

现代物理学的 延拓

吴紫标◆著

◆广东教育出版社

xiandai wuli xue de yantuo

序

物理学 (physics) 是自然科学的基础，同时又是自然科学发展的前沿。它的基本内容是探究构成自然界的各种物质的运动规律，并用这些规律来解释变化万千的自然现象。由此可知，它的研究范围很广，包括物质的基本结构和宇观、宏观、生观、微观诸层次物体的运动规律。在人类历史上，人类自有文化以来，就对自然界的各种现象作或深或浅的探讨，其目的都是为了获得关于某种层次上物质运动的有系统、有组织知识，以使人类能够认识自然、解释自然、利用自然、改造自然。在这些探究活动中，物理学起着具有基本意义的重要作用。具体地说，物理学自诞生以来就具有两个方面的作用：在精神上，它极大地满足了人们的求知欲望，帮助人们越来越深入地认识自然界；在物质上，它有力地服务、造福于人类，指导着人类利用自然、改造自然的实践活动。

翻开历史可以看出，物理学的每次重大突破都使人类的生产力跃上一个新台阶。18 世纪中叶，物理学的进步及与生产实践的结合，使纺织机、织布机、蒸汽机等机械得到很好的改进和推广，从而首先在英国，继而在法国、德国和美国等带来了一场深刻的产业革命，对欧洲乃至世界工业的发

展起到了推动作用，使人类从单纯依靠体力发展到大量利用机械的动力。19世纪，电磁学和热力学的发展为动力工业和电信工程开辟了道路；70年代电作为巨大的新能源发展起来，它的广泛应用使人们找到了能量转化和传输的捷径，进一步把人类从“蒸汽时代”推进到了“电气时代”；80年代，内燃机的发明与改进，给工业和交通运输业的发展开辟了广阔的前景。20世纪物理学的迅猛发展，为人类提供了新型材料、新型能源、新的通信和控制手段。电子管、晶体管、集成电路等电子器件的广泛使用，使生产过程由机械化、电气化向机电一体化方向发展，使人类进入了自动化、智能化阶段。由此可见，物理学的发展史，鲜明地印证了“科学技术是第一生产力”的光辉论断。同时，物理学史也记载了无数科学家对物理学问题进行实验研究和理论思考的过程，记载了他们忘我献身的精神。重温这些历史过程，对启发开拓人们的思路，树立崇高的理想，培养为科学而奋斗的事业心有重要的意义。可以说，一部物理学史，也就是一部人类奋斗史、一部生产发展史。

我国著名的物理学家钱三强曾说过：“物理学发展史是一块蕴藏着巨大精神财富的宝地；这块宝地值得我们去开垦，这些精神财富很值得我们去发掘，如果我们都能重视这块宝地，把宝贵的精神财富发掘出来，从中吸取营养，获得效益，我相信对我国的教育事业和人才培养都会大有益处的。”让我们如钱老所说那样，都来重视和开发物理学史宝库，这对促进我国乃至世界的物理学发展有极大的意义。

《现代物理学的延拓》向您描绘近期来物理学发展的新趋势，这种新趋势包括两个方面：一是它自身的纵向的延

伸，形成了各种新的分支学科，另一个是它横向的拓展，与其他学科形成了许多新的交叉和边缘学科。通过这些描写，将五彩缤纷的现代物理世界呈现在读者面前，并力求让读者能透过这些描写去观察、研究整个大自然的一切，及早驾驭大自然这匹野马，更好地为人类作出贡献。这是作者的一点心愿。

传说著名科学家玻尔喜爱一个故事：“在一个偏僻的村子里有个小小的犹太人集居地，有一次，一位有名的犹太传教士来到附近的城市传道，村民们很想知道这位大学者到底讲些什么，就派了一个年轻人去听听。年轻人回村后说：‘教士讲了三次。第一次讲话，非常精彩，讲得简明扼要，每个字我都能听懂。第二次讲得更好，深奥难解，我听不懂多少，但他自己则懂得所讲的一切。第三次讲得最好，对我是一次难忘的巨大体验，我一点儿也听不懂，连教士自己也懂不了多少’。”我对现代物理学这个主题的感受，多少有点像那个年轻人对那位教士的感受。部分我自己尚可理解，另一部分需要专家给我讲解才能明白，余下部分则涉及人们尚未完全了解的最新研究领域，这一部分问题显然是需要众多物理学家们共同努力参与，甚至需要几代人的不懈努力才能解决的。我写《现代物理学的延拓》一书，若能使读者达到那位年轻人的第一次感受，就已心满意足了。

该书可作为大中学校理科教师、科研人员、研究生以及物理爱好者的参考资料。

目 录

导论	
一、电子、X射线和放射性的发现	12
(一) 电子的发现	12
(二) X射线的发现	13
(三) 放射性的发现	14
(四) “三大发现”的意义	16
二、爱因斯坦创立相对论	19
(一) 狭义相对论	19
(二) 广义相对论	24
(三) 相对论时空观的物理意义和哲学上的意义	27
三、量子理论的发展	29
(一) 原子的量子理论	29
(二) 量子力学的建立	33
(三) 量子电动力学的确立	35
(四) 量子场动力学的产生	36
(五) 量子色动力学的兴起	39
四、原子核物理学的建立与发展	43
(一) 原子核物理学的产生与发展	43
(二) 原子能技术的开发	47

五、粒子物理学的诞生与发展	50
(一) 概述	51
(二) 夸克模型	53
(三) 粒子的基本属性	55
(四) 标准模型理论与规范场理论	57
(五) 几种典型的粒子加速器	61
六、凝聚态物理学的发展	76
(一) 固体物理学的形成	78
(二) 半导体科技的兴起	80
(三) 超导体及其理论的建立	82
七、现代光物理学与信息光学的兴起	86
(一) 现代光物理学的兴起	86
(二) 信息光学的发展	90
八、等离子物理学与介观物理学的突起	100
(一) 等离子物理学的产生	100
(二) 介观物理学的突起	102
九、计算物理学的崛起	105
(一) 电子计算机与物理学	105
(二) 计算物理学的崛起	107
十、生物物理学的创生	118
(一) 概述	118
(二) 几个典型的分支学科	121
十一、天体物理学的产生与拓展	131
(一) 天体物理学的产生与形成	131
(二) 打开新窗口	133
(三) 恒星演化的现代理论	137

(四) 现代宇宙学的兴起	142
十二、现代物理学的一些名词和概念	150
十三、现代物理实验的发展	173
(一) 大学物理实验室的兴起	174
(二) 工业实验室和国家实验室的创立	176
(三) 几个典型的物理实验	178
十四、回顾与展望	193
(一) 历史的回顾	193
(二) 展望未来	198
结语	202
人名译名对照表	203
主要参考资料	211

导 论

物理学是自然科学的基础学科，也是自然科学的重要组成部分。自然科学史研究认为，在公元 16 世纪以前的各种科学知识，由于缺乏系统的搜集和整理，尚未形成完整的理论体系，物理学也不例外。16 世纪以前的物理学属于物理学前史（又称古代物理学史），它仅仅是原始的科学知识或科学的萌芽，包含着各文化先进的民族对自然现象思辨性的哲学研究，并在直接观察的基础上构造物理世界图象。即使如此，历史证明，人类至今的全部科学成果终究是从这些缺乏系统整理的各种知识开始的，真正严密的自然科学体系（比如，它的前沿学科——物理学）的形成也是从这里开始的。

（一）古代物理学的形成

物理学的历史源头可以追溯到古希腊。从留基伯（公元前 500—440 年）开始，到德谟克利特（公元前 470—360 年）完成的原子论可以看作是物理学的源头。后来，这种原子论为伊壁鸠鲁（公元前 341—270 年）学派所继承，以后又经法国科学家伽桑狄（1592—1655 年）复活和介绍，对

许多物理学家产生了重大的影响。

亚里士多德（公元前 384—322 年）是古希腊学者中对后世影响较大的人物，他的工作遍及当时科学的一切领域。在古希腊的大科学家中著作最多流传最广的就是他了。他集雅典学派的大成，为物理学奠定了总体基础。他创立了宇宙论和自然科学的体系。确立了把一切自然现象归于少数原理，特别是归于少数运动定律的方法论立场。亚里士多德提出：“运动物体的落下时间与其重量成比例”、“自然界厌恶真空”等非实证性的教条。在当时他的这些学说被看成是真理，并经中世纪经院学派的论证而权威化，同时也趋于僵化，一直被人们奉为金科玉律。在大约 2000 年间，没人敢向他的理论挑战，直到公元 1590 年，伽利略才推翻这一力学理论。

但是，不管怎样，他的《物理学》一书也还是世界上最早的物理学专著，尽管那时物理学的含义与现代的含义不尽相同。而且，亚里士多德运用观察实验和辩证思维的方法，也大大地推动了当时科学的发展。同时极大地影响了后世的科学研究。

阿基米德（公元前 287—212 年）是古希腊后期最有学问和才能的物理学家，西方人把他称为“物理学之父”。他发现了浮体定律。他写过《论浮体》、《论平板平衡》、《论杠杆》、《论重心》、《论球和圆柱》、《论劈锥球面体与球体》、《论螺线》等力学和数学著作。他发现了杠杆原理，他说：“如果给我足够长的杆与可用的支点，我甚至可以移动地球。”阿基米德和雅典时期的科学家有明显不同，他非常重视实验，亲自动手制作各种仪器和机械。他不是力图提出一

个完整的宇宙模型，而是着重于解决某些有实际价值的问题。是他首先把科学与生产、战争结合起来。在他的影响下，后来的伽利略创造了近代物理学的方法。

天文学家的研究也是当时物理学研究的一个方面。当希腊文化中心从本土移到亚历山大里亚后，埃及天文学家托勒密继续着古希腊人的天文研究工作。托勒密提出了使他闻名的宇宙几何模型，完成了天文学史的名著《天文学大成》，整理收集了关于天体轨道的精密观察数据。此后，一直到16世纪，丹麦的第谷·布拉赫（1546—1601年）作为托勒密的忠实信徒，进一步发展了托勒密的成果。至此，托勒密所代表的古希腊天文学思想牢固地统治欧洲长达1300多年之久。这一方面是因为这种学说经过经院哲学家“改造”后，为宗教所利用；另一方面则是因为托勒密等科学家已经把地球中心说的学问用比较精细的数学方法体系化了。用数学方法将具体知识体系化，是一个重大标志，表明古代物理学也逐渐步入近代物理学的时代。

自然科学是人类社会发展的必然产物。在人类社会的早期根本谈不上什么自然科学、物理学……阶级社会出现以后，生产发展了，作为脑力劳动者的知识阶层出现了，人类对于自然界有了一定的认识后，自然科学（含物理学）的独立存在才有了初步的条件。人们关于自然界的知识从比较零散、直观、带经验性到逐步形成有一定雏形的自然科学（物理学也一样），这是一个漫长的历史过程。在这一时期，“物理学”的含义是探讨自然的秩序和原理的“自然学”。它的思辨方法离不开经院哲学，他的研究方法是直观的观察和实验，但它缺乏系统的整理。

(二) 近代物理学的诞生

在十六十七世纪中，一般科学的发展都显得缓慢和零乱，多数是些互不相关的发现与观察现象的记录，缺乏系统的整理和实验的证实。直到18世纪末期，由于实验方法的引进，各种定律与原理先后建立，才使物理学取得长足的进步，并逐渐具备严谨条理化的形式。19世纪，数学成为进行物理学研究的重要工具，这使得研究者们能够把实验研究与理论密切结合起来，因而使实验的精确度大大提高，使实验的结果更加可信。为了理解这些实验结果，人们又发展了理论。于是物理学便发展成为内容充实、结构严谨的科学了，这就是近代物理学，后来又称为经典物理学，它有几个分支学科，即力学、电磁学、声学、光学和热学。

在经典物理学形成的过程中，哥白尼（1473—1543年）于1543年出版的《天体运行论》一书起了开创性的作用，恩格斯在评价它的历史地位时说：“从此，自然科学便开始从神学中解放出来”、“科学的发展从此便大踏步地前进，而且得到了一种力量，这种力量可以说是与其出发点起的（时间的）距离的平方成正比的”（《自然辩证法》）。并称之为自然科学的“独立宣言”。

以此为起点，17世纪完成的开普勒（1571—1630年）关于太阳系行星轨道的三大定律，为牛顿力学的创立拉开了序幕。

与开普勒同时，意大利伟大的实验物理学家伽利略（1564—1642年）面对教会的严酷迫害，勇敢地捍卫科学真

理，坚持科学研究。他不仅用观察的方法证实了哥白尼的学说，而且还开创性地引进了近代力学和物理中的数学方法和实验方法。他的科学成就和科学思想，沉重地打击了封建神学的统治。他是经典力学和实验物理学的先驱。在力学中，他的成就既涉及静力学，又初步深入到动力学。在静力学方面，他研究过物体的重心与平衡；研究过船体放大的几何比例和材料的强度问题；利用阿基米德的浮力定律制造了流体静力学天平；还通过实验证明空气有重量等等。在动力学方面，他的主要成就是发现了摆的等时性，研究了自由落体和抛物体的运动规律，为后来牛顿的工作奠定了基础。伽利略反对单纯的思辨推理科学思想，崇信罗吉尔·培根的实验科学思想。他于1609年改进并制造了第一架天文望远镜，1610年发表了以天文观测结果为主要内容的《星际使者》和《关于太阳黑子的通讯》等论文，1632年出版了《关于两种世界体系对话》，1638年在荷兰出版了《两种新科学的对话》。这两本书是他的科学思想、科学方法和研究结果的总结，在经典物理学的发展史上具有重要意义，对后世的科学发展产生了重大影响。

近代自然科学的各学科中，发展较快、成熟较早的是经典力学（又称牛顿力学）。这是因为一方面力学的发展除了受到工场手工业时期经济和技术需要的推动之外，还受到天文学发展的影响，万有引力定律的发现就直接与研究太阳系天体的运动有关。另一方面，力学的研究对象是自然界中最常见、最简单的运动形式。从这种运动形式入手去探索自然界的规律就比较符合从简单到复杂的认识规律。牛顿是经典力学的集大成者。就经典力学的建立过程而言，人们称开普

勒的行星运动三大定律为“科学的黎明三部曲”中的第一乐章——“观察”；称伽利略建立的新力学谱写了“科学的黎明三部曲”的第二乐章——“实验”；而牛顿总结了天体力学和地面上力学的研究成果，提出了一套基本概念，建立了运动三大定律和万有引力定律，从而使经典力学成为一个完整的理论体系，完成了“三部曲”的最后乐章——“理论”。从此，人类开始了一个崭新的科学时代。牛顿的工作标志着经典力学的成熟，是人类对自然界认识的一次大综合。牛顿的贡献遍及天文学、力学、光学、新数学、微积分学和科学方法论，这使他成为科学史上最负盛名的科学家之一，是继伽利略之后的又一科学丰碑。

此后，经过几代科学家的努力，经典力学日趋完善，经典物理学也日益发展。丹尼尔·伯努利在流体力学领域取得了显著的进展，欧拉则完成了质点力学和刚体力学的研究，拉格朗日完成了分析力学，胡克和惠更斯提出了光的波动学说，但是直到托·杨和菲涅耳的工作才使光的波动学说为人们所接受。18世纪末瓦特发明了蒸汽机，促进了人们对热机的研究。将热现象归于物质内部的分子运动而展开的力学理论，加强了牛顿力学的权威，也使19世纪前半期热学和热力学获得显著进展。在对电磁现象的研究过程中，用“场”的概念代替力学的中心概念“力”而产生了麦克斯韦的电磁场理论，使人类进入了电力时代、电照明时代和电信时代。

19世纪，人们称它为“科学的世纪”。经典物理学已全面成熟，除了观察、实验、数学方法外，假说和其他逻辑方法（包括归纳法、演绎法等）也得以产生和广泛应用，科学

的精神，科学的方法已开始深入人心。

20 世纪的科学是 19 世纪科学取得重大突破的继续。直到今天，我们的一切科学成就、科学思想几乎都是以 19 世纪科学成就为基础发展起来的。

(三) 19 世纪末物理学的危机

19 世纪末期，物理学已经发展到相当高的水平，经典物理学以经典力学、电磁场理论和经典统计力学为三大支柱，达到了完整、系统和成熟的阶段。同时经典物理学在科学和技术的各个领域中都得到广泛的应用，取得了巨大的成就，显示出其强大的威力。1846 年海王星的发现又完全证实了根据牛顿理论所作出的预言；19 世纪 40 年代能量守恒定律的发现，揭示了各种物质运动形式之间的转化关系，把力学、热学、电学、化学等联系在一起。牛顿力学成为各门科学的理论基础，这样，大至日月星辰，小至分子，似乎无不被牛顿理论体系所包罗。

经典物理学在各条战线所取得的辉煌成就，使科学家们产生了一种错觉，许多人认为：物理学的大厦已经基本建成，绝大多数重要的基本原理已经确立，物理学理论上的一些带有根本性的、原则性的问题都已经得到解决，今后的任务只是进一步把物理常数测得更准确些，并在一些细节上作些补充和修正，以及把一些基本规律应用到各种具体的问题中去。在他们看来，在牛顿力学基础上形成的经典理论体系是万能的，是最终的绝对真理。他们习惯于用牛顿力学的观点来解释一切物理现象，例如：把热现象归结为大量分子无

规则机械运动的统计平均；他们给牛顿力学本来解释不了的电磁现象虚构了一个物质承担者——以太，把电磁现象归结为以太的机械运动；他们认为整个物理世界都可以归结为绝对不可分的原子和绝对静止的以太这两种物质始原。后来德国物理学家普朗克在 1924 年的一次讲演中回顾说，当他开始从事物理学研究时，他的老师约里（1809—1884 年）向他描述说：“物理学是一门高度发展的、几乎是尽善尽美的科学。现在，在能量守恒定律的发现给物理学戴上桂冠之后，这门科学看来很接近采取最稳定的形式。”就在人们陶醉于“尽善尽美”的境界时，却出乎意料地发生了物理学的危机。

这场危机是从以太漂移实验和黑体辐射定律的研究开始的。原来人们假设“以太”是光、电的传播介质，但寻找“以太”的尝试却一再失败，特别是 1887 年美国科学家迈克尔逊（1852—1931 年）和莫雷（1838—1923 年）的著名实验，确证“以太”不存在后，经典物理学许多根本观念（如绝对空间）都受到动摇。还有一个热力学的瑞利—金斯定律，它指出热辐射强度反比于发射光线波长的平方，当波长短到紫外线以内，辐射强度要急剧增大，理论上可以得到无穷大，但实际上波长短到一定阈值后，辐射强度就衰落而不是上升，这被称为“紫外灾难”。这两个问题都是与经典力学的预测相矛盾而无法解释的，被英国科学家威廉·汤姆逊称为物理学上空的“两朵乌云”。

实际上，在 19 世纪末的 10 多年时间里，物理学界极不平静。由于电子、X 射线、天然放射性等一系列的新发现，在人们面前展现出微观、高速领域的新奇世界，从而有力地

冲击了原子不可分、质量不可变的传统观念，以牛顿力学和麦克斯韦电磁学为基础的经典物理学接连不断地遇到麻烦，对新发现的一些自然现象无法做出解释。所有这一切，表明出现在物理学上空的已不是什么“两朵乌云”，而是乌云密布，危机四伏。这就是所谓 19 世纪末物理学的危机。

(四) 现代物理学的崛起

19 世纪末物理学上的“三大发现”（即电子的发现、X 射线的发现、天然放射性的发现），好比三颗信号弹，发起了向微观世界进军的号召，从而揭开了现代物理学的序幕。

由于物理学的新发现，打开了原子的大门，使人们的观察得以深入到原子的内部，从而提出了原子结构的新理论，产生了微观物理学；对光电效应、黑体辐射的研究导致量子论的建立，产生了量子力学；在对电磁效应以及空间和时间关系的研究中产生了相对论。量子论和相对论是现代物理学的两大支柱，是促成本世纪自然科学飞跃发展的理论基础。40 年代以后对原子裂变的研究，发现了一系列新的粒子，从而产生了原子核物理学和粒子物理学，使人类从宏观的认识深入到微观领域，又从宏观领域扩展到宇观领域。1955 年以费米为带头人的洛斯阿拉莫斯实验室 LA—1940 号作出的研究报告标志着计算物理学的创生，从此物理学的研究除了有先后成熟起来的实验方法和理论方法，又增添了数学实验方法，因而形成了实验物理学、理论物理学、计算物理学三足鼎立的新局面。20 世纪的物理学，在微观、宇观、复杂系统和现代生物四个基本方向上把人类对自然界的认识推

进到前所未有的深度和广度。现在人类对宇宙的认识已经达到 150 亿年以上的时间和 150 亿光年以上的空间，并由于运用了新的实验手段，对天体和宇宙的形成和演化有了新的看法，提出了新的宇宙学说。

现代物理学的产生恰好是从 1900 年开始的，这一年正是普朗克（1858—1947 年）关于作用量子的著名论文发表的一年，也即是量子论诞生的一年。

现代物理学至今经历了近一个世纪的发展，无论在广度和深度上都是经典物理学无法比拟的。它一方面沿纵深方向发展，产生了许多分支学科；另一方面则向横向延伸，衍生出许多交叉学科和边缘学科。

从研究的领域看，它涉及宇观天体、宏观物体和凝聚态，以至微观的基本粒子以下的亚微观层次；从研究的物质质量来看，它重到 10^{70} 克的总星系，轻到 10^{-27} 克的层子；从研究的广度来看，它大到 10^{26} 厘米，小到 10^{-16} 厘米的尺度；从研究相互作用的关系来看，它既研究作用半径大到无穷大的引力相互作用，又研究小到 10^{-13} 厘米以下的强相互作用，以及介于它们之间的电磁相互作用和弱相互作用，还研究这几种相互作用的统一问题，即统一场论。在本世纪，科学技术取得惊人的进展，造就了一批科学巨匠，产生了一系列伟大的发明和发现，同时出现了一系列的革命，如物理学的革命、能源革命、信息革命等等。尤其是 20 世纪中期以来，由于原子能、电子计算机、空间技术、海洋开发技术、激光技术和新材料的发展促进了整个科学与技术的新跃进，使自然科学各学科之间互相渗透，并产生了系统论、控制论和信息论等这样一些新型的基础理论学科，出现了诸如