**什么是物理?**

你被依赖电磁物理原理的设备所包围,电磁物理原理是电磁现象的组合.这种物理学是计算机,电视,广播,电信,家庭照明乃至保鲜膜紧贴容器的能力的根本.这种物理学也是自然界的基础.它不仅将世界上所有的原子和分子结合在一起,还产生闪电,极光和彩虹.

电磁物理学首先是由早期的希腊哲学家研究的,他们发现,如果一块琥珀被摩擦然后带到稻草附近,稻草就会跳到琥珀上.我们现在知道，琥珀和稻草之间的吸引力是希腊哲学家还发现，如果将某种类型的石头（自然存在的磁铁）带到铁片附近，铁就会跳到石头上。现在我们知道，磁铁和铁之间的吸引力是由于磁力引起的。

起源于希腊哲学家的谦虚渊源,电学和磁学独立发展了几个世纪,直到1820年,汉斯·克里斯蒂安·奥斯特（Hans Christian Oersted）才发现它们之间的联系:电线中的电流会使磁罗经针偏转.有趣的是,奥斯特(Oersted)在为物理学生准备演讲演示时,做出了这一发现,这是一个很大的惊喜.

许多国家的工作者进一步发展了电磁学的新科学.最好的人之一是迈克尔·法拉第（Michael Faraday）,他是一位真正有天赋的实验者,具有物理直觉和可视化的才能.事实证明,他收集的实验室笔记本没有一个方程式.十九世纪中叶，詹姆斯·克莱克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell）将法拉第的思想转化为数学形式,提出了许多他自己的新思想,并将电磁学置于一个可靠的理论基础上.

我们对电磁的讨论将在接下来的16章中进行.我们从电现象开始,我们的第一步是讨论电荷和电场力[electric force]的性质.

**电荷[Electric Charge]**

这是两个看起来很神奇的演示，但是我们在这里的工作是弄清楚它们。在用丝绸布擦拭玻璃棒后（在湿度较低的一天），我们用绑在其中心的细线将其挂起来（图21-la）。然后，我们用丝绸布擦拭第二根玻璃棒，并将其放在吊杆附近。吊着的玻璃棒神奇地移开了。我们可以看到有一个力从第二根玻璃棒上击退了,为什么会这样？没有与该玻璃棒接触，没有轻风推动它，也没有声波干扰它。

在第二个演示中，我们将第二根玻璃棒替换为已用毛皮摩擦的塑料杆。这次，悬挂杆向附近的杆移动（图21-1b）。像排斥一样，这种吸引发生在杆之间没有任何接触或明显的连通的情况下。

在下一章中，我们将讨论悬挂杆如何知道其他杆的存在，但是在本章中，我们仅关注所涉及的力。在第一个演示中，施加在吊杆上的力是排斥的，而在第二个演示中，则是吸引的。经过大量调查，科学家们发现，这类示威中的作用力是由于当棒与丝绸或毛皮接触时，我们在这些棒上建立的电荷所致。电荷是构成诸如棒，丝和毛皮之类的物体的基本粒子的固有属性。也就是说，电荷是那些粒子无论存在于何处都会自动附带的属性。

**两种类型**。有两种类型的电荷，被美国科学家和政治家本杰明·富兰克林命名为正电荷和负电荷。他本可以给它们起任何名字(例如樱桃和胡桃木)，但是当我们将电荷加起来以计算净电荷时,使用代数符号作为名称会很方便.在大多数日常物品中,例如杯子,带负电荷的粒子和带正电荷的粒子大约相等,因此净电荷为零,电荷被认为是平衡的,并且该物体被认为是电中性的[electrically neutral](或简称为中性).

**剩余电荷[excess charge]**。通常你是中性的.但是,如果您居住在湿度较低的地区,则您会知道,当穿过走在某些地毯上,身体上的电荷可能会变得稍微不平衡.您要么从地毯上获得了负电荷(在鞋子与地毯之间的接触点)并带了负电荷,要么您失去了负电荷而变为带正电荷.无论哪种方式，额外的费用都被称为剩余电荷，直到你接触门把手或他人时才注意到它，然后，如果你的剩余电荷足够，火花就会在你和另一个物体之间跳跃，消去了剩余电荷。这样的火花可能很烦人,甚至有些痛苦.这种充电和放电不会在潮湿的条件下发生,因为空气中的水会中和你身上的剩余电荷,其速度几乎与您获得电荷一样快.

物理学中的两个大谜团是：（1）为何宇宙中带有带电粒子（实际上是什么？）；（2）为什么电荷有两种类型（而不是一种或三种）类型）.我们只是不知道.不过,通过许多类似于我们两次演示的实验,科学家发现

**电荷符号相同的粒子彼此排斥,电荷符号相反的粒子彼此吸引**.

稍后,我们将把这条规则变成定量的形式,作为带电粒子之间的库仑静电力定律.术语静电用于强调相对于彼此而言,电荷是固定的或仅非常缓慢地移动.

现在,让我们回到演示中,将杆的运动理解为不仅仅是魔术.当我们用丝绸布擦拭玻璃杆时,少量的负电荷从杆移到丝(就像您和地毯之间的转移),使杆带有少量的剩余正电荷.(负电荷的移动方式并不明显,需要大量的实验.)我们增加丝和杆的接触面积,但是转移的电荷数量仍然很小.我们将杆挂起来以便将其与周围环境点隔离(这样,周围环境就无法通过给杆提供足够的负电荷来平衡其电荷来中和杆).当我们用丝布摩擦第二根杆时,它也带正电.因此,当我们将其靠近第一个杆时,两个杆会互相排斥(图21-2a).

接下来,当我们用皮毛摩擦塑料棒时,它会从皮毛中获得过多的负电荷.(同样,通过许多实验可以了解传输方向.)当我们将塑料棒(带负电荷)靠近悬挂的玻璃棒(带正电荷)时,这些棒相互吸引(图21-2b).所有这些都是微观的.您看不到电荷或其转移,只能看到结果.

导体[Conductor]和绝缘体[Insulator]

我们通常可以根据电荷在材料中移动的能力对材料进行分类.**导体**是电荷可以自由移动的材料.例如金属(如普通灯丝中的铜),人体和自来水.**非导体**(也称为绝缘体)是电荷无法自由移动的材料.例子包括橡胶(例如普通灯丝上的绝缘材料),塑料,玻璃和化学纯净水.**半导体[Semiconductors]**是介于导体和绝缘体之间的材料。示例包括计算机芯片中的硅和锗.**超导体[Superconductors]**是完美的导体材料,可以使电荷无阻碍地移动.在这些章节中,我们仅讨论导体和绝缘体.

**传导路径[Conducting Path]**.这是一个传导如何消除物体上剩余电荷的示例.如果用羊毛摩擦铜棒,电荷会从羊毛转移到棒上.但是,如果您在握住杆的同时还触摸水龙头,尽管进行了转移,仍无法对杆充电,原因是你,杆和水龙头都是通过管道连接到地球表面的导体,这是一个巨大的导体.由于羊毛所产生的剩余电荷相互排斥,因此它们彼此远离,首先移动穿过棒子,然后穿过您,然后穿过水龙头和管道到达地球表面,然后在地球表面扩散.该过程使杆保持电中性.

这样,我们在物体和地球表面之间建立了一条导体通路,就是说我们将物体接地,并且在中和物体时(通过消除不平衡的正负电荷),我们将物体*放电[discharge]*.如果您用绝缘手柄握住铜棒而不是用手握住它,而消除了接地的导电路径,然后只要您愿意,可以通过摩擦为铜棒充电（电荷仍留在棒上）不要用手直接触摸它.

**带电粒子**.导体和绝缘体的特性归因于原子的结构和电性质.原子由带正电的质子,带负电的电子和电中性中子组成.质子和中子紧密地堆积在中心核中.

一个电子和一个质子的电荷具有相同的大小,但符号相反.因此,电中性原​​子包含相等数量的电子和质子.电子被保持在原子核附近,因为它们具有与原子核中的质子相反的电信号,因此被吸引到原子核上.如果这不是真的,就不会有原子,因此就不会有你.

当诸如铜之类的导体的原子聚在一起形成固体时,它们的一些最外层(也是最松散地保持着)的电子变得自由地在固体内徘徊,留下带正电的原子(正离子).我们称移动电子为*传导电子[conduction electrons]*.非导体中几乎没有(如果有的话)自由电子.

**感应电荷[Induced Charge]**. 图21-3的实验演示了导体中电荷的迁移率.带负电的塑料棒会吸引隔绝的中性铜棒的任一端.发生的是,铜棒较近端的许多传导电子被塑料棒上的负电荷排斥.一些导电电子移动到铜棒的远端，而使近端的电子耗尽,因此带有不平衡的正电荷.该正电荷被塑料棒中的负电荷吸引.尽管铜棒仍然是中性的,但据说它具有感应电荷,这意味着由于附近存在电荷,铜带的某些正电荷和负电荷已被分离.

类似地,如果将带正电的玻璃棒带到中性铜棒的一端附近,则感应电荷会再次在中性铜棒中建立,但近端会获得导电电子,带负电,并被吸引到玻璃棒上,而远端带正电.

请注意,只有带有负电荷的传导电子才能移动;正离子固定在适当的位置.因此,物体仅通过去除负电荷就变为带正电.

冬青救生员发出蓝光

冬青色的救生衣（以海洋救生衣形式成型的糖果）可以看到带有相反符号的电荷吸引的间接证据。如果您的眼睛在黑暗中适应了约15分钟，然后在黑暗中让朋友吃一块糖果，那么每次剁碎时，您的朋友的嘴中都会出现淡淡的蓝色闪烁。每当一块筷子将糖晶体破碎成碎片时，每块碎片最终都可能带有不同数量的电子。假设晶体分解成A和B块，A的表面上的电子比B的多（图21-4）。这意味着B在其表面上具有正离子（使电子损失给A的原子）。

由于A上的电子被B上的正离子强烈吸引，因此其中一些电子跃过了小块之间的间隙。随着A和B彼此远离，空气（主要是氮气，N2）流入间隙中，许多跳跃电子与空气中的氮分子发生碰撞，从而使这些分子发射紫外线。您看不到这种类型的光。但是，糖果块表面上的冬绿色分子吸收紫外线，然后发出蓝光，您可以看到，这是您朋友嘴里发出的蓝光。

**库伦定律**

现在我们来讨论库仑定律的等式，但首先要小心。该方程式仅适用于带电粒子（以及其他一些可以视为粒子的事物）。对于扩展对象，其电荷位于许多不同的位置，我们需要更强大的技术.因此,这里我们仅考虑带电粒子,而不是两只带电猫.

如果两个带电粒子彼此靠近,则它们各自在彼此上施加**静电力[electrostatic force]**.力矢量的方向取决于电荷的符号.如果粒子具有相同的电荷符号,则它们会互相排斥.这意味着每个粒子上的力矢量都直接远离另一个粒子(图21-5a和b).如果我们释放粒子,它们会彼此加速分离.相反,如果粒子具有相反的电荷迹象,则它们会相互吸引.这意味着每个力的矢量都直接朝向另一个粒子(图21-5c).如果我们释放粒子,它们会彼此加速.

静电力作用在粒子上的方程式被称为库仑定律,根据查尔斯·奥古斯丁·德·库仑定律,他于1785年进行了实验.让我们以矢量形式和图21-6中所示的粒子的形式写方程,其中粒子1的电荷为,粒子2的电荷为.(这些符号可以表示正电荷或负电荷.)我们还着眼于粒子1,并用单位矢量来表示作用粒子上的力,该单位矢量为,指向沿穿过两个粒子的径向轴,远离粒子2.(与其他单位矢量一样,的大小恰好为1,没有单位;其目的是像街道标牌上的方向箭头一样指向.)通过这些决定,我们将静电力写为

其中是粒子之间的间距,是称为静电常数或库仑常数.(我们将在下面讨论.)

首先,根据公式21-1检验作用在粒子1上的力的方向.如果和具有相同的符号,则乘积给我们一个正结果.因此,等式21-1告诉我们,作用在粒子1上的力的方向与相同.这可以检查,因为粒子1被粒子2排斥.接下来,如果和具有相反的符号,则乘积给我们一个负结果.因此m现在等式21-1告诉我们m作用在粒子1上的力的方向与相反.这样检查是因为粒子1被吸引到粒子2了.

好奇的事情.对于质量为和且间隔为的两个粒子之间的引力,方程21-1的形式与牛顿方程(方程13-3)的形式相同:

其中是引力常数.尽管两种力都大不相同,但两个方程式都描述了平方反比定律(依赖性),该定律涉及相互作用粒子的性质(一种情况下的电荷和质量)的乘积.在另一个.但是,定律的不同之处在于引力始终是吸引力,而静电力可能是吸引力还是排斥力,这取决于电荷的符号.这种差异是由于只有一种质量而只有两种电荷的事实引起的.

单元.SI的电荷单位是**库仑[coulomb]**.出于与测量精度有关的实际原因,库仑单位是从电流的SI单位安培得出的.我们将在第26章中详细讨论电流,但在这里我们仅要注意,电流是电荷移动经过一个点或通过一个区域的速率:

重新排列公式21-3并将符号替换为其单位(库仑C,安培A和秒s),我们看到

力大小.由于历史原因(并且因为这样简化了许多其他公式),所以方程21-1中的静电常数通常写为.然后,库仑定律中静电力的大小变为

公式21-1和21-4中的常数具有值

量(称为介电常数)有时在方程中单独出现,并且为

**解问题**.注意,电荷大小出现在公式21-4中,这给了我们力的大小.因此,在本章的工作问题中,我们使用公式21-4来计算第二个粒子对所选粒子产生的作用力的大小,并通过考虑两个粒子的电荷符号来分别确定作用力的方向.

多个力.与本书中的所有力一样,静电力也应遵循叠加原理.假设我们在一个称为粒子1的选定粒子附近有个带电粒子.那么作用在粒子1上的净力就是矢量和

这个方程式是解决许多家庭作业问题的关键,所以让我们用语言来表述它.如果您想知道作用在被其他带电粒子包围的选定带电粒子上的净力,请首先清楚地识别该选定粒子,然后找出由于其他每个粒子而施加在其上的力.在所选粒子的自由图中绘制这些力矢量,尾巴锚定在粒子上. (这听起来很琐碎,但如果这样做不容易导致错误.)然后,根据第3章的规则将所有这些力作为矢量相加,而不是作为标量.(不能随便增加它们的大小.)结果是作用在粒子上的净力(或合力).

尽管力的向量性质使家庭作业问题比仅具有标量的情况更为棘手,但要感谢方程21-7的工作.如果两个力矢量不是简单地相加,而是由于某种原因相互放大,那么世界将很难理解和管理.

**壳理论**.类似于引力的壳理论(模块13-1),我们有两个关于静电力的壳理论:

如果将剩余电荷放在由导电材料制成的球形外壳上,则剩余电荷会在(外部)表面上均匀分布.例如,如果我们将剩余电子放置在球形金属壳上,这些电子会相互排斥并趋向于移动,并散布在表面上,直到它们均匀分布为止.这种布置使所有剩余电子对之间的距离最大化.根据第一个壳定理,壳将吸引或排斥外部电荷,就好像壳上所有剩余电荷都集中在其中心一样.如果我们从球形金属壳中去除负电荷,则壳的正电荷也将均匀分布在壳的表面上.例如,如果我们除去n个电子,则将有n个正电荷位点(缺少电子的位点)均匀分布在壳上.根据第一个壳定理,壳将再次吸引或排斥外部电荷,好像所有壳的多余电荷都集中在其中心一样.

21-2 电荷的量化 2020年10月30日09点50分

**电荷的量化**

在本杰明·富兰克林时代,电荷被认为是一种持续不断的流动—这个想法可用于许多目的.但是,我们现在知道诸如空气和水之类的流体本身并不是连续的,而是由原子和分子组成的.物质是离散的.实验表明,“电子流体”也不是连续的,而是由某种一定数量的**基本电荷[元电荷,elementary charge]**组成.可以检测到的任何正电荷或负电荷都可以写成

其中是基本电荷,其近似值为

基本电荷是自然界的重要常数之一,电子和质子都具有大小为e的电荷(表21-1).(作为质子和中子的组成粒子——夸克,电荷为或,但显然不能单独检测.出于这个原因和历史原因,我们不将其视为基本电荷.)

你经常会看到一些短语,例如“球体上的电荷”“转移的电荷量”和“电子携带的电荷”,这表明电荷是一种物质.(实际上,这种说法已经在本章中出现了.)但是,请记住要使用的含义:粒子是物质,电荷恰好是它的一种属性,就像质量一样.

当诸如电荷的物理量只能具有离散值而不是任何值时,我们说该量是量化的.例如,有可能找到一个完全不带电荷或电荷为或的粒子,但找不到一个带电荷为的粒子.

电荷量很小.例如,在一个普通的灯泡中,每秒约有个基本电荷进入灯泡,并且有许多电荷离开.但是,在这种大规模现象中不会出现电颗粒感(灯泡不会随每个电子闪烁).

21-3 电荷是守恒的 2020年10月30日09点55分

**电荷是守恒的**

如果用丝绸摩擦玻璃棒,则棒上会出现正电荷.测量表明,在丝绸上出现等量的负电荷.这表明摩擦不会产生电荷,而只会将电荷从一个物体转移到另一个物体,从而在此过程中破坏了每个物体的电中性.本杰明·富兰克林（Benjamin Franklin）首先提出的这种电荷守恒的假设,在大规模带电体以及原子,原子核和基本粒子的研究中,都受到了严密审查.从未发现异常.因此,我们将电荷添加到遵守守恒定律的数量列表中,包括能量以及线性动量和角动量.

电荷守恒的重要例子发生在原子核的放射性衰变中,其中原子核转变为(成为)不同类型的原子核.例如,铀238核()通过发射粒子转变为234核().由于该粒子的构成与4氦核相同,因此其符号为.原子核名称中用作原子核符号上标的数字称为质量数,是原子核中质子和中子的总数.例如,中的总数为238.原子核中的质子数是原子序数,在附录F中列出了所有元素.从该列表中我们发现衰变

父核包含92个质子(电荷为),子核包含90个质子(电荷为),发射的粒子包含2个质子(电荷为).衰减前后的总电荷为;因此,电荷守恒.(质子和中子的总数也被守恒:衰变之前为238,衰变之后为.)

电荷守恒的另一个例子是,电子(电荷)及其反粒子,正电子(电荷)经历**湮灭过程[annihilation process]**,转变为两条伽马射线(高能光):

在应用电荷守恒原理时,我们必须以代数方式添加电荷,并适当考虑其符号.然后,在公式21-14的湮灭过程中,事件之前和之后的系统净电荷均为零.电荷是守恒的.

在**粒子产生[pair production]**中,湮灭的反过程,电荷也守恒.在此过程中,伽马射线转化为电子和正电子:

图21-10显示了在气泡室中发生的这种成对事件.(这是一种装置,其中的液体突然变得比沸点高.如果带电粒子通过,则沿着粒子的轨迹会形成微小的气泡.)伽马射线从底部进入腔室,并在一点转变变成电子和正电子 由于这些新粒子带电并移动，因此每个粒子都会留下气泡。 （由于在腔室中建立了磁场，因此轨迹是弯曲的。）电中性的伽马射线没有留下轨迹。 不过，您仍然可以准确地知道它在何处进行了配对生产-在弯曲的V的尖端，这是电子和正电子的踪迹的起点.