

高等学校教学用书

电磁学讲义

上册

江苏师范学院物理系編委会編

高等教育出版社

高等学校教学用



电 磁 学 讲 义

上 册

江苏师范学院物理系編委会編

高 等 教 育 出 版 社



本书系由江苏师范学院物理系教师集体编写的物理学讲义的第三部分,内容包括普通物理的电磁学和理论物理的电动力学,可供师范学院物理系作电磁学的教学用书。如普通物理与电动力学分开讲授,亦可作为教学参考书。此外,本书还可供中学教师进修时参考。

本书分上下两册。上册分五章,讲解静电场、电介质、恒稳电流、电解质和气体中的电流。

电 磁 学 讲 义

上 册

江苏师范学院物理系编委会编

高等教育出版社出版 北京宣武门内报恩寺7号
(北京市书刊出版业营业许可证出字第054号)

上海大东集成联合印刷厂印刷 新华书店发行

统一书号 13010·716 开本 850×1168 1/32 印张 9 10/16
字数 228,000 印数 1—3,000 定价 (4) 1.00
1959年12月第1版 1959年12月上海第1次印刷

序

在大跃进以来我系师生在总路线的光辉照耀下，为了贯彻教育为无产阶级政治服务、教育与生产劳动相结合的方针，发扬了敢想、敢说、敢做的共产主义风格，在院党委和系党总支领导下，提出了教学计划的改革方案。这个方案中除将生产劳动列入教学计划外，并把过去的普通物理、理论力学、理论物理这三个科目合并为一门“物理学”，以避免过去它们之间的重复与脱节现象。我们根据教育方针、高师特点、物理学迅速发展的情况，提出了面向中学、结合生产、反映最新科学成就的原则，编订了教学大纲。

“物理学”新大纲包括了过去普通物理、理论力学、理论物理试行大纲(1955年)的内容，删节了其中的重复部分，并适当充实了一些新的内容。共分为五部，即力学、热学、电磁学、光学和原子物理学。

电磁学讲义是把普通物理的电磁学部分与电动力学“打通”了编写的。共计十章，分上下两册，上册有静电场、电解质、恒稳电流、液体与气体中的电流等，下册有电流的磁场、磁质、似稳电磁场、交流电路、迟变电磁场等。

静电场分为两章，第一章是从宏观的唯象理论来考虑的，而第二章则对场的定域性质进行了阐述；前一章基本上是属于原来普通物理的内容，而第二章则大部分为理论物理的内容。在电解质与恒稳电流中，普通物理与理论物理是融合在一起的。第五章只对现象作了广泛的介绍和定性的解释。

电流磁场的引入，重视了磁现象本质的探讨。根据电磁场的

理論把磁場作为統一體而把靜電場作为电磁場的一个特殊情况来考虑的。

交流电路中只研究了恒穩状态的解,并应用复数,为进一步学习电工原理、无綫电原理作好准备。

电动力学中的相对論改在光学中編写。

本讲义除可用作高师物理系本科教材外,亦可作为一般高等学校物理課的参考讀物,以及具有物理专修科数学、物理知識的中学教师們的进修讀物。

我們根据“打通”的精神編写这部电磁学讲义,是一个大胆的尝试。为了相互交流、广泛討論来共同解决高师物理学教材問題,特把这部讲义初稿刊印出来。限于我們的水平和時間的匆迫,內容难免錯誤,取材和編排上也还存在問題,誠懇地要求讀者 and 专家們多多提出宝貴意見,以資修訂。

本讲义是在党委领导下教师学生三結合所編的大綱和电磁学草稿的基础上編写的。参加編写的有丁厚昌、乔登江、周万生、周孝謙、凌德洪(主編)、彭基泉等。系內其他师生对編写工作也給予很多支持与协助,我們在此表示謝忱。

江苏师范学院物理系編輯委员会

1959年9月

上册目录

序

緒論	1
§ 0.1 电磁学在近代技术和科学上的重要性	1
§ 0.2 电磁学发展简史	3
§ 0.3 电磁场	5
§ 0.4 物质的粒子性	6
第一章 靜电场一	10
§ 1.1 电荷 摩擦起电和靜电感应	10
§ 1.2 法拉第冰桶实验	14
§ 1.3 导体和絕緣体	16
§ 1.4 庫侖定律 电量单位	19
§ 1.5 电场强度	25
§ 1.6 电力的功 靜电场第一定律	32
§ 1.7 电势	35
§ 1.8 等势面	43
§ 1.9 电场强度和电势間的关系 电势梯度	45
§ 1.10 电力綫 电通量	50
§ 1.11 靜电场第二定律	55
§ 1.12 靜电场第二定律的应用	58
§ 1.13 导体上电荷的分布 电暈现象	62
§ 1.14 靜电屏蔽	66
§ 1.15 靜电起电机	69
§ 1.16 孤立导体的电容	71
§ 1.17 电容器	73
§ 1.18 电容器的联接	79
第二章 靜电场二	85
§ 2.1 靜电场基本定律的定域形式	85

§ 2.2	泊松方程和拉普拉斯方程	89
§ 2.3	泊松方程和拉普拉斯方程的解 例题	92
§ 2.4	静电学中的典型问题	97
§ 2.5	电象法	101
§ 2.6	电场的能量	110
§ 2.7	静电场中的力	117
§ 2.8	静电场中的电偶极子	119
§ 2.9	静电计	121
§ 2.10	安素定理	124
第三章	电介质	127
§ 3.1	电介质的极化 极化矢量	127
§ 3.2	电介质中的电场	133
§ 3.3	电位移矢量	139
§ 3.4	电场的边界条件	143
§ 3.5	电介质中的场能	149
§ 3.6	电介质中的力	153
§ 3.7	电介质中的应力	159
§ 3.8	电介质的极化理论	167
§ 3.9	压电效应 热电效应 铁电体	175
第四章	恒稳电流	182
§ 4.1	电流	182
§ 4.2	电流密度	185
§ 4.3	连续性方程 基尔霍夫第一定律	187
§ 4.4	电流的效应	188
§ 4.5	电阻 欧姆定律	191
§ 4.6	电阻的联接法 电阻箱和可变电阻	199
§ 4.7	电流的功与功率 楞次-焦耳定律	203
§ 4.8	电动势	206
§ 4.9	基尔霍夫第二定律	213
§ 4.10	金属的经典电子论和导电机构	221
§ 4.11	接触电现象	227
§ 4.12	温差电现象	233
§ 4.13	温差电动势的理论	237
§ 4.14	塞贝克电动势的几个基本性质	241

§ 4.15 温差电现象的应用	245
第五章 电解质和气体中的电流	249
§ 5.1 液体的导电机构	249
§ 5.2 法拉第电解定律	252
§ 5.3 电解质的电导率	257
§ 5.4 电解的应用	261
§ 5.5 电池	264
§ 5.6 气体的被激导电和自激导电	271
§ 5.7 辉光放电和它的应用	277
§ 5.8 弧光放电和它的应用	283
§ 5.9 火花放电和它的应用	286
§ 5.10 阴极射线和阳极射线	289
§ 5.11 热电子发射	291

緒 論

§ 0.1 电磁学在近代技术和科学上的重要性

电磁学是一门领域非常广泛的科学，它涉及的方面很多。从人们生活中的衣、食、住、行，到工农业生产中的装备动力；从小到原子的物质结构，远到宇宙间的星际航行，无一不和电磁学有关。例如，作为光源的电灯；作为热源的电炉；作为动力源的电动机；作为通讯设备的电话、电报、雷达、电视，以及作为能源的电池、发电机和原子能发电站等等。电磁学不仅是很多近代生产技术的基礎，同时也是近代科学发展的基础，如关于物质结构的理论、光的波动学说，固然和电磁学的发展分不开，而近代的量子场论和基本粒子的理论，也是从电磁理论这一基础上发展起来的。

电磁学在发展生产方面起着十分重要的作用。列宁曾经这样指示过我们：“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”。要建设共产主义首先要求社会产品极大丰富，这就要求劳动生产率的不断提高和生产过程自动化的推广。而水电资源的开发和利用，将大大促进生产力的发展，电子学理论和技术方面的发展，也会促进生产过程自动化。因此，电气化和生产力的发展是直接联系着的。还有，农村电气化以后，农民在新的技术基础上组织生产，这就有利于提高农村的文化水平和消灭城乡之间的对立；自动控制的推广使繁重的体力劳动可以逐步用机械来替代，这就有利于消灭脑力劳动和体力劳动的对立。由此可见，电气化在向共产主义过渡的时代是一个重要的课题。很好地掌握电磁理论为促进祖国的电

气化而努力,也就意味着促进共产主义的早日到来。

电被广泛的利用,是因为电本身具有以下几个特点:

1. 电能可以作为一切其它形式能量转换的中心。电能比较容易转换为化学能、机械能、热能等,因此利用电能作为能源,比较方便。同样,其它形式的能量也可以转换为电能,而非电能形式的能量相互间不是完全可以直接转换的。例如,光就不能直接变为声,但是利用光电管,也就是借助于电能就可以实现这种转换。因此以电能为中心,为广泛地利用各种能源提供了可能性。

2. 电能可以在极短的时间内从发电的场所,送往遥远的应用场所,而且功率大,能量的散逸少,装备也比较简单,因此为大生产提供了条件。

3. 电能可以电磁波的形式在空间中传播,而传播速度等于光速,即 3×10^{10} 厘米/秒,这就大大地克服了空间阻隔的困难。

4. 电能便于用灵敏度极高的仪表控制和测量,使得遥控和生产过程自动化易于进行。

电磁学的理论对近代科学理论的发展也起着巨大的作用,并占有中心的地位。这是因为一切物体都是原子或分子所组成,而原子或分子之间存在着电磁作用。所以一切与物质结构有关的物理现象,都可以从电磁学的一般规律得到说明。例如固体的弹性、热传导,可以从电子论得到解释;物质的某些化学性质,可以从原子外层的电子分布得到说明,等等。

应该指出,经典理论在阐明物质结构以及与物质结构有关的现象时,有相当大的局限性。因为在微观世界中,量子规律起着主要的作用,至于谈到基本粒子(如电子、中子、质子、介子等等)的结构和相互作用,经典电磁论更显得无力,但是电磁学仍然是近代的量子场论、基本粒子理论的发展所不可缺少的基础,而且是探索微观世界应遵循规律的第一步。由此可见,电磁理论仍然是揭露客

觀規律的必要工具。

§ 0.2 电磁学发展簡史

电磁学这门科学和其它科学一样，不是在短時間內一下子就形成的。它是經過了人类智慧的长期积累而逐漸丰富起来的，是随着生产的发展而发展起来的。

从历史上来看，电磁学是发展較晚的一門科学。虽然在古代和中世紀，人們已經积累了一些关于电和磁的觀察資料，例如紀元前 800 年，战国末年就发现了磁鉄矿吸引鉄片的現象，以及有些古书中，关于琥珀吸芥的記載。在希腊，紀元前 700 年就有哲学家記載过用布擦过的琥珀能吸引輕的东西，如毛发、小紙片等。但这些都只是停留在对自然現象的觀察上。直到生产有了一定程度的发展，科学水平有了提高，到十七，十八世紀，人們才开始用实验方法来研究这些現象及其所遵循的規律。

初看起来，电磁学的兴起，在很大程度上是因为人們对自然界中怪現象的注意和探索，这种对現象的研究和发展并不是偶然的，在很多借助于实验方法的研究中，可以明显地看出是由于生产发展的需要。因此不能把有关电与磁的一些記載，仅仅看成是几个聪明人的产物。

从十七世紀到十八世紀，由于实验方法的进步，对摩擦电、大气电、地球磁場的研究得到过某些成果。

在实验方面，1766 年拉姆士琴发明了起电盘，十八世紀中叶 (1745 年前后) 在萊頓城发明了可以儲存电量的萊頓瓶，使得集中大量电荷有了可能。1945 年里赫曼制成了靜电計，为定量研究靜电現象准备了条件。

在研究大气电方面，作出了重要貢獻的有美国的科学家富兰克林 (1706—1790)，他得出了雷电是火花作用的結論，破除了人們

对闪电的宗教迷信；俄国科学家罗蒙诺索夫创立了大气中电的产生的理论：空中电是空气微粒随着气流运动时互相摩擦而产生的。

十八世纪末叶，法国人库仑（1736—1806）制造了扭秤装置并对带电体的相互作用的大小进行定量的测量，借此确定有名的电荷相互作用定律——库仑定律。为静电学奠定了基础。其实，早在1771年卡文狄希就得到了库仑定律，不过一直到十九世纪中叶才被发现。

1786年意大利生理学家伽伐尼（1737—1798）在解剖青蛙时发现电流。紧随着伽伐尼，意大利人伏特发明了电池，这是电学中一件重大的事情，它为研究电流和电流的各种效应创造了条件。俄国学者彼得罗夫（1761—1834）用4200块铜锌板做成了当时最大的电池组，借此并于1803年发现了电弧。

到了十九世纪前半叶，由于生产的迅速发展，在电工学方面及电磁学理论方面都有重要的发展。1820年丹麦物理学家奥斯特（1777—1851）发现了电流的磁效应。不久毕奥及萨伐尔发现了一根很长的直线电流所生磁场的规律，并由此建立了关于电流元所生磁场的毕奥-萨伐尔定律。后来，法国物理学家安培（1775—1836）在一系列的实验基础上，证明了一个闭合电流迴路与一个磁壳等效，发现了磁场对电流作用力的公式，并建立了磁的分子电流理论。

1831年，英国物理学家，锻工的儿子法拉第发现了电磁感应定律，使人类大量利用电能成为可能，开辟了电磁学迅速发展的新纪元。此外，法拉第还研究了电流的化学效应、建立了法拉第电解定律。法拉第还对电磁场的性质进行了研究，引入了场的近距作用初步概念。

十九世纪末叶，麦克斯韦（1831—1879）研究了电磁现象的规律的内在统一性，把它们归结为麦克斯韦方程，并由此发现了电磁

波,建立了光的电磁理論,把光学現象統一在电磁現象之中,至此,宏觀电动力学已发展到十分完善的地步。洛倫茲还把麦克斯韦理論推广到微觀的領域,創立了电子論,对电磁現象作了微觀的詮釋,取得一些成功,同时也遇到了不可克服的困难,这表明电磁学的規律在微觀的領域中是不适用的,必須进一步发展,近代的量子电动力学担当了这一任务。

§ 0.3 电磁場

一个物体对于不和它直接接触的另一个物体的作用,必須借介乎其間的物質来傳遞,沒有物質,物体之間的相互作用就不可能发生。例如,当两个音叉发生共振时,它們之間的作用是依靠空气来傳遞的。一个音叉的振动引起和它接触的空气分子或其它物質分子的振动,这部分空气分子的振动又引起較远处的空气分子的振动。作用依次由近及远地通过空气傳遞过去,最后使另一音叉发生共振,如果将音叉間的空气抽去,就不可能引起音叉的共振。由这一例子可見,作用必須借物質来傳遞。而且傳遞作用需要一定的時間,一个音叉的振動不能使另一音叉同时就发生共振。也就是說,作用的傳遞不能以无限大的速度来进行,而是以有限的速度在进行的。

带电体之間相互作用的傳遞和上述机械作用的傳遞究竟有沒有区别?显然,区别是有的,前者不依靠任何物質的分子,两个带电体在真空中也同样可以发生作用。正是由于这一点,在很长一段时期內,人們认为带电体之間的作用是超距作用,他們认为一个物体对于另一物体的影响可以瞬时达到,不需要以有限的速度来傳遞。超距作用的观点认为作用的傳遞不需要依靠物質,这显然是唯心的。到了上世紀末,才有人提出了新的观点,认为一个物体的周圍总是伴隨着一个場,其它物体所受到的力是由于这場的直

接作用。

电磁場是由靜止的或运动的电荷所产生的。当一处的电磁場发生变化时,远处的电磁場不是同时发生变化,而将推迟一段時間才开始发生变化。电磁場的傳遞速度可以直接測量,那就是光的速度。靜电場是靜止电荷所产生的場,也就是变化已經停止了电磁場。在这样的場中,各处的电場强度都有恒定的值。如果我們把任一带电体放入这样的場中,这个带电体将受到力的作用,作用的傳遞時間在靜电場中是不表現出来的。

电磁場具有独立存在的性質,因为場一經产生,即使电荷消失,它还可以繼續存在。电磁場具有客觀的实在性。近代的精密实验証实了电磁場不仅占据着空間,并且具有一切物質所具有的重要性質,如能量、动量和質量等。因此电磁場本身不是别的而就是物質。但是这种物質不同于通常由电子、質子、中子等基本粒子所构成的实物,其間的区别体現在以下几方面:电磁場的基本成分是光子,它沒有靜止質量;实物可以任意的速度在空間中运动,但是电磁場在真空中永远以 3×10^{10} 厘米/秒的速度运动;实物的运动速度决定于观察者的运动速度,但电磁場的傳遞速度并不依賴于观察者的运动速度(迈克尔孙-莫雷实验);实物的原子所占据的空間不能同时为另一原子所占据,但几个电磁場可以互相叠加,可以同时占据同一空間。实物和場虽有如上所述的區別,但在某些情況下,它們之間可以发生相互的轉化。一个帶負电的电子和一个帶正电的正电子可以轉化为光子,而光子也可以轉化为成对的电子和正电子。

§ 0.4 物質的粒子性

在上一节我們介紹了物質存在的一种形式——电磁場,現在我們对物質存在的另一种常見的形式——粒子,再加以扼要的闡

述。

电子、質子和中子是构成实物的主要基础。除此之外，尚有其它构成物質的粒子，但它們的存在，有的寿命非常短暫，有的只是理論的推測，沒有得到实验的直接証实，还不能作为一般物質的主要基础。在所有原子中，質子和中子結合成为一个原子核，它的直徑的数量級是 10^{-12} 厘米。原子核为若干电子所包圍，它們各沿着圓周軌道或橢圓軌道运轉，这些軌道的直徑的数量級是 10^{-8} 厘米，原子的大小即取决于这些軌道的直徑，質子的質量大約是电子質量的 1840 倍，但它所帶的电荷与电子所帶的电荷等值而异号，也就是說，电子的电荷是 $-e$ ，而質子的电荷是 $+e$ 。氫原子核只含有一个質子，核外电子也只有一个，因此，氫原子的全部質量几乎都集中在質子上，核外电子的質量仅占全部質量的 $1/1840$ 。現在我們試計算氫原子中質子和电子的質量，我們知道一克分子的单原子氫含有 6.02×10^{23} (阿伏伽德羅数) 个粒子，它的質量是 1.008 克。因此，

$$\text{氫原子的質量} = \frac{1.008}{6.02 \times 10^{23}} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克,}$$

$$\text{电子的質量} = \frac{1.67 \times 10^{-24}}{1840} = 9.11 \times 10^{-28} \text{ 克。}$$

中子是一种不帶电的粒子，它的質量几乎和質子的質量相等，即

$$\text{中子的質量} = 1.67 \times 10^{-24} \text{ 克。}$$

在整个原子內，繞核运轉的电子数目等于核內質子的数目，因此整个原子是中性的，对外不显电性了。在輕元素的原子核內，中子的数目几乎和質子的数目相等，但在重元素的原子核內，中子的数目将达質子数目的 1.5 倍以上。原子的質量主要地取决于質子和中子的总数，凡由質子数相同而中子数不同的原子核所組成的

元素称为同位素，平常的氫就是三种氫的同位素的混合物。除了上述含有一个質子和一个电子的氫原子外，还有含有一个質子、一个中子、一个电子的氘原子（即重氫原子）和一个質子、二个中子、一个电子的氚原子。为了易于区别这三种氫，我們可将它們的化学符号分別写为 ${}_1\text{H}^1$ 、 ${}_1\text{H}^2$ （或 ${}_1\text{D}^2$ ）、 ${}_1\text{H}^3$ 。符号左下角的数字表示原子序数或核外电子数，右上角的数字表示原子的质量数（即原子核內的質子和中子的总数）。在天然的元素中，最复杂的原子就是鈾，它是三种同位素 ${}_{92}\text{U}^{238}$ 、 ${}_{92}\text{U}^{235}$ 、 ${}_{92}\text{U}^{234}$ 的混合物。在研究原子能的实验过程中，曾由人工制成更复杂的原子，如鏷 ${}_{93}\text{Np}^{239}$ 和鐳 ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ 。鐳原子中的粒子数有 333 个之多。

电子和正电子的电荷是电荷存在的最小单位，常称为元电荷或原子电荷。带电体携带的电荷只能是 $-e$ 或 $+e$ 的整倍数。因此电子可假定为不可分割的粒子，它是物质的基本粒子。質子和中子也是物质的基本粒子。这些基本粒子的性质可列表如下：

基 本 粒 子	电 荷	质 量
电 子	$-e$	m
正电子	$+e$	m
質 子	$+e$	$1836m$
中 子	0	$1838m$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}, m = 9.11 \times 10^{-28} \text{ 克}.$$

电子和質子既带有电荷，故它們之間，除有万有引力之外，还存在着电力的作用，而且电力常較万有引力大得多。电力不同于万有引力，后者仅是互相吸收的力，而前者可有斥力和引力两种。質子与質子之間或电子与电子之間的电力是斥力，而电子与質子之間的电力則是引力。

当質子与电子之間发生相对运动时，又有另一种形式的力产生。这是由于运动电荷的周圍有磁場存在，另一电荷在这場中运动时将受到力的作用，这种力称为磁力。

我們仅对場的性質及实物的原粒子結構作了簡略的介紹，可以看出，物質存在的两种形式是既有区别，又有連系的。如何把两种形式統一起来，近代科学家正在作艰巨的努力，已获得初步的成果。随着实验技术的进步、資料的积累，特别是高能粒子能在实验室中获得，人造卫星和行星对太空的秘密也打开了大門，人們对自然的規律理解的进一步深刻化，会把这个矛盾在新的基础上統一起来向更高的阶段发展。