

# 电 磁 学

《伯克利物理学教程》第二卷

〔美〕E. M. 珀塞尔 著

科 学 出 版 社

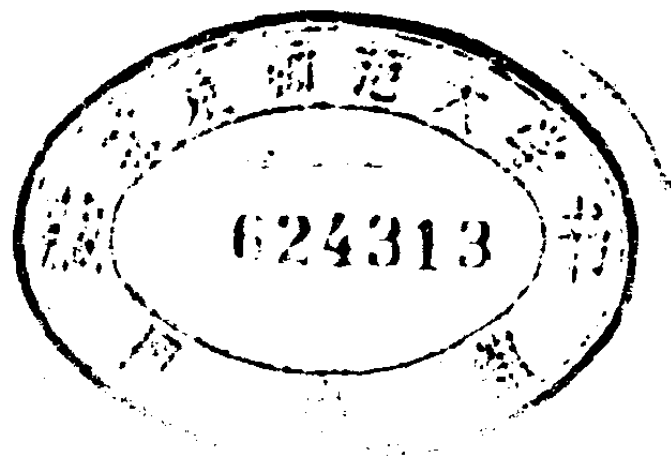
2011/14/101

# 电 磁 学

《伯克利物理学教程》第二卷

[美] E. M. 珀塞尔 著

南开大学物理系 译



科学出版社

1979

## 内 容 简 介

《伯克利物理学教程》是美国出版的供大学理工科头两年用的基础物理教程。本书是其中第二卷，主要阐述电磁学的基本原理和概念。全书共分十章：静电学，电势，导体周围的电场，电流，运动电荷的场，磁场，电磁感应与麦克斯韦方程，交流电路，物质中的电场，物质中的磁场。作者在本书中采用了相对论和电荷不变性来阐明运动电荷的电场和磁场。这种方法与传统方法有所不同，颇有特色。

本书可供大专院校理工科师生阅读，也可供有关科技人员参考。

E. M. Purcell

### ELECTRICITY AND MAGNETISM

*Berkeley Physics Course Vol. 2*

McGraw Hill, 1965

## 电 磁 学

《伯克利物理学教程》第二卷

[美] E. M. 珀塞尔 著

南开大学物理系 译

\*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

河北新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1979年6月第一版 开本：787×1092 1/32

1979年6月第一次印刷 印张：18 1/4

印数：0001—150,400 字数：411,000

统一书号：13031·822

本社书号：1173·13—3

定价：1.85元

## 中译本前言

自六十年代初期以来,美国一些重点大学,为了解决基础物理教材内容陈旧,与现代科学技术蓬勃发展的要求不相适应的矛盾,开始对大学基础物理课程试行改革。《伯克利物理学教程》就是这种尝试之一,它是美国近年来较为流行的供大学理工科学生头二年使用的基础物理学教程,一共包括五卷:1. 力学;2. 电磁学;3. 波动学;4. 量子物理学;5. 统计物理学。原教程编写的意图,是尽可能地反映近百年来物理学的巨大进展,按照当前物理学工作者在各个前沿研究领域所使用的方式来介绍物理学,全教程引入狭义相对论、量子物理学和统计物理学的概念,从较新的统一的观点来阐明物理学的基本原理,以适应现代科学技术发展对物理教学提出的要求。在编写过程中曾吸收了在各个前沿领域工作的许多物理学工作者的意见,经过较长时间的教学试验和多次修改,于1963年开始出版,迄今已重版多次,对美国大学物理教学有较大影响。原书比较偏重于理论方面,实验方面的内容较少,为了弥补这一缺点,另编有《伯克利物理学实验》一书。鉴于这部教程在取材、编排和写法上有一些特点,对如何利用新的科学技术成就来改革和充实基础物理教学内容尚有可供借鉴之处,按照“洋为中用”的方针,我们翻译出版中译本,以供我国高等院校师生和科技人员参考。由于各卷内容相对独立,我们将分别出版。

必须指出,这部教程完全是按照美国教学原则编写的,不一定适合我国的具体情况,希望读者阅读时注意。

在中译本中,我们对原书作了少量删节,删去的主要有和原书内容关系不大的一些物理学家的照片和简单传记材料以及其他一些材料.原书各章附有一些参考读物,考虑到这些读物有的出版较早,国内难以找到,我们也已一律删去.读者可以根据需要与可能,参考有关的书籍.

译文错误或不当之处,请读者批评指正.

## 第二卷序言

本书是《伯克利物理学教程》中的第二卷，论述电学和磁学粗略地看来，题目的顺序和通常一样：静电；恒稳电流；磁场；电磁感应；物质中的电极化和磁极化。但是我们的研究方法却和传统的方法不同。这种区别在第五章、第六章中最为显著，在这两章中，我们在第一卷论述的基础上，用相对论和电荷不变性来阐明运动电荷的电场和磁场。这样的研究方法把注意力集中于一些基本问题，例如：电荷守恒，电荷不变性，场的意义。这里真正需要的狭义相对论的正式工具，只是洛伦兹坐标变换和速度相加公式。虽然如此，读者把第一卷中想要发挥的一些概念和处理问题的方式引入本卷也是必要的，例如，善于从不同的坐标系看问题，对不变性的理解以及对于对称性理论的考虑。在本卷中，我们还根据叠加原理进行了许多讨论。

我们对物质中的电现象和磁现象的研究，主要是用“微观”观点，着重于电与磁的原子和分子的偶极子性质。电传导也是用德罗特-洛伦兹 (Drude-Lorentz) 模型作微观描述的。当然，有一些问题必须留到读者学习第四卷量子物理学以后再讨论。我们实际上把分子和原子说成是有一定尺寸、形状及硬度的电结构，讲到电子轨道和电子自旋。我们力图仔细处理一些初等教科书里有时回避，有时一笔带过的一个问题，即关于物质内部的宏观场  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{B}$  的意义。

在第二卷中加进了一些矢量微积分工具——梯度、散度、旋度和拉普拉斯算符等，以扩充读者的数学知识。由于需要，

在前几章中就叙述了这些概念。

本卷初稿曾在加利福尼亚大学的几个班中试用过。从与伯克利教程有关的许多人员的批评中，特别是从用它教一年级的 E. D. Commins 和 F. S. Crawford, Jr. 所提出的意见中得到了很多教益。他们和他们的学生发现了许多需要澄清和需要补充的地方。根据他们的建议作了许多修改。读者对最后初稿的批评意见，由 Robert Goren 负责收集；他还帮助组织了习题。在德克萨斯大学使用本书初稿的 J. D. Gavenda 和威斯莱大学的 E. F. Taylor，也都提供了很有价值的批评。在本书编写初期，Alan Kaufman 提供了许多想法。A. Felzer 作为我们的第一个“试验生”参加了第一稿的大部分工作。

这种讲述电学与磁学的新方法，不仅得到了本教程委员会的支持，而且还得到了在麻省理工学院并行编写新教程的同事们的支持。在后者中，麻省理工学院科学教育中心和塔夫兹大学的 J. R. Tessman 在最初制订编写方案时给了我很大的帮助和影响。他在麻省理工学院教学中使用了本书初稿由于他对全书的审读，使我们能够作许多进一步的修改和订正。

本卷作者最深切地感谢伯克利分校的同事，尤其是 Charles Kittel.，由于他们经常一贯地鼓励，才使本书的繁重编写任务得以顺利完成。

E. M. 珀塞尔

## 教 学 说 明

第二卷的主要内容在 14 周或 15 周的一个学期内就足以完成,就是说,学生有第一卷作为准备知识,应能细致地学习本卷的全部主要内容,能够不太匆忙地阅读本卷的其余部分,能够至少研讨一、两个以习题方式引入的特殊课题。尽管如此,适当的选择和计划还是必要的。本卷所包含的课题数目超出了一学期所能仔细研究的数目。在第一次阅读时许多章节可以甚至应当略去,或者只选作偶尔阅读之用。在下面的说明中,我们指定的章节多少是任意的。我们说“多少是任意的”,是因为详细选定必须取决于学生的能力和兴趣、总学时数以及任课教师对该课题的看法。

### 关 于 习 题

本书的习题远较一般班级所应完成的为多。习题分为两类。每章末尾的习题与该章主要内容直接有关。大体说来,这是一些较简单的练习题。如果学生对这些习题中的某一习题有较大困难,那就是他对主要之点没有弄懂。在书末的“补充习题和问题”标题下列入的习题,是每章习题的继续。虽然与各章末尾的习题难度不一定都相差很大,但是这些“补充习题”比起章末的习题一般说来内容更丰富,而且常常更有意义。有些引出了新的应用,甚至新的课题。有时借助于提示和讨论,可以把课文中省略了的证明在某一习题中推导出来。这些习题和问题可以达到几个目的: 1. 给学得较好的学生一些进一步思考的东西; 2. 即使学生只是看一遍而不作出习题,



也有助于启发学生了解所学概念的广大应用范围；3. 某些习题可以作为讲授某一特殊课题的出发点（关于受空间电荷限制的二极管的习题 4.25 就是一个例子）。事实上，有时用一节课来作出两、三个这类习题是有益的。在讨论课上常常可用“补充问题”来引出讨论内容。

### 关于演示实验

演示实验是有决定重要性的。任何一本书都不足以使学生掌握电磁现象，特别是对于那些已被归结为完美逻辑结构的课题，教科书都有太过于理论化的倾向。本书也不例外。学生需要使用磁铁，绕制线圈，制造电火花，看一看十分灵敏精巧的电学仪器，看一看非常精确的仪器。他们应该看到在兆瓦功率下和在微瓦功率下的工作情况。伯克利实验教程在所讲到的范围内是很好的了。教师应该留意抓住一切其他机会，使学生接触到真实的世界，在那里电场是噼啪作响的某种事物，而不仅仅是一个符号而已。

### 关于测验

本书有许多课题都是在相当高的水平上讨论的。我们相信学生有时会从这样的讨论中得到裨益。但是，应该反对任何按照这种水平来布置测验的想法。我们的经验表明，采用比较简单的测验是最好的。

第一章——静电学：电荷与电场 这里直接地引进了一些基本概念，材料比较枯燥，从一开始讲解，就应当同时进行静电学方面的演示实验。

任选部分：1.6

第二章——电势 本章并没有引入更多的新的物理内容，只是讲述了几种新的数学工具。这部分教材必须仔细地全

部教完，把进度调整得适合于本班学生的数学水平和预备知识。本章的所有内容迟早都要用到。但是旋度的运算在第六章以前不会用到很多。如果认为有必要减少些数学，可以把 2.15 节至 2.18 节推迟到那时再讲。学生对于散度和旋度要求得到直观理解，必须满足这种要求。本书对此提供了一些帮助，如图 2.32 和图 2.34 以及若干习题，但这些都代替不了手示，黑板上画草图和不拘形式的讨论。

任选部分：无

第三章——导体周围的电场 这章可以很快讲完。这里介绍的平行板电容器将经常在各章中重复出现。有些重要概念的提出要和唯一性原理联系起来，唯一性原理的重要性可以通过讨论和论证最好地显示出来。对静电边界值问题，引入松弛法和变分法在现阶段是很特殊的，但是学生看来对这些概念是有兴趣的，这些概念毕竟比传统的“镜像”技巧更普遍有用，更有启发性。然而这一整节(3.8 节)可以跳过去而无任何影响。对 3.6 节也可以这样作。这一节介绍电容系数，主要是想通过具体实例来说明线性系统一般是如何描述的。这章缺少对电场和电势的实际测量方法的说明，缺少关于电场的仪器或实验，如验电器、静电伏特计等等的描述。这里为了使 学生接触实际，需要演示实验和实验室经验。

任选部分：3.6, 3.8

第四章——电流 先介绍体电流密度的概念，讲述了离子电荷迁移的微观图象。构成欧姆定律基础的物理内容是用古典的德罗特-洛仑兹 (Drude-Lorentz) 模型推导出来的。根据教学计划的可能性，4.4 节教材可以讲得浅些或者深些。以后的课题都不需要它作基础。但是这节的物理内容本身有它自己的重要性，学生至少要把这节的教材通读一遍。直流电路的讨论已经精简到只剩下一些基础的东西。可以通过例

题和习题按照常规把它扩展起来。学过伯克利实验课程的学生,在此之前早已具有电路的实际经验了。

任选部分: 4.5, 4.6, 4.10

第五章——运动电荷的场 通过第一卷的学习和实验室的实验,学生已经知道了磁场和作用在运动电荷上的力是  $q(\mathbf{v}/c) \times \mathbf{B}$ 。最好一开始就复习一下这方面的内容。在开始 5.3 节以前,应该作磁相互作用的简单演示实验,特别是平行电流间的作用力的演示实验。在本章中学生将用新的观点来研究磁的相互作用。重要的物理事实是电荷的不变性。为了了解它的意义,必须仔细考虑电荷运动系统中电量的定义。这一章的首要目的是要彻底了解恒速运动电荷的电场。关键是把静电场变换到运动参考系中。在这里要彻底地讨论场的概念。在学生懂得 5.5 节的论证以前,他将会怀疑一个普遍的变换定律能够从一个看来非常特殊的情况推导出来。对于多数学生来说,高速粒子的电场会使他们十分惊异,甚至对于那些思想比较灵活的学生来说,他们虽然能预料到电场看起来会发生“迟延”,但仍会很惊讶。现在离辐射问题只是很短的一步,虽然我们把它留在第三卷再讲,但是在这里就可以告诉学生,韧致辐射(见习题 5.8)和同步加速器辐射是怎样发生的。5.8 节用了很多时间去证明一些学生认为理所当然的东西,如果学生已经学过第一卷中力的变换,那么本节就可以大大精减。最后一节中出现了随速度变化的力。推导的详细过程并不重要,而重要的是要了解为什么这是可能的。应该强调其结果的简单性和准确性。

任选部分: 无

第六章——磁场 磁场  $\mathbf{B}$  的来源早先已经讲过了,这里再介绍一下。对直载流导线推导出来的积分关系式  $\int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 4\pi I/c$ , 只假定一般对稳恒电流有效。(把上述推导进一

步进行下去,就会涉及加速电荷.)由于几个原因,我们在本章中引入矢势.因为在这里用到的和以后在第十章要用的矢势都不是很复杂的.任何要继续研究物理学的学生,都必须熟习它.轴矢和极矢的差别应受到重视,虽然本书中没有提出这个问题,但我们已十分注意到使以后在处理物质内部的  $\mathbf{E}$  和  $\mathbf{B}$  时应符合电源与磁源之间在对称性上的主要差别.但是本章的重点应该放在磁场本身.现在可以很自然地得到的真空场的转换定律,能够通过几个例题来加以说明.例如,习题 6.15 就是可以在课堂上计算和讨论的好题目.6.8 节和 6.9 节不是不可以免掉的(虽然 6.9 节第一段可以帮助弄清一个重要问题),可以指定为任选内容.

任选部分: 6.8, 6.9

第七章——电磁感应与麦克斯韦方程 应该用各种演示实验来介绍本章.使用非常灵敏快速的投影检流计,只要移动线圈和磁铁,就可以把 7.2 节、7.3 节、7.4 节所讨论的等效性非常显著地显现出来.(对于使用永久磁铁,不要有所犹豫,虽然本书直到第十章才提到它们!)本章未提出什么特殊问题.用实验来演示感应现象的机会极多.在我们的讨论中有两处可能被人认为是有点小题大作:(1) 由于考虑自感的困难,我们先引进了互感,然后在 7.8 节中再着重讨论自感问题;(2) 在 7.12 节中过分详细地讨论了位移电流的作用.就我们的经验看来,这些问题如果不弄清楚,最终会使细心的学生感到苦恼的.有可能从一开始就把这些问题弄清楚.一旦谈到麦克斯韦方程,就很难避免不谈电磁波,所以在 7.13 节的最后部分,我们讲了一点第三卷的内容.

任选部分: 7.7, 7.13 的最后部分.

第八章——交流电路 本章只包括交流理论的粗浅原理.我们希望,这种适当的初步介绍能对学生在实验室中所获

得的实践经验有所补充。复数表示法的练习将为学生学习第三卷作进一步准备。如果时间允许，教师可能需要扩充这些内容，这可以很容易地按通常办法作到。或者，如果学生将要在工程课中更全面地学习交流电路，教师也可以略去整个一章。如果这样做，8.1节应当保留，并作为第七章的一部分来学习，把它放在7.10节之后是合乎逻辑的。

任选部分：无（或除8.1节外，全章都可以作任选部分）

第九章——物质中的电场 如果没有周密的计划，很可能学到第九章和第十章时已没有时间了。在时间安排上，这两章所占的时间应多于全部时间的五分之一——对一学期14周来说，应该占用三周或最好四周。本章的主要目的是使学生熟习物质的电结构；宏观电场的形式理论是第二位的。例如，如果时间较紧，可以放弃讲解电介质球的经典例题，以便多介绍感生的及永久的分子偶极子。（但是9.13这一长节，在第一次读时总是应该略去的，除非学生有很好的预备知识和很大兴趣。）无论如何，应该抓住每一个机会利用学生的化学基础。这个课题是物理工作者和化学工作者应该共同具备的，并且这些概念对未来的分子生物工作者和分子生理工作者几乎具有同等的重要意义。

任选部分：9.6, 9.10, 9.11, 9.13, 9.17

第十章——物质中的磁场 这一章需要的时间比第九章少，虽然它象第九章一样，可以为教师打开了许多门道，来引导学生进入动人的课题。如果时间很紧，或是想给另一些课题让出时间，可以放弃10.5节中方程(2.3)以后关于抗磁性的详细经典分析，并且在学习10.3节及10.4节时把重点放在结果上而不要放在推导上。也可以在物质中的宏观磁场问题上少用些时间，当学生以后需要搞懂它时，他可以再回到这个问题。我们把对宏观磁场的论述安排得和第九章中电场的

论述类似。二者都避免了用假想的“空腔”。这种做法的要点列在图 10.19 上，能够帮助教师安排自己的讨论。

## 单 位

本书大部分采用高斯 CGS 制，并在适当地方采用了实用单位：伏特、安培、库仑和欧姆。我们避免引入绝对安培；在我们的基本单位中，电流以静电单位/秒为单位。基本磁场是  $\mathbf{B}$ ，以高斯为单位。我们不称它为磁感应强度。单位及其换算表列于书末。另一附录表明 MKS 电学单位与我们所用的单位之间的关系。

一些常用量的单位也列表给出。

# 目 录

中译本前言 .....	vii
第二卷序言 .....	ix
教学说明 .....	xi
单位 .....	xvii
<b>第一章 静电学：电荷与场 .....</b>	<b>1</b>
1.1 电荷 .....	1
1.2 电荷守恒 .....	3
1.3 电荷的量子化 .....	5
1.4 库仑定律 .....	7
1.5 电荷系的能量 .....	12
1.6 晶格的电势能 .....	17
1.7 电场 .....	20
1.8 电荷分布 .....	25
1.9 通量 .....	26
1.10 高斯定律 .....	29
1.11 球对称电荷分布的场 .....	33
1.12 线电荷分布的场 .....	35
1.13 无限大带电平板的场 .....	37
习题 .....	38
<b>第二章 电势 .....</b>	<b>45</b>
2.1 电场的线积分 .....	45
2.2 势差与势函数 .....	47
2.3 标量函数的梯度 .....	49
2.4 由势引出场 .....	52

2.5	分布电荷的势	52
2.6	均匀带电圆盘	55
2.7	作用于面电荷上的力	62
2.8	与电场相关的能量	66
2.9	矢函数的散度	68
2.10	高斯定理及高斯定律的微分形式	71
2.11	笛卡儿坐标系中的散度	72
2.12	拉普拉斯算符	77
2.13	拉普拉斯方程	79
2.14	区分物理学和数学	81
2.15	矢函数的旋度	82
2.16	斯托克斯定理	86
2.17	笛卡儿坐标系中的旋度	86
2.18	旋度的物理意义	90
	习题	96
<b>第三章 导体周围的电场</b>		<b>103</b>
3.1	导体和绝缘体	103
3.2	静电场中的导体	105
3.3	一般的静电问题;唯一性定理	112
3.4	几个简单的导体系统	115
3.5	电容器和电容	121
3.6	一组导体上的电荷和导体的电位	125
3.7	贮存在电容器中的能量	129
3.8	处理边界值问题的其它意见	129
	习题	133
<b>第四章 电流</b>		<b>138</b>
4.1	电荷输运和电流密度	138
4.2	稳定电流	140
4.3	电导率和欧姆定律	143
4.4	电传导的一个模型	146
4.5	欧姆定律失效之处	154



4.6	金属的电导率 .....	155
4.7	导体的电阻 .....	159
4.8	电路和电路元件 .....	160
4.9	电流的能量耗散 .....	166
4.10	电动势和伏打电池 .....	167
4.11	电容器及电阻器中的可变电流 .....	173
	习题 .....	176
第五章 运动电荷的场 .....		183
5.1	从奥斯忒到爱因斯坦 .....	183
5.2	磁力 .....	184
5.3	运动电荷的测量 .....	188
5.4	电荷的不变性 .....	191
5.5	在不同参考系中测量的电场 .....	194
5.6	以恒速运动的点电荷的场 .....	199
5.7	电荷在开始运动时或停止时的场 .....	204
5.8	作用在运动电荷上的力 .....	208
5.9	运动电荷和其它运动电荷之间的相互作用 .....	214
	习题 .....	223
第六章 磁场 .....		227
6.1	磁场的定义 .....	227
6.2	磁场的一些特性 .....	235
6.3	矢势 .....	243
6.4	任一载流导线的场 .....	247
6.5	环和线圈的场 .....	250
6.6	在电流层处 $\mathbf{B}$ 的改变 .....	255
6.7	电磁场怎样变换 .....	259
6.8	罗兰实验 .....	266
6.9	磁场中的电传导: 霍尔效应 .....	268
	习题 .....	271
第七章 电磁感应与麦克斯韦方程 .....		276