

WULIXUESHIZHUANTUJIANGZUOHUIBIAN

物理学史

专题讲座汇编

北京物理学会

卷 前 的 话

汪 世 清

中国物理学会和北京物理学会在北京联合举办了一期“物理学史讲座”，从1982年9月到1983年6月共举行了十八讲，现在已经结束了。这次“物理学史讲座”的对象主要是北京市城区的部分中学物理教师，也有少数高等学校担任普通物理课的中、青年教师。

举办这个讲座主要有两个目的：第一，首先在物理教师，特别是中学物理教师中普及物理学史的知识，使他们能比较系统地了解经典物理学和现代物理学在发展过程中的基本历史线索，了解近代物理学的各个分支学科是怎样兴起和发展的，经典物理学又是怎样发展到现代物理学的；使他们能更好地理解物理学中理论和实验的辩证关系，物理学发展同社会生产和科学技术发展的辩证关系。第二，帮助物理教师在上述基础上能比较深入地钻研和领会教材，适当地结合物理思想和物理研究方法，教好物理学的基础知识，加强物理学的基本训练，使学生不仅理解物理概念、定律和原理这样一些科学成果，而且理解获得这些科学成果的基本过程；不仅掌握所学的知识，而且掌握取得知识的基本方法。从这样的目的出发，每一讲都是主要讲述物理学发展过程中的历史事实，讲述物理学的基本概念、重要定律和原理、物理学的世界图象以及物理学的研究方法等方面的演变，讲述物理学思想的发展线索和物理学几次大综合的实现过程，讲述物理学发展中规律性的东西。我们力求用历史唯物主义的观点来阐明物理学史中重大发现及物理学家的历史地位和作用，我们力求用辩证法的观点来阐明物理学史中理论和实践、继承和发展以及各分支学科之间的关系；但我们是讲史，而不是论，也不是“史论结合”。我们认为，只有这样，才能讲清历史的本质，而不是罗列历史的现象；也只有这样，才能以科学的物理思想去武装物理教师，使他们在传授物理知识的同时，对学生进行正确的理论思维和研究方法等方面的教育，从而有助于形成学生辩证唯物主义世界观的基础。从这个意义上说来，普及物理学史的知识 and 提高物理教学的质量，确实有着十分密切的联系。这是我们一点粗浅的想法。

现在，这个讲座已经全部结束了。上述的目的是否达到，有哪些达到了，有哪些还没有达到；我们的想法是否符合实际，有哪些是可以实现的，有哪些是不恰当的，这都需要从效果上来加以检验。我们这次讲座是试验性质的。我们首先应该在讲座范围内广泛征求意见，以便认真总结经验，对这次讲座作出恰如其分的评价。除此以外，我们决定把已经讲过的十八讲的讲义，经过作者适当修订后、汇集起来，以《物理学史专题讲座汇编》为名，合印成册，内部发行。我们这样做也有两个意图，一是把它呈献于更多的读者之前，让大家来审定，以便更广泛地征求意见，帮助总结经验，进一步开展这方面的工作。二是想借此引起更多的同志对物理学史发生兴趣，促进物理学史知识的普及，促进越来越多的同志把物理学史的精神贯穿在所有物理学科的教学中去，从而在全国范围内逐步开展物理学史的普及、教学和科研工作。

在国际上，第二次世界大战以前，物理学史的研究还是少数人的事情。自从美国哈佛大

学校去科南特 (J. B. Conant) 在五十年代初倡导把科学史引入科学教育以来, 物理学史无论是在研究领域还是在教学领域, 都日益引起人们的重视。即以中学物理教材而论, 六十年代以后编写的, 例如哈佛大学三位物理学工作者合著的《中学物理教程》(中译本, 文化教育出版社 1980 年 6 月出版), 在许多内容中便介绍了有关物理学史的资料。近几年来, 我们也有越来越多的同志对物理学史发生了兴趣, 他们在这方面做了不少工作。报刊上发表有关物理学史方面的文章也越来越多了。有些高等学校, 作为选修科, 开设了物理学史课程。工作正在蓬蓬勃勃地发展, 这是十分可喜的现象。这次讲座便是在这一形势下举行的。担任这次讲座的同志, 多数都不是专门搞物理学史工作的, 有的从事专业研究物理学史的时间也很短。但出于对物理学史的热爱, 都愿意在本职工作之余, 搜集资料, 撰写讲稿, 承担各个课题的主讲任务。这个《物理学史专题讲座汇编》也多少反映了近几年来我国物理学史工作的进展, 但只是长河中的一朵浪花而已。我们都有一个共同的愿望: 展望未来, 将看到朵朵浪花, 汇成一股洪流, 奔腾前进。

附带说明一下, 这次讲座原定共分十九讲, 由于停了一次和增加了另一个课题, 《中国古代物理学的成就》和《研究物理学史的意义》两个课题便没有讲了。所以在这个汇编中也没有收入这两个课题的讲义。

恳切希望批评、指正。

1983.6.25.

目 录

卷前的话	汪世清(I)
第一讲 物理学发展的逻辑	申先甲(1)
第二讲 牛顿力学体系的建立	申先甲(20)
第三讲 十八世纪到十九世纪初叶力学的发展	邹廷肃(36)
第四讲 热现象的研究和热力学的建立	申先甲(50)
第五讲 分子运动论和统计物理学的发展	张钟静(73)
第六讲 电磁场理论的建立	杨再石(89)
第七讲 人类对光和本性的认识	陈毓芳(114)
第八讲 世纪之交的三大发现和物理学革命	王肃端(129)
第九讲 电子的实验认识史(几个片断)	郭奕玲(140)
第十讲 原子光谱与原子模型	郭奕玲(172)
第十一讲 物理实验与物理学的发展	龚镇雄 郭奕玲(191)
第十二讲 狭义相对论建立过程中的物理思想史	梁绍荣(208)
第十三讲 量子论的初期发展	祁有龙(227)
第十四讲 量子力学发展概况	史天一(250)
第十五讲 重核裂变的发现和原子能时代的到来	王肃端(270)
第十六讲 物理学的几个基本常数	汪世清(282)
第十七讲 粒子物理学的发展	高崇寿(306)
第十八讲 物理学的发展	张之翔(318)
第十九讲 中国古代的物理学成就及其对世界文化的影响	戴念祖(330)

第一讲 物理学发展的逻辑

申先甲

一、物理学发展的动力

一般地说，科学认识发生和发展的动因，有两个方面：存在于科学本身外部的，是社会的经济需要；存在于科学本身内部的，是科学认识本身的逻辑。它们构成了科学认识发展的外部因素和内部因素，物理学的发展也不例外。

1. 科学发展的外部动因

恩格斯指出：“经济上的需要曾经是，而且愈来愈是对自然界的认识进展的主要动力。”^①而经济上的需要，主要是通过生产实践来解决的。所以，科学的发展与社会生产的发展状况有密切的关系。古代天文学和古代力学，就是在古代农牧业和建筑、航海等需要的刺激下发展起来的。十五、十六世纪以后，资本主义生产关系的出现和形成，促进了近代自然科学、首先是经典力学的巨大发展。后来，蒸汽机的出现，推动了热力学理论的发展；电力的需要，推动了电磁学理论的发展；气体动力学也是在飞机的研制的推动下发展起来的。此外，政治上、军事上、意识形态上的需要，也对科学的发展起到重要作用。

历史的回顾清楚地表明，古代、文艺复兴时期、直到十九世纪中叶以前，一般地说，物理学理论是落后于生产和技术的，它的发展是在生产需要的推动下进行的。那时科学、技术和生产之间的关系可以用下述公式表示出来：

生产 $\Rightarrow$ 技术 $\Rightarrow$ 科学

热学的发展完全符合这个公式：

生产：提出动力要求 $\Rightarrow$ 技术：蒸汽机的发明、

应用与改进 $\Rightarrow$ 科学：热机理论的产生。

但是，从十九世纪下半叶以来，这种关系有了改变。科学无论是就其发展速度来说，特别是就开发自然界的全新领域来说，都在超越着技术和生产。而自然界的这些全新领域，在此以前是人类的认识和实践活动所未曾涉足的。例如，当今对人类社会生活的各个方面都有着巨大作用的无线电技术，就是在麦克斯韦电磁场理论所预言的电磁波被实验证实之后，才迅速发展起来的。又如，从1896到1940年，核裂变的研究是在纯物理学的范围内进行的。只是在1939年发现核分裂和连锁反应之后，技术上才开始着手解决原子能的实际应用问题。直到1942年，第一个铀原子堆才实现了运转。可见，现代物理学以其研究成果为技术和生产开拓了道路，在物理学成就的基础上，实践才能够在较短时间内掌握了这种新形式的能源。

为什么会发生科学从落后于生产到超前于生产的这种转变呢？因为直至十九世纪中叶以前，人们与之打交道的物理学领域是宏观低速运动的现象，工业和技术所利用的是从人类文

^① 《马克思恩格斯选集》，第4卷，人民出版社（1974），484。

明本身产生时起人们早已熟悉的自然界的“力”和物质。人们早就通过经验而不系统地了解了它们的许多特性。例如对于机械运动和热运动的利用就是如此；对于电力和磁力的利用虽然较差，但电现象和磁现象却早已引起人们的注意。只是到了近代，由于工业技术上的广泛应用，才促使人们去追索这些实践经验背后所隐藏着的一般规律。所以，实践对于科学的促进作用和决定作用是非常明显的。

但是后来，特别是二十世纪以来，工业和技术的长足发展，已经越出了人们熟悉的范围。例如原子能，人们任何知识也没有，甚至某些物理学家还一直否定原子的存在。在这种情况下，要想探索它的利用当然是不可能的。即使在发现镭的永恒发热以及质能公式 $E = mc^2$ ，已经揭示出原子内包含有可供利用的巨大能量之后，也还无法付诸实用。暂时还需要在纯物理学的范围内进行广泛的研究，而这种研究一时还看不出直接满足于生产上实际需要的前景。科学的任务，就是要在最短的时间内跑完人类历史本身在利用其他比较简单的运动形式方面所走过的路程、尽快地为技术和生产的发展开拓出新的道路。因此，对于技术和生产来说，现代科学产生了新的空前的先行作用，科学由落后于实践发展的因素变成了超越一般技术进步的因素。

这种变化是不是意味着决定作用现在已经由实践转向了理论，由生产和技术转向了科学呢？不能这样简单地看问题。科学在今天之所以可以超前于技术和生产的发展，正是以现代生产技术的发展为其条件，不难理解，缺少现代生产技术所提供的强有力的实验手段，科学理想的实现以及科学认识向宇观世界和微观世界的深入推进，都是不可能的。所以，人类的社会实践、特别是人类的生产活动继续成为科学进步的动力或最终原因。

当然，在现代，基础理论研究超前进行的重要性是不容忽视了。例如，激光技术的发展就是以爱因斯坦的受激辐射理论为基础的。正如瑞典化学家和物理学家阿累尼乌斯（Svante Arrhenius, 1859—1927）所说：“理论研究可以指出应当把今后的工作引向什么方向才能获得最大的成就。”

2. 科学发展的内部动因

科学作为一个知识体系，还有其自身的体系结构，有其自身的矛盾运动和继承积累关系，这就是自然科学发展的相对独立性。科学发展的这种内部矛盾运动，主要表现在以下几个方面：

第一，新事实和旧理论的矛盾。在科学实验中，经常会发现一些新的现象，冲击着已有的观点和理论，把人们的认识引导到新的方向和新的领域。众所周知，十九世纪末关于微观和高速度领域中的一系列重大发现，如迈克尔逊—莫雷“以太漂移”实验的否定结果，瑞利—金斯定律偏离黑体辐射实验规律的“紫外发散”，以及X射线、天然放射性和电子的发现等，导致了现代物理学的革命。这是新事实冲破旧理论而导致新学说的生动例证。科学理论上的重大突破，归根到底都是理论和实践不断矛盾斗争的结果。

第二，各种观点、假说、理论之间的矛盾。科学理论中经常充满着各种不同观点、假说和理论的矛盾，在同一学科中，由于彼此观点和理论的不同，还会形成不同的学派。例如力学中超距作用与近距作用观点的斗争，关于两种运动量度的争论；光学中波动说与粒子说的争论；热学中热质说与分子运动说的争论；关于阴极射线本质的争论以及本世纪以来爱因斯坦学派与哥本哈根学派之间的长期争论等，在物理学发展史上都是很著名的。这种争鸣和讨论，会使那些由于历史和认识的局限性而产生的错误的或片面的理论不断被更完善的学说所

代替，所以对科学的发展有积极的推动作用。

第三，各个学科之间的相互促进和相关发展。自然界是个统一的整体，因此，以自然界的各个不同侧面和领域为研究对象的不同学科之间，必然存在着相互联系，每一门学科的发展都会影响其它学科的发展。物理学总是同它的相邻学科天文学、化学和矿物学等密切相关而发展的。数学早已成为物理学的表述和研究的重要工具，物理学上的重大进展，都以某些数学方法的引进和应用为前提，物理学也经常成为推动数学发展的重要源泉。物理学和哲学的关系是十分特别的。物理学的重大成就直接推动着哲学的发展，尤其是在认识论的问题上；另一方面，哲学给物理学家们提供思维的工具和准则，物理学上的重大突破往往来自思想突破。正如恩格斯所说：“一个民族想要站在科学的最高峰，就一刻也不能没有理论思维。”^① 忽视先进哲学的指导作用，从来对物理学的发展都是一种阻挠和倒退。

就物理学内部的各个部门而言，它们也是相关发展的。例如十七世纪后半叶以来，由于牛顿力学体系的建立，它的基本观念被广泛地应用于物理学的各个部门，对这些部门的发展起到了巨大的作用。例如，在声学中，声音被看作在弹性介质空气中传播的机械振动；热学中也用力学模型解释热的本质，在“热质”观念的基础上，完成了量热学和传热学的一系列成就。在热质说被否定之后建立起的分子运动论中，热现象仍被归结为分子的杂乱的机械运动在宏观上的统计表现。这就在实质上把热学也纳入了力学的基本观念之中。静电现象和磁现象的研究，一开始就借用了力学观念。“电流质”和“磁流质”就是力学中质体概念的扩展。使电学成为严密科学的重要标志——“库仑定律”的确立，在很大程度上也是借助于同万有引力定律的类比而实现的。麦克斯韦的电磁场理论，最初就是类比于流体力学的模型而提出的。可以说直到十九世纪末以前，物理学的各个部门无一不是在牛顿力学理论的影响下完成的。以致于德国科学家亥姆霍兹说：“一旦把一切自然现象都化成简单的力，而且证明出自然现象只能这样来加以简化，那末科学的任务便算终结了。”开尔文（Kelvin，即 W. Thomson，1824—1907）在 1884 年也写道：“在我没有能给研究对象建立起一个力学模型之前，我是永远都不会满足的。如果我能成功地建立起一个模型，我就能理解它，否则我不能。”

二十世纪以来，相对论和量子力学的产生对物理学各个部门的影响也是明显的。

总之，对物理学发展的动力，必须有一个全面的认识。存在于物理学之外的动因，就是技术、工业、生产的发展及其要求，它与人们的社会实践和物质生活有关；存在于物理学内部的动因，就是科学本身的逻辑，它与人们的思想活动有关。只有当这两方面的动因协同活动时，才能产生正常的物理学进步。破坏了这种协同性，物理学的发展就会受到阻碍乃至中断。

二、决定物理学活动结果的多层次性原理

苏联学者凯德洛夫（Б·М·Кедров）指出，对于科学发展链条中的每一事件，都不能孤立地，而要综合地、整体地加以分析，根据整个历史运动中每一方面的比重来考察它的一切方面。他认为，影响科学认识发展的有三个层次的科学“气候”，即一般层次的“全球性气候”，特殊层次的“地方性气候”和个别层次的“微观气候”。这实际上就是决定科学活动

^① 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社（1971），29。

结果的三个重要因素：科学知识体系的结构，社会的科学能力和科学家的创造能力。

1. 一般层次的“全球性气候”

最高层次的因素，就是经过逻辑概括和完全失去个性的整个人类科学知识的总成果，这种成果体现在为世人所公认的各个成熟的科学理论体系之中。它形成为整个人类共同的“知识库”对整个人类的科学认识产生巨大的影响，这是科学的“全球性气候”。它的完成不取决于任何科学家个人，也不受时间、地点的限制，表现出科学理论自身的自主的生命力。科学知识的这种自立性表现在以下两个方面，首先，它把全世界的科学家推置到科学发展的各个前沿阵地。例如，能量守恒与转化定律几乎同时处于四个不同国家十来位物理学家的探索之中，正是说明当时科学的全球性气候已达到实现这一突破的临产阶段。同样，狭义相对论也是德国物理学家福格特（W·Voigt，1850—1919）、爱尔兰物理学家拉摩（J·Larmor，1857—1942）、荷兰物理学家洛仑兹（H·A·Lorentz，1853—1928）、法国数学家和物理学家彭加勒（H·Poincaré，1854—1912）的共同课题。其次，科学知识的自主性还表现在它们可以自动地产生出以前所未能预见到的新的问题和新的推论。例如，狭义相对论提出物理定律对于一切惯性系的不变性原理，它必然会引出新的问题：物理定律对于非惯性系是否也具有不变性？对这个问题的探讨，导致了广义相对论的诞生。又如，光量子理论肯定了光的二象性，它也产生了新问题：是不是一切微观物体都有二象性？法国科学家德布罗意（L·deBroglie，1892—）由此提出了物质波假说；它又产生了新的问题：物质波是否也可用波动理论来描述？奥地利物理学家薛定谔（E·Schrödinger，1887—1961）进行了试探性解答，得到了波动方程。物理学发展史还表明，在人们提出一个理论时，其中还包含着预先所未考虑的东西，例如波函数的统计解释，在创立物质波假说和波动力学时是没有考虑到的。

这些事例表明，科学有其内部的逻辑发展，“全球性气候”正体现着科学认识的合乎规律的发展进程；国际性的知识场，有其独立的、内在的发展规律和机制，一切科学家都必然处在它的影响和控制之下。马克思、恩格斯在论及蒸汽机的发明时指出：“十八世纪的任何发明，很少是属于某一个人的。”科学史上频频发生的发现权的争论，正说明科学的发展是一种国际现象，它是全人类集体智慧的创造。所以，及时了解世界各国科学进展的动态，加强国际性的学术交流，对于科学的发展是十分重要的。

2. 特殊层次的“地方性气候”

影响科学活动的第二层次的因素，是一定国家一定时代所形成的具体情况，包括生产和经济发展，政治制度，社会意识形态以及教育制度，科学传统的特殊情况。这构成了科学发展的“地方性气候”。

在科学史中，国别史的研究是很重要的。世界各国科学技术的发展是不平衡的。从一个历史时代来看，往往存在有一个世界科学技术的中心国度或地区；但这个科学中心又随着时代的变迁而转移。1962年，日本神户大学的汤浅光朝系统地研究了这一历史现象，提出了“科学活动中心的转移”理论。汤浅根据五个有关科学活动现象的参考材料，其中主要的有（1）1956年出版的海邦沙（Heibonsha）的“科学和技术编年表”，其中收集了1501年—1950年间的2064项成果（表一）；（2）1951年出版的威伯斯特（Webster）的人物传记辞典中四万个人物的传记，选出了几个主要国家的2152名科学家（表二）；（3）1901年—1960年间215名诺贝尔奖金获得者的资料（表三）。汤浅利用这些材料，绘制了科学活动的统计曲线，形象地展示出了科学活动中心的转移情况。汤浅定义，一个国家的重大科学成果数如果超过

同时期全世界重大科学成果数的25%，就说“科学活动中心”已转入该国。

根据汤浅的研究，十六世纪以来世界科学中心以如下顺序转移：

意大利	1540—1610	(佛罗伦萨、威尼斯、帕都瓦)
英 国	1660—1730	(伦敦)
法 国	1770—1830	(巴黎)
德 国	1810—1920	(柏林)
美 国	1920—	(新英格兰，加里福尼亚)

表一 海邦沙《科学和技术编年表》中的科学成果数

年 代	意大利	英 国	法 国	德 国	美 国	其 它	合 计
1501—1550	4	1	1	3		4	13
1551—1600	23	7	2	8		19	59
1601—1650	15	8	10	15		12	60
1651—1700	12	35	15	13		18	93
1701—1750	1	17	15	6	2	28	69
1751—1800	7	37	54	32	4	37	171
1801—1850	11	92	144	154	16	41	458
1851—1900	8	106	75	202	33	95	519
1901—1950	10	71	32	128	218	163	622
合 计	91	374	348	361	273	417	2064

表二 威伯斯特人物传记卡按国度分类数

出 生 年 代	意大利	英 国	法 国	德 国	美 国	其 它	合 计
1501—1550	5	5	3	5		7	25
1551—1600	6	8	5	6		9	34
1601—1650	9	18	8	7		9	51
1651—1700	4	21	15	5	1	10	56
1701—1750	13	38	41	21	7	27	147
1751—1800	16	84	84	64	26	34	308
1801—1850	23	152	103	167	178	98	721
1851—1900	9	116	47	114	401	123	810
合 计	85	442	306	389	613	317	2152

转移的周期为 80 年左右。这就是说，科学中心在每个国家停留的时间，大致为 80 年。用著名科学家人数所得出的结果也得到了类似的结论。我们对历次科学活动中心转移的这一“汤浅现象”作一点讨论。

表三 1901—1960 年诺贝尔奖获得者各国人数

国 年 代	德 国	英 国	法 国	荷 兰	奥 地 利	瑞 典	瑞 士	丹 麦	意 大 利	比 利 时	匈 牙 利	捷 克	芬 兰	西 班 牙	俄 国	美 国	苏 联	中 国	印 度	日 本	合 计
1901—1910	12	5	6	4	—	1	1	1	2	—	—	—	—	1	2	1	—	—	—	—	36
1911—1920	8	3	5	1	1	2	1	1	—	1	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	24
1921—1930	8	8	3	2	3	2	—	3	—	1	—	—	—	—	—	3	—	—	1	—	34
1931—1940	10	7	2	—	2	—	2	—	1	1	1	—	—	—	—	9	—	—	—	—	34
1941—1950	4	6	—	—	1	1	3	—	—	—	—	—	1	—	—	16	—	—	—	1	36
1951—1960	4	9	—	1	—	1	—	—	1	—	1	1	—	—	—	27	4	2	—	—	51
合 计	46	38	16	8	7	7	7	5	4	3	2	1	1	1	2	57	4	2	1	1	215

(1) 近代科学史上第一个科学活动中心是意大利(1540—1610)。约70年。

欧洲的中世纪,即五到十四世纪,史称“黑暗时代”。在封建教会的严密统治下,科学研究被看作是读神的行为,愚昧被说成是最高的德行,神学教条被崇奉为无上的真理。在十四、十五世纪,从封建社会内部逐渐形成和发展了资本主义的生产方式。资本主义发展商业,扩大市场和繁荣贸易的要求,直接推动了地理上的新发现。生产、贸易、航海和战争的发展,必然引起技术上的一系列革新。从十三世纪到十五世纪,我国的造纸术、火药、罗盘针和活字印刷术输入欧洲,对欧洲的科学文化的发展产生了巨大而深远的影响。正如马克思所说:

“火药、罗盘针、印刷术——这是预兆着资产阶级社会到来的三项伟大发明。火药把骑士阶层炸得粉碎,罗盘针打开了世界市场,并建立了殖民地,而印刷术却变成新教的工具,并且一般地说,变成科学复兴的手段,变成创造精神发展的必要前提的最强大的推动力。”(《1861—63年经济学手稿》)随之而来的是以意大利为中心的欧洲新兴资产阶级以恢复古代文化的面目掀起的“文艺复兴运动”。新兴资产阶级从古典文化中找到了可以用来反对封建宗教文化的武器,即自由探讨的精神,明快的自由思想以及进行各种研究的动力,他们提倡人权,反对神权,鼓吹以人为中心,要求重视现实生活。生产技术的发展,思想的解放,对实践经验的重视,成了当时科学起飞的坚实基础。

在这种经济的、思想的要求和形势的推动下,以意大利为中心的中欧一些国家出现了一大批杰出的科学家。如意大利的达·芬奇(L. da Vinci, 1452—1519),波兰的哥白尼(N. Koppelnigk, 1473—1543),意大利的伽利略(Galileo Galilei, 1564—1642),他们在力学、天文学和物理学上奠定了近代科学的基础,从而使自然科学从神学中解放出来,开始了飞速的发展。

由于自然科学证明了物质世界有其自身的规律性,证明了创世说的荒诞无稽,所以沉重地打击了宗教神学。因此,正当意大利的科学有所发展的时候,反动教会开始了对科学家的残酷镇压。哥白尼的《天体运行论》被宣布为禁书,天文学家布鲁诺(G. Bruno, 1548—1600)被活活烧死,伽利略受到审讯和监禁。这样,在伽利略之后,意大利的科学便走向衰落,几乎一百多年的时间里,意大利再没有出现过一个大学科学家。

(2) 继意大利之后,英国成为世界科学中心(1660—1730),大约有70年之久,在牛顿

(I. Newton, 1642—1727)死后结束。

在意大利走向衰落时，科学复兴运动已扩展到荷兰、德国，形成了先进的欧洲大陆，落后的英国，它们之间出现很大的科学技术差距。落后促使英国急起直追，许多英国人到大陆各国学习，甚至以化缘卖唱为掩护搜集各种技术情报。十七世纪初，在英国资产阶级取得统治地位后，这种技术引进活动以更大的规模进行。在后来的英国著名科学家中，除牛顿等少数人外，几乎都到大陆留过学。到1650年，伦敦已逐渐成为欧洲的科学技术活动中心；1662年，英国成立了皇家学会，这就为英国发展科学作了组织准备，推动了科学研究的开展。在皇家学会周围，云集了一大批科学家，他们之中有物理学家牛顿，胡克(R. Hooke, 1635—1703)，波义耳(R. Boyle, 1627—1691)，天文学家哈雷(E. Halley, 1656—1742)，布莱德雷(J. Bradley, 1693—1762)，数学家瓦利斯(J. Wallis, 1616—1703)，伦恩(C. Wren, 1632—1723)，马克劳林(C. Maclaurin, 1698—1746)等。据统计，英国在1660—1730年间，共有60位杰出的科学家，约占当时全世界科学家总数的36%以上；他们的科研成果数占全世界的40%。这些科学家，在广泛的学术交流当中互相启发，吸取营养，共同促进，把英国的科学事业推向一个显著的高度。

科学的发展推动了技术的进步，它使英国第一个在世界上爆发了产业革命，在十八世纪迎来了“蒸汽时代”，获得了“世界工厂”的称号，在经济上居于领先地位。这个史实揭示了科研要走在前面以及科学技术是生产力这个真理。

但是，在牛顿逝世后的半个世纪，尤其是1727—1759年间，英国的科学研究却出现停滞。几乎没有什么有名的科学家，皇家学会充斥了游手好闲的纨绔子弟。据该会唯一的期刊《哲学论坛》统计，从1780年到1815年的35年里六百多名会员中真正从事科学研究的只有一百多人。由于缺乏优秀的科学人才，英国的科学在十八世纪中、晚期迅速衰落下去。

(3) 十八世纪英国科学技术的发展和产业革命给大陆德国和法国以很大的影响，法国通过留学、办学、发展教育事业，赶上并超过了英国。从1770—1830年间成为新的科学中心。

从1750—1800年，法国社会处于非常时期。1751—1772年，由狄德罗(D. Diderot, 1713—1784)和达兰贝尔(J. L. d'Alembert, 1717—1783)为主编出版了“百科全书”；1755年发表了卢梭的人权宣言。1789—1795年爆发了法国资产阶级革命；1799—1804年建立了拿破仑统治体制。社会革命促进了科学的发展。1792年，法国出于战争的需要，为了解决武器和粮食的生产问题，创办了欧洲最早一批技术专科学校，在这里讲授炮身铸造与肥料的生产技术，从而使法国的武器实现了大规模生产。1794年法国击败了外国的侵略，科学技术在人们心目中的地位提高了，也尝到了兴办科学技术教育事业的甜头。于是一些第一流的科学家如拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736—1813)、拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749—1827)等被聘入大学兼课，使大批外国留学生云集巴黎。在推行“国家综合技术教育体制”的措施下，形成了浓厚的学术研究与交流的气氛，使法国出现了一大批著名的科学家和工程师。除拉格朗日、拉普拉斯外，还有库仑(C. A. de Coulomb, 1736—1806)，阿拉果(D. F. Arago, 1786—1853)，安培(A. M. Ampere, 1775—1836)，菲涅尔(A. J. Fresnel, 1788—1827)，盖·吕萨克(Gay-Lussac, 1778—1850)，泊松(S. D. Poisson, 1781—1840)，卡诺(S. Carnot, 1796—1832)，傅立叶(J. B. J. Fourier, 1768—1830)，查理(J. A. C. Charles, 1746—1823)，杜隆(P. L. Dulong, 1785—1838)和珀替(A. T. Petit, 1791—1820)等；其他还有化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier, 1743—1794)，生物学家居维叶(G. Cuvier, 1769—

1832), 布丰(G.L.L. Buffon, 1707—1788)和拉马克(J.B.L. Lamarck, 1744—1829)等。在法国大革命的推动下,它在自然科学上已超过英国而居于世界领先地位。但随着拿破仑的失败,法国的学校解体了,技术上也无重大突破,到了十九世纪下半叶,法国已落到德国之后。促使法国科学活动衰落的原因可能是多方面的,但其中一个原因则是科学界“人员老化”现象。如1760—1800年间,法国每年从事科研的科学家的平均年龄^①在43—50岁之间,1800年后开始超过50岁,法国科学也开始从顶峰上跌落下来。所以,通过精心规划的科学教育和完善的科研管理来控制科学活动的生命力,使之永葆青春,是非常重要的。

(4) 德国的起步较法国稍晚,但由于积极吸取了法国办技术教育和英国办工业的经验,使德国的科学技术与经济发展速度很快超过了英法。从1810年到1920年间,成为世界科学活动中心,兴隆期达110年。

德国采取了有计划办学的方法。继1810年创办柏林大学之后,又把一批中等技术学校改为大学,组成了科学技术教育体系,迅速形成了一支科技队伍。

在科学研究方面,德国是从农业化学(化学肥料)和有机化学(焦油染料、香料、药品、杀虫剂、解毒剂等)方面取得重大突破的。到了十九世纪七十年代,德国的煤化学工业技术超过了英国,整个科学技术中心转到了柏林。十九世纪七十年代德国统一,建立了德意志帝国,为有计划有组织地进行科学研究创造了条件。1873年建立了“国立物理研究所”,1877年建立了“国立化工研究所”,1879年建立了“国立机械研究所”。随着七十年代科学技术中心转移到德国,1895年,经济中心也转移到德国。它用了四十年(1860—1900)的时间,完成了英国一百年的事业。充分显示了科研对于推动生产发展的重要作用。

作为当时科学活动的中心,德国著名的科学家并不多见,这正是它的一个特点。它赶超英、法,首先抓应用研究,务必使科学研究通过技术物化为生产力,这使它的经济得以迅速振兴。化学家维勒(F. Wöhler, 1800—1882)、李比希(J. Liebig, 1803—1873)、凯库勒(F. A. Kekulé, 1829—1896)、霍夫曼(A. W. Hoffmann, 1818—1892)等主要都是从事应用研究的。当然这一时期德国也有一些著名的物理学家,如夫琅和费(J. von Fraunhofer, 1787—1826),欧姆(G. S. Ohm, 1787—1854),韦伯(W. Weber, 1804—1891),高斯(C. F. Gauss, 1777—1855),迈尔(J. R. von Mayer, 1814—1878),亥姆霍茨(H. von Helmholtz, 1821—1894),克劳修斯(R. E. Clausius, 1822—1888),基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887),赫兹(H. Hertz, 1857—1894),维恩(W. Wien, 1864—1928),伦琴(W. K. Röntgen, 1845—1923),普朗克(M. Planck, 1858—1947),能斯特(W. Nernst, 1864—1941),闵可夫斯基(H. Minkowski, 1864—1909),索末菲(A. Sommerfeld, 1868—1951)等,到了1920年,特别是希特勒上台(1933年)时,德国的科学兴隆期即告结束。

5. 本世纪二十年代,科学活动中心转到了美国。这从诺贝尔奖金获得者的数目清楚地表现出来,在1901—1960年间,美国的获奖者占全世界的26%。以每十年为一阶段计算,

① 某年(t)科学家的平均年龄 A_t 由下式求得:

$$A_t = \frac{\sum (X_t - X_b)}{N_t}$$

X_t 为当年的纪年, X_b 为某一科学家的生年。

N_t 为当年科学家的总数。

在三十年代美国的诺贝尔奖金获得者已超过全世界的 25%，而到了五十年代，已超过 50%。这一情况说明科学创造活动的高峰是在美国。

直到十九世纪末，美国科学比起欧洲来是十分落后的，其进展十分缓慢，它的科学也很年轻，到现在才有二百多年的历史。但为什么它能如此迅速地达到了世界领先地位呢？主要有以下五方面的原因。

第一，美国十分重视发展科学教育。

美国的产业革命是从学习外国开始的，首先是学习德国办教育的方法。在南北战争结束的当年（1865），美国就建立了麻省理工学院等一百多所大学和中等技术院校，以培养技术人员为主。从 1865 到 1880 这十五年时间，大学与中专技术院校就增长了六倍，达到四百五十多所。这就为二十世纪美国实现工业现代化作好了科学技术的准备。

第二，美国十分重视科学普及工作

十八世纪末和十九世纪初，美国的政治领导人杰斐逊、麦迪逊、亚当斯以及富兰克林等都认识到科学技术在社会发展中的作用。1789 年，议会提出建立全国科学报告会的制度；1797 年，当时的总统担任了哲学会（科学会）的主席；1818 年起出版了大量科普期刊，其中包括著名的综合性杂志《科学》。1820 年美国各大城市陆续建立了科学讲座制度。这些有组织的活动普及了科学知识，活跃了学术空气。

第三，美国有学习、引进外国科学技术的传统。

美国十分重视继承和学习欧洲的科学技术。欧洲任何技术动向，几乎当年在美国就有反映，其速度之快超过了欧洲各国。例如，1803 年英国开始搞蒸汽机车，它还未搞成时，1807 年美国人富尔敦（R. Fulton, 1765—1815）已搞成蒸汽轮船，英国直到 1814 年才搞出火车。1837 年，英国发明了电报，第二年美国就普遍推广使用。1904 年，英国的费莱明（J. A. Fleming, 1849—1945），发明了真空二极管，仅隔两年，美国人德福雷斯特（L. De Forest, 1873—1961）就在这一基础上发明了三极管，并进一步实现了无线电通讯。不到十年又建立了电台，普及了收音机，使美国最早进入“电讯时代”。这些情况表明，在技术落后的情况下，只有对别人的新技术十分敏感并及时引进，才能迎头赶上。当然，不能只停留在照搬别人技术上，还要有所创造。爱迪生（T. A. Edison, 1847—1931）是美国技术上有所独创的一个标志，他一生共有 1382 项重要发明。美国的工业化就是在电力工业方面有了重大技术突破之后才带动全局超过欧洲的。

第四，美国大量引进人才

为了提高美国的科学水平，他们大批聘请外国学者到美国讲学。如 1884 年英国物理学家 J. J. 汤姆逊（J. J. Thomson, 1856—1940）与瑞利（J. W. S. Rayleigh, 1842—1919）在美国讲学期间的一次谈话议论到了“以太漂移”问题，使美国青年学者迈克尔逊（A. A. Michelson, 1852—1931）很受启发，坚定了他进一步用试验证明“以太漂移”的决心，而于 1887 年同莫雷（E. W. Morley, 1838—1923）一起得到了否定结果。

第二次世界大战中，希特勒的反犹太主义把许多著名的科学家驱逐出欧洲，从 1930 到 1940 年，跑到美国的科学家就有爱因斯坦，德国的弗兰克，贝蒂，拉比诺文兹，匈牙利核物理学家西拉德，特勒和维格内，意大利物理学家费米等，1941 年开始的制造原子弹的“曼哈顿计划”，其中就有外国跑来的许多专家参加。有人估计这些科学家对美国的贡献相当于美国增产二、三百亿美元。他们都为美国的科学事业作出了宝贵的贡献。

第五, 先进的科研管理体制。

美国很重视科学的组织管理工作。它的各级科研机构都实行“分散与自由”的原则, 非常灵活。大学的研究机构既从事基础研究, 也从事应用研究, 因而出现了一些既搞理论又搞技术的综合科研单位, 如麻省理工学院和加利福尼亚大学。美国十分重视各门学科的交叉和渗透, 注意发展边缘学科。他们使一些传统上毫不相干的学科互相结合, 如生物学与通讯工程、自动化技术, 艺术和数学, 化学和建筑等, 从而形成富有成果的新生学科。本世纪四十年代形成的综合性学科控制论、系统论和信息论, 就是主要由美国不同学科的科学家和工程技术专家共同探讨的结果。他们长期以来就认识到: 科学往往在几个学科的交叉点上出现重大进展。

科学技术受到美国政府的重视, 由政府直接组织科学技术人员进行综合性重大课题的研究, 是美国科学技术活动的一个重要特色。1939年8月2日, 爱因斯坦向罗斯福总统提出了制造原子弹的建议。1941年, 美国政府就制订了制造原子弹的“曼哈顿工程计划”, 他们动员了十二万五千人 and 几千名专家, 花了二十亿美元, 在1942年实现了世界上第一个核反应堆, 1943年制造出了三颗原子弹。这是美国政府直接插手科学研究组织工作的开始。罗斯福曾问科研局局长布什“政府对发展科学研究工作能做些什么?” 布什(V. Bush)就此写了一个有名的报告《科学——无止境的疆界》, 报告中提出建立国家基金会的建议, 1950年国家基金会成立。1957年10月4日苏联发射了第一颗人造地球卫星, 美国政府迅速作出反应, 在1958年建立了国家航空和宇航局, 制订了“阿波罗登月计划”, 动员两万企业, 一百二十所大学和实验室, 共四十二万人, 投资三百亿美元, 终于在1969年7月21日, 把两个美国人送上月球。1981年4月12日, 美国的“哥伦比亚号”航天飞机又首航成功。本世纪中叶以来, 科学研究工作进入了国家规模的阶段, 由政府出面组织科学研究工作成为现代科学技术发展的重要特点。因为现代科学是以整体交叉的方式向前推进的, 那种以个人单独研究为主而无需国家统筹计划与指挥的时代已经过去了。

自五十年代以来, 美国经济发展速度已开始减慢, 生产增长率低于除英国以外的所有工业发达国家, 国民收入每人平均增长只有1%。到1958年, 美国这种走下坡路的趋势更加明显。从1959年以来, 美国大大削减了科研经费, 这在科学界引起很强烈的反应。汤浅根据以往各个科学活动中心的科学兴隆期平均为80年的规律, 预言美国的科学兴隆期到2000年将终止。统计表明, 美国杰出科学家的平均年龄在1950年已超过50岁, 出现明显的科学家集团老化现象, 这可能是它进入兴隆的后半期的一种征兆。

汤浅现象表明, 科学活动中心的形成和转移, 需要一定的历史条件。一个国家要成为科学活动中心, 必须制订出合乎国情的科学政策, 通过多种努力, 逐步创造条件, 奋力赶超世界先进水平。所以, 研究科学中心形成的历史条件和各个国家上升为科学中心的历史原因, 总结一个国家科学衰落的历史教训, 对于发展自己国家的科学事业是非常重要的。

3. 个别层次的“微观气候”

作为影响科学活动的第三层的因素, 还应看到, 科学是由一个个科学家个人具体创造的, 所以对科学人物和科学学派的研究应成为科学史研究的一项重要的基础性工作。科学家个人的作用, 主要反映在科学家的个人因素对科学发展的影响, 这构成科学发展的“微观气候”。

每一个科学家都是一个特殊的个体, 各有其独特的个性, 他们完成自己的发现时, 所走

的道路不是预先铺设好的，对别人来说甚至是非常离奇的，他们为了寻求真理而常常选择了不寻常和出人意外的道路。科学家的全部生活，他的童年、学生时代，他的爱好和兴趣，他的周围环境，他的学友和导师等等，都是应该研究的。分析他们的科学探索、成功、失败和科学发现中的特殊性，会揭示出科学进步的有益经验。

科学研究活动的核心是科学家头脑中的创造性思维过程。所以，以提高科学研究效率为目标的科学创造心理学的研究，近年来受到普遍的特别重视。这种研究包括理论和应用两个方面，基础理论主要研究心理学的一般原理在科学创造活动中的表现；应用方面主要探讨各个科研环节和不同学科科研中的心理活动规律。

今天，我们探索科学家的创造思维过程，对于掌握科学创造的内在规律，充分发挥科技人员和科研管理人员的创造性，提高科研效率 都具有重要意义。

（1）好奇心，好胜心和怀疑精神

我们首先看看促进科学家进行创造性的探索工作的个人动力问题。科学进步的根本动力是社会的需要，这无疑对每个科学家都是起作用的；但是，好奇心，好胜心和怀疑精神，即探索和重新理解、安排大自然的强烈愿望，这是促使科学甚至在沒有应用可能的情况下继续向前推进的个人因素。

创造性思维起始于对困难或问题的认识，是围绕着解决问题进行的；而善于提出新问题，总是从对事物、过程或已有的理论的怀疑开始的，W. I. B. 贝弗里奇 (W. I. B. Beveridge) 在谈到“好奇心激发思考”时说：“认识到困难或难题的存在，可能就是认识到知识上令人不满意的现状，它能够激励设想的产生。不具好奇心的人很少受到这种激励，因为人们通常是通过询问其过程为什么作用，如何作用，某物体为什么采取现在的形式，如何采取，从而发觉难题的存在。当有人提出问题时，我们要努力自我克制才能不去回答这个问题。这一事实证明，问题就是激励。”怀疑的头脑，批判的精神，从来就是科学进步的一个重要支点。

在人类认识史上，提出一个新异而又深刻的问题，对于认识的发展具有重大的意义。在《物理学的进化》中，当谈到伽利略早在十七世纪所提出的关于光的速度的问题时，爱因斯坦和英费尔德写道：“提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已，而提出新的问题，新的可能性，从新的角度去看旧的问题，却需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步。”提出质疑、批判，一般说来，是对传统的学说、理论、观念所进行的推究、审查和检验，是对旧认识的否定和扬弃，是建立新理论的起点。以怀疑的目光，批判的态度审查已有的认识，包括那些已被大多数人所接受了，似乎无人怀疑的东西，以“打破砂锅问到底”的精神，深入到理论的根基之中进行彻底的追究，是发展科学认识所必不可少的重要步骤，不管在什么深度上进行质疑，不管提出什么科学问题，它所激发起来的寻求解答的积极性，就把疑问提到了科学的高度上。正因为有这种精神，人类认识的发展和今日科学的形成才有了可能。

科学发现的整部历史都表明着这样的事实：创造性的贡献，常常出现在这些人身上，他们从小就有一种追根问底的精神，不使自己的思想局限在所接受的教育和训练的范围内，常常使自己的思想驰骋于书本之外，常常于别人习以为常之处发现惊异之点，或别人视为异物之间发现相似之点。

相反，那些缺乏批判精神和怀疑眼光的人，却很难获得创造性的发现，他们的智力活动受到窒息而逐渐趋于平庸和迟钝。即使那些颇有成就的科学家，当他们稍稍停顿一下怀疑的

思考时，本来是他们完全能够获得的科学发现，却在真理碰到他们鼻子尖下时白白地放过去了。

怀疑精神是同好奇心密切联系着的，而人的好奇心是难以抑制的，它吸引着人们不断进行探索。

W. I. B. 贝弗里奇在谈到“研究工作要求的性格”时说：“对于研究人员来说，最基本的两条品格是对科学的热爱和难以满足的好奇心，一般来说，科学研究爱好者比常人保有更多好奇的本能。”

科学巨匠总是具有无休止的好奇心，对外来刺激的高度敏感，对新的可能性的不断探索，和拒绝接受陈旧的答案，这是他们很重要的特质，这种特质激励着他们去发现我们生活的世界。爱因斯坦曾说过，他的科学成就来自“研究问题的神圣的好奇心。”他写道：“推动我进行科学工作的是一种想了解自然奥秘的抑制不住的渴望，而不是别的感觉。我热爱真理，也力求对改善人类的处境作出贡献，但这不同于我的科学兴趣。”在他四、五岁时，父亲给他看了一只罗盘，这给他以极大的吸引。他想，一定有什么东西深藏在事情的后面。众所周知，狭义相对论是以狭义相对性原理和光速不变原理为基础而建立起来的。这两个普遍原理是如何找到的呢？在《自述》中爱因斯坦回答了这个问题，他说：“经过十年沉思以后，我从一个悖论中得到了这样一个原理，这个悖论我在16岁时就已经无意中想到了：如果我以速度 c （真空中的光速）追随一条光线运动，那末我就应当看到，这样一条光线就好象一个在空间里振荡着而停滞不前的电磁场。可是，无论是依据经验，还是按照麦克斯韦方程，看来都不会有这样的事情”。正是从对这一从牛顿力学和麦克斯韦电磁场理论的基本概念中提取出来的悖论的深入思考中，使爱因斯坦在了解到“目的在揭示以假想的光以太为参照的特许运动状态的物理实验”失败之后，以卓越的见识和非凡的勇气对旧的概念和理论进行了抉择，导致了自洽的新理论的建立。

（2）独立思考和独创精神

怀疑和好奇，决定了科学家善于进行独立思考的特质。贝弗里奇认为人大体上可以分为两类，“一类人惯于对外界的影响（包括别人的思想）起强烈的反应。一类人则消极被动地接受一切事物。前一类人甚至在孩提时期就对别人教给自己的一切提出疑问，并往往叛逆传统和习俗。他们富有好奇心，要自己去探索事物。第二类人更容易适应生活，而且在其它条件相同的情况下，更能积累正规教育所传授的知识。后一类人的头脑充满了公认的观点和固定的看法，而反应型的人则具有较少的固定观念，他们的思想更自由、更可变。”爱因斯坦根据自己的经验，对这种类型作出了下述抉择：发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到自己的道路。培养独立思考的能力，树立独立的见解，这是独立地进行开创性科学研究工作的必要条件。

（3）想象力、灵感、机遇和启示

想象力、直觉与机遇，在科学发现中也是有重要作用的。

想象能力就是在人的头脑里把过去感知过的形象进行加工而创造新的形象的能力。想象能冲破时间、空间和物质条件的限制，所以它是对客观世界的一种特殊的反映形式和科学研究的一种特殊手段。爱因斯坦说过：“想象力比知识更重要，因为知识是有限的；而想象力概括着世界上的一切，推动着进步，并且是知识进化的源泉。严格地说，想象力是科学研究