

数理化自学丛书

物 理

第 三 册

数理化自学丛书

物



第三册

数理化自学丛书编委会
物理编写小组编

上海人民出版社

数理化自学丛书

物 理

第 三 册

数理化自学丛书编委会
物理编写小组编

(原上海科技版)

上海人民出版社出版

广东人民出版社重印

广东省新华书店发行 广东新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 11.75 字数 258,030

1964年10月第1版 1977年12月第1版 1973年4月广东第1次印刷

统一书号：13171·226 定价：0.77元

内 容 提 要

本书详尽地叙述了电磁学的基础知识以及它们在各方面的应用。全书共分六章,先讲静电学,然后依次讲述直流、磁场、电磁感应和交流电,最后介绍了无线电的基础。书中包含有大量的例题、习题和总复习题,并且在每章末了都附有复习提要,以供复习巩固之用。

本书可供青年工人、知识青年和在职干部自学之用,也可供中等学校青年教师参考。

重印说明

《数理化自学丛书》是一九六六年前出版的。计有《代数》四册,《平面几何》二册,《三角》一册,《立体几何》一册,《平面解析几何》一册;《物理》四册;《化学》四册。这套书的特点是:比较明白易懂,从讲清基本概念出发,循序渐进,使读者易于接受和理解,并附有不少习题供练习用。这套书可以作为青年工人、知识青年和在职干部自学之用,也可供中等学校青年教师教学参考,出版以后,很受读者欢迎。但是在“四人帮”及其余党控制上海出版工作期间,这套书横被扣上所谓引导青年走白专道路的罪名,不准出版。

英明领袖华主席和党中央一举粉碎了祸国殃民的“四人帮”。我国社会主义革命和社会主义建设进入新的发展时期。党的第十一次全国代表大会号召全党、全军、全国各族人民高举毛主席的伟大旗帜,在英明领袖华主席和党中央领导下,为完成党的十一大提出的各项战斗任务,为在本世纪内把我国建设成为伟大的社会主义的现代化强国,争取对人类作出较大的贡献,努力奋斗。许多工农群众和干部,在党的十一大精神鼓舞下,决心紧跟英明领袖华主席和党中央,抓纲治国,大干快上,向科学技术现代化进军,为实现四个现代化作出贡献,他们来信要求重印《数理化自学丛书》。根据读者的要求,我们现在在原书基础上作一些必要的修改后,重新出版这套书,以应需要。

十多年来,科学技术的发展是很快的。本丛书介绍的虽仅是数理化方面的基础知识,但对于应予反映的科技新成就方面内容,是显得不够的。同时,由于本书是按读者自学的要求编写的,篇幅上就不免有些庞大,有些部分也显得有些烦琐。这些,要请读者在阅读时加以注意。

对本书的缺点,希望广大读者批评指出,以便修订时参考。

一九七七年十一月

目 录

重印说明

第一章 静电学 1

§ 1.1 带电现象 1

§ 1.2 电量, 库仑定律 6

§ 1.3 导体上电荷的分布 17

§ 1.4 电子论简述 20

§ 1.5 静电感应 25

§ 1.6 电场, 电场强度 29

§ 1.7 电势 39

§ 1.8 导体的电势 49

§ 1.9 电容和电容器 54

本章提要 69

复习题一 73

第二章 直流电 77

§ 2.1 电流 77

§ 2.2 电路 80

§ 2.3 电阻, 欧姆定律 85

§ 2.4 电流的功和功率, 焦耳-楞次定律 96

§ 2.5 有关部分电路的讨论 103

§ 2.6 电源, 电动势 118

§ 2.7 有关全电路的讨论 122

§ 2.8 液体导电和电解 139

§ 2.9 化学电源——电池 151

本章提要 162

复习题二 166

第三章 磁场 171

§ 3.1 磁现象和磁场 171

§ 3.2 电流的磁场 182

§ 3.3 磁感应和电磁铁 186

§ 3.4 磁性起源假说 192

§ 3.5 磁场对电流的作用 195

§ 3.6 电流计, 安培计和伏特计 204

本章提要 215

复习题三 219

第四章 电磁感应 223

§ 4.1 感生电流的获得 223

§ 4.2 感生电流的方向 226

§ 4.3 感生电动势 234

§ 4.4 自感现象 242

本章提要 248

复习题四 249

第五章 交流电 253

§ 5.1 交流电的产生 253

§ 5.2 交流发电机 261

§ 5.3 三相交流电 265

§ 5.4 交流电动机 271

§ 5.5 直流发电机 279

§ 5.6 直流电动机 283

§ 5.7 变压器和远距离送电 288

本章提要	298	§ 6·8 三极电子管, 电子管 放大器	325
复习题五	301	§ 6·9 栅极检波, 电子管收 音机	327
第六章 无线电基础	304	§ 6·10 无线电的发送和接收	329
§ 6·1 电磁振荡和振荡 电路	304	§ 6·11 有线广播	331
§ 6·2 振荡电流的周期和频 率	308	§ 6·12 半导体和晶体管	335
§ 6·3 电磁波和电磁波的发 送	309	§ 6·13 电子射线管	341
§ 6·4 调制	313	§ 6·14 无线电技术的广泛应 用	342
§ 6·5 电谐振	316	本章提要	345
§ 6·6 检波	317	复习题六	349
§ 6·7 二极电子管, 电子管 整流器	321	总复习题	351
		习题答案	362

第一章 静 电 学

在这一章里,我们所要讨论的现象,统称为静电现象。有关静电现象的这一部分知识叫做静电学,它是全部电学知识的基础。

一切电现象都离不开电场的作用。与静电现象有关的电场叫做静电场。我们将以静电场的基本特性作为这一章的中心内容,并环绕着它讨论一些重要的静电现象,以及这些现象的基本理论和实际应用。

我们已经知道,整个自然界是由不断运动着的物质所组成,绝对静止的物质是不存在的。电也是一种物质,所以它也是在永不停息地运动着,根本不会有静止不动的电。所谓静电,是指没有定向运动的电而言。所谓静电现象,则是指电在没有定向运动时所产生的现象。

电灯、电话、电动机等装置的工作原理,都要牵涉电在流动时所产生的现象,它们不属于本章所要讨论的范围,而将在以后各章中逐步加以讨论。为了学好以后各章,必须首先学好静电学这一章。

§ 1·1 带 电 现 象

1. 摩擦起电 远在纪元前七世纪,古希腊人退利斯就曾发现,被毛皮或毛织物摩擦过的琥珀能吸引纸屑、头发等轻微的物体。我国东汉时代的学者王充在他所著《论衡》一书中,也

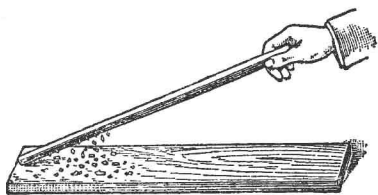


图 1·1 摩擦起电

有“顿牟掇芥”的记载。“顿牟”就是琥珀，“掇芥”就是吸引轻微物体的意思。后来，到了纪元 1600 年，英国的医生兼物理学家吉伯又发现，除了琥珀之外，还有许多物体，如玻璃、火

漆、硫黄、水晶和胶木（硬橡胶）等，在和呢绒或丝绸摩擦后，也有吸引轻微物体的本领（图 1·1）。

这种吸引轻微物体的现象，我们把它叫做带电现象。物体有了这种吸引轻微物体的性质，我们就说它带了电，或说它有了电荷。带电的物体就叫做带电体。

使物体带电叫做起电。用摩擦的方法使物体带电叫做摩擦起电。

习 题 1·1(1)

1. 把一块洗净擦干的玻璃板，架在平放在桌面上的两本练习簿上。在玻璃板的下面、两本练习簿中间的桌面上，放一些剪得很碎的纸屑。然后用干燥的手帕在玻璃板的上面摩擦，观察所发生的现象。

2. 把胶木棒或胶木笔杆的一端放在干燥的毛织物上使劲摩擦，然后把它移近轻微的纸屑，观察所发生的现象。（当心不要用手抹拭摩擦过的胶棒。）

3. 把自来水龙头稍稍转开，维持一线水流。拿上题中已经带了电的胶棒靠近水流（不要碰着），试观察所发生的现象。

2. 两种电荷 用毛皮摩擦两根火漆棒或胶木棒。把其中的一根用钩子悬挂起来（见图 1·2），拿另一根靠近它，可以看到它们互相排斥。

用丝绸摩擦两根玻璃棒。把其中的一根悬挂起来，拿另

一根靠近它，也可以看到它们互相排斥。

如果改用丝绸摩擦过的玻璃棒去靠近用毛皮摩擦过的胶木棒，或用毛皮摩擦过的胶木棒去靠近用丝绸摩擦过的玻璃棒，则它们互相吸引。

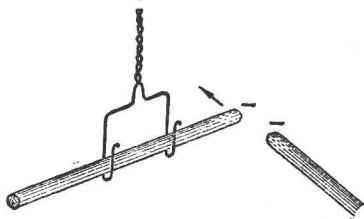


图 1·2 同种电相斥

实验的结果说明什么呢？

首先，它说明电荷间存在着相互作用的斥力或吸力；其次，它说明上述胶木棒和玻璃棒所带电荷的性质不同；最后，我们还可以从这里看出一个规律：同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

在 1747 年，美国科学家富兰克林把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷叫做正电荷，把用毛皮摩擦过的胶木棒所带的电荷叫做负电荷。实验证明，所有其他的物体，无论用什么方法起电，所带的电荷不是和上述玻璃棒上的电荷（正电荷）相同，便是和上述胶木棒上的电荷（负电荷）相同。所以我们说：在自然界里只存在正、负两种电荷。

3. 导体和绝缘体 把带电体和不带电体相接触，总会有一部分电荷从带电体跑到不带电体上去，使它也变成了带电体。这种使物体带电的方法叫做接触起电。

用接触的方法使物体带电，如果电荷停留在接触过的部分，而不显著地向其他部分传递，那么这种物体就叫做绝缘体。绝缘体又叫做电介质（此处的介字不可写成解字）。玻璃、石蜡、火漆、琥珀、松香、丝绸、胶木、瓷器等都是很好的绝缘体。

能把所得到的电荷迅速传递到其他各部分的物体叫做**导体**。导体又简称为**导体**。各种金属材料、人的身体和地球等都是很好的导体。此外,还有各种酸、碱、盐的溶液也是良好的导体。

还有一种导电能力介于导体和绝缘体之间的物体,如树木、纸张、大理石以及一些非金属结晶体(硅、硒等),叫做**半导体**。

导体、半导体和绝缘体彼此之间并没有确定的界限,只是在导电的程度上有着大小的差别。

要使导体能保留所带的电荷,就必须用绝缘体把它和地球隔开,否则电荷就要传给地球。我们平常看到的电学仪器,多半装在玻璃或胶木的底座上,也就是这个道理。例如,在图1·2里的那个钩子,必须用丝线悬挂起来,才能更好地防止棒上的电荷逃掉。

平常我们做摩擦起电的实验,总是用绝缘体而不用导体,这并不是因为导体不能起电,而是因为导体所得到的电荷会很快地通过人的身体传到地面、不能保留下来的缘故。如果在导体上装一个玻璃的或其他绝缘体的把手,那么它就和绝缘体一样可以用来进行摩擦起电的实验。

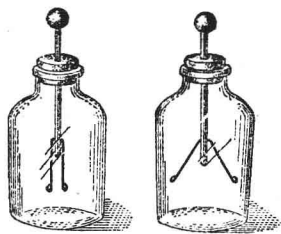


图1·3 金箔验电器

4. 金箔验电器 验电器是用来检验物体是否带电和带哪一种电荷的仪器。通常所用的一种验电器叫做**金箔验电器**。

金箔验电器是利用同种电荷相斥、异种电荷相吸的作用制成的。它的构造如图1·3所示,在一个金属棒的上端装一个金属

球,在其下端贴两条很薄的金属箔,金属棒插在用绝缘体制成的瓶塞中,瓶塞塞在玻璃瓶或有玻璃窗的金属盒子上。

要检验物体是否带电,只要把物体和验电器的金属球接触一下就行了。如果物体是带电的,那么金属球在接触时就带了电,并将部分电荷传到金属箔上去,于是两条金属箔就因为带同种电荷而相斥、张开。如果物体原来不带电,金属箔就不会张开。

如果让金箔验电器先带某种已知电荷(正的或负的),然后再把要检验的物体移近验电器的金属球(不接触),根据金属箔张开角度的增大还是减小,就可以看出物体所带的电荷是正的还是负的。当物体所带的电荷和验电器原先所带的电荷种类相同时,因同种电荷相互排斥,则球上原有的电荷有一部分被排斥到离物体较远的金属箔上去,使金属箔带的电荷比原来的多,从而加大张开的角度。反之,当物体所带的电荷和验电器原先所带的电荷种类不同时,由于异种电荷相互吸引,金属箔上原有的电荷就要有一部分被吸引到靠近物体的小球上来,从而使金属箔的张角减小。如果物体原来不带电,那么金属箔的张角就不会起显著的变化。

习 题 1·1(2)

1. 两根胶木棒,一根带电,一根不带电。如果不用验电器,有什么方法可以知道哪个带电,哪个不带电?

2. 如果用手直接握住铜棒,并使它和丝绸相摩擦,则检验不出铜棒上有带电现象。如果用带橡胶手套的手握住铜棒,使它和丝绸相摩擦,就可以检验出铜棒上有带电现象。这是什么道理?

3. 用丝线悬着一个不带电的小通草球,并把它移近一个带电体,我们就可以看到:通草球先被带电体吸过去,等到和带电体接触后,又被它推开。这又是什么道理?

4. 要使一个带电的导体变成不带电的物体, 用什么方法最方便? 要使一个带电的绝缘体不带电, 又需要怎样做呢?

5. 现有两个金属箔验电器. 用什么方法可以检验一根棒是导电的还是绝缘的?

6. 怎样使用金属箔验电器来检验带电体所带的电荷是正的还是负的?

§ 1·2 电量. 库仑定律

我们已经知道带电物体具有吸引轻微物体的能力. 但是, 这种能力和哪些因素有关呢? 这就是在这一节里所要讨论的问题.

1. 电量概念 让我们重复一下习题 1·1 (1) 第 1 题里的实验, 并按下列顺序进行观察. 首先用手帕轻轻地摩擦一下玻璃板, 观察板下纸屑被吸引的情况; 然后重重地摩擦一下, 观察纸屑被吸引的情况; 最后连续地重摩好几次, 再观察纸屑被吸引的情况.

比较一下观察所得到的结果, 我们就会发现玻璃板吸引纸屑的能力一次比一次强. 为什么会有这种现象呢? 首先我们应当承认, 玻璃板之所以能吸引轻微纸屑是由于它带有电荷, 这即是由于摩擦起电. 其次根据摩擦的轻重程度和次数的不同, 我们不难想象到, 玻璃板所带电荷一次比一次多, 所以吸引纸屑的能力也一次比一次强. 这就是说, 带电体吸引轻微物体的能力跟它所带电荷的多少有关. 所带的电荷越多, 吸引轻微物体的能力就越强; 所带的电荷越少, 吸引轻微物体的能力就越弱. 或者说, 吸引轻微物体的能力是物体带电多少的一种表现, 一种标志. 带电体吸引轻微物体的能力强, 就标志着它所带的电荷多; 吸引轻微物体的能力弱, 就标志着它所

带的电荷少。

物体所带电荷的多少叫做电量。

带电体吸引轻微物体的能力是否只与所带电荷的多少有关呢？为了解决这个问题，让我们再来做一个实验。实验的用具和习题 1·1 (1) 第 1 题里所述的完全相同，不过要准备好两套。在一块玻璃板底下垫两本较薄的练习簿，在另一块玻璃板底下垫两本较厚的练习簿。实验时，用手帕摩擦两块玻璃板，摩擦的轻重程度尽可能相同，摩擦次数也相等。仔细观察两块玻璃板下的纸屑被吸引的情况。

实验的结果说明，带电体吸引轻微物体的能力，不仅与它所带的电荷的多少有关，还与它离开轻微物体的距离有关。距离越大，吸引轻微物体的能力也就越小。

2. 库仑定律 带电体能够吸引轻微物体的现象，是由电荷间相互作用的吸力和斥力所引起的（关于这一点，以后还要讨论）。吸引轻微物体的能力强，就说明电荷间的相互作用大；吸引轻微物体的能力弱，就说明电荷间的相互作用小。

在介绍金箔验电器时，我们已经讲过，金属箔的张角随着金属箔上电荷的多少而增减。这个现象使我们想到，电荷间相互作用力的大小与电荷的电量有关。

电荷间相互作用力的大小，与电量有什么关系呢？在 1785 年法国物理学家库仑应用一种叫做扭秤的仪器进行实验，结果发现了它们之间的关系，这个关系我们称它为库仑定律。

库仑定律是电学中最基本的定律之一。它的内容是：在真空中，两个点电荷之间的相互作用力，沿着它们之间的连线，大小相等，方向相反；作用力的大小跟两个电量的乘积成正比，跟两个点电荷之间的距离平方成反比。

如图 1·4 所示，以 q_1 和 q_2 表示两个点电荷的电量， r 表

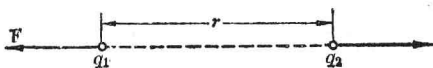


图 1·4 电荷间的相互作用

示它们之间的距离, F 表示它们之间的相互作用力, 那末库仑定律的代数表示式应为

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

上式叫做库仑定律公式. 公式中的 K 是比例常数, 它的大小取决于式中各物理量 (F 、 r 、 q_1 和 q_2) 的单位. K 的物理意义可以这样来理解: 如果在真空中有两个点电荷, 它们的电量各等于 1 单位, 它们之间的距离也等于 1 单位, 那么它们之间的相互作用力就等于 K 单位.

如果两个电荷是同种的, 式中的 q_1 和 q_2 就应当同为正号或同为负号, 而求得的 F 却总是正值, 这就表示两电荷相斥. 如果两个电荷是异种的, q_1 和 q_2 的符号就应当相反, 那么, 求得的 F 总是负值, 这就表示两电荷相吸.

必须指出, 库仑定律公式只适用于点电荷. 点电荷, 从字面上来理解, 就是一个小到和几何点一样的带电体所带的电荷. 实际上, 符合这种条件的带电体是不存在的. 在物理学里, 点电荷的意义是相对的, 不管是什么形状的带电体, 只要它们的大小比它们之间的距离小很多, 我们就可以把它们所带的电荷看作是点电荷.

同样两个任意形状的带电体, 当它们相距很远时就可以看做是点电荷, 当它们相距不够远时就不能看做是点电荷. 所以我们就说, 点电荷的意义是相对的, 而不是绝对的.

如果相互作用的带电体不能看做是点电荷, 那么由于它

们之间的距离 r 没有确定的意义，所以不能直接应用库仑定律。在这种情况下，必须把带电体分成很多微小部分来考虑。每一个微小部分所带的电荷可以看做是一个点电荷，每一个带电体所带的电荷可以看做是这许多点电荷的总和。先应用库仑定律求出各个点电荷之间的相互作用，然后再用求合力的方法求出两个带电体之间的相互作用。

对电荷分布均匀的球状带电体来说，理论证明，在计算它和别的带电体之间的相互作用时，可以认为它的全部电荷都集中在球心上。因此，在计算两个均匀带电球体之间的相互作用时，我们可以把它们看做是两个位置在球心的点电荷，并且可以直接应用库仑定律公式来进行计算。在这种情况下，公式里的 r 就是两个球心之间的距离了。

根据库仑定律求得的电荷之间的相互作用力，叫做静电力，又叫做库仑力。

3. 电量的单位 在明确了电荷之间的相互作用与电量间的关系——库仑定律之后，我们就可以根据这个定律，用力的大小来量度电量，从而也就确定了电量的单位。

在厘米·克·秒制里，电量的单位叫做厘米·克·秒制静电系单位电量，或简称为静库。

静库的大小是这样规定的：有两个电量相等的点电荷，在真空中相距 1 厘米，如果它们之间的作用力适为 1 达因，我们就规定这两个电荷的电量各为 1 静库。

这样，当电量用静库、力用达因、距离用厘米作为单位时，库仑定律公式中的比例常数 K 就等于 1。因此，真空中适用的库仑定律公式可以简化为

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

在电学里，根据厘米·克·秒制单位和静电学定律所确定的单位系统，叫做厘米·克·秒制静电单位系，或简称为静电单位系。

在实际应用中，由于静库这个电量单位实在太小，我们常常使用一个叫做库仑的电量单位。库仑和静库的关系是：

$$1 \text{ 库仑} = 3 \times 10^9 \text{ 静库.}$$

4. 电介质中的库仑定律 电介质就是绝缘物质。例如空气、煤油、纯水、玻璃、橡胶、瓷器等都是电介质。

实验证明，在电量 q_1 和 q_2 以及距离 r 都相同的情况下，如果把两个带电体放在电介质（例如煤油）里，它们之间的相互作用力总比在真空中小一些，至于小多少，那就要依电介质的性质来决定。通常我们把电介质中的库仑定律公式写成

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

式中的 ϵ ^① 代表电介质的介电常数。不同物质的介电常数大小不同，但总大于 1。下表列出几种常用电介质的介电常数：

空	气	1.0006	硬	橡	胶	4
煤	油	2~4	瓷	器		6
纯	水	81	云	母		6~8
石	蜡	2	玻	璃		4~7

真空的介电常数为 1，空气的介电常数近似地等于 1。

例 1. 现有两个均匀带电球体，它们分别带有电量 0.25 库仑和 0.24 库仑。（1）如果把它们放在空气里，彼此相距 3 米远，问它们之间的相互作用力是多大？（2）如果把它们放在石蜡里，彼此间的距离也是 3 米，相互作用力又是多大呢？

【解】 这个题目的要求很明确，那就是求两个已知电荷

① ϵ 是希腊字母，读作 epsilon（依伯西隆）。