

新突破

奥林匹克专题讲座

新突破

主编 齐振东 薛 道

OLYMPICS

高中物理

(下)

海洋出版社

图书在版编目(CIP)数据

奥林匹克专题讲座新突破. 高中物理. 下/齐振东, 薛遒主编.

—北京: 海洋出版社, 2002.9

ISBN 7-5027-1118-X

I. 奥… II. ① 齐…② 薛… III. 物理课—高中—教学参考资料

IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 064981 号

责任编辑: 李向义

责任校对: 张丽萍

责任印制: 刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

北京市四季青印刷厂印刷

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 880×1230 1/32 印张: 15.5

字数: 393 千字 印数: 1~7000 册

定价: 18.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

前 言

为了帮助热爱物理学科的学生学好物理课程,夯实知识基础和提高综合素质,我们结合全国知名奥校、北京西城区教研中心、北京四中及徐州市部分重点学校的教学经验,将自己多年来讲课的讲义,按照奥赛的发展方向及要求,经过严格的教研论证,依据教育部新颁“教学大纲”和“竞赛大纲”,组织编写了《奥林匹克专题讲座新突破》丛书(高中物理)部分(上、下册)。本书与“大纲”同步,紧密配合本学科的教学进度,选择基础性强、针对性强、应用性广的重点教学内容作为专题,选题注重学生综合能力的培养,力求创新和突破,并注重广度和深度,例题讲解富有启发性。

本书内容由基础知识、专项能力培养和模拟测试与答案等部分组成。立足高考,着眼竞赛,在落实高考范围内的重点、难点、疑点知识的同时,更好地掌握竞赛提出的新内容、新要求。重点放在了带普遍性的思维训练上,着重分析解题思路,兼顾特殊的解题方法与技巧,提供了足够的自我训练材料。本书编者多年一直在中学物理教学第一线,对教学和奥林匹克竞赛有着丰富的经验,相信会对广大中学生学习物理、高考及奥林匹克竞赛取得好成绩有一定帮助。

由于水平所限,书中如有不妥之处,望读者不吝赐教。

编 者

2002年8月

编 委 会

主 编	齐振东	薛 道	
本册主编	刘千捷	唐 掣	
编 委	刘彬生	彭梦华	石有龙
	王运森	朱宝荣	芦 萍

目 次

第一章	静电场	(1)
第二章	稳恒电流	(67)
第三章	物质的导电性	(135)
第四章	磁场	(166)
第五章	电磁感应	(227)
第六章	交流电 电磁振荡 电磁波	(283)
第七章	几何光学	(333)
第八章	物理光学	(380)
第九章	原子和原子核	(404)
第十章	电学和光学实验	(423)
附 录	设计性实验的参考做法	(477)

第一章 静 电 场

知识分析

(一) 库仑定律及电荷守恒定律

1. 点电荷间的相互作用

自然界中只存在正、负两种电荷, 它们的相互作用规律是: 同性相斥, 异性相吸. 在中学范围内, 我们仅研究点电荷间的相互作用.

点电荷是一种理想化的模型. 当两个带电体间的距离远远大于它们本身的尺寸时, 带电体的形状和大小对它们的相互作用的影响就可以忽略不计. 这样的带电体就可以被看作是点电荷. 两个带电的金属球, 当它们之间的距离远大于它们的直径时, 就可以看作点电荷.

2. 真空中的库仑定律

法国物理学家库仑在 1785 年用实验发现了后来用他的名字命名的定律: 在真空中的两个点电荷间的作用力与它们的电量成正比, 与它们的距离的平方成反比, 作用力的方向在它们的连线上.

如果用 q 和 Q 表示两个点电荷的电量, 用 r 表示它们之间的距离, 用 F 表示它们之间的静电力, 则库仑定律可以写成

$$F = k \frac{qQ}{r^2}$$

式中 k 是静电力常量, 其值为 $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$.

电荷在空气中的相互作用比在真空中的稍小一些, 在不要求很精确的情况下, 计算空气中点电荷间的相互作用时, 一般可按在真空中处理.



把库仑定律与万有引力定律比较,很容易看出两者非常相似,都遵从平方反比规律.这种相似可以使我们借助于我们所熟悉的有关力学知识来理解电学知识.

3. 电荷守恒定律

大量事实说明,电荷既不能创造也不能被消灭,它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,这就是电荷守恒定律.

用电子论的观点解释摩擦起电现象的基点就是电荷守恒定律.在研究静电感应、导体球相接触时的电量转移,电容器连接中的电量分配等问题中,也要应用到电荷守恒定律,即系统与外界无电荷交换时,系统电量代数和守恒.在核反应中,不仅质量数守恒,而且电荷数守恒,反应前后总电荷数保持不变.

美国科学家密立根用油滴法证明了所有电荷的电量都是最小电荷即电子或质子所带电量 e 的整数倍,叫做基本电荷,它的数值为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$.

4. 电场强度

电场强度是描述电场力的属性的物理量.电场强度通常简称为场强.

用类比重力场的方法,可以使我们能够比较容易理解场强的概念.为了比较重力场的强弱,仅注意到物体所受重力 G 的大小是不够的.很明显,在地面上空 1m 处质量为 1kg 的物体,与在月球表面上空 1m 处质量为 6kg 的物体,所受的重力几乎是相等的.但物体在两处所受重力 G 与物体质量 m 的比值却是不同的.正是这个比值,反映了地球周围和月球周围的重力场的强弱不同,我们把它叫做“重力场强”.它就是我们熟悉的物理量——重力加速度.

$$g = \frac{G}{m}$$

重力场强 g 反映了空间某点的重力场的“力的属性”,它只同场源(地球)本身性质有关,同所研究的点的位置有关,而与放不放受力物体



以及受力物体的质量无关。

电场具有完全相似的性质,实验证明,放入电场中某点的电荷所受的电场力与两个因素有关:与放入电荷的电量 q 有关;与产生该电场的电荷(场源电荷)电量 Q 有关.但是从实验中我们发现,在场源电荷 Q 周围某点,放入一个检验电荷(它的电量很小,不会因它的引入而改变该点的电场强度) q 时,它所受到的电场力 F 与检验电荷电量 q 的比值是保持不变的.正是这个比值,可以确切地反映该点的电场的强弱.因此我们规定:放入电场中某点的检验电荷所受电场力跟它所带电量的比值,叫做该点的电场强度.用符号 E 表示,即

$$E = \frac{F}{q}$$

这就是电场强度的定义式.场强的单位为 N/C .从上式可以知道,电场强度在数值上等于单位电量的电荷在场中某点所受的电场力。

电场强度是矢量,它的方向就是正检验电荷在该点所受电场力的方向。

根据电场强度的定义,借助于库仑定律,可以推导出点电荷所形成的电场中,距场源电荷 Q 为 r 的一点 P 的场强

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

如果 Q 为正电荷, E 的方向沿 PQ 背离 Q . 如果 Q 为负电荷, E 的方向沿 PQ 指向 Q , (如图 1-1 所示).

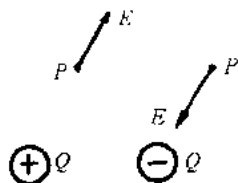


图 1-1

从上式可以看出,同重力场一样,电场强度仅与场源有关,而与受力电荷 q 无关.即使不放入检验电荷 q ,该点的场强依然存在.正如采用温度计可以显示环境温度,而环境温度的存在却与温度计无关一样,引入检验电荷是为了便于研究某点场强的大小和方向,却不能改变该点场强的性质。

5. 电力线

电力线是用图形来形象地描述空间各点场强分布情况的一种简便



方法.在存在电场的空间,用科学方法画出一组曲线,使曲线上各点的切线方向与该点场强方向一致,使曲线的疏密与该点附近场强大小一致,这就是电力线.电力线是由英国物理学家法拉第首先提出的.

静电场的电力线从正电荷发出,终止于负电荷(或指向无穷远处),是一种非闭合曲线(与磁力线不同).电力线除了汇集于点电荷上外,在空间各点不能相交.否则,这一点会有两个场强方向,而这是不可能的.

6. 匀强电场

在电场的某一区域里,如果各点场强大小、方向都相同,这个区域的电场就叫做匀强电场.在中学范围内重点研究的电场是匀强电场.

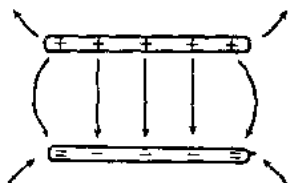


图 1-2

匀强电场的电力线是等距的平行线,如图 1-2 所示.

两块靠得很近的、大小相等、互相正对的平行金属板,带上等量异性电荷时,它们之间的电场,除边缘附近外,可以看作匀强电场.

(二) 电势及等势面

电场还具有能的属性.电荷受电场力作用时,动能会发生变化,电场力对电荷做了功.为了研究电场力的做功本领,必须引入一个描述电场能的属性的物理量,这就是“电势差”.电势差有时又称为“电压”.

1. 场力功及电势差

保守力:电场力与重力具有相似的性质——做功与路径无关,仅由始、末位置决定.人们常把具有这种性质的力称为“保守力”,以区别于摩擦力、磁场力等“非保守力”.保守力存在着一种与位置有关的能叫做势能,例如重力势能,电势能等.并可以用势能的变化来量度相应的保守力所做的功.例如,在重力场中,重力做正功,则重力势能减少,重力做负功则重力势能增加.重力功等于重力势能增量的负值

$$W_G = -\Delta E_p$$

下面我们将会知道,电场力也具有相似的性质.



重力势差:重力所做的功,与被移动的物体的质量 m 成正比,与高度差 h 成正比,即 $W = mgh$,如图 1-3 所示.一段河床中有 AB 和 BC 两段.在水的流量 m 相同的条件下,重力在 AB 段和 BC 段做功的本领是不同的,即能的属性不一样.为了描述重力的这一性质,我们用物体在两点间移动时,重力所做的功与被移动物体的质量的比值来定义一个物理量——重力势差

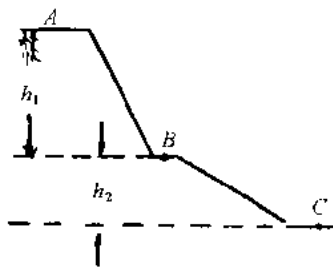


图 1-3

$$\frac{W_G}{m} = gh$$

它是描述两点间重力场做功本领的物理量,即是描述重力场“能的属性”的物理量,它只同地球本身性质有关,与所研究的两点在地球上位置有关.在图 1-3 中,AB 两点间的重力势差比 BC 两点间重力势差大,反映了重力在 AB 段上移动物体时的做功本领比 BC 段上移动物体时的做功本领大.这一结论与重力移动了多少水量无关,与重力在某段时间内是否做功无关.

重力势差与水位差不是一码事.在月球表面两点间和地球表面上两点间,即使高度差 h 相同,重力势差 gh 也是不同的. g 就是场的因素的体现.

电势差:与重力做功相似,电场力移动电荷所做的功 W 与被移动的电荷的电量 q 有关,但两者的比值却与 q 无关,仅由电场本身的性质决定.

检验电荷在电场中 AB 两点间移动时,电场力所做的功与电荷电量的比值,叫做这两点间的电势差,用符号 U_{AB} 表示,即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

电势差是标量,单位是 V.从以上定义式可以看出,两点间的电势差在数值上等于单位电量的正电荷从这一点移动到另一点时,电场力所做



的功.知道两点间的电势差,就可以求出电量为 q 的电荷在这两点间移动时,电场力所做的功

$$W_{AB} = qU_{AB}$$

式中, q 用代数值代入(正电荷为正,负电荷为负); U_{AB} 为电荷在电场中移动时始末两点间的电势差,它可以为正,也可以为负.算出的功为正,则电场力做功;算出的功为负,则电荷克服电场力做功.在直流电路中,通常不区别 U_{AB} 的正负,简写为 U ,并通常称为“电压”.

2. 电势及电势能

在日常生活中,人们为了方便,往往不说高度差,而说高度.所谓高度,实际上是指研究对象相对于某个标准位置(通常取地面)的高度差.与此相似,人们通常在电场中选定一个标准位置(通常选大地或无穷远点),把电场中某点 A 与标准位置间的电势差叫做“电势”(又名“电位”),用符号 U_A 表示.电势也是标量(有正负),单位也是 V .

电场中某点的电势,在数值上等于单位电量的正电荷由该点移到标准位置(零势点)时,电场力所做的功.电势仅与场源电荷有关.

电势也是描述电场的能的属性的物理量.放入电场中某点 A 的电荷的电量与该点电势的乘积,叫做电荷在该点的“电势能”,用符号 E_A 表示

$$E_A = qU_A$$

与重力做功完全相似的是,在电场中移动电荷时,电场力所做的功等于电势能增量的负值

$$W_{AB} = -\Delta E = E_A - E_B$$

标准位置(大地或无穷远点)电势为零,因而电势能也为零.

电势与电势能的大小与电势零点的选取有关,但两点间的电势差和电势能的增量却与电势零点选取无关.正像物体两端的高度差与标准位置选取无关一样,除了一些特殊场合外,今后我们往往关心的是电势差而不是电势.

理论计算表明,点电荷 Q 所在的电场中 P 点的电势可表示为



$$U_p = k \frac{Q}{r_p}$$

式中, r_p 为 Q 到 P 点的距离. 由该式可以看出, 场源电荷为孤立的点电荷时, 正电荷周围电势为正, 负电荷周围电势为负, 无穷远处 ($r_p = \infty$) 电势为零.

3. 匀强电场中电势差与场强的关系

前面我们从电荷在电场中受力的角度研究电场, 引入了电场强度 E 的概念. 接着我们又从电荷在电场中移动时电场力做功的角度, 引入了电势差 U_{AB} 的概念. 我们知道, 力和功是有联系的, 而场强 E 和电势差 U_{AB} 两个物理量间也是有关系的. 下面, 我们在匀强电场中来讨论两者的关系.

图 1-4 为一个匀强电场. 它的电力线为等距离的平行线. 实验证明, 在与电力线相垂直的一个平面内, 各点电势是相等的. 在图 1-4 中, 用虚线表示这些平面在纸面内的投影. 图中居于同一虚线上各点, 电势都相等, 而分别处于两个虚线上的两对应点间, 电势差都相等, 即 $U_B = U_C = U_D$, $U_{AB} = U_{AC} = U_{AD}$. 我们来计算电量为 q 的电荷, 从 A 点移到 B 点时, 电场力所做的功.

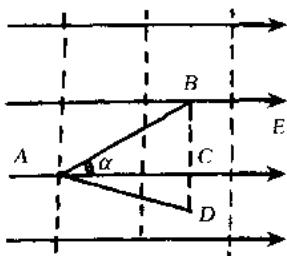


图 1-4

由电势差的定义式可以写出

$$W = qU_{AB}$$

这个公式不仅适用于匀强电场, 也适用于非匀强电场. 在匀强电场中还可以写出

$$W = FS \cos \alpha = qE(AB) \cos \alpha$$

即

$$W = qEd$$

式中 $d = AC = (AB) \cos \alpha$, 是位移 S 在场强方向的投影, 或者说是沿场强方向上的位移. 对比以上两式可以得到

$$U = Ed$$



这就是说,在匀强电场中,两点间的电势差等于场强与这两点在沿场强方向的位移的乘积.

上式可改写为
$$E = \frac{U}{d}$$

这说明,在匀强电场中,场强在数值上等于沿场强方向每单位距离上的电势差.从而得出电场强度的另一个国际单位:V/m.由于

$$1 \frac{\text{V}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{J/C}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{C} \cdot \text{m}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

所以,两个场强单位 V/m 和 N/C 是相等的.

正电荷从 A 到 B、C、D 电场力做正功,电势差 $U = W/q$ 都大于零,即电势都降低,但沿 AC 方向电势降低最快.可见,场强方向是指向电势降低最快的方向.

4. 等势面

与电力线相类似,等势面是人们为了形象地描述带电体周围的电势分布而引入的一组图形.它具有以下特点:

(1) 同一等势面上各点电势相等,在同一等势面内移动电荷,电场力不做功;

(2) 相邻等势面间的电势差为一定值;

(3) 不同的等势面不能相交,否则交点处有两个电势,而这是不可能的;

(4) 等势面为闭合曲面.

电力线与等势面间存在一定关系:

(1) 沿电力线方向电势逐点降低.因此,电力线指向等势面电势递减的方向.

(2) 电力线与等势面处处垂直.否则可以把该点场强(沿电力线方向)分解为垂直于等势面和平行于等势面两个分量.如果后一个分量 E_2 不为零,电荷在电场力 qE_2 作用下沿着等势面运动时,电场力就要做功,等势面就不成其为等势面了.

(3) 等势面的疏密也能反映场强的大小.公式 $E = U/d$ 在非匀强



电场中演化为 $E = \Delta U / \Delta d$. 该式说明场强反映了电势对位置的变化快慢. 显然, 等势面的密处, 单位长度上电势变化量大, $\Delta U / \Delta d$ 大, 当然场强大.

图 1-5 画出了常见的几种典型电场的电力线与等势面的空间图形. 图中用实线和虚线分别代表电力线与等势面. 有的图还标出了相应等势面的电势值. 它们依次是: 带等量异性电荷的平行金属板间的电场; 等量异性电荷间的电场; 等量同性电荷间的电场; 孤立点电荷的电场.

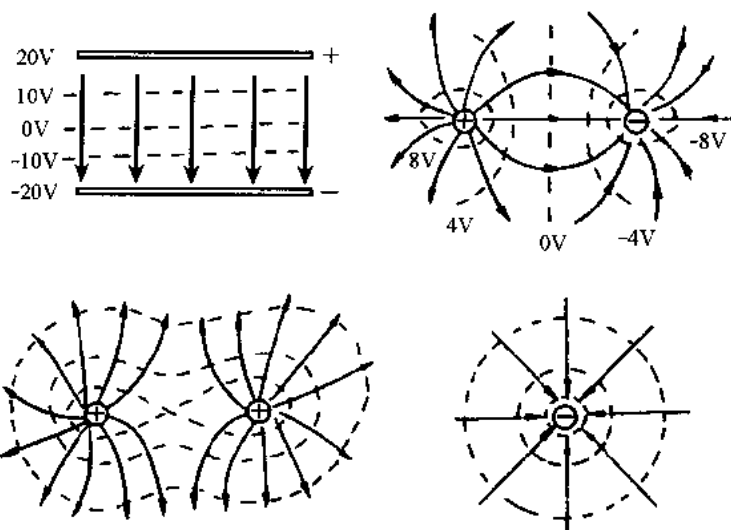


图 1-5

利用电力线可以判断电势的高低, 利用电力线与等势面的疏密都可以判断场强的大小. 由图 1-6 可以看出

$$E_A > E_B \quad U_B > U_A$$

由于测量电势比测量场强容易, 所以技术上常常借助于等势面来研究场强分布. 先测绘出带电体周围的等势面, 再根据

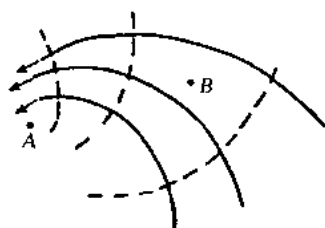


图 1-6



电力线处处垂直于等势面这一特性, 就可以把电力线画出来, 从而可以了解带电体周围的场强分布, 进而可掌握带电粒子在该电场中的运动规律. 设计电子显微镜、示波管、电视显像管等电子仪器的电极形状、大小及相对位置时, 常采用这种方法.

(三) 电场中的导体和电介质

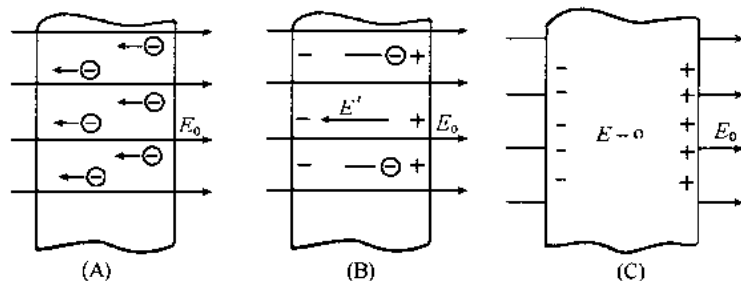


图 1-7

1. 静电感应和静电平衡

我们知道, 金属是导体, 因为它内部存在大量的自由电子. 金属中性原子的最外层电子与原子核的联系很弱, 很容易脱离原子核的约束而成为自由电子. 这些电子在晶格正离子之间做无规则热运动. 把金属放入电场中时, 自由电子除了做无规则热运动外, 还要沿场强反方向做定向移动, 结果会使导体两个端面上分别出现正、负净电荷. 这种现象叫做“静电感应”. 所产生的电荷叫做“感应电荷”.

把导体放入场强为 E_0 的电场中时, 由于自由电子定向移动, 会出现一个由感应电荷所产生的附加电场 E' . 在导体内, 这个电场与 E_0 反向, 削弱了导体内的电场. 自由电子的定向移动减弱了, 但依然存在, 两端面上的感应电荷继续增大, E' 继续增强. 这一过程一直要进行到导体内部 $E' = -E_0$, 即导体内部合场强为零为止, 这时自由电子的定向移动就停止了 (无规则热运动依然存在).

我们把放入电场的导体内自由电荷定向移动停止的状态, 叫做“静电平衡状态”. 实际上, 导体达到静电平衡状态所经历的时间是很短的.



因此,对于放入静电场中的导体,通常都认为它立即达到了静电平衡状态.

2. 处于静电平衡状态下的导体的特点

(1) 导体内部场强为零;

(2) 净电荷仅分布在导体表面上(孤立导体净电荷仅分布在导体外表面上);

(3) 导体为等势体,导体表面为等势面;

(4) 电力线与导体表面处处垂直.

图 1-8 画出了一个孤立的带电导体周围的电力线及等势面分布. 电力线与导体表面处处垂直. 图 1-9 中画出了一个原来不带电的枕形导体放到带正电金属球附近的电力线分布. 枕形导体 B 端不可能有电力线与 A 端相连, 否则 $U_B > U_A$ (沿电力线电势递减) 与静电平衡状态下导体的性质不符.

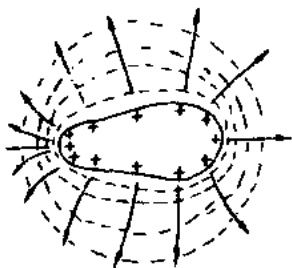


图 1-8

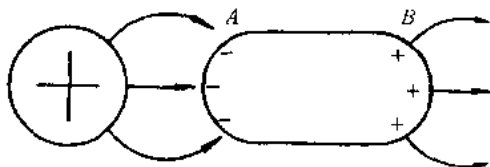


图 1-9

3. 静电屏蔽

静电平衡时导体内部场强为零这一现象,在技术上用来实现静电屏蔽. 金属外壳或金属网罩可以使其内部不受外电场的影响,这就是静电屏蔽. 但金属外壳本身尚不能消除内电场对外界的影响,如图 1-10 所示. 由于感应电荷的存在,金属壳外的电力线依然存在. 金属壳电势低于正点电荷,但高于零电势. 但如果把外壳接地,金属壳外的感应电荷流入大地,壳外电力线消失(否则,由于“电势沿电力线逐点降低”,金



属壳电势仍高于零,与大地不等势)。由此可见,接地的金属壳既能屏蔽外场,也能屏蔽内场。

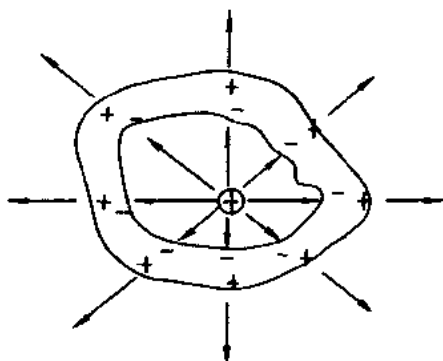


图 1-10

4. 电介质的极化

在物理学中通常把绝缘物质称为电介质。由于电介质的正负电荷结合得比较紧密,几乎没有自由电荷。因此,当电介质放入电场中时,不会发生静电感应现象。

电介质可分为两类:氧、氢、氮等类物质,它们的分子中的正电荷的平均位置正好与负电荷平均位置相同,称为无极分子;二氧化硫、氨、水等类物质,它们的分子中的正、负电荷的平均位置间存在一定的距离,称为有极分子。

在外电场作用下,无极分子的正、负电荷发生偏移,正、负电荷平均位置挪开一定距离,如图 1-11 所示。在电介质与外电场垂直的两个端面上,分别显示出正、负电荷。在电介质内部各处,正、负电荷的作用正

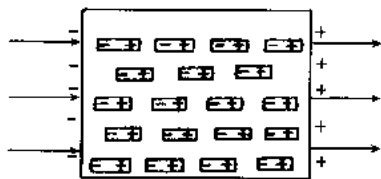


图 1-11