

国家“十五”重点图书

“探索科学的艺术——科学方法论”丛书

走进实验的殿堂

——实验方法谈

丛书主编 路 宁 刘跃进

刘晓君 著

上海交通大学出版社

内容提要

本书介绍了实验和实验方法在科学研究中的地位与作用,通过大量的史实和数据,令人信服地阐述了实验方法的起源与发展、实验方法在各学科的应用以及实验所涉及的伦理等方面的问题。

本书语言生动,事例充实,有较强的可读性。

前 言

科学方法是科学的灵魂,是科学家与科学对象之间的桥梁和通道。从一定意义上说,一部科学史就是一部科学方法不断丰富发展的历史,就是一部科学方法的进化史。科学革命从本质上说就是科学方法的革命。高明的导师在指导博士研究生时,总强调传授方法过于告诉结论就说明了这个道理。科学方法是科学的重要基础和组成部分,是科学活动得以开展的必要条件,是科学水平发展的标志。“工欲善其事,必先利其器”。了解和掌握科学方法对于了解和掌握科学具有十分重要的意义,对推动科学与社会的发展也具有重要的意义。因此,自科学产生以来,人们总是花极大的力量来关注和研究科学方法,于是形成了一门专门研究科学方法的学问,这就是科学方法论。为了向广大读者介绍科学方法,了解直至树立科学的方法和理念,正确把握科学与非科学及反科学的界限,坚持正确的科学观和科学方法论,我们编写了这套《科学方法论》丛书,将正书名起为《探索科学的艺术》是希望强调方法在获得正确结论中的独特的作用。

科学是什么？

这好像是一个不成问题的问题。其实不然,它是一个争论得非常激烈的问题,直到现在争论仍在进行,人们从各自的角度在不同层面上理解科学这个概念。一般可以从三个层面对科学进行描述:科学是系统化的知识;科学是一种社会活动;科学是一种社会建制。第一种描述是从科学的内部进行刻画的,后两种则是从科学的社会价值的角度进行刻画的。但是,作为一个科学工作者,我们似乎应当从综合的高度、尽可能从较全面的方位来处理这个问题。这样做应当是可能的。从这样的理念出发,科学是不是可以做这样的表述:科学是人类运用科学工

具作用于科学对象的过程及作用结果的统一。因而科学是一个历史范畴。

科学方法是什么？

这里讲的科学方法不是指科学的方法,而是指科学研究的方法,是人们为达到一定的科学目的所选取的手段、途径或活动方式和规范。科学方法是人们在科学研究中所遵循的途径和所运用的各种方法和手段的总称。从科学方法论讲科学方法通常指各个科学部门中较为通用的一般的科学研究方法,是人们揭示客观世界奥秘、获得新知识、探索真理的工具。从这个意义上讲,科学方法必然是科学的方法,它具有程序化的特点和自觉能动性的特点。科学方法是正确反映客体的通道,科学方法为科学的发展定向开路,为成功的取得作铺垫。科学方法使科学认识程序化、规范化和最优化,在纷繁复杂的科学研究中,科学方法可以提供一条正确的路径和思维定式。

采用合适的科学方法开展研究就会获得较高的成功率。一般来说,科学方法、技术创新,往往可能促成科学技术的重大发现和发明。一些科学家、发明家能够取得重大成就,是和他们在方法上锐意进取密切相关的。从历史上来看,科学是随着研究方法所获得的成就而前进的。因此传播和普及科学方法,加强对公众科学研究、技术开发能力的培养,是提高公众的科技素质、造就一代新人的需要。

科学方法是怎样分类的？

科学方法是具有一定结构的一个体系,按照不同的标准可以做不同的分类。这些标准之间也可能有交叉。哲学方法是层次最高、应用最普遍的方法,能够运用于以自然界、社会和思维为研究对象的所有科学部门。往下是一批基本的通用的科学方法,如逻辑方法、数学方法、系统方法、实验方法等。再往下是各个具体科学领域的科学方法,如生物学的方法、地学的方法等。科学方法还可以按照适用范围的大小,区

分为一般科学方法和特殊科学方法。一般讲来,越是科学研究的低层,要掌握的科学方法越是特殊;而越是科学研究的上层,要掌握的科学方法越一般。这是因为具体的工作对象明确,可变性小,于是更需要技巧,而上层工作面宽,需要全局性的、路线性的指导,于是更多的是涉及原则问题。

按照认识层次可有经验性科学方法、理论性科学方法等。经验性科学方法是获取经验材料或科学事实的一般方法,如观察方法、调查方法、测量方法等。理论性科学方法,包括分析、综合、归纳、演绎、类比等逻辑方法以及假设方法、思想实验、理想化方法等。横向学科方法指的是由数学、一般系统论、信息论等横向学科抽取出来的一般方法,如系统性方法、黑箱方法、反馈方法、信息方法等。特殊科学方法是个别科学领域或学科所运用的各种特殊方法,如物理中的光谱分析法,化学中的电解法,生物中的同位素示踪法、医学中的免疫法,心理学中的精神分析法,人口学中的人口普查法等。现代科学方法是建立在实践经验和经实践检验过的科学理论的基础上的。

科学研究离不开各种思维活动,人类思维所遵循的方法也是科学方法。思维方法是人们认识世界和改造世界的精神活动形式、方式和程序的总称。人的一切活动,无论认识活动还是实践活动,都离不开思维和思维方法。思维方法的类型是与思维类型相对应的。按照思维活动所运用的信息形式,思维方法区分为抽象思维方法和意象思维方法。按照思维结构的程式化程度,思维方法区分为逻辑思维方法和直觉思维方法。按照思维过程的方向性,思维方法区分为逆向思维方法、侧向思维方法、发散思维方法、收敛思维方法等。限于本丛书的既定目标,我们没有专门介绍思维方法的计划,不过读者从丛书涉及的内容可以或多或少体会到一些思维的规律。

科学方法与非科学方法

科学方法与非科学方法之间没有不可逾越的鸿沟。科学方法是一个边缘不清晰的、但又是一个具有稳定内核的家族。之所以这样说,首

先是因为科学与非科学之间是没有清晰的界限。特别是 1962 年 T·库恩的《科学革命的结构》出版以来,历史主义的观点对于科学与非科学的界限的讨论提出了社会文化的标准,人们对于这个问题的理解更增加了新的内容。现在可以看出,科学与非科学的界限是相对的。在牛顿体系下的科学概念,在爱因斯坦体系下就可能会变成非科学概念;在欧几里得的几何里过直线外的一点只可以作一条直线与已知直线平行,但是在非欧几何里,结论就完全不同,有的认为可以作至少两条,有的又说一条也不存在。因此,科学方法与非科学方法之间也没有清晰的界限。例如过去认为人多好办事的观点在软件工程里却行不通,很多软件设计过程证明,增加人的参与可能延缓工程的完成。是否科学一切应当看条件,在一定条件下的科学方法,当条件发生变化时,就可能变成非科学方法,反之亦然。在科学与非科学之间有着一个广阔的融合的地带。在这里,不同领域的方法之间相互过渡、转化表现为科学方法边界的不清晰。这也是正常的和必需的。在存在非此即彼的地方要充分注意到亦此亦彼。但是,我们在这里要强调的是,作为科学,以下几点是必须具备的不变的要素或内核:理性、真理、逻辑、可重复。

科学方法的历史观

科学方法是一个历史的概念,科学方法家族是一个不断新陈代谢的生长的家族。

从宏观历史上看,科学方法是一个不断发展和生长的家族。所以,我们要充分注意从历史的角度来把握科学方法,特别要注意从科学方法的整体上来把握它。在这个过程中,有的方法得到了发展,有的方法被历史所淘汰。但是,有一个逻辑线索是不变的,存在着历史的逻辑不变性:由低向高,由简到繁,由单一到多元,由不成熟到成熟。科学方法的历史与科学的历史是同步的,随着科学的发展而发展,它是一个无限展开的系列。

任何历史的否定都是辩证的否定,对于科学方法来讲更是如此。不管是淘汰也好,发展也好,总是一种扬弃,精华被保留下来,糟粕被剔

除。在区别精华和糟粕的过程中,方法会显示出特别的重要,就像风力和风向对于打谷场上的扬场,起着关键的作用。

科学方法形成的多个途径

科学方法的形成有多种方式方法,可以由科学研究进展或已有科学成果的转化,由非科学方法的转化,由已有科学方法的发展等,但是不管怎样,它总是源于科学实践。科学方法与科学实践是紧密相连的。科学方法不是游离于科学之外的一种框架。相反,它是融于科学之中的,只是我们在研究问题的时候对其做了抽象的处理而已。科学方法的形成是一个创新的过程,同时也是一个与已有方法的交流和交锋的过程。在这个过程中,新的科学方法得以发展和成熟。此外,不同的科学方法之间还存在移植、渗透作用,在交叉中产生新的科学方法。

与实践不同的是科学方法都有一个提升过程,它是从很多的实践活动中抽象出来又在实践中得到证明是行之有效的一种规律性的东西。即使是特殊的科学方法也有其普适性。同时,即使是一般的科学方法,在具体实施时,也要根据实际情况作适当的变化。一成不变的科学方法是没的,而这种美好的愿望本身就是不科学的。

科学方法论的发展趋势

有的学者指出,目前在西方科学哲学界,科学方法论正处于一个发展的低谷。科学方法论面临五种困境:对归纳逻辑的反对、反对方法、当代科学方法论家的自悖、元方法论的困境以及对评价规则的质疑。同时指出认清这些困境的目的在于寻求科学哲学更深层的理论变革和发展机遇。这个问题确实应当引起我们的注意。在 20 世纪 80 年代,也许是十年浩劫造成积压的喷发,我国在科学方法论方面的研究曾经出现了一个高潮,出现了以舒炜光教授为突出代表的一批学者,他们的工作极大地推动了中国科学哲学的发展,推动了中国科学方法论的发展。虽然目前在科学方法论的研究中出现了上面所说的困境和问题,

但是,这并不能说科学方法论的研究已经停顿;相反,也许这正是科学方法论获得更大发展的契机。

进一步,进入新世纪以来,我国的经济正在蓬勃发展,科教兴国已经确定为基本国策,可望在未来的几十年中,中国的经济会有较快的发展,科学技术作为第一生产力必然地会获得优先发展。巴西的足球踢得好是因为足球的普及,中国将青少年派到巴西去学足球,很大程度上是为了感受这种全民皆球的氛围。一样的道理,随着科学的优先发展,科学方法将得到普及,形成一种氛围,这必定导致科学方法更快的发展。

本丛书的立意

在有关科学方法的书籍和文章大量问世的今天,如何为广大公众献上一套通俗的、有用的科学方法论的书并不是一件容易的事。选取最重要的方法,以全新的通俗方式进行撰写,是我们一贯的想法,也是本丛书的宗旨。但真正做起来却并不容易,甚至具有相当的挑战性。

我们这套书定位在讲述科学方法的普及类读物,由以下四种方法组成:数学方法、系统科方法、逻辑方法、实验方法,相应的书名分别为《通向完美的桥梁——数学方法谈》、《遨游系统的海洋——系统方法谈》、《攀登理性的阶梯——逻辑方法谈》、《走进实验的殿堂——实验方法谈》。为什么选取这四个方法呢?这是因为:我们认为,任何科学都是一个逻辑的系统,都离不开逻辑的构架。首先世界是一体化的,任何科学必须放在与他周围共存的环境才能检验出它的正确及意义。任何一个正确科学结论都离不开实验的检验,而且实验常常会提供科学研究的课题。任何科学都离不开数学,正如马克思说过的,任何科学只有应用数学才能达到完美的地步。

古希腊的亚里士多德创立的形式逻辑奠定了逻辑学的基础,建立起三段论式逻辑推理方法,创立了相应的逻辑工具——公理化方法。欧几里得运用公设、公理,演绎出了一本《几何原本》,成为万代师表。近代以来,公理化方法被进一步地形式化,在科学的发展中发挥了重要

的作用,是公认的重要方法。

英国人罗吉尔·培根首提“实验科学”,即运用实验方法的科学。后来,达·芬奇、伽利略又进一步运用了实验方法。弗兰西斯·培根则成为“英国唯物主义和整个现代实验科学的真正始祖”,他主张把学者传统与工匠传统结合起来,把理论与实际结合起来,通过记录一切可以得到的事实,进行观察、实验,加以排列、分类、归纳,最后总结出事物的内在联系。

如果将科学分成公理科学和实验科学,那么这两种方法分别是它们的一般方法。

科学发展到现代,系统地看待和处理科学问题已经成为一种十分重要的科学方法。在大科学中,众多的要素和众多的关系只有用系统的思维和方法才能准确地把握和描述,特别在科学日益分化与综合的发展趋势下,系统性越来越具有重要的意义。

科学史表明,数学是科学研究和科学表达的重要手段。科学,特别是自然科学大多离不开数学手段,离不开数学的表达。数学能使科学变量的依存关系有一个更清晰的表述,同时丰富的数学成果为科学研究提供了大量现成的结论。当今各行各业普遍应用了数字计算机,于是数学也就无所不在,数学方法也就无所不用了。

如果将科学研究分成个体研究与整体研究两个层次,其中个体研究是探讨对象本身的属性,整体研究是考虑对象在外界作用的变化,那么数学方法和系统方法将起着不可替代的作用。

正是基于上述认识,我们在科学方法论的宝库里,重点选取了上面四个方面作介绍,这并不是说其他方法不重要,这纯粹是我们在设计本丛书时的自我选择。是一个个性化的问题,而不是一个科学逻辑的问题。也许别的学者会作其他的选择和设计,这是完全正常的。

本丛书的特点

作者认为本丛书有如下值得一提的特点。

科普定位。本书是明确定位在科学方法的普及上,用大众可以接

受的方式介绍最基本的科学方法及历史。

为大众读者服务的宗旨。把科学方法介绍给大众,让大众掌握科学方法,是本丛书的基本宗旨。

例证与理论结合。本丛书特别注重例证的价值,注意在大量的科学史中选取合适的例子,用以说明抽象的科学方法论的原理。

寓道理于故事之中。本丛书特别强调要用故事说话,尽可能多地写一些故事,以求雅俗共赏。

专家执笔。本丛书的作者大部分是专门从事科学哲学、科学学和实际科学研究的专家学者,他们对科学方法问题有着深刻的理解和研究,并有多部著作出版,同时还对科普有着独特而深刻的理解。

手法灵活。本丛书采取灵活的表现方式说明科学方法的原理,表现手法丰富、灵活。

读者定位。读者定位为高中以上的各类人群,因此可以有广阔的市场。

体例新颖。尽可能采取独特的表现方法和版面方式,使读者耳目一新。

我们在上海交通大学出版社的大力支持下,编撰并出版了这套《探索科学的艺术——科学方法论》丛书。囿于我们的知识与能力,不足之处,恳请读者赐教。

路 宁

2005年10月

目 CONTENTS 录

| | |
|------------------------------------|-----|
| 1. 概论——关于实验和实验方法 | 1 |
| 2. 物理学中的实验 | 16 |
| 3. 火、燃烧和近代实验化学 | 49 |
| 4. 早期的医学——生理学实验 | 58 |
| 5. 生物学中的实验 | 70 |
| 6. 心理学中的实验 | 79 |
| 7. 社会科学中的实验 | 93 |
| 8. 一簇绚丽多彩的思维之花——浅谈理想 实验方法 | 103 |
| 9. 实验及其相关因素分析 | 111 |
| 10. 防范伟大科学的冒险——实验中的伦理 | 146 |
| 11. 对有机体的情感——性别与实验 | 157 |
| 12. 科学事实的建构 | 164 |
| 后记 | 170 |

1. 概论——关于实验和实验方法

科学是用理论和实验这两只脚前进的。有时是这只脚先迈出一步,有时是另一只脚先迈出一步,但是前进要靠两只脚……

——R·A·密立根

在我们周围的自然环境中,存在着许多自然事物及其进程,它们以复杂的方式叠加并相互作用。例如一片掉落的叶子受到引力的吸引、空气阻力和风力的作用。当这些事件以自然的方式发生时,很多时候并不能通过对他们的仔细观察而达到对这种事物及其过程的理解。如对落叶的观察并不必然产生伽利略的落体定律。因此,为了鉴定和说明在自然界起作用的种种事物及其过程,一般需要在实践中进行干预,将研究过程分离出来,消除其他因素或过程的影响。简而言之,就是做实验。

澳大利亚的查尔默斯在其被称为“作为科学哲学的最佳导论性教科书”的《科学究竟是什么》中曾举过这样一个生动的例子以说明实验的性质。这个例子是有关一个许多人都曾司空见惯的事实。在他小的时候,他和他的哥哥曾注意到同一牧场上有牛粪地方的草比没牛粪地方的草长得更快更好。对于这一事实,他哥哥的意见是,这是牛粪的施肥效应。而他则认为这是由于牛粪对其下面的土地具有保墒和抑制蒸发的作用。还有一种可能就是牛不喜欢吃牛粪周围的草,或者可能这三种效应都起作用。查尔默斯认为,单凭他们兄弟所做的简单观察不可能分辨出不同效应的程度。只有对这种自然发生的现象进行一些干预,才能考察清楚这一问题。比如说,在一个季节不在这块牧场上放牧,看看牛粪上长的草是否减少或消失,或将牛粪磨细消除它的保墒作用但仍保留它的施肥作用等,再与自然状况进行比较,以确定其原因。

这个例子说明的境况是十分典型的。我们知道,任何一个自然事物和生产过程都是非常复杂的,不仅自身表现出各种各样相互交织的现象,而且还同周围环境相互作用、相互影响。在这种状态下,单靠观察方法难于揭示各种现象之间的本质联系。但实验可以通过特制的仪器和设备,根据研究的目的,突出某些主要因素,排除其他次要的、偶然因素的干扰,使研究对象中为我们所需要的某些属性或关系在简化的、纯粹的形态下暴露出来,从而准确地认识它。在这种意义上,科学实验是一种特殊的观察。它是在人为干预控制对象的条件下进行的观察。因此,一般认为,实验方法是人们根据课题规定的目的,通过科学仪器和设备,人为地变革、控制或模拟客观对象,在有利的条件下获取科学事实的一种研究方法。

科学实验之所以重要,主要是因为它直接指向研究对象,对现象做经验的研究乃是我们获得有关外部世界一切知识的基础。实验的方式使人们能够积极干预事物和现象的进程,以便详细而精确地把握它们。科学实验是帮助人们发现新的科学事实、获得新的科学规律的重要手段,又是证实或证伪假说和检验科学理论研究成果的重要手段。系统的实验方法的产生,不仅是科学方法发展史上一次重大突破,而且也是科学发展最重要的基础,以至于人们常常把近代以来成熟的自然科学叫做实验科学。在近、现代科学史中,科学实验常常是产生科学革命的契机。自1901年设立诺贝尔科学奖(物理学、化学、生理学或医学)以来,该奖获得者大部分(约60%)为从事实验性工作的科学家。这一情况很好地说明了科学实验在科学发展中的重要性。

在资本主义社会以前,虽然也有零星的、局部的实验,但真正有系统的科学实验是在16世纪开始的。英国近代唯物主义的始祖弗兰西斯·培根首先把实验当作认识的一种方法,并使之理论化。按照培根的观点,实验或经验的事实和数据是科学推导的基础,只有在大量的事实和数据的基础上进行枚举和归纳,才能得出贴近客观真理的结论。这种实验哲学将可靠的实验和实验数据作为治学的根本依据和出发点,一切从现象和经验出发,然后用数学分析予以处理,建立理论的或经验的表示式,再用实验予以检验。随着资本主义生产方式的发展,实

验从生产实践中分化出来,成为一项具有独立性的社会实践活动,从此,科学研究才有了最重要的手段,科学的发展才奠定了直接的基础。实验是近、现代科学最伟大的传统。离开实验传统,科学之树就丧失了成长壮大的肥沃土壤。当然,我们也重视理论思维,反对狭隘的经验主义。

伴随着生产的发展和科学技术的进步,科学实验的深度、广度以及手段、规模发生了深刻的变化。从培根设计定性实验到伽利略从事定量实验,说明科学家们已经把学者传统同工匠传统结合起来,在进行理论概括的同时,亲自动手做实验。但最初实验的规模,在17世纪和18世纪还比较小。19世纪初,当时最卓越的化学家柏齐里乌斯的实验室就是他的厨房。在那里,化学和烹调一起进行。1817年,英国格拉斯大学建立第一个供教学用的化学实验室,1824年,李比希在德国吉森大学建立了另一个更出名的化学实验室,实验才成为科学家训练的必要组成部分。19世纪70年代,英国在剑桥大学建立了卡文迪许物理实验室,爱迪生在美国芝加哥主持建立了“发明工厂”,至此,科学实验的规模有了突变。

仅以卡文迪许实验室^①为例,1871年以前,该室屋无一间,到1874年该室初建结束时,只有在剑桥市中心自由学院胡同(Free School Lane)的一座“L”形的三层带阁楼的楼房,总面积不到900平方米。其中有10间仪器陈列室,1间实验室,1间储藏室、1个制作车间、1间阶梯教室和1间教授办公室。今天,这种规模只能算作相当小的科研机构,但在那时连剑桥大学也建不起这样的实验室,只能由当时的剑桥大学校长W·卡文迪许个人资助。这在当时的英国,甚至在世界上恐怕算是规模最大的实验室或科研机构了。20世纪以来,随着两次世界大战后实验科学的大发展,实验室的规模也发生了相当大的变化。1968年至1974年在剑桥西郊兴建了连体的三座大楼,总面积16000平方

^① 创办于1871年,是英国大学中建立的第一个教学与研究的正式的物理实验室,是世界上非常著名的一个科研机构,在剑桥大学拥有的56个诺贝尔科学奖中,该室就占了25个获奖者。

米,即使是最小的布拉格大楼也有 5 650 平方米。这样大的大学科研机构建筑在当时是少有的,预计可容纳 1 500 人同时工作。但是到了 1990 年它又显得不够大了,不但射电天文学的设施无法容下,就是超导中心也只有移到附近的新处所了,而微电子研究中心在剑桥科学园几年后必须迁回,于是该室只能与日本的日立公司各出资 25 万英镑,在该室新楼的东侧扩建微电子科技楼。现在,不但分子生物学组在 1962 年从该室独立出来,另建 MRC 分子生物实验室,而且射电天文学和天体物理研究也容纳不下,只能分离到爱丁堡。20 世纪伴随着科学实验进一步社会化,科学实验已由小集团发展到国家、甚至国际的规模。例如,西欧的核子研究中心实验室,它聚集了欧洲 12 个国家的人力和资金。

今天的科学实验,已经成为千百万人参加的认识自然、改造自然的主要的社会实践活动形式之一。没有实验,就没有现代科学技术,更谈不上科学认识和科学发展。实验不仅塑造了近代自然科学,而且也为现代科学的发展奠定了坚实的基础,甚至成为科学的一种至关重要的认识论和方法论上的特点,成为科学的一种标志性特征。

1.1 实验的特点

1) 实验可以简化、纯化以强化观察对象

在实验室条件下,通过严格的控制,排除各种偶然的、次要的因素和外界的干扰,得到在自然条件下遇不到的现象和条件,从而使我们能够通过实验认识在简单条件下不可能认识到的各种现象的特性和规律性。1956 年,两位美籍华人物理学家杨振宁和李政道根据理论上的考虑,提出弱相互作用下宇称不守恒假说。为了检验李、杨假说,另一位美籍华人物理学家吴健雄做了一个直接的实验,以便确定中子的旋转方向与电子的发射方向之间是否存在着相关关系。实验的关键是把 β 衰变的放射性物质钴-60 冷却到极低的温度。吴健雄把钴-60 冷却到 0.01K,使钴核的热运动停止下来而不发生干扰,使钴原子核 β 衰变中

上下不对称的现象显示出来,从而证实了弱相互作用下宇称不守恒的假设。

通过人工控制和人为地创造条件,就有可能通过实验来加速或延缓自然现象的进程,使人们能够在较短时间内观察到自然界中往往需要几年、几十年甚至千百万年才能完成的某些变化的全过程;或者通过延缓某一转瞬即逝的自然现象的发展进程或节律,而使人们能够对它们进行仔细的观察和研究。

在科学研究当中,为了揭示有些事物的变化规律或本质,要在特殊条件下寻找非常态下的属性与特征,以发现在常温常压下材料所没有的性质。如静态气压高达二百万至三百万大气压、动态气压高达一千万大气压的超高压,接近绝对零度的超低温,气压仅有几十亿分之一大气压的超高真空,以及能量高达几千亿电子伏特的高能加速器等等。通过这些条件,在实验室中取得了在自然过程和生产过程中难以获得的重大发现。1911年荷兰物理学家卡曼林·昂尼斯首先发现汞在超低温 4.173K 以下时失去电阻,并把这种初次发现的新性质称为“超导性”,从而开创了超导这一重要的研究领域。

科学实验可以形成自然界中无法直接控制和在生产过程中难以实现的特殊条件,例如,千百年来,在自然状态下,人类关于物质状态的认识只局限在固态、液态、气态这三种形态上。但是在超高温条件下,核外电子的能量增大到一定程度,电子便脱离其绕核运行的轨道,变成自然电子,原子核变成离子状态,于是物质处于由离子、电子及未经电离的中性粒子组成的等离子态。在超高压作用下,不但分子、原子间的自由空间被压缩变小了,而且当超高压达到一定程度时,电子壳层也发生巨大变化,甚至把电子压进到原子核里去,物质就变成了超固态。显然,上述成就把过去关于物质只有三态变化的认识大大推进了一步。这些成就的取得,都应归功于实验是在纯粹的形态下进行的。

2) 实验具有可重复性

确立一项科学发现,有一个基本要求,这就是实验行为应是可重复的,实验的结果可以再现。简言之,实验的行为和功能在严格规定并加

以控制的条件下,决不会因人、因时、因地而异。任何一个实验事实,至少也应该被另一位研究者重复实现,否则就不能确立。英国化学家普利斯特利 1774 年 8 月 1 日做了一个分解“水银灰”(汞的氧化物)的实验,他把透镜聚集的阳光投射到“水银灰”上,分解出了一种气体,比空气的助燃性能强许多倍。他把这种气体称作“脱燃素空气”。同年,普利斯特利去法国旅行,把这个发现告诉了法国化学家拉瓦锡。尽管拉瓦锡不相信燃素说,但还是动手重复了这个实验。通过分解氧化汞果然得到了普利斯特利所描述的助燃性能很强的气体,发现了氧气,创立了氧化说。这里,普利斯特利所做的实验能够被拉瓦锡在不同的地点所重复。

可重复性特点的意义,首先是体现实验过程在本质上是客观的物质过程。作为实践活动,它虽然离不开理性的指导,但却可以排除任何主观观察随意性的支配。为此,它常常显得十分严厉而残酷。例如,美国物理学家韦伯企图证实引力波的存在。从 1957 年开始,他设计和安装了一种可能接受引力波信号的探测天线,进行了十多年的观测。1969 年,韦伯宣称,他的实验装置接收到了银河系中心的引力波信号,直接验证了爱因斯坦关于引力波的预言。这项发现曾经轰动一时,随后许多国家都成立了探测引力波的实验小组,但所有这些小组都没有收到任何引力波信号。韦伯的实验在世界上十几个实验室里都未能被重复,所以韦伯的发现至今没有得到世界的承认。

可重复性特点在行为和功能方面,对实验的客观性和现实可能性做出了保证。这也是实验研究的基本要求和重要优点。自然条件下发生的现象,往往一去不复返,由于许多自然过程无法或难以重复,这就给观察研究带来一定的局限性。但在实验室中,科学家们可以通过各种实验手段,使观察对象在任何时间任意多次地重复出现,因而便于人们进行深入地观测和比较,并对以往的实验结果加以核对。

3) 实验的相对独立性

关于这一问题,我们可以用科学史上的一个事实来说明。1820 年夏初,奥斯特发现带电线圈的磁效应以某种方式绕电线周转,法拉第着

手进行实验,以澄清这个假说并进一步发展它。在几个月内,他制作了一个电磁旋转仪,该仪器由一个 T 型架和两个玻璃容器组成。玻璃容器下有导线输出。玻璃容器内盛满水银。一个中间竖着一根固定磁铁,一个竖着一根上部可活动的磁铁。T 型架横臂上垂下两根导线,一根固定,插入有可活动磁铁的玻璃容器里,一根可动,插入有固定磁铁的容器里。当容器底部导线接通电源时,可动导线与可动磁棒就转动。法拉第以此实验证明了电流能使磁体转动。

法拉第立即意识到法拉第的旋转仪效应不存在是不可能的,尽管法拉第的旋转仪有时可能因为磁场太弱,或者由于汞溶液对线圈旋转的阻力太大等因素不发生旋转。但是,法拉第发现了一种实验效应,通过建立一个起作用的装置证明了它,并提供给他的竞争对手,使他们也能够建立起作用的装置。尽管今天所接受的对法拉第电动机的理论说明与法拉第和安培二者提供的说明可能明显不同,但直至今日法拉第的电动机通常是起作用的。尽管可能未来发现的其他实验使法拉第的电动机变得陈旧不堪,但未来的理论进展也很难得出电动机不起作用的结论

1.2 实验的作用

正是由于实验方法的上述特点,它才越来越广泛地被应用着,并在现代科学研究中占有越来越重要的地位。一般来说,科学实验最基本的作用,一是证明或反驳假说,二是揭示新的理论。

科学实验作为检验假说的标准,既能证实假说也能证伪假说。一般说来,经过观察、实验所证实的假说,即可上升为理论,而被观察、实验所证伪的假说就会被淘汰。但实验的证实和证伪是一个复杂的过程,都存在需要从逻辑上进行分析的问题。1956年,李政道、杨振宁提出弱相互作用下宇称不守恒假说时,就设计了五种实验方案来探索宇称守恒原理在衰变现象中是否正确。同年,吴健雄组成的一个实验小组在华盛顿美国国家标准局的低温实验室用钴-60做了其中的一个实验,确证了他们的假说。第二年,这一发现就获得了诺贝尔物理学奖。

如果没有吴健雄的实验,李、杨所提出的假说,就只能是假说,更谈不上诺贝尔物理学奖。

对于实验证明本身,也要看到他的相对性。每个实验设计都无法脱离技术和科学知识业已达到的水平,因而实验结果必定受条件的局限。其实,那些尔后被科学认识摒弃的理论假说,当时也是建立在一定的实验基础上,并被认为是得到了这些实验证明的。例如,丹麦医学家菲比格曾经因为“发现致癌寄生虫”获得了1926年诺贝尔生理学及医学奖,但是他对恶性肿瘤扩散的研究,后来被认为是完全错误的。菲比格偶然观察到老鼠胃前肿瘤中有一种不认识的螺旋虫,进一步研究表明,别的老鼠吃了这种虫感染的蟑螂后,虫在老鼠胃中发育为成虫,这些老鼠胃的前部就形成了肿瘤。在某些老鼠中,这种肿瘤具有癌形态特征:它可以转移,有时还能传染给其他老鼠。这似乎提供了一个实验证据,说明癌是由寄生虫引起的。实际上,更精密的实验表明,癌是由病毒引起的。这件事成了诺贝尔奖授予工作中的一个著名的失误。一般而言,实验只有在自身的发展过程中,才能成为不断发展着的知识的有效证明手段。事实上,证伪一个科学假说并不像逻辑学上否定后件式那样简单。科学实验受科学技术水平的制约,它在一定程度上是可错的。当实验事实与理论不相符时,不一定是理论错了,也有可能是实验设计不合理或仪器精度不够造成的。另外,科学假说也是有结构的,它包含了背景知识和许多辅助性假说,并不是一个单纯孤立的全称命题。如果假说被证伪了,还有可能是因为其中的辅助性假说有误,而不一定是假说的主要内容有误。例如,1906年,德国物理学家考夫曼通过对高速电子质量观测实验来检验狭义相对论中运动质量随速度增加而增加的论断,他曾宣布实验得出负结果,未发现高速电子质量的变化。彭加勒由此实验而怀疑相对论,但爱因斯坦强调:“系统的偏离,究竟是由于还没有考察到的误差,还是由于相对论的基础不符合事实,这个问题只有在有了多方面的观测资料后才能足够可靠地解决。”十年后,法国两位物理学家揭示出考夫曼实验装置有缺陷,才解决了这一矛盾。

由上可知,科学实验作为检验假说真理性的标准是可靠的,但检验

是一个复杂的过程。1850年傅科实验,肯定了光的波动说,否定了光的微粒说。

20世纪初的物理学革命,使人们对判决性实验的作用提出了质疑。原来被认为是确定无疑的光的波动说,由于光电效应的实验研究和实验中验证了光子的存在,使光的微粒说在20世纪初得以“复活”并得到发展。傅科实验的判决性结论亦被否定。1906年,法国物理学家与科学家迪昂首先指出,物理学中不存在判决性实验。到了20世纪50年代,美国科学家蒯因继承和发展了迪昂的理论。他认为,科学假说,不是孤立的单个命题陈述,因为“整个科学是一个力场,它的边界条件就是经验,在场的周围同经验的冲突引起内部的再调整”,因此,“在任何情况下,陈述都可以认为是真的……反之,由于同样原因,没有任何陈述是免受修改的。”许多哲学家认为,按照迪昂-蒯因的观点,在科学中不会有判决性实验,一旦碰到反例,人们总可以适当调整理论系统的某一部分而保留另一部分。但也有一些学者则仍然相信判决性实验是存在的。例如,吴健雄实验对于宇称守恒和宇称不守恒两个对立的假说起着判决作用。1960年哲学家格林鲍姆也反对蒯因的观点,认为不能一概否认判决性实验的存在,蒯因的观点并不是在一切场合都普遍适用。关于判决性实验是否存在的深入分析和争论仍然在继续。

尽管争论尚未平息,但判决性实验的争论给人们的启示是多方面的。它告诉我们,实验对假说的检验有确定的一面,也有不确定的一面。其确定性表现为:在一定条件下,可以重复的科学的观察和实验总是具体的和确定的,它在支持一个假说的同时,又可能为证伪另一个假说提供科学事实。因此,在一定的科学背景下,判决性实验对检验假说具有裁决作用。其不确定性表现为:由于实验技术与有关的科学理论都在发展,已有的实验结果可能被否定或做出新的解释;又由于假说本身是有结构的和相互联系的,所以很难直接判定假说的哪一部分有错误。

以上分析说明,尽管观察和实验是科学的最高法庭,但也不要已有的实验检验绝对化,检验假说是一个历史过程,常常不是单个或几个实验所能完成的。

1.3 实验的分类

随着现代科学技术的发展与人们在科学研究中所要解决的问题日益复杂和多样,实验水平就越来越高,实验的形式也越来越多。

实验方法按目的和在整个科学认识中的作用来分,有探索性实验和验证性实验。所谓探索性实验,就是根据实验目的,利用已知的外加因素去干预研究对象,看它会产生什么结果而安排的一种实验。所谓验证性实验,则是在对研究对象有一定了解,并提出了关于研究对象的某种假说或理论后,为了验证这种假说或理论是否具有真理性而安排的一种实验。

依据测量手段的不同,可分为定性实验和定量实验;定性实验能够发现实验对象的某种属性;定量实验则可以精确测定属性的量值,如测定光速、热功当量等。

根据实验手段是否直接作用于被研究对象,可分为直接实验与模拟实验;直接实验是在实验仪器直接干预对象的条件下观测对象所输出的信息;模拟实验是一种间接实验,先设计出反映对象属性的模型,然后用实验手段作用于模型,通过模型实验了解原型(对象)的性质及其运动规律。模拟实验又可分为物理模拟、数学模拟和功能模拟;物理模拟是根据相似理论,构造出与对象相似的物理模型,通过模型实验了解原型变化的物理过程;数学模拟是在原型与模型之间在数学方程或数学模型相似的基础上,通过计算机求解来研究对象性质的一种模拟方法;功能模拟是以控制论为理论基础、以功能相似为目标的模拟实验,这种方式在现代科学技术研究中起着重要的作用。

1.4 做实验的几条方法论原则

如果实验结果足以构成科学得以立足的事实或基础,那么它们也肯定不是由感觉直接给予的。任何一个实验工作者,甚至任何一个读理工科并真正理解自然科学的学生都知道,实验并不是一件容易的事

情,产生一个实验结果是非常复杂的事情,无论如何实验的结果都不是直接呈现出来的,它涉及到很多实践上的努力,并涉及相当多的实际知识,实验中的不断试错以及利用一切可以获得的技术手段等。总之,实验需要付出心血,成功地进行一项重要的实验甚至可能会花几个月甚至几年的时间。

1) 自己去做(do-it-yourself)

“自己去做”是著名的卡文迪许实验室取得那么多而重大成果的重要因素传统之一。“自己去做”即人们自己的手制造所应用的大部分仪器。所谓的“自己去做”也并不意味着导师什么都不管而放任自流,而是在导师容许和指导之下,为培养学生能够产生新想法和独立工作能力而采取的一种方法。一般是让学生自己提出自己最想研究的课题,自己计划怎样做这个课题,选用什么仪器和设备去做,如果没有现成的就自己动手去制造,做之中有困难应先自己去查资料,想出解决办法,然后去实验,从实验和观测的结果中构思新的机制、概念和理论,最后写成结论或论文草稿。在这个过程中的每个环节收尾时,导师都要了解和检查,解答其中的疑难,指出下一步如何做,直到最后审查结果和推荐发表。也就是说,每一步都让学生自己先想、先做,然后提出解决办法,导师才予以审查和帮助,选择较好的做法。这个原则看来似乎简单,实际上要真正做到和做好并不容易,这是有效地克服懒惰、被动和缺乏自信心的一剂良药,是培养年轻人敢于去想、去做、去创新的最佳途径。有了新领域开拓者的宏观控制和导师的研究经验,可以保证“自己去做”,避免走入歪道而易于取得成功。

卢瑟福在 20 世纪上半叶以“培养人才的巨匠”而闻名于世。他出任卡文迪许实验室主任后,以实验为基础广招各国实验物理的优秀人才,开创了核物理和物质微观组成等新研究领域,培养了世界第一代的原子物理和核物理人才,仅诺贝尔奖获得者就达到 7 人以上。他所在的时期被认为是卡文迪许实验室历史上的最辉煌期。他培养学生和助手独立工作能力的方法具有代表性。每当一个学生来卡文迪许实验室学习时,他必接见并告诉学生说:“你到这里不是来受教育的,而是要自

己钻研……我要告诉你的是自己怎样推导和怎样学习,如果你发现对解决既定的课题没有办法,那就到图书馆去读书,去自我教育!”待学生阅读完材料后,他会问学生有什么想法,不管学生谈得对与不对他都会很高兴,但是如果哪个学生没有想法他就很不高兴了,因为他认为这个学生没有动脑筋,没有原创性的思维和能力。在研究过程中,他紧紧抓住的是选题、工作中出现的困难和发现反常的现象、结果的审查等三个重要的环节。他的主要助手查德威克在 20 世纪 70 年代回忆时说:“卢瑟福参加的实验限定在讨论下一步如何做,并对结果感兴趣。他让我们完全放手设计实验和操作设备,以便使我们在所有时间内表现得主动、活跃。”每当工作进行到一个阶段末时,他都要求看实验记录,并急于了解记录中最有新意和最令他感兴趣的地方。

2) 实验室里的两条“金科玉律”

卡文迪许实验室培养出来的实验物理学家 W. L. 布拉格,不仅在年轻时用自制的 X 射线分光仪发现了晶格中原子的点阵结构,而且在后来培养了一大批实验物理人才。在他的启发和指导下,赖尔制造了干涉仪式射电望远镜,佩鲁兹和克里克用 X 射线分光仪分别测定蛋白质和 DNA 大分子的结构等。他的学生 A. 盖纳(Andre Guiner)回忆起 20 世纪 50 年代初,在一次午后茶的漫步中 W. L. 布拉格说过,他经常向新来的人谈起做学问的“金科玉律”,其中的两条是“永远不要赶时髦”和“永远不要惧怕被理论家在实验室宣称是愚蠢的实验”。这两条“金科玉律”是他根据麦克斯韦立下的卡文迪许实验室的原则和在前人多年科学发现的经验中得出来的。从事研究的新人特别是学生往往感觉敏锐、思想活跃。而科学想法是循科学内在逻辑发展所产生的,它不是时髦的、赶潮流的产物。赶时髦易见异思迁,是不可能静下心来思考和钻研的,要取得重要发现则更为困难。盖纳说,历史表明,近代物理的许多主要进展在开始时往往发端于未预料到的观察现象,要清楚地说明这种现象必须有新的想法,但这往往是理论家在已接受原有想法或理论后所难以接纳的,因此布拉格的“金科玉律”是实验研究的新方法论,使不少学生受益很大。

3) 实验在某种程度上是可错的

实验结果适宜性的判断不是直截了当的。仅当实验设计是合适的, 扰乱因素得到充分消除, 实验才可能是适宜的, 才可能解释实验试图展示或测定的事情。有关这些因素的知识不充分可导致不正确的实验测量和错误的结论。因此, 实验事实与理论之间有着重要的相互联系。如果有关实验的理论有缺陷或错误, 实验结果就有可能出错。由于技术方面的进展, 实验结果可变得过时, 由于理解方面的进展, 实验也可能被摒弃。也就是说, 实验结果在某种程度上是可错的。

19 世纪后 20 年, 当时科学家感兴趣的一个问题是阴极射线的性质。如果高压电流通过插入封闭玻璃管两端的金属片, 就会发生放电, 在管内引起种种辉光。如果管内大气压不是很大, 在带负电的金属片和带正电的金属片之间就会产生流光。德国科学家海因里希·赫兹在 19 世纪 80 年代进行了一系列实验, 意图阐明它们的性质。根据这些实验的结果, 赫兹得出的结论是, 阴极射线不是带电粒子束。他之所以得出这一结论, 主要是因为当阴极射线受到与它们运动方向垂直的电场影响时, 它们并不像带电粒子束所预期的那样发生偏转。我们现在认为赫兹的结论是错误的, 他的实验是不适宜的。在 19 世纪结束之前, J·J·汤姆逊进行的实验令人信服地表明电磁场使阴极射线偏转。

由于技术的改善和对境况理解的增进使得汤姆逊有可能改进实验, 摒弃赫兹的实验结果。构成阴极射线的电子可使玻璃管内的气体分子离子化, 即使分子中的一两个电子移位, 使它们带上正电。这些带正电的离子聚集在仪器的金属片上, 导致从实验的角度看是虚假的电场。正是这种虚假的电场妨碍赫兹产生汤姆逊能够产生和测量的偏转。汤姆逊能够改进赫兹工作的主要原因是得益于经过改进的真空技术, 使得玻璃管内消除了更多的气体分子。由于有了改进的真空状态, 汤姆逊能够确定赫兹宣布不存在的偏转。通过这个例子, 我们认识到, 尽管现在看起来赫兹的实验似乎是错误的, 但也不应该指责赫兹, 并且实际上赫兹并不是一个假冒伪劣的实验家, 他是当时最好的实验家之一, 他是发现无线电波的第一人, 有充分的理由能够使我们相信, 他的

实验是认真的,他的观察也是符合实际情况的,他对境况的理解只能是如此,他所能利用的知识也仅能是如此,他所使用的技术和设备也仅能是如此,他的仪器安排是适宜的,仅仅是由于后来的理论和技术的进展,才使人们看到他的实验有缺陷,并且时至今日,赫兹实验结果的绝大多数方面仍然是可以接受的,并且也还保留着它的意义。然而他的这一结果需要被替代,并且他对它们的主要解释也应被摈弃。谁又能知道未来的进展将表明现代的哪些实验结果也是有缺陷的呢?

4) 做原创性的工作

科学研究是一项创造性很强的事业,它要求研究者对未知的自然现象及其相互关系进行大胆的、不迷信的、无偶像的探求,学习和继承的目的是为了学会如何创新,而不是在前人的足迹上追踪和复制。为此,任何科学部门都不应以给学生例行的教育为终点。并且,没有一个实验室会满足于抱着过去的知识不放,而应当成为一个用原创性的研究而获得新知识的中心,一个活跃而有生命力的中心。

在大学的实验室中,如果不用它的能力为促进原创性的研究做事,那么这个大学就不配称大学……反之,如果实验室能够做到这一点,说得重些,会使一个沉闷的高等学校变成一个生机勃勃的机构。

卢瑟福认为好的想法来自于交流,而以压制、命令等来束缚科学的思想是没有发展前途的。因此,他首创和提出每天午后茶时漫谈,每周两个晚餐时与助手和学生聊天和允许在实验室内组织卡皮查俱乐部等,从而调动大家的积极性,使思想活跃起来。现在,许多世界著名的科研机构 and 大学,都有类似于卢瑟福所组织的这样的午间的茶餐聊天交流,甚至许多研讨会都采取这样的形式以促进科学交流和科学创造。

在我们看来,实验方法真正是一种艺术,就是说,它建立在特殊技能而不是一般规则的基础之上。历来不曾有过任何人能担保实验的成功,人们总是受到浅薄或判断力拙劣的摆布。没有任何方法论的原则消除钻进研究问题的死胡同的危险。实验方法是选择一种有趣问题的艺术,是考察由此而成立的理论框架的一切后果的艺术,是考察自然能以所选理论语言来作出一切可能答案的艺术。在自然现象的具体复杂

性中,必须选择一种现象,认为它最能以明确方式体现这种理论的含义。然后把这个现象从周围环境中抽象出来并“搬上舞台”,使理论能以可传授的和可再生的形式受到检验。

尽管这种实验的方式从一开始就受到批判,受到经验主义者的冷遇并且受到另一些人的攻击,将其视作是一种痛苦的折磨,一种把自然放在行刑台上上去的方法,但实验方法仍经过科学描述的理论内容的一切修正而得以生存下来,并最终确定为被近代科学引入的新的研究方法。

实验方法是由近代科学建立起来的人与自然对话的主要方法。这里的自然,当然是简化了的,而且偶尔还是肢残体缺的。但是我们相信,实验对话是人类文化的一个不可逆的成就。实际上它提供了一种保证:当人类开发自然的时候,自然是被当作一个独立的存在对待的。它组成了科学成果的可传授性和可再生性的基础。尽管自然是部分地被容许讲话的,然而它一旦表达了它自己,就不会再有异议,因为自然从不说谎。

2. 物理学中的实验

我希望大家多注意物理现象,多注意新的东西,多注意实验,这就是跟真正的活动物理比较接近了。

——杨振宁

著名的华裔诺贝尔物理学奖获得者李政道和杨振宁都十分重视物理实验。李政道说过:“现代物理的本质是实验的。”杨振宁说:“我希望大家多注意物理现象,多注意新的东西,多注意实验,这就是跟真正的活的物理比较接近了。”这两位著名的理论物理学家是在以实验为重的美国获得重要理论成就的,他们的这些感受和看法对我们不无启发。的确,现代物理学是一门典型的实验科学,不仅如此,甚至实验科学的基础也是经典物理学所奠定的。近代科学的主要奠基人之一伽利略和近代科学的集大成者牛顿,都是把治学的基础放在严密的科学实验上,然后用数理分析处理系统的实验数据,再运用欧氏几何的公理体系建立自己的运动学和动力学定理和定律,最后形成公理化的理论体系。因此,系统的科学实验和严密的数理逻辑分析相结合,并形成公理化的理论体系,这一过程成就和创造了近代科学,并成为标准科学的样本和近代科学的鲜明特征。

2.1 实验——数学方法的创始人伽利略及其实验

1) 物理学实验之父——伽利略

在近代科学开创者的行列中,伽利略贡献极为突出,他创造并示范了新科学的实验传统,以追究事物之量的数学关系为目标的研究纲领,以及将实验与数学相结合的科学方法,正是他的工作使近代物理学乃

至近代科学登上了历史舞台。

伽利略·伽利莱(Galileo Galilei, 1564~1642), 1564年2月15日生于意大利比萨一个没落贵族的家里。伽利略的父亲是一位多才多艺的绅士, 通晓音乐, 还能自己作曲。正像伽利略将科学理论与科学实践相结合一样, 他父亲的创造力和雄辩才能也曾导致了音乐理论与音乐实践相结合的一场不大不小的革命。

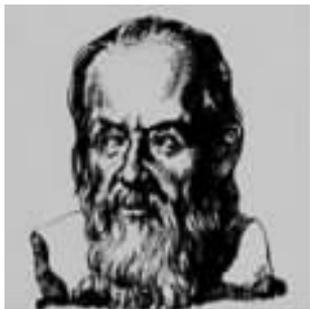


图 2-1 伽利略

伽利略是七个孩子中的老大, 他们一家最初住在比萨, 在伽利略十岁的时候, 移居到佛罗伦萨。孩提时代的伽利略, 活泼矫健, 好奇心强, 喜欢与人争辩。他从不满足别人告诉他的道理, 而要自己去探索、研究与证明。灵活的大脑与精巧的手指总是使他忙个不停, 不是弹琴、绘画, 就是为弟弟、妹妹们制造玩具和“机器”。在这些活动中, 他都表现出非凡的才能。尽管这样, 由于他父亲希望他能够成为一名医生, 1581年, 快满十八岁的伽利略考入比萨大学学习医学。1583年, 伽利略听了一些关于欧几里得几何学的讲演, 从而激励了他致力于研究数学和哲学, 并于1585年未完成学业, 就离开了大学。

在离开大学的最初几年里, 伽利略在佛罗伦萨和锡耶纳作私人教师讲授数学。1586年, 他写成第一篇论述比重秤的学术论文。这篇文章是理论和实践相结合的产物, 其理论来源于阿基米德。大约与此同时, 他还开始写论述运动的论文, 在以后的四、五年间, 又做了修改和补充。这都为他以后在物理学方面做出重要贡献打下了坚实的基础。

同时, 伽利略的父亲对乐器的弦做了长度和张力方面的实验, 发现了一个数学定律, 否定了传统音乐理论的基本假设。父亲的这些行为很可能对伽利略产生了深刻的影响。另外, 他父亲写的文章在很多方面与伽利略的学术争论文章不无相似之处。如其父在《古代音乐和现代音乐的对话》中写道:

在我看来, 他们仅仅是靠权威的力量来证明什么, 而不是

引用任何论据来支持自己的证明,这简直荒唐可笑。与此相反,我允许自由提问和作答,而不需要任何对权威的逢迎,那才是真正追求真理。

从13世纪到16世纪的欧洲大学,任何专业的学生都必须学习亚里士多德^①的哲学。从阿奎那^②时代到伽利略时代的有识之士都非常尊崇亚里士多德。如果人们想要获得知识,那么唯一的方法就是精心阅读亚里士多德的原著;研究亚里士多德著作的注释,以求掌握其著作的原意,探究其著作中存有争议的问题。为此,要更清楚地了解伽利略的工作,我们需要先了解一下亚里士多德的物理学。

2) 亚里士多德的常识物理学

古希腊时期人们便开始对物体的运动进行了研究。在这些研究中,亚里士多德的常识物理学对后人产生了极大的影响。对于亚里士多德来说,运动—位置—变化的物理学,仅仅是诸如生长、发酵和腐败等普遍存在的变化或更替的一个特例。他把某一种运动按照每一种元素的特性与之配合起来:水和土是重的,自然要向地球的中心运动;气和火是轻的,自然要背离中心运动。此外,不需要任何理由来说明这种固有的运动,就像现代物理学不需要理由来说明惯性运动一样。因此,每种元素都要在宇宙中找到一个位置,即其所谓的自然位置,运动就是物体在回归本位过程中发生的,如石头下坠而回归本生的土地、水中的气泡必然要上升到空气中。那么与这些物质相应的运动就称为天然或本性运动。为了支持自己的猜测,亚里士多德曾提及可用实验来加以例证。如果把一只充满空气的带子或气囊浸入水中,你会感觉到

^① 亚里士多德(Aristotle, 公元前384~322年)古希腊著名的哲学家,是集古希腊哲学之大成的“百科全书式的人物”,意大利著名诗人但丁称其为“众人之师”。亚里士多德曾师从于古希腊著名的哲学家柏拉图,也给亚历山大帝当过老师。

^② 托马斯·阿奎那(1226~1274)中世纪意大利神学家、经院哲学家,被称为经院哲学之父。

把气从它的自然位置挪开并进入水的王国所受的阻力；如果强行把一只气囊压进水中，一松手，它就会自然而然地回到空气中。同样亚里士多德物质天性论又推出了其著名的“落体理论”：当物体下落时，如果它越重，下落的倾向越大，下落的速度也越快。如果它较轻，下落的倾向就小些，落得也较慢。

在亚里士多德提出的世界结构中，我们生活的地球基本上是球形，而且整体处于宇宙中心保持不动。如果能设想出一种特别的实验，把地球从中心位置移开，它一定会自然地回到中心，重新处在原来的位置，就像高处的石块要穿过空气、穿过水回到它的自然位置一样。

除了由土、水、火和气组成的物体所进行的向上或向下的自然运动，在我们周围的世界还能见到非自发的运动，如射出的箭矢的运动，那也需要解释。亚里士多德把一切这样的运动都视为强制运动或反自然运动。亚里士多德指出，这一类运动总是需要一个外来的推动者，由某一个人或某个东西施加某种外力去引起有关的运动。不仅如此，那个推动者还必须始终与该物体保持接触。在绝大多数情况下，亚里士多德要求的推动者都不难找到，因而他的这条原理显然已得到证实，例如马拉车、风吹帆船和手握笔写字等等都是如此。不过，也有难以说清楚的情形。比如，射出的箭或投出去的标枪会继续向前，已经不与射手或投手接触，这时的推动者又在哪里呢？亚里士多德的解释是：物体刚离开推动者时，由于它向前冲而排开部分介质，就在它的后面造成了一个虚空，自然界是不允许虚空存在的。所以周围的介质就立即填补了这个虚空，这些介质对物体又形成了一个向前的推力，物体因此而得以继续前进。由此可见：一切抛射体的运动都需要空气的推动。因此，自然界不可没有空气，真空是不可能存在的，于是他提出了一个命题：“自然界憎恶真空。”

亚里士多德对数学、天文学特别是物理学的研究中加入了过多的自然哲学内容，因此导出许多违背经验事实的结论，这些错误构成了亚里士多德理论体系中最薄弱的环节。当然这与他所处的时代是分不开的，由于古代生产力水平低下，人们对自然规律的认识，除了直接的生产经验积累外，就是靠对自然界的观察和在这些观察、经验的基础上

进行思辨,他们很少或从来未试图以实验证据来验证他们的思维。由于仅仅将理论建立在观察的基础上,亚里士多德得出了很多荒谬的结论。

伽利略早年在比萨大学时就以反驳教授而闻名,那时候他也曾对亚里士多德物理学的某些结论产生了怀疑,但尚未同公认的自然哲学原理发生争论。许多年后,伽利略在笔记中承认,他一开始研究亚里士多德自然哲学时就产生了怀疑;他不相信物体的下降速度真的与其大小成正比。根据常识,伽利略早就知道大小不一的冰雹是同时落地的。但按照亚里士多德的观念,大石块将先到达地面,小石块最后到达地面。这与我们日常所见的事实并不相符。今天,要求科学符合实际观察已是人所皆知,而在当时的亚里士多德自然哲学中并不看重这一点,它只满足于解释事物的发生怎样符合定性的因果原则。伽利略在对亚里士多德的主张进行了追本穷源的研究之后,发现这位古希腊圣哲的论述未必都正确。为此,他感到十分惶惑:为什么一个科学原理未经事实验证,亚里士多德就可以得出结论,并断定它是真理呢?为什么经历了1700多年,学者们总是盲目地信从、遵循亚里士多德的主张呢?

在伽利略的科学生涯伊始,他也曾试图用因果推动来研究运动,在大学里他所接受的就是这种教育。他成为数学教授的头几年里,也想多少改进一下处理运动的传统方式,但即使是这样做他也感到教物理的哲学教授们对他的敌视。当他后来提出成为新物理学基石的落体定律时,他说:

现在似乎不是我着手研究自然运动加速度原因的适当时机,许多哲学家对此有着各种不同的意见……即使对这些以及与其类似的其他幻想加以检验和解决,也不会有多大收效。

亚里士多德自然哲学只是强调精

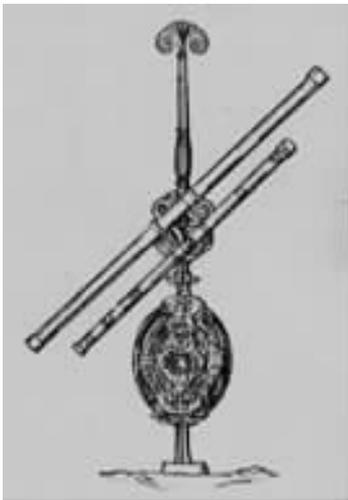


图 2-2 伽利略自制的望远镜

华物质的完美,正如在伽利略的著名著作《关于两个世界体系的对话》中当问到亚里士多德的代言人,为什么天体具有完美的球形时,回答是:

说天体不生、不坏、不变、不改、永恒等等,就意味着天体是绝对完美的;既然绝对完美,它们就是十全十美的。因此,它们的形状也是完美的,这形状就是球形,而且是绝对完美的球形,不能近似,也不能不规则。

亚里士多德科学的每一个组成部分与其他的组成部分之间都有着逻辑联系。因此,对于亚里士多德的追随者来说,亚里士多德的话都是千真万确的。对此,伽利略在《对话》中评论道:

如果亚里士多德是像他们所想像的那种人,那他就是思想顽固、态度固执和灵魂卑下的人——一个视别人如蠢笨绵羊,欲使自己的法令凌驾于感觉、经验和大自然之上的专横的人。恰恰是亚里士多德的追随者给他戴上了权威的桂冠,而不是他自己窃取了这一权威。

我常常感到奇怪,那些对亚里士多德每一言辞都信奉不渝的人,怎么会不明白正是自己玷污了亚里士多德的光荣和声誉;他们越想抬高他的威望,实际上就越贬低了他的权威。有些命题在我看来明明是错误的,他们却顽固地坚持,还试图要让我相信他们所奉行的是真正的哲学,就是亚里士多德本人也不会那样做;每当我看到这种情形,反而会更加怀疑亚里士多德所讲的、我难以理解的其他哲学问题是否正确。

带着这种疑问和思考,伽利略走上了一条与众不同的路,而正是这条道路开创了近代科学。

3) 伽利略的落体实验及其他

伽利略是近代科学史上公认的近代实验科学的创始人,他认为真正的科学就在经常展示在我们眼前的这部最伟大的书中,即宇宙、自然界中。人们必须通过实验去阅读这部“自然之书”,为此他首次进行了大量的实验工作,得出许多崭新的结论,是他将物理学建立在实验的基

基础上,尽管今天看来他的实验工作似乎过于简单、原始,但就是这原始形态的东西,已经包含有最本质的实验特征。现代实验科学固然十分复杂,但其基本道理是与原始形态相一致的。

伽利略的运动理论是经典力学的奠基性工作。1632年出版的《关于两大世界体系的对话》和1638年出版的《关于力学和局部运动两门新科学的谈话和数学证明》(简称《两门新科学》),以确凿的实验事实,严密的逻辑推理和清晰的观点,批驳了亚里士多德的运动学说,阐明了他的运动理论。

对自由落体的研究是伽利略最富有创造性的成就。前面提到过,在伽利略时代,关于物体的运动多以亚里士多德的观点为权威。亚里士多德认为,如果物体运动的其他条件相同的话,物体运动的快慢主要有两种原因:一是运动物体所通过的介质不同(如水、土或空气);二是运动物体自身轻重的程度不同。根据这种观点,在空气中轻重不同的物体从同一高度落下时,“有较大动势的物体通过同一距离的速度也较大,并且速度的比等于这些物体量的比。”伽利略认真地研究了这些看法。他认为,亚里士多德的这些观点是错误的。

为了反驳这个观点,相传伽利略曾经在比萨的斜塔上做过实验,这就是人们经常讲述的伽利略和比萨斜塔的故事,在许多介绍有关伽利略生平事迹的书中都记载着这个发生在比萨斜塔上的小故事。据说是在1589~1592年间的某一天早晨,伽利略在大学师生和市民注视下登上比萨斜塔塔顶,他带了两个球,一个重100磅,另一个重1磅。他将球在胸墙边小心放好,将它们推落;目睹两个球均匀落下,在最后一个瞬间,一声巨响,它们同时撞击地面。据说,这个实验曾使在场观看的那些信奉亚里士多德观点的人瞠目结舌。这个故事最早出自伽利略的学生维维安尼(Viviani)在1654年出版的《伽利略传》一书,历史上对是否确有其事还是有争议的,因为伽利略虽然在其早期著作中数次提到塔楼的实验,但是没有关于这一实验的详细叙述和原始记录;况且在当时,还没有适当的计时工具足以准确地判断出两只铅球是否同时落地。不过,历史上确有其事的是荷兰工程师斯台文(S. Stevin, 1548~1620)在1586年出版的一本论力学的著作中谈到他曾做过一个反对亚

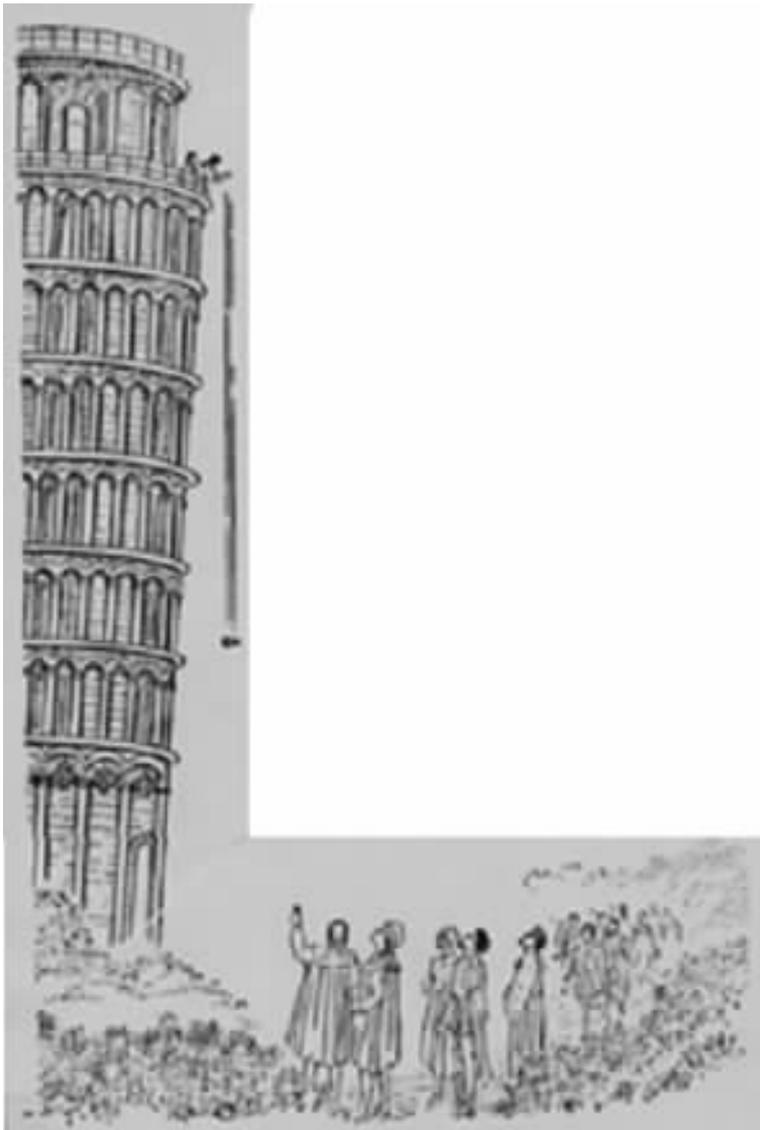


图 2-3 比萨斜塔与自由落体

里士多德观点的实验：从 30 英尺的高度同时让两只铅球自由下落，一只是另一只的 10 倍重，它们到达地面上时，落到木板上所发出的清晰的响声听来好像是一个声音。尽管现在的很多中、小学教科书中都写着这个比萨斜塔上的实验，但在科学史上它基本上没有什么太大的意义。因为无论这样的实验多么巧妙，也无论伽利略是否做了这个实验，其意义都不大。因为荷兰工程师在伽利略之前就做过这样的实验。因此，即使伽利略也做过这个实验，他也已经不是第一个了，只不过他的实验影响比较大而已。

至于实验在伽利略的科学中具体起到什么作用，以及伽利略到底是怎么最后抛弃了亚里士多德，真实情形要复杂得多，决不会是伽利略在比萨斜塔上做一次落球实验那么简单。不过，如果真有其事的话，通过用两个材质一样但重量不同的球从塔上往下扔结果同时落地的实验来驳斥亚里士多德的“重的东西比轻的东西落得快”的传统说法，通过这个小小的现场实验，会使在场的眼睛都目睹了这一瞬间，对伽利略的嘲笑、讽刺都会变成震惊并转变为敬佩。也正是在这一瞬间，哲学家亚里士多德的通过思辨的方式想当然得出的结论，被实验的强有力的效果所颠覆了，经院哲学家赋予亚里士多德的无上地位和圣经的权威大厦倒塌了一角。

伽利略能够得到他的落体定律和相关的运动学规则，他必然进行了大量的实验性研究工作，在把握有关现象的过程中也进行了各种反反复复的尝试和检验。最初伽利略认为，物体下落时穿过的介质（比如空气）的密度可能是决定该物体下落有多快的关键性因素。显然那时他还未能从亚里士多德的理论框架中解脱出来，仍然相信同样大小的物体在空气中下落时较重的或更密的物体将落得较快。不久，伽利略就通过一个实验发现了自己的错误：让体积相同的铅球和木球同时落下，因为铅球的密度比木球的密度大 20 倍，按速度与密度成正比的假设，这两个球的下落速度就应相差 20 倍。实验结果并非如此。他发现，虽然铅球的速度比木头快，但顶多也快不到两倍，与相差 20 倍相比太远。由此他放弃了所得的结论，重新进行研究。

亚里士多德理论表面看起来似乎和现实中的物体运动规律很接

近。如同时掉落一本厚书和一张薄纸,书本会先落地。但是物体下落运动涉及许多因素,如物体的重量,或者我们会说的“质量”,再有物体的“动量”,后者可以用几种方式来度量。此外还要考虑到物体在其中运动的介质、一个物体的密度或特定的重量、介质的浮力、下落物体的形状、那种形状可能产生的阻力的大小(同一形状可以产生不同大小的阻力)、下落的距离、下落的时间、初速度、平均速度、末速度以及各种各样的加速度。在这么多因素中,究竟那些因素代表了问题的本质?在自由落体问题上,伽利略必须克服许多非常重大的障碍才有可能把事情搞清楚。

伽利略实际上是通过思想实验的方法,对亚里士多德的落体学说进行反驳。伽利略在《两门新科学》中是用一个典型的“思想实验”来驳斥亚里士多德的观点,这至今还为人们所传颂。所谓的思想实验,是用逻辑推理的方法在思想上的一种假想实验或抽象实验,它是进行科学研究的一种重要方法。伽利略的思想实验是这样的:有两个材质相同的物体,一个重,一个轻。假定亚里士多德的学说是正确的,即物体的下落速度与重量成正比,重的物体的下落速度比轻的物体快,就可以设想出一个简单的实验:把两个物体捆在一起下落,是快还是慢呢?

用亚里士多德的观点分析,必然会得出两种自相矛盾的答案:一种是比原来慢了。因为轻的东西下落慢,会拉着重的东西慢慢下落;另一种是比原来快了。因为捆在一起的物体更重了,因此会下落得更快。这种自相矛盾的答案只能说明亚里士多德的观点本身就是错误的。不用爬上高高的比萨斜塔,仅用思想实验,伽利略就打败了亚里士多德。

对于亚里士多德所谓“物体速度与介质密度成反比”的说法,伽利略论证说,如果这个论断成立,那么让一个木球分别在水中和空气中下落,因为空气与水的密度相差 10 倍,按亚里士多德的理论,若木球分别在水中和空气中下落,因为两者密度相差 10 倍。若木球在空气中下落的速度为 20,则在水中就应为 2,但木球在水中根本不会下沉。伽利略就是通过一系列巧妙的构思和精湛的分析,从逻辑上推翻了亚里士多德落体理论中所包含的两个主要方面的内容。

研究落体问题,空气阻力是一个次要的、但又会带来假象的因素,

正是因为空气阻力的影响,使得不同的物体在空气中下落时,总会有一定的速度差。伽利略认识到忽略空气阻力的影响,在纯粹状态下研究落体运动的重要性。而且,他敢于克服技术条件的不足,运用理性思维来实现这种纯粹状态,这正是他取得成功的关键。

自由落体运动是否符合他所提出的匀加速运动的定义呢?伽利略认为应该通过实验作出检验。但是要直接测定下落物体的速度的增量与下落时间是否成正比,在当时是十分困难的,于是伽利略求助于数学,期望根据他的假设推导出其他可用当时的仪器直接测定的关系式。他考虑到,如果落体真的是匀加速的,那么整个下落时间与下落距离之间应该有某种关系,而测量整个下落的时间和距离应当比较容易。他得到的这个关系式为

$$\frac{s}{t^2} = \text{常量}$$

这里不包含任何瞬时值,只要直接测定 s 和 t 就行了。

但是,竖直方向的自由落体下落的速度还是很快,做定量的观测,特别是测得准确也是很不容易的。于是,伽利略为了进一步“减缓”下落运动以得出精确的测量结果。他设计了“冲淡重力”的实验,即大约在 1609 年伽利略进行的科学史上那个十分著名的“斜面实验”。

我们先看一下他的实验装置,那是一块长 24 英尺(约 7.3 米)、厚 3 英寸(约 7.6 厘米)的木梁,其一侧开有光滑的沟槽,槽内贴着羊皮纸。木梁的沟槽朝上,一端抬高 2~4 英尺(0.6~1.2 米)放稳,让一只滚圆的铜球沿着沟槽向下滚动。然后伽利略又介绍了他的计时方法。他通过收集一个从容器中流出的水,并称出水的重量,以此来确定时间间隔。可以想像,不管羊皮纸的沟槽有多么光滑,只要铜球不是完美的球形,或者材质不均匀,从沟槽滚下时都不可能得到预期的结果。在这个实验中,不确定的“妨碍”因素真的是太多了。全凭人眼人手控制,不论伽利略设计的流水计时装置多么巧妙,总免不了会撒漏一两滴水,而再好的称重仪器也会有误差,这些都有可能使他得不到预期的结果。可是伽利略却敢声称:“重复进行了整整 100 次实验,发现(铜球滚动)距离(之间的关系)总是犹如时间平方(之间的关系)……这样反反复复

实验,从未见有任何显著的差别。”然而,伽利略并没有给出实验数据,也没有说明“任何显著的差别”是什么意思。法国科学家后来曾经按照伽利略描述的方法试图重复他的实验,他们有资格怀疑伽利略所说结果的合理性。然而伽利略却把他自己的实验报告视为充分的科学证据,认为它证实了前面用数学手段导出的结果是真实可靠的。伽利略的斜面实验已经超出了用来说明实验在伽利略的科学中的独特作用,它更深远的意义在于表明在实际的科学活动中实验所起到的作用是如何复杂,远不是按照某种抽象的“科学方法”理论所规定的程序那样简单。

为了把斜面实验的结论推广到竖直情况下的自由落体运动,伽利略提出了“等末速度假设”,即静止物体不论是沿竖直方向还是沿不同斜面从同一高度下落,到达末端时都具有相同的速度;这就是说,物体在下落中所得到的速度只由下落的高度决定,而与斜面的倾斜程度无关。他论证说,如果情况不是这样,那么只要把过程反过来,物体便可以利用下落中得到更大的速度上升到比下落之前的位置更高的高度,而这是与我们的经验相违背的。

伽利略用一个单摆检验了这个假设。相传伽利略在 18 岁的那年发现了摆的等时性。那时他正在比萨大学学习。课余时间经常去教堂观赏那里的壁画与雕刻。据说有一天黄昏,他看见一个司事^①在点燃一盏吊灯上的蜡烛时,使这盏吊灯摆起来。怀有巨大好奇心和探索精神的伽利略,立即注意观察这盏吊灯的运动。他对照自己脉搏的跳动测量吊灯摆一个来回所需要的时间,他发现,尽管吊灯摆动的幅度在不断减小,但是每摆一个周期所需要的时间大致相等。为了证实这一结果,他立即反复地进行实验,经测量证明,摆确实具有等时性。

如图 2-4 所示,将摆球拉至 B 放开,摆球会升到对面同一水平高度上 C ,如果 E 或 F 处钉上小钉子,摆球仍然沿不同的圆弧上升到同一水平高度的各点。反过来,如果让摆球从这些点下落,它同样会升到原水平高度的 B 点。这说明,沿不同倾斜度的斜面(不同弧线)下落,其

^① 教堂里的杂役。

末速度是相等的。

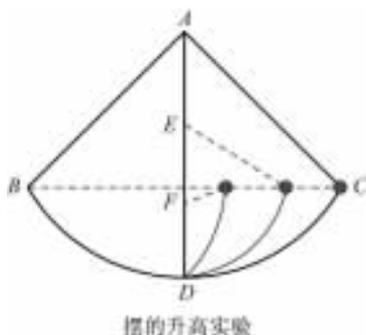


图 2-4

根据这个假设,就可以得到沿斜面长度 l (下滑)的加速度 g_1 与沿斜面高度 h (自由下落)的加速度 g 之间的关系。如图 2-5 所示,物体自顶端沿斜面下滑和竖直下落所用的时间分别为 t_1 和 t ,末速度同样为 v ,则由



图 2-5

$$h = \frac{v}{2t}, \quad l = \frac{V}{2t_1}.$$

得到 $\frac{t}{t_1} = \frac{h}{l}$;再由 $v = g_1 t_1$ 和 $v = gt$, 得到

$$\frac{g_1}{g} = \frac{t}{t_1} = \sin \alpha.$$

由这个关系,就不难从斜面上的加速度 g_1 求出自由下落的加速度 g 。不过,伽利略并没有给出加速度 g 的精确数据,他只是根据这个关

系明确得出了自由落体做匀加速运动的结论。

“等末速度假设”和单摆摆球的等高性实验,把伽利略引向另一个理想实验:伽利略关于惯性研究的思想实验,这是其《关于两门新科学的对话》中的一个主要内容。在有关物体运动的研究中,伽利略注意到,当一个球从一个斜面上滚下而又滚到第二个斜面时,球在第二个斜面上所达到的高度同它在第一个斜面上开始滚下时的高度几乎相等。伽利略断定高度上的这一微小差别是由于摩擦而产生的,如能将摩擦完全消除的话,高度将恰好相等。然后,他推想,在完全没有摩擦的情况下,不管第二个斜面的倾斜度多么小,球在第二个斜面上总要达到相同的高度。最后,如果第二个斜面的斜度完全消除了,那么球从第一个斜面上滚下来之后,将以恒定的速度在无限长的平面上永远不停地运动下去。实际上,这个实验是无法实现的,因为永远也无法将摩擦完全消除掉。所以,这也只是一个“理想实验”。但是伽利略由此而得出结论:物体在不受外力作用时,总保持匀速直线运动状态或静止状态。这个结论打破了自亚里士多德以来一千多年间受力运动的物体当外力停止作用时便归于静止的陈旧观念,为近代物理学奠定了基础。后来,这个结论被牛顿总结成力学第一定律,即我们通常所说的惯性定律。

如图 2-6 所示,一个光滑坚硬的小球从 A 点沿光滑斜面 AB 下落,它将以获得的速度沿任何对接面(BC、BD、BE 等)上升到 A 的同一高度水平。正如沿 DB 下落比沿 CB 下落具有较小的加速度,随着斜面倾斜度的减小,小球上升的减速度也越小,小球运动的时间也越长。在水平面 BF 上,减速度将减小到零,小球将以恒定的速度永远运动下

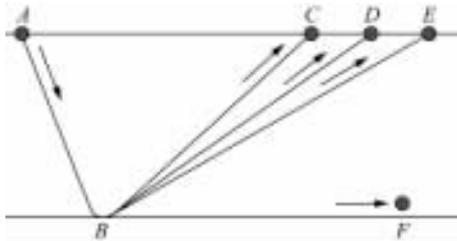


图 2-6 伽利略对接斜面的理想实验

去。伽利略写道：“任何速度一旦施加给一个运动着的物体，只要除去加速或减速的外因，此速度就可保持不变；不过，这是只能在水平面上发生的一种情形。”

在《两门新科学》中，伽利略最重要的贡献是提出了著名的相对性原理。在论述这个原理的时候，他用了一个十分精彩的实验：为什么我们生活在运动的地球上，却感觉不到地球在动？他说：“把你和一些朋友关在一条大船甲板下的主舱里，再让你带一些苍蝇、蝴蝶和其他小飞虫。舱里放一只大水碗，里面放几条鱼。然后挂上一个小瓶，让水滴一滴一滴地滴到下面一个宽口的罐里。船停着不动时，你留心观察：小虫都以等速向舱内各方向飞行，鱼向各个方向自由游动。水滴滴进下面的罐子中，你把任何东西扔给你的朋友时，只要距离相等，向这一方向不比向另一方向用更多的力。你双脚齐跳，无论往哪个方向跳，跳过的距离都相等。当你仔细地观察这些事情后，再使船以任何速度前进，只要运动是匀速的，也不忽左忽右地摆动，你将发现，所有上述现象丝毫没有变化，你也无法从其中任何一个现象来确定船是在运动，还是停着不动。”这就是伽利略的相对性原理。它说明了“在相对做匀速直线运动的所有惯性系中，物体的运动规律是相同的”。这个原理的发现非常重要，它是人类在科学认识史上的一次重大飞跃。也是20世纪爱因斯坦创立相对论的理论基础。

伽利略的实验之所以成功，还在于他在实验的基础上，进行了理论的演绎或逻辑的推理，得出了超过实验本身的更好的、更为普遍的结论。他说：“通过发现一件单独事实的原因，我们对这件事实所取得的知识，就是使我们理解并肯定一些其他的事实，而不需要再求助于实验。”正如斜面实验的结果所显示的那样。

法国数学家拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736~1813)在评价伽利略的贡献时说过：“动力学全然是由于近代人的工作才成为一门科学的，伽利略奠定了它的基础。在伽利略以前，哲学家们只是在平衡状态下考察作用在物体上的力，虽然他们也曾含糊地把落体运动和抛物体的曲线运动归因于不变的力的作用，然而还没有一个成功地确定这些现象的法则，伽利略迈出了重要的一步，因而为推动力学成为一门科学开

辟了新的、无限广阔的道路。”

4) 伽利略所开创的新科学

在伽利略奉献给科学的财产中,除了上述成果以外,还有一件更为宝贵的东西,那就是他所创立的实验和数学相结合的科学研究方法。伽利略之所以能够通过落体实验获得一系列了不起的发现,在于他采用了一套有效的方法,它由以下环节构成:一般观察——假说——通过数学分析得出推论——对推论进行实验验证——对假说进行修正……他本人也认识到这方法的价值,他写道:

我们可以说,这是第一次为方法打开大门,这种将带来大量奇妙成果的新方法,在未来的年代中,会博得许多人的重视。

概括起来说,伽利略所开创的实验—数学方法是在观察、实验的基础上;经过推理和计算对现象提出假定性的说明和定量的描写,然后再用实验加以检验。这是近代自然科学研究问题的一般程序和经典方法。在伽利略之前,实验的方法和数学方法已经分别在不同程度上被作为研究自然现象的两种方法加以使用,但是把二者结合起来形成一种统一的、近代的研究方法则是在伽利略手中成熟起来的。伽利略既重视实验的意义,认为在实验中人们应该注意“什么是自然界说的而不必注意什么是心之所愿的”东西,又十分强调理智的力量,运用理智把自然过程加以纯化和简化并且把寻找自然界的数学关系作为研究的重要目标。他认为“自然之书”是用数学的语言写成的,只有用数学证明了的东西才是科学的、可靠的结论。在他的著作中,既援引了丰富的实验材料,又充满了数学证明,他的每一项工作都是实验方法与数学证明结合起来的典范。他开创了近代自然科学中经验与理性相结合的传统。这一结合,不仅对物理学而且对整个近代自然科学都产生了深远的影响,甚至某种程度上,近代自然科学就是基于实验—数学方法上建立起来的。

在伽利略之前,工程师们通过实践已经认识到抛物体沿一条曲线轨道运动;在抛射仰角相同,抛出的初速度相同的条件下,抛射仰角为

45°时射程最远。但是他们只是凭经验归纳出这些结论,不能给出数学上的严格证明。

在私人教学中,伽利略遇到了涉及数学的实际问题,并逐渐产生了兴趣。对这些问题的解决引导他走向了实用科学,这也使他从中认识到了实际工作者的才能。尽管这些人大都没有受过教育,也读不懂用拉丁文写的东西;尽管那些含有逻辑和哲学的小册子,对他们来说永远是深奥难解的,但他们却解决了物理学上的一些问题。实际上,大自然给予他们以与哲学家一样的眼睛去观察,与哲学家一样的头脑去思考。

同样,因为天文学一直是一门依赖于测量的学科,在正统的哲学家看来,在大学里由数学教授讲授的天文学算不上是真正的科学,只是技艺而已。在亚里士多德的宇宙学中根本就没有测量的地位,这些工作是留给众多的实践者去做的,所有因果的或物理的解释都是留给专为解释这些问题的哲学家来做的。很久以来,人们一直忽视测量,虽然在力学中使用测量,但在17世纪以前,力学并未被看作是物理学的一部分,而且大都限于静力学。而物理学家真正感兴趣的运动原因是不易测量的。但伽利略却对实际运动进行精心测量。尽管对他来说,测量可能是天文学家很久以前所用方法的自然扩展而已。

从1605年起,伽利略开始把观察和实验作为科学的坚实基础。只要有可能,他就进行测量,从而保证了他的天文学和物理学结论的唯一确定性。当伽利略开始实际测量距离和时间时认识到,人们只要一从事实际测量马上就会发现,无论人们怎样改进测量技术,精度的实际极限总是存在的;也就是说,纯数学理论与其所描述的过程之间总是存在着差异,因此他并不坚持哲学家历来所坚持的那种完美。

技艺和理论知识相结合而构成的实用科学不仅为伽利略时代的哲学家所拒绝,而且到目前为止也为一些人所忽视。但是从亚里士多德时代到伽利略时代这种分离却是历史的真实,那时这二者之间的分离主要是为了便于分析而虚构的。

伽利略数学物理学的关键是,他将比例理论应用于他所设计的尽可能精确的实际测量之中。由于伽利略的科学基于与观察的基本一致,而不是基于上帝的意志,也不是基于数学的或文字上的不切实际的

空想。引导伽利略的不是关于自然的形而上学信念,而是他坚信关于可靠知识的认识论。这种思想的古代模式不是柏拉图的哲学,而是托勒密的天文学;前者超越一切可能的测量寻求永恒的真理,后者依据的是实际测量。测量属于科学,而永恒的真理则属于哲学或者神学的信仰。所以说,伽利略的科学不同于以往的自然哲学,而是近代科学的开始。

不像亚里士多德的科学那样是一个封闭的体系,伽利略的发现充其量只是包容了一些既无联系又不完善的结论。伽利略的科学与其说是一些结论的集合,不如说是一种方法,伽利略是把科学当作能使人类进行研究的证明和推理的方法。大自然中没有任何一个事物——即便是最微小的——能被我们最有才智的理论家所理解。那种自命懂得一切事物的人实际上并不懂得任何事物。一个人只要曾经体验过一次完全弄懂了一件事情,并真正尝到取得真知的感觉,就会认识到自己对其他无数多真理毫无所知。

爱因斯坦给予伽利略高度评价,他说:“伽利略的发现,以及他所用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端。”因此,伽利略将科学的实验方法发展到了一个全新的高度,使物理学走上了真正科学的道路。

2.2 牛顿的光学实验

近代科学革命是以牛顿建立的牛顿力学体系为主要标志的。但是在很长时间内,人们往往以为牛顿只凭借他发明的极限概念和微积分才完成了这个划时代的发现,而忽视了他治学的思想基础是实验哲学。实验哲学倡导可靠的实验和归纳法,牛顿的所有理论都是从可靠的实验或观测结果出发的。他在光与颜色上做了大量实验,在化学实验上也付出了比在物理学上更多的劳动



图 2-7 牛顿

和时间；而且在运动规律和万有引力方面的探索中，有的做过很多实验和观测，有的借助了以前在物体运动和重力在地球不同纬度上差异上的测量数据，归纳和抽象出质量、质点、力和其他一系列概念，推导出运动三大定律、万有引力定律、流体运动定理和宇宙系统理论。下面我们来看一下牛顿的光学实验。

1) 光的色散实验

牛顿是 17 世纪光学的集大成者。光学上的发现和发明是牛顿科学成就的一个重大组成部分，也是他成名的主要原因。他在光学方面具有开创性的贡献主要是：1668 年制成了第一架反射望远镜，因此被选为英国皇家学会的成员；成功地进行了光的色散研究，发现了太阳光谱，提出了关于光的颜色的理论，发现了牛顿环现象；牛顿还是光微粒说的提出者，在光的衍射和双折射方面也有重要建树。牛顿对光和颜色的研究，就像是一首动人心弦的交响乐。

牛顿在科学上取得如此巨大的成就，在很大程度上得益于他的研究方法，他在光学上取得的成就更是如此。这些科学方法不仅贯穿于他的科学研究活动中，而且表现在他从科学实践中总结出来的那些具有普遍意义的科学方法论原则中。

早在 1664 年中期，牛顿还是剑桥大学三一学院的一名学生时，就已经在实验笔记中记述了他进行光学研究的过程。牛顿是从做三棱镜实验开始研究光学的。他用一个简单的实验证明了不同颜色的光有着不同的折射率。其实验过程如下：一块长纸板，一半涂成红色，一半涂成蓝色，把它放在窗户边，人通过一块三棱镜来观察它，发现如果把棱镜的折射棱角朝上，这样纸板由于折射看起来好像被抬高了。而且折射的结果使蓝色半边比红色半边升得更高；但当折射棱角朝下，则纸板由于折射看起来好像是被放低了，此时蓝的半边就比红的半边降得更低。他由此断定：蓝光折射得比红光更厉害些。并且他发现用透镜来聚光时，蓝光与红光一定聚集在离透镜不同的地方。为了证实这个结论，他用一张纸，也是一半涂上蓝色，另一半涂上红色，用蜡烛照明，经透镜后试图在另一纸上得到清晰的像。为了判断成像的清晰程度，他

又用黑线在纸上划了几圈,实验发现不能使涂色纸片的两边同时聚焦成像。当纸片红半边显得清晰的地方,蓝半边就显得模糊,它上面的黑线几乎看不出来;反之,在蓝半边显得最清楚的地方,则红半边又模糊了,它上面的黑线也几乎看不到,而且不出所料,纸片蓝半边成像清晰处比红半边离透镜距离更近。

牛顿的另一个实验是观察白色太阳光通过棱镜时发生的现象。他用一个简单的装置将太阳光分解成光谱,并进行观察。他在暗室的一扇窗上开一个小圆孔,让一束窄的太阳光通过这个小孔进入室内,在光束经过的路径上放一块棱镜,再在棱镜后部置一屏幕,他在屏幕上观察到一个由各种颜色的圆斑组成的像,这些圆斑依次排列,偏离最大的一端是紫光,偏离最小的一端是红光(见图 2-8 光散实验一)。

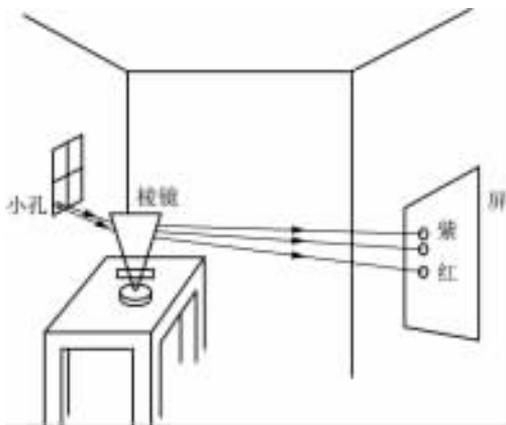


图 2-8 光散实验一

但光凭这个实验还不足以令人信服地证明白光具有复杂的成分,并可以分解为单色光。因为当时对这个实验还有另一种解释,即认为白光通过棱镜之所以变成依次排列的各种光,并不是白光本身具有复杂成分的缘故,而是白光与棱镜互相作用的结果。为此,牛顿又设计了另一个实验,即在上面实验的屏 AB 上再开一个小孔,让透镜透过这个小孔的光线再经过第二个棱镜,并在它后面放一个新的观察屏 CD (见图 2-9 光散实验二)。他设想:若白光通过棱镜变成各种颜色的光是由

于白色与棱镜互相作用的结果,那么。第二个棱镜还会与这些光再发生作用而改变这些光的颜色。但实验表明,第二个棱镜只是把这束光整个地偏转一定的角度,并不改变光的颜色。牛顿转动第一个棱镜,使光谱中不同颜色的光先后依次通过屏 AB 上的小孔,在所有这些情形下,这些不同颜色的光并不能被第二个棱镜再次分解,都只是偏转了一定的角度,并且不同颜色的光的偏转角度也不同。如让第一个屏上的黄色透过小孔射到第二个棱镜上,则屏 CD 上可看到有两条明亮的黄线组成,但不论把这两条黄线分开到何等程度,都不能改变它们的颜色。

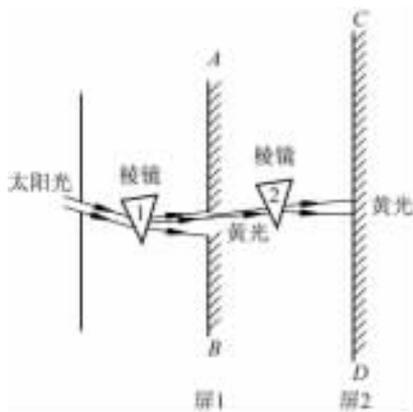


图 2-9 光散实验二

为了进一步证明白光是由各种颜色的单光组合而成的,牛顿还做了一个实验,他用棱镜将白光分解为光谱后,再通过另一个顶角较大的倒置棱镜(见图 2-10 光散实验三)。他设想,由于第二个棱镜顶角较大,使得不同色光的偏折大于第一个棱镜,所以不同色光又会会聚起来,在第二个棱镜后面的某个区域交迭,如在这区域内置一屏幕,则屏幕上将重现出白光。这一实验成功了,从而证实了白光的确具有复杂成分,并能分解成不同颜色的单色光。棱镜不能再分解它们,且每一种颜色的光都有自己确定的折射率。这就是著名的“光的色散实验”。

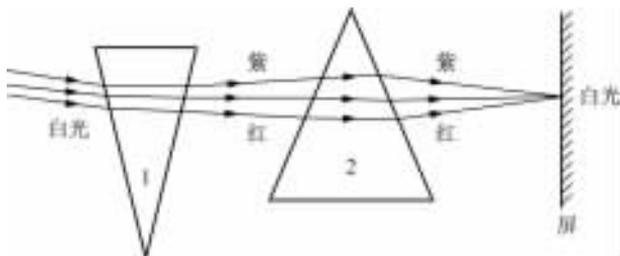


图 2-10 光散实验三

2) 牛顿环

牛顿在光学中的另一项精彩发现就是“牛顿环”。他考察了虎克描写过的肥皂泡和其他薄膜上都有的薄膜的色彩,设计了下面的实验。

取来两块玻璃体,一块是 14 英尺望远镜用的凸透镜,另一块是 50 英寸望远镜用的大型双凸透镜,在双凸透镜上放上凸透镜,使其平面向下,当把玻璃体互相压紧时,就会在围绕着接触点的周围出现各种颜色,形成色环。然后再把上面的玻璃体慢慢抬起,使之离开下面的玻璃体,于是这些颜色又在圆环中心相继消失。在压紧玻璃体时,在别的颜色中心最后现出的颜色,初次出现时看起来像是一个从周边到中心几乎均匀的色环,再压紧玻璃体时,这色环会逐渐变宽,直到新的颜色在其中心现出,而它就成为包在新色环周围的色环。再进一步压紧玻璃体时,这个环的直径会不断增大,而其周边的宽度则减小,直到另一新的颜色在最后一个色环中心现出。如此继续下去,第三、第四、第五种以及跟着的别种颜色不断在中心出现,并成为在最内层颜色外面的一组色环,最后一种颜色是黑色。反之,若是抬起上面的玻璃体,使其离开下面的透镜,色环的直径就会缩小,其周边宽度则增大,直到其颜色陆续到达中心,后来它们的宽度变得相当大,就比以前更容易认出和识别它们的颜色了。

牛顿进行了周密的观察,对他的工作和发现做了详尽的定性描述。在此基础上他进一步做了定量的计算,从中找出规律性。他用的是靠在一起的两个三棱镜、两块玻璃和凸透镜与平玻璃、玻璃气泡和肥皂水

泡等,他认为后三种产生的彩色光环比前两种清楚。根据他列出的入射角、折射角、空气厚度和色环直径的实验数据表,入射角和折射角越大即空气越厚,则色环的直径越大。他还列出一个周期色环序列与薄膜厚度关系的实验数据表。其中,他将薄膜的材质分为空气、水和玻璃三种,并说明色环的周期是随薄膜厚度产生质的变化,而同一周期内的色环序列(同日光谱的)因薄膜厚度增加而由紫向红递次量变。对于同一周期的同一种彩色光环来说,空气的最宽,水的次之,玻璃的最窄。他发现,亮环半径的平方是一个由奇数所构成的算术级数,即 1, 3, 5, 7, 9, 11……暗环半径的平方是由一个偶数所构成的算术级数,即 2, 4, 6, 8, 10, 12……利用这个结论,在知道了凸透镜的半径以后,牛顿便算出了暗环和亮环出现的地点和空气层厚度。

牛顿环的发现,是光具有波动性最好的证明之一。因为它实际上是揭示了光波的一种干涉现象,即由于光波的叠加,而在叠加区域内形成空间各点强度的固定加强和减弱的现象。然而由于牛顿主张光的微粒说,反对光的波动说,认为光是一束通过空间高速前进的粒子流,因而提出一种古怪的理论加以解释,说光不是连续发射出来的粒子流通渠道,而是一种阵发式的簇射,即是一阵容易反射一阵容易透射的所谓“猝发”,这些运动微粒在周围的以太介质中激起一种振动,这种振动有时使光离子被加速,有时使之减速,所以光粒子到达介质界面时,有时粒子被反射,有时微粒被折射,被折射的粒子由于受到界面的引力而在较密介质中的速度加快。同理,当光线穿过形成牛顿环的两块玻璃之间的空气夹层时,由于它通过的距离不同,有的粒子被加速,有的粒子被减速,因而形成明暗相间的圆环。牛顿当时不可能也不愿意采用波动这一概念,牛顿环的实验明明是光的波动说的最好的证明,而牛顿却在错误的理论框架下将它解释为粒子发射。这说明实验结果在某些方面是依赖于理论的。同样一个实验结果,在不同的理论框架中进行解释可能就是完全不同的。

此外,牛顿还研究了光的衍射现象。这种现象最初是由意大利物理学家格里马蒂于 1655 年首先发现的。他发现了极狭窄的光束,平常虽然走直线,但是遇到障碍物,就沿着障碍物的边缘而弯曲。格里马蒂

把这种现象称为“衍射”。牛顿对衍射现象做了 11 次实验观察,他用头发、线、针、稻草等细长物体,将它们放在经过小孔的光线照射出,发现影子宽度远远超过它应有的数值,如放在 10 英尺以外的头发,其影子宽度竟放大 35 倍! 牛顿重复并扩充了衍射实验,第一次证明了白光可以衍射成各种颜色的光,这样就获得了白光分解的又一方法。

牛顿也研究了光通过冰洲石晶体时所产生的双折射现象,研究了后来所说的偏振光原理。但是,他又误认为这是反对光波动说的一个证据。

牛顿在他的科学生涯中创造性地、成功地运用了许多科学研究方法,形成了独特的研究风格和完整的方法论体系,对后来的科学发展产生了极其深远的影响。

这些方法和原则对后人产生了重要的影响。爱因斯坦对此曾经给予了高度评价。1927 年,爱因斯坦为纪念牛顿逝世 200 周年而写的文章中说:“在他以前和以后,都还没有人能像他那样决定着西方的思想、研究和实践的方向。他不仅作为某些关键方法的发明者来说是杰出的,而且他在善于运用他那时的经验时料时也是独特的,同时他还对于数学和物理学的详细证明法有惊人的创造才能,由于这些理由,他应当受到我们的最深挚的尊敬。^①”这里爱因斯坦在评价牛顿的影响时,不仅谈到他的思想影响,也特别指出他研究方法上的创造性贡献。

牛顿在从事科学研究的同时,不断探索、总结科学研究的方法。在 1713 年《原理》第二版中,牛顿于第三卷开头专门写了一个独立的方法论部分,提出四条推理规则,并冠之以“哲学中的推理规则”。这是牛顿的科学方法论的总则。这些规则体现了牛顿在对自然及其规律认识基础上的方法论观点,非常凝练地总结了牛顿的科学哲学思想,至今仍然有着非常重要的意义。

牛顿提出的法则之一,可概括为充足理由律,是科学中的简单性原则。这是人们进行科学抽象和科学理论评价时所依据的重要原则,即自然是简单的、和谐的,这种简单和谐决定了研究自然的方法也应该是

^① 许良英编译:《爱因斯坦文集》第一卷,第 222 页。

简单的。在这种思想的指导下,牛顿运用实验与逻辑和数学方法,用简单的定律对纷繁的自然进行了本质和规律上的描述。

牛顿提出的法则之二,是寻求自然界因果关系的方法论中的相似性、统一性原则。科学的重要任务就是探究自然运动的因果关系。

牛顿提出的第三条法则,讲的是如何在实验的基础上探求物体普遍性的方法。他写到:“物体的特性,若程度既不能增加也不能减少,且在实验所及范围内为所有物体所共有,则应视为一切物体的普遍属性。”例如,通过实验和观察总结出来的物体的广延性、坚硬性、不可入性、惯性和物体之间的相互吸引等等,这些都是人通过感觉和经验认识到的,并且已知所有物体都有这些属性,因此可以推断出这些属性是一切物质的共同属性。但这些属性是否真的就是物体的普遍属性呢?这必须用实验来证明,只有与实验结果完全相符的属性才是普遍性。这里既强调了要以实验为认识的基础,又表明要根据实验范围内的有限物体进行理性的综合和归纳,从中概括出普遍性,也就是由个别上升到一般。这表明牛顿继承了弗兰西斯·培根的唯物主义经验传统。

牛顿提出的法则之四,是如何正确地对待归纳结论的原则。他写到:“在实验哲学中,我们必须将由现象所归纳出的命题视为完全正确的或基本正确的,而不管想像所可能得到的与之相反的种种假说,直到出现了其他的或可排除这些命题、或可使之变得更加精密的现象之时^①。”这表明牛顿一方面肯定了根据实验研究运用一般归纳所导出的命题具有可靠性,即可看作是“完全正确的或基本正确的”,另一方面也看到了归纳法的局限性,指出知识在没有出现其他现象足以使以前的归纳结论更为正确或出现例外之前,我们应相信结论的正确性。显然牛顿对归纳法的作用及局限性的认识是很清楚的。在《关学》的“疑问31”中,牛顿写到:“虽然用归纳法从实验和观察中进行论证不能算是普遍的结论,但它是事物的本性所许可的最好的论证方法,并且随着归纳的愈为普遍,这种论证看来也愈为有利。如果在许多现象中没有出现

^① [英]牛顿:《自然哲学之数学原理·宇宙体系》,王克迪译,武汉出版社1992年版,第405页。

例外,那么可以说,结论就是普遍的。但是如果以后在任何时候发现实验中出现了例外,那时就可以说明有这样或那样的例外存在^①。”言外之意就是说,如果出现了其他现象或者例外,就要修改原有的结论,发展和深化自己的认识,使它符合于客观现象。

对待科学假说,牛顿的态度是非常严肃和慎重的。他曾经写道:“我不杜撰任何假说。”牛顿反对无根据地杜撰各种假说去解释现象,他强调应该注重科学实验,在此基础上进行分析、综合、归纳和演绎,提出理论,解释自然界的现象,即实验中可测量的那些现象的各个方面,揭示明显的性质之间存在的内在联系;所以说,牛顿强调的是科学理论要有实验基础,有归纳论据,如果有人把他以实验为基础的“理论”说成假说,他马上会怒不可遏。当然牛顿强调不杜撰假说,并不意味着他不需要任何科学假说。科学假说一直是自然科学研究的重要形式。

2.3 迈克尔逊—莫雷的以太漂移实验

1) 光学现象中的疑难

现在,我们用速度合成公式来分析一下有关光的传播现象。根据光学知识,我们知道,我们之所以能看到某个物体,那是由于该物体发出的光(或者它反射的光)传到了我们的眼睛里。不发光、不反射也不吸收光的东西,是不能被看到的。图 2-11 表示 K 及 K' 两个人在玩投球运动。K 投球, K' 接球。K' 看到球是由于球发出的(或反射的)光到达了 K'。当球在 K 手中静止时,如果球发出(或反射)的光的速度是 c , 而 K 与 K' 的距离是 d , 则 K' 看到 K 即将投球的时刻要比 K 本身即将投球的时刻晚 $\Delta t = \frac{d}{c}$ 。

当 K 刚刚将球投出去时。球速为 u 。如果光的运动也和运动员投

^① [美]H·S 塞那:《牛顿自然哲学著作选》,上海人民出版社 1974 年版,第 212 页。

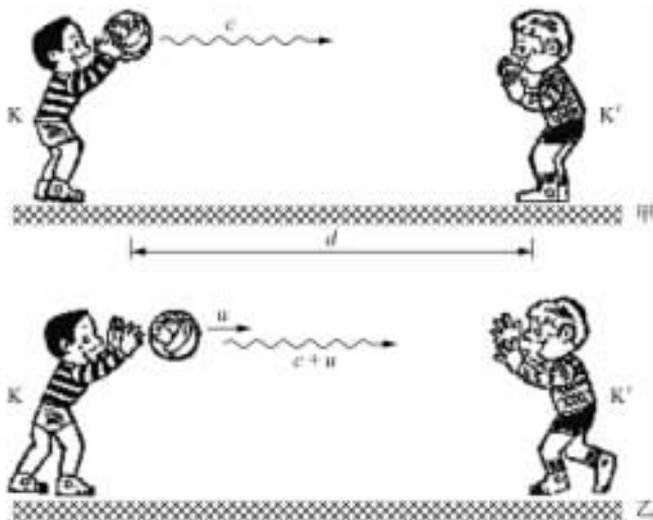


图 2-11 投球运动中的光现象

掷标枪一样,满足经典力学的速度合成律,那么,这时球发出的光的速度应当大一点,是 $c+u$ 。因而, K' 看到球刚刚从 K 手中投出的时间要比 K 作这个动作的时间晚 $\Delta t' = \frac{d}{c+u}$ 。

比较 Δt 和 $\Delta t'$, 就会发现, 由于 $c+u > c$, 故有 $\Delta t' < \Delta t$ 。意思是说, K' 会先看到 K 已将球投出, 随后才看到 K 即将投球。更形象地说, K' 将先看到球飞出, 而后才看到 K 的投球动作! 这就是把前述速度合成公式应用到光传播问题上得到的一个混乱结果, 它使我们先看到后发生的事, 后看到先发生的事。

然而, 这种颠倒先后的怪现象谁也没有看到过。这就证明, 光速并不满足速度合成公式! 有人会说, 光速是很大的, 因而 Δt 及 $\Delta t'$ 实际上都近于零。所以即使 $\Delta t' < \Delta t$, 也是觉察不到的。的确, 在日常生活中涉及的速度与光速相比都是很小的, 把光速看成无限大, 上述矛盾就没有了。但是, 在天体的大尺度上, 光速不能被认为是无限大的, 光传播中的矛盾就不可能避免。下面就是一个真实的例子。

2) 超新星爆发和光速

900 多年前。有一次非常著名的超新星爆发事件,当时北宋王朝的天文学家做了详细的记载。据史书记载,爆发出现在宋仁宗至和元年五月(即 1054 年)。在开始的 23 天中这颗超新星非常之亮,白天也能在天空上看到它,随后逐渐变暗,直到嘉祐元年(公元 1056 年)三月,才不能为肉眼看见,前后历时二十二个月。这次爆发的残骸就形成了著名的金牛座中的星云。叫做蟹状星云。这条古老的记录同光速颇有关系。当一颗恒星发生超新星爆发时。它的外围物质向四面八方飞散。也就是说,有些爆发物向着我们运动(图中 A 处)。有些运动方向则在垂直方向(图中 B 处)。如果光线服从前面所讲的速度合成公式。那么,按照类似于对投球运动的分析即知,A 点向我们发出的光的速度是 $c+u$,而 B 点间我们发来的光的速度则大约仍是 c 。

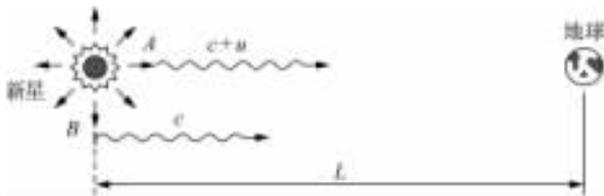


图 2-12 超新星爆发过程中光线的传播

这样,由 A 点发的光到达地球的时间是 $t = \frac{L}{c+u}$,而由 B 点发的光到达地球的时间是 $t' \approx \frac{L}{c}$ 。蟹状星云与地球的距离 L 大约是 5 千光年,爆发速度是每秒 1500 公里左右。用这些数据来计算,很容易得到

$$t' - t \approx 25 \text{ 年}。$$

也就是说,我们至少在 25 年里都可以看到开始爆发时所产生的强光。然而。这是错误的,不符合事实的。历史的记录是:岁余消没,即一年多就看不见了。这就证明上面的推算有问题。结论似乎应该是:从 A 点或 B 点向我们发射的光,速度是一样的。即光速与发光物体本身的速度无关,无论光源速度多么大,向我们发来的光的速度都是一样

的。光速并不遵从经典的速度合成律。

3) “以太漂移”的探索

以太假说对于上面的现象,可以有另一种解释。如果我们仔细观察一下在海面上行驶的船。就会发现,由船激起的海浪的传播速度,一般也不与船的速度有关。因为,对一定的海面情况,海浪的速度是一定的,它与船速并无关系。因此,自然会想到一种类比,也许光是在某种“海洋”中的波。它的速度只决定于“海洋”的性质,同光源的速度无关。光的确有一系列的波动性质,这有利于“海洋”解释。所以,历史上这种观点流行一时,通常把传光的“海洋”叫做以太。由于光线能到处传播,所以假定以太也充满整个宇宙。这种假想的以太除了起着光传播媒介的作用外,我们却看不见它,也不能用其他方式感知它。

在物理学史上,“以太”(ether)是作为一种特殊物质被引进物理学的。17世纪,法国科学家笛卡儿为了解释物体之间的作用力,特别是万有引力现象,最先赋予了以太以某种力学性质。在他看来,空间被以太这种连续的媒质所充满,物体之间的所有作用力都是以太的应变和运动来传递的,不存在任何超距作用。当胡克和惠更斯提出光的波动学说时,以太又充当了光波的载体。因为按照当时的力学理论,任何波动都是某种媒介物质的力学振动的传播。由于光可以在真空中传播,因此以太必须是充满全部空间的,包括真空和对于光是透明的各种物体之中。

19世纪初以来,随着光的波动学说的复兴,作为传播光波的媒质,以太又成为物理学所不可或缺的一种“客观实在”。法拉第把以太看作是力线的载体;而麦克斯韦则设想用以太的力学运动对电磁现象做出解释。他所提出的光的电磁理论,又把产生电磁现象的媒质和以太统一起来。在电磁波以光速传播的预言被证实后,以太的存在便在物理学界获得了广泛的承认。

为了解释光和电磁现象,必须赋予以太一些奇妙的性质。虽然19世纪,人们提出了各种各样的以太模型,但都无法摆脱以太的神秘色彩。仅仅从参照系的观点看来,如果光在以太中传播,相对于静止的以

太,光或电磁波的传播速度必是各向同性的。如,还要求以太有极大的刚性以使光波速度能高达每秒 30 万公里,同时又要求它对运动物体不施加任何阻力。这样的以太是不是真的存在呢?许多物理学家都试图通过实验来检验以太的存在和确定它的属性。特别希望测出地球相对于以太的速度——即所谓以太的漂移速度。

为此,人们进行了一系列实验和天文观测。例如 1728 年英国天文学家布拉德雷所发现的光行差现象,及 1851 年法国物理学家斐索设计的一个实验,他用干涉方法测定流水中的光速,以检验光在运动的透明物体中的速度是否发生变化。这些观察和实验都不能得出肯定或否定的结论。1879 年 3 月,迈克尔逊在美国华盛顿与美国航海历书局局长纽科姆可做进行光速测定的实验时,恰巧看到了麦克斯韦写给美国航海历书局拖德的一封信,信中询问地球运行于不同轨道部位时所观测到的木星卫蚀没有足够的精度来确定地球的绝对运动。麦克斯韦信中的最后一段写道:“地球上一切测定光速的方法,都是使光沿着同样的路径返回,因此测不出地球相对以太的速度,只有地球速度与光速之比的平方才会影响往返的时间,但这是一个极小的量,无法观察出来。”

信中的最后一段话引起了迈克尔逊极大兴趣,他决心要实现麦克斯韦提出的二级效应〔即与 $\left(\frac{v}{c}\right)^2$ 有关的效应〕来测定“以太”的漂移速度。迈克尔逊于 1881 年进行了以太漂移的第一次观测。

实验原理是这样的:如果地球穿行于静止以太中,按照经典速度合成法则,在地球上沿不同方向发射的光对于地球将有不同的速度。将这些光叠加起来,就会产生干涉条纹改变光的方向,干涉条纹也将移动。按照当时迈克尔逊的计算,在将干涉仪整个转过 90 度,使它的两臂先后交替地平行和垂直于地球运动的方向,预期干涉条纹将可移动 0.08 个条纹,这是这台仪器完全可以测量出来的。但结果却出乎意料,只看到比预期值小得多的不规则移动。迈克尔逊由此得出结论说:“对这些结果的解释是:干涉条纹并未发生移动:所以静止以太的假设

是不正确的。”^①

这是第一次对二级效应给出明确的结果,但由于实验数据比较粗糙,没有引起多少注意。1887年,迈克尔逊又和他的朋友莫雷一起完成了一项著名的实验,来检验以太假说。他们的想法是这样的,如果在以太中光速是一定的。那么,当接收者以一定的速度相对于以太运动,光相对于他的速度在不同方向应是不同的。他看到迎面而来的光速大,从后面追来的光速小,即光速与接收者相对于以太的速度有关。如果能测量到这个差别,就支持了以太假说。光速很大,一般物体速度都很小。所以,即使不同方向的光速是不相同的,我们也很难测量得出来。迈克尔逊-莫雷实验的巧妙之点正是在于他们不去测量不同方向的光速值本身,而是测量不同方向的速度之间的差。

实验装置如下图 2-13。由光源 s 发出的光线,遇到半透镜 A 以后,一部分光线透射,另一部分反射。透射的光线经过 C 镜的反射后又回到 A ,其中一部分到达 D 。由 A 反射的光线经过 B 镜的反射后也回到 A 。其中一部分也到达 D 。如果地球沿着 SC 方向以速度 v 相对于以太运动,则沿 $A-C-A-D$ 传播的光与沿 $A-B-A-D$ 传播的光所用的时间是不一样的。沿着 $A-C-A$ 传播的光就相当于 K' ,沿 $A-B-A$ 传播的光就相当于 K 。容易计算,两束光的传播时间差是

$$\Delta t \approx \left(\frac{L}{c}\right) \cdot \left(\frac{v^2}{c^2}\right)$$

其中 L 是 AC 或 AB 的长度。利用两束光之间的干涉现象,可以测量出这个时差。

可是,实验结果是否定的,即没有观测到任何不为零的 Δt 。因此,出路只有两条:一是地球相对于以太的速度总为零,一是以太假说不;二者必居其一。前一个答案是不能令人接受的。因为,相对于太阳来说。地球有公转,还有自转,相对于银河系中心来说,还有太阳系本身的运动。怎么能认为恰恰是地球相对于以太的速度总为零呢?如果

^① A. Michelson, Am. J. Sci., 22(1881)

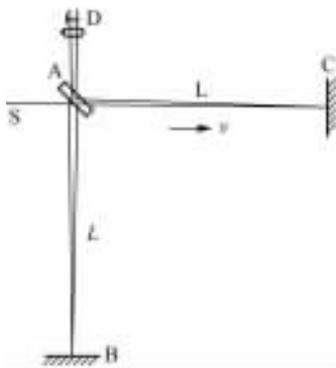


图 2-13 迈克尔逊—莫雷实验的示意图

接受这一点,那不又是把地球看作一个地位极其特殊的天体了吗?自从哥白尼之后,人们再也不能同意任何形式的地球宇宙中心的观念了。因此,结论只能是:以太假说是不对的!就这样,光在假想的以太中传播的观念遭到了有力的否定。

从那以后许多人不断提高精度运用这种类型的实验,去探测地球相对于以太的速度,都得到了否定的结果。运用现代的激光技术,测量到“以太漂移”的速度上限约为 1 千米/秒,最先的不同实验测得这一上限达到 1 米/秒的数量级。这一结果使菲涅耳和洛伦兹的理论都受到巨大的冲击。

但是当时人们并没有认识到这个实验的意义,连迈克尔逊本人也大为失望,并不认为自己的实验有什么重要的意义,只觉得这个实验之所以有意义,是因为设计了一个灵敏的干涉仪,应该指出,在相对论理论变得广为人知之前,不仅迈克尔逊本人,而且科学界也不重视迈克尔逊和莫雷所做的以太漂移实验。事实上,1907 年迈克尔逊是由于发明了“光学精密仪器以及他用这些精密仪器进行的精确计量和光谱学的研究工作”而获得诺贝尔奖的。在瑞典皇家科学院的授奖致辞和迈克尔逊的获奖演讲中,都没有提到这个实验。

必须注意的是,在爱因斯坦创立狭义相对论之前,人们对迈克尔逊的一系列实验所作的讨论与论证,都是以经典力学的速度合成法则为

基础的。若采用狭义相对论中光速在不同惯性系中保持不变的原理，迈克尔逊-莫雷实验的零结果就自然地得到解释；运用狭义相对论的速度合成公式去计算运动介质中的光速，在低速运动的近似下，也能得出含有相同系数的菲涅耳公式，而无需构造任何具体的以太模型。菲索关于流水中的光速的实验结果也可由相对论原理做出解释。这个例子生动的说明了，同一个实验结果，却先后为互相对立的两个理论，提供同样有力的支持。

4) 光速是不变的

理论工作的重要之点就在于它能从一些个别的具体实验结果中抽取出具有普遍意义的结论。因为，特定的实验总是在一些特定条件下完成的，只有依靠理论的抽象才能到达普遍性。

上面的分析是用一些观测上的反例说明光线不服从经典力学的速度合成律。从这些个别的结果中，能概括出什么普遍的结论呢？这个结论就是光速不变性，即光速具有绝对性。所谓光速的绝对性。指的是当光在真空中传播时，它的速度总是一样的，其值与发光物体的运动状态无关。

应当再强调一遍，对一个普遍性的原理来说，原则上是不能说通过实验证明了这个原理的，因为普遍的原理总是涉及无限多的具体情况，而在有限的时间里，我们只能完成有限的实验。因此，与其说实验证明了光速不变性，不如说光速不变性这个从科学实验中总结出来的规律与已有的实验结果全都不矛盾。光速的不变性使光速与一般物体运动的速度有一个很大的差别。对于一束光，由观测者 K 来看速度是 C ，由观测者 K' 来看，速度也是 C 。就像有许多地方我们不自觉地利用了经典速度合成律一样，光速不变性也有实际的应用。用雷达探测目标的距离，就是一个例子。如果雷达发出脉冲和收到回波的时间差是 Δt ，那么，目标的距离就是 $d = \frac{1}{2} \Delta t c$ 。在实际使用雷达的时候，我们从来不管是固定在地面上的雷达，或是装在高速前进的舰艇上的雷达，我们都用同一个光速值 c 来计算，其实这就是暗含地使用了光速不变原理。

3. 火、燃烧和近代实验化学

用计算来检验我们的实验,再用实验来验证我们的计算。

——拉瓦锡

3.1 燃烧本质的艰难探索

在人们的生活和生产活动中,火是历史最悠久、最普遍、最重要却又是最奇妙的化学现象,人类认识它经历了一个漫长而艰难曲折的过程。

关于火的来源,有种种传说。在希腊神话里,火是普罗米修斯从太阳那里偷来送到人间的。在中国传说里,火是隧人氏在钻木的时候发现的。这两种说法从不同角度反映了火的两个来源:一是“天火”,由于闪电、火山喷发等原因引起的;二是人工取火,猿人在制造石器或者在钻木过程中产生的。人类在化学上的第一个发明就是火的利用。火的利用使猿人的生活和生产方式发生了巨大的变化。火的使用,扩大了食物的种类和来源,增强了猿人的健康,尤其是促进了大脑的发达;火的使用,改善了居住条件,扩大了生活范围;火也是一种狩猎武器,更重要的是,火的利用和发展是人类用化学方法变革物质的开始。火是人类第一次控制和利用的重要的自然力。因此,火的发现和利用,是人类走向文明的开始,也为自然科学的发展创造了条件。

在古代,生产力水平极其低下,科学技术还处于一种萌芽状态,因而不可能解决燃烧的本质问题。由于火是司空见惯非常普遍却又是非常重要的现象,人们依赖它,正如依赖水、空气和泥土一样,当时的哲学家们认为火是构成宇宙的一种原质(元素)之一。我国于商周之际形成了阴阳和五行学说。五行学说指的是宇宙万物是由金、木、水、火和土

五种元素构成的。古希腊著名哲学家赫拉克利特指出,火是万物的本原,另一位著名哲学家安培多克尔指出,宇宙是由水、火、气和土四种原质组成的。

在中世纪,化学进入歧途——炼金、炼丹时期。炼丹术士和炼金术士们,在皇宫、在教堂、在自己的家里、在深山老林的烟熏火燎中,为求得长生不老的仙丹,为求得象征荣华富贵的黄金,开始了最早的化学实验。当时中国人、阿拉伯人和欧洲人都具有相同的哲学思想,认为是性质决定物质而不是物质决定性质。只要将原性(性质)放入或取出,物质就会发生变化。因此创造各种物质的技术就在于把几种固定性质(亚里士多德把它们区分为冷、热、干和湿四种原性)结合起来。这种错误的哲学思想整整支配了人们二千年之久,使化学进入炼金、炼丹的歧途。炼丹家们经常要使用燃烧反应,经常要接触硫化物,在这过程中他们发现了硫是易燃物质。因此他们得出结论:“物质能燃烧是因为含有硫。”虽然这个结论是错误的,但已经对炼丹的理论根基产生了动摇,已经突破了火是构成宇宙的一种原质的思想束缚,开始探讨燃烧反应的机理。

在近代,英国著名科学家波义耳第一个真正把化学从炼金术中解放出来,使之成为一门独立的科学。他在《怀疑的 chemist》这一划时代的著作中指出,化学的目的“不是制造贵金属和药物,而是从那些技艺中找出一一般原理,并把它作为自然哲学的研究对象”。研究化学,自然首先从研究火开始。波义耳通过实验发现,空气对燃烧是不可少的,硝石中有“活化”蒸气(就是现今的氧气),金属煅烧后变重了。因此,波义耳提出了火的微粒说:火是由一种实在的、具有重量的火的微粒构成的。他认为物质燃烧以后留下了灰烬,是因为火的微粒散失到空气里去了,金属加热以后形成的金属氧化物比金属本身重,是因为吸收了火的微粒。

德国化学家史塔尔吸收了火的微粒说观点,提出了燃素说。那时候的科学家把自然界各种现象都用一些什么力或什么素来解释。燃素说认为可燃物能够燃烧是因为它含有燃素,燃烧的过程是可燃物中燃素放出的过程,可燃物放出燃素后成为灰烬。用一个式子可表示为:

可燃物 = 灰烬 + 燃素。



图 3-1 普利斯特列

木炭、油脂、蜡都是富含燃素的物质，燃烧起来非常猛烈，而且燃烧后只剩下很少的灰烬；石头、草木灰、黄金不能燃烧，是因为它们不含燃素。酒精是燃素与水的结合物，酒精燃烧时失去燃素，便只剩下了水。

燃素说在某种程度上统一说明了当时所积累的几乎全部实验材料。但是这种理论本身存在着致命的矛盾。它能够解释像碳、煤燃烧后的产物比原物质要轻的类似事实，但它不能解释金属燃烧产物比原金属还要重的实验事实。当时还企图使用燃素具有“负重量”的解释来说明。那么燃素也太神秘了，碳燃烧时，燃素具有正重量，金属燃烧时，燃素具有负重量。具有负重量的东西太不可想像了，最后不得不宣告燃素理论的彻底失败。

这里必须提及一个叫普利斯特列的英国牧师所做的制备去燃素空气（现今之氧气）的实验。将汞的金属灰用太阳光加热，从而生成金属汞和某种气体。他发现物体在这种气体中燃烧，比之在空气中更激烈。所以他把这种气体称为“去燃素空气”，因为这种气体比之空气能吸收更多的燃素。他的“去燃素空气”的发现最终导致了燃素理论的垮台。但是普利斯特列是一个科学上的保守派，甚至当有力的证据使燃素理论陷入严重困境之后，他仍顽固地坚持燃素理论直到去世。

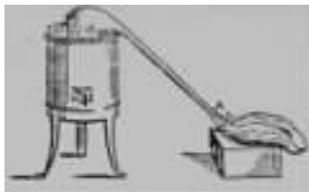


图 3-2 舍勒收集气体的装置
经过压缩而内无空气的一个膀胱，缚在一个曲颈瓶的颈端 A，曲颈瓶放在一个火炉上，炉内装有由之产生气体的物质（或几种物质）

3.2 科学燃烧理论的诞生

1772年,法国化学家拉瓦锡在空气中燃烧金属锡,发现确有增重现象。他查遍了所有权威文献,也未能找到满意的解释,于是他觉得很有必要重新考查前人的实验和理论。

他审查了远在百年前波义耳做过的实验,认为波义耳的实验定量精确性不足。1774年他重做了这个著名的足以推倒燃素学说大厦的金属燃烧实验,他将精确称量的金属放在曲颈瓶中密封后,再准确测量金属和瓶的总重量,然后加热使金属变为灰烬,发现加热前后总重量没有变化,但煅烧后的金属重量却增加了。这说明增加的重量既非来自火中,也非来自瓶外的任何物质,只可能是结合了瓶中部分空气的结果。当他打开瓶口时发现空气冲入,瓶和金属煅灰的总重量增加了,增加的重量和金属煅烧后增加的重量恰好相等。



图 3-3 拉瓦锡

在事实面前,拉瓦锡对燃素学说产生了极大的怀疑,他认识到,增量的原因并不在于“火微粒”或“燃素”,而完全在于空气。为了证明这一点,他把铅煅灰与焦炭一起加热,发现放出大量的“固定空气”,同时煅灰还原成金属铅。他感到这就不仅是简单地从焦炭中吸取一点燃素的问题了,否则就不会产生如此多的“固定空气”。联想到焦炭在空气中燃烧也产生“固定空气”的事实,使他更加确信煅灰是金属和空气相化合的产物。要进一步用实验证实这个结论,最好的办法是从金属煅灰中直接分解出空气来。然而他尝试了几次都没有成功。

正当拉瓦锡困难之时,普利斯特里的来访使他受到了极大的启发,这位英国化学家将对汞煅灰的分解方法和发现告诉了拉瓦锡,拉瓦锡立即做了金属汞的煅烧和汞煅灰的分解实验,发现汞煅灰的增重和

分解出的那部分“空气”的重量完全相等,有力地证明了他最初的设想和对燃素学说的怀疑。

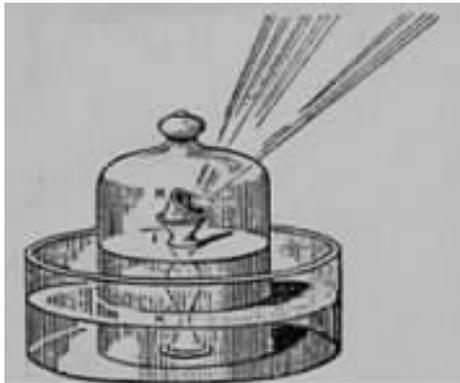


图 3-4 拉瓦锡用取火镜在封闭空气中烤烧铅的实验
铅放在杯 N 之中,杯由在玻璃罩中的水或水银的支座 IK 支撑。

但是直到此时,拉瓦锡还不清楚能够与金属结合的空气是怎样一种气体,最初他认为是“上等纯空气”,后来他了解到舍勒对空气的研究结果后,经过周密分析,才有了更清晰的认识,认为能与金属反应的气体就是空气中能够助燃的那一种气体,而非空气的整体,它是一种简单的物质,他命名为氧气,空气中还有一种不助燃的物质,他命名为氮气。随后他花了近五年的时间,做了大量的实验,来证明这一新的观点,从而形成了系统的氧化理论,认为物质的燃烧是同氧化合的结果,而与燃素无关。金属也不是由燃素和灰烬组成的化合物,而是元素。灰烬也不是金属放出燃素后剩下的简单物质,而是化合物。由于拉瓦锡的理论有大量实验作为依据,很有说服力。他的理论,得到绝大多数化学家的支持。像普利斯特里那样至死坚持“燃素学说”的人极少,难怪连他自己也不得不承认“几乎是孤立的”。

科学燃烧理论的形成过程,也是化学从古代到近代发展过程的一个缩影。人类 50 万年前发现了火,但在近代才解决了燃烧的本质。究其原因是多方面的。首先,任何科学的产生和发展都有着其内在的机制,外部因素只能起加速或延缓其发展的作用。其次,化学是在原子、

分子或离子层次上研究物质变化的科学。化学运动形式高于机械、物理运动形式,要认识原子、分子或离子微观物体比之认识感官可感知的宏观物体要难得多。其三,化学是从古代自然哲学中慢慢分化独立出来的,它的形成过程不能不受当时自然哲学的影响。在性质决定论思想影响下,化学进入持续二千多年的炼丹、炼金的歧途;形而上学的机械论又使化学在燃素学说中徘徊了近一百年。

更为重要的是,拉瓦锡的定量实验研究,极大地丰富和发展了化学实验方法论。对物质及其变化,不仅要用定性分析方法,而且还必须运用定量分析方法,只有二者的有机结合,才能正确认识物质及其变化在质和量两个方面的性质和规律;化学实验是建立化学理论的基础、检验化学理论的标准。拉瓦锡曾明确指出:“在任何情况下,都应该使我们的推理受到实验的检验,除了通过实验和观察的自然道路去寻求真理以外,别无他途。”

拉瓦锡的化学实验方法论思想,对化学实验从定性向量的发展,产生了积极和深远的影响,成为近代化学实验发展史上的重要里程碑。正是在此基础上,近代化学实验才得以蓬勃发展。因为拉瓦锡的巨大贡献,他被尊称为近代化学之父。

拉瓦锡是一位天才的 chemist,除了燃烧理论,拉瓦锡还在许多方面作出了开拓性的工作,开创了一场伟大的化学革命。

1) 化学中最基本最重要的概念——元素

拉瓦锡科学地阐述了元素的概念,确认有元素存在,并列出了世界上第一张元素表。当然他的元素观与我们现代的元素观还略有差异。联系当时的文化背景,拉瓦锡能提出、推广这一观点,这可以说是非常了不起的了!因为有了他的科学的元素观,化学工作者所做的各项研究才有了明确的方向。对元素的发现、利用、研究均具有极为重要的意义。为近代化学创建后不久大量元素的发现做了开创性的工作。

2) 实验科学的依据——质量守恒定律

虽然在此以前,人们对化学反应前后质量关系已有些认识,但并未

明确化,理论化。拉瓦锡研究的突出特点是注重定量研究,善于发挥天平在化学研究中的作用,拉瓦锡在一系列实验论述中,实际上都在自觉地遵循和运用着质量守恒定律,且又用严格的实验加以证明。质量守恒定律的明确提出,使人们对化学物质的认识由定性逐渐提高到定量阶段,可以说质量守恒定律的提出是定量认识的基石的开端,也为道尔顿提出原子学说,推算原子量作了定量基础。总之,质量守恒定律的提出为近代化学定量研究起了铺垫作用,对近代化学的创建和发展具有重要意义。

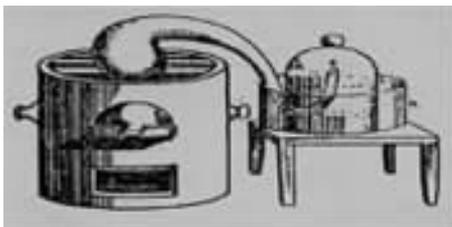


图 3-5 拉瓦锡的燃烧实验装置

3) 化学命名法

拉瓦锡与当时其他几位化学家合作,组成了“巴黎科学院命名委员会”,拟定了《化学命名法》一书,于 1787 年出版。他论述的化合物命名原则基本上就是目前仍在采用的。这种命名体系简单明白,使化学语言出现了前所未有的条理性、系统性。公布后各地化学家都乐于采用,很快被译成各种文字,使当时的化学工作者都认识到:不论是否已使用了该命名法,都感到了学习新语言的必要性。否则将不可能了解现代(指当时)出版物中具有价值的一些著作。可见拉瓦锡的新的化学命名法在当时迅速得到了推广应用。这也说明了化学命名法对化学革命有着重要的推动作用。

3.3 近代重要的化学实验方法

近代化学实验的蓬勃发展与近代化学实验方法的发展有着十分密

切的关系。在这一时期,人们逐渐创立和发展了许多经典的化学实验方法。

1) 系统定性分析法

它是为了检验矿物质中的微量甚至痕量元素,克服传统的湿法定性检验法和吹管检验法的局限性而被创立的。1821年,德国化学家浦法夫(C. H. Pfaff, 1773—1852)在其《分析化学教程》一书中提出了“初步试验”和“分组”的思想。1829年,德国化学家罗斯(H. Rose, 1795~1861)在他编著的《分析化学教程》中,首次明确地提出和制订了系统定性分析法。但该书内容过繁,条理不够清楚。1841年,德国化学家富里西尼乌斯(C. R. Fresenius, 1818~1897)在他出版的教科书《定性分析导论》中对罗斯的系统定性分析法提出了修订方案。这本书内容清晰,颇受欢迎,再版16次,被译成中、英等文字。他提出的分组法与目前通用的定性分析教科书中所采用的方法基本相同。

2) 重量分析法

这种方法在19世纪得到了很大的完善和发展,主要表现在操作技术和分离、测定方法方面。罗斯在其编著的《分析化学实验综论》一书中提出了很多有效的新的分离方法,尤其是应用了缓冲溶液和络合掩蔽剂,这在分析化学发展中是一项重要的进步。贝采里乌斯曾测定了两千多种化合物的分子量,使用了很多新的测定方法、试剂和仪器设备,使定量分析的精确度达到了空前的高度,对定量分析法的完善和发展做出了重大贡献。富里西尼乌斯在其1846年编著的《定量分析教程》中,不仅介绍了灵敏度已达0.1毫克的天平,还介绍了各种元素的重量测定方法;解决了一系列复杂的分离问题。他们所运用的分离和测定方法以及操作技术至今大都仍被采用。

3) 滴定分析法

这种方法是在18世纪中叶的法国诞生和发展起来的。它最初只是对化工原料及产品的纯度进行简易、快速测定的一种方法。1729

年,法国化学家日夫鲁瓦(G. J. Gcoffrol, 1685~1752)第一次利用滴定分析的原理,以碳酸钾为基准物,测定了醋酸的相对浓度;1750年,法国化学家文耐尔(G. F. Venel, 1723~1775)在滴定实验中运用了指示剂;1767年,英国化学家W·路易斯(W. Lewis, 1708~1781)在滴定实验中不仅采用了指示剂,而且还提供了分析的绝对结果,但他测量滴定溶液消耗量的方法采用的则是称重法;法国化学家德克劳西(F. A. H. Descroizilles, 1751~1825)较早地在酸碱滴定中采用体积量度,他发明的“碱量计”可以说是最原始的滴定管。随着人工合成指示剂的出现,到了19世纪30~50年代,滴定分析法的发展达到极盛时间,其应用范围显著扩大,准确度大为提高,接近了重量分析法所能达到的程度;除酸碱中和滴定法外,人们还发明和发展了沉淀滴定法、氧化还原滴定法、络合滴定法等一些具体的滴定方法。到了19世纪50年代,又出现了带有玻璃磨口塞和用剪式夹控制流速的滴定管,使这种方法更趋完善。

4) 光谱分析法

它是利用光谱线来分析某种元素存在与否的一种方法,是由德国化学家本生(R. W. Bunsen, 1811~1899)和基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824~1887)共同创立的。1855年,本生为克服当时煤气灯的缺点,发明了著名的“本生灯”。金属及其盐在本生灯火焰中能产生特殊的带有颜色的火焰,据此可以鉴别这些金属。为了使产生的光谱具有更好的观察效果,他们两人合作研制成了分光镜,并用这种新的实验仪器发现了铯、铷等元素。随后人们又用这种方法发现了铂、铷、镓、铥、铕等元素。

4. 早期的医学—生理学实验

生命科学只有靠实验才可以建立。

——伯纳尔

翻开中外科学发展史,我们可以发现,实验方法几乎无处不在,几乎伴随着全部实验科学的始终,医学和生理学也是典型的实验科学,下面给大家介绍的就是这方面的实验。首先让我们先来看一看早期医学—生理学领域中实验方法的使用以及重要实验。

4.1 维萨留斯和人体解剖实验

反对人体解剖的偏见,在欧洲流行颇久,直到13世纪盖伦及阿拉伯的注释家阿维森纳的著作出现以后,人们才重新开始研究解剖学。最早一位比较出色的人物是蒙迪诺(Mondino)。他死于1327年。差不多就在他的工作成果发表以后,这个科目就变得千篇一律了。尽管大学的正规医科学里都有解剖课,但这种解剖工作都是严格依照盖伦、阿维森纳或蒙迪诺的教本进行的,而且也只是为了用例证说明这些教材才进行的,其目的并不是致力于增加新知识。因此,解剖学在15世纪的最后十年以前一直没有有什么进步,只有列奥纳多的札记记载了一些新的发现,而他的札记对当时的人却并没有产生普遍的影响,15世纪最后十年中,曼弗雷迪(Manfredi)才写了一本专著,书中记载了各名家工作成果的比较和一些新的观察结果。不久以后,卡尔皮(Carpi)对解剖学也有一些贡献,但现代解剖学和生理学到让·费内尔(Jean Fernel)和维萨留斯才真正开始。

安德烈·维萨留斯(A. Vesalius)1515年出生在比利时的布鲁塞尔。年轻的维萨留斯起初在罗文大学肄业,后转学到蒙派尔医学院和巴黎大学医学院,献身于解剖学的研究,探讨人体结构的奥秘。

当时,统治西方医学 1000 多年的是古罗马著名医生盖伦(C. Galen)的学说。作为希腊医学的集大成者,盖伦在为后人留下丰富医学著作的同时,也一定程度上阻碍了科学的发展。因为长久以来,后人把盖伦奉为古代医学的权威,把他的著作奉为医学上的“圣经”,一直受他的某些错误论点的蒙蔽。那时欧洲的一些人宁信盖伦的理论,都不去解剖死人的尸体,查看人体的内部结构,认为解剖尸体是冒犯神明,大逆不道。

维萨留斯求学的这两个医学院,享有一种特权——学生被准许每年解剖一个死刑犯的尸体,这种特权并不是所有的大学都能享有的。维萨留斯当时在巴黎医学院四年,只参加过两次尸体解剖,少得可怜!在尸体解剖过程中,除了一些撕乱的腹部肌肉,并没有人指点给他看过一次骨骼、肌肉,更谈不上血管了。维萨留斯有着强烈的求知欲,他对这种脱离解剖学实践的教学非常不满,他觉得只有通过亲身实践,才能真正了解和打开人体构造的秘密,于是,维萨留斯冒着风险亲自去寻找尸体。

他曾经深夜去绞刑场背尸体。漆黑的夜,万籁俱寂。维萨留斯出现在法国罗文城的一个小巷里,他身披斗篷,手执匕首,忽隐忽现,行动异常的诡秘,这些情节都可以写进恐怖小说了。通过亲身的尸体解剖,维萨留斯发现,人的肝脏实际上分为两叶,盖伦所说人的肝脏分五叶,显然是错误的,他可能是从狗的肝脏五叶而推想出来人的肝脏有五个叶的!维萨留斯认为,这种主观推断是违反科学的……盖伦所断言的,成年人的心室隔膜有孔,血液自右心室直接流入左心室,但在实际的尸体解剖中,维萨留斯所发现的隔膜像心脏的其他部分一样厚密而结实,看不出即使是最微小的颗粒怎么能够从右心室通过它而转送到左心室来。通过亲自寻找和解剖尸体,发现权威的错误并向权威挑战,维萨留斯显示出了强烈的求知欲望和探索精神。这在当时是非常不容易的。

维萨留斯异常勤勉地从事解剖学的研究,他坚定地认为,应该以人体本身的解剖来阐明人体之构造。盖伦所解剖的尸体不是人的,而是动物的,特别是猴子的。这不是他的过失,因为他没有其他的机会。但是现在眼前有了人体器官可供观察却仍然坚持错误的那些人,是有罪

过的。难道为了纪念和尊重一位伟大的人物,必须以重复他的错误的方式来表现吗?决不可不进行自己亲身的实验和观察,只知道坐在讲坛上像鹦鹉一样重复讲着书本中的错误内容。与其那样,对演讲者而言,倒不如向屠夫学习更好一些……

1543年,维萨留斯28岁时,在巴塞尔发表了《人体之构造》一书,这是一本有史以来第一次科学地阐述人体解剖学基本知识的书。这本解剖学著作,不以盖伦和蒙迪诺的学说为依据,而是以他自己在亲身的解剖过程中所看见的能够展示出现象为根据,是基于他对人体的实际解剖的基础,而不是一种主观的断想,或者对别人观点的一种简单的重复。他在这方面有不少贡献,他对骨、脉、腹、脑各器官的研究尤为出色。这在科学史上是一种开创性的贡献,由于他在解剖学上的伟大成就,后人推崇他为近代人体解剖学的鼻祖和奠基人。

而正当维萨留斯继续对人体进行新的探索时,他的著作引起了人们的非难。教会咒骂他“渎神”,对他进行强烈的攻击和残酷的迫害。维萨留斯被逼前往耶路撒冷“朝圣”,以示“忏悔”。激愤之余,他在1544年抛弃了研究工作,去担任查理五世的御医。1564年,年仅50的维萨留斯,终因贫病交加逝世。

但由于维萨留斯等人的工作及其影响,16世纪结束以前,解剖学就已经摆脱了古代权威的束缚,这是生物科学中摆脱古代权威束缚最早的一门。

4.2 哈维对血液循环的实验研究

我们现在对于身体的作用和过程的想法,都是以这样一个基本的事实为基础的:身体内每一组织单位的生命都有赖于这个身体直接或间接地浸渍在血液中。动脉血带着氧到达那里,而静脉血又把活动所造成的物质带走。

前面提到过,统治西方医学1000多年的是古罗马著名医生盖伦(C. Galen)的学说。他认为动物体内的血液是不循环的,它在心脏和肝脏里不断地产生又转瞬消失。动脉血和静脉血是心脏所推动的一涨

一落的两股潮流。一个把“生命元气”(vital spirit)带到人体的各种组织中去;一个把“自然元气”(natural spirit)带到人体的各种组织中去。但是按盖伦的说法是不可能形成前面所说的那种见解的。因为他认为,每一组织都有两种不同的血液一涨一落,来往其间,一种在静脉中运行,另一种在动脉中运行,完成两个不同的目的。而盖伦这种关于静脉与动脉的用处的学说与盖伦关于心脏的作用的学说是分不开的……血液经过看不见的隔膜孔道由心脏的右边神秘地转移到左边……如果采取这个看法,我们立刻就可以发现,从学理上讲,关于人体心脏的机制的真正学说,仿佛是全部生理学的心脏。

阿拉贡(Aragon)的医生与神学家塞尔维特(Michael Servetus)发现了血通过肺循环,但这种循环的机制以及心脏在维持血流方面的功能,直到威廉·哈维(William Harvey)“专心于活体解剖”时,才向人们揭露出来。

威廉·哈维(W. Harvey)于1578年4月1日出生在英国南海岸肯特郡法克斯敦市。十多岁的时候,哈维体弱多病,曾多次接受当时欧洲各国民间医生传统的医术——放血疗法,不论什么病,都用手术刀来放些血,说是“放血能治百病”。这种治疗方法引起了哈维的思考:血管割破后,为什么血液会不停地流出来呢?血液在人体中是怎样流动的呢?1600年,哈维在著名的意大利帕多瓦大学医学院师从法布里修斯,老师对静脉瓣膜的研究深深影响了哈维,使他对血液循环问题的兴趣越发浓厚。

24岁时他回英国开业行医。弗兰西斯·培根曾是他的病人。他担任过詹姆斯一世的御医。当时有不少妇女被控告施行妖术,这位当时最富有现代科学精神的生理学家的职责竟然是负责对这些妇女进行医学检查。幸而,他检查出这些女人没有什么生理上的异状,因而这些妇女都被无罪释放了。哈维与查理一世也极亲密。国王把温索尔鹿苑和汉普顿宫的产品交给他,供他实验,并且同他一起观察过小鸡在卵中的发育,及小鸡的活的心脏的跳动。在这位英王第一次远征时,哈维也随军出征,在边山(Edge-hill)之战时,他是王子们的保护人。据说,当战争时,他还坐在树下读书。

哈维并没有一味地迷信当时的权威,通过研究,哈维发现人的心脏的收缩能力是很惊人的,心脏每收缩一次,就把相当数量的血液推送到动脉中去。他进行了这样的计算:根据盖伦的说法,如果按心脏每分钟跳动75次,每次排出60毫升血液计算,每分钟就可排出血液4500毫升,约折合为9市斤重。那么,从左心室流出的血液一小时就有540市斤,一昼夜就有12960市斤。很明显,人体在24小时之内不可能制造、吸收、消解这么多的血液。哈维指出,每一次心脏跳动所送出的血液数量与半小时内心脏跳动的次数相乘,就可以发现在这个时间内心脏所输送的血量,与全身所有的血一样多。于是哈维推断说,血液一定是设法从动脉流到静脉里,然后再回到心脏。来自心脏的血液必定又返回心脏,血液是在人体内循环的。

哈维得到这样一个重要的观念,不是靠思辨,也不是靠先验的推理,而是首次将定量的实验方法引入生物学研究中,使得正在黑暗中摸索的生理学迈出了关键性的一步。哈维所进行的每一步骤都是根据利用解剖方法对心脏所进行的观察,或者正如他自己所说的那样,根据“反复的活体解剖”而取得的。正像维萨留斯创立了解剖学一样,哈维也把生理学放到了观察与实验的正确道路上来,使现代内科与外科学成为可能。

哈维的工作和他的前辈及其同时代的人不同,那些人在解释身体的功能时都求助于什么天然元气、生命元气和血气。但哈维很少提到这些概念,他把循环问题看作是一种生理机制问题,并想办法来解决问题。

另外,哈维还注重验证实验方法,他解剖一只小白鼠观察血液是循环的,解剖一只青蛙观察到血液是循环的……他一连解剖了四十多种有血动物,坚信血液是循环的,这在社会上引起了很大的轰动。许多人对哈维进行攻击,他们坚定地认为,盖伦的说法怎么会错?持续了1000多年的观点怎么会出错。

面对各种攻击,哈维并不后退,他把实验室作为阵地,把解剖刀当作武器,来回击对他的非难。1616年一个秋天的夜晚,哈维邀请了许多人到他的实验室作客,他开门见山地向客人们说:“有哪位来宾愿意

做静脉管结扎实验？”一位青年人举手站出来表示愿意。哈维就让助手拿一条绷带扎紧他的左上臂，然后，让他左手握紧一节小木棒。不一会儿，绷带以下的静脉因为血液向心脏回流受阻，鼓胀了起来；而绷带以上的静脉却因为没有血液再进入，而瘪了下去。哈维说：“这证明了，静脉是运送血液回心脏的。”

接着哈维又用狗做动脉和静脉结扎实验。他的助手牵来一只狗，把狗缚在实验台上哈维用手术刀把狗的大动脉和大静脉分离出来，他先把狗的大动脉用线结扎起来，对大家说：“你们观察一下会出现什么现象！”稍等片刻，靠近心脏一端的动脉鼓胀了起来，而且越来越厉害。面对这一现象，哈维说：“这说明，血液自心脏流出后遇到了阻力，因压力增高而鼓胀起来。”

随后，哈维又用线把狗的大静脉结扎起来，对在场的人说：“你们看看还会出现什么现象？”这一次，不是靠近心脏的一端而是远离心脏的一端鼓胀了起来，并且越鼓越厉害。哈维问大家：“这是为什么呢？在场的人都很惊讶，没有人回答。哈维解释说：“这是因为静脉的血液要回到心脏去，遇到了阻力，由于压力增大而鼓胀起来。”

根据实验的结果，哈维对在场的人们说：“你们想想看，如果血液真像盖伦所认为的那样，不是循环的话，那么这种现象怎么解释呢？”哈维用事实揭露了盖伦的谬误，用科学驳倒了盖伦的臆测，从此，支持哈维的人越来越多。

哈维经过二十年的解剖、观察、实验，于1628年出版了著名的《心血运动论》一书，从解剖学和生理学的角度，对心脏进行了详细的描述。它是有史以来第一部比较系统、完整的关于血液循环的科学理论著作，对近代生理学的发展起了重大作用。这本书虽然篇幅不大，但包含了作者多年来对于人与活的动物观察的结果，产生了极大的影响。这本书出版后，盖伦的生理学立刻就显得过时了，恩格斯高度赞扬哈维的发现，他说：“哈维由于发现了血液循环，而把生理学确立为一门科学。”伟大的生理学家巴普洛夫对哈维的研究工作给予很高的评价，说哈维为动物生理学奠定了基础。

此外，哈维晚年仍然坚持科学研究和实验。哈维不仅是一位解剖

学家、现代生理学的奠基人,而且还是一位研究胚胎学的先驱。他用很多时间来观察鸡孵出的蛋是怎样变成雏鸡的,他每天都要打开一个被孵化的鸡蛋,记下二十四小时内发生的变化。通过对鸡蛋和其他动物的胚胎进行反复实验观察,他在胚胎学方面也有新的发现。1651年,他的第二部名著《动物发育的研究》出版了,这是自亚里士多德以后在胚胎学上贡献最大的一部著作。

1657年春天,哈维得了重病,他没有子女。去世之前,他用自己的积蓄建造了两座楼房赠送给了伦敦医学院;他还把自己的书籍、文物和医疗器械分别赠送给伦敦医学院图书馆和不列颠博物馆。临终前,他又向伦敦医学院奉送了全部遗产,用于奖励“发现并研究自然的奥秘”的人,鼓励他们继续深入研究,为人类做出新的贡献。

4.3 琴纳牛痘接种实验

1749年5月17日,爱德华·琴纳出生在英国乡村的一个牧师家庭,他从小就立志学医。13岁那年,琴纳到一个有名的外科医生刘德洛夫那里当学生,勤勉地工作、学习,一晃就是七年。

有一天,一位年轻的妇女来看病,琴纳的老师诊察以后,蛮有把握而又满怀同情地说她得了天花。在过去漫长的年代里,天花是会给人类生命和健康带来极大灾难的传染病,无药可治,那位妇女伤心地离开了。然而不久,那位妇女却恢复了健康。难道是老师诊断错误吗?琴纳百思不得其解,他找到了那位妇女,得知她是位挤奶工。通过调查,他发现在挤奶的人中间,竟然没有一个人死于天花或变成麻子,而那些不接触奶牛的地主、神甫和农民,差不多家家都有被天花夺去生命的人。通过仔细地观察和实验,琴纳终于弄清楚:几乎所有的奶牛都出过天花,但是天花在奶牛身上的发作却比较轻微,只是在牛的皮肤上出现一些小痘疤。当挤奶工接触了患天花的奶牛身上的脓浆以后就会染上牛痘,手指尖出现一个小脓包,全身稍感不舒服,但很快就会好,而后人体内也会产生抵抗天花的防护力量,从此摆脱天花的威胁。由此琴纳想到,能不能给人们接种牛痘,让人们获得抵抗力来预防天花的灾难

呢？他以顽强的精神研究牛痘二十多年，决心要把自己经过深思熟虑的想法付诸实践，一个进行判决性实验的时刻终于到来了。

1796年5月17日，正是琴纳47岁的生日。这天，琴纳的诊室里来了许多人，他们交头接耳，议论纷纷。这些人不是来祝贺琴纳生日的，也不是来就诊的，而是来观看琴纳具有判决性意义的实验。在诊室中间坐着一个八岁的男孩，名叫菲普士，他正津津有味地吃着糖果。琴纳在男孩的身旁走来走去，不时抚摸一下男孩的头发和脸庞。不多时，一个包着手的姑娘来到了，她就是挤奶女工尼姆斯。几天前，她接触了奶牛的痘疮，从奶牛身上感染了天花，手上生了一个小脓疮，琴纳等的就是她。

实验开始了，整个诊室的气氛显得格外紧张。只见琴纳用一把小刀在男孩手臂的皮肤上轻轻划了几道小口，然后从尼姆斯手上的痘疮里取出了一点点淡黄色的脓浆，小心地涂在男孩划了口的皮肤上，这就是人类历史上第一次接种牛痘的实验。

实验的操作如此简单，几分钟就完成了，但琴纳深知，实验的成败关系太大了，自己肩负的责任太重了。由于他进行了长期研究和周密思考，他对自己实验的成功充满信心。尽管如此，他的心情依然不能平静，他等待着事实的检验。他日夜照看着这个接种了牛痘的男孩，仔细观察孩子的身体变化。两天之后，这个孩子有些轻度发热，不想吃饭，涂了牛痘的皮肤上出了几颗痘疮，这些都是琴纳意料之中的。三天、五天过去了，孩子很快退了烧，痘疮结了痂。又过了几天，孩子完全恢复了健康，琴纳的实验获得了成功。

可是，琴纳的心情并没有放松，更严峻的考验还在后面。他必须进一步实验，来证明这个种了牛痘的孩子今后不会再得天花。怎样实验？那就是给这个孩子接种天花。琴纳知道，这是一件非常危险的事情，他不禁为孩子的健康、为自己实验的成败感到不安和担心。

两个月之后，琴纳迎接了这个更为严峻的考验，他从一个患严重天花的病人身上取来了一点痘疮的脓液，接种在菲普士身上。

人们都知道这意味着什么，如果种的牛痘不能预防天花，菲普士就将患上严重的天花，这是多么可怕的结果啊！朋友们都为琴纳这个大

胆实验提心吊胆。琴纳比任何人都关心这个孩子的健康,在那些日子里,琴纳真是度日如年,如坐针毡。两天过去了,一星期过去了,又一星期过去了,菲普士没有发烧,没有生痘疮,完全平安无恙。人类历史上第一次种牛痘预防天花的科学实验成功了!

但是,琴纳并没有因此而急于发表自己的研究成果,1798年,他再次重复自己的实验,获得了同样的成功。这时,他才发表了题为《接种牛痘的原因和效果的调查》的研究报告,从而向全世界宣告,人类找到了战胜天花的法宝,天花这个“死神的忠实帮凶”是可以征服的!

在琴纳的积极倡导推行下,天花所引起的死亡在18个月内就下降了三分之二。事实证明:天花这种烈性传染病,可以用安全而可靠的接种牛痘的方法来预防。那时,人们还不知引起天花的“病毒”是怎么回事,但由于琴纳的科学实验,这种可怕的瘟神却已开始被人们控制、征服了。后来,几乎全世界所有的人都在婴儿时期都接种牛痘。今天,天花在全世界消灭了,琴纳梦寐以求的消灭天花的理想,已经变成了现实。琴纳和他的开创性贡献却永远为人类造福。

4.4 塞麦尔维斯的产科消毒实验

今天,当走近产科医院时,我们看到的是明亮的产房,阳光充足的婴儿室和产妇的笑容。可是,一百多年前的产房,却往往是产妇和婴儿临终的场所。一些产妇常常会得一种叫产褥热的病而不得不在分娩前向自己的亲友做最后的告别。而这一状况的改善要归功于一位叫塞麦尔维斯的产科医生。

1818年,塞麦尔维斯(Ignaz Semmelweis)出生在匈牙利的一个普通家庭里。他从小勤奋好学,从医学院毕业后受聘到奥地利维也纳医院当了产科医生。

19世纪40年代,维也纳总医院产科病房的分娩产妇中间流行一种被称为产褥热的致命疾病。而在该医院的第一产科和第二产科之间,产妇因患这种疾病而死亡的比例相差很大。1844、1845、1846三年中,第一产科患这种病而死亡的比率分别为8.2%、6.8%和11.4%,而

这三年中第二产科的死亡率则分别是 2.3%、2.0%和 2.7%。

1847 年秋天的一个夜晚, 产科病房里, 一位产妇痛苦地呻吟着。她在 7 天前生下一个可爱的小宝宝, 可现在, 她却浑身滚烫, 发高烧, 下腹部疼痛难忍, 神志不清。不久, 她就丢下自己的丈夫和孩子, 离开了人间。刚生下的孩子也很快夭折, 她的丈夫悲痛欲绝。

看到这种悲惨的景象, 塞麦尔维斯感到非常难过, 每年都有数百名像这个年轻母亲一样的产妇, 在生下孩子不久, 染上了这种可怕的热症——产褥热疾病, 悲惨地死去。“这是我们产科医生的失职啊!”他反复思索造成产妇和婴儿死亡的原因, 以及预防的办法。

为了解释两个产科死亡率的差别, 人们提出了类似中国古代“天人感应”的说法。认为是一种“大气—宇宙—土地的变化”, 是“疫气的影响”的结果。但是, 为什么这种影响对第一产科要强于第二产科, 这种影响对维也纳其他医院不起作用呢?“疫气的影响”理论对此无法解释, 因为这个理论没有说明宇宙与产褥热的相关性, 而且由它也无法推出可检验的命题来。塞麦尔维斯除了排除“疫气的影响”这个不相关的假说之外, 实际上还排除或者说否证了其他一系列解释第一产科的产妇患产褥热而死的比例高于第二产科的假说。诸如认为, 有些进第一产科的产妇离医院较远, 在路上就分娩了, 因此引起高的死亡率; 有的认为, 是由于第一产科比第二产科拥挤, 同时其饮食和接受的照顾不如第二产科; 也有人认为, 原因在于第一产科的实习医生的粗暴检查。还有人认为是心理原因, 因为到第二产科临终产妇作对圣礼的教士要摇着铃通过第一产科, 增加了第一产科衰弱产妇的恐惧; 还有的认为是分娩姿势引起的, 第一产科的产妇仰卧分娩, 而第二产科的则是侧卧分娩。

在一一否证了这些假说之后, 时隔不久, 一次偶然的机, 第一产科的一位男医生患了一种与产褥热的病症相同的病, 热、寒症互相交替, 体温达到摄氏 40 度以上, 不过几天就由昏迷而死亡。塞麦尔维斯注意到, 这位医生患病前, 其手指被一位实习生在解剖尸体时不小心用手术刀刺伤过。而第一产科的医生和实习生在做了尸体解剖后一般只是简单洗一下手就到病房检查产妇。这件事引起了塞麦尔维斯的推

测,难道这位医生受到了产褥热病人某种“东西”传染了吗?难道某种“东西”通过医生的手,侵入产妇产道上的伤口,而使产妇生病的吗?塞麦尔维斯决心解开这个谜,通过一次又一次的取证,塞麦尔维斯更坚信了他的这种想法,只不过这种假说,必须像前面的假说一样,接受新的严格的检验。要知道,当时还没有发现细菌,塞麦尔维斯有这样的设想,是非常难能可贵的。

经过反复的思索,塞麦尔维斯决心进行一次实验,来证实他的设想。他要求医生在给产妇接生前要用新发现的消毒杀菌药物——漂白粉洗手,以防治通过医生的手传播这种致命的而又对它一无所知的“东西”。年轻的产妇丽莎是第一位用这种新方法接生的人,结果并未使人满意,她仍然得了产褥热,但病情较轻。

原因在哪里?善于观察的塞麦尔维斯很快发现:单单用很稀薄的漂白粉消毒对医生的手还远远不够,还必须把产房、产科用的医疗器械、绷带都用漂白粉进行消毒。他坚持认为,医生进入产房之前一定要用漂白粉洗手,检查病人之前再洗手。他还相应地加大了漂白粉水的浓度,漂白粉含量从原来的百分之零点一提高到百分之零点五。这样一来,果然收到了意想不到的效果,医院产妇的病死率由百分之十二下降到百分之一点五。这是多么令人兴奋的发现啊!

1855年,塞麦尔维斯编著的《产褥热的病因、实质和预防》一书出版,但却遭到欧美医学界权威的激烈攻击。他们说塞麦尔维斯的见解不科学、不可信,因此不准推广。但塞麦尔维斯坚信总有一天会被科学完全证实,产科消毒法一定会得到全面推广。

科学在发展,历史在前进。十年过去了,1865年,法国微生物学家巴斯德在研究蚕病时,证实了细菌和蚕病的关系。他并由此推想,人类的传染病也是细菌作祟的结果。不久,巴斯德在巴黎医学院举行的一次报告会上,热情赞扬塞麦尔维斯对于产褥热的见解,肯定了产褥热是由细菌感染而引起的。这无疑是对塞麦尔维斯设想的最大支持。后来人们终于弄清了产褥热的病因:原来细菌进入血液以后,大量繁殖,产生毒素,毒素引起病人全身中毒和组织器官的变性坏死,最后使病人死亡。未经消毒的助产医生的手和产科医疗器械上沾满的正是这些致病

菌。这个在今天人们都确信的真理,在塞麦尔维斯生活的那个时代,却受到旧势力的诽谤和攻击。不幸的是,塞麦尔维斯没有来得及看到产褥热致病原因的科学证明,就于 1865 年,即巴斯德发现蚕病细菌的那一年,因病与世长辞了,年仅 47 岁。

一百多年过去了,随着医学科学的发展,人们对于进行医疗和预防时,因忽略遵守必要的规章制度而造成的某些疾病的传播问题,已有了更多的了解,并给这种传播疾病的途径起了一个专门的名字,叫“医源性传播”,现在为了防止医源性传播,各类医院都建立了预防院内感染的一整套规章制度,制定了有效措施。通过医源性传播而传染的疾病已经为数极少了。

5. 生物学中的实验

机遇只垂青那些懂得怎样追求她的人。

——尼科尔

直至 19 世纪末,生物学主要还是一门观察的科学;生物学家通过用文件记录和描述的方法试着抓住自然的奥秘。20 世纪早期,生物学转变为实验科学。这一转变很大程度是同孟德尔的工作有关的。

5.1 孟德尔和豌豆杂交实验

奥地利布隆修道院的神甫孟德尔(Mendel),在同豌豆打交道中首次发现了“基因”,并提出了遗传规律——孟德尔定律,这在当代遗传学的历史上画上了浓墨重彩的一笔,孟德尔也因此被称为“当代遗传学之父”。

孟德尔的豌豆实验是从 1855 年开始的。他选择了 7 对不同品种的豌豆种子(种子圆形与皱形、叶黄色与绿色、花红色与白色、成熟荚形分节与不分节、豆荚黄色与绿色、花位置顶生与腋生、蔓茎高与矮),在豌豆开花时进行品种之间授粉杂交。当作为母本的花粉尚未成熟时,他用镊子小心地把雄蕊去掉,并在花外面套上纸袋,防止外来花粉落入。等雌蕊成熟时,又将作为父本的雄蕊花粉收集起来进行人工授粉,用画笔轻轻一刷,就传授了雄蕊花粉,让雌蕊受精。孟德尔就这样,一天又一天,一次又一次地辛



图 5-1 遗传学家孟德

勤劳动。经过反复实验与精密的统计分析,他终于在 7 对豌豆子孙后代的 2.8 万多棵植物中找到了遗传和变异的秘密。孟德尔认为,每一种性状都含有一种遗传因子,生物的遗传性状都是由遗传因子决定的。并提出遗传学的两个基本定律:分离定律和自由组合定律(图 5-2,5-3)。

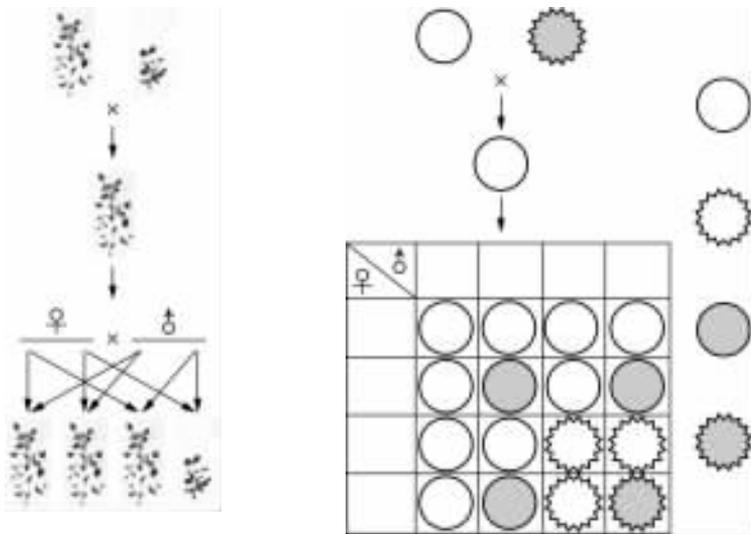


图 5-2

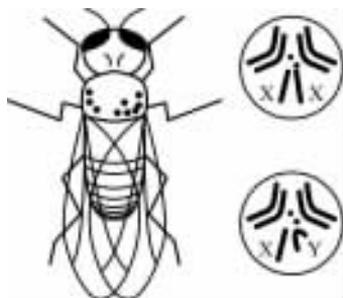


图 5-3 果蝇和它的染色体

他把那些杂交后在子一代中所显现的性状,如高茎、红花、黄叶叫显性性状,这种显性性状是由显性遗传因子和显性遗传因子相结合或

者显性遗传因子和隐性遗传因子相结合产生的；而把那些在子一代中不出现，在子二代才出现的性状，如矮茎、白花、绿叶叫隐性性状，这种隐性性状是由隐性遗传因子和隐性遗传因子相结合产生的。隐性性状在子一代杂合体中虽然不表现出来，但是并没有消失，因为在子二代中又会重新出现，孟德尔把这种现象称为性状分离。同时他认为，每个个体的性细胞中都携带有来自父母的一对因子，它决定子代的性状。子一代杂种个体的显性和隐性因子在产生性细胞时能自由分离，以后又通过受精重新组合，使产生的子二代性状出现 3 : 1 的关系。

孟德尔于 1865 年在奥地利的布尔诺自然科学研究会上就其研究成果作了演讲，并将论文发表在《布尔诺自然科学会杂志》上。虽然这个实验当时并没有引起足够的重视，但是后来却光芒四射。孟德尔也因这个在生物领域具有里程碑性质的科学实验被载入史册。

孟德尔实验取得成功的一个重要原因是他选择了非常理想的实验材料——豌豆。豌豆是自花授粉的植物，其雌蕊被花瓣包围，外来花粉不易混杂进来，这样可保证得到纯种或自交后代。豌豆易于栽培，生长期短，从而保证杂交实验能顺利进行。更重要的是，孟德尔选中的性状都是一些差异显著，易于识别的性状，比如高茎和矮茎，两者的茎高几乎相差一倍，这样，在进行统计时两者绝不会混淆。大多数植物的茎高是由多基因决定的，与环境因素也有很大关系，是一种数量性状。只有豌豆有单基因决定的茎高性状，即使由于环境因素的影响，高茎中出现较矮的植株或矮茎中出现较高的植株，但由于两者相差悬殊，高茎和矮茎绝不会向中间靠拢的现象。再者，孟德尔观察 7 对性状，是由 7 对遗传因子所决定的，而这 7 对遗传因子正好位于 7 对不同的染色体上，没有连锁关系。所以，从这 7 对中无论挑出哪两对进行杂交实验、遗传分析，都能得出自由组合定律。这就使提出问题和解决问题都变得简单了。实际上，孟德尔在豌豆实验之前也曾用过不同毛色的老鼠进行杂交，其结果都不理想。豌豆实验后，孟德尔又用山柳菊进行了五年的杂交实验，但结果大失所望。后来人们才知道，山柳菊植物具有无融合生殖的特性，简单地说不经授粉受精也能产生种子，这种植物是不能用做杂交实验材料的。孟德尔因此在这上面白白浪费了五年时间。

所以说,实验材料的正确选择对实验的顺利进行和推动起着非常重要的作用,难怪孟德尔也这样感叹:“任何实验的价值和用途,取决于材料之是否适宜于它所用作的目的。”

的确,一次正确的选择,极有可能对一个人、一件事产生决定性的影响。一个人如果选择了正确的道路和发展方向,他就可能取得很大的成功;一个团体或组织如果选择了正确的运作方式和精神支柱,它就可能成为一个富有前途的团体或组织;同样,一个实验如果选择了正确的方法或实验材料,它可能就会使实验顺利进行,甚至取得突破性的进展。

孟德尔正确地选择了豌豆,从而成为“遗传学之父”;同样,摩尔根选择了果蝇,也成就了他的成功。

5.2 摩尔根和果蝇实验

著名遗传学家摩尔根(T. H. Morgan)1866年出生在美国肯塔基州一个富有传奇色彩、极具声望的大家族。摩尔根曾自豪地指出,他的胚胎孕育于1865年,那正好是孟德尔著名的遗传学论文发表的年份。他从小爱好收集标本,包括鸟、鸟卵、蝴蝶、化石等。他担任过布林马尔学院的生物学教师、斯坦福大学的客座教授。1908年他在哥伦比亚大学生物系开始进行的果蝇实验,揭示了基因连锁和交换定律,首先证明了基因存在于染色体上。因此获得1933年度的诺贝尔医学和生理学奖。

他的“果蝇遗传实验室”设备非常简单,只有一些旧桌子和几千只培养果蝇的瓶子。摩尔根让白眼雄蝇和红眼雌蝇交配,结果产生的子一代全部是红眼蝇。他又让子一代果蝇自交产生子二代,子二代中出现红眼果蝇和白眼果蝇的数目比为3:1,这符合孟德尔分离定律。但是他发现,子二代白眼果蝇全部为雄蝇。这个现象用孟德尔分离定律和自由组合定律根本无法解释。他抓住这个线索,废寝忘食地进行反复实验,发现控制眼睛颜色的基因遗传方式跟X染色体(性染色体)一样,即白眼基因和决定性别的基因“连锁”在一个染色体上。由于雄蝇

Y 染色体上没有显性的红眼基因,所以在子二代的雄蝇中,那些具有白眼基因的 X 染色体与 Y 染色体组合,隐性的白眼基因就能得到表现。摩尔根把这种遗传方式称为“伴性遗传”,也称为基因的“连锁”。摩尔根的果蝇实验有力地证明了染色体是基因的载体。

摩尔根在长期的实验中还发现,基因本来是连锁的,但有时由于同源染色体的断离与结合而产生了基因的互相交换,但这种情况很少,只占 1%。这就是基因的连锁和交换定律,是摩尔根发现的遗传第三定律。摩尔根在他著名的《基因论》一书中写道:“我们仍然很难放弃这个可爱的假设,就是基因之所以稳定,是因为它代表着一个有机的化学实体。”这一预见性的假设引导着后来的科学家进一步探索基因的化学本质。

摩尔根为什么选择果蝇作为实验对象呢?因为果蝇个头小,长度不过 2 毫米,从卵到幼虫、幼虫到蛹、蛹到成虫,成虫再产卵,10 多天便可以繁殖一代。小家伙吃得少,繁殖快,比一年一季的豌豆杂交实验的效率要高得多。更重要的是它的细胞中染色体特别大,只有 4 对,很容易看得见(图 5-3),而且果蝇所表现的各种不同的特征很容易分辨,如红眼、白眼;灰身、黑身;长翅、残翅;还有大红眼、粉红眼、棒眼、圆眼、白体、黄体、粗翅、细翅等十几种野生型和几百种突变型。所以,果蝇成了摩尔根遗传学实验的好材料。

摩尔根在用果蝇做实验之前,曾利用小鼠、大鼠等许多动物做过实验材料,但都觉得不理想。直到他的搭档佩恩(Payne)用香蕉引来黑腹果蝇,在暗室里饲养传代,观察会不会因为黑暗不需要眼睛而产生没有眼睛的后代。虽然没取得什么成果,可是这个实验使摩尔根发现果蝇是极好的实验材料,它体形小,饲养容易,在 25℃ 时养育 10 天即可繁殖后代,每只雌体能产生几百只后代;事实上,后来还发现果蝇作为实验材料还有许多当时摩尔根没有意识到的其他优点,使果蝇在实验生物学中的重要作用迄今不衰。

摩尔根也因为选择了果蝇作为实验材料而获得了巨大成就,成为染色体遗传学的创始人。

5.3 比德尔、泰特姆和“一个基因一个酶”

1941年,比德尔(Beadle)、泰特姆(Tatum)在《美国科学院院报》上发表的著名论文《红色面包霉中生化反应的遗传控制》,标志着生化遗传学的兴起,并为分子遗传学的诞生创造了条件。

比德尔1937年在美国斯坦福大学结识了微生物学家泰特姆。泰特姆有很好的生物化学基础,比德尔原想同他合作从化学上鉴定果蝇复眼的色素物质,泰特姆却说服了比德尔在他们的合作研究中改用红色面包霉(脉孢菌, *Neurospora crassa*)做实验材料。红色面包霉是一种真菌,属于囊菌纲,现在一般中文著作中将其译名定为脉孢菌,其实红色面包霉这一原译名既通俗又准确。1927年纽约市植物园的道奇报告了对红色面包霉的遗传研究,并认为它与果蝇相比较,在作为遗传学研究的实验材料而言更有其独特的优点,因而向当时还在纽约市哥伦比亚大学的摩尔根教授介绍。摩尔根把这种真菌带到加州理工学院交给他的研究生林德格伦进行研究。到1936年时,林德格伦对红色面包霉的遗传学研究已相当深入,并已绘制出若干基因的连锁图。比德尔和泰特姆认定红色面包霉是理想的实验材料,其理由是:①生活世代短;②便于在实验室培养;③遗传学研究已相当深入;④易于人工诱发突变;⑤以单倍体世代为主,因而突变基因都能得以表达,不像二倍体生物那样,隐性突变基因将受其野生型等位基因的掩盖而不表达;⑥应用完全培养基和基本培养基,突变基很容易辨认和分离。

比德尔和泰特姆的实验设计简单而巧妙。他们用X射线照射红色面包霉孢子以增加突变率。然后将处理过的孢子放到接合型的原子囊果上进行杂交,从每一个成熟的子囊里取一个子囊孢子接种到完全培养基上使它生长,再将每一株红色面包霉接种到基本培养基。所谓基本培养基,就是需要红色面包霉进行所有基本合成反应的培养基;野生型红色面包霉当然能在基本培养基上生长。如果某一株系能在完全培养基上生长而不能在基本培养基上生长,则可以认定是某种营养缺陷型突变。如果在基本培养基中添加了某种营养物质后它又能生长

了,则可推断出它是哪一种营养缺陷型突变株。

比德尔和泰特姆在进行了许多不同类型的营养缺陷型突变株的筛选、鉴定和杂交试验后发现,每一种营养缺陷都在杂交试验中呈现孟德尔式分离。这说明,营养缺陷是和基因突变直接相关的,并且,每一种突变只阻断某一生化反应。人们早已熟知每一种生化反应都特异性地依赖于一种酶的催化。由此,比德尔和泰特姆得出:基因的作用乃是控制一种特定酶的产生;基因突变将引起酶的改变,从而阻断该酶所催化的生化反应从而影响性状。这就是著名的“一个基因一个酶”。

比德尔和泰特姆在他们的合作研究中成功地改用红色面包霉做实验材料,从而创造了世界上最成功的实验之一。他们的工作成为遗传学史上一个重要的转折点,他们本身也当之无愧地于1958年成为遗传学史上第三次诺贝尔奖得主。

5.4 米勒的放电实验

每一位读过中学生物教材的人,大概都会对米勒的放电实验留下一些印象:他在实验室中模拟原始地球的大气成分和电闪雷鸣的自然环境,将甲烷、氨气、氢气、水蒸气等泵入密闭容器,进行连续一个星期的火花放电,得到了组成生命不可缺少的蛋白质原料——氨基酸。米勒实验表明,在原始地球的条件下,大气中的无机小分子完全可能生成有机小分子物质。

即使以今天的眼光看,米勒的成就仍然是一个传奇。1953年,当米勒在美国芝加哥大学完成他那著名的放电实验时,年仅23岁。

50年代的芝加哥大学不仅汇集了原子弹研制的关键人物费米、氢弹之父泰勒等大师,而且也包括1934年诺贝尔化学奖得主尤里(Harold Urey)。1951年,尤里在一次讲演中,公开提出了在具有高度还原性的地球大气中出现生命的可能性,并且建议感兴趣的人去开展实验。实际上,前苏联科学家奥巴林等人早在1920年代就指出,还原性大气中可能生成有机物,并且提出最早产生于地球上的“原始汤”(primordial soup)。但奥巴林的影响基本局限于生物学界,化学家尤里在那次

讲座之后经人介绍才去拜读奥林。

年轻的米勒是那次演讲的听众之一。1952年秋天,已经是芝加哥大学化学系研究生的米勒找到尤里,说他想利用还原性混合气体来进行前生物合成(生命出现之前的合成过程)的实验。尤里最初不同意。他知道这样的实验风险很大,如果迟迟得不到结果,米勒就无法拿到博士学位。但米勒非常执著,最终尤里还是答应了,但提出的条件是如果一年内没有成功迹象就放弃实验计划。

不过,米勒简直太幸运了。他只花了两个星期,就得到了令他终身享有盛名的实验结果。

随后,尤里和米勒决定向美国著名的《科学》(Science)杂志投稿。据说尤里谢绝了米勒在研究论文上共同署名的提议,因为他担心自己的名气会遮挡住米勒的光芒,这样别人会将研究功劳主要算在他的头上。

尤里知道,一个研究生很难有机会在《科学》这种著名学术杂志上发表论文。于是,他与《科学》编辑部联系,解释米勒工作的重要性,希望尽快发表论文。尤里还在各种学术演讲中提及米勒的工作,不停地“推销”米勒。

米勒的论文在1953年2月初提交给了《科学》。但几个星期过后,杳无音讯。当年3月8日,《纽约时报》一篇短文报道说,俄亥俄州立大学科学家进行模拟原始地球大气的放电实验,得到了“十分复杂、难以分析的树脂状物质”。米勒看到这则新闻后,在给尤里的一张便条中说,俄亥俄科学家的工作大体上就是他那篇论文的研究内容,《科学》那边却迟迟不发表他的论文。通常,基础科学研究领域只认第一,不认第二,第一就是一种创造性的工作,第二就是一种重复性的工作,荣誉只是归功于首先发表研究论文的人。

于是,尤里和米勒决定从《科学》撤回论文,改投美国化学学会的杂志。这下美国科学促进会(《科学》的出版者)编委会主任又着急了,赶紧表示愿意马上刊发,而且是作为主打论文。米勒同意了。当年5月15日,米勒的那篇论文终于出现在《科学》上。

据后来的相关回忆,当年《科学》杂志的一个论文评审人根本不相

信他的实验结果,从而延误了论文的发表。本来,科学论文的评审一般是匿名的,米勒并不知情,但后来那位评审人主动站了出来,并且向米勒道歉。不过,由于这项实验很容易重复,科学界没多久就接受了。

米勒的这篇划时代的论文是破解生命起源之谜道路上的一座里程碑,它将生命起源研究搬进实验室,开辟了生物起源研究的新途径。在随后 50 多年中,科学家们利用类似米勒实验的条件,合成出了许多被认为与生命起源有关的有机物质。在米勒的启发下,科学家们不断把目光投向更遥远的星球——火星、土卫六或者彗星,试图从它们的“原始汤”中寻找新的答案。这些实验都是米勒放电实验的延伸。尽管米勒并没有因此而获得诺贝尔奖,但他的贡献完全是诺贝尔奖级的。

不过,科学界对米勒的工作曾经充斥着怀疑,就连鼎鼎大名的奥巴林也一度不相信米勒得到了氨基酸。实际上,米勒的实验是支持“原始汤”理论的,但或许是因为米勒的实验出奇的顺利,结果出奇地漂亮,让奥巴林一时难以置信。许多科学家对米勒的实验提出了质疑和挑战。一些科学家认为,实验中所加入的各反应气体的浓度,远远高于早期地球中的实际大气成分浓度,换言之,米勒演绎的那段早期地球的故事是不可能发生的。但新近《科学》杂志上发表的一篇文章说,早期地球大气层氢气的浓度很高,其逃逸速度远远低于先前的估计。如果早期地球大气中富含氢气的话,类似米勒实验的过程则会更容易发生。

通过前面对生物学上最著名实验的一些介绍,我们可以看出,实验材料的选取往往是决定研究工作成功与否的关键,它在遗传学发展史中表现得尤为突出,不仅摩尔根在选用果蝇前后的局面生动地表明了这一点,而且,孟德尔选用豌豆,以及后来分子遗传学家们选用真菌、细菌(特别是大肠杆菌)和噬菌体,甚至后来还要提到的麦克林托克选择的玉米等都证明了这一点。可以说,遗传学发展史中,每一次合适实验材料的选取都导致了一次学科发展的飞跃。实际上,又何止在世界遗传史上,在整个科学发展史上,甚至在整个人类历史上,都有无数的事例可以证明这一点——正确的选择有助于成功!

6. 心理学中的实验

心理学有一个长期的过去,但仅有一个短期的历史。

——艾宾浩斯

如果要为现代心理学追溯科学之源的话,心理学实验无疑是心理学研究科学性的最充分的来源,著名心理学史家波林(E. G. Boring, 1886~1968)曾一语道破天机:一部心理学史,便是一部实验心理学史。可以毫不夸张地说,现代心理学的每一次重大发现,都离不开心理学实验研究方法的突破,心理学家的每一个科学论断,也都离不开心理学实验研究成果的支撑。

所谓心理学的实验研究即“实验的心理学”或“实验心理学”,是以实验的方法研究心理现象和行为规律的科学。它在整个心理学发展历史上,具有十分重要的地位。1879年第一个心理实验室的建立,标志着科学心理学的诞生,以后随着实验心理学的发展,科学心理学也随之发展。虽然实验心理学的建立到现在只有一百多年的历史,但它所促成的心理科学的发展,却超过了以往许多世纪。

6.1 实验心理学产生的背景

实验心理学的产生是一个渐进的过程。19世纪进化论的提出,促使生理学的水平不断提高。德国在生物科学领域已处于领先地位,出现了一批研究实验心理的人物,如米勒、费希纳、赫尔姆霍茨、韦伯等,虽然他们不是以心理学家的身份来进行研究的,但是他们的研究成果为后来的实验心理学奠定了基础。

18~19世纪,自然科学得到了突飞猛进的发展。能量守恒与转化定律、细胞学说、进化论的提出,成为19世纪自然科学的三大发现。以

三大发现为代表的科学发现,最终使牛顿经典力学体系不可抗拒地确立起来。当时有人声称“科学已发展到了顶端”、“任何研究只能是对牛顿体系的补充”等等,直至19世纪末,伦琴射线、电子、天然放射性元素的发现才打破了经典力学体系。

19世纪自然科学体系牢固的确立,一方面对心理学自身研究产生辐射式的难以抗拒的影响,另一方面又直接作用于哲学,科学观念上升为一种具有普适性的理念。这样就产生了一批实证主义者,如孔德、马赫等。孔德认为科学的任务在于描述一切可能观察到的事实,然后根据这些事实发生的频率抽象演绎出因果关系的规律,达到控制和预测自然的目的;马赫认为直接经验的观察和研究给科学提供科学的根本资料——感觉,他的实证主义就有现象学的特点。尽管冯特在哲学观上极力否证实证主义的观点,但是就像在呼吸时否认空气的存在一样——他使用了他否认的东西。冯特也是在浑然不觉中实践着实证主义的信条,创建心理学实验室,开办名为《哲学研究》,实为心理研究内容的刊物。

实验心理学的诞生标志着心理学超越了思辨的哲学而成为一门科学。关于人类心理的论述和研究,可以追溯到古希腊的哲学著作,其中有的论述已颇具体系。但是无论他们论述得如何精细、如何严密,他们所采用的方法都是内省思辨的方法。其结果就如同两小儿辨日一样,彼此谁也说服不了哪一方。而当时的心理学思想是孕育在哲学思想中的,不妨称之为“安乐椅中的心理学”,意指当时心理学思想是哲学家们坐在安乐椅里苦思冥想产生出来的,这种状态一直持续到19世纪中叶。

德国古典哲学的创始人康德曾断言,心理学不可能成为科学。这固然是他的不可知论的一个观点,但是他的论断却不是毫无根据的。因为心理或者说意识看不见摸不着,又具有极大的个体差异性、群体差异性,还具有多种维度、层次。比如身心问题,自古以来,就有身心平行论、身心交感论之说,学说之间相互辩论,纵使胜负有定,但是谁也没有想到过通过做实验的方法来证明自己的观点。

赫尔巴特不仅是宣称心理学是一门独立科学的第一人,而且他还

写出了心理学著作《心理学教科书》。但是他并没有使用实验方法作为研究心理学的方法,他本人也认为心理学不需要实验方法;德国生物学家郝勒曾提出用实验方法研究生理学,后来韦伯、费希纳等人运用实验方法,进行了一些研究生理—心理的实验。费希纳虽然提出了心理物理学,但是却无意去建立一门新型的心理科学。因此他们都未能使心理学科学化。

冯特创立实验心理学的时代,正是牛顿体系的鼎盛时期。牛顿体系使那个时代的人们相信,世界上的任何事物都可以分解为简单的元素。在冯特看来,必须对心理进行分析,心理最终被分析到不可再分的心理元素,然后加以综合达到认识心理的目的。正如细胞分析需要显微镜一样,为了实现对心理元素的分析,冯特于1862年提出“实验心理学”的概念。1864年,他开设“自然科学的心理学”讲座,1867年改名为“生理心理学”讲座;直至1879年,冯特在莱比锡大学创建世界上第一个心理学实验室。尽管当时实验心理学羽翼未丰,用冯特本人的话来说就是实验心理学“作为开拓一个新的科学领域……仅仅是一个开始”,却使心理学走向科学之路,标志着科学实验心理学的诞生。冯特的心理实验室,运用当时所能达到的技术,使用与生理学等自然科学相同的实验方法,对人类心理进行了较为精细的系统分析。在此之前,尽管费希纳于1860年出版了《心理物理学纲要》,但冯特是有目的地创设一门新的心理学的第一人,因此心理学史上把冯特作为科学心理学的真正创始人。

科学之所以与哲学有区别,一个重要的特性是它具有严密的实证性。一门科学之所以为人们所承认,是因为它在人们面前可以被证明是正确的。为了证明一个学说的正确性,必须进行比较系统精确的实验。心理学若要从“安乐椅”式的哲学逻辑思辨中挣脱出来,则必须具有实证性的科学特性。著名的实验心理史学家 E. G. 波林写道:“把实验法应用于心理问题是心理研究史上无可比拟的伟大的杰出事件。”在冯特之前,那些从事生理学研究的人开始尝试实验的方法,如米勒、韦伯、费希纳等,他们的研究成果为冯特所继承。1874年冯特在苏黎世大学任哲学教授时,开始转向心理学和哲学的研究。1875年冯特又到

莱比锡大学任教,从事心理学方面的研究。自从冯特创建第一个心理实验室以来,“科学的”和“实验的”这两个词便成为“心理学”的核心含义。因此,从这个角度讲,冯特的实验心理学的创立的巨大意义之一是将心理学变成一门实证科学。

表面上看起来是命运之神垂青于冯特,使他成为心理科学的创始人,因为赫尔巴特首先提出了心理学是一门独立的科学,郝勒提出用实验方法研究生命过程,费希纳提出了心理物理学,而冯特只是建立了一个心理实验室。但并非是冯特运气好,而是只有冯特满足了作为科学心理学创始人的必要条件——实证的研究方法、明确的创造动机以及研究活动,而这几个条件恰恰是赫尔巴特等人所同时不具备的。

现在所言的方法论具有三个层次:哲学方法论,一般科学方法论,具体研究方法论。而在冯特所处的时代,方法论的三个层次还没有分化出来,往往三个层次混杂在一起,但是已经具备了现代方法论的雏形。

冯特受经验主义哲学思想的影响,否认旧的哲学心理学的“灵魂”概念,认为心理学是研究直接经验的科学;另一方面,他又受当时元素主义的影响,认为人的心理可以分解为最基本的元素,因此他认为可以通过分析这些基本的元素来认识人的心理的。值得我们再次一提的是,尽管他否认实证主义思想,但是却不可避免地受到了一些影响。在他的研究活动中贯穿着实证主义的思想。因此,经验主义、元素主义、实证主义构成了冯特实验心理学的哲学方法论。

1875年,冯特任莱比锡哲学教授,冯特因此乃正式由生理学进入心理学所隶属的领域。在德国大学中,心理学实验室附属于哲学讲席,甚至直至现在依然如此。实验的研究不久便问世了。冯特来到莱比锡,便有了给他的理论提供实验证明的场所。1879年,在进入莱比锡的四年之后,冯特创立了世界上第一个心理学实验室,这几乎是每一个心理学家都知道的事。然而,我们也知道,凡是第一的在实际上未必就是真的第一,总不免有先例在前。1875年,詹姆士在哈佛大学,也曾另辟一室以为心理实验之用,斯顿夫更于1875年以前设一听觉“实验室”置音叉于雪茄烟盒内。然而这些实验室不是“创立”起来的,只是有过

这么一个罢了。而且德文心理学实验室叫做“心理学院”(Psychologisches Institut), 实验室只是工作的场所, 至于学院则为公认的行政单位。第一个莱比锡的心理学院开始时仅有几间屋子, 不久即增为十一间, 在一个现在已经破坏了的老房子里面。1897 年便舍此而另辟较完善的房所, 但就是在这个第一所房子里, 实验心理学取得了独立的合法存在。这里比任何其他地方, 培养出更多的实验心理学史中的重要人物, 不仅有德国人如克勒佩林, 勒曼, 屈尔佩, 墨依曼, 还有美国第一代的实验家如荷尔, 卡特尔, 斯克里普彻, 弗兰克·安吉尔, 铁钦纳, 华伦, 斯特拉顿, 贾德等。

冯特从 1885 至 1909 年共有十五名助理, 名单如下: J·McK·卡特尔、L·朗格、O·屈尔佩、A·基曼、E·墨伊曼、F·基苏、P·门茨、E·莫希、R·缪勒、W·默比乌斯、W·沃思、E·杜尔、F·克鲁格、O·克列姆和 P·塞洛。这个名单包括至少 10 位实验心理学史上的著名人物。

新实验室富有成绩, 乃不得不有刊物。1887 年, 冯特发刊《哲学研究》(the Philosophische Studien), 为实验室及新实验心理学的机关报。第一种心理学杂志应为培因在 1876 后创刊的《心灵》杂志, 然而新心理学不即盛行于英格兰, 而且这个杂志也从来不曾为它所专有。因此, 《哲学研究》可算是实验心理学的第一种杂志, 而冯特的实验室的研究成果, 就是它的稿件的主要来源。这个杂志的名称, 现在看来有点奇怪, 但我们要知道, 从某种程度上说, 哲学就是心理学的母体, 冯特本来也就是一名哲学教授, 他的一生有十年是哲学期, 他也是应莱比锡的哲学家之邀而来的, 也算满足了他们的要求。

在冯特的有生之年, 心理学已广泛传播于德国及美国。至 1890 年, 冯特已足使实验心理学永远立足于科学界内。他称此新心理学为“生理心理学”。他主张一种科学的心理学, 而创设了实验心理学, 建立了第一所心理学实验室, 并做出了成绩。研究工作日益繁荣, 事实也日益积累起来。他又刊发了实验心理学的杂志。于是德国美国受训练于莱比锡的学者以莱比锡为榜样, 创设其他实验室。德国新心理学的性质已决定于冯特, 而美国心理学, 至少就实验室而论, 在某种程度上预

定于冯特。

冯特既博学而又重体系,具有无与伦比的能力。以至于很难说清楚冯特究竟是实验者还是哲学家。我们知道冯特由唯理的哲学家的方法而信仰实验心理学,我们也知道他创立了一个实验室,发刊了一种实验的杂志,领导了实验的研究,常以其学说求证于可能的实验事实,且不惜以新实验的根据而加以修订;但是我们也知道他之所以这样做,不是因为他本来是一个实验家,只是一个哲学信仰的结果。他固然是一位实验家,然而他的实验主义乃是他的哲学观的副产品。冯特从未主张将实验法用以治理整个心理学,他以为要明白高级的心理历程,须研究人类的自然史,或他的民族心理学。无论如何,冯特的科学心理学的创立,为心理学的发展创立了学科范式,在历史上的重要影响远在其所发现的事实之上。

可见,冯特的内省法是对古代哲学思辨方法的实证性改造。尽管方法现在已落后,不具备应用价值,但其观察已不是“安乐椅”式的思辨逻辑的观察,而是运用仪器的、系统的实证性观察。心理产品分析法是冯特受了赫尔巴特等人的启发,通过对语言等文化产物作分类比较,试图寻求社会心理学方法的产物。

尽管这两种方法不是冯特本人创造出来的,但是冯特有目的地把这两种方法尤其是实验法引入心理学研究,这就使心理学真正成为科学。心理史学家 D. 舒尔茨曾说:“现代心理学与其智慧的先驱者的重要区别,不在于所提问题的种类,而在于探索答案所用的方法。”正如前面所提到的,在冯特提出创建独立的心理学之前,赫尔巴特已首次宣称心理学是一门独立的科学,却未能将这门科学成功地建立起来,但可以说将实验方法引入心理学研究,是心理学研究方法上的一次突破。

冯特的实验方法是内省的实验法,具有相当大的哲学思辨的痕迹,该方法被他的弟子铁钦纳强调至极点;而华生的行为主义则完全摒弃了思辨甚至是理论的指导,二者都走向了极端。现代实验方法有两种:一种是自然实验法,不讲求严格的变量控制;另一种是实验室实验法,要求在实验室内严格控制各种变量和遵守操作规程。一般的实验心理学著作主要侧重于论述实验室实验法。随着现代科技的发展,现代统

计学开始成为进行实验和分析实验的方法,如多因素分析等也越来越多地运用到实验的设计、实施、统计、分析中去。这些技术、手段的应用,也正是实证精神的一种体现。

6.2 心理学的发展过程

自从冯特创立第一个心理学实验室以来,心理学得到了空前的发展。1883年,仅在冯特创立心理学实验室4年之后,郝尔在美国建立了美国第一个心理学实验室;从1888年到1895年,在美国兴起了遍及全美的建立心理学实验室的潮流。19世纪末到20世纪初,各种学派纷纷登场,各式各样心理学风起云涌,如冯特弟子铁钦纳的构造主义心理学派、布伦塔诺的意动心理学派、弗洛伊德的精神分析学派、华生的行为主义学派等等。

各种心理学流派观点不一,众说纷纭,但是大多数心理学流派都重视实证,重视从各个不同的角度为他们的观点提供依据。构造主义心理学和机能主义心理学都运用实验室实验法,主要研究与生理心理学相关的感觉、注意、知觉等,只是他们分别强调研究心理的构造和心理的机能。内省法被铁钦纳强调到了不适当的程度,而实验法则被华生加以强调和扩展,甚至扩展到把人的心理等同于动物,否认内隐的心理活动并通过学习研究动物和人的行为来认识人的心理。华生的行为主义开辟了心理学的新的研究领域,同时把心理学研究对象和方法引向了极端;弗洛伊德的精神分析学说,是他在长期的医疗实践过程中总结出来的,尽管没有采用严格的实验验证,也有其本人的主观臆断成分,但弗洛伊德本人是个实证论者,认为每一件事情都有原因。他在对梦的解析中寻找有价值的线索,从而建立了精神分析学说。冯特不自觉运用的实证主义是经验实证主义。随着哲学的深入发展,哲学思潮已逐渐过渡到以维也纳学派为代表的逻辑实证主义,后来发展到结构主义,以及历史主义。这些哲学思潮的兴起,都对心理科学产生重要的影响;另一方面,随着科学技术的进步,计算机的出现,人类社会进入了信息时代,这也对心理学的研究有不同的影响。行为主义由于其过于片

面的研究方法和研究对象,已经受到扬弃;新行为主义师承行为主义,但是已无回天之力,又向认知方向发展;信息论、计算机的出现最终使认知心理学确立起来。无论各种学派观点如何对立,实证思想一直没有遭到摒弃。就连实证精神含量最少的人本主义心理学,也不是仅仅在人本主义哲学思想中产生的,而是在做了大量调查工作之后,才得出的结果。

由上述对心理科学发展的简要回顾可以发现,实验法一直作为实证精神的象征,在心理科学中有其重要的基础作用。大多数心理流派,无论其观点怎样变化,都将实验法(包括广义实验法和狭义实验法)作为证明自己观点的工具。直至现在,实验法仍是心理科学研究方法中的不可缺少的方法。但也应看到实验的局限性。实验把复杂的事物分析成为单独的现象,把复杂的条件加以简化,多少总带有人为的性质,实验工作总是具体实践的一种近似或缩影,因此,尽管现代数学已帮助解决这方面的实验设计及结果处理,不过,在全面地、相互联系地研究心理现象上,它们总存在一定的距离。另外,心理问题虽然很多都能够用实验的方法进行研究,但也有一些问题,正像现代科学中的天文学一样,是不能完全通过实验来研究的。因此,对心理实验所处的地位和作用必须有一个全面的、正确的认识。实验方法只是若干心理学研究方法中之一种较为主要的方法,但不是心理学的全部。

下面以心理学中的反应时间(reaction time, 缩略为 RT)实验为例来说明心理学中的实验。

6.3 人差方程和反应实验

反应时间这一问题,最早是由天文学家提出来的。1795年,英国格林威治天文台台长马斯克林与其助手金纳布路克共同观察一颗星经过子午线的时间。助手记录的时间比台长的落后约半秒钟。这个时差虽然不大,但是天文学家却难以容忍,而且助手的这类错误已经不止一次了。台长当然认为自己的观察与记录是正确的。助手玩忽职守,所以就被开除了。后来台长把助手过去的观察记录全部检查了一遍,发

现他的记录总是落后一些；他的误差总是偏向一方。这位天文学家因此发现了反应时间这个心理现象，可是他未进行深入的研究。直至1822年，德国冠尼格史堡格天文台的贝塞尔见到格林威治天文台事件的报导，看出这个现象的意义，才加以认真研究。他比较了一对观察者之间的反应时间的差别，并称之为“相对人差方程”（甲的记录时间减去乙的记录时间=X秒）。1850年，美国海岸测量队的巴克及其同事制成了计时器，能够测量刺激的出现与反应的发生之间的时间，当时称此时差为绝对人差方程。1850年，黑姆霍尔兹用反应时间法测量神经传导的速度。

人差实验最兴旺的时期是19世纪60至80年代这段时间，即生理心理学诞生的时期，天文学的研究在实验心理学上的重要性便显而易见了。那时的学者已经知道这个问题是心理学的问题，以期望及注意为解释的原因。而天文学家的人差方程式的发现以及其后他们测量绝对人差方程式的成就导致了新的实验心理学的复合实验和反应实验。天文学家对绝对人差方程的测量实际上就是对反应时间的观察。虽然这两种实验所引起的早期的兴奋没有充分的根据，但它们可被视为态度倾向对知觉和反应的影响的早期示例，也是动机的实验动力心理学的原始事实。

用反应法和减除手续对各种心理历程的时间的测定是新心理学和19世纪80年代冯特实验室对心理活动进行的一种研究。尽管冯特把它发展得过头了，但是19世纪后期还应该是心理的时间测量期。最早将反应时间的测量用于心理实验的是荷兰生理学家唐德斯(Donders)，他计算心理操作时间的方法为心理实验的研究指出了一条很有希望的途径。此后，作为正统心理学家的冯特与卡特尔把这个问题从天文学家手中接过来，进行了一系列的实验研究，分析了影响反应时间的心理学因素，反应时间遂成为实验心理学最古老的研究内容之一。

1861年，冯特制成一个简单的钟摆，此摆沿量表而摇摆，使一弹簧在摆到某一点时发出咔嚓的声音。1863年他在讲演动物和人类的心灵时，曾详述过这些实验。在其名著《生理心理学》的第一版内，他以专

章讨论了此事,同时又讲述了一种新造的钟摆的功能。此摆现仍应用于许多实验室内,被称为冯特复合钟。但复合实验和反应实验在后来才有明确的区别。

复合实验的实质也不是立即可以明白的。心理学家的首次实验是冯·威希在圣彼得堡完成的。他利用冯特的复合钟,当一指针掠过某个刻度时,有一个钟发出了声音。观察者要注意他听到钟声时,指针正指向刻度计上的哪一处。冯·威希发现了许多条件可以改变视觉和声音似乎相合的那一点,他特别感到麻烦的是似乎有时间推移的事实。例如指针指向4点钟表就似乎发音了,但据实验所知,只当指针指向5时,钟才发声。冯·威希似乎在实际上制造这个奇迹:就是你能闻钟声于未发之前,这个假设通过P·H·盖格的实验研究(1902)和H·C·斯蒂文斯的干净利落的演示终于弄清楚了。

先入现象就是这样的一个情况:注意的倾向导致了明了知觉的提早出现。假使你在盼望着钟声,并且倾听着,声音进入意识就较快地于指针的视觉出现,反之也是如此。假使钟表确于指针指向5时,钟发音了,但任何事情都要有一定时间。当指针指向6时你听到了钟声,但是当指针达到6时,你看见它复返于4,因为视觉出现比声音出现需要加倍的时间。因此,尽管你报告闻钟声于4,但实验上它鸣于5,因此,似乎有一个单元的负的推移。反之,假使你的期望寄托于指针而不寄托于钟,把两者的时间颠倒过来,那么在你听到钟声时,指针已达到了7,但是当指针指向7时,你看见它复返于6。这是一个单位的正的推移,因为尽管你现在看见钟鸣于6,但实验上鸣于5。后来K·邓普拉(1910)试以眼的运动解释这个先入的现象,后来S·斯通(1926)证明这个关系也适用于声和触。

这个实验证明,关于心灵和神经系统的思想从1850至1900年间发生了怎样大的变化。1850年,赫尔姆霍茨用实验消除了学者对神经冲动需要时间运行或甚至较声音更为缓慢的怀疑。半个世纪以后,心理学家就容易地接受了这样一个事实:知觉的潜伏时间有这样大的变化以致注意的倾向可使一种传入的冲动在脑子内打圈并准备着去接受它。值得指出的是,这个实验和有关的反应时间实验一样,都证明了知

觉有赖于倾向或态度,这是我们现在说法,动力心理学就重视这个事实。

简单反应时间实验是给予被试者以单一的刺激,要求他作同样的反应。被试的任务很简单,他预先已知道将有什么样的刺激出现并需要作出什么样的反应。如以对光简单反应时间的测量为例,在一弱光照明的室内,被测试者端坐在桌前,面对一个屏幕,注视屏幕的一个孔(通过这个孔可以呈现灯光)。事先呈现灯光给被测试者看看,以便使他熟悉这个刺激。桌上放一电键,指示被测试者在听到预备信号时即将手指放在电键上,当灯光一呈现立即按下电键。屏幕后是主试操纵仪器的地方,使用计时器来测量刺激到反应的时间。最初测得的反应时间可能长达 0.5 秒,再后可能会降至 0.2 秒以下。在经过一定练习之后,对听的简单反应可能到 0.12 秒,触觉则可能更快些。这是经过大脑的随意运动反应的潜伏期。有些非条件反射,特别是膝跳反射和眨眼反射却特别快,其潜伏期为 0.04 秒。总之,简单反应的时间是比较短的。

简单反应时间实验的具体操作程序如下:

预备实验

(1) 接通仪器电源,主试拨动信号发生开关,在光或声刺激呈现的同时,计时器立即进行计时。

(2) 练习操作,刺激呈现器放在被测试者 1 米远处。被测试者以右手食指轻触电键。主试在发出“预备”口令后约 2 秒呈现刺激。被测试者当感觉到刺激出现,立刻按压电键。计时器停止计时,主试记下成绩。

(3) 为防止无关刺激的干扰,主试与被测试者可分隔在两个操作室中进行实验。

正式实验

(1) 刺激呈现按视—听—听—视方式安排,每单元各作 20 次,总共 80 次。

(2) 与预备实验相同。

(3) 为了检查被测试者有无超前反应,在每单位的 20 次中插入一

次“检查实验”。如被测试者发生对“空白刺激”作出反应,主试根据反馈信号灯提供的信息宣布该单元实验结果无效,重做 20 次。

(4) 做完 20 次,休息 1 秒。一被测试者测完 80 次后,换另一被测试者进行实验。

通过这个实验可以计算出个人视觉与听觉反应时的平均数及标准差;检验全体被测试者两种简单反应时是否有显著差别。

选择反应时间实验是向被测试者呈现不同的刺激,要求他作出不同的反应。如安排红的和绿的两种不同的色光刺激,有两个反应键放在被测试者面前,规定其用左右手的食指各放在一个键上,并用右手反应红光,用左手反应绿光,这是选择反应测量的典型例示。显然,在这一选择时间里包括了被测试者的辨别和选择活动所花费的时间,他必须在作出反应之前对不同刺激有所辨别,并作出不同反应的选择。一般说来,复杂反应时间总比简单反应时间要长,就是由于存在这种复杂因素影响的缘故。

随着心理科学的发展,特别是认知心理学的兴起以来,为了揭示信息加工过程及其特点,反应时间的测量也获得进一步的发展,其中值得注意的是,荷凯(Hockey)和哈密尔顿(Hamilton)的“开窗”实验。

荷凯等发展了一种新的反应时间实验技术即“开窗”实验。他们以一种字母转换实验来说明这种新实验技术。

在字母转换实验中,主试向被测试者呈现 1~4 个字母或字母串,并在这字母串之后标有一个数字。并告之,这一数字表明把该数字之前的字母或字母串的每个字母都按英文字母表中的位置转换到该数字所指的位置上的字母。如“A+3”即将“A”转换到“D”,即字母 A 之后的第三个位置上的字母,如 KENC+4,(即 K→O, E→I, N→R, C→G),要求这 4 个转换结果一起说出来,即 OIRG。现以“KENC+4”为例来说明这种实验的具体程序。最先呈现“4 个字母+4”,然后,4 个字母相继呈现,被测试者自己按一下键,就可以看到第一个字母“K”(此时计时开始),当看到“K”之后,被测试者就做出声转换,即说出 L-M-N-O,然后再按键,第二个字母“E”呈现,再做出声转换,F-G-H-I,如此,直到 4 个字母全部呈现完毕并作出总的回答,即 OIRG,计

时也随之停止。在实验进程中出声转换的开始和结束都在时间记录中标出。根据这些实验的反应时数据,可以清楚地看出,完成字母转换作业的3个加工阶段:

(1) 编码阶段,即从被测试者按键看到一个字母到开始出声转换所用的时间。在这一阶段中,被测试者对所看到的字母进行编码并在记忆中找到该字母在字母表中的位置。

(2) 转换阶段,即转换所用的时间。

(3) 贮存阶段,即从前一个字母转换结束到按键看下一个字母的时间,在此阶段中,被测试者将转换结果贮存于记忆中,并从第二个字母开始还需将前面的转换结果加以归并和复述。

“开窗”实验通过对字母转换作业的分析,可把每一种认知加工所经历的时间都比较直接地估计出来。

现实生活中有许多领域需要研究人的反应时间,尤其是在工业生产、交通驾驶、体育运动、设备设计及科学管理等实际部门,反应时间的应用更有其重要意义。

在工业生产中,要能提高功效,节省人力,就需要研究操作者动作分析的科学工作方法。例如,纺织工人生产定额的制定、劳动指标的测量以及各项操作动作的分析使之正确、合理化、在这些场合下,都用得着反应时间指标。

反应时间对于交通驾驶员来说是非常重要的,过慢或过快的反应都可能导致事故的发生。如有实验表明,汽车驾驶员需要赶快刹车平均要用50毫秒的时间,其中约有一半时间是属于反应时间本身,另一半是被脚从加速器到刹车踏板的活动消耗了。如果司机的反应延长0.1秒,车速仅为30千米/小时,汽车还是要往前多行近1米;如果反应延长0.2秒,那就要多行2米,在这种条件下反应时间就变成严重威胁生命的实在因素了。

现代自动化设备的设计需要反应时间研究提供必要的参数和要求。如飞机驾驶舱里的表盘技术模型的制作,可以通过反应时间的测定结果加以鉴定。研究表明,各种显示器、操纵器的设计,要适合人的身心特点,使操作者能迅速、准确地对信息作出辨读和应答,而且两者

的空间位置的安排结构要合理,以保证操作的顺利进行。为此,有人设计了最佳表盘和弧形仪表盘,这类的研究对于提高人机工作效率,确保飞行的安全是很有必要的。

反应时间在体育运动上的应用更是大家所熟悉的事。有经验的教练员和教师常研制一套速度功能测验器,用来训练运动员的各项动作的反应时间,以不断提高运动员对感觉运动时间和动作时间的领会和控制的能力,争取打破纪录。

总之,反应时间的研究是社会生产和科学发展需要的产物,它对心理学的理论和应用都有着重要意义。随着生产自动化的发展和人们生活节奏的加快,对反应时间的探索越将显现出它的广阔前景。

7. 社会科学中的实验

勿以恶小而为之，勿以善小而不为。

——荀子

提起实验，人们常常想到的是科学的实验，而且这里所说的科学往往只是自然科学，甚至只有自然科学才需要实验，而社会科学并不需要实验，或者很难进行实验。二次世界大战后，特别是 20 世纪 60 年代以来，伴随着实证主义范式的扩散，社会科学和管理科学方面借鉴科学实验方法而进行的实验也悄然兴起。

7.1 红珠实验洞穿天机

二战后的日本，经济一片狼藉。日本国土面积小，弹丸之地，人口多，几乎没有什么自然资源。日本企业家尝试将其产品输入海外市场，但产品上的“Made in Japan(日本制造)”标记成了国际上的大笑话，是劣质产品的代名词。当时有些企业千方百计想在产品上打上“Made in USA(美国制造)”的标记。可是四年后，日本的产品质量超过了美国。1980 年的美国经济处于崩溃的边缘，美国产品在国际市场上饱受冷遇，国内市场被日本产品风卷残云般迅速占领，“日本制造”成了优质低价的代名词。这其中可能有美国著名的经济管理大师威廉·爱德华兹·戴明(William Edwards Deming)的一份功劳。戴明用红珠实验为日本经济把脉开方，四年后开始造就“日本经济奇迹”，并使美国产品蒙受耻辱。



图 7-1 1980 年戴明博士在日本

红珠实验过程如下：

实验器材有：4 000 粒木珠，直径约三毫米，其中 800 粒为红色，3 200粒为白色；一个有 50 个孔的勺子，可用来盛起 50 粒木珠(代表工作量)；两个长方形容器，其中之一可以放入另一个之内，容器尺寸为：大容器为 20cm×16cm×8cm，小容器 19cm×13.5cm×6cm。

进料(4 000粒红白混合的珠子)以上述大容器装着送达公司(见图 7-2)。

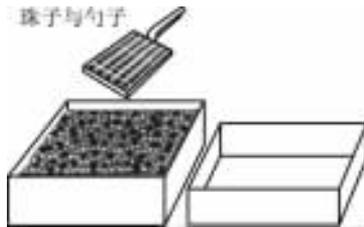


图 7-2 红珠实验的道具

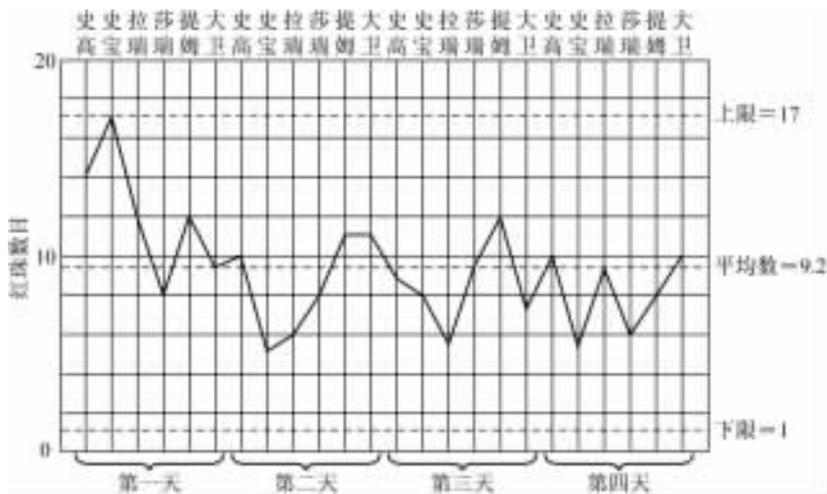


图 7-3

戴明自己扮演可怕的工头，他从观众中招聘雇佣了十位新员工，其中六位作业员，二位检验员，一名检验长，一名记录员。接下来宣布生

产计划、生产要求、生产程序和奖惩方法。经过多次实验,结果在生产中,不管老板和管理者如何威逼利诱和打骂斥责工人,他们都无法完成任务——从20%红珠和80%白珠的混合物中取出一定“生产量”的红珠。实验中出现了同样的人在同样的条件下在不同的日子里生产质量不同,不同的人在同样的条件下生产质量也不相同,其中奥秘何在?

其实该实验是一个稳定的有机系统。在系统维持不变的情况下,工人的产出水平及其变化可以预测。六位作业人员之间的红珠数量的差异以及每人每日产出红珠数量的差异,都来自过程本身,没有证据显示出哪一位更聪明能干。他们的产出,在该系统不变的情况下,不管怎样全力以赴,都不可能有更好的表现,因此错误不在工人身上。

这个实验展示表现出的是拙劣的管理。程序僵化,工人机械地按程序操作,根本无机会提供改善的建议,也无法改善操作程序,如,用白珠替换红珠,或者用第二勺替换第一勺,或者改进勺子,都被严格禁止。管理者不用与生产者磋商,擅自固定白珠价格,实际上他们决定了产品的成本基础,白珠的质量(即含红珠的数量)决定了产品的质量。红珠实验的工人是过程的牺牲品,因为在此过程中,员工的表现完全与努力无关。在考核制度或对员工评审中,对人员、团队、销售员、工人、部门的排序是错误的,对员工的斗志是一种打击,简单地以绩效决定报酬完全没有意义,对员工的奖惩,实际上是奖惩过程的表现,而不是工人的表现。

这场实验演示了当时大多数企业的管理状况。针对当时日本企业和后来美国企业的管理状况,戴明博士在日本和美国各地举行了“四日研讨会”,“红珠实验”和另一个“漏斗实验”是其中的重头戏,阐扬他的包括扩张型知识理论在内的管理理念;这种管理理念可概括为“十四要点,七项致命恶疾与各种障碍”。其中“管理十四要点”实已构成他对质量管理的思想理念。“十四要点”的主要内容是:①建立坚定不移的目标;用以改进产品与服务质量,使企业具有竞争力并能够可持续发展。②采用新的经营哲学;企业正处于一个崭新的经营年代,管理者必须认清新时代的挑战,确知自己的责任所在,挺身领导全体员工应付各种变化。③停止依赖检验以获得质量;以“一开始就制造出高质量”的方式,

取代大量的检验。④停止仅以价格作为评判交易的基础：应以最低总成本来评判。一种物料最好向同一供应商采购，并建立长期忠诚与互信的伙伴关系。⑤不断改进生产与服务系统：改善质量与生产力，进而持续降低成本。⑥进行在职训练：提升员工能力，使其对工作充分了解并能有效执行。⑦建立领导风格：确认领导的目的在于协助人员、机器与装备，把工作做得更好。除了生产线上的作业员之外，管理员的表现也应该接受督导。⑧排除恐惧：使得每一员工能在有安全感的环境中，更有效地为公司工作。⑨消除各部门间的藩篱：不论是研发、设计、制造或行销部门的人员，都应通力合作，形成团队，共同思考产品在使用上可能发生的问题，并防患于未然。⑩避免向员工喊口号，说教，或定目标：要求员工达到零缺点或新的生产力水准，只会造成他们的反感，形成与公司对立的关系。因为许多质量与生产低落的情形，是制度不良造成的，不应一味责怪员工。⑪以领导方式达成工作要求：不以数字化目标要求员工，或是在工厂第一线设定配额标准。⑫让员工都享有以工作为荣的权利：基层工人同样有权以工作的成果为荣，不应剥夺他们的这项权利。“管理者的权利感化人心，落实在质量的表现上。”“工程部门及管理阶层的人员，也有以工作成果为荣的权利。”对于剥夺此权利的障碍，应当谋求克服之道。也就是说，除了一些必须注意的事项外，还应该废止年度考核绩效以及目标管理。⑬拟定有活力的教育与自我改进计划。⑭让企业组织内每一分子投入工作，以完成心态上的转轨。企业变革是大家的事。

他指出：“大多数的质量问题是管理者的责任，不是工人的责任，因为管理者对产生问题的体制和系统全部负责，工人无能为力。”通过采用他的这套质量管理方法，日本改变了其历史宿命，美国企业也改变质量管理，戴明的人性管理革命和体制创新，带来了今天美国不断的技术突破、持续的经济增长，为迅速崛起的新经济奠定了基础。

7.2 “破窗”实验及其启示

美国心理学家詹巴顿曾进行过一项有趣的实验：把两辆一模一样

的汽车分别停放在两个不同的街区。其中一辆原封不动地放在中产阶级社区,而另一辆则摘掉车牌,打开顶棚,停放在相对杂乱的街区,结果第一辆一个星期后完好无损,而打开顶棚的那一辆,不到一天就被偷走了。后来,詹巴顿把完好无损的那辆汽车敲碎一块玻璃,结果仅仅几个小时后这辆车玻璃全被打碎了,后来就不见了。后来这场实验得以不断地扩展,成为许多社会现象的缩影,只不过它以更直观而形象的方式演示了社会现象的本质而已。

模拟是这个实验的重要表现方法,它主要进行心理和现象的模拟,提出一种反映社会问题的理论。这种实验方法类似于自然科学的实验,它已超乎于主观的臆测和思辨,不是坐而论道的书斋里的学问,而是真正地进行模拟,进而提出对社会现象的本质的理解和解释。

为什么摘了牌打开顶棚的车会被偷走呢?为什么打碎一块玻璃之后,整个车的玻璃都会被打碎呢?为什么旁人不去制止?为什么车会被偷?为什么没有社会集团、组织出来干预?车被偷走全部是偷者的责任吗?显然人一生下来并不就是罪犯,社会上形形色色的罪犯,是在后天的环境中形成的。那么,用实验方法探讨罪犯在后天环境中的成因是一个重要的课题。根据前面的实验,美国政治学家威尔逊和犯罪学家凯林提出了“破窗理论”。它的内容是:如果有人打坏了一栋建筑上的一块玻璃,又没有及时修复,别人就可能受到某些暗示性的纵容,去打碎更多的玻璃。罪犯的形成有一个过程,也可以说首先是一个心理蜕变的过程。俗话说“做贼偷瓜起”,指的是犯罪的起始过程。对犯罪的心理过程和现象可用“破窗理论”诠释如下:“偷瓜”即是打坏了一栋建筑(建筑可指他自己的道德灵魂和社会秩序等)的第一块“玻璃”,他自己和别人没有对其进行及时“修复”,“偷瓜”之人可能受到某种暗示性的纵容,会去偷更多更大的“瓜”,从“破瓜”发展到“破”钱财等,最后沦为罪犯。同时他这个人又可以成为其他人眼里的打碎社会大厦的第一块“玻璃”,如果这块玻璃仍没有及时“修复”,别人就可能受到某些暗示性的纵容,跟着去打碎更多的“玻璃”,如此循环往复,导致社会混乱。

当前审查的贪官,大多开始时清廉正直,有的还是优秀的父母官。

堕落为贪官是从贪取小恩小惠开始的。首先收取别人送的小礼物,跳个便宜舞、吃个便宜餐,掏取小小的回扣等,初尝“甜头”,于是“破窗”打碎自己灵魂大厦的第一块“玻璃”,外界或本人又没有及时去“修复”,其贪心受到了某些纵容性的暗示,因此更多的“玻璃”碎了,他的贪欲发生膨胀,小便宜已难填其欲壑,便伸出了一双巨大的黑手,瞄准下属、单位、相关人甚至国家,走上了邪恶之路。如《国风》杂志上载有一个关押干部的自述,他说刚参加工作时,充满年轻人的朝气,干劲十足,在单位是业务尖子,1988年提升为主任科员,1992年为副处长,37岁成了集团里最年轻的正处级干部,在一次投标中的一次巧合,人家送了他一万美元,迈出了犯罪的第一步,后来“国际惯例”成了他再次伸手的借口,一步一步走向了犯罪之路。“榜样”的影响是巨大的,由于我国国情和现存制度等各种原因,不能及时“修复”这些“榜样”——教育、查处他(她),旁人得到了某种纵容性的暗示,学习“榜样”,去打碎更多的“玻璃”,久而久之,贪污滋生、蔓延,贪污腐化日益严重,以致它威胁到党的执政,威胁到社会的稳定与发展。再如淮河十年无功而返的治理再现了“破窗”实验的循环导演,刚开始治理时大张旗鼓,雷厉风行,对排污者破坏者进行了严厉的“修复”,打碎的那些“玻璃”修复速度很快,淮河的环境大有改善。但是还没有完全修复好,“修理工”——专家、执法队伍、专门领导、新闻媒体等开始撤退或放松“修复”等手段,于是那些“贼心”没死的惯犯偷偷排污,或者没有被发现,或者被发现了但因风头已过没有人管了,他们就更变本加厉,由此他们获得“偷车”之利,但是国家数百亿的治理款项却付之东流了,淮河也不知道何时才能变清,两岸的人民不知何时才能享受淮河的清水之乐。

“破窗理论”在企业管理中体现出非凡的意义。“破窗实验”也是一种系统论方法的实验,实验的汽车代表一个有机系统。企业如同实验汽车一样是一个有机的体系,由许多要素构成,它们一环扣一环,环环紧扣,如果一个环节出了问题,而又不及时“修复”,相连的环节跟着会出问题,如果仍没有把它们“修复”,整个企业会瘫痪、崩溃。这些环节就是企业窗上的“玻璃”,修复好了,可使企业良性运转,否则,整个企业的“窗”都会“破”,最终结局便是企业的破产。

质量只是企业中的一环,也是企业“窗”上的一块“玻璃”,它是企业的生命线。全球很多的知名企业如福特、丰田、可口可乐、三星、海尔等都是依靠“质量优势”,也可以说是我们所说的品牌优势发展和壮大起来的,它们的品牌是质量的象征。一个企业产品质量是否有保障的一个重要标志,就是生产现场是否整洁,是否从小处着眼。整洁、小处就是“破窗理论”中的“窗”。海尔在防止“破窗”方面为中国企业做出了榜样。在1984年到1991年这一阶段,中国冰箱市场还处在卖方市场,当时的中国冰箱市场,可谓是“百花齐放”“百家齐鸣”,呈现一片繁荣景象。当时中国的企业还将产品分为一等品、二等品、三等品,无论哪一个等级,都让出厂。但1985年海尔发生了一起震惊全国的事情,76台质量不合格的冰箱顷刻间变成了一堆废铜烂铁,许多人对此十分不解,甚至为这76台冰箱的财产损失而惋惜。海尔并不到此为止,而更进一步提出并实行产品“零缺陷质量管理”。根据“破窗理论”,海尔的“砸冰箱”是对第一块打碎的“玻璃”进行了及时的“修复”,对外发出的也不是“纵容”的暗示信息,而是“砸”,是严惩。本来76台与年产几万台、几十万台相比是小数,微不足道,但海尔在此环节上毫不放过,并对自己提出了更高的要求,即产品质量不能存在一点缺陷,哪怕外观上小小的划痕,都不给“破窗”的机会。其他许多企业则更多的求数量,把不合格的产品也尽力推销出去,事实上成了“破窗理论”的实践者,结果它们其中的许多企业都已成了明日黄花,而海尔仍旧在今天中国的家电品牌中一枝独秀。产品中的一个螺丝钉、一根漆线、一张说明书、生产场地的整洁程度,是企业中的小事,是整个企业大厦中一块小玻璃,但是这些小事向外散发出的是放纵还是约束或严惩的信息,是“车”被偷走还是完好无损,这就是关乎企业的大事了。

7.3 经济科学中的实验方法

弗农·史密斯(Vernon L. Smith)因打破经济学主流传统而获得成功,为经济学的发展注入了新的生机,为经济学发展从假设理论向实验科学转变迈出了坚实的一步。

传统上,经济学研究主要建立在人们受自身利益驱动并能做出理性决策的假设之上,而且经济学还被普遍视为是一种依赖实际观察而不是可控的实验室实验的非实验性科学。一直到20世纪70年代,实验经济学方法仍无法得到主流经济学家的认同。20世纪80年代中期还曾引发一场经济学家与心理学家的“芝加哥大论战”。经济学势必是一门非实验科学的这种观点在米塞斯时代广为通行,直到今天这种观点仍有一定市场。查尔斯·霍尔特,一位杰出和领先的实验家曾被他的顾问警告说,实验经济学“曾是在20世纪60年代寿终正寝的死者,而且将是在80年代寿终正寝的死者”。理性主义使人类对外在事物的认识清澈了,但是把人、人的行为、人的精神等非理性方面舍弃了,并将其简化为一个个点或一条条线,人也成了“扁平的人”,实际上这种以完全理性人搭起的学说无法通过经验科学方法来检验与研究人的内在本质,也无法观察现实人的经济行为。传统经济学的科学性因此是值得怀疑的。史密斯等人为了实现经济学的科学性,把经济学从定性状态引向定量的精确科学,他从1956年开始进行了几百次市场行为实验,通过模拟市场交易,改变市场交换制度,观察实验人员的决策行为引申出市场运作的条件、交易特征、交易制度规则,对传统的经济理论重新进行评价。他还把经济分析引入实验室,发展了一系列的经济学实验方法,在20世纪60年代进行了“风洞实验”,提倡在实施经济政策前可以先在实验室里进行模拟运作。例如电力市场开放、公共部门私有化等进行实验。他的许多实验被奉为经验经济学的典范。

正是因为史密斯等人传统经济学的重新审视与反思,现代经济学将会面临一场前所未有的冲击和革命。

7.4 另辟蹊径

戴明切中了日本和美国经济的病根,开出了妙方,创造了奇迹,而卡尼曼成功之处是在心理学和经济学之间架起了美妙的彩虹,为经济学的发展开辟了一个全新的领域。

亚当·斯密的《国富论》奠定了自由主义市场经济的基础,“看不见

的手”理论成了经济学中的经典,凯恩斯主义和后凯恩斯主义也在经济学界统治了很长时间。但到了20世纪,尤其是20世纪中后期以来,随着经济的发展,出现了许多新现象,“看不见的手”等理论遇到了重重困难。许多经济学家为解决这些困难做了不懈的努力,2002年诺贝尔经济学奖获得者乔尼尔·卡尼曼就是其中比较杰出的一个。普林斯顿经济系主任Gene Grossman评价道:“他动摇了经济学理性人行为的基本模型。传统经济学的标准模型将人假设为是理性的、自私的,但是他提供了一个更符合人类本性的,决定人类行为的心理学动机,而这些动机对经济学而言是至关重要的。”

卡尼曼用嫁接糅合式的实验方法动摇了传统经济学理性人行为理论。他认为人不是完全理性的,是自私的,在对不确定事物进行判断时人们的经济行为常常是非理性的或者说是完全不理性的。这种非理性和不完全理性表现为:其一,在现实生活中,人们在不确定条件下进行判断或决策,往往会出现以偏概全、以小见大,但根据理性人的假设人们的行为应该是理性的。卡尼曼按照经典的实验科学方法做了很多实验来揭示人们经济行为的非理性。投币实验就是一个很好的例子。投掷6次硬币,如果出现4次正面2次背面,人们在心理活动中会将这个结果“推论”到投掷1000次的情况,因而高估出现正面的概率。这说明人们经常会过于简单地将不确定事件条件下的判断建立在少量信息的基础上。其二,人们在不确定事物进行判断和估计的时候通常会设定一个初始值。对此卡尼曼也进行了一个非常有趣的实验:选定一定数量的实验对象,要求他们估计非洲有多少个联合国成员,在估计前要求估计值在0~100之间随机选择的数相比较,有些实验对象要求与10%比较,有些要求与60%比较,结果,前者的估计值为25%,后者的估计值为45%。他用另一个实验更进一步证明他的观点:给实验对象一组图片,把90名实验对象分为两组,一组观看图片显示的全过程,一组从清晰时才开始看图片。结果显示,那些在图片很模糊的时候就开始观看的被测试者,只有25%最终能准确地识别这些图片;而后面在较清晰的时候观看的群组有50%能最终识别。把这一理论运用于金融理论,则说明当前的股票价格在很大程度上是由过去的价格决定的。

其三：在不确定性条件下，人们的偏好主要是由财富增量而非总量决定的，因而负消费（投资或博弈）必须引入分析中。按照新古典理论，人们在面对不确定性时，消费偏好必须满足冯·诺伊曼—摩根斯坦公理化体系的基本要求，即完备性、传递性、连续性和独立性等，效用函数在所有的点都是凹的，同时在标准理论中不同的消费或财富安排是不会出现负值的。但是卡尼曼等人的研究表明效用函数对正的增量是凹的，对负的增量是凸的，这反映了人们在面临亏损时不是“风险的厌恶者”，而是“风险的追求者”。同时人们在概率较高时，对它十分敏感，偏好选择中的概率权重十分重要，而这些都是金融市场上存在“错误定价”的原因。这就是卡尼曼等把心理学运用到现代经济学最成功的方面——前景理论。其四：卡尼曼等还提出了偏好逆转的思想，认为并不如传统理论认为的那样是最优化选择，而是变动不定的。为此他做了实验：假定有两种彩票 A 和 B，彩票 A 可获得 4 美元的概率是 99%，彩票 B 获得 16 美元的概率为 33%。当做出选择时，A 是理性的选择，但最值得买的却是 B。所以实验中所观察到的偏好在 A 与 B 之间摇摆，而人们根据不确定的偏好进行的决策或判断是非理性的。还有卡尼曼认为在大多数情况下，人们对所损失的东西的价值估计高出得到相同东西的价值的两倍。卡尼曼等人利用实验方法把心理学和经济学完美地融合，揭示了这两个领域崭新而又丰富的内涵，丰富了人们对自身及其所生活的世界的认识。

8. 一簇绚丽多彩的思维之花 ——浅谈理想实验方法

处处是创造之地,时时是创造之间,人人是创造之人,让我至少走两步退一步,向着创造之路迈进吧!

——陶行知

理想实验,亦称思想实验,它是在人们的思想中进行而非真实地运用物质手段来进行的“实验”,即在思想中运用理想模型,塑造理想模型在理想条件下的运动过程,进行严密的逻辑推理的一种理论研究方法。其特点就是充分利用想像的作用使客观过程理想化,使“实验对象”按真实实验过程的要求在想像中得到合乎逻辑的处理,并从中一步步推导出合理的实验结果。在这一方法中,人们可以设想一些特殊的条件,超越具体物质条件的限制,在思维中达到某种理想的、极限的境地,亦即用一种特殊的逻辑推理方法超越实际实验的局限,把终止了的实际实验在思维中继续进行下去,探讨物质实验无法涉及范围内的规律,从而获得新的结论。

科学史上许多伟大的科学理论的建立都与理想实验方法有关。伽利略的“斜面实验”便是一个典型的“思想实验”。

8.1 伽利略的斜面实验

作为一种重要科学方法的理想实验方法应用的鼻祖是伽利略,他是使理想实验方法登上科学研究舞台的杰出代表。在本书的前面,我们曾经提出他发现的惯性定律就是运用理想实验方法获得的重大成果之一。他为了证明自由落体定律,曾经设计了一个著名的理想实验。

例如,一个正在很快运动的马车,即使马开始停止用力拉车,也要

经过一段时间之后,马车才能停下来。这个现象是不能用亚里士多德的力学加以说明的。因为,按照亚里士多德的力学,如果没有拉力(即马停止用力拉),物体运动速度应立即为零(即马车应立即停止运动)。所以,从马停止拉车到车完全停下来,这一段运动的维持显然不是依靠外界的拉力,而是另有原因。这个原因就是物体的惯性,即物体要保持自己原有运动状态的一种属性。

依靠惯性能够运动多久呢?由于马车很快会停下来,所以依靠惯性似乎只能维持有限时间的运动。这只是对亚里士多德力学的部分改变。

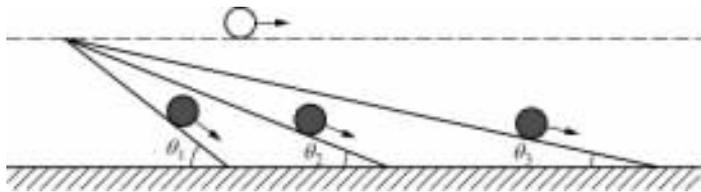


图 8-1 一个得出动者恒动说的理想实验

伽利略并没有停留在这个水平上。他分析了一个理想实验。一个球从一个斜面上滚下又滚上第二个斜面上时,球在第二个斜面上所达到的高度同在第一个斜面上达到的高度近似相等。他断定这一微小差异是由于摩擦的结果,如果将摩擦消除,那么第二次的高度完全等于第一次的高度。他又推想,在完全没有摩擦的情况下,不管第二个斜面的倾斜度多么小,它在第二个斜面上总要达到相同的高度。如果第二个斜面的斜度完全消除,那么球从第一个斜面滚下来之后,将以恒速在无限长的平面上永远不停地运动下去。这就是说,小球可以永恒地运动而不需要任何外界的拉力。这时小球的运动只有依靠惯性。所以,惯性能维持物体永恒的运动。马车之所以在有限的时间里停了下来,是由于地面对马车有摩擦阻力。如果地面也像理想实验中的斜面那样光滑,那么,马车也将永恒地运动下去。

这就是伽利略力学中的惯性定律,即有名的动者恒动说。用比较准确的语言来表达就是,一个不受任何外力的物体,将永远保持自己的

运动状态。运动速度既不会增加,也不会减少。

这一理想实验获得了惊人的结论,打破了自亚里士多德以来 1000 多年间关于受力运动的物体当外力停止作用时便归于静止的陈旧观念,为近代力学的建立奠定了重要的基础。

8.2 爱因斯坦的理想实验

自伽利略之后,理想实验逐渐发展为科学技术研究的一种重要方法,有力地推动着科学技术的发展。爱因斯坦和英费尔德在描述物理学的进化时,就先后阐述了 20 多个与物理学发展密切相关的理想实验。

爱因斯坦本人就是一个设计理想实验的巨匠。他在创立相对论时,曾精心设计了一系列巧妙的理想实验。他提出,“我以光速追赶光波看见什么?”他想像如果一个人以光速跟着光线一道运动,是否看到光线乃是静止在空间振动着的电磁波呢?他认为这是与他创立狭义相对论有关的“第一个朴素的理想实验”。后来他又巧妙地设计了同时性相对性的理想实验。他设想,在彼此相距相当远的两处 A 和 B,发出两个光信号,在 AB 中点 M 处,如果同时接收到两个光信号,那么这两个光信号的发出便是同时的。这样,从一个坐标系看来不同地点同时发生的事件,在另一个相对于它运动的坐标系来看就不再是同时的了,这就是所谓“同时性”的相对性。^①由此可见,他由此建立起同时性相对性的概念,这正是他创立狭义相对论的一个重要思想。

狭义相对论适用于一切惯性系,对于惯性系统中描述的自然规律都是等效的。对于非惯性系情况又将如何呢?他决心将狭义相对论推广到非惯性系中去。

爱因斯坦根据在引力场中的同一地点一切物体的加速度都是相等的,它同物体的本性无关这一性质,作了如下推论:

如果设想有一个惯性系 K,一些物体在其中没有加速度,即保持静

^① 全林. 科技史简论[M]. 科学出版社,2002. 198.

止或匀速直线运动状态；我们再设想另一个相对于该惯性系 K 作匀加速运动的非惯性系 K' 。那么，在非惯性系 K' 看来，这些物体将都以相同的加速度运动。如果我们把此非惯性系看作是“静止的”，那么物体的加速度同物体的本性无关。这恰恰就是引力场的特征，而这个引力场又是由坐标系的加速度运动所“产生”的，因此我们完全有理由认为一个存在着引力场的惯性系和一个不存在引力场的加速运动的非惯性系是等效的，这就是广义相对论中的第二个基本原理，即等效原理。^①我们还可以设想在一个足够小的时间间隔内，考察一个电梯在地球引力场中的运动，地球引力场可以看成是均匀的。由此，爱因斯坦设计的关于电梯的理想实验，为广义相对论的创立起到了奠定基础的作用。爱因斯坦使用的是电梯来做他的理想实验。在爱因斯坦的理想电梯中装着各种实验用具，还可以有一位实验物理学家在里面安心地进行各种测量。

当电梯相对于地球静止的时候，实验家将看到，电梯里的东西都会受到一种力。如果没有其他的力与这种力相平衡，这种力就会使物体落向电梯的地板。而且，所有物体在落向地板时，加速度都是一样的。根据这些现象，实验家立即可以作出结论：他这个电梯受到了外界的引力作用。

现在假设让电梯本身也做自由下落的运动。这时，实验家将发现，他的电梯里的一切东西都不再受原来那种力的作用，所有物体都没有原来的那种加速度了。即达到了我们通常所说的“失重”状态。这时电梯里的物体不再表现出任何受引力作用的迹象。无论苹果或羽毛，让它们从手中掉下来，如果没有任何空气阻力和摩擦力，这两个物体可以自由地停留在空间，而不会下落。实验家既可以在电梯的底部行走，也可以在顶部行走，两种行走所用的力气完全一样，并不需要任何杂技演员那样的技巧。也就是说，实验家观测任何物体的任何力学现象，都不能看到任何引力的迹象。

接着。爱因斯坦做了更进一步的引申，他认为，在上述电梯里的实

^① 全林. 科技史简论[M]. 科学出版社, 2002. 200.

验家不仅通过任何力学现象看不到引力的迹象,而且通过其他任何物理实验也都看不到引力的迹象。即是说,在这种电梯的参考系中,引力全部消除了。电梯实验家不能通过自己电梯中的物理现象来判断它的电梯之外是不是有一个地球这样的引力作用源,他也测量不出自己的电梯是否有加速运动,就像在萨尔维阿蒂大船里的观察者测不到大船是否在运动一样。



图 8-2 爱因斯坦理想电梯实验

简言之,我们可以在任何一个局部范围内找到一个参考系(即爱因斯坦的电梯),在他的坐标系中,引力场已被屏蔽或排除了。这就是引力的最重要特性。但在电梯外的观察者看来,则这两个物体都以同样的加速度向地面落下。这一理想实验揭示了引力质量和惯性质量的等效性,而这个原理正是创立广义相对论的基本假设之一。

8.3 科学史上其他重大的理想实验

量子论的建立也同“理想实验”密切相关。在量子力学中,海森堡用来推导测不准关系的所谓电子束的单缝衍射实验,也是一种“理想实验”。因为,中等速度的电子的波长约为 10^{-8} 厘米左右,这跟原子之

间的距离属于同一个数量级。因而,只要让电子束穿过原子之间的空隙,就会发生衍射。但是,要想制成能够使电子发生衍射的单缝,首先就必须做到把单缝周围的所有原子之间的空隙都给堵死。实际上这是做不到的。在实验中,人们只能做到电子的原子晶格衍射实验,而无法实现电子的单缝衍射实验。

再以经典物理学三大理论体系来说,除了伽利略从理想实验中发现了惯性定律,取得了经典力学发展的重大突破之外,热力学和电磁理论的发展都和理想实验密切相关。著名的卡诺循环,就是从理想蒸汽机的理想实验中发现的。恩格斯在《自然辩证法》中,曾经就卡诺研究蒸汽机的基本过程方法,对理想化思维方法进行了精辟的分析。卡诺提出,在理想情况下,热机循环是由两个等温过程和两个绝热过程组成的,这就撇开了工质温度的变化以及工质和外界热量交换等次要因素;又提出理想循环是可逆的,这就略去了摩擦等不可逆的因素;还提出理想循环是封闭的,从而忽略掉真实热机工质在循环末了被系统抛弃、使循环非封闭的情况。经过这样的简化和纯化,就以纯粹的形态显露出热机的内部过程。尽管这样的理想循环是不可能真正实现的。恩格斯指出,卡诺“发现蒸汽机中的基本过程并不是以纯粹的形式出现,而是被各种各样的次要过程掩盖住了;于是他撇开了这些对主要过程无关紧要的次要情况而设计了一部理想的蒸汽机”。卡诺循环这一理想实验的研究成果,实质上已包括了热力学第二定律的内容,并已接近发现热力学第一定律,从而为热力学的发展作出了重要贡献。

理想实验也是导致建立电磁场理论的重要因素之一。麦克斯韦曾经设想:在奥斯汀和罗兰的实验中,如果把围绕电流及变化的电场周围磁场的闭合力线缩成一个点;在法拉第的实验中,如果把围绕变化的磁场周围电场的闭合力线缩成一个点,那么,就可以得出把空间中任何一点以及任何时刻的磁场和电场的变化连结起来的定律,并用偏微分方程组建立起统一的电磁场理论。

8.4 设计理想实验的条件

理想实验由于无法物化为真实的科学实验,所以一般人觉得很神奇,很难以把握它的一般规律。但是只要我们认真分析一下上述几个理想实验,就可以发现,设计理想实验也不是没有规律可循。大体说来,设计理想实验必须具备三个基本条件。

首先,要以真实的科学实验为基础,抓住关键性的科学事实,对真实的实验过程作深入的抽象分析。伽利略就是这样把实验观察和抽象思维结合起来,找到深入理解运动问题的真正线索,是他研究工作的卓越之处。爱因斯坦称赞道:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端。”

在物理学中,理想实验之所以能做出一些成功的发现,是因为它建立在实际的科学实验基础之上,并运用科学的思维去抽象、归纳出可以进一步揭示出客观现象和过程之间内在的逻辑联系,并由此得出重要的结论。

其次,运用科学抽象方法,建立理想模型,塑造理想条件和理想过程,这对设计理想实验具有关键性意义。由科学抽象得到的理想模型,是在现实世界中找不到的东西,但不能说它是纯粹思维的创造。理想模型是对客观事物的一种近似的反映,它突出反映了客观事物的某一主要矛盾或主要特征,完全忽略了其他方面的矛盾和特征,因而使物质的规律具有比较简化的形式,使人们易于认识和掌握它们。

伽利略上述理想实验,就是以思维中想像出来的金属球、斜面和平面等理想模型作为实验物,以无摩擦和平面的无限延伸等理想条件作为实验条件,以金属球从斜面滚下后以恒定速度在无限延伸的平面上永远不停地运动的理想过程作为实验过程。由此看来,巧妙地建立理想模型来代替实验物,巧妙地设想理想条件来代替客观上受到种种限制的物质条件,巧妙地推出理想过程来研究实在的自然过程,乃是成功地设计理想实验的关键所在。

再次,逻辑方法的运用也是设计理想实验的一个条件。设计理想

实验,不仅要运用科学抽象方法,而且还要运用逻辑推理方法。它的推理过程,是以一定逻辑法则为根据的,而这些逻辑的“格”是在千百次实践中形成的结局。理想化思维方法可以加深人们对真实实验的理解,克服具体实验的局限性,进一步揭示出客观现象和过程之间内在的逻辑联系。每一个理想实验都是一个严密的逻辑推理系统。只有成功地运用各种逻辑方法,才能建立理想模型,塑造理想条件,并一步一步地推演出理想实验的整个过程。

总而言之,理想实验是在思维中进行的。它要求人们善于运用逻辑思维,充分发挥思维的能动作用,特别是在实践基础上充分发挥思维的能动作用,创造出巧妙的理想实验来。

理想实验确似一簇绚丽多彩的思维之花,他不仅可以用来支持乃至建立某种理论,而且它还可以用来反驳某种理论,指出某种理论的不足。爱因斯坦曾经说过:“想像比知识更重要,因为知识是有限的,而想像力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进步的源泉,严格地说,想像是科学研究中的实在因素。”^①

在科学技术的百花园中,这些灿烂的思想之花,已经结出了累累硕果,造福于人类。唯心主义当然也是人类认识树上一朵思维之花,但它“无疑地是一朵不结果实的花。”^②因为它颠倒了主观与客观的关系,违背客观规律,无法正确地指导我们的实践。理想实验则不同。虽然它是一种思维的创造,但却是以客观真实的科学实验为基础,以遵循客观规律为前提的,运用科学抽象和逻辑推理从理想实验方法中得出重大的科技成果。因此,它在科学研究中具有特殊的意义。它是科学工作者不可不学会的一种科学研究方法。

^① 许良英等编译.《爱因斯坦文集》

^② 《列宁选集》第2页

9. 实验及其相关因素分析

“看到的東西比碰到眼球的東西更多。”

——美国科学哲学家 N·R·汉森

9.1 实验中的观察

实验与观察的区别不仅仅在于是否使用仪器进行测定,实验是充分地控制条件,有计划地操纵各个条件,使其发生变化,并观察、测定这种现象的变化。与此相反,对自然状态的现象进行观察、记录和测定,则不是实验而是观察。从这个意义上,可以说实验是能动的实验性的观察,而观察是被动的自然的观察,或者说,实验是在严格控制条件下的观察。

下面我们要做一个小测验,在测试之前,请读者先思考一个问题:“两个正常的观察者,在同样的条件下从同一地点看同一个物体,你认为他们看到的是同样的东西吗?”如果答案是肯定的,那么下面的实验也许会帮助你改变看法。

看到图 9-1 的大多数人都会认为它是个正常的楼梯,但是再多看一会儿就会发现它倒过来了,一会儿又正过来了。这是著名的薛罗德(Schroder)楼梯。

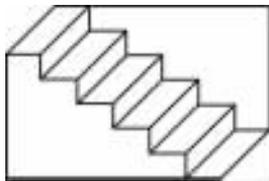


图 9-1

大家看到的是同一个图形,视网膜上的映像并没有变化。但是这张图是被看成正常的楼梯,还是倒悬的楼梯,取决于观察者视网膜上呈现的映像以外的东西。

为什么不同的人,对于同样的对象,看到不同的东西呢?是不是对相同的视觉经验可以做出不同的解释?按照传统的说法,观察是一种纯粹的感官反映活动,它不受任何理论因素的影响,并且为了保持观察的客观性,在观察中也应该排除任何理论的影响,纯粹客观地进行观察。这种观点有人将其称作“中性观察说”(the theory of neutral observation)。按照这种观点,观察者的理论框架、既往经验、文化环境对观察过程都没有影响。

与中性观察说分庭抗礼的是“理论负荷论”(theory-loaded theory),亦译“观察渗透理论”。波普尔、汉森、库恩等西方科学哲学家否认纯粹中性观察的存在,提出了这种观点。这种理论认为,观察不仅是接收信息的过程,同时也是信息加工(对信息进行判断、选择和描述)的过程。因此这种理论认为,观察并非像逻辑经验主义所说的只是对物象“刺激”的消极的机械反应,而是要受到观察者理论的影响和支配。不同理论观点的人可能对同一对象形成不同的观察结果,不存在纯粹的客观中性的观察。

迈克尔·波兰尼描述了当教师教学生通过检查 X 线片来作出诊断时,学生知觉经验的变化。设想一个在上有关肺部疾病 X 线诊断课的医科学生,在一间暗室里,注视着置于一个病人胸前的荧光屏上的影迹,倾听着放射学家用专门术语对他的助手评论这些阴影的意义特征。开始,这个学生感到十分迷惑,因为他在这张 X 线胸片上只能看到心脏和肋骨的阴影,在它们之间有一些蛛丝状斑。专家们似乎在信口讲述他们想像中的虚构的东西;而他却一点也看不出他们所谈论的东西。接下来,由于他继续听了几个星期的课,细心地查看各种不同病例的新片子,他开始有了尝试性的理解;他逐渐忘掉肋骨,并开始看到了肺。最后,如果他聪明地坚持下去,在他面前将会展现出一幅充满有意义细节的全景:生理的变异和病理的变化、疤痕、慢性感染和急性病的症候。他进入了一个新世界。虽然他仍然只看到专家能看到的部分,但是现

在这些片子肯定有意义了,对片子的大多数评论也是如此。也就是说,有经验而熟练的观察者和未经训练的新手在面对同样境况时,他们并没有同一知觉经验。这与认为知觉是通过感官直接给予的主张相冲突。

因此,任何观察都受一定的理论或理论倾向的影响,观察不可能发生在理论之前。伟大的科学哲学家卡尔·波普尔曾经做过这样的实验:开始上课的时候,不谈任何问题,只是对学生说“请观察”,弄得学生莫名其妙,不知所云,因此波普尔说:“观察总是有选择的,它需要选择一个对象,一个明确的任务,一种兴趣,一种观点和一个问题。”

观察陈述是用语言表达出来的,而科学语言总是与特定的科学理论相联系的。使用语言时,理论的框架也就出现了。对观察的描述是以一种描述性的词语及表达属性的词语为前提的,这又是以相似与类别为前提的。比如当用波长为 7000 埃这个术语来表示红光时,就暗含着光谱、波长、光学测量仪等“观察,或者更精确地说,观察陈述和对经验结果的陈述,总是对事实观察的解释,这是根据理论做出的解释。”

由“理论负荷论”出发所获得的一个极其重要的方法论思想就是科学事实的发现依赖于科学理论背景的转变。因为我们承认观察渗透理论,就必然进一步认识到人们决不能脱离理论背景而抽象地看待科学事实的发现。

氧的发现就是一个著名的例子。最先取得较纯净氧并对其性质进行实验研究的是瑞典药剂师舍勒(C. W. Scheele)。1773年,他通过分解硝酸盐、氧化物、碳酸盐等制得了氧气。当他把燃烧的蜡烛放入制得的这种气体中时,发现燃烛更加明亮。舍勒把该气体称为“火气”。由于他坚持“燃素说”的理论观念,于是他认为燃烧是空气中的这种“火气”与燃烧物体中所含燃素相结合的过程,光和热只是“火气”与燃烧物体中所含燃素相结合的产物。舍勒虽然制得了氧,但并没有正确解释燃烧现象,实际上并没有发现氧。因为发现一种现象必然是“包括着既能认识那个现象存在,又能说明它是什么现象的复杂过程”^①。1774

^① T. S. 库恩:《科学发现的历史结构》,《必要的张力》,福建人民出版社,1981年,第169页

年,英国化学家普利斯特列(J. Priestley)继舍勒之后又独立地制得了氧。他用凸透镜聚光加热氧化汞时,发现该物质分解出了这种气体。他将老鼠放进这种气体中,发现它比在等体积的通常空气中待的时间约长了4倍;他亲自尝试了一下,觉得这种空气使呼吸轻快了许多,使人感到格外舒畅。但他并不知道自己发现了一种新的气体,而是把这种气体称为 N_2O 和“脱燃素空气”。因为普利斯特列同样信奉“燃素说”,认为一般空气能助燃,是由于它已被“燃素”部分地饱和;而从氧化汞分解出来的这种气体是新鲜的、不含燃素,所以它吸收“燃素”的能力特别强,助燃能力也格外大。为此,普利斯特列把这种新气体称为“脱燃素空气”。只有拉瓦锡摆脱了传统的“燃素说”,借助于新的燃烧理论——“氧化说”,才在普利斯特列等人工作的基础上真正发现了氧。他通过实验研究和逻辑论证,阐明了可燃物的燃烧根本不是“燃素”的释放,而是与氧发生化合的反应。1777年,拉瓦锡发表题为“燃烧概论”的报告,系统地阐述了氧化学说。

上述案例说明,科学理论背景的转换具有重大的方法论意义。“吸收一类新事实要求更多地调整理论,直到调整好——科学家会以另一种方式看待自然界——新的事实才会真正成为科学事实。”一旦观察者的理论背景发生了转换,就会使他的视野发生深刻的、戏剧性的变化:观察者就能观察到从前“视而不见”、“充耳不闻”的东西,即看到过去所看不到的东西。这就要求观察者不仅要有良好的理论基础,还不能囿于传统的观念^①,要善于改变因一定的理论框架、范式而形成的习惯的“固定思路”,不受“先入为主”思想的影响,才有利于发现新的科学事实。

泛而言之,在观察中,经验得到的东西取决于先前的知识背景,观察是渗透着理论的。既然在科学观察中,人们究竟能看到什么是受到理论影响的,那么,人们就不应当脱离背景知识或理论框架去看待经验事实的科学发现问题。固然,任何观察过程都依赖于感官对被观察物

^① 著名科学家贝尔纳指出:“发现的最大困难,在于摆脱一些传统的观念。”
J. D. 贝尔纳著:《历史上的科学》,商务印书馆,1982年,第22页

客观性质的反应,但观察过程不完全取决于感官的映像,还要依赖于观察者的理论和观点。一旦观察理论观点发生了变化,这种变化就会向观察过程渗透,使观察者的视野发生相应的变化,看到以前所看不到的东西。这也就是哥白尼派天文学家与托勒密派天文学家似乎生活在不同世界中的原因。

我们看另一次笑话百出的心理学实验。

在哥廷根召开的一次心理学会议上,当会议正在进行的时候,突然从门外闯进一个人,后面又接着冲进来一个手持短枪的黑人,紧追前一个人不放。他们在会议厅里混战起来,“砰”地响了一枪,一个人冲出门去,另一个人也跟着撵出了会场。发生整个事件的全部过程,总共只有20秒钟。会议主席请所有的在场者立即写下他们目击的经过。这件事,是会议事先安排好的,事前经过了排演,事件发生的过程又全部录了像。当然,这些安排,与会者是不知道的。不过,发生的事件是如此惊人,足以引起人们的高度注意;在场的又都是心理学家,他们都处于旁观者的地位,与事件没有任何个人的牵连;观察记录又都是立即写出来的,不会由于记忆而造成差错或遗漏。这样看来,他们写的观察报告理应是比较客观了吧?但是,实际情况怎么样呢?在写出的40篇报告中,只有1篇在主要事实上错误少于20%,14篇有20%~40%的错误,25篇有40%以上的错误,特别是,在半数以上的报告中有10%、甚至更多的细节是纯属写报告的人主观臆造出来的。比如,只有10%以上的人看准了黑人是光头,其余的人或说他头戴便帽,或说头戴高帽。黑人穿的本是一件黑色短衫,但有的人却说是全红的,或咖啡色的,等等,真是五花八门,不一而足。在心理学上,经常进行这类实验,其结果均与此相似。

从整个实验过程来看,上述种种错误主要是由于无意过失所造成的。无意过失并非观察者出于某种个人目的蓄意造成,而是观察材料经过大脑改造以后,渗入了某种主观因素,无意识地产生了主观性错误所致。由无意过失造成的错误在观察中是常见的,而反复的精心观察及借助科学仪器等则可以帮助观察者在一定程度上摆脱无意过失的错误。

这次精心设计的心理学实验,可以给我们许多有益的启示。它告诉我们,在观察中产生主观性错误是完全可能的,因而要善于发现产生错误的原因,并及时采取有力措施来防止和避免观察的主观性。就认识论根源来说,先入之见、假象和错觉等都可能致观察的主观性。

先入之见在某种意义上也可以看作无意过失,但它主要是由于观察者用自己原有的知识经验去填补空白,或思想方法上的主观片面所造成的。先入之见常常使人陷入观察的主观性。观察者用自己原有的知识和经验,去填补观察中的空白,这是先入之见的一种表现。在看一部描写狮子追逐黑人的电影时,曾经出现过这样的情况,观众看到银幕上时而出现狮子和人的形象,但是大部分观众相信自己确实看见了狮子向人扑去,甚至有人严肃地抗议不该牺牲黑人来拍摄这样的电影。俗话说:“我们容易看到眼睛后面而不是眼睛前面的东西。”狮子追逐和黑人奔跑这两组不连续的镜头,狮子跃去的地方并没有看到黑人,观众却凭已有知识和经验把这些空白填补起来了,成为连续的镜头。在科学观察中,也有类似的情况,观察者必须十分警惕由此陷入观察的主观性。观察者根据一定的假说和理论,有目的地进行科学观察是完全必要的。但也容易由此陷入主观片面。只观察跟既定目的有关的现象,而对其他有研究价值的现象不予理睬,这是观察中易犯的片面性错误。只观察一些能印证自己的观点的现象,对大量与自己的观点不符的现象则视而不见,这是在观察中易犯的主观性错误。因此,在科学观察中,要随时防止先入之见所引起的主观性。英国著名的生理学家赫胥黎就此作过深刻的论述,他说:“我要做的是让我的愿望符合事实,而不是试图让事实与我的愿望调和。我们要像一个小学生那样坐在事实面前,准备放弃一切先入之见,恭恭敬敬地照着大自然指的路走,否则,就将一无所得。”

假象是由事物本身表现出来的,它也会使人陷入观察的主观性。从地球上的观察者看来,太阳每天东升西落,周而复始,似乎太阳是围绕地球旋转的。这种假象乃是地球中心说产生并长期占统治地位的重要认识根源。从各个不同角度广泛收集观察资料和深入思考,才有可能透过种种现象,揭露事物的本来面目,避免观察的主观性。哥白尼正

是在深入分析了地球中心说在实际运用中所出现的矛盾,长期进行天文观察并掌握了 27 个天文观察资料的基础上,才写出了《天体运行论》一书,创立了太阳中心说。

错觉是由人的感觉器官或心理因素造成的,它也是导致观察主观性的原因之一。古希腊的希罗多德曾经记载过这样一种错觉:“这条溪水清晨是温和的,当市场热闹起来时凉了许多,到中午已经很冷了,因此人们此时浇花灌水。下午日头向西,溪水的温度又有回升,到太阳落山时,溪水又变得温和起来。”实际上并非溪水温度变化,而是由水和空气的温差引起的错觉。颜色和声音等也常使人产生错觉。借助科学仪器是消除错觉的有效措施,但科学仪器的误差同样可以导致观察的主观性。防止和避免由科学仪器的误差导致观察的主观性,也是科学观察中应当注意的重要问题之一。

9.2 实验与仪器设备

观察—实验和仪器是密不可分的。人们在进行观察—实验的时候,既可以直接运用自己的感觉器官,也可以借助各种科学仪器。观察—实验仪器的发展,乃是观察方法和实验方法发展的重要标志。最原始的观察,是直接通过感觉器官从外界获取信息的肉眼观察。古代科学在天文学、气象、生物等方面所积累的大量珍贵的经验材料,大都是肉眼观察的结果。但是,由于感觉器官的生理和心理特点,肉眼观察有很多局限性:感官都有一定的感觉阈值,只能接收有限范围内的自然信息;一般说来,在人们的生活中,80%以上的外部信息都是通过视觉器官——眼睛传入大脑的,而人类的视力范围却很小。所谓可见光,也就是眼睛所能接受到的紫外线与红外线之间的光波只占全部电磁波谱的一小部分,按对数表示的波段长度计算只占 1/70。在听觉方面,人的听觉器官——耳朵只能感受到每秒 20 次到 20 000 次的机械振动。嗅觉、触觉和温度感觉的感觉范围也都很小。另外,感官的灵敏度不稳定,不能进行更加精确的观察;感官的反应速度有限,难以及时、准确地观察和记录高速运动或瞬时出现的自然现象;感官的功能还常常因人

而异,存在着很大的个体差异,感官还缺乏客观的测量标准,难以做出精确的测定。如此等等。

仪器的出现,使实验中的感官观察发展到仪器观察,这是人类科学认识活动的一次飞跃,它极大地克服了人类感官的局限性。以17世纪初望远镜和显微镜在观察中的应用为标志,仪器在近代科学中起到了非常重要的作用,以至于要论述近代科学史的最早阶段的实验及观察,就必须谈到某些科学仪器不可。

17世纪应用的主要仪器有显微镜、望远镜、温度计、气压计、抽气机、摆钟和几种船用仪器,它们都对当时的科学研究和科学实验起到了十分重要的作用。据说最早将复显微镜用于科学工作的是伽利略。他亲自动手制作了望远镜,并直接用于观察天体。牛顿也曾亲手制作了望远镜。据说1610年甚或更早,他用复显微镜研究了昆虫的运动器官和感觉器官,此外还观察了昆虫的复眼。使显微镜流行开来的殊荣应属于胡克。他用复显微镜观察到了最早的死细胞,并写下了最早论述显微镜的观察专著《显微术》(1665年)。

最初的望远镜可能是产于荷兰,不过荷兰的眼镜制造者只是把望远镜当作一种令人好奇的玩具。望远镜有效地应用于科学,那主要同伽利略有关。伽利略利用其精深的光学知识,制造了一架望远镜。“同肉眼所见相比,它们几乎大了一千倍,而距离只有30分之一。”开普勒、牛顿等人都曾用自己制造的望远镜进行观察。牛顿用自制的反射望远镜观察到了木星的卫星和金星的周相。后来他又制造了一架比较大的同种望远镜,并将这架望远镜献给了皇家学会,至今还保存在皇家学会的图书馆里。

伽利略发明了温度计,牛顿也曾亲自制造过温度计。这一时期的科学家们所获取的成果都同技术发明特别是仪器的使用有着十分密切的关系。古老的肉眼观察发展到了近代的仪器观察,这在观察方法的历史发展中,是一次较大的飞跃。现代化的仪器,特别是电脑的应用,又使得仪器观察在操作方式上由手工操作发展到了自动化操作,从而进一步提高了观察的质量和效率。

运用仪器,使观察不再停留在客体的自然状态上。运用仪器,可以

按照既定目的,对客体施加影响和作用,有意识、有步骤地变革客体,进行科学实验。现代的科学观察虽然还包括感官观察,但主要是指仪器观察,特别是实验中的仪器观察。

科学实验使人的聪明才智和科学仪器的作用巧妙地结合起来,能够充分发挥人的主观能动性,具有许多独特的认识功能。诸如通过仪器设备把所要研究的客体——某一物质或某一种现象或过程孤立或隔离出来,排除其他的现象、过程和起干扰作用的因素,在纯粹的状态下观察客体的变化进程和规律;通过仪器设备控制客体的有关因素,可以同时固定一些因素和变化一些因素,可以加进一些因素和减去一些因素,用有意识地变换和组合各种因素的办法,分别观察和揭示各因素之间的因果关系;通过仪器设备把要研究的客体置于人工控制的极端状态或极限状态,如在超高温、超低温、超高压、超高空、超强磁场……状态下观察客体性能的变化;用模拟的方法,制作与自然状态相似的环境,选取与研究客体主要性质相似的模型,通过模拟可模型实验,观察和研究那些不易直接变革的客体,等等。

1) 仪器的制作

在二次世界大战之前,科学仪器制造行业尚没有真正出现,研究机构中只设有设备维修工人和简单的机床,连工程师都很缺乏。买不到现成的仪器,又没有专门设计和制造设备的力量,实验科学家要进行实验,特别是用合乎自己需要的仪器进行实验,唯一的办法就是自行设计,组织制作或参与制作,甚至亲自动手制作实验仪器。对于在科学前沿拼搏的科研人员来说,当研究方向和课题基本上确定之后,只有研究者最了解应该用什么样的实验设备去进行什么样的实验,而市场上能买到的通用仪器往往很难满足研究人员特定的要求,这就需要他们根据实际要求去自行设计、制造或改进实验仪器和设备。所以实验研究人员不但应了解科学概念和原理,而且应善于构思、设计,甚至参与制造仪器和设备,并能动手操作它们,做出科学测量并有所发现,否则就不能认为是真正合格的实验研究人员。

第二次世界大战之后,随着科学技术的发展,仪器制造业出现并有

所发展,但当时是制造通用性的仪器和设备,如电子计算机、电子显微镜、光谱仪、计数器等,甚至特制的专用仪器和设备还有不少可以定做。但能够用通用仪器和设备做研究的人越来越多,用它们能够取得的新发现人们很快就做到了,所以大量突破科技前沿的重要科研项目就非用特制的仪器不可,这就决定了实验科学家必须兼有科学、技术甚至制作仪器和设备的能力。到目前为止,凡是在实验科学上作出重要成绩的科学家,他们所用的大部分仪器和设备几乎都是自行设计、制作和操作的,不具备这些技能和条件的人能取得重要发现的即使有,也是极个别的。

伟大的理论物理学家麦克斯韦是著名的卡文迪许实验室的奠基人,他不仅是一位伟大的理论物理学家,而且也是一位伟大的实验家。他中年后决心当一名实验家,而且把实验看作“对明显的科学说明所依据的根据进行考察”,看作是“提供和传播真实科学原理”的基础,甚至是“深刻批判精神”的试金石。在他看来,科学理论产生于测量所见到的东西、其数量大小及其相互关系之中。这种将理论扎根于实验测量的观点,实际上使科学发展建立在牢固事实上,因此实验是否准确和可靠便成为理论科学的真正基础和检验标准。为此麦克斯韦主张让学生自己动手去做实验,让学生在实践中摸索,学会真实的本领。他说:“用自己制作的仪器做实验的学生,即便未能成功,时常比用经过仔细调整好的和易于相信的仪器却不敢将它拆成部件的学生要学到更多的东西。”他的这种让学生自己制作仪器并亲自做实验的观点,后来在卡文迪许实验室得到发扬,成为该实验室可贵的实验传统,为其后来人根据研究的需要自己构思和制作仪器与设备,由此而取得原创性的发现起了十分重要的作用。

为了说明“自己动手”这个原则的发展,下面以卢瑟福的事例作示范说明。1911年的3月至5月,卢瑟福发表了他的原子有核结构模型,引起了国际科学界的注意,这个模型是以他的助手盖革(Hans Gerger)和研究生马斯顿(Ernest Marsden)发现 α 粒子被金原子核大角散射的反常情况为基础,他经过近一年的思考和洞察,才提出来的合理说明和物理图像:原子由正电中心和包围它的外围的回旋电子所组

成。同年 8 月,他在发表的一篇文章中指出,正电中心就是荷正电的原子核。日本物理学家长岗半太郎(H. Nagoaka)早在 1904 年,在德国留学时就提出了原子结构的土星模型,即原子由像土星卫星和光环绕土星旋转的模式构成。在卢瑟福发表他的原子有核模型之后,科学界出现了认为他的理论是根据长岗的模型而提出来的说法,言下之意是抄袭。而事实并非如此。长岗的缺点被认为是认为“土星的中心”是中性的,不带正电,而且“土星光环”是盘状的平面结构和不带负电的;而卢瑟福的模型则是立体的,与原子的真实结构相符。长岗得知卢瑟福的模型后,在回日本后给卢瑟福的信中这样写道:“在你的实验室中,我看到你用那么简单的仪器取得了那么多重要的发现,令我震惊不已。”这次访问令他彻底消除了因流传说而产生的疑虑,对卢瑟福他完全折服了。长岗不但完全承认卢瑟福的原子模型,而且深刻领会到一个科学家应该怎样去做实验研究。卢瑟福有时还告诉他的助手说:“你们最不要做的事就是去阻止学生做一个什么样的实验,即使他们做不出预期的东西也会做出别的东西来,而且有时或许比你们设想的还要好。”这样放手让学生和助手大胆地构思和动手实验,往往会有意想不到的发现。例如 1914 年第一次世界大战爆发前,研究生马斯顿在卢瑟福赴澳大利亚出席大英科学促进会的年会期间,做了用 α 粒子轰击氢原子的实验,在实验中他发现打出了一种远程的辐射粒子,却不知是什么,于是他写信报告卢瑟福。之后,马斯顿就按战时需要奔赴前线去了。卢瑟福开会回来后很快又参加研究探测德国潜艇的工作,直到 1917 年才抽时间回来继续做马斯顿的这个实验,结果首次发现可人工打破氢、氮原子核,从此开始了以人工使核或元素转变的多年研究,这被玻尔称为是“开辟了自然哲学新纪元”的划时代成就。

2) 仪器的发展

20 世纪以来,仪器作为感官的延长和补充,在广度和深度上都极大地提高了人类的观察能力。比如在天文学观测方面,光学望远镜已可越出太阳系和银河系,射电望远镜等新观测手段,更把人类的视野扩展到 100 亿光年的空间尺度和 100 亿年的时间尺度。在生命科学方

面,借助光学显微镜可看到的细胞基本结构,而电子显微镜的本领更高出千倍,达到 $2\sim 3\text{\AA}$,即相当于原子的大小,可以看到细胞的超微结构。仪器还为人们提供了越来越准的计量、测量手段,使观察走向定量化、精确化。可以说,没有仪器就没有科学的观察和实验,也就没有现代科学。

仪器的设计和改进,新的高、精、尖仪器的研制,这些工作已成为现代科学的重要方面,许多科学研究课题就是属于改进仪器和实验技术的。20世纪以来,出现了许多新型仪器如质谱仪、激光器、加速器以及各种高能探测器等。各种精密仪器的制造,特别是空间科学所需的火箭、人造卫星、宇宙飞船的制造等等,不仅反映一个国家的科学水平,而且反映一个国家的工业技术水平。

实验技术装备内容十分庞杂,主要包括仪器、仪表、机械、材料、试剂、动力、建筑设施和软件等等用于获取科学事实的各种实验仪器和技术手段。实验的实施,也包括实验仪器的研制、安装、操作等。实验仪器的精密度,很大程度上影响了实验效果。丁肇中等人发现J粒子的实验,就是一次“精密度的胜利”。1970年,他们就在布鲁克海文实验室发现了有关现象,但由于仪器精密度不高而无法辨认是否由于新粒子所造成的。此后,他们致力于提高仪器的精度,花了两年多时间研制成一架具有高分辨力的大型双臂能谱仪,从而在1974年发现了J粒子。可见,观察—实验仪器在科学研究中,特别是现代的科学研究中占据着十分重要的地位。

随着科学研究的深入和复杂化,对实验技术装备的要求越来越高,投入也不断增长,实验研究机构已从简单的自给自足的“工匠手工业”发展为“社会化大生产”的方式。实验仪器从单参数一次仪器提升为计算机智能型的多参数二次仪器,项目投资额度已达到几十亿甚至上百亿美元,跨国寻求合作开发实验技术装备与研究科学项目,已成为当代的一个特色。

1972年美国费米实验室建造的5千亿电子伏质子同步加速器,它的主体跑道管的直径达2公里,磁场所需的电力达10万千瓦。这架“仪器”造价为2.4亿美元,每年运行维护费为7000万美元。美国贝尔

电话公司所设立的“贝尔实验室”，雇用 22 500 人，其中有博士学位的就有 3 000 人，诺贝尔奖金获得者 7 人，每年经费 16 亿美元。在大科学时代，科学社会化的一个集中突出的表现，就是科学实验的技术装备日益复杂，实验室规模日益增大。

9.3 实验中的合作

很多成功人士在谈到自己的成功经验时都会强调，自己的成功离不开别人的支持，或者说自己的成功是站在巨人的肩膀上取得的。中国的许多俗语也肯定了这一点，“一个篱笆三个桩，一个好汉三个帮”，“前世之鉴，后世之师”，等等，都是前人对这种合作或借鉴（间接合作）的正确认识的总结。古往今来，许多有成就的人都是善于与人合作或者善于借鉴利用的伟大人物，因为他们深知，一个人的力量总是有限的，每一个人所喜欢做的事情和擅长的工作都不一样，没有充分的合作和借鉴很难取得杰出的成就。在人类历史上有着许多成功合作的经典故事，特别是在生物科学的发展史上，每一次成功的合作或借鉴往往都会导致科学研究上的重大突破。

1) DNA 双螺旋模型的创立

DNA 是遗传物质脱氧核糖核酸的简称。DNA 分子的双螺旋结构（图 9-2）是美国生物学家沃森（Waston）和英国物理学家克里克（Crick）在 1953 年描绘的。

沃森少年时代就对生物学有极大的兴趣，在芝加哥大学他选读了鸟类学。大学期间又对遗传学产生了兴趣，并开始研究噬菌体体内 DNA 的生物化学。1951 年 10 月，23 岁的沃森进入英国剑桥大学

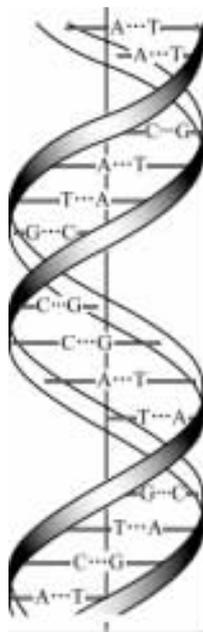


图 9-2 DNA 双螺旋结构示意图

两条糖和磷酸骨架在外周缠绕在一起，由氢键维系着的碱基对平面在内部。这样，DNA 结构很像一个螺旋形楼梯，而平面碱基对侧是一个台阶。虚线表示氢键。

卡文迪许实验室工作,遇到了 35 岁的克里克教授。

克里克是一位很有造诣的物理学家,他不仅了解 X 射线结晶学,而且对基因结构和生物学功能非常感兴趣。他们都急于了解在分子水平上基因是怎样活动的,于是两人一拍即合,开始了探索 DNA 分子结构的征程。

他们深信,DNA 的结构可能是生物学最基本的问题。一年多时间里,他们始终沉浸在艰苦而快乐的 DNA 研究之中。他们研究了威尔金斯(Wilkins)和富兰克林(Franklin)利用 X 射线衍射技术对 DNA 分子从各个角度拍摄的许许多多照片。克里克擅长物理和数学,主要用数学方法解决 DNA 结构问题,他整天沉浸在数学计算之中,推算出了一种数学公式,可以用来描述一个螺旋分子与它的 X 衍射图样之间的对应关系,这为下一步建立 DNA 结构模型奠定了基础。沃森善于思考和分析,也善于想像,他有遗传学方面的直觉,在确定 DNA 究竟是三链还是双链问题时,起着关键性作用。沃森说在牛津度周末时看到各种螺旋楼梯,使他坚信其他生物结构也应该呈螺旋对称。他仔细观察了肌肉和胶原纤维的电子显微镜图,寻找着螺旋状的踪迹,为了拍摄烟草花叶病毒结构,他经常在实验室工作到很晚,当他把烟草花叶病毒螺旋结构照片冲洗出来时,尽管是午夜了,却兴奋得不想回家。他们的共同特点是十分善于学习,并能相互取长补短。两人的看法经常发生分歧,但他们往往通过讨论,互相补充彼此专业知识的不足,克里克从沃森处学习噬菌体遗传知识,同时用结晶学知识来充实沃森的头,他们两人每天交谈讨论至少几个小时。他们在经历制作三链螺旋结构模型失败后,经过分析比较终于制作出 DNA 分子的双螺旋结构模型。他们的合作充分地体现了生物学和物理学的完美结合。

沃森和克里克提出的 DNA 双螺旋结构模型的主要内容如下:

根据碳原子和氧原子的已知键角,人们早已知道像多核苷酸那样的长链在空间必呈螺旋形。

分析 X 射线衍射照片所用的布拉格公式是:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

式中: θ ——衍射角;

λ ——线波长；

d ——存在的重复间距；

n ——2,3……正整数。

当 $n\lambda$ 恒定时, d 越大则 θ 越小。

在富兰克林提供的 B 型 DNA 的 X 射线衍射照片中, 子午线上距照片中心的远处有很强的衍射点, 按上述公式计算, 相当于 3.4Å 的重复间距, 应该设想这是两个相邻核苷酸之间的间距; 赤道线上距中心近处的衍射点相当于 20Å 的间距, 沃森和克里克很自然地把这一数值设想为螺旋的直径。在 $20\text{Å} \times 20\text{Å} \times 3.4\text{Å}$ 这样一个单位空间内所测得的电子密度相当于两个核苷酸分子所具有的电子, 这使他们设想 DNA 是由两条螺旋形多核苷酸链互绕而成。从结构化学原理考虑, 这两条链在空间都以同一方向旋绕, 即均为右旋; 但两条链的分子方向则相反, 如一条链的方向为 $5'$ 端到 $3'$ 端, 则另一条链必为 $3'$ 端到 $5'$ 端。为了解释照片中子午线上相当于 34Å 的衍射点, 他们设想同一链上两个相邻核苷酸之间的旋转角为 36° , 这和结构化学的理论很符合, 因而连续 10 个核苷酸就旋转 360° , 即一整圈, 这是螺旋的旋绕周期, 其长度确实应该是 $3.4\text{Å} \times 10 = 34\text{Å}$ 。两条多核苷酸链的磷酸——戊糖位于双螺旋的外侧, 碱基则向着双螺旋的轴心并与双螺旋的长轴垂直。



图 9-3 沃森和克里克

他们的研究成果发表在 1953 年 4 月 15 日的《自然》杂志上。

DNA 分子的双螺旋结构模型这一创造性的发现,是生命科学研究历程中一个具有划时代意义的突破。它宣告了分子生物学的诞生,也开辟了生命科学研究的新纪元。为此,沃森和克里克及威尔金斯荣获了 1962 年的诺贝尔奖。沃森和克里克之所以成功,其中重要的一点是两人的坚定合作。沃森后来提到此事时说:“能在佩鲁茨的实验室里遇到一位懂得 DNA 比蛋白质更重要的人真乃三生有幸。”沃森和克里克真是一对互补型的杰出人才,他们是互相补充、相互批评、相互激发而团结协作,是合作成功的典范。他们在发表 DNA 分子的双螺旋结构的论文时,两人都衷心地感到,不论缺了谁,他们都不可能有此成就,最后,他们用扔硬币的方式来决定排名顺序。我们可以从他们的成功中懂得什么叫合作!

2) Pa Ja Mo 实验

Pa Ja Mo 实验是成功合作的又一典范,是三位不同国籍的科学家团结协作,共同努力的结果。这一实验为雅各布和莫诺后来提出的乳糖操纵子学说奠定了坚实的基础。

莫诺和雅各布都是法国巴斯德研究所的工作人员。巴斯德研究所是 1988 年由巴斯德用私人基金建立的,因微生物和免疫学的成就而享有盛誉。莫诺和雅各布由于共同的兴趣和追求走到了一块,进行了十分有成效的合作研究,最终取得了科学上的重大发现。

1957 年秋,莫诺和雅各布在认真讨论的基础上,提出了一个用细菌遗传分析的方法研究乳糖代谢体系的计划。此时,莫诺已经选择出两种细菌突变体,它们的 β -半乳糖苷酶的诱导生物合成特性都改变了:一种是不能再产生这种酶亦即丧失合成这种酶的基因突变;一种是即使在诱导物不存在时照样能合成这种酶的基因突变,即“诱导性”变成了“组成性”的突变。需要进一步解决的问题是:这些基因如何表达?两种突变体的基因之间有什么关系?诱导性、组成性产生的原因是什么?

正在这时,美国加州伯克利大学病毒实验室的帕迪利用休假期来到巴斯德研究所工作。帕迪是一位酶学专家,也是一位认真细心的实

验高手。他对莫诺的工作早有兴趣。帕迪到来后,同莫诺和雅各布进行了十分有效的合作,他们共同设计了一套实验,并以帕迪为主进行操作。

他们首先选择制备大肠杆菌各种雌雄突变体,它们必须具有以下一种或两种基因。能合成 β -半乳糖苷酶的基因,以 Z^+ 表示,不能合成这种酶的,用 Z 表示;加入诱导物后能合成该酶的基因,用 I^+ 表示,不需诱导物自己就能合成该酶的基因,用 I 表示。各种突变体制备后,用细菌交配的办法(包括正反交),记录酶产生的时间和酶活性的增长速度,并找出两者之间的关系。这是一项既花费时间,又十分乏味,要求十分仔细的劳动,但却取得了突破性的进展,对于乳糖操纵子理论的建立,这是一项决定的实验。这项实验后被命名为“Pa Ja Mo 实验”,由帕迪(Pardee)、雅各布(Jacob)和莫诺(Monod)三人姓名前两个字母拼写而成。

Pa Ja Mo 实验的最重要影响是促进了乳糖操纵子理论的建立,乳糖操纵子理论是分子遗传学中继 DNA 双螺旋结构和遗传密码以来第三项重大发现,它开创了基因调控机制的研究,其意义十分深远。雅各布和莫诺也因此获得了 1965 年的诺贝尔生理学 and 医学奖。

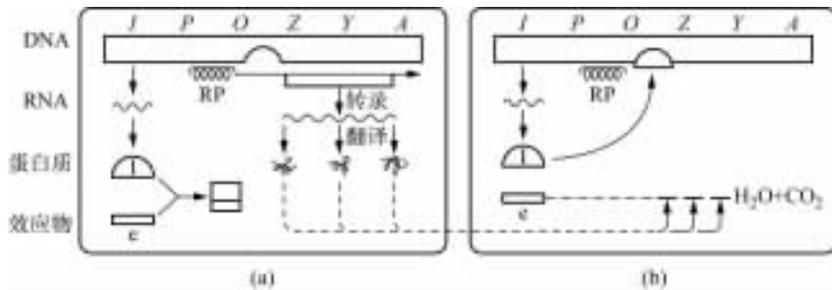


图 9-4 大肠杆菌的乳糖操纵子的负控制示意图

帕迪、雅各布和莫诺的实验也是三人在密切的合作和努力下完成的,他们再一次向人们展示了合作的重大意义!

3) CLB 法

CLB 法是美国著名遗传学家缪勒(Muller)首先创立的,至今仍是生物检测的重要手段之一。它是缪勒在充分借鉴和吸收他人成果的基础上形成的,是一个借鉴他人成果而取得巨大成功的典范。1927年,缪勒在美国《科学》杂志上发表了《基因的人工诱变》一文,标志着人类对基因怎样变异的研究有了实质性的突破。而这一成果的取得是与 CLB 法成功运用分不开的。

缪勒于 1912 年起进入美国哥伦比亚大学摩尔根领导的实验室工作。1920 年转到得克萨斯大学工作。他一生中最辉煌的贡献就是他在得克萨斯大学进行的人工诱发突变的研究。

从遗传学开始产生直至现在,遗传学家习惯的研究方法就是分离突变体。但是,由于基因的自然突变频率很低,用缪勒的话说,“致使基因突变的理论和实际研究受到了非常严重的障碍”。这促使缪勒从 1921 年至 1932 年用整整十年的时间不知疲倦地探索基因的人工诱变以及检测这些突变的方法。依据荷兰科学家德弗里斯指出的思路,缪勒主要是用 X 射线处理果蝇。缪勒认为,必须建立起一种能通过标记基因鉴别一个特定染色体的可靠手段,这种手段必须能防止这个染色体通过交换从同源染色体那里得到一个别的基因,还要能使这个染色体处于可表现突变变化(自然突变和人工诱变)的组合。缪勒在 1927 年发表的《基因的人工诱变》论文中描述了他首创的 CLB 法能满足这些要求。

1913 年,斯特蒂文特发现果蝇的某一品系在第 III 染色体的长臂(右臂、R 臂)有一个“交换抑制因子”,它把从 e(黑檀体,位于 70.7)到 ro(粗糙眼,位于 91.1)这一段原来应有的 20.4% 交换几乎完全抑制;以后更发现其交换抑制作用涉及整个第 III 染色体长臂,从 47.5 的 Dfd 到长臂端部 105 的 Mg,但对其他染色体臂上的交换却毫无抑制作用。这种交换抑制因子后来还发现不少,各个染色体的长臂上都有。1921 年,他终于明白 1913 年他所发现的现象是因为第 III 染色体长臂的连锁图上有一段基因次序与正常相比颠倒了。正常第 III 连锁群上的

次序原本是 ru-st-s7-e-ro-ca, 而在那种果蝇品系中却形成 ru-st-s7-ca-ro-e, 其中 e 到 ca 一段颠倒。他把这种现象定名为“倒位”, 认为这是染色体的相应片段发生颠倒的结果, 并且认为这就是杂合状态下该片段没有交换的原因, 也可以解释在纯合状态下其交换抑制作用就完全消失了。倒位能使交换抑制, 这是斯特蒂文特这项经典工作的重要启示。

倒位的交换抑制效应可用来保存带有致死基因的品系。一般品系都以纯合状态保存下来。例如果蝇的白眼品系, 每只雌体都是 $X^W X^W$, 每只雄体都是 $X^W Y$; 每产生一代新个体, 几乎不需要逐只观察就能够移入新的饲养瓶。但致死基因不然, 因为纯合个体是致死的, 所以只能以杂合状态保存。例如果蝇第 III 染色体上的 D(展翅), 是个显性基因, 但也是纯合致死基因。培育这个品系是用 Dd 雌雄交配, 所得后代是 $2/3 Dd$ 和 $1/3 dd$ (本应是 $1/4 DD, 2/4 Dd, 1/4 dd$; 但 $1/4 DD$ 个体死亡)。可是在保存这个品系时, 必须把每代个体逐个观察, 把 dd 个体淘汰掉, 只让 Dd 个体保留, 否则, 由于 Dd 雌雄交配所产子代数只有 dd 雌雄交配所产子代数的 75%, 几代之后, 饲养瓶中就只有 dd 个体而无 Dd 个体, 也就是说, D 这个基因就再也找不回来了, 但是, 每代个体逐个观察是极费人力和时间的。1918 年, 缪勒在实验室想出一个极巧妙的办法, 就是再用另一致死基因来“平衡”, 即建立所谓“平衡致死系统”。例如可用 Gl(粘胶眼)基因, 这也是第 III 染色体上的显性基因, 纯合致死。把 D 与 Gl 交配, 只挑选后代中既表现 D 又表现 Gl 的雌雄个体传代。于是后代全是 Dd 和 Glgl 双重杂合子, 没有分离; 当然其实并不是真的不分离, 只不过分离出来的纯合个体全部致死而已。这种永远以杂合状态保存下来且不发生分离的品系就叫做平衡致死品系。不过 D 和 Gl 之间必须不发生交换才行, 如果发生交换, 几代之后会把 D 和 Gl 这两个基因都淘汰掉。幸好 D 和 Gl 在连锁图上极其靠近, 都在 41 左右, 两者之间几乎没有交换。可是并不是每个致死基因都能在其近处找到另一个致死基因来平衡的。那么, 利用倒位就可以解决这个问题。倒位的交换抑制效应可用来保存带有致死基因的品系。

熟悉实验室这几项经典工作, 理解 CLB 就很容易了。CLB 法中 L

代表 X 染色体上的一个隐性致死基因(Lethal);B 代表同一 X 染色体上的显性棒眼基因(Bar);C 即交换抑制因子(Crossover),代表 X 染色体上一段包括 L 和 B 的倒位。B 是标记基因,也就是说,棒眼的存在就表示隐性致死基因 L 的存在。缪勒先用 X 射线照射野生型雄果蝇,然后使它与 CLB 的雌果蝇交配,再将子一代中的棒眼雌蝇与野生型雄果蝇做单对交配,子二代雌雄蝇数之比应为 2:1。但如果子一代棒眼雌蝇中来自经 X 射线处理的雄果蝇的 X 染色体上发生了一个隐性致死突变,子二代将没有雄性果蝇。用此法就可以检测 X 连锁隐性致死基因的突变率。缪勒在《基因的人工诱变》一文中报告,“高剂量 X 射线处理雄果蝇精子,能诱发受处理的生殖细胞发生高比例的基因突变。……高剂量处理的突变率要比未受处理的生殖细胞高出约 15 000%。”以后他又创造了 Muller-5 法等等可检测 X 染色体和常染色体上突变基因的方法。缪勒在充分借鉴和利用他人成果的基础上,精心设计了实验系统,使在定量的基础上研究突变成为可能,这些工作都令遗传学家兴奋不已。

缪勒在突变研究方面的突破引发了遗传学研究的新热潮。1928 年,斯塔德勒(Stadler)用射线处理诱发玉米和大麦的基因突变,表明剂量与突变率之间呈直线关系。1930 年以后,辐射遗传学应运而生并获得迅速发展,证明除 X 射线以外,其他射线都能诱发突变;与此同时,也大大促进了自然突变的研究进程。1946 年,缪勒成为继 1933 年摩尔根获诺贝尔奖之后第二位获得诺贝尔奖的遗传学家。

缪勒取得成功的原因固然很多,但其中最重要的一点是善于吸收和借鉴他人的成果,并进行精心利用。从某种意义上说,这实际上是一种间接意义上的合作。也正是有了这种合作,遗传学研究才有了更大的进展和突破。

9.4 实验中的创造性思维

对于科学实验而言,创新是一个极其重要而又十分敏感的问题。当代科学哲学中曾经存在一个关于科学方法的争论,即科学哲学

究竟应着眼于对科学知识作静态分析,还是着眼于对科学的过程作动态的把握。用科学哲学的专门术语来说,就是所谓辩护和发现的问题。差不多到 20 世纪 50 年代末,西方大多数科学哲学家还认为,科学哲学或科学方法论的任务,应当是分析和证明已形成的知识,至于这种知识的起源和科学发现的过程,则应当是心理学家、社会学家所研究的问题,因为科学发现是跟科学家的个人心理特征以及相应的社会环境因素联系在一起。

截然划分科学证明与科学发现的界限也并非全无道理。其前提正是认为科学证明有规律可循,是属于严格的逻辑范畴的问题,而科学发现却难以捉摸,对于哲学来说是无能为力的,而应由心理学去研究。而所说的需要心理学研究,其实正是指非逻辑思维形式的特殊作用及其心理机制。这类问题的确不能靠哲学思辨来解决,而有赖于心理学乃至脑神经科学的实证研究。

20 世纪 50 年代末,美籍英国科学哲学家 N·汉森在《发现的模式》一书中,对科学哲学的传统观点提出了批评。他认为,科学哲学不应只限于研究科学认识业已取得的成果,它可以、也应当对认识过程的一切阶段,因而也包括对新的科学思想、科学假说和科学理论的产生阶段加以研究。因此,科学哲学家将科学发现问题纳入科学哲学的范畴,利用某些心理学的传统的研究方法(如调查法、个案法或称案例研究)和成果,对科学发现过程进行研究和分析,取得了一定的成果。

总的来说,创新思维没有严格具体的规则可遵循,但却并非不可认识。如同对创造过程宏观运作机制已有所认识一样,对于创新思维的微观机制,目前也已找到一些认识其规律性特征的有效途径。

途径之一是通过分析创造主体的“内醒报告”来认识其特征。这也是个案研究的一种重要形式。在这类研究中,迄今影响最广的是法国数学家 J·阿达玛的工作。他于 1945 年对全美杰出的数学家进行问卷调查,所提 31 个问题中的最后两个问题便是询问他们在创造活动中使用的是何种类型的思维,以及这种思维形式与意识状态之间的关系是怎样的。根据调查结果,他指出:“实际上,几乎所有的人不仅在思维过程中避免使用语言,甚至还避免使用代数符号或者任何其他固定

符号。他们也和我一样,总是运用模糊的意象思维。”他还指出,数学家们所说的意象常常是形象化的,有一些人考虑起问题来很积极,也很生动。

特别令人瞩目的是爱因斯坦对上述问题的回答。爱因斯坦在回信中明确指出,在他的思维活动中语词似乎不起任何作用,作为思维元素的心理的东西是一些符号和有一定明晰程度的意象,它们可以自由地再生和组合。这种组合活动似乎是创造性思维的主要形式。并且指出,这些心理元素是视觉的,有时也有动觉的。而只是在这之后,惯常使用的语词或其他符号才在下一阶段费劲地寻找出来。爱因斯坦同时提出,那些心理意象与有关的逻辑概念之间也清楚地存在着一定的联系,因而才有可能在下一阶段找出那些逻辑概念,而把那些心理意象逻辑地构造起来,并用语词或其他符号传达给别人。关于这种思维活动与意识状态的关系问题,爱因斯坦提出了所谓“意识狭窄性”的概念。意思是指这种思维活动往往为“自觉意识”所不达,也就是属于“意识边缘”,实为“无意识状态”(unconsciousness states)之中。这表明爱因斯坦曾体验到创造性思维过程中的无意识心理状态。

由于爱因斯坦的巨大成就,他的“内省报告”具有重要的价值。其关键思想是指出了创造过程中思维活动的形象化特征和语词中逻辑要领在这里似乎不起作用;进行这种思维活动所依赖的,似乎是无意识心理状态。

现在,阿达玛的调查结果可以说已经得到了脑科学研究的有力支持。荣获1981年诺贝尔医学—生理学奖的美国心理生物学家R·斯佩利,与其同事关于大脑两半球功能特化现象的发现证明了阿达玛的调查结果。斯佩利及其同事在研究胼胝体的实验作用时,对“裂脑动物”进行了大量观察。他们在动物实验中发现,长期认定右脑是没有意识功能的“次要半球”的传统理论与实验事实相矛盾。传统理论认为,割裂了左、右两半球(通过切开胼胝体)的猫,单用其右脑半球同样能记忆、能学习。于是,他们便敏锐地抓住了这一问题,转而开始了对“裂脑人”的实验研究。斯佩利等人通过“裂脑人”的研究发现大脑左、右半球存在着功能特化现象,缺乏语言意识功能的右脑半球,乃是具有生动的

形象化意识功能特点的脑半球。也就是说,右脑半球与左脑半球一样具有高级意识能力,只是由于它不具有言语功能而往往不为主体自身所察觉,以致长期被误认为是没有意识功能的“次要半球”。其实,右脑的非言语的形象化意识功能,恰为创造性思维活动所必需。而所谓“无意识”(unconsciousness),也并非“没有意识”(no consciousness),它只不过是未进入左脑言语意识的右脑的意识状态。所以,创造性思维的形象化特征和无意识性特征都是右脑的功能表现。斯佩利及其后许多人的工作还表明,创造过程中的直觉思维,也是右脑那种瞬间内整体把握事物本质功能特点的体现。

美国科学哲学家库恩强调,全部科学工作具有某种发散性特征,在科学发展最重大事件的核心中,发现者的思维都有很大的发散性;同时,他又认为,某种收敛式思维也同发散式思维一样,是科学进步所必不可少的。这两种思维形式既然不可避免地处于矛盾之中,那么,在它们之间保持一种必要的张力,正是成功地从事科学研究所必要的先决条件之一。因此,科学实验中创新思维的实质,是在收敛性思维与发散性思维之间形成必要的张力。

科学史上以及现代科学中,这样的事例不胜枚举。如沃森—克里克发现 DNA 双螺旋结构的过程,可以说就是首先运用逻辑思维的力量,以吸收物理学、结构化学等学科的一些已有原理和方法,以及生物学领域多位学者的已有成果,经过近两年的酝酿,提出多种试探性解决办法后,才一举成功的。

另一方面,即使主要依靠逻辑思维的力量,如准备阶段中发现问题的过程,同样也需要有非逻辑思维的作用。爱因斯坦就认为他正是由直觉发现问题,后又经过“十年沉思”找到同时的相对性这一突破口,才完成了相对论的伟大创造。事实上,即使在验证阶段也不可能全然按逻辑程序进行。在实验检验中,如无脱离逻辑常规的丰富想像力,也不可能构思出既有效又巧妙的实验设计。

人们总是在有了一个更好的概念以后才放弃现有的概念的,否则就不叫创造。创造是在复制和突变之间达到最有利的平衡。在生物进化的过程中,不仅有突变,而且也有雷同的复制,复制多次后偶然才出

现突变。一个具有创新风格的作曲家,多处重复的是前人的风格,只是在个别但很关键的地方做了改变。

创新和发现是奇特的,是意料之外的事情。对于创新者和发现者而言,创新和发现可能驳倒了他曾经接受或推测过的某些东西。一个人在“创新”以前需要一种解放。1928年,爱因斯坦在柏林时曾经说过,如果他没有读过休谟的著作,他可能不敢推翻牛顿的基本假设。休谟的著作提倡一种怀疑精神,怀疑精神有助于使爱因斯坦离开教条主义的轨道。科学上的创新和发现常常需要从习惯性思维的框框中解放出来。人们都有创新的潜在能力,但也有一种保守倾向。有人考察动物行为时发现,动物既会对新事物表示畏惧,也会被新事物吸引,可以把这两种行为分别叫做憎新趋向和趋新倾向。只不过新意识强的人,其趋新倾向似乎更强烈罢了。

9.5 实验中的创新

沃哈德(C. Nusslein Volhard)和韦乔斯(Eric Wieschaus)是1995年诺贝尔奖获得者。沃哈德和韦乔斯的工作首次证实,发育所涉及的基因能被分成若干不同的功能区域。这是一个良好的开端,它激励了其他科学家在其他物种中去寻找相似的发育基因。

沃哈德和韦乔斯有着共同的研究兴趣,就是有关胚胎的广泛的形态学问题。他们很想研究卵子在形成中发育的形式是怎么受母体效应基因影响的。然而在当时,几乎无人相信在这条道上探索也能有所收获。由于分子生物学的思想和方法已经成为热点,在沃哈德周围的人,大多热衷于DNA研究,去克隆一些有趣的基因。说到研究胚胎突变问题,他们认为,无非是搜集卵和观察、描述胚胎发育过程,这是多么乏味的工作。然而,沃哈德和韦乔斯却以初生牛犊不怕虎的勇气,闯入了一个荆棘丛生同时也是魅力无穷的新领域——发育遗传学。他们有一个坚定的信念,这就是可以通过研究突变胚胎来理解果蝇发育。

从1979年秋天到1980年夏天,沃哈德和韦乔斯建立了近2700个自交系,其中有4332个引起胚胎致死的突变,580个引起胚胎表型的

突变,在涉及的 5 000 多个基因中,有 139 个起决定性作用。在这一年中,两人相对而坐,日复一日,在显微镜下仔细观察了数千个死亡的果蝇胚胎。因为他们的目标是要找到每一个与发育有关的基因,故涉及的数目极为巨大。重要的是,还要仔细描述异常胚胎的表现型,给出线索,说明发育中的哪一步是错误的。最后实验的结果使他们相信,胚胎发育源于一个简单的开端。尤为重要的是,结合仔细的观察和天才的推理,他们得出结论,控制体节发育的基因有三类,它们是间隙(gap)基因、成对(pair-rule)基因和节段极性(segment-polarity)基因,它们负责体节的形成和精细划分。

这一研究成果发表在 1980 年英国的《自然》杂志上后,立刻受到普遍关注。1980 年 10 月 30 日出版的《自然》杂志的封面就是这三类基因相应的胚胎图谱。

沃哈德等人的成功应该归功于他们的原创性思维和不懈的追求。在分子生物学的方法几乎一枝独秀的年代,沃哈德与同伴韦乔斯一起,在显微镜下数果蝇达一年之久,这在旁人看来,不仅单调乏味,更有落伍之嫌。可作佐证的是,当年他俩在欧洲分子生物学实验室(EMBL)从事果蝇早期胚胎发育研究时,周围的人很惊奇于他们为何还用 20 世纪三四十年代的方法数果蝇。但是,不平凡的发现恰恰从平凡的手段中脱颖而出,这无疑令人深思。它表明,一个成功理论的提出,有时并不完全依赖于最先进的实验仪器,它更需要研究人员与众不同的原创性思维和独具慧眼的切入点,不用说还要有耐得住寂寞的恒心和毅力。后面将要提到的 1983 年获诺贝尔奖的麦克林托克也正是在这点上获得了成功。

沃哈德等只是借助于经典的研究方法,提出了一个简单的模型,而完善这个模型的进一步工作却是由分子生物学家做出的。例如,由他们所发现的这些节段数目基因,后来被分子遗传学家所分离,发现它们与同源异形基因一样,有一个共同的阅读框,其中含有 180 对核苷酸,在各类生物中有很大的保守性。沃哈德的工作为分子遗传学家克隆这类基因提供了帮助,因为在分离之前,分子遗传学家就知道与分节有关的基因中的核苷酸顺序一定会很特别的。这是由于分节是生物进化的

大事,当生物进化到一定阶段,(环节动物)开始出现体节,从此生物开始进入更为复杂的机体结构的进化。所以,与分节有关的基因一定会表现出某种共同性。然而,诺贝尔奖只属于沃哈德等三人,做出这些发现的分子遗传学家却与之无缘。这恰恰是因为沃哈德等人提供的是一种原创性思维,是一门学科中的核心概念,所以,它富有简洁的魅力;而分子生物学家随后所做的工作,虽说使这个简单的模型日趋完美、精确、复杂,但却不具有原创性。用科学哲学家库恩的理论来说,前者提出了一种新的范式,而后者仅是在常规科学时期的解难题活动。分量孰轻孰重,从诺贝尔奖的授予上自然能体现出来。诺贝尔奖并不看重那些仅仅追求完美性的科学家。

由此可见,诺贝尔奖更重视的是先驱性研究成果的发明者或发现者。所谓先驱性的研究成果,是指生物医学领域中某个方向的革命性研究进展,它的诞生将构成未来几年、十几年乃至几十年在这个方向上的研究热点,为后来者留下了一大片有待开垦的处女地。不管后来者如何在这片处女地上细心耕作和完善,诺贝尔奖是不会再降临在他们头上了,除非他们的成果又产生了另一个革命性进展。

沃哈德倾全力研究的是生物界中最迷人的现象——发育和遗传的关系。但她本人的生活则谈不上浪漫迷人。沃哈德婚后无子女,现已同丈夫离异——当生活和事业不能两全时,她不得不放弃生活,她至今仍孑然一人。这不由得使我们更对这位女科学家增添了一分敬意。

最后有必要强调的是,对于沃哈德来说,促使她投身于科学研究的最大动力来自于对自然的热爱以及对发育问题的强烈兴趣。这是一种超脱功利色彩的、源自于生命深处的兴趣,在急功近利的当代社会中,能听到这样的心声,我们不免为之心动,并盼望有更多的人来关心自然、热爱生命——这是沃哈德给予我们的另一个珍贵启示,其意义也不亚于她的科研成果本身。

9.6 实验中的机遇

上帝仁慈地抛下金苹果,我们谓之“机遇”。机遇真是神奇,它给

“疑无路”的人带来“柳暗花明”，让商人散尽的千金“还复来”，还能让“屈心抑志”的文人从此“青云直上九重霄”。说来神奇，其实它经常就出现在我们身边，只不过智者能发现它、利用它并走向成功，愚人往往错过它却抱怨命运的不公，究其原因就在于机遇只偏爱有准备的头脑，有准备的头脑才能辨识和把握机遇。

一般来说，科学家对实验过程中预期会出现的现象有着清楚的理论假说和明晰的指导思想。但有时候，他们进行观察和实验，本来是为了发现某一设想的事实，却意外地出现某种非预期的偶然现象，并产生某种迷惑不解的结果。这种偶然现象和结果有时候可以纳入科学的发展轨道，获得意外的科学发现，这就是观察与实验中的机遇。在科学史上，善于辨识和把握机遇而获得成功的事例屡见不鲜。

英国科学家弗莱明花了几年时间专心研究对付葡萄球菌的办法却一无所获，后来有一次，因为偶然看到一只培养葡萄球菌的碟子生了霉，长出了青绿色的霉斑，进一步观察研究发现了青霉素。瑞典著名化学家诺贝尔因发明安全的烈性炸药而闻名于世，然而这种炸药却也是他进行观察实验的意外猎物。

在科学实验中，机遇的作用是巨大的。主要表现在以下几个方面。

1) 机遇导致科学发现

电灯是 19 世纪末最著名的一项发明，也是爱迪生对人类最辉煌的贡献。享有“发明大王”之称的美国发明家爱迪生在研究做灯丝的材料时，试验了上千种材料都遭遇失败，最后偶然试用钨做而获得成功。人们高度评价爱迪生的贡献：希腊神话中说，普罗米修斯给人类偷来了天火；而爱迪生却把光明带给了人类。

但是当爱迪生研究灯泡的时候，所有人都耻笑他：用铁丝加上一个玻璃泡，就可以发出光芒，怎么会有这样的事情呢？爱迪生失败了几百次，还是没有发明出来，别人就开始否定他，说他失败了。爱迪生说我没有失败，我是成功地发现有几百种金属不适合做灯丝。尽管历经曲折，他还是相信，一定能发明出电灯来。为了发明电灯，一个本来身强力壮的人，因劳累过度，两眼布满了血丝，显得疲惫不堪。为了研制灯

丝,他试验了 1600 多种材料。爱迪生百折不挠的精神终于使他找到了非常合适的灯丝,从而成功地发明了电灯,给人类带来光明和希望。

他研制蓄电池整整花了 9 年的时间,试验了近 9 000 多种材料,失败了不下数万次。最后,连他的最好的助手都坚持不下去了,但是他却依然坚忍不拔,毫不动摇,最终获得了成功。尽管,某种程度上,最适当材料的选择具有一定的偶然性或机遇性,但爱迪生每一项成功的发明背后都是艰苦劳动和心血、汗水的结晶。

2) 机遇引发科学革命

1895 年 11 月一个寒冷的傍晚,在德国沃兹堡大学的校园里,一位年过半百的老教授。正独自走向物理研究所的一间实验室。他就是该校的校长、著名的物理学家伦琴教授。最近一段时间内,他一直在试验一个经过改良的阴极射线管。因为他白天有许多行政工作和教学任务。只好把自己的科学实验放在夜晚进行。

伦琴教授走到实验室,先把厚厚的外衣脱下,换上工作衣后,就坐在实验台旁。只见他小心翼翼地用黑纸把一个梨形的真空放电管严严实实地包起来,以防止任何可见光线从管内透露出来。然后,他站起身来,仔细地关闭所有的门窗,又拉上窗帘,才接通电源,弯腰检验黑纸是否漏光。突然,他发现了一个奇特的现象:在离放电管不到 1 米的小工作台上,射出一道绿色的荧光!

“这光是从哪儿来的呢?”伦琴心中想道。他奇怪地向四周看看,并未发现什么。于是他切断电源,光电管熄灭了。再看那道绿光时,绿光也不见了。

接着,他连续试了多次,只要电源一通,光电管一亮,绿光就出现了。于是他划了一根火柴,看看小工作台上到底有什么东西。

原来,那里有一块硬纸板,上面镀着一层氰亚铂酸钡的晶体材料,神秘的光线就是它发出来的!

“可这块纸板又为何能发光呢?”伦琴不得而知,暗问自己道:“难道这是这光电管中有某种未知的射线,射到纸板上引起它发光的吗?”想到这里,他随手拿起一本书来,把它挡在光电管和纸板之间,想证实一下

自己的推断。可使他惊奇的是,这种光线不仅是光电管内放射出来的,更奇怪的是,纸板上还是发光。他又将纸板挪远一些,上面仍然发光。

“上帝呀!这种射线竟能穿透固体物质!”伦琴欣喜若狂,抑制不住内心的激动,忘记了四周的一切。他紧接着用木头、硬橡胶来做障碍物,进行了反复实验,结果发现,这些物体都不能挡住这种射线通过。就这样,不知不觉,已到了第二天早上。

妻子发现他一夜未归,派人叫他吃早饭。他嘴里应着,可手仍在不停地做实验。经过几次催促,他胡乱吃了一点,一句话没说,又回到了实验室。

接连几天,都是如此,他把自己关在实验室里,外边的一切似乎对他都毫无意义,一门心思都用到这种无名的射线身上。他反复使用各种金属做实验,结果,除了铜和铂以外,其他物质都被射线穿透了。

有一天,他无意之中把手挡在光电管和纸板之间,一下子惊呆了,他清楚地看到每个手指的轮廓,并隐约地看出手骨骼的阴影!

“这恐怕是人类第一次看到活人身体内部的骨骼!”伦琴惊惧地想道。冷静了一下,他决定继续自己的实验,直到能从理论上说明以后,才对外公布。

几天来,人们发现伦琴教授有些异常,一个人一言不发地呆在实验室里,常常是早去晚归,废寝忘食,但大家十分尊敬这位勤奋的科学家,没有人去打扰他。

他的妻子对此疑虑重重,看见他日渐消瘦的脸庞和疲惫不堪的身躯,关切地问道:“你今天一定要说清楚,最近这几天在实验室里究竟干了些什么?”

伦琴笑了笑,轻描淡写地答道:“我只是在做实验。”妻子十分了解伦琴,知道他一定有重大的秘密,出于对丈夫的关切和自己的好奇,要求丈夫把她带到了实验室。当妻子亲眼见到这种现象时,也感到异常的惊奇。伦琴见机行事,对妻子说:

“你是否愿意充当实验对象?”

妻子见丈夫一本正经的样子,便不敢把这当作好玩的事情,想拒绝又怕影响丈夫的工作,就勉强同意了这件事情。

她小心翼翼地按照丈夫的安排,把手放在装有照相底片的暗盒上,伦琴急忙开通电源,用光电管对着照射了15分钟。可当他把照片送到妻子的面前时,吓得她浑身打颤,瞪大了恐惧的眼睛。她简直不敢相信,这毕露的骨骼,竟是自己丰润的手!

这是历史上最早的“X”射线照片。“X”射线就是伦琴给这种不知名射线起的名字,直到现在,人们还把它称为X射线或称X光。

之后不久,伦琴就把这种射线通过自己的论文《一种新的射线》公布于世。这件事情很快就轰动了全世界。美国一位议员要求制订法律,禁止使用X射线。但这样一来反而加速了这一发现在全世界的传播,几乎所有的实验室都开动了仪器,重复这一实验,并向听众示范。这一年,全世界发表了近1000篇关于X射线研究的论文和报告,X射线很快被应用到医学和金属探测上,从而创立了X射线学。

X射线的发现,开拓了科学新的未知领域,唤醒了当时沉寂的科学界,激起人们进行新探索的热情和兴趣,把人们的注意力引向更深入、更广阔的天地,拉开了现代科学革命的序幕。伦琴也因此于1901年第一个成为诺贝尔物理学奖金的获得者。

X射线发现以后,放射性元素、电子的发现为打开原子世界的大门做出了重要贡献。1869年,居里夫妇发现了放射性元素镭。1911年英国的卢瑟福(Ernest Rutherford, 1871~1937)用实验证明了原子核的存在。1913年,丹麦的玻尔(Niels Henrik David Bohr, 1885~1962)用量子概念分析了卢瑟福提出的模型,指出原子核外带负电的电子在不同的轨道上围绕原子核运动,当电子从外层轨道跃迁到内层轨道时,就放出相应波长的电磁波(包括X射线)。1923~1928年,一批年轻的物理学家,如法国的德布罗意(Louis Victor de Broglie, 1892~1900)、德国的海森伯(Werner Heisenberg, 1901~1976)、奥地利的薛定谔等,创立了物质波理论,发现电子和一切物质粒子都像光一样,具有波粒二象性,由此建立起一套逻辑上完整的量子力学(波动力学)体系,成功地揭示了微观世界的基本规律,对原子和分子物理学的发展起到了很大的推动作用,并且在化学、生物学与物理学、数学之间架起了桥梁。

1930年,德国的玻特(Walter Wilhelm Georg Framz, Bethe

1891~1957)发现了一种穿透力比 X 射线和 R 射线更强的射线。1932 年英国的查德威克证明这种射线就是中子,这使人们认识到原子核是由中子和质子(氢原子核)组成的。中子的发现加速了原子核物理学研究的进程。1934 年法国的约里奥-居里夫妇在用 α 粒子轰击铝、硼时,首度产生了人工放射性物质,并对裂变现象进行研究。1938 年德国的哈恩和斯特拉斯曼发现了重原子的核裂变。这个重大发现很快得到实验证明。意大利-美国物理学家费米根据 1905 年爱因斯坦提出的质能关系式,于 1942 年在美国建成第一座原子反应堆,1945 年制成了第一颗原子弹。从此原子能终于被人类掌握,开创了人类利用原子能的新时代。

从伦琴发现 X 射线到原子能的利用这 40 多年科学发展的历史证明,科学上的机遇可以成为科学理论发展的先导,成为科学研究的新起点,推动科学理论研究的进行。

3) 机遇推动技术革命与产业革命

你听说过“水壶的故事”吗?故事中说,瓦特小的时候,看见炉子上壶里的水沸腾了。蒸汽把壶盖顶了起来,瓦特从中受到启发,长大后发明了蒸汽机,成为著名的发明家。正是由于蒸汽机的发明推动了工业革命,震撼了世界。也让瓦特因其历史性功绩而被誉为“工业革命之父”。

其实,瓦特发明蒸汽机并不仅仅是他幼时的灵感,而更多的是他吸收前人的成果和他个人艰苦努力的结果。瓦特兼有科学家和发明家的知识、素质和头脑,13 岁时就在作为建筑师、造船师的父亲的作坊里制造出了一些机器模型;他精通法、德、意三国外语,阅读了大量外国科学著作,而且在法学、美术、音乐等诸方面都有很深的造诣。1761 年瓦特开始使用帕平蒸煮器进行蒸汽压力实验,1769 年拟出了蒸汽机设计图,此时蒸汽机算是在实验室中诞生了。但是被历史所铭记的是 12 年后,1781 年,世界第一台蒸汽机在索霍工厂诞生。从此,蒸汽机推动了鼓风机、滚轧机、汽锤,从伯明罕、曼彻斯特、伦敦到全欧洲推动了各种各样的机器,最后推动了整个世界。蒸汽机作为工业革命的火车头,如

何形容它的功绩都是不过分的,因为它牵引了整个世界的经济增长和工业进步。

类似的情况发生在1800年,丹麦物理学家哥本哈根大学的奥斯特的 身上,奥斯特受康德哲学思想的影响,一直坚信电和磁之间一定有某种关系,电一定可以转化为磁。当务之急是怎样找到实现这种转化的条件。奥斯特仔细地审查了库仑的论断,发现库仑研究的对象全是静电和静磁,确实不可能转化。他猜测,非静电、非静磁可能是转化的条件,应该把注意力集中到电流和磁体有没有相互作用的课题上去。他决心用实验来进行探索。

1819年上半年到1820年下半年,奥斯特一面担任电、磁学讲座的主讲,一面继续研究电、磁关系。1820年4月,在一次讲演快结束的时候,奥斯特抱着试试看的心情又作了一次实验。他把一条非常细的铂导线放在一根用玻璃罩罩着的小磁针上方,接通电源的瞬间,发现磁针跳动了一下。这一跳,使有心的奥斯特喜出望外,竟激动得在讲台上摔了一跤。但是因为偏转角度很小,而且不很规则,这一跳并没有引起听众注意。以后,奥斯特花了三个月,作了许多次实验,发现磁针在电流周围都会偏转。在导线的上方和导线的下方,磁针偏转方向相反。在导体和磁针之间放置非磁性物质,比如木头、玻璃、水、松香等,不会影响磁针的偏转。1820年7月21日,奥斯特写成《论磁针的电流撞击实验》的论文,正式向学术界宣告发现了电流磁效应。

在奥斯特的启发下,法拉第在1822年提出并研究“磁化为电”的问题,经过努力,终于在1831年发现变化的磁场可以产生电流,发现了电磁感应定律,为发电机的发明制造奠定了理论基础。法拉第本人还制造了科技史上第一架感应发电机,从而打开了电力时代的大门,为人类开辟了一种新的能源。1864年,麦克斯韦接受了法拉第的思想,把全部电磁现象用数学语言表达出来,把它归纳为一组数学方程式。由这些方程式可以推导出自然界存在着电磁波。麦克斯韦理论不仅预言了电磁波的存在,而且揭示了光、电、磁现象本质的统一性,为现代人类物质文明开辟了道路。1887年,德国物理学家赫兹用实验证实了电磁波存在的预言,预示了无线电通讯的可能。1895年开始发展了无线电通

讯技术。

正是由于电磁现象的发现和研究的,人类从19世纪30年代以后,迅速发展电工技术,用电动机代替蒸汽机,开始了近代第二次技术革命。使人类从“蒸汽时代进入到电气时代”。

从电磁的发现到电力出现的过程生动地表明,科学上的机遇导致了技术上的发明;而技术上的发明又引起了生产的巨大变革。

4) 机遇偏爱有准备的头脑

有人把科学家重大发现、发明的原因归结为偶然的机遇,这实在是一个谬误。法国著名微生物学家巴斯德指出:“在观察的领域里,机遇只偏爱那种有准备的头脑。”

居里夫人是世界上最伟大的科学家之一,一生共获得了10次奖金、16枚奖章和几十个国家的106个名誉头衔,其中有两次荣获诺贝尔物理奖。她和丈夫彼埃尔·居里共同发现的放射性元素镭,不仅为医学进步做出了巨大贡献,而且奠定了现代的原子物理学基础。她成功的原因是因为她有好的机遇吗?没错,她的确有很好的机会,但这机会是她自己创造的。

居里夫人的青少年时代是在不幸中度过的。她的父亲是一所学校里的物理学教授,母亲曾当过女校校长。按说,她应该有一个幸福的童年生活。可是,当时的波兰正沦陷为德国、俄国、奥地利的殖民地,街上到处都是俄国的警察、官吏。玛丽就是在这样的环境中诞生了。在她5岁的时候,不幸笼罩了她的家庭。先是父亲被降职减薪,因为他顶撞了俄国校长,后来由于父亲投资不慎,丧失了全部家产,家中变得四壁空空,一贫如洗。接着,玛丽的大姐又因病过早地离开了亲人。这使玛丽一家的生活变得相当艰辛。没过多久,玛丽的母亲又去世了,家庭再次被悲痛的气氛笼罩着。小小的玛丽,早早地尝到了生活的残酷。

以优异的成绩从初中毕业以后,玛丽做了家庭教师,那一年她才16岁。18岁时,玛丽决定到偏僻的乡下去教书,因为这样可以多赚些钱,供二姐读大学。她决定在资助完二姐以后,自己也要上大学。终于,在玛丽做家庭教师的第六个年头里,二姐从大学毕业了。于是,玛

丽离开了那块穷乡僻壤,来到繁华的大都市巴黎。24岁的玛丽实现了她的夙愿,坐在了当时最著名、最杰出的巴黎索尔本大学。上课时,她聚精会神地听老师讲课,一丝不苟地记笔记,她要把失去的6年光阴补回来,为了节省时间也由于没钱,玛丽的一日三餐非常简单,她把所有的时间都用在了她所喜爱的物理学上。才几个月,原本健康、红润的玛丽就变得苍白,甚至几次晕倒。尤其是冬天的日子更难熬。玛丽的住所里冷得能结冰。没有钱买煤,她只好把能穿的衣服都穿在身上,把其余的衣物压在被子上,实在冷得受不了,她又拿起唯一的一张椅子,压在被上。几乎每天晚上,玛丽都是背着如此沉重的“大厚被”入睡的。

就是在这样的艰苦环境里,玛丽认识了她后来的丈夫彼埃尔·居里。那是为了做一项实验,玛丽去向一位年轻有为的法国学者请教,这位学者就是居里先生。几次交往以后,两个人倾心相爱了,他们决定把精力都用在科研上,实现他们的科学梦。

在居里夫人攻读博士的时候,她选中了镭射线作为研究对象。这是人类一个未知领域,她下决心要闯一闯。阴冷潮湿的地下实验室,成了她和居里攻克科学难关的场所。居里在屋里专心地做实验,居里夫人在门口费力地搅拌着一口大锅里沸腾的铀沥青矿残渣溶液,他们要从中提炼出一种未知的新元素。四年的奋战,他们提炼了好几吨残渣终于从中提炼出了1公厘纯镭。没过多久,居里先生又与医生合作,研究出了用镭射线治疗癌的疗法。

1903年12月,居里夫妇获得了当年的诺贝尔物理学奖金。放射性元素镭的发现,使人类产生了一种治疗癌症的新方法和推翻当时物理学上几种基本学说的新学科。

从一个不幸的小女孩变成一名成就卓著的女科学家,居里夫人的成才经历给了我们什么启发呢?她的奋斗精神和吃苦精神固然可敬,但最重要的还是她肯为自己创造机会。从做家庭教师开始,玛丽就一直在为未来做准备,为有所成就做准备。在艰难困苦的环境里,她始终没有放弃学习,这使她在24岁才走进大学时仍然聪慧过人。如果没有几年家庭教师生活的锻炼,没有几年坚持不懈的学习,或许今天未必会有“居里夫人”。机会是属于有准备的人的。只要你肯为自己创造条

件,成功就会及早到来。

现实生活中有些人总是坐着等机遇,躺着喊机遇,睡着梦机遇,殊不知如果这样,机遇就会像满天星斗,可望而不可即,即使机遇真的来到身边,他也发现不了,更不用说去捕捉和利用了。

机遇只偏爱有准备的头脑,能否抓住机遇、把握机遇、利用机遇,关键在于人们的准备,在于人们知识文化思想心理等多方面的准备,在于勤奋努力。朋友,你准备好了吗?准备好你的头脑,去抓住机遇,利用机遇,获取成功吧!

10. 防范伟大科学的冒险——实验中的伦理

10.1 实验中要尊重人格

1) “别拿死者的尊严不当回事”

细心的读者可能会注意到,在为汽车研发进行实验时,研究人员通常是用假人做试验,以获取一系列相关参考数据。但在奥地利,一所大学的研究人员因使用死尸做碰撞实验而被人举报。

被举报的研究机构是位于奥地利南部城市格拉茨的格拉茨理工大学。当地一位教会人员向警方报案称,发现该大学的研究人员用死尸做试验,他认为已经触犯了法律。

举报人称,在试验过程中,研究人员把尸体固定在车内某个位置,让车沿预定轨迹运动,然后紧急刹车,在车停住的瞬间收集相关数据。

据了解,在该大学进行此类实验的10年中,先后有21具尸体被用于试验,但始终无人过问。只是在校方试图寻找新尸源的时候,才引起了怀疑。据说,该项试验以往一直是从一个法医学院获得尸源,而且对方从不过问尸体的用途和下落。后来,当该大学转向一所医学院寻求提供大量尸源时,问题才浮出水面,被提交给一个特别道德委员会进行审议。

当媒体对此事进行报道后,有一部分人对研究人员的这种做法的合法性提出质疑,也引起了奥地利人对死者归属的辩论,并认为在使用尸体做试验的问题上,政府应制定更为严格的规范和程序。按照以往的观点,在奥地利,所有尸体都被认为是国家财产的一部分,因此医疗机构有权在进行尸体解剖时取走器官,但用于试验则必须获得家属同意。

对于学校研究人员的行为,该校女发言人辩解说,首先,所有试验和研究都严格按照道德规范的要求进行的。其次,用尸体做试验,可以使科研人员更真切地观察到椎骨与其他相关部位在遇到突发性碰撞时产生的变化,比假人能提供更多更有价值的参考数据。第三,他们挑选的死者生前都是孤身一人,没有家属,不存在获得家属同意的问题。因此,校方没有侵犯死者尊严。

该校汽车安全研究所的负责人认为,通过模拟更真实的碰撞,才能找到避免乘车人受伤害的途径,而对此,使用尸体进行试验似乎是唯一的办法。

而这一事件的关键是,研究人员使用尸体做实验,是否已经获得了死者家属的同意。如果调查发现没有取得相关授权,研究人员可能会以侵犯死者尊严的罪名受到起诉,一旦罪名成立,他们可能被判6个月的监禁。姑且不论事件的结果如何,这一事件给我们一个重要的启示,即科学实验应该符合一定的规范,概括起来就是科学实验中的一个重要而基本的原则:即知情同意,特别是人体实验中,甚至是尸体的权利也应该得到充分的尊重。

2) 人体实验中的知情同意和保护隐私

2002年3月28日,美国联邦政府“人类研究保护协会”发表调查报告,对世界著名学府哈佛大学在中国安徽农村进行的15项人体研究提出质疑,认为哈佛大学在对世界上最令人垂涎的“遗传信息宝库”——中国农村人口进行科学研究时存在道义上的问题,并指出其在中国进行科研项目的一系列不合理行为:比如说哈佛大学声称他们在中国农村进行的科研项目得到了接受实验者的同意,但实际上,科研项目所用的同意书通常使用一些中国农民根本无法理解的复杂语言;在哈佛大学公共卫生学院监督的“血液中铅含量”的研究中,研究人员要求参加该项目的女性研究对象就像她们要结婚那样到政府机构登记,结果有误导女性自愿参加之嫌,因为她们还以为参加这样的研究会让她们结婚时办手续更容易,另外部分科研项目事先未按规定接受美国联邦“人类研究保护协会”的审查,而使接受科研的实验对象甚至可能

冒有风险。

这一事件,之所以在美国本土得到关注,其焦点并不是中国农村参与者的身体在研究中受到了伤害,而是研究人员并未采取有效措施保证所有参与者都对研究内容完全知情,侵犯了参与者的知情权。同时,由于基因研究不可避免地涉及某些妇女的生育状况,联邦政府也对参与者的个人隐私能否得到有效保障表示怀疑。

随着国际合作步伐的加快和范围的扩大,我们会看到越来越多的此类案例。这实际上就涉及人体实验的伦理问题。公认的实验伦理原则最主要的有两项,即知情同意和保护隐私。看似简单,但实际操作中也是十分复杂的。比如前面提到的有关尸体实验的知情同意问题。

普遍公认的生命伦理学的四大基本原则,一是行善原则,即生命科学要为人类造福,增进人类的健康和幸福;二是自主原则,即尊重人的尊严、价值,尊重实验对象,必须取得他们自愿、自行的同意,必须要有书面的同意;三是不伤害原则,即一种研究不能对实验人群、实验者造成伤害;四是公正原则,即包括资源分配的公正、利益分享的公正和风险承担的公正。这四大原则已经成为人们的共识,各国政府、联合国、法学界基本上都支持这些生命伦理学的规范,生命科学的实验不能违背其中任何一条。

建立、完善和加强生命伦理评估机制,要从中央到地方,大学、医学院建立各级生命伦理委员会,审议、评估和监督涉及人体的一切实验。按照国外的经验,委员会的组成三分之二是本行业的专家,三分之一是伦理法律专家和社会民众代表,需要多学科的人士,这样才有权威性和代表性。而在中国的现实社会中,搞伦理学的不去研究自然科学,搞自然科学的不去研究伦理学,因而使得有关科学技术的伦理变成一个空档,使得科学技术进步偏离了为人类社会发展的终极目标。

3) 药物实验中的合法性问题

叶沈明是浙江省海宁市马桥镇的一位普通农民。1998年至2001年,叶的母亲沈新连作为“试药人”参与了海宁市肿瘤防治研究所主持的人参防治大肠癌的药物试验,这一试验是韩国癌症中心医院与浙江

大学肿瘤研究所的合作研究项目。2004年2月,沈新连患尿毒症去世。叶沈明开始怀疑母亲的死和几年前的那次试药有关。最终,他将负责药物试验的有关单位告上了法庭。

另一个典型的例子是,2003年,美国病毒基因公司与中国一些机构合作进行人体药物实验。当一批来自河南的艾滋病患者在没有充分知情的情况下参与试药“出了人命”之后,中国药监部门表态:美国病毒基因公司的艾滋病防治药物没有经过批准就进行临床试药,是非法的。而据推测,如果该试验顺利通过,药品得以获准上市,预期市场收益在100亿美元以上。

近年来,国外医药巨头纷纷瞄准中国进行药物实验,“违法违规试药”屡见不鲜。国外的医药巨头纷纷瞄准中国的原因在于:在美国进行试药风险极高,甚至可以追溯20年以前的临床试验事故,赔偿可以达到数千万美元。而北京地坛医院来自河南的艾滋病试药者的“要求”只是每天10元人民币的误工补助,甚至一只母鸡或一斤鸡蛋,有的完全没有酬劳。另一个好处就是,中国病人许多都是贫困者,体内没有其他药物成分,可以取得最理想的试药效果。

据有关方面统计,我国每年有800多种新药进行人体试验,其中基本是以国外新药为主。目前有60多家跨国企业在中国进行着近100个项目的一期临床试验,直接参与人员数万人,如果算上大面积的采样对象,至少50万人以上。

事实上,为了规范试药,早在上世纪90年代初,世界卫生组织就制定了《药品临床试验规范指导原则》。1998年3月我国参照这一原则制定了《药品临床试验管理规范》,并于1999年底正式公布,2003年9月1日又重新改版,更名为《药物临床试验治疗管理规范》(简称GCP)。

按照GCP的规定,任何涉及人体试验的项目,都必须经过国家级的药品监督管理局批准(1999年前由卫生部批),否则就是非法的。前面说的沈新连的案件中,后经记者在卫生部查实,就没有此合同编号。

GCP实施以来,一个最主要的趋势就是越来越注重让受试者签订知情同意书。正规的试验一般都有由受试者和研究者共同签署的知情

同意书,一式两份。受试者在开始试验之前必须对整个试验进行详细的了解,而实验人员有责任和义务对受试者解释实验的目的、用途以及可能的潜在风险。在对此知情并同意的基础上,才能够进行试验。其次,GCP 特别强调伦理委员会的作用。在实施 GCP 过程中,伦理委员会将在确保受试者的安全、健康以及权益方面起到关键的作用。尽管如此,临床试验在实际操作中尚不能保证百分之百的规范,问题的关键一是在于我国新药临床试验缺乏第三方的强有力的监督,二是现在缺少的不是规范,而是规范的执行。严格按照规则来做,既是对受试者的保护,也是对医生和研究者的保护。

10.2 动物实验中的伦理

1) 动物毒物实验

动物实验的一个重要领域是每年使用数百万只动物接受毒物测验,而其理由往往却微不足道。据统计 1988 年,在英国做了 588997 次动物科学试验,以测定药物和其他物质的毒物成分;其中有 281 358 次跟医学或兽医物品无关。

剧毒测验最为人知的是“五成致死率剂量”(lethal dose 50percent,简称 LD50),这种测试目的是测定一种物质之剂量达到何种程度,使得受实验的动物有 50%死亡。为了找出这种剂量,要对动物施以毒剂。下面就是一项“五成致死率剂量”试验:

美国陆军的传染病研究所用 T—2 来使老鼠中毒。照美国国务院的说法,T—2 为一种“造成怪异而恐怖之症状的有效恐怖武器”,其所造成之症状为“严重失血”、起疱和呕吐,以致“人畜会死得狰狞”。实验人员把 T—2 注射到老鼠肌肉、血管、皮下和腹部中,也从口灌入或由皮肤浸入。这几种途径都是试测 LD50 的。中毒后的老鼠通常在 9 至 18 小时内死亡,但由皮肤浸入者则平均 6 天才死。死前老鼠不能行走,也不进食,皮肤和胃肠糜烂,不安,腹泻。实验完成后,实验者报告道,他们的发现和早期有关浓度略少而时期较长的 T—2 之报告基本

相符。

通常,这种动物在死亡之前,已经呈现严重病症且表现得极为痛楚。如果是没有什么害处的物质,为了找出何种浓度才使动物死亡50%,就得用这种东西大量强迫喂食,许多动物往往因塞食过量或浓度过高而死。但人类本身根本不可能这样大量或这般高浓度地使用这种物质。另外,由于这种实验旨在测定多少量足以使半数动物致死,因此它们的痛苦不能用任何方式去缓解,以免结果不够准确。美国国会科技评估局曾经评估,美国每年为做中毒测验用了“好几百万只”动物。至于用于“五成致死率剂量”测验的动物数目则无人统计。

这一类实验的成果不能用以预测这一类物品对人的毒性或指导人受此类物品侵染后应如何治疗。毒物学家们长久以来就知道,从对某一物种实验来推断对另一物种的效应是十分危险的。在这些对人类产生意外毒害的药物中,最声名狼藉的当属沙利多迈。而这种药物却在推行以前经过大量动物实验。即使在该药被怀疑造成畸形胎儿之后,实验室对怀孕的狗、猫、老鼠、猴子、食鼠和母鸡所做的实验,都未能得出这些动物会产生畸形儿的结果。只有某一品系的兔子在施以沙利多迈后才产生了畸形儿。不久以前,Opren通过了所有的动物实验,由大药厂爱莉·丽莉(Eli Lilly)推销,大肆宣传是治疗关节炎的“灵药”。结果在导致61人死亡、3500名不良反应,后于英国禁销。《新科学家》杂志估计,受害人数可能比公布的更多。经动物实验无害而后证明于人有害的药,尚包括心脏病药物Practolol和止咳药Zipeprol,前者造成眼睛失明,而后者导致昏迷。

动物实验不仅导致有人受害于对动物无害之物,而且也会使人错失对动物有害而对于人有益的物品。胰岛素会使老鼠与兔子的胎儿畸形,但不会使人如此。吗啡可以使人镇定,却会让老鼠发疯。有一位毒物学家说:“如果盘尼西林以天竺鼠来测定其毒性,就永远不可能用在人身上。”既然如此,这么残忍的动物实验还有必要继续下去吗?

2) 不知所云的医药实验

当某些实验顶着“医药”的名称进行时,我们往往不假思索地认为

其所导致的痛苦是名正言顺的,因为其目的是为减轻痛苦。但我们已经说过,为医药所进行的试验并不一定是对所有的人有最大的好处,而可能仅是为了替某些人求取最大的利益。“医学研究”这个金字招牌也可以只为了满足某些人的好奇心。这些好奇心,如果不导致生命的摧残与痛苦,当然是可以接受的,但如果相反,就不可忍受。医学研究也往往有做了数十年而结果证明不知所云的。以下便是一个例子,起于100多年前,连续做了许多次,名目是“动物的热效应”。

1880年,伍德把好几只动物各自放在玻璃盖的箱子中,大热天置于砖造人行道上。箱中有兔子、鸽子和猫。他对一只兔子的观察是典型的例子:在109.5°F(约40°C)时兔子开始跳,“暴躁地踢后腿”。接着,兔子痉挛。在112°F(约45°C),兔子侧卧,流口水。120°F(约49°C)时,兔子喘气,虚弱尖叫。不久死去。

1881年在《刺血针》(The Lancet)杂志上有一篇报告,说到狗与兔子在温度高达113°F(45°C)时的状况;并说如果送入冷风,可以阻止死亡。这试验的结果,据该文说可以指出“在可能升至极高温度的状况中使温度降低的重要性”。

1927年,美国海军医学院的霍尔和魏克费把十只狗关在湿热的密室中以制造中暑状态。一开始,狗焦躁不安,呼吸困难,眼睛肿胀充血,口渴,有些开始痉挛,有些在实验开始不久就死去;那些没有死的则害了严重的腹泻,从箱中出来以后即死。

1954年在耶鲁大学的医学院,林诺克斯、西布勒与齐默尔曼把32只小猫置于“辐射热”的密室中。小猫“受到总计49次的热袭……挣扎是常见现象,尤其是温度上升之际”。

“有9次发生痉挛现象”。“反复痉挛是常规”。最多的达到连续30次的痉挛。5只小猫在痉挛时死亡,6只未痉挛即死。其他的则被实验者杀死以做尸体解剖。实验报告说:“对小猫的人为加热之发现跟对人类的临床发现相符。”

1969年,罗彻斯特大学的一位资深研究员麦可逊把狗与兔子置于会生热的微波装置之中,直至它们体温达到临界温度107°F(约42°C)甚或更高。他发现微波一开始,狗就开始喘息。大部分的狗都“展现不

安以致极度骚乱的现象”。在接近死亡边缘,则出现虚弱和衰竭现象。至于兔子,则“在 5 分钟内,极力企图逃出牢笼”。兔子们在 40 分钟之内皆死。麦可逊的结论是:由微波逐渐加热所造成伤害“无异于一般的热所造成者”。

这些实验当然造成了被试动物很大的痛苦,而其发现者却似乎只是告诉我们中暑者应当降温——而这却是人人都知道的常识,只要观察人类自然中暑的情况即可。至于说这些研究的结果可以用于人类,却有齐威法克于 1961 年的研究反驳:狗与人在中暑方面反应不同,因此不适于以此作为人类中暑参考。至于注射了颠茄碱的小型毛皮动物遇热时在自己身上喷尿,恐怕更不足以做人类遇热的参考了。

在许多其他医药领域也做着类似的动物实验。在纽约市的“保护动物联合行动”办公室中,就储存了层层叠叠的影印档案,取自各种刊物。每一叠档案都很厚重,有些包括 50 余件实验;档案上分别标了标线,诉说着动物遭受的悲惨故事:“加速”、“侵犯”、“窒息”、“弄瞎”、“烧烤”、“离心运动”、“压缩”、“撞击”、“拥挤”、“减压”、“药物试验”、“神经(机能)病实验”、“冷冻”、“加热”、“出血”、“后退击打”、“禁止行动”、“孤立”、“多重伤害”、“猎杀”、“蛋白质剥夺”、“惩罚”、“辐射”、“饥饿”、“休克”、“脊髓伤害”、“紧张”、“渴”等等。虽然其中有些可能有助于医学,但这些知识的价值仍值得怀疑,而有些实验所取得的知识本可以由别的方式获得。有许多实验显得琐屑或构想不当,而有些在设计之初就没有想要得到重要的有益结果。这种实验手段和目的都不明确的动物实验,有必要继续吗?能推动科学发展吗?即使有的实验目的明确,那也只不过是替某些人求取最大的利益,甚至是以损害一部分人的利益为出发点的。下面让我们看看美国军事上的一个猿类平衡台实验,他们的实验目的是什么呢?

3) 猿类平衡台实验

1987 年,美国上映了一部通俗电影,叫“X 计划”(Project X),使许多美国人第一次大开眼界,知道了他们的军人在做什么样的动物实验。电影的主要情节如下:空军设计了一种“猿类平衡台”,是一种模拟飞

机。让受过训练已会操纵这种平衡台的黑猩猩接受辐射线照射,再看他们能不能操控这种平衡台。可是实验室中负责做此实验的一个年轻军官却日渐对其中一只黑猩猩产生了疼惜之情,而在这黑猩猩要接受辐射线照射之际,决心把它放走——当然,这一行动是在年轻美丽的女友的协助之下完成。

尽管电影的情节是虚构的,但实验却是真有其事。美国得克萨斯州的布鲁克斯空军基地的这种实验已经进行了多年,目前名目不一的这类实验仍在进行。电影所呈现的只是故事的一部分,而且淡化了不少。那么,让我们再看看布鲁克斯空军基地文献所透露的实验实情。

正像电影中一样,空军基地真的设计了一种飞行模拟机,称之为“猿类平衡台”(Primate Equilibrium Platform 简称 PEP)。这个平衡台可以像飞机一样升降和翻滚。平衡台上有一个操纵杆,可以由它来使台面恢复到水平状态。猴子先训练,学会操纵此种模拟机,然后再使它们受辐射照射和接受化学药剂,再测验它们的飞航能力。布鲁克斯空军基地的刊物《猿类平衡台训练程序》对此训练做了记述,以下是其简要情况:

阶段一(坐椅适应):猴子被“约束”(也就是被“绑”)在猿类平衡台的椅子上,每天一小时,连续 5 天,直到它们安安静静坐着为止。

阶段二(操纵杆适应):猴子被约束在 PEP 的椅子上。然后,椅子向前倾,猴子受连续电击。

这使猴子在“椅中翻扭,或咬平衡台……诱使猴子去撕咬实验人员戴了手套的手,手按在操纵杆上”。猴子碰到实验人员置于操纵杆的手,电击就停止,并且给猴子一粒葡萄干(有时猴子是未被喂食过的)。每只猴子一天 100 次,为时 5 天至 8 天。

阶段三(操纵杆操纵):PEP 向前倾,但此一阶段只碰操纵杆不足以停止电击了。猴子非得把操纵杆向后拉才可以停止电击。这种程序每天也重复 100 次。

阶段四至六(推拉操纵杆):PEP 向后倾斜,猴子遭到电击。猴子必须把操纵杆向前推,电击才停止。接着,PEP 又向前倾,猴子遭到电击;猴子必须把操纵杆向后拉,电击才停止。

这种程序也是每天 100 次。以后是 PEP 不确定地向前倾或向后倾,而猴子必须对操纵杆做出适当反应,电击才会停止。

阶段七(控制操纵杆):到第六阶段为止,猴子虽然能由推拉操纵杆而改变平衡台的倾斜度,却未改变它的位置。到了第七阶段,猴子却由拉杆而可以控制平衡台的位置了。这一阶段的电击不是自动的,而是由人手控,大约每三四秒钟电击一次,为 0.5 秒。这比前几个阶段的电击频率低,是让猴子知道,动作做对了,就没有惩罚——用手册上的术语,是惩罚“消失”了。如果猴子做得不好,则重回第六阶段。做得好,第七阶段就继续下去,一直到猴子可以把平衡台维持在近乎水平的平面,因而避免了 80% 的电击。从阶段三到七,训练的时间大约是 10 至 12 天。

在此以后,训练再继续 20 天。在这 20 天中,平衡台任意倾斜转动,而且程度更强,而猴子则必须把台子复归水平,不然就频遭电击。

但所有这些训练与数千或数百次的电击却只是真正实验的开始。猴子一旦大部分时间能够把台子维持水平,就会遭受致死或半死的放射线照射或施放化学药剂,以试验在这种情况下它们能把平衡台“飞行”多久。由于致死辐射剂量的照射,猴子会呕吐或晕眩,但在这种情况下,它们还是必须努力去操纵平衡台,不然就会频频遭受电击。以下是一个实例,系美国空军航太医学院的一篇报告,该报告发表于 1987 年 10 月电影“X 计划”上映以后。

该报告名为“猿类索门毒气中毒后之平衡能力:日日接受低剂量之索门毒气后之效果”。索门(Soman)是神经毒气的别名,是一种化学药剂,第一次世界大战时曾造成军人的极大痛苦,好在自此以后极少再应用于战争。该报告首先提到同一批研究人员先前对猴子置于“强烈剂量之索门毒气后”于猿类平衡台操纵之效果。现在的研究,则是连续数日接受低剂量的效果。在此实验中,猴子至少要做两年的平衡台实验,每星期至少一次;做实验 6 个星期之前接受过种种不同的口服药剂和低剂量的索门毒气。

这些实验意在计算要使猴子降低平衡台操控能力,最低剂量的索门毒气为何。该报告主要是在试验猴子中了神经毒气后的平衡台操控

能力,使我们了解到这类化学武器的一些其他效果:

受试验者在中毒后次日失去能力,呈现神经病理学上的症状,包括严重运动失调,衰弱和动作震颤……这些症状持续数日,在此期间内该动物无法操作猿类平衡台。这些实验是为美国空军服务的,也就是为美军作战服务的,站在美国的立场上,这些实验为美国做出了贡献——也就是对保卫自由世界有贡献。但站在全人类的立场上看,这些实验对人类有贡献吗?是为全人类的利益着想的吗?相反,这种目的明确的实验,却是用于破坏人类和平的军事战争之中。那你说这种以战争为目的的实验有必要存在吗?

我们所引述的不过是动物实验之微乎其微的一小部分,但这已足够让我们看出许许多多正在进行的实验,除带给许多动物极大的痛苦外,并不会带给人类任何真正重要的知识。即使动物实验对人类的益处真有说服力,那么以动物做实验的道德问题却不能因而变得正当。人与动物的权益应该是平等的——这一道德原则排除了为求知识而将动物当作手段的态度。追求知识的权利并不能够超越对生命神圣性的尊重。正如尽管用人类做痛苦的或致死的实验可能会获得比其他方式更快更多的知识,但科学家在未经被试同意的情况下做实验是不合乎伦理一样,现在我们把对科学的这种限制扩展到对动物的身上。

近些年来,伴随着伦理观念的变化和动物保护人士的努力,发达国家在用其他方法替代动物做产品实验方面取得很大进步,对其他方面的动物实验的相关规定的也日益严格,有的国家甚至以立法的方式来规范动物实验。

对实验动物的剥削是物种歧视的一部分,除非物种歧视被消除,动物实验才能消除。但是,终将有一天,当我们的后代在回顾 20 世纪吾人在实验室中的所作所为时,将感到恐怖与不可思议,正如我们现在回顾古罗马竞技场中的角斗与 18 世纪的美国人贩卖黑人奴隶时感到的恐怖与不可思议一样。

11. 对有机体的情感——性别与实验

科学的发展犹如一条滚滚的长河,无数的科学发现和发明推动着它,使它奔腾向前。不少杰出的科学家以其非凡的思想站在长河潮流的浪尖引领着科学的发展。由于他们的发现和发明,很快为科学本身所证实,他们就成了叱咤风云的科学英雄。这些人都是科学的幸运儿。像摩尔根的“基因”学说,沃森和克里克的 DNA 双螺旋模型的假说,都马上得到了科学界的承认,为其赢得了诺贝尔奖和巨大的荣誉。然而,在科学的发展中,也有一些“奇特”的人们。他们的思想往往超出了他们所处的时代,而与当时的正统或主流科学潮流有所分歧,甚至背道而驰。他们甘冒不被人理解的风险,以其独特的方式探索,并坚持真理。这些具有非凡勇气的人们,同样推动着科学长河的发展进程。而当人们认识到这一点时,则往往已过了很长一段时间。

巴巴拉·麦克林托克(Barbara McClintock, 1902~1992 年)就是这样一位具有非凡思想的奇特人物,是 20 世纪最具传奇经历的女科学家。她生于 1902 年,1927 年在康奈尔大农学院获得植物学博士学位后,一直从事玉米细胞遗传学方面的研究,这也是她毕生所从事的事业。她的工作得到了摩尔根和埃默森^①等科学巨擘和其他人的支持,并发表了一系列论文,其成就可以与当时正飞速发展的果蝇遗传学相媲美。1939 年,她当选为美国遗传学会副主席。1944 年当选为美国最有威望的专业团体——国家科学研究院院士,这是在国家科学研究院的长期历史中第三次授予妇女以这样的荣誉。翌年,她担任了美国遗传学会主席,这是一个从未让妇女担任过的职位。后来,她还被美国国家科学院授予金伯奖。到此时为止,她始终是遗传学主流中的中坚人

^① 著名的玉米遗传学家。他创造了一种刻苦工作、热心研究和开诚布公的气氛。

物。在当时没有哪一个妇女能够想像自己可以获得如此可观的成绩，并且在当时轻视妇女的美国科学界，她被公认为是仅有的几个出类拔萃的人物，周围是一片赞誉之声。当她被国家科学院授予金伯奖时，她的同事概括了她在 20 岁和 30 岁之间所取得的成就。他写道：

在巴巴西拉·麦克林托克惊人的、卓越的研究工作中，最值得注意的就是这些研究全部出自她自己的劳动。她在没有任何技术方面的帮助的情况下，依靠自己无限的活力、对科学彻底的献身精神及创造力和独创性，以及她的敏捷与绝顶聪明，获得了一系列在细胞遗传学的历史上无与伦比的重大发现。

之后，在她四十五六岁的时候，由于她对玉米细胞遗传学的研究，她形成了那样新颖的和激进的概念，以至于她的同事们连“听”都听不懂。甚至随着时间的推移，进行学术交流的困难不但没有减少，反而增加了。就在这时候，一个异乎寻常的革命——分子生物学的革命进入了舞台的中心。分子生物学的成功如此富有戏剧性，以至于到了 20 世纪 60 年代末，似乎没有什么基本问题还需要解答了。

80 年代，由于生物学惊人的新发展，人们对麦克林托克工作的关注不断增加。她早在 50 年代就描绘的许多发现，在当时的生物学界引起了反响。特别是长时间以来一直被认为是麦克林托克发现的遗传因子的“转座”，已被认为是无可争辩的事实了。1983 年麦克林托克因此成就获得了诺贝尔医学与生理学奖。她在玉米中发现了“会跳舞”的基因。

直到 60 年代末，基因被认为在染色体上作线性排列，基因与基因之间的距离非常稳定。常规的交流与重组只发生在等位基因之间，并不扰乱这种距离。在显微镜下可见的，发生频率非常稀少的染色体倒位和相互易位等畸变才会改变基因的位置。可是，麦克林托克这位女遗传学家，竟然发现单个的基因“会跳舞”：从染色体的一个位置跳到另一个位置，甚至从一条染色体跳到另一条染色体上。麦克林托克称这种会跳舞的基因为“转座因子”（目前通常称“转座子”，transposon）。

转座的新证据开始在 60 年代后期出现。在 70 年代发现越来越多

的有关遗传因子流动,亦即转座的实例,这和过去至少是 20 多年里在生物学方面占支配地位的概念结构相抵触的。随着遗传流动性的发现,我们对遗传程序的概念也改变了。麦克林托克的影响是深远的,她发现能跳动的控制因子,可以调控玉米籽粒颜色基因的活动,这是生物学史上首次提出的基因调控模型,对后来莫诺和雅可布等提出操纵子学说提供了启发。转座因子的跳动和作用控制着结构基因的活动,造成不同的细胞内基因活性状态的差异,有可能为发育和分化研究提供新线索,说不定癌细胞的产生也与转座因子有关。转座因子能够从一段染色体中跑出来,再嵌入到另一段染色体中去,现代的 DNA 重组和基因工程技术也从这里得到过启发。转座因子的确是在内切酶的作用下,从一段染色体上被切下来,然后在连接酶的作用下再嵌入到另一切口中去。

尽管遗传基因的流动性被发现,但在冷泉港以麦克林托克的名字命名的实验室走廊的尽头,她依然是一个可望而不可即的形象。在她所理解的转座和她的同事们所理解的转座之间存在着一条鸿沟。转座的被重新发现,根据并不是她所研究的成果,并且在这个过程中,她似乎是一个局外人,一直置身度外,甚至直至今日,她的支持者们可能也并没有真正理解她所说的,尽管她已经出了名,尽管她生前同同事们有着和睦的关系,但依然显得那么势单力薄,孤立无援。

在多年被忽视以后,勇气和真理终于打垮了偏见和冷漠,献身精神得到了报偿。这段富有传奇色彩的故事既复杂又富有启发性。这是一个关于科学知识性质的故事,是一张个人和团体的动力缠绕成的网,并且这张网却限制了科学的发展。

一种新的思想,一个新的概念,在某位男子或女子的幻想深处诞生了。但是要使这种概念成为科学理论主流的一部分,还必须得到社会的承认才行。科学知识作为一个整体,是在个人创造力和公众承认的相互作用中产生出来的,是个人和社会高度互动的产物。这种相互作用有时很复杂,也很微妙。有时,这种相互作用失败了,个人和社会之间就产生了隔阂。或者是先发生了这样的事,然后再翻转过来,使得我们有机会去了解不同意见在科学上的意义。

在麦克林托克时代,具有科学知识的女性都宁可当技术工人与教师而不当科学家,对她们而言,科学只是一种爱好,而并不是谋生手段。研究员的职位是轮不到她们的,在大学里,允许妇女担任的职位绝大多数只限于助教,偶尔还有些讲师。他们可以在女子学院任教,或者,她们可以嫁给科学家,而在其丈夫的实验室里工作。于是对大多数青年女子来说,这一切就是对她们所热爱的科学的全部报偿了,并且实际上,她们也安心于此。而麦克林托克则不然,她不能,也不愿甘心于在性别方面强加给她的限制,不管这种限制来自何处。她只是做她所想的,这其中“绝对没有想到出人头地”,也不想接受任何其他的替代方案,尽管也许其他许多科学女性似乎是愿意接受这样的方案的。

麦克林托克是一位毕生从事玉米遗传学研究的科学家,在大多数人不理解的情况下仍然钟情于玉米遗传学研究。1933年,果蝇幼虫唾腺巨大染色体被发现。这种巨大染色体要比减数分裂时的染色体和体细胞中的染色体大上200倍。唾腺染色体上有明显的横纹,横纹的相对大小和空间排列是恒定的,可以作为识别唾腺染色体的标志。这一发现为果蝇遗传学的飞速发展添上了强有力的翅膀。自此以后,玉米在遗传学中的地位无法再与果蝇相抗衡。而对于急功近利的遗传学家来说,一年才熟一季的玉米也实在让人等得心焦,而几个星期就能繁殖一代的果蝇,则为观察突变的发生提供了更为快速的捷径。于是,玉米成了被冷落的灰姑娘。然而,麦克林托克却对玉米情有独钟。

麦克林托克虽然身材娇小,但却精力充沛,体格健壮,这无疑也是她能成为一名优秀遗传学家的良好素质。她的科学实验,不仅仅是在实验室的显微镜下观察细胞中的染色体,还需在烈日下种植玉米。研究玉米遗传学是一项十分艰苦的工作,为了使生长季节尽可能地长,必须尽量在最温暖的地方种植玉米——通常是在朝南的山坡。夏日炎炎,暑气逼人。一大清早,天还不太热,工作就开始了,并要连续工作一整天。需要不断地给幼苗浇水以防它们干死。有时碰到连续几天的暴雨,她就要在玉米地里排水、培土,使玉米根系牢牢地固着于土壤之中。每一株玉米都得系上标签,在大田里,在实验室里,对它细心地进行观察。而当授粉季节到来的时候,必须加倍小心,这样才能正常授粉。麦

克林托克常常穿着缝有许多口袋的工作服,冒着酷暑,穿梭于玉米秆之间,细心地观察幼苗、籽粒上的斑斑点点,并在显微镜下检查其染色体,而玉米对她的最好回报就是向她倾诉了有关染色体以及基因的奥妙。

巴巴拉之所以能够取得如此巨大的成功,是与其独特的个性和思维方式分不开的,这是作为科学家的个人“风格”,这种风格部分是学习所得,部分是自发产生的。在当代生物研究的世界里,麦克林托克的风格就是标新立异。她对差异有着强烈的爱好。“重要的是培养一种能力,去发现一个异乎寻常的籽粒并使其可以被理解”。她曾说过,“如果有什么事情出了格,那必定有个原因,你就得查明这是怎么回事。”麦克林托克认为,过分把注意力集中在类别和数字上,会鼓励研究人员忽略差别,“把它们称为一个例外,一种畸变、一种污染”。她认为那代价太高昂了,会使他们看不到周围发生了什么事情。

在 19 世纪,麦克林托克有可能会被归到博物学家的行列中去。但她和那种人又截然不同。博物学家注重观察,而 20 世纪的科学则注重实验。根据麦克林托克自己及其周围人的描述。她在某种程度上已成功地将这二者极好地综合在一起了。想像力在她的实验室研究工作中起到了重要的作用,甚至是其理解力的关键。那些对其他人来说只是解释或推测的问题,对她却是训练有素的直觉。麦克林托克将她独特的观察和认识技巧综合起来并推向前进,她的这种能力迄今为止很少有人能赶得上。甚至连她自己也都无法确切地说出她“知道”她知道什么。有些推理是不能用语言来正确表达的;她强调指出自己“对有机体的情感”的价值,尽管她的措辞听起来好像是神秘主义的,但她却坚持极度严谨的风格。正如所有优秀的科学家一样,她对有机体的理解是由高度的专心乃至钻进了她所研究的材料中去而形成的,这包含着一种强烈的情感因素。

透过麦克林托克的研究思路,我们可以看到一种独特的科学思维模式的重大作用,那就是以尊敬代替征服,以创造性的想像代替分析、还原的逻辑。麦克林托克把自己的情感融入研究对象之中,她还用“基因组的震惊”这一类词汇来描述基因的行为。仿佛一个基因能够觉察到各种情绪,如沮丧、兴奋等,它还能识别复杂的挑战,以寻求智慧的解

决方法。总之,基因组就像有它自己的生命。在她看来,转座因子的移动也正是生命体对内外环境的改变所做出的反应,这些也许正构成了进化的基本机制。

麦克林托克的思想连接过去与未来,横跨我们的时代。她的细胞遗传学研究在当时就为她赢得了声誉;她对“转座”理论的贡献是划时代的,正在被今天的科学家所接受;而她的进化观念也许将成为留给未来时代的一份贵重礼物。

1982年9月2日,在冷泉港,她与世长辞。麦克林托克终生未婚,她把全部的挚爱都奉献给了玉米,奉献给了遗传学事业。正如诺贝尔颁奖委员会的致词中所指出的,麦克林托克的成功,其意义远远超越了科学本身,“对于当局来说,保证科学的独立研究是多么重要;对于年轻的科学家来说,则证明简单的手段也能做出巨大的发现”。

面对荣获诺贝尔奖这一崇高荣誉,麦克林托克平静地说:“我觉得自己获得这种意外的奖赏似乎有些过分。多少年来,我在对于玉米遗传的研究中已获得很多的快乐。我不过是请求玉米帮助我解决一些特殊的问题,并倾听了她那奇妙的回答。”这就是麦克林托克,一位个性独特,对玉米情有独钟而思想深邃的天才女科学家。

麦克林托克对生物学贡献的故事存在着较难理解的另一方面:在人与自然的对话中,究竟是什么使科学家具有远见卓识而最后发表了深刻的论著呢?是什么使麦克林托克对遗传学的奥秘比她的同事们了解得更透彻更深入呢?

麦克林托克的回答很简单。她一再告诫我们每一个人必须有时间去看、有耐性去“听材料对你说话”,敞开大门“让材料进来”,但最主要的是一个人必须对生物有特别的感情——对有机体的感情。甚至连她自己也不知道,她常对独特的事物具有一种“非常强烈的感情”。而她“对有机体的情感”是其创造力的主要源泉,也是使她能够如此多产的原因。在麦克林托克看来,必须对每一棵植物有一种情感,了解“生物如何生长;了解它的各个部分;了解它什么时候会出毛病。(一个生物)不是一块塑料,在生长过程中,它不断受环境的影响,不断地显示特征或受到伤残。你得意识到这一切……你得对植物了如指掌,如果发生

了变化……你能一看植物立即就知道它所受的伤害——擦伤、咬伤或风刮伤的由来”^①。

总之,麦克林托克同其他自然科学家们所共同信奉的是:自然是有规律的,献身于这项工作就是要阐明那些规律。此外,她还意识到:推理和实验虽然被称为是进行这一探索的主要方法,但仅有这些却是不充分的。我们对自然的探讨不是把诱导性的问题强加于自然,而是耐心地倾听千变万化的生物心声。只不过现在很多人想这样做的难度似乎以指数幂增长。一位麦克林托克同时代的人说,麦克林托克自己进行过这样的研究,“如果你真正想懂得肿瘤,你就得成为一个肿瘤”,她甚至说:“在科学中到处谈论着成功者、专利权、压力、金钱、缺钱、剧烈的竞争、命运,事物是如此的相同,我不复知道我究竟可以被列为一个现代科学家还是一种濒临灭绝的野生动物。”但愿麦克林托克不是那濒临灭绝的物种,即便如此,也希望颇具魔力的生物技术能够以其神奇的伟力挽救这一濒危物种!

^① 赵台安,赵振尧译,转引自《情有独钟》,生活·读书·新知三联书店,1987年

12. 科学事实的建构

法国科学社会学家拉图尔(Latour)和英国社会学家乌尔加(Woolgar)在1979年发表了《实验室生活》一书。这是拉图尔运用人类学方法^①对一个具体的科学机构进行研究的结果。他在1975年10月至1977年8月期间,对美国加利福尼亚的萨尔克实验室考察两年。这个实验室因小儿麻痹症疫苗发明者萨尔克(J. E. Salk)而得名,实验室的领导人罗杰·吉列明(R. Guillemin)是1977年诺贝尔医学奖获得者。拉图尔在谈到其研究方法时说道,他作为人类学家走进科学家的实验室,就好像是人类学家到非洲或其他地方考察原始部落一样,保持一种不介入的客观观察立场;他根据观察日记和其他的有关资料写成了《实验室生活》这本书。拉图尔把他的这项研究称为科学的“人类学”,说明这是对一个具体环境中的特定科学家人群进行研究的结果。^②对科学实践的这种人种志研究的假设即为,我们对科学的理解可以利用从沉浸于工作科学家的日常活动获得有益的体验,或者说,工作科学家的日常活动如何导致了实验事实。换言之,科学社会学家采用民族志方法把科学家的实验室看成类似于初民社会的部落,直接观察和描述该部落的生态学、技术和信念系统,会有助于其他研究方法所难以实现的研究目标。

据《实验室生活》1986年再版的“跋”中追述,拉图尔在以“观察者”的身份进入罗杰·吉列明教授的实验室时,不仅对该实验室的“科学”一无所知,对英语也不大精通,而且完全不知道有所谓的“科学的社会

① 人类学研究,或称人种志研究,或称人种学方法,表明这种方法源于人类学或人种志(学)研究。

② Latour, B. and Woolgar, S. (1979) *Laboratory Life, The Social Construction of Scientific Facts*, Beverley Hill: Sage

研究(Social Study of Science)”存在。他当初萌生对实验室研究的原因,是将研究非洲象牙海岸当地人的方法用于考察第一流科学家在实验室中的活动,以便促进他对“认知能力”问题的思考。他注意到,对科学的规模 and 知识增长的总体分析、对科研经济学或科研资助的政治学的研究等宏观考察,非但没有增加人们对科学的了解,反而加强了在“科学”与“前科学”之间的二元划分,导致了对科学的神化。社会进步已使本来意义上的“原始部落”大大减少,与此同时,却又制造了现代文明的新部落,科学家所栖息的实验室正如土著人居住的深山丛林,通常起到了保护其生活方式不为外人“窥视”的作用。而借助于民族志研究中的“陌生人”观察策略,不带先入之见地深入科学活动的现场,我们就可能看到这个现代部落的真实生活图景。这是一种虚构的观察者立场,观察者并不真的全然是陌生人,他只是在扮演陌生人的角色。通过这种角色扮演,观察者既可以看到实验室中所发生的“可理解的”事情,同时又不被科学家的信念所左右。

拉图尔以一位人类学家的身份进入实验室,并竭力避免受到实验室人员的影响而变成其中的一分子,那么,他所见到的实验室生活是什么样子的呢?或者说他以所谓的“客观观察”在实验室生活中看到了什么呢?下面,我们则根据他的书做一下简要的介绍。

在拉图尔的书中,他描述了实验室的结构、人员、设备及实验人员的日常活动等。他注意到,他所进入的这个“实验室部落”由两大功能区组成,分别用作办公和实验。实验区有许多仪器设备,人们使用这些仪器设备切、缝、混合、摇、拧和铭写(inscription),而办公区只有书、字典和论文,人们用这些书面材料读、写和打字。在实验区操作的人被称为“实验员”,都穿着白大褂;在办公区读写的人被称为“博士”,不穿白大褂。这两个区都可进一步亚分:其中实验区包括有“生理学”和“化学”部分,分别位于办公区的两翼,“生理学”一翼既有动物又有仪器,“化学”一翼没有动物,两翼工作人员之间很少串门;办公区有些地方人们在写东西、交谈或打电话,另一些地方只有几个打字员和负责接电话、收发信件的人,还有一些地方专门用来开会或查资料。这些不同的地方当然是互相隔开的。从这张“地图”看,实验室不像是工厂,工厂的

办公区要小得多,也不像是管理机构,管理机构没有实验区。在这里,他看到了实验动物的被杀、被注射、被试验;看到了化学物质的被分离、被重新构造出来。但是他更看到了实验室的办公室区域与那两个进行实验区域的不同活动。其主要特殊之处可从办公区和实验区之间的关系看出来,一方面,每天工作结束之时,都有实验人员把实验室中得到结果的记录报告送到办公室区,这些实验资料构成了要加工和处理的对象;另一方面,平均每隔 10 天,实验室的秘书从实验室寄出一批论文,作为这个特殊“工厂”的产品。

在经过几天从实验区到办公区的“游览”之后,特别是在观察了实验室运作的一个流程之后,特别是那些持有博士学位的人,在各自的办公处读诸如《科学》(Science)杂志上发表的论文,并与自己正在写的论文进行比较;他们还不时地讨论问题,在黑板上书写着什么。他也看到了各种现代化的实验室仪器设备输出的大量信息。于是,他就对这个特定地点、特定人群的文化,也就是实验室文化进行了描写。他写道,这个奇怪的部落,每天的大部分活动就是记录、铭写、交替、改正、读论文和写论文。但在这些忙忙碌碌活动的背后,其实质又是什么呢?拉图尔相信,他所进入的这个陌生的部落实际上是一个庞大的“文学铭写”系统。这个系统从外部输入动物、化学试剂、能量(水、电等)和信息(信件、电话、杂志等),中间有各种机器、仪器和人员的组合,而输出的就是那些可能被(杂志、专业会议等)接受或可能被拒斥的论文。实验室的所有活动,宰杀动物、组合仪器设备、合成特殊试剂、分析化验、测定计算、写作讨论甚至秘书工作,都只是为了输出论文而已。他认为这些活动从表面上看来与文学主题无关,但可以看作是得到铭写的手段。实验室看起来就像是一个文学铭写的系统。实验室的仪器具有铭写的能力。每个铭写的装置是机器、若干仪器及实验技术人员的综合。每个实验室就是他们称为铭写装置的特定组成。而他们所撰写的论文就是在铭写装置及人员的具体组合基础上生产出来的。实验室的全部活动成果可以归结为生产论文。

他根据这个实验室的经费和这个实验室发表的论文数目,计算出了每篇论文的生产费用,在 1975 年大约是 6 万美元,在 1976 年大约是

3 万美元。他把实验室描述为文学的铭写体系,因为他认为,在文学中,提供了一种组织材料的原则,即观察者可以不只是依赖参与者的说明,而可以赋予他所得到的观察材料以某种意义。他看到实验室的论文是基于许多其他实验室的论文和实验室的仪器设备产生出的铭写而写成的,所以就使用“文学”这样的词汇来说明实验室的记录及科学论文,以强调这种活动的主观随意性。

拉图尔根据其在实验室中的调查,认为实验室中产生的科学事实,只不过是实验室全体人员努力构造的产物,是实验室中的仪器设备产生出的文学铭写被人解释为事实,被人证明为事实的结果。他据此认为,科学是“发现的科学”的说明是错误的,科学事实并不是被发现的,而是被制造出来的。他在书中不止一次地强调,实验室对于物质的存在所作的证明,不过是仪器显示出来的铭写。他说:“现象全然是由实验室的物质装置所组成的”,“文学铭写的功能就在于说服读者。”

为了说明他的观点,他还举出了 TRF(H),即促甲状腺释放因子的例子。他认为,这种历时 8 年,用成吨的羊脑做出的东西,不过是一串铭写发展的过程。在 1966 年以前,有关 TRF 的论文讨论的内容是仪器安装和提纯问题。而到了 1966 年,则得到了接近于纯净的 TRF 的物质。讨论就转向进行化学分析的仪器方面。1968 年,其他学科的许多新技术被引入到 TRF 的研究领域,用来研究它的结构。研究 TRF 的不同研究组织间有激烈的竞争及讨论。待到 1969 年质谱仪的使用结束了争论。TRF 的结构得以确定。拉图尔用一个表描述了这个过程。

表 1 关于 TRF 研究的争论

| | |
|------------|-----------------------|
| 1962 年以前 | 有 TRF 吗? |
| 1962 年以后 | 有 TRF |
| | 它是什么?是肽 |
| 1966 年前后 | 它可能不是肽 |
| | 它不是肽 |
| 1966 年 1 月 | 它是肽,它包含有 His, Pro Glu |

(续表)

| | |
|----------|---|
| 1969年4月 | 它是 R-Glu-His-Pro 或是 R-Glu-His-Pro-R 它不是 Pyro-Glu-His-Pro-OH 也不是 Pyro-Glu-His-Pro-Ome 也不是 Pyro-Glu-His-Pro-NH ₂ |
| 1969年11月 | TRF 是 Pyro-Glu-His-Pro-NH ₂ |

拉图尔以上说明的实质在于把 TRF 的发现过程归结为一种文字记载演变的历史,从而证明他对实验室活动的基本看法,证明 TRF 只存在于论文之中,存在于文学铭写之中。他说,“在实验室中,‘物体’(Objects)是由从实验室的文字铭写装置得到的或从其他实验室以外的研究人员的论文得到的几篇文件的附加物所实现的”,也就是由撰写论文的人的主观所构建和完成的。1980年,拉图尔又以《重构实验过程是可能的吗?》为题发表论文,进一步加强并发展了他的这种观点。这篇文章以另一种物质 GHRH(生长激素释放激素)在 1971~1976 年的研究为案例,以分析科学论文的陈述为基础,得出他的几个结论,这就是:“研究过程是受环境制约的”,“研究过程是混杂的(不均一的)”,“研究过程是机会主义的”,“研究过程是因人而异的”,“研究过程是幻想的建构”。这些都是这篇文章的小标题。在这些标题下,他的论述强调了科学陈述中表现出的科学研究过程的许多受具体条件决定的因素,强调这种建构是不能在任何其他别的地方复制和模写的,等等。

在拉图尔的书中,他主要是从实验室人员的对话和讨论中,从他们的全部活动中,从他们与实验室以外的科学家的相互作用中,看到了伴随着他们的论文生产过程及全部活动而出现的一种循环,这就是他所说的“信誉(credit)的循环”。他从科学家的日常谈话中看到,他们常常使用“credit”这个词,据此,他认为科学家科学活动的动机是为了得到“credit”。他从考察“credit”这个词的字义入手,指出从词典上考察这个词的意义有奖励、报偿等广泛的含义,涉及信用、权力及商业活动。对应于他在实验室中的所见所闻,他指出,“在科学家的实验室中,credit 代表了科学事实生产的总体的经济模式。科学家们的谈话涉及

的 credit 一词时,往往涉及科学活动的全部内容,如:利用别人的资料,就是从那里得到了 credit;共同发表文章是共享 credit,共同使用实验室也是共有 credit;得到仪器就得到了一种可能去生产具有信誉(credible)资料或数据;年轻人得到奖学金,就可以利用这笔钱写作发表,而得到更大的 credibility;他们在评估自己在某个领域中机会的时候,往往包含着一种准经济的计算;等等。因此,他认为所有的声望和物质的资源都是 credibility,即信用能力。从这方面说,科学家的行为和资本投资者有惊人的相似。积累的 credibility 是进行投资的先决条件。这种储备越多,投资者就能得到更多的实质性回报,因此使他的增长着的资本更进一步增加。

自然科学家们大概不会注意与理睬诸如拉图尔等人的这些科学社会学家的著作和观点。拉图尔进行调查的实验室的科学家萨克尔给《实验室生活》这本书写了序言,在序言中,萨克尔写道,这本书不是不值得科学家的注意。因为它可以看作是把科学与其他社会联系起来的“桥梁”。这种桥梁的作用,按他的理解,应该通过对实验室及科学家生活的直接观察,真正说明科学知识是怎样产生的,从而可以消除人们对科学的过分的熱情和过度的期望,也可以消除人们对科学不必要的疑虑和不应有的恐惧。他说,他所提的起桥梁作用的说法,作者大概不能接受,因为他们想要达到的目的比这个作用大得多。萨克尔在序言中说,作者在书中说明的主要观点,他是不同意的,是持怀疑态度的。书中的一些地方令他们读起来很不舒服,甚至痛苦。他还毫不客气地指出,作者只是见到了实验生活的表面,并不懂得其实质。这大概可以代表一般科学家对这类著作的看法。

的确,绝大多数的科学家通常很难同意或接受拉图尔他们的看法。拉图尔的这些说法,使得人们对于自科学产生以来就一直持有的科学是追求客观知识和真理的信仰受到了质疑,仿佛科学研究本身也并不是什么神圣的殿堂,在科学的冠冕堂皇的背后也并非绝对的客观,拉图尔以“人类学家的”视角,把科学家这个独特团体的活动,像揭示吃人生番部落的秘密一样,揭开包裹在科学迷雾下的实验室内的真实生活,把科学这个黑箱变成半透明的了。

后 记

有关实验和实验方法是一个复杂而庞大的课题,关于这个主题的解读,贯穿于近现代科学发展过程的始终。本书主要是从科学史的角度,描述不同学科上重要的科学实验,以此探索实验方法的起源、性质、科学发现及其实验方法所体现出的科学理性精神等。

在本书的撰写过程中,我们查阅了大量的科学史书籍和科学家传记,许多研究生参与了这项工作,如刘续乔、蒋兵同学分别参与了本书初稿和定稿的校对工作;周如冰、朱红杰、李玉明等参与了初步的撰写。但由于本书整体的结构和内容的原因,未能使用,在此,对这些同学所付出的劳动表示感谢。除此之外,我的师兄、清华大学科研院的王蒲生博士在研究“十五规划”中一个有关科研伦理的课题时,慷慨地提供了大量的有关实验伦理方面的资料,在此一并表示感谢。

本书各部分的主要撰稿人如下:

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1. 概论 | 刘晓君 |
| 2. 物理学中的实验 | 张鹏, 刘晓君 |
| 3. 火、燃烧和近代实验化学 | 刘洪忆, 刘晓君 |
| 4. 早期的医学 | 郭育松, 刘晓君 |
| 5. 生物学中的实验 | 葛盎然 |
| 6. 心理学中的实验 | 刘晓君, 单威 |
| 7. 社会科学中的实验 | 刘续乔 |
| 8. 一簇绚丽多彩的思维之花 | 李春燕 |
| 9. 实验及其相关因素分析 | 单威, 刘晓君, 葛盎然, 李春燕 |
| 10. 防范伟大科学的冒险 | 彭风焱, 刘晓君 |
| 11. 对有机体的情感 | 刘晓君 |
| 12. 科学事实的建构 | 刘晓君 |

本书成书前后历经近一年的时间,尽管我们付出了很多的心血,但

直到即将付梓,仍觉得还有一些问题的把握和理解可以进一步改善,但由于时间仓促,加之作者和编者水平能力有限,因而书中难免会有这样或那样的问题甚至错误,希望广大读者批评指正。