

物 理 学

第二卷 第一册

D. 哈里德 R. 瑞斯尼克 合著
李 仲 卿 等 译

高 等 教 育 出 版 社

13.3
26.5

物 理 学

第二卷 第一册

D. 哈里德 R. 瑞斯尼克合著
李 仲 卿 等译

高 等 教 育 出 版 社

本书系根据美国 John Wiley & Sons, Inc. 出版的哈里德 (D. Halliday) 与瑞斯尼克 (R. Resnick) 合著“高等学校理工科学生适用物理学” (Physics for Students of Science and Engineering) 第二卷 1962 年第二版译出的。

第二卷的译本分为两册出版。第一册内容为电学。第二册内容为光学与量子物理学引论。

本册第三十七章由张翔九译, 其余各章均由李仲卿译。译稿曾经余守宪校订。

本书可作为综合大学和高等工业学校普通物理学课程的教学参考书。

物 理 学

第二卷 第一册

D. 哈里德 R. 瑞斯尼克合著

李 仲 卿 等 译

北京市书刊出版业营业许可出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

商务印书馆印刷厂印装

新华书店上海发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K13010 · 1156 开本 850×1168 $1/32$ 印张 13 $1/16$
字数 329,000 印数 0,001—4,500 定价 (5) 元 1.20
1965 年 1 月第 1 版 1965 年 1 月上海第 1 次印刷

第一版序言

在过去几十年中，基础科学的发展与其在工程实践上的应用之間的时间差距已經大为縮短。工程技术的基础，以前主要依靠經驗，而現在則以科学为主。今天需要的是強調原理而不是強調特殊的技术程序；是选择当代感兴趣的知識領域，而不是过去感兴趣的知識領域；是使学生得到鍛炼，以便适应他一生事业中将会遇到的多变的情况。这些情况的发展，要求对为培养工程师和科学工作者開設的普通物理这门傳統課程进行一次革新。

对于为这一課程所写的各种教科书，最常見的、程度不同的批評意見是：第一，內容是百科全书式的，論題处理得不够深入，討論大多是叙述性的而不是解釋性的和分析性的，并且論題太多；第二，內容不够“現代化”，而且各种应用大多取自过时的工程实践，而并不取自現代物理学的成就；第三，材料的組織过于着重区划范围，以致显示不出物理学和它的原理的本质上的統一性；第四，問題的处理帶有高度演繹性，并且对理論与实践之間的联系不够重視。当然，大概决不会有一本教科书，写出来以后不受到这样或那样的批評。

在写这本教科书时，我們是認識到这些批評意見的，而且我們曾为处理这些意見費过很多思考。我們曾經考虑过重新組織題材的可能性；曾經想到，是不是一开始就用原子观点来闡明問題，或者采用一个以不同形式的能量为基础的結構。我們最后认为，按傳統的方式进行安排，改进論題的选择及其內容的处理，才能最好地达到我們的目标。如果随意打乱題材的順序，或者完全放弃物理思想发展的程序，則将无法体会牛頓与麦克斯韦对于古典物理学的綜合貢獻，而对于近代物理学也只能有肤淺的認識。按照我們的意見，現代物理学上层建筑必須

奠立在古典物理学的牢固基础上。

为了說明我們希望如何在这个計劃中达到我們的目标，在这里提出本书的主要特点：

1. 許多問題处理得比以往的習慣深度更为深入，并且在这本书中穿插了很多現代材料。例如，引力理論，分子运动論，电磁波和物理光学等等处理得比較深入；而現代論題如原子标准，碰撞截面，分子間作用力，质量能量轉換，同位素分离，霍尔效应，导电的自由电子模型，核稳定性，核共振以及中子衍射等都在适当的地方加以討論。

为了既要容許这种較大的深度又要包括現代材料，我們完全略去或者只是間接地論述許多傳統材料，如簡單机械、表面張力、粘滯性、量热学、物态变化、湿度、抽气机、实用发动机、音阶、建筑声学、电化学、温差电学、电动机、交流电路、电子学、透鏡像差、顏色、光度学等等。

2. 我們嘗試以多种方式揭示物理学的統一性。在全书中，我們強調了物理学的各个領域所共有的關鍵性概念的普遍性。例如，反复应用能量守恒、动量守恒、角动量守恒和电荷守恒等守恒定律。波动的概念和振动系統的一些特性，如共振，在力学、声学、电磁学、光学、原子物理和核物理中都用到。而場的概念則应用于引力理論、流体运动、电磁学以及核物理。

我們利用物理学类比和数学类比并利用方法上的相似性，来強調指出物理学各种規律性之間的相互关系。例如，我們着重指出质点和彈簧这一系統与 LC 电路之間的对应，以及声(共振)管与电磁空腔之間的对应，并在热現象以及电磁現象中，注意了微观和宏观的研究方法的交替使用。我們試圖从质点力学平稳地过渡到分子运动論，以便強調指出，就它們的古典形式而言，两者都应归入牛頓的綜合性理論范围以內。我們也試圖从电磁学平稳地过渡到光学，經常指出麦克斯韦的綜合性理論。

我們討論了古典概念的局限性和它們的适用范围，并強調了在較

大範圍內適用的現代概念的普通性。我們的目标，始終在於表明理論和實驗之間的关系，並且揭示理論的本質和它的用处。

3. 我們對量子物理學的討論並不像傳統那樣是描述式的，而是力图在對這一門引論性課程所適宜的廣度和深度以內，相當嚴格地引出這些現代概念。為引出這些概念輔平道路，我們在前几章中指出了古典理論的局限性，強調了古典物理與現代物理有關的各方面，並且挑選了具有近代氣味的問題作為例子。因此我們寧可注重場而不注重電路，寧可注重質點而不注重有廣延的物體，寧可注重波動光學而不注重幾何光學。所舉的例子包括分子位能曲線、氘核的結合能、核碰撞、原子的核模型、湯姆遜原子模型、分子偶極子、電子的漂移速率、電子加速器軌道的穩定性、核磁共振、紅向移動以及其他等等，不勝枚舉。

我們的觀點是要闡述量子物理學的基本概念，因此，我們沒有列出通常是描述性的核物理一章，與此相反，卻對波粒二象性，測不准原理以及對應原理敘述較詳。

4. 本書的數學水平是假定學生同時在學微積分。在第三章中才開始用到導數，第七章才用到積分。與曲線斜度和曲線下的面積有關的物理概念是逐漸引出的。在本書的後半部中，微積分已經可以隨意應用。我們並不避免用簡單的微分方程，雖然並不必要給出也沒有給出求解方程的正式步驟。在全書中各處都用到矢量符號和矢量代數，包括標積與矢積在內。我們把位移看作矢量的典型，而且闡述了矢量关系不變性這個概念。

5. 習題數目非常多，但只有少數幾個是“代公式”的題目。許多習題涉及書中材料的擴充，現代物理學的应用，或者是推导。各章末附有用以激發學生思考的問題；它們可以作為課堂討論，論文寫作或者自修的材料。只有少數一些問題能夠直接抄襲書中文字回答出。

6. 本書備有非常多的例題，其中“代公式”的一些，目的只在於着重指出數量級的大小。我們偏重於代數解法而不偏重於數字解法。所引

例題有时用以补充书中的內容，有时用以討論某些細節，但通常是原理的应用，而且往往是現代物理学的应用。

7. 本书可适应不同程度的物理課程，有很多較深的、历史性的或者哲学性的补充材料系用小号字排印，对于这些材料可按兴趣或者教学時間的长短而作不同程度的取舍。此外，有許多章，可以作为選擇性材料，每个教师可以自由挑选。在我們学校中，曾略去第十四章(剛体靜力学)和第四十一及四十二章(几何光学)。視所要求的重点或深度或后續課程的性质不同，其他可以考虑删略的各章是：第十二章(轉动力学)、第十七及十八章(流体)、第二十四章(分子运动論 II)、第三十二章(电动势与电路)、第四十六章(光的偏振)和第四十七及四十八章(量子物理)。

8. 在全书中，我們采用了米公斤秒单位制，虽然英国工程制也在力学中用到。鉴于厘米克秒制一年一年地被逐漸排斥于高等教科书之外，我們认为，只限于对某一些物理量提一下它們在厘米克秒制中的定义是恰当的。在附录 II 中，我們列出各种有关換算因子的表。

我們感謝瑞塞拉尔多科性工业学院和匹茲堡大学两校的工科和理科学生，他們在先后两次的試用版中，都曾贊助我們。我們两校的同事和大約八位評閱者的建設性的意見，使我們对本书作了許多改进。瑞塞拉尔多科性工学院的 B. 齐在准备原稿时，在各方面做了大部分的工作。最后，我們对我們两人的妻子表示深深的謝意，她們不仅帮助打字和校对，而且給我們以耐心和鼓舞，不然，本书可能永远写不出来。

D. 哈 里 德

R. 瑞斯尼克

一九六〇年一月序于

本雪凡尼亚 匹茲堡

紐約 特罗

第三版序

本书是根据著者在莫斯科鮑曼高等工业学校授課的讲义写成的。书中直接反映了莫斯科鮑曼高等工业学校材料力学教研室的教学經驗。

在本书內容的叙述方面，著者曾注意力求不超越机械制造院校三学期用的审定大綱的范围，但同时也加入了对于培养学生具有广泛的工程思想是很重要的少量补充問題。

在本书中，照例地沒有引进补充参考文献。这是由于考虑到，材料力学教材中所讲到的一切問題的詳細叙述，在現在已經出版的С. Д. 波諾馬列夫 (Пономарев) 等編著的三卷集“机械制造中的强度計算”(1956—1959年，国立机械制造科技书籍出版社)中都可以查到。因此，希望加深与本教材中的某些章节有关知識的讀者，应当首先去參閱上述指导书，該书对所有这方面的問題都有廣泛的討論，并且詳細指出了現有的参考文献。

虽然在本书內已有了不少的例題，但学习本課程时仍要求采用习题集。在这方面可以推荐Н. М. 別辽耶夫 (Беляев) 的习题集^① (1962年，国立物理数学书籍出版社)和А. А. 烏曼斯基 (Уманский) 的习题集^① (1954年，国立技术理論书籍出版社)等。至于較复杂的习题則可以參看В. И. 費奧多謝夫的“材料力学习題选集”^① (1953年，国立技术理論书籍出版社)。

在編写本书时，著者得到了同志們的有力支持和协助。特別是К. К. 李哈列夫 (Лихарев) 和И. К. 司尼特可 (Снитко)，他們花了很多

① 这些习题集都已有中譯本，由高等教育出版社出版——譯注。

的精力細心審閱原稿，給著者的幫助更大。

在準備第三版時，著者考慮了增加例題數量的要求；對課文作了某些變動，主要是為了教學上的目的；此外，還消除了前兩版中已發現的缺點。

目 录

第一版序言	iii
再版序言	vii
第二十六章 电荷和物质	1
26-1. 电磁学——前言	1
26-2. 电荷	2
26-3. 导体和絕緣体	3
26-4. 庫侖定律	4
26-5. 电荷是量子化的	9
26-6. 电荷与物质	10
26-7. 电荷守恒	14
第二十七章 电場	19
27-1. 电場	19
27-2. 电場强度 $\mathbf{E}$	21
27-3. 力綫	22
27-4. $\mathbf{E}$ 的計算	27
27-5. 电場中的点电荷	33
27-6. 电場中的偶极子	35
第二十八章 高斯定律	44
28-1. 电場通量	44
28-2. 高斯定律	48
28-3. 高斯定律与庫侖定律	49
28-4. 絕緣导体	50
28-5. 高斯定律和庫侖定律的实驗证明	52
28-6. 高斯定律的某些应用	55
28-7. 原子的核模型	60
第二十九章 电位	69
29-1. 电位	69
29-2. 电位与場强	73
29-3. 点电荷的电位	76
29-4. 点电荷組	78
29-5. 电偶极子的电位	80

29-6. 电位能·····	84
29-7. 由 V 計算 E ·····	87
29-8. 絕緣导体·····	92
29-9. 静电起电机·····	95
第三十章 电容器与电介质 ·····	105
30-1. 电容·····	105
30-2. 电容的計算·····	109
30-3. 有电介质的平行板电容器·····	114
30-4. 从原子观点看电介质·····	116
30-5. 电介质和高斯定律·····	119
30-6. 三个电矢量·····	123
30-7. 电场中的能量儲藏·····	127
第三十一章 电流与电阻 ·····	139
31-1. 电流与电流密度·····	139
31-2. 电阻, 电阻率和电导率·····	143
31-3. 欧姆定律·····	148
31-4. 从原子观点看电阻率·····	151
31-5. 电路中的能量轉換·····	155
第三十二章 电动势与电路 ·····	161
32-1. 电动势·····	161
32-2. 电流的計算·····	164
32-3. 其他的单迴路电路·····	166
32-4. 电位差·····	168
32-5. 多迴路电路·····	171
32-6. 电流与电位差的測量·····	174
32-7. 电位計·····	175
32-8. RC 电路·····	176
第三十三章 磁场 ·····	190
33-1. 磁场·····	190
33-2. B 的定义·····	191
33-3. 磁场对电流的作用·····	195
33-4. 磁场对电流迴路作用的轉矩·····	200
33-5. 霍耳效应·····	205
33-6. 电荷的圓周运动·····	207
33-7. 迴旋加速器·····	210
33-8. 湯姆孙实验·····	215

第三十四章 安培定律	226
34-1. 安培定律	226
34-2. 载流长直导线附近的磁感应强度 B	230
34-3. 磁感应线	233
34-4. 两平行载流导体间的相互作用力	234
34-5. 螺线管内的磁感应强度 B	238
34-6. 毕奥-萨伐尔定律	242
第三十五章 法拉第定律	255
35-1. 法拉第实验	255
35-2. 法拉第电磁感应定律	257
35-3. 楞次定律	258
35-4. 电磁感应的定量研究	261
35-5. 随时间变化的磁场	267
35-6. 电子感应加速器	271
35-7. 电磁感应与相对运动	276
第三十六章 电感	289
36-1. 电感	289
36-2. 电感的计算	291
36-3. LR 电路	293
36-4. 能量和磁场	299
36-5. 能量密度与磁场	302
第三十七章 物质的磁性	309
37-1. 磁极与磁偶极子	309
37-2. 磁学中的高斯定律	313
37-3. 顺磁性	315
37-4. 抗磁性	319
37-5. 铁磁性	322
37-6. 原子核的磁性	328
37-7. 三个磁矢量	331
第三十八章 电磁振荡	342
38-1. LC 振荡	342
38-2. 简谐运动的类比	346
38-3. 电磁振荡的定量研究	347
38-4. 受迫振荡与共振	353
38-5. 集中元件与分布元件	355
38-6. 电磁空腔共振器	357

38-7. 感生磁場.....	361
38-8. 位移电流.....	365
38-9. 麦克斯韦方程.....	366
38-10. 麦克斯韦方程与空腔振荡.....	367
第三十九章 电磁波	376
39-1. 傳輸綫.....	376
39-2. 同軸電纜中的場与电流.....	379
39-3. 波导.....	382
39-4. 电磁辐射.....	385
39-5. 电磁行波与麦克斯韦方程.....	387
39-6. 坡印廷矢量.....	393
习题答案	1

第二十六章 电荷和物质

26-1. 电磁学——前言

电学起源于古希腊哲学家塞利斯 (Thales 公元前 600 年) 所知道的一种现象：一块琥珀经过摩擦之后即会吸引草屑。磁学的研究要追溯到对天然出产的“磁石”(即磁铁矿)会吸引铁块的观察。这两门科学,直到 1820 年以前,还是彼此完全独立地发展的。1820 年,奥斯忒 (H. C. Oersted 1777—1851) 观察到这两门科学之间的联系,即导线中的电流可以影响罗盘的磁针(33-1 节)。

电磁学这一门新科学是经过许多工作者的工作进一步发展起来的,法拉第 (M. Faraday 1791—1867) 是其中最主要的人物之一。到了麦克斯韦 (J. C. Maxwell 1831—1879) 才把电磁学定律归结成现今大家所熟悉的形式。这些定律就是通常所谓麦克斯韦方程,它们列在表 38-3 中,读者现在就可去查阅一下。麦克斯韦方程在电磁学中所处的地位,与牛顿运动定律及万有引力定律在力学中所处的地位一样重要。

尽管麦克斯韦对电磁学所作的总结主要是以他的前辈的工作为基础,但他本人的贡献却是很重大的。麦克斯韦由理论上导出,在本性方面光是电磁的,光的速度可以纯粹从电学实验和磁学实验的结果中计算出来。这样,光学这门科学就与电磁学密切联系起来了。麦克斯韦方程的应用范围是很惊人的,它包含了一切大型的电磁器件和光学器件的基本原理,这些器件有电动机、回旋加速器、电子计算机、无线电、电视机、微波雷达、显微镜和望远镜等。

经典电磁学的发展并不是到麦克斯韦就终止了。英国物理学家亥维赛 (O. Heaviside 1850—1925), 特别是荷兰物理学家洛伦兹 (H. A. Lorentz 1853—1928), 对麦克斯韦理论的阐明作出了重大的贡献。在

麦克斯韦理論建立之后二十多年，赫茲(H. Hertz 1857—1894)*又向前迈进了一大步。他在實驗室中获得一种电磁的“麦克斯韦波”，这就是我們現在称做短无綫电波的那一种。至于麦克斯韦和赫茲的电磁波的实际应用，則有待于馬可尼和其他人的工作。

在电磁学中，目前有两个重要方面。在工程应用方面，麦克斯韦方程經常而普遍地用来解决各式各样的实际問題。在理論基础方面，現在的努力方向是把电磁理論作为更一般的理論的一个特殊情况进行推广。这样的理論也包含着(比如說)引力理論和量子物理理論。这种巨大的綜合性工作，現在还没有完成。

26-2. 电荷

本章从現在起，討論电荷及其与物质的关系。我們可以证明电荷有两种。用絲絹摩擦玻璃棒，并用长絲綫把玻璃棒悬挂起来(如图 26-1 所示)。如果把絲絹摩擦过的第二根玻璃棒移近于第一根玻璃棒摩擦过的一端，則此二棒将相互排斥。反之，如果把毛皮摩擦过的硬橡皮棒与第一根玻璃棒靠近，硬橡皮棒将吸引玻璃棒。而毛皮摩擦过的两根硬橡皮棒則相互排斥。这些实验事实可以这样解釋：在摩擦棒过程中使棒带有电荷，两棒上的电荷相互以力作用着。显然，玻璃棒上

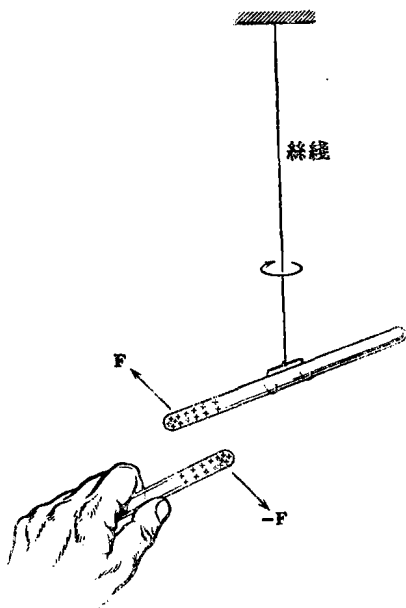


图 26-1. 两根带正电的玻璃棒彼此排斥。

* P. & E. Morrison: "Heinrich Hertz", *Scientific American*, December 1957.

的电荷与硬橡皮棒上的电荷在本性上必然是不同的。

夫兰克林(B. Franklin 1706—1790)是第一个提出正电和負电这两个名称的美国物理学家(他还有其他方面的貢獻)，他把呈现在玻璃棒上的电叫做正电，呈现在硬橡皮棒上的电叫做負电；这两个名称一直沿用到今天。上述实验可以归结为：同号电荷相互排斥，异号电荷相互吸引。

上述的电效应，并不限于用絲絹摩擦过的玻璃棒，或者用毛皮摩擦过的硬橡皮棒。在适当条件下，任何物质与任何其他物质摩擦之后，都将多少带电。用带正电的玻璃棒或者带負电的硬橡皮棒与未知电荷进行比较，就能判明这未知电荷不是正的就是負的。

近代观点认为，大块物质在正常状态或电性中和状态时，含有等量的正电和負电。如果把两个物体例如絲絹和玻璃棒放在一起摩擦，則有少量电荷从一物体迁移到另一物体上去，因而破坏了每个物体原来的电性中和状态。在本例中，玻璃棒变成带正电，絲絹变成带負电。

26-3. 导体和絕緣体

用手拿住一根金属棒，再用毛皮去摩擦它，这金属棒好像是不会带电似的。但是如果給这金属棒配上玻璃柄或硬橡皮柄，并且在摩擦时不让手与金属棒接触，就可能使金属棒带电。这说明金属、人体和地球都是电的导体，而玻璃、硬橡皮和塑料等都是絕緣体(又叫电介质)。

在导体中，电荷自由运动于物质内部，而在絕緣体中，电荷运动是不自由的。尽管沒有完全的絕緣体，但熔凝石英的絕緣能力却比銅的絕緣能力約大 10^{25} 倍，所以在許多实际效果上，某些物质的表現就好像是完全的絕緣体一样。

关于金属，有一相当精巧的实验，叫做霍尔效应(見 33-5 节)，它表明，只有負电荷才可以自由运动。正电荷在金属中，就好像在玻璃或其他任何电介质中一样，是不动的。金属中实在的电荷携带者是自由电

子。当孤立原子结合起来形成金属固体时，原子的外层电子就不再属于各别原子，而在固体的整个体积中自由运动。在某些导体中，例如电解质溶液，正负电荷两者都可以自由运动。

此外还有一种物质叫做半导体，它的导电能力介于导体和绝缘体之间。元素中的硅和锗是很著名的半导体。在半导体中，由于掺入微量的其他元素，常常可使电导率大为增加；对硅掺入微量的砷或硼就为了这个目的。半导体有很多实际应用，晶体管的制造就是半导体的应用之一。半导体的作用机构，不用现今所了解的量子物理的基本原理是无法作充分的描述的。

26-4. 库仑定律

1785 年，库仑(C. A. Coulomb 1736—1806)首先对电的引力和斥力进行了定量的测定，并导出这些力所遵守的定律。他的实验装置(如图 26-2 所示)类似于图 26-1 中的悬棒，所不同的是图 26-2 中的电荷被限制在 a 和 b 两小球之上。

如果 a 与 b 都带有电，则作用在 a 上的电力将使悬丝扭转。库仑为了使两电荷保持在实验时所需要的特定距离，他将悬头转过一角度 θ ，以抵消悬丝的扭转效应。这时，角度 θ 就是作用在电荷 a 上的力的相对量度。图 26-2 的仪器叫做库仑扭秤；后来卡文迪希用同样的装置测定过万有引力(见 16-3 节)。

库仑的第一个实验结果可以表示为

$$F \propto \frac{1}{r^2}.$$

F 是作用于 a 和 b 两电荷中任一电荷上之力的大小， r 是 a 和 b 之间的距离。如牛顿第三定律所要求的那样，这两力是作用在两电荷的连线上，而指向相反的方向。应该注意，即使这两个电荷的大小不同，作用在每个电荷上的力之大小还是相等的。

库仑还研究过，电力怎样随着扭秤球上电荷的相对大小而改变。举例来说，设有两个完全相同的导体球，一个带电，一个不带电。如果让