

高等学校教材

物理学

下册

刘克哲 编

PHYSICS

PHYSICS

PHYSICS

PHYSICS

PDS

高等学校教材

物 理 学

下 册

刘 克 哲 编

高等教育出版社

本书是为适应理科非物理类专业对物理课程的需求编写的。全书分上、下两册。上册的内容包括质点力学、刚体力学、流体力学、热学分子物理以及振动和波；下册的内容包括电磁学、几何光学、物理光学、原子的量子理论以及原子核和粒子。

本书语言通俗易懂，篇幅简短，同时又力求保持物理学自身的系统性和科学性，力求形象地阐明物理概念和物理规律，力求表述出物理学的主要内容。

本书经高等学校理科物理教材编审委员会于1984年10月评选为综合性大学、师范院校理科非物理类少学时(100~120学时)物理课程的教材，也可作师专理科非物理类物理课程的教材，并可供中学物理教师进修、自学使用。

高等学校教材
物 理 学
下 册
刘克哲 编

·
高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷一厂印装

·
开本850×1168 1/32 印张10.75 字数269 000

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数 00 001—6 150

ISBN 7-04-000023-7/O·10

书号 13010·01425 定价 2.20元

下 册 目 录

第十二章 静电场	1
§ 12-1 电荷和库仑定律	1
一、电荷	1
二、库仑定律	3
§ 12-2 电场和电场强度	6
一、电场	6
二、电场强度	6
三、电场强度的计算	7
§ 12-3 高斯定理	13
一、电力线	13
二、电通量	15
三、高斯定理	18
§ 12-4 电势与场强的关系	20
一、静电场属于保守力场	20
二、电势能、电势差和电势	23
三、电势的计算	25
四、等势面	27
五、电势与场强的关系	28
§ 12-5 处于静电平衡状态的金属导体	32
一、金属导体的静电平衡状态	32
二、导体表面上的电荷分布和尖端放电现象	34
三、静电屏蔽	36
§ 12-6 电容和电容器	37
一、孤立导体的电容	37
二、电容器	38
三、电容的计算	39
四、电容器的联接	41
§ 12-7 静电场中的电介质	42

一、电介质的极化现象	42
二、极化强度矢量	43
三、极化电荷对电场的影响	45
§ 12-8 电介质存在时的高斯定理	47
§ 12-9 静电场的能量	51
习题	54
第十三章 直流电	61
§ 13-1 电流强度和电流密度矢量	61
§ 13-2 导体的电阻和电阻率	64
一、导体的电阻	64
二、导体的电阻率	65
三、电阻的串联和并联	67
§ 13-3 欧姆定律	68
一、欧姆定律的表示形式	68
二、金属导电的经典电子论	69
§ 13-4 电动势	72
一、电源在电路中的作用	72
二、电源的电动势	73
§ 13-5 电功和电功率	74
§ 13-6 电源的充电和放电	76
§ 13-7 基尔霍夫定律	79
§ 13-8 金属的热电子发射	82
一、金属表面的逸出功	82
二、热电子发射	83
习题	84
第十四章 稳恒磁场	87
§ 14-1 磁场	87
一、磁现象	87
二、磁感应强度	89
三、磁感应线和磁通量	91
§ 14-2 毕奥-萨伐尔定律	93

§ 14-3 磁场环路定理	97
§ 14-4 磁场对电流的作用	101
一、安培定律	101
二、两平行长直电流之间的相互作用	103
三、磁场对载流线圈的作用	105
§ 14-5 带电粒子在磁场中的运动	107
一、带电粒子在磁场中的圆周运动	107
二、带电粒子在磁场中的螺旋线运动	109
*三、带电粒子荷质比的测定	111
*四、霍耳效应	115
习题	117
第十五章 物质的磁性	121
§ 15-1 磁介质及其磁化	121
一、物质磁性的概述	121
二、磁化的磁介质中的磁感应强度	123
三、有磁介质存在时的磁场环路定理	125
*§ 15-2 磁介质的逆磁性	127
§ 15-3 铁磁质	130
一、自发磁化强度	130
二、铁磁体内的磁畴结构	131
三、磁滞现象	132
习题	135
第十六章 电磁感应和电磁波	137
§ 16-1 电磁感应现象及其基本规律	137
一、电磁感应现象	137
二、电磁感应定律	139
三、感应电动势	141
§ 16-2 互感现象和自感现象	144
一、互感现象	144
二、自感现象	145
§ 16-3 磁场的能量	149

*§ 16-4 涡流和趋肤效应	151
一、涡流	151
二、趋肤效应	153
§ 16-5 电磁场理论的基本概念	155
一、静电场和稳恒磁场的基本规律	155
二、位移电流的概念	156
三、涡旋电场的概念	159
§ 16-6 电磁振荡和电磁波	160
*一、由电感和电容组成的振荡电路	160
二、电磁波	162
习题	168
第十七章 交流电	172
§ 17-1 交流电的基本概念	172
一、交流电的类型	172
二、简谐交流电的产生	173
三、描述交流电的特征量	174
四、交流电的有效值	175
§ 17-2 单种元件的交流电路	176
一、纯电感电路	177
二、纯电容电路	178
§ 17-3 串联电路	180
一、 RL 串联电路	180
*二、 RLC 串联电路	182
*三、串联谐振	184
§ 17-4 交流电的功率	186
一、交流电的有功功率和视在功率	186
二、交流电路的功率因子	188
*三、提高功率因子的方法	190
*§ 17-5 变压器	192
习题	198
第十八章 几何光学	199
§ 18-1 几何光学中的基本定律和原理	199

一、光的直线传播定律	199
二、光的反射定律和折射定律	200
三、全反射	201
四、光的可逆性原理	202
§ 18-2 光在球面上的折射	202
一、介绍几个概念	202
二、球面折射公式	203
三、高斯公式	205
四、球面折射成像的作图法	207
五、球面折射的横向放大率	208
*§ 18-3 光在球面上的反射	209
§ 18-4 薄透镜	212
一、薄透镜	212
二、薄透镜成像	213
*三、放大镜	215
习题	217
第十九章 光的波动性	219
§ 19-1 光波及其相干条件	219
一、光波	219
二、光波的相干条件	220
§ 19-2 杨氏实验	222
§ 19-3 薄膜干涉	224
一、光程	224
二、等倾干涉	226
三、等厚干涉	228
*§ 19-4 迈克耳孙干涉仪	233
§ 19-5 单缝衍射	234
一、光的衍射现象	234
二、惠更斯-菲涅耳原理	235
三、单缝衍射分析	237
§ 19-6 衍射光栅	241
*§ 19-7 衍射现象的应用	246

一、光学系统分辨率的分析	246
二、X射线在晶体中的衍射	248
§ 19-8 光的偏振	250
一、线偏振光和部分偏振光	251
二、自然光	251
*三、椭圆偏振光和圆偏振光	252
§ 19-9 偏振光的获得和检测	253
一、偏振光的获得	253
二、偏振光的检测	257
习题	259
第二十章 光的粒子性	263
§ 20-1 光电效应	263
一、光电效应的实验规律	263
二、经典理论所遇到的困难	266
三、光子假说及其对光电效应的解释	266
§ 20-2 康普顿效应	269
一、康普顿效应及其观测	269
二、光子假说对康普顿效应的解释	270
三、光的波粒二象性	272
习题	273
第二十一章 原子的量子理论	275
§ 21-1 原子的核型结构	275
一、 α 粒子散射实验	275
二、原子的核型结构模型	277
三、原子的核型结构模型与经典理论的矛盾	278
§ 21-2 氢原子光谱	279
一、氢原子光谱的规律性	279
二、光谱项意义的初步探讨	281
§ 21-3 氢原子的玻尔-索末菲理论	282
一、玻尔理论	283
二、玻尔理论对氢原子光谱的解释	285
三、索末菲理论	287

四、索末菲理论对塞曼效应的解释	291
五、对玻尔-索末菲理论的评价	293
§ 21-4 电子的自旋和原子的壳层结构	295
*一、斯特恩-盖拉赫实验	295
二、自旋量子数和自旋磁量子数	297
三、原子的壳层结构	299
§ 21-5 微观粒子的波动性	302
习题	306
第二十二章 原子核和粒子	308
§ 22-1 原子核的基本性质	308
一、原子核的电荷和质量	308
二、原子核的大小和形状	309
三、原子核的组成	309
四、原子核的结构	310
五、核力	311
§ 22-2 原子核的结合能	312
一、原子核的质量亏损	312
二、原子核的结合能	313
*三、结合能的利用	314
§ 22-3 放射性衰变的规律	317
一、放射性	317
二、放射性衰变的规律	318
*三、放射性同位素的应用	321
*§ 22-4 粒子的发现	323
*§ 22-5 粒子的相互作用和粒子的分类	327
一、粒子的相互作用	327
二、粒子的分类	328
习题	330
附录 物理学常用常数	332

第十二章 静 电 场

从本章开始我们将研究物质运动的另一种形态，即电磁运动。电磁运动是自然界中所存在的普遍的运动形态之一。自然界里的所有变化，几乎都与电和磁相联系。所以，研究电磁运动对于深入认识物质世界是十分重要的。同时，由于电磁学已经渗透到现代科学技术的各个领域，并已成为许多学科和技术的理论基础，因而学习电磁学，掌握电磁运动的基本规律，具有极其重要的意义。

本章的主要内容是研究真空中和介质中静电场的基本性质，其中包括库仑定律、电场强度和电势、导体和电介质在静电场中的行为与性质、高斯定理以及静电场的能量等。

§ 12-1 电荷和库仑定律

一、电荷

人们对电荷的认识是从摩擦起电现象开始的。如果把用丝绸摩擦过的玻璃棒用细线悬挂起来，把另一根用丝绸摩擦过的玻璃棒去靠近它，它们将相互排斥；假如把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒去靠近它，它们将相互吸引。这说明，用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的硬橡胶棒都带有电荷，并且带有不同的电荷。人们把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷，规定为正电荷，把用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷，规定为负电荷。后来大量的实验证明，电荷只有上述两种。

摩擦起电现象并不限于丝绸与玻璃棒和毛皮与硬橡胶棒之间，任何固体之间的摩擦、固体与液体之间的摩擦、固体与气体之间的摩擦以及气体团之间的摩擦等，都可能起电。实际上，只要物

体之间有紧密的接触,就可能产生电荷。

在构成物质的原子中,通常包含三种微观粒子,即质子、中子和电子。质子带有一个单位的正电荷,电子带有一个单位的负电荷,中子则不带电荷。质子和中子的质量相近,电子的质量只有它们的 $1/1840$ 。因此,原子的电性是由它所包含的质子数和电子数决定的,而质量则是由它所包含的质子数和中子数决定的。质子和中子组成的紧密实体,称为原子核。电子在离开原子核很远的地方,围绕着原子核运动。在正常的情况下,原子核所带的质子数与核外的电子数相等,整个原子呈电中性。由于电子离原子核很远,特别是最外层的电子,受原子核引力作用很小,容易离去。如果原子中有一个或多个电子离去,原子就表现为带正电,称为正离子;如果原子获得了一个或多个电子,原子就表现带负电,称为负离子。原子失去或获得电子的过程,称为电离。可见,在正常情况下,物质是由电中性的原子组成的,其整体也呈电中性。通过摩擦或别的方法使物体带电的过程,就是使原子电离而转变为离子的过程。很明显,当一个物体失去一些电子而带正电时,必然有另一个物体获得这些电子而带负电,摩擦或别的使物体带电的方法,并没有也不可能制造电荷,只是把电子从一个物体迁移到另一个物体,从而破坏了物体的电中性状态。因此,一个与外界没有电荷交换的孤立系统,无论发生什么变化,整个系统的电荷总量(正、负电荷的代数和)必定保持不变。这个结论称为电荷守恒定律,它是物理学中具有普遍意义的定律之一,也是自然界所遵从的基本定律之一。它不仅适用于宏观现象和过程,也适用于微观现象和过程。

物体所带过剩电荷的总量称为电量。由上面关于物质电结构的讨论可知,任何物体所带电量,不是电子电量的整数倍,就是质子电量的整数倍。若用 e 表示质子所带的电量,电子所带的电量则为 $-e$,物体所带电量总可表示为

$$q = ne$$

(12-1)

式中 n 是正的或负的整数。电荷只能取分立的、不连续数值的性质，故称为电荷的量子化。近年来，在粒子物理的研究中，提出了一些新观点，认为介子、中子、质子和超子，这些被称为强子的粒子，是由更深一层粒子构成的。这种更深一层粒子称为夸克。夸克所带电量是 e 的 $1/3$ 或 $2/3$ 。可以相信，随着研究的深入进行，电荷的最小单位可能会有新的结论，但是电荷量子化的规律是不会改变的。

在国际单位制中，电量的单位是库仑(C)。实验测定表明，电子的电量是很小的，只有 $-1.6021982 \times 10^{-19}\text{C}$ 。

二、库仑定律

实验表明，带电体之间的相互作用与带电体之间的距离和所带电量有关，也与带电体的大小、形状以及电荷在带电体上的分布情况有关。所以在通常情况下，两个带电体之间的相互作用表现出与多种因素有关的复杂情形。实验指出，当带电体自身的几何线度比起带电体之间的距离小得多时，在测量精度范围内，带电体的大小和形状对它们之间的相互作用没有影响，决定这种相互作用的只是带电体之间的距离和它们所带的电量。这就是说，当带电体自身的大小与带电体之间的距离相比很小时，我们可以把这种带电体看作为“点”电荷。

显然，点电荷的概念与质点、刚体和理想气体等概念一样，是对实际情况的抽象，是一种理想模型。一个带电体能否看成为一个点电荷，必须根据具体情况来决定。虽然有时不能把一个带电体看成为一个点电荷，但总可以把它看为许多点电荷的集合体，从而能够由点电荷所遵从的规律出发，得出我们所要寻找的结论。

两个点电荷之间的相互作用，遵从库仑定律。这个定律可表述为，两个点电荷之间的相互作用力的大小与两点电荷所带电量的乘积成正比，与两点电荷之间的距离的平方成反比，作用力的方

向沿着两点电荷的连线, 同号电荷相斥, 异号电荷相吸. 如果两个点电荷的电量分别为 q_1 和 q_2 , q_2 相对于 q_1 的位置矢量为 $\mathbf{r}_{12}$, 那么电荷 q_2 受到电荷 q_1 的作用力 $\mathbf{F}_{12}$ 可以表示为

$$\mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \left(\frac{\mathbf{r}_{12}}{r_{12}} \right) \quad (12-2)$$

上式表明, 当 q_1 与 q_2 同号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_{12}$ 同方向, 两者之间表现为斥力, 如图 12-1(a) 所示. 当 q_1 与 q_2 异号时, $\mathbf{F}_{12}$ 与 $\mathbf{r}_{12}$ 反方向, 两者之间表现为引力, 如图 12-1(b) 所示. 式中的比例系数是由实验测得的, 其数值为

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

其中

$$\epsilon_0 = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

称为真空介电常数.

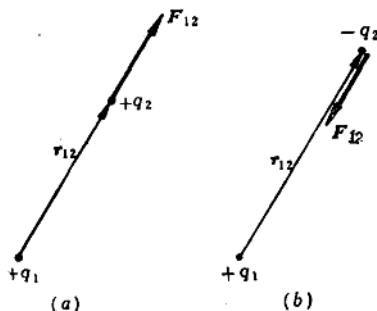


图 12-1

值得注意的是, 库仑定律只能用于描述两个静止的点电荷之间的相互作用. 对于运动的电荷之间, 除了静电相互作用之外, 还有磁相互作用. 库仑定律虽然是描述处于真空中的两个点电荷之间的相互作用, 但对于处于空气中的点电荷也可以适用, 因为在

通常大气压下,空气对点电荷之间的相互作用的影响很小,只使作用力的大小偏离其真空中数值的二千分之一左右。除了空气以外的其他物质对电荷之间的相互作用有较大或很大影响,将在以后讨论。

例题 1 三个点电荷 q_1 、 q_2 和 Q 所处的位置如图 12-2 所示,它们所带的电量分别为 $q_1 = q_2 = 2.0 \times 10^{-6} \text{C}$, $Q = 4.0 \times 10^{-6} \text{C}$ 。求 Q 所受 q_1 和 q_2 对它的作用力。

解 首先应该分别利用库仑定律计算出 q_1 对 Q 的作用力 F 和 q_2 对 Q 的作用力 F' , 然后再求出这两个作用力的合力。我们先计算 q_1 对 Q 的作用力 F 。 F 的方向如图 12-2 所示。而 F 的大小为

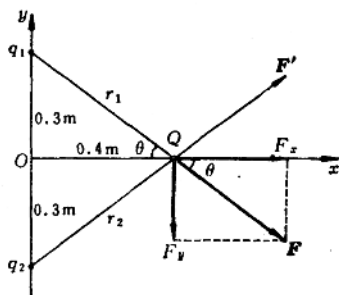


图 12-2

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 Q}{r_1^2} = 8.99 \times 10^9 \times \frac{2.0 \times 10^{-6} \times 4.0 \times 10^{-6}}{(0.3^2 + 0.4^2)} = 0.29 \text{ N}$$

F 沿 x 轴和 y 轴方向的两个分量为

$$F_x = F \cos \theta = 0.29 \times \frac{0.4}{0.5} = 0.23 \text{ N}$$

$$F_y = -F \sin \theta = -0.29 \times \frac{0.3}{0.5} = -0.17 \text{ N}$$

同样,可以计算出 q_2 对 Q 的作用力 F' 。 F' 的方向也如图 12-2 所示。 F' 的大小为 0.29 N。 F' 的两个分量为

$$F'_x = F' \cos \theta = 0.23 \text{ N}, \quad F'_y = F' \sin \theta = 0.17 \text{ N}$$

显然,由于 F 和 F' 的 y 分量大小相等,方向相反,因而互相抵消。 Q 所受 q_1

和 q_1 对它的作用力的合力,方向沿 x 轴的正方向,大小为

$$f = F_x + F'_x = 0.23 \times 2 = 0.46 \text{ N}$$

§ 12-2 电场和电场强度

一、电场

一个物体对另一个物体的作用力,不是通过直接接触来传递,就是借助于它们之间的其他物质来传递。正象万有引力是通过在物体周围空间存在的引力场这种特殊物质来传递一样,在电荷周围空间也存在一种特殊物质,借以传递电荷之间的相互作用力。这种特殊物质称为**电场**。当物体带电时,在它的周围就存在电场。电场有一种重要属性,即任何一个置于其中的电荷,都将受到电场对它的作用力,这种力称为**电场力**。例如,电荷 q_1 处于另一个电荷 q_2 附近,就是处于 q_2 的电场中, q_1 所受到的电场力,就是这个电场作用于它的。反之,也有同样的情况。

综上所述,我们可以把电荷之间的相互作用,归结为**电荷激发电场**,电场对于置于其中的其他电荷施以**电场力**作用。由此,我们得到一个判断电场存在的可靠方法:若将一个电荷引到空间某点,如果它受到电场力的作用,则可断定该点存在电场;如果没有电场力作用于它,则可断定该点不存在电场。

二、电场强度

既然可以把一个电荷引到空间某点,观察它是否受到电场力的作用来判断该点是否存在电场,那么我们也一定可以根据这个电荷在该点受到的电场力的大小和方向来表征该点电场的状况。

实验表明,在一般情况下,当把电荷 q_0 引入某带电体所产生的电场时,由于电荷 q_0 所产生的电场的作用,引起了带电体上电荷的重新分布,因而带电体在周围所激发的电场状况也发生了变化。如果电荷 q_0 的电量很小,它所引起的电场变化也将很小。所以,用来确定电场状况的电荷 q_0 必须是一个电量很小的电荷。另

外,为了确切地代表一点的电场状况,电荷 q_0 的体积必须很小,即 q_0 必须是一个点电荷。由此可见,用来确定电场状况的电荷,必须是电量很小的点电荷,这样的电荷称为试探电荷。

试探电荷 q_0 被引入电场后,它所受到的电场力 F 的大小和方向都与 q_0 有关: F 的大小正比于试探电荷的电量 q_0 , F 的方向随 q_0 的符号而异。进一步发现,比值 $\frac{F}{q_0}$ 无论大小,还是方向都与 q_0 无关,只与试探电荷所在处的电场状况有关,即仅仅决定于产生这个电场的带电体所带的电量及其分布。因此,我们可以用比值 $\frac{F}{q_0}$ 来描电场的状况。比值 $\frac{F}{q_0}$ 就称为电场强度,简称场强,用 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (12-3)$$

因此,电场中某点的电场强度的大小,等于单位正电荷在该点所受到的电场力的大小;电场强度的方向与正电荷在该点所受到的电场力的方向一致。

电场强度的单位可根据式(12-3)确定,在国际单位制中为牛顿/库仑($\text{N} \cdot \text{C}^{-1}$)。以后我们会知道,电场强度还可以用伏特/米($\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$)表示。

三、电场强度的计算

1. 单个点电荷所产生的场强: 空间一点电荷 q , 现求距离此点电荷为 r 的 P 点的场强。根据上述确定电场的方法,我们将试探电荷 q_0 引到 P 点。根据库仑定律,作用于 q_0 上的电场力 F 为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_0}{r^2} \mathbf{r}$$

式中 $\mathbf{r}$ 为 P 点相对于点电荷 q 的位置矢量。根据式(12-3), P 点的场强为

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{r} \quad (12-4)$$