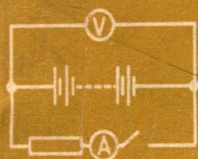
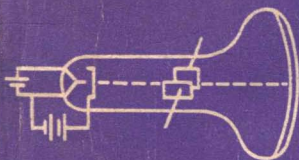


高中物理教学参考读物



稳恒电流

上海教育出版社



上海市物理学会中学物理教学研究委员会编

高中物理教学参考读物

稳 恒 电 流

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会编
上海教育出版社

高中物理教学参考读物

稳 恒 电 流

上 海 市 物 理 学 会

中学物理教学研究委员会编

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 4.375 字数 91,000

1959 年 5 月新 1 版

1981 年 10 月新 2 版 1981 年 10 月第 11 次印刷

印数 217,531—268,530 本

统一书号: 7150·528 定价: 0.38 元

修订版前言

上海市物理学会中学物理教学研究委员会从1956年开始所主编的一套《高中物理教学参考读物》，共14册，先后经过四年的时间，到1959年陆续出齐。编写目的是以当时的《中学物理教学大纲》为依据，结合中学物理教学的需要，帮助教师更好地掌握教材，以提高教学质量。问世以来，颇得读者的支持和关怀。在文化大革命前曾多次重印，其中有几本印数多达数十万册。其间也曾根据读者所提意见作过修订和适当补充，重新排版出了几次修订本。粉碎“四人帮”后，为了满足广大师生对物理参考书的需求，又重印了一次。但物理科学近年来发展较快，它在社会主义建设和实现“四化”的过程中起着重要的作用，为了适应这些要求，原书不足之处很多，须作进一步的修订。为此，我们在维持原书面目不过多改变和原篇幅不过多扩大的前提下，根据教育部最近颁布的《全日制十年制学校中学物理教学大纲》（试行草案）和当前中学物理的教学情况，在内容上适当加深加广；处理教材的方法上力求新颖，以供教师备课时参考，并对学有余力的同学提供课外补充读物，加深理论和扩大知识面。单位制以SI制为主，如有必要也适当介绍其他单位制。适当更新插图内容，增补一些有参考价值的例题和习题。删去比较陈旧烦琐的内容，努力做到取材新颖，能够反映我们国家的新成就。

本书第一、二章原由杨逢挺同志执笔，第三、四章由江浩同志执笔，并听取了束世杰、贾冰如等同志的意见。现参加修改的为吴祥兴、潘翠萍同志。由于我们对中学物理教学的经验不足，又是在匆忙中完稿，疏忽和错误不妥之处在所难免，请读者随时予以指正。

目 录

第 1 章 电流和电源	1
一、电流	1
二、电流的方向	5
三、电流计	6
四、电源	6
五、伏打电池	7
六、伏打电池的极化	9
七、电池的局部作用	9
八、干电池	10
九、蓄电池	11
十、温差电池	13
十一、光电池	14
第 2 章 通过金属的电流	15
一、金属的导电性	15
二、部分电路的欧姆定律	16
三、导体的电阻	17
四、导体的电阻定律和电阻率	18
五、导体电阻的温度系数	21
六、电阻的串联	23
七、电阻的并联	25

八、电流强度的测量	29
九、电压的测量	31
十、电源的电动势	33
十一、全电路的欧姆定律	34
十二、欧姆表的基本原理	40
十三、内外电路上的电势降落	42
十四、一段有源电路的欧姆定律	46
十五、电源的串联	48
十六、电源的并联	50
十七、电源的混合连法	51
十八、基尔霍夫定律	55
十九、基尔霍夫定律的应用	57
二十、电流的功和功率	62
二十一、串联和并联电器所消耗的功率	64
二十二、焦耳-楞次定律	66
二十三、电路中能量的供给和吸收	70
二十四、白炽灯	72
二十五、导线的选择	73
第3章 电解液中的电流	75
一、电解溶液中溶质分子的离解	75
二、电解溶液里的电流	78
三、电解的实例	82
四、法拉第电解第一定律	84
五、法拉第电解第二定律	85
六、法拉第恒量和电的原子性	89
七、电解在技术上的应用	92
第4章 气体中的电流	94

一、气体导电的基本形式·····	94
二、气体自激导电的理论·····	97
三、自激导电的实例·····	99
四、被激导电体内电离的理论·····	105
五、热电子发射·····	107
六、阴极射线和阳极射线·····	109
习题·····	111

第 1 章

电 流 和 电 源

一、电 流

在《电场》这本书里，我们已经研究了电场跟电荷间的相互作用，和由这些作用所引起的最后稳定状态下的电荷分布，以及带电质点在空间的运动。现在我们要来讨论当导体内有电场持续存在时，也就是说，导线两端有电压持续存在时，电荷在导体里作有规则的定向运动，这种运动就叫做电流。电荷的携带者可以是离子、电子等，例如在电解传导中，电荷的携带者是离子（带电的原子或原子团），并且正负离子在液体中以相反的方向移动着。电流在金属中通过时，并没有使金属的化学性质发生任何变化，因此金属的导电性跟它的原子的移动无关，只由电子的运动决定。这个概念已被许多实验所证明，在一系列用不同金属做成的棒里通以电流，经历了很长

的时间，在金属上并没有任何化学变化的迹象，这说明当电流通过时，金属的原子、离子都未曾移动。由于所有金属的电子都是一样的，因此一根棒上的电子被邻近棒上移动过来的另一些电子所代替，是不能分辨出来的。

为了说明金属导电的性质，在这里粗略地描述一下金属的结构。金属都是晶体，其晶体点阵是由失去一个或几个电子的原子即正离子构成，这些正离子只能在各自的平衡位置附近作振动。从原子分离出来的电子，可以在整个金属体的各晶体点阵间自由地作无规则的热运动，我们把这种电子称为金属中的自由电子。大量自由电子满布在金属的体积内，这跟容器中的气体分子很相似，所以这些自由电子也称为电子气。这些自由电子都在作杂乱无章的不规则的热运动，其热运动的平均速率数量级约为 10^5 米/秒。由于热运动的不规则性，在任一方向运动的电子数都相等，所以在平常情形下金属中没有电流。

当金属中有电场时，每个自由电子都受到电场力的作用，使电子沿着与电场相反的方向相对于晶体点阵作加速运动，这个定向的加速运动是迭加在自由电子的杂乱无章的热运动之上，虽然电子与晶体点阵碰撞时，会改变自己的速度大小和方向，但由于电场力引起的定向加速度仍然存在，这个定向的加速度仍然迭加在每个不断和晶体点阵作碰撞的自由电子上。所以在电场的作用下，自由电子在电场的相反方向上获得一个平均的定向速度 v ， v 的数量级约为 10^{-4} 米/秒，它比热运动的平均速率要小得多。大量自由电子的这种定向漂移运动，形成了金属导体中的电流。

图 1-1 表示导线的一段，其中有一向左的电场，因此自由电子就向右运动，假定每一个电子都以相同的定向速度 v 运

动着, 在时间 t 里向前推进一段距离 vt 。那么, 通过导线上任意横截面 (例如画着阴影的一个) 的电子数, 就是长 vt 的一段导线内或体积 vtS 内所含有的自由电子数。

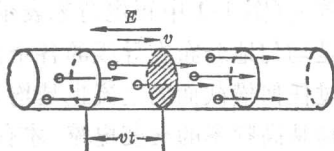


图 1-1

其中 S 是导线的横截面积, 如果单位体积里有 n 个自由电子, 在时间 t 内通过横截面的总电子数是 $nvtS$, 假使用 e 代表每个电子所带的电量, 那么, 在 t 内通过这个横截面的总电量 Q 就是

$$Q = nev t S \quad (1)$$

由于电流产生的各种效应具有不同的程度, 就形成了电流强度的概念。电流强度简称为电流。通过已知面积的电流 I , 是用相当于单位时间里通过这个面积的电量来量度的, 因此

$$I = \frac{Q}{t} \quad (2)$$

由(1)(2)两式得:

$$I = nev S \quad (3)$$

在国际单位制中, 电量的单位是库仑, 电流的单位是每秒 1 库仑, 叫做 1 安培, 用字母 A 表示。小的电流可以用毫安培 mA (1 毫安培 = 10^{-3} 安培) 或微安培 μA (1 微安培 = 10^{-6} 安培) 来表示。

载流导线里电荷的分布, 跟在静电平衡时绝缘导体带电时电荷的分布情况, 不能混为一谈。我们已经知道, 在静电平衡时绝缘导体上过剩电荷的分布只限于导体的表面上, 在载流导线里就没有过剩电荷, 每一单位体积内, 正电荷跟负电荷是

相等的(图 1-1 中正电荷未表示出), 自由电子在一载流导线里是均匀地分布在导线的各个部分的。在粗细均匀的导线里, 通过任何横截面的电流也是均匀分布的。除非是交变电流, 特别是高频率的交变电流, 才有集中在导线表面的趋势。

导线里的电流强度 I 跟横截面积 S 的比叫做**电流密度**, 用 J 来表示, 那么

$$J = \frac{I}{S} = nev \quad (4)$$

严格地讲, 这是对于横截面积 S 的平均电流密度。在电解的问题中, 我们常常要用到这个概念。

【例】通过导线的电流是 1 安培, 那么 1 秒钟里流过导线横截面的电子数有多少? 已知一个电子所带电量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑。如果这根导线的横截面积是 1 平方毫米, 那么电流密度是多少?

解 因为电流强度是 1 安培, 所以 1 秒里通过的电量 $Q = 1$ 库仑, 假使 1 秒里通过导线横截面的电子数是 n , 那么

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18} (\text{个电子/秒}).$$

因为电流密度 $J = \frac{I}{S}$, $S = 1 \text{ 毫米}^2 = 0.01 \text{ 厘米}^2$ 。

$$\therefore J = \frac{1 \text{ 安培}}{0.01 \text{ 厘米}^2} = 100 \text{ 安培/厘米}^2.$$

【例】设铜里的自由电子数等于它的原子数, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 库仑, 通过铜导体的电流 $I = 10$ 安培, 导线的横截面积 $S = 0.01 [\text{厘米}]^2$, 那么电子定向运动的速度是多少?

解 1 克原子的铜是 63.5 克, 里面含有 6.02×10^{23} 个原子, 1 厘米³ 的铜是 8.7 克, 所以 1 厘米³ 的铜含有 8.24×10^{22} 个原子, 1 厘米³ 的铜含有 8.24×10^{22} 个自由电子(按照题设条件),

$$n = \frac{8.7 \times 10^6}{63.5} \times 6.02 \times 10^{23} = 8.24 \times 10^{22} \text{ 个自由电子/厘米}^3$$

$$v = \frac{10}{8.24 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.01 \times 10^{-4}} = 7.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

二、电流的方向

5

$$\therefore I = nevS,$$

$$\therefore v = \frac{I}{neS} = \frac{10}{8.24 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 0.01}$$

$$= 7.6 \times 10^{-4} \text{ (米/秒)}. \quad ? \text{ (cm/s)} \quad 7.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

这个速度是非常小的，远不能跟电子热运动的平均速率相比。必须指出，自由电子在导线里作定向运动的平均速度，必须跟电流传播的速度、电场传播的速度严格地区别开来，不可混为一谈。电流传播的速度就是电场传播的速度，其极限值可以达到 3×10^8 米/秒，跟光速相等。例如，如果我们按下电铃的开关，电场在整个电路中实际上是瞬时就被建立起来的，所以电路中的全部自由电子几乎是同时开始向着同一方向运动，而其定向运动的速度却是极小的。

二、电流的方向

在上节里已经指出，只有带着负电荷的电子才能在金属中移动，因此把自由电子运动的方向规定为电流的方向，似乎是合乎逻辑的，可是我们立刻就会遇到困难，因为在电解质里或在气态导电的情况中，两种异号的自由电荷都是沿着相反方向运动的。无论把哪一个方向规定为电流的方向，我们总会遇到电荷沿着跟它相反方向的运动。实际上，在电子的概念还没有形成，电子的特性还没有肯定以前，科学家们早已把电流的方向规定为正电荷运动的方向，因此在金属导体里电子的运动方向跟规定的电流方向是相反的。例如图 1-1 中，虽然电子的运动是由左向右，但电流的方向还是当做由右向左的，并且假定正电荷是在作向左的运动。

从现在起，我们就采用这个习惯上的规定。当我们用金属导线把电源的两极连接时，在导线里实际上电场力将驱使电子朝着电势高的方向移动，也就是驱使电子从电源的“负

极”移向电源的“正极”，这就相当于我们假定正电荷由“正极”移向“负极”。

三、电 流 计

电流各种效应表现的强度决定于电流的强度，于是我们可以利用任何一种效应，无论是热效应、磁效应或化学效应来量度电流，这种用来量度电流强度的仪器叫做电流计。通常用根据电流的磁效应设计的电流计，它的标度直接用安培数来表出的叫做安培计。当我们用安培计来量度通过某一用电器中的电流时，必须注意这样几点：(1)安培计的内阻很小，必须和用电器串联；(2)为了保护仪器，不应让超过标度的电流通过它；(3)电流要从安培计上的正接线柱(+)流入，从负接线柱(-)流出；(4)绝对避免它跟电源短路连接，也不能跟用电器并联。关于安培计的构造和原理，我们在下一本书里再作详细的介绍。

四、电 源

我们在工农业生产上和日常生活中所用的电流大多是具有**一定强度的稳恒电流**。为了获得导线中的稳恒电流就得保持导线里的电场，也就必须保持导线两端的电势差(电压)，能够完成这种任务的装置叫做电源。各种电池和发电机都是电源。在各种电源里，形成电压的方法是不同的。电池是利用电池中的化学反应来形成和维持导体间的电压的。发电机是利用导线在磁场里的机械运动来形成和产生持续电流所需要的电压的。

很明显,电荷在外电路中的运动是电场力在作功,需要消耗能量,要在导线中形成稳恒电流,电源就得不断地供给电流通过导线时所消耗的能量。因此,我们也可以说:电源是把其他形式的能转变为电能的装置。电池是把化学能转变成电能的装置,发电机是把机械能转变为电能的装置。还有把光能、热能和原子能转变成电能的装置,如光电池、热偶电池和原子能发电站等。

五、伏打电池

历史上第一个比较强的电源是意大利物理学家伏打在1799年发明的,叫做伏打电池。它是将化学能转变成电能的一种装置。这种电池是由一块锌板跟一块铜板浸在稀硫酸溶液中组成的,其中铜板的电势比较高是正极,锌板的电势比较低是负极。

为什么伏打电池能够产生和维持两极间的电压呢?现在我们就来研究这个问题。原来稀硫酸溶液里含有许多氢离子(H^+)和硫酸根的离子(SO_4^{--}),当锌板浸入硫酸溶液中时,锌板上的锌原子由于化学力的作用就要进入溶液中去,自己变成正离子(Zn^{++}),同时把电子留在锌板上。

每一个锌原子在溶解时给锌板留下了两个电子,这样,锌板就带了负电,溶液带了正电,在锌板跟溶液间就产生了电场,形成了电势差,这个电场阻碍着锌的继续溶解,等到锌板和溶液间的电压达到一定程度时,进入溶液中的锌离子的个数将等于由溶液中回到锌板上锌离子的个数,因此就建立了一个动态平衡。我们知道,在导体间形成电势差是需要做功的,在锌板和硫酸的化学反应中,锌板溶解时所释放出来的化

学能就是转变成电压所需要的电能。一般地讲,凡是浸入溶液中的金属,当它发生化学反应时,最后都会达成一定的动态平衡,这时金属跟溶液间电压的大小,只跟金属和溶液的性质有关,而和浸入溶液中的金属面积的大小、溶液的多少无关。一根细锌丝跟一滴稀硫酸间形成的电势差和一大块锌板跟一缸稀硫酸间所形成的电势差是完全相同的,因为它们之间的平衡是建立在每一接触的小面积上的。如果两个相同的电极浸入同一个溶液,那么这两个电极的电势是一样的,因此把它们用导线连起来也不会有电流产生。在我们所讨论的伏打电池里,铜板在硫酸里很不容易溶解,为了简化起见,我们可以完全略去铜离子的进入溶液,而当做铜的电极并不带电荷。但是被锌离子排斥过来的氢离子就附着在铜板上使铜板带正电,这样在铜板跟锌板之间就产生了电势差。

伏打电池在电路没有接通时,两极之间的电压大约是1伏特。

如果用导线把铜板和锌板连起来,电路接通后,锌板上的电子要经过导线移向铜板,在那里跟氢离子中和,生成不带电的氢气。这样,锌板上的负电跟铜板上的正电都减少了,锌板和溶液间的平衡被破坏了,于是,锌将继续溶解,新的锌原子变成离子进入溶液,因而两极总保持着一定的电压。这种情况将继续维持下去,直到锌板完全溶尽或者电池内的硫酸溶液全部反应完毕为止。在伏打电池的通电过程中,由于锌离子陆续进入硫酸中,氢离子也就不断被排斥移向铜板。因此,当电流通过时,电池溶液内的正离子是从负极向正极移动的,也就是正电荷是沿着电场作用相反的方向运动的。总之,伏打电池所以能产生并保持两极间的电势差,就是化学能转变为电能的过程。

在其他类型的化学电池中，发生的过程也相仿。一般地讲，只要用两种不同的固态导体做成电极，把它们浸入一种叫电解质的化合物（酸、碱、盐类化合物）的溶液中，当然至少要有—种固态导体能跟溶液起化学反应，就成了电池。

六、伏打电池的极化

如果我们在伏打电池上连接一个小灯泡，我们看到它发出的光会越来越暗，这说明通过灯泡的电流在很快地减弱。这种现象是怎样引起的呢？这是由于在使用伏打电池时，铜极处有氢气放出的缘故。这种现象引起了两种后果：第一，氢气泡的存在要减少电极的工作面积和增加电流通过的阻碍作用；第二，氢具有形成氢离子(H^+)进入溶液的趋势，因此产生了一个新的电动势，它的方向跟电池的方向相反。这些现象叫做电池的极化。电池的极化要减小它的电动势，并增加它的内电阻，因而减少外电路中的电流。消除极化的方法是利用去极剂。常用的去极剂有二氧化锰和重铬酸钾等，它们会把正极上生成的氢气氧化成水；也可以用机械方法去掉电极上的氢气泡，如果我们把伏打电池中的铜极抖动几下，使气泡离开它而上升，我们会看到小灯泡亮了一些。

七、电池的局部作用

伏打电池内所用的锌板，如果不纯洁而含有铁或碳等杂质，—经浸入酸内，就形成了许多小电池，铁或碳就变成了正极，锌是负极。有电流自铁或碳到锌，经过酸液回到原处，产生了局部电流，此时锌板不断耗蚀，变成了硫酸锌。消除电池