普通高中教科书

物理

必修

第三册

总主编　束炳如　何润伟



上海科技教育出版社

亲爱的同学：



欢迎你学习《物理（必修3）》！

学习物理是一项激动人心的探索活动。让我们继续携手，度过一段美好的时光。

你周围世界发生的事情几乎都跟物理学有关，现代社会的许多技术进步都源于对物理规律的理解和应用。学习物理可以使你从事科学事业的愿望得以实现，甚至可以使你成为“专家”。作为现代社会的公民，我们要学会用物理学知识解决生活、生产中的许多问题。

你已经学习了《物理（必修1）》和《物理（必修2）》，初步领略了物理学的魅力。在《物理（必修3）》中，你将经历探索电场、电路、电磁场、电磁波与能源的过程，体验物理学思想方法的威力，在科学探究和理论思维的过程中充分施展你的才智；你将比较全面地学习电磁学与能源的有关知识，了解电磁学的研究成果及其在现代科学技术中的广泛应用，认识物理学与社会发展以及人类文化的相互作用。

为了让你在学习《物理（必修3）》的过程中获得更大的成功，请浏览下面的本书栏目介绍。



每章的开头都有一些情境，提出一些问题，让你明确本章研究的主要内容。

第1章　电荷的相互作用

闪电撕裂了天空，雷霆震撼着大地。在这惊心动魄的自然现象背后，蕴藏着许多物理原理，吸引了不少科学家进行探究。美国的富兰克林（B. Franklin）、法国的达利巴尔（T. d'Alibard）等科学家冒着生命危险去捕捉闪电，证实了闪电与实验室中的电是相同的。

雷电是怎样形成的？

扬体带电是怎么回事？

电荷有哪些特性？

电荷间的相互作用遵循什么规律？

人类应该怎样利用这些规律？

本章不仅要探究并解答这些问题，还要从库仑（C. de Coulomb）巧妙设计的扭秤实验和点电荷模型的抽象过程，进一步体会科学思想与方法的价值。

实验探究

这里将要求你提出问题，设计实验方案，动手做一些有意义的实验，进行科学探究。



图 1–3–7　静电植绒实验装置

实验探究　**模拟静电植绒**

参照图 1–3–7 所示的装置准备器材，进行安装，然后进行如下模拟静电植绒的操作：

（1）用蘸上胶水的毛笔在硬纸片上写字、作画，再用夹子将此硬纸片固定在金属圆板 *A* 下面（有字画的一面朝下）。

（2）将各种颜色的细碎纸屑均匀撒在下方金属圆板 *B* 上，调整两块金属板之间的距离为 4 ~ 5 cm。

（3）用导线将两块金属板分别接到感应起电机的两个放电球上，转动起电机，观察“静电植绒”的过程。

分析与论证

这里你将进行分析、综合，并运用数学工具进行推理，得出物理学规律和公式。通过这一过程，你将体会科学思维的魅力。



图 3-2-6 电阻串联电路图

数学中常用符号∑表示求和，即

$$R_{总}=\sum_{i=1}^{n}R_i=R_1+R_2+\cdots+R_n$$

分析与论证 串联、并联电路的总电阻

在图 3-2-6 所示的串联电路中，设通过电阻 R_1、R_2 的电流为 I，R_1、R_2 两端的电压分别为 U_1、U_2，$R_{总}$为 R_1、R_2 串联后的总电阻，它又叫做 R_1、R_2 串联的等效电阻。

R_1、R_2 两端的电压跟总电压 U 有什么关系？请你利用欧姆定律，导出 $R_{总}$跟 R_1、R_2 的关系式

$$R_{总}=R_1+R_2$$

假如将 n 个电阻串联，则

$$R_{总}=\sum_{i=1}^{n}R_i$$

学生必做实验

这里为你提供了完整的实验活动，让你通过动手实验，探索物理规律，学习物理方法，形成物理观念，提高解决问题的能力，体验成功的喜悦。

学生必做实验 观察电容器的充、放电现象

将电源两极与电容器两极连接，电容器两块极板就分别带上等量的异种电荷。这个过程叫做**充电**（charging）。用电线将充电后的电容器两极板相连接，两块极板上的电荷就相互中和，电容器最终不再带电。这个过程叫做**放电**（discharging）。

电容器的充电和放电过程有什么特点？某同学设计了如图 2-4-3 所示的电路，试图通过手电筒小灯泡 H 的发光情况来观察电容器的充放电过程。

信息浏览、STSE

这里为你提供了各种有趣、有用的资料，包括物理学史上的经典事例、科学家小故事等，它们反映了物理学与科学、技术、社会、环境的紧密联系。你的视野将更开阔，你会更加热爱科学。

STSE

超导现象

1911 年，荷兰物理学家卡末林－昂内斯（H. Kamerlingh-Onnes）发现，在很低温度下，水银的电阻率并不像预料的那样仍然随温度的降低逐渐减小，当温度降到 4.15 K（−269 ℃）附近时，水银的电阻会突然降到零。后来人们发现，某些金属、合金和化合物在温度降到绝对零度（−273.15 ℃）附近某一特定温度之下时，其电阻率会突然减小到测量不出。这种现象叫做超导现象（superconductivity），能够发生超导现象的物质叫做超导体（superconductor）。超导体由正常

多学一点

这里将介绍更多更深的奥秘，以开阔你的视野。你如果有兴趣，可以作进一步的探索。

多学一点 电场的等势面

在地理学中，为了形象地表示地形的高低，常采用在地图上画等高线的方法。在电场中，我们也可以采用类似的方法表示电势的高低分布（图 2-3-3）。在物理学中，把电场中电势相等的点构成的线（面）叫做等势线（面）（equipotential line/surface）。同一等势线（面）上任意两点间的电势差为零，所以，在同一等势线（面）上移动电荷时，电场力不做功。因此，电场线一定跟等势面垂直，并且由电势高的等势面指向电势低的等势面。

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究，这种研究将使你的才智得到充分的展示。

课题研究

验证电荷的分配规律

给你一只指针验电器、一台感应起电机（参见第 18 页旁批）和两个带有绝缘柄的大小相同的金属球，请你设计一个实验，粗略验证电荷在两个相同金属球之间等量分配的原理。

（1）说明实验原理，写出实验步骤。

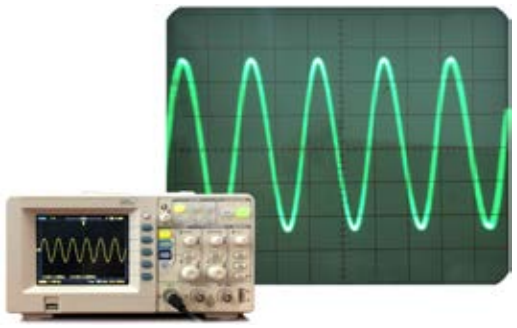
（2）按实验步骤操作，并写出实验报告。

目　录



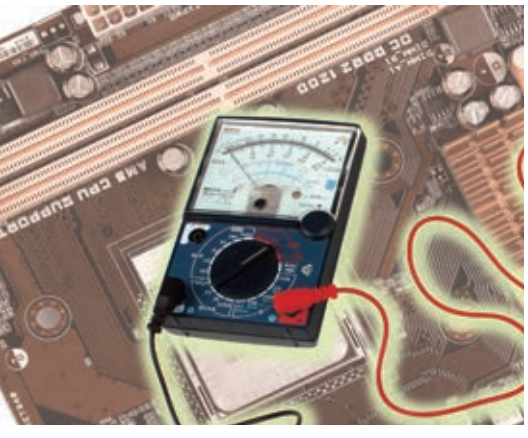
第1章　电荷的相互作用……6

1.1　静电现象与电荷守恒 ……7
1.2　电荷相互作用的规律 ……11
1.3　静电的应用和防护 ……16



第2章　电场的性质 ……22

2.1　电场强度……23
2.2　电场力做功的特点　电势能……29
2.3　电势　电荷在电场中的运动……33
2.4　电容器　电容 ……38



第3章　电路 ……46

3.1　多用电表 ……47
3.2　电流、电压和电阻……52
3.3　影响电阻的因素 …… 56



第 4 章　闭合电路欧姆定律 ……63

4.1　闭合电路欧姆定律 ……64
4.2　闭合电路欧姆定律的应用 ……69
4.3　电路中的能量转化与守恒 ……74
4.4　现代家庭电路 ……78



第 5 章　电磁场与电磁波 ……86

5.1　磁与人类文明 ……87
5.2　磁场的描述 ……90
5.3　电磁感应 ……95
5.4　电磁波 ……101



第 6 章　能源与可持续发展 ……107

6.1　能量的转化与守恒 ……108
6.2　能源利用与环境污染 ……110
6.3　能源开发与环境保护 ……115
6.4　节约能源、保护资源与可持续发展 ……121

总结与评价　课题研究成果报告会 …… 126
研究课题示例 …… 126
评价表 …… 127



第 1 章　电荷的相互作用

闪电撕裂了天空，雷霆震撼着大地。在这惊心动魄的自然现象背后，蕴藏着许多物理原理，吸引了不少科学家进行探究。美国的富兰克林（B. Franklin）、法国的达利巴尔（T. d'Alibard）等科学家冒着生命危险去捕捉闪电，证实了闪电与实验室中的电是相同的。

雷电是怎样形成的？

物体带电是怎么回事？

电荷有哪些特性？

电荷间的相互作用遵循什么规律？

人类应该怎样利用这些规律？

本章不仅要探究并解答这些问题，还要从库仑（C. de Coulomb）巧妙设计的扭秤实验和点电荷模型的抽象过程，进一步体会科学思想与方法的价值。

1.1 静电现象与电荷守恒

实验表明，用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的橡胶棒（图 1–1–1）都能吸引轻小物体，我们通常说它们带了电或有了**电荷**（electric charge）。



a 用丝绸摩擦过的玻璃棒吸引轻小物体



b 用毛皮摩擦橡胶棒

图 1–1–1

物理学中规定，用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷叫做**正电荷**（positive charge）；用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷叫做**负电荷**（negative charge）。自然界中只存在这两种电荷；**同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引。**

电荷的正负性是相对的，哪一种叫做“正”，哪一种叫做“负”，都是可以的。现行的这种命名是富兰克林首先提出的，国际上一直沿用至今。

物体起电的原因

分析与论证 摩擦起电的原因

用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的橡胶棒都带了电，这是什么原因呢？

原来，物体是由分子、原子组成的；原子是由带正电的原子核和带负电的电子组成。在两个不同物体相互摩擦的过程中，两个物体中都有一些电子脱离原子核的束缚而转移到对方。在通常情况下，两种不同材料的物体彼此向对方转移的电子数不相等。电子减少的物体就显示出带正电；电子增加的物体就显示出带负电。这就是说，摩擦起电并不是摩擦创生电荷，而是使两个物体中的电荷重新分配。

物体是否带电，可以用验电器来检验（图 1–1–2）。验电器顶端的金属球通过金属杆跟可转动的金属指针相连。当带电的玻璃棒或橡胶棒接触金属球时，指针就会转过一定的角度。

你能用电荷间相互作用的知识，解释验电器带电后金属指针为什么偏转吗？



富兰克林（B. Franklin，1706—1790），美国科学家和政治家。1752 年，他冒着生命危险在雨中进行“风筝实验”，证明闪电与摩擦起电的电是相同的。他还用“正电”和“负电”区分两种不同性质的电，为定量研究电现象打下了基础。上图描绘富兰克林正在进行“风筝实验”。



图 1–1–2　用验电器检验物体是否带电

物体所带电荷的多少叫做**电荷量**，简称**电荷**或**电量**。在国际单位制中，电荷量的单位是库仑（coulomb），简称库，用 C 表示。正电荷的电荷量用正值表示，负电荷的电荷量用负值表示。

实验探究　感应起电

在用验电器检验玻璃棒或橡胶棒是否带电的实验中，你会发现，只要带电棒靠近验电器的金属球，验电器的指针就会发生偏转（图 1–1–3）。再用手接触一下验电器的金属球，然后移走带电棒，验电器的指针仍然保持某一偏转角度。这是怎么回事呢？

在金属导体中，金属原子最外层的电子比较容易摆脱原子核的束缚在原子间自由运动，这种电子叫做自由电子。金属导体中存在着大量自由电子。

实验表明，一个带电的物体靠近一个导体时，导体的电荷分布会发生变化，显示出带电现象。物理学中把这种现象叫做**静电感应**（electrostatic induction）。利用静电感应使物体带电叫做**感应起电**。

在上述实验中，当带正电荷的物体靠近金属球时，金属杆和指针中的自由电子就被吸引过来，球上出现多余的负电荷；验电器金属杆和指针上则带有正电荷，使指针偏转。

当再用手接触一下验电器的金属球，大地中的负电荷会通过人体转移到金属球、金属杆及指针上，使它们都带负电，因此，移走带电棒后，验电器的指针因负电荷相互排斥而保持偏转状态。

请思考一下，当带有负电荷的物体靠近金属球时，指针上带什么电荷？为什么？



图 1–1–3　静电感应

电荷守恒

电荷守恒

摩擦起电和感应起电的过程，都是电荷从一个物体转移到另一个物体，或从物体的一部分转移到另一部分的过程。

下面让我们做一个如图 1–1–4 所示的实验。

手持起电板的两根有机玻璃棒，用力将两块起电板快速摩擦后分开，将其中一块板插入箔片验电器上端的空心金属球（不要接触金属球），接着抽出这块板，再将两块板同时插入空心金属球。你观察到怎样的现象？

请你解释实验中所发生的现象。

箔片验电器通常是在金属杆下挂两条金属箔片，其原理与指针验电器相同。



图 1–1–4 电荷守恒实验

大量事实表明，电荷既不能被创造，也不能被消灭，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，电荷的总量不变。这个结论叫做**电荷守恒定律**（the law of conservation of charge）。

近代科学研究表明，电荷守恒定律不仅在一切宏观过程中成立，而且在微观过程中也成立。因此，电荷守恒定律是物理学中普遍适用的规律。

元电荷

自然界中电荷的总量是守恒的。原子核中的每个质子和核外每个电子所带的电荷量有多少？它们是不是自然界中最小的电荷单元呢？

美国实验物理学家密立根设计了如图 1–1–5 所示的实验。



密立根（R. Millikan，1868—1953），美国物理学家。第一位在美国本土出生的诺贝尔物理学奖获得者。

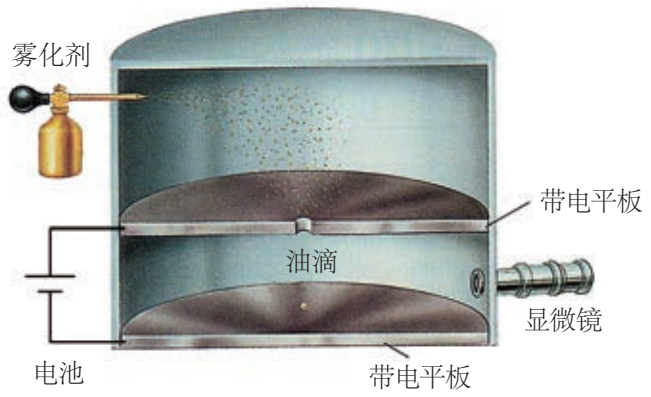


图 1–1–5　密立根油滴实验示意图

将两块水平放置的金属板分别与电源的正、负极相接，两板便带上异种电荷。用喷雾器喷入雾状带电油滴，当带电油滴进入两平板间时，调节两板间的电压，使带电油滴受到的电力与重力平衡，由此就可以求出油滴所带的电荷量。密立根不断改进实验方法，取得了上千组测量数据，发现这些油滴所带的电荷量总是某一**元电荷**（elementary charge）的整数倍。进一步研究表明，这种“元电荷”就是电子所带的电荷，一般用 e 表示。1986年国际计量大会推荐的元电荷值为 $e = 1.602\,177\,33 \times 10^{-19}$ C，通常取 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C。

电子的电荷量 e 跟电子的质量 m_e 之比，叫做电子的比荷。它是一个重要的物理常量。电子的质量 $m_e = 9.1\times10^{-31}$ kg，因此，电子的比荷为

$$\frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11}\ \mathrm{C/kg}$$

家庭作业与活动

1. 请你列举一些日常生活中摩擦起电和感应起电的事例。
2. 如果用验电器检验直接用手拿着经摩擦后的金属棒是否带电，那么金属棒带电吗？怎样才能使摩擦后的金属棒带电？
3. 算一算，多少个电子所带的电荷量之和是 1 C？
4. A、B、C、D 四个球都带电，A 球能排斥 B 球，C 球能吸引 A 球，D 球又排斥 C 球。已知 D 球带正电，则 B 球应带何种性质的电？
5. 有 A、B、C 三个用绝缘柱支撑的相同导体球，A 球带正电，电荷量为 q，B 球和 C 球不带电。讨论用什么办法能使：

（1）B 球、C 球都带等量的正电；

（2）B 球、C 球都带负电；

（3）B 球、C 球各带等量的异种电荷；

（4）B 球带 $\frac{3}{8}q$ 的正电荷。

1.2 电荷相互作用的规律

人类很早就发现了电现象。但长期以来，由于受社会生产力和科技发展水平的限制，对电的认识一直处于定性的水平。直到 18 世纪中叶，人们才开始对电荷之间的相互作用规律进行定量的研究。

影响电荷相互作用的因素

实验探究 探究电荷相互作用规律

电荷间相互作用力的大小跟哪些因素有关？请你参照图 1-2-1 所示装置，按以下步骤进行实验：

（1）分别让球形导体 A 和通草球 B 带上同种电荷，并使球形导体 A 与通草球 B 处在同一水平面上。

（2）不断改变球形导体 A 的电荷量，观察悬线与竖直方向偏角的变化。

（3）保持球形导体 A 和通草球 B 上的电荷量不变，改变球形导体 A 与通草球 B 之间的距离，观察悬线与竖直方向偏角的变化。

（4）让球形导体 A 和通草球 B 带异种电荷，重复步骤（2）（3），观察悬线与竖直方向偏角的变化。

请根据你观察的现象，通过分析得出结论。

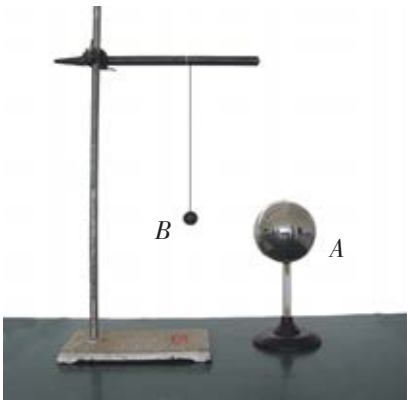


图 1-2-1 探究电荷相互作用规律的实验装置

电学中第一个定律——库仑定律

定量研究的困难

18 世纪中叶以前，研究电荷间的作用力存在三大困难：一是这种作用力非常小，没有足够精密的测量器具；二是那时还没有电量的单位，当然就无法比较电荷的多少了；三是带电体上电荷的分布不清楚，难以确定相互作用的电荷之间的距离。

请思考一下，看看你有没有好的方法来解决这些困难。

库仑的探究

法国物理学家库仑经过长期研究，较好地解决了这些困难。

为测量电荷间微小的作用力，库仑发明了一种扭秤，后人将这种扭秤称为库仑扭秤。



库 仑（C. de Coulomb，1736—1806），法国物理学家、军事工程师。从事摩擦力和电磁力的研究，设计制作库仑扭秤并发现库仑定律。

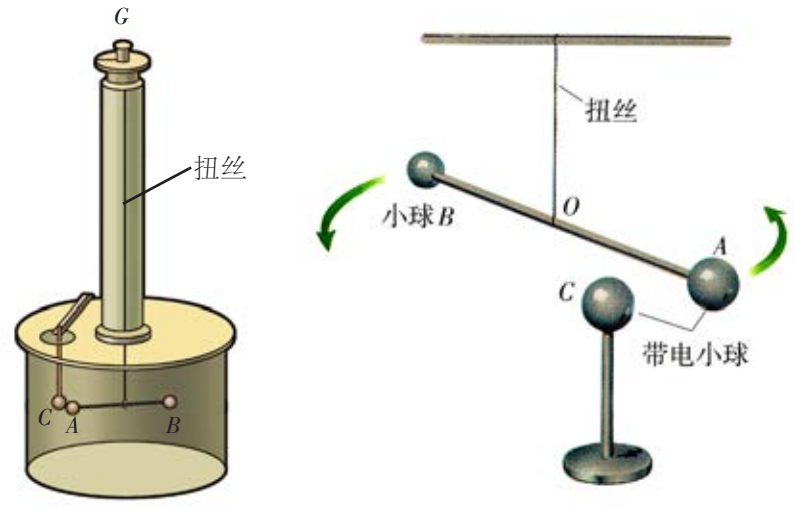
库仑扭秤的结构如图 1–2–2a 所示。其主要部件是一根弹性扭丝（细金属或石英丝），上端由悬头 G 固定，下端悬挂一根绝缘横杆。杆的一端装有用来带电的小球 A，另一端装一平衡小球 B。另外还有一固定小球 C。当扭丝处于自然状态时，调节悬头 G，使 A 球与 C 球接触。当 C 球带电时，A、C 球之间的斥力使横杆转动。当 A、C 球间斥力产生的转动作用与扭丝弹力的作用达到平衡时，横杆就静止在某一角度上（图 1–2–2b）。根据这一角度，便可测出带电小球间的斥力。

为了使物体的电量按实验的需要而改变，库仑根据对称性原理，用两个相同的金属球，让其中一个带上电荷 q，另一个不带电，把它们接触后分开。由于“对称”关系，这两个金属球的电量均应为 $\frac{q}{2}$。若再用第三个相同的不带电金属球与带电荷 $\frac{q}{2}$ 的金属球接触，然后分开，这两个金属球的电荷均应为 $\frac{q}{4}$，依此类推。这样，就可以保证实验中不同金属球的电荷量从大到小成比例变化。

库仑根据电荷在金属球表面上均匀分布的特点，把金属球上的电荷想象成集中在球心的“点电荷”。这样就解决了测量带电体之间距离的问题。

请归纳库仑设计的扭秤实验有哪些巧妙之处。

库仑把球形带电体看作“点电荷”是一种理想化做法。当两个带电体之间的距离比它们本身的尺寸大得多时，带电体可看作是一个点，即“点电荷”。



a 库仑扭秤结构示意图　　b 库仑扭秤原理图

图 1–2–2 库仑扭秤

库仑定律

1785 年，库仑在前人研究的基础上，通过实验得出结论：**真空中两个静止的点电荷之间相互作用力的大小，跟它们的电荷量 q_1 与 q_2 的乘积成正比，跟它们距离 r 的平方成反比，作用力的方向沿着它们的连线。**这就是**库仑定律**（Coulomb's law），它的数学表达式为

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

式中 k 是一个常量，叫做**静电力常量**（electrostatic force constant）。这种电荷间的相互作用力叫作**库仑力**或**静电力**。在国际单位制中，电荷量的单位是库[仑]（C），力的单位是牛[顿]（N），距离的单位是米（m）。由实验可得出

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

库仑定律虽仅适用于计算点电荷间的作用力，但对任意带电体来说，如果知道电荷的分布情况，利用库仑定律和力的合成法则即可求出带电体之间的作用力。

英国物理学家普里斯特利（J. Priestley）和卡文迪许（H. Cavendish）也在实验的基础上推定，电荷的相互作用力跟距离的平方成反比。

库仑定律是电磁学中的一个基本定律，它的建立使电磁学进入了定量研究的阶段，使电磁学真正成为了一门科学。从 18 世纪末到 19 世纪初这一段时期，由于数学的应用，有关静电学和静磁学的研究取得了很有意义的进展。

案例分析

案例 真空中有两个直径很小的完全相同的金属小球 a、b，a 球带电量为 $Q_a = +5.0\times10^{-9}$ C，b 球带电量为 $Q_b = -7.0\times10^{-9}$ C，两球相距 1 m。问：它们之间的库仑力有多大？若把它们接触后放回原处，它们之间的相互作用力为多大？

解答 根据库仑定律，两小球未接触时，小球带异种电荷，小球之间的库仑力为引力，库仑力的大小为

$$F = k\frac{Q_a Q_b}{r^2}$$

$$= \frac{9.0\times10^9\times5.0\times10^{-9}\times7.0\times10^{-9}}{1.0^2}\ \mathrm{N}$$

$$= 3.15\times10^{-7}\ \mathrm{N}$$

两小球分别受到的库仑力均指向对方（图 1–2–3a），两球互相吸引。

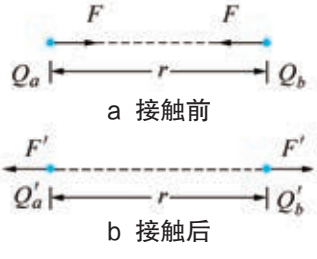


图 1–2–3

当两小球接触后，部分电荷中和，剩余净电荷为 -2.0×10^{-9} C，由于两金属球完全相同，净电荷均分，各带 -1.0×10^{-9} C。此时，小球带同种电荷，两小球之间的库仑力为斥力，库仑力的大小为

$$F' = k\frac{Q'_aQ'_b}{r^2}$$

$$= \frac{9.0\times10^{9}\times1.0\times10^{-9}\times1.0\times10^{-9}}{1.0^2}\ \text{N}$$

$$=9.0\times10^{-9}\ \text{N}$$

此时两小球分别受到的库仑力的方向如图 1–2–3b 所示。

多学一点　电介质中的库仑定律

我们在初中学过，空气、煤油、玻璃、橡胶、瓷器等都是绝缘体。绝缘体的导电性能很差，但也并不是一点也不能导电。在物理学中，绝缘体又被称做电介质。如果把两个点电荷放在电介质中，电荷间的静电力将比在真空中小，而且放在不同的电介质中，力的大小也不同。在电介质中，库仑定律的表达式为

$$F = k\frac{q_1q_2}{\varepsilon r^2}$$

式中 ε 叫作相对介电常数。同一种电介质的 ε 是固定的。下表是几种电介质的相对介电常数。

电介质	空气	煤油	石蜡	陶瓷	玻璃	云母	水
相对介电常数	1.005	2	2	6	4~11	6~8	81

课题研究

验证电荷的分配规律

给你一只指针验电器、一台感应起电机（参见第 18 页旁批）和两个带有绝缘柄的大小相同的金属球，请你设计一个实验，粗略验证电荷在两个相同金属球之间等量分配的原理。

（1）说明实验原理，写出实验步骤。

（2）按实验步骤操作，并写出实验报告。

家庭作业与活动

1. 有两个半径为 r 的金属球如图 1–2–4 放置，两球表面间最小距离也为 r。今使两球带上等量异种电荷 Q，两球间库仑力的大小为 F，那么(　　)。

A. $F = k\dfrac{Q^2}{(3r)^2}$　　B. $F > k\dfrac{Q^2}{(3r)^2}$

C. $F < k\dfrac{Q^2}{(3r)^2}$　　D. 无法判定 F 的大小

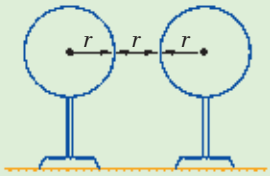


图 1–2–4

2. 20 世纪 20 年代，物理学家卢瑟福（E. Rutherford）在 α 粒子（氦核）散射实验中发现，当两个原子核之间距离小到 10^{-15} m 时，它们之间的斥力仍遵守库仑定律。具有足够高能量的 α 粒子能够到达与金原子核相距 2.0×10^{-14} m 的地方。请你算一算，在这一距离时，α 粒子受到金原子核的斥力为多大？此力相当于质量多大的物体受到的重力？

3. 现有两个相同的金属小球，分别带有 $+2.0 \times 10^{-7}$ C 和 -3.2×10^{-7} C 的电荷。

（1）把它们放在相距 0.5 m 的地方，两小球之间的库仑力多大？方向如何？

（2）使两小球接触后再放回相距 0.5 m 的原位置，两小球之间的库仑力多大？方向如何？

4. 相距 L 的点电荷 A、B 的带电量分别为 $+4Q$ 和 $-Q$。

（1）若 A、B 电荷固定不动，在它们连线的中点放入带电量为 $+2Q$ 的电荷 C，电荷 C 受到的静电力是多少？

（2）若 A、B 电荷是可以自由移动的，要在通过它们的直线上引入第三个电荷 D，使三个点电荷都处于平衡状态，求电荷 D 的电量和放置的位置。

5. 两个质量都为 3.0×10^{-4} kg 的金属小球，分别被两根长 0.04 m 的丝线吊在同一点上。让它们带上等量同种电荷后，两球互相排斥，至图 1–2–5 所示位置平衡。

（1）试求两球间静电力的大小和金属小球所带的电量。

（2）如果让其中一个小球的电荷量减少一半，而另一个小球的电荷量加倍，小球还能在原位置平衡吗？

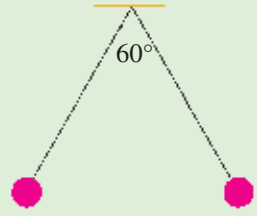
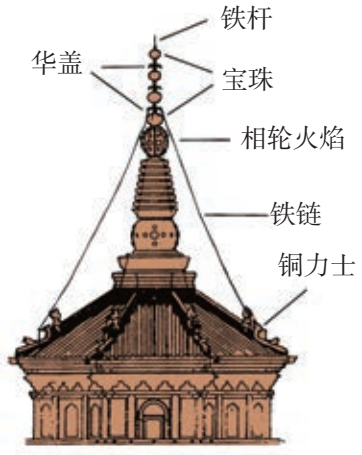
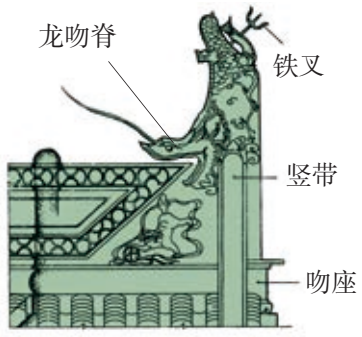


图 1–2–5



a 庆州白塔塔刹构件



b 殿脊吻兽

图 1–3–1　古建筑上的“避雷针”



图 1–3–2　现代建筑上的避雷针

1.3　静电的应用和防护

自然界到处都有静电。生产中的挤压、切割、搅拌和过滤，生活中的起立、行走、穿衣和脱衣等过程都会产生静电。

静电给我们的工作与生活带来了什么影响？我们应如何“趋其利，避其害”呢？

雷电与避雷

自然界产生雷电的主要原因，是云层的相互摩擦导致了云层间异种电荷大量集聚。靠近地面的云层中电荷的大量集聚，会使地面因静电感应而引起电荷集聚。云层之间、云层与地面之间会形成几百万伏以上的电压。这个电压足以击穿空气（使空气电离），产生几十万安培的瞬间电流。电流生热使空气迅速升温而发光产生闪电，空气受热突然膨胀发出巨响形成雷声。

云层与地面之间的雷电会对我们的生命财产造成威胁，甚至带来巨大的损失。那么，如何避免雷电的危害呢？

我国大约从汉代起，人们就注意到长兵器尖端在大气中的放电现象。古人利用这种现象，在许多建筑物上安装了既有避雷作用，又有装饰作用的塔刹构件和殿脊吻兽（图 1–3–1），这就是现代避雷针的雏形。现代建筑物上的避雷针如图 1–3–2 所示。

实验探究　避雷针为什么能避雷

用如图 1–3–3 所示的感应圈，可以观察“实验室中的雷电现象”，帮助我们理解避雷针的避雷原理。将两枚放电针分别安装在感应圈的接线柱上，再将低压电源的 8 ~ 10 V 直流电接在感应圈上，闭合开关，适当调节感应圈上振动簧片的位置（有些感应圈会自动完成这一操作），就可以观察到火花放电的现象。

请比较火花放电图景与雷电时看到的闪电图景。它们有哪些相似之处？

试用放电针放电的现象说明避雷针的原理。

静电与现代科技

随着科学技术的发展，人们对静电特性的认识越来越深入，静电的应用范围也越来越广泛。

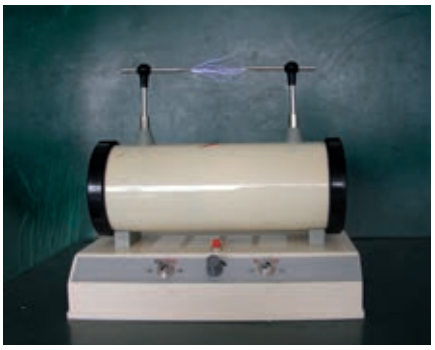


图 1–3–3 感应圈火花放电现象

感应圈可以在两接线柱之间产生几万伏的电压。安装放电针之后，两针尖端附近的空气就会被击穿，形成放电电流。

注意！感应圈通电后，切勿用手触摸放电针。

用静电净化空气

图 1–3–4 是电子空气净化器工作原理示意图。电子空气净化器利用风扇将空气送入机内。空气首先经过带正电的网格，这时带负电的烟尘等微粒被吸附在其上。接着，空气又通过带负电的网格，这时带正电的烟尘等微粒被吸附在其上。最后，活性炭过滤器再将空气中的剩余尘粒过滤掉，把洁净的空气送入室内。

用静电提高农药喷洒效果

喷洒农药的飞机上安装有静电喷嘴。静电喷嘴内装有一根带正电的针，使得农药水珠离开喷嘴时会带有大量正电荷。由于与大地相连的农作物的叶子一般都带负电，带正电的农药水珠喷洒到农作物上时，就被吸附在叶子上，不会被风吹走（图 1–3–5）。

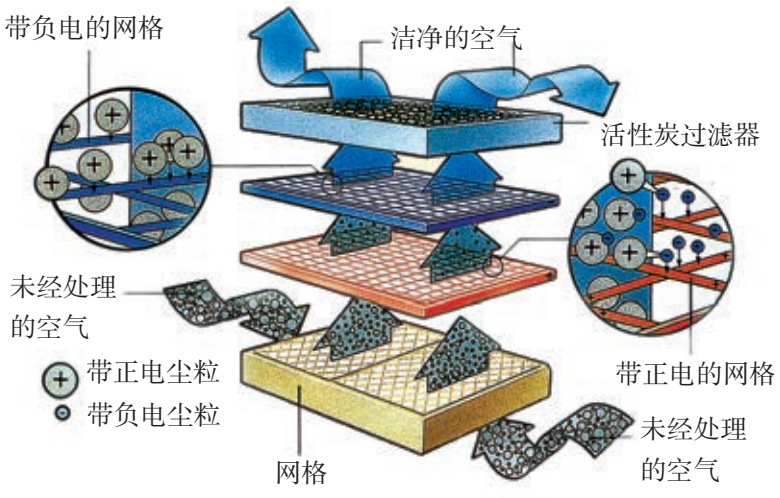


图 1–3–4 电子空气净化器工作原理示意图

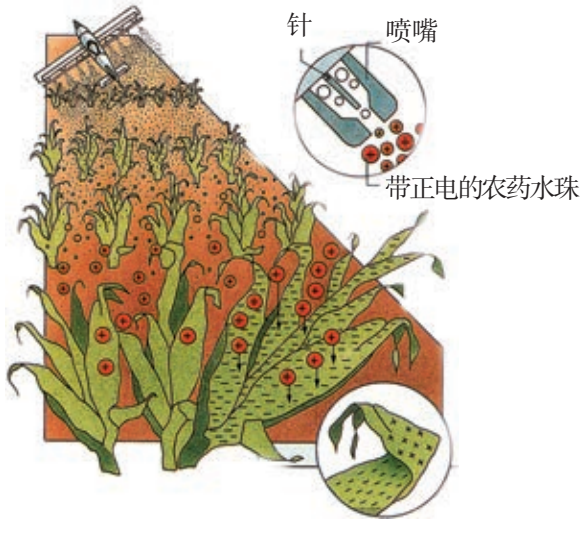


图 1–3–5 利用静电喷洒农药示意图

静电复印

静电复印机的使用已经很普遍。它的基本工作原理是：激光扫描原稿上的文字或图案，经反射，聚焦在携带静电的硒鼓上；激光扫描到原稿上的空白处，硒鼓上相应部位的静电荷就被消除，留在硒鼓上的静电荷就形成了原稿上的文字或图案；墨粉被硒鼓上的静电吸引，再被转移到复印纸上并被加热固定，复印纸上就出现了原稿上的文字或图案。图 1–3–6 用图解的方式展示了这一过程。

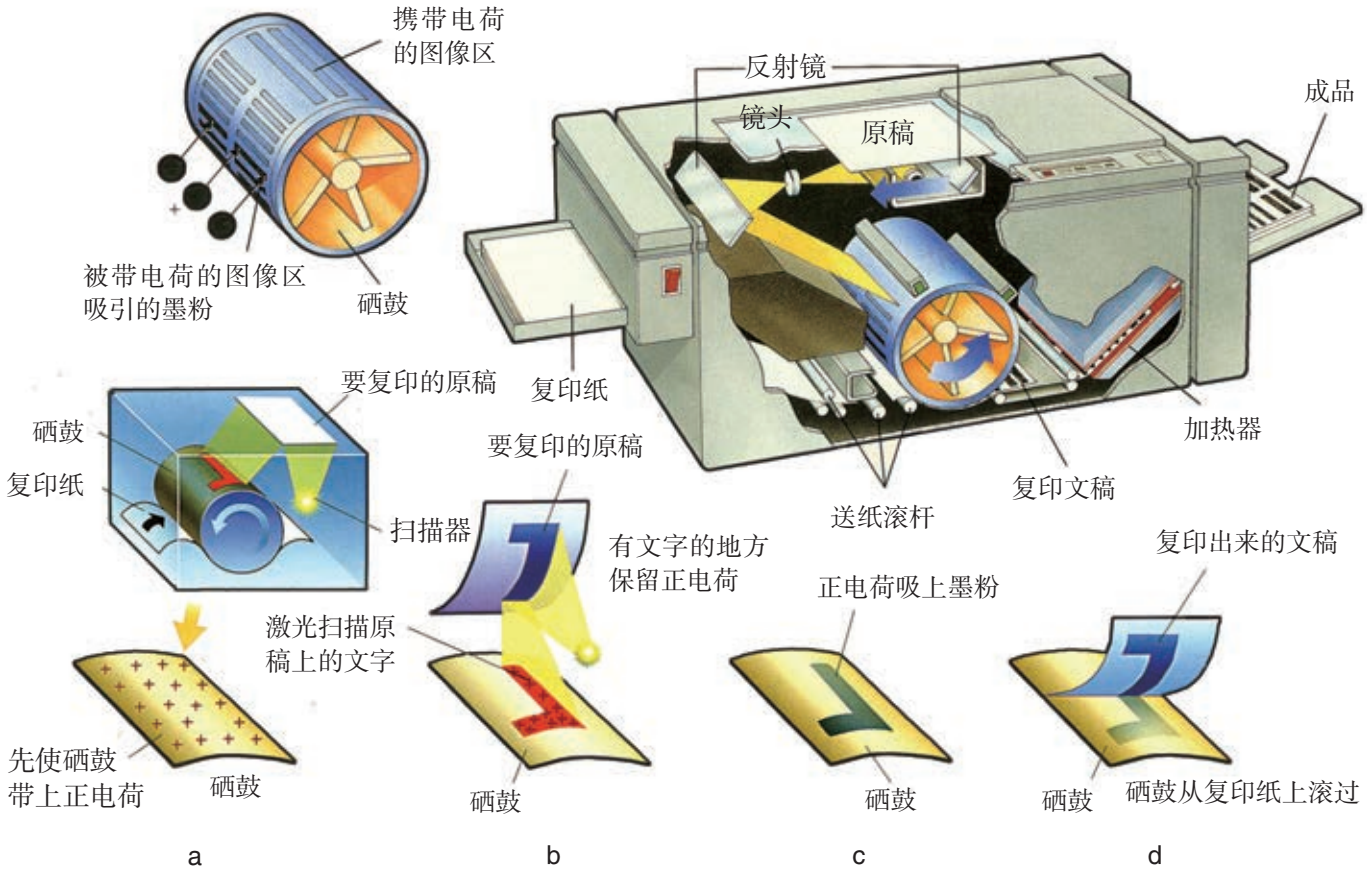


图 1–3–6　静电复印机结构及工作过程图解

静电植绒

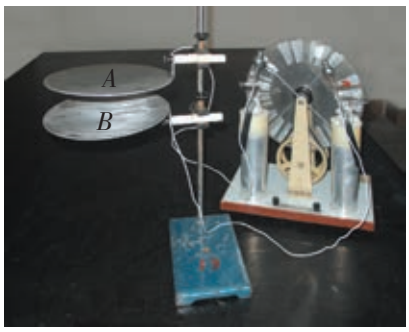


图 1–3–7　静电植绒实验装置

感应起电机利用静电感应，使两个莱顿瓶（储存电荷的容器）不断集聚电荷，从而在两放电球之间形成极高的电压。把两块金属圆板分别接在两个放电球上，两块金属板就分别带上异种的电荷。

实验探究　模拟静电植绒

参照图 1–3–7 所示的装置准备器材，进行安装，然后进行如下模拟静电植绒的操作：

（1）用蘸上胶水的毛笔在硬纸片上写字、作画，再用夹子将此硬纸片固定在金属圆板 *A* 下面（有字画的一面朝下）。

（2）将各种颜色的细碎纸屑均匀撒在下方金属圆板 *B* 上，调整两块金属板之间的距离为 4 ~ 5 cm。

（3）用导线将两块金属板分别接到感应起电机的两个放电球上，转动起电机，观察“静电植绒”的过程。

近年来，静电已开始在海水淡化、人工降雨、低温冷冻等方面大显身手，甚至在宇宙飞船上也安装有静电加料装置。

请你在课后上网收集有关静电应用方面的资料并与同学开展交流。

静电的危害及防护

无论是在日常生活和工农业生产中，还是在科学实验中，随时都可能出现因静电作用而引起的危害。下表列出了其中的一些。

静电力作用的不良后果	静电火花引起的危害
• 电视机的荧屏表面容易吸附灰尘，使图像的清晰度和亮度下降。 • 混纺衣服上常出现不易拍掉的灰尘。 • 印刷厂里，纸张之间因静电而黏合，给印刷带来不便。 • 制药厂里，因静电吸引尘埃，药品达不到标准纯度。	• 医院手术台上，静电火花会引起麻醉剂爆炸。 • 煤矿里，静电火花会引起瓦斯爆炸。 • 在航天领域，静电放电会干扰航天器的运行，甚至会造成火箭和卫星发射的失败。 • 在石化领域，因静电放电引起的事故屡见不鲜。

当人们认识到静电危害的起因后，各种防止静电危害的措施便应运而生。例如在工业生产中，改造起电强烈的工艺环节，采用起电较少的设备和抗静电材料；用导线将设备接地，把电荷导入大地；适当增加工作环境的湿度以让静电随时释放等。图 1–3–8 所示是用抗静电材料包装电子产品，图 1–3–9 所示是飞机加油时，飞机与加油车之间安装的接地装置。

空气与飞机摩擦使飞机带上正电，如果电荷量积累到一定程度就会向大地放电，在放电的过程中，会产生放电火花，引起火灾或爆炸事故。为了避免事故，飞机在加油前，往往要用接地的金属导线把加油车和飞机连接起来。



图 1–3–8　用抗静电材料包装电子产品



图 1–3–9　飞机加油车的接地装置

家庭作业与活动

1. 观察你身边发生的静电现象，分析产生的原因。
2. 分析保鲜膜在使用过程中，为什么常常会吸附在手上。
3. 静电的应用有多种，如静电除尘、静电喷涂、静电植绒、静电复印，它们共同的物理原理是：让带电的物质微粒在 _____ 力作用下，“奔向”并吸附到 _____ 电极上。
4. 把带电体上产生的静电荷移走可以防止静电荷积累而造成的危害。下列措施中，采取了上述方法的是（　　）。

   A. 油罐车后面装一条拖地铁链

   B. 电工钳柄上套有绝缘胶套

   C. 飞机上安装接地电缆

   D. 印染车间里保持适当的湿度
5. 请你上网或去图书馆收集关于防止雷电危害的资料，写一篇科普报告。

第 1 章家庭作业与活动

A 组

1. 打开自来水龙头，慢慢调节龙头，使水流变得很细，再用摩擦过的塑料棒靠近细水流，你发现了什么？解释你所观察到的现象。
2. 用毛皮摩擦过的橡胶棒靠近用绝缘细线悬挂的轻小软木球，请按照图 1–A–1 所示的装置做一做。除了观察到软木球被吸引以外，你还发现了什么现象？用学过的知识解释这些现象。

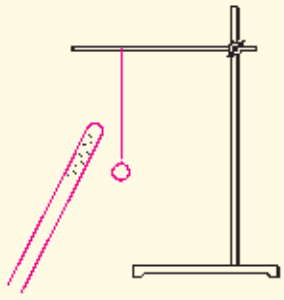


图 1–A–1

3. 请你尽可能多地找一些不同材料制成的物体，如塑料片、纸板、玻璃、毛线、腈纶丝、石蜡、铅笔杆等，分别让它们相互摩擦，比较这些物体得失电子的难易程度。
4. 有同学设计了一个验证库仑定律的实验：让两个软木球带电，用绝缘丝线将其中一个球悬挂起来，另一个球装在绝缘柄上，使它们处在同一水平高度上，保持某一水平距离，如图 1–A–2 所示。这时，只要测出以下两种情况下悬挂球偏离竖直方向上的角度 θ，就能算出库仑力，进而验证库仑定律。①保持两球带电量 q_1、q_2 不变，改变它们之间的水平距离 r；②保持两球水平距离不变，改变两球的带电量 q_1、q_2。

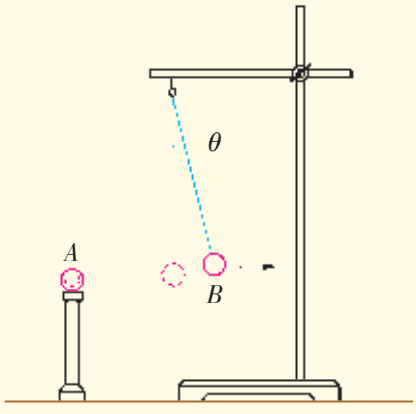


图 1–A–2

（1）请你利用测出的角度 θ，根据共点力的平衡条件，推导库仑力和 θ 之间的关系式。

（2）怎样让两个软木球带上等量同种电荷？又怎样改变它们的电荷量？

（3）怎样测量两球之间的水平距离？为什么要这样测量？

5. 某同学设计了一个验证电荷守恒定律的实验，实验装置如图 1–A–3 所示。实验步骤如下：

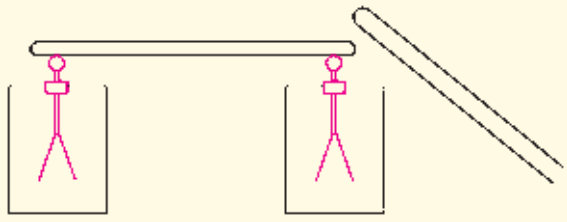


图 1–A–3

（1）用一根金属杆连接两只相同的验电器，让带电的有机玻璃棒靠近金属杆的一端，两只验电器的箔片均张开，为什么？

（2）在两只验电器的箔片均张开的情况下，先移走金属杆，再移走带电的有机玻璃棒，这时验电器的箔片是否保持张开状态？为什么？

（3）再用金属杆连接两只验电器，将会出现什么现象？这个现象说明了什么？这个实验能验证电荷守恒定律吗？为什么？

B 组

1. 下面是几个有趣的静电实验，请你动手做一做，体验一下做实验的乐趣。

（1）静电间歇喷泉

取一根尖嘴内径 0.5 ~ 0.8 mm 的玻璃管，管的另一端用橡皮管与自来水龙头相连。玻璃管尖嘴口朝上，并固定在铁支架上，如图 1–B–1 所示。打开水龙头，使尖嘴喷射出高 15 ~ 20 cm 的喷泉。用带电的有机玻璃棒置于喷泉上方约 30 cm 处，你会观察到断续喷射的喷泉。想一想，出现这个现象的原因是什么？

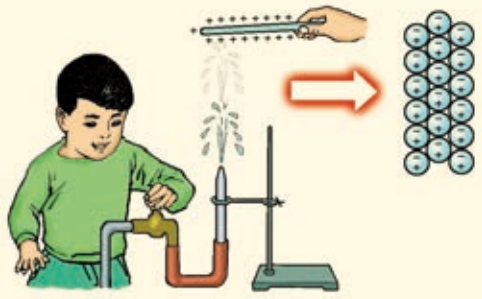


图 1–B–1

（2）自动蓬松的腈纶线

取一小团腈纶线，剪 40 根长为 80 cm 的线段，并成一股，梳理整齐后，两端用粗铜丝扎紧。让腈纶线松松地悬于木架的两只羊眼圈上，如图 1–B–2 a 所示。再用一枝铅笔按在线上，用力快速来回摩擦几下。移开铅笔后，你会观察到腈纶线向四周蓬松，呈橄榄状，如图 1–B–2 b 所示。请你解释这个现象。若用沾少量水的脱脂棉在腈纶线上从左至右揩一下，再用铅笔重复摩擦，它们再也不会呈现橄榄状了，这又是什么原因？

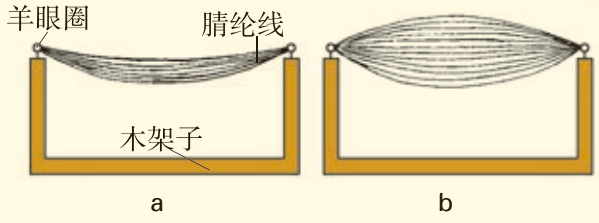


图 1–B–2

（3）人体不仅能产生数千伏静电压，而且能承受数千伏到数万伏的静电压，下面请你尝试一下人体静电实验。

① 晚上，取一根 8 W 日光灯管，用干净布将灯管上的灰揩去。左手握住灯管一端，右手捏住灯管管身并来回连续摩擦，灯管就会闪光。不信，你就试一试，想一想为什么。

② 请你站在聚苯乙烯绝缘板上，手握 8 W 日光灯管的一个电极，让一位伙伴手握塑料薄膜或化纤布，反复在你身上拍打。请另一位伙伴握住 8 W 日光灯管的中间或另一个电极。若在暗室里或晚上，你会发现日光灯管发光。请你与你的伙伴们试一试，仔细观察现象并加以解释。

2. 真空中，带电荷量分别为 $+Q$ 和 $-Q$ 的点电荷 A、B 相距 r，在距 A、B 电荷都为 r 的地方放置带电荷量为 $+Q$ 的点电荷 C。求：

（1）点电荷 C 所受的静电力；

（2）点电荷 A 所受的静电力。

3. 把一个点电荷的电荷量 Q 分为两部分 q_1 和 q_2，使点电荷 q_1 和 q_2 相距一定的距离。问：q_1 和 q_2 满足什么关系时，它们之间的库仑斥力达到最大值？

4. 两个小球各带电 $q = 2.1\times10^{-7}$ C，它们可以在图 1–B–3 所示的绝缘棒上无磨擦地自由滑动。若两个小球的质量都是 1.0×10^{-4} kg，试确定它们的平衡位置及棒对它们的作用力。

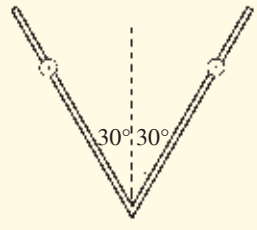
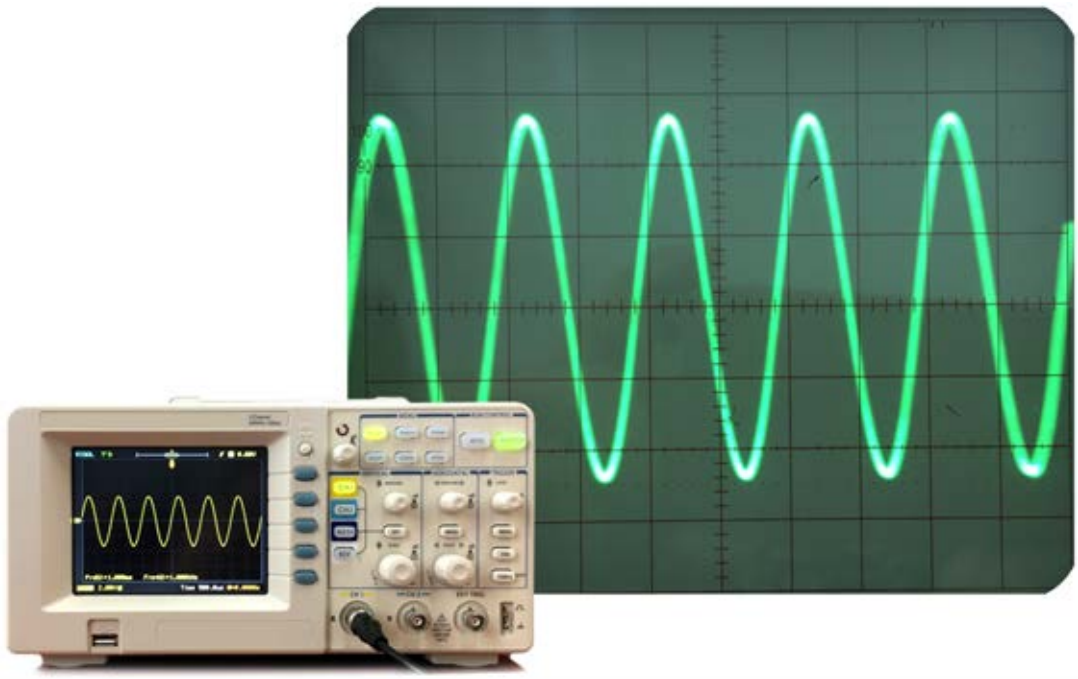


图 1–B–3



第2章　电场的性质

示波器（oscilloscope）在电子技术中有着广泛的应用。示波器的工作原理是，用变化的电场来控制电子束的运动，使电子束打在荧光屏上不同的位置，从而显示出电场变化的图像。那么：

什么是电场？

电场具有什么性质？

电场对场中电荷会产生什么作用？

如何利用电场控制场中电荷的运动？

……

本章首先从电荷的相互作用出发认识电场，理解电场是一种物质；然后从力的性质和能的性质两方面研究电场，学习用电场线物理模型定性分析电场，应用物理量定量研究电场；接着分析带电粒子在电场中的运动；最后实验探究电容器的特性，完整地经历科学探究过程。

2.1 电场强度

库仑定律揭示了电荷间的相互作用规律，那么，电荷间的相互作用是靠什么传递的呢?

电场

19 世纪 30 年代，法拉第在大量实验的基础上提出，电荷周围存在着由它产生的**电场**（electric field），处在电场中的其他电荷受到的作用力，就是这个电场给予的。电荷间的相互作用是靠电场来传递的。在法拉第研究的基础上，麦克斯韦建立了完整的电磁场理论。现在，场的概念已经成为现代物理学中最重要的基本概念之一。

场是物质存在的一种形态。凡是有电荷的空间，就存在着电场，电场的基本性质是能够对场中的电荷产生力的作用，这种力叫做**电场力**（electric field force）。

本章只讨论相对于观察者静止的电荷产生的电场，这种电场叫做**静电场**（electrostatic field）。

在物理学中出现了一个新的概念，这是牛顿时代以来最重要的发明：场。用来描写物理现象最重要的不是带电体，也不是粒子，而是带电体之间与粒子之间的空间中的场，这需要很大的科学想象力才能理解。

——爱因斯坦

怎样描述电场

定量描述电场

为了研究电场的力的性质，我们需要在电场中引入**试探电荷**（test charge），然后考察试探电荷的受力情况。

试探电荷是一种理想化的物理模型。试探电荷的电荷量和尺寸都必须充分小，以致可忽略它对原来电场的影响，同时又能确切地反映它所在处电场的性质。

分析与论证　定量研究电场的力的性质

假设我们所研究的电场是由点电荷 $+Q$ 所产生的，则定量研究电场的力的性质可分为两步进行。

1. 如图 2–1–1 所示，把电量为 $+q$ 的试探电荷分别放在电场中的 A、B、C 各处（设 $r_A = 3r_C$，$r_B = 2r_C$），计算电场对 $+q$ 的电场力 F_A、F_B、F_C。

可以发现，同一试探电荷 q 在电场中不同点处受到的电场力不同，其比 $\frac{F}{q}$ 也不同。

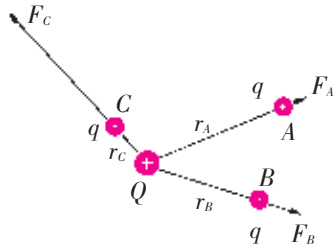


图 2–1–1　点电荷电场研究

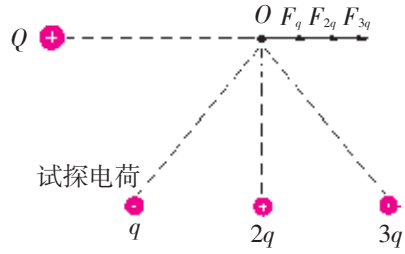


图 2–1–2　点电荷电场研究

2. 如图 2–1–2 所示，把电量分别为 $+q$、$+2q$、$+3q$ 的试探电荷依次放在电场中的同一点 O 处，计算电场对它们的电场力 F_q、F_{2q}、F_{3q}。

可以发现，不同的试探电荷，在电场中同一点处受到的电场力虽然不同，但比 $\frac{F}{q}$ 却相同。

由此可见，在电场中确定的点处，试探电荷受到的电场力 F 与试探电荷的电荷量 q 的比 $\frac{F}{q}$ 是一个不变的量，它与试探电荷的电荷量无关，仅与试探电荷在电场中的位置有关。因此，可以用这个比反映电场的强弱，即电场的力的性质。

用比来定义物理量是一种常用的研究方法。用这种方法可以揭示物质的某种属性，如：物质的密度 $\rho=\frac{m}{V}$，电阻 $R=\frac{U}{I}$ 等。

物理学中把放入**电场中某点处的电荷所受到的电场力 F 跟它的电荷量 q 的比叫做电场在该点的电场强度**（electric field strength），简称场强，用 E 表示，即

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

电场强度是由电场本身决定的物理量，它跟电场中是否有试探电荷、试探电荷的电量以及试探电荷受到的电场力均无关。

电场强度的单位是牛［顿］/ 库［仑］，符号是 N/C，其物理意义是，如果 1 C 的电荷在电场中某点处受到的电场力是 1 N，则该点的电场强度就是 1 N/C。下表给出了一些典型电场的电场强度的大小。

典型电场的一般强度值

电　　场	电场强度 E/(N·C^{-1})
带电硬橡胶棒的近处	1×10^3
在电视机显像管中	1×10^5
能在真空中产生火花	3×10^6
氢原子的电子轨道上	5×10^{11}

电场强度是矢量。物理学中规定，电场中某点场强的方向跟正电荷在该点所受到的电场力的方向相同。显然，负电荷在电场中某点所受到的电场力的方向跟该点场强的方向相反。

如果已知电场中某一点的电场强度为 E，就可以求出放在该点的电荷 q 受到的电场力，即

$$F = qE$$

根据库仑定律和电场强度的定义式，很容易得到真空中点电荷电场强度的公式

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

式中，r 是该点离开场源电荷 Q 的距离。

思考与讨论

1. 公式 $E = \frac{F}{q}$ 和 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 中的 q 与 Q 分别表示什么意义？两个公式的适用条件有何不同？

2. 如何从点电荷电场强度公式 $E = k\frac{Q}{r^2}$ 去理解库仑定律？

形象描述电场

在初中物理中，我们用磁感线来形象地描述磁场。在研究电场时，我们也可以用电场线来形象地描述电场。**电场线**（electric field line）**就是在电场中画出的一些有方向的曲线，在这些曲线上，每一点切线的方向表示该点的电场强度方向**（图 2–1–3）。应该注意，电场线不是电场中实际存在的线，而是形象地描述电场的假想的线。电场线是一种物理模型。

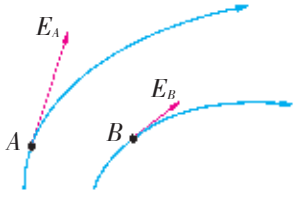
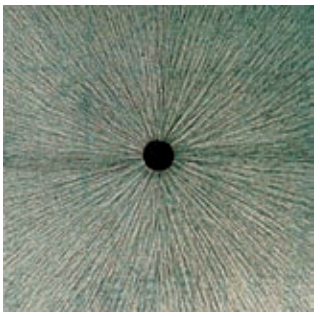


图 2–1–3 电场线与电场强度

电场线的疏密程度可以表示场强的大小，在同一幅用电场线描述电场的图中，电场线稠密的地方，场强大；电场线稀疏的地方，场强小。

把奎宁的针状结晶或头发屑悬浮在蓖麻油里，加上电场，针状奎宁结晶或头发屑就会按照场强的方向排列起来，形象地显示出电场线的大致分布情况（图 2–1–4a、图 2–1–5a 和图 2–1–6a）。

图 2–1–7 显示的是两块靠近的、分别带有等量异种电荷的平行金属板的电场线分布。除边缘附近外，两板之间电场的电场线是疏密程度一致的平行直线。这表明，该区域中场强的大小和方向都相同。



a 奎宁结晶或头发屑在点电荷电场中的分布情况

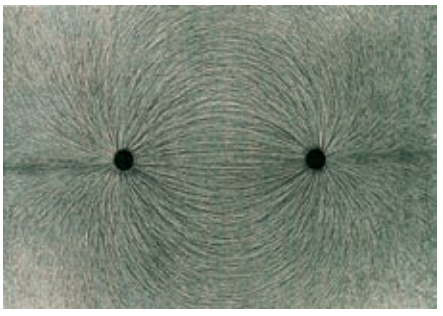


b 正电荷的电场线

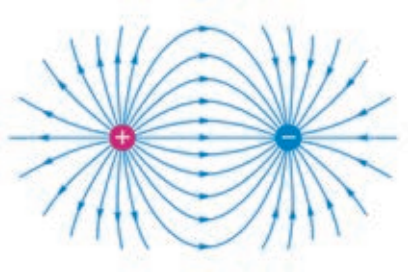


c 负电荷的电场线

图 2–1–4　点电荷的电场线分布情况：电场线从正电荷（或从无限远）出发到无限远（或到负电荷）

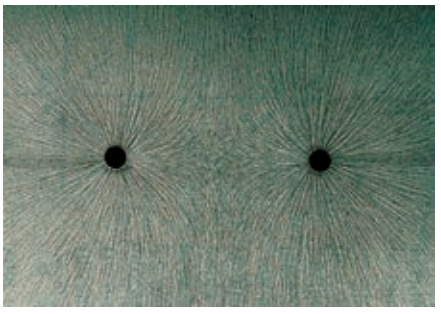


a 奎宁结晶或头发屑在等量异种点电荷的电场中的分布情况

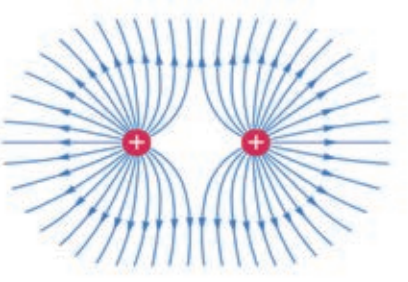


b 等量异种电荷的电场线分布情况

图 2–1–5　两等量异种点电荷的电场线分布

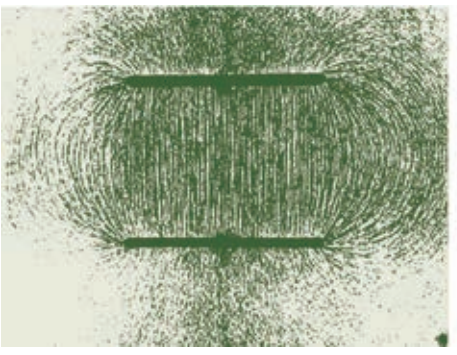


a 奎宁结晶或头发屑在等量同种点电荷的电场中的分布情况



b 等量同号电荷的电场线分布情况

图 2–1–6　两等量同种点电荷的电场线分布



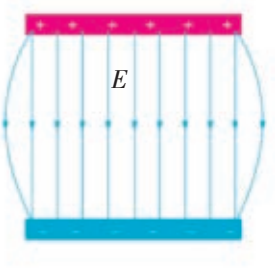


图 2–1–7　匀强电场的电场线分布

物理学中，把各处**场强的大小和方向都相同的电场叫做匀强电场**（uniform electric field）。同一电荷在匀强电场中各处受到的电场力相同。

请归纳一下，电场线有哪些特点？想一想，电场中是否存在两条相交的电场线？

多学一点　电场的叠加原理

我们知道，每个电荷都会在它的周围空间产生电场，那么当许多电荷同时存在时，空间各处的场强应该怎样计算呢？

我们先研究两个点电荷的电场。如图 2–1–8 所示，在真空中有两个相距为 l 的点电荷 Q_1、Q_2（设均为正电荷，且 $Q_1 = Q_2 = Q$）。空间某处 P 离开两点电荷的距离均为 r，用 E_1、E_2 分别表示点电荷 Q_1、Q_2 单独存在时在 P 点产生的电场强度。根据放置在 P 点的正电荷 q 所受电场力可以知道，场强的合成跟力的合成一样，所以 P 点的合场强 E_P 应该由 E_1、E_2 用平行四边形定则得到。

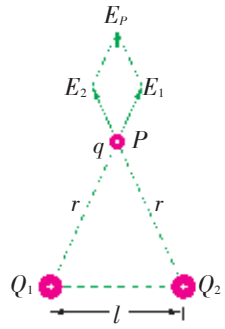


图 2–1–8　电场的叠加

一般情况下，许多点电荷在某点的合场强，等于各点电荷的电场在该点场强的矢量和，这叫做**电场的叠加原理**。

有人说，空间某处周围的正电荷越多，该处的电场强度一定越大；有人说，在一个正电荷周围再放一个负电荷，空间各处的电场强度一定变小。这两种说法对不对，为什么？

一个带电体或带电板（例如示波管偏转电极），可以看成是由若干点电荷组成的。因此，它产生的电场实际上就是若干点电荷产生的电场的叠加。

信息浏览

场的物质性

现代物理学的研究表明，电荷间的相互作用是通过场来传递的。场是物质存在的另一种形态。常见的场有电磁场、引力场（在地球附近称为重力场）、强相互作用场和弱相互作用场等。物体间的电磁相互作用通过电磁场以光速 3×10^8 m/s 传递。

场与实物一样，具有质量、能量和动量等，能够对处于其中的物体产生作用力、压强等。电磁场的质量密度很小，大约为 10^{-23} kg/m^3。光是电磁场，太阳光每秒照射在每平方米地球表面上的能量约为 1.35×10^3 J，对地球上物体产生的光压约为 10^{-6} Pa。

家庭作业与活动

1. 在电场中某点，当放入正电荷时受到的电场力方向水平向右。下列说法中正确的是（　　）。

A. 当在该点放正电荷时，该点场强方向向右

B. 当在该点放负电荷时，该点场强方向向左

C. 该点的场强方向一定向右

D. 该点的场强方向可能向右，也可能向左

2. 关于场强，下列说法中正确的是（　　）。

A. 由 $E = F/q$ 可知，某电场的场强 E 与 q 成反比，与 F 成正比

B. 正、负试探电荷在电场中同一点受到的电场力方向相反，因此某一点场强方向与放入试探电荷的正负有关

C. 电场中某一点的场强与放入该点的试探电荷正负无关

D. 电场中某点不放试探电荷时，则该点场强等于零

3. 地球的表面通常存在一竖直方向的电场，一带负电的微粒在此电场中受到一个竖直向上的力，请判断此电场的方向。

4. 真空中有一个点电荷 A，若在与 A 相距为 r 处放置电荷量为 q 的试探电荷，试探电荷受到的电场力为 F。现在移走试探电荷，则在与 A 相距为 $2r$ 处的电场强度为多大？

5. 如图 2–1–9 所示，在真空中有两个点电荷 q_1 和 q_2，分别位于 A 点和 B 点，q_1 的带电量为 $+4\times10^{-8}$ C，q_2 的带电量为 -8×10^{-8} C。$AB = AD = 20$ cm，求：

（1）q_1 在 D 点产生的场强大小；

（2）q_2 在 D 点产生的场强大小；

（3）D 点的场强大小和方向。

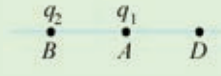


图 2–1–9

2.2 电场力做功的特点 电势能

在上一节中，我们运用比的方法，引入了描述电场性质的一个重要物理量——电场强度，初步认识了电场的力的性质。现在，我们从电荷在电场中移动时电场力做功引起电荷能量变化的关系上，进一步研究电场的能的性质。

研究电场力做功的特点

分析与论证 电场对电荷做功的特点

如图 2–2–1 所示，在场强为 E 的匀强电场中，有一个带电量为 q 的正电荷，它在电场力作用下从 A 点沿着电场线移动到 B 点（$AB = L$），电场力对它做功

$$W_{AB} = FL = qEL$$

如果使它在电场力作用下从 A 点沿路径 ACB 移动到 B 点，电场力做功为

$$\begin{aligned} W_{ACB} &= W_{AC} + W_{CB} \\ &= qE \cdot \cos\alpha \cdot AC + 0 \\ &= qEL \end{aligned}$$

因此

$$W_{AB} = W_{ACB}$$

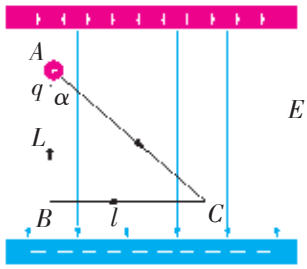


图 2–2–1 探究电场力对电荷做功的特点

如果 q 在电场力的作用下从 A 点沿任意曲线 ADB 移动到 B 点（图 2–2–2），我们可以将曲线分成非常多的小段，每段可看成直线，以该直线为一直角三角形的斜边，两直角边分别平行和垂直于电场线。

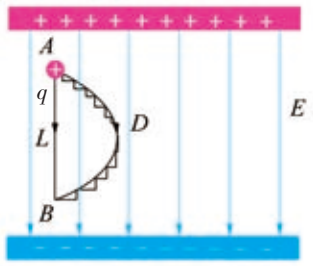


图 2–2–2 电场力对电荷做功的特点

容易证明

$$W_{ADB} = qEL$$

因此

$$W_{AB} = W_{ADB}$$

也就是说，电场力做功跟移动电荷的路径无关。

上面从匀强电场中得到的结论具有普遍意义，可以证明，在任意**静电场中，电场力对电荷所做的功跟移动电荷的路径无关**。

研究电荷在电场中的功能关系

分析与论证　电荷在电场中的电势能

用重力场与电场类比，可以帮助我们通过熟悉的重力场去认识尚未了解的有相似规律的电场。

我们知道，重力做功与路径无关。物体在重力场中具有重力势能。重力做功的结果引起物体重力势能的变化。既然电场力做功也与路径无关，可以推知，电荷在电场中也一定具有势能。电场力做功，必然会引起电荷势能的变化。

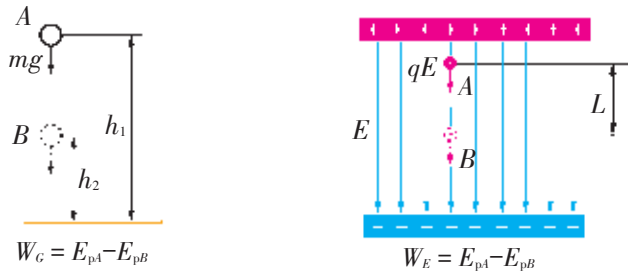


图 2–2–3　重力做功和电场力做功

我们把电荷在电场中具有的势能叫做**电势能**（electric potential energy），用 E_p 来表示。如图 2–2–3 所示，设电量为 q 的点电荷在 A、B 两点的电势能分别为 E_{pA} 和 E_{pB}。根据电场力做功与重力做功的类比，可以得出电荷从 A 点移到 B 点的过程中，电场力做功与电势能变化的关系，即

$$W_E = E_{pA} - E_{pB}$$

这个关系式也适用于非匀强电场。

所以，在电场中移动电荷，电场力做正功时，电荷的电势能一定减少；电场力做负功时，电荷的电势能一定增加。

电势能跟重力势能一样，也是一个相对量。电势能的大小跟零电势能位置的选择有关。如果规定 B 点的电势能为零，则 $E_{pA} = W_E$，也就是说，电荷在电场中某处的电势能，等于在电场力作用下把它从该处移动到零电势能位置时电场力所做的功。

在物理学中，通常把离开场源电荷无限远处规定为零电势能位置，或者把地球表面规定为零电势能位置。

电势差

分析与论证　电场中两点之间的电势差

根据电场力做功的特点，在匀强电场中，电荷 q 由 A 点移动到 B 点（图 2–2–4），无论沿怎样的路径，电场力所做的功

都是

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

由此可得

$$\frac{W_{AB}}{q} = \frac{E_{pA} - E_{pB}}{q} = EL$$

可见在匀强电场中，电场力对电荷做的功 W_{AB} 与电荷 q 的比值 $\frac{W_{AB}}{q}$，只跟电场中 A、B 两点的位置和电场强度有关，它反映了电场的能的性质。物理学中，把 $\frac{W_{AB}}{q}$ 叫做电场中 A、B 两点间的**电势差**（electric potential difference）。

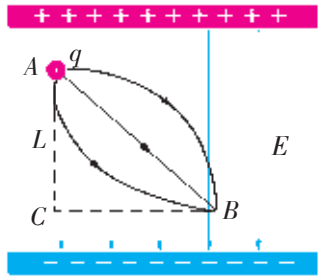


图 2-2-4 研究匀强电场中的电势差

上面的结论虽然是从匀强电场中得出的，但它对非匀强电场也都是适用的。

因此，一般情况下（图 2-2-5），如果电荷 q 在电场中由 A 点移动到 B 点，电场力做的功为 W_{AB}，则 A、B 两点间的电势差 U_{AB} 为

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

或

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

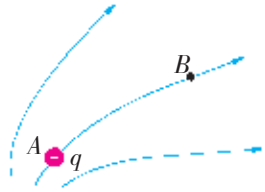


图 2-2-5 研究电势差

电场力所做的功可以是正功也可以是负功。两点间的电势差可以是正值，也可以是负值。

电势差也叫**电压**。在国际单位制中，电势差的单位是伏特（volt），简称伏，符号是 V。如果 1 C 的正电荷在电场中由一点移动到另一点，电场力所做的功为 1 J，这两点间的电势差就是 1 V，即

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

案例分析

案例 在图 2-2-6 所示的非匀强电场中，如果已知带电量 $q = -1 \times 10^{-5}$ C 的点电荷由 A 点移动到 B 点，电场力所做的功 $W_{AB} = 8 \times 10^{-3}$ J，则电荷的电势能如何变化？A、B 两点的电势差 U_{AB} 等于多少？

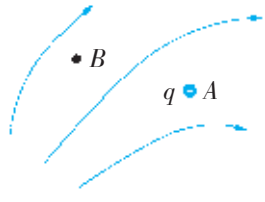


图 2-2-6 非匀强电场中各点间的电势差

分析 在任意电场中，移动电荷时电场力做功跟电荷电势能的变化、两点间的电势差之间有关系式

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

因此可以直接利用该式求解。

解答 由题意知，电荷从 A 点移到 B 点时电场力做正功（$W_{AB} > 0$），因此电荷的电势能减少。电势能的减少量为

$$E_{pA} - E_{pB} = W_{AB} = 8 \times 10^{-3}\ \text{J}$$

由于移动的是负电荷（$q < 0$），因此 A、B 两点间的电势差为

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{8 \times 10^{-3}}{-1 \times 10^{-5}}\ \text{V} = -800\ \text{V}$$

在研究微观粒子时，常用**电子伏特**（简称**电子伏**，符号是 eV）作为能量的单位。如果两点间的电压为 1 V，电场力把一个电子由一点移动到另一点，电场力所做的功等于 1 eV，而已知电子的电荷量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C，则

$$1\ \text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

家庭作业与活动

1. 下列说法中正确的是（　　）。

   A. 无论是正电荷还是负电荷，从电场中某点移到无限远处时，电场力做的正功越多，电荷在该点的电势能越大

   B. 无论是正电荷还是负电荷，从电场中某点移到无限远时，电场力做的正功越少，电荷在该点的电势能越大

   C. 无论是正电荷还是负电荷，从无限远移到电场中某点时，克服电场力做功越多，电荷在该点的电势能越大

   D. 无论是正电荷还是负电荷，从无穷远移到电场中某点时，电场力做功越多，电荷在该点的电势能越大

2. 在某电场中，把带电量 $q = -5 \times 10^{-9}$ C 的点电荷由 A 点移动到 B 点，电场力所做的功为 1×10^{-7} J。A、B 两点间的电势差 U_{AB} 是多大？ B、A 两点间的电势差 U_{BA} 是多大？

3. 电荷的电势能发生变化时，其减少量总是等于电场力对电荷所做的正功。在正电荷 Q 的电场中（图 2–2–7），把正电荷 q 从 A 点移到 B 点，电场力的方向与电荷移动的方向相同，电场力对电荷 q 做什么功？电势能怎样变化？在正电荷 Q 的电场中，负电荷 q 在 A、B 间移动时电势能如何变化？你能得出什么结论？

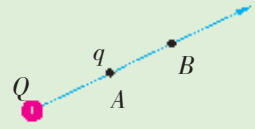


图 2–2–7

4. 如图 2–2–8 所示，在场强为 E 的匀强电场中有相距为 L 的 A、B 两点，连线 AB 与电场线的夹角为 θ。现将一电荷量为 q 的正电荷从 A 点移到 B 点。现若沿直线 AB 移动该电荷，电场力做的功 W_1 = _____；若沿路径 ACB 移动该电荷，电场力做的功 W_2 = _____；若沿曲线 ADB 移动该电荷，电场力做功 W_3 = _____。由此可知，电荷在电场中移动时，电场力做功的特点是 _____。

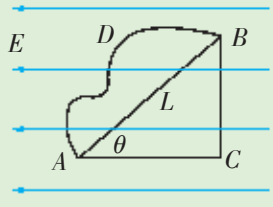


图 2–2–8

2.3 电势 电荷在电场中的运动

电势

分析与论证 电场中各点的电势

我们从电场力做功与电势能变化的关系，可以推知同一电荷在电场中不同位置上的电势能一般不同，不同电荷在电场中同一位置上的电势能一般也不同。进一步的研究指出，在一个确定的电场中，不同电荷（q_1，q_2，q_3，…，q_n）在电场中同一位置的电势能（E_{p1}，E_{p2}，E_{p3}，…，E_{pn}）与其电荷量之比是一定的，即

$$\frac{E_{p1}}{q_1}=\frac{E_{p2}}{q_2}=\frac{E_{p3}}{q_3}=\cdots=\frac{E_{pn}}{q_n}$$

这个比值仅由电场所决定，而跟放在该处的电荷无关。可见，这个比值可以客观地反映电场的能的特性。在物理学上，**把电荷在电场中某一点的电势能与其电荷量的比，叫做这一点的电势**（electric potential）。如果用 φ_M 表示电场中任意一点 M 的电势，用 E_{pM} 表示电荷 q 在该处的电势能，则

$$\varphi_M=\frac{E_{pM}}{q}$$

在国际单位制中，电势的单位也是伏［特］。

电势也具有相对的意义，电场中某点电势的大小跟零电势位置（称为零电势点）的选择有关。在理论研究中，常取离场源电荷无限远处的电势为零；在实际应用中，常取大地的电势为零。

如果我们选定了零电势点，电场中 A、B 两点的电势分别为 φ_A、φ_B，则 A、B 两点间的电势差就可表示为

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

在 A、B 两点间移动电荷时电场力做的功为

$$W_{AB}=qU_{AB}=q(\varphi_A-\varphi_B)$$

思考与讨论

请根据电场力做功与电势差的关系，比较图 2–3–1 所示点电荷电场中 A、B 两点与 C、D 两点电势的高低。由此你能否找出比较点电荷场中各点电势高低的简单方法？

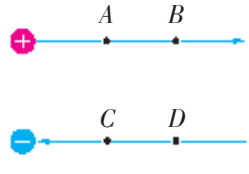


图 2–3–1 比较电势高低

电荷在电场中的这个特性同样可跟重力场类比：同一物体在重力场中不同位置上的重力势能一般不同，不同物体在重力场中同一位置上的重力势能一般也不同。

令 $\varphi_B=0$，$q=1\,\mathrm{C}$，可以看出，电场中某点 A 的电势 φ_A，数值上等于把单位正电荷从该点移到零电势点时电场力所做的功。

对点电荷的电场，我们通常选无限远处为零电势点。

电势是标量，没有方向，但有高低及正负之分。可以证明，在任何电场中，某处电场线的指向就是该处电势降落的方向。

案例分析

案例 在图 2–3–2 所示的匀强电场中，带电量 $q=4\times10^{-9}$C 的点电荷由上极板上 A 点移至 B 点时，电场力做的功为 8×10^{-3}J；由 B 点移至下极板上 C 点，电场力做的功为 1×10^{-2}J。A、B、C 各点的电势分别为多大？

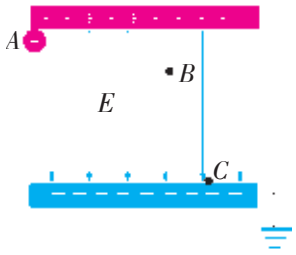


图 2–3–2　探究电场中各点的电势

分析 图中的下极板接地，表示取下极板电势为零，C 点在下极板上，$\varphi_C=0$。根据电场力做功与电势差的关系，求出 U_{BC}、U_{AB} 就可确定 φ_B、φ_A 的大小。

解答 由题知，$q=4\times10^{-9}$ C，$W_{AB}=8\times10^{-3}$ J，$W_{BC}=1\times10^{-2}$ J，C 点为接地的下极板上的一点，故 $\varphi_C=0$。

对于 B、C 两点，$U_{BC}=\dfrac{W_{BC}}{q}=\dfrac{1\times10^{-2}}{4\times10^{-9}}\ \text{V}=2.5\times10^{6}\ \text{V}$

由 $U_{BC}=\varphi_B-\varphi_C$ 得 B 点电势

$$\varphi_B=U_{BC}+\varphi_C=2.5\times10^{6}\ \text{V}+0=2.5\times10^{6}\ \text{V}$$

对于 A、B 两点，$U_{AB}=\dfrac{W_{AB}}{q}=\dfrac{8\times10^{-3}}{4\times10^{-9}}\ \text{V}=2.0\times10^{6}\ \text{V}$

由 $U_{AB}=\varphi_A-\varphi_B$ 得 A 点电势

$$\varphi_A=U_{AB}+\varphi_B=2.0\times10^{6}\ \text{V}+2.5\times10^{6}\ \text{V}=4.5\times10^{6}\ \text{V}$$

多学一点　电场的等势面

在地理学中，为了形象地表示地形的高低，常采用在地图上画等高线的方法。在电场中，我们也可以采用类似的方法表示电势的高低分布（图 2–3–3）。在物理学中，把电场中电势相等的点构成的线（面）叫做等势线（面）（equipotential line/surface）。同一等势线（面）上任意两点间的电势差为零，所以，在同一等势线（面）上移动电荷时，电场力不做功。因此，电场线一定跟等势面垂直，并且由电势高的等势面指向电势低的等势面。

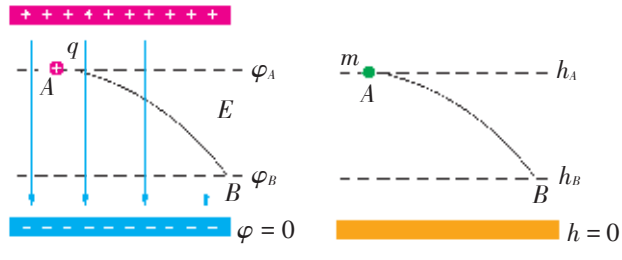
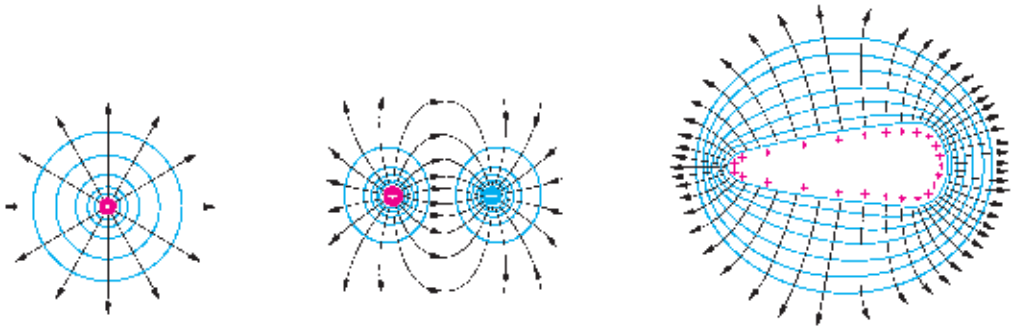


图 2–3–3　等势面与等高线

在定量研究电场时，由于测量电势比测量电场强度容易，所以常常先测绘出电场的等势面的形状和分布，再根据电场线跟等势面垂直的关系，绘出电场线的分布，就可以知道电场的总体情况了。

常见的几种电场的等势面如图 2–3–4 所示。



a 点电荷电场的等势面　b 等量异种点电荷电场的等势面　c 带电导体周围的等势面，电场线垂直于导体表面

图 2–3–4　各种电场的等势面

电势差与电场强度的关系

电场强度和电势差都是描述电场性质的物理量，两者必然有内在的联系。

为了研究电势差与电场强度之间的关系，我们以匀强电场为例进行分析。图 2–3–5 表示某一匀强电场的电场线分布情况。设 A、B 两点间的距离为 d，电势差为 U，场强为 E。把正电荷 q 由 A 点移动到 B 点，电场力所做的功 $W = Fd = qEd$，而 $W = qU$，可见

$$U = Ed$$

这表明，在匀强电场中，沿场强方向的两点间的电势差等于场强与这两点间距离的乘积。上式可变换为

$$E = \frac{U}{d}$$

这表明，在匀强电场中，电场强度在数值上等于沿场强方向每单位距离上的电势差。因此，电场强度的另一个单位是 V/m。

请证明：1 N/C = 1 V/m。

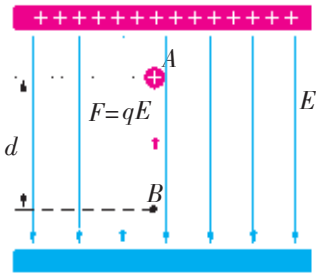


图 2–3–5　探究电势差与电场强度的关系

探究电子束在偏转电极中的偏移

示波管是示波器的核心部件，它由电子枪、偏转电极和荧光屏等组成，管内抽成真空。

在示波管工作过程中，通电灯丝发射的电子在电子枪阴极和阳极间受电场力的作用被加速，形成电子束，进入偏转电极

YY'、XX'（图 2–3–6）。电子束在 YY'、XX' 中受到电场力的作用，发生偏转，打到荧光屏上形成亮斑。亮斑的偏转情况跟电子束在 YY'、XX' 的电场中受到的力有关。

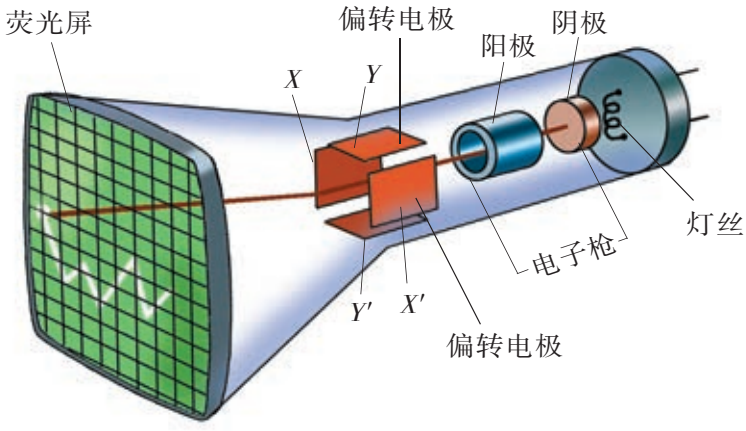


图 2–3–6　示波管示意图

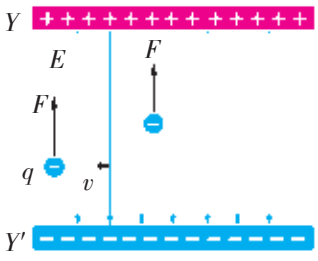


图 2–3–7　电子在电场中的偏转

示波管偏转电极 YY' 实际上是两块靠近的、大小相等、互相正对的平行金属板。偏转电极 XX' 的情况也是这样。

由于偏转电极的两块金属板靠得很近，可以认为，除了两板边缘外，电荷在板面中部均匀分布，电场线垂直于板面且均匀分布。

偏转电极两极板间的电场是匀强电场，电子在两极板间受到一个大小和方向都不变的电场力（图 2–3–7）。电子束进入偏转电极后是怎样运动的呢？下面用图 2–3–8 所示的模拟实验进行探究。

实验探究　观察带电油滴在匀强电场中的偏移

在图 2–3–8 所示的实验中，将两块金属板分别与起电机的

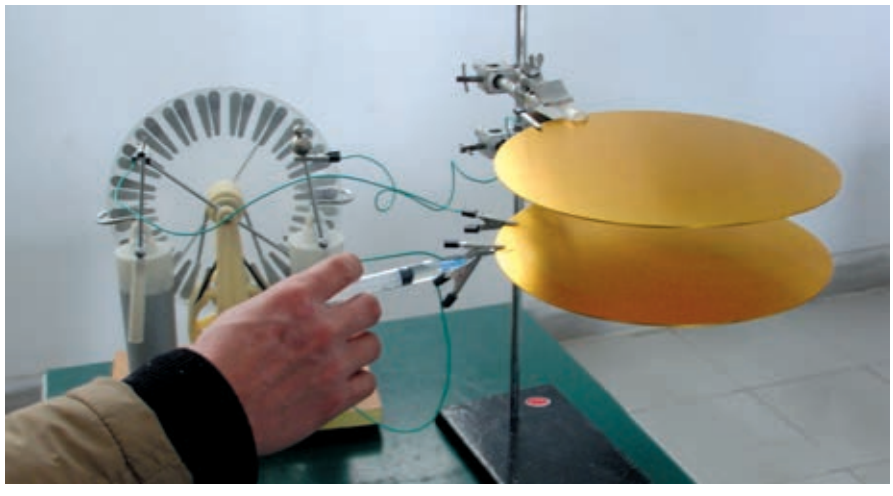


图 2–3–8　观察带电油滴在匀强电场中的偏移

正负极连接。在注射器中注入缝纫机油，用导线把注射器针头与负极金属板连接起来。摇动起电机后，推动注射器活塞，将机油水平射入两金属板之间的匀强电场中，观察带电油滴的运动情况。

根据上述实验，描画出匀强电场中电子运动轨迹的图形。利用《物理（必修 2）》的知识进行分析。

家庭作业与活动

1. 在图 2–3–9 所示的匀强电场中，如果 A 板接地，M、N 两点中，哪一点的电势高？电势是正值还是负值？如果 B 板接地，哪一点的电势高？电势是正值还是负值？取大地的电势为零。

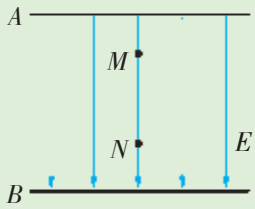


图 2–3–9

2. 如图 2–3–10 所示，M、N 为电场中两个等势面，直线 GH 是其中的一条电场线，则下列说法中正确的是（　　）。

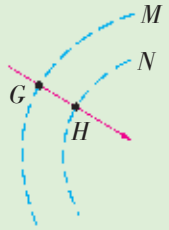


图 2–3–10

A. $E_{pG} < E_{pH}$

B. 正电荷置于 G 点时电势能大于置于 H 点时的电势能

C. $\varphi_G < \varphi_H$

D. 负电荷由 H 点移动到 G 点时电场力做正功

3. 将电荷量为 1×10^{-8} C 的正电荷，从无限远处移到电场中的 A 点，要克服电场力做功 2×10^{-6} J。

（1）电荷在 A 点的电势能是多少？

（2）A 点的电势是多少？

4. 如图 2–3–11 所示，A、B 是电场中两点，A 点的电场强度要_____于 B 点的电场强度，A 点的电势要_____于 B 点的电势。一个带负电的点电荷 Q 在 A 点所受的电场力要比它在 B 点所受的电场力_____，该负电荷在 A 点的电势能要比它在 B 点的电势能_____。

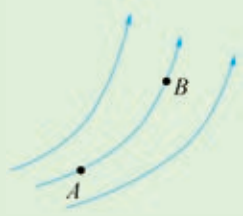


图 2–3–11

5. 在以点电荷为球心、r 为半径的球面上各点相同的物理量是（　　）。

A. 电场强度　　B. 同一电荷所受的电场力

C. 电势　　D. 同一电荷具有的电势能

6. 将一个带电量为 -2×10^{-9} C 的点电荷从电场中的 N 点移到 M 点，需克服电场力做功 1.4×10^{-8} J。N、M 两点间的电势差 U_{NM} 为多少？若将该点电荷从 M 点移到 N 点，电场力做什么功？U_{MN} 为多少？

7. 如图 2–3–12 所示，A、B、C、D 是匀强电场中一正方形的四个顶点，已知 A、B、C 三点的电势分别为 $\varphi_A = 15$ V，$\varphi_B = 3$ V，$\varphi_C = -3$ V，问 D 点的电势 φ_D 为多大？

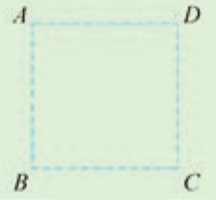


图 2–3–12

2.4 电容器 电容

电容器

电容器是一种重要的电路元件，在电子技术和电工技术中有着很重要的应用。什么是电容器呢？物理学中，把能储存电荷和电能的元件叫做**电容器**（capacitor）。两块正对的平行金属板中间夹有一层绝缘物质（例如空气、聚苯乙烯、云母等），就构成一个最简单的电容器，叫做平行板电容器。这两块金属板叫做电容器的极板。实际上，任何两个彼此绝缘又相隔很近的导体，都可以看成是一个电容器。电容器的符号如图 2–4–1 所示。电容器的种类很多，如图 2–4–2 所示。

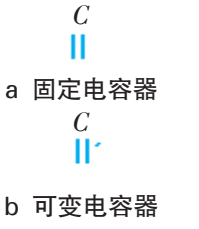


图 2–4–1 电容器的符号



图 2–4–2 各种电容器

学生必做实验 观察电容器的充、放电现象

将电源两极与电容器两极连接，电容器两块极板就分别带上等量的异种电荷。这个过程叫做**充电**（charging）。用电线将充电后的电容器两极板相连接，两块极板上的电荷就相互中和，电容器最终不再带电。这个过程叫做**放电**（discharging）。

电容器的充电和放电过程有什么特点？某同学设计了如图 2–4–3 所示的电路，试图通过手电筒小灯泡 H 的发光情况来观察电容器的充放电过程。

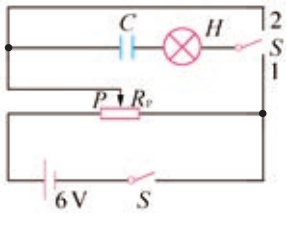


图 2–4–3 电容器充放电电路图

思考讨论

请结合图 2–4–3 所示电路，思考和讨论下列问题：

1. 为什么要在电路中接入滑动变阻器？

2. 适当调节滑动变阻器后，将单刀双掷开关 S 置于“1”位置，是给电容器充电还是让它放电？

3. 当将单刀双掷开关 S 置于“2”位置时，是给电容器充电还是让它放电？

4. 该同学根据什么来分析电容器充放电过程的特点？有什么特点？

设计实验

根据思考与讨论的结果，你能参考该同学的电路制订出你观察和研究电容器充放电的实验方案吗？

收集证据

根据你所制订的实验方案进行实验，将实验中观察到的现象记录在下表中。

电容器的充放电过程现象记录

电容器	充电电压	电容器状态	小灯泡闪光亮度与发光持续时间
电容器 A	U_1	充电	
		放电	
	U_2	充电	
		放电	
电容器 B	U_2	充电	
		放电	

分析论证

请分析讨论如下问题：

1. 当给电容器充电时，为什么小灯泡开始较亮，然后逐渐变暗，最后熄灭？

2. 当电容器放电时，为什么小灯泡亮了一下又熄灭了？此时电容器在电路中起什么作用？

3. 同一电容器在不同充电电压下，其充放电过程中小灯泡闪光亮度与发光持续时间的差异说明什么？

4. 相同充电电压下，不同电容器充放电过程中小灯泡闪光亮度与发光持续时间的差异又说明了什么？

电容

电容器到底储存了多少电荷？在以上实验中，充电电压越高，电容器放电时小灯泡发光越亮，持续时间越长，这说明电容器储存的电荷越多。实验表明，对于同一个电容器，每个极板所带的绝对电荷量 Q 跟电容器两极板间的电势差 U 成正比，也就是说它们的比 $\frac{Q}{U}$ 是一个确定的值，用 C 表示这个比。对于一个电容器来说，有

$$\frac{Q_1}{U_1}=\frac{Q_2}{U_2}=\cdots=\frac{Q_n}{U_n}=C$$

或

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

实验还表明，对于不同的电容器，即使两极板间的电势差相同，电容器储存的电荷也不一定相同。因此，对于不同的电容器，这个比 $\frac{Q}{U}$ 一般是不同的。可见，这个比反映了电容器储存电荷的本领。

物理学中把电容器所带的电荷量 Q 与电容器两极板间的电势差 U 的比，叫做电容器的电容（capacitance），用 C 表示。

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

电容器的电容在数值上等于两极板间的电势差为 1 V 时，电容器上所储存的电荷量。

在国际单位制中，电容的单位是**法拉**（farad），简称**法**，符号是 F。如果一个电容器带 1 C 的电荷量，两极板间的电势差是 1 V，这个电容器的电容就是 1 F。法这个单位太大，实际科研和生产中常用较小的单位：微法（μF）和皮法（pF）。它们的换算关系为

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

探究影响平行板电容器电容的因素

实验探究　平行板电容器的电容

前面指出，电容是反映电容器储电特性的物理量。那么，电容器的电容大小究竟由什么因素决定呢？下面，我们对最简

单的平行板电容器进行研究。

参照图 2–4–4 所示的实验装置和实验操作进行探究。用摩擦过的玻璃棒或橡胶棒使与静电计相连的极板带电。在保持极板上的电荷量 Q 不变的条件下，分别改变两极板的正对面积 S、两极板间的距离 d、两极板间的电介质，用静电计测量已充电的平行板电容器两极板间的电势差 U。通过不同情况下 U 的大小来探究电容 C 的大小跟相对介电常数 ε 、正对面积 S 及两极板间距离 d 的关系。

静电计是测量电势差的仪器。其指针的偏转角度越大，表示被测的两个导体间的电势差越大。

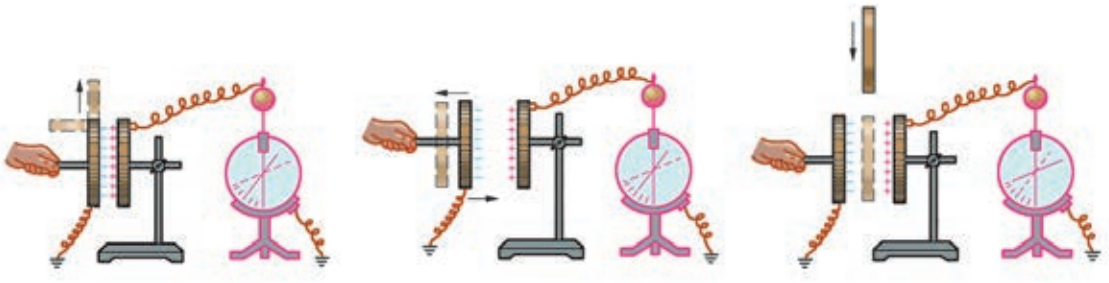
理论研究指出，平行板电容器的两极板间为真空时，其电容跟极板的正对面积成正比，跟两极板间的距离成反比，即

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

式中，k 为静电力常量。

当两极板间充满相对介电常数为 ε 的电介质时，电容量增大到 ε 倍，即

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



a 保持 Q 和 d 不变，研究 C 与 S 的关系
——发现 S 越小，U 越大，说明 C 越小

b 保持 Q 和 S 不变，研究 C 与 d 的关系
——发现 d 越大，U 越大，说明 C 越小

c 保持 Q、S 和 d 都不变，插入介质板，研究 C 与电介质的关系
——发现插入介质后，U 减小，说明 C 变大

图 2–4–4 探究影响平行板电容器电容的因素

常用电容器

从构造来看，常用的电容器可以分为固定电容器和可变电容器。

固定电容器的电容是固定不变的，常用的有聚苯乙烯电容器和电解电容器。聚苯乙烯电容器是在两层锡箔或铝箔中间夹以聚苯乙烯薄膜，卷成圆柱体制成的（图 2–4–5）。改变锡箔或铝箔的面积，就可以制成不同电容的聚苯乙烯电容器。

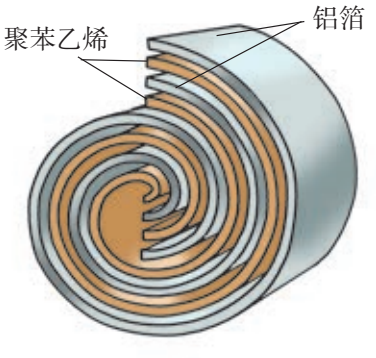


图 2–4–5 聚苯乙烯电容器内部结构示意图

电解电容器（图 2–4–6）是用铝箔作为一个极板，用铝

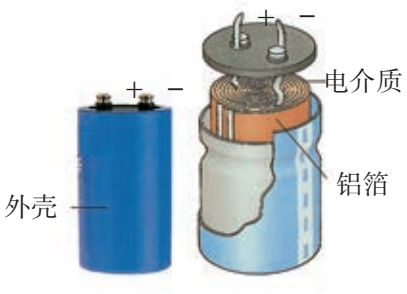


图 2–4–6　电解电容器

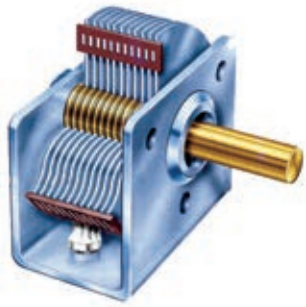


图 2–4–7　可变电容器

箔上很薄的一层氧化膜作为电介质，用浸渍过电解液的纸作为另一个极板制成的。由于氧化膜很薄，电解电容器的电容就较大。电解电容器的极性是固定的，使用时不能接错。

可变电容器由两组铝片组成（图 2–4–7），它的电容是可以改变的。固定的一组铝片叫做定片，可以转动的一组铝片叫做动片。转动动片，就可以使两组铝片的正对面积发生变化，电容就随着改变。

当加在电容器两极板上的电压超过某一限度时，电容器两极板间的电介质将被击穿，成为导体，两极板上的电荷就会中和，电容器就损坏了。这个极限电压叫做击穿电压。因此，电容器工作时的电压应低于击穿电压。电容器上一般都标明其电容和额定电压的数值。额定电压是电容器正常工作时所能承受的电压，它比击穿电压要低一些。

家庭作业与活动

1. 对电容 $C=\frac{Q}{U}$，下列说法中正确的是（　　）。

A. 一个电容器充的电荷量越多，电容就越大

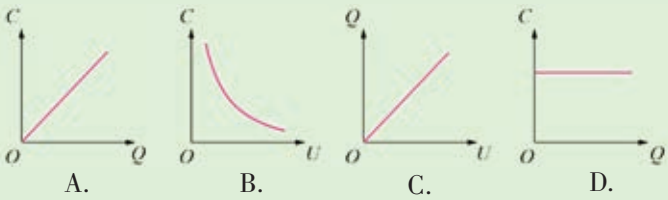
B. 对于固定的电容器，它所充电荷量跟它两极板间所加电压的比值保持不变

C. 可变电容器充的电荷量跟加在两极板间的电压成正比

D. 由 $C=\frac{Q}{U}$ 知，如果一个电容器没有电压，就没有充电的电荷量，也就没有电容

2. 一个电容器的电容是 1.5×10^{-2} μF，把它的两极接在 90 V 的电源上，电容器每个极板所带的电荷量是多少？

3. 如图 2–4–8 所示，四个图像描述了对给定的电容器充电时，电容器电量 Q、电压 U 和电容 C 三者的关系，正确的图像有（　　）。



A.　B.　C.　D.

图 2–4–8

4. 两个较大的平行金属板 A、B 相距为 d，分别接在电压为 U 的电源正、负极上，这时质量为 m、带电量为 $-q$ 的油滴恰好静止在两极之间，如图 2–4–9 所示。在其他条件不变的情况下，如果将两极非常缓慢地错开一些，那么在错开的过程中（　　）。

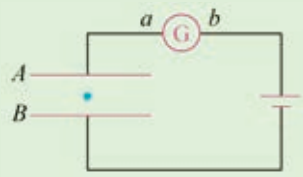


图 2–4–9

A. 油滴将向上加速运动，电流计中电流从 b 流向 a

B. 油滴将向下加速运动，电流计中的电流从 a 流向 b

C. 油滴静止不动，电流计中的电流从 b 流向 a

D. 油滴静止不动，电流计中的电流从 a 流向 b

5. 图 2–4–10 所示为某一电容器中所带电量和两端电压之间的关系图像。若将该电容器两端的电压从 40 V 降低到 36 V，对电容器来说正确的是（　　）。

A. 电容器处于充电过程

B. 电容器处于放电过程

C. 该电容器的电容为 5.0×10^{-2} F

D. 电容器的电量变化量为 0.20 C

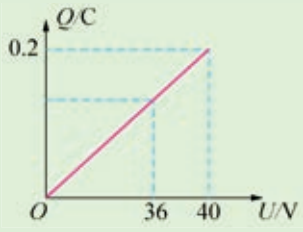


图 2–4–10

C. 断开 S 后，使 B 板向右平移，拉开一些

D. 断开 S 后，使 A、B 错开一些

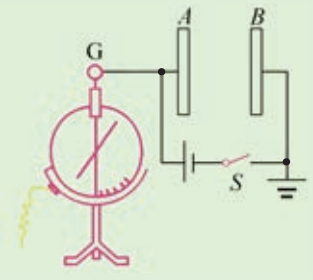


图 2–4–11

6. 图 2–4–11 所示电路中，A、B 为两块竖直放置的金属板，G 是一只静电计，开关 S 闭合后，静电计指针张开一个角度。下述做法中可使指针张角增大的是（　　）。

A. 使 A、B 两板靠近一些

B. 使 A、B 两板错开一些

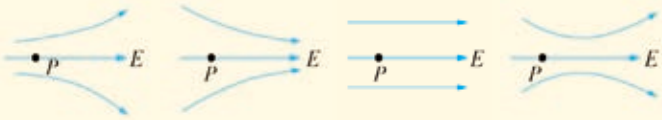
7. 某平行板电容器的电容为 C，所带电荷量为 Q，极板相距为 d。现在板间中点放一个电荷量为 q 的点电荷，则该点电荷受到的电场力的大小为（　　）。

A. $\dfrac{2kQq}{d^2}$　B. $\dfrac{4kQq}{d^2}$　C. $\dfrac{Qq}{Cd}$　D. $\dfrac{2Qq}{Cd}$

第 2 章家庭作业与活动

A 组

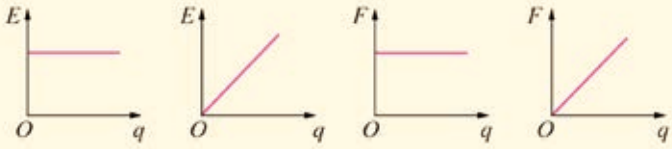
1. 在图 2–A–1 所示电场中的 P 点放置一正电荷，使其从静止开始运动，加速度逐渐增大的是图中的（　　）。



A.　　B.　　C.　　D.

图 2–A–1

2. 如图 2–2 所示是电场中某点的电场强度 E 与放在该点处的检验电荷 q 及所受电场力 F 之间的函数关系图像，其中正确的是（　　）。



A.　　B.　　C.　　D.

图 2–A–2

3. 图 2–A–3 所示为某静电场的一部分电场线分布情况，下列说法中正确的是（　　）。

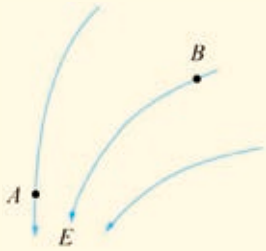


图 2–A–3

A. 这个电场可能是负点电荷的电场

B. A 点的电场强度大于 B 点的电场强度

C. A、B 两点的电场强度方向不相同

D. 负电荷在 B 点处受到的电场力的方向沿 B 点切线方向

4. 真空中，A、B 两点与点电荷 Q 的距离分别为 r 和 $3r$，则 A、B 两点的电场强度大小之比为（　　）。

A. 3∶1　　B. 1∶3　　C. 9∶1　　D. 1∶9

5. 传感器是一种采集信息的重要器件，图 2–A–4 所示的是一种测定压力的电容式传感器。当待测压力 F 作用于可动膜片电极上时

① 若 F 向上压膜片电极，电路中有从 a 到 b 的电流

② 若 F 向上压膜片电极，电路中有从 b 到 a 的电流

③ 若 F 向上压膜片电极，电路中不会出现电流

④ 若电流表有示数，则说明压力 F 发生变化

⑤ 若电流表有示数，则说明压力 F 不发生变化

以上说法中正确说法的组合是（　　）。

A. ②④　　B. ①④

C. ③⑤　　D. ①⑤

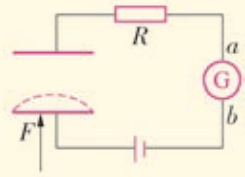


图 2–A–4

6. 1999 年 7 月 12 日，日本原子能公司下属敦贺湾核电站由于水管破裂导致高辐射冷却剂外泄。在检测此次重大事故中应用了非电量变化（冷却剂外泄使管中液面变化）转换为电信号的自动化测量技术。图 2–A–5 是一种通过检测电容器电容的变化来检测液面高低的仪器的原理图。容器中装有导电液体，是电容器的一个电极，中间的芯柱是电容器的另一个电极，芯柱外面套有绝缘管（塑料或橡皮）作为电介质，电容器的两个电极分别用导线接在指示器上，指示器上显示的虽然是电容的大小，但从电容的大小就可知容器中液面位置的高低。对此，下列说法中正确的是（　　）。

A. 如果指示器显示出电容增大了，则两电极正对面积增大，必为液面升高

B. 如果指示器显示出电容减小了，则两电极正对面积增大，必为液面升高

C. 如果指示器显示出电容增大了，则两电极正

对面积减小，必为液面降低

D. 如果指示器显示出电容减小了，则两电极正对面积增大，必为液面降低

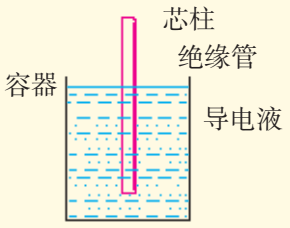


图 2–A–5

B 组

1. 密立根油滴实验进一步证实了电子的存在，揭示了电荷的非连续性。图 2–B–1 是密立根油滴实验的原理示意图。设小油滴的质量为 m，调节两板间电势差为 U。当小油滴悬浮不动时，测出两板间距离为 d，可求出小油滴的带电量 q = _____。

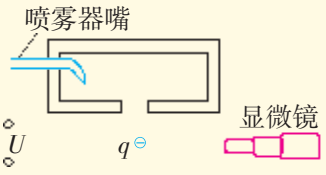


图 2–B–1

2. 如图 2–B–2 所示，水平放置的两平行金属板相距为 d，充电后其间形成匀强电场。一带电量为 $+q$、质量为 m 的液滴从下板边缘射入电场，并沿直线运动恰好从上板边缘射出。

（1）该液滴在电场中做什么运动？

（2）求电场强度的大小；

（3）求电场力所做的功。

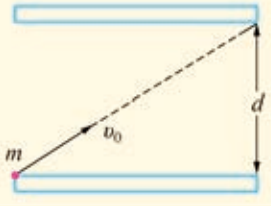


图 2–B–2

3. 一匀强电场方向水平向右，一带电颗粒沿图 2–B–3 中所示虚线，在电场中沿斜向做直线运动。带电颗粒在从 A 点运动到 B 点的过程中，下列关于其能量变化及带电情况的说法中，正确的是（　　）。

A. 颗粒一定带负电

B. 颗粒可能带正电

C. 颗粒的机械能减少，电势能增加

D. 颗粒的机械能减少，动能增加

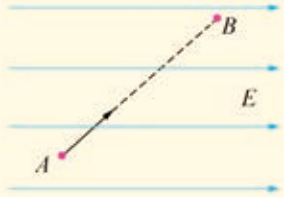


图 2–B–3

4. 如图 2–B–4 所示，虚线 a、b、c 代表静电场中的三个等势面，它们的电势分别为 φ_a、φ_b 和 φ_c，$\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$。一带正电的粒子射入电场中，其运动轨迹如图中实线 $KLMN$ 所示，由图可知（　　）。

A. 粒子从 K 到 L 的过程中，电场力做负功

B. 粒子从 L 到 M 的过程中，电场力做负功

C. 粒子从 K 到 L 的过程中，电势能增加

D. 粒子从 L 到 M 的过程中，动能减少

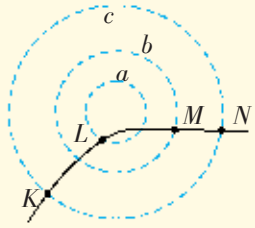


图 2–B–4

5. 在实验室完成下述实验（图 2–B–5）：将一只开口的空心金属球放在验电器 A 的导杆上，用与丝绸摩擦过的玻璃棒接触空心金属球，观察验电器 A 指针的情况。用绝缘小金属球分别与空心金属球外表和内壁接触，再分别与验电器 B 的金属球接触（即把电荷转移到验电器 B 上）。分别反复操作几次，观察两种情况下验电器 B 指针的位置变化。你发现了什么？请完成实验报告。

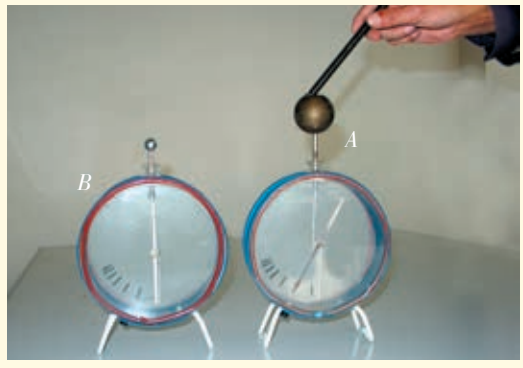


图 2–B–5　研究带电空心金属球的电荷分布