

GAOZHONG WULI JINGYAO

高中物理精要(二)

○ 王惠和 主编

中国青年出版社

高中物理精要

(三)

王惠和 主编

中国青年出版社

高中物理精要(三)

王惠和 主编

*

中国青年出版社出版 发行

中国青年出版社印刷厂印刷 新华书店经销

*

787×1092 1/32 11.75印张 195千字

1991年5月北京第1版 1991年5月北京第1次印刷

印数1—12,500册 定价4.35元

出版说明

本书是为了帮助中学同学和自学青年学好物理课而编写的。各册作者组成编写组，原由王惠和、朱福源、柳云蛟担任主编。根据教学大纲要求，全书原来分成15个分册，叫《中学物理小丛书》。其中《静力学》、《运动学》、《动力学》、《圆周运动和万有引力》、《功和能》、《动量》6个分册曾单本出版过，读者反映很好，认为这套书有特点，能帮助复习、巩固课堂知识，开阔视野，扩展深度和广度，但也反映单本不易买齐。根据读者意见和要求，我们对内容作了某些改动，定名《高中物理精要》，并将已出版和未出版的15个分册合并成（一）、（二）、（三）、（四）4册出版，以满足广大读者要求。

前 言

物理学是中学一门重要的课程。为了帮助中学同学和同等程度的自学青年学好这门功课,我们计划编写一套《中学物理小丛书》。目的是想帮助读者在课堂学习的基础上继续自学,比较有系统地复习、巩固物理学知识,加深对物理学基础知识的正确理解,并且适当地开阔眼界,扩展深度和广度。

中国青年出版社支持我们的计划,并和我们反复讨论了具体的编写方案。

为了编好这套丛书,由王惠和同志负责联系和召集,我们成立了《中学物理小丛书》编写组。编写组的成员是:朱福源、李安椿、王惠和、钟振炯、柳云蛟、瞿东、陈岳、马国昌、陈晋,共九人。

小丛书根据教学大纲共分十五册。朱福源、柳云蛟、王惠和三位同志任主编,负责草拟编写提纲和全面审阅各册手稿。各册虽是分工执笔,但是在整个编写过程中全组同志相互反复磋商、提供有益意见或协助校阅、誊抄等工作,各册字里行间都倾注了同志们的汗水、辛劳。

编写组的同志都是从事中学物理教学多年的教师,懂得课外读物对学生的重要作用,力求把小丛书编好,写得更加通俗一些、生动活泼一些、启发性更强一些,符合读者的实际需要。

要。但是，在着手编写的过程中，我们深感水平有限，书中不足之处在所难免。编写组全体同志恳切希望广大读者提出批评和指正。

目 次

一 静电现象中的基本规律.....	1
电荷是什么?(1) 电荷是量子化的(3) 电荷守恒定律(4) 库仑定律(5) 静电力的迭加原理(13)	
二 电场和电场强度.....	17
什么是电场?(17) 什么是电场强度?(18) 点电荷电场的场强(21) 电场的迭加原理(25) 均匀带电球面内外的场强(28) 无限大均匀带电平面两侧的场强(29) 两个带等量异种电荷的平行平面之间的场强(31) 形象地表示电场的方法——电力线(37)	
三 电势.....	40
电场力做功与路径无关的证明(40) 电势能(44) 电势(49) 点电荷电场的电势计算公式(52) 场强大的点其电势一定大吗?(53) 电势差(54) 怎样判断电势的高低(59) 电场的又一形象描述——等势面(61) 场强与电势差之间的关系(62)	
四 带电粒子在匀强电场中的运动.....	73
带电粒子作匀速直线运动(74) 带电粒子在匀强电场中作匀变速曲线运动(78) 示波管的构造和原理(86)	
五 电场中的导体.....	89
导体静电平衡的条件(89) 静电平衡时电荷在导体上的分布(91) 尖端放电现象(93) 静电感应和感应起电(94) 静电屏蔽(98) 静电加速器(101)	
六 电场中的电介质.....	102

电介质的极化(102) 无极分子电介质的位移极化(103) 有极分子
电介质的转向极化(104) 极化电荷产生附加电场(105) 电介质的
相对介电常数 ϵ_r (107) 介质中的库仑定律(109)

七 电容..... 111

孤立导体的电容(111) 电容器的电容(113) 平行板电容器(115)
电容器的并联和串联(117) 带电电容器的能量(124)

一 静电现象中的基本规律

电荷是什么？

人们对电荷的认识最初来自于摩擦起电。在公元前7世纪,人们就发现了用毛皮摩擦过的琥珀能够吸引羽毛、头发等轻小物体。后来发现除琥珀外,象玻璃、硬橡胶、火漆、硫磺块等,用毛皮或丝绸摩擦后,也都能吸引轻小物体。这样的一种吸引力显然不是万有引力,因为物体与羽毛、纸屑之间的万有引力是非常微小的,而且万有引力也决不会由于我们摩擦物体而发生显著的变化。这是一种静电现象,它表明玻璃、硬橡胶等物体,它们在被毛皮或丝绸摩擦的前后,本身发生了变化。摩擦后物体具有吸引轻小物体的性质就称它带了电荷,带有电荷的物体称为带电体。

实验表明,两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒,在互相靠近时,它们之间存在着互相排斥的力;两根用丝绸摩擦过的玻璃棒间也存在着斥力;可是,用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与用丝绸摩擦过的玻璃棒之间,却存在着互相吸引的力。这说明硬橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不同的。美国物理学家富兰克林首先提出,用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷称为正电荷,通常用“+”号来表示;用毛皮摩擦过的硬橡胶棒上所带

的电荷称为负电荷，用“-”号表示。这种规定一直沿用至今。

实验还表明：一切物体不论用什么方法使之带电，它们所带的电荷不是正电荷，就是负电荷。所以说自然界里只存在正、负两种电荷。

人们对电荷及带电现象的本质的深入了解，是在物质原子结构的秘密被揭示以后。在20世纪初人们认识到原子并不是组成物质的最小微粒，原子内部有一个带正电的原子核，周围是一些带负电的电子围绕着原子核运动，原子核又是由带正电的质子和不带电的中子所组成。每个电子所带的电量是一样的。每个质子所带的电量也是一样的，并且和电子所带的电量相等。

物质内部固有的存在着中子、质子、电子这三种基本粒子，而电子和质子本身就是带电的，电荷不能脱离它们而存在，我们只能说电荷是组成一切物质的基本粒子的一种基本属性，正负电荷它们是同一本质的两个对立方面。电量是用来表示电荷的多少的，或者说用来表示电性的大小。

通常的原子含有电子的总数和质子的总数是相等的。由大量原子组成的物体通常对外界不表现出电性，除非用某种方法改变电子在物体上的分布；或者把电子从一个物体转移到另一个物体上去，那么，得到电子的物体或得到电子的那部分物体将呈现带负电，失去电子的物体或失去电子的那部分物体将呈现带正电。所以我们通常所说的某一物体的带电量，是指这个物体上正、负电量的代数和，这也称为净电荷。

电荷是量子化的

原来是中性的物体,如果它得到了 n 个电子,该物体所带的负电量应是每一个电子所带负电量的 n 倍,同样,失去 n 个电子的物体,所带的正电量,应是每一个质子所带正电量的 n 倍。由此可知,对于大量原子、分子所组成的宏观带电体,它所带的电量不可能取任意的值,而只能是一个电子或一个质子所带电量的整数倍。大量的实验表明:以上结论对微观带电粒子也同样成立,虽然近代物理从理论上预言有电子、质子电量的 $1/3$ 或 $2/3$ 的基本粒子(称为层子或夸克)存在,但至今尚未直接为实验发现。

因而任何一个带电体或带电粒子,所带电荷的量值只能是某一最小基本单元的整数倍,这个基本单元即为一个电子或一个质子所带电量的绝对值,我们把它称为基本电荷,用 e 来表示。密立根在 1911 年首先从油滴实验中测定出 e 为 1.64×10^{-19} 库仑。现代实验测定出基本电荷的量值:

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ 库仑}$$

库仑是国际单位中的电量单位。

所以在自然界中所能存在的电荷,其电量必为基本电荷的整数倍,这就叫做电荷的量子化。

例1 试计算质量为 6.4 克的中性铜块,它含有正、负电荷的电量各为多少?(铜的原子序数 Z 为 29,原子量 M 为 64)

解 设质量 m 为 6.4 克的铜块中有 N 个原子。对每个铜原子有 Z 个核外电子和 Z 个质子,电子、质子所带电荷的量值

即为 e , 该铜块中所含正、负电荷的电量 q 应为:

$$q = \pm NZe$$

其中 $N = N_0 \frac{m}{M}$ (N_0 为阿伏加德罗常数)

$$\begin{aligned}\text{所以 } N &= 6.02 \times 10^{23} (\text{个/摩尔}) \frac{6.4 \times 10^{-3}}{64 \times 10^{-3}} (\text{摩尔}) \\ &= 6.02 \times 10^{22} (\text{个})\end{aligned}$$

因而

$$\begin{aligned}q &= \pm NZe = \pm 6.02 \times 10^{22} \times 29 \times 1.6 \times 10^{-19} (\text{库仑}) \\ &= \pm 2.8 \times 10^5 (\text{库仑})\end{aligned}$$

电荷守恒定律

电荷守恒定律指出:在一个孤立系统中,正、负电荷的代数和保持不变。孤立系统是指无物质进入或脱离该物体系统的系统。

在各种起电过程中,如果我们把有电荷相互转移的那些物体,都包括在同一孤立系统内,则该系统内正、负电荷的代数和无疑是守恒的。

在原子核的核反应中,反应前核所带正电量之和,等于核反应后所产生的新粒子带电量的代数和。更有趣的是,一个质子和一个电子,在一定条件下可结合成一个不带电的中子。一个高能的光子(光子不带电)会变成一个负电子和一个正电子,正电子的电量与负电子的电量精确相等,仅是电荷有正负之别。因而电荷守恒对微观粒子体系也同样适用。电荷守恒和能量守恒、动量守恒一样,是自然界的守恒定律之一。

请想一想：孤立系统中的正电荷及负电荷一定守恒吗？
什么情况下它们也是守恒的？

库 仑 定 律

两个静止带电体之间的相互作用力(又称静电力)除与它们所带的电量及距离有关外，一般还与这两个带电体的形状及电荷在带电体上分布情况等因素有关，这就难以从宏观带电体之间的相互作用总结出电荷之间相互作用的普遍规律。但是如果两个带电体相距很远，它们之间的距离比它们每一个带电体的线度(带电体上最远两点之间的距离)大很多，这时带电体的形状及电荷在带电体上的分布等因素，对相互作用力的影响就小到可以忽略了。满足这个条件的带电体我们把它抽象成一个点带电体，叫做点电荷。点电荷的概念类似于力学中质点的概念。带电体的线度究竟比距离小多少才能被看作点电荷？这没有一个绝对的标准，它取决于讨论问题时所要求的精确程度，例如两个半径为1厘米的带电球，当球心相距100米时和相距3厘米时，前者可充分精确地被看作点电荷，而后者作为点电荷时会有很大误差。带电体被看作点电荷后，带电体上任意一确定点的位置都可作为该点电荷的位置，两个点电荷之间的距离就是这样标志它们位置的两个点之间的距离。

法国科学家查尔斯·库仑，在“扭秤实验”的基础上于1785年建立了库仑定律。

库仑定律表述如下：在真空中，两个电荷之间的静电力的

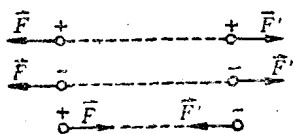


图1 两个点电荷间静电力矢量图

大小和它们的电量的乘积成正比,和它们之间的距离的平方成反比,作用力的方向沿着它们的连线,同号电荷为斥力,异号电荷为引力。

图1中分别表示带同种及异种电荷的两个点电荷,它们之间相互作用力的矢量所沿的作用线及方向。

如果用 q_1, q_2 表示两个点电荷的电量,用 r 表示它们之间的距离,用 F 表示它们之间的静电力,库仑定律可以用下面的公式表示:

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

比例恒量 K 叫静电力恒量,从(1)式可知,它在数值上等于在真空中各带1个单位电荷,相距1个单位距离时的两个点电荷之间的静电力。国际单位制中,通过实验测得静电力恒量:

$$\begin{aligned} K &= 8.99 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2 \\ &\approx 9.0 \times 10^9 \text{ 牛顿} \cdot \text{米}^2 / \text{库仑}^2 \end{aligned}$$

即在真空中各带1库仑电量,相距1米的两个点电荷之间的静电力为 9.0×10^9 牛顿,约50万吨力!可见1库仑电量是相当大的,我们用各种起电方法所能获取的电量,仅是1库仑的极小部分。

在空气中测得的静电力恒量与真空中的值相差极小,在计算中一般都可以认为它们是相等的。

在国际单位制中还将 K 写成:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi \cdot 9.0 \times 10^9}$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \text{ 库仑}^2/\text{牛顿} \cdot \text{米}^2$$

ϵ_0 叫做真空的绝对介电系数。引入 ϵ_0 后库仑定律的公式也可改写为

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (2)$$

牛顿万有引力定律和库仑定律都是跟距离平方成反比的定律,它们的表达式是如此的类同,因而电荷间的静电力与万有引力在其特性上也有相同之处,万有引力是保守力,以后我们会学到,静电力也是保守力。

万有引力只是在质量很大的物体间才是显著的,它支配着星球的行动和星系的结构;静电力把核外电子束缚在核的周围,它决定了原子、分子的结构,而在那里万有引力是微不足道的。

例2 有两个都带正电的小球,它们所带电量之和为 7.0×10^{-6} 库仑,如果当两小球相距 0.6 米时相互间斥力为 0.3 牛顿,问两小球各带多少电量?

解 设每个小球所带的电量分别为 q_1 和 q_2 , 电量之和为 Q , 则

$$Q = q_1 + q_2$$

根据库仑定律
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = k \frac{q_1 (Q - q_1)}{r^2}$$

$$\text{从上式可得: } q_1^2 - Qq_1 + \frac{Fr^2}{k} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{即 } q_1 &= \frac{Q \pm \sqrt{Q^2 - 4 \frac{Fr^2}{k}}}{2} \\ &= \frac{7.0 \times 10^{-6} \pm \sqrt{(7.0 \times 10^{-6})^2 - \frac{4 \times 0.3 \times 0.6^2}{9 \times 10^9}}}{2} \quad (\text{库仑}) \\ &= \frac{1}{2} (7.0 \times 10^{-6} \pm 10^{-6}) \quad (\text{库仑}) \end{aligned}$$

$$\text{所以 } q_1 = 4.0 \times 10^{-6} \text{ 库仑 或 } 3.0 \times 10^{-6} \text{ 库仑}$$

$$q_2 = 3.0 \times 10^{-6} \text{ 库仑 或 } 4.0 \times 10^{-6} \text{ 库仑}$$

答 两小球分别带 3.0×10^{-6} 库仑和 4.0×10^{-6} 库仑的电量。

解3 在上题中,如果为使这两个带正电的小球间有最大的斥力 (Q 和 r 都不变), 这两小球各带多少电量? 最大斥力为多少?

解 在总电量和距离不变的情况下,当两个小球所带电量的乘积为最大时,它们之间斥力达到最大。

$$\text{因为 } Q = q_1 + q_2$$

$$\text{所以 } q_1 \cdot q_2 = q_1(Q - q_1) = q_1Q - q_1^2$$

把 $Qq_1 - q_1^2$ 改写成平方差的形式

$$\begin{aligned} q_1 \cdot q_2 &= Qq_1 - q_1^2 = \left(\frac{Q}{2}\right)^2 - \left[q_1^2 - 2\frac{Q}{2}q_1 + \left(\frac{Q}{2}\right)^2\right] \\ &= \left(\frac{Q}{2}\right)^2 - \left(q_1 - \frac{Q}{2}\right)^2 \end{aligned}$$

可见当 $q_1 - \frac{Q}{2} = 0$ 时 $q_1 \cdot q_2$ 取得最大值

由此可得 $q_1 = q_2 = \frac{1}{2} \cdot 7.0 \times 10^{-6} \text{库仑} = 3.5 \times 10^{-6} \text{库仑}$

$$\begin{aligned}\text{最大斥力 } F_{\text{最大}} &= k \frac{\left(\frac{Q}{2}\right)^2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{(3.5 \times 10^{-6})^2}{0.6^2} \\ &= 0.306 \text{牛顿}\end{aligned}$$

通过本例我们可以得出这样的结论:在总电量和距离不变时,两个带等量同种电荷的点电荷之间斥力最大。

讨论 如果有两个半径相同的金属带电小球,把它们接触一下后再放回到各自原来的位置上,若它们之间的静电力与原来相比较(1)变小了,(2)没有变化,(3)增大了,问这三种情况下,两小球原来所带电荷之间应满足怎样的关系?

分析 两带电金属球接触前后其总电量不变,此外,由于球半径相同,接触后分开每个小球带电量为总和的一半。若

(1) $\left(\frac{q_1 + q_2}{2}\right)^2 > |q_1 \cdot q_2|$ 静电力变大,两小球原来带不等量的同种电荷,就是满足该情况的条件。

(2) $\left(\frac{q_1 + q_2}{2}\right)^2 = |q_1 \cdot q_2|$ 静电力不变,两小球必定带等量同种电荷。

(3) $\left(\frac{q_1 + q_2}{2}\right)^2 < |q_1 \cdot q_2|$ 静电力变小,两小球必定带异种电荷。