

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 3-1

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



人民教育出版社

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-1

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著



人民教育出版社

总 主 编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：张维善

执笔人员：黄恕伯 唐果南 张维善

绘 图：王凌波 张傲冰 张 蓓 张 良

责任编辑：张 颖

版式设计：马迎莺

审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修 3-1

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

*

人民教育出版社 出版发行

网址：<http://www.pep.com.cn>

北京盛通彩色印刷有限公司印装 全国新华书店经销

*

开本：890毫米×1 240毫米 1/16 印张：7.75 字数：120 000

2004年5月第1版 2006年7月第18次印刷

ISBN 7-107-18027-4

G·11116(课)

定价：8.25元

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版科联系调换。

(联系地址：北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

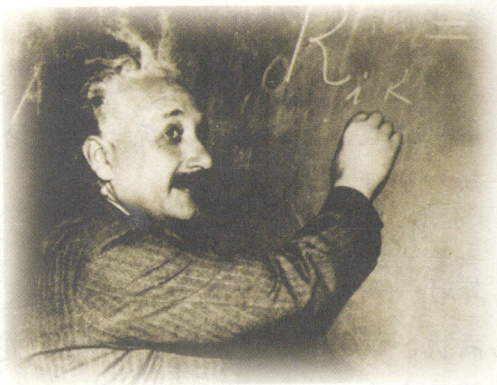
致 同 学 们

欢迎大家进入《物理》(选修3系列)的学习。这个系列的课程将呈现比较完整的和综合性的物理学内容,展示物理学发展中充满睿智和灵气的科学思维,弘扬前辈物理学家探寻真理的坚强意志和科学精神。

在必修物理课中,大家学习了力学的主要内容。诚然,力学是物理学的基础,是物理学和其他科学研究的典范。但是奠定基础是为了实现更高和更强的目标,学习典范是为了追求超越和创新的理想。尽管在这一过程中,会有意想不到的坎坷和曲折,但探索未知的诱惑和超越已知的希冀,却总在前面向我们招手……

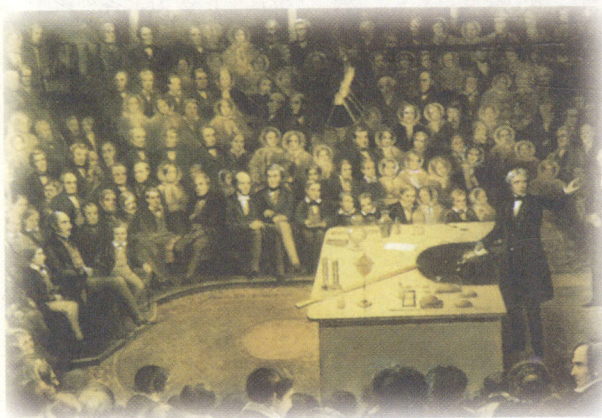
从这种意义上说,物理课程的学习与物理学自身的发展具有惊人的一致性。

那是1955年4月17日,一个星期日的下午,爱因斯坦从病榻上坐起来,开始了他一生的最后一次计算。他以自己特有的干净利落的笔迹,写下了一行行算式。在整理了一些数字之后,他休息了。几个小时之后,20世纪最伟大的物理学家去世了。病床旁边放着他最后的,也是失败的一项努力的记录:他要创造一个“统一场理论”,以便对宇宙中已知的几种相互作用做出统一的解释。



爱因斯坦

爱因斯坦的研究溯源于19世纪中前期法



法拉第在英国皇家学会演讲

拉第和麦克斯韦的工作。当奥斯特发现电流产生磁场之后,法拉第想知道,相反的情况是否可能发生——磁能够产生电吗?

在失败了多次之后,他取得了成功,并由此发现了某种具有深远意义的事情——尽管表面现象不同,但是电和磁仅仅是同一基本现象的不同方面。这向人们暗示:以某种方式看来,宇宙中的事物具有一种基本的统一性。

虽然法拉第以其高超的实验技能瞥见这种统一性，但他缺乏揭示这一辉煌成果所需的数学工具。麦克斯韦成功地把法拉第的发现转换成数学语言，阐明了电与磁实质上的统一性。

然而，他们忽略了一个明显的问题：宇宙的这种统一性是否包括人们最熟悉的引力呢？这正是爱因斯坦智慧的触角所指向的地方。也许是这个问题太多地超越了科学的年轮，爱因斯坦穷30多年之力，却只能把这一科学重任遗憾地留给后人。

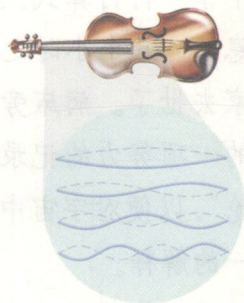


麦克斯韦

在爱因斯坦忙于构建自己的统一场理论的同时，人们发现了另两种基本的力——凝聚原子核的强相互作用力和造成放射现象的弱相互作用力。从20世纪50年代开始，物理学家的注意力转向了电磁力与弱作用力的统一。到60年代末，温伯格、格拉肖和萨拉姆分别在理论上表明，这两种力仅仅是同一种力的不同方面，由此预言的一些现象在70年代被实验证实。这让他们共同获得了1979年诺贝尔物理学奖。

70年代前期，格拉肖还发现了把电磁力、弱作用力和强作用力统一起来的一个数学公式，并称为“大统一场理论”，但他的预言证实起来却有困难。

1984年，施瓦茨和格林等人终于宣布，能够把最后的局外者——引力和其他的力统一起来。条件是粒子不再被看成点状，而是称为超弦的极小物体，它们像一些“琴弦”那样，并且存在于10维的时空之中。



尽管这是一项重大进展，但“超弦理论”似乎仅仅是某种更加根本的“东西”的一个影子。1995年，威滕把这个“东西”找到了，并称它为“M理论”，或说是“膜理论”。以往的超弦理论仅仅成为11维的膜的“边缘”而已，这11维时空中除了4维之外全都卷曲起来，以致我们无法“看到”。

超弦理论认为，各种粒子从一个基本超弦的不同振荡状态产生，就像一根弦振动形成不同的音调

这就是爱因斯坦所追求的目标吗？它可以通过实验证实吗？除了4维之外的其他维是如何卷曲的，以致小得看不见？尚存的其他许多维的谜底在哪里？

“M”除代表“Membrane（膜）”之外，可以代表“Mother（母亲）”，也可以代表“Mystery（神秘之物）”，还可以代表“Magic（魔术）”，那么，它到底代表什么呢？答案只能存在于未来的探索之中，也许它正在向你们招手呢！

科学是人类物质文明和精神文明进步的伟大阶梯，也是一个民族和国家发展壮大的坚实脚步。中国是个有13亿人口的发展中的大国，无论多么小的事情，考虑到

巨大的人口，那就成了一个莫大的问题；无论多么可观的财力、物力，考虑到巨大的人口，那就成了很低的水平。但是，事情也有另一方面。如果13亿人都具备了较高的科学素质，以科学的精神和思想方法面对挑战和机遇，中国人难道不可以为自己乃至全人类的发展和进步，承担起无与伦比的重大责任吗？

同学们，学好科学，增长智慧和才干，并把个人价值的实现与祖国的繁荣富强联系起来，那么人生就一定是充实而精彩的。



神舟飞船

曾有一位游人在游览杭州西湖后写过一首打油诗：

昔年曾见此湖图，

不信人间有此湖。

今日打从湖上过，

画工还欠费功夫。

如果你在读了前面那些文字之后，对于物理学的博大精深及影响之巨仍然将信将疑，那也没有关系，还是先学下去吧，或许有一天你会拍打着教科书说：“编者还欠费功夫。”



万里长城

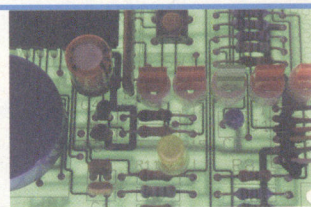
目 录

致同学们	1
------	---

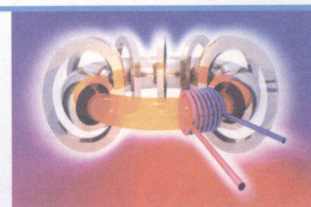
第一章 静电场	1
1 电荷及其守恒定律	2
2 库仑定律	6
3 电场强度	11
4 电势能和电势	17
5 电势差	23
6 电势差与电场强度的关系	26
7 电容器和电容	28
8 带电粒子在电场中的运动	32



第二章 恒定电流	39
1 导体中的电场和电流	40
2 电动势	43
3 欧姆定律	46
4 串联电路和并联电路	49
5 焦耳定律	54
6 电阻定律	57
7 闭合电路的欧姆定律	62
8 多用电表	66
9 实验：测定电池的电动势和内阻	72
10 简单的逻辑电路	75



第三章 磁场	83
1 磁现象和磁场	84
2 磁感应强度	87
3 几种常见的磁场	90
4 磁场对通电导线的作用力	96
5 磁场对运动电荷的作用力	100
6 带电粒子在匀强磁场中的运动	104

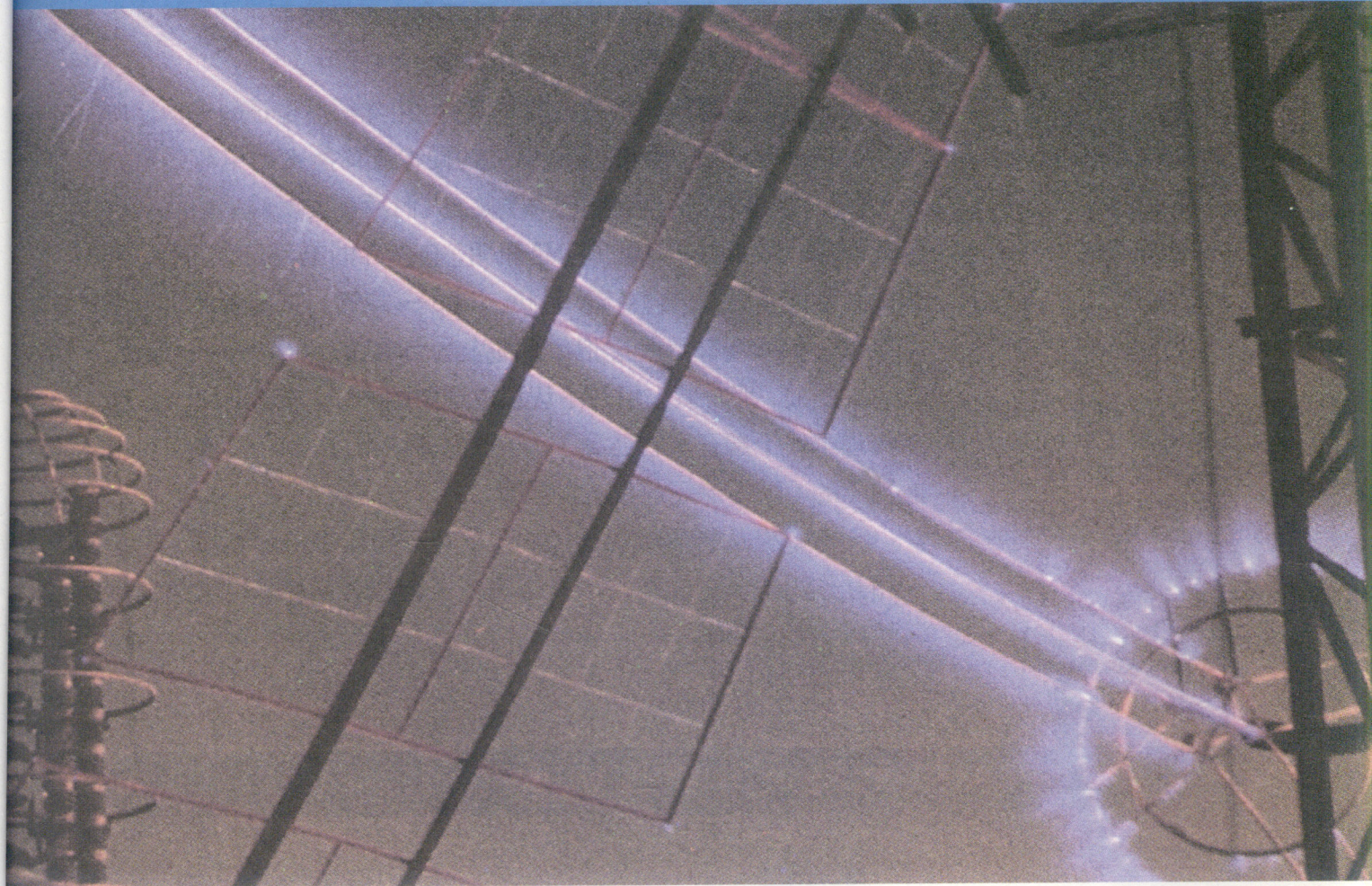


课题研究	109
附录 游标卡尺和螺旋测微器	110
课外读物及网站推荐	114

科学是可以解答的艺术。科学的前沿是介于可解与难解、已知与未知之间的全新疆域。致力于这个领域的科学家们竭尽全力将可解的边界朝难解方向推进，尽其所能揭示未知领域。

——皮特·梅达瓦^①

第一章 静电场

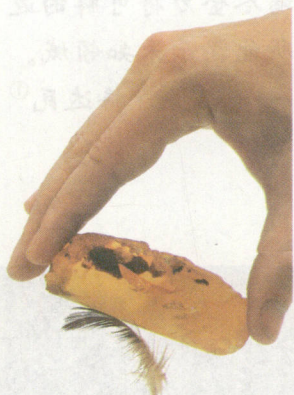


牛顿曾经说：“我认为自己不过像在海滩上玩耍的男孩，不时地寻找比较光滑的卵石或比较漂亮的贝壳，以此为乐。而我面前，则是一片尚待发现的真理的大海。”是的，牛顿并没有发现值得我们知道的每一样东西，其中包括电现象、磁现象……

其实，人类研究电现象和磁现象的历史比起力学研究的历史要更加丰富多彩，电和磁的世界也比机械运动的世界更加错综复杂。

从这章开始，我们将进入更有趣的电和磁的世界。

^① 梅达瓦 (Sir Peter B. Medawar, 1915—1987)，阿拉伯裔英国免疫学家，因组织移植方面的研究获1960年诺贝尔生理学或医学奖。梅达瓦有许多科学和哲学方面的优秀著作。



古代人发现摩擦过的琥珀能够吸引轻小物体。

公元前600年左右,希腊人泰勒斯(Thales, 前624—前546)就发现摩擦过的琥珀吸引轻小物体的现象。公元1世纪,我国学者王充在《论衡》一书中也写下“顿牟掇芥”,指的是用玳瑁的壳吸引轻小物体。16世纪,英王御医吉尔伯特(W. Gilbert, 1544—1603)在研究这类现象时首先根据希腊文“琥珀”创造了英语中的“electricity”(电)这个词,用来表示琥珀经过摩擦以后具有的性质,并且认为摩擦过的琥珀带有**电荷(electric charge)**。后来,人们发现很多物质都会由于摩擦而带电,并且带电物体之间存在着相互排斥或相互吸引的作用。

摩擦后的物体所带的电荷有两种:用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷是一种,用毛皮摩擦过的硬橡胶棒所带的电荷是另一种。同种电荷相斥,异种电荷相吸。人们没有发现对上述两种电荷都排斥或都吸引的电荷。这表明,自然界的电荷只有两种。美国科学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)把前者命名为**正电荷(positive charge)**,把后者命名为**负电荷(negative charge)**。

然而,那时候人们并不认识电现象的本质。直至20世纪,当物理学终于解开了物质分子、原子内部结构之谜以后,人们对电现象的本质才有了较深入的了解。

本章将从物质微观结构的角度认识物体带电的本质、电荷相互作用的基本规律,以及与静止电荷相联系的静电场的基本性质。

1

电荷及其守恒定律

电荷

现在我们已经知道,构成物质的原子本身就是由带电粒子构成的,带正电的质子和不带电的中子构成原子核,核外有带负电的电子。原子核的正电荷的数量与电子的负电荷的数量一样多,所以整个原子对外界较远位置表现为电中性。

原子核内部的质子和中子被核力紧密地束缚在一起。核力来源于强相互作用,所以原子核的结构一般是很稳定的。核外的电子靠质子的吸引力维系在原子核附近。通常离原子核较远的电子受到的束缚较小,容易受到外界的作用而脱离原子。当两个物体

金属中原子核、电子所处的状态及其运动,要比这里描述的复杂得多。这里描述的情景是简化了的,但它可以有效地解释与金属导电有关的现象,所以也是一个物理模型。

互相摩擦时,一些束缚得不紧的电子往往从一个物体转移到另一个物体,于是原来电中性的物体由于得到电子而带负电,失去电子的物体则带正电。这就是**摩擦起电 (electrification by friction)**的原因。例如,用丝绸摩擦玻璃棒时,玻璃棒上有些电子跑到丝绸上了,玻璃棒因缺少电子而带正电,丝绸因有了多余的电子而带负电。

不同物质的微观结构不同,核外电子的多少和运动状况也就不同,而且由大量原子或分子组成大块物质时,由于原子或分子间的相互作用,核外电子的运动状况也会有所变化。这些情况都使不同物质中的电子在受到外界作用时产生不同的结果。例如,金属中离原子核最远的电子往往会脱离原子核的束缚而在金属中自由活动,这种电子叫做**自由电子 (free electron)**。失去这种电子的原子便成为带正电的**离子 (ion)**,它们在金属内部排列起来,每个正离子都在自己的平衡位置上振动而不动,只有自由电子穿梭其中。这就使金属成为导体。

实验

取一对用绝缘柱支持的导体A和B,使它们彼此接触。起初它们不带电,贴在下部的金属箔是闭合的(图1.1-1)。

把带正电荷的球C移近导体A,金属箔有什么变化?

先把A和B分开,然后移去C,金属箔又有什么变化?

再让A和B接触,又会看到什么现象?

利用上面介绍的金属结构的模型,解释看到的现象。

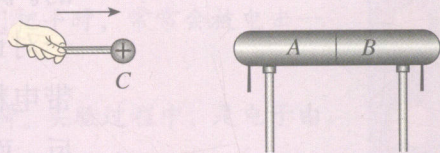


图 1.1-1 静电感应

当一个带电体靠近导体时,由于电荷间相互吸引或排斥,导体中的自由电荷便会趋向或远离带电体,使导体靠近带电体的一端带异号电荷,远离的一端带同号电荷。这种现象叫做**静电感应 (electrostatic induction)**。利用静电感应使金属导体带电的过程叫做**感应起电 (electrification by induction)**。

做一做^①

验电器

为了判断物体是否带电以及所带电荷的种类和多少,从18世纪起,物理学研究者们经常应用一种叫做验电器的简单装置:玻璃瓶内有两片金属箔,用金属丝挂在一条导体棒的下端,棒的上端通过瓶塞从瓶口伸出(图1.1-2甲)。如果把金属箔换成指针,并用金属做外壳,这样的验电器又叫静电计(图1.1-2乙)。

制作一个验电器,并描述如何用验电器检测带电体带电的种类和相对数量。

注意观察:是否只有当带电体与导体棒的上端直接接触时,金属箔片才开始张开?解释看到的现象。

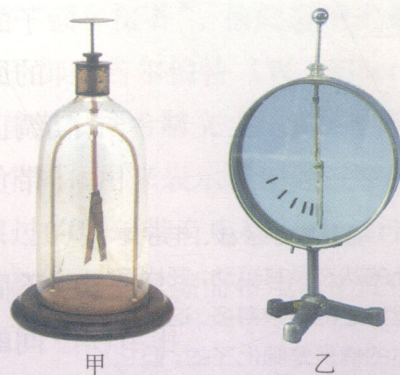


图 1.1-2 验电器和静电计

电荷守恒定律

无论是摩擦起电还是感应起电,本质上都是使微观带电粒子(如电子)在物体之间或物体内部转移,而不是创造出了电荷。

无数事实表明,电荷既不能创造,也不能消灭,只能从一个物体转移到另一个物体,或者从物体的一部分转移到另一部分;在转移过程中,电荷的总量保持不变。这个结论叫做**电荷守恒定律**(law of conservation of electric charge)。

近代物理实验发现,在一定条件下,电荷是可以产生和湮没的。例如,由一个高能光子可以产生一个正电子^②和一个负电子;一对正、负电子可同时湮没,转化为光子。不过在这些情况下,带电粒子总是成对产生或湮没,两个粒子带电数量相等但正负相反,而光子又不带电,所以电荷的代数和仍然不变。因此,电荷守恒定律也常表述为:一个与外界没有电荷交换的系统,电荷的代数和总是保持不变的。它是自然界重要的基本规律之一。

元电荷

电荷的多少叫**电荷量**(electric quantity),在国际单位制中,它的单位是**库仑**(coulomb),简称库,用C表示。正电荷的电荷量为正值,负电荷的电荷量为负值。

迄今为止,科学实验发现的最小电荷量就是电子所带的电荷量。质子、正电子所带的电荷量与它相同,但符号相反。人们把

^① 本书中,“做一做”栏目和“说一说”栏目,其中的内容是扩展性的,不是基本教学内容。同学们可根据自己的条件在老师的指导下选择学习。

^② 正电子与电子质量相同,与电子的电荷量相等但符号相反,1932年首次发现。

这个最小的电荷量叫做**元电荷 (elementary charge)**，用 e 表示。实验还指出，所有带电体的电荷量或者等于 e ，或者是 e 的整数倍。这就是说，电荷量是不能连续变化的物理量。

电荷量 e 的数值最早是由美国物理学家密立根 (R. A. Millikan, 1868—1953) 测得的。这是他获得诺贝尔物理学奖的重要原因。在密立根实验之后，人们又做了许多测量。现在测得的元电荷的值为

$$e = 1.602\,177\,33 \times 10^{-19} \text{ C}$$

在我们的计算中，可取

$$e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

电子的电荷量 e 与电子的质量 m_e 之比，叫做**电子的比荷 (specific charge)**。它也是一个重要的物理量。电子的质量 $m_e = 0.91 \times 10^{-30} \text{ kg}$ ，所以电子的比荷为

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

问题与练习

1. 在我国北方天气干燥的季节，脱掉外衣后再去摸金属门把手时，常常会被电击一下。这是为什么？
2. 在图 1.1-1 所示的实验中，最终 A 带上了一 10^{-8} C 的电荷。实验过程中，是电子由 A 转移到 B 还是由 B 转移到 A ？ A 、 B 得到或失去的电子数各是多少？
3. A 为带正电的小球， B 为原来不带电的导体。试分析以下情况中 A 、 B 之间是吸引力还是排斥力。
 - (1) 把 B 放在 A 附近；
 - (2) 把 B 放在 A 附近并将 B 靠近 A 的那端接地^①。
4. 如图 1.1-1 那样，把 A 、 B 在带电体 C 旁边相碰一下后分开，然后分别接触一个小电动机的两个接线柱，如果小电动机非常灵敏，它便会开始转动。当电动机还没有停止时，又立刻把 A 、 B 在 C 旁边相碰一下分开，再和小电动机两接线柱接触。如此下去，小电动机便能不停地转动。这不是成了永动机而违背能量守恒定律吗？说说你的看法。

① 地球是个巨大的导体，实验室中的带电体与大地相连后，可以认为带电体上的净电荷完全流入大地。

2

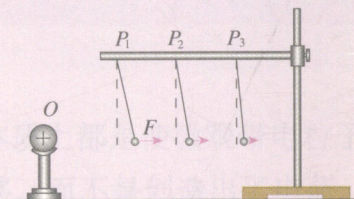
库仑定律

如前所述,人们最早是通过电荷之间的相互作用来认识和研究电荷的。在牛顿力学成功地描述了物体的机械运动之后,18世纪的物理学家们很自然地把带电物体在相互作用中的表现,与力学中的作用力联系起来。那么,电荷之间相互作用力的大小决定于哪些因素呢?

演示

探究影响电荷间相互作用力的因素

O 是一个带正电的物体。把系在丝线上的带正电的小球先后挂在图 1.2-1 中 P_1 、 P_2 、 P_3 等位置,比较小球在不同位置所受带电体的作用力的大小。这个力的大小可以通过丝线偏离竖直方向的角度显示出来。



1.2-1 探究影响电荷间相互作用力的因素

使小球处于同一位置,增大或减少小球所带的电荷量,比较小球所受作用力大小的变化。

哪些因素会影响电荷间的相互作用力? 这些因素对作用力的大小有什么影响?

实验表明,电荷之间的作用力随着电荷量的增大而增大,随着距离的增大而减小。这隐约使我们猜想:如果以电荷量代替物体的质量,电荷之间相互作用力的大小会不会与万有引力的大小具有相似的形式呢? 也就是说,带电物体之间的相互作用力,会不会与它们电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的二次方成反比?

事实上,电荷之间相互作用力与引力的相似性早已引起当年一些研究者的注意,卡文迪许和普里斯特利等人都确信“平方反比”规律适用于电荷间的作用力。

然而,他们也发现,引力与电荷间的作用力并非完全一样,而且我们上面的实验也仅仅是定性的,当然不能证实我们的猜想。这一科学问题的解决是由法国学者库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)完成的。

库仑定律

库仑在前人工作的基础上通过实验研究确认:真空中两个静止

点电荷之间的相互作用力,与它们的电荷量的乘积成正比,与它们的距离的二次方成反比,作用力的方向在它们的连线上。

这一规律称为**库仑定律 (Coulomb law)**。电荷间这种相互作用力称为**静电力 (electrostatic force)** 或**库仑力**。

什么是点电荷?任何带电体都有形状和大小,其上的电荷也不会集中在一点上。当带电体间的距离比它们自身的大小大得多,以至带电体的形状、大小及电荷分布状况对它们之间相互作用力的影响可以忽略不计时,这样的带电体就可以看做带电的点,叫做**点电荷 (point charge)**。可见,点电荷类似于力学中的质点,也是一种理想化的物理模型。

库仑的实验

库仑做实验用的装置叫做库仑扭秤。如图 1.2-2 所示,细银丝的下端悬挂一根绝缘棒,棒的一端是一个带电的金属小球 A,另一端有一个不带电的球 B,与 A 所受的重力平衡。当把另一个带电的金属球 C 插入容器并使它靠近 A 时, A 和 C 之间的作用力使悬丝扭转,通过悬丝扭转的角度可以比较力的大小。改变 A 和 C 之间的距离 r , 记录每次悬丝扭转的角度,便可找到力 F 与距离 r 的关系,结果是力 F 与距离 r 的二次方成反比,即

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

在库仑那个年代,还不知道怎样测量物体所带的电荷量,甚至连电荷量的单位都没有。库仑发现,两个相同的带电金属小球互相接触后,它们对相隔同样距离的第三个带电小球的作用力相等,所以他断定这两个小球所带的电荷量相等。如果把一个带电金属小球与另一个不带电的完全相同的金属小球接触,前者的电荷量就会分给后者一半。库仑就用这个方法,把带电小球的电荷量 q 分为

$$\frac{q}{2}, \frac{q}{4}, \frac{q}{8}, \dots$$

这样库仑又发现了电荷间的作用力与电荷量的关系:力 F 与 q_1 和 q_2 的乘积成正比,即

$$F \propto q_1 q_2$$

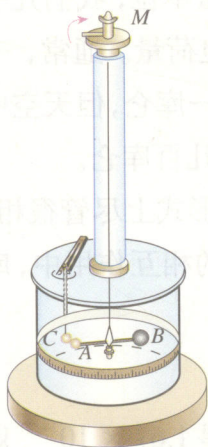


图 1.2-2 库仑扭秤

用一个公式来表示库仑定律,可以得到

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (1)$$

式中的 k 是比例系数,叫做**静电力常量** (electrostatic force constant)。

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),上述公式中各物理量的单位都已确定, k 的数值就要由实验来测定,结果是

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

这就是说,两个电荷量为 1 C 的点电荷在真空中相距 1 m 时,相互作用力是 $9.0 \times 10^9 \text{ N}$,差不多相当于一百万吨的物体所受的重力!由此可见,库仑是一个非常大的电荷量单位,我们几乎不可能做到使相距 1 m 的两个物体都带 1 C 的电荷量。通常,一把梳子和衣袖摩擦后所带的电量不到百万分之一库仑,但天空中发生闪电之前,巨大的云层中积累的电荷可达几百库仑。

库仑定律的公式和万有引力的公式在形式上尽管很相似,但仍是性质不同的两种力。在微观带电粒子的相互作用中,库仑力比万有引力强得多。

例题 1 已知氢核(质子)的质量是 $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$,电子的质量是 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$,在氢原子内它们之间的最短距离为 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。试比较氢核与核外电子之间的库仑力和万有引力。

解 氢核与电子所带的电荷量都是 $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

$$\begin{aligned} F_{\text{库}} &= k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ &= (9.0 \times 10^9) \times \frac{(1.6 \times 10^{-19}) \times (1.6 \times 10^{-19})}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \text{ N} \\ &= 8.2 \times 10^{-8} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{\text{引}} &= G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ &= (6.7 \times 10^{-11}) \times \frac{(1.67 \times 10^{-27}) \times (9.1 \times 10^{-31})}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \text{ N} \\ &= 3.6 \times 10^{-47} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\frac{F_{\text{库}}}{F_{\text{引}}} = 2.3 \times 10^{39}$$

可见,微观粒子间的万有引力远小于库仑力,因此在研究微观带电粒子的相互作用时,可以把万有引力忽略。

如果存在两个以上点电荷,那么每个点电荷都要受到不止一个点电荷的作用力。实验证明:两个点电荷之间的作用力不因第三个点电荷的存在而有所改变。因此,两个或两个以上点电荷对某一个点电荷的作用力,等于各点电荷单独对这个电荷的作用力的矢量和。

库仑定律是电磁学的基本定律之一。库仑定律给出的虽然是点电荷间的静电力,但是,任一带电体都可以看成是由许多点电荷组成的。所以,如果知道带电体上的电荷分布,根据库仑定律和力的合成法则就可以求出带电体间的静电力的大小和方向。

例题2 真空中有三个点电荷,它们固定在边长50 cm的等边三角形的三个顶点上,每个点电荷都是 $+2 \times 10^{-6} \text{ C}$,求它们各自所受的库仑力。

解 按题意作图(图1.2-3)。每个点电荷都受到其他两个点电荷的斥力,情况相同,只要求出一个点电荷(例如 q_3)所受的力即可。

q_3 共受 F_1 和 F_2 两个力的作用, $q_1 = q_2 = q_3 = q$,相互间的距离 r 都相同,所以

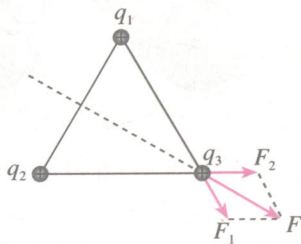
$$F_1 = F_2 = k \frac{q^2}{r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (2 \times 10^{-6})^2}{0.5^2} \text{ N} = 0.144 \text{ N}$$

根据平行四边形定则,合力是

$$F = 2F_1 \cos 30^\circ = 0.25 \text{ N}$$

合力的方向沿 q_1 与 q_2 连线的垂直平分线向外。

图 1.2-3 求一个点电荷受的库仑力



科学漫步

静电复印

静电现象在技术中有很多应用，其中物理原理大多基于静电力的作用。例如，静电喷漆时使被喷的金属件与油漆雾滴带相反的电荷，这样能使漆与金属表面结合得更牢固，而且金属表面凹陷部位也能均匀着漆。又如，静电植绒是使绒丝在静电力的作用下扎入布基的纤维中，使绒丝均匀、牢固地植入。

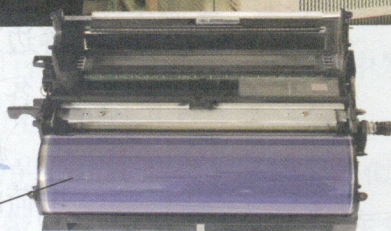
近年来，随着办公自动化的发展，静电复印机的使用越来越广泛，复印机应用了静电吸附的原理。

复印机的核心部件是有机光导体鼓。它是一个金属圆柱，表面涂覆有机光导体 (OPC)^①。没有光照时 OPC 是绝缘体，受到光照时变成导体。



图 1.2-4 静电复印机

有机光导体鼓



1. 复印前先通过机内电路使有机光导体鼓在暗处带电 (图 1.2-5 甲)。

2. 复印时强光照到文件上，文件反射的光通过光学系统在鼓上成像，亮处的 OPC 层变成导体，所带的电荷流失，暗处的电荷保留下来。这时在鼓上出现一个电荷组成的“潜像” (图乙)，肉眼不能看见。

3. 有机光导体鼓在转动，潜像经过墨粉盒时，已经带相反电荷的墨粉被吸附在鼓表面带电部位上，鼓表面的潜像变成了可见的像 (图丙)。

4. 有机光导体鼓继续转动，经过复印纸时把墨粉印在纸上，白纸变成了文件的副本 (图丁)。有机光导体鼓不停地转动，文件就一页一页地复印出来了。

墨粉是掺了树脂胶的，复印件要加热，墨粉才能永久地粘在纸上。

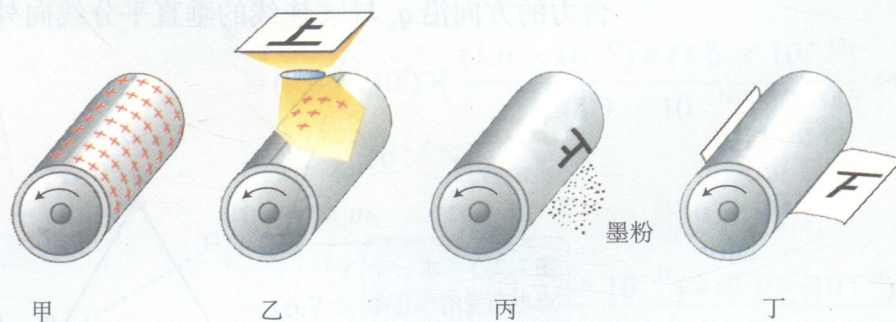


图 1.2-5 静电复印的工作流程

① 20 世纪 90 年代以前没有有机光导体，那时金属圆柱表面镀硒，具有同样的功能，圆柱称为硒鼓。现在仍然有人沿用这个名称。