学中，定比和倍比定律在很长时期中都有一种完全一样的力——它提出了原子量的问题，联接了化学分析中可用的结果，并告诉化学

家们原子、分子、化合物、混合物是什么。③麦克斯韦方程和统计热力学定律今天也具有同样的力量 and 作用。

但是象这样一些规则既不是仅有的，也不是历史研究中出现的最有意思的变形。在比定律和理论更低，或更具体的水平上，例如对于优先采用的仪器设备类型以及合理使用所用仪器的方式，都有许多规定。人们改变了对火在化学分解中作用的态度，对十七世纪化学的发展就起了重要作用。④在十九世纪，赫姆霍兹（Helmholtz）遇到了生理学家们对物理实验用以说明他们专业的观念的顽强抵制。⑤在本世纪，化学色层分离法的古怪历史又一次表明，有关仪器的规定也同定律和理论一样持久，也给科学家以博弈规则。⑥分析一下X射线的发现，我们就可以知道为什么会有这样一种成规。

①我应当把这个问题归功于W·O·哈格斯冲（Hasstrom）他对科学社会学的研究工作有时同我的工作有交叉。

②对牛顿主义的这几方面的问题，见I·B·柯亨（Cohen）：《富兰克林和牛顿：探索牛顿的思辨的实验科学以及由此而来的富兰克林的电学研究之例》（费城，1956年），第vii章，特别是第255～257、275～277页。

③这个例子最后在接近第X节的末尾讨论

过。

④H. 迈兹热：《法国从十七世纪开始到十八世纪结束的化学原理》（巴黎，1923年），第359～361页；玛丽·波瓦（MarieBoas）：《罗勃特·波义耳和十七世纪化学》（剑桥，1958年），第112～115页。

⑤留·康尼斯伯（Leo Konigsberger）：《赫曼·冯·赫姆霍兹》，弗朗西斯·A·威耳贝（FrancisA.Welby）译（牛津，1906年），第65～66页。

⑥詹姆士·E·门哈德（JamesE. Meinhard）：《色层分离法：一个展望》，《科学》；第CX卷（1949年），第387～392页。

历史研究有规则地显示了更高级的、准形而上学的成规，尽管它们还不就是科学永恒不变的特征，却也并不那么有局部性和暂时性。例如，大约在1630年以后，特别是在笛卡儿影响巨大的科学著作出现以后，绝大多数物理学家都认为宇宙是由微小的粒子所组成，一切自然现象都可以按照粒子的形状、大小、运动和相互作用来解释。形成各种成规的这个温床，证明既合乎形而上学，也合乎方法论。作为形而上学，它告诉科学家宇宙包含什么样的和不包含什么样的实体：宇宙之内只有运动中所形成的物质。作为方法论，它告诉科学家终极定律和基本说明一定怎么

样：定律一定要阐明粒子的运动和相互作用，说明则一定要把一切已知的自然现象都归结为这些定律支配下的粒子的作用。更加重要的是，宇宙粒子概念告诉科学家应当研究许多什么样的问题。例如，一个象波义耳那样信奉新哲学的化学家，就特别注意可视为嬗变的反应。这些反应比其他任何反应更加清楚地显示了粒子重新排列的过程，这种过程必然构成一切化学变化的基础。①在研究力学、光学、热学时，也可以看到粒子论的同样效力。

最后，在更高级水平上，另外还有一套成规，离开它任何人也成不了科学家。例如，科学家必须力求了解世界，提高使世界有秩序的精确性，并扩大这种秩序的范围。这样，这套成规又一定会反过来引导科学家要么自己、要么通过他的同事以极其细致的经验深入分析自然界的某一方面。如果这种分析表面上看来有混乱之处，那就一定要求他的观测技术更加精致，或者要求他的理论更加明确。无疑还有别的象这样的一直为科学家们所遵守的规则。

存在这样一种成规的牢固框架——概念、理论、仪器以及方法论方面的成规——就会产生一种把常现科学同解决难题联系起来的隐喻。因为成规提供的规则告诉一门成熟专业的工作者世界是怎样的，他的科学又是怎样的，他就可以很自

信地集中到这些规则和现有知识为他规定好的深奥问题上去。于是，他向自己提出的挑战就是：怎样对留下的难题给出一个解。就这样一些方面讨论难题和规则，正好说明了常现科学实践的本质。但另一方面，这种说明也可能完全误入歧途。在一定时期内把某一科学专业的所有工作者都结合在一起的规则。尽管，显然是有的，但这些规则本身并不能表明这里的专家们所有共同的实践。常规科学是一种高度确定的活动，但不需要完全由规则来确定。正因为这样，我在本文开始时引进了共有的规范，而不是共有的规则、假定和观点，尽管它们都是结成常规科学传统的源泉。我认为，规则来自规范，即使没有规则，规范仍然能够指导研究工作。

①关于一般微粒说，见玛丽·波瓦：《机械论哲学的建立》，《奥西雷斯》（Osiris）杂志，第X卷，（1952年），第412～541页。关于这种哲学对波义耳化学的作用，见T. S. 库恩：《罗勃特·波义耳和十七世纪的结构化学》，《爱西斯》杂志，第XLIII卷（1952年），第12～36页。

V 规范的优先性

为了揭示规则、规范同常规科学的关系，先看看历史学家是怎样抽出作为公认规则的特殊规定来的。只要对某一时期的某一专业作一番周密的历史研究就会发现，各种不同的理论在用到概念、观测、仪器方面时，就有一套一再重复的、半公式化的解。这就是在教科书、讲演和实验室的实验中所表现的科学界规范。相应的专业界成员用这些规范进行研究和实践，就可以学到本行的专业。当然，历史学家还会发现有些成就仍成问题的阴影区，但这里已解决的问题和技巧，其核心一般都很清楚。除去偶而有一点模糊，一个成熟科学界的规范并不怎么准确定。但确定共有的规范并不等于确定共有的规则。那还得再走一步，而且是多少有所不同的一步。走这一步时，历史学家必须把科学界的规范互相加以比较，并同它现在的研究报告作比较。这样做的目的是为了发现，科学界成员从更完整的规范中抽象出什么样的表面的或暗含的独立因素，又在他们的研究工作中安排了什么样的因素作为规则。任何人想要描述或分析这个特定科学传统的进化，一定会找到这样一种公认的原则和规则。如上一节所指出，几乎可以肯定，他总会得到一部

分成功。但是，如果他的经验同我完全一样，他也会发现寻找规则不但比寻找规范更困难，而且更不容易满意。他用以描述科学界共有信息的某些命题，看上去毫无问题。但另外一些，包括上文某些作为例证的，却似乎阴影重重。不管他能想出什么措词来，某些科学界成员总要反对的。不过，只要研究工作传统的内部联系可以按照规则来理解，这方面的共同根据就需要有某种说明。于是，想寻找一套足以形成某一常规研究传统的规则，就会接连不断地碰到重大挫折。

但只要认清这种挫折，就有可能找到根源。科学家们都会同意牛顿、拉瓦锡、麦克斯韦或爱因斯坦对一些突出的问题作出了似乎永恒的解答，他们却不会同意那种使解答具有永恒性的特有的抽象特征，尽管有时不一定意识到。就是说，科学家们在鉴别规范时可以一致，而在全面解释规范或使之合理化时意见不一致，甚至根本没有想去进行这样的解释或合理化。缺乏标准的解释，或没有一致同意归结为一些规则，就不能阻止规范指导研究。直接检查规范也能部分决定常规科学，但这个过程往往也要借助于而不依赖于规则和假设的形成。尽管一种规范的存在甚至并不一定意味着有什么整套规则的存在。①

这些说法的第一个后果，是不可避免地提出了问题。没有一套强有力的规则，还有什么能够

把科学家限制到特定的常规科学传统呢？“直接检查规范”这个短语可能意味着什么呢？近年来路德维希·维特根斯坦（LudwigWittgenstein）对这一类问题提出了部分答案，尽管是在一种十分不同的上下文中提出的。而这种上下文关系却更为基本，更为熟悉，从而可以首先考虑他的论证形式。维特根斯坦问道，为了毫不含糊而且不会挑起争论地使用“椅子”、“树叶”或“游戏”等词，我们必需了解些什么呢？②

①迈克耳·波朗依（MichaelPolanyi）曾天才地提出了一个非常类似的命题，证明科学家的许多成就都依赖于“不言而喻的知识”，也就是通过实践而获得的、不能明确分析的知识。见他的《个人知识》（芝加哥，1958年），特别是第V、VI章。

②路德维希·维特根斯坦：《哲学探讨》，G.E.M.安斯孔伯（Anscombe）译（纽约，1953年）；第31～36页。但维特根斯坦对于那一种必然要支持他所勾画的命名方法的世界，他却简直什么也没有说。因此以下所说的不能全部归之于他。

这个问题是很古老的，而且，只要说我们必然自觉地或直观地知道一张椅子、一片树叶或一场游戏是什么，这个问题一般也就得到了解答。这就是说，我们必须抓住全部的游戏和唯一的游

戏所共有的某一组属性。但维特根斯坦的结论却说，只要有了我们使用语言的方式以及我们用来表述的那种世界，并不一定再有这样一套特征。讨论许多游戏或椅子或树叶所共有的某些属性，虽然常常可以帮助我们学会使用相应的词，但是并不存在一组既可以用到这一类的所有成分、同时也可以用到它的个别成分的特征。碰上一种前所未有的活动，我们就会用“游戏”这个词，因为这时我们所看到的活动同以前学会用这个名字来称呼的许多活动，很象是“一家人”。简言之，对维特根斯坦来说，游戏、椅子、树叶都是自然界的不同家族，每一个家族都有一张重迭、交叉的相象之网。这张网充分说明，我们已成功地识别了有关的对象或活动。只要我们所说的家族互相重迭并且逐渐互相溶合起来——就是说，只要不是天生的家族——那么我们在识别和命名方面所获得的成功就会证实，相应于我们所使用的每一类名称都有一组共有的特征。

对于各种从单一常规科学传统内部所产生的研究问题和研究技巧，有些同类的东西也很有效。这并不是说，这些共同性的东西就满足了某些表面的甚至完全可以揭示出来的整套规则和假设，它们赋予传统所具有的特点并使之在科学思想中不断加强起来。这只是说，它们可以通过这种相象，通过模拟抱有疑问的科学界已承认是成

就的科学某一组成部分而联结起来。科学家总是按照在学习和后来接触的文献中得到的模型进行工作，但他们往往并不怎么了解或者不怎么需要了解，是些什么样的特征使这些模型具有科学界规范的地位。正因为这样，他们再也不需要整套规则了，他们参与其中的研究传统所显示的这种一致性，并不意味着下面还有一套基本规则和假设可以通过历史研究和哲学研究而揭示。科学家们通常并不去问，也不去争辩，某一个问题或解答是怎样合理的，这就很容易使我们以为，至少是直觉地以为他们知道答案。这只能表明，无论是问题还是答案同他们的研究工作都没有什么关系。研究工作可以明明白白地从一套规则中引出来，但规范却比任何一套这样的规则都要更为优先，更为适合，更加完整。

到此为止，这一点还完全停留在理论上：如果不是发现不了的规则作梗，规范是能够规定常规科学的。为了使这个问题更清楚，更迫切，现在让我指出为什么我们相信规范正是这样起作用的一些理由。第一个理由已充分讨论过，即发现曾指导常规科学的规则，困难是很大的。这个困难，很象一个哲学家想说明一切游戏具有什么共同点时所遇到的困难一样。第二个——前一个其实就是它的必然结果——来源于科学教育的本质。已经很清楚，科学家决不会抽象地学习概

念、定律和理论本身。相反，这些理性工具，在历史上和教学中，从一开始就是同应用一起并通过应用而优先显示出来的东西。一种新理论总是同它在某一具体自然现象领域的应用一起发表的，离开应用，理论不会有任何被接受的可能。被接受以后，这种以及其他应用就随着理论一起进入了教科书，未来的工作者即由此而学到他们的专业。在这里它们并不只是一种装璜，甚至也不只是一种证件。恰恰相反，学习理论的过程依存于应用研究，包括用纸和笔以及用实验室的工具实际解题。例如，如果学习牛顿力学的学生曾发现过“力”、“质量”、“空间”、“时间”等术语的意义，那一定不是由于他从课本中不完善的，尽管有时也有所帮助的定义出发，而是由于他观察并参与了用这些概念解题的过程。

这个自己动手或通过行动的学习过程，一直贯穿在整个创立专业的过程之中。随着学生们从大学一年级上到通过博士论文，给他的问题也愈来愈复杂，愈没有先例可援。但是他们继续机械模拟以前的成就，同样，他们在以后的独立科学生涯中也是按常规投身于这样的问题中，人们可以随意设想，科学家就是这样从什么地方为自己直观地抽象出博奕规则来的，但没有什么理由可以相信这一点。许多科学家们，虽然可以轻易而有把握地谈论某一已成为现有研究工作一个具体

部分的个别假说，但对于说明这个领域的已有基础、合理问题和方法的特征，却未必会比外行更好一些。如果他们彻底学会了这样的抽象，他们就可以主要通过他们的研究能力来表明。而不求助于假定的博弈规则，也可以了解这种能力。

科学教育的这些结果具有这样一个反面，即提供了第三个理由去设想：规范可以通过象抽象规则一样的直接模拟指导研究。。只有在有关科学界已毫无问题地接受了某种问题解法时，常现科学才能没有规范而继续进行下去。因此，只要人们感到规范和模型不可靠，规则就重要，无关乎规则的特征也会消失。事实也正是这样。特别是前规范时期是以频繁而激烈地争论合理方法、问题和求解标准为标志的，尽管这些争论主要是促进学派的划分，而不是达到一致。我们已谈过光学和电学的一些争论，在十七世纪的化学和十九世纪的地质学中，这种争论所起的作用还要大。①而且，这样的争论也没有由于规范的出现而一劳永逸地消失掉。在常规科学时期绝大多数争论虽然并不存在，但在科学革命之前和革命期间却可以有规则地再现出来，这时规范先受冲击，以后又随时可以改变。从牛顿力学到量子力学的过渡激起了许多关于物理学的本质和准则的争论，有些争论直到现在仍在进行。②有些今天仍然在世的人还会记得由麦克斯韦电磁理论和统

计力学所引起的类似辩论。③更早一些，伽里略和牛顿力学的同化分用，在科学的合理准则问题上同亚里士多德派、笛卡儿派、莱布尼茨派都发生了一系列特别著名的争论。④对于他们领域的基本问题是否已得到解决，当科学家们没有取得一致时，对规则的探求就获得了一种一般情况下所没有的作用。但只要规范仍然可靠，即使没有对合理化取得一致意见，甚至根本没有想过合理化问题，规范也能够发挥作用。

①关于化学，见凡梅兹热：《法国从十七世纪开始到十八世纪结束的化学原理》，（巴黎，1923年），第24-27、146~149页Z玛丽·波阿：

《罗伯特·波义耳和十七世纪化学。（剑桥，1958年），第II章。关于地质学，见沃特·F·坎农

（WalteF. Cannon）：《渐变论和突变论之争》《爱西斯》杂志，第LI卷（1960年），第38~55页；C.C. 吉利斯庇（Gillispie）：《发生和地质学》（马萨诸塞州，坎布里奇，1951年），第IV~V章。

②关于量子力学中的争论，见让·乌莫（JeanUllmo）：《量子物理学危机》（巴黎，1950年），第II章。

③关于统计力学；见伦尼·杜加（ReneDugas）：《波耳兹曼关于感觉的物理学理论及其现代的发展》（纳沙特尔，1959年），

第158~184、206~219页。关于麦克斯韦工作之被接受，见马克斯·普朗克（MaxPlanck）：《麦克斯韦在德国的影响》，载《詹姆士·克拉克·麦克斯韦：纪念册，1831~1931》（剑桥，1931年），第45~65页；特别是第58~63页；西凡尼·P·汤普逊（Silvanus. PThompson）：《拉格斯（Largd）的威廉·汤姆逊·开尔文男爵（WilliamThomson Baron Kelvin）》（伦敦，1910年），第11卷，第1021~1027页。

④关于同亚里士多德派战斗的实例，见A.柯依列：《关于从开普勒到牛顿的衰落问题的史实》，《美国哲学学会会报》，第XLV卷（1955年），第329~395页。关于同笛卡尔派和莱布尼茨派的争治，见庇尔·布鲁尼特（pierreBrunet）：《十八世纪牛顿理论的引进法国》巴黎，1931年）；A.柯依列：《从封闭世界到无穷宇宙》（巴尔的摩；1957年），第XI章。

本节最后论述：承认规范比共有的规则和假设具有优先地位，还有第四个理由。本文导言中曾提出，可以有大的革命，也可以有小的革命，有的只影响附属专业的成员，有的即使是发现一种出乎意外的新现象对这种集体也可以是革命。下一节将引进一种特定的革命，为什么会有那种革命还远远没有搞清楚。如果常规科学如上面所说的那么严密，如果科学界也那么紧密结合，一

次规范的改变怎么会只影响一个小小的附属集体呢？上面已说过的似乎意味着，常规科学是一种唯一整体性的统一事业，必然同它所有的规范共存亡，也同其中任何一个规范共存亡。但科学显然很少是那样，甚至决不会那样。纵观整个科学领域；看来往往倒是一种各个不同部分之间结合松弛的结构。这一点同人们非常熟悉的观测没有任何冲突。恰恰相反，用规范代替规则会造成各不相同的科学部门以及更便于了解的专业。外在的科学规则只要有，一般就会广泛为科学集体所共有，但规范却不一定。有些科学部门彼此相距很远，比方天文学同植物分类学，这里的科学工作者们受教于非常不同的书中所描述的十分不同的成就。有些人即使处于同样或密切有关的部门中，一开头就研究了许多同样的书本和成就，他们却也会在专业专门化的过程中获得相当不同的规范。

试以物理科学家所组成的又大又分歧的物理学界为例。这个集体中的每一个成员今天都学过，比方说，量子力学，其中绝大多数也在他们的研究和教学中从某一点上运用了量子力学定律。但他们并没有都学过这些定律的同一应用，从而他们也没有以同一方式受到量子力学实践变化的影响。在专业专门化的道路上，只有少数物理学家接触到量子力学的基本原理。另外一些仔

细研究了把这些原理作为规范应用于化学，还有一些则应用于固态物理学，等等。量子力学对他们每一个究竟意味着什么，这取决于他们听过什么课程，读过什么课本，还研究过哪些报刊。由此可见，量子力学定律的变化对所有这些集体虽然都是革命性的，但这种变化只表明量子力学作为规范的某一种应用，因而只是对特定的附属专业的成员才必然是革命的。对这个专业的其他部分以及研究其他物理科学的人来说，就完全不一定有这样的变化了。简言之，虽然量子力学（或者牛顿力学，或者电磁理论）是许多科学家集体的规范，但并不是对所有的人都是一样的规范。因此，它可以同时决定常规科学的某一些没有因共同扩展而相互重迭的传统。在这样一种传统之中所产生的革命并不一定也扩展到别的传统中去。

对科学专门化的后果作一个简要说明，可能会加强这全部论点的说服力。有个研究者希望知道一点科学家们怎样看待原子论，就问一个著名的物理学家和一个卓越的化学家单个氢原子究竟是不是一个分子。两个人都毫不犹豫地作了回答，但回答得不一样。化学家认为氢原子是分子，因为它象一个分子一样按照气体运动理论行动。而物理学家则认为氢原子不是分子，因为它没有显出分子的光谱来。可以认为两个人都在谈

论同一个粒子，但是各人又各自从自己所受的研究训练和自己的实践出发来看这个粒子。他们解决问题的经验告诉他们一个分子必然是什么。毫无疑问，他们的经验有许多是共同的，但在目前这种情况下，经验却无法告诉这两位专家同样的事情。当我们继续讨论下去就会发现，引出重大结果的规范有时可能具有怎样的差异。

VI 反常和科学发现的涌现

常规科学，即我们刚刚考察过的解难题活动，是一种高度积累性的事业，它追求的目标即科学知识稳步的扩大和精确化，是有杰出成就的。在各个方面它都极其确切地符合于科学工作最通常的观念。但科学事业一个十分典型的成果却在落空。常规科学的目标并不在于事实或理论的新颖，就是成功时也毫无新颖之处。而科学研究却不断地揭示出意料之外的新现象，科学家们也一再发明出崭新的理论。科学史甚至表明，科学事业创造了这样一种使人惊讶的唯一有力的方法。如果科学的这一特征同上面所说的一致，那么在规范下进行的研究就必然是一种特别有效的引起规范变化的方式。这正是事实 and 理论中所包含的本质上的新东西的作用。在一套规则指导下所进行的博奕无意之中造就了这些新东西，却需要精心制作另一套规则来吸收它们。它们一旦成为科学的组成部分，科学事业，起码是这些新东西所在领域的专家们的科学事业，就再也不会完全一样了。既然先是发现，即出现新的事实，后是发明，即出现新的理论，那么我们一定要问，这一类的变化究竟是怎样发生的。但发现和发明的区别，也即事实和理论的区别，可以马

上证明完全是人为的。这种人为性对本文一些主要论点是一个重要线索。本节其他部分考察某些发现之后，我们很快就会看到，它们并不是孤立的事件，而是持续的事件具有一种按一定规则周期出现的结构。发现开始于感到反常，也即发觉自然界不知怎么违反了由规范引起并支配着常规科学的预期。接着是对这个反常区域或多或少地扩大进行探索。直到把规范理论调整到反常的东西成了预期的东西为止。吸收~类新事实要求更多地调整理论，直到调整好——科学家学会以另一种方式看待自然界——一新的事实才会真正成为科学事实。

要知道新事实和新理论在科学发现中是怎样密切纠缠在一起的，可以看一个特别著名的例子：氧的发现。起码有三个人对此事拥有合法权利，而另外几个化学家在十八世纪七十年代早期也一定在试管中得到过这种浓缩的气体而不得知①。常规科学的进步，在这里也即气体化学的进步，准备好了彻底打开一条新的道路。最早一个取得这种气体的比较纯粹的样品是瑞典的药剂师C. W. 舍勒（Scheele）。但我们可以忽略他的工作，因为直到到处都在反复宣布发现了氧以后他的工作才发表出来，从而没有对我们这里最为关心的历史模式产生什么影响。②第二个及时提出要求的是英国科学家和牧师约瑟夫·普里斯特利

(Jpsehpriestley)，他把红色氧化汞加热所释放的气体收集起来，作为对大量固态物质所放“空气”的一项长期的正常研究。1774年他把这样产生出来的气体看成是一氧化二氮，1775年通过进一步的检验，又看成是所含燃素少于通常情况的普通空气。第三个要求优先权的是拉瓦锡，他是在1774年普里斯特利实验以后，而且很可能是受到普里斯特利暗示的结果，才开始他的关于氧的研究工作。1775年初拉瓦锡就报告过，红色氧化汞加热所得气体是“没有任何改变的空气本身入除了].....变得更纯、更宜于呼吸。”③到1777年拉瓦锡可能又利用普里斯特利的第二个暗示而得出结论说，这是另一种气体，是大气的两种主要成分之一，这是一个普里斯特利所永远不能接受的结论。

①关于氧的发现更经典的讨论，见A. N. 梅耳专 (Meldrum)：《十八世纪的科学革命——第一阶段》（加尔各答，1930年），（第V章。最近有个不可少的评论，包括关于优先性争论的记载，即毛利斯·道玛 (Maurice Daumas)；《拉瓦锡——理论家和实验家。（巴黎，1955年），第ii~iii章。更完整的记载和目录，见T.S. 库恩：《科学发现的历史结构》，《科学》，第CXXXVI卷（1962年6月1日），第760~764页。

②见乌诺·包克伦德（Uno

Bocklund）：《舍勒给拉瓦锡的一封信》，《里希诺》（Lychnos）杂志，1957～1958年，第39～62页，对舍勒的作用有不同的评价。

③J. B. 柯南特：《燃素说的衰亡：1775～1789年的化学革命》（《哈佛实验科学案例史料》；案例2；马萨诸塞州，坎布里奇，1950年），第23页。这本很有用的小册子在许多有关文献中再版过。

这一种发现模式提出了一个问题，这问题也可以向任何一种科学家所觉察的新现象提出。究竟是谁首先发现了氧呢，是普里斯特利还是拉瓦锡，如果确是他们两个人中间一个的话？不管是谁，又是什么时候发现的呢？即使只有一个人提出要求，仍然可以提出这样的问题。答案如要裁决优先权和日期，我们完全没有兴趣。但试图提出一个答案，这本身就很能说明发现的本质，因为根本就没有所要寻求的那种答案。发现并不是那种可以恰如其分地对它提出问题的过程。被询问的事实——从十八世纪八十年代以来发现氧的优先权一直在争夺不休——对科学观念有某种歪曲的迹象，而正是这种科学观念才使发现具有如此根本的作用。再看看我们的例子。普里斯特利要求氧的发现权，根据是他优先把那种后来认为正是氧的气体分离出来。但是普里斯特利的样品

并不纯，如果一个人手里拿着不纯的氧就算发现了氧，那么任何一个曾经用瓶子装过空气的人都发现过氧。此外，如果普里斯特利是发现者，那么什么时候发现的呢？

1774年他以为他得到了笑气，这是一种他已知的气体；1775年他又把这种气体看作是去燃素空气，仍然不是氧，对于燃素说化学家甚至仍然是一种完全出乎意料的气体。拉瓦锡的要求可能更有力一些，但也带来了同样的问题。如果我们不肯把棕榈叶给于普里斯特利，我们也就不能由于拉瓦锡1775年的工作而授给他，这项工作不过使他把这种气体鉴定为“空气本身”。我们也许可以等待一下拉瓦锡在1776年和1777年的工作，到那时他不但看到了这种气体，还看出了这种气体是什么。但即使这样来裁判也还是有问题，因为从1777年到他一生的结束，拉瓦锡一直坚持氧是一种原子“酸素”，氧气也只是这种“素”同热质即热的物质结合而成。①难道我们因此可以说氧在1777年还没有发现吗？这可能会诱使一些人这样做。但是直到1810年以后才把酸素从化学中清除出去，而热质则一直拖到十九世纪六十年代才解决。氧在这两个日期以前早已成为一种典型的化学物质了。

①H. 迈兹热：《拉瓦锡的物质哲学》（巴黎，1935年）；道玛；前引书，第vii章。

显然，我们需要有一套新词汇和新概念来分析象氧的发现这一类事件。“发现氧”这句话虽然确凿无疑，但又暗指：发现什么东西只不过是我們通常（也是大成问题的）用“看到”这个概念也能包含的那样一种简单活动，这也会使我们误入歧途。正因为这样，我们才乐于假定发现同看到或摸到一样，可以毫不含糊地归之于某一个人或某一时刻。但是归之于某一时刻永远不可能，归之于某一个人也经常不可能。撇开舍勒不谈，我们有把握说在1774年以前并没有发现氧，我们也有可能说到1777年或稍晚一些时候发现了氧。但在这样一些界限内，任何一种想确定发现日期的企图都不可避免是任意的，因为发现某一类新现象必然是一桩复杂的事件，里面既包括认清事物是那个东西，又包括认清它是什么东西。例如试看，如果我们认为氧是去燃素空气，我们就应当毫不动摇地坚持普里斯特利发现了氧，尽管我们仍然不大知道他是什么时候发现的。但是如果观察同观察的理论化，也即事实同事实被吸收进理论，都不可分割地结合于发现之中，那么发现就是个过程，必须花费时间。只有一切有关的观念范畴都事先准备好，也即现象根本不属于新类，发现那个东西和发现它是什么东西才会毫不费力地同时一起实现。

现在我们承认发现包含一段延续的、虽然不

一定很长的从观念上吸收的过程。我们也可以说这里面包含着规范的变化吗？这个问题还没有得出普遍的答案，但至少在这种情况下答案应当是肯定的。拉瓦锡在他1777年以来的论文中所公布的内容，关于氧的发现问题少于氧的燃烧理论。这个理论是化学重新表述的重大基石，因而通常都把它叫做化学革命。实际上，如果从氧的发现中并没有涌现出化学新规范的本质部分，那么我们从一开始所讨论的优先权问题就决不会显得这么重要了。既然这样，一种新现象及其发现者所具有的价值，将随着我们估计现象违反规范预见程度的大小而改变。但应注意，氧的发现后来虽然很重要，它本身却没有引起化学理论的变化。远在拉瓦锡在这个发现中还没有起什么作用很久以前，他就深信燃素说有点不对头，燃烧物体也吸收了大气中的一点什么。在一本密封的笔记里他记下了很多这方面的内容，1772年把它寄存在法国科学院的秘书那里。①对氧的这些研究工作从形式和结构上大大补充了对拉瓦锡早期看法的某些失误。这些工作告诉他一件他还在准备去发现的事情——从空气中烧掉的物质的性质。预感到的困难一定起过重要作用，使拉瓦锡能够在象普里斯特利一样的实验中看到了后者所看不到的一种气体。反过来说，必须有一次重大的规范修改才能看到拉瓦锡所看到的東西，这事实必然是

普里斯特利在其漫长的一生中依然不能看到的主要原因。

另外还有两个简明得多的事例，可以大为加强上述论点，同时也可以帮助我们阐明发现的本质，理解发现从科学中涌现出来的条件。为了表明有所发现的主要方式，我们所选择的这两个事例不但彼此不同，也和氧的发现不同。第一个事例是X射线，这是一个经典的通过偶然事件而发现的事例，这种类型的涌现，比那种我们更易于理解的科学公报中非个人完成的典型事例更为频繁。事情开始于物理学家伦琴中断了阴极射线的正常研究，因为他注意到，在放电过程中，从离开遮蔽好的仪器一定距离外，铂氰化钡屏幕在发光。再进一步的研究——经过了伦琴很少离开实验室的激动人心的七个星期——表明，光是从阴极射线管沿直线发出来的，射线投出的阴影不可能由磁铁或其他许多东西而偏转。在伦琴公布这个发现以来，他深信这种效应不是由于阴极射线，而是由于某种至少类似于光的作用。②

①关于拉瓦锡不满的原因最权威的叙述：是亨利·盖拉克（Henry Guerlac）的书：《拉瓦锡——关键的一年；他在1772年作燃烧实验的背景和起源》（纽约州，伊萨卡，1961年）。

②L. W. 泰勒（Taylor）：《物理学，先驱的科学》（波士顿，1941年）；第790～794页；

T.W. 查莫斯 (Chalmers): 《历史研究》(伦敦, 1949年)。第218~219页。

这么一个简要的梗概也可以表明, 它同氧的发现具有惊人的类似之处: 在用红色氧化汞作实验以前, 拉瓦锡已作过一些去燃素规范下没有得到预期结果的实验; 伦琴的发现则开始于确认他的屏幕在不应当发光时发出光来。在这两种情况下所觉察到的异常——就是说, 觉察到规范没有使研究者有所准备的现象——在准备以什么方式觉察新事物方面发挥了重大作用。但是, 也是在这两种情况下觉察到出了点什么纰漏, 则只是发现的前奏。没有进一步的试验和吸收的过程, 无论是氧或者是X射线都不会出现。伦琴研究到什么时候才可以说他确实发现了X射线呢? 无论如何并不是只看到一个发光屏幕的一瞬间。起码还有另外一个研究者看到过那种光, 使他后来大为懊恼的是, 他什么也没有发现。①同样清楚的是, 发现的时间也不能推前到伦琴的研究工作最后一周, 那时他已在探索他已经发现的新射线的特性了。我们只能说, X射线是在1895年11月8日到12月28日之间在维尔茨堡 (Wurzburg) 涌现出来的。

①E. T惠泰克 (Whittaker): 《以太和电的理论的历史》, 第1卷 (第2版; 伦敦, 1951年), 第358页, 注1。乔治·汤姆逊爵士

（Sir George Thomsom）曾告诉我第二件交臂失之的事。威廉·克鲁克斯爵士（Sir William Crookes）由难以辨别的模糊底片而引起注意，他也曾处在这个发现的思路上。

但在第三个方面，存在于氧和X射线的发现之间的这种重要的相似之处，就远没有那么明显了。X射线的发现和氧不同，至少它并没有在以后十年中涉及理论上任何明显的激变。那么，在什么意义上可以说吸收这个发现也要求规范的变化呢？用这个事例否定这样一种变化到很有力。可以肯定，伦琴及其同时代人所赞成的规范并不曾用以预测出X射线来（当时麦克斯韦的电磁理论还没有普遍被接受，阴极射线的粒子理论还只是几种流行观点中的一种）。但是任何一种这样的规范，至少从任何明确的意义上说，都无法禁止X射线的存在，正象燃素说无法禁止拉瓦锡对普里斯特利气体所作的解释一样。相反，1895年公认的科学理论和实践承认了许许多多发光的形式——可见光、红外线、紫外线。为什么不能把X射线作为这一类自然现象的又一种形式而接受呢？为什么不能把它当作多发现一种化学元素一样地收下来呢？在伦琴的时代，还在继续寻求并找到新的元素以充实周期表上的空位。这样的追求是常规科学的标准课题，其成功只能使人祝贺，不能使人惊讶。

但X射线不仅引起了惊讶，而且引起了震动。开尔文勋爵（Lord Kelvin）宣称这是一场精心策划的骗局。①另外一些人虽然不能怀疑证据，但也显然摇摆不定。X射线虽然没有受到现成理论的阻挡，却也深深触犯了顽固的预想。这些预想，我认为都暗含在已有实验程序的设计和解释之中。到十九世纪九十年代许多欧洲的实验室中还在广泛布置阴极射线装置。如果伦琴的仪器产生了X射线，那么也一定有过许多实验家有时曾经产生过这种射线而不自知。这种射线也许还有其他未知来源，也许以前曾经把它解释为某种同X射线无关的行为。最低限度，有几种久已熟知的仪器未来必须用铝加以屏蔽。以前的正常研究已完成的工作，现在必须重新做过，因为先前的科学家们不曾掌握和控制一个有关的变量。可以肯定，X射线开拓了一个新的领域，从而为常规科学扩大了潜在的版图。但是X射线也改变了现已存在的领域，现在这一点尤为重要。在这个过程中它否定了以前作为合乎规范的仪器类型的资格。

S. P. 汤普逊：《拉格斯的威廉·汤姆逊·开尔文男爵的生平》（伦敦，1910年），第II卷，第1125页。

总之，使用特定的仪器，又以特定的方式使用，结果不管自觉与否，只能容许某几种情况出

现。这里既有理论上的预测，也有仪器作用的预测，它们对科学发展往往都有决定性作用。例如，氧发现得太迟的一部分经过情况，就是这样一种预测。在对“空气的良性”进行典型测试时，无论普里斯特利或者拉瓦锡都是把两份这种气体同一份笑气混合，把混合物放到水上振荡，再测量残余气体的体积。以前的经验形成了这个标准程序，这种经验使他们确信残余气体所含大气中的空气是一份，所含任何其他气体（或污染过的大气）则多一些。在氧的实验中他们二人都发现有一种残余物很接近于一份；接着又对这种气体作了鉴定。只是在很久以后而且部分是出于偶然，普里斯特利才放弃了这个标准程序，试图按别的比例把这种气体同笑气混合。后来他发现用四份笑气几乎就没有任何残余物了。他支持本来的试验程序——由大量过去的经验所形成的程序——也曾经同时就是否定存在一种可以象氧那样活动的气体。①

如果说到象铀裂变为什么也鉴别得太迟，这样的事情可能就更多了。核反应为什么特别难于辨认，一个原因在于，已知轰击铀会产生什么结果的人主要是针对周期表上端的元素选择化学试验。②这样一种工具限制既然不断证明走了错路，我们是不是应当由此得出结论说科学要放弃各种标准试验和标准工具呢？那必然带来一种不

可理解的研究方法。规范程序和应用，正象规范定律和理论一样，都是科学所需要的，都具有同样的作用。在任何既定时刻，它们都不可避免地要限制科学探索所容许的现象范围。对这一点认识清楚了，我们就会同时看到，对于科学界某一特定部门来说，象X射线这样的发现使规范必须发生变化的重大意义——因而也必须发生程序和预测方面的变化。由此我们也可以理解，X射线的发现为什么可能对许多科学家打开一个奇妙的新世界，为什么又可能有力地参与导致二十世纪物理学的危机。

①柯南特。前引书；第18~20页。

②K. K. 达罗 (Darrow)：《核裂变》，《贝尔公司技术期刊》，第XIX卷（1940年），第267~289页。裂变的两种主要产物之一的氪，看来只有在充分了解了这种反应以后才能用化学方法鉴别出来。另一产物钡几乎直到研究末尾才从化学上鉴别出来，因为这种元素碰巧必须加到放射性溶液中才能沉淀出这种核化学家正在寻找的重元素来。由于不能把追加的钡从放射性产物中分离出来；因而在对这种反应反复研究了差不多五年以后，才最后提出以下的报告：“作为化学家；这一研究使我们……改变了所有上述[反应]公式中的名称，以钡、镧、铯代替了镭、锕、锶。但是作为同物理学密切联系的‘核化学家’，

我们无法使自己完成这个同以前的全部核物理学经验都有矛盾的飞跃。可能是一系列奇怪的偶然事件使我们的结果成了骗局。”（奥托·哈恩 [Otto Hahn] 和弗雷茨·斯特劳曼 [Fritz Strassman]）

我们关于科学发现的最后一个事例，是莱顿瓶的发现，它可以归于理论推导那一类。起初这个术语似乎有点自相矛盾。以上所说很多都表明，理论事先预见到的发现都是常规科学的组成部分，不会产生新类型的事实。例如前面曾说过，十九世纪后半叶新化学元素的发现就是常规科学这样引起的。但并不是所有理论都是规范理论。不管是在前规范时期还是在引起规范巨大变化的危机过程中，科学家们通常总要提出许多思辨的、模糊的理论，以指明发现的途径。但发现却往往并不完全是这种思辨性和试探性的假设所预期的一个。只有当实验同试探性理论相互配合了，发现才会涌现出来，理论才会变成规范。

莱顿瓶的发现象我们考察过的其他发现一样，也显示了所有这些特征。电学研究开始时一个规范也没有。从比较可以理解的现象中所得出的许多理论，倒是在进行竞争。它们之中任何一种理论都不能把多种多样的电学现象条理化。失败的原因就在于一些反常现象，正是它们促成了莱顿瓶的发现。参与竞争的一个电学家学派认

为，电是一种流体，这个想法使好多人都想把这种流体盛起来，办法是一手拿一只盛满了水的玻璃小瓶，使水接触正在发电的静电发电机导线。另一只手从发电机那里移开小瓶使之接触水（或与之连接的导线）时，每个研究者都会体验到一记厉害的电击。但是另外一些实验却未能为电学家提供一只莱顿瓶。这种装置涌现得更慢了，也无法确切地说出这个发现是什么时候完成的。起初能够进行蓄集电流体的尝试，仅仅是因为研究者是站在地上手拿小瓶子进行的。电学家还必须学习到不但瓶子里面需要一层导体涂料，外面也需要，而电流体实际上根本就不是蓄集在瓶子里面的。在探索过程中他们偶而发现了这一点，还看到了某些其他的异常效应，于是我们称之为莱顿瓶的装置就涌现了。更进一步，导致莱顿瓶出现的实验，其中有很多都是富兰克林所完成的，也使流体说必须大大修改，从而为电提供了第一个全面的规范。①

在或大或小的程度上（对应于从电击到预见结果的系列），上述三个事例所共有的特征，也是新类型现象所由以涌现的一切新发现的特征。这些特征有：事先觉察的反常，逐步而又同时涌现的观测上和概念上的认识，以及经常受到抵抗的规范范畴和规范程序的必然变化。甚至可以证明同一些特征已渗透到感知过程本身的性质之

中。在专业以外理当了解得更好的心理学实验中，布伦纳（Bruner）和泡斯特曼（Postman）要求实验对象从短时间受控的出示中分辨出一系列的扑克牌来。许多牌合乎正常，但也有一些作得反常，例如有一张红色的黑桃六和一张黑色的红心四。在一系列逐步加多的出示中，每一次实验只给一个对象看一张牌。每次出示后问他看到了什么，实验总是以连续两次辨别正确而告结束。

②

①关于莱顿瓶的不同发展阶段，见I. B. 柯亨：《富兰克林和牛顿：思辨的牛顿实验科学以及由此而来的富兰克林电学研究之例》（菲拉德尔菲亚，1959年），第385～386、400～406、452～467、506—507页。惠泰克叙述过最后阶段，前引书，第50～52页。

②J.S.布伦纳和里欧·泡斯特曼：《论不快调感觉：一种规范》，《人格期刊》，第XVIII卷（1949年），第206～223页。

即使出示的时间最短，许多对象也辨得清绝大多数牌，而稍微延长一点时间，所有的对象就把所有的牌都辨清了。对于正常的牌一般总是辨别得了，但对反常的牌则几乎总是表面上毫不犹豫或困惑地看成了正常牌。例如，黑色的红心四要么看成是黑桃四，要么看成是红心四。人们可以没有感到任何问题就立即把它归之于一个由先

入为主的经验所准备好的概念范畴中。人们甚至不大会说实验对象看到同他所要辨别的什么东西有点什么异样。比方看到了红色的黑桃六，有的说那是黑桃六，但出了点纰漏——黑底上有红镶边。再拉长出示时间，就会引起更多的犹豫和混乱，直到最后，有时大多数对象会一下子毫不犹豫地辨别清楚了。而且，认过两三张这样的怪牌以后，他们再对付别的牌就没有更多困难了。

但也有少数对象始终不能对他们的范畴作必要的调整。即使把辨明正常牌所需平均出示时间延长40倍，仍然有百分之10的怪牌认不出来。失败者往往自己感到十分苦恼。有一个叫了起来：“什么花色我也认不出来。那回简直不象是一张牌。我不知道现在它又是什么颜色，究竟是一张黑桃还是一张红心。我现在简直不能确定一张黑桃是什么样子的。我的天呀！”^①下一节我们将看到科学家的行为也常常是这样。

①J. S.布伦纳和里欧·泡斯特曼：《论不协调感觉；一种规范》，《人格期刊》，第XVIII卷（1949年），第218页。我的同事泡斯特曼告诉我，即使事先知道一切纸牌及其表现她还是发现人们在看到这种自相矛盾的牌时所引起的严重不安。

这个心理学实验，不管是作为隐喻，还是因为反映了思维本质，总是为科学发现的过程提供

了一个异常简单而又异常有说服力的公式。科学也象扑克牌实验一样，新事物总是随同困难一起涌现出来，这种困难是通过由于违反了预期的根据所造成的障碍而表现的。起初，即使在后来发现有反常现象的情况下，也只能感受到预想的和通常的东西。但进一步的认识就会使人们觉察到有点什么不对头了，并把这种效应同以前曾经出过纰漏的事情联系起来。于是，对反常的觉察就开辟了一个调整理性范畴的时期，一直调整到最初的反常现象成为预期现象为止。到这时发现就完成了。我已强调过这种过程以及与之十分类似的过程，总是同科学上重大新事物的涌现纠缠在一起的。现在让我再指出，认清了这个过程我们最后就可以开始看到，常规科学的目的尽管并不在于寻求新事物，起初甚至还倾向于压制新事物，但也可以同样有效地引起新事物的产生。

在任何一门科学的发展中，最初公认的规范经常令人感到，它已十分成功地说明了为什么绝大多数观察和实验易于为科学工作者所理解。因此，更进一步的发展一般总是要求制造精致的装置，也即发展深奥的词汇和技巧，并把概念加以精炼，不断地使它同它在一般常识中的原型区别开来。这个专门化的过程一方面使科学家的视野受到极大的限制，使规范变化也受到相当的阻碍。科学愈来愈严格了。另一方面，在科学界由

于规范的引导而集中注意的领域中，常规科学也带来了知识的细节，带来了任何别的办法都达不到的观察与理论的精确配合。而且，这些细节和配合的精确性，价值超过了它本身所具有的并不总是很大的固有意义。如果没有那种主要为了达到预期作用而制造的特殊仪器，就不可能最终导致新事物的出现。而且，就是有了这种仪器，新事物一般也只能出现于这些人面前，他们确切知道他们应当期待什么，因而他们能够认清出了什么岔子。反常现象看来只是违反规范所提供的背景。规范愈是确切，愈是广泛，它对反常现象、从而也即对规范变化的时机提供愈是灵敏的指示器。在科学发现的正常方式中，即使是对变化的阻力也具有一种作用，下一节对此将作更全面的讨论。保护规范不会太容易遭到抛弃，因而阻力就可以保证科学家也不会轻易受到迷惑，使规范发生改变的反常现象也不会侵入现存知识的核心。科学上的重大新事物常常同时从几个实验室涌现出来，这个事实正是常规科学顽强的传统性标志，也是传统的探索为自己准备好了变化方式的标志。

VII 危机和科学理论的涌现

第VI节所考察的各种发现，或者是规范变化的原因，或者促进了规范的变化。而且，这种隐含着这些发现的变化是建设性创，同样也是破坏性的。科学家吸收了这些发现以后，就能够说明更大范围的自然现象，或者更为精确地说明某些以前已知的现象。但要达到这一点，只有放弃以前的某些标准信念和方法，同时还要用别的来代替以前的部分规范。这样一种变革，我已论证过，是同所有通过常规科学得来的发现结合在一起的，但要排除那种除细节以外一般都可以预见的毫不惊人的发现。发现还不是这种破坏—建设性的规范变化的唯一来源。本节我们开始考察由新理论的发明所引起的同样的、但常常更大得多的变革。

已经论证过，在科学中，事实和理论、发现和发明并不是范畴上永远不同，因而可以料想这一节同上一节会有所重迭。（不能说普里斯特利首先发现氧，拉瓦锡以后又发明氧，但这种说法又很有吸引力。氧作为发现我们已碰见过了，我们马上又要把它作为发明来迎接。）在处理新理论的涌现时，我们必然也要扩大我们对发现的理解。重迭不就是同一。并不是、至少并不单单是由于上一节所考察的各种发现，才有这

样一些规范变革，如哥白尼革命、牛顿革命、化学革命、爱因斯坦革命。也不是由于这些发现才有某些更专门从而也更小一些的规范改变，如光的波动理论、热力学理论或麦克斯韦电磁理论。这样的理论怎么可能从常规科学之中产生呢？这种常现科学活动更少是为了理论探索，更多是为了科学发现。

觉察到反常如果确实对新类型现象的涌现起作用，那么谁也不会奇怪，这一类更深刻的觉察正是一切可接受理论变化的必要前提。对这一点，我想历史的证据是绝不含糊的。托勒密天文学的情况是哥白尼宣言之前一桩丑闻。①伽里略研究运动的贡献密切依赖于经院批评家仍在亚里士多德理论中所发现的困难。②牛顿关于光 and 色的新理论来源于没有一种现存前规范理论可以说明光谱长度的发现；而代替牛顿理论的是波动理论，在人们愈来愈关心衍射效应和极化效应对牛顿理论的关系中的反常现象时，这一理论正好公布。③热力学是从十九世纪并存的两种物理理论的冲突中产生的，量子力学是从黑体辐射、比热、光电效应周围的各种困难中产生的。④而且，除牛顿一例以外，在所有其他事例中都早就深深觉察到反常了，人们甚至可以把这些影响所涉及的领域恰如其分地说成是处于一种不断增长的危机状态。它要求大规模的规范破坏以及对常

规科学的问题和技巧进行重大变革，因而新理论涌现之前一般都有一个专业显著不稳定的时期。不出人们所料，这种不稳定来源于常规科学长期解不开它所应当解开的难题。现有规则的失败，正是寻求新的规则的前奏。

①A. R.霍尔（Hall）：《1500～1800年的科学革命》（伦敦，1954年），第16页。

②马歇尔·克莱杰特（Marshall Clagett）：《中世纪的力学科学》（威斯康辛州，梅迪逊，1959年），第II～III部。A. 伽依列在他的《伽里略研究》（巴黎，1939年）中指出了伽里略思想中的许多中世纪成分，特别见于该书第I卷中。

③关于牛顿，见T.S.库恩：《牛顿的光学论文》，载。伊萨克·牛顿自然哲学中的论文书信》，I·B·柯亨编（马萨诸塞州，坎布里奇，1958年），第27～45页。关于波动理论的前奏，见E. T. 惠泰克：《以太和电理论的历史》，第1卷（第2版；伦敦，1951年），第94～109页；W. 惠威尔（Whewell）：《归纳科学史》（修订版；伦敦；1847年）；第II卷，第396～466页。

④关于热力学，见

S.P.汤普逊：《拉格斯的威廉·汤姆逊·开尔文男爵的生平》（伦敦，1910年），第1卷，第266～281页。关于量子理论，见弗雷茨·雷舍

（FritzReiche）：《量子理论》，H. S. 海特菲尔德（Hatfield）和H. L. 布罗兹（Brose）译（伦敦；1922年），第i~ii章。

先来看看规范变化的一个特别著名的事件，即哥白尼天文学的涌现。它的先驱托勒密体系先在公元前最后两个世纪和公元后最初两个世纪发展起来，那时这个体系在预言恒星和行星的位置变化方面取得了值得赞美的成功。任何一种其他古代理论都做不到这么好。对于恒星，托勒密天文学今天仍然作为一种技术上的近似而得到广泛应用；对于行星，托勒密的预测也同哥白尼的一样可靠。但是，对一种科学理论来说，值得赞美的成功决不是完美无缺的成功。托勒密体系不管是对行星位置还是对春分、秋分的岁差所作的预测，总是不能很符合最好的观测。进一步减少那些细小的误差，成了许多托勒密的后继者的许多常规天文学研究的首要问题，正象把天体观测同牛顿理论结合起来的同样的尝试，也为牛顿在十八世纪的后继者提出了正常研究问题。有时候天文学家完全有理由假定，这些尝试也可以同导出托勒密体系的尝试一样成功。对于某一误差，天文学家们总是可以通过调整托勒密体系中的复合圆环而消除。但随着时间的推移，人们只要注意一下许多天文学家正常研究活动的最后结果就可以发现，天文学的混乱性比精确性提高得要快得

多，这里校正了一种误差，那里又会冒出另一种来。①

因为天文学传统一再为外界所打断，又因为天文学家之间的联系受到没有印刷的限制，这些困难慢慢才被认识到。最后终于觉察了。到十三世纪阿耳丰叟十世（Alfonso X）宣称，上帝在创世时如果请教过他，一定会获致忠言。在十六世纪，哥白尼的合作者多米尼加·达·诺瓦拉

（Domenico da Novara）坚持，决不会有一种象托勒密体系那么繁杂、那么不确切的体系，竟然可能符合真实的自然界。哥白尼本人在《天体运行论》一书的序言中也写过，他所继承的那种天文学传统最后造出来的只能是一个妖怪。到十六世纪初欧洲愈来愈多最优秀的天文学家都认识到，天文学规范已不能应用于它自己的传统问题了。这样的认识，正是哥白尼放弃了托勒密规范而另找新规范的必要前提。他这个著名的序言至今仍然是对一种危机状态的经典叙述。②

①J. L. E. 德雷耶（Dreyer）《天文学史从泰勒斯到开普勒》（第2版；纽约，1953年），第 xi～Xii 章。

②T. S 库恩：《哥白尼革命》（马萨诸塞州；坎布里奇，1957年），第135～143页。

从技术上按常规解决难题的活动中断了，当然这还不是哥白尼所面临的天文学危机的唯一因

素。进一步的研究又考虑到改革日历的社会压力，这压力使岁差的难题更为迫切。还有，更全面的说明还要考虑中世纪亚里士多德派的批评、新柏拉图主义的复兴，以及其他一些重大的历史因素。但是技术上的中断仍然成了危机的核心问题。在成熟科学中——天文学在古代已经成熟了——象上面所引证的那些外界因素，主要的作用是确定了中断的时机，使中断更易于理解，还规定了中断因为受到特殊注意而最先出现的领域。这一类的问题虽然极其重要，但已超出了本文的界限。

如果哥白尼革命的事例大致已经清楚了，让我们转到第二个情况不大一样的事例上，即以拉瓦锡的氧燃烧理论的涌现为前导的危机。十八世纪七十年代由于化学中许多因素的相互结合而产生了一次危机，历史学家无论是对这些因素的性质或是对它们的相对重要性都有不同看法。其中有两个因素一般都认为具有头等重要性：气体化学的兴起和重量关系问题。前者的历史开始于十七世纪空气泵的发展及其在化学实验中的应用。以后一个世纪中化学家们通过空气泵和其他许多气体装置愈来愈认识到，空气一定是化学反应中一种活泼的成分。但是化学家们借助于一些例外——简直含糊得可能根本不是例外——还是相信空气只是一种气体。直到1756年约瑟夫·布莱克表

明可以明确地把“固定空气”（ CO_2 ）从普通空气中分离出来，人们仍然认为这两种气体的样品只是因为不纯才有区别。①

①J·R·帕亨顿（Partington）：《化学简史》（第2版；伦敦，1951年）。第48～51、73～85、90～120页。

布莱克的工作以后，气体研究进展迅速，在卡文迪什、普里斯特利、舍勒等人手里成绩尤为斐然，他们创造了一系列可以鉴别不同气体样品的新技术，所有这些人，从布莱克到舍勒，都相信燃素说，都经常用这个理论设计和解释实验。舍勒为了取得除去燃素的热质，实际上是第一次通过一连串精致的实验而获得了氧。但这些实验的最后结果出现了各种各样的气体样品和属性，复杂得使燃素说愈来愈应付不了实验室的经验。这些化学家们尽管都没有提出过应当取代这种理论，但再也不能始终如一地用它了。到十八世纪七十年代初拉瓦锡开始作空气实验时，几乎有多少气体化学家就有多少燃素说的变形。①一种理论的变形骤增，正是危机的一般迹象。在哥白尼的序言中也抱怨过这一点。

①虽然他们主要关心的是稍晚一些的时期，但许多有关材料部散见于I. R. 帕丁顿和道格拉斯·麦启（Douglas Mckie）的《烧素说的历史研究》，《科学年鉴》，第11卷（1937年），第

361~404页2第Ⅲ卷（1938年），第1~58、337~371页；第Ⅱ卷（1939年），第337~371页。

燃素说对气体化学愈来愈模棱两可，用处也愈来愈少，这还不是拉瓦锡面临危机的唯一根源。他还很关心解释大多数物体燃烧或焙烧以后的重量增加，这又是一个具有一段长长史前期的问题。至少有几个穆斯林化学家早已知道某些金属在焙烧后可以增重。十七世纪有几个研究者从同一事实中得出结论说，焙烧过的金属从大气中搞来了一些成分。但在十七世纪大多数化学家似乎还不需要这个结论。如果化学反应可以改变各种成分的体积、颜色和质地，为什么不能改变重量呢？重量并不总是测量物质的量。而且，由焙烧而来的增重仍然是一种孤立的现象。大多数自然物（如水头），如燃素说后来所说的，焙烧后失去重量。

但是经过十八世纪，原先对增重问题的满意回答就愈来愈难以维持了。一方面这是因为天平作为一种化学工具用得愈来愈多。另一方面因为气体化学的发展使之有可能也有需要保留气体反应物，化学家发现了愈来愈多的焙烧引起增重的实例。同时，由于化学家逐渐接受了牛顿的引力理论，也使他们坚持认为，重量的增加也必然是物质的量的增加。这些结论并不一定要放弃燃素说，因为还可以做各种各样的调整。也许燃素具

有负重量，也许火粒子或者别的什么东西在燃素离开时进入了焙烧物。此外还有一些其他解释。但是，增量问题即使没有否定燃素说，它也一定会膨胀起来，引出愈来愈多的专题研究。其中的一个专题是：《关于把燃素作为一种同重量一起并按重量变化〔分解〕的实体在与之化合的物体中的产生》，1772年在法国科学院宣读，而这一年正好是以拉瓦锡向科学院秘书递交了他著名的密封短筒而结束的。在写这张短筒以前，化学家们多年来已接近觉察边缘的一个问题已成了一个突出的未解难题。①人们精心设计了燃素说的许多不同的说法来对付。象气体化学问题一样，增重问题也使燃素说愈来愈难以理解究竟是怎么回事了。人们虽然仍旧委托它作为一种研究工具，但这个十八世纪化学的规范却已在逐步失去独一无二的地位。在这个规范指导下的研究，已愈来愈类似于前规范时期在各个相互竞争的学派支配下的研究，这正是危机另一种典型的效应。

现在再来看看第三个也是最后一个事例，即为相对论的涌现开辟道路的十九世纪末期物理学危机。这一次危机的一个根源可以追溯到十七世纪末，当时许多自然科学家，最著名的是莱布尼兹，都批判了经典绝对空间概念的最新变形中的牛顿痕迹。②他们已很有可能，尽管绝不是完全可能，表明绝对位置和绝对运动在牛顿体系中根

本没有作用；他们又确实从值得重视的美学要求方面成功地暗示了，一种关于空间和运动的彻底相对性概念以后必将出现。但他们的批评是纯逻辑的。象早期的哥白尼派批评亚里士多德对地球静止的证明一样，他们作梦也没有想到向相对论体系过渡竟会得到观测的效果。他们绝没有把他们的观点同牛顿理论用于自然界所引起的任何问题联系起来。结果，他们的观点在十八世纪最初几十年中就同他们本人一起死去了，只是在十九世纪最后几十年中，当这些观点同物理学实践具有一种大不一样的关系时才重新复活起来。

①H. 盖拉克：《拉瓦锡——关键的一年》（纽约州；伊萨卡；1961年）。全书证实了危机的发展和以及对危机的最初认识。关于拉瓦锡的处境的清晰说明，见该书第35页。

②马克斯·詹莫（Max Jammer）：《空间概念：物理学空间理论的历史》（马萨诸塞州，坎布里奇；1954年）；第114～124页。

把空间的相对哲学最后加以叙述的技术问题，大约在1815年以后随着接受光的波动理论而开始进入常规科学，尽管直到十九世纪九十年代才激起危机来。如果光是牛顿定律支配下机械性以太中扩散的波动，那么无论是通过天体观测或是通过地球实验都应当能够探测出穿过以太的漂

移。关于天体观测，只有观测光行差才有可能提供充分精确的有关信息，因此，通过测量光行差以探测以太漂移，就成了常规科学一个公认的问题。人们制造了许多特殊装置来解决这个问题。但这些装置没有探测出任何可见的漂移，于是这个问题就从实验家和观测家那里转移到理论家那里去了。在这个世纪的中叶，菲涅尔

（Fresnel）、斯托克斯（Stokes）等人设想了许多企图解释为什么看不到漂移的以太理论说明。每一种说明都假定运动体拖曳了以太的某一部分。每一种都十分成功地解释了天体观测以及地球实验的否定结果，包括著名的迈克尔逊

（Michelson）和莫雷（Morles）实验的结果。①除了各种不同说明之间的矛盾以外，仍然是没有什么矛盾的。若不是有了某种适当的实验技术，这种矛盾永远不会尖锐起来。

只是由于十九世纪最后二十年中逐步接受了麦克斯韦的电磁理论，这种局势才又一次发生变化。麦克斯韦本人是个牛顿派，他相信光和电磁一般都是由于一种机械性以太粒子不断位移的结果。他的电磁理论的最初形式是直接运用这些他所赋予这种介质的假想的属性。他最后的理论已把这些属性抛掉了，但他仍然相信他的电磁理论同牛顿机械观的某种说明并无矛盾。②提出一种合适的说明，对他和他的后继者都是一个挑战。

但是在实践中，正象科学发展中所一再经历的那样，要创造出那种所需要的形式是极其困难的。正象哥白尼天文学出现以后，不管作者是多么乐观，却造成对已有运动理论的不断加深的危机；同样，麦克斯韦理论也不管它是怎样来源于牛顿理论，最后也对它所由之出身的规范造成了一次危机。③不仅如此，这一次危机之所以最为严重，原因就在于我们正在研究的相对于以太的运动问题。

①约瑟夫·拉摩：《以太和物质……包括地球运动对光现象的影响的讨》（剑桥，1900年），第6～20、320～322页。

②R.T. 格累兹布鲁克：《詹姆士·克拉克·麦克斯韦和现代物理学》（伦敦，1896年），第ix章。关于麦克斯韦最后的看法，见他自己的书：《论电和磁》（第3版5牛津；1892年）；第470页。

③关于天文学在力学发展中的作用，见库恩，前引书，第VII章。

麦克斯韦讨论物体运动中的电磁行为，没有涉及以太的拖曳，这就证明很难把这种拖曳纳入他的理论之中。结果，探测穿越以太的漂移的全部早期观测都成了反常现象。因此，1890年以后的年代又目击了一长串实验方面和理论方面的努力，以探测相对于以太的运动并把以太拖曳纳入

麦克斯韦理论。前者始终未能成功，尽管有些分析家认为结果模棱两可。后者提供了大量富有希望的开端，特别是洛仑兹（Lorentz）和菲茨杰拉德（Fitzgerald）的开端，但他们也揭出了更多的难题，最后又正好使进行竞争的理论激增，即我们前已明确的危机伴生物。②1905年涌现了爱因斯坦的狭义相对论，就违反了历史的安排。

②惠泰克，前引书；第I卷，第586～410页；第II卷（伦敦，1953年），第27～40页。

这三个事例几乎都十分典型。在每个事例中，新理论都只能在常规解题活动已宣布失败以后才涌现。而且，除了在哥白尼一例中科学以外的因素起了特别巨大的作用，旧理论的破产以及各种理论的骤然激增作为一个信号，不会超过新理论发表前一、二十年。新理论就象是对危机的直接回答。但还要注意，尽管也许不那么典型，引起旧理论破产的那些问题也都属对早已知道的那些问题。常规科学以前的实践完全有理由认为。这些问题已经解决或接近解决了，这就可以说明，为什么当失败来临的时候失败的感觉会那么尖锐。一种新型的问题解决不了，常常使人失望，但从来不使人惊讶。问题也好，难题也好，往往不会屈服于第一次的进军。最后，这几个事例还共同具有另一个特点，使它们对危机的作用更为重要：每一次危机的解决在有关科学未发生

危机时至少可以部分预见得到；但在没有危机的情况下却又总是忽视了这样的预见。

有一个唯一完整的也是最著名的预见，即公元前三世纪的阿利斯塔克（Aristarchus）对哥白尼日心说的预见。人们常说，如果希腊科学的演绎性不那么厉害，不那么受教条的束缚，日心说天文学就可能早在实际提出的十七个世纪以前就开始提出了。^①但这就忽视了全部历史的前后关系。当阿利斯塔克提出他的学说时，更为合理得多的地心系统并不需要日心说来满足它所能满足的任何需要。托勒密天文学的全部发展，它的成功和衰败，都发生在阿利斯塔克学说以后几个世纪里。而且，也没有什么明显的理由要特别重视阿利斯塔克。即使是哥白尼更为精致的学说，比托勒密系统既不更简单，也不更精确。有效的观察试验，如我们下面将看得更清楚的，并没有这二者之间提供什么选择的根据。在这些情况下，使天文学家们趋向哥白尼的因素之一（也是使他们不能趋向阿利斯塔克的因素之一）就是人们认识到了危机，首先是由于危机，才有新的创造。托勒密天文学未能解决问题，时间为一个竞争者提供了机会。我们另外的二个事例没有提供这样完整的预见。但可以肯定，吸收大气的燃烧理论——十七世纪由雷（Rey）、胡克（Hooke）和梅约（Mayow）所提出的理论——之所以未能使人

们全力倾听，原因在于这种理论没有触及常规科学实践中人们认识到的难点。②十八～十九世纪的科学家们长期忽视从相对性观点对牛顿的批评，主要是由于它在竞争之中也未能取胜。

科学哲学家们曾一再证明，根据同样一套材料总可以提出一种以上的理论构造。科学史表明，特别是在一种新规范的初期发展阶段上，发明这样一种替代的理论并不是很困难。但是，除非是在有关科学发展的前规范时期和后来进化中非常特殊的时机中，这种发明却正好是科学家所很少进行的。只要规范所提供的工具还能够解决它所规定的问题，科学就进展得最快，可以最深入地合理利用这些工具。理由是清楚的，科学象制造业一样——更换工具是一种浪费，只能留到需要的时候进行。危机的意义就在于它可以指示更换工具的时机已经到来。

①关于阿利斯塔克的工作，见T.L.希思（Health）：《萨莫斯岛（Samos）的阿利斯塔克：古代的哥白尼》（牛津，1913年，第II部。关于对忽视阿利斯塔克成就的传统地位的极端说法，见阿瑟·郭斯特勒：《梦游者：人类对宇宙不断变化的认识历史》（伦敦，1959年），第50页。

②帕亨顿，同上书，第78～85页。

VIII 对危机的反应

于是，让我们假定，危机是新理论出现所必需的前提条件，然后问科学家们对危机的存在怎样反应。首先要注意，当科学家们面临甚至很严重而长期的反常情况时所决不去做的事情，就能发现一部分回答，这是很重要的，也是显而易见的。虽然他们会开始失去信心，然后去考虑另一个可供选择的方案，但他们并没有抛弃把他们引进危机的规范。那就是说，他们并没有把反常情况看成是逆事例，不过在科学哲学的词汇里，这就是逆事例。这种概括在某种程度上只不过是一种以历史事实为依据的陈述，其基础就是象上面提出的和下面更广泛地提出的那些事例。这些事例暗示，以后我们对规范的考查、抛弃将更加充分地表示什么？一个科学理论一旦达到了规范的地位，只有当一个更迭的候补者适合于取代它的位置时，才被宣布为站不住脚的。然而，科学发展的历史研究根本没有揭示变化过程，正象直接与自然界比较不足以证明这种方法论框框无根据一样。那种议论并不意味着科学家们不抛弃科学理论，或者说经验和实验在他们这样做的过程中是不必要的。但是它确实意味着，那种把科学家们引向抛弃一种以前接受了理论的判断行为，

始终不止是以那种理论同这个世界相比较为依据的，这最终将成为一个核心论点。抛弃一个规范的决定，始终是同接受另一个规范的决定同时发生的，导致那种决定的判断，既包括规范同自然界，又包括相互间的比较。此外，对科学家们因为面临反常现象或逆事例而抛弃规范抱怀疑态度还有第二条理由。在发挥这条理由时，我的论据本身将预示这篇论文的另一个主要论点。上述抱怀疑态度的理由纯粹是事实；那就是说，它们本身是一种流行的认识论的逆事例。因此，如果我的观点是正确的，它们最多只能有助于造成一种危机，或者更准确地说，有助于加强一种已经在很大程度上存在的危机。它们本身不能也不会证明那种哲学理论是错误的，它的辩护人会去做我们已经看到科学家们在面临反常情况时所做的事情。为了消除任何显而易见的冲突，他们会想出许多衔接方式和对他们的理论的特定限制。事实上，在文献中已经有许多恰当的限制。因此，如果这些认识论上的逆事例是要构成一种比较次要的刺激物，那就会因为他们的帮助而允许有一种新的不同的科学分析出现，在这个范围内，他们就不再是困难的来源。而且，如果有一种典型可以适用于这里，那么这些反常现象就不再被认为仅仅是事实了，我们以后将在科学革命中评述这种典型。在科学知识的一种新理论的范

围内，他们似乎很象同义反复，对形势的陈述不能想象有另外的方式。

例如，人们往往已经注意到，牛顿第二运动定律尽管承受了几个世纪，事实上和理论研究上的困难才达到，但对于那些交给牛顿理论的现象来说，却表现得很象一个纯逻辑的陈述，再多的观察也不能驳倒。①在第X节里，我们将看到，化学上的定比定律，在道尔顿（Dalton）以前，是一种偶然的实验上的发现，很含糊的概括，在道尔顿的工作以后，成了化学化合物的定义的组成部分、靠实验工作本身已不可能推翻了。这种概括很象科学家们面临反常现象或逆事例时不能抛弃规范那样也是会发生的。他们不能这样做，但仍然是科学家。

虽然历史大概不会记录他们的名字，有些人因为他们不能容忍危机，无疑已经被迫抛弃科学。有创造性的科学家，象艺术家一样，必须能偶然在混乱的世界里生活，我在别处把这种必要性描述为科学研究中固有的“必要的压力”。②但是，我想，抛弃科学以支持另一种职业，是仅有的一种规范，靠逆事例本身就能导致抛弃这种规范。一旦发现了第一种并用来观察自然界的规范，就再也不会再有那种缺乏任何规范的研究工作。抛弃一种规范而不同时以另一种去代替，就是抛弃科学本身。那种行动不仅在规范上，而且

在人上都有反映。他不可避免地会被他的同伴着成是“责备他的工具的木匠。”

N.R.汉生（Hanson:《发现的模式》（剑桥, 1958）；第99~105页中的讨论。

② T. S.库恩:《必要的压力:科学研究的传统和创新》, 犹太大学第三届(1959年)识别有创造性的科学人才研究会, 卡尔文·W·泰勒(Calvin W. Taylor)编(盐湖城, 1959年), 第162~177页。对于艺术家中间的可以比较的现象, 见弗蓝克·巴伦(Frank Barron):《想象的心理学》,《科学美国人》, 第CXCIX卷(1958年9月); 第151~166页; 特别是160页。

相反, 同样的论点至少可以是等效的; 没有逆事例就不会有研究工作。因为把常规科学同处在危机状态中的科学区别开来的是什么? 当然不是前者没有面临逆事例。正相反, 我们前面所说的构成常规科学的难题, 只是因为没有规范才存在, 规范为科学研究提供基础, 并完备地解决它的全部问题。曾经有很少数似乎是这样做的学科(例如, 几何光学), 不久就完全不再发生研究问题, 而成为工程的工具。除了那些唯一起作用的问题外, 常规科学观为难题的每一个问题都可以从另一种观点一种逆事例, 因而是一种危机的来源。哥白尼看成是逆事例的, 在托勒密的大多数其他继承者看来则是观察和理论之间相适合的

难题。拉瓦锡看成是逆事例的，在普利斯特列看来则是在燃素说中成功地解决了的难题。爱因斯坦看成是逆事例的，在洛伦兹·菲茨杰拉德和其他人看来则是牛顿和麦克斯韦理论中的难题。而且，危机的存在本身并没有把一个难题转化为逆事例。并没有这样鲜明的分界线。而由于规范形式的激增，危机通过最终允许一种新规范的涌现而使正常的解题规则松弛。我认为，只有两种可能，或者是没有一种科学理论曾面临逆事例，或者是所有科学理论一直面临着逆事例。

这种情况怎样才能被看成不是那样呢？那问题必然导致对哲学的、历史的和批判的解释，而那些题目在这里是被排斥在外的。但是我们至少能指出两条理由，为什么科学被认为如此易于为这个一般原则提供一种说明，即真理和谬误唯一地和明确地由陈述和事实的对抗决定的。常规科学务必而且必须不断地力求使理论和事实更紧密地一致起来，那种活动很容易被看成是检验，或寻求证实或证明是错误的。它的目的是要解一个难题，因为它的存在就必须假定规范有效。只有这个科学家而不是这种理论不相信不足以得到一个解。在这里，甚至比上面更可以用那句谚语。“蹩脚的木匠责备他的工具。”此外，科学教育把讨论一种理论同评论它的典型应用纠缠在一起，这种方式有助于加强一种主要是从其他来源

证实了的理论。人们提出要这样做的最不重要的理由是，读科学教科书的人能容易地把这种应用理解为这个理论的证据，为什么应当相信它的理由。但是学科学的学生是因为教师和教科书的权威，而不是因为证据接受各种理论的。他们有什么选择余地呢？或者有什么能力呢？教科书中提出的应用并不是作为证据，而是因为学习它们是在流行的练习的基础上学习规范的一部分。如果应用是作为证据提出的，那么教科书的失败本身就使人想起另一个可供选择的解释，或者去讨论科学家们不能产生规范的各种问题，使他们的极端偏爱的作者相信各种解决办法。这样一种指控是一点道理也没有的。

那么，怎样回到最初的问题呢？科学家们对意识到理论和自然界之间相适应方面的一种反常情况是否有反应呢？刚才所说的情况表明，即使不一致比理论的其他应用中经验到的大得多，也不需要引出很深刻的反应。始终有某些不一致。即使是最难对付的不一致，最后也会对正常的实践有反应。科学家们往往愿意等待，如果有许多问题在这领域的其他部分中有用时尤其如此。例如，我们已经注意到，在牛顿最初的计算以后六十年间，预言的月球近地点运动仍然只有观察到的一半。当欧洲最优秀的数学物理学家继续毫无成就地努力要解决这个著名的不一致时，偶而也

有人建议修改牛顿的平方反比定律。但是没有一个人很认真地对待这些建议，而且实际上已经证明容忍一个严重的反常现象是正确的。克莱劳特（Clairaut）于1750年已能证明，反而是应用的数学错了，而牛顿的理论象以前一样仍然有效。①甚至在许多情况中似乎很可能没有一点错误（或许因为所包含的数学是比较简单的或者是熟悉的在别处是很成功的一种），坚持和认识反常，并不总是引起危机。没有一个人因为来自牛顿理论的预言和声速及水星运动两者之间的早已认识了的不一致而对牛顿的理论认真地表示怀疑的。第一个不一致最后几乎完全出乎意料地是因为根本不同的目的而进行的关于热的实验解决的；第二个不一致是在一次危机以后随着广义相对论消失的，它在创造中并没有作用。②显然两者都没有被看成足够根本去引起同危机一起起作用的的不适。它们可能被认为是反例，并且在今后工作中仍旧被放在一边。

①W. 惠威尔：《归纳科学的历史》（修订版；伦敦。1847年），第II卷。第220～221页。

关于声速；见T.S.库恩，《绝热压缩的热理论》《爱西斯》；第XLIV卷（1958年）。第136～137页。关于水星近日点的长期移动，见E.

T. 惠泰克：《以太理论和电的历史》；第II卷；（伦敦，1953年），第151～179页。

因此，如果一种反常现象是会引起危机的，它通常必须不仅是一种反常现象。而在适应规范性方面总会有各种困难；其中大多数或早或迟常常是靠不能预见的办法弄姿的。科学家停止考查他所注意到的每一种反常现象，就很少会做成有影响的工作。因而，我们必须问，是什么使一种反常现象看来值得一致努力去考查，对于这个问题，可能没有完全一致的回答。我们已经考查过的情况是很独特的，但决不是根据传统获得的。有时，一种反常现象会清楚地使这规范的明确而基本的判断发生问题，就象以太阻力问题对于那些接受麦克斯韦理论的人们所做的那样。或者，象在哥白尼革命中那样，一种反常现象并没有明显的基本重要性，只要它所禁止的应用在实践中特别重要，在这种情况下，对日历设计和占星术，就会引起危机。或者，象在十八世纪的化学中，常规科学的发展会使以前仅仅是一种使人烦恼的反常现象改变成危机的源泉：重量关系问题，在气体化学技术发展起来以后，就具有十分不同的状况。大概还有其他情况能使一种反常现象特别紧迫，通常几种情况会互相结合。例如，我们已经注意到，哥白尼面临的危机的一个源泉是时间的长短，在此期间，天文学家们同减少托勒密体系中残留的不一致所作的斗争颇不成功。

为了这些理由或其他类似的理由，当一种反

常现象达到看来是常规科学的另一个难题的地步时，就开始转化为危机和非常科学。于是这种反常现象本身就这样被同行们更为普遍地认识了。这领域的越来越多的著名人物对它越来越注意。如果它仍然继续反抗，虽然通常它并不反抗，许多人就会认为它的解决是他们学科的主要问题。对于他们，这领域看来不再和早先一样了。它的部分不同的外表仅仅是科学考查的新的固定点。改变的一个甚至更为重要的来源是许多部分解的发散性质，使这问题已取得一致的注意。对反对问题的早期攻击会十分紧密地引起规范规则。但是随着连续不断的反对，对它的越来越多的攻击会包括某些小的或不那么小的规范的连接方式，它们中间没有两个是完全相象的，每一个有一部分成功，但是没有一个足以被这个集体当作规范来接受。由于这种发散的连接方式激增（他们会越来越频繁地被描述为特定的调正），常规科学的规则变得越来越模糊了。虽然仍然有一个规范，但只有少数实践者证明完全同意它是什么。甚至以前已经解决了的问题的标准解也成了问题。

当尖锐化时，有关的科学家有时就认识了这种形势。哥白尼抱怨说，在他的时代，天文学家们“在天文学研究中是如此不一致……以致他们甚至不能解释或观察季节年的长度。”他继续

说，“关于他们，就好象一个艺术家从不同的模特儿身上为他的象收集手、脚、头和其他部分，每一个部分都画得很好，但是与整个身体不符合，因此它们一点也不能互相协调，结果将是魔鬼，而不是人。”①爱因斯坦，由于受现在运用的不那么华丽的语言的限制，只是写道：“它好象地基已经从下面被抽掉了，无论哪里看到的都没有牢固的基础，人们能在它上面建设。”②沃尔夫干·鲍利（WolfgangPauli）在海森伯关于矩阵力学的论文指明新量子理论的道路前几个月，给一个朋友写道：“在这时刻，物理学又混乱得可怕。无论如何，它对我来说是太困难了，我希望，我曾是一个电影喜剧演员，或者某种类似的东西，而且从来没有听到过物理学。”如果同鲍利不到五个月以后的话对比，那种说明就给人以特别深刻的印象：“海森伯型的力学又一次给了我生活中的希望和快乐。当然它并没有提供谜底，但是我相信，它又有可能前进了。”③

①引自T.S.库恩，《哥白尼革命》（马萨诸塞州，坎布里奇：1957年），第138页。

②爱因斯坦：《自传》，载《爱因斯坦：哲学家-

科学家》，P.A.希尔泼（Schilpp）编（依利诺斯州，伊文斯顿，1949年）。第45页。

③腊耳夫·克朗尼希（RalphKronig）：《转

折点》，载二十世纪的理论物理学：《沃尔夫冈·鲍利纪念文集》，M·菲尔兹（Fierz）和V. F·韦斯科夫（Weisskopf）编（纽约；1960年），第22、25～26页。这篇文章的大部分在描述1925年以前几年量子力学中的危机。

如此明确的认识上的崩溃是很少见的，但是危机的效应并不完全取决于对它的自觉的认识。我们能说这些效应是些什么呢？它们中只有两条看来是普遍的。一切危机都是从一种规范变模糊开始的，接着就使正常研究的规则松弛了。在这方商，危机时期的研究很象前规范时期的研究，但前者不同的地方比较小，而且是更清楚地规定了。同时一切危机都随着规范的新的候补者出现。以及随后为接受它斗争而告终。这些都是以后几年要考虑的问题，但是为了完成关于这种危机状态的进化和解剖的评述，我们必须预先说一点在那儿要说的话。

从一种处在危机中的规范过渡到一种新的规范，由此而能出现常规科学的一种新传统，远不是一个积累的过程，不是靠老规范的分析 and 推广而达到的。不如说它是这领域按新原理的一种重建，是一种改变这领域的某些最基本的理论推广，以及它的许多规范方法和应用的重建。在过渡时期，会有一大批问题，既能由老规范解决，也能由新规范解决，在这些问题之间决不会完全

重迭。但是解决的方式也会有决定性的差别。当过渡完成时，同行会改变对这领域的观点、方法和目的。一个有洞察力的历史学家在考察由于规范改变而重定科学方向的经典情况时，最近把它描述为“拾起拐棍的另一头，”象以前一样处理同一堆数据的一种方法，但是，要给它们一个不同的框架，而使它们处在一个新的相互关系的体系中。①其他注意到科学进展的这个方面的人们强调了它在改变形象化方式方面的同一性：“纸上的这个符号最初看来象一只鸟，现在看来象一只羚羊，或者反过来也是这样”。②那种类似的事物可能是使人误解的。科学家们没有看到某些东西象其他一些东西；相反，他们仅仅看到它。我们已经考虑了某些由于说普里斯特利把氧看成非燃素气体而造成的某些问题。还有，科学家们并不保持这种方式的主体在各种观察方法上来回变换的自由。然而，方式的变换，特别因为它在今天是如此熟悉，因而对全面的规范变换中发生什么，是一个有用的基本的样板。

①赫柏特·勃特菲尔德

（Herbert Butterfield）：《现代科学的起源：1300～1800年》（伦敦，1949年），第1～7页。

②汉生；前引书。第1章。

前面的预期可以帮助我们认识危机是新理论涌现的一种适当的前奏，特别因为我们已经在讨

论发明的出现中考察了同一过程的小型版本。正因为新理论的出现破除了科学实践的一种传统，并引进了一种在不同规则下和在不同论述领域中实施的新传统，很可能只有当第一种传统已经感到严重地走入迷途时才会发生。但是，那种议论仅仅是研究危机状态的前奏，而且，不幸它所导致的问题要求心理学家的能力甚至比要求历史学家的能力更多。非常研究象什么？反常现象是怎样成为定律似的东西的？当科学家们还只意识到某些东西已经不行了，在某个水平上根本错了，而他们的训练还没有使他们准备去讨论这个水平时，科学家们怎样继续前进呢？那些问题需要深远得多的研究，它应当不完全是历史的。随之发生的必然会 是比以前所进行的更加有试探性和更加不完备。

一个新规范出现，至少在酝酿时，常常在危机前已经发展到某种程度，或者已经被明确地认识到了。拉瓦锡的工作提供了一个恰当的例子。他的莫明其妙的笔记在第一次彻底研究燃素说中的重量关系以后和在普里斯特利的著作已经全面地揭示了气体化学中这次危机以前不到一年已经存放在法国科学院里了。或者再举一个例子，托马斯·扬（Thomas Young）关于光的波动理论的第一个报告，在光学危机发展的很早时期就已经问世了，这个问题，没有扬的帮助，人们几乎不会

重视，只是在他写成以后的十年期间，它已经成长为国际性的科学上的流言。在这类情况下，人们只能说，规范的次要的瓦解和常规科学规则的最初的模糊，都足以促使某人用新方法去观察这领域。插在最初感到困难和认识到一个有用的候补者之间的必然是基本上无意识的。

然而，在其他情况下，例如，哥白尼、爱因斯坦和现代核理论那些情况下，在最初意识到崩溃和新规范出现之间要经过相当长的时间。当那种情况发生时，历史学家至少可以抓住几个象非常科学那样的暗示。科学家们在理论上面临一种公认的根本反常现象时，最初的努力常常是把它更加明确地孤立出来，并给予它结构。虽然意识到它们不可能完全正确，他会更加努力地推进常规科学的规则，去观察在困难领域里，恰好在哪里和在什么范围内它们能做工作，同时他会寻求扩大崩溃的方法，使它比以往更显著，或许也更有启发，当它在实验中发挥作用时，其结果被认为是预先知道的。而在以后的努力中，比科学发展的有规范以后的其他任何部分，他会更象我们的科学家的最流行的形象，常常象一个随便探索的人，试做各种实验就是要看会发生什么，期待一种效应，它的性质则是他所不能完全猜到的。同时，由于没有实验能被设想为没有某种理论的，科学家们在危机中经常会试图导致各种思辩

的理论，如果成功，就可以揭示通向新规范的道路，如果不成功，就能比较安逸。

开普勒关于他同火星的运动所作的长期斗争的报告，和普里斯特利关于他对新气体激增的反应的描述，是意识到反常现象所产生的比较混乱的那种研究的经典例证。^①但是，来自场论和基本粒子现代研究的一切也许是最好的说明。在危机不存在时，使它必须考察常规科学的规则能伸展得多远，探测中微子所需要的巨大努力会不会被认为已经证明是正确的？或者，如果这规则在某些未发现的点上还没有明显地崩溃，会不会提出或者检验宇称不守恒这个激进的假说？在过去的十年期间，象物理学中的其他许多研究一样，这些实验部分地试图把一组仍然在扩散的反常现象局部化和规定它的来源。

①开普勒关于火星的工作报告，见J. L. E. 德莱伊（Dreyer）：《从泰勒斯到开普勒的天文学史》（第2版；纽约，1953年），第380～393页。偶尔的不准确并不妨碍德莱伊的摘要为这里提供所需要的资料。关于普里斯特利；见他自己的著作；特别是《对各种空气的实验和观察》（伦敦；1774～1775年）。

这种非常研究，虽然并不一般地，而常常是伴随着另一种研究。我想，特别是在公认的危机时期，科学家们必须转向哲学分析，作为解开他

们的领域中的谜的工具。科学家们并不一般地需要或希望成为哲学家。确实，常规科学通常同创造性的哲学保持一定距离，也许是有充分理由的。在正常的研究工作能用规范作为一个模型、规则和假设去处理的范围内，并不需要弄得很明确。在第V节中我们注意到，哲学分析所追索的一整套规则甚至用不着存在。但是，这不是说，寻求假设（甚至为不存在的一种传统）不可能是使思想上紧紧掌握的一种传统变弱并为一种新的传统打基础的一种有效方法。牛顿物理学在十七世纪出现以及相对论和量子力学在二十世纪出现，并不是意外事件，两者都以现代研究传统的哲学分析为先导和伴随。①这种所谓思想实验在这两个时期里应当在研究的进展中起批判性的作用。正如我在别处已经指出的，分析性的思想实验在伽利略、爱因斯坦、玻耳（BOhr）和其他人的著作中显得如此重要，完全是想要用把危机的根源同实验室中不能达到的明晰性分离开来的方法对现存的知识暴露出陈旧的规范。②

①关于伴随着十七世纪大学的哲学上的转折点，见雷奈·杜加思：《十七世纪的力学》（纳沙特尔，1954年）；特别是第XI章。关于十九世纪类似的插曲，见同一作者的早期著作《力学史》（纳沙特尔，1950年），第419～443页。

②T. S库恩：《思想实验的作用》，见《亚

历山大·咖依列杂文集》，R. 塔顿（Taton）和I·B·柯亨编，1963年由海尔曼（巴黎）出版。

随着这些非常程序单一地或集合地展开，另外一件事情也可能发生。由于把科学上的注意力集中在一个狭窄的困难地区上，和准备使科学上有才智的人去认识实验上的反常现象是什么，危机常常会产生出新的发明。我们已经注意到，对危机的意识怎样把拉瓦锡关于氧的工作同普里斯特利的工作区别开来；而且氧并不是意识到反常现象的化学家们在普里斯特利的著作中所能发现的仅有的一种新气体。或者再举一个例子，新的光学发现正好是在光的波动理论出现以前和出现期间迅速地积累起来的。某些象由反射造成的偏振问题，则是偶然事件的结果，那种偶然事件是把工作集中在一个困难地区上很可能引起的。

（马勒斯[Malus]做出了这个发明，他正好开始在为科学院关于双折射的得奖论文工作，一个众所周知处在一种不能令人满意状态中的问题。）其他象在圆盘阴影中心上的光点等问题，则是来自新假说的预言，一旦成功就帮助把它转化成为以后工作的规范。还有其他一些问题，象乱涂的和厚底片的颜色，则是以前常常看到和偶然注意到的，但是，象普里斯特利的氧一样，已经成为和著名效应相同的東西，以各种方法阻碍它们被看出它们是什么。①大约从1895年起，可以提出这

多重发明的一个类似的报告，那就是出现量子力学的经常的伴随物。

非常研究还必须有其他表示和效应，但是在这种地区，我们很少发现那种需要问的问题。然而，也许在这一点上再也不需要了。前面的评述应当足以表明，危机如何同时打破了旧框框，并为规范的根本转移提供了必须的日渐增长资料。有时新规范的形式在非常研究给予反常现象的结构中是有预兆的。爱因斯坦写道，在他有经典力学的任何代替品以前，他已能看出黑体辐射、光电效应和比热等已知的反常现象之间的相互关系。②更经常的是预先没有自觉地看出这样的结构。相反，新的规范，或者以后环节容许的充分暗示，有时是在午夜，在深深地处于危机中的一个人的思想里突然出现的。那最后阶段的性质是什么？一个人是怎样发明（或者发现他已经发明了）一种新方法的？它给予那时聚集起来的全部资料以秩序，这一切在这里仍然是不可思议的，也许永远是这样。让我们在这里只注意有关它的一件事。达到一个新规范的这些基本发明的人们几乎总是很年轻的，或者对于他们改变规范的领域来说是很新的。③而且，也许那问题不需要加以明确，因为，很明显，这些人很少把以前的实践提交给常规科学的传统规则，而是特别想要看出那些规则已不再适用了，并设想另一套可以代

替它们的规则。

向新的规范过渡是科学革命，这是我们长期准备直接探讨的一个问题。然而，首先要注意一个最后的和显然难以捉摸的方面，在这方面，最后三章的材料已经准备了这条道路。直到第VI节，首先引进了反常现象这个概念，“革命”和“非常科学”这种术语可以看成等效的。更重要的是两个术语没有一个比“非正常的科学”有更多的含意，这种迂回性至少会使少数读者困扰。事实上不需要这样做。我们将要发现，类似的迂回性是科学理论的特征。然而，不论是否麻烦，迂回性不再是不受限制的了。这一节和前两节已经在常规科学活动中引出了崩溃的许多准则，这种准则根本不依赖于崩溃是不是继革命之后发生的。科学家们面临反常现象或危机时，对现有的规范采取不同的态度，而且他们的研究的性质也相应地改变了。产生竞争的连接方式，愿意尝试任何事情，表示明确的不满，求助于哲学和对基本原则开展争论，这一切都是从正常研究过渡到非常研究的征兆。常规科学的观念就依赖于它们的存在，而不是依赖于革命。

①关于新的光学发现，一般见V. 隆契：

《光学史》（巴黎，1956年）；第VII章。关于这些效应的一个较早的说明，见J. 普里斯特利：

《有关视觉、光和颜色的发明史和现状》（伦

敦，1772年），第498～520页。

②爱因斯坦，前引文。

③关于青年在基础科学研究中的作用这种概括是如此普通以至于成了一种陈词滥调。而且，看一看对科学理论作出基本贡献的任何一张名单都会提供印象深刻的确证。然而，这种概括非常需要系统的研究。哈维·C·雷曼的《年龄和成就》[普林斯顿，1953年，英文版]）提供了许多有用的资料；但是，他的研究并没有试图选出包括重新提出基本概念方面的贡献。他们也没有查问特殊情况，即使有；也伴随着科学上较晚的生产能力。

IX 科学革命的性质和必然性

这些意见容许我们最后考察为这篇论文提供篇名的问题。什么是科学革命，它们在科学发展中的作用是什么？对这些问题的许多回答在前几节里已经预先处理了。前面的讨论已经特别提出，科学革命在这里被当作是那些非积累的发展事件，在其中一套较陈旧的规范全部或局部被一套新的不相容的规范所代替。可是，还有许多话要说，而且它的主要部分可以由进一步询问一个问题提出。为什么规范的变化应当称为革命？在政治发展和科学发展之间的巨大的和本质上的差别面前，什么对应能证明两者中发现革命的隐喻是正确的？对应的一个方面必须已经是明显的。政治革命是由于愈来愈感到，尽管常常限于政界的一部分，现有制度已不足以应付由它们造成的环境所提出的问题而开始的。大体上相同，科学革命也是由于愈来愈感到，尽管也常常限于科学界的一个狭小的部分，现有的规范在探索自然界的一个方面已不起作用而开始的，对这个方面规范本身以前是起带头作用的。在政治发展和科学发展中，机能失灵的感觉能导致危机，它是革命的先决条件。而且，虽然公认它曲解了这个隐喻，即对应不仅适合于可归因于哥白尼和拉瓦

锡的那些主要的规范变化，而且也适用于小得多的规范变化，它是同吸收一种新现象象氧或X-射线等联系在一起的。正如我们在第五节末尾注意到的，科学革命需要只对那些现象看来好像是革命的，它们的规范是受他们影响的。对于局外人来说，他们也许象二十世纪初的巴尔干革命一样，看来好象是发展过程的正常部分。例如，天文学家们能把X-射线仅仅当作一种附加的知识来接受，因为，它们的规范是不受新辐射的存在影响的。但是，对于象开尔文、克鲁克斯

（Crookes）和伦琴等人来说，他们的研究讨论了辐射理论，或阴极射线管、X-射线的出现必然违背了一种规范，就象它创造了另一种规范一样。那就是为什么这些射线只有通过某些最初同正常研究不对头的东西才能发现。

对政治发展和科学发展之间这种类似事件的遗传方面应当不再受怀疑。可是，这种类似还有第二和更意味深长的方面，第一方面的意义也依赖于这个方面。政治革命的目的是要用禁止那些制度的办法去改变政治制度。因而，它们的成功必须部分地消灭一套制度，以支持另一套制度，而在过渡期间，社会根本不是完全受制度支配的。最初只有危机减弱政治制度的作用，就象我们已经看到它减弱规范的作用一样。显然有越来越多的个人同政治生活日益疏远，并在其中表现

出越来越离心离德。然而，随着危机深化，这些人中有许多人献身于在一种新制度的框架中改造社会的某些具体建议。这个社会在那些问题上分化为竞争的阵营或党派，一派力求保卫旧制度，其他派别则力求建立某些新制度。一旦两极分化已经出现，政治上求助就破产了。因为，他们对制度的模型意见不同，政治变革就是在这种制度模型内达到并予以评价的，因为他们承认并没有超制度的框架用以判断革命的分歧，各党派对革命的冲突最终必须诉诸大规模的说服方法，常常包括武力。虽然革命在政治制度的发展中曾经具有生死存亡的作用，那种作用依赖于它们部分地是在政治和制度以外的事件。

这篇论文的剩余部分目的在于说明，规范变化的历史研究暴露了科学进展中的极为类似的特征。在竞争着的规范之间就象在竞争着的政治制度之间作出选择一样，原来只要在社会生活的不相容的方式之间作出选择。因为，这种选择的特征并不是而且也不能是仅仅由常规科学所特有的评价程序来决定，这些特征部分地依赖于一种特殊的规范，而那种规范是处在争论中的。当规范进入关于规范选择的争论时，它们的作用必然是循环的。每一个集团都用它自己的规范去为保卫那种规范辩护。

当然，循环的结果不会使论据错误或无效。

不过以一种规范为前提的人在为这种规范辩护时，对那些采纳新自然观的人们会喜欢什么科学实践还是能提供一个清楚的说明的。那种说明可以是很有说服力的，常常也是令人不能不相信的。然而，不论它有多大力量，循环论据这种情况只是有说服力。它不能从逻辑上甚至从几率上迫使那些拒绝这种说明的人们进入这个集团。两派对一场关于规范的争论所具有的前程和价值是不够广泛的。在规范选择中就象在政治革命中一样，没有比有关团体的赞成更高的标准了。为了发现科学革命是怎样产生的，我们就不仅必须考察自然界的和逻辑的冲突，而且必须考察在相当专门的集团中生效的有说服力的辩论技巧，那种集团组成科学家的团体。

为了发现为什么规范选择这个问题决不能单靠逻辑和实验明确地解决，我们必须简短地考察一下把传统规范的支持者同他们的革命的继承者分开的各种分歧的性质。这种考察是这一节和下一节的主要对象。可是，我们已经指出了这种分歧的许多例子，而且没有一个人会怀疑历史能提供其他许多例子。可能怀疑他们的存在的是什么？因而，必须首先考虑的是什么？那就是提供关于科学本性的主要资料的例子。同意抛弃规范已经是一种历史的事实，是否说明人类的轻信和混乱呢？为什么吸收一种新现象或者一种新的科

学理论必须要求拒绝一种较陈旧的规范呢？是否有本质的理由呢？

首先要注意，如果有这样的理由，他们也不是从科学知识的逻辑结构中引伸出来的。原则上，一种新现象出现应当对过去的科学实践的任何部分都没有破坏性。虽然在月球上发现生命对现存的规范是有破坏性的（这些规范告诉我们有关月球上的事物似乎同那儿有生命存在是不相容的），而在银河系的某些不大著名的部分发现生命就不会。由于同样的原因，一种新理论并不一定同它的先驱冲突。它唯一地应当讨论以前不知道的现象，就象量子理论讨论（意味深长地但不是唯一地）二十世纪以前未知的亚原子现象。或者，这种新理论只不过是比那些以前已知的更高水平的理论，一种把一整批较低水平的理论连在一起的理论，而没有从实质上改变任何一种理论。今天能量守恒理论正好把力学、化学、电学、光学和热理论等连接起来。在新旧理论之间还能设想出其他可以和谐共有的关系。他们全部应当由历史过程来说明，科学已经通过这种历史过程发展起来了。只要他们是这样，科学的发展就会是真正的积累。各种新现象只不过揭示自然界的一个方面的秩序，在那里以前什么也没有看到。在科学的进展中，新知识将代替无知而不是代替另一种不相容的知识。

当然，科学（或者某些其他事业，也许效果较小）应当以那种完全积累的方式发展。许多人相信它是这样发展的，大多数人似乎仍然设想，积累至少是历史发展会发扬的一种理想，只要它不那么经常地被人类物质所歪曲。那种信念是有重要理由的。在第X节中我们将发现，科学是积累的这种观点同一种占优势的认识论多么紧密的纠缠在一起，那种认识论认为知识是由思维直接放在原始感觉资料上的一税结构。在第XI节中，我们将考察由有效的科学教育方法对同样的编史工作纲要提供的强有力的支持。不过，尽管那种理想的形象似乎很有理由，也有日益增长的理由怀疑它能不能是科学的一种形象。在前规范时期以后，吸收所有新理论和几乎所有新现象，事实上都要求破坏以前的规范，以及随后发生的科学思想的竞争着的各学派之间的冲突。由积累而获得没有预料到的新颖事物，对科学发展的规则来说已证明几乎是不存在的例外。认真对待历史事实的人，必然怀疑科学并不倾向于我们对它的积累形象所提示的理想。也许它是另外一种事业。

可是，如果反对的事实能把我们推进得那么远，那末再看一看我们已经涉及的理由，就会暗示，由积累获得新颖事物不仅事实上很少，而且原则上未必会有。正常研究是积累的，它把它的成就归功于科学家们有规则地选择问题的能力，

那种问题能用接近于那些已经存在的概念和仪器的技术去解决。（那就是为什么对有用问题的过分关心能如此容易地抑制科学发展，而不顾它们同现有知识和技术的关系。）可是，力求解决由现存知识和技术规定的问题的人，不只是东张西望。他知道，他想得到什么，他设计地的工具，并适当地指导他的思想。没有预料到的新颖事物，新的发明，只有在他对自然界的预期和他的仪器果然是错误的范围内才能出现。最终的发明的重要性本身常常是同它所预兆的反常现象的范围和难对付成正比的。于是，在揭示反常现象的规范和后来使反常现象类似规律的规范之间必然有冲突。在第VI节中考察的通过规范的破坏而发明的例子并不使我们只面临历史上的偶然事件。在这些例子中发明必然是引起的，也没有其他有效的方法。

同样的论据甚至可以更清楚地应用于发现新理论。一种新理论可以提出的原则上只有三种类型的现象。第一种是由现存规范已经很好地说明了的现象组成的，而且这些现象很少为理论建设提供动机或出发点。当他们象第VII节末尾讨论过的用三种著名的预期去处理时，结果是理论很少被接受，因为自然界没有为辨别是非提供根据。第二类现象是由那些其性质为现存规范表明现象组成的，但是它们的细节只有通过理论的进一

步连接方式才能被理解。科学家们有许多时间把他们的研究对准这些现象，但是那种研究目的在于连接现有的规范，而不是发现新规范。只有当这些连接的企图失败时，科学家们才遭遇第三类现象，即已被认识的反常现象，其特征是它们顽固地拒绝被现有规范吸收。只有这类现象才引起新理论。除了各种反常现象以外，规范为科学家的视野中由理论决定的地方提供一切现象。

但是，如果新理论要解决现有理论对自然界的系统中的反常现象，那么这个成功的新理论必须容许在某些地方有不同于来自前人的预见。如果两者在逻辑上是不相容的，就不可能发生那种不同。在被吸收的过程中，第二种理论必须取代第一种理论。甚至象能量守恒那样的理论，今天看来好象是一种合乎逻辑的上层结构，它仅通过独立建立的理论同自然界联系起来，没有规范破坏，历史上也不发展。相反，它是由一次危机产生的，其中一个主要因素是牛顿力学和某些新近形成的热的热质论结果之间的互不相容。只是在热质论已经被抛弃以后，能量守恒才能成为科学的组成部分。^①而且也只有在它已经成为科学的组成部分若干时间以后，它才能被看成是一种逻辑上较高类型的理论，一种同前人不冲突的理论。在关于自然界的信念中没有这些破坏性的变化，就很难看出新理论是怎样兴起的。虽然逻辑

上包括在内仍然是连续的科学理论之间的关系中的一个可以容许的观点，它从历史上看是难以置信的。

①锡儿凡努斯·

P·汤普森：《拉格斯的开尔文男爵威廉·汤姆逊的一生》（伦敦1910年，第一卷，第266～281页）。

我想，在一个世纪以前，让革命的必然性停留在这一点上是可能的。但是，今天，不幸已经不行了，因为，如果接受现代最流行的关于科学理论的本质和作用的解释，那就不可能保持上面提出的关于这个问题的观点。那种解释同早期的逻辑实证主义密切相关，并没有无条件地被它的后继者抛弃，它将限制一种已被接受的理论的范围和意义，以便使它不可能同任何后来的对某些同样的自然现象做出预言的理论冲突。关于科学理论的这种受限制的概念的最著名和最强有力的情况是在讨论现代的爱因斯坦力学同牛顿的《原理》传下来的较古老的力学方程之间的关系时出现的。按照本文的观点，这两种理论在由哥白尼和托勒密天文学的关系所说明的那种意义上是根本上互不相容的：只有承认牛顿的理论是错误的，爱因斯坦的理论才能被接受。今天，这仍然是少数人的观点。①因而，我们必须考察最流行的反对它的意见。

①例如，见P·P·维纳（Wiener）的意见，载《科学哲学》第XXV卷（1958年）第298页。

这些反对意见的要点如下：相对论力学不能证明牛顿力学是错误的，因为牛顿力学仍然被大多数工程师极为成功地运用着并且被许多物理学家有选择地应用着。而且，运用这种旧理论的适当理由已经代替它的理论本身在其他应用中证明。爱因斯坦的理论能用来证明，来自牛顿方程的预言，同我们满足于少数限制性条件中应用的测量工具一样好。例如，牛顿理论要提供一个良好的近似解，被考察的物体的相对速度同光速比较必须是小的。在受这种条件和其他少数条件支配下，牛顿理论好象是可以从爱因斯坦理论中推导出来的，因而，它是爱因斯坦理论的一个特殊情况。

但是，反对意见继续指出，没有一种理论有可能同它的特殊情况冲突。如果爱因斯坦的科学似乎使牛顿力学错了，那只是因为有些牛顿主义者是如此不小心，以致要求牛顿产生完全精确的结果，或者要求它在很高的相对速度上也有效。既然他们不可能有任何证据支持这样的要求，当他们提出这样的要求时，就背叛了科学的标准。就牛顿理论曾经是受到有效证据支持的真正的科学理论而论，它仍然是真正科学的理论。只是对这理论的过高要求——那种要求决不是科学的正

确部分——才能被爱因斯坦证明是错误的。清除了这些人为的过高要求，牛顿理论从来没有而且也不可能受到挑战。

这种论据的某些变种，完全可以使被一个著名的有能力的科学家集团运用过的任何理论免受攻击。例如，很有害的燃素说，使大量物理现象和化学现象有了秩序。它说明了为什么物质燃烧，是因为他们的燃素丰富，以及为什么金属和它们的矿石有这么多共同的性质。因为金属全部是由各种元素同燃素化合而成的，全部金属共有的燃素产生了共同的性质。另外，燃素说明了许多反应的原因，在这些反应中，酸是由象碳和硫那样的物质燃烧形成的。它也说明了，当燃烧在一份体积有限的空气中发生时体积的减少，因为空气吸收了由燃烧释放的燃素，“损坏了”空气的弹性，正如火“损坏了”钢制弹簧的弹性一样。①如果这些是燃素理论家对他们的理论所要求的仅有的现象，那种理论就决不可能受到挑战。同样的论据将满足曾经完全成功地应用于任何现象范围的任何理论。

但是，要用这种方法来拯救各种理论，它们的应用范围必然受到那些现象和观察的精确性的限制，手头的实验证据已经讨论了这个问题。②只要再前进一步（一旦迈出了第一步，就很难避免这一步），这样一种限制就会禁止科学要

求“科学地”谈论任何不是已经观察到的现象。这种限制即使在它的现代形式中也禁止科学家在自己的研究中依靠一种理论，再当研究进入一个领域，或者追求某种程度的精确时，过去的实践和理论都没有为这种研究提供先例。这种禁令在逻辑上是不能排除的。但是，接受这些禁令的结果便会是研究的终结，通过这种研究，科学可以进一步发展。

①詹姆斯·B·柯南：《推翻燃素说》（剑桥，1950年，第13～16页）；以及J. R. 巴丁：《化学简史》（第2版；伦敦，1951年，第85～88页），H.迈兹热：《牛顿、斯塔耳、波尔哈夫和化学学说》（巴黎，1930年）第II部分中，对燃素说的成就作了最充分的和最有好感的说明。

②比较由R. B. 勃雷斯韦（Braithwaite）：《科学说明》，（剑桥；1953年），第50～87页；特别是第76页，通过一种很不相同的分析所达到的结论。

事实上那问题此刻已经是一种同义反复。不信奉某一种范围就不可能有常规科学。而且那种信奉必须延伸到没有先例的领域和精确程度。如果它不延伸，这规范就不能提供还没有解决的谜。而且，不只是常规科学依赖于信奉一种规范。如果现有的理论只是使科学家受现有的应用约束，那就不可能有意外事件、反常现象或危

机。但是，这些只不过是指出通向非常科学之路的路标。如果对一种理论的合法应用范围照字义采纳实证主义者的限制，告诉科学界什么问题可以导致根本改变的机理必须停止起作用。当这种情况发生时，科学界不可避免地会回到某种很象它的前规范状态，在这种条件下，所有成员都讲究科学，但是在这种条件下，他们的总产品简直不象科学。是否真有人对重大科学进展的代价是赞成冒险犯错误呢？

更重要的是，在实证主义者的论据中展现了逻辑上的空隙，这种空隙会立刻把我们重新引向革命变革的本质。牛顿力学真能从相对论力学推导出来吗？这样一种推导看来象什么？设想有一组陈述， E, \dots, E ，他们体现相对论的定律。这些陈述包含各种变量和参数，表示空间位置、时间、静止质量等等。从这些陈述出发，同逻辑装置和数学一起，可以推导出一整套进一步的陈述，包括某些可以由观察检验的陈述在内。为了证明牛顿力学作为一种特殊情况是适当的，我们必须给从增添附加的陈述，如 $(v/c) \ll 1$ ，以限制参数和变量的范围。然后，这套扩大了陈述被巧妙地加以处理，以产生一套新的陈述， N, N, \dots, N ，这些陈述在形式上同牛顿的运动定律，引力定律等等是相等的。显然牛顿力学已经从受到少数条件限制的爱因斯坦力学中推导出

来了。

然而这种推导至少在这一点上是不合逻辑的。尽管见是相对论力学定律的特殊情况，他们并不是牛顿的定律。或者，除非那些定律在某种程度上重新解释，他们就不是，而在爱因斯坦的工作以后，这已经不可能了。爱因斯坦学说中的变量和参数，代表空间位置、时间、质量等等，在见中仍然出现；而且它们在那里仍然代表爱因斯坦的空间、时间和质量。但是这些爱因斯坦学说的概念的物理参照系同那些牛顿学说的有同样名称的概念决不是相等的。（牛顿学说的质量是守恒的；爱因斯坦学说的质量同能量是可以转化的。只有在相对速度较低时，两者才能以同样的方式去测量，而且即使那时他们也一定不能被设想为相同的。）除非我们改变从中的变量的定义，我们导出的陈述就不是牛顿学说的。如果我们真的改变它们，我们就不能严格地说，至少不是现在普遍公认的“导出”的意义上说导出了牛顿定律。当然，我们的论据已经说明了为什么牛顿定律好象在任何时候都是起作用的。它也证明了比如说一个行动中的汽车司机这样做是正确的，他仿佛生活在牛顿学说的宇宙里。同样类型的论据常常用来证明向测量员讲授地心说天文学是正确的。但是这论据仍然没有完成它想要做的事。那就是说，它还没有证明牛顿定律是爱因斯坦定

律的一种极限情况。因为在向极限过渡时，不只是这定律的形式改变了。同时我们还必须改变基本的结构单元，这宇宙就是由这些基本结构单元组成的，那些定律是适用于这个宇宙的。

改变确立了的和熟悉的概念的意义这种需要对爱因斯坦理论的革命影响来说是主要的。尽管比从地心说到日心说，从燃素说到氧，或者从粒子到波的变化更巧妙，这最终的概念变化仍旧是以前确立的规范的决定性的破坏。我们甚至可以把它看成是科学中革命性的重新定方向的原型。正因为它并不包含引进补充的对象或概念，从牛顿力学过渡到爱因斯坦力学特别清楚地说明了科学革命是概念的变位，科学家就是通过这种概念来观察这世界的。

这些意见是以证明在另一种哲学观念中什么可以被认为是当然的。至少对于科学家来说，一个被抛弃的科学理论和它的后继者之间大多数明显的差别是真实的。尽管过时的理论始终能被看成是它的最新的后继者的一种特殊情况，它必须为此目的而被改造。同时这种改造只有在事后认识到有益时才能被接受，它是最新理论的明确的指南。而且，即使那种改造是在解释比较古老的理论时使用的一种合法工具，应用的结果全是一种受限制的理论，以致它只能重新说明已知的东西。因为它经济，那种重新说明总是有效的，但

是它不足以成为研究的指南。

因此，现在让我们承认，前后相继的规范之间的差别是必要的和不可调和的。那末我们能不能更清楚地说明那些差别是什么吗？我们已经反复地说明了最明显的类型。相继的规范告诉我们有关这个宇宙的成员和那些成员的行为的各种不同的事情。那就是说，对于象亚原子粒子的存在，光的物质性和热或能量的守恒等这样一些问题，他们意见不同。这些是前后相继规范之间的实质性差别，而且他们不需要进一步的说明。但是，各种规范不止在实质上不同，因为它们不仅受自然界指导，而且也支持产生它们的科学。它们在任何时代都是被成熟的科学团体接受的各种方法、问题范围和解的标准的来源。结果是，接受一个新规范常常必须重新定义相应的科学。某些老问题可以移交给另一门科学或者被宣布为完全“不科学的”。其他以前不存在或者无足轻重的问题，有了新规范，可以成为重大科学成就的原型。而且随着问题的变化，把真正科学的解同仅仅是形而上学的思辨、文字游戏或者数学游戏区别开来的标准常常也在变化。从一次科学革命中出现的常规科学的传统，同以前已经过时的传统不仅是不相容的，而且事实上常常是不能相提并论的。

牛顿的工作对标准的十七世纪科学实验传统

的冲击，为规范改变的这些微妙作用提供了一个惊人的例子。在牛顿以前，这个世纪的“新科学”已经诞生了，终于成功地抛弃了亚里士多德学派和经济学派用物体的本质表达的说明。说一块石头降落是因为它的“本性”驱使它趋向宇宙的中心，已经成为看来仅仅是一种同义反复的文字游戏，某种它以前不是这样的东西。从今以后，感觉现象的全部通量，包括色、味、甚至重都要用基础物质的基本粒子的大小，形状，位置和运动来说明了。把其他性质归因于这基本的原子是乞灵于神秘，因而越出了科学的范围。一位医生由于把一种安眠效能归属于鸦片而说明了鸦片的效能是催眠，当莫利哀嘲笑这位医生时，他正确地抓住了这种新精神。在十七世纪后半期，许多科学家宁愿说，鸦片粒子的圆形使它们能镇静被他们激动的神经。①

在较早时期，用神秘性质的词句来解释已经成为多产的科学工作的不可缺少的部分。尽管如此，十七世纪新提出的机械粒子解释已被证明对许多科学都有巨大效果，使他们摆脱了用普遍接受的难以解决的问题，并建议同其他问题来代替它们。例如，在力学中，牛顿的运动三定律，与其说是新实验的产物，倒不如说是企图用最初的中性粒子的运动和相互作用重新解释著名的观察的产物。只要考察一个具体说明就行了。由于中

性粒子只要靠接触就能相互作用，机械粒子的自然观就把科学上的注意力指向崭新的研究主题，由碰撞改变微粒的运动。笛卡儿宣布了这个问题，并提出了它的第一个被公认的解。惠更斯

（Huyghens）、雷恩（Wren）、沃利斯

（Wallis）更进一步推进了这个问题，部分靠摆锤碰撞实验，主要靠把以前著名的运动特征应用于新问题。而牛顿则把他们的结果纳入他的运动定律。第三定律的“作用”和“反作用”相等，是由双方对碰撞所经验到的运动量的变化决定的。运动的同样的变化提供了第二定律中含有的动力学上的力的定义。在十七世纪，在这种情况下，就象其他许多情况下一样，微粒规范引起了一个新问题和那个问题的大部分解。②

①关于一般微粒论，见玛利·波瓦：《机械哲学的确立》，《奥西里斯（Osiris）》，第X卷（1952年），第412～541页。关于粒子形状对味的效应，同上，第483页。

②R. 杜加斯：《十七世纪的力学》（纳沙特尔，1954年）第177～185，284～298，345～356页。

然而，尽管牛顿的许多工作是针对由机械粒子世界观引伸出来的各种问题和概括出来的标准的，由他的工作引起的规范的效果是科学上合理的各种问题和标准的进一步的和部分破坏性的变

化。引力被解释为每一对物质粒子之间的一种应有的吸引，象经院学者的“降落倾向”一样同样是一种神秘的性质。因而，当微粒论的标准仍然有效的时候，寻求引力的力学解释，对那些把《原理》当作规范来接受的人来说，是一个最富有挑战性的问题，牛顿很注意这个问题，他的十八世纪的许多后继者也是如此。从外表上看唯一的选择是抛弃牛顿的理论，因为它不足以说明引力，那种抉择也是广泛被采纳了的。然而，这些观点没有一个取得最后胜利。没有《原理》，不论是对实验科学还是对遵守十七世纪的微粒标准的工作，都是不可能的，科学家们逐渐地接受了引力确实是固有的观点。到十八世纪中期，那种解释已经普遍地被接受了，结果是真正回复到经院学者的标准（这种回复不同于倒退）。固有的吸引和排斥把大小、形状、位置和运动连结成为物理上不能再简化的物质的原初性质。①

①I. B. 柯亨：《弗兰克林和牛顿：对思辩的牛顿实验科学及其一例，弗兰克林在电学中的工作的探究》（菲拉德尔菲亚，1956年；第VI～VII章）。

物理科学的标准和成问题的领域中的变化又一次成为理所当然的。例如，到1740年，电学家们可以谈论电流的吸引“效力”而没有因此招致一个世纪以前呈现在莫利哀的医生面前的嘲笑。当

他们这样做的时候，电的现象愈加表现出一种不同于当它们被看成是力学以太的效应时所显示的秩序，那种效应只是靠接触才能起作用。特别是当电的超距作用本身有资格成为研究题目时，我们现在叫做由感应生电的现象，可以被认为是它的效应之一。以前，当完全看到时，它被归日于“大气”的直接作用，或者在任何电学实验中不可避免的漏电。感应效应这种新观点是弗兰克林分析莱顿瓶和电学的一种新的牛顿规范出现的关键。力学和电学也不是受到合法化地寻找物质固有的力的影响的唯一科学领域。一大批十八世纪关于化学亲和力和置换的文献，也是由牛顿主义的这种超力学方面引伸出来的。化学家们相信各种化学品种之间的吸引有微小差别，他们提出以前没有想到的各种实验，并寻求各种新的反应。没有这种资料 and 在那过程中提出的化学概念，拉瓦锡特别是道尔顿的后期工作就会是不可理解的。①决定可以容许的问题、概念和解释的标准方面的变化能改变一门科学。在下一节中我甚至要提出一种感觉，他们在改变这个世界。

在前后相继的规范之间这些非本质的差别的其他各种例子可以追溯到任何科学史的任何发展时期，暂时让我们满足于其他两个简单得多的说明。在化学革命以前，化学的公认的任务之一是要说明化学物质的性质和这些性质在化学反应期

间经历的变化。借助于少数基本原理——燃素说就是其中之——化学家想要说明为什么某些物质是酸性的，而且他是金属的，可燃烧的，等等。在这个方面已经取得了某些成就。我们已经指出过，燃素说明了为什么金属如此相象，而且我们能为酸提出同样的论据。可是，拉瓦锡的改革，最后废除了化学“原理”，并且因此以剥夺化学的某些真正的和许多可能的解释能力而告终。为了补偿这个损失，需要标准上的变化。在十九世纪的许多时间里不能解释化合物的性质并不是对一种化学理论的起诉书。②

①关于电学，见同上，第VIII～压章。关于化学，见迈兹热，前引书，第1部。

②E. 梅那逊：《同一和实在》（纽约，1930年）第X章。

或者，再举一个例子，克拉克·麦克斯韦和十九世纪光的波动理论的其他支持者相信，光波必然是通过一种物质的以太传播的。设计一种机械的介质以支持这样的波是他的许多最有才干的同时代人的一个标准问题。可是，他自己的理论，即光的电磁理论，根本没有描述能支持光波的介质，而且，很清楚要作出这样一种描述好象比它以前所提供的更难。最初，麦克斯韦的理论由于这些理由被广泛地拒绝了。但是，象牛顿的理论一样，麦克斯韦的理论已被证明难以免除，而且

随着它达到规范的地位，科学界对它的态度也改变了。在二十世纪的最初十年，麦克斯韦坚持力学以太的存在看来越来越象口头上说说的漂亮话，它并没有强调这类话，而且设计这样一种以太介质的各种尝试已经被放弃了。科学家们不再认为谈论电的位移而不详细说明什么在位移是不科学的了。结果又是一套新的问题和标准，其中一个结果与相对论的出现密切相关。①

科学界对它的合法问题和标准的概念中这些波特的转变，对这篇论文的论点只有较小的意义，只要人们能假设，这种转变的出现，在方法论上总是从某种较低级的类型趋向某种较高级的类型。在那种情况下，它们的效果也会象是积累的。怪不得有些历史学家已经争辩说，科学史记录着人们关于科学本质的概念越来越成熟和精炼。②然而，要获得科学问题和标准积累发展那种情况，甚至比理论的积累发展那种情况更困难。解释引力的尝试不是针对一个实质上非法的问题，虽然富有成果，还是被十八世纪大多数科学家抛弃了；反对内在的力既不是在某种贬低意义上本来不科学的，也不是形而上学的。没有外部的标准客体那种判断。发生的既不是标准的下降，也不是标准的提高，而只不过是采用新规范所要求的一种变化。而且，那种变化从那时以来已经倒转了，而且能再次变化。爱因斯坦在二十

世纪成功地证明了引力的吸收，而且那种说明已经使科学回到一组准则和问题，在这个特殊方面，更象牛顿的前人，而不是他的后继者。或者，再举一个例子，量子力学的发展已经取消了由化学革命引起的方法论上的禁令。化学家们现在极为成功地企图解释在他们的实验室里产生的物质的聚集状态和其他性质。类似的倒转甚至在电磁理论中也在进行着。在现代物理学中，空间并不是牛顿和麦克斯韦这两种理论中应用的惰性的和均匀的物质；它的某些新性质同一度赋予以太的那些性质不是不相似的；有朝一日我们会知道什么是电的位移。

①且T. 惠泰克：《以太和电的理论的历史》，第D卷（伦敦，1955年）第28～30页。

②企图把科学发展纳入这张普罗克拉斯的床的一个卓越的和最新的例子，见C. C. 吉立斯：《客观性的界限：科学思想史论文集》（普林斯顿，1960年）。

由于规范起作用的重点从认识方面转移到标准方面，前面几个例子就扩大了对规范形成科学生活的各种方法的理解。前面，我们已经大体上考证了规范作为科学理论的一种媒介物的作用。它告诉科学家自然界包括和不包括各种实体以及那些实体的行动方式以此来起那种作用。这些资料提供了一张图画，其详情细节是由成熟的

科学研究阐明的。而且由于随便地加以研究的自然界是太复杂了和太变化多端了，那图画对科学的继续发展来说就象观察和实验一样重要。规范通过它们包括的理论来证明研究活动是基本的。可是，规范在其他方面对科学来说也是基本的，这才是要害。特别是，我们的大多数最新的例子表明，规范不仅以一张图画，而且也用某些对画图很重要的方面提供给科学家。在学习一种规范时，科学家获得的理论、方法和标准是在一起的，通常是一种分解不开的混和物。因而，当规范改变时，决定各种问题和提出的各种解的合法性的准则方面通常是有重要变化的。

这种观察使我们回到了这一节由之开始的问题，即为什么在竞争着的各种规范之间作出选择时，经常会提出那些不能由常规科学的准则解决的问题，并为这个问题提供我们的第一个明确表示。两个科学学派对于问题是什么和解是什么有不同意见是不完备的有重要意义，他们在讨论各自的规范的优劣时，不可避免地会互相谈论。每一种规范都会表明它或多或少满足由它自己支配的准则，和缺少几个由它的反对者支配的那些准则，这经常导致部份循环论证的论据。逻辑联系的不完备性也还有其他理由，它们一贯地表示规范争论的性质。例如，由于没有一种规范曾解决它所定义的全部问题，同时由于没有两种规范会

听任全部同样的问题不解决，规范争论总是包括这个问题；解决哪一个问题更有意义？象竞争的标准问题一样，价值问题只有用完全处在常规科学外面的准则才能回答，正是求助于外部准则最明显地使规范争论革命化。某些比标准和价值更基本的问题也成了问题。迄今我只证明了规范对于科学是基本的。现在我希望表示一种观念，即规范对于自然界也是基本的。

X 革命是世界观的改变

根据现代编史工作的要求审查过去的研究记录，科学史家也许会惊呼，当规范改变时，这个世界本身也同它们一起改变。科学家们在新规范的指百吓采用新工具观察新领域，甚至更重要的是，科学家们在革命期间用熟悉的工具观察他们以前已经观察过的领域时看到了新的不同的东西。这有点象把这个专业团体突然运送到另一个行星上去了，在那里熟悉的对象是以不同的眼光来看待的，并且是由不熟悉的对象连结起来的。当然，那种情况并没有发生：没有地理上的移植，实验室外面日常事务通常也象以前一样在继续。尽管如此，规范改变确实使科学家们用不同的方式去看待他们的研究工作约定的世界。就他们只是依靠由他们看到和做到的那个世界而论，我们也许想要说，在一次革命以后，科学家们是对一个不同的世界在作出回答。视觉形态中这种熟悉的转化表演对于科学界的这些转变来说作为基本原型是很有启发性的。在革命以前在科学界中的鸭子在革命以后成了兔子。这个人第一次从上面看到了匣子的外部，后来则从下面看见了它的内部。象这些转变，虽然通常比较逐渐，并且几乎总是不可逆的。却是科学训练的普通伴

随物。看一张等高线地图，学生看到的是纸上的线条，制图学家看到的是一张地形图。看一张气泡室照片，学生看到的是混乱而屈折的线条，物理学家看到的是熟悉的亚核事件的记录。只有在许多次这样的视觉转换以后，学生才成为科学家世界的一个居民，见科学家之所见，行科学家之所行。可是，学生当时进入的世界并不是一劳永逸的，一方面由环境的本质，另一方面由科学的性质确定的。不如说，它是由环境和训练学生在追求的常规科学的传统决定的。因此，在革命的时代，当常规科学的传统改变时，科学家对他的环境的知觉必须再教育，在某些熟悉的处境中，他必须学习去看到一种新的形态。在他已经这样做以后，他的研究世界似乎各处都会同他以前栖息的世男不能相提并论。这是另一个理由，为什么由不同规范指导的学派总是有点矛盾。

当然，格式塔实验通常只说明知觉转变的本性。他们并不告诉我们关于规范的作用或以前在知觉过程中吸收的经验。但是，关于这个问题有一大堆心理学文献，其中有许多都导源于汉诺威学院的开创性工作。一个实验对象，他戴上黑眼镜，装上倒置镜头，最初从上到下着整个世界。开始时，他的知觉装备象他没有戴上黑眼镜受训练时那样起作用，结果是极端的迷失方向，严重的个人危机。但是在这个对象已经开始学习去同

他的新世界打交道时，他的整个视野突然改变，通常要在一段时间以后，在此期间视觉混乱了。此后，对象又重新被看到了，就象它们被戴上黑眼镜以前一样。吸收以前不规则的看得见的领域已经作用于并且改变了这个领域本身。①人习惯于倒置镜头已经从字面上也从隐喻上经历了视觉的革命转化。

在第六章中讨论过的不规则纸牌游戏问题经历了完全相同的转化。直到延长亮牌使人们认识到，宇宙包含不规则的牌为止，他们只看到以前的经验已经为他们准备好的牌型。然而，一旦经验已经提供了必要的附加范畴，他们就能在容许完全辨认的第一次足够长的检查中看出所有不规则的牌。还有其他各种实验说明，在实验中显示的物质的尺寸、颜色等等也随着对象以前的训练和经验在变化。②看看这些例子从中提出的丰富实验文献就使人们怀疑，有些东西象规范一样是知觉本身的前提。一个人所看到的不仅依赖于他在看什么，而且也依赖于他以前的视觉概念的经验已经教会他去看什么。没有这样的训练，用威廉·詹姆士的话来说，只能是“十足的混乱”。

①原来的实验是由乔奇·M·斯特拉顿做的：《没有视网膜象倒置的视觉》，《心理学评论》，第IV卷；（1897年），第341～360页；463～481页。一篇更时髦的评论是由哈维·A·卡

尔提出的：《空间知觉引论》，（纽约，1935年；英文版），第18～57页。

②例如，艾伯特·H·海斯托夫：《暗示对刺激物的大小和知觉的距离人间的关系的影响》，《心理学杂志》，第XXIX卷（1950年），第195～217页；和季洛姆·S·布鲁纳李奥·波斯特曼和约翰·罗德里格斯：《预期和色的知觉》《美国心理学杂志》；第LXIV卷（1951年）；第216～227页。

近年以来，几本涉及科学史的著作已经发现上面描述的几种实验的启发性很大。特别是N.R. 汉生已经用格式塔论证来详尽阐述我在这里关心的某些科学信念的相同的结果。①其他同事已经反复地注意到，如果谁能假定科学家偶然经验到象上面描述的那些知觉转移，科学史就会写得更好和更有条有理。然而，尽管心理学实验是有启发性的，由于这种情况的本质，这些实验不可能有更大的意义了。这些实验确实表现了知觉的特征，这可能是科学发展的核心，但是，这些实验并没有证明，所有从事研究工作的科学家所运用的小心的和受控制的观察都分享那些特征。而且，正是这些实验的本质使那个问题不可能有任何直接的证明。如果历史的例子是要使这些心理学实验似乎很适当，我们首先必须注意我们可以和不可以期望历史提供的各种证据。作格式塔示

范表演的对象知道，他的知觉已经转移，因为当他手里拿着同样的书或纸张时，他能使它反复地来回移动。他意识到在他的环境里什么也没有改变，他的注意力越加不是针对图象（鸭子或兔子），而是针对他正在看着的这张纸上的线条。最后，他甚至可以学会看出那些线条而不着任何一个图象，然后，他可以说（他早先不可能已经合理地说了的）他真的看出了这些线条，但是交替地把它看成是一只鸭子和是一只兔子。由于同样的理由，不规则纸牌实验的主体知道（或者，更准确些，能被说服），他的知觉必然已经转移，因为一个外部权威，这个实验工作者使他确信，不管他看过什么，他总是在看一张黑桃五。在这些场合下，就象在所有类似的心理实验里一样，论证的有效性依赖于它用这种方法是可以分析的。除非有一种外部标准，能说明一种视觉开关，而且不能引出关于交替知觉的可能性的结论。

N. R. 汉生：《发现的模式》（剑桥，1958年，英文版）；第i章。

可是，对于科学观察，情况恰好相反。科学家除了用他的眼睛和工具看到的以外，没有什么可以依靠的。如果有更高的依据，只要求助于它，就可以证明他的视觉已经转变，那么，这种依据本身就会成为他的资料的来源，他的视觉行

为就会成为各种问题的来源（就象实验的主体对于心理学家那样）。如果科学家能象形态实验的主体那样来回转移，就会引起各种同类型的问题。一段时期光“有的时候是波和有的时候是粒子”，这个时期是一个危机时期，是有些什么错了的时期，这个时期只是随着波动力学的发展而告终的，并且证明了光是自相一致的实体，既不同于波也不同于粒子。因此，在科学中，如果知觉转换伴随着规范改变，我们就不可以期望科学家们直接证明这些改变。这位皈依于哥白尼主义的人在看见月亮时不会说，“我习惯于看见一个行星，但是我现在看见的是一个人造卫星。”那种说法含有托勒密体系从前曾经是正确的意思。一位皈依于新天文学的人则说，“我从前认为这个月亮是（或者把这个月亮看成是）一个行星，但是我错了。”那种陈述在科学革命的后果中确实重新出现了。如果它通常用同样的效应来隐瞒科学眼光的转变或其他一些精神上的转化，我们也许不能期望直接证明那种转变。倒不如说我们必须寻求间接的行为证据证明有新规范的科学家看问题的方法不同他以前看问题的方法。

于是，让我们回到这种资料，并且相信有这样一些改变的史学家在科学界中能发现哪几种转变。威廉·赫舍尔爵士发现天王星提供了第一个例子，而且与不规则的纸牌实验很相适应。在1690

年到1781年间，至少有十七个不同场合，许多科学家，包括几位欧洲最著名的观察者，在我们现在猜想那时必然由天王星占领的位置上看到了一颗星。这个集团中一位最好的观察者在1769年事实上已经连续四夜看到了这颗星，但没有注意到这种运动能提出另一种鉴别。十二年后，赫舍尔用他自己制造的一架大大改进了的望远镜这样做时，他第一次观察到了同样的对象。结果，他已能注意到一个明显的圆盘大小的东西，至少对恒星来说是异乎寻常的。什么东西搞错了，因而，他把鉴别推迟到进一步考查以后。那种考查揭示了天王星在恒星之间的运动，因此，赫舍尔宣布他已经看到了一个新的彗星！只是在几个月以后，在试图把观察到的运动纳入一个彗星轨道毫无成效以后，莱克塞尔才提出，这轨道可能是行星的轨道。①当这个建议被接受以后，在专业天文学家的世界里已经有少数几个恒星和又一个行星。一个天体已经连续不断地被观察了将近一个世纪，在1781年以后，又以不同的方式被看到了，因为，象一张不规则的纸牌一样，它不再能适应由以前流行的规范提供的知觉范畴（恒星或彗星）了。

目光的转移使天文学家们去观察天王星，可是，这个行星似乎不仅影响到对以前观察到的对象的了解。它的后果是更为深远的。也许，尽管

证据不可靠，由赫舍尔逼出来的比较不重要的规范改变，在1801年以后，帮助天文学家们准备好迅速发现大量小行星或小游星。因为它们很小，这些小行星就没有显示出使赫舍尔留心的反常的放大率。可是，准备要发现外加行星的天文学家们在十九世纪前五十年中用标准的仪器是可以认出其中二十个的。②天文学史提供了科学知觉中由规范引起的改变的其他许多例子，其中有些例子不那么模棱两可，例如，西方天文学家们在哥白尼的新规范第一次提出以后的半个世纪期间，首先看到了以前不可变的天空中的变化，能认为这是偶然事件吗？中国人的宇宙信念并不“排除天上的变化，在早得多的时代里已记录了天上出现的许多新星。即使没有望远镜的帮助，中国人在伽利略和他的同时代人看到这些现象前几个世纪也已经系统地记录了太阳黑子的出现。③紧接在哥白尼以后西方天文学的天空中出现的天象变化的仅有例证也是太阳黑子和一个新星。十六世纪末的天文学家们，用某些象一段线那么简单的传统工具，发现了替星通过以前留给不变的行星和恒星的空间在任意漫游。④当天文学家们用古老的工具观察古老的对象时迅速而又毫不费力地看到了新东西，会使我们想要说，在哥白尼以后，天文学家们生活在一个不同的世界里。总之，他们的研究所作的回答好象就是那么回事。

①彼特·多阿：《天文简史》（伦敦，1950年，英文版），第115～116页。

②鲁道夫·沃尔夫：《天文学史》（慕尼黑，1877年，德文版），第513～515，683～693页。特别要注意沃尔夫的叙述使它多么难以说明这些发现是波德定律的结果。

③李约瑟：《中国科学技术史》，第三卷，（剑桥，

④

T·S·库恩：《哥白尼革命》（剑桥，麻省，1957年，英文版），第206～209页。

前面的例子是从天文学中选出来的，因为天象观测报告经常是用一种由比较纯粹的观测术语组成的词汇表达的。只有在这样的报告中我们才能希望发现科学家的观测和心理学家的实验主体之间的完全对应。但是我们不需要坚持这样完全的对应，只要放松我们的标准，我们就有许多东西可以获得。如果我们能同意“看到”这个动词的日常应用，我们就可以很快地认识到，我们已经遇到了其他许多科学知觉中发生转变的例子，它们都是伴随着规范改变而来的。“知觉”和“看”的引伸的用法，需要简短明确的答辩，但是让我们首先说明它在实践中的应用。

再看一看我们前面从电学史引用的两个例子。在十七世纪期间，当电学研究是受一种以太

理论指导时，电学家们反复地看到了细袜子从吸引它们的带电物体上反跳出来或跌落下来。至少那是十七世纪的观察家们说过他们看到了的事情，同我们没有理由怀疑我们自己的知觉报告一样也不能怀疑他们的知觉报告。在同样的仪器面前，现代的观察者会看到静电排斥（而不是机械的或引力的反跳），但是在历史上，有一种普遍忽略了例外，直到豪克斯比的大规模装置已经大大地放大了它的效应为止，静电排斥本身并没有被看到。可是，在接触超电以后的排斥是豪克斯比所看到的许多新的排斥效应中的唯一的一个。通过他的研究，更确切地说，就象在形态转换中一样，排斥突然成为超电的基本表现形式，于是吸引就需要说明了。②十八世纪初期可以看到的电现象比十七世纪的观察者们所看到的那些电现象更难以捉摸、更变化多端。或者，再举一个例子，在吸收了弗兰克林的规范以后，有一个莱顿瓶的电学家们就看到了某种不同于他以前看到的東西。这种装置是一个电容器，既不需要瓶的形状，也不需要玻璃。而是突出地出现了两片导电的云层，其中一片已经不是原来装置的组成部分。就象各种成文的讨论和图象表示逐渐表明的，两片金属片中间夹一个非导体已经成为这类装置的典型。①同时，其他感应效应得到了新的描述，还有其他一些效应则第一次受到注意。

②杜恩·罗勒和社恩，H. D. 罗勒：《电荷概念的发展》（剑桥，麻省，1954年，英文版），第21～29页。

①参看第七章中的讨论以及该章注9中引用的参考文献。

这种转变并不限于天文学和电学。我们已经评述了某些类似的可以从化学史中抽提出来的洞察力的转变。我们说过，拉瓦锡在普里斯特利看到去燃素空气的地方和其他人根本什么也没有看到的地方看到了氧。可是，拉瓦锡在学会看到氧的过程中，也必须改变他对其他许多更熟悉的实物的观点。例如，在普里斯特利和他的同时代人看到一种原始的土的地方，拉瓦锡却看到了化合物矿石，此外还有其他许多这样的改变。至少，作为发现氧的一种结果，拉瓦锡是以不同的方式看自然界的。同时在不求助于他以不同方式去看的被假定为不变的自然界时，经济原理会极力要求我们说，在发现氧以后，拉瓦锡是在一个不同的世界里工作。

我立刻想问一下避免这种古怪的表达方式的可能性，但是，我们首先要问一个外加的例子，这个例子是从伽利略的著作的最著名的部分得来的。从远古以来许多人都已经看到一个重物在一根绳子或链条上来回摆动直到它最终静止为止。对于亚里士多德学派的人来说，他相信，一

个重物体是靠它自己的本性，从较高的位置运动到较低的位置上的一种自然静止状态。这个摆动的物体只不过降落有困难。它受到这根链条的约束，只有在一段曲折的运动和一段相当长的时间以后，才能在它的低点上达到静止。另一方面，伽利略观察这个摆动的物体时，却看到了一个摆，这个物体，几乎是连续不断地重复同样的运动，一次又一次以至于无穷。伽利略在看到这个重要事物的同时，也考察了摆的其他各种性质，围绕着它们建立了他的新力学的许多最著名的和有独到见解的部分。例如，伽利略从摆的性质为重量和降落速度的独立性，以及为斜面上向下运动的垂直高度和终点速度之间的关系，导出了他的唯一充分而又完备的论据。①所有这些自然现象，他都是以不同于他们以前已经看到的方式去看待的。

洞察力的转移为什么会发生呢？当然是由于伽利略的个人天才。但是要注意，在这里，那种天才并不是以对摆动物体的更准确或客观的观察来显示自己的。形象地说，亚里士多德学派的感觉一样准确。当伽利略报告了摆的周期不依赖于振幅，因为振幅是90度。他对摆的观点使他看得比我们现在在那里能发现的更有规律得多。②不如说这里已经涉及的似乎是天才利用知觉的可能性使一个中世纪的规范转变有了价值。伽利略不

是完全作为一个亚里士多德学派的人出现的。相反，他是被培养为用原动力理论去分析运动的，这是一种中世纪末期的规范，这种规范认为，一个重物体的连续运动是由发动这种运动的发起人注入其中的一种内在力量引起的。琼·布里坦和尼古拉·奥斯姆，这两位十四世纪的经院哲学家使原动力理论具有最完备的形式，他们是已知已经看到伽利略所看到的那部分摆动运动的第一批人。布里坦把一根摆动的绳的运动描写为当这根绳受冲击时原动力首先被注入其中的一种运动，其次，在这根绳对着它的张力的阻力转移时，这种原动力就被消耗了；然后张力把这根绳带回，直到到达运动的中点，注入增加的原动力；此后，这种原动力使这根绳向相反方向转移，重新对着这根绳的张力等等，这个对称的过程可以无限地继续下去。后来，奥斯姆在这个世纪里对摆动的石块作了类似的分析，现在看来是这种摆的最初的探讨。③他的观点显然很接近伽利略最初探讨摆的观点。至少，在奥斯姆的情况下，而且在伽利略的情况下几乎也一样，是从原来的亚里士多德学派的运动规范转变到经院哲学的原动力规范所可能有的一种观点。直到经院哲学的规范被发现以前，科学家看到的并没有摆，而只有摆动的石块。摆的产生很象一种规范引起的形态变换。

①伽利略：《关于两门新科学的对话》H.

克鲁和A·德·塞尔维欧译（伊文斯顿，伊利诺斯州，1946年，英文版），第80～81，162～166页。

②同上，第

③M. 克拉吉特：《中世纪的力学科学》

（麦迪逊·威斯康辛，1959年；英文版），第537～538页，570页。

需要把区分伽利略和亚里士多德，或者把区分拉瓦锡和普里斯特利的描述为洞察力的转变吗？当这些人在观察同类对象时真的看到不同的东西吗？有没有任何合理的观念使我们能说，他们是在不同的世界里从事他们的研究呢？这些问题不能再推迟了，因为显然有另一种普通得多的方法去描述上面略述过的所有历史上的例子。许多读者一定会想要说，有规范的改变仅仅是科学家对观察的解释，它本身是由环境和感觉装置一劳永逸地确定的。按照这种观点，普里斯特利和拉瓦锡两人都看到了氧，但是他们对他们的观察有不同的解释；亚里士多德和伽利略两人都看到了摆，但是他们对他们两人已经看到的東西的解释不同。

让我们立刻说明，当科学家们改变他们关于基本物质的见解时所发生的这种最普通的观点既不是完全不适当的，也不仅是一种错误。不如说这是笛卡儿提出的一种哲学规范的主要部分，同

时已发展成为牛顿力学。那种规范为科学和哲学两者都服务得很好。利用那种规范，象力学本身一样在基本理解方面已经是富有成效的，这种基本理解用另一种方法也许不能获得。但是正如牛顿力学这个例子也指出，甚至过去最惊人的成就也不能保证，危机能无期地被推迟。今天，在哲学、心理学、语言学、甚至艺术史等部门中的研究，全都集中到使人想起传统的规范是不知怎么地歪了。科学史研究也使这种不适应日益明显，我们的主要注意力在这里必然指向这个问题。

这些引起危机的问题还没有为传统的认识论规范产生一个可行的代替方案，但是，这些问题确实开始使人想起那种规范所会有某些特征。例如，我尖锐地意识到，说什么当亚里士多德和伽利略着摆动的石块时，前者看到了受约束的降落，而后者看到了一个摆所造成的困难。这一章开头几句话甚至以更基本的形式提出了同样的困难：虽然这个世界并没有随着规范的改变而改变，此后科学家却在一个不同的世界里工作。不过，我确信，我们至少必须学会弄懂类似这些陈述的意思。在一次科学革命期间所发生的事情是不可以完全归结为重新解释个别的和不变的资料。首先，这种资料并不是明确不变的。一个摆并不是一块降落的石块，氧也不是排除了燃素的空气。因此，正如我们不久就会看到的，科学家

们从形形色色的对象中收集的这种资料本身是不同的。更重要的是，不论是个人还是团体造成的从受约束的降落到摆，或者从排除了燃素的空气到氧的转化过程，并不是一个类似解释的过程。在没有确定的资料可供科学家作解释的情况下，怎么能这样做呢？倒不如说科学家是一个解释者，他接受一种新规范就象一个戴上了反向的透镜的人。象以前一样，面对同样的星座，并且知道他在这样做，可是，他发现有许多细节彻头彻尾地改变了。

这些话都不是想要指出科学家们并不对观察和资料作独特的解释。相反，伽利略解释了对摆的观察，亚里士多德解释了对降落的石块观察，莫兴布鲁克解释了对一个充满电荷的瓶的观察，弗兰克林则解释了对一个电容器的观察。但是这些解释都以一个规范为先决条件。它们是常规科学的组成部分，正如我们已经看到的，这种事业的目的在于精炼、扩大和连接已经存在的规范。第三章提供了许多例子，解释在其中起了核心作用。那些例子代表了绝大多数研究工作。科学家在每一个例子中依靠一个已被接受的规范，知道一种资料是什么，应当用什么工具来重新得到它，是什么概念适合于解释它。规范已给定，对研究它的事业来说，对资料的解释就是核心。

但是，那种解释事业只能连接一个规范，而

不是改正它，这是这一节在结尾前的包袱。各种规范根本不是常规科学所能改正的。相反，正如我们已经看到的，常规科学最终只能导致对反常现象的认识和危机。而且这些常规科学不是靠审议和解释，而是靠形态转换之类比较突然和没有结构的事件结束的。而且科学家们常常谈到“从眼睛里掉下来的障眼物”或“充满着”以前难解的难题的“闪电”，使它的组成部分以新的方式被看到，并第一次允许有它的解。在其他各种场合，这种适当的说明来自睡眠。①“解释”这个词的通常意义都不适用于这些直觉的闪光，新规范就是通过它们产生的。虽然这样的直觉依赖于由老规范得到的经验，反常的和合适的两种都有，它们却不是象一种解释那样，同经验的特殊项目合乎逻辑地或一件一件地联系在一起。相反，它们集中了大部分经验，并使它们转化为一堆颇为不同的经验，此后会同新规范而不是老规范一件一件地联系在一起。

为了更好地了解经验中的这些差别能是什么，我们暂时回到亚里士多德、伽利略和摆。是什么资料使不同规范的相互作用和它们的共同环境对每一种规范都成为可以接受的？亚里士多德学派的人在着受约束的降落时会测量（或者至少会讨论，亚里士多德学派的人很少测量）石块的重量，它已经提高的垂直高度，它达到静止所需

要的时间。这些资料同介质的阻力在一起就是亚里士多德学派的科学在讨论落体时应用的概念范畴。②由他们指导的正常研究不可能产生伽利略发现的定律。它只能——并且由另一条道路它确实——导致一系列危机，由此出现了伽利略的摆动着的石块的观点。作为那种危机和其他智力变化的结果，伽利略还以完全不同的方式看到了摆动着的石块。阿基米德关于浮体的工作使介质成为不重要的东西；原动力理论使运动对称而持久；而拿破仑主义则使伽利略的注意力指向运动的圆形。③因此，他测量了每一次摆动的重量、半径、角位移和时间，这些恰好就是能解释伽利略关于摆的定律的资料。在这件事上解释已被证明几乎是不必要的。已知的伽利略规范，象摆的规则性是很容易为检验所理解的。伽利略发现，摆垂的周期完全不依赖于振幅，这个发现是导源于伽利略的常规科学必须破除的，也是我们今天完全无法用文件证明的，此外我们怎样去说明伽利略的这个发现呢？对于亚里士多德学派不可能存在的规则性（事实上，自然界在任何地方都举不出确切的例子来说明）是直接经验的结果，这种人象伽利略做过的那样看到了摆动着的石块。

①[雅克]哈达玛：《下意识的直觉和科学研究的逻辑》（1946年12月8日发明宫会议[阿冷松，无日期，法文版]），第7～8页。同一作者

的《数学领域中的发明的心理学》（普林斯顿，1949年，英文版）。虽然完全局限于数学发明。却是一个充分得多的报告。

②

T.S.库恩：《思想实验的作用》见R·塔顿和I·B·柯亨编：《亚历山大·柯依尔论丛》，1963年由海尔曼出版社（巴黎）出版。

③

A.柯依尔：《伽利略研究》（巴黎，1959年，法文版）第I卷；第46～51页；《伽利略和柏拉图》《思想史杂志》第IV卷，（1943年），第400～428页。

这个例子也许是想象出来的，因为亚里士多德学派设有纪录关于摆动着的石头的讨论。但是，亚里士多德学派确实讨论了比较简单情况，如石头没有显著约束而降落，这里显然有洞察力方面的差别。亚里士多德在凝视一块降落的石头时看到了状态的变化，而不是一个过程。因而对他来说运动的有关测量是经过的总距离和过去的总时间，所产生的参数我们现应说不叫做速度，而是平均速度。①同样，因为石头是受它的本性的驱使达到它最终的静止点，亚里士多德看到了这种运动期间的任何时刻有关距离的参数是到最后终点距离，而不是离运动起点的距离。②那些概念上的参数构成他的著名的“运动定律”的

基础，并赋予意义。可是，部分由于原动力规范，以及部分由于一种形式范围学说，经院哲学的批评改变了这种观察运动的方法。由原动力推动的一块石头，在从它的起点降低时得到了越来越多的原动力；因而从哪儿来的距离而不是到哪儿去的距离成了适当的参数。此外，亚里士多德的速度观念被经院哲学家分化为两种概念，在伽利略以后立刻成了我们的平均速度和瞬时速度。但是当人们通过这种规范看到这些概念时，只是一部分如降落的石块，摆等，几乎是靠检验才显示出它的起支配作用的定律。伽利略并不是提出石头以等加速运动降落的第一批人中的一个。^③而且，在他用一个斜面做实验以前已经提出了他的关于这个问题的定理及其许多结果。这种定理是新的规律性的另一种网络，易于为这个世界里的天才所理解，共同取决于自然界和各种规范，伽利略和他的同时代人根据这些规范已经提出了这种定理。生活在那个世界里，伽利略只要愿意，仍然能说明为什么亚里士多德已经看到了它所做的事情。可是，伽利略关于降落的石头的经验的直接内容并不是亚里士多德的经验所已经有的。

①T.S.库恩，《思想实验的作用》；《亚历山大·柯依尔论丛》（参看注14的全部引文）。

②

A.柯依尔，《伽利略研究》第Ⅱ卷，第7～11页。

③克拉齐特，同上，第

当然，我们需要如此关心“直接经验”即感性特征，是不清楚的，一种规范是如此精彩，它们几乎总是根据检验才放弃它们的规律性。那些特征必须随着科学家们对各种规范所承担的义务而明显地改变，但是，当我们谈到原始资料或者粗糙的经验时，它们还远不是我们心目中已经有的东西，科学研究被认为是从这些经验出发的。也许直接经验应当象流体那样搁在一边，而且我们应当用讨论来代替科学家们在他的实验室里完成的操作和测量。也许这种分析应当从直接给予的东西进一步向前推进。例如，这种分析应当用某中性的观察语言来处理，也许一个人想要同视网膜的印象一致起来，作为引起科学家们所看到的东西的媒介。只有用这些方法中的某一种，我们才能希望恢复一个领域，在这个领域里，经验重新是一劳永逸地稳定的，在这个领域里，摆和降落的石头不是不同的感觉，而是观察一块摆动的石头所提供的明确的资料的不同解释。

但是，感性经验是固定的和中性的吗？理论只不过是给给定资料的人为解释吗？三个世纪以来经常指引西方哲学的认识论观点是一种直接而明确的，是的！在没有已经提出的可供选择的方

案时，我发现它不可能完全消灭那种观点。然而，它不再有效地起作用了，而且现在在我看来，通过引进中性的观察语言使它这样做的企图是没有希望的。

一个科学家在实验室里进行的操作和测量并不是经验“给定的”，而是“艰难地收集到的”。它们并不是科学家看到的东西，至少在他的研究工作很好地进展和他的注意力集中以前不是。不如说，它们是更基本的感性内容的具体标志，而且它们本身就是为仔细研究正常研究工作选择的，只是因为它们答应有机会富有成效地精心制作一种已被接受的规范。它们在某种程度上是从直接经验引伸出来的，比直接经验清楚得多，而操作和测量则是规范决定的。科学并不处理一切可能的实验操作。在摆上完成的测量是不适用于受约束的降落的场合的。适用于解释氧的性质的作用同那些在研究去燃素空气的特征时所需要的作用也不相同。

至于纯粹的观察语言，也许有人会设计出来。但是，在笛卡儿以后三个世纪，我们对这样一种可能发生事情的希望仍然完全依赖于一种感觉和思维的理论。现代心理学实验在迅速地增加各种理论几乎不能处理的现象。鸭子-兔子表明，视网膜印象相同的两个人能看到不同的事物；倒装透镜表明，视网膜印象不同的两个人能

看到相同的事物。心理学对相同的效应提供了大量其他证据，由此而生的怀疑已经很快就被企图显示一种真正的观察语言的历史加强了。现在要达到那种目标的企图还没有接近于一种可以普遍应用的纯感觉的语言。那些最近出现的企图都具有一种特征，他们有力地加强这本书的几个主要论点。从一开始，他们就预先假定一种规范，或者取自一种流行的科学理论，或者取自日常谈话的某些部分，然后，他们试图从中消除一切不合逻辑的和非感知的术语。在少数谈话范围内，这种努力已经推进得很远，而且有了有趣的结果。毫无问题这种努力是值得追溯的。但是，它们的结果是一种语言，就象在科学中应用过的那些语言一样，包含着许多关于自然界的预期，违反这些预期的时刻就不起作用了。奈尔逊·古德曼在描述他的《现象的结构》的目的时所证明的恰好就是这个论点：“那就很幸运，[除存在的现象外]再也没有什么是有问题的了；对于‘可能的’情况来说还很不清楚，这些情况并不存在，但应当是存在过的。”^①因此，没有一种语言局限于报告一个领先完全已知的世界，而且只能产生关于“现实的东西”的中性的和客观报告。哲学研究甚至还没有对一种语言能做什么想要做的提供暗示。

①N. 古德曼：《现象的结构》（剑桥，麻省，1951年，英文版）；第4～5页。这一段值得

更广泛地引用：“如果1947年威灵顿的居民中只有那些重量在175和180磅之间的有红头发，那末‘1947年威灵顿的红头发居民’和1947年重量在175和180磅之间的威灵顿居民，就可以连结成一个结构定义...这些属性之一而不是其他是否已经适用于某人这个问题并没有关系...一旦我们已经确定没有这样的人，...那就很幸运，再也没有什么是有问题的了；对于‘可能的’情况来说还很不清楚，这些情况并不存在；但应当是存在过的。”

在这些情况下，我们至少可以怀疑，当科学家们把氧和摆（也许原子和电子也是一样）当作他们的直接经验的基本组成部分来处理时，他们在原理上以及在实践上都是正确的。民族、文化以及行业等等都是规范包含的经验的结果，此外，行星和摆，电容器和矿石化合物以及其他类似的物体，都已经在科学界占有一席之地。同这些感觉的对象相比较，米尺的读数和视网膜的印象两者都是精心制作的构成物，只有当科学为了他的研究的特殊目的而安排这个或那个这样做时，经验已经直接进入这些构成物。这并不是暗示，例如，摆是科学家在看一块摆动的石头时可能看到的唯一的東西。（我们已经指出，另一个科学团体能看到受约束的降落。）而是暗示，看一块摆动的石头的科学家不可能有原则上比看一

个个摆更基本的经验。可供选择的方案并不是某种假设为“固定的”理解力，而是通过另一种规范的理解力，使这块摆动的石头成为另外一种东西。

只要我们回想起科学家和工匠都不是一件一件地学会去看这个世界的，这一切就会更加合理。除非全部概念上的和操作上的范畴都是预先准备好了的。例如，发现一种增补的超铀元素，或者看到一座新房屋，科学家和工匠两者都得从不断变动的经验中清理整个领域。儿童把“妈妈”这个字从全体人类转给所有女性，然后转移给他的母亲，恰恰不知道“妈妈”的含义是什么或者他的妈妈是谁。同时他认识到在男性和女性之间有某些差别以及所有女性中只有一个人会对他采取的方法。他的反应，期望和信念，确实，他的理解了的世界，也相应地改变了。根据同样的理由，哥白尼学派否定了太阳的传统名称“行星”，并没有认识到“行星”意味着什么，或者太阳是什么。相反，他们是在改变“行星”的意义，以便使它能继续对全部大体而不只是太阳作出有用的区别，他们是用不同于他们以前已经看到的方法去看这个世界的。对于早先我们提出的例子都可以提出同样的论点。看到氧而不是排除了燃素的空气，看到电容器而不是莱顿瓶，或者看到摆而不是受约束的降落，仅仅是科学家对大量有关化学、电学和力学的理解力的一种整体转移中的一个组成

部分。同时规范决定着巨大的经验领域。

可是，只有在经验已经这样被确定以后，才能开始寻求一个操作定义或者一种纯粹的观察语言。科学家或哲学家在看到的一个摆时，必须已经能认识到这个摆是什么，并问是什么尺寸或视网膜印象组成这个摆。如果他看到的是受约束的降落，甚至就不可能提出他的问题了。而如果他看到的是一个摆，但是他是用看一个意义或者一台摆动的天平同样的方法去看这个摆的，他的问题就不可能得到回答。至少它不会是同样的问题。因此，虽然他们始终是合理的而且有时是非常富有成效的，关于视网膜印象或者关于特定的实验室操作的结果的各种问题都以某种方式从感觉上和概念上把一个世界区分开来为先决条件。在某种意义上这样一些问题是常规科学的组成部分，因为他们取决于一种规范的存在，而且作为规范改变的一种结果，他们得到的是不同的回答。

为了结束这一章，今后让我们忽略视网膜印象，而重新把注意力局限于实验操作，它为科学家提供他所已经看到的尽管零碎却很具体的标志。这样一些实验操作随规范改变的方式我们已经反复地观察过了。在一次科学革命以后，许多陈旧的量度和操作成为不适当的而代之以其他。一个人并不把用于氧的全部同样的试验用于排除了燃素的气体。但是这种改变决不是全体的。因

此，不论他会看到什么，在一次革命以后，科学家还是在看这个相同的世界。而且，虽然以前他曾以不同的方式用过他们，他的许多语言和他的大多数实验室仪器同以前仍然是同样的。结果，革命后的科学总是包括许多相同的操作，用同样的仪器完成，并用同样的术语描述，就象他的革命前的先驱一样。只要这些持久的操作完全改变了，这种改变必须在它们同规范的关系中或者在它们的具体结果中展现。现在我提出，用引进最后一个新例子的办法使这两种改变都会出现。我们在考察道尔顿和他的同时代人的工作时将发现，同一种操作，当它通过一个不同的规范同自然界相联系时，就能成为自然界的规律性的完全不同方面的标志。还有我们有时将看到老操作的新作用会产生不同的具体结果。

整个十八世纪和进入十九世纪以后，欧洲化学家几乎普遍相信，基本的原子是靠相互的亲合力结合在一起的，全部化学品都是由这种基本的原子组成的。因此一块银子是因为银粒子之间的亲合力而粘合的（直到拉瓦锡以后这些粒子本身被认为是由更基本的粒子化合成的）。按照同样的理论，银在酸中分解（或者盐在水中）是因为酸的粒子吸引了银的粒子（或者水的粒子吸引了盐的粒子）而且比这些溶解物的粒子的相互吸引更加强有力。或者再举一个例子，铜会在银的溶

液里分解，并沉淀出银，是因为铜和酸的亲和力比酸对银的亲和力大。许多其他现象都是以同样的方式解释的。在十八世纪这种有选择的亲和力理论是一种令人钦佩的化学规范，广泛地有时颇富成效地被用于设计和分析化学实验。①

①

H. 梅茨格：《牛顿，斯塔，玻希夫和化学学说》（巴黎，1930年，法文版）；第 34~38 页。

可是，自从吸引了道尔顿的工作，亲和力理论划分物理学上的混合物和化学上的化合物的界线在某种程度上已经成为不熟悉的了。十八世纪的化学家们确实认识两种过程。当混合时产生热、光、起泡沫或者其他类似的东西，就可以看到发生了化学上的化合。另一方面，如果混合物中的粒子能用肉眼区别，或用机械分开，那就只有物理学上的混合物。但是在大量中间情况中，如水中的盐，合金，玻璃，空气中的氧，等等，这些粗糙的标准用处很小。

大多数化学家在他们的规范指引下，把整个中间范围看成是化学的范围，因为它组成的这些过程全部受同类力的支配。水中的盐或氮中的氧恰好象把铜氧化所产生的组合一样是化学组合的一个例子。把溶液看成是化合物的论据是很强有力的。亲和力理论本身是很好地被证明了的。此

外，形成化合物的原因被认为是溶液的被观察均匀性。例如，如果氧和氮只是混合，而不在大气中化合，那么，较重的气体氧就应当沉到底。道尔顿认为大气是一种混合物，从来没有能令人满意地说明氧为什么没有能这样做。吸收了他的原子理论才最终于造成了以前没有的反常现象。①

有人想要说，化学家把溶液看成是化合物同他们的后继者的区别仅在于定义问题。在一种意义上可以说情况就是这样。但是，那种意义不仅是使定义习用方便。在十八世纪，混合物用操作试验并没有同化合物完全区分开来，也许他们不可能已被区分开来。即使化学家们已经寻找过这样的实验，他们会找出使溶液成化合物的标准。混合物和化合物的区别是他们的规范的组成部分，也是他们观察他们的整个研究领域的那种方法的组成部分，而且它本身是先于任何实验室试验的，虽然并不先于整个化学积累起来的经验。

但是，用这种方式来观察化学时，化学现象则是区别于那些随着吸收道尔顿新规范而出现的定律的例证。特别是，当溶液仍旧是化合物时，再多的化学实验本身也不能产生定比定律。在十八世纪末，大家都知道，某些化合物通常它们的组分的重量有固定的比例。德国化学家李希特对某几类反应是即已经注意到进一步的规律性，现在已被包括在化学当量定律里了。②但是，除了

处方以外，没有化学家用过这些规律性，而且几乎直到这个世纪末还没有一个人想到要把它们概括出来。提出象玻璃，或者象水中的盐之类明显的相反的例子，而不抛弃亲和力理论并重新划定化学家的领域的概念上的界限，就不可能有概括。这个世纪末在法国化学家普罗斯特和伯索利特之间的著名的争论使那种结果显得很清楚了。前者断定，所有化学反应都按确定的比例发生，而后者则认为，它们不是这样的。然而，这两个人必定相互讨论过了，而且他们的争论是完全没有说服力的。在伯索利特看到一个比例能变化的化合物的地方，普罗斯特只看到一种物理学上的混合物。③既不是实验也不是改变定义能适用于这个问题。这两个人就象伽利略和亚里士多德一样在根本上互相误解。

①H·梅茨格：《牛顿，斯塔，玻希夫和化学学说》（巴黎，1930年，法文版）第124～129，139～148页。关于道尔顿，参见伦纳德·K·纳什：《原子-分子理论》（《哈佛大学实验科学史案卷》第四案卷；剑桥，麻省；1950年；英文版）第14～21页。

②J. R. 巴丁顿：《化学简史》第二版；伦敦；1951年，英文版）；第161～163页。

③A. N. 梅尔德腊姆：《原子理论的发展》；（1）伯索利特的可变比例学说，《曼彻

斯特论文集》，第LIV卷，（1910年），第1~16页。

这就是约翰·道尔顿从事研究工作的那些年代里的形势，最终导致了他的著名的化学原子理论。但是，直到那些研究的最后阶段，道尔顿并不是一位化学家，对化学也没有兴趣。相反，他是一位气象学家，研究水吸收气体和大气吸收水等物理学问题。部分地因为他是在不同的专业里培养出来的，部分地因为他自己在那个专业里的工作，他用不同于现代化学家的规范探讨了这些问题。特别是，他把气体的混合物或者水中吸收一种气体看成是一种物理过程，一种亲和力在其中不起作用的过程。因而，对他来说，各种溶液被观察到的均匀性是一个问题，但是他认为，只要他能确定他的实验混合物中各种原子粒子的有关大小和重量，他就能解决的一个问题。道尔顿为了要确定这些大小和重量，最终转向了化学，他一开始就假定，在他认为是化学反应的有限范围内，原子只能一对一或者按其他一些简单的整数比化合。②这个自然的假定确实使他能确定基本的粒子的大小和重量，但是它也使定比定律成了同义反复。对于道尔顿来说，在任何反应中，如果成分不按确定的比例进行，根据这个事实，就不是一个纯化学的过程。在道尔顿的工作以前，实验不能确立的一条定律，在那项工作一旦

被接受以后，就成了一个基本原理，不是一套化学测量法所能推翻的了。作为一次科学革命的也许是我们的最完备的例子的一个结果，同样的化学操作对化学概括的关系呈现了极其不同于它们以前所具有的形式。

②

L.K. 纳什：《道尔顿的化学原子理论的起源》，《Isis》，第XLVII卷，（1956年）；第101～116页。

无需多说，道尔顿的结论在最初宣布时受到了广泛的攻击。特别是伯索利特决不相信。但是，对大多数化学家来说，道尔顿的新规范已被证明是令人信服的，而普罗斯的论点就没有做到这样。因为这个规范所具有的含意，远比区分混合物和化合物的一个新标准要更广泛和更重要。例如，如果原子在化学上只能按简单的整数比化合，那么，重新考查现有的化学资料就应当揭示出倍比和定比的例子。化学家们不再写，比方说这两种碳的氧化物按重量含有百分之五十六和百分之七十二的氧；相反他们写道，一份碳的重量或者同1.3或者同2.6份氧的重量化合。当古老的操作结果以这种方式记录下来，2与1之比就涌现在眼面前了；而且这在分析许多著名的反应以及其他新反应中都出现了。道尔顿的规范还使它有可能吸收李希特的工作并看到它的一般原则。

它也提出了新实验，特别是盖吕萨克关于化合容量的那些实验，而这些实验又产生了其他的规律性，那是化学家们以前没有梦想到的。化学家们从道尔顿得到的不是新的实验定律，而是一种研究化学的新方法（他自己把它叫做“化学哲学的新体系”），而且这种新方法已经如此迅速地被证明是富有成效的，只有在法国和英国的少数较老的化学家能反对它。①结果，化学家们达到一个境界，在那儿各种反应是以完全不同于它们以前所具有的方法运转的。

①A·N·梅尔顿腊姆：《原子理论的发展：

（6）接受道尔顿鼓吹的理论》，《曼彻斯特论文集》，第LV卷；（1911年），第1～10页。

随着这一切继续下去，发生了另外一个很重要的改变。化学的数据本身到处开始变动。当道尔顿第一次从化学文献中找数据来支持他的物理学理论时，他发现，各种反应的某些记录是适用的，但是，他几个不能避免发现其他一些不适用的记录。普罗斯特自己对铜的两种氧化物的测量产生了，例如，一种氧的重量比是1.47：1，而不是原子论所要求的2：1；而普罗斯特恰好那个是已经期望达到道尔顿比例的人。这就是说，他是一个很好的实验工作者，关于混合物和化合物之间的关系问题，他的观点同道尔顿的观点接近。但是，很难使自然界去适应一种规范。这就

为什么常规科学之谜是如此引起争论的问题，以及为什么没有一种规范所进行的量度，几乎根本不能导致任何结论。因此，化学家们不能凭证据简单地接受道尔顿的理论，因为许多证据仍然是否定的。相反，甚至在接受了这种理论以后，他们仍然必须在自然界中开辟道路，结果这个过程几乎花费了一个世纪。当他完成时，著名化合物的百分比组成是不同的。资料本身已经改变了。那就是最后的意义，我们想说，在一次革命以后，科学家是在一个不同的世界里工作。

XI 革命是无形的

我们还必须问，科学革命怎样结束。可是在这样做以前，自然界似乎要求作最后的尝试以加强关于它们存在的信念。迄今为止我已试图用实例显示革命，例子可以增加得令人生厌。但是，很清楚，大多数例子是因为熟悉而故意选择的，通常已经不看成是革命，而是科学知识的增补，这些可能会是不起作用的。我提出为什么革命已被证明几乎是看不见的，是有十分充分的理由的。科学家和医匠两者都从权威的来源获得了他们对创造性科学活动的许多印象，部分出于重要的功能方面的理由，故意隐蔽科学革命的存在和意义。只有当那个权威的本质已被认识和分析时，人们才能希望做出充分有效的历史事例。而且，这一点尽管要在我的最后一章里才能充分展开，现在所需要的分析将开始简要地说明科学工作的一个方面，并把它同其他创造性的事业，也许除神学以外，最清楚地区别开来。至于权威的来源，我心目中主要有科学教科书以及模仿它们的普及读物和哲学著作。所有这三类书籍有一件事是共同的，直到最近，除了通过研究工作的实践以外，关于科学的情报还没有其他重要来源可以得到。他们致力于一批已经表达得很清楚

有力的问题，资料 and 理论，大多数常常是一套特殊的规范，在他们写作时就把这套规范交给科学团体。教科书本身的目的是要传达现代科学语言的词汇和句法。普及读物企图用比较接近日常生活的语言来描述同样的应用。而科学的哲学，特别是在说英语的世界里，则分析科学知识的同样完备的主体的逻辑结构。尽管更充分的处理必然会涉及这三类之间的真正区别，但在这里我们最关心的却是它们的相似点。三者全都记录着过去的革命的稳定的结果，并因此表现当前的常现科学传统的基础。为了实现它们的作用，他们并不需要提供关于那些基础首先被这个行业承认然后被信奉的道路的可靠情报。至少，就教科书来说，甚至有很好的理由表明，为什么在这些问题上，他们应当故意使人误解。

我们在第二章中指出了，对教科书或者它们的相当读物的增长着的信赖，是任何科学领域中出现第一个规范的不变的伴随物。这本书的最后一章将证明，一门成熟的科学靠这样一些教科书处于支配地位会从其他领域有效地分化出它的发展形态。目前让我们简单地认为在其他领域中没有先例的范围内，外行和医生两者的科学知识都是以教科书和源自教科书的其他少数文献为基础的。可是，教科书是使常规科学永久存在的教育工具，每当常现科学的语言，问题结构或标准改

变时，必须全部或部分重写。总之，它们在每一次科学革命以后必须重写，而且，一旦重写，它们就不可避免地不仅要掩饰革命的作用，而且要隐瞒产生它们的这一次革命的存在本身。除非他在他自己的一生中亲自经验过一次革命，教科书的读者，不论是科学家还是外行的历史感觉只能扩展到这个领域中最近的革命的结果。

因而，教科书开始时除去科学家对学科更为意识，然后开始为他们已经清除的东西提供代替物。科学教科书的特点是只含有一点儿历史，或者是在序言里，或者更常见的是在早期的伟大英雄的零散的参考书里。学生和专业人员从这样一些参考书中感到象一种长期存在的传统的参加者。然而，科学家们从教科书得到的传统中感到他们所参与的传统事实上从来没有存在过。科学教科书（以及许多比较陈旧的科学史）只涉及过去的科学家的部分工作，这些工作可以很容易地被看成是对说明和解决教科书的规范问题的贡献，理由既是明显的也是很起作用的。部分由于选择，部分由于歪曲，早期的科学家们盲目地声称是对同一组确定的问题发生作用，并符合于同一组准则，而且似乎已经使科学理论和方法中的最新革命成为科学的。毫不奇怪，在每一次科学革命以后，教科书和它们提出的历史传统必需重写。而且也用不到奇怪，随着教科书被重写，科

学又一次被归结为似乎主要是积累起来的。

当然，科学家们并不是倾向于把他们的学科的去理解直式地向它现存的占优势地位发展的唯一团体。回过头来写历史的诱惑既是普遍存在的，也是持续不断的。但是，科学家们更受重写历史这种诱惑的影响，部分是因为，科学研究的结果表明，并不明显地依赖于探究历史的来龙去脉，部分是因为，除了在危机和革命时期以外，科学家现在的立场似乎是如此地牢固。不论是科学的现在还是过去，历史细节愈多，或者对历史细节所负的责任越大，只能把人为的成分给予人类的癖性，错误和混乱。为什么要推崇科学的最好的和最持久的努力已经使科学有可能抛弃的东西呢？藐视历史事实在科学界的意识形态中是根深蒂固的，而且可能还在起作用。这同一个行业却给其他各种事实上的细节以最高的价值。怀德海写道：“对忘掉它的缔造者犹豫不决的科学已不再为人所知了。”这句话抓住了科学团体的非历史精神。然而，他并不是完全正确的，对科学来说，象其他事业一样，确实需要他们的英雄，而且确实铭记着他们的名字。幸而科学家们不再忘记这些英雄，而是已经能忘记或者修正了他们的工作。

结果是一种持久的倾向，使科学史看起来是直式的或者积累起来的，这种倾向甚至影响到

科学家们在回顾他们自己的研究工作。例如，道尔顿关于他的化学原子论的发展的三个不一致的报告使他看来似乎他很早就对那些化学上的化合比例问题感兴趣了，后来他是由于解决了这些问题而著名的。事实上，这些问题看来是了解他才发现的，因而在他自己的创造性工作以前已经很接近于完成了。①所有道尔顿的报告忽略的是把一整套以前局限于物理学和气象学的问题和概念用于化学的革命影响。这就是道尔顿所做的，结果是这个领域改变方向，这种改变了的方向引导化学家从旧资料提出新问题和引出新结论。

再举一个例子，牛顿写道，伽利略已经发现了引力产生一种运动，与时间的平方成正比。事实上，当伽利略的动力学定理被纳入牛顿自己的动力学概念的公式时确实采取了那种形式。但是。伽利略并没有说过这种事情。他讨论落体很少提到力，更不必说引起物体降落的一种均匀的引力了。②由于对伽利略的信任，回答一个问题不允许问伽利略的规范，牛顿的叙述在科学家们问过的有关运动问题，以及在他们感到能够接受的回答中掩盖了重新阐述的小而革命的作用、但是，恰好是在对问题的阐述和回答方面，这种改变远比新颖的经验上的发现更能说明从亚里士多德的力学到伽利略的力学和从伽利略的力学到牛顿力学的过渡。由于掩盖了这样一些改变，教科

书倾向于把科学的发展说成直线式的，并掩盖着一个处在科学发展的最有意义的插曲中心的过程。

①

L·K. 纳什：《道尔顿的化学原子论的起源》，《Isis》，第XLVII卷；（1956年）；第101～116页。

②关于牛顿的意见，参看弗洛里安卡乔里编：《牛顿爵士的自然哲学的数学原理和他的世界体系》，（贝克莱，加利福尼亚，1946年，英文版），第21页。这一段应当同伽利略在他自己的《关于两门新科学的对话》中的讨论相比较。H. 克鲁和A. 德·塞尔维欧译，（伊文思顿，伊利诺斯，1946年；英文版）第151～176页。

前面的例子，每一个都在一次革命前后表现出重建历史的开端，这种历史一般都由革命后的科学教科书完成的。但是，在完成时都包含了比上述更多得多的对历史的曲解。那些曲解使革命看不见了，安排教科书中仍然可以看得见的材料暗含着一个过程，只要它存在，就会否定革命的作用。因为他们的目的在于使学生很快地了解现代科学团体认为它所知道的东西，教科书把现代常规科学的各种实验、概念、定律和理论尽可能处理成分离的和几乎是连续的。作为教育，这种描述技巧是无可指责的。但是，当它同一般科学

著作的非历史的气氛以及同上面讨论的有时是故意的曲解相结合时。就不可抗拒地多半会产生一种强烈的印象：通过一系列个人的发现和发明，科学达到了它现在的状态，当集中在一起时，就构成现代技术知识的主体。教科书的描述包含着，从科学事业开始时起，科学家们就已经为今天的规范中包含的特殊目的奋斗了。科学家们在一个可以同给建筑物上加砖块相比较的过程中，一个一个地，给现代科学教科书中提供的知识主体上加上另一个事实、概念、定律或理论。

但是，这不是科学发展的道路。现代常规船的许多难题，直到最近的科学革命为止还不存在。它们很少能追溯到科学史的开端，他们现在就是在这个范围内发生的。前几代用他们自己的仪器和他们自己解决问题的准则研究他们自己的问题。也不只是那些问题已经改变了。倒不如说教科书中适合于自然界的规范的整个事实和理论的网络已经变了。例如，化李组成的及培不变仅仅是一个化学家们能用实验在任何一个世界里都能发现的经验事实吗？化学家们就是在这个世界范围内做实验的。或者倒不如说它是事实和理论联系起来的新结构中的一种不容置疑的因素。道尔顿适应过整个早期化学经验，在这个过程中改变着那种经验。或者由于同样的理由，不变的力所产生的不变的加速度仅仅是力学的学生们总归

找得到的事实吗？或者倒不如说这是要回答最初仅仅在牛顿力学的范围以内引起的一个问题，那种理论能根据提出这个问题以前有效的知识主体来回答。

这些问题在这里是问教科书描述的一件一件地发现的事实表现为什么。但是，很明显他们也含有教科书所提出的是理论的意思。当然，那些理论确实“适合于这些事实”，但是由于把以前可以接受的资料转化为对在先的规范根本不存在的事实。而这就意味着那些理论也不是一件一件地发展成为适应于始终在那儿的事实的。不如说，他们从革命地重新阐述以前的科学传统开始同他们适应的事实一起出现，在这种传统范围以内，科学家和自然界之间的以知识为媒介的关系并不是完全相同的。

最后一个例子可以澄清教科书描述对我们的科学发展的印象的冲击。每一本初等化学教科书都必须讨论化学元素概念。当引进这个概念时，几乎总是认为它的起源于十七世纪的化学家罗柏特·波义耳，和他的《怀疑的化学家》，注意的读者会发现“元素”的定义十分接近于今天所用的定义。提到波义耳的贡献，帮助初学者认识到，化学并不是从横胺药物开始的；另外，它告诉初学者，科学家的传统任务之一就是要发明这种概念。作为教育宝库的一部分，它使一个人成为一

个科学家，这种归因是很成功的。然而，它又一次表明，历史上错误的方式，给学生和外行两者对科学事业的本质以错误的印象。

按照波义耳，他是完全正确的，他对一个元素的“定义”不过是传统的化学概念的抽象；波义耳提出这个定义只是为了证明，根本不存在化学元素这样的东西，作为历史，教科书对波义耳的贡献的说法是完全错误的。①当然，那种错误虽然同其他任何对资料的歪曲一样是无足轻重的。可是，当这种错误首先混合起来，然后进入教科书的技术结构，并促成了对科学的印象，就不是无足轻重的了。象“时间”、“天能量”、“力”或者“粒子”、元素的概念等都是教科书的组成成分，往往根本不是“发明”或“发现”的。尤其是波义耳的定义，至少能追溯到亚里士多德，往前通过拉瓦锡，进入现代教科书。然而，那不是说，科学自古以来已经具有现代的元素概念。象波义耳那种词句上的定义，就它们本身考虑时，科学内容很少。它们并不是对意义（如是有这样的意义）完全合乎逻辑的详细说明，而更近似教育上的辅助物。科学概念在一本教科书或者其他有系统的描述范围内，只有当它们所指的同其他科学概念，同操作程序以及同规范应用相联系时，才获得充分的意义。所以说象元素那样的概念不依赖于上下文几乎是不能被发现的。它们很少需要

发现，因为它们已经在手边了。波义耳和拉瓦锡两人都使“元素”的化学意义有了重要改变。但是，他们都没有提出这个观念，甚至没有改变作为它的定义的词句上的公式。正如我们已经看到的，爱因斯坦为了在他的工作范围以内给予“空间”和“时间”以新的意义，也不一定要发明，或者明确地重新给它们下定义。

①T.S.库恩：《罗柏特·波义耳和十六世纪的结构化学》，《Isis》，第XLIII卷，（1952年），第26～29页。

那么波义耳在他的那部分工作中包括这个著名的“定义”在内，其历史作用是什么呢？他是一次科学革命的领袖，通过改变“元素”同化学操作和化学理论的关系，把这种观念改变成为完全不同于它以前的一种工具，同时在这过程中改造了化学和化学家的世界。其他革命，包括以拉瓦锡为中心的那一次革命，需要给予这概念以现代的形式和作用。但是，波义耳对这个过程的每一阶段以及当现有知识被包括在教科书中时这个过程所发生的事情都提供了典型的例子。教育的形式比科学的其他任何一个方面更多地决定着我们对科学本质的形象以及发明和发现在科学发展中的作用。

XII 革命的解决

我们刚才已经讨论过的这种教科书是在科学革命以后产生的。它们是常规科学的新传统的基础。我们在提出它们的结构问题时，清楚地遗漏了一个步骤。一种新的候补规范代替它的先驱者这种过程是什么？是不是首先在一个人或者少数几个人心目中出现的对自然界的任何新解释，一种发现或者一种理论。他们首先学会以不同的方式看待科学和这个世界，而且由于两种情况促进了他们造成这种转化的能力，那可不是科学家中大多数成员所共有的。他们的注意力一定是强有力地集中在引起危机的问题上；此外，他们通常是如此年青的人物，或者对这种经受危机的领域是如此没有经验，实践已经使他们比他们的大多数同时代人更少受由老规范决定的世界观和各种规则的约束。要使全部同行或者有关的专业小组转变他们看待科学和世界的方式，他们能怎样做？他们必须做什么？什么是使这个团体放弃正常研究的一种传统，支持另一种传统的原因？

要看到那些问题的迫切性，就请记住，他们是历史学家为哲学家对确立了的科学理论进行检验，证实和证明为错误等调查所能提供的唯一的重新构成的东西。在他从事常规科学的范围

内，研究工作者是解难题的，不是检验规范的。虽然他可以在寻找特定的难题的解时，试验许多可供选择的途径，拒绝那些不能产生理想结果的途径，当他这样做时，他并不检验这种规范。他倒反象下棋的，在他面前有从物质上和精神上规定的问题和这个棋盘，在求解中检验各种各样可供选择的一着棋。这些试验的企图，不论是下棋的，还是科学家，只是试验他们自己，而不是试验比赛规则。只有这种规范本身被认为是不成问题的，他们才有可能。因此，检验规范只有在解一个值得注意的难题总是失败已经引起危机以后才产生。而且即使那时也只有在这种危机的感觉已经引起了一种可以代替的候补规范时它才产生。在科学中，检验的形势决不在于把个别规范同自然界作比较，就象解难题所做的那样。相反检验是作为两种对抗的规范为忠于这个科学团体而竞争的一部分产生的。

仔细考查以后，这种阐述显示出关于证明两种最著名的现代哲学理论的没有预料到的也许是重要的类似的东西。少数科学哲学家仍然在为证明科学理论寻找绝对的标准。请注意，没有一种理论能由一切可能有关的试验揭示出来，他们不同一种理论是否已被证实，而是问根据实际存在的论据，这种理论的可能性。并回答驱使一个重要学派在比较不同理论说明手头资料的能力等问

题。坚持比较各种理论也表征出接受一种新理论的历史形势。很可能它指出了将来讨论证明中应当遵循的方向。

可是，概率证明的理论在它们的最普通的形式中全都求助于第十章中讨论过的一种或另一种纯粹的或中性的观察语言。一种概率理论要求我们把特定的科学理论同所有其他可以想象为适应于同样收集到的观察资料相比较。另一种概率理论要求特定的科学理论被想象为需要通过一切可以想到的试验这种解释。①显然，为了估计特定的可能性，相对的或绝对的，这样一些解释是必要的，而且很难看出这样一种解释怎样才有可能达到。正如我已经强调过的，如果不可能有科学上或经验上中性的语言体系或概念体系，那么，提出交替的试验和理论的解释就必须从一种或另一种以规范为基础的传统着手。因而，限制它将不易接近一切可能的经验或一切可能的理论。结果，概率理论掩盖了这种证明情况，就象他们说明这种证明情况一样。虽然，那种情况，正如他们坚持的，并不依赖于把各种理论和广泛流传的证据作比较，在争论中的各种理论和观察始终同已经存在的理论和观察密切有关。证明就象自然选择；它在一种特定的历史情况下在实际上可供选择的对象中间选出最可行的。如果还有其他可供选择的对象是有效的，或者还有另一种资料，

这种选择是不是已经作出了最好的选择并不是一个可以有效地提出的问题。在对这个问题寻求回答时没有可用的工具。

①关于概率证明理论的主要路线的简要梗概，请参阅恩斯特·奈格尔：《概率理论的原理》，《统一的科学国际百科全书》第一卷，第六册，第60～75页。

卡尔·R·鲍勃对整个问题作出了一种很不相同的探索，他完全否定任何证明程序的存在。①相反，他强调证明这试验是错误的重要性，因为其结果是否定的，就需要抛弃一种已经确立的理论。很清楚，这样赋予证明为错误的作用很象这本书指定给反常经验，即引起范例的经验的作用，并为一种新理论准备了道路。然而，反常的经验不可以同错误的经验等同起来。确实，我怀疑后者的存在。正如前面已经反复地强调了的，没有一种理论曾解决它在特定时期面临的一切难题；已经得到的解也不常是完备的。相反，正是现有资料和理论的这种不完备和不完善，在任何时候都适合于解释许多表示常规科学特点的难题。每一次不适应都是抛弃理论的理由，所有理论总是应当被抛弃。另一方面，如果只有严重不适应才证明理论应当被抛弃，那么鲍勃主义者就需要某些“不可能性”或者“证明为错误的程度”的标准。他们在提出一个标准时，几乎肯定会遇到

同样的困难，这些困难时常索绕着各种概率证明理论的拥护者。

①K. R. 鲍勃：《科学发现的逻辑》（纽约；1959年，英文版），尤其是第1~4章。

认识到关于科学探索的根本逻辑的两种盛行的和对立的观点已经试图把两种基本上分开的过程压缩成为一个过程，就能避免前述许多困难。鲍勃的反常经验对科学是重要的，因为它为现存的一种规范引起竞争者。但是，证明为错误，即使确实产生了，却并没有发生或者只不过是出现了反常现象或错误例子。这是以后分开的过程，同样可以称为证明，因为它是新规范对旧规范的胜利。而且，在那种证明和证明为错误的共同过程中，概率论者对各种理论的比较起着核心的作用。我认为，这样一种分两阶段的阐述具有很逼真的优点，也可以使我们开始详细地阐明在证明过程中事实和理论之间的一致（或者不一致）的作用。至少，对于历史学家来说，证明确立了的事实同理论相一致的意义不大。所有历史上有意义的理论都同事实一致，只不过或多或少而已。一种理论是否适合于这事实，或行适合得多么好，对于这个问题并没有确切的回答。但是，这些问题很象是把各种理论集体地或者成对地提出时所能问的问题。问两种事实上在竞争着的理论中哪一种适应这事实更好是有重要意义

的。例如，尽管同已有观察恰好一致，既不是普里斯特利的理论，也不是拉瓦锡的理论，少数同时代人犹豫了十年才作出结论说，拉瓦锡的理论是两种理论中适应得更好的一种。

可是，这种阐述使得在各种规范之间作出选择这个任务显得更加容易也更加随便了。如果只有一套科学问题，在一个世界范围内对这些问题做工作，而已只有一套解这些问题的标准，规范竞争就可以或多或少地按常规用数每一种规范解决了的问题的数目之类的过程来解决。但是，事实上，这些条件从来没有完全具备。竞争着的规范的支持者至少总是有点矛盾。为了证明自己有理由，双方都不会同意别人需要的一切非经验的假设。象普罗斯特利偕索里将关于化学化合物组成的争论，部分是由于他们决心要讨论。虽然每一方都希望别人转变他了解科学及其问题的方法，但双方都不会想要检验他的问题。各种规范之间的竞争不是那种可以由实验解决的战斗。

我们已经了解到为什么竞争着的规范的支持者要使彼此的观点完全联系起来的总是失败的一些理由。这些理由集中起来已描述为革命前后常规科学的传统是不能比较的，在这里我们只需要扼要地加以重述。首先，竞争着的规范的支持者对于任何候补规范必须解决的问题清单往往会不一致。他们关于科学的标准和定义是不同的。运

动理论是否必须说明物质粒子之间的引力的原因，或者它可以只注意到这种力的存在呢？牛顿力学被普遍抛弃是因为不象亚里士多德和笛卡儿的理论，它暗示了后者对这问题的回答。当牛顿的理论已被接受时，一个问题因此就从科学中排除了。可是，那个问题是广义相对论可以骄傲地声称已经解决了的一个问题。再举一个例子，在十几世纪传播过的拉瓦锡的化学理论，禁止化学家们问为什么金属是这样现象，这是燃素论化学已经问过和回答过的一个问题。过渡到拉瓦锡的规范，就象过渡到牛顿的规范一样，意味着不仅损失了一个可以允许的问题，而且损失了一个已经得到的解。可是，那种损失都不是永久性的。在二十世纪，关于化学物质的性质问题，同对他们的某些回答一样，重新进入了科学。

可是，还包含了比标准不可比较更多的东西。因为，新规范是从旧规范产生的，他们通常混合着传统规范以前用过的许多概念上和操作上的语汇和注解。但是，他们很少以完全是传统的方式用这些借来的因素。在新规范的范围以内，老的术语、概念和实验同其他东西开始了新的关系。虽然术语并不完全正确，不可避免的结果是我们必须称之为两个竞争着的学派之间的误解。外行嘲笑爱因斯坦的广义相对论，因为空间不可能是“弯曲的”，它不是那种东西，这不只是不适

当或错误。数学家们、物理学家们和哲学家们试图提出爱因斯坦理论的欧几里德说法也不适当也是错误的。①以前所说的空间必须是平直的，均匀的，各向同性的，而且不受物质存在的影响。如果不曾这样，牛顿的物理学就不会起过作用。要完成向爱因斯坦的宇宙过渡，整个概念网必须转变并重新落实到整个自然界。概念网的要素是空间、时间、物质和力等等。只有一起经历或者不能经历那种转变的人们，才有可能发现，他们恰好在什么问题上一致的或者不一致的。越过分界线的交通不可避免地是局部的。另外还有一个例子，请考虑那些称哥白尼为疯子的人，因为哥白尼宣传地球是运动的。他们不是正好错了，就是完全错了。他们所说的“地球”这个字有一部分意思就是固定的位置。至少，他们的地球不可能是运动的。相应地，哥白尼的发明不只地球是运动的。不如说，它是关于物理学和天文学问题的一种完全新的方法，这种方法必需改变“地球”和“运动”两者的意义。②没有那些改变，一个运动着的地球的概念就是发疯。另一方面，一旦它们已经完成和被理解了，笛卡儿和惠根思两人就能认识到，地球的运动对科学来说是一个没有内容的问题。③

①关于改行对弯曲空间概念的反应，请参看菲列音·弗兰克：《爱因斯坦，他的生平和时

代》，G. 罗申和S. 库萨加编译（纽约，1947年，英文版），第142~146页，关于少数人企图在欧几里得空间范围内保持广义相对论的收获；请参看C. 诺得曼：《爱因斯坦和宇宙》，J.马卡勃译（纽约，1922年，英文版），第九章。

②T. S. 库恩：《哥白尼的革命》（剑桥，麻省，1957年，英文版），第三、四和七章，同心说不只是一个严格的天文学问题，就这个范围说，它是全书的主题。

③马克思·詹默：《空间概念》（剑桥，麻省，1954年，英文版），第118~124页。

这些例子指出了竞争着的规范不可比较的第三个最基本的方面。在某种意义上说，我不能进一步阐述了，竞争着的规范的支持者通常是在不同的世界里从事他们的事业的。一方面有慢慢地降落的受约束的物体，其他方面一次又一次重复地运动的摆。在一方面看来，溶液是化合物，在其他方面看来，是混合物。一方是嵌在平直空间模型里的东西，他方是嵌在弯曲空间模型里的东西。两组科学家在不同的世界里实践着，当他们从相同的问题出发按相同的方向看时看到的是不同的东西。而且，那不是说他们能看到他们喜欢的任何东西。两者都在看这个世界，而且他们所看的东西并没有改变。但是，在某些领域里，他们看到了不同的东西，而且他们是在不同的相互

关系中去看这些东西的。那就是为什么一条定律对一组科学家甚至不能说明，而对另一组科学家有时好象直观那样显而易见。同样，这就是为什么在他们能希望充分地传播以前，这一组成其他组科学家必须经验到我们已经称之为规范转移的惯例。正因为它是一种不可比较的东西之间的转化，竞争着的规范之间的转化，由于逻辑的和中性的经验逼迫，不可能一次完成一个步骤。象形态转变那样，它必须立刻产生（尽管不必要在一个瞬间）或者根本不产生。

那么，科学家们怎样导致完成这种变换呢？部分回答是，他们常常不能完成这种变换。哥白尼主义在哥白尼死后几乎一个世纪只作出了少数转换。牛顿的工作在《原理》出版以后的半个世纪里，特别是在大陆上，并没有被普遍接受。①普里斯特利从来没有接受过氧的理论，开尔文勋爵也没有接受电磁理论，等等。科学家本身往往已经注意到转变的困难。达尔文在他的《物种起源》的末尾在特别富有洞察力的一段中写道：“虽然我完全相信在这一卷中提出的观点的真理性……，我决没有期望使有经验的博物学家们信服，他们的心目中备有许多事实，多年以来，这一切都是从直接与我对立的观点去观察的。……但是，我满怀信心地展望着未来，对于年青的正在上升的博学家们来说，他们将有可能

毫无偏见地看到这个问题的两个方面。”②而马克思·普朗克在他的《科学自传》中检查他自己的生涯时，悲伤地表示：“一种新的科学真理并不是靠使他的反对者信服，并且使他们同情而胜利的，不如说是因为他的反对者终于死了，而在成长的新的一代是熟悉它的。”③

①I.B.柯亨：《弗兰克林和牛顿：思辨的牛顿主义实验科学初探以及它的一个例子弗兰克林在电学方面的工作》（费城，1956年，英文版）；第93～94页。

②查理·达尔文：《物种起源》（审定版；英文第六版，纽约，1889年），第二卷；第295～296页。

③马克思·普朗克：《科学自传和其他论文》，F. 给纳泽（纽约，1949年，英文版）第33～34页。

这些事实和其他类似的事实是众所周知的，不需要进一步强调了。但是，他们确实需要重新评价。在过去，他们曾经经常指出，科学家也是人，即使面临严格的考验，也不能总是承认他们的错误。我宁愿争辩说，在这些问题上意见不一致的既不是证明，也不是错误。从忠于一种规范转到忠于另一种规范是一种不能强迫的转变经历。特别是来自那些人的终生抗拒，并不违背科学的标准，而是科学研究本身的本质的一种标

志。他们的多产经历已经使他们信守常规科学的一种比较古老的传统。抗拒的根源在于确信老规范最终将解决它的一切问题，自然界可以挤进这规范提供的盒子。在革命时期，那种信念不可避免地显得很顽固，很愚蠢，正如它有时确实变成的那样。但是，它也是更重要的东西。同样的信念使常规科学或者解难题的科学成为可能。而且科学家们的专业团体只有通过常规科学，首先成功地利用老规范的可能的范围和正确性，然后把困难孤立起来，通过研究这种困难，就可以出现一种新规范。

可是，说那种抗拒是不可避免的和合法的，规范改变不可能由证明来判断的，并不是说没有适当的论据，或者不能劝科学家们改变他们的思想。尽管有时需要一代人来引起这种改变，科学团体还是再三转向新规范。而且，这些转变并不轻视科学家们是人这个事实，而正因为他们是人才产生的。虽然有些科学家，特别是那些比较老的和有经验的科学家会含糊地拒绝，他们中间大多数可以通过这种或那种道路达到。每次只有几个会转变，直到最后一个坚持不让步的人死了，整个行业就会重新在一个单一的但现在已是一个不同的规范下做实验了。因此，我们必须问转变是怎样引起的和怎样被拒绝的。

对这个问题，我们可以期望怎样一种回答

呢？正因为问的是说服的技巧，或者是在不可能有证明的情况下的论据和反论据，我们的回答是一个新问题，要求一种以前没有做过的研究。我们必须安排一个很局部的和印象主义的调查。此外，我们已经说过的和那种调查的结果相结合表明，当问的是说服而不是证明时，科学论据的本质问题就没有单一的或始终如一的答案。个别科学家由于各种理由而信奉一种新规范，而通常只是由于几种理由，有些理由完全是在显而易见的科学领域以外的，例如，太阳崇拜帮助刻卜勒成为一个哥白尼主义者。①其他人必须取决于自传和人物的特性。甚至发明家的国籍或者以前的荣誉以及他的导师有时也能起重要作用。②因此，最后我们必须学会以不同的方式来问这个问题。于是，我们关心的不是事实上使这个或那个个人转变的论据，而不如说是使这种团体转变的论据，它们或早或迟总会重新形成一个单一的集体。可是，我们把这个问题推迟到最后一章。同时考查某些在改变规范的斗争中已被证明特别有效的论据。

①关于太阳崇拜在刻卜勒思想中的作用，请参看E.A.勃特：《现代物理科学的形而上学基础》（修订版，纽约，1932年，英文版），第44～49页。

②关于荣誉的作用，请想一想下面这件事：

瑞利勋爵在他的荣誉已经建立以后，有一次向英国协会提交了一篇关于电动力学的某些佯谬的论文。当这篇论文最初送出时，他的名字由于疏忽而遗漏了，这篇论文本身最初被当作某些“反论家”的工作而被拒绝了。不久以后，这篇文章署了作者的名字，就以过分的辩解被接受了（R. J. 斯特鲁特，瑞利男爵第四：约翰·威廉·斯特鲁特，瑞利男爵第三〔纽约，1924年〕；第228页）。

由于新规范的支持者提出的唯一最流行的要求，也许是他们能解决使老规范导致危机的各种问题。当这种要求能合法地提出时，往往可能是最有效的一个。在提出这种规范的领域中已经知道有困难。人们已经反复地探讨过那种困难，并且企图排除它，而一再被证明是徒劳的。那些能特别鲜明地区别两种规范的“决定性实验”，甚至在新规范发现以前就已经被认识和证明了。因此，哥白尼声称，他已经解决了日历年的长度这个长期令人烦恼的问题。牛顿声称他已经使大地的力学和天上的力学一致起来了，拉瓦锡声称，他已经解决了气体识别和重量比例的问题，而爱因斯坦则声称，他已经使电动力学和一种修正了的运动科学一致起来了。

如果新规范在表现量的精确性方面比它的老的竞争者好得多，这种要求就特别有希望成功，

刻卜勒的鲁道尔芬表比所有根据托勒密理论计算出来的那些表在定量上的优越性是天文学家们转向哥白尼主义的主要因素。牛顿在预言定量的天文观测上的成功，也许是他的理论战胜更合理但一律是定性的竞争者的一个最重要的理由。而在本世纪，普朗克的辐射定律和玻尔的原子这两项惊人的定量的成就，很快就说服了许多物理学家去采纳他们。虽然从整个物理科学来看，这两项贡献所造成的问题比它们解决的问题要多得多。

①

①关于量子理论造成的问题；请参看F. 雷喜：《量子理论》（伦敦，1922年，英文版），第二、四至九章。关于这一段里的其他例子，请参看这一章前面的参考文献。

可是，已经解决了引起危机的问题这种要求本身很少是充分的。它也不能始终合法地提出。事实上，哥白尼的理论并不比托勒密的理论更准确，而且也没有直接导致日历上的任何改进。还有光的波动理论，在它首先被宣布以后有好几年，在分辨偏振效应方面，甚至不如它的对手光的粒子理论那样成功，而这就是光学危机的主要原因。有时标志非常研究特点的不严谨的实验会产生规范的候补者，最初对已经引起危机的问题根本没有帮助。当这种情况发生时，证据必须从这个领域的其他部分提出，它往往是随随便便

的。只要这种新规范允许预言老规范流行时完全没有意料到的现象，就能在那些领域里提出特别有说服力的论据。

例如，哥白尼的理论使人联想到行星应当象地球一样，金星应当显示出相，而且宇宙应当比以前曾经设想的要巨大得多。结果，在他死后六十年，望远镜突然显示了月亮上的山脉，金星的相，以及大量的以前没有料想到的恒星，那些观察特别是在非天文学家中间为新理论带来了大量改变信仰的人。①至于波动理论，专业人员改变信仰的一个主要根源更富有戏剧性。当弗雷内尔能说明圆盘的阴影中心上有一个白点存在时，法国的抵抗相对地说突然完全瓦解了。甚至他也没有预料到这种效应，而他的反对者之一泊松一开始就已经证明，只要弗雷内尔的理论是荒谬的，这种效应就是必然的。②因为它们冲击价值，以及因为它们从一开始就如此明显地没有“纳入”新理论，象这些论据证明是特别有说服力的。有时即使有问题的现象在说明它的理论第一次被引进以前很久就已经观察到了也能利用额外的力量。例如，爱因斯坦看来没有预料到广义相对论会精确地说明水星近日点的运动中这种著名的反常现象，当这样做时，爱因斯坦体会到了相应的胜利。③

①T.S.库恩，前引书第219～225页。

②且T. 惠特克：《以太和电的理论的历史》，第一卷（第二版，伦敦；1951年，英文版），第108页。

③请参看同上，第二卷（1953年，英文版），第151~180页，关于广义相对论的发展。关于爱因斯坦对这种理论同观察到的水星近日点的运动精确一致的反应，请参看在P. A. 希耳泼编的：《阿尔伯特·爱因斯坦，哲学家-科学家》（伊凡斯顿，伊利诺斯；1949年，英文版），第101页。

迄今讨论过的关于一种新规范的一切论据，是以竞争者有较好的解决问题的能力为基础的。对于科学家来说，那些论据通常是最有意义和最有说服力的。前面的例子对于它们的巨大号召力的根源应当没有怀疑。但是，我仍将有理由短暂地回到那些论据，这些论据不论是个别地还是集体地都不是使人非相信不可的。幸而，也还有另一种考虑，能导致科学家们拒绝一种老规范和支持一种新规范。这些论据很少弄得非常明确，要求个人有适当的或者美的感觉，新理论被说成比旧理论“更美”，“更适当”，或者“更简单”。很可能这样一些论据在科学中不如在数学中有效。大多数新规范的早期说法是不成熟的。随着时间的推移，才能提出充分的美的要求，大多数团体已经用其他方法被说服了。然而，美的考虑的重要

性有时可以是决定性的。虽然，美的考虑往往只能把少数科学家吸引到一种新理论方面来，它的最后胜利也许就依赖于那些科学家。如果他们不是因为和个人的理由很快接受它，规范的新的候补者也许决不会得到充分发展，以吸引整个科学团体的忠诚。

为了看到这些比较主观的和美的考虑的重要性，请记住规范争论的是什么？当规范的候补者首先提出来的时候，它很少解决得了它所面临的几个问题，那些解大多数是不完备的。直到刻卜勒、哥白尼的理论几乎没有改进由托勒密做出的行星位置的预言。当拉瓦锡把氧看成“完全是空气本身”的时候，他的新理论完全不能应用于新气体激增所提出的各种问题，普里斯特利在他的反攻中以巨大的成功提出了这一点。象弗雷内尔的日点那样的情况是很少的。通常，只有在新规范已经提出，接受和利用以后很久才提出显然是决定性的论据——佛科摆以解释地球的自转或者斐索实验以证明光在空气中比在水中运动得更快。产生这些论据是常规科学的一部分，而且它们的作用不是在规范争论中而是在革命以后的教科书中。

在那些教科书写成以前，当争论在继续时，情况是很不相同的。通常新规范的反对者能合法地要求，甚至在有危机的领域里，比它的传统的

对手更优越一点。显然，它处理某些问题比较好，已经揭示了某些新的规律性。但是老规范大概能象它以前应付其他挑战一样去应付这些挑战。弟卡·布拉埃的地心天文学体系和燃素理论的后来的说法，是对规范的新的候补者提出的挑战的回答。而且两者都是相当成功的。①此外，传统理海和程序的捍卫者几乎总是指向它的新对手还没有解决的问题。。但是就他们的观点来看根本不是问题。直到发现水的组成为止，氢的燃烧是支持燃素理论，反对拉瓦锡的理论的一个强有力的论据。而且在氧气理论已经胜利以后，它仍然不能解释由碳制备一种可燃气体，燃素论者曾指出这个现象作为他们的观点的强有力的支持者。②甚至在这种危机领域里，有时确实可以很接近于论据和反论据的平衡。而且在这个领域以外，这种平衡往往会明确地有利于这种传统。哥白尼摧毁了地球运动的一种历史悠久的解释，而没有代替它，牛顿对引力的一种比较古老的解释做了同样的事情，拉瓦锡对金属的共同性质做了同样的事情；等等。总之，如果规范的新的候补者必须从一开始就由精确而讲实际的人们来作出判断，他们只检查了有关的解决问题的能力，科学所经历的主要的革命是很少的。加以我们以前的叫做规范的不可比较性所产生的反论据，科学也许完全没有经历革命。

①关于布拉埃的体系，它同哥白尼的体系在几何学上完全是等效的；请参看J. L. E. 德莱叶：《从泰勒斯到刻卜勒的天文学史》第二版；纽约，1953年，英文版）第359～371页。关于燃素理论的最后的说法和它们的成就，请参看J. R. 派丁顿和D.马基：《燃素理论的历史研究》，《科学记事》，第IV卷，（1939年），第113～149页。

②关于由氢提出的问题，请参看J. R. 派丁顿：《化学简史》（第二版：伦敦，1951年，英文版），第134页。关于一氧化碳；请参看H.柯泼：《化学史》，第三卷，（布朗斯威克，1845年，德文版）第294～296页。

但是，规范争论并不真正是关于相对的解决问题的能力，虽然他们通常用那些术语来表达是有充分理由的。问题是哪一种规范在将来应当指导对各种问题的研究，其中有许多问题竞争者都还不能声称完全解决了。需要在交替的检验科学方面之间作出抉择，而且在这种情况下，抉择必须以未来的希望为基础，而更少以过去的成就为基础。信奉新规范的人在早期阶段往往必须不管由解决问题提出的证据而这样做。那就是说，他必须相信新规范在它所面临的许多大问题上会成功，只知道老规范在几个问题上已经失败了。只能根据信念作出那种决定。

这就是为什么危机以前果然是如此重要的理由之一，科学家们并没有经历危机以前，很少会否认解决问题的过硬的证据，而去信奉很容易证明，并被广泛地认为是一种捉摸不定的东西。但是单有危机还是不够的。也必须有基础，虽然为了相信选中的特殊候补者它所需要的既不是合理的，也不是最终正确的。有些东西至少必须使一些科学家感到新建议是在正确的轨道上，有时只有个人的说不出的美学上的考虑不能做到那样。当大多数可以说得出的技术上的论据指向其他方向时，人们有时就会由于它们而改变信念。当最初提出时，哥白尼的天文学理论和德布洛意的物质理论两者都没有其他许多有吸引力的主要理由。爱因斯坦的广义相对论甚至今天主要是由于美学上的理由吸引着人们，在数学范围以外只有少数人能感受到的一种吸引力。

这并不是暗示，新规范的最终胜利是由于某种神秘的美学。相反，很少有人单为这些理由而抛弃一种传统。那些人往往被证明是误入歧途了。但是，只要一种规范曾经取得胜利，它就必须得到一些最初的支持者，这些人会把它推进到能产生和增加精确而实际的论据的地步。即使那些论据，当它们出现时，也不是各自具有决定意义的。因为科学家们是有理性的人，这样那样的理由最终会说服他们中间的许多人。但是没有一

个理由能够或应当说服他们全体。与其说一个集体的转变，不如说发生的是专业人员的忠诚分布状态中有日益增长的变化。

规范的新的候补者一开始可以有少数支持者，有时这种支持者的动机也许是可以怀疑的。可是，只要他们是有能力的，他们就会改进它，探索它的可能性，并证明它将属于由它引导的团体。照这样继续下去，只要这种规范是一种注定要获胜的，对它有利的有说服力的论据的数量和力量就会增加。于是更多的科学家们就会转变，对新规范的探索就会继续。以这种规范为基础的实验、仪器、论文和书籍的数量就会逐渐增加。还有更多的人相信这种新观点不会有成果，就会采取新的方式去检验常规科学，直到最后只有几个比较老的坚持者留下来。即使是他们，我们也不能说，是错误的。虽然历史学家们总能发现几个人，例如，普里斯特利，象他们所做的那样长期抗拒是不合理的，也不愿发现在某一点上抗拒是不合乎逻辑的和科学的。他最多也许希望说，在他的整个专业已经转变以后继续抗拒的人，就根据这一事实已经不再是一个科学家了。

XIII 由于革命而进步

前面几页就这本书本身而言已经提出了我对科学发展的纲要式的描述。然而，这种描述完全不能提供一个结论。只要这种描述已经完全抓住了科学继续进化的主要结构，它同时就会提出一个特殊的问题：为什么上面概述的这种事业应当稳定地向前进步，而艺术、政治理论、或者哲学就不是这样呢，为什么进步几乎是专门留给我们叫做科学这种活动的一种特权享有的东西呢？对这个问题的最普通的回答在这本书的主体中已经被否定了。我们必须问是不是能找到代替的东西来结束它。我们马上注意到，这个问题有一部分完全是语言学的。“科学”这个名词在很大范围内是留给确实明显地进步的那些领域的。这一点什么地方都没有关于这一门或者另一门现代社会科学是不是真正的一门科学这种经常发生的争论表现得更加清楚的了。这些争论在今天毫不犹豫地贴上了科学标签的各个领域的前规范时期中都有类似的情况。它们表面上的问题始终是那个使人烦恼的术语的定义。例如，人们争辩说，心理学是一门科学，因为它具有这种那种特征。其他人反对说，要使一个领域成为一门科学，那些特征或者是不必要的，或者是不充分的。往往是

投入了巨大的精力，引起了巨大的热情，而局外人简直不知道是为什么？能在很大程度上取决于“科学”的定义吗？一个定义能告诉人们他是不是一个科学家吗？如果是这样，为什么自然科学家或者艺术家并不对这个术语的定义发愁呢？任何人不可避免地要怀疑，这个问题是更为基本的问题。可能真的已经提出过如下一些问题：为什么我的领域不能象比方说物理学所做的那样向进展呢，在技术上或者方法上或者意识形态上有什么变化会使它这样做呢？可是，这些都不能答复定义上一致的问题。而且，只要来自自然科学的先例是适用的，这些先例就不再是忧虑的来源，不是在找到一个定义的时候，而是当这个集体怀疑它们自己的状况，对它们过去和现在的成就达到。效的时候。例如，经济学家们对他们的领域是不是一门科学出社会科学其他一些领域的工作者争论得比较少，这也许是重要的。是不是因为经济学家们懂得什么是科学？或者倒不如说他们对经济学的看法是一致的呢？

那个问题有一个反题，虽然不再只是语言学的，却可能有助于显示我们的科学观和进步观之间的无法摆脱的关系。许多世纪以来，在古代和在近代欧洲的初期，绘画被认为是一种积累的学科。在那些年代里，艺术家的目的被设想为描写。象普里尼和范萨里那样的批评家和历史学

家，那时以崇敬的心情记录了一系列发明，从按照透视法缩短起，通过明暗对照法，已经有可能比较完备地描述自然界了。①但是，那些年代特别是在文艺复兴时期，也是科学和艺术之间感到了一点分裂的时期。列奥纳多是许多人中唯一的一个能在各领域之间自由地来往的人，这些领域只是在后来才明确地加以区分的。②而且，即使在这种稳定的交换已经停止以后，“艺术”这个术语继续同样地用于技术和工艺，它们象绘画和雕刻一样，也被看成是向前进步的。只有当后者明确地抛弃了以艺术作品作为它们的目的，并开始重新学习原始模型时，这种分裂才呈现象它现在这样的深度，我们现在已经认为这是当然的事了。即使在今天，要再一次变换领域，我们的部分困难就在于要看出科学和技术之间的深刻的差别，必然与进步是这两个领域的明显属性有关。

①

E·H· 戈姆勃列希：《艺术和幻想：绘画艺术作品的心理学研究》（纽约，1960年，英文版），第11～12页。

②同上，第97页；以及乔治·桑蒂兰纳：《艺术在科学的文艺复兴时期中的作用》；见《科学史的重要问题》；M· 克拉克将编（麦迪逊，威斯康辛，1959年，英文版）；第33～65页。

可是，认识到我们倾向于看出进步是科学的

任何领域的标志。只能澄清，而不能解决我们的困难。为什么进步竟会是这本书已经描述的用这种技术和目标处理的一种事业的如此值得注意的一种特征呢，这个问题仍然有待理解。这个问题证明是几合一的，而且我们必须分别考察它们中间的每一个问题。可是，归根到底，它们的解决将部分地依赖于改变我们对科学活动和从事科学的团体之间的关系有正常的观点。我们必须学会认清通常被看成是效果的原因。只要我们能做到这一点，“科学进步”，甚至“科学的客观性”这类空话也许看来好象在某种程度上是多余的。事实上，这种多余的一个方面刚才已经说明过了。是不是一个领域获得进步就因为它是一门科学，或者它是一门科学就因为它获得进步？

现在，请问为什么象常规科学那样一种事业竟会进步，并从回想它的一些最明显的特征开始。按正规，一个成熟的科学团体的成员，都按一个单一的规范或者按一套密切有关的规范工作。不同的科学团体研究同样的问题是很少的。这种团体同时持有几种主要规范是例外。可是，从任何一个团体内部来看，无论是科学家也好，不是科学家也好，成功的创造性工作的结果是进步的。它怎么可能是别的什么东西呢？例如，我们刚才已经注意到，当艺术家的目的在于他们的艺术作品时，评论家和历史学家两者都记述了这

种明显地统一了的团体的进步。其他创造性的领域显示出同类的进步。神学家明确地讲教条，哲学家推敲康德主义者献给进步的规则。只要这个团体共同利用他的前提。有创造性的学派不承认一种工作一方面是一个创造性的成就，但另一方面又没有增加这个集体的成就。如果我们象许多人所做的那样，怀疑和科学的领域获得进步，那就不可能是因为个别学派没有获得任何东西。倒不如说，这必然是因为总是有一些竞争着的学派，每一个学派都经常不断地分析其他学派的真实的基础。例如，有人争辩说，哲学就没有获得进步，这种人强调，还是有亚里士多德主义者，而不是强调，亚里士多德主义已经不能进步了。

可是，对进步的这些怀疑，在科学中也出现了。整个前规范时期有大量竞争着的学派，除了在学派范围以内，进步的证据是很难找到的。这是在第二章中描述过的时期，在这种时期里，个人从事科学，但是，正如我们知道的，他们从事的事业的结果并不就意味着科学。还有，在革命时期，当一个领域的基本原则再一次成为问题时，只要采纳了这种或者那种相反的规范，对继续进步的可能性本身就会反复地表示怀疑。那些抛弃牛顿主义的人们声称，牛顿主义依靠固有的人会使科学回到黑暗时代。那些反对拉瓦锡的化学的人们主张，抛弃化学“原理”，以支持实验室

元素，就是抛弃那些人已经获得的化学解释，他们宁愿仅仅用名字来退避问题，反对爱因斯坦，波姆和其他人反对量子力学的占统治地位的几率解释，似乎都是以类似的感情为基础的，只是表达得比较温和而已。总之，只有在常规科学期间，进步才好象既是明显的，又是有保证的。可是，在那些时期，科学团体没有其他方法能观察它的工作成果。

因此，关于常规科学，对进步问题的部分回答仅仅在于注视者的观察力。科学的进步同其他领域里的进步在种类上并不是不同的，也是在多数时间里没有竞争着的学派互相询问各自的目的和标准，使得要观察常规科学团体的进步要容易得多。可是，那只是部分回答，而且决不是最重要的部分。例如，我们已经注意到，一旦接受了一个共同的规范，就已经从经常要重新考查它的最初原理这种需要中解放了这个科学团体，这个科学团体才能专一地集中注意与它有关的最微妙和最奥秘的现象。那就不可避免地确实会增加整个团体解决新问题的有效性和效率。科学生活的其他方面进一步丰富着这种很特殊的效率。

其中有些是成熟的科学团体同外行和日常生活的要求空前未有的绝缘的结果。那种绝缘从来不是完备的，我们现在讨论的是程度问题。然而，其他专业团体中个人的创造性的工作没有一

个是这样专一地向这个专业的其他成员提出，并由这个专业的其他成员评价的。最奥妙的诗人和最抽象的神学家比科学家更关心他的创造性的工作是否受欢迎，尽管一般说来，他对是否受欢迎也许并不那么关心。那种差别证明是很重要的。正因为他的听众都是同事，这是一种分享他自己的价值和信念的听众，他仅仅是为这种听众在工作。因此，科学家能认为单一的一套标准是当然的。他不需要担心其他某些团体或学派会想到，因而能解决一个问题，并且比那些为比较不合于公认标准的团体立作人们更快地识破下一个问题。甚至更为重要的是，科学团体同社会绝缘允许个别科学家把他的注意力集中于他有充分理由相信他会有可能去解决的那些问题。科学家不象工程师和许多医生，以及大多数神学家，他们不需要选择问题，因为他们迫切需要解答而且不注意对解决问题有效的工具。在这方面，自然科学家和社会科学家之间的对照也是有教益的。社会科学家常常倾向于主要用获得一个解答的社会重要往来为他们选择一个研究课题辩护。例如，种族歧视的结果或者商业循环的原因，等等，而自然科学家几乎从来不这样做。那么人们将期望哪一个团体以较快的速度解决问题呢？

同较大的社会绝缘的结果是大大强化了专业科学团体的另一个特征，即它在教育上传授的性

质。在音乐，绘画艺术和文学中，从专者靠接受其他艺术家的作品，主要是较早的艺术家的作品的影响获得他的教育。除了原始创作简编或手册以外，教科书是有第二位的作用。在历史、哲学和社会科学中，教科书有较大的意义。但是，即使在这些领域里，学院的基础课程也用类似原始资料方面的读物，其中有些是这个领域的“经典著作”，其他是科学工作者写的现代研究报告。结果是在这些学科的任何一门中，学生经常认识到有一大堆各种各样的问题，是他未来的集体成员企图经过一定时间要解决的。甚至更为重要的是，他经常面临着这些问题的许多竞争着的和不能比较的解答，他最终必须为自己评价这些解答。

把这种形势同现代自然科学中的形势相对照。在这些领域里，学生主要依靠教科书，直到他第三或第四年做毕业论文时，他才开始他自己的研究工作。许多科学课程甚至并不要求毕业生去读不是专门为学生写的著作。少数课程确实在研究论文和专题著作中指定了补充读物，这样指定的作业局限于最先进的课程和通用的教科书不再采用的材料。直到科学家教育的最后阶段，教科书才有可能系统地由创造性的科学文献来代替。相信他们的规范，才使这种教育方法成为可能，少数科学家会希望要改变它。总之，例如，

为什么学物理学的学生竟会要读牛顿、法拉弟。爱因斯坦和薛定谔的著作呢？关于这些著作，他所需要知道的一切，在许多现代的教科书中已经以简单得多的，而且以更加准确、更加系统的形式扼要地说明了。

我并不想要为这种类型的教育偶然带来的过多的时间辩护，但是，人们不得不注意到，一般说它是很有有效的。当然，这是一种狭隘而且僵化的教育，也许除正教神学以外，可能比其他任何教育都更狭隘而僵化。但是，在教科书明确表示的传统范围内，科学家对常规科学工作和解难题几乎是完全训练有素的。而且，他对另一种任务通过常规科学产生重大危机，也有充分准备。当危机出现时，科学家当然不是同样有充分准备的。虽然在不那么僵化的教育实践中也有可能反映出延长了的危机，科学的训练却没有事先计划好要产生这种人，他很容易发现一条新的途径。但是，只要有人同规范的新的候补者一起出现——通常是一位年青人或者对这个领域来说是一位新手——只会给个人带来由于僵化而造成的损失。在特定的一代人中产生这种改变，个人的僵化同一个情况需要时能从一种规范转移到另一种规范的团体是不相容的。当极端僵化给这个团体提供了一个敏感的指示器，表明什么事出了毛病时，就特别不相容了。

因此，在正常情况下，一个科学团体是解它的规范规定的问题或难题的一个很有效的工具。而解那些问题的结果，不可避免地必须是进步的。这里没有问题。可是，只要集中注意力于科学中的进步问题的第二个主要部分，就可以看到那些问题。因此，让我们转向这个部分，并了解通过非常科学所取得的进步。为什么进步也会是科学革命的显而易见很普遍的伴随物呢？再问一问一次革命的结果能是什么，还可以学到许多东西。革命是以两个对立的阵营之一的完全胜利而告终的。这种团体可曾说过，它的胜利的结果不那么进步吗？那倒不如说就象承认他们已经错了，而他们的反对者是对的。对于他们来说，至少，革命的结果必须是进步的，而且他们处于一种优越的地位，可以确实科学团体的未来成员将以同样的方式看待过去的历史。第十一章详细地描述了完成这件事的技巧，而且我们刚才已经回到了与专业科学生涯密切有关的一个方面。当一个科学团体否认过去的一种规范时，他同时抛弃大多数书籍和论文，其中曾包含这种规范，这是专业检查的一个恰当的题目。科学教育所用的不是艺术博物馆或考古典著作图书馆的等价物，结果是科学家对他的学科过去的观念有时有严重的歪曲。他比其他创造性领域的实践者更多地把科学看成是按一条直线通向这学科的现在的优越地

位的。总之，他把它看成是进步。当他留在这个领域时，对他来说没有合用的替换物。

这些议论将不可避免地暗示，一个成熟的科学团体的成员，象奥威尔的1984年的典型特征一样，是由当局重写的历史的牺牲品。而且，那种暗示并不是完全不适当的。在科学革命中既有损失也有收获，科学家们对前者特别盲目。①另一方面，对通过革命取得进步的说明不可以停留在这一点上。要这样做就意味着在这种科学中也许有权作出一种阐述，只要它不隐瞒在规范之间作出选择的过程和权威的性质，就不会是完全错的。如果只有权威，特别是如果只有非专业的权威是规范争论的仲裁人，这些争论的结果仍然可以是革命，但它不会是科学的革命。科学的存在本身依赖于在一种专门的团体成员中授予在各种规范之间作出选择的能力。如果科学要生存和成长，这种团体必须多么专门可以由人类抓住科学事业的微妙性本身来表示。我们已有记录的每一种文明已经具有技术、艺术、宗教、政治体系、法律，等等。在许多情况下，文明的那些方面就象我们自己那样去发展。但是，只有从古希腊传下来的文明拥有不止是最初步的科学。大量科学知识是最近四个世纪以来欧洲的产物。没有其他地方和时代支持过这种非常专门的团体，科学的生产率就来自这种非常专门的团体。

①科学史往往以一种特别惊人的形式遇到这种盲目性。这组从科学到盲目性的学生往往是他们所教的最值得奖赏的一组学生。但是；在开始时，通常也是最受挫折的。因为，学科学的学生“知道正确的回答”；要他们用自己的术语去分析一种比较古老的学科是特别困难的。

这些团体的本质特征是什么？显然，它们需要非常多的研究。在这个领域里，只有最富有试探性的概括才是可能的。然而，一个专业科学团体中的成员有许多必要条件是非常清楚的。例如，科学家必须关心去解决自然界的行爲问题。此外，虽然他对自然界的关系也许在地球范围以内，可是他所研究的问题，必须是详细的问题。更重要的是，使他满意的解也许不仅是个人的，而必须是许多人都接受的解。可是，接受这种解的团体，可不是从整个社会中随便地得到的，倒不如说是科学家的专业相同的人们的有明确界限的团体。科学生活的最坚定的虽然还没有写出来的规则之一是一般科学问题禁止向国家首脑或者平民大众提出呼吁。承认有独一无二的有能力的专业团体存在，并接受它作为专业成就的唯一的仲裁者的角色，还有更深刻的含意。这种团体的成员，作为个人，依靠他们所具有的训练和经验，必须被看成是这种游戏规则或者明确判断某些等价基础的唯一拥有者。怀疑他们有这样一些

评价的基础就要承认科学成就有不一致的标准存在。承认这些就不可避免地会引起在科学中真理是否能一致的问题。

科学团体其所有的这种特征的一小张清单完全是从常规科学的实践中提出来的，而且它应当有这些特征。科学家通常受过这种活动的训练。可是，请注意，虽然这张清单很小，已经是以把这样的团体同所有其他专业团体分开。此外，还要注意，尽管这张清单来自常规科学，它却说明了这个团体在革命期间、特别是在规范争论期间的回答的许多特征。我们已经观察到这种团体必须把规范改变看成是进步的。现在我们也认识到，这种观念的重要方面是自动实现的。科学团体是通过规范改变使解决了的问题的数量和精确性达到最高的最有效的工具。

因为，科学成就的单位是解决了的问题，而且因为这种团体很好地知道，哪些问题已经解决了，少数科学家将很容易被说服去采取一种观点，并且重新开始探索以前已经解决了的许多问题。自然界本身必须首先使以前的成就看来好象是成问题的，以削弱专业可靠性的基础。甚至当这一点已经出现，而且已经引起了规范的新的候补者时，除非相信已经遇到了两种全都很重要的条件，科学家们将不愿意信奉它。首先，新的候补者必须似乎要解决某些不能以其他方式遇到的

著名的和普遍承认的问题。第二，新规范必须允许保持比较大的一部分具体解决问题的能力，这种能力对于科学来说由于它的先驱者已经增长了。在科学中就象在其他许多创造领域中一样，为了他们自己，新事物并不是一种感到需要的东西。结果，尽管新规范很少或者从来不拥有他们的先驱者的全部能力，他们通常保持着过去的成就的许多最具体的部分，而且他们总是允许具体问题的附加的解。

这个问题说了许多并不是暗示解决问题的能力对规范选择来说是唯一的或者明确的基础。我们已经注意到许多理由，为什么不能有那种标准。但是它确实使人想起，一个科学专家的团体会做它所能做的一切，以保证调集起来的资料的继续增长，而且它能精确而细致地处理它。在这种过程中，这个团体会蒙受损失。有些老问题往往必须排除。此外，革命常常使这种团体在专业上关心的范围变得狭隘，使它专门化的范围增加，并且使它同其他科学团体和外行的交往都减少。虽然科学在深度上一定增加，它在广度上也许并不增加。如果它确实是这样，那么这种广度主要表现在科学专业的激增上，而不只是表现在任何一个专业的范围上。然而，对个别团体来说，尽管有这样那样的损失，这些团体的性质对于已由科学解决了的问题的清单和个别问题的解

的精确性将日益增长两者都提供了事实上的保证。至少，无论如何只要它能提供，这种团体的性质是会提供这样一种保证的。还有什么比科学团体的决定更好的标准呢？

最后几节指出了方向，我相信一定会在科学中找到进步问题的一个更精确的解。也许他们表明，科学的进步完全不是我们对它理解的那样。但是，他们同时表明，一种进步不可避免地会表示科学事业的特征，只要这样一种事业存在的话。在科学中不需要另一种进步。为了更加精确，我们也许必须放弃这种明确的或含蓄的观念。规范的改变使科学家和向他们学习自那些人越来越接近真理。

直到这最后很少几页，“真理”这个名词仅仅在弗兰西斯·培根的一处引文中才进入了这本小册子，现在是注意这一点的时候了。甚至在那几页里，它也只是作为科学家的信念的一种来源进入的，当这种专业的主要任务是要淘汰一切而只留一套规则时，除了革命时期以外，对于做科学工作来说，不相容的规则是不能共存的。在这本小册子里描述过的发展过程，是一个从原始开端的进化过程，这个过程的相继阶段是由对自然界的日益详尽细致的理解来表示的。但是，对无论什么来说，使它成为一个进化过程，并没有也不会说出什么。那种空隙不可避免会打扰许多读者。

我们全都深深地习惯于把科学看成是一种不断地接近于自然界预先安排的某些目的的事业。

但是，需要有这样的目的吗，我们能不能根据这种团体在任何时期的知识状况用进化来说明科学的存在及其成就呢？它是否确实有助于设想：有一种对自然界的完备，客观而又真实的说明呢？以及科学成就的特有标准是它把我们引向那最终目的的程度吗？如果我们能学会用根据我们确实知道的进化来代替我们想要知道的进化，许多令人烦恼的问题也许会在这种过程中消失。例如，在这种迷宫的某个地方必然会有归纳的问题。

我还不能详细说明这种候补的科学进步观的结果。但是，它有助于认识这里介绍过的概念变换，非常接近于西方人在一个世纪以前采取的那种概念变换。当达尔文在1859年第一次发表了他的由于自然选择的进化理论时，使许多专业人员最伤脑筋的既不是物种变化的观念，也不是人可能有来自猿的血统。指明进化的论据，包括人的进化在内，已经积累了几十年了，进化思想在以前就已经提出并广泛地传播了。虽然进化本身确实遇到了特别是来自某些宗教团体的抵抗，但它决不是达尔文主义面临的最大的困难。那种困难堵住了一种更加接近达尔文自己的思想。达尔文主义以前的所有著名的进化理论——拉马克，钱

伯斯，斯宾塞和德国的自然哲学——已经认为进化是一个有目的的过程。人和动植物群的“思想”被斯为是从生命最初创造时起也许在上帝的心里就已经有了。那种思想或计划为整个进化过程提供了方向和指导力量。进化发展的每一个新阶段是一开始就已经有了的一种计划的比较完善的实现。①

对于许多人来说，废除这种神学的进化是最重要的，至少是合乎达尔文的建议的趣味的。

②《物种起源》不承认有上帝或者自然界安排的目的。而是在既定环境中并且有现在近在手边的有机体在起作用的自然选择对逐渐地但是稳定地出现更为复杂的、进一步明确表达了、非常专门化的有机体负责。甚至象人的眼睛和手这样惊人适应的器官——设计这些器官以前已经为有最高级的设计家和一个先进计划的存在提供了强有力的论据——也是一种过程的产物，它从原始的开端向无目的稳定地前进。仅仅由有机体之间的生存竞争发生的自然选择，能产生人以及高等动物和植物这种信念，是达尔文理论的最困难和恼人的方面。在没有一个特殊“目的”时，“进化”、“发展”和“进步”能意味着什么呢？对于许多人来说，这样一些名词似乎是自相矛盾的。

①洛伦·艾斯利：《达尔文的世纪：进化和发现了它的人》（纽约，1968年，英文版），第

二、四、五章。

②关于达尔文主义同这个问题的一次著名的斗争的特别敏锐的说明，请参看A. 亨特杜泼利；阿萨·格雷，1810～1888年（剑桥，麻省；1959年，英文版），第295～306. 355～383页。

把有机体的进化同科学思想的进化联系起来类比很容易推进得太远。但是，对于结尾这一章的问题来说，它是非常近乎完善的。这种过程在第十二章中被描述为革命的解决，它是由科学团体内部冲突所选择的实现未来科学的最适的方式。一连串这样的革命选择的最后结果，由正常研究的各个时期分开；是一套我们称之为现代科学知识的适应得很好的工具。这种发展过程的相继阶段，是以连接方式和专门化的增加为标志的。而且整个过程也许已经发生了，就象我们现在设想生物进化现在所做的那样，但没有受益于一种预先准备好的目的，一种永恒不变的科学真理，它在科学知识的每一个发展阶段上只是一个比较好的典型。然而，迄今为止，注意这场争论的任何人都会感到需要问，为什么进化过程竟然会起作用。为了使科学成为可能，自然界，包括人在内必须是怎么样的，为什么科学团体竟然会达到在其他领域中不能达到的牢固的一致？为什么一致竟然能忍受一个接一个的规范改变？以及为什么规范改变竟会总是产生比以前已知的那些

在任何意义上都更加完善的工具？按照一种观点，这些问题，除了第一个，已经回答了。但是，按照另一种观点，这些问题就象这本小册子开始时那样还没有解决。不仅这种科学团体必须是专门的。那种团体也是这个世界的一部分，这个世界也具有非常专门的特征，这些特征是什么，我们并不比开始时知道得更准确。可是，为了使人可以了解这个世界，这世界必须是怎么样的这个问题并不是由这本小册子创造的。相反，它象科学本身一样古老，而且它仍然没有得到回答。但是，在这里不需要回答它。关于自然界的任何概念已经证明同科学的成长相一致，是同这里提出的科学的进化观点相一致的。因为这种观点同仔细观察科学生活也是一致的，在企图解决许许多多仍然存在的问题时运用这种观点是强有力的论据。

本书由“行行”整理，如果你不知道读什么书或者想获得更多免费电子书请加小编微信或QQ：2338856113 小编也和结交一些喜欢读书的朋友 或者关注小编个人微信公众号名称：幸福的味道 id：d716-716 为了方便书友朋友找书和看书，小编自己做了一个电子书下载网站，网站的名称为：周读 网址：<http://www.ireadweek.com>

如果你不知道读什么书，
就关注这个微信号。

本书由“行行”整理，如果你不知道读什么书或者想获得更多
免费电子书请加小编微信或QQ：2338856113 小编也和结交
一些喜欢读书的朋友 或者关注行行个人微信公众号名称：幸
福的味道 id：d716-716 为了方便书友朋友找书和看书，
小编自己做了一个电子书下载网站，网站的名称为
：周读 网址：<http://www.ireadweek.com>



加行行微信，一起读书



加行行公众号，查看更多分
类图书和搜书

公众号名称：幸福的味道

公众号ID：d716-716

小编：行行：微信号和QQ：2338856113

为了方便书友朋友找书和看书，小编自己做了一个电子书 下载网站，网站名称：周读 网址：www.ireadweek.com 小编也和结交一些喜欢读书的朋友

“幸福的味道”已提供**120**个不同类型的书单

- 1、 **25**岁前一定要读的**25**本书
- 2、 **20**世纪最优秀的**100**部中文小说
- 3、 **10**部豆瓣高评分的温情治愈系小说
- 4、 有生之年，你一定要看的**25**部外国纯文学名著
- 5、 有生之年，你一定要看的**20**部中国现当代名著

6、美国亚马逊编辑推荐的一生必读书单100本

7、30个领域30本不容错过的入门书

8、这20本书，是各领域的巅峰之作

9、这7本书，教你如何高效读书

10、80万书虫力荐的“给五星都不够”的30本书

.....

关注“幸福的味道”微信公众号，即可
查看对应书单

如果你不知道读什么书，就关注这个
微信号。