

物理学

(第二版)

第二卷 第一册

[美] D. 哈里德 R. 瑞斯尼克 著

科学出版社

物 理 学

(第 二 版)

第二卷 第一册

【美】 D. 哈 里 德 著
R. 瑞 斯 尼 克

郑永令等 译

吴剑华 校

科 学 出 版 社

1 9 8 2

内 容 简 介

本书为美国近年来较为流行的大学理工科物理学教科书。原书分为两卷, 1960年初版, 1966年第二版, 1978年第三版作了重大修订。中译本 1978年第一版是按原书第二版译出的, 现在出版的第三卷中译本第二版是按原书 1978年第三版译出的。

第二卷第一册为电磁学, 第二册为光学与量子物理学。第一册内容包括: 电荷与物质、电场、高斯定律、电势、电容器与电介质、电流与电阻、电动势与电路、磁场、安培定律、法拉第电磁感应定律、电感、物质的磁性、电磁振荡、交变电流、麦克斯韦方程、电磁波。

本书可供大专院校理工科作为普通物理学教材, 也可作为教学参考书。

D. Halliday, R. Resnick

PHYSICS

(Part II, 3rd. Ed.)

John Wiley, 1978

物 理 学

(第二版)

第二卷 第一册

D. 哈里德 著
〔美〕 R. 瑞斯尼克

郑永令等 译

吴剑华 校

责任编辑 陈咸亨

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1978年6月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1981年9月第 二 版 印张: 16 3/8

1982年9月第四次印刷 字数: 428,000

印数: 159,131—188,630

统一书号: 13031 · 1645

本社书号: 2261 · 13-3

定 价: 2.40 元

一些物理常数

(较为完全的常数表请看附录 B, 那里还列有最佳实验值)

光速	c	3.00×10^8 米/秒 1.86×10^5 英里/秒
质能关系	c^2	8.99×10^{16} 焦耳/千克 931 兆电子伏/原子质量单位
引力常数	G	6.67×10^{-11} 牛顿·米 ² /千克 ² 3.44×10^{-8} 磅·英尺 ² /斯勒格 ²
气体普适常数 ¹⁾	R	8.31 焦耳/摩尔·开 0.0823 升·大气压/摩尔·开
真空磁导率	μ_0	1.26×10^{-6} 亨利/米
真空电容率	ϵ_0	8.85×10^{-12} 法拉/米
阿伏伽德罗常数	N_0	6.02×10^{23} 个分子/摩尔
玻耳兹曼常数	k	1.38×10^{-23} 焦耳/分子·开 8.63×10^{-5} 电子伏/分子·开
普朗克常数	h	6.63×10^{-34} 焦耳·秒 4.14×10^{-15} 电子伏·秒
基本电荷	e	1.60×10^{-19} 库仑
电子静止质量	m_e	9.11×10^{-31} 千克
电子荷质比	e/m_e	1.76×10^{11} 库仑/千克
质子静止质量	m_p	1.67×10^{-27} 千克

一些物理性质

空气(干燥, 在 20°C 与 1 大气压下)

密度	1.29 千克/米 ³
定压比热	1.00×10^3 焦耳/千克·开 0.240 卡/克·开
比热比(γ)	1.40
声速	331 米/秒 1090 英尺/秒

水(在 20°C 与 1 大气压下)

密度	1.00×10^3 千克/米 ³ 1.00 克/厘米 ³
----	--

1) 这里和全书中, “1 摩尔” = “1 克分子量” (= 10^{-3} 千克分子量)。

声速	1460 米/秒 4790 英尺/秒
折射率($\lambda=5890$ 埃)	1.33
定压比热	4180 焦耳/千克·开 1.00 卡/克·开
熔解热(0°C)	3.33×10^5 焦耳/千克 79.7 卡/克
汽化热(100°C)	2.26×10^6 焦耳/千克 539 卡/克
地球	
质量	5.98×10^{24} 千克
平均半径	6.37×10^6 米 3960 英里
地球到太阳平均距离	1.49×10^8 千米 9.29×10^7 英里
地球到月球平均距离	3.80×10^5 千米 2.39×10^5 英里
标准重力加速度	9.81 米/秒 ² 32.2 英尺/秒 ²
标准大气压	1.01×10^5 帕 14.7 磅/英寸 ² 760 毫米汞高 29.9 英寸汞高

一些换算因子

(较为完全的换算因子请看附录 G, 这里只摘一部分)

质量

1 千克 = 2.21 磅(质量) = 6.02×10^{26} 原子质量单位

1 斯勒格 = 32.2 磅(质量) = 14.6 千克

1 原子质量单位 = 1.66×10^{-27} 千克

长度

1 米 = 39.4 英寸 = 3.28 英尺

1 英里 = 1.61 千米 = 5280 英尺

1 英寸 = 2.54 厘米

1 毫微米 = 10^{-9} 米 = 10 埃

时间

1 天 = 86400 秒

1 年 = 365 天 = 3.16×10^7 秒

角度

$$1 \text{ 弧度} = 57.3^\circ = 0.159 \text{ 转}$$

$$\pi \text{ 弧度} = 180^\circ = 1/2 \text{ 转}$$

速率

$$1 \text{ 英里/小时} = 1.47 \text{ 英尺/秒} = 0.447 \text{ 米/秒}$$

电磁单位

$$1 \text{ 库仑} = 3.00 \times 10^9 \text{ 静电库仑}$$

$$1 \text{ 安培} = 3.00 \times 10^9 \text{ 静电安培}$$

$$1 \text{ 韦伯/米}^2 = 1 \text{ 特斯拉} = 10^4 \text{ 高斯}$$

力与压强

$$1 \text{ 牛顿} = 10^5 \text{ 达因} = 0.225 \text{ 磅}$$

$$1 \text{ 磅} = 4.45 \text{ 牛顿}$$

$$1 \text{ 牛顿/米}^2 = 10 \text{ 达因/厘米}^2 = 1.45 \times 10^{-4} \text{ 磅/英寸}^2 = 9.87 \times 10^{-6} \text{ 大气压}$$
$$= 7.50 \times 10^{-4} \text{ 厘米汞高}$$

能量与功率

$$1 \text{ 卡} = 4.19 \text{ 焦耳}$$

$$1 \text{ 焦耳} = 10^7 \text{ 尔格} = 0.239 \text{ 卡} = 0.738 \text{ 英尺} \cdot \text{磅} = 2.78 \times 10^{-7} \text{ 千瓦小时}$$

$$1 \text{ 电子伏} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} = 1.60 \times 10^{-12} \text{ 尔格}$$

$$1 \text{ 马力} = 746 \text{ 瓦} = 550 \text{ 英尺} \cdot \text{磅/秒}$$

一些常用的数

$$\sqrt{2} = 1.414 \quad \sqrt{3} = 1.732 \quad \sqrt{10} = 3.162 \quad \pi = 3.142$$

$$\pi^2 = 9.870 \quad \sqrt{\pi} = 1.773 \quad \log \pi = 0.4971 \quad 4\pi = 12.57$$

$$e = 2.718 \quad 1/e = 0.3679 \quad \log e = 0.4343 \quad \ln 2 = 0.6932$$

$$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0.5000 \quad \cot 30^\circ = \tan 60^\circ = 1.7321$$

$$\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = 0.8660 \quad \sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0.7071$$

$$\tan 30^\circ = \cot 60^\circ = 0.5774 \quad \tan 45^\circ = \cot 45^\circ = 1.0000$$

对数换底

$$\log x = \ln x / \ln 10 = 0.4343 \ln x$$

$$\ln x = \log x / \log e = 2.303 \log x$$

中 译 本 前 言

本书是美国近年来较为普遍采用的高等院校理工科用物理学教材。原书初版于1960年,书名为《高等院校理工科用物理学》。此后曾经多次修订再版,1966年起,书名改为《物理学》。本书的特点是取材比较全面系统,内容比较近代化,对物理概念的阐述比较清楚,叙述简明扼要,深入浅出,并附有大量习题和思考题,以进一步加深读者对内容的理解。本书是一部普通物理学,适合我国高等院校理工科一、二年级师生作为教学用书和参考书,也可供广大科技人员参考。

这次中译本按原书1978年第三次修订版译出。作者在第三版中对内容作了较多修订,并增加了不少新的习题和思考题,以提高教学效果。原书共两卷,中译本分成四册出版。

本册由郑永令译前言、第二十六至二十九章,李洪芳译第三十至三十四章,范膺译第三十五至三十七章,林荣富译第三十八至四十一章。全书由吴剑华负责校订。

本书译文不当之处,欢迎读者批评指正。

第二卷第三版前言摘要

《物理学》两卷本，第一卷包括力学、声学 and 热学，第二卷包括电磁学、光学和量子物理学。第一版出版于 1960 年(书名为《理工科用物理学》)，第二版出版于 1966 年(书名为《物理学》)。

本教材是为那些同时学习微积分的学生编写的，例如理工科学生。着重点放在为学习经典物理学原理打好坚实基础以及提高解题能力方面。但全书也注意到实际应用，最新的理论以及历史的和哲学的问题诸方面。这是通过一些特殊的章节和思考题，以及通过整个内容的表述方式来实现的。在全书各处有大量例题，每章末附有大量习题。对于那些证明对学习行之有效的教学方法，则给予了充分注意。

自《物理学》第二版出版以来已有十一年了。在这段时间里，本书一直在全世界受到欢迎。这些年来我们与本书使用者保持着密切的通讯联系，从中得出结论：现在出一个新版是适合时宜的。

由于国际单位制 (SI) 在美国和全世界使用日益普遍，我们更加重视了国际单位制，全书使用国际单位制及其名称。考虑到目前在美国还处于两种单位制的过渡时期，在看来合适的地方，我们仍保留了英国工程制的某些内容。

为了提高教学效果，我们主要根据使用者(学生和教师)的经验和最新科学文献，对全书作了仔细审阅。审阅结果促使我们对某些部分的叙述作了重大改动，主要是改进表述方法，注意内容的正确性，并使物理含义更为明确。对有些论题和部分内容增加了必要的新例题。我们更新了所有的参考文献，增加了一些新的；改进了许多插图，使之更能说明问题。表和附录也扩充和更新了，以提供更新的数据和更多的资料。此外，还增加了狭义相对论方面的补充论题，在该补充论题中，把原来分散在整个第一、第二卷各

部分的狭义相对论的应用,集中起来作为一个紧密结合的整体。

一些在第二版中没有涉及的论题,在本版中有了相当的论述。其中有半导体、互感、地球的磁性、射电天文学、虚物和光学仪器等。第二版中关于电磁振荡较长的一章,在本版中为叙述更清楚起见,已加以扩充和改写而分为两章,还增加了完全新的一章论述交流电,这是许多人所要求的。

象第一卷一样,我们对思考题和习题作了重大改进。第一卷和第二卷合在一起,思考题数目增加了57%,从第二版的778题增加到本版的1219题。习题则增加了29%,从1441题增加到1864题。不论思考题或习题都经过仔细核对,大部分新增题目都经过了课堂使用。

为帮助教师和学生组织并演算这么多的习题,我们做了几件事。首先,将每章习题按节分组,就是说在每组习题前冠以解该组习题所要涉及的主要章节的编号。其次,将每一组习题,大致按照难度逐渐增加顺序加以排列。当然,无论是节号的规定还是难易程度,都不是绝对的,因为有些习题有不同的解法,各种方法有不同的教学效果,各人又有不同的教学体会。我们还在习题附图下面加上了该题编号,并将编号为奇数的习题答案直接附在题后,而不附在书末。最后,我们将第二版中排在第二卷末的补充习题分到了每章末的习题中。(下略)

D. 哈里德

R. 瑞斯尼克

1978年1月

目 录

中译本前言	iv
第二卷第三版前言摘要	v
第二十六章 电荷与物质	1
26-1 电磁学——前言	1
26-2 电荷	2
26-3 导体与绝缘体	4
26-4 库仑定律	5
26-5 电荷是量子化的	10
26-6 电荷与物质	11
26-7 电荷守恒	15
思考题	16
习 题	18
第二十七章 电场	22
27-1 电场	22
27-2 电场强度 $\mathbf{E}$	24
27-3 力线	25
27-4 $\mathbf{E}$ 的计算	29
27-5 电场中的点电荷	35
27-6 电场中的偶极子	38
思考题	40
习 题	42
第二十八章 高斯定律	50
28-1 引言	50
28-2 通量	50
28-3 电场的通量	52
28-4 高斯定律	56
28-5 高斯定律与库仑定律	57

28-6 绝缘导体	58
28-7 高斯定律与库仑定律的实验证明	60
28-8 高斯定律的一些应用	63
28-9 原子的核模型	69
思考题	71
习 题	73
第二十九章 电势	80
29-1 电势	80
29-2 电势与场强	84
29-3 点电荷的电势	87
29-4 点电荷组	89
29-5 电偶极子的电势	90
29-6 电势能	94
29-7 由 V 计算 $\mathbf{E}$	97
29-8 绝缘导体	102
29-9 静电起电机	106
思考题	109
习 题	111
第三十章 电容器与电介质	120
30-1 电容	120
30-2 电容的计算	122
30-3 电场中储藏的能量	127
30-4 有电介质的平行板电容器	130
30-5 从原子观点看电介质	134
30-6 电介质与高斯定律	137
30-7 三个电矢量	141
思考题	146
习 题	148
第三十一章 电流与电阻	157
31-1 电流与电流密度	157
31-2 电阻、电阻率与电导率	161
31-3 欧姆定律	167

31-4 从微观观点看欧姆定律	170
31-5 电路中的能量转换	173
思考题	176
习 题	178
第三十二章 电动势与电路	183
32-1 电动势	183
32-2 电流的计算	187
32-3 其它单回路电路	188
32-4 电势差	190
32-5 多回路电路	193
32-6 电流与电势差的测量	196
32-7 电位计	197
32-8 RC 电路	198
思考题	206
习 题	207
第三十三章 磁场	218
33-1 磁场	218
33-2 $\mathbf{B}$ 的定义	219
33-3 磁场作用于电流的力	224
33-4 磁场作用于电流回路的力矩	228
33-5 霍耳效应	233
33-6 电荷的圆周运动	236
33-7 回旋加速器与同步加速器	238
33-8 电子的发现	245
思考题	247
习 题	249
第三十四章 安培定律	260
34-1 安培定律	260
34-2 载流长直导线附近的磁感应强度 $\mathbf{B}$	265
34-3 磁感应线	268
34-4 两平行载导体间的相互作用力	270
34-5 载流螺线管内的磁感应强度 $\mathbf{B}$	273
34-6 毕奥-萨伐尔定律	278

思考题	283
习 题	285
第三十五章 法拉第电磁感应定律	295
35-1 法拉第实验	295
35-2 法拉第电磁感应定律	297
35-3 楞次定律	299
35-4 电磁感应的定量研究	301
35-5 随时间变化的磁场	307
35-6 电子感应加速器	311
35-7 电磁感应与相对运动	315
思考题	321
习 题	325
第三十六章 电感	335
36-1 电感	335
36-2 电感的计算	337
36-3 LR 电路	339
36-4 能量与磁场	344
36-5 能量密度与磁场	347
36-6 互感	350
思考题	352
习 题	354
第三十七章 物质的磁性	360
37-1 磁极与磁偶极子	360
37-2 磁学中的高斯定律	366
37-3 地磁学	367
37-4 顺磁性	370
37-5 抗磁性	373
37-6 铁磁性	377
37-7 原子核的磁性	383
37-8 三个磁矢量	386
思考题	394
习 题	396

第三十八章 电磁振荡	400
38-1 LC 振荡	400
38-2 简谐运动的类比	404
38-3 电磁振荡的定量研究	405
38-4 集中元件与分布元件	410
38-5 电磁共振腔	412
思考题	416
习 题	418
第三十九章 交变电流	422
39-1 引言	422
39-2 分别讨论 R 、 C 、 L 元件	423
39-3 单回路 RCL 电路	429
39-4 交流电路中的功率	433
39-5 交流电路中的共振	436
39-6 交流整流器与滤波器	439
39-7 变压器	444
思考题	448
习 题	450
第四十章 麦克斯韦方程	456
40-1 电磁学的基本方程	456
40-2 感生磁场	458
40-3 位移电流	461
40-4 麦克斯韦方程	463
40-5 麦克斯韦方程与空腔振荡	464
思考题	468
习 题	469
第四十一章 电磁波	475
41-1 引言	475
41-2 电磁波谱	475
41-3 来自宇宙空间的电磁波	479
41-4 传输线	482
41-5 同轴电缆中的场与电流	485

41-6 波导	488
41-7 电磁辐射	491
41-8 电磁行波与麦克斯韦方程	493
41-9 坡印廷矢量	499
思考题	503
习 题	505

第二十六章 电荷与物质

26-1 电磁学——前言

电学起源于古希腊米利都斯的哲学家泰利斯(Thales of Miletus, 公元前 600 年)所知道的一种现象:一块琥珀经过摩擦之后会吸引草屑。磁学研究起源于人们观察到天然出产的“磁石”(即磁铁矿石)会吸引铁块的现象。电学和磁学这两门学科,直到 1820 年以前,还是彼此完全独立地发展的。1820 年,奥斯特(H. C. Oersted, 1777—1851)注意到这两门学科之间的联系,即导线中的电流可以影响罗盘的磁针(第 33-1 节)。

电磁学这门新学科是由许多工作者进一步发展起来的,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说的麦克斯韦方程,它们列在表 40-2 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工作为基础,但他本人的贡献也是很重大的。麦克斯韦从理论上推断,光在本性上是电磁的,光的速度可以纯粹从电学测量和磁学测量中求得。这样,光学这门学科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、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

重大贡献。在麦克斯韦理论建立之后二十多年,赫兹(H. Hertz, 1857—1894)¹⁾又向前迈进了一大步。他在实验室中获得一种电磁的“麦克斯韦波”,这就是我们现在叫做短无线电波的那一种。至于麦克斯韦和赫兹的电磁波的实际应用,则是后来马可尼(Marconi)和其他人探索研究的结果。

在电磁学中,目前有两个重要方面。在工程应用方面,麦克斯韦方程经常而普遍地用来解决各式各样的实际问题。在理论基础方面,现正在不断努力推广电磁理论,使它成为更一般理论的一个特殊情况。这更一般理论也包含(比如说)引力理论和量子物理理论。这种巨大的综合性工作,现在还没有完成。

26-2 电 荷²⁾

从现在起,本章讨论电荷及其与物质的关系。我们可以证明电荷有两种。用丝绸摩擦玻璃棒,并用长丝线把玻璃棒悬挂起来,如图 26-1 所示。如果把丝绸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,则此两棒将相互排斥。反之,一根毛皮摩擦过的塑料(比如有机玻璃)棒将吸引玻璃棒,而毛皮摩擦过的两根塑料棒则相互排斥。这些实验事实可以这样解释:在摩擦棒的过程中使棒带有电荷,两棒上的电荷相互以力作用着。显然,玻璃棒上的电荷与塑料棒上的电荷在性质上必定有所不同。

首先提出正电和负电这两个名称的是美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)³⁾(他还有其他方面的贡献),他把出现在玻璃棒上的电叫做正电,出现在塑料(在富兰克林时代为封蜡或虫胶)棒上的电叫做负电;这两个名称一直沿用到今天。上述实验

1) 参看“*Heinrich Hertz*” by P. and F. Morrison *Scientific American*, December 1957.

2) 要了解静电荷在诸如除尘器、喷漆器、静电复印机等方面的实际应用,请参看“*Modern Electrostatics*” by A. W. Bright, *Physics Education*, 9, 381 [1974] 和“*Electrostatics*” by A. D. Moore, *Scientific American*, March 1972.

3) 哈佛大学的科学史家柯亨(I. Bernard Cohen)在其《富兰克林和牛顿》一书中