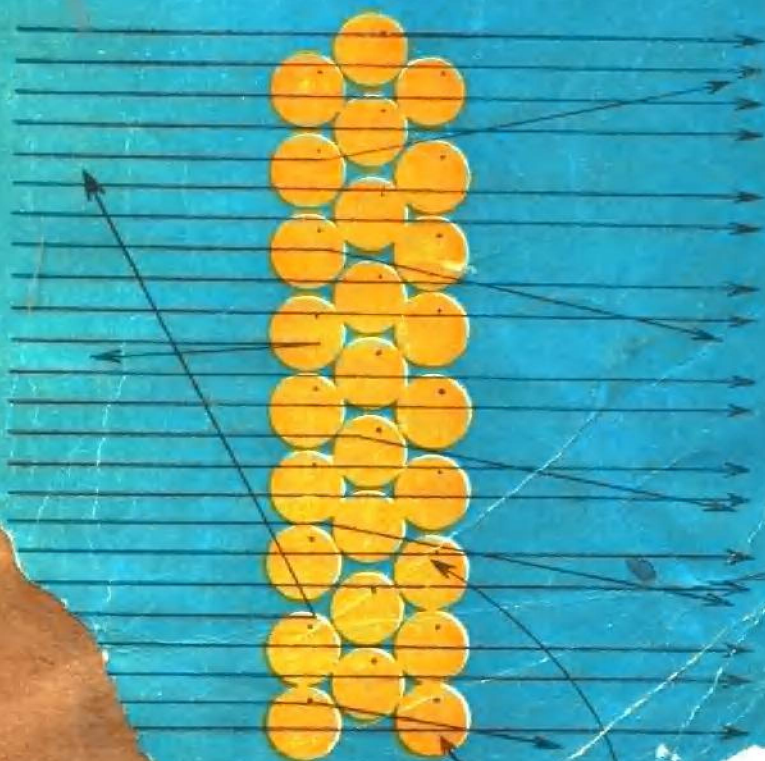


[美]D.哈里德 R.瑞斯尼克著

物理学基础

中 册

李仲卿 等译 袁榘 校



物理学基础

中 册

[美] D. 哈里德 R. 瑞斯尼克 著
李仲卿 等译 袁 槩 校

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 Fundamentals of Physics 1981年第二版译出。

本书中译本原订分两册出版。上册内容为力学和热学。后因原著第二版内容略有变更,本书中译本现改分三册出版。上册内容不变。中册内容为电磁学和光学,其中包括: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、电动势和电路、磁场、安培定律、法拉第定律、电感、物质的磁性、电磁振荡、交变电流、麦克斯韦方程组、电磁波、几何光学、光的干涉、光的衍射等。下册内容为近代物理学导引。本书中译本的中册、下册与1979年出版的上册仍可以配套使用。

本书可作为高等学校理工科大学、电视大学有关物理学课程的参考用书,也可供有关的教师、学生参考。

物 理 学 基 础

中 册

【美】D. 哈里德 R. 瑞斯尼克 著

李仲卿 等译 袁 桀 校

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

顺义县印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 19.375 字数 466,000

1985年6月第1版 1985年10月第1次印刷

印数 00,001—4,220

书号 13010·0849 定价 4.40 元

中译本前言

本书原系根据 D. Halliday 与 R. Resnick 著“Fundamentals of Physics” 1974 年修订版译出。上册已于 1979 年出版。在中、下册的译、校稿完成后，我们又收到了原书 1981 年的新版本。新版较 1974 年的修订版又作了一些修改，作者根据多年物理教学的经验，对某些内容的阐述作了新的处理，增、删了某些章节的内容，新增了“单电子原子”一章，全书各章增加了“复习指导与小结”，对习题也作了一些调整和充实。为了及早把它介绍给读者，我们在原译稿的基础上，又根据 1981 年的新版本重新作了修订。至于原书的力学、热学和声学部分的内容，则与 1974 年的版本差别较小，因此 1979 年出版的中译本上册仍可与本书中、下册配套使用。

本书第一稿由李仲卿、李洪芳、华宏鸣译，袁槩校。根据 1981 年新版本进行修订的工作由袁槩、李洪芳、华宏鸣完成。全书由袁槩负责总校。本书译文不当之处，欢迎读者批评指正。

目 录

第二十三章 电荷与物质	1
23-1 电磁学	1
23-2 电荷	2
23-3 导体和绝缘体	4
23-4 库仑定律	5
23-5 电荷是量子化的	10
23-6 电荷与物质	11
23-7 电荷守恒	13
复习指导与小结	14
第二十四章 电场	22
24-1 电场	22
24-2 电场强度 E	24
24-3 力线	25
24-4 E 的计算	28
24-5 电场中的点电荷	33
24-6 电场中的偶极子	36
复习指导与小结	38
第二十五章 高斯定律	49
25-1 引言	49
25-2 通量	49
25-3 电场通量	51
25-4 高斯定律	55
25-5 高斯定律与库仑定律	56
25-6 绝缘的导体	58
25-7 高斯定律与库仑定律的实验证明	59
25-8 高斯定律的一些应用	62

复习指导与小结	68
第二十六章 电势	79
26-1 电势	79
26-2 电势与场强	83
26-3 点电荷的电势	86
26-4 点电荷组	88
26-5 电偶极子的电势	90
26-6 电势能	93
26-7 由 V 计算 E	96
26-8 绝缘导体	99
26-9 静电起电机	102
复习指导与小结	104
第二十七章 电容器与电介质	118
27-1 电容	118
27-2 电容的计算	120
27-3 电场中的储能	125
27-4 有电介质的平行板电容器	128
27-5 从原子观点看电介质	131
27-6 电介质和高斯定律	134
复习指导与小结	138
第二十八章 电流与电阻	152
28-1 电流与电流密度	152
28-2 电阻与电阻率	157
28-3 欧姆定律	161
28-4 从微观观点看欧姆定律	162
28-5 电路中的能量转换	165
复习指导与小结	168
第二十九章 电动势和电路	178
29-1 电动势	178
29-2 电流的计算	181
29-3 其他的单回路电路	183

29-4	电势差	185
29-5	多回路电路	188
29-6	电学测量仪器	192
29-7	RC 电路	195
	复习指导与小结	200
第三十章 磁场		214
30-1	磁场	214
30-2	B 的定义	215
• 30-3	磁场对电流的作用力	218
30-4	磁场作用于电流回路的力矩	221
30-5	霍耳效应	226
30-6	电荷的圆周运动	227
30-7	回旋加速器与同步加速器	229
30-8	测量电子的 e/m	234
	复习指导与小结	236
第三十一章 安培定律		249
• 31-1	磁场和电流	249
31-2	B 的计算和毕奥-沙伐尔定律	250
31-3	作用在电流上的磁力	254
31-4	两个平行导体	255
31-5	安培定律	257
31-6	螺线管和螺绕环	261
31-7	作为磁偶极子的电流回路	265
	复习指导与小结	268
第三十二章 法拉第定律		283
32-1	两个实验	283
• 32-2	法拉第电磁感应定律	285
32-3	楞次定律	287
32-4	电磁感应的定量研究	290
32-5	感生电场	294
32-6	电子感应加速器	299

复习指导与小结	301
第三十三章 电感	318
33-1 自感	318
33-2 电感的计算	320
33-3 LR 电路	322
33-4 能量与磁场	326
33-5 能量密度与磁场	329
33-6 互感	332
复习指导与小结	336
第三十四章 物质的磁性	346
34-1 磁极与磁偶极子	346
34-2 磁学中的高斯定律	351
34-3 地磁学	353
34-4 顺磁性	355
34-5 抗磁性	358
34-6 铁磁性	360
复习指导与小结	365
第三十五章 电磁振荡	372
35-1 LC 振荡的定性研究	372
35-2 LC 振荡与机械振荡的类比	376
35-3 LC 振荡的定量研究	377
35-4 阻尼 LC 振荡	381
35-5 受迫振荡与谐振	383
复习指导与小结	386
第三十六章 交变电流	392
36-1 引言	392
36-2 分别讨论 R, C, L 元件	392
36-3 RCL 电路	397
36-4 交流电路中的功率	401
36-5 变压器	404
复习指导与小结	407

第三十七章 麦克斯韦方程组	416
37-1 电磁学的基本方程.....	416
37-2 感生磁场.....	418
37-3 位移电流.....	422
37-4 麦克斯韦方程组.....	423
复习指导与小结.....	424
第三十八章 电磁波	431
38-1 麦克斯韦和电磁波谱.....	431
38-2 电磁波的产生.....	433
38-3 行波和麦克斯韦方程组.....	436
38-4 能量的传递和坡印廷矢量.....	441
38-5 辐射压力.....	444
38-6 偏振.....	446
38-7 光的速率.....	451
38-8 光速与爱因斯坦假说.....	455
38-9 光的多普勒效应.....	458
复习指导与小结.....	461
第三十九章 几何光学	475
39-1 几何光学.....	475
39-2 平面波在平面上的反射和折射.....	475
39-3 惠更斯原理.....	479
39-4 折射定律.....	480
39-5 全内反射.....	483
39-6 布儒斯特 (Brewster) 定律.....	484
39-7 球面波在平面镜上的反射.....	486
39-8 球面波在球面镜上的反射.....	489
39-9 球面波在球面上的折射.....	496
39-10 薄透镜.....	500
39-11 光学仪器.....	508
复习指导与小结.....	513
第四十章 光的干涉	532

40-1	波动光学	532
40-2	杨氏实验	533
40-3	光的相干性	537
40-4	干涉波的强度	540
40-5	薄膜干涉	546
40-6	迈克耳孙干涉仪	551
	复习指导与小结	553
第四十一章 光的衍射		564
41-1	近距离看的衍射现象	564
41-2	单缝衍射与极小值位置的确定	567
41-3	单缝衍射的定性研究	570
41-4	单缝衍射的定量研究	572
41-5	小圆孔衍射	576
41-6	双缝衍射	579
41-7	多缝	583
41-8	衍射光栅	587
41-9	光栅的分辨本领	590
41-10	X射线衍射	593
	复习指导与小结	597

第二十三章 电荷与物质

23-1 电 磁 学

电学起源于公元前600年古希腊米利都学派的泰勒斯(Thales)所观察到的一种现象：一块经过摩擦的琥珀会吸引草屑。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。这两门科学在1820年以前还是完全独立地发展的,直到1820年,奥斯特(H. C. Oersted)观察到它们之间的联系,即导线中的电流可以影响磁针。

电磁学这一门新学科是经过许多学者的努力而进一步发展起来的,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。被称为麦克斯韦方程组的这些定律列在表 37-2 中,读者可以去查阅一下。麦克斯韦方程组在电磁学中所起的作用,与牛顿运动定律及万有引力定律在力学中所起的作用一样重要。

虽然麦克斯韦对电磁学所作的综合主要是以他的前人的工作为根据,但他本人的贡献是至关重要的。麦克斯韦由理论上推断出,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的结果中计算出来。这样,光学这门科学就与电磁学直接联系起来。麦克斯韦方程组所涉及的范围是极其广泛的,它包含了

* 参看 Herbert Kondo 著:“Michael Faraday”. *Scientific American*, October, 1953.

** 参看 James R. Newman 著:“James Clerk Maxwell”. *Scientific American*, June, 1955.

一切大尺度的电磁器件和光学器件的基本原理，这些器件如电动机、无线电、电视、雷达、显微镜和望远镜等。

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)，对麦克斯韦电磁理论的阐明和发展作出了重大的贡献。在麦克斯韦理论建立之后二十多年，赫兹 (H. Hertz 1857—1894)* 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”，这就是我们现在称为短无线电波的那一种。马可尼和其他人则进一步开拓了麦克斯韦和赫兹的电磁波的实际应用。在工程应用方面，也经常地、普遍地用麦克斯韦方程组来解决各种各样的实际问题。

以麦克斯韦方程组为基础的电磁学的系统论述被称为**经典电磁学**。它对直到 10^{-12} 米左右范围内有关电场和磁场的一切问题都给出了正确的解答。在 10^{-12} 米以下，这个线度比一个原子小得多，因而进入了牛顿力学必须为量子力学所取代的范围了。把经典电磁学、量子力学和相对论掺合在一起的**量子电动力学**，对 10^{-12} 米以下的更小得多的尺度范围内的问题给出了正确的解答。狄逊 (F. J. Dyson) 讲到这一理论时说过：“量子电动力学是这样一个唯一的领域，在这个领域中我们可以选择一个假想的实验并预期有五位小数的结果，确信这个理论对所牵涉到的一切因素全都考虑进去了”。本书只讨论经典电磁学。

23-2 电 荷

图 23-1 是一种电荷转移的特别明显的例子——闪电，这是大家都熟知的。另一个类似的但稍为逊色的现象是在人们走过地毯时由于摩擦而可能产生电火花，这对在干燥气候下生活的人们也

* 参看 Philip 和 Emily Morrison 著：“Heinrich Hertz”. *Scientific American*, December, 1957.



图 23-1 在美国亚利桑那州的基特山巅国家气象台 (KPNO) 上空展现的闪电。它显示出云和大地之间的电荷转移。

是熟知的。这些都是在通常的经验中电荷概念的基础。

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 23-2 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,则这两根玻璃棒将相互排斥。反之,如果把毛皮摩擦过的塑料棒与第一根玻璃棒靠近,则塑料棒将吸引玻璃棒。而毛皮摩擦过的两根塑料棒则相互排斥。这些事实可以这样解释:摩擦使棒带有电荷,两根棒上的电荷相互间有力作用。显然,玻璃棒上的电荷与塑料棒上的电荷在本性上必然是不同的。

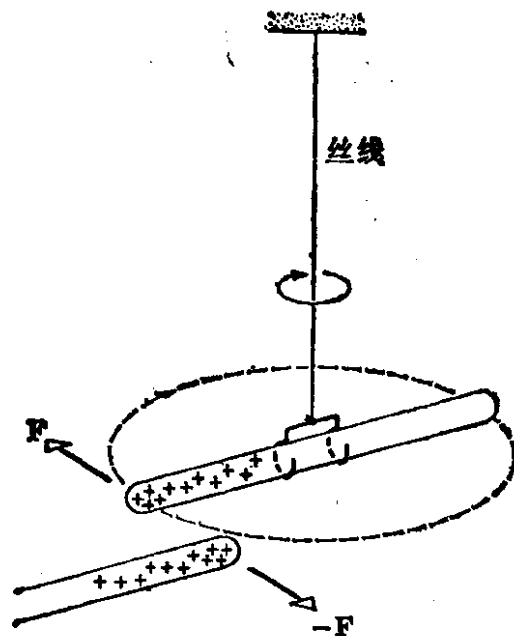


图 23-2 两根带正电的玻璃棒彼此排斥。

富兰克林 (B. Franklin 1706—1790) 是第一个提出正

电和负电这两个名称的美国物理学家（他还有其他方面的贡献），他把呈现在玻璃棒上的电叫做正电，呈现在塑料（在富兰克林时代为封蜡或虫胶）上的电叫做负电；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丝绢摩擦过的玻璃棒或者用毛皮摩擦过的塑料棒。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，用以丝绢摩擦过的玻璃棒或者以毛皮摩擦过的塑料棒与未知电荷进行比较，就能判明这未知电荷是正的还是负的。

近代观点认为，大块物质在正常状态或电中性状态时含有等量的正电和负电。如果把两个物体例如丝绢和玻璃棒放在一起摩擦，则有少量电荷从一物体转移到另一物体上去，因而破坏了每个物体原来的电中性状态。在本例中，玻璃棒成为带正电而丝绢则变成带负电。

23-3 导体和绝缘体

用手拿住一根金属棒，再用毛皮去摩擦它，这金属棒看来是不会带电的。但是如果给这金属棒配上玻璃柄，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、塑料等都是绝缘体。

在导体中，电荷于物质内部自由运动，而在绝缘体中，电荷运动是不自由的。虽然完全的绝缘体是没有的，但熔凝石英的绝缘能力却比铜的绝缘能力约大 10^{25} 倍，所以对许多实际使用效果来说，某些物质的作用就犹如完全的绝缘体一样。

对于金属有一个相当精巧的实验叫做霍尔效应（见 30-5 节），它表明只有负电荷才可以自由运动。正电荷在金属中就好象在玻璃或其他任何绝缘体中一样是不动的。金属中实际的电荷携带者

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个别原子而在固体的整个体积中自由运动。

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质是半导体。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，制造晶体管就是半导体的应用之一。用来说明半导体特性的理论模型，如果没有量子物理学的知识是无法作充分描述的。

23-4 库仑定律

库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)对电的引力和斥力进行了定量的测定，并确证了这些力所遵循的定律。他的实验装置(如图 23-3 所示)类似于图 23-2 中的悬棒，所不同的是图 23-3 中的电荷被限制在 a 和 b 两个小球上。

如果 a 和 b 都带电，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。于是角度 θ 就是作用在电荷 a 上的电力的相对量度。图 23-3 的仪器叫做扭秤；后来卡文迪许用同样的装置测定过万有引力(见 15-2 节)。

库仑最初的一些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的相互作用力的大小， r 是 a 和 b 之间的距离。如牛顿第三定律所要求的那样，这两个力的作用沿着连接两个电荷的直线，而指向相反的方向。应该注意，即使这两个电荷的量不同，作用在每个电荷上的力的大小还是相等的。

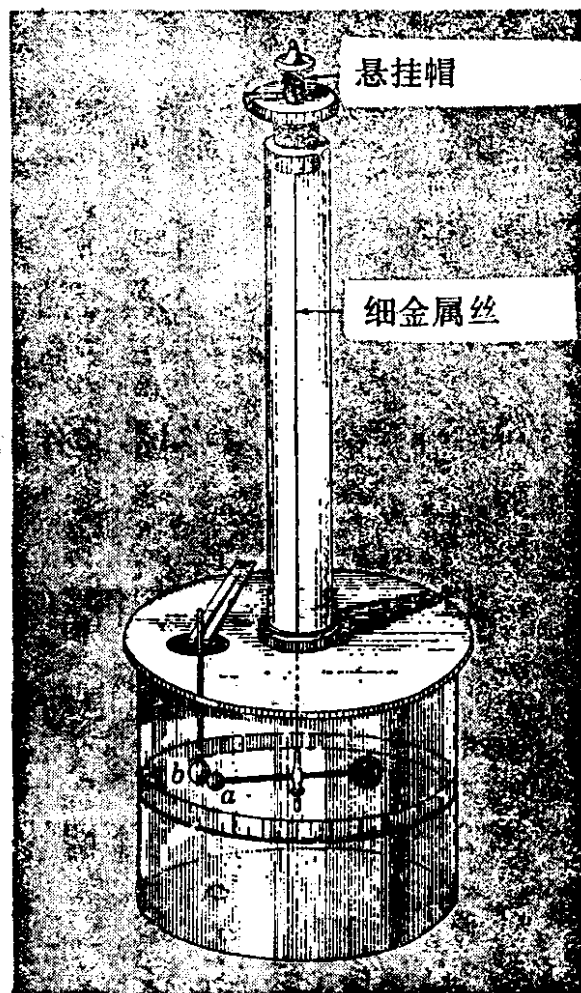


图 23-3 库仑扭秤, 采自 1785 年他给法国科学院的论文。

电荷之间的作用力还与电荷量的大小有关。明确地说, 作用力的大小由实验求得是正比于电荷量的乘积的。于是我们得到

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (23-1)$$

式中 q_1 和 q_2 是球 a 和球 b 上电荷的相对量度。式(23-1)叫做库仑定律。这定律只有在带电物体的线度远小于它们之间的距离时才能适用。我们通常说, 库仑定律只对点电荷成立。

库仑定律与万有引力的平方反比定律相似。库仑作实验时, 万有引力定律已有一百多年的历史, q 在库仑定律中的作用相当于万有引力定律中 m 的作用。可是, 在引力场中, 力总是吸引力。这是由于, 电有两种, 而质量却显然只有一种。

库仑定律在定量上的正确性不是以库仑实验为基础的，扭秤测量的准确程度很难超过百分之几。举例来说，扭秤测量不能使我们相信式(23-1)中的指数恰好是2而不是其他数，比如说2.01。在25-7节中，我们将说明库仑定律也可以从另外一个实验间接导出，这实验证明，式(23-1)中的指数与2相差的数值小于 3×10^{-16} 。

虽然我们建立了电荷的物理概念，但还没有确定它的量度单位。我们如果使扭秤的两个小球带有相等的电荷 q ，当这两个电荷相隔的距离 r 已经测得时，把作用于每个电荷上的力 F 的大小测量出来，就可以确定电荷的单位。如果这两个电荷相隔一个单位距离时作用在每个电荷上的力是一个单位力，我们就可以把 q 规定为具有一个单位量值的电荷，并且可以给这样规定出来的单位电荷取个名称，这方法是定义静库仑这种电荷单位的基础。可是，本书不用这个单位和与此相关的单位制系统。

实际上鉴于与测量准确度有关的实际原因，电荷的国际制单位并不是用扭秤确定的，而是从电流的单位导出的。我们知道，如果把一根长导线的两端接到蓄电池的两极上，那末在导线中将建立起电流 i 。我们把这电流想象为电荷的流动。电流的国际制单位为安培(缩写为安)。在31-4节中我们将叙述确定安培的实验操作方法。

电荷的国际制单位是库仑(缩写为库)。库仑的定义是这样：如导线中有1安培的恒定电流，则在1秒内流过此导线中任一给定截面的电量就是1库仑。表示为

$$q = it, \quad (23-2)$$

如果式中 i 的单位是安培， t 的单位是秒，则 q 的单位是库仑。这样，如果把一根导线连接到一个绝缘的金属球上，而有1.0毫安的电流在这导线中存留1.0微秒，此球就可以获得 10^{-9} 库仑的电荷。