

普通高中教科书

物理

必修

第三册



主 编:廖伯琴

核心编者: 谢德胜 邓 磊 蒋小平 杨燕鸣 张正严 廖伯琴

统 稿:廖伯琴 谢德胜

定稿:廖伯琴

编务联系:李富强 李洪俊

责任编辑:光 奎 杨文静 邹淑红

封面设计: 孙 佳



第1章 静电力与电场强度

导 入	神奇的静电2
第1节	静电的产生及其微观解释3
第2节	库仑定律7
第3节	电场与电场强度12
第4节	点电荷的电场 匀强电场17
第5节	静电的利用与防护22



第2章 电势能与电势差

导入	静电力做功了吗31
第1节	静电力做功与电势能32
第2节	电势与等势面36
第3节	电势差与电场强度的关系40
第4节	带电粒子在电场中的运动45
第5节	科学探究· 电容器 ······ 50

第3章 恒定电流

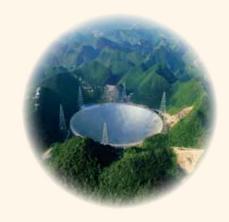
导 入	历史的回顾62
第1节	电 流63
第2节	电 阻67
第3节	电功与电热 · · · · · · 72
第4节	串联电路和并联电路78
第5节	科学测量:长度的测量及测量工具的选用 …83
第6节	科学测量: 金属丝的电阻率89



第4章 闭合电路欧姆定律与科学用电

导 入	从用电问题说起96
第1节	闭合电路欧姆定律97
第2节	科学测量: 电源的电动势和内阻103
第3节	科学测量: 用多用电表测量电学量107
第4节	科学用电113





第5章 初识电磁场与电磁波

导 入	神奇的电磁波125
	磁场及其描述 126
第2节	电磁感应现象及其应用135
第3节	初识电磁波及其应用143
第4节	初识光量子与量子世界147

第6章 能源与可持续发展

	开发新能源155
第1节	能量的多种形式156
第2节	能量的转化与守恒160
第3节	珍惜大自然163





第1章

部的海馬河馬

导 入 神奇的静电

第1节 静电的产生及其微观解释

第2节 库仑定律

第3节 电场与电场强度

第 4 节 点电荷的电场 匀强电场

第5节 静电的利用与防护

▶▶本章学业要求

- ●能了解库仑定律、电场强度的内涵,会用电场线描述电场,知道电场是一种物质;能用原子结构模型和电荷守恒的知识分析静电现象,能分析生产生活中的静电现象,有关于静电的利用与防护的实际行动。具有与静电力、电场强度相关的相互作用观念和物质观念。——物理观念
- ●能在熟悉情境中运用点电荷、试探电荷和电场线等模型分析静电问题;能体会用物理量之比定义新物理量的方法,能体会探究库仓定律过程中的科学思想和方法;能用与静电力、电场强度相关的证据解释常见的静电现象;能从不同的视角分析静电场的问题。 ——科学思维
- 能了解库仑扭秤实验,并能提出相关问题;能通过验电器、静电计等探索静电现象,获取信息;能分析实验信息,形成初步结论;能撰写与静电现象相关的小论文,能陈述并交流相关内容。

——科学探究

通过了解库仑扭秤实验,能体会科学研究的一些共性与创新;能坚持实事求是,在合作中既能坚持观点又能纠正错误;能对公众利用和防护静电的一些行为发表自己的观点,有进行科学普及的兴趣和责任感。

--科学态度与责任

导人 ••••

神奇的静电

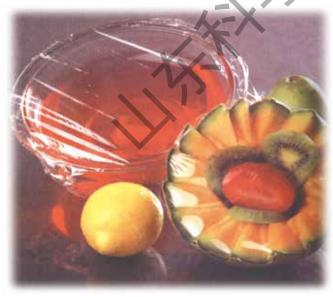
静电现象既神秘又常见。

在天气干燥的日子里,你与人握 手、触摸金属器具或脱化纤材料的衣 服时,有时好像有股"魔力"会"猛 击"你一下,或让你看见火花。其实, 这些都是静电在作怪。

在生产生活中,静电应用广泛。 例如,激光打印、静电纺丝、静电喷 涂、静电除尘等。



静电使长发飘起来



静电使薄膜有密封作用

静电也会给人类带来一些危害: 长期处于静电环境中,人会有精神疲劳、头晕目眩等不良反应;静电可能造成设备失控、产品报废等问题;在加油站里或油罐车附近,静电还可能引发火灾、爆炸等严重事故。

为何会产生静电?静电有怎样的作用规律?如何合理利用静电?通过本章的学习,我们将揭开静电的神秘面纱。

900 第1节

静电的产生及其微观解释

将梳过头发的塑料梳立刻靠近细小纸屑,纸屑会被吸起(图1-1)。雷雨天,你能看到撕裂长空的闪电,听到震耳欲聋的雷声。这些都是静电现象。那么,静电是怎样产生的?为什么会产生?本节将学习产生静电的常见方式,并从微观角度对静电现象进行分析。

1.静电的产生

摩擦起电是常见的使物体带电的方式之一。例如, 梳头发时起电,在地毯上行走时起电,脱毛衣时起 电……这类静电现象都是由摩擦引起的。



图 1-1 梳过头发的塑料梳可吸起细小纸屑

我们知道,摩擦后的物体所带电荷有两种:用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷规定为正电荷,用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷规定为负电荷。同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引。电荷的多少称为电荷量(electric quantity)。在国际单位制中,电荷量的单位是 库仑(coulomb),简称库,符号为 C。



图 1-2 将带电橡胶棒与验电器接触

接触起电是使物体带电的又一种方式。例如,将一根用毛皮摩擦而带电的橡胶棒跟验电器的金属球接触(图1-2),会发现验电器原来闭合的金属箔片张开了,表明接触后的验电器带电了。验电器是检验物体是否带电和估测物体带电多少的仪器。当带电的橡胶棒与验电器的金属球接触时,有一部分电荷转移到验电器上,与金属球相连的金属箔片带上同种电荷,因相互排斥而张开。金属箔片张开角度越大,物体所带电荷越多。

还有一种使物体带电的方式——感应起电。什么是 感应起电呢?下面让我们先看一个实验。





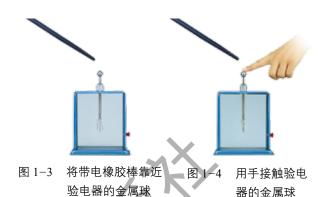
实验与探究

感应起电

将一根用毛皮摩擦过的橡胶棒靠近 (不接触)验电器的金属球(图1-3),会观 察到什么现象?为什么会出现这种现象?

保持橡胶棒的位置不动,用手接触验 电器的金属球(图1-4),会观察到什么 现象?这又是为什么?

接着先把手移开,再把橡胶棒移开,又会观察到什么现象?



由上面的实验可知,一个带电物体靠近导体时,也可使导体带电。受附近带电体影响而使导体上的电荷重新分布的现象称为**静电感应**(electrostatic induction)。利用静电感应使金属导体带电的方式称为感应起电。

科学书屋

认识静电的历史

人类对电的研究始于对静电现象的观察,静电的奇妙现象引发人们不断对其进行探索。公元前600年左右,古希腊的泰勒斯(Thales,约公元前624—前547)发现,摩擦过的琥珀可吸引轻小物体,"electricity"(电)这个词就起源于希腊文的"琥珀"。成书于西汉末年的《春秋纬·考异邮》载有"玳瑁吸褡",意思是经过摩擦的玳瑁(一种海龟科海洋动物)背甲能吸引草屑等轻小物体。16世纪,英国的吉尔伯特(WGilbert 1544—1603)发现能带电的不仅有琥珀、还有

特(W.Gilbert, 1544—1603)发现能带电的不仅有琥珀,还有钻石、水晶等。

1660年,德国的格里克(O.Guericke, 1602—1686)发明了摩擦起电机,推动了人们对静电现象的进一步探索。1882年,英国的维姆胡斯发明了圆盘式静电感应起电机,其两个同轴玻璃圆板可反向高速转动,感应起电的效率很高,能连续产生并积累较多正、负电荷。现在,我们在电学实验中经常用到感应起电机(图1-5)。



图 1-5 感应起电机



2.产生静电的微观解释

下面我们从物质的微观结构来认识静电现象的本质。

物质由分子、原子等微粒组成。原子由带正电的原子核和带负电的电子组成(图 1-6)。原子核由呈电中性的中子和带正电的质子组成。一个电子的电荷量与一个质子的电荷量数值相同,约为 1.60×10⁻¹⁹ C,原子的电子数与质子数相等,因此物体不显电性。但当物体受到外界影响,电子发生转移时,物体就会显电性。

大量事实证明,电荷既不能被创造,也不能被消灭,只能从物体的一部分转移到另一部分,或者从一个物体转移到另一个物体。在转移的过程中,电荷的总量不变。这个规律称为电荷守恒定律(law of conservation of charge)。

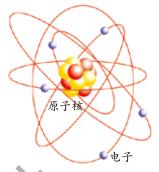


图 1-6 原子模型示意图

摩擦为什么能使物体带电?这是因为,两个由不同物质组成的物体相互摩擦时,由于摩擦力做功,一个物体中某些原子的电子获得了能量,挣脱了原子核的束缚,转移到另一个物体上。根据电荷守恒定律,从整体上看,一个物体失去了电子带正电,另一个物体就得到了电子带负电。例如,用丝绸摩擦玻璃棒时,玻璃棒失去了电子带正电,丝绸获得了电子而带等量负电(图1-7)。

图 1-7 用丝绸摩擦玻璃棒 使其带电

感应起电的原因是什么呢?原来,带电体靠近导体时,导体内的自由电子会受到带电体上电荷的作用,向靠近或远离带电体的方向移动。在本节"实验与探究"中,当带负电的橡胶棒靠近验电器的金属球时,验电器的金属箔片张开,这是因为金属球上的自由电子受到负电荷作用,会向远离橡胶棒的方向移动,最终使靠近橡胶棒的金属球带正电,远离橡胶棒的两金属箔片带负电而相互排斥。保持橡胶棒的位置不动,用手接触验电器的金属球,金属箔片闭合,这是因为金属箔片上的电子通过人体从验电器移到了大地,而金属球上的正电荷继续保留。接着把手移开,使金属球与地面断开,再把橡胶棒移开,金属球和两金属箔片带正电,金属箔片相互排斥又会张开。因此,感应起电的实质是在带电体所带电荷的作用下,自由电荷从导体的一部分转移到了另一部分。



拓展一步

梳子为何能吸引纸片

梳过头发的塑料梳子为何能吸引轻小纸片呢?如图1-8所示,当摩擦后带电的梳子靠近纸片时,纸片在梳子所带电荷的影响下,会出现如图所示的正、负电荷分布(这是电介质的极化现象,其表面出现的是极化电荷,图中仅近似画出纸片两端的极化电荷)。因为靠近梳子端的极化电荷与梳子所带电荷是异种电荷,它们之间相互吸引,所以轻小纸片便被梳子吸引过去了。

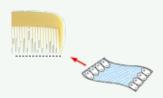


图 1-8 梳子吸引轻小纸片 原理示意图





节练习

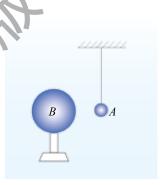
- 1. 在比较干燥的环境中,将一段塑料绳分成许多细条,用一只手提起这些塑料细条,另一只手快 速重复捋塑料细条,看能否观察到如图所示的现象,并解释原因。
- 2. 如图所示, 在桌上间隔一定距离放两本书, 将一块洁净的玻璃板放置于两书之上, 使玻璃板离 开桌面 2~3 cm。用宽 0.5 cm 的纸条剪出各种姿态的人形小纸片, 放在玻璃板下面, 然后用一 块硬泡沫塑料在玻璃上摩擦, 可见小纸人翩翩起舞。
 - (1) 小纸人为什么会翩翩起舞?
 - (2) 如果实验前把"舞区"烤一烤,实验效果会更好。这是为什么?
- 3. 某同学在探究静电感应时,进行了如图所示实验:将绝缘细线上端固定,下端悬挂一轻质小球 A, A 的表面镀有铝膜, 在 A 的近旁有一绝缘金属球 B, 开始时 A、B 球都不带电。若使 B 带电, 该同学会观察到什么现象? 为什么?



第1颗

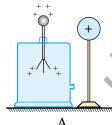


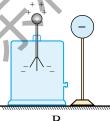
第2题

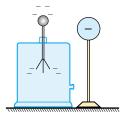


第3题

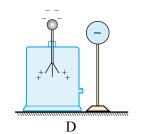
4. 某同学在研究静电感应时, 用带电的金属球靠近不带电的验电器, 验电器的金属箔片张开。验 电器上感应电荷的分布情况正确的是







C



5. 现有三个相同的金属球, 其中两个带正电, 电荷量为 q, 一个不带电。请设计使其中某一金属球 带电荷量为 $\frac{3}{4}q$ 的方案,并说明设计思路。



第2节

库仑定律

按如图 1-9 所示的方法做一做, 你会发现: 将气球充气后靠近较轻的金属筒, 筒静止不动; 将气球在头发上摩擦后再靠近筒, 筒会滚动起来。气球没有接触筒, 为什么筒却滚动起来了? 本节将通过建立点电荷理想模型, 学习两个点电荷间相互作用的规律。

1.点电荷

根据摩擦起电和静电感应的知识,我们知道气球摩擦后会带电,当其靠近金属筒时,静电感应会使筒的两侧带上异种电荷。气球上的电荷与筒上的电荷相互作用,筒因此滚动起来。电荷间的这种相互作用力称为静电力(electrostatic force)。

通常,两个带电体之间的相互作用力与带电体的形状、大小、电荷量、电荷分布及二者之间的距离等因素有关。若同时考虑这些因素,会大大增加研究静电力作用规律的难度。为此,物理学中通过建立点电荷理想模型来进行相关研究。何为点电荷?当带电体本身的大小比它与其他带电体之间的距离小得多,以至于其形状、大小及电荷分布等因素对它与其他带电体之间相互作用的影响可忽略时,这样的带电体称为点电荷(point charge)。点电荷被认为是只有电荷量、没有大小的几何点,两个视为点电荷的带电体之间的距离就是这两个几何点之间的距离。

一个实际的带电体能否视为点电荷,不仅和带电体本身有关,还取决于研究的问题和精度要求。即使是两个很大的带电体,只要在测量精度要求的范围内,



图 1-9 带电气球能使金属筒滚动

产方法点拨

点电荷是针对实际带电 体建构的理想模型,与质点 模型的建构类似。建立理想 模型是科学研究的重要方法。

现实世界的问题复杂多样,在研究中我们需抓住影响问题的关键因素,忽略一些次要因素,建立理想模型。 其实,理想模型在现实世界是不存在的,但在一定条件下,实际事物可近似当作理想模型来处理。

若条件发生变化,研究问题需要深入,次要因素不能忽略,已有的理想模型不 再适用,则应考虑更多因素 的影响,建立新的物理模型。



带电体的形状、大小等因素的影响可忽略,也可视为点电荷。

事实上,任何带电体都有大小和形状,真正的点电荷是不存在的。点电荷是一个理想模型。在中学物理中,如果未特别指出带电体的形状、大小等,通常都把此带电体视为点电荷。

2.两点电荷间的静电力

两个点电荷之间的相互作用力与距离、电荷量有怎样的关系?下面让我们通过实验来 探究。



实验与探究

电荷间作用力的大小与距离、电荷量的关系

- (1)探究电荷间作用力的大小与距离的关系如图 1-10 所示,把两个完全相同、带同种电荷的小球挂在等长绝缘细线下端,观察细线相对竖直方向的偏离角度(角度越大,静电力越大)。增大两细线悬点之间的距离,观察细线偏离角度有什么变化。
- (2)探究电荷间作用力的大小与电荷量的关系保持绝缘细线悬点位置不变,同时增加或减少两小球的电荷量(如用带电棒同时接触两球),再观察细线偏离的角度,可得出什么结论?

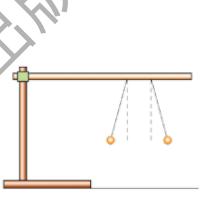


图 1-10 探究电荷间作用力的大 小与距离关系的示意图

通过以上实验只能定性了解两电荷间的作用力与它们之间的距离和电荷量的关系。两电荷之间作用力的规律是法国物理学家库仑(C.Coulomb, 1736—1806)在前人工作的基础

上,通过与牛顿万有引力定律的类比和自己大量的实验研究,在 1785 年总结出来的。精确的实验表明,真空中两个静止点电荷之间的相互作用力F的大小,与它们的电荷量 Q_1 、 Q_2 的乘积成正比,与它们的距离r的二次方成反比;作用力的方向沿着它们的连线,同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引(图 1–11)。上述结论可用公式表示为

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

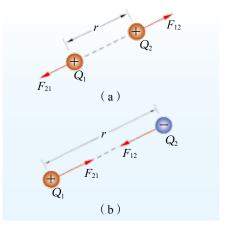


图 1-11 电荷间相互作用的示意图



式中, k 是静电力常量。如果各个物理量单位都采用国际单位制,则

$$k = 9.0 \times 10^9 \,\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}^2/\mathrm{C}^2$$

这个规律称为**库仑定律**(Coulomb law)。库仑(C)是一个非常大的电荷量单位。若两个电荷量为 1 C 的点电荷在真空中相距 1 m,其库仑力为 $9.0 \times 10^9 N$ 。通常情况下,梳子摩擦起电时产生的电荷量的数量级为 $10^{-7} C$,一片雷雨云带电的电荷量为几十库仑。

库仑定律是电磁学的基本规律之一,电荷间的相互作用力通常称为库仑力或静电力。库仑定律是通过对宏观带电体的研究总结出来的,对原子核、电子等微观粒子仍然成立。空气对静电力的影响很小,所以库仑定律也适用于空气中的点电荷。

实验表明,对于两个以上的点电荷,其中每一个点电荷所受的总的静电力,等于其他点电荷分别单独存在时对该点电荷的作用力的矢量和,这个结论通常称为静电力叠加原理。由于任何带电体都可视为由很多点电荷组成,理论上讲,利用库仑定律和静电力叠加原理,可求出任何带电体之间的作用力。

一例 题

真空中有三个点电荷,固定在一等边三角形的三个顶点,三角形的边长 l=50 cm。已知 $q_1=3.0\times10^{-6}$ C, $q_2=-3.0\times10^{-6}$ C, $q_3=-5.0\times10^{-6}$ C,求 q_3 所受的静电力。

分析

如图 1-12 所示, q_3 受到 q_1 的吸引力 F_1 , 受到 q_2 的排斥力 F_2 , q_3 所受静电力 F 等于这两个力的合力。由于 F_1 、 F_2 大小相等, 其合力 F 的方向与 q_1 、 q_2 的连线平行。

解

因 q_1 与 q_2 所带电荷量大小相等,与 q_3 的距离也相等,有

$$F_1 = F_2 = k \frac{|q_1 q_3|}{l^2}$$

$$= 9.0 \times 10^9 \times \frac{3.0 \times 10^{-6} \times 5.0 \times 10^{-6}}{0.5^2} \text{ N}$$

$$= 0.54 \text{ N}$$

$$F = 2F_1 \cos 60^\circ$$

$$= 2 \times 0.54 \times 0.5 \text{ N}$$

$$= 0.54 \text{ N}$$

所以, q_3 所受静电力的大小为 0.54 N,方向与 q_1 、 q_2 的连线平行并指向右方。

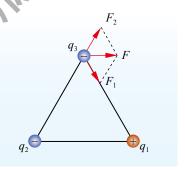


图 1-12 分析电荷 *q*₃ 所受静电力的示意图

策略提炼

运用库仑定律求静 电力时,可将电荷量的 绝对值代入公式计算静 电力的大小,根据电荷 的正、负判断静电力的 方向。

求解多个静电力的 合力,可先运用库仑定 律求出每个静电力的大 小,并确定其方向,然 后根据平行四边形定则 得出这些静电力合力的 大小及方向。

第1章 静电力与电场强度



讨论

如果底边两个点电荷的电荷量不相等,其他条件不变, q_3 所受静电力的方向还与 q_1 、 q_2 的连线平行吗? 为什么?



上题中,如果 q_2 带正电,其他条件不变,求 q_3 所受的静电力。



库仑扭秤实验

库仑定律是电学史上第一个定量定律,它是电学研究从定性到定量的里程碑, 奠定了定量研究电学的基础。

18世纪,一些物理学家受万有引力与距离平方成反比 规律的启示,猜想静电力与距离也有平方反比的关系,并 对此进行了理论和实验探究。基于前人的研究,库仑设计 了扭秤实验,得出了电荷间相互作用的规律,使猜想得到 了证实。

如图 1-13 所示, 在细金属悬丝下悬挂一横杆, 杆两端 有金属小球A、B, 在A 旁有与它相同的金属小球C。当A、 C带电发生相互作用时,秤杆会因A端受力而旋转,力的 大小可借助旋转的角度得出。当时没有精密测量力的仪器 和量度电荷量的单位,但库仑巧妙借助扭秤,测量了很小 的静电力; 用两个相同的金属小球, 先让一个带电另一个不 带电,然后让它们接触,使电荷量在两个金属小球间平均分 配,间接解决了电荷量的测量问题。

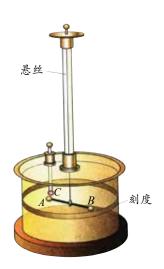
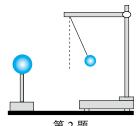


图 1-13 库仑扭秤实验 装置示意图

1. 在库仑扭秤实验中, 两个金属小球之间的静电力很小, 用一般仪器难以测量。某同学认为, 只 要把它们之间的距离尽量减小,就可测出静电力,这与通过库仑定律计算出的静电力大小是一 致的。这种观点正确吗? 为什么?

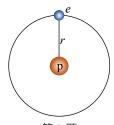


- 2. 两个带电球处于如图所示的静止状态,大球的电荷量大于小球的电荷量。下列判断正确的是
 - A. 两球一定都带正电
 - B. 两球一定都带负电
 - C. 两球受到的静电力大小相等
 - D. 大球受到的静电力大于小球受到的静电力

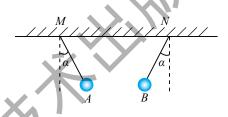


第2题

- 3. 氢原子核只有一个质子,核外有一个电子绕核旋转,如图所示。已知轨道半径 $r=5.29\times10^{-11}$ m;电子的电荷量大小 $e=1.60\times10^{-19}$ C,质量 $m_1=9.10\times10^{-31}$ kg;质子电荷量的大小与电子的相同,质量 $m_2=1.67\times10^{-27}$ kg。求电子与质子之间的静电力和万有引力的大小。根据计算结果你可以得出什么结论?
- 4. 在探究电荷间作用力的大小与距离、电荷量的关系时,分别用长I的绝缘细线把质量都为m、大小相同且带等量电荷的小球A、B,悬挂在同一水平面上相距2I 的M、N 两点,平衡时A、B 的位置如图所示,细线与竖直方向的夹角 $\alpha=30^{\circ}$ 。A、B 小球带同种电荷还是异种电荷?所带电荷量是多少?



笙 3 题



第4题

5. 两个带正电的小球,电荷量分别为Q和9Q,在真空中相距l。如果引入第三个小球,恰好使得三个小球只在它们相互之间的静电力作用下处于平衡状态,第三个小球应带何种电荷,放在何处,电荷量又是多少?



第3节

电场与电场强度

生活中,我们常会感受到这样两类力:一类是通过接触产生的作用力,如平放在水平桌面上的书与桌面之间的弹力;另一类则是不通过接触产生,可存在于两个相隔一定距离的物体之间,如毛皮摩擦过的橡胶棒靠近细水流,细水流会改变方向(图1-14)。那么,相隔一定距离的物体之间是怎样产生相互作用的呢?下面我们从这个问题开始,学习电场及电场强度等相关内容。

1.电场及电场力



图 1-14 静电力可让细水流改变方向

关于上面的问题,历史上有过长期的争论。一种观点认为,这类力不需要物质作为媒介,能从一物体立即作用到相隔一定距离的另一物体,这是超距作用的观点。另一种观点认为,这类力也是近距作用,是通过空间中的一种弹性媒介——"以太"传递的。物理学理论与实验皆证明,超距作用的观点是错误的,弹性媒介"以太"也不存在,电荷之间的相互作用是通过电场(electric field)传递的。静止电荷产生的电场称为静电场(electrostatic field)。

电场是物质存在的一种形式。电场对处在其中的电荷有力的作用,这种力称为**电场力** (electric field force)。凡是有电荷的地方,周围就存在着电场。以图 1–15 中两个正电荷 q_1 和 q_2 的相互作用为例,电荷 q_1 在它的周围产生一个电场,该电场对电荷 q_2 施加电场力作用;电荷 q_2 在它的周围也产生一个电场,此电场对电荷 q_1 也施加电场力作用。在静电场中,电场力就是静电力。



图 1-15 两正电荷相互作用的示意图



2.电场强度

下面,我们从电场力入手来探究 电场的性质。如图 1-16 所示, 电荷 量为Q的带电体 A 周围存在电场,现 引入电荷 q 来探究电场的性质。为避 免电荷 q 的引入对带电体 A 的电场产 生明显的影响, q 的电荷量应足够小; 为能确定带电体 A 的电场在空间各点

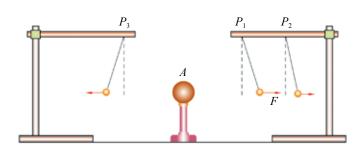


图 1-16 用试探电荷研究带电体电场的示意图

的性质,q的大小也应足够小(可视为点电荷)。满足以上条件的电荷q称为试探电荷(或 检验电荷),被探究的电场是由带电体激发的,其所带电荷Q称为场源电荷(或源电荷)。

用绝缘细线将带同种电荷的试探电荷q分别悬挂于图中 P_1 、 P_2 、 P_3 位置,可发现细 线偏离竖直方向的角度不同,这说明q所受的电场力不同,电场力与试探电荷所处的位置 有关。若将试探电荷置于电场中某点,增加其电荷量,会发现电荷所受电场力也增大。可 见,在电场的同一位置,由于电荷量不同,对应的电场力也不同,这说明不能用电场力来 反映电场的性质。

进一步研究表明,对电场中的同一点,试探电荷受到的电场力与其电荷量之比 $\frac{F}{a}$ 是一 定的,而对电场中的不同点, $\frac{F}{q}$ 一般是不同的,即 $\frac{F}{q}$ 与试探电荷的电荷量无关,只与其在 电场中的位置有关。因此, $\frac{F}{a}$ 反映了电场的一种性质。

在物理学中,放入电场中某点的试探电荷受到的电场力F与它的电荷量q之比,称为 该点的电场强度(electric field strength),简称场强,用E表示。

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

电场强度是矢量。物理学中规定, 电场中某点电场强度的方向与正电荷在该点所受电 场力的方向相同。按照这个规定,负电荷在电场中的某点所受电场力的方向与该点的电场 强度方向相反。电场强度的单位由力的单位和电荷量的单位共同决定,在国际单位制中为 牛顿每库仑(N/C)。若1C的电荷在电场中某点受到的电场力是1N,那么该点处的电场强 度为1N/C。

如果我们知道了电场中某点的电场强度 E 和放入该点的电荷的电荷量 q,可确定该电 荷在该点受到的电场力的大小为

$$F = qE$$

对于电场中的不同点,E 越大,同一电荷在电场中受到的电场力越大。因此,电场强 度E从力的角度描述了电场的性质。



例 题

地球周围存在电场。电荷量为 1.0×10^{-7} C 的试探电荷在地球表面某处受到的电场力的大小为 1.5×10^{-5} N,方向竖直向下。求该点的电场强度。

分析

已知电荷量和电场力,根据电场强度定义,可求出电场强度的大小和方向。

解

已知电荷量 $q = 1.0 \times 10^{-7}$ C,电场力大小 $F = 1.5 \times 10^{-5}$ N。 设电场强度大小为 E,由电场强度定义式得

$$E = \frac{F}{q} = \frac{1.5 \times 10^{-5}}{1.0 \times 10^{-7}} \text{ N/C} = 150 \text{ N/C}$$

该点电场强度的方向竖直向下。

讨论

请查阅资料,看结果是否合理。

金融品等

量时要其其力 值 计小力强度场积累不,。荷 公 场根向方的程度场有要要将的 E 度电断。是强明求确电绝 = 的荷电为方的发展,现代还可量 式 强据判向方方。 E 度确出定场对 E 度电断。



我们还可用电场强度和电荷量确定电荷受到的电场力。请分析求解下面的问题。

例题中,若撤去试探电荷,该处的电场强度是否改变?若在该处放上电荷量为 -2×10^{-8} C的试探电荷,求该试探电荷受到的电场力。



科学书屋

表 1-1

一些电场的电场强度数量级

电场	电场强度 E/ (N·C ⁻¹)
地球表面附近的电场	10^2
带电橡胶棒附近的电场	10^3
在空气中能产生电火花的电场	10^6
氢原子中电子轨道上的电场	1011

3.电场线

用图示法形象直观地描述物理问题,是物理研究中常用的一种方法。在学习磁场时, 我们曾用磁感线形象地描述磁场。那么,能否用类似的方法描述电场呢?



实验与探究

电荷间的电场分布

在装有蓖麻油的玻璃器皿里撒上一些细小的头发屑,再加上电场,头发屑会重新排列。图 1-17(a)是头发屑在一对等量异种电荷形成的电场中的排列情况,图 1-17(b)是头发屑在一对等量同种电荷形成的电场中的排列情况。这两幅图分别有什么特点?

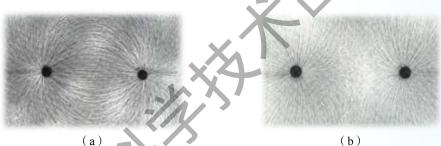


图 1-17 电荷间的电场分布模拟

通过观察可以发现,图 1-17(a)中头发屑的排列与两个异名磁极间的磁感线类似,图 1-17(b)中头发屑的排列与两个同名磁极间的磁感线类似。研究表明,细小的头发屑是按照电场的分布排列的。因此,也可仿照用磁感线描述磁场的方法,用类似的曲线来描述电场。在电场中绘出一些曲线,曲线上任一点的切线方向与该点电场强度的方向一致(图 1-18),这样的曲线称为电场线(electric field line)。在同一静电场中,电场线越密的地方电场强度越大,电场线越疏的地方电场强度越

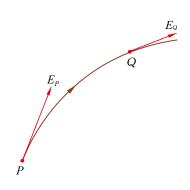
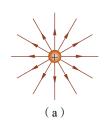


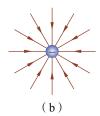
图 1-18 电场强度的方向

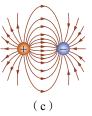
小。电场线从正电荷或无穷远出发,终止于无穷远或负电荷。电场线在电场中没有交点。

电场线是为了形象地描述电场而假想的线,实际并不存在。本节"实验与探究"中显示的图样只是模拟了电场线的分布情况。

图 1-19 是一些常见电场的电场线在平面上的分布情况。 其中,图(a)是正点电荷的电场线,方向从正电荷指向无穷 远处;图(b)是负点电荷的电场线,方向从无穷远处指向负 电荷;图(c)是两个等量异种点电荷的电场线;图(d)是两 个等量同种点电荷的电场线。







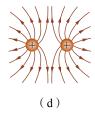
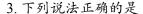


图 1-19 常见电场的电场线分布示意图

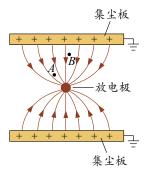
---科学思维

节练习

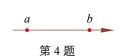
- 1. 某同学根据电场强度定义式 $E = \frac{F}{q}$ 得出结论: 电场强度的大小与试探电荷所受的电场力大小成正比, 与其电荷量成反比。这种认识是否正确? 为什么?
- 2. 用电场线能直观、方便地比较电场中各点的场强大小与方向。如图是静电除尘集尘板与放电极间的电场线,请比较电场中A、B两点的电场强度是否相同,并说明理由。

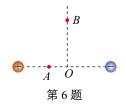


- A. 在同一静电场中, 电场线可以相交
- B. 在同一静电场中, 电场线越密的地方, 电场强度越大
- C. 正电荷仅受电场力的作用从静止开始运动, 其轨迹必定与电场线重合
- D. 静电场中某点电场强度的方向, 就是放在该点的电荷所受电场力的方向
- 4. 如图所示,带箭头的直线是某电场的一条电场线。在这条线上有a、b 两点,分别用 E_a 、 E_b 表示 a、b 两处的电场强度,下列说法正确的是
 - A.a、b 两处的电场强度方向相同
 - B. 电场线从 a 指向 b, 所以 $E_a > E_b$
 - C. 因为 a、b 在一条电场线上,且电场线是直线,所以 $E_a = E_b$
 - D.a. b 附近电场线的分布情况未知, $E_a.$ $E_b.$ 的大小不能确定
- 5. 用带电量为 -2.0×10^{-6} C 的试探电荷测量电场强度。当把试探电荷放在电场中 A 点时,受到的静电力大小为 0.14 N,方向指向正北。求 A 点的电场强度。
- 6. 如图所示,在两个等量异种点电荷的电场中,将一个正的试探电荷由 *A* 点沿两点电荷连线移到中点 *O*,再由 *O* 点沿直线移到 *B* 点。在该过程中,试探电荷所受的电场力大小和方向如何变化?



第2题





●●● 第4节

点电荷的电场 匀强电场

在实际问题中,通常需要知道电荷产生的电场分布情况。那么,怎样确定电荷产生的电场分布情况呢?本节将认识一些常见的电场分布。

1.点电荷的电场

根据库仑定律和电场强度的定义式,可推导出点电荷Q所形成的电场中任意点的电场强度。如图 1-20 所示,将点电荷Q置于O点,另取一任意点P,与O点的距离为r,把一个试探电荷q放在P点,由库仑定律可知,它受到的静电力大小为

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

根据电场强度的定义式 $E = \frac{F}{q}$ 可得

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

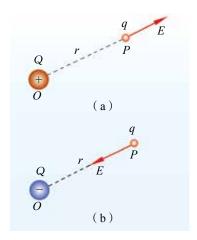


图 1-20 点电荷电场的电场 强度示意图

这就是点电荷电场的电场强度大小的表达式。从公式可知,点电荷 Q 产生的电场中某点电场强度的大小,与点电荷的电荷量成正比,与该点到点电荷距离的平方成反比。当点电荷 Q 为正电荷时,电场强度方向沿 r 向外,如图 1-20(a)所示;当点电荷 Q 为负电荷时,电场强度方向沿 r 向内,如图 1-20(b)所示。

2.场强叠加原理

如果有多个点电荷同时存在,根据电场强度的定义和静电力叠加原理,电场中任

Physics

第1章 静电力与电场强度

一点的电场强度等于这些点电荷各自在该点产生的电场强度的矢量和,这个结论称为场强叠加原理(field superposition principle)。根据场强叠加原理,如果已知电荷分布,就可求出电场中某点电场强度矢量叠加后的总强度。图 1-21 中,P点的电场强度等于电荷 +q 在该点产生的电场强度 E_1 与电荷 -q 在该点产生的电场强度 E_2 的矢量和。

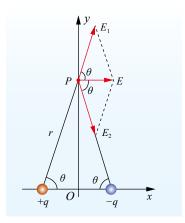


图 1-21 场强叠加示意图

例 题

如图 1-22 所示,有两个相距 l 的等量异种点电荷 -q 和 +q。O 点为两点电荷连线的中点,P 为连线延长线上的一点,与 O 点相距 r 。试求 P 点的电场强度。

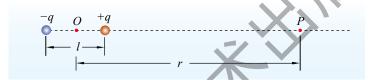


图 1-22 等量异种点电荷与其连线延长线上的 P点

分析

根据场强叠加原理,P点处的电场强度等于两个点电荷在该处电场强度的矢量和。两个点电荷的电荷量大小相等,P点到 +q 的距离小于到 -q 的距离,由点电荷的电场强度公式可知,+q 在 P点的电场强度大于 -q 在 P点的电场强度,合场强的方向与 +q 在该点电场强度的方向相同。

解

P点到 -q 和 +q 的距离分别为 $r+\frac{l}{2}$ 和 $r-\frac{l}{2}$,则 -q 和 +q 在 P 点产生的电场强度大小分别为

$$E_{-}=k\;rac{q}{\left(\;r+\;rac{l}{2}\;
ight)^{2}}\;\;\;,\;\;E_{+}=k\;rac{q}{\left(\;r-rac{l}{2}\;
ight)^{2}}$$

二者的方向相反,它们的合场强为

$$E_P = E_+ - E_- = k \frac{2rlq}{\left(r^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2}$$

电场强度的方向水平向右。

讨论

若P点到中心O点的距离r远大于两点电荷间距l,则P点的电场强度多大?

策略提炼

运用场强叠加原理 进行矢量运算,与力学 中进行矢量运算的方法 相同。一般是先确定相 关物理量的大小和 方 向,再根据矢量运算法 则进行计算。





如果条件不变,请计算图 1-22 中两个等量异种点电荷连线的中垂线上与 O 点距离为r 的某点的电场强度。



拓展一步

电偶极子

两个相距很近的等量异种点电荷组成的系统称为电偶极子。电偶极子的两个点电荷连线的延长线上某点P的电场强度,小于其中任何一个点电荷在该点的电场强度。对于电偶极子,P点到电偶极子中心的距离r远大于两点电荷间距I(图 1-22),可以证明,电偶极子在P点的电场强度近似为 $k\frac{2qI}{r^3}$ 。可见,电偶极子在其连线延长线上某点的电场强度与该点到两点电荷中点距离的三次方成反比。显然,与点电荷的电场强度相比,电偶极子的电场强度随距离的增大衰减得更快。

3. 匀强电场

除了点电荷的电场外,两块大小相同、相距很近、相互正对且分别带有等量异种电荷的金属板之间的电场,也是一种常见的电场。如图 1-23 所示的两金属板之间的电场,除边缘外,其内部的电场强度大小处处相等、方向处处相同。物理学中把电场强度大小和方向都处处相同的电场称为匀强电场(uniform electric field)。

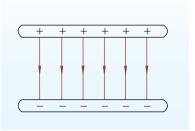


图 1-23 两金属板之间的 电场线示意图

╱ 例 题

图 1-24 为密立根油滴实验示意图。一个很小的带电油滴 悬在电场强度为 E 的电场中,调节电场强度,使作用在油滴上的电场力与重力平衡。如果 $E = 4.0 \times 10^5$ N/C,油滴受到的重力 $G = 1.8 \times 10^{-13}$ N,电子的电荷量大小 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C,求油滴电荷量与电子电荷量大小的比值。

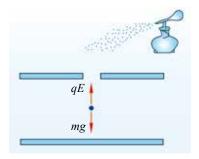


图 1-24 密立根油滴实验示意图

分析

油滴在电场力与重力作用下处于平衡状态,据二力平衡可求出油滴电荷量,进而可求出油滴电荷量与电子电荷量大小的比值。

解

油滴在电场力与重力的作用下平衡,有

$$qE = G$$

$$q = \frac{G}{E} = \frac{1.8 \times 10^{-13}}{4.0 \times 10^{5}} \text{ C} = 4.5 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\frac{q}{e} = \frac{4.5 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.8$$

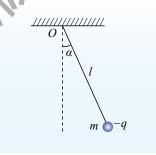
油滴电荷量与电子电荷量大小的比值为2.8。

讨论

历史上,密立根油滴实验得出:油滴电荷量是电子电荷量的整数倍。因实验有误差, 每次具体测量得出的结果不一定是整数倍,整数倍的结果是通过数据处理分析后得出的。

在一定条件下,利用带电体在电场中的平衡状态还可 以确定电场强度。

如图 1-25 所示,一绝缘细线上端固定,下端拴一质量 为m、电荷量为-q的小球。将它置于水平方向的匀强电场 中, 当细线离开竖直位置的偏角为α时, 小球处于平衡状 态。求匀强电场的大小和方向。



分析解决电场中带

电体的平衡问题, 需先 进行受力分析, 然后根

据物体平衡条件求解。 受力分析时要注意分析

电场力。

图 1-25 小球在电场中平衡 的示意图



密立根油滴实验

密立根 (R.Millikan, 1868-1953, 图 1-26), 美国物理 学家。他最早通过实验测出了电子电荷量的大小, 并因此荣 获 1923 年诺贝尔物理学奖。

密立根油滴实验还证明了带电微粒的电荷量的大小都是e的 整数倍。大量实验表明, 无论是原子核、离子等微观粒子, 还是 宏观物体所带电荷量的大小,都是 e 的整数倍,这个结论通常称为 电荷的量子化。e是电荷量值的一个基本量,这个电荷量称为元电 荷。一般情况下,带电体的电荷量远比元电荷大得多,电荷的量 子化表现不出来。国际科学技术数据委员会(2006)推荐的电 子电荷量大小 $e=1.602\,176\,487(\,40\,)\times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ 。在一般情况下,可取 $e=1.60\times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ 。



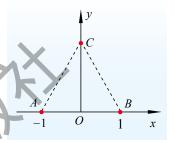
现代物理学认为,质子、中子等粒子是由电荷量为 $\pm \frac{2e}{3}$ 和 $\pm \frac{e}{3}$ 的夸克组成的, 但目前还没有找到单独存在的夸克。



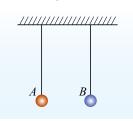


节练习

- 1. 关于电场强度公式 $E = \frac{F}{q}$ 和 $E = k \frac{Q}{r^2}$,某同学认为两个公式都对任何静电场适用,公式中的 Q 和 q 都是产生电场的电荷。这种看法正确吗?为什么?
- 2. 氢原子核只有一个质子,核外有一个电子绕核旋转,轨道半径 $r = 5.29 \times 10^{-11}$ m。已知质子的电荷量大小为 1.60×10^{-19} C,求电子轨道处的电场强度大小。
- 3. 如图所示,真空中xOy 平面直角坐标系上的A、B、C 三点构成等边三角形,边长 l=2.0 m。若将两个电荷量q 均为 2.0×10^{-6} C 的点电荷分别固定在A、B点,已知静电力常量 $k=9 \times 10^{9}$ N·m²/C²,求:
 - (1) Ø点的电场强度:
 - (2) C点的电场强度。
- 4. 做密立根油滴实验时,要使重 1.5×10⁻¹⁵ N、电荷量为电子电荷量 3 倍的油滴悬浮在两块平行板之间,电场强度需多大?
- 5. 如图所示,在真空中用等长的绝缘细线分别悬挂正电荷 A 和负电荷 B,其电荷量皆为 q。在水平方向的匀强电场作用下,两细线保持竖直,此时 A、B 间的距离为 l。求该匀强电场的电场强度。
- 6. 两个点电荷相距 l, 一个带正电、电荷量大小为 Q_1 , 另一个带负电、电荷量大小为 Q_2 , $Q_1 = 2Q_2$ 。 E_1 和 E_2 分别表示两个点电荷各自在某位置产生的电场强度的大小。在 Q_1 、 Q_2 所在直线上, $E_1 = E_2$ 的位置有几个?这些位置的电场强度的大小分别是多少?



第3题



第5题



第5节

静电的利用与防护

静电现象在自然界普遍存在, 雷电便是其中 的一种(图 1-27)。在生产生活中也时常会发生 静电现象。人们可让静电服务于生产生活,但也 需对其进行防护,做到趋利避害。应该怎样利用 或防护静电呢?本节将进行介绍。

1.静电的利用

静电在生产生活中有广泛的应用。下面介绍 三类常见的静电利用案例。

(1)静电除尘

雾霾治理是近年来人们关注的热门话题。导 致雾霾的原因很多, 工业燃烧产生的烟雾是其形 成的重要因素之一, 而静电除尘能有效处理烟雾。

静电除尘是利用高压静电实现除尘, 原理如 图 1-28 所示。接高压电源负极的金属丝 A 悬挂于 接电源正极的金属筒 B中, 当电压达到一定值时, 金属丝(电晕极)与筒(收尘极)之间会形成很 强的电场, 使空气电离。大部分烟雾颗粒或粉尘 在吸附电离所产生的负电荷后, 在电场力作用下 向金属筒运动,并落在金属筒上,通过除尘后的 气体则从出口排出。与其他除尘方式相比,静电 除尘耗能少、效率高,可广泛用于发电、冶金、 水泥以及其他产生烟雾和粉尘的工矿企业。



图 1-27 雷电

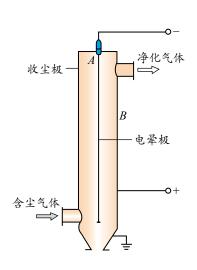


图 1-28 静电除尘原理示意图





迷你实验室

模拟静电除尘

如图 1-29 所示,将铝片和铜丝放入去掉底部的矿泉水瓶中,用静电高压电源的负极连接铜丝,正极连接铝片,这样便制成了简易的静电除尘器。实验时,从矿泉水瓶底部充入烟尘,然后放到桌面上。接通电源,你会看到什么现象?请解释出现该现象的原因。



图 1-29 静电除尘模拟装置

(2)静电喷雾

静电喷雾是通过高压静电发生装置使喷出的雾滴带电的喷雾方法,广泛应用于农药喷洒或汽车、家电外壳喷涂等(图1-30)。静电喷涂原理如图1-31所示,喷口上的金属导流管接高压电源负极,被涂工件接高压电源正极并接地,这样在喷口和工件之间便形成了较强的静电场。当涂料从输料管进入导流管的喷口时,由于导流管接上高压负极发生放电,周围产生密集的电荷,涂料微粒带上负电荷,在静电力和高压空气的作用下飞向工件,并均匀地吸附在工件表面。再经过干燥或加热,涂料固化成厚度均匀、质地坚固的涂层,这样喷涂工作便完成了。



图 1-30 静电喷涂

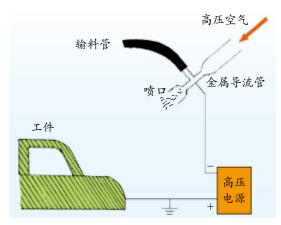


图 1-31 静电喷涂原理示意图

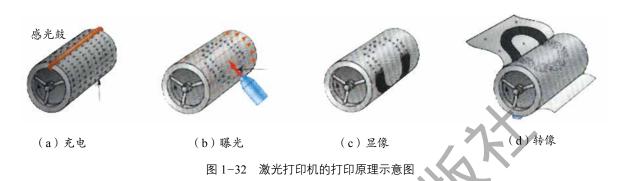
(3)激光打印

激光打印也是利用静电来实现"打印"的(图 1-32)。当使用者通过计算机应用程序下达打印指令时,激光打印机从"充电"开始,先在感光鼓上充满负电荷或正电荷;然后将打印机处理器处理好的图文资料通过激光束照射到感光鼓上,感光鼓表面被激光照射到的地方的电荷被释放,没有照射到的地方仍然带有电荷,从而在感光鼓上形成与图文对

第1章 静电力与电场强度

Physics

应的潜像,即"曝光";让碳粉匣中的碳粉带上与静电潜像电性相反的电荷,当快速转动的感光鼓上的静电潜像经过碳粉匣时,便会吸附带负电的碳粉,"显像"出图文影像;纸张进入机器内部后,由于异种电荷相互吸引,感光鼓上的碳粉就"转像"到纸张上;碳粉在高温下固定于纸张上,感光鼓上残留的碳粉也会被"清除";最后除去静电,使感光鼓恢复到初始状态,以便开始下一个工作循环。



静电还有很多应用。某些空气净化器便是利用静电来吸附空气中的尘埃,使空气得以净化;用静电处理种子,可使种子抗病能力增强、发芽率提高;利用静电处理水,既能杀菌,又能减少水垢;静电放电产生的臭氧是强氧化剂,有很强的杀菌作用。近年来,静电还被应用于海水淡化、低温冷冻、人工降雨甚至宇宙探索等方面。

2.静电的防护

静电在某些情况下也会成为"隐形杀手"。防止静电危害的方法之一,是尽快把静电导入地下。

雷电是自然界常见的静电现象。当带电的云层接近地面时,地面上的物体因静电感应 而带异种电荷,这些感应电荷更多分布在高大建筑物、大树等突出的物体上。当电荷积累 到一定程度时,这些物体与云层间形成很强的电场,使空气电离,在云层与地面之间发生 强烈的火花放电,这就是雷击。雷击会对地面上的建筑物、人等造成很大的危害。为避免

雷击造成伤害,人们通常在高大建筑物上安装 尖端导体——避雷针(接闪杆),并用符合规 格的导线与埋在地下的接地装置连接起来。带 电导体凸起而尖锐的地方电荷比较密集,其附 近空间电场也较强,避雷针便是利用了这一特 点。当带电云层接近时,避雷针上的感应电荷 在其附近产生强电场,使避雷针与带电云层间 的空气电离,电荷通过避雷针和符合规格的导 线被直接引入大地(图 1-33),从而达到保 护建筑物的目的。

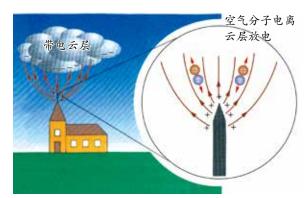


图 1-33 避雷针工作原理示意图



物理聊吧

请观察建筑物上的避雷针(图1-34), 看它们是如何巧妙设计的,分析它们如何 能安全引电避雷,它们的造型与建筑物是 否协调,并与同学讨论交流。



图 1-34 古建筑上的避雷针

其实,生活中类似这样将静电导入地下的实例还有不少:在接触带有大量精密电子元件的电路板前,应先用手握一下金属水管或其他接地金属,把人体的静电导走;印刷车间空气应保持适当的湿度,以便于导走纸页间相互摩擦产生的静电;油罐车车尾装有一条拖在地上的导电拖地带(图1-35),以导走运输过程中油和油罐摩擦产生的静电,避免由此引起爆炸;加油站加油枪旁常有一个触摸式人体静电释放器,加油前用手触摸上面的金属球,可将人体的静电导走。



图 1-35 油罐车车尾装有导电拖地带

能了解库仑定律、电场强度的内涵,会用电场线描述电场,知道电场是一种物质;能用原子结构模型和电荷守恒的知识分析静电现象,能分析生产生活中的静电现象,有关于静电的利用与防护的实际行动。具有与静电力、电场强度相关的相互作用观念和物质观念。

能对公众利用和防护静电的一些行为发表自己的观点,有进行科学普及的兴趣和责任感。

--物理观念,科学态度与责任



迷你实验室

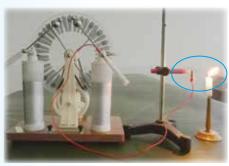
尖端放电与人造闪电

所谓尖端放电,就是导体尖端附近空气电离而产生气体放电的现象。将针形导体(如铁钉)固定在绝缘支架上并与起电机的连接杆连接,把蜡烛点燃后放在针尖前。摇动起电机,你会发现蜡烛的火焰朝背离尖端的方向偏斜,好像被风吹动一样,这就是"电风"现象。这是因为,针尖处电荷分布最密集,附近电场强度最强,在强电场作用下,针尖与蜡烛间的空气电离,与尖端电性相同的电荷被排斥从而远离



尖端,与尖端电性相反的电荷被吸引并与尖端上的电荷中和,从而形成"电风",把蜡烛火焰吹向一边[图1-36(a)],甚至可能吹灭。

再来看看出现火花的尖端放电现象。两个针形导体固定在两个绝缘支架上,将连接这两个导体的两条导线分别与起电机的两个连接杆相连。调整两针尖的距离,摇动起电机,可看见两针间出现火花放电,就像闪电一样[图1-36(b)]。你能解释这种"闪电"是怎样产生的吗?



(a)"电风"吹焰



(b) 尖端放电

图 1-36 尖端放电实验



拓展一步

静电平衡与静电屏蔽

如果将导体放在电场强度为 $E_{\rm h}$ 的外电场中,导体内的自由电子在电场力的作用下,会沿与电场强度相反的方向运动。这样,导体的负电荷分布在一边,正电荷分布在另一边,这便是静电感应现象。由于电荷重新分布,导体内部会形成一个与外电场方向相反的电场,电场强度为 $E_{\rm h}$ 。根据场强叠加原理,导体内的电场强度等于 $E_{\rm h}$ 和 $E_{\rm h}$ 的叠加。当导体内部总电场强度为零时,导体内的自由电子不再定向移动。物理学中将导体中没有电荷定向移动的状态称为静电平衡。



图 1-38 高压带电作业

处于静电平衡状态的导体,内部电场强度处处为零(图1-37)。由此可知,处于静电平衡状态的导体,电荷只分布在导体的外表面上。如果这个导体是中空的,当它达到

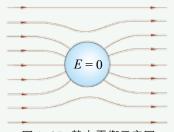


图 1-37 静电平衡示意图

静电平衡时内部合场强为零。这样,导体的表面就会对它的内部起到"保护"作用,使其内部不受外部电场的影响。这种现象称为静电屏蔽。

你能根据静电平衡与静电屏蔽的知识,解释静电屏蔽 为何能隔离静电干扰,保护高压带电作业者(图1-38) 的安全吗?

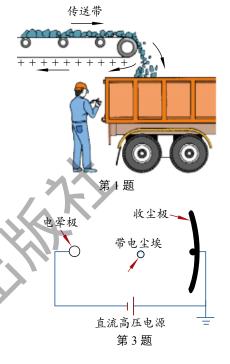


节练习

- 1. 如图所示, 在装载作业中, 靠近传送带的工人容易受到电击, 请解释原因。用什么办法可以解决此问题?
- 2. 有研究表明,人若长期处于静电环境中,身心会受到伤害。了解一下你周围可能有哪些静电现象,可采取哪些方法减小静 电的危害。
- 3. 静电除尘器除尘原理如图所示。尘埃在电场中通过某种机制带 电,在电场力的作用下向收尘极迁移并沉积,以达到除尘目 的。下列表述正确的是
 - A. 带电尘埃带正电荷
 - B. 电场方向由收尘极指向电晕极
 - C. 带电尘埃所受电场力的方向与电场方向相同
 - D. 在同一位置, 带电荷量越多的尘埃所受电场力越大
- 4. 在下列各种措施中, 属于利用静电的是
 - A. 静电除尘
 - B. 静电喷雾
 - C. 激光打印
 - D. 在高大的建筑物顶端安装避雷针
- 5. 为防止静电的危害,下列做法正确的是
 - 7770 五前 64770日,1771队伍三州47人
 - A. 油罐车有一条拖在地上的导电拖地带

C. 尽可能保持印染厂空气的干燥

- B. 在加油站脱化纤衣物
- D. 飞机机轮上装有搭地线或用导电橡胶制造的轮胎
- 6. 利用静电纺丝技术制备纳米纤维材料是近年来世界材料科学技术领域非常重要的技术之一。请 上网查询静电纺丝技术的基本原理及其发展状况,并与同学交流。





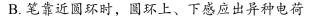


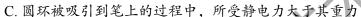
章末练习

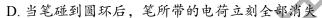
科学认知

- 1. 分析比较库仑定律与万有引力定律有哪些相同点和不同点。
- 2. 在一个带正电的大导体附近P点放一带负电的点电荷,该点电荷的电荷量大小为q,测得它受到的电场力为F。如果q不是足够小,根据 $\frac{F}{q}$ 计算出的电场强度E'比P点没有放入q时的电场强度E大还是小?为什么?
- 3. 半径均为R的两个较大的金属球固定在绝缘桌面上。两球带有等量同种电荷Q时,相互之间的静电力大小为 F_1 ;两球带等量异种电荷Q与-Q时,静电力大小为 F_2 。请判断 F_1 与 F_2 的大小,并说明判断理由。
- 4. 如图所示,某同学将不带电的轻小金属圆环放在干燥的绝缘桌面上,将塑料圆珠笔与头发摩擦后,自上向下慢慢靠近圆环。当笔与圆环相距较近时,圆环被吸引到笔上。下列说法正确的是





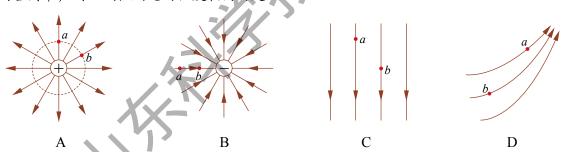




5. 下列各图中, a、b 两点的电场强度相同的是



第4题



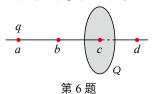
6. 如图所示,一半径为R的圆盘上均匀分布着电荷量为Q的电荷,在垂直于圆盘且过圆心c的轴线上有a、b、d 三个点,a 和b、b 和c、c 和d间的距离均为R,在a 点处有一电荷量为 +q 的固定点电荷。已知b 点处的电场强度为零,k 为静电力常量,则d 点处电场强度的大小为

A.
$$k \frac{10q}{9R^2}$$

$$B. k \frac{9Q+q}{9R^2}$$



D. $k \frac{3q}{R^2}$

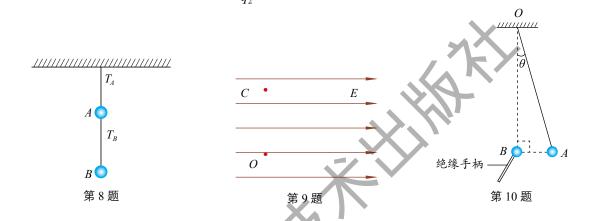


7. A、B、C 三点在同一直线上,B 点位于 A、C 之间且 AB:BC=1:2。在 B 处固定一电荷量为 Q 的点电荷,在 A 处放一电荷量为 +q 的点电荷,它所受到的电场力为 F。移去 A 处电荷,在 C 处放一电荷量为 -2q 的点电荷,其所受电场力为

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

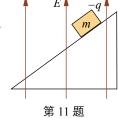
B.
$$\frac{F}{2}$$

- 8. 如图所示,两根绝缘细线挂着两个质量相同且不带电的小球 A 和 B,此时上、下细线受力的大小分别为 T_A 、 T_B 。如果使 A 带正电,B 带负电,上、下细线受力的大小分别是 T_A 、 T_B "。请分别比较 T_A 与 T_A 、 T_B 的大小,并说明理由。
- 9. 如图所示,大小为 3×10^3 N/C、方向水平向右的匀强电场中有相距 30 cm 的 O、C 两点,其连线与电场方向垂直。若在 O 点放置电荷量为 4×10^{-8} C 的点电荷,求 C 点的电场强度大小。
- *10. 如图所示,悬挂在 O 点的一根不可伸长的绝缘细线下端系有一个电荷量不变的小球 A。在两次实验中,均缓慢移动另一带同种电荷的小球 B。当 B 到达悬点 O 的正下方并与 A 在同一水平面上时,A 处于静止状态,细线偏离竖直方向的角度为 θ 。若两次实验中 B 的电荷量分别为 q_1 和 q_2 , θ 分别为 30° 和 45° ,求 $\frac{q_1}{q_2}$ 。



温故知新

- *11. 如图所示, 电荷量为 -q、质量为 m 的滑块, 沿固定绝缘斜面匀速下滑。现 加一竖直向上的匀强电场, 电场强度为 E, 下列判断正确的是
 - A. 物体将沿斜面减速下滑
- B. 物体将沿斜面加速下滑
- C. 物体仍保持匀速下滑
- D. 物体可能静止





=3)	
=3)	
=3)	
=3)	
=3	
=3)	
=3	

第2章

电热流气气

静电力做功了吗 导 入

第1节 静电力做功与电势能

第2节 电势与等势面

第3节 电势差与电场强度的关系

第4节 带电粒子在电场中的运动

第5节 科学探究: 电容器

▶▶本童学业要求

- ●能了解电势能、电势和电势差的内涵,知 道匀强电场中电势差与电场强度的关系, 了解电容器的电容,能分析带电粒子在电 场中的运动情况;能用电势能、电势、电 势差及电容等解释相关的静电现象。具有 与电势能、电势差相关的物质观念和能量
- 能在熟悉情境中运用等势线模型解决问 题;了解类比推理的方法,能综合运用力 学和电学知识分析解决静电问题; 能用与 电势能、电势差相关的证据解释静电现 象;能提出质疑,采用不同方式解决静电 场问题。
- ●能完成"观察电容器的充、放电现象" 等物理实验。能分析物理现象,有针对性 地提出可探究的物理问题; 能根据实验目 的与器材等设计实验步骤, 进行实验, 会 观察物理现象, 获得证据, 有安全意识; 能记录并分析实验现象、形成与实验目的 相关的结论,并尝试作出解释;能撰写完 整的实验报告,在报告中能呈现设计的实 验步骤、实验表格,以及分析过程和实验 结论,能根据实验报告进行交流。

-科学探究

●通过电势能与重力势能的对比,能体会类 比与创新在物理学研究中的重要性; 能体 会形象思维与抽象思维的相互关联, 感悟 物理学的内在之美。有进行科学普及的兴 趣和责任;知道科学理论与实验相互促进 的意义。 -科学态度与责任



导人

静电力做功了吗

攀岩者若要登上陡峭的山峰,不 仅需要熟练的攀岩技巧,还需要过人 的体力。当攀岩者向上攀爬时,重力 做负功,其重力势能增大;下降时, 重力做正功,其重力势能减小。



闪电过程中,静电力做功了吗



攀岩过程中, 重力做功

电荷在静电力作用下运动时,静电力做功了吗?电荷在电场中有势能吗?如果有,这种势能与重力势能有何相似之处?这种势能的变化与静电力做功又有何关系?通过本章的学习,我们将知晓这些问题的答案。

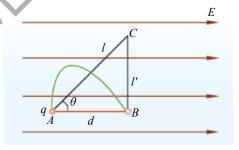
● 第1节

静电力做功与电势能

我们知道,在攀岩运动中,若攀岩者上升,则重力做负功;若攀岩者下降,则重力做 正功。重力做功的多少与攀岩者的始末位置有关,与攀岩路径无关。那么,电荷在静电力 作用下运动,若静电力对电荷做功,与重力做功有无相似之处?本节将学习静电力做功的 特点,探究静电力做功与电势能变化之间的关系。

1.静电力做功的特点

如图 2-1 所示,在电场强度为 E 的匀强电场中,若将一个带正电的试探电荷 q 沿电场方向从 A 点移动到 B 点,移动距离为 d,试探电荷受到的静电力 F = qE,静电力 F 对试探电荷做功



$$W_1 = qEd$$

图 2-1 分析静电力做功的示意图

如果将这个试探电荷从 A 点沿折线 ACB 移动到 B 点,当试探电荷沿直线 AC 移动时,静电力 F 与位移的夹角为 θ ,移动距离为 l;当试探电荷沿直线 CB 移动时,静电力 F 与位移的夹角为 θ 0°,移动距离为 l'。那么,静电力 F 对试探电荷做功

$$W_2 = Fl\cos\theta + Fl'\cos 90^\circ = Fd + 0 = qEd$$

这表明,试探电荷从 A 点沿折线 ACB 移动到 B 点,与直接从 A 点沿直线 AB 移动到 B 点相比,静电力做的功是相同的。如果试探电荷沿着任一路径从 A 点移动到 B 点 (如图 2-1 中绿色线表示的路径),静电力做的功又等于多少呢?请你尝试证明一下,是否仍然为 aEd。

由以上分析证明可知,在匀强电场中移动试探电荷时,静电力做功与路径无关,与电荷的始末位置有关。可以证明这个结论对于一切静电场都适用。

2.电势能

功是能量转化的量度。在力学中, 我们根据重力做功与路径无关的特点, 引入了重力



势能的概念。重力做的功量度了重力势能的变化。当重力做负功时,物体的重力势能增大;当重力做正功时,物体的重力势能减小。

同样,由于静电力做功与移动路径无关,电荷在电场中也具有势能,这种势能称为电势能(electric potential energy)。与重力做功类似,静电力做功也可以量度电势能的变化。

在图 2-2 中,如果外力克服静电力做功,把正电荷 q 从 B 点移动到 A 点,外力对电荷做的功使其他形式的能转化成电势能储存起来,电荷的电势能增大;如果电荷在静电力的作用下从 A 点移动到 B 点,静电力对电荷做功,储存的电势能就释放出来,电荷的电势能减小,即静电力做的功等于电势能的减小量。用 W_{AB} 表示电荷从 A 点移动到 B 点过程中静电力所做的功, E_{pA} 和 E_{pB} 分别表示电荷在 A 点和 B 点的电势能,那么

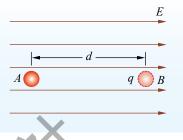


图 2-2 静电力做功与电势能变化示意图

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB}$$

也就是说,静电力做功的过程就是电势能与其他形式 能量转化的过程。静电力做正功,电势能减小;静电力做 负功,电势能增大。

在讨论重力势能时,要先规定物体在某一位置的重力势能为零,然后才能确定物体在其他位置的重力势能。同样,在讨论电势能的时候,也需要先规定电荷在某一位置的电势能为零(零电势能点),然后才能确定电荷在其他位置的电势能。电荷在电场中某点的电势能,等于电荷从该点移动到零电势能点静电力所做的功。在图 2-2 中,如果规定 B 点为零电势能点,在静电力的作用下,正电荷 q 从 A 点移动到 B 点,静电力做功为 qEd,则正电荷 q 在 A 点的电势能为 gEd。

₽ 方法点拨

显然,选择不同的零电势能点,电荷在电场中同一点的电势能的值是不同的,但电场中两点间的电势能之差却不会因零电势能点的选择不同而发生变化。选择恰当的零电势能点,常可使问题简化。在实际应用中,通常将电荷在大地表面的电势能规定为零,或者将

电荷在离场源电荷无穷远处的电势能规定为零。如图 2-3 所示,在正点电荷所产生的电场中,取无穷远处为零电势能点,A、B 两点的电荷 q_A 、 q_B 的电势能分别等于将 q_A 、 q_B 由 A、B 两点沿任意路径移到无穷远处静电力做的功,即 $E_{DA} = W_{A\infty}$, $E_{DB} = W_{B\infty}$ 。

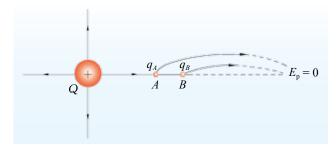


图 2-3 分析点电荷电场中电势能的示意图

第2章 电势能与电势差



由静电力做功与电势能变化的关系,我们可根据静电力做功确定电势能的变化,也可根据电势能的变化确定静电力做的功。

在同一电场中,同样从 A 点到 B 点,正电荷与负电荷对应的电势能的变化是相反的。 若以 B 点为零电势能点,正、负电荷在 A 点的电势能不同,这说明电荷在电场中的电势能 与电荷有关。请比较电势能与重力势能特点的异同。

● 例 题

如图 2-4 所示,两块平行金属板间距离为 4 cm,电场强度为 5×10⁵ N/C。一电子沿电场线从正极板运动到负极板时,静电力做了多少功?它的电势能怎样变化?若规定负极板为零电势能点,电子在正极板的电势能多大?(电子电荷量的大小为 1.60×10⁻¹⁹ C)

分析

由已知条件可确定在电子运动过程中静电力做的功, 再根据静电力做功与电荷电势能变化的关系即可得出电势 能的变化情况。

解

已知 $E = 5 \times 10^5$ N/C, $q = 1.60 \times 10^{-19}$ C, d = 0.04 m。电子从正极板运动到负极板过程中,所受静电力方向与位移方向相反,静电力做的功

$$W = qEd \cos 180^{\circ}$$

= -1.60 × 10⁻¹⁹ × 5 × 10⁵ × 0.04 J
= -3.2 × 10⁻¹⁵ J

所以,电子的电势能增大了 3.2×10^{-15} J。

若规定负极板为零电势能点, 电子在正极板具有的电势能

$$E_{\rm p} = W = -3.2 \times 10^{-15} \, \text{J}$$

负号表示电子在正极板的电势能比在负极板的电势能小。

讨论

电子从正极板运动到负极板过程中电势能增加,增加的电势能是由什么能量转化而来的?

迁 移

若把例题中的电子换为质子,其他条件不变,质子的电势能怎样变化?若仍以负极板为零电势能点,质子在正极板具有的电势能多大?(质子的电荷量为1.60×10⁻¹⁹C)

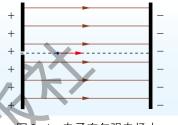


图 2-4 电子在匀强电场中 运动的示意图

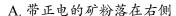
策略提炼

静电力做功与电势能变化的关系,和变化的关系的关系,和变为与重力势能变力,不管是只要的关系是负电荷的电势能就减力。 电荷的电势能就减力 电荷的电势能就增大。

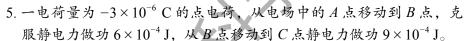


节练习

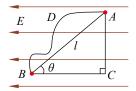
- 1. 如图所示,在电场强度为E的匀强电场中,A、B两点相距I,连线 AB与电场强度方向的夹角为 θ 。将一电荷量为q的正电荷分别沿直 线AB、折线ACB、曲线ADB 从A 点移动到B 点,静电力各做了多少功?
- 2. 某种静电矿料分选器原理如图所示,带电矿粉经漏斗落入水平匀强电场后,分落在收集板中央的两侧。下列关于矿粉分离的过程表述正确的是



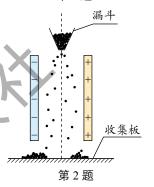
- B. 静电力对矿粉做正功
- C. 带负电的矿粉的电势能变大
- D. 带正电的矿粉的电势能变小
- 3. 在静电场中,将一电子从A点移动到B点,静电力做正功,则
 - A. 电场强度的方向一定是由A点指向B点
 - B. 电场强度的方向一定是由B点指向A点
 - C. 电子在A点的电势能一定比在B点的大
 - D. 电子在B点的电势能一定比在A点的大
- 4. 如图所示,静电喷涂时,喷枪喷出的涂料微粒带负电,被喷工件带正 电,微粒在静电力作用下向工件运动,最后吸附在工件表面。微粒在 向工件靠近的过程中,假设只受静电力作用,那么
 - A. 动能越来越小
- B. 动能越来越大
- C. 克服静电力做功
- D. 电势能逐渐减小



- (1) 若以B点为零电势能点, 电荷在A点的电势能为多少?
- (2) 若以 C 点为零电势能点, 电荷在 A 点的电势能为多少?
- 6. 如图所示,在电场强度为 4×10^5 N/C 的匀强电场中,将一个电子从 A 点移动到 B 点。已知 A、B 间的距离为 20 cm,连线 AB 与电场线方向成 30° 角,请补充条件,求出电子电势能的变化。

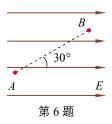


第1题





第4题





第2节

电势与等势面

我们知道,试探电荷的电势能不仅与电场有关,还与试探电荷的种类和电荷量多少有关。我们曾经用试探电荷所受静电力与其电荷量之比定义了描述电场性质的一个物理量——电场强度,本节将用试探电荷的电势能与其电荷量之比来定义描述电场性质的另一个物理量——电势。

1.电势

如图 2-5 所示,在一电场强度为 E 的匀强电场中,取 B 点为零电势能点,若一个带正电的试探电荷 q_1 沿电场线从 A 点移动到 B 点,A 点与 B 点的距离为 d,静电力做的功 $W_1 = q_1 Ed$,由电势能的定义可知, q_1 在 A 点的电势能为 $q_1 Ed$;同理可知,带不同电荷量的正电荷 q_2 在 A 点的电势能为 $q_2 Ed$ 。显然,不同电荷在同一点的电势能不同,但电势能与试探电荷的电荷量之比不变。

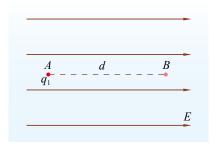


图 2-5 正电荷从 A 点移动到 B 点

$$\frac{q_1 E d}{q_1} = \frac{q_2 E d}{q_2} = E d$$

可见,电荷在电场中某点的电势能与其电荷量之比与该电荷无关,只与电场本身有关。理论和实验表明,从匀强电场得出的这个结论对非匀强电场也适用。

在物理学中,电荷在电场中某点的电势能与它的电荷量之比,称为该点的**电势** (electric potential)。若用 E_P 表示电荷 q 在电场中某点 A 的电势能, φ_A 表示该点的电势,则

$$\varphi_{A} = \frac{E_{p}}{q}$$

如果取 q 为单位正电荷,那么 φ_A 在数值上等于 E_p ,即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,也等于单位正电荷从该点移动到零电势能点静电力做的功。



在国际单位制中,电势的单位是伏特,符号为V, 1V=1J/C。电势是标量。电势和电场强度都是反映电场性质的物理量。

与电势能一样,首先要规定电场中电势为零的位置(零电势点),然后才能确定各点的电势值。通常选距离场源电荷无穷远处为零电势点。在实际问题中,也常常选地球为零电势点。

多例 题

如图 2-6 所示,匀强电场的电场强度为 30 N/C,A、B、C 是电场中同一条电场线上的三个点,相邻两个点的 距离均为 10 cm。

- (1)以C点为零电势点,求A、B两点的电势;
- (2) *A*、*B*、*C*三点中哪个点的电势最高?哪个点的电势最低?

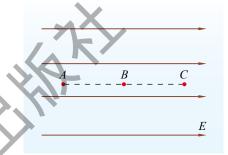


图 2-6 分析 *A*、*B*、*C* 三点电势的示意图

分析

确定电场中某点的电势,可先求出试探电荷+q由该点移动到零电势点静电力所做的功,再根据电势的定义求出电势。

解

已知 E=30 N/C,A、B 间距离 $d_1=0.1$ m,B、C 间距离 $d_2=0.1$ m。

(1)以C点为零电势点,正电荷q从A点或B点沿电场线移动距离d到C点,静电力做正功,有

$$W = qEd$$

电荷 q 在 A 点或 B 点的电势能 $E_P = W$,根据电势定义,有

$$\varphi = \frac{E_{\rm p}}{q} = Ed$$

所以 $\varphi_A = E (d_1 + d_2) = 30 \times 0.2 \text{ V} = 6 \text{ V}$ $\varphi_B = Ed_2 = 30 \times 0.1 \text{ V} = 3 \text{ V}$

(2)以 C 点为零电势点, A、B、C 三点的电势分别为 6 V、3 V、0 , $\varphi_{4} > \varphi_{8} > \varphi_{C}$ 。故 A 点电势最高, C 点电势最低。

策略提炼

讨论

由计算结果可知,沿电场线方向电势逐渐降低。这个结论在一般情况下也成立吗?为什么?

迁 移

上述问题中,若以 B 点为零电势点,A、C 两点的电势又为多少?试比较 A、B、C 三点电势的高低。

2.等势面

我们把电场中电势相等的点构成的面称为**等势面**(equipotential surface)。物理学中既用电场线形象地描绘电场,也用等势面描绘电场。为了使等势面能反映电场的强弱,通常

使相邻两等势面电势的差值相等,等势面密的地方电场较强,等势面疏的地方电场较弱。例如,在点电荷形成的电场中,等势面是一系列以点电荷为球心的同心球面(图 2-7),离球心近的地方比离球心远的地方等势面密,电场强。图 2-8 是几种电场的等势面和电场线。

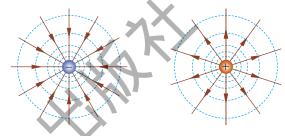
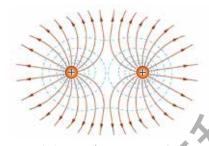
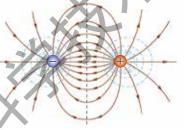


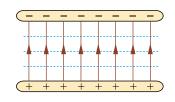
图 2-7 点电荷周围静电场的电场线和等势面的示意图



(a) 两个等量同种点电荷



(b) 两个等量异种点电荷



(c) 带等量异种电荷的平行板

图 2-8 几种电场的电场线和等势面的示意图

因为同一电荷在等势面上任意两点的电势能相等,所以电荷在等势面上移动时静电力不做功。这表明,等势面与电场线处处垂直。若不垂直,电场强度沿等势面有分量,对应的静电力也就有沿等势面的分量,电荷在等势面上移动时静电力要做功,该电荷的电势能会变化,那么这个面就不是等势面了。

电场线与等势面垂直,方向由电势高的等势面指向 电势低的等势面。根据电场线与等势面的关系,可由等 势面确定电场线。在实际应用中,由于电势容易测量, 通常是先测出电场中电势相等的各点,画出电场中的等 势面,然后根据电场线与等势面垂直画出电场线,从而 对电场的电场强度和电势的分布有直观、定性的了解。

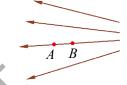
——科学思维







- 1. 某同学认为, 电场中某点电势的高低只与产生电场的电荷和该点在电场中的位置有关。这种看法正确吗? 为什么?
- 推理说明:选择无穷远处为零电势点位置时,正点电荷产生的电场中任意一点的电势都是正值, 负点电荷产生的电场中任意一点的电势都是负值。
- 3. 一电场的电场线如图所示。电场中A、B 两点电场强度的大小和电势分别用 E_A 、 E_B 和 φ_A 、 φ_B 表示,请判断 E_A 与 E_B 、 φ_A 与 φ_B 的大小,并说明判断的理由。在图中分别画出过A、B 两点的等势面。



第3题

4. 对以点电荷为球心、r 为半径的球面上的各点, 具有的相等物理量是

A. 电势

B. 电场强度

C. 同一电荷所受的静电力

- D. 同一电荷具有的电势能
- 5. 电场中有A、B 两点,若电荷量为 2×10^{-9} C 的试探电荷在电场中的A 点时,电势能为 4×10^{-8} J;在B 点时,电势能为 6×10^{-8} J。
 - (1) 计算并比较 A、B 两点的电势高低。
 - (2) 若电荷量为 -2×10^{-9} C 的试探电荷分别在 $A \setminus B$ 两点, 其电势能分别为多少?
 - (3) 正、负电荷在电场中具有的电势能大小与电势高低有何关系?
- 6. 若选择地面为零"重力势"位置,用类似电场中定义电势的方式,推导出重力场中"重力势"的表达式,并对此式作出解释。



第3节

电势差与电场强度的关系

在对吊脚楼(图 2-9)进行测量时,若测量起点改变,则吊脚楼上 A 点和 B 点的高度也相应改变,但 A、B 两点的高度差 h 是一定的。同样,在电场中,选择不同的位置作为零电势点,电场中同一点的电势是不同的,但电场中两点间电势的差值不会变。电势的差值又有什么意义呢?本节将学习静电场中常用的物理量——电势差,探究其与电场强度的关系。



图 2-9 吊脚楼

1.电势差与静电力做功

在物理学中,电场中两点间电势的差值称为**电势差**(electric potential difference),也称 **电压**(voltage),用符号U表示,其单位与电势单位相同。若电场中A点的电势为 φ_A ,B点的电势为 φ_B ,则

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

电势差可以是正值,也可以是负值。我们可根据电势差的正负来判断两点电势的高低。若电势差 U_{AB} 为正值,则 A 点电势比 B 点电势高;若 U_{AB} 为负值,则 A 点电势比 B 点电势低。显然, $U_{AB} = -U_{BA}$ 。

若知道电场中两点间的电势差,就能计算出电荷在这两点之间移动时静电力所做的功。

根据
$$\varphi_{A} = \frac{E_{pA}}{q} , \quad \varphi_{B} = \frac{E_{pB}}{q}$$

$$U_{AB} = \varphi_{A} - \varphi_{B} = \frac{E_{pA} - E_{pB}}{q}$$

所以, 电荷 q 由 A 点移动至 B 点, 静电力做功

$$W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = qU_{AB}$$



可见,电荷 q 在电场中 A 、B 两点间移动的过程中,静电力做的功 W_{AB} 等于 q 的电荷量和这两点间电势差 U_{AB} 的乘积。

人们在研究原子和原子核的时候,常用电子伏特作为能量的单位,符号为 eV。1 eV表示一个电子在电势差为 1 V 的两点间移动时静电力所做的功。

$$1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

例 题

如图 2-10 所示,一个质子以一定初速度水平射入一个由两块带电的平行金属板组成的区域。两板间的电势差 $U=3.0\times10^5$ V,电荷量 $q=1.60\times10^{-19}$ C。求质子从正极板运动到负极板时静电力做的功。

分析

已知质子电荷量和两极板间的电势差,根据做功 与电势差的关系,可求出质子从正极板运动到负极板 时静电力所做的功。

解

质子从正极板运动到负极板,静电力所做的功

$$W = qU$$

= 1.60 × 10⁻¹⁹ × 3.0 × 10⁵ J
= 4.8 × 10⁻¹⁴ J

讨论

题目中其他条件不变时,若电子从正极板运动到 负极板,静电力做的功是多少?请与质子移动的结果 对比,并给出解释。

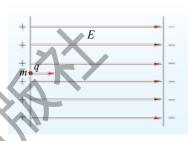


图 2-10 质子射入电场的示意图

策略提炼

根据静电力做功与 电势差的关系,可以很 的好,可以很 的功,不需要考虑静电 力和电荷移动的路径。 力和电荷移动的路径。 非匀强电场都适用。

利用电势差计算移 动电荷静电力所做的功, 需代入电荷量及电势差 的正负号进行计算。



根据静电力做功与电势差的关系还可计算电场中两点间的电势差。

如图 2-11 所示,在电场中一个电荷量为 -6×10^{-6} C 的电荷从 A 点移到 B 点,静电力做功为 3×10^{-5} J。求 A、B 两点间的电势差。

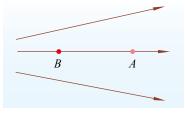


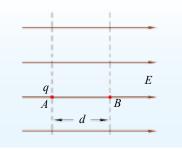
图 2-11 电荷从 *A* 点移到 *B* 点的示意图



2.匀强电场中电场强度与电势差的关系

在图 2-12 所示的匀强电场中, 带正电的试探电荷 q 从 A 点移动到 B 点,静电力对电荷做功 $W_{4B} = qEd$ 。根据电 势差与静电力做功的关系 $W_{AB} = qU_{AB}$,有 $qEd = qU_{AB}$,所以

$$E = \frac{U_{AB}}{d}$$



电荷从 A 点移到 B 点 的示意图

上式说明,在匀强电场中,电场强度的大小等于两点间的电势差与这两点沿电场强度 方向的距离之比。此时电场强度的单位是 V/m, 1 V/m = 1 N/C (请证明)。其实,根据电 势的定义式,也能推导出电场强度与电势差的关系,请试一试。

上式也可写成

$$U_{AB} = Ed$$

此式说明匀强电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场方向距离的乘积。

如图 2-13 所示, 两块金属板之间的电场为匀强电 场,两板间的电压 $U = 3 \times 10^3 \,\mathrm{V}$,两板间距离 $d = 20 \,\mathrm{cm}$ 。 质子质量 $m = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电荷量 $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

- (1) 求匀强电场的电场强度大小。
- (2)比较质子在电场中 A 点受到的静电力和重力的大 小,可得出什么结论?

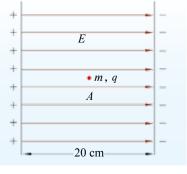


图 2-13 质子在电场中情况 的示意图

分析

两板间的电场是匀强电场,已知两板间的电压和距离,根据电场强度与电势差的关 系,可求出电场强度;又已知质子电荷量,根据电场强度定义可求出静电力。重力则可由 质量求出。

解

设电场强度为E,质子在电场中受到的静电力为F,重力为G。

(1) 匀强电场的电场强度

$$E = \frac{U}{d}$$
=\frac{3.0 \times 10^3}{0.2} \text{ V/m}
= 1.5 \times 10^4 \text{ V/m}



(2) 质子受到的静电力

$$F = qE$$

 $= 1.60 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 10^{4} \text{ N}$

 $= 2.4 \times 10^{-15} \text{ N}$

质子受到的重力

$$G = mg$$

 $= 1.67 \times 10^{-27} \times 10 \text{ N}$

 $= 1.67 \times 10^{-26} \text{ N}$

比较质子受到的静电力和重力,可发现静电力比重力大得多。

讨论

从计算数据看,质子在电场中受到的静电力比重力大得多。微观粒子是否都有相似的结论?为什么?

迁 移

根据电势差与电场强度的关系,可由电势差确定匀强 电场的电场强度,也可由电场强度确定电势差。

若一匀强电场的场强为 1.0×10^4 V/m, 在平行于电场的平面上画半径为 10 cm 的圆,在圆周上取三点 $A \times B \times C$,如图 2-14 所示。请分别计算 $A \times B$ 间和 $B \times C$ 间的电势差。

鈴略提炼

对于匀强电场,根据电势差与电场强度 的关系确定电场强度 是常用的方法。

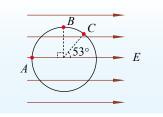


图 2-14 由电场强度求电势差的 示意图



辉光球

你可能在实验室、科技馆或一些娱乐场所见过如图 2-15 所示的辉光球。为何辉光球会产生绚丽多彩的辐射状的辉光呢?

当接通电源时, 辉光球通过底部的振荡电路板, 使球体中心的电极与玻璃球外壳之间产生极高的高频电压, 球体内形成很强的高频电场。球内稀薄的惰性气体在强电场作用下被电离,并在中心电极与球外壳之间发生辉光放电, 从而产生辐射状的辉光。



图 2-15 辉光球

若有条件,请你做做辉光球实验。用手触摸一下辉光球,观察有什么神奇现象发生。查阅资料,试试能否找到出现这一神奇现象的谜底。





节练习

- 1. 在技术工作中,有时把金属机壳作为零电势点。是否可以说因为机壳电势为零,人站在地上接触机壳就不会触电?若机壳接地又如何?请说明理由。
- 2. 电场中 A、B 两点间的电势差 $U_{AB}=75$ V, B、C 两点间的电势差 $U_{BC}=-200$ V, 则 A、B、C 三点电势的高低关系为

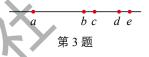
A.
$$\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$$

B.
$$\varphi_B > \varphi_C > \varphi_A$$

C.
$$\varphi_C > \varphi_A > \varphi_B$$

D.
$$\varphi_C > \varphi_B > \varphi_A$$

3. 如图所示, a、b、c、d、e 点在一条直线上, b、c 两点间的距离等于 d、e 两点间的距离。在 a 点固定放置一电荷量为 Q 的正点电荷,且在该点电荷的电场中 b、c 两点间的电势差为 U。将另一个电荷量为 q 的正点电荷从 d 点移动到 e 点的过程中



A. 静电力做功为 qU

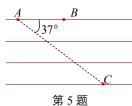
B. 克服静电力做功为 qU

C. 静电力做功大于 qU

- D. 静电力做功小于qU
- 4. 如图所示,分布于南美洲亚马孙流域圭亚那地区的电鳗,是放电能力很强的淡水鱼类,短暂放电的电压可达550~800V,因此有水中"高压线"之称。电鳗的头部和尾端为放电的两极,当某电鳗头尾相距2m时,估算其放电产生的电场强度的数量级。



- ۷۶ . /
- 5. 如图所示,在水平方向的匀强电场中有相距 6 cm 的 A 、B 两点,且 $U_{4B}=150$ V。
 - (1) 求电场强度的大小和方向。
 - (2) 电场中A、C 两点相距 14 cm, A、C 两点连线与电场线方向的夹角 为 37° ,则 C 点与 A 点的电势差 U_{CA} 为多少?



6. 电荷量为 -6×10^{-6} C 的点电荷从电场中的 A 点移动到 B 点,静电力做功 3×10^{-5} J;从 B 点移动到 C 点,静电力做功 -3×10^{-5} J。求 A 、 B 两点间和 B 、 C 两点间的电势差。 A 、 B 、 C 三点中哪点电势高?请说明如何根据静电力做功来确定电场中两点电势的高低。



第4节

带电粒子在电场中的运动

带电粒子在电场中受到静电力的作用,速度会发生改变。在示波器(图 2-16)和直线加速器等设备中,常通过电场来控制带电粒子的运动。这些仪器是怎样控制带电粒子运动的呢?本节将以示波器为例,介绍如何利用电场控制带电粒子的加速和偏转。



图 2-16 示波器

1.带电粒子加速

利用电场给带电粒子加速,使其达到预定的速度和动能,是控制带电粒子运动的常见方式。

示波器中的电子枪就是通过电场来使电子加速的。如图 2-17 所示,电子枪中的金属丝在通电加热后,可发射电子(热电子发射)。电子在金属板和金属丝间的电场作用下,经加速后从金属板的小孔中穿出,并获得很高的动能。

微观粒子所受静电力远大于重力,通常重力可 忽略不计,只考虑静电力对其运动状态的影响即可。

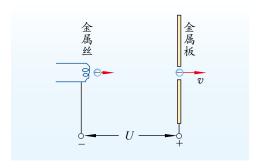


图 2-17 电子枪示意图

若电子质量为m,电荷量的大小为e,金属板与金属丝间所加电压为U,电子刚离开金属丝时的速度近似为零,根据动能定理,静电力做功等于电子动能的增加量,电子穿过金属板时的动能

$$E_{k} = \frac{1}{2} mv^{2} = eU$$

它穿过金属板时的速度

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

显然,通过改变金属板与金属丝间的电压,就可控制电子加速后的动能或速度。

在研究原子等领域的问题时,需要带电粒 子有很大的动能, 因受各种因素限制, 加速电 压难以提高至理想水平,如果只加速一次,带 电粒子的动能难以达到实际的需要。为解决此 问题,科学家设计建造了能多次加速的直线加 速器(图 2-18)等,从而获得了更高能量的带 电粒子。

利用电场给带电粒子加速,使带电粒子获 得很高的能量,在研究物质本源、放射治疗、 食品安全、材料科学等方面都有着重要的应用。

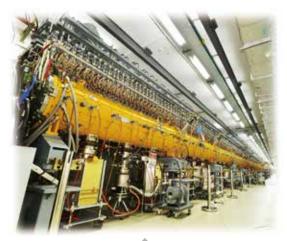
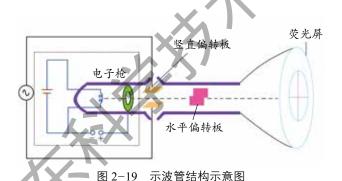


图 2-18 我国散裂中子源直线加速器

2.带电粒子偏转

利用电场使带电粒子的运动方向发生变化,向预期的方向偏转,是控制带电粒子运动 的另一种常见方式。

示波器的核心部件是示波管。图 2-19 是示波管的结构示意图。



当竖直偏转板、水平偏转板都未加电压时, 电子束从电子枪发出后沿直线运动, 在荧 光屏上产生一个亮斑。如果竖直偏转板加电压,水平偏转板不加电压,电子束经过竖直偏 转板时受到竖直方向电场力的作用而发生偏转,使打在荧光屏上的亮斑在竖直方向发生偏 移。同样的道理,如果水平偏转板加电压,竖直偏转板不加电压,打在荧光屏上的亮斑则 在水平方向发生偏移。

示波管在实际工作时, 竖直偏转极板间和水平偏转极板间都加上电压, 打在荧光屏 上的亮斑既能在竖直方向上偏移,也能在水平方向上偏移,亮斑的运动就是在竖直和水 平两个方向上运动的合运动。

通常,加在竖直偏转极板上的电压是被研究的信号电压。如果信号电压是周期性的, 且与加在水平偏转板的扫描电压周期满足一定的关系时,在荧光屏上就会显示出信号电压 随时间有规律变化的图像。

多例 题

如图 2-20 所示,一质子水平射入竖直偏转电场中,由于受到竖直方向静电力的作用,质子射出时将发生偏转。已知质子的质量 $m=1.7\times10^{-27}$ kg,电荷量 $q=1.6\times10^{-19}$ C,射入时速度 $v_0=2.0\times10^5$ m/s,极板长 l=4.0 cm,两极板间距离 d=2.0 cm,极板间电压 U=100 V,入射方向与极板平行,不考虑重力的影响。求质子离开电场时竖直方向偏移的距离 v 和偏转的角度 α 。

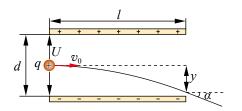


图 2-20 带电粒子在电场中发生 偏转的示意图

分析

两平行板间的竖直偏转电场可视为匀强电场。不考虑重力,质子在电场中只受到竖直方向恒定的电场力作用,其方向与初速度方向垂直,这与物体做平抛运动类似。因此,质子在电场中的运动可视为竖直方向初速度为零的匀加速直线运动与水平方向速度为 v₀ 的匀速直线运动的合运动。利用求解平抛运动的方法可求出偏移的距离和偏转的角度。

解

质子在该匀强电场中受到竖直向下的静电力, 在竖直方向上做匀加速运动, 加速度

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{dm}$$

质子在水平方向不受力,做匀速直线运动,在水平方向的速度 v_x 保持不变

$$v_r = v_0$$

在极板间运动的时间

$$t = \frac{l}{v_x} = \frac{l}{v_0}$$

质子离开电场时竖直方向偏移的距离

$$y = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{dm} \cdot \left(\frac{l}{v_0}\right)^2 = \frac{qUl^2}{2m{v_0}^2 d}$$

代入数值,得

$$v = 0.94 \text{ cm}$$

质子离开偏转电场时,平行于电场方向的分速度 v,为

$$v_y = at = \frac{qU}{dm} \left(\frac{l}{v_0}\right)$$

则
$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{qUl}{dm{v_0}^2}$$

代入数值,得

$$\alpha = 25.2^{\circ}$$

亲略提炼

分析带电粒子在 电场中的动力学问题 与分析力学中的动力 学问题类似,只是多 了静电力。

根据条件,也可 选择从能量的角度去 分析处理。

当带电运方直运类理电粒分别,对于自动,是一个人,对于一个人,对于一个人,对于一个人,对于一个人,对于一个人,对于一个人,对一个人,对一个人,对一个人,对一个人,不会是一个人,这一个人,这一个人,这一个人,



讨论

带电粒子在电场中运动的偏转角度与哪些因素有关?对给定的带电粒子,在其速度一定时,要使通过偏转电场时增大偏转角度,应该怎样调节两极板间的电压?

迁移

示波器是先使带电粒子加速,再使带电粒子偏转来工作的。对这类综合性问题,应该 怎样解决?请分析并求解以下问题。

一東电子流经 U=1500 V 的加速电压加速后,在距两平行板等距离处进入平行板间的匀强电场,入射方向与极板平行,如图 2-21 所示。若两板间距 d=2.0 cm,板长 l=5.0 cm,那么,要使电子能从平行板间飞出,两个极板间最多能加多大电压?

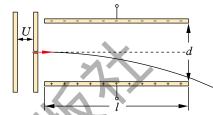


图 2-21 电子流在电场中运动的示意图

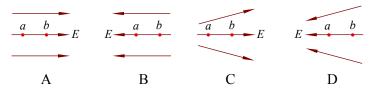
节练习

- 1. 某静电除尘器的除尘原理如图所示,一带正电的金属板和一个带负电的放电极形成电场,它们之间的电场线分布如图所示,虚线为一带电烟尘颗粒的运动轨迹, a、b 是轨迹上的两点。若不计烟尘颗粒的重力,下列说法正确的是
 - A. a 点电势高于 b 点电势
 - B. a 点电场强度小于 b 点电场强度
 - C. 烟尘颗粒在 a 点的电势能小于在 b 点的电势能
 - D. 烟尘颗粒在 a 点的动能小于在 b 点的动能
- 2. 一带正电的液滴以水平向右的初速度进入范围足够大的匀强电场, 电场方向水平向左。不计空气阻力,则液滴在电场中
 - A. 做直线运动。

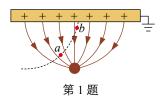
B. 做曲线运动

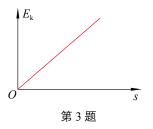
C. 速率先减小后增大

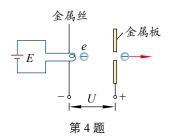
- D. 速率先增大后减小
- 3. 有一正点电荷只受电场力作用,从静电场中的a点由静止释放。在它沿直线运动到b点的过程中,动能 E_k 随位移s变化的关系图像如图所示。该电场的电场线分布应是



4. 炽热的金属丝可发射电子。如图所示,在金属丝和金属板之间加上 $U=2500\ V$ 的电压,发射出的电子在真空中加速后,从金属板的小孔穿出。设电子刚刚离开金属丝时的速度为0,取电子电荷量的大小 $e=1.6\times10^{-19}\ C$,质量 $m=9.1\times10^{-31}\ kg$,求电子穿出小孔时的动能和速度。

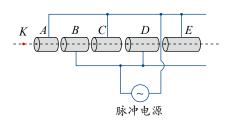




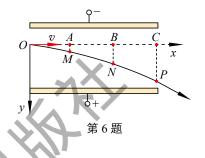




- 5. 如图所示,某直线加速器由沿轴线分布的一系列金属圆管(漂移管 A、B、C、D、E)组成,质子从 K 点沿轴线进入加速器并依次向右穿过各漂移管,在漂移管内做匀速直线运动,在漂移管间被电场加速,加速电压视为不变。设质子进入漂移管 B 时速度为 8×10⁶ m/s,进入漂移管 E 时速度为 1×10⁷ m/s,漂移管间缝隙很小,质子的电荷量与质量之比为 1×10⁸ C/kg。求相邻漂移管间的加速电压。
- 6. 如图所示,真空中有一电子以速度 v 沿着与电场强度垂直的方向自 O 点进入匀强电场。以 O 为坐标原点建立直角坐标系, x 轴垂直于电场方向, y 轴平行于电场方向,在 x 轴上取 OA = AB = BC,分别自 A、B、C 点作与 y 轴平行的线,跟电子的径迹交于 M、N、P 三点,求:
 - (1) 电子经M、N、P三点时, P2 以轴的分速度之比;
 - (2) 电子从 O 点开始每经过相等时间的动能增量之比。



第5题





第5节

科学探究: 电容器

据记载,1752年,富兰克林曾利用莱顿瓶(图 2-22)进行了著名的费城实验,即用风筝将"天电"引下来,收集到莱顿瓶中。为什么莱顿瓶能把电荷储存起来?本节将学习储存电荷的常用电学元件——电容器。

1.观察电容器的充、放电现象

能储存电荷的电学元件称为**电容器**(capacitor)。两块彼此 绝缘的平行金属板可组成最简单的电容器,即平行板电容器。



图 2-22 莱顿瓶结构示意图

当原来不带电的电容器的两极板连接电源时,电容器充电,两极板会分别带上等量异种电荷,如图 2-23 (a) 所示。电容器充电后,两极板间存在电场,电荷因受静电力的作用而储存在极板上。当充电后的电容器两极板通过电流计接通时,电路中会形成瞬时电流而发生放电,使两极板的电荷中和而不再带电,如图 2-23 (b) 所示。下面我们通过实验来研究电容器的充电和放电。

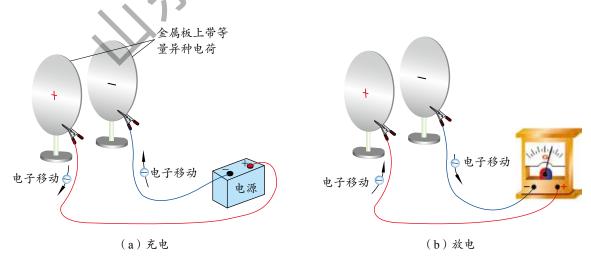


图 2-23 平行板电容器的充电与放电示意图

实验目的

- (1)通过观察,了解电容器在充电和放电的过程中,两极板间电压和电路中电流的变化。
- (2) 判断电容器在充电和放电的过程中,两极板储存电荷量的变化。

实验器材

电解电容器、直流电源、电流计、电压表、电阻、单刀双掷开关、导线。

实验原理与设计

实验电路如图 2-24 所示。当开关拨到位置"1"时,电源 E 对电容器充电;当开关拨到位置"2"时,电容器放电。在充电和放电过程中,利用电流计观察电路的电流大小和方向的变化,利用电压表观察电容器两极板间电压的变化,进而判断电容器两极板储存电荷量的变化。

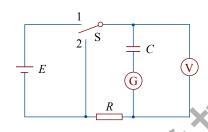


图 2-24 电容器充、放电实验电路图

元垄垒元

电压表和电解电容 器正、负极不能接反, 以免损坏。连接电路时, 开关要断开,避免短路。 合理选择量程,避免充 电电流超过量程。

实验步骤

按照实验电路图连接电路,观察电容器的充、 放电过程中电流计和电压表指针的偏转情况。请写 出实验步骤,完成实验操作。

数据分析

将测量的信息填入你设计的表格中,请分析观察到的现象并得出结论。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

充电后,将开关断开,你会观察到什么现象?

注意提升实验观察能力和科学推理能力。

——科学探究



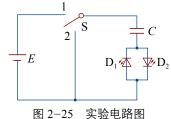




迷你实验室

用发光二极管观察电容器的充电和放电

二极管是一种半导体元件,具有单向导电性,用D表示,其电路符号为"---(该符号左端为正极,右端为负极)。 发光二极管是二极管的 一种。当发光二极管接正向电压(发光二极管的正、负极分别 与电源正、负极相接)时,二极管导通并发光;接反向电压 时,二极管的电阻很大,不会发光。按图 2-25 所示连接电路, 将开关分别拨到位置"1"和"2"时,哪个二极管会发光?



请解释观察到的现象。

2.电容器的电容

由上面的实验可知,在电容器充电的过程中,两极板间的电压U随着极板上电荷量Q的增加而增大;在电容器放电的过程中,两极板间的电压 U 随着极板上电荷量 Q 的减少 而减小。理论和实验证明,对于同一个电容器, $\frac{Q}{U}$ 的比值不变;对于不同的电容器, $\frac{Q}{U}$ 的比值一般不同。我们把Q与U之比称为电容,用符号C表示。



式中,Q是指电容器的一个极板上电荷量的绝对值。电容是表示电容器容纳电荷本领 的物理量,表现了电容器储存电荷的特性。在国际单位制中,电容的单位是法拉,简称 法,符号为F。

$$1 F = 1 C/V$$

除了法拉, 电容的单位还有微法(µF)、皮法(pF)等。

$$1 \mu F = 10^{-6} F$$
, $1 pF = 10^{-12} F$



静电计

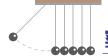
静电计(图2-26)本身是一个电容器,它的指针所带电荷量跟 指针与外壳间的电势差成正比,指针所带电荷量越多,张角就越大, 表明指针与外壳间的电势差越大。将静电计的金属球和外壳分别与 平行板电容器的两极板连接, 当电荷停止运动后, 静电计的金属球 与外壳间的电势差和平行板电容器两极板间的电势差相等。从静电 计指针偏转角度的大小可推知电容器两极板间电势差的大小。



图 2-26 静电计



电容器的电容与哪些因素有关呢?下面通过实验来探究这个问题。



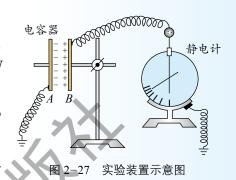
实验与探究

平行板电容器的电容

如图 2-27 所示,对于已经充电的平行板电容器,保持极板的正对面积 S 和极板上的电荷量 Q 不变,改变 两极板的间距 d,通过静电计观察两极板间的电势 E U 的变化,由此可知电容 C 与 d 的变化关系。

与之类似,保持Q、d 不变,只改变S,观察电势 E U 的变化,由此可知电容E C 与面积E 的变化关系。

通过此实验,你知道平行板电容器的电容C与间距d、面积S的大致关系了吗?



大量研究表明,平行板电容器的电容 C 与正对面积 S 成正比,与极板间的距离 d 成反比。当平行板电容器的两极板间是真空时,在国际单位制中,有

 $C = \frac{S}{4\pi kd}$

当两极板间充满同一种电介质(在电场作用下能产生极化的物质)时,对应的电容是真空时的 ε , 倍,即

$$C = \frac{\varepsilon_{\rm r} S}{4\pi k d}$$

式中,k 为静电力常量, ε_r 为这种电介质的相对介电常数。下表为几种常见电介质的相对介电常数。

表 2-1

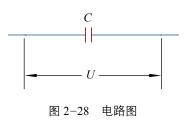
几种常见电介质的相对介电常数

电介质	空气	石蜡	陶瓷	玻璃	云母
相对介电常数	1.000 5	2.0 ~ 2.1	5.7 ~ 6.8	4 ~ 11	6 ~ 8

从表中数据可知,空气的相对介电常数近似为1,所以通常可忽略空气对电容的影响,将空气中的情况等同于真空情况来处理。

夕 例 题

如图 2-28 所示,一平行电容板的两端与电压为 *U* 的恒压电源相连。极板上带电荷量为 *Q* 。若只将两极板间的距离增大为原来的 2 倍,求电容器极板上的电荷量。



分析

电容器所带电荷量Q = CU。由题意可知,电压U不变,只需确定变化后的电容C即可。要确定电容C的变化,可利用平行板电容器的公式进行分析。

解

由
$$C = \frac{S}{4\pi kd}$$
和已知条件,可得

$$C' = \frac{S}{4\pi k \times 2d} = \frac{C}{2}$$

又由于
$$Q = CU$$

所以
$$Q' = C'U = \frac{Q}{2}$$

讨论

由结果得知,即使加在电容器两端的电压不变,但若电容器的电容变化,电容器带的电荷量也会随之变化。在这个过程中,电容器中的电场强度如何变化?

迁移

如果电容器充电后断开电源,又该怎样分析相关量 的变化呢?

平行板电容器充电后,所带电荷量为Q,两极板间电压为U。断开电源后,若只将两极板正对面积减小为原来的 $\frac{3}{4}$,求电容器两极板间的电压。

瓮略提炼

能了解电势能、电势和电势 差的内涵,知道匀强电场中电势 差与电场强度的关系,可解电石 器度的关系,能用电势容 器的电容,能分析带电粒子在 场中的运动情况;能用电势能、电势差及电容等解释相关的 电现象。具有与电势能、电势差相 关的物质观念和能量观念。

---物理观念

3.常见电容器及其应用

很多机械、仪表、探测工具离开了电容器就不能工作。电容器的种类有很多,图 2-29 是一些常见的电容器。

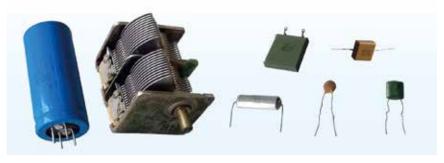


图 2-29 几种常见的电容器



电容器的两极板被电介质隔开。若按导体极板间所用电介质的种类来分,可分为空气 电容器、云母电容器、纸质电容器、陶瓷电容器、涤纶电容器、电解电容器等; 若按电容 器的电容是否可变来分,则可分为固定电容器、可变电容器等(图 2-30)。

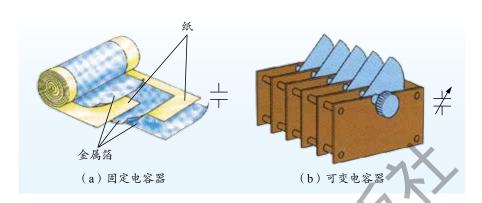


图 2-30 固定电容器和可变电容器结构示意图及对应符号

电容器的外壳上标有电容、电压等参数,如"47 µF 标称电压也称额定电压,在不高于此电压下工作是安全的。如果超 过这个电压, 电容器的电介质有被击穿的危险, 其耐压的极限值称为 击穿电压, 击穿后电容器的两极板因导通而损坏。

在生产生活中, 电容器的应用十分广泛。例如, 利用电容器可 监测水位的变化。图 2-31 中, 电容器的两块平行金属板表面已进 行绝缘处理, 当水位升高时平行板电容器的电容增大, 当水位降低 时电容减小,根据电容的变化即可测出水位的变化。

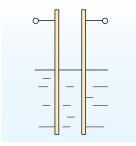


图 2-31 利用电容器测量 水位示意图

- 1. 请撰写"观察电容器的充、放电现象"的实验报告。注意在报告中呈现设计的实验步骤、实验 表格, 以及分析过程和实验结论。
- 2. 根据 $C = \frac{Q}{II}$, 某同学认为, 电容器的电容与电容器的电荷量 成正比,与两极板间的电压成反比。这种看法是否正确?为 什么?
- 3. 如图所示, 已充电的平行板电容器的极板 B 与一灵敏的静电 计相接,极板A接地。若极板A稍向上移动,观察到静电计 的指针张角将变大,请解释其原因。
- 4. 某电容器上标有"1.5 μF 9 V"字样,则该电容器
 - A. 击穿电压为9V

- B. 正常工作时电压不应超过9V
- C. 正常工作时所带电荷量不超过 1.5×10⁻⁶ C
- D. 正常工作时所带电荷量不超过 1.35×10⁻⁵ C

第3题

Physics

- 5. 一个电容为 22 μF 的电容器充电至电压为 9 V 后,断开电源。由于漏电,一段时间后两极板间的电压变为 4 V,极板上的电荷量减少了多少?
- 6. 如图所示,指纹传感器在一块半导体基板上有大量相同的小极板,外表面绝缘。当手指的指纹一面与绝缘表面接触时,由于指纹凸凹不平,凸点处与凹点处分别与半导体基板上的小极板形成一个个正对面积相同的电容器,若每个电容器的电压保持不变,则
 - A. 指纹的凸点处与小极板距离近, 电容小
 - B. 指纹的凸点处与小极板距离近, 电容大
 - C. 手指挤压绝缘表面, 电容电极间的距离减小, 小极板带电量增大



第6题

- D. 手指挤压绝缘表面, 电容电极间的距离减小, 小极板带电量减小
- 7. 水平放置的平行板电容器与一电源相连。在电容器的两极板间有一带正电的质点处于静止状态。 现将电容器两极板间的距离减小,请判断电容器的电容、带电量、板间电场强度如何变化,带 电质点将怎样运动,并说明理由。

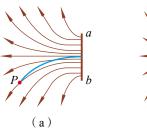


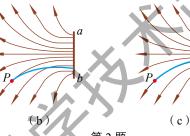
高压

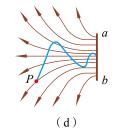


科学认知

- 1. 电子束焊接机中的电场线如图中虚线所示。K 为阴极,A 为阳极,两极之间的距离为 d,在两极之间加上高压 U,就会有电子在 K 极由静止被加速。电子的电荷量的大小为 e,不考虑电子重力,则下列说法正确的是
 - A.A.K之间的电场强度为 $\frac{U}{d}$
 - B. 电子由 K 运动到 A , 其电势能减小了 eU
 - C. 电子到达 A 极板时的动能大于 eU
 - D. 由 K 沿直线到 A, 电势逐渐降低
- 2. 某除尘器模型的集尘板是很长的条形金属板,如图所示,直线 ab 为该集尘板的截面图,带箭头的线条为电场线。工作时,带负电的粉尘在静电力作用下向带正电的集尘板运动,最后落在集尘板上。若用蓝色曲线表示原来静止于 P 点的带电粉尘颗粒的运动轨迹,忽略重力和空气阻力,下列各图可能正确的是哪个?为什么?

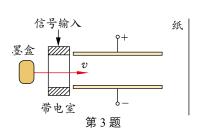


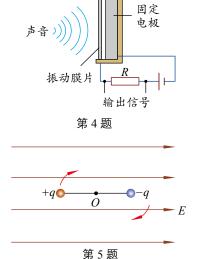




A 第1题

- 3. 喷墨打印机的简化模型如图所示。重力可忽略的墨汁微滴,经 带电室后带负电,以平行于极板方向的速度 v 飞入极板间的匀 强电场,最终打在纸上,则微滴在极板间
 - A. 向负极板偏转
 - B. 电势能逐渐增大
 - C. 运动轨迹是抛物线
 - D. 运动轨迹与带电量无关
- 4. 电容式话筒含有电容式传感器,如图所示。导电性振动膜片与固定电极构成一个电容器,当振动膜片在声压的作用下运动时,两个电极间的电容发生变化,电路中电流随之变化,这样声信号就转变为电信号。当振动膜片向左运动时,下列说法正确的是
 - A. 电容器电容增大
 - B. 电容器所带电荷量减小
 - C. 电容器两极板间的场强增大
 - D. 电阻 R 上电流方向自左向右
- 5. 两带电小球,电荷量分别为+q和-q,固定在一长度为1的绝缘杆两端,置于电场强度为E的匀强电场中,杆与电场强度方向平行,其位置如图所示。若此杆绕过O点垂直于杆的轴转过180°,求此过程中静电力做的功。





Physics

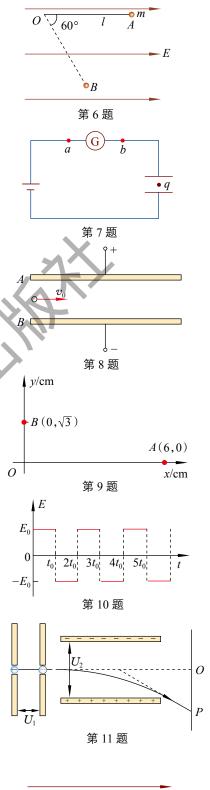
- 6. 一长为1的绝缘细线,上端固定,下端拴一质量为m、电荷量为q的带正电的小球,处于如图所示水平向右的匀强电场中。先将小球拉至A点,使细线水平。然后释放小球,当细线与水平方向夹角为60°时,小球到达B点且速度恰好为零。求A、B两点间的电势差U_{4B}及电场强度E。
- 7. 如图所示,用电池对电容器充电,电路中 a、b 两点之间接有一灵敏电流计,两极板间有一电荷 q 在重力和电场力作用下处于静止状态。在两极板的间距变大的过程中
 - A. 电荷将向上加速运动
 - B. 电荷将向下加速运动
 - C. 电容器带电量将变大
 - D. 有电流流过电流计
- 8. 如图所示,质量为 5×10^{-8} kg 的带电微粒以 $v_0 = 2$ m/s 的速度 从水平金属板 A、B 左端中间水平射入,已知板长 l = 10 cm,板间距离 d = 2 cm。当 $U_{AB} = 1$ 000 V 时,带电微粒恰好沿直线穿过板间。 U_{AB} 为多大时微粒从上板边沿飞出?
- 9. 如图所示,在平面直角坐标系中,有方向平行于坐标平面的 匀强电场,其中坐标原点 O 处的电势为 0, A 处的电势为 6 V, B 处的电势为 3 V。求电场强度的大小,并在图中标出 电场强度的方向。请总结根据电场中的电势确定电场强度的 方法。
- *10. 一质量为 m、带电量为 +q 的微粒放在静电场中,电场强度随时间变化的规律如图所示。带电微粒只在静电力的作用下,从 t=0 由静止开始运动。请分析带电微粒的运动情况并计算 3t₀ 时间内发生的位移。

科学辨析

11. 示波器原理如图所示。电子经过电压为 U_1 的加速电场后射入电压为 U_2 的偏转电场,离开偏转电场后电子打在荧光屏上的 P点。P点与 O点的距离称为偏转距离,而单位偏转电压引起的偏转距离称为示波器的灵敏度。欲提高示波器的灵敏度,某同学认为可通过提高加速电压 U_1 、减小偏转电场极板间距离的方法达到目的。你认为这位同学的看法是否正确,为什么?

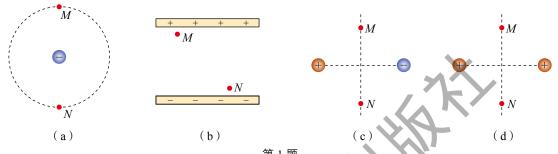
温故知新

- 12. 如图所示,两个质量相同的小球用不可伸长的绝缘细线相连, 放在光滑水平桌面上,并处于电场强度为 E 的匀强电场中。 小球 1 和小球 2 均带正电,电荷量分别为 q_1 和 q_2 ($q_1 > q_2$)。 将细线拉直并使之与电场方向平行。若将两小球同时由静止 释放,不计两小球间的库仑力,求释放后细线的张力 T。
- 13. 请根据第1章(静电力与电场强度)和第2章(电势能与电势差)的内容、结合你的理解、画出概念图。





- 一、选择题(本题共 5 小题。在每小题给出的 4 个选项中, 第 1 ~ 3 题只有一项符合题目要求, 第 4、5 题有多项符合题目要求)
- 1. 如图所示,M、N 两点电场强度相同,电势也相同的是



第1题

- A.(a) 图中,与点电荷等距的M.N两点
- B.(b) 图中,带电平行金属板两板间分别靠近两板的M.N两点
- C.(c) 图中,两个等量异种点电荷连线的中垂线上,与连线中点等距的M.N两点
- D.(d) 图中,两个等量同种点电荷连线的中垂线上,与连线中点等距的M.N两点
- 2. 两个分别带有电荷量 -Q和 +3Q的相同金属小球(均可视为点电荷),固定在相距为r的两处,其 间库仑力的大小为F。两小球相互接触后将其固定距离变为 $\frac{r}{2}$,则两球间库仑力的大小为

A.
$$\frac{1}{12}$$
 F

B.
$$\frac{3}{4}F$$

C.
$$\frac{4}{3}$$
 F

3. 一个带正电的质点,电荷量 $q=2.0\times10^{-9}$ C,在静电场中由 a 点移动到 b 点。在这个过程中,除 电场力外,其他力做的功为 8.0×10^{-5} J,质点的动能增大了 6.0×10^{-5} J。若规定b点为零电势点, 则 a 点的电势 φ_a 为

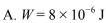
A.
$$1 \times 10^4 \text{ V}$$

B.
$$-1 \times 10^4 \text{ V}$$

C.
$$3 \times 10^{4} \text{ V}$$

D.
$$-4 \times 10^4 \text{ V}$$

4. 匀强电场中的三点 A、B、C是一个三角形的三个顶点, AB 的长度为 1 m, $D \rightarrow AB$ 的中点,如图所示。已知电场线的方向平行于 $\triangle ABC$ 所在平面, A、B、C 三点的电势分别为 14 V、6 V 和 2 V。设电场强 度大小为 E, 电量为 1×10^{-6} C 的正电荷从 D 点移到 C 点电场力所做 的功为 W,则



B.
$$W = 6 \times 10^{-6} \text{ J}$$

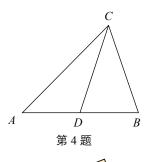
 $C. E \ge 8 \text{ V/m}$

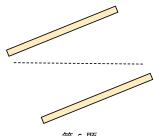
D.
$$E < 8 \text{ V/m}$$

- 5. 如图所示, 平行板电容器的两个极板与水平面成一定角度, 两极板 与一直流电源相连(图中电源省略)。若一带电粒子恰能沿图中所 示水平直线向右通过电容器,则在此过程中,该粒子
 - A. 所受重力与电场力平衡
- B电势能逐渐增大

C. 动能逐渐增大

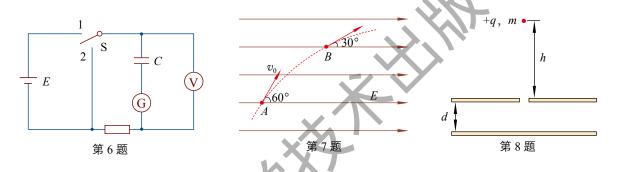
D. 做匀变速直线运动





二、非选择题

- 6. 观察电容器的充、放电现象的实验电路图。当把开关 S 拨到 1 后电容器充电,两极板的电荷量逐渐增加直至稳定,其判断依据是_______;当把开关 S 拨到 2 后电容器放电,两极板的电荷量逐渐减小至零,其判断依据是_______。(从电流计和电压表的示数变化说明)
- 7. 如图所示,一质量为m、电荷量为q的带正电粒子在匀强电场中运动,A、B 为其运动轨迹上的两点。已知该粒子在A 点的速度大小为 v_0 ,方向与电场方向的夹角为 60° ;它运动到B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30° 。不计重力,求A、B 两点间的电势差。
- 8. 如图所示, 充电后的平行板电容器水平放置, 电容为 C, 极板间距离为 d, 上极板正中有一小孔。质量为 m、电荷量为 q 的带正电小球从小孔正上方高 h 处由静止开始下落,穿过小孔到达下极板处速度恰为零。若空气阻力忽略不计,极板间电场可视为匀强电场,重力加速度为 g, 求:
 - (1) 小球到达小孔处的速度;
 - (2) 极板间电场强度大小和电容器所带电荷量。





单元自我评价

回顾本单元的学业要求和所学内容,结合本次单元自我检测和平时学习情况进行自我评价,写一篇"单元自我评价"报告。说说你学会了什么、存在什么问题及今后努力的方向等。