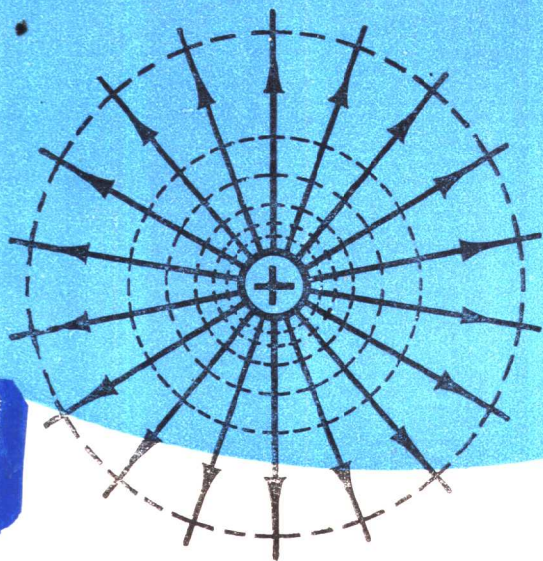


静电

中学物理辅导员丛书



2.46
42

张继恒 著

科学普及出版社

G632.46

03142

中学物理辅导员丛书

静 电

张 继 恒 著

科学普及出版社

内 容 提 要

本书为《中学物理辅导员丛书》之一。

它与中学物理教材紧密配合，但又不是教材的简单重复。它对中学课本“静电”部分的重点和难点着重进行辅导，可帮助读者深入理解“静电”的基本概念和规律，掌握基础知识，对中学课本中叙述不够充分的地方，也有适当扩展，以开阔读者的思路。书中，还安排了精选的、具有一定水平的例题和习题，有巩固知识和灵活运用知识的作用。所举例题都有分析性的题解(或一题多解)，习题均附有答案。

本书文字简练，语言流畅，深入浅出，适于自学。

中学物理辅导员丛书

静 电

张 继 恒 著

责任编辑：吴之静

封面设计：齐恩铭

*

科学普及出版社出版(北京白石桥紫竹院公园内)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京印刷一厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：4 $\frac{1}{8}$ 字数：88千字

1982年8月第1版 1982年8月第1次印刷

印数：1—21,500册 定价：0.37元

统一书号：13051·1261 本社书号：0349

前 言

多年以来，我国教育界、中学教师和中学同学们都深切感到，在众多的出版物中，真正适合中学生阅读的课外读物，特别是结合各门文化课教学的课外读物，为数实在太少。这种情况对于中学生生动活泼地学好文化课，巩固加深课堂上所学的基本知识，培养自学能力，扩大知识眼界和提高学习兴趣，都很不利。

本丛书就是根据这种需要而组织编写的。它的编写目的是为了帮助中学生深入理解物理学的基本概念和规律，更好地掌握物理学的基础知识和基本实验技能，有效地进行逻辑思维 and 抽象思维锻炼，加强分析问题和解决问题的能力，使他们能够更好地运用中学物理教材进行学习，扎扎实实学好物理课，以利于提高中学物理课的教学质量。

本丛书参照教育部制定的全日制十年制中学物理教学大纲，按照全国统编高级中学物理教材的系统，分册编写。初中讲授过的而高中教材不再重讲的基础知识，如流体力学、热学、几何光学等内容，也另行分册编写辅导材料。

本丛书力求做到以下几点要求：

(一) 内容密切结合中学现用统编教材，但又不是教材的简单重复。对教材中的重点和难点着重进行辅导；对容易混淆的概念和重点内容，必要时采取正误对比的方法加以讲

解。在现行教材内容的基础上，适当地扩大、加深学生的知识领域。此外，还配合教材中有关章节，讲述一些物理学研究方法和物理学发展历史中的重大事例，并注意做到理论联系实际。

(二) 在有关物理实验的内容方面，注意培养中学生观察自然现象和实验工作的能力。在实验分册中，除对教材规定的学生实验进行辅导外，还适当介绍一些教材中没有介绍的实验方法，以及读者利用简单器材可以自己在课外做的简单实验。

(三) 本丛书的体例，每一章一般分成三部分：第一部分是“本章内容摘要”；第二部分是“重点、难点问题的讲解”；第三部分是“复习思考题和练习题”。根据教材各章内容的特点，必要时还叙述一些科学史知识、物理实验知识以及其他需要补充的知识。

“内容摘要部分”，力求简明扼要，突出一章的核心内容，反映全章各部分之间的相互关系，以及本章与前后篇章之间的联系。

“重点、难点问题讲解”部分，要求讲清楚教材中的重点、难点问题，并适当地讲解一些有关知识。

“复习思考题和练习题”部分，力求每个题目都有明确的教学目的，着重题目的内容质量，而不是单纯地追求数量；注意理论联系实际，不选偏题和难度极大的难题。

例题的讲解尽量贯彻启发学生思维，培养思维能力的原则；要讲清楚解题的思路，避免单纯地教给学生死方法的做法。

我们希望：这套丛书能对于中学同学学习物理课起到一定的辅导员作用；对于教师的教学起到一定的助手作用。

本丛书的内容和编写方法倘有不当之处，请读者不吝提出宝贵意见。我们将参考读者的意见，于再版时进行修订和补充。

《中学物理辅导员丛书》编辑委员会

1981年1月

目 录

一、电荷	(1)
二、电子论	(6)
三、库仑定律	(9)
四、电场 电场强度	(24)
五、在电场中电荷移动时, 电场力对电荷做的功 由什么决定	(40)
六、电势是描述谁的性质的物理量	(46)
七、你知道人们常说的电压真正的含意吗	(51)
八、电势差和电场强度之间有什么关系	(55)
九、带电粒子在电场中怎样运动	(66)
十、电场中的导体和电介质	(75)
十一、交流电路中广泛应用的一种元件——电容器	(91)
习题答案	(120)

一、电 荷

1. 什么是电荷？根据什么说电荷有两种？

人类最早认识的电现象是摩擦起电。

实验证明，任何材料的固态物体和另一种材料的固态物体互相摩擦后，都会具有吸引轻小物体的性质。物体的这种吸引轻小物体的性质叫做电性。人们常说有电性的物体带电了，或者说物体上有了电荷。这个物体就叫做带电体。

常见的很多物体没有吸引轻小物体的本领，也就是说它不显电性，我们称它不带电，或者说它上面没有电荷。使本来不带电的物体带电，叫做起电。上面所讲的是起电的一种方法，叫做摩擦起电。

实验指出，带电体间有相互作用。研究这种相互作用，发现有的相吸引；有的相排斥。

首先取一根玻璃棒 A ，用悬线把它挂起来。用丝绸摩擦 A ， A 能吸引小物体，说明 A 已带电；然后再取一根玻璃棒 B ，也用丝绸摩擦，使它也带电。因为 A 、 B 带电是相同条件下产生的，它们带电的性质应该是相同的。当令 B 靠近 A 时，发现 A 受到排斥力的作用，这说明性质相同的电荷之间有排斥力作用。如果用毛皮摩擦硬橡胶棒 C ，硬橡胶棒也带电，但当令 C 靠近 A 时，发现 A 与 C 间有吸引力作用。这说明 C 上所带电荷与 A 不同，是另一种电荷。实验还表明两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒之间也是互相排斥，也就是说这第二种电荷也有同性相斥的性质。两种不同电荷之间则相互

吸引。

读者一定会有这样的疑问：究竟有几种电荷？是否有与 A 、 C 都相排斥的电荷或与 A 、 C 都相吸引的电荷？实验表明，不存在具有这种性质的电荷。凡是与 A 相斥的，都与 C 相吸，它与 A 上电荷的性质一样；而凡与 A 相吸的，一定与 C 相斥，它与 C 上电荷的性质一样。根据这些实验结果，我们知道：电荷有两种，而且只有两种，同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引。

2. 你怎样理解两种电荷的名称——正电和负电。

让一个用丝绸摩擦过的玻璃棒，接触一个被绝缘的金属球，玻璃棒上的一部分电荷传给了金属球。如果重复一下上述的过程，会发现金属球上的电荷增加了。如果这时取一个用毛皮摩擦过的硬橡胶棒接触金属球，则金属球上的电荷会减少，甚至减到没有电荷。这些现象说明同种电荷在一个物体上能够积累，而异种电荷却能相消。这和数学上正数和负数的加减运算性质相似。

十八世纪，美国的富兰克林(1706—1790)将两种电荷命名为正电和负电。他规定丝绸摩擦过的玻璃棒上带的电荷为正电荷，另一种电荷为负电荷，分别用 $+$ 号和 $-$ 号表示。后面我们将会看到，用 $+$ 、 $-$ 号表示两种电荷，有关电量(表示电荷多少的物理量)的运算都遵守代数运算的法则。

也许有人要问，规定毛皮摩擦过的硬橡胶棒上带的电为正电荷行不行呢？对于第一个做这项规定的人来说，这是可以的。谁为正、谁为负是完全任意的。但现在前人已经规定好了，大家就都要遵守这个规定，否则就没有共同语言了。

前面说，规定“丝绸摩擦过的玻璃棒上带的电为正电”，如果说成“丝绸和玻璃棒相摩擦所起的电为正电”行不行呢？

不行！实验证明，两个物体互相摩擦，两个物体都带电，而且它们分别带异种电荷。所以这样说不行。丝绸和玻璃棒相摩擦时，只有玻璃棒带的电是正电，丝绸带的电是负电。

如果把上面的话，说成“被摩擦过的玻璃棒上带的电为正电”行不行呢？也不行！因为摩擦使一个物体带哪一种电荷，跟用哪种材料的物体来摩擦它还有关系。例如，用毛皮摩擦玻璃棒时，玻璃棒上带的电就是负电。因此学习中要注意语言表述的科学性，不能任意地简化。

3. 根据什么说电荷有多有少？怎样测量电荷的多少？

取两个带电体 A 和 B ，让它们距桌面等远，分别吸引桌上的碎纸屑。我们会发现，一般来说，它们对纸屑的吸引力大小并不相同。如果 A 比 B 吸纸屑力强，说明 A 比 B 带电荷多。

为表示物体所带电荷的多少，我们引入电量这个物理量，用 q 或 Q 表示。

通过比较带电体间的相互作用力，能比较电量的大小。

让带电体 B 和 C 先后和带电体 A 作用。为了比较方便，保持两次距离相等，即 $r_{AB} = r_{AC}$ 。如果 AB 间的作用力 F_{AB} 比 AC 间的作用力 F_{AC} 大，说明 B 比 C 带的电量多，即 $q_B > q_C$ 。

虽然从理论上讲，可以用比较电荷间作用力的方法来比较电量，但实际上直接测量作用力的大小不太容易，以后再介绍。这里先讲一下简单的测量电量的仪器——金箔验电器。

金箔验电器构造如图 1-1 所示。金属杆上有金属球，下有两片金箔。利用玻璃瓶和瓶上的橡皮或软木瓶塞把金属杆支起来。瓶塞使金

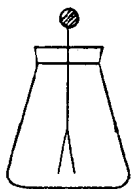


图 1-1

属杆等与周围绝缘。玻璃瓶还起保护金箔的作用。当带电体接触露在瓶外的金属小球时，有一部分电荷传到两片金箔上。这样两片金箔因带同种电荷互相排斥而张开。

金箔张开的角度由什么决定呢？

金箔可以看做是有固定转动轴的物体，轴在两片金箔的悬点 O (图 1-2)。不带电时，金箔在轴之外只受重力。重力力矩为零时，金箔平衡。因此这时金箔下垂(图 1-2 A)。当两

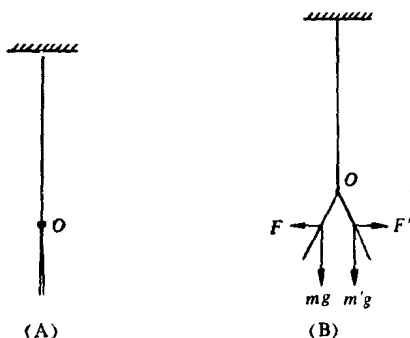


图 1-2

片金箔带同种电荷时，它们互相排斥，排斥力使左边的金箔顺时针转动；使右边的金箔逆时针转动(图 1-2 B)。但随着金箔转动，它受的重力的力臂不再为零，产生了反方向的力矩。这个力矩随张开角度的增大而增大。与此同时，排斥力却因两金箔间距离增大而减小，其排斥力的力臂也减小。所以排斥力的力矩随张开角度的增大而减小。这样，在开始时，排斥力矩大，重力矩是零，使金箔张开。随金箔张开角度 θ 逐渐增大，排斥力矩逐渐变小，重力矩逐渐增大。到 θ 角等于某一定值时，这两个力矩大小相等，金箔又平衡。显然，带电体的电量越多，它接触小球时，传给金箔的电量就越多，

金箔张开的角度就越大。所以金箔张开的角度能表示带电体所带电量的多少。

一般验电器只用来比较电量多些，还是少些，不能指出这一个的电量是那一个的电量的几倍。要做定量的、准确的测量，需装刻度盘。因为金箔张开角度和带电体的电量之间不是正比关系，所以刻度不是均匀的。

利用金箔验电器能不能判断带电体所带电荷的性质呢？能，但要有一个已知其电荷性质的带电体。

例如先拿一根用丝绸摩擦过的玻璃棒接触金箔验电器的金属小球，使金箔带正电而张开。再拿一个带电体接触小球，如果金箔张开角度变大，说明这个带电体也带正电；如果金箔张开角度变小，（或开始变小，后又变大），说明这个带电体带负电。

这里需要说明，用这种将带电体的电荷传给验电器的方法检验物体带电，物体要失去一部分电荷。如果用静电感应的方法，则不存在这一问题。关于这一点，到静电感应一节中再做讨论。

二、电 子 论

近代物理学的发展使我们对电现象的本质有了深入的了解。物质是由分子、原子组成的。原子核里有带正电的原子核和带负电的电子。原子核里有质子和中子。质子带正电，中子不带电。质子和电子的电量相等（都等于 1.6×10^{-19} 库仑）。一般情况下，物体各部分所含的质子数和电子数相同，所以对外不显电性。如果物体失去一部分电子，它内部的质子数多于电子数，就显出正电性；如果物体得到一部分电子，它内部的电子数多于质子数，就显出负电性。利用物质电结构概念及电子运动规律来解释电现象的理论，叫做电子论。

1. 怎样用电子论解释摩擦起电？

两个物体相接触时，每一个物体都有一些电子脱离原子的束缚跑到另一个物体上去。但是，从不同材料的物体跑出去的电子数不相等。如果从甲跑到乙的电子数多于从乙跑到甲的电子数，结果甲上的电子数减少了，乙上的电子数增加了，甲就显出正电性，乙就显出负电性。显然，甲减少的电子数等于乙增加的电子数，所以甲、乙带的正、负电荷是等量的。这样的起电法，应该叫接触起电。实际上，摩擦起电，就是接触起电。摩擦的作用是使两个物体接触得紧密，起的电荷多就是了。一般的接触，起电很少，电现象常常显示不出来。

为什么一定要不同材料的物体相摩擦才起电呢？其实同

种材料的两个物体相摩擦，电子也会从一个物体跑到另一个物体上去，但不起电。请你解释一下，这是什么缘故？

2. 怎样用电子论说明为什么有的物质导电——是导体，有的物质不导电——是绝缘体？

你想过吗？为什么金箔验电器的金箔安装在上方带金属小球的金属杆的下端，而支持金属杆的瓶塞要用软木或橡皮制作？

实验证明，一个金属制品的某一部分带电时，电荷会传到它的各个部分，而橡胶、玻璃等制品，哪一部分带电，电荷就基本上停留在哪一部分。

象金属那样能够传导电荷的物质，叫导体。导体除了金属，还有碳、酸碱盐的水溶液(电解液)、电离的气体等。象橡胶、玻璃那样几乎不导电的物质，叫绝缘体或电介质。丝绸、松香、硫磺、瓷、油类、纯水没有电离的气体等都是绝缘体。

从物质的结构来区分导体和绝缘体，导体里有自由电荷，绝缘体里几乎没有。在金属里，原子的外层电子受原子核的引力弱，能摆脱本原子的束缚而自由运动。这样的电子叫自由电子。在电解液里，分子里的一部分原子或原子团得到电子，另一部分失去电子，分别成为带负电的和带正电的原子或原子团，叫做负离子和正离子。例如稀硫酸里的氢原子失去一个电子成为氢正离子(H^+)，硫酸根原子团得到两个电子，成为硫酸根负离子(SO_4^{--})。气体在特殊条件下(如在火焰里、光照射下、高电压下等)会有一部分气体分子失去电子，成为正离子。这个分子失去的电子也会到其他气体分子上，使这些分子成为负离子。金属里的自由电子、电解液里的离子和特殊条件下气体里的电子和离子，都是能够移

动的自由电荷。这种内部具有自由电荷的物体可以导电，所以表现为导体。

绝缘体的原子把自己外层电子束缚得紧紧的，一般情况下电荷不能做宏观运动。严格说，在它们里面也有自由电荷，但是极少，所以它们的导电性能很差，即绝缘性能很好。

有的物质导电能力介于导体和绝缘体之间，人们称它为半导体。二十世纪五十年代以来，人们发现半导体很多特性，使它在近代电子技术中发挥很大的作用。（关于半导体将另做专述。）

三、库仑定律

带电体之间的相互作用力由哪些因素决定呢？只有实践能回答这一问题。法国物理学家库仑设计了很巧妙的实验来研究两个静止点电荷间的相互作用力，并于 1785 年发现了库仑定律。

1. 什么是点电荷？

从字面上看，点电荷是指一个物体带电，但这个物体没有体积，是一个点。显然，实际当中不存在这种带电体。但是如果有两个带电体，它们相距很远，它们间的距离比它们每一个的线度（例如球形带电体就是指它们的直径）大得多，这时可以忽略它的形状和大小，近似地认为每一个的电荷都集中在一个点上。即认为它是点电荷。

点电荷是为了研究问题的方便，根据实际情况提出的理想模型。这种方法跟力学里提出质点概念、热学里提出理想气体一样，是物理学中常用的研究方法。

2. 库仑实验设计的巧妙之处，主要表现在哪些方面呢？

秤是测力的仪器。但是一般带电体间的静电力较小，用我们熟悉的、利用弹簧伸长或缩短形变制成的弹簧秤是测不准的。库仑使用的是可测出微小作用力的扭秤。应该说明扭秤也是弹力秤。不过它利用的是金属丝的扭转形变。（扭秤构造详见高中物理下册。）

金属丝在发生扭转形变时，产生恢复力矩。根据胡克定律，恢复力矩正比于扭转的角度。利用这个道理，我们可以

通过观察扭转的角度测量力矩。测量之前，需要先校准金属丝，即将金属丝一端固定，另一端加已知大小的力矩，测出扭转角度，然后计算出每扭转 1° 产生的力矩。

在库仑扭秤中，让固定的金属小球 C 和固定在金属丝下面玻璃棒一端的金属小球 A 带同种电荷。 C 对 A 的排斥力的力矩 M 和金属丝扭转弹力的力矩 M' 相平衡时，玻璃棒静止，即这时 $M = M'$ 。可以根据扭转角度 θ ，计算出扭转力矩 M' ，这就是 M 的大小。再量出 A 到金属丝的距离(斥力的力臂)就能算出斥力的大小了。

库仑的实验中，另一个处理得巧妙的地方是比较电量的方法。一个带电的金属小球和另一个形状完全一样、但不带电的金属小球相接触时，电荷要在这两个球上重新分布。电荷怎样分呢？要讲清这个道理，需等到研究导体电容之后。但在这里，我们可以说，两个小球既然完全一样，就没有任何理由说哪一个将分到的电荷多些，哪一个将分到的电荷少些。所以可以肯定，它们一定等分原来带电小球上的电量，即各带原来电量的 $\frac{1}{2}$ 。同样方法，可以相当准确地得到

原来电量的 $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{8}$ 、 $\frac{1}{16}$ ……。

3. 你能完整地叙述库仑定律的内容吗？

库仑最初的实验是在空气中做的。研究证明电荷在真空中相互作用最简单，在真空中和在空气中相互作用区别不大。库仑定律是就真空中的情况叙述的。“在真空中，两个点电荷间的作用力跟它们每一个的电量成正比；跟它们间距离的平方成反比。作用力的方向在它们的连线上。”这就是库仑定律。用公式表示库仑定律：