

职工工业余中等学校高中课本



# 物 理

下 册

353

上海教育出版社

## 说 明

职工工业余中等学校高中物理课本是按照教育部制订的《职工工业余中等学校物理教学大纲(试行草案)》，以一九八〇年人民教育出版社出版的《工农业余中等学校高中物理课本》为基础编成的，供干部、职工工业余学校教学使用。

这套课本分上、下两册。上册的内容包括力、物体的平衡，直线运动，牛顿运动定律，曲线运动、万有引力，功和能，动量，机械振动和机械波，气态方程、热力学第一定律等八章；下册的内容包括电场，直流电路，磁场、电磁感应，交流电、交流电路，电磁振荡和电磁波，光的传播，光的本性，原子物理初步等八章。这套课本的教学时数为198—240学时；上册为115—135学时，下册为88—105学时。标有\*的为选学内容。

这套课本是由教育部组织上海市的部分教师和有关人员编写的，由谢培审定。本册课本由李世珊、陆家瑾编写。

**职工教材编写组**

## 第9章 电 场

9-1 库仑定律 .....	1
习题 9-1 .....	7
9-2 电场 电场强度 .....	8
习题 9-2 .....	12
9-3 电力线 匀强电场 .....	13
习题 9-3 .....	18
9-4 电势能 电势 电势差 .....	19
习题 9-4 .....	24
9-5 电势差与场强的关系 等势面 .....	26
习题 9-5 .....	29
9-6 带电粒子在电场中的运动 .....	30
习题 9-6 .....	33
9-7 电场中的导体 .....	34
习题 9-7 .....	38
*9-8 电场中的绝缘体 .....	40
习题 9-8 .....	42
9-9 电容器 .....	42
习题 9-9 .....	47
*9-10 电容器的连接 .....	48
习题 9-10 .....	50
*9-11 静电的危害和应用 .....	51
本章提要 .....	53

## 第10章 直流电路

10-1 部分电路的欧姆定律	58
习题 10-1	60
10-2 串联电路和并联电路	61
习题 10-2	72
10-3 电流的功和功率	75
习题 10-3	78
10-4 电源 电动势	79
10-5 全电路的欧姆定律	83
习题 10-4	88
10-6 电池组	90
习题 10-5	93
10-7 电阻测定法	94
习题 10-6	99
本章提要	100

## 第11章 磁场 电磁感应

11-1 磁场对电流的作用力	104
习题 11-1	113
11-2 磁场对通电线圈的作用力矩	115
习题 11-2	119
11-3 磁场对运动电荷的作用力	120
习题 11-3	126
11-4 电磁感应现象	127
11-5 楞次定律	129
习题 11-4	132

11-6 法拉第电磁感应定律	133
习题 11-5	138
11-7 自感现象	140
习题 11-6	144
*11-8 涡流及其应用	145
本章提要	146

## 第 12 章 交流电 交流电路

12-1 交流电的产生	150
习题 12-1	154
12-2 交流电的基本参量	155
习题 12-2	161
12-3 纯电阻、纯电感、纯电容电路	162
习题 12-3	169
12-4 变压器原理	170
习题 12-4	174
本章提要	175

## 第 13 章 电磁振荡和电磁波

13-1 电磁振荡	178
习题 13-1	183
13-2 电磁波	183
习题 13-2	188
13-3 电磁波的发射和接收	189
本章提要	194

## 第 14 章 光的传播

14-1 光的反射	196
-----------	-----

习题 14-1	199
14-2 光的折射	200
习题 14-2	208
14-3 棱镜	209
习题 14-3	211
14-4 透镜	212
习题 14-4	218
本章提要	220

## 第15章 光的本性

15-1 光的微粒说和波动说	223
15-2 光的干涉	224
习题 15-1	228
15-3 光的衍射	229
*15-4 光的偏振	230
15-5 光的电磁本性	233
15-6 光电效应	237
习题 15-2	244
*15-7 微观粒子的波粒二象性	245
本章提要	246

## 第16章 原子物理学初步

16-1 原子的核式结构	249
16-2 氢原子的理论	251
*16-3 光谱和光谱分析	253
16-4 天然放射现象	257
16-5 原子核的人工转变	261

习题 16-1	267
*16-6 原子核的结合能	267
16-7 重核的裂变	271
16-8 轻核的聚变	276
*16-9 基本粒子	278
本章提要	283

### 学 生 实 验

实验六 测定电源的电动势和内电阻	287
实验七 用惠斯登电桥测定电阻	289
实验八 电磁感应现象的研究	291
实验九 凸透镜焦距的测定	293
总复习题	297

## 第9章 电 场

电磁学及其应用对人类的影响十分巨大，研究电磁现象的规律不仅能使我们认识周围的物质世界，更重要的是使我们能应用这些规律去改造自然，为社会主义建设事业服务。

电磁现象的发现，可追溯到很久以前。例如，我国在春秋时期就发现了磁铁吸引铁的现象，在东汉时期就有“顿牟掇芥”即带电的琥珀吸引轻小物体的记载。但是真正建立起完整的电磁学理论体系已是十九世纪的事了。

按照电学发展的历史，人们首先研究电荷处在宏观的静止状态下的各种情况，并由此确立了一系列基本概念，我们也将从研究静电场着手。

### 9-1 库 仑 定 律

我们已经知道自然界只存在两种电荷：正电荷和负电荷，而且同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

使物体带电叫做起电。用摩擦的方法使物体带电叫做摩擦起电。

摩擦起电是物体在摩擦过程中，使电荷从一个物体转移到另一物体，一个物体失去了电子就带正电，另一个物体得到了电子就带负电。它们之间得失的电子数目总是相等。

物体所带电荷的量值叫做电量，常用符号 $Q$ 或 $q$ 表示。电量的单位为库仑，中文代号“库”，国际符号“C”。实验表明：



物体所带的电量总是某一基本电荷  $e$ <sup>①</sup> 的整数倍。

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 库},$$

$$1 \text{ 库} = \frac{1}{1.602 \times 10^{-19}} e = 6.24 \times 10^{18} e.$$

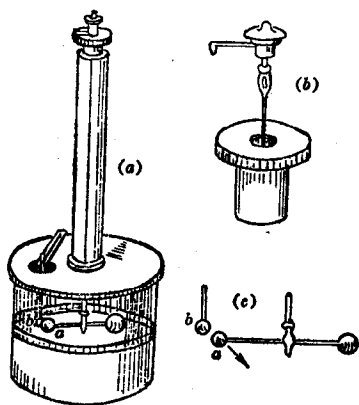


图 9-1

对同种电荷相斥和异种电荷相吸的定量研究,最早是由法国科学家库仑在 1784—1785 年通过扭秤实验总结出来的。扭秤结构,如图 9-1 所示,在细金属丝下悬均匀的绝缘杆,它的一端有一带电木髓小球  $a$ ,另一端为平衡纸片,而在  $a$  附近有一带电体  $b$ ,它作用在  $a$  球上的电力使杆偏转,转动悬

丝上端的旋钮使小球回到原来位置。这时悬丝的扭力矩跟电荷间相互作用力的力矩平衡。如果悬丝的扭力矩与扭角之间关系已事先校准、标定,则可从旋钮上指针转过的角度读数和已知的秤杆长度,求得在此距离下  $a$ 、 $b$  两球的相互作用力。不断改变两球之间距离,可找出电荷间的相互作用力和带电体距离之间的关系,然后设法改变两球所带的电量,再找出电荷间相互作用力和所带电量之间的关系。

当带电体间距离比它们自身的直径大得多时,带电体的

① 电荷量值有一个基本单元,即一个质子或一个电子所带电量的绝对值  $e$ ,称为基本电荷。基本电荷的电量首先由美国科学家密立根通过油滴实验测定。

形状和电荷在其中的分布已影响不大，就跟电荷全部集中在一点一样，此时我们可把带电体抽象为一个点电荷。

库仑通过多次实验总结出了点电荷间相互作用的规律——库仑定律。

两个点电荷  $q_1$  和  $q_2$  相互作用力  $F$  的大小和它们的电量  $q_1$  及  $q_2$  的乘积成正比，和它们之间的距离  $r$  的平方成反比。作用力的方向沿着它们的连线(图 9-2)。真空中库仑定律的表示式为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}。$$

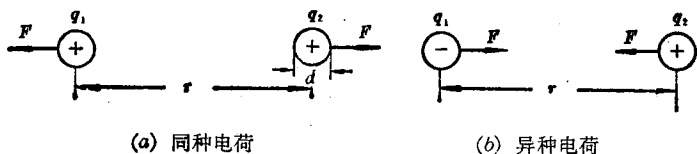


图 9-2  $r \gg d$ , 带电体看成点电荷

如果两个点电荷之间充满某种绝缘物质(我们有时把绝缘物质叫做电介质)，实验证明，上述库仑定律仍然成立。但是，电荷间相互作用力的大小比在其他条件相同的情况下在真空中的相互作用力小了，此时库仑定律可以下式表示：

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon_r r^2}。$$

在国际单位制(SI)中上式各物理量的单位： $q$  是库(C)， $r$  为米(m)， $F$  为牛(N)。其中  $k$  为静电力恒量。由实验确定  $k = 8.988 \times 10^9$  牛·米<sup>2</sup>/库<sup>2</sup>  $\approx 9.0 \times 10^9$  牛·米<sup>2</sup>/库<sup>2</sup>。

式中  $\epsilon_r$  叫做电介质的相对介电常数。下表所列是几种

常见物质的相对介电常数:

真空	1	煤油	2.0~4.0
空气	1.000586	石蜡	2.0~2.1
氢	1.000264	瓷	5.7~6.8
云母	3.7~7.5	氧化钛陶瓷	60~100
玻璃	5~10	聚乙烯	2.3
纸	1.2~3.5	聚氯乙烯	5.8~6.4
水	75~81	钛酸钡	2000~3000

式中点电荷  $q_1$ 、 $q_2$  为同种电荷时, 两者间的作用为斥力; 点电荷  $q_1$ 、 $q_2$  为异种电荷时, 两者间的作用为引力, 如图 9-2(a)、(b) 所示。

我们也可以把带电的正负作为  $q_1$ 、 $q_2$  的代数符号代入库仑定律的公式中, 那么计算的结果当  $F$  为正时, 就表示两电荷间的相互作用力是斥力; 当  $F$  为负时, 就表示两电荷间的相互作用力是引力。因此由库仑定律得出电荷之间的相互作用力常称为库仑力或静电力。

库仑定律只适用于点电荷, 如果相互作用的电荷在两个以上, 则任何一个点电荷所受的力就等于其他各点电荷对它作用力的矢量和。

在空气中两个点电荷间的静电力可以认为与真空中相同, 其他介质中的库仑力只有在其他条件相同的情况下才是真空中库仑力的  $\frac{1}{\epsilon_r}$ 。

〔例题 1〕 小球  $A$  和  $B$  各带正电荷  $Q$  库仑, 相距  $r$  时, 相互排斥力为  $F$ , 求: (1) 当  $A$  球与  $B$  球相距为  $2r$  时, 相互排斥力为多少? (2) 若  $A$  球带电量增为  $2Q$ , 则它们之间排斥力为多少? (3) 如电量、距离都没有改变, 但把它们放在

相对介电常数为  $\epsilon_r$  的电介质中，它们之间的排斥力又是多少？

〔解〕 (1) 当小球的带电量没有变化而距离从  $r$  变化到  $2r$  时，从库仑定律可以知道，它们相互排斥力与距离平方成反比，即

$$\frac{F_1}{F} = \frac{r^2}{(2r)^2} = \frac{1}{4},$$

所以

$$F_1 = \frac{1}{4} F_0.$$

(2) 当距离  $r$  不变时，由库仑定律知道，排斥力与电量的乘积成正比，即

$$\frac{F_0}{F} = \frac{2Q \cdot Q}{Q \cdot Q} = 2,$$

所以

$$F_2 = 2F_0.$$

(3) 放在电介质中的点电荷间相互作用力为在其他条件相同情况下，作用力  $F$  的  $\frac{1}{\epsilon_r}$  倍。即

$$F_3 = \frac{1}{\epsilon_r} F_0.$$

〔例题 2〕 两个带有等量同种电荷的小球，质量各为  $1.0 \times 10^{-4}$  千克，各用 0.5 米长的细线挂在同一点上。在空气中两球因彼此相斥而张开，平衡时，两球相距 0.2 米，求每个小球所带的电量 (图 9-3)。如果把这两个小球浸在  $\epsilon_r = 4$  的煤油中而仍相距 0.2 米时，小球所带电量又应是多少？

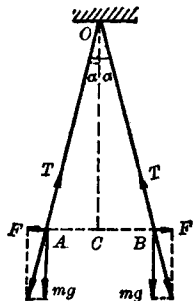


图 9-3

〔解〕 取 A 球研究。设 A 球带电量为  $q$ ，小球在重力  $mg$ 、细绳张力  $T$  和库仑力  $F$  作用下处于平衡状态。从受力

图可知

$$\frac{F}{mg} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{OC} = \frac{0.1}{\sqrt{0.5^2 - 0.1^2}}。$$

在空气中,  $F = k \frac{q^2}{r^2}$ ; 在煤油中, 如果小球所受浮力与其它力相比可忽略不计, 库仑力  $F' = k \frac{q'^2}{\epsilon_r r^2}$ , 式中  $\epsilon_r$  为煤油的相对介电常数。那么在空气中

$$\begin{aligned} q &= r \sqrt{\frac{F}{k}} = r \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{k}} \\ &= 0.2 \sqrt{\frac{1.0 \times 10^{-4} \times 9.8}{9 \times 10^9}} \times \frac{0.1}{\sqrt{0.5^2 - 0.1^2}} \\ &= 3.0 \times 10^{-8} \text{ (库)}。 \end{aligned}$$

在煤油中

$$\begin{aligned} q' &= r \sqrt{\frac{\epsilon_r F'}{k}} = \sqrt{\epsilon_r} \cdot r \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{k}} = \sqrt{\epsilon_r} q \\ &= \sqrt{4} \times 3.0 \times 10^{-8} = 6.0 \times 10^{-8} \text{ (库)}。 \end{aligned}$$

〔例题 3〕 氢原子由一个质子和一个电子组成, 已知质子质量  $m_H = 1.67 \times 10^{-27}$  千克, 电子质量  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$  千克, 电荷分别为  $\pm e = \pm 1.60 \times 10^{-19}$  库, 万有引力常数  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  牛·米<sup>2</sup>/千克<sup>2</sup>, 求库仑力与万有引力的比值。

〔解〕 在计算中质子和电子带电量  $q$  可取绝对值:

$$q_1 = q_2 = e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 库}。$$

它们之间库仑力为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{e^2}{r^2}，$$

它们之间的万有引力为

$$F_G = G \frac{m_e m_H}{r^2}。$$

库仑力与万有引力比值为

$$\begin{aligned} \frac{F}{F_G} &= \frac{ke^2}{Gm_e m_H} \\ &= \frac{9 \times 10^9 \times (1.60 \times 10^{-19})^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 9.11 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}} \\ &= 2.27 \times 10^{39}。 \end{aligned}$$

可以看出原子内部库仑力远远大于万有引力，所以在研究电子绕核运动时可以不考虑万有引力。作用在电子上的力主要为库仑力。

### 习 题 9-1

1.  $A$ 、 $B$  两点电荷原来距离  $r$ ，各带等量同种电荷，若  $A$  的电量增为原来的 3 倍，它们之间的距离也增为原来的 3 倍，求两次库仑力之比。

2. 小球  $A$  和  $B$  各带正电荷  $q$ ，放在相距 0.1 米处，第三小球  $C$  带电荷  $2q$ ，当(1) $C$  带正电荷，(2) $C$  带负电荷时， $C$  球应放在何处，才能使  $B$  球所受电力平衡？

3. 一个点电荷  $q$  的电量是  $2 \times 10^{-9}$  库仑，在水中受到另一个点电荷  $Q$  的吸引，引力是  $2 \times 10^{-4}$  牛顿， $q$  跟  $Q$  相距 5 毫米，求  $Q$  的电量(设水的相对介电常数为 81)。

4. 在真空中有两个点电荷，其中一个电荷所带的电量是另一个的四倍，它们相距  $5 \times 10^{-2}$  米时，相互斥力为 1.6 牛，求：(1)它们相距 0.10 米时，相互斥力是多少？(2)两点电荷的电量各为多少？

5. 为了得到电量为一库仑大小的概念，试计算两个都是一库仑的点电荷在真空中相距一米时和相距一千米时的相互作用力。

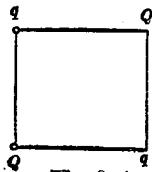


图 9-4

6. 图 9-4 所示正方形的两个对角上各放一电荷  $Q$ , 其他两个对角上各放电荷  $q$ , 如果使  $Q$  受合力为零, 则  $Q$  与  $q$  关系如何?

7. 在电学中常用到一个常数  $\epsilon_0$ , 叫做真空介电常数。 $\epsilon_0$  与  $k$  的关系是  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 。试求国际单位制中  $\epsilon_0$  的数值和单位。

## 9-2 电场 电场强度

**电场** 电荷之间的相互作用力可以相隔一定的距离, 它们间的作用是怎样发生的呢? 经过长期的科学研究, 人们终于认识到: 凡是有电荷, 它的周围就存在一种特殊物质叫做**电场**。电场对于处在它中间的其他电荷都有力的作用, 因此电荷之间是通过电场发生相互作用的。电荷间相互作用的静电力, 实际上是电场对电荷的作用力, 所以静电力常叫做**电场力**。

实验告诉我们, 电场是分布在一定范围的空间中的, 因此, 要描述电场的性质, 就必须研究电场中每一点的情况。电场的性质首先是电场对于处在其中的电荷有力的作用, 我们现在就来研究这个问题。

**电场强度** 为了研究电场的力的性质, 我们在电场中引入一个电量很小的正电荷  $q$ , 人们常常把这样的电荷叫做**检验电荷**并假设这个电荷  $q$  的引入不会影响原来的电场。我们做一个如图 9-5 所示的实验, 在带电体  $Q$  电场中, 把检验电荷先后放在  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  各位置, 观察电场对它们的作用力  $F_a$ 、 $F_b$ 、 $F_c$ 、 $F_d$  ( $F$  的大小可从丝线对铅垂线偏角大小确定)。可以看出, 在电场中不同点处所受电场力的大小一般是不相同的,

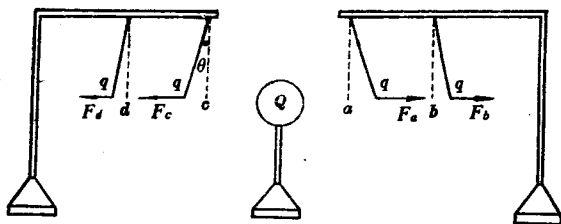


图 9-5 用检验电荷测场强

而且方向也可能是不同的。这说明电场中不同的点，电场强弱、方向是不同的。

现在再研究电场中任一点  $a$  的性质，根据库仑定律， $q$  在  $a$  点所受的库仑力设为  $F_a$ 。如果将检验电荷增大为  $2q$ ， $3q \cdots nq$  时，则它所受的电场力将增大为  $2F_a$ 、 $3F_a$ 、 $\cdots nF_a$ ，而力的方向不变。因此，对于电场中固定的某点来讲，比值  $\frac{F_a}{q} = \frac{2F_a}{2q} = \frac{nF_a}{nq} = \text{恒量}$ ，它不随检验电荷的电量改变而改变。同样，在电场中的不同点  $b$ 、 $c$ 、 $d$  可以知道  $\frac{F_b}{q}$ 、 $\frac{F_c}{q}$ 、 $\frac{F_d}{q}$  也各都是恒值，但不同点，这个比值一般是不相等的。可以看出，如果检验电荷相同，在这个比值大的点，检验电荷所受的电场力就大，表明该点的电场强，所以比值  $F/q$  是反映电场本身性质，它与检验电荷的电量无关，表示了电场在每点的强弱，我们把放入电场中某点，检验电荷所受的电场力  $F$  跟它的电量  $q$  之比，叫做这点的**电场强度**，简称**场强**，用符号  $E$  表示。写成公式

$$E = \frac{F}{q}。$$

因为力  $F$  是矢量，所以电场强度也是矢量，其方向规定



为正电荷在该点所受电场力的方向。

在国际单位制中,  $F$  单位为牛顿,  $q$  单位为库仑,  $E$  的单位为牛顿/库仑, 用符号  $N/C$  表示。

现在求点电荷  $Q$  的电场内, 距离  $Q$  为  $r$  处的电场强度。

因为在相对介电常数为  $\epsilon_r$  的电介质中, 库仑力

$$F = k \frac{Qq}{\epsilon_r r^2},$$

所以

$$E = \frac{F}{q} = k \frac{Q}{\epsilon_r r^2}。$$

点电荷的电场中, 各点场强是与形成电场的点电荷的电量成正比, 而与该点到点电荷的距离平方成反比。图 9-6 表示单个电荷  $Q$  周围的场强的方向以及场强大小随离  $Q$  的距离  $r$  增加而迅速减小。

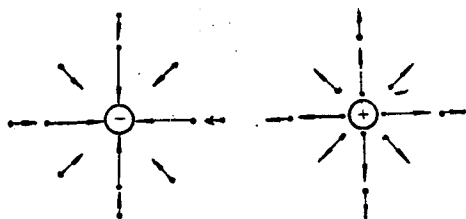


图 9-6 点电荷场强

如果要求点电荷组所形成的电场中某点的场强, 可分别先求出各点电荷单独存在时在该点的场强  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3 \cdots E_n$ , 然后求出它们的矢量和, 即点电荷组在该点的场强

$$E = E_1 + E_2 + \cdots + E_n。$$

〔例题〕 在真空中有两个点电荷  $Q_1$  和  $Q_2$ ,  $Q_1 = 1.2 \times 10^{-8}$  库,  $Q_2 = -1.2 \times 10^{-8}$  库, 求电场中  $a$ 、 $b$  两点的场强 (图 9-7)。