



普通高中课程标准实验教科书



物理

(选修3-1)

广东教育出版社



普通高中课程标准实验教科书



物理


(选修3-1)

W U L I

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组 编著

主 编: 保宗悌
副 主 编: 布正明 王笑君 姚跃涌
本册主编: 陶力沛
本册编者: 邓 琼 王笑君 布正明 何晋中
陈胜春 周子龙 保宗悌 陶力沛
徐荣华 符东生 詹伟琴
(以姓氏笔画为序)

绘 图: 李德安

 广东教育出版社

· 广 州 ·

目 录

第一章 电场.....	1
第一节 认识静电	2
起电方法的实验探究	2
电荷守恒定律	3
第二节 探究静电力	5
点电荷	5
库仑定律	6
第三节 电场强度	9
电场	9
电场的描述	9
怎样“看见”电场	11
第四节 电势和电势差	14
电势差	14
电势	15
等势面	16
第五节 电场强度与电势差的关系	17
探究场强与电势差的关系	17
电场线与等势面的关系	18
第六节 示波器的奥秘	20
带电粒子的加速	21
带电粒子的偏转	21
示波器探秘	22
第七节 了解电容器	23
识别电容器	24
电容器的充放电	24
电容器的电容	25
决定电容的因素	25
第八节 静电与新技术	29
锁住黑烟	29
防止静电危害	30

第二章 电路	35
第一节 探究决定导线电阻的因素	36
电阻定律的实验探究	36
电阻率	38
第二节 对电阻的进一步研究	40
导体的伏安特性	40
电阻的串联	41
电阻的并联	42
第三节 研究闭合电路	44
电动势	44
闭合电路的欧姆定律	44
路端电压跟负载的关系	46
测量电源的电动势和内阻	47
第四节 认识多用电表	49
多用电表的原理	50
学会使用多用电表	52
第五节 电功率	54
电功和电功率	55
焦耳定律和热功率	56
闭合电路中的功率	57
第六节 走进门电路	59
与门电路	59
或门电路	60
非门电路	61
门电路的实验探究	62
第七节 了解集成电路	64
集成电路概述	64
集成电路的分类	65
集成电路的前景	65
第三章 磁场	71
第一节 我们周围的磁现象	72
无处不在的磁	72
地磁场	73
磁性材料	73
第二节 认识磁场	75
磁场初探	75
磁场有方向吗	76
图示磁场	77
安培分子电流假说	78
第三节 探究安培力	80
安培力的方向	80
安培力的大小	81
磁通量	83

第四节 安培力的应用	85
直流电动机	85
磁电式电表	86
第五节 研究洛伦兹力	87
洛伦兹力的方向	87
洛伦兹力的大小	88
第六节 洛伦兹力与现代技术	91
带电粒子在磁场中的运动	91
质谱仪	92
回旋加速器	92

广东教育出版社

前言

同学们，欢迎你们走进绚丽的电磁科学殿堂！

说到电和磁，大家一定不陌生。当你在明亮的电灯下，复习一天的课时；当你打开电视机，欣赏精彩的文艺节目时；当你登上电气化火车，奔驰在祖国的辽阔大地时；当你坐在计算机前，通过互联网与远方朋友轻松地交流时……你无一不是在和电磁这对兄弟打交道。

生活中应用电和磁的例子，你一定还能举出更多。可以毫不夸张地说，在现代生活中，人们一天都离不开电和磁！

电磁世界是多姿多彩的，又是奇妙有趣的。

工厂里的静电除尘装置为什么能锁住烟囱吐出的黑烟？楼道上的光声控制电灯为什么会自动亮熄？电视机的彩色图像是如何显示在屏幕上的？超导磁悬浮列车为什么能浮起在路轨之上？科学家如何能使带电粒子跑得几乎跟光一样快？对于这许许多多的为什么，大家一定很想知道其中的奥妙。

本书将带领同学们走进探求电磁奥秘的科学世界。踏着物理学家探索自然规律的足迹，你将学习电磁领域的新知识，你将了解物理学研究的基本方法，你也将体验科学探究过程的艰辛和成功的喜悦！

为了使同学们的学习活动更加丰富多彩，本书设计了若干特点鲜明的栏目。你可以在“实验与探究”中动手实践，探究物理学的真谛，领悟科学研究的方法。“讨论与交流”让你畅所欲言，经过与老师、同学的相互交流，彼此促进，相得益彰。通过“观察与思考”，你能从课堂演示实验中学会观察，养成独立思考、科学思维的习惯。课后的“实践与拓展”，为你留下思考、想象、实践、创新的空间。“资料活页”和“我们的网站”以不同的方式，向你展示现代科技成果，提供社会发展信息，让你开阔视野，发展兴趣，培养自主学习的能力。“本章小结”为你勾画一章的知识脉络，帮你回顾与评价自己的探究过程。总而言之，这些栏目将忠实地为你服务，与你一起遨游五彩缤纷的电磁世界。

祝愿同学们的科学探索之旅充实、有趣、富有收获！

第一章 电 场

远古时代的一个风雨交加的漆黑夜晚，一群用兽皮树叶遮体的古人为躲避风雨的侵袭，蜷缩在一个天然的山洞中。突然，整个山洞都被照亮，人们不由自主地向外望去，漆黑的穹苍被数道“之”字形的亮光撕裂。紧接着而来的是震耳欲聋的巨响，人们赶紧收回刚刚向外望去的目光，大家挤得更紧了……这就是人们对电的最早认识。

雷电是那样的神秘，它来去匆匆，稍纵即逝。它给人们带来甘霖，同时也给人们带来恐惧。几千年以来人们一直想探究其中的奥秘，更想将它驾驭于手中。美国科学家富兰克林就曾冒着生命危险，尝试用风筝去捕捉雷电。

电是那样的实在，给我们的生活带来极大的方便。今天人们生活中的电灯、电视、电话、电风扇等哪一样不与电有关？电又是那样的神奇，让人看不见，摸不着。

电是什么？我们又该如何认识它呢？



第一节 认识静电

专业术语

电荷

electric charge

在干燥的冬天，你也许有过这样的经历：当你经过铺有地毯的走道来到房间门口，在伸手接触金属门把的一刹那，突然听到“啪”的一声，手被麻了一下，弄得你虚惊一场（图 1-1-1）。是谁在恶作剧？回答可能有点意外，原来是电荷在作怪。



图 1-1-1 原来是电荷在作怪

章首图是一幅闪电的照片，聚集在云层中的电荷在瞬间跃向另一云层或大地，并伴随着强烈的闪光和震耳的响声。据估算，夏季雷雨中的一次闪电，消耗的能量高达 $3 \times 10^9 \text{ J}$ 。雷击的破坏力巨大，它会造成森林火灾、建筑物损毁和人员伤亡。

起电方法的实验探究

公元前 600 年左右，希腊人泰勒斯发现毛皮摩擦过的琥珀能吸引羽毛、头发等轻小物体；我国西汉时期也有“瑇瑁吸褚”的记载，说的是经过摩擦的玳瑁能够吸引微小物体。物体有了这种吸引轻小物体的性质，我们就说它带了电，或有了电荷。图 1-1-2 和图 1-1-3 都是物体带电的例子。



图 1-1-2 带电的玻璃棒



图 1-1-3 带电的气球

人们经过大量的实验发现：自然界中只存在两种电荷。用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷叫做**正电荷**，用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷叫做**负电荷**。同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。

使物体带电称为起电. 从以上实验可知, 摩擦可以起电, 此外, 还有什么方法可以使物体带电呢?

实验与探究

1. 摩擦能使物体带电, 请你用一小块泡沫塑料和薄膜包装袋摩擦来验证这一点. 如何检验泡沫塑料块带的是正电荷还是负电荷? 请你设计实验方案并完成实验.

2. 如图 1-1-4, 三个相同的金属导体球 A 、 B 、 C 放在三个绝缘支架上, A 带有电荷, B 、 C 不带电. 不借助其他的器具, 你如何通过实验, 使 B 、 C 带上与 A 电性相同的电荷?

3. 条件同上, 你如何通过实验, 使 B 、 C 带上电性相反的电荷? 又如何使 B 、 C 上的电荷消失?

4. 小结一下, 把你知道的起电方法写在下面.

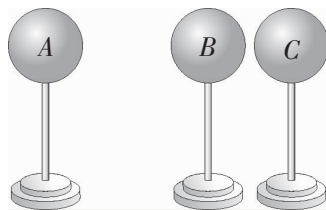


图 1-1-4

电荷守恒定律

如何表示一个带电体带了多少电荷呢? 我们先观察一个实验.

观察与思考

观察验电器 (图 1-1-5), 了解其结构.

将正、负电荷分别加到已带有正电荷的验电器上, 仔细观察出现的现象.

思考一下, 从中你能得到哪些启示?

物体所带的电荷一般是不相同的, 电荷的多少叫做**电荷量**. 正电荷的电荷量用正数来表示, 负电荷的电荷量用负数来表示. 等量的异种电荷完全抵消的现象叫做中和.

我们知道, 物质由中性的原子组成, 原子由原子核和电子组成. 原子核中的质子和电子带有等量而异种的电荷, 质子的电荷量 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ 库仑. 实验证明, 任何带电体的电荷量都是 e 的整数倍. 因此, 电荷量 e 被称为**元电荷**.

电荷量 e 是由实验测定的, 根据 1999 年发布的数据, 元电荷的精确值



图 1-1-5 验电器

专业术语

验电器

electroscope

专业术语

电子

electron

$$e = 1.602176462(83) \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

式中**库仑**是国际单位制中电荷量的单位，简称**库**，用 C 表示。

平时，在粗略计算中我们常取 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

实验表明，使物体带电的过程实际上就是使物体中的正、负电荷分离的过程。在摩擦起电的过程中，其中一个物体得到电子而带负电，同时另一个物体失去电子而带等量正电。由这些事实可以得出结论：**电荷既不能创造，也不能消灭，它们只能从一个物体转移到另一个物体，或者从物体的一个部分转移到另一个部分。在转移过程中，电荷的代数和不变。**这一结论叫做**电荷守恒定律**。

近代科学实践表明，电荷守恒定律不仅在一切宏观物理过程中成立，而且也是一切微观物理过程（如核反应过程）所普遍遵守的规律。

专业术语

电荷守恒定律

law of conservation of charge

讨论与交流

用原子结构和电荷守恒定律分析本节开始提及的两个例子，说明电荷是如何产生和消失的。

实践与拓展

通过实地调查和查阅资料，了解避雷针的作用。

资料活页

富兰克林

富兰克林 (Benjamin Franklin, 1706—1790)，美国科学家、政治家。

富兰克林对电学的发展有许多重要贡献。他对当时的电学知识（如电的产生、转移、感应、存储等）作了比较系统的整理。他把多个莱顿瓶连接起来，以储存更多电荷。他用实验证明莱顿瓶内外金属箔所带电荷数量相等，电性相反。他提出了电的单流质理论，并用数学上的正、负来表示多余或缺少这种电流质。他还认为摩擦起电只是使电荷转移而不是创生，所生正、负电荷一定严格相等，这个思想后来发展为电学中的基本定律之一——电荷守恒定律。

富兰克林的另一个重大贡献是统一了“天电”和“地电”，消除了人们对雷电的恐惧。他分析了莱顿瓶放电火花与雷电火花的相同之处，而且通过风筝实验（图 1-1-6）予以证明。他发明的避雷针成了人类破除迷信、认识自然的一项重要技术成果。富兰克林在电学方面的研究成就有力地推动了电学、电工学的发展。



图 1-1-6 富兰克林做风筝实验

http 我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

摩擦起电的解释



练习

1. 手握铜棒与丝绸摩擦，铜棒不能带电；若带上橡皮手套，握着铜棒和丝绸摩擦，铜棒就会带电。为什么？
2. 1C 的电荷量相当于多少个质子所带的电荷量？
3. 给你两个带绝缘支架的相同金属小球 A 、 B ，一块丝绸，一根玻璃棒。你能使这两个小球带等量异种电荷吗？

第二节 探究静电力

在发现电现象后的两千多年间，人类对电的了解一直处于定性的阶段。受牛顿的万有引力定律的启示，18 世纪的科学家推测带电物体间的相互作用力也是跟距离的平方成反比的。18 世纪末，法国科学家库仑通过实验总结出静止电荷间的相互作用力，即静电力的规律。

点电荷

观察表明，带电体之间的作用力除与电荷量及相对位置有关外，还与带电体的形状和大小有关，这大大增加了研究这一问题的复杂性。为了方便研究，我们引入点电荷这一物理概念。如果一个带电体，它本身的大小比起它到其他带电体的距离小得多，那么在研究它与其他带电体的相互作用时，可以忽略电荷在带电体上的具体分布情况，把它抽象成一个几何点。这带电的几何点称为点电荷。点电荷是一种理想化的物理模型，和力学中的质点模型一样，是一种科学的抽象。

理想模型方法是物理学常用的研究方法。当研究对象受多个因素影响时，在一定条件下人们可以抓住主要因素，忽略次要因素，将研究对象抽象为理想模型。这样可以使问题的处理大为简化。



讨论与交流

一个带电体在什么情况下可以看作点电荷？与研究问题所要求的精确度有无关系？

专业术语

点电荷

point charge

理想模型方法

库仑定律

现在通过实验来研究两个点电荷间的相互作用力. 实验装置如图 1-2-1, 其中 A 是一个固定摆放的导体小球, B 、 C 是两个相同的轻质导体小球. 当轻质小球与 A 带同种电荷时, 静电力使两者相互排斥, 轻质小球的偏角越大, 表示两电荷间的静电力越大.

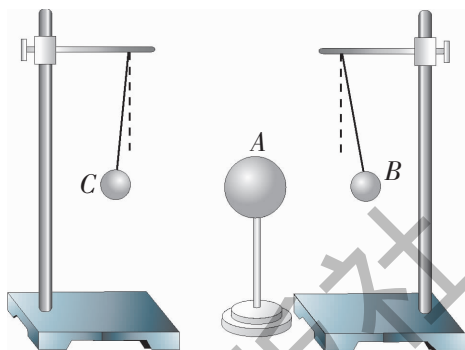


图 1-2-1

观察与思考

变量控制法

点电荷之间的相互作用力涉及电荷量、距离等多个因素, 我们用变量控制法来进行探究. 步骤如下:

1. 研究相互作用力 F 与距离 r 的关系.

使 A 、 B 、 C 带同种电荷, 且 B 、 C 的电荷量相等. 观察 B 、 C 的偏角, 思考 r 增大时, F 的大小如何变化, 并记下你的结论:

2. 研究相互作用力 F 与电荷量的关系.

使 A 、 B 带同种电荷, 观察 B 的偏角. 设 B 原来的电荷量为 q , 使不带电的 C 与 B 接触一下即分开, 这时 B 、 C 就各带 $\frac{q}{2}$ 的电荷量. 保持 A 、 B 的距离不变, 观察 B 的偏角. 思考当 B 球带的电荷量减少时, F 的大小如何变化, 并记下你的结论:

3. 综合以上两种情况, 你的结论是什么?

专业术语

库仑定律

Coulomb's law

在前人工作的基础上, 法国物理学家库仑用实验研究了电荷之间的相互作用, 总结出如下规律: 在真空中两个点电荷之间的作用力, 跟它们的电荷量的乘积成正比, 跟它们间的距离

的二次方成反比. 作用力的方向在它们的连线上. 人们把这一规律称为库仑定律. 电荷之间的这种作用力称静电力, 又叫做库仑力.

如果用 q_1 、 q_2 表示两个点电荷的电荷量, 用 r 表示它们之间的距离, F 表示它们之间的静电力, 则库仑定律的公式为

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1.2.1)$$

式中 k 是一个常量, 叫静电力常量. 若式中各量均使用国际单位制, 即力的单位用 N, 电荷量的单位用 C, 距离的单位用 m, 通过实验可以得出 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. 它表示真空中两个相距为 1 m、电荷量都为 1 C 的点电荷之间的相互作用力为 $9.0 \times 10^9 \text{ N}$.

例: 氢原子由一个质子和一个电子组成. 根据经典模型, 电子绕核做圆周运动, 轨道半径 r 是 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$. 已知质子的质量 m_p 为 $1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电子的质量 m_e 为 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, 万有引力常量 G 为 $6.7 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$. 求:

- (1) 电子受到质子的静电力.
- (2) 电子受到质子的万有引力.
- (3) 电子受到质子的静电力是万有引力的多少倍?

解: 电子的电荷量是 $-e$, 质子的电荷量为 e , 它们之间的静电力是引力. 由库仑定律, 求得两粒子间的静电力的大小为

$$F_e = k \frac{e^2}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \text{ N} = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

由万有引力定律, 求得两粒子间的万有引力

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \text{ N}$$

$$= 3.7 \times 10^{-47} \text{ N}$$

静电力与万有引力之比

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.7 \times 10^{-47}} = 2.2 \times 10^{39}$$

从这个例子可以看出, 氢原子中电子与质子的静电力远比万有引力大. 因此, 在研究微观带电粒子的相互作用时, 通常可以忽略万有引力.



讨论与交流

对比静电力与万有引力, 如何认识自然规律的多样性与统一性?



实践与拓展

谈谈你对科学研究中使用理想模型方法的体会.

资料活页

库仑扭秤实验

库仑 (Charles Augustin de Coulomb, 1736 — 1806), 法国物理学家. 他在 1785 年通过扭秤实验总结出了电学中的基本定律——库仑定律. 这项成果意义重大, 它标志着电学研究从定性走向定量.



图 1-2-2 库仑

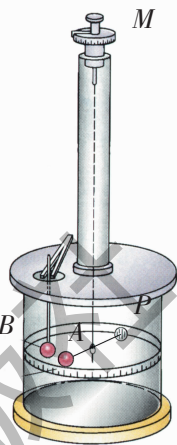


图 1-2-3 库仑扭秤

扭秤结构如图 1-2-3 所示. 在细金属丝下面悬挂一根横杆, 它的一端有一小球 A , 另一端有一平衡小球 P , 在 A 旁还另有一个与它一样大小的固定小球 B . 为研究带电体之间的作用力, 先使 A 、 B 各带一定量的电荷, 这时横杆会因 A 端受力而偏转. 转动悬丝上的旋钮 M , 使小球回到原来位置. 这时, 悬丝的扭力矩与小球 A 上的电力矩的大小相等. 如果悬丝的扭力矩与扭转角度之间的关系已事先标定, 则由旋钮 M 上指针转过的角度和已知的横杆长度, 可以算出在此距离下 A 、 B 之间的相互作用力.

为纪念库仑对物理学的重要贡献, 电荷量的单位以他的名字命名.

练习

1. 铁原子核里有两个质子相距 $4.0 \times 10^{-15} \text{ m}$, 求它们之间的静电力.
2. 有两个完全相同的金属小球 A 和 B , A 带电荷 $3Q$, B 带电荷 $-Q$. 已知它们相距为 r 时的静电力为 F , 现将它们互相接触再分开, 并使二者距离为 $2r$, 求 A 、 B 之间的静电力.
3. A 、 B 两小球分别带 $9Q$ 和 $-3Q$ 的电荷, 固定在相距为 L 的位置上. 现有一电荷量为 Q 的小球 C , 问将它放在什么位置受到的静电力为零?

第三节 电场强度

我们知道，两个相隔一定距离的电荷之间有相互作用力。这种相互作用力与手推车的推力、绳拉船的拉力、滑块在桌面滑动受到的摩擦力不同：后者都存在于直接接触的物体之间，而电荷之间的相互作用力却可以发生在两个相隔一定距离的物体之间。那么它们之间是如何发生作用的呢？

电场

经过长期的科学研究，人们认识到：电荷之间的相互作用是通过电场发生的。场是物质存在的形式之一，引进场的概念对物理学的发展有重要意义。凡是有电荷的地方，在它周围就存在电场，电场对处于其中的其他电荷有力的作用。如图 1-3-1 所示，电荷 q_1 通过它的电场对电荷 q_2 产生力的作用，同时电荷 q_2 也通过自己的电场对电荷 q_1 产生力的作用。



图 1-3-1

本章只研究相对观察者静止的电荷周围存在的电场，即**静电场**。

电场的描述

如何来研究电场呢？

电场的基本性质是对放入其中的电荷有作用力，因此可以通过这一性质来研究电场。放入电场中探测电场性质的电荷称为试探电荷。试探电荷的电荷量应足够小，使得它被放入电场后不会影响原有电场的分布；另外，它的线度也应足够小，这样才能方便地研究电场中各点的情况。

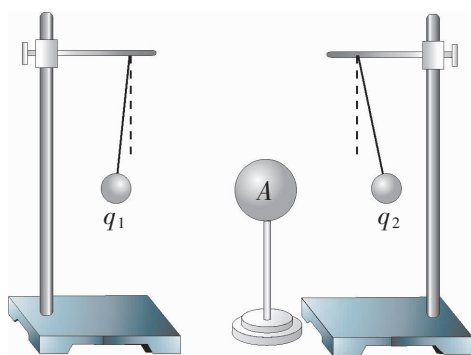
观察与思考

实验装置如图 1-3-2 所示，图中 A 是一带电导体球，试探电荷与 A 带同种电荷。

观察同一试探电荷 q 放在导体 A 的电场中的不同位置时，它受到的电场力是否相同（图 a）。

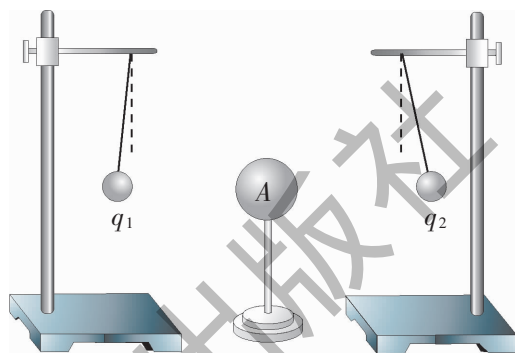
在导体 A 的电场中的同一位置放电荷量不同的试探电荷时, 比较它受到的电场力是否相同 (图 b).

为了方便比较, 实验时可把两个电荷量相同的试探电荷 q_1 、 q_2 放置在 A 的两边.



(a)

根据对称性, 实验时可以把电荷量不同的两个试探电荷 q_1 、 q_2 放在 A 的两边, 并使它们到 A 的距离相等.



(b)

图 1-3-2

思考是否可以用试探电荷受到的电场力来描述电场的性质.

同一试探电荷放在电场中的不同位置时, 它受到的电场力的大小一般并不相同, 这表明电场中不同的点的电场强弱不同. 另一方面, 不同的试探电荷在电场的同一点上受到的电场力的大小不同, 这表明电场力与试探电荷的电荷量有关, 所以不能用试探电荷所受的电场力来表示电场的强弱.

定量的实验表明, 在电场的同一点, 电场力的大小与试探电荷的电荷量的比值是恒定的, 跟试探电荷的电荷量无关. 它只与产生电场的电荷以及试探电荷在电场中的具体位置有关, 即比值反映电场自身的性质. 因此, 我们可以用这一比值表示电场的强弱, 这一比值称为**电场强度**, 简称**场强**. 通常用 E 表示电场强度, 则

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.3.1)$$

电场强度是一个矢量, 电场中某点的电场强度的方向与正电荷在该点受到的电场力的方向相同.

由 (1.3.1) 式可见, 电场中任意一点的电场强度在数值上等于单位电荷在该点所受的电场力. 在国际单位制中, 电场强度的单位为 N/C .

如果电场中各点的场强大小和方向都相同, 这种电场叫做**匀强电场**.

专业术语

电场强度
electric field intensity

比值定义法

 讨论与交流

1. 如图 1-3-3 所示, P 点到点电荷 Q 的距离为 r , 该点的电场强度为

$$E = k \frac{Q}{r^2} \quad (1.3.2)$$

你可以由库仑定律导出此式吗?



图 1-3-3



2. 公式 $E = \frac{F}{q}$ 与 $E = \frac{kQ}{r^2}$ 都可以用来计算电场强度, 它们有什么区别吗?

如果在空间同时存在多个点电荷, 这时在空间某一点的场强等于各个电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和. 这叫做**电场的叠加原理**.

例: 如图 1-3-4, 正点电荷 Q_1 、负点电荷 Q_2 在 P 点产生的合场强如何确定?

解: 图中 Q_1 在 P 点产生的场强为 E_1 , Q_2 在 P 点产生的场强为 E_2 , 那么用平行四边形定则可以求出 E_1 、 E_2 的矢量和 E , E 就是 Q_1 、 Q_2 在 P 点产生的合场强.

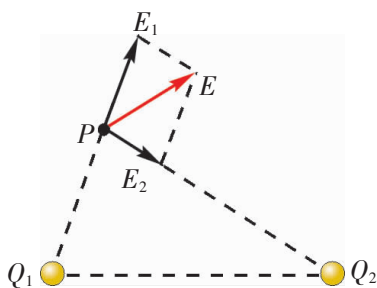


图 1-3-4 电场的叠加

专业术语

叠加原理

superposition principle



图 1-3-5 法拉第

如果一个带电体不能看成点电荷, 那么我们可以将该带电体分成许多小的部分, 只要每一部分足够小, 则各个小部分都可以看成点电荷. 将所有小部分在空间某点产生的场强叠加起来, 就能得到该点的合场强.

怎样“看见”电场

电场看不见, 摸不着, 能不能用一种形象的方式来描述它呢? 最早引入电场概念的法拉第 (Michael Faraday, 1791—1867)

专业术语

电场线

electric field line

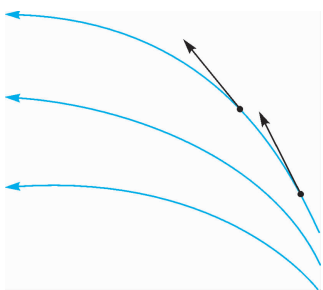


图 1-3-6 电场线

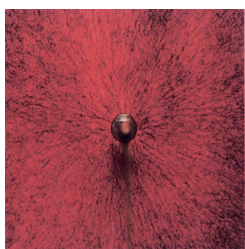
提出用电场线的方法来表示电场。

在电场中画出一系列曲线，使曲线上每一点的切线方向都和该处的场强方向一致（图 1-3-6），这样的曲线就叫做**电场线**。

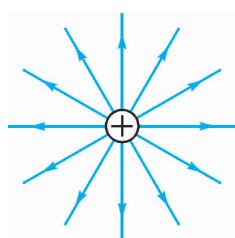
电场线的形状可以通过实验来模拟。把奎宁的针状结晶或头发屑悬浮在蓖麻油里，加上电场，微屑就会按照场强的方向排列，显示出电场线的分布情况。

观察与思考

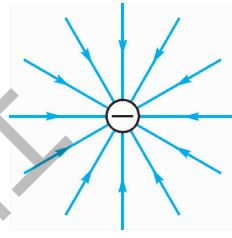
观察从图 1-3-7 到图 1-3-10 中的电场线，思考一下，从中能发现什么规律？



(a) 点电荷的电场线的实验

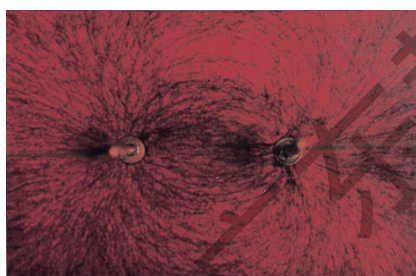


(b) 正点电荷的电场线分布

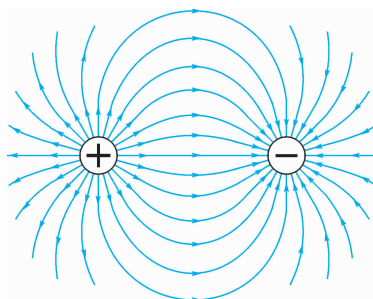


(c) 负点电荷的电场线分布

图 1-3-7



(a) 等量异种点电荷的电场线的实验

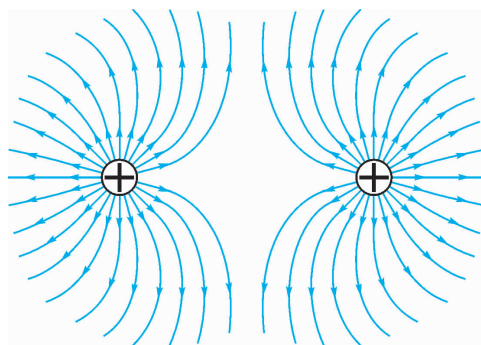


(b) 等量异种点电荷的电场线分布

图 1-3-8

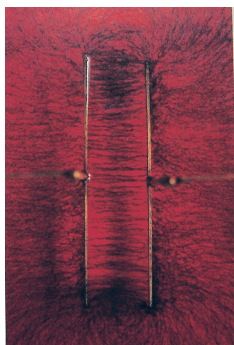


(a) 等量同种点电荷的电场线的实验



(b) 等量同种点电荷的电场线分布

图 1-3-9



(a) 带等量异种电荷的平行金属板的电场线的实验



(b) 带等量异种电荷的平行金属板的电场线分布

图 1-3-10

从以上图形可以看出：

(1) 电场越强的地方，电场线越密。电场线的疏密程度反映了电场的强弱。

(2) 电场线从正电荷或无限远出发，到负电荷终止或延伸到无限远。

匀强电场的电场线是间隔距离相等的平行直线。两块相同、正对放置的平行金属板，若板间距离很小，当它们分别带有等量的正负电荷时，板间的电场（除边缘附近）就是匀强电场（图 1-3-10）。

资料活页

用比值定义物理量

在物理学中，常用比值来定义一个物理量，用来表示研究对象的某种性质。

初中学过的密度就是用比值来定义的：若一个物体由均匀物质组成，则它的质量和它的体积的比值叫做这种物质的密度。对同种物质来说这个比值是恒定的，对不同的物质来说这个比值一般是不同的。因此，密度反映物质的一种属性。

初中学过的电阻也是用比值来定义的：导体两端的电压跟通过该导体的电流强度的比值叫做这段导体的电阻。当温度不变时，对某段导体来说，这个比值是恒定的；对不同的导体来说，这个比值一般不同。因此，电阻是表示导体对电流的阻碍作用的物理量。

本节的电场强度也是用比值来定义的：放入电场中某一点的试探电荷受到的电场力跟它的电荷量的比值，称为该点的电场强度。电场强度描述电场本身的性质，与试探电荷无关。

从上述三个例子中可以看出，在科学研究中常用比值定义新的物理量，用来反映物质本身的某种属性。

http 我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

电场线的实验模拟

练习

- 按照经典模型，氢原子中的质子位于原子的中心，电子绕质子做圆周运动，轨道半径是 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$.
 - 求质子在电子轨道上产生的场强.
 - 电子轨道上的电场是匀强电场吗?
- 下列关于电场的叙述中正确的是 ().
 - 以点电荷为圆心， r 为半径的球面上，各点的场强都相等
 - 正电荷周围的场强一定比负电荷周围的场强大
 - 取走电场中某点的试探电荷后，该点的场强为零
 - 电荷在电场中某点所受电场力的方向与该点电场的方向不一定相同
- 有同学说，电场线就是带电粒子在电场中运动的轨迹. 这一说法对吗？为什么？
- 电场线在电场中会相交吗？为什么？

第四节 电势和电势差

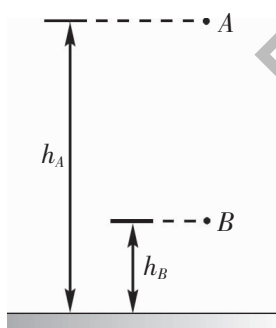


图 1-4-1 质量为 m 的物体在重力的作用下，从 A 移动到 B ，重力所做的功为 $W = mgh_A - mgh_B$

将一个一定质量的物体放在地球表面附近，物体会受到地球的重力作用. 由于重力做功与路径无关，我们说这个物体具有一定的重力势能. 如图 1-4-1 所示，若这个物体在重力的作用下从高处 A 移动到低处 B ，重力就对它做正功，物体的重力势能减少，而且重力势能的减少量等于重力所做的功. 在电现象中，也有类似的情况.

电势差

可以证明，电场力的功也跟电荷移动的路径无关，只由电荷的始末位置决定. 因此，在电场中的电荷受到电场力，也具有一定的电势能. 如果这个电荷在电场中从 A 点移动到 B 点 (图 1-4-2)，电场力就对该电荷做功，同时电荷的电势能改变，而且电场力所做的功 W_{AB} 等于电势能 E_p 的减少量，即

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

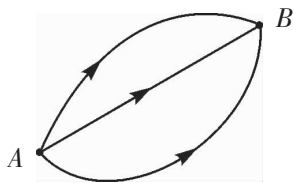


图 1-4-2 在电场中将电荷 q 沿不同路径从 A 移动到 B , 电场力所做的功相同

如果电场力做正功, 则电势能减少, 电势能转变为其他形式的能量. 反过来, 如果电场力做负功, 则电势能增加, 其他形式的能量转变为电势能.

如果电荷的电荷量增加一个倍数, 则电荷受到的电场力也增加相同的倍数, 当这个电荷在电场中同样从 A 点移动到 B 点时, 电场力对该电荷做的功也会增加相同的倍数. 可见, 电场力的功与移动的电荷有关, 所以不能用来描述电场本身的性质.

理论分析表明, 电场力做的功与所移动电荷的电荷量的比值与电荷无关, 它反映电场自身在 A 、 B 两点的性质. 我们定义这个比值为电场中 A 、 B 两点的**电势差**

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad (1.4.1)$$

由上式可见, 电场中 A 、 B 两点之间的电势差在数值上等于把单位正电荷从 A 点移动到 B 点时电场力所做的功. 电势差越大, 移动单位正电荷时, 电场力做功越多.

在国际单位制中, 电势差的单位为**伏特**, 简称**伏**, 符号为 V . 如果电场力把电荷量为 1 C 的电荷从 A 点移动到 B 点时所做的功为 1 J , 则 A 、 B 两点间的电势差就是 1 V .

因为移动单位正电荷时电场力的功可以是正值, 也可以是负值, 所以两点间的电势差同样可以是正值或负值. 两点间的电势差也叫做这两点间的**电压**.

电势

大厦房顶上的避雷针的高度, 从地面起算与从大厦天台处起算是不同的. 但是, 如果选定地平面为参考平面, 避雷针的高度是完全确定的. 同样, 根据 (1.4.1) 式, 在静电场中任意给定的两点间的电势差是确定的, 但某点的电势则与电势的参考点的选择有关. 如果在电场中选定一个参考点, 规定该点的电势值为零, 就可以由 (1.4.1) 式定义电场中各点的电势.

选择电场中的 P 点为电势的参考点, 即规定 P 点的电势为零, 则电场中任意一点 A 的**电势**, 数值上等于把单位正电荷从 A 点移动到参考点 P 时电场力所做的功. 用 φ_A 表示 A 点的电势, 有

$$\varphi_A = \frac{W_{AP}}{q} \quad (1.4.2)$$

专业术语

- 电势能
electric potential energy
- 电势差
electric potential difference
- 电势
electric potential

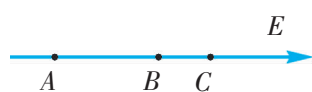


图 1-4-3 电场中的三点

如图 1-4-3 所示, A 、 B 、 C 是电场中的三点, 现规定 B 为电势的零点. 设将电荷量为 1 C 的正电荷分别从 A 、 C 移动到 B 时, 电场力所做的功分别为 10 J 、 -5 J , 则 A 、 C 两点的电势分别为 $\varphi_A = 10\text{ V}$, $\varphi_C = -5\text{ V}$.

对于电荷分布在有限区域的情况, 通常选择无穷远为电势的零点. 在实验室或工程技术上, 常以大地作为电势的零点.

有了电势的概念, 电场中任意两点 A 、 B 间的电势差可表示为

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \quad (1.4.3)$$

若 U_{AB} 为正值, 表示 A 点的电势比 B 点的电势高; 若 U_{AB} 为负值, 表示 A 点的电势比 B 点的电势低.

电势的单位与电势差的单位一样, 也是伏特.

电势只有大小, 没有方向, 因此是标量.

讨论与交流

1. 在图 1-4-3 中, 若选择 A 为电势的零点, 则 A 、 B 、 C 三点的电势应是多少?
2. 在图 1-4-3 中, 分别选择 A 、 B 为电势的零点, 问 C 、 A 间的电势差各是多少?

等势面

专业术语

等势面

equipotential surface

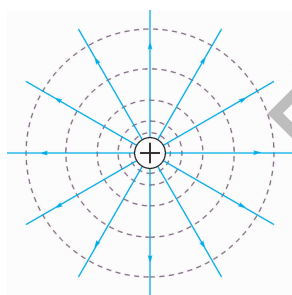


图 1-4-4 正点电荷的等势面

当电势的零点选定后, 电场内各点的电势都有确定值. 电场中电势相等的点构成的曲面叫做**等势面**. 为了使等势面能够反映电场的强弱, 通常使相邻等势面之间的电势差值相等.

图 1-4-4 中的虚线是一个带正电的点电荷的电场的等势面. 由对称性可知, 点电荷的等势面是一系列以点电荷为中心的同心球面. 在靠近点电荷的地方等势面较密, 表示该处的电场较强; 远离点电荷的地方等势面较疏, 表示该处的电场较弱.

实践与拓展

查阅资料, 了解地球的电势.

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

电势零点的选取

练习

1. 在研究原子、原子核及基本粒子时, 常用电子伏特作为能量的单位. 1 电子伏特, 就是电子在电压为 1 V 的两点间移动时电场力所做的功. 电子伏特简称电子伏, 符号为 eV . 你能算出电子伏特与焦耳的关系吗?

2. (1) 将初速度为零的质子放在电场中, 在电场力作用下, 质子将向电势高的地方运动还是向电势低的地方运动, 电势能是增加还是减少?

(2) 将质子换成电子, 情况又如何?

(3) 上述两种情况有什么相同与不同之处?

3. 将电荷量为 $q = 3.0 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的点电荷从电场中的 A 点移动到 B 点, 电场力所做的功为 $6.0 \times 10^{-7} \text{ J}$, 求 A 、 B 两点间的电势差.

第五节 电场强度与电势差的关系

我们已知描述电场有两个物理量: 电场强度和电势. 电场强度从电场对电荷有作用力的角度描述电场, 而电势从电场力对在电场中移动的电荷做功的角度描述电场. 既然描述的是同一电场, 那么电场强度与电势、电势差有什么联系呢?

探究场强与电势差的关系

下面以匀强电场为例讨论场强与电势差的关系.

图 1-5-1 中画出的是一匀强电场的电场线和等势面. 匀强电场的电场强度的大小为 E . A 、 B 两点在同一条电场线上, 但在两个不同的等势面上, 它们之间的距离为 d , 电势差为 U .

现沿着场强的方向, 将一个点电荷 q 由场中 A 点移到 B 点, 则点电荷 q 受到的电场力

$$F = qE$$

电场力做的功

$$W = qEd$$

根据电势差的定义式 $U = \frac{W}{q}$, 即得 A 、 B 间的电势差

$$U = Ed \quad (1.5.1)$$

可以证明, 在匀强电场中, 沿着电场强度的方向, 任意两点之间的电势差等于场强与这两点间的距离的乘积.

由上式可得

$$E = \frac{U}{d} \quad (1.5.2)$$

(1.5.2) 式表明, 在匀强电场中, 电场强度在数值上等于沿场强方向距离为单位长度的两点间的电势差.

由 (1.5.2) 式还可以看出, 场强的另一个单位是伏/米, 符号为 V/m .

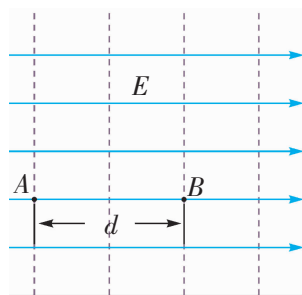


图 1-5-1

例：有两块平行金属板 A 、 B 相隔 6 cm (图 1-5-2)，接在 36 V 的直流电源上。电源的正极接地， C 点在两板间且到 A 板的距离为 2 cm 。

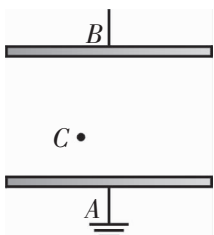


图 1-5-2

- (1) 求 A 、 B 两板间的场强大小和方向。
 (2) 以地为电势的零点，问 C 点的电势多高？

解：(1) 板间场强的大小

$$E = \frac{U_{AB}}{d_{AB}} = \frac{36}{6 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 6 \times 10^2 \text{ V/m}$$

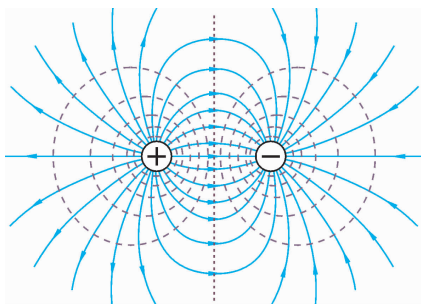
场强方向由 A 板垂直指向 B 板。

(2) $U_{AC} = Ed_{AC} = 6 \times 10^2 \times 2 \times 10^{-2} \text{ V} = 12 \text{ V}$

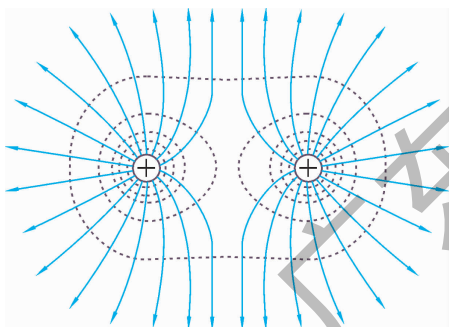
由 $U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C$ ，得

$$\varphi_C = \varphi_A - U_{AC} = 0 - 12 \text{ V} = -12 \text{ V}$$

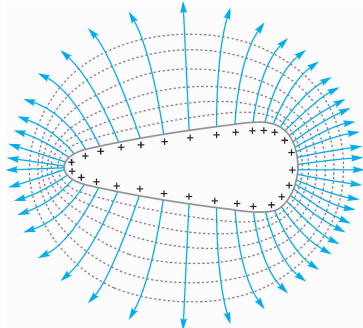
电场线与等势面的关系



(a) 两个等量异种的点电荷



(b) 两个等量同种的点电荷



(c) 一个带电导体

图 1-5-3 电场线与等势面

因为同一等势面上各点的电势相等，所以等势面上各点之间的电势差为零。由 $W_{AB} = qU_{AB}$ 可知，在等势面上移动电荷时电场力不做功。在电场力和位移都不为零的情况下，不做功意味着电场力的方向与电荷移动的方向垂直，可见电场线一定垂直等势面。又因为沿着电场线方向移动正电荷时电场力做正功，根据 (1.4.1) 式电势差为正，所以沿着电场线的方向，电势是下降的。

因此，我们可以得出电场线与等势面的关系如下：

- (1) 电场线跟等势面垂直；
- (2) 沿着电场线的方向各等势面上的电势减小，逆着电场线的方向各等势面上的电势增大；
- (3) 电场线密的区域等势面密，电场线疏的区域等势面疏。

图 1-5-3 是几种常见电荷分布的电场线与等势面，图中实线表示电场线，虚线表示等势面。

讨论与交流

1. $E = \frac{U}{d}$ 能用于非匀强电场吗？
2. 能否说电场强度大的地方电势高，电场强度小的地方电势低？

实践与拓展

参考本节“我们的网站”中的材料，设计一个实验，验证点电荷的等势面是一组同心球面。

资料活页

元电荷的测定——密立根油滴实验

1897年，汤姆生（Joseph John Thomson, 1856—1940）发现了电子。电子电荷量的精确数值最早是美国科学家密立根（Robert Andrew Millikan, 1868—1953）于1913年用实验测得的，他因此获得1923年的诺贝尔物理奖。

密立根精确测定电荷量 e ，经过了不断发现并解决问题的艰辛过程。开始他用水滴作为电荷的载体，由于水滴易蒸发，不能得到满意的结果，于是改用了蒸发性小的油滴。起先由实验数据计算出的 e 值随油滴的减小而增大，密立根经过分析认为导致这个谬误的原因是实验选用的油滴很小，对它来说空气不能看作连续媒质，斯托克斯定律不再适用。因此，他通过分析和实验对斯托克斯定律作了修正，得到了合理的结果。

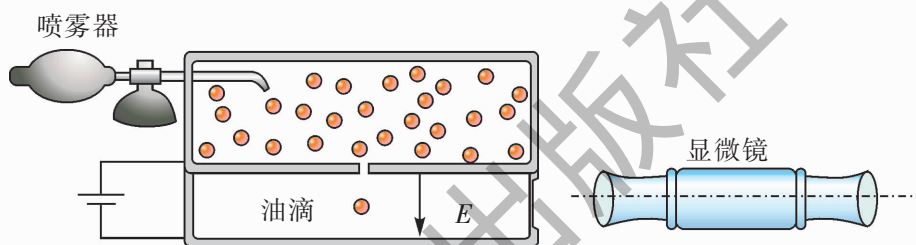


图 1-5-4 密立根油滴实验

图 1-5-4 是密立根实验的示意图。油滴从喷雾器的喷嘴喷出，落到图中的匀强电场 E 中。油滴由于摩擦而带负电，调节两极板间的电压 U 恰使某个油滴悬浮，则

$$mg = qE = \frac{qU}{d}$$

因而，悬浮油滴的电荷量为

$$q = \frac{mgd}{U}$$

式中的 U 、 d 均可直接测量，但油滴太小，质量 m 难以直接测量。密立根用实验测出油滴的直径，计算出油滴体积，再根据密度求出油滴的质量，从而求得电荷量。通过实验，密立根发现所有油滴所带的电荷量都等于元电荷的整数倍。

元电荷是物理基本常数之一，它的测定在理论和实践中都有重大意义。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

验证匀强电场的等势面是一组平行平面

练习

1. 回答下列问题：

(1) 场强为零的地方，电势是否一定为零？

- (2) 电势为零的地方, 场强是否一定为零?
 (3) 场强大小相等的地方, 电势是否一定相等?
 (4) 等势面上的各点的场强大小是否一定相等?

2. A 、 B 是一条直电场线上的两点, 相距为 d (图 1-5-5), 设 A 点场强为 E_A , 则 () .



图 1-5-5

- A. A 点场强一定大于 B 点场强
 B. A 点电势一定高于 B 点电势
 C. B 点电势一定高于 A 点电势
 D. A 、 B 两点间的电势差一定等于 $E_A d$

3. 两块平行导体板相距 8 cm , 板间的电压为 100 V . 若二价离子从正极板由静止开始加速运动, 求到达负极板时的动能.

4. 证明: 如图 1-5-6 所示, 在匀强电场中, 任意两点 A 、 B 间的电势差 $U_{AB} = El \cos \theta$. 式中 E 是匀强电场的电场强度, l 是 A 、 B 间的距离, θ 是 AB 与电场强度间的夹角.

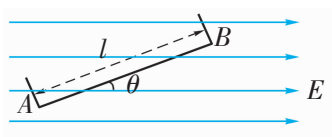


图 1-5-6

第六节 示波器的奥秘

示波器 (图 1-6-1) 是一种常用的实验仪器, 它常用来显示电信号随时间变化的情况. 振动、光、温度等的变化可以通过传感器转化成电信号的变化, 然后再用示波器来研究. 图 1-6-2 是在示波器屏幕上显示的交流电的电压波形图.



图 1-6-1 示波器

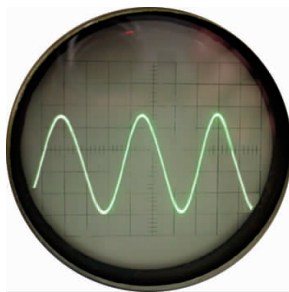


图 1-6-2 交流电压波形图

示波器并不神秘. 它的基本原理是带电粒子在电场力的作用下加速和偏转, 屏幕上的亮线是由电子束高速撞击荧光屏产生的.

带电粒子的加速

如图 1-6-3 所示, 两平行金属板间的电压为 U , 板间是一匀强电场. 设有一带正电荷 q 、质量为 m 的带电粒子从正极板处由静止开始向负极板运动 (忽略重力的作用), 由于电场力做正功, 带电粒子在电场中被加速, 带电粒子的动能增加. 根据动能定理, 动能的增量等于电场力的功 W , 所以

$$\frac{1}{2}mv^2 = W = qU$$

由此可得带电粒子到达负极板时的速度

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (1.6.1)$$

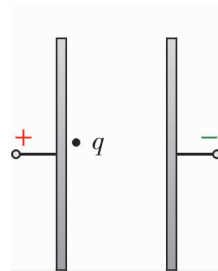


图 1-6-3 带电粒子在匀强电场中加速

讨论与交流

两块平行金属板间的电场是匀强电场. 若两极板的形状改变, 两极板间的电场不是匀强电场, 但两板间的电压仍为 U , (1.6.1) 式还可以用吗?

带电粒子的偏转

带电粒子在电场中受到电场力, 如果粒子进入电场时的速度方向与电场力的方向不平行, 粒子就会受到侧向的作用力, 带电粒子就会发生偏转. 本节只研究带电粒子的初速度与电场方向垂直时发生偏转的情况.

如图 1-6-4, 两平行导体板水平放置, 极板长度为 l , 板间距离为 d , 板间电压为 U . 有一质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子以水平速度 v_0 进入板间的匀强电场. 下面求它穿出电场时在竖直方向上的位移和偏转的角度.

带电粒子垂直进入匀强电场的运动类似物体的平抛运动. 因为带电粒子在水平方向上不受力, 竖直方向上受到一个恒定不变的电场力, 所以可以将它的运动看成是由水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的初速为零的匀加速直线运动合成的.

粒子在电场中运动的时间

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

忽略粒子的重力, 它的加速度为

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Uq}{dm}$$

穿出电场时在竖直方向上的位移

$$y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qU}{2dmv_0^2}l^2$$

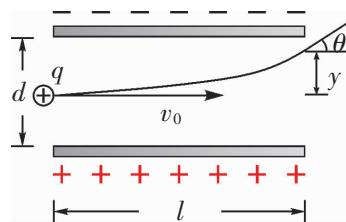


图 1-6-4 带电粒子在电场中的偏转

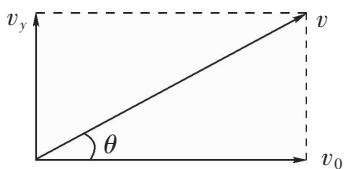


图 1-6-5

穿出电场时竖直方向上的分速度 $v_y = at = \frac{ql}{dmv_0} U$, 合速度 v 与水平方向的夹角 (图 1-6-5)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_0} = \tan^{-1} \frac{ql}{dmv_0^2} U$$

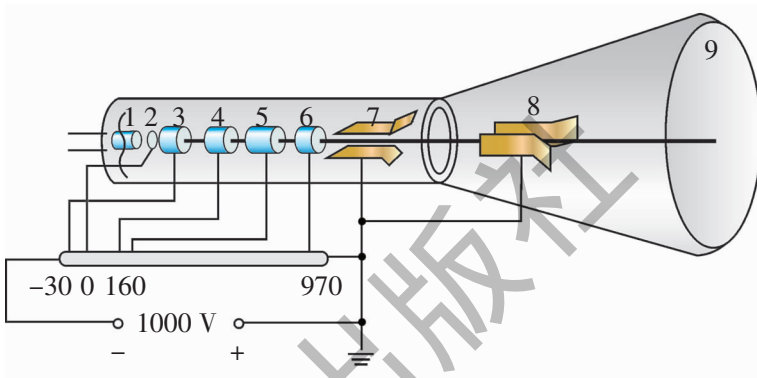
示波器探秘

专业术语

示波器

oscilloscope

示波器的核心部件是示波管 (图 1-6-6). 示波管是一种阴极射线管, 玻璃管内抽成真空, 它采用热电子发射方式发射电子.



1. 灯丝 2. 阴极 3. 控制极 4. 第一阳极 5. 第二阳极 6. 第三阳极
7. 竖直偏转系统 8. 水平偏转系统 9. 荧光屏

图 1-6-6 示波管结构图

观察与思考

观察示波管的结构, 思考示波管中各个组件的作用.

灯丝通电后给阴极加热, 使阴极发射电子. 电子经阳极和阴极间的电场加速聚焦后形成一很细的电子束射出, 电子打在管底的荧光屏上, 形成一个小亮斑. 亮斑在荧光屏上的位置可以通过调节竖直偏转极与水平偏转极上的电压大小来控制. 如果加在竖直极板上的电压是随时间正弦变化的信号, 并在水平偏转板上加上适当的偏转电压, 荧光屏上就会显示出一条正弦曲线.

实践与拓展

阅读说明书并查阅资料, 了解加在示波器水平偏转板上的电压有何特点.

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

阴极射线管

 练习

1. 在用于治疗癌症的粒子加速器中，静止的质子在电场力的作用下从静止状态进入零电势区域。设质子原来具有的电势能为 80 MeV ，试求质子到达零电势区域时的速度。

2. 图 1-6-7 是喷墨打印机的结构简图，其中墨盒可以发出墨汁微滴。此微滴经过带电室时被带上负电，带电多少由计算机按字体笔画高低位置由输入信号控制。带电后的微滴进入偏转板间，在电场力的作用下偏转，沿不同方向射出，打到纸上即显示出字体。无信号输入时，微滴径直通过偏转板区域注入回流槽再流回墨盒。设一滴墨汁微滴的质量为 $1.5 \times 10^{-10} \text{ kg}$ ，经过带电室后带上了 $-1.4 \times 10^{-13} \text{ C}$ 的电荷量，随后以 20 m/s 的速度进入偏转板间。已知偏转板的长度为 1.6 cm ，板间电场强度为 $1.6 \times 10^6 \text{ N/C}$ ，那么此微滴离开偏转板时在竖直方向将偏转多大距离（忽略微滴的重力）？

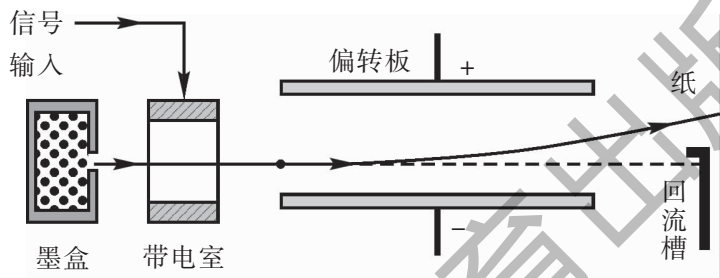


图 1-6-7

第七节 了解电容器

摄影时光线不足，你一定知道用闪光灯。可你知道闪光的能量是从哪里来的呢？它来自电容器！图 1-7-1 是一种带有内置闪光灯的照相机，相机内就装有容量很大的电容器。



图 1-7-1 内置闪光灯的数码照相机



图 1-7-2 电容式键盘

电容器是一种常用的电学元件，它可以用来储存电荷。电容器在电工、电子技术中有着广泛的应用。有一种计算机键盘叫电

容式键盘 (图 1-7-2), 在键盘的每一个键下面连有一块小金属片, 它下面隔一定空气隙是另一块固定的金属片, 这样两块金属片就组成一个小电容器. 当键被按下时, 此小电容器的电容就发生变化, 与之相连的电子线路就能检测出是哪个键被按下了, 从而给出相应的信号.

识别电容器

电容器是如何构成的呢? 我们先来观察一下常用的电容器.

专业术语

电容器
capacitor

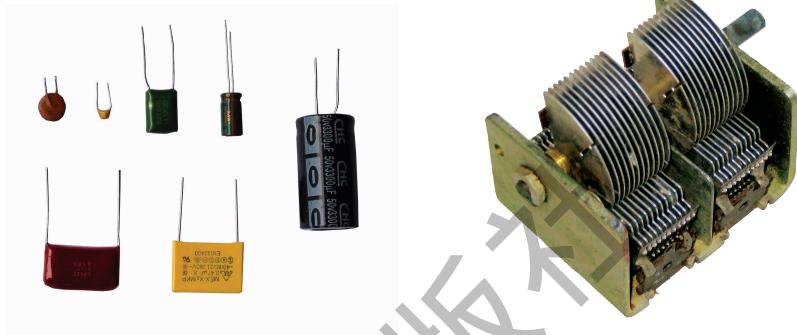


图 1-7-3 各种各样的电容器

观察与思考

1. 观察并识别常见的电容器.
2. 解剖日光灯的起辉器中的电容器, 观察其结构.

电容器由两个互相靠近、彼此绝缘的导体组成, 电容器的导体间可以填充绝缘物质 (电介质). 常见的平行板电容器就是由两块正对而又相距很近的金属板组成的.

电容器的充放电

电容器如何充放电荷呢?

观察与思考

1. 在图 1-7-4 的电路中, 将开关接到 a 端, 观察电路中是否有电流通过, 以及电流通过的时间长短. 思考在充电过程中电容器的极板上带何种电荷.
2. 接着, 将开关接到 b 端, 观察电路中是否有电流通过. 思考放电过程完成后电容器的极板上是否还有电荷.

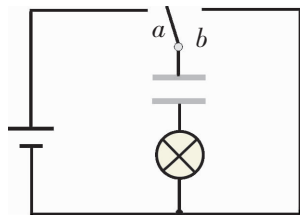


图 1-7-4 电容器的充电和放电

使电容器的两个极板上带上等量异种电荷的过程叫**充电**, 每一极板所带电荷量的绝对值称电容器所带的电荷量. 电容器充电后, 两极板间存在电场, 从电源获得的能量储存在电场之中, 称为**电**

场能. 电场具有能量是电场物质性的重要表现.

使电容器两极板上的电荷中和的过程叫**放电**. 电容器放电后, 板间电场消失, 电场能在放电过程中转换成其他形式的能量.

电容器的电容

电容器能够储存电荷, 那么它容纳电荷的能力用什么物理量来描述呢?

实验表明, 电容器两极板间的电势差随它所带电荷量的增加而增大, 而且电荷量跟电势差成正比, 它们的比值是一个恒量. 不同的电容器, 这个比值一般是不相同的. 比值越大, 表示电容器储存电荷的本领越大. 可见, 这个比值表征了电容器自身的特性. 它的大小只与电容器本身的结构有关, 与电容器带电多少以及两极板间的电压大小无关.

电容器所带的电荷量跟它的两极板间的电势差的比值, 叫做这个电容器的**电容**.

如果用 Q 表示电容器所带的电荷量, 用 U 表示它两极板间的电势差, 用 C 表示它的电容, 则

$$C = \frac{Q}{U} \quad (1.7.1)$$

在国际单位制中, 电容的单位是**法拉**, 简称**法**, 符号是 F . 如果一个电容器带 1 C 的电荷量时两极板间的电势差是 1 V , 这个电容器的电容就是 1 F .

法拉这个单位太大, 实际使用中常常采用较小的单位: 微法 (μF) 和皮法 (pF). 它们之间的换算关系是

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



讨论与交流

电容与电场强度的定义方法有什么共同之处?

决定电容的因素

电容是由电容器本身的哪些因素决定的呢? 现在我们通过平行板电容器来研究.

如图 1-7-5, 将一个平行板电容器的两极板分别与静电计的金属球及地线相连, 静电计的外壳接地. 给电容器充电, 此时静电计的指针偏转一定角度, 表明电容器的两极板间存在一定的电势差.

专业术语

电容
capacitance

静电计是一种可以测量电势差的仪器.

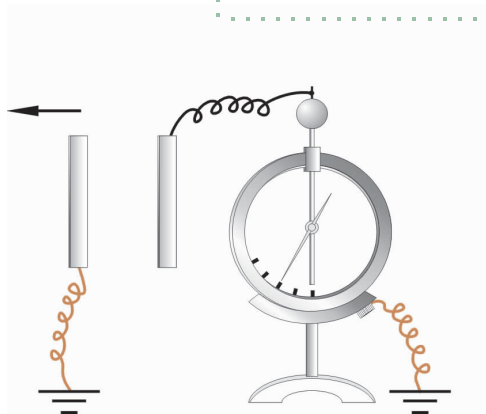


图 1-7-5

观察与思考

因为影响电容器的电容大小的因素不止一个，我们采用控制变量法来探究。

1. 保持两极板正对面积不变，增大电容器平行极板间的距离（图 1-7-5），观察静电计的偏角的变化，思考电容变大还是变小。

2. 保持极板的间距不变，减小电容器平行极板的正对面积（图 1-7-6），观察静电计的偏角的变化，思考电容变大还是变小。

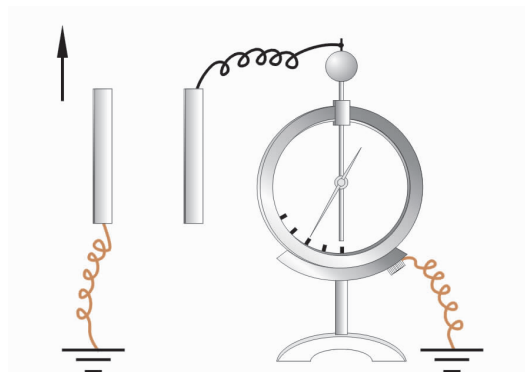


图 1-7-6

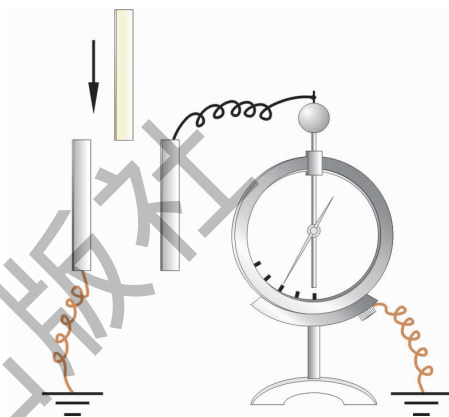


图 1-7-7

3. 保持两极板正对面积和间距不变，在平行板电容器内插入电介质（图 1-7-7），观察静电计的偏角的变化，思考电容变大还是变小。

理论计算和定量的实验都表明，平行板电容器的电容与两极板的正对面积 S 成正比，与两极板间的距离 d 成反比，并跟板间插入的电介质有关。

当平行板电容器的两极板间为真空时，其电容

$$C_0 = \frac{S}{4\pi kd} \quad (1.7.2)$$

式中 k 为静电力常量。

当平行板电容器的两极板间充满同一种电介质时，其电容

$$C = \varepsilon_r C_0 = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd} \quad (1.7.3)$$

式中 ε_r 是一个常数，称为电介质的相对介电常数。电介质不同， ε_r 的大小也不同。表 1-7-1 列出了几种常见电介质的 ε_r 值。

表 1-7-1

电介质	真空	空气	云母	玻璃	普通陶瓷	氧化钽	水	钛酸钡
ε_r	1	1.00059	3.7~7.5	5~10	5.7~6.8	11.6	78	$10^2 \sim 10^4$

表示一个电容器性能的主要指标有两个：一个是它的电容量，另一个是它的耐压能力。耐压值表示电容器正常使用时两个电极间所能够承受的最大电压。超过这个电压值，电容器内的电介质就可能不再绝缘，从而损坏电容器。

电容器有着广泛的实际应用，比如电容式传感器、整流电路中的滤波器、接收机中的调谐电路、产生电磁振荡的电路等都要用到电容器。

实践与拓展

设计并制作一个应用电容传感器的实用装置。

资料活页

电容式传感器

传感器是把非电学量（如位移、速度、压力、温度、流量、声强、光照度等）转换成电学量（如电压、电流、电荷、电容等）的装置。非电学量转化成电学量之后，测量、显示、记录都比较方便，而且电信号易于交由计算机进行处理。因此，传感器是自动控制系统中不可缺少的元件，在工农业生产、交通运输、科学研究、家庭生活等方面得到广泛的应用。

电容式传感器是将非电学量的微小变化转换成电容变化的传感器。电容器的电容取决于极板面积、板间距离、相对位置以及极板间的电介质这几个因素。如果某一非电学量（如角度、位移、深度等）的变化，能够引起上述影响电容的某个因素变化，那么电容器的电容也跟着变化。通过测定电容的改变就可以确定上述非电学量的变化。

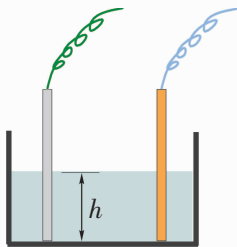


图 1-7-8

图 1-7-8 是一种利用电容式传感器测量油箱中油量多少的装置。当油面高度 h 变化时，相当两平行金属板间的介质高度改变，从而引起板间电容变化。

电容式传感器的优点很多，它结构简单、灵敏度高、稳定性好、测量精度高，是一种方便实用的传感器。

http 我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

电容式传感器的实际应用

 练习

1. 用 6 V 干电池对一个电容器充电, 下列说法中正确的是 ().

- A. 只要电路不断开, 电容器的带电量就会不断增加
- B. 接电源正极的极板带正电, 接电源负极的极板带负电
- C. 电容器两极板所带电荷量之和叫做电容器所带的电荷量
- D. 充电后电容器两极板之间不存在电场

2. 实验室有一种聚酯电容器上标称电容量为 $0.01\ \mu\text{F}$ 、耐压为 50 V , 求此电容器使用时两个电极最大的电荷量.

3. 将一个电容为 $12\ \text{pF}$ 的平行板电容器接在一个 3 V 的电池上.

(1) 电容器每个极板所带的电荷量是多少?

(2) 保持与电池的连接, 使两极板之间的距离减半, 每个极板的电荷量又是多少?

(3) 断开与电池的连接后, 使两极板之间的距离减半, 两极板间的电势差是多少?

4. (多选) 如图 1-7-9 所示, 两块大小、形状完全相同的金属平板平行放置, 构成一平行板电容器, 接通开关 S , 电源即给电容器充电. 下列说法正确的是 ().

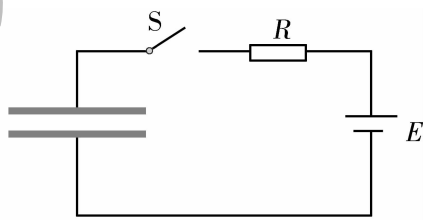


图 1-7-9

A. 保持 S 接通, 减小两极板间的距离, 则两极板间电场的电场强度减小

B. 保持 S 接通, 在两极板间插入一块介质, 则极板上的电量增大

C. 断开 S , 减小两极板间的距离, 则两极板间的电势差减小

D. 断开 S , 在两极板间插入一块介质, 则两极板间的电势差增大

第八节 静电与新技术

静电在技术上有许多应用，比如激光打印、喷墨打印、静电除尘、静电喷涂、静电植绒、静电复印等（图 1-8-1）。下面介绍静电在除尘技术中的应用。

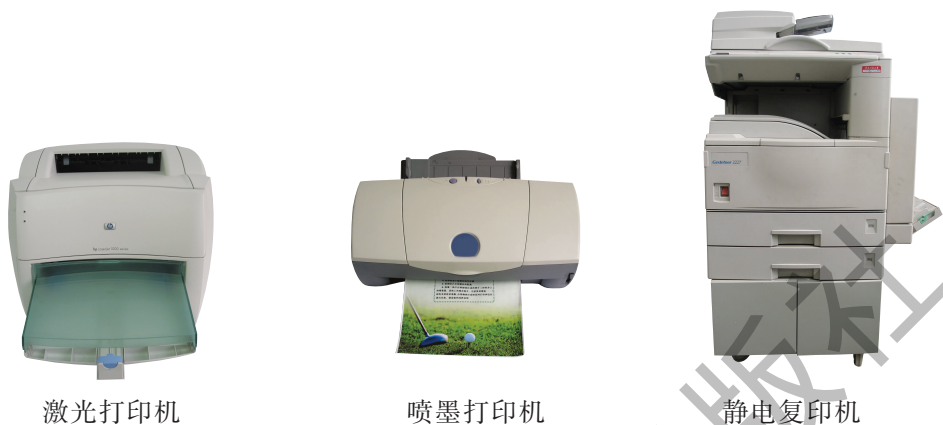


图 1-8-1 静电的应用

锁住黑烟

过去，在一些水泥厂、石灰厂以及以煤作燃料的发电厂里，每天都排出大量的粉尘，严重地污染环境，损害周边居民的身体健康（图 1-8-2）。如何消除粉尘对环境的影响呢？我们先来看一个静电除尘的演示实验。

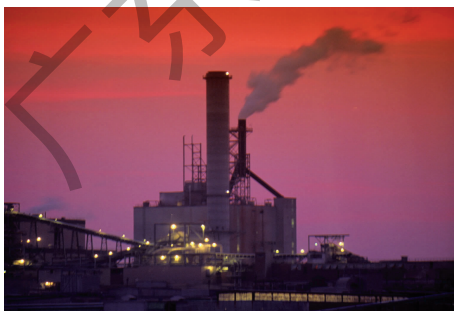


图 1-8-2 黑烟污染环境

观察与思考

图 1-8-3 是一个静电除尘的实验装置图。透明的玻璃瓶中原来充满烟尘，将高压电源的正、负两极分别接到绕在玻璃瓶上的金属螺旋线和插在玻璃瓶内的金属直导线上，你发现了什么现象？

思考现象出现的原因。

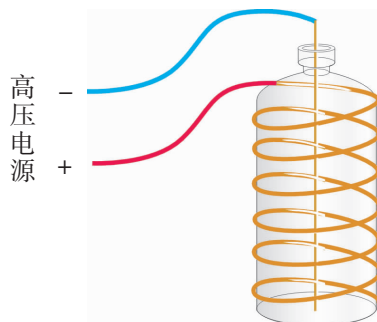


图 1-8-3 静电除尘小实验

图 1-8-4 是一种实用的静电除尘装置图. 高压电源的正极接到金属圆筒上, 负极接到悬挂在管心的金属线上, 它们之间有很强的电场, 而且距管心的金属线越近, 场强越大. 因此, 金属线附近的气体分子被强电场电离, 成为电子和正离子. 在电场力的作用下, 正离子被吸引到金属线上, 得到电子而成为分子; 电子在向着金属圆筒正极运动的过程中, 附在空气中的尘埃上, 使尘埃带负电, 并被吸附到金属圆筒上. 尘埃积累到一定程度, 在重力的作用下落入下面的漏斗中. 此装置既可清洁环境又可回收尘埃中的有用物质.



图 1-8-4 静电除尘装置

防止静电危害

静电时常会给人们带来不便、烦恼甚至危害. 冬天化纤衣服上的静电会使衣服贴在人的身上, 使人感到不自在. 在半导体器件生产车间, 静电会使尘埃吸附在芯片上, 影响产品质量. 在印刷行业, 静电会使纸张粘在一起, 影响纸张的正常分离、叠放. 静电放电产生的电磁辐射, 会对电子仪器产生干扰. 在一定条件下, 静电还可能引发火灾、爆炸、人员伤亡等恶性事故. 比如用输油管道输油和向油罐车灌油时, 都可能会因摩擦产生静电, 积累到一定程度就会发生火花放电, 甚至引起油料燃烧和爆炸.

形成静电危害的必要条件是积累足够多的静电荷. 所以, 防止静电危害的基本原则是: 控制静电的产生, 把产生的静电迅速引走以避免静电的积累. 通过工艺控制可以减少因摩擦而产生的静电. 避免静电积累的常用方法有静电接地、增加湿度、非导电材料的抗静电处理等.

油罐车上常拖有一根铁链 (图 1-8-5), 它一端与油罐相连, 一端拖在地上. 油罐车在行驶中因摩擦产生的静电就通过这根铁链及时导入大地, 从而避免静电的积累. 飞机的轮胎用导电橡胶制造, 也是方便在着陆时把机身的静电引入大地.

当湿度提高时, 固体材料的电阻降低, 可以加快静电的泄漏, 所以增加湿度也是防止静电危害的常用方法. 有些工厂的车



图 1-8-5 拖有铁链的油罐车

间要保持一定的湿度，就是这个道理。

在橡胶中添加导电材料可以制成抗静电橡胶。抗静电橡胶有较低的电阻率和较强的泄漏静电的能力，在橡胶输送带、计算机房地板胶等材料的制造方面得到广泛应用。

讨论与交流

1. 列举静电应用的实例。
2. 生活中还有哪些静电危害的例子，你能提出防止的办法吗？

实践与拓展

1. 通过观察实物、阅读说明书、查阅资料，了解静电复印机、激光打印机的基本原理，撰写一篇科学报告。
2. 收集资料，综述静电的危害和防止方法。

我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

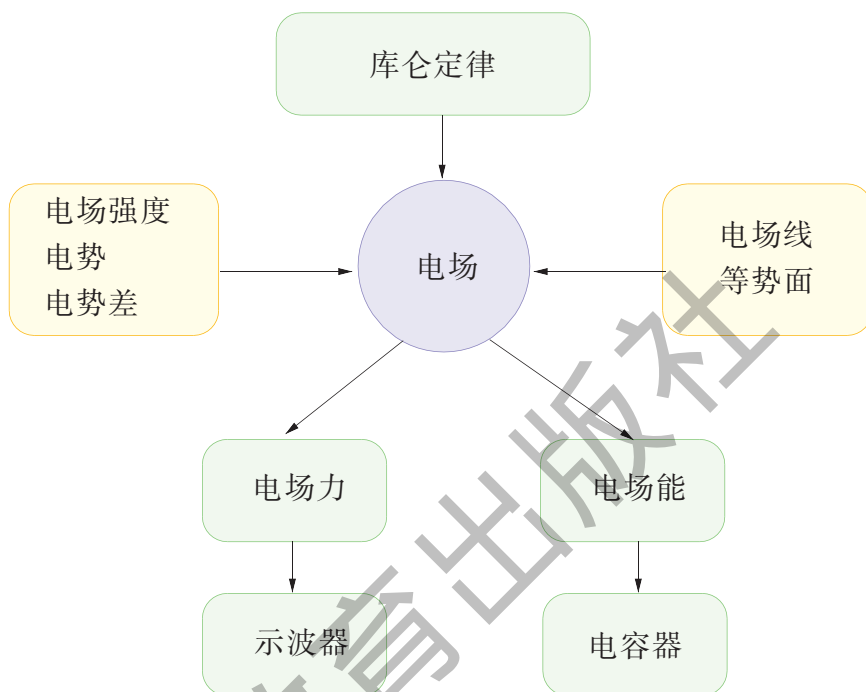
激光打印机

练习

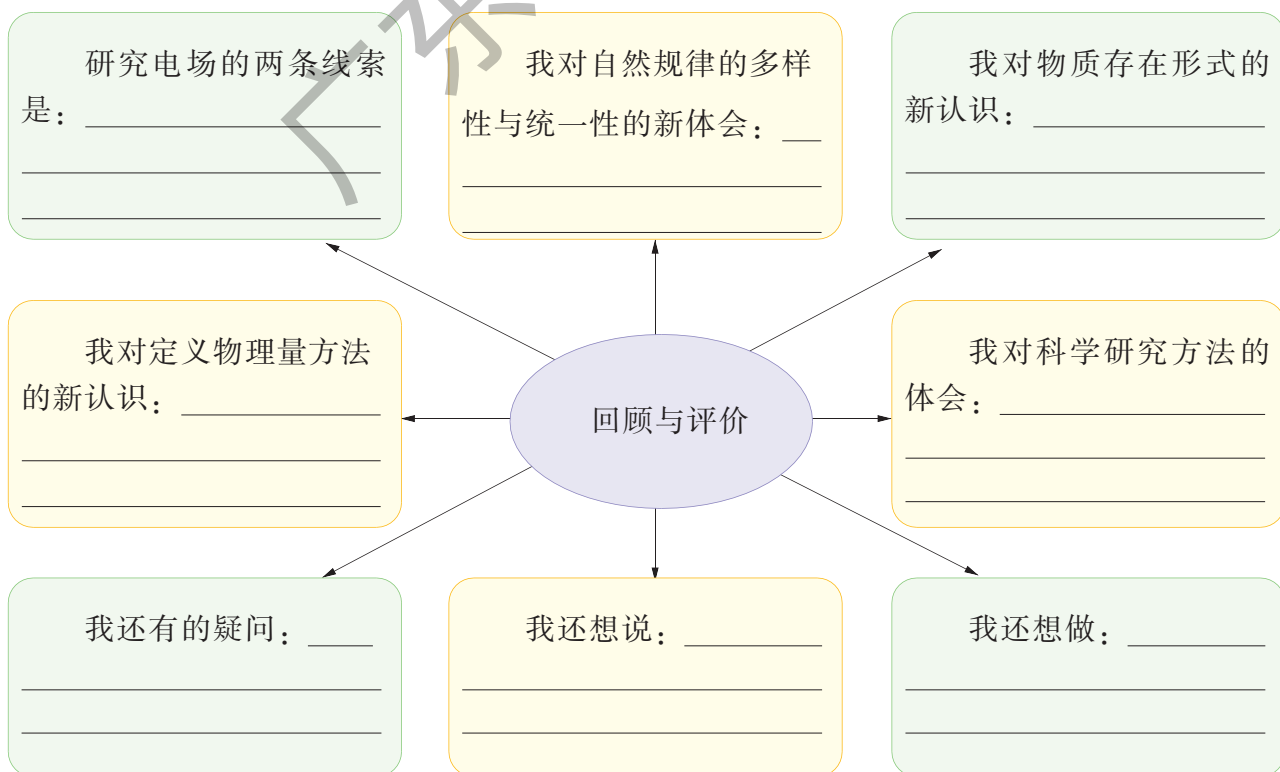
1. 身上穿的化纤衣服常会贴在人的身体上，为什么？
2. 静电实验是在晴天容易做还是雨天容易做？为什么？

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价



习 题 一

1. 真空中有两个完全相同的金属小球 a 、 b ，它们带同种电荷，电荷量相等. 另有一相同的金属小球 c ，所带电荷量为 a 小球的 5 倍，电性相同. 使 c 小球依次与 a 、 b 小球接触一下，求 a 、 b 两带电小球间的静电力是原来的几倍.

2. 三个相同的点电荷放置在等边三角形各顶点上. 在此三角形的中心应放置怎样的电荷，才能使作用在每一点电荷上的合力为零?

3. 如图 1-1 所示，带相同电荷的两个小球的质量均为 m ，两根细线的长度同为 L . 已知两细线间的夹角为 2θ ，求每个小球上带的电荷量.

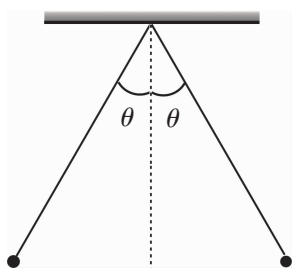


图 1-1

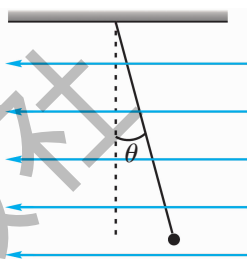


图 1-2

4. 如图 1-2 所示，长为 l 的细线悬挂一质量为 m 、带有负电荷的小球，放在方向水平向左的匀强电场中. 设小球静止时细线与竖直方向的夹角为 θ ，求悬线受到的拉力.

5. 电子以速度 5.0×10^8 cm/s，射入强度为 1.0×10^3 N/C 的匀强电场中. 电子运动的方向与电场方向相同，其运动受到电场的阻碍. 求经过多少时间此电子速率变为 4.0×10^8 cm/s?

6. 电子束焊接机中的电子枪如图 1-3 所示， K 为阴极， A 为阳极， A 上有一小孔. 阴极发射的电子在阴极和阳极间的电场作用下聚集成一细束，以极高的速率穿过阳极板上的小孔，射到被焊接的金属上，使两块金属熔化而焊接在一起. 已知 $\varphi_A - \varphi_K = 2.5 \times 10^4$ V，并设电子从阴极发射时的初速度为零. 求

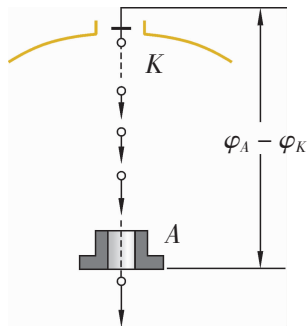


图 1-3

(1) 电子到达被焊接的金属时具有的动能 (用电子伏表示).

(2) 电子射到金属上时的速率.

7. 如图 1-4 所示，光滑绝缘细杆竖直放置，与以正点电荷 Q 为圆心的圆周交于 B 、 C 两点. 质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的有孔小球从杆上 A 点无初速滑下，已知 $AB = BC = h$ ，小球滑到 B 点时的速度大小为 \sqrt{gh} . 求：

(1) 小球由 A 点滑到 B 点的过程中电场力所做的功.

(2) 小球到达 C 点时的速度.

8. 在相距为 8 cm 的两块平行金属板间有 2400 V 的电势差，从负极板静止释放一个电子，与此同时从正极板静止释放一个质子.

(1) 它们会在离正极板多远处相遇而过?

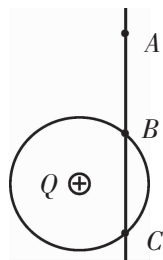


图 1-4

(2) 当它们抵达对面极板时, 速度之比是多少?

(3) 当它们抵达对面极板时, 动能之比是多少?

9. 质量为 $5 \times 10^{-6} \text{ kg}$ 、电量为 $-1 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的带电粒子以 2 m/s 的速度从水平放置的平行金属板 A 、 B 中央水平飞入板间 (如图 1-5). 已知板长 $l=10 \text{ cm}$, 板间距离 $d=2 \text{ cm}$.

(1) 若带电粒子恰好沿直线穿过板间, 求 A 、 B 间的电势差.

(2) 当 $U_{AB}=2000 \text{ V}$ 时, 带电粒子能否从板间飞出?

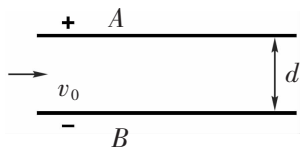


图 1-5

10. 如图 1-6 所示, A 为粒子源, F 为荧光屏. 在 A 和极板 B 间的加速电压为 U_1 , 在两水平放置的平行导体板 C 、 D 间加有偏转电压 U_2 . 现分别有质子和 α 粒子 (氦核) 由静止从 A 发出, 经加速后以水平速度进入 C 、 D 间, 不计粒子的重力, 它们能打到 F 的同一位置上吗? 为什么?

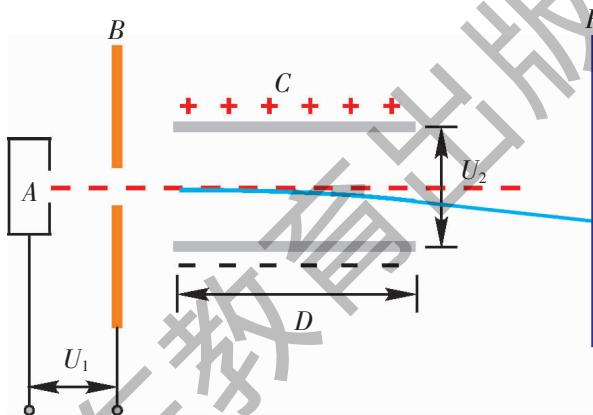


图 1-6

11. 空气电容器的两块平行极板都是正方形且面积相等, 相距 1.0 mm . 现若使电容器的电容为 $1.0 \times 10^2 \text{ pF}$, 那么,

(1) 正方形的边长应是多少?

(2) 如果在电容器内填满相对介电常数 $\epsilon_r=5.0$ 的玻璃, 正方形的边长又该是多少?

第二章

电 路

自从爱迪生发明了电灯，电才真正成为普通人可以享用的资源，人类由此进入了电的时代。

在工厂，各种各样的电气化、自动化的机械设备显著地减轻了人们的劳动强度，提高了社会的生产力。在家庭，电灯给我们带来了光明和多彩的生活；冰箱、微波炉让我们随时可享受美味佳肴；电话、电视拉近了我们与远方朋友的距离，方便了彼此的了解和交流……

你知道吗，所有这一切都离不开电路！

那么，电路是如何组成的？电路有着什么样的规律呢？



第一节 探究决定导线电阻的因素

说到电路，一定离不开电阻。这是因为各种各样的电阻器（图 2-1-1）有电阻，连接电路元件的导线也有电阻。电阻是导体本身的一种性质，它描述导体对电流的阻碍作用。本节通过实验定量地研究导线的电阻跟哪些因素有关。

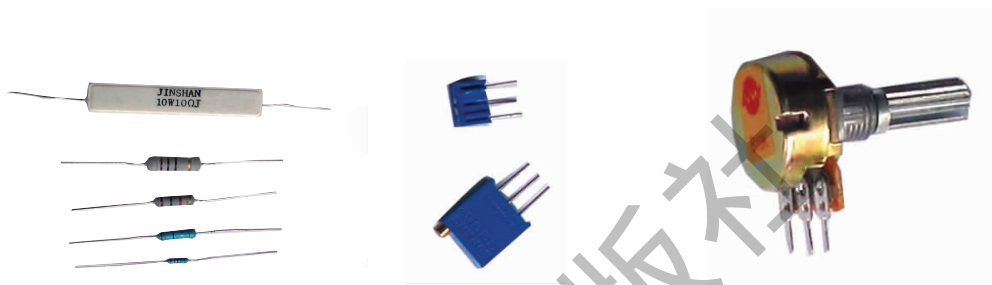


图 2-1-1 各种用途的电阻

电阻定律的实验探究

【提出问题】

不同导体的电阻大小不同。导线的电阻大小是由哪些因素决定的呢？

【猜想与假设】

导体的电阻是导体本身的一种性质。请你与同学讨论并猜想：导线的电阻可能与哪些因素有关？关系如何？比如，当导线的长度增加一倍，其电阻会不会也增加一倍呢？

【制定计划和设计实验】

猜想是否正确，要通过实验来检验。我们还没有学会使用直接测量电阻的仪表，想一想，可以用什么办法间接地测出电阻呢？

图 2-1-2 是实验的参考电路，图中 BC 是待测导线。思考一下，电流表和电压表为什么要这样接入电路？

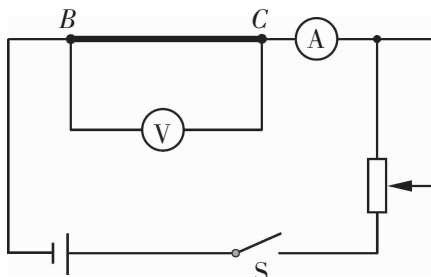


图 2-1-2

由于影响导线电阻的因素不是单一的，实验用变量控制法进行。为此准备如下导线：

1. 材料、横截面积都相同，长度之比为 2:1 的两根合金导线 B_1C_1 、 B_2C_2 。

2. 材料、长度都相同，横截面积之比为 2:1 的两根合金导线 B_3C_3 、 B_4C_4 。

3. 长度、横截面积都相同，但材料不同的两根合金导线 B_5C_5 、 B_6C_6 。

【进行实验和分析论证】

实验时，在电路中的 B 、 C 之间接入待研究的合金导线，通电前应使滑动变阻器接入电路的电阻最大。实验步骤如下：

1. 保持导线的材料和横截面积不变，探究电阻与导线长度间的定量关系。

把 B_1C_1 、 B_2C_2 导线分别接入电路中，调节滑动变阻器，测出电流、电压，计算出导线的电阻。测量应进行三次，取其平均值作为导线电阻的测量值。请在表 2-1-1 中记下结果。

表 2-1-1

接入的导线	长度	电压 U/V	电流 I/A	计算	
				电阻 R/Ω	电阻平均值 \bar{R}/Ω
B_1C_1	$2l_0$	1.			
		2.			
		3.			
B_2C_2	l_0	1.			
		2.			
		3.			

2. 保持导线的材料和长度不变，探究电阻与导线横截面积间的定量关系。

把 B_3C_3 、 B_4C_4 导线分别接入电路中，测量方法同上，把结果记在表 2-1-2 中。

表 2-1-2

接入的导线	横截面积	电压 U/V	电流 I/A	计算	
				电阻 R/Ω	电阻平均值 \bar{R}/Ω
B_3C_3	$2S_0$	1.			
		2.			
		3.			
B_4C_4	S_0	1.			
		2.			
		3.			

3. 保持导线的长度和横截面积不变, 探究电阻与材料的关系.

把 B_5C_5 、 B_6C_6 导线先后接入电路中, 调节滑动变阻器, 使通过导线的电流相同, 比较电压大小便可知电阻的大小. 请在表 2-1-3 中记下结果.

表 2-1-3

接入的导线	材料	电阻
B_5C_5		
B_6C_6		

根据实验结果, 你的结论是: _____

【评估与交流】

1. 实验结果是否有误差, 原因何在?
2. 你猜想影响导线电阻的因素还有哪些? 如何进一步分析这些因素对电阻的影响?
3. 写出实验探究报告.

专业术语

电阻定律

law of resistance

实验表明, 均匀导体的电阻 R 跟它的长度 l 成正比, 跟它的横截面积 S 成反比, 这就是电阻定律. 用公式表示

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2.1.1)$$

式中 ρ 是比例常量, 反映材料对导体电阻的影响.

电阻率

专业术语

电阻率

resistivity

电阻定律中的比例常量 ρ 跟导体的材料有关, 是一个反映材料导电性能的物理量, 称为材料的电阻率. 材料的电阻率数值上等于这种材料制成的长为 1 m、横截面积为 1 m² 的导体的电阻. 可见, ρ 值越大, 该材料的导电性能越差. 使用国际单位制, (2.1.1) 式中 R 的单位是 Ω 、 l 的单位是 m、 S 的单位是 m², 所以 ρ 的单位是 $\Omega \cdot \text{m}$, 读作欧姆米, 简称欧米.

表 2-1-4 是几种导体材料在 20 °C 时的电阻率.

表 2-1-4

材料	$\rho / \Omega \cdot \text{m}$
银	1.6×10^{-8}
铜	1.7×10^{-8}
铝	2.9×10^{-8}
钨	5.3×10^{-8}
铁	1.0×10^{-7}
锰铜合金	4.4×10^{-7}
镍铜合金	5.0×10^{-7}
镍铬合金	1.0×10^{-6}

锰铜合金: 85%铜, 3%镍, 12%锰; 镍铜合金: 54%铜, 46%镍; 镍铬合金: 67.5%镍, 15%铬, 16%铁, 1.5%锰.

实验表明，材料的电阻率随温度的变化而改变，金属的电阻率随温度的升高而增大。铂电阻温度计（图 2-1-3）就是利用金属铂的电阻随温度变化的性质制成的。锰铜合金和镍铜合金常用来制作标准电阻，因为它们的电阻率受温度的影响很小。



图 2-1-3 铂电阻温度计

讨论与交流

1. 滑动变阻器采用什么方法改变电阻的大小？
2. 白炽灯、日光灯的灯丝什么时候最容易烧断？

资料活页

专业术语

超导体

superconductor

超导体

1911 年，荷兰物理学家昂纳斯 (H.Kamerlingh Onnes, 1853 — 1926) 发现，当温度降低到 4.2 K 时，汞的电阻突然消失，即电阻率减小到零。随后又发现锡、铅、铌在低温下也出现这种电阻突然消失的现象。我们把物质在低温下电阻突然消失的现象称为超导现象，能够发生超导现象的物质称为超导体。材料由正常状态转变为超导状态的温度，称为该超导材料的临界温度 (T_c)。例如锡的临界温度 $T_c = 3.8$ K，铅的临界温度 $T_c = 7.2$ K，铌的临界温度 $T_c = 9.2$ K。能够发生超导现象的物质不限于金属，可以是合金、化合物，也可以是半导体。

超导材料的临界温度很低，要维持这样的低温，技术上困难而且成本很高。科学家的理想是研制出临界温度达到室温的超导体，这样就可以不再需要制冷设备，从而大大推进超导体的实际应用。

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

1. 各种用途的电阻器
2. 超导体的实际应用

练习

1. 关于电阻率的正确说法是 ()。
 - A. 电阻率与导体的长度以及横截面积有关
 - B. 电阻率由导体的材料决定，且与温度有关
 - C. 电阻率大的导体，电阻一定大
 - D. 有些合金的电阻率几乎不受温度变化的影响，可用来制造电阻温度计



图 2-1-4

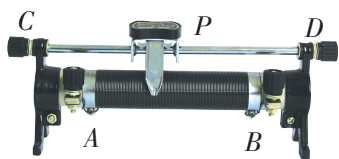


图 2-1-5 滑动变阻器

2. 若常温下的超导体研制成功, 它适于做 ()。

- A. 保险丝
- B. 输电线
- C. 电炉丝
- D. 电阻温度计

3. 一只鸟站在一条通电的铝质裸导线上 (图 2-1-4)。已知导线的横截面积为 185 mm^2 , 导线上通过的电流为 400 A , 鸟的两爪间的距离为 5 cm , 求鸟两爪间的电压。

4. 滑动变阻器的结构如图 2-1-5 所示。金属电阻丝绕在绝缘瓷筒上, A 、 B 是其两个引出端。 C 、 D 是金属杆的两个端点, 可在杆上滑动的金属滑片 P 把金属杆与电阻丝 (绝缘漆已被刮去) 连接起来。如果把 A 和 C 接线柱连入电路中, 当滑片 P 由 B 向 A 移动时, 接入电路的电阻由大变小。请你说出理由。

第二节 对电阻的进一步研究

导体的伏安特性

导体中的电流 I 和电压 U 的关系可以用图线来表示。用纵轴表示电流 I , 用横轴表示电压 U , 画出的 $I-U$ 图线叫做导体的**伏安特性曲线**。导体的伏安特性曲线是研究导体电流和电压关系的重要工具。

图 2-2-1 是两种金属导体的伏安特性曲线, 它们都是通过坐标原点的直线, 即电流与电压成正比例的线性关系。具有这种伏安特性的元件叫线性元件。

专业术语

伏安特性曲线
volt-ampere characteristics curve

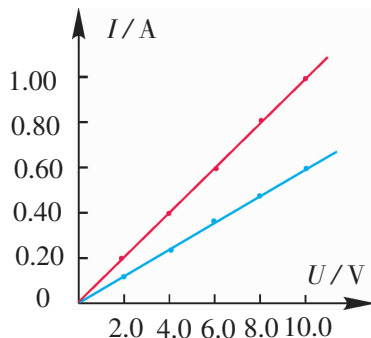


图 2-2-1 金属导体的伏安特性曲线

讨论与交流

1. 图中直线的斜率有什么物理意义?
2. 图中两条直线哪一条代表的导体的电阻较大?

实验表明，气态导体和二极管等器件的伏安特性曲线不是直线，欧姆定律不适用，这种元件称为非线性元件。二极管具有单向导电性能：当二极管两端加上正向电压，即正极的电势比负极高时，流过二极管的电流很大；当二极管加上反向电压时，流过二极管的电流很小。图 2-2-2 中二极管符号里的箭头表示正向电流的方向。

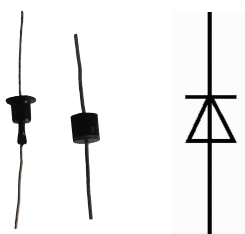


图 2-2-2 二极管的外形和符号

电阻的串联

把电阻依次首尾相连，就组成串联电路。图 2-2-3 是两个电阻 R_1 、 R_2 的串联电路。

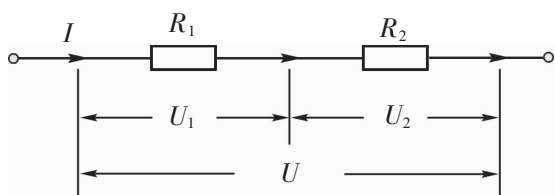


图 2-2-3 电阻的串联

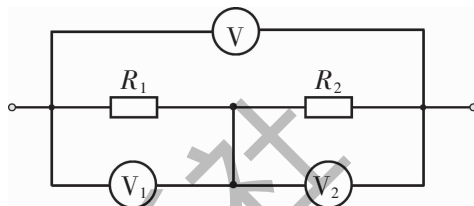


图 2-2-4

讨论与交流

1. 与同学讨论，串联电路中各个电阻上的电流有什么特点，把结果填在下面。

2. 观察图 2-2-4 的演示实验，讨论串联电路两端的总电压与各电阻两端电压的关系，并记下结果。

3. 根据欧姆定律，讨论串联电路的等效电阻与电路中各电阻的关系，并把结果记在下面。

在串联电路中，由于各个电阻上的电流相同，由欧姆定律 $U = IR$ ，可知串联电路中各个电阻两端的电压跟它的阻值成正比。图 2-2-3 中的电路有两个电阻串联，所以

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = I$$

根据这个结论，可以将滑动变阻器接成图 2-2-5 所示的分压器。在滑片 P 从 a 滑到 b 的过程中， U_{PB} 由 U 变到零。这种能从零开始连续变化的分压器，电学实验中经常会用到。

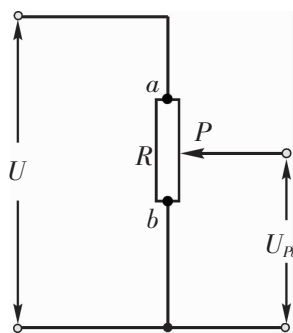


图 2-2-5 分压器

例：有一盏灯泡，额定电压 $U_1 = 36\text{ V}$ ，正常工作时通过的电流 $I = 0.70\text{ A}$ 。若应急使用在 $U = 220\text{ V}$ 的照明电路中，可以如何连接？

解：直接把灯泡连入照明电路是不行的，因为照明电路的电压比灯泡的额定电压高得多。因此，可以与灯泡串联一个电

阻 R_2 (图 2-2-6), 以分去一部分电压.

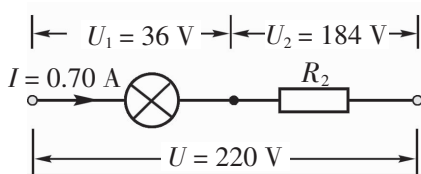


图 2-2-6

R_2 分去的电压

$$U_2 = U - U_1 = 220 \text{ V} - 36 \text{ V} = 184 \text{ V}$$

R_2 与灯泡 R_1 串联, 灯泡正常工作时, R_2 通过的电流也是 0.70 A. 所以

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{184}{0.70} \Omega \approx 0.26 \text{ k}\Omega$$

电阻的并联

把几个电阻并列地连接起来, 就组成了并联电路. 图 2-2-7 是两个电阻 R_1 、 R_2 组成的并联电路.

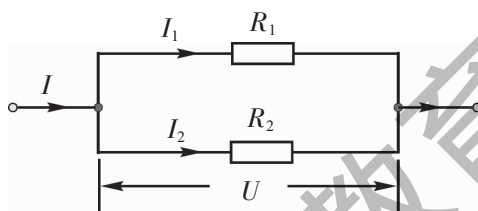


图 2-2-7 电阻的并联

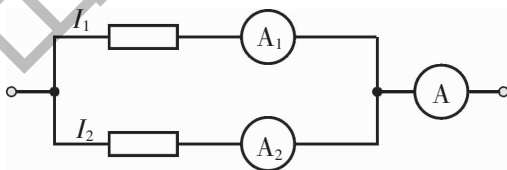


图 2-2-8

讨论与交流

1. 与同学讨论, 并联电路中各个电阻上的电压有什么特点, 将结果填在下面.

2. 观察图 2-2-8 的演示实验, 讨论并联电路的总电流与各支路电流的关系, 并记下结果.

3. 根据欧姆定律, 讨论并联电路的等效电阻与各电阻的关系, 并记下结果.

在并联电路中, 由于各支路两端的电压都相等, 由欧姆定律 $I = \frac{U}{R}$, 有 $I \propto \frac{1}{R}$, 可知**并联电路中通过各个电阻的电流跟它的阻值成反比**. 图 2-2-7 中的电路有两个电阻并联, 所以

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = U$$

实践与拓展

1. 设计一个实验，描绘小灯泡的伏安特性曲线。
2. 小灯泡的伏安特性曲线是直线吗？若不是，请你说出原因。

资料活页

专业术语

半导体
semiconductor

半 导 体

容易导电的物体称为导体，不容易导电的物体称为绝缘体。有些材料，它们的导电性能介于导体和绝缘体之间，而且电阻率随温度的增加而减小，这种材料称为半导体。半导体的电阻率约为 $10^{-5} \sim 10^6 \Omega \cdot m$ 。锗、硅是最常见的半导体材料。在半导体中添加少量杂质，改变半导体的温度或受到光照，都可以使半导体的导电性能发生明显变化。利用半导体的这些特性，人们用半导体制成了晶体管、热敏电阻、光敏电阻等电子器件。

练习

1. 图 2-2-9 是两个电阻 R_1 、 R_2 的伏安特性曲线，由图可知两电阻的大小之比 $R_1 : R_2$ 等于 ()。

- A. 1 : 3
- B. 3 : 1
- C. $1 : \sqrt{3}$
- D. $\sqrt{3} : 1$

2. 一盏弧光灯的额定电压 $U_1 = 40 \text{ V}$ ，正常工作时通过的电流 $I = 5.0 \text{ A}$ 。应该怎样把它连入 $U = 220 \text{ V}$ 的电路中，它才能正常工作？

3. “6 V 1.8 W” 的小灯泡按图 2-2-10 的电路连接，已知 $U_{ab} = 12 \text{ V}$ ， $R = 30 \Omega$ ，要使灯泡正常发光，滑动变阻器 Pb 部分的阻值应为多少？

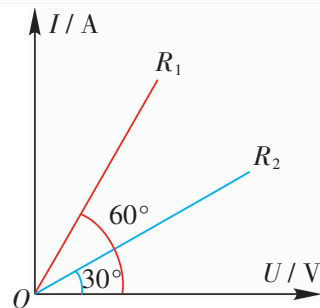


图 2-2-9

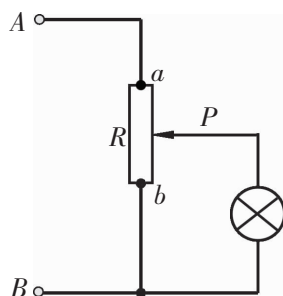


图 2-2-10

第三节 研究闭合电路

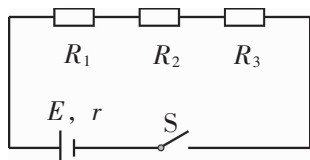


图 2-3-1 闭合电路

图 2-3-1 是一个闭合电路，它可以分成两部分：外电路和内电路。电源外部的电路叫做**外电路**，外电路上的电阻称为**外电阻**。图中的外电阻 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。电源内部的电路叫做**内电路**，内电路上的电阻即电源的电阻称为**内电阻**。内电阻用 r 表示。

电动势

专业术语

电动势

electromotive force

要在电路中维持持续电流，电路中必须接有电源。电池是最常见的电源。

用什么物理量去描述电源的特性呢？

电源有两个极，正极的电势比负极的电势高，两极间存在电压。不同的电源，在不与用电器相接时两极间的电压一般不相同，它反映了电源本身的一种性质。比如干电池的电压约为 1.5 V，铅蓄电池的电压约为 2 V。物理学用电动势这个物理量来描述电源的特性，电源的**电动势**数值上等于不接用电器时电源正负两极间的电压。

电动势通常用符号 E 表示。电动势的单位跟电压的单位相同，也是伏特。

闭合电路的欧姆定律

根据欧姆定律，在外电路中，电流由电势高的一端流向电势低的一端，在外电阻上沿电流方向电势是下降的。图 2-3-2 表示了三个电阻上的电势降落，外电路上的总的电势降落，即外电压 $U_{\text{外}} = U_1 + U_2 + U_3$ 。同理，在内电阻上也有内电压 $U_{\text{内}}$ 。当电源不接用电器时，在电源内部由负极到正极电势升高，升高的数值等于电源的电动势 E 。

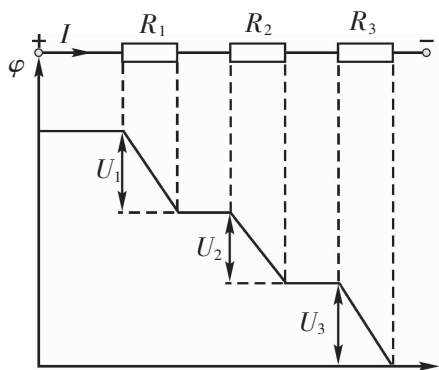


图 2-3-2 外电路上的电势降落

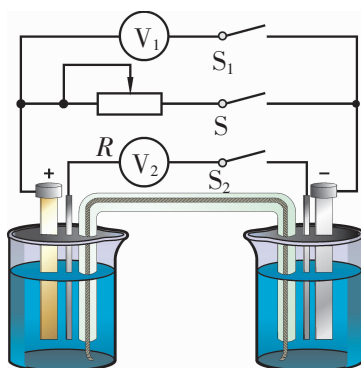


图 2-3-3

下面通过实验来研究电动势 E 、外电压 $U_{\text{外}}$ 、内电压 $U_{\text{内}}$ 三者之间的定量关系。

实验装置如图 2-3-3 所示。装有稀硫酸的两个烧杯内，插有作为电源正负极的铜片和锌片。U 形玻璃管内放入粗棉线，倒插在两个烧杯中。利用粗棉线的毛细现象把两边烧杯中的稀硫酸溶液连成一体。这个装置实际上是一个化学电源，改变棉线的粗细，可以改变电源的内电阻。电压表 V_1 、 V_2 分别用以测量电源的外电压和内电压。内电压通过插在正负电极旁边的两根铜丝测量。

 **观察与思考**

1. 使滑动变阻器接入电路的电阻最大，断开开关 S_2 、 S ，闭合 S_1 ，记下电压表 V_1 的读数。

思考一下， V_1 与电源的电动势有什么关系？

2. 闭合 S_1 、 S_2 、 S ，并逐渐减小滑动变阻器的阻值，观察电压表 V_1 和 V_2 的示数的变化，将数据记在表 2-3-1 中。

表 2-3-1

电压表	各次测量的电压 U/V				
	1	2	3	4	5
V_1					
V_2					

3. 分析上面的数据，思考一下， E 、 $U_{\text{外}}$ 、 $U_{\text{内}}$ 之间有什么定量关系？并记下你的结论。

理论和实验的研究都表明：电源的电动势 E 等于 $U_{\text{外}}$ 和 $U_{\text{内}}$ 之和。即

$$E = U_{\text{外}} + U_{\text{内}} \quad (2.3.1)$$

设闭合电路中的电流为 I ，外电阻为 R ，内电阻为 r ，把欧姆定律分别用于外电路和内电路，可知 $U_{\text{外}} = IR$ ， $U_{\text{内}} = Ir$ ，代入 (2.3.1) 式得

$$E = IR + Ir$$

也就是

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (2.3.2)$$

上式表明：闭合电路中的电流跟电源的电动势成正比，跟内、外电路的电阻之和成反比。这一结论称为闭合电路的欧姆定律。

路端电压跟负载的关系

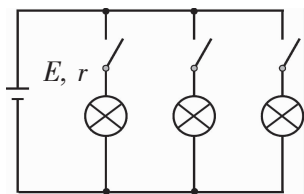


图 2-3-4

外电路两端的电压叫做路端电压。由于内电压的存在，实际加在用电器（负载）上的电压通常并不等于电源的电动势，路端电压才是用电器的实际工作电压。

图 2-3-4 所示的电路是研究路端电压和负载关系的实验装置，图中各灯泡都是相同的。

观察与思考

观察当接入电路的灯泡逐渐增加时，灯泡的亮度如何改变。你如何解释这个现象？

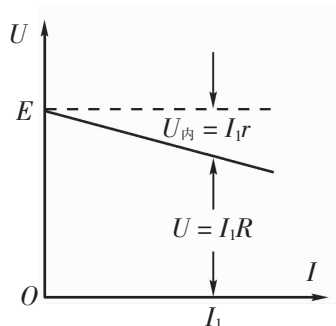


图 2-3-5 路端电压与电流的关系图象

把 $U_{\text{内}} = Ir$ 代入 (2.3.1) 式可以求得路端电压

$$U = E - Ir$$

对于一个电源，它的电动势 E 和内阻 r 是确定的。当外电阻 R 增大时，由闭合电路欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$ 可知，电路中的电流 I 减小。根据上式，这时路端电压 U 增大。相反，当外电阻 R 减小时，电流 I 增大，路端电压 U 减小。

根据上式，可以作出路端电压 U 与电流 I 的关系图象（如图 2-3-5）。这是一条向下倾斜的直线，从图线可以看出，路端电压 U 随着电流 I 的增大而减小。

讨论与交流

1. 在路端电压 U 与电流 I 的关系图象中如何确定电源电动势和电源的内阻？
2. 无内阻的电源，即 $r=0$ 的电源称为理想电源。理想电源的路端电压与电源的电动势的关系如何？

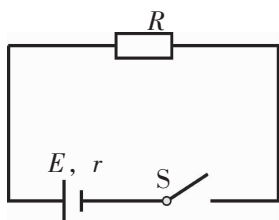


图 2-3-6

例1: 在图 2-3-6 中，电源的电动势为 4.5 V ，内阻为 0.36Ω ，外电路的电阻为 4.14Ω 。

- (1) 求电路中的电流和路端电压。
- (2) 忽略电源内阻，再求电路中的电流和路端电压。

解: (1) 由闭合电路欧姆定律知，电路中的电流

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{4.5}{4.14+0.36} \text{ A} = 1 \text{ A}$$

路端电压为

$$U = IR = 1 \times 4.14 \text{ V} = 4.14 \text{ V}$$

- (2) 忽略电源内阻，电路中的电流

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{4.5}{4.14+0} \text{ A} = 1.09 \text{ A}$$

路端电压为

$$U = E - Ir = 4.5 \text{ V} - 0 = 4.5 \text{ V}$$

例 2: 在图 2-3-7 中, $R_1 = 14 \Omega$, $R_2 = 9 \Omega$. 当开关 S 切换到位置 1 时, 电压表的示数 $U_1 = 1.4 \text{ V}$; 切换到位置 2 时, 电压表的示数 $U_2 = 1.35 \text{ V}$. 求电源的电动势 E 和内阻 r .

解: 根据闭合电路欧姆定律可列出方程:

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

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

消去 E , 可解出 r , 得

$$r = \frac{R_1 R_2 (U_1 - U_2)}{R_1 U_2 - R_2 U_1}$$

代入数值, 求得 $r = 1 \Omega$.

将 r 值代入 $E = U_1 + \frac{U_1}{R_1} r$ 中, 得 $E = 1.5 \text{ V}$.

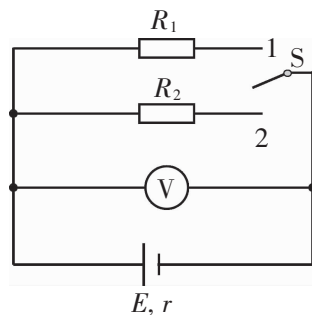


图 2-3-7

测量电源的电动势和内阻

电源的特性主要由电动势和内阻来描述, 因此, 测量电源的电动势和内阻对于合理使用电源有着重要意义.

实验与探究

实验的电路如图 2-3-8 所示, 实验原理是闭合电路的欧姆定律.

1. 用计算法处理实验数据

改变 R 的阻值, 测出两组 I 、 U 的数据, 即可得

$$\begin{cases} E = U_1 + I_1 r \\ E = U_2 + I_2 r \end{cases}$$

解此方程组就可以求出电动势 E 和内阻 r .

为了减少误差, 应该通过多次测量, 求出多个 E 、 r 值, 分别算出它们的平均值作为测量结果.

请你设计记录实验数据的表格, 并完成实验.

2. 用作图法来处理数据

(1) 在坐标纸上以 I 为横坐标, U 为纵坐标, 根据测出的多组 U 、 I 值, 在坐标纸上描出对应的点.

(2) 根据闭合电路的欧姆定律 $U = E - Ir$, 可知 U 、 I 关系图象是一条直线. 由于存在实验误差, 按照实测数据描出的点一般不会严格地落在同一条直线上. 为了减少误差, 可以用直尺画一条直线, 使直线两侧的点的数目大致相等. 这条直线就是电路的

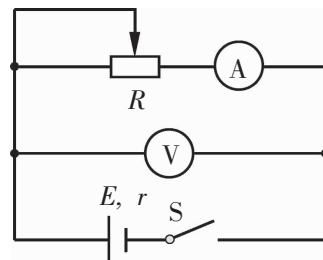


图 2-3-8

路端电压与电流的关系图象。

(3) 这条直线跟纵轴的交点的纵坐标数值上等于电源电动势 E 。

(4) 这条直线与横轴的交点表示电压 $U=0$ ，即电源被短路的情况。交点的横坐标即为短路电流 $I_{\text{短}}$ ，内电阻 r 可由下式得到：

$$r = \frac{E}{I_{\text{短}}}$$

不难看出，直线的斜率数值上等于电源的内电阻 r 。

在使用作图法时应该注意适当选取横坐标、纵坐标的比例和坐标的原点，使实验数据大致布满整张图纸，不要使作出的图象只落在图纸的一个小区域。

请根据实验数据用作图法求出电源的电动势和内阻。

实践与拓展

如何只用一个电流表、一个电阻箱和若干导线测量电源的电动势和内阻？自行设计一个实验方案并动手实践。

资料活页

常用电池

实验室和日常生活中用得最多的电池是化学电池。各种化学电池基本上是由电解质溶液和插在其中的正、负电极组成。正、负电极用不同的金属或者碳棒制成。

圆筒形干电池是一种广泛使用的电源，用氯化铵作电解质。这种电池按体积大小有多种规格，电动势都是 1.5 V。层叠电池也是一种干电池，它由多个电池组合而成，电动势较高。

碱性电池的外形和电动势与干电池一样，但改用强碱性物质氢氧化钾或氢氧化钠做电解质，容量比同体积的干电池大得多。常用在小型录音机、照相闪光灯等耗电量大的用电器中。

纽扣式氧化银电池体积小，可用于电子表、便携式计算器等。它的正极是氧化银，负极是锌，电解液是氢氧化钾溶液。电池的电动势为 1.55 V。

可再充电的电池叫做二次电池，镍氢电池、锂离子电池等都是二次电池。常用在移动电话、手提电脑等需要重新充电的用电器中。

铅蓄电池也是一种二次电池，它的负极是铅板，正极是涂了一层氧化铅的铅板，电解液是硫酸溶液。它的电动势是 2 V。

硅光电池是一种将光能转化为电能的电池。这种电池性能稳定，使用寿命长。在人造卫星上常用硅光电池做电源。目前光电池的成本较高，能量转换效率较低，这限制了它的使用范围。

http 我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl)

电池的串联与并联

 练习

1. 图 2-3-9 为两个闭合电路中的两个电源的 $U-I$ 图象, 下述说法中正确的是 ().

- 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. 当两电源的工作电流变化相同时, 电源 2 的路端电压变化较大.

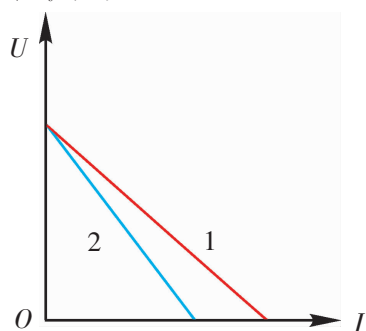


图 2-3-9

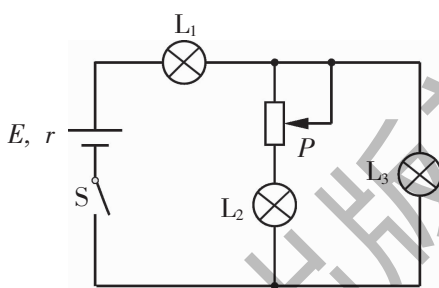


图 2-3-10

2. 在图 2-3-10 的电路中, 当滑动变阻器的滑片 P 向下移动时, 出现的现象是 ().

- A. L_1 灯变亮, L_2 灯变亮, L_3 灯变亮
- B. L_1 灯变亮, L_2 灯变亮, L_3 灯变暗
- C. L_1 灯变亮, L_2 灯变暗, L_3 灯变暗
- D. L_1 灯变亮, L_2 灯变暗, L_3 灯变亮

3. 在图 2-3-11 中, $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \Omega$. 当 S 接通时, 电压表的读数为 1 V ; S 断开时, 电压表的读数为 0.8 V . 求电源电动势.

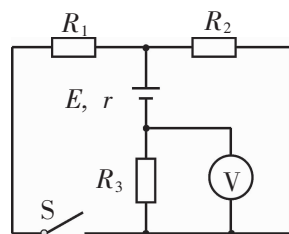


图 2-3-11

第四节 认识多用电表

多用电表是一种可以测量电流、电压以及电阻等电学量的仪表. 它具有多功能、多量程、方便携带的特点, 是科学实验、生产实践中用来判断电路故障、检测电路元件的重要工具. 多用电表一般可分为指针式和数字式两大类, 本节介绍指针式多用电表.

多用电表的原理

指针式多用电表如图 2-4-1 所示，一般由表头、测量电路、转换开关以及红、黑测量表笔等组成。

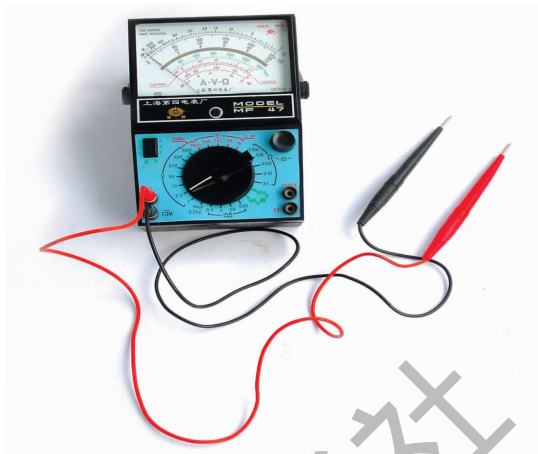


图 2-4-1 指针式多用电表

表头是一个灵敏直流电流表，主要部分是永久磁铁和可动线圈。当电流通过线圈时，线圈在磁场的作用下带动指针偏转，电流的大小由指针偏转的角度大小表示。指针偏转到最大角度时对应的电流 I_g 称为表头的**满偏电流**，表头线圈的电阻 R_g 称为表头的内阻。

图 2-4-2 是简化的多用电表电路图。它由表头 G 、直流电流测量电路、直流电压测量电路、电阻测量电路以及转换开关 S 等部分组成。其中“1”、“2”为电流测量端，“3”、“4”为电压测量端，“5”为电阻测量端。测量时，黑表笔插入公共端，红表笔则通过转换开关接入与待测量相应的测量端。使用时，电路只有一部分起作用。

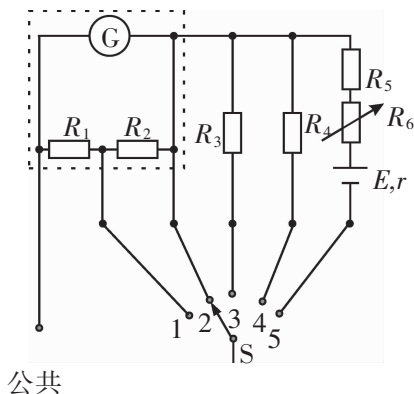


图 2-4-2 多用电表电路

测量电流时，黑表笔插入公共端，红表笔根据待测电流的大小，通过转换开关接入“1”端或“2”端（图 2-4-3）。图中测量端旁标出的电流是该测量端的最大测量电流，即**量程**。

例：在图 2-4-3 中，设表头的满偏电流 $I_g=200\ \mu\text{A}$ ，内阻 $R_g=100\ \Omega$ ，若要达到多用电表所设定的两个量程，图中的电阻 R_1 与 R_2 的大小应为多少？

解：当红表笔接“1”端时，量程为 $I_1=10\ \text{mA}=10\times 10^{-3}\ \text{A}$ ，电路结构是 R_2 与表头 G 串联后再与 R_1 并联。根据欧姆定律，有

$$I_g(R_2+R_g)=(I_1-I_g)R_1$$

当红表笔接“2”端时，量程为 $I_2=1\ \text{mA}=1\times 10^{-3}\ \text{A}$ ，电路结构是 R_2 与 R_1 串联后再与表头 G 并联。这时

$$I_2R_g=(I_2-I_g)(R_1+R_2)$$

由以上两式，可得

$$R_1=\frac{I_2I_gR_g}{I_1(I_2-I_g)}, R_2=\frac{I_g(I_1-I_2)R_g}{I_1(I_2-I_g)}$$

代入数字，求得

$$R_1=2.50\ \Omega, R_2=22.5\ \Omega$$

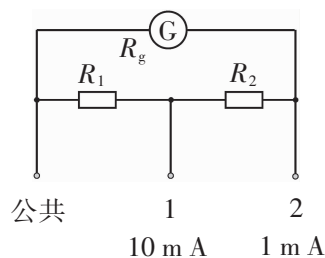


图 2-4-3 直流电流测量电路

讨论与交流

为什么红表笔接“1”端时的量程比接“2”端时大？

测量电压时，黑表笔插入公共端，红表笔根据待测电压的大小，通过转换开关接入“3”端或“4”端（图 2-4-4），它们的量程分别是 50 V 和 500 V。

讨论与交流

图 2-4-4 中接“3”端时的量程比接“4”端时小，你能由此判断出分压电阻 R_3 与 R_4 谁大吗？

多用电表测量电阻的电路如图 2-4-5 所示。其中虚框内的元件与电流测量电路共用；电阻 R_6 为可变电阻，叫做调零电阻； E 为电池。测量时，黑表笔插入公共端，红表笔通过转换开关接入测量端“5”，红、黑表笔间接入待测电阻 R_x 后，形成闭合电路。

设图中虚框内各电阻的等效电阻为 $R_{并}$ ，利用电阻的串、并联公式，可得

$$R_{并}=\frac{(R_1+R_2)R_g}{R_1+R_2+R_g}$$

设电池的电动势为 E 、内阻为 r ，当红、黑表笔之间接入某一电阻 R_x 时，可求出通过表头的电流

$$I=\frac{E}{R_{并}+R_5+R_6+r+R_x}\times\frac{R_{并}}{R_g}$$

下面简述电阻测量的原理。

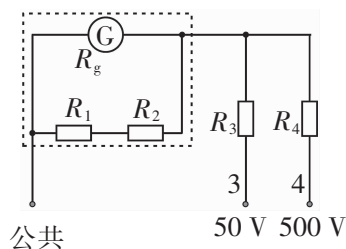


图 2-4-4 直流电压测量电路

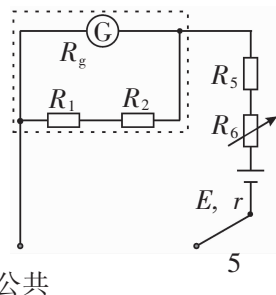


图 2-4-5 电阻测量电路

(1) 调零

当红、黑表笔相接时, $R_x=0$. 调节 R_6 的阻值, 使电阻测量电路中流过表头的电流等于满偏电流 I_g , 即

$$I = \frac{E}{R_{\text{并}} + R_5 + R_6 + r} \times \frac{R_{\text{并}}}{R_g} = I_g$$

由此可见, 完成调零的步骤以后, 当指针指到电流的满刻度时, 对应红、黑表笔间的电阻为零.

(2) 测量

当红、黑表笔不接触时, 电路中没有电流, 指针不偏转, 对应红、黑表笔间的电阻为无限大.

当红、黑表笔之间接入待测电阻 R_x 时, 通过表头的电流

$$I = \frac{E}{R_{\text{并}} + R_5 + R_6 + r + R_x} \times \frac{R_{\text{并}}}{R_g}$$

式中的 R_6 是调零后的阻值. 由此式可以看出, 当 R_x 改变时, 电流 I 随着改变, 即每一个 R_x 值都有一个对应的电流 I .

(3) 刻度

如果我们在刻度盘上标出与电流 I 对应的电阻值, 那么只要用红、黑表笔分别接触待测电阻两端, 就可以从表盘上直接读出它的阻值.

实际上, 多用电表的电阻测量端不止一个. 它的多个测量端共用一个电阻刻度盘, 电阻值按十进倍率扩大.

讨论与交流

1. 欧姆表的“0”刻度在表盘的左边还是右边?
2. 欧姆表的表盘刻度均匀吗?
3. 为什么要设置调零电阻 R_6 ?

学会使用多用电表

使用多用电表前应先检查其机械零位. 若一开始指针不正对电流的零刻度, 应调节多用电表的机械零点调节旋钮, 使指针正对零刻度. 多用电表使用后, 要把选择开关拨至最大交流电压挡或“OFF”处. 多用电表长期不用时应取出表内电池.

实验与探究

实验一：电压、电流的测量

用学生电源、小灯泡、滑动变阻器等组成闭合电路, 用多用电表测量电路中各元件上的电压和电流.

测量前请先思考:

1. 测量时多用电表应如何与被测电路连接?
2. 红表笔应接被测电路的哪一端?

无论是测量电流还是电压, 都应选择适当的量程使表头指

针尽量停靠在接近满刻度处，这样测量值比较准确。

实验二：电阻的测量

从实验室取各种电阻，用多用电表测量其阻值。从图 2-4-5 可以看出，测量电阻时，红表笔是与多用电表内的电池负极相连接的。

使用多用电表测量电阻时，应先估计待测电阻的阻值，选择适当的倍率挡。选择的原则是实际测量该电阻时，表头指针应停在表盘刻度的中央附近，这样测量值比较准确。

测量前要先将红、黑表笔短接，调节“Ω”调零旋钮，使指针恰好停在欧姆刻度线的零刻度处（图 2-4-6）。测量时应将红、黑表笔接在被测电阻器两端（图 2-4-7），读取表盘欧姆刻度线上的示数，将此数值乘以选择开关所指的倍率，就是被测电阻的阻值。

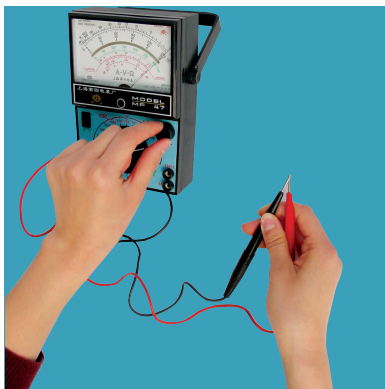


图 2-4-6

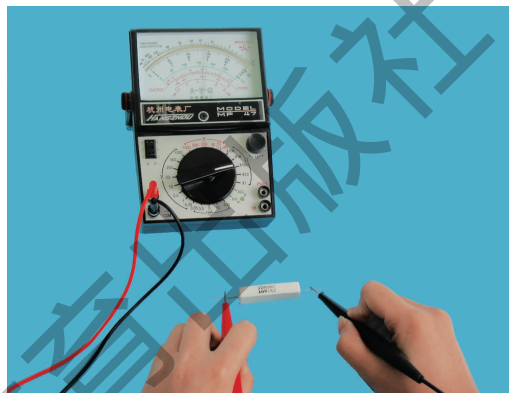
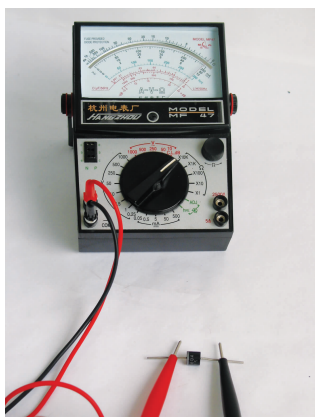


图 2-4-7

应当注意：测量电阻前应将电阻器与原工作电路断开，以免损坏多用电表或造成测量错误。

实验三：判断二极管的质量和极性

用多用电表的电阻挡，量程拨到 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 的位置上，用两表笔分别连接二极管的两极，然后将两表笔反过来连接二极管的两极（图 2-4-8），可以测出两个电阻值。



(a)



(b)

图 2-4-8

思考下列问题，与同学交流并作出判断。

1. 测得两个电阻值相差很大，说明二极管的质量如何？
2. 在两个电阻值差别明显的前提下，对于测得电阻较小的那一次，与黑表笔相接的一极为二极管的正极，与红表笔相接的一极为二极管的负极。你能说出其中的理由吗？
3. 测得两个电阻值相差很小，说明二极管的质量如何？如果两个电阻均为零，或均为无限大，情况又如何？

实验四：查找电路故障

现象：在图 2-4-9 的电路中，闭合开关 S 后，灯泡不亮。

先思考下面的问题，再进行实验。

1. 分析可能的原因。
2. 用多用电表查找故障的方法有几种，用什么办法最简便？

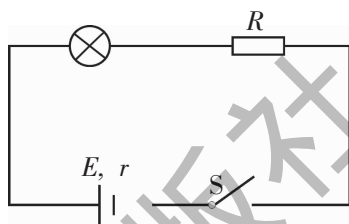


图 2-4-9

实践与拓展

1. 用多用电表判断电容器的断路或漏电。
2. 通过实验作出二极管的伏安特性曲线，并与小灯泡的伏安特性曲线比较，你能说出它们导电性能的区别吗？

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl> 我们的网站

数字式多用电表

练习

1. 多用电表是采用什么方法来扩大测量电流、电压的量程的？
2. 一个满偏电流 $I_g = 200 \mu\text{A}$ 、内阻 $R_g = 800 \Omega$ 的表头，若把它改装成量程为 $0 \sim 50 \text{ V}$ 的电压表，应如何改装？画出电路图并计算所需电阻的阻值。

第五节 电功率

在现代社会里，人们离不开电。各种各样的用电器减轻了人们的劳动强度，提高了人们的生活质量。顾名思义，用电器是用电来工作的器具，它们的共同特点就是消耗电能，靠电流做功来工作。



图 2-5-1 功能多样的用电器

观察与思考

1. 图 2-5-1 是日常生活中常见的用电器，你能说出它们的名称和用途吗？
2. 你还能举出哪些用电器？

电功和电功率

电流通过一段电路时，自由电荷在电场力的推动下作定向移动，电场力对自由电荷做功。在一段电路中电场力所做的功称**电功**，即通常说的电流所做的功。

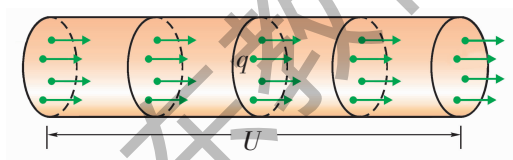


图 2-5-2

设一段电路两端的电压为 U ，通过的电流为 I 。由电流的定义可知，在时间 t 内通过这段电路任一横截面的电量 $q = It$ （图 2-5-2），即在时间 t 内有电荷 q 由电路的一端移动到另一端。根据电场力做功的表达式 $W = qU$ ，得

$$W = UIt \quad (2.5.1)$$

此式表明：电流在一段电路上所做的功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。

单位时间内电流所做的功称为**电功率**。通常电功率用 P 表示，于是

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (2.5.2)$$

在国际单位制中，电压 U 、电流 I 和通电时间 t 的单位分别为 V、A 和 s，电功 W 和电功率 P 的单位分别是 J 和 W。

专业术语

电功
electric work

专业术语

电功率
electric power

焦耳定律和热功率

电场力对电荷做功的过程，就是电能转化为其他形式能量的过程。当电流流过电炉丝这样的金属导体时，通过自由电子与金属中的正离子发生的碰撞，电能完全转化为金属导体的内能。因此，在一段只有电阻元件的纯电阻电路中，电场力所做的功 W 等于电流通过这段电路时发出的热量 Q ，即 $Q = W = UIt$ 。由欧姆定律 $U = IR$ ，热量 Q 可写成

$$Q = I^2 R t \quad (2.5.3)$$

这就是**焦耳定律**，它最初是由英国物理学家焦耳用实验直接得到的。

一段电路因发热而消耗的功率 $P_{\text{热}} = \frac{Q}{t}$ 称为**热功率**。由(2.5.3)式可得纯电阻电路上的热功率

$$P_{\text{热}} = I^2 R \quad (2.5.4)$$

生活、生产中利用焦耳热来工作的用电器很多，比如各种工业电炉、电烙铁、电热毯、电饭锅、电热水器、电熨斗（图 2-5-3）等。



图 2-5-3 电热器

如果不是纯电阻电路，例如电路中还包含电动机、电解槽等用电器时，电能除一部分转化为内能外，其他部分转化为机械能、化学能等。这时电功仍然等于 UIt ，电阻上产生的热量仍为 $I^2 R t$ ，但此时电功比电阻上产生的热量大。

 讨论与交流

(2.5.2) 式和 (2.5.4) 式的意义相同吗？两者的数值在什么条件下相等？

例：一台电动机的额定电压是 220 V，线圈的电阻是 0.20Ω ，正常工作时通过的电流是 20 A。求：

- (1) 每秒内电流所做的功。
- (2) 电动机线圈电阻上每秒内产生的热量。

分析：本题的电路中有电动机，不是纯电阻电路，因此电功与电阻上的热量是不相等的。

解：(1) 电功 $W = UIt = 220 \times 20 \times 1 \text{ J} = 4.4 \times 10^3 \text{ J}$

专业术语

焦耳定律

Joule law

(2) 电阻上的热量 $Q = I^2 R t = 20^2 \times 0.20 \times 1 \text{ J} = 80 \text{ J}$

通过计算知道电动机消耗的电能远大于电阻上的焦耳热，大部分电能转化为机械能。

闭合电路中的功率

在 (2.3.1) 式的两边乘以电流 I ，可得

$$EI = U_{\text{外}} I + U_{\text{内}} I$$

上式反映了闭合电路中的能量转化关系。式中左边的 EI 表示电源提供的电功率，右边的 $U_{\text{外}} I$ 和 $U_{\text{内}} I$ 分别表示外电路和内电路上消耗的电功率。公式表明，电源提供的能量一部分消耗在外电路上，转化为其他形式的能量；另一部分消耗在内电阻上，转化为内能。

从上式还可以看出，电动势反映了电源把其他形式的能量转化为电能的能力。当电源流过单位电流时，若电源电动势越大，则电源提供的电功率越大，电源把其他形式的能转化为电能的能力越强。

实践与拓展

一台电风扇的主要技术参数是：额定电压为 220 V，额定输入功率为 60 W。让这台电风扇与“220 V 60 W”的灯泡同时通电工作，请你用手分别靠近它们的发热部位（注意安全），你感觉到哪一个的温度高？为什么？

资料活页

电饭锅的工作原理

图 2-5-4 是一种国产电饭锅的电路图。电路可分为两部分：控制部分由开关 S_1 、 S_2 ，限流电阻 R_1 和黄灯组成；工作（加热）部分由电热丝 R_3 、限流电阻 R_2 和红灯组成（ R_1 、 R_2 比 R_3 大得多）。红灯是工作指示灯，黄灯是保温指示灯。 S_1 是一个磁钢限温开关，手动闭合。当温度达到 103°C 时，此开关自动断开，且不能自动复位（闭合）。 S_2 是一个双金属片自动开关，当温度达到 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 间的某一温度时自动断开，断开温度在电饭锅制造时调好。当温度低于设定温度时，开关自动闭合。

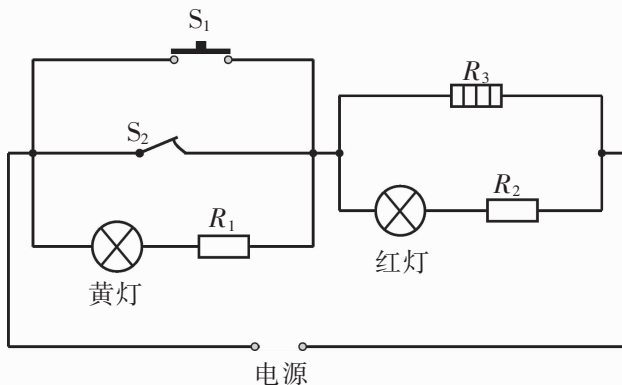


图 2-5-4 电饭锅的电路图

下面简单说明电饭锅的工作原理。

手动闭合 S_1 ，黄灯、 R_1 被短路，工作电路两端为电源电压， R_3 发热，红灯亮，电饭锅的温度上升。当温度达到设定的断开温度时， S_2 自动断开，但由于 S_1 还是闭合的，电饭锅的温度还会继续上升。当温度达到 $103\text{ }^\circ\text{C}$ 时， S_1 自动断开，黄灯亮，这时工作电路两端电压大为下降，红灯熄。此时饭已大致煮熟，由于 S_1 、 S_2 被断开，电饭锅的温度会缓慢降低。当温度低于设定温度时， S_2 自动闭合，黄灯、 R_1 被短路，红灯亮， R_3 又在电源电压下重新加热。当温度升至设定的断开温度时， S_2 自动断开，红灯熄，黄灯亮。不断重复上述过程，能保持电饭锅的温度在 $70\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 之间，起到保温作用。

http 我们的网站 (physics.scnu.edu.cn/gzwl/)

新型电热器



练习

- 生活中常用的电功单位是 $\text{kW}\cdot\text{h}$ (千瓦时，俗称“度”)， $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 等于功率为 1 kW 的用电器在 1 h 内所消耗的电功。问 $1\text{ kW}\cdot\text{h}$ 等于多少焦耳？
- 使用功率为 2 kW 的电炉把 2 kg 的水从 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 加热到 $100\text{ }^\circ\text{C}$ ，需要多长时间？已知电炉的效率为 60% ，水的比热容为 $4.2\times 10^3\text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。
- 一台“ $220\text{ V } 66\text{ W}$ ”的电风扇，线圈的电阻为 $20\ \Omega$ 。
 - 加上 220 V 电压，求电风扇消耗的功率、转化为机械能的功率和发热功率。
 - 如果接上 220 V 的电源后，扇叶被卡住，不能转动，求电风扇消耗的功率和发热功率。
- 在图 2-5-5 中， $E=3.5\text{ V}$ ， $r=1\ \Omega$ ， $R_1=R_2=4\ \Omega$ ， $R_3=2\ \Omega$ ，求 S_1 、 S_2 都接通与 S_2 接通、 S_1 断开这两种情况下 R_1 上消耗的功率之比。

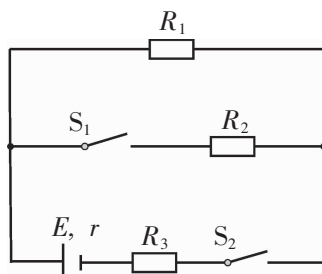


图 2-5-5

第六节 走进门电路

今天，我们就像生活和工作在数字化技术的“海洋”里(图 2-6-1)。计算机、数码电视机、数码摄像机、CD 机、VCD 机、DVD 机、数字移动电话、数字音响等数字电子设备越来越普及，越来越普遍地走进了千家万户。



图 2-6-1 数字电子设备

所谓数字化技术，就是将信号编成“0”或“1”的二进制代码，然后转换成电脉冲进行处理。数字信号处理有很多优点，包括信号处理的精度高、还原效果好、抗干扰能力强、便于压缩管理和保存、便于进行实时控制以及便于实现“智能化”等等。

本节将学习、探究数字信号技术的基础电路——门电路。

门电路是用来实现基本逻辑功能的电子电路，可以由二极管、三极管等分立元件构成，也可制成集成电路。基本的门电路有三种类型：与门电路、或门电路和非门电路，较复杂的门电路由上述三种基本门电路混合组成。

专业术语

门电路
gate circuit

与门电路

观察与思考

1. 要点亮图 2-6-2 的灯泡，该怎样做呢？

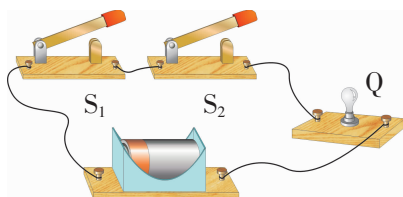


图 2-6-2

2. 如果开关“接通”的逻辑判断规定为“真”，用“1”表示；而开关“断开”的逻辑判断规定为“假”，用“0”表示；灯泡点亮的逻辑判断规定为“真”，用“1”表示；灯泡熄灭的逻辑判断规定为“假”，用“0”表示，请你完成表 2-6-1 所示的真值表。

表 2-6-1 与逻辑真值表

输入		输出
S_1	S_2	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

专业术语

与门电路

AND gate circuit

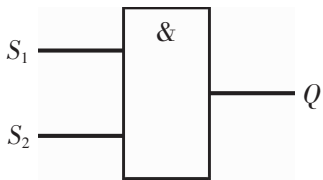


图 2-6-3 与门电路的逻辑符号

3. 请思考，与逻辑关系有什么特点？

与门电路是实现与逻辑的电子电路，逻辑符号如图 2-6-3 所示。图中“&”是英文 and 的缩写，意思是“与”，表示与逻辑关系。也就是说，当所有的输入均为“1”状态时，输出才为“1”状态。

或门电路

观察与思考

1. 要使图 2-6-4 中的灯泡发光，可以怎么做？

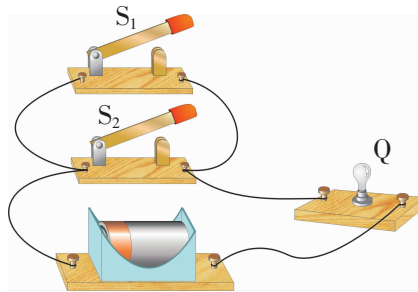


图 2-6-4

2. 请你完成或逻辑真值表 2-6-2。

表 2-6-2 或逻辑真值表

输入		输出
S_1	S_2	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

3. 你能从或逻辑真值表中概括出或逻辑关系吗?

或门电路是实现或逻辑的电子电路, 逻辑符号如图 2-6-5 所示. 图中“ ≥ 1 ”的意思是: 输入呈现“1”状态的个数大于等于 1 时, 输出为“1”状态.

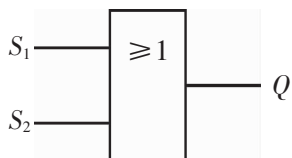


图 2-6-5 或门电路的逻辑符号

专业术语

或门电路

OR gate circuit

非门电路

观察与思考

1. 在图 2-6-6 中, 分析当开关 S 断开与接通时, 灯泡会点亮还是熄灭.

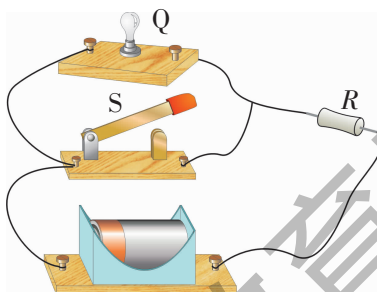


图 2-6-6

2. 对于图 2-6-6 中的开关控制电路来说, 当开关 S 断开时电灯发亮; 相反, 开关接通时电灯熄灭. 这种相反的因果关系就叫做非逻辑关系.

你能完成非逻辑真值表 2-6-3 吗?

表 2-6-3 非逻辑真值表

输入	输出
S	Q
0	
1	

非门电路是实现非逻辑的电子电路, 逻辑符号如图 2-6-7 所示. 图中“1”表示缓冲, 输出端的“ \circ ”表示反相 (又叫做反相圈). 当输入为“1”状态时, 输出为“0”状态.

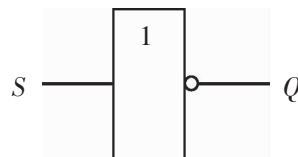


图 2-6-7 非门电路的逻辑符号

讨论与交流

你能列举生活中的与、或、非逻辑关系的事例吗?

以上是三种基本的门电路，在实践中，更多使用由它们组合而成的复合门电路，比如与非门、或非门电路等。基本门电路及由它们组成的复合门电路可制成各种编码器、译码器、计数器、触发器、存储器等，广泛应用于社会生产和人们生活的各个领域，特别是自动控制系统。这方面的例子有数控车床的行程控制电路、水塔水位的自动控制电路、全自动洗衣机的程序控制等。

门电路的实验探究

由集成电路构成的门电路称为集成门电路。使用集成门电路时可以不关心其内部结构，而只关心它有什么样的逻辑功能，把它看作一种逻辑部件。

实验与探究

实验一：与门电路的逻辑功能

图 2-6-8 是一个集成与门 Sn7408 实验电路，它具有四个与门。实验时将此集成电路的第 14 脚接 5 V 电源的正极，第 7 脚接地（电源负极），第 1 和第 2 脚为两个输入端，第 3 脚为输出端。

输入为高电平时，我们用真值“1”表示；输入为低电平时，我们用真值“0”表示；输出为高电平时，二极管发光，我们用真值“1”表示；输出为低电平时，二极管不发光，我们用真值“0”表示。

改变输入端 1、2 的状态，观察发光二极管的发光情况。

完成与门电路真值表 2-6-4，表中用 A 、 B 分别表示 1、2 两个输入端，用 Q 表示输出端 3。

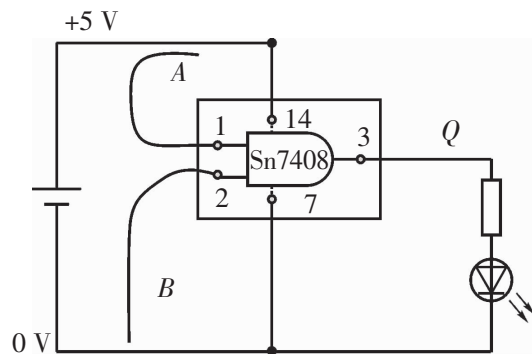
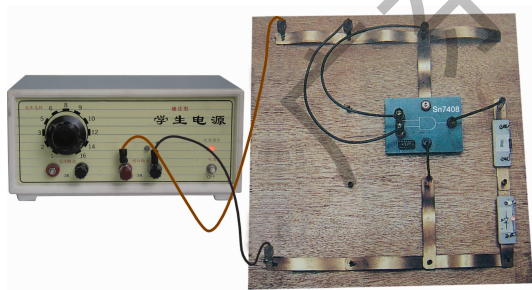


图 2-6-8

表 2-6-4 与门电路真值表

输入		输出
A	B	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

实验二：或门电路的逻辑功能

用一个集成或门电路 Sn7432 替换图 2-6-8 中的集成与门电路，它具有四个或门。实验时将此集成电路的第 14 脚接 5 V 电源的正极，第 7 脚接地（电源负极），第 1 和第 2 脚为两个输入端，第 3 脚为输出端。

改变输入端 1、2 的状态，观察发光二极管的发光情况。

完成或门电路真值表 2-6-5，表中用 A 、 B 分别表示 1、2 两个输入端，用 Q 表示输出端 3。

表 2-6-5 或门电路真值表

输 入		输 出
A	B	Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

实验三：非门电路的逻辑功能

将图 2-6-8 中的集成与门电路换为集成非门电路 Sn7404。集成非门电路的第 14 脚接 5 V 电源的正极，第 7 脚接地（电源负极），第 1 脚为输入端，第 2 脚为输出端。

使输入端 1 分别接高、低电平，观察发光二极管的发光情况，完成非门电路真值表 2-6-6，表中用 A 表示输入端 1，用 Q 表示输出端 2。

表 2-6-6 非逻辑真值表

输 入	输 出
A	Q
0	
1	

在本节的三个实验中，将发光二极管改为继电器、报警器等等，可制成多种实用的自动控制装置。请你与同学讨论，在生活中，有哪些地方可以用上这样的装置？

实践与拓展

设计并制作一个应用门电路的自动控制装置。设计时可参考下面的样例。

利用非门电路可制成水位报警器。如图 2-6-9 所示，当两根探针都在水面以下时，由于水能导电，探针之间水的电阻小于

电阻器 R 的电阻，非门的输入为高电平，因此输出为低电平，报警灯不亮。如果水位降到探针以下，非门的输入为低电平，则输出为高电平，报警灯发光。

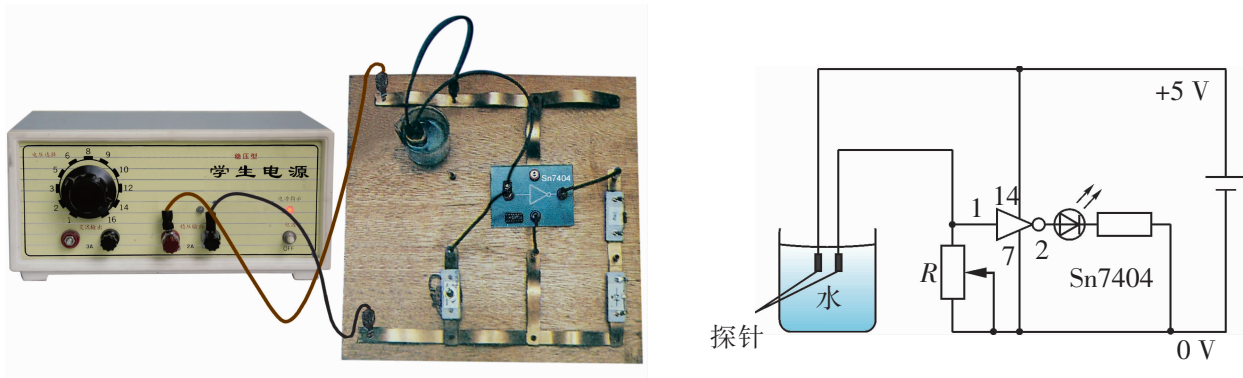


图 2-6-9

第七节 了解集成电路

专业术语

集成电路

integrated circuit

集成电路 (IC) 是指把晶体管、电阻、电容等元件，按电路结构的要求，制作在一块硅或陶瓷基片上，再加以封装而成的、具有一定功能的整体电路。其外形如图 2-7-1 所示。

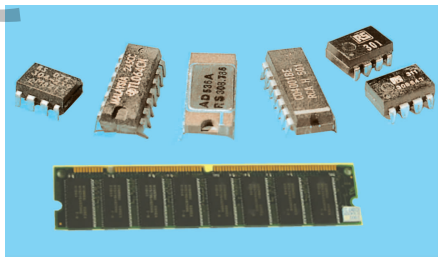


图 2-7-1 集成电路

集成电路概述

集成电路的发明人是美国德克萨斯公司的工程师杰克·基尔比 (Jack Kilby)，他在 1958 年 9 月制成了世界上第一个锗集成电路。1960 年 3 月基尔比又设计制成第一个商用的集成电路。为此，基尔比获得了 2000 年诺贝尔物理奖。

四十多年来，电子产业的需求和新技术应用，推动了集成电路制造业的高速发展。如今，集成电路不但大量应用于电子计算机、自动控制、雷达、卫星通信、遥控遥测等大型电子设备，而且广泛进入了人们的生活用品之中，成为电视机、收录机、电子手表、手机、VCD、DVD、微电脑及电子玩具等产品的核

心组成部分。集成电路的应用使电子设备的体积、重量大大减小，可靠性提高，成本降低。现在，集成电路的发展方向是提高集成度，缩小体积，降低生产成本及功能的智能化、专用化。

中国的 IC 产业经过四十余年的发展，已形成了良好的产业基础。特别是进入 21 世纪后，随着经济的快速增长以及信息化步伐的加快，我国集成电路的研制和生产取得了丰硕的成果。2002 年 9 月，我国自主研发生产的高性能通用 CPU 芯片龙芯 (Godson) 一号 (图 2-7-2) 正式投入商业市场，它的最高主频达 266 MHz，包含近 400 万个晶体管。2003 年 12 月龙芯二号投入市场，它是我国首款 64 位 CPU。



图 2-7-2 龙芯一号 CPU

讨论与交流

与同学讨论，列举集成电路在生活中的应用实例。

集成电路的分类

集成电路按功能分类可分为三类：数字集成电路、模拟集成电路和微波集成电路。

数字集成电路以高或低电平来对应“1”或“0”两个二进制数字，进行数字的运算、存储、传输及转换。数字电路的基本形式有两种，即门电路和触发电路。计数器、译码器、存储器等数字电路都是由这两种基本电路构成的。

模拟集成电路是处理模拟信号的电路。它又分为线性集成电路和非线性集成电路两类。线性集成电路又称为运算放大器，广泛应用在家用电器、自控及医疗等电子设备上。非线性集成电路常应用于信号发生器、变频器、检波器等电路。

微波集成电路是指工作频率高于 1000 MHz 的集成电路，应用于导航、雷达和卫星通信等方面。

集成电路按集成度可分为六类：小规模集成电路 SSI，包含晶体管数在 100 个以内；中规模集成电路 MSI，包含晶体管数为 $10^2 \sim 10^3$ 个；大规模集成电路 LSI，包含晶体管数为 $10^3 \sim 10^5$ 个；超大规模集成电路 VLSI，包含晶体管数为 $10^5 \sim 10^7$ 个；特大规模集成电路 ULSI，包含晶体管数为 $10^7 \sim 10^9$ 个；巨大规模集成电路 GSI，包含晶体管数多于 10^9 个。

集成电路将元器件集中制作在芯片上，减少了元器件间的连接导线，使可靠性得到很大提高。一般集成电路是按功能设计制作的，专用性强，使用时按功能选用，非常方便。因此，集成电路用途广泛，发展前景宽广。

集成电路的前景

现代社会是信息化的社会。如果说前 20 年的历史是 PC 的

需求带动集成电路发展的话,那么后 20 年,可移动的、网络化的、智能化的、多媒体的实时信息设备和系统将是集成电路发展的主要驱动力.集成电路将会根据设备和系统性能的要求不断进行技术和产品的升级.

G (吉) 表示 10^9 , T (太) 表示 10^{12} , b 表示比特, bps 表示比特每秒.

21 世纪的微电子技术正从目前的 3 G 时代发展到 3 T 时代,即存储量由 Gb 发展到 Tb,运算速度即每秒运算次数由 GHz 发展到 THz,数据传输速率由 Gbps 发展到 Tbps.

微电子技术发展的另一重要趋势是微电子集成技术与其他学科相结合,衍生出一系列崭新的科学领域和重要的经济增长点.成功的典型例子有微电子机械系统 (MEMS)、微电光机械系统 (MOEMS) 以及生物芯片 (bio-chip) 等.

实践与拓展

1. 用光敏二极管和微型话筒制作楼道灯的光控—声控开关.
2. 查阅资料,了解微处理器龙芯一号、龙芯二号以及 Pentium IV 的性能与应用.

资料活页

集成电路引脚的识别

集成电路的引脚数量不同,但其排列方法有一定规律可循.一般是从外壳顶部看下来,按逆时针方向编号,如图 2-7-3 箭头所示方向.第 1 脚的位置有参考标记,例如圆形管座以键为参考标记;扁平型和双列直插型,无论是陶瓷封装还是塑料封装的,一般均有色点或其他标记(如小圆孔、凹槽等),在标记的正面靠近标记的引脚就是第 1 脚,然后按逆时针方向 1、2、3...脚数下去.

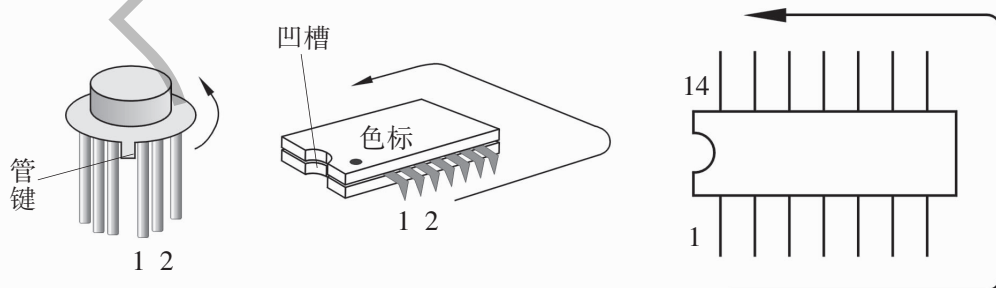
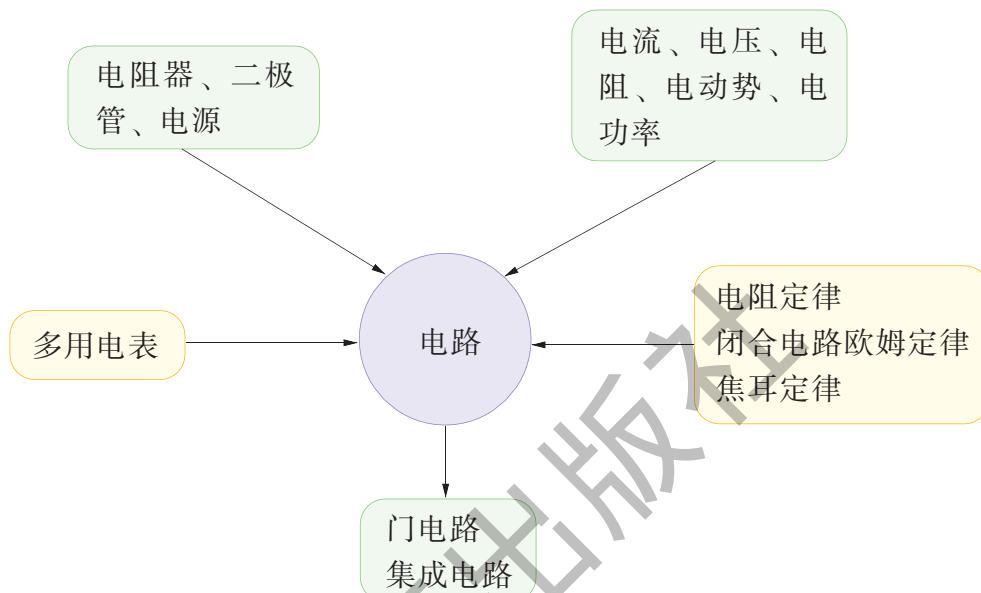


图 2-7-3 集成电路引脚的识别

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价

回顾与评价

我知道多用电表可以测量：_____

探究决定导线电阻的因素时，我采取的研究方法是：_____

我认识的常见电路元器件有：_____

我还能做：_____

焦耳定律在生产、生活中的应用实例有：_____

实践活动中我遇到的困难有：_____

本章学习中我最大的收获是：_____

我还有的疑问是：_____

习 题 二

1. 做电学实验用的铜导线，长度是 40 cm，横截面积是 0.5 mm^2 ，它的电阻是多少？一根输电用的铝导线，长度是 10 km，横截面积是 1 cm^2 ，它的电阻是多少？

2. 工业上用一种称为“电导仪”的仪器测定液体的电阻率。仪器中的一个部件如图 2-1 所示，A、B 是两片面积为 1 cm^2 的正方形铂片，间距 $d=1 \text{ cm}$ ，把它们浸没在待测液体中。若通过两根引线加上电压 $U=6 \text{ V}$ 时，测出电流 $I=1 \mu\text{A}$ ，这种液体的电阻率为多少？

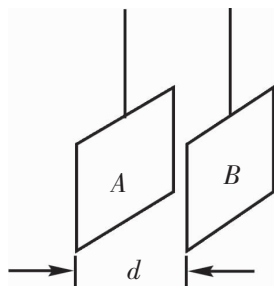


图 2-1

3. 某个盒子内装有由导线和几个相同阻值的电阻组成的电路，盒外的 1、2、3、4 是该电路的四个接线柱（图 2-2）。已知 1、2 间的电阻是 1、3 和 2、4 间电阻的 2 倍，3、4 间的电阻为零。试画出盒内可能的电路图。



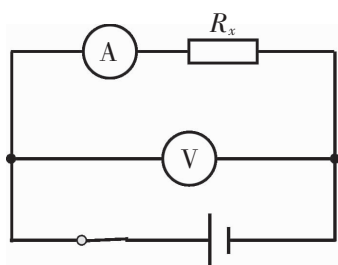
图 2-2

4. 证明：多个电阻并联的电路的等效电阻比并联的每个电阻都小。

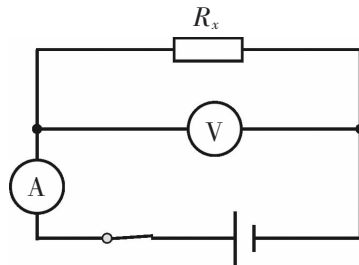
5. 测量电阻可以使用伏安法：在待测电阻 R_x 上加电压，用伏特计测出电阻两端的电压 U_x ，同时用安培计测出通过电阻的电流强度 I_x ，用公式 $R_x = \frac{U_x}{I_x}$ 计算出待测电阻。用伏安法测电阻时，电路的连接方法有两种，如图 2-3 (a)、(b) 所示。由于安培计、伏特计都有一定的内阻，这样算出的电阻值是近似的。设安培计的电阻 $R_A=5.0 \Omega$ ，伏特计的内阻 $R_V=2.0 \text{ k}\Omega$ 。

(1) 若待测电阻大约为 $1 \text{ k}\Omega$ ，采用哪一种连接方法较好？

(2) 若待测电阻大约为 10Ω ，采用哪一种连接方法较好？



(a)



(b)

图 2-3

6. 如图 2-4 所示, A 、 B 两地相距 $L=40\text{ km}$, 架设两条导线, 导线的总电阻为 $R=800\ \Omega$. 若导线在某处发生短路, 为寻找发生短路的地点, 在 A 地加一低压电源, 测得两根导线间的电压为 10 V , 导线中的电流为 40 mA , 求发生短路处到 A 地的距离.

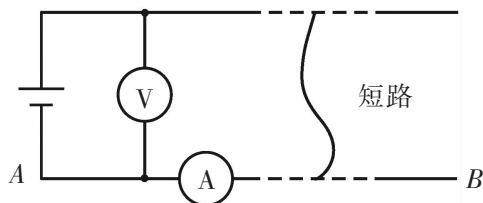


图 2-4

7. 在如图 2-5 所示的电路中, 电源的电动势 $E=3.0\text{ V}$, 内阻 $r=1.0\ \Omega$; 电阻 $R_1=10\ \Omega$, $R_2=10\ \Omega$, $R_3=30\ \Omega$, $R_4=35\ \Omega$; 电容器的电容 $C=100\ \mu\text{F}$. 若电容器原来不带电, 求接通开关 S 后流过 R_4 的总电量.

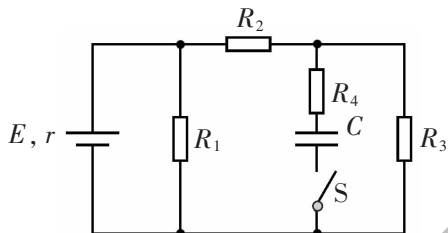


图 2-5

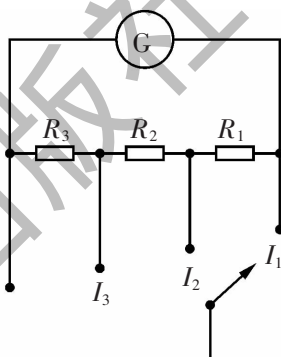


图 2-6

8. 图 2-6 为某型万用电表的直流电流测量电路. 图中表头 G 的内阻 $R_g=2333\ \Omega$, 满偏电流 $I_g=150\ \mu\text{A}$. 现将其改装为量程分别是 $I_1=500\ \mu\text{A}$ 、 $I_2=10\text{ mA}$ 、 $I_3=100\text{ mA}$ 的多量程安培计, 试计算出电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 的阻值.

9. 分别标着“ $220\text{ V } 100\text{ W}$ ”和“ $220\text{ V } 40\text{ W}$ ”的两个灯泡并联后接在 110 V 的电源上, 它们消耗的功率各是多少? 哪一个灯泡消耗的功率大? (计算时不考虑温度对电阻的影响)

10. 如图 2-7 所示, 在一个粗细均匀的金属环上有 A 、 B 、 C 三个点, 已知 AC 弧是圆周长的 $\frac{1}{3}$, A 、 B 两点等分圆环的周长. 把 A 、 B 两点接在电路中时, 导线中的电流为 I . 圆环消耗的功率是 108 W . 如果保持导线中的电流不变, 换接 A 、 C 两点, 圆环消耗的功率是多少?

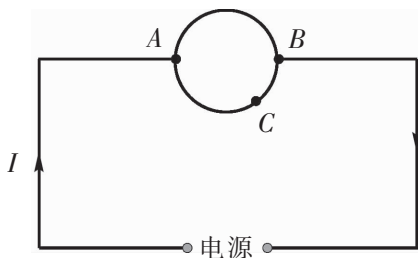


图 2-7

11. 如图 2-8 所示, 照明电路的电压 $U = 220 \text{ V}$, 并联了 20 盏电阻 R 都是 807Ω 的电灯, 两条输电线的电阻 r 各为 1Ω . 只开 10 盏灯时, 整个电路消耗的电功率、输电线上损失的电压和损失的电功率各是多大? 20 盏灯都打开时, 情况又怎样?

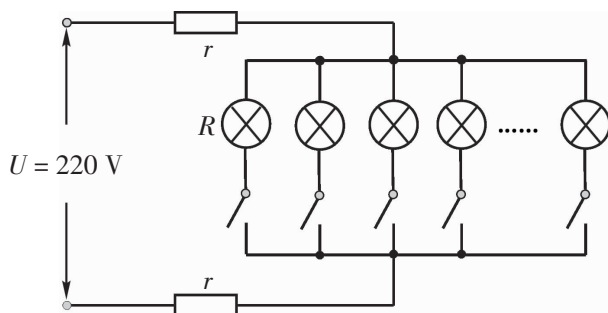


图 2-8

12. 一台电动机的线圈电阻为 2Ω , 接在 220 V 电源上正常工作时, 通过电动机的电流为 10 A . 求:

- (1) 这台电动机消耗的电功率.
- (2) 电动机转子的输出功率.
- (3) 每分钟电动机产生的热量.
- (4) 电动机的效率.

13. 图 2-9 是一个与非门电路, 请完成其真值表.

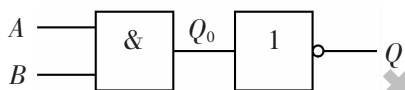


图 2-9

A	B	Q_0	Q
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

14. 图 2-10 是用一个应用或门电路制作的防盗报警电路. 按钮开关 S 放置在保险箱前的地板上, 受到压力时闭合. 光敏电阻 R_0 安装在保险箱里, 平时电阻很大, 受光照射时电阻减至很小. 或门电路的输出端与一蜂鸣器相连. 试简述该报警器的工作原理, 并在图中的虚线框内画出门电路的符号.

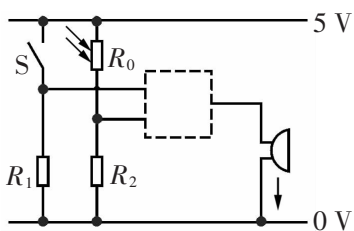


图 2-10

第三章

磁 场

从电的园地来到磁的景区，你一定游兴正浓！先请你看本页彩照——色彩斑斓的极光，图中展现的是一幅极地美景。你是否知道，这是地球磁场的一大杰作！

磁是神通广大的，你看不到磁，它却如影随形般地陪伴着你！从远古的“司南”到现代的磁悬浮列车，从码头上的大型电磁铁吊车到生活中的小巧信用卡，从繁多的家用电器到庞大的互连网络，哪一样不是人类在磁花园里摘取的果实？磁现象的研究，推动了人类历史的文明进程；磁规律的应用，揭开了现代生活的全新篇章。

磁为什么神奇？人们又是怎样认识磁的呢？



第一节 我们周围的磁现象

专业术语

指南针

compass

我们的祖先在磁现象的发现及应用方面写下了灿烂的一页。早在战国时期就有“慈石召铁”的记载，讲的是天然磁石对铁块的吸引。指南针（图 3-1-1）是我国古代的四大发明之一，对世界文明有重大影响。

无处不在的磁



图 3-1-1 指南针

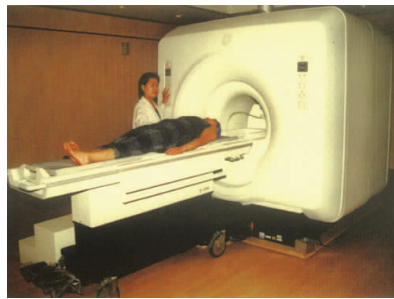
在现代生活里，我们好比被包围在磁“海”之中（图 3-1-2）。电话、电视机、冰箱门的磁封条、电动机、发电机等，都要用到磁；电磁铁、磁悬浮列车、核磁共振成像等，更是离不开磁。



电磁铁



磁悬浮列车



核磁共振成像

图 3-1-2

生物也有磁现象。人体心脏的生物电流产生微弱的心磁，如今心磁图已经成为发现某些心脏疾病的重要手段。由于无创伤、无放射性危害，核磁共振成像技术在发现脑颅疾病方面备受欢迎。研究表明，鸽子、蜜蜂身上有微量的强磁性物质。关于信鸽“认家”的现象，有一种解释说，信鸽是通过地球的磁场来导航的。

讨论与交流

与同学讨论，生活中还有哪些磁现象？

地磁场

指南针在静止时沿地球南北方向取向，这表明地球是一个大磁体。如图 3-1-3 所示，地球磁体的 N 极（北极）位于地理南极附近，地球磁体的 S 极（南极）位于地理北极附近，但地磁极与地理极并不重合。有趣的是，地磁极有围绕地理极作周期运动的现象，其周期大概为数万年。研究还发现，从地球形成迄今的漫长年代里，地磁极曾多次发生极性倒转的现象。



图 3-1-3 地磁场

地球由于本身具有磁性而在其周围形成的磁场叫做地磁场。地球的磁场很弱，其表面的磁场比一条小条形磁铁近旁的磁场弱得多。然而，能自由旋转的小磁针已能显示地磁场对它的作用，指南针正是利用这一原理制成的。人们使用指南针以防止旅游探险时迷路。

关于地磁场的起源以及对地球上生物的影响等方面还有诸多谜团，有待同学们去研究。

磁性材料

实验表明，任何物质在外磁场中都能够或多或少地被磁化，只是磁化的程度不同。像铁那样磁化后磁性很强的物质叫做铁磁性物质。所谓磁性材料通常就是指这一类物质。

磁性材料按去磁的难易可分为硬磁性材料与软磁性材料。磁化后容易去磁的物质叫做软磁性材料，不容易去磁的物质叫做硬磁性材料。一般来讲，软磁性材料剩磁较弱，硬磁性材料剩磁较强。磁性材料按化学成分来分，常见的有两大类：金属磁性材

专业术语

地磁场

geomagnetic field

料与铁氧体. 铁氧体是以氧化铁为主要成分的磁性氧化物.

软磁性材料剩磁弱, 容易去磁, 适用于需要反复磁化的场合, 常用来制造半导体收音机的天线磁棒、录音机和录像机的磁头、变压器、电动机、发电机、电磁铁等. 硬磁性材料剩磁强, 不易退磁, 适合制成永磁铁 (可用于扬声器、话筒等), 并广泛用作磁记录材料 (可用于录音磁带、银行卡、计算机磁盘等).



图 3-1-4 磁性材料的应用

讨论与交流

在图 3-1-4 中, 哪些产品用到了软磁性材料, 哪些产品用到了硬磁性材料?

实践与拓展

1. 调查磁现象在生活和生产中的各种应用, 撰写一份调查报告.
2. 收集资料, 综述我国古代在磁现象方面的研究成果及对人类文明的影响.
3. 信鸽“认家”的现象与地磁场关系的实验研究.

http 我们的网站

地磁场形成原因的研究

练习

1. 有人说, 指南针所指的南方朝向地球磁体的南极. 你认为这种说法对吗?
2. 硬磁性材料适用于制造 ().
A. 电磁铁 B. 永久磁铁
C. 变压器铁芯 D. 发电机铁芯

第二节 认识磁场

磁场初探

经过漫长而曲折的探索过程，人们认识到磁体之间的相互作用不是直接产生，而是通过磁场发生的。其具体过程是这样的：磁体 A 在它的周围空间产生磁场，该磁场对其中的磁体 B 有力的作用；反过来，磁体 B 也在它的周围空间产生磁场，该磁场对其中的磁体 A 有力的作用。图 3-2-1 是否有助于你理解这种关系？



图 3-2-1

深入一步考虑，磁场的来源是不是只有磁体呢？

18 世纪中叶，一名英国商人发现，一次惊雷闪电后，他的一箱新刀叉竟有了磁性。此后不久，美国物理学家富兰克林发现莱顿瓶放电后，附近的缝纫针被磁化了。是“电”产生了“磁”吗？

1820 年 4 月，丹麦物理学家奥斯特（Hans Christian Oersted, 1777—1851）发现一枚放在通电细长铂丝导线附近的小磁针发生了偏转，最后停在与导线垂直的方向上（图 3-2-3）。他当时既惊又喜：这正是他多年企盼证实的电流能产生磁场的效应！

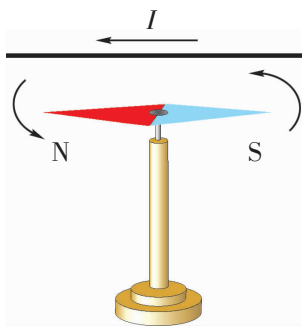


图 3-2-3

电流能够产生磁场，这一发现在当时的物理学界引起了轰动。试作类比推理：磁体能产生磁场，磁场对磁体有力的作用；现在发现电流能产生磁场，那么磁场对电流也应该有力的作用。在此问题上反应敏锐、成就突出的是法国物理学家安培（A.M.

专业术语

磁场
magnetic field



图 3-2-2 奥斯特

类比法是物理学常用的研究方法。



图 3-2-4 安培

Ampere, 1775 — 1863). 经过反复研究, 他终于发现磁场对电流可以产生作用力 (图 3-2-5).

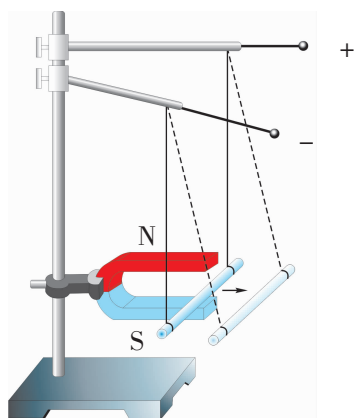


图 3-2-5

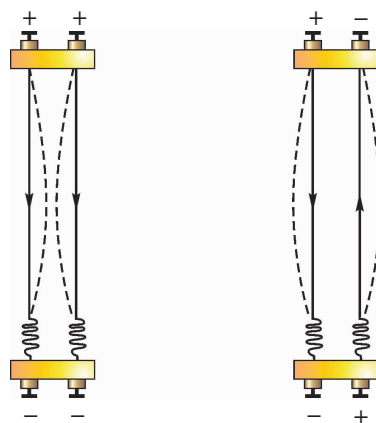


图 3-2-6

观察与思考

在如图 3-2-6 所示的装置中, 当两条平行直导线通过相同方向的电流时, 它们的形状发生了什么变化? 这种变化说明了什么? 如果通过的电流方向相反, 情况又将如何?

我们已经对磁场的来源以及磁场对物质有力的作用这两个方面作了初步探讨, 现在来小结一下.

讨论与交流

1. 图 3-2-7 中的第一行就是图 3-2-1. 请你完成其余部分.

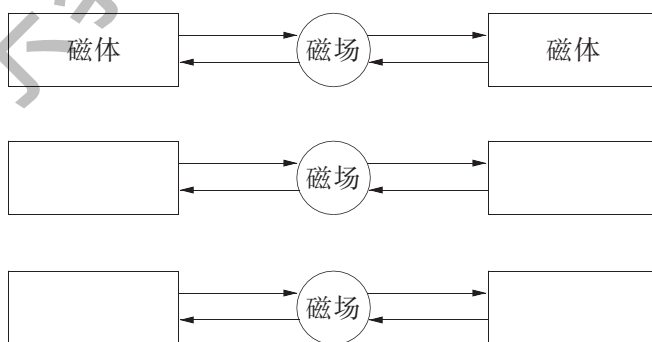


图 3-2-7

2. 就你看来, 磁场的来源有 _____, 磁场可对如下物质施加力的作用: _____.

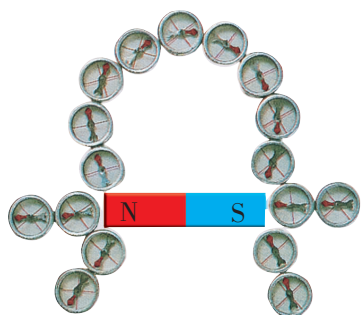


图 3-2-8 磁场有方向性

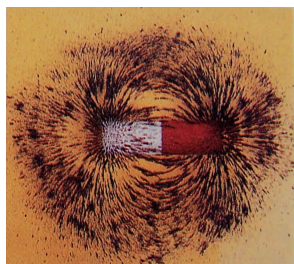
磁场有方向吗

将可以自由转动的小磁针放在磁场中某一点, 小磁针静止时北极有确定的指向, 在磁场中的不同点, 小磁针静止时北极所指的方向一般不相同 (图 3-2-8). 这个事实说明, 磁场是有方向性的. 物理学规定, 在磁场中的任一点, 小磁针北极受力的

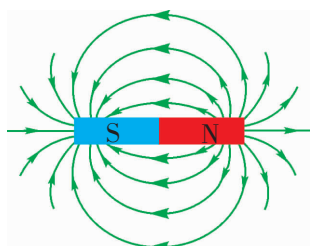
方向，亦即小磁针静止时北极所指的方向，就是该点的磁场方向。

图示磁场

磁场是一种特殊的物质，不能为人们所看见。英国科学家法拉第在对磁场的描述方面表现出很强的想象力，为了“看见”磁场，法拉第在纸板上均匀洒满细小的铁屑，在其下放置磁铁，然后轻敲纸板，磁化后的铁屑在磁力的作用下就清清楚楚地呈现出“磁感线”来，如图 3-2-9 (a) 所示。



(a)



(b)

图 3-2-9 条形磁铁的磁感线分布

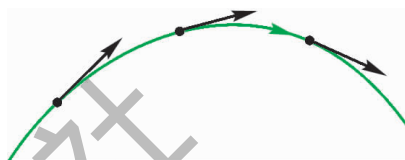


图 3-2-10 磁感线

所谓**磁感线**，是在磁场中画出的一些有方向的曲线，在这些曲线上，每一点的切线方向都与该点的磁场方向一致（图 3-2-10）。

图 3-2-9 (b) 画出了条形磁铁的磁感线。由图可见，磁场越强的地方，磁感线越密。磁感线的疏密程度反映了磁场的强弱。

虽然磁感线是虚拟的，但我们可以借助它对各种形状的磁体或电流的磁场分布进行形象化的描述，有利于进一步研究磁场性质及磁场对物质的作用规律。为此，需要了解一些典型磁场的磁感线分布。

专业术语

磁感线
magnetic induction line

观察与思考

1. 磁铁的磁感线分布。

观察图 3-2-9 (b) 和图 3-2-11，比较条形磁铁和蹄形磁铁的外部磁感线的走向有何共同点。

2. 直线电流磁场的磁感线分布（图 3-2-12）。

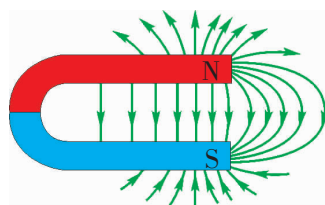


图 3-2-11 蹄形磁铁的磁感线分布

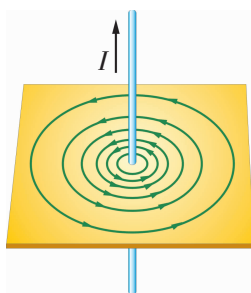


图 3-2-12 直线电流磁场的磁感线分布

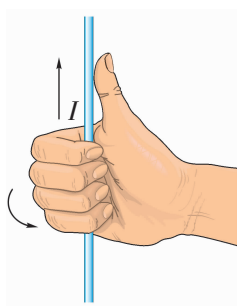


图 3-2-13 安培定则

比较是明确事物同异关系的思维方法。

专业术语

安培定则

Ampere rule

直线电流磁场的磁感线是一系列以导线上的点为圆心的同心圆。直线电流的方向跟它的磁感线方向之间的关系可以用安培定则来判定(图3-2-13):用右手握住导线,让伸直的大拇指指向电流的方向,弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向。

请你思考,直线电流磁场的磁感线的疏密有何规律?

3. 环形电流磁场的磁感线分布(图3-2-14)。

环形电流的方向跟中心轴线上的磁感线方向之间的关系,也可以用安培定则来判定(图3-2-15)。

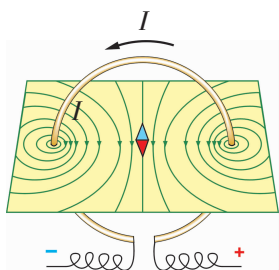


图3-2-14 环形电流磁场的磁感线分布

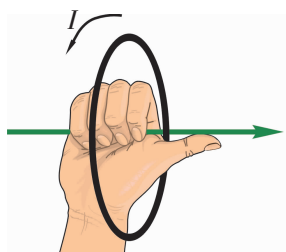


图3-2-15 安培定则

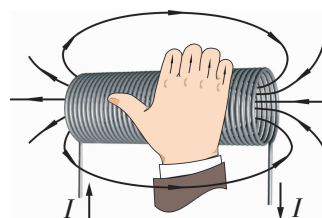


图3-2-16 通电螺线管磁场的磁感线分布

4. 通电螺线管磁场的磁感线分布(图3-2-16)。

请比较通电螺线管外部与条形磁铁外部的磁感线,是否可以认为通电螺线管一端相当于北极,另一端相当于南极?

通电螺线管内部的磁感线跟螺线管的轴线平行,并和外部的磁感线连接,形成一些环绕电流的闭合曲线。通电螺线管的电流方向跟它的磁感线方向之间的关系,仍可用安培定则来判定。

安培分子电流假说

假说是一种常用的科学研究方法。

通电螺线管产生的磁场与条形磁铁产生的磁场非常相似,而通电螺线管的磁场由电流产生,那么条形磁铁的磁场也可能由某种电流产生。安培注意到这一点,于1822年提出了著名的**分子电流假说**:任何物质的分子中都存在环形电流——分子电流,分子电流使每个物质分子都成为一个微小的磁体(图3-2-17)。

安培的假说能够解释一些磁现象,例如铁棒的磁化与高温去磁。铁棒未被磁化时,内部各分子电流的取向是杂乱无章的(图3-2-18),它们在外界的磁场互相抵消,对外不显磁性。当铁棒受到外磁场的作用时,各分子电流的取向趋于规则(图3-2-19),铁棒被磁化,对外显示磁性。在高温下,铁棒的分子热运动加剧,分子电流的规则取向被破坏,又会失去磁性。

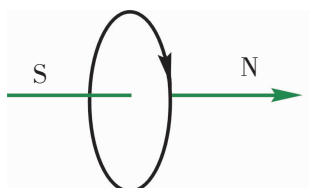


图3-2-17 分子电流

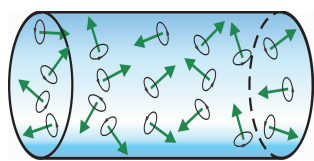


图3-2-18 未被磁化的铁棒

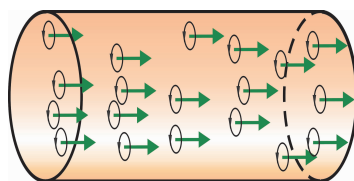


图3-2-19 磁化后的铁棒

实践与拓展

图 3-2-20 是一个利用电磁继电器的控制电路，其高压工作电路的通断由低压电路的通断控制，这种设计有利于安全操作。请你利用电磁继电器自行设计并安装一个自动控制电路。

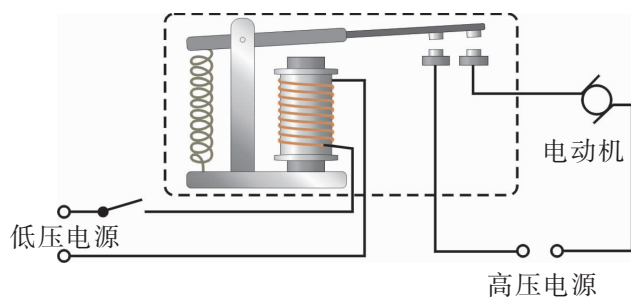


图 3-2-20 电磁继电器

资料活页

磁单极子

电和磁的联系如此紧密，由类比推理人们自然会问到：既然有单个的正电荷与负电荷，也许会有单个的“磁荷”吧？

1931 年，英国物理学家狄拉克（Paul Adrien Maurice Dirac, 1902 — 1984）根据电磁场的对称性，预言“磁单极子必定存在”。从那时起，不少科学家对此进行了探索，但迄今没有可靠的证据表明磁单极子的存在。如果狄拉克的预言正确，那不仅会进一步发展电磁学的内容，而且将对人们关于宇宙起源等基本问题的认识产生重要影响。



图 3-2-21 狄拉克

<http://physics.scnu.edu.cn/gzwl/> 我们的网站

电流磁效应的发现过程

练习

1. 你见过只有一个磁极的磁铁吗？能否将一条形磁铁折断得到单个磁极（图 3-2-22）？为什么？

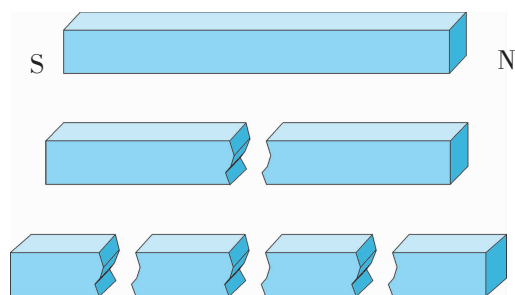


图 3-2-22 折断的磁铁

2. 如图 3-2-23 所示, 小磁针受到通电螺线管的磁场作用, 摆动几下后静止下来. 试标出图中电源的正极和负极.

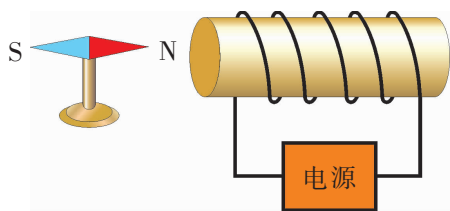


图 3-2-23

3. 如图 3-2-24 所示, 有一长直导线竖直穿过一水平纸板, 导线中通有方向向下的恒定电流, 请你画出纸板上磁感线的分布情况. 小王同学想在图中找出南北极, 你认为有可能吗?

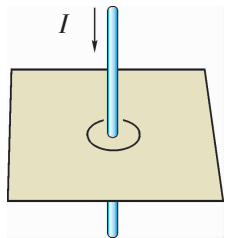


图 3-2-24

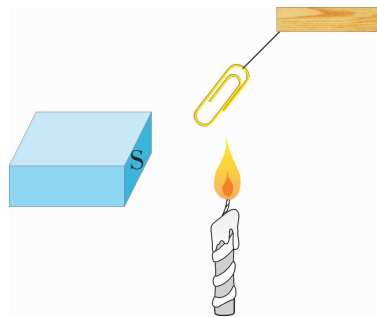


图 3-2-25

4. 如图 3-2-25 所示, 系在细线下端的回形针受磁铁吸引悬在空中, 在回形针的下方用点燃的蜡烛加热回形针. 过一会儿发现回形针不再受磁铁吸引, 细线回到了竖直方向. 你能解释这一现象吗?

第三节 探究安培力

专业术语

安培力

Ampere force

磁场对电流的作用力称为**安培力**. 法国物理学家安培在研究磁场对电流的作用力方面作出了杰出的贡献, 他首先总结出这一作用力遵循的规律.

安培力的方向

实验表明, 当通有电流的直导线与磁场方向平行时, 导线受到的安培力为零. 下面我们通过实验探究, 在直导线与磁场方向垂直的情况下, 安培力沿什么方向?

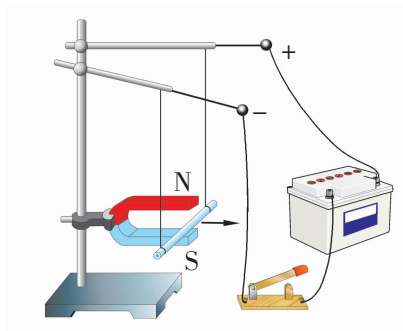


图 3-3-1

实验与探究

图 3-3-1 所示的实验装置可用来探究安培力的方向与哪些因素有关.

先思考一下: 实验时, 你怎样改变磁场的方向? 怎样改变电流的方向?

由于电流很大, 每次实验接通电源的时间要短, 以保护电源.

根据表 3-3-1 进行实验，并把结果填入表中。

第 1 次实验时磁场方向与电流方向如图 3-3-2 所示。本书用“ \odot ”表示电流方向垂直纸面向外，用“ \otimes ”表示电流方向垂直纸面向里。

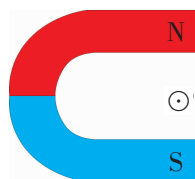


图 3-3-2

表 3-3-1

实验次数	磁场方向	电流方向	安培力的方向
1	向下	垂直于纸面向外	
2		垂直于纸面向里	
3	向上	垂直于纸面向外	
4		垂直于纸面向里	

请你总结一下，安培力的方向跟电流方向、磁场方向之间有什么关系？并记下你的结论。

通电直导线所受安培力的方向和磁场方向、电流方向之间的关系，可以用左手定则来判定（图 3-3-3）：伸开左手，使大拇指跟其余四指垂直，并且都跟手掌在一个平面内，把手放入磁场中让磁感线垂直穿入手心，并使伸开的四指指向电流的方向，那么，大拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向。

专业术语

左手定则
left-hand rule

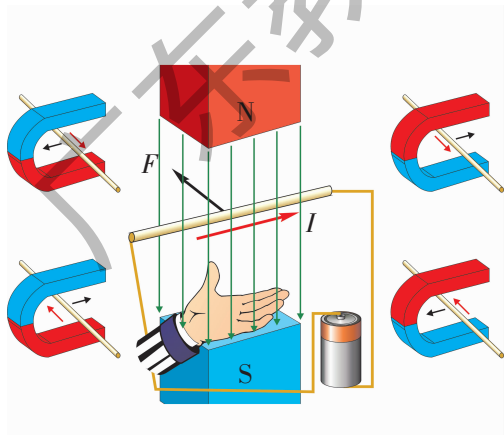


图 3-3-3 左手定则

安培力的大小

实验表明：把一段通电直导线放在磁场里，当导线方向与磁场方向垂直时，导线所受到的安培力最大；当导线方向与磁场方向一致时，导线所受到的安培力等于零；当导线方向与磁场方向斜交时，所受到的安培力介于最大值和零之间。

下面研究导线方向与磁场方向垂直时，安培力的大小跟什么因素有关。

观察与思考

仍使用图 3-3-1 所示的实验装置，但在电路中串入一个滑动变阻器。

可以认为蹄形磁铁磁极间的磁场是均匀的。

电流大小可由滑动变阻器调节，通电导线在磁场中的长度可由并排使用的相同磁铁数目多少来改变。通电直导线摆动的幅度越大，反映安培力越大。

请你观察演示，思考：

1. 当通电导线的长度一定时，安培力与电流的关系。
2. 当电流一定时，安培力与在磁场中的通电导线的长度的关系。

上述实验的定量结果表明，通电导线在同一磁场中受到的安培力的大小 F ，既与导线的长度 L 成正比，又与导线中的电流 I 成正比，即与 I 和 L 的乘积 IL 成正比，

$$F \propto IL$$

不管电流 I 和导线长度 L 怎样改变，比值 $\frac{F}{IL}$ 总是确定的。

用不同的蹄形磁铁做上述实验发现，在不同的磁场中，这一比值一般是不同的。可见，该比值是由磁场本身决定的，它应该反映磁场的某种性质。在电流 I 及导线长度 L 的乘积一定的情况下，电流所受的安培力 F 越大，比值 $\frac{F}{IL}$ 越大，表示磁场越强。因而该比值的大小反映了磁场的强弱。

物理学规定，当通电导线与磁场方向垂直时，通电导线所受的安培力 F 跟电流 I 和导线长度 L 的乘积 IL 的比值叫做**磁感应强度**。用 B 表示磁感应强度，则

$$B = \frac{F}{IL} \quad (3.3.1)$$

磁感应强度 B 的单位由 F 、 I 和 L 的单位决定。在国际单位制中，磁感应强度的单位是**特斯拉**，简称**特**，符号是 T， $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$ 。

我们定义磁感应强度为一矢量，其方向为该处的磁场方向。这样，磁感应强度就可以全面地反映磁场的强弱和方向了。

磁感应强度也可以和磁感线联系起来。磁感线上每一点的切线方向都与该点磁感应强度的方向一致，磁感线的疏密程度表示磁感应强度的大小。这样，从磁感线的分布就可以形象地看出磁感应强度的方向和大小。

如果磁场的某一区域里，磁感应强度的大小和方向处处相同，这个区域的磁场叫做**匀强磁场**。距离很近的两个异名磁极之

专业术语

磁感应强度
magnetic induction

磁感应强度的定义与电场强度的定义一样，也采用了比值定义法。

专业术语

匀强磁场
uniform magnetic field

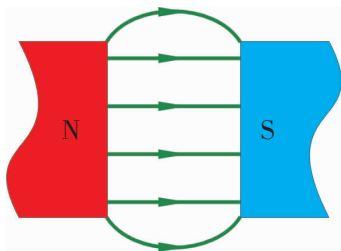


图 3-3-4

间的磁场(图 3-3-4), 通电螺线管内中间部分的磁场都可认为是匀强磁场. 匀强磁场在电磁仪器和科学实验中有许多应用.

由 (3.3.1) 式, 可以得到

$$F = BIL \quad (3.3.2)$$

此式表明, 在匀强磁场中, 在通电直导线与磁场方向垂直的情况下, 电流所受的安培力 F 等于磁感应强度 B 、电流 I 和导线长度 L 三者的乘积.

磁通量

以后研究电磁感应等其他电磁现象时, 需要引入一个新的物理量——磁通量. 在匀强磁场中有一个与磁场方向垂直的平面(图 3-3-5), 设磁场的磁感应强度为 B , 平面的面积为 S , 我们将磁感应强度 B 与面积 S 的乘积, 叫做穿过这个面的磁通量, 简称磁通. 如果用 ϕ 表示磁通量, 则有

$$\phi = BS \quad (3.3.3)$$

磁通量的意义可以用磁感线形象地加以说明. 在同一磁场中, 磁感应强度 B 越大的地方, 磁感线越密. 因此, B 越大, S 越大, 磁通量就越大, 意味着穿过这个面的磁感线条数越多.

在国际单位制中, 磁通量的单位是韦伯, 简称韦, 符号是 Wb.

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

从 (3.3.3) 式, 可以得出

$$B = \frac{\phi}{S}$$

这表示磁感应强度 B 在数值上等于穿过垂直磁感应强度的单位面积上的磁通量, 因此磁感应强度又被称为磁通密度, 用 Wb/m^2 作单位.

讨论与交流

对于平面跟磁场方向不垂直的情况(图 3-3-6), 如何计算磁通量?

实践与拓展

依据磁场对电流会产生作用力的原理, 可制造一种新型武器——电磁炮. 其原理如图 3-3-7 所示, 把炮弹(导体)放置在强磁场中的两平行导轨上, 给导轨通以方向相反的大电流, 此电流通过炮弹构成回路. 这样, 炮弹作为一个通电导体在磁场作用下沿导轨加速运动, 并以某一速度发射出去. 收集电磁炮的研究进展资料, 谈谈你对改进设计的意见, 写一篇小论文.

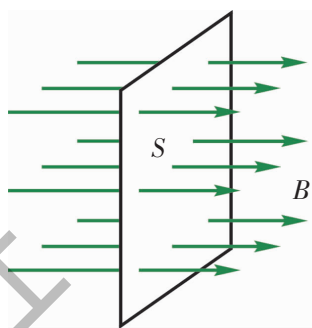


图 3-3-5

专业术语

磁通量
magnetic flux

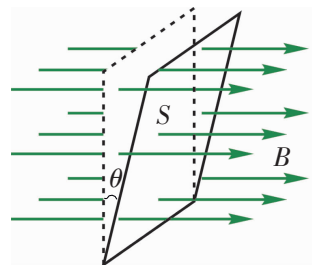


图 3-3-6

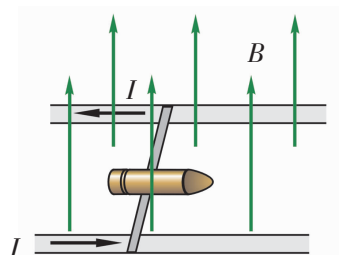


图 3-3-7

 练习

1. 把一小段通电直导线放入磁场中，导线受到安培力的作用。关于安培力的方向，下列说法中正确的是 ()。

- A. 安培力的方向一定跟磁感应强度的方向相同
- B. 安培力的方向一定跟磁感应强度的方向垂直，但不一定跟电流方向垂直
- C. 安培力的方向一定跟电流方向垂直，但不一定跟磁感应强度方向垂直
- D. 安培力的方向一定跟电流方向垂直，也一定跟磁感应强度方向垂直

2. 如图 3-3-8 所示，通电直导线与匀强磁场的方向垂直。图中已分别标明电流、磁感应强度和安培力这三个量中两个的方向，试标出第三个的方向。

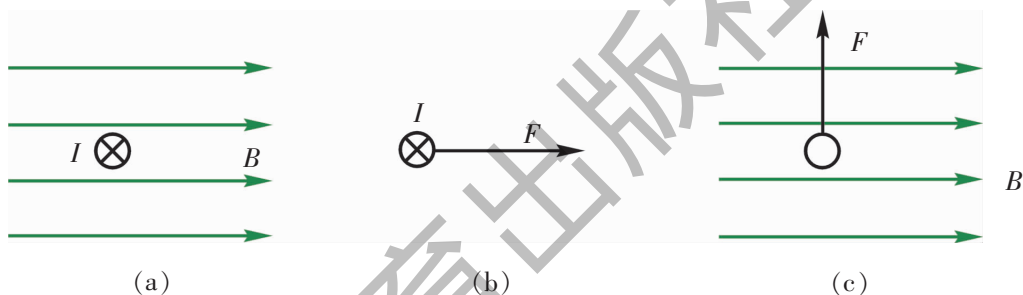


图 3-3-8

- 3. 试解释图 3-2-6 所示的实验现象。
- 4. 在地球赤道附近，地磁场可视为沿南北方向的匀强磁场，磁感应强度的大小为 $5.0 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。假设在赤道上沿东西方向水平放置一根长为 10 m 的直导线，其中通有从西向东的电流 2.0 A 。求：地磁场对这根导线的安培力有多大？方向如何？

第四节 安培力的应用

电磁炮是利用安培力推动通电导体平动的例子，电动机则是利用安培力使通电线圈转动的实例。电动机是将电能转化为机械能的重要装置，它在生产与生活中有极广泛的应用。请你观察一下家里的电器，其中转动的部分是否都装有电动机？

专业术语

电动机
electromotor

直流电动机

电动机有直流电动机与交流电动机之分，交流电动机还可分为单相交流电动机与三相交流电动机。我们通过下面的探究活动，进一步了解直流电动机的原理。

实验与探究

准备实验器材：直流电动机模型的零件、干电池组、滑动变阻器、开关、导线、外壳透明的玩具电动机（图 3-4-1）。

实验步骤如下：

1. 利用图 3-4-2，通过与同学讨论，了解直流电动机为什么会转动，理解安培力在其中的作用。
2. 组装直流电动机模型，并将其与电源、滑动变阻器、开关一起用导线连成闭合电路。在开关闭合前，不要让线圈停在图 3-4-2 (b)、(d) 两图所示的位置上。



图 3-4-1 玩具电动机

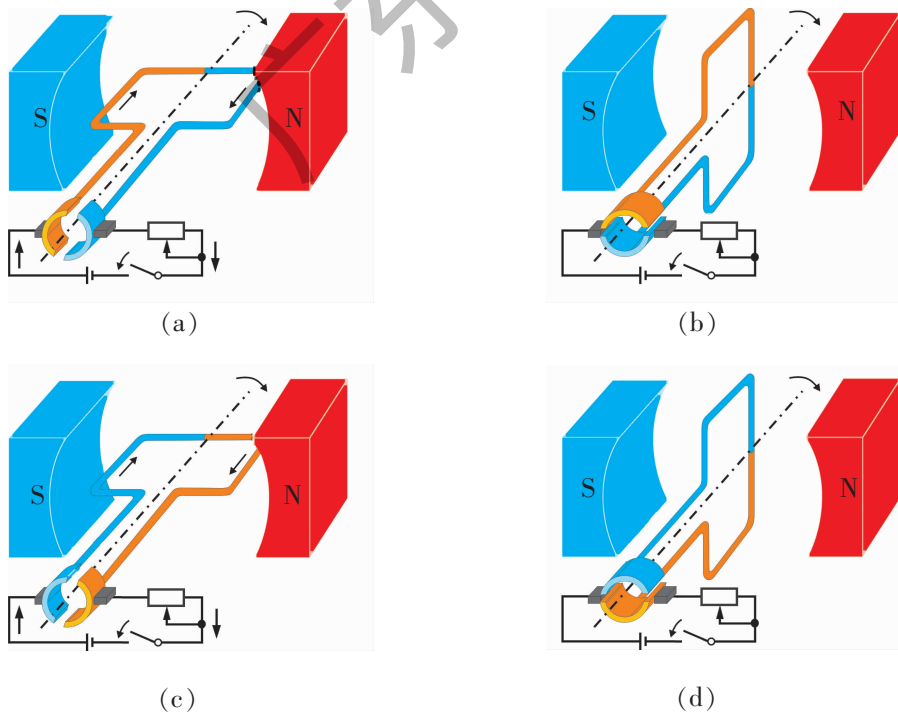


图 3-4-2

3. 将滑动变阻器串入电路部分的阻值调成最大，然后闭合开关，看看电动机的线圈是否转动起来。如未转动，请分析原因，并设法让它转动起来。

4. 探究改变电动机转速的方法。

5. 观察玩具电动机的内部构造，讨论它为什么比上述电动机模型有更好的性能。

直流电动机突出的优点是可以通过改变输入电压很容易调节它的转速，而交流电动机的调速就不太方便。因此，不少需要调速的设备，都采用直流电动机。例如无轨电车和电气机车都是用直流电动机来开动的。

磁电式电表

电流表是测量电流的电学仪器，实验时经常使用的电流表是磁电式电流表。

磁电式电流表的构造如图 3-4-3 所示。在强蹄形磁铁的两极间有一个固定的圆柱形铁芯，铁芯外面套有一个可以转动的铝框，在铝框上绕有线圈。铝框的转轴上装有两个螺旋弹簧和一个指针，线圈的两端分别接在这两个螺旋弹簧上，被测电流经过这两个弹簧流入线圈。

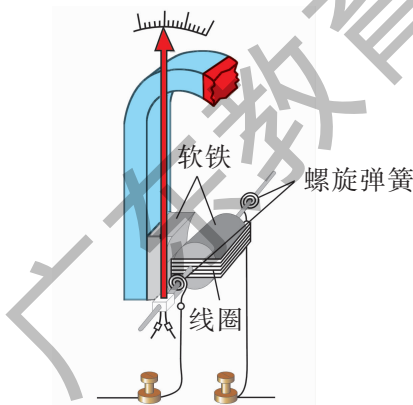


图 3-4-3 磁电式电流表的结构

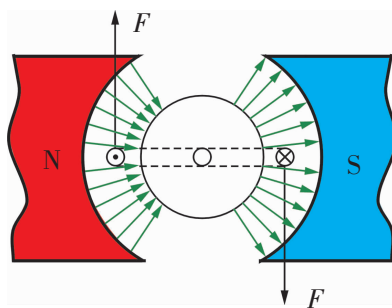


图 3-4-4 均匀辐射分布的磁场

如图 3-4-4 所示，蹄形磁铁和铁芯间的磁场是均匀辐射分布的，通电线圈不管转到什么角度，线圈的平面都跟磁感线平行。当电流通过线圈的时候，线圈上跟铁芯轴线平行的两边受到的安培力产生力矩，使线圈发生转动。同时，螺旋弹簧被扭转，产生一个阻碍线圈转动的力矩，其大小随线圈转动角度的增大而增大。直至上述两个力矩相平衡时，线圈才会停下来。

力矩是使物体转动状态发生变化的原因。

磁场对电流的作用力跟电流成正比，因而线圈中的电流越大，安培力产生的力矩也越大，线圈和指针偏转的角度也就越大。因此，根据指针偏转角度的大小，可以知道被测电流的强弱。

观察与思考

观察磁电式电表的构造。

资料活页

早期的电动机

早在 1821 年，法拉第在重复奥斯特“电生磁”实验时，就制造出人类历史上第一台最原始的电动机。1834 年，俄国雅可比发明第一台有实用价值的棒状铁芯电动机（功率约 15 W）。改进后的这种电动机能驱动载客 18 人的车行驶。1888 年，意大利费拉里斯在研究旋转磁场后，制造了第一台交流电动机。1889 年，俄国多勃罗沃尔斯基制成三相鼠笼式交流电动机，使交流电动机技术有了突破性的发展。这种电动机广泛使用至今。当然，人们并不满足于传统的电磁电动机，一直在致力探索更为先进的新型电动机。

第五节 研究洛伦兹力

磁场对电流有安培力的作用，而电流是由电荷的定向移动形成的。由此推理下去，你是否可以提出某种猜想？请写下你的想法：

专业术语

洛伦兹力

Lorentz force

洛伦兹力的方向

荷兰物理学家洛伦兹（Hendrik Antoon Lorentz, 1853—1928），于 1895 年发表了磁场对运动电荷的作用力公式。为了纪念他，人们称这种力为洛伦兹力。

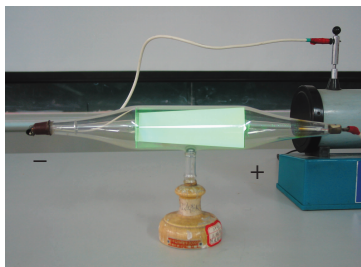


图 3-5-2

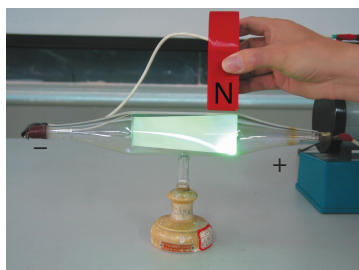


图 3-5-3



图 3-5-1 洛伦兹

专业术语

阴极射线管
cathode ray tube

英国物理学家汤姆生于 1897 年，指出阴极射线是高速运动的电子流。

图 3-5-2 和图 3-5-3 中的玻璃管是一个抽成真空的阴极射线管，从阴极发射出来的电子束（称为阴极射线），在阳极和阴极间的高电压作用下，轰击到长条形的荧光屏上激发出荧光，可以显示出电子束运动的径迹。

观察与思考

在没有外磁场时，电子束是沿直线前进的（图 3-5-2）。如果把射线管放在蹄形磁铁的两极间，让电子运动方向与磁场方向垂直，荧光屏上显示的电子束运动的径迹发生了弯曲（图 3-5-3）。思考一下，这说明了什么？

当磁场方向改变时，请你观察，电子束运动的径迹弯曲的方向是否改变？

实验表明：当运动电荷的速度方向与磁场方向平行时，运动电荷受到的洛伦兹力为零。当运动电荷的速度方向与磁场方向垂直时，运动电荷受到的洛伦兹力的方向既与磁场方向垂直，又与速度方向垂直。

与安培力的方向（图 3-3-3）相似，洛伦兹力的方向也可用左手定则来判定：伸开左手，使大拇指跟其余四个手指垂直，且处于同一平面内，把手放入磁场中，让磁感线垂直穿入手心，四指指向为正电荷运动的方向，那么，拇指所指的方向就是正电荷所受洛伦兹力的方向。运动的负电荷在磁场中所受的洛伦兹力，方向跟沿相同方向运动的正电荷所受的力的方向相反。

讨论与交流

洛伦兹力对在磁场中运动的带电粒子是否做功？

洛伦兹力的大小

实验表明，电流在磁场中受到安培力，运动电荷在磁场中受到洛伦兹力，而电流是由电荷作定向运动形成的。据此我们可以推测，安培力可以看作是大量运动电荷所受洛伦兹力的宏观表现，从而可以通过电流受到的安培力的计算式从理论上导出运动电荷受到的洛伦兹力的计算式。

如图 3-5-4 所示，一根直导线通过电流 I ，处在磁感应强度

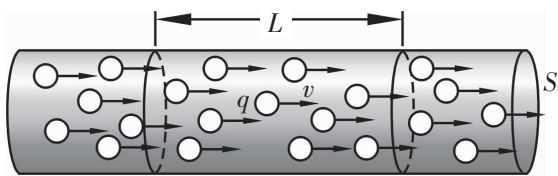


图 3-5-4

为 B 的匀强磁场中，电流方向与磁场方向垂直。现考虑长为 L 的一段导线，根据安培力公式，该电流受到的安培力

$$F=BIL$$

设导线中单位体积内所含的自由电荷数为 n 、自由电荷定向移动的速率为 v 、自由电荷从导线一端移动到另一端的时间为 t ，则 $L=vt$ 。又设导线的横截面积为 S ，则这段导线的体积为 LS ，导线中的自由电荷总数 $N=nLS$ 。若每个电荷的电荷量为 q ，则导线中自由电荷的总电量 $Q=qN$ 。因此，通过导线的电流

$$I=\frac{Q}{t}=\frac{qN}{t}=\frac{q(nLS)}{t}=nqvS$$

设导线中每个自由电荷受到的洛伦兹力为 f ，那么导线中所有的自由电荷受到的洛伦兹力为 Nf 。按照导线中大量运动电荷所受的洛伦兹力表现为安培力的观点，这段导线受到的安培力 $F=Nf=BIL=B(nqvS)L=BNqv$ ，因此，导线中每个自由电荷受到的洛伦兹力 $f=\frac{F}{N}=qvB$ 。

这一结果可以推广到带电粒子在磁场中运动的情况：当电荷在垂直于磁场的方向上运动时，磁场对运动电荷的洛伦兹力 f 等于电荷量 q 、速率 v 、磁感应强度 B 三者的乘积，即

$$f=qvB \quad (3.5.1)$$

这一结果已经被实验所证实。

例：图 3-5-5 为速度选择器的示意图。图中的离子源利用加速电场将带电粒子沿 S_1S_2 方向发射出来，由离子源发射出来的粒子的速度并不一致。借助于“速度选择器”，可以挑选出所需速度的粒子。图中两个平行金属板分别连在电源的两极上，其间形成方向沿纸平面向上、电场强度的大小为 E 的匀强电场；同时在该空间加有方向垂直于纸面指向读者、磁感应强度的大小为 B 的匀强磁场。试问：具有多大速度的带电粒子才能沿直线穿过小孔 S_1 和 S_2 ？（忽略带电粒子的重力）

解：设带电粒子所带电荷量为 q ，速度为 v 。

由平衡条件可知，当电场力与洛伦兹力大小相等方向相反时，也就是说，满足方程 $qvB=qE$ 的带电粒子可以沿直线匀速通过速度选择器。因此

$$v=\frac{E}{B}$$

由此可见，我们可通过改变 E 或 B 的数值来选择具有某一速度的粒子。

讨论与交流

1. 上式是否对正负带电粒子都成立？
2. 速度选择器中磁场的方向与电场的方向有什么关系？

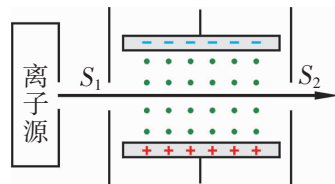


图 3-5-5 速度选择器

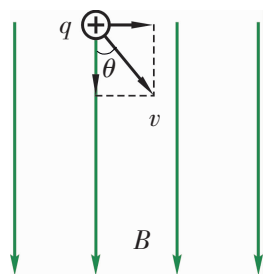


图 3-5-6

实践与拓展

1. 在有专业人员指导且注意安全的前提下，观察电视显像管偏转线圈的结构，讨论控制电子束偏转的原理。
2. 当运动电荷的速度 v 与磁感应强度 B 的夹角为 θ 时（图 3-5-6），导出运动电荷所受洛伦兹力的公式。

练习

1. 下列说法正确的是（ ）。
 - A. 运动电荷在磁感应强度不为零的地方，一定受到洛伦兹力的作用
 - B. 运动电荷在某处不受洛伦兹力作用，则该处的磁感应强度一定为零
 - C. 洛伦兹力既不能改变带电粒子的动能，也不能改变带电粒子的速度
 - D. 洛伦兹力对带电粒子不做功
2. 一个电子穿过某一空间而未发生偏转，则（ ）。
 - A. 此空间一定不存在磁场
 - B. 此空间一定不存在电场
 - C. 此空间可能只有匀强磁场，方向与电子速度垂直
 - D. 此空间可能有相互正交的匀强磁场和匀强电场，它们的方向均与电子速度垂直
3. 试判定图 3-5-7 中各带电粒子受洛伦兹力的方向或带电粒子的运动方向。（图中用“ \times ”表示磁感线垂直纸面向里，“ \cdot ”表示磁感线垂直纸面向外）

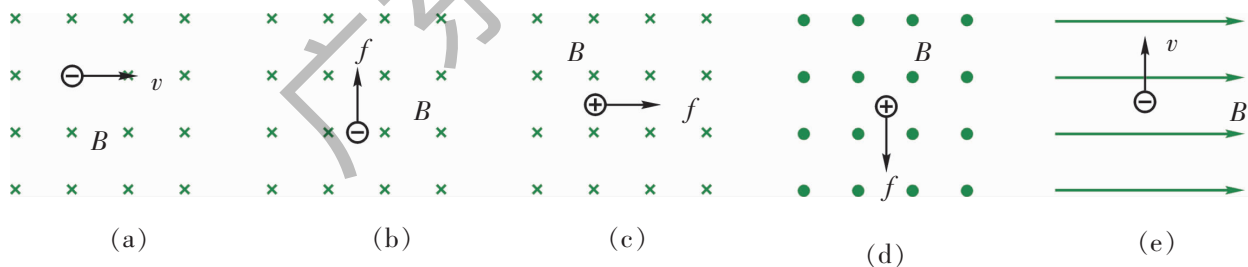


图 3-5-7

4. 速率为 $5.0 \times 10^6 \text{ m/s}$ 的电子，垂直射入磁感应强度大小为 0.20 T 的匀强磁场中，它受到的洛伦兹力是多大？

第六节 洛伦兹力与现代技术

电场对电荷有作用力，磁场对运动电荷有作用力。这一原理在现代科学技术中有着重要的应用。例如电视机中的显像管和本节要讨论的质谱仪、回旋加速器等，都是利用电场和磁场来控制电荷运动的。

带电粒子在磁场中的运动

图 3-6-1 所示的洛伦兹力演示仪是一个特制的电子射线管。管内下方的电子枪射出的电子束，可以使管内的氢气发出辉光，从而显示出电子的径迹。匀强磁场是由管外两个平行的通电环形线圈产生的。

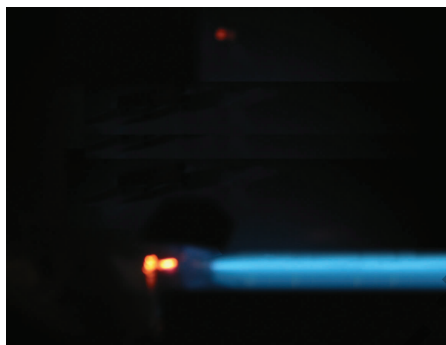


图 3-6-1 无磁场时电子束的径迹

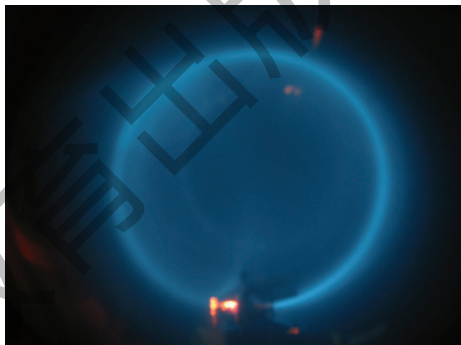


图 3-6-2 垂直射入匀强磁场时电子束的径迹

观察与思考

请观察：

1. 未加磁场时，电子束的径迹是怎样的（图 3-6-1）？
2. 加上匀强磁场时，令电子束垂直地射入磁场，其径迹又是怎样的（图 3-6-2）？

讨论与交流

1. 什么条件下，电子在匀强磁场中的径迹为直线、圆？
2. 与同学讨论，导出质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子在匀强磁场 B 中做匀速圆周运动的轨道半径 r 和周期 T 的公式：

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (3.6.1)$$

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (3.6.2)$$

质谱仪

专业术语

质谱仪

mass spectrograph

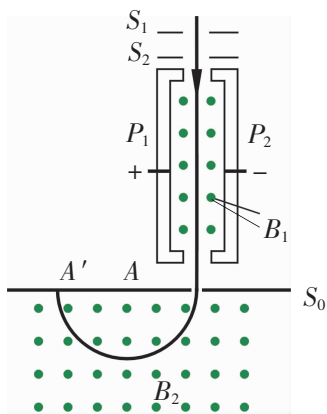


图 3-6-3 质谱仪的结构图

质谱仪常用来研究物质的同位素. 同位素是原子序数相同、原子质量不同的原子. 由于同位素的化学性质相同, 不能用化学方法加以区分.

质谱仪的结构如图 3-6-3 所示. 带电粒子经过 S_1 和 S_2 之间的电场加速后, 进入 P_1 、 P_2 之间的区域. P_1 、 P_2 之间存在着互相正交的磁感应强度为 B_1 的匀强磁场和电场强度为 E 的匀强电场, 只有在这一区域内不改变运动方向的粒子才能顺利通过 S_0 上的狭缝, 进入磁感应强度为 B_2 的匀强磁场区域. 在该区域内带电粒子做匀速圆周运动, 打在照相底片 AA' 上, 留下印迹.

质谱仪 P_1 、 P_2 之间的部分就是一个速度选择器. 根据上节的讨论, 只有满足一定条件的带电粒子才能做匀速直线运动通过 S_0 上的狭缝. 即此时必有

$$v = \frac{E}{B_1}$$

S_0 下方的空间不存在电场, 只存在匀强磁场. 带电粒子在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动. 根据 (3.6.1) 式, 运动半径为

$$r = \frac{mv}{qB_2}$$

由以上两式消去 v , 得

$$\frac{q}{m} = \frac{E}{B_1 B_2 r}$$

上式中, E 、 B_1 、 B_2 是已知的, r 可测量, 利用该式可以求出带电粒子的荷质比 $\frac{q}{m}$.

在图 3-6-3 中, 如果有电荷量相同而质量有微小差别的粒子通过 S_0 上的狭缝, 根据上面讨论可知, 它们进入磁场后将沿着不同的半径做圆周运动, 打到照相底片的不同地方, 在底片上形成若干谱线状的细条, 叫做质谱线, 每一条谱线对应于一定的质量. 从谱线的位置可以测出圆周的半径 r , 如果知道带电粒子的电荷量 q , 就可以算出它的质量. 所以, 利用质谱仪可以准确地测出各种同位素的原子量.

质谱仪是由汤姆生的学生阿斯顿 (F.W.Aston, 1877—1945) 发明的. 他用质谱仪首先得到了氦—20 和氦—22 的质谱线, 证实了同位素的存在. 阿斯顿因发明质谱仪和发现非放射性元素的同位素等贡献而获得 1922 年度诺贝尔化学奖.

回旋加速器

加速器是使带电粒子获得高能量的装置. 它不但是科学家探

索物质微观奥秘的有力工具，而且在工业、农业、医学等行业中得到越来越广泛的应用。

1930年，美国加利福尼亚州伯克利加州大学的劳伦斯(Ernest Orlando Lawrence, 1901—1958)制成了世界上第一台回旋加速器(图3-6-5)，其真空室的直径只有10.2 cm。此后，劳伦斯经过改进又制成了实用的回旋加速器。他因发明和发展了回旋加速器获得1939年度诺贝尔物理学奖。



图 3-6-4 劳伦斯



图 3-6-5 世界上第一台回旋加速器

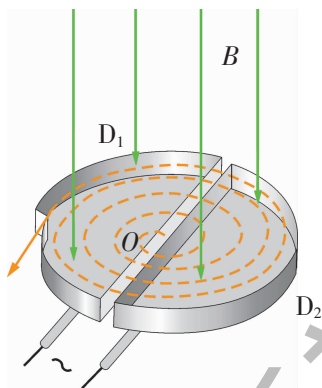


图 3-6-6 回旋加速器的原理图

专业术语

回旋加速器
cyclotron

图3-6-6是劳伦斯回旋加速器的原理图。在图中的真空室里有两个铜质D形盒 D_1 、 D_2 ，其间留有一个空隙，并加以高频交变电压，离子源处于中心 O 附近，匀强磁场垂直穿过D形盒表面。由于盒内无电场，离子将在盒内空间做匀速圆周运动，只有经过两盒间的空隙时才受电场作用。如果交变电场的周期正好与离子运动的周期相同，离子在每次通过间隙时都会被加速。随着速度的增加，离子做圆周运动的半径也将逐步加大。当达到预期的速率时，用静电偏转板将高能离子引出D形盒，用于科学研究。

讨论与交流

1. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动时，如因速率 v 增大引起半径 r 增大，其运动周期 T 是否变化？
2. 为使带电粒子每次经过两个D形盒的间隙时，恰能受到电场力作用且被加速，高频电源的频率应符合什么要求？
3. 设回旋加速器D形盒的半径为 R ，匀强磁场的磁感应强度为 B ，则该回旋加速器最多可以将质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子加速到多大的速度？

实践与拓展

1. 查阅资料，了解加速器的发展和应用情况，写一篇科学报告。
2. 收集资料，结合自己的学习体会，谈谈你对电磁现象的研究在社会发展中的作用的认知。

 资料活页

回旋加速器的改进

20 世纪 30 年代末期, 科学家们发现被回旋加速器加速的粒子的最大能量是受到限制的, 其主要原因是相对论效应. 当能量很高时, 粒子速度非常大, 其质量的增大就不能忽略了. 因此, 粒子绕行一周所费的时间也将逐渐增大. 如果高频电压的频率保持不变, 电场力就可能对粒子的运动起阻碍作用.

一种改进方案是在保持磁场不变的情况下, 令高频电压的频率随粒子速度的增加而减少, 使其与粒子做圆周运动的频率保持同步, 从而使电场力总是起到加速粒子的作用. 按这一原理设计的加速器称为同步回旋加速器.

另一种改进方案是让磁感应强度随粒子动量的增加而同步增大, 使得粒子能保持在固定的圆周上运动. 同时, 还要保证加速电场的频率与粒子做圆周运动的频率同步变化. 由于粒子始终在一个圆形轨道上运动, 磁场区域可以大为缩小, 因此磁铁的重量也大为减轻. 这种加速器称为同步加速器.

美国费米国家加速器实验室的质子同步加速器 (图 3-6-7) 可以把质子加速到 1000 GeV. 而 2008 年投入使用的欧洲大型强子对撞机性能更为强大, 承担着向物理前沿科学进军的使命.

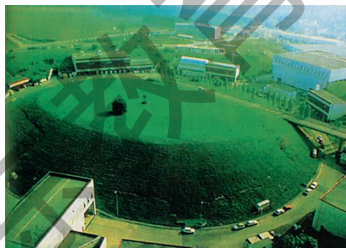


图 3-6-7

 我们的网站

1. 美丽的极光
2. 神奇的电子显微镜

 练习

1. 一个电子以 1.6×10^6 m/s 的速度垂直射入 $B = 2.0 \times 10^{-4}$ T 的匀强磁场中, 它做圆周运动的轨道半径和周期各是多大?
2. 在同一匀强磁场中, 有两个电子分别以速率 v 和 $2v$ 同时开始沿垂直于磁场方向运动, 试比较它们回到原来的出发点的先后.

3. 质子和一价钠离子分别垂直进入同一匀强磁场中做匀速圆周运动. 如果它们的圆周运动半径恰好相等, 这说明它们在刚进入磁场时 ().

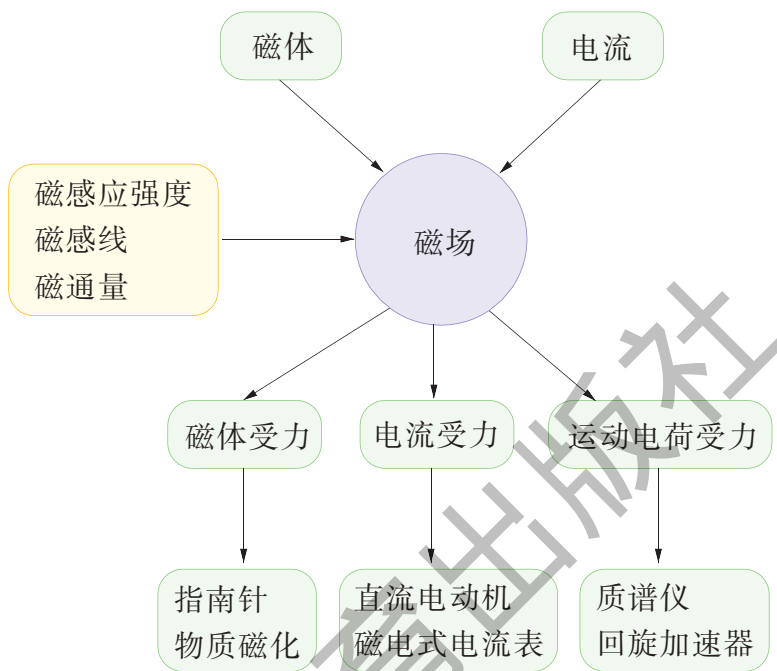
- A. 速率相等
- B. 质量和速率的乘积相等
- C. 动能相等
- D. 质量相等

4. 一台大型的回旋加速器的设计、制作、安装、调试, 需要许多科技工作者的相互配合、通力合作. 劳伦斯在诺贝尔奖领奖演说中谈到: “从工作一开始就要靠许多实验室中的众多能干而积极的合作者的集体努力, 各方面的人才都参加到这项工作中来, 不论从哪个方面来衡量, 取得的成功都依赖于密切和有效的合作.” 结合自身的体验, 谈谈你对这番话的感受.

广东教育出版社

本章小结

一、知识结构



二、回顾与评价

我在本章学习中拜会的物理学家有： _____

我在本章学习中接触的物理学研究方法有： _____

磁偏转原理在科学技术中的应用有： _____

回顾与评价

我参加探究活动得到的收获有： _____

我在本章学习中遇到的较大困难有： _____

我还想做： _____

习 题 三

1. 如图 3-1 所示, 把一根柔软的弹簧竖直地悬挂起来, 使它的下端刚刚跟导电液体接触. 给弹簧通入电流时, 会发生什么现象? 为什么?

2. 在磁感应强度为 0.6 T 的匀强磁场中, 放一根与磁场方向垂直、长度为 0.5 m 的通电导线, 导线中的电流为 1.0 A . 这根导线在与磁场方向垂直的平面内沿安培力的方向移动了 0.2 m , 求安培力对导线所做的功.

3. 如图 3-2 所示, 在天平底部挂有一个矩形线圈 $abcd$, 其一部分悬在水平方向的匀强磁场中. 当给矩形线圈通入方向如图所示的电流 I 时, 调节两盘中的砝码, 使天平平衡. 然后使电流 I 反向但大小不变, 这时要在天平的左盘上加质量为 $4 \times 10^{-2}\text{ kg}$ 的砝码, 才能使天平重新平衡. 求磁场对 bc 边作用力的大小. 这一装置可以用来测量通电导线在磁场中受到的安培力, 我们称之为电流天平或安培秤 (g 取 10 m/s^2).

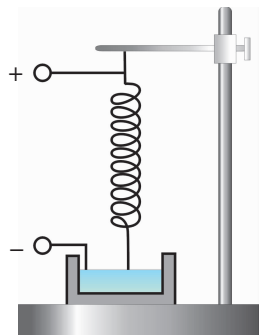


图 3-1

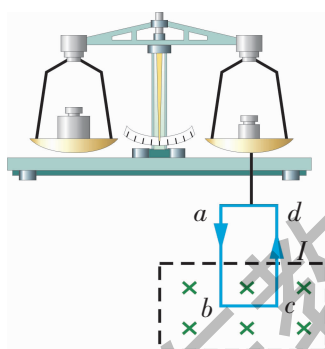


图 3-2

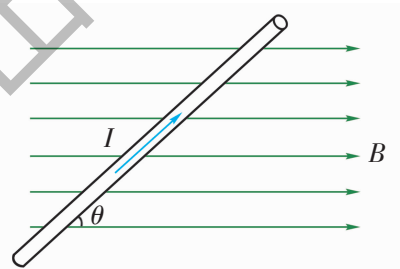


图 3-3

4. 在匀强磁场中, 若通电直导线与磁场方向的夹角为 θ (图 3-3), 请你导出安培力 F 与磁感应强度 B 、电流 I 、导线长度 L 及 θ 四者之间的关系式.

5. 有一匀强磁场, 磁感应强度为 1.0 T , 沿水平方向由南指向北. 如果有一速度为 $5.0 \times 10^5\text{ m/s}$ 的质子沿竖直向下的方向进入磁场, 求质子所受洛伦兹力的大小. 质子进入磁场时将向哪个方向偏转?

6. 磁流体发电机是一种新型发电机, 图 3-4 表示它的发电原理. 将一束等离子体 (即高温下电离的气体, 含有大量带正电和带负电的微粒, 而从整体来说呈中性) 喷射入磁场, 磁场中有两块金属板 A 、 B , 这时金属板上就聚集电荷, 产生电压. 试说明金属板上为什么聚集电荷. 在磁极配置如图中所示的情况下, 电路中的电流方向如何? 磁流体发电是一项新技术, 感兴趣的同学可查阅资料, 作进一步的了解.

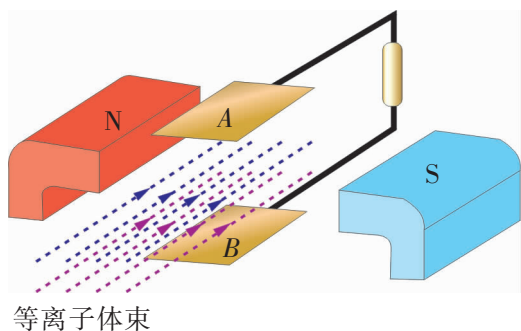


图 3-4

7. 如图 3-5 所示, 电磁流量计的主要部分是柱状非磁性管. 该管横截面是边长为 d 的正方形, 管内有导电液体水平向左流动. 在垂直于液体流动方向上加一个水平指向纸里的

匀强磁场，磁感应强度为 B 。现测得液体上下表面 a 、 b 两点间的电势差为 U 。求管内导电液体的流量 Q （流量是指流过该管的液体体积与所用时间的比值）。

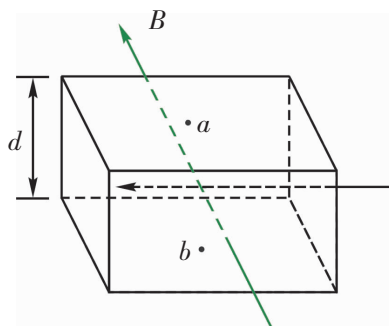


图 3-5

8. 如图 3-6 所示，套在很长的绝缘直棒上的小球的质量为 0.1 g ，带有 $4 \times 10^{-4} \text{ C}$ 的正电，小球在棒上可以滑动。将此棒竖直放在互相垂直且沿水平方向的匀强电场和匀强磁场中，匀强电场的电场强度 $E = 10 \text{ N/C}$ ，匀强磁场的磁感应强度 $B = 0.5 \text{ T}$ ，小球与棒间的动摩擦系数 $\mu = 0.2$ 。设小球由静止沿棒竖直下落，试求小球速率达到 1 m/s 时的加速度和小球下落的最大速度（ g 取 10 m/s^2 ）。

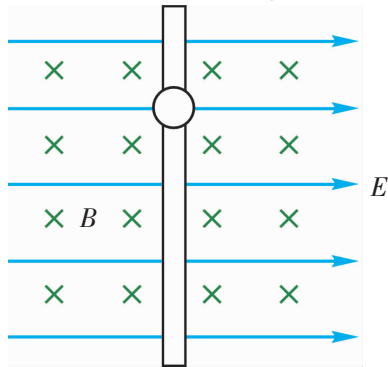


图 3-6

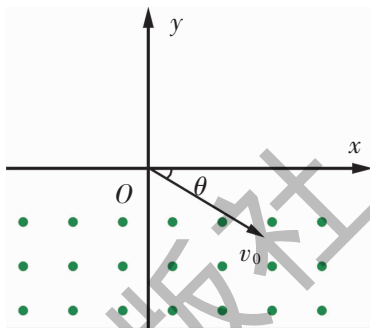


图 3-7

9. 如图 3-7 所示，在 $y < 0$ 的区域内存在匀强磁场，磁场方向垂直于 xOy 平面并指向纸面外，磁感应强度为 B 。一带正电的粒子以速度 v_0 从 O 点射入磁场，入射方向在 xOy 平面内，与 x 轴正向的夹角为 θ 。若粒子射出磁场的位置与 O 点的距离为 l ，求该粒子的电荷量和质量之比 $q:m$ 。

10. 如图 3-8 所示，一束具有各种速率的两种一价铜离子，质量数分别为 63 和 65，水平地经小孔 S 进入有匀强电场 E 和匀强磁场 B 的区域。电场的方向垂直极板向下，磁场的方向垂直于纸面向里。只有那些轨迹不发生偏折的离子才能通过另一小孔 S' 。为了把从 S' 射出的两种铜离子分开，再让它们进入另一方向垂直纸面向外的匀强磁场 B' 中，使两种离子分别沿不同半径的圆形轨道运动。试分别求出两种离子的轨道半径。题中各已知量如下：

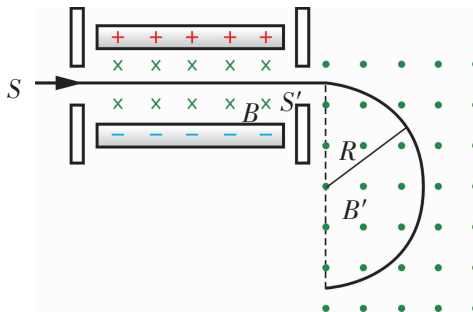


图 3-8

$$E = 1.00 \times 10^5 \text{ V/m}, B = 0.40 \text{ T}, B' = 0.50 \text{ T};$$

$$\text{质量数为 } 63 \text{ 的铜离子质量 } m_1 = 63 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg};$$

$$\text{质量数为 } 65 \text{ 的铜离子质量 } m_2 = 65 \times 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}.$$

11. 利用交变电压频率为 7.67 MHz 的回旋加速器加速 α 粒子，可使它的能量达到 48.2 MeV 。该回旋加速器的半径约为多大？（ α 粒子即氦核，质量约为质子的 4 倍，电量为质子的 2 倍。已知质子的质量为 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ）

12. 有一回旋加速器，加在 D 形盒内两极的交变电压的频率为 $1.2 \times 10^7 \text{ Hz}$ ，D 形盒的半径为 0.532 m 。求：

(1) 加速氦核所需的磁感应强度 B 。

(2) 氦核所达到的最大速率 v 。

（氦核的质量约为质子的 2 倍，带有一个元电荷的正电）

广东教育出版社



绿色印刷产品

批准文号：粤发改价格 [2015] 362号 举报电话：12358



定价：12.92元
(配光碟1张)