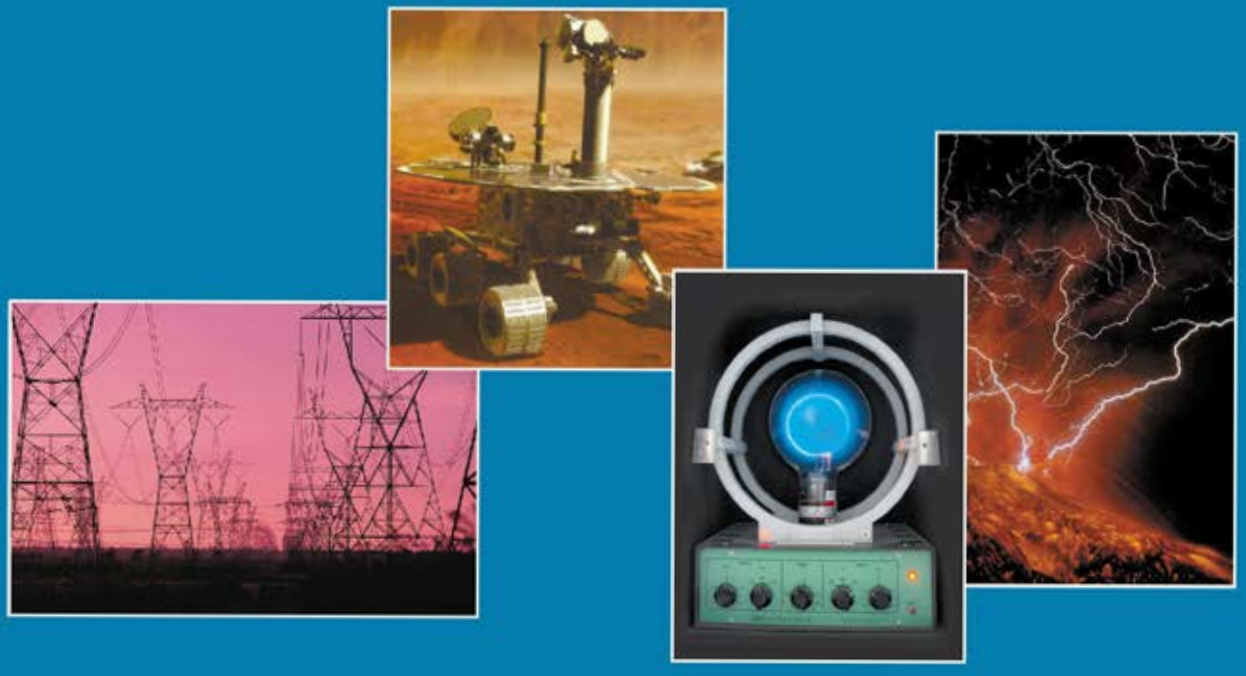
经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理 选修 1-1

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 1–1！

这是为你选学人文学科而专门编写的高中物理教科书。打开本书正文，在你眼前展示的，是一幅生动的历史长卷：从古老的电现象，到 19 世纪开始的电气时代，再到如今的信息时代，为了认识电磁现象，探索其中的规律，并利用这些规律为社会造福，科学家们付出了何等艰辛的劳动，又取得了何等辉煌的成就。在欣赏这幅画卷的同时，你将认识到基本的电磁现象和规律，了解到电磁技术与社会发展的互动关系。

为适应你选择的发展方向，我们将引导你采用一种以观察实验现象、定性诠释原理、分析相互关系、探讨社会影响为主的新的学习方法。你将亲历过程，探究电磁学的基础知识和重要规律，体验物理学的基本观点和研究方法，享受科学给你带来的乐趣。

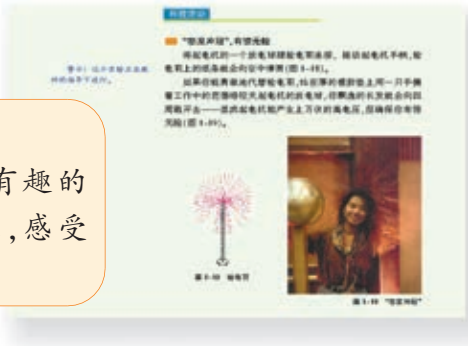
我们为你的学习精心营造了一个良好的氛围，设置了帮助你理解、扩展你视野、锻炼你能力、使你能充分施展才华的平台。

著名的物理学家、诺贝尔奖获得者李政道博士说过：“科学和艺术的共同基础是人类的创造力，它们追求的目标都是普遍的真理。”物理学的成就和方法是人类智慧的结晶，是世界文化的瑰宝。物理学的丰硕成果会直接引发人们思维方式、生产方式和生活方式上的变革。全社会的每一个成员都能从物理学中汲取到有益的营养。物理学的许多研究方法早已被移植到社会科学领域，并已开花结果。“文科”与“理科”间的鸿沟正被逐渐填平。未来的社会栋梁，不但要知道奥赛罗、红楼梦，也要知道宇宙大爆炸、黑洞；不仅会欣赏毕加索、徐悲鸿，也要会欣赏爱因斯坦、霍金。

人们称诗歌(Poetry)和物理学(Physics)是代表人类智慧的两个伟大的 P，它们在人类文明的进程中都有着重大的影响。我们相信，它们必将在未来的社会栋梁身上得到更完美的体现，而这，正是本书追求的宗旨。

亲爱的同学，让我们共同努力吧！





科技活动

这里为你安排了一些有趣的实验和活动，你将亲历过程，感受科学给你带来的乐趣。



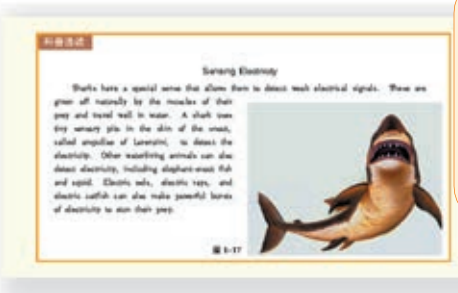
信息浏览

这里既是相关知识的链接点，又是浏览物理世界大好风光的窗口。在休闲式的阅读中，你的知识贮藏将逐渐丰富。



科学与社会

在这里，你将领略到科技巨匠的风采，感受到科技发明的魅力，认识到科学发明对人类文明和社会进步的巨大作用。

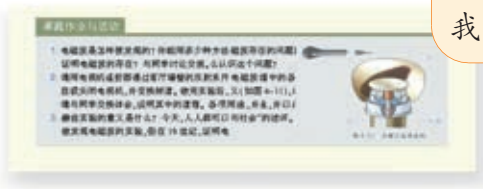


科普选读

这里从中英文科普作品中为你精心挑选了一些美文。在你感到赏心悦目的同时，你的科学素养得到了提升，你的英语能力得到了锻炼。

家庭作业与活动

这里为你提供了丰富多彩的学习活动，让你通过回顾进行自我评价，使你体验到成功的喜悦





目 录



第 1 章 从富兰克林到库仑 6

1.1 从闪电谈起 7

1.2 电学中的第一个定律——库仑定律 14

1.3 物质的又一种形态 18

1.4 静电与生活 22

第 2 章 打开电磁联系的大门 26

2.1 揭示电磁联系的第一个实验 26

2.2 安培力与磁感应强度 32

2.3 改写通信史的发明——电报和电话 37

2.4 电子束偏转的奥秘 45

第 3 章 划时代的发现 50

3.1 法拉第的探索 50

3.2 一条来之不易的规律——电磁感应定律 57

3.3 发电机与电动机 61

3.4 电能与社会 66

3.5 伟大的丰碑——麦克斯韦的电磁场理论 71







第4章 电磁波与现代通信 76

4.1 电磁波的发现 77

4.2 无线电波与现代通信 82

4.3 信息的获取——传感器 93

第5章 走进现代化家庭 100

5.1 客厅里的精彩 100

5.2 厨房里的革命 106

5.3 现代化家庭 110



总结与评价 科学讨论会 118

研究课题示例 118

评价表 119

一道闪电
像一把利剑
划破长空
催动着滚滚雷声
……



图 1–1　闪电

第 1 章
从富兰克林到库仑

人们对电的认识始于闪电。世界各地的民族，对闪电都曾怀有一种恐惧、敬畏的心理。在许多神话传说中，闪电被拟人化地比喻为天神在发怒，在咆哮。

不过，也有过许多可贵的思想家，反对神秘主义，在科学的荒原上积极寻找闪电的本质。

我国西汉时典籍《淮南子》中记载："阴阳相薄为雷，激扬为电。"意思是说，电是一种激荡之气，闪电是阴阳两种气相互作用的结果。这种说法最可贵之处是，它指出了闪电是一种自然现象。

那么，云层中为什么会有电？电的相互作用是怎样发生的？电的相互作用有什么规律？闪电属于静电范畴，静电又有什么应用价值？

闪电中蕴含着巨大的奥秘，正召唤着人们去探索。

本章以闪电为背景，追本溯源，从研究摩擦起电开始，介绍富兰克林(B. Franklin)的风筝实验如何统一了人们对天电与地电的认识；接着，通过电荷相互作用的研究和库仑定律建立过程的介绍，得到电学中第一个定律；通过引入电场的概念，使你领略到场是物质的一种形态；最后，通过对闪电的功过评说，介绍静电的应用与防止。

1.1 从闪电谈起

现代科学告诉我们，闪电是一种普通的自然现象。大气中冷、暖气流上下急剧翻滚、互相摩擦，云层就会积聚电荷。当电荷积累到一定程度，瞬间发生大规模的放电，就产生了闪电（图 1–2）。

不过，在科学史上，从最早发现电现象，到认识闪电的本质，经历了漫长的岁月，一些人还为此付出过惨痛的代价。

现在，我们可以用起电机在实验室里模拟闪电。

如图 1–3 所示，摇动起电机手柄，两个放电球上的电荷就会逐渐增多。当电荷积聚到一定程度时，两个小球间就会发生火花放电，同时发出噼噼啪啪的声响，犹如电闪雷鸣。



图 1–2　云层积聚电荷



图 1–3　起电机

静电现象的发现

人们对静电吸引的发现，在东西方都可以追溯到很久以前。

我国东汉王充在《论衡》中记载有“顿牟掇芥”的话。顿牟即玳瑁，是一种跟海龟相似的动物，其甲壳十分光滑，可作首饰；芥是干燥的草屑。这句话表明，我国古人已发现摩擦后的玳瑁可以吸引轻小的物体。

据史书记载，三国时，吴国的虞翻就知道：“虎魄不取腐芥”。虎魄即琥珀；腐芥即腐烂的芥籽，其中含有水分，不能被摩擦后的琥珀吸引。

西方大约在 2000 年前，古希腊的泰勒斯（Thales）用琥珀和布料相互摩擦后，发现琥珀就会吸引轻小物体。

在很长一段时间里，东西方古人对电的认识基本上停留在记载和描述的水平上。直到 16 世纪，才由英国的御医吉尔伯特（W. Gilbert）作了进一步的研究，并把它与磁的吸引相区别，称为**电**。“电”的英语“electricity”一词就是源于希腊语中的“琥珀”（ηλεκτρον）。



“看，琥珀都有灵魂哩！”泰勒斯半开玩笑地说。

图 1–4　泰勒斯的发现

科技活动

观察摩擦起电现象

取两块干燥、洁净的有机玻璃和聚丙烯塑料板，互相摩擦后迅速分开，再将任一块板放入验电器上方金属筒内，观察箔片是否会张开(图 1–5a)。如果将两块板一起放入筒内(图 1–5b)，观察箔片是否会张开。

重复操作几次，你认为摩擦后两个物体得到的电荷量和电性有怎样的关系？

电不能因摩擦而创生，而只是从摩擦物转移到玻璃管，摩擦物失去的电与玻璃管获得的电严格相同。

——富兰克林

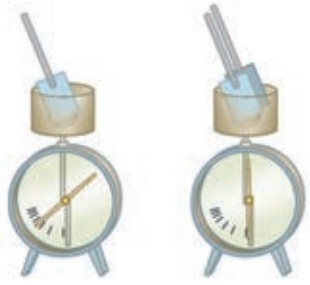


图 1–5　观察摩擦起电现象

观察静电感应现象

1. 取两个相同的验电器，用一根长的导体杆把它们连接在一起，再用丝绸摩擦过的有机玻璃棒靠近一个验电器的上端。你观察到了什么现象(图 1–6)？

2. 先移走连接杆，再移开有机玻璃棒。你认为两验电器的金箔是否仍会张开？

想一想，两个验电器带的电性有什么区别？你能用实验加以验证吗？

用带电体靠近绝缘导体，使绝缘导体带电的现象，叫做静电感应。

3. 利用两个验电器进行实验，你能得出静电感应现象中绝缘导体两端的电荷和电性间的关系吗？

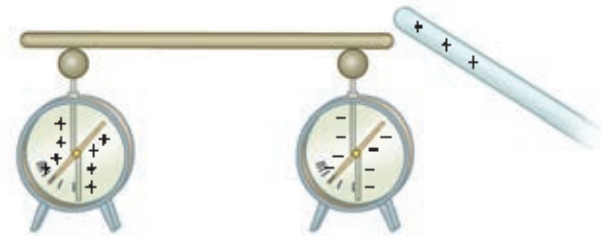


图 1–6　观察静电感应现象

电学的“法典”——电荷守恒规律



图 1–7　原子结构模型

用摩擦的方法为什么能使物体带电呢？我们知道，构成物体的原子是由带负电的电子和带正电的原子核组成的(图 1–7)。两个物体相互摩擦时，一个物体中的电子会转移到另一个物体上去。失去电子的物体呈现正电，得到电子的物体呈现负电。所以，带电是由于电子的转移产生的。云层的带电也是这个道理。

大量事实表明，**电荷既不能创生，也不能消失，它只能从一个物体转移到另一个物体上去，或从物体的一部分转移到另一部分，电荷的总量保持不变。**这个规律称为**电荷守恒定律**（law of conservation of electric charge）。

电荷守恒定律是电的法典，是自然界的一条基本定律。任何带电现象都遵守电荷守恒定律。

请你运用物质的微观模型和电荷的相互作用、电荷守恒定律，解释感应起电现象及绝缘导体两端产生等量异号感应电荷的原因。

用摩擦的方法得到的电荷，停留在物体的某一部分，称为静电。

信息浏览

吉尔伯特的贡献

吉尔伯特是英国的一位著名医生，他在进行磁的实验研究时，也研究了静电现象。他发现不仅被摩擦的琥珀具有吸引轻小物体的性质，一些其他物体如金刚石、蓝宝石、水晶、硫磺、明矾、树脂等也有这种性质，他把这种性质称为电性。吉尔伯特是第一个把电的术语引进科学中，并最先运用“电力”、“电吸引”等术语的人。他还把琥珀这类能吸引轻小物体的物体叫做**带电体**；把金属、人体、动物等不能用摩擦使他们具有吸引能力的物体叫做**不带电体**。

为了检验物体是否带电，吉尔伯特还制作了第一个实验用的验电器。

吉尔伯特认为，电现象是物质所具有的一种比较普遍的现象。他还把电现象和磁现象作了详细的比较。

吉尔伯特用天然磁石磨制成一个大的磁石球，用细铁丝制成小磁针放在磁石球上面。结果他发现，这枚小磁针的行为跟指南针放在地球上的行为一样。他用粉笔把小磁针指示的方向画在磁石球上，得到了一个大圆，即磁子午线。通过画出许许多多个大圆，他发现，所有这些大圆都近似地通过磁石球相对的两个端点，这跟地球上的经线很相像。与两端等距离处、垂直于那些磁子午线也可以画出一个大圆，即磁赤道。吉尔伯特发现，小磁针在磁赤道上时，磁针与磁石球表面的磁子午线平行；当磁针沿磁子午线移动时，磁针略有下倾；当移动到两个端点时，磁针便垂直于磁石球表面了。吉尔伯特由此推测，地球是一个巨大的磁石球，它的磁极与地极大致重合（后来证明地磁极与地极比较接近，但不重合）。

吉尔伯特的小地球实验，虽然有些结论并不正确，但他通过实验推测地球是一个大磁体，这是十分可贵的。



吉尔伯特（W. Gilbert，1544—1603），英国物理学家、医生，近代电学和磁学的先驱者。著有《论磁》一书，该书是物理学史上第一部系统阐述磁学的科学专著。



图 1-8　吉尔伯特的磁石球

科技发明

在人类文明的进程中，为什么对电的研究进展很慢呢？



图 1–10　各种电容器



图 1–9　莱顿瓶的结构

一个重要的原因是当时人们无法获得大量的电荷，也不知如何贮存电荷。

大约在 1650 年，德国的盖里克(O. Guericke)根据摩擦起电的原理，发明了第一台能产生大量电荷的摩擦起电机。

大约又过了 100 年，在 1745 年至 1746 年之间，物理学家克莱斯特(E. G. Kleist)和荷兰莱顿大学的物理学家穆欣布罗克(P. V. Musschenbrock)，几乎同时发明了一种贮存电的装置。后来法国电学家诺莱特(J. A. Nollet)把这种能贮电的瓶子叫做莱顿瓶。

莱顿瓶的结构如图 1–9 所示。在玻璃瓶的内外表层贴上金属箔(锡箔或铝箔)，瓶盖上插一根金属杆，上端有一个金属小球，下端有金属小链与瓶底金属箔相连。莱顿瓶贮电后，可用来做放电实验。莱顿瓶是现代电容器的原始形式。

摩擦起电机和莱顿瓶的发明，解决了如何获得大量电荷和有效地贮存电荷的难题，为进一步研究电现象提供了强有力的实验手段。

科技活动



图 1–11　带电笼中的小鸟

观察导体带电的特点

把一个金属丝制的鸟笼放在桌子上，如图 1–11 所示，把起电机放电杆一端的小球靠近鸟笼，摇动起电机，球与鸟笼间产生了火花，笼内的小鸟会受到放电的伤害吗？

观察尖端放电现象

电荷在导体表面的分布一般是不均匀的，越是尖突的部分，电荷密度越大，也越容易放电，这称为**尖端放电**。

把起电机的一个放电杆跟图 1–12 风轮下的金属杆相连，摇动起电机，电风车带电后，由于尖端放电，会转动起来。



图 1–12　电风车

富兰克林统一天电与地电

人们做了许多静电实验后，很自然地会想到一个问题：实验室里用摩擦等方法得到的电，跟天空中的闪电是不是一回事呢？

显然，最直接的办法就是把闪电“捕捉”下来跟实验室得到的电进行比较。

1752 年，美国科学家富兰克林以执著的探究精神，在费城做了一次著名的风筝实验。

富兰克林用很轻的杉木和丝绸做了一个大风筝，在风筝顶上装了一根尖细的铁丝。他将风筝引线的一端与铁丝相连，而在另一端拴一枚铜钥匙，并把这枚钥匙塞在一个莱顿瓶中。1752 年夏天的一个暴风骤雨的日子，富兰克林和他的儿子一起将这个风筝放飞到空中(图 1–13)。莱顿瓶充电了！他们终于捕捉到了天电。富兰克林用收集在莱顿瓶中的天电进行放电实验。他在给皇家学会的信里写道：“由此得来的电火可以使酒精燃烧，并可以进行有关电的实验，而这些实验平常是靠摩擦小球或小管来做的。这就完全证明摩擦起电所获电的性质和天空中的闪电是同样的。”

警示！绝不能模仿富兰克林的风筝实验，也不能在雷雨时放飞风筝，否则，很可能遭到雷击。



富兰克林　(B. Franklin，1706—1790)，18 世纪美国伟大的科学家、著名的政治家和文学家，他有一句名言：“诚实和勤勉，应该成为你永久的伴侣”。

富兰克林的风筝实验，揭开了千百年来遮盖着雷电的神秘面纱，统一了天电与地电。从此，闪电就被纳入了普通的电现象之中。

富兰克林的风筝实验受到人们高度的评价。德国哲学家康德(I. Kant)称富兰克林为“新普罗米修斯”。英国物理学家普利斯特列(J. Priestley)在 1767 年对风筝实验作了评价。他认为，这个实验把雷电和普通的电统一起来，是自牛顿发现万有引力以来最伟大的发现。因为它为人们感觉最神秘、最可怕的自然现象提供了理性的解释，证明了电效应并不仅仅是一种人为现象，而且是自然界行之有常的运动的一部分。

19世纪德国著名科学家洪堡(A. Humboldt)说：“从这个时代起，电学的发展从幽深的书斋走进了自由的大自然。”

富兰克林也因这项成就荣获了英国皇家学会颁发的开普勒金质奖章，他的名字响彻了全世界。

富兰克林的实验有很大的危险性。1753 年夏天，俄国科学院院士里赫曼(Г. В. Рихман)在研究雷电时，不幸被雷电击中，为科学献出了宝贵的生命。

展开你想像的翅膀，与同学们交流讨论一下：



图 1–13　富兰克林风筝实验

富兰克林的风筝实验，对当时人们的思想会产生多大的震撼？它的价值体现在哪里？

科技巨匠

印刷工人——富兰克林

富兰克林 1706 年 1 月 17 日出生在北美波士顿的一个工人家庭，只读了两年书，10 岁就在家中帮父亲做蜡烛。12 岁起，在哥哥经营的小印刷所当学徒。他勤奋好学，利用工作之便，阅读了从自然科学技术的通俗读物到科学家的论文、作家的作品等许多读物。1726 年秋，富兰克林运用所掌握的精湛的印刷技术，办起了自己的印刷所。在 40 岁以前，他为生活所迫，主要精力放在印刷所和社会活动上，同时学习了法文、意大利文、西班牙文、拉丁文和当时先进的科学文化成果。

1746 年，富兰克林 40 岁时，在英国学者斯宾塞的影响下，对电学产生了很大的兴趣。他用英国物理学家考林森(P. Coullinson)送给他的莱顿瓶做了一系列的实验，发现了两种电荷和电荷守恒定律，做了震撼世界的风筝实验。他最先提出了避雷针的设想。1760 年，在费城的一座大楼上竖起了第一根避雷针。

富兰克林还在地学、气象学、植物学、数学、化学等方面有许多贡献。例如，他利用乙醚的蒸发得到 −25℃ 的低温，创立了蒸发致冷的理论。

富兰克林晚年主要从事政治和社会活动，他曾多次作为北美殖民地代表到英国谈判，参加了《独立宣言》的起草工作。

1790 年 4 月 14 日，富兰克林病逝于费城。他被美国人民称为“伟大的公民”。遵照他的遗嘱，墓碑上只刻着“印刷工富兰克林”几个字。

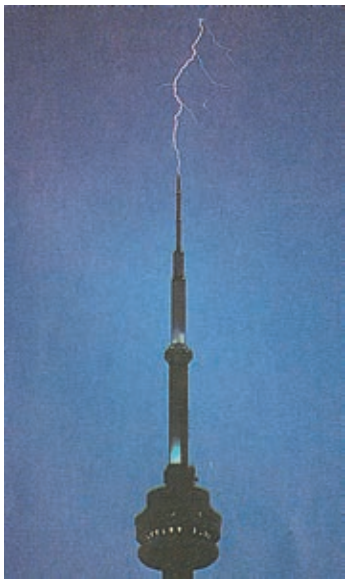


图 1–14　避雷针

科学与社会

避雷针轶事

富兰克林弄清了雷电的本质后，就提出了用避雷针保护建筑物的建议。世界上的第一根避雷针，就是在富兰克林的建议下安装完成的。

说到避雷针的使用，或许是我国更早些。据我国民间传说，多遭雷击的地方造个宝塔就可以保护一方。其实庇护当地不受雷击的不是供奉在塔中的神灵，而是宝塔尖顶的“塔刹”——一个用铜、铁金属制成的葫芦，四周用铁链连着通到塔底，或把它与涂了金属粉末的塔心柱连接起来，柱的下端又设置了贮藏金属的龙窟，组成了一套十分巧妙的避雷装置。如江苏高淳县的保圣寺塔，

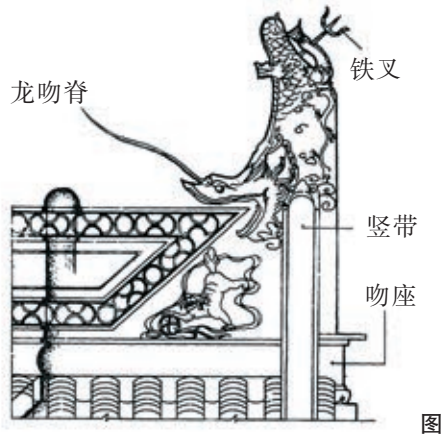


图 1–15　我国许多古建筑屋顶上的龙须也是一种很好的避雷装置

建于三国时期(公元 229 年),高 31.5m,远高于周围的建筑群,塔顶装有高 4m 的铁制塔刹,经历千年风雨未遭雷击。

负离子使人愉快

科学研究表明:带有正电荷的空气会使人们感到不舒服，带有负电荷的空气能使人感到愉快。人们漫步在山溪、瀑布、喷泉、海滨附近和雨后的树林中,感到神清气爽,就是因为空气中含有大量带负电的离子的缘故。

技术上,利用负离子发生器,同样可以营造出一个有益于健康的环境。



图 1–16　山溪

科普选读

Sensing Electricity

Sharks have a special sense that allows them to detect weak electrical signals. These are given off naturally by the muscles of their prey and travel well in water. A shark uses tiny sensory pits in the skin of the snout, called ampullae of Lorenzini, to detect the electricity. Other waterliving animals can also detect electricity, including elephant-snout fish and squid. Electric eels, electric rays, and electric catfish can also make powerful bursts of electricity to stun their prey.



图 1–17

信息浏览

奇怪的马特利现象

在沙特阿拉伯腹地的哈迪岩村，居住着牧羊人拉西德·马特利一家。1986 年开斋节的一天中午,他家的一间毛毡房突然失火，火被妻子和女儿及时扑灭。第二天,一间内室又突然起火。地方政府派人调查,未找到起火原因,只是建议他搬家。于是他迁到离哈迪岩村 30 km 的哈斯渥，在这里支起了两座帐篷。不料有一天,妻子、女儿居住的帐篷又起火了,而且他放在汽车里的一件羊皮衣服也无缘无故地自燃起来。马特利家中的怪事引起了科学界的重视,人们把这种无名火叫做马特利现象。

目前科学界对此问题的猜想很多，其中得到较多人认同的是:干燥的冬天,差不多每个人的身体与地之间的电压都要上升到几千伏,在 10 万人中就会有 1 个人的皮肤特别干燥,因此,他身体与地之间的电压就特别高,甚至可以达到几万伏。具有这种特征的人是十分危险的，如果放电火花遇到空气中的易燃气体,就会引发火灾。

马特利现象的原因是否与人体静电有关？你的猜想是什么呢?

1.2

电学中的第一个定律——库仑定律

云层相互摩擦后会带上不同的电荷。实验表明，自然界中只存在两种电荷。一种叫做**正电荷**，如用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷；另一种叫做**负电荷**，如用毛皮摩擦过的橡胶棒所带的电荷。

问题：电荷间发生的相互作用有什么规律呢？

电荷间的相互作用

科技活动

“怒发冲冠”，有惊无险

将起电机的一个放电球跟验电羽连接，摇动起电机手柄，验电羽上的纸条就会向空中伸展(图 1–18)。



图 1–18　验电羽

如果你能勇敢地代替验电羽，站在厚的橡胶垫上用一只手摸着工作中的范德格拉夫起电机的放电球，你飘逸的长发就会向四周散开去——虽然起电机能产生上万伏的高电压，但确保你有惊无险(图 1–19)。

警示！这个实验应在教师的指导下进行。

请你根据初中物理学过的“同种电荷相互排斥、异种电荷相互吸引”的道理加以解释。

问题：电荷间的相互作用的大小跟哪些因素有关呢？



图 1–19　“怒发冲冠”

寻找影响电荷相互作用的因素

用摩擦的方法使绝缘导体小球 A 和悬挂在丝线上的泡沫塑料小球 B 带上同种电荷。两者因相斥使悬线偏离一定角度(图 1–20)。

增加它们的电荷时，偏角将怎样变化？

如果保持球 A 和塑料小球 B 所带电荷不变，改变小球 B 跟小球 A 的距离，悬线的偏角怎样变化？

通过这个活动，你能否对电荷间相互作用得出一个初步的结论？

类比思考指方向

电荷间相互作用力的大小跟电荷量的多少以及相互间的距离到底存在怎样的关系呢？

这不禁让人联想到质点间的万有引力。

两个质点相互吸引，吸引力的大小跟两个质点的质量和间距有关：

$$F \propto \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

两个异种电荷相互吸引，吸引力的大小跟两个电荷量的多少及间距有关：

?

从这个类比中，你得到什么启发呢？电荷间的相互作用力是否也跟距离平方成反比？

法国物理学家库仑沿着这条思路，开始了他对电荷间相互作用的实验探究。

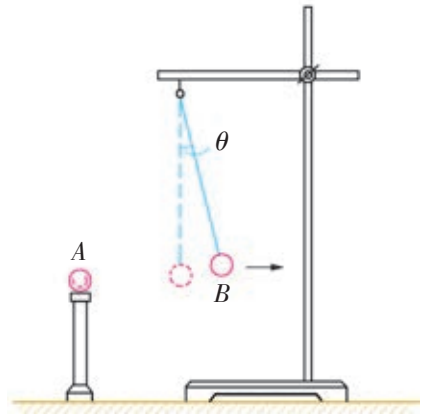


图1–20　研究电荷的相互作用

类比是一种重要的研究方法，德国哲学家康德说过：“每当理智缺乏可靠的论证思路时，类比这个方法往往指导我们前进。”

诞生了第一条定律

1784年，库仑根据他长期对金属线扭力进行实验研究的经验，精心制作了一架非常灵敏的扭力秤，简称扭秤。在前人的基础上，库仑通过多次实验，于 1785 年证实了电荷间的相互作用规律：

真空中两个点电荷之间相互作用的电力，跟它们的电荷量的乘积成正比，跟它们距离的二次方成反比，作用力的方向在它们的连线上。

这个规律后来就叫做**库仑定律**(coulomb's law)。电荷间的相互作用力，叫做**静电力**(electric force)或**库仑力**。

点电荷是一种理想化的模型。带电体的尺寸与它们相互间的距离相比甚小时，可以不考虑带电体的形状和大小，把带电体看作是点电荷。均匀带电球体产生的库仑力，与把电荷集中在球心产生的库仑力一样，因此也可看作点电荷。

如果用 Q_1、Q_2 分别表示两个点电荷的电荷量，r 表示它们之间的距离，F 表示相互作用力，库仑定律可表示为

在库仑时代，电荷的单位还没有确定。库仑依据直觉，巧妙地用完全相同的球接触来平分电量，这是他能完成实验的一个关键。

$$F = k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$$

对于实际的带电体，可以把它们看成是许多点电荷的集合。根据库仑定律和力的合成法则，同样可以算出它们之间的相互作用力。

式中 k 是一个常量，叫做**静电力常量**。在国际单位制中，规定电荷量的单位为库仑(C)，距离的单位用米(m)，力的单位用牛(N)，经精确测定

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

它表示两个电荷量都是 1C 的点电荷，相距 1m 时的静电力大小是 9.0×10^9 N。

库仑定律是电学中第一个实验定律，它不仅适用于两个静止的点电荷，也适用于原子核跟核外电子间的相互作用。

通常情况下，微观带电粒子之间发生相互作用时，库仑力远大于万有引力。例如，当氢原子的核外电子在离核最近的轨道上运动时，氢原子核与电子间的库仑力比它们之间的万有引力大 10^{39} 数量级，因此可以忽略万有引力。

科技巨匠



库仑 (C. Coulomb，1736—1806)，法国军事工程师、物理学家、科学院院士。

扭秤发明者——库仑

库仑于 1736 年 6 月 14 日出生在法国昂古莱姆城。青少年时期，他受过良好的学校教育。中学毕业后，进入海济耶尔军事工程学校学习。毕业后，负责军事工程工作，同时进行科学研究。他对有关材料的强度和金属丝的扭转进行了深入的研究，于 1777 年发明了扭秤。他还研究了摩擦，得到了后来以他名字命名的摩擦定律。由于这些成就，他于 1781 年当选为法国科学院院士。

从 1785 年起，库仑的兴趣转移到对电学的研究。他利用自己的扭力理论，设计制作了一台精度很高的扭秤。库仑利用他的扭秤对静电力进行了测量，促进了库仑定律的建立。

他还独立发现电荷仅分布在导体表面的现象，并指出，这是静电力与距离平方成反比的必然结果。

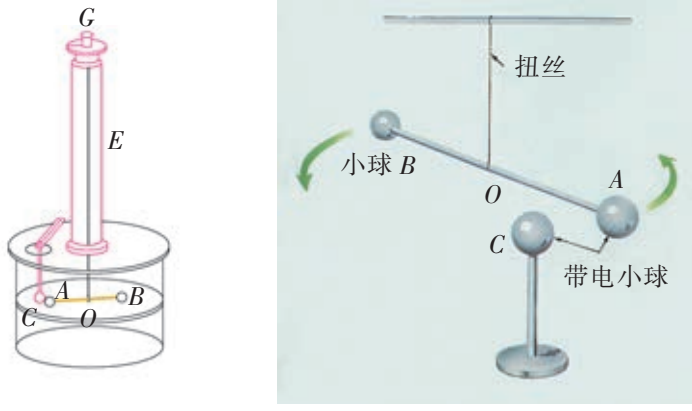
1806 年 8 月 23 日，库仑在巴黎逝世。

信息浏览

库仑扭秤

库仑扭秤的原理和结构如图 1–21 所示。AB 是两端带有同样质量小金属球的绝缘棒，在中点 O 系有一根弹性扭丝（细的金属丝、石英玻璃丝等），使 AB 呈水平状态悬挂。另一个小金属球 C 装在绝缘支架上，当弹性扭丝处于自然状态时，使 A 与 C 接

触。接着给 C 带上电荷，因 A、C 之间的斥力，AB 转动。当 A、C 间的斥力所产生的转动力矩与扭丝阻碍 AB 转动的力矩达到平衡时，AB 就静止在某一角度。根据这一角度，便可测出带电球间的斥力。



a 库仑扭秤结构图　　b 库仑扭秤原理图

图 1–21　库仑扭秤

富兰克林的困惑　卡文迪许的孤僻

1755年，在富兰克林的静电研究中，实验现象已启示了电荷间相互作用所遵从的关系。遗憾的是，这个启示是用数学语言写成的，富兰克林没有读懂。客观地说，富兰克林没有受到很好的科学教育。他幼年生活贫苦，完全是靠自学获得了广泛的知识。富兰克林自己意识到这个缺陷，直到晚年还抱怨自己没有精通数学。

其实，英国科学家卡文迪许(H. Cavendish)早在1772 年，通过对实验现象的分析，已证明了静电力与距离的平方成反比的关系。可是，被称为“科学怪人”的卡文迪许，洁身自好，对金钱不感兴趣，也不公开自己的研究成果，他的许多成果都是 100 年后由麦克斯韦(J. C. Maxwell)发现和整理出来，才为世人所知。

家庭作业与活动

1. 真空中有两个点电荷，相隔距离为 r 时的相互作用力为 F，则
   (1) 保持两者间距不变，使一个点电荷的电荷量变为原来的 4 倍，则其相互作用力为_____。
   (2) 保持两个点电荷的电荷量不变，当相互作用力为 $4F$ 时，其间距应为_____。
   (3) 保持一个点电荷的电荷量不变，另一个点电荷的电荷量变为原来的 2 倍，间距变为原来的 2 倍，则其相互作用力为_____。
   (4) 使一个点电荷的电荷量变为原来的 4 倍，两者间距变为原来的 $\frac{1}{4}$，当发现相互作用力变为 $16F$ 时，则另一点电荷的电荷量为原来的_____。
2. 一根玻璃棒和一根硬橡胶棒分别跟丝绸和毛皮摩擦后，用电荷量表测得电荷量分别为 $q_1 = 2\times10^{-9}$C，$q_2 = -3\times10^{-9}$C，把两棒放在绝缘台上相距 $r = 10$cm，它们间的静电力能用公式 $F = k\frac{q_1q_2}{r^2}$ 计算吗？为什么？假设使两棒处于相隔 $r = 1$km 的两处，它们的静电力能用上述公式计算吗？为什么？
3. 结合本节内容(包括“信息浏览”)和你收集的其他资料写一篇库仑发现电荷间相互作用规律的述评。

1.3 物质的又一种形态



a 人用手直接对车施力，推车前进



b 驾驶员操纵阀门，通过压缩空气，开闭车门

图 1–22

发生闪电时，两块云层相隔着一段距离，为什么也能发生相互作用？

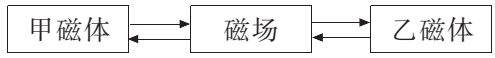
为了解开这个谜，让我们先来考察一下物体之间相互作用的情况。

从生活经验可以知道，物体之间发生作用有两种情况：一是物体之间通过直接接触发生作用；二是通过它们之间的水、空气等介质传递(图1–22)。

那么，电荷之间通过什么来传递相互作用呢？

什么是电场

在初中物理中我们已经知道，磁体周围有一种物质叫磁场，磁体间是通过磁场发生相互作用的。



那么，电荷周围是不是也有类似的情况呢？科学研究对这一类似猜想提供了有力的支持：电荷周围确实也存在着一种物质，叫做**电场**(electric field)。电荷之间是通过电场发生相互作用的。



所以，电场和磁场一样，都是物质的一种形态。两块云层相隔一段距离，正是依靠电场使它们彼此间发生相互作用，产生闪电现象。

电场的基本性质是对场中的电荷有力的作用。电场对电荷的作用力叫做**电场力**(electric field force)。

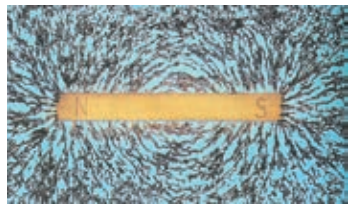
上面实验中带电体之间的相互排斥、吸引等现象，都是通过带电体周围的电场发生的。

在物理学中出现了一个新的概念，这是自牛顿时代以来最重要的发明：场。用来描述带电体之间与粒子之间的空间的场，这需要很大的科学想像力才能理解。

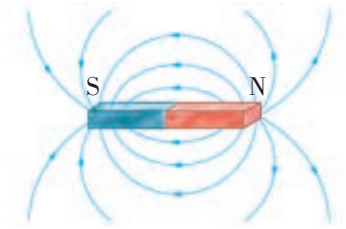
——爱因斯坦

电场的形象化描述

在研究磁场的时候，根据放在磁体周围铁屑的分布，可以画出一条条曲线（磁感线）形象地描述磁场（图 1–23）。



条形磁铁周围的铁屑分布



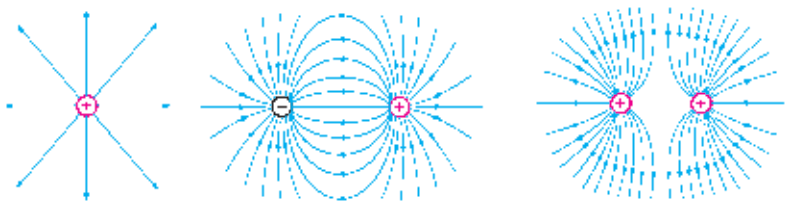
条形磁铁的磁感线

图 1–23

前面类比的成功足以鼓舞我们对电场的研究也可以采用类似的方法。

我们也可以在电场中画出一条条曲线，这样的曲线叫做**电场线**（electric field lines）。同样作出规定，电场线从正电荷出发，终止于负电荷；电场线上某点的切线方向表示正电荷在该点的受力方向；电场线的疏密程度表示电场的强弱。

点电荷周围的电场线分布如图 1–24 所示。



a　　b　　c

图 1–24　点电荷的电场线

请思考：电场线是客观存在的吗？电场线能相交吗？电场线与磁感线有什么不同？

“力线”（磁感线和电场线）的概念是法拉第在电磁感应现象研究的基础上首先提出来的。

电场的定量表示

如果把对电场的研究比作画画，那么电场线仅勾勒出人物、山水的轮廓，还缺乏对各个细节的描绘。

怎样才能精确地定量描述电场呢？物理学中引入了电场强度的概念。

放入电场中某点的电荷所受的电场力 F 跟它的电荷量 q 的比值，叫做该点的**电场强度**（electric field intensity），简称**场强**。

如果用 E 表示电场强度，上述定义可表示为

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

在国际单位制中，场强的单位是 N/C，也可写成 V/m。

例如，两块云层间发生闪电时的场强数量级能达到 10^6 V/m 以上，意味着相隔 1m 的两块云层间的电压在 10^6 V 以上，因此放

电时能发出耀眼的闪光。通常在干燥的空气中，起电机的两个放电球之间发生火花放电时的场强，跟发生闪电时的场强的数量级差不多。我们居住的地球周围空间是一个巨大的电场，地球附近的场强平均为 130 V/m。在原子内部，核电荷会形成一个场强很大的电场。

例如，氢原子核的电荷量 $Q = +1.6 \times 10^{-19}$ C，核外电子的电荷量 $e = -1.6\times10^{-19}$ C，核外电子在离核 $r = 0.53 \times 10^{-10}$ m 处受到的电场力为

$$F = k\frac{Qe}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.6\times10^{-19})^2}{(0.53\times10^{-10})^2}\text{N} = 8.2 \times 10^{-8}\text{ N}$$

根据场强的定义式，该处的场强为

$$E = \frac{F}{|e|} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{1.6 \times 10^{-19}}\text{ N/C} = 5.1 \times 10^{11}\text{ N/C} = 5.1 \times 10^{11}\text{ V/m}$$

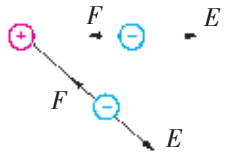


图 1–25

电场强度是一个矢量，人们规定电场强度的方向跟放在该点的正电荷所受的电场力方向相同。如电子绕氢原子核运动，在电子所在的位置上，场强的方向沿半径向外，它恰好跟电子所受的电场力方向相反(图 1–25)。

如果空间某个区域内电场强度的大小和方向处处相同，这个区域内的电场叫做**匀强电场**(uniform electric field)。匀强电场的电场线可以用一组等间距的平行直线来表示(图 1–26)。

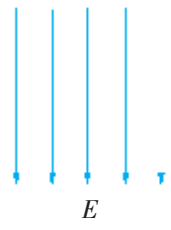


图 1–26　匀强磁场

当我们知道了一个电场各处的场强大小和方向后，这个电场就被精确地确定了。

请讨论下列问题：

1. 根据场强的定义，你能根据库仑定律导出点电荷周围电场的场强计算公式吗？请试一试。

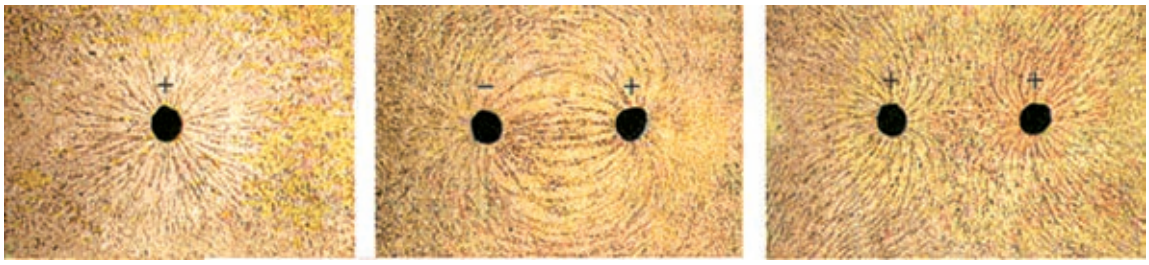
2. 从电场的意义上，如何理解库仑定律公式 $F = k\frac{Q_1Q_2}{r^2}$？

科技活动　观察花粉在电场中的分布

花粉受到强电场的作用会使它两端带有不同的电荷(称为极化)，在电场力作用下按照一定的方向排列起来，犹如小磁针受磁场力作用排列起来一样。

1. 将花粉均匀地拌在蓖麻油(或洗洁精)内，然后放到点电荷电场中，观察花粉的排列形状。

2. 将两块相互平行、比较靠近的金属板，分别接到起电机的两个放电球上，两板之间形成匀强电场。将拌有花粉的蓖麻油容器放进电场中。



a 一个点电荷周围花粉的分布　b 两个等量异号点电荷周围的花粉分布　c 两个等量同号点电荷周围的花粉分布

图 1–27

请你先猜想一下：花粉会形成怎样的排列？然后通过实验，进行观察。

科普选读

实物和场

我们有两种实在：实物和场。毫无疑问，我们现在不能像 19 世纪初期的物理学家那样，设想把整个物理学建筑在实物的概念之上。我们暂且把实物和场的两个概念都接受下来。我们能够把实物和场认为是两种不同的实在吗……但是区别实物与场的物理判据是什么呢？在我们熟悉相对论之前，我们可以这样回答这个问题：实物有质量而场却没有质量。场代表能，实物代表质量。但是我们在熟悉了更多的知识以后，已经知道这样的答案是不充分的。根据相对论，我们知道物质蕴藏着大量的能，而能又代表物质。我们不能用这个方式定性地来区别实物与场，因为实物与场之间的区别不是定性上的区别……把实物和场看作是彼此完全不同性质的两种东西是毫无意义的，我们不能想像有一个明确的界面把场和实物截然分开。

摘自《物理学的进化》[德] 艾·爱因斯坦 [波] 利·英费尔德著



图 1–28 《物理学的进化》一书的封面

家庭作业与活动

1. 你从哪些事实确信带电体周围存在电场？请举例说明。
2. 体会本节中运用的类比方法，请对电场与重力场作一类比，找出跟重力加速度 g 对应的物理量。
3. 电场力跟电场强度有何区别与联系，请列表比较。
4. 图 1–29 为某电场的部分电场线，试画出 A、B 两点的场强方向，并比较其场强大小：E_A _____ E_B。若在 A、B 两点分别放置一个负电荷，试画出它们的受力方向。

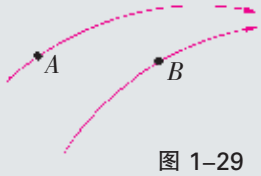


图 1–29

5. 图 1–30 为某电场中的一条电场线，a、b 为线上的两点，则下列判断中正确的是
   A. 这是一个匀强电场
   B. a 点场强一定比 b 点场强大
   C. a 点场强可能比 b 点场强小
   D. 负电荷在 a、b 两处的受力方向一定相同。



图 1–30

1.4 静电与生活

从闪电的功过说起



图 1–31　闪电

科学研究指出，闪电时，云层间（或云层与地面间）的电压可达 10^8 V，闪电的放电电流可达 10^5A，闪电的功率可达 10^{10} kW，因此闪电放出的能量极为巨大。

当闪电通过一条狭窄的空气通道到达地面时，顷刻间能使空气通道的温度上升到 3×10^4 ℃，约等于太阳表面温度的 5 倍。如果闪电发生在云层和地面的某个物体间，遭遇雷击的地面物体瞬间受到这么大能量的轰击，会导致森林起火、房屋倒塌、人畜伤亡等，造成巨大损失。

不过，闪电也有它实际的好处，因为每次闪电时会使空气中的氮和氧直接化合，产生一氧化氮（NO），随着雨水的降落到达地面，形成硝酸盐，这是一种很好的氮肥，非常有利于农作物的生长。

在人类的进化史上，闪电也功不可没。人类最先获得的火种就可能来自闪电。同时，闪电引发森林大火，林中的动物被烧死烤熟，人类尝到了香喷喷的熟食后，才懂得吃熟食，从而促使了人类智力的发展，加速了进化的步伐。

闪电的千秋功罪，究竟怎样评说？请发表你的看法。

据统计，全球平均每分钟发生闪电 6000 次。如果把这些能量利用起来该多好！然而，闪电转瞬而逝，而且很不稳定，目前还无法直接利用闪电的能量。

静电的应用

闪电属于静电现象。生活中，静电跟我们的关系很密切，许多地方需要利用静电为我们服务。

利用静电能停留在物体某一部分并能吸引轻小物体这一特点，人们发展了静电技术，开发了许多具体应用，如静电复印机、静电喷漆、静电植绒、静电除尘（净化空气）等新技术。

静电复印机

静电复印机(图 1–32)的核心部分是一个硒鼓,其工作流程如下。

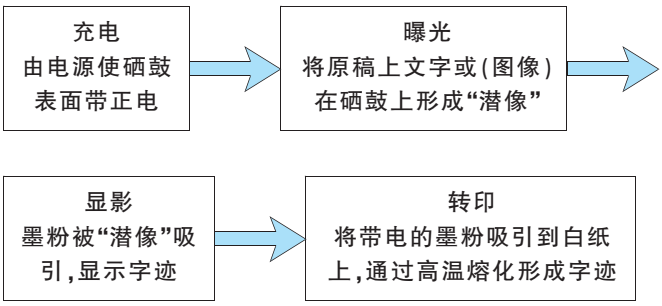




图1–32　静电复印机

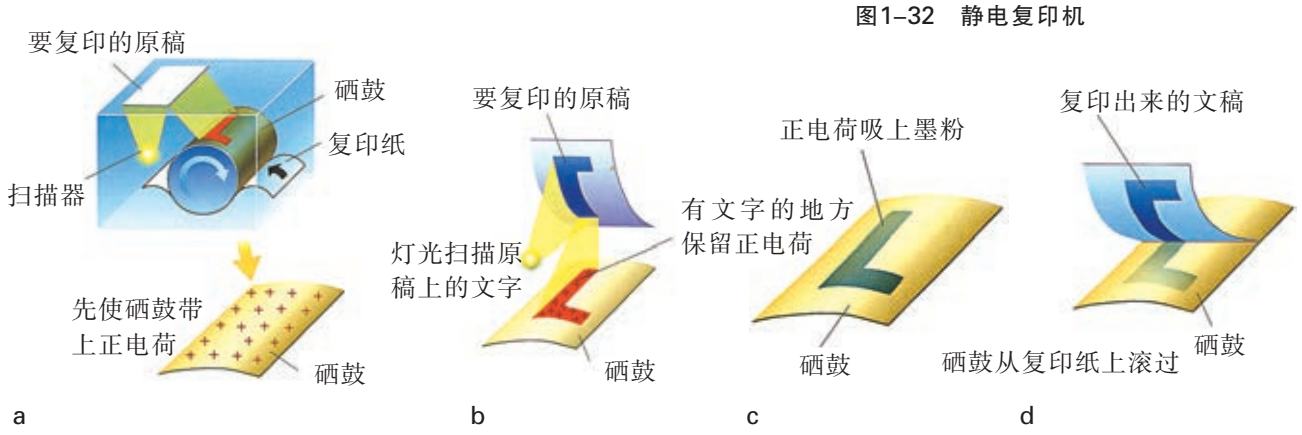


图 1–33　静电复印的工作原理

空气净化器

科技活动　观察静电除尘现象

如图 1–34 所示,在玻璃管中心轴上安装一根直导线,玻璃管外绕有线圈,直导线的一端和线圈的一端分别跟感应圈的两放电柱相连。开始,感应圈未接通电源,点燃蚊香,让烟通过玻璃管冒出。当感应圈电源接通时, 玻璃管中的导线和管外线圈间就会加上高电压。立即可以看到,不再有烟从玻璃管中冒出来了。过一会儿还可以看到管壁吸附了一层烟尘。

请思考一下:这是什么原因?

技术上,根据同样的道理,可制成空气净化器,供医疗、科研单位和从事精密加工制造的企业使用。

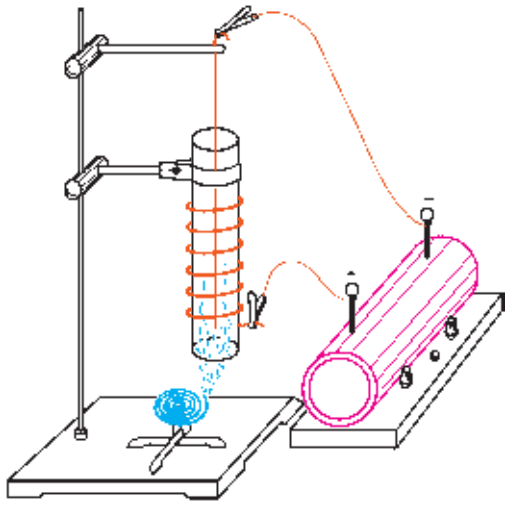
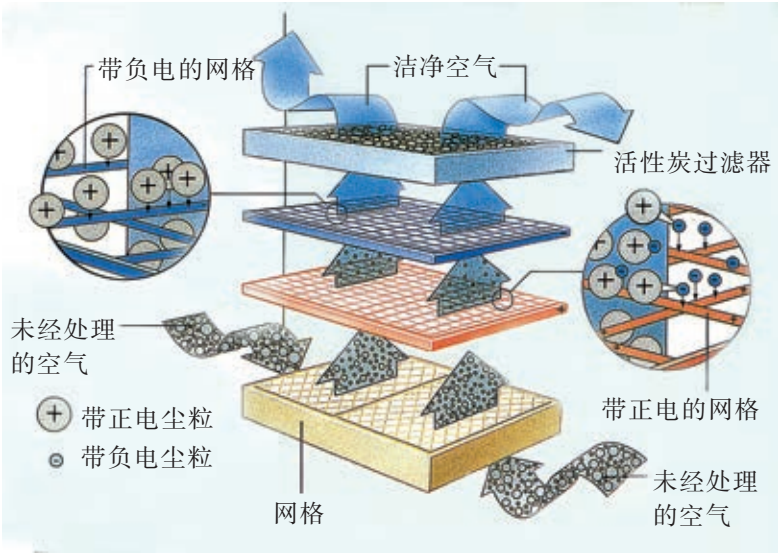


图 1–34　静电除尘原理



空气通过带电的网格，空气中带正电的微粒被吸附，再经活性炭过滤器过滤，即可得到洁净的空气

图 1–35　电子空气净化器工作过程示意图



图 1–36　利用静电喷洒农药示意图

静电提高洒药效果

使药液带电与叶片相吸，可防止喷洒到农作物上的农药被风吹走，提高洒药效果。

静电的防止

静电也有很大的危害，由于静电的显著特点是电压高（如摩擦起电时的电压数量级可达 10^5V），因此在干燥的空气里极易产生电火花，使一些易燃物品自燃甚至引起爆炸。

静电的同性相斥、异性相吸的性质，有时也会给人们的生活和工作带来烦恼。例如，在印刷车间，由于纸张之间摩擦带电，会使纸张粘在一起不易分开，给印刷带来麻烦。人们身上穿着的混纺衣服，容易沾灰带尘。在精密的电子生产中，静电的这种危害更大。因此我国电子工业部早在 1991 年就专门下达了防止静电污染的条例。

防止静电危害最基本的方法是：尽快把静电导走，避免过多的积累。长距离的输油管每隔 100—300m 安装接地线，油罐车后面装一根拖在地上的铁链，存放易燃品的仓库的工人穿上导电橡胶做的防电靴，在很高的建筑物上装避雷针等，都是十分有效的



图 1–37　飞机加油
为了防止意外放电，加油车和飞机之间用一根金属导线相连（“接地”），这样就可以导走飞机上的正电荷

措施。此外还可以用抗静电剂和放射性消静电器等设备有效地消除静电的聚积。

你在日常生活中有没有遇到过静电现象？这些现象你觉得是可以应用的，还是应该防止的？你有何对策？

家庭作业与活动

1. 飞机起降时都要在跑道上滑行一段时间，因此飞机的机身上通常装有搭地线，机轮轮胎是采用导电橡胶制成的，为什么要这样做？
2. 据记载：1976 年 12 月 29 日，停靠在日本港附近的挪威油轮别尔克·伊斯特拉号，因水手油漆甲板，聚集的高压静电发生火花，点燃了弥散在甲板上空的石油蒸汽，引起猛烈爆炸，使这艘 25 万吨的超级巨轮毁于顷刻之间。试根据这段记载，结合你收集到的素材，为社区写一篇宣传防止静电危害的短文。
3. 有条件时，建议在班级里搞一个小专栏，以“静电在我家”为题，通过摄影、绘画和文字，介绍静电与人们日常生活的关系，交流对静电的认识。



图 2–1　奥斯特发现电流的磁效应



图 2–2　伏打用他的“电堆”表演实验

奥斯特的小磁针
打开了一扇
科学领域的大门
那里过去一片漆黑
如今却充满了光明
……

第 2 章
打开电磁联系的大门

古老的磁现象和电现象，度过了分离的漫长岁月，直到 1780 年伽伐尼(A. Galvani)偶然发现“动物电”现象，才迎来了契机。

后来，伏打从动物电受到启发，用不同金属组合发明了电堆，为人们提供了比较稳定的持续的电流，从此，电学从静电的研究进入到对动电的研究。随后的一系列重大的发现，揭开了磁电联系的谜底，终于，打开了电气时代的大门。

通过本章的学习，你将从奥斯特实验建立起电与磁的联系；从安培实验了解电流之间通过磁场的相互作用，认识安培力以及它所带来的改变了人们通信方式的重大发明——电报与电话；通过对安培力的微观因素——洛仑兹力的认识，了解磁偏转现象及其在技术和科学研究上的广泛应用，体会到科学的社会价值。“知识就是力量”将在这里得到美丽的展示。

2.1
揭示电磁联系的第一个实验

人类对磁现象的认识跟对静电现象的认识一样古老，在东、西方的文明史上都可追溯到两三千年前。不过，由于生产力长期

低下,在很长一段历史时期内,人们对磁现象的认识并没有多少进展。

在物理学史上,电磁关系的揭示经历了几百年的曲折历程。

早在春秋时期,《管子·地数篇》中就有记载:“上有慈石者,其下有铜金。”当时我国人民已知道磁的一些应用。

古代四大发明之一的指南针是中国人的骄傲。

吉尔伯特的断言

历史的脚步迈进了16世纪,意大利文艺复兴的浪潮席卷欧洲,同样推动了磁的研究。英国的吉尔伯特花了18年的时间做了许多关于电和磁的实验,其中最有名的是所谓“小地球”实验。他的有关电磁知识的巨著《论磁》,于1600年出版,这是物理学史上第一部系统阐述磁现象的科学著作。

由于时代的局限性,吉尔伯特给后人留下了令人遗憾的认识误区——认为电与磁是两种截然无关的现象。

直到19世纪初,一些物理学家还断言:电和磁除了表面的一些相似性之外,两者在本质上没有任何联系。

吉尔伯特认为电与磁无关的观点,后来得到了库仑的认同。早期电磁学领域中这两位杰出的先驱者的观点深深影响着后来科学家的思想,以至在很长一段时间内,人们都将电和磁作为孤立的问题加以研究。

磁与电究竟有没有联系呢?从18世纪中叶起陆续发现的一些现象,曾吸引了科学家对电磁联系的关注:

1713年,一名英国商人发现,雷电过后,他的新刀叉竟带上磁性;

1751年,富兰克林发现,莱顿瓶放电后,缝纫针被磁化了;

……

1774年,德国的巴伐利亚电学研究院提出了一个有奖征文题目:电力和磁力是否存在着实际的和物理的相似性?

然而,无论是当时一些新奇的发现和一些人为的努力,都没有得出什么有意义的成果。

奥斯特的探索

科学家认识自然的观念,科学研究的指导思想,从来就跟科学家的哲学思想有着千丝万缕的联系。丹麦物理学家奥斯特受德国著名哲学家康德思想的影响,信奉自然力是统一的、可以相互转化的观念。1803年,26岁的奥斯特说:“我们的物理学将不再是



奥斯特(H. C. Oersted,1777—1851),丹麦物理学家和化学家。



伏打（A. Volta，1745—1827），意大利科学家。

伏打是意大利自然哲学教授，他根据意大利解剖学家伽伐尼做青蛙实验产生电流的启示，用不同金属组合，发明了著名的伏打电堆。它能产生较稳定的强大的电流，为电磁学的研究（如奥斯特实验、欧姆定律等）提供了条件。

关于运动、热、光、空气、电、磁以及我们所知道的任何其他现象的零散的罗列，我们将把整个宇宙容纳在一个体系中。”他坚信电、磁、光、热和机械运动等自然现象之间应该存在着内在的联系，关键是在于找出转化的具体条件。他曾说过，“既然长期以来，我认为电力是自然界一般的力，我必须从它们得到磁效应”；“应该检查电是否以其最隐蔽的方式对磁体有影响”。

奥斯特不断地用实验对这一思想进行检验。

最初，奥斯特也希望像富兰克林那样，用莱顿瓶的静电放电作用使磁针运动，他做了许多实验都失败了。接着，他想到利用伏打电堆提供电流做实验。

1812 年，奥斯特在《关于化学力和电力的统一的研究》一书中，根据电流通过直径较小的导线会产生热的现象，推测导线直径进一步缩小，导线会发光，如再缩小到一定程度，就会产生磁效应。他还认为电流的磁效应，可能也像电流通过导线时发热发光那样，是向着导线四周发射的。沿着这个思路，奥斯特把磁针垂直于导线上下左右放置，但他做了多次实验，都没有成功。

1820 年 4 月，在一次关于电和磁的讲课快要结束时，奥斯特突然想到：把导线与磁针平行放置，结果会怎样呢？于是他把原来沿东西方向安置的细铂线转动 90°，使它与磁针一样沿着南北方向即磁子午线的方向放置。当接通电源时，他发现小磁针偏转了一下。在场的学生对这个现象似乎并不在意，但奥斯特却激动万分。多少年来梦寐以求的企盼，终于有了回应。

此后三个多月的时间内，他先后做了 60 多个实验，除了把磁针放在不同位置考察电流对它的作用方向和强弱外，还把玻璃、琥珀、木头、水、树脂、陶器、石片等放在导线与磁针之间，发现这些非磁化的物质都不妨碍电流对磁针的偏转作用。

1820 年 7 月 21 日，奥斯特向科学界散发了一本小册子——《关于磁体周围电冲突的实验》，公布了他的重要发现。从此，分离了千百年的电与磁，终于被小磁针的偏转联系在一起了。

近代微生物学奠基人、法国的生物学家巴特德说过：“在观察的领域里，机遇只偏向那些有准备的头脑。”

图 2-3　奥斯特向人展示电流的磁效应





图 2-4　伏打的电堆是一连串用弄湿的布垫片隔开的金属圆板

信息浏览

电流磁效应的发现

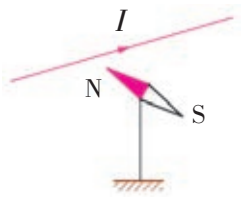
1857年，曾作为奥斯特实验助手的哈斯坦写信给法拉第，描述了他当年亲眼目睹奥斯特发现电流磁效应的经过。信中写道："奥斯特将一根与伽伐尼电池相连的导线垂直地跨在一枚磁针上，没有发现磁针运动。然后他再用更强的伽伐尼电池做一次同样的实验，并打算随后结束他的讲课，就在这时他忽然又说道：'让我们把导线同磁针平行地放置试试看……'刹时间他完全愣住了，因为他看到磁针这时几乎和磁子午线成直角地大幅度摆动着。接着他又说：'现在让电流方向反过来'。于是磁针就沿着相反方向偏转。伟大的发现就这样诞生了。"

科技活动　观察通电直导线对磁针的作用——模仿奥斯特实验

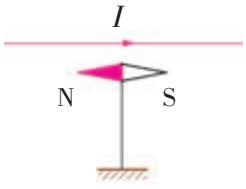
如图2–5所示，将小磁针垂直于直导线或平行于直导线放置，观察通电直导线对小磁针的作用。

通电导线为什么隔着一段距离能对磁针发生作用呢？原来，通电导线跟磁体一样，能产生磁场，它就是依靠磁场这种物质对磁针发生作用的





小磁针垂直于导线放置



小磁针平行于导线放置

图2–5　模仿奥斯特实验

安培的贡献

电流能产生磁场的发现像一股温暖的春风，在当时的世界科学中心法国回旋着，吹拂着一批对科学发现敏感的科学家的心扉，激起了他们迅速高涨的探索热情，很快取得了一系列成果，其中以安培的成果最为举世瞩目。

法国物理学家安培(A. M. Ampere)根据通电直导线对不同位置处的磁针的作用，总结出了判断电流磁场方向的**右手螺旋法则**(即安培定则)：用右手握住导线，让伸直的大拇指所指方向跟电流的方向一致，弯曲的四指所指的方向就是磁感线的环绕方向(图2–6)。



图2–6　右手螺旋法则

安培通过实验指出，不仅直导线中的电流可使磁针发生偏转，而且环形导线中的电流也可以使磁针发生偏转。环形电流产生的磁场的磁感线方向也可用安培定则判断(图2–7)。

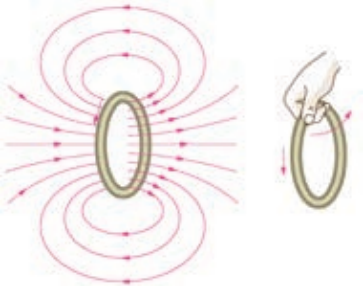


图2–7　环形电流产生的磁场

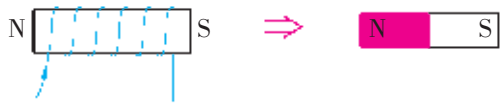


图 2–8　通电螺线管相当于条形磁铁

安培根据环形电流产生磁场的观点和右手螺旋法则，认为每个通电螺线管相当于一根条形磁铁，一端相当于北极，另一端相当于南极。通电螺线管外部的磁场跟条形磁铁外部的磁场相似(图 2–8)。

科技活动

观察通电螺线管的磁感线分布

如图 2–9 所示，在一块有机玻璃板上绕制一个螺线管，在管的四周洒上铁屑，通电后，轻轻敲击有机玻璃板，观察铁屑在螺线管四周排列的形状。

判断通电螺线管的极性

如果用导线绕成螺线管，它的电流方向跟磁感线方向之间的关系也可用安培定则判定：如图 2–10 所示，用右手握住螺线管，让弯曲的四指所指的方向跟电流的方向一致，大拇指所指的方向就是螺线管内部磁感线的方向。也就是说，大拇指指向通电螺线管的北极。

磁场的概念和用力线描述磁场，都是后来法拉第引入的。

根据安培定则判断通电螺线管的极性后，你能否用实验加以确认？

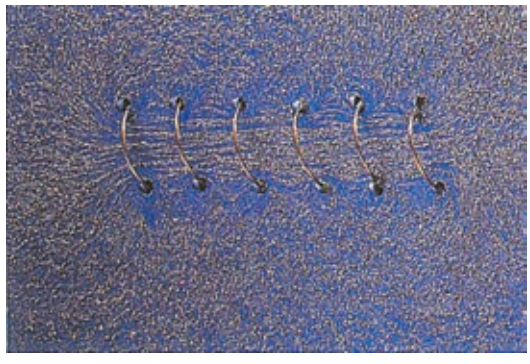


图 2–9　通电螺线管周围的铁屑

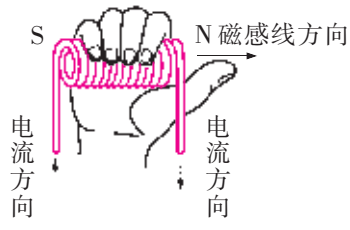


图 2–10　安培定则

奥斯特实验的意义

奥斯特的发现为电磁学的研究开辟了一个崭新的领域。法拉第说：“这一发现猛然打开了一个科学领域的大门，那里过去是一片漆黑，如今却充满了光明。”它使人们直观地认识到，各种自然

现象之间并不是孤立的、无关的，而是有着密切联系的。它对人们认识事物本质特征和研究事物间的联系都有很大的推动作用。根据奥斯特实验所揭示的电流磁效应，利用电流磁场的强弱和便于调节和控制的特点，很快研制出了电磁铁，在生产实践中体现了它的价值。如今，在电磁起重机、电话、电动机、发电机以及自动控制中普遍使用的电磁继电器等，都离不开电流的磁场。

奥斯特的发现功不可没！

科普选读

Make an Electromagnet

Electromagnets are magnets created by flowing electric currents. You made a kind of electromagnet when you constructed your galvanometer. The current-bearing coil of wire became magnetized and deflected the magnetic compass needle.

A typical electromagnet consists of a core of soft iron or soft steel, surrounded by a coil of insulated wire. When the current flows through the wire, the core quickly becomes a temporary magnet. When the current is interrupted, though, the core loses its magnetism. Note that there is a switch in the circuit to allow the circuit to be disconnected easily.

How does this electromagnet work?

家庭作业与活动

1. 有人说，奥斯特是偶然撞到了这个荣幸的发现，你的看法是什么？
2. 奥斯特的发现对社会的发展产生了哪些影响？
3. 图 2–11 所示，跟一个圆环导线同一平面放置一个小磁针，导线通电后发现小磁针 S 极向纸面外运动，试判断电流的方向。
4. 如图 2–12 所示，在通电螺线管的管口、管内中央、外部中央的 a、b、c 三处放置三枚可以自由转动的小磁针，静止时 N 极的指向为

A. 都向右　　B. a 向左，b、c 向右

C. a、b 向右，c 向左　　D. a 向右，b、c 向左

5. 如图 2–13 所示，一个弹簧线圈的下端和电池的一端通过水银相连，当闭合电键 S 时，会看到什么现象？为什么？
6. 在奥斯特实验前，人们对电和磁的发现与研究已有2000多年，为什么一直没有发现它们之间的联系？请查阅有关资料，从思想方法、实验条件、认知水平等方面进行一次较全面的分析。

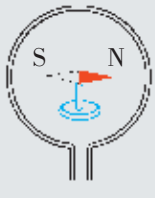


图 2–11

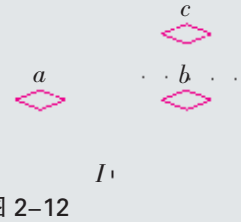


图 2–12

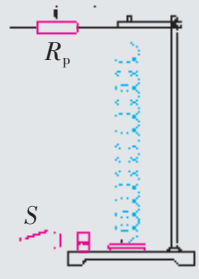


图 2–13

2.2 安培力与磁感应强度

什么叫安培力

安培发现了环形电流之间的相互作用后，转而研究两条通电直导线之间的相互作用。

科技活动　观察通电直导线的相互作用——模仿安培的实验

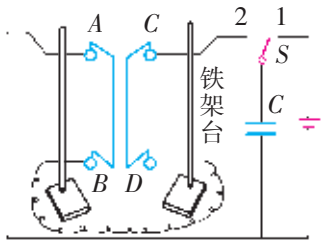


图 2–14　通电直导线的相互作用

如图 2–14 所示，沿竖直方向安放两条比较靠近并互相平行的直导线，当两导线中通以同向电流或反向电流时，观察 AB 和 CD 两导线的相互作用。

两导线互不接触，它们是怎样发生相互作用的呢？

显然，两根直导线之间的相互作用，也是通过磁场发生的，即

电流 I_1 → 磁 场 → 电流 I_2

磁场对电流的作用力通常叫做**安培力**(Ampere force)。这是为了纪念安培而命名的。

安培力的方向

由图 2–14 的实验可以知道，安培力的方向是跟磁场的方向、电流的方向有关的。

科技活动　探究影响安培力方向的因素

如图 2–15、2–16 所示，把一长直导线水平放置在蹄形磁铁的磁极间，当导线中通以电流时，它受到磁铁磁场的作用而向上(或

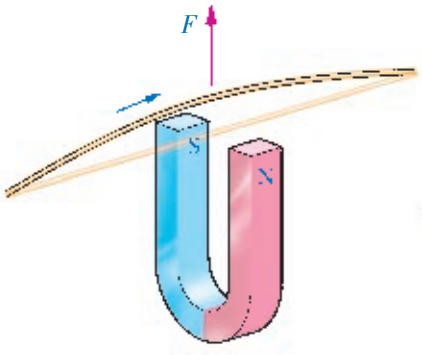


图 2–15　向上的安培力

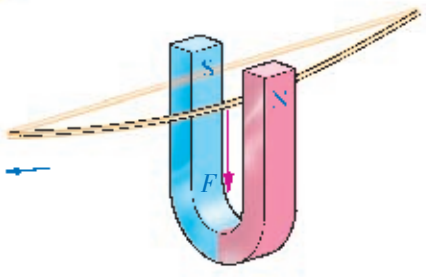


图 2–16　向下的安培力

向下)移动,改变电流方向和磁场方向,记下导线的受力方向。

观察这几次实验结果,请试一试,你能否找出安培力方向的规律?

实验表明,安培力的方向既跟磁场垂直,又跟电流方向垂直,它们三者之间的关系可以用**左手定则**判定:伸开左手,使大拇指跟其余四指垂直,并且都跟手掌在一个平面内,让磁感线垂直穿过手心,并使四指指向电流的方向,那么大拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向(图 2–17)。

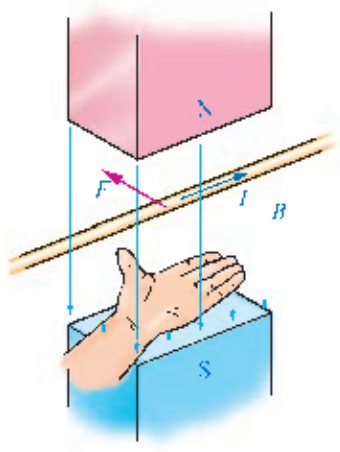


图 2–17　左手定则

如果用“⊗”表示电流方向垂直纸面向里;用“⊙”表示电流方向垂直纸面向外,B 表示磁场方向(即磁感线方向),用左手定则判断图 2–18 四种情况的导线受力方向。

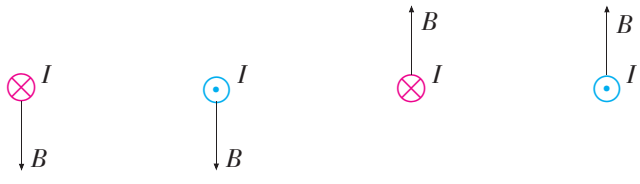


图 2–18

请你用左手定则和右手螺旋法则，确定图 2–14 中两直导线的受力方向,并在下面方框中画出示意图。

安培力的大小

科技活动　探究影响安培力大小的因素

图 2–19 中的仪器称为磁力秤(又叫磁天平)。

横臂可绕中央刀口转动,臂上装有一个 E 字形导线框,把横臂放入通电螺线管的磁场中,通入合适方向的电流,在磁场中的这部分导线(*ab*)受到安培力作用,会使横臂绕中央刀口转动。调整挂钩上悬挂的砝码,可使横臂呈水平平衡状态,指针恰指零。

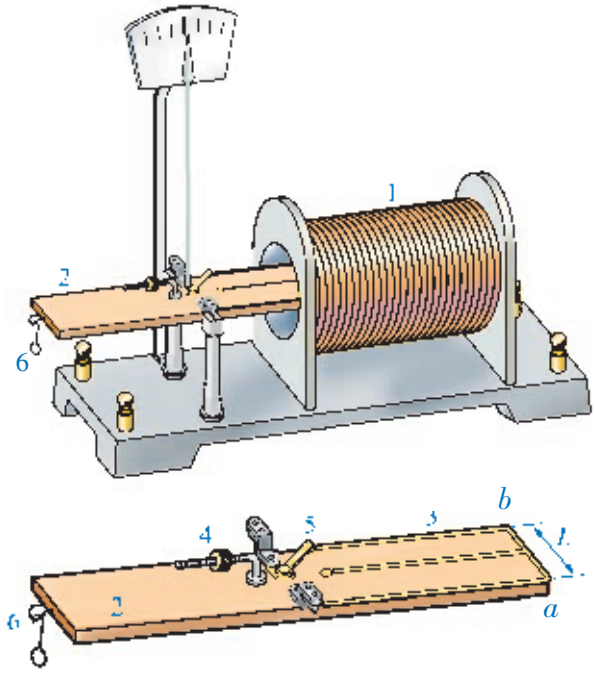
请利用图 2–19 所示的仪器,设计实验方案、进行实验探究。

请考虑怎样改变磁场的强弱和导线在磁场中的长度?怎样改变电流的大小?

通过实验可以发现:安培力的大小跟磁场强弱、电流大小和导线长度有关。当导线垂直磁场方向放置时,磁场越强,电流越大,在磁场中的导线越长,安培力越大。

磁感应强度

图 2–19　磁力秤



1. 螺线管　　2. 横臂　　3. E 形导线
4. 调平螺母　　5. 转换开关　　6. 挂钩

我们知道,磁场不仅有方向,而且有强弱,描述磁场强弱和方向的物理量叫做**磁感应强度**(magnetic induction),用 B 表示。

在物理学中,用垂直磁场放置的一小段通电导线所受的安培力来定义磁感应强度,并把它表示为

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

在国际单位制中,磁感应强度的单位是**特斯拉**,简称**特**,符号是 T。如果垂直磁场放置一根长 l = 1m 的导线,通过 I = 1A 的电流,它受到的安培力 F = 1N 时,该处的磁感应强度就是 1T。即

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

下页表中列出了一些磁场的磁感应强度的大小(单位:T)。

原子核表面	约 10^{12}	电视机内偏转磁场	约 0.1
普通永磁体	约 0.5	太阳表面	约 10^{-2}
太阳黑子中	约 0.3	地球表面	约 5×10^{-5}
磁疗	约 0.2	人体体表	约 3×10^{-10}

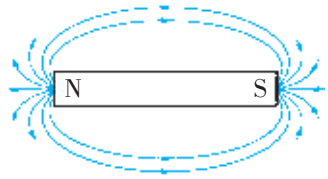


图 2–20　条形磁铁的磁感线

磁感应强度的方向就是磁场的方向，也就是某处小磁针 N 极的受力方向。所以，磁感应强度可以全面地反映磁场的强弱和方向。

用磁感线形象地描述磁场时，磁感线较密的地方，表示磁感应强度大；磁感线较疏的地方，表示磁感应强度小。磁感线各处的切线方向就是该处磁感应强度的方向。根据图 2–20 中条形磁铁的磁感线分布，可以看出，两磁极附近磁感应强度大，两极中央附近磁感应强度小。

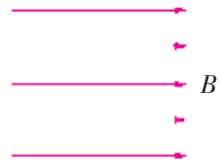


图 2–21　匀强磁场的磁感线

在磁场中某一区域，如果磁感应强度的大小和方向处处相同，这个区域的磁场叫做**匀强磁场**(uniform magnetic field)。匀强磁场的磁感线可以用等间距分布的平行直线表示，如图 2–21 所示。

磁通量

当用磁感线形象地描述磁场时，为了比较穿过磁场中某个平面(或曲面)磁感线的多少，物理学中还引入磁通量的概念。如果在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，有一个与磁场方向垂直的平面，其面积为 S(图 2–22)，我们把磁感应强度 B 与面积 S 的乘积叫做穿过这个面的**磁通量**(magnetic flux)，简称**磁通**。用符号 Φ 表示，则

$$\Phi = BS$$

在国际单位制中，磁通量的单位是**韦伯**，简称**韦**，符号 Wb。

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

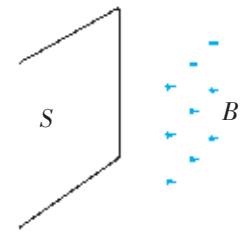


图 2–22　磁通量的意义

例如：在磁感应强度 $B = 10^{-2}$ T、方向竖直向下的匀强磁场中，有一个面积 $S = 4\times10^{-2}$ m^2 的平面(图 2–23)，穿过这个平面的磁通量为

$$\Phi = BS = 10^{-2}\times4\times10^{-2}\text{Wb}$$
$$= 4\times10^{-4}\text{ Wb}$$

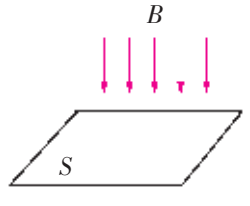


图 2–23　计算磁通量

如果这个平面跟磁场方向不垂直(图 2–24)，怎样计算穿过它

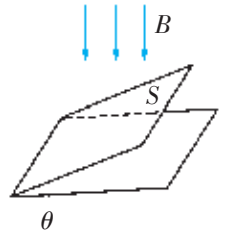


图 2–24　如何计算磁通量

的磁通量呢？请根据磁通量的定义，自行研究。

怎样使得穿过某个平面的磁通量发生变化呢？请提出你的方案，并与同学互相讨论交流。

科普选读

Maglev Trains

Trains that travel by means of magnets are known as maglev. Maglev is short for magnetic levitation. Maglevs are trains that "fly".

Germany is probably closer to building a high-speed intercity maglev system than its competitor, Japan. The German system utilizes conventional electromagnets that are attracted upwards to a metal rail lifting the maglev cars about one centimeter above the guideways.

The Japanese system uses pairs of electromagnets made of superconducting wire. The Japanese maglevs utilize the repulsion between like magnetic poles. Superconducting wire for the electromagnets has no resistance to current when it is in liquid helium at near-absolute-zero temperatures. Thus, no electric energy is needed to levitate the train.

家庭作业与活动

1. 磁场和电场有相似之处，又有所区别，请比较：
   （1）安培力与电荷在电场中受到的电场力。
   （2）磁感应强度与电场强度。
2. 根据图 2–25 中画出的一根磁感线，能确定 a、b 两点磁感应强度的大小关系吗？为什么？



图 2–25

3. 图 2–26 所示为某磁场的部分磁感线，a、b 两点磁感应强度的大小关系是 B_a____B_b，在图上画出 c、d 两点的磁感应强度方向。

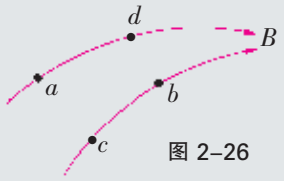


图 2–26

4. 在如图 2–27 所示竖直向下的匀强磁场中，放置一个矩形线圈 $abcd$，它可以绕中心轴 OO' 匀速转动。当线圈转到什么位置时，穿过线圈的磁通量最大？当线圈转到什么位置时，穿过线圈的磁通量最小？线圈匀速转动时，穿过线圈的磁通量是否均匀变化？为什么？

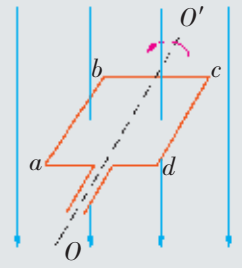


图 2–27

5. 矩形线圈 $abcd$，边长 $ab = 30\text{cm}$，$bc = 20\text{cm}$，如图 2–28 所示放在直角坐标内，$\alpha = 30°$，$\beta = 60°$，设匀强磁场的磁感应强度 $B = 10^{-2}$ T，则
   （1）当 B 沿 Oz 方向时，穿过线圈的磁通量 Φ=_____。
   （2）当 B 沿 Oy 方向时，穿过线圈的磁通量 Φ=_____。
   （3）当 B 沿 Ox 方向时，穿过线圈的磁通量 Φ=_____。

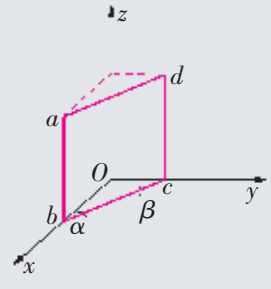


图 2–28

2.3

改写通信史的发明——电报和电话

电流磁效应的一个重要的应用,就是制成**电磁铁**。它不仅在电磁起重机和自动控制的电磁继电器中得到应用,并且在电报机和电话中也起着很大的作用。

千百年来,人们一直在寻求超越时空障碍、快速传递信息的方法。19 世纪初,电磁学研究的进展,使人们想到了用电来传递信息,电报是最早利用电作为传媒来传递信息的工具。

莫尔斯的电报发明之旅

早在 1753 年,英国的摩尔逊就利用静电感应原理,设计了一种用 26 根导线分别传送 26 个英文字母的**静电电报机**。19 世纪以来,根据电流磁效应原理制作的各种电报机纷纷出现,其中较著名的有英国戴维等人研制的电磁式电报机,英国的库克和惠斯通制成的**五针式电报机**。这些电报机均因线路复杂,速度太慢,传递距离短,缺乏实用价值而未能得到推广。

直到莫尔斯发明了新的编码技术,制成了有实用意义的电报机后,才真正实现了用电传递信息的梦想。



图 2-29 1837 年由库克和惠斯通发明的五针式电报机

巧妙的编码技术

莫尔斯(S. F. B. Morse)是美国一个著名画家。1832 年,一次偶然观看的科学表演,激起了他“用电来传递信息”的强烈愿望。他毅然决定放弃艺术生涯,转行研究电报。他做这个决定时已 41 岁了,而且缺乏电磁学知识。他从欧洲回到美国,开始自学电磁学知识和机械制造技术,并求师于大科学家亨利(J. Henry)。3 年过去了,电报机还无踪影,陷于困境的莫尔斯,不改初衷,坚持试验。经过苦苦思索,他突然醒悟到,自己的设计没有摆脱传统的思路。灵感在长久的思考和积累中闪现,他在笔记本中写道:电流是神速的,如果它能不停地走 10 英里,我就让它走遍全世界。电流只要停止片刻,就会出现电火花,火花是一种符号;没有火花是另一

种符号;没有火花的时间长又是一种符号。这里有三种符号可以组合起来,代表数字和字母。……这样,能够把消息传到远处的崭新工具就可能实现了。

莫尔斯的构思是电报发明史上的重大突破。他用电路中电流的通、断两种状态,加上通电时间长作为三种信号来表示三种符号:点、空、划,再加以组合,便可达到用电传递信息的目的。莫尔斯的点划编码技术一直沿用至今,叫做**莫尔斯电码**。

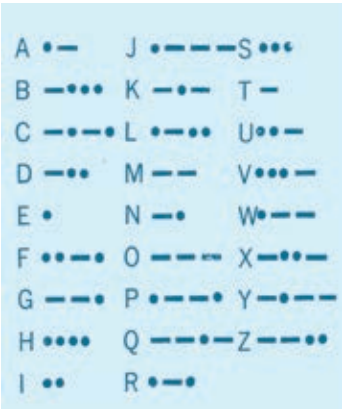


图 2–30　莫尔斯电码

第一台电报机的诞生

莫尔斯根据自己的构思,很快就设计出世界上第一台正式以“**电报机**”命名的装置。



图 2–31　莫尔斯的电报机

莫尔斯的电报机由发报机和收报机组成。发报机上有一个按键,由它来控制电路的通断。在按键下面,有一个被弹簧杠杆控制的开关装置。发报时,人们根据电码组合有节奏地按动电键,电信号通过电路传到接收机的电磁继电器的线圈中,电磁铁按信号一会儿显示磁性,一会儿不显示磁性,从而控制着对衔铁的吸放,衔铁的动作通过杠杆使另一端的触写点在纸带上画出点、线或留出空白。这样发出来的电信号,就在收报机的纸带上准确、迅速地画出来了。电报员根据纸带上的符号,就可以按电码翻译成原文。

图 2–32　早期的电报所



瞬时通信的实现

莫尔斯为电报机申请了专利,但由于第一台电报机比较粗糙,传输距离太近(12m),在推广时屡遭挫折。企业家们拒绝投资这项发明,认为不过是一堆废铁。为了改进电报装置,增大通信距离,他变卖了珍藏的名画,倾家荡产,执著追求。后来莫尔斯在青年技师盖尔的帮助下,又经过三年,改进了电报装置,制成了一台简单、准确、实用的电报机。莫尔斯到华盛顿国会大厦会议厅,向在 64km 外的巴尔的摩的盖尔发出了历史上第一份长途有线电报,电文是“上帝创造了

何等的奇迹”！

华盛顿震惊了。人们被神奇的传媒吸引，立即就明白了它的价值，人类“瞬时通信”的梦想实现了！莫尔斯的电报机很快就风靡全球。美国首先掀起建设电报线路的高潮，接着各国纷纷仿效。随着海底电缆的铺设成功，电报也飘洋过海，莫尔斯的点划把地球上的各大洲第一次紧密地联系了起来。

科技活动

请你将“人类创造了通信史上的奇迹”这句话翻译成英文后，用莫尔斯电码编译出来。想一想，中文能不能直接用莫尔斯电码？为什么？查阅资料，了解中文电报编码技术。

科学与社会

SOS的由来

莫尔斯电报的发明，开创了电为人类通信服务的新纪元。人们为了纪念发明家和这项伟大的发明，1911年，在伦敦召开的国际无线电报大会上，决定用莫尔斯电码的三点、三划、三点即SOS作为国际海上救援信号。从此，特别是无线电报出现以后，SOS划破长空，实现了无数次海上甚至陆上的救援活动，成为危难关头的生命之声。



图2-33 在历史上著名的“泰坦尼克”号海难救援中，SOS起了很大作用，挽救了许多人的生命

贝尔的联想

1876年5月25日，在费城百年工业展览会上，一张展台上摆着一个外表很一般的盒子，在成千上万的展品中，它太普通了，没有人注意到它和它的主人。

评审员来检验这个新机器时，盒子的主人开始演示。当他背诵莎士比亚作品的声音从导线另一端的盒子传出时，人们惊呆了。参观者聚集在展台旁，争着看这个会传出声音的机器。这就是贝尔和他的助手沃特森发明的人类历史上第一部电话。著名科学家威廉·汤姆生在评语中写道，这项发明非同凡响，在科学上有重大意义。



贝尔（A. G. Bell，1847—1922），美国发明家，电话的发明人。



图 2–34　贝尔在演示他的电话

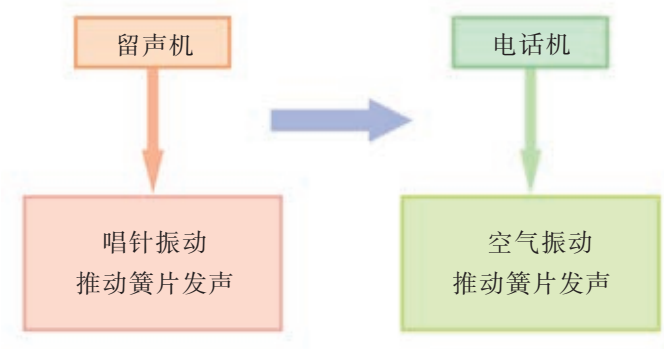
用电流传递声音

贝尔出生在一个语言世家，对声音、语言有着很深刻的理解。22 岁时，他受聘为波士顿大学语言学教授的同时，也在研究多路电报。他在试验中发现，发报机的簧片振动时，会使线圈中电流发生变化，这个电流的变化导致收报机的簧片发出微弱声音。贝尔由此而萌发了“用电流来传递声音”的念头：要传递声音，需有一种能随声音变化产生变化电流的装置。这样就可以用电流的“波动”代替传递声音的“空气波”了。从此，这个念头一直萦绕在他的脑海里。

由留声机产生的联想

一次，贝尔正在欣赏留声机播放的音乐，突然意识到，留声机不正是一种电声转换装置吗？

贝尔仔细地研究了留声机的结构原理后，形成了电话机的最初构思。



由于贝尔缺乏电学知识，当他把自己的想法兴致勃勃地告诉别人时，迎来的既有善意的劝阻，又有冷漠的讥笑。一位学者好心地劝他说：“你所以产生这种幻想，是因为缺乏电学常识，你只要多读两本《电学入门》，导线传声音的妄想自然就会消失了。”另有一位颇有名气的电报技师还恶语伤人：“电线怎能传送声音，岂非天大的笑话！正常人的胆囊是附在肝脏上的，而你贝尔的身体却长在胆囊里，实在少见！”

贝尔面对冷嘲热讽，毫不退却。他还特地赶到华盛顿，请教当时的大物理学家亨利，并从亨利那里得到极大的鼓励。从 1873 年初夏起，他辞去波士顿大学语言学教授的职务，找了一个 18 岁的青年电工沃特森做助手，全身心地投入到电话的发明中。

在物理学上，往往因为看出了表面上互不相关的现象之间相互一致之点而加以类推，结果竟得到很重要的进展。

——爱因斯坦

由人耳产生的联想

为了便于簧片振动发声,贝尔想到了人的耳朵。他从一个朋友那里弄来了一个完整的人耳标本,仔细地研究听觉原理。他发现人耳的耳膜直径不到半英寸,薄如棉纸,却能轻巧地带动较重的听骨振动。于是,打开了贝尔的发明思路:用一张小而薄的膜片去推动簧片。

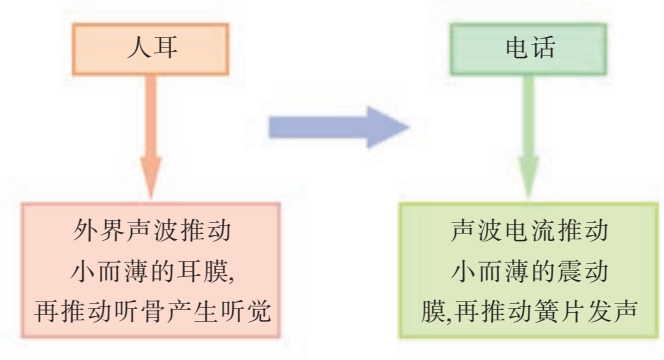


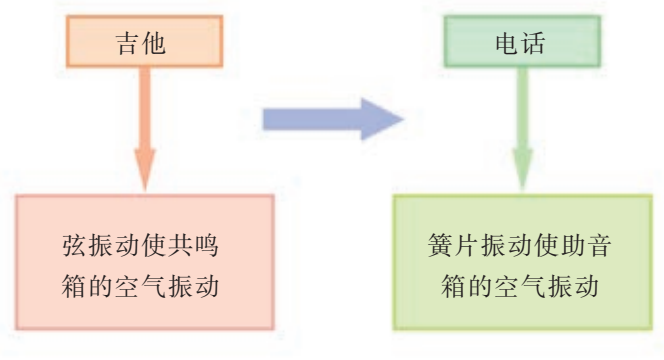


图 2-35 早期的贝尔电话机送话器和受话器是分开的

根据这个类比,贝尔立即和助手沃特森一起做了两台装置。他们把两台装置分置于相距 20m 的两个房间里,用电线连起来进行通话试验。结果,尽管他们拼命叫喊,簧片也振动了,可是电话机里毫无反应,听到的仅是穿墙而来的声音。

由吉他产生的联想

一次次的失败之后,贝尔仍一次次地继续试验。在一个闷热的夏天,紧张工作了一天的贝尔打开窗子,一阵悠扬的吉他声从远方传来,正在冥思苦想的贝尔豁然醒悟:单凭吉他弦的振动,只能发出微弱的声音,必须有个共鸣箱,才能使声音传得很远很远。他由此得到启发:应该在送话器和受话器上加个共鸣装置——助音箱。



贝尔想到这里神情振奋,他立即设计了一个助音箱,和助手沃特森一起连夜赶制,同时又改进了机器。



图 2–36　第一架电话机

激动人心的时刻

第二天——1875 年 6 月 2 日，贝尔和沃特森在相隔百米的两个房间里进行新的试验。这时贝尔不小心把一些硫酸溅到腿上，他痛得直叫喊：“沃特森先生，到这儿来，我需要你！”正在那边房间里等着试验的沃特森突然听到从电话机中传来贝尔的声音，惊喜万分，立即冲进贝尔的房间大声说：“听到了！听到了！”两人欣喜若狂地拥抱在一起。

历史记下了这难忘的时刻。在美国波士顿法院路 109 号楼门上，钉着一块青铜牌子，上面有一行醒目的金字：“1875 年 6 月 2 日，电话机在这里诞生”。

如今，在华盛顿历史与技术博物馆里，珍藏着贝尔电话机的原型（图 2–36）。

科技活动

1. 图 2–37 是贝尔设计的电话机工作原理图，哪些地方用到了电磁学的知识？

2. 设想你正在一个历史与技术博物馆里，请根据贝尔的设计图，对电话工作原理作一番生动的、通俗易懂的即席演说。

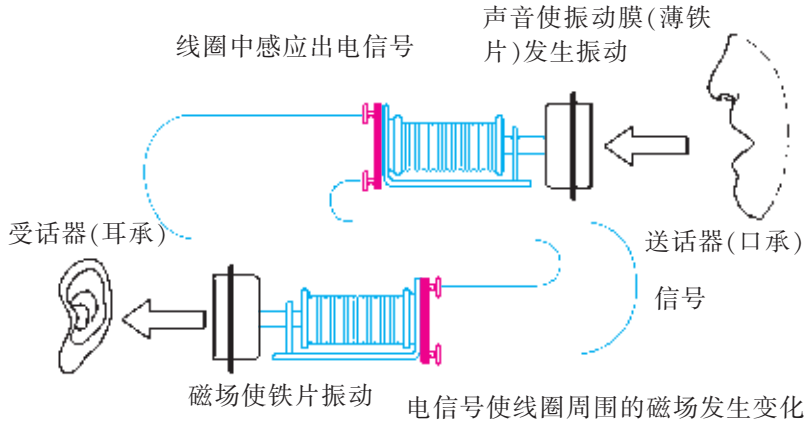


图 2–37　贝尔设计的电话机工作原理示意图

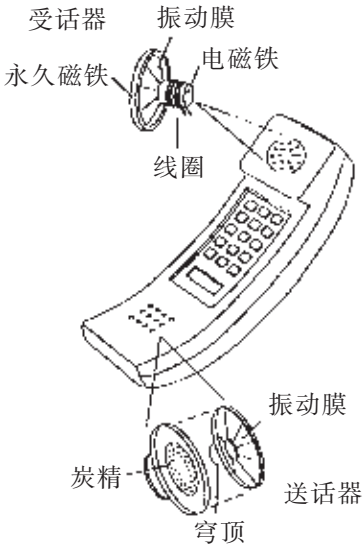


图 2–38　电话机的听筒和送话器装在一个手柄的两端，送话器采用爱迪生发明的炭精结构

改写通信史的发明

贝尔的电话在社会上引起极大震动，有个别企业和家庭开始试用。但这个电话传播距离太短，声音质量也不好。

发明家爱迪生（T. A. Edison）后来发明了一种炭精话筒，彻底改进了电话的传声功能，使传出的声音清晰、有力，而且通话距离

提高到数百公里。电话很快就走进了办公室和家庭，今天它已成为普通的通信工具。

电报和电话的发明翻开了人类通信史上崭新的一页，瞬时通信消除了时间和空间的隔阂，把人类这个大家庭联系得更加紧密。目前电话网是世界上最大的通信网，全球用户数以亿计。电话在人们工作和生活中得到广泛应用，它正在取代数千年流传下来的书信交往方式，深刻地改变着人们联系方式和人际交往方式。电话改变了世界。

请向你父母、亲朋好友调查了解一下，他们过去和现在主要用什么方式相互联系？比较一下，电话和书信交往各有什么特点？你更喜欢哪种方式？

用电来传递信息，这是人类的一大发明。



图 2–39　电话机

科学与社会

电话的发展——从有线到无线

早期的电话交换是由人工操作的，这种方式既慢又易出错。后来发明了自动拨号电话，通过电流脉冲实现选择，使说话人与受话人直接通话，但每台选择器服务对象有限。20 世纪下半叶开始的现代通信技术的飞速发展，使人类真正实现了“瞬息千万里，天涯咫尺间”的梦想。

电话通信的功能日新月异地扩展，形形色色、功能多样的电话机不断涌现，令人目不暇接。

移动电话（俗称手机）由于其轻便小巧，使用方便，它一出现，很快就被人们接受并喜爱，至今全世界手机用户数以亿计。



图 2–40　早期的电话人工交换台

那时的电话机没有拨号盘，通话都要通过接线，接线员根据说话者要求，把塞子插入交换台，让双方连通。

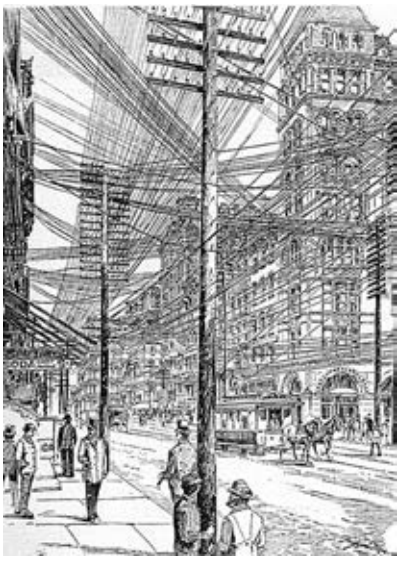


图 2–41　城市中的电话线

19 世纪末，成百根电话线在城市上空纵横交错，风雪刮断了电话线的情况时有发生。现在的电话电缆都埋在地下。

移动电话是利用无线电波的微波波段来传递信息的，所以，它同广播、电视一样，也需要一定范围的无线通信频率。由于现代通信事业迅速发展，留给移动电话使用的频率范围十分有限。为了解决这一难题，人们研制出“蜂窝式移动电话系统”。

这种系统将整个移动通信网络覆盖范围分成一个个小区域，每个区域内部设有“基站(台)”用来接收、处理和发射信号。

每个基站可以重复使用相同的频率，这样，有限的频道，通过空间的分割，同时可以在成千上万个基站范围内被利用，相当于极大地扩大了频道的容量。

每一部移动电话，就是一个小小的电台，既能发射信号，又能接收信号。但信号很弱，传送范围很小，它每隔几分钟就会发送一个短信号，它所在位置的基站收到这个信号后，立刻就将信号通知通信网络，控制网络的计算机接到信号后，会记录这部电话的基站地址，通信网络就这样自动追踪每一部移动电话。当有人拨打移动电话时，会被自动转换至移动电话所在基站处。

现在你明白了移动电话是怎样工作的，想一想，为什么战争中不能随便使用移动通信系统？



图 2-42　移动电话

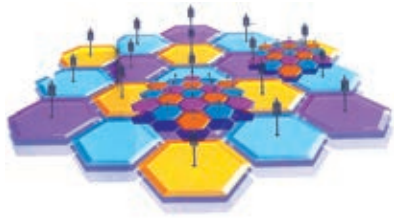


图 2-43　蜂窝式基台分布

科普选读

Electric Telegraph

After beginning his career as a portrait painter, Samuel Morse(1791—1872) thought of the idea for the electric telegraph after hearing a conversation about the newly discovered electromagnet. This was in 1832, while he was returning by ship to North America, after studying art in Europe. He devised a code of short and long electrical signals, dots and dashes, for different letters and numbers. Morse probably made his first working model of the telegraph by 1835 and opened the first permanent telegraph line in 1844, between Baltimore and Washington, DC. The first message he sent was: “What God hath wrought! ”

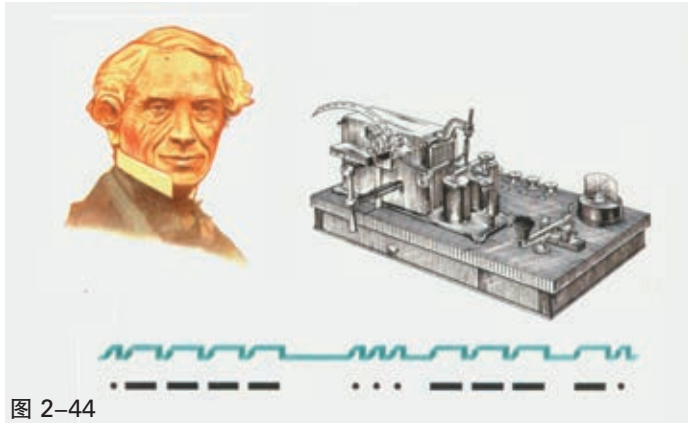


图 2-44

家庭作业与活动

1. 有人将电话的发明同蒸汽机的发明相提并论，说蒸汽机用自然力代替了人力，而电话的发明成为扩展人类感官功能的第一次革命。你怎么看这个问题？收集有关资料写篇科技述评。

2. 类比是一个重要的思维方法。在科学发现和发明的历史上有过不朽的功绩，请查阅相关资料，结合你个人的体会撰写一段由类比打开思路，获得成功的案例。

2.4 电子束偏转的奥秘

奥斯特的发现与电视机

在我们的生活中，电视已成为获取信息的重要渠道。电视机的心脏是显像管，显像管阴极发射出来的电子经加速后，形成一束高速运动的电子流。这束电子流受到一组通电线圈（称偏转线圈）磁场的控制，可打到荧光屏的各个部位，产生精彩纷呈的图像。

奥斯特于 1820 年所发现的电流磁效应，竟能被应用得如此出神入化，这是奥斯特当年无论如何不会想到的！



洛伦兹（H. A. Lorentz，1853—1928），荷兰物理学家，经典电子论创始人。他关于光谱线在磁场中发生分裂的预言，于 1896 年被荷兰物理学家塞曼（P. Zeeman，1865—1943）用实验证实。次年，洛伦兹提出了有关的理论。他与塞曼因此而分享 1902 年诺贝尔物理学奖。

洛伦兹力

首先对磁场中的运动电荷做深入研究的是荷兰物理学家洛伦兹。为了纪念他，物理学中把磁场对运动电荷的作用力叫做洛伦兹力。

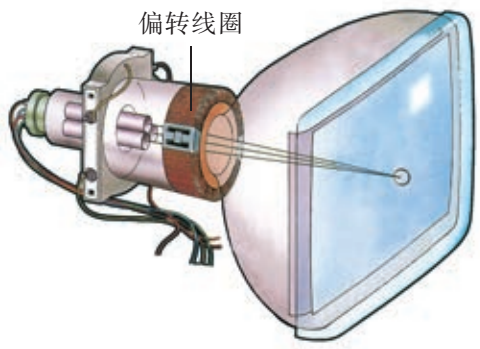
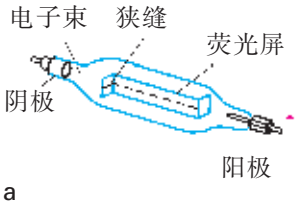


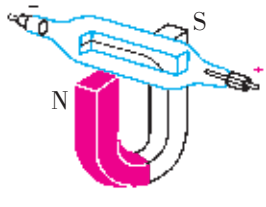
图 2–45　显像管中的偏转线圈

科技活动　观察洛伦兹力的作用

如图 2–46a 所示，在一个抽成真空的玻璃管中封有阴、阳两个电极。分别把它们接到高压电源的负极和正极后，从阴极会发射出高速的电子流——阴极射线。它打到屏上，可显示出一条美丽的绿色光带。加上磁场后，笔直的光带发生弯曲（图 2–46b）。可见，磁场对运动电荷确实有力的作用。



a



b

图 2–46　阴极射线及其在磁场中的偏转

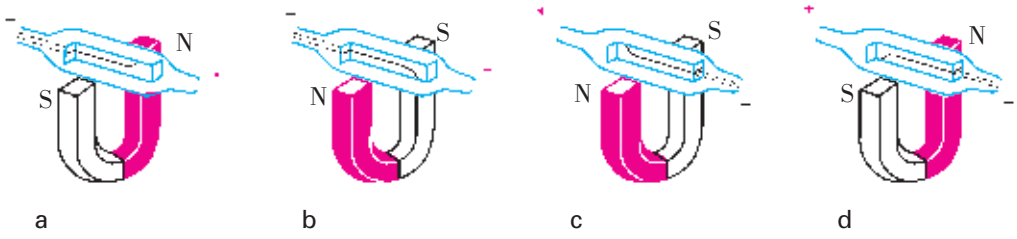
洛伦兹力的方向

洛伦兹力的方向跟哪些因素有关呢？

请根据安培力的方向对洛伦兹力的方向先作一猜测。

科技活动　探究影响洛伦兹力方向的因素

我们仍然用阴极射线管做实验，依次改变磁场方向和电子运动方向，观察电子束的偏转情况(图 2–47)。



a　　b　　c　　d

图 2–47

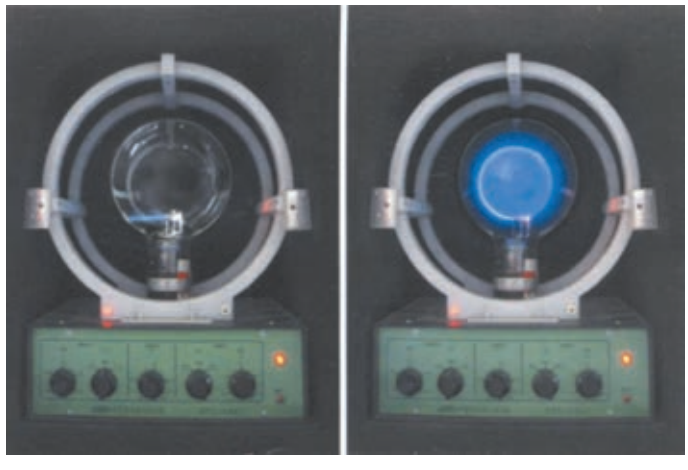
请思考：电子运动的方向就是电流的方向吗？从上述实验中能否总结出判断洛伦兹力方向的法则呢？

洛伦兹力的方向同样也可以用左手定则来判断。

洛伦兹力的方向处处垂直于运动电荷的速度，它只改变运动电荷的速度方向，不改变运动电荷的速度大小，因而垂直磁场射入的电子在洛伦兹力作用下做圆周运动。

我们用如图 2–48 所示的实验，可以证明这一情况。

讨论一下：电子做圆周运动的半径跟哪些因素有关呢？



a 无磁场时电子束的径迹　　b 有磁场时电子束的径迹

图 2–48　研究带电粒子在磁场中的运动

磁偏转的应用

磁场对带电粒子的偏转作用，在技术上和科学研究中有着广泛的应用。

分离放射线

放射性物质衰变时，会从原子核内发射出三种射线：一种叫 α 射线，由带正电的氦原子核（$^4_2\mathrm{He}$）组成；一种叫 β 射线，是带负电的高速电子流；还有一种叫 γ 射线，是不带电的光子流。利用洛仑兹力，就可以把它们分离开来（图 2–49）

请判断一下，图 2–49 中的磁场方向是怎样的？

放射性元素的原子核放出 α 粒子或 β 粒子后，变成新的原子核的现象，称为原子核的衰变。

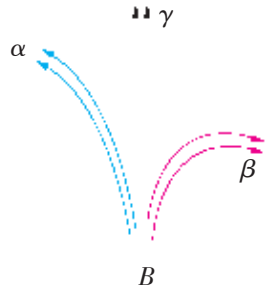


图 2–49　三种射线

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。

在质谱仪中，当电量相同、质量不同的带电粒子进入磁场后，将沿不同半径做圆周运动，因而在显示屏上出现按质量大小排列的若干条状细线，也叫谱线，每条谱线对应一定质量的粒子。

质子数相同、中子数不同的原子，在元素周期表中处于同一位置，这些原子互称同位素。

回旋加速器

加速器（accelerator）是使带电粒子获得高能量的设备。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，研究它们的变化。回旋加速器就是一种能产生大量高能量粒子的装置。

质谱仪最初是由 J·J·汤姆生的学生阿斯顿（F. W. Aston）设计的。后来经过多次改进，现在已成为一种十分精密的仪器。

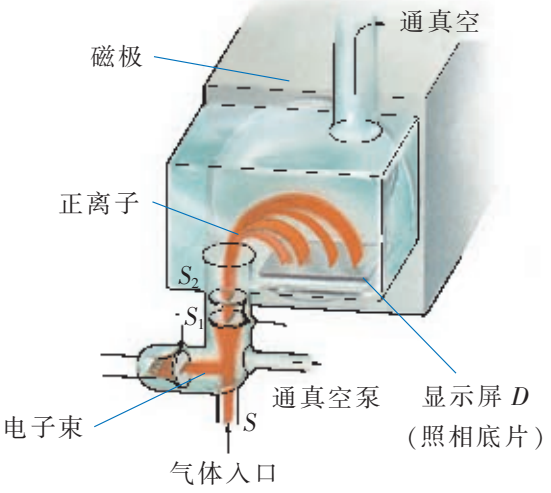


图 2–50　质谱仪的原理



图 2–51　美国费米实验室的回旋加速器，直径达 2km



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。

回旋加速器的发展

普通回旋加速器是劳伦斯发明的。在这种加速器中，磁场是匀强的，加速电场的频率是不变的。由于相对论效应，粒子在加速过程中，能量的提高会引起质量的增大，使粒子的回旋频率与加速电场的交变频率不再同步，因而粒子得不到持续的加速。这种加速器只能将质子的能量加速到25MeV左右。

为了得到更高能量的粒子，60多年来，科学家们坚持不懈地进行研究，不断地对回旋加速器做出改进。加速器发展到今天，经历了三次革命。

1945年，科学家对高频加速电场的频率进行调变，研制成同步回旋加速器。这种回旋加速器能将质子的能量加速到1GeV。

20世纪50年代，科学家研制出磁场呈某种分布的回旋加速器。这种加速器可以将质子的能量加速到10GeV的数量级。

20世纪60年代，科学家运用对撞可使加速粒子能量得到充分利用的原理建成了一个直径大约1m的对撞机，从此开创了加速器发展的新纪元。

我国于1989年研制成的北京正负电子对撞机（图2–53），能使电子能量达到2 × 2.8GeV。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—1000TeV。

从20世纪30年代至今，加速器的能量提高了9个数量级，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。

要想知道更多内容，可浏览网站http://www.ihep.ac.cn，或查阅《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2–52　画家李可染为“相对论性重粒子碰撞”国际学术研讨会所作的国画

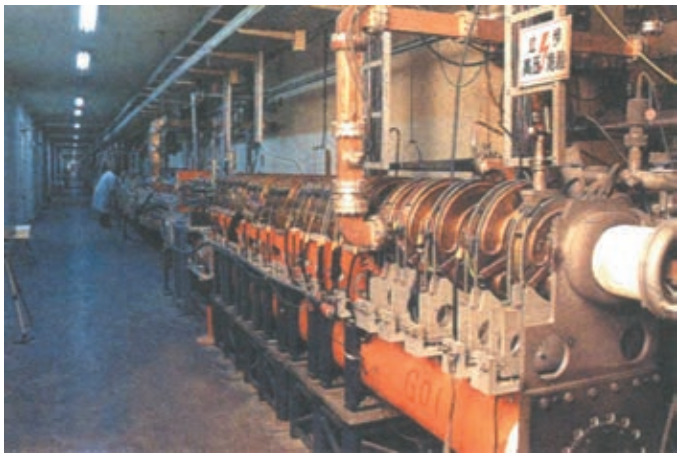


图2–53　北京正负电子对撞机BEPC

洛伦兹力的一大功绩

美国物理学家海斯(V. F. Hess)于1911—1912年在研究中,首次发现从太阳和其他天体上,时刻有大量的高能粒子流放出,这种射线最初称为“海斯辐射”,后来被多年致力于这种射线研究的美国物理学家密立根(R. A. Millikan)命名为“宇宙线”。

这种宇宙线如果都到达地球,将会对地球上的生物造成很大的危害。值得庆幸的是,地球周围存在着地磁场,它对入侵的这些高能带电粒子产生洛伦兹力,迫使它们改变了运动方向,保护了地球上的生物。

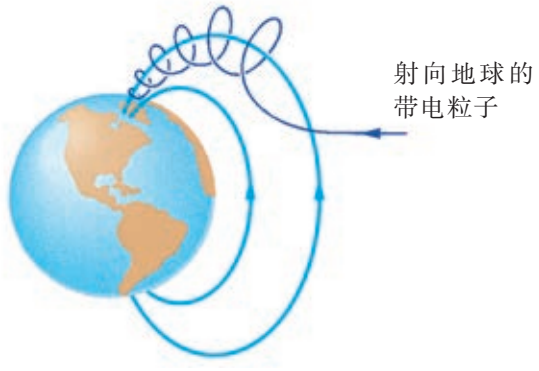
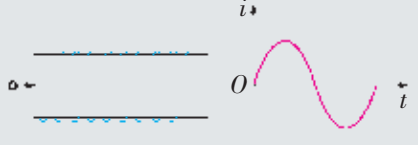


图 2–54　地磁场改变了宇宙线的方向

家庭作业与活动

1. 在如图 2–55a 所示的一个置于真空的螺线管中,通入如图 2–55b 所示的交变电流。当沿着螺线管的轴线射入一个电子(不计电子所受的重力),试分析电子在管中将做什么运动。



a　　b　　图 2–55

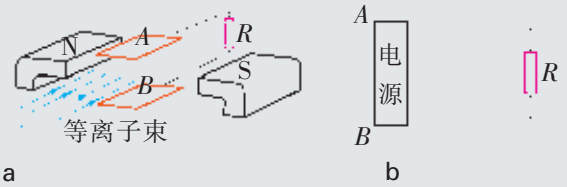
2. 在北半球,地磁场磁感应强度的一个分量竖直向下(以“×”表示)。如果你家中电视机显像管的位置恰好处于南北方向,那么由南向北射出的电子束在地磁场的作用下将向哪个方向偏转(如图 2–56)?这种偏转会使电视图像发生歪斜吗?为什么?



图 2–56

3. 目前世界上正在研究一种新型的发电机,叫做磁流体发电机,其原理如图 2–57a 所示。将一束含有大量正、负粒子的射线射入磁场,磁场中两金属板 A、B 上将分别聚集电荷,从而在两板间形成一定的电压,A、B 两板就等效于图 2–57b 中的一个电源。试判断一下,哪一个板是电源的正极。

请你上网查找有关磁流体发电的资料,写一篇通讯介绍这项新技术。



a　　b

图 2–57