

一、认识科学 还是感受科学

这本书是用来了解“什么是科学”的。

然而要了解科学又谈何容易！

先前有人试图从正面来描述科学，列举科学有多少多少特征，多少多少要点，等等，当然是言人人殊，难以一致。这好比用下面的方法来描述一个人：姓甚名谁，身高多少，体重几何，皮肤、头发、眼睛是什么颜色（申请赴美签证的表中就曾有这些项目），人们希望这些描述可以唯一确定其人。但事实上，这是做不到的——世上有数十亿人，同时符合某一组描述的通常不会只有一人。同样的道理，世上的学说理论可以说有无穷多，符合某一组特征或要点的也往往不是唯一的。

另一种做法，是给出一个人的照片，我们希望按图索骥，在茫茫人海中将此人找出来。这种做法也不能保证得到唯一确定的答案，因为长相相同的人也有。但这种做法和上面的做法明显不同，它显然更感性一些。如果我们给出此人的一组照片，从婴儿到儿童，从少年到成年，那么我们对此人的认识就会更全面一些，更准确一些。

当然，这两种做法只是比方。

本书就打算采用后一种做法。我们选择了从古希腊到今天的科学文章——尽可能通俗的文章，基本上没有所谓的“学术论文”。但这些文章都出自伟大的科学家和著名学者之手，而且尽可能保持原始状态，俾读者能够直接阅读元典，亲近大师。

读者阅读这些文章后，不要指望获得全面的科学知识——我们不是在编新版的《十万个为什么》。但是阅读这些文章可以对科学有所感受——这些文章也就是一组关于科学的“从婴儿到儿童，从少年到成年”的照片。

不过，为了更容易辨认这个叫“科学”的人，我们还是打算在这里简要提供几条关于此人的判据——他是如何的，以及他不是（或不仅仅是）如何如何的（这是以往谈科学的人很少注意到的）。

比方说——让我们继续比方下去吧——对于爱因斯坦这个人，除了给出照片，

还可以给出一些“是如何的”：如他是物理学家，他是相对论的发明者，等等；当然也可以给出一些“不是（或不仅仅是）如何如何的”：如他不是越南人，他不会中国武术，等等。

这些关于科学的判据，并不能让我们唯一地确认科学，但是和那组“科学”从婴儿到儿童、从少年到成年的照片——就是本书所选的那些文章——结合起来，对于我们认识科学还是会有一些帮助的。下面就是值得注意的几点：

二、科学与科学精神

“什么是科学”与“什么是科学精神”密不可分。下面先列出一些当代学者对科学的较为可取的特征描述：

A. 与现有科学理论的相容性：现有的科学理论是一个宏大的体系，一个成功的科学学说，不能和这个体系发生过多的冲突。比如经常有人宣称自己的学说将要“改写整个物理学”、“改写整个科学”，等等，那通常是不可信的。

B. 理论的自洽性：一个学说在理论上不能自相矛盾。

C. 理论可证伪性：一个科学理论，必须是可以被证伪的。一个最简单的例子是：说“今天下午要下雨”，这是可证伪的——到下午看，下雨就是正确，不下雨就是错误，而说“下午可能下雨也可能不下”，就是不可证伪的。如果某种学说无论怎么考察，都不可能证伪，那就没有资格成为科学学说。

D. 实验的可重复性：这一条与伪科学所鼓吹的“诚则灵”之类直接冲突。科学要求其实验结果必须能够在相同条件下重复。

E. 随时准备修正自己的理论：凡是宣称自己的学说“永远正确”的，都不是科学学说，因为科学只能在不断纠正错误的过程中发展前进。“永远正确”的学说，只能是宗教。

F. 科学最重要的原动力是人类的好奇心。我们以前经常喜欢强调社会需求，其实社会需求通常只是技术发展的原动力。

G. 科学是通过批判方法寻求真理的理性实践，旨在建立起合乎逻辑的相互联系的体系。

H. 科学知识体现于各种专家。

I. 科学是选拔精英人物的一种工具，是界定学术水平的一种方法。

在此基础上，对于科学精神比较完整的理解可以包括：

理性精神——是本体论意义上的，所有的知识都坚持用物质世界自身来解释物质世界，没有超自然力的地位。

实证精神——是方法论意义上的，所有的理论都经得起观测的检验，而且这种检验是可重复的。

平等和宽容的精神——这是进行有效的学术争论时所必需的。所有那些不准别人发表不同意见、不倾听不同意见、不允许别人保留不同意见的做法,都是直接违背科学精神的。

怀疑精神——这是科学精神中中国人最难接受的部分。科学就是在不断修正错误的过程中发展前进的,无论多大的天才和权威,也不可能永不犯错,而一旦被事实证明是错了,就要随时认错改正。

科学精神可以在一定程度上理解为科学共同体的行为规范、价值取向和道德准则。

并不是每一个具体的科学家个体都必然具有科学精神。

三、科学精神不能简单化、庸俗化为“求是”或“精益求精”

关于这一点,需要特别提出来说一说。此事与“中国古代有没有科学”之争有关。

中国古代有没有科学,这个问题已经争论了近一个世纪。对许多人来说,否定的答案总是使他们心里很不舒服。而得出肯定的答案,往往就理直气壮。但是,如果我们能够心平气和地看待这一问题,就会发现一些常见的论证是很难站得住脚的。

首先,中国古代有没有科学,很大程度上是一个定义问题。在20世纪初那些最先提出这一问题的人士心目中,“科学”的定义是相当明确而一致的:“科学”是指在近代欧洲出现的科学理论、实验方法和机构组织。1915年任鸿隽在《科学》创刊号上发表《说中国无科学的原因》,1922年冯友兰在《国际伦理学杂志》上发表《为什么中国没有科学——对中国哲学的历史及其后果的一种解释》,直到1944年竺可桢发表《中国古代为什么没有产生自然科学?》一文,基本上都使用上面的定义。这个定义实在是非常自然的,因为大家心里都明白科学确实是西方来的——在中国的传统语汇中,甚至就根本没有“科学”这样一个词。而现在有的论者在大发宏论之前,先改变科学的定义,把科学定义成一种中国古代存在着的(至少是他们认为存在着的)东西,然后断言中国古代有科学。只要在合适的定义之下,结论当然可以要什么有什么,但是这实际上已经偷换了论题,争论变得没有意义了。

另一种近年更常见的做法,也几近偷换概念:论者先将“科学精神”等同于“科学”,然后设法论证中国古代有科学精神。而科学精神究竟是什么呢?竟被归结为只有两个字:“求是”,或者再加四个字:“精益求精”。接下去的进展就不难预料了——要在中国传统文化中找出上面六个字来,当然是易如反掌,于是断言中国古代是有科学精神的,而科学精神又等于科学,于是就理直气壮地宣称,中国古代是有科学的!

上面这种论证的荒谬之处 ,又远过于前一种。姑且不论 “科学 ”与 “科学精神 ”能否等同 ,只看对科学精神的归纳 ,就大成问题。不错 ,在科学精神中确实可以包含 “求是 ”和 “精益求精 ” ,但是能不能反过来推论 ,只要有此六字 ,就是有了科学精神呢 ?

让我们来设想 ,在——比如说吧——两千年前的汉代 ,有一位迷人的、但是不识字的红妆少妇 ,这一天她正对镜梳妆 ,当她精心梳理她的发型时 ,她难道不知道精益求精吗 ?当她反复描绘她的秀眉时 ,她难道不知道 “实事求是 ”才能得到满意的效果吗 ?那么 ,好啊 !当欧洲人还在罗马帝国的征伐下呻吟时 ,我们中国千千万万不识字的少妇们都已经毫无疑问地掌握着科学精神 ,更不用说那个时代的博学之士了 !

当然我们都知道 ,这样的 “科学精神 ” ,在全世界所有民族中至少已经存在了几千年。将科学精神归纳成这样六个字 ,只是对科学精神的庸俗化 ,根本无助于解决中国古代有没有科学这一问题。

四、现代科学的源头在何处

答案非常简单 :在古希腊。

如果我们从今天世界科学的现状出发回溯 ,我们将不得不承认 ,古希腊的科学今天的科学最接近。恩格斯在《自然辩证法》一书中有两段名言 :

如果理论自然科学想要追溯自己今天的一般原理发生和发展的历史 ,它也不得不回到希腊人那里去。^①

随着君士坦丁堡的兴起和罗马的衰落 ,古代便完结了。中世纪的终结是和君士坦丁堡的衰落不可分离地联系着的。新时代是以返回到希腊人而开始的。——否定的否定 !^②

这话至今仍是正确的。考察科学史可以看出 ,现代科学甚至在形式上都还保留着极强的古希腊色彩 ,而今天整个科学发现模式在古希腊天文学那里已经表现得极为完备。

欧洲天文学至迟自希巴恰斯以下 ,每一个宇宙体系都力求能够解释以往所有的实测天象 ,又能通过数学演绎预言未来天象 ,并且能够经得起实测检验。事实上 ,托勒密、哥白尼、第谷 (Tycho Brahe)、开普勒乃至牛顿的体系 ,全都是根据上述原则构造出来的。而且 ,这一原则依旧指导着今天的天文学。今天的天文学 ,其基

^① 《自然辩证法》,人民出版社,1971年,第30—31页。

^② 《自然辩证法》,人民出版社,1971年,第170页。

本方法仍是通过实测建立模型——在古希腊是几何的,牛顿以后则是物理的,也不限于宇宙模型,比如还有恒星演化模型等——然后用这模型演绎出未来天象,再以实测检验之。合则暂时认为模型成功,不合则修改模型,如此重复不已,直至成功。在现代天体力学、天体物理学兴起之前,模型都是几何模型——从这个意义上说,托勒密、哥白尼、第谷乃至创立行星运动三定律的开普勒,都无不同。后来则主要是物理模型,但总的思路仍无不同,直至今日还是如此。法国著名天文学家当容(A. Danjon)在他的名著《球面天文学和天体力学引论》中对此说得非常透彻:“自古希腊的希巴恰斯以来两千多年,天文学的方法并没有什么改变。”而这个方法,就是最基本的科学方法,这个天文学的模式也正是今天几乎所有精密科学共同的模式。

有人曾提出另一个疑问:既然现代科学的源头在古希腊,那如何解释直到伽利略时代之前,科学发现基本上是缓慢进行的,至少没有以急剧增长或指数增长的形式发生?或者更通俗地说,古希腊之后为何没有接着出现近现代科学,反而经历了漫长的中世纪?

这个问题涉及近来国内科学史界一个争论的热点。有些学者认为,近现代科学与古希腊科学并无多少共同之处,理由就是古希腊之后并没有马上出现现代科学。这一理由看上去好像非常雄辩,似乎一棍就可将对方打闷,其实只是不能伤人的虚招,中国有一句成语“枯木逢春”——当一株在漫长的寒冬看上去已经死掉的枯木,逢春而渐生新绿,盛夏而枝繁叶茂,我们当然无法否认它还是原来那棵树,我们怎么能质问:为什么寒冬时它不现新绿?

事物的发展演变需要外界的条件。中世纪欧洲遭逢巨变,古希腊科学失去了继续发展的条件,直等到文艺复兴之后,才是它枯木逢春之时。就好比长江的源头在西部,但东流入海还要经过漫长的路程,我们怎么能要求它必须一下山就入海?

五、“正确对于科学既不充分也非必要”

在我们今天的日常话语中,“科学”经常被假定为“正确”的同义语,人们大都习焉不察——因为科学的权威实在太大了。而这种假定实际上是有问题的。

比如,对于“托勒密的天文学说是不是科学”这样的问题,很多人会不假思索地回答“不是”,理由是托勒密天文学说中的内容是“不正确的”——他说地球是宇宙的中心,而我们知道实际情况不是这样。然而这个看起来毫无疑义的答案,其实是不对的,托勒密的天文学说有着足够的科学“资格”。

难道“不正确的”结论也可以是科学?

是的,真的就是这样!因为科学是一个不断进步的阶梯,今天“正确的”结论,随时都可能成为“不正确的”。我们判断一种学说是不是科学,不是依据它的结

论,而是依据它所用的方法、它所遵循的程序。

不妨仍以托勒密的天文学说为例稍作说明:在托勒密及其以后一千多年的时代里,人们要求天文学家提供任意时刻的日、月和五大行星位置数据,托勒密的天文学体系可以提供这样的位置数据,其数值能够符合当时的天文仪器所能达到的观测精度,它在当时就被认为是“正确”的。后来观测精度提高了,托勒密的值就不那么“正确”了,取而代之的是第谷提供的计算值,再往后是牛顿的计算值、拉普拉斯的计算值等,这个过程直到今天仍在继续之中——这就是天文学。在其他许多科学门类中(比如物理学),同样的过程也一直在继续之中——这就是科学。

有人认为,所有今天已经知道是不正确的东西,都应该被排除在“科学”之外,甚至认为“理论物理每年发表的无数的论文中有各种各样的模型,这些模型中绝大多数自然是错的,这些错的模型虽然常常是研究中必不可少的过程,它们不会被称为科学”。这种说法在逻辑上是荒谬的——因为这将导致科学完全失去自身的历史。

在科学发展的过程中,没有哪一种模型(以及方案、数据、结论,等等)是永恒的,今天被认为“正确”的模型,随时都可能被新的、更“正确”的模型所取代,就如托勒密模型被哥白尼模型所取代,哥白尼模型被开普勒模型所取代一样。如果一种模型一旦被取代,就要从科学殿堂中被踢出去,那科学就将永远只能存在于此时一瞬,它就将完全失去自身的历史。而我们都知,科学有着两千多年的历史(从古希腊算起),它有着成长、发展的过程,它取得了巨大的成就,但它是在不断纠正错误的过程中发展起来的。

所以“正确对于科学既不充分也非必要”这个陈述(出自刘华杰博士),听起来似乎离经叛道,其实这是一个完全正确的陈述。这一陈述中的“正确”,当然是指我们今天所认为的正确——“正确”在不同的时代有不同的内容。

科学中必然包括许多在今天看来已经不正确的内容。这些后来被证明不正确的内容,好比学生作业中做错的题,题虽做错了,你却不能说那不是作业的一部分;模型(以及方案、数据、结论,等等)虽被放弃了,你同样不能说那不是科学的一部分。

还有许多正确的东西,特别是永远正确的东西,却分明不是科学。比如“公元2003年5月15日可能下雨也可能不下”,这无疑是一个正确的陈述,而且是一个“永远正确”的陈述,但谁也不会认为这是科学。

六、两种文化

唯科学主义

近几百年来,整个人类物质文明的大厦都是建立在现代科学理论的基础之上

的。我们身边的机械、电力、飞机、火车、电视、手机、电脑……无不形成对现代科学最有力、最直观的证明。科学获得的辉煌胜利是以往任何一种知识体系都从未获得过的。

由于这种辉煌，科学也因此被不少人视为绝对真理，甚至是终极真理，是绝对正确的乃至唯一正确的知识，他们相信科学知识是至高无上的知识体系，甚至相信它的模式可以延伸到一切人类文化之中，他们还相信，一切社会问题都可以通过科学技术的发展而得到解决。这就是所谓的“唯科学主义”观点。^①而80年前那场著名的“科玄论战”，则至少为此后中国社会中唯科学主义的流行提供了某种象征。^②

哲学家的先见之明

正当科学家对科学信心十足、豪情万丈，而公众对科学一见钟情、虔心顶礼之时，哲学家们却也没有闲着。

哲学家的思考往往是相当超前的。哈耶克(F. A. Hayek)早就对科学的过度权威忧心忡忡了，他认为科学自身充满着傲慢与偏见。他那本《科学的反革命——理性滥用之研究》(The Counter-Revolution of Science Studies on the Abuse of Reason)，初版于1952年。从书名上就可以清楚感觉到他的立场和情绪。书名中的“革命”应该是一个正面的词，哈耶克的意思是科学(理性)被滥用了，被用来反革命了。什么是革命？革命就是创新，反对创新，压抑创新，就是“反革命”。哈耶克指出，有两种思想之间的对立：

一种是，“主要关心的是人类头脑的全方位发展，他们从历史或文学、艺术或法律的研究中认识到，个人是一个过程的一部分，他在这个过程中作出的贡献不受(别人)支配，而是自发的，他协助创造了一些比他或其他任何单独的头脑所能筹划的东西更伟大的事物”。^③

另一种是，“他们最大的雄心是把自己周围的世界改造成一架庞大的机器，只要一按电钮，其中每一部分便会按照他们的设计运行”。^④

前一种是有利于创新的，或者说是“革命的”；后一种则是计划经济的、独裁专制的，或者说是“反革命的”。

哈耶克的矛头似乎并不是指向科学或科学家，而是指向那些认为科学可以解决一切问题的人。哈耶克认为这些人“几乎都不是显著丰富了我们的科学知识的人”，也就是说，几乎都不是很有成就的科学家。照他的意思，一个“唯科学主义”(scientism)者，很可能不是一个科学家。他所说的“几乎都不是显著丰富了我们的科学知识的人”，一部分是指工程师(大体相当于我们通常说的“工程技术人员”)，

① Scientism 通常译为“唯科学主义”，其形容词形式则为 scientific (唯科学主义的)。

② (美)郭颖颐：《中国现代思想中的唯科学主义(1900—1950)》江苏人民出版社1995年第135页。

③ (美)F. A. 哈耶克：《科学的反革命——理性滥用之研究》冯克利译，译林出版社2003年第108页。

④ 《科学的反革命——理性滥用之研究》，第108页。

另一部分是指早期的空想社会主义者及其思想的追随者。有趣的是,哈耶克将工程师和商人对立起来,他认为工程师虽然在工程方面有丰富的知识,但是经常只见树木不见森林,不考虑人的因素和意外的因素,而商人通常在这一点上比工程师做得好。

哈耶克笔下的这种对立,实际上就是计划经济和市场经济的对立。而且在他看来,计划经济的思想基础,就是唯科学主义——相信科学技术可以解决世间一切问题。计划经济思想之所以不可取,是因为它幻想可以将人类的全部智慧集中起来,形成一个超级的智慧,这个超级智慧知道人类的过去和未来,知道历史发展的规律,可以为全人类指出发展前进的康庄大道。哈耶克反复指出:这样的超级智慧是不可能的,最终必然要求千百万人听命于一个人的头脑。^①而这样做的结果如何,如今世人早已经领教够了。

“两种文化”的提出

面对科学获得的越来越大的权威,如果说哈耶克 1952 年的《科学的反革命》是先见之明的警告,那么斯诺 1959 年的《对科学的傲慢与偏见》就是顺流而下的呼喊。^②

斯诺(C. P. Snow)1959 年在剑桥作了一次著名的演讲,取名《对科学的傲慢与偏见》。他当时认为科学的权威还不够,科学还处于被人文轻视的状况中,科学技术被认为只是类似于工匠们摆弄的玩意儿。这倒很像中国古代的情形——工匠阶层是根本不能与士大夫们平起平坐的。斯诺是要为科学争地位,争名分,要求让科学能够和人文平起平坐。他的这种主张,自然在随后的年代得到科学界的热烈欢迎。

从那时到现在已经过去了四十多年,斯诺去世(1980 年)也二十多年了。历史的钟摆摆到另一个端点之后,情况就不同了。斯诺要是生于今日的中国,特别是那些以理工科立身的大学中,他恐怕就要作另一次讲演了——他会重新为人文争地位,争名分,要求让人文能够和科学平起平坐。

哈耶克的上述思想,可以说是有大大的先见之明。在哈耶克发表他这些思想的年代,我们正在闭关自守,无从了解他的思考成果。就连 7 年后斯诺发表的演讲,我们也几十年一无所知。而近二十年前,当我们热烈欢迎斯诺《对科学的傲慢与偏见》的中译本时,实际上是从唯科学主义立场出发的。

科学与科学哲学·“怎么都行”

科学既已被视为人类所掌握的前所未有的利器,可以用来研究一切事物,那么它本身可不可以被研究?

① 《科学的反革命——理性滥用之研究》,第 89 页。

② 此书最新的中译本:(英)C. P. 斯诺:《两种文化》,陈克艰等译,上海科学技术出版社 2003 年。

哲学中原有一路被称为“科学哲学”，这是专门研究科学的哲学（类似的命名有“历史哲学”、“艺术哲学”，等等）。这些科学哲学家们有不少原是自然科学出身，是喝着自然科学的乳汁长大的，所以他们很自然地对科学有着依恋情愫。起先他们的研究大体集中于说明科学如何发展，或者说探讨科学成长的规律，比如归纳主义、科学革命（库恩、科恩）、证伪主义（波普尔）、研究范式（库恩）、研究纲领（拉卡托斯），等等。对于他们提出的一个又一个理论，许多科学家只是表示了轻蔑——就是只想把这些“讨厌的求婚者”（极力想和科学套近乎的人）早些打发走（劳丹语）。因为在不少科学家看来，这些科学哲学理论不过是一些废话而已，没有任何实际意义和价值，当然更不会对科学发展有任何帮助。

然而后来情况出现了变化。“求婚者”屡遭冷遇，似乎因爱生恨，转而开始采取新的策略。今天我们可以看到，这些策略至少有如下几种：

1. 从哲学上消解科学的权威。这至迟在费耶阿本德的“无政府主义”理论（认为没有任何确定的科学方法，“怎么都行”）中已经有了端倪。认为科学没有至高无上的权威，别的学说（甚至包括星占学）也应该有资格、有位置生存。

这里顺便稍讨论一下费耶阿本德的学说。^①就总体而言，他并不企图否认“科学是好的”，而是强调“别的东西也可以是好的”。比如针对“科学不需要指导——因为科学能够自我纠错”的主张，他就论证，科学的自我纠错只是更大的自我纠错机制（比如民主）的一部分。诸如此类的论证，当然是和他的“怎么都行”的方法论一致的。他的学说消解了科学的无上权威，但是并不会消解科学的价值。任何一个头脑清醒的人，知道科学并非万能，并非至善，只会更适当地运用科学，这将既有助于人类福祉的增进，对科学本身也有好处。既然如此，费耶阿本德当然也就不是科学的敌人——他甚至也不是科学的批评者，他只是科学的某些“敌人”的辩护者而已。

据说作为一个哲学家，“不怕荒谬，只怕不自洽”，似乎费耶阿本德也有点这样的劲头，所以宣称要“告别理性”——我想应该理解为矫枉过正的意思，不可能真正告别理性。为什么要矫枉过正呢？因为自从科学获得了巨大的权威以后，不仅“只站在科学的立场上，当然很可能会认为科学的一切都是最好的”，就是许多人文学者，也在面对科学的时候日益自惭形秽，丧失了平视的勇气。他们经常在谈到科学的时候先心虚气短地说：我对科学是一窍不通的啊……而不少科技工作者或自命的科学家，如果谈到文学的时候，却不会心虚气短。有的人甚至对人文学者傲然宣称：我的论文你看不懂，你的论文我却看得懂。所以，有些“傲慢与偏见”，事实上是双方共同培养起来的。

^① 保罗·费耶阿本德的著作被引进中国，已经有三种：《自由社会中的科学》（上海译文出版社，1990年）、《反对方法——无政府主义知识论纲要》（上海译文出版社，1992年）、《告别理性》（江苏人民出版社，2002年）。

再说,“理性”也可以有不同的定义,这就要用到分层的想法了。技术层面的理性,谁也不会告别,因为这是我们了解自然、适应自然、改善生活最基本的工具。费耶阿本德要“告别”的“理性”,应该是在价值层面的一种“理性”——这种“理性”认为,自然科学是世间最大的价值,而其他的知识体系或精神世界,比如文学或历史,等等,与之相比则是相形见绌、微不足道的。由于现代科学在物质方面的巨大成就,它确实被一些头脑简单的人认为应该凌驾于所有的知识体系或精神世界之上。

2. 关起门来自己玩。科学哲学作为一个学科,其规范早已建立得差不多了(至少在国际上是如此),也得到了学术界的承认,在大学里也找得到教职。科学家们承不承认、重不重视已经无所谓了。既然独身生活也过得去,何必再苦苦求婚——何况还可以与别的学科恋爱结婚呢。

3. 更进一步,挑战科学的权威。这就直接导致“两种文化”的冲突。

七、“两种文化”的冲突

科学已经取得了至高无上的权威,并且掌握着巨大的社会资源,也掌握着绝对优势的话语权。而少数持狭隘的唯科学主义观点的人士则以科学的捍卫者自居,经常从唯科学主义的立场出发,对来自人文的思考持粗暴的排斥态度。这种态度必然导致思想上的冲突,就好比在一间众声喧哗的屋子里,一位人文学者(比如哲学家)刚试图对科学有所议论,立刻被申斥:去去去!你懂什么叫科学?这里有你说话的地方吗?哲学家当然大怒——哲学原可以研究世间的一切,为什么不能将科学本身当作我们研究的对象!我们要研究科学究竟是怎样运作的、科学知识到底是怎样产生出来的。

这时原先的“科学哲学”也就扩展为“对科学的人文研究”,于是“科学知识社会学”(SSK)、“建构论”等等的学说就出来了。宣称科学知识都是社会建构的(用通俗的话说,也就是少数人在房间里商量出来的),并非客观真理,当然也就没有至高无上的权威性。

这种激进主张,理所当然地引起了科学家的反感,也遭到许多科学哲学家的批评(比如劳丹就猛烈攻击“强纲领”)。著名的“科学大战”^①、“索卡尔诈文事件”^②,等等,就反映了来自科学家阵营的反击。对于喝着自然科学乳汁长大的人来说,听到有人要否认科学的客观真理性质,无论如何,在感情上总是难以接受的。

索卡尔诈文事件的意义,其实就在于通过这样一个有点恶作剧的行动,向世人展示了人文学术中有许多不太可靠的东西。这对于加深人们对科学和人文的认识

① 关于“科学大战”,可参阅(美)A. 罗斯主编:《科学大战》,夏侯炳等译,江西教育出版社,2002年。

② 关于“索卡尔诈文事件”及有关争论,可参阅(美)索卡尔等:《“索卡尔事件”与科学大战——后现代视野中的科学与人文的冲突》,蔡仲等译,南京大学出版社,2002年。

肯定是有好处的。科学不能解决人世间的一切问题(比如不能解决恋爱问题、人生意义问题,等等),人文同样也不能解决一切问题,双方各有各的使用范围,也各有自己的长处和短处。在宽容、多元的文明社会中,双方固然可以经常提醒对方“你不完美”、“你非全能”,但不应该相互敌视,相互诋毁。我想只有和平共处才是正道。

如果旧事重提,那么当年围绕着斯诺的演讲所发生的一系列争论,比如“斯诺—利维斯之争”,^①在今天看来也将呈现出新的意义。十多年来,国内的科学史和科学哲学界的人士也没有少谈“两种文化”,但在很长一段时间里,科学和人文这两种文化不仅没有在事实上相亲相爱,反而在观念上渐行渐远。而且有很多人已经明显感觉到,一种文化正在日益侵袭于另一种文化之上。

眼下最严重的问题,在于工程管理方法之移用于学术研究(人文学术和自然科学中的基础理论研究)管理,在于工程技术的价值标准之凌驾于学术研究中原有的标准。按照哈耶克的思想来推论,这两个现象的思想根源,也就是计划经济——归根结底还是唯科学主义。

科学本身已经取得了并且还将继续取得巨大的成就,这是无可否认的。“科学的负面效应”这种提法也是不妥的,与其说“科学的负面效应”,不如说是滥用科学带来的负面效应。因为科学本身迄今为止是非常成功的,几乎是无可挑剔的,问题出在认为科学可以解决人世间一切问题的信念和尝试——这就是唯科学主义和哈耶克所说的“理性滥用”。

改革开放以来,科学与人文之间,主要的矛盾表现形式,已经从轻视科学与捍卫科学的斗争,从保守势力与改革开放的对立,向单纯的科学立场与新兴的人文立场之间的张力转变。这一判断或许并不十分准确,但无疑是富有启发性的。

中国的两种文化的总体状况比较复杂:一是科学作为外来文化,与中国传统文化存在着巨大差异,科玄论战的矛盾基础依然存在;二是中国的科学基础仍然薄弱,但是唯科学主义已经经常在社会话语中占据不适当的地位;三是科学及技术尚未发挥足够的作用,但是技术所造成的社会问题(如环境问题等)已经出现。

八、公众理解科学

在西方,学术的政治或意识形态色彩比较淡,讲究的是标新立异,各领风骚三五年,因此各种新奇理论层出不穷,原在意料之中。对于“建构论”等学说出现的原因,也应作如是观。上面想象的场景,当然带有一点“戏说”色彩。但是,这些在西方已经有二十多年历史的学说,并不是完全没有道理的。

^① 关于“斯诺—利维斯之争”的事后评述,可见《两种文化》(C. P. 斯诺著,陈克艰等译,上海科学技术出版社,2003年)中科利尼的长篇导言,斯诺本人对利维斯的抨击,可见于《两种文化》的另一个中译本(纪树立译,三联书店,1994年)中所收入的斯诺《利维斯事件和严重局势》一文。

首先,科学——以及人类的一切其他知识——的最终目的,应该是为人类谋幸福,而不能伤害人类。因此,人们担心某种科学理论、某项技术的发展会产生伤害人类的后果,因而要求质疑、展开讨论,是合理的。毕竟谁也无法保证科学永远有百利而无一弊。“兼听则明,偏听则暗”,其实就是这个道理;“如果我们有缺点,就不怕别人批评指正,不管是什么人,谁向我们指出都行,只要你说得对,我们就改正,你说的办法对人民有好处,我们就照你的办”,其实也是这个道理。无论是对“科学主义”的质疑,还是对“科学主义”立场的捍卫,只要是严肃认真的学术讨论,事实上都有利于科学的健康发展。

其次,如今的科学,与牛顿时代,乃至爱因斯坦时代,都已经不可同日而语了。一个最大的差别是,先前的科学可以仅靠个人来进行,一个人在苹果树下冥想,也可能作出伟大发现(这是关于牛顿的这个传说最重要的象征意义之一)。事实上,万有引力和相对论,都是在没有任何国家资助的情况下完成的。但是如今的科学则成为一种耗资巨大的社会活动,要用无数金钱“堆”出来,而这些金钱都是纳税人的钱,因此,广大公众有权要求知道:科学究竟是怎样运作的,他们的钱是怎样被用掉的,用掉以后又究竟有怎样的效果。

至于哲学家们的标新立异,不管出于何种动机,至少在客观上为上述质疑和要求提供了某种思想资源,而这无疑是有积极意义的。

为了协调科学与人文这两种文化的关系,一个超越传统“科普”概念的新提法——科学传播——开始被引进。科学传播的核心理念是“公众理解科学”,即强调公众对科学作为一种人类文化活动的理解和欣赏,而不仅是单向地向公众灌输具体的科学和技术知识。事实上,这既符合“弘扬科学精神,传播科学思想,介绍科学方法,普及科学知识”的主体属性原则,也契合了传播学中的贴近法则和创新法则。这一理念必将为进一步发展的受众市场所支持和证明。

科学是可以、而且应该被理解的,同时也是可以、而且应该被讨论的——归根结底它是由人创造出来、发展起来的。那种将今日的科学神化为天启真理,不容对它进行任何讨论(更不用说质疑了),不容谈论它的有效疆界(因为认定科学可以解决世间一切问题),都是和“公众理解科学”这一当代社会活动的根本宗旨相违背的。因为对于一个已经被认定的天启真理,理解就是不必要的——既然是真理,你照办就是。当年“文革”中“理解的要执行,不理解的也要执行,在执行中加深理解”的名言,蕴含的就是这样的逻辑。

“科学知识社会学”等学说,在兴起了二十多年后,大致从2000年开始,许多这方面的重要著作被译介到中国学术界。2001年,东方出版社出版了五本这方面的西方著作:《知识和社会意象》(布鲁尔)、《制造知识:建构主义与科学的语境性》(诺尔—塞蒂娜)、《科学与知识社会学》(马尔凯)、《科学知识与社会学理论》(巴恩斯)、《局外人看科学》(巴恩斯)。在此前后,江西教育出版社也出版

了《书写生物学》、《真理的社会史》、《科学大战》等著作。已经出版的中译本至少不下十几种。

与此同时,在中国高层科学官员所发表的公开言论中,也不约而同地出现了对理论发展的大胆接纳。

例如,科技部部长徐冠华在2002年12月18日的讲话中说:

我们要努力破除公众对科学技术的迷信,撕破披在科学技术上的神秘面纱,把科学技术从象牙塔中赶出来,从神坛上拉下来,使之走进民众、走向社会……随着科技的迅猛发展和国民素质的提高,越来越多的人已经不满足于掌握一般的科技知识,开始关注科技发展对经济和社会的巨大影响,关注科技的社会责任问题……而且,科学技术在今天已经发展成为一种庞大的社会建制,调动了大量的社会宝贵资源;公众有权知道,这些资源的使用产生的效益如何,特别是公共科技财政为公众带来了什么切身利益。^①

又如,中国科学院院长路甬祥在一次讲话中认为:

科学技术在给人类带来福祉的同时,如果不加以控制和引导而被滥用的话,也可能带来危害。在21世纪,科学伦理的问题将越来越突出。科学技术的进步应服务于全人类,服务于世界和平、发展和进步的崇高事业,而不能危害人类自身。加强科学伦理和道德建设,需要把自然科学与人文社会科学紧密结合起来,超越科学的认知理性和技术的工具理性,而站在人文理性的高度关注科技的发展,保证科技始终沿着为人类服务的正确轨道健康发展。^②

所有这一切,都不是偶然的。这是中国科学界、学术界在理论上与时俱进的表现。这些理论上的进步,又必然会对科学与人文的关系、科学传播等方面产生重大影响。2002年底,在上海召开了首届“科学文化研讨会”(上海交通大学科学史系主办),会后发表了此次会议的“学术宣言”,^③对这一系列问题作了初步清理。随

^① 载2003年1月17日《科学时报》。

^② 载2002年12月17日《人民政协报》。

^③ 柯文慧:《首届科学文化研讨会学术宣言——对科学文化的若干认识》,载2002年12月25日《中华读书报》。

后出现的热烈讨论,表明该宣言已经引起学术界的高度重视。^①

九、如何看待身边的伪科学

伪科学的历史,肯定比科学更长。在整个人类文明发展史上,始终有伪科学伴随着。直至今日,也很难将伪科学赶尽杀绝。因此,在我们日常生活中,随时都可能遭遇伪科学,对此,我们应该怎么办呢?

下面是五个方面的建议,当我们遇到奇异的学说、吹得神乎其神的药物、号称有神奇功效的制剂、功能惊人的机器或装置,以及诸如此类的东西时,可以按照这些建议,依次加以考察。虽然这并不能保证能够揭露一切伪科学,但是绝大部分的伪科学,在这五个方面的考察之下,通常会现出原形。

根据常识来判断

在大部分情况下,常识不会欺骗我们。

比如有人兜售对彩票中奖号码的预测,写成书,编成软件,出售赚钱。这时,我们可以从两个方面用常识来判断:

概率论的基本知识告诉我们,一系列“独立随机事件”中,第 N 次事件发生的概率,与此前 $N-1$ 次事件的结果无关;而任何一次公正的开彩,都是独立随机事件。因此,根据以往中奖号码的统计来推测未来的中奖号码,是不可能的。

如果上面的判断需要用到一定的概率论知识,那么下面的判断更简捷(尽管不很严格):如果此人真的掌握了预测彩票中奖号码的能力,他为何不大量买入彩票,却还要靠兜售这些书籍和软件来赚钱?

又比如,有人宣称练某种功,可以长生不老,甚至“得道成仙”;而常识告诉我们,凡人必有一死,世上没有神仙,因此这种宣称必然是虚假的。

根据科学原则来判断

伪科学的主要特征之一,就是竭力将自己打扮成科学。但是科学有自己的基本原则,违背这些基本原则的——特别是前面第二节中所述的A、B、C、D、E五条,就不能厕身于科学之列。

根据提倡者的背景来判断

背景主要包括学历和职业,这些因素通常决定了一个人有没有专业训练、在何种领域有专业训练。

例如,在绝大多数情况下,一个没有上过大学的人,如果宣称他“证明了哥德巴赫猜想”、“发现了爱因斯坦的错误”,等等,是不可信的。

又如,一个农业专科学校的毕业生,如果宣称他“发现了爱因斯坦的错误”,通

^① 围绕着这份宣言,出现在网上和纸媒上的各种讨论和争论,已经形成了大量文献。即将于2003年秋季召开的第二届“科学文化研讨会”(北京大学哲学系主办),将对这些讨论和争论进行回顾和梳理。

常也是不可信的,因为他所受的专业训练,离开物理学太远。

再如,一个商店里普通的售货员,如果宣称她已经“证明了哥德巴赫猜想”,人们通常是不可能相信的,而如果是一个著名大学里的数学教授这样宣称,就会可信一些——但事实上迄今为止还没有一个数学教授这样宣称过,因为他们更知道这个难题的分量。

这里所说的,当然丝毫没有鄙视学历低的人,或是认为世上职业有高低贵贱之分的意思。

听取专家的意见

当一种药物被吹得神乎其神,天天在电视上大做广告时,我们应该听取专家的意见,而不是跟着广告走。

问题是,谁是专家?对某种药物而言,当然只有生物学家、药学家、医生,有可能是这个问题上的专家,而相声演员不可能是这个问题的专家。

专家的意见到哪里去听取呢?通常不能在电视上——电视上是做广告的地方,是明星向公众兜售洗发水、减肥药、美容霜的地方。专家的意见,应该到专业著作、专业学报上寻找,到负责任、有声誉的杂志上寻找,或者作为参考,也可以到互联网上去试着寻找——在网上你至少可以知道各种不同意见。

看看有没有商业动机

并不是所有的伪科学都有商业动机,有商业动机也不一定是坏事。

但是在很多情况下,伪科学是有商业动机的。因此如果我们发现某种东西有明显、强烈的商业动机,就应该提高警惕,看看是不是骗局。

归根结底,我们必须养成良好的思维习惯,随时注意对身边的事物进行思索和考察。这样,担任领导者就能够减少错误决策的概率,作为研究者就能够减少误入歧途的概率,作为消费者就能够减少上当受骗的概率。

目录

一、穿透岁月尘烟的纯真年代

——从早期探索到近代科学之确立1

《物理学》第二卷 | 亚里士多德3

《对话》第二天 (节选) | 伽利略19

考虑天体和谐所必需的天文知识之要点 | J. 开普勒32

《自然哲学的数学原理》(节选) | 牛顿41

万有引力原理 | 拉普拉斯53

二、“唉呀！我怎么没看见？”

——科学精神61

培养独立工作和独立思考的人 | 爱因斯坦63

草包族科学 | 费曼69

人类不是宇宙的中心 | 卡尔·萨根76

我的立场 | 霍金80

三、从几何模型到物理世界

——科学方法85

《巨论》第一卷 | 托勒密87

关于天体运动假说的要释 | N. 哥白尼98

相对论的基本思想和问题 | 爱因斯坦110

量子论的哥本哈根解释 | 海森伯119

假设不仅必要 而且合理 彭加勒	128
膜的新世界 霍金	132

四、揪住自然的尾巴尖

——科学发现	141
--------	-----

望远镜天文学的创立 伽利略	143
光行差的发现 J. 布拉德雷	153
太阳光谱中谱线的发现和描述 J. 夫琅和费	159
《物种起源》第十五章——复述和结论 达尔文	162
恒星质量与光度间的关系 A. S. 爱丁顿	184
河外星云距离与视向速度的关系 E. P. 哈勃	198
脱氧核糖核酸结构的遗传学意义 沃森和克里克	205

五、写在天空的证明

——科学验证	211
--------	-----

天鹅座 61 的视差 F. W. 贝塞耳	213
海王星发现史 J. C. 亚当斯	217
根据 1919 年 5 月 29 日的日全食观测测定太阳引力场中 光线的弯曲 F. W. 戴维 A. S. 爱丁顿 C. 戴维森	221
膨胀宇宙的物理学 G. 盖莫夫	230

六、有一种追问没有尽头

——科学哲学	237
--------	-----

《新工具》序言 弗朗西斯·培根	239
科学：猜想和反驳 波普尔	244
科学与伪科学 拉卡托斯	271
由于革命而进步 T. S. 库恩	278

七、游移在理性与情感之间

——科学家的人文关怀	303
------------	-----

科学中的美和对美的追求 钱德拉塞卡	305
我的见解 马克斯·玻恩	311
科学思想泛论 欧文·薛定谔	317
我的世界观 爱因斯坦	321
诊断地球——艺术与科学的展望 奥本海默	324
科学的普遍性与国际合作 卡洛·卢比亚	330
公众的科学观 霍金	334

八、战争与和平,在若即若离之间

——两种文化	337
--------	-----

科学大战:对一宗失败“婚姻”的反思 多萝茜·内尔金	339
关于科学和反科学的十个命题 理查德·莱文斯	348
索卡尔的恶作剧 斯蒂文·温伯格	358
物理学家试探“泡沫学术”,两种文化论争热闹空前 刘华杰 呼延华	369
科学与人文 吴国盛	376
人类自在的天性——关于科学与艺术之关系的一些思考 刘兵	394
鸡与鸭与李约瑟——对于李约瑟问题的语境分析 田松	402
首届科学文化研讨会学术宣言——对科学文化的若干认识 柯文慧	405

穿透岁月尘烟的纯真年代

——从早期探索到近代科学之确立

亚里士多德

《物理学》第二卷

选自《亚里士多德全集》第二卷,苗力田主编,徐开来译,
中国人民大学出版社,1991年。

导读

现代科学一般被认为源于一些古希腊人的思想,其中米利都(Miletus)^①的泰勒斯(Thales,约624BC—546BC)因断言万物源于水而被尊为希腊科学和哲学的鼻祖。因为泰勒斯这一断言首次试图在解释世界的本原和自然现象时排除神话起因。爱奥尼亚的其他自然哲学家如阿那克西曼德(Anaximander,约610/9BC—546/5BC)、阿那克西米尼(Anaximenes,约585BC—528BC)、赫拉克里特(Heraclitus,约540BC—475BC)等对万物本原也各有主张。泰勒斯的学生,萨摩斯岛(Samos)的毕达哥拉斯(Pythagoras,约570BC—497/6BC),跑到意大利南部另立学派,开创一个非常重要的传统,即把数作为一个形而上学原则。该学派主张“万物等于数”、“整个宇宙等于数与和谐”。

毕达哥拉斯学派的主张受到柏拉图(Plato,427BC—347BC)的重视。在柏拉图的哲学中全部现实知识是符合于形式或理念的超感世界的,可感世界的事物不过是理念的模糊反映或粗糙仿造。在柏拉图的两个世界之间,数学占据了一个重要的中间地位,数学训练是步入哲学的真正准备。在柏拉图创立的雅典学院门口写着“不懂数学者,不得入内”的告示。

亚里士多德(Aristotle,384BC—322BC)的数学肯定是不错的,他17岁就入雅典学院接受高等教育,他天资聪慧,学习勤奋,被柏拉图称为“学院的智慧”。柏拉图去世之后亚里士多德离开雅典学院到小亚细亚游学数年,后被马其顿国王召回,当了后来成为亚历山大大帝的马其顿王子数年的老师。后来亚里士多德建立了自己的学院——“逍遥学院”,一边漫步,一边给学生讲课。

亚里士多德的演讲收集起来近150卷,代表了当时知识的最高成就,有许

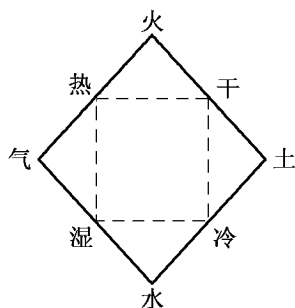
① 小亚细亚的希腊殖民地爱奥尼亚(Ionia)诸城市之一。

多都是亚里士多德本人的独创思想和见解,其领域涵盖逻辑学、物理学、生物学、伦理学、政治学、文艺批评等多种学科。亚里士多德的著作被保存下来了,但起先其学说的价值并没有被基督教的西方世界所认识。基督教在西方一开始主要与柏拉图的学说联姻,亚里士多德的著作流传到阿拉伯世界并在那里得到研究。直到12、13世纪欧洲人才从阿拉伯人那里认识亚里士多德,其著作由阿拉伯文译成拉丁文。其时在基督教世界内部也掀起了一场用亚里士多德的知识体系代替柏拉图的知识体系的运动,亚里士多德的思想远离了它们应有的理性而被打扮成权威,他的学说中最不正确的部分却最容易被接受。到16、17世纪发生科学革命时,亚里士多德的学说,尤其是物理学,成了革命的对象。但无论如何,亚里士多德是一位伟大的科学家,他的学说可以当之无愧地成为古希腊哲学和科学最高成就的代表。

本书选取亚里士多德《物理学》的第二卷,以求读者能对亚里士多德的学说有所领略。在此先对亚里士多德的物理学主要观点,以及在此基础上推演出的关于天和地的理论略作说明。

亚里士多德认为地球上的所有物质都是由四种基本元素即土、水、气和火组成——不能把这些物质理解成这些名称所表示的经验物质,而应理解成只能想象的观念成分。其中每种元素都代表四种基本特性中两种特性的组合(右图)。

地球上的物体的运动分为自然运动和强迫运动,第一类是由组成这些物体的物质本性引起的,第二类只能暂时地由外部强加。自身性质决定一些物体下落,称为重物体;一些轻物体由其性质决定上升。



地上任何运动物体都由与它相连的外界物体所推动,这是地球上无生命物体运动的基础。由此得出:(1)一个脱离了所有外部影响的物体处于静止状态;(2)对每种强迫运动,必须寻找与物体有关的运动原因。进而可以推论出动力学的基本规律:由外力推动的物体运动的速度与推力成正比,与反对运动的阻力成反比。

与地球上物体的上升和下落的自然运动不同,还有一种天体所特有的永恒的均匀的圆周运动。天体不是由地球上的四种元素组成,而是由第五种元素构成。匀速圆周运动是第五元素的性质所固有的。由此导致两个推论:(1)世界结构本质上是以地球为中心,沉重的地球由于它特别的性质,正好静止于世界的中心。(2)把适用于地球上的科学概念和推理运用到天体上去,这在逻辑上是不可能的。特别是把地球也看作天体,这是荒谬的思想。

以上亚里士多德关于天地的和运动学的结论,正是后来第谷、伽利略等人所要推翻的。在接受了基本教育的现代人眼里,亚里士多德的这些论断毫无疑问是错误的,甚至是愚蠢的。但是,在所有的希腊思想家中,亚里士多德对待自然具有最坦率的态度,这是科学创造所必不可少的态度。亚里士多德和其他希腊思想家的最大功绩就是把自然作为科学研究的对象。并且,亚里士多德的谬误也是理性的谬误,现代科学讲理性的传统就是从亚里士多德他们那里开始的。

在存在着的事物中,有些是由于自然而存在,有些则是由于其他原因而存在。由于自然而存在的不仅有动物以及它们的部分、植物,而且还有那些单纯的物体(譬如土、火、气和水)。我们把这些事物以及诸如此类的东西说成是由于自然而存在,是因为所有这些事物都明显地和那些不由于自然而构成的事物相区别。因为所有由于自然而存在的事物都明显地在自身之中有一个运动和静止的本原——有些是地点方面的,有些是增加和减少方面的,有些则是性质变化方面的。相反,床榻、罩袍以及诸如此类的其他东西,在它们各自的名称所规定的范围内,并且就它们是工艺制品而言,都没有这样的变化的内在冲动:尽管如果它们偶然地是由石头或土或这两者的混合构成,也会从这些构成材料中得到这种内在的变化本原。因此,所谓自然,就是一种由于自身而不是由于偶性地存在于事物之中的运动和静止的最初本原和原因。我之所以说不是由于偶性,是因为可能出现这种情况:一位医生或许是使自身疾病康复的原因。但是,他并不是作为患者而是具有医疗技术的人,医生和被医治的患者同属一人纯系偶然。正因如此,二者常常是彼此分开的。其他每个工艺制品的情况也是如此。因为没有一件工艺制品的制作根源^①在自身之中,而是在他物之中(例如房屋和其他各种手工制品)。虽然有一些工艺制品的根源在自身之中,但那不是由于自身,而是由于偶性才可能成为这些东西的原因。

自然的含义如上所述。只要具有这种本原的事物就具有自然。一切这样的事物都是实体,因为它是某种主体,而自然总是

“自然”是贯穿亚里士多德物理学全部的一个重要概念,由自然而有自然运动的概念,如火的自然运动是上升,土的自然运动是下降,第五元素的自然运动是匀速圆周运动,等等。本节中亚里士多德先给自然下了一个定义,然后用各种例子说明什么是自然的。



亚里士多德

① arkhe。

在主体之中的。

“合乎自然”不仅指这些自然事物,而且也指那些由于自身而属于自然的属性,如火被向上地移动。因为它不是自然,也不是具有自然,而是由于自然和合乎自然。

什么是自然,什么是由于自然和合乎自然,都已经说过了。想要证明自然存在的企图是幼稚的,因为有许多这样的东西存在着。用模糊的东西来证明明显东西的做法,反而暴露了在判别自明的与非自明的事物上的无能。显然,这种混乱并非不可能出现。因为犹如天生的盲人去侈谈各种颜色,那些对名称进行理论却无所思想的人也必然是这样。

有些人主张,自然或者由于自然而存在的东西的实体就是以自身而寓于个别事物之中的尚未成型的原始材料,例如,木料是床榻的自然,青铜则是雕像的自然(安提丰就是这样说的:如果某人埋一张床,并且如果糜烂后的木头能够长出幼芽的话,那么,长出的东西就不会再是床而是树木。因为根据习惯规定和技术所作的安排都是偶然的东西,实体的自然性质则是那贯穿在过程中始终存在着的另外的东西)。但是,假如每个事物的质料与别的事物也有同样的关系,例如青铜、黄金与水的关系,骨骼、木料与土的关系,其他类似的关系也一样,那么,水、土等就是青铜、黄金、骨骼、木料等的自然和实体了。正因为这样,所以有些人说存在物的自然或本性是火,有些说是土,有些说是气,有些说是水,有些主张是其中的几个,有些则认为是它们全部。无论是把这其中的一个还是多个元素当作自然,他们都说这个或这些元素全都是实体,而其他的一切只是它们的属性、状况和次序。他们也认为这些元素是永恒的,因为它们没有相互的转化,而其他事物则在无数次地生成和消灭着。

上述这些是自然的一种说法,即在每个自身具有运动和变化本原的东西中作为载体的原始质料。另一种说法则是把自然视为依据理性的东西^①的形状和形式。因为正像把由于技术的东西和工艺制品称为技术一样,合乎自然的东西和自然产物也被称为自然。如果仅仅潜在地是一张床而还没有床的形式,我们就不应当说这东西有什么是由于技术的,也不应当说它是工艺制品,在由于自然的事物中的情形也是这样。因为潜在的肌肉或骨骼在获得我们规定的什么是肌肉或什么是骨骼的原理所体现的形式之前,就还没有它自己的自然,也不会是由于自然的存在。所以,按照这一种解释,自然就应当是在自身中具有运动本原的事物的形状和形式,这种形状或形式除了在理性上外,不与事物相分离(由质料和形式构成的东西不是自然,而是由于自然,例如人)。而且,形式比质料更是自然,因为每一事物在其现

^① kata ton logon。

实地存在时而不是潜在地存在时被说成是这个事物更为恰当些。

其次,人是由人生成的,床却不从床生成。因此,不说图形而说木料是床榻的自然;因为假如床能生长,那么,生长出来的就不会是床而是树木。所以,如若工艺制品的形式是技术,那么,人的形式就是自然,因为人是从人生成的。

再次,自然又被说成是生成,因为生成是导向自然之路。这个意义上的自然不像医疗,因为医疗不被说成是导向医术之路,而被说成导向健康之路。因为医疗必然是从医术出发,而不是导向医术,自然对自然的关系却不是这样,生长事物之作为生长是从一种事物长成另一种事物。那么,它长成什么事物呢?不是长成它所由以长出的那事物,而是长成它所趋于长成的那事物。因此,形式就是自然。但是,形式和自然都具有两层含义;因为在某种意义上,短缺也是一种形式。至于在总的意义上的生成是否存在着短缺和某种对立的问题,留待以后再作考察。

在分析了自然的多种不同含义之后,让我们接着来考察数学家与自然哲学家有什么区别。因为自然物体都具有面、体、线和点,数学家也正好要研究这些问题。此外,还要考察天文学是与自然哲学不同的另一学科呢,还是只为它的一个部分。因为,如若自然哲学家要想知晓太阳和月亮是什么,但又不去考察它们的那些由于自身而具有的属性,这是荒谬的,尤其是当自然哲学家们实际上已经在揭示月亮和太阳的形状以及大地和宇宙是否为球形的时候,就更是如此。

数学家尽管也要从事点、线、面、体的研究,但并不把它们作为自然物体的限界,也不把它们作为属于这些物体的偶性来考虑。因此,他们是把它们分离出来考察的。由于它们是因思想而与物体运动相分离的,所以不会导致歧义,也不因分离而产生谬误。

那些讲理念的人却没有意识到他们也这样做了。因为他们分离了自然物,而自然物是不能像数学对象那样被分离的。假如对它们及其属性加以规定,这个问题就更清楚了。因为奇数、偶数、直线、曲线以及数目、线段、形状等概念都不涉及运动;但肌肉、骨骼和人不是这样,它们就像扁鼻,而不是像弯曲那样的概念。这一点可以从那些明显的是自然学科而不是数学分支

这里亚里士多德明确区分了数学与自然科学的差别。古巴比伦人和古埃及人对田地的面积、仓库的容积等等的计算已经有了相当准确的公式,但是在这两种古代民族中没有发展出几何学来。只有希腊人——从泰勒斯开始,他们把点、线、面作为抽象的数学上的点(没有大小)、线(没有宽度只有长度)、面(没有厚度只有长度和宽度)来处理,建立起了公理化的几何学。

的学科如光学、声学 and 天文学中得到说明。因为这些学科在某种意义上是与几何学相反的：几何学虽然研究自然的线，却不是作为自然的线来研究，光学尽管研究数学的线，但又不是作为数学而是作为自然的线来研究。

既然自然有两层含义——形式和质料——那么，我们就应该像考察扁鼻性那样地来考察它是什么。所以，这样的思考就既不能无视质料，也不能仅仅根据质料。

关于这个问题，或许有人会提出两点疑问——既然自然有两种含义，自然哲学家研究的是哪一种自然呢？或者对两者的构成物加以研究？假如既要研究两者的构成物，又要分别地研究每一种，那么，对两者的分别研究是同样的知识还是不同的知识？

在研读古人的著作时，人们可能会发现，他们似乎只注意质料。因为不论是恩培多克勒还是德谟克里特，都很少谈到事物的形式和“是其所是”。如果技术是模仿自然，并且，如果在技术中，认识形式和质料是同一门科学的任务（例如医生既要研究病人的健康，也要知道胆汁和黏液，同样，建筑师既要知晓房屋的形式，也要了解它的质料，如砖瓦和木材。其他技术活动也莫不如此），那么，物理学也就应该通晓这两种自然。

其次，“何所为”^①和目的与达到目的的手段是同一的。而且，自然就是目的和“何所为”。因为，如果某物进行连续的活动，并且有某个运动的目的，那么，这个目的就是终结和所为的东西（正是这一点导致了诗人的荒诞。在谈到人之死时，他说，“他已达到了那个为之而生的目的了”。因为并非一切终结都是目的，只有最好的终结才叫目的）。既然技术制作质料——有些是笼统意义上的制作，有些则是以有效的方式制作——并且，凡是我们所用的东西，全都是当作为我们而存在的。因为在某种意义上，我们自己就是目的。所为的东西有两层含义（在《论哲学》中已经说过了）。技术也有两种，即支配质料的技术和科学——或者叫作使用产品的技术和生产产品的技术。因此，在某种意义上使用者的技术就是生产者的技术。二者的区别是：使用者的技术是认识形式，而生产者的技术是认识质料。因为譬如，舵工应知道舵是什么性质的形式，并对舵的规格特点提出要求，而造舵的木工则应知道用什么木料做成舵以及制作活动的过程。所以，在技术的产品中，是我们以自己作业为目的而制作质料，但在自然产物里，质料却是自然本身所具有的。

再次，质料是对某者而言^②。因此相对于不同的形式，质料也就不同。

自然哲学家对事物的形式以及“是其所是”的问题必须了解到什么程度呢？或许，就像医生必须知晓肌腱，铜匠必须了解青铜，而且直至了解它们何所为那样，

① to hou heneka.

② to pros ti.

自然哲学家也必须了解事物各自所为着的東西,并且还要研究那些在形式上虽可分离,却存在于质料之中的東西。因为人生于人,也生于太阳。至于确定可以分离的東西是怎样的及其“是其所是”的问题,则是第一哲学的事情。

进行了上面的分析之后,我们就应该进而考察原因,研究它们的性质和数量。因为,既然我们的事业是为了获取知识,而在发现每一事物的为什么,即把握它们的最初原因之前,是不应该认为自己已经认识了每一事物的,那么显然,我们就应该研究生成和灭亡以及所有的自然变化,并引向对它们本原的认识,以便解决我们的每一个问题。

所谓的原因之一,是那事物由之生成并继续存留于其中的東西,如青铜对雕像、白银对酒杯以及诸如此类東西的种。另一种原因是形式和模型,亦即“是其所是”的原理及它们的种,如八音度中二与一的比例,一般而言的数目以及原理中的各部分。再一个就是运动或静止由以开始的本原,如策划者是行动的原因,父亲是孩子的原因,以及一般而言,制作者是被制作物的原因,变化者是被变化物的原因。最后一个原因是作为目的,它就是“所为的東西”,例如健康是散步的原因。因为若问他为什么散步,我们回答说,是为了健康。这样说了,我们就认为是已经指出了原因。还有一些来自其他运动者的東西,成为达到目的的中介^①,如减肥、清泻、药剂和器械就都是达到健康的中介。因为所有这些都是为了达到目的,虽然由于有些作为动作,有些作为器械而互不相同。

原因的含义大致如此。既然原因有多种含义,那么,同一事物就有并非由于偶性的多种原因,如雕刻术和青铜都是雕像的原因,并且,不是作为任何别的什么,而是作为雕像的原因。当然,它们不是同一方式的原因,而是一个作为质料,另一个作为运动的来源。

有些事物是互为原因。例如,强壮的原因是进行锻炼,相反,进行锻炼的原因是强壮。但是,它们不是同一方式的原因,而是一个作为目的,另一个作为运动的本原。

其次,同一事物可以是相反结果的原因。因为如果某种结果是以某物的出现为原因,那么,我们有时就把相反的结果看作是由于这个事物没有出现。例如,船只的失事由于舵工不在场,相反,舵工的在场则是安全航行的原因。

现在所说的所有原因,都属于这常见的四种。因为字母是音节的原因,原料是器具的原因,火和类似的元素是自然物体的原因,部分是整体的原因,前提是结论的原因,而所有这些“所从出”^②意义上的原因。只不过其中的一些是作为载体(如部分),另一些则作为“是其所是”的東西——整体、组合或形式。而像种子、

① metaksu。

② to eks hou。

医生、策划者以及一般而言的行动者 ,全都是静止、运动和变化的本原。另外有些则是作为目的和善。因为所为的东西就是最好的东西 ,并且是其他事物想要达到的目的 (至于是自身的善还是被认为的善 ,且不作区别)。

上述这些 ,就是原因的数量以及不同种类原因的性质。尽管这些原因的方式在数目上还很多 ,但仍可被归结为这样主要的几类。

原因有许多含义 ,并且 ,同类的原因彼此之间也有着先后之分。例如 ,医生和技师都是健康的原因 ,二比一的比例和数都是八音度的原因 ,而且 ,相对于特殊的原因来说 ,更为广泛的原因总是在后。

此外 ,原因还作为偶性及它们的种。例如 ,雕像的原因既可以说是玻吕克列托^① ,也可以说是雕塑家 ,因为玻吕克列托作为雕塑家是偶然的。并且 ,包含偶性的那些种也是原因 ,如人或者更一般地说动物也会是雕像的原因。偶性作为原因相互之间又有远近之分 ,例如 ,假若白净的人和有教养的人都可以说成是雕像的原因的话。

除了固有原因和偶然原因的区分之外 ,所有原因都还或者作为潜能来说 ,或者作为实现了的来说。例如 ,建造房屋的原因 ,既可说是营造师 ,也可说是正在营造的营造师。

那些以所述的这些原因为原因的东西也是这样 ,例如 ,说这座雕像的或雕像的或一般而言肖像的原因 ,或者说这块青铜的或青铜的或一般而言质料的原因。偶然原因方面的情形也是如此。此外 ,可以把两者合并起来表述 ,如不说玻吕克列托 ,也不说雕塑家 ,而是合起来说雕塑家玻吕克列托。

上面的所有这些区分都可以归结为六种 ,每一种又可以分为两个方面。因为原因或者作为特殊 ,或者作为特殊的种 ,或者作为偶性 ,或者作为偶性的种 ,或者把它们合并起来表达 ,或者把它们单独地表达。而且 ,所有这六种原因都既可以是实现了的也可以是在潜能上的。它们的区别是 :实现了的原因和特殊的原因是与它们的结果同时存在和不存在的 ,如这位正在为人治病的医生和这个正在接受治疗的病人 ,那位正在建造房屋的人与那幢正在被建造的房屋 ,但在潜能上的原因并不总是这样 ,因为显然 ,房屋和建房者并不同时消灭。

必须永远去找寻每一事物的最根本原因 (就像在其他场合中一样)。例如 ,人造房屋是由于他是一位营造师 ,而营造师之能造房屋则全凭他有营造技术。这种营造技术就是在先的根本原因。而且 ,一般来说都总是如此。

再有 ,种的结果要归之于种的原因 ,个别的结果则应归之于个别的原因。例如 ,一般的雕像是一般的雕刻家所为 ,这一座雕像则归因于这一位雕刻家。而且 ,潜在的原因相对于潜在的结果 ,而实现了的事物则与实现了的原因相对应。

^① 玻吕克列托 (Polukleitos) ,公元前 5 世纪下半叶的希腊著名雕塑家 ,他的作品主要以青铜为材料。

至此,我们已经充分地分析了原因的数量和各种因果关系的方式。

机会^①和自发也被说成是原因,因为许多事物的存在和生成是由于机会和自发。所以就必须考察:机会和自发以何种方式存在于前面列举的那些原因之中,机会和自发是同一的还是不同的,总而言之,必须考察机会和自发是什么。

有人甚至怀疑是否有这两种原因存在。他们断言,没有什么东西是由于机会而生成的,相反,一切被我们说成是由于自发或机会而生成的东西都有某种被规定的原因——例如,一个人去市场,由于机会,他发现了想要找的那个人。但是,他原本并不指望能遇到他,因为他去市场的原因是想买东西。他们认为,在其他的所谓由于机会的场合也同样地总是可以发现不是机会的某种原因的。因为假如真有某种机会的话,那就实在是显得有些奇怪了,而且也会有人提出疑问:为什么古代的贤哲们在论及生成与灭亡的原因时从未有过一个人用机会来加以说明呢?相反,他们也似乎认为,没有什么东西是出于机会的。

但是,以下的情况颇为奇怪。许多东西的生成和存在都是由于机会和自发,而且,尽管人们不是不知道,每种生成的事物都可以被说成有某种原因(正如古人在否认机会时所提出的论证那样),但是,大家依旧断言,这些事物中有些是由于机会,有些不是由于机会。因此,他们至少可能是曾在某种意义上提及过这个问题。当然,机会也的确不会是他们所提出的例如友爱和争斗、心灵、火或其他某种诸如此类的东西中的某一个。所以,令人费解的是,他们究竟是否认有机会之类的原因存在呢,还是承认有却避而不谈呢?更何况他们有时候还在使用它。例如恩培多克勒就说过,气并不总是被分散到最高的地方,而只是由于机会。在他的宇宙演化论中,他说,“它有一次由于机会像这样相遇在一起,却经常以其他方式相遇”。^②他还说,动物的部分大多是由于机会而生成的。

有些人甚至把自发看成是这个天球以及一切宇宙的原因。因为他们认为,把宇宙区分为并且安排成现在这种秩序的漩涡运动是由于自发而生成的。最令人惊奇的是这种说法:一方面,他们宣称动物和植物都不是由于机会才存在和生成,自然、心灵或类似的某个其他什么东西才是它们的原因(因为从给定的每类种子中生成出来的不会是某种碰机会的东西,而是相反,橄榄树从一类种子生成,人却从另一类种子生成);另一方面,他们却认为,天体以及可见物中那些最神圣的东西都是由于自发而生成的,它们没有动物和植物所具有的那一类原因。如若事情真是这样的话,那就是一个很值得考察的问题,而且,与此有关的某些问题很可能已经说过了。因为除开这种说法的其他荒唐性之外,更为荒唐的是:他们虽没见到天体

① tuche。

② 见 DK 残篇 53。由德国学者 H. Diels 所著,并由 W. Kranz 于 1952 年修订出版的《前苏格拉底哲学家残篇》通常简称 DK 残篇。

中有什么东西由于自发而生成,却要这样言说;有许多东西本来是碰机会而发生的,但他们又说那些事物不是碰机会。当然,实际的说法应该刚好相反。

有些人虽然也认为机会是一种原因,却把它作为某种神圣高贵、隐秘莫测、非人类所能理解的东西。

所以,我们必须考察机会和自发各自是什么,它们是同一的还是不同的,而且,如何使它们适于我们对原因的分类。

那么首先,既然我们看到,有些事物总是这样生成,有些事物则常常这样生成,因而显然,这些出于必然而生成、总是这样生成以及常常这样生成的事物中,没有一个的原因可被说成是机会或碰机会。但是,既然除了这两类事物之外,还有另一类生成的事物,而且,既然大家都断言这一类事物是由于机会,那么显然,确实有某种机会和自发。因为我们知道,这一类事物是由于机会,反过来,那些由于机会的事物也正是这一类。

在生成的事物中,有些生成是有所为的,有些则没有。而且,在前一类事物中,有些又是依据选择,有些则不是,但不论是否依据选择,这两种事物都属于有所为的那一类。所以很明显,即使在那些不是必然如此和常常如此的事物中,也仍然有一些可能是与“所为的东西”相关的。有所为的事物有的由于思考而发生,有的由于自然而发生。所以,当这一类事物由于偶性而生成时,我们就说它们是碰机会的。因为就像事物既能由于自身也可由于偶性而存在一样,它们的原因也可以如此。例如,营造师的营造技术之为房屋的原因是由于本性自身,但他的白净面孔或文雅举止则是由于偶性。由于本性的原因是确定的,由于偶性的原因则不可确定。因为属于任何一种事物的偶性都为数无限。

正如以上所说,当这类事物在为了什么而生成中生成时,它就被说成是由于自发和机会(至于自发与机会的相互区别,要到后面才能确定,但现在有一点是清楚的,即它们二者都处在有所为的事物的范围内)。例如,当一个人在筹措款项准备宴席时,假若他知道的话,就会为了得到钱币而去某处;但是,这次他虽然去了那里,却不是为了这个目的,对于他来说,去那里收到了钱只是偶然做成的事情。而且,这也不是由于他经常地或必然地要去那个地方,这个目的——收到钱——也不是他去的原因,而这一切都是选择的目标和思考的结果。只有在这时,他去那里才被说成是碰机会。如果他是为了这个才选择去那里,即总是去或经常去那里收钱,那么,就不能说是由于机会。由此可见,机会是在那些有所为的选择中由于偶性的原因。所以,思考和机会同属一个领域,因为选择不能没有思考。

由于机会而生成的东西,其生成的原因必然是不确定的。正是这样,机会被认为是东西,而且是不能为人理解的;也正因为如此,有人认为事物在什么意义上都不会由于机会而生成。所有这些说法都是正确的,因为它们都很有道理。

因为虽然在一种意义上,确有由于机会而生成的东西,因为它们是由于偶性而生成的,而机会就是作为偶性的原因,但是,严格地说,机会则不能作为任何东西的原因。例如,营造师是房屋的原因,但吹奏长笛的人由于偶性也可以是房屋的原因。一个人去收钱的原因(假如他不是为了收钱而去)可能是无限多的。因为他可能是想去见到某人、跟踪某人或躲避某人,也可能是想去看戏。而且,机会即使是某种反乎常规的说法也是正确的。因为常规乃是总是如此或通常如此的东西,而机会则是发生在除此之外的东西中。所以,既然这类原因是不确定的,机会也就是不能确定的。

在一些场合,有人可能会提出这样的问题:是否任何机遇的东西都可以是由机会生成的原因。例如,健康的原因是新鲜空气或阳光,而不是理发。因为有一些由于偶性的原因比另一些离结果更近些。

当某一机会的结果是好的时,就被说成是运气好。相反,当某一结果糟糕时,就被说成是运气坏;当这些结果关系重大时,就用幸运和厄运来称谓。所以,在人们错过了大坏事或者大好事时,也被说成是幸与不幸。因为思考被认为是断言了属性的实际存在,好像没有什么分别似的。

再者,也有理由说幸运是变动不居的。因为机会是变动不居的,而由于机会的东西没有什么总是如此或通常如此的。

所以,正如我们已说过的,机会和自发这两者都是由于偶性的原因,存在于那些不是必然,也不是通常地可能生成的事物中,而且,也与那些或许是有所为而生成的东西有关。

它们的区别是:自发的适应范围更广。因为一切碰机会的东西全都由于自发,但由于自发的东西并非全都是碰机会。

机会性和由于机会的事情只适于交好运以及一般而言能有行为能力的行为者。所以,机会必然是有关行为的。下面的事实能证明这一点:幸运被认为是与幸福同一的,或者至少也近于同一,而幸福就是某种行为(因为幸福就是做得好),所以,凡不可能行为的东西就不能做碰机会的任何事情。正因为如此,不论是无生物、低级动物还是小孩,都不能做任何出于机会的事情,因为它们没有选择的能力。幸运和厄运也不属于它们,除非是用于比喻,就像普洛塔尔霍所说的,用以建造祭坛的石头交了好运,因为它们受到尊崇,而它们的同伴却匍匐在脚下,遭人践踏。但是,即使是这些东西,也只有在处置它们的人碰机会地对它们进行了某种行为时,它们才能承受由于机会的某种意义的影响,其他途径是不可能的。

自发却能在其他动物和许多无生物中发生。例如,我们说一匹马自发地走来了,因为虽然它的到来实际上脱了险,但它并不是为了安全才到来的。一只三脚凳自发地摆着,虽然它摆在那里是为了供人坐,但是,却不是为了坐才摆着的。

所以很明显,如果某物是在有所为而生成的一般事物之列,但是,由于外在的原因,当它的生成不是为了实际发生的结果时,我们就说它是由于自发。如果这些由于自发的事件是按照具有选择能力的人的选择而生成的,那就叫作由于机会。

〔“automaton”(自发)这个词中的 maton 就能证明这一点。因为当有所为的某行为实际上没有在那之中产生结果时,就被说成是“枉然”(maton)。例如,如果去某处是为了排泄,但在走去之后没有排泄,我们就说是枉自走了一遭,而且,走本身就是枉然的。这就意味着,当自然的手段所为的那目的没有达到时,那个自然所为的另外的东西是枉然的。如果有人说枉自洗了个澡是因为太阳没发生日食,那就是荒谬的,因为这种行为并不是为了那个事件。因此,就其词源而言,自发一词就意味着自身(auto)枉然(maton)生成了。因为下落砸了人的石头并不是为了要下落砸人,所以,它下落砸人是由于自发,因为它也可能被某人为了砸人而摔下来。〕

在由于自然而生成的事物中,自发与机会的区别最为明显。因为在某物反乎自然而生成时,我们就说它不是由于机会,而更是由于自发而生成的。但严格说来,这是与自发的特性不同的,因为后者的原因是外在的,而前者的原因是内在的。

自发是什么,机会是什么,它们彼此的区别是什么,我们都已论述过了。在原因的诸种方式中,它们各自都属事物由以变化的本原之类;因为总有某种原因,或者是由于自然的原因,或者是来自思想的原因。但是,这类可能原因的数目是不确定的。

既然自发和机会是这样一类东西的原因,即它们可能应该以心灵或自然作为原因而生成,但实际上因由于偶性的某个原因而生成了;既然没有什么由于偶性的东西先于由于本性的东西,那么显然,也就没有什么由于偶性的原因先于由于本性的原因。所以,自发和机会要后于心灵和自然。因此,假如天体尤其要以自发为原因,那么必然地,心灵和自然就是许多其他事物以及这个宇宙本身的在先的原因。

显然,原因存在着,它们的数目就是我们所说的那么多。这些数目的原因就是对于“为什么”^①这个问题的回答。因为,对不能被运动的对象来说,“为什么”归根到底要归结为“是什么”(例如在数学中,最终都要归结到直线、可约数以及其他什么的定义);或者归为最初的运动者(例如,“他们为什么要打仗?”回答说:“因为别人进攻了”);或者是为了什么(如为了统治);或者用在生成的事物中,指质料。

显然,原因就是这么多类别,也就是这么多数目。既然原因有四种,那么,自然

① to dia ti。

哲学家就应该通晓所有的这些原因,并运用它们——质料、形式、动力、“何所为”来自然地回答“为什么”的问题。后面三种原因在多数情况下都可以合而为一。因为所是的那个东西和所为的那个东西是同一的,而运动的最初本原又和这两者在种上相同。例如,人生于人。而且一般说来,那些自身在被运动而又运动着他物的东西都是如此(如若不是这样,就不是自然哲学的对象。因为它们发起运动,但在自身中没有运动,也不具有运动的本原,而是不能被运动的东西。因此,有三门研究工作,一门研究不能被运动的东西,一门研究被运动但不可毁灭的东西,再一门研究可以毁灭的事物)。所以,要说明事物的为什么,就必须追溯到质料,追溯到是什么,追溯到最初的运动者。因为考察生成原因的最为主要的的方式,就是研究什么在什么之后生成,什么最初动作或承受,而且,在每一阶段上都总是这样。

自然地引起运动的本原有两类。其中的一类不是自然的,因为它自身之中没有运动的本原。如果某东西自身不被运动而又发起运动,那它就属于此类,就像那完全不能被运动的东西、万物的初始以及“是什么”和形式。因为它是目的和“所为的东西”。所以,既然自然是“何所为”,也就必须要通晓它。而且,还要指出为什么的全部含义,例如,这个必然出于那个(或必然地或通常地出于那个),这个会是这样,必定先有那个是那样(就像结论出于前提),这就是某物“所是的那东西”;以及,因为这样更好——不是笼统地好,而是相对于每一特殊事物的本质来说的好。

首先必须说明,自然为什么是诸种原因中的“何所为”。其次还要论及必然性,说明它在自然哲学中所具有的含义和地位问题。因为所有思想家都把原因归结为必然性,他们说,既然热和冷以及诸如此类的每个东西自然是这个样子,那么,这些东西就是出于必然而存在和生成的。尽管他们也曾经谈到过其他的原因,有人提出过友爱与争斗,有人提出过心灵,但是,在提及之后就搁在一边了。

也许有人会提出疑问:为什么自然就不可以制作出无所为,也没有更好些,就像宙斯降雨不是为了使谷物生长,而是出于必然呢?因为蒸发了的汽必然冷却,冷却之后必定变成水下落,其结果,就使谷物得到水的滋润而生长。同样,如若谷物在打谷场上遭雨霉变,那么,那个雨也并非是为了如此,而是偶然地使谷物霉变了。所以,在由于自然而存在的事物中的各个部分难道不也是具有如此情形吗?例如,人的牙齿就必然地是门齿锋利适宜撕扯,臼齿宽厚以便咀嚼,这种情形的出现难道不可以并非是为了什么东西,而只是由于巧合吗?其他那些被认为似乎是有“何所为”存在其中的部分也都是这样。当事物的一切部分结合得仿佛就像为了什么而生成时,那些由于自发而形成得很为适当的東西就保存了下来,不这样的就消灭

了,而且还在继续消灭着,就像恩培多克勒所说的人面牛一样。

这一类的道理以及如果某人提出其他类似论证,或许就是人们提出疑问的理由。但是,这种方式的提问是不能成立的。因为这些以及所有出于自然的事物都总是如此或者经常如此地生成着,没有一个是由于机会和自发的。因为不能认为冬天多雨是由于机会,相反,如若在夏天多雨,才是由于机会;夏天炎热也不是机会,只有冬天炎热才应该说是机会。所以,如果要么认为是由于机会,要么认为是为了什么,而且,如果这些事物既不是由于机会也不是由于自发,那么,就应该是为了什么。但是,所有的这类东西都是由于自然而存在着,即使与我们意见不同的那些人也会承认这一点。所以,“何所为”存在于那些由于自然而生成和存在的事物中。

此外,在任何具有一个目的的过程中,人们安排先行和后继的各个阶段都是为了这个目的。而且,作为在行为中的,在自然中也会这样,反过来,作为在自然中的,在每一个行为中也会这样,假如没有什么阻碍的话。既然在行为中的是为了什么,那么,在自然中的也当然是为了什么。例如,假若一幢房屋是由于自然而生成的,那么,它也应该像现在由技术制作的一样生成;假若由于自然的那些事物不仅仅是由于自然,也是由于技术生成,那么,它们也就会像自然地生成一样。因此,先行的是为了后继的。一般说来,技术有些是完成自然所不能做到的事情,有些则是模仿自然。所以,如果按照技术的东西有所为,那么显然,按照自然的的东西也就有所为。因为不论是在按照技术的产品里还是在按照自然的产物里,后继阶段对先行阶段的关系都是一样的。

这种情形在其他动物方面表现得最为明显,它们不懂技术、不做研究、不加思考地进行着制作。于是,有些人会提问说:蜘蛛、蚂蚁及其类似的其他动物的做工是由于心灵还是由于其他什么技术?像这样继续细心观察就会发现,在植物中,显然也是相关于目的才生出那些器官来的,例如,叶片的长出就是为了遮掩果实。所以,如果说燕子垒巢、蜘蛛结网是由于自然,那也是有为的;同样地,植物生叶为了果实,根不往上蹿而向下伸是为了汲取养分。所以很明显,在由于自然而生成和存在的事物中是有“何所为”这类原因的。

亚里士多德在这里引述的恩培多克勒的“人面牛”源自后者提出过的这样一种生物学思想:最初,从土里生出许多没有脖子的头,有许多没有肩的胳膊游来荡去,还有一些没有额头的眼睛游荡着。单独的肢体游荡着……当一个神与另一个神大打出手时,这些肢体就相互结合了……那时生下了许多长着两个脸和两个胸膛的动物,出现上半截是人、下半截是牛的动物,还有一些人身牛首的动物,还有一些半男半女的动物,长着不能生育的生殖器。最后,那些不能适应自然环境、不能繁衍后代的便被淘汰了,留下来的只有人类和我们所见到的各种动物。

再者,既然自然一词具有两层含义,一是作为质料,另一是作为形式,而形式就是目的,其他的一切都是为了这目的,那么,形式就应该是这个“何所为”的原因。

当然,在按照技术的行为中会出现误差现象,例如,文法家写错了字,医生用错了药,那么显然,在按照自然的事物中也可能会出现同样现象。如果说在有些按照技术的产品中,正确的是有所为,误差的也是力图有所为,只是错过了,那么,在自然产物中也会具有同样情形,畸形就是错过了它所为了的那个东西。因此,在最初的结合物中,如果人面牛之类的东西没有针对某种规定和目的而行事,那么,也还是会由于某种本原的差错而生成,正如现在种子的差错一样。此外,必然是最初生成了种子,而不直接^①就是动物。所谓的“最初的完整自然”就是种子。

此外,有所为也存在于植物之中,只是准确程度差些罢了。那么,在植物中是否也生成过像人面牛一类的橄榄葡萄呢?这无疑是荒诞的。但是,如若动物中真有过这等怪物,那么,按理说植物中当然也应该有,而且,在种子中或许就是这样碰巧生成的。

但是,一般说来,持这种说法的人取消了由于自然而存在的东西乃至自然本身。因为出于自然的东西都是从自身中的某一个本原出发,经过连续不断的被运动,从而达到某一目的。运动所由出发的个别本原对每一个体不可能全然一样,也不可能是任意机遇,而是永远趋于相同的目的,假如没有什么阻碍的话。当然,这个所为的东西以及达到它的手段有可能由于机会而生成。例如,一个外邦人来了,在交付了赎金之后又离去了,好像他此行就是为了交付赎金,其实不然。这时,我们就说他干这事是由于机会。这是由于偶性而发生的,正如我们在前面所说,机会就是一种出于偶性的原因,但是,当这事总是要发生或经常在发生时,那就不是偶性也不是由于机会了。假如没有什么障碍,在自然事物中永远如此。如若由于没有看见有运动的策划者,就因此而不承认生成是有所为,这是荒谬的。其实,技术也无谋划。因为假如造船术存在于木料之中,那么,由于自然也就同样地能造出船来。所以,如若所为的东西存在于技术中,那它也存在于自然中。最为明显的例子就是医生诊治自己,因为自然就是像这个例子一样。

因此很明显,自然是一种原因,而且如上所说,是作为有所为的原因。

至于必然性是什么的问题,我们要问:它是出于假定的呢,还是也属于单纯的?因为现行的看法是把必然的东西置于生成过程之中,就像有人所认为的,墙壁似乎应当是这样地出于自然而生成:由于重的东西自然地被向下移动,轻的东西则自然地被放在顶上,所以,石料和地基就在下面,土由于较轻则置于其上,木料最轻,就放在顶上。

尽管没有这些东西墙壁就不会这样生成,但它不是由于这些东西——除非作

① oulophnes men prota.

为它的质料因——它的生成是为了遮盖和保护某些东西。在其他一切有所为的事物情形中,也都是这样,即如若没有这些具有必然本性的东西,生成就不可能,但生成不是由于这些东西(除了作为质料),而是为了什么。例如,为什么锯子是如此这般的?回答说:因为要这样才能锯而且也是为了这样锯。当然,假若锯子不由铁所制成,它所的东西也就不能实现。所以,如果要有锯子并让它进行锯东西的活动,它就必然要由铁所制成。可见,必然的东西是出于假定,而不是作为目的。因为必然的东西是在质料之中,而所为的东西则是在原理之中。

在数学中,必须的东西和在按照自然而生成的事物中的必然的东西在某些方面具有相似之处。因为,既然它所的是直线,那么必然地,三角形的内角之和等于两直角。但是,不能反过来,如果三角形的内角之和不等于两直角,直线也就不是它所。然而,在有所为而生成的事物中,反过来也能成立。如果目的会存在或者已存在,那么,它的先行阶段也会存在或者已存在。如若不然,就会像那里结论不存在始点也不会存在一样,在这里,目的和所为的东西也不会存在。因为它也是一个起点,当然不是行为活动的起点,而是推论过程的起点(在数学中,由于不存在行为活动,就只有推论过程的起点)。所以,如果要有一幢房屋,这样一些东西,或一般而言的为了什么的质料(例如砖瓦和石料,如若是为造房的话)就必然要先已生成了、准备好或存在着。当然,目的不是由于这些东西——除了作为质料外——也不会由于这些东西才存在。但是,如若没有这些东西,房屋和锯子也不会存在;因为如果没有石料,就没有房屋;如果没有铁,也就没有锯子(就像在数学中一样,如果三角形内角之和等于两直角不成立,它的那些原理也就不成立)。

所以很明显,在自然物中的必然性,就是我们所说的作为质料的东西以及它的运动。尽管这两类原因都要被自然哲学家研究,但尤其要研究的是“何所为”。因为它是质料的原因,而并非质料是目的的原因。而且,目的就是所为的那东西,本原来自定义和原理的。正如在按照技术的产品中那样,既然房屋如此这般是它所,那么,它的那些材料必然已经生成和准备好了,既然健康是它所,它的各类素质要求也必然已经生成和具备了。同样,如果人是他所,必然已有某些因素;而且,如果这些因素是它们之所是,又必然已有另外一些因素。或许,必然性也存在于原理中。因为如若把锯这种活动定义为如此这般地分割,那么,如若没有此类特性的锯齿,这种分割就不会存在,如若它不是铁制的,也就没有这种特性的锯齿。因为在公理中,也有一些作为公理质料的部分。

《对话》第二天（节选）

选自《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》，（意）伽利略著，上海外国自然科学哲学著作编译组译，上海人民出版社，1974年。

导读

伽利略 (Galileo Galilei, 1564—1642) 于 1564 年 2 月 15 日出生于比萨，三天后伟大的文艺复兴艺术家米开朗基罗去世。历史学家把这一生一死说成是从研究艺术向钻研科学过渡的标志。伽利略的父亲是一位数学家，一个没落的贵族。他希望伽利略去学医，因为一个医生挣的工资是一个数学家的 30 倍。但伽利略显然并不认为学医有多大意思，他的头脑里思考着的是另一些问题。

伽利略循着阿基米德的足迹，进行观察、实验，把具体的事物化为抽象的数学关系，从中推导出对事物的简单、概括的数学描述。伽利略对物理现象的独立研究，使得他相信那些被奉为权威的亚里士多德物理学内容中有许多严重的错误。1632 年，伽利略把他的研究成果发表在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》一书中。该书采用对话体的形式，对话的双方有三个人，萨而维阿蒂和沙格列陀是伽利略的朋友和拥护者，辛普利邱是公元 6 世纪时亚里士多德著作的注释者，在书中扮演了传统和权威的捍卫者。三个人在四天里作了四次内容广泛的谈话。第一天论证了地球和行星一样，是一个运动的天体；第二天讨论了周日运动；第三天讨论了周年运动；第四天讨论了潮汐问题。

伽利略的《对话》是近代天文学史上的三部最伟大的杰作之一（另两部是哥白尼的《天体运行论》和牛顿的《自然哲学的数学原理》）。在伽利略发表《对话》之前，他因信仰哥白尼学说而受到教会警告，“日心说”已经被宣布为“歪理邪说”。这时《对话》的出版轰动了整个学术界。当时罗马教皇对外战争不利，丧失了对欧洲许多地区的控制。在意大利，他不允许再有人动摇教会的权威。虽然教皇“微”时是伽利略的好朋友，但也不得不对伽利略采取措施了。于是《对话》被查禁，伽利略被传召到罗马宗教法庭受审。在威严的法庭上，伽利略宣布放弃信仰，宗教法庭感到满意而判处伽利略监禁，并命令他三年里每星期

都要背诵《诗篇》中的七首忏悔诗。《对话》直到1835年才从天主教的禁书录中去掉。1965年,教皇保罗六世出访比萨时赞扬了伽利略。

在《对话》中,伽利略用通俗的语言描述了运动的相对性、落体定律、钟摆和抛射体的运动、潮汐的起因,等等,尤其确立了定量实验与数学论证相结合的科学研究规范。本书选取其中第二天中对话的一个片断,讨论落体运动的规律。

伽利略在实验中观察到,当石头被放开后,它在空中下落的速度越来越快。伽利略想知道这种越来越快的下落运动符合什么样的数学定律。由于自由落体运动得太快,伽利略想出了“稀释重力”的办法。他用球在斜面上滚动,斜面越陡,球滚动得越快。在垂直面的极限情况下,球沿这个面自由落下。在这个实验中,伽利略面临的主要困难是测量小球走过不同距离所需要的时间。当时钟表还没有发明,伽利略想出来的解决办法是用“水钟”,通过一个大容器里流出的水量来测量时间。

根据观察到的运动距离与时间的依赖关系,伽利略得出结论说,这一运动的速度一定是与时间成简单的正比关系,即

$$\text{速度} = \text{加速度} \times \text{时间}$$

伽利略还证明了,在从静止开始的匀加速运动中,运动物体走过的距离是它在整个时间内以不变的速度运动时所应走过距离的一半。因此

$$\text{距离} = \frac{1}{2} \times \text{速度} \times \text{时间} = \frac{1}{2} \times \text{加速度} \times \text{时间}^2$$

这是人类首次用数学公式来严格表述物理规律,伽利略因此被尊为近代物理学乃至近代科学的鼻祖。选文中辛普利邱所作出的辩解——“在物理学上,是难得找到像数学那样准确的证据的”——是非常苍白无力的。沿着伽利略开创的用数学公式表达物理规律的方法,人类已经登上了月球,也大致能预报明天的天气了。

辛:到现在为止,那些反对地球周日运动的理由的解答(即重物从塔顶坠落,物体垂直地向上抛射或者向东西南北方面斜射出去等实验),使我对古代攻击这种地动说的信心多少有些削弱了。但是现在我的脑子又在盘算着另外一些更大的困难,而这些肯定说将是我永远无法摆脱的。我敢说你自己也未见得能

解决,可能你听都没有听说过,因为这些都是新近提出来的。这些反对理由是由两位公开反对哥白尼的作者提出来的。第一条反对意见可以在一本科学论文的小册

两个现代作者对哥白尼学说进一步提出反对

子中读到,而另外一些反对意见则见诸于一位伟大的哲学家兼数学家写的一部拥护亚里士多德关于天不变的著作中。在这部著作里,他证明不但那些彗星,而且那两颗新星(即1572年在仙后座和1604年在人马座出现的)根本都不是在行星层外面,而是确确实实在月球层下面亦即属于原素世界范围。他而且是针对着第谷、开普勒和其他许多天文观测者提出反证的,以他们的矛攻他们自己的盾;也就是说,根据视差来反驳他们。你如果不嫌的话,我可以从两位作者的书里把他们的论据提出来,因为两本书我都用心读过,而且读了不止一遍,所以你可以考察一下这些论据的力量并谈谈你自己的看法。

萨:我们的主要目的就是提出并考虑关于托勒密体系和哥白尼体系的一切赞成的和反对的理由,所以任何关于这方面的论述都不容忽视。

辛:那么我就从那本科学论文小册子里面提出的那些反对理由开始,然后再谈其他反对理由。首先,那位作者很聪明地计算了地球赤道表面上一点每小时走多少哩,和在别的纬度上的一点每小时走多少哩。他不仅以考察

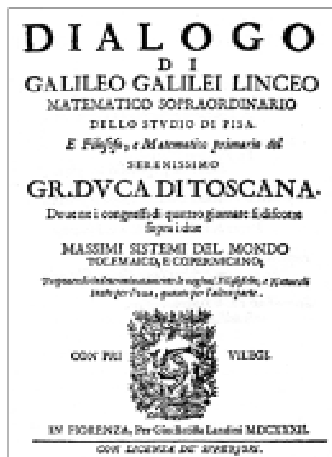
每小时的运动

那位现代作者在小册子中所提出的第一项反对理由

速度为满足,还计算了每分钟的速度,然而仍旧不满足,还计算了每一秒钟的速度。此外,他接着又准确地表明,放在月球层上的一颗炮弹,在这个时间内将走多少哩,假定月球层就像哥白尼计算的那么大,从而使他的论敌无法找任何借口。在作了这些极其精辟和漂亮的计算之后,作者指出一个重物体从月球层上落下来需要六天以上的时间才能到达地球中心,而一切重的东西天然地都是趋向地球中心的。

根据这位现代作者的意见,一颗炮弹要从月球层落到地球中心,需要六天以上

现在,如果靠神的法力,或者什么天使的手法,把一颗很大的炮弹像奇迹一样地搬到月球层上,而且笔直地放在我们头顶上,然后让它落下来,要说炮弹的降落会永远保持在我们的垂直线上,继续跟着地球环绕地球中心转上这么多天,在赤道的圆圈平面上画一条螺旋形的线,并在一切其他纬度上环绕圆锥画出



伽利略《对话》书影

到伽利略的《对话》出版时,离开亚里士多德将近两千年了,但是“一切重的东西都是趋向地球中心的”这样典型的亚里士多德式定律,在当时大部分学者眼里还是金科玉律。辛普利邱在书中是亚里士多德正统学说的代言人,自然更是如此。

许多螺旋线 ,而在南北极沿一根简单的直线落下 ,在他和我看来这简直是使人无法相信的事。

他接着又通过他的质问方式 ,提出许多使哥白尼的信徒无法解决的困难 ,来确定并证实上述情形是不可能出现的 ,如果我的记忆没有错的话 ,那些困难是……

萨 :请你等一下 ,辛普利邱。你总不愿意一下子提出这么多的新论点来把我搞糊涂 ,我的记性很差 ,只能一步一步地来。由于我记得过去曾经计算过 ,这样一个重的东西从月球层上落下来需要多长时间才能达到地球中心 ,而且根据我的记忆好像不需要这么长 ,你最好解释一下这位作者是运用什么方法来计算的。

辛 :为了更有力地证明他的论点 ,他把情形讲得对于对方非常有利 ,假定物体沿垂直线落到地球中心的速度等于物体环绕月球层的大圆周的运行速度 ,即等于每小时 12 600 德里^①——这种情形其实看上去是不可能的。虽说如此 ,但是为了特别小心 ,并给予对方一切有利条件起见 ,他假定这种情形属实 ,而且总结说不管是什么情形 ,降落时间将要在六天以上。

萨 :难道他的方法就是这么多吗 ?他这样假定可曾证明降落时间一定要在六天以上呢 ?

沙 :我觉得他的做法未免过分小心谨慎了 ,因为他可以任意给予这种落体以任何速度 ,所以他可以使物体以六个月的时间或者六年的时间到达地球 ,然而他仅仅规定六天时间就满足了。可是 ,萨尔维阿蒂 ,既然你说你曾经计算过 ,那就请你谈谈你是用什么方法计算的 ,让我平平气吧 ,因为我有把握说 ,如果这个问题不需要人们进行卓越的研究的话 ,你是不会把精力花在上面的。

萨 :沙格列陀 ,单单要求一个结论高明和伟大是不够的 ,要紧的是把结论处理得很高明。谁不知道在解剖一个动物的某些器官时 ,人们会发现无数含有深意和最聪明的奇迹 ?然而在解剖学家解剖了一只动物的同时 ,屠夫却要宰割一千只。现在为了满足你的要求 ,我不知道究竟穿哪一件服装上台 ,是穿解剖学家的服装呢 ,还是穿屠夫的服装 ;不过看见辛普利邱的这位作者的派头 ,我的勇气不禁鼓起来了 ,所以我将对你毫不隐瞒——如果我能记得的话——我是采用什么方法计算的。

但是在开始叙述我的方法之前 ,我忍不住要说 ,我非常怀疑辛普利邱是否忠实地描述了这位作者用来找出炮弹需要六天以上时间从月球层落到地球中心的方法。因为如果他假定炮弹降落的速度等于炮弹沿月球层运行的速度——而辛普利邱说他正是这样假定的——他就是连几何学最起码、最简单的知识都不懂了。使我觉得奇怪的是 ,辛普利邱本人在承认他告诉我们的这一假定时 ,并没有看出它的内容是多么荒唐。

^① 一德里是赤道的 1/5 400。在伽利略时代 ,这是一种计算方法。

辛：我在叙述时可能搞错了，但是我没有看出它的谬误所在是肯定的。

萨：也许我没有完全理解你叙述的那些内容。你是不是说过，这位作者把炮弹降落的速度说成和炮弹沿月球层运行的速度相等，而且以这种速度降落时将以六天到达地球中心？

辛：好像他就是这样写的。

根据炮弹从月球层降落的论据含有极其荒谬的错误

萨：然而你对这样荒唐的错误还看不出来吗？不过当然你是假装看不出，因为你不可能不知道圆周的半径比圆周的六分之一还小，因此运动体通过半径的时间，将比运动体以同样速度环绕圆周所需时间的六分之一还少。所以炮弹以它沿曲线运行的速度降落，将在四小时不到的时间内到达地球中心，这就是说，假定炮弹沿圆周运动一周的时间是24小时，为使炮弹始终保持在同一条垂直线上，也非要这样假定不可。

辛：现在我完全懂得错误在哪里了，不过我不愿意把错误随随便便推在他身上。一定是在叙述他的论据时弄错了，因此为了避免对其他错误承担责任，我想还是把他的书找出来吧。有哪一位肯去把这本书取来，我将感谢不尽。

沙：我可以派一个佣人赶快去取来，而且根本不需要把时间等掉；在取书的时候，萨尔维阿蒂将会慨然把他的计算告诉我们。

辛：让佣人去取罢，书就摊在我的书桌上，还有另外那本反对哥白尼的书也放在书桌上。

沙：叫他把那一本也给我们带来，免得搞错。

现在萨尔维阿蒂可以讲讲他的计算方法，我已经打发一个佣人去了。

炮弹从月球层落到地球中心的精确计算

萨：首先我们必须想一想，落体的运动并不是均匀的，而是从静止开始不断地在加速。这是所有的人都知道而且观察到的事实，只有刚才提到的那位现代作者一点不提到加速运动，而把运动说成均匀的。但是除非我们知道落体运动以什么比例加速，这种众所周知的知识是没有价值的，而这种加速的比例直到我们的时代为止，是所有哲学家都不知道的。我们的院士朋友第一个发现了这个比例；他在自己的一些未发表的论文里^①很有把握地指给我和他的另外几个朋友看，证明了下列的情况。

重物体直线运动的加速度是按照从一开始的奇数进行的。就是说，随便你把时间分为若干相等的段落，那么在第一段时间内物体从静止到运动经过一厄尔^②长

① 见伽利略著：《两种新科学》。

② 古尺名，等于45英寸。

伽利略在这里借萨尔维阿蒂这个角色,叙述了非常重要的全新的落体规律。

的距离,在第二段时间内它将通过三厄尔的距离,在第三段时间内通过五厄尔的距离,在第四段时间内通过七厄尔的距离,并且根据奇数的顺序继续这样加速下去。总之,这等于说,物体从静止开始所经过的距离,同经过这段距离所需要的时间的平方成比例。也可以说,经过的距离与时间的

的平方成比例。

重物体降落
的距离等于
时间的平方

沙:你讲的这件事听来真是了不起。
这个论断有没有数学证明呢?

萨:多数都纯粹是数学证明,而且不仅证明了这一点,还证明了属于天然运动和抛物体的许多其他美妙属性,所有这一切都是我们的院士朋友发现和证明了的。

那位院士关于局部运
动建立的一门新科学

这一切我都看到了并且研究了,感到极端喜悦和惊奇,因为我看到在这个问题上过去人们曾经写过千百本书讨论它,可是现

在一门新科学在这个问题上建立起来了,而这门新科学里的无数令人钦佩的结论,其中没有一个曾经为我们院士朋友以前的人观察到过和理解过。

沙:单是为了听听你提示到的那些证明,我本来想继续刚才开始的讨论的念头,现在都被你打消了。所以请你立刻把那些证明告诉我吧,否则至少请你答应我,另外安排一个时间专门来讲这些证明,辛普利邱假如愿意知道自然界最基本的作用的性质和属性,也可以参加。

辛:我确实愿意,不过关于物理学究竟应当包括哪些内容,我认为没有必要把什么细枝末节都研究到。只要有一个关于运动的定义,以及天然运动和强迫运动的区别,匀速运动和加速运动等,也就够了。因为如果这些还不够的话,我敢说亚里士多德决不会忘记把这些缺漏的地方补全,并教给我们。

萨:可能如此。但是别让我们在这上面多费口舌了,因为我答应你们用半天的时间单独谈这些证明,使你们能够满意。现在回到我们原先开始的论题,即计算一个重物体从月球层一直落到地球中心的时间,而且为了避免信口雌黄,而采用一种严格的计算方式。让我们首先设法弄清楚,比如说,一只铁球从一百码的高度落到地面上来所需要的时间,这已经由实验多次证明

伽利略说“一门新科学”建立起来了,说得一点也不夸张。他确实以落体运动为突破口,建立起了一门新的物理学。整个近代科学的大厦因此而得以奠定基础。

过了。

沙：而且为了解决目前的问题起见，让我们把铁球的具体重量和计算铁球从月球上落下来的时间时的重量定为一样。

萨：这根本没有关系，因为一磅重的铁球，和十磅重的或者一百磅重的或者一千磅重的铁球，都以同一时间从一百码的高度落到地面。

辛：啊，这我可不信，而且亚里士多德也不相信，因为他在书里说过，落体的速度是和它们的重量成比例的。

亚里士多德说重的落体的速度和它们的重量成比例，这是错误的

萨：辛普利邱，既然你要承认这一点，那你也就必须相信以同样材料制成的一个一百磅重的球和一个一磅重的球，同时从一百码高度落下来时，大球落地，小球只落下一码远。现在请你，如果你能够的话，在脑子里试想象一下当大球落地时，小球离塔顶还不到一码的情形。

沙：我丝毫不怀疑这条定理是完全错误的，但是我也不完全信服你的话就完全对，不过我还是相信你，因为你的语气是这样肯定，而如果你没有具体的实验或者严格的证据作为依据的话，我敢说你是不会这样说的。

萨：两种根据我都有，在我们分别谈到运动问题的时候，我将把这些根据告诉你们。目前，为了不使我们的讨论重新打断起见，让我们假定，一只重一百磅的铁球从一百码高度落下来的时间，经反复实验后算出来是五秒^①。既然如我以前告诉你们的，落体落下的距离是依照降落时间的平方增加的，而一分钟是五秒的12倍，如果我们以12的平方，即144乘一百码，我们将得到14400码，这就是运动体在一分钟内落下的距离。根据同一法则，由于一小时是60分钟，我们以60的平方乘14400码（即落体在一分钟内降落距离），那么落体在一小时内降落距离将是5184000码，亦即17280哩。如果我们想知道落体在四小时内落下多少距离，可以用16，即4的平方，乘17280哩，而得到276480哩，这要比从月球到地球中心的距离大得多。后者只有196000哩，即把月球层到地球中心的距离作为地球半径的56倍（如这位现代作者计算的那样），因为地球的半径是3500哩，每哩是3000码，这里的哩都是按照我们意大利哩计算的。

所以，辛普利邱，你看，你那位计算者说，从月球层到地球中心，六天都到不了，但是，当我们根据实验而不是根据约略估计来计算时，那就连四小时都要不了。把计算说得准确些，它将是三小时二十二分零四秒。

沙：我亲爱的朋友，请你不要拿这种准确的计算来愚弄我，因为这件事做起来一定要非常精细才行。

^① 按5秒计算，引力加速度将不是980厘米/秒²，而是467厘米/秒²。产生这种误差的原因在于，当时的实验条件很难排除大气阻力的效应。

萨：确是非常精细的。所以，如我刚才说过的，经过慎重的实验观测到这样的
一个运动体从一百码高度落下来是五秒之后，让我们看看，如果降落一百码要五
秒，那么 588 000 000 码（因为这就是地球半径的 56 倍）将需要多少秒？这里的计
算程序是以第二个数的平方乘第三个数，得到的结果是 14 700 000 000，然后再以
第一个数除它，即以 100 除它，而所得的商的平方根，12 124 就是所求的数。这就
是 12 124 秒，亦即三小时二十二分四秒。

沙：现在我看见这里的计算程序了，但是我一点不懂得这样做的理由是什么，
而且目前好像也不是问这些理由的时候。

萨：老实说，就是你不问起，我也想要告诉你，因为讲起来并不难。让我们把
第一个数称作 A，第二个数称作 B，第三个数称作 C，A 和 C 是距离的数，B 是时间数；
第四个数是我们所要求的，也是时间的数。

100	5	588 000 000
A	B	C 25
1		14 700 000 000
22		359 56
241		10
2422		
24244		
6 0 / 1 2 1 2 4		
2 0 2		
3		

我们知道，不管距离 A 和距离 C 的比例如何，时间 B 的平方和我们所求的时间
的平方一定也是同样的比例。因此根据第三条法则，以 B 数的平方乘 C 数，再把乘
积除以 A 数，所得的商就是所求数的平方，它的平方根就是我们求的数。所以你看，
道理是很容易理解的。

沙：所有的真理，一旦被人们发现之后，都是这样，困难就在于发现这些真理。
我现在完全信服了，而且非常感谢你。如果在这个问题上还存在什么珍奇事情的
话，我请你不吝赐教。因为我可以坦白地说，如果辛普利邱不见怪的话，我从你的
讨论里总学到一些新的和美妙的东西，而从辛普利邱那样一些哲学家那里，我觉得
从来就没有学到什么重要的东西。

萨：关于这些局部运动，还有许多话要说，不过根据我们的约定，我们将留待
另一次机会单独讨论。目前我想针对辛普利邱抬出来的这位作者讲几句话，在这
位作者看来，炮弹从月球层上降落时，同炮弹留在月球层上参与周日运动时一样，
将以同样的速度运动，从而使他的那些反对地动说的人处于非常有利的地位。现

在我要告诉这位作者 ,这颗炮弹从月球层落到地球中心时获得的速度要比它在月球层参与周日运动的速度快二倍以上 ,而且我将以完全正确的而不是任意的假设来证明这一点。

根据上面所说的 ,你们该懂得 ,落体一直在以我们提到过的比例获得新速度 ,所以不论它落在哪一点上 ,它将具有这样一种速度 ,即如果它以这种速度继续均匀地运动 ,那么 ,在等于以前降落的第二段时间里将越过已经经过的双倍距离。因

落体用以前获得的速度作匀速运动 ,在同等时间经过的距离 ,将双倍于落体在加速运动中所经过的距离

此 ,举例来说 ,如果炮弹从月球层落到地球中心花了三小时二十二分四秒 ,那么我说在它到达中心之后 ,它的速度将达到这样的程度 ,即如果以这种速度继续均匀地运动 ,并不加速的话 ,它将在三小时二十二分四秒的时间内越过双倍的距离 ,这将是月球层的整个直径。

由于从月球层到地球中心的距离是 196 000 哩 ,而炮弹经过这段距离需要三小时二十二分零四秒的时间 ,所以根据上面的叙述 ,如果炮弹继续以到达地球中心之后的速度运动 ,它就会在第二个三小时二十二分零四秒的时间内经过双倍的距离 ,即 392 000 哩。但是同一炮弹留在月球层上 (这个圆周是 1 232 000 哩) ,并以周日运动的速度运转 ,将在三小时二十二分零四秒的时间内经过 172 880 哩的距离 ,即不到 392 000 哩的一半。所以你们看 ,在月球层上的运动速度并不是如这位现代作者所说的那样 ;也就是说 ,这种速度是炮弹无法比拟的。

沙 :你在这段论证里讲到 ,落体经过了一段距离 ,再在同样的时间内继续以坠落时取得的最大速度均匀地运动 ,将会经过双倍的距离 ;这一点如果肯定得了的话 ,你这段论证就完全没有问题 ,而我也就满意了 ,因为这条定理曾经被你一度假定为正确的 ,但没有加以证明。

萨 :这就是我们的院士朋友证明了的许多定理之一 ,到适当时候你将会看到这项证明。在目前 ,我打算提出一些揣测 ,目的并不是为了教给你什么新的东西 ,而是为了消除掉你头脑里的某种相反的信念 ,并使你看出实际上是怎样一种情况。你有没有看到过 ,从天花板上用一根又长又细的线吊着的铅球 ,在我们将它拉离垂直线并放开之后 ,将会自动地以差不多同等幅度越过那根垂直线呢 ?

沙 :这个我的确看到过 ,我并且看出 (特别是很重的铅球)它的上升幅度和它的下降幅度相差很少 ,以至于我有时候想到它的上升弧度可能等于它的下降弧度 ,并且盘算它本身会不会永远这样摆动下去。我而且相信 ,如果能把空气的阻力去掉 ,它就会永远这样摆动下去 ,因为空气抗拒被铅球分开 ,将会向后拉一点 ,从而阻碍摆的运动。不过阻碍的确是很小的 ,所以摆动要往返许多次 ,铅球才会完全停止 ,道理就在这里。

悬挂着重物体 ,如果去掉其阻碍 ,将会永远摆动下去

萨：沙格列陀，即使完全去掉空气的阻力，铅球还是不会永远摆动下去的，因为这里还有一个更隐秘得多的阻力。

沙：那是什么阻力？我从没有想到还有什么别的阻力。

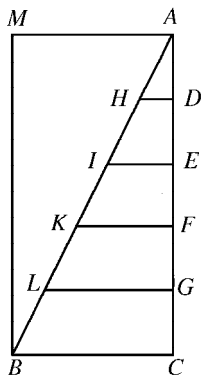
萨：这种阻力你如果知道，将会感到非常高兴，不过我以后再告诉你；目前，让我们继续谈下去。我提出关于摆的运动的观察，是为了使你了解摆在下降弧度中所获得的冲力（这时运动是天然的），将能靠冲力本身以一种强迫运动使同一个摆上升到同样弧度；所以靠冲力本身，是指去掉一切外来阻力而言。我而且相信，你会很容易看出，正如在下降的弧线中，摆的速度在到达垂直线最低点前不断增加一样，同样在上升的弧线中，它的速度将不断减少直到最高点为止。前一速度的减慢和前一速度的加快，在比例上是相等的，因此两个速度在和最低点距离相等的地点，其快慢程度也是一样的。根据这一点，我觉得（在一定限度以内）我们可以信得过，如果把地球穿个洞通过地球的中心，一颗炮弹从洞里落下去，将会在到达地球中心获得这样的冲力，使它越过地球中心，并上升到它降落时经过的同等距离，它

如果把地球穿个洞，
一个重物将会越过
地心，并上升到它降
落时经过的同等距离

的速度在越过中心之后将会愈来愈慢，而减慢的程度和降落时加速的程度将是一样的，我而且相信，这种再度上升所花费的时间也将等于降落时所花费的时间。你看，如果速度不断减弱，直到完全消失，那么，炮弹在中心时将获得最高速度——从静止到最高速度——并使它在同样的时间里通过同样的距离，如果它一直以这种最高速度运动，将在同样的时间内通过双倍的1
距离，这看来肯定是合理的。因为如果我们在想象中把这里的速度分为若干2
加速度和减慢度——如右边一些数字所标出的那样——使第一个速度增加到3
十，而其余的又逐渐减到一，这样一来，如果把前者（下降的时间）和后者（上4
升的时间）加在一起，人们就可以看出它们的总和就好像是这两个部分的任何5
一个部分始终是以最高速度形成的。因此以各种不同速度，包括加速的和减6
慢的速度，所通过的总距离（而在这里就是整个的地球直径）一定等于最高速7
度在整个加速度和减慢度的半数时间内通过的距离。我知道我把这里的道理8
讲得很不清楚，只希望你们能够懂得。9

沙：我觉得我相当懂得你说的道理，的确，我可以用几句话来表明我懂得10
你的意思。你是说，从静止开始，然后以同等程度逐渐增加速度，即从一开始，10
或者毋宁说从零开始（零代表静止）的一连串整数，并把这些整数排成这样，9
任意连续地排列到多少，使最低的速度是零，而最高的速度，比如说，是五吧，8
那么所有这些使物体运动的速度加起来的总数就是十五。如果物体以这种最7
高速度按照这里的时数运动，那么所有这些速度的总和将是上述的二倍，即三6

十。因此,如果物体在同等时间内以这里的最高速度作匀速运动的话,它将经过原来由静止开始到它加速到五的时间内经过距离的双倍。



萨:你根据自己的迅速而精细的体会,把整个问题表达得比我清楚得多,你而且使我想起补充另外一些事情。因为加速度的增加是连续不断的,我们没有法子把这种不断在增长的速度分为任何具体数字;这种加速度时时刻刻在改变着,要分是永远分不完的。所以我们最好设想一个三角形做例子,来表达我们的意思,这个三角形就叫作ABC吧。把AC边分为若干相等部分AD、DE、EF、FG,并从D、E、F、G点画四根和底边平行的直线;我要你想象那些沿AC的各个部分都代表时间。这样,那些通过D、E、F、G画的平行线就代表速度,在相等的时间内加速也是相等的。现在A代表静止状态,运动体从A开始在AD时间内获得的速度为DH,而在下一段时间内将会从DH的速度增加到EI,而且在以后的时间内逐步按照FK、GL等线的加长而增加速度。但是由于加速是时刻连续地进行的,而不是不连续地从这一时刻到另一时刻进行的,而且A点是假定为最低速度(即静止状态和下一段时间AD的最初瞬间),我们可以看出,在运动体于AD时间内获得DH速度之前,它已经经过无限更低、更低的速度,这些速度是在AD内无限瞬间中获得的,相当于DA线上的无数个点。所以为了表现到达DH速度之前的无数较低的速度,我们必须懂得这里有无数量愈来愈短的和DH平行的线,并且都是从DA的无数个点上画出的。这些线最后就表现为三角形AHD这个面。因此,我们可以懂得,运动体从静止开始,并以均匀的加速度连续运动,不管它经过多少距离,必然要用到无数的速度,相当于无数条线,而这些线根据我们的理解是和HD平行的,如果你随意使运动继续下去,就和IE、KF、LG、BC平行。

现在让我们加上两笔,把这个三角形画成正方形AMBC,而且不但把三角形上画出来的那些平行线延长到BM,并把从AC边上所有的点画出来的无数平行线都延长到BM。那么正如BC是三角形中无数平行线最长的一根,代表运动体在加速过程中所获得的最大速度,而三角形的整个面积则代表在AC时间内以所有不同速度经过的距离,所以正方形就成为所有这些速度的总和,但是每一速度都相等于最大速度BC。这些速度的总和是三角形中加速度总和的双倍,正如正方形是三角形的双倍一样。所以如果落体使用相当于三角形ABC中的加速度在一定时间内经过一定距离,那么它使用相当于正方形中的匀速运动,将在同样时间内经过它用加速度运动时所经过的距离的双倍,这样

重物体天然坠落时的加速是时时刻刻地在增加着

伽利略论证了从静止开始的匀加速运动物体走过的距离 = $\frac{1}{2} \times \text{速度} \times \text{时间} = \frac{1}{2} \times \text{加速度} \times \text{时间}^2$,第一次用一个数学公式描述了一个物理现象。

论证确是合理而且可能的。

沙：我完全信服 ,但是你说这是可能的论证 ,难道还有什么谨严的证明不成？我真巴不得在我们通常所称的整个哲学中 ,能找到一条这样证据十足的证明！

辛：在物理学上 ,是难得找到像数学那样准确的证据的。

在自然科学上 ,人们用不着寻求数学的证明

沙：啊 ,难道这个运动问题不是物理学的吗？然而我却看不到亚里士多德拿出什么证明给我看过 ,便是运动的最琐细性质他也没有证明过。可是让我们不要再扯得太远了。萨尔维阿蒂 ,你刚才提到的排除掉被它分开的空气阻力之外 ,另外还有一种阻力能使它停止 ,这一点望你不弃 ,能有以告我。

萨：你说说：两个长度不一的摆 ,长线吊的摆的振动次数是不是比较少呢？

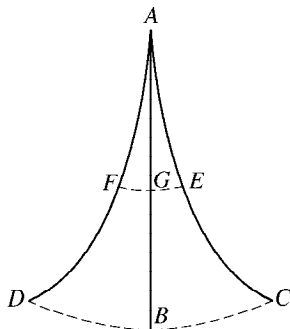
用长线吊的摆比用短线吊的摆 ,其振动频率较小

沙：是较少 ,如果它们离开垂直线的弧度是一样的话。

萨：啊 ,这没有关系 ,因为同一个摆不管弧度大小 (即不管它离开垂直线多远或者多近) ,其振动次数都是一样的。① 或者说 ,即使不完全一样 ,差别也是不大看得出的 ,这一点你从实验上就可以看出。但即使频率相差很大 ,这也无碍我的论证 ,反而对我有利。现在让

同一个摆 ,不管其振动幅度大小 ,振动频率都一样

我们画一根垂直线 AB ,从 A 点在 AC 线上挂一个摆 C ,再在同一根线上较高的一段另外挂一个摆 ,这将是 E 点。把 AC 线拉离垂直线并把它放开 ,两个摆 C 和 E 将经过弧线 CBD 和 EGF ,摆 E 由于挂离顶点较近而且如你所说 ,拉出去较少 ,将会较快地回来 ,并且比摆 C 的振动次数较多。所以它就会阻碍摆 C 自由振动时那样回到 D 点那么远；由于每一次振动时 ,它对摆



① 正如伽利略自己觉察到的 ,这句话只是近似正确 ,所以后来在第四天的讨论中重又加以修正。

C 都是一种阻碍 ,所以最后就会使 C 停止下来。

阻碍摆振动并使它停止下来的原因

现在这根吊摆的绳子 ,即使把中间那个摆拿掉以后 ,其本身也是许多摆的合成体 ,这就是说 ,绳子的每一部分恰恰都是一个摆 ,从离 A 点较远到逐渐接近 A 点 ,因此这些摆的振动频率就愈来愈快 ,从而使绳子的每一部分对于摆 C 都是一种持续的阻碍。关于这一点 ,我们看一下绳子 AC 就可以知道 ,因为绳子拉得并不很紧而是拉成一根弧线 ,如果不用绳子而用一根链条吊着 ,那么这种效果就看得更明显了 ,特别是在摆 C 离开垂直线 AB 很远时效果最明显。因为链条是许多环节组成的 ,每一节都有重量 ,所以 AEC 和 AFD 两条弧线看去弯曲得非常显著。由于链条的组成部分离 A 点愈近 ,振动频率愈大 ,链条的最低部分就不能够像它自然振动时振动得那样大了。这样不断地阻碍 C 的振动 ,所以即使除掉空气的阻力 ,振动最后也会停止下来。

悬挂摆的绳子或者链条 ,在摆动时并不拉成直线 ,而是弯成一条弧线

J. 开普勒

考虑天体和谐所必需的天文知识之要点

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989年。李广宇译。

导读

德国天文学家开普勒 (Johann Kepler, 1571—1630) 早期接受的教育主要是神学方面的，后来认识了数学和天文学教授梅斯特林，开始对数学和天文学感兴趣，并开始信仰哥白尼的学说。他日趋自由的思想使得他没有资格在教会中任职，后来谋得一个天文学讲师的资格。在业余时间他开始了行星问题的研究。1596年，他的著作《宇宙的奥秘》出版。他把这本书寄送给了第谷 (1546—1601)，两位天文学家从此开始通信，在第谷去世之前开普勒成为他的助手和指定接班人。

激励开普勒进行研究的一个基本信念是：上帝按照某种先存的和谐创造世界，这种和谐的某些表现可以在行星轨道的数目与大小以及行星沿这些轨道的运动中追踪到。开普勒最初试图发现构成宇宙结构基础的简单关系而取得的一些成果载于《宇宙的奥秘》一书中。他做了一系列正多面体，每个多面体有一个内切球，同时又是下一个正多面体的外接球。他发现，正八面体的内切和外接球面的半径分别同水星距离太阳的最远距离和金星距离太阳的最近距离成比例，正二十面体的内切和外接球的半径分别代表金星的最远距离和地球的最近距离。正十二面体、正四面体和立方体可类似地插入到地球、火星、木星和土星的轨道之间。

正多面体只有五种，而行星只有六颗，这很容易让人觉得它们两者之间联系的必然性。实际上根据开普勒这种构造计算出来的行星距离与观测所得并不完全一致，但开普勒在当时简单地把这种偏差归咎于观测的误差。直到他得到第谷的那些无可争议的精确观测资料之后，开普勒对行星的距离和运动进行

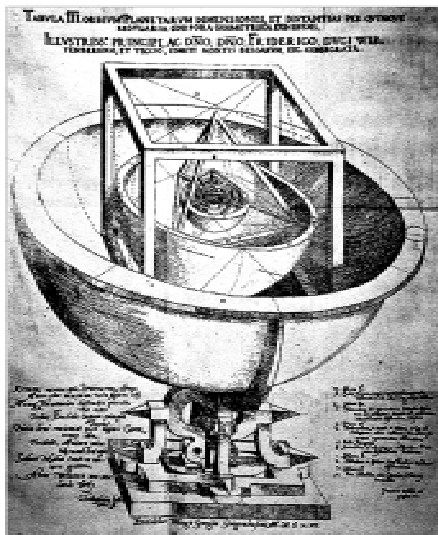
了更细致的研究。经过了一系列在现在看来是“错中有错”的思索,开普勒先找到了关于行星运动轨道两条规律,并在1609年出版的《新天文学》中公布了三条定律。(1)行星沿椭圆轨道绕太阳运动,太阳是位于椭圆的一个焦点上。(2)从太阳到行星的矢径在相等时间里扫过相等的面积。开普勒继续寻找存在于宇宙中的和谐,并颇有心得,在1619年出版《宇宙和谐》。该书被人评价为“叙述冗长,充满神秘主义”,但书中公布的关于行星运动的第三定律被称为“一团海藻中的珍珠”。(3)各行星公转周期的平方与轨道半长径的立方成正比。前面三条被称作开普勒定律的行星运动定律为牛顿的伟大发现奠定了基础,并且也是在牛顿的证明之下,开普勒三定律的价值才被充分揭示出来。事实上作为与开普勒书札往来频繁的好友伽利略,也未能领略和赏识开普勒三定律的深刻含义。

本书选取的《考虑天体和谐所必需的天文知识之要点》一文即选自《宇宙的和谐》,在文章中开普勒分12个要点进行论述,帮助读者来理解他的宇宙和谐的思想。

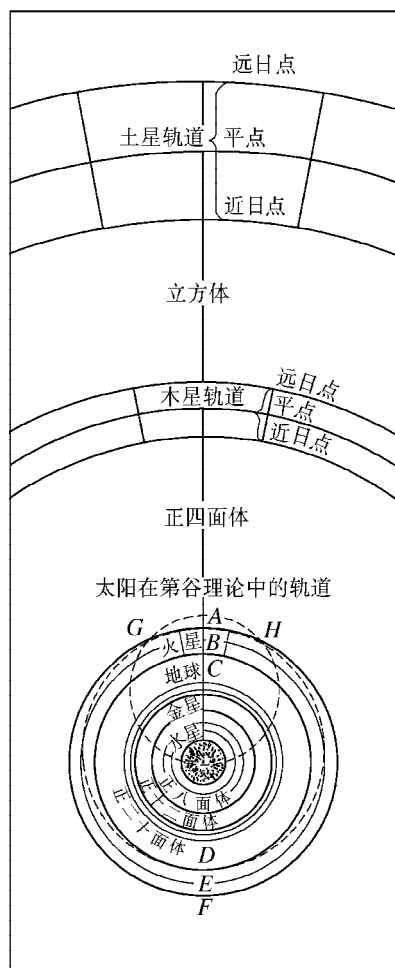
在阅读本文之初,读者即应懂得,古老的托勒密天文假设尽管在普尔巴赫的《理论》(Theoriae)及其他摘要文章中居于重要地位,但是与我们现在的研究毫不相同,应该在心目中把它驱除尽净,因为它既不能对天体的排列作出合理的解释,也无法对支配天体运动的定律提供真实的说明。

我只能简单地用哥白尼宇宙理论代替托勒密假设,如果办得到的话,我还要使所有的人都相信这一理论是真理。因为许多研究者对这一思想依然十分陌生,在他们看来,地球作为行星之一在群星间围绕着固定不动的太阳运动这样一种理论是非常荒谬的。那些为新学说的奇特见解所激怒的人应该知道,和谐理论即便在第谷·布拉赫的假设中,也占有一席之地。虽然第谷赞同哥白尼关于天体排列

及支配天体运动的定律的每一观点,但他单单把哥白尼所坚持的地球的周年运动改为整个行星系统以及太阳的运动,而哥白尼和第谷都认为,太阳是行星系统的中心。因为这种改变所引起的运动是同样的,所以即使不是在广袤的恒星天球空间



开普勒行星模型



内,至少也是在行星系统的世界内,地球在同一时刻所处的位置,按照第谷体系与按照哥白尼体系,都是一样的。一个人转动圆规的画脚能在纸上画出一个圆,他若保持圆规画脚或画针不动而把纸或木板固定在旋转的轮子上,也能在转动的木板上画出同样的圆,现在的情形也是这样,按照哥白尼学说,地球由于其本身的真实运动在火星的外圆与金星的内圆之间画出自己的轨道,另一方面,按照第谷的学说,整个行星系统(包括火星和金星的轨道在内)就像轮子上的木板一样在旋转着,而固定不动的地球则像旋匠的铁笔一样,在火星和金星轨道之间的空间中保持静止;系统的这种运动,遂使静止的地球在火星和金星之间围绕太阳画出的曲线,与哥白尼学说中由于地球自身的真实运动在静止的系统中画出来的曲线相同。再者,因为和谐理论认为,从太阳上看去行星是在作偏心运动,我们遂不难理解,尽管地球是静止不动的(姑且按照第谷的观点认为如此),但是如果观测者位于太阳上面,那么无论太阳的运动有多大,他都会看到地球似乎在火星和金星之间的空间中跑过自己的周年路程,所花的时间也介于

这两颗行星的周期之间。因此,即使一个人对于地球在群星间的运动难思难解、疑信参半,他还是能够满心情愿地反复思索这无比玄妙的机理,他只需要把所了解的有关地球在其偏心圆上的周日运动应用于太阳显现出的周日运动(就像第谷那样把地球看作不动所描述的那种运动)即可。

但是,萨摩斯哲学的真正追随者没有丝毫理由去羡慕这种冥思苦索,因为倘使他们接受太阳不动和地球运动的学说,他们将从那完美无缺的深思中获得更多的乐趣。

首先,读者应该知道,月亮而外的所有行星都在绕太阳旋转,唯独月亮以地球为其中心旋转,这对于现今所有的天文学家,已是毋庸置疑的事实;月亮的轨道或路径太小,无法在上图中用与其他轨道同样的比例画出。因此,地球应被作为第六

个成员加入其他五颗行星的行列,无论认为太阳是静止的而地球在运动,或者认为地球是静止的而整个行星系在旋转,地球本身都描画出它围绕太阳的第六条轨道。

其次,还应确立下述事实:所有行星都在偏心轨道上旋转,亦即它们与太阳之间的距离是变化的,因此,在一段轨道上它们离开太阳较远,而在相对的另一段轨道上离开太阳较近。在上图中对每个行星都画出了三个圆周,但没有一个圆表示出该行星的真实偏心轨道。以火星为例,中间一个圆的直径 BE 等于偏心轨道的较长直径,火星的真实轨道,如 AD 那样,在一个象限中切三个圆周中最外的一个 AF 于 A 点,在另一个象限中切最里的一个 CD 于 D 点。

用虚线画出的经过太阳中心的轨道 GH,表示太阳在第谷理论中的轨道。如果太阳沿此路径移动,每颗行星也都在与此相似的各自的轨道上移动,并且,如果其中一点,即太阳中心,位于其轨道上某处,比如图中所示的最下端,那么系统中所有其他成员也将都位于各自轨道的最下端。由于图幅狭窄,与我的愿望相违,金星的三个圆周合并成一个。

第三,请读者回忆我在 25 年前出版的《宇宙的神秘》,在那本书里,全智的造物主从五种立体图形推演出了围绕太阳旋转的行星或轨道的数目。关于这些立体图形,欧几里得在许多世纪前就写了一本书。因其由一系列命题构成,故名为《几何原本》。我在本书的第二分册中将阐明,不可能存在更多的规则的立体,也就是说,规则的平面图形不可能以五种以上的方式构成一个立体。

第四,至于行星轨道之间的关系,两条相邻轨道间的关系是一目了然的,每条轨道都位于五种立体之一的外接圆与内切圆之间,近似地等于某一个比值中的一项^①,这个比值即该立体的外接圆与内切圆之比。依据第谷·布拉赫的观测,我已经完成了关于距离的论证,我发现如下事实:若置立方体的角于土星的最内圆,则立方体各平面的中心就几乎触及木星的中圆,若置四面体的角于木星最内圆,则其各平面的中心就几乎触及火星的最外圆,同样地,若八面体的角张于金星的任一圆上(因为三个圆周都挤在非常狭小的空间里),其各平面的中心就落到水星外

开普勒还是为第谷的体系留了一席之地,他的图示同样可以用来说明第谷体系对行星系的描述。

开普勒虽然在十年前就公布了行星轨道的椭圆定律,但是在这本书里他也仍旧念念不忘 25 年前《宇宙的神秘》里提出的关于五种正多面体的猜测,他猜测行星轨道(当时已知)只存在六颗行星这两个事实之间能建立起某种体现宇

宙和轨道的联系,近似地正比于五种立体图形之一的外接圆与内切圆”。——英译者

圆的下面。最后考虑正十二面体及正二十面体外接圆与内切圆之间的比率,这些比率彼此相等,我们发现,火星和地球的各个圆以及地球和金星的各个圆之间的比率即距离与这些比率最接近。而且,倘若我们从火星的内圆推算地球的中圆,从地球的中圆推算金星的中圆,这两个比率也几乎相等;因为地球的中距离是火星的最小距离和金星的中距离的比例中项。然而,三颗行星的圆之间的这两个比值还是大于立体图形的这两组圆之间的比值,所以正十二面体各平面的中心不能触及地球的外圆,正二十面体的各平面的中心也不能触及金星的外圆,而且这一裂隙还不能被地球的最大距离与月球轨道半径之和及地球的最小距离与月球轨道半径之差所填满。不过,我注意到还存在着与图形有关的另一关系:如果一个扩大了的正十二面体(我称之为 ecbinus [刺猬])由 12 个有五只角的星组成,那么它十分接近于五种规则的物体,我以为,如果把这种正十二面体的 12 个点置于火星的内圆上,那么五边形的各边(它们分别是不同的半径或点的基线)将与金星的中圆相切。

简言之,立方体与八面体略略进入与之共轭的行星轨道,十二面体与二十面体则完全没有到达与之共轭的轨道,而四面体则刚好接触两个轨道;在第一种情况下行星的距离存在亏值,第二种情况下存在盈值,第三种情况下则恰好相等。

从上述讨论显然可见,仅仅从规则图形出发,不能够推导出关于行星之间距离的准确关系,这正如柏拉图所说,造物主这个真正的几何学源头永恒地行使几何学而不逾越它的原型。这一事实的确也可以从如下思维中推测到:所有行星都在一定的周期内改变着各自的距离,每一行星到太阳都有两个值得注意的距离,即最大距离与最小距离;因此对于每两个行星到太阳的距离可以进行四重比较:它们的最大距离与最小距离之比,它们的相对距离之比,它们离得最远时的距离之比与离得最近时的距离之比;这样,对于所有两两相邻的行星的组合,共得 20 组比较,然而另一方面,立体图形总共只有五种。有理由相信,如果造物主注意到了所有轨道的总体关系,注意到了各个轨道距离的细微变化,并且在这两种场合下他所给予的注意是一样的而且是彼此相关的,当我充分考虑这一事实的时候,必定能够达到

以下的结论：为了确定轨道的半径和偏心率，除了关于五种规则立体的这条原则之外，还需要有另外一些原则与之结合。

第五，谈谈和谐性得以确立的运动，我再次提请读者铭记我在《火星评述》中根据第谷·布拉赫极其精确的观测已经阐明的下述事实：经过同一偏心圆上同样周日弧的速度是不相等的，随着与运动之源太阳的距离的不同，经过偏心圆上相等弧的时间也彼此不同；另一方面，若假定每一场合的时间都相等，比如说等于一自然日，那么同一偏心圆上与之对应的两段周日弧与各自到太阳的距离成反比。同时我也阐明了，行星的轨道是椭圆形的，太阳作为运动之源位于椭圆的一个焦点上，由此可得，当行星从远日点开始走完整个圆周的四分之一的时候，它与太阳的距离恰好介于远日点时的最大值和近日点时的最小值两者的中间。从这两条原理可知，行星在其偏心圆上的周日平运动与当它处于从远日点算起的一个象限的终点时的瞬时真周日弧相同，虽然该实际象限似乎较严格象限为小。进一步可以得到：偏心圆上的任何两段完全精确的周日弧，如果它们到远日点的距离与到近日点的距离严格相等，那么它们的和等于上述的距离中间的两段周日弧之和；因此，由于圆周与其直径成比例，一段平周日弧与所有平周日弧（其长度彼此相等）总和之比等于一段平周日弧与整个圆周上所有真偏心弧总和之比。而平周日弧与真偏心弧的总数相等，但彼此长度不等。当我们预先了解了这些有关真周日偏心弧和真运动的真谛之后，就不难理解从太阳上观测到的视运动了。

第六，关于从太阳上看到的视弧，从古代天文学就可以知道，即使两个真运动完全相等，当用肉眼从宇宙中心观测时，离开中心较远（例如在远日点）的一个显得小些，而离开中心较近（例如在近日点）的一个则显得大些。此外，如我在《火星评述》中业已指出的那样，较近的真周日弧由于速度较快而格外大些，在较远的远日点处的真弧由于速度较慢而格外小些，由此可以得到，偏心圆上的视周日弧正好与其到太阳距离的平方成反比^①。例如，若一行星在远日点时距离太阳为 10 个单位（无论何种单位），当它到达另一边而处于近日点时距离太阳刚好为 9 个同样的单位，那么从太阳上看去，它在远日点时的视行程与在近日点时的视行程之比，必定为 81 比 100。

上述论证之成立须满足下列诸条件：第一，偏心圆上的弧不大，从而其距离的变化也不大，即从拱点到弧段终点的距离变化甚微；第二，偏心率不太大，因为按照欧几里得的《光学》定理 8，偏心率越大，即拱越大，该视弧角度的增加较之其本身朝着太阳的移动也越大。而且，我之所以提出这些条件，还有另外的理由。从日心观测时，位于中间近点角一带的弧是倾斜的，这一倾斜减少了该弧视象的大小，而

^① 或“偏心圆上的视周日弧之比正好等于其与太阳距离之反比的平方”。 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \left(\frac{1}{2}\right)^2$ 。——英译者

另一方面,位于拱点附近的弧从日心看时却正对着视线方向。因此当偏心率很大时,似乎只有对于平距离,运动才显得同本来一样大小,倘若我们使用周日平运动而不减小到平距离,各运动之间的关系显然就会遭到破坏,这一点将在以下水星的场合里显现出来。所有这些问题,在《哥白尼天文学概要》卷五中有相当篇幅详加论述,但仍有必要在此加以阐明,因为这些论题所触及的正是天体和谐原理本身。

第七,倘若谁有机会去思考行星的周日运动,同时见到这种运动的观测者不是假想位于太阳上而是位于地球上(关于地球的运动在《哥白尼天文学概要》卷六中涉及),他就应该知道,这一问题在现今的探讨中还完全未加考虑。显然,这既是毋须考虑的,因为地球不是运动的源泉,同时也是不能够加以考虑的,因为这些参照于虚假表象的运动,不仅会转化为完全静止或视象不动,而且会转化成为逆行。如此种种数不胜数的关系得以发生的原因,不可能同时而平等地归结到所有的行星,我们据此遂能确定,建立于各个偏心轨道真周日运动基础上的内在关系究竟何在(尽管这些关系仍被假定为是从运动之源的太阳上看到的视象)。首先,我们必须从此种内在运动中分离出全部五颗行星所共有的外在的周年运动的表象,而不管这一运动究竟如哥白尼所坚持的那样起因于地球本身的运动,还是如第谷·布拉赫所坚持的那样,起因于整个系统的运动,同时在我们看来,每一行星所特有的那些运动必须表达得与外在的表象完全无关。

第八,至此,我们已经讨论了同一颗行星在各个时间的弧。现在,我们必须进一步讨论并比较两颗行星同时参与的运动。这里先定义一些今后将要用到的术语。我们称两个行星最近的拱点为较高的近日点和较低的远日点,而不管它们是朝向同一天区还是朝向不同以致相对的天区转动。称行星行程中最快和最慢的运动为极运动,称位于两个轨道的最近拱点即上近日点和下远日点的运动为收敛极运动或收敛运动,称位于相对拱点即上远日点和下近日点的运动为发散极运动或发散运动。我在22年前由于尚未洞悉方法而暂时搁置的《宇宙的神秘》的一部分,必须重新完成并在此引述。因为在黑暗中进行了长期探索之后,借助布拉赫的观测,我先是发现了轨道的真实距离,然后

开普勒在给出他的行星运动第三定律之前作了一番颇具文学性的铺垫,可见他本人对这一定律的钟爱。这一定律不单体现了宇宙隐藏着的和谐,事实上这一定律也是非常实用的。根据该定律编算的行星星历表的精度大大提高了。

终于豁然开朗,发现了轨道周期之间的真实关系,倘若问及确切的年月,

.....虽已迟了,仍在徘徊观望,
历尽岁月,终归光临;

这一思想发轫于1618年的3月8日,但当时试验未获成功,又因此以为是假象遂搁置下来。最后5月15日来临,一次新的冲击开始了。起先我以为自己处于梦幻之中,正在为那个渴求已久的原理设想一种可行的方案。思想的风暴一举扫荡了我心中的阴霾,并且在我以布拉赫的观测为基础进行了17年的工作与我现今的潜心研究之间获得了圆满的一致。然而,这条原理是千真万确的真实而又极其精确的:任意两个行星的周期正好与其距离平方根的立方成比例^①,但是,应该看到,椭圆轨道两直径的算术平均值较其半长径稍小。因此,举例来说,地球的周期为1年,土星的周期为30年,如果取这两个周期之比的立方根,再平方之,得到的数值刚好就是土星和地球到太阳的中距离之比。^②因为1的立方根是1,再平方仍是1;而30的立方根大于3,平方之,则大于9,因此土星与太阳的平均距离略大于日地平均距离的9倍。

第九,现在,倘使你想要使用同一把尺(比如长为10尺)测量每个行星在天空中的精确周日行程,你就必须结合两个比值,其一是偏心圆上的真周日弧(不是视周日弧)之比,其二是每个行星到太阳的平距离之比,因为这也就是轨道振幅之比;换言之,必须以每个行星的真周日弧乘以其轨道半径。只有在这样处理之后,才能从所得数据中探究各行星的行程之间是否存在和谐关系。

第十,你可以知道,当假想从太阳上观看时,任一这种周日行程的视长度有多大——虽然这可以从天文观测直接获得。倘若你把偏心圆上任意点的平距离(不是真距离)的反比增加到行程之比中去,同样会得出所需结果,同时,上偏心圆上的行程乘以下偏心圆到太阳的距离,而下偏心圆上的行程则乘以上偏心圆到太阳的距离。

第十一,再进一步给出视运动,取一个行星的远日点和另一行星的近日点,再相反或交错地选取,可以得出一行星的远日距与另一行星的近日距间的一组比值;然而由于平运动从而两个周期的反比应该是预先知道的,由此即可推出在第八段中所发现的与轨道有关的那个比值。如果取每一视运动与其平运动之间的比例中项,其结果是:该比例中项与其轨道半径之比正好等于平运动与距离(或所寻求的

① 或“任意两颗行星周期之比恰等于其轨道本身中距离之比的1.5次方”。 $3/2 = \text{平方根的立方}$ 。——英译者

② 因为在《火星评述》第XLIII章232页(III, 353),我指出,该算术平均值或者等于与椭圆轨道等长的圆周的直径本身,或者略微小于这个数值。——原注

间距)之比。设两个行星的周期是 27 和 8 ,那么它们的周日平运动弧之比是 8 比 27。因此 ,轨道半径之比将是 9 比 4。因为 27 的立方根是 3 ,同时 8 的立方根是 2 ,这两个立方根即 3 和 2 的平方分别是 9 和 4。现在设一行星在远日点的视运动为 2 ,而另一行星在近日点的视运动为 $3\frac{1}{3}$ 。平运动 8 和 27 与相应视运动的比例中项是 4 和 30。因此 ,如果比例中项 4 给出该行星的平距离为 9 ,那么平运动 8 就给出对应于视运动 2 的远日距为 18 ;并且如果另一个比例中项 30 给出另一行星的平距离为 4 ,那么该行星的平运动 27 给出其近日距为 $3\frac{3}{5}$ 。我由此得出 ,前一行星的远日距与近日距之比为 18 比 $3\frac{3}{5}$ 。显然 ,存在于两颗行星极运动之间的和谐性已被发现了 ,并且从所指定的每一行星的周期必能导出其极距离和平距离 ,并进而求出偏心率。

第十二 ,下面给出如何从同行星的各个极运动求其平运动。平运动严格说来既不是极运动的算术平均值 ,也不是其几何平均值 ,但是平运动与几何平均值之差等于几何平均值与两者 (算术)平均值之差。设两个极运动为 8 和 10 ,平运动将小于 9 ,而且比 80 的平方根还要小 9 与 80 的平方根两者之差的一半。再设远日运动为 20 ,近日运动为 24 ,平运动将小于 22 ,而且比 480 的平方根还要小这平方根与 22 之差的一半。

牛 顿

《自然哲学的数学原理》(节选)

选自《牛顿自然哲学著作选》,(英)H. S. 塞耶编,王福山等译校,
上海译文出版社 2001 年。

导读

哥白尼把地球看作是一颗行星,以这一革命性的思想为发端,经过伽利略、第谷、开普勒等人的工作,最后导致牛顿(Isaac Newton,1642—1727)对物理世界的伟大综合。

1642 年天才伽利略去世,另一个天才牛顿在这一年的圣诞节(儒略历)降生。牛顿出生于英国林肯郡的一个中农家庭,是遗腹子,又是早产儿。12 岁时进入当地一所文科中学念书。1661 年 6 月进剑桥三一学院。1665 年初毕业,获得文学士学位。

1665 年和 1666 年,为了躲避伦敦的鼠疫,牛顿大部分时间在他母亲的农庄中度过。其间他作出了一些数学上的发现,还做了一些关于光的颜色的实验。一直为人们传诵的牛顿看到一只苹果落到地上从而启发了他发现万有引力定律的著名事件,就发生在这个时期。但是由于数学上的一些准备工作还没有做好,当时牛顿没有严格地推导出万有引力的数学表达式。

1667 年牛顿回到剑桥之后当选为三一学院的研究员,第二年获得文学硕士学位。1669 年 27 岁的他就任数学卢卡斯教授。在这段时间牛顿恢复了光学研究,并造了第一架反射望远镜,还发现了白光的合成性质。1672 年牛顿被选入皇家学会,并向学会报告了他的有关太阳光的分光实验。此后牛顿作了一些数学和化学方面的研究。

牛顿与科学界的朋友们的谈话和通信使他的注意力不时回到引力问题上来。1684 年 8 月哈雷造访牛顿,促使牛顿进入对引力问题的紧张研究。18 个月,他写成《自然哲学的数学原理》(简称《原理》,于 1687 年 7 月出版)。

以后牛顿逐渐步入仕途,先代表剑桥大学当选为国会议员,1695年被任命为造币厂督办,1699年因政绩出色被任命为造币厂厂长,他担任这个职位直到去世。1701年,他辞去了三一学院研究员和卢卡斯教授的职位。1703年牛顿当选为皇家学会会长,并年年连选连任,直到去世。1705年安妮女王授封牛顿为爵士。1727年牛顿在主持一次皇家学会的会议时突然得病,两周以后在3月20日去世,享年85岁,安葬在威斯敏斯特教堂。

牛顿的《原理》被公认为科学史上最伟大的著作。该书初版用拉丁文。起初,皇家学会准备把牛顿的研究成果发表在《哲学学报》上,但在研究了前面几个部分后,便决定出资把这著作印成书本。由于当时皇家学会正处在长期的经济困难中,缺乏足够的资金,加上胡克宣称对发现拥有优先权,皇家学会因此放弃了原计划。哈雷自费承担了该书的出版,他还为牛顿搜集必要的天文资料,校订清样,指出文中的含混之处,安排印刷和插图等等。因此《原理》的出版,哈雷功不可没。

《原理》共分三篇,另有非常重要的导论。全书模仿源于古希腊的著述风格,用定义和命题构建一个完备的公理体系,一开头就对力学中的各个基本概念作了定义,包括质量、动量、力等。牛顿是第一个精确使用这些概念的人。在这些定义之后的一条附注中,牛顿假设存在绝对的真实的时间和数学的时间、绝对空间和绝对运动。绝对时间均匀地流逝着而同任何外部事物无关,绝对空间始终保持相同和不动,绝对运动是物体从一个绝对位置向另一个绝对位置的平移。20世纪物理学与牛顿物理学的根本决裂就是在于抛弃这些绝对的、独立的空间和时间概念。

《原理》接着叙述了著名的牛顿运动三定律:(1)每个物体都保持其静止状态或直线匀速运动状态,除非受到外力的作用而被迫改变这种状态;(2)物体的加速度与外力成正比,加速度的方向与外力的方向相同;(3)对于每一个作用,总有一个大小相等、方向相反的反作用。第一、第二定律直接从伽利略的结果推演而来,其中第一定律是笛卡尔明确提出的。第三定律是牛顿的发现,正是这一定律使得火箭的飞行成为可能。

《原理》第一篇在作了必要的数学准备后,着重讨论了在平方反比引力作用下两个质点的运动规律,并在此基础上讨论了太阳作为摄动天体对月球绕地球运动的影响,从而在理论上解释了月球运动中早已观测到的各种差项,为成功解释岁差和潮汐现象奠定了理论基础。在该篇中,牛顿还完美地解决了一个广延物体的万有引力如何取决于它的形状的问题。

《原理》第二篇主要讨论了物体在阻尼介质中的运动规律。另外,该篇还专辟一节讨论了弹性流体中的波动和波的传播速度,并进一步试图计算声音在

空气中的传播速度。

《原理》第三篇主要论述了前面两篇给出的力学规律在天文学上的运用。在该篇一开始，牛顿就给出证据证明太阳系中的各天体是按照哥白尼学说和开普勒定律运动的，天体的轨道取决于相互之间的引力。牛顿还从理论上推算了地球赤道部分隆起的程度，并指明月球和太阳引力对地球赤道隆起部分的吸引是产生岁差现象的原因。第三篇还从数值上对月球运动的各种差项作了计算。

《原理》问世后二百多年间，一直是全部天文学和宇宙学思想的基础。天体的运行、潮水的涨落和彗星的出没，所有这一切都可以用同一的力学规律来解释。这确实给人们留下了深刻的印象，以致它的影响超出了天文学和物理学的范围。在社会、经济、思想等各个领域中，人们希望仿照牛顿力学原则，通过对现象的观测得出若干原理，再运用数学手段来解答所有的问题。事实或许不如所愿，但在牛顿开创的这个理性时代，人们确实体会到了一种前所未有的智力自信。

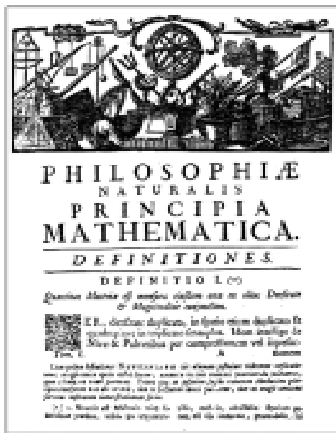
本书所选的段落只为读者提供了一个例子，以求通过“尝鼎一脔”来体会《原理》的风范。

物体的运动¹

推论 1

一个物体，同时受到两个力的作用，将沿平行四边形的对角线运动，所用的时间和它分开受到这两个力的作用而沿两边运动时的时间相同。

假如一个物体在 A 点单独受 M 力的作用而在一定时间内从 A 等速地运动到 B，而在同一地点如单独受 N 力的作用而从 A 运动到 C，那么我们可以作平行四边形 ABCD，而当这两个力一起作用时，物体将在同样的时间内从 A 沿对角线

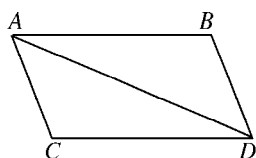


牛顿《原理》1760 年版书影

① 在《原理》第一编中，这些推论 1、2、4、5、6 以及推论 6 的注释是紧接在运动定律的后面的。——原编者

自然哲学的数学原理》全书用一系列命题和它们的推论编织起一个公理体系,这与阿里斯塔克的《论日月的大小和距离》、欧几里得的《几何原本》、阿基米德的《论平面图形的平衡》、托勒密的《天体运行论》和哥白尼的《天体运行论》中的做法是一脉相承的。《原理》不仅在形式上保持了前面这些巨著的风格,在内容上也毫不逊色甚至高于前述这些科学史上的里程碑式的巨著。

运动到 D。因为既然 N 力作用在 AC 线的方向上,与 BD 平行,那么(根据第二定律),这个力根本不会改变把物体带到 BD 线去的另一个力 M 所产生的速度。因此,不管 N 力是否加于其上,物体终将在这段时间内到达 BD 线;所以在这段时间的末了,可



以在 BD 线的某处找到它。同理,在这一段时间的末了,也可以在 CD 线的某处找到这个物体。因此我们将在两线的会合处 D 点找到它。但是根据第一定律,物体将沿一直线从 A 运动到 D。

推论 2

这样就说明了任何一个直接的力 AD 是由两个任意斜向的力 AC 和 CD 合成的;而且反过来,任何一个直接的力 AD 也可以分解为两个斜向的力 AC 和 CD:这种合成和分解已在力学上完全得到验证。

推论 4

两个或两个以上的物体的共同重心,不会因物体本身之间的作用而改变其运动或静止的状态;因此,所有相互作用着的物体(如无外来作用和阻碍),其共同重心将或者静止,或者在等速沿一直线运动。

因为,如果有两个点都在各自的直线上等速向前运动,而它们之间的距离按一定比例分割时,那么这一分割点将或者静止,或者沿一直线等速向前运动。当这两个点在同一平面上运动时,这一结论将在以后的命题 23 及其推论中加以证明;当这两个点不在同一平面上运动时,也可以用同样的论证方法加以证明。因此如果有任意数目的物体都在沿直线作等速运动,那么其中任何两个物体的共同重心将或者静止,或者沿一直线等速前进,因为连接这两个作这种运动的物体的重心的那条线,是按一定比例分在它们共同重心的地方的。同样,这两个物体和

第三个物体的共同重心将静止 ,或者沿一直线作等速运动 ,因为这两个物体的共同重心和第三个物体的中心之间的距离是按一定比例分在这共同重心的地方的。又同样 ,这三个物体和第四个物体的共同重心将静止 ,或者沿一直线作等速运动 ,因为这三个物体的共同重心和第四个物体的中心之间的距离 ,在这里也是按一定比例分割的 ,依此类推 ,直至无穷。因此 ,对于一个由许多物体组成的体系 ,当物体之间既没有任何相互作用 ,也没有受到任何外力的影响 ,因而都在沿直线作等速运动时 ,它们的总的共同重心将或者静止 ,或者在沿一直线等速向前运动。

此外 ,在由相互发生作用的两个物体组成的一个体系中 ,由于从物体各自的中心到它们共同重心的距离与它们的质量成反比 ,所以不论这两个物体是趋近或者还是离开这个共同中心 ,它们的相对运动都将彼此相等。运动所发生的变化既然相等 ,而且各自指向其对方 ,那么这两物体的共同中心将不会由于它们之间的相互作用而加速或减速 ,其运动或静止的状态也不会受到任何变化。在由许多物体组成的一个体系中 ,由于任何两个相互间发生作用的物体的共同重心 ,其状态不会因这种作用而有所改变 ,所以和这种作用不相干的其余物体的共同重心更是不必说了。然而这两个共同重心之间的距离被所有物体的共同重心分成两部分 ,每一部分反比于组成它所属的那个中心的物体质量之和 ,因而当这两个中心保持其运动或静止的状态时 ,总的共同中心也将保持其运动或静止的状态。这表明 ,总的共同中心绝不会因任何两个物体之间的作用而使其运动或静止的状态受到任何变化。但在这样一个体系中 ,各物体之间的一切作用不是发生在两个物体之间 ,就是由某两个物体之间的互相交换作用所组成 ,因此它们决不会使总的共同中心的运动或静止状态发生任何变化。所以 ,当物体并不相互发生作用时 ,既然那个中心或者是静止 ,或者是在沿着某条直线等速向前运动 ,那么即使物体之间发生相互作用 ,它总将继续保持其或者静止或者沿一直线向前运动的状态 ,除非有某种外来的力量作用于整个体系 ,迫使它离开这种状态。因此 ,就它们保持其运动或静止的状态来说 ,这同一条定律对一个由许多物体组成的体系和对单独一个物体一样 ,都同样成立。因为不论是单个物体的 ,或者是由许多物体组成的整个体系的前进运动 ,总是以重心的运动来计算的。

推论 5

一个给定空间 ,不问其是否静止或者沿一直线等速运动 ,只要不作任何转动 ,那么其中所含的各个物体彼此之间的运动 ,总保持不变。

因为指向同一方向的各运动之差 ,和指向相反方向的各运动之和 , (按假定)

开始时在这两种情况下总是相同的。正是这些和与差,引起了碰撞和冲击,使物体相互发生作用。因此(根据第二定律),这些碰撞的效应在这两种情况下一定相等,所以,在一种情况下物体之间的相互运动,将等于另一种情况下物体之间的运动。关于这点,我们从船上的实验中已得到清楚证明,在那里,不论船静止还是在沿一直线等速前进,一切运动都按同样方式进行。

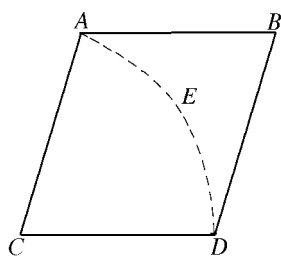
推论 6

如果相互间以任何方式运动的各物体,受到相等而方向平行的加速力的推动,那么它们将仍然继续它们相互之间的运动,犹如没有受到这些力的推动一样。

由于这些力的作用(对于被推动的物体的量来说)相等,而且方向平行,它们将(根据第二定律)使所有物体(就速度而言)都有一样的运动,因此决不会引起这些物体相互间的位置或运动有任何变化。

注释

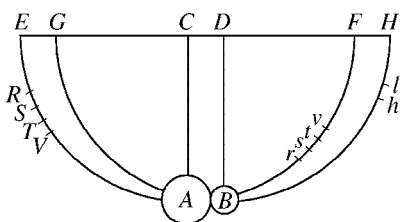
迄今我所写下的这些原理,都是已为数学家们所接受,并为许多实验事实所证明了的。根据第一、第二两个定律和第一、第二两条推论,伽利略曾发现物体下落的距离是随时间的平方而变化的(in duplicata ratione temporis),还发现抛射体的运动是沿着抛物线这样一条曲线进行的。所以这样看来,只要这些运动没有被空气的阻力所阻滞,那么这两条定律和两条推论确实和经验相符。当一个物体下落时,均匀的重力,由于它的作用相同,所以在相等的时间间隔内就以相等的力作用于物



体,从而产生相等的速度;而在整个时间内则对物体作用一整个的力,并产生一个与这时间成正比的总的速度。物体在一定时间内所走过的路程,与速度和时间的乘积成正比,也就是与时间的平方成正比。把一个物体向上抛射时,它受到其均匀重力的作用,其速度就与时间成正比地减小,而上升到最高点的时间,等于把速度全部减完的时间,因而这高度与时间和速度的乘积成正

比,或者与速度的平方成正比。如果一个物体向任何一个方向抛射出去,那么由抛射而来的运动和由其重力而来的运动是组合在一起的。因此,如果物体 A 单由抛射而来的运动能在一给定时间内走过直线 AB,而单由下落而来的运动能在这相同时间内走完高度 AC,以此作平行四边形 ABCD,那么,我们在这个组合运动中将在这段时间之末在 D 点找到这个物体,而它所走过的曲线 AED 将是一条抛物线。这条曲线在 A 点的切线就是直线 AB,曲线的纵坐标 BD 则与 AB 线长度的平方成正比。

关于摆的振动时间所演示的并为摆钟的日常经验所验证的那些事物,也都依赖于这样一些定律和推论。根据这些定律和推论,连同第三定律一起,克里斯托弗·雷恩爵士,沃利斯博士,和惠更斯先生这些我们时代的最伟大的几何学家,就各自确定了坚硬物体的碰撞和弹回的规律,并且几乎同时将他们的发现告知了皇家学会。就那些规律而论,他们的发现是完全一致的。沃利斯博士确实把他的发现发表得稍为早些,然后是克里斯托弗·雷恩爵士,最后是惠更斯先生。但是克里斯托弗·雷恩爵士曾在皇家学会上用摆的实验证实了这个发现,而此后不久,M. 马略特先生就认为这些实验适宜于用一本专著来予以说明。但是要使这实验和理论完全相符合,我们必须既要考虑到空气的阻力,又要考虑到物体的弹性力。譬如,让 A、B 两球体用平行而等长的线 AC 和 BD 悬挂在 C、D 两中心点的地方,并以这些线的长度为半径,画两个半圆 EAF 和 GBH,它们分别为半径 CA 和 DB 所平均分开,然后把物体 A 移到 EAF 弧上任意一点 R 地方(并在移开物体 B 的情况下),让它从那里下落。假定在摆动一次之后它回到了 V 点,那么 RV 就将表示由于空气阻力而产生的阻滞。现令 ST 为 RV 的四分之一,并位于 RV 的中间,以致



$$RS = TV, \quad \text{以及} \quad RS : ST = 3 : 2,$$

这样,ST 就很接近于代表物体从 S 下落到 A 时所受到的阻滞。现将物体 B 放回原处,并设想物体 A 从 S 点放手下落,它在碰撞地点 A 的速度,将与设想它在真空中从 T 点下落到 A 点时的速度没有多少差异。因此这个速度可用弧 TA 的弦来表示,因为这是几何学家所熟知的一个命题,一个摆动物体在其最低点的速度总是正比于在它下落时所走过的弧的弦的。在 A 和 B 碰撞之后,假定物体 A 到达 s 地方而物体 B 到达 k 点。现在把物体 B 移开,[在 EAF 弧上]找出 v 点。这是这样的一个点,当物体 A 被移到这点上而从这点开始释放下落时,它能在经过一次振动后回到 r 处的位置;然后在 rv 的中间取 st 段,其长为 rv 的四分之一,并使 rs 恰巧等于 tv,再以弧 tA 的弦代表物体 A 在 A 点同物体 B 碰撞那一瞬间之后的速度,因为 t 是当空气阻力假定被消除后,物体 A 所应升到的真正而准确的地方。同样,我们必须校正物体 B 上升的位置 k,这就是求出假定它在真空中上升时应该到达的位置 l。这样一来,每一样东西都可以像我们真的是在真空中一样置于实验之下。如果这些实验做了以后,那么,我们就可以取物体 A 和弧 TA 的弦(它代表其速度)的乘积(如果我能这样说的话),这样我们也就得到了它在 A 点就在碰撞那一瞬间之前的运动,然后我们把物体 A 和弧 tA 的弦相乘,于是就得到它在 A 点就在碰撞那一瞬间之后的运动。仿此,我们应取物体 B 和弧 Bl 的弦的乘积,而得到它就在碰撞那一瞬间之后的运动。按同

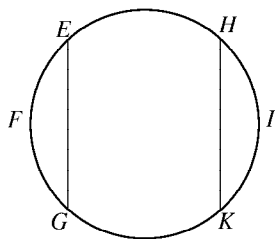
样方式,当两个物体在不同地点一起被放落时,我们必须找出每个物体在碰撞之前和碰撞之后的运动,于是我们可以比较它们之间的运动,并收集其碰撞的效果。所以如用 10 英尺长的摆对相等的和不相等的物体做这样的试验,并使这些物体经过 8、12 或 16 英尺长的距离下落之后相碰,我总是发现,当物体直接相碰时,它们就各自在相反方向产生相等的运动变化,误差不大于 3 英寸,所以作用与反作用总是相等的。例如,物体 A 以 9 份的运动和静止的物体 B 相碰,碰撞以后它失去 7 份,而仅用 2 份的运动前进,但物体 B 则带着那个 7 份而往后运动。如果两物体以相反的运动相碰,A 带着 12 份的运动,而 B 带着 6 份,那么如果 A 带着 2 份后退,B 就带着 8 份后退,这就是说,每一边的运动都减少了 14 份。因为从 A 的运动中减去 12 份后,所余就为 0 了,如果再减去 2 份,则将朝相反方向产生 2 份的运动;同样,从 B 的 6 份运动中减去 14 份后,就产生了一个朝相反方向的 8 份的运动。但是如果两物体都向一个方向运动,A 以 14 份的运动跑得较快,B 以 5 份的运动跑得较慢,碰撞之后,A 以 5 份继续运动,B 同样以 14 份继续运动,于是就有 9 份的运动从 A 转移给了 B。对其他情况也是一样。物体相遇和相碰时,从同方向的各运动之和或从方向相反的各运动之差中所求得的运动的量,永远不会改变。测量中所出现的 1、2 英寸之差,可以不难归之于要把不论什么东西做得十分精确是确有困难的这一缘故。例如,要把两个摆这样准确地一同放落,使两物体正好在最低的 AB 处相碰,这并不容易,而要把物体碰撞后上升的位置 s 和 k 标记出来,这同样也很不容易,而且由于摆动物体本身各部分密度的不同,以及来自其他各种原因的结构的不均匀性,也可以产生一些误差。

但是为了防止或许有人会对用这实验来证明的那条规律提出异议,以为这条规律好像只是假定那些物体绝对坚硬,或者至少是完全弹性(事实上在自然界中是找不到这种物体的),我还必须说,上面所描述的那些实验根本与硬度这性质无关,用软的物体和用硬的物体都一样会获得成功。因为用不是完全坚硬的物体来验证这规律时,我们只要以弹性力的大小所要求的这样一个比例来减小这弹回的程度就是。根据雷恩和惠更斯的理论,绝对坚硬的两物体相碰撞后,它们就将以彼此相遇时的速度彼此分开。这是可以用完全弹性的物体来更肯定地加以证实的。但是对于非完全弹性的物体,弹回的速度将随弹力的减小而减小,因为这个力(除非在碰撞中物体各部分受到击伤或者像受到锤击后而变形)是(就我所能看到的那样)确定的,并且它使物体以一个相对速度彼此相弹回,而这相对速度与物体相碰时的相对速度有一定的比例。我曾用绕得很紧、压得很结实的毛线球做过这种试验。我先放落这些摆动物体,测量它们弹回的程度,从而测定它们弹性力的数值,然后根据这力的大小,估计在其他的碰撞情形下所应有的弹回程度。而事后所做的其他实验确实和这项计算相符,而毛线球彼此弹开的相对速度总是和它们相碰时的

相对速度成 5 与 9 之比。钢球几乎以相同的速度弹回,软木球以稍低一些的速度弹回,但玻璃球的相对速度之比约为 15 比 16。所以就碰撞和弹回的问题而论,第三定律已为一个与实验完全相符的理论所证明了。

关于吸引的问题,我将简短地把这事证明如下。假定在相互吸引的任何两物体 A、B 之间放进一个障碍物,阻止它们彼此相遇,那么当两物体中的一个,例如 A,受到另一物体 B 的吸引大于另一物体 B 受到物体 A 的吸引时,其结果将是,中间的障碍物受到来自物体 A 的压力将比来自物体 B 的压力大,因此就不能保持平衡,而较强的压力将占优势,并将使这两个物体连同障碍物这个系统直接朝着 B 所在的方向运动,并且在自由空间中将以不断加速的运动趋向无穷远处。但这是荒谬的,也是违背第一定律的。因为根据第一定律,这个系统应该继续保持其静止或者沿一直线等速向前运动的状态,因此这两个物体必须以相等的力压障碍物,而且它们的相互吸引也必须相等。我曾用磁石和铁做过这种实验。如果将它们分别放在适当的容器中,并让它们互相靠近而浮在静止的水面上,那么它们中就谁也不会推动谁。由于受到的吸引力相等,它们中的每一个都能抵住对方的压力,而最后就在平衡中保持静止。

地球和其各部分之间的重力也是相互的。设地球 FI 为任一平面 EG 切成 EGF 和 EGI 两个部分,那么其一部分对另一部分的重量将互相相等。因为如果用另一平行于 EG 面的平面 HK 把那较大部分 EGI 再切成 EGKH 和 HKI 两部分,使 HKI 等于第一次切出的 EFG 部分,那么显然,那中间部分 EGKH 凭它自己的重量将不会倾向任何一边,而将像它已经如此的那样,悬在两外侧部分之间,并在平衡中保持静止。但一个外侧部分 HKI 将以其全部重量载于中间部分之上,并把它压向另一外侧 EFG,因此, HKI 和 EGKH 两部分之和 EGI,压向第三部分 EFG 的力等于 HKI 部分的重量,亦即等于第三部分 EFG 的重量。因此, EGI 和 EFG 两部分彼此相向的重量,正如我所要证明的那样是相等的。而如果这两部分的重量实际并不相等,那么浮在无阻力的以太中的整个地球,将屈服于较大的重量而从以太中后退,一直跑到无穷远去。



正如这些其速度和它们内在的力成反比的物体在碰撞和弹回中能保持均衡一样,在机械工具的运用中,那些施动部件也能保持均衡,而且其中每一个都能抵住另一个的反向压力,只要它们的速度根据力的测定估计,和这些力成反比。

所以在天平的摆动过程中,如果使天平的臂运动的重量反比于它们上下运动的速度,那么它们作为使臂运动的力是相等的,也就是说,如果上升和下降是垂直

的,而且重量之比与其悬点到天平轴的距离之比相反,那么这些重量的力就相等;但是如果重物为斜面或其他障碍物所转向一边,从而使它们倾斜地上升或下降,那么与它们上升和下降的高度成反比的这些物体将是均衡的,倘若这些高度因重力向下而取垂直方向的话。

滑轮或滑轮组的情况也相似,手直接拉绳的力与所要用以升起的物体的重量之比,不论使其垂直或倾斜地上升,如果等于重物垂直上升的速度与手拉绳的速度之比,那么手的拉力将能抵住物体的重量。

在由一组齿轮构成的钟和类似的仪器中,各齿轮上都受到推进和阻碍它运动的相反的力的作用,如果这些力和齿轮上它们所作用的各部分的速度成反比,那么它们将会相互维持平衡。

螺丝钉压在物体上的力与手旋转螺丝柄使螺丝向前移动的力之比,等于这柄为手所推的那地方的旋转线速度与螺丝向物体前进的速度之比。

用尖劈将一块木头劈成两部分时,它挤压或推开这两部分的力和用木槌击尖劈的力之比,等于在木槌击尖劈之力的方向上尖劈前进的速度和在垂直于劈面的方向上木头两部分屈从于尖劈而裂开的速度之比。对于一切机械,都可作与此相似的分析。

机械的功能和作用,只在于我们可以用减小速度的方法来增大作用力,以及反之用减小力的方法来增大速度;因而在各种适当的机械中,我们所要解决的问题,就是用一定的功去移动一定的重物,或者用一定的力去克服任何其他一定的阻力。因为如果机器设计得使施动者和阻抗者的速度反比于产生它们的这些力,那么施动者将恰好能抵住阻抗者,而如果速度的差异较大,施动者就能胜过阻抗者。所以当两者速度之差如此之大,足以使施动者胜过一切的阻力——诸如彼此相触的两物体当一个滑过另一个时所通常出现的摩擦力,或者要把连续的物体分开时所出现的内聚力,或者举起物体时所出现的重力——那么在克服所有这些阻力之后,剩下的力将在机械的各部件和抵抗物中产生与它成正比的加速运动。但是我目前的任务不是讨论力学。我的目的只是想用这些例子来指出第三运动定律的确定性及其广泛的应用范围。因为如果我们用施动者的力和它们速度

“以太”是充塞整个宇宙的物质,这个概念由亚里士多德提出来之后,并没有随着他的物理学被推翻而被抛弃,反而它的内涵此后被大大丰富了。从牛顿这个时代开始,物理学家们开始赋予“以太”一种力学性质,来描述各种光学现象。到19世纪末,迈克耳逊试图证明以太存在的实验失败以前,为描述以太的性质,物理学家已经建立起了一组复杂的数学方程。

的乘积来算施动者的作用,并同样用障碍物各部分的速度和它们来自摩擦、内聚、重量和加速等原因的阻力的乘积来计算障碍物的反作用,那么我们将会看到,在各种机械的运用中,作用与反作用总是彼此相等的。如果作用是经过中间仪器的传递而终于施加在抵抗物上的,那么最后的作用将总是和反作用相反。

命题 69,定理 29^①

在由几个物体 A、B、C、D 等组成的一个体系中,如果任一物体,例如 A 吸引所有其余的物体 B、C、D 等,其吸引所用的加速力与它和被吸引的物体的距离平方成反比,而另一物体,例如 B,也吸引其余的 A、C、D 等物体,它所用的力与它和被吸引的物体的距离平方成反比,那么 A 与 B 两吸引物体的绝对力之比,将等于正是这些力所属的那两物体 A 与 B 之比。

因为根据假定,所有 B、C、D 等物体对于 A 的加速吸引力,和 A 对于它们的加速吸引力,在距离相等的情况下是彼此相等的;同样,所有物体对于 B 的加速吸引力,和 B 对于它们的加速吸引力在距离相等的情况下也是相等的。但是物体 A 的绝对吸引力与物体 B 的绝对吸引力之比,等于在距离相等的情况下所有物体对于 A 的加速吸引力与所有物体对于 B 的加速吸引力之比,因而也等于物体 B 对于 A 的加速吸引力与物体 A 对于 B 的加速吸引力之比。但是物体 B 对于 A 的加速吸引力与物体 A 对于 B 的加速吸引力之比,等于物体 A 的质量与物体 B 的质量之比,因为(根据定义第 2、第 7 和第 8)与加速力和被吸引物体这二者联合起来成正比的那些运动力,按照第三定律在这里是彼此相等的。所以物体 A 的绝对吸引力与物体 B 的绝对吸引力之比,等于物体 A 的质量与物体 B 的质量之比。证明完毕。

推论 1

所以,如果由 A、B、C、D 等物体组成的体系中每个物体确是单独一个个地吸引所有其余的物体,而所用的加速力又与它和被吸引的物体的距离平方成反比,那么所有这些物体的绝对吸引力,其相互之比就等于它们物体本身之比。

推论 2

根据类似的推理,如果由 A、B、C、D 等物体组成的体系中每个物体确是单独一个个地吸引所有其余的物体,而所用的加速力与它和被吸引的物体的距离的任何幂次成反比或者成正比,或者是用这些距离按任何一般定律所定义的力,那么很明显,这些物体的绝对吸引力之比就犹如物体本身之比。

^① 命题 69、定理 29 和推论 1、2、3,以及这命题之后的注释,选自《原理》第一编。——原编者

推论 3

牛顿对命题 69 之推论 3 的证明实际上是在数学上严格证明了开普勒的行星运动第一定律。开普勒当初获得这个定律的过程是不严格的,在牛顿的证明下该定律才严格成立。

在一个其物体之间的作用力随距离平方而减小的体系中,如果一些较小的物体绕一个极大的物体沿椭圆轨道运转,并以这大物体的中心为其共同焦点,而且椭圆的形状非常标准,此外,如果从各小物体画到那大物体的半径所掠过的面积严格与时间成正比,那么,这些物体绝对吸引力的相互之比,将或者严格地等于,或者很接近等于这些物体之比。反过来也是一样。……

注释

这些命题自然而然地把我们引导到了向心力和它们所通常指向的中心体之间所存在的类比上去,因为正像我们在关于磁力的实验中所看到的那样,我们有理由设想,这些指向物体的力应与这些物体的性质和量有关。在遇到这种情形的时候,我们必须给物体的每个粒子规定一个恰当的力,然后找出它们的总和而算出物体的吸引力。“吸引”这个词,我在这里一般用以表示物体彼此接近的任何一种企图,不管这种企图来自物体本身的作用,如通过发射精气而彼此相趋近或彼此相激动,或者来自以太或空气或任何有形或无形的媒质的作用,以任何方式使放在那里的物体彼此相趋近。在同样一般的意义上,我使用“推撞”这个词。我在这本论著中,不是要定义力的各种种类或者它们的物理性质,而是像我以前在定义中已指出的那样,研究它们的量和它们的数学关系。在数学中,我们必须研究力的量,以及它们间在任何假定的条件下的关系,然后当我们进入到物理中时,把这些关系和自然现象作比较,从而可知道这些力的哪种情形符合于哪一类的吸引物体。做了这一准备工作之后,我们就能更可靠地讨论有关力的物理种类、原因和它们的关系。……

拉普拉斯

万有引力原理

选自《宇宙体系论》,何妙福等译,上海译文出版社,2001年。

导读

拉普拉斯 (P. S. Laplace, 1749—1827) 出生于法国诺曼底,他的早年生活人们所知甚少。他 18 岁时被送到巴黎,带着将他介绍给达兰贝尔的信,但这位大数学家拒绝见他。拉普拉斯就寄了一篇力学论文给达兰贝尔。这篇论文如此出色,以至达兰贝尔突然高兴做拉普拉斯的教父,并安排他在军事学校当了一名数学教授。以后拉普拉斯一直居住在巴黎,还在政府中担当了一系列职务,直到 1827 年 3 月 5 日去世为止。

在法国大革命中、拿破仑时代以及波旁王朝复辟时期,拉普拉斯都设法活了过来,而且还红极一时,被封为侯爵。他的五卷本《天体力学》(Mecanique celeste)是研究太阳系引力稳定性的力作,在书中他研究了三体问题、受摄天体的运动,所用的数学手段不再是牛顿的几何方法,而是级数展开之类的数学分析手段。据说该书中拉普拉斯的一句口头禅是:从方程 A “显而易见”可以得到方程 B。而为了弄清这“显而易见”,别人要花上几小时甚至几天的工夫。拿破仑翻遍了《天体力学》全书,注意到拉普拉斯在书中从来不提上帝。拉普拉斯说:“我不需要这个假设!”拉格朗日听到这话后说:“啊!可是它同样也是个美妙的假设呢,它解释了多少事情啊!”

说来有点奇怪,拉普拉斯最为世人所知的工作是一项他本人也不怎么重视的猜测。在 1796 年出版的一本为普通公众所写的不需要数学知识的天文普及读物《宇宙体系论》(Exposition du systeme du monde)的一则附录中,拉普拉斯提出了太阳系起源于一团星云的假说。

本书选取《宇宙体系论》的第一章《万有引力原理》,借拉普拉斯的笔来让读者对万有引力原理作一不需要太多数学知识的把握。



拉普拉斯

在太阳系的现象里,行星与彗星的椭圆运动,最适宜使我们推导出作用于它们的力的普适定律。观测发现,行星与彗星围绕太阳运行时,向径所扫过的面积与时间成正比。前一篇讲过,为了得到这个结果,使每个天体的向径不断改变方向之力应常指着这些向径的原点。可见行星与彗星接近太阳的趋势是向径扫过的面积与所用的时间成正比的必然结果。

为了决定这趋势的定律,假设行星与彗星在正圆轨道上运动(这假设与实际的情况相差很少)。行星的真速度的平方与轨道半径的平方被公转周期的平方所除之商成正比。可是根据开普勒定律,周期的平方与半径的立方成正

比,因此速度的平方与半径成反比。以前讲过,在圆周上运动的物体所受的中心力与速度的平方被其轨道半径所除之商成正比。可见行星接近太阳的趋势与其所假设的圆周轨道的半径的平方成反比。自然,这个假设是不精确的,但行星公转周期的平方与其轨道的长轴的立方成正比,而其比值并不因轨道的偏心率而有变化,因此自然想到这定律对于正圆轨道一样有效。由此可见,太阳的引力与距离平方成反比定律,明显地表现在这个关系上。

类比推理使我们想到这定律既可由这一行星推广到那一行星,对同一行星在其和太阳的不同距离处也一样有效。行星的椭圆运动在这方面便没有任何可疑的了。为了说明这个定律,试跟踪一颗行星的运动。设想它从近日点出发,那时它的速度极大,它离开太阳的趋势胜过它受太阳的引力,此后向径增长,与其运动的方向(切线向)成钝角,指向太阳的引力可以分解成切线方向上的一个分量,它使速度愈来愈小直到行星达到远日点之时。在这一点向径再与曲线正交,速度变为极小,离开太阳的趋势比太阳的引力小,于是行星接近太阳而描出其轨道的第二部分。在这部分里太阳的引力使行星的速度增加,正如在第一部分里它使行星的速度减少的情形一样。行星再以其原来的速度达到近日点,更开始与前相似的另一周的公转。由于椭圆的曲率在近日点与在远日点是相同的,密切圆的半径在这两点是相等的,因此这两点上的离心力之比等于其速度的平方之比。由于在相同的时间单元内向径所扫过的扇形面积相等,近日点和远日点上的速度与近日距和远日距成反比,因而这两个速度的平方与近日距和远日距的平方成反比。但在近日点和远日点上,在密切圆周上的离心力显然与太阳对于行星的引力相等,由此可见引力和行星与太阳之间的距离的平方成反比。

惠更斯所发现的离心力定理足够认识行星向太阳的趋势,因为这个定律对于从这个行星到他个行星,和每个行星在近日点和远日点均属有效,很可能推广到行星轨道上的任何点及距离太阳的任何远处。但为得到无可怀疑的证明,应当求出指向椭圆的焦点,使一个抛射体经行这种曲线运动的这种力的表达式。

事实上,牛顿发现了这个力是与向径的平方成反比的。还须精确地证明指向太阳的引力只随行星和太阳的距离而变化。这位大数学家更证明这是从公转周期平方与轨道长轴立方成正比的定律中得出的结论。因此假设行星均静止在和太阳一样远处,而任其因引力而向中心坠落,它们在相同时间内应下降相同的高度,这结果可以推广到彗星上去,虽然它们的轨道长轴是不知道的,因为第二篇里讲过彗星的向径所扫过的面积是根据周期的平方与长轴的立方成正比的定律而求得的。

分析阐明一条定律可能的含义,向我们表明,由于引力的作用,行星与彗星所描绘的轨道不只是椭圆,而且还可能是一切的圆锥曲线。因此彗星的轨道可能是抛物线或双曲线的,那么这样的彗星只能出现一次,以后便离开我们这个太阳系而去接近另外的太阳,此后又远离它而去,在星际空间的许多系统里游荡。因鉴于宇宙的无限,太空里可能有许多类似的天体,可是非周期的彗星出现次数很少,人们观测得最多的是在凹形轨道上运动,按或长或短的周期在太阳附近的空间运行的彗星。

卫星和行星一样,受到太阳的引力作用。假使月球不受太阳的作用,它不但不能围绕地球在近似正圆的轨道上运动,而且很快便会离开地球;假使月球和木卫不受太阳给予它们,正如给予行星一样的作用,则根据对它们的观测便不会发现其运动里有那些显著的离差。因此,彗星、行星与卫星均受向着太阳的引力的同样定律所支配。在卫星围绕其行星运动的同时,行星与卫星构成的系统在空间具有一个公共运动,并且皆为同一种引力所维系而环绕太阳运动。因此,卫星与行星的相对运动差不多与行星是静止而并未受到外力作用的情况相同。

由此可见,在不需其他假说的情况下,作为天体运动的必然结果,引导我们将太阳看作是引力的焦点,而这力是可延伸至无限远处并同距离平方成反比的,而且这力以相似的方式吸引着一切天体。开普勒的每一条定律表现这个引力的一个性质:面积与时间成正比的定律,表明引力总是指向太阳的中心;行星的椭圆轨道,证明引力随距离的平方增加而减少;最后公转周期的平方与轨道长轴的立方成正比,使我们明白一切物体所受到的向太阳的引力在等距离处是相同的。因此,这种力叫作太阳的摄引力。虽然我们还不了解摄引力的原因,但借助数学家常用的一个概念,可以假设这个力是由于太阳内具有一种吸引本领所造成的。

由观测所引起的误差和行星椭圆运动的微小变化,我们感到由刚才所说的运动定律导出的结果稍有不正确性,因而怀疑太阳引力的减小是否恰与距离的平方成反比。但是,即使引力定律有少许的离差,对行星轨道上近日点的运动

也会发生显著的差异。假使与太阳引力成反比的距离乘幂只增大万分之一 (0.0001) ,则地球轨道的近日点每年前进 $64''.8$ 。而现在由观测求得的实际数值不过 $11''.8$ 而已。以后我们还要谈到这种近日点运动的原因。因此引力按距离平方成反比是异常接近真实的定律,且由于其简单性,应当承认它是真实的,只要观测不强使我们放弃它的话。当然,我们不应根据我们容易想象它们的观点去衡量自然界定律的简单性。但是,当我们看上去是最简单的定律,完全和一切现象相合之时,我们便有充足的理由将它们看作是精确的定律。

卫星指向行星中心的引力,也是它们的向径扫过的面积与所用的时间成正比的必然结果。至于这个力按距离平方增加而减小的规律,也由卫星轨道是椭圆的而得到证明。木卫、土卫与天王卫的轨道的扁率不很显著,因而引力变化的定律不易从这些卫星的运动中得到证实。其公转周期的平方与其轨道长轴的立方成一定的比例关系却明显证实了它,因为这个关系向我们表明由这一卫星到另一卫星,指向行星的引力是和卫星与行星两中心间的距离的平方成反比的。

对于只有一颗卫星的地球缺乏这样的证明,我们可用以下的讨论来补足它:

地心引力可以达到高山,可是它在那里减少之量很微,只有达到距离地心更远得多的地方才能使人感到它的变化。自然,我们便会延伸到月球,而考虑它是否为地心引力维系在它的轨道上,正如太阳的引力将行星维持在它们各自的轨道上那样。事实上好像这两种力具有相同的性质。它们都渗透到物体的内部,使质量相同的物体得到相同的速度,因为刚才看过太阳的引力对于与它相同的距离处的物体都是相等的,正如地心引力使物体在真空中在相同的时间内坠落相同的高度一样。

在某高度用力循水平方向投出的一个抛射体,走了一段抛物线复落于远处的地面上,设其抛射速度约为每秒 8100 米,且不受大气阻力的减弱,它便不再坠落地面,而像一颗卫星一样围绕地球运行,^①原来它的离心力等于它的重力。为了使这个抛射体成为月球,只需将它举到月球那样高处而给它以相同的抛射

① 现今从地面发射人造卫星所需的最小速度约为 7900 米/秒。——译者

运动。

可是要证明月球向地球坠落的趋势是由于地心引力,便须使地心引力按天体间引力的普适定律而减少。由于这问题的重要性,我们将详细讨论于下:

使月球每瞬间离开其轨道的切线方向之力使它在一秒内所经行的空间,等于其在相同时间内所走的弧度的正矢,因为这正矢之值是月球在这一秒内离开它在开始时的方向的距离。我们可从月—地间的距离去决定这个数量,而这距离可从月球的视差表为地球半径的倍数。但是,为了得到与月球运动的各种差数无关的结果,应取月球的视差中和这些差数无关的部分作为平均视差,它对应于月球的椭圆轨道的半长轴。比尔格(Bürg)综合了许多观测决定月球的这种视差,在纬度的正弦的平方为 $1/3$ 的纬度圈上量得的数字为 $56'55''$ ^①。我们所以选择这个纬度圈,是因为地球对于其表面相应之点的引力差不多如在月球的距离处,等于地球的质量被这一点与重心之距离的平方所除之商。这纬度圈的任一点至地球重心的半径为 6 369 809 米。容易算出作用于月球使它向地球接近之力在一秒内使月亮坠落 0.001 362 4 米。以后还要谈到太阳的作用使月球的重力减少其 $1/358$,因而为使其与太阳的作用无关,应将以上所说的高度增加其 $1/358$,于是月球在一秒内向地球坠落的数字为 0.001 366 24 米。可是,在月球围绕地球的相对运动里,月球所受之力等于地球与月球的质量之和被它们之间的距离的平方所除之商。因此为了得到只因地球的作用一秒内月球坠落的高度,应将以上所说的高度以地球的质量对于地球与月球的质量之和的比值乘之;可是根据与月球的作用有关的现象的总合求得月球的质量为地球质量的 $1/75$ 。^② 将这高度乘以 $75/76$,便得地球的引力使月球在一秒内坠落的高度为 0.001 361 6 米。

将这高度与由钟摆的观测而得到的结果比较。在我们所讨论的纬度圈上,重力使物体在第一秒内所坠落的高度,据第一篇第十四章,等于 4.897 00 米。但在这纬度圈上,地球的引力比重力小,两者之差等于在赤道上因地球自转而产生的离心力的 $2/3$,而这离心力是重力的 $1/288$,因此应将以上所说的高度增加其 $1/432$,而得到因地球的作用造成下落的高度,这作用在这纬度圈上,等于地球的质量除以其半径的平方。由此求得这高度为 4.908 20 米。在月球的距离处,这作用力应按地球椭圆体半径平方与月球距离的平方之比而减少,显然只需以月球的视差 ($56'55''$) 的正弦的平方乘之。于是便得由于地球的引力使月球在一秒内应向地球坠落的高度为 0.001 345 5 米。由钟摆的实验而得的这一高度,与由月球视差的直接观测而推出的高度相差很少,只需将上述月亮的平均视差的数值改变 $0''.65$ 便能使这两个高度完全相合。由于这样小的差异在观测误差与计算里所用的数据的

① 现今采用的月球的赤道地平视差为 $57'02.6''$ 。——译者

② 现今采用的数值:月球的质量等于地球的质量的 $1/81.3$ 。——译者

误差的范围之内,可以断言将月球维系在它轨道上的主要力是地球的引力,它按月—地间的距离的平方而变小。可见,引力减少的定律对于伴有几颗卫星的行星来说,由它们的卫星的距离和公转周期的比较而证实;对于月球,则由它的运动与地面抛射体的运动的比较而证实。在山顶所作的钟摆的观测已经表明重力的变小,但还不足以发现重力变化的定律,因为即使最高的山峰的高度比起地球的半径来还小很多。所以须用一个离我们远的天体(例如月球),才能揭示这个定律,而证明地球的重力只是整个宇宙里所遍布的引力的一个特殊例子。

每个现象是自然界里的定律的一个验证,它使定律发出新的光辉。因此,由重力的实验与月球运动之比较表明我们计算引力时应该将距离的原点放在太阳和行星的重心处,对地球而言,这情形更加显著;地球的引力和太阳与行星的引力在性质上显然是相同的。

由类比推理,我们将这种吸引力的性质推广到没有卫星的行星。一切天体的形状都是球体,显然表明组成它们的分子为一种力将它们聚集在其重心的周围,在等距离处施于这些分子的力的强度是相等的。这种力还表现在行星运动所受到的摄动;以下的讨论使我们对于这种力的存在没有丝毫的怀疑。以上讲过,假使将行星与彗星放在和太阳的等距离处,它们对于太阳的重量和它们的质量成正比,但这是自然界的一个普适定律:反作用与作用等值而反向。所以太阳系里的天体对于太阳有反作用,按它们各自的质量吸引太阳,因此它们具有一种与其质量成正比而与其对太阳的距离的平方成反比的引力。根据相同的原理,卫星亦按同一定律吸引行星与太阳,可见吸引力是一切天体所共有的性质。

如果只考虑一颗行星和太阳之间的相互作用,则行星围绕太阳的椭圆运动不会受到什么扰乱。事实上,如果给予一物体系统一个公共运动,该系统里的物体的相对运动一点也不会改变。因此若循反方向给予太阳和行星以太阳的运动以及太阳所受到行星的作用,则太阳可以看作是一个不动点,但是那时行星便受到指向太阳的一个与距离平方成反比并与两体的质量之和成正比的力。行星将围绕太阳作椭圆运动,而且根据相同的理解,若设想这两体所构成的系统在空间里有一公共运动,两体的相对的椭圆运动还是没有改变。同理可知卫星的椭圆运动也不因行星的公转运动而受到丝毫的扰乱,如果太阳的作用对于行星和它的卫星是完全相同的,这运动也不会受这作用的影响。

可是,行星对于太阳的作用影响了它的公转周期,行星的质量越大时它的公转周期变得越短。因此轨道长轴的立方与公转周期平方之比是和太阳与行星的质量之和成正比例的。但是,因为这比值对于所有的行星差不多是相同的,所以它们的质量比较太阳的质量当是很小,卫星的质量与其所隶属的行星质量相比也是这样:这是由这些天体的体积的大小可以证明的。

天体的吸引性质不只属于它们的质量,也属于构成天体的每个分子。假使太阳只施作用于地心,而不影响其各部分,结果便会使海洋里产生无可比拟的巨大的潮汐振荡而同观测到的情况有很大差异。因此地球受到太阳的引力是构成地球的一切分子所受到引力的结果,这些分子也按它们各自的质量去吸引太阳。而且地球上每个物体对地心所起的作用与其质量成正比,所以它对于地球的反作用使它以相同的比例吸引地心。假使不是这样,而且假使地球的一部分(不管它是怎样小的一部分)不按其被吸引的方式去吸引其他部分,由于重力的缘故,地球的重心便会在空间里运动,而这是不可能的。

将天体现象和运动定律比较,我们发现自然界里的这个伟大原则:即物质的一切分子按它们的质量并与其间的距离的平方成反比而互相吸引。从万有引力定律,我们已可看出椭圆运动受摄动的原因,因为行星与彗星既然受到相互的作用,它们便应该对于这个椭圆运动有一点偏离,只有行星或彗星单独受到太阳的作用时,它才能精确地作椭圆运动。卫星在围绕其行星运动时,受到其他卫星和太阳的作用,也同样对这些定律发生偏离。还可看到构成每个天体的分子为它们之间的引力所结合,应该形成一个近似球体的物质团,它们对于在其表面的物体的作用的合力应造成重力的一切现象。我们曾经讲过,天体的自转运动稍微改变其正球的形状,而使其两极区域比较扁平,于是天体间的相互作用的合力不恰巧通过它们的重心,这合力应在它们的自转轴上造成类似观测到的运动。最后,我们也料到由于海水受到太阳和月球的引力是不一样的,应有像涨潮与落潮那样的波动。但这一切现象都可以从引力的普遍原则推导出来,使这原则得到物理的真理所应有的一切确定性。

二

“唉呀！我怎么没看见？”

——科学精神

爱因斯坦

培养独立工作和 独立思考的人¹

选自《爱因斯坦文集》第三卷,许良英等编译,商务印书馆,1979年。

导读

爱因斯坦 (Albert Einstein, 1879—1955) 出生于德国乌尔姆的犹太人家庭,幼年迁居慕尼黑。1894 年他父亲经商失败后去了米兰,爱因斯坦留在慕尼黑完成中学学业,但他的功课如拉丁文和希腊文很差,他只对数学感兴趣,所以老师劝他退学,并对他说:“爱因斯坦,你永远不会有多大前途。”这样,这位后来要登上科学史上的最高峰的年轻人中途退学了。

在意大利度假一段时间后,爱因斯坦到了瑞士,较为费劲地进了一所大学。在学校他也不能算是一位好学生,一般课都缺席,只专心阅读理论物理学的书。他能各门课都及格是得益于一个朋友极好的课堂笔记。大学毕业后工作不好找,还是在借他笔记的父亲的帮助下,他在 1901 年进了瑞士伯尔尼专利局,谋得一个低级职员的位置。这一年他入了瑞士籍。

在专利局他也不是一个安心本职的职员,满脑子想的是当时理论物理学最前沿的问题。他的问题还不需要实验室,只要铅笔、纸张和头脑。1905 年是爱因斯坦成功的一年,也是科学史上有数几个特别的年份之一。这一年爱因斯坦在《德国物理学年鉴》上发表了五篇论文,包括物理学方面三项重要的发展,在这一年他获得博士学位。

1909 年声誉渐著的爱因斯坦获得一个苏黎世大学的低薪教授职位。

① 这是爱因斯坦于 1936 年 10 月 15 日在纽约州奥耳巴尼 (Albany) 纽约州立大学举行的“美国高等教育三百周年纪念会”上的讲话稿,最初发表在《学校和社会》(School and Society) 杂志 44 卷 589—592 页上,题目叫《关于教育的一些想法》。这里译自《晚年集》(Out of My Later Years)。

1913年在普朗克的促成下,柏林威廉大帝物理研究所给予爱因斯坦一个待遇优厚的职位。1915年爱因斯坦在一篇通常称为“广义相对论”的论文中把相对论原理从惯性系推广到加速系中,广义相对论作出了三项科学预言,后来被一一验证。^①

爱因斯坦毫无疑问成了举世闻名的科学家,尽管大多数人包括很多科学家要理解他的理论还有点困难。然而他仍不能免遭德国纳粹势力的迫害。1930年爱因斯坦到美国加利福尼亚理工学院讲学,直到希特勒上台(1933年)仍在美国,以后再也没有回德国。爱因斯坦以后定居在新泽西州普林斯顿高级研究所,1940年成为美国公民。

在他生命中的最后十年致力于寻求一种能包罗万有引力和电磁现象的理论,也就是常称之为“统一场论”的理论,不过这个难题让爱因斯坦白白耗费了许多时间和精力,并平添许多苦恼。难题最终没有解决,而且至今也没有获得解决。

像牛顿反对光的波动说一样,爱因斯坦也对当时物理学的另一场革命——量子力学持否定态度。其实让爱因斯坦获诺贝尔物理学奖的光量子学说是量子论早期的重要成果,但对量子力学的发展,爱因斯坦觉得它有悖于他的一些物理学信念。例如他不接受海森堡的测不准原理——时间和能量不能同时完全精确地测定,1930年的一次会议上他提出一种假想实验来否定这条原理。玻尔在彻夜未眠后,第二天援引爱因斯坦自己的广义相对论指出了爱因斯坦思想实验中的错误。

另外众所周知的,爱因斯坦给美国总统罗斯福写信力劝执行一项庞大的计划以研制原子弹,并终于实施了曼哈顿工程,在六年后造出了原子弹。二战后,他又为实现结束原子战的某种世界性协议努力到了生命最后。1955年爱因斯坦去世,第99号元素镥就是为纪念他而命名的。

爱因斯坦在科学上取得重大成就的同时,在如何培养科学精神方面常有精彩的言论,对一般人而言,这些启迪人思维的言论有时比他的相对论更值得一读。本书选取爱因斯坦这方面的一篇短文,即《培养独立工作和独立思考的人》。

在纪念的日子里,通常需要回顾一下过去,尤其是要怀念一下那些由于发展文化生活而得到特殊荣誉的人们。这种对于我们先辈的纪念仪式确实是不可少的,尤其是因为这种对过去最美好事物的纪念,必定会鼓励今天善良的人们去勇敢奋斗。但这种怀念应当由从小生长在这个国家并熟悉它的过去的人来做,而不应当

^① 参见《根据1919年5月29日的日全食观测测定太阳引力场中光线的弯曲》一文及其导读。

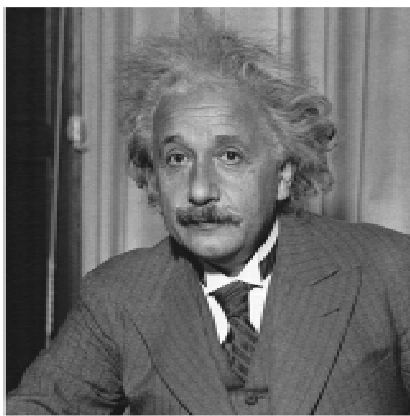
把这种任务交给一个像吉卜赛人^①那样到处流浪并且从各式各样的国家里收集了他的经验的人。

这样,剩下来我能讲的就只能是超乎空间和时间条件的、但同教育事业的过去和将来都始终有关的一些问题。进行这一尝试时,我不能以权威自居,特别是因为各时代的有才智的善良的人们都已讨论过教育这一问题,并且无疑已清楚地反复讲明他们对于这个问题的见解。在教育学领域中,我是半个外行,除了个人经验和个人信念以外,我的意见就没有别的基础。那么我究竟是凭着什么而有胆量来发表这些意见呢?如果这真是一个科学的问题,人们也许就因为这样一些考虑而不想讲话了。

但是对于能动的人类的事务而言,情况就不同了,在这里,单靠真理的知识是不够的;相反,如果要不失掉这种知识,就必须以不断的努力来使它经常更新。它像一座矗立在沙漠中的大理石像,随时都有被流沙掩埋的危险。为了使它永远照耀在阳光之下,必须不断地勤加拂拭和维护。我就愿意为这工作而努力。

学校向来是把传统的财富从一代传到另一代的最重要机构。同过去相比,在今天就更是这样。由于现代经济生活的发展,家庭作为传统和教育的承担者,已经削弱了。因此比起以前来,人类社会的延续和健全要在更高程度上依靠学校。

有时,人们把学校简单地看作一种工具,靠它来把大量的知识传授给成长中的一代。但这种看法是不正确的。知识是死的,而学校却要为活人服务。它应当在青年人中发展那些有益于公共福利的品质和才能。但这并不意味着应当消灭个性,使个人变成仅仅是社会的工具,像一只蜜蜂或蚂蚁那样。因为由没有个人独创性和个人志愿的统一规格的人所组成的社会,将是一个没有发展可能的不幸的社会。相反,学校的目标应当是培养独立工作和独立思考的人,这些人把为社会服务看作自己最高的人生问题。



爱因斯坦

现在的学校似乎越来越远离“培养独立工作和独立思考的人”这个目标了。在现在大学的这种数字化管理制度下,教师的目标是挣够“工分”,学生的目标是挣够“学分”。

^① 吉卜赛 (Gipsy) 是一个从亚洲迁徙到欧洲各国到处流浪的散居民族。

就我所能作判断的范围来说,英国学校制度最接近于这种理想的实现。

但是人们应当怎样来努力达到这种理想呢?是不是要用讲道理来实现这个目标呢?完全不是。言辞永远是空的,而且通向毁灭的道路总是和侈谈理想联系在一起的。但是人格绝不是靠所听到的和所说出来的言语而是靠劳动和行动来形成的。

因此,最重要的教育方法总是鼓励学生去实际行动。初入学的儿童第一次学写字便是如此,大学毕业写博士论文也是如此,简单地默记一首诗,写一篇作文,解释和翻译一段课文,解一道数学题目,或在体育运动的实践中,也都是如此。

但在每项成绩背后都有一种推动力,它是成绩的基础,而反过来,计划的实现也使它增长和加强。这里有极大的差别,对学校的教育价值关系极大。同样工作的动力,可以是恐怖和强制,追求威信、荣誉的好胜心,也可以是对于对象的诚挚兴趣和追求真理与理解的愿望,因而也可以是每个健康儿童都具有的天赋和好奇心,只是这种好奇心很早就衰退了。同一工作的完成,对于学生教育影响可以有很大差别,这要看推动工作的主因究竟是对苦痛的恐惧,是自私的欲望,还是快乐和对满足的追求。没有人会认为学校的管理和教师的态度对塑造学生的心理基础没有影响。

我以为,对学校来说最坏的事是主要靠恐吓、暴力和人为的权威这些办法来进行工作。这种做法伤害了学生的健康的感情、诚实的自信,它制造出的是顺从的人。这样的学校在德国和俄国成为常例,在瑞士,以及差不多在一切民主管理的国家也都如此。要使学校不受到这种一切祸害中最坏的祸害的侵袭,那是比较简单的。只允许教师使用尽可能少的强制手段,这样教师的德和才就将成为学生对教师的尊敬的唯一源泉。

第二项动机是好胜心,或者说得婉转些,是期望得到表扬和尊重,它根深蒂固地存在于人的本性之中。没有这种精神刺激,人类合作就完全不可能;一个人希望得到他同类赞许的愿望,肯定是社会对他的最大约束力之一。但在这种复杂感情中,建设性同破坏性的力量密切地交织在一起。要求得到表扬和赞许的愿望,本来是一种健康的动机,但如果要求别人承认自己比同学、伙伴们更高明、更强有力或更有才智,那就容易产生极端自私的心理状态,而这对个人和社会都有害。因此,学校和教师必须注意防止为了引导学生努力工作而使用那种会造成个人好胜心的简单化的方法。

达尔文的生存竞争以及同它有关的选择理论,被很多人引证来作为鼓励竞争精神的根据。有些人还以这样的办法试图伪科学地证明个人之间的这种破坏性经济竞争的必然性。但这是错误的,因为人在生存竞争中的力量全在于他是一个过着社会生活的动物。正像一个蚁垤里蚂蚁之间的交战说不上什么是为生存竞争所必需的,人类社会成员之间的情况也是这样。

因此,人们必须防止把习惯意义上的成功作为人生目标向青年人宣传。因为一个获得成功的人从他人那里所取得的,总是无可比拟地超过他对他们的贡献。然而看一个人的价值应当是从他的贡献来看,而不应当看他所能取得的多少。

在学校里和生活中,工作的最重要的动机是在工作和工作的结果中的乐趣,以及对这些结果的社会价值的认识。启发并且加强青年人的这些心理力量,我看这该是学校的最重要的任务。只有这样的心理基础,才能引导出一种愉快的愿望,去追求人的最高财富——知识和艺术技能。

要启发这种创造性的心理才能,当然不像使用强力或者唤起个人好胜心那样容易,但也正因为如此,所以才更有价值。关键在于发展孩子们对游戏的天真爱好和获得他人赞许的天真愿望,引导他们为了社会的需要参与到重要的领域中去。这种教育的主要基础是这样一种愿望,即希望得到有效的活动能力和人们的谢意。如果学校从这样的观点出发胜利完成了任务,它就会受到成长中的一代的高度尊敬,学校规定的课业就会被他们当作礼物来领受。我知道有些儿童就对在学时间比对假期还要喜爱。

这样一种学校要求教师在他的本行中成为一个艺术家。为了能在学校中养成这种精神,我们能够做些什么呢?对于这一点,正像没有什么方法可以使一个人永远健康一样,万应灵丹是不存在的。但是还有某些必要的条件是可以满足的。首先,教师应当在这样的学校成长起来。其次,在选择教材和教学方法上,应当给教师很大的自由。因为强制和外界压力无疑也会扼杀他在安排他的工作时所感到的乐趣。

如果你们一直在专心听我的想法,那么有件事或许你们会觉得奇怪。我详细讲到的是,我认为应当以什么精神教导青少年。但我既未讲到课程设置,也未讲到教学方法。譬如说究竟应当以语文为主,还是以科学的专业教育为主?

对这个问题,我的回答是:照我看来,这都是次要的。如果青年人通过体操和远足活动训练了肌肉和体力的耐劳性,以后他就会适合任何体力劳动。脑力上的训练,以及智力和手工艺方面技能的锻炼也类似这样。因此,那个诙谐的人确实讲得很对,他这样来定义教育:“如果人们忘掉了他们在学校里所学到的每

在学校学习到具体的知识是其次的,主要是要学习获得知识的能力。学校提供的是智力操练的机会,用语文操练还是用数学

操练,在爱因斯坦看来,不应该有差别。但是现在的学校急于传授的、而学生也急于学得的是将来他们离校以后用于生存的具体技能。这样,学校培养出来的是一群会说话和走路工具。

一样东西,那么留下来的就是教育。”就是这个原因,我对于遵守古典、文史教育制度的人同那些着重自然科学教育的人之间的争论,一点也不急于想偏袒哪一方。

另一方面,我也要反对把学校看作应当直接传授专门知识和在以后的生活中直接用到的技能的那种观点。生活的要求太多多样了,不大可能允许学校采用这样专门的训练。除开这一点,我还认为应当反对把个人作为死的工具。学校的目标始终应当是使青年人在离开它时具有一个和谐的人格,而不是使他成为一个专家。照我的见解,这在某种意义上,即使对技术学校也是正确的,尽管它的学生所要从事的是完全确定的专业。学校始终应当把发展独立思考和独立判断的一般能力放在首位,而不应当把取得专门知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础,并且学会了独立思考和独立工作,就必定会找到自己的道路,而且比起那种其主要训练在于获得细节知识的人来,他会更好地适应进步和变化。

最后,我要再次强调一下,这里所讲的,虽然多少带有点绝对肯定的口气,其实,我并没有想要求它比个人的意见具有更多的意义。而提出这些意见的人,除了在他做学生和教师时积累起来的个人的经验以外,再没有别的什么东西来做他的根据。

费 曼

草包族科学

选自《闹闹了,费曼先生》,费曼著,吴程远译,
三联书店,1997年。

导读

费曼 (Richard P. Feynman ,1918—1988)出生于纽约市布鲁克林区 ,1942年 ,从普林斯顿大学取得博士学位。第二次世界大战期间 ,他曾在美国设于新墨西哥州的罗萨拉摩斯 (Los Alamos)实验室工作 ,参与研发原子弹的曼哈顿计划 (Manhattan Project) ,并是计划中的重要角色。战后先后任教于康奈尔大学和加州理工学院。1965年 ,因为在量子电动力学领域取得的成就 ,与朝永振一郎 (Sin-Itiro Tomonaga)、施温格 (Julian Schwinger)共同分享了该年度的诺贝尔物理学奖。

费曼在基础教育和弘扬科学精神方面也展现出大师级的风范 ,他的《费曼物理学讲义》堪称经典 ,他的《物理之美》、《闹闹了,费曼先生》等普及读物深入浅出、机智幽默地向读者传递了什么叫科学精神、科学应该是什么样子的。

在中古世纪期间 ,各种疯狂荒谬的想法可谓层出不穷 ,如犀牛角可以增进性能力 ,就是其中之一。随后有人发现了过滤想法的方法 ,试验哪些构想可行、哪些不可行 ,把不可行者淘汰掉。当然 ,这个方法逐渐发展成为科学。它一直发展得很好 ,我们今天已经进入科学时代了。事实上 ,我们的年代是那么的科学化 ,有时候甚至会觉得难以想象 ,以前怎么可能出现过巫医 ,因为他们所提出的想法全都行不通——至多只有少数的想法是行得通的。

然而直到今天 ,我还是会碰到很多的人 ,或迟或早跟我谈到不明飞行物体、占星术 ,或者是某些神秘主义、扩张意识、各种新型意识、超能力 ,等等。我因此下了一个结论 :这并不是个科学的世界。

大多数人都相信这许许多多的神奇事物 ,我便决定研究看看原因何在。而我喜爱追寻真理的好奇心 ,则把我带到困境之中 ,因为我发现了世上居然有这许多的

废话和废物！

首先,我要研究的是各种神秘主义以及神秘经验。我躺在与外界隔绝的水箱内,体验了许多个小时的幻觉,对它有些了解。然后我跑到依沙伦(Esalen),那是这类想法的温床。事先我没想到那里会有那么多怪东西,让我大吃一惊。

依沙伦有好多巨大的温泉浴池,盖在一处离海平面 30 英尺高的峭壁平台上。我在依沙伦最愉快的经验之一,就是坐在这些浴池里,看着海浪打到下面的岩石上,看着无云的蓝天,以及漂亮女孩静静地出现。

有一次我又坐在浴池里,浴池内原先就有一个漂亮的女孩以及一个好像不认识的家伙。我立刻开始想:“我应该怎样跟她搭讪呢?”

我还在想应该说些什么,那家伙便跟她说:“呃,我在学按摩。你能让我练习吗?”

“当然可以。”她说。他们走出浴池,她躺在附近的按摩台上。

我想:“那句开场白真绝啊!我怎么也想不到可以这样问!”他开始按摩她的大脚指头。“我可以感觉到,”他说:“我感觉到凹下去的地方——那是不是脑下垂体呢?”

我脱口而出:“老兄,你离脑下垂体还远得很呢!”

我也研究过超能力现象,最近的大热门是焦勒(Uri Geller),据说他只要用手指抚摸钥匙,就能使它弯曲。在他的邀请之下,我便跑到他旅馆房间内,看他表现观心术和弯曲钥匙。在观心方面他没一样表演成功,也许没有人能看穿我的心吧?而我的小孩拿着一根钥匙让他摸,什么也没有发生。然后他说他的超能力在水中比较能够施展得开,你们可以想象,我们便跟着他跑到浴室里。水龙头开着,他在水中拼命抚摸那把钥匙,什么都没有发生。于是,我根本无法研究这个现象。

接下来我想,我们还相信些什么?(那时候我想到巫医,想到要研究他们的真伪是多么的容易:你只要注意他们什么也弄不成就行了。)于是我去找些更多人相信的事物,如“我们已经掌握到教学方法”等。目前虽有很多阅读方法和教学方法的提倡及研究,但只要稍为留意,便发现学生的阅读能力一路滑落——至少没怎么上升——尽管我们还在请这些人改善教学方

费曼的这个描述非常形象和生动,但并不可笑。现实生活中科学样子摆得十足的“草包族”比比皆是。

法。这就是一种由巫医开出来的不灵药方了,这早就应该接受检讨,这些人怎么知道提出来的方法是行得通的?

另一个例子是如何对待罪犯,在这方面很显然我们一无进展。那里有一大堆理论,但我们的方法显然对于减少罪行完全没有帮助。

然而,这些事物全都以科学之名出现,我们研究它们。一般民众单靠“普通常识”,恐怕会被这些假科学吓倒。假如有位老师想到一些如何教她小孩阅读的好方法,教育系统却会迫使她改用别的方法——她甚至会受到教育系统的欺骗,以为自己的方法不是好方法。又例如一些坏孩子的父母在管教过孩子之后,终身无法摆脱罪恶感的阴影,只因为专家说:“这样管小孩是不对的。”

因此,我们实在应该好好检讨那些行不通的理论,以及检讨那些不是科学的科学。

上面提到的一些教育或心理学上的研究,都是属于我称之为“草包族科学”(cargo cult science)的最佳例子。大战期间在南太平洋有一些土人,看到飞机降落在地面,卸下来一包包的好东西,其中一些是送给他们的。往后他们仍然希望能发生同样的事,于是他们在同样的地点铺飞机跑道,两旁还点上了火,盖了间小茅屋,派人坐在那里,头上绑了两块木头(假装是耳机),插了根竹子(假装是天线),以为这就等于控制塔里的领航员了——然后他们等待,等待飞机降落。他们被称为草包族,他们每件事都做对了,一切都十分神似,看来跟战时没什么两样;但这行不通:飞机始终没有降落下来。这是为什么我叫这类东西为“草包族科学”,因为它们完全学足了科学研究的外表,一切都十分神似,但是事实上它们缺乏了最重要的部分——因为飞机始终没有降落下来。

接下来,按道理我应该告诉你,它们缺乏的是什么,但这和向那些南太平洋小岛上的土人说明,是同样的困难。你怎么能够说服他们应该怎样重整家园,自力更生地生产财富?这比“告诉他们改进耳机形状”困难多了。不过,我还是注意到“草包族科学”的一个通病,那也是我们期望你在学校里学了这么多科学之后,已经领悟到的观念——我们从来没有公开明确地说那是什么,却希望你能从许许多多的科学研究中省悟到。因此,像现在这样公开的讨论它也是蛮有趣的。这就是“科学的品德”了,这是进行科学思考时必须遵守的诚实原则——有点尽力而为的意思在内。举个例子,如果你在做一个实验,你应该把一切可能推翻这个实验的东西纳入报告之中,而不是单把你认为对的部分提出来,你应该把其他同样可以解释你的数据的理论,某些你想到、但已透过其他实验将之剔除掉的事物等,全部包括在报告中,以使其他人明白,这些可能性都已被排除。

你必须交代清楚任何你知道、可能会使人怀疑的细枝末节。如果你知道哪里出了问题,或可能会出问题,你必须要尽力解释清楚。比方说,你想到了一个理论,

提出来的时候,便一定要同时把对这理论不利的事实也写下来。这里还牵涉到一个更高层次的问题。当你把许多想法放在一起构成一个大理论,提出它与什么数据相符合时,首先你应该确定,它能说明的不单单是让你想出这套理论的数据,而是除此以外,还能够说明其他的实验数据。

总而言之,重点在于提供所有信息,让其他人得以裁定你究竟作出了多少贡献,而不是单单提出会引导大家偏向某种看法的资料。

要说明这个概念,最容易的方法是跟广告来作个对照。昨天晚上我看到一个广告,说“威森食用油”(Wesson Oil)不会渗进食物里头。没有错,这个说法并不能算是不诚实,但我想指出的不单是要老实而已,这是关系到科学的品德,这是更高的层次。那个广告应该加上的说明是:在某个温度之下,任何食用油都不会渗进食物里头,而如果你用别的温度呢,所有食用油,包括威森食用油在内,都会渗进食物里头。因此他们传播的只是暗示部分,而不是事实;而我们就要分辨出其中的差别。

根据过往的经验,真相最后还是会有水落石出的一天。其他同行会重复你的实验,找出你究竟是对还是错,大自然会同意或者不同意你的理论。而虽然你也许会得到短暂的名声及兴奋,但如果你不肯小心地从事这些工作,最后你肯定不会被尊为优秀科学家的。这种品德,这种不欺骗自己的刻苦用心,就是大部分草包族科学所缺乏的配料了。

它们碰到的困难,主要还是来自研究题材本身,以及根本无法将科学方法应用到这些题材上。但这不是唯一的困难。这是为什么飞机没有着陆!

从过往的经验,我们学到了如何应付一些自我欺骗的情况。举个例子,密立根(Robert Millikan)做了个油滴实验,量出了电子的带电量,得到一个今天我们知道是不大对的答案。他的数据有点偏差,因为他用了个不准确的空气粘滞系数数值。于是,如果你把在密立根之后、进行测量电子带电量所得到的数据整理一下,就会发现一些很有趣的现象:把这些数据跟时间画成坐标图,你会发现这个人得到的数值比密立根的数值大一点点,下一个人得到的数据又再大一点点,下一个又再大上一点点,最后,到了一个更大的数值才稳定下来。

为什么他们没有在一开始就发现新数值应该较高?——这件事令许多相关的科学家惭愧脸红——因为显然很多人的做事方式是:当他们获得一个比密立根数值更高的结果时,他们以为一定哪里出了错,他们会拼命寻找,并且找到了实验有错误的原因。另一方面,当他们获得的结果跟密立根的相仿时,便不会那么用心去检讨。因此,他们排除了所谓相差太大的数据,不予考虑。我们现在已经很清楚那些伎俩了,因此再也不会犯同样的毛病。

然而,学习如何不欺骗自己,以及如何修得科学品德等等——抱歉——并没有

包括在任何课程中。我们只希望能够透过潜移默化,靠你们自己去省悟。

第一条守则,是不能欺骗自己——而你却是最容易被自己骗倒的人,因此必须格外小心。当你能做到不骗自己之后,你很容易也能达到不欺骗其他科学家的地步了。在那以后,你就只需要遵守像传统所说的诚实方式就可以了。

我还想再谈一点点东西,这对科学来说并不太重要,却是我诚心相信的东西——那就是当你以科学家的身份讲话时,千万不要欺骗大众。我不是指当你骗了你妻子或女朋友时应该怎么办,这时你的身份不是科学家,而是个凡人,我们把这些问题的留给你和你的牧师。我现在要说的是很特别、与众不同、不单只是不欺骗别人,而且还尽其所能说明你可能是错了的品德,这是你作为科学家所应有的品德;这是我们作为科学家,对其他科学家以及对非科学家,都要负起的责任。

让我再举个例子。有个朋友在上电台节目之前跟我聊起来,他是研究宇宙学及天文学的,而他很感困惑,不知道该如何谈论这些工作的应用。我说:“根本就没有什么应用可言。”他回答:“没错,但如果这么说,我们这类研究工作就更不受支持了。”我觉得很意外,我想那是一种不诚实。如果你以科学家的姿态出现,那么你应该向所有非科学家的大众说明你的工作——如果他们不愿意支持你的研究,那是他们的决定。

这个原则的另一形态是:一旦你下决心要测试一个定理,或者是说明某些观念,那么无论结果偏向哪一方,你都应该把结果发表出来。如果单发表某些结果,也许我们可以把论据粉饰得很漂亮堂皇,但事实上,我们一定要把正反结果都发表出来。

我认为,在提供意见给政府时,也需要同样的态度。假定有位参议员问你,不应该在他代表的州里进行某项钻井工程,而你的结论是应该在另一州进行这项工程,如果你因此不发表这项结论,对我而言,你并没有提供真正的科学意见,你只不过是利用了。换句话说,如果你的答案刚好符合政府或政客的方向,他们就把它用在对他们有利的东西上,但是一旦出现另一种情况就不发表出来。这并非提供科学意见之道!

其他许多错误比较接近于低品质科学的特性。我在康奈尔大学教书时,经常跟心理系的人讨论。一个学生告诉我她计划做的实验:其他人已发现,在某些条件下,比方说是 X,老鼠会做某些事情 A。她很好奇的是,如果她把条件转变成 Y,它们还会不会做 A。于是她计划在 Y 的情况下,看看它们还会不会做 A。我告诉她说,她必须首先在实验室里重复别人做过的实验,看看在 X 的条件下会不会也得到结果 A,然后再把条件转变成 Y,看看 A 会不会改变。然后她才能知道其中的差异是否如她所想象的那样。

她很喜欢这个新构想,跑去跟教授说,但教授的回答是:“不,你不能那样做,因

为那个实验已经有人做过,你在浪费时间。”这大约是1947年的事,其后那好像变成心理学的一般通则了:大家都不重复别人的实验,而单纯地改变实验条件看结果。

今天,同样的危险依然存在,甚至在著名的物理这一行也不例外。我很震惊地听到在国家加速器实验室完成的一个实验的情形。在实验中,这个研究人员用的是氘(一种重氢)。而当他想将这些结果跟使用轻氢的情况作一比较时,他直接采用了别人在不同仪器上得到的轻氢数据。当别人问他为什么这样做时,他说这是由于他计划里没有剩余时间重复那部分的实验,而且反正也不会有新的结果……于是,由于他们太急着要取得新数据,以取得更多的资助,让实验能继续下去,他们却很可能毁坏了实验的价值本身,而这才应该是原先的目的。很多时候,那里的实验家没法按照科学品德的要求来进行研究!

必须补充一句,并不是所有心理学的实验都是这个样子的。我们都知道,他们有很多老鼠走迷宫的实验,曾经有很久都没有什么明显的结论。但在1937年,一位名为杨格(Young)的人进行了一个很有趣的实验。他弄了个迷宫,里面有条很长的走廊,两边都有许多门。老鼠从这边的门走进来,而在另一边的门后是食物。他想看看能不能训练老鼠从第三道门走进来——不管原本他让老鼠从哪个门走起。他发现办不到,老鼠立刻会走到原先找到食物的门。

那么问题是,由于走廊造得很精美,每个门看来也一样,老鼠到底是怎样认出先前到过的门?很显然这道门有点不同!于是他把门重新漆过,让每道门看来都一样。但那些老鼠还是认得最初走过的门。接着他猜想也许是食物的味道,于是每次老鼠走完一次之后,他使用化学物品把迷宫的气味改变,它们还是回到原来的门那里。他再想到,老鼠可能依靠实验室里的灯光或布置来判断方向,像人那样;于是他走廊盖起来,但结果还是一样。

终于他发现,它们是靠着的在路面走过时发出的声音来辨认路径的,而唯一的方法是在走廊内铺上细砂。于是他追查一个又一个的可能,直到把老鼠都难倒,最后全都要学习如何走到第三个门内。如果他放松了任何一项因素,小老鼠全都知道的。

从科学观点来看,那是个第一流的实验。这个实验使得老鼠走迷宫之类的实验有价值,因为它揭开了老鼠真正在利用的条件——不是你猜它在用的条件。这个实验告诉我们:你要改变那些条件,要如何小心翼翼地控制及进行老鼠走迷宫的实验。

我追踪了这项研究的后续发展。我发现在杨格之后的类似实验,全都没有再提到这个实验。他们从来没有在迷宫里铺上细砂或者是小心执行实验。他们走回头路,让老鼠像从前般走迷宫,全然没有注意杨格的伟大发现。他们之所以没提起杨格的论文,只不过是因为他们认为他没有发现老鼠的什么结果。但事实上,他

已经发现了你必须先做的准备,否则你休想能发现老鼠的什么结果。草包族科学通常就忽略了这种重要的实验。

另一个例子是超能力的实验了。就像很多人提出过的批评一样——甚至他们本身也提出过——他们改进其技巧,使得效应愈来愈少,终于全无效应了。所有研究超自然现象的心理学家,都在寻找可以重复的实验(可以再做一次而得到同样的效应),甚至只要求一个统计上的数字便好了。于是他们试验了一百万只老鼠——噢,对不起,我的意思是人——做了很多实验,取得某些统计数字。但下一次再试时,他们又没法获得那些现象了。现在甚至有人会说,期望超能力实验可以重复是种细枝末节的要求。这就是科学了吗?

这个人原本是“超自然心理学院”的院长,而当他作退休演说时,他谈到设立新的机构,他更告诉其他人,下一步是大家应该挑选那些已明显有超能力的学生来训练,而不要浪费时间在那些对这些现象很有兴趣、却只偶然有超能力效应出现的学生。我认为这种教育政策是十分危险的——只教学生如何得到某些结果,而不是如何固守科学品德、进行实验。

因此我只有一个希望:你们能够找到一个地方,在那里自由自在地坚持我提到过的品德;而且不会由于要维持你在组织里的地位,或是迫于经济压力,丧失你的品德。

我诚心祝福,你们能够获得这样的自由。

当越来越多的人仅仅把科学研究作为谋生手段时,费曼所希望的那个“地方”就越来越难以找到了。

卡尔·萨根

人类不是宇宙的中心

选自《卡尔·萨根的宇宙》,那范特·特奇安、伊丽莎白·比尔森主编,
周惠民、周玖译,上海科技教育出版社 2000 年。

导读

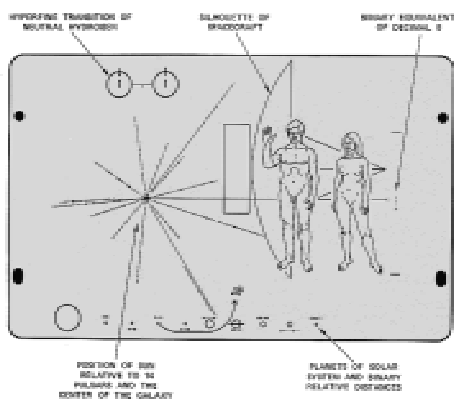
卡尔·萨根 (Carl Sagan, 1934—1996) 曾是美国康奈尔大学天文学教授,世界著名科普作家。1934 年 11 月 9 日出生于纽约布鲁克林,1955 年获芝加哥大学物理学学士学位,1956 年获物理学硕士学位,1960 年获天文学和天体物理学博士学位。60 年代在哈佛大学任教,1971 年任康奈尔大学教授。

萨根一生主要从事行星天文学包括金星上的温室效应和火星上的季节变化等、核战争对环境的影响、地球上的生命起源、外星智能生命探索等领域研究,是宇宙生物学的创始人和开拓者之一。长期以来他一直担任康奈尔大学天文学和太空科学的硕士生和博士生导师。曾任美国天文学协会行星科学学会主席,美国地球物理学会联合会行星研究会主席,美国科学促进协会行星学会主席,在美国的太空计划中起到了十分重要的作用,曾荣获美国航空航天局的特别科学成就奖,两次获得公共服务奖和航空航天局颁发的阿波罗成就奖。

萨根还是伟大的科普作家,他 1980 年推出的 16 集电视序列片《宇宙》在世界上引起强烈反响,这部电视片被翻译成十多种语言,在六十多个国家放映,观众达到五亿。这部电视片获得米·彼博迪大奖。与电视片配套的科普书籍《宇宙》在《纽约时报》连续 70 周居最畅销书榜首位。他一生著述甚丰,以《伊甸园的飞龙》、《布鲁卡的脑》、《无人曾想过的道路:核冬天和武器竞赛的终结》、《被遗忘的前辈的影子》、《接触》、《彗星》、《宇宙中的智能生命》、《暗淡蓝点——展望人类的太空家园》和《魔鬼出没的世界》等书籍最为读者所喜爱。其中《伊甸园的飞龙》获美国普利策奖。国际天文学联合会于 1982 年将 2709 号小行星命名为“卡尔·萨根”。

人类的每一种文化都把自身看成是处于宇宙的中心——现

在就让我们先来考虑一下这个重要而又令人悲叹的事实。为什么会是这样呢？我觉得那很清楚：回到狩猎、采集者的年代，那时还没像当今时代晚间有电视看，有那么多娱乐节目。所以在熄灭了的篝火余烬旁边，人们徒有仰观群星的消遣。为什么？一个显而易见的原因便是星辰的熠熠闪亮。今天，人们却生活在饱受化学污染的天空之下，光线污染也无处不在，我们几乎已经忘记了，夜晚的天空曾是多么的美妙。那不只是美的感受，它也自然而然地使人产生了一种敬畏之情。



萨根设计的先驱者 10 号上的地球名片

随后，人们开始编造星星的故事。他们发明了罗夏测验，联起星星的点，便构筑了那些星座。“奥格，你看那像不像个熊？”“真的，我觉得它像。”于是，他们就让孩子们强记这些完全是任意画定的图形，种种神话或前或后也被编造出来了。所以这些星座就成了看得到的容易让人产生联想的东西。有人会说：“那就是把你爷爷吃掉了的熊。”

最粗略地观察一下天空，也会看到星辰是从东方升起。它们有些笔直地来到我们的头顶上，有些靠近地平面以小的弧形划过去，但都是从东方升起，也都在西方落下；那么在白天，它们有其他的事情要做。它们不知怎么跑到了我们大家都没有见到过的大地的下面（大地当然是像一片扁平的木板），然后，第二天早上它们又从东方升了起来。毫无疑问，星辰、太阳、月亮它们都环绕着我们走动。我们显然是不动的。所以我们是静止地坐落在宇宙的中心。这是可以看得到的事实。谁要是怀疑它，谁就一定就有点什么问题。这是地球中心说（地心说）的概念。

好了，不仅是所有的文化都得出了这个结论，而且，我们的祖先还都因此得到了很大的满足。想想看：我们是宇宙的中心。宇宙的中心当然是个很重要的地方。不只是如此，星辰明显的转动对于其他动物、其他植物有什么用呢？其实这只是对我们人类有用。因此，那些星辰之所以置放在那里，是为了我们的需要。太阳和月亮显然也都有它们的用处，但还有些地方让人感到困惑。你们可能知道波斯的智者和思想家的一个故事，有人

俗话说“好奇心杀死猫”，也有寓言故事警示人类不要好奇心太过，譬如“潘朵拉盒子”的故事，但是好奇心确实是科学发现的源动力。人类进步的动力只有是这样发自人深藏的本性才不会枯竭，任何带有功利目的的动力，一旦目的达到，就会消失。

问他们：“太阳和月亮哪个更有用处？”他们回答说：“当然是月亮。因为太阳是在已经有光亮的时候才出来，但月亮却是在需要光亮的夜晚里光照我们。”我们以自我为中心的态度是让人吃惊的。

现在，所有的人都被教导说，地球不是宇宙的中心。但我觉得现在还有很多证据表明我们暗地里仍然相信地心说，只是表面上装扮成相信日心说而已。比如，想想我们的语言吧：“太阳出来了”，“我在太阳出来之前就起来了”，“太阳落下去了”，“这是一个光彩夺目的日落”。然而，太阳并没有升起、落下，只是地球在转动。瞧，只为了符合哥白尼的看法，解析一个简单的单词或短语会是多么困难：“比利，你要保证在地球转动到当地的地平线把太阳遮起来之前回到家里。”不等你说完一半，比利早就走了。为什么在哥白尼的说法之中没有像“日出”、“日落”这样简洁的词儿呢？

最近的素养调查发现，有 25% 到 50% 的成年美国人不知道地球用一年的时间绕太阳一周。在中国，这个数字是 70%。请记住，哥白尼的看法在美国宣讲得很多，可至少仍然有四分之一的人没有弄清楚；在中国，她没有宇航局，她的电视节目不那么复杂，不懂的人的比率自然就大得多。如果一般的情况类似于在中国的情形，那么，在哥白尼之后五个世纪的今天，地球上大多数人在心底里仍然认为地球是中心，所以想庆贺我们有了对我们在宇宙中的真实情况的知识，可能还是为时过早（同时，我想，我们谁能设法走出这种境地，那真是有理由值得骄傲的）。

依我看，科学史中有很大的部分可以理解为哥白尼式的争论。对于许多情况，十分普遍的立场是：我们是中心，我们是重要的，人类是美妙的，是伟大的。然后才对我们所处的环境加以实际的观察；在这之前，从来没有人曾想到应该看一看。这时候，得出了让人吃惊、使人不安的发现：不，我们不是中心；不，我们并不重要。对我来说，科学上的许多关键性的发现，许多近代科学的观点，就是从这种形式的争论中产生的，安·德鲁扬称这种形式的争论为“大贬谪”。

如果我们真有难以抑制的内驱力，要成为中心并且显得举足轻重，那么我们知道我们能够做到什么。我们可以认真遵循

确实，知识很大程度是“被教导”的，对于“地球在自传，同时在绕日公转”这样一个常识你如何教给小学生们呢？恐怕最省事的办法就是让他们相信这一点，然后背出这一句话。

天文学史上的每一次关键进展，如从地心说到日心说、从大银河系到河外星系等，都是不断贬低人类在宇宙的位置的过程。所以说，一部天文学史就是人类不断自我贬低的历史。

我们大多数人立誓信仰的重要宗教的博爱和仁爱的训诫。我们可以朝着为我们这个行星上亿万穷苦人在经济上能够自足的方向努力奋进。我们可以确信：我们知道在我们当中有着什么危险的倾向，以及我们在过去的历史中曾经犯过多少致命的错误。我们应该让我们的儿孙在成长过程中无法忽视这个问题。我们可以关怀、爱护这个星球的环境，因为是这个环境在支撑着我们，以及其他和我们共同分享它的众多物种。我们每一个人，都能够在民主进程中起到强有力的、原则性的作用。我们能够坚持让我们选举出来的官员们诚实并且不自私。我们能够根据勇敢的提问和回答问题的深度来判断我们的进展，判断我们是否宁可接受那真实的事物，而不是那听来似乎是不错的事物。如果我们想要做到举足轻重——不是被动地因为我们凑巧降生于这个物种或我们这个民族，或是凑巧出生在这个行星上，而是由于我们行动的美德——我们知道我们能够做些什么。

我的立场

本文是作者于 1992 年 5 月在剑桥凯尔斯学院的讲演,收录于《霍金讲演录——黑洞、婴儿宇宙及其他》(第六章) 史蒂芬·霍金著 杜欣欣、吴忠超译 湖南科学技术出版社 2001 年。

导读

史蒂芬·霍金 (Stephen Hawking) 于 1942 年 1 月 8 日出生于英国牛津,这一天是伽利略去世整整 300 周年的纪念日,这个巧合似乎赋予霍金一种与生俱来的历史感和使命感。然而直到 1962 年霍金在牛津的三年大学生涯快要结束时,他仍然是一位邋遢、懒散,喝酒时间多于看书时间的学生,但他对数学和理论物理具有独特的天赋和悟性,所以他申请去剑桥大学攻读宇宙学博士学位,并打算师从著名的宇宙学家霍伊尔 (Fred Hoyle)。

但是剑桥大学安排给霍金的导师是一位他从没有听说过的丹尼斯·夏马 (Denis Sciama),霍金一度将这视作灾难。然而真正的灾难是,在他进剑桥的第二年即 1963 年 1 月,就被诊断出患了肌萎缩性侧索硬化症,也叫运动神经细胞疾病。医生预料霍金活不过两年,但霍金似乎没有为此消沉太久,尤其是来自一位叫简 (Jane Wilde) 的姑娘的爱情,让霍金有了生活的目的。他们很快订了婚。为了结婚,霍金需要一份工作;为了找到工作,霍金需要一份博士学位。

霍金以后的人生历程是在创造一系列的奇迹,随着他身躯逐渐垮塌——只能靠轮椅行动、只有三根手指能动、丧失语言能力——他的学术成就和声望却迅速上升,直到如日中天。如今霍金所到之处都如英雄般受到欢迎。

1965 年霍金以优异的成绩获得博士学位之后,成为剑桥大学凯斯学院 (Gonville and Caius College) 的研究员。在 1965 年到 1970 年间,霍金跟彭罗斯 (Roger Penrose) 合作,证明了广义相对论的奇性不可避免。1973 年霍金进入剑桥大学应用数学和理论物理系,并在该年首次提出黑洞辐射概念,现在被叫作“霍金辐射”。1974 年因发现黑洞的霍金辐射而成为英国皇家学会会员,时年 32 岁,这是皇家学会历史上少有的年轻会员。1979 年起,霍金担任剑桥大

学的卢卡斯数学教授职位,这是牛顿和狄拉克 (Paul Dirac) 曾经担任过的职位。1982 年,霍金被英国女王授予勋爵。

除了学术著述之外,霍金迄今为止已经撰写了多种科普读物,其中《时间简史》已发行 1 000 万册,在英国是仅次于《圣经》和莎士比亚著作的畅销书。本文选自他的演讲集,讨论了他在科学研究中采取的立场和态度。



霍金在剑桥的办公室

这篇文章不是关于我信仰上帝与否。我将讨论我如何理解宇宙的方法:作为“万有理论”的大统一理论的现状和意义。这里存在一个真正的问题。研究和争论这类问题应是哲学家的天职,可惜他们多半不具备足够的数学背景,以赶上现代理论物理进展的节拍。还有一种科学哲学家的子族,他们的背景本应更强一些。但是,他们中的许多人是失败的物理学家,他们知道自己无能力

发现新理论,所以转业写作物理学哲学。他们仍然为本世纪初的科学理论,诸如相对论和量子力学而喋喋不休。他们实际和物理学的当代前沿相脱节。

也许我对哲学家们过于苛刻一些,但是他们对我也不友善。我的方法被描述成天真的和头脑简单的。我在不同的场合曾被称为唯名论者、工具主义者、实证主义者、实在主义者以及其他好几种主义者。其手段似乎是借助污蔑来证伪:只要对我的方法贴上标签就可以了,不必指出何处出错。无人不知这些主义的致命错误。

在实际推动理论物理进展的人们并不认同于哲学家和科学史家为他们发明的范畴。我敢断定,爱因斯坦、海森堡和狄拉克对于他们是否为实在主义者或者工具主义者根本不在乎。他们只是关心现存的理论不能相互协调。在发展理论物理中,寻求逻辑自洽总是比实验结果更为重要。优雅而美丽的理论会因为不和观测相符而被否决,但是我从未看到任何仅仅基于实验

霍金对“科学哲学”家的评论稍嫌尖刻,但也反映了一定的事实。科学哲学研究的对象很难把前沿领域的物理学包括进去,这不单单是科学哲学家掌握不了前沿物理学所需要的数学工具,而更是因为科学哲学研究的对象,譬如物理学,需要在科学史上有一定的时间跨度。

霍金在这里叙述的物理学家实际上怎么做的是一种证伪主义的纲领,霍金不小心又被贴了一次标签。

而发展的主要理论。首先是需求优雅而协调的数学模型提出理论,然后理论作出可被观测验证的预言。如果观测和预言一致,这并未证明该理论;只不过该理论存活以作进一步的预言,新预言又要由观测来验证。如果观测和预言不符,即抛弃该理论。

或者不如说,这是应当这么发生的。但在实际中,人们非常犹豫放弃他们已投注大量时间和心血的理论。通常他们首先质询观测的精度。如果找不出毛病的话,就以想当然的方式来修正理论。该理论最终就会变成丑陋的庞然大物。然后某人提出一种新理论,所有古怪的观测都优雅而自然地在新理论中得到解释。1887年进行的麦克斯韦—莫雷实验即是一个例子,它指出不管光源还是观测者如何运动,光速总是相同的。这简直莫名其妙。人们原先以为,朝着光运动比顺着光运动一定会测量出更高的光速,然而实验的结果是,两者测量出完全一样的光速。在接着的18年间,亨得利克·洛伦兹和乔治·费兹杰朗德等人试图把这一观测归纳到当时被接受的空间和时间观念的框架中。他们引进了想当然的假设,诸如物体在进行高速运动时被缩短。物理学的整个框架变得既笨拙又丑陋。之后,爱因斯坦在1905年提出了一种远为迷人的观点,时间自身不能是完全独立的。相反的,它和空间结合成称为时空的四维的东西。爱因斯坦之所以得到这个思想,与其说是由于实验的结果,不如说是由于需要把理论的两个部分合并成一个协调的整体。这两个部分便是制约电磁场的,以及制约物体运动的两套定律。

我认为,无论是爱因斯坦还是别的什么人在1905年都会意识到,相对性的这种新理论是多么简单而优雅。它完全变革了我们关于空间和时间的观念。这个例子很好地阐明了,在科学的哲学方面很难成为实在主义者,因为我们认为实在的是以我们所采用的理论为前提。我能肯定,洛伦兹和费兹杰朗德在按照牛顿的绝对空间和绝对时间观念来解释光速实验时都自认为是实在主义者。这种时间和空间的概念似乎和常识以及实在相对应。然而今天仍有极少数的熟悉相对论的人持有不同的观点。我们必须不断告诉人们,对诸如空间和时间的基本概念的现代理解。

如果我们认为,实在依我们的理论而定,怎么可以用它作为我们哲学的基础呢?在我认为存在一个有待人们去研究和理解的宇宙的意义上,我愿承认自己是个实在主义者。我把唯我主义者的立场看成是在浪费时间,他们认为任何事物都是我们想象的创造物。没人基于那个基础行事。但是没有理论我们关于宇宙就不能说什么是实在的。因此,我采取这样的被描述为头脑简单或天真的观点,即物理理论不过是我们用以描写观察结果的数学模型。如果该理论是优雅模型,它能描写大量的观测,并能预言新观测的结果,则它就是一个好理论。除此以外,问它是否和实在相对应就没有任何意义,因为我们不知道什么与理论无关的实在。这

种科学理论的观点可能使我成为一个工具主义者或实证主义者——正如我在上面提及的,他们是这么称呼我的。称我为实证主义者那位进一步说道,人所共知,实证主义已经过时了——这是用污蔑来证伪的又一例证。它在过去的知识界时兴过一阵,就这一点而言的确是过时了。但我所概括的实证主义似乎是人们为描写宇宙而寻找新定律新方法的仅有的可能的立场。因为我们没有和实在概念无关的模型,所以求助于实在将毫无用处。

依我的意见,对与模型无关的实在的蕴含的信仰是科学哲学家们在对付量子力学和不确定原理时遭遇到困难的基本原因。有一个被称为薛定谔猫的著名理想实验。一只猫被置于一个密封的盒子中。有一杆枪瞄准着猫,如果一颗放射性核子衰变就开枪。发生此事的概率为 50% (今天没人敢提这样的动议,哪怕仅仅是一个理想实验,但是在薛定谔时代,人们没听说过什么动物解放之类的话)。

如果人们开启盒子,就会发现该猫非死即生。但是在此之前,猫的量子态应是死猫状态和活猫状态的混合。有些科学哲学家觉得这很难接受。猫不能一半被杀死另一半没被杀死,他们断言,正如没人处于半怀孕状态一样。使他们为难的原因在于,他们蕴含地利用了实在的一个经典概念,一个对象只能有一个单独的确定历史。量子力学的全部要点是,它对实在有不同的观点。根据这种观点,一个对象不仅有单独的历史,而且有所有可能的历史。在大多数情形下,具有特定历史的概率会和具有稍微不同历史的概率相抵消,但是在一定情形下,邻近历史的概率会相互加强。我们正是从这些相互加强的历史中的一个观察到该对象的历史。

在薛定谔猫的情形下,存在两种被加强的历史。猫在一种历史中被杀死,在另一种中存活。两种可能性可在量子理论中共存。因为有些哲学家蕴含地假定猫只能有一个历史,所以他们就陷入这个死结而无法自拔。

时间的性质是我们物理理论确定我们实在概念的又一例子。不管发生了什么,时间总是永往直前且被认为是显而易见的。但是相对论把时间和空间结合在一起,而且告知我们两者都能被宇宙中的物质和能量所卷曲或畸变。这样,我们对时间

霍金大可不必为别人给他贴上了一张“过时的”实证主义标签而光火。说某某东西过时了,不是一个科学的论证,就像人们说某件衣服过时了一样,带有非理性的成分。

“把理论视作一种模型的实证主义方法,是理解宇宙的仅有手段。”这是霍金在本文中所要阐述的观点。虽然它带有一定的哲学味道,但确实是一种很值得采取的理论研究方法。霍金本人的研究实践,本质上就是要构建一个关于黑洞和宇宙的数学模型,然后从模型内在的逻辑出发,来预言黑洞和我们身处其中的宇宙应该有什么样的行为。

人们相信数学模型能够逼近物理的真实，这种信念起源于古希腊。柏拉图的哲学认为经验世界只是超感世界的反映。超感世界里的完美运动可用数学来描述。譬如天体的完美运动应该是匀速圆周运动。这种构建一种高于经验世界的数学模型的方法，后来一直是科学史上认识事物规律的有效方法。伽利略也好，牛顿也好，爱因斯坦也好，都遵循了这样的方法。伽利略被尊奉为近代科学的创始人，他的伟大贡献就是首次把数学方法和实验方法结合了起来。牛顿为解决万有引力定律中的疑难，发明了数学的重要分支——微积分学。爱因斯坦的广义相对论思想之所以能得到顺利表达，是因为一种不食人间烟火的与经验世界毫不相干的几何学——非欧几何学早已建立起来了。

那么，一个数学模型究竟能在多大程度上逼近物理的真实呢？或者说，如何判断一个数学模型，或者一个科学理论的可靠程度呢？这其实是科学哲学的经典话题。从前文看出来，霍金持有的是波普尔的证伪主义（有关证伪主义，参见本书《科学：猜想和反驳》一文导读）。

性质的认识就从与宇宙无关改变成由宇宙赋予形态。这样，在某一点以前时间根本没有意义就变成可以理解的了；当人们往过去回溯，就会遭遇到一个不可逾越的障碍，即奇点，他不能超越奇点。如果情形果真如此，去询问何人或何物引起或创造大爆炸便毫无意义。谈论归因或创生即蕴含地假设在大爆炸奇点之前存在时间。爱因斯坦的广义相对论预言，时间在150亿年前的奇点处必须有个开端，我们知道这一点已经25年了。但是哲学家们还没有掌握这个思想。他们仍然在为65年前发现的量子力学的基础忧虑。他们没有意识到物理学前沿已经前进了。

更糟糕的是虚时间的数学概念。詹姆·哈特和我提出，宇宙在虚时间里既没有开端又没有终结。我因为谈论虚时间受到一位科学哲学家的猛烈攻击。他说：像虚时间这样的一种数学技巧和实在宇宙有什么相关呢？我以为，这位哲学家把专业数学术语实的以及虚的数和在日常语言中的实在的以及想象的使用方式弄混淆了。这刚好阐述了我的要点：如果某物与我们用以解释它的理论或模型无关，何以知道它是实在的？

我用了相对论和量子力学中的例子来显示，人们在试图赋予宇宙意义时所面临的问题。你是否理解相对论和量子力学，或者这些理论甚至是错误的，实际上都无关紧要。我所希望显示的是，至少对于一名理论物理学家而言，把理论视作一种模型的实证主义的方法，是理解宇宙的仅有手段。我对我们找到描述宇宙中的万物的一套协调模型满怀信心。如果我们达到这个目标，那将是人类真正的胜利。

三

从几何模型到物理世界 ——科学方法

《天大论》第一卷

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989年。刘彩品译。

导读

柏拉图主义要求用匀速圆周运动来描述天体的运动，这为数理天文学的发展开辟了道路。希腊人寻找各种圆的组合方式，来为解释和预言行星的运行建立几何模型。建立模型的方法从此成为科学研究的基本方法之一。

欧多克斯在柏拉图的原则指导下提出了天体的同心球理论。他一共设置了27个同心球：恒星一个，五颗行星每颗四个，太阳和月亮各占三个。这种理论鲜明地表现了希腊人是从数学角度考虑天文学问题的，它不涉及使真实天体运动起来的机理，也不追究这些球体是由什么形成的，它们彼此怎样在物理上相互适应，它们的动力从何而来。这些球体是数学上的球体。而在柏拉图主义者看来，这个系统是个理想的实在，而通过感官感知的星空是一个不完美的复制品。

希腊天文学家虽然在思想上有柏拉图主义的倾向，但是他们仍颇具科学精神。他们认识到实测结果是评价数学表述的标准，数学推论最终要和观测所揭示的现象相一致。欧多克斯体系没有做到这一点。喜帕恰斯提出了一种不同的描述天文现象的方法，这种方法建立在阿波罗尼乌斯发现的基础上。托勒密（Claudius Ptolemaeus，常作 Ptolemy，约100—170AD）进一步精练和发挥了这个理论，并写入了它的集大成之作《天大论》中。

现在只知托勒密一生都生活、工作在亚历山大城。他姓名中的 Ptolemaeus 表明他是埃及居民，而祖上是希腊人或希腊化了的某族人；Claudius 表明他拥有罗马公民权。《天大论》是托勒密所有重要著作——流传至今的包括完整的和不完整的共有10种——中最早的一部。

在《天大论》导言中，托勒密论述了不能把地球看作运动着的星体——从根本上说，这是来自亚里士多德的物理学。他承认从数学上可以把星空的周日

运动看作地球绕自转轴的周日运动的反映,但他坚持这在物理学上是荒谬的。他的主要论据是:如果地球从西向东旋转,我们应该可以看到地球上所有的东西向西移动,而不应与地球紧紧相随。这个反驳在以后的许多世纪里不断地被提出来反对地动说。后来这个问题被具体地表述为:一块石头垂直向上抛出,其落点应该在投掷点的西边。这条反驳意见是站在亚里士多德错误的“惯性定律”基础上的。直到伽利略提出他的惯性定律之后,这条反对地动说的论据才被化解。

《大论》第一卷的最后几章论述了希腊测量学和三角学原理。在准备了必要的数学工具后,托勒密在第一卷和第二卷的其余部分论述了球面天文学的所有内容。第三卷论述太阳的运动。这里出现了偏心圆运动的概念,它被用来解释四季长短不一的原因。偏心圆运动是希腊天文学的一个特征。第四、第五卷讨论月球运动。第六卷描述日食和月食。第七、第八卷给出了包括有1022颗恒星的星表,给出了每颗星的黄经、黄纬及亮度,还讨论了喜帕恰斯发现的岁差。第九到第十三卷论述了五颗行星的运动。

如果要数那些对世界历史产生了巨大影响的书,《大论》毫无疑问就是其中一本。直到16世纪,天文学家的思想实际上还一直受这本书的支配。《大论》不仅提供了一个切实可行的解释和预报行星运动的模型,而且全书在把所论述的问题按定义、命题的次序构造成一个公理体系方面也堪称典范。科学早在其起源阶段就幸运地找到这种公理化、模型化的表达形式。

1. 前言

亲爱的希勒斯^①,在我看来,那些真正的哲学家将实际知识和理论知识区分开来是很有道理的。即使实际知识在它成为实际知识之前原来就是理论知识,两者间仍存在巨大差异。不仅因为一个没有学识的人虽然可以品德高尚,但若不学习就不可能了解整个科学理论,而且还因为在实际事物方面通过对事物本身不断重复的操作即可获得最大效益,而在理论知识方面,最大效益只有通过向前进步才能获得。因此,应当使我们习惯于即使在使用想象力时也不要忘记去思量事物的美妙与和谐,并冥思苦想地去揭示那些美妙的定理,特别是那些称之为数学的定理。

^① 希勒斯是个医生,但究竟是托勒密的学生、朋友还是儿子则不清楚。——译者



托勒密

亚里士多德非常恰当地将理论知识分成物理学、数学和神学三部分。所有物体都依赖物质、形式和运动而得以存在。如果把这三者分开,无论哪一个都无法单独看见,只能凭想象来推测。如果一个人想要寻求无比淳朴的、宇宙第一运动的第一因,将发现那就是无形无象的、永恒不变的上帝。寻求上帝的科学就是神学。它探索的是物质世界的彼方,与我们所感觉的、接触的事物截然不同。而研究物质及其运动,以及白、热、甜、软等性质的科学叫物理学。这类本质由于一般仅仅是事物之所是,故可以在月球层下面有生有灭的^①物体中找到。用形状、运动、图形、数目、大小、位置、

时间等等来显示事物性质的科学叫数学。这类本质位于神学与物理学之间,不仅因为它可以通过感官也可以不通过感官来想象,而且还因为它是所有世间的和永恒的事物的一种绝对的非本质属性,按照事物不可分离的形态,随着那些不断变化的事物一起变化,在神圣的和具有神圣性质的不变事物中则保存其形态的不变性。

因此对神学和物理学的探索,宁可用推测的语言而不用科学的语言来阐述。因为神学所研究的决不是可见的和可及的事物,物理学所研究的又是不稳定的和含糊的事物,为此,哲学家永远不会对它们持一致意见。只有数学,如果抱着研究的态度来探讨,会使人获得确切的、可靠的知识,并以无可辩驳的步骤给出算术与几何的论证。因此,我们应当竭尽全力探索这一理论学科,特别是探索与神奇天体有关的学科。它研究的对象永不变化(这的确是科学的固有标志),并具有清晰明了、井然有序等特点。当它与其他学科相结合时,其他学科仍能保持其本身的特性。这一特殊的数学理论最适宜为神学作准备。因为只有它能对不变的和分离的行为进行研究,这一行为与天体的运动和排列关系非常密切。这些天体是可感觉到的,既是主动的又是被动的,^②同时又是永恒的。再就物理学而言,不会出现偶然

跟科学史上的其他大师们一样,托勒密也是非常重视数学的。

《大论》主要是运用数学来解决天文学问题,但在数学上也有创造性的工作。第一卷中定义了弦函数,构造了步长为半度的弦表,其中引入的关于圆内接四边形对角线和边长的关系的定理是托勒密首次提出的,现在就叫作托勒密定理。

① 亚里士多德认为地上的物体是有生有灭的,而天体则是永恒的、不生不灭的。托勒密继承了这种看法。——原编者

② 根据亚里士多德哲学,天体对地上的物体来说,由于不受约束,表现为主动的,但对于第一因来说,则是被动的,因为严格说来只有第一因才是主动的。——原校者

的一致。因为物质的本质可从其位置运动上明显地看出来。例如,从直线运动和圆周运动可以看出物质的可生可灭还是不生不灭。从接近中心的运动和远离中心的运动可以看出物质的轻与重、被动与主动。事实上没有任何学科能够像物理学那样,通过考虑天体的同一性、规律性、恰当的比例和淳朴的直率,使有学识的人品格高尚,行为端方,使从事物理学研究的人成为这些美德的爱好者,并且通过耳濡目染,使他们的灵魂自然地达到相似的境界。

通过学习致力于这门科学的前人已经发现的东西,通过在可能的时间内作出微薄的原始贡献,我们尽力增加对这门科学的热爱。为此,我们将以最简明的方式来阐述已被揭示的定理,使得有些基础的人便于阅读。并将所有有关天上事物的理论按照适当的顺序加以编排,使之成为一部完整的著作。为了不使本书太长,我们只论述已被前人严格证明的定理,并尽可能地附带论及未经充分证明或证明得不太完善的理论。

2. 定理的顺序

本书将先阐述地球和整个天空的一般关系。然后阐述个别的问题,首先是黄道的位置以及地球上我们居住的这一部分地区,接着是由于地平线的倾斜在这些地区之间产生的差异。这些理论一旦领悟,将有利于研究以后的问题。继而,再论述太阳和月亮的运动以及和它们有关的事情。没有这些预备知识,就不可能有效地考虑关于星辰的理论。为此,我们最后才论述星辰。有关所谓恒星天层的问题,理所当然地要先予以讨论,然后是有关所谓五颗行星的问题。我们将使用前人和我们自己的观测作为研究的前提和基础,并借助几何论证,来尽力阐明这些事物。

我们宣布天层是球形的,并且在旋转;地球也是球形的,并且位于诸天的中心,像一个几何中心一样;与恒星的大小和距离相比,地球可以看成是一个点,本身不具有任何位置运动。为了使入对此有所领悟,将扼要地一一予以说明。

“与恒星的大小和距离相比,地球可以看成是一个点”,这说明至少到希腊化晚期,希腊天文学已经对地球的形状和在宇宙中的大小有了一个非常接近真实的认识。

3. 天球层的旋转运动

这可能是古人从观测中得到的第一个概念。他们不断看到日、月、星辰总是在互相平行的圆中从东向西运动。从地平线升起慢慢达到顶部,然后开始下落,最后像堕入地面似地消失。消失一段时间后又从另一点升起,像前一天那样下落。他们还观测到升起与下落的时间和地点存在着一定的规律。

天球的概念特别是由于观测到星辰的旋转而产生的。它们围绕着同一个中心旋转。这个中心点被看成是天球的极。靠近极的星旋转时所遵循的圆较小,远处的星旋转时所遵循的圆较大。圆的大小与离开极的距离成比例,直到见不到星的距离为止。然后他们看到靠近永不没星的那些星消失的时间较短,远离永不没星的那些星消失的时间较长。消失时间的长短与离开永不没星的距离成比例。仅仅根据这些理由就足以使他们把天层的旋转看成是一个原理,并据此去理解由此产生的其他现象。而所有的现象都与其他想法相矛盾。

例如,假设恒星在直线上运动并趋于无限,那么,如何解释每一颗星每天总是从同一起点开始运动呢?既然是奔向无限,又如何返回到原处呢?为何在返回时未被观测到呢?为什么不随着逐渐变小而终于消失呢?事实上消失时看来反而变大,像是被地球表面切断似的,一个个地消失。此外,假设恒星从地面升起时被点亮,进入地面时被熄灭,这种说法则更为荒谬。因为即使我们接受下述谬论:即它们在大小、数目、距离以及时间上所表现的美妙的秩序都是胡乱地、偶然地完成的;地球的一面具有炽热的性质,另一面具有熄灭的性质;或者说在同一面,对某些民族点燃,对其他民族则熄灭等;也无法说明那些永不升落而经常可以看到的恒星。为什么那些点燃烧而又熄灭的星不为地球上各个部分上升和下落呢?为什么那些不受这种方式影响的星不为地球上各个部分高悬在天空呢?因为按照这一假设,同一些星不能只对某些民族点燃和熄灭,而永远不对另外一些民族这样做。然而显然同一些星的确只对地球上某些部分上升和下落,而对其他部分则既不上升也不下落。

总之,如果认为天层不是在球面上运动的话,不论地球位于何方,从地球到天层的任何部分都将不等,结果在每一次旋转中对同一些人来说星的大小和相互角距离都将不同,有时大一些有时小一些。但是并没有观测到这种现象。星在地平线附近似乎大一些并非由于星在接近我们。这是地球周围的水蒸气引起的错觉,正像水中的东西越深显得越大一样。

下述这些考虑也会导致球形的概念:计时的仪器除与球形天层的概念相符

外 ,与其他任何假设都不相符 ,天体的运动应当是最敏捷流畅和最少阻碍的 ,这样的轨道在所有的平面图形中是圆 ,在所有的立体图形中是球 ,此外 ,由于在周长相等的图形中 ,角越多则越大 ,因此圆是平面图形中最大的 ,球是立体图形中最大的 ,天体是物体中最大的。

再者 ,某些物理学上的考虑也会导致这种推测。例如在所有物体中以太具有最细微和最均匀的组成部分 ,由均匀的部分构成的表面必然也具有均匀的部分 ,在平面图形中只有圆具有这样的表面 ,在立体图形中只有球具有这样的表面。因为以太不是平面的而是立体的 ,所以只能是球形的。此外 ,大自然用圆形和不同质的部分建造地上可腐朽的物体 ,用球形和同质的部分建造以太中神圣的物体。因为如果后者是圆形的话 ,从地球上不同地方同时观看它们时 ,它们就不会呈现出圆形。因此有理由认为围绕它们并具有类似性质的以太也是球形的 ,又因为以太的每一部分都是均匀的 ,所以它在圆周上规则地运动。

4. 地球总的来看显然也是球形的

此段和下一段论证地球是球形的 ,都非常精彩。就是现代人也想不出更好的办法来证明这一点。但是在以后的岁月里 ,球形大地的概念似乎也没有得到很好的普及 ,甚至被人们遗忘了。将近 1 400 年后的哥伦布 ,相信地球是球形的 ,并发起探险航行 ,俨然成了英雄行为。

地球上的观测者并非同时看到日月星辰的出没 ,而是东方的居民先看到 ,西方的居民后看到。我们还发现对同一时刻发生的食现象 ,特别是月食 ,每人所记录的时刻 (即从正午算起的时间间隔)却不相同。东方的观测者记录的时刻总是比西方的观测者记录的时刻晚一些。两处见到食的时刻之差与两地间的距离成比例。因此 ,可以合乎情理地假定地球的表面是球面 ,各部分的曲率大致是一样的。

如果不是球面 ,就不会出现上述情况。例如 ,如果地球的表面是凹形的 ,西方的居民将首先看到初升的星 ;如果是平面 ,所有的人都会看到星辰在一起同时出没 ;如果是三角形的、四边形的或者任何其他多边形的 ,所有的观测者都会看到星辰在同一条直线上同时出现。但实际上这些现象都没有观测到。地球也并非像有些人所认为的那样是圆柱形的。侧面朝向星的出没 ,底面朝向宇宙的极。因为这样的话人们将永远见不到有一些星永不下落。所有的人都将见到所有的星有升有落 ,所有的人

都将见不到与两极等距离的那些星。然而事实上我们越向北极前进,北天的星越增加,南天的星越减少。因此,很明显,地球上各部分的曲率是相同的,地球是一个球体。此外当我们在大海中朝向高山或高地航行时,不论从哪个方向去看,它们的体积都在渐渐地增加,像是从海里升起来似的,而在此以前,由于水面的曲率,它们好像是沉浸在海水中似的。

5. 地球位于诸天的中心

现在把问题从地球的形状转移到地球的位置上。观测到的事实只有假定地球位于诸天的中心(如同位于球的中心一样),才能得到解释。如果地球不位于诸天的中心,那么它或者与两极等距但不在轴上;或者在轴上但与两极不等距;或者既不在轴上又与两极不等距。

首先来证明第一个假定是不正确的。如果假定地球不位于轴上,就地球的某些部分^①而言,地球或者位于轴上或者位于轴下。这些部分,在直立球^②的情况下,由于地平面将天空分成两个不等的部分,因此永远不会有昼夜平分的时候。就地球的其他部分而言,天空是倾斜的。由于地平面没有把天赤道(绕极旋转的最大平行圈)平分成两半,而是地平面之上或者地平面之下的一条平行圈将天赤道平分成两半,因此,或者没有春分点,或者春分点不在夏至点和冬至点的中间。然而尽人皆知从春分到夏至最长的那一天,与从春分到冬至最短的那一天的时间间隔是相等的。此外,由于假定地球不在轴上,致使地球的某些部分偏东或偏西,结果对这些部分而言恒星的大小和角距在东西地平线上既不相等也不相同。而且从星出现到中天的时间与从中天到沉没的时间也不一样。显然,这些与日常所见现象相反。

再看第二个假定,即地球位于轴上但偏向一极。那么在各个纬度上地平面将把天空分成两个不相等的部分,两部分的差异程度视纬度与地球偏离中心的情况而定。只有对直立球来说,地平面才能平分天空。在倾斜球的情况下地球的中心越偏向北极,地平面以上的天空部分越小,地平面以下的天空部分越大,结果还使通过黄道带中心的大圆不被地平面所平分。但事实绝非如此,十二宫中的六个宫经常出现在地平面上,其他六宫则看不见,而当后者全部出现时,前六宫却看不见。这表明地平面平分黄道。

① 指地球的赤道部分。——原校者

② 观测者如位于赤道上,周日平行圈将垂直于地平线。这时的天球叫直立球。如果地球的中心位于轴上,则地平面平分周日平行圈。在地球的其他部分,周日平行圈与地平线倾斜,这时观测者所见的天球叫倾斜球。——原校者

此外,如果地球不位于天赤道上而偏于南北任一极,那么,在春分或秋分日出时圭表的影子与日落时的影子将不在一条直线上。但所见到的情况均与此相反。由此可以立即证明第三个假定也是错误的,因为前面两个假定中的矛盾也在这里出现。

总之,如果地球不位于宇宙中心,那么所观察到的昼夜消长规律将发生混乱。此外,由于当日月正好相反时地球并非常常位于它们的中间,因此当日月相冲时不会经常发生月食。

6. 相对于天空来讲地球是一个点

从地球上各个部分同时观看星的大小和距离,似乎都是相等的和相似的。从不同纬度上观看同一些星并没有发现有丝毫差异。可见比起延伸到所谓的恒星天层的距离来说,地球不过像一个点一样。此外,安置在地球上任何部分的圭表和浑仪中心,对于观测日影和星空的旋转来说就像安置在地球的真正中心一样,即与安置在地球的真正中心时所观测到的现象完全一致。

另一个表明地球与天层距离相比不过是一个点的证据是地平面总是精确地将天球一分为二。如果地球与它到天层的距离相比有一定的大小,那么,只有经过地球中心的平面才能精确地平分天球。经过地球表面任何其他部分所画的平面,都将使地球下面的天球部分大于地球上面的天球部分。

7. 地球没有任何位置变化

已经证明地球既不能偏离它的倾斜方向,也不能离开它的中心位置。此外,当看到所有重物都趋向地球的时候,再去追问趋向中心的原因在我看来似乎就是多余的了。理解此事的唯一捷径是一旦证明就整体来说地球是一个球体并且位于宇宙的中心,正像以前所说的那样,那么重物运动的趋势(我指的是它们本身的固有运动)是时时处处都垂直于落体与地球表面接触点的切面。由于经过球心的直线总垂直于该直线与球面交点的切面,所以很明显,如果重物不是受到地面的阻挡,它们一定会到达中心。

那些认为像地球这样重的一个物体能够既不摇晃也不运动是一件怪事的人乃是被自身的经验引入歧途。他们没有从整体出发来考虑问题。我相信,如果他们停下来想一想地球的大小与它周围的一切相比几乎可以看成是一个点的话,他就

不会觉得这件事太不寻常了。他们就会认为地球这个相对的极小由于受到宇宙这个绝对的极大的均匀作用而被支撑和固定在空间是可能的。对于地球而言,宇宙并无上下之分,正如球面无上下之分一样。至于宇宙中的混合物,则根据其特性和固有运动,^①轻盈细微的东西向外飘散,并且向上飞腾(我们称从我们头上向宇宙包面^②去的方向为“上”);凝重粗糙的东西向地心运动,并且向下降落(我们称从我们脚下向宇宙中心去的方向为“下”)。由于相似的阻力和相互的碰撞,它们会适时地在中途停止。因此,地球也可以考虑为这些下落的物体中最大的一个物体,由于受到像是受它吸引的这些物体的力的作用而保持不动。如果地球具有类似那些小物体的运动,由于它的巨大体积,它将远远地把它甩到后面。于是动物及其他小物体将会停留在半空中,而地球将会很快地从天空中坠出去。只要想一想这些事情就会觉得他们荒谬可笑。

还有一些人,他们虽然对这些论据没有什么反对理由,并且认为很合情合理,但是认为下述假定也是无瑕可指的,即天空是静止的,地球每天从西向东绕轴旋转一周,或者地球和天空都在绕同一轴旋转,前者被后者一次又一次地超过。

的确,如果只考虑到星辰的话,这个简单的设想似乎很有道理。不过,他们忽略了以下这件事,即从围绕我们大气中所发生的事情来看这个设想就显得荒谬可笑了。因为,为了使我们接受这些不自然的概念,即那些轻盈精微的物体或者根本不动或者与那些性质相反的物体毫无区别(而大气中那些不太轻盈和不太精微的物体却比地上的物体显然迅速得多);那些最沉重和最致密的物体快速而规则地运动(而地上的这类物体却的确难于搬动)——为了使我们接受这些概念,他们不得不承认地球比它周围所有的物体都转动得更快。由于它在如此短促的时间内进行一次如此巨大的旋转,从而使所有不呆在地上的物体都具有一种相反的运动。再也不会看到一朵云彩向东飘浮,也不会看到其他东西在空中飞翔或被掷向天空。因为地球在其向东的运动中总会超过它们,使它们看来是在向西运动。

从托勒密所引述的他不同意的观点中,我们看到他那个时代已经有了精致的地动观点——用地球的自转来解释天体的周日视运动。

在当时来说,假设地球自转而带来的好处远远多于不便。当时已经很正确地估算出了地球的周长,这么大的一个球体一天转动一圈,意味着地球表面的线速度是非常巨大的,诸如云彩等飘浮物如何能大致静止在空中呢?这个难题要到伽利略相对性原理提出后才能解决。

① 和亚里士多德一样,托勒密将运动分为天然运动和强力运动两类。对混合物(指由月球层下面的物质组成的可生可灭的物体)而言,天然运动指的是不受阻力的非强迫运动,强力运动指的是强迫运动或干扰运动。托勒密称混合物的天然运动为固有运动。对单纯物(指天体)而言,只有天然运动,即规则的圆周运动,没有强力运动。——原校者

② 托勒密认为宇宙有一个外壳,故有宇宙包面的提法。——原校者

如果他们说大气也被带着以相同的速度和方向旋转,那么大气中所包含的物体看来仍然被地球和大气两者所超过。如果说这些物体和大气结成一体进行旋转,这样一来,虽然不存在超过或被超过的问题,但是这些物体将永远保持其相对位置而不动,并且无论是飞行体或是抛射体都不存在运动和变化。然而我们清楚地看到所有这些物体都在运动,其运动的快或慢似乎丝毫不受地球运动的影响。

8. 天层中有两种不同的基本运动

这些假设对以后的详细探讨是必要的。它们最终还要由符合观测的推论来建立和证实。因此在这里扼要地叙述一下也就够了。除了已经提出的假设以外,还需假定天层中有两种不同的基本运动。一种是所有物体以同一方式同一速率围绕规则旋转球的极沿着相互平行的圈从东向西的运动。最大的平行圈叫赤道,因为只有它总是被地平圈(地球上另一个大圆)所平分,并且因为每当太阳围绕着它运转时即出现昼夜等长。另一种是恒星天层围绕与第一种运转不同的极沿着与上述运动相反的方向旋转的运动。我们之所以这样假定,是因为每天都看到所有的天体都沿着显然与赤道平行的轨道上升、中天和下落(这是第一种运动的特征),以后又继续观测到所有恒星看来都保持着它们相互之间的角距离,以及它们在第一种运动中的位置特点,然而太阳、月亮和行星的运动相当复杂且彼此不同,它们都与第一种运动恰好相反,以与恒星运动相反的方向向东运转。

行星的这种运动如果是在赤道的平行圈里围绕第一种运动的极进行的话,只要假定它们是在进行与第一种运动相一致的运动就足够了。行星的运动仅仅是落后的结果而已,并非是一种相反的运动。然而行星在向东运动时,与极有一定的偏差,而且此偏差的大小彼此并不相同。这种变化似乎是由于特殊的作用引起的。这种运动从极和赤道来看显得不规则,从与赤道倾斜的另一个大圆来看却是规则的,所以可以认为这样的一个大圆本来就是行星的共同轨道。实际上,这正是太阳作周年运动的大圆,也可以说是月亮和行星作周年运动的大圆。月亮和行星总是在这个大圆的附近,虽有偏离但不会超过规定的距离并受制于一定的规则。它看来是一个大圆,还由于太阳在赤道南北的摆动,以及所有行星(像我们说过的那样)的东向运动发生在一个和同一个大圆上。因此有必要假定一个与一般运动不同的第二种运动,即围绕这个倾斜的大圆(黄道)的极,与第一种运动方向相反的运动。

考虑一个通过上述两个圆的极的大圆。这个大圆必然将两者——赤道和与赤道倾斜的大圆——中的每一个圆垂直平分为二。于是在倾斜圆或黄道上就出现四

个点。与赤道相交的两个遥遥相对的点叫分点,从南向北的那个分点叫春分点,相反的那个点叫秋分点。与通过黄道或赤道的极的那个大圆相交的两个遥遥相对的点叫至点,其中在赤道以南的那个交点叫冬至点,以北的那个点叫夏至点。

于是第一种运动可以定义为通过黄道、赤道之极的大圆带领所有天体围绕赤道之极从东向西的运动。通过赤道两极的大圆叫子午圈,通常子午圈并不总是经过黄极,但一定得垂直地平面。子午圈平分地球之上和地球之下的两半个天球,提供正午和子夜的时间。由多种运动组成的第二种运动包含在第一种运动里,它驱使所有行星围绕黄道的极作反向运动。黄道的极位于影响第一种运动的圆上,即位于经过黄道和赤道的四个极的圆上,黄道的极当然也随着这个圆一起运动,因而进行着与第二种基本运动相反的运动,从而使黄道相对于赤道经常保持同一位置。

关于天体运动假说的要释

选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。黄一勤译。

导读

哥白尼(Nicolas Copernicus, 1473—1543)于1473年2月19日诞生于波兰托伦的一个富商之家。十岁丧父后,由其一位兼任主教的叔父抚养。其后多年在波兰的文化中心克拉科夫学习数学和绘画。1496年起哥白尼到意大利游历,十年内先后在波洛尼亚、帕多瓦和斐拉拉等三所大学里攻读医学和宗教法规。在波洛尼亚期间,哥白尼与该校天文学教授迪·诺瓦拉(de Novara)有密切的接触,后者正是在自然哲学中复兴毕达哥拉斯思想的领袖。

当时的意大利是欧洲文艺复兴的中心,学者们向古希腊的遗产汲取思想的源泉,并在自由的氛围里对诸多现存的僵化学说和制度提出批评和挑战。在天文学上,托勒密的学说就是这样一种被批评的对象,人们讨论它的错误和改进它的可能性。

为了更准确地描述和预测行星的运动,托勒密的后继者们引入了越来越多的本轮,其体系的复杂程度大大背离了毕达哥拉斯派的柏拉图主义所追求的数学上的简单和完美性。哥白尼在思想上倾向于毕达哥拉斯派,认为天体应该有简单完美的运动,也应该有简单完美的数学描述。在哥白尼看来,托勒密体系在这一点上不能算合格。所以他想到如果宇宙的中心是太阳而不是地球,那么对天体运行的理解和描述就可能会简单得多。

1505年哥白尼返回波兰,任弗洛姆布克天主教堂的教士。在繁杂的行政事务工作之余,他开始思考如何把宇宙中心移到太阳上去。从1512年起他开始在新假说基础上推算行星的位置。1530年左右哥白尼将他的学说写成概论,以手稿的形式在欧洲学者间广泛流传。后又在数学家雷梯库斯(Rheticus, 1514—1574)的强烈要求下,哥白尼同意出版他的全书,敬献给罗马教皇保罗三世。传说第一本书送到哥白尼手里几小时之后,他就与世长辞了。

该书的初版被冠以《托伦的尼古拉·哥白尼论天体运行轨道》(共六册)这样一个名称,后来一般简称为《天体运行论》。哥白尼学说的革新内容主要在《天体运行论》的第一册中得到描述。在这内容丰富的第一册中哥白尼描绘了他的宇宙图景:太阳位于宇宙的中心,水星、金星、地球带着月亮、火星、木星和土星依次绕太阳运行,最外围是静止的恒星天层。根据这幅宇宙图像,哥白尼可以很简洁地解释行星视运动中的“留”、“逆行”等现象,以及水星和金星的大距。而在托勒密体系中,为了解释同样的现象,需要引入许多特设的假定,从而破坏理论的简洁性和完整性。

哥白尼声称他的宇宙体系比托勒密体系优越,是因为他的体系更简单和完美。这点在《天体运行论》的第一册中得到了淋漓尽致的体现,第二册到第六册中的论述却在简单和完美性方面打了折扣。哥白尼共引入34个本轮来推算行星的运动,这比托勒密体系最多时的80个本轮少多了,但是推算工作仍不简单。或许我们对哥白尼声称的其学说的简单性可以这样来理解:只有在对行星运动进行定性描述时,它才是简洁的、和谐的。

毋庸讳言,哥白尼从托勒密那里获益匪浅,他从《天大论》中得到了许多观测数据和几何方法,以及编制星表的资料。有些问题的处理完全因袭《天大论》。哥白尼比托勒密还接近古希腊的天文学家和哲学家,他坚持用匀速圆周运动这种天体所应有的“完美运动”来描述行星的运动。以至于当代一些学者评论说,《天体运行论》与其说是在解释宇宙,还不如说是在解释托勒密。

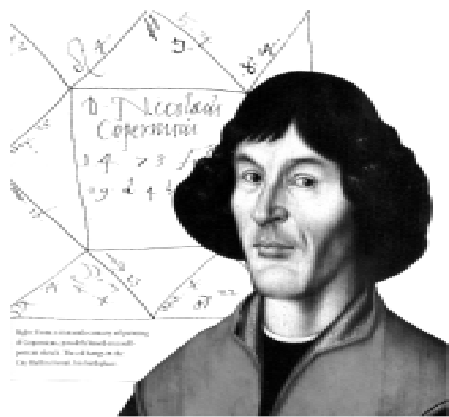
《天体运行论》初版的序言称该书只是提供了一种解释行星运动的数学方法。这篇序言不是出自哥白尼原意,而是监督该书出版的路德派教士奥西安德擅自加入的。把哥白尼体系看成一种数学模型,还是一种宇宙的真实图景,这将直接影响教会对《天体运行论》的态度。《天体运行论》出版之后,有少数数学家接受了哥白尼的学说,而一些著名学者如弗朗西斯·培根等则明确表示反对地动说。因此哥白尼学说的影响还很有限,并未构成对纳入经院学派的托勒密学说的冲击。并且按照当时的物理学和天文学知识还无法理解地球在运动这一事实,哥白尼学说遭受着各种“合理”的责难。如果地球在绕太阳运动,那么应该可以观测到恒星的位置有一个周年的变化,上抛的物体不该掉到原地,地球有被瓦解的危险,等等。对这些问题的解答,确实要等到物理学和天文学进一步发展之后。

伽利略的许多物理学和天文学发现都直接驳斥了亚里士多德派的物理学和托勒密的天文学,从而对哥白尼学说形成有力的支持。因此当伽利略满腔热忱地宣传哥白尼学说时,亚里士多德派占多数的学术界便催促教会采取措施,

在 1616 年禁止了伽利略说话 ,并由红衣主教柏拉明宣布哥白尼学说是“错谬的和完全违背圣经的”,《天体运行论》在未改正之前不许发行,哥白尼学说则可以当作一个数学假说来讲授。

然而科学界对哥白尼学说的接受不必理会教庭的裁决,也不必等到证明地球是在绕日运动的直接证据的发现。伽利略、开普勒、笛卡尔和牛顿都是如此,正是这些科学大师的信奉和宣传,才确立了哥白尼学说的科学地位。事实上 1822 年教庭正式裁定太阳是行星系的中心的时候,直接证明地球在绕太阳运动的证据并没有被发现。直到 1835 年白塞尔用精密的仪器发现了天鹅座 61 的周年视差之后,^①日心地动说对恒星周年视差的预言才得到观测证实。

从科学史的角度来看,地动说的想法不是哥白尼的独创。因为在古希腊天文学体系当中,并不是所有的体系都是“地心系”的。萨摩斯的阿利斯塔克(Aristarchus,约公元前 310—前 230)在综合毕达哥拉斯和赫拉克雷迪斯的一些观点的基础上,就提出过一个日心宇宙体系。然而在托勒密体系被吸收为教会的正统理论并在欧洲占统治地位长达千余年后,哥白尼再提出一个地动的学说,确实需要非凡的见识和勇气。并且,与古代希腊粗糙的日心学说相比,哥白尼构造了一个公理化的精致的日心体系,该体系给出的新颖预言,如金星相位变化、恒星周年视差等,一一得到了观测证实。



哥白尼

我们的祖先设想了许多天层,我认为是在保持均匀性原理的条件下解释星体的视运动。在他们看来,既然天体是正圆球体,如果他们并不随时作匀速运动,那就太荒唐了。可是他们认为下述情况是可能的,就是一个星体的几种规则运动迭合在一起,在某一位置上看来,是在作不均匀的运动。

卡利普斯和欧多克斯力图用同心圆解决这个问题,并用它们来解释行星运动的各种特点,但他们没有达到这一目的。因为这些特点不仅与恒星的视旋转有关,

而且,据我们看来,行星有时候升到天空高处,有时候又降低,显然这用同心圆理论无论如何是解释不通的。因此认为,用偏心圆和本轮来解释这个问题的说法比较好。

^① 详见本书《天鹅座 61 的视差》一文。

最后,托勒密用这种办法的天文学家在不同地方关于这一问题的理论,虽然与数值计算相符,但也吸引了不少疑问。的确,这种理论是不充足的,只有设想有一些称为等效圆的圆圈,它才能成立。那么其结果是,天体既不是沿着载运它的轨道,也不绕着它自身的中心在作等速运动。因此,这样的理论,既不够完善,也不完全合理。

我注意到了这一点,于是就常常想,能不能找到这些圆的一种更合理的组合,用它可以解释一切明显的不均匀性,并且如同完美运动原理所要求的,每个运动本身都是均匀的。当我致力于这个无疑是很困难的而且几乎是无法解决的课题之后,我终于想到了只要能符合某些我们称之为公理的要求,就可以用比以前少的天球和更简便的组合来做到这一点。这些要求按下列次序排列:

第一条:所有的天体轨道或天球不存在一个共同的中心。

第二条:地球的中心不是宇宙的中心,而是重力中心和月球轨道中心。

第三条:所有的天体都绕太阳旋转。太阳俨然是在一切的中央,于是宇宙的中心是在太阳附近。

第四条:日地距离和天穹高度的比小于地球半径和日地距离的比。因此,与天穹高度比起来,日地距离就微不足道了。

第五条:天穹上显现出的任何运动,不是天穹本身产生的,而是由于地球的运动。正是地球带着周围的物质绕其不动的极点作周日运动,而天穹和最高的天球始终是不动的。

第六条:我们看到的太阳的各种运动,不是它本身所固有的,而属于地球和其所在天球。就像任何别的行星一样,地球和其所在天球一起绕着太阳运动,这样,地球就具有几种运动了。

第七条:行星的视顺行和逆行不是它们在运动,而是由于地球在运动。因此,只要用地球运动这一点就足以解释天上见到的许多种不均匀性了。

从这些前提出发,我力求简短地阐明,怎样才能完全有系统地保存运动的均匀性。然而,为简明起见,我认为在这里必须省去数学论证,因为它们适合于篇幅更大的著作中。但是,在论述这些圆时,我们将指明轨道半径的长度。从这些长度,每一个数学方面的行家很容易看出,这些圆的这种组合与数值计算以及

托勒密的理论在哥白尼看来是不完善的,主要是因为托勒密体系中“天体既不是沿着载运它的轨道,也不绕着它自身的中心作等速运动”,也就是说,托勒密的理论并没有严格符合“天体应该作匀速圆周运动”这一古希腊原则。

哥白尼也极力把他的学说构建成一个公理体系,以下提出的七条是他的日心体系的推理前提,即公理。

观测结果符合得多么好。

哥白尼在这里强调了
他的日心体系与古希腊人曾经主张的地动说是不同的。所谓不同应该在于,古代的地动说只是一种思想,哥白尼的日心说建立在一个精致的数学模型的基础上。

所以大家不要认为,我们是和毕达哥拉斯学派一样草率地主张地球运动说,在我关于圆的论述里人们会找到严格的论证。由于自然哲学家想要建立地球不动说的那些主要论据,大部分是根据表面现象得出的,所以如果我们也根据表面现象认为地球在运动,那么所有这些论据立即就瓦解了。

论天球的序列

天球按下列次序互相环绕。最高的是恒星的天球,这个天球本身是不动的,它包含和容纳一切;在它下面是土星,接着是木星,再往下是火星;火星下面就是地球在它上面转动的天球;然后是金星,最后是水星。月亮的天球绕着地球旋转,并像一个本轮那样随着地球运动。按照上述的次序,行星转动的速度一个超过一个,这是由它们运行的圆周的大小而决定的。

这样,土星每30年运转一周,木星是12年,火星是3年,地球转到原来位置要整整一年,金星转一周是9个月,而水星是3个月。

论太阳的视运动

地球有三种运动,一种是顺着黄道十二宫的次序,每年沿着大圆绕太阳转动一周。在相同的时间内,它总是描绘出相等的弧,但是这个圆的中心不在太阳中心,它和太阳中心的距离是它自身半径的 $\frac{1}{25}$ 。既然这个圆的半径与天穹高度比起来是微不足道的,因此我们看上去是太阳在转动,而地球好像是处在宇宙的中心。但是这种现象应当说不是由于太阳的运动,而是由于地球的运动产生的,例如,当地球在摩羯座的时候,看上去太阳则在正对着直径的巨蟹宫,余类推。太阳的这种运动看上去是不均匀的,而随着太阳与轨道中心的距离变化,这在前面已经谈过了。由于这一原因,造成的最大偏差达 $2\frac{1}{6}$ 度。太阳偏离轨道中心,其方向对着天穹上的一点,这一点总是在双子座头部最

亮的那颗星的西面约 10 度处。所以当地球正对着这一位置 ,而轨道中心又处在它们之间时 ,我们看上去太阳处于最高点。不仅地球在这个轨道上运转 ,一切位于月亮天球之内的东西也和地球一起运动。

地球的第二种运动是它的周日运动。这是它最独特的运动 ,就是绕着它的两个极 ,顺着十二宫的次序 ,自西向东运动。由于这种运动 ,看上去整个宇宙好像在以令人头晕的速度旋转着。当然 ,地球是和环绕着它的水圈以及紧紧包围着它的大气一起旋转的。

第三种是赤纬的运动。实际上周日运动的轴与大圆的轴不平行 ,而是对它倾斜成一个角度 ,它目前大约是 23 度半。因此 ,虽然地球中心总是在黄道面上 ,即在大圆轨道的圆周上 ,地球的两极却绕着与大圆轴线等距离的中心点绘出两个小的圆周。这个运动的周期大约为一年 ,与大圆上的运动差不多相同。然而大圆的轴总是对天穹保持不变的位置 ,并指向所谓的黄极两极。如果赤纬运动和大圆运动的周期正好完全相等 ,那么两种运动合在一起 ,就会使周日运动的两极永远固定地指向天空上的两点。经过长时期观察 ,现已证实地球对于天穹的这种方位在改变着 ,所以很多人认为天穹本身有几种运动 ,对这些运动的规律人们尚未充分了解。

利用地球的可动性来加以解释 ,这一切都不足为奇了。至于两极向何处靠拢——这不是我要谈的问题。我在地面上看见 ,带磁的铁条总是指着同一方向。但是我认为 ,最好还是假定这一切都是借助于某一个球体才产生的。这个球的运动引起两极的移动 ,而这个球无疑应当位于月亮下面。

论运动的均匀性不应对二分点 , 而应对恒星决定

由于二分点和宇宙的其他一些基点的位置变化相当大 ,所以谁要是想用它们来确定周年转动的平均周期 ,那是会大失所望的。各个不同时代的大量观测表明 ,这个平均周期是不一样的。喜帕恰斯求得这一时间间隔等于 $365 \frac{1}{4}$ 天 ,而迦勒底人阿尔·巴塔尼测出 ,这样的一年是 365 天 5 小时 46 分钟 ,也就是说比托勒密测定的结果短了 $13 \frac{3}{5}$ 分钟或 $13 \frac{1}{3}$ 分钟。塞维利亚天文学家又把它增加了一小时的二十分之一 ,认为一个回归年等于 365 天 5 小时 49 分钟。

这个差额不能认为是由于观测误差引起的。这可以用下列情况来说明 :任何人只要多注意一点细节 ,那么他就会发现 ,这个差额永远与两分点的变化相适应。实际上 ,如果宇宙的基点像托勒密时代所发现的那样 ,每一百年移动一度 ,那么 ,这

时一年的长度恰好同托勒密所求得的一样。在他以后的几个世纪里,这些点移动较快,而逆行较慢,于是一年缩短的时间,正是基点移动延长的时间。实际上,随着这些点的反向速度的增加,周年运动的终点就会早一些来到。所以,如果能确定周年运动对于恒星的平均值,就能得到比较正确的结果。我们这样做了,对于室女座角宿一我们求得,一年永远等于 365 天加 $6\frac{1}{6}$ 小时左右,这与古代埃及的测定结果一致。在确定天体的其他运动时,也应当采用这种方法。它们的拱点,根据天穹确定的运动规律,甚至天空本身都证实了这一点。

论月亮

月亮除了上述周年运转外,就我们看起来还有四种运动。实际上,它在载运它的轨道上,按黄道十二宫顺序方向,绕着地球中心作周月转动。这个轨道带有本轮——这称为第一不均匀本轮或幅度本轮(我们称之为第一本轮或大本轮),还有与之相连的第二周年本轮。在其自身圆周上部与均轮运动相反的方向上运动时,第一本轮在略少于一个月的时间内转动若干次。月亮在上述的第二本轮上,每月旋转两周,其方向与第一本轮运动的方向相反,因此当较大本轮的中心位于从大圆中心穿过地球中心的直线(我们称它为大圆的直径)上时,这时月亮离较大本轮的中心最近,这个现象发生在新月和满月附近。相反,在它们中间的两个方照时,它将离上述中心较远。较大本轮半径的长度,是载运它的均轮半径的十分之一再加这一份的十八分之一,而它又是较小本轮的 $4\frac{3}{4}$ 倍。

作这样运动的月亮比下坠或升起时看起来有时快一些,有时慢一些。第二本轮的运动给这种第一不均匀现象增加了双重变化。实际上,它使月亮脱离了较大本轮圆周上的均匀运动;在相应长度或直径的圆周上,这种不均匀性最大可达 $12\frac{1}{4}$ 度,此外,它有时接近较大本轮,有时又离开它较远,距离等于较小本轮半径的长度。正是由于这种原因,月亮在较大本轮中心的周围走出大小不等的圆周,于是第一种不均匀性就会有多种不同的变化。由此得出,在与太阳相合和相冲时,这种不均匀性的最大值不超过 4 度 56 分,而在两个方照则可达到 6 度 36 分。谁要是认为这一切可以通过偏心圆得到,那么他就会犯两个明显的错误。至于按自身圆周运动的不均匀性的不合理,就更不必说了。

实际上,由数学计算得出,在两个方照,当月亮位于自己本轮的下面一部分时,它看上去应当比新月和满月(如果整个月亮都明亮的话)时差不多大三倍;在相反

的情况下,就会轻率地认为月亮增大或者缩小了。正因为如此,由于地球的大小与它到月亮的距离比起来是足够大的,于是,在两个方照视差位移应该增大很多。但是谁如果更仔细地研究这个问题,谁就会明白,这两个数量在两个方照与在满月或在新月时几乎是一样的。因此未必能够怀疑我们上述推论是比较正确的。

月亮作圆周运动时的这三种经度运动是和纬度移动有关的。两个本轮的轴平行于均轮的轴。由于这个原因,月亮对它的轨道面就不会有任何偏离。然而上述均轮的轴偏离大圆的轴,或黄道的轴,因此月亮就将离开黄道面。这个轴偏离的数量相当于圆周上5度的角。均轮的两极以与本轮轴相等的距离作圆周运动,这与前面谈到的赤纬运动的情况大致相同。然而在这种情况下,运动与黄道十二宫的顺序相反并且慢得多,因此运转一周需要十几年。很多人认为,这一运动是由较高层的天球产生的,并且两极似乎是粘在这个天球上运动的。看来,这就是月亮运动所具有的机理。

论三颗外行星——土星、木星和火星

土星、木星和火星的运动形式是相似的,因为它们的轨道都在上述周年大圆之内,并按十二宫顺序方向,围绕着它们这个共同的大圆的中心旋转。但是土星在轨道上运转一周需30年,木星为12年,而火星为29个月,因此轨道的增大好像在降低它们运动的速度。如果将大圆半径分为25等分,那么火星轨道的半径即为这种等分的38份,木星为 $130\frac{1}{5}$ 份,土星为 $230\frac{1}{6}$ 份。从轨道中心到第一本轮中心的距离,我称之为半径。

每一颗行星有两个本轮,其中一个带动另一个,这和上面对月亮所谈情况是一样的,只是运动的规律不同。第一本轮运动的方向与均轮相反,旋转的周数与它相等,而另一个本轮使天体运转,其方向与第一个相反,并且旋转周数为它的两倍。因此,当它离均轮中心的距离最远时,或者相反,即离它最近时,行星比较接近第一本轮的中心,而当第二本轮处在两个中介点,即在两个方照时,行星离上述中心最远。所以,在这种均轮与本轮运动相结合并且它们的周数相等的情况下,就会有这种现象,即行星这种离开和接近的位置永远和它们在天空的一定的点相符。然后它们处处按照固定的规律运动,并且它们的拱点是不变的,亦即土星位于人马座肘部的恒星附近,木星在称为狮子座尾端的那颗恒星后面8度处,而火星在狮子座心脏前面6度半的地方。

本轮大小是这样的。如果取大圆的半径为25等分,则土星第一本轮的半径等于

这种等分的 $19\frac{41}{60}$ 份,而第二本轮的半径为 $6\frac{34}{60}$ 份;同样,木星的第一本轮的半径等于 $10\frac{6}{60}$ 份,而第二本轮的半径为 $3\frac{22}{60}$ 份;火星的第一本轮半径等于 $5\frac{34}{60}$ 份,第二本轮的半径为 $1\frac{51}{60}$ 份。因此,第一本轮半径在任何情况下都比第二本轮半径大两倍。

我们决定将本轮运动加上均轮运动的不均匀性称为第一不均匀性。如上所述,它在天穹的任何地方都明确保持固定的极限。除此以外,还有一个不均匀性,它表现为天体有时会逆行,有时看来甚至是停止不动的。这种不均匀性不是由天体的运动引起的,而是由于地球在大圆上相对位置的变化所引起的。实际上,地球的速度超过行星,于是赶上它的运动,这是因为指向天穹的视线好像是正对着天体移动的。当地球离天体最近(也就是说,天体在傍晚升起时,地球位于太阳和天体之间)的时候,这种效应就最大。与此相反,在夕落和晨升的时间附近,地球是迎面运动,视线的运动就更快。在视线有运动的那些地方,由于运动速度相同,我们看上去天体是不动的,因为相反的运动互相抵消。这种情况通常发生在太阳和行星之间的距离为正三角形的一个边时。

天体运动的轨道越低,这些行星的这种不均匀性也就越明显。因此土星的这种现象比木星的小。而与此相反,按大圆半径和它们轨道半径之比,火星的这种现象最大。当视线与大圆的圆周相切并看到天体时,天体的这种不均匀性最大。上述三个天体就是这样围绕着我们运动的。

它们还产生双重的纬度偏离。因为本轮的圆周始终与它们的均轮在同一平面上,所以它们与黄道的偏离是由它们的轴与黄道轴的倾角决定。只是这些轴不像月亮那样描出完整的圆圈,而是始终固定地指向天空的同样区域。因此,均轮和本轮两个圆的交会处(它们称为交点)在天空的位置是不变的。例如,土星的交点在双子座头部东方恒星后面 8 度半的地方,土星在这里开始向北升起;木星——在同一颗恒星前面 4 度处;而火星——在超过昴星团 6 度半处。当行星位于这些交点,以及正相反的点时,它就根本没有纬度。它在方照的最大纬度,对于上述交点来说是大不相同的。实际上,当地球最靠近行星时,也就是在天体夕升时,轴和圆的倾角好像挂在上述交点上,并将增大成极大值。在这些位置上,土星轴的倾角等于 $2\frac{2}{3}$ 度,木星为 $1\frac{2}{3}$ 度,火星为 $1\frac{5}{6}$ 度。相反,在夕落和晨升前后,地球距离最远,土星和木星的这种倾角就减小 $\frac{1}{5}$ 度,而火星—— $1\frac{2}{3}$ 度。在纬度最大时,这种不均匀性最明显。对于每一颗行星,它越靠近交点,这种不均匀性就越小,并与纬度同时增大和减小。

视纬度还由于地球沿大圆的运动而变化,因为视纬度的交点会增大或相应

减小临近或离开的距离,这是数学理论所要求的。这种天平动出现在直线上。但是,可以使这种运动由两个圆合成。由于这两个圆是同心圆,它们中的一个能推动另一个绕着偏离的极点运动,并且下面的圆以两倍的速度向与上面的圆相反的一边运动,同时还转动形成本轮的圆的两极。这两个极离开直接在上方的圆的两极的距离,与后者离最上面的圆的两极的距离一样。

关于土星、木星和火星以及绕地球的天球,谈这些已足够了。

论金星

我们还要研究大圆内所包含的行星(也就是金星和水星)的运动。金星的圆的体系很像外行星的圆的体系,只是它运动的次序不同。它的大本轮的轨道作同样的旋转,每转一周要9个月,这在上边已经讲过了。在这个合成的运动中,小本轮返回原来的位置,始终保持相对于天穹的一定的位置。在这种情况下,上拱点所在的点便是我们说过的太阳改变其视运动的那个点。较小本轮的运动与第一本轮的两个圆不同,它保持这种对大圆运动的不均匀性。实际上,在大圆运动一周的时间内,它运动两周。也就是说,当地球达到通过拱点的直径时,天体离大本轮的中心最近,而在两个方照在地球的横向位置上,它就离得最远。这大致就像月亮的较小本轮对于太阳的那种运动。大圆半径与金星的均轮之比等于25比18。取较大本轮为一份的四分之三,则小本轮为四分之一。

有时金星看上去还有逆行,这主要在它最接近地球的时候。这与外行星大致相似,只是情况相反。对外行星来说,这出现在地球运动占优势的时候,而在这种情况下,地球运动被超过。在前一种情况下,地球轨道被包含在外行星轨道之内;而在这里地球轨道包含了金星轨道。因此金星任何时候不会与太阳相冲,因为地球不可能出现在它们之间。但是在离太阳的两个一定的距离上,即相当于由地球中心所作的直线与轨道圆周的两个切点的距离处,金星改变运动方向。它与我们的视线的夹角,绝不会超过48度。金星的经度旋转运动的要点就是这些。

纬度的改变也是由两个原因产生的。金星的轨道轴倾斜

在哥白尼体系下解释金星的视运动特别是金星的大距就非常自然了,这是托勒密体系所做不到的。

2.5 度 ,而它的交点 (由此开始向北运动)在自己的拱点上。但是由这种倾斜所产生的移动 ,就我们看来有两种 ,虽然实质上只有一种。当地球进入金星的某一个交点而出现的向上和向下的横向移动 ,叫作反射移动。而当地球在离交点的距离为圆周的四分之一时 ,则轨道的自然倾角成为视倾角 ,它们称为赤纬。在其他任何位置上 ,两种纬度结合在一起 ,它们当中一个超过另一个。这时由于一致或不一致 ,它们有时相加 ,有时相减。

轴的倾角情况如下。轴线在摆动 ,但不像外行星那样靠近交点线 ,而是靠近另外一些可移动的点摆动。这些点绕行星旋转一周的时间为一年。当地球位于金星拱点对面时 ,摆动的偏离最大 ,不论行星本身在自己轨道的哪一段都是如此。因此 ,当行星位于拱点或与它正相对的点时 ,虽然这时它是在交点上 ,也不会完全没有纬度。

当地球离开这个位置不到圆周的四分之一时 ,从这里开始偏离将减小。由于两种运动相同 ,最大偏差点离行星的距离正好使这一偏差一点儿也不存在了。然后偏差的摆动继续下去 ,起点由北向南移 ,但是由于它离行星的距离与地球离开拱点的距离相同 ,行星移动到轨道上原来是南边的那一段 ,即现在 ,按照对立性规律 ,成为北边的那一段。这样一直到它在旋转一周的时间内不再到达摆动的最高点时为止 ,而在该点偏差再次成为极大并同时等于最初的值。这以后它按同样方式进行其余半圈的运动。因此 ,行星的这一纬度永远不会成为南边的 ;它的这种变化通常叫作偏差。用轴线斜交的两个同心圆可以作出这种运动 ,并且我们谈到过的有关外行星的运动 ,也与这种情况相符。

论水星

水星的运动在天上是最奇妙的。它运行的路线勉强能观测到 ,因此监测它很不容易。除此以外 ,发生困难的原因还由于它大部分时间是在太阳光照射下看不见的情况下运动 ,而能对它进行观测的时间只有几天。然而 ,只要稍微用一点技巧 ,它毕竟还是可以捕捉到的。

它和金星一样 ,也有两个相应的绕着它的均轮运动的本轮。较大的本轮 ,也和金星的一样 ,与均轮旋转的时间相同。它的拱点在室女座角宿一的后面 14.5 度的地方。而较小本轮则向相反的方向旋转两周 ,转动次数多一倍。因此 ,不论地球在什么位置上 ,无论是在本轮的拱点或者是在正相对的点 ,行星都离大本轮的中心最远 ,而在圆周的四分之一距离上则离大本轮中心最近。

我们说过 ,水星的均轮返回初始位置需要三个月 ,应当说是 88 天。我们取大圆的半径为 25 份 ,则均轮的半径为 $9\frac{2}{5}$ 份。第一本轮为这样的 $1\frac{41}{60}$ 份 ,而第二本

轮要小三分之二,也就是说大约为 $\frac{34}{60}$ 份。但是在这种情况下,圆的系统不像对别的行星那样是足够的。实际上,当地球通过拱点的上述位置时,看上去水星移动的距离比上述两圆之间的对比关系所要求的小得多;与此相反,在拱点之间的象限内则大得多。但是既然由于这种原因对纬度没有发现任何不均匀性,那么可以假设,这是由于行星在某种程度上靠近或离开均轮中心而产生的。这也可以用两个其轴线平行于均轮轴的小圆作出来。但应假定大本轮或整个本轮系统的中心位于离它直接包含的小圆的中心的某种距离上,而这个距离等于小圆中心与外圆中心的距离。已经得出这个距离等于我们用来测量所有圆球结构的上述那 25 份中一份的 $\frac{14.5}{60}$ 。还求出,外圆在一个回归年的时间内旋转两周,而内圆以两倍的速度向相反的方向运动,在这段时间内旋转四周。由于上述运动的叠加,较大本轮的中心沿直线运动,完全像我们前面说的纬度的摆动那样。

利用地球对于拱点的上述位置中的这种结构,大本轮中心离均轮中心最近,而在四分之一圆周的距离上则最远。在中间位置上,即在离上述位置 45 度处,大本轮中心与外圆中心吻合,于是两个圆周成为一个。这种接近或离开的数量,已经求得为上述那种单位的 $\frac{29}{60}$ 。水星的经度运动就是这样。

至于水星的纬度运动,则与金星完全相同,只是情况相反。正是金星在北时,水星却在南。它的均轮偏离黄道的角度为 7 度。它的偏差始终在南边,从不超过四分之三度。但是,关于金星纬度所讲的一切在这里都适用,就不必重复了。

所以,水星靠 7 个圆周运动,金星为 5 个,地球为 3 个,而在它周围的月亮为 4 个;最后,火星、木星、土星各为 5 个圆。因此,宇宙共有 34 个圆,用这些圆就足以解释整个宇宙的结构和行星的一切运动了。

哥白尼体系用到了 34 个圆,比托勒密体系所用的圆少了约一半,但是具体推算起来,还是需要数学基础和耐心的。

爱因斯坦

相对论的基本思想和问题

选自《诺贝尔奖获得者演讲集·物理学》第一卷，
宋玉升等译，科学出版社，1985年。

导读

1905年爱因斯坦在《德国物理学年鉴》上发表的五篇论文中有一篇是关于光电效应的。在这篇文章中爱因斯坦发展了普朗克五年前提出的量子论，首次提出光量子的概念。在两个月后的第二篇论文中，爱因斯坦给出了布朗运动的数学分析。根据爱因斯坦的布朗运动方程，可以求出分子的大小和构成分子的原子的大小，这使得道尔顿提出原子论一百多年来人们首次可以得出原子大小的可靠数值。这一年对以后世界影响最大的一篇论文是《论动体的电动力学》，这也就是后来被称为狭义相对论的第一篇论文。到1915年，爱因斯坦又把相对论的思想引入引力场和加速系统，提出了广义相对论，在物理学领域发动了更加深刻的革命。

那段时间的爱因斯坦就像一位孤独的永不停息的探险者，很少有人能接近他的步伐。当人们刚刚靠近他、理解他时，他又远远地走在前面了。社会对彻底的革命者的容纳程度确实有一定的限度，但是爱因斯坦显然已经成为物理学界不可忽略的人物，他获得一次诺贝尔奖是当之无愧的。诺贝尔奖委员会决定把1921年度的物理学奖授予爱因斯坦。^①

瑞典皇家科学院诺贝尔物理学奖委员会主席阿雷纽斯在颁奖致辞中总结了爱因斯坦的主要物理学工作，其中提到了爱因斯坦三方面的主要工作，该主席先生在对爱因斯坦三方面工作按照怎样的先后次序进行介绍时，颇费了一番苦心。他在第一项就提到爱因斯坦影响最大的相对论工作，但所用的篇幅很短，措辞也是很不肯定的。他把相对论说成是“从根本上说是与认识论有关的”，“著名的哲学家柏格森（Bergson）在巴黎批评了这个理论”，并且“天体物

^① 该年度的诺贝尔物理学奖获奖者名单是在1922年11月9日公布的。

理学界也对此理论持怀疑态度,因为相关结论目前正在受到严格的检验”。^①

接着稍稍提到爱因斯坦的第二项工作即对布朗运动的数学分析,然后剩下的超过三分之二的致辞篇幅介绍了爱因斯坦的光量子理论。阿雷纽斯强调说:“爱因斯坦第三方面的研究是关于普朗克在1900年所创立的量子理论的研究,他特别是为此项研究才获得诺贝尔奖。”

爱因斯坦没有出席授奖仪式,理由据说是去瑞典的路途太遥远。现在的诺贝尔奖获得者演讲集中收录的是爱因斯坦提交给哥德堡北欧自然科学家会议的报告《相对论的基本思想和问题》,其中没有提到光量子理论。历史已经纠正了人们对他贡献重点的评价,显然爱因斯坦更以相对论而名垂青史。

1905年爱因斯坦在《论动体的电动力学》一文中指出:

企图证实地球相对于“光媒质”运动的实验的失败,引起了这样一种猜想:绝对静止这概念,不仅在力学中,而且在电动力学中也不符合现象的特性,倒是应当认为,凡是对力学方程适用的一切坐标系,对于上述电动力学和光学的定律也一样适用,对于第一级微量来说,这是已经证明了的。我们要把这个猜想提升为公设,并且还要引进另一条在表面上看来同它不相容的公设:光在虚空空间里总是以一确定的速度传播着,这速度与发射体的运动状态无关。由这两条公设,根据静体的麦克斯韦理论,就足以得到一个简单而不自相矛盾的动体电动力学。“以太”的引用将被证明是多余的,因为按照这里所要阐明的见解,即不需要引进一个具有特殊性质的“绝对静止空间”,也不需要给发生电磁过程的空虚空间中的每个点规定一个速度矢量。

以上这一段话提出了狭义相对论的两条基本原理:一切物理定律在所有惯性系中是等价的,光在真空中的传播速度为一常数 c ,与光源和观测者的运动状态无关。抛弃了被认为是充满空间的以太和绝对的时空观。狭义相对论得出了一系列理论结果,如运动时钟延迟、运动物体长度收缩、质能等价关系等,得到了实验的有力支持。

爱因斯坦曾经说过,即使他没有来到这个世上,狭义相对论也会出现,因为时机已经成熟,但广义相对论则不然。所以广义相对论是与爱因斯坦的天才紧密联系在一起的。到1915年,爱因斯坦发表了比较完整的广义相对论理论,这

^① 《诺贝尔奖获得者演讲集·物理学》第一卷,宋玉升等译,科学出版社,1985年,第420页。

个理论的建立基于三个主要问题的处理：引力、等效原理、几何学和物理学的关系。理论的核心就是新的引力场定律和引力场方程。在广义相对论中，爱因斯坦把相对性原理从匀速运动系统推广到加速运动系统，提出惯性质量同引力质量的等效性，也就是把加速系统视为同引力场等效。在他的场方程中把包括加速系统的空间几何结构和引力场视为一体，成为几何的结果。广义相对论所用的几何是非欧几何的黎曼几何。

广义相对论提出了三项可供检验的预言：水星近日点异常进动、光线在太阳引力场中的偏转和引力场中光谱线的红移。除了水星近日点异常进动类似于对已知现象作出解释外，其余两项预言的验证经历了曲折、漫长的过程。

在爱因斯坦提交本书选取的《相对论的基本思想和问题》这篇报告的1923年，相对论的思想，尤其是广义相对论的思想还没有被广泛接受，所以该报告可以看作爱因斯坦为捍卫和普及自己的理论所做的一次努力，也是他对自己给物理学所作出的贡献重点的一次强调。该文作为爱因斯坦本人在那个年代对相对论思想的表述和理解，又是一篇很珍贵的文献。

当我们考虑相对论中今天在某种意义上可认为是可靠的那部分科学知识的时候，我们可以看到在这个理论中起主导作用两个方面：第一，这个理论的整个发展过程是依据这样一个问题：自然界中是否存在着物理学上特别优越的运动状态（物理学的相对性问题）；第二，概念和判断只有当它们同观察到的事实相比较而无分歧时才是可接受的（要求概念和判断是有意义的）。这个认识论的先决条件是根本性的。

如果把这两个方面应用于特定的场合，譬如应用于经典力学，那么问题就可澄清。首先我们看到，在物质占有的任何一点上都存在一个特别优越的运动状态即物质在被观测点上的运动状态。然而我们所讨论的问题是由下面这样一个问题引起的，即对于“广延”的区域来说是否存在物理学上特别优越的运动状态。从经典力学的观点，回答当然是肯定的，因为物理学上特别优越的运动状态从力学观点来说就是惯性系的运动状态。

这种表述，如同在相对论以前的全部力学原理通常表述的

爱因斯坦在这里先提出的两个认识论的先决条件，是很深刻的，也是很高明的。如果读者同意他下文对这两点的阐释，那么也就得接受他的相对论基本思想。

一样,远不能满足上面指出的“概念和判断要有意义”这个要求。运动只能理解为物体的相对运动。在力学中一般在讲到运动时总是指相对于坐标系的运动。如果坐标系被看作是一种纯粹想象的东西,那么这种解释就不符合“概念和判断要有意义”这个要求。如果我们把话题转到实验物理学上,我们知道坐标系总是用“实际刚体”来表示,而且还假设此刚体要像欧几里得几何中的物体一样,相对于另一物体是静止的。当我们把这个刚体看作是一个可被体验的客体时,“坐标系”概念以及物质相对于坐标系运动的概念,从“概念和判断要有意义”这个要求来说,它们都是可接受的。按照这种理解,欧几里得几何也符合物理学的要求。欧几里得几何究竟是否正确这个问题在物理学上变得重要了,因为它的正确性在经典物理学以及后来在狭义相对论中都是假定的。

在经典力学中,惯性系和时间是用惯性定律的相应公式一起明确地定义的。可以这样来定义时间和坐标系(惯性系)的运动状态:不受力的质点没有加速度,时间在用结构相同而处于任意运动状态的时钟(周期性系统)来量度时,结果都应一致。这样就存在着无限多个相互之间作匀速直线运动的惯性系,因而也就存在着无限多个物理学上特别优越的相互等效的运动状态。时间是绝对的,也就是说,它与具体的惯性系的选取无关。时间可以用比逻辑上所需要的还要多的特征来确定。然而就像在力学中那样,这不应当同实验发生矛盾。过去已经注意到,从“概念和判断要有意义”这个要求来说,这种解释在逻辑上的弱点是没有一种实验标准来确定质点是否受力,因此惯性系的概念在某种程度上仍然是有问题的。对于这种缺陷的分析导致了广义相对论。现在我们暂时先不讲它。

在力学原理的推论中起着基本作用的是绝对刚体的概念(以及时钟的概念)。但是,对这个概念有理由提出异议。在自然界中绝对刚体只能是近似的,而且还不是可以任意作的近似。因此这个概念并不严格地满足“概念和判断要有意义”这个要求。此外,把全部的物理学研究建立在绝对刚体(或说固体)的概念上,然后又用基本的物理学定律在原子论上再重新建立刚体的概念,而基本的物理学定律又是用绝对刚体的概念建立起来的,这在逻辑上是不正确的。我之所以指出这种方法论上的缺欠,是因为这种缺欠也同样地存在于我在这里所概述的相对论中。如果我们把“概念和判断要有意义”这个要求用于这些初始的物理学定律,最后建立一个同经验世界无分歧的关系式来代替那种即使对于一个故意隔离的部分(空间-时间度规)也不完善的形式,这在逻辑上更为合理些。然而我们还没有充分认识大自然的基本规律,以致不能够提出一个更加完善的方法来解脱我们的困境。在我们讨论的最后部分将会看到,在近来的许多研究工作中已出现了一种趋势,即以列维-西维塔(Levi-Civita)、韦尔(Weyl)、爱丁顿(Eddington)的思想为基础提出逻辑上更为正确的方法。

从上面所述可以清楚地看出,“特别优越的运动状态”指的是什么。这种运动状态是在自然规律的表达形式上要特别优越。对于这种运动状态的坐标系,其特点在于用这些坐标系表述的自然规律具有最简单的形式。根据经典力学,惯性系的运动状态是物理上特别优越的运动状态。经典力学允许划分出(绝对的)非加速运动和加速运动。此外,在经典力学中,速度只是相对的(它取决于惯性系的选取),而加速度和转动是绝对的(同惯性系的选取无关)。这种情况我们可以这样来表述:根据经典力学,“速度的相对性”是存在的,但是不存在“加速度的相对性”。作了这些解释之后,我们就可以转到我们的论题——相对论——上来,说明它在原理上的发展过程。

狭义相对论在于使物理学原理适应麦克斯韦-洛伦兹的电动力学。根据早期的物理学,狭义相对论采用了“欧几里得几何对于确定绝对刚体的空间位置是正确的”这个假设,并采用了惯性系和惯性定律。为了用公式表述自然规律,“各惯性系都等效”这个基本条件被看作是对于整个物理学都是正确的(狭义相对性原理)。从麦克斯韦-洛伦兹电动力学出发,狭义相对论又采用了真空中光速不变定律(光速不变原理)。

为了使狭义相对性原理同光速不变原理相协调,必须放弃适用于一切惯性系的绝对时间这个假设。这样一来我们也就是放弃了这样一个假设:用适当方式校准了的以任意方式运动的许多全同时钟,其中的任何两个在相遇时的读数都互相一致。对每个惯性系都确定一个特定的时间,而惯性系的运动状态和时间就按照“概念和判断要有意义”这个要求,由满足光速不变原理的条件来确定。如此定义的惯性系和惯性定律,对于这些坐标系的有效性都是假定的。每个惯性系的时间用一些相对于这个惯性系是静止的全同时钟来量度。

利用这些定义和相互之间没有矛盾的假设,明确地建立了空间坐标和时间从一个惯性系变换到另一个惯性系的变换定律,即所谓的洛伦兹变换。它的直接的物理意义在于:我们使用的这个惯性系的运动对于绝对刚体的形状(洛伦兹收缩)和时钟的快慢产生了影响。按照狭义相对性原理,大自然的规律对于洛伦兹变换应当是协变的,因此,这个理论给出了一般自然规律应当满足的标准。具体地说,这个理论将使关于质点运动的牛

洛伦兹变换本来是用来挽救以太、挽救经典物理学的,但这个变换的数学形式在狭义相对论中仍旧适用。

顿定律发生改变,在新的定律中,真空中的光速是极限速度,并且它把能量和惯性质量的性质统一起来。

狭义相对论获得了巨大的成功。它使力学和电动力学协调起来,它减少了电动力学中逻辑上互不相关的假说。它对基本概念作了不可缺少的方法论上的阐述。它把动量守恒律和能量守恒律联系起来,论证了质量和能量的统一。但是它还不能完全令人满意,更不必说还有量子论的问题。迄今为止的所有理论都不能解决这些问题。同经典力学一样,狭义相对论在对待所有的运动状态时,总是偏向一些运动状态——惯性系运动状态。老实说,这种情况比起对单一运动状态给予特殊对待——例如光学的以太理论——更难于接受,因为后者至少还有它的理由——光以太。我们说,更为令人满意的理论应当是不区分任何特殊的运动状态。此外,在惯性系的定义中或惯性定律的表式中存在的不精确性也引起人们的疑问,而且这些疑问非常重要,因为存在着惯性质量同引力质量相等这个经验原理。这将在下面的讨论中表明。

设 K 是没有引力场的惯性系, K' 是相对于 K 有等加速的坐标系。质点相对于坐标系 K' 的运动状态就像 K' 是一个有均匀引力场的惯性系一样。根据引力场的已知性质,这样定义惯性系是不合适的。结论只能是:以任意方式运动的任一参考系与其他任意参考系在表示自然规律方面是等效的,就是说,在有限的尺度内一般不存在物理学上特别优越的运动状态(广义相对论)。

要使这种概念建立起来,还需要对几何运动学原理进行比对狭义相对论更为深刻的修改。从狭义相对论得出的洛伦兹收缩将会导致这样一个结论:对于相对某一惯性系 K (没有引力场)作任意运动的坐标系 K' 来说,欧几里得几何定律不适用于描述刚体的位置(相对于 K' 是静止的)。因此,从“概念和判断要有意义”这个要求来说,笛卡尔坐标系也失去了意义。对于时间也是如此。对于 K' 来说,时间不能再用相对于 K' 是静止的全同时钟来确定,也不能用光的传播定律来确定。总之,我们得出这样一个结论:引力场和度规只是同一个物理场的不同表现形式。

我们可以这样来考虑场的表述形式:在一个任意的引力场中,对于每个无穷小的点域可以规定一个没有引力场的局部坐标系。在这种惯性系的意义上我们可以认为,对于无穷小的点

狭义相对论提出后马上被运用于对物质结构的解释等方面,在具体应用和基本理论层面都取得了巨大的成功。但是爱因斯坦看到了狭义相对论的严重不足之处。作为理论提出者,爱因斯坦的心情可以用“知子莫如父”和“望子成龙”这两个成语来描述。其他物理学家只是用狭义相对论来解决他们的具体问题,而爱因斯坦却是要建立一个关照整个物理学整体的无瑕疵的基本理论,所以他又提出了下面描述的广义相对论。

域来说,狭义相对论的结果在一级近似上是成立的。在每个时间-空间点上有无限多个这种局部惯性系,它们之间由洛伦兹变换联系起来。洛伦兹变换的性质就是,它使无限接近的两个点事件的“间隔” ds 保持不变。 ds 由下面的方程定义:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2。$$

这个间隔可以用尺和时钟来量度。 x, y, z, t 是对于某局部惯性系测量的坐标和时间。

为了表述有限的时间-空间区域,需要用四维坐标以四个数字 x_1, x_2, x_3, x_4 单值地表示每个时间-空间点,并且考虑四维流形的连续性(高斯坐标)。这样,广义相对性原理的数学表式就是:表述普遍自然规律的方程组对于所有的坐标系都是相同的。

局部惯性系的坐标微分可用高斯坐标系的微分 dx 线性地表示,此时两个事件的间隔 ds 可用下面的形式来表示:

$ds^2 = \sum g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$ ($g_{\mu\nu} = g_{\nu\mu}$) $g_{\mu\nu}$ 是 x_ν 的连续函数,它决定四维流形的度规。 ds 被定义为可用刚性的尺和时钟量度的参数值(绝对值)。参数 $g_{\mu\nu}$ 在高斯坐标系中也同样描述引力场。我们已发现,引力场同度规的物理原因是等同的。狭义相对论适用于有限区域的原因在于:适当选取坐标系时 $g_{\mu\nu}$ 在有限区域内同 x_ν 无关。

按照广义相对论,纯引力场中的质点运动定律要用短程线方程来表示。实际上,短程线是数学上最简单的曲线,在 $g_{\mu\nu}$ 为常数的特殊情况下是直线。因此,我们在这里面临的问题是把伽利略惯性定律转换到广义相对论。

场方程的建立,在数学上就是确定引力势 $g_{\mu\nu}$ 所遵从的最简单的广义协变微分方程。根据定义,这些方程不应包含 $g_{\mu\nu}$ 对 x_ν 的高于二阶的导数,并且导数只是线性的。考虑到这个条件,这些方程就是牛顿引力理论的泊松场方程向广义相对论作逻辑转换的结果。

上述这些思想导致建立了把牛顿理论作为一级近似包含在内的引力理论,它可以计算出同观测结果相符合的水星轨道的进动、光线在太阳引力场中的偏转和光谱线的红移^①。

为了使广义相对论的基础趋于完善,还必须在这个理论中引进电磁场。根据我们现在的观念,它也应当是用来构成物质的基本材料。麦克斯韦场方程可以毫无困难地用于广义相对论中。如果假设这些方程不包含 $g_{\mu\nu}$ 的高于一阶的导数,并且是以通常的麦克斯韦的形式用于局部惯性系中,那么这种转换完全是单值的,用麦克斯韦方程表述的电磁项来补充引力场方程也不困难。这样,它们就包括了电磁场的引力作用。

当时对光线在太阳引力场中偏转的验证其实也不十分可靠。详见《根据1919年5月29日的日全食观测测定太阳引力场中光线的弯曲》一文导读。

① 关于“红移”,同观测结果的相符程度尚不十分可靠。

这些场方程不是一种物质理论。因此,为了在理论中引进作为场源的有重物质的作用,必须(如同在经典物理学中那样)在理论中引进物质作为近似的现象学表示。

相对性原理的直接结果不限于这些。现在我讲一下有关理论发展的一些问题。牛顿曾意识到,惯性定律有一个方面是不令人满意的。这就是相对于其他所有的运动状态来说,物理学为什么要把惯性系的运动状态放在特殊位置的真正原因没有表达出来。这就把可观察到的物体看成是质点引力作用的原因,但对质点的惯性却没有说明物质原因而只有设想的原因(绝对空间或惯性以太)。虽然这在逻辑上并非不允许,然而它不能令人满意。由于这个理由,马赫(Mach)曾要求对惯性定律进行这样的修改:惯性应该理解为物体之间的加速运动的阻力,而与“空间”无关。这种解释的结果是:一个被加速的物体应当能够给予别的物体以同样的加速作用(感应加速作用)。根据广义相对论,这种解释似乎很有道理,因为它消除了惯性作用和引力作用之间的差别。这种解释的要求是: $g_{\mu\nu}$ 场应当完全由物质来决定,摆脱了由于坐标的自由选择而带来的任意性。在广义相对论中,马赫的要求之所以受到重视,还因为根据引力场方程,感应加速作用确实是存在的,尽管它是很弱的作用,以致用力学实验不可能直接发现它。

如果把宇宙看作是有限和封闭的,那么马赫的要求在广义相对论中是可以满足的。这个假设还有可能导致这样一个假设:在有限的宇宙中,物质的平均密度是有限的,而在无限的空间中(准欧几里得的),它应变为零。然而不能不指出,为了满足马赫的假设,必须对场方程引进一个无任何实验依据的项,而方程的这一项在逻辑上又不由方程的其他项所决定。因此,这种“宇宙论的问题”的解决方法尚不能认为是完全令人满意的。

第二个问题,也是当前引起极大兴趣的课题,是引力场和电磁场的统一性问题。存在着两个性质完全互不相关的场,这种情况不符合统一理论的思想。现在已经出现了一种尝试,即在数学上建立一个统一场论。在这个理论中,引力场和电磁场只能被看作是同一个场的两个不同分量或两种不同的表现形式。场方程不应再由逻辑上互不相关的项所组成。

引力理论,在数学形式上即黎曼几何学,它的一般形式应当

爱因斯坦的广义相对论使得宇宙论问题成为物理学问题。但爱因斯坦认识到的宇宙还是静态的,为了维持这个静态的宇宙,爱因斯坦引入了一个无任何实验依据的项,后来观测证据证明宇宙是在膨胀的,他引入这个项是一生最大的错误。但是最近的观测似乎又暗示确实有这么一个宇宙项,只不过一切还未确定论一致、简单,这是物理学家对理论的要求,某种意义上也是推动科学进步的动力,但这种要求似乎只是出于直觉和偏爱,并无多少逻辑上的依据。

包括电磁场定律。可惜的是,在这方面我们还不能像建立引力理论那样有实验事实的基础(惯性质量同引力质量相等),我们只能提出尚不能摆脱任意性的数学简化判据。以列维-西维塔、韦尔和爱丁顿的思想为基础,用更普遍的仿射联络理论来代替黎曼度规几何,这是目前最成功的工作。

黎曼几何的独特假设是:两个无限接近的点可以用 ds “间隔”表示,它的平方是坐标微分的二次齐次函数。由此可以得出结论说,(除某些现实性条件外)欧几里得几何在任意无穷小区域都成立。因此,在某一点 P 上的每一个线元(或矢量),可用一任意给定的无限接近的点 P' 的与之平行且相等的线元(或矢量)来表示(仿射联络)。黎曼度规确定了仿射联络。反之,如果数学上给定了仿射联络(无限小的平行变换定律),那么在一般情况下不需要能导出仿射联络的黎曼度规定义。

黎曼几何的最主要的概念是“空间弯曲”,引力方程是以它为基础的。如果在一个连续统中给定仿射联络,而不是一开始就建立在度规的基础上,那么就得到了黎曼几何的推广,但它仍保留着已导出的最重要的参量。在得出仿射联络所遵从的最简单的微分方程的时候,我们完全有希望把引力方程推广到把电磁场规律也包括进来。这种希望确实是有可能实现的,尽管我们还没有任何新的物理关系式来说明这样得到的关系式是否真的能看作是对物理学的一个充实。在我看来,特别是场论,当它允许把带电基本粒子表述成不含奇点的解的时候,它才能认为是令人满意的。

最后请不要忘记,关于电的基本结构的理论不应当同量子论问题割裂开来。对于这个最深刻的现代物理学问题,相对论暂时还显得无能为力。不管怎样,即使将来有一天由于量子论问题得到解决,使一般方程的形式有了进一步的深刻变化,哪怕是完全改变了我们用来描述基本过程的量,相对性原理也不会被放弃,用它推导出的定律也将作为极限定律而保留着它的重要意义。

海森伯

量子论的哥本哈根解释

选自《物理学和哲学：现代科学中的革命》第三章，海森伯著，
范岱年译，商务印书馆，1981年。

导读

海森伯 (Werner Heisenberg, 1901—1976) 1901 年 12 月 5 日生于德国维尔茨堡 (Würzburg)，1920 年进慕尼黑大学攻读物理学，师从索末菲、维恩等著名物理学家。1922 年到 1923 年底海森伯到哥廷根大学，在玻恩、夫兰克和希尔伯特指导下攻读物理学。1923 年获得慕尼黑大学博士学位。接着到哥廷根大学做玻恩助手，第二年获得在该校授课资格。1924 到 1925 年受洛克菲勒基金会资助在哥本哈根与玻尔一起工作，1926 年被任命为哥本哈根大学物理学讲师，1927 年被任命为莱比锡大学理论物理学教授。1929 年到美国、日本和印度讲学，1941 年被任命为柏林大学物理学教授和威廉皇家物理研究所所长。二战结束时被美军俘虏送至英国。1946 年回德国重整哥廷根大学物理研究所，1948 年该所改名马克斯·普朗克物理研究所。1955 年海森伯筹划将马克斯·普朗克物理研究所迁往慕尼黑，其本人作为研究所所长一同迁居慕尼黑。1958 年受聘为慕尼黑大学物理学教授，马克斯·普朗克物理研究所改名为马克斯·普朗克物理及天体物理研究所。

海森伯在玻恩指导下从事氢原子谱线强度的研究。在研究中他意识到，我们不能总是能够确定某时刻电子在空间的位置，也不能在它的轨道上跟踪它，因此不能认为玻尔假设的类行星轨道真的存在。力学量，如位置、速度等，不应该用普通的数来表示，而要用叫作“矩阵”的数学体系表示。海森伯正是按照矩阵方程建立了他的新理论，1925 年写成了奠定量子力学基础的《关于运动学和力学关系的量子论》一文，时年 23 岁。后来玻恩和约尔丹将海森伯的量子力学发展成为矩阵力学。

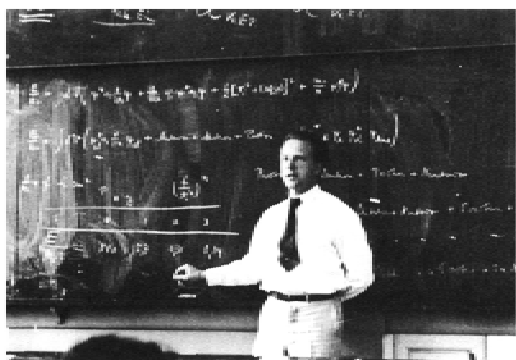
海森伯本人以及他人用他的量子力学研究了原子和分子的光谱特性，得到的结果与实验一致。海森伯用他的理论去处理两个相同原子所组成的分子时，

发现氢分子应当以两种不同的方式存在,这两种方式彼此有确定的比例,这就是氢的同素异形体的理论预言,后来被实验证实。

1927年,海森伯从量子力学的数学形式中得出了著名的测不准原理,该原理揭示:要确定运动粒子的位置和动量时必定有不确定度,两种不确定度的乘积不小于普朗克常数除以 2π 。测不准原理和玻恩的波函数几率解释一起,奠定了量子力学诠释的物理学基础。1929年,海森伯又与泡利一起为量子场论打下基础。1932年,因在建立量子力学中作出的重大贡献,他获得该年度的诺贝尔物理学奖。

本书选取的《量子论的哥本哈根解释》选自海森伯著的《物理学和哲学》第三章,在该文中海森伯阐述了物理现象的量子力学解释与经典解释的差异,指出观测者本身在观测中有不可忽略的影响。因此本文也可以看作测不准原理提出者本人对该原理的详细注释。

量子论的哥本哈根解释是从一个佯谬出发的。物理学中的任何实验,不管它是关于日常生活现象的,或是有关原子事件的,都是用经典物理学的术语来描述的。经典物理学的概念构成了我们描述实验装置和陈述实验结果的语言。我们不能也不应当用任何其他东西来代替这些概念。然而,这些概念的应用受到测不准关系的限制。当使用这些概念时,我们必须在心中牢记经典概念的这个有限的适用范围,但我们不能够也不应当企图去改进这些概念。



海森伯

为了更好地了解这个佯谬,比较一下在经典物理学和量子论中,对一个实验进行理论解释的程序是有用的。譬如,在牛顿力学中,我们要研究行星的运动,可以从测量它的位置和速度开始。只要通过观测推算出行星的一系列坐标值和动量值,就可以将观测结果翻译成数学。此后,运动方程就用来从已定时间的这些坐标和动量值

推导出晚些时候系统的坐标值或任何其他性质,这样,天文学家就能够预言系统在晚些时候的性质。例如,他能够预言月食的准确时间。

在量子论中,程序稍有不同。例如,我们可能对云室中一个电子的运动感兴趣,并且能用某种观测决定电子的初始位置和速度。但是这个测定将不是准确的;它至少包含由于测不准关系而引起的不准

确度,或许还会由于实验的困难包含更大的误差。首先正是由于这些不准确度,才容许我们将观测结果翻译成量子论的教学方案。写出的几率函数是代表进行测量时的实验状况的,其中甚至包含了测量的可能误差。

这种几率函数代表两种东西的混合物,一部分是事实,而另一部分是我们对事实的知识。就它选定初始时间的初始状况的几率为1(即完全确定)这一点说,它代表了事实:电子在被观测到的位置以被观测到的速度运动;“被观测到”意指在实验的准确度范围内被观测到。而就另一个观测者或许能够更准确地知道电子的位置这一点说,它则代表我们的知识。实验的误差并不(至少在某种程度上)代表电子的性质,而表示了我们对电子的知识的缺陷。这种知识的缺陷也是由几率函数表示的。

在经典物理学中,当在进行精细的研究时,人们同样应当考虑到观测的误差。结果,人们就得到关于坐标和速度的初始值的几率分布,因此也就得到很类似于量子力学中的几率函数的某种东西。只是量子力学中由于测不准关系而必有的测不准性,在经典物理学中是没有的。

当量子论中的几率函数已在初始时间通过观测决定了以后,人们就能够从量子论定律计算出以后任何时间的几率函数,并能由此决定一次测量给出受测量的某一特殊值的几率。例如,我们能预测以后某一时间在云室中某一给定点发现电子的几率。应当强调指出,无论如何,几率函数本身并不代表事件在时间过程中的经过。它只代表一些事件的倾向和我们对这些事件的知识。只有当满足一个主要条件时:例如作了决定系统的某种性质的新测量时,几率函数才能和实在联系起来。只有那时,几率函数才容许我们计算新测量的可能结果。而测量结果还是用经典物理学的术语叙述的。

由此可见,对一个实验进行理论解释需要有三个明显的步骤:(1)将初始实验状况转达成一个几率函数;(2)在时间过程中追踪这个几率函数;(3)关于对系统所作新测量的陈述,测量结果可以从几率函数推算出来。对于第一个步骤,满足测不准关系是一个必要的条件。第二步骤不能用经典概念的术语描述:

这里没有关于初始观测和第二次测量之间系统所发生的事情的描述。只有到第三个步骤,我们才又从“可能”转变到“现实”。

量子力学中的测不准性跟经典物理学中的测量误差是不同的概念。

让我们用个简单的理想实验来演示这样三个步骤。前面已经说过,原子是由一个原子核和环绕原子核运动的电子所组成,前面也已论述过,电子轨道的概念是可疑的。人们或许会主张,至少原则上应当能够观察到轨道中的电子。人们可以简单地通过一个分辨本领非常高的显微镜来观看原子,这样就应该能看到在轨道中运动的电子。当然,使用普通光的显微镜是不能达到这样高的分辨本领的,因为位置测量的不准确度决不能小于光的波长。但是一个用波长小于原子大小的 γ 射线的显微镜将能做到这一点。这样的显微镜尚未被制造出来,但这不应当妨碍我们讨论这个理想实验。

第一个步骤,即将观测结果转达成一个几率函数,是可能做到的吗?只有在观测后满足测不准关系时,这才是可能的。电子的位置可以观测得这样准确,其准确度随 γ 射线的波长而定。在观测前电子可以说实际上是静止的。但是在观测作用过程中,至少有一个 γ 射线的光量子必须通过显微镜,并且必须首先被电子所偏转。因此,电子也被光量子所撞击,这就改变了它的动量和速度。人们能够证明,这种变化的测不准性正好大到足以保证测不准关系的成立。因此,关于第一个步骤,没有丝毫困难。

同时,人们能够很容易理解没有观测电子环绕原子核的轨道的方法。第二个步骤在于显示一个不绕原子核运动而是离开原子的波包,因为第一个光量子已将电子从原子中打出。如果 γ 射线的波长远小于原子的大小, γ 射线的光量子的动量将远大于电子的原始动量。因此,第一个光量子足以从原子中打出电子,并且人们决不能观测到电子轨道中另外的点,因此,也就没有通常意义的轨道了。下一次观测——第三个步骤——将显示电子离开原子的路线。两次相继观测之间所发生的事情,一般是完全无法描述的。当然,人们总想这样说:在两次观测之间,电子必定要处在某些地方,因而必定也描绘出某种路线或轨道,即使不可能知道是怎样一条路线。这在经典物理学中是一个合理的推论。但是,在量子论中,我们将在后面看出,这是语言的不合理的误用。我们可以暂时不去管这个警告究竟是指我们谈论原子事件的方法还是指原子事件本身,究竟它所涉及的是认识论还是本体论。但在任何情况下,我们对原子粒子的行为作任何陈述时,措辞都必须非常小心。

实际上我们完全不需要说什么粒子。对于许多实验,说物质波却更为便利,譬如,说环绕原子核的驻立物质波就更为便利。但是,如果不注意测不准关系所给出的限制,这样一种描述将和另一种描述直接矛盾。通过这些限制,矛盾就避免了。使用“物质波”是便利的,举例说,处理原子发射的辐射时就是这样。辐射以它的频率和强度提供了原子中振荡着的电荷分布的信息,因而波动图像比粒子图像更便于真理。因此,玻尔提倡两种图像一并利用,他称它们是“互补”的。这两种图像当然是相互排斥的,因为一个东西不能同时

是一个粒子 (即限制在很小体积内的实体) 又是一个波 (即扩展到一个大空间的场), 但二者互相补充。摆弄这两种图像, 从一种图像转到另一种图像, 然后又从另一种图像转回到原来的图像, 我们最终得到了隐藏在我们的原子实验后面的奇怪的实在的正确印象。玻尔在量子论解释的好几个地方使用了“互补性”概念。关于粒子位置的知识是和关于它的速度或动量的知识互补的。如果我们以高度的准确性知道了其中一个, 我们就不能以高度的准确性知道另一个, 但为了决定系统的行为, 我们仍须两个都知道。原子事件的空间时间描述是和它们的决定论描述互补的。几率函数服从一个运动方程, 就像坐标在牛顿力学中那样, 它随时间的变化是被量子力学方程完全决定了的, 但它不容许对原子事件在空间和时间中进行描述。另一方面, 观测要求在空间和时间中对系统进行描述, 但是, 由于观测改变了我们对系统的知识, 它也就破坏了几率函数的已定的连续性。

在微观领域, 观测者进行观测这一活动对被观测者的干扰变得不可忽略了, 所以说“观测改变了我们对系统的知识”。

一般地讲, 关于同一实在的两种不同描述之间的二象性已不再是一个困难了, 因为我们已经从量子论的数学形式系统得知, 矛盾是不能产生的。两种互补图像——波和粒子——间的二象性也很清楚地表现在数学方案的灵活性中。数学形式系统通常是仿照牛顿力学中关于粒子的坐标和动量的运动方程写出的。但通过简单的变换, 就能把它改写成类似于关于普通三维物质波的波动方程。因此, 摆弄不同的互补图像的这种可能性类似于数学方案的不同变换, 它并不给量子论的哥本哈根解释带来任何困难。

然而, 当人们提出了这样一个著名的问题: “但是在原子事件中 ‘真正’ 发生了什么呢?” 这时, 了解这种解释的真正困难就产生了。前面说过, 一次观测的机构和结果总是能用经典概念的术语来陈述的。但是, 人们从一次观测推导出来的是一个几率函数, 它是把关于可能性 (或倾向) 的陈述和关于我们对事实的知识的陈述结合起来的一种数学表示式。所以我们不能够将一次观测结果完全客观化, 我们不能描述这一次和下一次观测间 “发生” 的事情。这看来就像我们已把一个主观论因素引入了这个理论, 就像我们想说: 所发生的事情依赖于我们观测它的方法, 或者依赖于我们观测它这个事实。在讨论这个主观论的问题之前, 必须完全解释清楚, 为什么当一个人试图描述两次相继进行的观测之间所发生的事情时, 他会

陷入毫无希望的困难。

为此目的,讨论下述理想实验是有好处的,我们仅沿一个小单色光源向一个带有两个小孔的黑屏辐射。孔的直径不可以比光的波长大得太多,但它们之间的距离远远大于光的波长。在屏后某个距离有一张照相底片记录了入射光。如果人们用波动图像描述这个实验,人们就会说,初始波穿过两个孔,将有次级球面波从小孔出发并互相干涉,而干涉将在照相底片上产生一个强度有变化的图样。

照相底片的变黑是一个量子过程,化学反应是由单个光量子所引起的。因此,用光量子来描述实验必定也是可能的。如果容许讨论单个光量子在它从光源发射和被照相底片吸收之间所发生的事情的话,人们就可以作出如下的推论:单个光量子能够通过第一个小孔或通过第二个小孔。如果它通过第一个小孔并在那里被散射,它在照相底片某点上被吸收的几率就不依赖于第二个孔是关着或开着。底片上的几率分布就应当同只有第一个孔开着的情况一样。如果实验重复多次,把光量子穿过第一个小孔的全部情况集中起来,底片由于这些情况而变黑的部分将对应于这个几率分布。如果只考虑通过第二个小孔的那些光量子,变黑部分将对应于从只有第二个小孔是开着的假设推导出来的几率函数。因此,整个变黑部分将正好是两种情况下变黑部分的总和,换句话说,不应该有干涉图样。但是我们知道,这是不正确的,因为这个实验必定会出现干涉图样。由此可见,说任一光量子如不通过第一个小孔就必定通过第二个小孔,这种说法是有问题的,并且会导致矛盾。这个例子清楚地表明,几率函数的概念不容许描述两次观测之间所发生的事情。任何寻求这样一种描述的企图都将导致矛盾,这必定意味着“发生”一词仅限于观测。

这确是一个非常奇怪的结果,因为它们似乎表明,观测在事件中起着决定性作用,并且实在因为我们是否观测它而有所不同。为了更清楚地表明这一点,我们必须更仔细地分析观测过程。

首先,记住这一点是重要的:在自然科学中,我们并不对包括我们自己在内的整个宇宙感到兴趣,我们只注意宇宙的某一部分,并将它作为我们研究的对象。在原子物理学中,这一部分通常是一个很小的对象,一个原子粒子或是一群这样的粒子,有时也可能要大得多——大小是无关紧要的,但是,重要的是,包括我们在内的大部分宇宙并不属于这个对象。

现在,从已经讨论过的两个步骤开始对实验作理论的解释。第一步,我们必须用经典物理学的术语来描述最后要和第一次观测相结合的实验装置,并将这种描述转译成几率函数。这个几率函数服从量子论的定律,并且它在连续的时间过程中的变化能从初始条件计算出来,这是第二步。几率函数结合了客观与主观的因素。它包含了关于可能性或较大的倾向(亚里士多德哲学中的“潜能”)的陈述,而

这些陈述是完全客观的,它们并不依赖于任何观测者;同时,它也包含了关于我们对系统的知识的陈述;这当然是主观的,因为它们对不同的观测者就可能有所不同。在理想的情形中,几率函数中的主观因素当与客观因素相比较时,实际上可以被忽略掉。这时,物理学家就称它为“纯粹情态”。

现在,当我们作第二次观测时,它的结果应当从理论预言出来;认识到这一点是十分重要的,即我们的研究对象在观测前或至少在观测的一瞬间必须和世界的另一部分相接触,这世界的另一部分就是实验装置、量尺,等等。这表示几率函数的运动方程现在包含了与测量仪器的相互作用的影响。这种影响引入一种新的测不准的因素,因为测量仪器是必须用经典物理学的术语描述的,这样一种描述包含了有关仪器的微观结构的测不准性,这是我们从热力学认识到的;然而,因为仪器又和世界的其余部分相联系,它事实上还包含了整个世界的微观结构的测不准性。从这些测不准性仅仅是用经典物理学术语描述的后果而并不依赖于任何观察者这一点说,它们可以称为客观的。而从这些测不准性涉及我们对于世界的不完全的知识这一点说,它们又可以称为主观的。

在发生了这种相互作用之后,几率函数包含了倾向这一客观因素和知识的不完整性这一主观因素,即令它以前曾经是一个“纯粹情态”,也还是如此。正是由于这个原因,观测结果一般不能准确地预料到 Z ,能够预料的只是得到某种观察结果的几率,而关于这种几率的陈述能够以重复多次的实验来加以验证。几率函数不描述一个确定事件(即不像牛顿力学中那种正常的处理方法),而是种种可能事件的整个系综,至少在观测的过程中是如此。

观测本身不连续地改变了几率函数 Z ,它从所有可能的事件中选出了实际发生的事件。因为通过观测,我们对系统的知识已经不连续地改变了,它的数学表示也经受了不连续的变化,我们称之为“量子跳变”。当一句古老的谚语“自然不作突变”被用来作为批评量子论的根据时,我们可以回答说:我们的知识无疑是能够突然地变化的,而这个事实证明使用“量子跳变”这个术语是正确的。

因此,在观测作用过程中,发生了从“可能”到“现实”的转变。如果我们想描述一个原子事件中发生了什么,我们必须认识到,“发生”一词只能应用于观测,而不能应用于两次观测之间的事态。它只适用于观测的物理行为,而不适用于观测的心理行为,而我们可以说,只有当对象与测量仪器从而也与世界的其余部分发生了相互作用时,从“可能”到“现实”的转变才会发生;它与观测者用心智来记录结果的行为是没有联系的。然而,几率函数中的不连续变化是与记录的行为一同发生的,因为正是在记录的一瞬间,我们知识的不连续变化在几率函数的不连续变化中有了它的映象。

在经典物理学中,科学家的任务并不是要动摇经典物理规律的客观性,而是指人们进行科学研究所持有的态度。

那么,我们对世界,特别是原子世界的客观描述最终能达到

什么样的程度呢？在经典物理学中，科学是从信仰开始的——或者人们应该说是从幻想开始的？——这就是相信我们能够描述世界，或者至少能够描述世界的某些部分，而丝毫不用牵涉到我们自己。这在很大程度上是实际可能做到的。我们知道伦敦这个城市存在着，不管我们看到它与否。可以说，经典物理学正是那种理想化情形，在这种理想化情形中我们能够谈论世界的某些部分，而丝毫不涉及我们自己。它的成功把对世界的客观描述引导到普遍的理想化。客观性变成评定任何科学结果的价值时的首要标准。量子论的哥本哈根解释仍然同意这种理想化吗？人们或许会说，量子论是尽可能地与这种理想化相一致的。的确，量子论并不包含真正的主观特征，它并不引进物理学家的精神作为原子事件的一部分。但是，量子论的出发点是将世界区分为“研究对象”和世界的其余部分，此外，它还从这样一个事实出发，这就是至少对于世界的其余部分，我们在我们的描述中使用的是经典概念。这种区分是任意的，并且从历史上看来，是我们的科学方法的直接后果；而经典概念的应用终究是一般人类思想方法的后果。但这已涉及我们自己，这样，我们的描述就不是完全客观的了。

在开始时已说过，量子论的哥本哈根解释是从一个佯谬开始的。它从我们用经典物理学术语描述我们的实验这样一个事实出发，同时又从这些概念并不准确地适应自然这样一个认识出发。这样两个出发点间的对立关系，是量子论的统计特性的根源。因此，不时有人建议，应当统统摒弃经典概念，并且由于用来描述实验的概念的根本变化，或许可能使人们回到对自然界作非静态的、完全客观的描述。

然而，这个建议是立足于一种误解之上的。经典物理学概念正是日常生活概念的提炼，并且是构成全部自然科学的基础的语言中的一个主要部分。在科学中，我们的实际状况正是这样的，我们确实使用了经典概念来描述实验，而量子论的问题是在这种基础上来找出实验的理论解释。讨论假如我们不是现在这样的人，我们能做些什么这样的问题，是没有用处的。在这一点上，我们必须认识到，正如冯·威扎克（von Weizsäcker）所指出的，“自然比人类更早，而人类比自然科学更早”。这两句话的前一句证明了经典物理学是具有完全客观性的典型。后一句告诉我们，为什么不能避免量子论

的佯谬,即指出了使用经典概念的必要性。

我们必须在原子事件的量子理论解释中给实际程序加上若干注释。已经说过,我们的出发点总是把世界区分为我们将进行研究的对象和世界的其余部分,并且这种区分在某种程度上是任意的。举例说吧,如果我们将测量仪器的某些部分或是整个仪器加到对象上去,并对这个重复复杂的对象应用量子论定律,在最终结果上确实不应有任何差别。能够证明,理论处理方法这样的一种改变不会改变对已定实验的预测。在数学上这是由于这样一个事实,就是对于能把普朗克常数看作是极小的量的那些现象,量子论的定律近似地等价于经典定律。但如果相信将量子理论定律对测量仪器这样应用时,能够帮助我们避免量子论中的基本佯谬,那就错了。

只有当测量仪器与世界的其余部分密切接触时,只有当在仪器和观测者之间有相互作用时,测量仪器才是名副其实的。因此,就像在第一种解释中一样,这里关于世界的微观行为的测不准性也将进入量子理论系统。如果测量仪器与世界的其余部分隔离开来,它就既不是一个测量仪器,也根本不能用经典物理学的术语来描述了。

关于这种状况,玻尔曾强调指出,对象和世界其余部分的区分不是任意的这种讲法是更为现实些。在原子物理学中,我们的研究工作的实际状况通常是这样的:我们希望了解某种现象,我们希望认识这些现象是如何从一些普遍的自然规律中推导出来的。由此可见,参与现象的一部分物质或辐射是理论处理中的当然的“对象”,并且在这方面,它们应当和用来研究现象的工具分离开来。这又使得原子事件描述中的主观因素突出出来,因为测量仪器是由观测者创造出来的,而我们必须记得,我们所观测的不是自然的本身,而是由我们用来探索问题的方法所揭示的自然。在物理学中,我们的科学工作在于用我们所掌握的语言来提出有关自然的问题,并且试图从我们随意部署的实验中得到答案。正如玻尔所表明的,这样,量子论就使我们想起一句古老的格言:当寻找生活中的和谐时,人们决不应当忘记,在生活的戏剧中,我们自己既是演员,又是观众。可以理解,在我们与自然的科学关系中,当我们必须处理只有用最精巧的工具才能深入过去的那部分自然时,我们本身的活动就变得很重要了。

彭加勒

假设不仅必要 ,而且合理

选自《智慧的灵光——世界科学名家传世精品》,
宋建林主编,改革出版社,1999年。

导读

彭加勒 (Henri Poincare ,1854—1912) ,法国数学家、物理学家、科学哲学家。1854年4月29日生于南锡。彭加勒在读中学时 ,已显示出很高的数学才能。1873年10月以第一名考入巴黎综合工科学学校 ,1875年入国立高等矿业学校学习工程 ,后任工程师。1879年获巴黎大学数学博士学位。1881年起在巴黎大学任教。1887年当选为巴黎科学院院士 ,1908年当选为法兰西学院院士。他还多次获得法国及其他国家的荣誉和奖励。

彭加勒的研究涉及了数论、代数学、几何学、拓扑学等许多领域。彭加勒对经典物理学有深入而广泛的研究 ,他在天体力学方面的工作和对三体问题的研究成果使他在1889年获得瑞典国王的奖励 ,他对狭义相对论的创立也有一定的贡献 ,是最早看出爱因斯坦相对论的意义的人之一。1881年到1886年间彭加勒发表四篇关于“微分方程所确定的积分曲线”的论文 ,创立微分方程定性理论。1892年到1899年 ,彭加勒创立了自守函数论。1895年彭加勒提出同调的概念 ,开创代数拓扑学。从1899年起彭加勒开始研究电子理论 ,最先认识到洛伦兹变换构成群。1900年彭加勒根据电磁波理论 ,暗示电磁场能量可能具有质量 ,其密度数值应为能量密度除以光速平方 ,并指出电磁振子定向发射电磁波时应受到反冲。1904年彭加勒提出电动力学的相对性原理 ,并根据观测记录认为速度不能超过光速。

彭加勒是20世纪初最著名的科学家之一 ,有人把他称作最后一个广博的数学家 ,因为他在数学的大多数分支以及天文学上都作出了第一流的创造性工作。彭加勒同时也是造诣很深的科学哲学家 ,他著有《科学与假设》、《科学与方法》、《科学之价值》等名著。彭加勒的文章包括科学论文 ,都写得文笔优美 ,以至于有人还把他称作散文家。在本书选取的短文《假设不仅必要 ,而且合

理》中，彭加勒非常深刻地剖析了“假设”在科学研究中的重要意义。

对于一个浅薄的观察者来说，科学的真理是无可怀疑的，科学的逻辑是确实可靠的，假如科学家有时犯错误，那只是由于他们弄错了科学规划。

数学的真理是用一连串无懈可击的推理从少数一目了然的命题推演出来的，这些真理不仅把它们强加于我们，而且强加于自然本身。可以说，它们支配着造物主，只容许他在比较少的几个答案中选择。因此，为数不多的实验将足以使我们知道他作出了什么选择。从每一个实验，通过一系列的数学演绎，便可推出许多结果，于是每一个实验将使我们了解宇宙之一隅。

对于世界上的许多人来说，对于获得第一批物理学概念的中学生来说，科学确实性的来源就在于此。这就是他们所理解的实验和数学的作用。100年前，许多学者就持有同样的想法，他们梦想用尽可能少的实验来构造世界。

人们略加思索，便可以察觉到假设所起的作用，数学家没有它便不能工作，更不用说实验家了。于是人们思忖、考虑所有这些建筑物是否真正牢固，是否吹一口气会使之倾倒。以这样的方式怀疑是浅薄的。怀疑一切和信仰一切二者同样是方便的答案，每一个都使我们不用思考。

不要对假设简单地加以责难，因此我们应当仔细地审查假设的作用。于是，我们将认识到，不仅假设是必要的，而且它通常也是合理的。我们也将看到，存在着几类假设：一些是可以检验的，它们一旦被实验确证后就变成富有成效的真理；另一些不会使我们误入歧途，它们对于坚定我们的思想可能是有用的；最后，其余的只是表面看来是假设，它们可划归为伪装的定义或约定。

最后的这些假设尤其在数学及其相关的科学中遇到。这些科学正是由此获得了它们的严格性，这些约定是我们精神自由活动的产物，我们的精神在这个领域内自认是无障碍的。在这里，我们的精神能够作出裁决，因为它能颁布法令；然而，我们要知道，尽管这些法令强加于我们的科学——没有它们便不可能有科学，但它们并没有强加于自然界。可是，它们是任意的吗？不，否则它们将毫无结果了。实验虽然给我们以选择的自由，但同时又指导我们辨明最方便的路径。因此，我们的法令如同一位专制而聪明的君主的法令，他要咨询国家的顾问委员会才颁布法令。

一些人受到某些科学基本原理中的可辨认出的这种自由约定的特点的冲击。他们想过分地加以推广，同时，他们忘掉了自由并非放荡不羁。他们由此走到了所谓的唯名论，他们自问道：学者是否为他本人的定义所愚弄？他所思考、他所发现的世界是否只是他本人的任性所创造？在这些条件下，科学也许是可靠的，但丧失了意义。

假若如此，科学便无能为力了。现在，我们每天看到它正是

在我们的眼皮底下起作用。如果它不能告诉我们实在的东西,情况就不会这样。可是,它能够达到的并不是像朴素的教条主义者所设想的事物本身,而只是事物之间的关系。在这些关系之外,不存在可知的实在。

这就是我们将要得出的结论,为此我们必须考察一系列学科——从算术和几何学到力学和实验物理学。

数学推理的本性是什么?它像通常想象的那样果真是演绎的吗?更进一步的分析向我们表明,情况并非如此,它在某种程度上带有归纳推理的性质,正因为这样它才非常富有成效。它还保持着某种绝对严格的特征,这是我们首先必须指出的。

现在,由于弄清楚了数学交给研究者手中的一种工具,我们再来分析另一个基本的概念,即数学量。它是在自然界中发现的呢,还是我们自己把它引入自然界的呢?而且,在后一种情况下,我们不会冒把每一事物密切结合起来的危险吗?把我们感觉到的未加工的材料和数学家称之为数学量的极其复杂、极其微妙的概念比较一下,我们便不得不承认一种差别,我们希望把每一事物强行纳入的框架原来是我们自己所构造的;但是我们并不是随意创造它的。可以说,我们是按尺寸制造的,因此我们能够使事实适应它,而不改变事实的基本东西。

我们强加给这个世界的另一个框架是空间。几何学的第一批原理从何而来?它们是通过逻辑强加给我们的吗?罗巴切夫斯基通过创立非欧几何学证明不是这样。空间是由我们的感官揭示的吗?也不是,因为我们的感官能够向我们表明的空间绝对不同于几何学家的空间。几何学来源于经验吗?进一步的讨论将向我们表明情况并非如此。因此,我们得出结论说,几何学的第一批原理只不过是约定而已;但是,这些约定不是任意的,如果迁移到另一个世界(我称其为非欧世界,而且我试图想象它),那我们就会被导致采用其他约定了。

在力学中,我们会得出类似的结论,我们能够看到,这门科学的原理尽管比较直接地以实验为基础,可是依然带有几何学公设的约定特征。迄今还是唯名论获胜;但现在我们看看真正的物理科学。在这里,舞台发生了变化;我们遇到了另一类假设,我们看到它们是富有成效的。毫无疑问,乍看起来,理论对我们来说似乎是脆弱的,而且科学史向我们证明,它们是多么短

构成欧几里得几何学基础的一些约定应该说是一定的经验基础的。人何以具有数学能力?是天生的还是后天慢慢获得的?这些还都是没有答案的问题。

科学史上出现过各种各样的理论,这些理论中都含有合理的东西。按照彭加勒的观点,这些理论中只有那些真正需要被继承的才是科学进步连贯性的保证。

命,可是它们也不会完全消灭,它们每一个总要留下某种东西。正是这种东西,我们必须设法加以清理,因为在那里,而且唯有在那里,才存在着真正的实在。

物理科学的方法建立在归纳的基础上,当一种现象初次发生的境况复现时,归纳法使我们预期这种现象会重复。一旦所有这些境况能够复现,那就可以毫无顾忌地应用这个原理;但是这是从来没有出现过的;其中有些境况总是缺少的。我们可以绝对确信它们是不重要的吗?显然不能。那也许是可能的,但不会是严格可靠的。由此可见概率概念在物理科学中起着多么重要的作用。因而,概率计算不仅仅是玩纸牌人的娱乐或向导,我们必须深究其基本原理。在这方面,我只能给出很不完善的结果,因为这种使我们辨别概率的模糊的本能太难加以分析了。

膜的新世界

2002 年 8 月霍金到北京参加世界数学家大会 ,先期到达杭州参加一个该次大会的卫星会议。本文是霍金当时在浙江大学的一次公开演讲。全文以《果壳里的宇宙》(霍金著 ,吴忠超译 ,湖南科学技术出版社 ,2002 年)第七章 “膜的新奇世界 ”为底本增删而成。

导读

物理世界里存在各自为政、互不相干的理论 ,它们有各自的适用范围。这一现象让物理学家们感到不安。科学的进程就是寻找一致性 ,寻找具有普遍解释力的统一理论的过程。牛顿的万有引力打破希腊人的天地隔阂 ,统一解释了天上与地上的力学现象 ,德布罗意的物质波统一了光的波动性和粒子性。这些进展让物理学家们感到欣慰。但是 ,大统一的进程是艰难的 ,不能被统一的理论还顽强地存在着 ,爱因斯坦曾为此度过了一个忧郁的晚年。

到目前为止 ,基本物理理论可以分成两个独立的部分 : (1) 描述微观粒子行为的标准模型 ,该理论统一了电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用 ; (2) 描述大尺度物体之间引力行为的广义相对论。试图把这两部分理论统一起来的尝试从来没有停止过 ,超弦理论就是其中的一种尝试。人们抛弃了基本粒子是点粒子的假设而代之以基本粒子是一维弦的假设 ,从而建立起超弦理论。该理论认为自然界中的各种不同粒子都是一维弦的不同振动模式。

研究发现 ,在十维空间中有五种自洽的超弦理论 ,它们分别是一个 IIA 理论、一个 IIB 理论、一个规范为 $Spin(32)/Z_2$ 的杂化弦理论、一个规范群为 $E_8 \times E_8$ 的杂化弦理论和一个规范为 $SO(32)$ 的 I 型弦理论。到 1995 年人们又得到一个比较完美的关于这五种超弦理论统一的图像 :即存在一个唯一的理论——M 理论。

超弦理论成功地解释了黑洞的熵和辐射 ,第一次从微观理论出发 ,利用统计物理和量子力学的基本原理 ,严格地导出了宏观物体黑洞的熵和辐射公式。人们在尝试将五种超弦理论和十一维超引力统一到 M 理论中去也初见成效 ,但 M 理论在提出时并没有一个严格的数学表述 ,因此寻找 M 理论的数学表述

和仔细研究 M 理论的性质就成了这一时期理论物理研究的热点。

霍金的身躯虽然被禁锢在轮椅上,但他的奔腾不息的大脑一直活跃在理论物理学的前沿。通过《膜的新世界》这篇公开演讲稿,我们可以了解霍金对 M 理论的通俗介绍。

Can you hear me? I don't know.

我想在这次演讲中描述一个激动人心的新机制,它可能改变我们关于宇宙和实在本身的观点。这个观念是说,我们可能生活在一个更大空间的膜或者面上。

膜这个字拼写为 BRANE,是由我的同事保罗·汤森为了表达薄膜在高维的推广而提出的。它和头脑是同一双关语,我怀疑他是故意这么做的。我们自以为生活在三维的空间中,也就是说我们可以用三个数来标明物体在屋子里的位置,它们可以是离开北墙五英尺,离开东墙三英尺,还比地板高两英尺,或者在大尺度下,它们可以是纬度、经度和海拔。在更大的尺度下,我们可以用三个数来指明星系中恒星的位置,那就是星系纬度、星系经度以及和星系中心的距离。和原来标明位置的三个数一样,我们可以用第四个数来标明时间。这样,我们就可以把自己描述成生活在四维时空中,在四维时空中可以用四个数来标明一个事件,其中三个是标明事件的位置,第四个是标明时间。

爱因斯坦意识到时空不是平坦的,时空中的物质和能量把它弯曲甚至翘曲,这真是他的天才之举。根据广义相对论,物体例如行星企图沿着直线穿越时空运动,但是因为时空是弯曲的,所以它们的路径似乎被一个引力场弯折了。这就像你把重物代表一个恒星放在一个橡皮膜上,重物会把橡皮膜压凹下去,而且会在恒星处弯曲。现在如果你在橡皮膜上滚动小滚珠,小滚珠代表行星,它们就围绕着恒星公转。我们已经从 GPS 系统证实了时空是弯曲的,这种导航系统装备在船只、飞机和一些轿车上。它依靠比较从几个卫星来的信号而运行。如果人们假定时空是平坦的,它将会把位置计算错。

三维空间和一维时间是我们看到的一切。那么我们为什么要相信我们不能想起不能观察到的它的额外维呢?它们仅仅是科学幻想呢,还是能够被看得到的科学后果呢?我们认真地接受额外维的原因是,虽然爱因斯坦广义相对论和我们所做的一切观测相一致,该理论预言了自身的失效。罗杰·彭罗斯和我在讨论广义相对论时预言时空在大爆炸处具有开端,在黑洞处有终结。在这些地方广义相对论失效了。这样人们就不能够预言宇宙如何开端,或者对落进黑洞的某人将会发生什么。

广义相对论在大爆炸或黑洞处失效的原因是没有考虑到物质的小尺度行为。在正常情况下,时空的弯曲是非常微小的,并

TOE 即 Theory Of Everything 的首字母缩写。

也是在相对场的尺度上,所以它没有受到短距离起伏的影响。但是在时间的开端和总结,时空就被压缩成单独的一点。为了处理这个,我们想要把非常大尺度的理论即广义相对论和小尺度的理论即量子力学相结合。这就创生了一种 TOE,也就是万物的理论,它可用来描述从开端直到终结的整个宇宙。

我们迄今已经花费了 30 年的心血来寻找这个理论,目前为止我们认为已经有了个候选者,称为 M 理论。事实上,M 理论不是一个单独的理论,而是理论的一个网络,所有的理论事物都在物理上等效,这和科学的实证主义哲学相符合。

在这哲学中,理论只不过是一个数学模型,它描述并且整理观测。(Positivist Philosophy—A theory is just a mathematical model, that describe and codifies the observations)人们不能询问一个理论是否反映现实,因为我们没有独立于理论的方法来确定什么是实在的。甚至在我们四周,被认为显然是实在的物体,从实证主义的观点看,也不过是在我们头脑中建立的一个模型,用来解释我们视觉和感觉神经的信息。当人们把贝克莱主教的“没有任何东西是实在的”见解告诉约翰逊博士时,既然他用脚尖踢到一个石头并大声吼叫,那么我也就驳斥这种见解。

但是我们也许都和一台巨大的电脑模拟连在一起,当我们发出一个马达信号去把虚拟的脚摆动到一块虚拟的石头上去,它发出一个疼痛的信号。也许我们也就是外星人玩弄的电脑游戏中的一个角色。不再开玩笑,关键在于我们能有几种不同的对于宇宙的描述,所有的这些理论都预言同样的观察。我们不能讲一种描述比另外一种描述更实在,只不过是对一种特定情形更方便而已。所以 M 理论网络中的所有理论都处于类似地位。没有一种理论可以声称比其余的更实在。

令人印象深刻的是,M 理论网络中的许多理论的时空维数具有比我们经验到的四维更高。这些额外维数是实在的吗?我必须承认我曾经对额外维持迟疑的态度。但是,M 理论网络配合得天衣无缝,并且具有这么多意想不到的对应关系,使我认为如果不去相信它,就如同上帝把化石放进岩石里,误导达尔文去发现进化论一样。

在这些网络的某些理论中,时空具有十维,而在另一些中,具有十一维。这使如下事实的又一个迹象,即时空以及它的维不是绝对的独立于理论的量,而只不过

“我们是不是活在虚拟的电脑游戏中?”霍金在这里提到这点是当作开玩笑,但实际上确实有人在比较认真地思考这个问题,他们提出了一些有关“虚拟现实”的理论,但还远远没有达到回答前面这个问题的能力。

是一个导出概念,它依赖于特殊的数学模型而定。那么对我们而言,时空是显得四维的,而在M理论是十维或者十一维的,这是怎么回事呢?为什么我们不能观察到另外的六或七维呢?

这个问题的传统的也是迄今仍被普遍接受的答案是,额外维全部被卷曲到一个小尺度的空间中,余下四维几乎是平坦的。它就像人的一根头发,如果你从远处看它,它就显得像是一维的线。但是如果你在放大镜下看它,你就看到了它的粗细,头发的的确是三维的。在时空的情形下,足够高倍数的放大镜应能揭示出弯卷的额外维数,如果它存在的话。事实上,我们可以利用大型粒子加速器产生的粒子把空间探测到非常短的距离,比如在日内瓦建造的大型强子碰撞机。至少,迄今我们还没有探测到超出四维的额外维的证据。如果这个图像是正确的,那么额外维就会被卷曲到比一厘米的一百亿亿分之一还小。

我刚才描述的是处理额外维的传统手段。它意味着我们有较大的机会探测到额外维的仅有之处是宇宙的极早期。然而最近有人提出更激进的设想,额外维中的一维或者二维尺度可以大得多,甚至可以是无限的。因为在粒子加速器中没有看到这些大的额外维,所以必须假定所有的物质粒子被局限在时空的一个膜或面上,而不能自由地通过大的额外维传播。光也必须被限制在膜上,否则的话,我们就已经探测到大的额外维,粒子之间的核力的情形也是如此。

另一方面,引力是所有形式的能量或质量之间的普适的力。它不能被限制于膜上,相反地,它要渗透到整个空间。因为引力不仅能够耗散开,而且能够大量发散到额外维中去,那么它随距离的衰减应该比电力更厉害。电力是被限制在膜上的。然而我们从行星轨道的观测得知,太阳的万有引力拉力,随着行星离开太阳越远越下降,和电力随距离减小的方式相同。

这样,如果我们的确生活在一张膜上,就必须有某种原因说明为何引力不从膜往很远处散开,而是被限制在它的附近。一种可能性是额外维在第二张影子膜上终结,第二张膜离我们生活其中的膜不远。我们看不到这张影子膜,因为光只能沿着膜旅行,而不能穿过两膜之间的空间。然而我们可以感觉到影子膜上物体的引力。可能存在影子星系、影子恒星甚至影子人,他们也许正为感受到从我们膜上的物质来的引力而大大惊讶。对我们而言,这类影子物体呈现成暗物质,那是看不见的物质。但是其引力可以被感觉到。

暗物质,是指那些用目前的观测手段无法探测到的物质。暗物质的存在,是根据某些理论推测出来的。暗物质的可能种类很多,有不发光的星际尘埃,也有反物质,等等。

事实上,我们在自身的星系中具有暗物质的证据。我们能看到的物质的总量不足以让引力把正在旋转的星系抓在一起。除非存在某种暗物质,该星系将会飞散开。类似地,我们在星系团中观测到的物质总量也不足以防止它们散开,这样又必须存在暗物质。当然,影子膜并不是暗物

质的必要条件。暗物质也许不过是某种很难观测到的物质的形式,例如 wimp (弱相互作用重粒子),或者褐矮星以及低质量恒星,后者从未热到足以使氢燃烧。

因为引力发散到我们的膜和影子膜之间的区域,在我们膜上的两个邻近物体间的万有引力随距离的下降会比电力更厉害,因为后者被局限于膜上。我们可能在实验室中,利用剑桥的卡文迪许爵士发明的仪器测量引力的短距离行为。迄今我们没有看到和电力的任何差异,这意味着膜之间距离不能超过一厘米。按照天文学的标准,这是微小的,但是和其他额外维的上限相比是巨大的。正在进行短距离下引力的新测量,用以检测“膜世界”的概念。

另一种可能性是,额外维不在第二张膜上终结,额外维是无限的,但是正如马鞍面一样被高度弯曲。莉萨朗达尔和拉曼桑德鲁姆指出,这种曲率的作用和第二张膜相当类似。一张膜上的一个物体的引力影响,将不会在额外维中发散到无限去。正如在影子膜模型中,引力场长距离的衰减正好用以解释行星轨道和引力的实验室测量,但是在短距离下引力变化的更快速。然而在朗达尔-桑德鲁姆模型和影子膜模型之中存在一个重大的差别。物体受引力影响而运动,会产生引力波。引力波是以光速通过时空传播的曲率的涟漪。正如光的电磁波,引力波也必须携带能量,这是一个在对双脉冲星观测中被证实的预言。

如果我们的确生活在具有额外维的时空中的一张膜上,膜上的物体运动产生的引力波就会向其他维传播。如果还有第二张影子膜,它们就会反射回来,并且被束缚在两张膜之间。另一方面,如果只有单独的一张膜,而额外维无限延伸,就像朗达尔-桑德鲁姆模型中那样,引力波会全部逃逸,从我们的膜世界把能量带走。这似乎违背了一个基本物理原则,即能量守恒定律。它是讲总能量维持不变。然而,只是因为我们对所发生事件的观点被限制在膜上,所以就显得定律被违反了。一个能看到额外维的天使就知道能量是常数,只不过更多的能量被发散出去。

只有短的引力波才能从膜逃逸,而仅有大量的短引力波的源似乎来自于黑洞。膜上的黑洞会延伸成在额外维中的黑洞。如果黑洞很小,它就几乎是圆的,也就是说它向额外维延伸的长度就和在膜上的尺度一样。另一方

面,膜上的巨大黑洞将会延伸成“黑饼”。它被限制在膜的邻近,它在额外维中的厚度比在膜上的宽度小得多。

若干年以前,我发现了黑洞不是完全黑的:它们会发射出所有种类的粒子和辐射,它们就如热体一样。粒子和像光这样的辐射会沿着膜发射,因为物质和电力被限制在膜上。然而,黑洞也辐射引力波,这些引力波不被限制在膜上,也向额外维中传播。如果黑洞很大,并且是饼状的,引力波就会留在膜的附近,这意味着黑洞以四维时空中所预想的速度损失能量和质量。因此黑洞会缓慢地蒸发,尺度缩小,直至它变得足够小,使它辐射的引力波开始自由地逃逸到额外维中去。对于膜上的某人,黑洞就相当于在发散暗辐射,也就是膜上不能直接观察到的辐射,但是其存在可以从黑洞正在损失质量这一事实推出。这意味着从正在蒸发的黑洞来的最后辐射暴显得比它的实际更不激烈些,这也许是因为我们还未观测到伽马线暴,后者由正在死亡的黑洞产生。

虽然还存在另一种乏味的解释,就是说不存在许多这样的黑洞,其质量小到不迟于宇宙的现阶段蒸发。这真是遗憾,因为如果发现一个低质量的黑洞,我就会获得诺贝尔奖。

对于膜世界的产生有几种理论。一种版本是称为 Ekpyrotic 宇宙的影子膜模型。Ekpyrotic 这个名字有点绕嘴,但是它是从希腊文来的,意思是运动和变化。在 Ekpyrotic 场景中,人们认为我们的膜以及影子膜存在了无限久。他们是在无限的过去在静态中启始的。膜之间一个非常小的力就使他们相互运动,膜就会碰撞,并且相互穿越,产生大量的热和辐射。这一碰撞被认为是大爆炸,也就是宇宙热膨胀相的启始。

关于膜是否能够碰撞以及如此这般行为,存在许多未解决的技术问题。但是,即使膜具有所需要的性质,以我的意见,Ekpyrotic 场景也是不能令人满意的。它要求膜在无限的过去启始时,处于一种以不可思议的精度调准的位形之中。膜的初始条件的任何微小变化,都会使碰撞变得乱糟糟的,产生一个高度无规的膨胀宇宙,一点也不像我们现在观察到的这个几乎光滑的宇宙。如果膜从它们的基态或者最低能态启始,初始条件被精确指定便是很自然的了。但是如果存在最低能态,膜将会停留在那儿,而永不碰撞。但事实上,膜从一个非稳态启始,必须人为地让它处于这种态。这必须是一只相当稳定的手,才能使初始条件那么精确。但是,如果一个人能够做到这一点,他能够使膜从任何方式启始。

按照我的意见,膜世界启始的更远为吸引人的解释是,它作为真空中的起伏而自发产生。膜的产生有点像沸腾水中蒸汽泡的形成。水液体中包含亿万个 H_2O 分子,它们在最靠近的邻居之间耦合,并且挤在一起。当水被加热,分子运动得更加快,并且相互弹开。这些碰撞偶然赋予分子

如此高的速度,使得它们中的一群能摆脱它们的键,形成热水围绕着的蒸气小泡泡。泡泡将以随机的方式长大或缩小,这时液体中来的更多的分子参与到蒸气中去,或者相反的过程。大多数小蒸气泡将会重新塌缩成液体,但是有一些会长大到一定的临界尺度,超过该临界尺度泡泡几乎肯定会继续成长。我们在水沸腾时观察到的正是这些巨大的膨胀的泡泡。

膜世界的行为很类似。真空中的起伏会使膜世界作为泡泡从无中出现。膜形成泡泡的表面,而内部是高维空间。非常小的泡泡将重新塌缩成无。但是一个由量子起伏成长的泡泡超出一定的临界尺度,很可能继续膨胀。在膜上,也就是在泡泡的表面上的人们(例如我们)会以为宇宙正在膨胀。这就像在气球的表面上画上星系,然而把它吹胀,星系就相互离开,但是没有任何星系被当作膨胀的中心。让我们希望,没有人持宇宙之针将泡泡放气。随着膜膨胀,内部高维空间的体积会增大。最终存在一个极其巨大的泡泡,它被我们生活其中的膜环绕着。膜也就是泡表面上的物质将确定泡泡内部的引力场。

平等地,在内部的引力场也将确定膜上的物质。它就像一张全息图。一张全息图是一个三维物体被编码在一个二维表面上的象。我对全息图的全部知识是,在一张图上是星际航行的一集中的场景,我本人与牛顿和爱因斯坦在一起(之后是一段黑白短片,在一个飞船船舱内三位巨匠和一位类似于船长的人在打牌,讨论着一些事情)。类似于,我们认为是四维时空的也许只是五维泡泡内部区域所发生的事件的一张全息图。

这样,什么是实在的呢?是泡泡还是膜?根据实证主义哲学,这是没有意义的问题。因为不存在独立于模型的实在性的检验,或者说什么是宇宙的真正维数是没有意义的,四维和五维的描述是等效的。我们生活在三维空间和一维时间的世界中,我们对这一些自以为一清二楚。但是我们也许只不过是闪烁的篝火在我们存在的洞穴的墙上的投影而已。但愿我们遭遇到的任何魔鬼都是影子。

膜世界模型是研究的热门课题,它们是高度猜测性的。但是它们提供了可供观测验证的新行为,它们可以解释万有引力为什么这么弱。在基本理论的基础中,引力也许相当强大,但是引力在额外维散开意味着,在我们生活其中的膜上的长距离引力变弱了。如果引力在额外维中更强,

LHC 是 Large
Hadron Collider 的首
字母缩写。

那么在高能粒子碰撞时形成小黑洞就容易得多。这也许在日内瓦建造中的 LHC 也就是大型强子碰撞机上可能实现。一个微小的黑洞不会吃掉地球 ,不像报纸中绘声绘色的恐怖故事那样。相反地 ,黑洞将会在 “霍金辐射 ”的 “扑 ”的一声中消失 ,而我将得到诺贝尔奖。LHC 加油 ! 我们可以发现一个膜的新奇世界。

四

揪住自然的尾巴尖

——科学发现

望远镜天文学的创立¹

选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。李泽清译。

导读

望远镜的最早发明者还留有争议,有人说是荷兰眼镜制造商汉斯·利佩希于1608年最早发明的,也有人说是另一位荷兰人詹森发明的,还有人提出其他人选。这些人仅仅把望远镜当作一种令人好奇的玩具来制造。争执他们谁在时间上领先了一步,没有太大意义。首先把望远镜指向天空、用于科学研究的,是伽利略。

伽利略在1609年听说了荷兰人的发明,马上想到可以用望远镜来作天文观测,于是立刻亲自动手制造望远镜。在他于1610年出版的《恒星的使者》一书中,伽利略介绍了他制造出第一架用于天文观测的望远镜的经过。据他自述,用这架望远镜观察物体时,“同肉眼所见相比,它们几乎大了一千倍,而距离只有三十分之一。”伽利略制造的望远镜本质上同荷兰望远镜一样,但是伽利略具备精深的光学知识,所以他的望远镜远比荷兰眼镜制造商们的制品好,以致荷兰人首先发明的这种构造的望远镜后来被称作伽利略望远镜。

伽利略用他的望远镜作出了重大的天文发现,其中最重要的发现是木星周围有四颗卫星围绕它转动。他起先在1610年1月7日看到其中的三颗,几天后看到了全部四颗。为了表示对统治君主的敬意,伽利略把它们命名为“美第奇星”。而现在这四颗卫星被叫作伽利略卫星。木星卫星的发现使得哥白尼构想的太阳系有了一个令人信服的类比。地球不再如地心说所宣称的那样,是天体的唯一绕转中心。

将近1610年底,伽利略发现金星像月亮一样也有相位变化。这一发现揭示金星是在绕太阳转动的。他还发现了银河实际上是无数恒星的聚合。他还

① 译自 H. Shapley and H. E. Howarth. A Source Book in Astronomy, PP41 - 52 [1929]。本文标题以及各节小标题均系 Shapley 和 Howarth 所加。原文选自 The Sidereal Messenger [1610] 由 E. S. Carlos 译成英文 [1880]。——原编者

看到月球上的山,在太阳光的照射下投射出长长的阴影。他还根据阴影的长度估计出山的高度。

伽利略作出的另一项重要天文发现是他在1610年10月用望远镜观察到太阳黑子,伽利略晚年双目失明,很可能与他长期用望远镜观察太阳有关。发现太阳黑子的荣誉还应该与他同时代的另外两三位天文学家分享。开普勒已经知道太阳表面有黑子存在,甚至没有利用望远镜。法布里修斯在伽利略之前已经用自己的望远镜看到了太阳黑子。另一位较早观察到太阳黑子的是沙伊那。

伽利略用望远镜作出的天文发现,是对当时还占统治地位的亚里士多德学说的一个沉重打击。通过望远镜看到的太阳黑子、月球上的山等驳斥了亚里士多德认为的天体是完美无缺的观点,从而也间接支持了哥白尼的学说。

伽利略在用望远镜作出重要发现的当年,就完成了《恒星的使者》一书,书中对他用望远镜看到的天象作了详细描绘。本文《望远镜天文学的创立》即选自《恒星的使者》。

引言

在这一简短论著中,我将阐述一些饶有兴味的事情,供所有自然现象的观察者检查和思考。我想,这些事情之所以极有兴趣,首先是由于它们内在的优越性,其次是由于它们绝对的新奇性,最后也由于有这样一种仪器,借助这种仪器使我了解到这些事情。

直到今天,不用人工扩大的视力能够看见的恒星数目可以计数出来。因此,能对这个数目字添加一些,清清楚楚地看到数以万计以前从未见到过的其他恒星,其数目字超过旧的、以前知道的恒星的10倍,这显然是非常了不起的。

此外,月亮离地球几乎远达60倍地球半径,如果看到月球仅仅位于近到2倍地球半径处,的确是极为美妙和令人高兴的。这样一来,它比原先的月亮看去直径差不多增大了30倍,表面积增大了约900倍,而体积比仅仅用肉眼来看几乎增大了27000倍,于是使用我们的感官,任何人都可以确切知道,月亮的确不具有光滑锃亮的表面,而是粗糙不平的,就像地球本身表面一样,到处充满着高耸的山峦、深深的峡谷、蜿蜒的沟渠。

再者,为了摆脱关于银河的争论,为了用我们的感官,更不用说用我们的理解力,去弄清它的实质,这绝不是微不足道的事。除此以外,明确指出迄今为止每个

天文学家都称之为星云的那些恒星的性质,证明它们具有非常不同于当前人们所相信的那些性质,也是令人愉快的、非常美妙的。但是最使人惊奇的、特别要提醒所有天文学家和哲学家注意的是,我已经发现了四颗行星^①,在我之前没有任何一个天文学家知道它们或者观测到过它们。就像金星和水星围绕着太阳那样,它们的轨道围绕某个以前知道的明亮的星,有时在它前面,有时在它后面,虽然离开它决不会超过一定限度。承蒙上帝恩典,首先启迪了我的智慧,几天前借助于由我设计的望远镜发现和观测到了所有这些事实。

或许,借助于类似的仪器,由我或由其他观测者在将来会作出更杰出的其他发现。因此,首先我将简述仪器的形状和制备过程,以及设计它的偶然原因,然后再说明我所作的观测。

望远镜

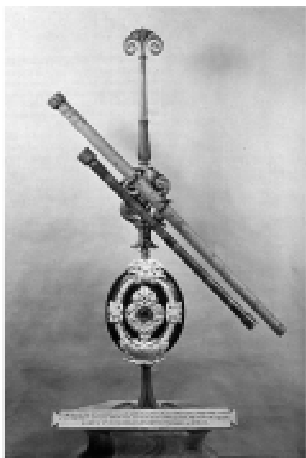
大约 10 个月前我听到一个传闻,一个荷兰人曾制造了一架望远镜,借助于它,离观测者眼睛很远地方的一个可见物体,看起来显然好像近了很多;传闻还说到望远镜具有极为奇异性能的一些证据,有些人信以为真,而其他一些人深表怀疑。几天以后,从巴黎一位显贵的法国人 J. 巴多维里给我的信中,传闻得到证实。最后我决心要亲自探究望远镜的原理,然后思考用什么办法可以发明出类似的仪器。通过对折射理论的深入研究,不久以后我就如愿以偿,做成了望远镜。我准备了一个管子,最初是铅的,在管子的两端固定两个玻璃透镜,其中一面都是平的,但是另一面,一个是球形凸透镜,另一个是凹透镜。然后我把眼睛贴在凹透镜上,我满意地看到物体又大又近,与单独用肉眼来看相比,距离看来只有三分之一,因而物体放大了 9 倍。不久以后,我制造了另外一架更好的望远镜,它可以把物体放大六十多倍。最后,不遗余力,不惜工本,我又制造出一架非常高超的仪器,通过它看到的物体几乎放大了 1 000 倍,与单独用肉眼来看相比近了三十多倍。

从观测到所描述的这些天象到写出书来,伽利略只用了很短的时间。科学知识在当时的传播速度已是非常快了。

伽利略的父亲是个乐师和乐器制造者,伽利略有很强的动手能力,这在他小时候帮他父亲制作乐器时就培养起来了。伽利略制造的望远镜是当时最精良的。他还曾经制造一种计算尺,并出售以贴补家用。

^① 实际上指木星的四颗卫星,——原编者

最初的望远镜观测



伽利略手制的折射望远镜

列举观测次数,列举在陆上或海上使用这个仪器期望得到什么重大利益,那完全是浪费时间。但是我不去注意地上目标的观测,而用来观测天体。首先我看到月亮好像离地球仅仅只有两个地球半径那么远。在观测月亮之后,我又以令人难以置信的兴奋心情观测其他天体,既包括恒星也包括行星;当我看到如此繁多的恒星以后,我开始考虑用什么办法可以测量它们相隔的距离,最后我找到了一个办法。打算把注意力转向这类观测的人,一定要注意这样一些事。首先,必须准备一架最完善的望远镜,一架可以清晰地看到遥远明亮天体的望远镜,它至少能放大400倍,使相隔的距离看来好像只有原来的二十分之一。除非仪器具有

这样的能力,否则要想看到我在天上已经看到的一切,或者试图看到下面将要列举的事情都是徒劳的……

月亮上山和谷的观测

首先我来说说对着我们的月面。为了更容易理解起见,我把它区分成两部分:较亮部分和较暗部分。较亮部分似乎是环绕并充满整个半球;但是较暗部分则像一种云,使月面褪色,使月亮看起来像覆盖着一些斑点。这些斑点,因为比较黑且相当大,各种年龄的人都看到过它们,因此我称它们为巨大斑点或古老斑点,以便把它们与另外一些斑点区分开来,后者比较小,但是分布得非常密集,散布在整个月球表面,特别是在月面的明亮部分。在我之前从来没有任何人观测到过这些斑点;从我对它们的观测,经常重复的观测,我得到这样的看法,这点我已经叙述过,即我确信月面不是完全光滑、非常平坦、精确球形的,这和一大批哲学家对月亮和其他天体的认识不同,恰恰相反,月亮表面崎岖不平,到处坑坑洼洼,节节疤疤,正如我们地球表面处处

这是人类首次目睹月亮的真实面貌。也许真实的东西并不浪漫,但月球的这种与地球类似的不完美性向亚里士多德的完美天体理论提出了有力的挑战。

不平坦,这里是高耸的山峦,那里是深深的峡谷。

我之所以得到这些结论是由于看到了如下外观:在新月以后四五天,当月亮以明亮的弯角形呈现在我们面前时,把阴影部分与明亮部分分开的边界并不是一条光滑的椭圆曲线,而作为完全球体情形应当是这样的。实际上边界是一条不规则、不光滑的波状线……有几个明亮的“瘤子”(可以这样称呼它们),超越亮部和阴影的边界,延伸到黑暗部分。另一方面,阴影又蚕食了明亮部分。不仅如此,还有大量的小黑斑,完全与黑暗部分分开,散布在被阳光照耀的几乎整个区域,只是被巨大的和古老的斑点所占据的地方除外。我注意到刚才提到的那些小斑点总是具有如下共同特点,即在每种情况下靠近太阳的那一边具有黑暗的部分,而离开太阳的那一边具有较明亮的边界,就好像它们是由闪闪发光的顶冠装饰起来似的。这十分类似于地球上日出时的情景,当我们观看尚未被阳光照耀的山谷时,对着太阳环绕它们的那些山上,早已是阳光灿烂,当太阳越升越高时,峡谷中的阴影便越来越小。月亮上的那些斑点也是如此,随着明亮部分越来越大,黑暗部分逐渐消失。不仅月亮上明亮和阴影的边界是不光滑的,弯弯曲曲的,更令人惊奇的是,在月亮的黑暗部分内出现了非常多的亮点,完全与照亮的那一片分开,且与它分开相当距离,过一会儿以后,大小和亮度都逐渐增加,一二小时以后与主要部分的其余亮点相连,并且变得更大一些;而在此同时,其他一些亮点,一个在这儿,另一个在那儿,涌现了出来,好像在阴影部分里被点亮并逐渐增大,最后以同样明亮的表面相连,并且更加扩大……在太阳升起以前,地球上不也是这样的吗?当平原仍在阴影中,最高的山峰不也是先被太阳照亮吗?过一会儿后,不也是光线进一步扩展,使这些山的中部和底部都被照亮,最后,当太阳已经升起,平原和小山的照亮部分不也是连成一片吗?然而在月亮上这种凸出和凹下的壮丽景象,正如后面我要表明的那样,比起地球表面的崎岖不平来说,不论是在量值上还是在范围上都要超过……

在望远镜中恒星的外观

到目前为止,我所谈的观测都是关于月球的,现在我简要说明我所看到的关于恒星的现象。首先下述事实是值得考虑的:不论是恒星还是行星,当用望远镜观看时,它们在星等上增加的倍数并不像其他天体(以及月亮本身)在大小上增加的倍数那样。对于恒星来说,星等的增加似乎小得多,所以为了说明起见,你可以想象一架望远镜虽然有足够的威力,能把其他物体放大几百倍,却很难使恒星放大四五倍,其原因如下:当我们用肉眼来看恒星时,我们所看到的并不是它们无光芒

的、真实的大小,而是由明亮的光束、闪烁的光芒环绕着的。特别是夜深人静时更是如此。由于这种情况,它们看来比剥去边缘的光芒时大得多,因为它们对眼睛所张的角度不是由恒星原有的圆盘决定的,而是由围绕它周围较大的明亮部分决定的。……一架望远镜……在放大恒星的真实圆盘(如果它们确是这种形状)以前,消除了恒星外部附属的亮光,因此比起其他物体来说,似乎没有放大得那么多,例如一个五等或六等恒星通过望远镜看起来似乎只有一等星那么亮。

行星和恒星外观之间的差别似乎也值得注意,行星的圆盘呈现出完全的圆形,像是用圆规画出来似的。它们就像一些小月亮一样,完全被照亮,并具有球体形状。但是用肉眼观看恒星不像行星那样具有圆形周界。它们很像灯光,向四面八方射出光芒,闪闪发光。用望远镜观看,它们的形状就像用肉眼观看时一样,但是却亮得多,一颗五六等恒星看起来就像最亮的恒星——天狼星那样亮。

无数的望远镜恒星^①

通过望远镜你可以看到一大群暗于六等的其他恒星,直接用肉眼无法看到它们。数目是如此之多几乎使人难以相信。你至少还可以再看到六个星等的恒星。对于其中最大的那些星,我可以称它们为七等星。或者说是不能直接看见的一等星。借助于望远镜观看好像比直接用肉眼看见的二等星还要大,还要亮。为了使你了解它们是如何簇拥在一起的,我决定拿两个恒星团^②作例子。以此为样品,你可以判断其余的情形。

第一个是猎户星座,我曾决定去描述整个星座,但是恒星的数目如此巨大,要花费的时间如此之长,这样一来我就无法脱身了,因此我决定把这种企图推迟到以后进行。因为在原有的星附近,或散布在原有的星中间,在一二度范围内就有500颗以上的新看见的星。由于这种原因,我在猎户星座腰带部分选出3颗星,在它的佩剑部分选出6颗,这些是早已熟悉的星群,我又在其附近加上最新发现的80颗其他恒星,我尽可能保持这些星彼此之间的距离。为了区别起见,熟知的星或者原有的星,我描绘得大一些,并用双线来画它们,肉眼看不见的其他星,我描绘得小一些,仅用单线表示。同时我尽可能保持星等上的差别。作为第二个例子,我描绘了金牛座里称为昴星团的6颗星(我有意说6颗,因为第7颗很难辨认)这是局限在很狭窄天区里的一群恒星。在这些星附近有四十多颗肉眼看不见的其他恒星,没

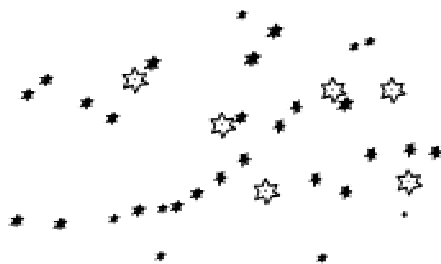
① 原文为“telescopic stars”,指只有用望远镜才能看到的暗星。——原编者

② 原文为“star-cluster”,指天空任一恒星较多的区域,它与现代天文学中的星团(cluster)概念是完全不同的。——原编者

有一颗离开上述 6 颗星会超过半度。在我的图中我只绘出了 36 颗星。正如猎户座的情形那样,我保持了原有的星和新看见的星之间的距离、星等和特性。



猎户星座的腰带和佩剑



昴星团

望远镜所见的银河外观

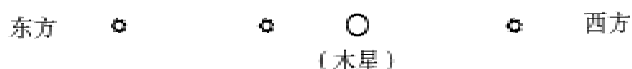
我观测的下一个对象是银河本身。借助于望远镜,它清晰地展现在我们眼前。使哲学家苦恼了如此长久的全部争论,在我们眼睛的不可反驳的证据面前立即解决了。我们摆脱了这个课题的争论,因为银河只不过是大量数不胜数的恒星聚在一块而已。不管把望远镜对着它的哪一部分,马上看到存在着一大片恒星;其中不少恒星还相当大且极为明亮,但是小恒星的数目更多,多得无法计数……

木星卫星的发现

以上简要说明了关于月亮、恒星和银河所作的观测。仍然遗留一件事,一件我认为应当公诸于世的最重要的事情,即发现和观测到四个行星。它们的位置、它们最近两个月的运动和它们星等的变化,自古以来都没有人看到过。我呼吁所有天文学家都致力于研究和确定它们的周期,由于时间的限制,直到现在我还没有得出结果。但是,我还要再次告诫他们,为了不致漫无目的地对此进行探索,他们需要一架非常精密的望远镜,就像本书开始时所描述的那种望远镜。

在今年(1610年)元月7日夜晚头一个小时,当我通过望远镜观看天空中的星座时,木星进入了我的视野。因为我自己准备好了一架非常精良的仪器(我以前的

其他望远镜缺乏足够能力),因此我注意到一个以前从来没有注意到的情况,在木星附近有3颗小星,很小但是非常明亮;虽然我相信它们属于恒星之列,但是仍然使我觉得有些惊奇,因为它们似乎正好处于与黄道平行的一条直线上,并且比星等和它们相同的其他恒星更加明亮,它们彼此的相对位置以及对木星的位置如下:



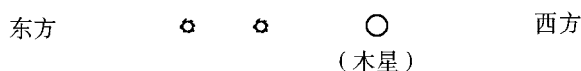
在木星东边有两颗星,在西边只有一颗星。在东边最远的那颗星,以及在西边的那颗星似乎比第三颗大得多。

关于它们与木星之间的距离我完全不觉得困惑,因为我已经说过,最初我相信它们是恒星,但是在元月8日,出于偶然,我再次对天空的同一部分进行观测,发现了很不平凡的事态:3颗小星都在木星的西方,同前一夜相比彼此更加接近,而且以相等的距离分开,如下图所示:



这时,虽然这些星的彼此接近一点也没有引起我的注意,但是为何那一天木星出现在所有上述恒星的东方而在一天以前它还在其中两颗的西方,却引起了我的惊奇。我立即想到恐怕行星的运动与天文学家所作的计算不同吧!因此由于它本身的固有运动会超越这些恒星。我非常焦急地等待下一夜的来临,但是使我大失所望,这一夜天空布满了乌云。

而在元月10日,这些星相对于木星的位置如下:



如我所料,第三颗星被木星挡住了,它们的情况和以前完全一样,正好沿着黄道带与木星在同一条直线上.....

当我看过这些现象后,由于我知道位置的相应改变无论如何不可能由木星引起,同时由于我察觉到我所看到的星星总是上述那几颗,而且沿着黄道带在木星前后很大距离内都没有其他星,终于使我从疑惑变为惊奇,我发现我所看见的位置变化不是由于木星,而是由于曾经吸引我注意力的那些星引起的,因此我认为从此以后应当更注意和更精密地观测它们。

于是在元月11日我看到如下的排列:

即只有两颗星星在木星的东边,其中离木星较近的那颗星,与木星的距离是它与另一颗星距离的3倍;东面最远的那颗星几乎比另一颗大2倍,而在前一夜它们好像具有相同的星等。因此,我得出结论,并毫不踌躇地断定,在天空中有3颗星围绕着木星运动,就像金星和水星围绕太阳运动那样,这一见解得到后来许多其他观测的完全证实。这些观测还证实了不仅有3个,而且有4个行为古怪的星体围绕着木星旋转……

这就是我对四颗“美第奇星”(Medicean planets)所作的观测,它们是新近由我首次发现的。虽不能根据这些观测计算它们的轨道,然而根据这些观测却可作出些值得注意的论述。

木星卫星的轨道和周期

首先,因为这几颗星有时在木星的后面,有时在木星的前面,距离总是相似,并且从这颗行星向东和向西的偏离范围也很狭小。此外还因为当木星顺行和逆行时,它们总是伴随着这颗行星。因此没有一个人能够怀疑它们围绕这颗行星运转,而同时它们又在一起围绕宇宙中心作周期为12年的轨道运动。再者,它们是在不相等的圆上运转,显然这个结论可以从下面这样一个事实推导出来:当卫星离木星的距离比较大时,从来没有看到过两个卫星会合,而当它们离木星的距离近时,则发现2个、3个甚至4个全都紧密聚集在一起。此外,可以探测到在围绕木星最小的圆上运转的卫星最快。因为离木星最近的卫星经常在东边看到,而前一天它却还在西方,或者反之。在最大轨道上运动的卫星,在经过仔细估计它回到原先注意到的位置上后,据我看来其周期为半个月。此外,我们有了一个极好的论据去消除这样一些人的顾虑,他们可以容忍哥白尼体系中行星围绕太阳的运转,然而对于月亮围绕地球运转,而月亮和地球又同时围绕太阳在周期为一年的轨道上运转这一点感到非常困惑,以致他们认为这种宇宙理论必然是极度混乱的。现在我们不仅有一

伽利略的家境并不富裕,当时他正在帕多瓦大学教书,要靠教书所得的微薄收入维持老母和弟妹们的生活。伽利略把所写的《恒星使者》献给美第奇家族托斯卡纳大公,争取谋任托斯卡纳大公首席数学家和哲学家的职位,所以他把木星的四颗卫星命名为“美第奇星”。伽利略获得了这一任命,加上他本人的学术成就,使得他在盛年便成为意大利学术界的头面人物。

个行星 (one planet) 围绕另一个旋转 ,而它们两者又围绕太阳在很大的轨道上运行 ,而且我们的视觉看到了 4 个卫星围绕木星旋转 ,就像月亮围绕地球旋转那样 ,而整个系统又围绕太阳以 12 年的周期在巨大的空间轨道上运行。

J. 布拉德雷

光行差的发现¹

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989年。夏一飞译。

导读

布拉德雷 (James Bradley 1693—1762) 出生于英格兰格洛斯特郡的一个小镇，在他的叔叔天文学家庞德 (Pound) 的鼓励下对天文学产生了兴趣。1711 年进入剑桥大学贝列尔学院学习，布拉德雷的数学才能使得他能结识牛顿和哈雷，并于 1718 年当选为皇家学会会员。1719 年，布拉德雷获得神职，被指定为蒙默斯郡的教区牧师。由于职责不重，因此他能经常跑到他叔叔的天文台帮忙。1721 年，布拉德雷成为牛津大学的萨维廉天文学教授。1742 年，布拉德雷接替哈雷成为英国皇家天文学家^②，他发现格林尼治天文台上许多仪器有缺陷，到 1750 年，他重新装备了该天文台。从那时起直到他的健康状况恶化为止，他把自己奉献给了大量高精度的天文观测。他在长期患病之后于 1762 年 7 月 13 日去世。

哥白尼的日心说预言了恒星的视位置应该有一种周年变化，即周年视差。天文学家们一直在寻找这种证明地球在动的直接观测证据。第谷作为前望远镜时代最优秀的观测者，因没有观测到恒星周年视差，所以坚信地球是静止的。把望远镜用于天文观测之后，找到这种周年视差的希望又加大了，布拉德雷就抱着这样的希望。

是居住在伦敦附近的业余天文学家萨莫尔·莫利纽克斯 (Samuel Molyneux 1689—1728 年) 把布拉德雷拉入到他们将作出的伟大而偶然的发现中来的。莫利纽克斯决定测量天龙座 γ 星的周年视差，为此他专门定制了观测用的望远镜。1725 年，一架“天顶仪”被安装在莫利纽克斯家中房子的烟囱上，

① 译自 H. Shapley and H. E. Howarth, *A Source Book in Astronomy*, PP 103—108 [1929]。本文标题系 Shapley 和 Howarth 所加。原文系 J. 布拉德雷写给 E. 哈雷的信，曾发表在 1728 年的 *Philosophical Transactions* 上。——原编者

② 英国皇家天文学家这个职位只授予一人，该职位获得者自然是格林尼治天文台台长。

可以让天龙座 γ 星望远镜视场中央经过。由于莫利纽克斯忙于别的事务,观测主要由布拉德雷来进行。

事先的计算表明,周年视差会导致天龙座 γ 星在 12 月 18 日达到其最南位置,在此前后的几天里,其移动将小得令人难以察觉。因此,当布拉德雷于 12 月 21 日发现它走到比几天前更靠南的位置时,他们对之感到极为惊讶。该星还继续向南移动,直到第二年 3 月,它走到了比上一年 12 月时的位置更南边约 20 角秒时,向南的移动才结束。此后这颗恒星开始向北移动,到 6 月回到它在头年 12 月时的位置,9 月达到其最北端。

这显然不是周年视差。莫利纽克斯和布拉德雷对上述现象做了各种可能的解释。他们特别考虑了这样一种可能性:是否地球的大气层没有形成真正的球形环层,以至于当恒星即使在天顶时也会受到折射的影响?

布拉德雷认为应该对更多的恒星进行观测。为此,他定制了另一架视场更大的天顶仪。经过对更多恒星的观测,恒星的上述运动模式基本被确认了。布拉德雷却迟迟找不到对其合理的物理解释。据说,直到 1728 年的一天,当他在泰晤士河上乘船时,注意到当船转向时,船上的风向标也随之转向,这当然不是由于风向发生了变化,而是因为风向标的指向不仅取决于风力的大小和方向,而且也取决于船速的大小和方向。

地球就是船,恒星发出的光线就是风,我们看见的恒星位置就是风向标。“风向标”的这种周年变化,正是由于地球绕太阳公转的速度的周年变化引起的。这样,布拉德雷事实上已经找到了一个地球在动的证据,而且意外地发现了一个以前未知的恒星视位置的周年变化——光行差。1729 年元月布拉德雷向皇家学会报告了他的发现。

光行差这一现象是具有深刻的物理学意义的。光行差的观测事实表明,不管恒星自身的运动状态如何,也不管观测者所在的地球的运动状态如何,所有恒星的星光都以同样的速度向观测者飞来。这一规律的本质直到将近二百年后爱因斯坦提出狭义相对论才被揭示。爱因斯坦本人也在多种场合强调,迈克尔逊寻找以太的“零结果”实验不是关键,布拉德雷观测到的光行差和斐索测得的流水中的光速才是启发他获得狭义相对论思想的关键。

本选文《光行差的发现》的原文是布拉德雷写给哈雷的信,并曾在 1728 年皇家学会的《哲学学报》上发表。文章详细地叙述了光行差的发现过程和作者试图解释这一现象的思索过程。

不久前,我曾有机会向你谈到由我们尊敬的和聪明的已故朋友 S. 莫利纽克斯先生所得到的以及由我继续和重复这一工作所得到的某些观测结果,以使用来测

定恒星的视差,你对此感到非常满意。现在请允许我告诉你有关这方面的更详细的报道。

约在1725年11月底,莫利纽克斯先生的仪器安装完毕,适于观测了。12月3日进行了首次观测,目标是天龙座头部的亮星(拜耳用 γ 来标记它),因为该星几乎通过天顶,用这架仪器可仔细地测定它的位置。^①在12月5日、11日和12日又进行了类似的观测,恒星的位置并未显示出有很大的差异。在这个季节对它作进一步的重复观测似乎不需要。在这段时间里,估计这颗恒星的视差不可能会有明显的变化。主要是因为好奇心,促使我(当时我在丘,这架仪器就安装在那里)在12月17日对这颗恒星进行观测。当我像往常一样调节好仪器时,我发现这颗恒星的位置比过去稍往南偏。对于这个现象,我们并没有怀疑有任何其他原因,我们首先推断这是由于观测的不确定性,认为这次观测或以前的观测都不如我们所想象的那样精确。为此,我们打算重新进行观测,以确定这个差异是从那里来的。12月20日,我在进行观测时,发现该恒星比以前观测的继续往南偏。使我们更感到惊奇的是,这个可觉察的变化和恒星周年视差引起的变化正好相反。这时我才相信,它不可能完全归因于观测精度的不足,也不存在引起这颗恒星上述视运动的其他任何想法。我们开始猜测它可能是由于仪器材料等的某些变化引起的。我们一度曾这样认为,但经过数次试验,最后我们充分相信,仪器具有优良的精度。根据恒星同天极距离的逐渐增加,我认为必定存在着产生此现象的某种有规律的原因。在每次观测时,我们都对它的位置进行非常仔细的测定。约在1726年3月初,测出这颗恒星的位置比第一次观测时往南移动了20"。现在它可能达到了它在南面的最远处,因为在这段时间内进行的几次观测,都没有发现它的位置有可以觉察的变化。到4月中旬,它似乎在重新返回北面。大约在6月初它通过中天时,离开天顶的距离同(1725年)12月第一次观测它时的距离相同。

根据这颗恒星在这段时间内赤纬的迅速变化(3天内增加1"),可以推断出,它目前将继续向北偏移,正如在这以前,它由现在的位置向南偏移一样。事情正如所推测的那样,它继续向北偏移,直到9月,它再次不动。这时,它的位置比它在6月时向北偏移近20",比它在3月时向北偏移不少于39"。从9月起,这颗恒星向南返回,直到12月它到达一年前它所在的同一位置时为止。在这期间考虑了因岁差引起的赤纬改正。

由此充分证明仪器并不是引起该恒星这种视运动的原因,要找出产生这种效果的适当原因看来是困难的。首先浮现在我心目中的原因是地轴章动,但不久发

① 莫利纽克斯的望远镜像烟囱一样竖直安装,始终直指天顶,故只适合于观测上中天时通过天顶附近的恒星。——原编者

现这种解释是不合适的,因为它虽然可以说明天龙座 γ 赤纬的变化,但不能同时符合其他恒星中的这种现象,特别对赤经上几乎和天龙座 γ 星相差 180° 、离北天极约同样距离的一颗暗星,虽然这颗暗星的移动方式似乎同由地轴章动引起的相同,但其赤纬的变化在相同时间内大约仅是天龙座 γ 赤纬变化的一半(由一年不同季节中同一天所作的两个观测进行比较而得)。这清楚地证明,这两颗恒星的视运动并不是由实际章动所引起的,如果是这个原因,两颗恒星的变化应当接近相等。

观测结果严格的规律性,迫使我们相信产生这种意外运动的原因必然也是有规律的,它与每年各季节的变化或不确定性无关。将观测结果相互进行比较,发现上述两颗恒星的赤纬同它们的极大值之差几乎总是正比于太阳到二分点距离的正弦。这就促使我们去考虑,不管这个原因是什么,它一定同太阳相对于二分点的位置有某种关系。但那时还没有能力去建立任何假设,以充分解释所有的现象,而我又非常希望对这个问题作进一步的研究,于是我开始考虑在旺斯蒂德为自己安装一架仪器,有这架仪器在身边,我可以更方便和更坚持不懈地去探索这种运动的规律。用另一架仪器来证实迄今由莫利纽克斯先生的仪器测得的结果,对我来说具有很大的吸引力。更主要的是,我将有机会去研究其他恒星以何种方式受到同一原因的影响,不管这个原因是什么。莫利纽克斯的仪器原先设计来观测天龙座 γ (正如我在前面所说,为了要研究它是否有任何明显的视差),它只能在方向上作很小的变动,不超过 $7'$ 或 $8'$ 。在离丘(地名)的天顶上述距离一半的范围内,几乎没有什么可以观测到的亮星。利用这架仪器,不可能彻底了解该原因是如何影响与二分点、二至点有各种不同相对位置的恒星的……

一旦仪器安装完毕,我就立即开始观测最适宜于揭示上述运动原因的那些恒星。有足够多的这种暗星,在一年的各个季节中能观测到的不少于 12 颗。白天当它们最接近太阳时,也能被看到。我发觉,以前认为当太阳在二分点附近时恒星位于最北和最南的这个概念,仅仅对接近于二至圈的这些恒星才是正确的,自此以后,我才开始长期的观测。在我继续观测数月后,我发现我所了解的乃是所有恒星都遵守的一般的规律,即当它们在早晨或晚上 6 点经过我的天顶时,它们中的每一颗或不

贯穿在观测中的还需要这样的理性推理,才可能从现象中找出规律。

对天龙座 γ 星的观测结果还只是特例,还需要制造另外的仪器来观测更多的恒星,以验证这种变化是否是恒星的普遍现象。

动,或位于最北,或位于最南。我还观测到,不管恒星位于相对黄道基点的什么位置,当它们在白天或夜晚大约同一时刻经过我的仪器时,每颗恒星的视运动都趋向于相同的方式:当它们在白天通过时,它们全都往南移动;在晚上则往北。因此当恒星在晚上大约6点经过时,它位于最北处,当恒星在早晨大约6点经过时,它位于最南处。

虽然从那时起我就发现,这些恒星中的大多数在上述时间经过我的仪器时,并未恰好达到最大值,但在那时,还不能得到反证。假定情况是这样,我力图找出,不同恒星赤纬的最大变化相互呈现什么比例。非常明显的是,它们并不会相等地改变它们的赤纬。在此以前我曾注意到,从莫利纽克斯先生的观测来看,天龙座 γ 的赤纬变化比前面提到的赤经几乎和它相差 180° 的那颗暗星约大2倍。对这个问题进行详细的探讨后,我发现,这两颗恒星赤纬的最大变化分别与其黄纬的正弦有关。这引起我猜测,在其他恒星的极大值间可能也存在类似的正比关系,但我发现其中某些观测结果并不完全对应于这样的假定。我不清楚,观测的不确定性和误差是否会引起所出现的微小差异。我决定推迟对这个假定的正确性作进一步研究,直到我能提供整个一年的观测序列。这些观测结果将使我不仅能确定观测受到什么误差的影响,以及观测结果的可靠程度,而且还能使我判断仪器部件本身是否存在明显的变化。

基于这些考虑,我把有关上述现象原因的各种想法暂搁一边。希望当我能用更合适的手段更准确地确定这个原因时,能更容易地发现它。

一年将逝时,我开始研究和比较我的观测结果。就现象的一般规律而言,我对自己的观测结果感到很满意。我将致力于找出这些规律的原因。我早已确信,恒星的这种视运动并不是由于地轴的章动。另一种可能的原因是经常用于校正仪器的铅垂线方向的变化,但在研究过程中发现这种论证是不充分的。接着我考虑大气折射可能产生的影响,但是也没有什么满意的结果。最后我推测,上述的各种现象是由于光的向前运动以及地球在其轨道上的周年运动引起的。因为我发现,假如光及时地传播,静止的人与沿着人与物体连线之外的任何方向运动的人所看到的一个固定物体的视位置是不相同的,而当人向不同的方向移动时,物体的视位置也将是不同的……

我必须向你承认,观测结果彼此间的一致性以及它们同假设间的一致性,比我对观测结果进行比较前所预期的更理想;对于习惯于天文观测的人来说,可能会认为是太理想了,因为他们知道要在各方面都达到这样的精确度是很困难的。如果这能使他们满意(等到我有机会描述我的仪器和使用它的方法时),我能向他们保证,在一年中我对天龙座 γ 进行70次以上的观测中,只有一次(由于云的原因,当时就感到非常可疑)同上述的假设不一致,超过 $2''$,不到 $3''$ 。

提出假设,对观测结果作出一般性的解释,这是科学进步的一种典型模式。

因此,这是事实,我不得不认为这个现象很可能是由我所指出的原因引起的,因为上述的观测结果充分显示,不管真正的原因是什么,这颗恒星的确是根据假设所推出的比例在变化……

我认为,不需要再将这个假设同其他恒星的观测进行比较,并将结果寄给你。因为上面提到的一致性是一种证明(不管是否承认我已经发现了这个现象的真正原因),它证实这个假设至少阐明了不同位置、不同方向(相对于太阳而言)的各种恒星赤纬变化的真正规律。如果情况是这样,则必须承认恒星的视差应比至今由某些人通过观测推算出的更小。我相信,我敢冒昧地说上述提到的两颗恒星的视差都未达到 $2''$ 。我认为,如果它是 $1''$,在我进行的大量观测中,特别是对天龙座 γ 的大量观测中,应该能发现它。不管太阳同天龙座 γ 会合还是相对,观测结果同这个假设(与视差没有任何关系)符合得几乎一样好,因此非常可能它的视差没有 $1''$ 那么大,即它比太阳远400 000倍以上。

因此,还没有观测到恒星有可觉察的视差,为此反哥白尼派仍有机会反对地球在运动。然而他们(假如他们愿意的话)由于否定光的向前运动以及地球的运动,可能会更加强烈地反对我在尽力解释上述现象时所提出的假设。

但是我并不担心这些假设会被目前大多数天文学家和哲学家所否定,假使它们能得到像你这样伟大的评论者的赞许,我毫不怀疑,他们将会赞同我从它们中推算出来的结果。

J. 夫琅和费

太阳光谱中谱线的发现和描述¹

选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。许敖敖译。

导读

夫琅和费 (Joseph Fraunhofer, 1787—1826) 出生于德国巴伐利亚, 是一个釉工的儿子, 曾在慕尼黑跟一个光学技师当学徒。他顽强自学, 研究光学, 改进了多种光学仪器, 磨制出优质棱镜。贝塞耳和斯特鲁维能测出恒星的周年视差, 就是使用了夫琅和费制造的仪器。

白光透过棱镜后会发散成彩色光谱, 一般的透镜就像是很多棱镜叠在一起, 光线通过后也会形成彩色光圈, 这是天文观测所不希望出现的。牛顿曾经以为这种折射望远镜的色差是无法消除的, 但后来人们找到了把不同折射率的玻璃组合在一起的办法来消除色差。夫琅和费的专长之一就是制造消色差透镜。要制造消色差透镜, 就得熟练掌握各种不同折射率的玻璃的制造。1814年夫琅和费在测试用他制造出的玻璃制作的棱镜时, 发现太阳光谱中有很多暗线。但制成棱镜的玻璃要非常纯, 只要有一点点缺陷, 就会使暗线的清晰度降低。

牛顿用三棱镜分解太阳光时, 没有发现这些暗线, 因为他的棱镜玻璃纯度不够。12年前沃拉斯顿观测到7条这样的暗线。但夫琅和费观测到的将近600条。他对其中比较清晰的暗线进行了测量, 并给它们分别标以A、B……K等字母, 测定了它们的波长。夫琅和费进一步指出, 不管所测量的光线来自太阳还是月球或者行星, 这些光谱线总出现在同一位置上。最后他绘制出了几百条谱线的位置, 现在总称为夫琅和费谱线。

① 译自 H. Shapley and H. E. Howarth, A Source Book in Astronomy, PP 196—199 [1929]。本文标题系由 Shapley 和 Howarth 所加。英译文取自 Prismatic and Diffraction Spectra (translated by J. S. Ames, 1898); 原始资料录自 Denkschriften der k niglichen Akademie der Wissenschaften zu Munchen [1817] 以及 Edinburgh Journal of Science [1827, 1828]。——原编者

夫琅和费的发现为天文学家研究太阳乃至恒星内部的物理状况开辟了一条“通天捷径”，以他的发现为契机，一门新的分支学科——恒星天文学应运而生。夫琅和费不到40岁就死于肺结核，他的墓碑上刻着“他接近了恒星”。

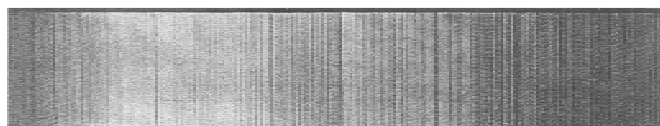
通过本选文《太阳光谱中谱线的发现和描述》，读者可以了解到夫琅和费亲笔记录下的他作出这一发现的过程。

我在一间暗室的百叶窗上，开了一条狭缝——宽约15角秒，长约36角分——让阳光通过这条狭缝照射到前述经纬仪旁边的一块火石玻璃制成的棱镜上。经纬仪离窗约24英尺，棱镜的屈折角为 60° 。棱镜置于经纬仪的望远镜物镜前，且使光的入射角等于出射角。我想知道，是否在太阳光的彩色像中也存在灯光的彩色像中所看到的那种亮带。但事实并非如此，我在望远镜中看到的几乎是一些数不清的强弱竖线，它们比彩色像的其余部分暗，有一些几乎完全是黑的。如转动棱镜，使入射角增加，这些线便消失；如使入射角变小，它们也会消失。但是，如果缩短望远镜，则当入射角增大时，这些线又将重现；而对于较小的入射角，为使线能重新出现，目镜需向外拉出一些。如果把目镜调节到能看清彩色像红区中的线，那么，为了能看到禁区的线，必须把目镜稍稍向里推进。如把阳光入射的狭缝加宽，则细的线将变得模糊，当狭缝加宽到40角秒时，细的线便全部消失。如狭缝放宽到1角分，则连一些宽的线也无法看清。改变百叶窗上狭缝的宽度和经纬仪到狭缝之间的距离，线与线之间的距离和它们之间的相互关系都保持不变。不论棱镜用何种折射物质制成，也不论折射角有多大，总可以看到这些线，只不过它们随彩色像的大小而变强或变弱，因而观测起来较易或较难罢了。

这些线和条纹彼此之间的关系对各种折射物质来说似乎都是一样的，例如在任何情况下，某种带总是出现在蓝区，而另一种带总是出现在红区，因而能立即认出所观测的是哪一条线。在由冰洲石晶体的寻常光和非常光所形成的光谱中也能证认出这些线。最强的线并不标出各种颜色的界限，线两边的颜色几乎总是相同的，从一种颜色到另一种颜色的过渡很不明显。

给出与这些线有关的彩色像。但是，在这样的尺度上不可能给出所有的线以及它们的强度（彩色像的红端在A附近，紫端

冰洲石晶体是首次用来发现双折射的晶体，一束光线经冰洲石折射后形成两束光线。



红 橙 黄 绿 蓝 靛 紫

在 I 附近)。要给红端或紫端定出一个明确的界限是不可能的,尽管在红端比在紫端要容易一些。直接照射的太阳光,或者是由平面镜反射的太阳光,似乎都具有一定的界限,一端在 G 和 H 中间的某处,另一端在 B 处;当用很强的太阳光照射时,彩色像将加长一半。然而,为了观测这条大为展宽的光谱,必须防止 C 和 G 之间的光进入眼睛,因为从彩色像两端来的光在眼睛中的印象极其微弱,会被其余部分的光所破坏。^①在 A 处,可以容易地认出一条清晰的线,但它并不是红区的极限,因为后者还向外延伸很远。在 A 处的线很多,它们形成了一个带。B 的界限明确,并具有一定的宽度。在 B 和 C 之间可数出 9 条纤细且边缘明锐的线。C 线的强度颇大,而且同 B 一样,很黑。在 C 和 D 之间可数出 30 条纤细的线;但它们(除两条外)与 B、C 之间的那些线一样,只有用高倍率的目镜或大色散的棱镜才能清楚地观测到,而且它们也都具有非常鲜明的界线。D 是由两条强线组成的,它们中间隔着一亮线。在 D 和 E 之间可数出约 84 条强度不等的线。E 本身由几条线组成,位于中间的那一条比其余的稍强一些。在 E 和 b 之间约有 24 条线。在 b 处有三条很强的线,其中两条仅由很窄的亮线隔开,它们属于光谱上最强的线。在 b 和 F 之间约可数出 52 条线, F 线颇强。在 F 和 G 之间大约有 185 条强度不等的线。G 处集中了许多线,它们中有几条强度很突出。在 G 和 H 之间大约有 190 条线,它们的强度相差很大。在 H 处的两个带最为显著,它们几乎完全相等,而且每一条都由许多线组成,在每一条的中央都是一条很黑的强线。从 H 到 I 之间也有大量的线。

通过多次实验和各种方法,我确信这些线和带都是反映太阳光本身性质的东西,而不是由于折射甚至幻觉产生的。如果让灯光通过百叶窗上的同一条狭缝,则上述的线一条也观测不到,只有一条亮线 R 准确地地位于 D 线的位置上,这表明光线 D 和 R 的折射系数相同。为什么当窗上的狭缝变宽时,光谱上的线会逐渐模糊甚至完全消失呢?原因不难说明。较强的线具有从 5 角秒到 10 角秒的宽度;因此,如果窗上的狭缝不够窄,就很难看出通过它的光属于哪一种光线,或者说,如果狭缝的角宽度比线的角宽度大得多,于是同一条线的像将出现在几倍于它的宽度范围内,结果将使线模糊,甚至在狭缝太宽时完全消失。

^① 眼睛对黄、绿光最敏感,对红光和紫光最不敏感,当太阳光增强时,光谱两端肉眼不敏感的波段也能看到了,因而彩色像加长。但这时需防止橙、黄、绿、蓝、靛等颜色的光进入眼睛,才能看清两端的谱线。——原编者

达尔文

《物种起源》第十五章 ——复述和结论

选自《物种起源》,(英)达尔文著,周建人、叶笃庄、方宗熙译,商务印书馆,1995年。

导读

达尔文(Charles Darwin,1809—1882)出生在英国的施鲁斯伯里,是一名家道殷实的医生的儿子。16岁时便被父亲送到爱丁堡大学学医,但达尔文似乎没有继承父亲的才能。1828年气愤的父亲把达尔文送到剑桥大学,改学神学,达尔文兴趣似乎仍然不大。在读了洪堡的著作后,他对博物学产生了兴趣。1831年从剑桥大学毕业后,达尔文放弃从事待遇丰厚的牧师职业。该年12月,英国政府组织了“比格尔号”全球科学考察航行,达尔文被推荐担任随船的博物学家,达尔文的父亲反对这项计划,达尔文的叔父说服了老达尔文。就这样,达尔文开始了一次历时5年的环球旅行。

在此之前他读过赖尔(英国地质学家,火成论和均变说的提出者)的一些书。介绍他读这些书的人本希望达尔文跟他一起嘲笑赖尔的观点,但达尔文没有笑,反而相信了赖尔的观点。他认识到地球是古老的,生命的发展经历了漫长的过程。在“比格尔号”上他对这些问题的观念得到了明朗化、深刻化的机会。

沿着南美洲海岸行驶时,达尔文觉察到了物种是怎样一点点地发生着变化的。特别引起他注意的是距离厄瓜多尔海岸大约650英里处的由12个左右的小岛组成的加拉帕戈斯群岛上的一群燕雀——现在它们被命名为达尔文燕雀。他发现这些燕雀在很多方面都彼此相似,但至少可以分为14个不同的种。其中没有一种出现在邻近的大陆上,而且就当时所知也不存在于世界上其他地方。达尔文相信邻近大陆上的原始燕雀种在很久很久以前必定来到了这岛上,它们的后代后来逐渐分化为不同的种类。有些只吃某一种种子,有些吃另一

种,有一些还只吃昆虫。一个特定的种因为其不同的生活方式就会发育出特殊的鸟喙,特殊大小的躯体,特殊的组织系统。大陆上的原始燕雀没有经历这些变化。

然而什么原因引起了这些燕雀在进化中的变异呢?1836年回到英国时,达尔文还没有找到答案。他被选进地质学会,忙于写作旅行和考察结果,于1839年出版了《比格尔轮上一个博物学家的旅行》。该书获得了巨大的成功,使达尔文一举成名。达尔文还发表了关于珊瑚礁是由于珊瑚残骸逐渐堆积而成的观点,此说与赖尔的学说正好相反,但赖尔为达尔文的著作感到由衷的喜悦,以至两人成了至交好友。

1838年达尔文读到马尔萨斯的《人口论》,他马上想到书中的观点也同样适用于其他生命形式,而且在过剩部分中,首先被淘汰的将是争夺食物的过程中处于不利地位的那一部分。比如加拉帕戈斯群岛上最早的一群燕雀,在开始时一定曾经未受抑制地繁衍滋生,并且必定超过了它们赖以生存的植物种子的供应。因此有一些饿死了,先饿死的是那些比较羸弱的或不善于寻找植物种子的燕雀。如果有一些能够改食较大的或较硬的种子,或者更进一步,改吃昆虫的话,那将出现什么情况呢?不能实现转变的就只能受到饥饿的牵制,而能够实现转变的,就会发现一个未被采掘过的食物来源,于是它们就能迅速蕃息滋生直到它们的食物供应也开始紧缩起来。

迫于环境的压力,生物会使它们自己适应不同的生活方式。往往会出现某一生物可以更适合于某一小环境的变化,而得以生存下来。自然界就这样选择某一群而淘汰另一群。通过这种“自然选择”,生命扩增出了几近无限多的品种。在各个特定的小环境里,适者生存,劣者淘汰。但是,一只吃种子的燕雀,是怎样做到突然学会其他燕雀做不到的改吃昆虫的呢?这里达尔文没有提出坚实的论证。

达尔文不断地搜集证据,试图完善他理论中的薄弱环节。1844年他开始写一部书,由于太想精益求精了,直到1858年书还未脱稿。此时,另一位博物学家华莱士写了一篇论文,其中包含的观点与达尔文的几乎一模一样。华莱士还寄了一个副本给达尔文征求意见。达尔文收到文稿时大吃一惊,但他没有匆忙出版他的书来夺回荣誉。他大度地把华莱士的文章转送其他科学家。赖尔坚持要达尔文提出与华莱士合作发表两人的共同结论,华莱士也不失为慷慨君子,1858年两人的论文在林奈学会的学报上发表。

第二年达尔文出版了他的书,这本已经很厚的书只是原写作计划的五分之一。全名称作:《论通过自然选择的物种起源,或生活斗争中适者生存》,通常

简称《物种起源》。学术界对这本书已经等候多时了,首版1250册在第一天就被抢购一空,以后一次又一次地再版。

《物种起源》的出版引起了持久的争论,神创论者和具有目的论倾向的科学家们对达尔文学说展开猛烈攻击,说达尔文的学说亵渎圣灵,有失人类尊严,等等。达尔文太过温文尔雅,其秉性很不适于争辩。幸而赫胥黎挺身而出为捍卫达尔文的学说进行战斗,他自称“达尔文的斗犬”。在德国和美国,也各有人为达尔文学说与反对派争论。

《物种起源》一书回避了这么一个爆炸性的问题,即达尔文的学说是否也适用于人类自身。在这一点上,赖尔作出了热烈的反应,他在1863年出版的《古老的人类》一书中,坚定地支持达尔文学说,并就人类或类人的生物在地球上必曾走过千万年漫长的历程进行了讨论。作为证据,他引用了当时在古老地层中发现的石制工具。华莱士怀疑进化论是否适用于人类,但是达尔文不怀疑。在1871年出版的《人类的遗传》一书中,达尔文论述了显示人类是低于人类的生命形式的后裔的证据。

到1882年4月19日达尔文因病去世时,自然选择的进化论已经赢得了胜利,反对派依然存在,但主要已不是科学家。达尔文在死时获得了崇高的评价,他被安葬在威斯敏斯特大教堂里离牛顿、法拉第和他的朋友赖尔不远的地方。

本文选自《物种起源》的最后一章“复述和结论”,读者从中可以了解到自然选择学说的概貌。

对自然选择学说的异议的复述——支持自然选择学说的一般的和特殊的情况的复述——一般相信物种不变的原因——自然选择学说可以引申到什么程度——自然选择学说的采用对于博物学研究的影响——结束语

因为全书是一篇绵长的争论,所以把主要的事实和推论简略地复述一遍,可能给予读者一些方便。

我不否认,有许多严重的异议可以提出来反对伴随着变异的生物由来学说,这一学说是以变异和自然选择为依据的。我曾努力使这些异议充分发挥它们的力量。比较复杂的器官和本能的完善化并不依靠超越于、甚至类似于人类理性的方法,而是依靠对于个体有利的无数轻微变异的累积。最初看来,没有什么比这更难使人相信的了。尽管如此,虽然在我们的想象中这好像是一个不可克服的大难点,可是如果我们承认下述的命题,这就不是一个真实的难点,这些命题是:体制的一切部分和本能至少呈现个体差异——生存斗争导致构造上或本能上有利偏差的保

存——最后,在每一器官的完善化的状态中有诸级存在,每一级对于它的种类都是有利的。这些命题的正确性,我想,是无可争辩的。

毫无疑问,甚至猜想一下许多器官是通过什么样的中间级进而成善化了的,也有极端困难,特别对于已经大量绝灭了、不连续的、衰败的生物群来说,更加如此;但是我们看到自然界里有那么多奇异的级进,所以当我们说任何器官或本能,或者整个构造不能通过许多级进的步骤而达到现在的状态时,应该极端的谨慎。必须承认,有特别困难的事例来反对自然选择学说,其中最奇妙的一个就是同一蚁群中有两三种工蚁即不育雌蚁的明确等级;但是,我已经试图阐明这些难点是怎样得到克服的。

物种在第一次杂交中的几乎普遍的不育性,与变种在杂交中的几乎普遍的能育性,形成极其明显的对比,关于这一点我必须请读者参阅第九章末所提出的事实的复述,这些事实,依我看来,决定性地示明了这种不育性不是特殊的禀赋,有如两个不同物种的树木不能嫁接在一起决不是特殊的禀赋一样;而只是基于杂交物种的生殖系统的差异所发生的偶然事情。我们在使同样两个物种进行互交——即一个物种先用作父本,后用作母本——的结果中所得到的大量差异里,看到上述结论的正确性。从二型和三型的植物的研究加以类推,也可以清楚地导致相同的结论,因为当诸类型非法地结合时,它们便产生少数种籽或不产生种籽,它们的后代也多少是不育的;而这些类型无疑是同一物种,彼此只在生殖器官和生殖机能上有所差异而已。

变种杂交的能育性及其混种后代的能育性虽然被如此众多的作者们确认是普遍的,但是自从高度权威该特纳和科尔路特举出若干事实以后,这就不能被认为是十分正确的了。被试验过的变种大多数是在家养状况下产生的;而且因为家养状况(我不是单指圈养而言)几乎一定有消除不育性的倾向,根据类推,这种不育性在亲种的杂交中会有影响;所以我们就应该希望家养状况同样会在它们的变异了的后代杂交中诱起不育性。不育性的这种消除显然是从容许我们的家畜在各种不同环境中自由生育的同一原因而来的,而这又显然是从它们已经逐渐适应于生活条件的经常变化而来的。

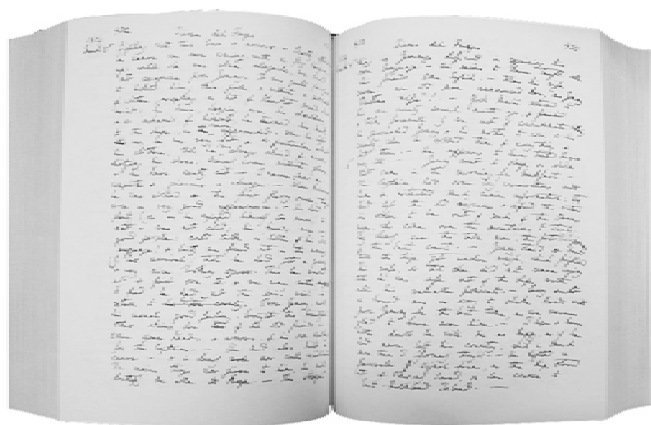
有两类平行的事实似乎对于物种第一次杂交的不育性及其

俗话说“万物生长靠太阳”,没有太阳也就谈不上地球和地球上的生物进化。那么太阳的光芒照耀了多少年?这成为一个关键问题(直到20世纪上半叶才看到解决这个问题的希望)。

达尔文通过对英国南部一条山谷的观察,根据当时测得的冲蚀速度,估算出要形成这样一条山谷需要三亿年。地球尚且存在了三亿年,太阳至少也应照耀了三亿年。

但是德国物理学家亥姆霍兹(H. Helmholtz)在1854年提出太阳的能量来自大质量的引力收缩从势能转化而成的热能。因成就卓著而被册封为开尔文勋爵的英国大物理学家威廉·汤姆森(W. Thompson),也认为太阳的能量转化自引力势能,他认为是持续不断的原初流星撞击到太阳上形成了太阳能,并以他的权威在1862年宣布:“流星理论”能给予太阳能来源真实的完全的解释,该理论能提供给太阳2000万年的发光时间。开尔文并据此反对进化论学说。

进化论需要更长的地球年龄来允许物种进行分化达到当前的多样性,更多的地质学证据也显示地球有更为古老的年龄。但是开尔文勋爵是大科学家,他是从科学的角度、用科学的方法提出的太阳寿命,所以达尔文把他的反对意见看成是“曾经提出来的最严重的异议之一”。



达尔文比格尔号上的日记

杂种后代的不育性提出了许多说明。一方面,有很好的理由可以相信,生活条件的轻微变化会给予一切生物以活力和能育性。我们又知道同一变种的不同个体的杂交以及不同变种的杂交会增加它们后代的数目,并且一定会增加它们的大小和活力。这主要由于进行杂交的类型曾经暴露在多少不同的生活条件下;因为我曾经根据一系列辛劳的实验确定了,如果同一变种的一切个体在若干世代中都处于相同的条件下,那么从杂交而来的好处常常会大事减少或完全消失。这是事实的一面。另一方面,我们知道曾经长期暴露在近乎一致条件下的物种,当在大不相同的新条件之下圈养时,它们或者死亡,或者活着,即使保持完全的健康,也要变成不育的了。对长期暴露在变化不定的条件下的家养生物来说,这种情形并不发生,或者只以轻微的程度发生。因此,当我们看到两个不同物种杂交,由于受孕后不久或在很早的年龄死亡,而所产生的杂种数目稀少时,或者虽然活着而它们多少变得不育时,这种结果极可能是因为这些杂种似乎把两种不同的体制融合在一起,事实上已经遭受到生活条件中的巨大变化。谁能够以明确的方式来解释,比方说,象或狐狸在它的故乡受到圈养时为什么不生育,而家猪或猪在最不相同的条件下为什么还能大量地生育,于是他就能够对以下问题作出确切的答案,即两个不同的物种当杂交时以及它们的杂种后代为什么一般都是多少不育的,而两个家养的变种当杂交时以及它们的混种后代为什么都是完全能育的。

就地理的分布而言,伴随着变异的生物由来学说所遭遇的难点是极其严重的。同一物种的一切个体、同一属或甚至更高级的群的一切物种都是从共同的祖先传下来的,因此,它们现在不管在地球上怎样遥远的和隔离的地点被发现,它们一定是在连续世代的过程中从某一地点迁徙到一切其他地点的。这是怎样发生的,甚至往往连猜测也完全不可能。然而,我们既然有理由相信,某些物种曾经在极长的时间保持同一物种的类型(这时期如以年代来计算是极其长久的),所以不应过分

强调同一物种的偶然的广泛散布 ;为什么这样说呢 ? 因为在很长久的时期里总有良好的机会通过许多方法来进行广泛迁徙的。不连续或中断的分布常常可以由物种在中间地带的绝灭来解释。不能否认 ,我们对于在现代时期内曾经影响地球的各种气候变化和地理变化的全部范围还是很无知的 ,而这些变化则往往有利于迁徙。作为一个例证 ,我曾经企图示明冰期对于同一物种和近似物种在地球上的分布的影响曾是如何的有效。我们对于许多偶然的输送方法还是深刻无知的。至于生活在遥远而隔离的地区的同属的不同物种 ,因为变异的过程必然是缓慢地进行的 ,所以迁徙的一切方法在很长的时期里便成为可能 ,结果同属的物种的广泛散布的难点就在某种程度上减小了。

按照自然选择学说 ,一定有无数的中间类型曾经存在过 ,这些中间类型以微细的级进把每一群中的一切物种联结在一起 ,这些微细的级进就像现存变种那样 ,因此我们可以问 :为什么我们没有在我们的周围看到这些联结的类型呢 ? 为什么一切生物并没有混杂成不能分解的混乱状态呢 ? 关于现存的类型 ,我们应该记住我们没有权利去希望 (除了极少的例子以外)在它们之间发现直接联结的连锁 ,我们只能在各个现存类型和某一绝灭的、被排挤掉的类型之间发现这种连锁。如果一个广阔的地区在一个长久时期内曾经保持了连续的状态 ,并且它的气候和其他生活条件从被某一个物种所占有的区域逐渐不知不觉地变化到为一个密切近似物种所占有的区域 ,即使在这样的地区内 ,我们也没有正当的权利去希望在中间地带常常找到中间变种。因为我们有理由相信 ,每一属中只有少数物种曾经发生变化 ;其他物种则完全绝灭 ,而没有留下变异了的后代。在的确发生变化的物种中 ,只有少数在同一地区内同时发生变化 ,而且一切变异都是逐渐完成的。我还阐明 ,起初在中间地带存在的中间变种大概会容易地被任何方面的近似类型所排挤 ;因为后者由于生存的数目较大 ,比起生存数目较少的中间变种一般能以较快的速率发生变化和改进 ,结果中间变种最后就要被排挤掉和消灭掉。

世界上现存生物和绝灭生物之间以及各个连续时期内绝灭物种和更加古老物种之间 ,都有无数联结的连锁已经绝灭。按照这一学说来看 ,为什么在每一地质层中没有填满这等连锁类型呢 ? 为什么化石遗物的每一次采集没有为生物类型的逐级过渡和变化提供明显的证据呢 ? 虽然地质学说的研究毫无疑问地揭露了以前曾经存在的许多连锁 ,把无数的生物类型更加紧密地联结在一起 ,但是它所提供的过去物种和现存物种之间的无限多的微细级进并不能满足这一学说的要求 ,这是反对这一学说的许多异议中的最明显的异议。还有 ,为什么整群的近似物种好像是突然出现在连续的地质诸阶段之中呢 (虽然这常常是一种假象) ? 虽然我们现在知道 ,生物早在寒武纪最下层沉积以前的一个无可计算的极古时期就在这个地球上出现了 ,但是为什么我们在这个系统之下没有发现巨大的地层含有寒武纪化石

的祖先遗骸呢？因为，按照这个学说，这样的地层一定在世界历史上的这等古老的和完全未知的时代里，已经沉积于某处了。

我只能根据地质记录比大多数地质学家所相信的更加不完全这一假设来回答上述的问题和异议。一切博物馆内的标本数目与肯定曾经生存过的无数物种的无数世代比较起来，是微不足道的。任何两个或更多物种的亲类型不会在它的一切性状上都直接地介于它的变异了的后代之间，正如岩鸽在喙囊和尾方面不直接介于它的后代突胸鸽和扇尾鸽之间一样。如果我们研究两种生物，即使这研究是周密进行的，除非我们得到大多数的中间连锁，我们就不能辨识一个物种是否是另一变异了的物种的祖先，而且由于地质记录的不完全，我们也没有正当的权利去希望找到这么多连锁。如果有两三个或者甚至更多的联结的类型被发现，它们就会被许多博物学者简单地列为那样多的新物种，如果它们是在不同地质亚层中找到的，不管它们的差异如何轻微，就尤其如此。可以举出无数现存的可疑类型，大概都是变种，但是谁敢说将来会发现如此众多的化石连锁，以至博物学者能够决定这些可疑的类型是否应该叫作变种？只有世界的一小部分曾经作过地质勘探。只有某些纲的生物才能在化石状态中至少以任何大量的数目被保存下来。许多物种一旦形成以后如果永不再进行任何变化，就会绝灭而不留下变异了的后代，而且物种进行变化的时期，虽然以年来计算是长久的，但与物种保持同一类型的时期比较起来，大概还是短的。占优势和分布广的物种，最常变异，并且变异最多，变种起初又常是地方性的——由于这两个原因，要在任何一个地层里发现中间连锁就比较不容易。地方变种不等到经过相当的变异和改进之后，是不会分布到其他遥远地区的，当它们散布开了，并且在一个地层中被发现的时候，它们看来好像是在那里被突然创造出来似的，于是就被简单地列为新的物种。大多数地层在沉积中是断断续续的，它们延续的时间大概比物种类型的平均延续时间短。在大多数情形下，连续的地质层都被长久的空白间隔时间所分开，因为含有化石的地质层，其厚度足以抵抗未来的陵蚀作用，按照一般规律，这样的地质层只能在海底下降而有大量沉积物沉积的地方，才能得到堆积。在水平面上升和静止的交替时期，一般是无地质记录的。在后面这样的时期中，生物类型大概会有更多的变异性，在下降的时期中，大概有更多的绝灭。

关于寒武纪地质层以下缺乏富含化石的地层这一点，我只能回到第十章所提出的假说，即，我们的大陆和海洋在长久时期内虽然保持了几近像现在的相对位置，但是我们没有理由去假设永远都是这样的，所以比现在已知的任何地质层更古老得多的地质层可能还埋藏在大洋之下。有人说自从我们这个行星凝固以来所经历的时间，并不足以使生物完成所设想的变化量，这一异议，正如汤普森爵士所极力主张的，大概是曾经提出来的最严重异议之一。关于这一点我只能说：第一，

如用年来计算,我们不知道物种以何种速率发生变化;第二,许多哲学家还不愿意承认,我们对于宇宙的和地球内部的构成已有足够的知识,可以用来稳妥地推测地球过去的时间长度。

大家都承认地质记录是不完全的,但是很少人肯承认它的不完全已到了我们学说所需要的那种程度。如果我们观察到足够悠久的长期的间隔时间,地质学说就明白地表明一切物种都变化了,而且它们以学说所要求的那种方式发生变化,因为它们都是缓慢地而且以逐渐的方式发生变化的。我们在连续地质层里的化石遗骸中清楚地看到这种情形,这等地质层中化石遗骸的彼此关系一定远比相隔很远的地质层中的化石遗骸更加密切。

以上就是可以正当提出来反对这个学说的几种主要异议和难点的概要;我现在已经就我所知道的简要地复述了我的回答和解释。多年以来我曾感到这些难点是如此严重,以致不能怀疑它们的分量。但是值得特别注意的是,更加重要的异议与我们公认无知的那些问题有关,而且我们还不知道我们无知到什么程度。我们还不知道在最简单的和最完善的器官之间的一切可能的过渡级进,也不能假装我们已经知道,在悠久岁月里“分布”的各种各样的方法,或者地质记录是怎样的不完全。尽管这几种异议是严重的,但在我的判断中它们决不足以推翻伴随着后代变异的生物由来学说。

现在让我们谈谈争论的另一方面。在家养状况下,我们看到由变化了的生活条件所引起的或者至少是所激起的大量变异性;但是它经常以这样暧昧的方式发生,以致我们容易把变异认为是自发的。变异性受许多复杂的法则所支配——受相关生长、补偿作用、器官的增强使用和不使用,以及周围条件的一定作用所支配。确定我们的家养生物曾经发生过多少变化,困难很大,但是我们可以稳妥地推论,变异量是大的,而且变异能够长久地遗传下去。只要生活条件保持不变,我们就有理由相信,曾经遗传过许多世代的变异可以继续遗传到几乎无限的世代。另一方面,我们有证据说,一旦发生作用的变异性在家养状况下便可在很久的时期内不会停止,我们还不知道它何时停止过,因为就是最古老的家养生物也会偶尔产生新变种。

变异性实际上不是由人引起的,他只是无意识地把生物放在新的生活条件之下,于是自然就对生物的体制发生作用,而引起它发生变异。但是人能够选择并且确实选择了自然给予他的变异,从而把变异按照任何需要的方式累积起来。这样,他便可以使动物和植物适应他自己的利益或爱好。他可以有计划地这样做,或者可以无意识地这样做,这种无意识选择的方法就是保存对他最有用或最合乎他的爱好的那些个体,但没有改变品种的任何企图。他肯定能够借着在每一连续世代中选择那些除了有训练的眼睛就不能辨识出来的极其微细的个体差异,来大大影

响一个品种的性状。这种无意识的选择过程在形成最显著的和最有用的家养品种中曾经起过重大的作用。人所产生的许多品种在很大程度上具有自然物种的状况,这一事实已由许多品种在很大程度上具有自然物种的状况,这一事实已由许多品种究竟是变种或本来是不同的物种这一难以解决的疑难问题所明了。

没有理由可以说在家养状况下曾经如此有效地发生了作用的原理为什么不能在自然状况下发生作用。在不断反复发生的生存斗争中有利的个体或族得到生存,从这一点我们看到一种强有力的和经常发生作用的“选择”的形式。一切生物都依照几何级数高度地增加,这必然会引起生存斗争。这种高度的增加率可用计算来证明——许多动物和植物在连续的特殊季节中以及在新地区归化时都会迅速增加,这一点就可证明高度的增加率。产生出来的个体比可能生存的多。天平上的些微之差便可决定哪些个体将生存,哪些个体将死亡——哪些变种或物种将增加数量,哪些将减少数量或最后绝灭。同一物种的个体彼此在各方面进行了最密切的竞争,因此它们之间的斗争一般最为剧烈,同一物种的变种之间的斗争几乎也是同样剧烈的,其次就是同属的物种之间的斗争。另一方面,在自然系统上相距很远的生物之间的斗争也常常是剧烈的。某些个体在任何年龄或任何季节比与其相竞争的个体只要占有最轻微的优势,或者对周围物理条件具有任何轻微程度的较好适应,结果就会改变平衡。

对于雌雄异体的动物,在大多数情形下雄者之间为了占有雌者,就会发生斗争。最强有力的雄者,或与生活条件斗争最成功的雄者,一般会留下最多的后代。但是成功往往取决于雄者具有特别武器,或者防御手段,或者魅力,轻微的优势就会导致胜利。

地质学清楚地表明,各个陆地都曾发生过巨大的物理变化,因此,我们可以预料生物在自然状况下曾经发生变异,有如它们在家养状况下曾经发生变异那样。如果在自然状况下有任何变异的话,那么要说自然选择不曾发生作用,那就是无法解释的事实了。常常有人主张,变异量在自然状况下是一种严格有限制的量,但是这个主张是不能证实的。人,虽然只是作用于外部性状而且其结果是莫测的,却能够在短暂的时期内由累积家养生物的个体差异而产生巨大的结果,并且每一个人都承认物种呈现有个体差异。但是,除了个体差异外,一切博物学者都承认有自然变种存在,这些自然变种被认为有足够的区别而值得在分类学著作中加以记载。没有人曾经在个体差异和轻微变种之间,或者在特征更加明确的变种和亚种之间,以及亚种和物种之间划出任何明显的区别。在分离的大陆上,在同一大陆上而被任何种类的障碍物分开的不同区域,以及在遥远的岛上,大量的生物类型存在,有些有经验的博物学者把它们列为变种,另一些博物学者竟把它们列为地理族或亚种,还有一些博物学者把它们列为不同的虽然是密切近似的物种!

那么,如果动物和植物的确发生变异,不管其如何轻微或者缓慢,只要这等变异或个体差异在任何方面是有利的,为什么不会通过自然选择即最适者生存而被保存下来和累积起来呢?人既能耐心选择对他有用的变异,为什么在变化着的和复杂的生活条件下有利于自然生物的变异不会经常发生,并且被保存,即被选择呢?对于这种在悠久年代中发生作用并严格检查每一生物的整体制、构造和习性——助长好的并排除坏的——的力量能够加以限制吗?对于这种缓慢地并美妙地使每一类型适应于最复杂的生活关系的力量,我无法看到有什么限制。甚至如果我们不看得更远,自然选择学说似乎也是高度可信的。我已经尽可能公正地复述了对方提出的难点和异议:现在让我们转而谈一谈支持这个学说的特殊事实和论点罢。

物种只是特征强烈显著的、稳定的变种,而且每一物种首先作为变种而存在,根据这一观点,我们便能理解,在普通假定由特殊创造行为产生出来的物种和公认为由第二性法则产生出来的变种之间,为什么没有一条界线可定。根据这同一观点,我们还能理解在一个属的许多物种曾经产生出来的而且现今仍为繁盛的地区,为什么这些物种要呈现许多变种;因为在形成物种很活跃的地方,按照一般的规律,我们可以预料它还在进行;如果变种是初期的物种,情形就确是这样。还有,大属的物种如果提供较大数量的变种,即初期物种,那么它们在某种程度上就会保持变种的性状;因为它们之间的差异量比小属的物种之间的差异量为小。大属的密切近似物种显然在分布上要受到限制,并且它们在亲缘关系上围绕着其他物种聚成小群——这两方面都和变种相似。根据每一物种都是独立创造的观点,这些关系都是奇特的,但是如果每一物种都是首先作为变种而存在的话,那么这些关系便是可以理解的了。

各个物种都有按照几何级数繁殖率而过度增加数量的倾向,而且各个物种的变异了的后代由于它们在习性上和构造上更加多样化的程度,便能在自然组成中攫取许多大不相同的场所而增加它们的数量,因此自然选择就经常倾向于保存任何一个物种的最分歧的后代。所以在长久连续的变异过程中,同一物种的诸变种所特有的轻微差异便趋于增大而成为同一属的诸物种所特有的较大差异。新的、改进了的变种不可避免地要排除和消灭掉旧的、改进较少的和中间的变种;这样,物种在很大程度上就成为确定的、界限分明的了。每一纲中属于较大群的优势物种有产生新的和优势的类型的倾向,结果每一大群便倾向于变得更大,同时在性状上更加分歧。但是所有的群不能都这样继续增大,因为这世界不能容纳它们,所以比较占优势的类型就要打倒比较不占优势的类型。这种大群继续增大以及性状继续分歧的倾向,加上不可避免的大量绝灭的事情,说明了一切生物类型都是按照群之下又有群来排列的,所有这些群都被包括在曾经自始至终占有优势的少数大纲

之内。把一切生物都归在所谓“自然系统”之下的这一伟大事实,如果根据特创说,是完全不能解释的。

自然选择仅能借着轻微的、连续的、有利的变异的累积而发生作用,所以它不能产生巨大的或突然的变化;它只能按照短小的和缓慢的步骤而发生作用。因此,“自然界里没有飞跃”这一格言,已被每次新增加的知识所证实,根据这个学说,它就是可以理解的了。我们能够理解,为什么在整个自然界中可以用几乎无限多样的手段来达到同样的一般目的,因为每一种特点,一旦获得,就可以长久遗传下去,并且已经在许多不同方面变异了的构造势必适应同样的一般目的。总之,我们能够理解,为什么自然界在变异上是浪费的,虽然在革新上是吝啬的。但是如果每一物种都是独立创造出来的话,那么,为什么这应当是自然界的一条法则,就没有人能够解释了。

依我看来,根据这个学说,还有许多其他事实可以得到解释。这是多么奇怪:一种啄木鸟形态的鸟会在地面上捕食昆虫;很少或永不游泳的高地的鹅具有蹼脚;一种像鸕的鸟潜水并吃水中的昆虫;一种海燕具有适于海雀生活的习性和构造!还有无穷尽的其他例子也都是这样的。但是根据以下的观点,即各个物种都经常在力求增加数量,而且自然选择总是在使每一物种的缓慢变异着的后代适应于自然界中未被占据或占据得不好的地方,那么上述事实就不足为奇,甚至是可以料想到的了。

我们能够在某种程度上理解整个自然界中怎么会有这么多的美;因为这大部分是由选择作用所致。按照我们的感觉,美并不是普遍的,如果有人看见过某些毒蛇、某些鱼、某些具有丑恶得像歪扭人脸那样的蝙蝠,他们都会承认这一点。性选择曾经把最灿烂的颜色、优美的样式和其他装饰物给予雄者,有时也给予许多鸟类、蝴蝶和其他动物的两性。关于鸟类,性选择往往使雄者的鸣声既可取悦于雌者,也可取悦于我们的听觉。花和果实由于它的彩色与绿叶相衬显得很鲜明,因此花就容易被昆虫看到、访问和传粉,而且种籽也会被鸟类散布开去。某些颜色、声音和形状会怎样给予人类和低于人类的动物以快感——即最简单的美感在最初是怎样获得的——我们并不知道,有如我们不知道某些味道和香气最初怎样变成为适意的一样。

因为自然选择由竞争而发生作用,它使各个地方的生物得到适应和改进,这只是对其同位者而言;所以任何一个地方的物种,虽然按照通常的观点被假定是为了那个地区创造出来而特别适应那个地区的,却被从其他地方移来的归化生物所打倒和排挤掉,对此我们不必惊奇。自然界里的一切设计,甚至像人类的眼睛,就我们所能判断的来说,并不是绝对安全的;或者它们有些与我们的适应观念不相容,对此也不必惊奇。蜜蜂的刺,当用来攻击敌人时,会引起蜜蜂自己的死亡;雄蜂为

了一次交配而产生出那么多,交配之后便被它们的不育的姊妹们杀死;枞树花粉的惊人的浪费;后蜂对于它的能育的儿女们所具有的本能仇恨;姬蜂在毛虫的活体内求食;以及其他这类的例子,也不足为奇。从自然选择学说看来,奇怪的事情实际上倒是没有发现更多的缺乏绝对完全化的例子。

支配产生变种的复杂而不甚理解的法则,就我们所能判断的来说,与支配产生明确物种的法则是相同的。在这两种场合里,物理条件似乎产生了某种直接的和确定的效果,但这效果有多大,我们却不能说。这样,当变种进入任何新地点以后,它们有时便取得该地物种所固有的某些性状。对于变种和物种,使用和不使用似乎产生了相当的效果;如果我们看到以下情形,就不可能反驳这一结论。例如,具有不能飞翔的翅膀的大头鸭所处的条件几乎与家鸭相同;穴居的栉鼠有时是盲目的;某些鼯鼠通常是盲目的,而且眼睛上被皮肤遮盖着;栖息在美洲和欧洲暗洞里的许多动物是盲目的。对于变种和物种,相关变异似乎发生了重要作用,因此,当某一部分发生变异时,其他部分也必然要发生变异。对于变种和物种,长久亡失的性状有时会在变种和物种中复现。马属的若干物种以及它们的杂种偶尔会在肩上和腿上出现条纹,根据特创说,这一事实将如何解释呢!如果我们相信这些物种都是从具有条纹的祖先传下的,就像鸽的若干家养品种都是从具有条纹的蓝色岩鸽传下来的那样,那么上述事实的解释将是如何简单呀!

按照每一物种都是独立创造的通常观点,为什么物种的性状,即同属的诸物种彼此相区别的性状比它们所共有的属的性状更多变异呢?比方说,一个属的任何一种花的颜色,为什么当其他物种具有不同颜色的花时,要比当一切物种的花都具有同样颜色时,更加容易地发生变异呢?如果说物种只是特征很显著的变种,而且它们的性状已经高度地变得稳定了,那么我们就能够理解这种事实,因为这些物种从一个共同祖先分枝出来以后它们在某些性状上已经发生过变异了,这就是这些物种彼此赖以区别的性状,所以这些性状比在长时期中遗传下来而没有变化的属的性状就更加容易地发生变异。根据特创说,就不能解释在一属的单独一个物种里,以很异常方式发育起来的因而我们可以自然地推想对于那个物种有巨大重要性的器官,为什么显著容易地发生变异;但是,根据我们的观点,自从若干物种由一个共同祖先分枝出来以后,这种器官已经进行了大量的变异和变化,因此我们可以预料这种器官一般还要发生变异。但是一种器官,如同蝙蝠的翅膀,可能以最异常的方式发育起来,但是,如果这种器官是许多附属类型所共有的,也就是说,如果它曾是在很长久时期内被遗传下来的,这种器官并不会比其他构造更容易地发生变异,因为在这种情形下,长久连续的自然选择就会使它变为稳定的了。

看一看本能,某些本能虽然很奇异,可是按照连续的、轻微的、有益的变异之自然选择学说,它们并不比肉体构造提供更大的难点。这样,我们便能理解为什么自

然在赋予同纲的不同动物以若干本能时,是以级进的步骤进行活动的。我曾企图示明级进原理对于蜜蜂可赞美的建筑能力提供了多么重要的解释。在本能的改变中,习性无疑往往发生作用;但它并不是肯定不可缺少的,就像我们在中性昆虫的情形中所看到的那样,中性昆虫并不留下后代遗传有长久连续的习性的效果。根据同属的一切物种都是从一个共同祖先传下来的并且遗传了许多共同性状这一观点,我们便能了解近似物种当处在极不相同的条件之下时,怎么还具有几乎同样的本能;为什么南美洲热带和温带的鸫像不列颠的物种那样地用泥土涂抹它们的巢的内侧。根据本能是通过自然选择而缓慢获得的观点,我们对某些本能并不完全,容易发生错误,而且许多本能会使其他动物蒙受损失,就不必大惊小怪了。

如果物种只是特征很显著的、稳定的变种,我们便能立刻看出为什么它们的杂交后代在类似亲体的程度上和性质上——在由连续杂交而相互吸收方面以及其他这等情形方面——就像公认的变种杂交后代那样地追随着同样的复杂法则。如果物种是独立创造的,并且变种是通过第二性法则产生出来的,这种类似就成为奇怪的事情了。

如果我们承认地质记录不完全到极端的程度,那么地质记录所提供的事实就强有力地支持了伴随着变异的生物由来学说。新的物种缓慢地在连续的间隔时间内出现,而不同的群经过相等的间隔时间之后所发生的变化量是大不相同的。物种和整个物群的绝灭,在有机世界的历史中起过非常显著的作用,这几乎不可避免地是自然选择原理的结果,因为旧的类型要被新而改进了的类型排挤掉。单独一个物种也好,整群的物种也好,当普通世代的链条一旦断绝时,就不再出现了。优势类型的逐渐散布,以及它们后代的缓慢变异,使得生物类型经过长久的间隔时间以后,看来好像是在整个世界范围内同时发生变化似的。各个地质层的化石遗骸的性状在某种程度上是介于上面地质层和下面地质层的化石遗骸之间的。这一事实可以简单地由它们在系统链条中处于中间地位来解释。一切绝灭生物都能与一切现存生物分类在一起,这一伟大事实是现存生物和绝灭生物都是共同祖先的后代的自然结果。因为物种在它们的由来和变化的悠久过程中一般已在性状上发生了分歧,所以我们便能理解为什么比较古代的类型,或每一群的早期祖先,如此经常地在某种程度上处于现存群之间的位置。总之,现代类型在体制等级上一般被看作比古代类型为高,而且它们必须是较高级的,因为未来发生的、比较改进了的类型在生活斗争中战胜了较老的和改进较少的类型;它们的器官一般也更加专业化,以适于不同机能。这种事实与无数生物尚保存简单的而很少改进的适于简单生活条件的构造是完全一致的;同样地,这与某些类型在系统的各个阶段中为了更好地适于新的、退化的生活习性而在体制上退化了的情形也是一致的。最后,同一

大陆的近似类型——如澳洲的有袋类、美洲的贫齿类和其他这类例子——的长久延续的奇异法则也是可以理解的,因为在同一地区里,现存生物和绝灭生物由于系统的关系会是密切近似的。

看一看地理分布,如果我们承认,由于以前的气候变化和地理变化以及由于许多偶然的和未知的散布方法,在悠长的岁月中曾经有过从世界的某一部分到另一部分的大量迁徙,那么根据伴随着变异的生物由来学说,我们便能理解有关“分布”上的大多数主要事实。我们能够理解,为什么生物在整个空间内的分布和在整个时间内的地质演替会有这么动人的平行现象,因为在这两种情形里,生物通常都由世代的纽带所联结,而且变异的方法也是一样的。我们也体会了曾经引起每一个旅行家注意的奇异事实的全部意义,即在同一大陆上,在最不相同的条件下,在炎热和寒冷下,在高山和低地上,在沙漠和沼泽里,每一大纲里的生物大部分是显然相关联的,因为它们都是同一祖先和早期移住者的后代。根据以前迁徙的同一原理,在大多数情形里它与变异相结合,我们借冰期之助,便能理解在最遥远的高山上和在北温带、南温带中的某些少数植物的同一性,以及许多其他生物的密切近似性,同样地还能理解,虽然被整个热带海洋隔开的北温带和南温带海里的某些生物的密切相似性,虽然两个地区呈现着同一物种所要求的密切相似的物理条件,如果这两个地区在长久时期内是彼此分开的,那么我们对于它们的生物的大不相同就不必大惊小怪,因为,由于生物和生物之间的关系是一切关系中的最重要关系,而且这两个地区在不同时期内会从其他地区或者彼此相互接受不同数量的移住者,所以这两个地区中的生物变异过程就必然是不同的。

依据谱系以后发生变化的这个迁徙的观点,我们便能理解为什么只有少数物种栖息在海洋岛上,而其中为什么有许多物种是特殊的即本地特有的类型。我们清楚地知道那些不能横渡广阔海面的动物群的物种,如蛙类和陆栖哺乳类,为什么不栖息在海洋岛上;另一方面,还可理解,像蝙蝠这些能够横渡海洋的动物,其新而特殊的物种为什么往往见于离开大陆很远的岛上。海洋岛上有蝙蝠的特殊物种存在,却没有一切其他陆栖哺乳类,根据独立创造的学说,这等情形就完全不能得到解释了。

任何两个地区有密切近似的或代表的物种存在,从伴随着变异的生物由来学说的观点看来,是意味着同一亲类型以前曾经在这两个地区栖息过;并且,无论什么地方,如果那里有许多密切近似物种栖息在两个地区,我们必然还会在那里发现两个地区所共有的某些同一物种。无论在什么地方,如果那里有许多密切近似的而区别分明的物种发生,那么同一群的可疑类型和变种也会同样地在那里发生。各个地区的生物必与移入者的最近根源地的生物有关联,这是具有高度一般性的

法则。在加拉帕戈斯群岛、胡安·斐尔南德斯群岛 (Juar Fernandez)^①以及其他美洲岛屿上的几乎所有的植物和动物与邻近的美洲大陆的植物和动物的动人关系中,我们看到这一点;也在佛得角群岛以及其他非洲岛屿上的生物与非洲大陆生物的关系中看到这一点。必须承认,根据特创说,这些事实是得不到解释的。

我们已经看到,一切过去的和现代的生物都可群下分群,而且绝灭的群往往介于现代诸群之间,在这等情形下,它们都可以归入少数的大纲中,这一事实,根据自然选择及其所引起的绝灭和性状分歧的学说,是可以理解的。根据这些同样的原理,我们便能理解,每一纲里的类型的相互亲缘关系为什么是如此复杂和曲折的。我们还能理解,为什么某些性状比其他性状在分类上更加有用——为什么适应的性状虽然对于生物具有高度的重要性,可是在分类上几乎没有任何重要性;为什么从残迹器官而来的性状,虽然对于生物没有什么用处,可是往往在分类上具有高度的价值;还有,胚胎的性状为什么往往是最有价值的。一切生物的真实亲缘关系,与它们的适应性的类似相反,是可以归因于遗传或系统的共同性的。“自然系统”是一种依照谱系的排列,依所获得的差异诸级,用变种、物种、属、科等术语来表示的,我们必须由最稳定的性状,不管它们是什么,也不管在生活上多么不重要,去发现系统线。

人的手、蝙蝠的翅膀、海豚的鳍和马的腿都由相似的骨骼构成——长颈鹿颈和象颈的脊椎数目相同——以及无数其他的这类事实,依据伴随着缓慢的、微小而连续的变异的生物由来学说,立刻可以得到解释。蝙蝠的翅膀和腿——螃蟹的颚和腿——花的花瓣、雄蕊和雌蕊,虽然用于极其不同的目的,但它们的结构样式都相似。这些器官或部分在各个纲的早期祖先中原来是相似的,但以后逐渐发生了变异,根据这种观点,上述的相似性在很大程度上还是可以得到解释的。连续变异不总是在早期年龄中发生,并且它的遗传是在相应的而不是在更早的生活时期,依据这一原理,我们更可清楚地理解,为什么哺乳类、鸟类、爬行类和鱼类的胚胎会如此密切相似,而在成体类型中又如此不相似。呼吸空气的哺乳类或鸟类的胚胎就像必须依靠很发达的鳃来呼吸溶解在水中的空气的鱼类那样地具有鳃裂和弧状动脉,对此我们用不着大惊小怪。

不使用,有时借自然选择之助,往往会使在改变了的生活习性或生活条件下变成无用的器官而缩小,根据这一观点,我们便能理解残迹器官的意义。但是不使用和选择一般是在每一生物到达成熟期并且必须在生存斗争中发挥充分作用的时期,才能对每一生物发生作用,所以对于在早期生活中的器官没有什么影响力,因此那器官在这早期年龄里不会被缩小或成为残迹的。比方说,小牛从一个具有很

^① 在南太平洋,智利以西400英里。——译者

发达牙齿的早期祖先遗传了牙齿,而它们的牙齿从来不穿出上颌牙床肉,我们可以相信,由于舌和颚或唇通过自然选择变得非常适于吃草,而无需牙齿的帮助,所以成长动物的牙齿在以前就由于不使用而缩小了;可是在小牛中,牙齿没有受到影响,并且依据遗传在相应年龄的原理,它们从遥远的时期一直遗传到今天。带着毫无用处的鲜明印记的器官,例如小牛胚胎的牙齿或许多甲虫的连合鞘翅下的萎缩翅,竟会如此经常发生,根据每一生物以及它的一切不同部分都是被特别创造出来的观点,这将是多么完全不可理解的事情。可以说“自然”曾经煞费苦心地利用残迹器官、胚胎的以及同原的构造来泄露她的变化的设计,只是我们太盲目了,以致不能理解她的意义。

上述事实和论据使我完全相信,物种在系统的悠久过程中曾经发生变化,对此我已做了复述。这主要是通过对无数连续的、轻微的、有利的变异进行自然选择而实现的;并且以重要的方式借助于器官的使用和不使用的遗传效果,还有不重要的方式,即同不论过去或现在的适应性构造有关,它们的发生依赖外界条件的直接影响,也依赖我们似乎无知的自发变异。看来我以前是低估了在自然选择以外导致构造上永久变化的这种自发变异的频率和价值。但是因为我的结论最近曾被严重地歪曲,并且说我把物种的变异完全归因于自然选择,所以请让我指出,在本书的第一版中,以及在以后的几版中,我曾把下面的话放在最显著的地位——即《绪论》的结尾处:“我相信‘自然选择’是变异的最主要的但不是独一无二的手段。”这话并没有发生什么效果。根深蒂固的误解力量是大的,但是科学的历史表明,这种力量幸而不会长久延续。

几乎不能设想,一种虚假的学说会像自然选择学说那样地以如此令人满意的方式解释上述若干大类的事实。最近有人反对说,这是一种不妥当的讨论方法;但是,这是用来判断普通生活事件的方法,并且是最伟大的自然哲学家们所经常使用的方法。光的波动理论就是这样得来的,而地球环绕中轴旋转的信念,直到最近还没有直接的证据。要说科学对于生命的本质或起源这个更高深的问题还没有提出解释,这并不是有力的异议。谁能够解释什么是地心吸力的本质呢?现在没有人会反对遵循地心吸力这个未知因素所得出的结果;尽管列不尼兹(Leibnitz)

达尔文这里把自然选择学说与哥白尼的日心说和牛顿的万有引力理论相比。确实,三者都被当作科学理论,但是后二者都能提出精密的数学模型,并能预言新的可通过观测验证的事实,这是所谓“精密科学”的重要特征。在这两点上,进化论未能做到。

以前曾经责难牛顿 ,说他引进了 “玄妙的性质和奇迹到哲学里来”。

本书所提出的观点为什么会震动任何人的宗教感情 ,我看不出有什么好的理由。要想指出这种印象是如何短暂 ,记住以下情形就够了 :人类曾有过最伟大发现 ,即地心吸力法则 ,也被列不尼兹抨击为 “自然宗教的覆灭 ,因而推理地也是启示宗教的覆灭” 。一位著名的作者兼神学者写信给我说 ,“他已逐渐觉得 ,相信 ‘神’ 创造出一些少数原始类型 ,它们能够自己发展成其他必要类型 ,与相信 ‘神’ 需要一种新的创造作用以补充 ‘神’ 的法则作用所引起的空虚 ,同样都是崇高的 ‘神’ 的观念”。

可以质问 ,为什么直到最近差不多所有在世的最卓越的博物学者和地质学者都不相信物种的可变性呢 ?不能主张生物在自然状况下不发生变异 ;不能证明变异量在悠久年代的过程中是一种有限的量 ;在物种和特征显著的变种之间未曾有、或者也不能有清楚的界限。不能主张物种杂交必然是不育的 ,而变种杂交必然是能育的 ,或者主张不育性是创造的一种特殊禀赋和标志。只要把地球的历史想成是短暂的 ,几乎不可避免地就要相信物种是不变的产物 ,而现在我们对于时间的推移已经获得某种概念 ,我们就不可没有根据地去假定地质的记录是这样完全 ,以致如果物种曾经有过变异 ,地质就会向我们提供有关物种变异的明显证据。

但是 ,我们天然地不愿意承认一个物种会产生其他不同物种的主要原因 ,在于我们总是不能立即承认巨大变化所经过的步骤 ,而这些步骤又是我们不知道的。这和下述情形一样 :当赖尔最初主张长行的内陆岩壁的形成和巨大山谷的凹下都是由我们现在看到的依然发生作用的因素所致 ,对此许多地质学者都感到难于承认。思想大概不能掌握即便是一百万年这用语的充分意义 ,而对于经过几乎无限世代所累积的许多轻微变异 ,其全部效果如何更是不能综合领会的了。

虽然我完全相信本书在提要的形式下提出来的观点是正确的 ,但是 ,富有经验的博物学者的思想在岁月的悠久过程中装满了大量事实 ,其观点与我的观点直接相反 ,我并不期望说服他们。在 “创造的计划”、“设计的一致”之类的说法下 ,我们的无知多么容易被荫蔽起来 ,而且还会只把事实复述一遍就想象自己已经给予了一种解释。无论何人 ,只要他的性情偏重尚未解释的难点 ,而不重视许多事实的解释 ,他就必然要反对这个学说。在思想上被赋有很大适应性的并且已经开始怀疑物种不变性的少数博物学者可以受到本书的影响 ;但是我满怀信心地看着将来——看着年轻的、后起的博物学者 ,他们将会没有偏见地去看这个问题的两方面。已被引导到相信物种是可变的人们 ,无论是谁 ,如果自觉地去表示他的确信 ,他就做了好事 ,因为只有这样 ,才能把这一问题所深深受到的偏见的重负移去。

几位卓越的博物学者最近发表他们的信念 ,认为每一属中都有许多公认的物种并不是真实的物种 ;而认为其他物种才是真实的 ,就是说 ,被独立创造出来的。

依我看来,这是一个奇怪的结论。他们承认,直到最近还被他们自己认为是特别创造出来的、并且大多数博物学者也是这样看待它们的、因而具有真实物种的一切外部特征的许多类型,是由变异产生的,但是他们拒绝把这同一观点引申到其他稍微不同的类型。虽然如此,他们并不冒充他们能够确定,或者甚至猜测,哪些是被创造出来的生物类型,哪些是由第二性法则产生出来的生物类型。他们在某一种情形下承认变异是真实原因,在另一种情形下却又断然否认它,而又不指明这两种情形有何区别。总有一天这会被当作奇怪的例子来说明先人之见的盲目性。这些作者对奇迹般的创造行为并不比对通常的生殖感到更大的惊奇。但是他们是否真的相信,在地球历史的无数时期中,某些元素的原子会突然被命令骤然变成活的组织呢?他们相信在每次假定的创造行为中都有一个个体或许多个体产生出来吗?所有无限繁多种类的动物和植物在被创造出来时究竟是卵或种籽或充分长成的成体吗?在哺乳类的情形下,它们是带着营养的虚假印记从母体子宫内被创造出来的吗?毫无疑问,相信只有少数生物类型或只有某一生物类型的出现或被创造的人并不能解答这类问题。几位作者曾主张,相信创造成百万生物与创造一种生物是同样容易的,但是莫波丢伊(Maupertuis)的“最小行为”的哲学格言会引导思想更愿意接受较少的数目,但是肯定地我们不应相信,每一大纲里的无数生物在创造出来时就具有从单独一个祖先传下来的明显的、欺人的印记。

作为事物以前状态的记录,我在以上诸节和其他地方记下了博物学者们相信每一物种都是分别创造的若干语句,我因为这样表达意见而大受责难。但是,毫无疑问,在本书第一版出现时,这是当时一般的信念。我以前向很多博物学者谈论过进化的问题,但从来没有一次遇到过任何同情的赞成。在那个时候大概有某些博物学者的确相信进化,但是他们或者沉默无言,或者叙述得这么模糊,以致不容易理解他们所说的意义。现在的情形就完全不同了,几乎每一博物学者都承认伟大的进化原理。尽管如此,还有一些人,他们认为物种曾经通过十分不能解释的方法而突然产生出新的、完全不同的类型,但是,如我力求示明的,大量的证据可以提出来反对承认巨大而突然的变化。就科学的观点而论,为进一步研究着想,相信新的类型以不能理解的方法从旧的、十分不同的类型突然发展出来,比相信物种从尘土创造出来的旧信念,并没有什么优越之处。

可以问,我要把物种变异的学说扩展到多远。这个问题是难于回答的,因为我们所讨论的类型愈是不同,有利于系统一致性的论点的数量就愈少,其说服力也愈弱。但是最有力的论点可以扩展到很远。整个纲的一切成员被一条亲缘关系的连锁联结在一起,一切都能够按群下分群的同一原理来分类。化石遗骸有时有一种倾向,会把现存诸目之间的巨大空隙填充起来。

遗迹状态下的器官清楚地示明了,一种早期祖先的这种器官是充分发达的,在

某些情形里这意味着它的后代已发生过大量变异。在整个纲里,各种构造都是在同一样式下形成的,而且早期的胚胎彼此密切相似。所以我不能怀疑伴随着变异的生物由来学说把同一大纲或同一界的一切成员都包括在内。我相信动物至多是从四种或五种祖先传下来的,植物是从同样数目或较少数目的祖先传下来的。

类比方法引导我更进一步相信,一切动物和植物都是从某一种原始类型传下来的。但是类比方法可能把我们导入迷途。虽然如此,一切生物在它们的化学成分上、它们的细胞构造上、它们的生长法则上、它们对于有害影响的易感性上都有许多共同之处。我们甚至在以下那样不重要的事实里也能看到这一点,即同一毒质常常同样地影响各种植物和动物;瘦蜂所分泌的毒质能引起野蔷薇或橡树产生畸形。在一切生物中,或者某些最低等的除外,有性生殖似乎在本质上都是相似的。在一切生物中,就现在所知道的来说,最初的胚泡是相同的,所以一切生物都是从共同的根源开始的。如果当我们甚至看一看这两个主要部分——即看一看动物界和植物界——某些低等类型如此具有中间的性质,以致博物学者们争论它们究竟应该属于哪一界。正如阿萨·格雷教授所指出的,“许多低等藻类的孢子和其他生殖体可以说起初在特性上具有动物的生活,以后无可怀疑地具有植物的生活”。所以,依据伴随着性状分歧的自然选择原理,动物和植物从这些低等的中间类型发展出来,并不是不可信的,而且,如果我们承认了这一点,我们必须同样地承认曾经在这地球上生活过的一切生物都是从某一原始类型传下来的。但是这推论主要是以类比方法为根据的,它是否被接受无关紧要。正如刘易斯先生所主张的,毫无疑问,在生命的黎明期可能就有许多不同的类型发生,但是,倘真如此,则我们便可断定,只有很少数类型曾经遗留下变异了的后代。因为,正如我最近关于每一大界,如“脊椎动物”、“关节动物”等的成员所说的,在它们的胚胎上、同原构造上、残迹构造上,我们都有明显的证据可以证明每一界里的一切成员都是从单独一个祖先传下来的。

我在本书所提出的以及华莱士先生所提出的观点,或者有关物种起源的类似的观点,一旦被普遍接受以后,我们就能够隐约地预见到在博物学中将会发生重大革命。分类学者将能和现在一样地从事劳动;但是他们不会再受到这个或那个类型是否为真实物种这一可怕疑问的不断搅扰。这,我确信并且根据经验来说,对于各种难点将不是微不足道的解脱。有关的五十个物种的不列颠树莓类 (bramble) 是否为真实物种这一无休止的争论将会结束。分类学者所做的只是决定 (这点并不容易) 任何类型是否充分稳定并且能否与其他类型有所区别,而给它下一个定义,如果能够给它下一定义,那就要决定那些差异是否充分重要,值得给以物种的名称。后述一点将远比它现在的情形重要,因为任何两个类型的差异,不管如何轻微,如果不被中间诸级把它们混合在一起,大多数博物学者就会认为这两个类型都

足以提升到物种的地位。

从此以后,我们将不得不承认物种和特征显著的变种之间的唯一区别是:变种已被知道或被相信现在被中间级进联结起来,而物种却是在以前被这样联结起来的。因此,在不拒绝考虑任何两个类型之间目前存在着中间级进的情况下,我们将被引导更加仔细地去衡量、更加高度地去评价它们之间的实际差异量。十分可能,现在一般被认为只是变种的类型,今后可能被相信值得给以物种的名称;在这种情形下,科学的语言和普通的语言就一致了。总而言之,我们必须用博物学者对待属那样的态度来对待物种,他们承认属只不过是方便了而作出的人为组合。这或者不是一个愉快的展望;但是,对于物种这一术语的没有发现的、不可能发现的本质,我们至少不会再做徒劳的探索。

博物学的其他更加一般的部门将会大大地引起兴趣。博物学者所用的术语如亲缘关系、关系、模式的同一性、父性、形态学、适应的性状、残迹的和萎缩的器官等,将不再是隐喻的,而会有它的鲜明的意义。当我们不再像未开化人把船看作完全不可理解的东西那样地来看生物的时候;当我们把自然界的每一产品看成是都具有悠久历史的时候;当我们把每一种复杂的构造和本能看成是各个对于所有者都有用处的设计的综合,有如任何伟大的机械发明是无数工人的劳动、经验、理性以及甚至错误的综合的时候;当我们这样观察每一生物的时候,博物学的研究将变得——我根据经验来说——多么更加有趣呀!

在变异的原因和法则、相关法则、使用和不使用的效果、外界条件的直接作用等等方面,将会开辟一片广大的、几乎未经前人踏过的研究领域。家养生物的研究在价值上将大大提高。人类培育出来一个新品种,比起在已经记载下来的无数物种中增添一个物种,将会成为一个更加重要、更加有趣的研究课题。我们的分类,就它们所能被安排的来说,将是按谱系进行的;那时它们才能真的显示出所谓“创造的计划”。当我们有一确定目标的时候,分类的规则无疑会变得更加简单。我们没有得到任何谱系或族徽,我们必须依据各种长久遗传下来的性状去发现和追踪自然谱系中的许多分歧的系统线。残迹器官将会确实无误地表明长久亡失的构造的性质。称作异常的、又可以富于幻想地称作活化石的物种和物种群,将帮助我们构成一张古代生物类型的图画。胚胎学往往会给我们揭露出每一大纲内原始类型的构造,不过多少有点模糊而已。

如果我们能够确定同一物种的一切个体以及大多数属的一切密切近似物种,曾经在不很遥远的时期内从第一个祖先传下来,并且从某一诞生地迁移出来,如果我们更好地知道迁移的许多方法,而且依据地质学现在对于以前的气候变化和地平面变化所提出的解释以及今后继续提出的解释,那么我们就确能以令人赞叹的方式追踪出全世界生物的去迁移情况。甚至在现在,如果把大陆相对两边的海

栖生物之间的差异加以比较,而且把大陆上各种生物与其迁移方法显然有关的性质加以比较,那么我们就能够对古代的地理状况多少提出一些说明。

地质学这门高尚的科学,由于地质记录的极端不完全而损失了光辉。埋藏着生物遗骸的地壳不应被看作一个很充实的博物馆,它所收藏的只是偶然的、片段的、贫乏的物品而已。每一含有化石的巨大地质层的堆积应该被看作由不常遇的有利条件来决定的,并且连续阶段之间的空白间隔应该被看作极长久的。但是通过以前的和以后的生物类型的比较,我们就能多少可靠地测出这些间隔的持续时间。当我们试图依据生物类型的一般演替,把两个并不含有许多相同物种的地质层看作严格属于同一时期时,必须谨慎。因为物种的产生和绝灭是由于缓慢发生作用的、现今依然存在的原因,而不是由于创造的奇迹行为;并且生物变化的一切原因中最重要的原因是一种几乎与变化的或者突然变化的物理条件无关的原因,即生物和生物之间的相互关系——一种生物的改进会引起其他生物的改进或绝灭,所以,连续地质层的化石中的生物变化量虽不能作为一种尺度来测定实际的时间过程,但大概可以作为一种尺度来测定相对的时间过程。可是,许多物种在集体中可能长时期保持不变,然而在同一时期里,其中若干物种,由于迁徙到新的地区并与外地的同住者进行竞争,可能发生变异,所以我们对于把生物变化作为时间尺度的准确性,不必有过高的评价。

我看到了将来更加重要得多的广阔研究领域。心理学将稳固地建筑在赫伯特·斯潘塞先生所奠定的良好基础上,即每一智力和智能都是由级进而必然获得的。人类的起源及其历史也将由此得到大量说明。

最卓越的作者们对于每一物种曾被独立创造的观点似乎感到十分满足。依我看来,世界上过去的和现在的生物之产生和绝灭就像决定个体的出生和死亡的原因一样地是由于第二性的原因,这与我们所知道的“造物主”在物质上打下印记的法则更符合。当我把一切生物不看作是特别的创造物,而看作是远在寒武纪第一层沉积下来以前就生活着的某些少数生物的直系后代,依我看来,它们是变得尊贵了。从过去的事实来判断,我们可以稳妥地推想,没有一个现存物种会把它的没有改变的外貌传递到遥远的未来。并且在现今生活的物种很少把任何种类的后代传到极遥远的未来,因为据一切生物分类的方式看来,每一属的大多数物种以及许多属的一切物种都没有留下后代,而是已经完全绝灭了。展望未来,我们可以预言,最后胜利的并且产生占有优势的新物种的,将是各个纲中较大的优势群的普通的、广泛分布的物种。既然一切现存生物类型都是远在寒武纪以前生存过的生物的直系后代,我们便可肯定,通常的世代演替从来没有一度中断过,而且还可确定,从来没有任何灾变曾使全世界变成荒芜。因此我们可以多少安心地去眺望一个长久的、稳定的未来。因为自然选择只是根据并且为了每一生物的利益而工作,所以

一切肉体的和精神的禀赋都有向着完善化前进的倾向。

凝视树木交错的河岸,许多种类的无数植物覆盖其上,群鸟鸣于灌木丛中,各种昆虫飞来飞去,蚯蚓在湿土里爬过,并且默想一下,这些构造精巧的类型,彼此这样相异,并以这样复杂的方式相互依存,而它们都是由于在我们周围发生作用的法则产生出来的,这岂非有趣之事?这些法则,就其最广泛的意义来说,就是伴随着“生殖”的“生长”;几乎包含在生殖以内的“遗传”;由于生活条件的间接作用和直接作用以及由于使用和不使用所引起的变异;生殖率如此之高以致引起“生存斗争”,因而导致“自然选择”,并引起“性状分歧”和较少改进的类型的“绝灭”。这样,从自然界的战争里,从饥饿和死亡里,我们便能体会到最可赞美的目的,即高级动物的产生直接随之而至。认为生命及其若干能力原来是由“造物主”注入到少数类型或一个类型中去的,而且认为在这个行星按照引力的既定法则继续运行的时候,最美丽的和最奇异的类型从如此简单的始端,过去曾经而且现今还在进化着,这种观点是极其壮丽的。

A. S. 爱丁顿

恒星质量与光度间的关系¹

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989年。宣焕灿译。

导读

爱丁顿 (Arthur Eddington, 1882—1944) 出生于英国肯德尔，从小是个神童，1907 年获得剑桥大学三一学院的奖学金，1913 年成为剑桥大学天文学教授，1914 年成为皇家学会会员，1930 年被册封为爵士。

爱丁顿对天文学的最大贡献在于他对恒星内部的理论研究。太阳的密度比地球低，但为什么不在引力作用下收缩成一小团？爱丁顿断定是恒星内部高温产生的压力抵消了收缩的引力，并证明太阳中心的温度必定高达几百万度。爱丁顿进而指出，恒星的质量越大，它内部的压强就越大，温度就越高，这颗恒星就越亮。1924 年，爱丁顿在皇家学会《每月通讯》上发表了他著名的《恒星质量与光度间的关系》的论文。

爱丁顿还是很早就意识到爱因斯坦相对论的重要性的第一批科学家，并不辞辛苦地组织日食观测远征队去检验广义相对论的预言，^②他把爱因斯坦介绍给整整一代年轻人。

(1)

一个成功的恒星吸收系数理论，应该可以确定已知质量和有效温度的任何巨星绝对星等的公式。到目前为止我一直在着重探讨这种理论是否会预示五车二

① 译自 K. R. Lang and O. Gingerich, *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900—1975*, pp 293—300 [1979]。文内的楷体字系 Lang 和 Gingerich 所加的按语。原文刊于 *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 84, 308—332 [1924]。——原编者

② 参见《根据 1919 年 5 月 29 日的日全食观测测定太阳引力场中光线的弯曲》一文。

(御夫座 α 星) 的绝对星等。该问题的现状我在上一篇文章中已经总结过了。^① 虽然似乎取得一些成功的测量, 但最后结论仍待确定。

本文将不探讨这种理论的绝对结果, 仅考虑理论与实测之间的差异问题。我们尚无确定在恒星总辐射和质量关系公式中出现的绝对因子的形式。撇开这个因子不谈, 该定律的形式看来被局限于狭窄的范围之内。我们满足于从五车二的观测资料来确定绝对因子的值, 而不用物理常数来表示该值, 并且应该能据此计算出任何其他巨星的光度。计算结果特别依赖于五车二的观测资料。

使用对五车二测定的常数, 我们发现理论公式看来可以正确预示所有其他可以用来验证的正常恒星的绝对星等, 不论是巨星还是矮星。

图 1 显示出这种说法的依据。

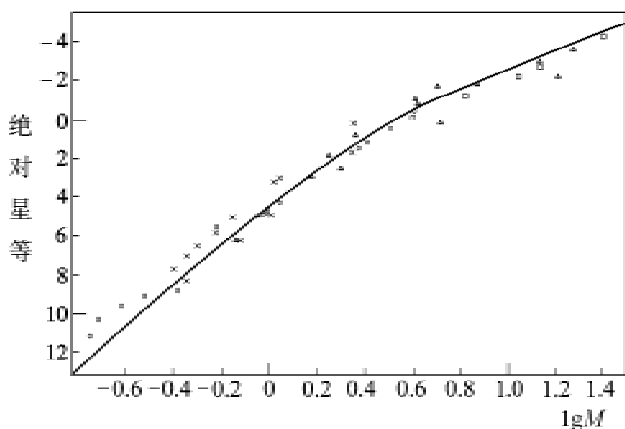


图 1 观测所得的质光关系

一类星用 $\circ$ 表示, 二类星用 $\times$ 表示, 造父变星用 $\square$ 表示, 交食双星用 $\triangle$ 表示, 实线表示爱丁顿的理论质光关系 (本文公式 [3])

按照巨星和矮星的理论, 绝对星等是质量和有效温度的双值函数; 于是一颗质量为 1、温度为 5860 度的恒星有两个可能的星等值: (1) 太阳现在的值; (2) 太阳处于上升阶段, 具有相同温度时的值, 那时它的表面积比现在大得多。后者正是理论试图预告的星等值, 前者是实际位于理论曲线上的星等值。

如果这种理论给出了“错误”恒星 (假定它是被弄错了的) 的正确星等, 那么与五车二观测数值绝对一致的问题就无关紧要了。但是如果说图 1 显示的一致性纯属偶然, 也会使人大吃一惊。我们必须考虑这些恒星是否真是“错误”的。

我们的意见是: 即使像太阳那样稠密的恒星, 也处于理想气体条件下, 如果体积收缩, 温度便会升高。简言之, 按照巨星一词通常的含义, 所有正常恒星都是“巨

^① M. N. 84, 104.

星”。本文将给出理论解释,说明在偏离理想气体定律的程度达到不可忽视的地步以前,在恒星条件下物质会收缩至极高的密度。

目前的结果是与莱恩-里特恒星演化理论相矛盾的。后者已具体纳入几乎已被公认的巨星与矮星理论。由于这一原因,人们无疑一开始就会对本文的结果深表异议,第12节中将讨论这种矛盾的性质及其程度。

最近发表的两篇研究报告^①给出了与图1相似的图形。两者都表明绝对星等-质量图接近一条连续直线。这一结论很难同巨星与矮星理论相协调。罗素、亚当斯、乔伊那篇论文中的图形包含了大量统计资料,是对图1的一个独立的支持。赫茨普龙那篇论文中的结论不具有独立性质,因为我已经使用过他的全部数据和其他资料。由于处理细节不同(使用热星等代替目视星等,归化到同样的有效温度,对双星伴星质量比的测定)赫茨普龙的图与本文的图不尽相同,可以看出他图上各点的弥散度将大为减小。

(2)

按照辐射平衡理论,确定已知质量的气态恒星的绝对星等,牵涉到需要根据方程

$$1 - \beta = 0.00309M^2\mu^4\beta^4 \quad (1)$$

计算出辅助量 β 。式中 M 是以太阳质量为单位的质量值, μ 为平均分子量。若考虑到 μ 由中心向外的微小增加,则所采用的正确值是相应于温度为中心温度三分之二处的 μ 值。

恒星的总辐射正比于 $M(1 - \beta)/k$,其中 k 为吸收系数。我在以前一篇论文^②中已指出 k 近似地与温度、密度无关,因而总辐射正比于 $M(1 - \beta)$ 。一些研究中已使用了在此基础上算出的绝对星等。

引进“吸收基本上是不连续过程”的现代概念之后,发现 k 可以作为发射系数直接算得。所有理论都表明 k 的主要部分与温度 T 、密度 ρ 的关系为

这里所谓的“现代概念”是指普朗克的量子假说,即黑体辐射和吸收的能量是不连续的。

^① E. Hertzsprung, Bull. Ast. Inst. Netherlands, No. 43; Russell, Adams, and Joy, Pub. Ast. Soc. Pac. 35, 189.

^② M. N. 77, 16, 596.

$$k \propto \frac{\rho}{\mu T^3},$$

由此得出总辐射正比于

$$M(1 - \beta)^2/\beta,$$

于是得到了光度更快地随质量而变化^①的结论。

发射理论的细节还补充一个随温度变化的 k 的附加因子。但在实际应用中,附加因子仅引进一个很小的改正,对其精确形式的可能怀疑并不构成严重的障碍。

根据原子核俘获理论这个因子为 $T^{-\frac{1}{2}}$,根据克雷默俘获理论,除 $T^{-\frac{1}{2}}$ 外还要加上一项其变化通常不甚重要的对数项。根据在加速条件下辐射俘获电子的经典理论,这个因子为 $T^{-0.9}$ 。而对于负电子碰撞的发射则没有附加因子。^② 虽然后两个结论是由站不住脚的理论推出的,但是它们说明了严重干扰上述定律的困难。我们采用附加因子为 $T^{-\frac{1}{2}}$,于是

$$k \propto \frac{\rho}{\mu T^{\frac{7}{2}}}, \quad (2)$$

按照 E. A. 米尔恩的见解,^③上式给出了恒星外层中光学吸收的正确量级——远超出本文范围的一个外推。

引入有效温度 T_e ,导出总辐射 L 的公式为^④

$$L = c \times M^{\frac{7}{5}} (1 - \beta)^{\frac{3}{2}} \mu^{\frac{4}{5}} T_e^{\frac{4}{5}}, \quad (3)$$

式中常数 c 根据五车二的观测数据确定。我在以往的论文中证明,根据五车二的观测资料 μ 似乎接近于 2.2。对于任何正常恒星,其值不会有很大变化。^⑤ 在以下计算中 μ 的值取为 2.11。

(3)和(4)测量

按:作者使用已知视差的双星观测数据来推导它们的质量和绝对热星等(第一类资料)。根据作者在《皇家天文学会月

① Zeits. für Physik. 7, 389.

② M. N. 83, 40, 44, 84, 118.

③ Phil. Mag. 47, 226.

④ M. N. 83, 107.

⑤ 本文第 11 节中考虑了恒星间 μ 的微小变化可能的值正。——原注

报》77 卷 605 页一篇论文中的表 III ,用有效温度将目视星等归算为热星等。作者还根据 E. 赫茨普龙的论文中所载视差精确度尚可的双星 (《荷兰天文学会会报》No. 43)获得了类似的数据 (第二类资料)。每一种情况下理论星等都由图 1 的实线求得 ,另外还要附加一项由于恒星有效温度 T_e 的修正 $-2\lg(T_e/5200)$ 。相反的修正值加在观测数据上 ,然后在图 1 上进行描点。如果观测星等与理论星等之间的余差 (O - C) ,表示稠密恒星比具有相同质量、相同有效温度的松散恒星亮度的减小值 ,那么 (O - C)比这样估计的要小得多。由于这一原因 ,爱丁顿放弃了他以前认为稠密的矮星偏离理想气体定律的主张。在以下各节里 ,我们省略了关于图 1 中恒星的名称、光谱型、质量、热星等 ,脉动周期 (对造父变星而言) ,轨道参量 (对交食双星而言) 及残差 (O - C) 的表。

(5) 毕星团

毕星团中有 6 个已知周期的双星 ,^①其亮度几乎相同。尽管其轨道单独说来不十分准确 ,但平均轨道则可以很好地与理论作比较。由移动星团几何学 ,可以相当准确地得知它们的平均视差为 0. '027。

为了避免平均化的困难 ,看来最好是把先前的步骤倒转过来 ,首先确定相应于观测绝对星等的理论质量。于是得到一个双星系统平均质量的预言值为 1. 82。赫茨普龙假设的平均视差 (对质量为 2 的恒星) 为 0. '026 ,相应的平均质量为 1. 79。如果我们对各个双星系统的质量而不是对其假设视差取平均值 ,则平均质量为 1. 93 ,在两种情况下都与预言符合得很好。

图 1 中一类测量所表示的就是 12 个双星子星平均质量的位置。

(6) 造父变星

如果接受脉动理论 ,则可用造父变星检验理论曲线。^② 其方法如下 :假定要检验一个任意质量及对应此质量的绝对星等 ,由其有效温度 (从观测其光谱型可推

① E. Hertzsprung , B. A. N. , No. 16.

② M. N. 79 , 2 , 177.

出)和绝对星等可以推出其半径。由质量和半径则可求得其平均密度。其中心密度较平均密度大 54.25 倍。^① 于是周期 P 可由方程

$$P \sqrt{\rho_c} = 0.29 (\gamma a)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

求得,此处 $(\gamma a)^{-\frac{1}{2}}$ 取自《皇家天文学会月报》79 卷 15 页表 5。

这样,理论曲线上每一点都与一个理论周期值相对应。反复进行这一过程直到找到与实测周期准确对应的一点。它将给出计算得的质量和绝对星等。与理论预言值相比较的观测星等取自沙普利的论文。^② 虽然他的测量有些间接,但他的工作是完全独立于物理理论的。

(7) 交食变星

一旦交食变星两个子星的分光轨道被确定,就可以对曲线进行另外一种检验。J. S. 普拉斯基特的分光研究^③为这种检验方法提供了 13 个交食双星的有关数据。

由分光轨道可以测出 $M \sin^3 i$ 和 $a \sin i$, 其中 a 是相对轨道的半长轴。根据光变曲线的讨论可以测出 i 和 r/a , 其中 r 是恒星的半径。因而结合起来可以得到 M 和 r 。因为总辐射正比于 $r^2 T_e^4$, 由光谱型推得有效温度, 我们便可算出绝对热星等。其公式为

$$m = 4.9 - 5 \lg (r/r_s) - 10 \lg (T_e/T_s),$$

式中 r_s 和 T_s 分别为太阳的半径及有效温度。

这一结果可以与由质量得到的值 m (计算)相比较。可以看出目视星等并不介入这个比较之中。

我们把此结果归诸较亮的子星,通常是质量较大的那颗子星(天琴座 β 星除外)。 $\cos i$ 和 r/a 的值直接取自沙普利的研

造父变星是一种很重要的变星类型,这种恒星的光度变化很有特点,其亮度先迅速达到最大值,然后在数天之内慢慢衰减,其中以 1784 年古德里克发现的仙王座 δ (造父一)为典型,因此把所有以类似的光变曲线发生亮度变化的恒星都称作造父变星。天文学家从遥远星系中辨认出造父变星,然后根据造父变星的已知信息来推算星系的距离,所以造父变星是天文学家的“量天尺”。

① 根据本文第 13 节,这个因子有点大了。但是由于它与方程 (4) 的理论基础相对应,故此处必须继续使用它。周期依赖于恒星的平均密度,而不依赖于某一特定点的密度。因此不论恒星中心的实际密度是多少,方程 (4) 中 ρ_c 被看作是代表 $54.25\rho_m$ 的一个符号。——原注

② Ap. J. 48, 282; Mount Wilson Contrib., No. 153.

③ Publications Dominion Astrophysical Obs., Victoria, 1, 2.

究,①选择采用那个“昏暗”②解。如果给定恒星是椭球体,则 r 规定为三个半径的几何平均值。

(8)

所有残差的平均值为 ± 0.056 ,它可能主要来自观测数据的误差。在理论曲线最后获得之前,还需要进行某种第二级近似性质的改正。我们自始至终都把 μ 当作一个常数来使用。看来,可能除曲线的最左边部分外,第一级近似值已很接近正确值。

承认气体定律对所有普通恒星都适用,不论它们是稠密恒星还是松散恒星,是否意味着每颗恒星都恰好具有可以由其质量和有效温度导出的光度呢?换言之,理论的精确性是对每颗个别恒星而言的呢?还是仅仅统计上如此?除了根据化学成分异常或者自转特殊以外,很难看出这个残差是如何产生的。至于化学成分,氢的比例过分大,会使恒星较暗;除此以外,似乎不大可能产生更多的影响。E. A. 米尔恩发现快速自转会使得恒星稍稍变暗,③但是除非自转速度大到足以使恒星产生巨大形变,这个效应往往很小。我最担心的是可能存在某种特殊的辐射条件,使我们误以为观测到的光谱对应于真实的有效温度;但如果发生这种事,乃是实验的失败而不是理论的失败。附带提及,一对确实无疑的双星所具有的星等,往往比根据它们的共同质量所预告的星等要暗弱一些。

(9) 理论上的考虑

现在必须探讨一下稠密恒星。例如太阳,遵循理想气体定律在物理上是否可能。

一般的气体定律在高密度下失效的原因是由于分子有一定

把理想气体定律的适用条件推广到恒星内部,这既是大胆的也是合理的,下一节对此作了详细的分析。

① Princeton Contributions, No. 3, P 82.

② 昏暗指临边昏暗。——原校者

③ M. N. 83, 118.

大小,它近似于一个半径为 10^{-8} 厘米量级的刚体球。压缩过程越来越困难,直到最后这些球体紧紧地挤在一起为止。那时密度就以固体或液体的密度来表征。巨星和矮星的基本理论是一般物质的最大密度(每立方厘米 10 至 20 克)也适用于恒星。当密度接近这一极限时,就会开始出现偏离气体定律的严重效应。^①

但是恒星中的原子比通常的原子要小得多。它们已经被剥去了数层电子,因此气体定律在更大的密度下仍应适用。看来恒星内部中等原子量的原子被剥到了 K 层,它的半径约为 10^{-10} 厘米量级。如碳、氧那样的较轻元素只剩下了光秃秃的原子核。相应于这些密集的、变小了的原子球的最大密度至少可达 100 000,任何平均密度低于 1 000 的恒星都应遵循理想气体定律。

可能有人会问,剥去外层电子必然会缩小原子的有效大小吗?消失的可能仅仅是“界石”,而不是其边界吧?物理实验可以给出清晰的答案。 α 粒子是失去了其“界石”的氢原子,看来它已失去了原有的边界。它可以进入其他原子,在各个方面都像一个简单的带电原子核,丝毫不具有中性氢气体所具有的“防御”边界的迹象,它阻止中性氢气体在超过某一特定的密度时进一步被压缩。看来很清楚,正如理论上所指出的,原子的有效大小是由其现存的边界电子决定的。

进一步的问题是离子和电子电荷的影响。电离本应使离子互相排斥,而我们却要借电离原子使它们靠得更紧,这似乎是荒谬的。难道离子的排斥力不会建立一个其他离子不能进入的区域,这个区域的体积不正是离子的有效大小吗?计算这种电力的效应很困难。至少对于质量小的恒星来说这些力显然不是没有意义的。但是不难看出,当恒星收缩时这种效应并不增加。无论恒星处于松散状态或者处于凝聚状态它都是同样大小,因此由气态到非气态(巨星到矮星)的转变过程中这种效应并未发展。

通常在原子理论中已经指出,如果仅是平方反比力在起作用,是不能得到确定的大小尺度的。因此,平方反比作用的电力不会改变平方反比作用的引力的结果。也就是说,对于给定质量的巨星,没有确定大小的尺度——任何半径都同样适用。质量相同但半径不同的恒星形成了一个完全相似的系列,仅当非平方反比力开始发生不可忽视的作用时,这个系列才会被扰乱。按照流行的理论,这仅发生在压力很大,使在碰撞时不遵循平方反比定律的原子间的力变得很重要时才有可能。于是恒星进入了一个与它先前的发展不相类似的矮星平衡状态。但是,刚才已经看到,即使恒星的密度到达 1 000,这种变化也不会发生。由于带电原子与电子之间的力是平方反比力,不会产生对这系列的扰乱,所以它无法使我们修正上面的结论。下面的讨论可以更清楚地看到这一点。

① 由于巨星的中心密度约比平均密度大 20 倍,我们认为当其平均密度达 0.2 时就会有明显的偏离。——原注

设 A 为处于平衡状态的恒星 ,B 是 A 的精确复制品 ,直径按比率 p 改变 ,速度^①按比率 $p^{-\frac{1}{2}}$ 改变。于是 ,B 的温度按 p^{-1} 的比率改变 ,密度按 p^{-3} 的比率改变 ,并给出熟知的定律 $\rho \propto T^3$ 。动能和势能 (不管是电的还是引力的)按相同的比率 p^{-1} 改变。进而辐射能与物质能也按同一比率改变。A 的密度正比于 T^4 ,B 的密度正比于 ρT ;于是两星的密度均按 p^{-4} 的比率改变。于是电子压力、气体压力、辐射压力都按相同的比率改变 ,因而 B 也处于平衡状态。^②

举一简单的例子 ,某恒星在任何时刻 ,有 n 对彼此距离为 r 的正离子 ,互相间存在着势能 E 。若让该恒星收缩到原密度的 8 倍 ,按照平衡理论 ,温度必须增加两倍。于是 n 对离子彼此距离为 $\frac{1}{2}r$,相互作用势能为 $2E$ 。但由于温度升高 ,动能也增加了两倍 ,所以势能对动能的比例维持不变。

因为在给定的温度下质量最小的恒星密度最大 ,电力的影响 ,如果确实不可忽视的话 ,应由这种恒星表现出来。我们考虑 Krueger 60 这颗星 ,在密度为 360 时 ,其温度为 2.81×10^7 。若该星由铁组成 ,每立方厘米中应有 3.8×10^{24} 个原子 ,彼此间的平均距离为 0.64×10^{-8} 厘米。离子 (保留 3 个电子)的电荷为 $23e$ 。两个这种离子的相互势能等于 4 个距离 (实际上是平均距离)为 0.61×10^{-8} 厘米的自由分子动能。在平均距离上 ,这种势能仅仅抵消了离子的负势能 ,后者是由离子附近相应的自由电子产生的 ;但如果两个离子间的距离接近到 0.4×10^{-8} 厘米 ,相互间的能量则增加 50% ,然而抵消的部分中并没有显著变化——46 个自由电子的平均分布给出了实际上稳定的场。因而只有花费其自身的动能方可接近。如果离子最初就具有平均速度 ,则动能很快就会耗尽。因此 ,看来两个离子之间一般不能近于其正常距离的三分之二。实际上 ,离子被关在整个体积^③的三分之一以外。

不能因此就说这种方式的排斥与常温下分子有限大小所产生的排斥具有相同的效应^④ ,但假设类推成立的话 ,我们可以据此估计这种效应大小的可能量级 ,在一般气体中 ,若整个体积的

恒星是一个宏观的物体 ,但关于它的理论要从原子这样微观的粒子考虑起。

① 指原子的或离子的运动速度。——译者

② 电离系数与吸收系数中包含原子常数 ,不受上述考虑所左右。——原注

③ 体积是指离子体积。——原校者

④ 我甚至怀疑两种效应是否有相同的符号。——原注

三分之一对分子是不容进入的,则压力应按五分之六的比率增加,或增加 20%。然而,应记住,现在的情形是离子产生的压力仅占总压力的二十四分之一,其余是由于没有被关在这个区域之外的自由电子造成的。^① 于是,总压力仅增加 1% 而已,这甚至在质量最小的恒星中也是微不足道的。

我们现在并不打算去弄清原子间所有的作用力,若因一些未知的情况否定了本节的论述,我也不感到奇怪。但我要说明的是,把莱恩-里特理论应用到恒星演化中时,我们曾错误地将恒星中支离破碎的原子与普通原子进行了类比。至少现在可以看出这种类比是没有根据的,有必要清除偏见,重新探讨这个问题。当恒星密度达到 0.1—1 时,没有理论根据指望恒星中的条件有变化。本文所阐述的现象表明,直到较高的密度下,理想气体条件仍可适用,不应因其难以置信而加以否认。若我们发现情况不是如此,倒反而使人迷惑不解。

(10) 白矮星

我们的比较工作中,不能采用作为白矮星的天狼伴星和波江座 α_2 (亮的子星),它们一直存在着一个困难问题。

天狼伴星的光谱为 F0 型。单就光谱型而论,它的有效温度应该是 8 000 度。联系到 11.3 的绝对星等,给出半径为 19 600 公里——比天王星小得多。其质量范围为 0.75—0.95,现取 0.85,其密度为 53 000。

按照本文的观点,这样一种密度并非无稽之谈。如果证据充分,就应毫无疑问地加以接受。另一种可能是,在很低的有效温度下(可能低于 Md 型的温度),恒星通过某种方式产生一种虚假的 F 型谱主要特征,甚至使熟练的观测者也会受蒙蔽。看来没有必要详细争论究竟哪一种更为可能,因为正如其他几位作者已指出的那样,这个问题可以由测量谱线的爱因斯坦位移^②来解决。若高密度是正确的,其数值应达到每秒 20 公里左右。

同质光曲线相比较,天狼伴星相对其质量来说显得太暗了,

白矮星的巨大密度就是这样从观测和理论中测算出来了。爱丁顿能接受白矮星这样的奇异天体,但是他不能更进一步,无法接受钱德拉塞卡提出的更奇异的天体。

在该文发表的下一年即 1925 年,天文学家亚当斯测到了天狼星伴星的引力红移。另外波江座 40 双星中的白矮星的引力红移值也与广义相对论的预言值符合得较好。

这里爱丁顿根据他发现的质光关系,对赫-罗图的传统解读、对恒星演化的模型,作出了重要的修正。

① 自由电子相互排斥在外的体积约为总体积的 $(23)^{-5}$ 。——原注

② 指引力红移。——译者

赫-罗图的主星序不在被认为是恒星演化的一个阶段,而是不同初始质量的恒星演化过程中长期稳定存在的阶段。

以上两种假说中任何一种都能推出此点。但若密度真的是 53 000 K 的计算就得采用全新的考虑,因为这时电子同时处于两个或更多个核的俘获带内,再者,在这种高密度下,对于理想气体定律的偏离可能是重要的。若密度是中等的,有效温度一定低于 3 000 度,其目视星等与其热星等相差很远。

波江座 α_2 可能是一颗类似的恒星,但其质量较小。令人惊异的是,它与质光曲线符合得很好。

南河三的伴星相对其质量而言也过于暗弱,但由于不知道它的光谱型,因此尚无理由怀疑这种差异。它可能具有比 Md 型更低的光谱型,相应的目视星等无论怎样暗弱都是可能的。但是认为它是另一颗白矮星,乃是一种荒唐无稽的联想。

(11)

按:取分子量为 2.11,我们计算出所有的绝对星等。分子量改变十分之几对结果没有严重影响。爱丁顿列出一个不同质量恒星中原子电离度的表,并且给出质量吸收系数 k 的微小改正值和绝对星等值。

本节的结论是:我们的第一级近似值 $k \propto \frac{\rho}{T^{\frac{7}{2}}\mu} = \text{常数}$,虽然初看起来相当粗糙,但是它给出的绝对星等可能非常接近真值。此外,对更精密近似值的结果作了我们所能作的最好估计,对质量很小的恒星而言,理论与观测间微小的系统差异趋于消失。

(12) 恒星的演化

我们已经形成了某些看法,这些看法在某些方面跟巨星与矮星演化理论相对立。由于巨星与矮星理论在很多方面被认为已得到观测证据的有力支持,因此有必要弄清矛盾的性质及

程度。

在观测方面,巨星与矮星理论可用图2加以概括,其主要现象是观测到的绝对星等与光谱型的分布以比较小的弥散度沿直线PQ,QR集中。肯定这种二元聚集真实性的证据极为有力,我们毫无疑问应加以接受。而且,观测证据表明,直线PQ附近的恒星密度可与空气的密度相比拟,QR直线上的恒星密度可以与水的密度相比拟,相交部分附近的恒星,密度为0.1的量级。这种差别在理论上是必然的,除非恒星在质量上有巨大差异。

发现这个重要的统计分布,对我们的认识作出了不可磨灭的贡献。下面我们转到巨星与矮星理论的演化方面。人们曾假定PQR线表示一颗恒星的演化过程。若按往常那样,假定恒星在其一生中质量保持恒定,上述结论便与我们的结果相矛盾。我们已经发现R处的恒星质量远比P处的要小(星等的不同是由质量的不同产生的),所以恒星不能由P点演化到R点。

考虑在S点的一颗恒星,我们给出的演化过程是一条接近水平的直线TST'。如果能量是由收缩获得的,演化方向一定是由T到T',但由于能量也可能来自其他源泉,故方向T'T不能截然排除,但看来似乎不大可能。不论在何种情况下,S点一定是一个准平衡点,因为除了在S点附近外,我们很少发现恒星正巧在这一点上。这样,按照我们的观点,除非承认恒星在演化时质量有所改变,否则,必须承认QR不是演化曲线而是平衡点的轨迹。

正是在这一点上,对本结论的反对意见似乎最为强烈。巨星与矮星的理论,对恒星沿PQR的分布给了一个似乎可能的解释,这种解释认为Q点的转折是由于密度达到了使恒星不再具有气体性质的那一点。我们认为必须怀疑这个拘泥的解释,并认为恒星分布的这一特性,仅能提供一种模糊的见解。其理由如下。

首先,矮星与巨星的说法与质量对光度影响很小的观点有着密切的联系,否则对质量上存在系统差异的恒星所作的统计不能勾画出一颗质量不变的恒星的演化过程。作为一个次要的细节,从一开始我就承认沿QR的恒星的质量从统计上说比沿PQ的恒星质量小。虽然所有理论都倾向于认为较重的恒星最先到达R点,而我则认为较轻的恒星更快地走完其演化历程乃是更一般的解释。然而,除本

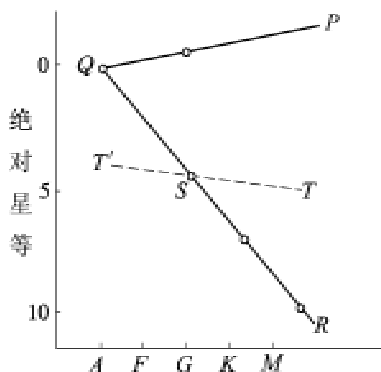


图2 赫罗图(即绝对光度对光谱型或温度的图)中的巨星序PQ以及矮星序(或主星序)QR。在本文中,爱丁顿主张主序星必沿着TT'线演化,并认为巨星序和矮星序表示不同质量恒星的平衡点的位置

研究外,很多证据表明质量上的系统差异并非次要的细节,并且在 PQR 能给出单颗恒星演化过程之前,必须进行相当大的改正。改正后,单颗恒星的 PQR 曲线给出一个比统计的 PQR 更锐得多的角。而且统计图上上升状态与下降状态的星等差别无论如何是被夸大了。我们已试图从理论上为质量差异确定实际的星等改正量。按照我们的结果,改正后的角 PQR 不仅更为尖锐,而且是闭合在一起形成一条像 TT 那样的直线。

其次,巨星与矮星理论假定偏离气体定律是从密度 0.1 开始的,第 9 节中已指出这一假定是建立在一种错误的类比的基础上的。如果这种情况发生,必须存在一种原子间的力,这种力至今在实验物理或理论物理中均尚未发现。

第三,虽然我们尚不能作出重大努力以提出一种替代的解释,但看来这样做并不是完全不可能的。困难仅在于我们不知道在什么条件下恒星内的未知能会释放出来。在此情况下加以推测是没有约束的,且往往是无效的。

按:如果恒星的辐射能来源于物质的湮灭,则可以解释不同亮度恒星的相对数目,较亮的恒星寿命较短。如果一颗恒星在演化期间,质量不断减少,则演化序列将如图 2 中的 PQR 所示。图中的小圆圈显示出从五车二到天狼星到太阳到仙后座 η 直到 Krueger 60 这一质量不断减小的过程。

这里爱丁顿考虑了从恒星中心到边缘部分分子量的逐渐增加,并证明了恒星的平均温度在中心温度的 $\frac{1}{2}$ 与 $\frac{3}{4}$ 之间,为此他计算出方程 (1) 中 μ 的值。

(13)

本节研究了涉及基本方程 (1) 准确性的一个细节,它与本文的主要论述无关。

按:这里我们省略了这些细节。

(14) 小结

1) 根据上面的论证,假定吸收系数正比于 $\rho/T^{\frac{7}{2}}$,可以计算出已知质量和有效

温度的任意两颗气体星(巨星)绝对星等的差异。因此,根据五车二的观测数据,可以确定其他恒星的绝对星等。

2) 收集了36颗星提供的理论与观测的比较。平均残差为 $0^m.56$,其中最大偏差为 $1^m.7$ 。残差中大部分应归诸观测资料可几误差。

比较中仅略去了两颗“白矮星”。由于这两颗星的内部条件(若观测无误的话)与正常恒星如此不同,故不能指望不加修正就对它们进行理论计算。

3) 用于比较的恒星大半都是矮星。其绝对星等与气态恒星所预示的星等相符合。这与当今的流行见解即“它们太稠密,不遵从理想气体定律,其低光度是由于对气体定律的偏离”相矛盾。按照我们的结论,其低光度完全可由其较小的质量来解释,不必寻求任何其他物理上的差异。

4) 与理想气体的可压缩性相比较,流行的见解预期当密度在0.1和1之间时,恒星的可压缩性会迅速衰减。这一结论是根据恒星的离子与常温下的原子之间的错误类比得来的。由于高度电离,恒星中的原子仅有常规原子体积的 $1/100\,000$,故直到密度高达 $100\,000$ 倍时,理想气体定律才会失效。

已对电离原子的高电荷效应进行了考虑,但看来对任何恒星的可压缩性均不会有明显的影响。

5) 尽管所讨论的恒星其内部物理条件十分不同,但它们的电离程度相差不大。因此对所有恒星使用相同分子量的假设是颇有道理的。通过考虑分子量的微小变化及吸收系数中的缓变因子(由克莱麦的理论所预示的并可能具有更广泛的基础)获得了二级近似值,发现对质量大于二分之一的恒星而言,理论曲线几乎没有变化,对于更小质量的恒星而言,与观测符合得更好。

6) 本文的结果与流行的恒星演化理论相冲突的程度,取决于我们是否承认恒星一生中因能量辐射其质量有显著减小。

如果恒星的质量保持不变,绝对星等与光谱型间的统计图(“圆规腿状”图)不能解释为恒星的演化过程。反之,它表示的是不同初始质量的恒星所达到的平衡点的位置。

如果恒星在释放亚原子能量时,自身逐渐燃尽,正如流行理论所假定的那样,该统计图可能显示出其演化的过程。在那种情况下,我们的理论与矮星、巨星理论间的差异即缩小为一点:矮星序上恒星亮度的下降是由于质量的逐渐变小,而不是由于可压缩性的衰减。这样,上升序和下降序(由有效温度决定)的概念得以保留,虽然由于由其内部温度所决定,可能有一条连续上升的斜线。

7) 附录中给出了辐射平衡理论的基本四次方程,其中考虑了由恒星中心到边界分子量的逐渐增加。

E. P. 哈勃

河外星云距离与视向速度的关系¹

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989年。卞毓麟译。

导读

哈勃 (Edwin Hubble, 1889—1950) 出生于美国密苏里的马希菲尔德 (Marshfield)，起先他在牛津大学学习法律，但不久就转向天文学，并成了芝加哥大学叶凯士天文台的一名研究生。战争使他未能及时就任威尔逊山提供给他职位，但在 1919 年他加入了该天文台。可以说，他用威尔逊山 60 英寸、100 英寸反射镜和后来用帕洛玛山 200 英寸反射镜作出的发现改变了宇宙的面貌。1953 年 9 月 28 日他在加利福尼亚圣马利诺因心脏病去世。

哈勃的一项重要工作是找到了仙女座星云中造父变星，造父变星是天文学家赖以确定遥远天体距离的“量天尺”。由于哈勃的这一发现，长期以来争论不休的“有无河外星云”的问题画上了句号。仙女星云从此应该改名叫仙女星系。

哈勃的另一项更重要的工作是发现了星系退行的哈勃定律。哈勃经过了相当艰难、繁复的观测，到 1929 年终于获得了 24 个星系的视向速度和独立测定的距离，他发表了一幅速度作为距离函数的图，速度与距离之间存在明显的关系，最好的直线显示每一百万秒差距退行速度增加每秒 500 公里。哈勃第一次估算给出的这个量后来叫作哈勃常数，这是宇宙学基本常数之一。而“星系退行速度正比于它的距离”被叫作哈勃定律，或者——因为距离通过退行星系光谱线的红移而测定——叫作红移定律。哈勃常数后来在更精确的观测基础上有几次修改，现在值在 50 公里/秒·百万秒差距左右。

① 译自 K. R. Lang and O. Gingerich, *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900—1975*, PP 726—728 [1979]。原文刊于 *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15, 168—173 [1929]。——原编者

哈勃的发现大大改变科学家对宇宙的认识,直接导致了宇宙膨胀概念和大爆炸宇宙理论的提出。因为各种原因,哈勃没有被授予诺贝尔奖,但他的名字被刻在了太空望远镜上。

测定太阳相对于河外星云的的运动涉及一个数值为几百公里的 K 项。它似乎是变化的。人们从视向速度与距离的关系方面去寻找解释这一悖论的途径,但是迄今尚无令人信服的结果。本文基于相当可靠的星云距离资料,重新考察了这个问题。

河外星云的的距离,最终取决于对它所包含的、能确定类型的恒星所用的绝对光度判据。这些恒星包括造父变星、新星,以及发射星云中的蓝星,等等。距离的数值取决于造父变星周光关系的零点,其他判据则只能用来查验距离的量级。这种方法仅适用于现有仪器能分辨其组成恒星的少数星云。研究这些以及其中多少有一些恒星可以辨认的星云,表明恒星绝对光度可能有一个近乎一致的上限,至少对于晚型旋涡星云和不规则星云是这样。该上限的量级约为 $M(\text{照相}) = -6.3$ 。^① 因此,在这样的星云中,最亮恒星的视光度便成了某种判据,它虽然比较粗略,使用时需要谨慎小心,却能对可在其中探测到恒星的所有河外星云提供合理的距离估计,即使所能探测到的恒星为数极少亦无妨。

最后,星云本身的绝对光度似乎也具有某个确定的量级,其范围是在平均值 $M(\text{目视}) = -15.2$ ^② 上下四五个星等。将该统计平均值用于个别星云未必会有多大好处,但是当所涉及的星云为数众多,特别是在研究各种星云团时,却能利用星云本身的平均视光度可靠地估计出它们的平均距离。

目前,有 46 个河外星云的视向速度可资利用,但是已推算出距离的只有 24 个。还有一个 NGC 3521,也许有可能估计出它的距离,但是在威尔逊山没有可用的照片。表 1 列出了有关数据。头 7 个距离最可靠,除了 M31 的伴星云 M32 外,它们都是对所包含的许多恒星作了广泛研究而定出的。随后 13 个距离的判据是恒星的视光度,其误差的界限不失为当今可资利用的最合理数值。最后 4 个天体似乎在室女星云团内。该星云团的距离由星云的光度分布,以及某些晚型旋涡

本文一律使用了“河外星云”这个词,现在我们知道这实际是指河外星系。哈勃所做的工作之一就是证明了这些所谓的星云中的很多实际上是跟银河系一样的河外星系,但起初还是沿用了星云一词。

① Mt. Wilson Contr. No. 324; Astroph. J. (Chicago, 11) 64, 321 [1926].

② Mt. Wilson Contr. No. 324; Astroph. J. (Chicago, 11) 64, 321 [1926].

星云中的恒星光度导出 ,其值为 2×10^6 秒差距 ,与哈佛估计的 1 000 万光年^①稍有差异。

表 1 中的数据证明了距离与速度之间的线性相关 ,无论速度是直接采用的 ,还是对原先的结果作了太阳运动的改正 ,都存在着这种相关。这暗示太阳运动有一个新的解 ,其中距离作为 K 项的系数而引入 ,也就是说 ,假定速度正比于距离而变化 ;因此 K 代表在单位距离处由于这一效应而引起的速度。此时条件方程具有如下形式 :

$$rK + X\cos \alpha \cos \delta + Y\sin \alpha \cos \delta + Z\sin \delta = V_0$$

哈勃

表 1 已知距离的星云。估计距离的方法是利用星云内的恒星或利用星云团内星云的平均光度

天 体	m_s	r	v	m_l	M_l
小麦哲伦云	—	0.032	+170	1.5	- 16.0
大麦哲伦云	—	0.034	+290	0.5	17.2
NGC 6822	—	0.214	- 130	9.0	12.7
598	—	0.263	- 70	7.0	15.1
221	—	0.275	- 185	8.8	13.4
224	—	0.275	- 220	5.0	17.2
5457	17.0	0.45	+200	9.9	13.3
4736	17.3	0.5	+290	8.4	15.1
5194	17.3	0.5	+270	7.4	16.1
4449	17.8	0.63	+200	9.5	14.5
4214	18.3	0.8	+300	11.3	13.2
3031	18.5	0.9	- 30	8.3	16.4
3627	18.5	0.9	+650	9.1	15.7
4826	18.5	0.9	+150	9.0	15.7
5236	18.5	0.9	+500	10.4	14.4
1068	18.7	1.0	+920	9.1	15.9
5055	19.0	1.1	+450	9.6	15.6
7331	19.0	1.1	+500	10.4	14.8
4258	19.5	1.4	+500	8.7	17.0
4151	20.0	1.7	+960	12.0	14.2

① Harvard Coll. Obs. Circ. ,294 [1926].

4382	—	2.0	+ 500	10.0	16.5
续 表					
天 体	m_s	r	v	m_t	M_t
4472	—	2.0	+ 850	8.8	17.7
4486	—	2.0	+ 800	9.7	16.8
4649	—	2.0	+ 1 090	9.5	17.0
平 均					- 15.5

m_s = 星云内最亮星的照相星等。
 r = 距离 ,单位是 10^6 秒差距。头两个值是沙普利给出的。
 v = 测量到的速度 ,单位是公里 / 秒。NGC 6822 ,221 ,224 和 5457 是最近由哈马逊测定的。
 m_t = 霍普曼作了改正的霍莱切克的目视星等。
 头三个天体不是霍莱切克测量的 ,它们的 m_t 值是本文作者基于可用的资料所作的估计。
 M_t = 由 m_t 和 r 算出的总目视绝对星等。

我们得到了两个解 :其中之一个别地利用了 24 个星云 ,另一个解则以方向和距离相近为准则 ,将这 24 个星云划分为 9 组。结果是

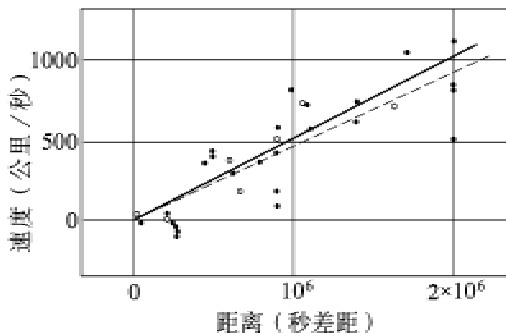
	24 个天体	9 个组
X	- 65 ± 50	+ 3 ± 70
Y	+ 226 ± 95	+ 230 ± 120
Z	- 195 ± 40	- 133 ± 70
K	+ 465 ± 50	+ 513 ± 60 (公里 / 秒 · 百万秒差距)
A	286°	269°
D	+ 40°	+ 33°
V_0	306 公里 / 秒	247 公里 / 秒

对于这样贫乏 (而且分布得如此糟糕)的资料而言 ,上述结果应该说是相当确定的了。这两个解的差异主要源自室女团的 4 个星云 ,它们是最遥远的天体 ,而且都享有该星云团的本动 ,这些星云对 K 值、且从而对 V_0 值的影响太大。为了减小这种本动的影响 ,需要有更遥远天体的新资料。同时 ,介乎这两个解之间的近似整数则代表了这些值可能具有的量级。例如 ,可以取 $A = 277^\circ$, $D = + 36^\circ$ (银经 = 32° ,银纬 = $+ 18^\circ$) , $V_0 = 280$ 公里 / 秒 , $K = + 500$ 公里 / 秒 · 百万秒差距。非常感谢斯特隆堡先生将所用资料重行分组并独立求解 ,从而证实了这些数值的量级基本正确。

我们发现方程中引入的常数项是负的小量。这似乎表明没有必要再保留

这个陈旧的常数 K 项了。伦德马克^①用 $k + lr + mr^2$ 代替原先的 K ,发表了这种类型的解。其较满意的解给出 $k = 513$,因此 ,与先前得出的 700 相比收益甚微。

上面给出的两个解 ,残差平均是 150 和 110 公里/秒 ,它们应分别代表那些单



河外星云的速度-距离关系。纵坐标是对太阳运动作了改正的视向速度 ,横坐标是距离 ,它根据星云内所涉及的恒星估算而得 ,在室女星云团 (它为 4 个最遥远的星云所证明)的情况下 ,距离由团内星云的 平均光度确定。黑点和实线代表利用单个星云求出的太阳运动解 ;圆圈和虚线则代表将星云组合成群求出的解 ;十字代表与 22 个星云的 平均距离相对应的平均速度。这 22 个星云的 距离尚不能一一求出

个星云与诸星云群的本动。为了以图解的形式给出所得结果 ,从观测到的速度消除了太阳的运动 ,剩下的是距离项加上残差 ,已将它相对于距离作图。残差的趋势大致如预期的那样平滑 ,总的看来 ,这些解的形式是相当不错的。

迄今尚无距离资料的那 22 个星云 ,可以有两种处理办法。首先 ,由平均视星等推算出来的星云群平均距离 ,可与已作太阳运动改正的速度平均值相比较。结果是对于 1.4×10^6 秒差距速度为 745 公里/秒 ,它介于先前的两个解之间 ,且表明 K 值为 530 ,而我们建议采用的值则为 500 公里/秒。

其次 ,我们可以假定距离与速度之间有如前确定的关系 ,以此来考察单个星云的弥散情况。这时可以从已作太阳运动改正的速度值来计算距离 ,且可由视星等算出绝对星等。结果给予表 2 中 ,它可与表 1 中那些星云的绝对星等分布进行比较 ;表 1 中的星云距离是根据其他判据导出的。NGC 404 可以排除在外 ,因为其观测到的速度值非常小 ,以至于它的本动与距离效应相比显得很大。然而 ,该天体也未必就是一个例外 ,因为可以赋予它一个距离 ,使得本动和绝对星等皆处于先前确定的范围内。这两组完全独立的数据 ,平均星等分别为 - 15.3 和 - 15.5 ,跨越范围分别为 4.9 等和 5.0 等 ,且频数分布也极其相似 ;甚至平均星等方面的微小差异也可以归诸选自室女团中的那些非常亮的星云。这种毫不勉强的一致性非常有力地说明上述速度-距离关系是可靠的。最后值得指出 ,这两个表中的绝对星等频数分布 ,与在各种星云团中发现的频数分布很相似。

^① Mon. Not. R. Astr. Soc. 85 ,865—894 [1925] .

表 2 由视向速度估计距离的星云

天 体	v	v_s	r	m_l	M_l
NGC 278	+650	- 110	1.52	12.0	- 13.9
404	- 25	- 65	—	11.1	—
584	+1 800	+75	3.45	10.9	16.8
936	+1 300	+115	2.37	11.1	15.7
1023	+300	- 10	0.62	10.2	13.8
1700	+800	+220	1.16	12.5	12.8
2681	+700	- 10	1.42	10.7	15.0
2683	+400	+65	0.67	9.9	14.3
2841	+600	- 20	1.24	9.4	16.1
3034	+290	- 105	0.79	9.0	15.5
3115	+600	+105	1.00	9.5	15.5
3368	+940	+70	1.74	10.0	16.2
3379	+810	+65	1.49	9.4	16.4
3489	+600	+50	1.10	11.2	14.0
3521	+730	+95	1.27	10.1	15.4
3623	+800	+35	1.53	9.9	16.0
4111	+800	- 95	1.79	10.1	16.1
4526	+580	- 20	1.20	11.1	14.3
4565	+1 100	- 75	2.35	11.0	15.9
4594	+1 140	+25	2.23	9.1	17.6
5005	+900	- 130	2.06	11.1	15.5
5866	+650	- 215	1.73	11.7	- 14.5
平 均				10.5	- 15.3

这些结果对于速度已知的星云,在速度与距离之间建立了某种粗略的线性关系,这一关系似乎支配着速度的分布。为了在更大得多的尺度上研究这个问题,威尔逊山的哈马逊先生已开始执行一项计划,以确定那些能够可靠地进行观测的最遥远星云的速度。很自然,这是一些位于星云团中的最亮星云。第一项测定结果,^①即对于 NGC7619 有 $v = +3\,779$ 公里/秒,与现在的结论非常吻合。对太阳运动作改正后,这一速度为 $+3\,910$,取 $K = 500$,相应的距离便是 7.8×10^6 秒差距。因为视星等是 11.8,所以在该距离处绝对星等为 - 17.65,其量级正好与星云团内

① Proc. Nat. Acad. Sci. 15, 167 [1929].

最亮的星云相当。该星云可能是某个星云团的成员,而由该星云团独立地初步推算出来的距离量级则为 7×10^6 秒差距。

预计在不远的将来就会有新的资料,它们也许会使目前这项研究工作的意义有所改变;或者,倘若它们证实了目前的结论,那么就会得到某个权重大得多的解。因此,详细讨论现有结果的明显推论似乎为时尚早。例如,如果太阳相对于星云团的运动证明了银河系的旋转,那么这种运动就可以从星云的运动中扣除掉,剩下的则表示银河系相对于河外星云的运动。

然而,引人瞩目的是,速度-距离的这一关系很可能代表了德西特效应,因此可以引用这些数字资料来讨论一般的空间曲率。在德西特宇宙学中,有两个原因会产生光谱线位移:表观的原子振动减慢,以及物质粒子四散分离的普遍趋势。后者涉及加速度,因而引进了时间因素。这两种效应的相对重要性将确定距离与观测速度之间关系的具体形式;在这方面,可以强调指出,目前的讨论所得的线性关系乃是有限距离范围内的某种初级近似。

爱因斯坦广义相对论所包含的艰涩的概念和高等的数学超出了大部分实测天文学家的理解能力。大概从20世纪20年代中期开始,莱顿大学的德·西特(Willem de Sitter, 1872—1934)和圣匹茨堡的弗里德曼(A. A. Friedmann, 1888—1925)在广义相对论框架下进行的宇宙学理论研究,把宇宙学与天文学实测联系了起来。

沃森和克里克

脱氧核糖核酸结构的遗传学意义¹

选自《双螺旋——发现 DNA 结构的故事》，
(美) 沃森著，刘望夷等译，科学出版社，1987 年。

导读

沃森 (James Watson, 1928—) 出生于美国芝加哥，15 岁进芝加哥大学学习，1947 年毕业，1950 年获印第安纳大学博士学位，原本想研究鸟类学，后转向生物学和遗传学。在哥本哈根大学呆了一年之后，沃森于 1951 年到了剑桥大学，与克里克一起研究 DNA 的结构。他设想出一个 DNA 的模型，像搭积木一样，内部为碱基，外面为主链，形成一条双螺旋。这个结构与别的科学家测得的关于 DNA 的物理数据和化学数据完全吻合。1953 年 4 月 25 日《自然》发表了他与克里克合著的仅一页长度的论文《核酸的分子结构——脱氧核糖核酸的结构》。1962 年他与克里克、威尔金斯分享了该年度的诺贝尔医学和生理学奖。

克里克 (Francis Crick, 1916—) 出生于英国北安普顿郡，曾在伦敦的大学学院学习物理。1937 年获得科学学士学位，二战期间从事雷达研究和地雷的开发工作，1953 年获剑桥大学博士学位。也是在该年，他与沃森合作发现了 DNA 的双螺旋结构。

沃森和克里克的这一发现，使得分子生物学成为人类认识生命规律的重要方法。人们把这一发现和因此而产生的生物学重大成就，称为“生物学的革命”。这一发现对人类和社会产生的巨大影响，可以说现在还只是初露端倪。有人预言，我们所处的这个世纪将是分子生物学的世纪。

① 译自 Nature, May 30, 1953, PP 964—967。

活细胞中脱氧核糖核酸 (DNA) 的重要性是无可争议的。在一切分裂着的细胞中 ,DNA 如果不是全部 ,至少也是大部分存在于细胞核内。DNA 是染色体的主要组成成分。很多证据都说明它是染色体一部分 (如果不是全部) 遗传性状的携带者 ,也可以说它本身就是基因。但是 ,至今尚无证据能够说明遗传物质究竟是怎样进行精确自我复制的。

最近 ,我们提出了一个脱氧核糖核酸盐的结构模型。^① 这个模型如果正确的话 ,就直接解释了遗传物质自我复制的机制。与我们的前文同时发表的伦敦英王学院学者们的 X 射线资料 ,^② 定性地支持我们的结构模型而与以前提出的所有结构模型都是矛盾的。^③ 虽然这一结构模型尚需更多的 X 射线资料加以证实 ,我们充满信心地认为 ,它一般地说是正确的 ,因此现在就讨论它的遗传学意义是适时的。为此 ,我们假定脱氧核糖核酸盐的纤维并非是由于制备方法而产生的矫作物。威尔金斯及其同事们曾经指出 ,由分离出的 DNA 纤维和某些完整的生物材料 ,如精子头部的噬菌体颗粒等 ,同样都可以得到类似的 X 射线图谱。^④

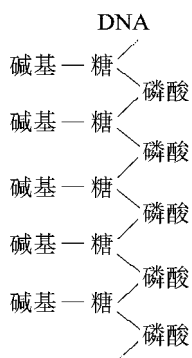


图 1 一条脱氧核糖核酸链的化学式

脱氧核糖核酸的化学结构现在已经完全确立了。如图 1 所示 ,它是一个很长的分子 ,以有规律地交替出现的糖和磷酸构成其骨架 ,每一个糖联结一个含氮碱基 ,而碱基又有四种不同的类型 (我们认为 5-羟甲基胞嘧啶与胞嘧啶相同 ,因为两者在 DNA 结构中皆能很好地参与碱基配对)。两种可能出现的碱基——腺嘌呤和鸟嘌呤为嘌呤 ;另外两种——胸腺嘧啶和胞嘧啶为嘧啶。迄今所知 ,多核苷酸链中碱基顺序是无规律的。由磷酸、糖和碱基构成的单体称核苷酸。

我们这个具有生物学意义的结构模型的第一个特点 ,在于它不是由一条而是由两条 (多核苷酸) 链所构成。这两条链皆绕一个共同的纤维轴旋转 ,如图 2 所示。一般认为 DNA 仅有一种化学结构形式 ,因此螺旋结构中应只有一条链。但是 ,X 射线所得密度图强有力地证明螺旋结构中有两条链。

① Watson , J. D. , and Crick , F. H. C. , Nature , 171 , 737 (1953) .

② Wilkins , M. H. F. , Stokes , A. R. , and Wilson , H. R. , Nature , 171 , 738 (1953) , Franklin , R. E. , and Gosling , R. G. , Nature , 171 , 740 (1953) .

③ (a) Astbury , W. T. , Symp. Soc. Exp. Biol. , No. 1 , 66 (1947) .

(b) Furberg , S. , Acta. Chem. Scand. , 6 , 634 (1952) .

(c) Pauling , L. , and Corey , R. B. , Nature , 171 , 346 (1953) . Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. , 39 , 84 (1953) .

(d) Fraser , R. D. B. , (in preparation) .

④ Wilkins , M. H. F. , and Randall , J. T. , Biochim. Biophys. Acta , 10 , 192 (1953) .

另一个有生物学重要意义的特点是这两条链维系在一起的方式。这种方式表现为碱基间形成的氢键,如图3所示。碱基以配对方式联结在一起,即一条链上一个碱基与另一条链上一个碱基通过氢键联结在一起。关键在于螺旋结构中仅能形成某些专一的碱基对。为了维系两条链,碱基对中一个碱基是嘌呤,另一个则必定是嘧啶。否则,如果一个碱基对包含两个嘌呤,两条链之间则容纳不下。

我们相信,碱基几乎完全以常见的互变异构形式存在。果真如此的话,形成氢键的条件则是非常严格的。仅能形成的碱基对为:

腺嘌呤与胸腺嘧啶

鸟嘌呤与胞嘧啶

碱基间形成氢键的方式如图4和图5所示。碱基对能以两种方式形成。例如,两条链上都可能出现腺嘌呤。但是,一条链上出现腺嘌呤,则另一条链上和它配对的碱基必是胸腺嘧啶。反之亦然。

最近的分析结果指出^①,在测定过的各种来源的DNA样品中,腺嘌呤的数量接近胸腺嘧啶的数量,鸟嘌呤的数量接近胞嘧啶数量。但是,腺嘌呤与鸟嘌呤的比值则因来源不同而不同。这些分析结果强有力地支持碱基配对法则。事实上,多核苷酸链的碱基顺序如果是无规律的话,除了求助于我们的碱基配对法则外,要解释这些分析结果是很困难的。

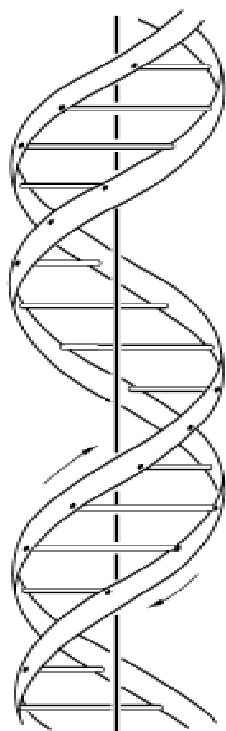


图2 DNA结构示意图。两条带表示糖和磷酸骨架,平行棒代表碱基对。碱基对把两条链维系在一起。垂直线表示纤维轴

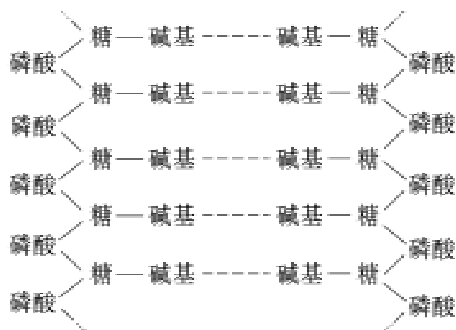


图3 一对脱氧核糖核酸链的化学式。氢键用虚线表示之

^① Chargaff, E., for references see Zamenhof, S., Brawerman, G., and Chargaff, E., Biochim. Biophys. Acta, 9, 402 (1952). Wyatt, G. R., J. Gen Physiol., 36, 201 (1952).

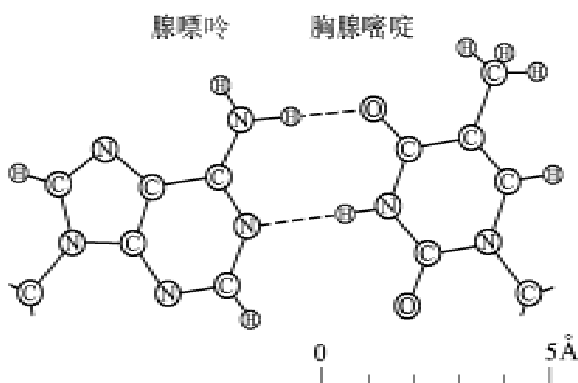


图4 腺嘌呤与胸腺嘧啶碱基对。虚线表示氢键。
糖的碳原子只画出一个

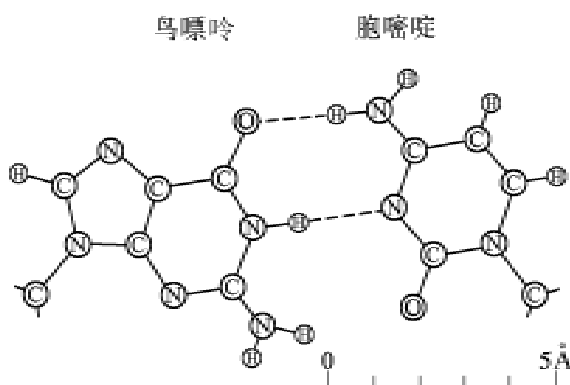


图5 鸟嘌呤与胞嘧啶碱基对。虚线表示氢键。
糖的碳原子只画出一个

我们的结构模型中磷酸和糖的骨架是完全规则的。而在这种结构中任意碱基对顺序都是合适的。这一模型说明,在一个很长的分子中,碱基顺序可以有很多不同的交换排列的形式。因此,这似乎表明严谨的碱基顺序就是携带遗传信息的密码。两条链中如果已知一条链的碱基顺序,根据专一碱基对法则,可以准确无误地写出另一条链的碱基顺序。可见,一条链与另一条链是互补的。正是这一特点表明了脱氧核糖核酸分子是如何自我复制的。

以前讨论自我复制通常要涉及样板或模板这个概念。有人曾经提出过直接自我复制的样板论,也有过由样板产生“副本”,“副本”反过来作样板再产生初始的“正本”的说法。但是,这两种观点都没有具体解释这一过程是如何在原子和分子水平上进行的。

现在,我们的脱氧核糖核酸模型实际上是一对样板。这两条样板是彼此互补

的。我们假定,在复制之前氢键断裂,两条链解开并彼此分离。然后,每条链都可以作为样板,在其上形成一条新的互补链。这样,我们最后得到了“两对”链,而前此我们仅有“一对”链。而且,在复制过程中,也是严格符合碱基配对规律的。

仔细琢磨一下我们的模型表明,如果一条链(或它的有关部分)呈螺旋结构,复制就很容易进行。我们设想,细胞在其生活的特定阶段中,大量游离核苷酸(严格地讲应是多核苷酸的前体)可以被细胞利用。游离核苷酸的碱基常常通过氢键与链上一个碱基配对。我们现在假定,如果新合成的链可以形成我们设想的这种双链结构,则生成新链的单体聚合化反应才有可能进行。这种观点似乎是讲得通的。除非这些核苷酸是形成我们的结构所必需的,否则,由于位阻效应,它们就不能在原有的链上“结晶”并彼此接近最终联成一条新链。这种聚合化反应是否需要一个专一的酶,或者原有的单股螺旋是否可以有效地起到酶的作用。这些都是尚待进一步研究的问题。

因为我们的模型中两条链是相互缠绕在一起的,要分开它们必须解除这种缠绕。两条链每34埃缠绕一周。因此,一个分子量为一百万的DNA约有150周螺旋。不管染色体具有怎样精细的结构,仍然需要有相当数量的非螺旋部分存在。显微镜观察的结果明确指出,在染色体有丝分裂中出现很多缠绕部分和非缠绕部分。尽管这是“宏观现象”,大概也反映了分子水平上的类似情况。要井井有条地弄明白这些过程是怎样发生的,虽然现在还有困难,我们不认为上述的困难是不可克服的。

在前文,我们提出的结构模型仍然有值得商榷之处。两条多核苷酸链之间的空间可以摆一条多肽链围绕同一螺旋轴旋转(见图2)。邻位磷原子之间的距离为7.1埃,与完全伸展的多肽链一个周期的距离非常接近,这或许有某种意义。我们认为,在精子头部或核蛋白体矫作物之中,多肽链大概占据着这个位置。关于DNA已发表的X射线图中,出现比较微弱的次级谱线与这种观点粗略地相符合。蛋白质在这里的功能可能是控制DNA链是否缠绕,有助于将一条多肽链维持在螺旋构型之中,或者表现其他非专一性的作用。

我们的模型也为其他一些现象提供了可能的解释。例如,自发变异可能是由于一种碱基偶尔以它不常有的互变异构体出现而产生的。另外,在减数分裂中,同源染色体的配对可能也依赖于专一的碱基配对。我们将另外详细讨论这些问题。

现在,我们提出的脱氧核糖核酸复制的一般概念,应该看作是一种推测。即使这种观点是正确的,我们已经说得很清楚,要详细描述遗传复制机理尚需很多新的发现。多核苷酸的前体是什么?什么力量促使两条链解开?蛋白质的确切作用是什么?染色体究竟是一对长的脱氧核糖核酸链,还是它包含由蛋白质联结起来的一束核酸链?

尽管这些都是不能肯定的问题 ,我们觉得我们提出的脱氧核糖核酸结构可能有助于解决一个基本的生物学问题——遗传复制中样板的分子基础。我们提出的假说是 ,样板是由一条脱氧核糖核酸链组成的碱基图案 ,而基因包含着这种互补碱基对的样板。

五

写在天空的证明

——科学验证

F. W. 贝塞耳

天鹅座 61 的视差¹

选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。夏一飞译。

导读

贝塞耳 (Friedrich Bessel, 1784—1846) 于 1784 年 7 月 22 日出生于德国明登,年轻时在布来梅的一个商人会计室工作。1804 年他重新计算了哈雷彗星的轨道,并把结果寄给了天文学家奥伯斯 (H. Olbers),给后者留下了深刻印象,贝塞尔因此于 1806 年成为施罗特 (J. H. Schroter) 的天文助手。

1810 年 25 岁的贝塞耳已经名气不小,引起普鲁士国王威廉三世的注意,被任命为柯尼斯堡新天文台台长,负责该天文台的建设。贝塞耳在这个岗位上干到去世。贝塞耳在布拉德雷观测的基础上于 1818 年制定了一份新的星表,包括五万颗恒星。贝塞耳的数学天才使他能对天文计算作精心改进,他创立了一套分析算法,其中用到的一种函数现在就叫贝塞耳函数。但他最著名的天文学成就是实现了天文学家们三个世纪的梦想——测定一颗恒星的周年视差。

事实上,希腊人就已经知道,如果地球绕太阳转动,就会看见恒星的周年视差。哥白尼坚信地球是在动的,之所以观测不到恒星周年视差,是因为恒星太遥远。贝塞耳使用夫琅和费制造的精良仪器,选择了一颗很可能离地球较近的暗弱恒星天鹅座 61 进行测量,1838 年他公布天鹅座 61 的周年视差是 0.313 6 角秒 (现在值是 0.294 角秒)。约翰·赫歇尔称赞他的这一功绩是“应用天文学曾经见到过的最伟大和最辉煌的胜利”。

恒星周年视差是哥白尼学说的一个预言,贝塞耳的工作一方面为这一预言提供了验证,了却了 16 世纪留下的一个宿愿;另一方面,他的工作把天文学家的眼光往远处引向了广袤的恒星世界。周年视差测定方法的更大意义在于确

① 译自 H. Shapley and H. E. Howarth, *A Source Book in Astronomy*, PP 216—220 [1929]。本文标题系 Shapley 和 Howarth 所加。原文选自 “A Letter to Sir J. Herschel, Bart.,” dated K nigsgberg, Oct. 23, 1938, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* [1838]。——原编者

切知道恒星有多远。天鹅座 61 离开地球大约 6 光年 ,这样天文学家首次以确凿的证据知道宇宙的大小远远超出前人的估计。

确实是长期盼望的结果 ,是哥白尼就预言了的事实。

该文是作者写给约翰·赫歇耳的信。约翰·赫歇耳的父亲是德国汉诺威人 ,想必约翰也通德语 ,故德国人贝塞耳说“用本国的语言来写”。

尊敬的先生 :我已成功地求得长期以来盼望的结果 ,并相信它将会引起像你那样的伟大和热心的天空探索者的兴趣 ,因此我冒昧地给你写信。如果你认为这封信很重要 ,需要展示给天文界的其他朋友 ,我不仅不反对 ,而且恳求你这样做。为此我通过贝立先生将信转送给你。我宁愿这样做 ,因为这样 ,你一回到英国 ,就能少受干扰 ,立即注意到这件重要的事情。对你 ,我可以用本国的语言来写 ,这样能确保我表达清楚。

在为测定恒星视差经历了许多失败的尝试之后 ,我认为借助我那架大型夫琅和费量日仪的精密度来开展某些工作是值得的。我着手对天鹅座 61 进行这种研究。由于它具有大的自行 ,它可能是所有对象中最好的 ;它具有双星的优点 ,因此可以以很高的精度来观测它 ;在一年中的大部分时间内它都非常接近天极 ,在晚上总是能在离地平足够高处观测到它。1834 年 9 月 ,我开始对这颗恒星的位置进行观测 ,测量它同两颗 11 等暗星的距离 ,其中一颗在前面 ,另一颗在北面。但不久我发现大气几乎很不利于观测如此暗的两颗恒星 ,因此我决定选择虽然远一些但较亮的恒星。1835 年为研究柏林天文台钟摆的长度 ,我离开天文台三个月 ;当我回来时 ,由于哈雷彗星的出现 ,我所有的晴夜被占去。1836 年 ,我忙于在本国进行 1° 的测量计算^①和编辑有关这个课题的著作。为了使天鹅座 α ^② 的观测能够得到明确的结果 ,我认为必须进行连续的观测。到 1837 年这些障碍已被消除 ,因此我恢复原来的计划 ,根据对天鹅座 61 的观测 ,希望能得到同斯特鲁维对天琴座 α 观测相同的结果。

我在双星周围的暗星中选择了两颗 9 到 10 等的星 ,其中一颗 (a 星)几乎垂直于双星的方向线 ,另一颗 (b 星)基本上在这个方向上。我用量日仪测量这两颗星同这颗天鹅座双星间正中间一点的距离 ,因为我认为这种观测是所有观测中最正确的。我通常每晚重复观测 16 次。当大气很不稳定时 ,我进行更多次的重复 ,即使如此 ,我还担心结果会达不到在良好的夜晚观测次

① 指测量计算经圈上纬度差 1° 的弧长。——原编者

② 此处系作者笔误 ,应为天鹅座 61。——译者

数较少时所具有的精度。所有精确的天文观测都存在着大气不稳定这个巨大的障碍。在不好的天气条件下,我们无法避免它的不利影响,除非仅在晴朗的夜晚观测;然而这样一来,为了研究的需要收集大量观测就更困难了……

我对距离^①的测量结果都列在表上,它们不受大气折射和光行差的影响,并已归算到 1838 年初。在计算中,对两个距离所采用的周年变化分别是 $+4''.3915$ 和 $-2''.825$,这是我根据天鹅座 61 两颗恒星的平均运动推算出来的(假定恒星 a 和 b 都没有自行)。天鹅座 61 两颗恒星的平均运动是 M. 阿格兰德尔最近利用我得到的 1755 年历元的确定值(根据布拉德雷的观测)和他自己的 1830 年历元的确定值进行比较求得的。同时,我们不能把距离的变化认为是真正的变化,因为所比较的恒星可能有自行,并且也不知道天鹅座 61 两颗恒星的平均运动是否相对于它的中心以及这个运动是否和时间成比例。下面,让我们用 $+4''.3915 + \alpha'$ 和 $-2''.825 + \beta'$ 表示距离的真正变化,用 α 和 β 表示 1835 年初的平均距离,从 1835 年初起计量的时间用 t 表示,天鹅座 61 与比较星 a 和 b 的周年视差常数的差分别用 α'' 和 β'' 表示,最后,与地球位置有关的视差系数用 a 表示。于是, 1838 年初距离的表达式为

对恒星 a 为: $\alpha + t\alpha' + a\alpha''$

对恒星 b 为: $\beta + t\beta' + a\beta''$

……

为了推算出天鹅座 α^2 的周年视差,我按两种不同的方式使用了上面提到的天鹅座 61 同 a 星和 b 星间的观测表。我首先假设 α' 和 β' 彼此无关,换言之,认为 a 星和 b 星本身可能具有能觉察的视差。用这个方式我求得

对恒星 a

平均误差

1838 年初的平均距离 $461''.6094$

周年变化 = $+4''.3915 - 0''.0543$ 即 $+4''.3372 \pm 0''.0398$

天鹅座 61 和 a 星的周年视差之差 $\alpha'' = +0''.3690 \pm 0''.0283$

对恒星 b

以较远的星为参考星,来测量较近的恒星相对较远恒星的视差。这种“较差测量”法是伽利略首先提出来的。

① 系指比较星与天鹅座 61 之间的角距离。——原编者

② 此处系作者笔误,应为天鹅座 61。——译者

周年变化 = $-2''.825 + 0''.242 6$ 即 $-2''.582 4 \pm 0''.043 4$

天鹅座 61 和 b 星的周年视差之差 $\beta'' = +0''.260 5 \pm 0''.027 8$

观测结果似乎也表明, 天鹅座 61 和 b 星的视差之差比它和 a 星的要小, 如果 b 星本身比 a 星有较明显的视差, 情况必定是这样。事实上 α'' 和 β'' 的计算值之差超过了观测值的最大或然误差, 但注意到 α'' 和 β'' 的数值很可能相等, 因此这使我们认为这两者之差是由观测结果所证实的。进一步的观测将增加这两种结果的权, 同时将给出周年变化更精确的值。

因而我由观测推算第二种结果, 它依赖于下面的假设, 即 a 星和 b 星的视差是不能察觉的, 或 α'' 和 β'' 是相等的。因为两个序列彼此之间必须产生联系, 为此需要取第一个序列中观测数据的权为单位权, 并以此为基础推算出第二个序列中观测数据的权, 我求得它的权等于 0.688 9。于是求得天鹅座 61 的周年视差的最或然值等于 $0''.313 6$ ^①。在这个假设下, 我求得它同 a 星和 b 星的平均距离分别是 $461''.617 1$ 和 $706''.279 1$; 周年变化假定值的改正分别等于 $-0''.029 3$ 和 $+0''.239 5$ 。取为单位权的这类观测的平均误差是 $\pm 0''.135 4$, 天鹅座 61 的周年视差的平均误差等于 $\pm 0''.020 2$ 。

因为天鹅座 61 的周年视差 ($=0''.313 6$) 的平均误差仅是 $\pm 0''.020 2$, 因此它不到周年视差计算值的十五分之一。这些比较表明, 由观测给出的视差影响的累计非常微小, 跟理论的推测极其一致, 因此我们确信, 它的视差是明显的。假设它等于 $0''.313 6$, 我们可求得天鹅座 61 同太阳的距离是地球同太阳平均距离的 657 700 倍, 光需要 10.3 年才能经过这段距离。因为天鹅座 α ^② 的周年自行等于 $5''.123$, 其两子星的相对距离必然比地球轨道半径的 16 倍还要大得多, 它必然有不变的光行差, 其值为 $52''$ 多。当我们能成功地确定该双星的两子星围绕公共重心运转的运动要素时, 我们就能确定它们的质量和。在我详细地研究了以前有关相对位置的观测资料后, 我认为到目前为止它们是很难提供轨道要素的。根据这些资料只能求出其周年角运动约为 $2/3$ 度, 以及其距离的最小值约为 $15''$ (在本世纪初时)。由此我们推得绕转周期为 540 多年^③, 轨道半长轴的视角距离为 $15''$ 多。然而, 如果我们从这些仅仅是极限值的数字出发, 求得的双星质量之和将小于太阳质量的一半。这个值得注意的问题, 一定要等到有足够的观测资料精确地确定轨道要素后才能解决。而只有对位于暗星之间的双星位置进行长时间的连续观测并求得其重心后, 我们才能分别确定它们的质量。我们无法预测获得这些进一步研究成果的时间。

① 现公认天鹅座 61 的视差为 $0''.294$ 。——原编者

② 此处系作者笔误, 应为天鹅座 61。——译者

③ 现得知, 天鹅座 61 两子星的绕转周期为 700 年。——编者

J. C. 亚当斯

海王星发现史¹

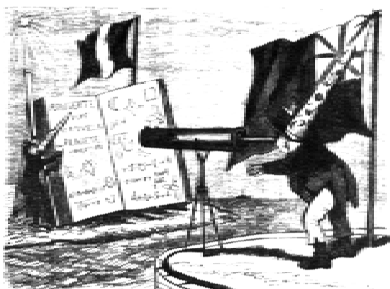
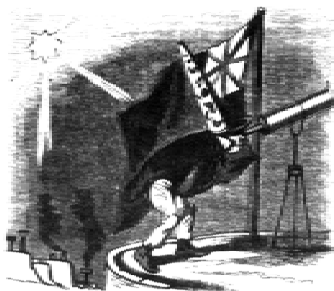
选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。周兴海译。

导读

亚当斯 (John Adams, 1819—1892) 出生于英国康沃尔郡,是一位贫苦农民的儿子。亚当斯从小就有数学天赋,后进入剑桥大学圣约翰学院攻读数学,在那里他获得一份奖学金。还是大学生时,他就开始研究天王星的异常运动。到1843年10月,他计算出了可能对天王星产生摄动的未知行星的位置,并把结果交给了他的上级皇家天文学家艾里 (George Airy),但是没有引起后者足够的重视,直到勒威耶的数据发表以后,一切为时已晚。不过在约翰·赫歇耳等热心人的帮助下,亚当斯还是获得了应得的一份荣誉。1851年亚当斯成为皇家天文学会主席,1858年成为剑桥大学天文学教授,1860年出任剑桥天文台台长。

天王星运动的不规则性引起天文学家的注意已有很长的一段时间。当这颗行星的路径大致弄清楚的时候,人们发觉,早在1781年W. 赫歇耳爵士发现它之前,弗兰斯提德、布拉德雷、梅耶尔和勒蒙尼叶就把它当作一颗固定的恒星观测过了。这些观测虽然在精度上无疑比现代的观测低劣得多,然而必须认为是很有价值的,因为它们把这颗行星轨道的观测弧段作了相当长的延伸。但是,现行天王星运行表的编制者布瓦尔德发现,如果不对现代观测加上大大超过容许限度的误差,要满足早先的观测是不可能的,因而他只根据现代观测编制出他的表。可是,没过几年,又开始呈现出可察觉的误差;虽则该表是新近在1821年编成的,它们的误差却已超过2角分,并且还在迅速地增加。因此,抛弃早先的观测已不再有任何理由了,特别是因为除了比其他观测早20年的弗兰斯提德的首次观测之外,早期的观

① 译自 H. Shapley and H. E. Howarth, *A Source Book in Astronomy*, PP245—248 [1929]。原文刊于 *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, Vol. 16 [1847]。——原编者



亚当斯漫画

测都能互相印证。

既然另一颗行星的发现辉煌地证实了分析的结论,并且使我们肯定这些不规则性具有其自己的真实原因,因此就没有必要长篇累牍地谈论排除其他各种假设的理由,这些假设都是为了解释这些不规则性而作出的。只要说一下这一点就够了,即这些假设看起来本身全都是未必可信的,而且也经不起精确计算的检验。有人甚至推测,在和太阳相距很远的天王星距离处,引力定律变得跟距离的平方反比不同。但是,引力定律早已稳固地确立,即使其他各种假设都已失败,上述推测也很难得到承认。并且我深信,在这方面,就像以前一样,使人对引力定律暂时产生怀疑的一些矛盾,到头来会给予引力定律以最惊人的证实。

几年以前,由于阅读了艾里先生关于天文学最近进展的宝贵报告,我的注意力第一次被引向这一课题。我在我的文章中找到了1841年7月3日写的下面这一段备忘录:

本周初想出了一个计划,要在取得学位之后,尽快地研究尚未被说明的天王星运动的不规则性,以便获知是否可能把这些不规则性归之于天王星以外某颗未发现的行星对天王星的作用,如果可能,再大致确定它的轨道根数。这也许会导致对它的发现。

因而,1843年,我便第一次试图解决这个问题,我假定轨道是圆形的,其半径为天王星到太阳的平均距离的两倍。一开始,

不能轻易怀疑已经被证实了的理论,科学理论需要维持这样的相对稳定。如果理论被随意更改,那么也就谈不上科学的进步。

对平均距离作某种假定显然是必要的,而且波得定律似乎使上述假定有可能和真实情况相距不远。这一研究只以现代观测作依据,运行表的误差最早取自1821年布瓦尔德表条件方程中所给出的数据,以后取自《天文学通报》(Astronomische Nachrichten)所刊载的观测,以及剑桥和格林尼治的观测。结果表明,理论和观测一般符合得很好。但是在所使用的观测资料不足的年份中,出现较大的差异。当时,格林尼治的行星观测正处在归算过程中,通过查利斯教授的帮助,我请艾里先生供给我一贯性最差的那几年的观测资料。1844年2月,这位皇家天文学家极其友好地把格林尼治的全部天王星观测结果寄给了我。

那时,格丁根皇家科学院已提出把天王星理论作为数学奖的课题,虽然我从大学工作中挤出的时间只有很少一点点,无法全面审查竞争奖金所需要的理论,但是这件事,加上这样一系列宝贵的观测资料,诱使我为这个问题寻求一个新的解。我把依赖于这颗摄动行星偏心率一次幂那些最重要的项考虑在内,同时保留了以前对平均距离所作的假定。对于现代观测,除1823年贝塞耳的一次外,表的误差取自格林尼治1830年以来的观测,以后取自剑桥和格林尼治的观测,以及《天文学通报》所刊登的观测。对于早期的观测,表的误差取自布瓦尔德表条件方程中所给出的值。考虑进越来越多表示摄动的级数项,得到几乎没有什么不同的几个解之后,我于1845年9月,把我得到的关于这个假定行星的质量、日心黄经和轨道根数的最后数值函告查利斯教授。下一个月我又把稍加改正的同一结果函告皇家天文学家艾里。由于提出的偏心率比可能的要大得多,并且以后的观测表明,建立在第一次假设基础上的理论对于平均距离仍然有明显的误差,所以后来我重新进行了研究,假定平均距离比以前约小三十分之一。今年^①9月初,我把研究结果通知了艾里先生,它似乎比我以前得到的结果要好,偏心率变小了,和新近的观测相比,理论的误差也小了,这就使我推测,距离还可进一步减小。

1845年11月,勒威耶先生在巴黎向皇家科学院提交一份关于受到木星和土星摄动作用的天王星理论的详尽研究。在这份研究中,他指出了几个微小的、先前被忽略的差异;今年6月,他又写了一篇论文继续这一研究。他把残余摄动归之于在离开太阳距离等于天王星两倍处的另一颗行星的作用,并且所得的这颗新行星的某一黄经跟我根据相同假设获得的结果非常接近。8月31日,他把一份更完整的研究提交给科学院,在这份研究中,他确定出这颗新行星的质量和轨道根数,并且还得到了平均距离的极根值和日心黄经。我之所以提出这些日期,只是为了表明我的结果是在勒威耶先生的结果发表之前独立得到的,丝毫不打算妨碍他享

^① 指1846年。——原编者

应该说,亚当斯这篇为自己争取荣誉的文章是适度的,也是起到了一定作用的,现在人们提到海王星的发现时都不会忘记提及亚当斯。

受发现这颗行星荣誉的正当要求;因为毫无疑问,他的研究是首先公布于世的,并且导致伽勒博士实际上发现了这颗新行星,因此,以上陈述丝毫不会有损于勒威耶先生当之无愧的荣誉。

F. W. 戴维 A. S. 爱丁顿 C. 戴维森

根据 1919 年 5 月 29 日的 日全食观测测定太阳 引力场中光线的弯曲¹

选自《天文学名著选译》，宣焕灿选编，知识出版社，1989 年。许敖敖译。

导读

恒星光在通过太阳引力场时会发生偏转。按照牛顿力学，并把光微粒当作有质量的粒子，星光经过太阳边缘时会发生 0.87 角秒的偏转。1915 年，爱因斯坦根据广义相对论把太阳边缘星光的偏折度定为 1.74 角秒。

在对广义相对论光线弯曲预言的验证历史上，一个重要的人物就是爱丁顿。1915 年正值第一次世界大战各方交战正酣，处在敌对国家中的爱丁顿通过荷兰人了解到了爱因斯坦理论，并对检验广义相对论关于光线弯曲的预言十分感兴趣。一战结束后，爱丁顿说动了英国政府资助在 1919 年 5 月 29 日发生日全食时进行检验光线弯曲的观测。英国人组织了 two 支日食观测远征队：一队到巴西北部的索布拉尔 (Sobral)，另一队到非洲几内亚海湾的普林西比岛 (Principe)。爱丁顿参加了后一队，但他的运气比较差，日全食发生时普林西比的气象条件不是很好。1919 年 11 月两支观测队的结果被归算出来：索布拉尔观测队的结果是 $1.98'' \pm 0.12''$ ，普林西比队的结果是 $1.61'' \pm 0.30''$ 。1919 年 11 月 6 日，英国人宣布光线按照爱因斯坦所预言的方式发生偏折。这一宣布引起了很大的轰动。

现在看来这一次观测的结果是值得商讨的，事后的研究发现，很多导致误

① 译自 K. R. Lang and O. Gingerich, *A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900—1975*, pp828—832 [1979]。文中的楷体字系 Lang 和 Gingerich 所加的按语。原文刊于 *Philosophical Transactions of the Royal Society (London)* 200, 291—333 [1920]。——原编者

差产生的因素当时考虑不够。后来 1922 年、1929 年、1936 年、1947 年和 1952 年发生日食时 ,各国天文学家都组织了检验光线弯曲的观测 ,公布的结果与广义相对论的预言有的符合较好 ,有的则不符合。到 20 世纪 60 年代初 ,天文学家开始确信太阳对星光确有偏折 ,并认为爱因斯坦预言的偏折量比牛顿力学所预言的更接近于观测。但是广义相对论的预言与观测结果仍有偏差 ,爱因斯坦的理论可能需要修正。

1973 年 6 月 30 日的日全食观测是精度较高的一次 ,结果再次证实广义相对论的预言比牛顿力学的预言更符合观测 ,但是难以排除后来布兰斯-迪克提出的竞争引力理论。1974 年到 1975 年间 ,福马伦特 (A. B. Fomalont) 和什拉梅克 (R. A. Sramek) 利用甚长基线干涉技术 ,观测了太阳对三个射电源的偏折 ,最后 (1976 年) 得到太阳边缘处射电源的微波被偏折 $1.761'' \pm 0.016''$,以误差小于 1% 的精度证实了广义相对论的预言。到 1991 年 ,天文学家利用多家天文台协同观测的技术 ,以万分之一的精度证实了广义相对论对光线弯曲的预言 ,只不过观测的不再是看得见的光线 ,而是看不见的无线电波。

探测目的

1. 探测的目的是确定引力场对从中穿过的光线究竟产生什么效应。除了一些可能的意外情况 ,似乎有三种可能性特别需要加以区别 :

(1) 光线不受引力影响。

(2) 光线的能量或质量以普通方式受引力作用。假如引力定律严格遵从牛顿定律 ,则会使太阳边缘的恒星产生向外 $0''.87$ 的视位移。

(3) 光线的路径符合爱因斯坦广义相对论。这导致太阳边缘的恒星有一个向外 $1''.75$ 的视位移。

在后两种情况中 ,位移量都反比于恒星与太阳中心的距离。情况 (3) 中的位移正好是 (2) 中的两倍。

可以看出 , (2) 和 (3) 都是假设光线以普通方式受引力作用。区别在于 , (2) 是假设了牛顿引力定律 ,而 (3) 是假设了爱因斯坦的新引力定律。爱因斯坦理论与牛顿引力定律之间的微小差异能引起水星近日点的过量运动 ,它随运动客体速度的增加而增大 ,当速度达到光速极限时 ,其光程曲率将达到牛顿引力定律所预言的光

程曲率的两倍。

2. 位移量 (2) 首先是由爱因斯坦教授于 1911 年提出的,^① 他的论点立足于等价法则,即一个引力场与由参考轴的加速所引起的假想力场是没有区别的。但是除普遍的等价法则的正确无误以外,还有理由期望光束的电磁能会受到引力场的作用,尤其当证实了包含在铀中的放射能会受引力场作用之后,这种理由更充分了。因此,1915 年爱因斯坦发现,普遍的等价法则需要对牛顿引力定律作一个修正,并且新的爱因斯坦定律得到了位移量 (3)。

3. 经过太阳附近的恒星星光为观测这种可能的光线弯曲提供了唯一的机会(木星造成的光线最大偏折仅为 $0''.017$)。很明显,这种观测必须在日全食期间进行。

在爱因斯坦第一次提出建议之后, E. 弗隆德里希博士立即想从已经拍得的日全食底片中进行分析,但是他未能得到足够的资料。为了检验这个效应,许多观测者都制定了以后几年的日全食观测计划,但是都由于有云或其他原因而失败。在爱因斯坦第二次提出他的建议后,利克天文台考察队企图利用 1918 年日全食来观测这个效应。最后的结果还没有发表,他们发表了一些初步的讨论,然而这次日全食观测是不顺利的。从所发表的情况来看,偶然误差很大,其精度不足以区别上述三种可能性。

4. 这里所介绍的观测结果,似乎十分明确地指示第三种可能性,并证实了爱因斯坦的广义相对论。众所周知,该理论也已由水星近日点的运动所证实,观测值在每一世纪中比牛顿理论值大 $43''$,与爱因斯坦理论推出的结果一致。另一方面,他的理论也预言了太阳夫朗和费线的红移,在紫区红移约为 0.008 埃。但按照圣约翰博士的结果,没有证实这个位移。假如认为这种差异有决定性的意义,则需要对爱因斯坦理论进行明显的修正,这已超出我们所讨论的范畴。但是,不论理论的其他部分是否需要修改,现在首先要对慢速运动的水星和快速运动的光波确定出爱因斯坦引力定律对牛顿定律的真实偏离。

爱因斯坦理论与牛顿引力定律的差异,如果表现在数值上或许是微小的,但是它们的理论框架在整体上的差异是巨大的。

“位移量 (2)”即 0.87 角秒的偏折不是爱因斯坦首次提出来的。早在 1704 年,牛顿本人就提出过,大质量物体可能会像弯曲其他有质量粒子的轨迹一样,使光线发生弯曲。一个世纪后拉普拉斯也独立地提出了类似的想法。1804 年,德国慕尼黑天文台的索德纳 (Johann von Soldner, 1766—1833) 根据牛顿力学,把光微粒当作有质量的粒子,预言了光线经过太阳边缘时会发生 0.87 角秒的偏折。

^① Annalen der Physik 35, 898.

这里所发现的效应应该是由太阳引力场引起的 ,而不是由日冕物质的折射引起的 ,这点似乎已经很清楚。如果说这种观测效应是由折射产生的 ,那么太阳必须由折射指数为 $1 + 0.000\,004\,14/r$ 的物质所包围 ,这里的 r 是以太阳半径为单位来量度的离太阳中心的距离。在离太阳表面为 1 个太阳半径的高度处 ,折射指数为 $1.000\,002\,12$,这相当于 $1/140$ 个大气压之下的空气、 $1/60$ 个大气压下的氢或者 $1/20$ 个大气压下的氦的折射指数。显然 ,这种量级的密度是不可能的。

探测准备

按 :1917 年末 ,科学家注意到 1919 年 5 月 29 日的日全食对检验爱因斯坦理论特别有利 ,这是因为发生掩食时太阳周围的星场中有特别多的亮星。日全食路线是从巴西北部越过大西洋经普林西比岛后横贯非洲。我们向英国政府申请了去巴西北部的索布拉尔以及普林西比岛探测的经费 1 100 镑。表 1 绘出了恒星的照相等、标准坐标和在两个观测点所预期的引力位移值 ,该引力位移是假设径向位移为 $1.75r_0/r$ 角秒而算出的 ,这里 r 为离太阳中心的距离 r_0 为太阳半径。

表 1 恒星位置引力位移的预期值

编号	星 名	照相星等	坐标 (单位为 50')		引 力 位 移			
					(索布拉尔)		(普林西比)	
			x	y	x	y	x	y
		m.			"	"	"	"
1	BD 21° 641	7.0	+0.026	- 0.200	- 1.31	+0.20	- 1.04	+0.09
2	Piazzi , IV 82 ^①	5.8	+1.079	- 0.328	+0.85	- 0.09	+1.02	- 0.16
3	金牛座 k ²	5.5	+0.348	+0.360	- 0.12	+0.87	- 0.28	+0.81
4	金牛座 k ¹	4.5	+0.334	+0.472	- 0.10	+0.73	- 0.21	+0.70
5	Piazzi , IV 61	6.0	- 0.160	- 1.107	- 0.31	- 0.43	- 0.31	- 0.38
6	金牛座 v	4.5	+0.587	+1.099	+0.04	+0.40	+0.01	+0.41
7	BD 20° 741	7.0	- 0.707	- 0.864	- 0.38	- 0.20	- 0.35	- 0.17
8	BD 20° 740	7.0	- 0.727	- 1.040	- 0.33	- 0.22	- 0.29	- 0.20
9	Piazzi , IV 53	7.0	- 0.483	- 1.303	- 0.26	- 0.30	- 0.26	- 0.27

① 指意大利天文学家皮亚齐于 19 世纪初期编制的一个星表中的星名。——原编者

续 表

编号	星 名	照相 星等	坐标 (单位为 50')		引 力 位 移			
					(索布拉尔)		(普林西比)	
			x	y	x	y	x	y
10	金牛座 72	5.5	+0.860	+1.321	+0.09	+0.32	+0.07	+0.34
11	金牛座 66	5.5	-1.261	-0.160	-0.32	+0.02	-0.30	+0.01
12	金牛座 53	5.5	-1.311	-0.918	-0.28	-0.10	-0.26	-0.09
13	BD 22° 688	8.0	+0.089	+1.007	-0.17	+0.40	-0.14	+0.39

图 1 绘出了表 1 中所载恒星的相对位置,方框系在普林西比观测点所用底片的界限,斜的长方形为索布拉尔观测点的 4 英寸透镜[所拍摄的底片]的界限。两地发生日全食的时刻相差 2.25 小时,在此期间,太阳从 s 点移动到 p 点,图中的太阳绘在这两点之间。

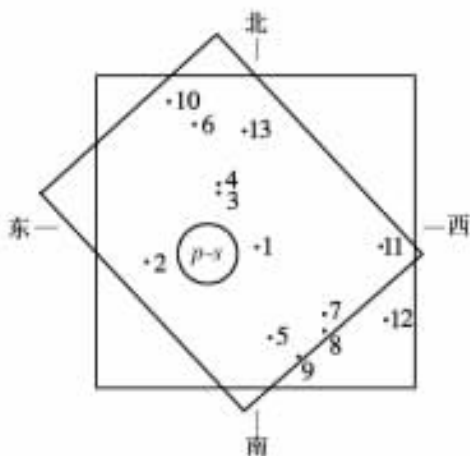


图 1 1919 年 5 月 29 日日全食期间太阳附近的恒星的空间位置。在巴西的索布拉尔以及普林西比岛两地相继发生日全食的时间间隔内,太阳从 s 移到 p。本图的比例尺可从太阳圆面直径为 31'.6 推出

索布拉尔的观测

(观测者: A. C. D. 克罗姆林博士和 C. 戴维森先生)

按:为了去索布拉尔观测,[携带了一架]焦距为 3.43 米并配有 8 英寸光栏的格林尼治天体照相机,将它装在一个钢管内,并备有 16 英寸定天镜。另有一个 4 英寸的辅助透镜放在 19 英尺长的

木制方管中 ,用 8 英寸定天镜与之相配。日全食时刻的情况如下 :

日全食那天上午 ,云量较多 ,初亏时刻 ,云掩部分估计占十分之九 ,这时太阳看不见。几秒钟后才现出太阳的初亏。偏食期间 ,曾出现过几个日照瞬间 ,使我们得以把太阳像置于场镜的特定位置和最后调整一下转仪钟速率。当临近全食时 ,云量减少。在食既前一分钟左右 ,一块较大的晴空到达太阳。根据观测场镜中渐渐消失的月牙状太阳的长度 ,发出食既前 58 秒、22 秒、12 秒的警报 ,当月牙状太阳完全消失 ,叫了一声“到” 。利奥卡道博士立刻启动拍节器 ,他在全食期间每 10 拍拍叫一声 ,曝光时间利用这些拍次记录。在 310 秒时间内拍击 320 次 ,根据这种速率算出记录时间。观测计划顺利地完成。天体照相机拍摄了 19 张底片 ,其曝光时间交替地为 5 秒和 10 秒。4 英寸镜上拍摄了 8 张底片 ,曝光时间全为 28 秒。除了在全食期间约有 1 分钟时间的薄云之外 ,太阳周围的天空晴朗。在这约 1 分钟的有云时间内 ,虽然肉眼还能窥见内冕 ,曝光的底片上还呈现轮廓清晰的大日珥 ,但恒星照相受阻。冲洗之前 ,底片一直留在底片盒内。底片冲洗是几天后的夜里在附近窑洞中进行的 ,6 月 5 日之前完成。

按 :日全食的参考底片是 7 月 11 日在同一地点用拍摄日全食的同一仪器拍得的。通过对日全食底片上的恒星位置与参考底片上的恒星位置比较得知 ,用 4 英寸镜拍摄的照片上 ,离太阳中心 50' 处的平均位移是 0". 625。因为日全食时的太阳半径为 15'. 8 ,观测位移相当于在太阳边缘发生 1". 98 的弯曲。对大气折射、像差、底片定位和标度变换进行修正后 ,不同恒星的位移量列于表 2 中。表中的计算值是根据爱因斯坦理论用太阳边缘弯曲 1". 75 推算出来的。

用天体照相机物镜拍摄的底片 ,由于太阳光加热引起焦距变化而发生星像弥散。结果使测定的质量不如 4 英寸镜 ,而且与 4 英寸镜的结果不一致 ,在太阳边缘 ,其平均弯曲为 0". 93。

表 2 恒星位置位移量

编 号	赤经位移		赤纬位移	
	观测值 (")	计算值 (")	观测值 (")	计算值 (")
11	- 0. 19	- 0. 32	+ 0. 16	+ 0. 02
5	- 0. 29	- 0. 31	- 0. 46	- 0. 43

续 表

编 号	赤经位移		赤纬位移	
	观测值 (")	计算值 (")	观测值 (")	计算值 (")
4	- 0.11	- 0.10	+ 0.83	+ 0.74
3	- 0.20	- 0.12	+ 1.00	+ 0.87
6	+ 0.10	+ 0.04	+ 0.57	+ 0.40
10	- 0.08	+ 0.09	+ 0.35	+ 0.32
2	+ 0.95	+ 0.85	- 0.27	- 0.09

普林西比的观测

(观测者 : A. S. 爱丁顿教授和 E. T. 科廷姆先生)

按 : 普林西比观测 , 使用的仪器是牛津的装有 8 英寸光栏的天体照相机 , 用 16 英寸定天镜照射。日全食情况介绍如下 :

日全食的前几天多云。5 月 29 日上午从早上 10 点到 11 点半大雷雨——在一年的这个时候发生是罕见的。然后太阳露面几分钟 , 继而云块又集结起来。在全食前半小时左右 , 月牙状的太阳偶然可见。1 时 55 分左右 , 透过飘浮的白云可以连续地看到太阳。日全食的计算时间从 2 时 15 分 5 秒到 2 时 18 分 7 秒 (格林尼治时间) , 底片露光是照原定计划进行的 , 共拍得 16 张底片。科廷姆先生控制露光时间并监视转仪钟 , 爱丁顿教授控制暗盒拉盖。从结果来看 , 日全食最后三分之一的时间内 , 云一定很薄 , 因为在后来拍摄的底片上呈现出星像。在云层稍厚时拍得的底片上 , 在太阳边缘处可以清晰地看到一个很显著的日珥。

日全食以后的几分钟内 , 太阳高悬于晴空之中 , 但晴朗的时间不长。这似乎是由于日全食本身把云层驱散了 , 犹如在日落时刻 , 天空常常是晴朗的那样。

按 : 除日全食底片外 , 在牛津和普林西比还拍摄了包括大角星在内的比较星场底片。日全食星场的比较底片在几个月内的夜里都不能进行拍摄。比较星场的底片用来表明在包含大角星的星场底片中没有日全食底片上所出现的那种位移。因此可以推断出全食底片上 [星像] 的位移只能是由星场中被月亮掩食的太阳引起的。

假如用 X 和 W 表示日全食底片 ,用 G、H、D、I 表示在牛津拍摄的比较底片 ,则相当于太阳边缘的弯曲可以有以下几种结果 :

从两张日全食底片可以得到四个结果 :

$$X-G \quad 1''.94$$

$$X-H \quad 1''.44$$

$$W-D \quad 1''.55$$

$$W-I \quad 1''.67$$

平均值为 $1''.65$,可能误差为 $0''.30$ 。这与爱因斯坦的预言值 $1''.75$ 相当一致。

一般结论

在总结两个探测队的结果时 赋予了索布拉尔 4 英寸镜的结果以最大的权重。从像的优质和底片的较大尺度上考虑它们是最可信的。此外 ,从赤经和赤纬独立得到的结果的一致性和各恒星残差的相符合 ,表明它比其他仪器可能有更为满意的检验结果。

这些底片给出 :

$$\text{根据赤纬} \quad 1''.94 ,$$

$$\text{根据赤经} \quad 2''.06。$$

从赤纬所得的结果的权重约是从赤经所得结果的两倍 ,所以平均结果为

$$1''.98 ,$$

其或然误差约 $\pm 0''.12$ 。

普林西比的观测总的来说受到云的干扰。这种不利的条件也许部分地被岛上的极均匀的温度所弥补。所得的弯曲是

$$1''.61。$$

或然误差约 $\pm 0''.30$,所以这一结果比前者具有较小的权重。

上面两个结果都接近爱因斯坦广义相对论的 $1''.75$ 的弯曲值。索布拉尔结果是肯定的 ,而普林西比的结果也许有些不确定性。但索布拉尔天体照相机拍摄的底片给出的弯曲为

0".93 ,

远远超出它的偶然误差的限度。由于这一原因,不能给该处的测量以太大的权重。

已经假设,位移量反比于离开太阳中心的距离,因为所有的理论在这一点上都是一致的。而且,事实上从量纲考虑这也很清楚,假如是由引力引起这种位移,它必然遵从这一定律。从 4 英寸镜的结果来看,对这个定律可以进行某种检验,尽管这些检验还是很粗糙的。

结果汇总在图 2 中,该图表示恒星径向位移(所有底片的平均值)与离太阳中心距离之间的关系。

因此,索布拉尔和普林西比的探测结果几乎毋庸置疑地表明,光线在太阳附近会发生弯曲,弯曲值符合爱因斯坦广义相对论的要求,而且是由太阳引力场产生的。但观测饶有趣味,人们仍愿意在未来的日全食中重复这项工作。1919 年日全食不寻常的有利条件将不会再出现,因此将必然拍摄一些弱星,这些弱星可能离太阳更远。假如要得到像正规恒星工作中那样高质量照相的话,至少得用像 88 英寸物镜的天体照相机那样的望远镜进行观测。最好不要用定天镜。定天镜系统对日冕照相和光谱仪观测是很方便的,但对高精度观测来说,它会在光路里引进一些不希望有的、本来能够避免的复杂性。某些形式的赤道式装置(如利克天文台日食探测中所用的)似乎是合乎需要的。

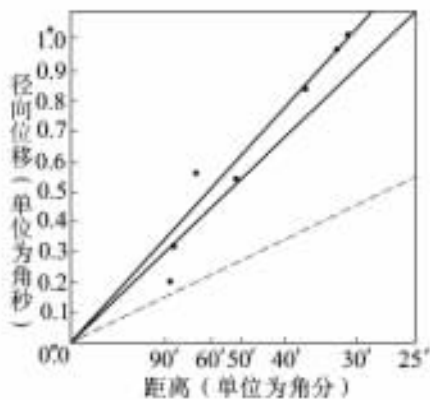


图 2 1919 年 5 月 29 日日全食期间,太阳附近恒星位置的平均径向位移与每颗恒星离太阳中心角距离(以角分为单位)的关系。中间的直线表示按爱因斯坦理论所得的位移,虚线表示按牛顿定律所得的位移,上边的直线表示观测结果

人们不只是愿意,而且是必须,在未来重复精度更高的观测,才能验证广义相对论光线弯曲的预言是否正确。

G. 盖莫夫

膨胀宇宙的物理学¹

选自《天文学名著选译》,宣焕灿选编,知识出版社,1989年。卞毓麟译。

导读

盖莫夫 (George Gamow, 1904—1968) 出生于俄国敖德萨,是一位沙皇将领的孙子。进列宁格勒大学学习,与朗道是同学,1928年获博士学位。其后到西欧的一些大学工作,曾与玻尔、卢瑟福等共事。1934年到美国,先在华盛顿大学任教,1956年到科罗拉多大学任教。

盖莫夫主要从事核物理理论研究,他的重要工作之一是完善了贝特恒星理论。贝特认为核反应是恒星辐射能的来源。盖莫夫进一步指出当恒星内部的氢被耗尽时,星球会变热,改变了以往认为的恒星会慢慢变冷的看法,使人类对恒星演化有了新的认识。

使盖莫夫名声大振的是他提出的关于宇宙以及宇宙内的元素在极短时间内产生的一个理论,这个理论后来被他的对手霍伊尔戏称为“大爆炸”学说。现在的“大爆炸”宇宙模型中很多细节上比起盖莫夫当初提出来时,已经有了很多改进,但盖莫夫的基本思想是正确的。“大爆炸”学说的几项预言,如宇宙中和恒星内部的氦丰度、宇宙微波背景辐射等,都得到了观察证实。

引言

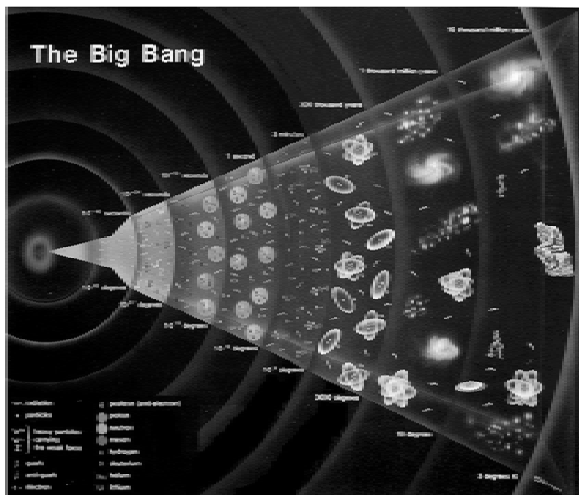
按照人们普遍采纳的观点,在遥远星系中观测到的光谱线红移,必须解释为位于无限宇宙空间中的遥远星系系统迅速膨胀(或者,毋宁说是“散开”)的结果。因

① 译自 K. R. Lang and O. Gingerich, A Source Book in Astronomy and Astrophysics, 1900—1975, PP868—872 [1979]。原文刊于 Vistas in Astronomy, 2, 1726—1732 [1956]。——原编者

此,从前形成我们这个宇宙的物质曾是高度压缩而具有很高的(也许是均匀的)密度和温度。几年前邦迪、戈尔德和霍伊耳^①提出了另一种假说,即星系不断散开完全为新物质的连续创生以及新星系的形成所补偿。然而,至少按本文作者的看法,这一假说在目前既非必要亦站不住脚。事实上,最近有关星系际距离的新资料已经消除了原先根据地质学资料与根据观测到的退行速度得出的宇宙年龄之间的老矛盾。另一方面,斯特宾斯与怀特福德^②观测到的遥远椭圆星系过度红化肯定表明整个宇宙存在着演化趋势。

热辐射在宇宙学中的重要性

回到宇宙从原始高密状态演化膨胀的图景,我们可以问:在这种膨胀的不同阶段必须具有怎样的物理条件以及怎样的过程,才能导致原始均匀物质演变成目前这种由单个星系、恒星、行星等等组成的高度非均匀的系统?



大爆炸以来

在研究宇宙过去的历史中曾经发生的物理过程时,将普通物质(物质粒子)所起的作用与热辐射(热量子)所起的作用区分开来是很重要的。在我们通常的物理实验范围内,渗透于一切物体(当然,除非它们置于绝对零度下)的热辐射,在这些物体的力学和热学性质中所起的作用相对说来并不重要。例如,考虑在正常密度和温度下的单位体积的空气,此处,它是普通大气气体与由热辐射量子形成的某

^① H. Bondi, *Cosmology* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1952).

^② A. E. Whitford, *Astron. J.* 58, 49 [1953].

种气体的混合物。对于该系统的质量密度 ρ 和热容量 C ,我们可以写出

$$\rho = mn + \frac{aT^4}{c^2} \quad (1)$$

和

$$C = \frac{3}{2}kn + 4aT^4. \quad (2)$$

此处 m 和 n 是单位体积内的粒子平均质量和粒子数, k 和 a 是玻尔兹曼常数和斯忒藩常数。

代入各种数值,我们求出辐射的质量密度与热容量分别为 7×10^{-26} 克·厘米⁻³ 和 8×10^{-7} 尔格·厘米⁻³·度⁻¹, 这两个数字与物质成分的质量密度和热容量相比,都小得可以忽略不计。

然而,如果现在考虑的是恒星中心区域物质与辐射的某种混合物,那么我们就发现情况有所不同。事实上对于 $\rho = 100$ 克·厘米⁻³ 和 $T = 2 \times 10^7$ K, 辐射的质量密度与物质的质量密度相比仍可忽略,但是它的热容量现在是 2.4×10^8 尔格·厘米⁻³·度⁻¹, 这是在给定条件下物质热容量的 2.5%。在更热的恒星中,辐射的热容量(以及压力)变得更大,因此在有关热力学和流体力学的一切问题中都必须予以考虑。

现在我们来考虑单位体积的星际气体,其密度为 10^{-24} 克·厘米⁻³, 温度约 100 K。在这样的情况下辐射的质量密度 (0.8×10^{-28} 克·厘米⁻³) 依然很小,与物质的质量密度相比可以忽略。但是,辐射的热容量现在是 3×10^{-8} 尔格·厘米⁻³·度⁻¹, 超过物质热容量的两亿倍。于是,在涉及这样一种原子和热量子的混合物的所有热力学问题中,热辐射将起着主导作用。特别是,如果这样一种混合物绝热膨胀或绝热收缩,则温度的变化将完全由辐射确定。众所周知,由于绝热膨胀的辐射,其温度的下降与体积的立方根成反比,而(单原子)气体的温度变化则反比于其体积的二次方,所以该系统的物质部分将比辐射冷却快得多,从而就会有某种固定的能流从辐射进入气体。但是,由于辐射的热容量大得多,所以这种混合物的平衡温度将非常接近于遵从立方反比律。此处必须注意,在绝热膨胀或收缩过程中,辐射和物质两者的热容量之比保持常数。事实上,(2)式表明它们均反比于体积而变化。

整个宇宙中物质和辐射之间的平衡,与上面讨论的星际气体的例子很相似。事实上,如果我们取宇宙中的平均物质密度值为 10^{-30} 克·厘米⁻³, 并假定温度低达 1 K, 那么辐射密度将比物质密度小一万倍,而与此同时,它的热容量则要大两亿倍。只有当我们假定宇宙的平均温度低到千分之一度以下时,辐射的热容量才会比物质的热容量小。

现在,我们转向目前存在于星系际空间的真实物理条件。我们将首先假定目前

宇宙中的所有热量皆由在它存在的 50 亿年中累积起来的恒星辐射所提供,由此来估计星系际空间的极小温度。就我们的目的而言,可以将太阳当作典型恒星,因为事实上星系具有与太阳相同的平均光谱型。我们的太阳每单位质量每秒钟内辐射 2 尔格能量,在它存在的期间,每一克物质必定已经辐射了 3×10^{17} 尔格或 3×10^{-4} 克的辐射。因为宇宙中恒星物质的平均密度约为 10^{-30} 克·厘米⁻³,所以目前热辐射的平均密度至少应为 3×10^{-34} 克·厘米⁻³。利用 (1) 式,我们算出宇宙目前的温度至少必须为绝对零度以上若干度,所以热辐射的总热容量必定超出物质总热容量好几亿倍。

我们也可以利用氢-氦转化(它是恒星能量的来源)的能量平衡对宇宙温度估算一个最大值。根据核物理学的资料,这种转化导致原始质量的 0.6% 以辐射的形式释放出来。于是密度为 10^{-30} 克·厘米⁻³、均匀分布的纯氢释放的辐射的最大质量密度是 6×10^{-33} 克·厘米⁻³,即仅为我们先前估计的 20 倍。相应的最大温度仅为绝对温度 6 度!这样,我们就看到,如果宇宙物质不是凝聚成恒星,而是保持均匀分布于整个空间直至达到目前的稀疏程度,那么,它就不会被加热到绝对零度以上这么多,即使(由于某种奇迹)氢-氦转化已经释放了全部可资利用的核能也无济于事。即便核反应能够充分供应每个粒子的能量,将“粒子温度”提高到好几十亿度,^①所有这些能量仍将被热辐射(由于它的热容量非常大)带走,结果这种混合物的温度就很难升到绝对零度之上!

宇宙史上的辐射时代和物质时代

除了恒星中的核反应产生的宇宙热量外,还会从更早的前恒星阶段留下一些热,事实上,如果假设年轻宇宙的原始均匀物质完全没有任何热运动,那倒是极不自然的。为了估计这种余热,如果空间充满了气体和热辐射的某种混合物,那么我们就必须较详细地考虑空间膨胀的规律。按照广义相对论,一个均匀各向同性宇宙随时间变化的规律由下式描述:^②

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = \sqrt{\frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{c^2}{R^2}}, \quad (3)$$

此处 l 是该膨胀空间中任意两个物质点之间的距离, ρ 是总的物质密度, G 是牛顿引力常数, c 是光速, R 是曲率半径。

① 事实上,如果 $4\text{H} \rightarrow \text{He}$ 反应的总能量 3.7×10^{-5} 尔格仅在所产生的 α 粒子和两个电子之间进行分配,而不产生热辐射,则粒子温度将为

$$\frac{1}{3} \times \frac{2}{3} \times \frac{3.7 \times 10^{-5}}{1.4 \times 10^{-16}} = 6 \times 10^{10} \text{ K.} \quad \text{——原注}$$

② G. Gamow, Dansk. Mat. Fys. Medd. 27, No. 10 [1953].

ρ 的值由公式 (1) 给出, 我们注意到, 在膨胀过程中第一项按 l^{-3} 变化, 第二项则按 l^{-4} (因为 $T \propto l^{-1}$) 变化。由于 (3) 式根号下的第二项按 l^{-2} 变化, 所以我们得出结论: 对于充分早的膨胀阶段, 根号下唯一重要的项是代表辐射质量密度的那一项。忽略其他两项, 且用 T 的负对数导数代替 l 的对数导数, 我们便得到

$$\frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = - \sqrt{\frac{8\pi G}{3}} \times \frac{aT^4}{c^2}, \quad (4)$$

积分得

$$T = \sqrt{\frac{4}{32\pi aG}} \times \frac{1}{t^{1/2}} = \frac{1.5 \times 10^{10}}{t^{1/2}} \text{ (K)}, \quad (5)$$

此处 t 以秒计, 且从代表宇宙“开端”的奇异状态算起。对于在此期间内辐射的质量密度, 我们得到

$$\rho_{\text{辐射}} = \frac{4.4 \times 10^5}{t^2} \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}. \quad (6)$$

我们暂且假定对于宇宙目前的状态, 这些公式依然成立, 也就是说, 即使在目前辐射密度还是超过物质密度。取宇宙目前的年龄为 (如由地质学资料以及由恒星演化研究所给出的) 5×10^9 年或 1.5×10^{17} 秒, 我们将得出 $T_{\text{辐射}}(\text{目前}) = 40 \text{ K}$, 且 $\rho_{\text{辐射}}(\text{目前}) = 2 \times 10^{-29} \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3} = 20\rho_{\text{物质}}(\text{目前})$; 这些结果本身并不与已知的事实相矛盾。然而, 假定公式 (4) 在目前的时刻依然成立, 并由表达式

$$\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} = - \frac{1}{T} \frac{dT}{dt} = \frac{1}{2t} \quad (7)$$

算出膨胀率, 则我们将得到目前的膨胀率 (即目前的哈勃常数值) 仅为实际观测值的一半。因此, 我们只能得出结论: 在宇宙过去的历史上某个时候, 辐射丧失了它对物质所占的优势, 且在涉及目前阶段的所有计算中, 我们仅仅必须保留总质量密度表达式中的物质项。回到公式 (3), 取哈勃常数的正确值 $6.5 \times 10^{-18} \text{ 秒}^{-1}$, 并取 $\rho = \rho_{\text{物质}} = 10^{-24} \text{ 克} \cdot \text{厘米}^{-3}$, 我们发现根号下的第一项与最后一项相比可以忽略不计。于是, 我们有

$$\left[\frac{1}{l} \frac{dl}{dt} \right]_{\text{现在}} = \sqrt{-\frac{c^2}{R^2}} = \frac{ic}{R}, \quad (8)$$

结果, 宇宙具有虚的曲率 (这意味着空间是开放而无限的), 目前的曲率半径数值为 4×10^9 光年。在 (3) 式中密度项与曲率项相比为小量, 在物理上意味着弥散的星系系统的动能在目前要比它们相互之间的位能大得多, 因此膨胀随着时间线性地继续下去。这样我们就可以写出

$$\rho_{\text{物质}}(\text{目前}) = \frac{3.4 \times 10^{21}}{t^3} \text{ (克} \cdot \text{厘米}^{-3} \text{)}, \quad (9)$$

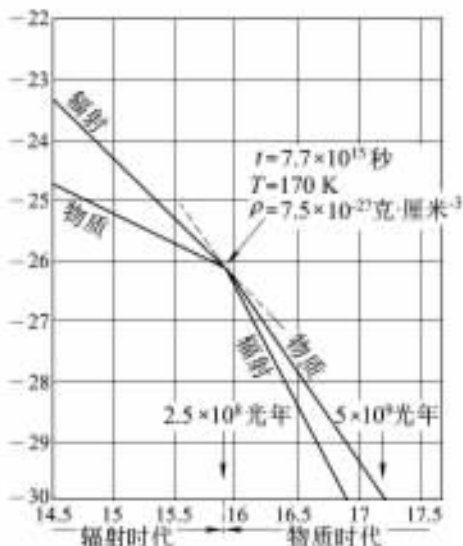
此处数字系数的选择要使得对目前的时刻 (1.5×10^{17} 秒) 能给出目前的密度 (10^{-30} 克·厘米 $^{-3}$)。

现在我们可以算出宇宙演化史中辐射时代与物质时代之间的分界线了：事实上，这一时刻就是曲线 (6) 和曲线 (9) 的交点。由 $\rho_{\text{辐射}}(t_0) = \rho_{\text{物质}}(t_0)$ 解出 t_0 ，我们得到

$$t_0 = 8 \times 10^{15} \text{ 秒} = 2.5 \times 10^8 \text{ 年}。$$

对于这一转折点的温度和密度，相应的方程给出

$$\begin{aligned} T_0 &= 170 \text{ K}, \rho_{0, \text{辐射}} = \rho_{0, \text{物质}} \\ &= 7.5 \times 10^{-27}。 \end{aligned}$$



在上图中，用对数标度表示了物质和辐射密度与辐射密度 (纵坐标，单位为克·厘米 $^{-3}$) 射的密度随时间的变化。
随时间 (横坐标，单位为秒) 变化的形式；
横坐标与纵坐标均取对数标度

我们很容易写出在辐射时代中物质密度变化的表达式，以及在物质时代中辐射密度的表达式。事实上，在膨胀的早期，所有线度 (反比于温度) 的变化必然都与时间的平方根成正比。因此物质密度的变化必然与时间的二分之三次方成反比。调整数字系数，使该曲线通过点 $[t_0, \rho_0]$ ，我们求得

$$\rho_{\text{物质}}(\text{早期}) = \frac{4 \times 10^{-3}}{t^{3/2}} \text{ (克·厘米}^{-3}\text{)}。 \quad (10)$$

类似地，注意到目前辐射密度的变化必然与时间的四次方成反比 (因为 ρ 正比于 T^4 ， T 正比于 t^{-1} ，且 l 正比于 t)，我们求得

$$\rho_{\text{辐射}}(\text{目前}) = \frac{3.1 \times 10^{37}}{t^4} \text{ (克·厘米}^{-3}\text{)} \quad (10')$$

至于目前的剩余辐射密度，我们得到 6×10^{-32} ，大致相应于 6 K。因此我们可以得出结论，目前在宇宙中发现的余热可以与恒星中核转化提供的热量相比较。

化学元素的形成和星系的起源

上面的考虑为我们提供了表征我们这个宇宙演化史的物理条件如何变化的一

盖莫夫刚刚提出的大爆炸学说预言了氢和氦的丰度,但解释重元素的形成方面有缺陷。

大爆炸学说预言了辐射时代和物质时代的分界时间,预言了物质时代会形成星系和星系的尺度,包括直径和质量。

般图景。这里,我们只是很简要地指出,这一信息可以怎样用来解释今天我们所知的这个宇宙的各种特征。首先,可以认为各种化学元素原子的相对丰度,至少部分地由在膨胀的很早阶段、以很高的速率发生的热核反应所决定,当时宇宙的温度高得异乎寻常。事实上,在这方面,本文作者^①所作的计算以及后来由弗米和特克维奇^②所作的更详细的计算得出了一个 H/He 的比值,它与观测资料符合得很好。但是,在了解较重元素的丰度方面,还有一些困难尚待克服,而且有可能在后来的演化阶段中,种种过程已部分地改变了原始分布。

第二个有趣的问题涉及星系的形成。很自然地,我们认为,在演化的辐射时代物质粒子均匀地分布于整个空间,由周围更丰富的热量子气体承载着。然而,一旦物质密度变得高于辐射密度,金斯的引力不稳定性过程就起作用了,这使物质粒子的均匀气体分裂为一团团气体云。按照众所周知的金斯公式,这些引力聚团的直径 D 由下式给出:

$$D = \sqrt{\frac{5\pi T}{3Gm\rho}}, \quad (11)$$

此处 m 是所讨论的粒子质量。将此式应用于通常的 H, He 混合物,且取相应于转化时期 ($t = t_0$) 时的 T 值与 ρ 值,我们得到

$$D = 1 \times 10^{21} \text{ 厘米} = 40\,000 \text{ 光年}。$$

至于质量,我们有

$$M = 4 \times 10^{41} \text{ 克} = 2 \times 10^8 \text{ 太阳质量}。$$

这些数值与星系尺度和质量的平均观测值相当吻合。

因此,有如本文所述,深入考察膨胀宇宙中变化着的物理条件,似乎可以使我们切实地了解宇宙的演化过程,并且可以指望这方面的进一步研究将有助于澄清宇宙过程的演化史。

① G. Gamow, Nature 162, 680 [1948].

② R. A. Alpher and R. C. Herman, "Theory of the Origin and Relative Abundance Distribution of Elements," Rev. Mod. Phys. 22, No. 2, 153—212 [1950].

六

有一种追问没有尽头
——科学哲学

弗朗西斯·培根

《新工具》序言¹

选自《新工具》，许宝騄译，商务印书馆，1984年。

导读

培根 (Francis Bacon ,1561—1626)出生于英国伦敦一个官宦世家。父亲尼古拉·培根是伊丽莎白女王的掌玺大臣。12岁时被送入剑桥大学三一学院学习 ,在校学习期间 ,他对亚里士多德的哲学产生了厌恶情绪。三年后 ,培根作为英国驻法大使的随员到了法国。1579年 ,培根的父亲突然病逝 ,培根回国奔丧之后 ,进了葛莱法学院攻读法律。1582年取得了律师资格 ,1584年当选为国会议员。1602年 ,伊丽莎白去世 ,詹姆士一世继位。由于培根曾力主苏格兰与英格兰的合并 ,受到詹姆士的大力赞赏。培根因此平步青云 ,当年受封为爵士 ,1604年被任命为詹姆士的顾问 ,1607年被任命为副检察长 ,1613年被委任为首席检察官 ,1616年被任命为枢密院顾问 ,1617年提升为掌玺大臣 ,1618年晋升为英格兰大法官 ,并被册封为男爵 ,1621年又被封为子爵。

1621年 ,培根被国会指控贪污受贿 ,被高级法庭判处罚金四万镑 ,监禁于伦敦塔内 ,终生逐出宫廷 ,不得任议员和官职。虽然后来罚金和监禁皆被豁免 ,但培根因此而身败名裂。从此培根不理政事 ,开始专心从事理论著述。1626年3月 ,培根正在思考雪是否会推迟生命组织的腐烂。某一天他坐着马车路过一片雪地时 ,突然想做一次实验 ,便跳下马车买了一只鸡 ,亲手把雪填进鸡肚。由于他身体孱弱 ,经受不住风寒侵袭 ,支气管炎复发 ,病情恶化 ,于当年4月9日病逝。

导致培根受寒而死的那次实验也许是偶然的 ,因为没有记载培根做过更多其他科学实验 ,但培根确实是以实验科学的态度进行理论阐述而名垂后世的。1620年培根出版《新工具》一书 ,此书是针对亚里士多德的《工具论》而写的。

① 拉丁文为 Novum Organum ,这是针对古希腊哲学家亚里士多德 (Aristotle)所著《工具论》(Organum)一书而命名的。——译者

《工具论》论述了演绎推理法的重要性,但培根要论述的是一种新的推理法。培根争辩说:演绎法用于数学也许是正确的,但它不能用于科学。科学的规律必须是从大量特定现象中归纳出来的普遍性。

虽然与培根同时代的像哈维这样的真正实践实验科学的科学家说培根“像一个大法官一样”论述科学,但培根以最精练和通俗的语言来论述实验科学的理论,这就使得其他学者有可能接受他的理论。事实上,由于培根的影响,实验科学在英国绅士们中间广为流行。皇家学会的早期成员大多是培根实验哲学的追随者。因此,培根被认为是近代哲学史上首先提出经验论原则的哲学家。他开创了以经验为手段,研究感性自然的经验哲学新时代,对近代科学的建立起了积极的推动作用。罗素尊称培根为“给科学研究程序进行逻辑组织化的先驱”。

培根一生发表了不少作品,如处女作《论说随笔文集》(1597)、《论学术的进展》(1605)、《论古人的智慧》(1609)、《亨利七世本纪》(1622)、《断大西岛》(1623,未完成),还留下了许多遗著,经专家学者先后整理出版的有《论事物的本性》、《迷宫的线索》、《各家哲学的批判》、《自然界的大事》、《论人类的知识》等等。

有些人自认把自然界的法则作为已被搜寻出来和已被了解明白的东西来加以规定,无论是出于简单化的保证的口吻,或者是出于职业化的矫饰的说法,都会给哲学以及各门科学带来很大的损害。因为,他们这样做固然能够成功地引得人们相信,却也同样有效地压熄了和停止了人们的探讨,而破坏和截断他人努力这一点的害处是多于他们自己努力所获得的好处的。另一方面,亦有些人采取了相反的途径,断言绝对没有任何事物是可解的——无论他们之得到这种见解是由于对古代诡辩家的憎恨,或者是由于心灵的游移无准,甚至是由于对学问的专心——他们这样无疑是推进了理性对知的要求,而这正是不可鄙薄之处,但是他们既非从真的原则出发,也没有归到正确的结论,热情和矫气又把他们带领得过远了。^①较古的希腊人^②(他们的著作已佚)则本着较好的判断在这两个极端——一个极端是对一切事物都擅自论断,另一个极端是对任何事物都不敢希望了解——之间采取了折中的立场。他们虽然经常痛苦地抱怨着探讨之不易,事物之难知,有如不耐性的马匹用力咬其衔铁,可是他们仍毫不放松尾追他们的对象,竭力与自然相搏;他们认为(似乎是这样)事物究竟是否可解这个问题不是辩论所能解决的,只有靠试验才

① 关于上述两种学派,参看一卷六七条。——译者

② 参看一卷七一条。——译者



培根《新工具》书影

能解决。可是他们,由于一味信赖自己理解的力量,也不曾应用什么规矩绳墨,而是把一切事物都诉诸艰苦的思维,诉诸心灵的不断动作和运用。

至于我的方法,做起来虽然困难,说明却很容易。它是这样的:我提议建立一系列通向准确性的循序升进的阶梯。感官的证验,在某种校正过程的帮助和防护之下,我是要保留使用的。至于那继感官活动而起的心灵动作,大部分我都加以排斥,我要直接以简单的感官知觉为起点,另外开拓一条新的准确的通路,让心灵循以行进。这一点的必要性显然早被那些重视逻辑^①的人们所感到;他们之重视逻辑就表明他们是在为理解力寻求帮助,就表明他们对于心灵的那种自然的和自发的过程没有信心。

但是,当心灵经过日常生活中的交接和行事已被一些不健全的学说所占据,已被一些虚妄的想象所围困的时候,这个药方就嫌来得太迟,不能有所补救了。因此,逻辑一术,既是(如我所说)来救已晚,既是已经无法把事情改正,就不但没有发现真理的效果,反而把一些错误固定起来。现在我们要想恢复一种健全和健康的情况,只剩有一条途径——这就是,把理解力的全部动作另作一番开始,对心灵本身从一起始就不任其自流,而要步步加以引导,而且这事还要做得像机器所做的一样。譬如,在机械力的事物方面,如果人们赤手从事而不借助于工具的力量,同样,在智力的事物方面,如果人们也一无凭借而仅靠赤裸裸的理解力去工作,那么,纵使他们联合起来尽其最大的努力,他们所能力试和所能成就的东西恐怕总是很有限的。现在(且在这个例子上稍停下来深入透视一下)我们设想有一座巨大的方塔,为了要表彰武功或其他伟绩而须移往他处,而人们竟赤手空拳来从事工作,试问一个清醒的旁观者要不要认为他们是疯了呢?假如他们更去招请较多的人手,以为那样就能把事情办妥,试问这位旁观者岂不要认为他们是疯得更厉害了么?假如他们又进而有所挑选,屏弃老弱而专用精壮有力的人手,试问这位旁观者能不认为他们更是疯到空前的程度了么?最后,假如他们还不满足于这种办法而决计求助于体育运动的方术,叫所有人手都按照运动方术的规则在手臂筋肉上抹上油,搽

^① 拉丁文原本中把 dialectica 和 logica 两个名词,有时交替使用,有时分别使用,而英文本一律译作 logic。按: dialectica 是古希腊学者们以对话问难的办法迫出矛盾,求得真理,克服论敌的一种方术(为别于后来的名同而实异的“辩证法”起见,拟译为“问难术”),三段论式的逻辑是和它有联系但也有不同的。如本序言中所有“逻辑”字样,似可据原本改译。以后各条,不一一具注。——译者

上药 ,前来办事 ,试问这位旁观者岂不要喊叫出来 ,说他们只是在用尽苦心来表示自己疯得有方法、疯得有计划么?而人们在智力的事情方面亦正是这样来进行的——也正是同样作发疯的努力 ,也正是同样求无用的并力。他们也是希望从人数和合作中 ,或者从个人智慧的卓越和敏锐中 ,得出伟大的事物 ;是的 ,他们也还曾力图使用逻辑来加强理解力 ,正如用运动方术之加强筋肉。但是他们所有这些勤苦和努力 ,从一个真正的判断来说 ,只不过是始终使用着赤裸裸的智力罢了。实则 ,每一巨大的工作 ,如果没有工具和机器而只用人的双手去做 ,无论是每人用力或者是大家合力 ,都显然是不可能的。

在提出这些前提之后 ,我还有两件事情要提醒人们不要忽视。第一点 ,当我想到要减少反对和愤慨 ,我看到可幸的结果是 ,古人们所应有的荣誉和尊崇并未由我而有所触动或有所降减 ;而我是既能实现我的计划又能收到谦抑的效果的。假如我是宣称与古人走同一道路 ,而我却要产出较好的事物 ,那么 ,在我和古人之间就必然会在智慧的能力或卓越性方面发生一种比较和竞赛 (无论用什么技巧的词令也是不可避免的) 。虽说这也并没有什么不合法或什么新奇之处——如果古人对于什么事物有了错误的了解和错误的论定 ,我又为什么不可使用大家所共有的自由来和它立异呢?——但是这一争论 ,不论怎样正当和可恕 ,以我的力量来自量 ,终将是一个不相匹敌的争论。但是 ,由于我的目的只是要为理解力开拓一条新路 ,而这条新路乃是古人所未曾试行、所未曾知道的 ,那么事情就完全不同了。在这里 ,门户派别的热气是没有了 ;我只是作为一个指路的向导而出现 ,而这又是一个权威很小的职务 ,依赖于某种幸运者多 ,依赖于能力和卓越性者少。这一点是仅关于人的方面的 ,就说到这里。至于我所要提醒人们的另一点 ,则是关于事情本身的。

希望大家记住 ,无论对于现在盛行的哪种哲学 ,或者对于从前已经提出或今后可能提出的比较更为正确和更为完备的哲学 ,我都是绝不愿有所干涉的。因为我并不反对使用这种已被公认的哲学或其他类似的哲学来供争论的题材 ,来供谈话的装饰 ,来供教授讲学之用 ,以至来供生活职业之用。不仅如此 ,我还进一步公开宣布 ,我所要提出的哲学是无甚可用于那些用途的。它不是摆在途中的。它不是能够在过路时猝然拾起的。它不求合于先入的概念 ,以谄媚人们的理解。除了它的效用和效果可以共见外 ,它也不会降低到适于一般俗人的了解。

因此 ,就让知识中有双流两派吧 (这会是对二者都有好处的) ;同样 ,也让哲学家中有两族或两支吧——二者不是敌对或相反的 ,而是借相互服务而结合在一起的。简言之 ,有一种培养知识的方法 ,另有一种发明知识的方法 ,我们就听其并存吧。

谁认为前一种知识比较可取,不论是由于他们心情急躁,或者是由于他们萦心业务,或者是由于他们缺乏智力来收蓄那另一种知识(多数人的情况必然是这样),我都愿意他们能够满其所欲,得其所求。但是如果另外有人不满足于停留在和仅仅使用那已经发现的知识而渴欲进一步有所钻掘,渴欲不是在辩论中征服论敌而是在行动中征服自然,渴欲寻求不是那美妙的、或然的揣测而是准确的、可以论证的知识,那么,我就要邀请他们全体都作为知识的真正的儿子来和我联合起来,使我们经过罪人所踏到的自然的外院,最后还要找到一条道路来进入它的内室。现在,为使我的意思更加清楚并以命名的办法来使事物变得熟习起见,我把上述两种方法或两条道路之一叫作人心的冒测,^①而另一个则叫作对自然的解释。

此外,我还有一项请求。在我自己这方面,我已决定小心和努力,不仅要使我所提出的东西是真实的,而且还要把它们表达得在不论具有怎样奇怪成见和奇怪障碍的人心之前都不粗硬,都不难受。但对另一方面,我也不能说没有理由(特别是在这样一个伟大的学术和知识的复兴工作当中)要求人们给我一种优遇作为报答,而这就是:假如有人要对我的那些思考形成一种意见和判断,不论是出于他们自己的观察,或者是出于一大堆的权威,又或者是出于一些论证的形式(这些形式现在已经取得了像法律一样的强制力),我总请他不要希望能够于顺路一过之中来做这事,请他要把事情彻底考察一番,请他要把我所描写、所规划的道路亲身小试一下,请他要让自己的思想对经验所见证的自然的精微熟习起来,还请他要以适度的耐心和应有的迟缓把自己心上根深蒂固的腐坏习惯加以改正。当这一切都已做到而他开始成为他自己的主人时,那就请他(假如他愿意)使用他自己的判断吧。

在论战中常要求辩论的对手对自己的论点和论据作完全的考察,有时还恨不得对方去把自己阅读过的资料都去读一遍。这个要求在某种程度上是过分的。对手之所以成为对手,是因为他有自己的观点和支撑这个观点的知识体系。论战双方能共同承认的只是很少量的规则。

① 拉丁文为 anticipatio, 英译文为 anticipation。培根使用这字,有其独具的意义,一卷一九、二六两条中有确切的说明。通常译作“预测”或“推测”,似不恰当,我试译为“冒测”,以供商榷。——译者

波普尔

科学：猜想和反驳¹

选自《猜想与反驳——科学知识的增长》，卡尔·波普尔著，傅季重、纪树立、周昌忠、蒋弋为译，上海译文出版社，1986年。

导读

卡尔·波普尔 (Karl Popper, 1902—1994) 出生于维也纳中产者犹太家庭，进维也纳大学学习数学和物理，1928年获博士学位。1930年到1936年在中学教书。考虑到日趋增长的反犹太人情绪，于1937年移居新西兰，成为基督城坎特贝利大学讲师。1946年移居英国，进伦敦经济学院，1949年被任命为该校教授。1965年伊丽莎白二世女王册封他为爵士。1976年被选为皇家学会会员。

波普尔是证伪主义创始人，被西方学界誉为“开放社会之父”。西方学术界深受波普尔学说的影响。他的证伪主义方法论，以及关于民主社会的“三大悖论”——民主悖论、宽容悖论、自由悖论，给人以深刻的启迪。他的“开放社会观”，曾引起轰动。20世纪50年代后转向本体论研究，提出“三个世界”的理论。著有《历史决定论的贫困》、《开放社会及其敌人》、《科学发现的逻辑》等。

波普尔在《猜想与反驳——科学知识的增长》(1963年)一书中建立了他的科学发现的方法论，即猜想-反驳方法论。波普尔从爱因斯坦和康德那里找到两个思想来源：批判和唯理主义，并把它们整合成他的“批判理性主义”。在此基础上他建立了同逻辑实证主义针锋相对的科学知识观——反归纳主义-证伪主义，其结论是：科学知识是假说。

科学就是理性不断作出的假说，而这假说不断遭到批判，即被证伪。他提出科学和非科学的“划界标准”是“可证伪性”判据。并且，作为科学知识之表征的可证伪性还可定量地加以刻画，为此他引入了“可证伪度”的概念。这样，只有可证伪的陈述才是科学的陈述，而科学陈述的可证伪度越高，即它禁止得

① 1953年夏在剑桥大学彼得豪斯学院的一篇讲演稿。作为英国协会组织的一个关于现代英国哲学发展和趋势的课程的一部分，原先以《科学哲学：本人的报告》(Philosophy of Science: a Personal Report)为题发表于C. A. 梅斯编：《世纪中期的英国哲学》(British Philosophy in Mid-Century)，1957年。

越多,它的经验含量就越多,也即知识含量越多。

这样,他从这种证伪主义出发对科学作分析,突破了把知识看作静态的积累而加以逻辑分析的框框。他把科学看作知识增长的动态过程,以批判理性主义的证伪主义加以分析,从而把这过程通过“理性重建”而复现为著名的四段图式:“问题→尝试性解决→排除错误→新的问题”。波普尔就根据这个知识增长图式建立了他的“猜想-反驳方法论”。

波普尔提出,科学发现包含猜想和反驳两大环节。科学家根据问题,大胆猜想,努力按照可证伪度高的要求提出假说,这里无需经验参与。假说提出后,就进入反驳,这时要根据经验,按确认度高的要求排除错误,从而保证所接受的理论假性内容减少或不增加。这样,通过猜想-反驳,科学发现便获得逼真度高的理论。

波普尔还分别为猜想和反驳制定了具体的方法论原理。猜想原理包括:(1)理论不是始于观察,观察中渗透着理论;(2)形而上学起重要作用;(3)科学发现的心理学;(4)猜想应满足简单性、可独立检验性和不会很快就被证伪这三个要求。反驳原理可归结为三点:(1)批判;(2)排除错误;(3)判决性实验。

波普尔的最大贡献在于,从唯理主义出发建立了关于科学发现的猜想-反驳方法论,由此把逻辑实证主义开创的科学方法论研究大大推进了一步,使科学方法论研究增加了新的方面,更符合科学的实际。

特恩布尔先生预言了种种不幸的后果……又在竭尽所能以证实他的预见。

安东尼·特罗洛普

I

当我收到这门课的参加者名单,并得知我是被邀请来向我的哲学同事们讲学时,经过一番踌躇和磋商,就想到你们或许赞成我谈谈那些使我最感兴趣的问题和我最为熟悉的发展。因此我决定做一件我从未做过的事:向你们报告我从1919年秋季以来在科学哲学方面的工作,那是我第一次开始抓住这个问题:“一种理论什么时候才可以称为科学的?”或者,“一种理论的科学性质或者科学地位有没有

标准？”

科学与伪科学的分界可谓众说纷纭，至今尚无简单的结论。波普尔从这个问题出发，构建起了他的科学哲学体系。

当时使我操心的问题既不是“一种理论什么时候才是真的”，也不是“一种理论什么时候才是可以接受的”。我的问题不是这样。我想要区别科学和伪科学，虽然很清楚科学时常弄错，而伪科学可以碰巧触及真理。

However, I am now well over 90 years old and very slow, and I have, unfortunately, several ^{other} pressing obligations. And I receive every day a lot of letters—far more than I can answer.

It may well be true that I have misunderstood Fries-Nelson: I tried hard to understand them. It is not easy, as you are bound to know.

I suppose (and hope) that you have access to Leonard Nelson's Gesammelte Schriften in Neuen Bänden — 9 beautiful volumes which I am fortunate to own. In volume II, p. 485 ff there are lots of things which I fail to understand, especially in Nelson's reply to Schiller. My hypothesis so far was that Nelson is understandable because he is wrong: if genuine Erkenntnis is something that is always true (and only our Urteile can and are — often mistaken — then, I suggest, Erkenntnis in Nelson's sense just does not exist. But I would be happy if I could see where I am in error with this Urteil.

I take this to be extremely important. But it is almost as important to have received a letter from a man who takes philosophy (or anything) seriously. I thought the breed had died out.

Yours sincerely
Karl Popper

I cannot write more — too much pressure of urgent work.

Concerning Russell, have you forgotten Frege's last principle?

波普尔回信手稿

当然，对我这个问题的最公认的回答，我是知道的：科学不同于伪科学或者形而上学的地方，是它的经验方法，这主要就是归纳方法，是从观察或实验出发的。但这并不使我满意。相反，我时常把我的问题表述为区别真正的经验方法和非经验方法甚至伪经验方法的问题——也就是说，有一种方法虽然诉诸观察和实验，但仍旧达不到科学的标准。后一种方法可以占星术为例，因为占星术拥有根据观察、根据算命天宫图和根据传记所积

累的大量经验证据。

但是使我提出这个问题的并不是占星术的例子,我也许还是简单叙述一下我的问题产生时的气氛和刺激它产生的那些例证为宜。在奥地利帝国崩溃之后,奥国发生了一次革命:当时的气氛充斥着革命的口号和观念,和新的而且往往疯狂的理论。在那些使我感兴趣的理论中,爱因斯坦的相对论当然最为重要。另外还有三个,即马克思的历史学说,弗洛伊德的精神分析学和阿德勒的“个体心理学”。

关于这些学说,当时有不少流行的奇谈怪论,特别是关于相对论(一如今天还听到的),所幸的是那些向我介绍相对论的人都很不错。我所属的一小群学生,全都对爱丁顿在1919年第一次证实爱因斯坦引力理论的日食观测结果感到惊喜,这是第一次重要确证。这对我们说来是难得的经验,而且对我的思想发展产生了持久影响。

我提到的另外三种理论在当时的学生中也广泛被人讨论着。我自己碰巧和阿德勒有过个人接触,甚至在他的社会工作中和他合作过,因为他那时正在维也纳的工人区建立向社会开放的指导诊所,在青少年中开展社会工作。

1919年夏天,我开始对这三种理论愈来愈感到不满——即对马克思的历史学说、精神分析学和个体心理学,我对它们自称的科学地位也开始怀疑。我的问题开头大约是这样的简单形式:“马克思主义、精神分析学和个体心理学的毛病在哪里?为什么它们同物理学理论、牛顿理论,特别是爱因斯坦的相对论这么不一样?”

为了使这种不同更加明显,我将解释说,当时我们里面很少有人会说我们相信爱因斯坦的引力论是真理。这表明,当时我不放心的并不是因为我怀疑另外那三种学说不是真理,而是另外一些理由。然而也不是由于我仅仅觉得理论物理学比社会学或心理学类型的学说更加精确。因此,使我不放心的既不是真理的问题(至少不是那个时期的真理问题),也不是精确性或可测量性问题。毋宁说,我觉得这另外三种学说虽然装作为科学,事实上却像原始神话而不像科学;它们更像占星术而不像天文学。

我发现,我的朋友中赞赏马克思、弗洛伊德和阿德勒的人,对这些理论的许多共同点尤其是它们明显的解释力具有深刻印象。这些理论看来简直能够解释它们所涉及领域中所发生的一切。研究其中任何一种,似乎都会产生一种理智上的皈依或启示,让你们看到尚未入门的人所看不到的新真理。一旦你们这样打开了眼界,便会看到确证事例无所不在:世界充满了对这一理论的证实。发生的每事每物总是在确证它。因此,它的真理性看来昭然若揭;凡是不相信的人显然都是不想看到明显的真理;他们之所以拒绝看,或者是因为它违反他们的阶级利益,或者因为他们所受压抑还“未经分析”,亟待治疗。

我以为,这个情境中最有特征的因素就是不竭的确证和观察(它们“证实”这些理论)之流;它们的追随者都始终强调这一点。一个马克思主义者打开一张报纸,必定会在每一版上都看到确证他对历史的解释的证据;不仅在新闻中,而且还会在版面安排上发现这一点——这暴露了报纸的阶级偏见——当然还特别在报纸所没有说出的弦外之音中发现。弗洛伊德分析家强调说,他们的理论总是为他们的“临床观察”所证实。至于阿德勒,我由于个人经验而对他印象深刻。1919年有一次我向他报告一个病例,我觉得这个病例似乎并不特别符合于阿德勒学说,可是他却感到不难用他的自卑感理论来加以分析,虽然他甚至没有见过这个孩子。我略感吃惊,问他怎么会这样有把握。他回答说:“因为我有上千次的经验。”因此我不得不说:“我料想,由于这个新病例,你现在有了一千零一次经验。”

我在想,他以前的观察可能并不比这个新的观察更可靠多少;可是每个观察都用“以前的经验”加以解释,同时本身又成了补充的确证。我问自己,它确证了什么呢?无非是可以用这理论解释一个病例而已。但是我想这没有什么意义,因为每个可以想到的病例都能用阿德勒理论或者同样用弗洛伊德理论加以解释。我可以用两个截然不同的人类行为的例子来说明这一点:一个人为了淹死一个小孩而把他推入水中;另一个人为了拯救这个孩子而牺牲自己的生命。弗洛伊德和阿德勒的理论可以同样容易地解释这两个事例。按照弗洛伊德,第一个人受到了压抑(比如他的恋母情结的某种成分),而第二个人则已达到升华。按照阿德勒,第一个人具有自卑感(因而可能产生了自我证明自己敢于犯罪的要求),第二个人也是这样(他的要求是自我证明敢于救这个孩子)。我不能设想,有什么人类行为不能用这两种理论来解释的。在这些理论的赞赏者看来,正是这个事实——它们总是适用,总是得到证实——构成了支持它们的最有力的论据。我开始明白,事实上,这个表面上的长处正是它们的短处。

爱因斯坦的学说就截然不同了。举个典型的例子——爱因斯坦的预言当时正被爱丁顿的那次远征的发现所证实。爱因斯坦的引力论导致一个结果,就是光必定会被重物体(如太阳)所吸引,恰恰就像物体被吸引一样。其结果可以计算出来,一颗视方位接近太阳的远恒星的光到达地球时,它射来的方向好像是稍微移开太阳一点,换言之,接近太阳的恒星看上去就好像离开太阳一点,而且相互也离开一点。这情形在正常情况下是观测不到的,因为这类恒星在白天由于太阳光线无比强烈而看不见,但在日食时却可以给它们摄影。如果同一星座在夜间也给它拍照,我们就可以计算两张照片上的距离,核对预期的效果。

这个事例之所以给人以深刻印象,是这种预测所承担的风险。如果观察表明所预期的效果肯定不存在,这个理论就干脆被否定掉:这个理论和某些可能的观

可见爱丁顿发起的这个验证带来的影响之大,从下文可知这甚至触发了波普尔去构建他的证伪主义体系,尽管从专业的角度来看,这样一次验证是不完全严格的(参见《根据1919年5月29日的日全食观测测定太阳引力场中光线的弯曲》一文导读)。

测结果——事实上是爱因斯坦以前的任何人都指望的结果——不相容。^①这和我在前面描述的情况就大不相同了,前面的情况是,弄到后来,所讨论的理论同绝无任何共同之处的人类行为都无不吻合,因此要描述任何人类行为,说它不能证实这些理论,实际上是不可能的。

这些想法使我在1919—1920年冬天作出以下的结论,现在可以重述如下。

(1)差不多任何理论我们都很容易为它找到确证或证实——如果我们寻找确证的话。

(2)只有当确证是担风险的预言所得的结果,就是说,只有当未经这个理论的启示就已经预期一个和这个理论不相容的事件——一个可以反驳这个理论的事件时,确证才算得上确证。

(3)任何“好”的科学理论都是一种禁令:它不容许某种事情发生。一种理论不容许的事情越多,就越好。

(4)一种不能用任何想象得到的事件反驳掉的理论是不科学的。不可反驳性不是(如人们时常设想的)一个理论的长处,而是它的短处。

(5)对一种理论的任何真正的检验,都是企图否定它或驳倒它。可检验性就是可证伪性;但是可检验性有程度上的不同:有些理论比别的理论容易检验,容易反驳;它们就像担当了更大的风险似的。

(6)进行确证的证据,除非是真正检验一项理论的结果,是不算数的,而这就是说,它可以看作是一项认真的但是不成功的证伪理论的尝试(我现在把这些事例称为“确证证据”)。

(7)有些真正可检验的理论,被发现是假理论,仍旧被赞美者抱着不放——例如专为它引进某种特设性假说,或者特地为这个目的重新解释这个理论,使它逃避反驳。这种方法总是办得到的,这样营救理论免于被驳倒,却付出了破坏或至少降低理论的科学地位的代价(我后来把这种营救行动称为一种“约定主义曲解”或者“约定主义策略”)。

所有这些可总括起来说,衡量一种理论的科学地位的标准是它的可证伪性或可反驳性或可检验性。

^① 这里讲得过于简单一点,因为爱因斯坦所预期的效果大约有一半可以从经典理论推算出来,只要我们假定一种光的弹道理论。

II

我也许可以借前面提到的那些理论作为说明的例子。爱因斯坦的引力理论显然满足可证伪性的标准。即使我们当时的测量仪器不容许我们十分有把握地对检验的结果下断语,但是驳倒这种理论的可能性显然是存在的。

占星术经受不住这种检验。占星术士对他们所相信的确实证据极端重视和极端迷信,以致他们对任何不利的证据都完全无动于衷。还有,他们把自己的解释和预言都讲得相当含糊,以致任何有可能驳倒他们理论的事情(假如理论和预言说得更明确一点的话),他们都能解释得通。为了逃避证伪,他们破坏了自己理论的可检验性。把预言讲得非常含糊,使预言简直不会失败,这是典型的占卜者伎俩,使预言变得无从反驳。

马克思主义的历史学说,尽管它的一些创建者和追随者作了认真的努力,最后也采取这种占卜者的做法。在这种学说的一些早期表述里(例如马克思关于“未来社会革命”的性质的分析),他们的预言是可以检验的,而且事实上已经被证伪了。^①然而马克思的追随者不但不接受这些证伪事例,反而重新解释这个学说和证据以便使之相符。这样他们营救这个学说不至受到反驳,但是这样做的代价是采纳一种使这个理论无从反驳的伎俩。这一来他们就给予这个理论一种“约定主义曲解”,而且通过这一伎俩,他们就破坏了这个理论所大事宣扬的科学地位。

那两种精神分析理论则属于不同的类型。它们干脆是不可检验的,无法反驳的。没有任何想象得出的人类行为能够推翻它们。这并不是说弗洛伊德和阿德勒没有把某些事情看对头:我个人并不怀疑他们有不少的话相当重要,而且有一天会在一门可加以检验的心理学里发挥作用,但是那些为精神分析家天真地认为证实他们理论的“临床观察”,的确并不比占星术士在

而且传世的一些记录所谓“星占事验”的文献,如中国古代史书中的“天文志”中的内容,都是经过事后整理的,这些是寻找到的天象与人事的对应关系,是经过选择的。

① 参见我的《开放社会及其敌人》(Open Society and Its Enemies)第15章,第3节,和注⑬到⑮。

他们的行当中找到的经常证明好到哪里去。^①至于弗洛伊德自我、超我和伊德(Id)的宏伟诗篇,那就像荷马从奥林匹斯山收集来的那些故事一样,全都够不上科学的资格。这些理论描述了某些事实,然而是以神话的形式描述的。它们含有十分有趣的心理学启示,但是不具有可检验的形式。

同时我认识到,这种神话可加以发展,使之成为可以检验的;从历史上说,一切(或者几乎一切)科学理论都发端于神话,一个神话可能包含对科学理论的重要预言。例子有恩培多克勒的试错进化理论,或者巴门尼德的从未发生过什么的不变的整体宇宙的神话;如果我们再给它加上一个维度,便成了爱因斯坦的整体宇宙(这宇宙中也从未发生过什么,因为根据四维说,一切都是从一开始就决定了的和安排好的)。因此我感到,发现一个理论是非科学的或者“形而上学的”(我们可能这样说),并不会因此而发现它是不重要的、无关紧要的、“无意义的”或“荒谬的”。但是,不能认为它得到了科学意义上的经验证据的支持,尽管从某种发生的意义上说,它很可能是“观察的结果”。

(这种前科学或伪科学性质的理论还有许许多多,其中有一些,不幸也像马克思的历史解释一样地颇有影响,例如,种族主义的历史解释是又一种可解释一切的很有影响的理论,像天启般地感应着缺乏头脑的人们。)

因此我提出可证伪性标准所要解决的问题,既不是有没有意义的问题,也不是关于真理或可接受性的问题。它是在经验科学的陈述或陈述系统与一切其他陈述(不论是宗教性的、形而上学性的或干脆是伪科学的)之间画一条线的问题(就尽量能做到而言)。多年后——那当是1928年或者1929年——我称我这第一个问题为“分界问题”。可证伪性的标准就是解决这个分界问题的一种办法,因为它说那些陈述或者陈述系统要够得上科学,就必须能同可能的观察或想象得到的观察发生矛盾才行。

① 像所有其他观察一样,“临床观察”也是按照理论解释的。单单由于这个理由,它们就倾向于似乎支持它们据以得到解释的那些理论。但是,真正的支持只能从作为检验进行的观察(通过“尝试的反驳”)获得,为此,必须事先制定好反驳标准,必须约定可观察情境,如果真的观察到的话,则意味着这理论被反驳。可是,哪种临床反应能够满足心理分析家的要求,不仅反驳一次特定的分析诊断并且反驳心理分析本身呢?分析家有没有讨论过这种判据或者一致同意它呢?相反,不是有像“矛盾心理”(我不是说不存在像矛盾心理之类的东西)之类一整套分析概念,它们使得很难(如果不是不可能)就这种判据取得一致意见吗?再者,分析家的(有意或无意的)期望和理论对病人的“临床反应”产生多大影响,这个问题的研究已取得多大进展了呢?(更不必说故意试图通过给病人提出解释等来影响他。)几年前我引入“俄狄浦斯效应”这一术语来描述一个理论、期望或预言对它所预言或描述的那个事件的影响:人们不会忘记,导致俄狄浦斯弑父的因果链条发端于神对这个事件的预言。这类神话以此作为特有的和常见的题材,但是分析家没有注意到这一点,这也许并非偶然。(关于分析家提出的确证性的梦的问题,弗洛伊德曾经讨论过,例如在《文集》第3卷[1925年]第314页上写道:“如果有人断言:可以利用来进行分析的梦大都……起因于[分析家的]提示,那么,从分析理论的观点出发,便不可能提出反对的理由。”他令人惊讶地补充说:“然而这个事实中并不存在任何有损于我们结果之可靠性的东西。”))

今天看来是典型伪科学的占星术可以作为例子说明这一点。亚里士多德派和直至牛顿时代的其他理性主义者都由于错误的理由而攻击占星术——因为现在公认行星对地上(“尘世”)的事件有“影响”。事实上,牛顿的重力理论尤其是月球潮汐理论从历史上说也是占星术经验知识的产物。牛顿看来极其不愿意采纳“流行”病是由于星星“影响”那样的占星术理论。伽利略无疑由于同样理由竟然拒斥了月球潮汐理论,他对开普勒的疑虑很容易从他对占星术的疑虑中得到解释。

III

当然,今天我知道这种分界标准——即可检验性,或可证伪性,或可反驳性——远非显而易见,因为直到现在,它的意义还很少为人体会到。在1920年我觉得这简直微不足道,虽然它替我解决了一个使我深感烦恼的理智问题,而且是一个具有明显的实际后果的问题(例如政治上的一些问题)。但是我还没有领会到它的全部含义和它在哲学上的重要性。当我向一个数学系的同学(现在是英国的著名数学家)解释这个问题时,他建议我把它发表。那时我觉得这简直荒唐;因为我深信我这个问题既然在我看来是这样重要,一定曾经打动过许多科学家和哲学家,而他们肯定已经找到我这种明显的解决办法。后来从维特根斯坦的著作和人们对他的著作的捧场,我才获悉事情并不是如此,因此我就在十三年后以批判维特根斯坦的意义标准的形式发表了我的研究结果。

如你们都知道的,维特根斯坦企图在他的《逻辑哲学论》里面表明(参看命题6.53,6.54,和5)一切所谓哲学或形而上学的命题实际上都是非命题或假命题;它们是没有意义的。一切真正的(或有意义的)命题都是描述“原子事实”——即在原则上可以用观察肯定的事实——的基本命题或原子命题的真值函项。换言之,有意义的命题完全可以简化为基本命题或者原子命题,这些命题都是描述可能事态的简单陈述,而且在原则上能通过观察加以肯定或者否定。如果我们称一个陈述为“观察陈述”,不但因为它陈述了一项实际的观察,而且还因为它陈述任何可以观察到的事情,我们就得说(按照《逻辑哲学论》5和4.52)任何真正的命题都必须是观察命题的一个真值函项,从而也可以从观察命题引申出来的。一切其他表面的命题将是无意义的假命题,事实上只是胡说八道。

这种思想被维特根斯坦用来作为与哲学相对立的科学的特点。我们读到(如4.11里,他把自然科学看作是和哲学对立的):“全部的真命题就是整个的自然科学(或全部自然科学)。”这就是说,凡属于科学的命题都是那些可从真观察陈述引申出来的命题;它们是那些可用真观察陈述予以肯定的命题。如果我们能知道所有的真观察陈述,我们也将知道所有可用自然科学肯定的东西。

这等于关于分界的一个粗糙的可证实性标准。为了使它不至于太粗糙,可以改写为:“可能纳入科学领域的陈述是那些有可能用观察陈述证实的陈述;而这些陈述又是同所有的真实陈述或有意义陈述吻合的。”所以,根据这个办法,可证实性、有意义和科学性全都互相吻合了。

我个人对所谓意义问题从来不感兴趣；相反，我觉得它是个词语问题，是典型的假问题。我感兴趣的只是分界问题，即为理论的科学性寻找一个标准。恰恰是这种兴趣使我一眼就看出维特根斯坦关于意义的可证实性标准，同时也企图用来发挥一种分界标准的作用；这就使我看出，照他这样说法，这个标准是完全不适当的，即使我们撇开对于意义这个含糊概念的一切疑虑不谈。因为维特根斯坦的分界标准——在这里用我自己的用语来说——就是可证实性，或者根据观察陈述的可演绎性。但是这个标准太窄了（又太宽了）：它几乎把所有事实上典型地属于科学的东西都排除掉（然而实际上并没有排除掉占星术）。任何科学陈述都从来不能从观察陈述中演绎出来，也不能描述为观察陈述的真值函项。

所有这一切，我都在各个场合向维特根斯坦派和维也纳学派成员指出过。在1931年至1932年间，我总结了自己的思想，写成了一本篇幅相当大的书（维也纳学派好几个成员都读过，但从未发表过；不过有一部分已纳入我的《科学发现的逻辑》之中），1933年我发表了致《认识》杂志的一封信，信中试图把我关于分界问题和归纳问题的思想压缩成两页。^①在这封信里和别的地方我都把意义问题同分界问题作对比，指出意义问题是个假问题。但是，维也纳学派的成员把我的贡献归结为提出了这样一种建议：用可证伪性的意义标准取代可证实性的意义标准——这实际上使我的观点变得毫无意义。^②我抗议说，我试图解决的不是他们关于意义的假问题，而是分界问题，可是这一抗议毫无作用。

然而，我对证实的抨击却产生了一些效果。它们立刻在讨论意义和无意义问题的实证主义哲学家中间引起一片混乱。作为意义标准，原来的可证实性方案至少是清晰、简单而又有力的。现在引入的这些修正和改变则适得其反。^③我应当说，甚至陷于混乱的那些人现在也这样看。但是，既然通常把我说成是其中之一，所以我想再次表明，尽管我引起了混乱，我却从未卷入其中。我没有把可证伪性和可检验性提出来作为意义标准，是我把这两个术语引入讨论，我承担罪责，但不是我把它们引进意义理论。

① 我的《科学发现的逻辑》（1959、1960、1961年）是《研究的逻辑》（Logik der Forschung）（1934年）的英译本，增添了许多注释和附录，包括这封致《认识》（Erkenntnis）编者的信，它最初发表于《认识》1933年第3期，第426—427页。

关于这里提到的我从未发表过的书，见R·卡尔纳普的论文《论记录句子》（Ueber Protokollsätze）（《认识》杂志，1932年第3期）他在文中概述并接受了 my 的理论。他称我的理论为“程序B”并说：“从不同于纽拉特，他提出了卡尔纳普所称的‘程序A’的一种观点出发”，“波普尔提出了程序B作为他的体系的组成部分”。在详细说明了 my 的检验理论之后，卡尔纳普把他的观点总结如下：“权衡了这里讨论的各种论据之后，我觉得在目前提出的各种科学语言形式中，带有程序B的第二种语言形式即这里介绍的这种形式是最恰当的……就这种……知识理论而言。”卡尔纳普的这篇论文是关于我的批判检验理论的最早发表报道。

② 维特根斯坦所举无意义的假命题之例是：“苏格拉底是同一的”。显然，“苏格拉底不是同一的”一定也是无意义的。因此任何无意义的否定也无意，而一个有意义陈述的否定则有意义。但是，我首先在我的《科学发现的逻辑》（如第38和第39页）中指出，后来 my 的批评者也指出，一个可检验的（或可证伪的）陈述的否定不一定是可检验的。不难想见，把可检验性看作意义标准而不是分界标准，就会引起这种混乱。

③ 误解这个问题的历史的最新例子是A·R·怀特的《简论意义和证实》（Note on Meaning and Verification）（《精神》1954年第63卷，第66页及以下）。我认为，怀特先生所批评的J·L·埃文斯的文章（《精神》1953年第62卷，第1页及以下）是很出色的，有独到的见解。完全可以理解，这两位作者都未能再现这段历史（在我的《开放社会》第11章注④、⑤和⑥中可以找到一些线索）。

人们广泛地批判了据说是我的观点,并取得了很大成功。然而,我还是必须反驳对我观点的批判。^①同时,可检验性现在已公认是分界的标准。

IV

我比较详细地讨论了分界的问题,因为我相信这个问题的解决是解决科学的哲学上许多基本问题的关键。往后我将给你们一张其他一些问题的单子,但是只有一个问题能在这里详细讨论,那就是归纳问题。

我是在1923年对归纳问题感兴趣起来的。虽则这个问题和分界的问题关系非常密切,但是我有五年光景都没有充分领会到这种关系。

我是通过休谟接触到归纳的问题的。我觉得休谟指出归纳在逻辑上不能成立,是完全对的。他声称没有什么正确的逻辑^②论证容许我们确认“那些我们不曾经验过的事例类似我们经验过的事例”。因此,“即使观察到对象时常或经常联结之后,我们也没有理由对我们不曾经验过的对象作出任何推论”。因为“如果说我们有经验”^③——经验教导我们,经常同其他对象联结的对象,将继续这样联结——休谟接着说,“我要重复我的问题,为什么我们可以从这条经验对那些我们不曾经验过的不属于以往事例的事情作出结论呢?”换句话说,企图靠诉诸经验为归纳法找根据,必然导致无穷倒退。结果是,我们可以说理论决不能从观察陈述推演出来,也不能靠观察陈述为理论寻找理性论证。

我觉得休谟对归纳推论的驳难既清楚又完备。但是我对他用习俗或习惯给归纳作心理学的解释十分不满。

人们时常注意到休谟的这种解释在哲学上是不大令人满意的。可是它原来无疑是要作为心理学理论而不是作为一种哲学理论提出的,因为它企图对一件心理学事实提出一个因果性解释,说这件事是出于(即经常连带着)习俗或习惯——也就是说在肯定规则性或经常与各种事件相连带的陈述中,我们信仰规律

① 在《科学发现的逻辑》中我讨论并答复了一些可能有的反对理由,后来果然提出了这些理由,但没有提到我的答复。反对的理由之一是这样的论点:一条自然定律的证伪正如它的证实一样不可能。我的回答是:这个反对理由混淆了两种迥然不同的分析水平(它类似于这样的反对理由:数学证明是不可能的,因为不管怎样反复检验,都不可能完全确定我们未曾放过一个错误)。在第一个水平上,有一种逻辑不对称性:一个单称陈述——例如关于水星的近日点的陈述——可以从形式上证伪开普勒定律,可是,无论多少个单称陈述都不能从形式上证实这些定律。如果有意忽视这种不对称性,就只能导致混乱。在另一水平上,我们可能对接受任何陈述甚至最简单的观察陈述也感到犹豫不决,我们可以指出,每个陈述都包含按照理论给出的解释,因此都是不确定的。这不影响基本不对称性,但它还是重要的:哈维之前的心脏解剖学家大都观察到一些错误的东西——他们所期望看到的东西,绝对不可能有什么完全可靠的、没有误解的危险的观察(这是归纳理论所以行不通的原因之一)。“经验基础”基本上就是普遍性(“可再现效应”)程度较低的一些理论的混合物。但事实仍然是,对于一个研究者可能冒险地接受的任何基础,他都能仅仅通过试图反驳他的理论而检验它。

② 休谟说的不是“逻辑的”而是“证明的”,我认为这样的措辞不无令人误解之处。下面两段话引自《人性论》(Treatise of Human Nature)第1册第3部分第6、7节(着重点均系休谟所加)。

③ 这一段和下面一段话均引自《人性论》第6节。又见休谟的《人类理智研究》(Enquiry Concerning Human Understanding)第2部分第4节和他的《摘要》(Abstract, J. M. 凯恩斯和 P. 斯拉法 1933 年编)第 15 页,还可见于《逻辑》新附录 VII 注⑥的正文。

的事实。但即使对休谟的理论作了这样的重新表述,仍然不能令人满意,因为我刚才所称的“心理学事实”本身就可以描述为一种习俗或习惯——信仰规律或规则性的习俗或习惯,而听说这样一种习俗或习惯必须说成是应归之于(或联结于)一种习俗或者习惯(即使是一种不同的习俗或习惯),也不足为奇或者有什么启发。只有当我们想起休谟使用“习俗和习惯”这些词,正如在普通语言里一样,不仅仅用来描述有规则的行为,而且给这种习俗或习惯的起源(归之于多次的重复)提出一个理论;只有这样,我们才能把他的心理学理论陈述为一种比较满意的形式。这样我们就可以说,同其他的习惯一样,我们信仰规律的习惯是多次重复的结果——是反复观察某种事件经常联结另一种事件的结果。

这种发生心理学理论,如上面指出的,是和日常语言结合在一起的,因此远远不如休谟所设想的那样具有革命性。它无疑是一个很普通的心理学原理——不妨说是一种“常识”。但是尽管我既喜欢常识又喜欢休谟,我却深信这种心理学理论是错误的,事实上可以在纯逻辑的基础上加以反驳。

我觉得,休谟的心理学也即流行的心理学至少在下述三个不同问题上是错误的:(a)典型的重复结果;(b)习惯的产生;尤其是(c)可以说成是“对规律的信仰”或“对事件的类规律性序列的期望”的那些经验或行为模式的特点。

(a)典型的重复结果——如用钢琴重复弹奏一段高难度的乐曲——是开头需要注意而最后无需注意便可进行的动作。我们可以说,这个过程根本地缩短了,因而不是有意识的了:它变成了“生理的”过程。这种过程根本不会造成有意识地期望事件的类规律性序列或者对规律的信仰,相反,它倒可能始于一种有意识的信仰,又通过使后者成为多余的而破坏之。学习骑自行车,我们可能带着这样的信念开始:如果我们朝着自己有可能向那边跌倒的方向骑,就能避免跌倒,因而这个信念对于指导我们的动作可能是有益的。在经过充分的练习之后,我们可能忘掉了这条规则,任何情况下我们再也不需要它了。另一方面,即使重复委实会造成无意识的期望,也仅仅在出了差错以后这些期望才变成有意识的(我们可能没有听到钟在嘀嗒嘀嗒地走,但能听到它停了)。

(b)一般地说,习惯并不产生于重复。甚至走路、说话或按时进餐的习惯也是在能重复起作用之前就已经开始了。高兴的话,我们可以说,只是在重复起了其独特作用之后习惯才称得上是“习惯”;但是我们决不能说,这些习惯做法是大量重复所产生的结果。

(c)信仰一条规律,同表现出对一种事件的类规律序列的期待行为不完全一样,不过,两者的联系十分密切,可以一起探讨。在特殊事例中,它们或许纯粹来自感官印象的重复(例如时钟停止的情形),我准备承认这一点。但我坚决主张:一般情况下,并且在大多数有意义的场合,都不能这样解释。如休谟所承认的,甚至一次给人留下深刻印象的观察,可能已足以造成一种信仰或期望。休谟试图解释

这事实,认为它起因于归纳习惯,是由人生以往经验到的无数长长的重复序列的结果所形成。^①但是我认为,这只是他试图把威胁他的理论的不利事实解释过去而做的努力,这种尝试是失败的,因为这些不利事实可以在非常年幼的动物和婴儿(实际上无论怎样年幼都可以)身上观察到。F. 贝格报道说:“把一支点燃的香烟放在幼犬的鼻子旁边,它们马上就嗅,然后跑开,随便什么都无法引诱它们回到气味的所在地再去嗅。几天以后,只要看到一支香烟,甚至一个白纸卷,它们仍会作出反应:跳开,打喷嚏。”^②如果我们试图用幼年很早就已有无数长长的重复序列的假设来解释这类情形,那么我们不仅是在信口开河,而且还忘掉了:在聪明幼犬的短短生活中,必定不仅给重复,而且也给大量新东西从而也给大量非重复留有机会。

不但某些经验事实不支持休谟,而且有纯逻辑性质的决定性论证可以否定他的心理学理论。

休谟学说的中心思想是以类似为根据的重复。这一思想被毫无批判地加以应用。它使我们想到穿石的水滴,想到一连串慢慢强加于我们的十分相似的事件,就像钟的嘀嗒声一样。但是我们应当认识到,按照休谟的这种心理学说,只有对我们是相似的重复,才容许对我们产生效果。我们必须对这些好像是相似的情况作出反应:把它们当作是相似的,把它们解释为重复。我们可以假定,那些聪明的幼犬以它们的反应或者行动表明,它们把第二次情况认为或者理解为第一次情况的重复:它们料想该情况的主要成分即难闻的气味是存在的。这个情况对它们所以是重复,是因为它们的反应表明它们预期这个情况和前一情况相似。

这种显然是心理学的批判,有其纯逻辑的基础,这种基础大致上可以概括为以下的简单陈述(碰巧它就是原来开始批判的那一种)。休谟想象的那种重复永远不能是完全的重复,他心目中的事例不可能是完全相同的事例,只能是类似的事例。因此它们只是从某种角度来看才是重复(对我起一种重复效应的事情,对一只蜘蛛可以不引起这种效应)。但是,根据逻辑的理由,这意味着一定先有一种见解——诸如一个期望、预期、假定或者兴趣的体系,才会产生重复感。因此,这种见解不可能仅仅是重复的结果(参阅《科学发现的逻辑》附录^{*}x,(1))。

为了建立一种关于信念起源的心理学理论,我们必须用我们把事件理解为相似的见解,代替那事件确是相似的天真见解。但如果是这样的话(我看不出有什么办法可以不这样),休谟关于归纳的心理学理论就导致无穷的倒退,恰恰同休谟自己发现的用来破除归纳逻辑学说的另一个无穷倒退没有两样。我们想要

① 《人性论》第13节,第15节,规则4。

② F. 贝格:《论发育及其他》(Zur Entwicklung, etc.),《狗的研究杂志》(Zeitschrift. Hundeforschung),1933年,比较D. 卡茨的《动物与人》(Animals and Men),第6章脚注。

说明的是什么呢？拿幼犬的例子来说，我们想要说明的行为，是那种可描述为把一种情况认为或理解为另一情况的重复的行为。很清楚，一旦我们意识到早先的重复也一定是对于幼犬的重复，我们便不能指望用早先的重复解释这种行为，因而恰好是同样的问题又出现了：即把一种情况认为或理解为另一种情况的重复。

说得更简明一点，我们认作的相似性是包括解释（可能不恰当）和预期或者期望（可能永远实现不了）在内的反应产物。因此我们无法如休谟建议的那样，把预期或者期望解释为多次重复造成的。即使是我们认作第一次的重复，也必然是从我们认识的相似性来的，也就是从期望来的——而我们想要解释的恰恰就是这种期望。

这表明休谟的心理学理论包含着无穷的倒退。

我觉得休谟从来没有承认他自己的逻辑分析的全部力量。在否定了归纳的逻辑观念之后，他就碰到下面的问题：如果归纳是一种在逻辑上站不住、在理性上讲不通的程序，那么作为一件心理—逻辑事实，我们实际上是怎样获得知识的呢？回答可以有两种：（1）我们是通过一种非归纳的程序获得知识的。这个回答会容许休谟保留一种理性主义形式。（2）我们是通过重复和归纳获得知识的，所以是通过一种在逻辑上站不住和在理性上讲不通的程序获得的，因此一切表面的知识都只是一种信念——根据习惯的信念。这个回答意味着，即使科学知识也是非理性的，因而理性主义是荒谬的，必须放弃掉（这里我不准备讨论这些现在又时兴起来的古老尝试，它们为了摆脱困境而断言，如果我们说的“逻辑”与“演绎逻辑”是一个意思，归纳在逻辑上当然是错误的，但从它自己的标准来衡量并不是非理性的，这有事实为证：每个有理性的人事实上都在应用归纳。休谟的伟大功绩在于破除了这种不加批判地把事实问题和论证合理的问题等同起来）。

看来休谟从来没有认真考虑过第一个答案。他用重复论把归纳的逻辑学说排除掉以后，就和常识妥协，通过重复很温和地容许归纳以心理学理论的伪装而卷土重来。我建议把休谟的这种学说翻一个身。我不把我们指望规则性的倾向解释为重复的结果，而建议把我们认为的重复解释为我们指望和寻找规则性倾向的结果。

这一来我就能从纯逻辑理由出发以下述见解代替归纳的心理学理论。我们不是被动地等待重复把规则性印在或强加在我们头脑里，而是主动地企图把规则性强加给世界。我们企图在世界中发现相似性，并用我们发明的规律来解释世界。我们不等待前提就跳到结论。这个结论如果被观察证明是错的，以后就得放弃。

这就是试探错误的方法——猜想和反駁的学说。这可以使我们懂得为什么我们把解释强加于世界的企图在逻辑上先于相似性的观察。由于这种程序有逻辑理

由的支持,我觉得这种程序也可以应用到科学领域里来,科学理论并不是观察的汇总,而是我们的发明——大胆提出来准备加以试探的猜想,如果和观察不合就清除掉,而观察很少是随便的观察,通常按一定目的进行,旨在尽可能获得明确的反驳根据以检验理论。

V

科学是从观察到理论,这仍旧是人们的一个广泛而坚定的信念,因而我对这种信念的否定常常被认为是不可思议的事。我甚至被疑为不诚实——由于否定了任何有理性的人都不会怀疑的事情。

但是事实上,这种信念认为我们能够单独从纯观察出发而不带有一点点理论性的东西,是荒唐的;下面的故事可以说明这一点:一个人把一生献给自然科学,把他所能观察到的东西全都写下来,并把观察所得的无比宝贵的收获捐献给皇家学会作为归纳证据之用。这个故事应当向我们表明,虽然可以把甲壳虫很有成效地收集起来,但观察是收集不起来的。

25 年以前,我曾经试图让一群在维也纳学物理的学生深切地认识到这一点,为此我在上课时首先指示他们:“拿出铅笔和纸来,仔细观察,写下你们观察到的东西!”当然,他们都问,我要他们观察什么。显然,“观察”这个指示是荒唐的^①(它甚至不合语言习惯,除非这个及物动词的宾语可以认为是不言而喻的)。观察总是有选择的。它需要选定的对象、确定的任务、兴趣、观点和问题。它的描述必需有一种拥有专门语词的描述语言;它还需要以相似和分类为前提,分类又以兴趣、观点和问题为前提。卡茨^②写道:“一个饥饿的动物,把环境分成可以吃的东西和不可以吃的东西。一个动物在逃跑时,便寻找出路和藏匿的地方。……一般说来,对象因动物的需要而变。……”我们可以补充说,只有同需要和兴趣相关联,对象才可加以分类,才会变成相似的或不相似的。这条规则不仅适用于动物,也适用于科

没有理论“污染”的无偏差观察是不存在的,但是观察的结果对原有理论还是会产生作用的。科学的进步就是理论和观察的互动过程。

^① 见《逻辑》第30节。

^② 卡茨:《动物与人》,第6章脚注。

学家。对于动物来说,它的着眼点是由它的需要、当时的任务和它的期望所规定的;对于科学家来说,规定他的着眼点的,则是他的理论兴趣、特定的研究问题、他的猜想和预期以及他作为一种背景即参照系、“期望水平”来接受的那些理论。

“哪个在先,是假设(H)还是观察(O)”这个问题是可以解决的;“就像鸡(H)和鸡蛋(O)哪个先有”这个问题一样。对后一个问题的回答是,“一种较早的鸡蛋”;对前一个问题的回答是,“一种较早的假设”。诚然,我们选择的任何特殊假设在它前面都将有过一些观察——诸如它打算解释的一些观察。但是这些观察反过来又预先假定已经采纳了一种参考框架,一种期望的框架,一种理论的框架。如果这些观察是值得注意的,如果这些观察需要加以解释,因而导致人们发明一种假设,那是因为这些观察不能在旧的理论框架、旧的期望水平上加以说明。这里并没有无穷倒退的危险。如果追溯到越来越原始的理论 and 神话,我们最后将找到无意识的、天生的期望。

我觉得先天观念的理论是荒唐的,但是任何生物都有天生的反应,而且在这些反应里面,有些反应适应于即将到来的事件。我们可以把这类反应描述为“期望”,但并不意味着这些“期望”是有意识的。新生的婴儿就是在这个意义上期望喂奶(而且人们甚至还可论证说,期望得到保护和爱)。鉴于期望和知识之间的这种密切关系,我们甚至可以在相当合理的意义上谈论“天生的知识”。但是这种“知识”并不是先天正确的;一个天生的期望,不管它多么强烈和多么特殊,仍可以是错的(初生的婴儿可能被抛弃并饿死)。

所以我们生来就有期望,生来就有“知识”,这些知识虽则不是先天正确的,在心理学上或遗传学上却是先天的,即是说,先于一切的观察经验。这些期望里面最重要的一个,就是期望找到规则性。它和指望规则性的天生倾向,或者和寻找规则性的需要连在一起,这一点我们可以从婴儿满足了这种需要的快乐上看起来。

康德相信“因果律”是我们精神素质的一部分而且是先天正确的,而这种在心理学上是先天的、寻找规则性的“本能”期望,和康德的“因果律”非常接近。所以人们说不定会说康德没有对心理学上的先天思维或反应方式与先天正确的信念加以区别。但是我不认为他的错误会粗疏到这种地步。因为期望找到规则性不但在心理学上是先天的,而且在逻辑上也是先天的;它在逻辑上先于一切观察经验,因为如我们看到的,它先于任何对相似性的认识,而一切观察都包括对相似性(或不相似性)的认识。但是尽管在这个意义上是逻辑地先天的,这种期望并不是先天正确的。因为它可能失败:我们可以很容易制造一种环境(它会是一种致命的环境),这种环境与我们的普通环境比较起来,可以混乱得使我们完全找不到规则性(一切自然规律可以照样有效:这种环境曾被应用在下一节提到的动物实验中)。

因此康德对休谟的回答几乎可以说是正确的,原因是一个先天正确的期望,和

一个既在起源上又在逻辑上先于观察但不是先天正确的期望,这两者的区别确是相当微妙。但是康德证明得太多了,在企图证明知识怎样成为可能时,他提出了一种学说使我们不可避免地得出一种结论,即我们对知识的探索必然成功,这显然是错误的。当康德说,“我们的理性并不是从自然引出规律,而是把它的规律强加于自然”时,他是对的。但是认为这些规律必然是正确的,或者我们必然会成功地把这些规律加诸自然,他就错了。^① 自然常常成功地拒绝我们,迫使我们放弃那些遭到反驳的规律,可是如果我们活着,我们还可以再尝试。

为了把对休谟的归纳心理学进行的这个逻辑批判总结一下,我们可以考虑建造一台归纳机的设想。当这样一台机器放在一个简化的“世界”(例如颜色计数器的某种程序)之中时,它能通过重复而“学会”甚至“提出”在它的“世界”中有效的相继定律。如果能够建造这样一台机器(我不怀疑这种可能性),那么可以证明我的理论必定是错误的,如果一台机器能够根据重复进行归纳,就没有逻辑理由阻止我们自己这样做。

这个论证似乎令人信服,却是错误的。在建造一台归纳机时,我们这些机器建造师必须先验地决定:它的“世界”是什么,哪些事物被认为是相似的或相同的,我们希望这台机器能在它的“世界”中“发现”哪种“规律”。换言之,我们必须在这台机器里面造进一个参照系,它决定其世界中有关的或感兴趣的东西:这台机器将有其“天生的”选择原则。相似性的问题将由它的制造者为它解决,因此他们要给这台机器解释这个“世界”。

VI

我们动辄寻找规则性,把规律强加于自然。这种倾向导致教条思维的心理现象,或者更一般地导致教条的行为:我们期望规则性无所不在,试图甚至在子虚乌有的地方也找到它们;不服从这些企图的事件,我们很容易看作一种“背景噪音”;我们墨守自己的期望,甚至在这些期望并不恰当、我们应当承认失败的时候也是这样。这种教条主义在一定程度上是必要的。它是只有把我们的猜想强加于世界才能应付的一种情境所要求的。此外,这种教条主义容许我们近似地分阶段地向一种良好的理论接近:如果我们过分爽快地承认失败,就可能使自己发觉不了我们非常接近于正确。

^① 康德相信,牛顿的动力学是先验地正确的(见他在《纯粹理性批判》的第1节和第2版之间出版的《自然科学的形而上学基础》)。但是,正如康德所认为的,如果我们诉诸下述事实来解释牛顿理论的正确性:我们的理智把它的规律强加给自然,那么我认为,由此可得出结论:我们的理智在这件事上必定成功,这使人难于理解为什么获得牛顿那样的先验知识会如此困难。

我们相信自然隐藏着规律，故而去寻找它们。规律来自自然，反过来又用于认识自然。“强加”一词似乎不妥。

显然，这种教条的态度使我们墨守自己的最初印象，表示一种坚定的信念，相反，批判的态度，随时准备修改其信条，允许怀疑并要求检验，则表示一种不太坚定的信念。按照休谟的理论以及流行的理论，信念的强度应是重复的结果，因此，信念应当总是与经验俱增，越开化的人信念总是越强。但是，教条的思维、毫无节制地要求给以规则性以及沉溺于习惯和重复等如此这般的东西，都是原始人和儿童的特征，经验和成熟程度的增长有时养成一种审慎的、批判的态度，而不是教条的态度。

这里，我或许可以指出与精神分析学相一致的一点。精神分析家断言，精神病患者和其他人都是按照一种个人定向模式解释世界，这种定向模式不会轻易被抛弃，常常可以追溯到幼年时期。人生很早就采取的一种模式或图式往往保持终生，每个新的经验都用它来解释；可以说，每个新经验都证实它，增加它的坚固性。这正是对我所称的不同于批判态度的教条态度的描述。但是批判态度同教条态度一样迅速地采取一种期望图式——一个神话或一种猜想或假说，不过它随时准备修改、纠正乃至抛弃这种图式。我倾向于认为，大多数精神病可能是由于这种批判态度的发展受到一定程度抑制；是由于受抑制的而不是自然状态的教条主义；是由于对某些按图式进行的解释和反应加以修改和调整的要求受到阻遏。在有些场合，这种阻遏本身或许也可以解释为因伤害或刺激所致。伤害或刺激造成了恐惧，而且增加了对信念或确定性的需要，如同肢体受到伤害后我们怕去动它，结果它变得僵直了一样（甚至可以证明，肢体的情形不仅类似于教条的反应，而且还是这种反应的一个例子）。对任何具体情况的解释都必须考虑进行种种必要调整所涉及困难的分量。这些困难可能相当大，尤其在一个复杂而又变化不定的世界之中：我们从动物实验知道，可以随意产生不同程度的精神病行为，只要相应地改变这些困难。

我发现认识心理学和常常被认为与之相距很远的那些心理学领域——例如美术心理学和音乐心理学之间还有许多其他联系，事实上我关于归纳的许多思想都发端于有关西方复调音乐进化的猜测。不过，这里就不去讲它了。

我对休谟的心理学理论所作的逻辑批判以及与它有关的种种考虑(大部分我已在1926至1927年间在题为《论习惯和对规律的信仰》的一篇论文中详加阐发^①)可能显得稍稍偏离了科学哲学的领域。但是,教条思维和批判思维或者说教条态度和批判态度的区分又把我们带回到我们的中心问题。因为,教条态度显然关系到这样的倾向:通过试图应用和确证我们的规律和图式来证实它们,甚至达到漠视反驳的程度,而批判态度则是准备改变它们——检验它们,反驳它们,证伪它们(如果可能的话)。这意味着,我们可以把批判态度看作是科学态度,把教条态度看作是我们所说的伪科学态度。

这进一步使人想到,从发生上说,伪科学态度比科学态度更为原始、更为在先,就是说,它是一种前科学态度。这种原始性或在先性从逻辑上说也是如此。因为,批判态度与其说同教条态度相对立,不如说叠加于后者之上:批判的目标一定在于必须对现有的有影响的信念进行批判性修正,换句话说,一定是针对教条的信念。可以说,批判态度必须以多少是作为教条而保持的理论或信念为原材料。

因此,科学必然开始于神话和对神话的批判,既不是开始于观察的集合,也不是开始于发明实验,而是开始于对神话、对巫术技巧和实践的批判讨论。科学传统与前科学传统的差别在于它有两个层次。像后者一样,它也把它的理论传下去,但同时还把对这些理论的批判态度传下去。这些理论不是作为教条传下去,而是敦促对它们进行讨论和改善。这个传统是希腊的,可以追溯到泰勒斯,他创立了第一个主要不是关心保存教条的学派(我不是说“第一个哲学学派”,而只是说“第一个学派”)。

批判态度,也即自由讨论理论以发现其弱点并加以改善的传统,是合理的和理性的态度。然而,它广泛利用口头的论证和观察——利用观察支持论证。希腊人发现批判方法,起先引起

“万物源于水”这样的“教条”,泰勒斯不希望保存下去?

^① 一篇题为《论习惯和对规律的信仰》(Gewohnheit und Gesetzerlebnis)的论文,于1927年呈交维也纳城教育学院(未发表)。

一种错误的希望：它会导致解决所有重大的古老问题，它会建立确实性，它会有助于证实我们的理论证明它们是合理的。这个希望是教条思维方式的残余，其实无法证明或证实任何东西（除数学和逻辑而外）。科学要求理性证明，就表明未能坚持区分合理性的广阔领域同理性确定性的狭窄领域：这是一种站不住脚的不合理要求。

然而，逻辑论证和演绎逻辑推理的作用对于批判方法仍然非常重要，这不是因为它使我们得以证明我们的理论，或者从观察陈述推出理论，而是因为只有通过纯演绎推理我们才能发现理论的含义，从而有效地批判它们。我说过，批判就是力图找出理论的弱点，而这些弱点照例只能在可从这一理论推出的比较间接的逻辑推论中找出来。纯粹逻辑推理在科学中的重要作用正在于此。

休谟正确地强调，我们的理论不可能从我们能够知其为真的东西中有效地推出来——不可能从观察也不可能从任何别的东西推出来。他由此得出结论：我们对理论的信念是非理性的。如果“信念”在这里意味着我们不能怀疑我们的自然规律以及自然规则的持久性，那么休谟又是正确的：可以说，这种教条的信念具有心理学基础而不是理性基础。然而，如果“信念”一词用来指我们对科学理论的批判接受——尝试性地接受，同时渴望，如果我们成功地设计出该理论经受不住的一种检验，就修正这一理论——那么，休谟是错误的。这样来接受理论，就毫无非理性之处。甚至为了实际目的而信赖经受了严格检验的理论，也没有什么非理性之处，我们没有什么别的理性程序可以采取。

假定我们自觉规定我们的任务是：生活在这个未知世界之中，使我们自己尽可能适应它，利用我们可能从中找到的机会，如有可能（不必假定真是这样），则尽可能借助于规律和解释性理论来解释世界。如果我们以此为我们的任务，那么，就没有比试探和除错——猜想和反駁的方法更加理性的程序。这种方法就是大胆地提出理论，竭尽我们所能表明它们的错误，如果我们的批判努力失败了，那就试探地加以接受。

从这里提出的观点看来，一切定律和理论本质上都是试探性、猜测性或假说性的，即使我们感到再也不能怀疑它们时，也仍如此。在一个理论被驳倒之前，我们怎么也无法知道必须以哪种方式修正它。太阳总是在二十四小时内东升西沉，这仍然是尽人皆知的一条“不容置疑的由归纳确立的”定律。奇怪的是，这个例子至今还在使用，尽管它在亚里士多德和马萨里亚的毕提亚斯时代已大行其道。毕提亚斯是个大旅行家，长时期人们一直叫他说谎者，因为他讲极北地区是冰冻的海洋，半夜里出太阳。

当然，试错法并不简单等同于科学的、批判的方法——猜想和反駁的方法。不仅爱因斯坦用试错法，变形虫阿米巴也用试错法，然而它是以比较教条的方式用。

二者的差别与其说在于试探,不如说在于对错误采取批判的建设性的态度。科学家有意识地、审慎地试图发现错误,以搜寻论据驳倒其理论,包括诉诸他以自己的理论和才智设计的最严格的实验检验。

批判态度可以说成是有意试图让我们的理论、猜想代替我们自己去经受适者生存的竞争。它给我们机会在不恰当的假说被排除以后仍然得以幸存——当一种更教条的态度会通过排除我们而排除这假说的时候(有一个动人的故事说,一个印第安人村社信仰生命神圣,包括老虎的生命在内,结果这个村社消亡了)。这样,通过排除不怎么合适的理论,我们便获得了可能范围内的最佳理论(我说“合适”,不仅指“有用”,还指真实;见后面第三章、第十章)。我并不认为,这种程序是非理性的,也不认为需要作进一步的理性论证。

VIII

现在让我们从我们对经验心理学的逻辑批判回到我们的实际问题——科学逻辑的问题上来。尽管就消除某些偏爱归纳的心理学成见而言,我所说的话中间,有些或许在此有助于我们,但是我对归纳的逻辑问题的处理完全独立于这种批判和任何心理学考虑。倘若你不是教条地相信我们进行归纳这个所谓的心理事实,那么你现在可以忘掉我说的一切,除了两个逻辑要点而外:我对作为分界标准的可检验性或可证伪性所作的逻辑评述,以及休谟对归纳的逻辑批判。

由以上所述,我那时感兴趣的两个问题即分界问题和归纳或科学方法问题之间显然有密切联系。显而易见,科学方法是批判即试探的证伪。然而,我花了几年时间才发现,这两个问题——分界和归纳——在某种意义上是一个问题。

我问道,为什么有那么多科学家相信归纳?我发现他们之所以这样,是因为他们相信自然科学的特征在于归纳方法——从长长的观察和实验序列出发并依赖于它们的方法。他们相信,真正的科学同形而上学或伪科学的思辨之间的差别,仅仅取决于是否应用这种归纳方法。他们相信(用我的术语来说),唯有归纳方法才能提供一个令人满意的分界标准。

我最近偶然发现,一位伟大物理学家的一本出色的书——马克斯·玻恩的《因果性和机遇的自然哲学》^①中对这个信念作了一个有趣的表述。他写道:“归纳让我们把许多观察概括成一条一般的规则:黑夜以后是白天,白天以后是黑夜……可是,日常生活中并没有归纳有效性的确定标准……科学却已为归纳的应用制定出

^① 马克斯·玻恩:《因果性和机遇的自然哲学》(Natural Philosophy of Cause and Chance) 牛津,1949年,第7页。

一种法规即专业规则。”玻恩从未说明过这种归纳法规的内容(从他的话来看,它包含“归纳有效性的确定标准”);但是他强调指出,接受归纳“是没有逻辑论据的”:“它是一个信念问题”;因此,他“情愿把归纳称为一条形而上学原则”。但是,为什么他相信这种有效归纳的法规必定存在呢?这从下面一点可以明白。他谈到:“不知道或者拒斥科学规则的广大居民之中,也包括反种痘协会会员和占星术信仰者。与这些人争辩是徒劳无益的,我不能强迫他们接受我所相信的有效归纳标准——科学规则的法规。”这显然表明,“有效归纳”在这里是指作为科学同伪科学分界的标准。

但很显然,这种“有效归纳”的专业规则连形而上学也不是:它根本不存在。没有什么规则能够保证从真实观察推出的概括是真实的,虽然常常重复。(尽管牛顿物理学取得成功,尽管玻恩相信它基于归纳,但他本人并不相信它是真实的。)科学的成功不是基于归纳规则,而是取决于运气、独创性和纯演绎的批判论证规则。

我可以把我的某些结论概述如下:

(1) 归纳即基于许多观察的推理,是神话。它不是心理事实,不是日常生活事实,也不是一种科学程序。

(2) 实际的科学程序是带着猜测工作,匆忙下结论——通常是在一次观察之后(如休谟和玻恩就注意到这一点)。

(3) 重复的观察和实验在科学上起的作用是检验我们的猜测或假说,也即试探性反駁。

(4) 传统上错误地认为,只有归纳方法才能提供分界标准。因此,对分界标准的需要加强了对归纳的错误信仰。

(5) 像可证实性标准一样,这种归纳方法的观念意味着一种不完美的分界。

(6) 如果我们说归纳只是使理论成为可能的而不是必然的,那也丝毫无济于事。

归纳在收集经验事实阶段是需要的。演绎不能提供新颖事实,而归纳能够。

IX

我已提示过,如果归纳问题只是分界问题的一个例子或一

个方面,那么分界问题的解决必定也提供归纳问题的解决。我相信,事情确实如此,虽然并不那么一目了然。

为了简短说明一下归纳问题,我们可以再回到玻恩。他写道:“……观察和实验无论怎样增加,也只能提供有限次数的重复,”因此,“一条定律的陈述——B 取决于 A——总是超越经验的。但这种陈述时时处处都在作出,有时还只是根据很不充足的材料。”^①

换句话说,归纳的逻辑问题产生于(a)休谟发现(玻恩表达得很清楚):观察或实验不可能论证定律,因为它“超越经验”;(b)这一事实:科学“时时处处”都在提出和运用定律(像休谟一样,玻恩也注意到“很不充足的材料”,即定律可根据的只是为数很少的观察事例)。这里我们必须再加上(c)经验主义原则,它断言,在科学中唯有观察和实验能够决定接受还是拒斥科学陈述,包括定律和理论在内。

乍一看来,(a)、(b)和(c)三条原则似乎是相互冲突的,正是这种表面的冲突构成了归纳的逻辑问题。

面对这种冲突,玻恩放弃了(c)即经验主义原则(在他之前,康德以及伯特兰·罗素等许多人都这样做过),以支持他所谓的“形而上学原则”,这条原则他甚至没想表述过,只是含糊地说成是一种“法规或专业规则”;并且我从未看到过有什么甚至看来有希望的、不那么明显站不住脚的表述。

可是事实上,从(a)至(c)这三条原则并不冲突。我们只要认识到下述两点便可明白:科学对定律或理论的接受只是试探性的,就是说,一切定律和理论都是猜测或试探性假说(我有时称这种观点为“假说主义”);我们可以根据新证据拒斥一个定律或理论,而不必抛弃原先使我们接受它的老证据。^②

经验主义原则(c)完全可以保留,因为一个理论被接受还是被拒斥,它的命运决定于观察和实验,也即决定于检验结果。只要理论经受住了我们所能设计的最严格的检验,它便被接受;否则,便被拒斥。但是,从任何意义上说来,理论都不是从经验证据推出的。无论心理的还是逻辑的归纳,都是没有的。只有理论的虚假性可从经验证据推出,而这是纯演绎推理。

休谟指出,一个理论不可能从观察陈述推出,但这不影响用观察陈述反驳一个理论的可能性。充分肯定这种可能性就会完全明了理论和观察之间的关系。

这解决了(a)、(b)和(c)三个原则所谓冲突的问题,连带也解决了休谟的归纳问题。

① 《因果性和机遇的自然哲学》第6页。

② 我不怀疑玻恩等许多人都会赞同理论只是被试探性地接受这个观点。但是对归纳的广泛信仰表明,很少有人认识到这个观点的深刻含义。

X

至此我们解决了归纳问题。但是给一个古老的哲学问题找一个简单的解决办法似乎是最无必要的。维特根斯坦及其学派认为,并不存在真正的哲学问题,^①由此显然可见,这种问题是不可能解决的。与我同时代的其他人则相信哲学问题是有的,他们重视这些问题,但可能重视得过分了,他们似乎认为这些问题是无法解决的,如果不说是禁忌的话,他们对断言任何哲学问题都有简洁明了的解决办法的主张感到惊讶和厌恶。他们认为如果有解决办法,那就一定是深刻的,或者至少是复杂的。

不管怎样,我仍在期待着对我的解决办法的简洁明了的批判,这一解决办法我最初发表于1933年致《认识》杂志编者的信中,后来又发表在《科学发现的逻辑》之中。

当然,可以发明新的、不同于我所表述和解决了的那种归纳问题(表述就等于解决了一半)。但我还必须考察一下,怎样重新表述那种不能根据老的解决办法轻而易举得到解决的问题。现在来讨论某些重新表述的问题。

可以提出这样一个问题:我们实际上是怎样从一个观察陈述跳跃到一种理论的?

虽然看上去这个问题与其说是哲学的,还不如说是心理学的,但我们还是能够就此说点肯定的话而不必援引心理学。首先我们可以说,跳跃不是从观察陈述出发,而是从问题的情境出发,而得出的这个理论必然允许我们解释产生问题的那些观察(也就是说,允许从被其他公认的理论 and 观察陈述即所谓初始条件所加强的这个理论演绎出这些观察)。当然,这留下了为数极多的可能的理论,包括好的和坏的理论,由此看来我们的问题并没有得到回答。

但是这也清楚地说明,当我们提出问题时,我们脑子里想的不止是“我们怎样从一个观察陈述跳跃到一种理论”。现在看来我们想的问题是:“我们怎样从一个观察陈述跳跃到一种好的理论?”但是对这个问题的回答是:首先跳跃到任何一种理论,然后加以检验以发现它是好的还是坏的,就是说,反复应用批判方法,取消许多坏的理论,发明许多新的理论。不是每个人都能做到这一点,但是舍此别无他途。

有时人们提出另一些问题。据说,原始的归纳问题是论证归纳的合理性也即归纳推理的合理性的问题。如果你对这个问题回答说,所谓“归纳推理”总是无效

① 维特根斯坦在1946年仍然坚持这一信念。

的,因此显然无法论证,那么就一定会产生下面的新问题:你怎么论证你的试错法呢?回答是:试错法是用观察陈述排除虚假理论的方法;论证这一点的是纯逻辑的可演绎性关系,而这可以使我们断定全称陈述的虚假性,如果我们接受单称陈述的真实性的话。

有时提出另一个问题:为什么宁取未证伪陈述而不取已证伪陈述是合理的呢?对这个问题已出现一些复杂的回答,例如实用主义的回答。但从实用主义观点看来,这问题不成为问题,因为虚假理论往往也作用得很好:工程或航海中所应用的公式大都已知是虚假的,尽管它们可能非常近似于真的,同时易于使用,而人们明知其虚假却仍在充满信心地加以使用。

唯一正确的是直截了当的回答:因为我们寻求真理(即使我们决不能肯定我们已经发现了真理),因为已证伪理论已知是或者被认为是虚假的,而未证伪理论可能仍然是真实的。此外,我们并不喜欢每一未证伪理论——只喜欢从批判的角度看来胜过其对手的理论:它解决我们的问题,很好地经受了检验,并且我们认为它是、或者确切地说我们猜测或希望(鉴于其他暂时接受的理论)它是会经受住进一步检验的。

还有人说,归纳问题即:“为什么相信未来将如过去一样是合理的呢?”对这个问题的令人满意的回答应表明,这样一种信念实际上是合理的。我的答复是,相信未来将在许多极重要方面与过去判然不同,这是合理的。人们按照未来将在许多方面如同过去一样的假设而行动,大家公认这是完全合理的;并且经受过检验的定律将继续有效(因为我们可能没有更好的据以行动的假设了);但是相信这样一种行动方针将使我们不时陷入严重困境,这同样是合理的,因为有些我们现在所信赖的定律可能很容易被证明不可靠。(别忘了那半夜的太阳!)人们甚至会说,根据过去的经验和我们的一般科学知识来判断,在那些说未来如同过去的人所想到的许多方面,未来并不像过去一样。水有时会不解渴,空气有时会闷死呼吸的人。一个明显的出路是说,在自然规律不会改变的意义上未来将像过去一样,但这是用未经证明的假定进行辩论。只有认定我们面前有一种不会改变的规则性时,我们才谈得到“自然规律”;如果我们发现它变了,我们就不会再叫它是“自然规律”了。当然,我们对自然规律的探索表明,我们希望发现它们,我们相信存在自然规律;但是,我们对任何具体的自然规律的信仰,比起未能成功地驳倒它的批判尝试来说,并没有更为可靠的根据。

我认为,按照我们信念的合理性提出归纳问题的那些人如果对休谟或休谟以后的极端不相信理性感到不满,他们是完全正确的。诚然,我们必须拒斥这样的观点:对科学的信仰同对原始巫术的信仰一样不合理——两者都是接受一种“总的意识形态”、一种约定或一种基于信念的传统的问题。不过,如果我们仿效休谟,

把我们的问题表达成我们的信念是否合理的问题,那么我们就得谨慎行事。我们应当把这问题一分为三——我们关于分界的老问题,即怎样区分科学和原始巫术的问题;科学的即批判的程序的合理性以及观察在其中作用的问题;最后是我们为了科学和实际目的而接受理论的合理性问题。这里对所有这三个问题都作了解答。

我们还应当小心,不要混淆两个问题,就是说不要把科学程序的合理性以及(试探性的)接受这一程序的结果(即科学理论)的合理性问题,同相信这程序将会成功是否合乎理性的问题混淆起来。在实践中,在实际的科学研究中,相信科学程序将会成功的信念无疑是不可避免的、合理的,因为没有另外的更好的选择。但是我已证明(第V节),这信念从理论意义上说肯定是无法论证的。而且,如果根据一般的逻辑理由我们可以表明科学探索很可能成功,那就无法理解,在人类为了更多地了解我们的世界而努力不懈的漫长历史中,为什么成功一类的东西又那么罕见。

归纳问题的另一种提法是借助于概率。令 t 为理论, e 为证据:我们可以求 $P(t, e)$, 就是说给定 e 而求 t 的概率。通常认为,由此可这样提出归纳问题:构造一种概率演算,使我们能够对于任何给定的经验证据 e 计算出任何理论 t 的概率;并表明 $P(t, e)$ 将随有利证据的积累而增加,达到很高的值——至少大于二分之一。

我在《科学发现的逻辑》中解释过,为什么我认为如此对待这个问题是根本错误的。^① 为了说清楚这一点,我在那里引入了概率和确认(corroboration)度或确证(confirmation)度的区别(“确证”一词近来用得太多太滥,我已决定把它让给证实主义者,而我自己只用“确认”一词。“概率”这个词有许多意义,最好是在满足如凯恩斯、杰弗里斯和我所公理化的著名的概率演算的意义上使用;不过,只要我們不是不加批判地假设,确认度必然也是概率,即一定也满足概率演算,那么选择什么语词当然是无关紧要的)。

在我的书中我已解释过,我为什么对高确认度的理论感兴趣。我也解释过为什么由此得出结论说我对高概然度的理论也感兴趣则是错误的。我指出过,一个陈述(或一组陈述)总是概率越高,陈述的东西就越少:概率与陈述的内容或演绎力成反比,因而也与解释力成反比。因此,每个令人感兴趣的有力的陈述其概率必然低,反之亦然:概率高的陈述在科学上引不起兴趣,因为它说的东西很少,没有什么解释力。尽管我们寻求高确认度的理论,但是作为科学家我们并不寻求高概

① 《逻辑》第10章,尤其是第80至83节,以及第34节及以后。又见我的短文《一组独立概率公理》(A Set of Independent Axioms for Probability),《精神》,1938年,第47卷,第275页(这篇短文后来经订正后重印于《逻辑》的新附录ii中)。

然度的理论,而是寻求解释,也即寻求有力的非概然理论。^①相反的观点——科学的目标是追求高概率——这是证实主义的独特发展:如果你发现无法用归纳证实或肯定一个理论,你可以转而诉诸概率,作为确实性的“Ersatz”[替代物],以期归纳至少也可以达到同样的程度。

我比较详细地讨论了分界和归纳这两个问题。但既然我打算在这讲演中报道一下我在这个领域所做的工作,所以我还得以附录的形式简单介绍一下我在1934和1953年间关于其他一些问题所做的工作。这些问题大都是我在试图找出分界和归纳这两个问题的答案的各个推论时得出的。但是时间不允许我继续讲述,告诉你们我的新问题如何从老问题产生。既然我现在甚至无法讨论这些进一步的问题,所以我只得把它们列举出来,相机略加说明。但是我认为,甚至这样提一提也是有用的。这可使人对这种研究方式的丰富成果有一个观念。这有助于说明我们的问题究竟怎样,这还可能表明究竟有多少问题,从而使你们相信,不必为哲学问题是否存在或哲学的真正对象究竟是什么的问题而操心。所以,这张表暗示了我为什么不愿意同试图借助于理性论证解决问题的旧传统决裂,从而也解释了我为什么不愿意专心一意地参与现代哲学的发展、趋势和动向。

① 按照概率(见下注),对 $C(t, e)$ 即可满足我在《逻辑》第82至83节中所述要求的(相对于证据 e 的理论 t 的)确认度所下定义为:

$$C(t, e) = E(t, e)(1 + P(t)P(t, e)),$$

式中 $E(t, e) = (P(e, t) - P(e)) / (P(e, t) + P(e))$ 是相对 e 的 t 的解释力的(非叠加的)量度。注意 $C(t, e)$ 不是概率:它可以有 -1 (t 为 e 所反驳)和 $C(t, t) \leq +1$ 之间的值。类定律从而不可证实的陈述 t ,甚至不可能根据经验证据 e 达到 $C(t, e) = C(t, t)$ 。 $C(t, t)$ 是 t 的可确认程度,并等于 t 的可检验程度或 t 的内容。但鉴于前面第1节末第(6)点所包含的要求,我认为不可能把确认(或像我以前常说的确证)观念完全形式化。

1955年给本文初校样增加了以下内容(又见我的短文):

《确证度》(Degree of Confirmation),载《英国科学哲学杂志》(British Journal for the Philosophy of Science)1954年第5期,第143页及以下。我后来把这个定义简化如下(《英国科学哲学杂志》1955年第5期,第359页):

$$C(t, e) = (P(e, t) - P(e)) / (P(e, t) - P(et) + P(e))$$

进一步的改进,见《英国科学哲学杂志》1955年第6期,第56页。

拉卡托斯

科学与伪科学¹

选自《科学研究纲领方法论》，(英)拉卡托斯著 兰征译 上海译文出版社 1986 年。

导读

拉卡托斯 (Imre Lakatos 1922—1974) 出生于匈牙利 1944 年从匈牙利德布勒森大学获得数学、物理和哲学学位。二战期间成为一位活跃的共产主义者，战后在匈牙利教育部工作。1950 年至 1953 年入狱。1956 年匈牙利政治巨变中拉卡托斯逃到了维也纳，然后到达了英国。后入剑桥大学攻读哲学 1961 年获得博士学位。1960 年他得到伦敦经济学院的一个职位，直到去世。拉卡托斯主要进行数学哲学和科学哲学方面的著述。

拉卡托斯认为波普尔把注意力只集中到证据的支持和反驳上，不能揭示科学的合理性，而库恩的“范式”转换（详见《由于革命而进步》导读）在拉卡托斯看来没有为理论的选择提供客观的标准，陷入相对主义。因此，拉卡托斯在《科学研究纲领方法论》一书中致力于制定既客观又符合科学史的理论选择标准，在此基础上提出了理论进步、经验进步和启发法进步三个标准，以进步和退化的问题转换来评价理论的发展，依次说明理论应付反例的能力，说明理论容纳新的辅助假说以作出新预测的能力，说明理论在竞争或实验反驳的压力下赋予自己以新形式的能力，说明为什么没有判决性实验、为什么预测的失败不是决定性的因素、为什么理论只能被一个更好的理论所取代，等等。通过这些，拉卡托斯建立了一个动态的科学发展模型。该模型一定程度上揭示了科学发展的合理性，克服了波普尔和库恩理论的缺点。

尊重知识是人最突出的特征之一。拉丁文称知识为 *scientia*，从而 *science* [科学] 一词便成为最受敬重的那一部分知识的名称。但是，知识与迷信、空想或伪科学的区别是什么呢？天主教教会借口说哥白尼理论是伪科学而开除了日心论者的

① 本文写于 1973 年初，原先是一篇广播演讲稿。于 1973 年 6 月 30 日由开放大学播放。——原编者注

教籍，[苏联]共产党借口说孟德尔学说是伪科学而迫害了孟德尔论者。可见科学与伪科学的分界不全然是一个书斋里的哲学问题：它是一个与社会和政治息息相关的问题。

许多哲学家试图按照下面的说法来解决分界问题：如果足够多的人足够强烈地相信一个陈述，那么，这个陈述就构成了知识。但是，思想史告诉我们，许多人完全虔信荒唐的信仰。如果信仰的强度是知识的标志，我们就不得不把关于神灵、天使、魔鬼和天堂、地狱的某些故事看作知识。另一方面，科学家们甚至对自己最好的理论也是非常怀疑的。牛顿理论是科学所曾产生的最有力的理论，但牛顿本人从不相信超距的物体会相互吸引。因此，不管怎样虔信，都不能使信仰成为知识。实际上，科学行为的标志是甚至对自己最珍爱的理论也持某种怀疑态度。盲目虔信一个理论不是理智的美德，而是理智的罪过。

因此，即使一个陈述似乎非常“有理”，每一个人都相信它，它也可能是伪科学的，而一个陈述即使是不可信的，没有人相信它，它在科学上也可能是有价值的。一个理论即使没有人理解它，更不用说相信它了，它也可能具有至高的科学价值。

一个理论的认识价值与它对人们的心智的心理影响毫无关系。信仰、虔信、理解是人类心智的状态，但理论的客观的、科学的价值与创造理论或理解理论的人类心智无关。它的科学价值只取决于这些猜测事实上所得到的客观支持。正如休谟所说的那样：

如果我们拿起任何一本书，例如，关于神学或学院形而上学的著作。让我们问一下，它包含任何涉及量或数的抽象推理吗？没有。它包含任何涉及事实和存在的经验的推理吗？没有。那就将它付之以炬，因为它含有的不过是诡辩和幻想。

但什么是“经验的”推理？如果我们看一下17世纪关于巫术的浩瀚文献，它充斥着关于认真观察和宣誓证词甚至实验的报告。早期皇家协会的住会哲学家格兰维尔把巫术看成经验推理的范例。在我们按休谟的说法去焚书之前，我们必须首先明确什么是经验推理。

在科学推理中，理论要面对事实，科学推理的主要条件之一就是理论必须得到事实的支持。那么，事实能够在多大程度上支持理论呢？

人们已经提出了几种不同的答案。牛顿本人认为事实证明了他的定律，他以不作纯假说而感到自豪：他只发表由事实得到证明的理论。尤其是，他声称他由开普勒所提供的“现象”推出了自己的定律。但他这一吹嘘大谬不然，因为，开普

科学哲学家讨论具体的科学问题往往容易流于表面。这里有两点值得指出：1. 牛顿从开普勒三定律推得万有引力定律，这不应该是什么“吹嘘”。万有引力定律揭示行星也互相吸引，因此比开普勒定律包含更多的内容，这不妨碍牛顿从开普勒那里获得启发。2. 科学问题不能只是定性地讨论，量的考虑，尤其是量级的考虑是必须的。就行星轨道这个具体问题来说，实际运行中的行星必定受到其他行星的摄动，但这些摄动力与太阳产生的引力相比是小量。即使行星受到摄动，每一瞬间行星也都位于一个瞬时椭圆上，行星在每个瞬间位置连接成的轨迹（吻切轨道）也是椭圆。

勒认为，行星沿椭圆轨道运行，而按照牛顿的理论，只有当行星在运行中互不干扰时，它们才沿椭圆轨道运行。但是，行星实际上是相互干扰的。这就是牛顿不得不发明摄动理论的原因，由此理论推知，任何行星都不按椭圆轨道运行。

今天，人们可以很容易地证明，从任何有限数量的事实中不可能合法地推出一条自然定律，但我们仍然不断地获悉由事实证明的科学理论。为什么对基本逻辑的抵抗会这样顽强呢？

对此有这样一个非常可信的说明。科学家想使自己的理论受到尊敬，配得上“科学”即真正的知识这个称号。在科学诞生的17世纪中，大多数重要的知识都与上帝、魔鬼、天堂和地狱有关。如果一个人对关于神学的事情作了错误的猜测，那么他就要为此遭到永久的谴责。神学知识是不容出错的：它必须是不容怀疑的。而启蒙运动认为我们可以出错的，而且对神学的东西，我们是无知的。科学的神学是没有的，因而神学的知识也是不存在的。知识只能是关于自然的。但这种新型的知识却不得不根据他们直接由神学继承过来的标准加以判定：它必须被证明是确凿无疑的。科学必须达到神学未达到的那种确实性。一个名副其实的科学家是不容许猜测的：他必须由事实来证明他所说的每一句话。这就是科学诚实性的标准。未经事实证明的理论在科学界被认为是罪孽深重的伪科学和异端。

只是由于本世纪中牛顿理论的垮台，才使科学家们认识到他们的诚实性标准原来是乌托邦。在爱因斯坦之前，大多数科学家认为牛顿通过事实的证明已经揭示出了上帝的最终定律。在19世纪初，安培感到他必须把自己有关对电磁学的推测的一本书叫作：《明确地由实验推出的关于电动现象的数学理论》。但在该书的末尾，他漫不经心地承认有一些实验从未进行过，甚至连必要的仪器也未曾建造过！

如果所有科学理论都是同样不可证明的，那么科学知识与无知、科学与伪科学的区别是什么呢？

20世纪的“归纳逻辑学家”对这个问题提出了一个答案。归纳逻辑根据可资利用的全部证据来着手确定不同理论的概率。如果一个理论的数学概率很高，它就够得上科学的资格，如果它的概率很低，甚至概率是零，它就不是科学的。因而，科学诚实性的标志就在于永远只讲至少有很高或然性的事情。概率

垂青一个吸引人的特点：它不是在科学与伪科学之间提出一种截然分明的区别，而是提出一个从概率低的差理论到概率高的好理论的连续的尺度。但是，当代最有影响的哲学家之一卡尔·波普尔于1934年论证道，在任何特定数量的证据下，所有理论，无论是科学的理论还是伪科学的理论，其数学概率都等于零。如果波普尔是正确的，那么，科学理论不仅是同样不可证明的，而且是同样不可几的。这就需要一个新的分界标准，波普尔提出了一个相当惊人的分界标准。一个理论即使没有丝毫有利于它的证据，也可能是科学的，而即使所有的现有证据都支持一个理论，它也可能是伪科学的。也就是说，确定一个理论的科学性质或非科学性质可不依靠事实。假如人们事先就能规定出一项能够证伪理论的判决性实验（或观察），那么该理论便是“科学的”；假如人们拒绝规定这样的一种“潜在证伪者”，该理论便是伪科学的。但如果这样的话，我们就不是区分科学的理论和伪科学的理论，而是区分科学的方法和非科学的方法了。波普尔论者认为，如果马克思主义者准备规定一些事实，这些事实一旦被发现，就会使他们放弃马克思主义，那么，马克思主义就是科学的。如果他们拒绝这样做，马克思主义就成了伪科学。有什么可能事件将使马克思主义者放弃自己的马克思主义，向马克思主义者提出这样的问题总是有趣的。如果他虔信马克思主义，那么他必然会感到规定一种可以证伪马克思主义的情况是不道德的。因而，根据我们是否准备规定可以反驳一个命题的可观察条件，该命题或许僵化为伪科学的教条，或许变成真正的知识。

那么，波普尔的可证伪性标准解决了科学与伪科学的分界问题吗？没有。因为波普尔的标准忽视了科学理论明显的坚韧性。科学家的脸皮很厚，他们不会只因为事实与理论相矛盾就放弃理论。他们通常发明某种挽救假说以说明他们届时称为只是一种反常的东西，如果不能说明这一反常，他们便不理睬它，而将注意力转向其他的问题。注意，科学家谈论的是反常、顽例，而不是反驳。当然，科学史充满了理论如何被所谓的判决性实验所扼杀的说法。但这些说法是理论被放弃之后很久才杜撰出来的。假如波普尔问牛顿派科学家，在什么实验条件下他将放弃牛顿理论，某些牛顿派科学家就会像一些马克思主义者一样不知所措。

那么，什么是科学的标志呢？难道我们不得不投降并赞同科学革命只是一种信念的非理性变化，是一种宗教的皈依吗？杰出的美国科学哲学家汤姆·库恩在发现了波普尔证伪主义的朴素性之后得出了这个结论。但是，假如库恩是正确的，那么科学与伪科学之间就没有明确的分界，科学进步与知识退化就没有区别，就没有客观的诚实性标准。那么，他能够提出什么标准以区分科学进步与知识退化呢？

最近几年，我一直在倡导科学研究纲领方法论，它解决了某些波普尔和库恩所未能解决的问题。

首先，我主张典型的描述重大科学成就的单位不是孤立的假说，而是一个研究

纲领。科学决不是试错法、一系列的猜测与反驳。“所有天鹅都是白的”可以由于发现一只黑天鹅而被证伪。但这种不足道的试错法算不上是科学。例如,牛顿科学决不是四个猜测——力学三定律和万有引力定律——的组合。这四个定律只构成了牛顿纲领的“硬核”,而一个巨大的辅助假说“保护带”顽强地保护这一硬核使之不致遭到反驳。更重要的是,牛顿研究纲领还有一个“启发法”,即一种有力的解题手段,借助于复杂的数学技术以消化反常,甚至把反常变成肯定的证据。例如,如果一颗行星的运行出现了反常,牛顿派科学家就会检查他关于大气折射的猜测、关于光线在磁暴中传播的猜测以及成百上千的其他猜测,这些猜测都是牛顿纲领的组成部分。他甚至可以发明一颗迄今不为人知的行星并计算出它的位置、质量和速度以说明行星运行的反常。

牛顿的万有引力理论、爱因斯坦的相对论、量子力学、马克思主义、弗洛伊德主义都是研究纲领,它们各有一个受到顽强保护的独特的硬核,各有自己较为灵活的保护带,并且各有自己精心考虑的解题手段。这些研究纲领在自己发展的任何阶段上,都有未解决的问题和未消化的反常。从这一意义上说,所有理论之遭受反驳是与生而来、随死而去的。但所有这些研究纲领都是同样好的吗?直到现在我还是在描述研究纲领是怎样的东西,但怎样才能区分科学的或进步的纲领与伪科学的或退化的纲领呢?

与波普尔的观点相反,它们之间的区别不在于有的纲领尚未遭到反驳,而其他的纲领已经遭到反驳。当牛顿发表他的《原理》时,它甚至不能适当地说明月球的运动,这是众所周知的,事实上,月球的运动反驳了牛顿。就在爱因斯坦相对论发表那一年,杰出的物理学家考夫曼就反驳了相对论。但我所钦佩的所有研究纲领都有一个共同的特点,它们都预测了新颖的事实,这些事实要么是先前的或竞争的纲领所梦想不到的,要么是实际上与先前的或竞争的纲领相矛盾的。例如,当1686年牛顿发表他的万有引力理论时,关于彗星有两种流行的理论。其中较为流行的一种理论认为彗星是上帝愤怒的信号,预示他要打击人类并使人类遭难。另一个鲜为人们所知的开普勒理论认为,彗星是沿直线运行的天体。现在,牛顿理论认为,有一些彗星沿

水星运动的反常与天王星运动的反常几乎同时由勒威耶发现。勒威耶从天王星的反常运动预言了海王星,证实了牛顿的引力定律。但是同样按照牛顿力学预言的水内行星却不存在。水星运动的反常最终成为牛顿力学失效的证据。

月球的运动非常复杂,牛顿不能适当说明月球运动的全部细节——事实上后来在牛顿力学基础上建立的完善的月球运动理论,能说明其运动的主要部分。拉卡托斯在这里说“月球的运动反驳了牛顿”有点夸大其词。事实上当时没有一种理论能比牛顿理论对月球运动作出的解释更好。

双曲线或抛物线运行,永远不再返回;另外一些彗星沿普通的椭圆轨道运行。按牛顿纲领从事研究的哈雷,观察了一颗彗星的一段轨道,据此计算出它将在72年的时间内返回,计算出它再次出现在天空某个明确规定的点上的时刻,精确至分钟,这是难以置信的。但72年之后,牛顿和哈雷都去世很久了,哈雷彗星正像哈雷所预测的那样再次出现了。同样地,牛顿派科学家还预测了过去从未被观察到的小行星的存在及其精确的运行轨道。让我们再以爱因斯坦的纲领为例。爱因斯坦作出了惊人的预测,如果在晚上测量两颗恒星之间的距离,并且再在白天测量这两颗恒星之间的距离(在日食的时候可观察到它们),两次测量的结果将是不同的。在爱因斯坦的纲领之前,没有人想到过作这种观察。因此,在一个进步的研究纲领中,理论导致发现迄今不为人们所知的新颖事实。相反,在退化的研究纲领中,理论只是为了适应已知的事实才构造出来的。牛顿的纲领导致新颖的事实;而马克思主义的纲领落后于事实,并正在迅速奔跑以赶上事实。

总之,经验进步的标志不是微不足道的证实:波普尔正确地指出,这种证实当以百万计。掷石坠地,这无论重复多少次,也不是牛顿理论的成功。但波普尔所鼓吹的所谓的“反驳”也不是经验失败的标志,因为所有的纲领永远都是在大量的反常中成长的。真正重要的是戏剧性的、出乎意料的、惊人的预测:这种预测只要有几个就足以改变局面;一旦理论落后于事实,我们所论述的纲领就可悲地退化了。

那么,科学革命是怎样到来的呢?假设我们有两个竞争的研究纲领,一个是进步的,而另一个是退化的,科学家们倾向于参加进步的纲领,这就是科学革命的基本原理。但是,尽管公开竞赛记录是知识诚实性的问题,坚持一个退化的纲领并试图把它转化为进步的却不是不诚实的。

与波普尔相反,科学研究纲领方法论并不提供即时的合理性。必须宽厚地对待年轻的纲领:研究纲领可能需要几十年的时间才开始发展并成为经验上进步的纲领。批评并不是像波普尔所说的那样通过反驳很快地扼杀一个纲领。重要的批评总是建设性的:没有一个更好的理论,就构不成反驳。库恩认为科学革命是突发的、非理性的视觉变化,这是错误的。科学史驳斥了波普尔,也驳斥了库恩:仔细地观察一下就会发现,无论是波普尔的判决性实验还是库恩的科学革命,其实都是神话:通常发生的情况是进步的研究纲领取代退化的研究纲领。

科学与伪科学的分界问题对批判的制度化也具有重大的意义。哥白尼理论在1616年被天主教会所禁止,因为据说它是伪科学。1820年天主教会从禁书录中解放了哥白尼理论,因为这时教会认为事实已证明了哥白尼理论,因而它成了科学的。1949年苏联共产党中央委员会宣布孟德尔遗传学是伪科学,并在集中营中处死了孟德尔遗传学的拥护者,如瓦维洛夫院士;处死瓦维洛夫之后,孟德尔遗传学被恢复了名誉。但党仍然持有决定什么是科学,可以发表,什么是伪科学,应该

惩处的权利。西方的新自由派势力集团同样对它所认为的伪科学行使否定言论自由的权利，就像我们在关于种族和智力的辩论中所看到的那样。所有这些判定都不可避免地取决于某种分界标准。这就是为什么科学与伪科学的分界问题不是一个书斋哲学家的伪问题的原因：它有着重大的伦理意义和政治意义。

T. S. 库恩

由于革命而进步

选自《科学革命的结构》第八章 库恩著 李宝恒、纪树立译，
上海科学技术出版社 1980 年。

导读

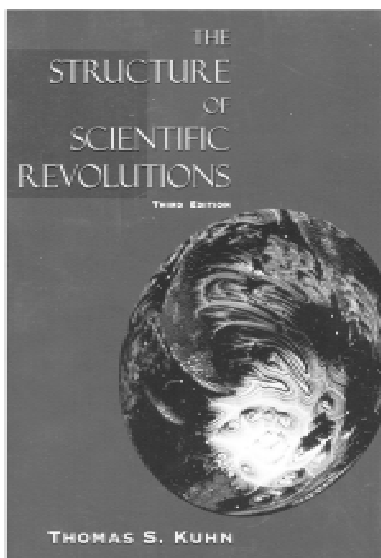
库恩 (Thomas Kuhn 1922—1996)出生于美国辛辛那提。1949 年从哈佛大学获得物理学博士学位 ,然后留校任科学史助教。1956 年接受加州大学伯克利分校一个教职 ,1961 年成为该校科学史教授。1964 年被任命为普林斯顿大学泰勒·派因 (Taylor Pyne)科学史与科学哲学教授 ,1979 年为麻省理工学院科学史与科学哲学教授 ,1982 年荣获乔治·萨顿 (George Sarton)勋章 ,1983 年被任命为麻省理工学院劳伦斯·洛克菲勒 (Launce S. Rockefeller)哲学教授。

在库恩出版的著作和发表的无数文章中 ,以《科学革命的结构》最为著名 ,写作该书时他还是哈佛大学的理论物理研究生。库恩在书中提出科学知识的获得不是稳定的、积累性的 ,相反 科学的进步是一系列平静期中间穿插了一系列剧烈的变革期 ,经历这样的突变之后 ,一个全新的范式取代了旧的范式。这一关于科学进步的理论在科学哲学界、科学界引起强烈反响 ,吸引了一大批追随者的同时 ,也招来不少反对意见。

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作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”这个名词在很大程度上是留给确实明显进步的那些领域的。对于这一点 ,任何地方都没有关于

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。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因为什么。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



《科学革命的结构》三版封面

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像比方说物理学那样向前进展呢?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一致的时候。例如,经济学家们对他们的领域是不是一门科学比社会科学其他一些领域的工作者争论得较少,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?

这个问题有一个反面,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。像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

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 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. 克拉克特编(麦迪逊,威斯康辛,1959年,英文版),第33—65页。

术”这个术语继续同样地用于技术和工艺,它们像绘画和雕刻一样,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,这种分裂才呈现像它现在这样的深度,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。

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我们对科学活动和从事科学的团体之间的正常的关系。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像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,请问为什么像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,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。如果我们像许多人所做的那样,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回避问题,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,进步才好像既是明显的,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,但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,只有接受了一个共同的规范,并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。这会不可避免地确实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,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工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,允许个别科学家把注意力集中于他有充分理由相信有可能去解决的那些问题。科学家不像工程师、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性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,靠接受其他艺术家主要是较早的艺术家的作品的影响获得的教育。除了原始创作简编或手册以外,教科书具有第二位的作用。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。

这种形势可以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,直到第三或第四年做毕业论文时,才开始自己的研究工作。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的补充读物,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读牛顿、法拉第、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和僵化。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完全是训练有素的。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——通常是一位年轻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?那倒不如说就像承认他们已经错了,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,可以确认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者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,像奥威尔的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,文明的那些方面就像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。

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。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,

^① 科学史往往以一种特别惊人的研究式遇到这种盲目性。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。

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,已经足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。现在我们也许认识到,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像是成问题的,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。在科学中就像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。

这个问题暗示解决问题的能力对规范选择来说并非唯一的或者明确的基础。我们已经注意到为什么不能有那种标准的许多理由。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

这里及文中其他地方的“规范”一词似应作“范式”。

学团体和外行的交往都减少。虽然科学在深度上一定增加,但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的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一种不断接近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吗?科学成就的特有标准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年第一次发表他的自然选择的进化理论时,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”被认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,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、进一步明确表达了的、非常专门化的有机体负责。甚至像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的稳定前进。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。

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,就像我们现在设想生物进化所做的那样,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问,为什么进化过程竟然会起作用。要使科学成为可能,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

“进化”一词的中文译法尤其容易引起歧义,合适的译法是“演化”,是物种对环境变化的适应性改变。

① 洛伦·艾斯利:《达尔文的世纪:进化和发现了它的人》(纽约,1958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。

规范改变？以及为什么规范改变总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，这些问题就像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，为了使人们可以了解这个世界，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，它像科学本身一样古老，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，同这里提出的科学的进化观点相一致。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。

杰拉耳德·霍耳顿

关于科学的终结的争论

选自《科学与反科学》第五章，(美)杰拉耳德·霍耳顿著，范岱年等译，江西教育出版社，1999年。

导读

杰拉耳德·霍耳顿 (Gerald Holton, 1922—) 出生于德国柏林，父母是奥地利人，幼年在维也纳上学。1938 年德国吞并奥地利后，流亡英国，在牛津技术学院学习电机工程。1940 年到美国。先在美国卫斯理 (Wesleyan) 大学学习，获文学学士和硕士学位，1943—1945 年间在哈佛大学的战时实验室工作；后在物理学家布里奇曼指导下从事高压物理研究。1948 年获博士学位以后，一直在哈佛大学任教。1975 年起，担任哈佛大学马林克罗德讲座的物理学教授和科学史教授。1976—1994 年兼任麻省理工学院客座教授。曾任美国科学史学会理事、主席，美国物理学会理事、物理学史分会主席，美国文理科学院院士，国际科学史和科学哲学联合会美国国家委员会主席，美国国家科学院美中学者交流委员会委员。著作有：《物理科学的概念和理论导论》(1958)、《科学思想的基旨渊源——从开普勒到爱因斯坦》(1973, 1988)、《科学的想象：案例研究》(1978)、《科学进步及其责任》(1986) 等。曾荣获密立根奖章、乔治·萨顿奖章。

霍耳顿主要从事 20 世纪物理学思想史的研究。他于 60 年代提出了一个有助于理解科学思想发展的新概念——科学的“基旨”要素。他认为正统的科学哲学只考虑经验事实的现象维和逻辑推演的分析，而忽视了信念、直觉、预想、先入之见这些“基旨”要素。这些基旨、预想对于科学思想是无可避免的，但它们本身既不能被证实，也不能被否定，是一种形而上学的要素。他要求对科学历史事件进行研究时，要研究事件发生时期公众掌握科学知识的状况及其变化的时间轨迹，研究事件的主角科学家的科学知识状况及其变化的时间轨迹，研究科学家的心理传记、事件发生的社会环境、科学以外的文化发展、科学家的哲学世界观和认识论，并对科学家的基旨进行分析。这样，霍耳顿的科学

思想史研究就突破了内史研究的框架,而与外史(社会史)研究相衔接了。

在本文所选自的《科学与反科学》中,霍耳顿用案例研究和基旨分析方法,研究了马赫和维也纳学派的实证论和逻辑经验论哲学以及他们的科学世界观在美国传播的历史,马赫同爱因斯坦在哲学观点上的分歧,爱因斯坦和玻尔的科学修辞学的比较,杰斐逊的科学研究纲领和科学政策,从施本格勒到近一二十年来有关科学的终结的争论以及在欧美公众中的反科学现象。该书的研究领域,从物理学史扩展到科学哲学史、科学修辞学、科学政策以及反科学的社会现象,使他的科学史研究同科学哲学和科学社会学的研究更密切地关联起来。

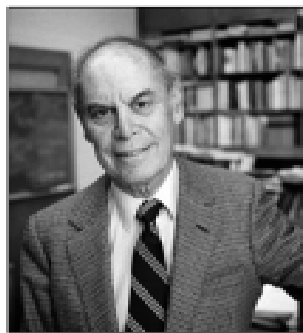
在本书所选的第五章中,霍耳顿讨论了关于科学终结的争论。霍耳顿首先介绍了近十多年重新兴起的有关科学的终结的争论中的两种主要的对立观点:一种观点认为科学的发展呈循环的状态,最终要衰退,要终结;一种观点认为科学的发展基本上是稳定地、线性地增长的,最终要结合成首尾一贯的理解一切自然现象的整体。接着他又指出这类争论过去已出现多次。

他把施本格勒(1880—1936)作为第一种观点的代表,把爱因斯坦作为第二种观点的代表。施本格勒在他1918年发表的《西方国家的没落》中论述了西方国家、西方文明都将没落,西方科学的内部癌症将杀死科学。他在1931年发表的《人和技术》中更预言东方国家最终将征服西方国家。爱因斯坦在他1918年发表的《探索的动机》以及以后的论著中指出:尽可能地对宇宙作出最好的客观描述,使所有科学门类最终统一的总的计划,变成一个目标、一个使命,人们可以朝着这个目标迂回曲折地前进,但它没有终点。

霍耳顿还介绍了纽拉特、普特南(1926—)把科学看作是在海上航行的船上的海员在修建船只。这是反基础论观点,他们否认科学有最终的、稳固的基础。但他们都主张科学将不断进步,不会终结。最后,霍耳顿还介绍了介乎两种对立观点之间的其他观点——多元论和层次论。多元论者认为科学既有追求统一的倾向,也有追求差异性、独特性的倾向。分久必合,合久必分。不管怎样,都不会终结。层次论认为,不同的物质结构层次会突现出新的规律。那么,科学也不会终结。

甚至当科学声称在实现它的统一理解所有自然现象的目标方面取得前所未有的伟大成功之时,反对的力量一直聚集在实验室之外,力图否定我们所了解的科学的合法性。在近代史的不同时期,这种对科学在文化中的作用的挑战曾采取不同的形式,但它的根源是古老而又强壮的。

人们可以在思想和行动上作出怎样的反应呢?存在着有用的先例。本章集中注意两种主要的、基本宗旨上对立的观点之间的对抗:一种观点主张科学按其本



霍耳顿

性最终要衰退 ;另一种观点论证说 ,科学最终注定要结合成前后一贯的理解一切自然现象的整体。

对今天的大多数科学家而言 ,第一种观点似乎太不合理 ,不值得认真对待 ;他们都不太注意一些当前流行的著作 ,这些著作声称 ,科学 ,在传统上是新的见解、物质进步和思想解放的持续的源泉 ,现在可能要结束了——达到它的终结——不仅仅是承认科学的力量有其局限性 ,这些局限对科学家们整个儿说来是十分明白的。^①

但对科学史家而言 ,关于科学可能衰退和死亡的争论 ,既不是一种矛盾也不是什么新鲜事儿。这种思想在过去已有人提出了许多次。举一个例子说 ,在 19 世纪末 ,许多新问题不能用当时已流行的机械论作为基础的物理学来解决。欧洲科学家爱弥尔·杜·布瓦-雷蒙在失望之中写道 ,科学终于遇到了理解所不能突破的壁垒 ,对于这些壁垒之外的东西 ,我们将总是一无所知。“人永远是无知的”(Ignorabimus)的呼声高扬起来 ,并且立即转变为激动人心的口号“科学破产了”。这种论调很快传播开来 ,并得到某些科学哲学家的鼓励。这些科学哲学家要求科学家应当能够通过他们的研究发现现象后面最终的形而上学的实在。当推测可能要破产了的科学突然产生了像量子论和相对论这样的进展时 ,整个流行病就停止蔓延了。

既然我们可以料到这种对科学会终止的思想的迷恋会持续地反复出现 ,我们的任务就是要知道怎样最好地从整体上来思考这个题目 ,怎样来设想科学最后终结的可能性。这里历史将帮助我们。因为除了少数例外 ,实际上所有关于这个结果的提议 ,都是由两个基本宗旨思想之一或另一个来促成的。

一种思想认为 ,科学是沿着曲折的路线演化的 ,但在总体上是上升的。它承认偶尔有停滞状态 ,甚至暂时的下降 ,但它也看到指数增长的高速发展。所以 ,平均起来 ,在科学知识的状况中 ,在于它的会聚、它的内部的一致性、它的预测的精确

^① 例如 ,1989 年 10 月举行的第 XXV 次诺贝尔会议在给会议参加者的邀请信中包含了如下的有关会议事项安排的几段话 :

“当我们研究我们今天的世界 ,有一种不愉快的感觉 ,即我们已到了科学的尽头 ,科学作为一种统一的、普遍的、客观的事业 ,已成为过去。甚至认为 ,科学是一种新近形成的联盟这种共同看法 ,一种导致宏大的科学方法论的共同看法 ,也分崩离析了。

“我们开始把科学设想为一种更主观和相对主义的计划 ,是来自社会意识形态和态度——例如 ,马克思主义和女性主义——而又在它们的影响下运作。这导致严重的认识论问题。如果科学不谈历史之外的、外部的、普遍的定律 ,而只谈社会的、世俗的和地域的东西 ,那么就没有方法谈科学后面的某种真实的东西 ,即科学所反映的东西。”

在同一种精神下 ,1991 年 12 月在麻省理工学院举行了一次会议 ,主题是“进步：一种在危机中的观念和信念” ,邀请信评论说 ,“进步的观念”是“在对理性和物质进步的信念的基础上陈述的。这两个信念的价值和有效性现在都受到严重的怀疑。正是这种形势产生了信仰危机”。

性、它对自然常数值的改进等方面或多或少是稳定地增长。在那种统一的科学 (Gesamtwissenschaft) 鼓舞着马赫的学派及其后继者的时代,所有这些增长意味着进化。对立的观点认为,科学的理解上升一段时间,但是然后又下降和衰退,呈现一种循环的状态。人们可以称第一种观点的追随者为“线性论者”,他们的背景往往是实际上从事自然科学研究的人。他们把科学看成主要是自主的活动,不是首先靠外力的推动。在他们的著作中呈现出来的科学的典型形象是一条前进中的河流系统,分出支流后来又汇合起来,最后通向对自然界的某种整体论的理解。

另一方面,“循环论者”往往把科学设想成不是有目的导向的、进步的、累积的活动。他们倾向于把他们的科学循环的形象奠基于一个生命机体的生物学比喻上,它从孩提时代发育成长为青年,再成为老年直到死亡,或者是有密切关系的政治比喻,一个革命时期,接着是一个常规时期,接着又是另一场革命,导致另一个不可通约的状态——是心灵的阵发或变化的序列,完全不肯定有可证明的进步。循环论者在社会科学家和历史学家中更为常见,而且,同线性论者相反,他们认为科学明显地或者甚至主要地由社会过程所推动。在极端的情况下,他们认为科学就是某种一般时代精神的表现,或者甚至主要是“社会建构”的产物,在本质上同弈棋的游戏没有什么区别。

一般讲,对于这种基本宗旨上对立的观点,人们不能期望通过某种简单的检验来决定赞成一种观点,并反对另一种观点。尤其是,它们对应于并且可能来自两种十分对立的有关人类命运的基本看法——对于循环论者是默认物质躯体的不可避免的衰亡,对于线性论者则断言超越循环、“跳出”循环是可能的。这里可能同宗教史学家所熟悉的不同的时间观念有一种共鸣的联系,就是说,在基督教有关历史时间的解释中暗含着线性的发展,而与此相对立,在东方宗教和神话的时间观中,则暗含着循环的变化。我们在这里的目的不是要作这样一种分析,而是,我们将试图通过举出每一方的最雄辩的倡导者的论据来公布这两个剧本。接触一下两个有趣的心灵可能有助于人们更好理解在理智层次上,这个所谓的科学的终结问题究竟是为了什么。

在我们被上面两种观点中的任何一种迷住了之前,我们至少应该抽一点儿时间来认出在周期性地要求终止科学后面更有感情基础的动机。它们不是对如果持续的科学研究真正终止之后,生活将会是什么样子这个问题作出理性评估的结果。因为在这样的条件下,人类不会仅仅是顺利地安顿下来过简单朴素的生活,如同在某个波利尼西亚^①的天堂,或者回到农业的伊甸园。相反,人类可能面对几乎难以想象的灾难,因为我们的地球并非处于平衡状态,而现代的知识不足以保证可持续的未来。但是,导致背离理性的主要动力是一种很深的恐惧心理,即害怕自哥白尼

① 波利尼西亚 (Polynesia) ,指中太平洋的群岛。——译者注

以来空前的、日益加快的科学进展的序列,害怕它们所具有的解放作用,它们已经剥夺了大部分人口某种自信的本能基础,把这些东西作为迷信扫到一边。同时,科学通过技术手段增加了我们暴力的本能会使我们自身遭受破坏的规模和潜力。这些当然是正当的忧虑。而学者和科学家们正严肃认真地指出这些忧虑。

关于思考科学命运的循环学派的思想基础的最直接的洞察,或许可以通过下面这部著作来达到。这部书由一位不著名的、贫穷的德国中学教师花了十年的劳动而完成的,至今仍是最吸引人和耸人听闻的著作之一。该作者当时才三十多岁,有一个古希腊数学的博士学位,并具有百科全书式的雄心。这1200页的巨著大部分是在第一次世界大战时的烛光下写成的,对全部历史的过去和未来的过程提供了一个条顿式的理论,其中点缀着戏剧性的预测,有相当一部分荒谬的思辨和某些敏锐的洞察。但是他的这部书的引人注意的总的结论早已由它原来的书名《西方国家的没落》(Der Untergang des Abendlandes)揭示了,也就是西方文明(包括它的科学)的衰退、消亡。以后的英文版只给出了一个不完全的书名《西方的没落》(The Decline of the West)。^①作者的名字当然是奥斯瓦尔德·施本格勒。

这部难以理解的著作发表于1918年7月,正当可怕的大战渐渐地接近它的苦难的终点。这部著作是一种即时的感受,一种不可抗拒的挑战。有关它的争论科学家也参与了,一共持续了几十年。^②历史学家H. 斯图尔特·休斯在他的关于施本格勒的批判性研究中评论说,尽管有它的所有缺点,而且甚至正是由于有这些缺点,“这部书仍然是本世纪最重要的著作之一,它最接近于我们的时代基调”。^③而且确实我们在其中找到了当今议论的荒唐和极端的语言的前驱,从阿诺德·汤因比(施本格勒的直接后继者)的著作中,从西奥多·罗斯扎克、查尔斯·赖克的著作中,从刘易斯·芒福德的最后的几本书中(他承认受惠于施本格勒),从所谓新时代作家中,甚至从若干有关激进女性主义科学的作者以及第六章中指出的反科学运动中,都会看到这种熟悉的语言。

施本格勒的关键观念是,对于人类的每一部分,每一个时期,历史基本上取同

① 我将以下列文献作为分析的根据,引文也引自它们:Oswald Spengler, Der Untergang des Abendlandes: Umrisse einer Morphologie der Weltgeschichte, vol. I, Gestalt und Wirklichkeit (Vienna, Leipzig: Wilhelm Braumüller, 1918); Spengler, Der Untergang des Abendlandes: Umrisse einer Morphologie der Weltgeschichte (Munich: C. H. Beck, 1980),它在修订版中包含了 vol. I, Gestalt und Wirklichkeit 和 vol. II, Welthistorische Perspektiven (原版于1922年); Spengler, The Decline of the West, vol. I (New York: A. A. Knopf, 1926), and vol. II (1928); Spengler, Der Mensch und die Technik: Beitrag zu einer Philosophie des Lebens (Munich: C. H. Beck, 1931),译为 Man and Technics: A Contribution to a Philosophy of Life (New York: A. A. Knopf, 1932); Spengler, Briefe, 1913—1936 (Munich: C. H. Beck, 1963),译为 Letters of Oswald Spengler, 1913—1936 (New York: A. A. Knopf, 1966)。

② M. Schroeter, Der Streit um Spengler: Kritik seiner Kritiker (Munich: C. H. Beck, 1922),和 Schroeter, Metaphysik des Unterganges (Munich: Leipzig Verlag, 1949)中总结了争论的某些方面。

③ H. Stuart Hughes, Oswald Spengler: A Critical Estimate (New York: Charles Scribner's Sons, 1952), PP164—165。

一过程,遵循同样的形态学。并且从那个不可避免的过程自然地得出特殊的活动形式,不管是社会的、政治的、文学的、艺术的、心灵—宗教的活动形式,还是的确的科学活动形式。人类的每一种伟大的文化——例如,古印度文化、中国文化、阿拉伯文化和古典希腊—罗马文化——不仅与我们的西方文明同样有效和显赫,而且每一种都是具有类似结构的戏剧。那就是说,每一种都经历同样类似季节性的循环,从它的初春到在它自己的冬天的最终葬礼。因此,在西方,我们自己的不可避免的命运就是要按照可从已有的先例算出的时间表走向死亡。施本格勒说,我们的时代不是相当于雅典的培里克里斯时代^①,而是相当于在残暴的恺撒统治下的罗马时代。我们碰巧已非常接近我们这一循环的终点。对我们来说,已不再有希望创造出伟大的绘画、音乐、建筑或科学。他说,我们最好的战略是勇敢地退休并且至少要试图看一眼下一次浪潮的升起,这一浪潮来自东方对西方的胜利。

施本格勒告诉我们每一次循环如何进行,如何从始到终。施本格勒追随尼采宣称,每一次循环的开始是以他称之为太阳神阿波罗的精神为标志的,我们能在古希腊雕刻中看到的引起灵感的独特形体是这种精神的象征。同它一起的是一种世界观,这种世界观注重形态,注重对经验的有机诠释,而不是后来取代它的力学的或数学的诠释。循环的开始是一个沉思的时期,而还不是调查研究的时期,是信仰的时期而不是怀疑的时期,是高艺术的时期而不是称之为仅仅“崇尚科学”的时期。

可是,在这一循环的某个点上,会出现一个阿波罗神和它激活的文化的历史性转变阶段。它让位于它的对立面,所谓的浮士德时期,它开始时带有一种颇为日耳曼式的孤寂的浪漫主义,渴望无限,但渐渐地变得愈来愈理智化了。从而一种文化被改变成为仅仅是一种“文明”。现在重视的是因果观而不是命运观,注意的是因果关系而不是歌德所说的“活的自然”,注意像无限和虚空这类抽象概念而不是你可以感觉到、嗅到的明明白白的土地。在一种文明中,灵魂的优先地位被智力所取代,对人的需要的关心退化为关于钱的争论,数学愈来愈渗遍各种活动,因果性原理被强加在对现象的理解上,而自然界被诠释为“科学的反宗教”的汇集中一些定律的网络。

对欧洲的古代世界,从文化向文明的过渡在4世纪完成,施本格勒提出,对于我们西方社会的循环,19世纪末开始了同样的过渡。如果像在过去的几次循环中那样,我们所处的阶段不会突然终结。它将苟延残喘一段时间。我们在世界政治中也进入了最后阶段,其标志就是用赤裸裸的“权力意志”来取代“国家公仆的思想”。正如尼采所预测的那样,我们的世纪是专制统治的世纪,是渴望武器的恺撒为统治世纪而斗争的世纪——甚至在后台,一种全新的文化正在为占领阵地作准备。

^① 培里克里斯 (Pericles) 是雅典的政治家,培里克里斯时代 (约公元前 495—前 429) 是古雅典文化的鼎盛时期。——译者注

我们特别感兴趣的是施本格勒的忧郁的戏剧,其中科学扮演一个关键性的角色。施本格勒告诉我们,科学中的浮士德要素由物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹的著名自白简要地阐述了,他写道:“自然科学的最终目的是要发现所有变化下面的运动,以及它们的动力,那就是说,把全部自然科学分解成为力学。”这种愿望不仅仅是想在多中找到一的普遍渴望的表达。施本格勒更明确地指出,在我们的科学中“看到的自然图像[转化]为想象的关于一个单个的数值上和结构上可以度量的秩序的图像”。如果他是在今天写的话,施本格勒或许会把他的引自亥姆霍兹的话用物理学家利昂·莱德曼新近的一段话来取代,莱德曼被当前物理学家中统一纲领的成功所鼓舞,冥想现在科学的目的是把一些支配一切自然现象的定律简化为一个可以在T恤衫上写出的方程。

接着施本格勒介绍了他最惊人的思想,它新的外衣下也已为人们所熟悉。他警告说,文明的冬天阶段的特征正是当高科学在它自身的领域中最富有成果的时候,正是它自己的破坏行为的种子开始发芽的时候。这有两点理由:科学既在它的学科范围之内也在它的学科范围之外丧失了它的权威,而在科学自身的内部升起对立的、自我破坏的要素最终将毁灭它。

他说,科学在它的实验室之外丧失它的权威很大一部分原因是由于倾向于把只适用于自然宇宙的思考技术不自量力的误用到历史领域。施本格勒认为,科学分析的思想风格,即“推理和认知”,在人们实际上只需要“直觉感知习惯”的领域失败了,他把这种“直觉感知习惯”等同于阿波罗之灵和歌德的哲学。

但是,施本格勒补充说,即使在自然宇宙内,也有来自科学自身王国之内的对科学权威的攻击。因为每一种观念,甚至在科学中的观念,归根结底是“拟人化的”,而且每一种文化把这种负担纳入关键观念和对它自己的科学的检验之中,从而科学就成了受文化制约的幻觉。

例如:“形式的观念属于古典的[循环],可见实体或秘密的属性的思想属于阿拉伯的,我们的力和质量观念属于浮士德。”特别是,近300年来的浮士德物理学已经是一种动力学的物理学和“实验方法”的物理学,这二者,施本格勒说,都是权力意志的例证,它使一个民族在文明阶段雄心勃勃,这时“不仅要询问或者说服自然而且要强迫自然”。他认为,本世纪我们大家都匆促追随实证的科学成就只是掩盖了如下的事实,即正如在古典时期那样,科学再一次注定要“用它自己的剑自刎”,从而为未来的世界观让路,他称这种世界观为“第二种宗教”。确实,在他的循环理论指导下,施本格勒告诉我们,“有可能预见西方科学将到达它的进化极限的日期。”而且在施本格勒的书末尾的一张方便的编年表中,他允许我们同时看到他的千年根基并找到那个决定命运的日期。这就是2000年。

人们往往从科学词汇中抽出几个来不作具体了解就对之展开大胆的推论,譬如,看到“概率”、“测不准”这类概念就推论到认识论层面的非决定论,而无视这些物理概念被严格规定的适用条件。

确实,在施本格勒的心目中,科学中衰退和瓦解的迹象在1918年就已经明朗了。他说,物理学已受到一种“毁灭性怀疑”的感染,“迅速增加使用统计方法,只追求结果的概率,而事先放弃绝对的科学严格性(这是有希望的上一代人的信条)”表明了这一点。——注意在新近有关科学的酒神式著作中对此也多么熟悉。建立一门自足并自给的力学的可能性必须放弃,因为“方法论上的认知者中的活人侵入了已知的无机形式的世界”。此外,相对论的无情地玩世不恭的假说(他这样称呼它)击中了动力学的真正核心。量子观念被认为是具有同样破坏性的。施本格勒补充说,“今天这么快地建立了假说的纸牌房子,每一个矛盾立即被一个新的匆促提出的假说所掩盖”,对此他真感到担心,所以,放弃对精确性的绝对性的追求,采纳概率主义,已从内部削弱了科学的基础。例如,我们无法确定放射性材料样品中哪个原子在以后的某个时刻衰变,是现代科学的直接的致命伤。似乎取代因果性观念的命运观已被无意地引入自然图像之中。

施本格勒还说,然而现代科学自找毁灭的另一个终极因产生于它倾向于理论、倾向于符号定向。因为正在发生的事情是所有独立的学科都在汇聚成一门科学,一种在科学的冬天还原为“少数伟大的公式”所表征的“融合”。但是,具有讽刺意味的是,正是这种倾向现在已使我们正好回到每一种新文化开始时期最初和最简单的活动,这种活动总是它的原始宗教精神的一部分:这就是,全神贯注于数字的规则性。数是最早的宗教信仰和礼仪一部分,在每一种信仰中,例如在微观宇宙同宏观宇宙的关系这类神圣概念中,或者在建立史前结构以服务于宗教礼仪和天文学的过程中,都出现数字神秘主义。

他又说,如我们所知,所有这些内部癌症,将很快杀死科学,而归根结底,我们将发现人类作为一个整体从来就不要分析和证明,而只要信仰。这就是他们所说的这种精密科学三个世纪以来的狂欢放纵,同西方文明中其他有价值的东西一道,正在走向终结。确实,在这种最终的行动中正在上升的唯一活动是经济学、政治学和技术。像是一种后记,在他后来的著作《人和技术》(1931)中,施本格勒补充了他的意见,即先进的技术同它不计后果的不断增生的产品最终也将暗中破坏西方社会,因为按照他的异乎寻常的预测,科学和工程教育将要失败,在形而上学

方面穷尽了的西方教学水平将不足以维持技术的进步。科学—技术的吸引力正在消失。“浮士德的思想开始对机器感到厌烦了……而正是最棒的有创造力的天才正在背离实际问题和科学……每一个大企业家都有机会看到他吸引的新雇员的智力品质的下降。”同时，以前被过分剥削的人种，“已经赶上他们的老师”并已经开始超过他们，“锻造了针对浮士德文明的心脏的武器”。非白种人国家将采用技术工艺转过来利用它们来反对白人发明者。施本格勒的评论者之一简单地总结施本格勒 1931 年的预言：“他们已经能够廉价出售西方工业的产品。最终他们将征服西方国家本身。”^①

这位科学终结运动的祖先就是这样说的。显然很容易在这部著作中找到一些具体的缺点，就像在今天喧嚷不休以引人注意的衍生版本一样。从这些缺陷中最突出的缺陷，人们不能不看到有黑格尔和马克思的辩证法的走样了的翻版，更具体地看到施本格勒和他的继承人常有的对科学的基本误解。例如，使用概率和量子因果性并不是放弃全部因果性本身。熵的概念并不如他所想那样不可避免地导致宇宙的热寂。个人的主观性并不剥夺科学对全部客观性的要求。如此等等。尤其是，施本格勒是真正的 19 世纪的思想家，他不能预见科学的几乎每一个方面的急剧国际化，即使西方文明在某种深刻的意义上最终衰退了，而某些其他的文化取代了它，仍可以有把握地打赌，在回到全面的原始主义不久，新的学校又将讲授欧几里得几何、哈维的血液循环、牛顿的动力学、爱因斯坦的时—空、诺伯特·维纳的控制论和沃森—克里克的双螺旋。这些轮子不能不被发明。

另一方面，人们必须把敏锐地坚持在科学和宗教之间，在它们的源头方面有一种隐蔽的联系这一点归功于施本格勒，尽管他称科学有“反宗教性”。而施本格勒的循环论见解中特殊的、不流行的观点同一个很不同的人的著作中的观点有某种类似。实际上我们现在已选择这个人作为对立的、科学命运线性观的代表。为此目的，人们可以转向其他科学家的著作，例如约翰尼斯·开普勒或者汉斯·克里斯琴·奥斯特或者尼耳斯·玻尔的著作。但是更适当的是选择一篇也是在 1918 年发表的文章作为线性论者的范例。这篇文章发表在施本格勒的书出版的几个月之内，作者几乎同施本格勒同年，而且他那时候也仍然是一个在他自己的圈子之外并不知名的人。这篇论文原来是庆祝麦克斯·普朗克 60 寿辰的一篇讲演。而施本格勒刚发现普朗克的工作对科学是毁灭性的。年轻的讲演者的名字是阿尔伯特·爱因斯坦，施本格勒也挑选出他的工作作为科学瓦解的一个象征。

^① Hughes, Oswald Spengler, P121.

这里的“讲话”指爱因斯坦在柏林物理学会举办的纪念普朗克60岁生日演讲会上的演讲。

爱因斯坦在欧洲历史中的黑暗时期登上历史舞台,他用一个形象的比喻开始他的简短但令人难忘的讲话:^①“科学的庙堂是一座有许多不同的厢房的巨大建筑物。”在其中,有许多人爱好科学出于显示他们非凡智力的快感,另外一些人则是为了短期的功利目的。但是令人高兴的是,还有少数人他们从事科学研究仅仅是因为深深地渴望知识本身。是什么东西把这少数人引入科学庙堂的呢?他们从事科学研究有两个动机。一个是消极的——渴望逃避“日常生活中令人厌恶的粗俗和使人难受的沉闷,是要摆脱人们自己反复无常的欲望的桎梏”。

但是也有积极的动机。“人们总是以适当的方式形成一个简化的和容易领悟的世界形象,一幅世界图像”,一种关于经验的世界如何相互一致的前后一贯的见解,“通过试图在某种程度上用这种形象来取代经验世界(叔本华的一个概念),并来征服它。这就是画家、诗人、哲学家和自然科学家都按自己的方式所做的事情。各人都把他的或她的感情生活的重心放到这种形象及其构成中去,以便由此达到他在个人经验的狭小范围里所不能找到的和谐和宁静”。

物理学家正在建造的世界图像仅仅是其他可能的图像之一。但“它要求在描述各种关系时的严格精确性”。因此,物理学家必须满足于首先研究一个理想化的世界,例如在那里所有的摩擦力都可以忽略不计。“这允许他去描绘我们经验可以接近的最简单的事件。”真实世界的更为复杂的现象是不能立即以必要程度的逻辑完备性和精确性来研究的。因此,在研究问题的开始,科学家力求“高度的纯粹性和明晰性,但以牺牲完整性作为代价”。

这种简化的还原论——对此,从歌德经过施本格勒到今天的浪漫主义的批评家,是如此坚决地反对——只是爱因斯坦科学进步理论的第一个初步的阶段。他继续说,历史教导我们,一旦世界的形象在简化的基础上成功了,其结果至少在原则上可以推广到每一种自然现象,在它的复杂性和完整性方面,全都和实际发生的一样。还原论只是通向永恒的综合的道路上的迂回

^① Albert Einstein, “Principle of Research” (误译,应为“Motivations of Research”)载 Ideas and Opinions (New York: Crown Publishers, Inc., 1954), P224。(中译文见《爱因斯坦文集》第一卷,北京,商务印书馆,1977年,PP100—103。——中译者注)

路线。

这时 ,超越当时德国知识分子的教育 (Bildungs)理想 ,爱因斯坦揭示了他所理解的科学的长期历程 ,即科学的命运 :从普遍定律出发 ,“应该有可能通过纯粹的演绎得到关于每一个自然过程 (包括生命过程在内)的描述——也就是理论 ”。一切精确知识最终统一的前景是最终的目的 ,这也就是爱因斯坦认为科学要力争达到的目的 (Telos)。

我们在这里可以妥善地指出 ,事实上 ,在这期间的年代里 ,在这个方向和在物理力统一的纲领中已作出了巨大的贡献——例如 ,发现很大一部分化学正是真正有效的原子和分子物理的一部分 ;通过 DNA 发现生物科学和物理科学之间的桥梁 ;发现行为状态同一个人的遗传天赋或生化失衡之间的深刻联系。总之 ,现代形式中 ,多中求一的老命题 ,已成为产生诺贝尔奖的题材。这已不再完全是浮士德之梦了 ,他在歌德的戏剧中宣称 ,要么是他获得关于万物的知识 ,要么他必定仍然是一只蛆虫。

还是回到爱因斯坦的讲话。在这一点上 ,他发出警告 ,关于所有科学门类最终统一的总的计划 ,尽管产生空前深刻的洞察并且是一个强有力的动机 ,看来像是不会有很快的或可预见的结果。追踪科学进展的迂回曲折的路线是没有终点的 ,我们的手中可以有无限多的任务。一个理由是 ,不管我们取得的所有成功是多么巨大 ,我们确实没有一个可靠的方法或有把握的算法 ,因为我们必须靠人的可错的思考能力来进行工作。科学的模式远不是冷酷的理性向无情的胜利进军 ,这只在蹩脚的科学教科书中存在。爱因斯坦在这里坦诚地承认 ,他在以后还要一再尝试着去做 ,同当时居统治地位的哲学相反 ,他认为 “要得到 [伟大的]基本定律 ,没有逻辑的通道 ,而只能靠直觉 ”。

当然这并不意味着怎么都行 ,或者科学已经丧失了它的权威 ,并且注定要盲目地从一个发现或理论体系瞎闯到下一个。虽然从经验到理论的基本原理没有逻辑的桥梁 ,因此也没有关于哲学实在论本身有效性的证明 ,但在实践上我们对我们理论的真实性的检验方法。此外 ,有这样一种惊人的事实 ,即在成分非常混杂的科学共同体中有可能取得一致。有迹象表明 ,“经验世界确实唯一地规定了理论体系 ”。即令我们无权先验地预期任何这类对应 ,但我们纳入我们理论的秩序多少能够而且时常引人注目地做到同其他人 (当他们检查我们的预测时)在自然界中找到的秩序相对应。

这为什么可能 ?为什么我们有限的心灵如此经常又如此好地深入到外观后面找出少数普遍有效的定律 ?它怎么能够在现象世界和理念世界之间来来回回找到出路 ?在这一点上 ,爱因斯坦坦诚地承认 ,他没有确定的回答。但这没有使他在沮丧无助之中崩溃。他有一个大胆的建议——我们的心灵受到 “莱布尼兹高兴地称

之为‘先定和谐’的指导。

戈特弗里德·威廉·莱布尼兹,哲学家和牛顿的同时代人,曾经假设,我们有发现关于物体的规律的能力,是上帝创造的宇宙中两种独立存在的东西(精神和物质)统一的一个方面。两者中的每一个都遵循它自己的规律,但他们可以在同情的协调行动中相互作用,多少像一个弦乐器,由于与第二个与它合调的声音发生共振,而使声音提高。或者,用莱布尼兹自己的话来说明这种和谐互动的可能性,这些话必定使爱因斯坦感到高兴:“灵魂遵循它们的规律……身体遵循它们的规律……可是,这两种完全不同的存在相互遭遇并彼此对应,就像两只钟完全校准到同一时间。正是这个,我称之为先定和谐理论。”

我们今天的科学家更可能从设想我们的观念和环境间的对应的进化基础来援引论据。它们这样做的小部分原因是因为有点儿证明,而大部分原因是因为他们对爱因斯坦比喻中潜在的神学情调感到不快。只有像爱因斯坦这样的人,他们通过阅读伊曼努尔·康德的著作中有关的评论熟悉莱布尼兹的讨论,才会更自然地接受这种比喻。但是,对于爱因斯坦来说,对这种潜在的情调决不会感到不快或是意外。在接近他的带有这种形象的论文结尾,爱因斯坦又简要地回答下面的问题,就是尽管缺乏成功的保证甚至缺乏他们工作的目标,那又是什么诱导人们去研究科学的呢?他的结论是,把这种坚持不懈研究科学的态度归因于“非凡的意志力或修养”是错误的。而是,“促使人们能够作出这样的成就的感情状态是同信仰宗教的人或在恋爱中的人的感情状态相类似的。那就是说,他们每天的努力并非来自深思熟虑后的决定或计划,而是直接来自感情的必需”。

在随后的年代中,爱因斯坦继续在他能找到的每一个场合解释并发展这些见解:科学是有目标的计划,人们可以朝着这个目标前进,但在可预见的未来它没有终点。尽可能地对物理宇宙作出最好的客观描述,这是一个使命,虽然这只有靠一个人的主观能力和本质上是任意的概念来进行工作。这是能把逻辑理性和直觉结合起来的人的活动(同施本格勒假设二者不相容的观点正好相反),他们有在坚实的证据和信仰二者的基础上(有时甚至根据美学的理由)前进的本事。从事科学研究既需要分析,也需要综合。总之,科学要调动我们全部才能和渴望来为愈来愈合适的世界图像的形成而服务。在一些较次的头脑看来,像是一些相互排斥的对立面(人们必须在它们之间作出选择)的混合物,在爱因斯坦看来却是互补的必需。

因为爱因斯坦在这顺便的引文中暗示了科学家和信仰宗教的人之间的亲情关系,因此,对于爱因斯坦和施本格勒及其追随者不同,不认为科学和宗教之间有固有的冲突这一点,也就不会感到惊讶了。在以后的一些论文中,^①他进一步阐述了

① 包括三篇文章,也载 Einstein, Ideas and Opinions。

他深有体会的论据 ,即科学活动 ,探索宇宙中合理性的证据 ,本质上是一种 “宗教行为” 。人们可以预期 ,他对他称之为 “宇宙宗教 ”的描述 ,不是感情脆弱或思想狭隘的产物 ,也不是结合成宇宙宗教的宗教和科学二者的产物 ,不能以为宇宙宗教同任何宗教机构所深切坚持的观念有很多一致。爱因斯坦的 “上帝 ”观念不是圣经中的上帝 ,不是干预一切的神。而是 (他的见解部分来自斯宾诺莎)为了必要地提醒人们 ,科学从它最早的开始到我们今天 ,仍然保持有单个的、不分化的总体的标记 ,它鼓励人类作固有的无穷尽的探索 ,既寻求说明 ,又寻求超越。

可以在爱因斯坦的线性论观点和像施本格勒及追随者那样的循环论者的观点之间看出少数相似性。例如 ,爱因斯坦也反对实证论的更为帝国主义式的主张。但他们二者之间本质的、压倒一切的差异是 ,对于爱因斯坦和大多数现代科学家来说 ,科学有可预见的终结的想法是语词矛盾 ,而且与此相反 ,是毫无根据的。对于他们来说 ,从事科学出自 “直接的需要 ” ,既无确定的时间表 ,也无可靠的算法 ,本来就是一种动荡多变的活动 ,人们可以在奥托 · 纽拉特的论文 “反施本格勒 ”^① 中找到一个容易记住的类比 : “我们好像在外海上航行的海员 ,必须重建他们的船但决不能重新从头开始 他们必须利用老结构中的某块在水上漂浮的木材 ,修补他们的船的骨架和船体。但是他们不能把船放在船坞中从零开始。在他们工作时他们得待在老的结构上并和狂风激浪打交道 这是我们的命运。”

这种关于科学的图像 ,是把科学看作是面对巨大困难永不停息、自我建构的事业。哲学家希拉里 · 普特南改进了这种因素 :^②

我的想象不是单个一只船 ,而是一个船队。每只船上的人都试图重建他们自己的船 ,他们在任何时刻都不作太大的修建 ,避免船会沉掉。此外 ,人们还从一只船向另一只船传送给养和工具 ,彼此喊话 ,提供劝告和鼓励 (或者劝阻) 。最后 ,人们有时决定他们不喜欢他们所乘的船而且一起搬到另一只船上去。有时一只船沉没了或被放弃了。这会有点儿混乱 ;但是这是一支船队 ,没有一个人会一直完全在所有其他船只的信号距离之外。我们没有堕入个人的唯我主义的地狱 (或者不需要堕入) ,而是被邀请参加真正充满人性的对话 ,把集体性和个人责任心结合起来。

① Otto Neurath , *Empiricism and Sociology* (Dordrecht , Boston : D. Reidel Publishing Co. , 1973) 中的第六章。

② Hilary Putnam , “Philosophers and Human Understanding ” 载 A. F. Heath 编 *Scientific Explanation* (Oxford : Clarendon Press , 1981) , P118。

两个同时代的人代表着两个关于科学最终命运的对立理论(它们都得到广泛的支持)的绝端的形式,当我们回顾它们之间的这种对抗时,应该明白它们并不包括从我们世纪末的观点看来一切可能的观点。只要指出一个意见分歧就行了,一小群但人数日益增多的科学家现在似乎十分喜欢一种工作风格,它既不是按照线性论的轨迹,也不是按照循环论的轨迹,而是公开地选择一种固有的多元论。他们放弃关于各个部分(甚至在一门科学之中)最终一致的期望。这些人可以称作分裂者,而不是堆合分类者。他们在科学进展中有重要的作用,因为科学时常依赖于这两种研究特性的互动和交替——正如科学靠两条腿前进一样。丹麦科学家汉斯·克里斯琴·奥斯特在他的时代背景下把这一点说得很好:^①

一类自然哲学家总是倾向于把各种现象结合起来并发现它们之间的类似性;另一类则正好相反,竭尽全力来证明它们之间的差异。两种倾向对于科学的完美都是必要的,一个是为了它的进步,另一个是为了它的正确。第一类自然哲学家被整个自然界的统一性这种见识所指导;第二类的心智更多地指向我们知识的确定性。第一类人的精神集中于寻求原理而时常忽略独特性,也常忽视了证明的严格性。另一类人认为科学只调查研究事实,但他们在值得赞许的热忱中,却时常看不到整体的和谐,而这正是真理的特性。那些为在他们周围的每样东西寻求神性的印记人认为,对立面所追求的是不光彩的甚至是反宗教的,而那些从事真理探索的人,把另一批人看作是非哲学的热心人,而且或许是异想天开的蔑视真理的人……这种意见的冲突使科学保持生命力,通过一种振荡式的进步来促进它。

同科学命运的两两种主要模型有差异的第二种“少数”类型,由物理学家 P. W. 安德森的信仰作代表。^② 安德森看到一种“科学的阶层结构”,它原则上不允许还原到一组基本定律,然后人们可由这一组定律“重建宇宙”。例如,尺度问题和复杂性问题不允许基本粒子的大的聚集体的性质可以仅仅通过单个粒子行为的外推而得到理解,而是,通过类似于每个复杂性层次中“突现”的老观念的过程,可以设想产生全新性质;因此,每一个层次像是有一个它自己的概念结构,而且也可能有它自己的进步速率和方向。这些同线性论者的理想是完全相反的。在线性论者们

^① Hans Christian Oersted, "Thermo-electricity", The Edinburgh Encyclopaedia, 1830. 重印在 Kirstine Meyer 编, H. C. Oersted, Naturvidenskabelige Skrifter, vol. 2 (Copenhagen, 1920), P352.

^② 参见 P. W. Anderson, "More Is Different", Science, 177 (1972): 393—396.

看来,科学的阶层结构并不分隔科学的不同层次,而只是帮助固定基本性之矢的方向,它指向自然界最终规律的发现。因此,斯蒂文·温伯格写道:“自然界有绝对的具有很大简单性的定律,所有的科学门类由这些定律呈阶层状地导出。”^①

正如在前面建议过的那样,很少有希望抽象地决定,在各种各样科学的进步的模型中,最后哪一个将占优势。然而根据现有的证据,人们可以预测,大多数活跃的科学家将继续以最大的努力反对循环论模型,反对它认为科学已穷尽了它的使命的想法。他们顶多在听了某些方面现在认为科学进步在理智上是难以辩护的,是一个“处于危机中”的思想时,感到迷迷糊糊。科学家们将不顾这些主张,继续坚持认为,科学家的特殊任务和才能是要寻求可证明的真理,无论手头有的手段是多么有限,他们不需要为他们要在收到的信号中寻求理性意义的动力而致歉,而当他们面对大洋的惊涛骇浪重建他们的船只时,他们混杂的动机、没有保证的工具和他们没有终结的研究纲领将继续吸引他们。

^① S. Weinberg, “Why Build Accelerators?” ,载 Luke C. L. Yuan 编, *Nature of Matter :Purposes of High Energy Physics* (New York :Brookhaven National Laboratories ,1965) , PP171—172。Weinberg 加上这个有趣的评语作为脚注:“我并不一定希望暗示我们期望在今后几个世纪内能够发现一组最终的物理真理(虽然我偶尔相信我们将发现)。也许我们将发现愈来愈基础的科学的无限回归,或者甚至我们将跳出科学本身的边界而到某种新的思想方式,对此我们现在无法想象,就像柏拉图无法想象现代科学方法一样。无论怎样,不仅仅是科学家将对未来事态的发展感到兴趣。”

七

游移在理性与情感之间

——科学家的人文关怀

钱德拉塞卡

科学中的美和对美的追求

选自《智慧的灵光——世界科学名家传世精品》，
宋建林主编，改革出版社，1999年。朱志芳译。

导读



钱德拉塞卡

钱德拉塞卡 (Subrahmanyan Chandrasekhar, 1910—1995) 出生于印度拉合尔 (现属巴基斯坦)，1930年毕业于印度马德拉斯普雷斯顿大学物理系。同年夏天，获政府奖学金，赴英国剑桥大学三一学院深造，在狄拉克的指导下从事研究工作，1933年获博士学位。留校工作一段时间后，于1936年被美国芝加哥大学聘请为助理研究员，并负责编辑芝加哥天文物理杂志。1937年成为芝加哥大学教授，其后一直在芝加哥大学任教并从事科学研究。1953年成为美国公民，1955年被选为美国科学院院士，1962年获英国皇家学会金质奖章，1967年由美国总统授予国

家科学奖。

据说钱德拉塞卡是在去英国的旅途中，计算出一颗质量大约为太阳质量一倍半的冷恒星，将不能抵抗自身的重力而坍缩。这个质量现在称为钱德拉塞卡极限。质量大于钱德拉塞卡极限的恒星，将坍缩成一种密度极大的状态，甚至一个点。爱丁顿对此极为反感，说自然的行事不会如此荒谬。沿着这一思路进行研究，关于黑洞的理论将提早几十年得出。^①也许正是爱丁顿的反对，钱德拉塞卡的研究转向了对白矮星和恒星大气辐射传能等方面的研究，奠定了这些研究领域的理论基础，主要著作有《恒星结构研究导论》、《恒星动力学原理》

^① 1974年到1983年间钱德拉塞卡着重研究了关于黑洞的数学理论，其时黑洞已经成为热门研究对象。

等。1983 年,钱德拉塞卡因“对恒星结构和演化的物理过程的理论研究”与福勒(William Fowler)分享了该年度诺贝尔物理学奖。

我受命在这里作一次演讲,要想避免老生常谈和陈词滥调,演讲的课题是很难的。此外,我的知识和经历有限,只能就物理学的理论方面讲一讲——这是一种最严重的局限性。因此,首先我要请你们有点耐心,克制一点。

我们对于自然之美都深有感受。这种美有些方面为自然和自然科学所共有,这样说不是没有道理的,但有人也许要问,在何种程度上追求美是科学研究的目的之一?对于这个问题,彭加勒是毫不含糊的。他在一篇文章中写道:

科学家不是因为有用才研究自然的。他研究自然是因为他从中得到快乐,他从中得到快乐是因为它美。若是自然不美,知识就不值得去求,生活就不值得去过了……我指的是根源于自然各部分的和谐秩序、纯理智能够把握的内在美。

彭加勒继续说:

正因为简洁和浩瀚都是美的,所以我们优先寻求简洁的事实和浩瀚的事实;所以我们追寻恒星的巨大轨道,用显微镜探索奇异的细小(这也是一种浩瀚),在地质年代中追踪过去的遗迹(我们所以受吸引是因为它遥远),这些活动都给我们带来快乐。

对于彭加勒的这些话,牛顿和贝多芬的传记作者 J. W. N. 沙利文写道(《雅典娜神庙》,1919 年 5 月):

由于科学理论的首要目的是表达人们发现的自然中存在的和谐,所以我们一眼就能看到这些理论一定具有美学价值,对一个科学理论的成功与否的衡量事实上就是对它的美学价值的衡量,因为这就是衡量它给原本是混乱的东西带来多少和谐。

科学理论的辩护要从它的美学价值上去寻找,科学方法的辩护要借助它的美学价值去获得。没有定律的事实是无意义

的,没有理论的定律充其量只具有实践功效,所以我们看到指引科学家的动机从一开始就是美学冲动的显现……没有艺术的科学是不完善的科学。

优秀的艺术批评家 R. 福雷有一篇很有见地的文章《艺术和科学》,该文开始引用了沙利文的一段话,接着说:

沙利文大胆地说:“科学理论的辩护要从它美学价值上去寻找,科学方法的辩护要借助它的美学价值去获得。”这里我想向沙利文提一个问题:一个无视事实的理论与一个符合事实的理论是否具有同样的科学价值。我想他会说不,依我之见,为什么不,是没有纯美学理由的。

我将在后面讨论福雷提出的问题并提出一个不同于福雷以为沙利文会提出的回答。

现在我从这些泛泛的论述转向具体的实例,看看科学以何为美。

我的第一个例子与福雷的话有关,他说到有些东西数学天才感到是真的而又没有明显的理由。印度数学家拉马努詹留下了大量的笔记(其中一本是几年前才发现的)。在这些笔记中,拉马努詹记下几百个公式和等式。其中有许多最近由拉马努詹用无从知道的方法证明了。G. N. 华生(Watson)花了数年时间证明拉马努詹的许多等式,他写道:

研究拉马努詹的著作以及他所提出的问题不禁想起拉梅读到埃尔米特的模函数论文时说的话:“真让人惊心动魄”。而我自己的态度不是一句话能表达的,像这样的公式使我激动和震颤,正如当我走进美第奇教堂新圣器收藏室,看到“昼”、“夜”、“晨”、“暮”诸神(米开朗基罗作,立于 G. 美第奇和 L. 美第奇的陵墓之上)的庄严之美时感到的震颤,这两种感受是没法区分开来的。

再举一个大不相同的例子,说的是玻耳兹曼对麦克斯韦一篇论述气体动力理论的文章的反应,在那篇文章中,麦克斯韦阐明了如何精确求解气体迁移系数(在那里分子间力是分子间距离的负 5 次幂的函数)。玻耳兹曼说:

一个音乐家听出几个小节就能认出莫扎特、贝多芬还是舒伯特,同样,一个数学家读几页就能看出是柯西、高斯、雅可比、赫姆霍茨还是基尔霍夫。法国数学家以形式优雅超群,而英国人,特别是麦克斯韦,则具有戏剧性的感觉。例如,谁不知道麦克斯韦关于气体动力学理论的论文?……首先是对速度变化的庄严壮丽的论述,然后状态方程从一边进入,有心场中的运动方程从另一边进入。公式的混乱程度越来越高。突然,我们就好像听到定音鼓,鼓锤四击“敲定 $N = 5$ ”。邪恶的精灵 V (两个分子的相对速度)消失了;就像在音乐中一样,一直突出的低音突然沉寂了,似乎不可超越的东西好像被魔术般的一声鼓鸣超越了……这不是问为何这个或那个代之而起的时候。如果你不能与那音乐一道同行同止,那就把它放在一边吧。麦克斯韦不写注释的标题音乐……一个结果紧随另一个结果,连绵不断,最后,像一阵意外的旋风,热平衡条件和迁移系数的表示式突然出现在我们面前,紧接着幕落了!

我一开始就举这两个简单的例子是想强调,不一定要在最宏大的画布上寻找科学美。但最宏大的画布确实提供最好的实例,这里我就举两例吧。

爱因斯坦广义相对论的发现被赫尔曼·韦尔称之为思辨思维力量的最高典范,而朗道和栗夫西茨认为广义相对论大概是现有物理学理论中最壮美的。爱因斯坦本人在他论述场方程的第一篇文章的末尾写道:“任何充分理解这个理论的人都难逃避它的魔力。”我回头再讨论这种魔力的根本所在。现在我要拿海森伯发现量子力学时的感受与爱因斯坦表达的对他的理论的反应相对照。幸运的是,海森伯有自述,他写道:

……我明白了到底要用什么取代专门研究可观察量级的原子物理学中的玻尔——索末菲量子条件。有了这个补充假定,我给量子论引入了一个关键的限定。然后我注意到能量守恒原理的适用性还没有保证……于是我致力于阐明守恒定律成立;一天晚上我达到了这样一点:就要确定能量表(能量矩阵)中的各个单项了……第一项似乎合乎能量守恒原理,我激动不已,于是开始犯无数的算术错误。结果当我算出最后结果时已是凌晨3点了。能量守恒原理对于所有的项都成立,我不能再怀疑我

的计算显示的那种量子力学的数学一致性和协调性。起先,我惊得目瞪口呆。我感到我透过原子现象的表面看到了奇美无比的内景,想到我现在就要探索自然如此慷慨地展列在我面前的数学结构之财富,我几乎觉得飘飘欲仙了。

看到爱因斯坦和海森伯的这些关于自己发现的言论,回想海森伯记下的海森伯与爱因斯坦的谈话,那是很有意思的。以下是一个摘录:

当自然把我们引向具有极大的简洁性和优美性的数学形式——形式指一个由假说、公理等构成的融会贯通的系统——引向前所未见的形式时,我们不禁要想到它们是“真的”,它们揭示了自然的真实特性……你一定也有这种感想:自然突然在我们面前展现各种关系几乎令人生畏的简洁性和整体性,我们之中没有一个人有丝毫的准备。

海森伯的这些话与济慈的几句诗前呼后应:

美就是真,
真就是美;
这是一切你知道的,
这是一切你应该知道的。

现在我想回头讨论我前面说到的福雷的问题。即如何看待一个美学上令人满意同时又相信它不真的理论。

戴森曾引用韦尔的话:“我的劳作是努力把真和美统一起来;如果我不得不选择其中之一,我常常选择美。”我要问一问戴森:韦尔是否举过他为了美而牺牲真的例子?我了解到韦尔举的例子是他的引力度规论,这个理论是在他的《时空问题》中提出来的。显然,韦尔确信这个理论作为一个引力理论是不真的;但它是那样美以致他不愿意放弃它,因此他为了它的美不使它消亡。但很久以后,度规不变性的形式系统被纳入量子电动力学,证明韦尔的本能直觉是完全正确的。

另一个韦尔不曾提到但戴森注意到了的例子是韦尔的两分量中微子相对性波动方程。韦尔发现了这个方程,但由于它违背宇称不变性原则,约有30年未受到物理学界的重视。但结果再一次证明韦尔的直觉是正确的。

相信自然界中有现存的和谐,或者叫作美,是人们探索自然的一个动力。开普勒就被这种动力所驱使,更多的科学家在他们的科学实践中体验到了这种美。但“美即真”归根结底还是一种信念,而非科学原则。

因此我有证据说明,一个科学家凭异常高超的审美直觉提出的理论即使起初看起来不对,终究能够被证明是真的。正如济慈在很久以前看到的:“凡想象认作美的东西一定是真理,不论它以前存在与否。”

确实,人类心灵最深处看作美的东西变成外部自然中的现实,这是一个令人难以置信的事实。

凡是可理解的,同时也是美的。

马克斯·玻恩

我的见解

选自《智慧的灵光——世界科学名家传世精品》，
宋建林主编，改革出版社，1999年。李宝恒译。

导读

玻恩 (Max Born, 1882—1970) 出生于普鲁士的布雷斯劳, 1901 年进入布雷斯劳大学, 1905 年进哥廷根大学, 在希尔伯特、闵可夫斯基等数学大师门下学习。1907 年获博士学位之后去英国剑桥, 在 J. J. 汤姆逊门下学习了一段时间。1912 年受聘为哥廷根大学讲师, 1915 年加入德国空军, 一战结束后, 1919 年被任命为法兰克福大学教授。1921 年成为哥廷根大学教授, 并成为哥廷根大学物理系主任。1933 年玻恩由于犹太血统关系被剥夺了教授职位和财产, 被迫迁居英国。1936 年接替 C. G. 达尔文任爱丁堡大学教授, 1937 年当选为英国伦敦皇家学会会员。1953 年退休后回德国。



玻恩

玻恩是量子力学的创始人之一, 其主要成就是创立了矩阵力学和对波函数作出统计解释。他与海森伯等合作, 发展三维粒子运动理论, 即矩阵力学, 提出了量子力学中的微扰理论。玻恩因此项工作与博特 (Walther Bothe) 分享了 1954 年度的诺贝尔物理学奖。玻恩还是晶格动力学的创始人, 1954 年与中国物理学家黄昆合著的《晶格动力学》一书是该领域的经典之作。

我想就科学对于我以及对于社会的意义提出一些见解, 而且我要先说一句平凡肤浅的话来开头, 这句话就是: 生活中的成就和胜利, 在很大程度上依赖于好运气。就我的双亲, 我的妻子, 我的孩子, 我的老师, 我的学生和我的合作者来说, 我

是幸运的。在两次世界大战和几次革命中,我都幸运地活下来了,其中包括希特勒的那一次,对于一个德国犹太人来说,这是非常危险的。

我希望从两个角度来观察科学,一个是个人的角度,另一个是一般的角度。正如我已经说过的那样,我一开始就觉得研究工作是很大的乐事,直到今天,仍然是一种享受。这种乐趣有点像解决十字谜的人所体会到的那种乐趣。然而它比那还要有趣得多。也许,除艺术外,它甚至比在其他职业方面做创造性的工作更有乐趣。这种乐趣就在于体会到洞察自然界的奥秘,发现创造的秘密,并为这个混乱的世界的某一部分带来某种情理和秩序。它是一种哲学上的乐事。

我曾努力阅读所有时代的哲学家的著作,发现了许多有启发性的思想,但是没有朝着更深刻的认识和理解稳步前进。然而,科学使我感觉到稳步前进:我确信,理论物理学是真正的哲学。它革新了一些基本概念,例如,关于空间和时间(相对论),关于因果性(量子理论),以及关于实体和物质(原子论)等,而且它教给我们新的思想方法(互补性),其适用范围远远超出了物理学。最近几年,我试图陈述从科学推导出来的哲学原理。

当我年轻的时候,工业中需要的科学家很少。他们谋生的唯一途径是教学。我觉得在大学里教书是最有趣的。以有吸引力的和有启发性的方式来提出科学问题,是一种艺术工作,类似于小说家甚至戏剧作家的的工作。对于写教科书来说也是同样情况。最愉快的是教研究生。我很幸运,在我的研究生中间有许多有天才的人。发现人才并把他们引导到内容丰富的研究领域是件了不起的事情。

因此,从个人观点来看,科学已经给了我一个人所能期望于他的职业的一切可能的满意和愉快。但是,在我一生的时间里,科学已经成为公众关心的事情,我青年时期那种“为艺术而艺术”的观点,现在已经过时了。科学已经成为我们文明的一个不可缺少的和最重要的部分,而科学工作就意味着对文明的发展作出贡献。科学在我们这个技术时代,具有社会的、经济的和政治的作用,不管一个人自己的工作离技术上的应用有多么远,它总是决定人类命运的行动和决心的链条上的一个环节。只是在广岛事件以后,我才充分认识到科学在这方面的影响。但是后

玻恩说理论物理学是真正的哲学,而现在真正搞哲学的却不懂理论物理学。

来科学变得非常非常重要了,它使我考虑在我自己的时代里科学在人类事务中引起的种种变化,以及它们会引向哪里。

尽管我热爱科学工作,可是我考虑的结果是令人抑郁的。在很少几行文字里不可能论述这个重大问题。但是,如果不简要地提一下我的观点,那么对我一生的素描就会是不完备的。

在我看来,自然界所做的在这个地球上产生一种能思维的动物的尝试,也许已经失败了。其理由不仅在于核战争也许会爆发,毁灭地球上的一切生命——这种可能性是相当大的——而且总是在增长。即使这样一场浩劫可以避免,对于人类来说,除了黑暗的未来以外,我什么也看不到。人因为有大脑,所以相信自己比所有其他动物都优越,而就他的意识状态来看,人是否比其他哑巴畜生更快乐呢?这却是可以怀疑的。人类历史已经有几千年了。这部历史充满着激动人心的事件,但总的来说是千篇一律的,那就是和平与战争,建设与破坏,发展与衰落的交替。在人类历史上总是有某些由哲学家发展的基本科学和某些实际上不依赖于科学而掌握在技工手里的原始技术。两者都发展得很慢,慢得在一个长时期里几乎看不出变化,而且对人类舞台也没有多大影响。但是,大约在300年前突然间爆发了智力活动:现代科学和技术诞生了。从那时以来,它们以不断增长的速度发展着,大概比指数还快,它们现在把这个人类世界已经改变得使人认不出了。但是,这种改变虽然是由精神造成的,却不受精神的控制。这几乎不需要举例说明。医学已经战胜了许多瘟疫和流行病,而且仅仅在一代人的时间里使人的平均寿命增加了一倍:其结果出现了灾难性的人口过剩的前景。城市里挤满了人,同自然界完全失去了接触。野生动物式的生活在迅速地消失。从地球的一个地方到其他地方几乎立即可以通讯,旅行已经加速到难以置信的程度,其结果是,这世界的每一个角落里的每一个小小的危机,都会影响到其余所有的角落,并且使合理的政治成为不可能了。汽车使整个农村成为所有人都可以到达的地方,但是道路被堵塞了,休养地被污损了。可是,这种技术上的误用可以由技术上的和行政上的补救办法来及时纠正。

真正的痼疾更为深刻。这种痼疾就在于所有伦理原则的崩溃,从前即使在残酷的战争和大规模的破坏时期,这些原则也曾在历史进程中进化并保持一种有价值的生活方式。传统的伦理因技术而瓦解的问题,只要举两个例子就够了:一个是和平时期的,另一个是战争时期的。

在和平时期,艰苦的工作是社会的基础。人类因自己学会了做什么以及用自己的双手生产东西而感到骄傲。技巧和专心受到高度重视。今天这种情况所剩无几了。机器和自动化已经贬低了人的工作并且摧毁了这种工作的尊严。今天这种工作的目的和报酬是金钱。为了购买别人为金钱而生产的技术产品,就需要金钱。

在战争时期 ,体力和勇气 ,对战败了的敌人的宽大 ,对没有防御能力者的同情 ,昔日是模范战士的特征。现在这些东西什么也没有剩下了。现代的大规模毁灭性武器没有为伦理上的约束留下余地 ,并且使士兵沦为有技术的屠杀者。

这种伦理上的贬值是由于人类的行动要经过漫长而复杂的道路才能达到其最终效果的缘故。大多数工人在生产过程的一个特殊部门里 ,只熟悉自己很小范围内的专门操作 ,而且几乎从来没有看到过完整的产品。自然他们就不会感到要对这个产品或对这个产品的使用负责。这种使用无论是好还是坏 ,是有害还是无害 ,是完全在他们的视野以外的。行动和效果的这种分割的最可怕的结果是在德国的纳粹统治时期消灭了几百万人 ;艾希曼式的屠杀者不服罪 ,因为他们在 “干他们的工作 ” ,而与这种工作的最终目的无关。

使我们的伦理规范适应于我们这个技术时代的形势的一切尝试都已经失败了。就我所见 ,传统的道德观的代表们、基督教教会 ,已经找不到补救办法。共产主义国家只是抛弃了对每个人都适用的伦理规范的观念 ,而国家法代表道德规范这个原则。

乐观主义者也许希望 ,从这个丛林里将会出现一种新的道德观 ,而且将会及时出现 ,以避免一场核战争和普遍的毁灭。但是 ,与此相反 ,这个问题很可能由于人类思想中科学革命的性质本身而不能得到解决。

关于这个问题 ,我已详细论述过 ,在这里只能指出主要的几点。

普通人都是朴素实在论者 :就像动物一样 ,他把自己的感官印象当作实在的直接信息来接受 ,而且他确信人人都分享这种信息。他没有意识到 ,要证实一个人的印象 (例如 ,一棵绿树的印象)和另一个人的印象 (这棵树的印象)是否一样 ,是没有办法的 ,甚至 “一样 ”这个词在这里也没有意义的。单个感官经验没有客观的 ,即能表达的和可证实的意义。科学的本质在于发现两个或者更多的感官印象之间的关系 ,特别是相同的陈述 ,是可以由不同的个人来表达和检验的。如果人们只限于使用这样一些陈述 ,那么就得到一个客观的世界图景 ,尽管它是没有色彩的和平淡无味的。这就是科学所特有的方法。这种方法是在所谓物理学的古典时期 (1900 年以前)时 ,慢慢地发展起来的 ,而在现代原子物理学里 ,成了占优势的方法。这种方法在宏观宇宙里和在微观宇宙里一样 ,大大拓宽了认识的范围 ,惊人地增强了支配自然的能力。但是 ,这种进步是付出了惨痛的代价的。科学的态度对传统的、不科学的知识 ,甚至对人类社会所依赖的正常的、单纯的行动 ,都容易造成疑问和怀疑。

还没有一个人想出过不靠传统的伦理原则而能把社会保持在一起的手段 ,也没有想出过用科学中运用的合理方法来得出这些原则的手段。

科学家本身是不引人注目的少数 ,但是令人惊叹的技术成就使他们在现代社

会中占有决定性的地位。他们意识到,用他们的思想方法能得到更高级的客观必然性,但是他们没有看到这种客观必然性的极限。他们在政治上和伦理上的判断因而常常是原始的和危险的。

非科学的思维方式,当然也取决于少数受过教育的人们,如法学家、神学家、历史学家和哲学家,他们由于受训练的限制,不能理解我们时代最强有力的社会力量。因此,文明社会分裂为两个集团,其中一个是由传统的人道主义思想指导的,另一个则是由科学思想指导的。最近,许多著名的思想家,如 C. P. 斯诺(《科学和政府》,伦敦,牛津大学出版社,1961年,英文版),已经讨论了这种形势。他们一般认为,这是我们的社会制度的一个弱点,但是相信,这可以由完全平衡的教育来补救。

朝这个方向改进我们的教育制度的建议很多,但是到目前为止仍然无效。我的个人经验是,很多科学家和工程师是受过良好教育的人们,他们有文学、历史和其他人文学科的某些知识,他们热爱艺术和音乐,他们甚至绘画或演奏乐器;另一方面,受过人文学科教育的人们所表现出来的对科学的无知,甚至轻蔑,是令人惊愕的。以我自己为例,我熟悉并且很欣赏许多德国和英国的文学和诗歌,甚至尝试过把一首流行的德文诗歌译成英文(威廉·比施:《画家克莱克赛儿》,纽约,弗雷德里克·昂加尔书店,1965年,英文版);我还熟悉其他的欧洲作家,即法国、意大利、俄国以及其他国家的作家。我热爱音乐,在我年轻的时候钢琴弹得很好,完全可以参加室内乐的演奏,或者同一个朋友一起,用两架钢琴演奏简单的协奏曲,有时甚至和管弦乐队一起演奏。我读过并且继续在读关于历史以及我们现今社会的经济的和政治的形势方面的著作。我试图通过写文章和发展广播讲话来影响政见。我的许多同事都有这些爱好和活动——爱因斯坦是一个很好的小提琴家,普朗克和索末菲是出色的钢琴家,海森伯和其他许多人也是如此。关于哲学,每一个现代科学家,特别是每一个理论物理学家,都深刻地意识到自己的工作同哲学思维错综地交织在一起的,要是哲学文献没有充分的知识,他的工作就会是无效的。在我自己的一生中,这是一个最主要的思想,我试图向我的学生灌输这种思想,这当然不是为了使他们成为一个传统学派的成员,而是要使他们能批判这些学派的体系,从中找出缺点,并且像爱因斯坦教导我们的那样,用新的概念来克服这些缺点。因此,我认为科学家并不是和人文学科的思想割裂的。

关于这个问题的另一方面,在我看来是颇为不同的。在我碰到过的受过纯粹人文学科教育的人当中,有非常多的人对真正的科学思想没有一点知识。他们常常知道各种科学事实,有些甚至是我也没有听到过的很难懂的科学事实,但是他们不知道我上面所说的科学方法的根源,而且他们似乎不能掌握这种思索的要点。在我看来,巧妙的、基本的科学思维是一种天资,那是不能教授的,而且只限于少

有点天才论的味道。我们相信人的天资上的差别是不大的,只是只有少数人能把天资中的科学思维发掘出来发扬光大最后卓然成大家。

数人。

但是,在实际事务中,特别是在政治中,需要把人类相互关系中的经验和利益同科学技术知识结合起来的人物。而且,他们必须是行动的人而不是沉思的人。我有这样一种印象:没有一种教育方法能产生具备所需要的一切特性的人们。

由于科学方法的发现所引起的人类文明的这种破裂也许是无法弥补的。这种思想时常萦绕在我脑际。虽然我热爱科学,但是我感到科学同历史和传统的对立是如此严重,以致它不可能被我们的文明所吸收。我在我的一生中目睹的政治上的和军事上的恐怖以及道德的完全崩溃,也许不是短暂的社会弱点的征候,而是科学兴起的必然结果,而科学本身就是人的最高的理智成就之一。如果是这样,那么人最终将不再是一种自由的、负责的生物。如果人类没被核战争所消灭,它就会退化成为一种处在独裁者暴政下的愚昧的没有发言权的生物,独裁者借助于机器和电子计算机来统治他们。

这不是预言,而只是一个噩梦。虽然我没有参与把科学知识用于像制造原子弹和氢弹那样的破坏性目的,但我感到我自己也是有责任的。如果我的推理是正确的,那么人类的命运就是人这个生物的素质的必然结果,在他身上混合着动物的本能和理智的力量。

但是,我的推理也许完全错了。我希望如此。也许有朝一日有一个人显得比我们这一代人中的任何人都聪明能干,他能把这世界引出死胡同。

欧文·薛定谔

科学思想泛论

选自《智慧的灵光——世界科学名家传世精品》，
宋建林主编，改革出版社，1999年。全增嘏译。

导读

薛定谔 (Erwin Schrodinger 1887—1961) 出生于维也纳，1906 年进维也纳大学物理系，1910 年获博士学位，毕业后在维也纳大学第二物理研究所工作，后转到了德国斯图加特工学院和布雷斯劳大学教书。1927 年，薛定谔接替普朗克到柏林大学担任理论物理学教授，并成为普鲁士科学院院士。1933 年，愤于纳粹政权对杰出科学家的迫害，弃职移居英国牛津，在马格达伦学院任访问教授。1936 年冬回到奥地利格拉茨。德国吞并奥地利后，于 1938 年 9 月在友人的帮助下又流亡到英国牛津，次年 10 月转到爱尔兰。爱尔兰为薛定谔建立了一个高级研究所，他在此从事了 17 年研究工作。1956 年 70 岁时返回维也纳大学物理研究所。

薛定谔是量子力学奠基人之一，他在法国德布罗意的物质波理论基础上，建立了量子力学的波动力学，其数学表述是描述微观粒子运动状态的薛定谔方程。1926 年，薛定谔证明自己的波动力学与海森伯、玻恩、约尔丹所建立的矩阵力学在数学上是等价的。薛定谔因在量子力学方面的奠基性工作和狄拉克一起分享了 1933 年度的诺贝尔物理学奖。

薛定谔还长期探索了统一场论、宇宙论等问题。薛定谔每年在都柏林主持“夏季讲座”，与各国同行讨论交流。他的《生命是什么》(1944 年)，用热力学、量子力学、化学理论解释生命现象的本质，引进了负熵、遗传密码、量子跃迁式突变等概念，成为今天蓬勃发展的分子生物学的先驱。

我们方才讨论过的那个基本的真理意境含有一个观念，虽则表达得不完全而且一般化，却比较容易为现代科学思想所吸收，那就是，一系列由遗传连接起来的个体，从一个到另一个的繁殖行为，实际上并不是肉体和精神生命的中断，而只是

其紧缩的表现。正由于此,所以当我们谈到我的意识和我祖先的意识的同一性时,这同我说我在熟睡以前和熟睡以后的意识是同一个意识的意思大致是一样的。通常不承认这一事实的理由,是后一例中有记忆存在,而前一例中却显然一点没有。但是今天大多数人们不得不承认至少在许多动物的本能中,我们所看到的恰恰就是这种超个体的记忆。熟悉的例子包括以下这些:鸟类筑巢,而巢总是和这一类鸟儿产蛋的多少和大小相适应的,然而这不可能是鸟儿的个别经验得来的;又如狗在临睡前“铺床”,即使在波斯地毯上也会用脚去踏,就像在草原上把草踏平那样。还有,猫要把自己的粪便埋掉,即使在木板或石板地上也企图这样做,这只能说明是防止敌人或追捕的动物闻到它们的臭味。

要在人类中发现同样的现象是比较困难的,因为人的内心总是意识到自己的行为,同时人们还坚信(在我看是错误的)只有完全不经过思想、完全不加考虑的行为才是本能的行为。因此,人们对强调事物主观一面的描述,诸如物种记忆的存在,表示强烈的怀疑,并否认这一大堆现象对我们讲的意识的连续性有任何证明价值。虽然如此,在人类和动物中一样,确实有一种带有强烈感情色彩的情结,并且毫不含糊地具有超个人记忆的痕迹:这就是两性情感的初萌,两性之间的亲力或拒力,对性的好奇心和羞耻心,等等。在恋爱时的那种无法形容的又苦又甜的心情,特别是那种严格选择对象的倾向,这一切最明显地表明有一种只存在于个人意识内而不普遍存在于物种中的特殊记忆痕迹。

再举个例子:这种人类亘古递传下来印象的“回忆”(西门称为 Ekphoria),还可在人们日常生活中一些“吵架”现象上看出来。有人侵犯到我们的权利(不管是事实,还是我们觉得),我们立刻就感到非得狠狠对付一下不可,要责备、辱骂,等等。我们“发火”了,脉息加速,头脑充血,肌肉紧张,发抖好像触电那样,而且往往不由自主地要采取行动。一句话,整个机体已经看得出准备去做我们千百万祖先在类似情况下真正做过的事情:打击侵犯者并保卫自身,这对我们祖先说来,这样做是完全对的和必要的。但对我们来说,这往往不必要。虽说如此,这类情况我们还是控制不住。即使一个人完全明白要他真的动手,他是决计不会干的,或者知道这样会对自己不利,因此他连脑筋都不会认真动一下,特别是,当他的头脑正在自觉地和全神贯注地考虑最好还是动口而不动手时,因为(我要说)只有用口能保护他不吃大亏,就如同他的祖先们在他们的情况下用拳头一样,尽管如此,一个有这种倾向的人有时还是不免诉诸武力。这说明,他的整个返祖机制严重地妨碍了他采用自己的办法保卫自己。我们的祖先在同样情况下只知道“上呀!上呀!”由于潜在于我们心中的物种记忆在作怪,所以控制自己时,我们就感到很苦痛。有时我们还是不听理性呼声,而只一味盲目行动,结果就造成大错,后悔莫及。

在这些特殊的事例里,我们特别看得出,我们祖先经历的侵入,看得出我

们生命中有一层不是在我们自己个人生活中形成的更早的存在 ,并起着明显的作用。这样类似的例子还可举出很多 ,诸如“同情心”、“憎恶心” ,对某些无害动物的厌恶 ,到了某些地方觉得很安逸 ,等等。但不仅是这些例子可以证明人的意识的连续性和同一性 ;即使没有上述这些例子 ,我们还是可以肯定这是真理。

我的有意识生命视我的机体组织 ,尤其是我的中枢神经系统的特殊结构和作用方式而定。但是这些结构和作用方式在因果关系上和遗传关系上又视我之前就已存在的机体组织的结构和作用方式而定 ,这些全都和有意识的精神生活相联系 ,而且这一连串的生理事件并没有任何中断的地方 ;相反 ,每一个这样的机体都是下一个机体的蓝图 ,也是其制造者和材料 ,从而使它的一个部分长成为它本身的一个复本。请问在这一系列事件中 ,我们该把新意识的开端放在哪里呢 ?

但是我脑子的特殊结构和形成的习惯 ,我的个人经验 ,事实上 ,一切我真正叫作我的人格的一——这些肯定不是由我祖先的遭遇老早决定了的 ! 如果后面这句话是指我个人的一系列祖先而言 ,那当然不是如此。说到这里 ,我们就必须慎重考虑一下在这一节开头时讲的那个不完全的陈述包括哪些范围。因为 ,我称之为我的较高级的精神自我的结构 ,在本质上确实是从我祖先的经历那里得来的 ,但这不是说它完全或主要地限制在我自己祖先这一范围里。如果我下面所要说的不仅仅是玩弄辞藻的话 ,那么读者就必须弄清楚这一点 ,即决定一个人的发展过程的是两种因素 : (a) 他的基因的特殊安排 ,和 (b) 作用于他的特殊环境格局。读者还必须知道 ,这两种因素的性质完全相同 ,因为基因的特殊安排 ,以及它所包含的一切发展的可能性 ,都是在更早的环境影响下并主要依靠这些环境而发展起来的。现在你看 ,精神人格的涌现 ,多么和环境的影响整个儿密切联系着 ,而这些影响又是同类成员 (有的活着 ,有的死了) 的精神人格直接造成的。而且要始终记住 ,我们这些科学家可以而且必须把所有这些“精神的”影响看作是别人的机体组织对我们自己的机体组织 (就是说 ,我们的脑神经系统) 直接限制和修正 ,因而这些影响在原则上和我们自己历代祖先们在我身上引起的影响 ,并没有什么不同。

没有什么自我是独立的。在每个自我的背后都拖着一条由肉体事件和作为整体的一个特殊部分的精神事件形成的长链 ,而且我就是这条长链的反应者和延续者。随时通过自我的机体特别是它的脑神经系统的情况 ,同时通过教育、传统 ,并由于语言、文字、文献、习俗、生活方式、新形成的环境……一句话 ,通过千言万语也讲不完的事物 ,通过这一切 ,自我不仅仅和它的祖先的遭遇连起来 ,自我不仅仅是这一切的产物 ,而毋宁说 ,在最严格的意义上 ,它和这一切就是同一个东西 : 是这

“没有什么自我是独立的”，在有的地方该文也以这句话为标题。薛定谔在这里强调每一个自我在物质方面（生理遗传上）和精神意识方面（文化传统上）都是作为链条的一环存在，因而不是不独立的。但是也应该看到，这样的自我也是会独创一些以前没有的以供未来“自我”们继承的东西，譬如薛定谔自己的波动方程就是一个创造。

一切的严格的、直接的继续，正如 50 岁的我是 40 岁的我的继续那样。

值得注意的是，虽然西方哲学家们几乎普遍承认，个人的死亡并不意味着生命本质的终结，但除了柏拉图和叔本华以外，几乎没有什么哲学家考虑到和以上见解逻辑上密切相关的另一个更深刻、更亲切和令人鼓舞的见解：那就是，个人的诞生也同样如此，它并不表明我第一次被创造了出来，而只表明我好像是从酣睡中慢慢醒过来那样。这样一来，我就能看到，我的希望和努力，我的忧虑和恐惧，是同生活在我之前的千百万人们的希望和努力，忧虑和恐惧一样的，而我也可以希望千百年后我在千百年前的渴望得以实现。思想的种子只有作为我的某些祖先思想的继续，才能在我里面发芽。

我很清楚，虽然有了叔本华的哲学和吠檀多的经典《奥义书》，但大多数读者会认为我提出的是一个可喜的和恰当的比喻，不会同意所有意识在本质上都是同一的这个命题，以及有什么真正的实际价值。甚至有人会对一家人的意识是同一的这个论点提出异议说，一般说来父母两个生几个儿女，而父母继续活下去，所以是多而不是一。此外，一个人童年记忆的完全消失，好像也表明意识不是连续的。但在我看来，这种从谱系上引起的逻辑和算术的矛盾，倒是一个正面的证明，因为我觉得这恰恰就是意识同一性的主张实际上为科学（如遗传学）所证实了的地方，因此这种矛盾和整个吠檀多论点联系起来看，也就变得无力了，起码可以说明，把算术运用到这些事情上是极端不可靠的。至于记忆的彻底丧失（这肯定在许多人的内心深处，是这种生理的虚幻不朽性的最可疑的地方），即使不从什么形而上学的角度看它，也可以认为，为了形成这样东西，这块可以用来模塑的蜡一遍又一遍地搓平，是会多么地适应呵！而这样东西即使像叔本华所设想的那样，不想被形成，但事实上仍旧在被形成之中。

爱因斯坦

我的世界观¹

选自《爱因斯坦文集》第三卷，许良英等编译，商务印书馆，1979年。

我们这些总有一死的人的命运是多么奇特呀！我们每个人在这个世界上都只作一个短暂的逗留：目的何在，却无所知，尽管有时自以为对此若有所感。但是，不必深思，只要结合日常生活就可以明白：人是为别人而生存的——首先是为那样一些人，他们的喜悦和健康关系着我们自己的全部幸福；然后是为许多我们所不认识的人，他们的命运通过同情的纽带同我们密切结合在一起。我每天上百次地提醒自己：我的精神生活和物质生活都依靠着别人（包括生者和死者）的劳动，我必须尽力以同样的分量来报偿我所领受了的和至今还在领受着的东西。我强烈地向往着俭朴的生活。并且时常为发觉自己占用了同胞的过多劳动而难以忍受。我认为阶级的区分是不合理的，它最后所凭借的是以暴力为根据。我也相信，简单淳朴的生活，无论在身体上还是在精神上，对每个人都是有益的。

我完全不相信人类会有那种在哲学意义上的自由。每一个人的行为，不仅受着外界的强迫，而且还要适应内心的必然。叔本华说：“人虽然能够做他所想做的，但不能要他所想要的。”^②这句话从我青年时代起，就对我是一个真正的启示：在我自己和别人生活面临困难的时候，它总是使我们得到安慰，并且永远是宽容的泉源。这种体会可以宽大为怀地减轻那种容易使人气馁的责任感，也可以防止我们过于严肃地对待自己和别人；它还导致一种特别给幽默以应有地位的人生观。

要追究一个人自己或一切生物生存的意义或目的，从客观的观点看来，我总觉得是愚蠢可笑的。可是每个人都有一定的理想，这种理想决定着他的努力和判断的方向。就在这个意义上，我从来不把安逸和享乐看作是生活目的本身——这种伦理基础，我叫它猪栏的理想。照亮我的道路，并且不断地给我新的勇气去愉快地正视生活的理想，是善、美和真。要是没有志同道合者之间的亲切感情，要不是全神贯注于客观世界——那个在艺术和科学工作领域里永远达不到的对象，那么在

① 此文最初发表在1930年出版的《论坛和世纪》(Forum and Century) 84卷，193—194页。当时用的标题是《我的信仰》(What I believe)。这里译自《思想和见解》(Ideas and Opinions) 8—11页和《我的世界》(Mein Weltbild) 英译本 237—242页。

② 叔本华这句话的德文原文是：“Ein Mensch kann zwar tun, was er will, aber nicht wollen, was er will.”

在我看来,生活就会是空虚的。人们所努力追求的庸俗的目标——财产、虚荣、奢侈的生活——我总觉得都是可鄙的。

我对社会正义和社会责任的强烈感觉,同我显然的对别人和社会直接接触的淡漠,两者总是形成古怪的对照。我实在是一个“孤独的旅客”,我未曾全心全意地属于我的国家,我的家庭,我的朋友,甚至我最接近的亲人,在所有这些关系面前,我总是感觉到有一定距离,并且需要保持孤独——而这种感受正与年俱增。人们会清楚地发觉,同别人的相互了解和协调一致是有限度的,但这不足惋惜。这样的人无疑有点失去他的天真无邪和无忧无虑的心境;但另一方面,他能够在很大程度上不为别人的意见、习惯和判断所左右,并且能够不受诱惑要去把他的内心平衡建立在这样一些不可靠的基础之上。

我的政治理想是民主。让每一个人都作为个人而受到尊重,而不让任何人成为崇拜的偶像。我自己受到了人们过分的赞扬和尊敬,这不是由于我自己的过错,也不是由于我自己的功劳,而实在是一种命运的嘲弄。其原因大概在于人们有一种愿望,想理解我以自己的微薄之力,通过不断的斗争所获得的少数几个观念,而这种愿望有很多人未能实现。我完全明白,一个组织要实现它的目的,就必须有一个人去思考,去指挥,并且全面担负起责任来。但是被领导的人不应当受到强迫,他们必须有可能来选择自己的领袖。在我看来,强迫的专制制度很快就会腐化堕落。因为暴力所招引来的总是一些品德低劣的人,而且我相信,天才的暴君总是由无赖来继承,这是一条千古不易的规律。就是这个缘故,我总是强烈地反对今天我们在意大利和俄国所见到的那种制度。像欧洲今天所存在的民主形式受到怀疑,不能归咎于民主原则本身,而是由于政府的不稳定和选举制度中与个人无关的特征。我相信美国在这方面已经找到了正确的道路。他们选出了一个任期足够长的总统,他有充分的权力来真正履行他的职责。另一方面,在德国的政治制度^①中,我所重视的是,它为救济患病或贫困的人作出了比较广泛的规定。在人生的丰富多彩的表演中,我觉得真正可贵的,不是政治上的国家,而是有创造性的,有感情的个人,是人格;只有个人才能创

爱因斯坦在这里表达了鲜明的个人主义观点,他厌恶让人失去个性的集体主义形式,在中学里他就极度反感军训。

^① 指1918年第一次世界大战结束时建立、1933年被希特勒推翻的“魏玛共和国”。本文最初发表时用的不是“德国的政治制度”,而是“我们的政治制度”。

造出高尚的和卓越的东西,而群众本身在思想上总是迟钝的,在感觉上也总是迟钝的。

讲到这里,我想起了群众生活中最坏的一种表现,那就是使我厌恶的军事制度。一个人能够洋洋得意地随着军乐队在四列纵队里行进,单凭这一点就足以使我对他轻视。他所以长了一个大脑,只是出于误会;单单一根脊髓就可满足他的全部需要了。文明国家的这种罪恶的渊藪,应当尽快加以消灭。由命令而产生的勇敢行为,毫无意义的暴行,以及在爱国主义名义下一切可恶的胡闹,所有这些都使我深恶痛绝,在我看来,战争是多么卑鄙、下流!我宁愿被千刀万剐,也不愿参与这种可憎的勾当。^① 尽管如此,我对人类的评价还是十分高的,我相信,要是人民的健康感情没有被那些通过学校和报纸而起作用的商业利益和政治利益蓄意进行败坏,那么战争这个妖魔早就该绝迹了。

我们所能有的最美好的经验是奥秘的经验。它是坚守在真正艺术和真正科学发源地上的基本感情。谁要是体验不到它,谁要是不再有好奇心也不再有惊讶的感觉,他就无异于行尸走肉,他的眼睛是迷糊不清的。就是这样奥秘的经验——虽然掺杂着恐怖——产生了宗教。我们认识到有某种为我们所不能洞察的东西存在,感觉到那种只能以其最原始的形式为我们感受到的最深奥的理性和最灿烂的美——正是这种认识和这种情感构成了真正的宗教感情,在这个意义上,而且也只是在这个意义上,我才是一个具有深挚的宗教感情的人。我无法想象一个会对自己的造物加以赏罚的上帝,也无法想象它会有像在我们自己身上所体验到的那样一种意志。我不能也不愿去想象一个人在肉体死亡以后还会继续活着,让那些脆弱的灵魂,由于恐惧或者由于可笑的唯我论,去拿这种思想当宝贝吧!我自己只求满足于生命永恒的奥秘,满足于觉察现存世界的神奇的结构,窥见它的一鳞半爪,并且以诚挚的努力去领悟在自然界中显示出来的那个理性的一部分,即使只是其极小的一部分,我也就心满意足了。

爱因斯坦在这里表达了他著名的与众不同的宗教观。

^① 1933年7月以后,爱因斯坦改变了这种绝对的反战态度,积极号召反法西斯力量武装起来,对抗法西斯的武装侵略。

奥本海默

诊断地球——艺术与科学的展望

该文是奥本海默 1955 年在哥伦比亚大学 200 周年纪念会上的演讲辞，黎蕴志译。选自《廿世纪命运与展望》志文出版社，1977 年。

导读

奥本海默 (Robert Oppenheimer, 1904—1967) 出生于美国纽约，1922 年进哈佛大学，1925 年毕业。其后先到英国剑桥大学卡文迪什实验室读研究生，接着到德国哥廷根大学，在玻恩指导下于 1927 年获哥廷根大学博士学位。1928 年到 1942 年在加利福尼亚理工学院任教和做研究工作。1942 年负责筹组属于曼哈顿计划的洛斯阿拉莫斯实验室，次年任该实验室主任。1946 年到 1966 年任普林斯顿高级研究所所长。

奥本海默是理论物理学家，在 1930 年指出狄拉克电子理论中的“空穴”不是质子，而应是质量与电子相同的一种带正电的新粒子，这一想法为寻找正电子指引了方向。奥本海默后来又与别人合作，提出了中子星的质量上限，即奥本海默极限。1939 年他还根据广义相对论提出了有关黑洞的初步理论，但是这一研究被二战打断。

奥本海默还是科学组织家，作为美国研制原子弹的“曼哈顿计划”的主要技术负责人，他组织领导了一大批世界著名的物理学家，研制成首批原子弹，被称为“原子弹之父”。二战以后，他反对美国制造氢弹，主张原子能的和平利用，因此受到麦卡锡主义者的迫害（即所谓奥本海默案件）。

“艺术与科学的展望”这句话，对我而言，有两种完全不同的意义：一种是预言，即科学家发现了什么，画家描绘的是什么，何种新形式改变了音乐，经验中的哪一部分重新成为客观描写的对象；而另一种是眺望，即我们眺望今日世界，与往昔

加以比较时,会发现什么。我不是预言家,因此关于第一个问题,虽想就种种意义加以陈说,也不太可能说得圆满。现在想谈的是第二个问题,眺望对我而言有很大的价值,非常新鲜且具魅力,值得我去深究。虽然不能借以预言未来,但对创造未来、型制未来大有裨益。

在艺术或科学的范畴内,能做个预言者当然很幸福,能预知未来也很愉快。我想先讨论一下我个人在物理学及与此相近的自然科学方面的研究分野。目前,对自然科学家自问自答的一些问题予以概观认识,并不十分困难。在物理学方面会有这样的问题:物质是什么?由何组成?将物质细分成微粒或受激烈之外力创造出新成分时,它会有什么作用?而化学家会问:使生命具永续性与可变性的特殊要素——核酸与蛋白质究竟是什么?它们如何利用精密的排列、化学作用、反作用与制御来制造生物的异种细胞,而且担当许多机能(例如经由神经系统发挥传递作用、利用头发来包围保护头部等),记录发生的事,再将它们从意识表面隐退并在需要时想起?这些在脑部究竟是如何作用的?可能意识到的物理性质是什么?

根据历史的教训,在急于思考这类问题并获得解答之前,问题本身似乎已经变形,并与其他问题对调了,进而发现过程本身也粉碎了我们记述“谜语”时所用的概念。

在文化问题中,正确地说,在艺术与科学的问题中,有人认为是已看到一种巨视的历史型,即一种决定文明的方向、对未来展开具有不可避免性的庞大体系。例如,他们认为半世纪以来最具音乐特色的急进(或形式上)的实验是自然科学丰盈开展的必然结果。此外,他们又从音乐革新每每先于诗之革新的事实中发现了必然的顺序,指出往昔文化中类似的连锁性。他们也许会将艺术上形式实验的原因归之于工业、技术社会中权威的崩解——世俗与政治权威、教会普遍权威的崩解。他们由此整顿起预言未来的武器。但这些看法似乎不合我的口味。

如果展望并非预言,那么,它是眺望。如何观看艺术与科学的世界,有两种不同的见解。一种是骑马或徒步、访乡问舍式的旅人眺望。这种方式亲密但有所偏,并具偶然性,受到旅行者本



奥本海默

这种不合奥本海默口味的“巨视的历史型”还颇有后现代风格,把科学与艺术作这样的穿凿附会看来不是什么新鲜事。

身生活范围、能力与好奇心的制约。另一种是空中鸟瞰式的眺望,就某种意义而言,这种展望比较安全,可以看到知识的所有部分与一切艺术,而且能将其视为地球上人类生活庞大而复杂的部分。可是,这种方式也忽略了许多东西,人类生活中大部分的美的温暖都会在这种展望中丧失。

在广阔的高空鸟瞰中,我们看见现代最可怕的量性,其中充满科学的分类表、基金、研究室与书本。而且可从其中认识,有前所未有的多数人正从事于科学研究,也知道苏联与自由世界正在尽力培养科学家。在英国可知,美国出版了许多书刊,几乎人手一册,而且在斯堪的纳维亚,在美、英各国,社会科学正急速进展,有较多的人在倾听过去伟大的音乐,并制作更多的新音乐,画出更多的画,艺术与科学正欣欣向荣。这样的大地图给我们许多启示,它显示出文化与生活、场所与传统、技术与语言的多样性。但这幅具有世界规模与文化广角的远距离大地图也有一个奇异的面,这里有无数乡村,村与村间的小路,从高空无法看到,处处都是高速公路经过或穿过村庄,汽车以风速沿村行走,高速公路如网密布,不知始于何处、终于何方,看来不但与村庄毫无关联,而且简直在故意扰乱村庄的宁静。这种眺望不会给我们任何秩序感或统一感,要发现秩序与统一,必须亲自访问村庄、寂静或忙碌的场所、研究室、书斋、工作室等,我们必须找到可以相信的小道,必须了解高速公路及其危险。

在自然科学中,当前正是英雄的时代,今后势必也是。新的发现接踵而来,每一种都提出问题也解答问题,当一段长期的探究终结时,又给下一个新的探究提供了新武器。这些发现中含有一种激进的见解:将知识与数十、数百年间越来越专门化而难以新近的经验结合起来。也有一种教训:人类从自然现象中所获的种种共同经验,尽管多彩多姿,但仍要受到限制。同时也有暗示与类推,显示出人对人的经验也同样受到限制。所有的新发现都是深入新领域及从事更深研究的科学工具。知识的发现可以丰富实际的技术,也会提供观察与实验的新可能。

不论在任何科学领域内,从事研究的工作者都能彼此调和,他们也许以个人身份从事工作,但可由阅读及讨论中获知同事们的工作进展情况。在需要集体合作时,个人也会以团体的一员加入工作。不论他加入团体或独自在书房工作,作为专家,个人永远是某一共同体的一员。同一科学领域内的同事,对于其中之一具有创造或独创性的见解,会表示感谢,并欢迎他的批评,他的世界及工作成绩将客观地被传达,即使有误,他也相信这种错误不会经常出现。在他个人的工作领域中,在生活世界里,共同的理解常与共同的目的与兴趣相连,并以自由与合作的方式将人与人联结在一起。

这些经验使他自觉到生活的受局限、不合适而且昂贵,在他与广大社会的关联中,共同体意识也许并未能获得客观的理解。回到实际工作时,他会时时感觉到自

己与艺术家、实务者及其他分野的科学家之连带感。在最文明的社会中,最前线的科学已因长年累月的研究、专门化用语、技能、技术、知识等,而与共同的文化遗产分离。在这类科学前线工作的人多半都远离家乡,也远离实际技术的母体及起源。今日的艺术亦复如此。

科学专门化是进步必然的结果,但其中充满危险而且极端浪费,因为许多美丽光辉的事物都与大部分的世界远离。作为一个科学家,其基本任务是发现新的真理,传达给同事,以及用最诚实易懂的方式将新知识解释给想知道的人听。这是科学家经常隶属于大学的一个理由——根本理由,也是以科学受大学保护为最恰当形式的理由。在大学中,在研究者集聚之处,师生间的友谊最可缓和科学生活的狭隘性,也可以看见科学新发现的类比、洞察、调和渗入人类更广阔生活中的道路。

现代艺术家的处境,也有与科学家类似及不同之处。但就艺术家而言,仅仅他所属的艺术风格为众所知是不够的,彼此间的同僚意识、理解与鉴赏也许可以给他鼓励,但并非他工作的目的与本质。艺术家所依存的是共感、文化、象征的共同意义与经验,以及以共同方法记述、解释文化的共同体。他无须为所有人撰写、描绘或演奏。但他的听众必须是人,既然是人,那就不只是同行的专门化集团了,在今天要做到如此非常困难。艺术家常因没有他所归属的社会而深受孤独之苦,他涂上颜色,使之调和,并欲加以描述的传统、象征与文化,都已在变动的世界中崩溃了。

此外,还有一种人工听众,想努力调和艺术家及其工作的世界。这种人工听众即艺术批评家、介绍者与宣传家。正如科学的介绍者、支持者所做的一样,批评家在当前世界中也扮演了不可缺少的角色,他们使艺术家与世界沟通,并导进若干秩序。但,他们不能增加多少艺术家及其同行间存在的亲密性、直接性与深刻性。

在证明艺术家之孤独的事物中,有一种是人类生活中非常可怕的干涸。批评家们剥夺了人类生活中悲伤、奇异、喜悦与愚笨的光辉,而代之以稳健与洞察。这些感情常会提供往昔艺术与人生相近的记录,也许,部分已因技术方法的大跃进而减损,事实上也正是如此。甚至在适合作为现代创作、绘画与作曲之主题时,仍不能有助于艺术家与大家的沟通,因为艺术家总想

科学的专门化是科学进步的必然结果。科学各学科门类之间的距离都越来越远,科学与艺术的分离是否也是大势所趋呢?

给这太广阔、混乱的社会以意义与美。

我们的世界在某一重要意义上是个新世界,其中知识的统一,人类共同体的本质,社会、思想的秩序,社会与文化概念的本身都在变动,大概不会回归到过去本然的状态,新事物之所以为新,并非因为前所未有的,而是因为质素上的变化。新事物之一就是需要的大变化。在一世代中,我们不断在消化、推翻并补充以往一切对自然界的知识,我们为此而生,其中成长的技术也不断增广、细化。结果,全世界皆由讯息连接,也为专制政治的庞大渣滓所阻。世界成为一体,具有单一性格,这是新的一面。换言之,对边远地区各类民族之知识与共鸣,在实际问题上,将大家互相连接的枷锁,以及我们视他们为同胞的信赖,都是新的。此外,信仰、祭祀、世俗秩序等权威之广泛腐败与崩溃,也是这个世界新的一面。这是我们生长的世界,由此显示的难题则来自理解、技术与力的发展。徒然非难使我们与过去分离的变动是无谓的,就深一层的意义而论,我认为这正是我们之所想。我们需认识变化,更需要寻找适应的对策。

再谈到学校与大学。就这一点而论,科学家与艺术家、历史家所遭遇的难题并无不同,他们需要成为社会的一员,而社会缺少他们,也难免会遭受损失与危险。因此,当我们看到创造性艺术家与大学彼此相处时,深感兴趣也充满希望。作曲家、诗人、剧作家及画家需要大学给予他们容忍、理解与教区的保护,使他们免于受人际关系及职业地位的压迫,这种现象已逐渐受到大众的承认。在大学中,艺术家所具的直观与美已植根于社会,一种亲密感与人性的枷锁也使他们与保护者的关系密切起来。此外,大学本来就是个人得以重塑的场所,而且由于交友及团体生活的经验,人们可以向未知的科学与艺术领域打开眼界,人类生活中关系疏离,似乎难以并存的各部门也可在此找到调和与综合,大学就是这样的场所。

概略言之,这些是我们漫步于艺术与科学之村,注意到村与村间的通路何其细狭,村中的工作给外人分得的理解与喜悦又何其少时,我们所仅知的一点事物。

高速公路于事无补。它们连接小亚细亚的沙漠到组织化的营业戏院——一切集团机构。它们将艺术、科学与文化传达给民众,促进人性与艺术、科学的连接,使我们忆起远地的饥馑、战争、问题与改变。这辽阔的大地与复杂的民族借此结合为一,今日的话题与歌咏、发现与奖赏借此传遍全球而引起反响。可是,它们同时也是把真正的人间社会、人与人之了解、邻人间的感情、学生之学诗、女性的舞蹈、个人的好奇及个人对美之感受,均借此转化为干燥无味的手段,也使门外汉被动欣赏艺术家与科学家的成绩,因而摆出非人的面孔。

这世界不可避免地势必继续开放、继续折中,这就是真相。我们对个人已知道得够多,为了共同生活,必须容忍各种各样的生活方式,历史与传统——说明人生的手段——是我们之间的枷锁,也是障碍。我们的知识互相结合也互相分离,我们

的秩序互相连接也互相崩解,我们的艺术使我们连接也使我们疏离。艺术家的孤独、学者的失望、科学家的偏颇,是这个伟大变动期的不自然象征。

我们所提出的问题并不简单,认识的非可逆性引出了世界开放性的特色,我们不能对新发现视若无睹,不能对未知者的声音充耳不闻。东方伟大的文化,由于大海、无知与亲密性的缺乏,以致无法了解而与我们隔离,但这是不正确的说法,以作为一个学者的知识与作为一个人所具的人性,都不允许我们如此,在这开放的世界里,东方的所有,应该去认识。

这不是新的问题,在今日以前早已发生,同样有不能动心的感觉,无法融入一个综合体系的深沉信念。但,在今日以前,多样性、复杂性与丰裕性从未如此明确地拒绝圣职政治的秩序与单纯,而且也没有一个时代像今天一样。必须承认,自由的唯一途径是理解难以并立的各种生活模式,并从中加以选择。也没有像今天一样,古老的亲密、琐屑、真正的艺术或技术的统合、幽默、美之保存等,与生活程度之辽阔、地球之广大、人与人之异质、模式之不同、全面之黑暗,构成如此巨大的对比。

这是一个依傍近物,依傍自己所知、所能之事,以及依傍友人、传统与爱的世界。因为我们每个人都想知道自己能力的界限,知道浅薄的毒害与疲劳的威胁,也想逃入混乱之世界中,崩解为一个既不知亦不行的人。但同时,在这世界里,对任何无知、麻木与冒失,也没有人能提出宗教的宽容与普遍的承认。即使友人告诉我们新的发现,我们也许不会了解,在工作上没有遭遇危机时,甚至不耐倾听。可是,在书籍与经典中都找不到允许我们无知的根据,而且也不该去找。如果有人和我们想法不同,或对美丑的看法不一致。我们会以精神疲累或感觉麻烦而离去,这是我们的弱点与缺陷。如果我们不断地意识到这世界与人类都远比我们伟大,而以此当作过重的负荷,那么,也许会把只求认识、不求慰藉当作道德的尺度,而不会断言:我们能力之界限,正与我们人生、学识与选择美之特殊智慧相对应。

平衡的20世纪(无限开放与有限亲密间这不安定、不可能的平衡时代)已经来了一段很长的时间,这是我们和我们的孩子唯一的道路。

艺术家与科学家有特殊的问题与特殊的希望,在他们极其不同的方法及逐渐繁杂的生活中,仍然有连带与类似意识。无论科学家或艺术家,经常都环绕于神秘边缘或生活在神秘之中。他们尽力调和新奇,给新奇与综合间带来平衡,将整体混沌赋予部分的秩序。他们在工作中能够助己、互助并且助人,他们将艺术与科学之村,整个世界结合之道,当作世界共同体多样性、富变化之宝贵枷锁。

这不是简单的生活,为了心灵的开放,为了不失去兴趣,为了保存美感及孕育美感的能力,我们只有苦思,并尽力在我们的村子里保护这些庭院,保存繁复的通道,使它们在寒风凛冽的开放世界中,能继续生长、繁荣。这是人的条件,在这条件之下,我们因为互爱,故能互助。

卡洛·卢比亚

科学的普遍性与国际合作

选自《智慧的灵光——世界科学名家传世精品》，
宋建林主编 改革出版社 1999 年。

导读

卢比亚 (Carlo Rubbia ,1934—)出生于意大利小城戈里齐亚 (Gorizia) ,曾就读于比萨大学 ,获博士学位。1958 年到美国哥伦比亚大学进行高能物理研究。1960 年回到罗马大学。1962 年被任命为位于日内瓦的欧洲粒子物理研究所高级研究人员。1970 年被聘为美国哈佛大学物理学教授 ,此后往返于哈佛和欧洲粒子物理研究所之间进行教学和研究。

卢比亚对电弱相互作用感兴趣。为验证弱相互作用是通过超重的粒子 W 和 Z 传递的这一猜想 ,1976 年他利用欧洲粒子物理研究所的大型粒子对撞机提出了一个实验设想 ,荷兰物理学家范德梅尔 (Simon van der Meer)具体设计了实验。他们在 1981 年首次进行对撞实验 ,1983 年宣布发现了弱相互作用的传递场粒子 W^+ 、 W^- 和 Z^0 。由于这一重大贡献 ,二人于 1984 年共同获得诺贝尔物理学奖。

现代科学方法问世于 17 世纪的伽利略时代 ,然而 ,只是到了 18 世纪后期和 19 世纪之初 ,自然科学才得以迅速发展。

在此期间 ,被公认为促进了这一过程发展的 ,是一些大学中少数出类拔萃的科学家 ,他们的影响迅速而广泛地遍及整个欧洲。这一发展 ,在很大程度上是基于如下事实——修业于各自选择的大学里的年轻学者们打破了国家界线——从伦敦、巴黎到圣·彼得堡 ,从厄普萨拉到波洛尼亚 ,形成了早期国际性合作的雏形。与此同时 ,西方的工业化也在上个世纪得到了发展。科学与新兴工业之间的联系慢慢地在增加。其中最早的例子是称为上个世纪“高技术”的德国的化学工业 ,当时已为国际领先。这一发展经历 ,同时也使德国成为一个最早由政府参与创办较大规模研究机构的范例。他们扩充了大学教育系统 ,建立了恺撒·威尔海姆研究

院,即今日人们所知的麦克斯·普朗克研究院。该院即建于1911年。

表明本世纪第一个25年间欧洲科学力量的例证之一,是在总共71位诺贝尔物理学、化学和医学奖获得者中,有68位是欧洲的科学家。

本世纪第二个25年间欧洲发生的灾难性事件,以及这一事件对科学活动的种种影响,这里就不必赘述了。然而,正是在第二次世界大战期间以及其后的年代里,人们终于普遍地认识到,科学对民用和军用产业的发展所产生的至关重要的作用。

美国政府迅速增加了对大规模自然科学和生物医学研究的支持。据估计,大战结束后不久,美国的科研预算已达当时全世界研究经费总额的一半。这些财力物力投资,加上这个国家的幅员辽阔和科学家们充分的自由交往和自由流动,使得美国在本世纪第三个25年期间在许多科学领域内成就卓著。

毫无疑问,能够表明这一事实的例证,可以再次从诺贝尔奖获得者的国籍上看出。在本世纪第一个25年中,物理学、化学和医学的71位获奖者中,只有3个是美国人。而在1955年到1980年的25年间,150位诺贝尔奖获得者中有82位是美国公民——其中许多人原先是从欧洲极权政府的恐怖中来美国寻求自由的。

在其他工业化国家以及许多发展中国家里,也一直存在着类似的情形。但与美国相比,只是发展得慢一些。但是,在同一期间,一种新型的、具有革命性的进行基础研究的方法已扎根于古老的欧洲大地,在经历了战争的创伤之后,倔强地形成了新的特色:即强有力的科学合作国际化运动——这一观念在当今如此流行——而在当时根本无人知晓。其中一个突出的例子是CERN,即设在日内瓦的欧洲原子核研究组织。该机构迄今已有30年的历史,目前支持着4500名在基本粒子领域内从事研究的科学工作者。

在许多其他学科领域里,如气象学、天文学、核聚变以及空间科学领域里,也同样存在着全球规模的科学合作。利用这种方法,全球范围内最优秀的科学专家们便可以开展有效的合作,以解决人类在发展过程中出现的较为难以解决的问题。同时,联合国系统也会以一种无可争议的和具有建设性的方式加以扩展。

上述研究计划的经费是依照自愿的原则由30个国家捐款资助的。我们听说,美国在中断几年之后,最近已决定恢复对该项计划提供资助,这的确是一件令人快慰的事。

我相信,所有这些都是以不同形式开展国际合作的良好的典范。作为世界大多数人民和平与繁荣的先决条件,规模日益扩大的民用研究也正逐步采用国际合作与谅解的方式进行。说真的,国际合作似乎也终于对诺贝尔委员会这层人产生了影响。

在30年代,诺贝尔奖最大部分的得主是德国人。1976年——例外的一年,诺

贝尔奖的得主全部来自美国。但过去几年的情形,在诺贝尔基金会成立以来也是史无前例的:从来没有那么多的科学家来自那么多不同的国家。再者,物理学是国际性联系最大的学科,过去五年间,有十分之七的诺贝尔奖获得者是在国际性组织中作出他们的发现的。那么,这是不是可以表明一种发展趋势,或者只是一种数年后会消失的统计上的波动呢?我认为,在科学上,这是一条崭新的、今后会越来越明朗的路子。这并非是偶然现象,而是一条将来会占主导地位的、崭新而重要的路子。但是,为什么我们要在基础科学领域里开展国际合作呢?国际合作的必要性常常可以从资金的角度予以正当的解释,即有必要分担为建造许多大型设施所需要的大笔投资。这一点是十分明显的,但也并非是以国际合作为基础的研究工作取得杰出成就的唯一原因。

对于使有组织的研究工作扩大到国际规模来说,还有另外两个更为重要的原因。

原因之一,即我所谓的“人的因素”。基础研究的进步在很大程度上是由于“波动性”所致,即由于智能的突破而产生的突然变化。没有这种“触发”因素,纵使投资强度再大,也不会收到相应的效果。在科学上,一个具有独一无二、创新思想的人,可以比千百个做较为常规研究的科学家能取得更大的进展——当然,尽管后者对于以最快的速度进展是不够的,但同样也是需要的。像在艺术、音乐等领域一样,成就卓著的科学家有赖于特殊的天赋。大自然对这些人物的造就非常缓慢、非常吝啬,而且是恒速不变的。科学家必须更好地处理自然天赋与正规、广泛专业训练的关系。天才科学家的数目不可能依照命令而增加;只有当科学家所在群体里的科学训练能恰如其分地提供他们所需要的基础训练时,天才科学家才会自然而然地得到发展。这就是在当今世界的一些国家,包括许多发展中国家里所出现的情形。

我所要谈到的第二个原因,是我所谓的“集体效应”。这种非线性效应极大地促进了科学的进步。当许多不同类型科学家相互密切地联系在一起的时候,科学进步的速度就会加快。这种进步在不同学科的“交叉地带”尤为活跃,如把化学上的某个想法施用于生物学,把数学上的某一观念施用于物理学,等

“集体效应”的一个典型例子就是剑桥大学的教授免费午餐制度。这顿午餐与其说是教授们的权利,还不如说是他们的义务。他们有义务出席这个为不同专业的教授们提供交流场所的午餐。

等。换句话说,在同一处工作的 100 名专业稍有不同科学家,可以说要比同样是这 100 名科学家,但工作在分散的、相互隔离的环境中进步得更大一些,更快一些。这是创新型科学思维的基本特征。例如,在过去一百多年中,绝大多数科学进步一直与大学联系在一起,其主要原因之一就在于此——大学是许多不同专业学者的荟萃之地。目前,产业界也注意到了这一点在其自身的研究和开发活动中的重要性。因此,对于现代科学活动的规模,利用最佳思想和提供适宜的“熔炉”,已经可以在国际上很好地得以实现。但应该说明的是,长期以来,科学国际化过程一直在以隐蔽的形式发展着,而我们今天所要落到实处的,只是有必要使原有的这一过程变为一种更加完善、更加系统的制度。

我相信,科学研究难度的日益增加正迫切要求采取新的步骤,以保证国际性交往向更有组织、更有计划的机制迈进。只有这样,人们才会确信,有可能表现为人力资源中的全部自由能量才能有效地在友好国家更为广泛的合作组织内部沟通。这种扩展了的合作形式,必须加强而不是限制该系统内科学家的思想交流和自由流动,必须鼓励促进科学,而不是试图官僚主义地加以利用。社会的首要责任,是要把科学群体置于最有效的环境之中,以产生出新的知识。这一点,对于整个人类的进步,特别是对于西方国家的进步都是极为重要的。当前,这不可避免地依赖于日益有组织的科学合作。新、老大陆之间已建立了长期持久的纽带关系。近年来,一支新的方面军已开始发挥日益增大的作用。在锐不可当地要求改善生活水准和在世界经济中发挥新的、强有力作用的驱使下,现代的日本和其他东方国家正在兴起。在我们看来,未来是属于那些知道如何洞察和区分美与丑神秘界线的人们。这一哲理在过去导致了許多伟大的文明,同时也是我们西方人观察世界的基本方法。我相信,随着相互之间更好的了解,我们对日本人民的成就所持的态度也会相应地改变。只有经过我们之间更为密切的联系,经过三角世界真正的通力合作(在合作中,美国、欧洲、日本也将能加强其各自的联系),人们才将有能力规划出 21 世纪的基本蓝图,描绘出这个星球所有文明民族之间国际合作的更加宏伟的画图。

下一个世纪的未来是属于你们的,你们大家会有一个更加美好的世界——带着这种愿望,我结束我的这次演讲。

公众的科学观

选自《智慧的灵光——世界科学家传世精品》，
宋建林主编，改革出版社，1999年。

不管我们喜欢不喜欢，我们生活其中的世界在过去 100 年间遭受到剧烈的变化，看来在下个世纪这种变化还要更厉害。有些人宁愿停止这些变化，回到他们认为是更纯洁单纯的年代。但是，正如历史所昭示的，过去并非那么美好。过去对于少数特权者而言是不坏，尽管甚至他们也享受不到现代医药，妇女生育是高度危险的。但是，对于绝大多数人，生活是肮脏、野蛮而短暂的。

无论如何，即便人们向往也不可能把时钟扳回到过去。知识和技术不能就这么被忘却。人们也不能阻止将来的进步。即便所有政府都把研究经费停止（而且现任政府在这一点上做得十分地道），竞争的力量仍然会把技术向前推进。况且，人们不可能阻止头脑去思维基础科学，不管这些人是否得到报酬。防止进一步发展的唯一方法是压迫任何新生事物的全球独裁政府，但是人类的创造力和天才是如此之顽强，即便是这样的政府也无可奈何。充其量不过把变化的速度降低而已。

如果我们都同意说，无法阻止科学技术去改变我们的世界，至少要尽量保证它们引起在正确方向上的变化。在一个民主社会中，这意味着公众需要对科学有基本的理解，这样作出决定才能是消息灵通的，而不会只受少数专家的操纵。现今公众对待科学的态度相当矛盾。人们希望科学技术新发展继续导致生活水平的稳定提高，另一方面，由于不理解而不信任科学。一位在实验室中制造佛朗克斯坦机器人的发疯科学家的卡通人物便是这种不信任的明证。这也是支持绿党的一个背景因素。但是公众对科学尤其是天文学兴趣盎然，这可从诸如《宇宙》电视系列片和科学幻想对大量观众的吸引力中看出。

公众对科学的不信任可能源于这样一个心理背景：公众没有机会或没有能力参与科学研究，因此对科学不理解。而不理解往往导致不信任——理工科专家在面对人文学术时也经常有同样的心理问题。

如何利用这些兴趣向公众提供必需的科学背景,使之在诸如酸雨、温室效应、核武器和遗传工程方面作出真知灼见的决定?很清楚,根本的问题是中学基础教育。可惜中学的科学教育既枯燥又乏味。孩子们依赖死记硬背蒙混过关,根本不知道科学和他们周围的世界有何关系。此外,通常需要方程才能学会科学。尽管方程是描述数学思想的简明而精确的方法和手段,大部分人对此敬而远之。当我最近写一部通俗著作时,有人提出忠告说,每放进一个方程都会使销售量减半。我引进了一个方程,即爱因斯坦著名的方程 $E = mc^2$ 。也许,没有这个方程,我能多卖出一倍数量的书。

科学家和工程师喜欢用方程的形式表达他们的思想,因为他们需要数量的准确值。但对于我们中的其他人,定性地掌握科学概念已经足够,这些概念只要通过语言和图解而不必用方程即能表达。

人们在学校中学的科学可提供一个基本框架。但是现在科学进步的节奏如此之迅速,在人们离开学校或大学之后总有新的进展。我在中学时从未学过分子生物学或晶体管,而遗传工程和计算机却是最有可能改变我们将来生活方式的两种发展。有关科学的通俗著作和杂志文章可以帮助我们知悉新发展,但哪怕是最成功的通俗著作也只为人口中的一小部分阅读。只有电视才能触及真正广大的观众。电视中有一些非常好的科学节目,但是还有些人把科学奇迹简单地描述成魔术,而没有进行解释或者指出它们如何和科学观念的框架一致。科学节目的电视制作者应当意识到,他们不仅有娱乐公众而且有教育公众的责任。

在最近的将来,什么是公众在和科学相关的问题上应做的决定呢?迄今为止,最紧急的应是有关核武器的决定。其他的全球问题,诸如食物供给或者温室效应则是相对迟缓的,但是核战争意味着地球的全人类在几天内被消灭。冷战结束带来的东西方紧张关系的缓解表明,核战争的恐惧已从公众意识中退出。但是只要还存在把全球人口消灭许多遍的武器,这种危险仍然在那里。前苏联和美国的核武器仍然把北半球的主要城市作为毁灭目标。只要电脑出点差错或者掌握这些武器的人员不服从命令,就足以引发全球战争。更令人忧虑的是,现在有些弱国也有了核武器。强国的行为相对负责任一些,但是一些弱国如利比亚或伊拉克、巴基斯坦甚至阿塞拜疆的诚信度就不够高。这些国家能在不久获得的实际的核武器本身并不太可怕,尽管能炸死几百万人,这些武器仍然是相当落后的。其真正的危险在于两个小国家之间的核战争会把具有大量核储备的强国卷进去。

公众意识到这种危险性,并迫使所有政府同意大量裁军是非常重要的。把所有核武器销毁也许是不现实的,但是我们可以减少武器的数量以减轻危险。

如果我们避免了核战争,仍然存在把我们消灭的其他危险。有人讲过一个恶

毒的笑话 ,说我们之所以未被外星人文明所接触 ,是因为当他们的文明达到我们的阶段时先把自己消灭。但是我对公众的意识有充分的信任 ,那就是相信我们能够证明这个笑话是荒谬的。

八

战争与和平 ,在若即若离之间
——两种文化

多萝茜·内尔金

科学大战：对一宗失败 “婚姻”的反思

选自《科学大战》，(美)安德鲁·罗斯主编，夏侯炳、郭伦娜等译，江西教育出版社 2002 年。

导读

多萝茜·内尔金 (Dorothy Nelkin) 1954 年康奈尔大学毕业，获哲学学士学位。现任纽约大学社会学系教授，研究趣向为：遗传检测和基因治疗的社会问题、科学与宗教、科学的媒体传播等；所授课程有：元科学研究、遗传学和社会学、科学和法律。合著有：《躯体集市：生物技术时代的人体器官市场》、《DNA 奥秘：作为一个文化符号的基因》等。

科学大战这场以纽约科学院“来自科学与理性的航班”大会为背景的防守性进攻，矛头直指近来主张科研是一种受社会力量和政治力量影响的活动的科学研究工作。在两极分化和出口伤人方面与文化大战 (Culture Wars) 相似，其攻击的目标是在一个特定的学术领域工作的学者们，这个领域或者被称为“科学、技术与社会”，或者“科学研究”，或者“科学的文化研究”。同样成为攻击目标的，是那些就当代科学事务发表评论的科学哲学家和各种人文知识分子。

在非科学家的“圈外人”中间，对科学的人文兴趣的增长迄今持续了 20 年，这部分是由于科学在更大含义的文化中的瞩目地位提高了，部分是因为对科学所具有的重大社会意义的认识提高了。科学的成功给予那些曾经是非公开领域的科学实验室以很高的公众形象。当代对科学的研究超越了对其社会效果的检验，它们把科研优先权、研究方法和组织方式的发展也纳入自己的视野之内。人类学家关注实验室内科学家之间的关系；文化分析者揭示话语的科学样式；而哲学家和社会学家则对客观性的本质、事实的建构以及构成科学解释自然的各种偏见和价值提出质疑。这种调查研究把科学当作一种深刻的人类活动来看待，当作不是脱离现

科学是要在复杂的自然现象中寻找一致性和确定性。把科学作为研究对象的科学态度也应该是在这种“深刻的人类活动”和这些“真实的人们创造出来的产品”中寻求一致性和确定性。而真实的情况似乎相反,研究者们迷惑于这种“人类活动”的多样性和“产品”的丰富性,无力或者没有兴趣抽取其中的客观性和简单性。事实上,科学活动固然需要人,但不需要特定的某个或某些人,科学的客观性要求对人可以不作具体要求,科学规律的客观性不因人而异,所以说科学一定程度上与人无关。因此,那种把科学主要当作一种人的活动、那种主要从事科学研究的人入手的关于科学的学说,其本质不是关于科学的学说,而是一种社会学学说。这样的学说之所以会遭到某些科学家的反驳,一方面可能是要捍卫在一般公众中科学的客观性形象,另一方面可能是因为那些学说确实会影响政府的科学管理政策。这两个方面的负面影响都足以损害科学研究活动的正常延续。

实的心灵而是在社会互动中真实的人们创造出来的产品来看待。对于某些科学家来说,这种社会建构主义研究看起来像是对科学的恶意攻击,而他们则报之以挑衅。事实上,他们的回击以其感情用事、敌视性、道德义愤和论战式的语调而引人注目。

这些科学家把科学研究的学者描绘成科学的破坏者、无知的危言耸听者、自欺欺人的空想家、固执己见的女性主义者,或者,最好也是些愚蠢的、爱赶时髦的、头脑混乱的、阴郁的、激进或者左翼的家伙。他们使用的夸张语言是经过精心挑选的,旨在吸引那些永远对富于刺激性的争论保持高度敏感的媒体。科学斗士们把对科学的严肃批评说成是自命不凡的胡说、有毒的新时代傻话、浪漫的对抗、冷酷无情的生态儿语、幼稚的意识形态、有害的大话,甚至是“解释学的色情挑逗(hermeneutic hootchy-kootchy)”^{①②}。我们读到,社会建构主义者正被添加到迷信十足和完全无知的美国公众的行列中。因为,他们的著作会导致科学的终结,我们还被警告说,“科学的灵魂”本身正处于危急关头。在受人尊敬的《今日物理学》杂志(Physics Today)上,物理学家阿瑟·坎特罗威茨(Arthur Kantrowitz)把今天文学批评家和社会科学批评家的权力与15世纪由中国读书人组成的官僚机构的权力加以比附,那时,“书生使中国受到了四个世纪的与世隔绝以及科学停滞不前的折磨”。^③

主旋律既响亮又清晰。科学正在受到纠集在一起的“圈外人”的亵渎和贬损,这些坏蛋包括激进的女性主义者、后现代主义者、人文学者、文学知识分子、社会主义者、人类学家、环境主义者、特创论者、动物权益活动家以及捷克共和国总统瓦茨拉夫·哈维尔(Vaclav Havel)。1994年,哈维尔在费城一次公开讲话中曾经提到,“把科学作为世界现代观念的基础”是一种“危机”。科学的前提即它对客观实在的无条件相信,已经不能“把握存在世界体系的精神、目的和意义”。他和其他暗示科学存在极限的知识分子一起,已经被定义为决心摧毁科学和损害科学世界观的败类。科学被虐待了,被玷污了,被围攻了。这就是那种被人类学家玛丽·道格拉斯(Mary Douglas)称为“污染修辞术”

① hootchy-kootchy 是一种色情的女子舞蹈。“hootchy-kootchy”疑是某种象声。——译者注

② Paul R. Gross and Norman Levitt, Higher Superstition: The Academic Left and Its Quarrels with Science (Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 1994).

③ Arthur Kantrowitz, “Review of Higher Superstition”, Physics Today 48, no. 1 (1995): P55.

的保护主义语言,此术是兵临城下的机构的典型防御性反应:面对外来入侵就把大门砌死,从而保持其纯洁性和安全性。^①

除非科学家们直接和立即受到了伤害,否则,他们对政治压力的反应通常是迟缓的。在一本政治科学的历史著作中,政治科学家约瑟夫·哈贝雷尔(Joseph Haberer)把科学家与国家的关系描述为一种“谨慎的默认(prudential acquiescence)”。^②在20世纪70年代,动员科学家起来与“科学特创论”影响作斗争的努力很不成功,而且实际上科学家忽视对科学教育的这一巨大威胁。到80年代,只有受到禁止做动物实验直接影响的科学家,才动员起来反对日益壮大的动物权益运动。同样,在反堕胎主义者成功地禁止研究胎儿的过程中,绝大多数科学家都昏睡不醒。但是在90年代,很多科学家似乎愿意而且急于攻击社会建构主义理论,甚至尽管这种理论对科学的影响还远不清晰。他们反应的强烈程度令人吃惊。为什么最近科学家会如此提防对科学的人文研究呢?为什么他们会被使科学摆脱神秘的研究方法的束缚如此困惑不解呢?为什么揭示在真理与知识之间存在沟壑,追问“我们是怎么知道的”会引起如此大规模的论战呢?这些科学大战到底是如何引起的呢?

它肯定不是人文学者的真实影响力所致,这些人根本就不想颠覆科学事业。没有证据说明科学研究学者要对国会削减科学资助负责。一个决心不让社会科学获得全国人文学科捐款和取消其全国社会基金的国会,不可能真的认为人文的或社会学的研究(这些研究总被历史学家和社会学家玩得团团转)有那么高的价值。也没有证据说明科学研究学者,甚至是其中具有广泛的公众号召力的人,曾经对公共政策产生很大的影响。哲学家托马斯·库恩十分重要并影响广泛的论著《科学革命的结构》(1962),对有关科学的公正性及其对新观念的接受能力的基本假设提出了挑战,但是它并未减少20世纪60年代政府对科学的资助。人们很难在以科学为对象的历史和社会学分析与科学政策的改变之间找到任何联系。

科学家们的污染修辞术以及自卫性的语言和道德义愤,在科学内部的变化过程中,特别是在第二次世界大战以后发展起来的科学与国家之间的社会契约中得到了最佳诠释。这纸契约包括一系列既不明言却十分露骨的有关科学自治权的协定。如果科学家能够为公众进步的利益和有良心的管理者的兴趣而工作,并能做到自律的话,政府愿为研究提供全面的支持,这种支持相对地不受责任的束缚。这些条件促进了科学的蓬勃发展,科学家们也把它们当成了自己的责任。可是,到20世纪90年代,从哪方面看契约中的条款都显得越来越不合时宜了,缔约双方都不能满足交易对他们的要求。政府不断地减少对科学的资助,却要求获得更多的

① Mary Douglas, *How Institutions Think* (Syracuse, N. Y.: Syracuse University Press, 1986).

② Joseph Haberer, *Politics and the Community of Science* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1969).

回报,而经常为私人利益熬夜的科学家们则面临着越来越难以自我调适的问题。在这种情况下,那些研究科学活动的“圈外人”成为替罪羊,而喋喋不休的舌战对于科学家来说则是拒绝自我批评、逃避责任和指责的最好挡箭牌。

随着第二次世界大战结束,科学家们构思了他们自己与美利坚合众国缔结的后来影响科学近四十年的契约。确立这一社会契约的前提是,科技信息是公共资源,对科学有利的就是对国家有利的。这种关系经常被描述为一宗婚姻:暗含着共同的预设和相互的信托。不同寻常的自治程度保证了科学可以表明自己具有非政治的形象,保证了科学家作为没有偏见的和“公正的”从而可靠的真理之源的声誉。它还能赢得公众对科学社群管理其内部事务的能力的广泛信任。这样,正如政策分析家唐·普赖斯(Don Price)在1964年所描述的那样,科学是“唯一的一套这样的机构,它所获得的国家拨款几乎是建立在信任的基础上并受政府契约的保护,如果说社会契约不是保护它在实验室内维持修道院般的平静的话,那就是保护它的自治”。^①

这宗婚姻是在一个特定的时代里缔结而成的,当时人们极端相信科学是技术进步的基础。这种认识在1957年苏联人造地球卫星升空之后达到了顶峰。那时的经济增长和冷战竞赛有利于发展科学,但是婚姻中的极乐时光稍纵即逝。到60年代末,反战运动和环保运动对许多起支配作用的机构提出了质疑,而科学就被包括在内,这种紧张状态使婚姻关系受到侵蚀。接着,在随后的几年里,科学变得越来越有争议。动物权益运动为早就被接受的研究方法设立了障碍。特创论者阻挠在学校里教授进化论。反堕胎主义者阻挠开展胎儿研究和胚胎研究。男同性恋权利活动家向妨碍获得艾滋病治疗的科学程序提出了挑战。在道德上持保留态度的宗教团体,与有经济利害关系的农民手拉手地反对生物技术的应用。在这种广泛的公开化的批评浪潮中,这些群体不断地对科学是社会进步的基础的形象深表怀疑,向科学作为中立性的权威之源和无偏见的专门知识之源的角色提出挑战。他们还对科学技术与社会进步之间的关系越来越不肯认同。

到了20世纪90年代,科学与国家之间存在已久的琴瑟和谐般亲密关系也恶化了。这种关系已经不大像是婚姻关系,更像是一种经过谈判而达成的协议,或者与其说是建立在信任上,还不如说是建立在相互认可的利己主义之上的权宜之计。而且,正如在所有这类脆弱联盟中那样,关系是非常紧张的。

就政府而言,它没能满足契约对它的要求,即提供没有前提条件的资助。恰恰是在尖端领域研究的开支上涨的时候,政府对科研的经济资助减少了。这主要是世界局势特别是冷战结束、国防经费削减和国家赤字增加带来的后果。很多科学

^① Don Price, "The Scientific Establishment", Science and National Policy-Making, Robert Gilpin 和 Christopher Wright 编 (New York: Columbia University Press, 1964), P20.

家曾经依赖于五角大楼,后者在国家安全这一醒目标题下能提供大量的资金。甚至后来像冷战一样变成了科学资金的来源的“健康战”,也不再具有优先地位。同时,削减赤字的气氛和对纳税的痛恨影响了资助科学机构的预算。对于科学家来说,他们越来越难以从政府机构得到资金支持,而那些获得了资助保证的科学家则要受到更多的监控。

由于经济竞争使军事战略目标相形见绌,很多科学家将其研究重点转移到有助于解决短期的且与商业赢利相关的项目上去。毫不奇怪,商业资助者要求按照利润原则安排计划。因此,由科学好奇心不断推进的科学的形象,科学作为无止境的前沿和进步的驱动力量的幻象就越来越被乌云所遮蔽了。那种维持着社会契约的有关科学和技术拥有极度乐观未来的情绪消散了,科学家和现在的其他机构与大多数人一样,必须适应于用较少的资源开展科研活动。

政府政策的变化主要是受经济环境驱动的,但是它也反映了公众对“大科学”的疏远。20世纪80年代在新闻媒体中广泛报道过的一系列意料之外的失败,为人们对资助花费昂贵的大科学计划是否明智的疑虑增加了证据。挑战者号航天飞机失事只是很多遇挫的巨型计划中的一个,此外还有耗资20亿美金的哈勃望远镜和火星宇宙飞船。接着在1993年,那个对撞机中的巨人即超导超级对撞机变成了巨型科学无效率的一个典型,大规模的科学计划难以管理的一个实例。在对于许多人看来事关科学的政治前途的决策中,国会撤销了资金支持。

契约中的科学家一方,即科学家对自律的承诺,同样也变质了。对供职于高度专门化领域的大量科学家实行控制,特别是在竞争日益加剧的环境下保持对他们的控制,变得越来越难了。最引人注目和众所周知的问题是科学上的渎职和欺诈事件。科学家曾经对有关这些弊病的报道看法不同:有些人认为欺诈只是少数“坏苹果”的越轨行为;其他人则把这看成是暴露了科学组织中基本结构性的缺陷。但是一致的看法是,科学中的欺诈行为损害了科学事业的道德根基,它对科学社群自律的能力提出了严重挑战。

欺诈现象只是对自律的可行性提出了怀疑的多个问题中的一个,其运作机制是同行评价体系。但是有些科学家绕过了这

挑战者号航天飞机失事是一个悲剧,一个挫折,但不是失败。就公众意识来说,这次失事激起了公众对空间探索的更大热情。哈勃太空望远镜更不能说是一个失败,1990年4月由发现号航天飞机放入太空后,它的主镜成像模糊不清,但是1994年由奋进号航天飞机携带光路修正器对它的聚焦系统作了非常成功的纠正,以后它拍摄的高精度天体照片为天文学各个分支领域的进步起到了举足轻重的作用。作者的这篇文章写在1996年科学大战发生之后,仍旧引用这些所谓的失败事件作为论据,是失察的。

道关卡,不经过耗费时间的同行评价程序,直接向媒体公布那些他们觉得具有新闻价值,而且应该公之于众的研究成果。犹它州立大学的冷聚变实验和明尼苏达州立大学的同卵双胞胎行为研究,只是很多此类例子中的两个。在这些风波中,要么就是科学家被专业期刊拒绝,要么就是他们太没有耐心等待同行的评价,而直接将所谓成果捅给了新闻界。

科学家们也在努力适应有关伦理滥用的反复揭露,特别是对那些有争议的人类实验的揭露,这些实验是在没有充分的预防措施或者未获得实验对象自愿认可的情况下进行的。黑兹尔·奥-利里(Hazel O'Leary)对政府资助违反伦理的研究课题的历史研究,不仅揭露了政府政策的缺陷,还对暧昧研究中广泛存在的科学同谋现象进行了曝光。冷战后契约中的“自治”总有一厢情愿地考虑问题的成分,好像科学家都一头扎进冷战文化中,使得把加钐的牛奶喂给智力迟钝的儿童似乎也是很必要的。在20世纪50年代,公众无从获悉此类行动的信息;在90年代,这种信息得到广泛的传播。这样在90年代,像涉及滥用联邦研究基金和企业行为引起利益冲突之类的事件,无可避免地要成为公众争论的话题。^①

我们之所以能看到这些问题,有一部分多亏了媒体的关注,但是在科学内部确实发生着变化。公司对科研活动的影响是重大的,特别是在像生物技术这样的领域。企业与大学之间的合作所具有的重要性已经给公众留下了这样的印象:第一,科学是某种待价而沽的东西,某些科学家就是某个商业集团的御用学者;第二,与其说科学信息是公众资源(这一点是原来契约的最终基础),还不如说是私人物品。

总之,在90年代,科学已经变成了一个与它和国家签订契约时大不相同的事业。它规模更大,花费更多,更具争议性,而且更难以控制。筹资越来越多看来是必需的,而低于通货膨胀率的预算计划被科学家们认为是“糟糕的”。而且,科学社群正面临着内在的两难境地,这种两难已经动摇了科学家一方的协议基础。对于科学家来说,下述变化真成问题:一些已经制定并能产生结果的计划被搁置下来了,而一些受过良好训练的年轻科学家却无事可干。打乱旧秩序总是费劲的,而科学家也有理由感到苦恼。但是该责备谁呢?

用玛丽·道格拉斯的话来说,受到围攻的机构寻求“把各种看法都纳入到与他们认可的关系一致的形式中去”。^②为了保护其疆界,一个“体制化的社群扼制个人好奇心,组织公众记忆,而且大言不惭地把确定性强加在不确定性上”。这就是科学大战发动的真正原因。正如报纸撰稿人芭芭拉·卡利顿(Babara Culliton)所

^① 请见 David H. Guston 和 Kenneth Kension 编 The Fragile Contract (Cambridge, mass: MIT Press, 1994)一书中的讨论。

^② Mary Douglas, How Institutions Think (Syracuse, N. Y.: Syracuse University Press, 1986), p92.

有些科学哲学家的言论之所以被视作“垃圾”，是因为他们对自己所评论的科学确实是一知半解，甚至不知不解。霍金讥笑科学哲学家们还在为量子力学争个喋喋不休而无法跟上理论物理学的进展。事实上，从事科学哲学研究的人真正理解量子力学的为数也不多。

描述的，科学界正“用尽全身解数来复活曾经在美好的旧时代支撑科学宝座的那些价值”。^①于是，在防备其学科受到公众批评的时候，科学家怀着异乎寻常的激情慷慨陈词，以支持他们自己那令人泄气的客观现实。他们想让人们再一次把自己看成是追求真理的纯粹而清白的勇士，他们还想用这样的词汇来定义自己的历史和当前的实践。不去组织起来对抗公司国家的政治术或宗教基要主义者越来越大的影响，科学的鼓吹者却提议建立“真理小分队”来对付“科学哲学的垃圾”。他们还打算训练职业科学家来接管科学史的教学工作。接受这种建议意味着回到过去，当时科学的史话是一种英雄颂歌，科研拒绝社会急需和文化信仰的影响，对科学政策的分析除了鼓吹增加科学资助之外别无他物。

科学报复的目标之一是一个由史密森学会举办的名为《美国生活中的科学》的展览。这个由美国化学会资助的展出，并不想简单地普及科学知识，而是想检查一下科学在社会中所扮演的角色。因此，它既描绘了由科学进步获得的利益，也描绘了科学进步带来的代价。科学家们，尤其是那些觉得最受预算变化威胁的物理学家们，对此反应强烈。这种反应看上去与反对在国家航空航天博物馆举办《伊诺拉同性恋展览》的老兵们的举动非常相像。他们希望这个展览赞美科学，而不让触及科学的消极面。

二战老兵想控制对其历史的解释并不令人吃惊，特别是在现在这么一种文化气氛中。这种文化气氛正如作家汤姆·恩格尔哈特 (Tom Engelhardt) 说的，已经远离“胜利文化”。^②由于对于针对惹麻烦的事件 (这些事件曾经给他们的人生带来荣耀) 进行的批评性诠释非常敏感，老兵们捍卫他们对这些事件的传统认识，憎恶职业历史学家的怀疑主义，后者把他们的分析建立在档案研究的基础上。但是看起来令人不解 (如果不是惊讶的话) 的是，本身就在追寻新知识的科学家们竟然也津津乐道于传统，会以如此情绪化的热诚来谋求对科学史的控制权。他们当然知道，置身其中的参与者难免以自身利益的狭隘目光来看待历史事件，而追求公正的怀疑主义则是研究活动 (无论是社会科学还

① Babara, J. Cullion, "A Conundrum of Ethics", Nature Medicine 1, No. 2 (1995), P97.

② Tom Engelhardt, The End of Victory Culture (New York: Basic Books, 1995).

是物理学)这整台戏不可或缺的一幕。

预算削减了 ,科学文化并没有销声匿迹的征兆。虽然科学的某些特定领域遇到了挑战——特别是像 NASA 或聚变这样的大科学计划 ,但科学在人类事务中作为理性典范的形象并没有从根本上受到怀疑。具体地说 ,研究科学的历史学家和社会学家总是不得不向科学家证明其工作的合理性 ,并从科学标准的角度证明其可信度。

此外 ,美国社会也绝没有抛弃科学。与福利母亲、慢性病患者、艺术家以及其他穷苦的人群不同 ,当政府资助降低的时候 ,很多科学家还可以依靠工业基金和私人基金从事研究。国家科学基金的预算计划呼吁增加对基础研究的资助 ,却抹去了对社会科学的大部分支持。也许在这条战线上 ,科学家打赢了他们的战争。

总之 ,科学大战看起来是不合时宜的。近来有很多东西威胁着科学理性——分别来自基要主义者、右翼政客、本土文化保护主义者和其他反自由主义势力。自然 ,对学术研究人员进行攻击容易得手 ,但其攻击方向是非常错误的。在战略上 ,它同样受到了错误的指导。和任何其他领域一样 ,历史研究和社会研究就其质量和洞察力而言差别非常大 ,但是这场战争并不对自己的靶子进行区分。通过把使科学非神秘化的努力与摧毁科学研究的企图等同起来 ,通过把对科学行为进行怀疑论的学术探索与民粹主义者对专业分工的摧毁混为一谈 ,通过加入针对所有对科学提出疑问的人的对抗性的论战 ,科学家们正在促进两极分化和刁难理性的讨论。当科学大战对有关其研究方式及其自由表述思想的权利提出挑战时 ,善于思考的学者 ,甚至那些身处争论之外的人都被迫选择一个阵营。在这样一个学术机构普遍受到围攻的时代 ,用这种方式把学术界分成相互征战的派系 ,是绝对事与愿违的。

通过防备自己受到如此仇视的外来抨击的伤害 ,科学家们只会强化其职业是傲慢自大的、不关心社会需要的和不对任何人负责的公众形象。由于自我封闭和抱成团儿 ,他们看起来只不过是另一群追逐名利、自我保护的人而已。而且 ,通过宣称自己在定义真理方面具有绝对权威 ,他们的行为活像一群基要主义者。

最后 ,通过欲使批评家们丧失可信度的自以为是的努力 ,科学家们正在把人们的注意力从重要的问题上引开。什么是科学探索的道德边界?当保健、福利、教育甚至学校的午餐计划都面临着经费大削减的时候 ,难道对不断扩张的科研计划不也应该设置一个限度吗?考虑到科学在人类社会中的重要性 ,对科学活动、科学社群的性质以及有关知识生产和知识解释的争论 ,用社会学方法作出有根有据的解释又有什么错呢?难道只允许对科学进行推广、赞颂和宣扬吗?如果真像科学家所宣称的那样 ,科学素养是一个重要的目标 ,使科学非神秘化 ,揭示它如何发挥作

用,而且把它作为一个社会机构进行评价,就可能对公众理解科学作出有益的贡献。而且,加深他们对不可避免地会影响其未来的不断变化的社会和政治现实的理解,这不也是对科学家们有所贡献吗?

批评者首先要对批评对象作充分了解,批评科学首先要理解科学,理解所用到的如非线性、测不准、量子引力这些概念的确切含义,这应该是批评家们获得可信度的基本要求。

理查德·莱文斯

关于科学和反科学的 十个命题

选自《科学大战》，(美)安德鲁·罗斯主编，夏侯炳、郭伦娜等译，
江西教育出版社 2002 年。

导读

理查德·莱文斯 (Richard Levins)，曾在康奈尔大学学习作物育种和数学，后进哥伦比亚大学攻读动物学，1965 年获博士学位。曾在波多黎各大学和芝加哥大学任教，现任哈佛大学人口与国际卫生系约翰·洛克人口科学教授。研究领域为：生态学、生物数学、科学哲学。获得过爱丁堡科学奖章和卢卡克斯 (Lukacs) 21 世纪奖等多种奖励。合著有：《辩证生物学家》、《根植于一个复杂生态群落的农业生态系统》等。

自从激进分子把科学当成一种解放力量以来，既作为社会批评者又作为科学家的马克思主义者就一直在探讨科学互相矛盾的本质。因为马克思主义者关于科学的认识存在如此丰富的差别，我无法指明下面的哪些论述是马克思主义的立场。我只能以纲要的形式阐述曾经指导马克思主义科学家进行科研的一些有关科学的命题。

(1) 所有知识来自经验和对当作以往知识的那种经验的反思。从这个意义上说，科学与其他学习模式没有特别不同之处。

我们的科学的特点是，它是分工过程中一个特定的环节，在这个环节中，资源、人员、机构以特定的方式进行划拨，以便把经验组织起来去完成科学发现的任务。在这一传统中，人们自觉

作者在这里先作一个宽泛的界定，然后说科学与其他知识系统在这个宽泛意义上没有差别，但这样一个陈述是没有意义的。因为对各种知识系统的认识程度已经越过了这个宽泛的界定，已经有了很精致的模型来描述科学这个独特的知识系统的进步模式是如何与众不同的。

地努力辨认错误的来源和种类,纠正变化无常的偏见。这常常获得成功。我们对可能起混淆作用的因素保持警觉并知道必须进行受控比较;我们懂得了联系并不意味着原因,实验者的期望可以影响实验;我们还学会了怎样清洗实验室的玻璃器皿以避免受污染,怎样从大量的数据中整理出趋势和区别。我们的自我意识减少了某些错误但无法根除之,也不能从整体上保护科学事业不受其实践者共有偏见的影响。

另一方面,所谓的传统知识并非是静态的或轻率的。作为奴隶被运送到美洲的非洲人(大概大多是女人),很快发展了一种非洲-美洲草药医学。它一部分来自关于非洲和美洲植物的记忆中知识,一部分借用了印第安人的植物传说,还有一部分来自依照非洲惯例所做的关于药用植物特性的实验。传统医学的传授总是包含着试验,即使这种传授表现为传递先前存在的知识。最后,在非欧洲/北美洲的医学中,开出各种草药处方的标准,可能比美国医学科学实践中指导剖腹产、起搏器植入或乳房切除术的决定的标准有更充分的根据。

即使是被描述为直觉(相对于理性)的知识也源于经验:我们的神经/内分泌系统是一个绝妙的整合器,它把人体丰富的、复杂的历史纳入一个不知其来源或构成的整体把握之中。科学知识和直觉知识在认识论上并非根本不同,其差别在于生产它们的社会过程中,它们也并不是互相排斥。事实上,我给公共卫生科学家们教授数学的目的之一在于训练其直觉,以便使神秘的东西变得显而易见,使复杂的东西失去使人畏惧的力量。

(2) 在处理新东西的时候,所有的发现模式将新东西当旧东西那样来对待。因为新东西常常像旧东西,科学才有发展前途。但有时新东西与旧东西极为不同;当简单地反思经验不够用时,我们就需要一种更自觉的发现策略。这时有创造力的科学成为必需。从长远来看,我们肯定会遇到比我们所能想象的更为奇怪的新鲜事物,而且以前很有根据的想法会被证明是错误的、有局限的或不相关的。这在下列所有情况下都是正确的:现代社会和传统社会,有阶级的社会和无阶级的社会。因此,现代欧洲/北美洲的科学和其他文化知识不仅是不可靠的,而且最终肯定是错误的。

把某物看成是“科学的”并不意味着它是真实的。在我的一生当中,下面的各种科学发现要求,如“惰性气体”的不活泼性,把生命物体分为大的群体的方法,关于远古人类的观点,神经系统用作电话交换机的模式,关于微分方程的长期结果的期望以及生态稳定的观念,都被新的发现或观点推翻了。建立在科学基础上的主要技术成就,已被证明导致了灾难性的后果:农药使害虫增多;医院成了感染的温床;抗菌素导致新的病原体产生;控制洪水加剧了水患;经济发展增加了贫困。我们也不能设想,错误都是过去犯下的而现在我们找到了正确的答案——一种关于

科学的“历史终结”的信条。错误对于现实存在的科学来说是内在的。当代并不具有独特的认识地位——我们只是碰巧地生活在这个时代而已。

因此,我们必须把理论的“半衰期”这一观念看作对科学过程的正常描述,甚至可以发问(但不一定回答):“在什么情况下热力学第二定律能被推翻?”

(3)所有的认识模式都以一个观察位置为先决条件,这对其他物种和我们人类是一样真实的。每个观察位置界定,在大量的感官输入中什么是有关的,从有关的客体那里探询什么,怎样去找到答案。

物种的感觉道决定着观察位置。比如,灵长类和鸟类绝对地依赖于视觉道。借助视觉信息,物体与物体之间有清晰划分的边界。但在气味为主要信息源的物种那儿,比如蚂蚁,情况就不是这样。一只安诺兰蜥蜴把活动的物体看作适合于果腹的食物或者代表着危险。一只雌性蚊子把一次秘密学术会议设想为二氧化碳、水气和氨气的浓度变化梯度,这预示着一顿血液美食。而一只海葵相信,海水中的谷胱甘肽是它伸出其触须捕获一餐食物的充足理由。我们居住于地球表面的事实,使我们的下述行为似乎十分自然:天文学集中关注行星、恒星及其他天体而忽视它们之间的太空。我们的生命时标使得植物看起来是不动的,直到逆时摄影术才使它们的变化明显起来。我们与那些在时间和大小量度上与我们自己相同的物体打交道最为舒适,并且不得不发明特殊的方法来处理那些极小的或极大的、极快的或极慢的对象。

(4)为了生存和使一个充满着各种潜在的感官输入的世界具有意义,一个观察位置是绝对必要的。许多学问致力于界定相关的事物,以及确定什么东西是可以忽视的。因此,对发现科学中角度的普遍性作出恰当反应并非徒劳地试图消除观察位置,而是负责地承认我们自己的角度,并且利用这一知识来批判地看待我们自己的和其他人的意见。

(5)科学具有双重性。一方面,它不仅导致了对世界的理解和指导着我们的行动,还确实促进了我们与世界其余部分的相互作用。关于血液循环、物种地理学、蛋白质的缠绕以及大陆的分合,我们确实知道了许多。我们能读懂十亿年前的化石记录,重建过去的动物和气候,重现星系的化学构成,追踪神经传递的分子路径和蚂蚁的嗅觉踪迹。我们还能发明工具,这些工具在产生其理论已经变成知识史中古雅脚注以后很长时间仍然有用。

另一方面,作为人类活动的产物,科学反映其生产条件及其生产者或所有者的观点。科学的日常工作,招募并训练某些人而排除其他人成为科学家,科研的策略,调查研究所用的物质手段,形成课题和解释结果的智力框架,判断课题成功解决方案的标准以及科研成果被应用的条件,这些都只能是科学及其相关技术的历史的产物,只能是形成它们、拥有它们的社会的产物。认识的模式和科学方面的无

知并不受自然的支配,而是受利益和信念的驱使。我们轻易地把自己的社会经验强加于狍狍的社会生活,把我们有关蕴含着一个控制者和被控制者的等级制度的商业秩序的认识强加于生态系统和神经系统的管理上。为浩如烟海的数据所支持的理论,其令人迷惑的特性往往是系统的,固执己见的。

大多数科学分析未能考虑到这种双重性。它们只注意到科学的这个方面或另一方面。一部分人把科学知识的客观性强调为我们了解自然的过程中有代表性的普遍的人类进步。然后他们轻率地说,那些显然有问题的社会倾向以及为人熟知的反人类的科学应用是“滥用”,是“坏的”科学,同时将科学模式作为中立的真理探索事业完好无损地保留下来。

或者,他们用科学的社会倾向的日益增强的意识来反对科学对有效性的任何要求。他们想象,理论与他们研究的客体无关,它只是为达到个人职业或者阶级、性别以及国家统治的唯利是图目的而发明的整幅布^①。

在强调科学的文化局限时,这些分析无视巴比伦、玛雅、中国和英国的天文学及其历法的共同特征。他们各自起源于不同的文化背景,却观察着(或多或少)同一片蓝天。他们用非常不同的方法认识同样长度的岁月,注意到同样的月亮和行星,计算着同样的天文事件。

社会决定论者还无视巴西和越南对药用植物的类似应用,他们对植物和动物的命名大致对应于我们对物种的分类。所有的人们寻求有治愈作用的植物,并倾向于找到相似的草药的相似应用。

我们自己之外的其他传统也有他们的社会背景。巴比伦的祭司或旧中国的官员都不是资产阶级自由主义者,但是他们并不更聪明,或者更不受观点制约。“古人云”这个短语并不能告诉我们他们所说的有多大正确性。古人像现代人一样,属于某种性别,有时属于某一阶级,总是属于某一文化,他们在其观点中表达了上述处境。其思想在著述中得到保存的那些古人,也不是古人的随机样本。

但是,受社会决定和观察位置制约并不意味着武断。所有理论最终都是错误的,但有些甚至在某段时间内也不正确。科学的社会决定性并不包含对显然错误的种族或性别优越的教义,甚至种族范畴本身的辩护或容忍,不论是在常规的学术形式之中还是在基督教身份运动(Christian Identity Movement)中“亚当式的人”或“泥人”都是如此。种族主义是较之种族更为真实的对象,它决定了种族的范畴。

因此,科学分析家的任务就是,探寻在不同的劳动条件和不同的社会约定下,智力劳动与其对象之间的相互作用和相互渗透的情况。研究的艺术就是一种敏感性,它能判定一个有用的和必需的简化何时变成了一个令人迷惑的过度简化。

^① whole cloth, (未裁剪过的)整幅布,借指纯属捏造的、虚假的事物。——译者注

科学怎么会有了阶级性呢？科学的源头在古希腊，那里并没有资产阶级一说。

(6) 现代欧洲/北美洲的科学是资产阶级革命的产物。它与现代资本主义分享着自由的进步党人的意识形态，这种意识形态影响着科学实践，而后者也有助于这种意识形态的铸造。总体上像资产阶级自由主义一样，既是自由的，也是非人化的。它宣布过它并不十分情愿的普遍观念，但在实践上违背它们，有时揭露这些观念甚至在理论上也是难以忍受的。

因此，存在几种对科学的批评。保守的批评继承了前资本主义的批评，它为科学知识向传统宗教信条以及社会规范和统治者提出的挑战所烦恼，它不赞成观念和价值判断的独立性，它不在权威已有定论的地方寻找新证据，因此，它对科学的激进一面最为恼火。创世论者十分精确地确认科学的意识形态内容（他们称之为现世人文主义），反对那种认为科学是中立的意识形态对立物的自由主义信念。但不管他们在科学期刊中找到了多少与进化论者相冲突的证据和多少现代进化理论的弱点，他们的挑战并不是要求科学更“科学”，更民主，更不受压制性的意识形态束缚，以及更为门户开放。相反，他们建议返回信仰，回到更为明显的那些权威，回到反理性的确定性。他们主要的反理性主义常常表现在，为科学家们与“无知者”的智慧相违背的愚蠢言行感到高兴，一种一开始看来很吸引人的民主味的高兴。但这并非就断言，每个人都能严密地和训练有素地思考。相反，从偏爱未受教育的确定的自发聪明出发，它全盘否定严肃的复杂思考的重要性。他们接受了知识对价值的二分法，在存在冲突时倾向于其特定的价值。

同时，作为一种关于世界的整体论的、“有机的”看法的代言人，保守的批评拒绝现代科学中分裂的和简化的方面。在美学和情感的水平上，他们的整体论部分地回应了激进批评主义的观点，由于强调协调、平衡、法律和秩序以及事物现有的、曾有的或想象的存在方式在本体论上的正确性，他们的整体论是等级制的和静态的。

对科学最一贯的自由主义的批评接受科学是有效目的的要求，但批评那些与它们相冲突的实践。他们赞同科学是公共的知识，为军事部门和商业所有权强加于它的秘密性感到痛惜。他们要求仅由资本决定的科学走上民主之路，为在科学训练、就业和可信性上设置的阶级、性别和种族障碍而痛惜。他们赞成

思想应仅仅根据其本身的是非和证据来评判,而不考虑这些思想的来源。可是他们看到,一个丰富的词汇表被用来把非正统的思想及其主张说成是“脱离实际”、“胡吹”、“意识形态”、“非主流”、“不可信”、“逸事趣闻”或“未经验证”,从而增加了等级制的可信性。他们可能会对利用科学生产有害商品或罪恶的武器,或者利用科学为邪恶辩护感到震惊,却不放弃那种把思想和感情分开的信念。

因为在官方科学中存在明显的盲目性、眼光短浅、教条主义、不宽容以及既得利益,替代科学运动已经兴起,在保健和农业中这种运动尤其强劲。因此,它们也必须接受与我们用来查看“官方”学相同的工具的检验:谁拥有它们?它们来自何处?它们表达了什么观点?它们怎样得到证实?它们表现出何种的理论偏见?由于它们根植于资本主义环境中,这些替换物也是一个为剥削、为生产商品服务的领域,并且常常套上无耻的商业骗局的外衣。它们也有阶级根源,这种根源使其中一些人把个人原因与社会原因分开(例如,一方面批评制药工业的魔弹,另一方面却兜售他们自己不可思议的“天然”疗法;或者一方面宣传整体论癌症治疗,另一方面却无视许多癌症源于工业污染)。替代科学社群是这样一些势力范围,在那儿富有创见的激进批评与中小型企业主搅在一起。

马克思主义批评者试图从科学的解放性和压制性这两方面来审视科学,将其有力见解和盲目好斗看作是欧洲自由资本主义男权主义利益的商品化表现,看作是组织起来对付真实的自然现象和社会现象的一种意识形态的商品化表现。它的意识形态既是欧洲自由主义的产物,也是对于这一意识形态作出的一种出自内心的贡献,而不仅仅是其消极的反映。

对农业、医学、遗传学、经济发展以及其他应用科学领域激进的专门批评,指出了限制科学达到其既定目的的能力的外部问题和内部问题。外部指的是科学作为知识产业持这样一种社会立场:在权力和利益的控制和指挥下,为受共有信念的指导、大多由男人从事的事业服务。把人们招收进或排除出科学的方式,把科学划分为学科的不同分支,隐蔽的边界条件,这些限制其探索活动的因素在我们考察其社会背景时都一清二楚了。我们可以把医学和农业中化学疗法的主要形态当成是由化学工业产生的知识的商品化表现来研究。但这种对分子魔弹的依赖也与17世纪以来统治欧洲/北美洲的简化论哲学协调,而这种哲学又受到资产阶级社会生活中原子论经验的支持(当我们寻找联系时,我们看到事实上“内部”和“外部”并非严格的非此即彼的解释,即又一个普遍原则的范例:不存在重要的、完全的、分离的实在分支。然而科学仍为错误的二分法所困扰:有机体/环境,自然/环境,决定论的/随机的,社会的/个人的,心理的/生理的,硬科学/软科学,从属变量/独立变量,等等)。

“内部问题”指的是科学中的那种简化的、分割的、非语境化的、机械论的(相

对于整体论的或辩证法的)意识形态以及自由的、保守的科学政策。马克思主义批评家和其他激进批评者一直号召扩大调查研究的范围,将其置于历史语境中,认识现象之间的相互联系以及处理事务的优先次序,而保守的意识形态,则通常提倡有关狭窄圈定的客体的精致精确度,提倡接受边界条件——甚至无须确认之。

(7)对科学的激进批评也扩展到了科研过程的内在活动。在探讨一个新问题时,我的马克思主义立场鼓励我问两个基本问题:为什么事物是它们原本的那样而不是有一点点不同呢?为什么事物是它们原本的那样而不是极为不同呢?这里所说的“事物”有双重意义,既指研究的对象,又指研究它们的科学的状态。

牛顿主义者对第一个问题的回答是,事物之所以是它们原本的样子,是因为它们并没有发生什么。

而我们的回答是,事物之所以是它们原本的样子,是因为有相反过程的作用。这第一个问题是关于系统的自我调节的问题,是关于内环境稳定的问题。面对经常变动的影响,事物如何保持其自身能被人们认识呢?一旦提出,从狭隘的意义上说问题就进入了系统论的领域,即复杂系统的数学模型设计。这一学科以一系列的变量以及它们的联系和应用方程开始提问:系统稳定吗?在发生扰动之后需要多久才能恢复自身?它对自己环境中的持续变化有多大反应呢?它能容忍多少变化呢?当外部事件影响系统时,它们如何渗透整个网络,在某些通道上被放大而在其他通道上被缩小?我们的工作要运用这样一些概念,例如肯定和否定的反馈回路、通道、联系、下沉、拖延、反射屏障和吸收屏障。从研究本身而言,这一分析是“客观的”。但变量本身是社会的产物。例如,表面上没有问题的人口密度概念至少有四个不同的定义,当对测量进行跨国界或跨阶级的比较研究时,这些定义会导致不同的测量方案和不同的计算结果。我们可以简单地以整个地区(或资源)去除人口总数:

$$D = \sum \text{人口} / \sum \text{地区}$$

如果问,人们生存的平均密度是多少?那么,我们可以用下面的公式计算:

$$D = \sum (\text{人口} / \text{地区}) (\text{该地区的人口}) / \sum \text{人口}$$

这样就能得出人们所拥有的资源或土地方面不平衡的状况。另外,我们可以从资源的角度进行同样的计算,那么每人的资源总量为:

$$D = \sum \text{地区} / \sum \text{人口}$$

资源利用的平均强度由下式求出:

$$D = \sum (\text{地区} / \text{人口}) (\text{地区}) / \sum \text{地区}$$

这样,即使是似乎客观进行的测量结果也带上了观点,而这要么被考虑到,要么被隐瞒起来。南希·克赖格(Nancy Kreiger, 1994)用不规则碎片形自型的隐喻强调,社会的和生物的不可分离在所有水平上都存在,即从最宏观的宇宙到传染病学中微观世界的精微细节。

第二个问题是关于演化、历史和发展的问题。它的基本答案是:事物之所以是它们本身的样子,是因为它们自主行事,而并非因为它们不得不走那条路,或者总是走那条路,或者因为它是一条唯一能走的路。从这一视角我们再次检验第一个问题并且问:系统中究竟有哪些变量呢?它们是如何到达那里的?关于系统我们真正想找到的是哪些东西呢?你所说的“我们”指什么人?谁在说话?如果新的联系出现,那么,老的联系减少吗?变量是合并还是细分?方程式本身有变化吗?我们应该用方程或其他方式进行描述吗?既然我们知道我们使用的这些模型并非像照片一样准确地反映实在,那么,源于假设中的偏离会怎样影响输出呢?什么时候这会有意义?

在第一种阐述中给定的东西现在变成了问题。正是在这里,当与感兴趣客体的真实知识和工艺性的操作技巧结合在一起时,马克思主义辩证法的强大洞察力是最能出成果的武器。人所熟知的关于对立面的相互统一和相互渗透、普遍联系、在对立中求发展、整合水平等在正规手册中那么干巴巴的命题,在这里汇聚成丰富的含义,迸发出创造潜力的火花。

最后,同样这些方法被作为其自身历史环境的结果和马克思主义运动的综合用于检验那些作用于马克思主义本身的历史限制条件。但这些方法不能按机械论的、实在论的方式用作排斥概念,因为它们欧洲的,故排斥拉丁美洲;或者因为是男性的,故与女性无关;或者因为源于19世纪,故不适用于21世纪。毕竟,每一种观念在大多数被运用的地方都是异质的,在世界上所有地方大多数现行观念都有其外来根源。相反,历史语境可以用来批判性地评价观念,以找出其见识和限制,以及必需的信息。女性主义运动和生态保护运动的见解,尤其是那些与马克思主义重叠的分支的部分,在获得这种检验所需的隔离方面尤其有益。那些已经退到大多数马克思主义者视界边缘的命题,现在可以被恢复到它们在历史唯物主义中的正确位置上,而社会则作为生产和再生产的社会模式/生态模式得到更丰富的研究。

(8) 虽然不同的理论运用不同的术语,观察不同的客体,有不同的目标,但他们并非不能互相理解。林奈把物种看作创世时固定下来的,每一个具体的例子是范型设计的异化的变体。进化论生物学家把不同物种看作是具有内在异质性的群体,而且屈从于变化的力量。于是,对典型的描述被视为一种来自真实动物或植物系列的抽象。然而,我仍然用林奈给类和种起的拉丁名字,林奈本人可以认识其中

许多物种 ,我就可以与林奈谈论植物 ,争论其结构或地理分布。冥冥中的他得知我们发明出新的区分相似植物的技术方法 ,定会感到高兴。我们在同一物种内变异的意义问题上观点不同 ,我不知道他会 对相似性常常意味着同源性这一令人震惊的思想作何反应 ,但我们可以讨论。

甚至跨越更大的文化界限也是真实。所有人都命名植物和动物。大多数人对与不同的林奈物种类似的植物起不同的名字 ,并且非常像我们这样划分植物世界。他们也倾向于对那些必须区别对待的有机体作更细致的区分。像我们自己的理论一样 ,他们的理论也“起作用” 。它们指导行动 ,而行动常常足以导致可以接受的结果。不管你是一位知道达连安有一半蛇有毒的现代动植物分类学家 ,还是一个会告诉你所有蛇都有毒、但只有一半的机会能杀死你的有色人 ,实际的结论都是相似的 :出入树林时 ,要提防蛇咬。

更进一步 ,调查研究工具比理论表现出更大的连续性。伽利略会对我们更复杂的望远镜印象深刻 ,但他不会在现代观察手段面前完全不知所措。虽然一个马克思主义经济学家不会对新古典主义学派的输入-输出均衡模型 ,或者对于商业头脑来说非常亲切的成本效益分析的技术感兴趣 ,但他/她对这些是完全可以理解的。声称不同的看法是不能比较的 ,使用不同的语言 ,也找不到联系点 ,这是对社会观点的理解的严重歪曲。理论障碍并不意味着那种远距离观察者所想象的基于经验的孤独。

(9) 自然和社会的多样性并不妨碍人们进行科学理解。每个地方都是明显不同的 ,每一个生态系统都有其自身独有的特点。因此 ,生态学并不寻求下述普遍原则 ,比如“植物的多样性由食草动物决定” ,或者试图通过掌握降雨量来预测某一地区的植物群。它所能做的是探索差异的样式 ,产生独特性的过程。因此 ,在一个岛上的物种数量 ,取决于迁移植物和增加数量的物种形成的过程以及减少数量的物种灭绝的过程。我们可以进一步地把迁移与距迁移源的距离、灭绝与习性的多样性以及地区和种群结构联系起来 ,尝试解释为什么迁移者是某一特定的种类 ,等等。在很小的岛上 ,由于种群数量不能持续到足以产生新物种 ,或者由于距迁移源太近以至于不能产生区域分化 ,于是 ,其结果将会与那些非常遥远、有着高度生境多样性的岛屿大相径庭。

这样 ,用场所的特殊性来拒绝广泛的普遍性是不适当的。我们所寻求的是辨认驱动某种系统 (例如 ,雨林、岛屿或资本主义经济)的动力的对立程序 ,而不是提出一个独特而普遍的结果。

(10) 激进的科学保卫者不能按科学的本来面目捍卫科学。因此 ,我们不得不站出来 ,既批评自由主义的科学 ,也批评它的反动派敌人。目前右派对科学的攻击是对自由主义更大范围攻击的一部分 ,既然世界范围内社会主义的挑战消失了 ,自

由主义不再是必需的了,在长期停滞时期加剧了的竞争使得为自由主义付出的代价显得太大。尽管这种对自由主义的攻击所反对的是学说中具有解放意义的方面,但对自由主义的反动派所实施的攻击则往往强调自由主义的压制性方面或无效性方面。

我们必须号召向被拒之门外的人开放科学,对那种建立在公司基础上的极为集权主义的结构模型实施民主化,并坚持把科学的目标定为创造一个与丰富多样的自然协调的正义社会。我们不应隐藏而应削弱专业知识迷信的基础,这样才有助于把专业探索与非专业参与联合起来。科学最理想的条件是,它一只脚站在大学校园,另一只脚站在斗争中的各种社群,以便我们既有来自具体场合的具有丰富性和复杂性的理论,又有与具体情况保持一定距离方可提供的起源于比较的看法和具有普遍性的观点。这也能让我们看到把我们与我们的同事之间既合作又冲突的关系结合在一起的可能性,以及政治承诺借以挑战各专业社群共享的常识的方法。

我们不应该伪装成一副无动于衷的中立姿态,或者追求这种姿态;相反,我们应该宣布我们工作的前提是:所有促进、证明或容忍非正义的理论都是错误的。

我们不应该掩盖或者只是私下埋怨有那么多公开出版的研究成果是浅薄之物,而应该把这种浅薄谴责为源于学术圈职业的商品化,源于那些占统治地位的日程表:它们把许多真正有趣的问题排除在外。

我们应该向科学中的个人主义竞争发起挑战,以便通过学术合作来解决真正的问题。

我们应该抛弃服务于商品化科学的简单化魔弹策略,以利于尊重世界的复杂性、联系、动态、历史性和矛盾性。

我们应该拒绝技术专家控制的美学,那样就能为世界的自发性而喜悦,为各种索引在掌握生活上的无能而高兴,欣赏那些不曾预见的和异常的东西,并且在对不可避免的意外作出富有远见的、友善的与温和的反应中,而不是在控制实际上无法控制的东西的过程中,来寻求我们的成功。

在反动派的进攻面前,坚持一种为人民的科学,就是对科学最有效的捍卫。

科学理论有所谓的正义与非正义之分?用这样的眼光来看科学,似乎是远离科学的客观性了。

斯蒂文 · 温伯格

索卡尔的恶作剧¹

选自《“索卡尔事件”与科学大战——后现代视野中的科学与人文的冲突》，
索卡尔等著，蔡仲等译，南京大学出版社，2002 年。

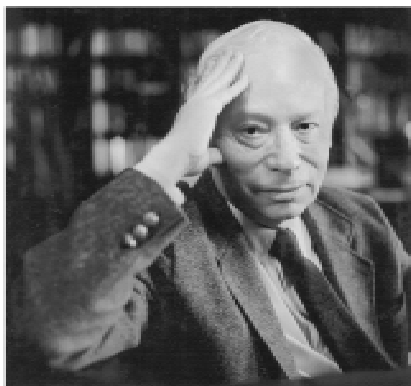
导读

温伯格 (Steven Weinberg, 1933—) 出生于美国纽约, 1950 年入康奈尔大学, 1957 年获得普林斯顿大学博士学位, 先后在哥伦比亚大学、加州理工学院伯克利分校、麻省理工学院、哈佛大学任教。1982 年到得克萨斯大学 (奥斯丁) 建立理论研究组, 并任主任至今, 同时也是该校物理和天文系教授。温伯格因研究电磁作用和弱相互作用的统一问题取得突出成果, 与格拉肖 (Sheldon Glashow)、萨拉姆 (Abdus Salam) 一起获得 1979 年度诺贝尔物理学奖。他还是美国科学院院士、英国皇家学会会员、美国艺术和科学学院院士、国际天文联合会会员、美国哲学学会会员等。著有《引力和宇宙论》、《量子场论》(三卷本)、《最初三分钟》、《亚原子粒子的发现》、《终极理论之梦》等, 其中《最初三分钟》被翻译成 22 种文字, 是科学普及读物的经典之作。

对“索卡尔事件”引起的“科学大战”, 温伯格从一个科学家的立场出发, 在 1996 年 8 月 8 日《纽约书评》发表了自己的观点。2001 年温伯格的一本讨论相关话题的书《仰望苍穹: 科学反击文化敌手》(Facing Up: Science and Its Cultural Adversaries) 出版, 表达了他对相关争论的关注。

像许多其他科学家一样, 我被纽约大学的数学物理学家艾伦·索卡尔所开的玩笑逗乐了。1994 年下半年, 索卡尔向文化研究杂志《社会文本》递交了一篇诈文, 在其中他评论了某些当前流行的物理学与数学中的课题, 他假装迎合学术界某

① 此文发表在 New York Review of Books (1996 年 8 月 8 日) 上。斯蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) 是位于奥斯丁的得克萨斯州立大学的物理学教授。曾因在基本粒子和场论方面的工作获诺贝尔物理学奖和美国国家科学勋章。他最近出版的著作是《终极理论之梦: 寻求自然的基本定律》(Dreams of a Final Theory: The Search for the Fundamental Laws of Nature)。



斯蒂文·温伯格

些时髦的评论家的文化、哲学与政治道德的立场,这些评论家对科学的客观性持怀疑的态度。《社会文本》的编辑们并没有察觉到索卡尔的文章是一次恶作剧,他们把它发表在该杂志的1996年春夏季刊上。^①索卡尔接着在另一杂志《大众语言》上披露了这一恶作剧,^②其中,他解释说他在《社会文本》上发表的文章在“文字上带有明显的胡说八道”。在索卡尔看来,这篇文章之所以被接受,是因为“(a)它听上去很不错;(b)它迎合了编辑们在意识形态上的偏见”。

紧接着,遍及美国和英国的报纸和杂志纷纷地报道了这一事件。索卡尔的诈文看来加入到了学术界专门制造传奇故事的恶作剧的小公司,其中有查理士·道逊(Charles Dawson)伪造的皮尔唐人(Piltown Man)的化石、詹姆斯·马克弗森(James Macpherson)所编造的假凯尔特人史诗中的奥西恩(Pseudo-Celtic epic Ossian)。所不同的是,索卡尔的恶作剧的目的是为了公众,他要引起人们注意的是学术界严格性标准下降的现象,正因如此,作者自己随即披露了这场骗局。

索卡尔讥笑的对象遍及了一个广泛的知识界领域。在人文科学领域中,有所谓的后现代主义,他们喜欢以他们自身的零碎经验和随意解释的本性,不断地涉猎诸如量子力学或混沌理论之类的科学前沿。某些社会学家、历史学家和哲学家把自然定律看作是一种社会的建构。还有某些文化的批判者,他们不仅在科学研究的实践中,而且还在科学结论中,发现了男性至上主义、种族主义、军国主义和资本主义。索卡尔并没有嘲笑那些遍及世界各地的创世论者和宗教狂热分子,他们构成了对科学事业的最大的威胁。^③但他涉及到的对象非常广泛,因此,他受到了来自各方面的批评和赞扬。

从新闻报道来看这段有趣的插曲,我并不能够直接判断它证明了什么。如果一位为一个工会工作的经济学家,也恶作剧式地给《国民评论》(the National Review)杂志递交了一篇诈文,作者在其中随意捏造出某些违反法定的最低工资增长的错误的经济数据。如果这篇文章被发表了,这能证明什么呢?即使作者不相信这些证据,但它们还是具有说服力的。

① Sokal, Alan D, "Transgressing the Boundaries — Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity," Social Text 46/47, PP217—252 (1996).

② Sokal, Alan D, "A Physicist Experiments with Cultural Studies," Lingua Franca (May/June), PP62—64 (1996).

③ 在索卡尔为其诈文所写的一篇后记中,索卡尔解释到他的目的与其说保卫科学,不如说是防止学术上的左派免受后现代主义、社会建构主义和其他时髦思潮的影响。

我最初的反应是索卡尔在《社会文本》上的文章是对学术泡沫的一种有意识的模仿,任何编辑都应该能够识别这种泡沫。但在仔细阅读这篇文章后,我发现情况并非如此。文章表达了几乎都是我认为是离奇的观点,当然至少有几个观点,索卡尔完全清楚它们指的是什么。文章的标题是《超越界限:走向量子引力的超形式的解释学》,比其文章中的任何内容都令人费解(我的一位物理学的朋友曾经告诉我,面临死亡时,他会更加坚定绝不再在字典中查“解释”一词的含义的做法)。我的印象是,索卡尔发现很难得能够把这篇文章写清楚。

文章在这里变成了泡沫,这并不是索卡尔自己写的,而是索卡尔所引用的真正的后现代文化批评家的著作。如以下是索卡尔所引用的解构主义的大师德里达的一段话:“爱因斯坦常量不是一个常量,不是一个中心。它只是一个真正的变量——最终,它是游戏的概念。换言之,它不代表对某一事物(一个观察者能把握这一研究领域的中心)的认识,它只是一个游戏的概念。”

我可以假定人们可能争辩说,物理学杂志上的文章对外行来说,是难以理解的。但物理学家被迫发明了自己的语言,数学的语言。在数学语言的范围内,我们试图把物理学表达清楚,当我们不能把它表达清楚时,我们并不希望我们的读者把含糊性与深奥性联系在一起。说只有一打人能够理解爱因斯坦的相对论,这绝不是事实。如果事实如此,这绝不是爱因斯坦的才华,而是他的过失。爱德华·威腾的论文,如今在弦理论这一学术前沿领域内被一致公认为是最杰出的,原因在于对物理学家来说,比起几乎所有其他的弦理论著作来说,他们更容易读懂它。相比较而言,德里达和其他的后现代主义者看来并不需要一种特殊的技术语言,也不试图努力地去把它们弄清楚。但在那些欣赏这些作品的人看来,并没有被索卡尔文中来源于这些作品的引语弄糊涂。

在诈文中描述物理学发展的那一部分,大部分是相当精确的,当然其中也掺杂着不少的错误,任何物理系的大学生都能够发现这些错误中的绝大部分。索卡尔所开的一个玩笑是论述“线性”一词。这一词有着精确的数学含义,是从某些在几何上

把文章写得让人读得懂,不管对科学工作者还是对人文工作者来说,都是很起码的要求,但有时变成了一种很高的要求。温伯格本人在这方面也是身体力行,他是托马斯·刘易斯奖的获得者,该奖授予最具有“科学家兼诗人”气质的研究人员。

用直线表示的数学关系中产生的。^① 但对某些后现代主义者来说,“线性”就意味着乏味的和过时的,而“非线性”就意味着极其敏锐和具有开拓的独创性。在讨论后量子引力理论在文化上的重要意义时,索卡尔把这一理论中的引力场看作是“非对易的(因而是非线性的)算子”。这里“因而”是荒谬的;“非对易”^②并不意味着“非线性”,事实上量子力学处理的既是非对易的,也是线性的对象。

索卡尔同样写道,“爱因斯坦的方程(在广义相对论中)是高度非线性的,这就是为什么靠传统训练出来的数学家发现它们是很难解答的”,笑话在于“传统训练出来的”爱因斯坦方程是非线性的,这使得它们是难解答的。但它们对任何人来说,特别是对那些没有经过传统训练的人来说,才是真正地难以解答的。索卡尔继续讨论广义相对论,正确地评论弯曲时空,在那些我们用来描述自然的坐标系中,允许出现任意的变换后,索卡尔严肃地声称“欧几里得的 π 和牛顿的 G ,以前被认为是常数和普遍的,现在却在其不可避免的历史性中被认识”。这是荒谬的,数学上定义的量,如 π ,是不会受物理学中的发现影响的,不管怎样,在广义相对论的方程中, π 和 G 都显示出普遍的不变性。

在另一种不同的幽默中,索卡尔对所谓的“形态发生场”和想入非非的幻想进行了严肃的思考。他把复数理论称为一种“新的并且具有相当反思性的数学物理学分支”,但事实上,它是19世纪的数学,并且像其他成熟的数学分支,是早已被公认的数学分支。索卡尔甚至埋怨(附合社会学家斯坦利·阿诺罗维兹)固体物理学专业的所有的研究生都能够在这一领域中获得工作,然而,这对这些学生中的大多数来说,只能是新闻。

索卡尔对其有意识的恶作剧的披露,招致了愤怒的反应,社会学家斯蒂文·富勒和英语教授斯坦利·费什^③(费什是杜克大学出版社的执行主任)认为他打着一个物理学家的招牌,滥用了《社会文本》编辑们对他的信任。《社会文本》的编辑也提出了一个辩解,说他们的杂志并不是一种权威(refereed)的杂志,而是一种自由表达见解的杂志。^④ 如果情况果真如此,索卡尔也许不恰当地骗取了这些编辑们的信任。然而,如果索卡尔对数学与物理学的解释一直是完全准确的话,情况也许就是完全不同了。更真实显示出来的是,索卡尔机智地模仿某些人在其数学与物

① 如一个蛋糕的热量(卡路里)和它的每一种成分的数量之间存在着一种线性关系:在保证所有其他成分的数目固定的情况下,热量对应于某一种成分的数量曲线图,恰恰是一条直线。与此对照,一个蛋糕的直径(高度固定)和它的各种成分数量之间并不存在线性关系。

② 如果你演算的结果依赖于这些演算的次序,则这样的演算被称为是非对易的。例如,你可以试试看,你先绕着垂直轴转 30° ,然后又绕着南北方向转 30° 后的位置,和你先绕南北方向转 30° ,再绕垂直轴转 30° 后的位置是不一样的。

③ Fuller, Steve, "letter to The New York Times," May 23, 1996, page 28, and Fish, Stanley, "Professor Sokal's Bad Joke," Op-Ed article in The New York Times, May 21, 1996, P23.

④ Robbins, Bruce and Ross, Andrew, "Mystery Science Theater," Lingua Franca (July/August 1996).

理学评论中所表现的各种各样的洋相。如哲学家布鲁诺·拉脱尔在评论狭义相对论时说：“人们怎样能够确定在一列火车上观察到一块石头下落的过程，与在河堤上观察这同一下落过程是同时发生的呢？如果只有一个，或甚至两个参考系，就无法获得答案……爱因斯坦的解决方案是考虑三个观察者……”这是错误的，相对论中，在比较两个、三个或任意数目的观察者的结果时，并没有什么困难。在其他引语中，列举了费什对术语“统一场论”的误用；女性主义的理论家鲁丝·伊里伽莱为数学忽视对带有边界的空间的研究而感到的悲哀，尽管在数学中存在着研究这一主题的大量文献；虽然量子力学是以线性的理论而著称，但英语教授罗伯特·马克莱称量子力学是非线性的。哲学家米歇尔·塞里斯和主要的后现代主义哲学家让·弗朗索瓦·利奥塔完全错误地表述了近代物理学中的时间观念。这类错误暗示着一个不仅是在《社会文本》的编辑实践中，而且还是一个较广泛知识分子圈子内的通病。

在我看来，索卡尔的恶作剧正是防止从物理学与数学的发展中随意推测出文化、哲学或政治的结论的最有效的方式。索卡尔一次又一次地不借助于任何中介的推理，从正确的科学一下就跳入荒谬的结论。索卡尔严肃地从玻尔观察到在量子力学中，对同一对象的一个完备的描述可能需要的多种不同观点来描述，而不服从单一的描述时，就一下子得出“后现代科学”拒绝“根植于传统科学中的权威主义和精英主义”的结论。他轻率地指出作为数学分支的突变理论的混沌理论能够导致社会与经济的解放。索卡尔通过引用某些他人的同样风格的著作，包括拉康把数学拓扑学应用到心理学中，雅克·阿莱·米勒 (Jacques-Alain Miller) 把拓扑学应用到电影批评理论中，表明这些人也是以同样的方式来谈论数学与其应用的关系。

《社会文本》的编辑们认为一个健全的物理学家就应该站在索卡尔所讥笑的那种立场上，我认为这种想法特别令人反感。在他们为发表索卡尔的文章的辩护中，编辑们解释道，他们已经判断出这是“一位职业物理学家为寻求某种后现代哲学对其研究领域的支持的最真诚的尝试”。^① 在发表索卡尔的文章的这期《社会文本》导言中，一位编辑说道：“许多著名的科学家，特别是物理学家，一直是神秘主义者。”^②也许存在着许多作为神秘主义者的物理学，虽然我从来没有碰到过，但我不能想象会有索卡尔所讥笑的那类持稀奇古怪观点的物理学家。科学家与其他知识分子之间的误解的鸿沟看来至少还像三十多年前 C. P. 斯诺所担忧的那样宽。

索卡尔暴露他的恶作剧后，一位《社会文本》的编辑甚至推测“索卡尔的诈文

① Robbins, Bruce and Ross, Andrew, "Mystery Science Theater."

② Ross, Andrew, "Introduction," Social Text 46/47, PP1—13 (1996).

没有任何意义,他的供认代表着他后来改变了看法,或对他那丰富思想的判断打了折扣”。^①这使我想起了美国的巫师玛格莉特·富克斯(Margaret Fox),当她在1888年承认她的降神职业和在精神上对人的迷惑一直都是一种恶作剧时,其他巫师就一致声称她的供认表明她是不诚实的。

那些寻求在他们所理解的近代物理科学范围中的超科学启示的人是徒劳无益的。除两个被夸大的例外,我认为对文化、政治或哲学来说,物理学的研究结果(与心理学相反)没有合理的意义(我在这里并不是说物理学的技术应用,它当然对我们的文化有着巨大的作用,或作为一种比喻用法的科学,而是指纯粹科学发现自身的直接的逻辑意义)。当我们讨论的是宇宙的起源或自然的终极规律时,物理学的结论可能会与哲学和文化有关。

第一个被夸大的例外是概念的归属问题:科学发现常常揭示某些课题(如物质、时间和空间),一直被认为是哲学讨论所特有的主题,实际上属于普通科学的领域。另一个更为重要的被夸大的例外是文化对客观的数学规律严格控制着自然规律的这一发现,有着深刻影响,这可以追溯到牛顿。当然,对我们来说,为了获得正确的自然规律,为了理解自然规律的有效性范围,这一发现仍然有效。但就文化或哲学而言,牛顿引力理论和爱因斯坦引力理论之间或古典力学或量子力学之间的差异并非本质性的。

有关这一课题,有着大量的混乱,因为量子力学如果用普通的语言来描述的话,将会显得十分奇异。原子中的电子没有固定的速度或位置,除非这些性质被测量出来。对一个电子速度的测量就要排除掉所有有关对其位置的认识。这种奇异性导致安德鲁·罗斯,一位《社会文本》的编辑在别的文章中评论道:“数量理性(Quantitative Rationality)——科学唯物主义的标准描述,不能再在量子层次上来解释物质的行为了。”^②这完全是错误的。通过理性的过程,根据我们称之为原子的波函数,今天我们获得了对原子的一个完备的数量描述。^③一旦人们计算出波函数,它就能够回答任何有关原子的能量或原子与光的相互作用的问题。我们已经采用波函数的精确的量子语言,来替代了粒子轨道的精确的牛顿语言,就数量理性而言,在量子力学中与牛顿力学中并不存在差异。

在这一点上,我不得不承认某些物理学家对这种广泛流传的混乱负有责任。索

① Quoted by Bruce Robbins and Andrew Ross in "Mystery Science Theater."

② Andrew Ross, *Strange Weather* (Verso, London, 1991), p42.

③ 一般来说,一个系统的波函数是一个数值表。每一个数就代表着这一系统的一个可能的形状。对一个原子中的每一电子,这一数值表对这个电子的每一可能的位置来说,都包含着一个不同的数值。这些数给出了对这一系统状态的一个完整的描述。一种复杂的情况是任何系统的可能状态可以用不同的方式来描述:如,一个电子可以根据其可能的速度,而不是其位置来描述(不能同时被两者描述)。在一种描述中,如果我们知道了任何其他描述中数值,我们可以根据事先的规则计算出在这种描述中的构成这些波函数的数值。另一种复杂的情况是这些数是复数的情形,复数通常不仅包括普通的实数,还包括诸如等于-1的平方根的量*i*。

卡尔引用了在哲学上陷入迷途的维勒·海森堡的几段极具危害性的话,如“科学不再是一个作为客观的观察者来面对自然,而是把自己视为一个在人与自然的相互作用中的演员”(海森堡是一位20世纪伟大的物理学家,但他不能被看作是一位谨慎的思想家,如人们已经披露出他在德国核武器计划中所犯的一些技术性错误^①)。目前,像普里高津之类的科学家就声称^②非线性的动力学^③具有深刻的哲学意义,在他们看来,这是一个没有任何夸张的十分有趣的课题。

讨论了如此多的科学发现的文化意义,但科学的文化与社会语境的意义是什么?在这里我们发现了像索卡尔这样的科学家,发现他们与许多社会学家、历史学家、哲学家,还有后现代文学家所持的观点相反。在这场论战中,双方都在谈论对方的过去。如社会学家与历史学家常常描述科学家自弗朗西斯·培根以来,就一直没有把握科学方法。然而,我们当然完全了解理论和实验之间的关系是如何复杂,科学事业如何依赖于一种合适的社会与经济基础。另一方面,科学家常常谴责那些持一种彻头彻尾的相对主义立场的人,他们不相信存在着客观实在。索卡尔的恶作剧相当严肃地列举出那些“科学的历史与哲学的改革家”怀疑那种“存在着一个外部的世界,其特性是独立于任何个人的存在,甚至是独立于作为一个整体的人类存在”的后文艺复兴式的教条。这种讽刺的困难在于,几乎所有索卡尔批评的对象,都否认他们对于一个外部世界的存在会持任何怀疑态度。他们对客观实在的信念可以从《社会文本》编辑们^③发表在《纽约时报》上的,对索卡尔恶作剧的反应的一封信中,以及斯坦利·费什的一篇说服《纽约时报》的编辑们的文章中得到证实。

我并没有说索卡尔诈文中的这一部分是站不住脚的。索卡尔的对手经常采用的立场,在我看来是他们并不理解什么是“存在一种客观实在”的含义。简单地说,如果科学家谈论某些事物是真实的,那么在他们看来是既不真也不假。因为,如果是真的,那么它会怎样依赖于科学家的社会语境呢?如果它是假的,那么它又是如何帮助解放我们的呢?科学问题和方法的选择可能会受所有科学外部因素的影响,但我们发现,问题的正确答案是因为世界本身就是如此。然而,讽刺你的对

① Bernstein, Jeremy, Hitler's Uranium Club (American Institute of Physics, Woodbury, NY, 1995).

② 对此的引言和评论,见 Bricmont "Science of Chaos or Chaos in Science?" Physica Magazine 17, PP159—208 (1995), 重印在 The Flight from Science and Reason (New York Academy of Sciences, New York, 1996)。Prigogine and Antoniou 的反驳和回答见 "Science of Chaos or Chaos in Science: A Rearguard Battle," Physica Magazine 17, PP213—218 (1995); Bricmont 的回答见 "The Last Word from the Rearguard," Physica Magazine 17, PP219—221。

③ 非线性动力学处理的现象是各种量的变化率是非线性地依赖于这些量。如压力、温度和速度,在一个像大气之类的流动中的各种关键点的变化率,是非线性地依赖于这些压力、温度和速度的。人们近一个世纪前就知道这样的系统的长期行为常常表现出混沌,一种对其初始条件的异常敏感性反应(经典的例子是蝴蝶翅膀的拍打可能会影响整个世界后几周的气候)。对物理学家来说,当前在非线性动力系统的兴趣是来自于那些能够被精确预言混沌行为的一般性质的发现。

③ Robbins, Bruce and Ross, Andrew, letter to The New York Times, May 23, 1996, P28.

手本身就否认的观点是徒劳的。

我曾经陷入了同样的困境。在我的著作《终极理论之梦》的一个初稿中,^①我批评了女性主义的科学哲学家桑德拉·哈丁(《社会文本》的一位撰稿人),因为她采用一种否认物理学定律的客观特征的相对主义立场。我引用她的话来表明,她称近代科学“不仅是男性至上者,而且还是种族主义者、阶级主义者,一种文化上的强权”,认为“物理学和化学、数学与逻辑带有其不同文化创造者的烙印,正如人类学历史学一样”。^②在我看来,这一段话只有对相对主义来说才有意义。如果科学的结论是对客观实在的一种精确解释,那么它们是否也能够友好地对待多元文化或女性主义所关注的东西?我把初稿的这一部分寄给了哈丁,她向我指出了她的著作中各处明确地否认相对主义的地方,我轻易地得到了答案,于是在本书中,我放弃了对相对主义的谴责,把它留给读者自己判断。

但是,如果我们要继续讨论的话,我们应该澄清问题的关键并不是有关自然是否是真实的,而是更能引起争议的问题,一般意义上的自然科学知识,特殊意义上的物理学的定律是否是真实的?

当我还是康奈尔大学的一位大学生时,我听过一位哲学教授(可能是马克思·布莱克)的讲座。他解释道:无论何时人们向他问起某些东西是否是真实的时候,他总是给出同一答案——“是的”。

漂亮的牙齿是真实的,物理学定律是真实的,足球规则是真实的,球场上的石头也是真实的。但它们是不同意义上的真实。当我说物理学定律是真实时,我是说它们与球场上的石头是同样意义上的真实,不是像球场上的规则那样的真实(正如费什所暗示的那样^②)。我们并没有创造物理学定律或球场上的石头,我们常常会不幸地发现它们会带来某些麻烦。如:当我们不注意在一块石头上绊了一跤,或我们发现犯了一个物理学的错误(几乎所有的物理学家都碰到过)。但我们描述石头或叙述物理学定律的语言无疑是社会构造的。因此,我毫无疑问地假定我们有关物理学定律的表述与客观实在是一一对应的。换

温伯格在这段文字中很清楚地说明了在什么意义上理解科学的客观性。

① Pantheon. 1993.

② Harding, Sandra, *The Science Question in Feminism* (Cornell University Press, Ithaca, 1986), PP 9, 250.

② Fish, Stanley "Professor Sokal's Bad Joke."

言之,如果我们曾经发现某一遥远的星球上存在有智慧的生命,并翻译他们的科学著作,我们将会发现我们与他们得出了相同的规律。

还存在另一种复杂情况,今天已知的物理学定律(量子力学一般原理可能是一个例外)没有一个具有精确的和普遍的合理性。不过其中许多定律已经具有某种最终的形式,在某种已知的范围内是合理的。今天众所周知的电磁力学方程并不是麦克斯韦尔原来所写的方程,而是随后数十年中,其他物理学家后继工作的结果,如著名的英国物理学家奥利弗·海维赛德(Oliver Heaviside)。今天人们已经认识到它们在某种有限范围内(在弱变化和慢的电磁场中)是近似合理的。但在这种形式中,在这种有限的范围内,这些方程已经经受了一个世纪检验,并且可以预言将能够永远地经受下去。这就是那种我认为是对应着某种真实的东西的物理学定律。在这一问题上,清楚地表明像我和索卡尔这类的物理学家是完全不同意索卡尔所讥笑的对象的观点。科学知识的客观性一直是安德鲁·罗斯^①、布鲁诺·拉脱尔^②、影响很大的哲学家理查德·罗蒂与后期的库恩^③所否认的东西,但几乎所有的自然科学家都承认这种客观性。

我得出了物理学定律是真实的结论,是因为我在物理学定律方面的经验告诉我,在任何最基本的方面,这种经验与我对石头的经验没有什么深刻的差异。对那些没有物理学定律经验的人来说,我能够提供明确的证据表明物理学定律正是以我们所了解的那种方式发挥着效用的,不存在其他的已知的考察自然的方式得出类似的结论。莎拉·弗兰克林(Sarah Franklin)(在一篇与索卡尔诈文出现在同一期的《社会文本》的文章中)对理查德·道金斯(Richard Dawkins)的一个论点提出了挑战,道金斯认为如果我们相信飞机的安全性,那么就表明我们接受了自然定律的有效性,弗兰克林反驳道:某些航空公司在飞机起飞时,要放祈祷的影片,是为了祈祷真主能保佑飞机的飞行。^④然而,弗兰克林是否认为道金斯的结论并不适用于她?她是否在设计飞机时,宁愿放弃物理学定律,而采用祈祷?

还有一个相关的争论,虽然我们还没有机会比较一个遥远星球上有智慧的生物的笔记,但我们能够知道在地球上,每一个国家,每一个民族,当然还有每一种性别的科学家,都以同样的方式来把握物理学定律。索卡尔引用的某些评论家希望

① 《纽约时报》(1996年5月8日)引用了安德鲁·罗斯一段给人留下这种印象的话:“科学知识受社会和文化条件的影响,并不代表某种在所有的时间和地点条件下都是永恒的普遍真理。”

② Bruno Latour, *Science in Action* (Harvard Press, Cambridge, 1987).

③ Thomas Kuhn, “The Road Since Structure,” in *PSA 1990* (Philosophy of Science Association, 1991), and “The Trouble with the Historical Philosophy of Science” (1991 lecture published by the Department of the History of Science, Harvard University, 1992).

④ Sarah Franklin, “Making Transparencies — Seeing Through the Science Wars,” *Social Text* 46/47, PP141—155 (1996).

女性的参与者或帝国主义的牺牲品能够改变科学的特征。但就我看来,女性与第三世界的物理学家的工作方式与西方白人男性科学家的工作方式没有区别。人们也许会争辩说,这正是牢固的科学权威或西方社会广泛的影响的一个权力象征。然而,我认为这些解释是不合理的。虽然自然科学是一种理智上的权威,但我们必须清楚地认识到,这意味着一个理论的真与假是在什么意义上来说的,科学的作用并不是社会霸权,因为权威什么都不能解释。

某些已经过了其辉煌时期的杰出物理学家,如50年代德国的海森堡,或法国的德布罗意(De Broglie)一直试图让物理学朝着他们的思想方向发展,这种官僚知识是成功了,但只是在一个国家内,在一段有限的时间内。今天的物理学方向不可抗拒地由年轻的物理学家主导,他们还没有赢得其荣誉和权威,他们的影响——他们引起的反应,是来自于他们研究的客观过程。如果说我们的物理学定律是一种社会的构造,那么这种构造只能在一个科学家的社会中进行,这个社会主要是通过把握自然规律而发展的。

某些历史学家并不否认自然规律的实在性,但否认能够用现有的科学知识去解释过去的科学工作。^①这在某种程度上避免了时代错误,如假设过去的科学家应该以我们现在的方式来考察对象。这种做法的部分原因是来自于维持历史学家研究工作的独立性的这样一种偏见。^②当然,在判断过去的科学家的工作时,假设他们应该以和我们一样的方式来考察事物的做法是愚蠢的。但问题是,如果我们通过忽视当前科学理论来避免这种时代错误,那就等于放弃了不能以任何其他方式把握过去的线索。19世纪80年代后半期,J.J.汤姆逊对电子的质量和电荷进行了一系列著名的测量,虽然他发现测量值分布在一个很大的范围内,但他坚持认为能够表示正确结果的测量值是在这一范围内的高的一端。单一的历史的记录并不能使我们确定是否是因为这些结果更易于确证他的第一次测量,或者说,因为它们实际上是更为仔细的测量结果?为什么我们不采用今天的结果来表明第二种选择是不可能的?因为汤姆逊所偏爱的较大的测量值几乎是今天所知道的正确值的两倍。

忽视今天科学成果的历史学家对我来说,仿佛就像一位研究美国南北战争的军事史的历史学家,只告诉我们麦克莱伦在面临着他认为不可抗拒的南部联邦军队的力量时,从维吉利亚半岛撤军的这一故事。今天人们知道了麦克莱伦当时的判断是错误,但这位历史学家认为这是不需要考虑的事实。就是那些吸引历史学家注意并选择的课题也受到我们今天成功途径的影响。那种赫伯特·巴特菲尔德

① 历史学家亨利·柯林斯给我表述了这种观点,随后我在贝斯(Bath)大学的科学元勘中心再次听到这种说法。

② 在“Independence, Not Transcendence, for the Historian of Science”,*ISIS* 82, 71 (1991)中,保罗·福曼(Paul Forman)要求历史学家不仅要科学是怎样进步的,甚至还要对那些构成进步的内容作出一种独立的判断。

所描述历史的辉格式的解释 ,某种程度上在科学史中是合理的 ,只要这种历史不是处在政治和文化史之中 ,因为科学是积累性的 ,允许对成功与失败作出明确的判断。

索卡尔并不是第一位考察这些问题的人 ,^①但他如此戏剧性地引起人们注意到这些问题。就“学术”一词的含义来说 ,这些还不完全是学术界的问题。如果我们认为科学的发现灵活到足以应付这种发现所处的社会环境的话 ,那么这就可能引诱我们强迫科学家以那种更为无产阶级的、女性主义的、美国化的、宗教的、雅利安的或我们能够想象出来的任何其他方式去考察自然 ,这是一条危险的道路 ,在论战中 ,受到危害的事情远不仅是科学的健康发展。正如我在上面所指出的那样 ,自然是由客观规律所支配的这一发现 ,强烈地影响着我们的文明 ,我喜欢引用休·特伦沃·鲁珀 (Hugh Trevor-Roper) 的评论 :这一发现使人们减少了崇拜女巫的热情。我们将需要坚定和加强理性理解世界的看法 ,以防止我们受那些仍然还在困扰着人类的非理性的侵害。

① 特别要参见 Gerald Holton , *Science and Anti-Science* (Harvard University Press , Cambridge , 1993) 和 Paul R. Gross and Norman Levitt , *Higher Superstition* (Johns Hopkins Press , Baltimore , 1994)。刊载 Sokal 诈文的《社会文本》的专刊的主要目的是反击 Gross and Levitt 的《高级迷信》一书。按 Sokal 的说法 ,这本书也是鼓励他写诈文的主要原因。

刘华杰 呼延华

物理学家试探“泡沫学术”， 两种文化论争热闹空前

原载 1998 年 1 月 14 日《中华读书报》。

导读

刘华杰 (1966—) 原籍吉林通化 , 哲学博士。现为北京大学哲学系副教授 , 从事科学元勘等方面的研究、教学及译介 , 并对中国当代的伪科学有深入研究。

呼延华 , 曾为报纸编辑 , 现为书籍策划人。

引子：童话故事再次吸引大众

对后现代思潮有研究的专家 , 可能看过《社会文本》(Social Text) 这个杂志。它 1978 年创刊 , 是一部关于文化和政治分析的学术季刊 , 编辑成员包括纽约市最有影响的一批学者、批评家、艺术家和作家 , 他们自以为秉承了广义的左翼政治传统 , 这些“文化精英”大多接受现在在中国学界竟然也时髦的“后现代主义”(post-modernism) 观点。《社会文本》共有 14 个编委 , 罗宾斯 (B. Robbins) 和罗斯 (A. Ross) 共同担任主编。最近几年此刊物出版了几个专集 , 分别讨论生态学、大众文化、后殖民主义、激进民主和全球重构等 , 1996 年春夏合刊 (#46/47) 开辟了“科学之战”(Science Wars) 专栏 , 刊出了一篇长达 35 页的论文《跨越边界：通向量子引力的变换解释学》。作者是纽约大学物理系数学物理学教授索卡尔 (Alan Sokal)。三周后索卡尔在《交流》(Lingua Franca) 杂志发表解谜文章《一个物理学家的文化研究实验》, 彻底否定了前面的论文。当然不是因为作者的立场和观点变得迅速而捉摸不定 , 原来作者只是想试探一下《社会文本》, 故意投其所好 , 有意模仿后现代

“行话”，装出对科学批判很在行的样子，撰写了一篇纯粹胡说八道的所谓研究论文，而杂志社堪称学界精英的后现代学者（杂志社编辑）竟一无所知，反而认为论文达到了相当的水准，正式发表出来。

此学术丑闻一经曝光，立即引起学术界、科学界、新闻界的极大关注，“两种文化”（指人文文化与科学文化）的争论迅即白热化。美国、法国、英国、德国、印度、比利时等地报刊纷纷就此“索卡尔/《社会文本》事件”连续发表多篇评论。相当多的社会学家、心理学家、哲学家、科学家、数学家，当然还有记者和广大互联网（Internet）爱好者，参加这场讨论，其中包括诺贝尔奖获得者温伯格（S. Weinberg）。物理学家索卡尔当之无愧成了文化明星。

索卡尔，一个研究临界现象和量子场论的物理学工作者，为什么要这样做？他的这种恶作剧是否违反学术道德？这种精彩的社会学实验结果说明了什么？人们是如何评论的？后现代的科学批判是否因此而遭受严重挫折？索卡尔事件对于“两种文化”之争起了什么作用？启蒙、后现代与文化政治中的“左派”是什么关系？

1. 实验者的一级动机：检验学术水准

人们也许立即觉得：是不是小题大做了？世界上每天发生着数不清的恶作剧，索卡尔事件充其量说明《社会文本》审稿不慎，被人愚弄了。但这种简单的解释与事实不符，也低估了物理学家索卡尔的明确动机。索卡尔是位科学家，以前在尼加拉瓜大学教书多年，后到纽约大学物理系任教，研究领域是临界现象和量子场论，曾与同事合著《随机行走、临界现象与量子场论初步》（Springer，1992）。业余时间，索卡尔十分关注科学哲学和文化批判。“多年来，我对美国人文学术某些领域学术严格性标准的明显下降，感到颇不舒服。”但是他同时觉得自己仅仅是一位物理学家，办事讲求逻辑、理性和经验证实。“于是，为了检验流行的学术标准，我决定实施一个朴素的实验，尽管公认是一个未加控制的实验：这家领衔的文化研究期刊是否会发表一篇它看起来不错又迎合了编辑意识偏好的掺入了胡言乱语的论文？”索卡尔于是于1994年11月28日向《社会文本》提交了一篇迎合后现代观念、努力化解科学客观性的“论文”。主编罗斯认为不错，于1995年5月13日又让索卡尔做了一定的修改，并谈了自己的一些看法。正如前面提到的，《社会文本》主编们没有识破计谋，竟将这篇冠冕堂皇（实则错漏百出）的“学术论文”正式刊登出来。

事后索卡尔承认文章完全是故意捏造的，《社会文本》的编辑起初仍然不相

信。索卡尔于是得出结论：不幸的是，这些人文学者的学术水准的确不佳。

2. 泡沫学术：当真假、好坏的标准被解构了以后

索卡尔提交的论文大量断章取义地引述了知名科学家（如玻尔、海森伯、贝尔、闵可夫斯基、爱因斯坦、玻姆）的言论，也十分内行地转论了后现代文化大师（如利奥塔、拉康、德里达）论科学的精彩片断，还恰当地指出了当代十分活跃的社会文化研究精英们（包括《社会文本》的主编、编委们）的研究成果。所使用的语言完全符合规范，从形式上看似乎没有破绽，为此索卡尔还真下过一番功夫。

但是论文的好坏不取决于形式，甚至不单纯取决于它的结论（索氏的结论当然是《社会文本》求之不得的），而主要取决于内容、论点与论据的组织方式。索氏论文长达35页，列有217篇参考文献（个个准确无误，没有虚构），此外还加有109个注释（条理清楚），此文开始是一段序曲，说明本文的动机（不是真实动机！）在于阐明社会文化批判对于自然科学家，特别是物理学家从事科学研究有重大作用，客观知识和独立于人存在的客观对象的概念应当抛弃。接下去列出6个小标题：1）量子力学：不确定性、互补性、不连续性和间性（interconnectedness）。2）经典广义相对论的解释学。3）量子引力：弦、编织或者形态发生场（morphogenetic field，新时代术语）。4）微分拓扑与同调（homology）。5）流形理论：整体与边界。6）跨越边界：通向一种人文科学。最后是“致谢”。

索氏试验论文的荒谬性在于三个方面：1）有意掺进了大量常识性错误，有点数理知识的人，甚至中学生，也能识别出其中的一部分。比如认为复数理论是最新数学成就，将量子系统中的“不可对易性”等同于“非线性”，认为圆周率和万有引力常数的数值也可以随着新的科学发现而变化，认为拉康的心理分析推断被量子场论所证明，数学集合论中的相等公理类似于女性主义（feminist）政治学中的同一（homonymous）概念。2）全文几乎没有论证，到处是一些自信的断言。论文虽长，但除了谁说谁说，还是谁说谁说，除了论点就是结论。这也许符合某种“主义”的文风。3）乱用时髦的科学名词。如相对论、多维流形、混沌理论、突变理论、隐变量、普朗克尺度、引力场、微分拓扑、弯曲时空、超弦、对称二阶张量、同调群等。文章虽然没有一个数学公式，但堆砌了如此多的科学术语，面貌可敬，难怪《社会文本》丧失判断力。

索氏的“论文”讨论的是理论物理学的成果（如量子引力）与时髦的文化批判理论（如解释学、后现代主义）的关系，《社会文本》编辑们对现代科学，甚至传统科

学,完全是外行,他们看重的仅仅是自己喜欢的结论,因而完全相信索氏论文的坚实性。

表面看来这仅仅是由于知识爆炸,当代人文学者不可能了解那么多自然科学和数学知识。实际上这道出了一个显见的事实:当一切还原为话语、解释、语境、主体间性、社会建构,任何论点就不再需要严谨的论证,自信和伪装出来的博学便是一切。《社会文本》主编本可以就索氏的论文,征求科学家意见,但他们没有,他们很得意,他们相信他,相信他的诚实。实际上他们总是以学术精英自居,丝毫不怀疑自己的眼力。当肥皂泡越吹越大时,危机是潜伏着的。

3. 连锁效应:索卡尔成了名星

《社会文本》两位主编罗宾斯和罗斯迅速在《交流》杂志上对索卡尔的行为作出反应,索氏正是在此杂志上公布秘密的。文中谴责了索氏的欺骗行为,认为这违背学术规范,同时也对《交流》杂志事先未与同行通报一下就将索氏的文章刊出表示遗憾。此外两位主编还作了一些说服力不强的辩解:如本杂志不采用审稿制,主编事先也发现索氏的文章是拼凑的,假如此文章出自人文或社会科学学者之手,可以认为它有点过时了,但考虑作者是位物理学家,于是就刊出了。

索卡尔接着又给《社会文本》投去一稿《跨越边界:跋》要求发表,遭到拒绝。此文最后发表在《异议》(Dissent)杂志1996年秋季号上。在此文中作者进一步指出自己的深层动机:为“左派运动”寻找合适的方法。他说:“我承认,我是一位不害臊的老式左派人物,我很怀疑解构如何能够帮助工人阶级。我是一个墨守成规的科学家,我天真地相信存在一个外部世界,也相信存在关于这个世界的客观真理,我的职责就是去发现其中的一些真理。如果科学仅仅是我们同意称之为真的所谓社会约定,我犯不上将我一生中大量美好时光花在这上面。”

1996年10月30日索卡尔在纽约大学作演讲(最后以《寻求理性、证据和逻辑》为题发表在《新政治学》杂志1997年冬季号上),再次强调自己对左派运动未来的担忧。他认为自己的深层动机不是为科学辩护,而是基于美国学术界的左派运动日益脱离社会实际,沦为晦涩的语言游戏,从而对左派的发展有危害。

1997年8月1日索卡尔受特别邀请为《建筑在沙滩上的家园:后现代主义者科学神话曝光》(N. Koertge ed. Oxford University Press, 1997)撰写专稿《社会文本 事件证明了以及没有证明什么》。篇首引用了劳丹在《科学与实在论》中的一段话。索卡尔说:“我承认有些难为情受邀为这部关于科学的历史、社会学和哲学的文集写一篇介绍性的文章。我毕竟不是社会学家和哲学家,我仅仅是一位理论

物理学家,对科学哲学有些业余爱好,对于清晰地思考问题或许还有点朴素的技能。所以,《社会文本》的发起人之一阿罗诺维兹(S. Aronowitz)称我学识浅薄、是个半文盲,绝对正确。”他解释说,尽管他的举动可能带来一些伦理学问题,但他的动机和所尝试的实验是完全严肃的。可贵的是索卡尔在此文中还对科学社会研究究竟应该考虑哪些问题,以及怎样研究,提出了自己的见解,这种见解相当程度上代表了科学家群体的期望。

索卡尔与比利时科学家合著的一部书《知识赝品》在法国出版,引起后现代之学学界强烈反响,目前索氏正在准备此书英译本。

4. 读者的反应：信息时代的大众传播

这是题外话,我们还是看看国外学术界如何评论此事。诺贝尔物理学奖获得者温伯格1996年8月8日在《纽约书评》上写了一个优美的长篇评论《索卡尔的戏弄》。他说此事件使人想起学术界其他一些有名的欺骗案件,如由陶逊(Charles Dawson)制造的辟尔唐人(Piltown man)伪化石事件和麦克尔逊(James Macpherson)导演的伪凯尔特人史诗《奥西安》(Ossian)事件。区别在于索卡尔为的是公众利益,为了使人们更清楚学术标准的下降,他自己主动揭穿欺骗行为。而那两起事件是有人为了私利故意做伪,并由别人加以揭露的。温伯格说:“科学家与其他知识分子之间误解的鸿沟,看起来至少像斯诺若干年前所担忧的那样宽。”(斯诺1959年5月描述了人文文化与科学文化的对立——作者注)。

美国奥林比亚市的莱顿(David Layton)1996年给《交流》杂志去信说:“我很高兴看到有人证明文学理论皇帝没穿衣服。对我这样一个相对新式的人文学者而言,只是在近来才接受了这个强烈的、辛酸的教训。我当初追赶学术潮流,在我的学位论文中激动地证明后现代幻想如何显示了科学话语的文化建构性。但是当我读了更多的东西后,认识到攻击科学话语的后现代思想者们根本没有思考,只是在玩概念游戏。同索卡尔一样,这种

《交流》,其他选文中亦译作《大众语言》。

怀疑导致我的思想转向。”

《社会文本》创始人之一阿罗诺维兹在 1997 年冬季号《异议》杂志上为《社会文本》辩护。他说,索卡尔也许不该选择《社会文本》作为攻击对象,难道他真的以为此杂志的编辑们都拥护解构主义,怀疑外部世界的存在性,并且反科学吗?如果真的如此,他或者误读了创刊 17 年之久的这家杂志,或者他的选择相当任性。“他(索卡尔)相信理性、逻辑和真理完全是不成问题的。他有一个持久的信念:通过严格使用科学方法,自然就会得出无偏见的真理。按照这个教条,存在‘客观真理’,因为地球围绕太阳转,引力存在,以及其他各种各样的自然定律。所以索卡尔从来就没有考察证据或者事实的本质,只是简单地接受它们,如果它们是通过称之为‘科学’的领域的某种算法推导出来的。”

麻省理工学院科学史、科学哲学教授和女性主义者凯勒(E. F. Keller)认为,《社会文本》主编的辩解苍白无力,只能使事情更糟糕。从事后现代科学研究的学者的所为严重脱离实际需求,当真理、客观性、科学证明的有效性被化解后,学者们便没办法区分学术质量。

英国杜海姆大学社会学、社会政治教授富勒(Steven Fuller)说:“作为《社会文本》的作者之一,我必须承认当初我并没有发现索卡尔的诡计。相反他在文化研究中的博学给我留下了深刻印象。我当时想:如果这位物理学家更多地了解他自己领域的历史,他就不会陷入充满后现代套话的散文中。”富勒于是诊断出,索卡尔是未受物理学历史教育的牺牲品,此人过分相信文化研究的激进主张,而不了解自己领域前人(如迪昂、彭加勒、赫兹、马赫等)所做的研究。

纽约大学哲学教授内格尔(Thomas Nagel)和玻赫西安(P. Boghossian)认为:“索卡尔事件提出的中心问题不是科学的哲学、社会学和政治学研究是否合法的问题,而是今日在‘文化研究’旗帜下松散地集合起来的学者对所从事的工作是否胜任的问题。”

哥伦比亚大学比较文学系莫莱蒂(Franco Moretti)教授特别反驳了《社会文本》两位主编的解释:“《社会文本》并未提供充足的理由,而是求助于各种维多利亚式的虔诚(‘欺骗’、‘伦理的破坏’、‘不负责任’、‘良好愿望’、‘忏悔’),以求驱除索氏的戏弄。来吧!你是一家学术争鸣性的期刊,并开辟了‘科学之战’专栏。放下你的架子,接受事实,只有这样更有趣的讨论才能开始。”

显然争论还会持续下去,胜负一时难有公论。实际上,重要的不是哪一方胜利,显示哪一方更高明,让哪一方丢尽脸面,而是通过此次公开、坦诚的直接对话,真正暴露科学与人文之间的分歧所在,为它们的沟通做好基础性工作。这也正是这次空前文化大辩论的意义所在。

5. 文化论争与流派分歧

前面提到,索氏恶作剧有两层目的。索卡尔本人在多种场合自称是政治上的“左派”,同情工人阶级,他曾在尼加拉瓜桑地诺政府下的大学执教多年。在政治立场上他与诸多后现代主义是一致的,因为《社会文本》的一些创始人也自称是马克思主义者。

索氏认为他与那些人文学者的区别在于对于左派运动的策略和方法所持的态度。索卡尔认为人文学者所采取的解构办法,无助于事情的解决,反而使主观主义、相对主义、非理性主义泛滥。

索卡尔事件给人什么教益呢?是否就据此大加攻击人文学者,进一步加剧本来已现裂缝的“两种文化”之间的对立?科学界是否一如既往地指责人文学者缺少基本的自然科学素养从而应当从中学课程补起,而人文学者是否继续指责科学家没有文化、只顾拉车不会抬头看路、死脑筋走到底、成为社会政治的牺牲品?

这种看法太陈旧了,人们早就发现了其中的弱点:知识分子窝里斗,不能团结起来,从而不能在社会上扮演一种起决定作用的独立的角色。曾记否,知识分子整知识分子最在行。

对于《社会文本》事件,存在这样一种假象:以为此番争论可划归为“左翼反科学派”和“捍卫传统价值的科学派”之间的争论。“我们要特别强调政治上的左翼未必与反科学有必然联系,同样传统价值的捍卫者也未必与科学更接近多少,有时恰恰相反。”麻省理工学院科学史与科学哲学教授凯勒也敏感地意识到这一点。

回到中国现实,在世纪之交,中国的文化争论潜藏如下几个线索:启蒙派、国粹派、保守派和后现代派。这种划分可能过分简单,但大体上没错。这几年,在学术界最流行的是国粹派和后现代派(请不要对号入座,这里的分类十分笼统,未必适合某一个具体学者),这可从出版物的数量以及所举办的学术会议次数、规模上得到验证。但是这两派都有自身难以克服的缺点,国粹派缺少科学精神,并有狭隘民族主义情绪,不加分析地一味宣称下世纪是儒家文化的世纪。后现代派脱离中国实际照抄西方发达国家知识阶层的话语形式,同时一定意义上继承了其反科学传统,此外作为边缘性的后现代,砸罐子容易造罐子难,它处于边缘时总是合理的,当其向中心挺进时,它的意义和生命力就完蛋了。

要建设民主、富强、可持续发展的新中国,文化领域这几派单独哪一支都不能胜任空前艰巨的历史任务,必须相互借鉴,取长补短,同时有意识地探索新的文化流派,构建一种具有时代特色、民族的也是世界的新文化。当前迫切要做的是整合人文与科学的分裂。

导读

吴国盛 (1964—) 出生于湖北省武穴市 , 哲学博士。曾在中国社会科学院工作 , 1999 年回北京大学哲学系任教。现为北京大学教授、博士生导师、北京大学人文学部委员、北京大学哲学系副主任、北京大学应用伦理学中心主任、北京大学科学传播中心主任。在科学哲学、自然哲学、科学传播等方面有深入研究 , 著作甚丰 , 其中《科学的历程》一书有很大影响。

提要 : 希腊—西方的人文理想是 “自由 ” , 人文形式是 “科学 ” 和 “理性 ” , 所以科学一开始就是西方的人文 , 是自由的学问。近代发展出来的 “唯人主义 ” (人道主义) 人文传统可能背离 “自由 ” 这个古典的人文理想。近代科学的笛卡尔传统和培根传统分别强调了内在理性和外在经验 , 但最终共同受制于技术理性。近代科学与人文的分裂在于过分分科的教育体制 , 但分科化正是技术筹划的必然后果。“唯人主义 ” 和 “技术理性 ” 信守共同的时代精神。今天弘扬科学精神 , 不必在科学与人文相区别的层面上突出科学的特异性 , 而应该在科学与人文合一的层面上 , 检讨我们时代的通病 , 重申自由和理性。

这个题目来自当前面临的一个突出的文化困境以及摆脱这种困境的需要。人们将这个困境称作 “科学 ” 与 “人文 ” “两种文化 ”^① 之间的分裂和日趋紧张的对立局面。但是 , 关于这个困境的种种述说以及摆脱这种困境的种种方案设计倒是带来了更多的困惑 : 所谓的 “两种文化 ” 究竟在什么意义上是分裂的 ? 我们不是都承认科学是人类的一种文化现象吗 ? 那它就该在某种意义上属于人文 ; 我们不是也使用 “人文科学 ” 这样的术语吗 ? 那就表明人文也是一种科学。还有 , “两种文化 ”

^① 参见 C. P. 斯诺 : 《两种文化》纪树立译 , 三联书店 , 1994 年。

在什么意义上是可以沟通和弥合的,如果它们真的能够的话?

为了缓解科学与人文之间的紧张和矛盾,将科学与人文沟通起来,必须先把科学与人文之间的区别和联系说清楚。借着这个区别,我们理解科学与人文之间的对立和冲突之所在;借着这个联系,我们寻找沟通它们的可能性。

通过考察科学与人文的二分对立,我们进入对更基本问题的分析,即重审由技术理性和唯人主义结成的现代性。



漫画科学与人文

一、人文与人文精神

无论是西方还是中国,“人文”一词里都包含着两方面的意思:一是“人”,一是“文”;一是关于理想的“人”、理想的“人性”的观念,一是为了培养这种理想的人(性)所设置的学科和课程。前一方面的意思往往与“人性”(Humanity)等同,后一方面的意思往往与“人文学科”(Humanities)等同。值得注意的是,这两方面的意思总是结合在一起的,有着内在的关联:学科意义上的人文总是服务于理想人性意义上的人文,或相辅相成。“教养和文化、智慧和德性、理解力和批判力这些一般认同的理想人性,总是与语言的理解和运用、古老文化传统的认同,以及审美能力和理性反思能力的培养联系在一起,语言、文学、艺术、逻辑、历史、哲学总是被看成是人文学科的基本学科。”^①

英文的 Humanities 直接来源于拉丁文 Humanitas,而拉丁文 Humanitas 继承了希腊文 paideia 的意思,即对理想人性的培育、优雅艺术的教育和训练。公元 2 世纪罗马作家格利乌斯 (Aulus Gellius) 的一段话成了 Humanitas 的经典定义:

那些说拉丁语以及正确使用这种语言的人,并没有赋予 Humanitas 一词以一般以为具有的含义,即希腊人所谓的 philanthropia,一种一视同仁待人的友爱精神和善意。但是,他们赋予 humanitas 以希腊文 paideia 的意思,也就是我们所说的 “eruditionem institutionemque in bonas artes”,或者“美优之艺的教育与训练”(education and training in the liberal arts)。热切地渴望和追求这一切的人们,具有最高的人性。因为在所有动物中,只有人才追求这种知识,接受这种训练,因此,它

^① 拙作《技术与人文》,《北京社会科学》2001 年第 2 期。

被称作 “Humanitas ”或 “Humanity ” (人性)。^①

按照希腊人的想法 ,理想的人、真正的人 就是自由的人。所以 ,整个西方的人文传统自始至终贯穿着 “自由 ”的理念 ,一些与 “人文 ”相关的词组就是由 “自由 ”的词根组成的 ,比如 “人文教育 ” (liberal education)、文科 (liberal art)等。

汉语的 “人文 ”一词同样有这两方面的意思。最早出现 “人文 ”一词的 《易经 · 贲》中说 :“观乎天文以察时变 ,观乎人文以化成天下。”这里的人文就是教化的意思。中国的人文教化同样一方面是强调人之为人的内修 ,另一方面是强调礼乐仪文等文化形式。那么人之为人最重要的是什么呢 ?一般认为 ,以儒学为代表的中国思想把理想人性规定为 “仁 ”,在孔子那里 ,仁者人也 ,人者仁也 ,两者互训互通。仁通过什么方式可以获得呢 ?克己复礼为仁 !礼是实现仁的教化方式。

“人文 ”中 “人 ”的方面和 “文 ”的方面有可能得到不同的强调 ,其作为 “文 ”的方面、文科课程的方面得到更多的强调的时候 ,人文被等同于人文学科和人文教育 ,特别是文史哲教育、文科教育。但是 ,无论是西方还是中国 ,作为人文的第一方面的 “人 ”的理念向来是更重要的、更基本的方面。

正是为了强调这个更重要的方面 ,才出现了 “人文精神 ”的说法。人文精神这个词是个地道的中文词 ,很难有对应的西文词 ,它与当代中国特定的语境相关。它既不是指人文教育 (Humanities) ,也不是指西方的人文主义 (Humanism) ,虽然与它们相关。我的理解是 ,当人们使用 “人文精神 ”这个词的时候 ,或多或少是在诉求一种人的理念 ,特别是 “自由 ”这个西方人文的核心理念。20 世纪 90 年代的人文精神大讨论 ,实际上是针对市场经济大潮下实利主义的泛滥、理想的泯灭而开展的 ,这里要求弘扬的并不单纯是文科教育 ,而是对人之为人的重新反思 ,其批判的矛头所指更多的往往是人文学者和文学艺术家 ,所抨击的往往是中国的人文学界和人文领域里人文精神的失落。所以 ,人文精神应该看成是一种基于对人之为人的哲学反思之上的批判态度和批判精神。简而言之 ,人文精神就是一种自由的精神。

二、科学作为希腊—欧洲人的 人文理想 :自由的学问

人文是个本地词 ,而科学却是个外来词。毫无疑问 ,中国人有自己的人文 ,但要说有自己的科学就不是那么容易 ,需要费半天口舌才行。

^① 《雅典之夜》(Attic Nights) 13. 17. 1 ,转引自 D. Goicoechea , eds. , The Question of Humanism , Prometheus Books , 1991 , P42。

当代汉语的“科学”一词译自英文或法文的 science。起初一直译为“格致”，后来受日本影响译为“科学”。1897年，康有为在其《日本书目志》中引进了这个词。日本人用这个词表示西方分科的学问与中国不分科的儒学相对应，这个理解被20世纪初年的中国知识界所接受。1915年，留美学生创办的科学刊物取名为《科学》，并产生了广泛的影响，从此，“科学”一词成了 science 的定译。^①

英文的 science 一词基本上指 natural science (自然科学)，但 science 来自拉丁文 scientia，而后者含义更广泛，是一般意义上的“知识”。德文的 wissenschaft (科学)与拉丁文的 scientia 类似，含义较广，不仅指自然科学，也包括社会科学，以及人文学科。我们知道德国人喜欢在非常广泛的意义上使用“科学”这个词，比如黑格尔讲哲学科学、狄尔泰讲精神科学、李凯尔特讲文化科学等。这些词的历史性关联暗示了一个更深层、更广泛的思想传统，狭义的自然“科学”只有在这个深广的思想传统之下才有可能出现和发展。

今天我们讲科学，首先当然是指近代科学，而近代科学首先又是指近代自然科学。但是我们必须注意到，近代科学并不是凭空生长出来的，而且诞生之后又处在发展之中。因此值得追问的是，它何以能够由自然科学向社会科学、人文科学扩展？它又是如何根植于希腊和中世纪的“学问”和“知识”传统的？这两个问题实际上有着内在的联系，那就是，近代科学的母体不仅孕育了近代科学，而且也保证了近代科学能够由自然领域向社会和人文领域延伸，这个母体就是希腊人所开创的“求知”的精神、“理论”的理性、“对象化—主体性”的思想方式，一句话，是科学(哲学)的传统。

这里所谓的科学传统就不是特别针对近代科学而言，而是用来刻画希腊—欧洲人的一般存在方式的。这个传统，就是海德格尔所谓的“哲学—形而上学”传统，也是胡塞尔要着力弘扬和重建的理性传统。哲学和科学在希腊时代是合二为一的，就是到了今天，西方哲学依然是广义西方科学的某种特定形态(胡塞尔的理想是把哲学建设成最严格的科学)。黑格尔之所以能够称哲学为哲学科学，是因为西方哲学本来就属于西方的科学传统。为了理解这个传统，我们需要从希腊—欧洲人的人文理想谈起。

前面我们已经指出，希腊—欧洲人的人文理想是“自由”，自由被他们看成是人之所以为人的根本。我们从希腊的哲学和文学戏剧华章中，到处可以见到对“自由”理想的赞颂和追求之情。欧里庇得斯说：“所谓奴隶，就是一个不能发表自己思想观点的人。”自由的人是能够发表“自己”的思想观点的人，如何才能发表“自己”的观点呢？希腊哲学家发现，只有理性才能够保证达成这样的“自由”。亚里士多德说：“我们应该尽一切可能，使自己升华到永生的境界，使自己无愧于我们身

^① 参见樊洪业：《从格致到科学》，载《自然辩证法通讯》1988年第3期。

上所存在的最优秀的品质而生活。……对于人来说,这就是以理性为根据的生活,因为它才使人成为人。”自由的人是理性的人,而“理性”就体现在“科学”之中。

如果说,中国的儒家的“人—文”是由“仁—礼”构成的,那么古典希腊人与之相对应的“人—文”在我看来就是“自由—科学”。也就是说,对古典希腊人而言,能够保证人成为人的那些优雅之艺是“科学”,而对“自由”的追求是希腊伟大的科学理性传统的真正秘密之所在。^①

希腊哲学是希腊科学传统的第一个样本,它其中的自然哲学正是近代自然科学的直接先驱。^② 希腊的哲学 (philosophia) 是爱 (philo) 智 (sophia) 的意思,爱智又意味着什么呢?爱智不是一般的学习知识,而是摆脱实际的需要、探求那种非功利的“超越”的知识,一句话,“爱智”就是与世界建立一种“自由”的关系。亚里士多德的《形而上学》中有大量关于科学作为一种自由的探求的论述。他提到“既不提供快乐、也不以满足必需为目的的科学”(981b25),提到“为知识自身而求取知识”(982b1),提到“为了知而追求知识,并不以某种实用为目的”(982b22),最后他说:“显然,我们追求它并不是为了其他效用,正如我们把一个为自己、并不为他人而存在的人称为自由人一样,在各种科学中唯有这种科学才是自由的,只有它才仅是为了自身而存在。”(982b26—28)^③

这里所说的当然是哲学,亚里士多德也把它看成是一切科学(知识)中最高级的,是最理想的科学形态。这种科学理想,不只在亚里士多德那里能够找到,在他以前的柏拉图、苏格拉底那里同样能够找到。这种科学理想,既体现在亚里士多德开创的第一哲学(形而上学)那里,也体现在希腊人特有的科学——数学那里。在《理想国》里,柏拉图借苏格拉底之口特别强调了数学的非功利性、它的纯粹性、它对于追求真理的必要性,因为算术和几何的学习不是为做买卖,而是“迫使灵魂使用纯粹理性通向真理本身”(526B),这门科学的真正目的是纯粹为了知识。希腊人开辟了演绎和推理的数学传统,这首先是由于他们把数学这门科学看成是培养“自由民”所必须的“自由”的学问,自由的学问是纯粹的学问,不受实利所制约,而演绎科学正好符合这一“自由”的原则。

哪些科目被古典希腊人认定为人文教育的必修科目呢?苏格拉底以来的雅典教育四大学科:算术、几何、音乐(和声学)、天文,均是广义的数学学科。对柏拉图而言,还有更高级的学科是辩证法(不只是辩论术,主要是善的科学)。此前,智者

① 类似的学问由于服务于不同的人性理想,在西方为“科学”,在中国则为“礼”。以关于天象的学问为例,希腊人发展出了数理天文学(mathematical astronomy),中国人则发展出了以占星为主题的天学(astrology)。中国天学并非对天象本身而是对天象所象征的东西感兴趣,它的基本功能是为制定“礼”服务。参见江晓原:《天学真原》(辽宁教育出版社,1991年)一书之论述。

② 近代以来很长时间,基础科学、理论科学还被称作自然哲学,比如牛顿的名著称为《自然哲学的数学原理》(1687),光之波动说的复兴者托马斯·杨的名著称为《自然哲学讲义》(1807),拉马克的进化论的代表作是《动物哲学》(1809)。

③ 参见苗田主编:《亚里士多德全集》第七卷,中国人民大学出版社,1993年,第31页。

学派曾把“辩论术”作为一门重要的教育课程。

罗马上流社会只关心军事和政治,只关心有实用目的的知识。罗马政治家老加图(Cato Elder,前234—前149)在论儿童教育时,只提到了讲演、医学、农业、军事、法律等实用技术,而对希腊式的纯科学教育持反对态度,很类似斯巴达人。此后,罗马人逐渐把文法和修辞作为高等教育的基本学科。比老加图略晚的罗马人法罗(Varro,前116—前27)在其《教育九卷》(Disciplinarum Libri novem)中讨论了文法、修辞、辩证法、几何、算术、天文、音乐、医学和建筑九大学科。从公元4世纪起,前七门学科被称作“七艺”,成了欧洲高等教育的标准课程。^①七艺中的四艺是数学学科,其中的辩证法则越来越多地指逻辑。所以七艺中的五艺应属科学学科。

中世纪希腊理性精神的弘扬特别体现在经院哲学上。原始的基督教因信称义,强调信仰淡泊知识。12世纪之后,亚里士多德的著作开始重新流行起来,对逻辑和推理的崇尚逐渐改变了基督教神学的形态,出现了极为偏重推理和逻辑的经院哲学,我们应该恰当地把它称为一种科学形态的神学:它是以科学理性的方式为教义辩护,而不是单纯强调信仰。作为对比我们可以注意到,希腊的科学理性同样影响了阿拉伯文化,却没有在伊斯兰教中产生类似的成熟的“经院哲学”,虽然12世纪的确有杰出的回教哲学家阿维罗伊(1126—1198)曾为此而努力。当时的哈里发发表的一道有象征意味的布告说:上帝已命令为那些妄想单凭理性就能导致真理的人备好地狱的烈火。^②

怀特海在追溯近代科学的起源时说:“在现代科学理论还没有发展以前人们就相信科学可能成立的信念,是不知不觉地从中世纪神学中导引出来的。”^③因为经院哲学的逻辑把严格确定的思想习惯深深地种在欧洲人的心里,这种习惯即使在经院哲学被否定以后仍然流传下来。对于伽利略,“他那条理清晰和分析入微的头脑便是从亚里士多德那里学来的”。^④

三、近代西方的人文传统： 人文主义与人道主义

今天我们使用“人文”一词更多的与“近代”西方特有的人文传统相关联,这就是在欧洲的文艺复兴中出现并在日后发展起来的 Humanism (德文 Humanismus) 传统。这个词有两个相互联系但又有区别的所指,中文分别译成“人文主义”和“人

① 参见博伊德:《西方教育史》,任宝祥等译,人民教育出版社,1985年,第69页。

② 参见罗素:《西方哲学史》上卷,何兆武等译,商务印书馆,1963年,第519页。

③ 怀特海:《科学与近代世界》,何钦译,商务印书馆,1959年,第13页。

④ 怀特海:《科学与近代世界》,何钦译,商务印书馆,1959年,第12页。

道主义”。

Humanism 这个词虽然直到 19 世纪早期才出现^①,但主要用来概括文艺复兴时期的“人文主义者”(humanista)的一般思想倾向,因而直接来源于它。15 世纪后期使用的 Humanista (人文主义者)一词又来源于更古老的“人文学习与课程”(studia humanitatis)。^② 中世纪后期,随着大翻译运动,出现了不少远远超出传统七艺的学科,如神学、罗马法和教会法、医学、天文学和占星术、形而上学和自然哲学等。早期的人文主义者强调通才教育,尽管他们的“人文学习与课程”着力于语法、修辞、诗歌、历史和道德哲学五科(实际上就是我们今天习称的文史哲),有些人文主义者可能还对五科之外的学问持抵制态度(如彼特拉克),但总的来说人文主义者带来了新的知识(通过翻译希腊和拉丁古典文化)和新的眼光(人文主义),促进了新兴学问与传统学问之间的融合。^③ 我们完全可以说,人文主义者深化了得自希腊而被中世纪马虎对待的传统四艺(算术、几何、音乐、天文)。除了强调通才教育外,人文主义者认为人文教育的目的在于培养美德和教育青年热爱生活,所以把伦理学(道德哲学)放在最重要的位置,其他各科都服务于美德的增进。人的修养及人的自我培育、自我丰富和全面发展,是人文主义的思想核心。

鉴于 Humanism 的文艺复兴来源以及对人的全面发展、全面教养的强调,汉语将之译成“人文主义”,与中文的“人文教化”相衔接。

人文主义运动至少有两个后果。第一是确立了既有别于传统的神学又有别于新兴的自然哲学(自然科学)的学科体系,导致了今天人们所说的人文学科(Humanities);第二,铸成了一个新的信念体系,即认为人本身是最高价值,是一切事物的价值尺度,把人确立为价值原点。

文艺复兴时期的人文主义者,复兴的是一种与宗教神学不同的世俗的知识(希腊、拉丁学术),但同时包含着对“人”之地位的一种重新的审视和思考。米兰多拉(Pico della Mirandola, 1463—1494)在《论人的高贵的演说》(Oration on the Dignity of Man)中借神圣的创造者的嘴对人类说:“其他一切生物受制于我们为它们立的法,但是,你不受任何约束,你可以随心所欲地处置它们。我们已经把你置于世界的中心,因此从那里你可以轻而易举地环视其中的一切。”^④ 这里,人开始被置于世界的中心。莎士比亚在《哈姆雷特》中进一步道出了人文主义的思想主题:“人是一件多么了不起的杰作!多么高贵的理性!多么伟大的力量!多么优美的仪表!

① 德国人 J. T. Miethammer 于 1808 年在辩论古典文化的重要性时第一次使用这个词。1859 年,George Voigt 在《古典文化的复兴或人文主义的第一个世纪》(The Revival of Classical Antiquity or The First Century of Humanism)一书中,将这个词语用于文艺复兴。参见 The Question of Humanism, 第 94—95 页。

② 按照克利斯特勒在《意大利文艺复兴时期八个哲学家》(姚鹏等译,上海译文出版社,1987 年,第 182—183 页)中的说法,studia humanitatis 是一个可以追溯到罗马作家的古老用词,而 humanista 可以追溯到 15 世纪后期,16 世纪开始通用。

③ 参见克利斯特勒:《意大利文艺复兴时期八个哲学家》,第 27 页。

④ 转引自 The Question of Humanism, 第 27 页。

多么文雅的举动！在行为上多么像一个天使！在智慧上多么像一个天神！宇宙的精华！万物的灵长！”^①当然，把人确立为世界的中心的思想也有其希腊来源。智者普罗泰哥拉曾有句名言：“人是万物的尺度，是存在者如何存在的尺度，也是不存在者如何不存在的尺度。”但是总的看来，人的地位问题在希腊时代还没有以这种方式，摆到这样的高度来对待，因为从根本上说，以苏格拉底—柏拉图—亚里士多德的学说为代表的希腊古典思想是与智者的人类中心主义相对立的。苏格拉底强调，只有神而不是人才是万物的尺度，因为只有神才是最完美的，而任何不完美的东西都不能成为万物的尺度。“善而非人”才是他们关注的中心问题。

原初复兴古典文化意义上的“人文主义”似乎不足以表达这个意思，于是 Humanism 又被译成“人道主义”。但这个译法也有问题，因为中文的人道主义已经有了一个比较流行的解释，即主张对一切人都要仁慈都要讲爱，因此也被称为博爱的人道主义，实际上是 Humanitarianism 的中译（来源于希腊文的 philanthropia）。所以作为一种思想体系的 Humanism 译成“人道主义”极易被误解，极易看成一个道德规范，而忽视它的形而上学意义。有人译成“人类中心主义”，^②这是对 Humanism 的学理上的解释，是把 Humanism 解释成 anthropocentrism，但它字面上并没有“中心”的意思。最准确的似应译成“人的主义”，但汉语不太顺。王若水先生仿照唯物主义（materialism）的译法译成“唯人主义”^③，是很不错的译法，但可惜没有流传开来。本文有时从俗译成人道主义，但更多的是采用“唯人主义”的译法。

这样，Humanism 一词就有三种意思：复兴古典学术和强调人的全面教养的人文主义；作为仁慈博爱伦理的人道主义；作为以人为价值中心、价值原点、最高价值的唯人主义（人道主义）。

值得注意的是唯人主义与欧洲人文理想的关系：唯人主义符合并从而实现了欧洲自由人的理想了吗？这是一个极富有挑战的问题。在当代中国特定的语境中，“人”的问题就如同“科学”的问题一样，面临着一个尴尬的局面。作为一个正在渴望现代化的弱势民族，中国人渴望弘扬唯“人”的精神和唯“科学”的精神，因为“唯人主义”和“唯科学主义”恰恰就是“现代性”的基本组成部分。我们还清楚地记得 80 年代唯人主义和唯科学主义是如何作为当时思想启蒙运动的主旋律，而且这场启蒙运动到了今天依然在许多方面保存有它的意义。但是，我们对唯人主义和科学主义的检讨，与启蒙精神本身拥有相同的思想来源从而享有同样的正当性，那是因为在这一切的背后是自由的精神。用海德格尔的话说，启蒙是开启一个明亮的场地，是去蔽，但任何去蔽都同时带来新的遮蔽，对启蒙的批判就是去掉这

① 《莎士比亚全集》第 5 卷，朱生豪译，人民文学出版社，1994 年，第 327 页。

② 宋祖良在其《拯救地球和人类未来》（中国社会科学出版社，1993 年）中把海德格尔的《关于人道主义的信》译成《论人类中心主义的信》。

③ 王若水：《为人道主义辩护》，三联书店，1986 年，第 242 页。

新的遮蔽,同样是去蔽。

人是一种自由的存在者,意思是说它“让”一切存在者成其所是。当然,首先,人们把这种自由理解成“让”人这种存在者成其所是,即人是人自身的创造者。它强调人的本质是由人自己塑造、培育和发展的,强调这种自我塑造的无限可能性。从这个意义上讲,“自由”的理念引导了近代唯人主义的人文传统,因为这个传统抓住了“人的自我创造”这个主题。但是,人的自我塑造、人的本质化即获得其规定性的过程,本身也是人对自由的背离的过程:人的本质化是对人的无本质即无固定的规定性的背离。^①人的本质化,必损害人与世界之间的自由的关系,因为这种自由的关系只有在人持守他的无本质时才有可能发生。

人与世界的关系根本上是一种自由的关系。自由的人既不是世界的创造者,也不是世界的利用者和消费者,而是一个听之任之的“看护者”和欣赏者,所以也有人把这种自由的关系说成是审美的关系。但是,近代唯人主义在将人本质化的过程中破坏了人与世界之间这种自由的关系。唯人主义首先把世界置于一个以人为原点的坐标系之中,把一切存在者都置于以人为阿基米德点的价值天平中,从而最终把世界变成利用和消费的对象。世界的对象化的结果是人同时被对象化即本质化,人与世界的关系成了一种既定的、给定的、固定的关系。

唯人主义把人置于某种中心的位置,按照人的要求来安排世界,表面上看是最大程度实现了人的自由。但事实上,人与世界之自由关系的损害最终必然反过来损害人对自身的自由发展,因为自我创造的过程总是受制于人与世界的关系。消费和利用的关系一旦成型也就是本质化,无论以理性的名义还是以科学技术的名义来规定这种本质,人都会沦落为一个被动的角色,他只须按照所谓理性或科学的方式去反应。他在近代极度“自由地”展开的世界几乎遮蔽了所有其余的可能性。这是当代思想家纷纷质疑“现代性”的根本原因:唯人主义可能从根本上损害了自由。

四、近代西方的科学概念:笛卡尔 形象与培根形象

我们在第二节指出,广义的科学指的是希腊文明传给欧洲的一份精神遗产,即把理性和知识作为人的基本存在方式,也是习得理想人性的基本方式。这种意义上的科学是服务于自由理想的。但是,我们今天使用“科学”一词更多指的是近代科学所造就的科学概念。所以我们还要搞清楚,近代科学在何种意义上继续保持其为“科学”,同时,它作为“近代”科学有哪些新的特征。

^① 参见拙文《技术与人文》。

近代科学有两种形象：笛卡尔形象和培根形象。它们分别代表了古典的理性传统和新兴的功利传统，笛卡尔的“我思故我在”和培根的“知识就是力量”分别是这两种传统的宣言。以他们的名字来命名这两种科学的形象是恰当的。

近代科学是希腊科学传统的直接继承者，这种继承性体现在近代科学的理性形式和自由精神上。笛卡尔的“我思”突现的是那种理性奠基的精神，而作为近代科学之肇始的自然数学化运动应该正确地看成是理性奠基运动，即把作为自然科学之对象的自然界彻底理性化的运动。与16、17世纪自然的数学化同时的其他重要的理性化工作还有：培根归纳法和笛卡尔演绎等方法论问题的提出以及被科学家群体的消化，从此科学以其方法论而区别于其他知识形式，科学社团和研究机构的建立和有序化以及研究范围的分门别类，从此专业化、分科化成了科学事业扩张的基本线索。

随着自然的数学化、研究的方法论化、科学建制的分科分层化，近代科学完成了其理性化过程，并构成日后科学发展的基本精神气质。著名科学社会学家默顿在其经典之作《科学社会学》(The Sociology of Science)中将之概括为四个：普遍性(Universalism)、公有性(Communism)、无私利性(Disinterestedness)和有条理的怀疑主义(Organized Scepticism)。这四条精神气质(ethos)是对希腊所倡导的科学理性精神的一个很好的注解：有条理的怀疑主义是自由的怀疑和批判精神；公有性是自由发表和自由的探索精神；无私利性是不计利害只求真理的精神；普遍性也就是普遍理性精神，把理性的能力和可能性作了最大限度的扩展，发挥到了希腊人远未达到的地步。

近代科学不光是希腊理性精神的正宗传人和光大者，作为现代工业社会的奠基者，科学还以其“效用”服务于意欲“控制”的人类权力意志(will to power)。这是近代科学的一个暂新的维度：力量化、控制化、预测化。美国著名科学史家科恩说：“新科学的一个革命性的特点是增加了一个实用的目的，即通过科学改善当时的日常生活。寻求科学真理的一个真正目的必然对人类的物质生活条件起作用。”

这种信念在16世纪和17世纪一直在发展，以后越来越强烈而广泛地传播，构成了新科学本身及其特点。^① 弗朗西斯·培根是这一科学形象的代言人，他强烈主张科学应该增进人类的物质福利，否则就是些空洞的论证和言词游戏。他因此批评希腊人的科学大部分只是些“无聊老人对无知青年的谈话”，“他们真是具有孩子的特征，敏于喋喋多言，不能有所制作，因为他们的智慧是丰足于文字而贫瘠于动作。这样看来，从现行哲学的源头和产地看到的一些迹象是并不好的”。^② 培根倡导经验论、归纳法，尽管并未为同时代的科学家们所运用，但他在《新大西岛》

① 科恩：《牛顿革命》颜锋等译，江西教育出版社，1999年，第5页。

② 培根：《新工具》第一卷第七十一节，许宝骙译，商务印书馆，1984年，第48、49页。

中设想的科学研究机构所罗门宫,成了后来英国皇家学会的建设蓝图。

意欲对自然有所图谋的培根纲领之重视外在经验是顺理成章的,但这里的经验也应该是完全新型的经验,它是对自然有所行动之后看看自然会有什么样的反应,而不是被动地观看。在这一点上,培根本人提出的比较被动和静止观照的经验论并不能真正实现他的纲领。近代科学沿着他的思路发展出来的经验论是操作主义的实验经验论。可严格控制可重复操作的实验,是近代科学理论得以发展的外部制约条件和启发性因素。

笛卡尔形象和培根形象有时也被概括成数学传统和实验传统。^①不同的历史时期,科学发展的主流可以侧重不同的传统。但是总的看来,近代科学的形象是由这两种科学形象合成而来的。经验加理性、实验加数学,通常就被认为是近代科学的两大要素。值得注意的是,这两种科学形象之间并非没有矛盾和冲突,相反,也许正是它们之间的对立构成了近代科学发展的一种基本的张力。它们相互制约,维持微妙的平衡。

但是希腊的基因总在顽强地发挥作用。我们确实可以隐约从近代科学史中看出一条理性论的主线,这些主线上的科学巨匠们总是更多地偏爱数学理性的内在力量。他们中杰出的一位——爱因斯坦,虽然也同时强调了这两大要素,称它们是“内在的完备”和“外部的证实”^②,但在他的内心,科学的基础是理性而不是经验数据,科学本质上是“人类理智的自由发明”。^③据说当爱丁顿的日全食考察队证实了他的广义相对论的预言时,他不动声色地说:“我知道这个理论是正确的。”当一位学生问他假如他的预言没有得到证实该怎么办,他回答说:“那么我只好向亲爱的上帝道歉了——那个理论还是正确的。”^④

这个故事显示了笛卡尔科学理想的顽固性。如果说“外部的证实”应该屈从于“内在的完备”,那么在一颗古典的科学心灵看来,科学真理本质也应该是超越功利的。但是这样的古典理想并不总是能够得到实现,特别在今天,由于越来越深地卷入工业和军事政治,科学家们不得不屈从于商业秘密和军事秘密的要求,而破坏自由探索和自由发表的公有原则;由于耗资越来越大,他们也不得不越来越取悦于拨款人的功利好恶,而破坏无私利性原则。当代生命科学和生物技术在这方面表现得尤其突出。

在笛卡尔形象与培根形象之间非常明显的冲突,往往使人产生如下的疑问:近代科学究竟是怎样协调这两大传统的?它们是如何并行不悖地引导近代科学的

① 库恩就曾提出物理学发展中的数学传统与实验传统的对立,参见《必要的张力》,纪树立等译,福建人民出版社,1981年,第32页。

② 爱因斯坦:《自述》,载《爱因斯坦文集》第1卷,许良英等编译,商务印书馆,1976年,第10—11页。

③ 爱因斯坦:《理论物理学的方法》,载《爱因斯坦文集》第1卷,第314页。

④ 参见科恩:《牛顿革命》,第168页。

发展的？我的看法是，在某种更深的意义上，两大传统事实上合流了。它们共同受着一种新的理性形式——我愿称之为“技术理性”——的支配和控制，而这种新的技术理性与希腊的理性已不可同日而语，尽管前者确实来源于后者，但已经渐行渐远。

技术理性来源于人的“权力意志”，是对希腊理性的一种无限扩张。服务于“力量”（power）的要求，允诺“无限”（infinite）的可能性，是技术理性的两大要素。希腊的理性服务于“善”的要求，而且只允诺有限的可能性。人因为有理性而趋向善、热爱神，人在这种追求善的过程中领悟到自己的有限性。在希腊理性中不包含“控制”和“统治”的内在要求，恰如其分地理解人与上帝、人与世界的关系，被认为是真正的理性行为，所以，“理解”（comprehension）而非“力量”（power）是希腊理性的要义。

值得指出的是，许多近代科学的创建者们并没有一开始就接受培根的“力量”纲领，相反还是坚持古老的理想，即把科学的主要目的看成是理解人类的处境，特别是为理解人与上帝的关系服务。例如，牛顿多次表白，他从事科学研究的目的在于教人相信上帝的存在。

由于服务于力量的控制和运用，近代科学必然要求预测的有效性，并把它作为一个根本的边界条件。培根本人也曾说过：“欲征服自然，必先服从自然。”^①服从自然现在被认为是服从自然的规律，而自然的规律不是别的，也就是自然界的可预测性。

对自然可预测性的要求最终是通过自然的数学化来实现的。希腊的演绎科学——数学是可预测性的典范，有着毋庸置疑的可靠性，但那时数学被认为是通往善的一个必经阶梯。^②自然的数学化以及近代数学本身的迅速发展，事实上均来源于对有效预测的要求。这种要求使得近代科学创造了一个纯粹“量”的世界，发展出了一套“计算”的方法论。因此，尽管近代科学和希腊科学都使用数学，但数学对他们而言已经不具相同的意义了。近代数学已经受雇于预测和控制的要求，服务于“力量”的意志。

不仅如此，近代以数学化为核心的科学理性还因其对“无限”性的允诺，而区别于希腊科学。希腊数学基本上限定在有限性的范围之内，对无限“敬而远之”。欧几里得的《几何原本》并未给出一个均匀平直无限的三维欧氏空间：这个空间恰恰是19世纪才被最后规定出来的。^③近代的无限性首先发端于哥白尼革命，起始

① 《新工具》第一卷第三节。

② 值得注意的是，20世纪的大数学家大哲学家怀特海视为自己最终哲学观点的讲演正是《数学与善》。

③ 参见拙著《希腊空间概念的发展》第八章，四川教育出版社，1994年。

于一个谨小慎微的天文学改革 ,结果却导致了 “从封闭世界到无限宇宙”^①的革命性变革。与宇宙论的无限化相伴随的是无限数学的出现。牛顿微积分的发明是一个极具象征性的事件 ,它是无限数学第一次服务于近代科学 ,并帮助安排了一个无限的宇宙模型。

近代无限理性最终表现在对理性之无限 “力量 ”的肯定。技术理性使人们相信 ,科学技术可以解决一切问题 ,因为科学技术具有无限发展的可能性 :如果问题还没有得到解决 ,那是科技还不够发达 ,如果出现了不良的结局和负面的影响 ,那消除这种结局和影响也还是得靠科技的进一步发展。科学发展的无限能力的信念首先表现为科学家的 “无禁区 ”的自由探索。由于近代科学事实上的深刻的 “功利化 ” “权力化 ” ,任何超越功利的不计后果的 “无禁区 ”探索 ,都可能事实上造成恶劣的后果。核物理学发展初期 ,匈牙利物理学家西拉德因为忧虑核能量会被纳粹所掌控 ,曾建议各国的核物理学家暂缓发表他们的研究成果。这个所谓的 “自我出版检查制度 ”是空前的 ,“几个世纪以来 ,科学家们都是为自由交流思想而斗争 ,所以任何时候也不应该持有与此相反的原则。他们自己就是极端自由的忠实信徒 ,并且是军国主义的不妥协的敌人。但是 ,现在他们感觉到 ,国际舞台的形势是十分复杂的。”从西拉德的信中可以看出 ,“当时科学家们对科学进步所寄托的希望 ,竟然由于可能产生可怕的后果而变得害怕科学向前发展了。写信的人好像竟希望实验失败。”^②这个案例充分显示了 ,由于科学成为一种力量 (权力、能量)的象征 ,自由探索的精神遭受了怎样深刻的挑战 ,科学家们面临着一种怎样的两难处境。

五、近代科学与人文的双重 关系：分裂与合流

在回顾了近代西方的人文传统和科学传统之后 ,我们可以发现 ,近代科学与人文事实上存在着双重的关系 :一方面随着专业化和学科分化愈演愈烈 ,人文学科的阵地激剧萎缩 ,在教育体制上人文教育与科学教育互相隔绝 ;另一方面 ,以唯人主义为标志的近代人文传统和以技术理性为标志的近代科学传统事实上紧密地结合在一起 ,共同构成 “现代性 ”的基础。正是现代性所要求的专业分工和力量意志 ,导致了科学 (自然科学和社会科学)与人文学科的分裂 ,以及人文学科的严重危机。

① 著名科学史家亚历山大·柯瓦雷 (Alexander Koyre) 的名著 《从封闭世界到无限宇宙》 (From The Closed World to The Infinite Universe) 极好地描述了这场革命的实质。

② 罗伯特·容克 : 《此一万个太阳还亮》 ,何纬译 ,原子能出版社 ,1966 年 ,第 48、50 页。

科学与人文的分裂表现在相互联系的四个方面：

第一，自然科学和技术愈演愈烈的学科分化和扩张，使人文学科的领地日见狭窄。我们首先需要明确的是，科学与人文的分裂在近代并不是两个旗鼓相当的阵营之间的分裂，而是作为传统知识主体的人文学科日渐缩小成一个小的学问分支。文理科的发展极度不对称，理工农医科的规模越来越大，而人文学科越来越小。不仅在学科规模方面人文地位越来越低，而且在教育思想方面，科学教育、专业教育、技术教育压倒人文教育。

第二，学问普遍的科学化倾向和功利化，导致了社会科学的兴起，也使人文学科的地位进一步下降。近代以来，运用自然科学的方法来解决社会问题的学科即社会科学日渐兴起，它们进一步挤占了传统人文学科的地盘。人文学科甚至到了只有栖身在社会科学这个牌子才有生存机会的地步。社会“科学”的概念取代了“人文”的概念，“功利”的概念取代了“理想”的概念。在一个科学化的时代，为了争得在学术殿堂中的位置，人文学界也出现了“人文科学”的说法。这个词组的使用并不是想阐明科学本质上就是人文——就像我们在第一二节所阐明的那样——而是说，人文也是一种像近代科学那样的“力量型”的学问，借以在科学时代合法地谋得一席之地。

第三，重视培养专业人才的教育体制，人为地造成了科学与人文之间的疏远和隔绝。对于当代中国人来说，谈论科学与人文的分裂时心中想的，正是中国现行教育体制中严重的文理分科现象。这种分科现象在西方各国的教育史上或多或少都存在，但都没有像当代中国这样突出。分科化、专门化和专家化与教育理念有关，凡重专才教育者，则专科化倾向较严重；凡重通才教育者，则专科化倾向就比较弱化。在专才教育体制下成长起来的理工科学生缺乏基本的人文素养，对于社会进步和发展难以有一个宽阔的视野和深谋远虑的计划。正像许多教育家所指出的，如果高等教育培养出来的学生只会用自己学科的内部标准去判断事物，那就不是真正的高等教育。真正的高等教育应该培养学生既掌握内部标准，也能够用其他学科的原理和方法即“外部标准”来评判自己的学科，能够看出自己学科的优点和局限。^①

第四，自然科学自许的道德中立，使得科学家们心安理得地拒绝人文关怀。与之相关的是近代哲学对事实与价值的二分，这种二分将科学置于澄清事实的范围，而不涉及价值问题。皇家学会的干事长胡克为学会草拟章程时写道：“皇家学会的职责是：通过实验改进自然事物的知识，以及所有有用的技艺、制造业、实用机械、工程和发明的知识，同时不干预神学、形而上学、道德、政治、文法、修辞学或逻

^① Ronald Barnett, *The Idea of Higher Education*, Open University Press, 1990, P165.

辑。”^①科学家们也许并不反对博爱善行的人道主义 ,而且更深刻地认同唯人主义的“力量原则” ,但当这种力量原则与特定的历史文化经验发生冲突时 ,他们有可能毫不犹豫地牺牲后者。科学与人文的分裂体现在科学对人文传统的轻视 ,特别是当这种人文传统不合技术理性的逻辑时。

科学与人文的分裂根源于知识体系的分科化、专业化 ,而知识的专科化又源于什么 ? 这个问题把我们引向近代科学与人文合流的方面 : 技术理性与唯人主义的合流。很明显 , 知识的专科化来自技术理性 , 来自那种诉求“效率”和“力量”的科学本质。所以 , 科学与人文的分裂是技术筹划的必然结果。力量型科学要求一种分工型的科学和教育体制 , 只有理解型的科学才要求一种综合的领悟力。今天对科学与人文之分裂的反省 , 最终应该导向对力量型本身的反省。

技术理性就在这个意义上与唯人主义合流。它们都是相信“力量”(power)的乐观主义。在唯人主义看来 , 一切问题都是可以解决的 , 因为人有理性这种无限的能力。为了解决人所面临的一切问题 , 技术理性广泛地行使它的威力。唯人主义得到弘扬的地方 , 也就是技术理性大展宏图的地方 , 因为它们相互确认。这种相互确认并不简单是人作为目的 , 技术作为手段 , 相反 , 手段和目的在这里混成一体 , 因为技术理性正是人之所以能把自己确立为价值中心的唯一根据和保证。许多技术批判主义者批评技术的发展违背了人性的目标 , 是对唯人主义的背离。其实 , “技术违背了人性” , 却不见得是对唯人主义的背离 , 因为正是唯人主义本身推动了技术的这种违背人性的倾向。唯人主义陷入一个自我拆台的怪圈之中。

这里的逻辑并不难理解。唯人主义因着技术理性而自命不凡 , 而把自己确立为价值原点和世界的中心 , 而觉得自己无所不能 , 可以对自然界为所欲为。这里 , 对人的自我崇拜就自然而然地转化为对技术的崇拜。如果我们要求自然屈从于技术 , 那么我们也在要求作为自然一部分的我们自己屈从于技术 ; 如果我们认为技术产品优于自然的产品 , 那么同样 , 我们的创造物就会被认为优于作为自然产品的我们自身。由于我们人类注定是自然的一部分 , 因此唯人主义注定要遭受技术的异化 : 本来是用以确立人之地位的 , 最终却被用来贬低人类自己。技术发达了 , 人类却丧失了劳动的乐趣 , 甚至劳动的权利 (所谓技术失业) ; 科学发展了 , 人类却越来越不知道生命和存在的意义。这是唯人主义深刻的困境。

^① 转引自汉伯里·布朗 : 《科学的智慧》, 李醒民译 , 辽宁教育出版社 , 1998 年 , 第 136 页。

六、弘扬科学精神：两种思路

今天到处都能听到弘扬科学精神的呼声。但这个有待弘扬的东西究竟指的是什么？众说纷纭，莫衷一是。问题在于，为什么会有弘扬科学精神的要求，其背后的动机是什么。不同的动机和要求，想弘扬的东西就不会是一样的。

总的来看有两种思路。一个广泛持有的思路是，在科学与人文相区别的意义上，特别张扬科学的优越性。这种思路分两部分：第一部分，基本上把科学精神等同于科学方法，因为科学之区别于非科学、科学之特别地有效用，就在于科学方法；第二部分，主张把在科学研究领域特别有效用的科学方法，不仅不折不扣地运用在实际的科学研究中，而且要运用到更广泛的日常社会生活领域中去。我把这样的主张定义成科学主义：主张在科学领域行之有效的科学方法可以而且应当在非科学领域普遍使用。^① 科学主义自然有强有弱，但科学方法的超（科学）范围运用是它的基本主张。按照这种定义，弘扬科学精神的第一种思路就可以概括成：科学精神就是科学方法，弘扬科学精神就是弘扬科学主义。

在这种思路下人们对“什么是科学精神”的回答，基本上都是关于“什么是科学方法”的概括总结。由于都是从各人的私人经验出发，得出的结论各个不同。但问题在于，有没有一个普遍适应的科学方法？“历史学派的科学哲学家都承认，像逻辑主义那样建立一个严格的超历史的形式方法论以符合科学发展实际上是不可能的，任何方法都是具体的、历史的。”^② 因此，一般地谈论科学方法可能是舍本逐木。对一个想尽快进入研究前沿、尽快出产研究成果的科学研究者而言，多多沉浸于科学共同体的研究氛围之中，比到处打听科学方法论更有益处。熟能生巧，习惯成自然，科学方法的习得是一个实践问题而非理论问题。

对于一个非科学家，或者对于一个正处在日常生活中的科学家来说，有没有必要把科学的方法也同时运用起来呢？弘扬科学主义的人所希望的正是这个。“让科学成为我们的生活方式”，这句广告词彰显的就是这种科学主义的理想。然而，科学主义的实施是有条件的、有限度的，无条件的强的科学主义是不可取的，就算想取也是不可能的。

我可以举几个典型的例子来说明，为什么科学主义是不可取的。对所有的对象一视同仁，忽略掉它们的特质，从而用数学的方法对它们进行处理，这是典型的

① 这其实正是《韦伯斯特新世界词典》里关于“科学主义”（scientism）的定义：the principle that scientific methods can and should be applied in all fields of investigation.

② 拙著《论思自然》，辽海出版社，1998年，第398页。

科学方法。但是 ,忽略掉个体的特质 ,肯定不是没有缺陷的 ,特别用在人与人交往的领域。教育学里有一个原则叫 “因材施教 ” ,如果培养学生像工业化的流水线生产一样 ,那肯定不是一个好的教育方法。

还有 ,对所有的对象 ,只注意它表现出来的东西 ,不关注它表现不出来的东西 ,这也是典型的科学方法 ,或称黑箱方法 ,因为科学要求一种可操作性 ,追求一种有效处理问题的能力。但是 ,如果承认每个人都有自己的 “内心世界 ”的话 ,那人际之间的许多问题就不是能够用黑箱方法解决的。

还可以提出一种人们可能最不赞同的科学方法 :为达目的不择手段。从效率的观点、从目标管理的观点、从操作的观点看 ,这确实是可接受的。而这些观点 ,又恰恰是科学方法所必须采纳的。但是 ,离开科学研究的比较单纯的境域 (context) 进入一个比较复杂的境域中 ,某种科学方法就变得太荒谬而不可取了。胡适当年评论科玄论战的 “科 ”字时一针见血地指出 ,他们都没有端出一个 “科学的人生观 ”来 ,原因是 ,他们虽然抽象地承认科学可以解决人生问题 ,却不愿公然认同那具体的 “纯物质、纯机械的人生观 ”。显然 ,没有人会认同 “为了解决人口问题在人口稠密的地区放原子弹、做核试验 ” ,虽然其方法是高效的。希特勒手下的科学家一直在研究如何高效地毒死犹太人和高效地焚化犹太人的尸体 ,他们确实很讲科学方法的。

科学的方法由于服务于对自然的支配和控制 ,所以其基本的逻辑是强权的逻辑、力量的逻辑。这种逻辑用于社会问题上 ,给出的必定是一个严密控制和高效统治的社会方案 ,它最好的使用对象是一个奴役的社会。这正是我们要对科学方法在社会领域的运用保持警惕的地方 :科学主义的社会理论充分运用的地方有可能是一个极权社会。

科学主义的限度不仅在于它在非科学领域的实际运用有可能是非法的和无效的 ,也就是说 ,它实际上 “不能够 ”无条件地运用 ,而且在于那种 “应该无限扩张 ”的原始动机是可疑的。一些伟大的科学家们都深深地意识到科学的有限性 ,反对科学的 “无限扩张 ”。爱因斯坦在对加州理工学院学生的讲话中说 :“你们只懂得应用科学本身是不够的。关心人的本身 ,应当始终成为一切技术上奋斗的主要目标 ;关心怎样组织人的劳动和产品分配这样一些尚未解决的重大问题 ,用以保证我们科学思想的成果会造福于人类 ,而不致成为祸害。在你们埋头于图表和方程时 ,千万不要忘记这一点 !”^①在 1949 年 8 月 20 日的一封信中 ,爱因斯坦说 :“我酷爱正义 ,并竭尽全力为改善人类境况而奋斗 ,但这些同我对科学的兴趣是互不相干的。”^②1931 年 10 月 19 日他在祝贺大法官布兰代斯的信中说 :“人类真正的进步的

① 《爱因斯坦文集》第 3 卷 ,许良英等编译 ,商务印书馆 ,1979 年 ,第 73 页。

② 杜卡斯编 :《爱因斯坦谈人生》 ,高志凯译 ,世界知识出版社 ,1984 年 ,第 23 页。

取得,依赖于发明创造的并不多,而更多地是依赖于像布兰代斯这样的人的良知良能。”^①1937年9月的一封信中,爱因斯坦说:“我们切莫忘记,仅凭知识和技巧并不能给人类的生活带来幸福和尊严。人类完全有理由把高尚的道德标准和价值观的宣道士置于客观真理的发现者之上。在我看来,释迦牟尼、摩西和耶稣对人类所作的贡献远远超过那些聪明才智之士所取得的一切成就。”^②

无限扩张的动机实际上是一种无根据的动机,是虚无主义的意志。怀特海说得好,“科学从来不为自己的信念找根据,或解释自身的意义”,^③它的根据和意义必得从更一般的人类思想中找寻。科学主义不是科学的一个必然产物,而是技术理性支配下的某种特定的意识形态。伟大的科学家们都不是科学主义者,他们深知科学的限度。

我已经指出了弘扬科学精神的第一种思路的种种缺陷,但我还是赞成弘扬科学精神的提法,因为还有第二种思路。

第二种思路是科学与人文相统一的思路。这里弘扬的不是与人文相对立的意义上更具优越性的科学的方法,而是本质上就是人文精神的科学精神,也就是我们在前面反复讨论过的“自由”精神。它与第一种思路的效用的精神、权力意志的精神、科学至上的精神相对立。在中国,有许多杰出的科学家充分意识到了,科学的“精神”之高出具体“科学”的地方就在于“追求真理”。竺可桢说:“提倡科学,不但要晓得科学的方法,而尤贵在乎认清近代科学的目标。近代科学的目标是什么?就是探求真理。科学方法可以随时随地而改变,这科学目标,薪求真理也就是科学的精神,是永远不改变的。”如何“追求真理”?竺可桢概括说:“只问是非,不计利害。”^④

“不计利害”对于一个崇尚实用理性的民族来说是很难理解和接受的,这正是我们缺乏科学精神的根本原因。“不计利害”包含着独立思考、怀疑批判的精神,包含着不畏强权、为真理而献身的精神,包含着为科学而科学的精神,所有这一切,实际上都是自由的精神。弘扬科学精神,首先是弘扬自由的精神。

为什么要弘扬科学精神?因为在这个科技昌明的时代,自由的精神反而面临着威胁和危险。“算计利害”而非“不计利害”成了压倒性的时代精神,令自由的心灵感到窒息,这是上世纪90年代的有识之士发起人文精神大讨论的真正动机。弘扬科学精神轻而易举地走上了第一种思路,更表明“不计利害、但求是非”的自由精神已处在遗忘的边缘。

① 《爱因斯坦谈人生》,第75页。

② 《爱因斯坦谈人生》,第61—62页。

③ 怀特海:《科学与近代世界》,第16—17页。

④ 竺可桢:《瞿风云舒卷》,百花文艺出版社,1998年,第140页。

刘 兵

人类自在的天性——关于科学与艺术之关系的一些思考

原载《作家杂志》2001年第5期。

导读

刘兵(1958—) ,毕业于北京大学物理系、中国科学院研究生院 ,现为清华大学人文社科学院科技与社会研究所主讲教授、博士生导师 ,在科学史、科学哲学、科学史编史学等方面有深入研究 ,著述甚勤 ,在科学传播、出版等领域有着广泛的影响力。

—

审美和求知是人类自在的天性 ,与生俱来。当童年的人类睁开惊奇的眼睛面对世界之时 ,对知识的习得和对美的感受是同步的。大自然是人类的生境 ,也是人类的遭遇。大自然既平淡浅近又神奇诡奥 ,温暖明媚和恐怖狰狞在大自然是一体的 ,而在人类却是难于化解的巨大谜团。为了生存 ,人类需要条分缕析地去认识和体察自然的细节——分工出现了。分工使科学和艺术异径而走 ,分工也分化了人类的心智 ,分化了审美和求知。于是 ,艺术在追求审美之中疏远了规律 ,科学在追求规律之中遮蔽了审美。

在科学认识与艺术创作的这种分化 ,或者说分离的背后 ,有着更加深刻的文化背景。20世纪50年代末 ,既是科学家 ,又是文学家和政府科技官员的英国学者斯

诺 (C. P. Snow) 提出了关于科学文化和人文文化这“两种文化”以及其间之分裂的重要论点。其实,人们在传统中主要来自艺术中的对“美”的研究与追求,以及在对自然的认识和科学的发展中的对于“真”的追求,大致就分别属于这两种文化。斯诺在那本关于两种文化讨论的名著中,还提到了科学家阵营和人文学者阵营对各自文化颇为傲慢的良好感觉和对对方文化带有偏见的轻蔑。斯诺提到,那些人文学者会“嘲笑那些从来没有读过一本重要的英国文学作品的科学家太可怜。他们把这些科学家当作无知的专家来看待。然而,他们自己的无知和他们自己的专业化更令人吃惊。……有一两次,我被激怒了,并且问这些朋友,他们是否能够叙述一下热力学第二定律。反应是冷淡的,结果当然也是否定的。但我提出的问题,不过是相对于问一个科学家——‘你读过莎士比亚吗’而已”。艺术与科学似乎真的在疏远。

但是,我们也看到,一方面,就在这种疏远和分离中,科学的探索与艺术、与审美也一直保持着千丝万缕的联系。另一方面,随着两种文化问题的提出,也随着人们的认识的不断升华,在20世纪,越来越多的有识之士开始呼吁科学与艺术的重新联姻,并身体力行地为之而努力。即使是更多地站在科学的立场上,我们也仍然能够看出这种发展的明显趋势。

2000年,一本名为《科学与艺术》的画册在中国出版,主编者就是著名的美籍华裔物理学家、诺贝尔物理学奖得主李政道先生。在序言中,李政道先生谈到:“艺术和科学的共同基础是人类的创造力,它们追求的目标都是真理的普遍性。艺术,例如诗歌、绘画、音乐等,用创新的手法去唤起每个人的意识或潜意识中深藏着的、已经存在的情感……我们现在阅读莎士比亚的著作,或者观赏莎士比亚的戏剧,不论是原文或译文,也有着和几百年前的英国的读者和观众相似的情感共鸣。情感越珍贵,反响越普遍,跨越时空、社会的范围越广泛,就越优秀。”在这里,李政道先生也提到了莎士比亚,似乎并不是一种偶然的巧合。

李政道先生有一个形象的比喻:“事实上如一个硬币的两面,科学和艺术源于人类活动最高尚的部分,都追求着深刻性、普遍性、永恒和富有意义。”这一比喻被人们广泛地引用。

早在李政道提出这一比喻的几十年前,另一位也是兼有科学与人文双重背景的外国学者,当代科学史的奠基人萨顿 (G. Sarton) 就曾提出了另一个比喻。他将分别对应于“真”、“善”、“美”的科学、宗教与艺术形象地比喻为一个金字塔的三个面,并认为:当人们站在塔的不同侧面的底部时,他们之间相距很远,但当他们爬到塔的高处时,他们之间的距离就近多了。在这种比喻中,顺理成章的推论不难想见,随着高度的不断上升,真、善、美将愈发接近,并在最高点达到理想的统一。

在这里,我们看到了关于科学与艺术之关系的形象的隐喻。从这种种隐喻出

发,一个显而易见的结论就是,我们以往之所以认为科学文化与人文文化相距甚远,将自然、科学与美相分离,只是因为我们所站的位置高度不够。

那么,如何提高我们所站的高度,以便将科学与艺术、科学文化与人文文化结合起来呢?不同的学者提出不同的建议。例如,前面提到的那位科学家史家萨顿,就认为科学史是连接科学文化与人文文化的有用的桥梁。但是,尤其就科学与艺术来说,更直接也更有效的结合,应该说是来自科学美学的研究。

二

在美学的领域中,关于美之本质的争论一直没有停止过,美学的研究者们至今仍未就此问题达成一致。但这种在理论上的争议几乎没有影响人类实际的审美活动,在人类对于自然和科学之美的感悟上也是如此。对于美的追求,对于美之鉴赏的追求,可以说是人类的天性之一。在像艺术之类的领域中,几乎从远古时代起,对美的追求就是最原初、最基本的目标,但在自然和科学的领域中,与艺术领域有所不同的是,需要有一个先决的条件,即对自然的认识要深入到一定的程度,科学的发展要达到一定完善的程度,对于自然之美和科学之美的领悟才成为可能,因此人们对这后两个领域中的美的认识要相对滞后一些。

说到科学与艺术,人们常举出文艺复兴时期达·芬奇的例子,说明在一个人身上两者可以完美地结合于一体。确实,科学与艺术的分离主要在文艺复兴运动之后,伴随着艺术与科学以各自特有的方式向着不同方向的深入发展而出现的。

不过,就在这种疏远和分离中,科学家们与艺术、与审美也一直保持着千丝万缕的联系。首先是,在那些最伟大的科学家身上,艺术的修养似乎从来就是一个天然的组成部分。在这里,我们可以几乎是相当任意地举出一些有代表性的例子。

20世纪最伟大的科学家爱因斯坦,除了以他的相对论的提出闻名于世,在世人眼里,他那一头乱发似乎更有着某种艺术家的气质,而他的小提琴演奏也更增加了传奇的色彩。

量子概念的提出者普朗克于1918年获诺贝尔物理学奖,而他的钢琴演奏也同样达到专业的水准,他甚至曾为一些歌曲和一部轻歌剧谱曲,他也曾与爱因斯坦等人一起在三重奏小组中合作。音乐的演奏不仅仅是普朗克在生活中放松和消遣的手段,更是他使精神不受约束的领地,对舒伯特、勃拉姆斯和巴赫的特殊喜爱也代表了他的艺术情趣。

德国物理学家玻恩除了在量子力学的发展中地位突出并获得诺贝尔奖,同样也是一位著名的钢琴演奏者,即使在与职业乐手合作的三重奏中也毫不逊色。

俄裔美籍物理学家伽莫夫是大爆炸理论和遗传密码的提出者之一,他的漫画作品早在哥本哈根的求学时代就非常出名,后来在自己的科普著作中,自己绘制的插图也是惟妙惟肖。

1965年的诺贝尔物理学奖获得者美国科学明星费曼更加与众不同。他爱好玩鼓,达到很高的水平,一部只由他用鼓声伴奏的芭蕾舞最后竟赢得了美国全国舞蹈设计竞赛的大奖和在巴黎举行的世界舞蹈设计者竞赛的第二名,他学习绘画,最后能达到举办个人画展和售出所绘作品的程度。

如此等等,清单还可以很长地拉下去。虽然在常人心目中科学家们经常被想象成为举止木讷的书呆子,但在那些科学大师身上,我们确实看到了艺术的光辉。

三

但是,科学家个人的艺术修养只是科学与艺术和谐共存的一个侧面。更重要的是,在科学家对自然的奥秘进行不懈探索的科学研究中,对美的追求同样起着根本性的作用。

翻开任何一本科学史著作,除去那些更久远的历史不说,首先引起人们格外关注的,是历史上人类思想文化的第一个高峰——古希腊的文明。科学的萌芽,也在这里出现。

例如,毕达哥拉斯,这位古希腊著名的数学家和哲学家,在他创立的学派中,将“数”看作是万物的本原,相信“哪里有数,哪里就有美”,基于对弦的长度与其音高之关系的研究,他们十分推崇以比例表现出来的“和谐”,认为各行星与地球的距离也一定符合于音乐的规律,才能奏出“天体的音乐”,出于一种唯美信念,认为球形是一切几何立体中最完善的形体,因而,天体和宇宙都应该是球形的。在所有的几何图形中,他们认为只有圆形才是最完美的,因而,高贵的天体只有绕着宇宙的中心作匀速圆周运动才是合理的。毕达哥拉斯学派的这种宇宙和谐的观点,对于后来天文学甚至其他自然科学学科的发展,一直具有着深远的影响。正如一位当代的数学史家(克莱因)所评论的:“他们并不忽视数学在美学上的意义。这学科在希腊时代被人珍视为一门艺术;他们在其中认识到美、和谐、简单、明确以及秩序。”“事实上,在希腊人的思想里,对合理的、美的乃至道德上的关心都是分不开的……无疑是由于这门学科在美学上的意义,才使得希腊数学家把有些项目探索到超出理解自然所必需的程度。”

柏拉图,这位大名鼎鼎的古希腊哲学家,也同样是基于对宇宙和谐完美的观念,设计出了同心球式的宇宙结构模型。柏拉图对毕达哥拉斯是极为尊崇的。他

最明确地支持毕达哥拉斯的宇宙观,并鼓励别人也都这样做。他使这样的观念广为人知,即视在世界的无数各种形状的物体,实际上是由有限的几种理想的基本形状形成的。位于其哲学学说的中心位置的是这样几种形状:正圆形、正球形、正立方体、正四面体、正八面体、正十二面体和正二十面体。柏拉图的完美形体概念,加上借助于欧几里得几何学形成的严密的组织空间的自治体系,又进而演化成为一样新的观念,即构筑成宇宙的这些理想形体,乃是代表着真、善与美。等再到了他的弟子亚里士多德手中,同心球的宇宙模型变成了像水晶球那样透明的实际存在的壳层,它们彼此相联,将彼此的运动相互传递。

此后,以托勒密的地心体系为代表的宇宙观流行开来,这个体系的基本出发点仍是要维护毕达哥拉斯和柏拉图的宇宙和谐观念,在其中,完美的圆仍然占据着中心的地位。为了说明天体复杂的运动,越来越多圆形的“本轮”、“均轮”被引入,虽然相当繁杂却基本满足了当时观测的要求。

在经过了一千来年漫长的中世纪之后,1543年,伟大的波兰天文学家哥白尼出版了划时代的巨著《天体运动论》,以全新的见解提出了其日心说体系,带来了一场宇宙观上的革命,在这个新理论中,源于古希腊毕达哥拉斯学派的宇宙和谐观念的影响同样深刻。其中基本假设大大减少,理论的和谐程度更高,计算上的简化和精确度也大为提高。所有这些特征,都充分地体现了科学之美。也正如哥白尼在这部巨著的开篇中所说的:“在哺育人的天赋才智的多种多样的文化与艺术研究中,我认为首先应该用全副精力来研究那些与最美的事物有关的东西。”

在哥白尼之后,天文学上最大的进展来自一位叫开普勒的德国年轻人。最开始,在1596年,开普勒在他的《宇宙的神秘》一书中,就为了实现对于天体之运动规律的和谐的美妙的数学表述,而提出一个以五种规则的多面体的组合来表示行星轨道的模型。后来,他有幸获得了丹麦天文学家第谷丰富的天文观测资料,经过多年精心的数学研究,找出了行星运动的三个定律。他打破了圆周运动是最完美的传统观念,提出行星以椭圆轨道运动,在更大范围内的和谐中,得出以数学比率表达的宇宙法则。开普勒就这样解开了天界之谜。与毕达哥拉斯一样,开普勒将形体的运动比作一道和声乐曲,甚至他研究工作本身也是从研究一首古老的名为《和谐的序曲》的乐曲受到启发,并通过他发现的行星运动定律表达了天体之音乐的主调。

除去那些科学发展早期的情形之外,当我们直接把目光投向20世纪时,在众多从事具体科学研究的杰出人物那里,我们同样经常可以看到有关体现在科学中的美的论述,以及对于自然界之美的论述。像这一点在物理学家当中表现得尤其突出,爱因斯坦、海森伯、狄拉克等等这样的科学大师就是其中的典型。量子力学的奠基者之一狄拉克曾指出,上帝用美妙的数学创造了世界,描述自然的基本规律

的方程必须包含伟大的数学美,而这种数学的美对于科学家来说就像宗教一样。这也就是说,美对于发现真的重要意义在一切时代都得到承认和重视。因此,这些科学大师们所突出关注的,是在科学的理论中,以数学美的形式体现出来的理论之美,以及这种理论之美背后的自然之美。面对科学家们的体会,我们面对着一个深刻的问题:真与美的关系。除此之外,当代一些有眼光的数学家们也有类似的论述。

四

量子力学的创始人海森伯曾讲过:“在过去若干世纪的进程中,科学和艺术都形成了人类的一种语言,我们可以用它来讨论现实中离我们比较远的那些基本成分。一组连贯的概念和各种不同的艺术风格,就是这种语言的不同单词和词组。”

确实,即使是站在科学的立场上,从认识的角度出发,我们也同样会看到审美的艺术与求真在创新性的认识过程中,是拥有着某种共性的。因而,我们也会看到,同样是通过创新,在科学家对世界进行科学性描述之前,常常会有艺术家以自己的睿见用艺术的语言对类似的主题有所表述。几年前,一位醉心于探索科学与艺术之异同和相互影响的美国医生,就在其《艺术与物理学》一书中,站在科学的立足点上,通过物理学和绘画这样两个科学与艺术的典型代表之发展的几个例子来说明,在物理学家发现某种对世界进行思考的新方式之前,艺术家已经给社会提供了某种看视这个世界的新方式。

在《艺术与物理学》这本有趣的著作中,作者曾谈到,在从19世纪下半叶到20世纪初这一在艺术和物理学中都发生了重大革命的阶段,当物理学家们在以自己特有的方式思考和探索自然的同时,艺术家也在以某种既相似又不同的眼光在体验着世界。例如,马奈、莫奈和塞尚就是这样三位典型的画家。马奈最先使水平线这条直线变成弯曲的,莫奈令清晰的边界模糊起来,塞尚则让桌子的直缘出现位错。他们对传统的透视画法和不可侵犯的直线发起了攻击,从而使观者意识到,沿投影几何学线条展开的空间,并不是摹想空间的唯一方式。而人们一旦开始能用非欧几里得方式看视世界后,也就能开始用这一方式思维了。这三位画家通过形与色所展现的令人惊异的正确性,几乎是以艺术的方式预示了爱因斯坦后来对于相对论的发现。

此后,另外三个新的画派出现,也在其艺术表现中体现出了与物理学中进展的相似性。我们可以选择马蒂斯、毕加索和杜桑这三位分别代表着野兽画派、立体画派和未来画派这三个激进画派的画家。野兽派探索的是光色无穷无尽的表现,立

体派展示的是对空间的新分析,未来派进行的则是将时间分割,将现在向过去和将来两个方向同时扩展。这与爱因斯坦狭义相对论中的观点有着惊人的类似。

至于再往后,在比利时超现实主义画家马格里特那里,绘画几乎成了对于科学观念形象的艺术诠释。虽然他声称自己对新物理学没有兴趣,但在他的作品中,却提供了许多能帮助观者理解物理学概念、而且比文字解释更有效的图像。在他的戏谑性杰作《温室》(1939年)中,几乎就是对于爱因斯坦的相对论的形象诠释。

当然,我们还可以举出像画家达利象征着时间的本性和意义的作品,以及艾舍尔巧妙地在透视原理上做文章的画面。对于后者,也已经有学者将其与巴赫的音乐和数学中的哥德尔定理联合起来讨论,将其用作物理学中对称性问题的象征。

五

也许,正像萨顿的隐喻所说的那样,当上升到了人类认识的金字塔的高处时,真与美确实统一了起来。探索自然之奥秘的科学家在研究中如果也采取艺术与美的标准的话,将有助于他们对自然界真理的发现。

其实,在中国古代的哲人那里,如果按照某种现代眼光来分析的话,我们似乎也可以发现类似的观念。《庄子·知北游》中有“天地有大美而不言”之说。当然,对此名句中之“大”与“美”的含义,各家有不同的解说。在这里,我们不妨在其字面含义的基础上作一延伸的理解:取“美”之通常的含义,取“大”之范围广、程度深的词意,更何况作为中国古代哲学的术语,“大”亦有与“道”相近同之义。在这种意义上,“天地”之“大美”既可包括天地造化自身之美,也应包括在人们对于天地之认识——也即科学——之中体现出来的美。尤其是,我们还可以注意到,《庄子》在“天地有大美而不言”之句后,尚有“四时有明法而不议,万物有成理而不说。圣人者,原天地之美而达万物之理”的说法,按照上述的理解方式,我们甚至可以将其看作是对美与科学以及科学方法之联系的隐喻,尽管这种理解是在现代的基础上以现代的眼光重新界定的。其实,对于自然之美与科学之美的认识 and 了解,显然也是有助于我们对于自然与科学之自身的更加深入的认识和了解的。这是科学美学研究的另一种“实用”的意义。

一方面,由哲人、数学家和科学的实践者们本人提出的这些有关思想是非常深刻的。另一方面,我们也应注意到,在大多数情况下,它们又偏于零碎,大多属于个人直觉的体会,还不够系统,更像是一些思想的闪光而已。

近几十年来,尤其是近年来,在科学界,以及在人文社会科学界,众多的有识之士提出要将科学与艺术相结合。这种结合其实也正是对于科学之美的一种认识和

把握。但如何实现这种结合却是一个需要思考和探讨的重要问题。我们同样也应该看到,科学与艺术的结合可以有不同的方式,是将这两者牵强地硬拉在一起,还是将这两者有机地融为一体,两种结合方式的结果是大不一样的。只有以后一种方式,科学与艺术这两者才能达到理想的结合。我们可以首先将那种表面的科学与艺术的伪结合排除在外。虽然本文前面也谈到一些大科学家具有很高的艺术修养的事例,但若是仅以这样的例证,或以某某艺术家也因对科学的“爱好”而似是而非地在其作品中颇有曲解地诠释科学,来论证科学与艺术之结合,那么,像这样的所谓“结合”其实只是对科学和艺术之关系的一种很表面的而非本质性的认识。

如果说在初期,人们一般性地谈论自然之美和科学之美还是一种洞见的话,随着认识的发展,则需要将这种认识更加深化,也就是说,需要更加认真地对待,需要在这方面进行深入、具体和细致的研究,将它作为一门学问来思考。这门学问,就是所谓的科学美学。

在广义上讲,科学美学可以包括对于自然之美和科学之美这两大类问题的研究。而对于自然之美与科学之美的认识,应属于科学文化的一部分,而且是其非常重要的一部分。

一个显而易见的事实是,目前国内对于科学美学领域的深入研究还是相当初步的,还缺少那种真正深入进去,以学术的规范对之进行的系统研究。相比之下,国外的情形要好一些,尽管这些研究也是非常分散的,也还没有像其他一些相关领域——如一般美学和科学哲学等——的研究那样形成规模。在这种情形下,一种有效地加速国内科学美学领域学术发展的办法,就是先将他人已有的成果引进。像笔者近来主编出版的《大美译丛》就是出于这样的考虑。虽然由于像获取版权等等方面的困难,这套丛书涉及的范围和规模受到不少影响,但在现在的选题中,这套丛书还是涵盖了几个最重要的方面,如关于自然界之美的典型体现之螺旋的研究、关于美与科学革命之关系的科学哲学研究、关于人们对天体之认识与音乐之关系的研究、关于物理学与艺术之关系的研究,以及关于数学与音乐之关系的研究。这些论题仍然只是科学美学中一部分的内容,当然也是很重要的一部分内容。

当然,像所有的学术领域一样,引进和学习只是第一步。接下来,学术的发展还要靠自己的扎实研究。但在这样的研究中,首先,研究者应同时具备科学与人文的修养,更具体地讲,就是科学与美学的修养;其次,研究必须要按学术的规范进行,而不是只限于随感式的联想。在这方面,被收入《大美译丛》中的几本书,如那本以物理学和现代艺术的平等发展和相互影响为主题的著作《艺术与物理学》,以及别具一格的科学哲学研究著作《美与科学革命》等,就是可以借鉴的式样。

田 松

鸡与鸭与李约瑟——对于李约瑟问题的语境分析

原载 1998 年 6 月 10 日《中华读书报》。

导读

田松 (1965—) ,现为北京大学哲学系博士后 ,国内第一个拥有科学技术史和科学技术哲学双博士学位的学者 ,活跃于科学传播领域 ,对中国当代的伪科学也有深入研究。

李约瑟问题一直困扰着富有民族自尊心的中国学者。经过中国学者的转述 ,李约瑟问题是这样的 :“中国古代的科学技术一直遥遥领先世界 ,为什么到了近代却落后了 ?”或者说 :“近代科学为什么没有在中国诞生 ?”

在讨论问题之前 ,须先做一下语义分析。中文原无 “科学 ”一词 ,它来自日语 ,是作为 science 的译词进入汉语的。在西方语境中 ,science 是认知层面上的源自古希腊自然哲学的关于自然界的系统的定量化的知识。它有一些具体的学科 ,如物理、化学、地质、生物等。而技术则是实践层面上的为达到特定目的而使用的方法。科学与技术本各有其源 ,直到近代才结合起来 ,并产生一种新的技术——科学的技术。这种技术是由科学推导出来的 ,是经验累积所不能达到的 ,比如无线电技术 ,是电磁理论的产物。正是科学技术 ,而不是科学 ,成为西方人改造物质世界的锐利武器。

例如广东的经济发展抬高了粤语 ,科学技术的成功使科学成为一个辉煌的大词。在中国的大众语境中 ,科学是一个最最好的东西 ,意味着正确高明有效 ,说某人的某个做法不科学就如几十年以前说他有唯心倾向一样让他恼怒。如此 ,李约瑟问题对于中国人来说就不只是学术问题 ,更是尊严问题。在日本忙着全面中化的唐宋时期 ,就没有人会呼喊 ,中国要有科学 ;到元明时期 ,科学已经进入中国 ,也没有人把它当回事。李约瑟问题引发了许多人对历史的哀叹追悔和假如当年如何

如何现在就会如何如何的自慰,同时也借此回顾“当年之阔”。如刘兵先生在今年第11期《仿法》上所说,中国的科学史研究在很大程度上陷入了论证某某中国古已有之、世界第一的误区。这种语境下的科学已与 science 毫无关系。如不抛开面子问题,李约瑟问题很难得到“科学”的解决。

狭义的科学当然就是 science。爱因斯坦认为:科学的基础有二,一是希腊哲学家发明的形式逻辑体系,一是文艺复兴中发现的通过实验获得因果关系的方法。这也是使科学有别于其他系统知识的特性。以此标准衡量,中国古代是没有科学的。爱因斯坦便持此论,他说:“中国的贤哲没有走上这两步,那是用不着惊奇的。”(《爱因斯坦文集》第一卷,第574页)所以不存在中国古代科学曾经领先这回事。如刘兵所言,中国科学的世界第一究竟有多少,只要翻开教科书看一看那些定理定律发现者的名字就知道了。据香港学者陈正文先生考证,古埃及出土的纸莎草文书上的数学题水平就与几千年后的《周髀算经》相当。勾股定理和毕达哥拉斯定理虽然有相似的内容,但他们背后的文化结构大不相同。勾股定理是工匠的经验公式,毕达哥拉斯定理则是简单概念经逻辑推论得出的普遍结论。事实上,在领先与否的比较中,中国注定是要吃亏的,因为我们所用的科学标准来自西方。就如用鸭的标准来衡量鸡雏和鸭雏,鸡雏必然得分甚低,看不出有长成鸭子的迹象。

李约瑟问题之所以出现,乃在于科学与技术混为一谈。常被用来证明中国古代科学技术强盛的四大发明,其实都是技术,而且都是来自经验的技术。把科学、技术和科学技术分开考虑,李约瑟问题就可重新表述如下:中国古代的技术一度领先世界,为什么到了近代落后了?对这个问题的解答是:因为西方有了科学,有了科学的技术。至于后一种说法,为什么近代科学革命没有诞生在中国,答案也很简单:因为中国没有科学思想。这个问题还有些古怪,它相当于:为什么鸡蛋里没有孵出鸭子来?答案是:因为鸡蛋不是鸭蛋。

这样说,必然有人不满意。难道只有 science 才算科学吗?中国古代没有自己的科学吗?这种提问暗示了科学的另一种常见的引申意义,即把一切“系统的知识”都称为“科学”。这样,文史哲等人文学科被称为科学——社会科学;同时 science 成了自然科学。这个“科学”仍蕴含一种褒义。在西方,science 也有此种用法。有人问荣格:“为什么像中国这样一个聪慧的民族,却没有能发展出科学?”这差不多是半个李约瑟问题了。荣格回答:“中国的确有一种‘科学’,其标准著作就是《易经》,只不过这种科学的原理就如许许多多中国的其他东西一样,与我们的科学原理完全不同。”(荣格:《纪念卫礼贤》,通山译:《金华养生密旨与分析心理学》,第143页)。从系统的知识这个角度,把中国古代某些知识体系称为“中国传统科学”也无不可,但是在讨论李约瑟问题时,不能认为它们就是 science,否则就有偷换概念之嫌。

中国古代当然有辉煌的文明,但要证明这一点,不一定要以西方语境为参照系说中国有科学且曾领先。我们可以说,science并不是唯一一种正确的知识体系。而且,改造世界的直接力量不是科学,而是技术。中国古代不仅有曾在几千年里世界第一,至今仍不能被现代科学完全涵盖的技术,也有在技术之上的系统知识。比如中医技术及理论,这些才是中国智慧有别于西方的独特之处。然而,由于西方文化的强大优势,我们已经失去了中医等传统知识产生及发展时的语境。所谓的中西医结合在相当程度上是以西医的模式改造中医,有很多工作就是为了证明中医符合科学——西医。弄到最后,中药发展了,中医却消亡了。

柯文慧

首届科学文化研讨会 学术宣言——对科学 文化的若干认识

原载 2002 年 12 月 25 日《中华读书报》。

导读

柯文慧,上海首届“科学文化研讨会”(2002 年底)与会者的集体笔名。本宣言由田松起草,与会者共同讨论、修改,由江晓原最后定稿。

近年来,科学文化一词频频出现在大众传媒。而对于什么是科学文化,如何理解科学文化、如何更好地从事科学传播,存在着各种想法。在首届“科学文化研讨会”上,与会学者坦诚地陈述了彼此的立场和观点,逐渐明晰了各自的表述,并达成了一定的共识。

科学文化具有思想和实践两方面的意义。对科学文化的理解固然可以不同,但是与会学者一致认为:需要从思想层面(包括人文的和科学的角度)和社会实践层面对科学和技术的文化意义进行反思;需要发展多角度、多层面的科学文化,包括传统科普(知识性科普)、“二阶的”人文科普、科学文化研究(如吸收社会建构论、SSK 等有关成果)。

与会学者注意到这样一个判断:近年来,科学文化领域主要的矛盾表现形式,已经从保守势力与改革开放的对立,开始向单纯的科学立场与新兴的人文立场之间的张力转变。这一判断或许并不十分准确,但无疑是富有启发性的。

1. 如何理解科学文化

牛顿物理学诞生之后,在解释世界的形而上层面,科学逐渐取代了传统文化的地位。不仅科学知识成为人类解释世界的“标准答案”,科学对自然的理解如自然观、宇宙观、真理观也渗入到人类一般思想之中。与此同时,工业革命之后,在联系世界的形而下层面,科学的技术逐渐取代了传统技术。在人类文化中,直接融进了科学之技术的成分。

科学所渗入到人类一般思想之中的部分,表现在人类基本生存方式中的部分,就是我们所要讨论的科学文化。

毫无疑问,公众对科学文化的理解与公众的科学素养是密切相关的。但是,作为文化的科学也能够超越具体的科学知识,直接进入公众的思想深处。作为文化的科学在传播的过程中,不一定需要将具体的科学知识作为前提。举例而言,在牛顿物理学之后,机械论、还原论、决定论的自然观成为社会主流话语体系的一部分,但是,是否接受这种话语体系,不以是否掌握牛顿物理学为前提,大部分公众对于主流话语体系是不自觉地接受的。

大众话语体系中科学文化的形成可以从两个层面上进行理解。一、从思想层面,科学家及科学文化工作者(包括科学哲学、科学史、科学社会学等)对科学的文化内容进行第一度阐发,然后渗透到人文学者、文学家和艺术家等,并通过大众传媒进入大众话语体系。二、生存层面,科学的技术已经渗入到人类生存的所有方面,科学文化是人类生存背景的重要组成部分。

科学本身处于变化之中。不同时期的科学对自然、宇宙以及科学自身的理解都不相同,甚至存在根本上的矛盾。尤其是在进入20世纪之后,牛顿范式的科学在很多方面遭到了超越、挑战和质疑。因此,科学所可能具有的文化内涵从理性层面上已经发生变化。同时,科学技术所导致的社会问题也开始显现,从生存层面改变着人们对科学的看法。

中国的科学文化的总体状况比较复杂。一、科学作为外来文化,与中国传统文化存在巨大的差异,科玄论战的矛盾基础依然存在。二、在科学知识层面,中国的科学基础非常薄弱。然而,科学主义在社会主流话语体系中占据重要的地位。三、生存层面,科学及科学技术尚未发挥足够的作用,但是科学的技术所造成的社会问题也已经大量出现。

2. 如何看待科学主义

科学主义产生自启蒙主义 ,成于实证主义 ,是建立在牛顿范式的科学之上的一种思想观念。长期以来 ,已经成为主流话语体系的重要组成部分 ,是每个人在成长之中所接受的背景知识的一部分。

科学主义认为科学是真理 ,是正确的乃至唯一正确的知识 ,相信科学知识是至高无上的知识体系 ,并试图以科学的知识模式延伸到一切人类文化之中 ,科学主义从自然观上 ,采取机械论、还原论、决定论的自然观 ,在联系世界的社会层面表现为技术主义 ,持一种社会发展观 ,相信一切社会问题都可以通过技术的发展而得到解决 ,科学的技术所导致的社会问题都是暂时的、偶然的 ,是前进中的失误 ,并且一定能够通过科学及技术的发展得到解决。在人与自然关系中 ,表现为征服自然 ,把自然视为人类的资源 ,从环境伦理的角度 ,认为人类有能力也有权利对自然进行开发。

科学主义是一个他称 ,很少有人自称科学主义者。一般而言 ,我们把对科学、真理、自然观、社会发展以及环境伦理等方面的问题持有上述观点的人称为科学主义者。科学主义是连续的观念谱系 ,只有很少人坚持极端的科学主义立场。

与会代表同意这样一个事实 :科学主义是我们的缺省配置。很多反对科学主义的人都曾持有过一定程度的科学主义观念 ,甚至 ,在对很多问题的态度上 ,仍会不自觉地采取某种程度的科学主义立场。

科学主义的功过 :

在历史上 ,科学主义一度在弘扬理性、解放人性的过程中有过重要作用。但是 ,在当今世界 ,科学主义的负面作用也是不能低估的。它表现在两个方面 :

1. 思想层面 ,把科学等同于绝对的客观真理。对科学的神话同样束缚了人们的思想 ,不利于科学自身的发展。科学主义侵害的首先不是人文学术或者社会科学 ,而是自然科学本身。如欧阳莹之 (Sunny Y. Auyang) 指出 :“科学主义过分炫耀科学且背离科学精神 ,这激起了让许多科学家吃惊的对科学的敌意。祸起萧墙 ,我们不要仅仅抱怨公众不愿意支持科学研究 ,或许我们应当检查自己 ,看看是不是我们做得太过分了 ,而成了科学主义。” (引自《复杂系统理论基础》,上海科技教育出版社 2002 年 ,第 356 页)

2. 社会层面 ,科学的技术已经带来了不可逆转的社会后果 ,继续坚持僵硬的科学主义立场不利于对科学技术进行反思 ,不利于可持续发展的实现。

在几个层面上对科学主义的反思 :

1. 20 世纪的科学已经超越了牛顿范式 ,机械论、决定论、还原论的自然观已经遭到了有机论、非决定论、整体论的自然观的挑战。这些科学以量子力学、非线性物理学为标志。也就是说 ,科学主义所立足的科学远远不是最先进的科学。那么 ,我们是否还应该继续坚持建立在这种科学之上的思想观念 ?

2. 科学的技术已经造成了全球性的环境污染 ,已经在很多方面表现出了负面效应 ,并有可能导致更严重的社会后果。需要对科学的滥用、技术的无度发展进行反思。因而 ,我们是否应该重新认识技术和社会发展的关系 ? 是否需要科学的滥用和技术的无度发展进行深入的反思呢 ?

3. 科学的技术导致了人类生存方式的改变 ,这种改变造成了技术对人的异化。因而 ,我们是否应该重新思考人类生存方式与技术的关系 ?

4. 大科学时代的科学并非少数人以个人财力可以完成的 ,需要使用全社会的资助。因而 ,是否可以只服务于少数人 (科学家)的意愿 ,而不需要考虑真正的投资人 (公众)的意见 ?

由于科学一词在大众话语体系中常常代表 “正确、高明、有效 ”,所以 ,科学主义者常常给主张反思科学主义的观点盖上反科学的帽子 ,在意识形态上将对方置于被批判的位置。因此 ,需要说明 :科学主义者并不代表科学 ,尤其不代表最新的科学成就 ;反对科学主义 ,绝对不等于通常意义上的 “反科学 ”,恰恰相反 ,这有助于科学的正常发展 ,有助于重塑科学形象的理论建设工作。当然 ,考虑到中国目前的国情 ,对这一理论建设工作的宣传应该谨慎、适度 ,以免在公众一时还缺乏足够理解的情况下产生消极作用。

3. 如何理解科学传播

科学文化不仅仅存在于思想理论层面 ,同时还有很丰富的实践内容。与会代表围绕科学传播讨论了若干问题 (何谓科学传播、传播什么、怎样传播、传播受众市场分析以及科学传播队伍的人员构成等)。

所谓科学传播 ,是从科学文化自身的要求出发提出的一个超越传统科普的概念。科学传播的核心理念是公众理解科学 ,强调公众对科学作为一种人类文化活动的理解、欣赏和质疑 ,而不单是向公众灌输具体的科学知识。与会代表基本同意 :科学传播的目的重点在于促进公众对科学事业的理解 ,打破科学事业与民众之间的藩篱 ,在科学精神、科学方法、科学史、科学与自然、科学与社会、科学与人文、科学与伪科学、科学前沿进展等方面增进理解和交流 (此处未涉及也很重要的技术推广 ,但那是另一层面的事情)。事实上 ,这既符合 “弘扬科学精神 ,传播科学

思想,介绍科学方法,普及科学知识”的主体属性原则,也契合了传播学中的贴近法则和创新法则。我们相信这一理念必将为进一步发展的受众市场所支持和证明。至于怎样传播,与会代表认为首先要对庞杂的受众市场有清晰的细分,进而分析他们对科学文化的认知和需求。我们认为目前有四个人群可以有所作为:一是青少年,传统科普仍发挥着固有的作用,但科学文化经过简约后应有进入的空间;二是新兴白领阶层,这是一个非常活跃且有求知偏好的群体,人文情怀和阅读传统也比他们的前辈好得多,随着这块基数迅猛增长,以科学文化为代表的科学传播应尽快占领这个市场;三是有阅读习惯的学者(人文学者居多)及一般文化人,这是科学文化出版物的固有市场;四是广大科技工作者,由于教育背景,这部分人士对于科学的理解大多处于缺省配置状态,与科学文化存在着一定程度的疏离。

与会代表尤其谈到了科普出版(科学文化出版)问题,认为这一实践领域急需科学哲学、科学史、科学社会学等有关理论建设,要更新出版理念就必须从科学史、科学哲学、科学社会学这三大元层次的学科汲取养分。事实上,20世纪科学哲学经历了从逻辑实证主义向历史主义、历史主义向后现代主义的两次转变,而科普出版似乎正经历着这样的转变。

由于大众传媒的从业人员所受的教育大部分来自人文学科,他们的知识结构决定了他们对具体的科学知识的理解是不够充分的。他们对于科学文化的理解仍然停留在缺省配置阶段。从人才培养角度看,科学传播这样重要的工作在高等院校中还没有十分贴切的对口专业。有识之士需要联合起来,共商中国高校的科学传播专业设置和人才培养问题,也只有解决了合格人才供给,科学传播事业才有望顺利开展。

从事科学文化研究的学者需要和媒体、受众联合起来,把科学传播进行到底!

敬告读者

江晓原、钮卫星先生编著的《人之上升·科学读本》,旨在帮助读者了解什么是科学,所选文章大多是科学大师的经典之作。在本书编辑过程中,我们尽可能与选文的作者或译者取得联系,并得到他们的授权。虽经过多方努力,但仍有个别译者未联系上。美文难以割舍,我们考虑再三,还是决定先选入本书。对此,我们深表歉意。希望相关译者看到本书后,及时与我们联系著作权使用事宜。

上海教育出版社

2005年7月