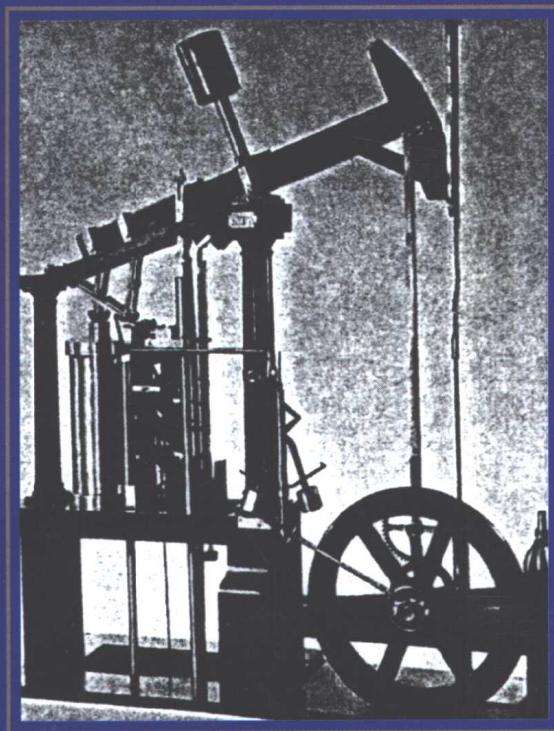




北京市高等教育精品教材立项项目

物理学史教程

李艳平 申先甲 主编



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书是高等师范院校本科生教材,系统论述物理学发展史,包括古代物理学、经典物理学和现代物理学,共13章,每章末有思考题。注意分析杰出科学家的创造道路,倡导科学精神和科学方法,挖掘物理学史料的素质教育因素,并为物理学史与教育结合提出积极建议。书中对20世纪物理学及其思想方法的论述尤为深入,全面反映了该世纪的物理学发展状况。

图书在版编目(CIP)数据

物理学史教程/李艳平,申先甲主编. —北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-010933-3

I. 物… II. ①李… ②申… III. 物理学史-师范大学-教材 IV. O4-09

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第087321号

责任编辑:孔国平/责任校对:宋玲玲
责任印制:钱玉芬/封面设计:张放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年1月第一版 开本:787×960 1/16

2003年1月第一次印刷 印张:27 1/4

印数:1—3 500 字数:575 000

定价:40.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

目 录

绪论	1
第一节 物理学史的研究对象和方法	1
第二节 物理学发展的基本模式	5
第三节 物理学史与物理教学	11

第一篇 古代物理学

第一章 中国古代物理学成就	33
第一节 物质本原思想的演变	33
第二节 物理学知识的积累	40
第二章 西方古代物理学成就	64
第一节 希腊时期关于物质本原的思想	64
第二节 希腊时期经验物理学知识的积累	69
第三节 中世纪阿拉伯和欧洲的物理学发展	74

第二篇 经典物理学

第三章 科学革命和新科学观的诞生	83
第一节 资本主义的兴起与文艺复兴运动	83
第二节 天文学的突破与科学革命的发生	86
第三节 新科学观的诞生	91
第四章 经典力学体系的建立	95
第一节 伽利略的力学贡献	95
第二节 万有引力定律的发现	103
第三节 牛顿与《自然哲学的数学原理》	107
第四节 牛顿力学的完善与分析力学的创立	111
第五章 光学的发展	117
第一节 光学的早期发展	117
第二节 光的波动说的复兴	128
第三节 光速的测定	133
第四节 光谱学的发展	138

第六章 热力学和统计物理学的发展	143
第一节 关于热现象的研究	143
第二节 能量转化与守恒定律的确立	151
第三节 热力学第二定律的建立	159
第四节 分子运动论的发展	164
第五节 统计物理学的建立	172
第七章 电学与磁学的发展	179
第一节 静电学与静磁学的建立	179
第二节 电磁联系的发现	186
第三节 法拉第的电磁学研究	193
第四节 超距论电动力学理论的建立	198
第五节 经典电磁场理论的建立	203

第三篇 现代物理学

第八章 实验上的新发现与现代物理学革命	219
第一节 从阴极射线研究到电子的发现	219
第二节 “以太漂移”的探索	227
第三节 黑体辐射的实验和理论研究	233
第四节 现代物理学革命的序幕	235
第九章 相对论的建立	239
第一节 狭义相对论的诞生	239
第二节 广义相对论的创立	264
第十章 量子力学的建立	282
第一节 量子论的初期发展	282
第二节 原子物理学的发展	292
第三节 矩阵力学和波动力学的建立	300
第四节 玻尔与爱因斯坦关于量子力学完备性的争论	311
第十一章 核物理学与粒子物理学的发展	320
第一节 原子核结构的探索与核裂变的发现	320
第二节 核理论的研究	330
第三节 粒子的发现与强子结构的研究	340
第十二章 凝聚态物理学的发展	352
第一节 固体结构的研究	352
第二节 导电理论研究	356

第三节 超导物理进展	361
第十三章 非线性物理学研究进展	375
第一节 非线性现象的发现	375
第二节 混沌理论的创立	380
第三节 远离平衡态的自组织现象研究	394
结语：当代物理学面临的重大疑难和研究前景	401
参考文献	415
人名索引	416
后记	427

绪 论

第一节 物理学史的研究对象和方法

一、物理学的发展和物理学史的研究对象

同人类的其他任何知识领域一样，物理学也是人类社会实践的产物，它是随着人类社会实践的发展而产生、形成和发展的。物理学的发展，经历了古代物理学时期（经验物理学的萌芽时期，16世纪以前），近代物理学时期（经典物理学时期，16世纪到19世纪）和现代物理学时期（20世纪）的发展阶段，它的研究内容、研究方法和基本观念都不断地发生着深刻的变化。

大约在公元前7、8世纪之后，中国和希腊形成东、西方两个科学技术发展的中心。当时科学已经以经验科学的形态从生产劳动中分化出来，但物理学还没有从哲学中分化出来，它只是“自然哲学”的一个组成部分。同时还由于社会对科学的需要十分有限，科学的社会功能并不显著，所以物理学的发展比较缓慢。在2000多年中，重大的发现极少，希腊时期的成就似乎成了不可逾越的顶峰；其中发展得较完善的只有静力学和天体运动的理论，此外还有一些关于光的直线传播的知识和关于物质本原的思辨性理论。这一时期的后期，西方处于黑暗的中世纪，以经院哲学为代表的宗教神学，扼杀了生气勃勃的希腊精神，科学的发展受到很大的抑制；但是，手工业生产技术的发展，却为实验科学的产生准备了条件。同一时期，中国的科学技术取得了辉煌的成就，走在了世界的最前面。

15世纪末叶，资本主义生产关系的产生，促进了生产和技术的大发展；席卷西欧的文艺复兴运动，解放了人们的思想，激发起人们的探索精神。近代自然科学就在这种物质的和思想的历史条件下诞生，导致了17世纪主要在天文学和力学领域中的“科学革命”。牛顿力学体系的建立，标志着近代物理学的诞生。整个18世纪，物理学处在消化、积累、准备的渐进阶段，新的科学思想、方法和理论，得到了传播、完善和扩展。牛顿力学完成了解析化工作，建立了分析力学；光学、热学和静电学也完成了奠基性工作，成为物理学的几门基础学科。到了19世纪，物理学获得了迅速和重要的发展，相继建立了波动光学、热力学和分子运动论、经典电磁场理论等完整的、解析式的理论体系，使经典物理学臻于完善。

19世纪末叶物理学上的一系列重大发现，使经典物理学理论体系本身遇到了不可

克服的危机，从而引起了现代物理学革命。由于生产技术的发展，精密、大型仪器的创制以及物理学思想的变革，这一时期的物理学理论呈现出高速发展的状况。研究对象由低速到高速，由宏观到微观，深入到广垠的宇宙深处和物质结构的内部，对宏观世界的结构、运动规律和微观物质的运动规律的认识，产生了重大的变革。相对论和量子力学的建立，克服了经典物理学的危机，完成了从经典物理学到现代物理学的转变。1927年以后，量子场论、原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学、非线性物理学、天体物理学和现代宇宙学，得到了迅速的发展，当代物理学已经发展成为一个庞大的学科群，包括了难以数计的分支学科。物理学向其他学科领域的推进，产生了一系列物理学的新部门和边缘学科，并为现代科学技术的发展提供了新思路和新方法。

随着物理学研究内容的变化，物理学的研究方法也在变化，不断得到丰富和提高。在古代，人们主要是靠不充分的直观的观察、思辨性的猜测、形式逻辑的演绎和简单的推理，直觉地、笼统地去把握物理现象的一般特性。实验的巨大作用尚未被认识到，只在阿基米德（Archimedes，约公元前287~前212）和中国的墨家学派等少数工作中有过体现。随着近代自然科学的兴起，观察方法就从以自然观察为主发展为以仪器观测为主，强调以系统的有目的的实验和观测事实为根据去归纳定律，建立理论。科学实验和数学方法的结合，使精确的、定量的物理学研究有了很快的发展。整理经验材料和建构理论的需要，也促进了分析、归纳和演绎等逻辑方法的发展。这一时期科学方法的发展，使物理学作为一门实验科学的特点显著地呈现出来。18世纪末到19世纪末，物理学从分门别类的研究过渡到阐明各种运动形式的联系，从认识物理现象过渡到考察变化发展过程，在宏观物理领域里全面实现了理论综合。实验方法、数学方法和理论概括方法都有了显著的提高和发展。如在热学、光学和电磁学的研究中，许多实验发现为这些物理理论的发展奠定了坚实的基础，导致了能量原理和电磁场理论的重大突破；数学成为物理学家进行表达、加工、抽象思维和理论构建的工具，每一门物理学理论，都联系于一门特殊的数学方法。物理学研究中理性作用的增强，使科学假说方法得到普遍应用，促进了19世纪物理学学术思想的活跃，新思想、新见解层出不穷，引发了一系列著名的科学争论。研究由大量分子偶然事件组成的体系的宏观规律，使统计方法也被引进了物理学。20世纪以来，由于各种大型、精密仪器设备的创制和分析技术的发展，特别是电子计算机的发明与应用，物理实验方法在精密、快速和自动化方面都达到了新的水平。数学方法更广泛深入的应用，使物理学理论的公理化、数学化特征日益突出，现代理论物理成了数学物理学。更由于物理学研究领域越来越远离人们的感性经验，创造性思维在创建新理论中的作用更加突出。科学想像、理想实验、大胆猜测，甚至类比、直觉和灵感等非逻辑方法，在现代物理学的研究中都是不可或缺的；追求简单、对称、和谐与数学美，已成为理论物理学家们科学哲学思想中的一个核心概念。

物理学基本观念的变更，最本质地反映出物理学思想的根本变革。爱因斯坦与英

费尔德指出：“在建立一个物理学理论时，基本观念起了最主要的作用。物理书中充满了复杂的数学公式。但是所有的物理学理论都是起源于思维与观念，而不是公式。观念在以后应该采取一种定量理论的数学形式，使其能与实验相比较。”^①这里说的“基本观念”包括最少个数的原始概念和不能在逻辑上进一步简化的基本假设（公理，定律），它们构成了一个物理学理论体系的根本部分，在物理学理论的构建中起着理论基础的作用。

物理学理论是从概念上把握实在的一种努力。面对繁纷复杂的物理现象，人们总希望运用思维去把握全部感觉经验，从中整理出秩序来。这就需要借助于一些基本概念和根据假说所确定下来的这些概念之间的基本关系，描绘出一幅关于物理实在的简化的和易于领悟的世界图像；进而采用某些数学公式，利用逻辑演绎，用定量的、逻辑的形式建立起理论体系，并建立起它和广泛的经验事实的联系。这就是基本观念的理解作用和建构作用。它为理性地整理经验知识提供一个思维准则和形成理论体系的基本构架，指导着物理学家们得以超越浩繁的感性经验实现理论的升华。

因此，科学理论的基本观念不是固定不变的。当不断增加的感性经验知识尚可为原有的观念所容纳和理解时，科学的发展就表现为渐进的积累；而当新的科学事实无法为原有的理论框架所包容时，就会发生科学革命，提出新的基本观念。

物质实在是具有不变质量的粒子和粒子体系，独立的、绝对的空间和时间是物理事件的存在框架，力只引起运动状态的变化，宇宙物体之间存在着与媒质无关的中心力的作用，物体的运动状态由初始条件惟一确定这些机械论的物质观念、时空观念和因果观念，是牛顿力学体系赖以建立的基本观念。奥斯特电流磁效应的发现，第一次认识了非中心力；法拉第电磁感应定律，证明了“力”不是源于“力心”，而是产生于空间状态的变化，从而产生了“媒递作用”和“场”的观念，形成了电磁场理论的基础。爱因斯坦抛弃了“绝对运动”、“绝对以太”等观念，提出了依赖于物质运动的相对时空观念；发现了质量与能量的联系，取消了实物和场两种物质状态的原则区别；等效原理彻底抛弃了绝对运动观念，认为一切参照系对于描写物理定律都是有效的；认为时空具有非欧几里得性质，引力只是“时空弯曲”的表现。这些崭新的基本观念，形成了相对论理论的基础。量子理论的发展提出了微观现象不连续性的量子化概念，波粒二象性概念，测不准关系，采用具有几率意义的波函数作为运动状态的描述，从而打破了经典物理学的连续性原理、精确测量原理和机械决定性原理。

可见，随着人们科学认识的发展，人们的物理观念和物理世界图景也在发生着巨大的变革；每一个重要的新的理论的产生，总要伴随着出现一个新的科学概念和定律的体系，实际上是发现了一种新的思想方法。所以，物理学发展的历史，本质上就是物理学基本观念演变的历史。

^① A. 爱因斯坦、L. 英费尔德，《物理学的进化》，周肇威译，上海科学技术出版社，1962年，第176页。

物理学史作为一门历史科学，首先就要描述物理学发展的历史，再现出物理学中各个最重要的基本概念、基本定律和基本理论的酝酿、产生和发展的过程。但是，决不能把物理学史限制在对过去史实的单纯追述和罗列，重要的是要研究在从一个时期向另一个时期的过渡中，引起物理学观念、物理学研究方法和物理学研究领域发生变化的条件和原因，研究物理学发展的基本规律。

二、物理学史的研究方法

物理学史是物理学和多门自然科学、社会科学综合交叉的产物，它既具有自然科学的性质，又具有社会科学的性质。概括和探求物理学发展的历史和基本规律，不仅与探索物理世界运动变化规律的物理学相联系，而且也与探索人类社会的生产、经济、思想文化等发展规律的社会科学相联系。物理学史的研究，又可分为综合史、断代史、国别史、学科史、思想史、实验史等不同的分支。在研究中既可侧重于物理学认识自身发展的进程，即其内在的逻辑发展的脉络，它的研究内容、基本观念和研究方法的发展和演化；也可侧重于各个历史时期的经济形态、生产状况、政治制度、思想文化等历史条件与物理学发展的关系。这种“内史”研究与“外史”研究的区分只具有相对的意义，它们不是相互排斥的，而是相互补充、相得益彰的。

为了理清物理学发展的历史线索，揭示物理学发展的基本规律，首先必须占有和研究大量的历史资料。搜集、积累和整理物理学发展的历史资料，是进行物理学史研究的基础性工作。物理学史资料大致可分为人物、事件、历史背景三个方面，包括物理学家的原始论文、专著、手稿、演讲、书信、谈话、实验记录，物理学家的回忆录、自传和传记，物理学发展的各个重要时期的社会生产、经济、思想文化的背景资料，以及有关科学技术史的综述性研究论著等文献资料。

要善于沿着历史本身的线索前进，透彻了解物理学发展中各个重要的事件以及它们之间的联系，透彻了解各个物理学家的科学贡献、创新思想、创造过程和研究方法，透彻了解各个时期人类掌握科学知识的水平、物理学家们的知识状况和物理学见解，透彻了解社会的物质条件和思想意识形态对物理学发展的影响。必须看到发展的不同阶段之间的复杂的联系，既要认识到物理学进化运动的继承性和不间断性，又不应当把认识的发展看成一种简单的继承和积累，而应当看作是一种批判的继承，它还包含着一连串摧毁旧观念的科学革命。

对物理学发展史上重大的历史事件进行“个案”的具体分析，在物理学史研究中是非常重要的。应选择出最有代表性的事件和现象，根据整个认识运动和历史运动的各个方面的相互联系，进行综合的、整体的考察，把事物发展的各个因素、各个侧面、各个阶段置于规律性的因果联系之中，从中做出富有说服力的论断。当前国际上科学史研究的一个动向是理论性的加强，物理学史的研究也应当在史料的积累和整理的基

基础上，努力转向探讨物理学发展的规律性问题。

应该注意和善于使用一切现代科学（包括现代社会科学）的研究方法和现代技术手段。除了对古代器械和实物进行技术分析，复制古代的技术发明，重复和验证物理学史上的重要实验之外，还要充分利用建立在现代科学基础上的系统方法、信息方法、统计方法和电子计算机技术。只有这样，才能跟上科学技术发展的步伐，推动物理学史研究的进展。

物理学史作为一门综合学科，不仅包含着物理学、数学和化学等自然科学的基本知识，而且包含有丰富的哲学和社会科学的基本知识，它的研究成果的取得需要借助于许多学科的知识 and 成就。所以，进行物理学史的学习和研究，还应该掌握科学方法论、科学学、科学史、哲学史、思想史、文化史和通史等方面的基础知识。并要善于向科学家、哲学家、历史学家、经济学家，甚至艺术家、政治家们学习，关注他们考察问题的角度和目光，并把他们研究问题的有效方法移植到物理学史的研究中。

第二节 物理学发展的基本模式

关于科学发展的型式，《物理学的进化》中写道：“我们只提到科学上的开辟工作，包括寻找新的和未预见到的科学发展道路，以及能创造出—个永远变化着的宇宙图景的科学思想奇迹。最初和最基本的步骤总是带有革命性的。科学的想像力发现旧的概念太狭窄了，于是用新的概念去代替它。沿着已经开辟了的所有思想路线而继续进行的发展，在到达下一个需要去征服的领域的转折点以前，是带有进化性的。”^①这里提出了科学发展的两种模式：进化性的积累模式，飞跃式的革命模式。这两种模式，同样适用于物理学的发展。

物理学的发展是一个继承与突破交互作用的辩证过程，既包含有进化式的量的积累，又包含有飞跃式的质的变革。物理学发展的历史表明，物理学的发展与物理学知识量的积累有关，每一个重大突破都是以积累和继承为前提的，同时又包含着对旧观念和旧理论的批判与扬弃。物理学发展中经常发生的以比较正确的理论代替错误的理论，以比较全面的理论代替片面的理论，以更为深入的理论代替比较初级的理论，都不是对旧理论的简单的否定，而是一种积极的扬弃过程。它既要吸收和保留旧理论中合理的、正确的成分，又要突破旧概念的限制，把理论体系建立在新的观念基础上。积累的量变不会单调地走向无穷发散；变革的质变也不会割断认识发展的链条。这两种过程的辩证统一，使物理学形成一种波浪式的发展进程。

20世纪中叶以来，国际上一些科学史家和科学哲学家，对科学进化及其运动规律作了深入的探讨，提出了一些富有创见的理论。吸取这些不同学说中所包含的新颖、合

^① A. 爱因斯坦、L. 英费尔德，《物理学的进化》，周肇威译，上海科学技术出版社，1962年，第17页。

理、有价值的思想，有助于我们正确地总结和掌握物理学发展的基本规律，推动物理学前进的步伐。

一、进化性的积累观模式

不少科学哲学家对科学理论的发展持通过逐渐积累而增长的观点。这种积累观强调知识通过量的方面的扩展而形成科学的进步，科学的发展没有渐进的中断，而只有进化。

逻辑经验主义者、美国科学哲学家欧内斯特·奈格尔 (Ernest Nagel) 在 1960 年出版的《科学的结构》中提出了“通过归并而成长”的科学发展观。他写道：“一个相对自洽的理论为一个内涵更大的理论所吸收，或者归并到另一个内涵更大的理论中，这种现象是无可置疑的，而且是近代科学史上屡屡呈现的特征。”

奈格尔指出有两种类型的归并：一是某一得到高度确证的理论合并到另一个更全面的、具有实质上相同的概念的理论中去，例如伽利略的落体定律被吸收到牛顿力学之中，这是所谓“同质归化”；二是某一得到高度确证的理论通过演绎包容到一个缺乏表达该理论所用的一些基本概念的理论中去。常见的是涉及物体宏观性质的理论归化到涉及物体微观结构的理论，如经典热力学理论归化到统计力学中；虽然经典热力学中的某些重要概念如温度、熵等并没有包含在统计力学中，但在揭示分子运动统计规律的前提中，完全可以推演出经典热力学的定律。奈格尔把这称为“异质归化”。关于新旧理论的更替，奈格尔提出要具有这样两个基本条件：一是“经验支持”，即新理论不但能解释旧理论所能解释的事实，而且还能解释旧理论所不能解释的更多的事实；二是“增殖力”，即新理论的假定提示着旧理论的进一步发展，并能预言旧理论不能预见到的事实。

这样，奈格尔就提出了一个“通过归并而成长”的“中国套箱”模型：一个理论被吸收到另一个具有更大范围的理论中，就像一套不断扩展的“中国套箱”。这个理论反映了科学理论通过量的增长而进步，通过积累而发展的历史事实，能够较好地说明新旧理论之间的继承性；这是一种线性直观的科学发展模式。

20 世纪 40 年代以来，人们借助于数量统计方法，对科学发展过程的数量特征进行研究，发现了科学发展速度日益加快的具体图景。一些从事科技情报、科学史和科学学研究的科研人员，对近代以来科学杂志、科学著作、论文数量、科学家人数以及科研经费增长的变化进行统计分析，发现这些从不同侧面表征科学知识数量的参数，每隔若干年就会增加一倍。在 20 世纪中叶，这个时间间隔大约为 10~15 年，即每年增长 5%~7%。

有根据认为，恩格斯是最早提出科学加速发展规律的学者之一。在 1844 年所写的《政治经济学批判大纲》中，在讨论马尔萨斯的人口理论时他写道：“……科学发展的速度至少也是和人口增长的速度一样的；人口的增长同前一代人的人数成比例，而科

学的发展则同前一代人遗留下的知识量成比例，因此，在最普通的情况下，科学也是按几何级数发展的。”^① 恩格斯的这一论断，可用微分方程 $\frac{dY}{dt} = kY$ 作出数学描述。这里 Y 为科学成果数； t 为时间； $\frac{dY}{dt}$ 为科学发展的“速度”； k 为某门科学及其发展的具体条件的比例系数，它与国度和历史时期的情况有关。这个方程求积分可以得出称为科学运动规律的公式： $Y = Y_0 e^{kt}$ ， e 为自然对数的底， Y_0 为 $t=0$ 时的 Y 值。这就是科学发展的指数规律。

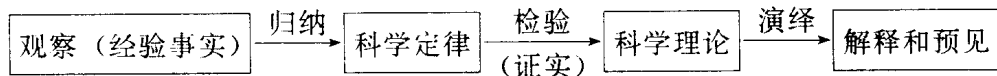
恩格斯关于科学加速运动规律的论述，被前述现代数量研究高度准确地加以证实。这个规律表明，科学知识是以指数规律，即多少年翻一番的速度发展的。20 世纪中期，大约是 10~15 年翻一番；20 世纪 90 年代大约是 3~5 年翻一番。物理学中 90% 的知识是第二次世界大战后的 30 年中获得的。科学加速发展规律表明科学知识的继承性与积累性特征，科学上的重大突破都是以积累为基础的，发展是以继承为前提的。科学知识的加速增长，促进了现代教育观念的改变，“专才教育”要变为“通才教育”，“知识教育”要变为“智能教育”，重要的是培养学生的认知能力和创新素质，“终生教育”成为必要。

无论是“归并成长说”或“指数规律”，都具有它的局限性，不能无限地外推。因为科学的发展除了知识的量的积累外，还会出现理论的质的飞跃，即理论体系的革命，例如哥白尼革命、现代物理学革命等。新理论决非旧理论的逻辑扩张，而是包含着基本观念的突破。近几十年来，越来越多的人已经放弃了把科学的发展仅仅看做是知识的简单积累的观点，探寻更为符合科学发展实际的模式。

二、波普的证伪主义模式

波普 (Karl R. Popper, 1902~1993) 是英籍奥地利科学哲学家，从小喜欢哲学和音乐，后来与罗素、玻尔、薛定谔、爱因斯坦等哲学家和科学家都有交谊和学术交流，1965 年被封为英国爵士，主要著作有《科学发现的逻辑》(1959)、《猜想与反驳》(1963)、《客观知识》(1973) 等。

从培根 (Francis Bacon, 1561~1626) 到逻辑经验主义，都按照归纳主义观点来说明科学知识的增长，认为科学知识来自对观察得到的经验事实的归纳，科学的发展就是通过归纳获得的科学知识的不断增加。其图式是：



这种科学发展的核心是经验归纳和证实原则，即从个别经验事实的单称陈述归纳得

^① 《马克思、恩格斯全集》中文版第 1 卷，人民出版社，1956 年，第 621 页。

出全称陈述的定律，再经过经验的证实而上升为普遍的理论。这个学说虽然反映了科学不断进步的总趋势，但却解释不了革命性新理论的出现。

波普反对逻辑经验主义的科学发展观，坚持认为猜测与反驳（证伪）是科学知识发展的本质，提出了科学知识增长的证伪主义模式。他把这一模式表述为：

$$P_1 - TT - EE - P_2 \dots$$

P_1 和 P_2 分别表示不同阶段的问题，TT 表示试探性、猜测性的理论，EE 表示消除错误。

波普认为，科学并非始于观察，而是始于提出问题，理性的创造力首先表现在科学家能否提出有价值的问题。因为，正是问题激发人们去学习，去实验，去观察。科学只能以问题开始，以进一步的问题而转折；新问题与旧问题之间的深度差和预见度差，表征着知识的增长。所以他说：“不应当把科学的历史看作是理论的历史，而应当看作是问题处境以及不断地通过解决问题和改进这一处境的历史。”^①

科学认识发展的第二个阶段，波普认为并不是对观察事实（经验）进行归纳得出科学命题，而是科学家为了解决问题和寻求答案，试探性地提出某些猜想和假说。因为归纳法只能告诉人们过去的知识，而不能告诉人们未来的知识；同时，科学定律是一种全称命题，它不可能从数量有限的经验（单称命题）中推导出来。所以，科学理论并不是观察的汇总，而是人们的发明——大胆提出来准备加以试探的猜想；任何科学理论实质上都是根据有限的经验材料大胆地跳跃到某种结论上，试探性地对问题进行解答。他指出，哥白尼太阳中心说、开普勒天体运动定律到牛顿力学、爱因斯坦相对论都是大胆猜想的产物。他说：“科学发明近似于试探着说谎，近似于创造神话和诗的想像。”^②

图式中的第三个阶段具有突出的意义。猜想和假说是否有价值，要经过经验的检验；但波普认为，检验总是在批判压力下进行的，即否定、反驳和证伪；检验不可能最终“证实”一个假说，但却可以“证伪”或否定一个假说。科学的合理性，并不在于每一个猜想和假设都合理，而在于批判选择的合理性。被证伪了的就被淘汰，同时产生出新的问题，代之以更新的假说；那些暂时没有被证伪的，就是暂时有效的理论；但任何一个理论，不管它经受了多么严格的检验，也不能说“证实为真”了，它终究还是会被未来的检验所证伪的。所以，科学理论都是几率性的真理，都必然包含着谬误，具有潜在的可证伪性。波普由此指出，科学与非科学的划界标准不是可证实性判据，而是经验证伪原则，可证伪的陈述才是科学的陈述。例如，“所有的物质遇热膨胀”，就是一个科学的陈述。

这样，波普就勾画出了这样一幅科学知识增长的图景：从问题开始，通过不断地

① 波普，《客观知识》英文版，1972年，第259页。

② 《科学革命的合理性》，见《世界科学译刊》，1978年第8期。

“试探—除错”、“猜测—反驳”，消除被证伪的理论，发现新的问题，提出新的理论，在“不断革命”中使认识愈来愈逼近于真理。

波普的贡献在于冲破了逻辑经验主义的静态逻辑分析的框框，从批判理性主义的证伪主义出发，对科学知识的增长做动态考察，肯定了科学认识发展的无终极性；他强调了理论思维的能动性，提出了具有批判精神的猜测、反驳、再猜测、再反驳的科学研究逻辑。但是，波普的科学发展模式贬低了经验的积累在科学理论建构中的基础作用，过分强调了经验的证伪作用，在经验、问题和理论之间没有揭示出真实的相互作用的机制；他的模式也夸大了科学理论的脆弱性，认为科学理论始终处于随时被证伪的不稳定状态，这是不符合科学史的实际的。

三、库恩的范式变革模式

美国科学史和科学哲学家库恩(Thomas S. Kuhn, 1922~)认为逻辑经验主义和波普的证伪主义，对科学发展的观点都背离了科学发展的历史，前者忽视了科学发展中的革命阶段，后者则抹杀了科学发展中的常规时期。事实上，科学发展既不是渐进式的，也不是证伪式的，而是进化与革命，连续与中断交替的过程。在1962年出版的《科学革命的结构》一书中，库恩提出了“范式”(paradigm)概念和科学经历着常规时期与革命时期不同阶段的科学发展的动态模型。

库恩模型的中心概念是“范式”(又称规范、范型)，范式的变更是科学革命的重要标志。范式是一个包含着科学、哲学、社会、心理等多种因素的概念。具体地说，是指“科学共同体”认识中的三种主要成分：一是概括(符号概括，文字概括)；二是模型(提供类比和启发的模型)；三是范例(具体的题解)。概括地讲，范式就是某个科学家集团的共同信念，以及在这一共同信念支配下确定的基本理论、基本观念和基本方法，并包括对该学科发展方向的共识。例如：哥白尼学说是哥白尼以来天文学派的范式，牛顿力学是经典物理学的范式。

库恩认为科学知识按照下述各阶段发展：“前科学—常规科学—危机—科学革命—新的常规科学……”

所谓前科学阶段，即这门学科的基本原则还处于尚未定向、众说不一的混乱时期，各种假说之间存在着很大分歧。随着争论的深入和研究活动的进展，某一种理论逐渐得到科学界的支持而占据优势，形成一套由假说、概念、定律、模型、方法和哲学观点所构成的科学范式，作为进行该学科研究活动的基础和手段。范式的形成标志着一门学科的定向和成熟，于是便进入常规科学阶段，在常规科学时期，范式指导着科学共同体成员的研究方向。随着常规研究的发展，会遇到某些“反常”现象，使原有的范式遇到了无法解释的困难，迫使常规科学家们对旧范式进行补充和修改。但是，出现反常现象的频率越来越高，对旧范式的偏离程度越来越大，为适应这种情况对旧范

式进行修补的规模和深度也越来越大，结果使旧范式日益复杂化，变得矛盾重重，混乱不堪。于是，“危机”出现了，旧范式迅速失去了控制能力，传统的常规研究随之结束；人们愈来愈多地去寻找克服危机的出路，科学活动进入非常研究时期，科学革命发生了。一些受旧范式束缚较小的科学家，毅然抛弃旧范式而创立新学说，使新、旧范式展开了激烈的斗争；新范式从各个战线驱赶着旧范式，并由于新的科学共同体的“皈依”逐渐取得了统治地位，从而开始了新的常规研究时期。同样，新的常规研究也会遇到反常而走向危机，爆发新的革命，产生出更新的科学范式，科学的发展，就体现在这种范式的变革更替之中。

库恩认为，范式本身只是一种信念，因而其形成和变更的原因不能从认识论的理性中寻找，而只能从社会学和心理学中寻找。库恩强调，新旧范式之间不具有继承关系，不存在逻辑联系，它们之间既不相容也不可比，因为两种范式之间没有共同的语言和意义标准。旧范式向新范式的转换，没有什么规则可言，只是不同信念的转变，也就是格式塔转换；这种转换只能是非理性的，是信仰、心理、社会思潮等因素影响的结果。所以库恩把科学革命比喻为政治革命，认为“没有比有有关团体的赞成更高的标准了”。他引用普朗克的话说：“一项新的科学真理并不是靠使它的反对者信服，并得到他们的承认而获得胜利的，而是由于它的反对者最后都死掉了，成长起来的新一代一开始就接受了这一真理。”

库恩的模式把科学发展的进化与革命两种状态结合起来，因而是更合乎科学发展的实际的科学发展的观点。库恩由此指出，一个成功的科学家必须同时具有维持传统和反对偶像崇拜这两方面的性格，在科学研究的继承和突破之间、收敛式思维和发散式思维之间保持必要的张力。但是，库恩的模式所说的科学革命是突变性的，过分夸大了新旧范式之间的间断性；他的模式还片面强调了新旧范式的不可比性，因而无法说明不同理论的竞争和科学的进步。同时由于他把科学共同体的信仰作为选择理论的标准，所以有相对主义和非理性主义的倾向，这是不可取的。

四、拉卡托斯的科学研究纲领模式

拉卡托斯（Imre Lakatos, 1922~1974）是英籍匈牙利科学哲学家。他原来是波普的同事和学生，后来又受到库恩思想的影响，在波普和库恩学说的基础上，提出了“科学研究纲领方法论”，用以改进波普“朴素的证伪主义”。

拉卡托斯认为，科学理论既不像波普所说的那样脆弱，也不像库恩所设想的那样新旧范式之间无连续性。他认为无论是波普的“反驳”，还是库恩的“危机”，都不足以淘汰一个理论；科学理论是有韧性的，它会通过不断修正和补充辅助性假设来消化“反常”以保护自己的基本部分。

拉卡托斯强调，科学最基本的单位不是各自孤立的理论，而是具有严密内在结构

的理论系列，只有理论系列而非一个孤立的理论才能被评价为科学的或伪科学的。理论系列构成了科学研究纲领，如牛顿的理论、热力学理论、相对论理论等。

科学研究纲领是一个有结构层次的体系，它由硬核、保护带和研究方法三部分组成。硬核是理论系列的核心部分，由最基本的理论构成，不容反驳或改变，一旦遭到反驳，整个研究纲领就被否定。如牛顿三定律和万有引力定律，就是牛顿力学的硬核。保护带是由一系列辅助性假设和初始条件构成的，其职责是保护硬核不受到经验事实的反驳。当反常出现时，就用修改、调整或增加辅助性假设的方法，以使硬核免受侵犯。如牛顿理论中行星运动的偏离，就用“摄动作用”开脱。研究方法包括反面启示法和正面启示法两部分，是为保护硬核而作出的方法论的规定。反面启示法本质上是一种禁令，告诉我们要避免哪些研究途径，并禁止把经验反驳的矛头指向硬核；正面启示法是一种积极的鼓励性的规定，它引导科学家们按照既定的方向进行研究，积极地发展科学研究纲领。

拉卡托斯承认任何研究纲领都不会是永恒的，它也有进化与退化的不同阶段。一个科学研究纲领经过调整其辅助条件后，如果对新的经验事实具有更大的预见力，并能对反常事实做出解释，它就是一个进化的研究纲领。而当某种研究纲领丧失了预见力，只能停留在对过去事实的解释上，不能对新的反常作出解释时，它便进入消极被动的退化阶段，这时就有必要以进化的研究纲领取代退化的研究纲领，从而形成科学的进步。

在拉卡托斯的学说中，蕴含着这样的—个科学发展模式：“科学研究纲领的进化阶段—科学研究纲领的退化阶段—新的进化的研究纲领证伪并取代退化的研究纲领—新的研究纲领的进化阶段……”

拉卡托斯的学说由于强调了理论系列是个有内在结构的整体，经验反驳不会轻易淘汰一个理论，这比较符合科学理论具有坚韧性的事实。他认为科学研究纲领有一个发生发展的过程，也注意到研究纲领之间的连续性与继承性，这就较好地反映了科学发展中的进化与革命的更替。但是，拉卡托斯对理论的评价标准是超历史的，并由于过分强调评价是一个过程，要给理论一个喘息的机会，一个已被淘汰的旧纲领可能在一定条件下获得新生，因而他的评价标准就过于宽松和软弱，简直同没有评价标准差不多。特别是他的方法论主张不惜任何代价地保护硬核免受批判，这就抑制了科学的批判精神，阻碍了科学理论的发展。

第三节 物理学史与物理教学

一、增强物理教学的历史感

教育要面向未来，就要使我们培养的学生适应未来社会发展的需要，这就必须重视培养真正能在受教育者身上长期起作用的素质。学校教育的目标一是要培养学生的

认知能力，即在学习、掌握知识的同时获得自主学习和拓展知识的能力；二是要教学生学会如何思维，提高创造力；三是要教学生如何做人，即培养正确的价值观和人生观，有更高的思想道德水平和文化素养。概括起来讲，包括了人文素质、科学素质、创造素质和思想品德素质等各方面的要求。

在实现物理教学的素质教育目标中，物理学史有着重要的作用。物理学史由于其学科内容的特点以及它所具有的丰富的教育因素，在素质教育中可以发挥独特的功能。

教育过程是一个“把凝固的文化激活”的过程；教师就是要通过教育过程揭示文化的精神和智慧，把文化的传授和学习转化成历史上文化创造者与今天文化学习者之间的对话。在以知识的灌输为主要目的的传统教学工作中，“文化的精神和智慧”被粗暴地阉割了。教师按照现代的认识编排出介绍知识内容的简捷方式和程序，从几个基本原理出发，运用数学演绎手段，逻辑地推演出各个具体定理和结论，以“纯粹的”、“修正的”形式展现出人类科学认识的“终极”成果；真实的认识发展过程中的历史曲折被抹平了，科学探索者的观测、困惑、沉思、试探和创新的智慧之光被掩盖了，历史意识被干干净净地滤掉了。这种讲授方法的结果，是给学生造成科学理论“直线发展”的错觉。我国物理学前辈钱三强先生指出：“科学经历的是一条非常曲折、非常艰难的道路。然而，我们的教师在对学生进行教育的时候往往是应用经过几次消化了的材料来讲授，或者经过抽象的理论分析加以表述，把已有的知识系统归纳，形成简明扼要的理论体系，这当然是必要的。但是这样的教学方法，往往会使学生对科学概念的产生和发展引起误解，以为什么结论都可用数学推导出来，失去了对观察和实验的兴趣。这样的结果使学生们不了解科学是怎样来的……今天我们科学界有一个弱点，这就是思想不很活泼，这也许跟大家过去受的教育有一定关系……”^①

随着物理学理论越来越抽象，数学工具越来越高深和逻辑方法越来越广泛的使用，学生们虽然对物理学的成就越来越敬佩，但对物理学本身却越来越觉得深奥、玄秘和枯燥，把物理学家看做是智慧超人的偶像和高不可攀的天才。物理学家和物理教师们对物理学这一富有成果、博大精深的科学事业的热爱和兴奋感情，也很难有效地传达给青年学生。这种情况，都与物理教科书、教学过程和教师的素养中缺少历史知识和历史观点有直接关系。不少有识之士都指出，当前我们的科学教育中的一个重要缺陷，就是缺乏历史感和缺少关于这座科学大厦建造过程的重大历史知识。

概括地讲，教育的目标包括认知和情感两个范围。情感方面包括兴趣、欣赏、价值观和情绪意志的培养，这些非智力因素对教育同样是非常重要的。学习效果的好坏，与学习者的态度、情感、责任心和意志力是密切相关的。这就要求教师必须把情感教育渗透到物理教学中去。

爱因斯坦在谈到学校的管理和教师的态度对塑造学生的心理基础的影响时说：“我

^① 郭奕玲、沈慧君，《物理学史》序，清华大学出版社，1993年。