



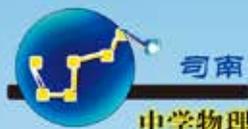
普通高中教科书

物理

必修

第三册

山东科学技术出版社



中学物理教材编写组

普通高中教科书

物理

必修

第三册

主编 廖伯琴



山东科学技术出版社

· 济南 ·

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

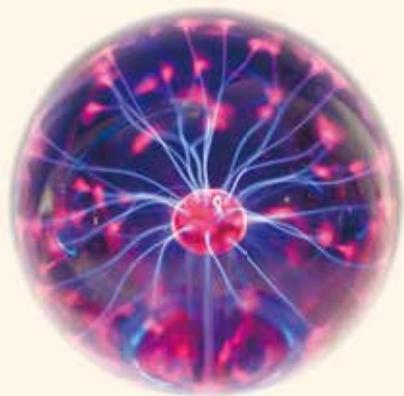
编务联系：李富强 李洪俊

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
第1节 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

导 入 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

静电力与电场强度

- 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，能体会探究库仑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 入

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。

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。



图 1-1 梳过头发的塑料梳可吸起细小纸屑

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。

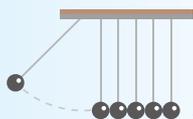
我们知道，摩擦后的物体所带电荷有两种：用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷规定为正电荷，用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷规定为负电荷。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。电荷的多少称为**电荷量**（electric quantity）。在国际单位制中，电荷量的单位是**库仑**（coulomb），简称库，符号为 C。



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？



图1-3 将带电橡胶棒靠近验电器的金属球



图1-4 用手接触验电器的金属球

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“玳瑁吸裙”，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（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 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，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）。

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）。

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。

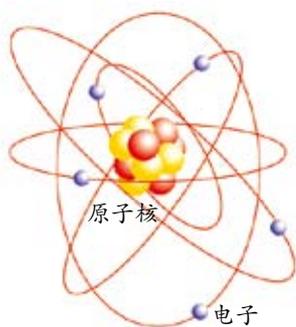


图1-6 原子模型示意图



图1-7 用丝绸摩擦玻璃棒使其带电



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。

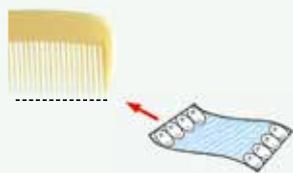


图1-8 梳子吸引轻小纸片原理示意图



节练习

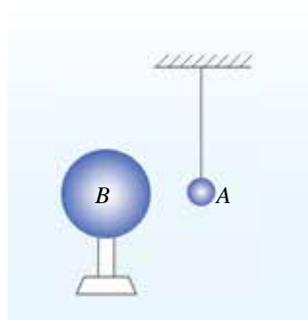
1. 在比较干燥的环境中，将一段塑料绳分成许多细条，用一只手提起这些塑料细条，另一只手快速重复捋塑料细条，看能否观察到如图所示的现象，并解释原因。
2. 如图所示，在桌上间隔一定距离放两本书，将一块洁净的玻璃板放置于两书之上，使玻璃板离开桌面 2~3 cm。用宽 0.5 cm 的纸条剪出各种姿态的人形小纸片，放在玻璃板下面，然后用一块硬泡沫塑料在玻璃上摩擦，可见小纸人翩翩起舞。
 (1) 小纸人为什么会翩翩起舞？
 (2) 如果实验前把“舞区”烤一烤，实验效果会更好。这是为什么？
3. 某同学在探究静电感应时，进行了如图所示实验：将绝缘细线上端固定，下端悬挂一轻质小球 A，A 的表面镀有铝膜，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

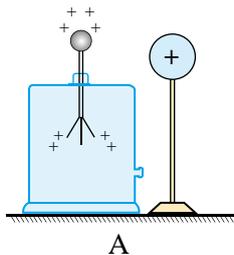


第 2 题

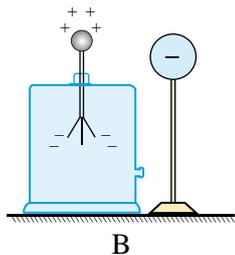


第 3 题

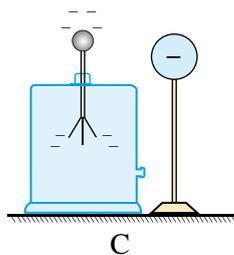
4. 某同学在研究静电感应时，用带电的金属球靠近不带电的验电器，验电器的金属箔片张开。验电器上感应电荷的分布情况正确的是



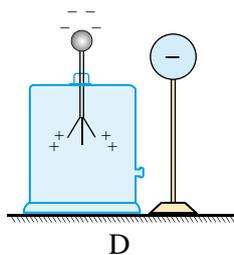
A



B



C



D

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。

请提问



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

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。

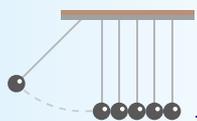
若条件发生变化，研究问题需要深入，次要因素不能忽略，已有的理想模型不再适用，则应考虑更多因素的影响，建立新的物理模型。

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？

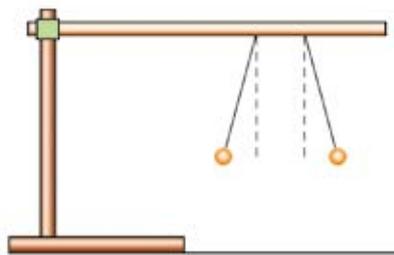


图 1-10 探究电荷间作用力的大小与距离关系的示意图

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

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

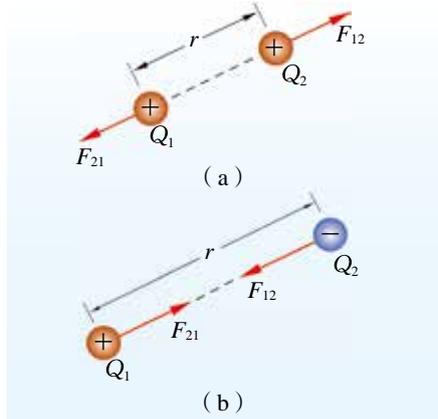


图 1-11 电荷间相互作用的示意图



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

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

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 $9.0 \times 10^9 \text{ N}$ 。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。

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 $l = 50 \text{ cm}$ 。已知 $q_1 = 3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, $q_2 = -3.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, $q_3 = -5.0 \times 10^{-6} \text{ C}$, 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

$$\begin{aligned} F_1 = F_2 &= k \frac{|q_1 q_3|}{l^2} \\ &= 9.0 \times 10^9 \times \frac{3.0 \times 10^{-6} \times 5.0 \times 10^{-6}}{0.5^2} \text{ N} \\ &= 0.54 \text{ N} \\ F &= 2F_1 \cos 60^\circ \\ &= 2 \times 0.54 \times 0.5 \text{ N} \\ &= 0.54 \text{ N} \end{aligned}$$

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。

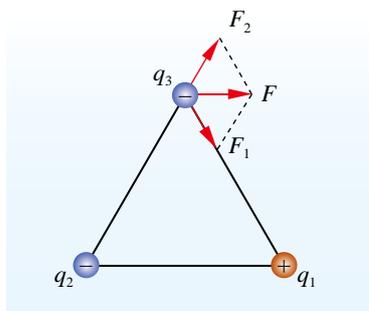


图 1-12 分析电荷 q_3 所受静电力的示意图

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。

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？

迁移

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。

科学书屋

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 and 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。

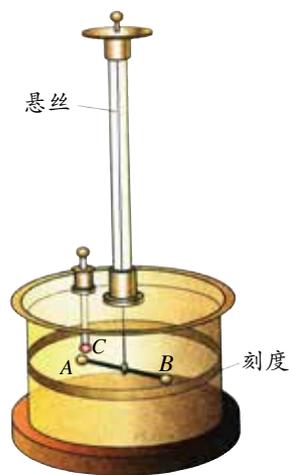


图 1-13 库仑扭秤实验装置示意图

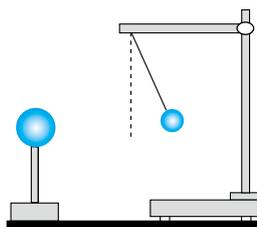
节练习

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？



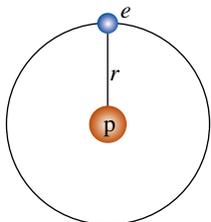
2. 两个带电球处于如图所示的静止状态，大球的电荷量大于小球的电荷量。下列判断正确的是

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

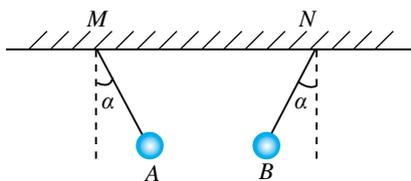


第2题

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 $r = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ ；电子的电荷量大小 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，质量 $m_1 = 9.10 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ；质子电荷量的大小与电子的相同，质量 $m_2 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。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 l 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 $2l$ 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？



第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？

请提问



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。



图 1-14 静电力可让细水流改变方向

1. 电场及电场力

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，这类力也是近距离作用，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 的电场在空间各点的性质， q 的大小也应足够小（可视为点电荷）。

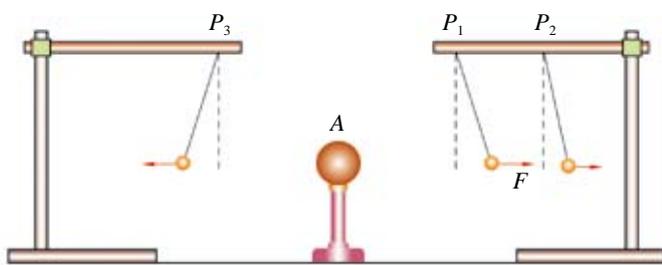


图 1-16 用试探电荷研究带电体电场的示意图

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 $\frac{F}{q}$ 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， $\frac{F}{q}$ 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 1 C 的电荷在电场中某点受到的电场力是 1 N，那么该点处的电场强度为 1 N/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 $1.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ 的试探电荷在地球表面某处受到的电场力的大小为 $1.5 \times 10^{-5} \text{ N}$ ，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 $q = 1.0 \times 10^{-7} \text{ C}$ ，电场力大小 $F = 1.5 \times 10^{-5} \text{ N}$ 。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。

 策略提炼

电场强度是矢量。求解电场强度时，如果没有明确要求，不仅要求出其大小，还要确定其方向。可将电场力和电荷量的绝对值代入公式 $E = \frac{F}{q}$ 计算电场强度的大小，再根据电荷受力的方向判断电场强度的方向。

 迁移

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 $-2 \times 10^{-8} \text{ C}$ 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 $E/(\text{N} \cdot \text{C}^{-1})$
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	10^{11}



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？



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？

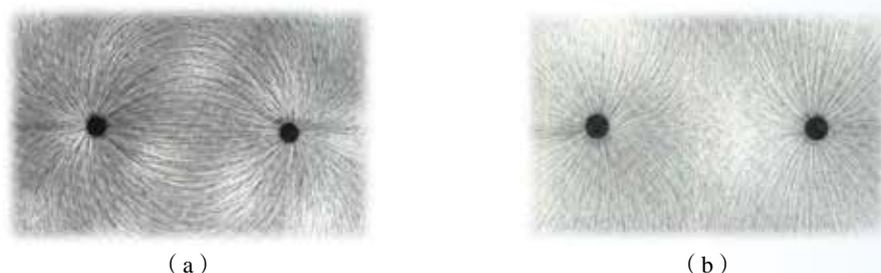


图 1-17 电荷间的电场分布模拟

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。

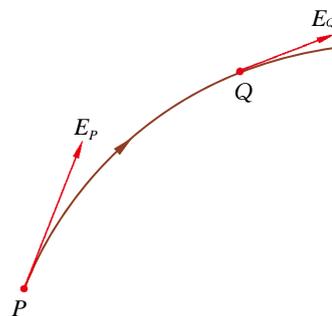


图 1-18 电场强度的方向

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。

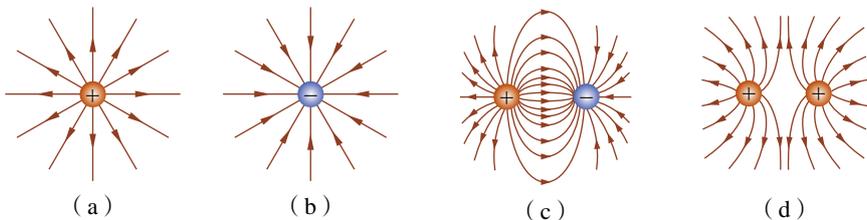


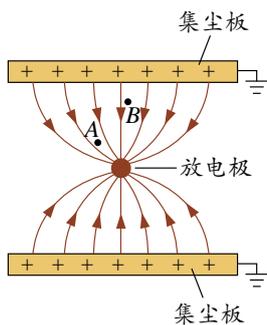
图 1-19 常见电场的电场线分布示意图

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，能体会探究库仑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

节练习

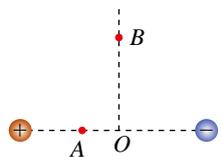
- 某同学根据电场强度定义式 $E = \frac{F}{q}$ 得出结论：电场强度的大小与试探电荷所受的电场力大小成正比，与其电荷量成反比。这种认识是否正确？为什么？
- 用电场线能直观、方便地比较电场中各点的场强大小与方向。如图是静电除尘集尘板与放电极间的电场线，请比较电场中 A、B 两点的电场强度是否相同，并说明理由。
- 下列说法正确的是
 - 在同一静电场中，电场线可以相交
 - 在同一静电场中，电场线越密的地方，电场强度越大
 - 正电荷仅受电场力的作用从静止开始运动，其轨迹必定与电场线重合
 - 静电场中某点电场强度的方向，就是放在该点的电荷所受电场力的方向
- 如图所示，带箭头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、b 两处的电场强度方向相同
 - 电场线从 a 指向 b，所以 $E_a > E_b$
 - 因为 a、b 在一条电场线上，且电场线是直线，所以 $E_a = E_b$
 - 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
- 用带电量为 $-2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 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。
- 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 题



第 6 题

第4节

点电荷的电场 匀强电场

在实际问题中，通常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

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

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。

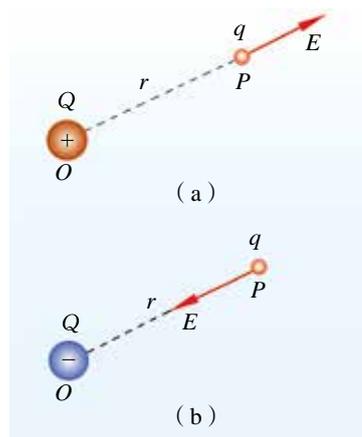


图1-20 点电荷电场的电场强度示意图

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

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。

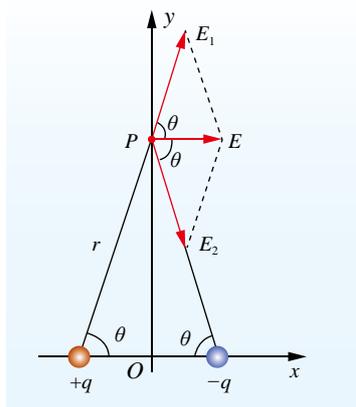


图 1-21 场强叠加示意图

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。

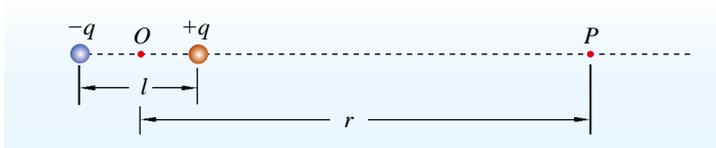


图 1-22 等量异种点电荷与其连线延长线上的 P 点

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

$$E_- = k \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}, \quad E_+ = k \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2}$$

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。



迁移

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 l (图 1-22)，可以证明，电偶极子在 P 点的电场强度近似为 $k \frac{2ql}{r^3}$ 。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)。

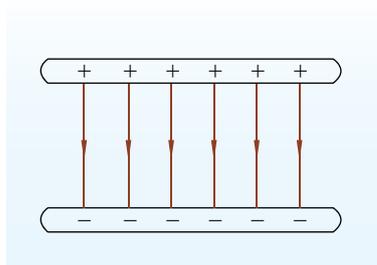


图 1-23 两金属板之间的电场线示意图

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 $E = 4.0 \times 10^5 \text{ N/C}$ ，油滴受到的重力 $G = 1.8 \times 10^{-13} \text{ N}$ ，电子的电荷量大小 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ，求油滴电荷量与电子电荷量大小的比值。

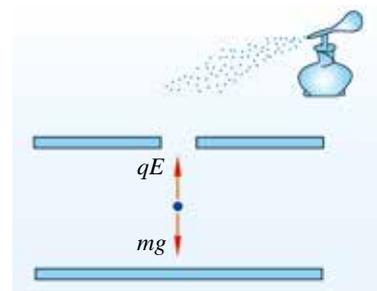


图 1-24 密立根油滴实验示意图

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。

策略提炼

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。

迁移

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。

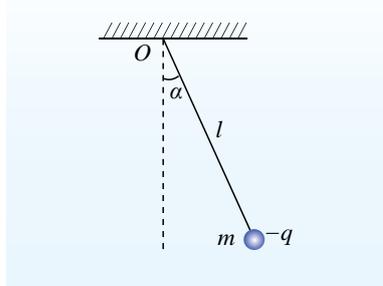


图 1-25 小球在电场中平衡的示意图

科学书屋

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 $e = 1.602\ 176\ 487(40) \times 10^{-19} \text{ C}$ 。在一般情况下，可取 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。



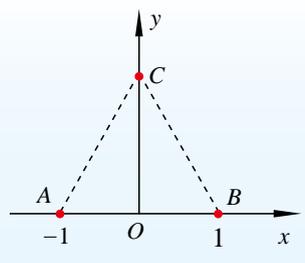
图 1-26 密立根

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。

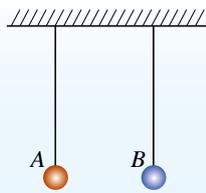


节 练 习

- 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?
- 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 $r = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。已知质子的电荷量大小为 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$, 求电子轨道处的电场强度大小。
- 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 $l = 2.0 \text{ m}$ 。若将两个电荷量 q 均为 $2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的点电荷分别固定在 A 、 B 点, 已知静电力常量 $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, 求:
 - O 点的电场强度;
 - C 点的电场强度。
- 做密立根油滴实验时, 要使重 $1.5 \times 10^{-15} \text{ N}$ 、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?
- 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。
- 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

请提问



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

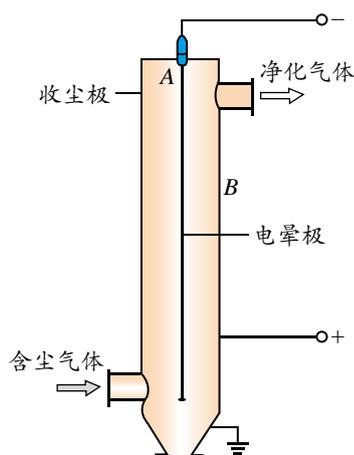


图 1-28 静电除尘原理示意图



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

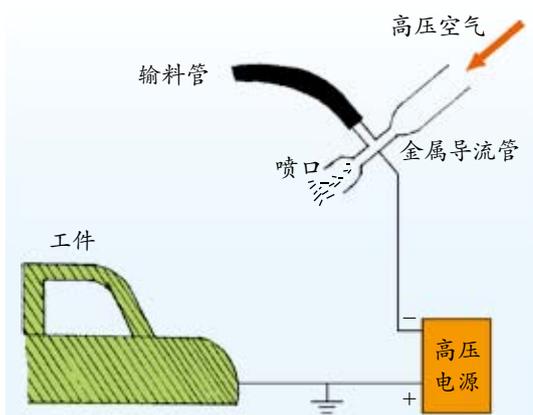


图 1-31 静电喷涂原理示意图

(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

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。

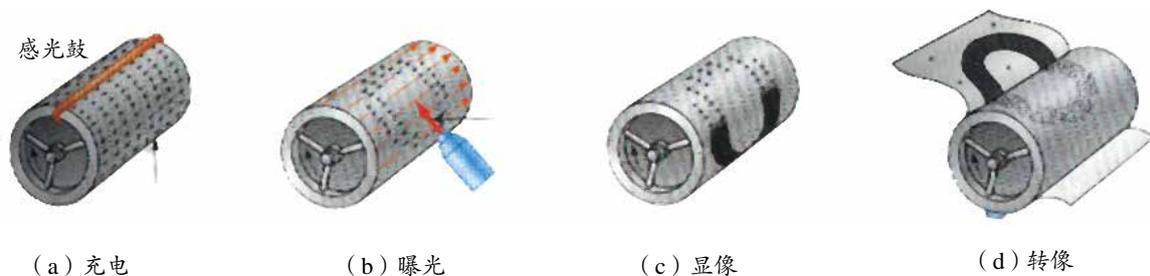


图 1-32 激光打印机的打印原理示意图

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。

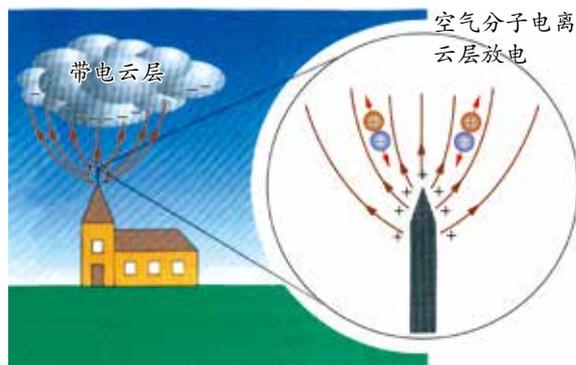


图 1-33 避雷针工作原理示意图



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

素养提升



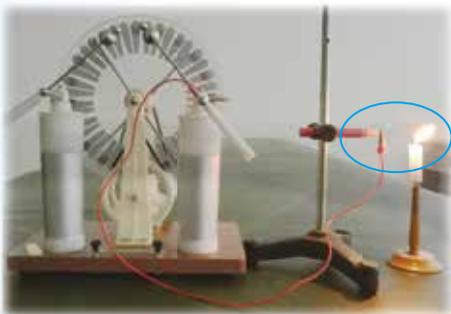
迷你实验室

尖端放电与人造闪电

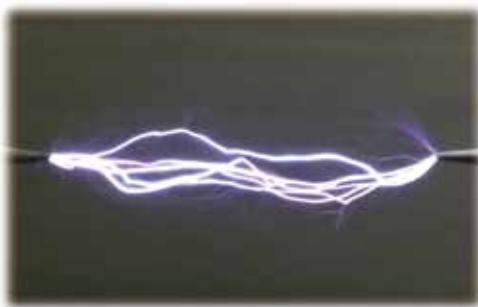
所谓尖端放电,就是导体尖端附近空气电离而产生气体放电的现象。将针形导体(如铁钉)固定在绝缘支架上并与起电机的连接杆连接,把蜡烛点燃后放在针尖前。摇动起电机,你会发现蜡烛的火焰朝背离尖端的方向偏斜,好像被风吹动一样,这就是“电风”现象。这是因为,针尖处电荷分布最密集,附近电场强度最强,在强电场作用下,针尖与蜡烛间的空气电离,与尖端电性相同的电荷被排斥从而远离

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 $E_{\text{外}}$ 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 $E_{\text{内}}$ 。根据场强叠加原理，导体内的电场强度等于 $E_{\text{外}}$ 和 $E_{\text{内}}$ 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。

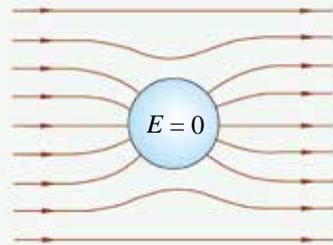


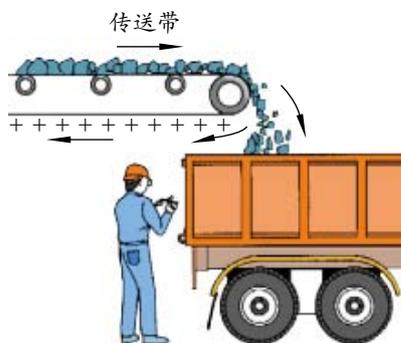
图 1-37 静电平衡示意图

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？

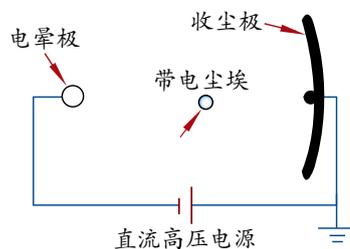


节练习

- 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？
- 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。
- 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
 - 带电尘埃带正电荷
 - 电场方向由收尘极指向电晕极
 - 带电尘埃所受电场力的方向与电场方向相同
 - 在同一位置，带电荷量越多的尘埃所受电场力越大
- 在下列各种措施中，属于利用静电的是
 - 静电除尘
 - 静电喷雾
 - 激光打印
 - 在高大的建筑物顶端安装避雷针
- 为防止静电的危害，下列做法正确的是
 - 油罐车有一条拖在地上的导电拖地带
 - 在加油站脱化纤衣物
 - 尽可能保持印染厂空气的干燥
 - 飞机机轮上装有搭地线或用导电橡胶制造的轮胎
- 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。



第1题



第3题

请提问





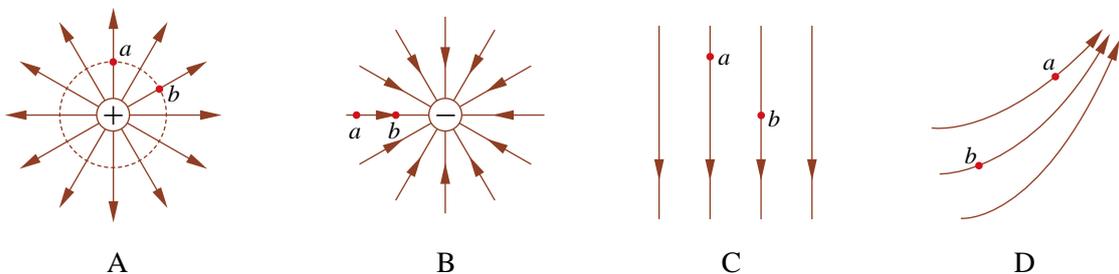
章末练习

科学认知

- 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。
- 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？
- 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。
- 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
 - 摩擦使笔带电
 - 笔靠近圆环时，圆环上、下感应出异种电荷
 - 圆环被吸引到笔上的过程中，所受静电力大于其重力
 - 当笔碰到圆环后，笔所带的电荷立刻全部消失
- 下列各图中， a 、 b 两点的电场强度相同的是

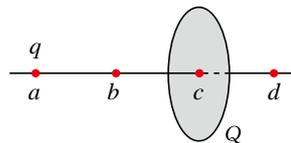


第4题



- 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

- $k \frac{10q}{9R^2}$
- $k \frac{9Q+q}{9R^2}$
- $k \frac{Q+q}{R^2}$
- $k \frac{3q}{R^2}$



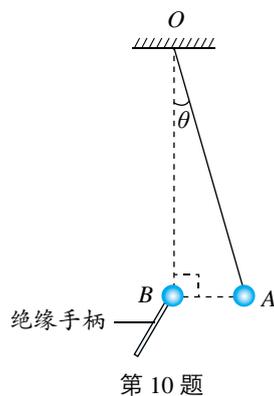
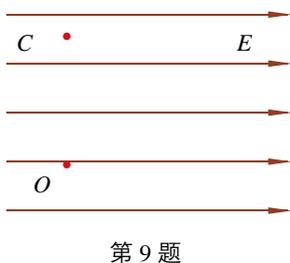
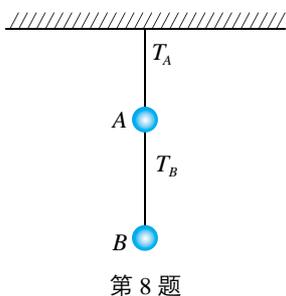
第6题

- 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

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

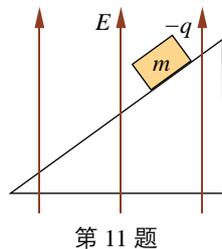


8. 如图所示, 两根绝缘细线挂着两个质量相同且不带电的小球 A 和 B , 此时上、下细线受力的大小分别为 T_A 、 T_B 。如果使 A 带正电, B 带负电, 上、下细线受力的大小分别是 T_A' 、 T_B' 。请分别比较 T_A 与 T_A' 、 T_B 与 T_B' 的大小, 并说明理由。
9. 如图所示, 大小为 $3 \times 10^3 \text{ N/C}$ 、方向水平向右的匀强电场中有相距 30 cm 的 O 、 C 两点, 其连线与电场方向垂直。若在 O 点放置电荷量为 $4 \times 10^{-8} \text{ C}$ 的点电荷, 求 C 点的电场强度大小。
- *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



我的学习总结



第2章

电势能与电势差

导 入 静电力做功了吗

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

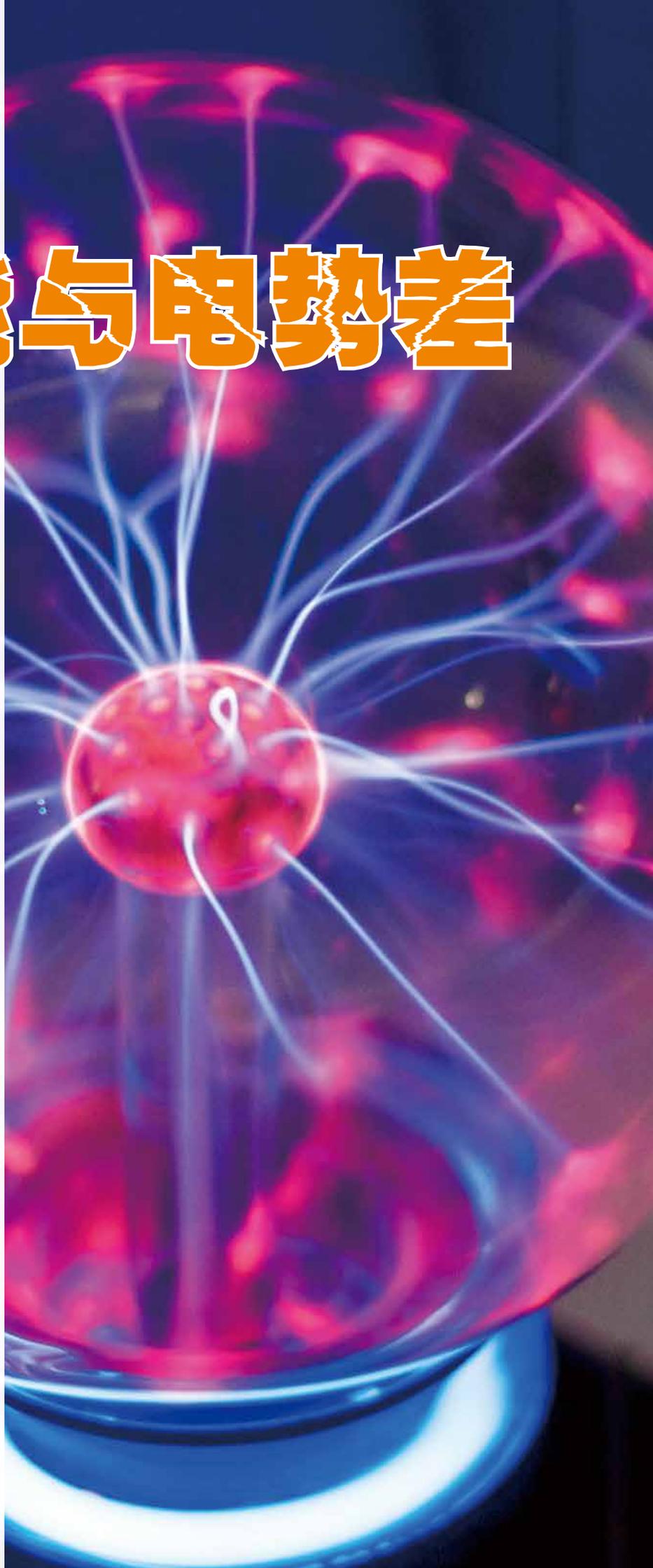
▶▶本章学业要求

●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观念。
——物理观念

●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。
——科学思维

●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

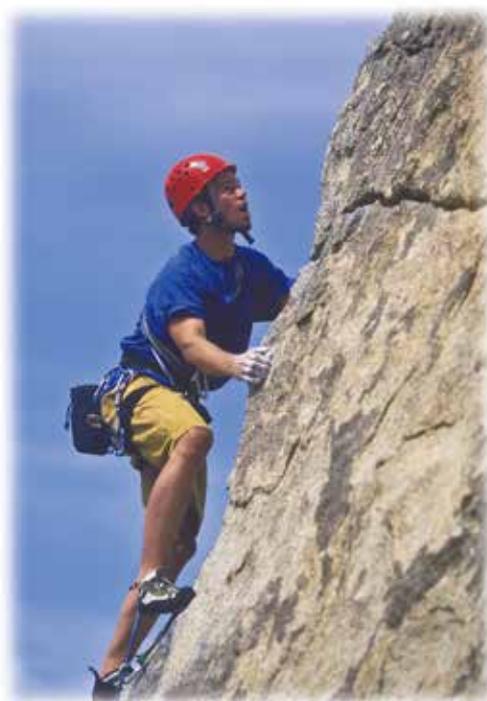
●通过电势能与重力势能的对比，能体会类比与创新在物理学研究中的重要性；能体会形象思维与抽象思维的相互关联，感悟物理学的内在之美。有进行科学普及的兴趣和责任；知道科学理论与实验相互促进的意义。
——科学态度与责任



导 入

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。



攀岩过程中，重力做功



闪电过程中，静电力做功了吗

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

$$W_1 = qEd$$

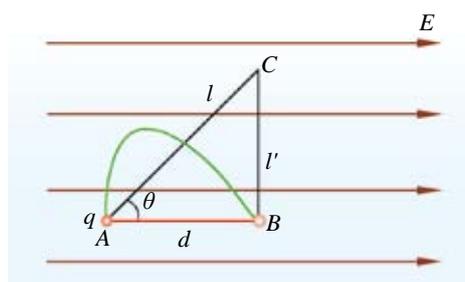


图 2-1 分析静电力做功的示意图

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 90° ，移动距离为 l' 。那么，静电力 F 对试探电荷做功

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

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 qEd 。

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

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

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 qEd 。

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 $E_{pA} = W_{A\infty}$ ， $E_{pB} = W_{B\infty}$ 。

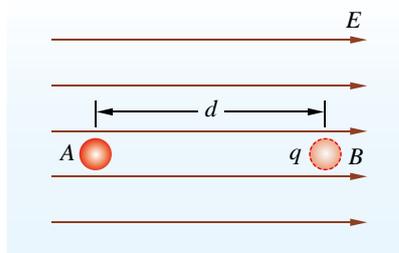


图 2-2 静电力做功与电势能变化示意图

方法点拨

我们通过与重力势能的类比，引入了电势能的概念。类比是由两个对象的某些相同或相似的性质，推断它们的其他性质有可能相同或相似的推理方法。研究物理问题常采用类比的方法。

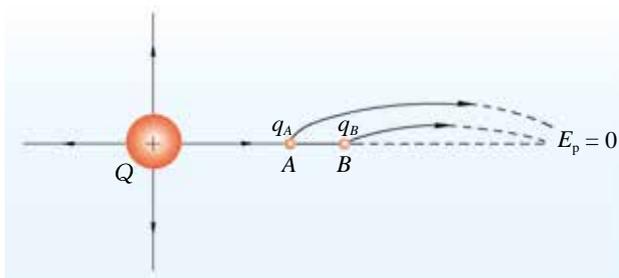


图 2-3 分析点电荷电场中电势能的示意图

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 $5 \times 10^5 \text{ N/C}$ 。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 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ）

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 $E = 5 \times 10^5 \text{ N/C}$ ， $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ， $d = 0.04 \text{ m}$ 。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

$$\begin{aligned} W &= qEd \cos 180^\circ \\ &= -1.60 \times 10^{-19} \times 5 \times 10^5 \times 0.04 \text{ J} \\ &= -3.2 \times 10^{-15} \text{ J} \end{aligned}$$

所以，电子的电势能增大了 $3.2 \times 10^{-15} \text{ J}$ 。

若规定负极板为零电势能点，电子在正极板具有的电势能

$$E_p = W = -3.2 \times 10^{-15} \text{ J}$$

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？

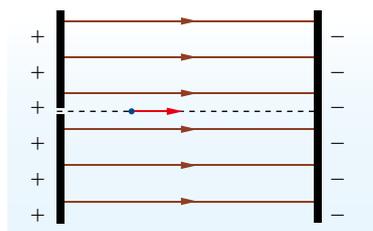


图 2-4 电子在匀强电场中运动的示意图

策略提炼

静电力做功与电势能变化的关系，和重力做功与重力势能变化的关系类似。不管是正电荷还是负电荷，只要静电力对电荷做正功，电荷的电势能就减小；静电力对电荷做负功，电荷的电势能就增大。



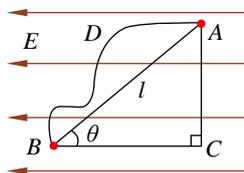
迁移

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 $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ）

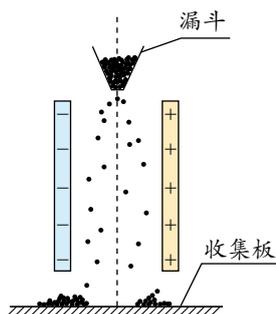


节练习

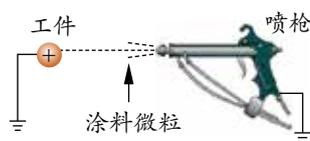
- 如图所示，在电场强度为 E 的匀强电场中， A 、 B 两点相距 l ，连线 AB 与电场强度方向的夹角为 θ 。将一电荷量为 q 的正电荷分别沿直线 AB 、折线 ACB 、曲线 ADB 从 A 点移动到 B 点，静电力各做了多少功？
- 某种静电矿料分选器原理如图所示，带电矿粉经漏斗落入水平匀强电场后，分落在收集板中央的两侧。下列关于矿粉分离的过程表述正确的是
 - 带正电的矿粉落在右侧
 - 静电力对矿粉做正功
 - 带负电的矿粉的电势能变大
 - 带正电的矿粉的电势能变小
- 在静电场中，将一电子从 A 点移动到 B 点，静电力做正功，则
 - 电场强度的方向一定是由 A 点指向 B 点
 - 电场强度的方向一定是由 B 点指向 A 点
 - 电子在 A 点的电势能一定比在 B 点的大
 - 电子在 B 点的电势能一定比在 A 点的大
- 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
 - 动能越来越小
 - 动能越来越大
 - 克服静电力做功
 - 电势能逐渐减小
- 一电荷量为 $-3 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的点电荷，从电场中的 A 点移动到 B 点，克服静电力做功 $6 \times 10^{-4} \text{ J}$ ，从 B 点移动到 C 点静电力做功 $9 \times 10^{-4} \text{ J}$ 。
 - 若以 B 点为零电势能点，电荷在 A 点的电势能为多少？
 - 若以 C 点为零电势能点，电荷在 A 点的电势能为多少？
- 如图所示，在电场强度为 $4 \times 10^5 \text{ N/C}$ 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。



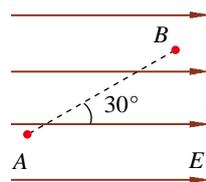
第1题



第2题



第4题



第6题

请提问



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 $W_1 = q_1Ed$ ，由电势能的定义可知， q_1 在 A 点的电势能为 q_1Ed ；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_2Ed 。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。

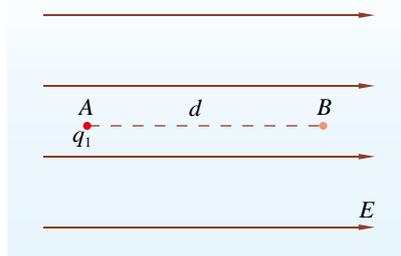


图 2-5 正电荷从 A 点移动到 B 点

$$\frac{q_1Ed}{q_1} = \frac{q_2Ed}{q_2} = Ed$$

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， $1\text{ V} = 1\text{ J/C}$ 。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。

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？

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 $E = 30\text{ N/C}$ ，A、B间距离 $d_1 = 0.1\text{ m}$ ，B、C间距离 $d_2 = 0.1\text{ m}$ 。

(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

$$\varphi = \frac{E_p}{q} = Ed$$

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 ， $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$ 。故A点电势最高，C点电势最低。

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？

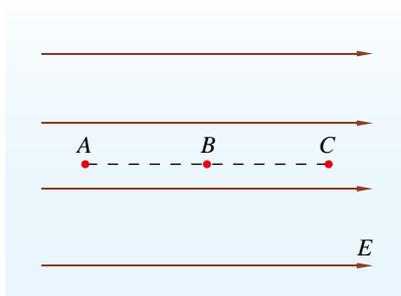


图2-6 分析A、B、C三点电势的示意图

策略提炼

分析确定电场中不同位置电势的高低，可通过直接比较不同位置电势值的大小进行判断，也可通过比较同一电荷在不同位置的电势能进行判断，还可依据沿电场线方向电势逐渐降低进行判断。究竟从哪种角度进行判断，应根据问题的条件来确定。

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。

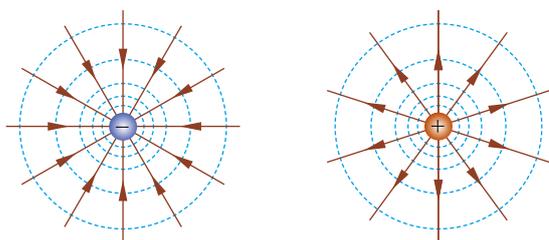


图 2-7 点电荷周围静电场的电场线和等势面的示意图

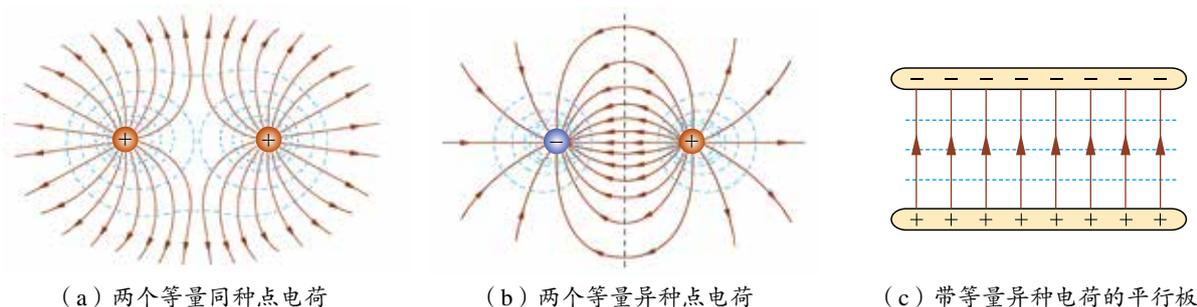


图 2-8 几种电场的电场线和等势面的示意图

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。

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。

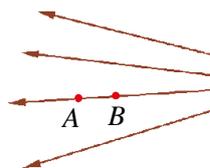
——科学思维



节练习

- 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。
- 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。
- 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
- 电场中有 A 、 B 两点，若电荷量为 $2 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的试探电荷在电场中的 A 点时，电势能为 $4 \times 10^{-8} \text{ J}$ ；在 B 点时，电势能为 $6 \times 10^{-8} \text{ J}$ 。
 - 计算并比较 A 、 B 两点的电势高低。
 - 若电荷量为 $-2 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的试探电荷分别在 A 、 B 两点，其电势能分别为多少？
 - 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？
- 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题

请提问



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
$$\varphi_A = \frac{E_{pA}}{q}, \varphi_B = \frac{E_{pB}}{q}$$

得
$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \frac{E_{pA} - E_{pB}}{q}$$

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 $U = 3.0 \times 10^5 \text{ V}$, 电荷量 $q = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。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

$$\begin{aligned} W &= qU \\ &= 1.60 \times 10^{-19} \times 3.0 \times 10^5 \text{ J} \\ &= 4.8 \times 10^{-14} \text{ J} \end{aligned}$$

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。

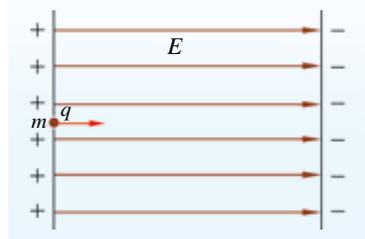


图 2-10 质子射入电场的示意图

策略提炼

根据静电力做功与电势差的关系, 可以很方便地计算出静电力做的功, 不需要考虑静电力和电荷移动的路径。这个结论对匀强电场和非匀强电场都适用。

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。

迁移

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 $-6 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的电荷从 A 点移到 B 点, 静电力做功为 $3 \times 10^{-5} \text{ J}$ 。求 A 、 B 两点间的电势差。

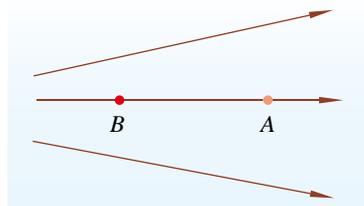


图 2-11 电荷从 A 点移到 B 点的示意图

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 $W_{AB} = qEd$ 。根据电势差与静电力做功的关系 $W_{AB} = qU_{AB}$ ，有 $qEd = qU_{AB}$ ，所以

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

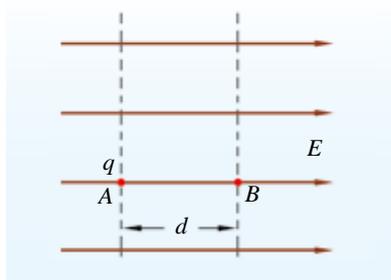


图 2-12 电荷从 A 点移到 B 点的示意图

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 ， $1 \text{ V/m} = 1 \text{ N/C}$ （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。

例 题

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 $U = 3 \times 10^3 \text{ V}$ ，两板间距离 $d = 20 \text{ cm}$ 。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？

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

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

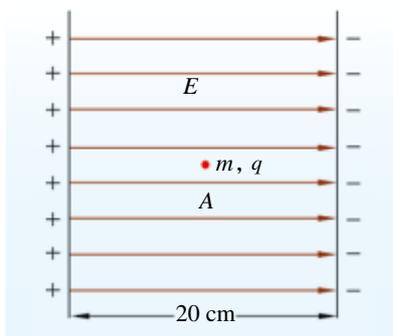


图 2-13 质子在电场中情况的示意图



(2) 质子受到的静电力

$$\begin{aligned} F &= qE \\ &= 1.60 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 10^4 \text{ N} \\ &= 2.4 \times 10^{-15} \text{ N} \end{aligned}$$

质子受到的重力

$$\begin{aligned} G &= mg \\ &= 1.67 \times 10^{-27} \times 10 \text{ N} \\ &= 1.67 \times 10^{-26} \text{ N} \end{aligned}$$

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？



策略提炼

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。

因为微观粒子在电场中受到的静电力比重力大得多，所以在分析微观粒子（甚至一些带电微粒）在电场中的运动时，重力通常可忽略不计。在具体问题中，是否忽略带电微粒的重力，要根据实际情况确定。



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 $1.0 \times 10^4 \text{ V/m}$ ，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、B、C，如图 2-14 所示。请分别计算 A、B 间和 B、C 间的电势差。

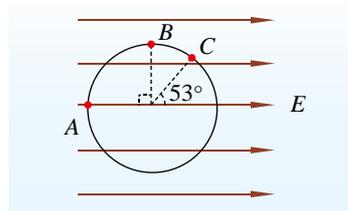


图 2-14 由电场强度求电势差的示意图



迷你实验室

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。

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。

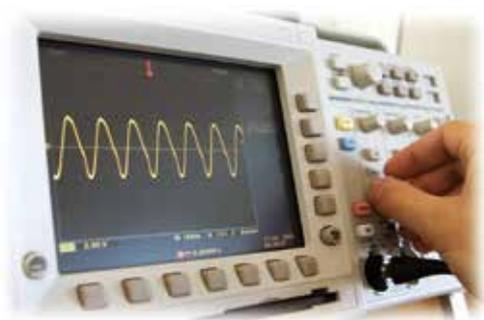


图 2-16 示波器

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。

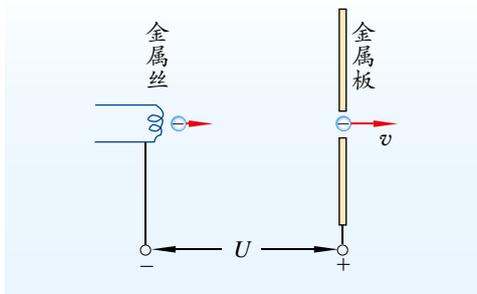


图 2-17 电子枪示意图

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。

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。

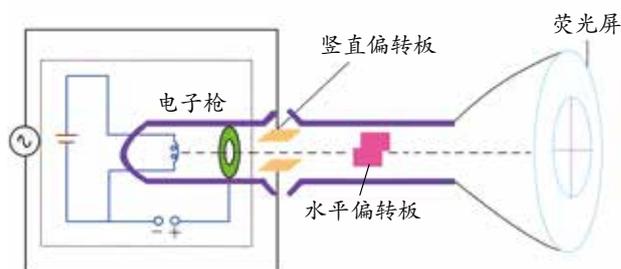


图 2-19 示波管结构示意图

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。



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 $m = 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电荷量 $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 射入时速度 $v_0 = 2.0 \times 10^5 \text{ m/s}$, 极板长 $l = 4.0 \text{ cm}$, 两极板间距离 $d = 2.0 \text{ cm}$, 极板间电压 $U = 100 \text{ V}$, 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 y 和偏转的角度 α 。

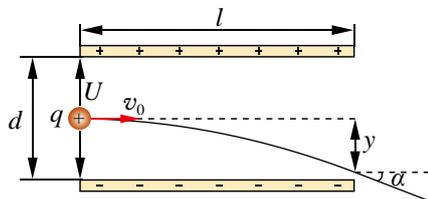


图 2-20 带电粒子在电场中发生偏转的示意图

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 v_0 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

$$v_x = v_0$$

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

$$y = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{dm} \cdot \left(\frac{l}{v_0}\right)^2 = \frac{qUl^2}{2mv_0^2 d}$$

代入数值, 得

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

质子离开偏转电场时, 平行于电场方向的分速度 v_y 为

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

$$\text{则 } \tan \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{qUl}{dmv_0^2}$$

代入数值, 得

$$\alpha = 25.2^\circ$$

策略提炼

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。

当带电粒子在匀强电场中运动, 只考虑静电力, 且初速度方向与静电力方向垂直时, 其运动与平抛运动类似, 通常称为类平抛运动。分析处理的方法与平抛运动也类似。

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。

一束电子流经 $U = 1\,500\text{ V}$ 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 $d = 2.0\text{ cm}$ ，板长 $l = 5.0\text{ cm}$ ，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？

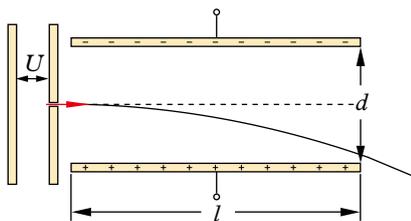
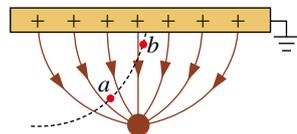


图 2-21 电子流在电场中运动的示意图

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

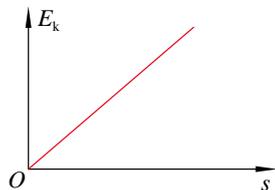


第 1 题

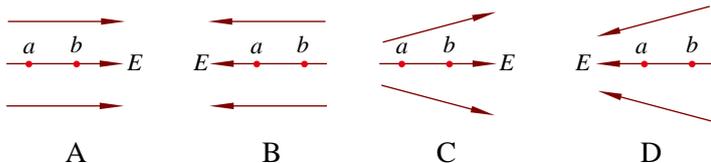
2. 一带正电的液滴以水平向右的初速度进入范围足够大的匀强电场，电场方向水平向左。不计空气阻力，则液滴在电场中

- 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

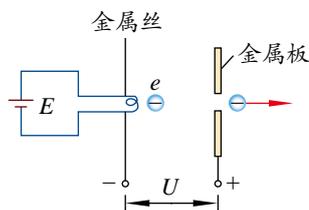
3. 有一正点电荷只受电场力作用，从静电场中的 a 点由静止释放。在它沿直线运动到 b 点的过程中，动能 E_k 随位移 s 变化的关系图像如图所示。该电场的电场线分布应是



第 3 题



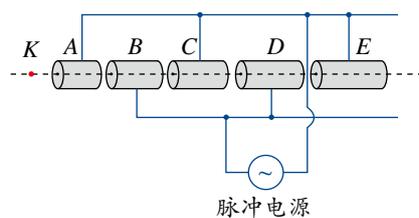
4. 炽热的金属丝可发射电子。如图所示，在金属丝和金属板之间加上 $U = 2\,500\text{ V}$ 的电压，发射出的电子在真空中加速后，从金属板的小孔穿出。设电子刚刚离开金属丝时的速度为 0，取电子电荷量的大小 $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ ，质量 $m = 9.1 \times 10^{-31}\text{ kg}$ ，求电子穿出小孔时的动能和速度。



第 4 题

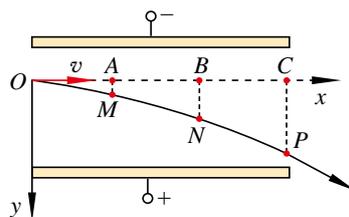


5. 如图所示, 某直线加速器由沿轴线分布的一系列金属圆管(漂移管A、B、C、D、E)组成, 质子从K点沿轴线进入加速器并依次向右穿过各漂移管, 在漂移管内做匀速直线运动, 在漂移管间被电场加速, 加速电压视为不变。设质子进入漂移管B时速度为 $8 \times 10^6 \text{ m/s}$, 进入漂移管E时速度为 $1 \times 10^7 \text{ m/s}$, 漂移管间缝隙很小, 质子的电荷量与质量之比为 $1 \times 10^8 \text{ C/kg}$ 。求相邻漂移管间的加速电压。



第5题

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, 沿 y 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6题

请提问



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。



图2-22 莱顿瓶结构示意图

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。

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。

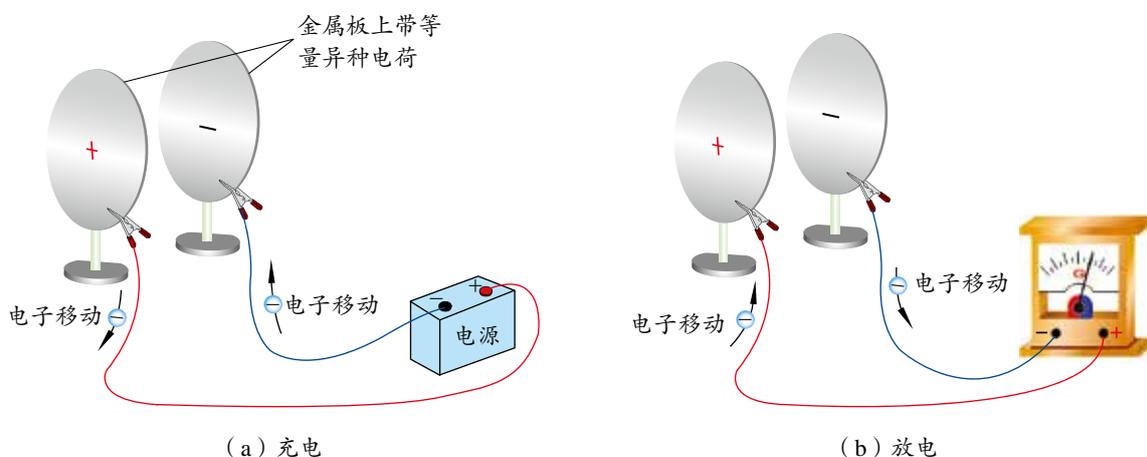


图2-23 平行板电容器的充电与放电示意图



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。

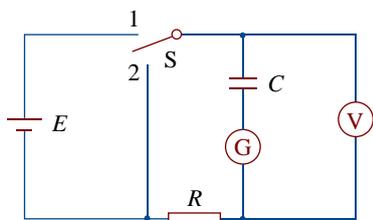


图 2-24 电容器充、放电实验电路图



安全警示

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？

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。

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“ $\text{—}|>$ ”（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。

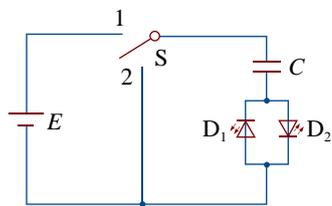


图 2-25 实验电路图

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。

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

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。

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$$

除了法拉，电容的单位还有微法（ μF ）、皮法（ pF ）等。

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

拓展一步

静电计

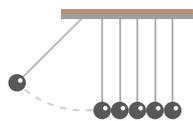
静电计（图2-26）本身是一个电容器，它的指针所带电荷量跟指针与外壳间的电势差成正比，指针所带电荷量越多，张角就越大，表明指针与外壳间的电势差越大。将静电计的金属球和外壳分别与平行板电容器的两极板连接，当电荷停止运动后，静电计的金属球与外壳间的电势差和平行板电容器两极板间的电势差相等。从静电计指针偏转角度的大小可推知电容器两极板间电势差的大小。



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差 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 ，观察电势差 U 的变化，由此可知电容 C 与面积 S 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？

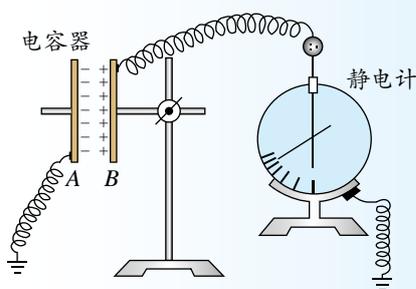


图 2-27 实验装置示意图

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_r 倍，即

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

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。

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。

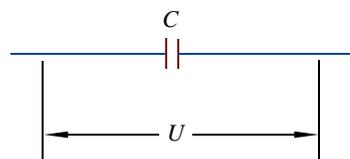


图 2-28 电路图

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 $Q = CU$

$$\text{所以 } Q' = C'U = \frac{Q}{2}$$

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？

**策略提炼**

分析电容器相关物理量的变化时，要注意抓住不变量。电容器充电后保持与电源相连，即使电容器的电容变化，两极板间的电压仍不变。若充电后与电源断开且未放电，即使电容器的电容变化，极板的电荷量也不会变化。

**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。

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观念。

——物理观念

素养提升**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。

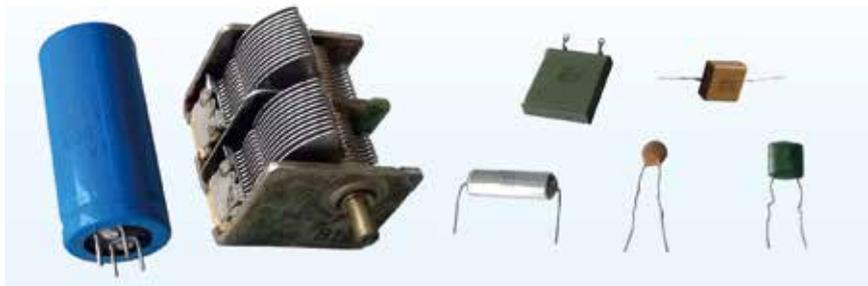


图 2-29 几种常见的电容器



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）。

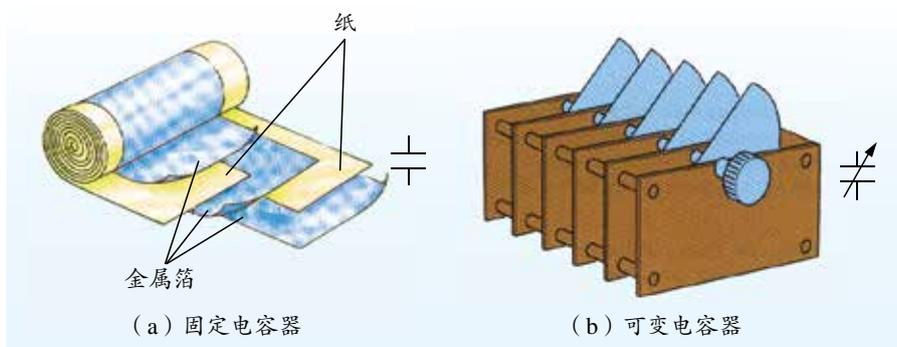


图2-30 固定电容器和可变电容器结构示意图及对应符号

电容器的外壳上标有电容、电压等参数，如“47 μF 25 V”。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。

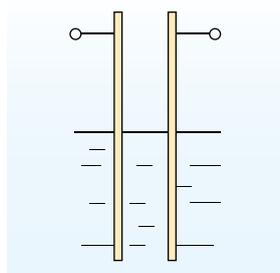
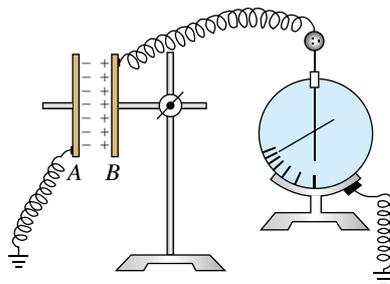


图2-31 利用电容器测量水位示意图



节练习

- 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。
- 根据 $C = \frac{Q}{U}$ ，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？
- 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。
- 某电容器上标有“1.5 μF 9 V”字样，则该电容器
 - 击穿电压为9 V
 - 正常工作时电压不应超过9 V
 - 正常工作时所带电荷量不超过 1.5×10^{-6} C
 - 正常工作时所带电荷量不超过 1.35×10^{-5} C



第3题

5. 一个电容为 $22\ \mu\text{F}$ 的电容器充电至电压为 $9\ \text{V}$ 后，断开电源。由于漏电，一段时间后两极板间的电压变为 $4\ \text{V}$ ，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，由于指纹凹凸不平，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
- 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。



第6题

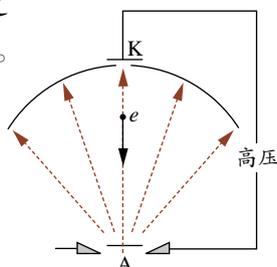
请提问



章末练习

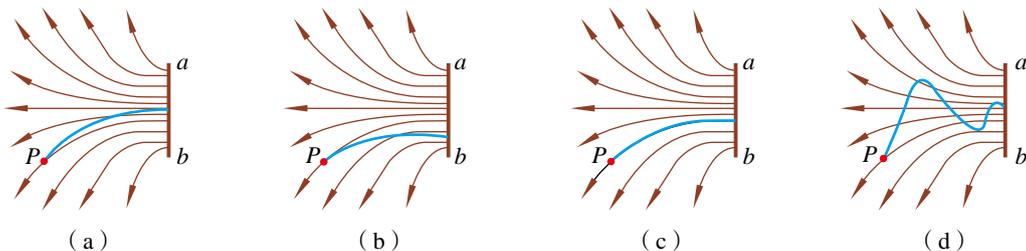
科学认知

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



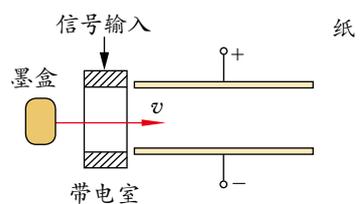
第 1 题

- 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？



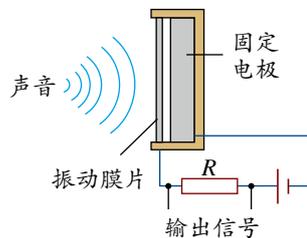
第 2 题

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



第 3 题

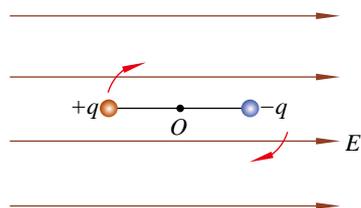
- A. 向负极板偏转
 B. 电势能逐渐增大
 C. 运动轨迹是抛物线
 D. 运动轨迹与带电量无关
4. 电容式话筒含有电容式传感器，如图所示。导电性振动膜片与固定电极构成一个电容器，当振动膜片在声压的作用下运动时，两个电极间的电容发生变化，电路中电流随之变化，这样声信号就转变为电信号。当振动膜片向左运动时，下列说法正确的是



第 4 题

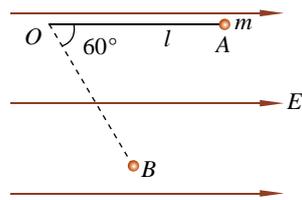
- A. 电容器电容增大
 B. 电容器所带电荷量减小
 C. 电容器两极板间的场强增大
 D. 电阻 R 上电流方向自左向右

5. 两带电小球，电荷量分别为 $+q$ 和 $-q$ ，固定在一长度为 l 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。

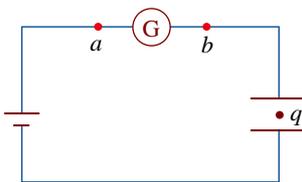


第 5 题

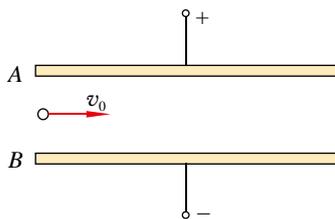
6. 一长为 l 的绝缘细线，上端固定，下端拴一质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的小球，处于如图所示水平向右的匀强电场中。先将小球拉至 A 点，使细线水平。然后释放小球，当细线与水平方向夹角为 60° 时，小球到达 B 点且速度恰好为零。求 A、B 两点间的电势差 U_{AB} 及电场强度 E 。
7. 如图所示，用电池对电容器充电，电路中 a 、 b 两之间接有一灵敏电流计，两极板间有一电荷 q 在重力和电场力作用下处于静止状态。在两极板的间距变大的过程中
- A. 电荷将向上加速运动
B. 电荷将向下加速运动
C. 电容器带电量将变大
D. 有电流流过电流计
8. 如图所示，质量为 5×10^{-8} 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 $3t_0$ 时间内发生的位移。



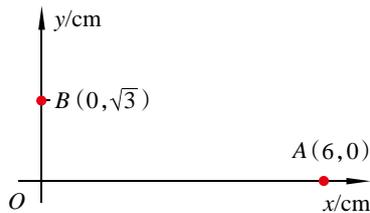
第 6 题



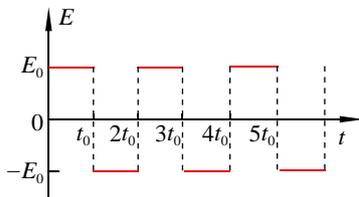
第 7 题



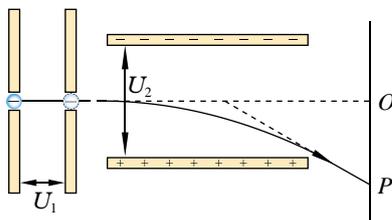
第 8 题



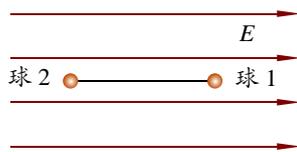
第 9 题



第 10 题



第 11 题



第 12 题

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？

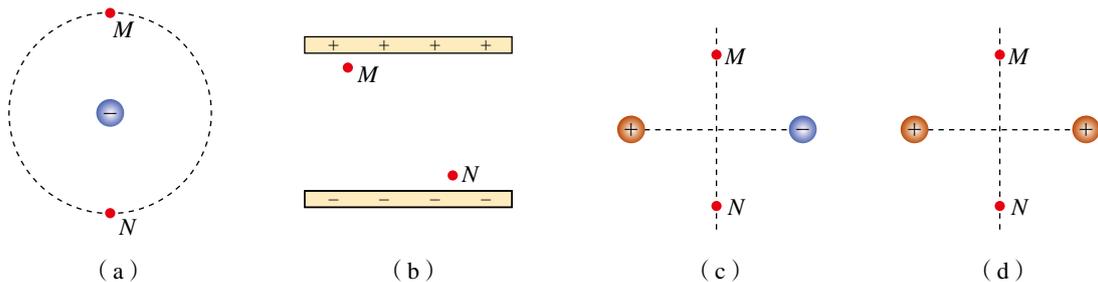
温故知新

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。

单元自我检测

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

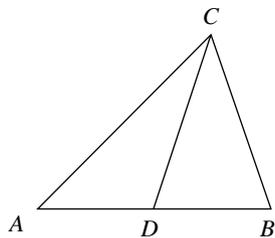
- A. $\frac{1}{12}F$ B. $\frac{3}{4}F$ C. $\frac{4}{3}F$ D. $12F$

3. 一个带正电的质点，电荷量 $q = 2.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ ，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 $8.0 \times 10^{-5} \text{ J}$ ，质点的动能增大了 $6.0 \times 10^{-5} \text{ J}$ 。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 为 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 $1 \times 10^{-6} \text{ C}$ 的正电荷从 D 点移到 C 点电场力所做的功为 W ，则

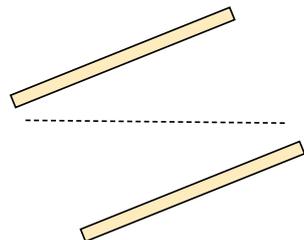
- A. $W = 8 \times 10^{-6} \text{ J}$ B. $W = 6 \times 10^{-6} \text{ J}$
 C. $E \geq 8 \text{ V/m}$ D. $E < 8 \text{ V/m}$



第 4 题

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

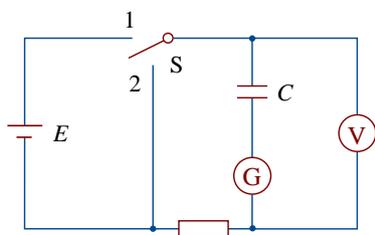
- A. 所受重力与电场力平衡 B. 电势能逐渐增大
 C. 动能逐渐增大 D. 做匀变速直线运动



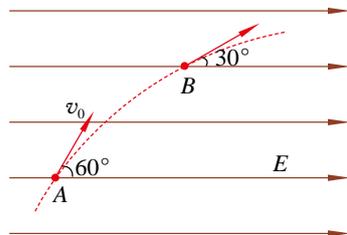
第 5 题

二、非选择题

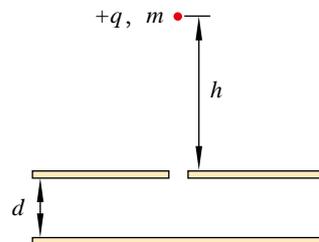
6. 观察电容器的充、放电现象的实验电路图。当把开关 S 拨到 1 后电容器充电，两极板的电荷量逐渐增加直至稳定，其判断依据是_____；当把开关 S 拨到 2 后电容器放电，两极板的电荷量逐渐减小至零，其判断依据是_____。（从电流计和电压表的示数变化说明）
7. 如图所示，一质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子在匀强电场中运动， A 、 B 为其运动轨迹上的两点。已知该粒子在 A 点的速度大小为 v_0 ，方向与电场方向的夹角为 60° ；它运动到 B 点时速度方向与电场方向的夹角为 30° 。不计重力，求 A 、 B 两点间的电势差。
8. 如图所示，充电后的平行板电容器水平放置，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。



第 6 题



第 7 题



第 8 题



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。

第3章

恒定电流



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

▶▶本章学业要求

- 能了解电阻与材料、长度和横截面积的定量关系，了解串、并联电路电阻的特点，能理解电功、电功率及焦耳定律的内涵；能分析生产生活中与电阻、电路相关的电学问题，能用焦耳定律解释生产生活中的电热现象，能解决一些电热问题。具有与恒定电流相关的能量观念。——**物理观念**
- 能从微观视角和宏观表现分析电流的形成，对统计方法有初步了解；能用控制变量法分析问题，能对常见的电路问题进行分析推理；能用与恒定电流相关的证据说明结论并作出解释；能对他人观点提出有依据的质疑。——**科学思维**
- 能完成“长度的测量及其测量工具的选用”“测量金属丝的电阻率”等物理实验。能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题；会设计实验步骤，能在他人指导下制订实验方案，能选用实验器材进行实验，能考虑实验中的安全问题；能分析实验数据，形成结论；能撰写完整的实验报告，在报告中能呈现设计的实验方案、实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论，能进行反思与交流。——**科学探究**
- 能认识物理测量的精度依赖于实验器材，测量是有误差的；有主动应用科学知识帮助他人解决问题的意识；能体会电能的使用对人类生活和社会发展的影响。

——**科学态度与责任**

导人

历史的回顾

发生于 19 世纪的第二次技术革命，以电力的广泛应用为标志，不仅推动了社会生产由机械化向电气化、自动化转变，而且极大地改变了人们的生活方式，打开了人类进入现代文明的大门。

18 世纪以前，有关电的研究主要集中于摩擦起电。例如，用静电起电机可形成很高的电压并产生大量的电火花。但当时这些研究在实际应用方面并未发挥更多的作用。



早期的静电起电机



伏特在演示他发明的电池

1800 年，一个具有伟大意义的事件发生了：伏特（A. Volta, 1745—1827）发明了电池，并用它得到持续稳定的电流。这开创了人类认识 and 实际利用电能的新纪元，今天的电力技术就是在此基础上发展起来的。

电流是怎样形成的？它有什么特点？会受到哪些因素的影响？本章将探究与此相关的一系列问题。

第1节

电 流

请做一做，用绝缘的橡胶线把充电后的电容器的两个极板和电流计连接起来，看看有无电流通过；如果改用金属导线连接，再看看有无电流通过。为什么会出现这种现象呢？下面，我们通过对电流的学习来认识其中的科学道理。

1. 电流的形成

我们知道，电流是由自由电荷的定向移动形成的。在金属导体中，原子核对电子的束缚能力较弱，电子很容易挣脱原子核的束缚而成为自由电子；在橡胶等绝缘体内，原子核对电子的束缚能力较强，很少有电子挣脱而成为自由电子。由此可见，回路中存在自由电荷是形成电流的条件。

自由电荷在什么情况下会定向移动呢？我们知道，电场对电荷有力的作用。充电电容器带正电的极板电势高，带负电的极板电势低，两极板间有电压（电势差）。用金属导线连接电容器的两个极板时，导线中建立了电场，导线中的自由电子在电场力的作用下定向运动，形成电流。这表明，电压也是导体中形成电流的条件。

但是，电容器两极板的电荷将很快中和，电场随之消失，电压变为零，电流也就消失了。而用电设备必须有持续电流才能正常工作，如手电筒照明、电动机转动等。为了获得持续电流，必须维持导体两端的持续电压。干电池、蓄电池、发电机等电源提供的就是持续电压。导体两端有了持续电压，导体中的自由电子就会在电场力的作用下形成持续不断的电流。这说明，导体两端有持续电压是导体中形成持续电流的条件。

在潮湿、高温、高压的情况下，绝缘体有可能变为导体。例如，空气是绝缘体，但在一定条件下也可能转变为导体。在雷电现象中，由于两云层之间的电压极高，将空气击穿，此时空气就成了导体（图 3-1）。因此，绝缘体和导体的划分与其周围的条件密切相关。



图 3-1 雷电中空气被击穿

打开开关，电灯会立即亮起来……似乎电子的运动并不需要时间。实际上，形成电流的速度并不是电子的运动速度，而是电场的传播速度，为 $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

从微观角度看，当导体内没有电场时，常温下金属内的自由电子大约以 10^5 m/s 的平均速率做无规则运动。从宏观（统计）角度来看，这些自由电子朝任一方向运动的概率都一样，没有整体定向运动，不形成电流。当导体两端加上电压，导体中很快建立电场，电场以光速传播，推动所在处的自由电子定向移动形成电流。虽然大量电子整体做定向移动，但定向移动速度很小，数量级大约是 10^{-5} m/s ，比电场传播的速度小得多，故被形象地称为“电子漂移”（图 3-2）。

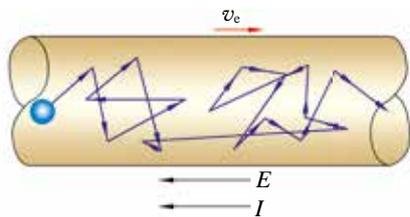


图 3-2 电流与电子运动的示意图

2. 电流的方向与大小

当金属导体导电时，导体内做定向运动的是大量的自由电子。那么，电流的方向就是电子定向运动的方向吗？19 世纪初，人们认为电流是正电荷的定向移动形成的，所以就把正电荷的定向移动方向规定为电流方向。后来，人们发现电流方向与金属导体内电子定向运动的方向恰好相反，但由于习惯，还是沿用了之前的规定。

其实，导体中的电流可以是负电荷的定向移动，也可以是正电荷的定向移动，还可以是正、负电荷沿相反的方向同时移动。例如，在与电源连通的酸、碱、盐溶液中，电流就是由能够自由移动的正离子和负离子的运动形成的（图 3-3）。在电源外部的电路中，在电场作用下，正电荷从电势高的一端流向电势低的一端，金属导体中的电子则是从电势低的一端流向电势高的一端。即在电源外部电路中，电流的方向是从电源正极流向负极。

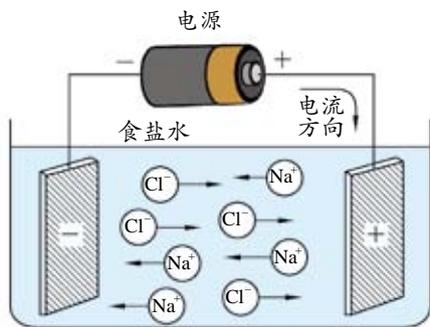


图 3-3 酸、碱、盐溶液中电流形成的示意图

为了反映电流的强弱，物理学中将流过导体某一横截面的电荷量与所用时间之比定义为**电流**（electric current），用符号 I 表示，即

$$I = \frac{q}{t}$$

在国际单位制中，电流的单位是安培，简称安，符号为 A， $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ 。常用的电流单位还有毫安（mA）和微安（ μA ），它们的关系为

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$



物理学中把方向不随时间变化的电流称为**直流电**，大小和方向都不随时间变化的电流称为**恒定电流**。我们通常所说的直流电就是指恒定电流。

例题

有一横截面积为 S 的金属导体，设每单位体积内有 n 个自由电子，电子的电荷量大小为 e ，电子定向移动的平均速率为 v 。求此时流过导体的电流 I 。

分析

如图 3-4 所示，在时间 t 内，自由电子定向移动的距离为 vt ，通过导体横截面 S 的自由电子数就等于以横截面 S 为底、 vt 为高的圆柱体内包含的自由电子数。由此可得到时间 t 内通过导体横截面的电荷量 q ，再根据 $I = \frac{q}{t}$ 可求出电流。

解

设在时间 t 内，通过导体横截面的自由电子数目为 N 、电荷量为 q ，则

$$N = nSvt$$

$$q = Ne = nSvte$$

再由 $I = \frac{q}{t}$

得 $I = neSv$

讨论

从微观上看，流过金属导体的电流与导体的横截面积、单位体积内自由电子数目和电子定向移动的平均速率成正比。若在其他条件不变的情况下，导电性能好的导体在单位体积内的自由电子数更多，形成的电流会更大。

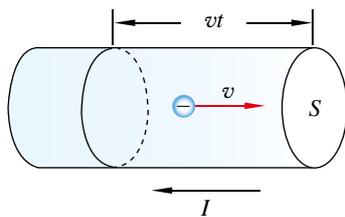


图 3-4 分析电子定向移动与电流的示意图

策略提炼

从微观视角计算电流，可依据公式 $I = \frac{q}{t}$ ，只是此时电荷量 q 要用微观量描述出来。这也是解决此类问题的关键。

迁移

根据 $I = neSv$ 还可估算电子定向移动的平均速率。

有一横截面积为 1 mm^2 的铜导线，每立方米体积内的自由电子数为 8.4×10^{28} 个，电子的电荷量大小为 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。若通过该导线的电流为 1 A ，导线中自由电子定向移动的平均速率为多大？



安培

安培 (A. Ampere, 1775—1836, 图 3-5), 法国物理学家。

安培曾支持库仑的观点, 认为电与磁没有关系, 当其得知奥斯特发现电流的磁效应后, 受到极大震动。他深入定量研究了电流之间的相互作用力, 取得了一系列成就。为了纪念安培在电磁学上的杰出贡献, 人们以他的姓氏命名电流的单位——安培。1948年第九届国际计量大会确定: 真空中两无限长平行直导线内通以相等恒定电流, 当两导线相距 1 m, 每米长度导线受到的力等于 2×10^{-7} N 时, 则每根导线中通过的电流为 1 A。



图 3-5 安培



节练习

- 关于电流, 下列说法正确的是
 - 只要有可以自由移动的电荷, 就能存在持续电流
 - 金属导体内的持续电流是自由电子在导体内的电场作用下形成的
 - 电流的传导速率就是导体内自由电子的定向移动速率
 - 在金属导体内当自由电子定向移动时, 它们的热运动就消失了
- 有一横截面积为 S 的金属导线, 流经其中的电流为 I 。设导线中单位体积内有 n 个自由电子, 电子的电荷量大小为 e , 此时电子的定向移动速率为 v 。在 t 时间内, 通过导线横截面积的自由电子数目可表示为
 - $nvSt$
 - nvt
 - $\frac{It}{e}$
 - $\frac{It}{Se}$
- 在 3 s 内, 有 3×10^{18} 个电子定向通过某一导体的横截面, 试计算通过该导体的电流。
- 原子中的电子绕原子核的运动可以等效为环形电流。设氢原子的电子以速率 v 在半径为 r 的圆周轨道上绕核运动, 电子的电荷量大小为 e , 试求等效电流的大小。
- 若距地面高约 2 km 的空中有两块乌云, 它们因与空气摩擦带电, 致使两块乌云之间的电势差约为 3×10^9 V 且保持不变。已知空气的电场强度达到 3×10^6 V/m 将被击穿放电, 请对以下问题进行估算。
 - 当两块乌云相距多少米时会发生电闪雷鸣?
 - 若某次闪电, 两块乌云之间通过的电荷量为 500 C, 可释放多少能量?
 - 这次放电现象历时约 0.01 s, 则其平均电流约为多大?

第2节

电阻

我们知道，导体的电阻与导体的长度、横截面积及材料有关。那么，导体的电阻与这些因素有怎样的定量关系呢？本节我们将学习电阻公式及电阻的应用。

1. 导体电阻与相关因素的定量关系

测量导体电阻的方法有多种。常用的方法是伏安法测电阻，即用电压表和电流表分别测出导体两端的电压和导体中的电流，由公式 $R = \frac{U}{I}$ 求出导体的电阻。下面，我们通过实验来探究导体的电阻与导体的长度、横截面积及材料的定量关系。



探究电阻与相关因素的关系

首先探究导体电阻与导体长度的关系。实验前需准备一组横截面积和材料都相同的金属导线。按图 3-6 所示连接电路，将导线接入图中 A、B 两端点，读出电压表和电流表的示数，算出这根导线的电阻。

把两根相同的导线串联，接入电路的 A、B 两点，再读出电压表和电流表的示数，算出两根导线串联时的电阻。再串联第三根、第四根……算出相应的电阻。由此得到电阻大小与长度的定量关系是什么？

将若干长度和材料都相同、横截面积不同的导线，分别接入图中 A、B 两点进行测量，可得到电阻大小与横截面积的关系是什么？

若只改变导线的材料，得到的结论是什么？

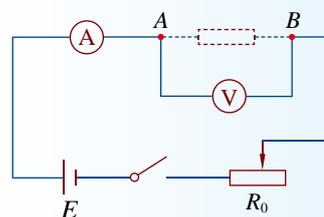


图 3-6 伏安法测电阻电路图

大量精确的实验表明，导体的电阻 R 与其长度 l 成正比，与其横截面积 S 成反比，还与导体的材料有关，即

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

这就是电阻与其影响因素的定量关系，通常称为电阻公式，也习惯称它为电阻定律。式中的比例系数 ρ 是反映材料导电性能的物理量，称为材料的**电阻率**（resistivity）。在国际单位制中，式中 R 的单位是欧姆，简称欧，符号为 Ω ； ρ 的单位是欧姆米，符号为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

实际上，导线的电阻不仅与其长度、横截面积和材料有关，还与温度有关。通常，金属材料的电阻率一般会随着温度的升高而变大，但绝缘体和半导体的电阻率大多会随着温度的升高而减小。

研究导体电阻的变化规律，可在导体两端加不同电压，测出通过导体的电流，以横坐标表示电压，纵坐标表示电流，画出 $I-U$ 图像，根据图像来分析电阻的变化。这样的 $I-U$ 图像称为导体的伏安特性曲线。图 3-7 是导体 A、B 的伏安特性曲线，都是通过原点的直线，直线的斜率等于导体电阻的倒数。具有这种伏安特性的电学元件称为线性元件。金属导体的伏安特性曲线一般是线性的，但半导体和气体导体的伏安特性曲线是非线性的。

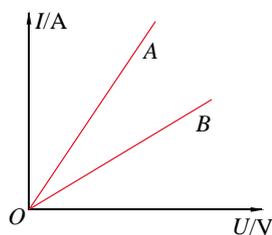


图 3-7 导体 A、B 的伏安特性曲线



物理聊吧

图 3-8 是某次实验得到的小灯泡的伏安特性曲线。观察曲线，你能确定小灯泡的电阻随电压怎样变化吗？为什么会发生这样的变化？请与同学交流你的看法。

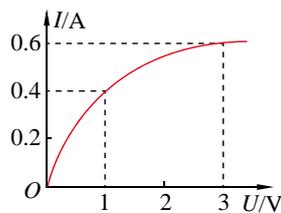


图 3-8 小灯泡的伏安特性曲线

例题

如图 3-9 所示，把一个长方体铜柱的 a 、 b 端， c 、 d 端， e 、 f 端分别接入电路，已知其电阻率为 $\rho_{\text{铜}}$ ，计算接入电路中的电阻分别是多大。

分析

由题意可知，导体铜柱的长度和横截面积可直接得出，铜的电阻率已知，因此可直接用电阻公式

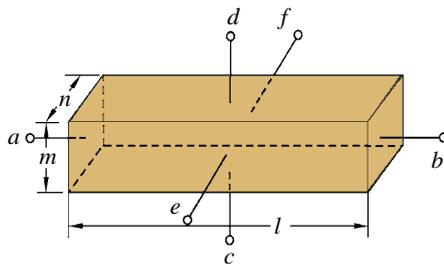


图 3-9 计算长方体铜柱电阻的示意图



计算电阻。但接入方式不同，导体的长度和横截面积是不同的。

解

当接入 a 、 b 端时，电阻 $R_{ab} = \rho_{\text{铜}} \frac{l}{mn}$ ；

当接入 c 、 d 端时，电阻 $R_{cd} = \rho_{\text{铜}} \frac{m}{ln}$ ；

当接入 e 、 f 端时，电阻 $R_{ef} = \rho_{\text{铜}} \frac{n}{lm}$ 。

讨论

从以上计算可以看出，一定材料、一定几何形状的导体的电阻还与其接入电路的具体方式有关。

策略提炼

在运用电阻公式分析问题时，要正确判断导体两个接入端之间的距离为导体长度，与长度方向垂直的截面为横截面。



迁移

在上题中，如果已知铜的电阻率 $\rho_{\text{铜}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ， $m = 2 \text{ cm}$ ， $n = 4 \text{ cm}$ ， $l = 8 \text{ cm}$ ，请分别计算题中三种接入方式的电阻大小。若将此长方体铜柱重新熔制成一个正方体，其相对的两端面间电阻又为多大？

2. 电阻的应用

电阻（图 3-10）在生产生活中有着广泛的应用。

收音机的音量调节、音响混频控制台上可滑动的声音控制系统、一些台灯的亮度调节等，都要用到可变电阻。

高压电线绝缘子长期暴露在空气中，会因沉积灰尘污垢而漏电。所以，要在绝缘子表面涂一层釉，使之光滑而不易沾染污垢。同时，把它制成有一节节皱褶的形状，可增大漏电电流沿表面流过的距离，增大绝缘子的电阻，减少漏电（图 3-11）。



图 3-10 固定电阻和可调电阻

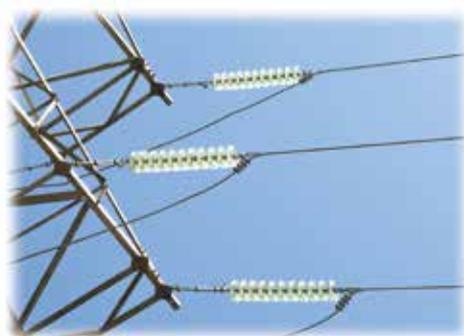


图 3-11 高压电线绝缘子

人体实际上也是一个可变电阻。干燥的皮肤在低电压下电阻很大；当电压较高、皮肤潮湿时，人体电阻会变小，触电后电流很容易达到危险水平，对人体造成伤害甚至导致死亡。



贴片电阻

随着技术的飞速发展，电子产品的集成化程度越来越高，对元器件的体积、性能等提出了更高要求。贴片电阻由于其体积小、稳定性好、精度高等优点，已逐步取代色环电阻等传统电阻。贴片电阻的阻值常用三位（或四位）数字表示（图 3-12），例如，“103”表示“10 000 Ω ”，“5 102”表示“51 000 Ω ”。若有小数，则用 R 表示小数点位置，如“4R3”表示“4.3 Ω ”，“R100”表示“0.100 Ω ”。



图 3-12 贴片电阻

例题

某滑动变阻器的结构如图 3-13 所示，A、B 是绕在绝缘筒上的电阻丝的两个接线柱，C、D 是金属杆的两个接线柱。电阻丝上能够与滑片 P 接触的地方的绝缘漆已被刮去，使滑片 P 能把金属杆与电阻丝连接起来。把 A 和 C 接线柱接入电路中，当滑片 P 由 B 向 A 移动时，接入电路的电阻将由大变小，这是为什么？你是否可以设计出另外几种连接方案，使滑片 P 移动时接入电路的电阻由大变小？

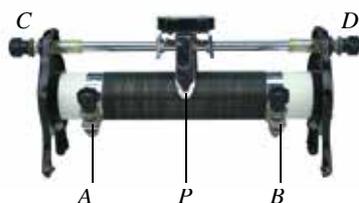


图 3-13 滑动变阻器

分析

根据滑动变阻器的结构特点，金属杆的电阻可忽略而视为导线。当将 A、B 中的一端与 C、D 中的一端相连时，移动滑片 P 可改变接入电路中的电阻丝的长度，从而改变电阻。滑动 P 时，接入电路中的电阻丝越长，则接入电路中的电阻就越大，反之越小。

解

将 A 和 C 接线柱接入电路中，实际接入电路的电阻为 PA 段，当 P 向 A 端滑动时，接入电路中的电阻丝变短，电路中的电阻由大变小。

同理，还有三种连接方案可达到这一目的：①将 A 和 D 接线柱接入电路中，P 向 A 滑动；②将 B 和 C 接线柱接入电路中，P 向 B 滑动；③将 B 和 D 接线柱接入电路中，P 向 B 滑动。

策略提炼

滑动变阻器通过改变接入电路中电阻丝的长度来改变电路中的电流或电压。凡是不能改变滑动变阻器接入电阻丝长度的连接方法都是不正确的。

若滑动变阻器串联在电路中，为了保护电路，在电路接通前，通常要移动滑动变阻器的滑片使接入电路的阻值最大。



讨论

只有当滑动变阻器的滑片滑动时，接入电路中的电阻丝长度发生了改变，滑动变阻器接入电路的方式才是正确的。请判断：只将 C 、 D 端接入电路是否正确？只将 A 、 B 端接入电路呢？

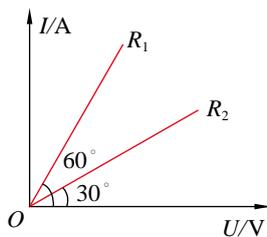
迁移

滑动变阻器在使用中要正确连接并将滑片置于合适的位置。如果上题中滑动变阻器上 A 、 B 间缠绕电阻丝部分的绝缘筒长度为 l ，电阻丝总电阻为 R ，现电路中需接入 $\frac{1}{4}R \sim \frac{3}{4}R$ 的可调电阻，应如何连接接线柱和调节滑片？



节练习

- 电炉、电阻器的电阻丝一般用电阻率大的合金来制作，而引出线一般用电阻率小的铝线或铜线，这是为什么？高压输电线一般用铝线而不用铜线，这又是为什么？
- 一根粗细均匀的细铜丝，原来的电阻为 R ，则
 - 截去 $\frac{1}{3}$ ，剩下部分的电阻变为 $\frac{1}{3}R$
 - 均匀拉长为原来的 2 倍，电阻变为 $2R$
 - 对折后，电阻变为 $\frac{1}{4}R$
 - 均匀拉长，使截面积为原来的 $\frac{1}{2}$ ，电阻变为 $4R$
- 两电阻 R_1 、 R_2 的伏安特性曲线如图所示，可知电阻大小之比 $R_1 : R_2$ 等于
 - $1 : 3$
 - $3 : 1$
 - $1 : \sqrt{3}$
 - $\sqrt{3} : 1$
- 一根铜导线长度是 60 cm，横截面积是 0.5 mm^2 ，它的电阻是多少？一根输电用的铜导线长度是 10 km，横截面积是 1 cm^2 ，它的电阻又是多少？为什么做电学实验时可以不考虑连接用的导线的电阻，而输电线路需要考虑导线的电阻？（已知常温下 $\rho_{\text{铜}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ）
- 如图所示，一只鸟站在一条通电的铝质裸导线上，导线的横截面积为 185 mm^2 ，导线上通过的电流为 400 A，鸟两爪间的距离为 5 cm，铝的电阻率 $\rho = 2.9 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ 。求鸟两爪间的电压。在解题过程中你对小鸟的电阻做了怎样的近似处理？为什么？



第3题



第5题

请提问



第3节

电功与电热

在生产生活中，电灯把电能转化为光能，给我们带来光明；电动机把电能转变为动能，使电风扇旋转，使电力机车飞驰；电热器（图 3-14）把电能转变为内能，在寒冷的冬天送来温暖……人类生活与电能密切相关。那么，如何理解电流做功？电能如何转化为其他形式的能？本节将学习电功、电功率和电能转化为电热的规律——焦耳定律。



图 3-14 电热器

1. 电功和电功率

我们先通过一个有趣的小实验看看电能是如何转化为其他形式的能的。



迷你实验室

灯泡上的小风车

把一根大头针插在一小块硬纸片上，用胶水把硬纸片贴在功率不太大的白炽灯泡上，使大头针的针尖朝上；然后用三张纸条做一个小风车，把风车放在针尖上（图 3-15）。打开台灯，观察有什么现象发生。

做此实验时，时间不要过长，要注意用电安全，避免被灯泡烫伤或被大头针扎伤等。

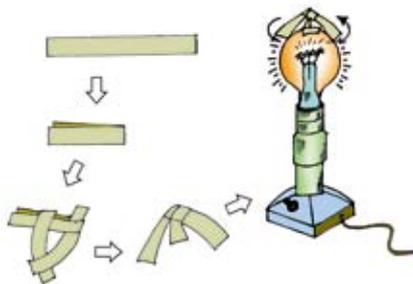


图 3-15 实验装置示意图

我们会发现，小风车转了起来，这是因为电能转化为灯泡的内能、光能，部分内能通过空气又转化为小风车的动能。电能转化为其他形式的能的过程就是电流做功的过程，消耗了多少电能，电流就做了多少功。在导体两端加上电压，导体中就会产生电场，导体中的自由电荷在电场力的作用下就会发生定向移动，在这个过程中，电场力就对电荷做了功，这就是我们常说的**电功**（electric work）。



如果电路两端的电压为 U ，在时间 t 内通过电路任一横截面的电荷量为 q ，则电功的大小（或消耗的电能） $W = qU$ 。因为 $q = It$ ，所以

$$W = UIt$$

上式表明，电流在一段电路上所做的功 W 等于这段电路两端的电压 U 、电路中的电流 I 和通电时间 t 三者的乘积。在国际单位制中，电功的单位是焦耳，符号为 J。

当用电器功率较大或工作时间较长时，电功就较大，焦耳作为电功单位就显得较小，故常用千瓦·时（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ）作为电功的单位，千瓦·时俗称度。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

电流做功（或消耗电能）的快慢用电功率 P 表示。电流做的功与所用时间之比称为**电功率**（electric power），用公式表示为

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

在国际单位制中，电功率的单位是瓦特，简称瓦，符号为 W。

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$$

电功率是衡量用电器做功快慢的物理量。在电气设备或家用电器的铭牌（图 3-16）和使用说明书上，一般都标有额定电压和额定功率。在生产生活中，有时用电器的工作电压不等于其额定电压，这种情况下用电器的实际功率也不等于其额定功率。

防触电保护类别	I 类	最大功率	2 000 W
防水等级	IPX4	额定洗涤输入功率	200 W
额定电压	220 V~	额定脱水输入功率	400 W
额定频率	50 Hz	发热管额定功率	1 800 W
额定洗涤容量	7.0 kg	产品编号、制造日期	见条形码
额定脱水容量	7.0 kg	全自动滚筒式洗衣机	

图 3-16 某洗衣机的铭牌

2. 焦耳定律

电流通过电气设备时，导体一般都会产生一定的热量，这就是电流的热效应。电流通过导体时产生热量的多少与哪些因素有关呢？

英国物理学家焦耳（J. Joule, 1818—1889）用实验研究了电流的热效应后，得出如下规律：**电流通过导体产生的热量与电流的二次方成正比，与导体的电阻及通电时间成正比**。这就是**焦耳定律**（Joule law），用公式表示为

$$Q = I^2 R t$$

在国际单位制中，热量 Q 的单位是焦耳，符号为 J。

从微观角度看，当导体内的电子在电场力作用下做定向运动时，会与金属离子不断碰撞，在碰撞过程中把一部分动能传递给离子，使离子的热运动加剧，导致导体发热。电流越大、电阻越大，碰撞就越频繁、剧烈，导体发热就越多。

电路中电功和电热的大小是否相等呢？这要看电路是纯电阻电路还是非纯电阻电路。如果电路是只含电阻的纯电阻电路（如电炉、白炽灯等），电流所做的电功与产生的热量相等，即 $W = Q = UIt = I^2Rt$ ，电能完全转化为内能。如果电路是非纯电阻电路（如还含有电动机、电解槽、电源等其他转换能量的装置），电能除部分转化为内能外，还要转化为机械能、化学能等。这时，电功应利用公式 $W = UIt = I^2Rt + E_{\text{其他}}$ 计算，产生的电热用 $Q = I^2Rt$ 计算，二者已不再相等。



科学书屋

焦耳

焦耳（图 3-17），英国物理学家。

18 世纪，人们对热的本质的研究走上了一条弯路，一直没有办法解决热和功的关系问题，是焦耳为这一问题的最终解决指明了道路。

1840 年，焦耳通过实验发现，导体在一定时间内产生的热量与导体的电阻及电流的二次方之积成正比。四年之后，俄国物理学家楞次公布了他的大量实验结果，并进一步验证了该结论的正确性。因此，该结论也称为焦耳—楞次定律。

1843 年，焦耳又设计了一个实验：将一个小线圈绕在铁芯上，当铁芯磁场发生变化时，小线圈产生感应电流，用电流计测量线圈电流，把线圈放在装水的容器中，测量水温以计算热量。这个电路是完全封闭的，没有外界电源供电，水温的升高只是电能转化为内能的结果，整个过程不存在“热质”的转移。这一实验结果完全否定了“热质说”。

后人为了纪念焦耳，把功和能的单位命名为焦耳。



图 3-17 焦耳

例题

某玩具的直流电动机线圈的电阻一定，在线圈两端加上 0.3 V 的电压时，电流为 0.3 A，此时因电压过低，电动机不能转动。若在线圈两端施加 2 V 的电压，电流为 0.8 A，此时电动机正常工作。当正常工作时，该电动机的输入电功率是多少？电动机的输出机械功率是多少？



分析

当电动机不转动时，消耗的电能全部转化为内能，可视为纯电阻电路，由欧姆定律可求得电动机线圈电阻；当电动机转动时，消耗的电能一部分转化为电动机因发热所具有的内能，另外一部分转化为电动机转动所具有的机械能。

解

已知电动机不能转动时， $U_1 = 0.3 \text{ V}$ ， $I_1 = 0.3 \text{ A}$ 。当电动机正常工作时， $U_2 = 2 \text{ V}$ ， $I_2 = 0.8 \text{ A}$ 。

设电动机的电阻为 R 。电动机不转动时，根据欧姆定律

$$R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{0.3}{0.3} \Omega = 1 \Omega$$

电动机正常转动时，输入功率

$$P_{\text{入}} = U_2 I_2 = 2 \times 0.8 \text{ W} = 1.6 \text{ W}$$

热功率

$$P_{\text{热}} = I_2^2 R = 0.8 \times 0.8 \times 1 \text{ W} = 0.64 \text{ W}$$

机械功率

$$P_{\text{机}} = P_{\text{入}} - P_{\text{热}} = (1.6 - 0.64) \text{ W} = 0.96 \text{ W}$$

讨论

由结果可以看出，电源输入电动机的电能大部分转化为机械能，只有少部分转化为电热损耗了。在实际应用中，应当尽量减少电热损耗。如果电风扇接通后由于某种原因被卡住，导致扇叶不转动，可能会发生什么现象？



策略提炼

在求解电功率问题时，一般需要先判断该电路是纯电阻电路还是非纯电阻电路，即电能除了转化为内能外，是否转化为机械能、化学能等其他形式的能。

若是纯电阻电路，输入功率等于热功率，消耗的电能等于电热；若是非纯电阻电路，输入功率大于热功率，消耗的电能大于电热。



迁移

关于电动机做功，往往视为非纯电阻电路问题。

如图 3-18 所示，一台直流电动机所加电压为 110 V ，通过的电流为 5 A 。若该电动机在 10 s 内把一个质量为 50 kg 的物体匀速提高了 9 m ，求电动机的电功率和电动机线圈的电阻。（不计摩擦，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

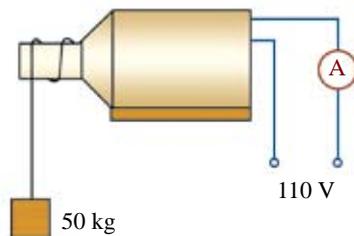


图 3-18 直流电动机提升货物示意图

3. 身边的电热

电流的热效应在生产生活中应用非常广泛。例如，电水壶、电饭锅、电暖器、电熨斗等（图 3-19），都利用了电流的热效应，它们的电阻丝都由电阻率较大的材料制成。这是为什么？

电阻焊（图 3-20）就是在被焊接的金属接触面上通过电流，利用接触电阻产生的热量得到适合焊接的高温，对接触面进行焊接的。



图 3-19 常见家用电热器具

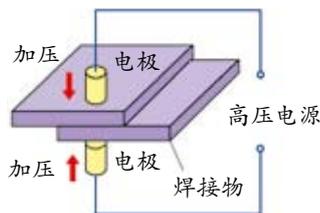


图 3-20 电阻焊示意图

电流的热效应也有不利的一面。例如，插头和插座之间、电线连接处如果接触不良，就会产生大电阻，容易发热，甚至迸出火花；发电机、电动机、变压器等电气设备的绕组都用铜导线绕制而成，电流通过绕组时发热，如果散热不好，就会烧坏绕组的绝缘层，酿成事故；在输电线路中，电流产生的热降低了电能的传输效率，如果通过的电流过大，发热过多散不出去时，还可能烧坏电线的绝缘层，引起漏电、触电等事故。在制造家用电器时，都要考虑设备的散热问题。例如，电视机和计算机显示器的后盖有很多孔，计算机的中央处理器上要安装散热片及风扇等。



节练习

1. 下列有关公式的说法正确的是

A. 计算电功时 $W = UIt$ 适用于任何电路

B. 对任何电路 $W = UIt = \frac{U^2}{R} t$

C. 在非纯电阻电路中， $UI > I^2 R$

D. 计算焦耳热时， $Q = I^2 R t$ 适用于任何电路

2. 在电阻两端加上稳定电压时，一段时间内通过该电阻的电荷量为 0.3 C，消耗的电能为 0.9 J。若在相同时间内通过该电阻的电荷量为 0.6 C，则在其两端需加的电压和消耗的电分别是多大？

3. 功率为 10 W 的发光二极管（LED 灯）的亮度与功率为 60 W 的白炽灯相当。根据国家节能战略，普通白炽灯应被逐步淘汰。假设每个家庭有三只 60 W 的白炽灯，均用 10 W 的 LED 灯替代，每天开灯时间为 4 h。请估算出全国一年节省的电能。



4. 某商场安装了一台倾角为 30° 的自动扶梯，该扶梯在电压为 380 V 的电动机带动下以 0.5 m/s 的恒定速率向斜上方移动，电动机的最大输出功率为 4.9 kW。不载人时测得电动机中的电流为 5 A，若载人时扶梯的移动速率与不载人时相同，忽略电动机内阻的热损耗，则不载人时扶梯运行的电功率是多大？若输送一个人的功率为 120 W，则这台自动扶梯可同时乘载多少人？
5. 一台小型电动机在 3 V 电压下工作，匀速提升重力为 4 N 的物体时，通过它的电流是 0.2 A，在 30 s 内将该物体匀速提升 3 m。不计除电动机线圈发热之外的能量损失，求：
- (1) 电动机的输入功率；
 - (2) 在提升重物的 30 s 内电动机线圈所产生的热量；
 - (3) 线圈的电阻。
6. 下表是某品牌电动自行车的主要技术参数。

整车质量	40 kg	蓄电池工作电压	36 V
最高车速	25 km/h	一次充电电耗	0.6 kW · h
电动机效率	75%	充电时间	8 h
最大骑行噪声	62 dB	一次充电连续行驶里程	50 km

质量 $m = 60$ kg 的人骑该电动自行车在水平路面上以 6 m/s 的速度匀速行驶，受到的阻力是人与车总重的 0.02。取重力加速度 $g = 10$ m/s²。

- (1) 若以这一速度连续行驶 10 min，电动机至少做多少功？
- (2) 行驶过程中通过电动机的电流多大？

请提问



第4节

串联电路和并联电路

常见的电路都是用各种电学元件以特定方式连接而成的，其最基本的连接方式就是串联和并联。因连接方式的不同，电路中各部分的电流、电压和电阻的关系也不同。本节我们将研究这两种基本电路连接方式的特点。

1. 串联电路的分压作用

将电路中的元件逐个顺次串接起来(图 3-21)，这个电路就是**串联电路** (series circuits)。若将初中学习的串联电路拓展到 n 个元件，便有：

在串联电路中，各处的电流相等。

$$I = I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$

串联电路的总电压等于各部分电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n$$

另外，我们从串联电路的电流和电压的两个基本特点出发，根据欧姆定律，可得到类似图 3-22 所示的串联电路 (n 个电阻) 的两个重要特点。

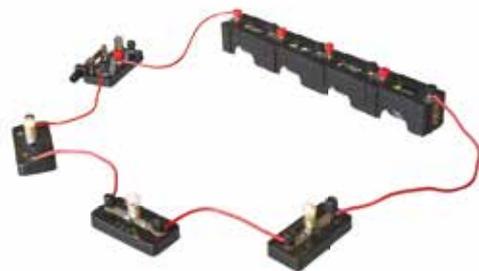


图 3-21 电路元件顺次串接

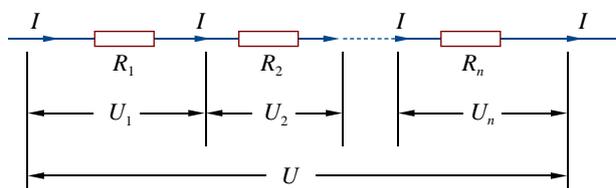


图 3-22 n 个电阻的串联电路

特点 1 串联电路的等效总电阻阻值等于各电阻阻值之和。

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$



特点2 串联电路中各电阻两端的电压与其阻值成正比。

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = I$$

由串联电路的特点2可知，串联电路中的每一个电阻都要分担一部分电压，电阻越大，它分担的电压就越多。串联电阻的这种作用称为串联电路的分压作用。

串联电路的分压作用有很重要的应用。例如，实验室中常用的电压表就是利用串联电路的分压作用，由小量程的电流计改装而成的。在改装后的电压表中，电流计称为表头。下面我们从串联电路的角度看看电流计是如何被改装为电压表的。

如图3-23所示，电流计的指针达到最大刻度时的满偏电流 I_g 一般在几十微安到几毫安之间，而电流计的内阻（即电流计自身电阻） R_g 在几百欧到几千欧之间，对应的满偏电压 $U_g = I_g R_g$ 一般很小。如果直接用电流计去测量较大的电压，电流计很容易被烧坏，这时必须给它串联一个较大的分压电阻 R 。 R 的阻值越大，分担的电压 U_R 也就越多（图3-24）。经过这样改装的电流计就是常见的电压表（图3-25），可测量较大的电压（ $U = U_g + U_R$ ）。

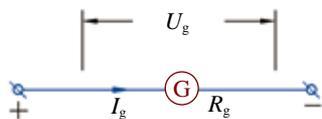


图 3-23 电流计原理示意图

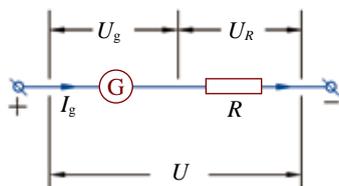


图 3-24 电压表的分压原理示意图



图 3-25 电压表

2. 并联电路的分流作用

将电路中所有元件的一端连接在一起，另一端也连接在一起，接在电路中（图3-26），这个电路就是**并联电路**（parallel circuits）。若将初中学习的并联电路扩展到 n 个元件，便有：

并联电路中各支路的电压相等。

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n$$

并联电路的总电流等于各支路电流之和。

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n$$



图 3-26 电路元件并联在电路中

我们从并联电路的两个基本特点出发，根据欧姆定律及图 3-27，可推导出下面关于并联电路（ n 个电阻）的两个重要特点。

特点 1 并联电路的等效总电阻阻值的倒数等于各支路的电阻阻值的倒数之和。

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$$

特点 2 并联电路中通过各支路电阻的电流跟它们的阻值成反比。

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \cdots = I_n R_n = U$$

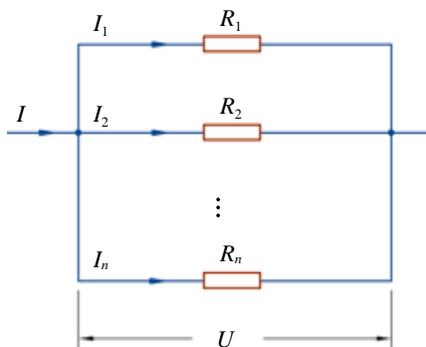


图 3-27 n 个电阻的并联电路

由并联电路的特点 2 可知，并联电路中每一条支路上的电阻都要分担总电流的一部分。支路电阻越小，它分担的电流就越大。并联电阻的这种作用称为并联电路的分流作用。

由并联电路的分流作用可知，如果并联在一起的几个电阻阻值相差几个数量级，电流就几乎全部由低阻值支路通过，高阻值支路通过的电流可忽略。例如，为了预防触电，带有金属外壳的电器一般要接地，一旦电器漏电，接触电器外壳的人体和接地线形成并联电路，且接地线的电阻阻值比人体的电阻阻值小得多，由于分流作用，绝大部分电流会沿着接地线入地，流过人体的电流就在安全范围内了。

能了解电阻与材料、长度和横截面积的定量关系，了解串、并联电路电阻的特点，能理解电功、电功率及焦耳定律的内涵；能分析生产生活中与电阻、电路相关的电学问题，能用焦耳定律解释生产生活中的电热现象，能解决一些电热问题。具有与恒定电流相关的能量观念。

——物理观念

素养提升

实验室中常用的电流表就是利用并联电路的分流特点由电流计改装而成的（图 3-28）。如图 3-29 所示，当电流计和一个电阻并联时，并联电阻越小，分担的电流就越大，干路中就能流过更大的电流（ $I = I_g + I_R$ ）了。



图 3-28 电流表

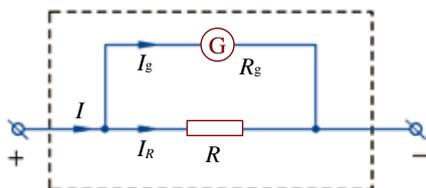


图 3-29 单量程电流表原理示意图

由前面分析可知，将电流计改装为电压表，需要串联电阻分压；将电流计改装为电流表，则需要并联电阻分流。下面，我们通过例题来进一步讨论分压与分流的相关问题。



例题

图 3-30 为实验室常用的两个量程的电压表原理图。当使用 O 、 A 两接线柱时，量程为 3 V ；当使用 O 、 B 两接线柱时，量程为 15 V 。已知某电流计的内阻 $R_g = 100\ \Omega$ ，满偏电流 $I_g = 1\text{ mA}$ ，求分压电阻 R_1 和 R_2 的阻值。

分析

由题意和电路图可知，该电压表量程分别为 3 V 和 15 V 时，对应的分压电阻分别为 R_1 和 $R_1 + R_2$ 。当电压表所加电压为量程值时，通过电流计的电流恰好达到满偏电流。根据串联电路电流、电压与电阻的特点及欧姆定律，可由已知量求出分压电阻的阻值。

解

已知电压表量程分别为 $U_1 = 3\text{ V}$ ， $U_2 = 15\text{ V}$ ； $R_g = 100\ \Omega$ ， $I_g = 1\text{ mA} = 1 \times 10^{-3}\text{ A}$ 。

当电压表使用 O 、 A 接线柱时，根据欧姆定律

$$I_g = \frac{U_1}{R_g + R_1}$$

$$\text{即 } R_1 = \frac{U_1}{I_g} - R_g = \left(\frac{3}{1 \times 10^{-3}} - 100 \right) \Omega = 2.9 \times 10^3 \Omega$$

当电压表使用 O 、 B 接线柱时，根据欧姆定律

$$I_g = \frac{U_2}{R_g + R_1 + R_2}$$

$$\text{即 } R_2 = \frac{U_2}{I_g} - R_g - R_1 = \left(\frac{15}{1 \times 10^{-3}} - 100 - 2.9 \times 10^3 \right) \Omega = 1.2 \times 10^4 \Omega$$

讨论

R_1 和 $R_1 + R_2$ 分别是量程为 3 V 和 15 V 时的分压电阻。从结果可以看出，电压表有较大的内阻（即电压表自身电阻），且其内阻包含电流计的内阻和分压电阻两部分；要让改装后的电压表量程越大，需要跟电流计串联的分压电阻也越大。

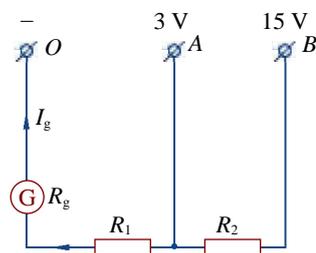


图 3-30 实验室用电压表原理示意图

策略提炼

电流计改装电压表通常要满足三个条件：须串联分压电阻；改装的电压表达达到量程值时电流计恰好达到满偏电流；串联的分压电阻往往远大于电流计的内阻。

迁移

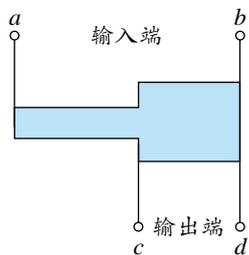
如果把电流计改装为较大量程的电流表，应该怎样确定分流电阻？请分析求解下面问题。

上述例题中满偏电流为 1 mA ，内阻为 $100\ \Omega$ 的电流计，把它改装成量程是 3 A 的电流表，应并联多大的电阻？

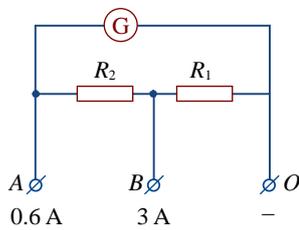


节练习

- 电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 串联在电路中，已知 $R_1 = 10 \Omega$ ， $R_3 = 5 \Omega$ ， R_1 两端的电压为 6 V ， R_2 两端的电压为 12 V ，则
 - 电路中的电流为 2.4 A
 - 电路中的电流为 0.6 A
 - 电阻 R_2 的阻值为 20Ω
 - 三只电阻两端的总电压为 21 V
- 证明并联电阻的等效电阻阻值总小于其中任意一条支路电阻的阻值。
- 某电路由电源、两只小灯泡和两个开关组成。当接通开关 S_1 ，断开 S_2 ，两只灯泡都不太亮；当接通开关 S_1 和 S_2 ，一只灯泡很亮，另一只灯泡不亮；当断开开关 S_1 ，两只灯泡都不亮。请画出该电路图。
- 有一个电流计 G ，内阻 $R_g = 10 \Omega$ ，满偏电流 $I_g = 3 \text{ mA}$ 。要把它改装成量程为 3 V 的电压表，要串联多大的电阻？改装后电压表的内阻是多大？
- 电子式互感器是数字变电站的关键装备之一。如图所示，某电子式电压互感器探头的原理为电阻分压， ac 间的电阻是 cd 间电阻的 $n-1$ 倍。在某次测量中，输出端数字电压表的示数为 U ，求输入端的电压。
- 实验室常用的两个量程的电流表原理如图所示。当使用 O 、 A 两接线柱时，量程为 0.6 A ；当使用 O 、 B 两接线柱时，量程为 3 A 。已知电流计的内阻 $R_g = 25 \Omega$ ，满偏电流 $I_g = 3 \text{ mA}$ ，求分流电阻 R_1 和 R_2 的阻值。



第5题



第6题

请提问



第5节

科学测量： 长度的测量及测量工具的选用

日常生活中，测量长度的工具通常有米尺、卷尺等。但因为精度问题，不能用它们来直接测量细金属丝直径、薄片厚度等细小尺寸。本节将认识两种精度较高的长度测量工具——游标卡尺和螺旋测微器，并讨论如何根据实际需要选择合适的测量工具。

1. 游标卡尺的测量原理及使用

(1) 游标卡尺的测量原理

游标卡尺是一种可测量长度、内外径、深度的量具。它由主尺和附在主尺上能滑动的游标尺两部分构成（图 3-31）。游标尺上部有一紧固螺钉，可将其锁定在主尺的任意位置。主尺和游标尺上的内测量爪通常用来测量内径，外测量爪通常用来测量长度和外径，深度尺通常用来测量容器的深度。

游标卡尺的游标尺上通常有 10、20 或 50 个分格，分别称为十分度、二十分度和五十分度的游标卡尺。

如图 3-32 所示，十分度游标卡尺主尺的最小刻度为 1 mm，游标尺上共有 10 个等分刻度，对应长度为 9 mm，即游标尺的每个刻度为 0.9 mm，比主尺的最小刻度小 0.1 mm。当量爪并拢时，主尺和游标尺的零刻度线对齐，游标尺的第 10 条刻度线恰好与主尺的 9 mm 刻度线对齐。用十分度游标卡尺测量可准确到 0.1 mm，即精度为 0.1 mm。同理，二十分度游标卡尺，是将游标尺上的 19 mm 等分为 20 份，精度为 0.05 mm；五十分度游标卡尺，是将游标尺上的 49 mm 等分为 50 份，精度为 0.02 mm。

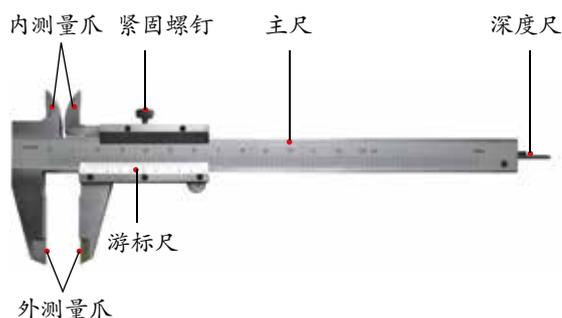


图 3-31 游标卡尺的结构

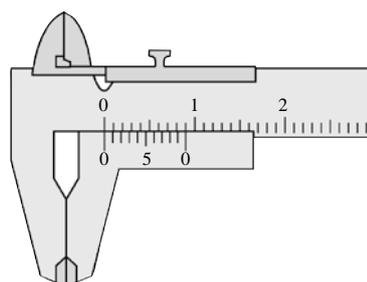


图 3-32 十分度游标卡尺示意图

(2) 游标卡尺的读数

对游标卡尺读数时，首先以游标尺零刻度线为准在主尺上读取毫米整数，然后看游标尺上第几条刻度线与主尺的刻度线对齐，若没有正好对齐的线，则取最接近对齐的线进行读数。若用 l 表示物体的长度， n 表示游标尺零刻度线前整毫米数， k 表示与主尺对齐的游标尺刻度数， m 为游标卡尺的精度，则 $l = n + km$ 。

例如，用十分度游标卡尺测量某物体的长度，示数如图 3-33 (a) 所示，被测物体的长度是多少？由图可以看出，游标尺零刻度线前主尺的整毫米数为 7 mm，故 $n = 7 \text{ mm}$ ；游标尺上第 6 条刻度线（不计零刻度线）与主尺上的某条刻度线对齐，由此可知， $k = 6$ ；游标卡尺的精度为 0.1 mm。因此，被测物体的长度为 $7 \text{ mm} + 6 \times 0.1 \text{ mm} = 7.6 \text{ mm}$ 。

再如，若用五十分度游标卡尺测量某物体的长度，示数如图 3-33 (b) 所示，则被测物体的长度是多少？由图可以看出，游标尺零刻度线前主尺的整毫米数为 14 mm，故 $n = 14 \text{ mm}$ ；游标尺上第 32 条刻度线与主尺上的某条刻度线对齐，由此可知， $k = 32$ ；游标卡尺的精度为 0.02 mm。因此，被测物体长度为 $14 \text{ mm} + 32 \times 0.02 \text{ mm} = 14.64 \text{ mm}$ 。

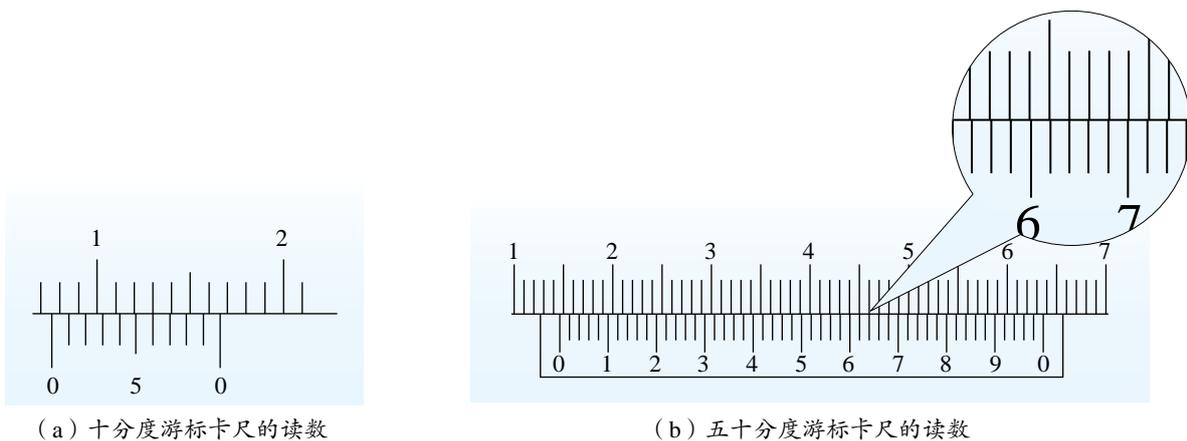


图 3-33 不同分度游标卡尺读数示例

(3) 游标卡尺的使用及注意事项

测量时，右手拿主尺，大拇指移动游标尺，左手拿待测物体，当其与测量爪相贴时，即可锁定螺钉，读取数据（图 3-34）。

游标卡尺是比较精密的测量工具，使用时要轻拿轻放，移动游标尺不能用力过猛，两测量爪与待测物的接触不宜过紧。读数时，应通过螺钉将游标尺锁定于主尺。



图 3-34 测量工件长度

2. 螺旋测微器的测量原理及使用

(1) 螺旋测微器的测量原理

螺旋测微器又称千分尺，是比游标卡尺更精密的长度测量工具。如图 3-35 所示，螺旋测微器的测砧和固定刻度均固定于尺架上，微调旋钮、粗调旋钮、可动刻度与测微螺杆连



在一起，通过精密螺纹套在固定刻度上。测微螺杆每旋转一周，便沿着旋转轴线方向前进或后退一个螺距的距离。因此，沿轴线方向移动的微小距离，就能通过圆周上的读数表示出来。



图 3-35 螺旋测微器的结构

螺旋测微器的刻度由固定刻度和可动刻度两部分构成。固定刻度的中间线两侧分别有毫米刻度和半毫米刻度。可动刻度部分每旋转一周，测微螺杆前进或后退 0.5 mm，而可动刻度分为 50 等分，每旋转一个可动刻度，测微螺杆前进或后退 $\frac{0.5 \text{ mm}}{50} = 0.01 \text{ mm}$ ，所以，用螺旋测微器测量长度可精确到 0.01 mm。

(2) 螺旋测微器的读数

测量时，在测微螺杆快靠近被测物体时应改用微调旋钮，这样既能使测量结果精确，又可避免产生过大的压力使螺旋测微器受损。读数时，要注意半毫米刻度线是否露出、可动刻度的估读以及是否存在零点误差等。

先读固定刻度的毫米刻度，再读半毫米刻度。若半毫米刻度线已露出，记作 0.5 mm；若半毫米刻度线未露出，则记作 0.0 mm。最后再读可动刻度（注意估读），记作 $k \times 0.01 \text{ mm}$ 。最终读数结果为 $l = n + k \times 0.01$ ，单位为 mm。其中， l 为物体的长度， n 表示固定刻度指示的刻度数（注意半毫米刻度）， k 为与固定刻度中间线所对齐的可动刻度数。

例如，在图 3-36 (a) 中，固定刻度读数是 5，可动刻度读数是 2.0（0 是估读数），则

$$l = n + k \times 0.01 \text{ mm} = 5 \text{ mm} + 2.0 \times 0.01 \text{ mm} = 5.020 \text{ mm}$$

再如，在图 3-36 (b) 中，固定刻度读数是 8.5，可动刻度读数是 2.3（3 是估读数），则

$$l = n + k \times 0.01 \text{ mm} = 8.5 \text{ mm} + 2.3 \times 0.01 \text{ mm} = 8.523 \text{ mm}$$

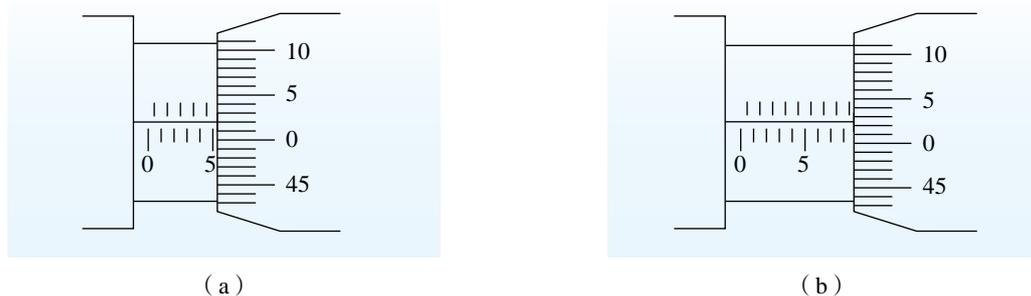


图 3-36 螺旋测微器读数示例

(3) 螺旋测微器的使用及注意事项

在使用螺旋测微器之前，首先应检查零点。用左手拿尺架，右手缓缓转动微调旋钮，使测微螺杆和测砧接触，至棘轮发出声音为止，此时可动刻度上的零刻度线应当和固定刻度上的中间线对齐，否则就有零点误差。

接着，仍是左手拿尺架，右手转动粗调旋钮，使测微螺杆与测砧间距稍大于被测物。放入被测物，转动微调旋钮到夹住被测物，直至棘轮发出声音，随即拨动止动旋钮使测微螺杆固定，然后读数。

3. 长度测量工具的选用

到目前为止，我们已学习了米尺、游标卡尺、螺旋测微器等长度测量工具的使用。通常情况下，测量不同的长度所用的测量工具是不同的。那么，应当如何选择测量工具呢？

所有测量工具都有一定的量程、测量精度和测量条件。例如，米尺的精度为 1 mm，可测量小于 1 m 的普通物体的长度；游标卡尺的精度常见的有 0.1 mm、0.05 mm 和 0.02 mm，一般可测量小于 150 mm 的物体的内径、外径、深度或长度；螺旋测微器的精度为 0.01 mm，可测量小于 50 mm 的物体的相关尺寸。因此，在测量前，应根据测量对象和测量要求合理选择测量工具。一般应考虑以下几个方面：

第一，根据测量所需要的精度来选择测量工具。例如，一个机器零件的加工尺寸要求误差不大于 0.02 mm，如果用精度为 1 mm 的米尺来测量，显然无法达到测量要求，这时我们可选择游标卡尺进行测量。

第二，根据对被测对象估计值的大小选择量程合适的测量工具。例如，测量一本书的长度，可用米尺，而不宜用游标卡尺或螺旋测微器。

第三，符合测量的经济性。在保证测量精度的前提下，应全面考虑测量工具的成本、耐磨性、测量效率等因素，选择比较经济、测量效率较高的测量工具。

随着科学技术的发展，长度测量范围日益扩大，对测量工具的测量精度和效率的要求越来越高，测量工具也不断改进。例如，利用光束的某些特性设计和制造的激光测距仪，量程大、精度高、测量便捷。

4. 实验：长度的测量

实验目的

- (1) 测量空心圆筒的外径、内径和深度及大头针中间位置附近的直径。
- (2) 学会使用游标卡尺和螺旋测微器，能根据实际需要选择合适的测量工具。

实验器材

游标卡尺、螺旋测微器、空心圆筒、大头针。



实验原理和设计

请根据实验目的和实验器材设计实验方案。

实验步骤

选用游标卡尺或螺旋测微器进行多次测量。请写出实验步骤，完成实验操作。

数据分析

将测量的数据记入你设计的表格中，并计算测量项目的平均值。请分析测量到的数据并得出结论。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

若需要测量小钢球的直径，应选择哪种测量工具？分别用游标卡尺和螺旋测微器进行测量，并比较测量结果。



安全警示

按游标卡尺和螺旋测微器的使用方法和注意事项进行测量，以保护测量工具。避免大头针划伤手指。

能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题；能设计实验方案与实验步骤，能选用游标卡尺、螺旋测微器等实验器材进行实验；能记录并分析实验数据、测得相关尺度；能撰写完整的实验报告，在报告中能呈现设计的实验方案、实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论，能进行反思与交流。

注意提升实验器材的选择和使用能力、测量数据的读取能力。

——科学探究

素养提升

迷你实验室

测量细金属丝的直径

测量细金属丝的直径时，若只是估测，我们可将金属丝在铅笔上紧紧缠绕 n 匝，每匝之间不重叠且不留空隙，用刻度尺测出这 n 匝金属丝排列的长度（图 3-37），然后估算出细金属丝的直径。若要精确测量，我们应选择螺旋测微器。测量时，转动细金属丝并在其三个不同的位置上各测一次，求出平均值。

请说说以上两种测量方法的道理。

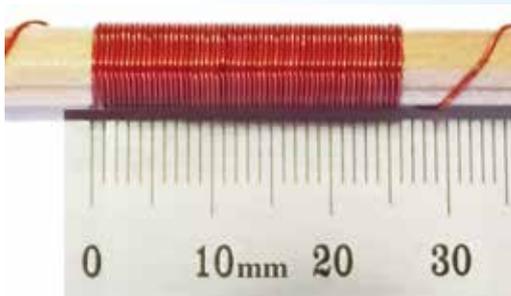
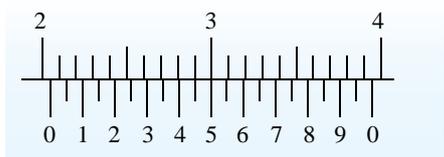


图 3-37 测量 n 匝金属丝排列的长度

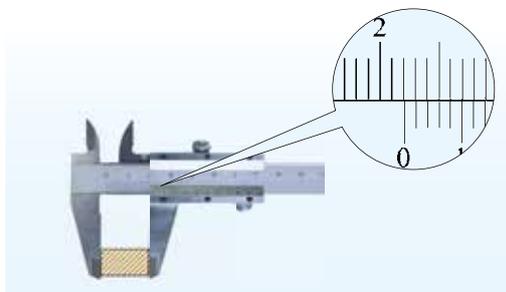
节练习

1. 请撰写“长度的测量及测量工具的选用”的实验报告，注意在报告中呈现设计的实验方案、实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论。

2. 甲同学用二十分度的游标卡尺测一物体的长度，测得的结果如图 (a) 所示，物体的长度为 _____ mm；乙同学用五十分度游标卡尺测另一物体的长度，测得的结果如图 (b) 所示，物体的长度为 _____ mm。



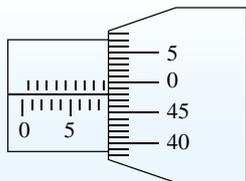
(a)



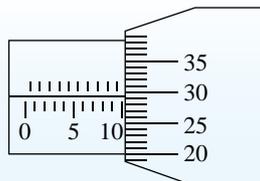
(b)

第2题

3. 用螺旋测微器测一小球直径时，示数如图 (a) 所示，小球的直径是 _____ mm。用螺旋测微器测另一物体的长度时，示数如图 (b) 所示，物体的长度为 _____ mm。



(a)



(b)

第3题

4. 要测量一根钢丝的直径 (约 0.5 mm)，为了得到尽可能精确的测量数据，应从米尺、游标卡尺 (十分度) 和螺旋测微器中，选择 _____ 进行测量。
5. 用不同的工具测量某物体的长度时，有下列不同的结果：
 ① 2.4 cm ② 2.37 cm ③ 2.372 cm ④ 2.372 1 cm
 其中，用最小分度值为厘米的刻度尺测量的结果是 _____，用十分度的游标卡尺测量的结果是 _____。
6. 请用三种不同的测量工具测量一段长约 1 m、直径约 0.1 mm 的金属丝的直径，并比较这些结果。

请提问

第6节

科学测量：金属丝的电阻率

电阻率是导体的重要电学参量，但它不像电流、电压那样可直接用电表测出。那么，怎样测量导体的电阻率呢？本节将学习用伏安法测金属丝的电阻，并根据电阻公式得到其电阻率的方法。

1. 伏安法测电阻

我们已学过用伏安法测电阻，知道电流表与电压表有不同的连接方法。例如，在图 3-38 (a) 中，电压表与待测电阻并联，二者再与电流表串联，这种连接方法称为电流表外接法，简称外接法；在图 3-38 (b) 中，电流表与待测电阻串联，二者再与电压表并联，这种连接方法称为电流表内接法，简称内接法。

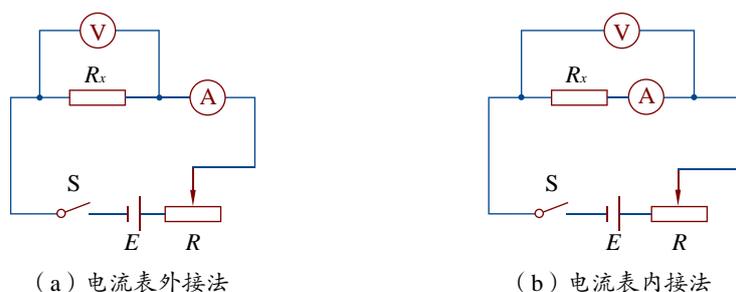


图 3-38 伏安法测电阻电路图

读出电压表和电流表的示数 U 和 I ，便可得出电阻的测量值 $R_{\text{测}} = \frac{U}{I}$ 。在图 3-38 (a) 所示的外接法中，若用 $R_{\text{真}}$ 表示待测电阻 R_x 的真实值， I_x 、 I_V 和 U_V 分别表示流经 R_x 的电流、流经电压表的电流和电压表测出的电压，则测得的电阻

$$R_{\text{测}} = \frac{U}{I} = \frac{U_V}{I_x + I_V} < \frac{U_V}{I_x} = R_{\text{真}}$$

即外接法测出的电阻测量值小于真实值，这是因为电压表分掉了一部分电流。根据并联电路特点可知，电压表的内阻比待测电阻大得越多，分掉的电流越小，误差越小。

在图 3-38 (b) 所示的内接法中, 若电阻两端的电压为 U_x , 电流表两端的电压为 U_A , 则测得的电阻

$$R_{\text{测}} = \frac{U}{I} = \frac{U_x + U_A}{I_x} > \frac{U_x}{I_x} = R_{\text{真}}$$

即内接法测出的电阻测量值大于真实值, 这是因为电流表分掉了一部分电压。根据串联电路特点可知, 电流表的内阻比待测电阻小得越多, 分掉的电压越小, 误差越小。

不论外接法还是内接法, 测量都有误差。为尽量减小误差, 若待测电阻远小于电压表内阻, 则应选择外接法; 若待测电阻远大于电流表内阻, 则应选择内接法。

我们把内阻为零的电流表称为理想电流表, 内阻无穷大的电压表称为理想电压表。可见, 理想电流表和理想电压表都是理想模型, 现实中并不存在。

2. 测量金属丝的电阻率

实验目的

- (1) 测量金属丝的电阻率。
- (2) 学习伏安法测电阻的方法。

实验器材

刻度尺、螺旋测微器、学生电源、滑动变阻器、电压表、电流表、开关、金属丝、导线。

实验原理与设计

根据电阻公式 $R = \rho \frac{l}{S}$, 可得 $\rho = R \frac{S}{l}$ 。用伏安法测量金属丝的电阻, 由于金属丝电阻通常较小 (长度有限), 一般选用外接法 (图 3-39)。用螺旋测微器测量金属丝的直径, 用刻度尺测出金属丝的长度。根据电阻公式, 计算出金属丝的电阻率。

实验步骤

- (1) 用螺旋测微器多次测量金属丝的直径, 算出其平均值。
- (2) 把金属丝两端固定在接线柱上, 使其拉直, 用刻度尺多次测量接入电路部分的金属丝的长度, 算出其平均值。
- (3) 按设计的电路图连接电路, 并将滑动变阻器的滑片置于阻值最大端。
- (4) 闭合开关, 改变滑片位置, 测出若干组电流、电压值, 填入你设计的表格中。
- (5) 测量结束后打开开关, 拆除电路, 整理实验器材。

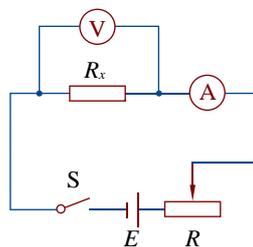


图 3-39 外接法测电阻电路图



安全警示

严格遵守螺旋测微器的使用规则。接通开关前, 注意检查电源是否短路。正确连接电表, 以免损坏实验器材。



数据分析

将测量的数据记入你设计的表格中，并计算出金属丝的电阻值、横截面积和长度，将以上计算出的数据代入 $\rho = R \frac{S}{l}$ 中，求出电阻率。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

为什么金属丝的长度和直径的测量要选用不同的长度测量工具？选择测量工具的依据是什么？

能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题；能在他人指导下制订实验方案，能选用电流表和电压表进行实验，能考虑实验中的安全问题；能分析实验数据，测得金属丝的电阻率；能撰写完整的实验报告，在报告中能呈现设计的实验表格，以及数据分析过程和实验结论，能进行反思与交流。

注意提升实验设计能力、实验器材的选用能力和误差分析能力。

——科学探究



物理聊吧

若不知 R_x 的大约阻值，如何选择电路的连接方式？

可将电路按图 3-40 所示连接，将电压表的一个接头分别与 a 、 b 接触一下，观察两表示数的变化情况。

(1) 若电流表示数变化明显，说明电压表分流作用较强，应采用内接法， S 应接 b 。

(2) 若电压表示数变化明显，说明电流表分压作用较强，应采用外接法， S 应接 a 。想想这样判断的理由是什么，并与同学交流。

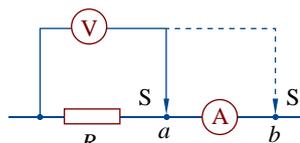


图 3-40 电路图

节练习

- 请撰写“测量金属丝的电阻率”的实验报告，注意在报告中呈现设计的实验表格，以及数据分析过程和实验结论，并对实验过程和实验结论进行反思与交流。
- 某同学做“测量金属丝的电阻率”实验。
 - 需要通过实验直接测量的物理量有_____（写出名称和符号）。
 - 这位同学在一次测量时，电流表、电压表的示数分别如图 (a) (b) 所示。由图可知，电流表、电压表的示数分别为_____ A 和 _____ V，由此可计算出金属丝的电阻为_____ Ω 。（电流表和电压表分别用 0.6 A 和 15 V 的量程）



第 2 题

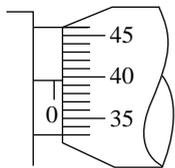
3. 在“测量金属丝的电阻率”实验中，所用测量仪器均已校准，待测金属丝接入电路部分的长度约为 50 cm。

(1) 用螺旋测微器测量金属丝的直径，其中某一次测量结果如图所示，其读数应为 _____ mm。

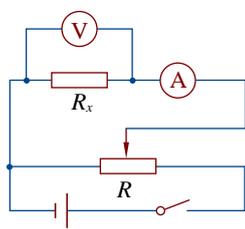
(2) 用伏安法测金属丝的电阻 R_x 。实验所用器材：电池组（电压 3 V）、电流表（内阻约 0.1Ω ）、电压表（内阻约 $3 \text{ k}\Omega$ ）、滑动变阻器 R （ $0 \sim 20 \Omega$ 、额定电流 2 A）、开关、导线若干。某小组同学利用以上器材正确连接好电路，进行实验测量，记录数据如下：

次数	1	2	3	4	5	6	7
U/V	0.10	0.30	0.70	1.00	1.50	1.70	2.30
I/A	0.020	0.060	0.160	0.220	0.340	0.460	0.520

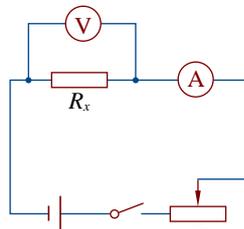
由以上实验数据可知，他们测量 R_x 采用的电路图是 _____ [选填“(a)”或“(b)”] 图。



第 3 (1) 题



(a)



(b)

第 3 (2) 题

(3) 请根据该小组记录的数据描绘出 $U-I$ 图像。由图像得到金属丝的阻值 $R_x =$ _____ Ω (结果保留 2 位有效数字)。

(4) 根据以上数据可以估算出该金属丝的电阻率约为

- A. $1 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{m}$ B. $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{m}$ C. $1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}$ D. $1 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$

请提问





章末练习

科学认知

1. 请研究你身边亮度可调的台灯，探究它调节灯光亮度的原理。
2. 如图所示电路中， L_1 、 L_2 灯泡的规格为“110 V 60 W”， L_3 、 L_4 灯泡的规格为“110 V 30 W”，各个灯泡的实际功率都没有超过它的额定功率，则这四盏灯泡中，实际消耗功率最大和最小的分别是哪个？请说明理由。
3. 在“伏安法测电阻”实验中，某同学用电流表外接法测电阻时，误将两表位置互换，则造成的结果为

- A. 电阻烧坏 B. 电流表烧坏
C. 电压表示数几乎为零 D. 电流表示数几乎为零

4. 如图所示电路中，当合上开关 S 后，两个标有“3 V 1 W”字样的灯泡均不发光，用电压表测得 $U_{ac} = U_{bd} = 6 \text{ V}$ 。如果各段导线及接线处均无问题，且只有一处故障，这说明

- A. 开关 S 未接通 B. 灯泡 L_1 的灯丝断了
C. 灯泡 L_2 的灯丝断了 D. 滑动变阻器 R 的电阻丝断了

5. 一个小型电动机加上 2 V 电压，电动机没有转动，测得电流为 1 A；加上 12 V 电压，观察到电动机转动了，则此时流过电动机的电流

- A. 小于 6 A B. 大于 6 A C. 等于 6 A D. 无法确定

6. 神经系统中，把神经纤维分为有髓鞘和无髓鞘两大类。现代生物学认为，髓鞘是由多层类脂物质——髓质累积而成的，具有很大的电阻，经实验测得髓质的电阻率 $\rho = 8 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。某生物体中某段髓质神经纤维可视为长度 20 cm、横截面半径 4 cm 的圆柱体，当在其两端加上电压 $U = 100 \text{ V}$ 时，该神经刚好发生反应。求引起神经纤维产生感觉的最小电流。

7. 工业上常用电导仪测量液体的电阻率。某电导仪有两个正对面积均为 1 cm^2 的正方形铂片，其间距 $d = 1 \text{ cm}$ 。若将两铂片全部浸入待测液体中，在两铂片间加 $U = 6 \text{ V}$ 的电压，测出其间的电流 $I = 1 \mu\text{A}$ ，则这种液体的电阻率为多少？

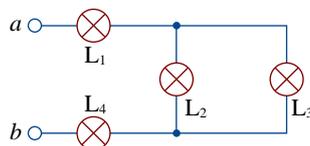
8. 如图所示的电路中，当 a 、 b 两端接入 100 V 电压时， c 、 d 两端用理想电压表测得电压为 20 V。求电阻 R_1 与 R_2 之比。

9. 一台电风扇电动机内阻为 20Ω ，接上 220 V 电源后正常工作，输入的电功率为 66 W。求：

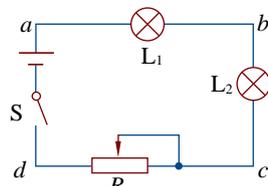
- (1) 电风扇正常工作时通过风扇电动机的电流；
- (2) 电风扇正常工作时，转化为机械能的功率和转化为内能的功率，以及电动机的效率；
- (3) 若接上电源后，扇叶被卡住，不能转动，则此时通过电动机的电流是多大？电动机消耗电能的功率和发热功率各是多大？

科学探究

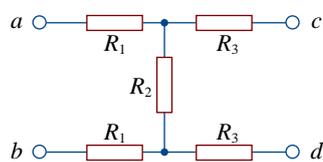
10. 某同学利用半偏法测量一电压表的内阻。实验室提供实验器材如下：待测电压表 V（量程 3 V、内阻约为 $3 \text{ k}\Omega$ ），电阻箱 R_0 （最大阻值为 $99\,999.9 \Omega$ ），滑动变阻器 R_1 （最大阻值 100Ω 、额定电流 2 A），



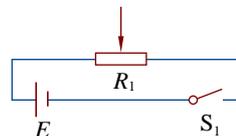
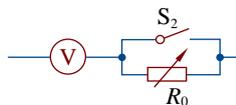
第 2 题



第 4 题



第 8 题



第 10 题

电压为 6 V 的直流电源，开关两个，导线若干。

(1) 该同学设计的测量电压表内阻的电路图的一部分如图所示，请将电路图补充完整。

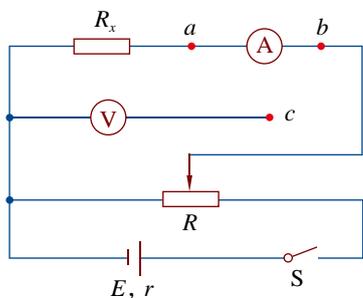
(2) 根据设计的电路写出测量步骤。

(3) 这种方法测出的电压表内阻与真实值相比，测量值偏大还是偏小？请说明理由。

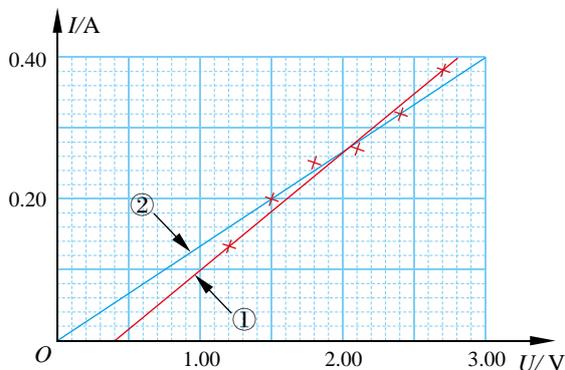
*11. 为了比较精确地测定阻值未知的定值电阻 R_x ，某同学设计了如图 (a) 所示的电路。

(1) 实验时，闭合开关 S，滑动变阻器的滑片滑至合适位置保持不变，将 c 点先后与 a、b 点连接，发现电压表示数变化较大，电流表示数基本不变，则测量时应将 c 点接_____ (选填“a 点”或“b 点”)，按此连接测量，测量结果_____ (选填“小于”“等于”或“大于”) R_x 的真实值。

(2) 根据实验测得的 6 组数据，在图 (b) 中描点，作出了两条图线。你认为正确的是_____ (选填“①”或“②”)，并由图线求出电阻 $R_x = \underline{\hspace{2cm}}$ (结果保留 2 位有效数字)。



(a)



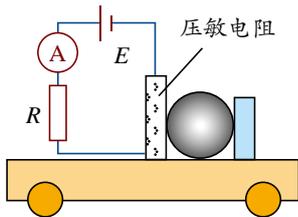
(b)

第 11 题

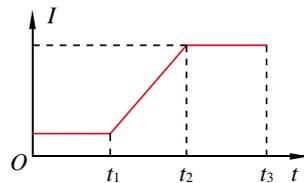
温故知新

12. 压敏电阻的阻值随所受压力的增大而减小。

某同学利用压敏电阻设计了判断小车运动状态的装置，其工作原理如图 (a) 所示。将压敏电阻和一块挡板固定在绝缘小车上，中间放置一个绝缘重球。小车向右做直线运动过程中，电流表的示数随时间的变化如图 (b) 所示。请分析在 $t_1 \sim t_2$ 时间内和 $t_2 \sim t_3$ 时间内小车的运动情况。



(a)



(b)

第 12 题



我的学习总结



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
- 第1节 闭合电路欧姆定律
- 第2节 科学测量：电源的电动势和内阻
- 第3节 科学测量：用多用电表测量电学量
- 第4节 科学用电

▶▶ 本章学业要求

- 能理解闭合电路欧姆定律的内涵；能分析家庭电路中的一些实际问题，能解决电路中的简单问题。具有与闭合电路欧姆定律相关的能量观念。——物理观念
- 能体会物理研究建构模型的重要性；能分析闭合电路中常见的电路问题，能根据图像对相关问题进行分析推理；能用与闭合电路相关的证据说明结论并作出解释；能采用不同的方法解决与闭合电路欧姆定律相关的物理问题。——科学思维
- 能完成“测量电源的电动势和内阻”“用多用电表测量电学量”等物理实验。能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题；能在他人指导下制订实验方案，设计实验步骤，能用电流表、电压表和多用电表等实验器材进行实验，能注意实验安全；能分析实验数据，绘制图像，形成结论，会分析实验误差；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，以及数据分析过程和实验结论，能有针对性地反思交流过程与结果。——科学探究
- 知道科学研究中实验结论可重复的重要性；能运用所学内容解决生活中与电学有关的一些问题；能体会科技发展对人类生活和社会发展的影响，能将安全用电和节约用电的知识应用于生活实际，知道保护环境、科学用电的重要意义。——科学态度与责任

导 入

从用电问题说起

电与我们的生活密不可分。在用电过程中，我们可能会遇到一些问题：晚上正需要照明时，日光灯却不能启动；炎热的夏天，正需要防暑降温时，空调却不能正常工作；某大功率用电器启动时，正常发光的电灯会突然暗一下……为什么会出现这样的现象？



家庭用电



排查电路故障

在用电过程中还可能会出现如短路、断路等问题，轻则影响电器工作，重则引起火灾，甚至危及生命。那么，如何排除这些故障？如何做到安全用电、节约用电？通过本章的学习，你将会找到答案。

第1节

闭合电路欧姆定律

你想过没有，为什么干电池、蓄电池、发电机等电源能使电路保持一定的电压并形成电流？本节，我们先学习一个描述电源特性的物理量——电动势，然后探究闭合电路所遵循的规律。

1. 电动势

一个完整的电路通常由电源、用电器、开关、导线等组成。开关闭合后，电路形成了电流的闭合回路，称为闭合电路（图 4-1）。为了分析电路，我们将闭合电路分成两部分：一部分是电源外部的电路，称为外电路，包括导线和用电器等；另一部分是电源内部的电路，称为内电路。

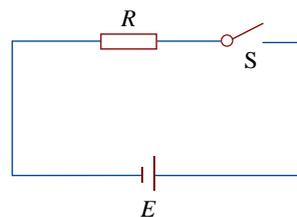


图 4-1 闭合电路示意图

迷你实验室

电源的特性

准备不同型号的新干电池和蓄电池。确定它们的正、负极，选用适当量程的电压表，分别测出它们两极间的电压值（图 4-2）。记录数据，比较各种型号干电池的电压是否相同，干电池的电压和蓄电池的电压又是否相同。



图 4-2 测量电源两极间的电压

干电池和蓄电池都是把化学能转化为电能的装置。我们常说干电池的电压为 1.5 V，学生用蓄电池的电压为 2 V，是指电池没有接入电路时电池两极间的电压，这可用电压表近似测出。测量结果表明，同类型的干电池两极间的电压相同，同类型的蓄电池两极间的电压也相同，但两种电源两极间的电压不同，这反映了干电池和蓄电池把化学能转化为电能的本领大小不同。在物理学中，用**电动势**（electromotive force）来表示电源的这一特性。

电动势是反映电源把其他形式的能转化为电能的本领的物理量，在数值上等于电源没有接入外电路时两极间的电压。电源的电动势用符号 E 表示，单位与电压的单位相同，也是伏特，符号为 V。

电源是电路中电能的提供者。在如图 4-3 所示的简单电路中，电源正、负极间存在电压。在外电路中，电场力对电荷做正功，将电荷减少的电势能转化为其他形式的能。

电荷通过用电器后电势能将减少。要维持电路中电荷不断地运动，电源内部就必须有非静电力不断将正电荷由负极搬移到正极。该过程中，非静电力对电荷做功，电荷的电势能增加，电源将其他能转化为电能，电动势在数值上等于将单位电荷量的正电荷由负极移动到正极非静电力所做的功。

下面以如图 4-4 所示的人工瀑布形成进行类比。人搬运水的过程可类比电源内部的非静电力对电荷做功的过程。人对水做功，把水不断从低处搬运到高处，提高其重力势能；然后通过重力做功，水又从高处流到低处，重力势能减小。人不断搬运水做功，使水循环流动，这样便形成了持续的人工瀑布。这种人工瀑布的形成过程与闭合回路中非静电力和静电力做功的情形类似。



图 4-3 内、外电路中能量转化示意图

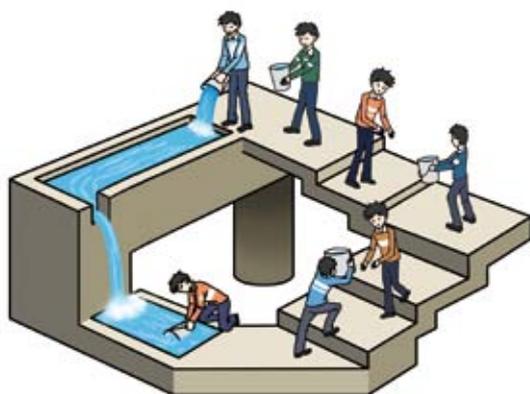
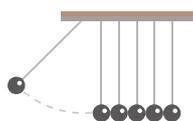


图 4-4 人工瀑布的能量转化模拟

2. 闭合电路欧姆定律

当仅考虑外电路时，某段电路中的电流大小与该电路的电阻及两端电压的关系为 $I = \frac{U}{R}$ ，这个关系式就是初中所学的欧姆定律，又称部分电路欧姆定律。若考虑整个闭合电路，电流的大小与哪些因素有关呢？



实验与探究

探究电源的内阻

在图 4-5 中, A 组电源为四节干电池, B 组电源为三节蓄电池, 两组电源的电动势均为 6 V。将它们与额定电压为 6 V 的小灯泡、电压表、电流表、开关按图示电路连接。

分别闭合开关 S_1 或 S_2 , 观察到小灯泡的亮度和电流表、电压表的示数都不相同。在闭合电路中电动势和用电器都相同的情况下, 用电器两端电压不相同说明了什么?

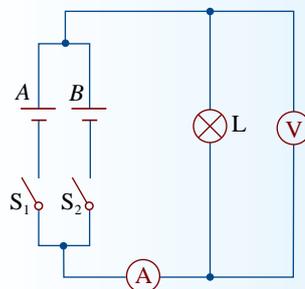


图 4-5 实验电路图

由以上实验可知, 虽然两组电源的电动势都为 6 V, 但电流和电压测量出的结果却不一样, 这说明电源内部有电阻, 简称内阻。电源的内阻会影响闭合电路中电流的大小。

图 4-6 (a) 所示为一简单闭合电路, 虚线框内是内阻为 r 的电源。在外电路中, 电流由高电势的 a 点经外电阻 R 流向低电势的 b 点。在电阻 R 上沿电流方向有电势降落, 电势差为外电压, 即 $U_{\text{外}}$; 在内阻 r 上同样有电势降落, 电势差为内电压, 即 $U_{\text{内}}$ 。在电源内部, 由负极到正极电势升高, 升高的电势与电源的电动势 E 相等, 如图 4-6 (b) 所示。研究表明, 在闭合电路中, 内、外电路电势的降落 $U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$ 等于电源内部电势的升高, 即

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}}$$

由部分电路欧姆定律可得

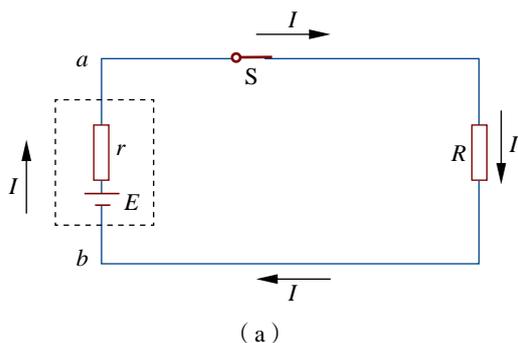
$$U_{\text{外}} = IR, \quad U_{\text{内}} = Ir$$

将它们代入上式, 可得

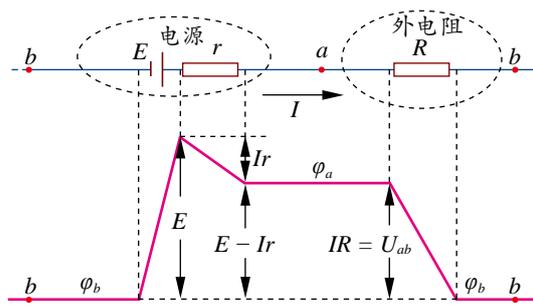
$$E = IR + Ir,$$

或

$$I = \frac{E}{r + R}$$



(a)



(b)

图 4-6 闭合电路内、外电路的电势升降示意图

此式表明，流过闭合电路的电流跟电路中电源的电动势成正比，跟电路中内、外电阻之和成反比。这个结论称为闭合电路欧姆定律（Ohm law of closed circuit）。该定律是由德国物理学家欧姆（G. Ohm, 1789—1854）在实验中总结出来的。

闭合电路欧姆定律明确了电流与电动势和内、外电阻之间的关系。利用这个关系，我们可以通过测量电路中的电流或电压求出电源的电动势和内阻。

例题

在图 4-7 中， $R_1 = 9 \Omega$ ， $R_2 = 5 \Omega$ 。当单刀双掷开关 S 拨到位置“1”时，电压表示数 $U_1 = 2.70 \text{ V}$ ；当 S 拨到位置“2”时，电压表示数 $U_2 = 2.50 \text{ V}$ 。求电源的电动势 E 和内阻 r 。（电压表内阻可视为无穷大）

分析

开关 S 拨到位置“1”和位置“2”两种状态，可视为两个闭合电路。因此，可列出两种状态下的闭合电路欧姆定律方程。

解

开关拨到位置“1”时

$$E = U_1 + I_1 r = U_1 + \frac{U_1}{R_1} r$$

开关拨到位置“2”时

$$E = U_2 + I_2 r = U_2 + \frac{U_2}{R_2} r$$

将已知条件代入以上方程，联立并解之得

$$E = 3 \text{ V}, r = 1 \Omega$$

讨论

本题提供了一种测电源的电动势和内阻的方法，但这里未考虑电压表的内阻对电路的影响，测量结果存在误差。

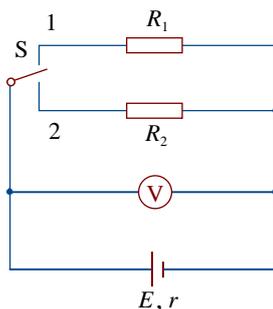


图 4-7 测算电源电动势和内阻电路图

策略提炼

分析解决电路问题时，首先要分析电路的结构，有时还需要将复杂的电路简化，然后针对所选择的对象，根据闭合电路欧姆定律、部分电路欧姆定律等列方程求解。

迁移

一般来说，电源的电动势不会随着电路状态的变化而发生变化，外电路两端的电压却会随着电路状态的变化而变化。请求解下面的问题。

在上例中，若将“1”“2”用导线相连，当开关接通时，电压表的示数应为多少？



3. 路端电压与外电阻的关系

根据闭合电路欧姆定律，我们还可以了解外电路两端的电压（简称路端电压）随外电阻变化的规律。

由闭合电路欧姆定律，可得路端电压

$$U = E - Ir$$

将 $I = \frac{E}{r+R}$ 代入上式可得

$$U = E - \frac{E}{r+R} r$$

可见，当外电路的电阻 R 增大时，电路中电流 I 减小，路端电压 U 增大；反之，当外电路的电阻 R 减小时，电路中电流 I 增大，路端电压 U 减小。

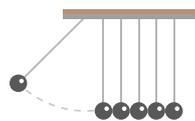
当外电路断路时， $I = 0$ ， $U = E$ ，即外电路断路时的路端电压等于电源的电动势。运用这一知识，可用电压表直接接在电源两端粗略测出其电动势。在电压表与电源构成的回路中，电压表电阻很大，近似断路，但电路中仍会有微弱电流通过，由于电源有内阻，用电压表只能粗测电源的电动势。电压表内阻越大，测量结果越精确。

当外电路短路时，可视为 $R = 0$ ，路端电压 $U = 0$ ，短路电流 $I_{\text{短}} = \frac{E}{r}$ 。短路电流有时很大，会烧坏电源，甚至引发火灾。因此，应避免短路现象的发生。

能理解闭合电路欧姆定律的内涵；能分析家庭电路中的一些实际问题，能解决电路中的简单问题。具有与闭合电路欧姆定律相关的能量观念。

——物理观念

素养提升



实验与探究

观察路端电压随外电阻变化的现象

用导线把旧干电池组、电流表、电压表、两只相同的小灯泡、开关等按图 4-8 所示电路连接。

(1) 闭合开关 S 和 S_1 ，观察小灯泡 L_1 的亮度，并记下电流表和电压表的示数。

(2) 再闭合开关 S_2 ，观察小灯泡 L_1 的亮度如何变化，电流表和电压表的示数如何变化。

请结合闭合电路欧姆定律，分析发生以上变化的原因。

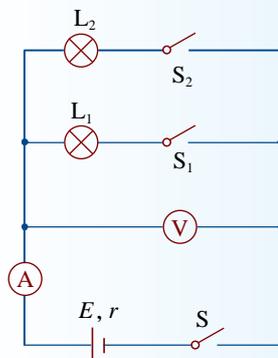
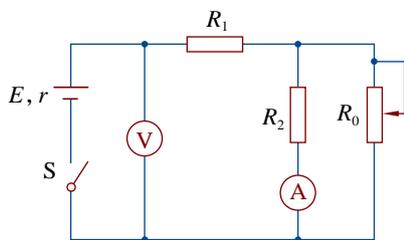


图 4-8 实验电路图

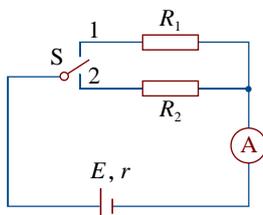


节练习

- 在如图所示的电路中，电源内阻为 r ，闭合开关 S ，在滑动变阻器 R_0 的滑动端向下滑动的过程中，请分析电压表和电流表示数的变化情况，并说明理由。
- 关于电动势，下列说法正确的是
 - 电源电动势等于电源正、负极之间的电势差
 - 用电压表直接测量电源两极得到的电压数值，实际上总略小于电源电动势的准确值
 - 电源电动势总等于内、外电路上的电压之和，所以它的数值与外电路的组成有关
 - 电源电动势越大，说明电源把其他形式的能转化为电能的本领越大
- 在如图所示的电路中， $R_1 = 14 \Omega$ ， $R_2 = 9 \Omega$ 。当闭合开关 S 到位置“1”时，电流表的示数 $I_1 = 0.2 \text{ A}$ ；当开关 S 切换到位置“2”时，电流表的示数 $I_2 = 0.3 \text{ A}$ 。求电源的电动势 E 和内阻 r 。

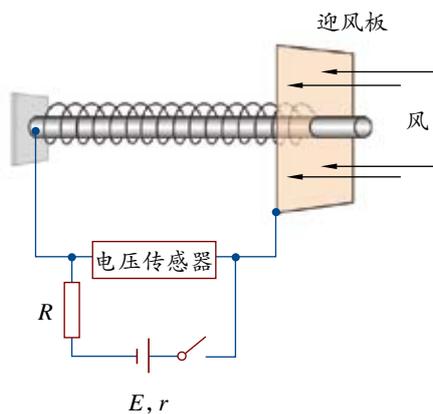


第1题



第3题

- 电源的电动势为 4.5 V ，内阻为 0.5Ω ，外电路的电阻为 4.0Ω ，路端电压是多大？如果在外电路上并联一个 6.0Ω 的电阻，路端电压是多大？如果在外电路中串联一个 6.0Ω 的电阻，路端电压又是多大？
- 如图是一个简易风速测量仪的示意图，绝缘弹簧的一端固定，另一端与导电的迎风板相连，弹簧套在水平放置的电阻率较大的均匀金属细杆上。迎风板与金属杆接触良好，并能在金属杆上自由滑动。电路的一端与迎风板相连，另一端与金属杆相连。已知弹簧的劲度系数 $k = 1300 \text{ N/m}$ ，电阻 $R = 1.0 \Omega$ ，电源的电动势 $E = 12 \text{ V}$ ，内阻 $r = 0.5 \Omega$ 。闭合开关，没有风吹时，弹簧处于原长 $l_0 = 0.5 \text{ m}$ ，电压传感器的示数 $U_1 = 3.0 \text{ V}$ 。若不计摩擦和迎风板的电阻，求：
 - 金属杆单位长度的电阻 R_0 ；
 - 当电压传感器的示数为 $U_2 = 2.0 \text{ V}$ 时，作用在迎风板上的风力 F 。



第5题

请提问

第2节

科学测量：电源的电动势和内阻

如何测量电源的电动势和内阻？下面，让我们通过实验进行探究。

实验目的

- (1) 测量电源的电动势和内阻。
- (2) 学习通过计算和作图分析处理实验数据。

实验器材

电流表、电压表、滑动变阻器、待测干电池、开关、导线等。

实验原理与设计

如图 4-9 所示，通过改变滑动变阻器 R 的阻值，测出两组 U 、 I 值。根据闭合电路欧姆定律，可得下列方程

$$E = U_1 + I_1 r$$

$$E = U_2 + I_2 r$$

联立求解，可得

$$E = \frac{I_2 U_1 - I_1 U_2}{I_2 - I_1}, \quad r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$$

实验步骤

请写出实验步骤，完成实验操作。注意合上开关前，应调节滑动变阻器，使接通后电流最小。

数据分析

(1) 通过计算求出电源的电动势与内阻。将读出的电压表示数 U 和电流表示数 I 填入你设计的表格中，并根据相应公式求出 E 和 r 。

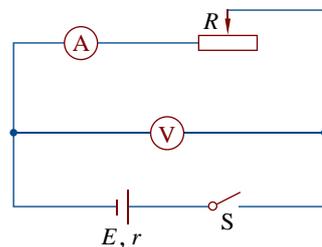


图 4-9 测量电源的电动势和内阻的实验电路图



安全警示

接通开关前，注意检查电源两端是否可能发生短路；注意选用适当量程的电压表和电流表；注意电表是否正确连接，以免不正常工作或损坏。

(2) 用作图法分析电源的电动势与内阻。如图4-10所示, 建立 $U-I$ 坐标系, 将记录表中的 U 、 I 值在坐标系中描出相应的点, 再根据这些点画出直线, 延长该直线, 使它分别与纵坐标轴和横坐标轴交于 A 、 B 两点。

由闭合电路欧姆定律可知, A 、 B 所在直线的方程为 $U = E - Ir$ 。

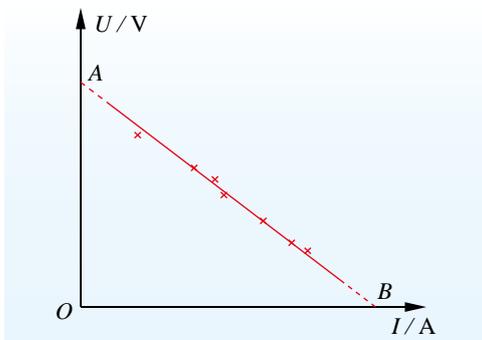


图4-10 根据实验数据画出 $U-I$ 图像

对于 A 点, 横坐标对应的电流 $I = 0$, 这时电路处于断路状态, 纵坐标对应的路端电压 $U_A = E$ 。由此可见, 纵轴截距表示了电源的电动势。

对于 B 点, 纵坐标对应的路端电压 $U_B = 0$, 这时电路处于短路状态, 横坐标为短路电流。

由实验图像可知, 该直线斜率的绝对值

$$k = \frac{OA}{OB} = \frac{E - 0}{I - 0} = r$$

由直线方程可知, $U-I$ 图像斜率的绝对值等于电源内阻的大小。

实验结论

请写出实验结论。

讨论

除偶然误差外, 还有哪些因素会对实验结果产生影响?

方法点拨

在有些科学实验的规律和结果还没有找到确切的函数表达式时, 采用图像来表示实验结果, 能形象直观地显示物理量变化的规律。

作图法得到的图像不仅用来寻找物理量之间的关系, 还可根据图像的斜率、截距等的物理意义求出相关物理量。

能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题; 能在他人指导下制订实验方案, 设计实验步骤, 能用电流表和电压表等实验器材进行实验, 能注意实验安全; 会用作图方法分析实验数据, 测得电源的电动势和内阻; 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, 以及数据分析过程和实验结论, 能有针对性地反思交流过程与结果。

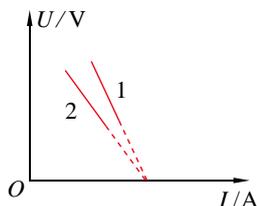
注意提升实验操作能力、数据分析与解释能力。

——科学探究

素养提升

节练习

1. 请撰写“测量电源的电动势和内阻”的实验报告, 注意在报告中呈现设计的实验步骤、实验表格, 以及数据分析过程和实验结论, 并与同学交流实验过程与结果。
2. 两个电源的 $U-I$ 图像如图所示。请根据图像比较 1、2 两个电源的电动势和内阻的大小关系, 并说明理由。



第2题



3. 为了测出电源的电动势和内阻，除待测电源、开关和导线以外，配合下列哪组仪器，可以达到实验目的？请说明理由。

- (1) 一个电流表和一个电阻箱；
- (2) 一个电流表和一个滑动变阻器；
- (3) 一个电压表和一个电阻箱；
- (4) 一个电压表、一个电流表和一个滑动变阻器。

4. 某次实验得到的 $U-I$ 图像如图所示。请根据该图像求出电源的电动势、内阻和短路电流。

5. 根据如图所示的电路，采用伏安法测量一节干电池的电动势和内阻。电池的内阻较小，为了防止在调节滑动变阻器时造成短路，电路中用一个定值电阻 R_0 起保护作用。除电池、开关和导线外，可供使用的实验器材还有：

电流表：量程为 0.6 A、3 A。

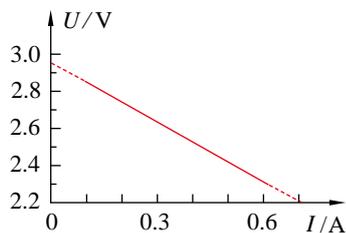
电压表：量程为 3 V、15 V。

定值电阻：1 Ω ，额定功率为 5 W；10 Ω ，额定功率为 10 W。

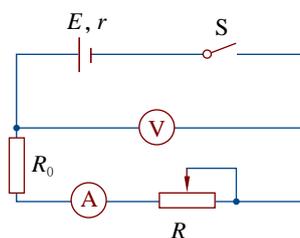
滑动变阻器：阻值范围为 0 ~ 10 Ω ，额定电流为 2 A；阻值范围为 0 ~ 100 Ω ，额定电流为 1 A。

(1) 要正确完成实验，电压表的量程应选择 _____ V，电流表的量程应选择 _____ A， R_0 应选择 _____ Ω ， R 的阻值范围应选择 _____ Ω 。

(2) 该实验系统产生误差的主要原因是 _____。

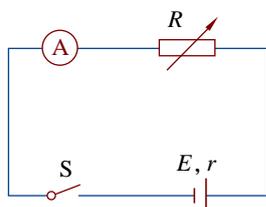


第4题

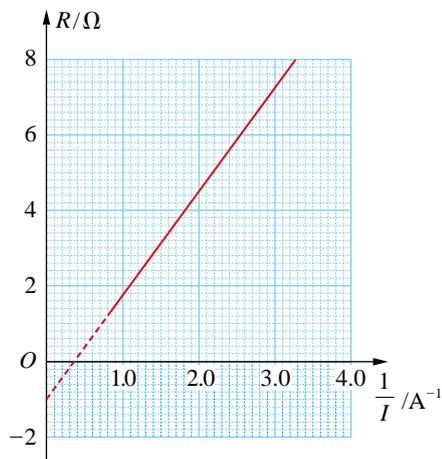


第5题

*6. 某学习小组利用图 (a) 所示电路测量电池组的电动势 E 和内阻 r 。根据实验数据绘出如图 (b) 所示的 $R - \frac{1}{I}$ 图像，其中 R 为电阻箱示数， I 为电流表示数，由此可以得到 $E =$ _____ V， $r =$ _____ Ω ，请根据计算结果讨论用图 (a) 所示电路进行相关测量时可能存在的问题。



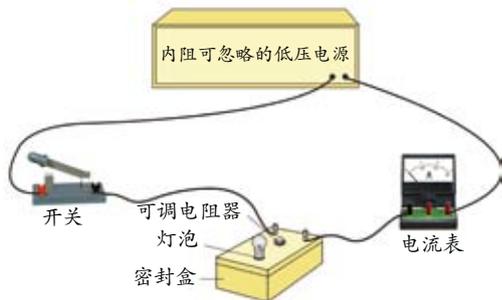
(a)



(b)

第6题

*7. 有一个密封盒，其表面可见一个灯泡和一个可调电阻器的旋钮。为了探究密封盒里灯泡和可调电阻器是如何连接的，某同学连接了一个如图所示的电路，他将可调电阻器的电阻 R 减小，并将变化前后的结果记录下来。



第7题

数据：电源电压 = 3 V

R 的初始值：15 Ω 电流表的初始读数：2.6 A

R 的最终值：5 Ω 电流表的最终读数：3.0 A

观察结果：灯泡的亮度保持不变

- (1) 请判断盒中的可调电阻器和灯泡是如何连接的，并说明理由。利用记录的数据，计算灯泡工作时的电阻值。
- (2) 将两个 1.5 V 的电池串联来代替低压电源，进行同样的实验，发现当 R 减小时，灯泡的亮度会发生变化。请解释这一现象。
- (3) 在实际操作中，这种电路有没有安全隐患？如果有，请指出安全隐患产生的原因及可能造成的后果。

请提问



第3节

科学测量： 用多用电表测量电学量

电压可直接用电压表测量，电流可直接用电流表测量，是否有一种仪器可用以测量电压、电流和电阻呢？本节学习使用多用电表直接测量电压、电流和电阻这些电学量。

1. 认识多用电表

电压表是依据串联电路的分压特点，由电流计改装而成的；电流表是依据并联电路的分流特点，由电流计改装而成的。那么，能否利用电流计设计出直接测量电阻的仪器呢？

如图 4-11 所示，在满偏电流为 I_g 、内阻为 R_g 的电流计上串联一个电动势为 E 、内阻为 r 的电源和一个可变电阻 R_1 ， AB 两端接有一个待测电阻 R 。根据闭合电路欧姆定律，回路中的电流 $I = \frac{E}{R_1 + r + R_g + R}$ ，则待测电阻 $R = \frac{E}{I} - (R_1 + r + R_g)$ 。

在 E 、 $R_1 + r + R_g$ 不变的情况下，待测电阻 R 与回路中电流 I 有着——对应的关系，由此便可在电流计刻度盘上直接标识电阻 R ，这就是欧姆表。

电压表、电流表和欧姆表有着共同的组成部分——小量程的电流计。能否将这三种表的测量功能结合起来，制作一个能直接测量电压、电流、电阻的仪器呢？答案是肯定的，多用电表就是这样一种测量仪器。

多用电表也称“万用表”，是一种集测量电压、电流和电阻等功能于一体的仪器。它具有用途广、量程大、使用方便等优点，在科学实验、生产生活中应用广泛。

图 4-12 是指针式多用电表的外形图。表的上半部是表盘，该多用电表的表盘上有三条刻度线，最上方的刻度线为电阻示数，中间的刻度线为直流电压、直流电流和交流电压示数，最下方的刻度线表示量程为 2.5 V 的交流电压示数。表的下半部有选择开关，可选择欧姆挡 (Ω)、直流电流挡 (mA)、直流电压挡 (V) 和交流电压挡 (\checkmark)，欧姆挡上的数值表示倍率，其他挡位的数值表示量程，测量时要注意量程和最小分度值。另外，还

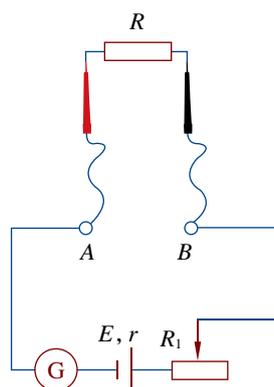


图 4-11 欧姆表测量电阻电路图

有标有正、负的测试笔插孔，机械调零及欧姆调零旋钮等。

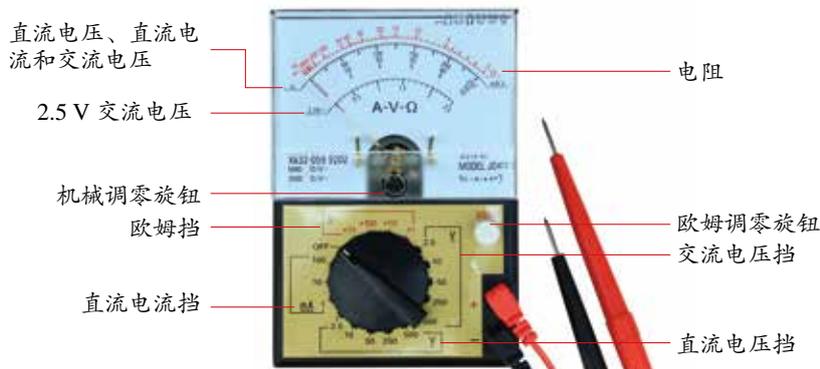


图 4-12 指针式多用电表

2. 多用电表的读数

用多用电表测量电压、电流和电阻时如何读数呢？下面通过案例来说明。

例如，在测量直流电压时，若选择开关对应的量程为 2.5 V，指针位置如图 4-13 所示。看第二排刻度线（可参考第一排数字），由此量程可确定刻度每大格（相邻有数字的刻度间）值为 0.5 V，每小格值为 0.05 V，即测量精度为 0.05 V。由指针位置可读得电压准确值为 2.1 V，估读值为小格值的 $\frac{2}{5}$ ，即 0.02 V，所以电压测量值为 2.12 V。

在测量电流时，若选择开关对应的量程为 100 mA，指针位置如图 4-14 所示。看第二排刻度线（可参考第三排数字），由此量程可确定刻度每大格值为 20 mA，每小格值为 2 mA，即测量精度为 2 mA。由于指针位置接近 92 mA，所以电流测量值为 92 mA。请思考，第二排刻度线中为何标出三排数字？

在测量电阻时，若选择倍率“ $\times 10$ ”，指针位置如图 4-15 所示。看第一排刻度线，由刻度 10~15 有 5 小格，可确定每小格值为 1。由指针位置可读得刻度值为 10.6，倍率为“ $\times 10$ ”，电阻测量值为 106 Ω 。



图 4-13 电压示数

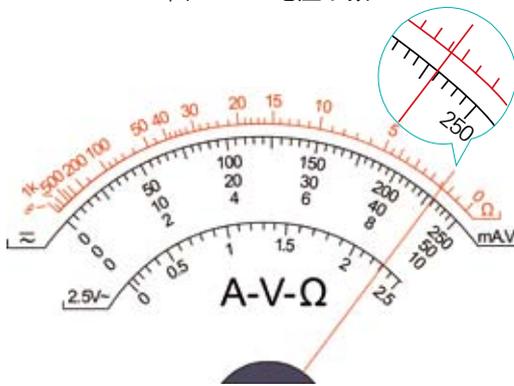


图 4-14 电流示数

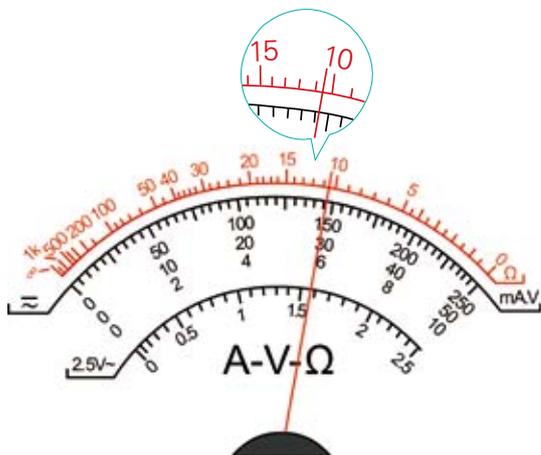


图 4-15 电阻示数



数字式多用电表

随着大规模集成电路的发展，数字式多用电表（图4-16）逐渐得到了广泛使用。数字式多用电表利用了数字电路技术，具有多方面的优点：测量值以数字形式直接显示，读数准确，可靠性好；体积小，质量轻，操作便捷；挡位多，功能全，适用性广等。



图4-16 数字式多用电表

3.用多用电表测量电学量

实验目的

- (1) 用多用电表测量电路元件的电压值。
- (2) 用多用电表测量电路元件的电流值。
- (3) 用多用电表测量电阻的电阻值。

实验器材

多用电表、不同阻值的电阻、学生电源、小灯泡、滑动变阻器、开关、导线等。

实验原理与设计

多用电表的核心是一个直流灵敏电流计 G ，即表头。表头与电阻、开关等组成不同的测量电路。

图4-17 是一种测量直流电流、电压和电阻的多用电表原理示意图。

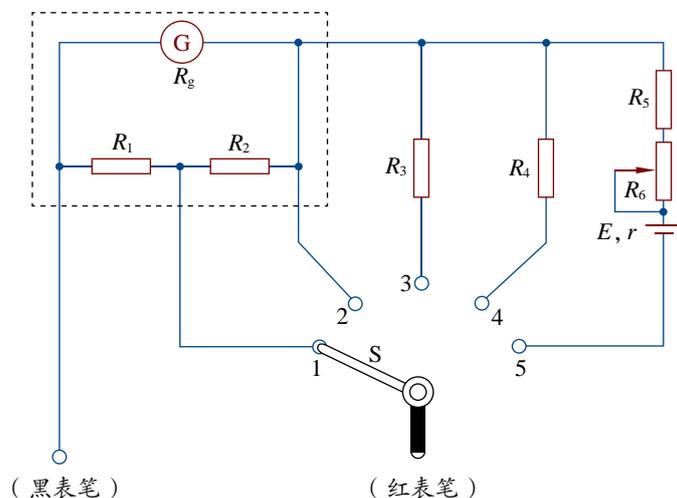


图4-17 多用电表原理示意图



安全警示

注意用电安全。闭合开关前一定要确认电路连接正确，避免短路。小心使用多用电表，若待测量值无法估计，可先选择大量程挡测量，再调选合适的量程，以免损坏指针或烧坏电表。

用多用电表测直流电流和电压的原理，实质上就是我们学过的分流和分压原理。在图 4-17 中，若将选择开关拨至触点“1”或“2”，可构成不同量程的电流表；若将选择开关拨至触点“3”或“4”，可构成不同量程的电压表；若将选择开关拨至触点“5”，可构成欧姆表。

在图 4-17 中， R_6 为可变电阻， R' （即 $R_5 + R_6$ ）称为调零电阻，电阻挡的表头与直流电压挡的表头相同，如图中虚线框所示。

待测电阻 R_x 接入公共端（黑表笔）和测量端“5”后，形成闭合电路。根据闭合电路欧姆定律，由对图 4-11 的讨论可知，在电源电动势 E 和欧姆表内部总电阻确定的情况下， R_x 与 I 有着——对应的关系。

测量电阻前，需先将多用电表的两表笔直接相连，调节调零电阻 R' 使指针满偏，以校准欧姆表内部的总电阻。

实验步骤

(1) 用多用电表测量电路元件的电压值

①按图 4-18 所示电路图连接实验器材，给小灯泡供电。

②观察多用电表指针是否在零刻度。若不在零刻度，则用螺丝刀转动机械调零旋钮，使指针停于左端零刻度。

③将多用电表的选择开关旋至直流电压挡，使其量程大于小灯泡两端电压的估计值。

④将两表笔分别接触灯泡两端的接线柱，读出小灯泡两端的电压。

(2) 用多用电表测量通过电路元件的电流值

参照图 4-18 所示电路图，写出用多用电表测量小灯泡工作时电流值的实验步骤，并完成相关操作。

(3) 用多用电表测量电阻的电阻值

①检查多用电表指针是否仍在左端零刻度。

②估测待测电阻的电阻值，将多用电表的选择开关旋至合适倍率的欧姆挡。

③将黑、红表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使指针指在右端电阻零刻度处。

④将表笔搭在待测电阻两端，读取被测电阻的阻值。通常电阻上的标称值与测量值之间有误差，算出对应的相对误差。

⑤实验完成之后，将表笔从插孔拔出，并将选择开关旋到“OFF”位置或交流电压最高挡；若长期不用，应取出电池。

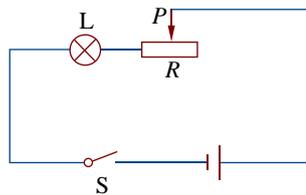


图 4-18 实验电路图

方法点拨

(1) 量程的选择原则

测量电流和电压时，尽量使指针超过 $\frac{1}{2}$ 量程。测量电阻时，尽量使指针落在刻度盘中间区域。若不能估测电阻的大小，则先用中等倍率的某个欧姆挡试测，然后选择合适挡位再测。

(2) 多用电表使用的注意事项

测试前，先检查指针是否指在左端“0”刻线，若没有，则要机械调零。测电阻时还要欧姆调零。测试时，手不要碰表笔的金属触针，以保证安全和准确测量。测电压时，红表笔接触点的电势高于黑表笔接触点的电势；测电流时，电流应从红表笔流入电表。



实验结论

请写出实验结论。

讨论

与同学分享测量结果，讨论多用电表的使用方法、读数要领、实验误差及如何应用于实际生活等方面的问题。请测量二极管的正、反向电阻，讨论并体会二极管的单向导电性。

能提出并准确表述在实验中可能遇到的物理问题；会写实验步骤，能用多用电表测量电压、电流和电阻，能注意实验安全；能分析实验数据，测得相关电学量，会分析实验误差；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，以及数据分析过程和实验结论，能有针对性地反思交流过程与结果。

注意提升实验数据读取能力、联系实际的能力及交流讨论能力。

——科学探究



迷你实验室

自来水和盐水的电阻有多大

取两根长 8 ~ 10 cm、内径约 2 cm、两端开口的玻璃管（或塑料管），先将两玻璃管的一端用塞子堵住，分别注入自来水、盐水，再用塞子堵住另一端。在两端塞子上插入针或硬导线作为引线。

估计自来水和盐水的电阻值（或测试），选取合适倍率的欧姆挡。

用多用电表分别测量自来水和盐水的电阻（图 4-19），验证你所估计的电阻值和所选择的倍率挡的准确程度。



图 4-19 实验器材

物理在线 请上网查阅相关内容，了解各种多用电表的使用方法。



节练习

1. 请撰写“用多用电表测量电学量”的实验报告，注意在报告中呈现设计的实验步骤、实验表格，以及数据分析过程和实验结论，并有针对性地讨论测量时的注意事项。
2. 甲、乙两位同学使用多用电表欧姆挡测同一个电阻时，都把选择开关旋到“ $\times 100$ ”挡，并能正确操作。他们发现指针偏角太小，于是甲把选择开关旋到“ $\times 1\text{ k}$ ”挡，乙把选择开关旋到“ $\times 10$ ”挡，但乙重新欧姆调零，而甲没有。两个同学的选挡谁正确？操作谁正确？为什么？
3. 关于多用电表表盘上的刻度线，下列说法正确的是
 - A. 直流电流刻度线和直流电压刻度线都是均匀的，可以共用一个刻度盘
 - B. 电阻刻度是不均匀的
 - C. 电阻刻度上的零刻度与直流电流的最大刻度线相对应
 - D. 电阻刻度上的零刻度与直流电流的零刻度线相对应

第4节

科学用电

电给人们的生产生活带来了极大的便利，但如果使用不当，可能会造成火灾（图 4-20）、触电伤亡等事故。另外，在使用电能时必须要提高效率，以减少资源的浪费。如何避免用电事故的发生和资源浪费？本节将学习科学用电的有关知识。



图 4-20 短路会引起火灾

1. 家庭用电

家庭电路一般由两根进户线、电能表、保险设备、用电器、插座、导线、开关等组成。

进户线分为火线和零线，火线和零线之间有 220 V 电压，它们构成家庭电路的电源。电能表用来测量用户在一定时间内消耗的电能，保险设备用来保护电路。现在家庭电路一般会串联空气断路器（图 4-21），又名空气开关，只要电路中电流超过额定电流，它就会自动断开。空气开关除能完成接触和分断电路外，还能对电路或电气设备发生的短路、严重过载及欠电压等进行保护。目前，有些地方还在使用闸刀开关和其他保险设备来实现对家庭电路的控制和保护。熔断器（图 4-22）就是一种常见的保险设备。熔断器内装有熔丝（俗称保险丝），每种熔丝都有额定电流，当电路中的电流超过一定值（通常为额定电流值的 1.5 ~ 2 倍）时，电流的热效应就会使熔丝熔断，从而起到切断电流、保护电路及用电器的作用。



图 4-21 空气断路器

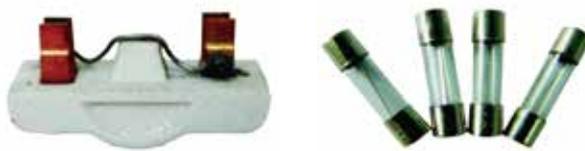


图 4-22 不同类型的熔断器

在家庭电路中还应安装触电保护器(图4-23)。触电保护器中的电子线路能检测到由于触电或漏电所形成的其他电流通路引起火线与零线电流的微小差异,从而自动切断电路,防止伤亡事故发生。

断路、短路是家庭用电的常见故障。

断路是由于导线没有连接好、用电器烧坏或未安装好等,使整个电路在某处断开的状态。发生断路时用电器不工作,这种故障可用测电笔进行检测。

短路是火线和零线直接接触形成的。发生短路的原因可能是线路绝缘不良,也可能是操作不当。家庭电路中的电压为220 V,导线的电阻一般只有几欧,根据欧姆定律,短路时电路中的电流有几十安,远超过家庭电路的额定电流,所以发生短路时空气断路器会自动断开,空气断路器控制的用电器都不能工作。空气断路器自动断开时,未查明原因,不能合上。



图 4-23 触电保护器

2. 安全用电

火灾和触电是用电中较容易发生的安全事故。

用电时发生的火灾主要是由短路和过载造成的。短路或过载导致电路中电流过大,根据焦耳定律 $Q = I^2 R t$,此时线路会在较短的时间内产生大量的热量,这些热量能使绝缘层燃烧,甚至使金属熔化,引起邻近的易燃物质燃烧,从而造成火灾。短路点还可能直接产生电火花和电弧,引起燃烧。

当用电器的功率过大时,由 $I = \frac{P}{U}$ 可知,在电压 220 V 不变的情况下,功率增大将导致干路中电流变大,使输电线路损失的电压变大,而用电器两端的电压变小不能正常工作,产生如电灯变暗等现象。过载时,应及时减少用电器的使用,避免造成事故。

触电一般是人直接或间接接触带电体造成的。带电体的电压若高于 36 V 安全电压,人接触就会导致触电。人靠近高压带电体时,也可能导致触电。

为了避免用电事故的发生,了解一些安全用电的常识是非常重要的。例如,家庭电路的安装应当符合安全用电的要求,避免一个插座同时插接多件较大功率的电器(图4-24);不使用陈旧破损的开关及电线等;有金属外壳的电器应按规定接地;要保护好电器的绝缘体,防止火线裸露,避免电器沾水或受潮;在开关、熔丝盒和电线附近,不要放置油类、棉花、木屑等易燃物品,以防发生火灾;一旦闻到有橡皮、塑料烧焦的气味,应立即拉闸停电,查明原因并妥善处

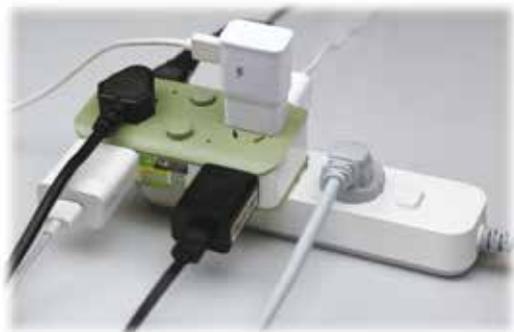


图 4-24 负载过多可能导致危险



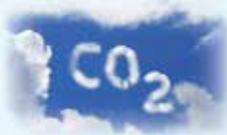
理后才能合闸。万一发生火灾，要迅速拉闸断电，不要带电泼水救火，避免人体接触家庭电路中的火线；不要靠近高压带电体。若发现有人触电，不能直接接触触电的人，应当迅速切断电源，或者用干燥的木棍、竹竿等将电线挑开，使其脱离电源，并及时施救。

3. 节约用电

全球电能的最主要来源是火力发电，在看似源源不断的电能背后，消耗的是大量无法再生的化石能源。化石能源燃烧，内能转化为机械能、电能时，还会排放若干大气污染物。节约用电，不仅可以减少能源消耗，缓解能源紧张问题，还可以减少环境污染。

节约用电不能仅仅是一句口号，应该从生活中的一点一滴做起，从小事做起。由表 4-1 的相关数据可知，1 kW·h 电能的作用不容小觑。

表 4-1 节约 1 kW·h 的电能意味着什么

节约了 0.4 kg 煤		节约了 4 L 净水	
减少排放 0.272 kg 碳粉尘		减少排放 0.997 kg 二氧化碳	
减少排放 0.03 kg 二氧化硫		减少排放 0.015 kg 氮氧化物	

节约用电，有时就是“举手之劳”。例如，不要让家电处于待机状态。我国城市家庭的平均待机能耗已占到家庭总能耗的 10% 左右，一般家庭中家电的待机能耗加在一起，相当于每天开着一盏 30 W 的长明灯。全国每年仅因电视机待机所消耗的电能就达 2.5×10^9 kW·h，相当于 250 万盏 1 kW 的灯昼夜不停点亮约 40 天。再如，食物应先冷却降温再放入冰箱。冰箱内不要塞满食物，储藏量以不超过八分满为宜。尽量减少冰箱门开关次数及敞门时间，因为每开一次冰箱门，压缩机需多运转 10 min 才能恢复低温状态，从而增加能耗。冬季的空调温度设定不宜过高，夏季的空调温度设定不宜过低。

能体会科技发展对人类生活和社会发展的影响，能将安全用电和节约用电的知识应用于生活实际，知道保护环境、科学用电的重要意义。

——科学态度与责任



物理聊吧

列出你家中所有用电器的清单（包括照明灯具），查明各种用电器的额定功率，记录每件用电器平均每周的用电时间，计算出每件用电器每周的用电量、所有用电器每周的用电总量，以及每周应付的电费。同时，从电能表中读出本周开始和结束时的示数，比较实际用电量与你所计算出的用电量之间的差别。如果相差较大，试分析原因。

把你观察、记录和计算的结果与其他同学交流，并讨论节约用电的具体措施。



科学书屋

雾霾与 $PM_{2.5}$

雾霾是雾和霾的组合词。我国不少地区将雾并入霾一起作为灾害性天气现象（统称为雾霾天气）进行预警预报。在雾霾天气中，人们常关注的一个热词是 $PM_{2.5}$ 。 $PM_{2.5}$ 是指大气中直径小于等于 $2.5 \mu m$ 的颗粒物，也称细颗粒物。人们将颗粒物的浓度变为相应的指数，用以表示颗粒物污染的严重程度，指数越高则污染越严重。

火力发电是 $PM_{2.5}$ 的重要来源之一。因此，节约用电，减少化石能源的使用，是我们应当共同承担的责任。

物理在线 请上网查阅关于雾霾与 $PM_{2.5}$ 的进一步信息，了解降低 $PM_{2.5}$ 的方法。



节练习

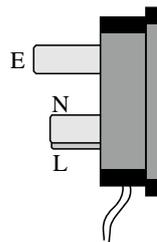
1. 某同学学习了家庭电路的知识后，在生活中更加注意观察家用电器。

(1) 如图 (a) 所示，他发现自己家洗衣机用的是三脚插头，其铭牌上标有“10 A 250 V”字样，其中的“10 A”表示什么意思？

(2) 他仔细观察三只插脚，如图 (b) 所示，又有新的发现：标有“E”字的插脚比其他两脚稍长一些。他又查看了其他家用电器的三脚插头，也是这种情况。这样设计有什么好处？



(a)

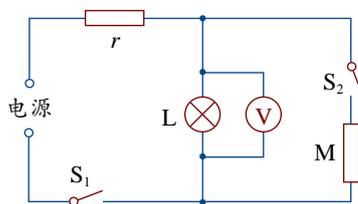


(b)

第1题



2. 炎炎夏日，居民家里的空调、电风扇等持续运转，大量用电器同时使用，往往会引起空气断路器“跳闸”。请你解释原因并说出一条安全用电的注意事项。
3. 家庭用电中主要可采取哪些措施达到节约用电的目的？上网查查，再与同学交流。
4. 家庭电路的引线均有一定的电阻（几欧），因此当家中大功率用电器如空调、电炉工作时，原来开着的电灯会变暗。下面通过一个简单的测试，估算出家庭电路引线部分的电阻。如图所示，用 r 表示家庭电路引线部分的总电阻， L 是一只额定功率为 P_1 的普通家用灯泡， V 为电压表， M 是一台额定功率为 P_2 的空调（ $P_2 \gg P_1$ ）。测试时，先闭合开关 S_1 ，断开开关 S_2 ，测得电压为 U_1 ；再闭合开关 S_2 ，测得电压为 U_2 。试推导出估算 r 的表达式。（设电源两端电压保持恒定，灯泡和空调均以额定功率工作）



第4题

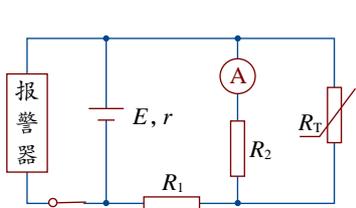
请提问



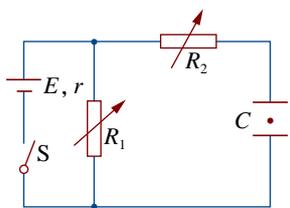
章末练习

科学认知

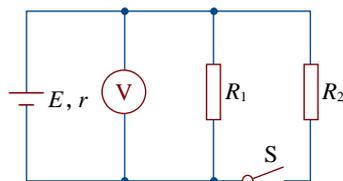
- 在家庭电路中，当工作的电器增加时，电路中的总电阻和电器两端的电压如何变化？为什么？
- 有一块太阳能电池板，测得它的断路电压为 800 mV，短路电流为 40 mA。若将该电池板与一阻值为 $60\ \Omega$ 的电阻器连成闭合电路，则它的路端电压是多少？
- 火警报警器的电路示意图如图所示。其中， R_T 为用半导体热敏材料制成的传感器，这种半导体热敏材料的电阻率随温度的升高而减小。电流表为值班室的显示器，电源两极之间接一报警器。当传感器 R_T 所在处出现火情时，通过显示器的电流 I 、报警器两端的电压 U 的变化情况是
 A. I 变大， U 变大
 B. I 变大， U 变小
 C. I 变小， U 变大
 D. I 变小， U 变小
- 如图所示，电路中 R_1 、 R_2 均为可变电阻，电源内阻不能忽略，平行板电容器 C 的极板水平放置。闭合开关 S ，电路达到稳定时，带电油滴悬浮在两板之间静止不动。如果仅改变下列某一个条件，油滴能保持静止状态的是
 A. 增大 R_1 的阻值
 B. 增大 R_2 的阻值
 C. 增大两板间的距离
 D. 断开开关 S
- 如图所示的电路中，电源内阻 $r = 1\ \Omega$ ， $R_1 = R_2 = 2\ \Omega$ ，当开关 S 断开时，理想电压表的示数为 2.0 V。求：
 (1) 通过电源的电流；
 (2) 电源电动势；
 (3) 当开关 S 闭合时，电压表的示数。



第3题

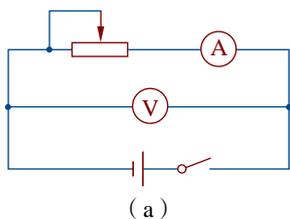


第4题

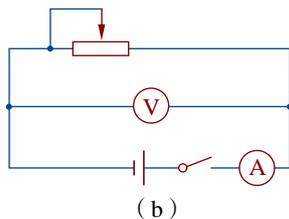


第5题

- 利用电流表和电压表测定一节干电池的电动势和内阻，要求尽量减小实验误差。
 (1) 如图所示，应该选择的实验电路是 _____ [选填“(a)”或“(b)”]。



(a)



(b)

第6(1)题

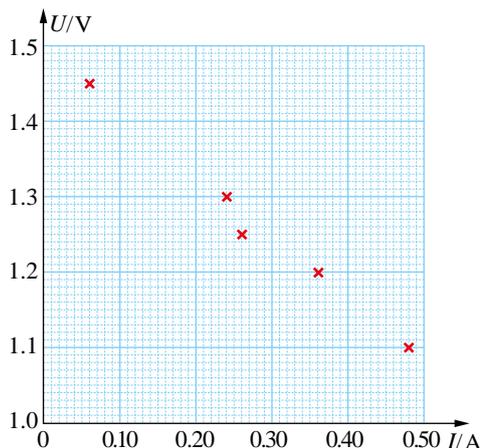
- 现有电流表 ($0 \sim 0.6\text{ A}$)、开关和导线若干，以及以下器材：
 A. 电压表 ($0 \sim 15\text{ V}$)
 B. 电压表 ($0 \sim 3\text{ V}$)
 C. 滑动变阻器 ($0 \sim 50\ \Omega$)
 D. 滑动变阻器 ($0 \sim 500\ \Omega$)



实验中，电压表应选用 _____，滑动变阻器应选用 _____。

- (3) 某同学记录的六组数据见下表，其中五组数据的对应点已经标在图中的坐标纸上，请标出余下一组数据的对应点，并画出 $U-I$ 图像。

序号	1	2	3	4	5	6
电压 U/V	1.45	1.40	1.30	1.25	1.20	1.10
电流 I/A	0.060	0.120	0.240	0.260	0.360	0.480



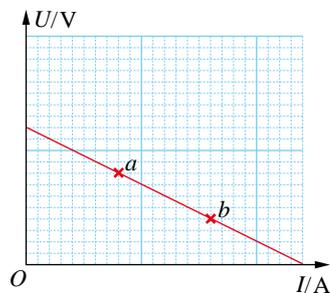
第 6 (3) 题

- (4) 根据 (3) 中所画图像可得出干电池的电动势 $E =$ _____ V，内阻 $r =$ _____ Ω 。

7. 某手电筒和台式液晶电子钟都是使用一节干电池工作的。将新电池装在手电筒中，经过较长时间的使用，当手电筒的小灯泡只能发出微弱的光而不能正常使用时，把电池取出来，用电压表测其两端电压，电压表示数略小于 1.5 V。把这节旧电池装在电子钟上却能使电子钟正常工作。根据上述现象，可判断下列说法正确的是
- 旧电池的电动势比新电池的电动势小了许多
 - 旧电池的内阻比新电池的内阻大很多
 - 电子钟的额定电压一定比手电筒小灯泡的额定电压小
 - 电子钟正常工作时的电流一定比手电筒正常工作时的电流大

8. 电源的效率 η 定义为外电路电阻消耗的功率与电源的总功率之比。在测电源电动势和内阻的实验中得到的实验数据图像如图所示，图中 U 为路端电压， I 为干路电流，图像上 a 、 b 两点相应状态下电源的效率分别为 η_a 、 η_b 。由图可知 η_a 、 η_b 的值分别为

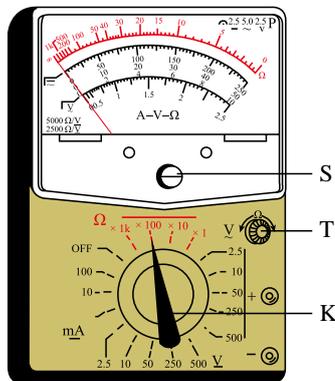
- $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$
- $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$
- $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$
- $\frac{2}{3}$, $\frac{1}{3}$



第 8 题

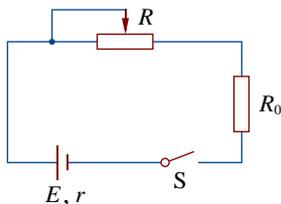
9. 用如图所示的多用电表测量电阻，要用到选择开关 K 和两个部件 S 、 T 。请根据下列步骤完成电阻测量：

- 旋动部件 _____，使指针对准电流的“0”刻线。
- 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 100$ ”的位置。
- 将插入“+”“-”插孔的表笔短接，旋动部件 _____，使指针对准电阻的 _____（选填“0 刻线”或“ ∞ 刻线”）。
- 将两表笔分别与待测电阻相接，发现指针偏转角度过小。为了得到比较准确的测量结果，请从下列选项中选出合理的步骤，并按 _____ 的顺序进行操作，再完成读数测量。
 - 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 1k$ ”的位置
 - 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 10$ ”的位置
 - 将两表笔的金属触针分别与待测电阻的两根引线相接
 - 将两表笔短接，旋动合适部件，对电表进行校准

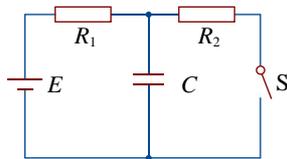


第 9 题

10. 如图所示, 电路中 $E=3\text{ V}$, $r=0.5\ \Omega$, $R_0=1.5\ \Omega$, 变阻器 R 的最大阻值为 $10\ \Omega$ 。变阻器的阻值 R 为多大时, 变阻器的电功率最大? 最大为多少?
11. 如图所示电路中, $E=10\text{ V}$, $R_1=4\ \Omega$, $R_2=6\ \Omega$, $C=30\ \mu\text{F}$, 电源内阻可忽略。求:
- (1) 闭合开关 S , 稳定后通过 R_1 的电流;
 - (2) 将开关 S 断开后, 流过 R_1 的总电量。



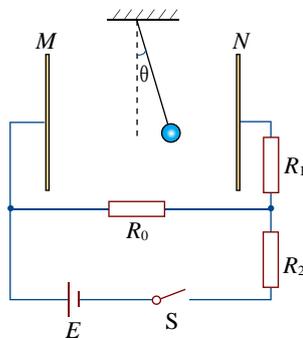
第 10 题



第 11 题

温故知新

12. 如图所示, M 、 N 是平行板电容器的两个极板, 板间距离为 d , 定值电阻阻值分别为 R_0 、 R_1 和 R_2 , 电源电动势为 E , 电源内阻为 r 。用绝缘细线将重量为 G 带有正电的小球悬于电容器内部。闭合开关 S , 当小球静止时悬线与竖直方向的夹角为 θ 。求小球的带电量 q 。
13. 请根据第 3 章 (恒定电流) 和第 4 章 (闭合电路欧姆定律与科学用电) 的内容, 结合你的理解, 画出概念图。



第 12 题



我的学习总结



单元自我检测

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. 下列家用电器中，正常工作时的电流最接近 5 A 的是



A



B



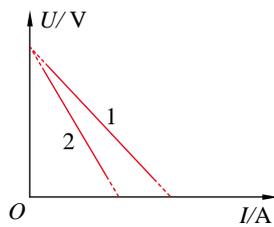
C



D

2. 在两个不同的闭合电路中，电源的 $U-I$ 图像分别如图所示。下列判断正确的是

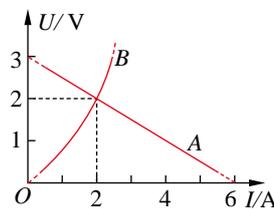
- A. 电动势 $E_1 = E_2$ ，发生短路时的电流 $I_1 < I_2$
- B. 电动势 $E_1 = E_2$ ，内阻 $r_1 < r_2$
- C. 电动势 $E_1 > E_2$ ，内阻 $r_1 < r_2$
- D. 当两个电源的工作电流变化量相同时，电源 1 的路端电压变化大



第 2 题

3. 如图所示，直线 A 为电源的 $U-I$ 图像，曲线 B 为灯泡的 $U-I$ 图像。用该电源和灯泡组成闭合电路时，电源的输出功率和电源的总功率分别是

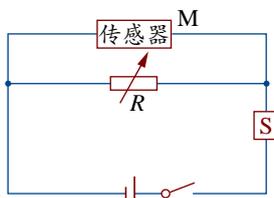
- A. 4 W, 8 W
- B. 2 W, 4 W
- C. 2 W, 3 W
- D. 4 W, 6 W



第 3 题

4. 为了保证行车安全和乘客身体健康，动车上装有烟雾报警装置，其原理如图所示。M 为烟雾传感器，其阻值 R_M 随着烟雾浓度的变化而改变，电阻 R 为可变电阻。当车厢内有人抽烟时，烟雾的浓度增大，导致报警装置 S 两端的电压增大，发出警报。下列说法正确的是

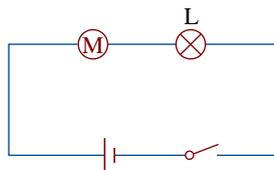
- A. R_M 随烟雾浓度的增大而增大
- B. R_M 随烟雾浓度的增大而减小
- C. 若要提高报警灵敏度，可增大 R
- D. 若要提高报警灵敏度，可减小 R



第 4 题

5. 如图所示的电路中，电源电动势 $E = 36 \text{ V}$ ，内阻 $r = 1 \Omega$ ，电灯 L 上标有“6 V 12 W”字样，直流电动机 M 线圈电阻 $R = 2 \Omega$ 。接通电源后，电灯恰能正常发光。下列说法正确的是

- A. 电路中的电流为 2 A
- B. 电动机两端的电压为 4 V
- C. 电动机产生的热功率为 60 W
- D. 电动机输出的机械功率为 48 W

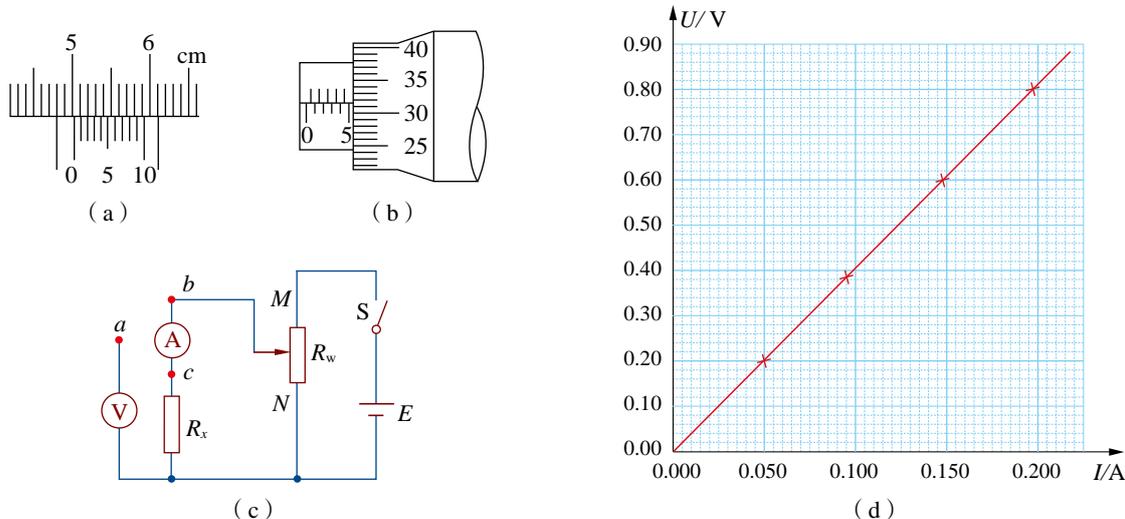


第 5 题

二、非选择题

6. 某同学测量一个圆柱体电阻丝的电阻率时，需要测量圆柱体的尺寸和电阻。

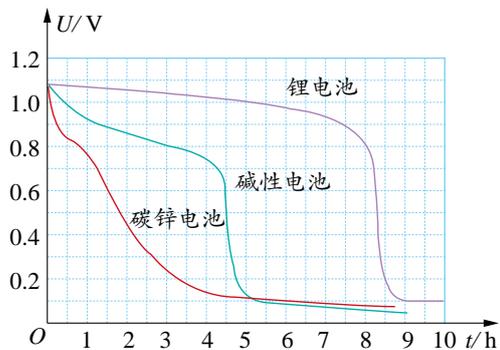
- (1) 分别使用游标卡尺和螺旋测微器测量圆柱体的长度和直径，某次测量的示数如图 (a) 和图 (b) 所示，则圆柱体的长度为 _____ cm，直径为 _____ mm。
- (2) 测量电阻丝的电阻 R_x ，所用电流表的内阻与 R_x 相当，电压表可视为理想电压表。若使用如图 (c) 所示电路图进行实验，要使得 R_x 的测量值更接近真实值，电压表的 a 端应连接到电路的 _____ (选填“ b ”或“ c ”) 点。
- (3) 图 (d) 为电阻丝的 $U-I$ 图像，则 R_x 为 _____ Ω (结果保留 2 位有效数字)。金属丝电阻率为 _____ $\Omega \cdot \text{m}$ (结果保留 1 位有效数字)。



第 6 题

7. 某同学为研究碳锌电池、碱性电池和锂电池工作的总时间，分别将三种电池与灯泡、开关相连，并用电压表测量灯泡两端的电压。图中显示了使用不同电池时，灯泡两端的电压随时间的变化。他还发现当灯泡两端的电压高于 0.6 V 时，灯泡才能发光。

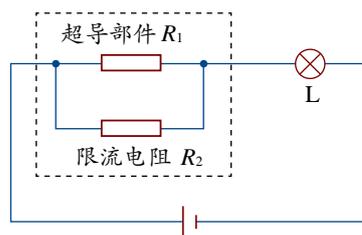
- (1) 请画出实验电路图。
- (2) 商家宣称，若使该灯泡发光，充满电的锂电池的寿命是碱性电池的 5 倍。此说法是否正确，为什么？
- (3) 上网查询并根据表中信息，请从经济环保的角度判断购买哪种电池更合理，并说明理由。



第 7 题

电池种类	每节电池售价/元
碳锌电池	1.5
碱性电池	3.8
锂电池	25.0

8. 高温超导限流器由超导部件和限流电阻并联组成，如图所示。超导部件有一个超导临界电流 I_c ，当通过限流器的电流 $I > I_c$ 时，将造成超导体失超，从超导态（电阻为零）转变为正常态（一个纯电阻），以此来限制电力系统的故障电流。已知超导部件的正常态电阻为 $R_1 = 3 \Omega$ ，超导临界电流 $I_c = 1.2 \text{ A}$ ，限流电阻 $R_2 = 6 \Omega$ ，小灯泡 L 上标有“6 V 6 W”字样，电源电动势 $E = 8 \text{ V}$ ，内阻 $r = 2 \Omega$ 。原来电路正常工作，现 L 突然发生短路，求 L 短路前和短路后通过 R_1 的电流。



第 8 题



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，根据下表左列的提示，进行自我评价，在表中填写学会了什么、存在什么问题、今后努力的方向等相关内容。

所学内容	我学会的	存在问题	努力方向
物理概念 规律及应用			
模型建构 科学推理 科学论证 质疑创新			
问题 证据 解释 交流			
科学本质 科学态度 社会责任			

第5章

初识电磁场 与电磁波

导 入 神奇的电磁波

第1节 磁场及其描述

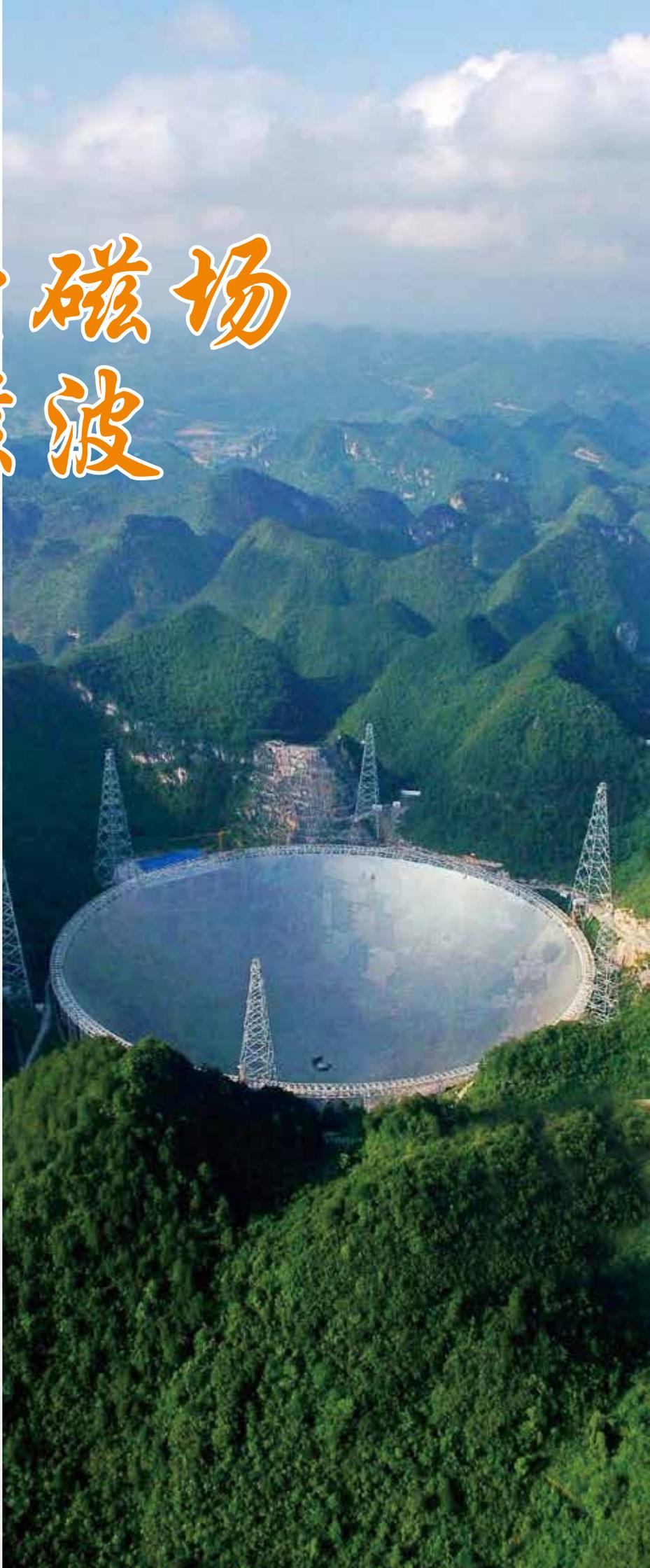
第2节 电磁感应现象及其应用

第3节 初识电磁波及其应用

第4节 初识光量子与量子世界

▶▶本章学业要求

- 能了解磁场、磁感应强度、磁通量、电磁感应的内涵，知道产生感应电流的条件，初步了解电磁场、电磁波，知道电磁场的物质性、光的能量是不连续的；能用磁感应强度、电磁感应、电磁波等有关内容说明电磁技术的一些应用。具有与电磁场、电磁波相关的初步的物质观念、相互作用观念和能量观念。——物理观念
- 能在熟悉情境中运用磁感线等模型解决问题；能对简单的磁场、电磁感应问题进行分析，通过推理，形成结论；能用与电磁场、电磁波相关的证据解释电磁现象；能对已有观点提出有依据的质疑，并能提出有创意的建议。——科学思维
- 能上网查询，提出与电磁场、电磁波相关的问题；能动手实验，验证所学的磁学和电磁感应方面的知识，能考虑安全问题；能根据实验现象形成结论；能主动与他人交流实验过程与结果。——科学探究
- 通过对场的认识，能体会人类对自然界的认识是不断发展的；能为我国古代在磁学方面的研究成果及其对人类文明的影响而自豪；能体会电磁技术应用对人类生活和社会发展带来的影响，能理性讨论电磁污染及其防护的问题，能意识到物理研究与应用会涉及道德与规范问题。——科学态度与责任



导 入

神奇的电磁波

电磁波已与我们的生产生活密不可分。当用手机向千里之外的亲友送去问候时，当通过电视收看世界各地正在发生的重大事件时，你知道这些音像是怎样传送的吗？当看见雷达天线直指天空时，你想知道其中的奥秘吗？它们与电磁波到底有着怎样的关系？



发射、接收电磁波信号的雷达天线

电磁波的发现和应用起源于人们对电和磁相互联系的研究。英国物理学家法拉第就是利用一些不起眼的磁铁、线圈等材料，发现了磁生电的奥秘，打开了电气时代的大门，为英国物理学家麦克斯韦（J. Maxwell，1831—1879）发现电磁波奠定了基础。

磁场有何特点？法拉第是怎样用线圈产生电的？电磁波是怎样产生的，有哪些应用？本章将探讨这些问题。



法拉第利用这些简易材料改变了世界

第1节

磁场及其描述

我们已经知道，磁体和通电导线周围都存在磁场，磁场有强弱和方向。如何描述磁场的强弱和方向？本节将学习描述磁场强弱和方向的物理量——磁感应强度，用磁感线形象地描述几种常见磁场的分布，并学习磁现象在生产生活中的应用。

1. 磁场 磁感应强度

我们知道，磁体的两个磁极靠近时，即使它们还未接触，也能表现出异名磁极相吸、同名磁极相斥的特点（图 5-1）。在图 5-2 所示的实验中，当导线中通过电流时，磁针就会发生偏转；当导线中的电流反向时，磁针也将反向偏转。

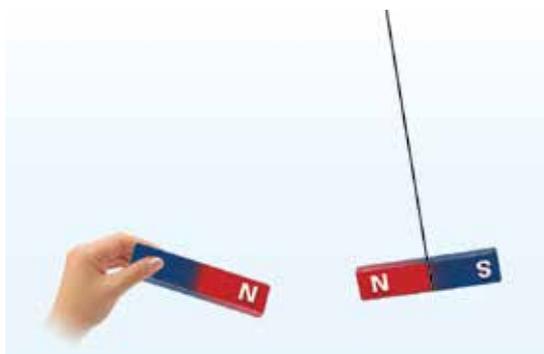


图 5-1 同名磁极相斥



图 5-2 电流使磁针发生偏转

为什么磁体间没有接触也会产生相互作用？为什么通电导线周围的磁针会发生偏转？这是因为在磁体或电流周围的空间存在一种特殊物质——磁场，磁场能够对磁体产生力的作用，令磁体与磁体间相互吸引或排斥，使磁针发生偏转。

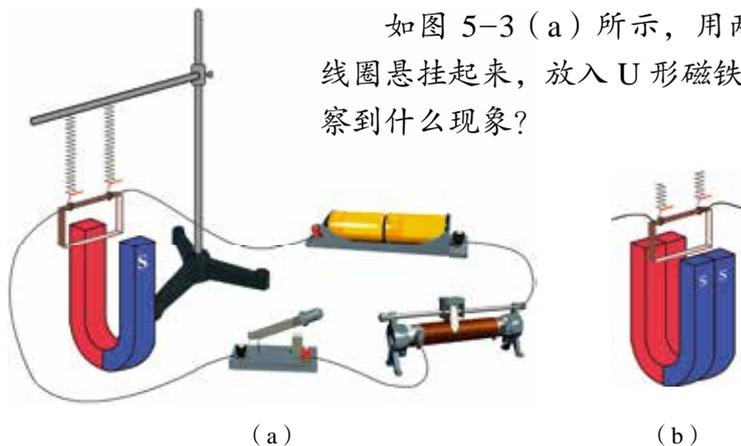
磁场有方向，人们把磁场中某点小磁针静止时北极的指向规定为该点磁场的方向。磁场还有强弱，在磁场中的不同位置，其强弱不尽相同。例如，条形磁铁形成的磁场，在靠近北极（N 极）和南极（S 极）处较强，在靠近中间位置处较弱。怎样描述磁场的强弱呢？



实验与探究

磁场对通电直导线的作用

如图 5-3 (a) 所示, 用两根劲度系数较小的弹簧把一矩形线圈悬挂起来, 放入 U 形磁铁形成的磁场中。接通电源, 你能观察到什么现象?



(a)

(b)

图 5-3 实验装置示意图

保持磁场和磁场中通电导线的长度不变, 改变电流的大小, 你能观察到什么现象?

磁场与电流的大小保持不变, 改变磁场中通电导线的长度, 如图 5-3 (b) 所示, 你又观察到什么现象?

大量实验表明, 通电电流越大, 通电直导线在磁场中的长度越长, 通电直导线受到的力就越大。精确实验表明, 在磁场中的某一位置垂直于磁场方向放入一小段通电直导线, 通电直导线受到的力跟电流和直导线长度的乘积成正比。因该比值与该通电直导线的长度和电流无关, 所以可用其描述磁场的强弱程度。

物理学中, 把垂直于磁场方向的一小段通电直导线受到的力 F 与电流 I 和直导线的长度 l 的乘积之比, 称为**磁感应强度** (magnetic induction), 用 B 表示。

$$B = \frac{F}{Il}$$

在国际单位制中, 磁感应强度的单位是特斯拉, 简称特, 符号为 T。

$$1 \text{ T} = 1 \text{ N} / (\text{A} \cdot \text{m})$$

磁感应强度是矢量。磁场中某点磁感应强度的方向, 即该点的磁场方向, 也就是放在该点的小磁针静止时 N 极的指向。

像电场一样, 磁场也遵从叠加原理。如果有几个磁场同时存在, 它们的磁场就互相叠加, 这时某点的磁感应强度就等于各个磁场单独存在时在该点磁感应强度的矢量和。

表 5-1 是某些物体产生磁场的磁感应强度。从表中可看出, 原子核表面的磁场很强, 而脑神经活动产生的磁场很弱。

表 5-1

一些磁场的磁感应强度

磁场	磁感应强度 B/T
原子核表面的磁场	约 10^{12}
小型条形磁铁磁极处的磁场	约 10^{-2}
太阳表面的磁场	约 10^{-2}
地球表面的磁场	$(3 \sim 7) \times 10^{-5}$
脑神经活动的磁场	约 5×10^{-13}

2. 磁感线

为了形象地描述磁场，英国物理学家法拉第提出了**磁感线**（magnetic induction line）的概念。磁感线是在磁场中画出的一些有方向的假想曲线，磁感线上任意一点的切线方向即该点的磁场方向。磁感线是闭合曲线，不会相交。磁感线分布越密的地方，磁感应强度越大；磁感线分布越疏的地方，磁感应强度越小。

实验中常用铁屑在磁场中被磁化的性质来显示磁感线的形状 [图 5-4 (a)]。图 5-4 (b) 是条形磁铁磁感线的分布示意图。在磁体外部，磁感线是由 N 极出发回到 S 极；在磁体内部，磁感线从 S 极到 N 极。

在磁场的某个区域内，如果各点的磁感应强度大小和方向都相同，则这个区域的磁场称为匀强磁场。在匀强磁场中，磁感线是一组平行且等距的直线。例如，两个相距很近的平行异名磁极间中央部分的磁场可视为匀强磁场（图 5-5），通电长螺线管内部的磁场也可视为匀强磁场。

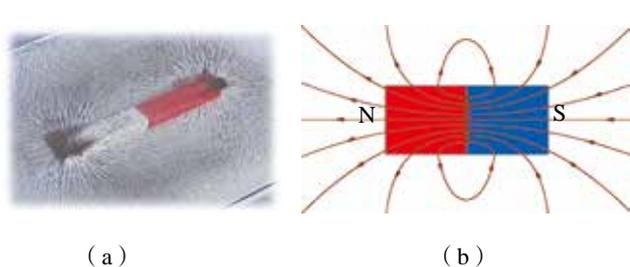


图 5-4 条形磁铁的磁感线示意图

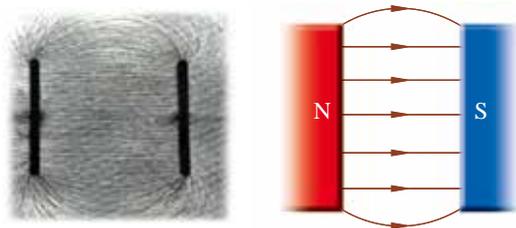


图 5-5 相距很近的平行异名磁极间中央部分的磁感线示意图

3. 电流的磁场

通电导线在周围空间会产生磁场。电流产生的磁场的磁感线有何特点？



迷你实验室

用铁粉和小磁针研究通电直导线周围的磁场

如图 5-6 所示，把铁粉均匀撒在水平放置的有机玻璃板上。接通电源使垂直导线中短暂地通过大电流，同时轻轻敲打有机玻璃板，观察铁粉的分布情况。再将小磁针放在板上检测磁场的方向。

改变电流方向，重复上述步骤。你观察到了什么变化？

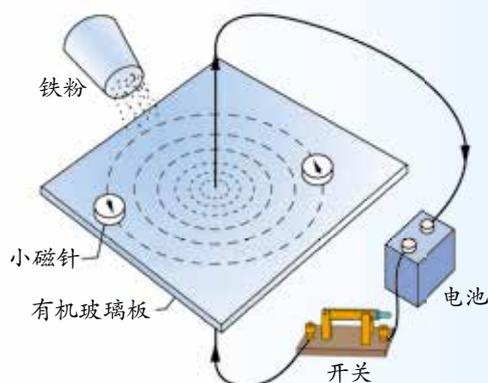


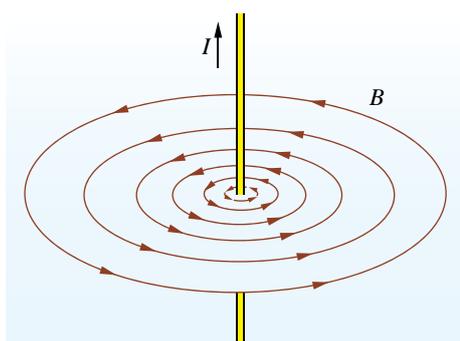
图 5-6 实验装置示意图

从铁粉的分布情况可以看出，通电直导线周围磁场的磁感线是以电流为中心的同圆心（图 5-7）。实验表明，当改变电流的方向时，小磁针的指向也会发生改变，这表明通电直导线周围空间的磁场方向与电流方向有关。

法国物理学家安培对通电直导线形成磁场的规律进行了深入探究，非常巧妙地总结出判断通电直导线周围磁场方向的**安培定则**（Ampere rule）：**用右手握住通电直导线，让伸直拇指的方向与电流的方向一致，则四指弯曲的方向就是电流周围磁感线的环绕方向**（图 5-8）。



(a)



(b)

图 5-7 通电直导线周围的磁场分布示意图

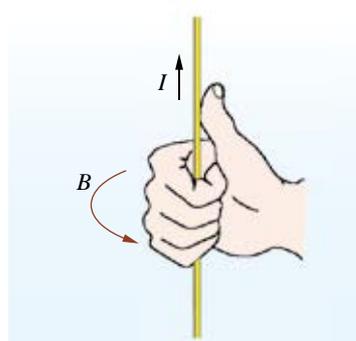
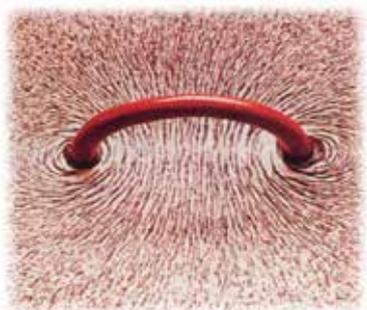


图 5-8 用安培定则判断通电直导线磁场方向的示意图

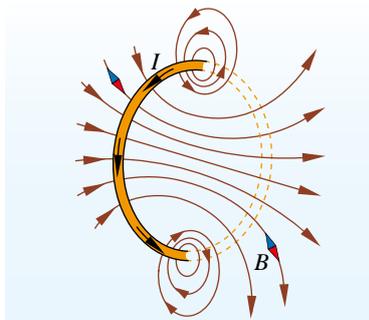
如果把通电直导线弯成环形，它的磁场又有什么特点呢？其实，通电圆环可视为由很多段通电直导线组成。从铁粉的分布情况可以看出，环形电流磁场的磁感线是一些绕

环形电流的闭合曲线，在环形电流的中心轴上，磁感线与环形电流所在的平面垂直，如图 5-9 所示。

环形电流的方向与中心轴线上磁感线方向的关系，也可以用安培定则来判断：让右手弯曲四指的方向与环形电流的方向一致，则伸直拇指所指的方向就是环形电流中心轴线处的磁感线方向（图 5-10）。



(a)



(b)

图 5-9 环形电流周围的磁场分布示意图

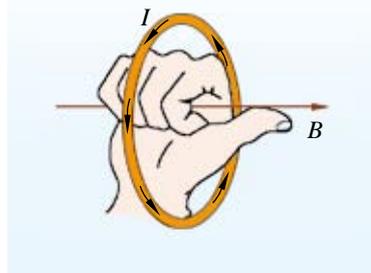
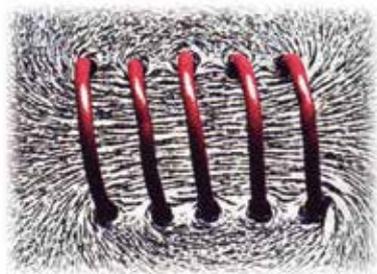


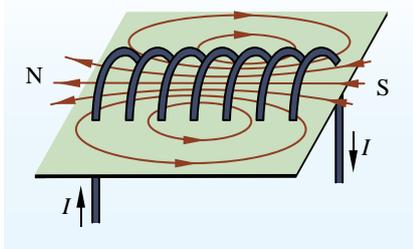
图 5-10 用安培定则判断环形电流磁场方向的示意图

多个通电环形导线放在一起，就形成了通电螺线管。由图 5-11 可发现，通电螺线管外部的磁感线与条形磁铁的磁感线相似，其内部的磁感线与螺线管的轴线平行，并和外部的磁感线连接，形成闭合曲线。

通电螺线管磁场方向的判断与环形电流相似：用右手握住螺线管，让弯曲四指所指的方向与电流的方向一致，则伸直拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向（图 5-12）。



(a)



(b)

图 5-11 通电螺线管的磁场分布示意图

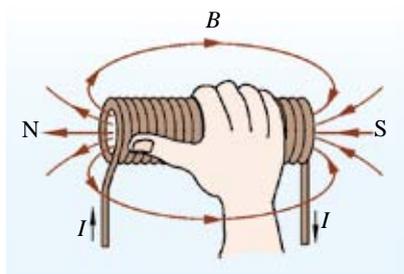


图 5-12 用安培定则判断通电螺线管中电流磁场方向的示意图

科学书屋

分子电流假说

19 世纪，安培提出了著名的“分子电流假说”。他认为，组成磁铁的最小单元（磁分子）就是分子环形电流，简称分子电流。若这些分子电流定向排列，在宏观上就会呈现出磁性（图 5-13）。当时，人们

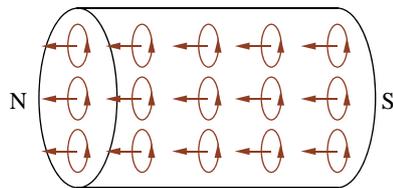


图 5-13 磁体对外显示磁性的示意图



不了解物质的微观结构，不能解释分子电流是如何形成的。20世纪后，人们逐渐认识到，原子内部电子的不断运动形成了分子电流。磁体和电流产生磁场，本质上都源于运动电荷。

分子电流假说能很好地解释磁化和退磁等现象。外加磁场让铁棒磁化，是磁场使其内部分子电流的取向变得大致相同的结果；而磁体在高温或剧烈振动的情况下，又会使磁体内部分子电流的取向混乱，使磁性减退或消失。

4.磁的应用及意义

(1) 指南针与航海业的发展

磁的应用源远流长。古人对磁技术的应用中，首屈一指的当数我国发明的指南针。

古人将天然磁石磨制成指示方向的器具，即“司南”（图5-14）。然而，用天然磁石磨制的司南，在震动或高温下容易减弱甚至失去磁性，应用并不广泛。北宋时期，人们将磁化钢针支撑在一个刻有方位的盘中，用来指示方向，从而发明了指南针（罗盘针）。

指南针的出现改变了夜晚依靠北极星辨别方向，白昼通过太阳确定方位的历史，为人们的远行提供了帮助，开启了航海技术革命，推动了世界各国航海事业的发展，为15~17世纪的地理大发现提供了重要条件。明初郑和七下西洋是人类航海史上的空前壮举，而指南针的应用则为这一壮举的完成作出了伟大贡献。



图5-14 汉代司南及底盘复原图

能为我国古代在磁学方面的研究成果及其对人类文明的影响而自豪；能体会磁技术应用对人类生活和社会发展带来的影响。

——科学态度与责任

素养提升

(2) 磁与现代技术

磁在现代科学技术中有广泛的应用。

在现代交通工具中的典型应用是高速磁浮列车。磁浮技术让列车悬浮于轨道之上行驶，极大地减小了列车受到的阻力，列车车速可达600 km/h。磁浮列车有常导电磁铁吸引式和超导电磁铁相斥式两种。常导电磁铁吸引式是根据磁铁异极相吸的原理，让导轨钢板的吸引力与车辆所受重力平衡，从而使车体悬浮 [图5-15(a)]；超导电磁铁相斥式

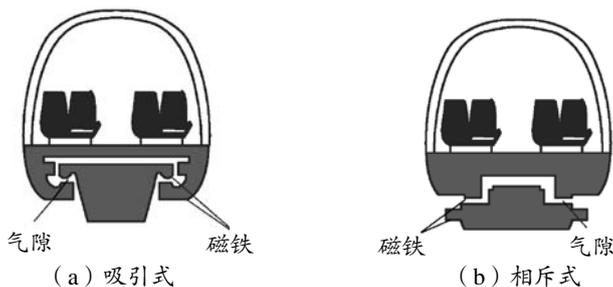


图5-15 两类磁浮列车原理示意图

是根据磁铁同极相斥的原理，利用车上超导电磁铁形成的磁场与轨道上磁铁形成的磁场所产生的相斥力使车体悬浮 [图 5-15 (b)]。近年来，人们还设想利用超导磁浮技术和真空管道，让列车在真空管中运行，预计最高速度可达几千千米每小时。

核磁共振成像技术是磁在医学诊断方面的重要应用 (图 5-16)。核磁共振成像技术是在核磁共振的基础上加上断层扫描和计算机辅助成像技术发展起来的，它与 X 射线成像和超声波成像相比，能获得更多的人体内部信息，尤其对被头骨包围的脑部病变和早期肿瘤病变的诊断更具优越性。



图 5-16 用核磁共振成像技术诊断病情

此外，种类繁多的发电机、电动机，电冰箱的磁密封条，微波炉产生微波的磁控管，收音机和电视机的多种磁元件，都要应用各种各样的磁性材料。



DIS 实验室

测量磁场中各点的磁感应强度

利用磁感应强度传感器、数据采集器和计算机，可测量磁场中各点的磁感应强度大小。

如图 5-17 所示，将条形磁铁放在坐标纸上，勾画磁铁轮廓，并在坐标轴上确定测量点。用连接在数据采集器和计算机上的磁感应强度传感器测量各点的磁感应强度。分析条形磁铁周围的磁感应强度的大小分布，对照条形磁铁的磁感线分布，你能得出什么结论？

连接数据采集器
的传感器探头

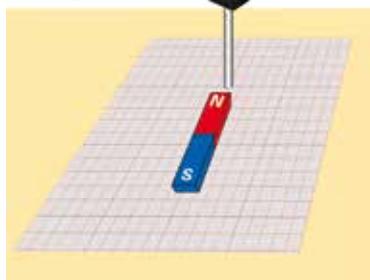


图 5-17 实验装置示意图



地磁场

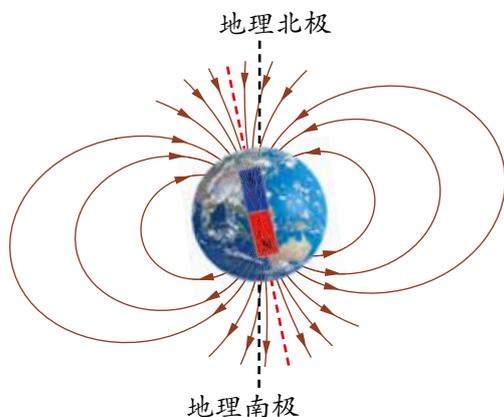


图 5-18 地球磁场示意图

地球本身是一个大磁体，它的N极位于地理南极附近，S极位于地理北极附近（图5-18）。在地磁两极，磁针竖直指向地面；在赤道上，磁针水平指示南北。磁针指示南北是一种近似的说法，小磁针的指向与地理正南正北方向之间的夹角称为磁偏角。对于地球磁性的成因，目前仍没有确定的说法，部分科学家认为是由地核中熔化了的金属（铁和镍）的环流引起的。

地磁场对人类的生产生活都有重要意义。根据地磁场出现的异常情况，可发现未知的矿藏或者特殊的地质构造。地磁场能使来自太阳的高速带电粒子流偏转，成为地球生命的“保护伞”。

科学家还根据对地球火山岩石的精确测定，发现地磁场强度和方向发生过多次变化（图5-19）。

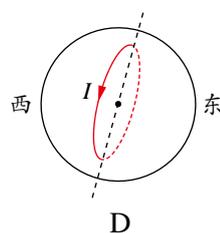
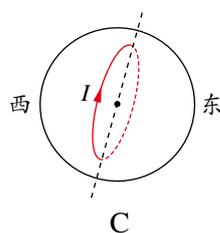
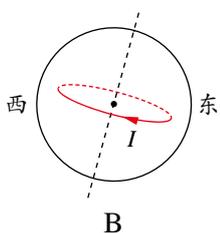
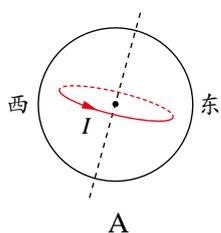


图 5-19 火山岩石记录了地磁场的变化

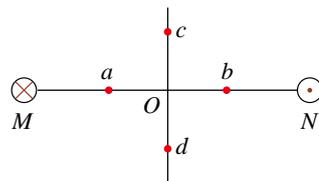


节练习

- 如果你在森林里迷路了，而身边有一个指南针，但上面关于南、北极的标记都脱落了，好在还有备有电池的手电筒和一段导线。你有什么办法能确定指南针的南、北极？
- 为了解释地球的磁性，安培假设地球的磁场是由以地心为圆心的环形电流 I 引起的。下列四个图中，能正确表示安培假设中环形电流方向的是



3. 如图所示, 两根互相平行的长直导线过纸面上的 M 、 N 两点, 且与纸面垂直, 导线中通有大小相等、方向相反的电流。 a 、 O 、 b 在 M 、 N 的连线上, O 为 MN 的中点, c 、 d 位于 MN 的中垂线上, 且 a 、 b 、 c 、 d 到 O 点的距离均相等。 下列说法正确的是



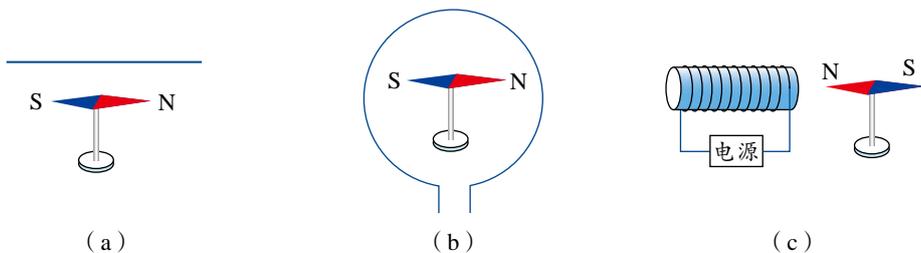
第3题

- A. O 点处的磁感应强度为零
- B. a 、 b 两点处的磁感应强度大小相等、方向相反
- C. c 、 d 两点处的磁感应强度大小相等、方向相同
- D. a 、 c 两点处的磁感应强度方向不同

4. 在匀强磁场中, 有一段 0.1 m 长的直导线和磁场方向垂直。导线通过的电流是 5.0 A 时, 受磁场力的作用是 0.2 N , 磁感应强度是多少? 现将直导线长度增加为原来的 2 倍, 通过的电流减小为原来的一半, 磁感应强度是多少? 如果把该通电导线拿走, 该处磁感应强度是多少?

5. 请判断下列情形中电流的方向。

- (1) 图 (a) 中, 当电流通过导线时, 导线下方磁针的 N 极转向纸外;
- (2) 图 (b) 中, 当电流通过环形导线时, 导线下方磁针的 N 极转向纸外;
- (3) 当电流通过螺线管时, 磁针 N 极的指向如图 (c) 所示。



第5题

请提问

第2节

电磁感应现象及其应用

1820年，丹麦物理学家奥斯特（H. Oersted，1777—1851）发现了电流的磁效应，拉开了研究电与磁相互关系的序幕。电流磁效应的发现给人们很大启示：既然电能够产生磁，反过来，磁也应该能够生电！科学家对此进行了大量的实验和探索，法拉第在经历了大约10年的不断失败后，终于发现了磁生电的现象——电磁感应现象。本节将学习电磁感应现象及其应用。

1. 磁通量

为研究问题，电磁学中引入了一个物理量——磁通量。设在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直、面积为 S 的平面（图 5-20），我们把磁感应强度 B 与面积 S 的乘积，称为穿过这个平面的**磁通量**（magnetic flux），简称磁通，用 Φ 表示。

$$\Phi = BS$$

磁通量是标量，国际单位是韦伯，简称韦，符号为 Wb 。

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$$

我们知道，磁感线的疏密程度表示磁感应强度的大小。在磁场中某处垂直于磁场方向选取一个平面，可用穿过该平面单位面积的磁感线条数来表示磁感线的疏密程度。垂直穿过该单位面积的磁感线条数越多，磁感线就越密，磁感应强度就越大，反之亦然。我们规定：**垂直穿过单位面积的磁感线条数等于该处的磁感应强度的大小**。穿过某个面的磁通量可理解为穿过该面的磁感线条数。

在匀强磁场中，如果面积为 S 的平面与磁场方向不垂直，设 S 与垂直于 B 的平面间的夹角为 α ，则在计算通过 S 的磁通量时，应先画出 S 在该垂直平面上的投影 S_n ，穿过 S 的

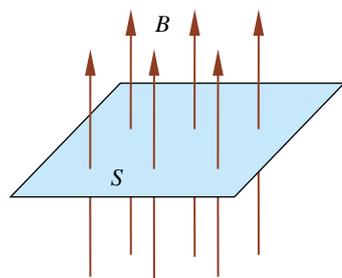


图 5-20 面积为 S 的平面与磁场方向垂直的示意图

磁感线条数和穿过 S_n 的磁感线条数相等 (图 5-21), 所以穿过 S 的磁通量为

$$\Phi = BS_n = BS \cos \alpha$$

当 $\alpha = 0^\circ$ 时, B 的方向与 S 垂直, Φ 最大; 当 $\alpha = 90^\circ$ 时, B 的方向与 S 平行, $\Phi = 0$; 当 $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ 时, 有 $0 < \Phi < BS$ 。

由 $\Phi = BS_n$ 可以得出 $B = \frac{\Phi}{S_n}$ 。这表示磁感应强度在数值上等于穿过垂直于磁感线的单位面积的磁通量。人们还把磁感应强度称为**磁通密度** (magnetic-flux density), 单位是 Wb/m^2 。

$$1\text{T} = 1\text{Wb/m}^2 = 1\text{N}/(\text{A} \cdot \text{m})$$

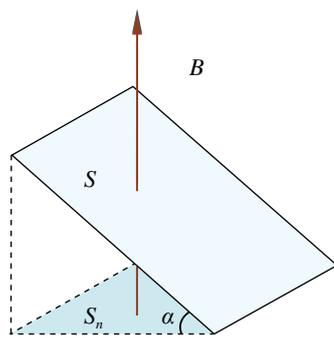


图 5-21 穿过 S 和 S_n 的磁感线条数相等

例题

面积为 0.5 m^2 的矩形线圈处于磁感应强度为 3 T 的匀强磁场中, 线圈平面与磁场方向垂直, 穿过该线圈的磁通量是多少? 如果转动线圈使线圈平面与磁场方向夹角为 60° (图 5-22), 穿过该线圈的磁通量又是多少?

分析

在匀强磁场中, 当线圈平面与磁场方向垂直时, 可根据磁通量的定义式 $\Phi = BS$ 计算磁通量; 当线圈平面与磁场方向不垂直时, 可应用 $\Phi = BS \cos \alpha$ 计算磁通量, α 为线圈平面与垂直于磁场方向投影面的夹角。

解

已知 $S = 0.5\text{ m}^2$, $B = 3\text{ T}$ 。

因线圈平面与磁场方向垂直, 所以

$$\Phi_1 = BS = 3 \times 0.5\text{ Wb} = 1.5\text{ Wb}$$

因线圈平面与磁场方向夹角为 60° , 即与垂直于磁场方向投影面的夹角为 30° , 所以

$$\Phi_2 = BS \cos \alpha = 3 \times 0.5 \times \cos 30^\circ\text{ Wb} = 1.3\text{ Wb}$$

当线圈平面与磁场方向垂直时, 穿过该线圈的磁通量是 1.5 Wb ; 当线圈平面与磁场方向夹角为 60° 时, 穿过该线圈的磁通量是 1.3 Wb 。

讨论

线圈平面与磁场方向垂直时磁通量最大, 线圈转动后穿过线圈的磁感线条数减少, 磁通量减小。因此, 计算结果合理。

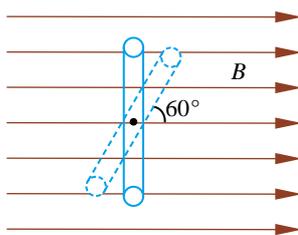


图 5-22 线圈在匀强磁场中转动的示意图

策略提炼

在匀强磁场中才能应用公式 $\Phi = BS \cos \alpha$ 计算磁通量。应用公式时还需要明确公式中各物理量的含义。



迁移

在一些问题的讨论中，有时需要知道磁通量的变化量。磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 指变化后的磁通量 Φ_2 与变化前的磁通量 Φ_1 之差的绝对值，即 $\Delta\Phi = |\Phi_2 - \Phi_1|$ 。在上述问题中，穿过线圈的磁通量的变化量是多少？

2. 电磁感应现象

磁在什么条件下才能生电？下面我们通过实验来进行探究。



探究1：导体在磁场中运动会产生电流吗

如图 5-23 所示，将导轨、可移动导体棒 AB 放置在磁场中，并和电流计组成闭合回路。注意观察在下列情况下电路中是否有电流产生。

- (1) 让导体棒与磁场保持相对静止；
- (2) 让导体棒平行于磁感线运动（与导轨不分离）；
- (3) 让导体棒做切割磁感线运动（与导轨不分离）。

探究2：条形磁铁插入或拔出螺线管会产生电流吗

如图 5-24 所示，将螺线管与电流计组成闭合回路。把条形磁铁插入或拔出螺线管，注意观察电路中是否有电流产生。

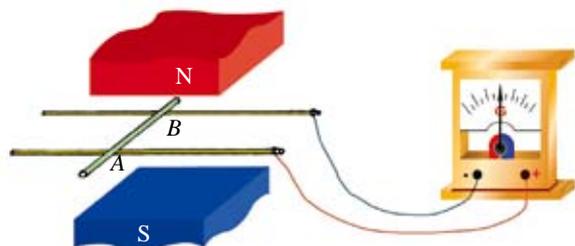


图 5-23 导体棒在磁场中运动的示意图



图 5-24 将磁铁插入或拔出螺线管的示意图

在探究 1 中，当导体 AB 在磁场中静止或平行于磁感线运动时，无论磁场多强，闭合回路中都没有电流；当导体 AB 做切割磁感线运动时，闭合回路中有电流产生。

在探究2中，当条形磁铁静止在螺线管中时，无论磁铁的磁场多强，回路中都没有电流产生；将磁铁插入或拔出螺线管时，组成螺线管的导线切割磁感线，闭合回路中有电流产生。

在图5-25中^①，当导体棒做切割磁感线运动时，穿过闭合回路的磁通量也发生变化。请你分析磁通量是如何变化的。在探究2中，当磁铁和螺线管相对静止时，穿过螺线管的磁通量不变，螺线管中没有电流。将磁铁插入螺线管时[图5-26(a)]，穿过螺线管的磁通量增大，将磁铁拔出螺线管时[图5-26(b)]，磁通量减小，在这两种情况下，闭合回路中都有电流产生。

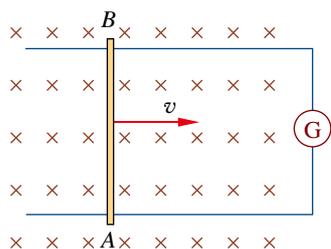


图5-25 导体棒切割磁感线的示意图

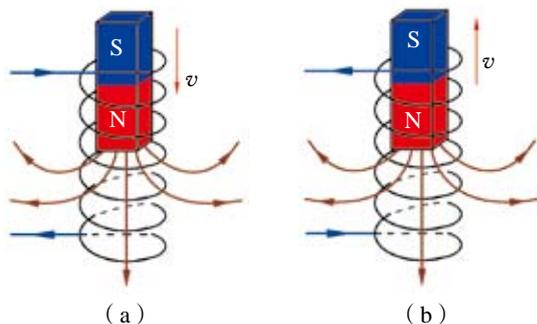
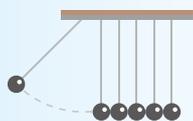


图5-26 磁铁插入或拔出螺线管的示意图

是否只有导体和磁场发生相对运动使闭合回路中的磁通量发生变化时，才能产生电流呢？



实验与探究

探究3：磁场和导体无相对运动会产生电流吗

如图5-27所示，螺线管A与滑动变阻器、电源、开关组成一个回路；螺线管A放在螺线管B内，螺线管B与电流计组成一个闭合回路。分别在开关闭合瞬间、开关闭合后保持滑动变阻器滑片不动、开关闭合后快速移动滑动变阻器滑片、开关断开瞬间这四种情况下观察螺线管B所在回路中是否有电流产生。

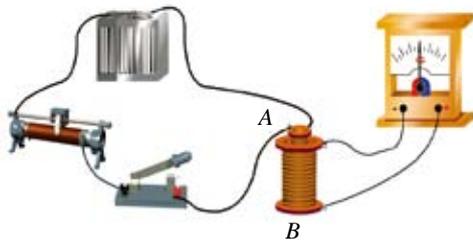


图5-27 实验装置示意图

在探究3中，导体和磁场之间并没有发生相对运动。当螺线管A的电流不变时，螺线管B所在回路中没有电流产生；当螺线管A的电流变化时，螺线管B所在回路中就产生了电流。

^① 本套教科书用“·”表示磁感线垂直于纸面向外，“×”表示磁感线垂直于纸面向里，“⊙”表示电流垂直于纸面向外，“⊗”表示电流垂直于纸面向里。



在开关闭合的瞬间，螺线管A中的磁场由零开始增强，由于螺线管A插在螺线管B内，穿过螺线管B的磁通量增大；同样道理，在开关断开的瞬间，穿过螺线管B的磁通量减小；开关闭合后移动滑动变阻器的滑片，螺线管A的电流变化使它产生的磁场发生变化，穿过螺线管B的磁通量相应地发生变化。闭合开关后保持滑动变阻器滑片不动时，穿过螺线管B的磁通量不变。

综合探究1~3可以看出，尽管通过磁场产生电流的方式各不相同，但穿过闭合回路的磁通量都发生了变化；如果磁通量稳定不变，就不能使闭合回路产生电流。大量的实验研究表明，通过磁场产生电流的条件可以归纳为：只要穿过闭合回路的磁通量发生变化，闭合回路中就会产生电流。

因闭合回路的磁通量变化而产生电流的现象称为**电磁感应**（electromagnetic induction），所产生的电流称为**感应电流**（induction current）。

例题

如图5-28所示，当线圈在匀强磁场中绕 OO' 轴转动时，线圈中是否有感应电流？为什么？

分析

只要穿过闭合线圈的磁通量发生变化，线圈中就会产生感应电流。而磁通量是否发生变化，可由穿过线圈的磁感线条数是否变化来判断。

解

在图5-28(a)中，线圈绕平行于磁感线的轴转动，无论转到什么位置，线圈平面都没有磁感线穿过，即线圈的磁通量始终为零，所以线圈中没有感应电流。

在图5-28(b)中，线圈绕垂直于磁感线的轴转动时，穿过线圈的磁感线条数不断发生变化，即磁通量发生了变化，所以线圈中有感应电流。

讨论

本题还可依据 $\Phi = BS\cos\alpha$ 判断磁通量是否改变，请试试。

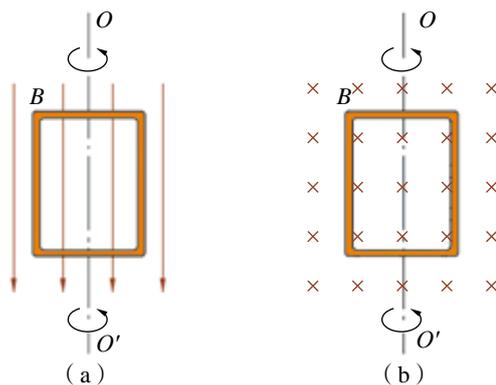


图5-28 线圈在匀强磁场绕轴转动示意图

策略提炼

判断闭合回路能否产生感应电流，首先要确定研究的回路，再判断穿过该回路的磁通量是否变化。磁通量是否发生变化，一般可由穿过回路的磁感线条数是否变化来判断；若磁场为匀强磁场，还可用 $\Phi = BS\cos\alpha$ 来判断。

迁移

判断穿过闭合回路的磁通量是否变化，还需明确回路所在处磁场的磁感线分布特点。如图 5-29 所示，通电长直导线 MN 与闭合的矩形金属线圈 $abcd$ 彼此绝缘，可视为在同一水平面内，直导线与线圈的对称轴线重合。当直导线 MN 中电流增大时，穿过线圈 $abcd$ 的磁通量是否变化？线圈中是否有感应电流？请判断并说出理由。

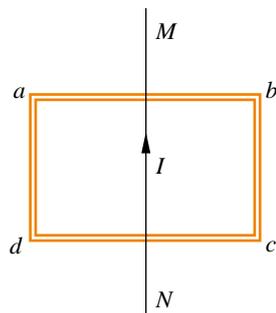


图 5-29 通电长直导线与闭合线圈示意图

3. 电磁感应的应用

电磁感应现象这一划时代的伟大发现进一步揭示了电和磁的内在联系，具有重要的理论意义和极大的应用价值，引领人类社会进入了电气时代。在现代生产生活中，有着极为广泛的应用。

(1) 计算机磁盘与磁记录

磁记录的研究和应用可以追溯到 1898 年。当时，丹麦工程师波尔森（V.Poulsen，1869—1942）将声音用磁的方法记录在磁性钢丝上，由此发明了录音机。20 世纪 50 年代，磁记录开始应用到电脑、电视、人造卫星和宇宙飞船的信息记录和传送上，应用领域不断扩大。

磁记录的形式虽然千差万别，原理却极其相似。以计算机磁盘（图 5-30）为例，磁盘将圆形的磁性盘片装在密封盒子里用于记录数字信息，读写磁头（电磁铁）用来录制和读取信息。录制时，磁头产生的磁场随数字信息而改变，当磁性盘片转动时，变化的磁场将磁盘上的磁性材料磁化，就记录下相应的磁信号。读取信息时，磁盘再次通过磁头，电磁感应使磁头产生的电流与录制时的电流一致，从而获得录制的信息。

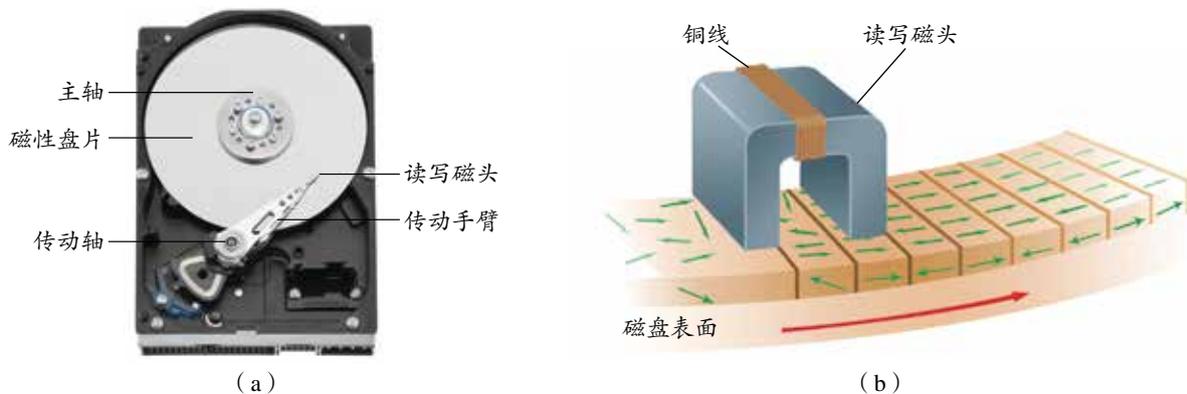


图 5-30 计算机磁盘及其磁记录原理示意图

磁除了可用来记录声音、影像等数字信息外，还可以用来记录其他信息。例如，图书馆（或商店）贴有磁防盗卡的书籍（或商品）未经消磁带出时，防盗装置会受磁防盗卡作用而报警。



(2) 无线充电

人们还利用电磁感应制成了手机无线充电装置(图5-31)。充电座和手机分别内置线圈,当手机放在充电座上时,充电座的线圈产生变化磁场,使手机的线圈产生感应电流,感应电流经转换变为直流电后便能给手机电池充电了。

(3) 动圈式话筒

话筒是把声音转变为电信号的装置,图5-32是动圈式话筒结构图。动圈式话筒由膜片、线圈、永磁体等构成。当人对着话筒讲话时,声波使金属膜片振动,连接在膜片上的线圈(音圈)随之在永磁铁的磁场里振动,从而产生感应电流。感应电流的大小和方向不断发生变化,这种带有声音信号的感应电流经扩音器放大后,扬声器就能放出被放大的声音了。

能了解磁场、磁感应强度、磁通量、电磁感应的内涵,知道产生感应电流的条件;能用磁感应强度、电磁感应说明电磁技术的一些应用。具有与电磁场相关的初步的物质观念、相互作用观念和能量观念。

能体会电磁技术应用对人类生活和社会发展带来的影响。

——物理观念,科学态度与责任



图5-31 手机无线充电

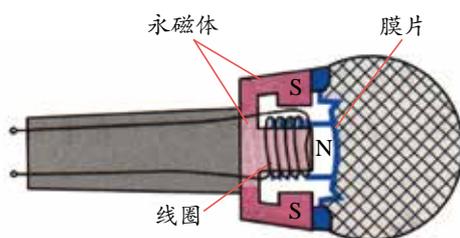
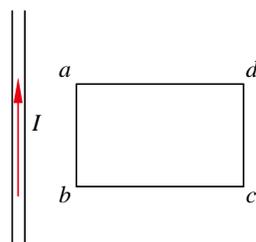


图5-32 动圈式话筒结构示意图

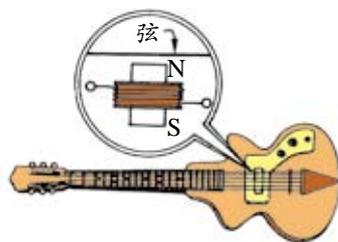


节练习

- 如图所示,矩形导线框 $abcd$ 位于竖直放置的通电长直导线附近,导线框和长直导线在同一竖直平面内,线框的 ab 和 cd 两边与长直导线平行。在下面的四种情况中,框内有无感应电流?为什么?
 - 导线框竖直下落;
 - 导线框沿垂直于纸面方向向纸内平移;
 - 导线框以 ab 边为轴向纸外转动;
 - 导线框以长直导线为轴,整个框面向纸外转动。
- 在有磁铁矿的地方,地磁场会出现异常。地质工作者常利用这一现象探矿、找矿。用一个灵敏电流计、一个多匝大线圈,你能进行简单的模拟测试吗?说说你的测试方法及可能遇到的问题。
- 如图所示,电吉他的弦是磁性物质。当弦振动时,线圈产生感应电流,感应电流输送到放大器、喇叭,把声音播放出来。请解释电吉他是如何产生感应电流的。弦能否改用尼龙材料?



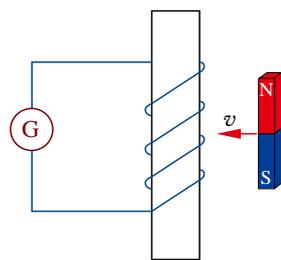
第1题



第3题

4. 如图所示, 条形磁铁以速度 v 向螺线管靠近。下列说法正确的是

- A. 螺线管会产生感应电流
- B. 螺线管不会产生感应电流
- C. 只有磁铁速度足够大, 螺线管才会产生感应电流
- D. 只有磁铁磁性足够强, 螺线管才会产生感应电流

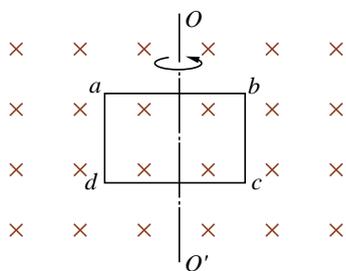


第4题

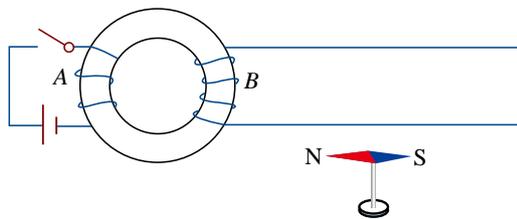
5. 把矩形线圈 $abcd$ 放在如图所示的匀强磁场中, 已知线圈面积为 0.05 m^2 , 磁感应强度为 0.06 T 。

- (1) 当线圈平面与磁场垂直时, 穿过线圈的磁通量是多少?
- (2) 线圈平面从图示位置绕 OO' 轴转过 60° 时, 穿过线圈的磁通量又是多少?

6. 把两个线圈绕在同一个铁环上, 如图所示, 一个线圈 A 连接电池与开关, 另一个线圈 B 闭合并在其中一段直导线附近放置小磁针。开关闭合瞬间, 磁针偏转了一下, 随即复原; 开关断开瞬间, 磁针反向偏转, 随即复原。磁针偏转的原因是什么? 请作出解释。



第5题



第6题

请提问

第3节

初识电磁波及其应用

收音机是通过接收广播电台发射的电磁波来播放节目的。将正在播放节目的收音机放在桌子上，摇动桌面上起电机的手柄，让起电机的两个金属球间产生火花放电，这时我们会发现收音机播放的节目受到了干扰而发出噪声。难道火花放电也会产生电磁波？电磁波究竟是怎样产生的？本节将初步学习电磁波的相关知识，了解电磁波的产生、应用及其带来的影响。

1. 电磁波的产生

我们先来观察一个实验。

如图 5-33 所示，将可拆变压器带铁芯的线圈甲接 220 V 的交流电源，再将连接有小灯泡的闭合线圈乙套入铁芯，我们会观察到灯泡发光。灯泡发光说明乙线圈产生了感应电流。感应电流是怎样产生的呢？

线圈甲通有交流电时会产生变化的磁场，使穿过线圈乙的磁通量发生变化而产生感应电流。感应电流形成的本质是什么？为解释这类电磁感应现象，英国物理学家麦克斯韦提出，变化的磁场在周围空间激发出一种电场，不管有无闭合回路，激发的电场总是存在的。在上述现象中，正是因为这个电场使闭合回路的自由电子定向移动而形成了电流。麦克斯韦还认为，变化的电场也能够产生磁场。

由此可见，电场和磁场是紧密联系在一起的。周期性变化的磁场周围会产生周期性变化的电场，周期性变化的电场周围也会产生周期性变化的磁场。变化的电场和变化的磁场相互联系在一起，就会在空间形成一个统一的、不可分割的**电磁场**（electromagnetic field）。

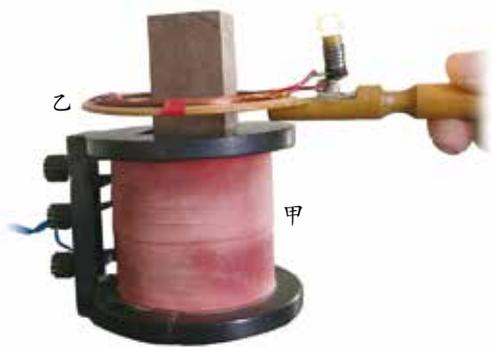


图 5-33 变化的磁场产生电流

这种在空间交替变化的电磁场传播出去就形成了**电磁波**（electromagnetic wave）。图 5-34 是电磁场传播形成电磁波的示意图。

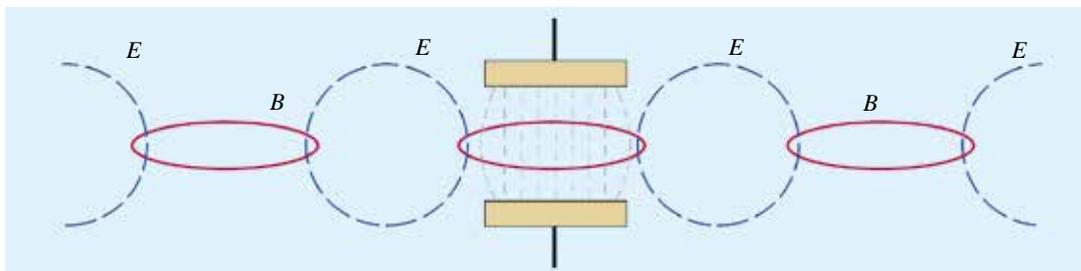


图 5-34 电磁场传播示意图

麦克斯韦还根据他提出的电磁场理论，计算得出电磁波的传播速度恰好与真空中的光速相同。麦克斯韦指出，二者相同并非巧合，光的本质也是电磁波。麦克斯韦的这一预言将电、磁、光的现象统一起来，是牛顿力学之后物理学领域又一次大的综合。1888 年，德国物理学家赫兹（H. Hertz, 1857—1894）通过实验证实了电磁波的存在，从而证实了麦克斯韦电磁场理论，并预示着无线电技术的到来。

2. 电磁波的应用

1895 年，意大利的马可尼（G. Marconi, 1874—1937）成功地进行了距离约 3 km 的无线电通信。几乎与马可尼同时，俄国的波波夫（A. Popov, 1859—1906）也研制成功了无线电收发报机。1901 年，马可尼又成功地进行了跨越大西洋的无线电通信，实现了人类历史上第一次远距离无线电通信。1906 年，美国物理学家费森登（R. Fessenden, 1866—1932）进行了人类历史上第一次无线电广播。从此，广播、通信事业在全球蓬勃发展。用无线电波传递的声音或画面信号被送到发射天线发出，收音机或电视机接收到信号后，再将电信号转换为原来的声音或图像，我们就能收听到广播、看到电视画面了。

手机通话是靠一种特殊的无线通信系统来实现的。移动通信所在的服务区被划分成许多看不见的正六边形服务小区，每个服务小区中心或角的顶点都设置无线基站（图 5-35），只要你在服务小区内打开手机，服务小区的无线基站就会自动将手机与移动交换中心接通，再由移动交换中心将电话接入普通电话通信网，接通电话。当你边打电话边移动到另一个服务小区时，原服务小区的无线基站会自动把信号转移给新小区的无线基站，从而保证通话的连续。

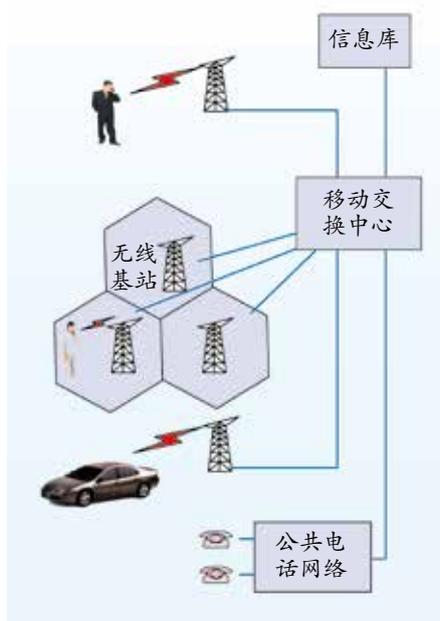


图 5-35 通信网络示意图



雷达是一种用来检测飞行器、船只等远距离物体位置的系统。雷达系统由天线、发射机和接收机组成（图 5-36）。雷达天线发射高频电磁波，电磁波遇到障碍物会被反射回来，接收机接收反射信号，根据信号的返回时间和方向可判断远处物体的方位。雷达还可用于预报天气、绘制地图等。

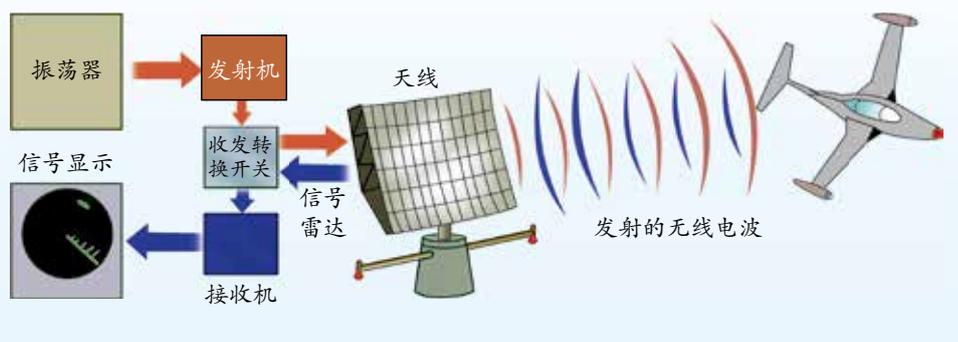


图 5-36 雷达工作原理示意图

卫星通信利用距地面约 36 000 km 高处的地球同步卫星传递微波通信信号。只要在地球高空轨道上设置三颗同步卫星，卫星通信网就基本可以覆盖整个地球表面（图 5-37），进行全球国际通信和电视节目转播。卫星通信具有覆盖面广、通信距离长、不受地理环境限制，以及投资少、见效快等独特的优点。目前，卫星通信主要分为国际卫星通信、区域卫星通信和国内卫星通信。

射电望远镜利用接收宇宙中发射出的电磁波信号来探测宇宙天体。如在必修第二册中介绍的“中国天眼”已发现多颗脉冲星，使人类得以窥见宇宙更加深远的神奇景象。

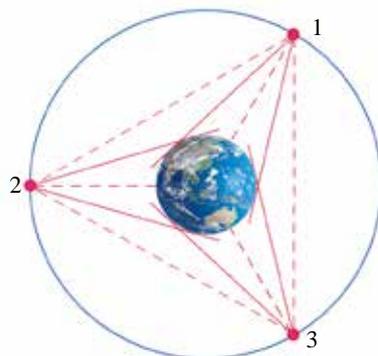


图 5-37 三颗等距离同步卫星实现全球覆盖的示意图

3. 电磁污染及防护

电磁污染又称电磁波污染或射频辐射污染。随着无线电技术、微波技术的迅速发展和普及，地面电磁辐射的密度和功率大幅度增加，电磁污染已成为一种威胁人类健康的无形污染。

电磁辐射会给人们的生产生活带来不利影响。例如，电磁辐射会干扰通信系统，使自动控制装置发生故障，飞机导航仪表发生错误和偏差，影响地面站对人造卫星、宇宙飞船的控制等。电磁辐射还会干扰电视信号，使电视图像不清晰或变形，并发出令人难以忍受的噪声。过量的电磁辐射对心脏、血液和眼睛等都有很大的危害。

电磁辐射的防护涉及科学、技术与社会诸多方面。从物理学的角度看，可以从电磁波源、电磁波的传播途径及受辐射的人这三个方面进行防护。从电磁波源方面来防护，可以通过技术革新减小电磁波发射功率，或者采用替代措施，将向空间发射的电磁波信号改为通过电缆或光缆传送。从电磁波的传播途径方面来防护，可以采用屏蔽的方法，将电磁辐射源与外界隔离，阻止它向外扩散与传播，或者将电磁辐射源建在远离人群的地方，使电磁波的强度随距离的增大而衰减。对于无屏蔽条件或虽然采取了屏蔽措施但不能完全屏蔽的情况，在电磁波辐射区域工作的人员必须采取个人防护措施，如穿防护衣、戴防护头盔和防护眼镜等，以减轻电磁辐射对人体的伤害。

能体会电磁技术应用对人类生活和社会发展带来的影响，能理性讨论电磁污染及其防护的问题，能意识到物理研究与应用会涉及道德与规范问题。

——科学态度与责任

素养提升

节练习

1. 什么是电磁场？电磁波是怎样产生的？
2. 请你举例说明生活中的电磁波应用。
3. 查找资料，根据你收集的证据写一篇关于如何降低电磁波辐射带来的安全隐患的调研报告。

请提问

第4节

初识光量子与量子世界

光是电磁波的学说得到承认后，几乎所有光的现象都能够用光的电磁理论进行解释。然而，这一似乎完美的理论在解释某些光的现象时，却遇到一些困难。这引发了人们对光的电磁波说的再认识，开创了量子理论的新时代。本节将学习量子理论的一些初步知识。

1. 光的量子化

光的本质是什么？

人们对该问题的研究由来已久，最早有光的微粒学说和光的波动学说。牛顿是光的微粒学说的创始人。牛顿认为，光是从光源射出的具有高速度的粒子流。光的微粒学说可以解释光的反射、光的颜色等。因此，在 18 世纪，微粒学说得到许多人的认可。但是，微粒学说不能解释光的干涉现象等。荷兰物理学家惠更斯（C. Huygens, 1629—1695）认为，光像水波一样，也是一种波，叫光波。光的干涉、衍射、偏振（这些将在选择性必修课程中学习）等现象被发现后，光的波动学说才得到广泛承认。19 世纪 60 年代，英国物理学家麦克斯韦创立的经典电磁场理论揭示出“光是一种电磁波”。

19 世纪末，人们发现用光照射金属会使金属发射出电子，这种现象叫光电效应。而用电磁波来解释光电效应遇到了困难，这触发了人们对光的本质的再认识。爱因斯坦在解释光电效应时，受普朗克量子假说的启发提出了光量子假说，认为光的发射、传播和接收都是以一份份光子的形式进行的，由此很好地解释了光电效应。人们当时并未充分意识到能量量子化假说与麦克斯韦经典电磁场理论是不相容的，而光量子假说却将这种不相容性表现得更为明显。因此，即使是普朗克都拒绝接受光量子概念。1916 年，美国物理学家密立根虽用实验精确证实了爱因斯坦给出的光电效应定律，但他却并不相信光量子的存在。直到 1923 年，康普顿效应的发现才最终令人信服光量子假说的正确性，光量子概念开始为人们所接受。随后，光量子被正式命名为光子（photon）。

这使人们进一步认识到光既具有波动特性，又具有粒子特性，即具有波粒二象性。光在一定的条件下，突出地表现出微粒性，实质为不连续性；在另一些条件下，又突出地表现出波动性。

2. 初识量子世界

德国物理学家普朗克最早提出量子假说，开创了量子理论的新时代。普朗克从 1894 年起投入对黑体辐射的探索和研究之中。在用经典理论无法解释实验结果的情况下，他提出了崭新的量子假说。

量子假说认为，物质辐射（或吸收）的能量 E 只能是某一最小能量单位的整数倍。

$$E = n\varepsilon \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

辐射是由一份份的能量组成的，就像物质是由一个个原子组成的一样。一份能量就是一个量子，量子的能量 ε 与频率 ν 成正比。

$$\varepsilon = h\nu$$

式中， $h = 6.626\ 176 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。这是普朗克引进的一个物理普适量，称为普朗克常量。普朗克常量是微观现象量子特性的表征，在物理学中有着重要的作用，被认为是最基本的物理常量之一。

一个物理量如果存在最小的不可分割的基本单位，那么该物理量是量子化的，并把这个最小的基本单位称为量子。在宏观领域，量子化通常可忽略不计。例如，沿山坡滚下的石头，其动能和势能都是连续变化，不会从一个数值跃变到另一个数值。在微观世界里，量子化则是显著的。

量子理论不仅改变了人类对物质结构及其相互作用的理解，还为电子扫描隧道显微镜、量子保密通信等现代技术奠定了基础。量子理论应用于计算机技术，还使计算机朝着更小更快的方向发展，进一步拓展了人们对大千世界的认识。

知道光是一种电磁波，知道光的能量是不连续的，初步了解微观世界的量子化特征。具有与光的量子化有关的能量观念。

通过对场的认识，能体会人类对自然界的认识是不断发展的。

——物理观念，科学态度与责任

素养提升



科学书屋

普朗克与量子化假说

普朗克（图 5-38），德国物理学家，量子论的奠基人。他在少年时代酷爱科学与艺术，由于启蒙老师的影响，他志趣转向了自然科学。

19 世纪末，为了从理论上解释黑体辐射，物理学家作出了很多努力。其中，维恩公式在短波区与实验较吻合，但在长波区偏离较大；瑞利—金斯公式在长波区与实验比较符合，



图 5-38 普朗克



但在短波区域与实验不符：随着波长变短，即向紫外区域延伸时，从公式推出的辐射能量无限大，而实验结果却趋于零。这个非常荒谬的结果出现在紫外区，因此被称为“紫外灾难”。

普朗克在前人研究的基础上，提出了符合实验结果的普朗克辐射定律。但普朗克并不满足于此，而是致力于找出这个公式的真正物理学意义。由此，普朗克提出了量子假说，从理论上推导出了普朗克辐射定律。量子假说的提出，不同于经典物理学的连续性观念，为量子力学的建立奠定了基础。他因此荣获1918年诺贝尔物理学奖。



节练习

- 普朗克在1900年提出了量子假说，开创了物理学的新纪元。在下列宏观概念中，具有量子化特征的是
 A. 人的个数 B. 物体所受的重力 C. 物体的动能 D. 物体的长度
- 下列说法正确的是
 A. 在微观世界，物体的能量是连续变化的
 B. 光子的能量 $\varepsilon = h\nu$
 C. 光既具有波动特性，又具有粒子特性
 D. 不论是宏观物体还是微观粒子，经典力学和量子力学都是适用的

请提问

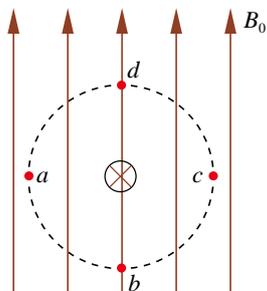




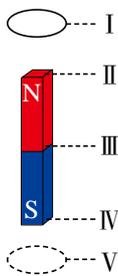
章末练习

科学认知

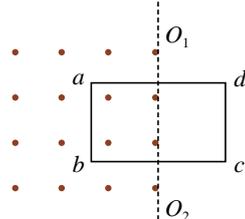
- 调查电磁波在现代社会中应用的两个实例，撰写一篇简要的调查报告，说说应用电磁波对现代社会的意义及可能带来的问题。
- 在物理学发展过程中，观测、实验、假说和逻辑推理等方法都起到了重要作用。下列叙述符合史实的是
 - 奥斯特在实验中观察到电流的磁效应，该效应揭示了电和磁存在联系
 - 法拉第在实验中观察到，在通有恒定电流的静止导线附近的固定线圈中会出现感应电流
 - 麦克斯韦从场的角度总结电与磁的联系，预言了电磁波
 - 法拉第用实验证实了电磁波的存在，并测出电磁波与光的传播速度相同
- 对磁感应强度的理解，下列说法正确的是
 - 磁感应强度与磁场力 F 成正比，与检验电流 I 成反比
 - 磁感应强度的方向也就是该处磁感线的切线方向
 - 磁场中各点磁感应强度的大小和方向是一定的，与检验电流 I 无关
 - 磁感线越密，磁感应强度越大
- 在磁感应强度为 B_0 、方向竖直向上的匀强磁场中，水平放置一根通电长直导线，电流的方向垂直于纸面向里。如图所示， a 、 b 、 c 、 d 是以直导线为圆心的同一圆周上的四点，在这四点中
 - c 、 d 两点的磁感应强度大小相等
 - a 、 b 两点的磁感应强度大小相等
 - c 点磁感应强度的值最小
 - b 点磁感应强度的值最大
- 如图所示，条形磁铁竖直放置，一水平圆环从磁铁上方位置 I 向下运动，依次经过磁铁上端位置 II、磁铁中部位置 III、磁铁下端位置 IV，最后到达下方位置 V。在 I \rightarrow II \rightarrow III \rightarrow IV \rightarrow V 的过程中，请分析穿过圆环的磁通量变化情况。
- 如图所示， O_1O_2 是矩形导线框 $abcd$ 的对称轴，其左方有垂直于纸面向外的匀强磁场。以下情况中， $abcd$ 中有感应电流产生的是
 - 将 $abcd$ 向纸外平移
 - 将 $abcd$ 向右平移
 - 将 $abcd$ 以 ab 为轴转动 60°
 - 将 $abcd$ 以 cd 为轴转动 60°



第4题



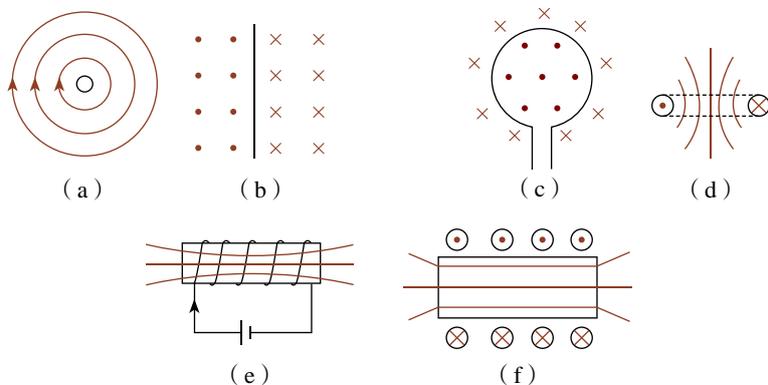
第5题



第6题



7. 如图所示, 图(a)和图(b)是通电直导线的磁场, 图(c)和图(d)是环形电流的磁场, 图(e)和图(f)是通电螺线管的磁场。试在各图中补画出电流的方向或磁感线的方向。



第7题

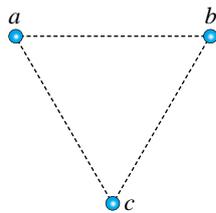
科学辨析

8. 我们常处于电流产生的磁场中。通电长直导线所产生磁场的磁感应强度可用 $B = k \frac{I}{d}$ 计算, 其中 $k = 2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$, I 为电流, d 为该点到直导线的垂直距离。利用该公式可估算生活中所遇到的磁场的磁感应强度。

- (1) 家庭通电导线的电流很少超过 10 A。试比较距离导线 0.5 m 处的磁场与地磁场的磁感应强度大小。
- (2) 765 kV 高压输电线中的电流常可达 200 A。假定这种输电线离地面高度为 20 m, 试估算输电线正下方地面处的磁感应强度并与家庭电路中磁场的磁感应强度进行比较。

温故知新

9. 如图所示, 在光滑绝缘水平面上, 三个带电小球 a 、 b 、 c 分别位于边长为 l 的正三角形的三个顶点上。 a 、 b 带正电且电荷量均为 q , c 带负电。整个系统置于方向水平的匀强电场中。已知静电力常量为 k , 若三个小球均处于静止状态, 求匀强电场中电场强度的大小和方向。



第9题

10. 请根据第5章(初识电磁场与电磁波)的内容, 结合你的理解, 画出概念图。



我的学习总结

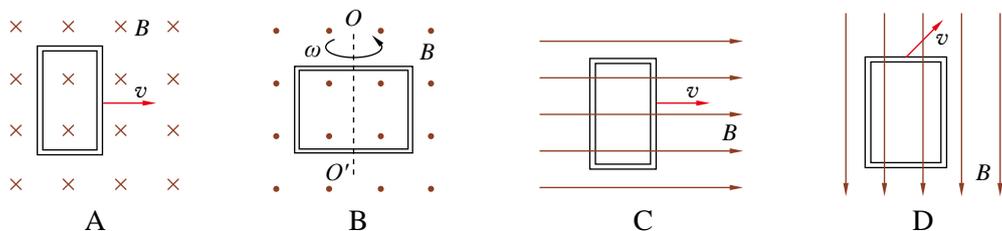




单元自我检测

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）

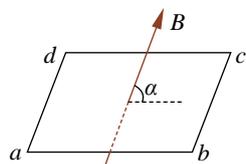
- 下列关于电磁场和电磁波的叙述中，不正确的是
 - 电磁场是相互联系在一起的变化的电场和变化的磁场
 - 交替变化的电磁场传播出去形成了电磁波
 - 太空舱外航天员与舱内航天员的通话利用了电磁波
 - 所有雷达都是利用目标发射的电磁波来对目标进行定位的
- 如图所示，矩形线框在匀强磁场中做下列四种运动，能够产生感应电流的是



- 如图所示，矩形线框 $abcd$ 放置在水平面内，磁场方向与水平方向成 α 角。

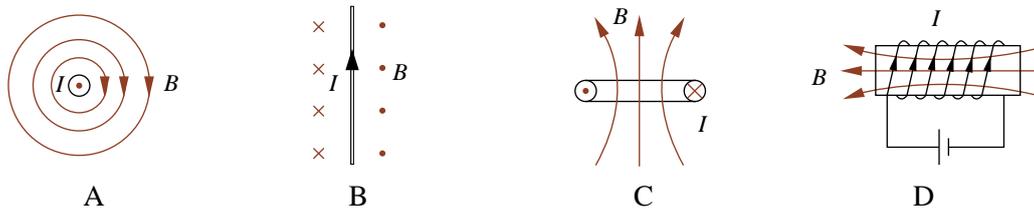
已知 $\sin \alpha = \frac{4}{5}$ ，线框面积为 S ，磁感应强度为 B ，则通过线框的磁通量为

- BS
- $\frac{4BS}{5}$
- $\frac{3BS}{5}$
- $\frac{3BS}{4}$



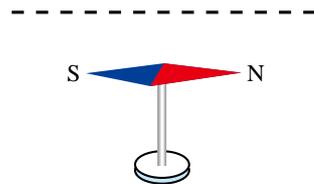
第 3 题

- 下列各图中，已标出电流 I 和磁感应强度 B 的方向，其中符合安培定则的是



- 如图所示，一束带电粒子沿虚线飞过磁针上方，并与磁针指向平行，能使磁针 N 极转向读者。这束带电粒子可能是

- 向右飞的正离子
- 向左飞的负离子
- 向右飞的负离子
- 向左飞的正离子



第 5 题

二、非选择题

6. 探究电磁感应产生条件的实验器材如图所示。



第6题

(1) 用实线代替导线把图中所有器材连成实验电路。

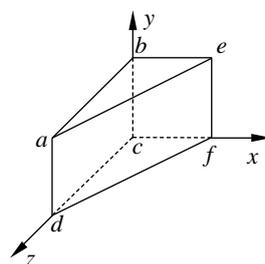
(2) 有哪些操作可以使电流表的指针发生偏转?

7. 某一区域的磁感应强度 $B = 5 \text{ T}$ ，其方向沿 x 轴正方向，如图所示。图中， $ad \parallel bc \parallel ef$ ， $ab \parallel cd$ ， $be \parallel cf$ ， $ab = 50 \text{ cm}$ ， $be = ef = 40 \text{ cm}$ 。求：

(1) 穿过 $abcd$ 面的磁通量；

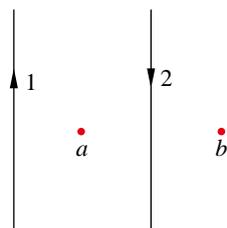
(2) 穿过 $bcfe$ 面的磁通量；

(3) 穿过 $adfe$ 面的磁通量。



第7题

8. 如图所示，同一平面内有两根互相平行的长直导线1和2，通有大小相等、方向相反的电流， a 、 b 两点与两根导线共面。 a 点在两根导线的中间，与两根导线的距离均为 r ； b 点在导线2的右侧且与导线2的距离也为 r 。现测得 a 点磁感应强度的大小为 B ，则去掉导线1后，求 b 点磁感应强度的大小和方向。



第8题



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。

第6章

能源与可持续发展

导 入 开发新能源

第1节 能量的多种形式

第2节 能量的转化与守恒

第3节 珍惜大自然

▶▶ 本章学业要求

- 了解能量的多种形式，知道能量在转化中总量不变、有方向性，了解可再生能源和不可再生能源；能用所学内容说明保护环境、可持续发展的重要性，能尝试解决一些环境保护的问题。具有与能源和可持续发展相关的能量观念。 ——物理观念
- 能尝试对与能源和环境有关的问题建构模型，进行研究；能对能源使用和环境保护提出自己的观点，能作出有依据的推理；能用与能量守恒、能量转化方向性相关的证据证明自己关于环保的观点；能对一些个人或社会行为提出有依据的质疑，能提出有创意的改进建议。 ——科学思维
- 能通过上网查询，提出如何保护环境、节约能源的问题；能通过咨询或调研来收集证据；能分析证据，对调研所得的结果进行解释；能完成与能源和可持续发展相关的调研报告并进行交流。 ——科学探究
- 知道物理学是人类认识自然的方式之一，是人类文化的一部分；能主动关心能源与可持续发展问题；能认识能源的过度开发和利用对环境的影响，能意识到物理研究与应用会涉及道德与规范问题，了解科学·技术·社会·环境的关系，具有力所能及的节约能源、保护环境的自觉行为。 ——科学态度与责任



导人

开发新能源

随着社会的发展，人类对电能的需求日益增加，从而导致了电能危机，因此，现代社会发出了“节约用电，人人有责”的呼吁！

为了满足现代社会对电能的需求，人们不仅利用化石能源、水能发电，还利用风能、地热能、潮汐能、太阳能、核能等发电。现今，人们越来越关注环保新能源发电技术的应用。



节约用电，人人有责



秦山核电站

这些不同形式的能源是如何形成的？不同形式的能量之间又是如何转化的？能源是否源源不断、无穷无尽？能源开发给人类社会带来了哪些影响？人类应怎样保护大自然？本章我们将学习这些内容。

第1节

能量的多种形式

自然界中，波涛汹涌的大海、奔腾不息的江河、威力巨大的龙卷风（图 6-1）、惊天动地的电闪雷鸣、普照大地的太阳……都蕴藏着巨大的能量。

能量到底有哪些形式？它们来自哪里？本节我们将认识多种形式的能量。

1. 多种形式的能量

能量以各种各样的形式存在，如机械能、内能、电能、光能、化学能和核能等（图 6-2）。



图 6-1 威力巨大的龙卷风



(a) 机械能



(b) 化学能



(c) 核能

图 6-2 多种形式的能量

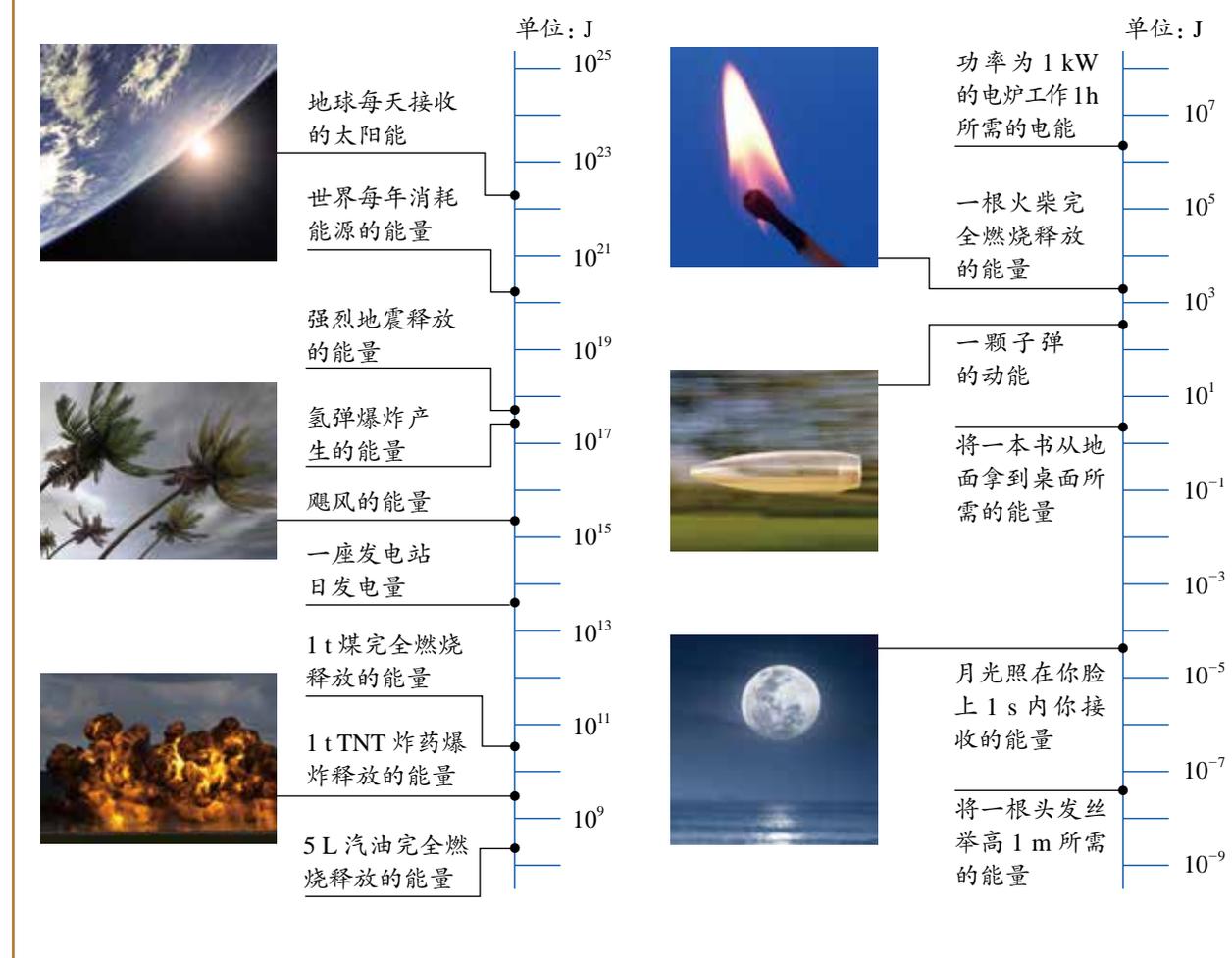
机械能包括动能、重力势能和弹性势能等。撑竿跳高运动员因运动而具有动能，跳跃到空中而有了重力势能，撑竿由于被压弯而储存了弹性势能。内能指分子无规则运动的动能和分子势能的总和。一切物体都具有内能，通常情况下，同一物体温度越高，具有的内能就越大。电能是指电以各种形式做功的能力。电源（发电机、电池等）能将其他形式的能转化为电能，电能因便于传输而被广泛应用。光能是光具有的能量，如太阳光照射到地



球上，为地球上的生命提供能量。化学能是储存在食物或燃料等物质中的能量，如我们的身体通过消化食物而获得能量，蜡烛通过燃烧将化学能转化为内能、光能等。核能是由于物质的原子核结构发生变化而释放的能量，核电站能将核能转化为电能等，而太阳像氢弹爆炸一样释放核能。



一些能量值的数量级



2. 可再生能源与不可再生能源

能源可分为一次能源和二次能源。一次能源是指直接取自自然界、未经加工转化的能源，如煤、石油、天然气等；二次能源是指由一次能源加工转化而成的能源产品，如电、煤气、蒸汽及各种石油制品等。一次能源又分为可再生能源和不可再生能源，太阳能、水

能、风能、生物质能、海洋能等在自然界可循环再生的能源，称为可再生能源；煤、石油、天然气、油页岩等在自然界中经过亿万年形成，短期内无法恢复的能源，称为不可再生能源。为了解决能源问题，人们正积极开发可再生能源和新能源。

人们通常采用光电转换、光热转换和光化学转换等方式将太阳能转化为其他形式的能量储存起来并加以利用。光电转换是用光伏电池将太阳能直接转化为电能（图 6-3），在航天领域有重要应用；光热转换是通过吸收、反射或其他方法把太阳辐射的能量集中起来，转化成热能，如太阳能热水器；光化学转换也称光化学制氢转换，是将太阳辐射的能量转化为氢的化学自由能，通常也称为太阳能制氢，该技术已受到世界各国学术界和工业界的高度重视。

风能可用来发电（图 6-4），但风力发电站必须建在多风场地，受地域限制明显；对于来自地球内部的地热能，可将地下热水和蒸汽引导到地面加以利用或驱动发电机发电；蕴藏在海洋中的潮汐能、波浪能和温差能等皆可用来发电；生物质能是绿色植物通过光合作用将太阳能转化为化学能而储存在生物质内部的能量，植物及有机废弃物皆含有大量生物质能。

人们希望通过加大对核能的利用来缓解能源危机。核能是通过核反应释放的能量。因为核能的获得不燃烧煤炭、焦炭等燃料，不会排放二氧化碳，所以被人们认为是一种清洁、环保的能源。但核能发电也存在一些隐患。例如，获取核燃料铀必须开采铀矿，而铀矿资源非常有限，开采过程会引发环境问题等；核电站可能会由于地震、海啸等出现核爆炸、核泄漏等事故。因此，人类需要理性、安全地利用核能。

目前，更多的新能源正在不断开发中。例如，氢能源是人们越来越关注的一种新能源，它是氢燃烧时放出的热量。每千克氢完全燃烧释放的热量，分别约为等质量汽油、酒精、焦炭完全燃烧释放热量的 3 倍、3.9 倍、4.5 倍。氢燃烧的产物是水，没有任何污染，是目前最清洁的能源。世界各国都非常重视对氢能源的实际应用研究。目前，液氢燃料在航空航天中已经有了广泛的应用。



图 6-3 光伏电池将太阳能转化为电能



图 6-4 风力发电站的风车



物理聊吧

有人认为，核能是一种清洁、环保的能源；也有人认为，核能的利用会带来一系列问题，如环境污染、核泄漏事故及核废料的处理等，风险极大。不同国家的核能利用政策不尽相同。你是如何看待核能利用问题的？请查阅相关资料，与同学进行充分讨论和交流。



节练习

1. 查阅资料，了解人类利用核能的历史、前景及面临的挑战，写一篇有一定依据的小论文。
2. 通过问卷调查，了解人们对利用不同能源发电的优缺点的认识，写一篇有一定依据的调查报告。
3. 实际调查家庭生活中一天所利用的能源，哪些属于可再生能源，哪些属于不可再生能源，并基于自己的调查内容，写一篇调查报告。



请提问



第2节

能量的转化与守恒

机械能守恒定律告诉我们，在一定条件下，系统的动能和势能可相互转化，且机械能守恒。不同形式能量之间的转化遵循怎样的规律呢？本节我们将进一步学习能量的转化与守恒的相关内容。

1. 能量的转化

我们知道，能量可从一种形式转化为另一种形式。

食物具有化学能，我们的身体把这种化学能转化成维持生命所必需的内能、机械能等。

水电站（图 6-5）一般建在水位落差较大的地方，当水倾泻而下时，水的重力势能转化为动能，推动水轮发电机发电，将电能输送到千家万户。电能通过电磁炉可转化为内能，通过电视可转化为光能、声能……



图 6-5 三峡水电站



物理聊吧

图 6-6 是用一台蒸汽机和一台发电机建立的模型发电站，将这个模型发电站与小灯泡连接起来，就可以供电了。

请分析该模型发电站工作时各种形式的能量是如何转化的，并与同学交流。

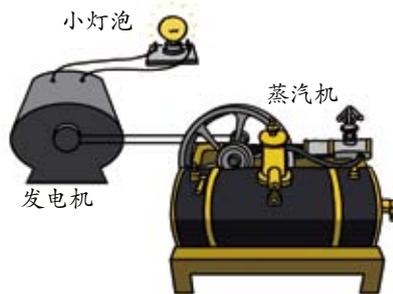


图 6-6 模型发电站示意图



2. 能量守恒定律

在日常生活中，我们似乎看不到能量的守恒。例如，荡来荡去的秋千（图 6-7），如果不能持续得到外界能量的补充，空气阻力及秋千受到的摩擦力就会使秋千摆动的幅度逐渐减小，直至停下。在这个过程中，秋千原有的机械能一直在损失。

损失的机械能消失了吗？实际上没有，人们发现它转化成了机械能以外的其他形式的能量，如内能。除去重力、弹力外的其他力对物体做功使物体机械能增加或减少的过程，实质上都是其他形式的能量与机械能相互转化的过程。如果把这部分能量包括在内，总能量是保持不变的。这是大自然的一条普遍规律，而机械能守恒定律只是这一普遍规律的一种特殊情况。

闭合电路欧姆定律也是能量守恒的一种表现形式。在图 6-8 所示的闭合电路中，根据闭合电



图 6-7 荡秋千

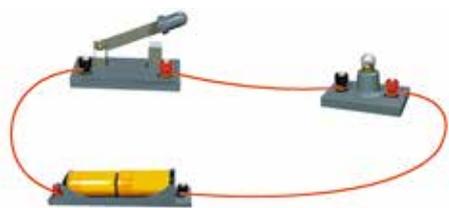


图 6-8 闭合电路

路欧姆定律， $E = U + Ir$ ，公式两边同时乘以 It 可得， $EIt = UIt + I^2rt$ 。 EIt 表示电源提供的总电能， UIt 表示用电器消耗的电能， I^2rt 表示内电路消耗的电能。从以上公式可见，电源提供的电能一部分消耗在外电路，通过用电器转化为其他形式的能；另一部分消耗在内电路，转化为内能，总的能量是守恒的。

大量的实验和研究都证明，任何形式的能量在转化和转移的过程中都遵守如下规律：**在一个孤立系统里，能量既不能凭空产生，也不能凭空消失，它只能从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到其他物体，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。**这就是**能量守恒定律**（law of conservation of energy）。

在历史上，人们曾幻想制造一种机器，它不需要任何动力或燃料就能不停地运动，甚至对外做功，这类装置被称为第一类永动机。根据能量守恒定律，在无外界能量供给的情况下，使机器不断对外做功是不可能的。能量守恒定律否定了制造第一类永动机的可能性。

能量守恒定律是自然界最普遍、最基本的规律之一。能量守恒定律的发现和运用，为不同学科的联系架起了桥梁。



中微子的发现

20世纪30年代，人们发现在某些原子核反应中能量似乎不守恒，据此，有人提出能量守恒并不是普遍规律的观点。1930年，奥地利物理学家泡利 [W.Pauli, 1900—1958, 图 6-9 (a)] 猜想，之所以观察到反应中能量“不守恒”，可能是因为存在着一种极其微小的未知粒子，是它带走了部分能量。意大利物理学家费米 [E.Fermi, 1901—1954, 图 6-9 (b)] 把这种未知的粒子称为中微子。自此，人们一直在努力寻找中微子。1956年，人们终于在实验找到了中微子。因此，可以说是能量守恒定律直接导致了中微子的发现。



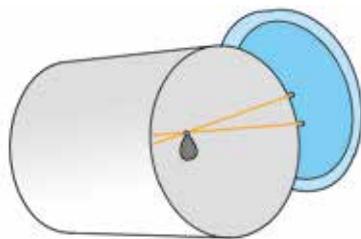
(a) (b)

图 6-9 泡利和费米



节练习

- 撑竿跳高运动的不同阶段，有不同形式的能量发生转化。撑竿跳高过程涉及哪几种能量转化？这些能量转化是如何帮助运动员提高跳高成绩的？
- 查阅资料，了解在发电过程中能量是怎么转化的。哪种形式的能量损失得最多？这些损失的能量最终去了哪里？请写出你的结论。
- 我们经常说“节约能量”，如关掉不使用的灯，空调温度不要设定得太低或太高等。这些说法与本节所讲的“能量守恒”似乎有些不协调。请你就此谈谈自己的看法。
- 如图所示，将小铁块绑在橡皮筋中部，并让橡皮筋穿入铁罐，使两端分别固定在罐盖和罐底上。将该装置从不太陡的斜面上释放，会观察到什么现象？请你做一做，并从能量转化与守恒的角度加以解释。



第 4 题

请提问



第3节

珍惜大自然

能量守恒定律指出，能量不能被创造或消灭，只能从一个物体转移到另一个物体，或者从一种形式转化为另一种形式。那么，这种能量之间的转移或转化是否可以循环往复呢？本节我们学习能量转化的方向性。

1. 自然过程的方向性

在大多数自发情况下，能量最终都转化为内能。例如，自由摆荡的秋千，摆动幅度会逐渐减小，直至停下。这个过程中，秋千的机械能最终都转化为内能，而这些内能不可能自发地转化为秋千的机械能。

冬天，一杯热气腾腾的茶水很快就会变得冰凉。这是因为内能从温度较高的热水中转移到了温度较低的空气中。你手上拿着冰块时，会感到冰冷刺骨，而冰会在你的手里逐渐熔化（图 6-10）。在这一过程中，内能从温度较高的手上转移到温度较低的冰上。大量事实证明，内能总是自发地从温度较高的物体向温度较低的物体转移，而不会反来自发地从温度较低的物体转移到温度较高的物体。



图 6-10 冰块熔化

众多现象表明，自然界的宏观过程具有方向性，是不可能自动地逆向进行的。要使它们逆向进行，就必须由外界对它们施加作用。例如，大自然中，在没有外界施加作用的情况下，水往低处流（图 6-11）、树叶向下落……它们都遵从能量转化具有方向性的规律。

英国物理学家开尔文及德国物理学家克劳修斯等对有关自然现象和经验事实进行了大量研究，总结出重要的自然规律：自然发生的与热现象有关的一切宏观过程都是有方向性的不可逆过程。机械能可自动转化为内能，反过来，内能不可能自动地、不引起任何变化地完全转化为机械能；在热传递的过程中，内能总是自动地从高温物体向低温物体转移，而不可能自动地、不引起任何变化地从低温物体向高温物体转移。



图 6-11 水往低处流

能量守恒定律使人们认识到能量是不能凭空产生的，于是曾经有人提出，能否设计一种装置，从单一热源（海洋、大气或宇宙）中吸热使之完全变成有用功而不产生其他影响，这类装置被称为第二类永动机。事实证明，能量转化过程是有方向性的，内能不可能自动地、不引起任何变化地完全转化为机械能。因此，第二类永动机也是不可能被制造出来的。

了解能量的多种形式，知道能量在转化中总量不变、有方向性，了解可再生能源和不可再生能源；能用所学内容说明保护环境、可持续发展的重要性，能尝试解决一些环境保护的问题。具有与能源和可持续发展相关的能量观念。

——物理观念

2. 熵与地球家园

物体内部大量分子时刻都在做无规则的运动，这些微观粒子运动的剧烈程度和分布情况是像阅兵队伍那样整齐有序（图 6-12），还是像闹市人群那样混乱无序（图 6-13）？微观粒子运动的情况不同，其宏观表现是不同的。



图 6-12 整齐有序的阅兵队伍



图 6-13 杂乱无序的人群

人们发现，处于不同状态的物体，分子运动的无序程度也不一样，为了描述这种差异，物理学中引入了熵（entropy）这个物理量。熵越高，就意味着系统越无序；熵越低，就意味着系统越有序。



图 6-14 打开花露水瓶盖

如果在房间里打开花露水瓶的盖子（图 6-14），瓶子中的香精分子会自发地弥散到整个房间。显然，在这一过程中，由空气分子和香精分子组成的系统变得更加无序了。这个自发过程最可能向着系统熵增加的方向进行。

能量的转化是有方向性的，内能不可能自发地、不引起任何变化地转化为机械能。能量在转化过程中，会伴随着内能的产生，从而做功的本领就会降低。科学家研究发现，当能量从一个较高的程度转化到一个较低的程度时，它做了功，这意味着下一次能再做功的能量减少了。比如，当水从大坝下落时，它可以被用来发电；然而水一旦落到



坝底，虽然它也具有能量，却不能自动回到水坝顶端再次发电了。我们可将这两种不同的能量状态分别称为“有效的”和“无效的”能量。熵就是某一系统中存在的一定单位的无效能量的总和。熵的增加就意味着无效能量的增加，有效能量的减少。因此，我们应节省有效的能量。无论是不可再生能源还是可再生能源，我们都应珍惜。

地球是我们共同的家园。珍惜地球家园的蓝天白云、绿地森林、碧水清波，珍惜地球家园的每一个存在！爱护地球家园，从我做起！从诸如随手关灯、节约用水、垃圾分类等小事做起。行动起来吧，爱护我们的地球，让我们的家园变得更美丽（图 6-15）！



图 6-15 让我们的家园变得更美丽

能主动关心能源与可持续发展问题；能认识能源的过度开发和利用对环境的影响，能意识到物理研究与应用会涉及道德与规范问题，了解科学·技术·社会·环境的关系，具有力所能及的节约能源、保护环境的自觉行为。

——科学态度与责任

素养提升



物理聊吧

19 世纪中叶，已有学者注意到水环境污染对水生生物的影响。20 世纪初，人们已开始研究环境污染的有关问题。1962 年，美国女科学家蕾切尔·卡逊（R. Carson, 1907—1964）出版了《寂静的春天》一书，向全世界发出了拯救地球的呼吁。

查阅资料，了解人类关于环境保护的会议及举措，完成一篇小论文，并与同学分享。结合个人的日常生活，与同学讨论如何从自己做起，为地球家园的美丽健康作出贡献。



节练习

1. 将一滴墨汁滴入一杯清水中，墨汁会很快扩散开来。如果扩散这类过程可逆，请你设想一下，生活中将出现什么有趣的现象？
2. 日常生活中有许多熵增加的例子，请列举几个。
3. 收集相关资料，了解垃圾分类（如图所示）的方法及其意义，从能源的角度分析为什么要对垃圾进行分类。
4. 收集相关资料，了解大气污染带来的危害，调查当地大气污染的主要污染源，提出减少大气污染的方法。



第 3 题



章末练习

科技交流

- 虽然能量是守恒的，但我们却要面对“能源危机”，请利用物理术语对此进行解释。为了解决能源危机，我国目前在发展核能发电与水力发电等相关产业，请分别讨论核能发电和水力发电的优缺点。
- 设计一个有关不可再生能源和可再生能源的表格，表格中应该包括：
 - 不可再生能源和可再生能源各三种；
 - 简要地说明每一种能源的利用方式；
 - 简要地说明每一种能源的优缺点。
- 几位同学一起讨论过山车的设计。甲同学说，每一个坡的顶点必须低于它前面那一个坡的顶点；乙同学说，只要第一个坡顶最高就可以了，其他坡顶高度无所谓。你是怎么认为的？
- 驾车出行是人类利用能源、消耗能源的方式之一。因此，提高汽车发动机的效率、利用环保能源，已成为当今汽车发展的主要研究方向。搜集整理利用不同能源作为动力的汽车的相关资料，比较它们的效率，分析说明新能源汽车环保的原因。
- 通过网络、图书馆等途径，查阅第一类永动机、第二类永动机的概念、模型，以及它们的研究历史，比较两类永动机的不同，分析两类永动机不可能被制成的原因。



我的学习总结



后 记

21世纪初我国启动基础教育课程改革，迄今已十余年。我们根据《普通高中物理课程标准（实验）》（2003版）编写的普通高中课程标准实验教科书《物理》在实验区已使用十余年。随着基础教育课程改革的深入，修订后的《普通高中物理课程标准（2017年版）》（以下简称《标准》）已由教育部正式颁布，因此，实验版教科书《物理》也应随之修订。根据国家大政方针和《标准》的要求，在对一线教师大规模问卷调查及深入访谈的基础上，基于多年教科书研究、编写和实践的积淀，教科书编写组对实验版教科书进行了全面修订。

本次修订后的普通高中物理课程标准修订版教科书的整体架构如图所示。

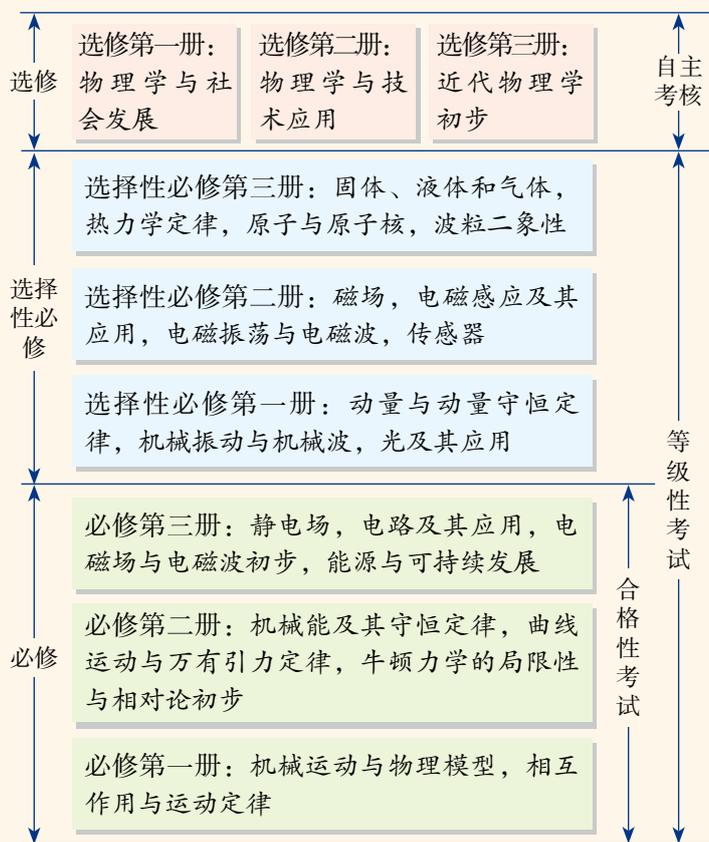
总体来看，修订版教科书具有如下特点：

1. 立意更高，促进学生物理学科核心素养的达成。不仅继承实验版教科书注重落实三维课程目标的特点，而且更加注重体现物理教科书的育人功能，以“素养提升”“本章学业要求”等栏目导向，有效促进教学方式的改进，提升学生物理学科核心素养。

2. 寓意更深，注重从情境走向物理，从物理走向社会的内涵。不仅继承实验版教科书注重联系实际的特点，而且强调问题情境与物理内容的相互呼应。通过“以惑为诱、以问促学”的内容设计，培养学生的物理自然观和建模、推理、论证及质疑能力。

3. 更重实践，强调概念构建过程，注重探究能力的培养。不仅继承实验版教科书的实验栏目，而且注重凸显物理实验的育人功能。通过“学生必做实验”“实验探究”“迷你实验室”“DIS实验室”等实验版块，以“引导、递进、开放”的精巧设计，培养学生的问题、证据、解释及交流方面的探究能力。

4. 更富逻辑，结构更完善，更符合教育教学规律。不仅继承了实验版教科书结构上注重逻辑的特点，而且通过“方法点拨”“策略提炼”“拓展一步”等栏目，进一步升华学



修订后整套教科书的基本架构

习内容，同时注重难点分解、台阶降低、逐步到位，关注了学生的认知特点。

5. 更重评价，发挥习题功能，促进学生全面发展。改进实验版教科书在习题设计方面的不足，基于物理学科核心素养和学业质量要求，分层设计“节练习”“章末练习”“单元自我检测”，更好发挥习题的功能，促进对核心素养测试的探索。

6. 更加拓展，反映物理学对人类生活及社会发展的影响。不仅继承实验版教科书从物理走向社会的特点，而且注重通过“科学书屋”“物理聊吧”等栏目培养学生的学习兴趣、人文情怀，及节约能源、保护环境的科学态度与责任感。

7. 臻于精致，体现“以学生发展为本”的理念。不仅继承实验版教科书图文并茂的特点，而且更加美观、适用，从结构确定、内容纳入、栏目设计、图片选用到版式推敲等多方面皆精雕细琢，旨在全力打造高质量的一流物理教科书。

编写组凝聚了高校学科专家、省市物理教研员、中学教学名师、考试评价专家、国际物理教科书研究者等研究力量，具有高校研究平台与中学教学积累的综合优势。各类课题研究、理论探索、国际比较等，使教科书修订具有研究基础、国际视野，能让物理教科书的质量提升到更高的水平。中学各级教学名师丰富的实践经验、珍贵的教学心得，为教科书修订中落实以学生发展为本的教学理念搭建了接地气的脚手架、扎实的一线平台，让修订版教科书更符合教学实际。

本教科书编写组主要成员及分工如下：全套教科书主编为廖伯琴；本册核心编者有谢德胜、邓磊、蒋小平、杨燕鸣、张正严、廖伯琴；本册由廖伯琴、谢德胜统稿，由廖伯琴定稿；全套教科书编务联系工作由李富强、李洪俊负责。

教科书的修订是一系统工程，需各方力量支持。参与本次修订版教科书编写、讨论、审读、组织试教或作出前期贡献的老师还有：李勇、程力、高山、周智良、宋树杰、王宪收、陈松、林伟庆、罗基鸣、黄晓标、林明华、杜明荣、刘林、许华忠、田序海、杨学切、青春、黄国雄、冯庆、梅家焯、刘健智、廖元锡、冯华、蒋敏、李太华、翟厚岚、洪正平、梁雷、贺晓霞、张修文、梁一平、林钦、李晶晶、王文祥、董茂寅、宋协俊、邹建光、时玉义、马凤喜、吴新田、侯辰虎、郑玉峰、程美贵、冯连奎、曹国莹、岳志国、姜妮、欧剑雄、严士线、彭罡、张庆贵、吴双飞、刘新选、黄巧曦、吴寒平、李勇顺、黄惠菁、赵保钢、罗国忠、黄懋恩、汪崇渝等。张书迪女士为本教科书设计图标，并在版式设计方面提出若干建议。

本次修订得到众多专家、学者、教研员、教师、学生以及家长的热诚帮助，得到了山东科学技术出版社的鼎力支持。在此，我们特向提供帮助的各方人士表示由衷感谢！修订后的教科书将很快进入中学课堂，我们恳请各方人士不吝赐教。

挑战与发展共存！我们期待批评，也期待各位的支持。谢谢！

主编 廖伯琴

2019年5月于西南大学荟文楼

物理

WU LI

物理 必修 第一册
物理 必修 第二册
物理 必修 第三册
物理 选择性必修 第一册
物理 选择性必修 第二册
物理 选择性必修 第三册

普通高中教科书

物 理

必修 第三册

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
WULI BIXIU DI-SAN CE

主 编 廖伯琴

主管单位：山东出版传媒股份有限公司

出 版 者：山东科学技术出版社

地址：济南市市中区英雄山路189号
邮编：250002 电话：(0531)82098088
网址：www.lkj.com.cn
电子邮箱：sdkj@sdcbcm.com

发 行 者：山东新华书店集团有限公司

地址：济南市市中区英雄山路189号
邮编：250002 电话：(0531)82797666

印 刷 者：山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

地址：临沂市高新技术产业开发区新华路
邮编：276017 电话：(0539)2925659

规格：大16开(210 mm×297 mm) 印张：10.75 字数：247千字
版次：2019年7月第1版 2021年11月第6次印刷

ISBN 978-7-5331-9855-8 定价：12.10元

价格批准文号：鲁发改价格核(2021)609016 举报电话：12345



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5331-9855-8



9 787533 198558 >

定价：12.10元

YOUJ
365优教
大学生共享家教联盟

致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中