

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

电路和电磁场

DIANLU HE DIANCICHANG

教育部师范教育司组织编写

人民教育出版社

高中物理专题分析丛书

电路和电磁场

人民教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高中物理专题分析: 电路和电磁场/教育部师范教育司组织编写. —北京: 人民教育出版社, 1999

ISBN 7-107-13316-0

I. 高…

II. 教…

III. 物理课-高中-教学参考资料

N. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 39740 号

人民教育出版社出版发行

(北京沙滩后街 55 号 邮编: 100009)

北京联华印刷厂印装 全国新华书店经销

1999 年 8 月第 1 版 1999 年 8 月第 1 次印刷

开本: 880 毫米×1230 毫米 1/32 印张: 4.75

字数: 112 千字 印数: 00 001~10 000

定价: 8.80 元

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系调换。
(联系地址: 北京市方庄小区芳城园三区 13 号楼 100078)

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,在课程体系中,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建议，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和掌握教学内容，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.

目 录

一、概述	(1)
1. 电磁学在中学物理教学中的地位和作用	(1)
2. 中学物理电磁学教学疑难选例	(10)
二、电流、电压、电动势	(13)
1. 从场的观点看电流是怎样产生的?	(14)
2. 关于“负电荷沿某一方向运动等效于等量的正电荷 沿相反方向运动”说法的讨论	(20)
3. 静电场与恒定电场中的电压	(27)
4. 电源的电动势是电源没有接入电路时两极间的电 压吗?	(30)
5. 丹聂耳电池电动势和两极间电压的分析	(33)
6. 涡旋电场中有电压吗? 涡旋电场中的导体两端有 电压吗?	(40)
三、电路的实验定律	(44)
1. 欧姆定律的历史渊源	(44)
2. 焦耳定律及电阻的物理意义	(52)
3. 欧姆定律的一种另外的讲法	(54)
四、恒定电场的建立	(58)
1. 电源的静电场	(58)
2. 恒定电流电路中恒定电场的建立	(59)
3. 恒定电流电路中导线内、外电场强度的分布	(61)
4. 恒定电流电路中导线内、外磁感应强度的分布	(63)
5. 恒定电流电路中电荷的分布	(64)

五、电路定律的理论基础·····	(68)
1. 欧姆定律的理论推导 ·····	(68)
2. 全电路欧姆定律的理论推导 ·····	(70)
3. 焦耳定律的理论推导 ·····	(72)
六、恒定电流电路中能量的传输和转化·····	(75)
1. 电源不直接向导线传输能量 ·····	(75)
2. 能量是怎样输入导线 (或负载) 的? ·····	(78)
3. 能量传输的整体情况 ·····	(79)
4. 能量的转化 ·····	(81)
七、交流电路的似稳条件及集中参量·····	(83)
1. 似稳条件 ·····	(83)
2. 集中参量 ·····	(85)
3. 高频电路 ·····	(87)
八、不同参考系中的电磁场·····	(90)
1. 问题的提出 ·····	(90)
2. 伽利略变换及其与电磁理论的矛盾 ·····	(93)
3. 洛伦兹变换及其他物理量的相对论变换公式 ·····	(100)
4. 洛伦兹变换及其他物理量的相对论变换公式 的推导 ·····	(104)
(1) 洛伦兹变换 ·····	(104)
(2) 相对论时空观 ·····	(105)
(3) 相对论速度变换公式 ·····	(107)
(4) 质量变换公式 ·····	(109)
(5) 动量和能量的变换 ·····	(111)
(6) 力的变换公式 ·····	(113)
5. 电磁场的变换 ·····	(114)
(1) 电荷的不变性 ·····	(114)
(2) 电磁场量 E 和 B 的变换公式 ·····	(116)

6. 运动点电荷的电场和磁场	(119)
7. 同向等速运动的两个点电荷的相互作用力问题	(125)
8. 匀速运动的点电荷对静止点电荷的作用力	(127)
9. 从不同参考系观察载流长直导线对周围运动电荷 的作用力	(132)

1. 电磁学在中学物理教学中的地位和作用

电磁现象是自然界存在着的一类极为普遍的现象,它涉及到非常广泛的领域。人类对电磁现象的观察与了解虽然可以追溯到十分遥远的古代,但是真正对它们进行比较系统的研究却是从16世纪下半叶才开始的,其代表性的成果是英国女王伊丽莎白一世御医吉尔伯特(W. Gilbert, 1548~1603)在1600年出版的《论磁》一书。不过,他的全部研究也还是停留在定性的阶段上。只是到了17世纪,欧洲的文艺复兴从艺术转向科学,特别是从18世纪起,由于社会生产力发展的推动,人类才在自然科学的许多领域,逐渐地展开了积极的实验探索和定量的研究。电磁现象的性质和规律就是其中的一个重要方面,而且这种研究成果的应用在人类认识和改造世界的过程中日益展现出重大作用和无限活力;与此同时,在本是荒漠的知识原野上建造瑰丽的科学殿堂的过程,也凝炼和升华了人类的科学思维和科学方法,架起了一代又一代人们攀登新的科学之巅的金桥。

于是,电磁学成为一个令人神往的课题、整个物理科学的重要组成部分。所以,就是在中学物理教材中,电磁学的知识也占了很大的篇幅,而且涉及到了电磁理论的众多领域。那么,概括地说来,在中学物理课程中,电磁学的教学应该使受教育者获取哪些教益呢?

(1) 电磁现象的本源——物质的电结构

人类很早就知道摩擦过的琥珀能吸引轻小物体的现象。公元16世纪,吉尔伯特在研究这类现象时首先根据希腊文中的“琥珀”(ηλεκτρον)创造了英文中的“电”(Electricity)这个名词,用来表示琥珀经过摩擦以后具有的性质,并且认为摩擦过的琥珀带有电荷。后

电
路
和
电
磁
场

来,人们发现有很多物质都能由于相互摩擦而带电,并且带电物体之间存在着相互排斥或相互吸引的作用.大量的实验研究还表明,摩擦后的物体所带的电荷只有两种,同种电荷相斥,异种电荷相吸.美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706~1790)把它们分别命名为正电荷和负电荷.

根据带电体之间的相互作用力,我们可以确定物体所带电荷的数量.物体所带电荷的数量叫做电荷量.为了同时表明物体带的是哪种电荷,通常把正电荷的电荷量用正数表示,负电荷的电荷量用负数表示.

实验表明,正、负电荷放在一起可以互相抵消电性.正、负电荷互相完全抵消叫做中和.

在19世纪30年代以前,人们以为电荷是一种连续的流体,它的量值可以连续变化.但是,在1833年前后,人们从法拉第(M. Faraday, 1791~1867)电解定律中得出一个惊人的结论:电荷存在着最小单元.后来,斯通尼(J. S. Stoney, 1826~1911)把负电荷的最小单元命名为“电子”.

从1906年开始,美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868~1953)用油滴实验历时11年反复地测出了电子的电量,用 e 表示电子电量的绝对值,密立根测出的数值为

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}.$$

迄今为止,各种实验证明,电子是自然界中具有最小电荷量的可以单独存在的粒子,任何带电体和所有带电的微观粒子*的电荷量都是电子电荷量的整数倍.这表明电荷的量值只能取一系列分立的数值而不能连续变化,电荷的这一性质叫做电荷的量子性.

* 20世纪下半叶,物理学家们从理论上预言多数微观粒子由若干种夸克或反夸克组成,每一个夸克或反夸克可能带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电量.夸克和反夸克的存在已经获得了比较充分的实验证据,只是至今人们还不曾利用实验手段获得单独存在的夸克或反夸克.这种情况在物理学中称为“夸克禁闭”.

近代物理学的理论和实验证明,通常所见的各种物体(实物)是由原子、分子所组成的,而原子则由带正电的原子核和围绕原子核运动的带负电的电子组成.原子核由带正电的质子和不带电的中子组成.质子的电量和电子的电量等值异号.在正常状态下,原子内的电子总数等于原子核内的质子总数,因而宏观物体或者物体的任何一部分包含的电子总数和质子总数是相等的,所以不显电性.

质料不同的两种物体互相摩擦之后所以都会带电,是因为两物体互相摩擦时,每个物体中都有一些电子挣脱原子核的束缚并运动到另一个物体上去.所以净效果是一个物体失去电子,另一个物体得到电子.失去电子的物体便显示出带正电,得到电子的物体就显示带负电,而且两者的电荷量必然等值异号.

应该注意的是,某一质料的物体分别与其他一些质料不同的物体摩擦时,得到或失去电子的情况是不同的,在与某些质料的物体摩擦时可以得到电子,而在与另一些质料的物体摩擦时则要失去电子.

不仅仅是摩擦起电,我们所观察到的所有电现象和磁现象,都是基于物质具有上述的电结构以及其中的带电粒子的相互作用及其运动而产生的,所以我们说,物质的电结构是自然界电磁现象的本源.

根据物质的电结构,我们容易理解,对于一个物理系统,如果没有净电荷出入其边界,该系统的正、负电荷的电荷量的代数和将保持不变,这就是已被实验证实的电荷守恒定律.应该指出的是,近代物理学研究表明,在微观粒子的相互作用过程中,电荷是可以产生和消失的.例如,一个高能光子与一个重原子核作用时,该光子可以转化为一个正电子和一个负电子,这叫做电子对的“产生”;而一个正电子和一个负电子在一定条件下相遇,又会同时消失而产生两个或三个光子,这叫做电子对的“湮灭”.但是,在已观察到的各种过程中,正、负电子总是成对出现或成对消失,而光子又不带电,

所以这种电荷的产生和消失并不改变系统中的电荷数的代数和，因而电荷守恒定律仍然保持有效。

(2) 电磁过程是构成自然界各种纷繁复杂过程的基本过程之一

在早期的电学实验研究中，主要是在实验室中用摩擦起电机和莱顿瓶进行的，因而主要是对于静电现象的研究或对短暂放电现象的研究。面对人们当时对大气中雷电现象的诸多迷信，富兰克林受到莱顿瓶放电的火花的启示，1749年4月提出了“雷电是不是云层摩擦产生的电现象”这样一个科学问题。1752年7月的一个雷雨天，他以著名的风筝实验引“天电”到地面，使人类认识到“上帝之火”的雷电与实验室中的电现象并无二致。

1791年之后，由伽伐尼（A. Galvani, 1737~1798）在1780年解剖青蛙时的偶然发现所引起的电化效应研究，终于导致伏打⁴（A. Volta, 1745~1827）在1800年制成了人类历史上第一个产生恒定电流的电源——伏打电池，使电现象的研究开始由“静电”发展到“动电”，从而开辟了一个新的研究领域。

1820年，奥斯特（H. C. Oersted, 1771~1851）发现了电流的磁效应，它的逆效应——电磁感应定律也在1831年被法拉第发现，人类开始认识到电现象和磁现象之间存在着联系。当法拉第在随后的一次讲座中介绍这种物理科学的成果时，在场的英国财政大臣格拉斯突然问道：“但它到底有什么用呢？”法拉第看了一眼财政大臣，认真地回答道：“啊，阁下，也许不久你就会收它的税了。”不错，电磁感应定律和电流的磁效应为制造更加有效的电源和动力机提供了科学依据，展现了电磁现象的规律在技术上可以获得重要应用的崭新前景。

与此同时，电流的化学作用如电解等也得到了有效的利用。特别应该提到的是，由于伏打电池、温差电偶等电源可以产生恒定电流，而电流磁效应又使测量电流的强弱成为可能，于是人们有可能对电流的传导规律进行研究，这就导致欧姆（G. S. Ohm, 1787~

1854) 在 1826 年至 1827 年发现了欧姆定律. 与此相关的、以欧姆定律为基础的电路理论的研究和应用也就“十月怀胎,一朝分娩”了. 1866 年, 西门子 (E. W. Siemens, 1816~1892) 发明了可供实用的自激发电机; 19 世纪末人类实现了电能的远距离输送, 电动机在生产 and 交通运输中广泛被应用, 极大地改变了工业生产的面貌.

在法拉第等人工作的基础上, 19 世纪 50 年代到 60 年代, 英国物理学家麦克斯韦 (J. C. Maxwell, 1831~1879) 建立了电磁学的理论体系, 得到了今天以他的姓氏命名的电磁场方程组, 并推论电磁作用以波的形式传播. 从这一理论中得出的电磁波在真空中的传播速度与光在真空中的实际测定的传播速度相同, 促使他预言光是电磁波.

麦克斯韦的理论和预言被德国物理学家赫兹 (H. Hertz, 1857~1894) 1888 年的实验所证实. 从此, 由波波夫 (A. C. Попов, 1859~1906)、马可尼 (G. Marconi, 1874~1937)、布劳恩 (F. Braun, 1850~1918) 等人所开创的无线电通讯与广播事业的发展, 极大地改变了人类的生活.

5

电磁过程不仅渗透到物理科学的各个领域, 成为研究各种物理过程的必不可少的基础, 同时, 它也是研究化学和生物学一些基元过程的基础. 今天, 人们已深切地感受到, 无论是人类自身的生活, 还是科学技术活动以及物质生产等各种纷繁复杂的过程, 都不可能离开电磁过程. 并且人们深信, 在人类社会的未来, 电磁理论的绚丽之花仍将盛开.

(3) 电磁场是物质世界的重要组成部分

电荷之间相互作用的定量研究是从 18 世纪后期开始的, 为科学界公认的杰出成就当属库仑 (C. A. Coulomb, 1736~1806) 于 1785 年设计精巧的扭秤实验, 这个实验得出了两个静止点电荷的相互作用力与它们之间的距离平方成反比, 与它们的电荷量乘积成正比的科学结论.

电
路
和
电
磁
场

30多年之后,在奥斯特电流磁效应的启示下,安培(A. M. Ampere, 1775~1836)做了一系列电流相互作用的出色实验;毕奥(J. B. Biot, 1774~1862)和萨伐尔(F. Savart, 1791~1841)进行了长直载流导线对磁极作用力的实验. 他们从这些实验的分析中得到了电流元之间相互作用力的规律.

此后,法拉第发现了电磁感应定律. 这也许称得上是19世纪最伟大最杰出的电磁学实验,因而也使法拉第成为“科学巨人”. 对于电磁现象的广泛而深入的研究使他深信,在带电体和磁体的周围存在着某种特殊的“紧张”状态,并用电场线和磁场线来描述它们. 他认为场线是物质的,且弥漫在全部空间,是它们把相反的电荷和相反的磁极连结起来,也就是说电力和磁力不是通过空虚空间的超距作用,而是通过电场线和磁场线来传递的. 就这样,法拉第形成了他特有的电场和磁场的观念.

电磁感应定律和场的观念为电磁现象的统一理论准备了条件,而其大功告成者则是英国卓越的物理学家麦克斯韦. 麦克斯韦构想了一种媒质模型,研究了这种“媒质的张力和运动的某些状态的力学结果”,“并把这些结果与观察的电磁现象相比较”,以此来体现法拉第的场线思想. 他所设想的媒质被称为“电磁以太”. 此外,他还认为变化的磁场在其周围的空间激发涡旋电场,而变化的电场引起媒质“电位移”的变化,这种“电位移”的变化与电流一样在周围的空间激发磁场. 他把前述的电磁现象的实验定律以及场线思想和它的涡旋电场、位移电流概念天才地用数学公式明晰地表示出来,写下了他不朽的方程组. 其公式简洁和对称的美感,引起物理学家和数学家们的赞叹,以致于玻尔兹曼(L. Boltzmann, 1844~1906)称许道:“这种符号难道不是出自上帝之手吗?”

麦克斯韦在把握住电磁现象本质后,舍弃了电磁以太模型,明确提出了“电磁场”的概念. 他写道:“我所提议的理论可以称为电磁场理论,因为它必须涉及电或磁物体附近的空间”. 通过对麦克斯

韦方程组的求解，可以研究电磁场的运动状态、电磁场的能量和动量以及电磁场可以独立于场源而存在和传播等问题，这就表明电磁场不仅仅是一种描述电磁现象的方法和手段，而且和实物一样，是物质存在的一种形式，即电磁场是物质世界的重要组成部分。

尽管如此，有一件事情还不免令当年的物理学家们疑窦丛生，这就是从麦克斯韦的论文中仍然看到“电磁以太”或“宇宙以太”的影子。例如，他写道：“电磁场是空间中处于电状态和磁状态下的物体及其周围的空间”，它充满着一种“各处弥漫的，密度虽小而确实有密度的，能够发生运动，并能以很高然而有限的速度将运动从一处地方传递到其他地方的介质”。然而，人们却不无遗憾和困惑地发现，要用描述气体、固体和液体这些常见介质的方法来描述这种宇宙以太的性质，简直就是不可能的。因为在这方面的所有尝试都将导致一系列难以解决的矛盾。

例如，光的偏振现象无可置疑地表明光是一种横波，即光所涉及的是一种横向振动，而横向振动只能在固体中存在和传播，因此必须把以太看作是一种固态物质；又由于光波的传播速度很大，而波的传播速度又与传播波动的介质的刚劲程度有关，这就要求以太是一种刚性极大的弹性固体介质。然而，倘若真是这样的话，即如此坚硬的以太充满了整个宇宙空间，那我们又怎么能够在地球上跑来跑去，鸟儿又怎能在空中自由翱翔，行星如何能够千百万年地绕太阳转动而并不明显地遇到阻力呢？

在另一方面，物理规律都是相对于一定的参考系表达出来的。如果承认以太存在，而且确信电磁场不过是以太的某种振动，那就意味着麦克斯韦方程组是在相对以太静止的参考系中表述的。特别是由麦克斯韦方程组可以导出电磁波以光速 c 传播，因而也就只有在对以太静止的参考系中，电磁波的传播才是各向同性的。所以这一参考系便具有了特殊的地位，而在其他参考系中，电磁场量 E 和 B 以及相应的麦克斯韦方程组就将要变为另外的形式了。可是人们已

电
路
和
电
磁
场