经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理 选修 2-1

PHYSICS

主编 束炳如 何润伟

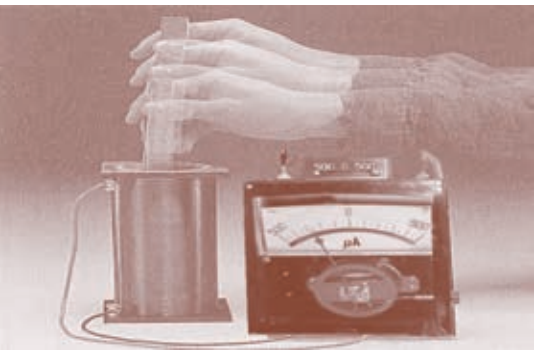






上海科技教育出版社

亲爱的同学：



欢迎你选择学习物理 2–1！

在这里，你将了解电磁学理论和信息技术的发展过程；在实验探究、设计制作等饶有趣味的活动中，你将学习物理学的基本原理，体会物理学的思想观点和研究方法；你将进一步感受到物理学在科学技术发展中有着何等广泛的应用，对人类生活、社会发展起着何等巨大的作用。

物理学神秘吗？不！你将会发现，物理学是关于你周围世界发生的事物的科学。机器人、超大规模集成电路、微型计算机、新材料、光导纤维、数码相机、电视机、手机、微波炉等，已成为大众产品；当你打开电灯，听着电话，看着电视，热着牛奶，用着电脑，拍着照片，或做着其他事情的时候，你的四周几乎无一不与物理学有关。

物理学就在你的心中，就在你的脚下。通过本系列的学习，你从事科学技术工作的愿望很可能成为现实。当你自己制成一件精美电子产品的时候，你可以发现你自己就是应用物理原理的“专家”，你会感受到物理学探索是一项多么令人激动的事业。

为了让你在学习物理 2–1 的过程中获得更大的成功，请浏览以下的本书栏目介绍。

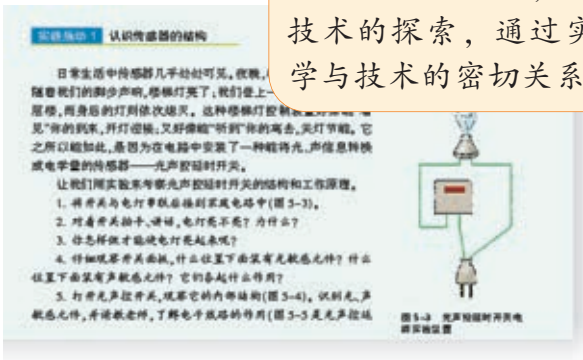
这是一章一节的开端，这里将带你进入所要研究问题的背景环境，了解探索的主要内容。

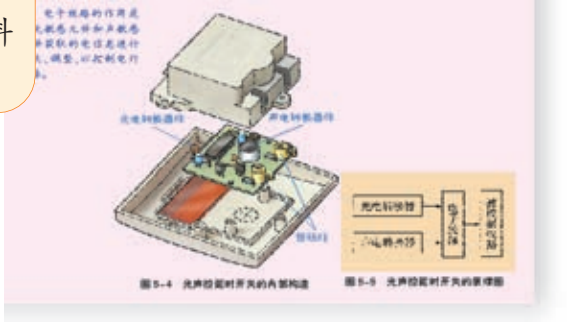




实践活动

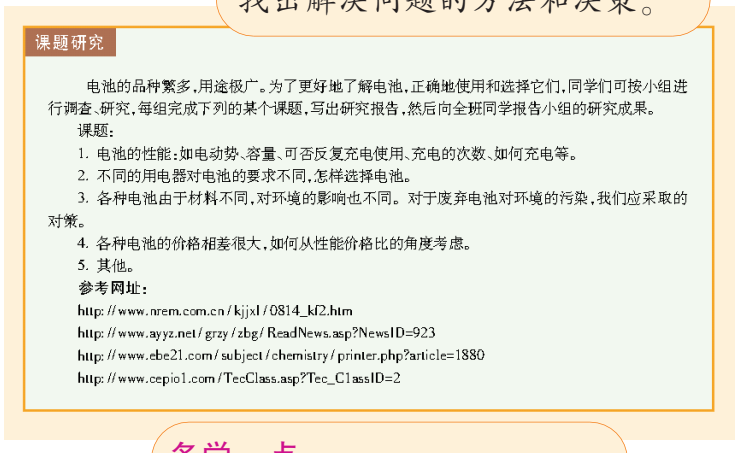
这里将让你像科学家和工程技术人员那样，进行科学和技术的探索，通过实践体会科学与技术的密切关系。





课题研究

这里将使你学会如何进行调查研究，收集资料，提出问题，找出解决问题的方法和决策。



课题研究

电池的品种繁多，用途极广。为了更好地了解电池，正确地使用和选择它们，同学们可按小组进行调查、研究，每组完成下列的某个课题，写出研究报告，然后向全班同学报告小组的研究成果。

课题：

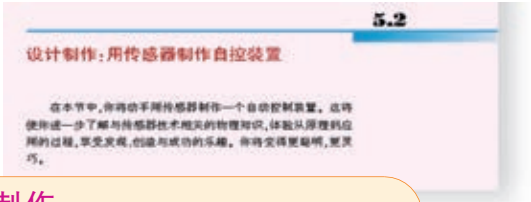
1. 电池的性能：如电动势、容量、可否反复充电使用、充电的次数、如何充电等。
2. 不同的用电器对电池的要求不同，怎样选择电池。
3. 各种电池由于材料不同，对环境的影响也不同。对于废弃电池对环境的污染，我们应采取的对策。
4. 各种电池的价格相差很大，如何从性能价格比的角度考虑。
5. 其他。

参考网址：

http://www.nrem.com.cn/kjjxl/0814_kf2.htm
http://www.ayyz.net/grzy/zbg/ReadNews.asp?NewsID=923
http://www.ebe21.com/subject/chemistry/printer.php?article=1880
http://www.cepiol.com/TecClass.asp?Tec_ClassID=2

设计制作

学物理要“做中学”、“学中做”。这会使你心更灵，手更巧，让你展示自己的创新精神和实践能力，享受成功的喜悦。



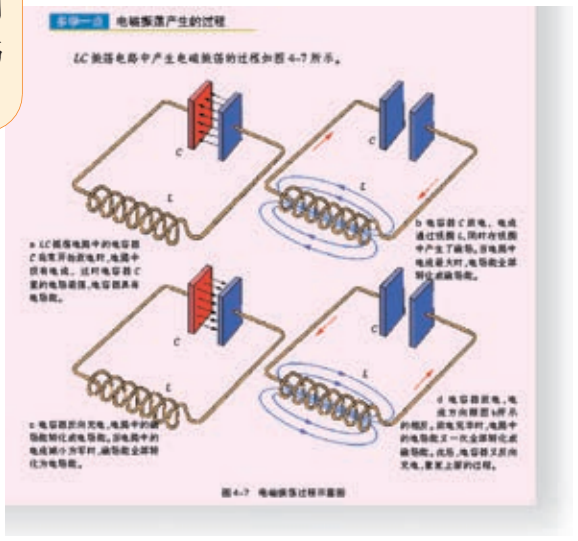
5.2

设计制作：用传感器制作自控装置

在本节中，你将动手用传感器制作一个自动控制装置。这将使你进一步了解与传感器技术相关的物理知识，体验从原理到应用的过程，享受发现、创造与成功的乐趣。你将变得更聪明，更灵巧。

多学一点

这里将使你的知识面得到扩大，让你的探究欲望得到满足。



多学一点 电磁振荡产生的过程

LC 振荡电路中产生电磁振荡的过程如图 4-7 所示。

a LC 振荡电路中的电容器 C 刚开始充电时，电路中没有电流。这时电容器 C 里的电场最强，电容器具有电场能。

b 电容器 C 开始放电，电流通过线圈 L，同时在线圈中产生了磁场。当电路中电流最大时，电场能全部转化成磁场能。

c 电容器反向充电，电路中的磁场转化成电场能。当电路中的电流减小为零时，磁场能全部转化为电场能。

d 电容器反向放电，电流方向如图 c 所示的相反，当电流零时，电路中的电场能又一次全部转化成磁场能。此后，电容器又反向充电，重复上面的过程。

图 4-7 电磁振荡过程示意图

家庭作业与活动

这里将向你提供丰富多彩的项目，检验你探究、实践的成效，从而再次让你获得成功的喜悦。



家庭作业与活动

1. 红外线的特性是什么？怎样证明存在红外线？
2. 紫外线的特性是什么？怎样证明存在紫外线？
3. 按波长由长到短排列，正确的是
   A. γ 射线→X 射线→紫外线→红外线→可见光
   B. 紫外线→可见光→红外线→γ 射线→X 射线
   C. 红外线→可见光→紫外线→X 射线→γ 射线
   D. γ 射线→X 射线→紫外线→可见光→红外线
4. 从什么现象可以得知光是电磁波，不是机械波？

信息浏览、STS 栏目

这些栏目将向你提供科技史上的发现、发明故事，反映科学技术与社会发展的关系，报道最新的科技成果，展望科学技术的未来发展，从而进一步激发你对科学技术的热情。

目 录



第 1 章　多用电表与直流电路　6

1.1 学习使用多用电表　6

1.2 多用电表表头的工作原理　10

1.3 多用电表测量电流、电压电路的分析　14

1.4 电源电动势　闭合电路欧姆定律　18

1.5 多用电表测量电阻电路的分析　23

1.6 多用电表功能的扩展　28



第 2 章　显像管与电磁力　34

2.1 学习使用示波器　34

2.2 示波管与电场力　38

2.3 显像管与洛伦兹力　42

2.4 电磁技术与现代科技　46

第 3 章　发电、输配电与电磁感应　51



3.1 划时代的发现　51

3.2 发电机与交变电流　56

3.3 输电与配电　62

3.4 变压器　68

3.5 电能与社会　72

第4章　广播电视与电磁波　79

4.1 收音机与电磁波　79

4.2 设计制作：用集成电路制作收音机　86

4.3 电视　91

4.4 电磁波家族　96

第5章　互联网与信息时代　102

5.1 信息的获取——传感器　102

5.2 设计制作：用传感器制作自控装置　108

5.3 信息的处理——电脑　112

5.4 电脑是怎样工作的　118

5.5 信息的传输——互联网与光纤　126

5.6 移动通信和卫星通信　131

总结与评价　科技成果展示报告会　138

研究课题示例　138

科技制作评价表　139

调查报告评价表　140

科普文章评价表　140

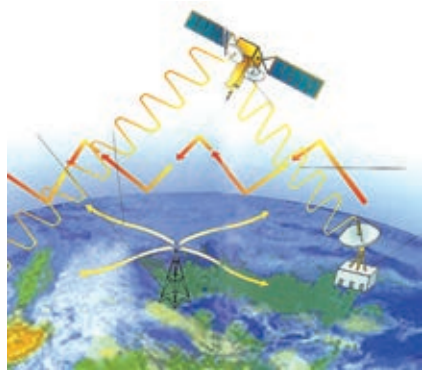






图 1–1　多用电表

第 1 章
多用电表与直流电路

我们在做电学实验、检查电路和维修电器时，要使用一种既可测量电流、电压，又可测量电阻的仪表，即**多用电表**（multimeter，图 1–1），简称多用表。

本章以多用电表为背景，学习它的使用方法，研究它的工作原理，进而分析它的电路，并尝试制作一个多用电表。通过本章的学习，我们对直流电路中的规律及其应用，将会有进一步的认识和体会。

1.1 学习使用多用电表

认识多用电表

实践活动 1　了解多用电表的外部构造

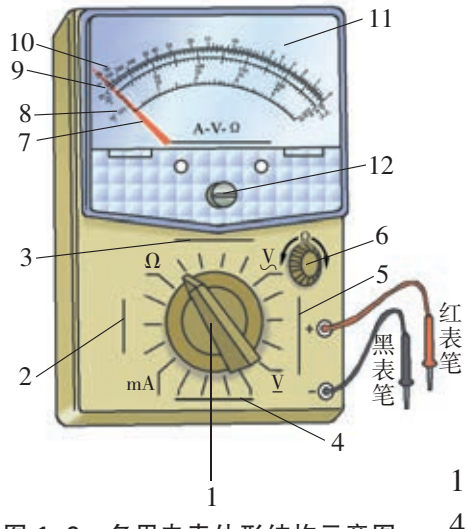


图 1–2　多用电表外形结构示意图

请同学们对照说明书，仔细观察指针式多用电表，思考讨论以下问题：

1. 多用电表从外部看可分为几个部分？
2. 刻度盘上有几条刻度线？各用来测量什么物理量？
3. 多功能选择旋钮主要有哪些功能？每种功能分几挡？
4. 机械调零螺丝和电阻调零旋钮的功能各是什么？
5. 请对照多用电表使用说明书，将图 1–2 所示的多用电表的表盘刻度和选择旋钮的不同作用，标注在下面横线上：

1._____　2._____　3._____

4._____　5._____　6._____

7._____　8._____　9._____

10._____　11._____　12._____

测量电压和电流

实践活动 2　测量电池电压

如图 1–3，用多用电表分别测量 1 节干电池以及 2 节、3 节干电池串联后的电压。

实验前想一想：

1. 应选择哪个挡位和量程？依据是什么？

2. 如果预先无法估计待测的电压是多少，该怎么办？

3. 如果用“50V”以上的大量程进行测量，会有什么问题？为什么？试试看。

干电池	1 节	2 节	3 节
电压(V)			

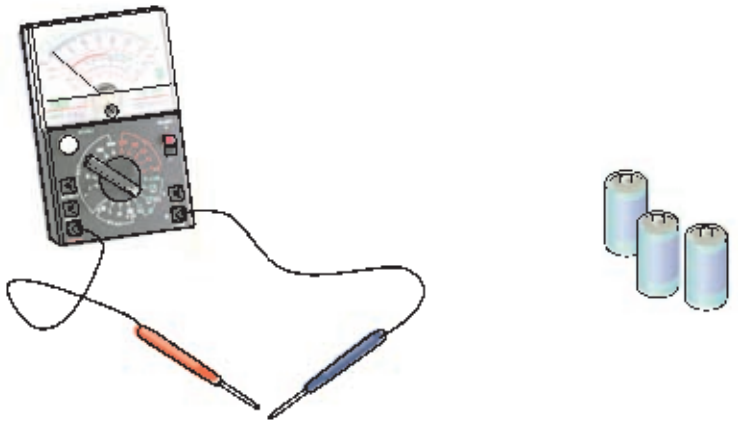


图 1–3　测量电池电压

使用多用电表时要注意：

测量前，应先检查指针是否停在刻度线左端的“0”位置。如果没有，要用螺丝刀轻轻地转动表盘下方的机械调零螺丝，使指针指零。再将红表笔和黑表笔分别插入正(+)、负(–)测试笔插孔，并把多功能选择旋钮转到相应的测量项目和量程上进行测量。读数时，要用跟量程相应的刻度。

测量后，应将选择旋钮转到交流电压挡的最大量程处或“off”处，以保护电表。

实践活动 3　测量负载电压和电流

通过上述活动，你对使用多用电表进行测量已有了一定的经验。现在请你设计一个实验，用多用电表测出小灯泡两端的电压和通过它的电流，并将测量结果填入下表。

灯光亮度	灯丝发红	发光较暗	正常发光
电流(mA)			
电压(V)			

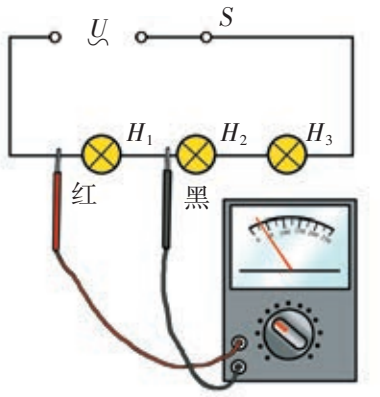


图 1–4　测量低压交流电压

实践活动 4　测量低压交流电压

如图 1–4 所示，用低压交流电源给电路供电，测量每个小灯泡的电压和总电压，并得出你的结论。

小灯泡	L_1	L_2	L_3	电路总电压
电压(V)				
结论				

测量电阻

实践活动 5　测量串、并联电阻值

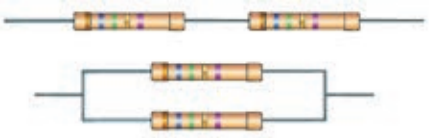


图 1–5　测量串联、并联电阻

在实际的电路中，经常要把电阻串联或并联起来使用，如图 1–5 所示。请用多用电表测量电阻串联、并联后的总电阻。

请设计实验方案，按实验步骤进行实验，并将实验数据填入下表。

电阻	R_1	R_2	R_1、R_2 串联	R_1、R_2 并联
电阻值(Ω)				
结论				

分析一下：你测出的串联电阻值跟每个电阻值间有何关系？并联电阻值跟每个电阻值间有何关系？

理论推导可以得出：

$$R_{串} = R_1 + R_2$$

$$\frac{1}{R_{并}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

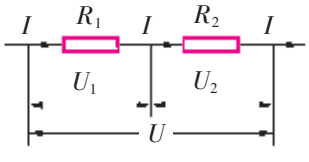


图 1–6　电阻的串联

串联电阻公式的推导　串联电路中电流处处相等，总电压等于各部分电路两端的电压之和。即在图 1–6 中，有

$$U = U_1 + U_2$$

根据欧姆定律，$U = IR$，$U_1 = IR_1$，$U_2 = IR_2$，将它们代入上式，整理后可得

$$R = R_1 + R_2$$

串联电路的总电阻，等于电路中各电阻之和。

并联电阻公式的推导　请根据图 1–7 所示的电路，自行推导出电阻的并联公式。

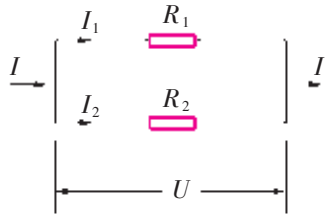


图 1–7　电阻的并联



图 1–8　数字式多用电表



图 1–9　智能多用电表

用多用电表测量电阻还须注意：

选择好量程后，先要把两支表笔的金属杆相接触，调整电阻调零旋钮，使指针指零欧姆。（注意电阻挡刻度的零位在刻度线的最右端）。换用电阻挡的另一量程时，需要重新调零，方可进行测量。测量时，待测电阻要与别的元件和电源断开，并注意不要用手接触表笔的金属杆。测量后，应将选择旋钮转到交流电压挡的最大量程处或“off”处，以保护电表。

信息浏览

常见的几种多用电表

图 1–8 所示的是常见的一种数字式多用电表。随着电子技术的不断进步，数字式多用电表正逐步取代指针式多用电表。智能多用电表（图 1–9）也已问世。

图 1–9 是一种能够自动选择测量功能、自动选择量程并自动开启或关闭电源的智能多用电表。使用者不必做任何调节，拿起表笔就可以测量，非常方便，所以这种多用电表又叫“傻瓜多用表”。

家庭作业与活动

1. 通过本节的学习，你知道多用电表有哪些主要功能？你学会使用多用电表了吗？
2. 走访电工或专业人员，向他们了解多用电表是否还有其他功能。
3. 多用电表的红、黑表笔与实验室常用的电压表、电流表的接线柱功能是否一样？
4. 今后，我们将学习制作多用电表和其他电子器件。因此，需要一个工作台。你可通过访问、调查，购置一些工具，在家里准备一个工作台。

1.2

多用电表表头的工作原理

多用电表测量**电压**(voltage)、**电流**(electric current)、**电阻**(resistance)等多种电学量,都是通过表头指针转动来显示测量结果的。本节就来研究实验室中常用电表表头的工作原理。

利用永久磁铁的磁场对放入其中的通电导线有作用力这一原理制成的仪表,叫做磁电式仪表。这种仪表的刻度盘上有如下所示的识别符号:

观察表头结构

实践活动 1　了解表头结构

请结合实物,对照图1-10,思考以下问题:

1. 表头主要由哪些部分组成?

2. 线圈通电后为什么会转动?

3. 你对表头的内部结构是否清楚?还有什么问题?

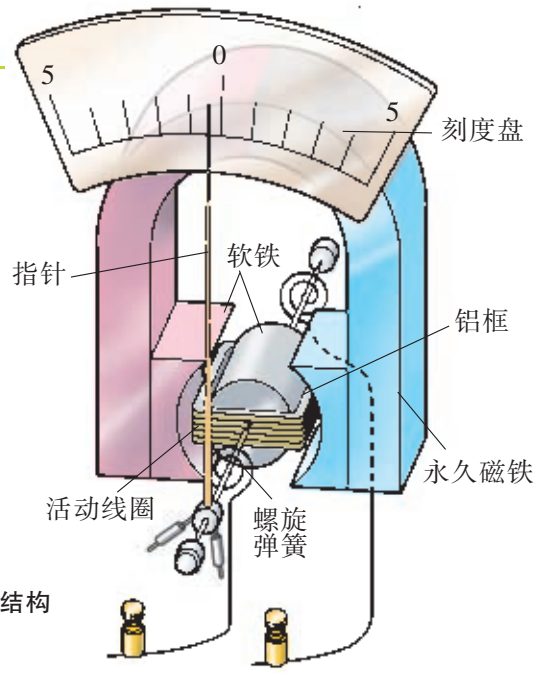


图 1-10　表头的结构



安 培(A. M. Ampere,1775—1863),法国物理学家。在奥斯特(H.C.Oersted)发现电流的磁效应后,他以极精湛的实验技巧和高超的数学技能,经过反复研究,确定了磁场对电流作用力的规律。为了纪念他在这方面的杰出贡献,物理学中把这种力叫做安培力。

探究安培力

初中物理中我们已经知道,通电导线在磁场(magnetic field)中要受到磁场力的作用。磁场对通电导线的作用力叫做**安培力**(Ampere force)。

安培力的应用非常广泛。电流表、电动机等都是利用通电导线在磁场中受到安培力的原理制成的。

用电流表测电流时,电流的大小不同,指针偏转的角度不同。如果电流的方向不同,指针的偏转方向会怎样呢?这是什么原因呢?

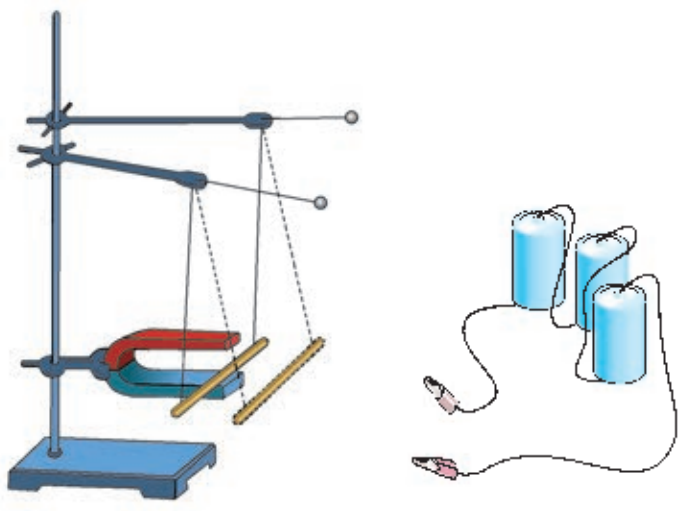


图 1–11　安培力实验

实践活动 2　安培力的方向

安培力的方向跟电流方向、磁场方向存在着怎样的关系呢？

要研究这三者的关系，应该用什么方法进行实验？实验室提供了图 1–11 中的实验器材，请拟定实验步骤进行实验，做好实验记录。

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？

实验表明：安培力的方向跟电流方向、磁场方向之间的关系可用图 1–12 所示的**左手定则**(left-hand rule)判定：**伸开左手，拇指跟四指垂直且在同一平面内，让磁感线**(magnetic induction lines)**垂直穿过手心，使四指指向电流方向，大拇指所指方向就是安培力的方向。**

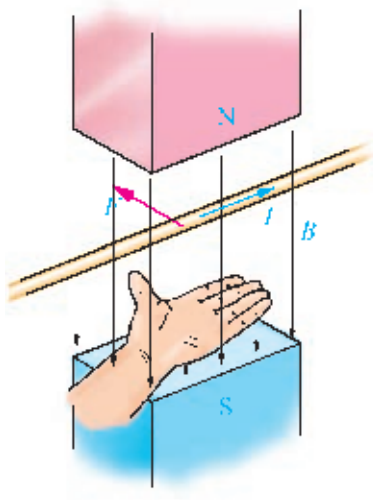


图 1–12　左手定则

你有更好的办法来记忆这三者之间的关系吗？

图 1–13 表示在磁场中有一根与磁场垂直的通电直导线，你能判断出各物理量方向间的关系吗？请在图中用符号标出相应物理量的方向。

人们通常把导线在磁场中的长度称为有效长度。想想看，怎样改变导线的有效长度？

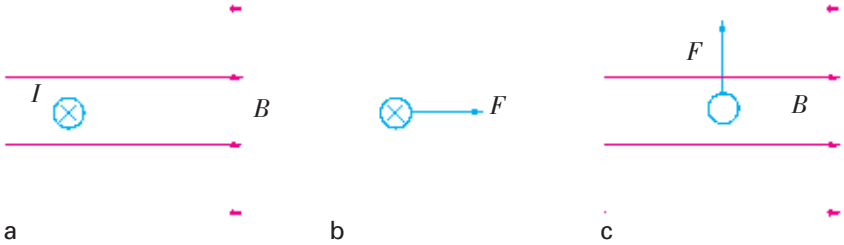


图 1–13　判定相应物理量的方向

本书中用“⊙”表示电流垂直于纸面向外，用“⊗”表示电流垂直于纸面向里；用“·”表示磁感线垂直于纸面向外，用“×”表示磁感线垂直于纸面向里。

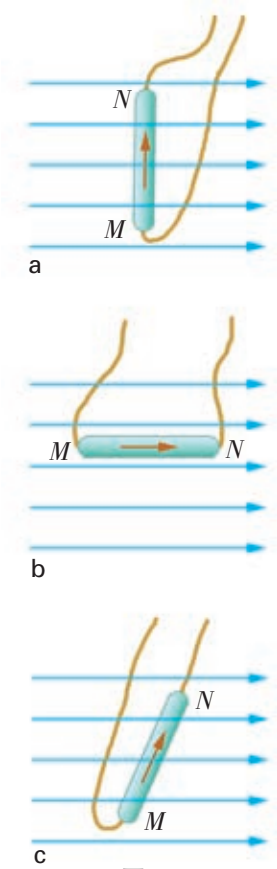


图 1–14

实践活动 3　安培力的大小

我们仍用图 1–11 所示的器材，来研究安培力大小跟哪些因素有关。

通电导线所受的安培力用 F 表示，电流用 I 表示，导线在磁场中的长度用 L 表示，磁场用 B 表示。

请先讨论以下问题，再进行实验。

1. 安培力的大小可能跟哪些因素有关？

2. 怎样用控制变量法，分别研究安培力 F 跟 I、B、L 之间的关系？

3. 你认为本实验有哪些不足和可以改进的地方？

4. 通过实验，你能得出什么结论？

通电导线在磁场中可以有图 1–14 所示的三种放置方法。实验表明，在这三种情况下，导线所受的安培力各不相同。

图 1–14a：通电导线 MN 与磁场方向垂直，它所受的安培力最大；

图 1–14b：通电导线 MN 与磁场方向一致，它不受安培力；

图 1–14c：通电导线 MN 与磁场方向斜交，它所受的安培力介于最大与零之间。

磁感应强度

更精确的实验表明，当导线方向与磁场方向垂直时，通电导线所受的安培力 F 跟电流 I 和导线长度 L 成正比。写成公式就是

$$F = BIL$$

物理学中用 B 来描述磁场的强弱，叫做**磁感应强度**(magnetic induction)。磁感应强度是矢量。在国际单位制中，磁感应强度的单位是特斯拉(T)，简称特。

上述公式中安培力 F 的单位为牛顿(N)，磁感应强度 B 的单位为特斯拉(T)，电流 I 的单位为安培(A)，导线长度 L 的单位为米(m)。

当通电导线与磁场方向垂直时，如果电流 $I = 1\text{A}$，导线长度 $L = 1\text{m}$，而导线所受的安培力 $F = 1\text{N}$，则

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

一般永磁体附近的磁感应强度约为 0.4—0.7 T；电机和变压器的铁芯中，磁感应强度可达 0.8—1.4 T；超导材料的强电流产生的磁感应强度可达 1000 T。地磁场在地面附近的磁感应强度约为 0.5×10^{-4} T；正常人的心脏跳动产生的心磁场磁感应强度约为 10^{-10} T；脑的神经活动产生的脑磁场约为 0.5×10^{-13} T。

表头的工作原理

知道了怎样确定安培力的方向与大小，我们再来研究表头的工作原理。

请思考：磁铁和软铁为什么要制成这种形状？

电流表中的线圈通电后，在磁场中受力转动有什么特点？

如图 1–15 所示的沿半径方向分布的磁场，能保证线圈无论转到何处导线都跟磁感线垂直。电流越大，安培力越大，指针的偏转就越大。

因此，根据指针在刻度盘上所指的位置，就可以读出通过电流表的电流值。

线圈中电流方向改变后，安培力的方向也会改变，指针的偏转方向也会改变。

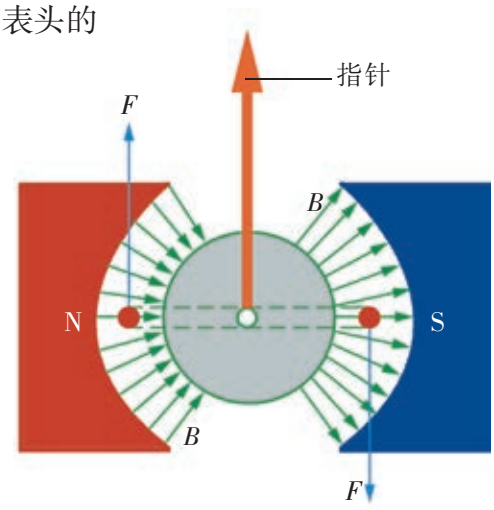


图 1–15　电流表表头中的磁场分布

圆柱形的软铁，可使被磁化后的两软铁缝隙间的磁感线沿半径方向分布。

当通电线圈受安培力作用转动时，连在转动轴上的螺旋弹簧产生的扭力与安培力平衡，使线圈能停在某一位置。

家庭作业与活动

1. 如图 1–16 所示，把一个通电线圈放入蹄形磁铁的两极间，在安培力作用下将发生转动，请问：
   （1）图 a 中线圈怎样转动？
   （2）图 b 中线圈从上往下看是逆时针转动，那么磁铁哪边是 N 极，哪边是 S 极？
   （3）图 c 中线圈从上往下看是逆时针转动，那么线圈中电流方向怎样？
2. 图 1–17 所示两条平行直导线通以同向电流时，会相互吸引；通以反向电流时，会相互排斥。有条件的话，请做一下实验，试解释这一现象。
3. 如今，一个家庭现代化程度越高，所拥有的带有电动机的电器就越多。请统计一下，你家中有电动机的电器有哪些？

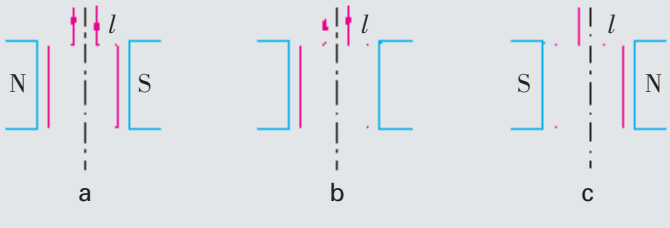


图 1–16

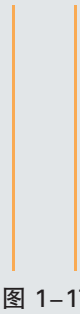


图 1–17

1.3 多用电表测量电流、电压电路的分析

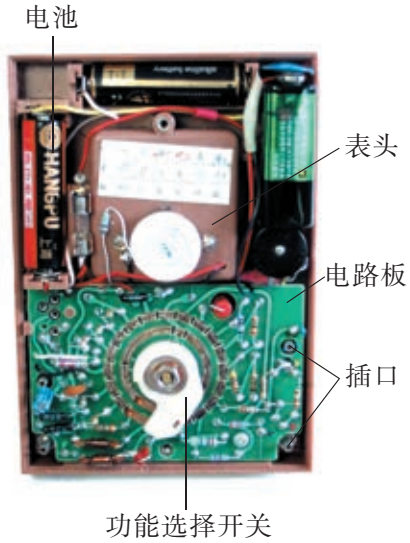


图 1–18　多用电表内部结构和电路板

我们已研究了表头的工作原理。一般表头都是小量程电流表。那么怎样利用它来制成多用电表的呢？图 1–18 是多用电表的内部结构和电路板。多用电表的各种功能都是通过不同电路及其转换来实现的。本节先对多用电表测量电流、电压的电路进行分析。

多用电表测电流电路的分析

电流

为了描述电流的强弱，物理学中把通过导体任一截面的电量跟通过这些电量所用的时间的比值，叫做**电流**(electric current)，用 I 表示。如果时间 t 内通过导体任一截面的电量为 q，那么，电流可用下式表示

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

电流的单位是安培，简称安，符号是 A。

表头的满偏电流和内阻

表头的满偏电流和内阻是它的两个重要技术参数。

表头的电阻 R_g 即表头的内阻，指针偏转到最大刻度时的电流 I_g 叫做**满偏电流**。表头通过满偏电流时，加在它两端的电压 U_g

信息浏览

电路中电子的定向移动速率有多大

电流是电荷定向移动产生的。计算表明，金属导体中，自由电子定向移动的平均速率是很小的，大约是 7.4×10^{-5} m/s。如果从开关到电灯的导线长 1m，开关处的电子运动到灯泡处要用 3 个多小时。为什么合上开关时，不管离开关多远的电灯都会立刻亮起来呢？

原来，电磁场的传播速率跟光的传播速率相同，大约等于 3×10^{8} m/s。合上开关时，整个电路中几乎立刻就产生了电磁场，电路各处的自由电子受电场的作用，差不多同时开始做定向移动。因此，整个电路几乎同时有了电流。

叫做**满偏电压**。由欧姆定律可知，$U_g = I_g R_g$（图 1–19）。

一般微安级表头的 R_g 为几百欧到几千欧，I_g 为几微安到几百微安。多用电表是通过怎样的电路来测量较大电流呢？

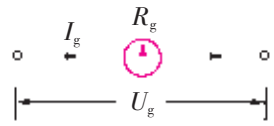


图 1–19　表头的内阻和满偏电流

实践活动 1　电流表的电路分析

在多用电表测量电流的电路中，是将一个小阻值的电阻 R 跟表头并联来实现上述要求的（图 1–20）。

并联电阻 R 在电流表中，对电流 I 起分流作用，叫做分流电阻。

现有一表头，$I_g = 50\,\mu A$，内阻 $R_g = 2000\,\Omega$。如果将电阻 $R = 222\,\Omega$ 跟表头并联改装成电流表，这个电流表的量程有多大？它的量程扩大了多少倍？

分析计算

当表头流过满偏电流时，流过 R 上的电流为 I_R，表头满偏电压 $U_g = I_g R_g = 0.1\ V$。

$$I_R = \frac{U_g}{R} = \frac{0.1}{222} A = 4.5\times10^{-4}\ A$$

并联电路总电流等于各支路电流之和：

$I = I_R + I_g = 4.5\times10^{-4} + 0.5\times10^{-4}\ A = 5.0\times10^{-4}\ A = 0.5\ mA$。

$\frac{I}{I_g} = 10$，即量程扩大 10 倍。

由上述分析计算可知，将 222 Ω 的电阻跟表头并联，并改画表头刻度盘，你就将表头改装成一个 0—0.5 mA 量程的电流表了。

下面，让我们用实验室的表头，按图 1–20 a、b、c 的顺序，观察和测试电阻 R 并联前后表头指针满偏时的电流值，进而研究一下 I 跟 I_g 的一般关系。

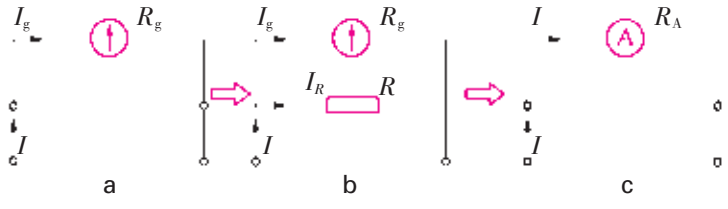


图 1–20　带分流电阻的电流表电路

由上面的实验可知，表头并联了分流电阻 R 后，表头指针满偏时，表头中通过的电流虽然仍然为 I_g，但电流表中却表示被测电流为 I，也就是说，电流表的量程比表头的量程扩大了 n 倍。再改写表盘的刻度值，使表盘上的读数扩大 n 倍。

设 n 为电流表的扩大倍数，则

$$n = \frac{I}{I_g}$$

由欧姆定律可以求得，并联的电阻为

$$R = \frac{1}{n-1} R_g$$

请你用欧姆定律推导上式。

利用这个公式，可以计算设计多量程电流表需要并联的电阻值。

多用电表测量电压电路的分析

实践活动 2　电压表的电路分析

我们已经分析了扩大电流表量程的电路，你能用类似的方法分析扩大电压表量程的电路吗？

1. 分压电阻与表头是串联还是并联？

2. 如果表头的内阻为 R_g，满偏电流为 I_g。当电压表量程扩大 n 倍时，表头应串接一个多大的电阻？写出 R 与 R_g 的关系式：

$R=$_____R_g

3. 在图 1–21a 电路中，如果 $I_g = 50\,\mu A$，$R_g = 2000\,\Omega$，分压电阻 $R = 18\,k\Omega$，则当表头满偏时，允许测量的电压是多少？

图 1–21b 是多用电表电压挡的实际电路，请按上述数据，完成设计、计算工作。

R_1	R_2	R_3	R_4

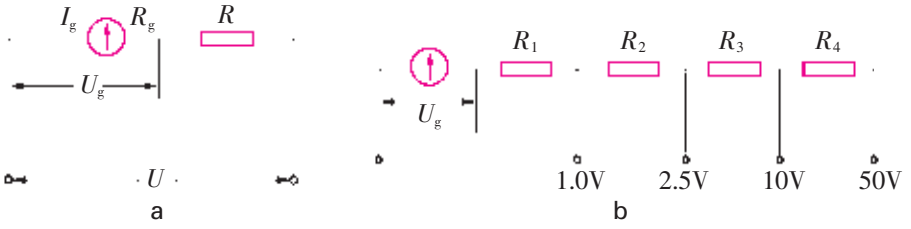


图 1–21　电压表电路图

多学一点

1. 校准改装后的多用电表

改装的电压表和电流表准确吗？用什么方法可以检验它的准确性？

最简单的方法就是用标准的电压表、电流表，进行对比测量（图 1–22），看看自己改装的表是否准确。如果不准确，应怎样调试？

2. 选择旋钮

图 1–23 是 0—0.5 mA、0—5 mA 双量程电流表电路图，图 1–24 是多量程直流电压、电流表电路图。请你研究这两张电路图，看看选择旋钮是如何工作的。

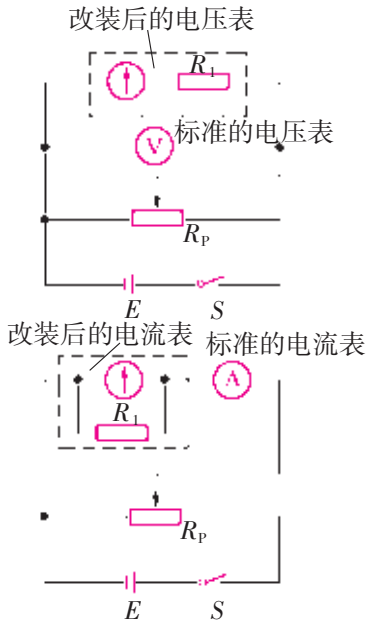


图 1–22　校准改装后的多用电表

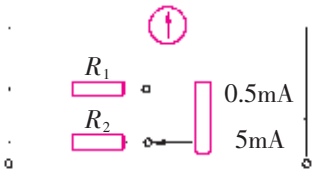


图 1–23　双量程电流表电路图

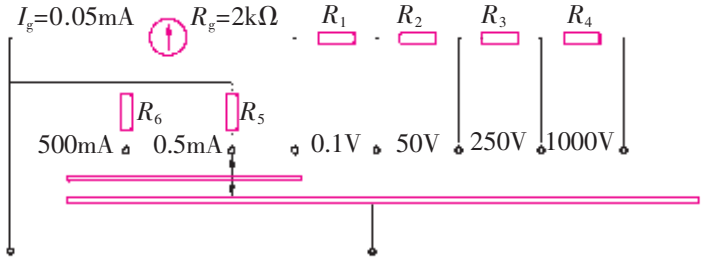


图 1–24　多量程直流电压、电流表电路图

家庭作业与活动

1. 一只电流表的量程是 500μA，内阻是 2kΩ。
   （1）欲将其量程扩大为 5A，则要并联多大的分流电阻？
   （2）欲将其改装成量程为 50V 的电压表，则应串联多大的分压电阻？
2. 已知 R_g=1kΩ，U_g=100mV，如果按图 1–25 的电路改装电压表，试计算分压电阻 R_1、R_2 的阻值。
3. 如果按图 1–26 的电路改装电流表，试计算分流电阻 R_1、R_2 的阻值。
4. 根据图 1–20 及其相关内容，用硬纸板改画、制作一个量程为 0—0.5 mA 的电流表刻度盘。

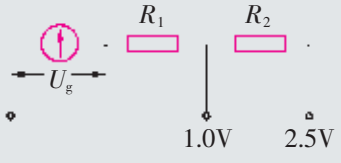


图 1–25　双量程电压表电路图

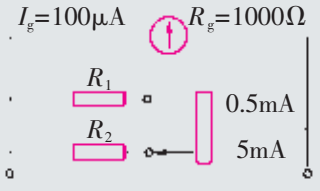


图 1–26　双量程电流表电路图

1.4

电源电动势 闭合电路欧姆定律

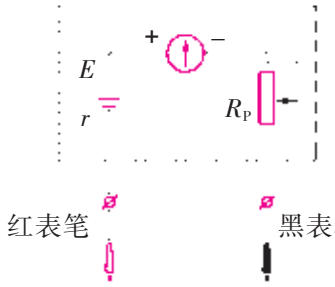


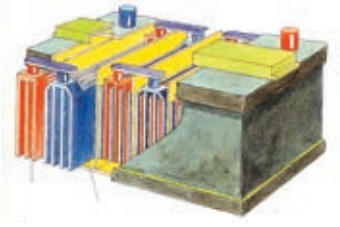
图 1–27　多用电表的测电阻电路

在 1.1 节中，我们用多用电表测量电阻时，可直接读出电阻值的大小。用于测电阻的仪表又叫欧姆表。欧姆表的电路如图 1–27 所示，它与测量电流、电压的电路不同，电路中有一个电源，它在电路中起什么作用呢？

要使电路中有电流，必须有电源(power supply)。电源的作用就是提供电压，使电路中产生电流。

电池是直流电路中常用的电源，常用的电池有干电池、蓄电池、微型电池等，如图 1–28 所示。

你知道电池的性能吗？你知道图中这些电池的用途吗？



蓄电池



干电池



各种微型电池

图 1–28　几种常用化学电池

电源电动势

实践活动 1　测电源的电动势

用多用电表测图 1–28 所示的电源正负极之间的电压，并将测量结果填入下表：

电源名称	1 号干电池	5 号干电池	铅蓄电池
$U_{电源}$ /V			

以上测量的结果相同吗？为什么？

原来，电池是将其他形式的能量转换成电能的一种装置。电池的结构和性质不同，它将其他形式的能转化为电能的本领也不同，因此提供的电压也不同。

物理学中用**电动势**(electromotive force)来表示电源这种本领的大小，它在数值上等于电路断开时，电源两极间的电压。电源电动势用符号 E 来表示，它的单位与电压相同，也是伏特(V)。

实践活动 2　测路端电压

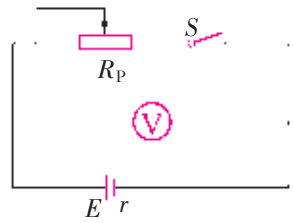


图 1–29　比较电源的电动势和路端电压

按照图 1–29 连接电路，进行实验：改变 R_P 的值，测出 S 断开和闭合时的电压，填入下表。

电压 / V	1	2	3	4	5
$U_{断开}$					
$U_{闭合}$					

在以上实验中，当电阻 R_P 改变时，电压表的示数相同吗？为什么？

闭合电路是由内外两部分组成的。电源外部的电路叫做**外电路**（external circuit），电源内部的电路叫做**内电路**（internal circuit）。内电路也有电阻，简称**内阻**（internal resistance）。当电路中有电流通过时，内电路和外电路都有电压，前者叫**内电压** $U_{内}$，后者叫**外电压** $U_{外}$，又叫**路端电压** $U_{端}$。测量的 $U_{断开}$ 是电动势 E，而 $U_{闭合}$ 则是路端电压 $U_{端}$，$U_{外}$ 总比 E 要小一些。

实验表明：闭合电路中路端电压与内电压之和等于电源电动势，即

$$E = U_{端} + U_{内}$$

闭合电路欧姆定律

设闭合电路中的电流为 I，外电阻为 R，内电阻为 r，根据部分电路欧姆定律，路端电压 $U_1 = IR$，内电压 $U_2 = Ir$，而 $E = U_1 + U_2$，可得出

$$E = IR + Ir$$

$$即\ I = \frac{E}{R + r}$$

上式表明：**闭合电路中的电流 I 跟电路中的电动势 E 成正比，跟整个回路中内、外电阻之和（$R + r$）成反比。**这就是**闭合电路欧姆定律**（Ohm's law for closed circuit）。

用多用电表测量电源的内电阻

实践活动 3　测电源的内电阻

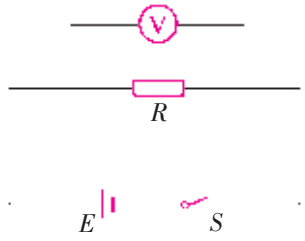


图 1–30　测电源的内电阻

上面用多用电表测量电源的电动势，得出了闭合电路欧姆定律。那么，我们能否利用有关的知识和方法，测量电源的内电阻呢？

请参照下面的设计方案和实验步骤，测量干电池的内阻。

设计方案

图 1–30 给出了一个参考电路。请根据你现有的条件，提出实验方案，画出电路图，选择器材，进行实验。

实验步骤

1. 测出干电池的电动势和定值电阻 R 的值

E =_____

R =_____

2. 连接电路，测出电路中的电流和 R 两端的电压

I =_____

U =_____

3. 由闭合电路欧姆定律，导出电源内阻 r 的表达式，用实验数据算出它的大小

r =_____

交流与评价

1. 本实验中，电阻 R 的大小对实验结果有何影响？
2. 与其他同学的不同实验方案进行比较，哪个方案更好些？

信息浏览

电池的种类

电池的种类按是否可以反复使用分为一次性电池和可充电电池。

干电池

干电池是最常用的直流电源，生活中较常见的干电池是糊式锌–锰干电池。糊状的氯化铵溶液是电池中的电解质。有的干电池用涂有电解质的纸板代替糊状电解质，这种电池叫做板式干电池，高性能干电池大多是板式电池。各种型号的锌–锰干电池的电动势都是 1.5V。

找一只旧的糊式锌–锰干电池，用刀纵向切开，可以看到它的结构，如图 1–31 所示。

干电池是一次性电池，如果锌筒大部分被氯化（俗称“烂掉”），或电解液干涸，这个电池就不能用了。

可充电电池

可充电电池主要有铅酸蓄电池和碱性蓄电池两类。便携式电器中常用的镍镉（Ni–Cd）、镍氢（Ni–MH）和锂离子（Li–Ion）电池都是碱性蓄电池。

镍镉（Ni–Cd）电池

镍镉电池容量高，内阻小，可用于大电流放电。它的理论充电次数高达 800 次。镍镉电池（以及镍氢电池）的额定输出电压仅 1.2 V，不宜用于以干电池为电源的精密电子仪器。

镍镉电池有记忆效应，如果放电不完全就又充电，再放电时，效率就会降低。当然，经几次完整的放电 / 充电循环，能使镍镉电池恢复正常。由于镍镉电池的记忆效应，若未完全放电，应在充电前将每节电池放电至 1V 以下。

镉是比汞更危险的严重污染环境的有毒物质。

锂（Li–Ion）电池

锂电池的比容量（单位重量的容量）和体密度（单位体积的容量）都是电池中最高的，这对于便携式设备而言很重要。锂电池与其他种类的电池相比还具有许多无可比拟的优势：锂电池可以在很宽的温度范围内安全地工作，不会发生爆炸、气胀、漏液等问题而损坏用电器；个别锂电池还可以在 –55℃的低温环境和 +150℃的高温下工作；锂电池的额定输出电压高达 2.7—3.6V。

锂电池的缺点是价格昂贵，目前尚不能普遍应用，主要用于笔记本电脑、通信设备、数码相机、卫星、导弹、鱼雷、精密电子仪器等。另外，锂电池

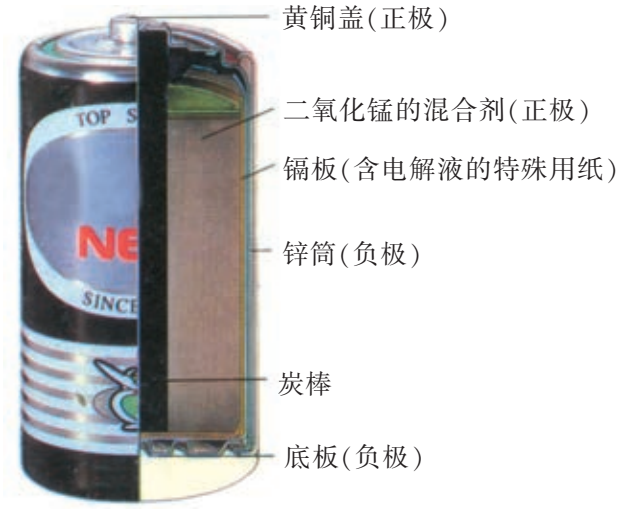


图 1–31　干电池剖面图

的充放电次数为 400—600 次，经过特殊改进的少数产品也不过 800 次。

锂电池的种类很多，常用的有一次性的锂–聚乙烯、锂–二氧化锰、锂–亚硫酰氯、锂–二氧化硫电池，以及可充电的碘化锂电池等。

镍氢（Ni–MH）电池

21 世纪的人类要求“可持续发展”，21 世纪的电池也应当追求“绿色”。

镍氢电池就是这样一种代表着电池发展潮流的新一代碱性可充式电池，它的负极采用了贮氢能力很高的混合稀土型贮氢合金，替代了目前用途最广泛的碱性可充式电池镍镉电池中的镉电极。因此镍氢电池中不含镉、铅、汞等金属有毒物质，对环境无害，且易于回收再利用，注重环保的国家都大力提倡使用镍氢电池。镍氢电池的电压是 1.2V，与镍镉电池保持良好的兼容性，其成本比镍镉电池略高，但远低于锂电池，充、放电电流也远高于锂电池。



图 1–32　镍镉电池



图 1–33　锂电池

下表是几种常见充电电池主要性能的比较。

电池类型	电压(V)	比容量(Wh/kg)	体密度(Wh/L)	循环次数	记忆效应
铅酸	2	低	低	400—600	无
Ni-Cd	1.2	50	150	600—800	有
Li-Ion	3.6	120—140	300	400—800	无
Ni-MH	1.2	60—80	240—300	>1000	轻微

课题研究

电池的品种繁多,用途极广。为了更好地了解电池,正确地使用和选择电池,同学们可按小组进行调查、研究,每组完成下列的某个课题,写出研究报告,然后向全班同学报告小组的研究成果。

课题:

1. 电池的性能:如电动势、容量、可否反复充电使用、充电的次数、如何充电等。
2. 不同的用电器对电池的要求不同,怎样选择电池。
3. 各种电池由于材料不同,对环境的影响也不同。对于废弃电池对环境的污染,我们应采取的对策。
4. 各种电池的价格相差很大,如何从性能价格比的角度考虑。
5. 其他。

参考网址:

http://www.nrem.com.cn/kjjxI/0814_kf2.htm

http://www.ayyz.net/grzy/zbg/ReadNews.asp?NewsID=923

http://www.ebe21.com/subject/chemistry/printer.php?article=1880

http://www.cepio1.com/TecClass.asp?Tec_C1assID=2

调查示例

环境保护与社区密切相关,我们该如何面对这个严峻的问题

——废电池回收率仅百分之一

据报载,随意丢弃的小小一节含汞电池,渗入水体能污染60万升水;一节1号电池进入土壤,烂在土地里,溶出物可使1平方米的土壤丧失农用价值。汞通过食物链在人体内富集,将产生致癌、致畸等后果。特别危险的是镍镉电池中的镉:镉中毒会造成肾脏受损、骨质疏松和骨软化。

上述危害性不听不知道,一听吓一跳。不少社区居民对废干电池的危害性认识不足,把手电筒、手机、BP机、挂钟、半导体、电动剃须刀等用过的废干电池当垃圾随意丢弃。现在,上海城乡有不少百货商场、废品收购站回收废干电池,但目前回收率只有1%左右。

我们建议采取以旧换新的办法购买新的电池,并在公共场所、超市、大商场设置废干电池专用投放箱,供广大市民投放废电池,以减少对环境的危害。

看了这则社会新闻,同学们应该问一问自己,我有没有随便乱扔废电池?希望同学们积极参加"如何处置废电池"的讨论,提出建设性的意见。

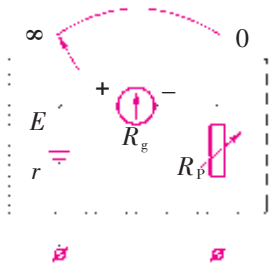
1.5 多用电表测量电阻电路的分析

上一节我们学习了电源电动势和闭合电路欧姆定律，本节就用它们对多用电表测量电阻电路做一些分析研究。

多用电表测电阻电路的基本原理

实践活动 1　欧姆表测电阻的基本原理

图 1–34 是欧姆表的电路图，它由表头和电源以及调零电位器 R_P 组成。用 R_0 表示欧姆表的内阻，由图 1–34 可知



1–34　欧姆表电路图

$$R_0 = R_g + R_P + r$$

当图 1–35a 中红、黑两表笔不接触时，电路中没有电流，指针不偏转（在电流表零位），这表明两表笔间的电阻无限大，此处即欧姆表的 ∞ 刻度。

调零　如图 1–35b 将红黑表笔短接，调节 R_P 使表头指针满偏，表明外接电阻为零，此处即为欧姆表的零刻度。此时

$$I_g = \frac{E}{R_0} \qquad (1)$$

测电阻　如图 1–35c，将被测电阻 R_x 接入两表笔之间，则由闭合电路欧姆定律，有

$$I = \frac{E}{R_0 + R_x} \qquad (2)$$

由（1）、（2）式可知，R_x 的每一个值与 I 的确定值相对应，这就是欧姆表测电阻的基本原理。

请同学们仔细观察欧姆表的刻度线（图 1–36），它是否均匀？你能解释其原因吗？

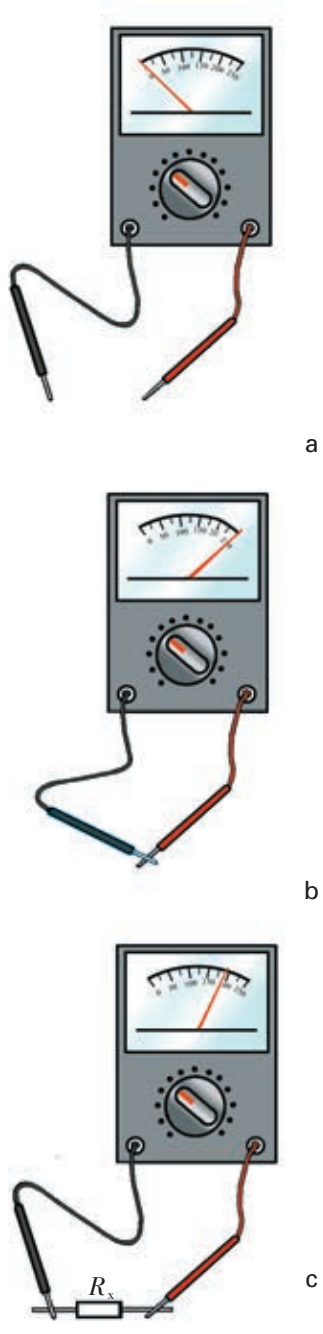


图 1–35　探究欧姆表测电阻的基本原理



图 1–36　欧姆表的刻度线

多学一点　欧姆表的刻度线

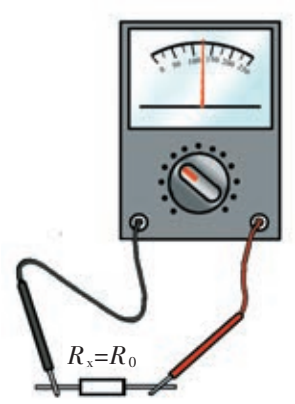


图 1–37　欧姆表的中值电阻值

当表头上未画上欧姆表刻度时，可用一个电阻箱作为 R_x，调节这个电阻箱的电阻，使指针指在表头刻度的中点位置。这时电阻箱的电阻读数即为欧姆表的内阻 R_0。

欧姆表的内阻——中值电阻

如图 1–37 所示，若在两表笔间接入电阻 $R_x=R_0$，则由欧姆定律，

$$I=\frac{E}{R_0+R_x}=\frac{E}{2R_0}$$

$$I_g=\frac{E}{R_0}$$

$$I=\frac{1}{2}I_g$$

此时，表头中电流减少一半，欧姆表指针恰好在刻度尺的中心位置，这就是该欧姆表的内阻值。欧姆表标度尺的中值电阻值就等于欧姆表的阻值。

欧姆表的刻度线

利用中值电阻值可以解释欧姆表的刻度线为什么是不均匀的。

由 $I=\dfrac{E}{R_0+R_x}$　和 $I_g=\dfrac{E}{R_0}$

可得 $R_x=\left(\dfrac{I_g}{I}-1\right)R_0$。

即欧姆表测电阻实质上是把被测电阻跟中值电阻进行对比，因此可根据电流标度刻出相应的阻值。

由上式

若　$I=I_g$　　则 $R_x=0$　　……0 刻度

$I=\dfrac{1}{2}I_g$　　则 $R_x=R_0$　　……中值电阻值

$I=\dfrac{1}{3}I_g$　　则 $R_x=2R_0$

$I=\dfrac{1}{n}I_g$　　则 $R_x=nR_0$　　} ……对应刻度线

当 $n=\infty$ 时　　$R_x=\infty$　　……无限大刻度

扩大欧姆表量程

扩大欧姆表量程实质上就是扩大中值电阻值，这常采用改变

分流电阻等办法来实现。在 R×1k 挡，有时需要多加一节电池，提高电源的电压。

有兴趣的同学自己可查找资料，设计制作一个多量程欧姆表。

导体的电阻——电阻定律、电阻率

电阻是电学中最基本的参数之一，电阻器也是各类用电器中不可缺少的器件。根据电路的要求，人们设计制造了各种各样的电阻器件（简称电阻）。在电子元器件家族中，电阻已成为种类繁多、数量庞大、应用最广的一族。

那么，导体的电阻跟导体的材料、长度和横截面积等有怎样的关系呢？

实验表明，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**（law of resistance）。写成公式，则有

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

式中的比例系数 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**（resistivity）。

从电阻定律的公式看出，电阻率 ρ 的数值等于长度 l=1m、横截面积 S=1m² 的导体的电阻。在国际单位制中，电阻率的单位是欧姆米，简称欧米，符号是 Ω·m。

从下页表可以看出，导体、绝缘体、半导体的电阻率有明显的差别。有的材料在很低的低温条件下电阻率会小到无法测量，电阻值为零，这就是超导现象。

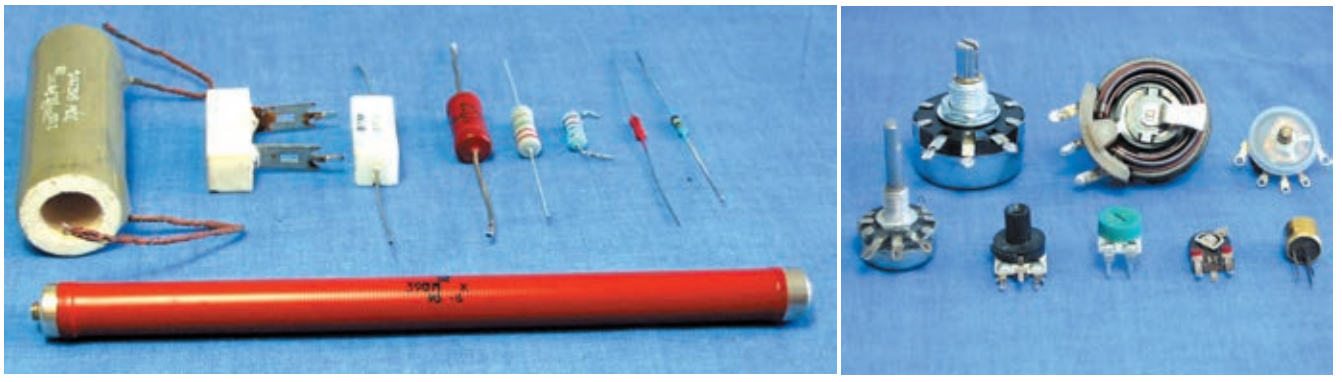


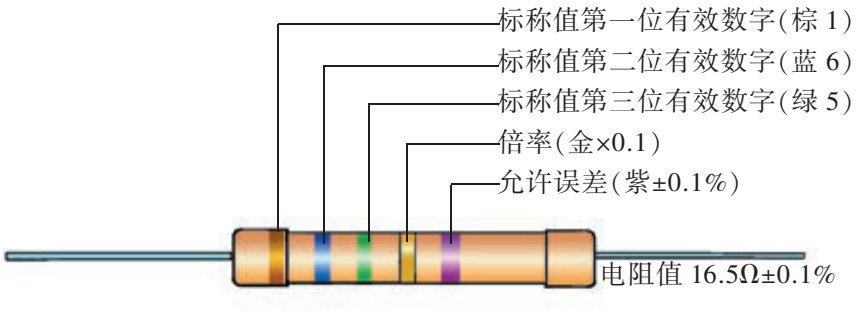
图 1-38　一些常见的固定电阻和可变电阻（电位器）

半导体具有许多特殊的效应，如热电效应、光电效应、磁效应等。在半导体中掺入微量杂质原子，其导电性能将发生很大变化。利用这种特性，可以制成一些特殊功能的电子器件，如晶体二极管、晶体三极管等。

常温下一些材料的电阻率

	材料	电阻率Ω·m
导体	银	1.6×10^{-8}
	铜	1.7×10^{-8}
	铝	2.8×10^{-8}
半导体	锗	0.47
	硅	630
绝缘体	普通玻璃	10^{10}—10^{11}
	云母	9×10^{14}
	热敏电阻材料	10^{14}

技术资料　电阻值和误差的色标法



颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	第三位有效数字	倍率（0的个数）	允许误差
黑	无	0	0	无	
棕	1	1	1	10^{1}	±1%
红	2	2	2	10^{2}	±2%
橙	3	3	3	10^{3}	
黄	4	4	4	10^{4}	
绿	5	5	5	10^{5}	±0.5%
蓝	6	6	6	10^{6}	±0.25%
紫	7	7	7	10^{7}	±0.1%
灰	8	8	8	10^{8}	
白	9	9	9	10^{9}	
金				10^{-1}	
银				10^{-2}	

信息浏览

压敏电阻

压敏电阻是一种在某一特定的电压范围内其电阻随电压的增大而急剧减小的一种敏感元件，它主要应用于稳压和过电压保护，是家用电器和各种电器设备及电子器件的“安全卫士”。

压敏电阻的种类很多，其中最有代表性的是氧化锌压敏电阻。

热敏电阻 PTC

PTC 是正温度系数热敏电阻的简称。作为一种新材料，许多国家都进行了对 PTC 材料的构造机理和实际应用的研究和探索。

目前所应用的 PTC 元件大多数是酞酸钡半导体陶瓷元件。在居里温度以下，PTC 的电阻率在 $10^2\Omega\cdot cm$ 以下，电阻率变化不大；但温度一到居里温度以上，PTC 的电阻率急剧上升，且增加倍数可达 10^3—10^5 倍以上，呈强烈的正温度特性。

PTC 在日常生活中也有广泛的应用，如在微型取暖器、电热灭蚊器、电烙铁、火灾报警器、电保温瓶、电饭锅、电干燥器、电烤炉、电扇、电冰箱和空调器中都有应用。

光敏电阻

光敏电阻是一种电阻值随入射光（一般指可见光）强弱而变化的敏感元件。通常入射光增强时，电阻值下降。

制造光敏电阻器的材料主要是镉的化合物，如硫化镉、硒化镉和硫硒化镉。其次还有锗、硅、硫化锌等。

光敏电阻主要用于光强控制、光电自动控制、光电开关、光电计数、光电安全保护和烟雾报警器等方面。

超导材料

超导材料处于超导态时电阻为零，能够无损耗地传输电能，它向人类展示了诱人的应用前景。目前阻碍超导材料大规模应用的主要问题是它要求极低温。虽然经过近一个世纪的研究，临界温度最高值已提高到 100 K（−173℃）左右，但这跟实际应用还有很大的距离。如果能得到在室温下工作的超导材料，将使整个社会发生巨大的变化。

现已发现有 28 种元素和几千种合金和化合物可以成为超导体。1987 年，美国、中国、日本等国科学家发现处于液氮温区，钡–钇–铜氧化物具有超导性，这个发现使超导陶瓷成为极有发展前景的超导材料。在新的超导材料研究工作方面，我国走在了世界的前列。

家庭作业与活动

1. 利用图书馆或上网查寻介绍超导现象的科普材料，着重了解高温超导研究的情况以及我国高温超导研究情况等，撰写一篇有关的读书报告。
2. 走访专业人员或相关部门，了解电阻值色标法和数值法及其使用问题。
3. 上图书馆或上网进一步了解、认识除压敏电阻、热敏电阻和光敏电阻外的其他种类电阻，并写一篇介绍电阻的种类及应用的科普短文。

1.6

多用电表功能的扩展

图 1–39 是一块电路板。我们看到，上面除了有电阻外，还有电容器、晶体管、集成电路等元器件。多用电表除了能测量电流、电压和电阻外，是否还有测量其他元器件的功能呢？

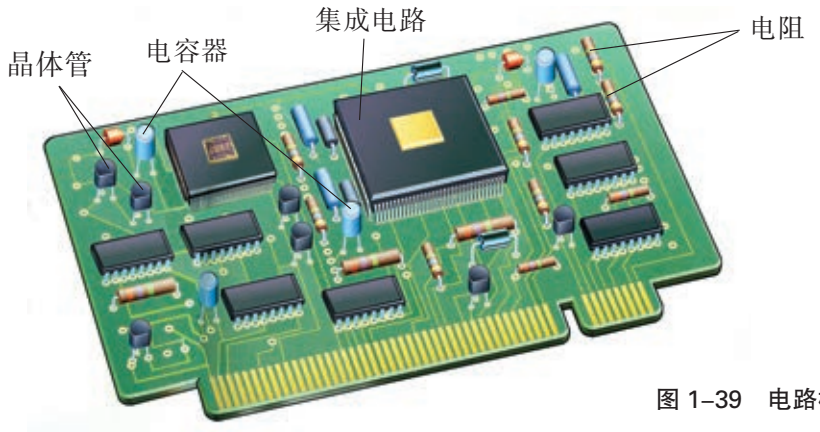


图 1–39　电路板

用多用电表测试晶体二极管

晶体二极管(crystal diode)，简称二极管，它是用半导体材料制成的。按制造材料的不同，二极管可分为硅二极管和锗二极管。二极管有两根引线，一根叫正极，一根叫负极(图 1–40)。

怎样判别二极管的正负极呢？

多用电表的负插口(黑表笔)与表内电池的正极相连；多用电表的正插口(红表笔)与电池的负极相连。

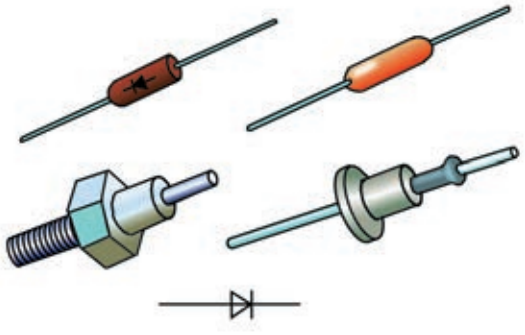


图 1–40　晶体二极管和它的符号

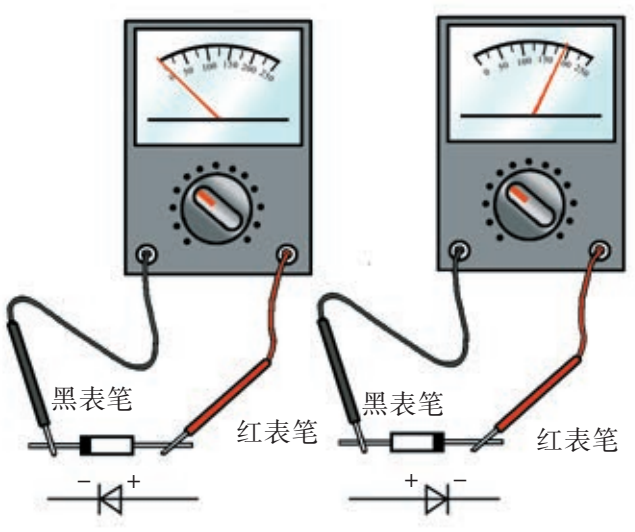


图 1–41　判别二极管的正、负极性

实践活动 1　判别二极管的正负极

如图 1–41 所示，用多用电表电阻挡分别测试二极管正、反方向的电阻。两次测量电阻值显然是不一样的。其中测量出阻值小的那次，红表笔所接的一端为负极，另一端为正极。

二极管具有单向导电性，其正向电阻很小，反向电阻很大。二极管正、反向电阻值相差越大质量越好；相差无几则质量不好。若正、反向电阻都为零或都为无限大，则说明二极管内部短路或断路。



图 1–42　普通二极管外形

识别三极管

多学一点　晶体三极管的电极判定

晶体三极管(crystal triode)，简称三极管(triode)，分 PNP 型和 NPN型两类，是由三块半导体材料和引线外壳组成的，常见的三极管外形见图 1–43。

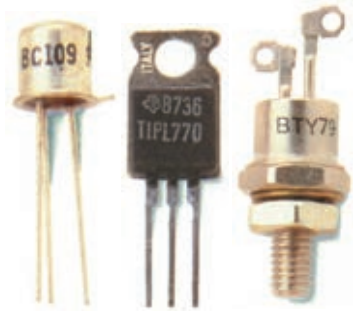
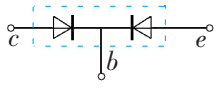


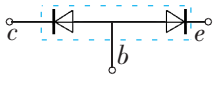
图 1–43　常见三极管的外形

1. 判断三极管是 NPN 型还是 PNP 型，并识别基极 b(图 1–44)。

PNP 型三极管　

可以把 PNP 型三极管看成是两个负极对接的二极管。若将红表笔接某一管脚，黑表笔分别接另外两管脚，测得电阻均较小，且为 1 kΩ 左右，则红表笔所接的管脚即是三极管的基极 b。若电阻一大一小或都大，可将红表笔另接一脚再试，直到两个阻值均小为止。

若黑表笔接基极 b，红表笔接发射极 e 或集电极 c，则电阻都大。

NPN 型三极管　

可以把 NPN 型三极管看成是两个正极对接的二极管。当黑表笔接基极 b，红表笔接其他两极时，电阻都很小，且在 5 kΩ 左右。反之，电阻都很大。

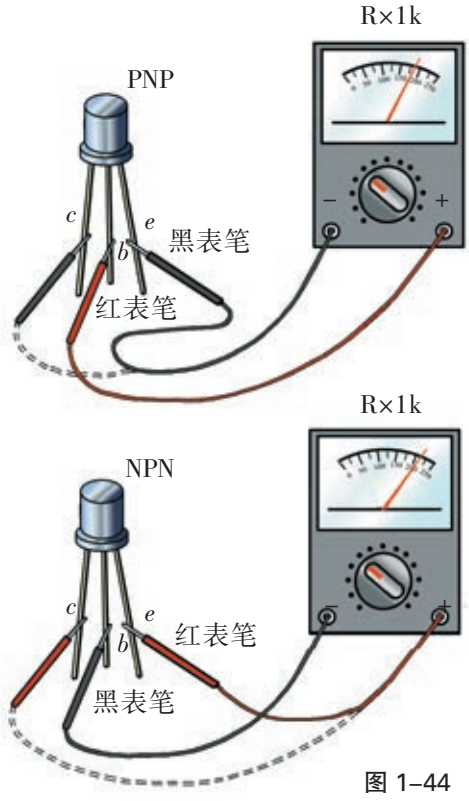


图 1–44

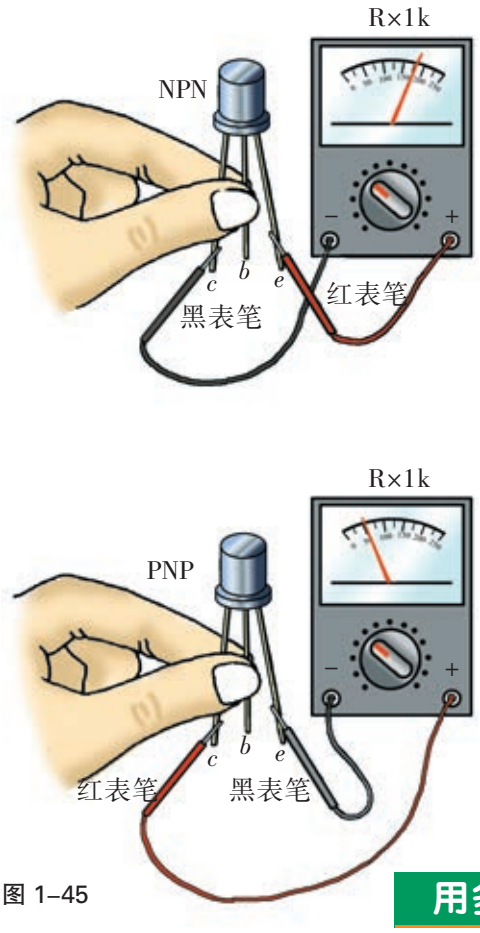


图 1–45

2. 识别三极管的集电极 c(图 1–45)

利用三极管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理,可以识别集电极 c。

用潮湿的手指捏住基极 b 和另一极(利用人体电阻给基极一个偏置电流),然后用两表笔分别接基极以外的两个管脚。比较两次读数:

对 NPN 管,指针偏角大、电阻小的一次中,黑表笔所接的即为集电极 c。

对 PNP 管,指针偏角大、电阻小的一次中,红表笔所接的为集电极。

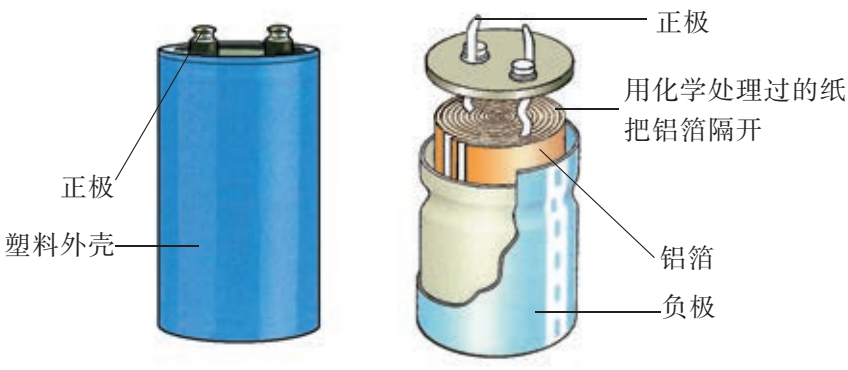
注意:在识别出集电极的那次测量中,指针偏角越大,说明该管的电流放大系数(β 值)越大。

晶体三极管具有放大电流等作用,在电子线路中使用非常广泛。有兴趣的同学可以查找资料,了解一下它有哪些作用和应用。

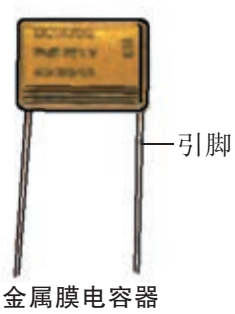
用多用电表测试电容器

什么是电容器

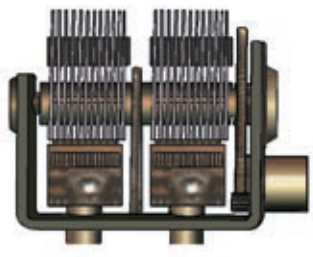
电容器(capacitor)是储存电荷的一种装置,它由两个相互靠近、彼此绝缘的导体组成,这两个导体称为极板。电容器在电子技术和工业技术中有极其重要的作用。常见电容器及其结构、符号如图 1–46 所示。



电解电容器



金属膜电容器



可变电容器



电容器符号

图 1–46　电容器及符号

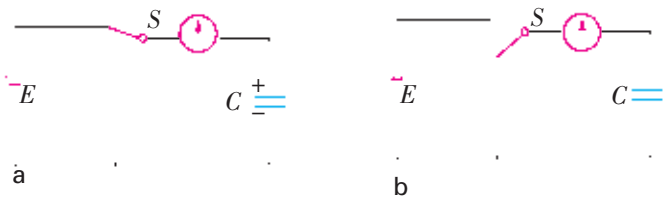


图 1–47　电容器的充电和放电

使电容器带电的过程，叫做电容器充电。如图 1–47，充电后极板上就会带上等量的异种电荷，两极板间就产生电压。电荷越多，极板间电压越大，两板间形成的电场就越强。

磁铁周围具有磁场，电荷的周围存在电场，以后我们还要研究它。

如果用导线将电容器的两极板接通进行放电，两极板间的电荷就会中和，电容器不再带电。电容器在充电、放电的过程中，有电流在电路中通过。

不同的电容器带等量电荷时，电压的值不同。我们用电量跟电压的比值来表示电容器的这一特性，它叫做电容器的**电容**，用 C 表示，$C = \frac{Q}{U}$。

国际单位制中，电容的单位是法拉，符号为 F。一个电容器如果所带电荷量为 1C(库)，两极板之间电压恰为 1V，这个电容器的电容就是 1F。实际应用中常用较小的单位微法(μF)和皮法(pF)。

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

实践活动 2　判断电解电容器是否断路或漏电

利用多用电表的电阻挡可以判断电容器是否断路或漏电。用 ×1K 挡测具有正、负极的电解电容器两脚之间的电阻，表针摆到一定的数值后，应返回起点或接近于起点，离起点越远则表示漏电越大。如果指针根本不动，则可能电容器断路(或电容器的电容很小)；若指针摆动后不返回，则说明电容器漏电。

请思考：

1. 为什么要用电阻挡进行测量？多用电表的表笔应怎样连接？

2. 为什么好的电容器，表针摆到一定的数值后，应返回起点或接近于起点？

3. 为什么说电容器断路时，指针根本不摆动？

多用电表的应用十分广泛，有的多用电表还有测电容和电感以及晶体管参数等功能。有兴趣的同学，可以查找有关书刊或上网查阅资料。

技术资料

电气技术常用文字和符号

名称	文字	符号	名称	文字	符号	名称	文字	符号
正极		+	电阻	*R*		二极管	V	
负极		−	可变电阻	R_P		发光二极管	D	
直流	DC		电容	*C*		光电池		
交流	AC		极性电容			传声器	B	
交直流			电感线圈	*L*		天线	W	
永久磁铁			铁心线圈			避雷器		
接地			蜂鸣器	HBL		直流发电机	G GD	
保护接地			扬声器	B BS		交流发电机	G GA	
接机壳			熔断器	F FU		直流电动机	M MD	
电池	*E*		按钮开关	SB		电能表		
导线连接			电流表	A PA		示波器		
导线不连接			灯	H HL		电铃	B	
插头插座			开关	*S*		受话器		

家庭作业与活动

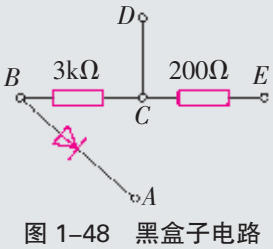


图 1–48　黑盒子电路

1. 黑盒子就是一个密封的盒子，其中有电源、电阻、电容、晶体二极管等元器件组成的电路。使用多用电表可探究盒内的电路结构。

图 1–48 是一个黑盒子内的电路（探究前不知道），*A*、*B*、*C*、*D*、*E* 是露在盒外的五个接线柱。请你用多用表探究其电路结构，并与同学讨论。

(1)用直流电压挡测得 *A*、*B*、*C*、*D*、*E* 各点之间均无电压，说明了什么？

(2)用电阻挡测得 *B*、*E* 间正反接阻值不变，说明了什么？

(3)用电阻挡测量，黑表笔接 *B* 点，红表笔接 *A* 点，有阻值；反接阻值很大，说明了什么？



图 1–49

2. 如图 1–49 所示，在方框内共有两个完全相同的定值电阻和一个二极管，现利用多用电表的电阻挡来判断其可能的连接方式：①黑表笔接 *a* 点、红表笔接 *b* 点时，有电阻 *R*；黑表笔不动而红表笔接 *c* 点时，电阻增大（比电阻 *R* 略大）。②黑表笔接 *c* 点、红表笔接 *d* 点时，有电阻 *R*；黑表笔不动而红表笔接 *b* 点时，有电阻且阻值很大。

根据以上测量结果，画出可能的一种连接方式。

3. 能否用多用电表检测黑盒子内是否存在电容？若能，如何检测？

1.x

第 1 章家庭作业与活动

1. 电源的电动势为 1.5 V，内电阻为0.22 Ω，外电路的电阻为 1.28 Ω。求电路中的电流和路端电压。
2. 在图 1–50 所示的电路中，如果电源电动势为 6 V，内电阻为 0.1 Ω，试求滑线变阻器电阻分别为 0.9 Ω、99.9 Ω 时的路端电压。
3. 在图 1–51 中，当滑线变阻器的滑片在某位置 1 时，电流表和电压表的读数分别为 I_1 = 0.2 A，U_1 = 1.8 V；当滑线变阻器的滑片在另一位置 2 时，电流表和电压表的读数分别为 I_2 = 0.4 A，U_2 = 1.6 V。求电源的电动势和内电阻。
4. 电源的电动势为 6 V，外电路的电阻为 3.5 Ω，电流为 1.5 A。如果发生短路，电流将达到多大？
5. 太阳能电池由许多片电池板组成，某电池板的开路电压是 600 mV，短路电流是 30 mA，求这块电池板的内电阻。
6. 在赤道上，地磁场可以看做是沿南北方向并且与地面平行的匀强磁场，磁感应强度是 5×10^{-5} T。如果赤道上有一条沿东西方向的直导线，长 20 m，载有从东向西的电流 30 A，那么地磁场对这根导线的作用力有多大？方向如何？通过计算你会发现，虽然地磁场很弱，但由于导线比较长，通过的电流又比较大，安培力并不算小，完全可以测量出来。
7. 如图 1–52 所示，电动机模型的矩形线圈长 5 cm，共 20 匝。通入 1A 电流，磁场的磁感应强度是 0.5 T（当作匀强磁场考虑），则线圈长边一侧受到的最大安培力是多少？如果通入 2 A 的电流呢？
8. 在实用的直流电动机里，电枢的绕组是由许多匝线圈互相错开构成的。用多匝线圈做转子的原因是
   A. 导线越长，电阻越大，通过绕组的电流小，可以保护电动机
   B. 导线匝数越多，每匝上的电压越小，可以保护电动机
   C. 通电后每匝导线都受到安培力的作用，匝数越多，合力越大
   D. 各组线圈中性面互相错开，起动时没有死点
9. 了解多用电表的其他用途，如测三极管的穿透电流和初步测定三极管的 β 值等。
10. 走访专业人员或去图书馆和上网，了解多用电表的其他一些用法，组织报告会，更多地知道多用电表的作用。

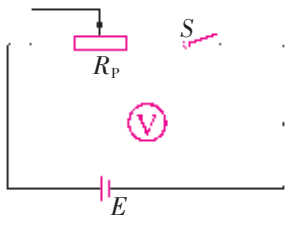


图 1–50

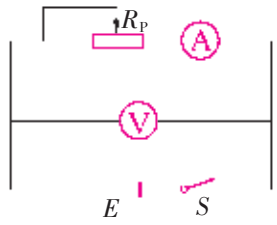


图 1–51

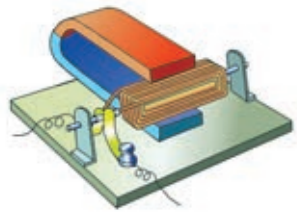


图 1–52

课外活动

分成小组，根据图 1–25 和图 1–26 在实验室改装双量程电压表和电流表，并分别校准，然后相互评议。

第 2 章
显像管与电磁力

显像管是电视机和电脑的主要部件。通过它，现实世界中的万千气象和艺术殿堂中的精美作品都栩栩如生地呈现在人们眼前。那么，显像管的基本构造是怎样的呢？它又是如何工作的呢？

在本章中，你将首先学习示波器(oscilloscope)的使用方法，然后研究示波管的构造和工作原理，进而学习电视机显像管和加速器的基本工作原理，进一步了解电磁技术与现代科技的关系。

2.1 学习使用示波器

熟悉示波器

实践活动 1　熟悉示波器的面板

使用示波器，首先要熟悉示波器面板上的各个开关、旋钮和接线柱。下面是一份 J2459 型学生示波器说明书上的相关内容。请对照实物，了解这些旋钮、开关和接线柱的名称及作用。



图 2-1　J2459 型学生示波器面板

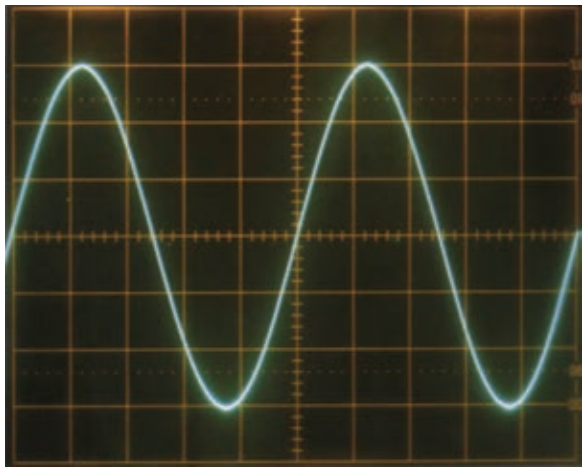


图 2-2　示波器上显示的一种信号

1——**电源开关**。

2——**辉度调节旋钮**,用来调节图像亮度,示波器不用时应将其沿逆时针方向旋转到底。

3——**聚焦调节旋钮**，用来调节电子束在荧光屏上的聚焦情况,以使图像清晰。

4——**辅助聚焦调节旋钮**,通常与聚焦调节旋钮配合使用。示波器不用时,聚焦调节旋钮和辅助聚焦调节旋钮都应旋在中间位置。

5——**电源指示灯**,电源接通时亮,电源断开时灭。

6——**竖直位移旋钮**,用来调节图像在竖直方向上的位置。

7——**水平位移旋钮**,用来调节图像在水平方向上的位置。

“Y 增益”旋钮——用来调节图像在竖直方向上的幅度。

“X 增益”旋钮——用来调节图像在水平方向上的幅度。

“衰减”旋钮——用来降低输入信号的电压,使得荧屏上出现的图像大小适当。该旋钮分 1、10、100、1000 以及∽共五挡。1 挡对信号电压不作衰减,10、100、1000 各挡则把信号电压依次衰减为原来的 $\frac{1}{10}$、$\frac{1}{100}$、$\frac{1}{1000}$,∽挡根本不接受输入信号,由示波器自行提供竖直方向按正弦规律变化的交流电压。

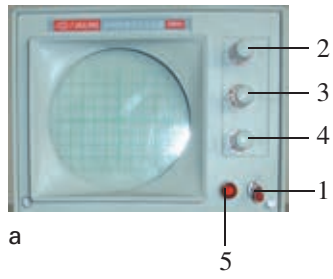
“扫描范围”旋钮——用来改变机内提供的水平方向扫描电压的频率范围,该旋钮从左到右也有五挡。第一挡提供的扫描频率是 10—100Hz,以后每向右调一挡,扫描频率增大到原来的 10 倍。但最右一挡是“外 X”挡,用这一挡时水平方向上的扫描电压由外部输入。

“扫描微调”旋钮——用来对选定范围内的扫描频率进行连续的调节,以使波形稳定。

“Y 输入”和“X 输入”接线柱——分别让竖直方向和水平方向的信号电压输入。

“地”接线柱——接地线。

我们使用任何新仪器，都要首先阅读说明书，了解仪器上各操作部件的作用。不同型号的示波器，面板上各旋钮开关的位置会有所不同。



a



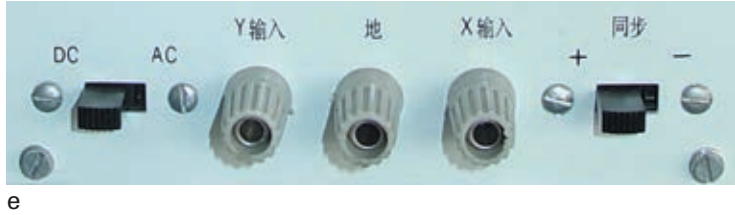
b



c



d



e

图 2-3　J2459 型示波器面板分解图

“DC　AC”选择开关——用来选择竖直方向上信号的输入方式。当置于“DC”位置时，信号电压直接输入，这种选择适用于观察低频及含有直流分量的信号；当置于“AC”位置时，信号电压要通过一个电容器，因而直流信号被阻隔，只有交流信号能通过，这种选择适用于观察交流信号。

“同步”选择开关——用于选择极性。当置于“+”位置时，荧光屏上显示的正弦曲线从正半周开始；当置于“-”位置时，正弦曲线从负半周开始。

实践活动 2　调节示波器

如何调节这些旋钮，以改变图形在荧屏上的位置和形状？让我们用实验观察荧光屏上的亮斑，并进行调节，进一步熟悉一些旋钮的作用。

1. 按照示波器说明书中的操作步骤，调节有关旋钮，直到荧光屏的中央出现一个亮斑。

2. 调节聚焦调节旋钮和辅助聚焦调节旋钮，使亮斑最圆最小。

3. 调节竖直位移旋钮，观察亮斑怎样移动。

4. 调节水平位移旋钮，观察亮斑怎样移动。

5. 想一想：示波器为什么能控制亮斑的大小和移动情况？

示波器出厂前已校准。当“衰减”旋钮位于“1”挡，“Y 增益”旋钮顺时针转到底时，如果输入电压为 50mV，则亮斑恰好偏移一格。

实践活动 3　观察亮斑偏移距离跟输入电压的关系

1. 将示波器的“DC　AC”开关置于“DC”位置。按图 2–4 连接电路，电源为一节干电池。

2. 想一想：图 2–4 中输入示波器的是怎样的信号？

3. 闭合开关 S，逆时针旋转“衰减”旋钮，使衰减逐步减小，应观察到亮斑向上偏移；再调节“Y 增益”旋钮，使亮斑偏移一段适当的距离。

4. 若想使亮斑向上偏移增大，应怎样改变输入电压？怎样调节变阻器的滑片 P？

5. 若把电池的正负极对调，亮斑的位置是否改变？

6. 想一想：为什么亮斑的偏移与输入电压有关系？

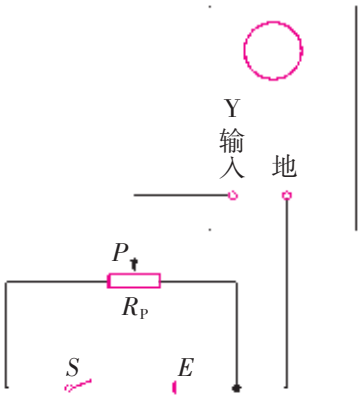


图 2–4　实践活动 3 的电路图　向左移动滑片 P 时，滑片和电池负极间的电压增大，即输入电压增大

使用示波器

实践活动 4　用示波器测量直流电压

由实践活动 2 可知，亮斑偏移的距离跟输入电压成正比，因而用示波器可以测量电压。

1. 将“DC　AC”开关置于“DC”位置，将“Y 增益”旋钮顺时针转到底。先将“Y 输入”和“地”连接，调节亮斑，使它处于荧屏方格坐标的正中，然后断开“Y 输入”和“地”的连接。

2. 请思考：为什么“Y 输入”和“地”连接时，亮斑不会上下偏移？

3. 参考图 2–4，将一节干电池的正极接在“Y 输入”接线柱上，负极接在“地”接线柱上。想想看：亮斑将向什么方向偏移？

4. 适当调节“衰减”旋钮，若亮斑的偏移格数为 n，则被测电压值是多少？

实践活动 5　观察声波的波形

1. 如图 2–5，接通电源，调节好示波器的辉度和亮斑，将扩音机输出端接示波器的“Y 输入”端，将“衰减”旋钮依次置于 100、10、1 挡，再调节“Y 增益”旋钮，使荧光屏竖直方向有波形即可。

2. 对着话筒轻声或大声唱歌，观察比较荧光屏上的声波波形。

通过以上的实践活动，你一定熟悉了示波器上一些旋钮和开关的作用。你还可以在教师的指导下，对其他的旋钮和开关做进一步的探究。



图 2–5　用示波器观察声波波形

家庭作业与活动

1. 说出示波器面板上各个开关和旋钮的名称及作用。
2. 在图 2–4 所示的实验中，改变竖直方向的直流电压，亮斑在竖直方向的偏移为什么会随之改变？
3. 在图 2–4 所示的实验中，竖直方向的直流电压大小与亮斑在竖直方向的偏移大小是什么关系？
4. 顺时针旋转辉度调节旋钮，为什么荧光屏上即出现一个亮斑？

2.2

示波管与电场力

示波管的内部构造

示波管是示波器的核心部件，它由电子枪、偏转电极和荧光屏组成，管内抽成真空，如图 2–6 所示。图 2–7 是示波管中电子枪的原理图。

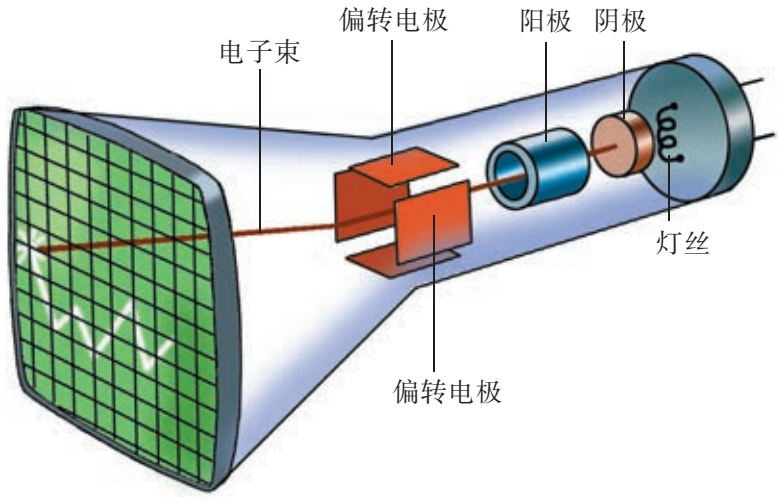


图 2–6　示波管构造图

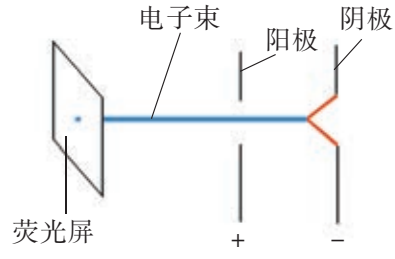


图 2–7　电子枪原理

研究示波管的工作原理

实践活动 1　观察带电粒子在电场中的运动

观察图 2–8 所示的实验。电子枪发出的电子束可以使管内的低压水银蒸气（或氢气）发出辉光，显示出电子束的径迹。

1. 接通电源后，灯丝发红，但没有出现电子定向射出的现象，这是为什么？

2. 加大两极板间的电压，可看到电子从被加热的阴极定向射

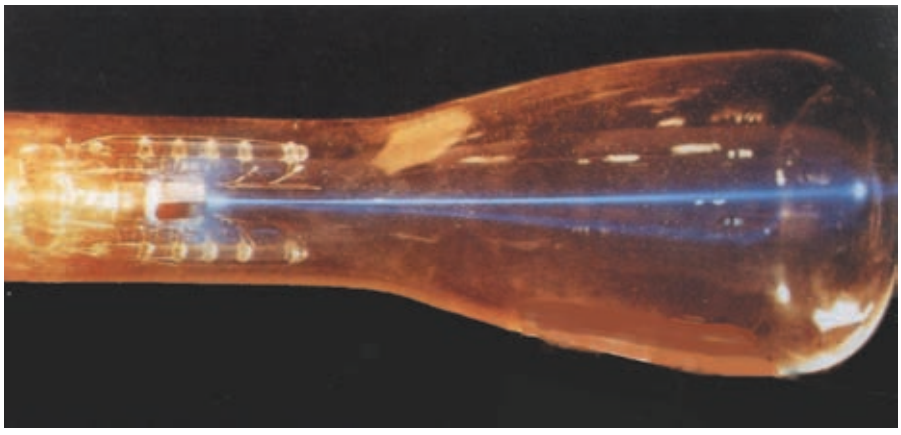


图 2-8　带电粒子在电场中加速



J·J·汤姆生(J. J. Thomson, 1856—1940),英国物理学家。1897 年,他通过实验确定:从阴极射线管的阴极发出的射线是高速运动的电子束。他因在“气体导电方面的理论和实验研究”而获得了 1906 年的诺贝尔物理学奖。

出,到达示波器的荧光屏上,荧光屏上出现一个亮斑,如图 2-8。

3. 为什么增加两极板间的电压,电子就能从阴极定向射出呢?

电场力

电子枪发出的电子为什么能射到荧屏上呢?

电荷周围存在着一种叫做**电场**(electric field)的物质,电场对处于其中的电荷有力的作用,这个力通常称为**电场力**(electric field force)。电子枪发出的电子就是因为受到电场力的作用而射到荧屏上的。

物理学中把电荷在电场中某一点受到的电场力 F 跟它的电荷量 q 的比值叫做该点的**电场强度**(electric field strength),简称**场强**。电场强度表示电场的强弱,通常用符号 E 表示,即

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

电场强度的单位是伏[特]每米,符号是 V/m。1N/C=1V/m。如果 1C 的电荷在电场中的某点受到的电场力是 1N,这一点的电场强度就是 1V/m。

如果已知电场中某一点的场强 E,就可以求出电荷 q 在这点所受的电场力

$$F = qE$$

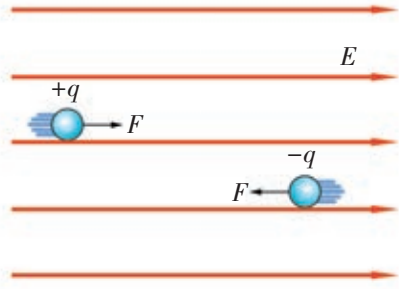


图 2-9　匀强电场

在两块平行极板上加上电压,两极板就分别带上正负电荷,极板之间就会形成如图 2-9 所示的电场。这种电场的场强处处相同,叫做匀强电场(uniform electric field)。正电荷在电场中受到的电场力方向与场强方向相同;负电荷受到的电场力方向与场强方向相反。

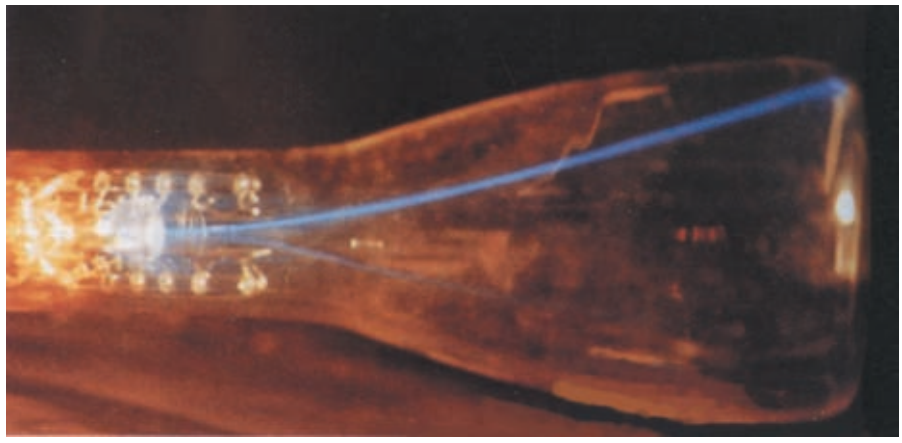


图 2–10　带电粒子的偏转

可以证明，电子的偏转距离跟所加的偏转电压成正比。

电场强度是矢量，物理学中规定，电场中正电荷在某点所受电场力的方向就是这点电场强度的方向。

电子的加速与偏转

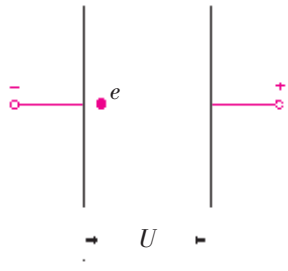


图 2–11　电子在电场中的加速

如图 2–11，当在两平行板上加一电压 U 时，两极板间就形成一个电场。电子在电场力的作用下，由静止开始从负极板向正极板做加速运动，这就是电子在电场中的加速。

实践活动 2　观察带电粒子在电场中的偏转

1. 在图 2–8 所示实验的基础上，调节“Y 输入”和“地”之间的电压，可以看到，当电压增大时，电子束向上偏转，荧光屏上的亮斑随之向上偏移，如图 2–10。

2. 改变电压的方向，电子束将怎样偏转？

3. 增大电压，电子束将怎样偏移？

4. 在电子运动路径的两侧加上一个电压，为什么电子束就会发生偏转？

带电粒子经加速电场加速后，沿水平方向进入偏转电场，粒子在与其速度垂直的方向上受到电场力作用，因而发生偏转，就

像水平抛出的物体在重力场中做平抛运动一样(图 2–12)。

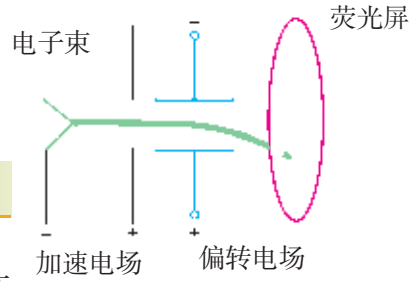


图 2–12　电子束的偏转原理图

示波管的原理

如果加在竖直偏转电极上的电压按正弦规律变化,电子束在荧光屏上形成的亮斑也将按正弦规律变化。当电压变化很快时,亮斑的移动也很快，由于视觉暂留效应和荧光物质的残光特性,亮斑的运动径迹看起来就成为一条竖直的亮线。

同样,如果只在水平偏转电极上加电压,亮斑就在水平方向发生偏移。如果加上的电压随时间变化,那么亮斑的位置就在水平方向上随时间变化。如果加上特定的呈周期性变化的电压,亮斑在水平方向上从一侧匀速地运动到另一侧，又迅速返回原处,再匀速地运动到另一侧,如此反复。这个过程叫做扫描,所加电压叫做扫描电压。如果扫描电压变化很快,亮斑的运动径迹看起来就成为一条水平的亮线。

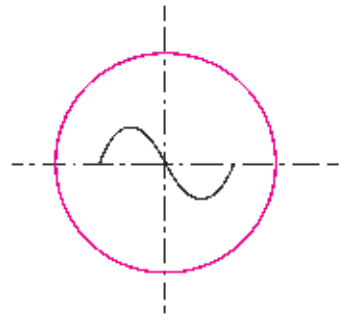


图 2–13　按正弦规律变化的信号电压波形图

通常,加在竖直偏转电极上的电压是要研究的信号电压。如果信号电压是周期性的,且周期与扫描电压的周期相同,荧光屏上就会显示出信号电压随时间变化的图像。例如,信号电压是按正弦规律变化的,荧屏上就显示出一条正弦曲线(图 2–13)。

你可以动手试一试,在示波器上调出这个波形。

家庭作业与活动

1. 请观察下面的模拟实验,体会示波管的工作原理。
   (1) 将点燃的香火在竖直方向上上下抖动,可以看到什么现象?
   (2) 将香火在水平方向上左右移动,可以看到什么现象?
   (3) 若将香火在竖直方向上上下抖动的同时沿水平方向匀速移动，香火在竖直方向上抖动的情况便在水平方向上匀速展现出来。
2. 在电场中某处放入电荷量为 5.0×10^{-9} C 的点电荷,它受到的电场力为 3.0×10^{-4} N,求该处电场强度的大小。
3. 把电子和质子先后放在同一电场中的同一位置,它们加速度的方向是否相同?哪一个的加速度大?
4. 请思考:带电粒子能在电场中加速和偏转,那么在磁场中它将怎样运动?

2.3

显像管与洛伦兹力

打开电视机，荧屏上就会出现色彩缤纷的活动图像。电视机荧光屏上与示波器荧光屏均能显示图像或图形，它们的原理是否相同？ 这一节我们就来研究显像管的构造和工作原理。

显像管的内部构造

实践活动 1 观察显像管的内部构造

观察图 2–14，了解显像管的内部构造，思考以下问题：

1. 电视机显像管主要由哪几部分组成？
2. 显像管与示波管在构造上的显著不同是什么？
3. 电子枪的作用是什么？

电视机显像管主要由电子枪、偏转线圈和荧光屏组成。偏转线圈用来产生偏转磁场，控制高速电子束的偏转方向。下面我们通过实验来研究偏转磁场对电子束的作用。

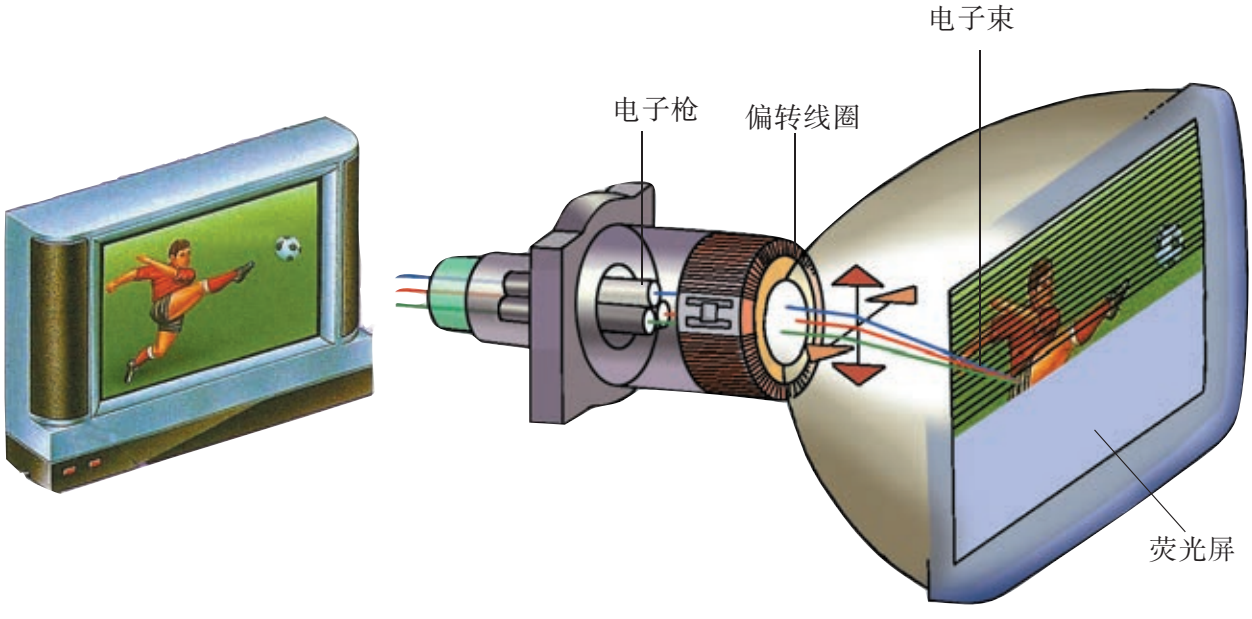


图 2–14 电视机显像管示意图

磁场对运动电荷的作用　洛伦兹力

实践活动 2　研究磁场对运动电荷的作用

在图 2–15a 所示的实验装置中，从阴极射线管的阴极发出来的电子束，在阴极和阳极间高电压的作用下经过长条形的荧光屏，使荧光屏激发出荧光，从而显示出自己的运动径迹。

请观察、实验并思考：

1. 观察没有磁场时电子的运动径迹，并思考阴极射线管的工作原理与显像管中电子枪的工作原理是否相同。

2. 当加上一个与电子运动方向垂直的磁场时，电子的运动径迹会怎样？你可结合第一章学过的安培力知识猜想一下。将磁铁靠近阴极射线管，验证你的猜想（图 2–15c）。

3. 改变磁场方向，电子的运动径迹又将怎样变化？

通过实验观察，你能得出什么结论？

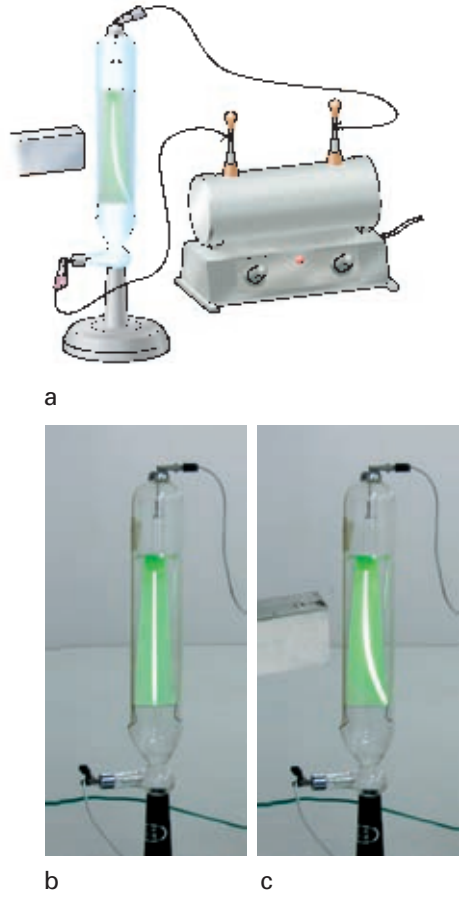


图 2–15　电子束在磁场中的偏转

实验表明，没有外磁场时，电子沿直线前进（图 2–15b），如果把磁铁靠近射线管，电子的运动径迹就会发生偏转，这表明运动电荷确实受到了磁场的作用力。这个力通常叫做**洛伦兹力**（Lorentz force）。

洛伦兹力的方向

洛伦兹力的方向也可以用**左手定则**（left-hand rule）来判定：**伸开左手，使拇指与四指在同一个平面内并跟四指垂直，让磁感线垂直穿过手心，使四指指向正电荷运动方向，这时拇指所指的方向就是正电荷所受洛伦兹力的方向**（图 2–16）。

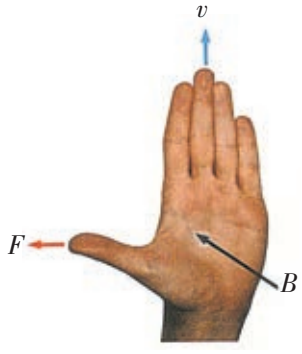


图 2–16　左手定则



洛伦兹　(H. A. Lorentz，1853—1928)，荷兰物理学家，经典电子论创始人。与他人共获 1902 年诺贝尔物理学奖。首先提出了运动电荷产生磁场和磁场对运动电荷有作用力的观点。为了纪念他，人们称这种力为洛伦兹力。

运动的负电荷在磁场中所受的洛伦兹力方向，跟运动的正电荷所受的洛伦兹力方向相反。

实践活动 3　研究洛伦兹力的大小

调节感应线圈加在阴极射线管两极的电压，可改变电子的运动速度。电压越高，电子的运动速度就越大。

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电子束，可以使管内的低压水银蒸气（或氢气）发出辉光，从而显示出电子的运动径迹。匀强磁场是由管外两只平行的通电线圈产生的。

我们仍然用图 2–15 的装置来定性研究影响洛伦兹力大小的因素。

运动电荷受到的洛伦兹力用 F 表示，电荷量用 q 表示，电荷运动速度用 v 表示，磁场用 B 表示。

1. 想一想，洛伦兹力的大小可能与哪些因素有关？它们有什么关系？

2. 保持电子的运动速度不变，改变电子束周围磁场的强弱，比较电子束的弯曲程度。

3. 保持磁场强弱不变，改变电子的运动速度，比较电子束的弯曲程度。

4. 你得到的结论是什么？

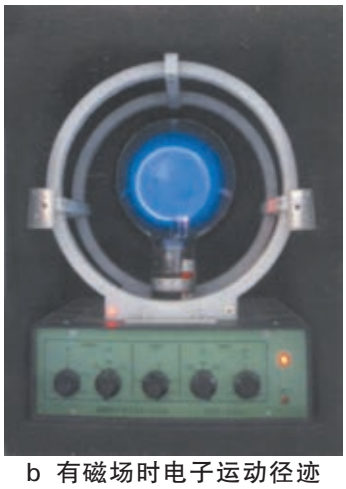
经理论推导，当电荷的运动方向与磁场方向垂直时，电荷所受的洛仑兹力

$$F = q v B$$

上式中各物理量的单位依次是 N、C、m/s 和 T。



a　无磁场时电子运动径迹



b　有磁场时电子运动径迹

图 2–17　研究带电粒子在磁场中的运动

带电粒子在磁场中的运动

带电粒子垂直射入匀强磁场时，它将受到洛伦兹力的作用而发生偏转。那么，带电粒子在磁场中将做怎样的运动呢？

实践活动 4　研究磁场中的带电粒子

带电粒子在匀强磁场中的运动，可以用图 2–17 所示的洛伦兹力演示仪进行研究。

请观察并思考：

1. 当管外未加磁场时，电子的运动径迹是怎样的？

2. 当管外加匀强磁场时，电子的运动径迹又是怎样的？

3. 带电粒子的运动径迹为什么是圆形？

4. 洛伦兹力对运动的带电粒子做功吗？

5. 带电粒子的运动是匀速圆周运动吗？

带电粒子垂直射入匀强磁场时，受到的洛伦兹力总是跟粒子的运动方向垂直，因此，对粒子不做功。洛伦兹力只改变带电粒子的运动方向，不改变粒子的运动速率，所以，粒子的运动速率是恒定的。带电粒子所受的洛伦兹力 $F = qvB$ 的大小不变，方向总是与粒子运动方向垂直，因此，带电粒子做匀速圆周运动。

多学一点　带电粒子的轨道半径和周期

运用牛顿定律和匀速圆周运动的知识可以推导出带电粒子在匀强磁场中运动的轨道半径和周期。你不妨试一试。

轨道半径：

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

周期：

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

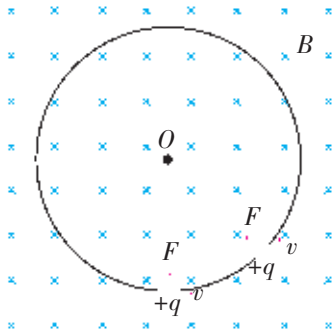


图 2–18　带电粒子在匀强磁场中的运动

有兴趣的同学还可以阅读“科学家谈物理”丛书，《磁的世界》（李国栋著，湖南教育出版社 1994 年出版）。

家庭作业与活动

1. 图 2–19 中所示的带电粒子刚刚进入匀强磁场，试判断这时它所受洛伦兹力的方向。
2. 一束粒子，其中有带正电的，有带负电的，也有不带电的，要把它们分开，你能想出什么方法？
3. 电子的速率 $v = 3.0\times10^6$ m/s，垂直射入 $B = 0.10$ T 的匀强磁场中，它受到的洛伦兹力是多大？
4. 一个电子以 1.0×10^7 m/s 的速率垂直射入一个匀强磁场中，它所受到的洛伦兹力为 8×10^{-13} N，求该磁场的磁感应强度。

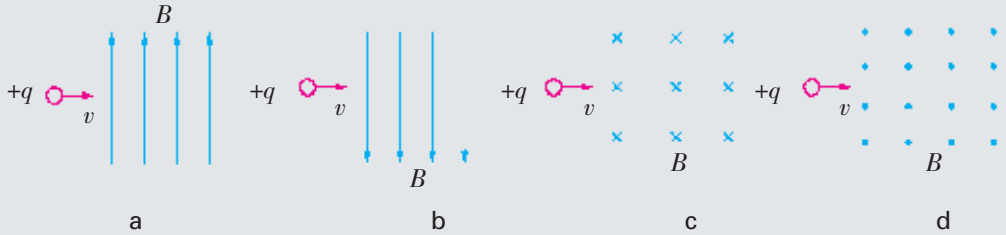


图 2–19

2.4

电磁技术与现代科技

电磁技术是现代科技的重要组成部分，它对现代科技的诞生、发展与完善起了支持与促进的作用。下面我们选择几例，让你初步了解一下电磁技术在现代科技中的一些应用。

制造轰击粒子的炮弹的工具——高能加速器

科学家在探索物质的微观结构时，通常要用很高能量的带电粒子去轰击各种原子核或其他粒子，以观察它们的变化。加速器(accelerator)就是使带电粒子获得高能量的设备。

图 2–20 是美国费米实验室的回旋加速器的外景图，该加速器的直径达 2km ，可将质子的能量加速到 500GeV。

如何使带电粒子获得较高的能量呢？最基本的原理是：让带电粒子在电场中受力被加速，从而提高它的能量。

早期制成的加速器是用高压电源来加速带电粒子的。由于实际所能达到的电压有限，因此粒子能量最高只能达到约 10MeV。为了进一步提高粒子的能量，科学家制成了直线加速器(图 2–21)，

$1\ eV = 1.6\times10^{-19}\ J$
$1\ MeV = 10^{6}\ eV$
$1\ GeV = 10^{9}\ eV$
$1\ TeV = 10^{12}\ eV$



劳伦斯(E. O. Lawrence，1901—1958)，美国物理学家。因发明回旋加速器并用它产生了人工放射性同位素而荣获 1939 年的诺贝尔物理学奖。照片中劳伦斯拿着他制作的回旋加速器。



图 2–20　美国费米实验室的回旋加速器

让带电粒子在多级电场的作用下进行多次加速，这就导致整个加速器延伸得非常长。能否在较小的空间范围内让粒子受到电场的多次加速呢?

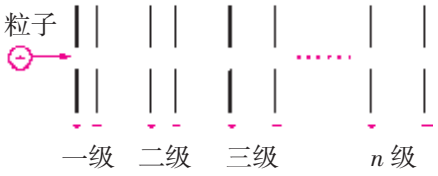
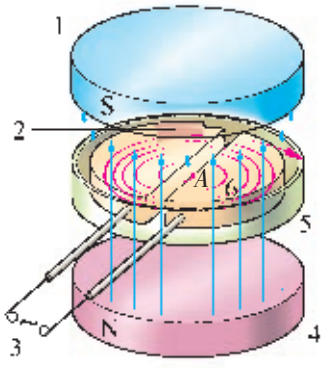


图 2–21　直线加速器示意图

1930 年，劳伦斯巧妙地应用带电粒子在磁场中运动的特点,发明了回旋加速器,从而解决了这一难题。

图 2–22 所示,是回旋加速器的主要部件示意图。回旋加速器工作时,从 A 处粒子源发出的带电粒子,以速率 v 垂直于磁场方向进入 D_1,受洛仑兹力的作用,在 D_1 中做匀速圆周运动。它经过半个周期,回到 D_1 的边缘,间隙中的电场使它受到一次加速。然后,该粒子以较大的速率进入 D_2,做匀速圆周运动。由于粒子的轨道半径跟它的速率成正比,因而该粒子在 D_2 中所做匀速圆周运动的半径有所增大。当它到达 D_2 边缘时,高频电源正好使间隙处的电场与刚才反向，它又一次受到加速(图 2–23)。如此继续下去,粒子将沿着图示的螺旋线运动,速率和能量不断增大。当达到预期的速率时,用静电偏转板将高能粒子引出,用于科学研究。



1. 上磁极　　2. 静电偏转板
3. 高频电源　4. 下磁极
5. 真空室　　6. D 形盒

图 2–22　回旋加速器主要部件示意图

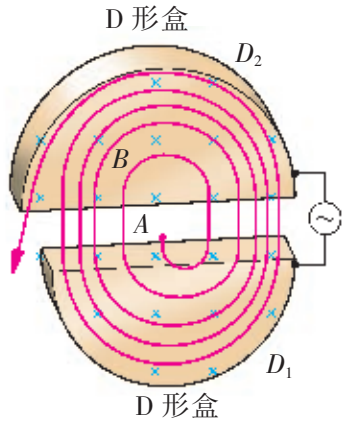


图 2–23　回旋加速器工作原理图

现代的高能加速器基本上都是对撞机,它们把产生高能反应的等效能量提高到 10—1000 TeV。我国 1989 年研制成的北京正负电子对撞机(图 2–24),能使电子能量达到 2×2.8 GeV。

从 20 世纪 30 年代至今，加速器的能量提高了 9 个数量级，而每单位能量的造价降低了约 4 个数量级，全世界有多位科学家因此获得了诺贝尔物理学奖。

有兴趣的同学可去查阅《加速器与科技创新》(谢家麟编著，清华大学出版社与暨南大学出版社 2000 年联合出版)。



图 2–24　北京正负电子对撞机 BEPC

信息浏览



图 2–25　国画《核子重如牛，对撞生新态》

物理与艺术

为了称颂人类可能通过相对论性重离子对撞机(RHIC)来探索宇宙的起源和真空的复杂性，画家李可染为“相对论性重离子碰撞”国际学术研讨会奉献了《核子重如牛，对撞生新态》的画作(图 2–25)。这幅中国画是表现静态与动态相辅相成的杰作。画中两牛抵角相峙，似乎完全是一种静态，而这相峙之态中蕴含的巨大能量，却又是显而易见的，大有演变成激烈角斗之势。

有兴趣的同学可去查阅《科学与艺术》(上海科学技术出版社 2000 年出版)和《诺贝尔奖百年英杰——李政道》(蒋东明著，长春出版社 2001 年出版)。

微观粒子质量之筛——质谱仪

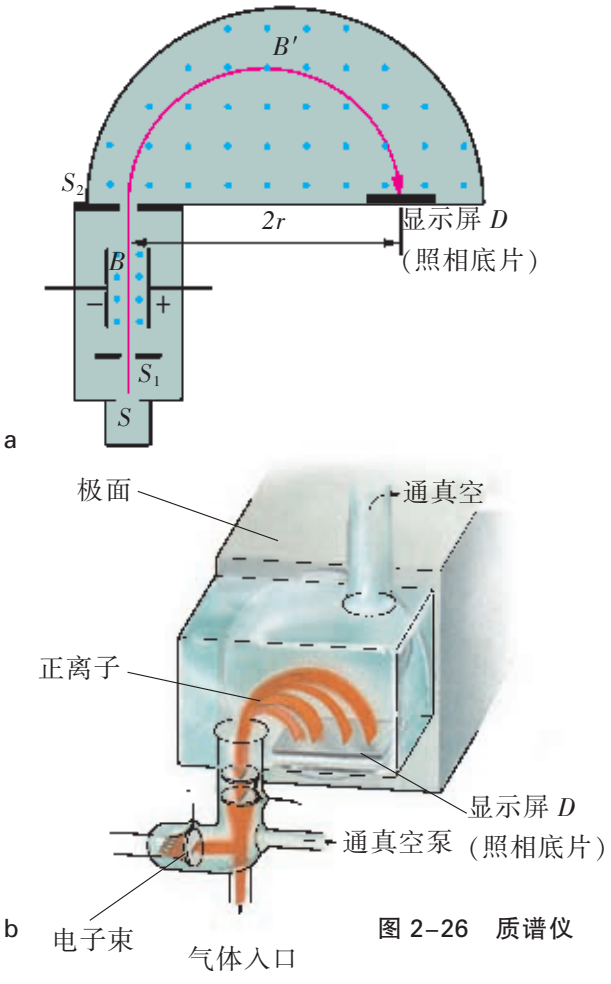


图 2–26　质谱仪

质谱仪是科学研究中用来分析同位素和测量带电粒子质量的精密仪器。

图 2–26a 是质谱仪的原理示意图，b 是它的结构图。从粒子源 S 产生的离子经电场加速后，经小孔 S_1 进入一个速度选择器，再经小孔 S_2 进入匀强磁场 B'，在那里受洛仑兹力作用做匀速圆周运动，最后到达显示屏 D。如果离子(带电粒子)的电量相同而质量不同，它们进入磁场后将沿着不同的半径做圆周运动。因此，那些原子序数相同而原子量不同的同位素离子，将在显示屏上按质量大小排列成若干细线条状谱线，每一条谱线对应于一定的质量。“质谱仪”的名称由此而来。利用质谱仪对某种元素进行测量，可以准确地测出各种同位素的原子量。

观微探幽的慧眼——电子显微镜

生物学、医学、材料科学等领域的研究，都要使用电子显微镜。它能使人们观察到纳米量级的微观世界，现代的扫描隧道显微镜，甚至达到了能分辨原子大小的水平。

电子显微镜是用电子束来代替光束，用磁透镜代替光学透镜工作的。图 2–27 是电子显微镜原理示意图。照射在样品上的电子束，经磁透镜放大成像，再投射在荧光屏上观察或照相。图 2–28 是电子显微镜实物照片。图 2–29 是用电子显微镜拍摄的生物细胞照片。

2003 年，人类受到了 SARS 的严重威胁。SARS 是英语 Severe Acute Respiratory Syndrome 的缩写，意思是“严重急性呼吸综合征”，我国称之为“非典型肺炎”，简称“非典”。在与“非典”的斗争中，病毒学家夜以继日地工作在实验室里，用电子显微镜找到了“非典”的病原体——一种特殊的“冠状病毒”（图 2–30），为研究与防治 SARS 做出了贡献。

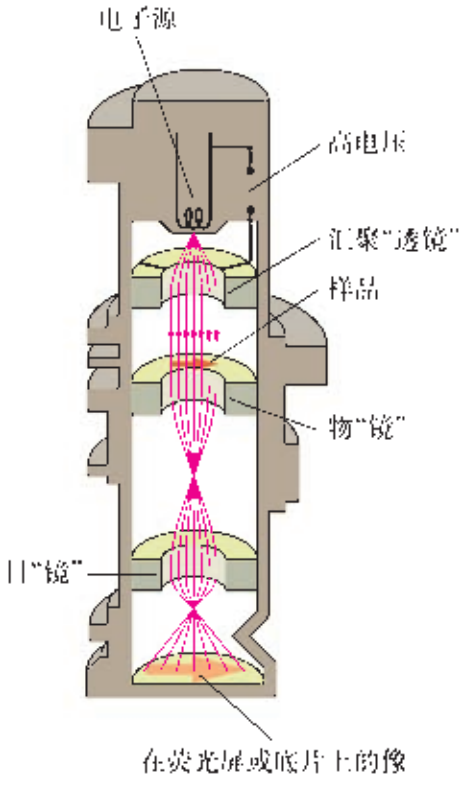


图 2–27　电子显微镜原理图

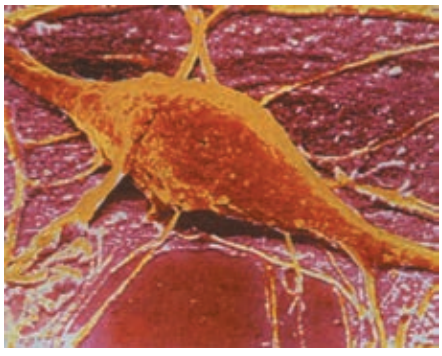


图 2–29　电子显微镜下的生物细胞照片

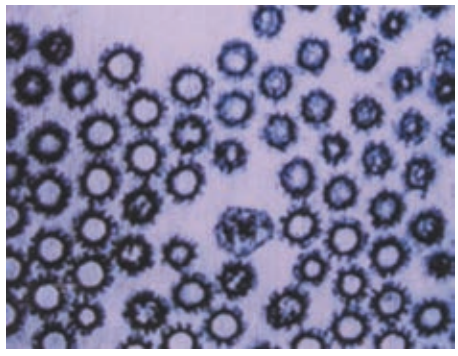


图 2–30　“非典”元凶“冠状病毒”照片



图 2–28　电子显微镜

课题研究

请上网或去图书馆查阅有关电磁技术在现代科技中应用的资料，撰写一篇科学报告。

2.x

第 2 章家庭作业与活动

1. 电子以相同的速度进入不同的磁场，一次形成的圆形轨迹的半径大，另一次形成的圆形轨迹的半径小。哪次进入的磁场强？为什么？（提示：电子做圆周运动的向心力 $F = m\frac{v^2}{r} = qvB$。）
2. 电子以 3×10^7m/s 的速度，沿着与磁场垂直的方向进入匀强磁场，形成的圆形轨迹的半径是 5cm。磁场的磁感应强度是多大？
3. 在电视机的显像管中，要使电子射线向右偏转（显像管水平放置，面对荧光屏观察），管颈处的磁场应是什么方向？
4. 一束射线中有三种粒子，一种带正电，一种带负电，一种不带电。它们垂直射入匀强磁场后会发生什么现象？试在图 2–31 中画出它们大致的运动轨迹。
5. 在某电场中，电荷量 $q = 10^{-9}$ C 的检验电荷在 A 点受到的电场力是 2×10^{-5} N，在 B 点受到的电场力是 10^{-5} N。
   （1）求 A、B 两点的电场强度的大小；
   （2）如果在 A、B 两点分别放进电荷量为 4×10^{-9} C 的检验电荷，它们受到的电场力将各是多大？
6. 在图 2–32 中标出带电粒子在电场中的受力方向。
7. 带电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场时，受到的洛伦兹力的方向是向上的，如图 2–33 所示。试在图中标出带电粒子所带电荷的正负。
8. 某匀强电场的场强 $E = 3\times10^9$ N/C（图 2–34），在其中的 A 点有一个 α 粒子（由两个带正电的质子和两个不带电的中子组成），求这个 α 粒子受到的电场力的大小和方向。

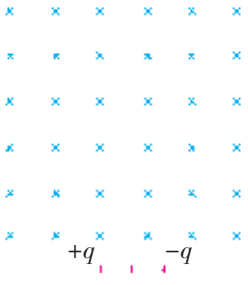


图 2–31

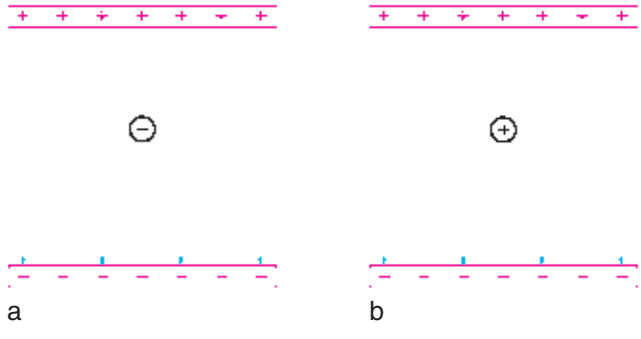


图 2–32

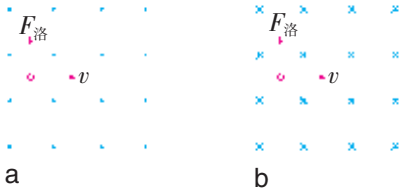


图 2–33

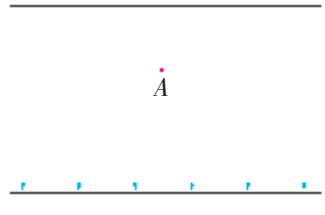


图 2–34

课外活动

1. 请到图书馆或上网，就 J·J·汤姆生其人其事进行调查，并写出调查报告，重点放在他对物理学及其发展的贡献上。
2. 选出若干篇优秀的调查报告，在班级中相互交流，并进行评价。