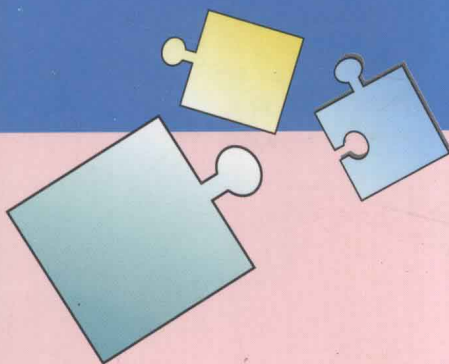


中学物理专题丛书

胡保祥

主编

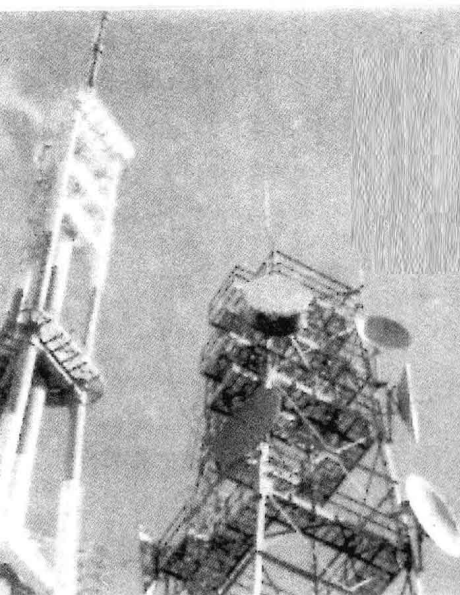


刘炳怀 李文福 洪泽平 编著

电场 与磁场

ZHONGXUE WULI ZHUANTI CONGSHU

湖北教育出版社



工编

物理专题丛书

电场 与磁场

刘炳怀 李文福 洪泽平 编著

5

湖北教育出版社

(鄂)新登字 02 号

图书在版编目(CIP)数据

电场与磁场/刘炳怀,李文福,洪泽平编著. —武汉:湖北教育出版社,2003

(中学物理专题丛书/胡保祥主编)

ISBN 7-5351-3731-8

I. 中… II. ①刘… ②李… ③洪… III. 物理课—中学—教学参考资料 IV. G634.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 042446 号

出版 发行:湖北教育出版社
网址: <http://www.hbedup.com>

武汉市青年路 277 号
邮编:430015 电话:027-83619605
邮购电话:027-83669149

经 销:新 华 书 店
印 刷:文字六〇三厂印刷
开 本:787mm×1092mm 1/32
版 次:2004 年 2 月第 1 版
字 数:175 千字

(441021·湖北襄樊盛丰路 45 号)
8.75 印张
2004 年 2 月第 1 次印刷
印数:1—8 000

ISBN 7-5351-3731-8/G·3039

定价:11.00 元

如印刷、装订影响阅读,承印厂为你调换

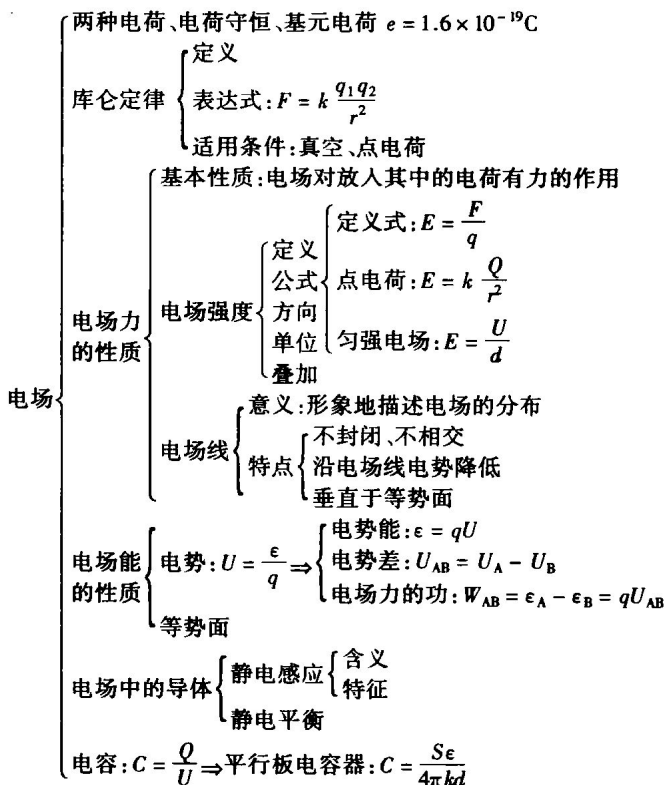
目录

第一章 电场	1
一 库仑定律	3
二 电场强度	13
三 电势 电势差	26
四 电势差与场强的关系	38
五 电场中的导体 电容	48
单元训练	65
第二章 磁场	74
一 磁场	75
二 磁场特性的描述	86
三 磁场对电流的作用力	99
四 磁场对运动电荷的作用力	116
单元训练	127
第三章 带电粒子的运动	138
一 带电粒子在电场中运动	139
二 带电粒子在磁场中运动	152
三 带电粒子在电磁场中运动	163
四 带电粒子在复合场中的 运动	181
单元训练	191
参考答案	203

第一章

电场

【知识结构】



【大纲要求】

电 场

内 容 和 要 求	演 示
元电荷 (A) 电荷守恒 (A) 电子的比荷 (A) 点电荷 (A) 真空中的库仑定律 (B)	电荷间的相互作用力 与电荷量及距离有关
电场 (A) 电场强度 (B) 电场线 (A) 点电荷的场强 (B) 匀强 电场 (B) 电场的叠加 (A)	电场线图
电势差 (B) 电势 (B) 等 势面 (A) 电势能 (A) 匀强电场中电势差和电场 强度的关系 (B)	
静电场中的导体 (A) 静电屏蔽 (A)	静电感应 静电平衡时电荷分布 在导体的外表面 静电屏蔽
带电粒子在匀强电场中的 运动 (B) 示波管 (A)	带电粒子在电场中的 偏转示波器的使用
电容器 (A) 电容 (B) 平行板电容器的电容 (A) 常 用的电容器 (A)	影响平行板电容器电 容的因素 常用的电容器
* 静电的利用和防止	* 静电的防止和利用 的实例

说明:

1. 带电粒子在匀强电场中运动的计算,指的是带电粒子进入电场时速度平行和垂直于场强的两种情况。
2. 在电容器的教学中,可以介绍电场能量的概念。

— 库仑定律

【学习目标】

1. 知道摩擦起电不是创造了电荷,而是使物体中的正负电荷分开。
2. 知道电荷守恒定律。
3. 知道什么是元电荷。
4. 掌握库仑定律,要求知道点电荷的概念,理解库仑定律的含义及其公式表达,知道静电力常量。
5. 会用库仑定律的公式进行有关的计算。

【知识要求】

1. 两种电荷、电量(q)

用丝绸或毛皮摩擦过的玻璃、硬橡胶棒都能吸引轻小物体,这表明它们在摩擦后进入一种特别的状态。处于这种状态的物体叫做带电体,并说它们带有电荷。

大量实验表明,自然界中的电荷只有两种,一种与丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷相同,叫正电荷;另一种与毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷相同,叫负电荷。注意:两种物质摩擦后所带的电荷总是等量异种电荷。

电荷的多少叫电量。在 SI 制中,电量的单位是 C(库)。
电荷间的相互作用:同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引。

2. 元电荷、点电荷、检验电荷

元电荷:自然界中最小的带电量单位。

数值: $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 。

注意:一个电子电量仅是数值上等于元电荷,其电性为负。

点电荷:点电荷是指不考虑形状和大小的带电体。

说明:①点电荷为理想化的模型,真正的点电荷是不存在的。

②若带电体间的距离比它们的大小大得多时,以致带电体的形状和大小对相互作用力的影响可以忽略不计,这样的带电体可以当作点电荷。

检验电荷:检验电荷是指电量很小的点电荷,当它放入电场后不会影响该电场的性质。

3. 电荷守恒定律

叙述:电荷不会创生也不会消失,只能从一个物体转移到另一个物体,或从物体的一部分转移到另一部分,电荷的总量保持不变。

电荷守恒定律揭示了在电荷的分离和转移的过程中总量保持不变的规律。同时应理解物体带电的本质是电荷的转移,而不是电荷的创生。电荷守恒定律是自然界重要的基本规律之一。要注意它在中和现象、三种起电(接触起电、摩擦起电、感应起电)过程、静电感应现象中的应用。

4. 库仑定律

(1)库仑定律:真空中两个点电荷间的相互作用力跟它们电量的乘积成正比,跟它们间的距离的平方成反比,作用力的

方向在它们的连线上。静电力同样具有力的共性如两个静止的点电荷之间的相互作用力遵守牛顿第三定律,又如一点电荷同时受到另外两个点电荷的作用力,这两个力遵循力的平行四边形合成法则,可求出这个点电荷受到的合力。

(2)表达式为
$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

说明:①电荷间的作用力叫静电力,也叫库仑力。

② k 叫做静电力常量。 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ 。

③ Q_1 及 Q_2 表示两个点电荷的电量。在国际单位制中,电量的单位是库,符号为 C。

点电荷的电性有正、负之分,但在应用库仑定律计算时,我们用电量的绝对值进行计算,然后根据同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引,确定每个电荷的受力的方向。

④适用条件:仅适用于真空中的两个点电荷或可看成点电荷的带电体。

⑤特殊情形:若带电体为绝缘体,形状为球或球壳,并且电荷分布均匀。在忽略因一个带电体的存在对另一个带电体表面电荷分布的影响的情况下,尽管两球(或球壳)中心间的距离并不远大于其半径,它们之间的静电力也可用库仑定律计算,即把两带电体看成两个分别位于其球心且与其带有同样多电量的点电荷。

⑥两个点电荷在介质中时的相互作用力比在真空中时小,减小的倍数称为介质的介电常数。用 ϵ 表示。所以,在介

质中的库仑定律表示为:
$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2}$$

【方法指导】

例题1 A 、 B 、 C 三个塑料小球, A 和 B 、 B 和 C 、 C 和 A 之间都是相互吸引的,如果 A 带正电,则 ()

- A. B 、 C 球都带负电
- B. B 球带负电, C 球带正电
- C. B 、 C 球中必有一个带负电,另一个不带电
- D. B 、 C 球都不带电

解析:此题在理解电荷间相互作用特点和带电体能吸引轻小物体的前提下,运用排除法求解更显简捷。 A 球带正电, A 和 B 相互吸引,则 B 球必不带正电; A 和 C 相互吸引,则 C 球必不带正电;由于 B 和 C 也相互吸引,则它们两个球不会同时带负电,故应选C。

答案:C。

评注:本题考查了带电体的性质和电荷间相互作用特点等知识点,讨论过程中牢牢抓住电荷作用的特点,对相近的知识点在理解的基础上牢牢抓住它们之间的区别,认识相关知识的区别和联系,善于判断似是而非的问题,培养学生的判断、鉴别能力。

例题2 两个点电荷带有相等的电量,要求它们之间相距1m时的相互作用力等于1N。则每个电荷的电量是多少?等于电子电量的多少倍?

解析:根据库仑定律,由 F 、 r 即可计算出电量。

设每个电荷的电量为 Q ,间距 $r = 1\text{m}$,相互作用力 $F = 1\text{N}$ 。由库仑定律:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = k \frac{Q^2}{r^2}$$

得 $Q = \sqrt{\frac{Fr^2}{k}} = \sqrt{\frac{1 \times 1^2}{9 \times 10^9}} \text{ C} \approx 1 \times 10^{-5} \text{ C}$

这个电量与电子电量相比为：

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{1 \times 10^{-5}}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{13}$$

即是电子电量的 6.25×10^{13} 倍。

评注：本题考察了库仑定律的应用。通过对本题的解析为我们提供了一种测量电量的方法。即已知两点电荷之间的距离和它们的相互作用力应用库仑定律计算出带电体电量的方法。这种方法在实际中是广泛应用的。另一方面也可以看出，在宏观世界中， $Q = 1 \times 10^{-5} \text{ C}$ ，是一个不大的电量，但相比于微观世界中电子等粒子的带电量，这简直是一个巨大的“电的仓库”了。可见，电子电量（或基元电荷）是一个极小的电量。

例题 3 两个半径相同的金属小球，带电量之比为 1:7，相距为 r ，两者相互接触后再放回原来的位置上，则相互作用力可能为原来的 ()

A. $\frac{4}{7}$

B. $\frac{3}{7}$

C. $\frac{9}{7}$

D. $\frac{16}{7}$

解析：设两小球的电量分别为 q 与 $7q$ ，则原来相距 r 时的相互作用力：

$$F = k \frac{q \cdot 7q}{r^2} = k \frac{7q^2}{r^2}$$

由于两球的电性未知,接触后相互作用力的计算应分两种情况:

(1)两球电性相同,相互接触时两球电量平均分布、每球带电量为:

$$\frac{q+7q}{2} = 4q$$

放回原处后的相互作用力为:

$$F_1 = k \frac{4q \cdot 4q}{r^2} = k \frac{16q^2}{r^2}$$

所以
$$\frac{F_1}{F} = \frac{16}{7}$$

(2)两球电性不同,相互接触时电荷先中和再平分,每球带电量为:

$$\frac{7q-q}{2} = 3q$$

放回原处后的相互作用力为:

$$F_2 = k \frac{3q \cdot 3q}{r^2} = k \frac{9q^2}{r^2}$$

所以
$$\frac{F_2}{F} = \frac{9}{7}$$

答案:C、D。

评注:本题考查了电荷守恒和库仑定律等知识点。两球接触后电量平分,是库仑当年从对称性的直觉得出的结果,也是库仑实验中的一个重要的思想方法,但必须要求两球完全

相同。本题的计算渗透着电荷守恒的思想,即电荷不会创生也不会消失,只能从一个物体转移到另一个物体,或从物体的一部分传递到另一部分,电荷的总量保持不变。

例题 4 在真空中有一个点电荷,在它周围跟 Q 一直线上有 A 、 B 两点,相距 $d = 12\text{cm}$,已知 A 点和 B 点的场强大小之比 $\frac{E_A}{E_B} = 4$,试求场源电荷 Q 在该直线上的位置。

解析:根据点电荷场强公式 $E = k \frac{Q}{r^2}$ 直接可得。设场源电荷 Q 离 A 点距离为 r_1 ,离 B 点距离为 r_2 ,根据点电荷场强公式和题设条件,由:

$$k \frac{Q}{r_1^2} = 4k \frac{Q}{r_2^2}$$

$$\text{得 } r_2 = 2r_1$$

因 A 、 B 两点相距 $d = 12\text{cm}$,满足上述距离条件的场源位置可以有两种情况,如图 1-1 所示。

因此,可以有两解:

$$r_1 = 4\text{cm} \quad r_2 = 8\text{cm};$$

$$\text{或 } r_1 = 12\text{cm} \quad r_2 = 24\text{cm}$$

也就是说,当场源电荷

Q 在 AB 连线中间时,应距

A 为 4cm 处;当场源电荷 Q 在 AB 连线的 A 点外侧时,应距 A 为 12cm 。

联想 题中把场源电荷局限于跟 A 、 B 在同一直线上。

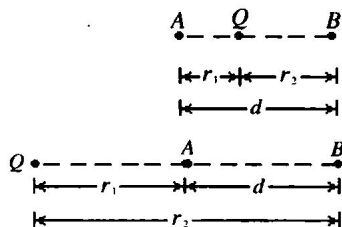


图 1-1

如果没有此限,允许 Q 可以在 A 、 B 同一平面内移动,可以 A 为原点建立平面直角坐标。设场源电荷的位置坐标为 (x, y) , 它与 A 、 B 两点相距分别为 r_1 、 r_2 , 如图 1-2 所示。

$$r_1^2 = X^2 + Y^2$$

$$r_2^2 = (d - X)^2 + Y^2$$

$$\text{而 } r_2 = 2r_1$$

$$\text{则 } (d - x)^2 + y^2 = 4(x^2 + y^2)$$

$$\text{整理得 } 3x^2 + 2dx + 3y^2 = d^2$$

$$\text{或 } (x + \frac{1}{3}d)^2 + y^2 = (\frac{2}{3}d)^2$$

由此可见,场源电荷的轨迹是一个圆,圆心坐标是 $(-\frac{d}{3}, 0)$, 也就是 $(-4, 0)$, 半径 $R = \frac{2}{3}d = \frac{2}{3} \times 12\text{cm} = 8\text{cm}$

上面场源电荷与 A 、 B 在同一直线上的解,仅是它的一个特例,如图 1-3 中 P_1 、 P_2 所示。

上面的这个扩展,就

把原来场源所处的固定位置演变成一条动态轨迹了。同学们可能很自然会想到,如果场源电荷不限制在跟 A 、 B 同一平面内,情况又是如何呢? 建议有兴趣的同学讨论研究。

同步练习

1. 下列关于点电荷的说法中,正确的是 ()

A. 只有体积很小的带电体才能看作点电荷

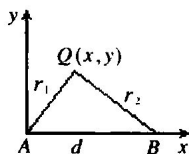


图 1-2

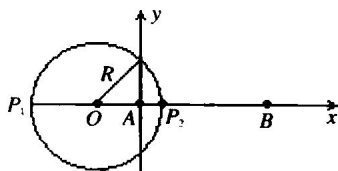


图 1-3

B. 体积很大的带电体一定不是点电荷

C. 当两个带电体的形状对它相互作用力的影响可忽略时,这两个带电体可看作点电荷

D. 任何带电球体,都可看作电荷全部集中于球心的点电荷

2. 如图 1-4 所示,三个点电荷 q_1 、 q_2 、 q_3 固定在一直线上, q_2 与 q_3 的距离为 q_1 与 q_2 距离的 2 倍,每个电荷所受静电力的合力均为零,由此可以判定,三个电荷的电量之比 q_1 :

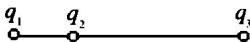


图 1-4

q_2 : q_3 为 ()

A. $-9:4:-36$

B. $9:4:36$

C. $-3:2:-6$

D. $3:2:6$

3. 两个点电荷相距 r 时相互作用力为 F , 则 ()

A. 电量不变距离加倍时,作用力变为 $F/4$

B. 其中一个电荷的电量和两电荷间距都减半时,作用力不变

C. 每个电荷的电量和两电荷间距减半时,作用力为 $4F$

D. 每个电荷的电量和两电荷间距都增加相同倍数时,作用力不变

4. 两个大小相同、带电也相同的金属球 A 和 B , 分别固定在两处,相互作用力为 F 。现用另一个不带电的同样大小的 C 球先与 A 球接触,再与 B 球接触,然后移去 C 球,则后来 A 、 B 两球间的作用力变为 ()

A. $\frac{F}{2}$

B. $\frac{F}{4}$

C. $\frac{3F}{8}$

D. $\frac{F}{10}$

5. 将一定量电荷 Q 分给 A 、 B 两绝缘导体小球,要使两球

相隔一定距离时有最大的作用力,则 A 球电量 q 应为 ()

- A. $\frac{Q}{3}$ B. $\frac{Q}{2}$ C. $\frac{2}{3}Q$ D. $\frac{4}{5}Q$

6. 在真空中一直线上依次排列三个点电荷 A 、 B 、 C ,都处于平衡状态,若三个电荷的电量、电性及间距都未知,则根据平衡能够断定 ()

- A. A 、 B 、 C 分别带什么电
B. A 、 B 、 C 中哪几个电荷同号、哪几个异号
C. A 、 B 、 C 带电量的大小关系
D. 哪一个电荷的电量最小

7. 如图 1-5 所示,将一个导体放在一带正电的小球附近,问这时 AB 两端各带什么电荷? 现在用手接触一下 B 端后松手,导体带 _____ 电荷。如果用手接触一下 A 端后松手,导体又带 _____ 电荷。



图 1-5

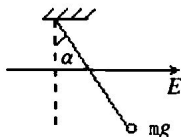


图 1-6

8. 如图 1-6 所示,一个质量为 m 、电量 $+q$ 的小球,用丝线悬挂在水平方向的匀强电场中,场强为 E 。平衡时,悬线与竖直方向间夹角 $\alpha = 30^\circ$ 。若将匀强电场 E 的方向逆时针方向转过角度 $\beta = 45^\circ$,小球重新平衡时悬线与竖直方向间夹角为多大?

9. 一半径为 R 的绝缘球壳上均匀地带有电量为 $+Q$ 的电荷,另一电量为 $+q$ 的点电荷放在球心 O 上,它受到的力

的大小为_____。现在球壳上挖去半径为 r ($r \ll R$) 的一个小圆孔,求此时置于球心的点电荷所受电场力。(已知静电力常数为 k 。)

二 电场强度

【学习目标】

1. 知道电荷间的相互作用是通过电场发生的,理解电场强度的概念及其定义式,会根据电场强度的定义式进行有关的计算。知道电场强度是矢量。

2. 能根据库仑定律和电场强度的定义式推导点电荷场强的计算式,并能用此公式进行有关的计算。

3. 知道电场的叠加原理,并应用这个原理进行简单的计算。

4. 知道什么是电场线,知道一个点电荷,两个等量点电荷,点电荷与带电平行板间的电场线的分布。知道什么是匀强电场,以及匀强电场的电场线的分布。

【知识要求】

1. 电场、电场强度(E)

(1) 电场

电场是物质的一种特殊形态,它存在于电荷的周围空间,电荷间的相互作用通过电场发生。电场的基本特性是它对放入其中的电荷有电场力的作用。电场强度是反映电场的力的性质的物理量。

(2) 电场强度