

全国中小学教师继续教育

专业必修课程教材

高中物理专题分析丛书

原子、原子核和粒子物理

YUANZI YUANZHE HE LIZIWULI 教育部师范教育司组织编写
胡炳元 编著

人民教育出版社

高中物理专题分析丛书

原子、原子核和粒子物理

胡炳元

人民教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

原子、原子核和粒子物理/胡炳元编著. —北京: 人民教育出版社, 2005

ISBN 7-107-18833-X

I. 原...

II. 胡...

III. ①原子—中学—师资培训—教材②原子核—中学—师资培训—教材③基本粒子—物理学—中学—师资培训—教材

IV. ①056②057

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 080750 号

人民教育出版社出版发行

网址: <http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社印刷厂印装 全国新华书店经销

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

开本: 890 毫米×1 240 毫米 1/32 印张: 2.625

字数: 60 千字 印数: 0 001~3 000 册

定价: 5.50 元

高中物理专题分析丛书编委会

主 编 陈熙谋

副 主 编 周誉蔼

编 委 (汉语拼音为序)

陈熙谋 北京大学

洪安生 北京市海淀区教师进修学校

缪钟英 四川联合大学

彭前程 人民教育出版社

施桂芬 上海教育出版社

王天谔 北京市东城区教育教学研究中心

张大昌 人民教育出版社

周誉蔼 北京十五中

本册作者 胡炳元 华东师范大学

本册审稿 张三慧 清华大学

胡镜寰 北京师范大学

唐 擎 北京四中

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版科联系调换。

(联系地址：北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

前 言

全面推进素质教育，是当前我国现代化建设的一项紧迫任务，是我国教育事业的一场深刻变革，是教育思想和人材培养模式的重大进步。实施面向 21 世纪中小学教师继续教育工程，提高教师的素质，是全面推进素质教育的根本措施。

实施中小学教师继续教育，课程教材建设是关键。当务之急是设计一系列适合中小学各学科教师继续教育急需的示范性课程，编写一批基础性教材。

我司根据教育部《中小学教师继续教育课程教材建设方案》的统一规划，参考《中小学教师继续教育课程开发指南》，以中学物理教师继续教育课程教材建设引路，在调查研究和总结经验的基础上，首先设计急需的示范性课程，编制课程标准，经专家审定后，作为编写教材的依据。我们在设计示范性课程及课程标准时，遵循了以下原则：1. 从教师可持续发展和终生学习的战略高度，在课程体系，加强反映现代科学技术的发展和应用的课程，加强中学物理专题研究的课程。2. 把教育理论和教师教育实践经验的总结与教育实践活动的改进密切结合。用现代教育观念和理论方法，优秀课堂教学范例，从理论和实践的结合上，总结教学经验，提高教师教学能力，推动教育改革，落实素质教育。3. 适应教师培训模式改革的需要，有利于培养教师的创造精神和主观能动性。4. 注意有效，即实效性。有限，即适量性。有别，即层次性。有序，即科学合理的系统性。兼顾整体性与个体性，科学性、先进性与针对性相统一，灵活性与统一性相结合。

根据专家审定的中学物理教师继续教育示范性课程和课程标

准，编写9种基础性教材：《初中物理专题分析》、《高中物理专题分析》、《初中物理教学设计》、《高中物理教学设计》、《中学物理与现代科技》、《物理学发展中的创新思维选例》、《中学物理实验教学与自制教具》、《中学教师物理教育研究方法》、《中学活动课指导》。这些教材从今年秋季开始陆续出版。中小学教师继续教育语文、数学，中学教师继续教育英语、化学、生物，小学教师继续教育自然、社会等7个学科2~3种急需的示范性课程以及课程标准的设计已经启动，相应的教材将于明年底出版。同时我们还从全国推荐的中小学教师继续教育教材中，组织专家评审筛选一批优秀教材和教学参考书。上述这些教材和新编的基础性教材将向全国教师进修院校、教师培训基地、中小学教师推荐，供开设中小学教师继续教育相关课程时选用。根据继续教育的需要，我们还将继续设计开发新的课程和教材。

中小学教师继续教育教材建设是一项系统工程，尚处在起步阶段，缺乏足够的经验，肯定存在许多问题。各地在使用教材过程中有什么问题和意见，请及时告诉我们，以便改进工作，把课程教材建设提高到一个新水平。

教育部师范教育司

一九九九年六月二十四日

主编的话

唐代著名的文学家、教育家韩愈在他著名的教育论著《师说》中指出，教师的基本任务有三：传道、授业、解惑。按照今天的理解，传道包含了传授做人的道理和治学研究的方法，授业就是讲解有关的专业知识，解惑就是解答学习中遇到的问题，这三者构成了当今实施素质教育的基本要素。

一个有责任感的教师在备课中总是不断地思考和研究传道、授业和解惑三者的统一，不断思考和研究如何才能使学生更好地理解 and 掌握教学内容，领悟治学研究的方法，从而迸发出创新的火花。这种思考和研究永无止境，而且也正是在这种思考和研究中，教师得到磨练而更加干练和成熟。

呈现在读者面前的这套《初中物理专题分析》和《高中物理专题分析》丛书，是教育部师范司下达任务，人民教育出版社组织有经验教师撰写的中学物理教师继续教育教材的一种。作者们搜集了中学物理教学中可能出现的问题，有些是教师教学进一步深入可能会遇到的问题，有些则可能是学生进一步思考提出的问题，把它们组织起来，以更高层次的观点、近代物理的观点审视和给以分析。这不仅可以成为广大中学教师备课的好帮手，而且作为一种范例，它也是引导广大教师深入开展教学研究，并通过教学研究提高自身素养的好途径。

需要指出，《专题分析》只是就教学中可能遇到的问题作了分析，对于教师如何正确理解提供了说明，这并不是说要求教师原封不动地把这些专题分析搬到课堂教学中去给学生讲授。须知课堂讲授应根据教学大纲（或课程标准）的要求进行，随意改变教学大纲

(或课程标准)的要求,增加教学的深度和难度,从而增加学生的负担都是不适宜的和不可取的。诚然,《专题分析》中有些专题及其分析适于渗透在课堂教学中给学生讲解,有些适于对学生作个别解答,有些则适于组织学生课外学习探寻正确答案。这里存在一个掌握分寸的问题。

我们希望这套《专题分析》丛书能够切实解决广大中学教师教学中遇到的问题,并受到欢迎。

一、
二、

三、

四、

五

目 录

一、概述——微观世界及其探索	(1)
二、揭开研究微观世界序幕的三大发现	(3)
1. 关于“阴极射线是什么”的争论	(3)
2. X射线的发现	(5)
3. 放射性的发现	(7)
4. 电子的发现	(10)
三、原子光谱与原子结构	(15)
1. 氢原子光谱系的发现	(15)
2. 原子结构模型的演变	(18)
3. 玻尔的定态跃迁原子模型与玻尔理论	(21)
4. 玻尔理论对氢原子光谱的解释	(24)
5. 氢原子的量子理论	(27)
6. 典型例题	(35)
四、原子核的结构及其模型与规律	(39)
1. 中子的发现	(39)
2. 原子核的基本性质	(42)
3. 原子核模型	(50)
4. 原子核的自旋和宇称	(56)
5. 原子核衰变与核反应	(57)
五、粒子物理	(60)
1. 粒子的发现和回顾	(60)
2. 粒子的性质	(64)

3. 四种基本相互作用	(67)
4. 粒子的分类	(69)
5. 守恒定律	(70)

一 概述——微观世界及其探索

原子是物质结构的一个层次。原子一词来自希腊语，意思是最小的、不可分割的物质粒子。自古以来，面对五彩缤纷、变化万千的自然界，人们一直在思索着这样一些问题：我们周围的物质世界到底是由什么构成的？有没有最小的物质单元结构？人们向往揭开物质结构之谜。世界上每一个古老民族都对物质本源的探索注入了自己对客观世界的理解。

在古代，人们主要靠直觉和猜想来描述世界。古埃及人和古巴比伦人认为世界万物是由水、气、土产生的。我们的祖先早在周代就提出了“五行”说，认为万物是由金、木、水、火、土这五种物质组成的。古希腊学者则认为土、气、水、火这四种元素是万物组成的本源。这些观点反映了低水平的生产条件下人们对日常生活经验的分析和概括。春秋战国时期，墨翟提出了“端”是物质的起始，是组成实体物质的一种极小的、最原始的微粒。他认为物质可以对半对半地分下去，如果剖分到“无”，就不能再剖分下去了，这里体现了原子说的思想。把构成物质的最小单元叫做“原子”的是古希腊唯物主义哲学家德谟克利特，其含意是不可再分割的意思。当时认为原子的种类和数量都无限多，在空间处于永恒的运动之中。这种观点对于19世纪末20世纪初才正式确立的近代“原子论”有直接和深刻的影响。

人们对于物质结构的探索经历了一个漫长的历史时期。从古希腊创立原子论以来，在2000多年里没有多大的进展，一直到了18世纪后半期到19世纪中期，人们通过生产实践和大量化学、物理实验，才加深了对原子的认识。虽然严格把原子模型应用到气体分子动理论，最早是18世纪末由伯努利提出来的，但是，原子概念却首先在化学这个科学分支上表现出其重要性。19世纪初，道尔

原子
和
粒子
物理

顿的原子假设在定性地和定量地解释许多化学现象方面获得巨大成功。自 300 年前英国科学家玻意耳提出化学元素的概念并指出化学元素是不可再被分解的最简单的物质（当然，这是指只用化学的方法来分解物质）以来，到 19 世纪中期，随着科学技术的迅速发展，人们已经发现了 60 多种物质元素。这时，一个问题很自然地被提了出来：自然界究竟有多少种元素？它们之间有没有内在的联系？这些元素是不是由更简单的东西所组成？1869 年，俄国科学家门捷列夫从已发现的元素中发现了规律性，并将它们排列成“元素周期表”，从而揭示出一个非常重要而有趣的规律：元素的性质随着原子量的增加而呈现周期性的变化，根据表中的空缺，还预测了未发现的元素与特性。元素周期表是人类总结了对物质世界的认识的实践经验而产生的，它与阿伏加德罗定律和法拉第电解定律的发现一样，都是 19 世纪人们在探索物质结构的微观层次中所获得的重大成就。它们使原子假设成为高度可信的学说。但是真正确立原子的概念是在 20 世纪初。现在我们都知道我们周围的一切物质都是由元素组成的，每一种元素都有化学性质相同的原子。所以人们常说原子是构成物质世界的“基本砖石”。从现代物理学发展来看，人们对物质结构层次的认识也已经越来越深入，物质的最小构成单元已经不再是分子、原子，卢瑟福的 α 粒子散射实验揭示了原子的核式结构。后来人们又发现原子核是由质子和中子构成，20 世纪中、后期又发现了夸克和轻子，夸克和轻子是否还有结构，这个问题正有待人们的进一步研究。

本书将重点介绍 19 世纪末揭开近代微观世界研究序幕的三个重大发现，即 X 射线、放射性和电子的发现；然后在第三部分介绍原子的结构与模型，第四部分介绍原子核结构及其规律，第五部分介绍粒子物理的一些概况，对粒子的反应机理及强子结构等不作讨论。

19世纪80年代以后，物理学的经典理论不断完善，经典力学、热力学、光学与经典统计力学和由麦克斯韦于19世纪60年代建立的电磁理论相继建立，经典物理学在解释一系列宏观现象方面取得了极大成功，不少物理学家面对19世纪物理学的辉煌成就，除了赞叹外，还流露出满足和无所作为的思想。一种“压倒优势”的论调认为物理学已发展到顶，物理学家除了做些细枝末节的修补工作外，将无事可做。但就在19世纪末，物理学实验上的一系列重大发现，冲击着经典物理学的连续观念、绝对时空观念和原子不可再分的观念。其中X射线、电子和放射性这三项重大发现，使科学界大为震惊。这三大发现揭示了原子存在内部结构，使千百年来关于原子是物质组成的基本单元的观念彻底破灭。人们重新开始审视物质的结构问题。

1. 关于“阴极射线是什么”的争论

X射线与电子的发现都起源于对阴极射线的研究。阴极射线是在研究真空放电时发现的，它是19世纪后半叶各国物理学家普遍感兴趣的中心课题。真空放电现象早在18世纪就已被发现，到了1836年，法拉第发现在稀薄气体中放电会产生出美丽的辉光，而且放电管中气压越低，越有利于真空放电。他还发现在阴极和阳极电辉之间有一个暗区。由于受当时真空技术的限制，法拉第无法获得关于阴极射线的更多的发现。

真空放电研究的真正进展是从德国数学家和物理学家普吕克开始的。1858年，普吕克在利用放电管研究气体放电现象时发现了

阴极射线。普吕克使用的放电管的真空度比法拉第使用的要高一个数量级。当时水银真空泵已发明，利用真空泵，普吕克发现随着玻璃管内真空度的提高，管内放电的辉光逐渐消失，这时在阴极对面的玻璃管壁上出现了绿色荧光。如果把磁铁放在放电管附近，荧光的位置就随磁铁移动而改变。这些现象引起了物理学家的极大兴趣。普吕克的学生希托夫在把放电管的真空度又提高了一个数量级后发现，如果把物体放在阴极和产生荧光的管壁之间，便投射出物体的阴影，这表明这种放电起源于阴极，且具有直线传播的特征。此后，物理学家做了许多实验，其中德国的物理学家戈德斯坦于1876年用各种材料做成形状、大小都不同的阴极，进行了多次实验，确认这种射线是从阴极发出的，并且与阴极的材料无关。

4 阴极射线究竟是什么？在19世纪的最后30年中，许多物理学家投入了研究。1879年，英国物理学家克鲁克斯进一步改良了真空泵，提高了真空度，他做成的真空管达到百万分之一个大气压。他发现，在极接近阴极的地方存在暗区，称为“克鲁克斯暗区”；用阴极射线打金属箔，被打的部分就变为白炽状态；在阴极射线的行径上放上一个小叶轮，叶轮就会转动。阴极射线的这些性质引起了科学家的极大兴趣，纷纷探讨阴极射线到底是什么东西。根据阴极射线能被磁铁偏转的性质，克鲁克斯等认为阴极射线是由带电微粒组成的。继而他根据阴极射线能使叶轮转动，能把金属打成白炽状态等性质，认为它具有动量，是残留管中的气体分子碰到阴极，从阴极中夺取了负电荷而形成的粒子流。他把这种带电的“分子流”称为物质的第四态。德国的物理学家反对这种说法。1880年戈德斯坦根据真空管内分子的平均自由程与暗区的长度的比较，认为用“分子流”无法说明阴极射线何以在远离阴极的一端投射阴影的现象，他认为这是一种以太振动。此后赫兹与他学生勒纳德的一系列实验都支持了这种观点。从1883年到1891年，赫兹根据一系列实验，发现阴极射线不是脉动的，而是连续发生的，并

能穿透一些金属。因此他认为阴极射线不是粒子而只能是一种以太振动。勒纳德于1894年在放电管的玻璃壁上开了一个窗口，并用薄铝箔复盖，他发现阴极射线可以穿过铝窗，射到空气中。这个实验为以太振动说提供了证据。因为当时人们所知的任何带电物质粒子都不可能穿过铝箔而仍可在空气中行进。

虽然当时对“阴极射线”究竟是什么的争论没有得到统一的认识，但这种超国界的争论为随之而来的揭示微观世界的三项重大发现作了很好的辅垫。可以说，X射线与电子的发现正是研究阴极射线的直接结果，而由X射线的研究又引出了放射性的发现。

2. X射线的发现

德国维尔茨堡大学校长、物理学家伦琴为了探明阴极射线的性质，他重复做了赫兹、勒纳德等人的实验。为了排除放电管与外界的相互影响，以保证实验的准确性，伦琴用硬纸板和锡箔把放电管包起来。他首先使用的是勒纳德设计的那种在放电管上开有窗口且用薄铝箔复盖的真空放电管，实验中他发现，当放电管的薄铝窗和涂有氰亚铂酸钡的荧光屏很接近时，荧光屏上有荧光产生。这个实验确证了勒纳德关于阴极射线可以穿透几厘米空气的性质。后来伦琴改用克鲁克斯管再做实验时，发现仍有荧光产生。1895年11月8日傍晚，为了避免可见光的影响，他特地用黑色纸板将放电管包了起来，而且在暗室中进行实验。实验时，伦琴意外地发现1米以外的一个小工作台上有了闪光，闪光是从涂有铂氰化钡的荧光屏上发出的。这现象使他非常惊奇，因为这时阴极射线管是被黑纸板包着，没有光或阴极射线能从里面出来。他把屏一步步移远后重复实验。发现即使距离达到2米以外，屏上仍然有荧光产生。他使荧光屏转了个身，使未涂荧光材料的一面朝着管子，发现荧光屏仍有荧

光发出。这新奇的现象使伦琴确信无法用以往阴极射线的性质来解释。那时已经查明，阴极射线在空气中只能穿过几厘米。

在以后的7周中，伦琴反复地实验，继续对这种神秘射线的性质进一步研究，实验发现这种射线是直线行进，不被磁场偏转，有很强的穿透性。他确信这是一种尚未为人所知的新射线，取名为X射线。为了检验这种射线的穿透本领，他选用了多种物质，逐一放在放电管和荧光屏之间进行实验。他发现X射线可以穿透千页的书，2 cm~3 cm厚的木板，几厘米厚的橡胶板，15 mm厚的铝板等。这表明这种人眼看不见的射线具有比阴极射线强得多的穿透力，但对不同物质的穿透程度是不同的。1.5 mm厚的铅片几乎就能完全把这种射线挡住。当他进一步用铅片进行实验时，又意外地发现了他自己拿铅片的手的轮廓：12月22日是一个值得纪念的日子，这一天伦琴的夫人到实验室来，他为她拍摄了一张带有戒指的左手的照片。拍摄时伦琴夫人将手放在用黑纸包严的照相底片上，然后用X射线照射15分钟，显影后在照相底片上呈现出清晰的手骨像，手指上的结婚戒指也非常清晰。这张具有历史意义的照片一公布，即引起世人的关注。

1895年12月28日，伦琴将他的研究成果写成论文《论一种新的射线》，递交给了维尔茨堡物理学医学学会。在论文中伦琴记述了实验的装置及方法，并初步总结出新射线的以下性质：

新发现的X射线直线传播，有很强的穿透力，也不被磁场偏转；X射线来自于被阴极射线击中的固体，固体元素越重，产生出来的X射线越强；新的X射线对所有物体几乎都是透明的，它能使荧光物质发光，使照相底片感光，能显示出装在盒子里的砝码、猎枪的弹膛和人手指骨的轮廓。

1896年元旦，伦琴将他的论文和用X射线拍摄的第一批照片的复制件寄给了著名的物理学家玻耳兹曼、开尔文勋爵、庞加莱等人。几天后，这个发现就传遍了全世界。在这以后许多国家的实验

室开展了对 X 射线的研究，其传播之迅速、反应之强烈是科学史上罕见的。

伦琴发现 X 射线具有一定的偶然性，因为在他之前，人们在实验室里对阴极射线的研究已有 30 多年，其中克鲁克斯、勒纳德与其他人都碰到过阴极射线管附近的照相底片变黑或出现模糊的阴影；但是他们都没有仔细审查这个奇怪的现象而失去了“机遇”。正如恩格斯所描述的，这些人是“当真理碰到鼻子尖上的时候，还是没有得到真理”的人。而伦琴一贯对实验工作热爱与专注，正是他的细心观察，才可能利用偶然性的荧光现象而作出了重大发现，这反映了伦琴治学严谨，不放过任何一个可疑现象。由于伦琴的杰出贡献，1901 年伦琴获得了历史上第一个诺贝尔物理学奖。

3. 放射性的发现

X 射线的发现立即导致了另一项新的物理现象——放射性的发现。当 X 射线在 1895 年出现时，很多物理学家都在研究这种神秘之光的由来。1896 年 1 月 20 日，在法国科学院的每周例会上，法国科学家庞加莱展示了伦琴寄给他的有关 X 射线的照片，当时在场的法国物理学家贝可勒尔马上想到 X 射线可能同他长期所研究的荧光有关。第二天他就开始研究究竟有哪些荧光物质能发射 X 射线。由于当时 X 射线的产生是来自于玻璃管壁的荧光部分，因此，一些物理学家认为 X 射线可能来源于荧光或磷光物质。贝可勒尔根据阴极射线管产生 X 射线的同时，管壁上出现荧光现象，也猜想 X 射线是由荧光物质发出的。于是他试图从荧光物质中去寻找 X 射线。

贝可勒尔出身于一个物理世家，他的祖父、父亲，包括他自己的儿子，四代人都是物理学家。贝可勒尔的祖父和父亲都是以研究