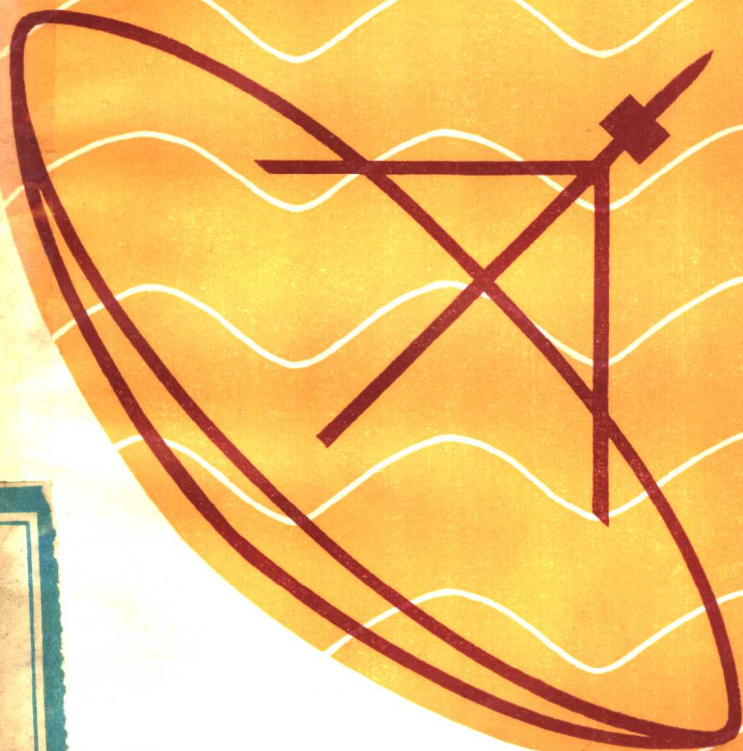


中学物理

难点选讲



中学物理基础训练

下册

中学物理基础训练

中学物理难点选讲

下 册

张新鼎 朱培英 区品略

甘肃人民出版社

责任编辑：梅榆生

封面设计：马和生

中学物理难点选讲 下 册

张新鼎、朱培英、区品略

甘肃人民出版社出版

(兰州第一新村51号)

甘肃省新华书店发行 天水新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张9.75 字数206,000

1984年2月第1版 1984年2月第1次印刷

印数：1—18,780

书号：7096·186 定价：0.81元

内 容 提 要

根据高中物理教材中的重点和难点，本书在中学教材的范围内，阐明了一些重要物理定律和物理概念的意义，适用条件和范围，以具体问题为例，说明怎样运用这些物理定律和物理概念解决物理问题。在例题的解答中，着重对问题的分析，有的题目，还提出了不同解法，并对各种解法作了比较，以帮助读者打开思路，掌握解题的方法。

本书可供高中学生，自学高中物理的青年，及物理教学工作阅读。

全书分上、下两册出版，上册包括力学和热学的内容；下册包括电磁学、光学和原子物理的内容。

目 录

第六章 电 场	(1)
一、真空中的库仑定律.....	(1)
二、电场力的特性.....	(6)
三、电场能的特性.....	(11)
四、电场的形象表示.....	(16)
五、带电粒子在电场中的运动.....	(21)
六、电场中的导体.....	(32)
七、电容.....	(36)
第七章 直流电路的计算	(49)
一、电阻.....	(49)
二、欧姆定律.....	(61)
三、电路中能量的转换 电功率.....	(80)
四、复杂电路.....	(90)
第八章 电流与磁场	(102)
一、电流的磁场.....	(102)
二、磁场对电流的作用.....	(108)
第九章 电磁感应	(135)
一、动生电动势.....	(135)
二、感生电动势.....	(161)
第十章 几何光学中的成像问题	(179)
一、成像问题中的几个基本概念.....	(179)

二、光学符号	(182)
三、处理几何光学成像问题的方法	(189)
四、光学系统的成像问题举例	(191)
第十一章 原子物理知识	(270)
一、原子的结构	(270)
二、原子核的结构	(285)

第六章 电 场

带电物体在它周围产生电场。电场的基本性质是：对放在电场中的带电体有力的作用，这种力也称为电场力；电场力在移动电荷的过程中要对电荷做功，说明电场有能的特性。本章主要讨论在真空中相对于观察者静止的电荷周围的电场（即静电场）的力的特性和能的特性。

一、真空中的库仑定律

（一）库仑定律的内容

实验表明：在真空中两个点电荷 q_1 与 q_2 之间的相互作用力的大小跟 q_1 与 q_2 的乘积成正比，跟它们之间的距离 r 的平方成反比，作用力的方向在它们的连线上，这就是真空中的库仑定律。用公式可表示为：

$$F = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad 6-1$$

式中 K 是比例系数，在国际单位制中，电量的单位是库仑，距离的单位是米，力的单位是牛顿， K 的数值和单位是 9×10^9 牛顿·米²/库仑²。

6-1式只适用于点电荷之间的相互作用。所谓点电荷就是：当两个带电体间的距离比每一个带电体的大小都大得多时，它们之间的作用力主要决定于它们之间的距离和所带

的电量，可以忽略带电体的形状和大小，把带电体所带的电量看成是集中在一点上，这样的带电体可以看成是点电荷。显然，点电荷是一个物理模型。一个带电体能否看成点电荷，必须根据所讨论的问题的具体情况来决定。

6—1式中的 q_1 、 q_2 的正、负号仅用以判别 F 是斥力还是引力。若 q_1 、 q_2 符号相同， F 得正值，判断 F 是斥力；若 q_1 、 q_2 符号相反， F 得负值，则 F 是引力。也可以在判断了作用力是斥力还是引力之后，以 q_1 、 q_2 的绝对值代入6—1式计算 F 的值。

6—1式所计算的力 F 是电荷 q_1 、 q_2 之间的相互作用力，是一对作用和反作用力。

(二) 库仑定律的运用

1. 计算带电体的带电量

【例1】两个相同的导电球带有异种电荷，相距0.5米时，彼此以0.108牛顿的力相吸，两球用一导线连接，然后将导线拿去，拿去导线后，两球以0.036牛顿的力相斥，那么两球上原来的带电量各是多少？

解：设两个导电球所带的电量分别是 q 和 Q ，根据所给的条件应有：

$$K \frac{qQ}{r^2} = F_1$$

$$\text{即} \quad 9 \times 10^9 \frac{qQ}{0.5^2} = -0.108 \dots\dots\dots \text{①}$$

因为 q 与 Q 是异种电荷，为了把作用力是吸引力表示出来，所以①式中等号右侧有负号。

当两球用导线相连时，根据电荷守恒原理（电荷既不能

创生，也不能消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一部分转移到另一部分，也就是说，在任何物理过程中电荷的代数和是守恒的），总电量是 $Q+q$ ，

两个相同的球应各带总电量的一半、即 $\frac{Q+q}{2}$ ，应有，

$$K \left(\frac{Q+q}{2} \right)^2 / r^2 = F_2$$

即， $9 \times 10^9 \frac{(Q+q)^2}{4 \times 0.5^2} = 0.036 \dots \dots \dots ②$

由①式得： $qQ = -3 \times 10^{-12} \dots \dots \dots ③$

由②式得： $(Q+q)^2 = 4 \times 10^{-12}$

即， $Q+q = \pm 2 \times 10^{-6} \dots \dots \dots ④$

$Q+q$ 为正或为负都是可能的。 $Q+q$ 为正，说明正、负电荷中和后剩余电荷为正电荷； $Q+q$ 为负，说明正、负电荷中和后剩余电荷为负电荷。把 $Q+q = 2 \times 10^{-6}$ 代入③式可得：

$$(2 \times 10^{-6} - q)q = -3 \times 10^{-12}$$

即 $q^2 - 2 \times 10^{-6}q - 3 \times 10^{-12} = 0$

解得： $q_1 = 3 \times 10^{-6}$ 库仑， $q_2 = -1 \times 10^{-6}$ 库仑。

把 q_1 、 q_2 分别代入 $Q+q = 2 \times 10^{-6}$

得： $Q_1 = -1 \times 10^{-6}$ 库仑， $Q_2 = 3 \times 10^{-6}$ 库仑。

把 $Q+q = -2 \times 10^{-6}$ 代入③式可得：

$$(-2 \times 10^{-6} - q)q = -3 \times 10^{-12}$$

即 $q^2 + 2 \times 10^{-6}q - 3 \times 10^{-12} = 0$

解得： $q_1' = -3 \times 10^{-6}$ 库仑， $q_2' = 1 \times 10^{-6}$ 库仑。

$$Q_1' = 1 \times 10^{-6} \text{ 库仑， } Q_2' = -3 \times 10^{-6} \text{ 库仑。}$$

答：两球所带的是异种电荷，电量的值分别是 3×10^{-6} 库仑和 1×10^{-6} 库仑。

【例2】三个相同的点电荷 q 放置在等边三角形的各顶点上，在此三角形的中心应放置怎样的电荷 Q ，才能使作用在每一个点电荷 q 上的合力为零。

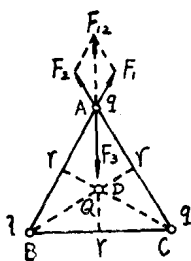


图 6-1

解：如图 6-1 所示，因 A、B、C 三个点电荷的受力情况是相同的，所以只要电荷 Q 对这三个点电荷中的任一个符合条件，则对其余两个电荷也必然符合条件。我们通过对 A 电荷所受的力的讨论来确定电荷 Q 应满足的条件。设三角形各边的长为 r ，B 电荷对 A 电荷的作用力为：

$$F_1 = K \frac{q^2}{r^2} \dots\dots\dots ①$$

C 电荷对 A 电荷的作用力为：

$$F_2 = K \frac{q^2}{r^2} \dots\dots\dots ②$$

因为 F_1 、 F_2 的夹角是 60° ，而且 F_1 与 F_2 的数值相等，所以它们的合力

$$F_{12} = 2F_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} K \frac{q^2}{r^2} \dots\dots\dots ③$$

要使 A 电荷所受的合力为零，在三角形中心 D 处所放的电荷 Q 对 A 电荷的作用力 F_3 必须跟 F_{12} 大小相等，方向相反，所以，电荷 Q 与 q 是异号电荷，而且 Q 的大小满足

$$\left| K \frac{Qq}{DA^2} \right| = \sqrt{3} K \frac{q^2}{r^2} \dots\dots\dots ④$$

$$\text{其中 } \overline{DA} = \frac{2}{3} r \cos 30^\circ = \frac{r}{\sqrt{3}}$$

$$\text{把 } DA \text{ 代入④式得: } \left| K \frac{Qq}{\frac{r^2}{3}} \right| = \sqrt{3} K \frac{q^2}{r^2}$$

$$\therefore |Q| = \frac{\sqrt{3}}{3} q$$

答：在正三角形的中心放一个与电荷 q 异号的，大小为 $\frac{\sqrt{3}}{3}q$ 的电荷。

2. 处理多种力作用下带电体的平衡

在许多情况下带电体除了受到静电力的作用外，还会受到其它力（如万有引力、弹力等）的作用，在研究这种带电体的平衡状态时，需要全面分析它所受的各种力，并找出这些力之间的关系。这里需要说明的是，由于我们所研究的带电体的质量是不大的，因此带电体之间万有引力一般是很小的，跟静电力比较起来可以忽略不计。但是地球对带电体作用的引力（重力）是不能随意省略的。

【例3】两小球各带电 $q = 2 \times 10^{-7}$ 库仑，可以在无摩擦的两棒上自由滑动，如图 6-2 所示。若每个球的质量 $m = 0.1$ 克，求（1）两球的平衡位置；（2）棒对球的作用力。（ g 取 10 米/秒²）（ O 点是两棒的铰链点，两球平衡时，两棒夹角 60° ）

解：（1）设带电小球平衡时离开 O 点的距离是 L ，这时它受的

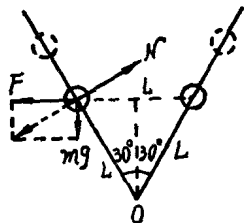


图 6-2

力有：重力 mg 、静电力 F 及棒对小球的弹力 N ，并且这三个力的合力为零。从图 6-2 可知：

$$F \cdot \tan 30^\circ = mg$$

$$F = \frac{mg}{\tan 30^\circ} = \sqrt{3} mg$$

即
$$K \frac{q^2}{L^2} = \sqrt{3} mg$$

所以
$$L = q \sqrt{\frac{K}{\sqrt{3} mg}} = 2 \times 10^{-7} \sqrt{\frac{9 \times 10^9}{\sqrt{3} \times 0.1 \times 10^{-3} \times 10}} \\ = 0.46 \text{ (米)}$$

(2) 从图 6-2 可知，棒对带电小球的作用力

$$N = mg / \sin 30^\circ = 2mg = 2 \times 0.1 \times 10^{-3} \times 10 \\ = 2 \times 10^{-3} \text{ (牛顿)}$$

答：小球平衡时离 0 点的距离是 0.46 米，棒对球的作用力是 2×10^{-3} 牛顿。

说明：在解本题时，由于两带电球之间的万有引力是很小的，故可忽略不计，但地球对带电球作用的力（重力）跟静电力相比较是不能忽略，必须考虑的。

二、电场力的特性

电荷周围有电场，电荷之间是通过电场发生相互作用的。电荷处在电场中受到电场力的作用，因此可通过检验电荷是否受到电场力的作用来确定是否有电场存在。同样可通过分析检验电荷所受的电场力来确定电场力的特性。

(一) 电场强度的概念

如图 6-3 所示，把检验电荷 q ，放到电荷 Q 的电场中的

a、b、c、d、p等处，因这些点到电荷Q的距离是不同的，所以检验电荷 q_0 在这些点所受的电场力的大小也是不同的。若以 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 等表示a、b、c、d、p各点到电荷Q的距离。 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 等表示将 q_0 放在Q的电场中的a、b、c、d、p处所受的电场力的大小。则：

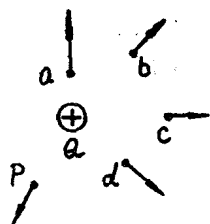


图 6—3

$$F_1 = K \frac{Qq_0}{r_1^2}, \quad F_2 = K \frac{Qq_0}{r_2^2}$$

$$F_3 = K \frac{Qq_0}{r_3^2}, \quad F_4 = K \frac{Qq_0}{r_4^2}$$

$$F_5 = K \frac{Qq_0}{r_5^2}$$

作用力F和 q_0 之比是：

$$\frac{F_1}{q_0} = \frac{KQ}{r_1^2}, \quad \frac{F_2}{q_0} = \frac{KQ}{r_2^2}$$

$$\frac{F_3}{q_0} = \frac{KQ}{r_3^2}, \quad \frac{F_4}{q_0} = \frac{KQ}{r_4^2}$$

$$\frac{F_5}{q_0} = \frac{KQ}{r_5^2}$$

可见，F与 q_0 的比值为：

$$\frac{F}{q_0} = \frac{KQ}{r^2}$$

这表明，将同一检验电荷 q_0 放在电场中的不同点，电场力F与检验电荷 q_0 的比值，跟形成电场的电荷Q成正比，跟检验电荷到电荷Q的距离的平方（ r^2 ）成反比，跟检验电荷

的电量 q_0 无关。

若把不同的检验电荷 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 等放在电荷 Q 形成的电场中的同一点，该点距电荷 Q 的距离为 r ，则电荷 q_1 、 q_2 、 q_3 、 q_4 、 q_5 受到的作用力分别是：

$$F_1' = K \frac{Qq_1}{r^2}, \quad F_2' = K \frac{Qq_2}{r^2}$$

$$F_3' = K \frac{Qq_3}{r^2}, \quad F_4' = K \frac{Qq_4}{r^2}$$

$$F_5' = K \frac{Qq_5}{r^2}$$

作用力跟检验电荷之比是：

$$\frac{F_1'}{q_1} = \frac{KQ}{r^2}, \quad \frac{F_2'}{q_2} = \frac{KQ}{r^2}$$

$$\frac{F_3'}{q_3} = \frac{KQ}{r^2}, \quad \frac{F_4'}{q_4} = \frac{KQ}{r^2}$$

$$\frac{F_5'}{q_5} = \frac{KQ}{r^2}$$

即
$$\frac{F}{q} = \frac{KQ}{r^2}$$

这也表明，将不同的电荷 q 放在电场中的同一点，电场力 F 跟检验电荷 q 的比值，与形成电场的电荷的电量 Q 成正比与检验电荷 q 到电荷 Q 的距离的平方（ r^2 ）成反比，与检验电荷 q 的电量无关。

可见， F/q 是仅与电场有关的量，它表征了电场的力的性质，把 F/q 称为电场强度，用符号 E 表示。

$$E = \frac{F}{q} \quad 6-2$$

电场强度 E 是矢量， E 的大小是： F/q 。 E 的方向是：规

定正电荷在电场中所受电场力的方向为E的方向。E的单位是：牛顿/库仑。

通过讨论点电荷所激发的电场中看到， F/q 是由电场决定而跟检验电荷无关的。其实对于其它的电场这一特性也都是存在的，所以 $E = \frac{F}{q}$ 对任何电场都是适用的。

电场强度跟电场力不同，电场中某一点的场强 $E = \frac{F}{q}$ = 恒量，它的大小和方向由电场本身决定，与放置在电场中的检验电荷 q 的大小，有无和正负都没有关系。 $E = \frac{F}{q}$ 提供检验电场的方法。电场力 $F = qE$ ，它的大小和方向是由置于电场中的电荷 q 和所在处的电场强度 E 共同决定的。如果知道了电场中各点的电场强度（简称场强），那么任何一个电荷在电场中任一个确定的点所受的电场力都可由 $F = qE$ 求出。

（二）真空中点电荷的电场强度

通过上面的分析，可以看到点电荷的电场强度的大小是

$$E = K \frac{Q}{r^2} \quad 6-3$$

6-3式是点电荷的电场强度的决定式。适用于点电荷所形成的电场。

（三）匀强电场

若电场中各点的场强的大小和方向都相同，这种电场称为匀强电场。比如，比较大的平行带电板（带异号电荷的）之间除了边缘部分之外，其余部分都可看作是匀强电场。同一电荷在匀强电场中各点所受的电场力的大小和方向都是相

同的。

(四) 电场的叠加

空间若有几个电荷同时存在，在它们所激发的电场中的某一点的电场强度，等于各电荷单独存在时所激发的电场在该点的场强之和。由于电场强度 E 是矢量，求合场强时应该

用矢量合成法则来进行。在解题时，要画出示意图，标明各个场强的方向，运用公式6—2或6—3计算出各个场强的绝对值，再用矢量合成法则求合场强。

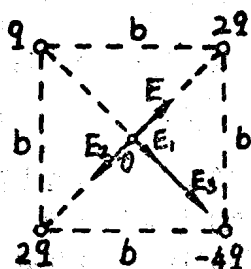


图 6-4

【例4】如图6-4所示，在边长为 b 的正方形的四个角，依次放着电荷 q 、 $2q$ 、 $-4q$ 和 $2q$ ，它的正中心处的电场强度是多大？方向如何？

解：正方形的中心 O 离四个角的距离都是 $\frac{\sqrt{2}}{2}b$ ，这四个电荷在 O 点的电场强度分别是 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E ，其中

$$E_1 = K \frac{q}{b^2/2} = K \frac{2q}{b^2}, \text{ 方向如图 6-4 所示。}$$

$$E_2 = K \frac{2q}{b^2/2} = K \frac{4q}{b^2}, \text{ 方向如图 6-4 所示。}$$

$$E_3 = K \frac{4q}{b^2/2} = K \frac{8q}{b^2}, \text{ 方向如图 6-4 所示。}$$

$$E = K \frac{2q}{b^2/2} = K \frac{4q}{b^2}, \text{ 方向如图 6-4 所示。}$$

因为 E_1 、 E 大小相等方向相反，所以它们之和是零，不影

响总场强。 E_1 、 E_3 是同向的，总场强 $E_0 = E_1 + E_3 = K \frac{2q}{b^2} + K \frac{8q}{b^2} = 10 K \frac{q}{b^2}$ ，方向跟 E_1 的方向一致。

三、电场能的特性

在电场中，放入一电荷，电荷在电场力作用下会发生位移。例如，在电荷 $+Q$ 的电场中，如果放入另一电荷 $+q$ ，电荷 $+q$ 就会在电场力的作用下沿着 Qq 连线的方向向外移动，即沿电场力的方向产生了位移，也就是说电场力对电荷做了功。因为功是能量转换的量度。所以电荷在电场中是有能量的。下面从能量的观点来讨论电场的特性。

(一) 电场力做功跟路径无关

【例 5】如图 6-5 所示，在两块无限大的均匀的带电平行板之间的电场中，有一电荷 q_0 。从电场中的 a 点移动到 b 点，在此过程中电场力所做的功是多少？

解：设两板间的电场强度为 E ，则电荷 q_0 在路径 ab 上的任意一点所受的力都是 $F = q_0 E$ 。把 ab 分解为位移小单位 ΔL_1 、 ΔL_2 …… ΔL_n 。在位移元 ΔL_i 上电场力所做的

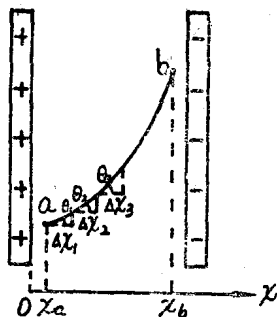


图 6-5