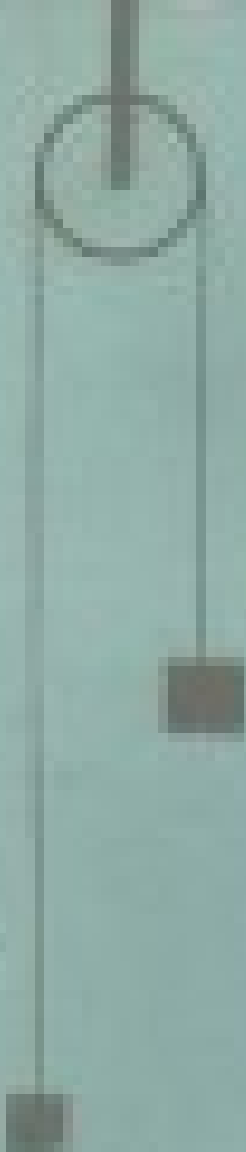


大学 物理学

下 册

〔美〕J. 奥里尔 著

科 学 出 版 社



大学 物理学

下册

（第二版）

清华大学出版社

大学物理学

下 册

〔美〕J. 奥里尔 著

赵惠芝 方开文 李义发 译
荣毓敏 陈菊华 陆正亚
吴剑华 校

科学出版社

1985

内 容 简 介

本书是美国大学理工科一年或一年半用的普通物理教材。具有现代性与实用性。中译本分上、下两册出版,上册包括力学、狭义相对论和分子物理热力学;下册包括电磁学、光学、量子理论、天体物理以及粒子物理。本书适用于理工科大学低年级学生,也可供学习物理学知识的有关人员参考。

J. Orear
PHYSICS
Macmillan, 1979

大 学 物 理 学

下 册

〔美〕J. 奥里尔 著
赵惠芝 方开文 李义发 译
荣毓敏 陈菊华 陆正亚
吴剑华 校

责任编辑 张邦固

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

*

1985年6月第 一 版	开本: 787×1092 1/32
1985年6月第一次印刷	印张: 23 1/8
印数: 0001—11,600	字数: 530,000

统一书号: 13031·2922

本社书号: 4012·13—3

定 价: 5.40 元

目 录

第十五章 静电力	419
15-1 电荷.....	419
15-2 库仑定律.....	421
15-3 电场.....	426
15-4 力线.....	429
15-5 高斯定律.....	433
本章摘要.....	440
习题.....	441
第十六章 静电学	447
16-1 球形电荷分布均匀带电球壳的电场.....	447
16-2 线性电荷分布.....	452
16-3 平面电荷分布.....	455
16-4 电势.....	459
16-5 电容.....	469
16-6 电介质.....	473
本章摘要.....	477
习题.....	478
第十七章 电流和磁力	486
17-1 电流.....	486
17-2 欧姆定律.....	488
17-3 直流电路.....	493
17-4 磁力及其演示实验.....	499
17-5 磁力的推导.....	503

17-6	磁场	505
17-7	磁场的单位	510
17-8	$\mathbf{B}$ 和 $\mathbf{E}$ 的相对论性变换	515
	本章摘要	518
	附录 17-1 电流和电荷的变换	519
	习题	522
第十八章	磁场	529
18-1	安培定律	529
18-2	几种电流分布的磁场	532
18-3	毕奥-萨伐尔定律	539
18-4	磁性	544
18-5	适用于恒定电流的麦克斯韦方程	549
	本章摘要	550
	习题	551
第十九章	电磁感应	557
19-1	电动机和发电机	557
19-2	法拉第定律	562
19-3	楞次定律	565
19-4	电感	567
19-5	磁场能量	571
19-6	交流电路	577
19-7	RC 与 RL 电路	585
	本章摘要	590
	附录 19-1 任意形状的线圈	592
	习题	594
第二十章	电磁辐射与波	603
20-1	位移电流	603
20-2	一般形式的麦克斯韦方程	607

20-3	电磁辐射	607
20-4	载有正弦电流的薄板的辐射	612
20-5	非正弦电流源, 傅里叶分析	617
20-6	行波	621
20-7	波传递能量	627
	本章摘要	629
附录 20-1	波动方程的推导	631
	习题	633
第二十一章	辐射与物质的相互作用	638
21-1	辐射能	638
21-2	辐射场的动量	642
21-3	良导体的反射	646
21-4	辐射与非导体的相互作用	647
21-5	折射率的起因	649
21-6	电离介质中的电磁辐射	655
21-7	点电荷的辐射	658
	本章摘要	664
附录 21-1	相量方法	665
附录 21-2	波包与群速度	667
	习题	673
第二十二章	波的干涉	679
22-1	驻波	679
22-2	两个点波源发出的波的干涉	684
22-3	N 个点波源发出的波的干涉	688
22-4	衍射光栅	692
22-5	惠更斯原理	696
22-6	单缝衍射	699
22-7	相干性和非相干性	703

本章摘要·····	708
习题·····	711
第二十三章 光学 ·····	716
23-1 全息照相·····	716
23-2 光的偏振·····	721
23-3 圆孔衍射·····	732
23-4 光学仪器与分辨率·····	734
23-5 散射衍射·····	740
23-6 几何光学·····	745
本章摘要·····	751
附录 23-1 布儒斯特定律 ·····	752
习题·····	753
第二十四章 物质的波动性 ·····	759
24-1 经典物理学和现代物理学·····	759
24-2 光电效应·····	760
24-3 康普顿效应·····	764
24-4 波-粒二象性 ·····	767
24-5 伟大的佯谬·····	768
24-6 电子衍射·····	774
本章摘要·····	778
习题·····	779
第二十五章 量子力学 ·····	783
25-1 波包·····	783
25-2 测不准原理·····	786
25-3 箱中的粒子·····	793
25-4 薛定谔方程·····	800
25-5 有限深势阱·····	802
25-6 谐振子·····	807

本章摘要·····	811
习题·····	813
第二十六章 氢原子·····	818
26-1 氢原子的近似解·····	818
26-2 三维薛定谔方程·····	820
26-3 氢原子的精确解·····	824
26-4 轨道角动量·····	828
26-5 光子发射·····	835
26-6 受激发射·····	839
26-7 玻尔模型·····	842
本章摘要·····	848
习题·····	849
第二十七章 原子物理学·····	853
27-1 泡利不相容原理·····	853
27-2 多电子原子·····	856
27-3 元素周期表·····	862
27-4 发射X射线的原理·····	869
27-5 分子结合·····	872
27-6 杂化·····	876
本章摘要·····	880
习题·····	881
第二十八章 凝聚物质·····	883
28-1 键的类型·····	884
28-2 金属的自由电子理论·····	888
28-3 导电性·····	894
28-4 固体的能带理论·····	898
28-5 半导体物理·····	905
28-6 超流性·····	916

28-7 势垒穿透.....	917
本章摘要.....	921
附录 28-1 p - n 结在无线电和电视中的应用	922
习题.....	926
第二十九章 核物理	931
29-1 核的大小.....	931
29-2 核子-核子间的作用力	939
29-3 重核的结构.....	945
29-4 α 衰变.....	953
29-5 γ 衰变与 β 衰变.....	958
29-6 核裂变.....	961
29-7 核聚变.....	967
本章摘要.....	971
习题.....	972
第三十章 天体物理	977
30-1 恒星的能源.....	978
30-2 恒星的死亡.....	981
30-3 黑洞.....	982
30-4 量子力学压力.....	984
30-5 白矮星.....	986
30-6 中子星.....	991
30-7 黑洞的临界质量.....	996
30-8 观测和研究结果摘要.....	997
本章摘要.....	1000
习题.....	1001
第三十一章 粒子物理	1004
31-1 弱相互作用.....	1006
31-2 高能加速器.....	1010

31-3	反物质	1014
31-4	轻子数守恒	1018
31-5	强子	1020
31-6	夸克	1028
31-7	宇称的不守恒	1031
31-8	守恒定律摘要	1037
31-9	粒子物理展望	1039
	本章摘要	1040
	习题	1041
附录 A		1045
附录 B		1047
附录 C	一些数学公式	1048
附录 D	各章编号为单数的习题答案	1051
附录 E	部分习题解答	1069

第十五章 静 电 力

在以下六章中，我们将研究物理学中最重要的论题之一——电磁相互作用。这种相互作用不仅说明了所有电现象，而且还给物质提供了以原子和分子这种结构层次结合在一起的力。甚至在讲电学的这六章后面的几章，即讲辐射和光学的那几章中，也间接地研究电磁相互作用，这因为光本身就是由电磁辐射构成的。光学后面的几章将量子力学应用到电磁相互作用，从而说明原子、分子和固体的结构。所以，从这种意义上讲，本章和以后各章都是研究电学及其应用的。

15-1 电荷

直到现在为止，我们所研究过的基本相互作用仅为万有引力相互作用。如果我们算出了一个电子和一个质子在相隔距离等于氢原子半径时的万有引力，则我们应得到

$$F = G \frac{m_p m_e}{R_H^2} = 3.61 \times 10^{-47} \text{ 牛顿}.$$

但是，在电子和质子之间还有另一种引力，其大小为 8.19×10^{-8} 牛顿，这种力比万有引力大 2.27×10^{39} 倍。这种强得多的力也遵循平方反比定律，称为静电力，或者简称为电力。

我们知道，所有普通物质都是由电子、质子与中子构成的。因此，如果电子和质子之间以及电子和电子之间的电力比万有引力要大很多个数量级，那么，为什么我们对一般的巨大物体只观察到它们之间的万有引力呢？这是因为两个电子

(或者两个质子)之间的静电力是互相排斥的,其强度与间距相同的一个电子和一个质子之间的吸引力完全相同,而大物体含有相同个数的电子和质子,所以它们很大的静电引力与静电斥力正好互相抵消,剩下的只是非常微弱的万有引力了。

万有引力的力源就是第 120 页中所说的引力质量(或者称为引力荷)。同样,电力的力源称为电荷。粒子的质量与电荷乃是粒子的属性,它们从定量上分别表明粒子在相互作用中所产生或所受到的万有引力和静电力的强度。这两种力是彼此互不相关的;因此,在物体的质量与电荷之间不存在固定的关系。质量一般是正的,而电荷则不同,它可能是正的也可能是负的。符号相反的电荷互相吸引,符号相同的电荷互相排斥(参看图 15-1)。

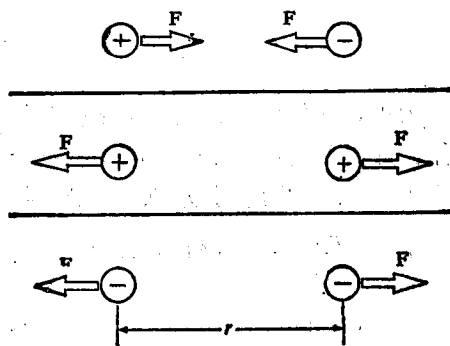


图 15-1 表示两个电荷之间的静电力的方向与它们的符号关系。

同号电荷之间的排斥力可用一块毛织物摩擦两个气球而很容易地显示出来;因为羊毛原子上的几个外层电子被气球的原子俘获住,所以两个气球都带负电。这时,如果把一个气

球移近另一个气球,则在两个气球尚未接触时,一个气球就将另一个气球推开去(这是超距作用的一个例子)。

电荷的量子化

实验表明,任何带电粒子所带的电荷不可能少于一个电子(或者一个质子)所带的电荷。一个电子(或者一个质子)所带的电荷为电荷的基本单位,它等于 1.60×10^{-19} 库仑,通常用符号 e 表示。一些基本粒子,例如中子、光子以及中微子不带电荷。带电物体只能带 e 的整数倍的电荷。

电荷守恒

物理学的最基本定律之一是电荷守恒定律;这定律是富兰克林(B. Franklin)首先于1747年提出的。这定律指出,在一封闭系统中,净电荷量(正电荷量减去负电荷量)保持不变。甚至在带电粒子湮灭的极端情况下,这个定律仍然成立。如果一个电子被一个正电子所湮灭,则其负电荷与正电荷两者都被湮灭;在湮灭前,净电荷为零,在湮灭后,净电荷也为零。电荷守恒定律已被很多精确的实验很好地验证过。

15-2 库仑定律

同牛顿万有引力定律的表述类似,库仑定律的表述为:两个带电粒子之间的力与两个粒子所带电荷 q_1 和 q_2 的乘积成正比,而与这两个粒子之间的距离 r 的平方成反比,即

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (\text{库仑定律}), \quad (15-1)$$

式中 k_0 为根据实验所确定的比例常数,通常称为库仑常数。实验证明,上述 F 对 q 与 r 的依赖关系具有非常高的精确度。

在厘米-克-秒(cgs)单位制中,用方程(15-1)来确定电荷的单位。方法是令 k_0 等于 1,并把两个电荷的大小调整到相等,并使它们相距 1 厘米时,相互作用的力为 1 达因。这时,每一电荷的大小就是 cgs 单位制中一个单位电荷,称为静电库仑。因此,在 cgs 单位制中,库仑定律写成以下形式:

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (q \text{ 的单位为静电库仑}).$$

在米-千克-秒(mks)或者国际单位(SI)制中,电荷单位是通过两个相同电流之间的磁力来确定的。正如我们在第十七章中将知道的那样,这是一个比静电库仑大得多的电荷单位,它通过光速而与静电库仑联系起来。在 mks 单位制中,电荷的单位称为库仑(国际符号为 C)。在第十七章中将证明,库仑与静电库仑之间的关系为

$$1\text{C} = 2.998 \times 10^9 \text{ 静电库仑}.$$

我们将知道;换算常数 2.998×10^9 恰好为光速的十倍。

现在我们可以由方程 (15-1) 解出 k_0 而算出 mks 制中的 k_0 值:

$$k_0 = \frac{Fr^2}{q_1 q_2}.$$

以 $q_1 = q_2 = 1$ 静电库仑、 $r = 1$ 厘米与 $F = 1$ 达因代入上式,得

$$k_0 = \frac{(1 \text{ 达因})(1 \text{ 厘米})^2}{(1 \text{ 静电库仑})^2} = \frac{(10^{-5} \text{ 牛顿})(10^{-2} \text{ 米})^2}{[1 \text{ 库仑}/(2.998 \times 10^9)]^2},$$

$$k_0 = 8.988 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2/\text{库仑}^2$$

$$\approx 9 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2/\text{库仑}^2,$$

9×10^9 这个比例常数不仅足够准确,而且便于记忆,在 mks 单位制中,通常把 k_0 写成 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 这一形式。因此,在 mks 单位

制中,将库仑定律写成以下形式:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

其中

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k_0} = 8.854 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2/(\text{牛顿} \cdot \text{米}^2), \quad (15-2)$$

ϵ_0 称为真空电容率。

在本书中,我们一般仍用 k_0 而不用 ϵ_0 来写电学方程,这样,不仅可使某些计算简化,而且可使电学方程在 mks 和 cgs 单位制中具有相同的形式。要把电学方程从 mks 制换算到 cgs 制,只要令 $k_0 = 1$ 即可。对于要深入研究物理学的人来说,必须弄清楚电磁理论的 mks 制和 cgs 制(也称为高斯制)的两种不同表述。按我们的表述方式,就可以既学会 cgs 制,同时学会 mks 制,而不必多费事了。

***例 1.** 两个碳球都有少量的过剩电子。问电子与质子个数之比应为多大,才能使两球之间的静电排斥力恰好与万有引力的吸引力相互抵消?

解:

$$F_E = F_G,$$

$$k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2} = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

式中 q_1 与 q_2 为两个碳球的过剩电子的总电荷, m_1 与 m_2 为两个碳球的质量。将上式写成

$$\left(\frac{q_1}{m_1}\right) \left(\frac{q_2}{m_2}\right) = \frac{G}{k_0}.$$

如果电子数与质子数之比在两个碳球中是一样的就有

$$\frac{q_1}{m_1} = \sqrt{\frac{G}{k_0}}.$$

既然

$$q_1 = (N_e - N_p)e,$$

式中 N_e 与 N_p 分别为一个碳球的电子总数和质子总数。所以一个碳球的质量为

$$m_1 = N_p m_p + N_n m_n + N_e m_e,$$

式中 m_p , m_n 与 m_e 分别为质子、中子与电子的质量。因为 $m_p \approx m_n \gg m_e$, $N_p = N_n$, 所以 $m_1 \approx 2N_p m_p$ 。由是得到

$$\frac{q_1}{m_1} = \frac{(N_e - N_p)e}{2N_p m_p} = \sqrt{\frac{G}{k_0}},$$

$$\frac{N_e - N_p}{N_p} = \frac{2m_p}{e} \sqrt{\frac{G}{k_0}} = 1.8 \times 10^{-18}.$$

由此式可知, 如果对于每 5×10^{17} 个质子只约有一个额外电子, 万有引力的影响就被静电斥力抵消掉。

叠加原理

到现在为止, 我们已经讨论了一带电物体对另一带电物体所作用的力。但是, 如果在所讨论的一个带电物体的周围有好几个带电物体, 则作用在这个物体上的静电力共有多大? 我们用处理引力问题的方法来处理这个问题; 也就是说, 用矢量方法, 把其他各物体分别对这个物体作用的力相加起来而得到这些物体作用于这个物体上的合力。在图 15-2 中, 作用于电荷 q 上的合力为 $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3$ 。这似乎很明显, 但是我们不能从比它更为基本的原理把它推导出来。静电力的叠加原理必须用实验来检验。幸好这个原理得到了实验证实。

我们将遇到一些问题, 其中静电力源为均匀带电的、有一定大小的物体, 例如带电的导线, 或者带电的矩形平板。在这种情况下, 静电力的合力为积分 $\mathbf{F} = \int d\mathbf{F}$, 其中 $d\mathbf{F}$ 为每个电荷元所产生的力。我们将处理三种类型的电荷密度问题: 以库仑每米为单位的线电荷密度 λ 的问题, 以库仑每平方米