

G Z

高中物理基础

山东教育出版社

说 明

为了加强高中学生的双基训练，帮助社会青年系统地学习高中阶段的基础知识，我们在原有的基础上修订了高中政治、语文、数学、物理、化学、历史、地理、英语，重新组织编写了高中生物等基础读物。

这套书中的每一种分若干专题（或章）。每个专题包括“基础知识”、“重点和方法”、“习题”三部分，编写力求系统、完整、简明、通俗，并注意指导读者运用科学的方法，抓住重点、难点，系统地进行学习，以便掌握各科的基础知识和基本技能，提高运用各科知识的能力。

《高中物理基础》分上、下两册。上册包括力学、热学两部分。下册包括电磁学、光学、原子结构和原子核三部分。本书由任守乐、程绍康、卫人国同志编写。

因水平所限，书中难免有缺点错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八三年八月

目 录

第三编 电 磁 学

第十三章 静电场	328
第十四章 直流电路	374
第十五章 磁场	444
第十六章 电磁感应	472
第十七章 交流电	507
第十八章 电磁振荡和电磁波	532
第十九章 电子技术基础	541

第四编 光 学

第二十章 几何光学	556
第二十一章 光的本性	601

第五编 原子结构和原子核

第二十二章 原子结构	612
第二十三章 原子核	622

附 录

一、综合练习题	1
二、提示和答案	15
三、综合练习题答案	27
四、主要物理量和常用单位符号	30
五、重要的物理常数	34
六、主要物理公式	36

$$W_{ab} = q (U_a - U_b), \quad U = E d.$$

④电容器电容的定义及计算

$$C = \frac{Q}{U}, \quad C = \frac{\epsilon s}{4 \pi k d},$$

$$C = C_1 + C_2 + \dots \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \dots$$

本章习题大致可分为如下五个类型：①有关应用库仑定律计算的；②涉及到电场力做功、电势、电势差的；③有关电容器的联接及容量变化的；④有关带电粒子在电场中运动的；⑤解释静电现象的。

【基础知识】

一、电子论简介

物质是由分子和原子组成的，原子是由电子和原子核组成的，原子核是由带正电的质子和不带电的中子组成的，电子带负电并绕核旋转。通常情况下，原子中电子的数目和质子的数目相等。电子的电量和质子的电量相等，称为基本电荷，用 e 表示， $e = 1.60 \times 10^{-19}$ 库仑。整个原子是电中性的。物体失去电子后带正电，得到电子后带负电。电荷之间有相互作用力，同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

二、库仑定律

两个点电荷之间的相互作用力的方向在它们的连线上，作用力的大小与每一个电荷的电量成正比，与电荷间的距离的平方成反比。

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2}.$$

在国际单位制中, F 的单位: 牛顿, r 的单位: 米, Q 的单位: 库仑。式中 $K = 9.0 \times 10^9$ 牛顿·米²/库仑²。在静电系单位制中, 凡是力学量均用厘米·克·秒制单位, 令 $K = 1$, 再定义出电量单位, 称为静电制单位电量, 1 库仑 = 3×10^9 静电制单位电量。

上述公式只适用于真空中的两个点电荷的情况。如果在均匀的电介质中, 库仑定律应表示为

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon r^2}.$$

式中 ϵ 为电介质的介电常数。真空中的 $\epsilon = 1$; 空气的 $\epsilon = 1.0006$ 。

三、电场

电荷周围存在着的特殊物质叫做电场。电荷之间的相互作用力是通过它们的场发生的。甲电荷对乙电荷的作用力, 是甲电荷通过它的电场给予乙电荷的; 同样, 乙电荷对甲电荷的作用力, 是乙电荷通过它的电场给予甲电荷的。电场的—个重要性质是: 电场对置于其中的电荷有力的作用。为了描写电场的这个性质, 引入电场强度 E 的概念。

1. 电场强度 E 电场中某点的电场强度 E , 等于放在该点的检验电荷所受到的电场力 F 与检验电荷所带电量之比。

$$E = \frac{F}{q}. \quad (1)$$

E 是矢量，其方向规定为正电荷在被观察点所受到的电场力的方向。单位：牛顿/库仑。

2. 点电荷形成的电场中各点的电场强度

$$\text{在真空中 } E = \frac{KQ}{r^2}, \quad (2)$$

$$\text{在介质中 } E = \frac{KQ}{\epsilon r^2}.$$

式中 r 为被观察点 P 到点电荷 Q （称为场源电荷）的距离。图13—1（1）、（2）分别给出了正、负电荷形成的电场中，被观察点的电场强度的方向。

如果有几个点电荷同时存在，则电场中某点的场强，等于各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和。

$$E = E_1 + E_2.$$

上式为一矢量方程，在具体应用时，可先根据平行四边形法则画出矢量图，如图13—2所示，再根据有关的三角或代数方程计算出 E 的大小和方向。

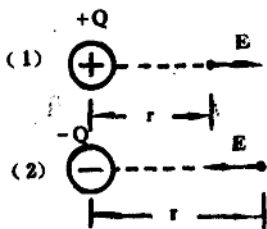


图13—1

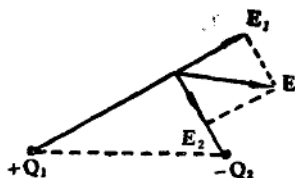


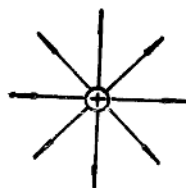
图13—2

注意：（1）式是电场强度的定义式，它适用于任何电场。（2）式是由（1）式导出的，它只适用于点电荷形成的

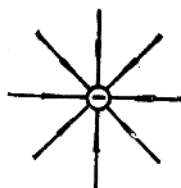
电场。电场强度 E 是描写电场中某点的性质的物理量，它只与形成电场的电荷，被观察点的位置及场中的电介质有关，而与检验电荷是否存在无关。

3. 电力线 为了形象地描写电场，在电场中画出一些曲线（包括直线），使曲线上各点的切线方向与各点的电场方向相同，这些曲线叫做电力线。电力线还可以表示电场的强弱，电场强的地方电力线较密；电场较弱的地方电力线较疏。图13—3是几种常见的场的电力线分布情况。

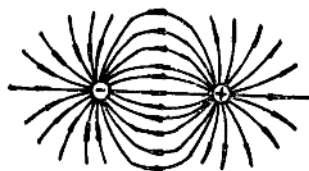
电力线的特点是：①起于正电荷，止于负电荷；②任意



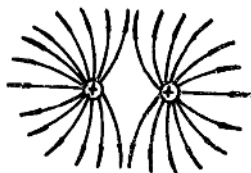
(1) 正电荷的电力线



(2) 负电荷的电力线



(3) 两个等值异号
电荷的电力线



(4) 两个等值同号
电荷的电力线

图13—3

两条电力线不能相交，这是因为电场中任意点之电场强度是

唯一的，因而过电场中一点只能画出一条电力线。

4. 匀强电场 电场中各点场强的大小和方向都相同的电场叫做匀强电场。匀强电场中的电力线是疏密均匀的平行直线。两个带等量异种电荷的平行导体板之间的电场（除边缘外）可视为匀强电场，其电力线分布如图13—4所示。

四、电势能、电势、等势面、电势差

1. 电势能 由于电场对电荷有力的作用，因而在电场中移动电荷时，一般来说，电场力是要做功的（沿等势面移动电荷电场力不做功），如图13—5所示，在正电荷 Q 建立

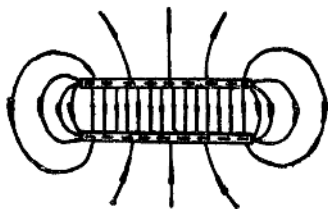


图13—4

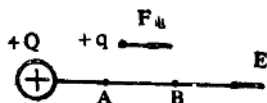


图13—5

的电场中，将正电荷 q 从场中 A 点移到 B 点，若电荷 q 除受电场力 $F_{电}$ 外，再不受其它力的作用，则电荷 q 将被加速，电场力所做的正功等于电荷 q 的携带者（如带电粒子）的动能的增量。这个事实表明，电荷 q 在电场中 A 点和 B 点具有与位置有关的能量，在 A 点具有的能量大于在 B 点具有的能量。电荷在电场中某点具有与位置有关的能量称为电势能，这与重物在地球引力场中具有引力势能的情况很相似。电势能也只具有相对的意义，通常选定无限远处（场外）为零势能点。在这样的选择下，电荷 q 在电场中 A 点具有一定的电势能可作

如下解释：设想将电荷 q 从无限远处匀速地移到场中 A 点，则外力必须反抗电场力做功，外力做的功将转变为电荷 q 在 A 点所具有的电势能。若外力做的功为正值，则电荷 q 在 A 点具有的电势能为正值；若外力做的功为负值，则电荷 q 在 A 点具有的电势能为负值。由以上解释可见，电荷 q 在电场中 A 点具有的电势能等于将电荷 q 由 A 点移到无限远处时，电场力做的功。由此可得如下结论：①在正电荷 Q 建立的电场中，电荷 $+q$ 在场中各点具有的电势能为正值；电荷 $-q$ 具有的电势能为负值。②在负电荷 Q 建立的电场中，电荷 $+q$ 在场中各点具有的电势能为负值；电荷 $-q$ 具有的电势能为正值。③在电场中移动电荷（正或负）时，若电场力做正功，则电荷所具有的电势能减少，若电场力做负功，则电势能增加。

电势能是由两个因素决定的：一是被观察的电荷 q 的电量（正或负）；二是电荷 q 在电场中所处的位置。因而电势能是电荷和电场所组成的系统所共有的。

2. 电势 电场中某点的电势，等于放在那点的电荷（正或负）具有的电势能与它的电量的比。

$$U = \frac{\varepsilon}{q} \cdot$$

单位：焦耳/库仑、伏特。

电势是表示电场中各点能量性质的物理量。电场中某点的电势在数值上等于单位正电荷在该点所具有的电势能，也等于把单位正电荷由该点沿任意路径移到无限远时电场力所做的功。电场中某点的电势是由电场的分布情况和该点在电场中的位置所决定的，与检验电荷是否存在无关。电势也只具有相对的意义，在以上讨论中，实际上是以无限远处为零

电势点的。通常情况下取大地为零电势点。

在正电荷建立的电场中，置于其中的正电荷具有的电势能为正值；负电荷具有的电势能为负值，根据电势的定义 $U = \varepsilon / q$ 可知，在这样的电场中，各点的电势均为正值。同理可知，在负电荷建立的电场中，各点的电势均为负值。

在正点电荷建立的电场中，越靠近点电荷的位置，电势越高；在负电荷建立的电场中，越靠近电荷的位置，电势越低，如图13—6所示。

在任何静电场中，沿着电力线的方向，电势逐点降低。

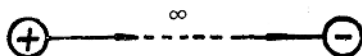
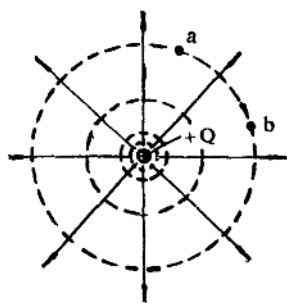
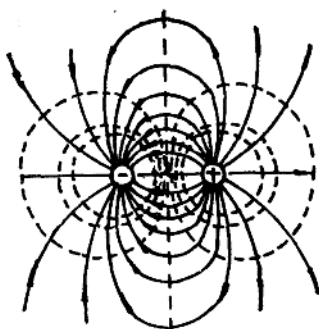


图13—6

3. 等势面 在电场中电势相等的点所组成的面叫做等势面。在点电荷 Q 的电场中，以点电荷的位置为球心的各个球面是等势面，如图13—7（1）所示；两个等量异种电荷形成的电场的等势面，如图（2）所示；两个带等量异种电



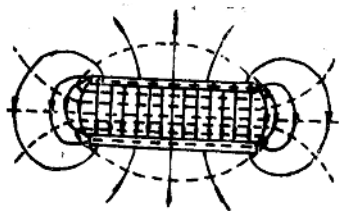
(1)



(2)

荷的平行金属板的电场中的等势面，如图（3）所示。

注意：在任何静电场中，等势面与电力线总是垂直的。



(3)

图13—7

4. 电势差 电场中两点间的电势之差叫做电势差，又叫做电压。

$$U_{ab} = U_a - U_b.$$

因为 $U_a = \epsilon_a/q$, $U_b = \epsilon_b/q$, 所以 $U_{ab} = W_{ab}/q$,

$$W_{ab} = qU_{ab} = q(U_a - U_b). \quad (3)$$

W_{ab} 为电荷 q 在 a 、 b 两点的电势能之差，这个差值等于将电荷 q 由 a 点移到 b 点时，电场力所做的功，所以，电场中 a 、 b 两点间的电势差等于将单位电荷由 a 点移到 b 点时电场力所做的功，由（3）式可知，

当 $U_{ab} > 0$, $q > 0$ 时, $W_{ab} > 0$;

当 $U_{ab} > 0$, $q < 0$ 时, $W_{ab} < 0$;

当 $U_{ab} < 0$, $q > 0$ 时, $W_{ab} < 0$;

当 $U_{ab} < 0$, $q < 0$ 时, $W_{ab} > 0$ 。

由以上四种情况可见：沿着电力线方向移动正电荷时，电场力做正功；移动负电荷时，电场力做负功；逆着电力线方向移动正电荷时，电场力做负功；移动负电荷时，电场力做正功。

五、电场强度与电势差之间的关系

电场强度和电势都是描述电场性质的物理量，前者是从力的方面描述电场的性质，后者是从能的方面描述电场的性质。在匀强电场中两者间的关系是

$$U = Ed.$$

上式只适用于匀强电场， U 是在同一条平行于电力线的直线上两点间的电势差， d 是两点间的距离。由上式可得 $E = U/d$ ，由该公式可得到场强的另一单位：伏特/米。

六、电场中的导体

1. 静电感应 将导体置于电场中，导体上的自由电子，将在电场力的作用下发生移动，使导体两端出现等量异种电荷，这种电荷重新分布的现象，叫做静电感应。两端出现的电荷叫做感应电荷。

2. 静电平衡及其电学特征 置于电场中的导体（原来带电，或不带电），电荷不再发生定向移动时，称导体处于静电平衡状态。导体处于静电平衡状态时，具有如下电学特征：

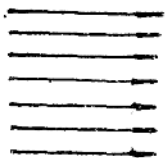
（1）电场的特征：导体内部场强处处为零。导体表面上任一点的电场强度的方向垂直于导体表面。这个特征的成立，可用反证法证明，假使导体内某一点的场强不等于零，则那里的自由电子必将发生定向移动，这与在静电平衡状态时，所有电荷不再发生定向移动的要求相矛盾，故导体处于静电平衡状态的必要条件是导体内任何一点的场强等于零。若导体表面上 P 点的场强 E 与该点的切线方向成 α 角，且 $\alpha \neq$

90°，则 E 沿切线方向必有不为零的分量 E_t ，这将使表面上 P 点的电荷因受到切向力的作用而沿导体表面移动，这与静电平衡状态时电荷不再发生定向移动的要求相矛盾，故导体表面上 P 点的电场强度 E 必沿该点法线方向。

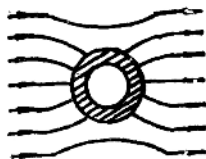
(2) 电势的特征：由于导体内部场强处处为零，因而在导体内部任意两点间移动电荷时，电场力所做的功为零，任意两点间的电势差为零。由于导体处于平衡状态时，表面上各点的电场强度垂直于表面，因而沿导体表面移动电荷时，电场力不做功，这表明导体表面上任意两点间的电势差为零。由此可得如下结论：处于静电平衡状态的导体是一个等势体，导体表面是一个等势面。

(3) 电荷分布特点：处于静电平衡状态的导体（本来带电，或不带电的），电荷分布在外表面上，曲率大的地方（如尖端处），电荷密度较大，周围的电场较强。

3. 静电屏蔽 有空腔的导体，如图13—8所示，当腔



(1) 均匀电场的
电力线分布



(2) 空心导体引入均匀电场
后的电力线分布

图13—8

外有电场时，则空腔内和导体内部均无电场（腔内无电荷时），因而置于腔内的物体，不受外界电场的影响，这种现

象称为静电屏蔽。当腔内置一电荷，电荷的位置或电量改变时，将影响到腔内和腔外电场分布情况，若空腔外部接地，如图13—9所示，则空腔内外的电场互不影响。

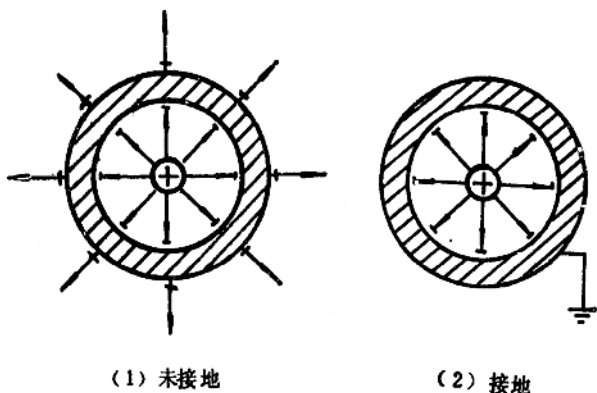


图13—9

七、电场中的电介质

1. 电介质的极化 有极分子（正、负电荷的“重心”不重合）是一个电偶极子。在外电场作用下，每个分子的电偶极子受到力矩作用，如图13—10所示，而转向电场的方向。由于热运动的存在，这种转向是不完全的，外电场越强，电偶极子排列越整齐。从整块电介质来看，在电介质与外电场垂直的两个面上出现了等量的正负电荷，这种电荷不能离开电介质，叫做束缚电荷。

无极分子在电场作用下，正电荷“重心”向电场方向移动，负电荷“重心”逆电场方向移动。每个分子都变成了电

偶极子，因而在与电场垂直的两个面上也出现了等量的正负束缚电荷。在外电场作用下，电介质的表面上出现束缚电荷的现象叫做电介质的极化。

2. 介电常数 在电介质内部，束缚电荷产生的电场与外电场的方向相反，因而电介质内部的场强减弱。设真空中场强为 E_0 ，充满电介质的区域场强为 E 。则

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}.$$

式中 ϵ 称为介质的介电常数（也称为相对介电常数）。

八、电容器及电容

1. 电容器 两个彼此绝缘又互相靠近的导体就组成一个电容器。最简单的电容器是平行板电容器。电容器能容纳电荷，以场的形式储藏电能。

2. 电容器的电容 电容器一个极板上所带的电量，与两极板间的电势差之比定义为电容器的电容。

$$C = \frac{Q}{U}.$$

单位：库伦/伏特、法拉。单位间的换算关系：1 库伦/伏特 = 1 法拉；1 法拉 = 10^6 微法拉；1 微法拉 = 10^6 皮法。

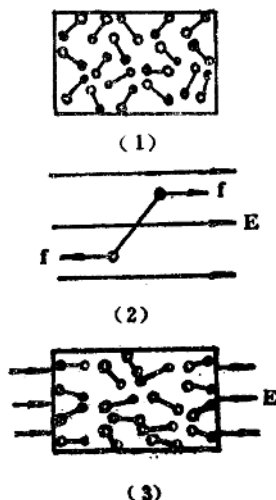


图13—10

3. 平行板电容器的电容

$$C = \frac{\epsilon S}{4 \pi K d} \cdot$$

式中 S 为极板的有效面积, d 为两极板间的距离, ϵ 为板间介质的介电常数。公式中各个物理量均采用国际单位制。

电容器电容的大小, 由电容器本身的构造所决定, 它与电容器是否带电无关。

九、电容器的串联和并联。

1. 串联 把几个电容器的极板首尾相接, 连成一串, 叫做电容器的串联, 如图13—11所示。

串联电容接入电路后的特点是:

各电容器的每一个极板所带电量的大小相等;

总电压 $U = U_1 + U_2 + \dots$

总电容 $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$

各电容器两板间的电压与它们的电容成反比。

$$Q = C_1 U_1 = C_2 U_2 = \dots$$

2. 并联 把几个电容器的正极连在一起, 负极连在一起, 就是电容器的并联。如图13—12所示。

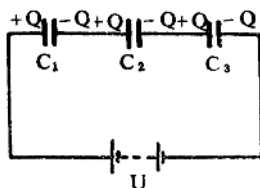


图13—11

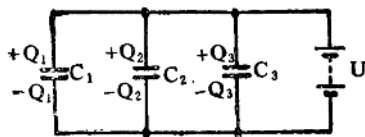


图13—12

并联电容接入电路后的特点是：

各个电容器两端电压相同，

总电量 $Q = Q_1 + Q_2 + \dots$

总电容 $C = C_1 + C_2 + \dots$

各电容器的电量与它们的电容成正比，

$$Q_1 = C_1 U, \quad Q_2 = C_2 U \dots$$

【例题】

〔例1〕两个质量为 m_1 和 m_2 的小球，各用长 l 的细线悬挂在同一点，如图13—13所示，当两小球分别带同种电荷

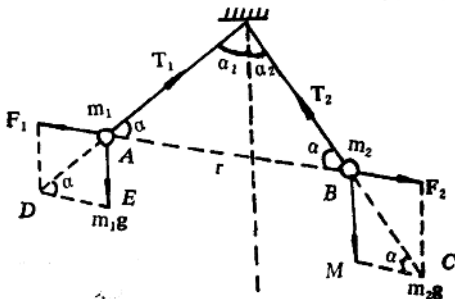


图13—13

q_1 、 q_2 时，两球张开，两悬线与铅垂线的夹角分别为 α_1 、 α_2 ，试说明下列哪种说法是正确的？（1）若 $m_1 = m_2$ ，则 $\alpha_1 = \alpha_2$ ；（2）若 $m_1 > m_2$ ，则 $\alpha_1 > \alpha_2$ ；（3）若 $m_1 < m_2$ ，则 $\alpha_1 > \alpha_2$ ；（4）若 $m_1 = m_2$ ，而 $q_1 > q_2$ ，则 $\alpha_1 > \alpha_2$ 。

分析：解答物理选择题时，切不可望风捕影，乱猜乱凑，必须根据有关的原理、定律、法则进行分析或计算，才可作