

WULI JIAOXUEYANJIU YU TANSUO

物理教学

物理学的进展
和前沿

WULI XUE DE JINZHAN HE QIANYAN

张瑞琨 主编

研究与探索

上海教育出版社

物理学 的进展 和前沿

张瑞琨 主编

物理教学研究与探索

上海教育出版社

物理教学研究与探索

物理学的进展和前沿

张 瑞 琨 主编

上海教育出版社出版发行

(上海永福路 123 号)

(邮政编码: 200031)

各地新华书店经销 上海东华印务公司印刷

开本 850×1156 1/32 印张 13 插页 4 字数 300,000

1996 年 10 月第 1 版 1996 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—1,700 本

ISBN 7-5320-4853-5/G · 4823

定价: (软精)15.60 元

目 录

20世纪物理学的进展(代序).....	1
第一篇 现代宇宙学的发展.....	13
I. 牛顿的无限宇宙.....	14
II. 爱因斯坦的有限无边宇宙.....	17
III. 广义相对论.....	20
IV. 宇宙的大尺度结构和宇宙学原理.....	24
V. 膨胀的宇宙.....	29
VI. 大爆炸宇宙学.....	32
VII. 宇宙背景辐射的发现及意义.....	37
VIII. 宇宙的起源和归宿.....	42
IX. 人择宇宙学.....	49
第二篇 古老声学焕发青春.....	59
I. 声学基础知识.....	59
II. 声信号的识别及其应用.....	68
III. 声学检测和声学处理.....	72
IV. 声环境质量的改善和保证.....	78
V. 物质微观结构的探索.....	83
第三篇 凝聚态物理学的几个前沿问题(一).....	87
I. 相变和相变分类.....	88
II. 临界现象和连续相变.....	96
III. 自组织现象和耗散结构.....	105

IV.	漫谈非线性科学·····	117
第四篇	凝聚态物理学的几个前沿问题(二)·····	131
I.	物质的超导电性和高温超导体的魅力·····	131
II.	从一般晶格到超晶格 能隙工程·····	143
III.	有关表面的研究·····	155
IV.	二维电子体系·····	165
第五篇	微电子学与微电子技术的崛起·····	171
I.	晶体管和集成电路·····	172
II.	微电子的核心技术——微细加工技术·····	197
III.	微电子学和微电子技术的作用和影响·····	212
第六篇	微波的研究、开发及应用·····	217
I.	人类对电磁现象的认识·····	217
II.	微波的特性和研究方法·····	219
III.	微波传输线·····	222
IV.	微波的应用·····	228
第七篇	光学发展一百年·····	249
I.	本世纪始末光学器件发展的喜剧性对比·····	249
II.	20世纪中期划时代的发明及其发展·····	255
III.	光学领域中多个学科分支的萌生·····	264
IV.	光学发展已对科技进步产生巨大推动作用·····	282
V.	结语·····	292
第八篇	原子核物理学与核技术的应用·····	295
I.	原子深处探秘·····	295
II.	漫话核力·····	299
III.	核结构模型(一)·····	306
IV.	核结构模型(二)·····	313
V.	原子核的放射性·····	321

VI.	核反应纵说.....	327
VII.	缔造新核素和核物质的新形态.....	334
VIII.	核技术的应用.....	340
第九篇	粒子物理学探索微观世界物质结构	349
I.	核内微观世界的粒子家族.....	349
II.	基本粒子及其内部结构.....	362
III.	量子场——微观世界物质存在的基本形式.....	377



《中国大百科全书》物理学卷中明确指出：“物理学研究宇宙物质存在的各种主要的基本形式，它们的性质、运动和转化以及内部结构；从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。”

物理学作为一门科学，它的形成和发展是近四五百年的事，但是物理知识的形成可以追溯到人类文明之初。从早期人类社会的遗迹中，已经出现人类所形成的对物质运动认识具有最初的、不成系统的知识。随着生产的发展，社会的进步，物理知识逐步系统化、科学化，逐渐成为一门精密的科学。物理学研究的物质结构、运动及其规律的普遍性，是各门自然科学的基础，也是各门技术科学的基础。因此，我们不但要知道物理学的今天，也应了解物理学的过去，更要预测物理学发展的将来。搞清一些物理学的概念、定理、定律、理论、研究方法的来龙去脉，可以提高我们理解物理学的深度和广度，这对从事物理教学的读者来说更显重要，也才能使我们的教育对象更清晰地懂得物理学是如何发展的，物理学是如何探索大自然奥秘的，遇到问题应该怎样考虑去解决它，从而使我们的教育对象逐步提高认识自然、改造自然的能力。

到 19 世纪以后，自然科学在收集大量科学材料的基础上，

通过整理，分门别类地研究，使它的各门学科得到发展，物理学也不例外。在伽利略(G. Galilei, 1564—1642)、牛顿 (I. Newton, 1642—1727)建立的经典力学的基础上，物理学的各分支学科都得到发展。经过长达百年之久的争辩，对光的本性有了新的认识，光的波动说获得胜利，从而物理光学很快发展。经过好几个国家六七位科学家的努力，建立了能量守恒与转化定律，随之又诞生热力学第二定律，使热学、分子物理学得到发展。经过奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)、法拉第(M. Faraday, 1791—1867)等人的研究，使人们知道电和磁有密切联系，在一定的条件下可以相互转化。经过麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)深入研究，使电磁理论更加完善，使一些学者认为电磁理论是无懈可击的。

面对物理学取得如此辉煌的成就，不少物理学家除了赞叹，还流露满足和无所作为的情感。著名德国物理学家基尔霍夫(G. R. Kirchhoff, 1824—1887)曾表示：“物理学将无所作为了，至多只能在已知规律的公式的小数点后面加上几个数字罢了。”作为20世纪量子物理学奠基人之一的普朗克(M. Planck, 1858—1947)曾向他的老师请教，进大学后学什么，是否还学物理学？他的老师挺有把握地表示：物理学将会很快地具备自己终极的稳定形式；虽然在这个或那个角落里，还可能发觉到或消除掉一粒尘土或一个小气泡，但作为整体的体系却足够牢固可靠了。理论物理学已明显地接近几何学100年来已经具有的那种完善程度。在刚刚跨入20世纪的第一天，英国著名的物理学家开耳文勋爵(Lord Kelvin, 原名为威廉·汤姆生—W. Thomson, 1824—1907)在《元旦献词》中也曾经说过：“在已经建成的科学大厦中，后辈物理学家只能做一些零碎的修补工作了。”与众不同的是他又敏锐地发现，在物理学晴朗的天空里，

还有两朵小小的令人不安的乌云。这两朵乌云指什么？为什么它们会引起这样著名的物理学家的不安呢？

要回答这个问题，我们必须追溯一下历史。物理学进入19世纪80年代以后，与物理学经典理论不断完善的同时，物理学实验上却不断地发现一些重大的实验结果。正是这些重大的实验结果，使已有的物理学理论陷入困境，并显得无能为力。这些实验中间，至少有七个重大发现，不但旧理论无法解释，有的还导至观念上的更新。

首先是1887年赫兹在验证麦克斯韦预言电磁波存在的实验中发现光电效应。德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)在研究电磁波发射和接收的实验中，当使发生火花的间隙产生的光与接收间隙隔绝时，接收间隙必须缩小，才能使它发生火花。赫兹进一步研究时发现，这一现象中起作用的是光的紫外部分。当这种光射到间隙的负电极时，作用最强，这表明紫外光照射负电极时，负电极更容易放电。用其他的光照射时没有这种现象。按照经典理论，从金属表面放电的强弱与光的强度有关，而没有提到与光的频率有关。赫兹无法解释这一矛盾，但是他仍以《论紫外光对放电现象的效应》为题发表自己的研究成果，描述了这一现象，向物理学经典理论发起了挑战。

其次是1887年的迈克耳逊-莫雷实验。19世纪初，经过托马斯·杨(T. Young, 1773—1829)和非涅耳(A. J. Fresnel, 1788—1827)的研究，使光的波动说重新辉煌。但是根据经典力学的观点，认为波的传播必须要有介质。既然光是波，那么它也要通过某种介质才能传播。当时人们普遍认为由以太来传播光，并想利用各种方法检验以太的存在，确定它的属性。到80年代，根据天文学和物理学的知识，科学家们画出这样一幅

图景：以太充满整个太阳系，地球在以太的海洋中运动，但又认为地球在这个以太海洋中运动不会扰乱以太原有的分布。基于这一物理图象，人们就希望利用实验测定地球相对于以太运动的速度，这就是我们通常所说的以太漂移速度。美国物理学家迈克耳逊(A. A. Michelson, 1852—1931)从1880年起研究这个课题。他设计和利用干涉仪来测量以太的漂移，以检验以太的存在。那时他提出一种设想，试图通过比较光在直射时的路径来发现地球相对以太的运动。当时他也意识到保持干涉仪的恒温将是一个主要的困难。后来他和美国化学家莫雷(L. W. Morley, 1838—1923)合作，继续研究这个问题。经过几年努力，于1887年12月发表《论地球运动和传光的以太》的论文，宣布得到否定结论的实验结果，也就是说测量不出以太的漂移速度，由此说明地球和以太之间不存在相对运动。这就是物理学史上有名的“零结果”。这一结果表明，原先人们对光的传播的物理图象是不正确的。这一结果使所有持光是以太中的波动这一观点的物理学家大失所望。他们无法承受严酷的实验事实，也无法理解这一实验结果的真实意义，连迈克耳逊本人也不知道如何来解释这一实验结果。

第三个是1895年伦琴发现X射线。19世纪下半叶，不少物理学家对气体的放电做实验和理论研究。从1895年开始，德国物理学家伦琴(W. K. Röntgen, 1845—1923)从事阴极射线管中气体放电的实验研究。同年11月8日傍晚，他照例在做实验，偶然发现一个新的现象：在暗室中做放电实验时，当用黑色硬纸把阴极射线管密包起来放电后，在2米远处放在工作台上的涂有荧光材料——铂氰酸钡的屏竟发出微弱的闪光。伦琴对这一偶发事件非常重视，仔细观察、思考后得出初步结论：这种荧光被激发的原因肯定来自阴极射线管，但是直接激发荧光

的不可能是阴极射线，因为阴极射线不能透过阴极射线管的玻璃壁。伦琴继续作实验和理论的探索。他推论，当阴极射线(后来知道就是电子流)撞击管子的玻璃壁时，会不会产生一种不知道的射线，而它可以透过玻璃，穿越2米以上空气，再撞击在化学药品上，便会激发荧光。在实验中伦琴又发现，当金属厚片放在管子与涂有荧光材料的屏之间时，便会发生投射的阴影，表明这种射线不能穿过金属厚片。平时不透光的、轻的物质(如铝片、木片、纸张等)放在这两者之间时，发现在这种射线的范围内，几乎看不见投射阴影，表明这种射线能穿过这类物质。在实验中又发现，玻璃管内的气体越少，这种射线的贯穿本领越高。由于肌肉对这种射线的吸收比骨骼弱得多，所以有相当“硬度”的这种射线照射时，便在屏上留下骨骼的阴影。伦琴又发现，这种射线不表示明显的普通光的特性(如反射、折射、衍射等)，所以他误认为所发现的射线与光无关。由于考虑到它的不确定性，所以伦琴把这种射线叫X射线，后人也叫它伦琴射线。

经过一个多月研究，1895年12月28日，伦琴在维尔茨堡举行的医学物理学学会会议上，宣读了有关X射线的第一篇论文《论新的射线》。不久，人们把世界上第一只产生这种射线的玻璃管叫伦琴射线管。这一发现纯属偶然，伦琴也认为“是偶然发现射线穿过黑纸的”，但是机遇只偏爱那种有准备的头脑。在前一年，也有一位物理学家在实验中发现过类似的现象，但是那位物理学家没有重视它，认为这是外来的干扰，千方百计想排除这一干扰，结果失去这个能引起重大发现的机会。这一发现的重要意义在于对“不可入性是物质的固有属性”观念的挑战，也是对建筑在这一观念上的经典物理学理论的挑战。今年恰好是这一重大发现的100周年，人们在纪念、回忆和思考X

射线在物理学发展中的作用。由于这一重要的贡献，伦琴荣获1901年的诺贝尔物理学奖，成为诺贝尔物理学奖的第一个获得者。

第四个是1896年贝克勒尔(A. H. Becquerel, 1852—1908)发现放射性辐射。伦琴的重大发现轰动了整个世界，不但开拓一个新的研究领域，也使不少受震惊的科学家思考这一新的问题。法国物理学家贝克勒尔就是其中之一。在1896年1月下旬举行的法国科学院科学例会上，贝克勒尔得知伦琴的研究工作，同时彭加勒(H. Poincaré, 1854—1912)认为X射线似乎是从阴极对面的有荧光的部位发出的。由此，贝克勒尔想起X射线和荧光之间可能有联系，于是他想用实验验证荧光物质会不会发出X射线。2月下旬，贝克勒尔选用一种铀盐(硫酸铀酰钾)，采用惯常的办法，用黑纸包好这块铀盐，并放在照相底片上，在日光下曝晒一段时间，使铀盐发荧光，然后冲洗照相底片，看看能不能像X射线那样使照相底片感光。实验结果和预料的一样，的确能使照相底片感光。这一结果使贝克勒尔相信，经日光曝晒后的铀盐发出荧光，然后发出有贯穿能力的射线，使照相底片感光。接着，他用反射光、折射光做实验，都得到相同的结果。这样，他在1896年2月24日向法国科学院提交题为《论磷光辐射》的报告，描绘这些实验的结果。在贝克勒尔看来，似乎X射线是由铀盐发荧光时发射出来的。他准备以进一步的实验证实自己的见解，并想在下周的科学例会上再提出报告。但是，碰巧的事情发生了。这几天没有太阳光，无法做实验。他只得把黑纸包好的铀盐和照相底片一起放到抽屉里，等太阳光的到来。事过几天，天晴后他想继续做实验。实验之前，认真的贝克勒尔预先检查照相底片，冲洗上面第一张照相底片，发现底片上有非常清晰的铀盐影象轮廓。这一事件使

贝克勒尔很惊讶,同时陷入深思。他立即想到,这一次是在黑暗的抽屉里使照相底片感光的,跟日晒、萤火根本无关。于是他推论:照相底片感光的真正原因必定是铀盐发出的一种人们不知道的射线引起的。第二天刚好召开科学院的科学例会,贝克勒尔在会上公布这一重要发现。这种射线当时就被叫做贝克勒尔射线。后来根据居里夫人的建议,凡是具有这种性质的物质统称为放射性物质,这类射线叫做放射性辐射。不久,贝克勒尔又发现,这种铀盐发出的射线不仅能使照相底片感光,还能使气体电离而成导体。他还发现,只要有铀元素,就会产生这种贯穿辐射。事过两个月,贝克勒尔又发现,不发磷光的铀盐也能发出不可见的射线。

贝克勒尔的发现与伦琴的发现相比,情景大不相同,没有引起多大的反响,也没有引起人们多大的激动。这一发现在报纸上没有披露,因为人们还在继续热衷于谈论和研究X射线。但是,这种景况并没有削弱贝克勒尔持续不断地深入研究的热情。直到两年后,由于居里夫妇的研究工作和成果,才使放射性的研究发生一次大的飞跃。这些实验的重要结果使人们困惑,因为旧有的经典理论无法解释。由于贝克勒尔的贡献,他和居里夫妇共获1903年的诺贝尔物理学奖。

第五个是1897年约·约·汤姆逊(J. J. Thomson, 1856—1940)发现电子。阴极射线发现以后,就其本质问题,也即是以太振动还是粒子流,一直争论不休,直至1897年才告一段落。英国著名物理学家约·约·汤姆逊从1890年开始就研究气体放电,后来也转到研究阴极射线的性质上来。经过研究,他认为把阴极射线看作是电磁波是没有道理的。但是为了证明阴极射线是粒子流,并确定它的物理性质,约·约·汤姆逊做了一系列阴极射线的实验。他首先测定阴极射线所带电荷的性

质。实验结果表明，阴极射线和负电荷在磁场和电场作用下遵循同样的路径，由此证明阴极射线是由带负电荷的粒子组成的，从而结束阴极射线性质的长期争论。其次是利用阴极射线在电场和磁场中的偏转状况来测定带电粒子的荷质比和速率。根据实验结果测算，估计阴极射线带电粒子的质量还不到氢离子质量的 $1/1000$ 。1897年4月30日，约·约·汤姆逊在英国皇家研究院报告了这一结果。由此推断，物质内部有比分子小得多的带电粒子。后来人们把阴极射线的带电粒子称作电子。以后，约·约·汤姆逊为了证实电子的存在，曾花不少精力，设计许多巧妙的实验，取得令人信服的成果。

电子发现并证实之后，便向建筑在经典物理学基础上的物质结构旧观念发起冲击，表明比原子小的粒子是存在的，原子不是最小的客体，指出经典的物质结构理论的局限性。然而约·约·汤姆逊1906年获得诺贝尔物理学奖，是表彰他在气体导电方面的理论和实验研究成果，而只字不提他对电子发现所作的贡献。这就表明，科学界中传统的观念是较深的，不少人不容易接受新事物。

第六个是1898年居里夫妇发现放射性元素。贝克勒尔发现放射性辐射以后，在这方面的研究工作进展不大，因为科学界对它并不关注。正当他徘徊不前的时候，法国科学家居里（P. Curie, 1859—1906）和居里夫人（M. S. Curie, 1867—1934）却以极大的热忱，投入放射性研究领域中去，作了开创性的工作。居里夫人根据贝克勒尔的工作引起猜想：既然放射性辐射是由铀原子的性质决定的，那么在自然界中有没有另一些像铀那样有放射性的化学元素呢？通过实验，居里夫人发现，铀（或钍）的化合物的放射性强度与化合物中铀（或钍）的含量成正比。于是居里夫人得出结论，放射性是原子的一种特性，放射

性是从原子内部产生的。经过对大量实验的分析，居里夫人认为还有放射性强度超过铀的放射性元素。这一想法却遭到一些科学家反对和攻击，但是居里夫人没有动摇，在丈夫的支持下，以沥青铀矿为原料，昼夜不停地提炼这种新元素。经过艰苦的历程，终于在1898年7月18日向法国科学院报告发现新元素，它的放射性强度比铀要高出400倍。居里夫人把这元素取名为钋，以纪念自己的祖国波兰。

其实，居里夫妇发现的钋元素的放射性还不够强，他们又寻求放射性更强的化学元素。居里夫妇用钡作载体进行浓缩，又得到能产生放射性的极少量的钡化合物，它的放射性比铀大900倍。但是钡和它的化合物通常都是没有放射性的。通过其他科学家的协助，对该化合物进行光谱分析，发现一种新的射线，它不属于任何一种已知的化学元素。实验表明，这种元素的放射性比钋强，而化学性质像钡。同年圣诞节后的一天，他们向法国科学院宣布发现第二个新元素镭。

在短短几个月内接连发现钋和镭，这是一个了不起的功绩。但是钋和镭是不可直接捉摸的，不少化学家还半信半疑，要求拿出纯镭的实物。这一要求激励居里夫妇继续努力，奋斗了三年半，从几吨矿物残渣中提炼出0.12克纯氯化镭，并测得镭的原子量是225(现在公认是226)，它的放射性比铀强千万倍。又花了三年时间，金属纯镭提炼成功。这样，化学家们确信无疑了。

这一重要发现同样证明，化学元素是要蜕变的，而原子不是不可分的，它会放射更小的粒子而改变自己的性质，这些发现再次说明经典的物质结构理论有它的局限性。也由于这些发现，居里夫妇和贝克勒尔在共获1903年的诺贝尔物理学奖以外，1911年居里夫人又一次获得诺贝尔化学奖。

第七个是19世纪末的黑体辐射实验。由于人工照明技术的发展,从1895年开始,德国物理学家普朗克就研究热辐射谱中的能量分布问题。热辐射就是物体因自身的温度,而以电磁波的形式向外辐射能量的一种现象。热辐射的辐射能量按波长的分布情况是随温度而变化的。温度较低时主要发出不可见光的红外辐射,在 500°C 以至更高温度时发出较强的可见光以至紫外辐射。为了搞清不同温度范围内物体热辐射的波长分布的情况,包括普朗克在内的不少物理学家开始研究黑体辐射问题。黑体是能全部吸收外来辐射而毫无反射和透射的理想物体。不存在真正的黑体,但是开有小孔的密封腔体可以近似地看成黑体。通过一系列实验,普朗克发现黑体辐射谱中的能量分布的实验结果与经典理论(特别是热力学、电动力学、统计理论)形成尖锐的矛盾。普朗克非常重视这一矛盾,研究了几年,最后在1900年12月14日向德国物理学会提交“谈谈正常光谱能量分布定律的理论”的论文,首先抛弃经典物理学特有的两条原则:从一个状态过渡到另一个状态必须是连续的原则,吸收和释放能量必须是连续的原则,提出量子的观念,从而宣布量子物理学的诞生。虽然普朗克还没有完全弄明白,在以后十年的研究中形成徘徊甚至倒退的局面,但是他还是首先提出这一理论,解释黑体辐射能量谱,向经典理论挑战,推动了物理学的发展。为此,普朗克获得1918年的诺贝尔物理学奖。

除上述7个实验以外,当然还有其他的实验发现。这些实验结果,经典物理学理论根本无法解释。第三个实验对传统的观念(即不可入性是物质的固有属性)发起了冲击,说明不可入性不是物质固有的属性。第四、五、六三个实验表明化学元素会蜕变,会变成其他元素。发现比原子小的电子,说明原子不是不能再分的最小实体,是对原子不可再分的观念也发起了冲

击。第七个实验开创了量子物理学，同时应用量子论的观念也能解释第一个实验的结果。第二个实验的结果，只有等待狭义相对论的诞生，才能很好地解释。

由此可以显见，为什么开耳文勋爵在赞叹经典物理学的伟大成就时，同时也敏锐地觉察有两朵乌云，这两朵乌云就是指迈克耳逊—莫雷实验和黑体辐射实验。其实，历史表明，这并不是什么乌云，而是一个发展的前奏。当物理学进入20世纪后，就诞生了量子论和相对论，开创了现代物理学。实际上还应该有一朵乌云，那就是前面提到的第四、五、六三个实验，这朵乌云引起20世纪现代物理学中的物质结构理论的发展。由此可清楚地看到，19世纪和20世纪之交的这场物理学实验上的革命，推动了物理学发展，为现代物理学和现代自然科学的诞生起了催生作用。这也告诉我们，终极真理的观念、无所作为的观念都是不对的，都是不符合千万年的自然史和几百年自然科学史的史实的。

20世纪物理学发展的史实表明，物理学作为一门基础学科其发展是迅速的，发展的面是宽广的，除了量子物理学、相对论、物质结构理论三大分支学科发展以外，物理学的各个分支学科也都得到发展，连古老的分支学科声学、光学，在20世纪也焕发了青春，有的向理论深度拓展，有的则向应用方面进军。它们涉及的面很宽，内容非常丰富，不可能在一本二三十万字的书籍中包罗万象。我们只能选择其中与中学物理教学关系较密切的学科加以介绍。为了写好这本书，我们请华东师范大学、同济大学的教授、学者，根据各自的研究领域和研究成果，结合教学工作的经验，撰写有关篇章。根据本书的编排，各篇的作者分别是钱振华、赵松龄、徐文柳、王云珍、徐静芳、张锡年、夏慧蓉、潘桢镛、徐在新。