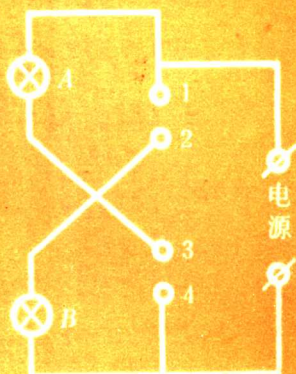
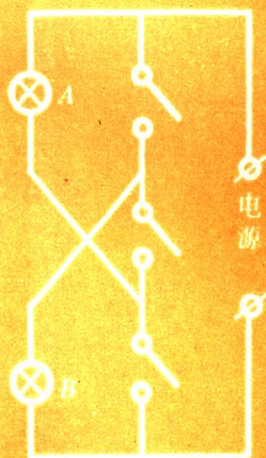




中学生物理
课外读物



直流电的规律



李世珊 编著
李敦浩

人民教育出版社

直流电的规律

李世珊 编
李敦浩

人民教育出版社

本书针对高中物理“稳恒电流”一章的内容，根据学习者的需要，在更大的广度和深度上，对直流电的规律进行了深入浅出的论述。特点是对基本物理概念和规律分析的透彻，联系实际的内容丰富，实际例子和例题较多，并有有趣的小实验和小制作；既有历史故事，又有现代科学技术成果的介绍。能帮助读者加深理解和消除误解，扩大眼界，增长知识，提高学习兴趣。

本书可供高中学生和具有高中文化的技术人员及其他青年阅读，也可供中等学校教师参考。

中学生物理课外读物

直流电的规律

李世珊 编
李敦浩

人民教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行
北京顺义永利印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张5.375 字数 109,000

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数 1—1,120

ISBN 7-107-10263-X

G·1174 定价 1.80元

目 录

一 关于“电流”的对话

1. 什么是电流?.....1
2. 电流有哪些类型?.....2
3. 电流有哪些效应?.....4
4. 关于电流强度的一些讨论6
5. 怎样测量电流强度? 如何正确使用电流表.....11
6. 产生电流的条件是什么?12
7. 电路的组成和控制.....13
8. 导体内部的电流是怎样形成的?17
9. 从电流的角度来看看什么是串联和并联.....19

二 欧 姆 定 律

1. 全电路和部分电路.....21
2. 电压的测量及伏特表的使用.....22
3. 部分电路欧姆定律.....24
4. 讨论一 $R = \frac{U}{I}$26
5. 为什么接在电路中的导体对电流有阻碍作用呢?28

6. 电压和电势降落	29
7. 液体导电	30
8. 气体导电简介	37
9. 欧姆定律的适用范围	40

三 电阻定律

1. 电阻定律	42
2. 电阻率和电导率	46
3. 电阻与温度的关系 超导现象	48

四 电功和电功率

1. 电流做功	52
2. $W = UIt = I^2 R t$	54
3. 额定功率和实际功率	58

五 焦耳定律

1. 焦耳定律	60
2. 电流热效应的应用	62
3. 电热和电功之间的关系	65

六 串联电路

1. 串联电路的两个最基本特点	67
2. 串联电路的总电阻	69
3. 串联电路的另一性质	70
4. 变阻器作为限流器和分压器	71

5. 导线电阻对用电器的影响	76
6. 远距离送电	77

七 并联电路

1. 并联电路的两个基本特点	81
2. 并联电路的总电阻	82
3. 通过各支路的电流和它的电阻成反比	83
4. 并联电路的应用举例	84
5. 简单的混联电路	86
6. 串、并联电路的应用	94
7. 动手做做小实验	95

八 电流表及其改装

1. 关于电流表的常识	98
2. 怎样测表头内阻	99
3. 把电流表改装成安培表、伏特表	102

九 电 动 势

1. 电源在闭合电路中的作用	106
2. 外电路和内电路	107
3. 电源的电动势	107
4. 表明电源特性的另一个物理量——内电阻	111
5. 根据哪些原理可以产生电动势?	111
6. 电源的电动势和闭合电路中各部分电压 间的关系	119

十 闭合电路的欧姆定律

1. 闭合电路的欧姆定律123
2. $U-I$ 图象127
3. 电动势和内电阻的实验测定128
4. 电源的功率134
5. 含有电源的部分电路138

十一 电 池 组

1. 电池的串联、并联和混联143
2. 串联电池组143
3. 并联电池组147
4. 混联电池组152

十二 电阻 的 测 量

1. 伏特表-安培表法.....155
2. 欧姆表法158
3. 电桥法163

在这本小册子里，我们将讨论有关电流的一些最基本的知识。正如大家在学习初中物理时已经知道了的，电流现象的研究大大充实并发展了电磁学的理论和实践，并奠定了电能作为现代生活最基本的能源的基础。可以设想，如果现在人们还没有掌握电流的规律，那么人类可能仍然过着落后的生活方式。

电流规律的研究，不论从科学理论上，或者是从生产和人类生活上来说，都是至关重要的。下面我们首先对电流的概念做一些探讨，以便对它有一个基本的认识。

一 关于“电流”的对话

1. 什么是电流？

电流，顾名思义可以知道是“电的流动”，这个概念是十八世纪法国科学家安培首先创立的。现在，我们仍然把电荷的定向移动叫做电流。

根据这个定义，我们可以认为一个带正电(或负电)的物体做定向移动时也形成电流，的确，这种电流就叫做运流电流(或对流电流)。十九世纪中，美国科学家罗兰就用这个电流证明了磁现象是由电流引起的。在这本小册子

中，我们准备进一步讨论它了。

我们后面所讨论的主要是通过导体中的电流，例如金属导体中自由电子的定向移动，电解液中正、负离子的定向移动形成的电流等。这种由电子或离子的定向移动所形成的电流叫做传导电流。

2. 电流有哪些类型？

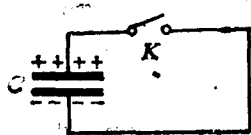


图 1-1

按照电流的定义，即使是传导电流也可分成很多种，例如在《电场》这个单元中我们曾经学过的电容器放电，如图1-1所示，当电键 K 按下时，带电的电容器 C

两板上所带电荷就要通过导线放电，而使正、负电荷中和，这时导线中就有电荷流过，不过到中和完了，电荷也就不再移动，导线中的电流也就停止。理论和实践都证明了这种电流存在的时间是很短暂的，这种电流叫做瞬变电流。瞬变电流在某些方面例如某些电子线路中是很重要的，但情况较繁复，我们现在也不讨论它了。

我们只讨论持续电流，即在导线中能长时间存在的电流。持续电流又可分为直流电和交流电两类，直流电又分成稳恒直流和非稳恒直流两种。交流电的电流的大小和方向作周期性变化，一般又可分成正弦交流电和非正弦交流电两种。

下面，我们从电流(i)和时间(t)的关系的图象(图1-2)中来看一看几种电流的区别。

图1-2a中的图象是瞬变电流[电流的大小(曲线上各点

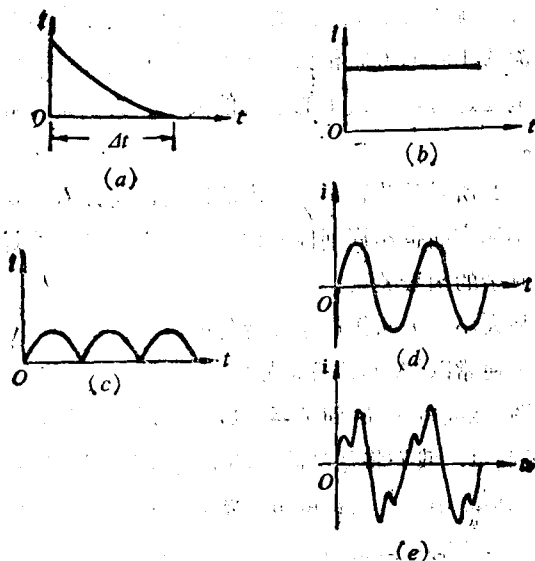


图 1-2

的纵坐标的值)随时间而变化,经 Δt 这段时间后,电流就没有了]。

图 1-2b 是稳恒直流,可以看到电流-时间图象是平行于时间轴的直线,说明电流的大小、方向是不随时间改变而变化的。

图 1-2c 这种电流叫做非稳恒直流,它的大小随时间而改变,但电荷移动的方向是不变的(图象上电流的值总是正的)。

我们把方向保持不变的电流叫做直流电,在仪表上通常以“D.C.”或符号“—”表示。

图 1-2d 中所示的是叫做正弦交流电的电流-时间图

象，这种电流的大小是时间的正弦函数，电流为负时的方向跟电流为正时的方向相反，从图中可知，如导线中有正弦交流电通过时，导线中的电流的大小、方向是作周期性变化的。

图1-2e所示是非正弦交流电的图象，可以看出这种电流的大小和方向也作周期性变化，但它有更复杂的规律，服从更复杂的函数关系。

凡是大小、方向作周期性变化的电流，就叫做交流电，在仪表上通常以“A.C.”或符号“~”表示。

从图1-2的电流-时间关系可以看出，以稳恒直流(图1-2b)最简单，我们将从最简单的电流着手讨论，以后我们在这本小册子中一般所说的电流都是指稳恒直流电流。

3. 电流有哪些效应?

对于电流的研究，回顾一下历史是很有趣的。

在十八世纪八十年代，意大利生物学家伽伐尼一次在解剖青蛙时，用铜钩吊住蛙腿挂在阳台的栏杆上，当蛙腿晃动碰触栏杆铁条时，蛙腿突然抽搐一下。伽伐尼注意观察了这个现象，并在1786年9月20日做了下面的实验：他用一个叉尖是铜制成的而另一个叉尖是铁制成的叉子在碰触刚解剖好的蛙腿时，蛙腿肌肉即抽搐一下。伽伐尼认为这是电现象。他的朋友意大利物理学家伏打正确地解释了这个现象，并在进一步研究的基础上创造了“伏打电堆”。这是现代电池组的雏形(图1-3)，这个伏打电堆使许多科学家发现了电流流过导体时所发生的一系列现象，我们现在称之为电流的效应。例如1820年丹麦物理学家奥斯特，然

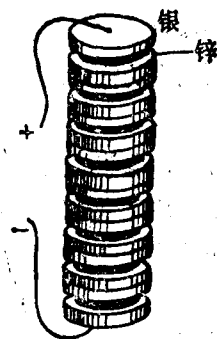


图1-3 伏打电堆

后是法国物理学家安培发现并加以深入研究的电流的磁效应及其规律，在1811年左右英国物理学家法拉第发现电解现象，接着在1833年总结出了著名的法拉第电解定律，即电流可使某些物质发生化学分解，我们把它叫做电流的化

* 伏打在1800年左右把两块不同的金属导体与浸有酸溶液的湿布接触，再用导线将两块金属连接起来，成一路便得到了电流。他把这个装置叫做伽伐尼电池。他还发现当把若干个这种电池串接起来时，就能得到更强的电作用。1800年3月20日，伏打把这一发现写信给英国皇家学会会长本克斯勋爵，他写道：“无疑你们会感到惊讶，我所要介绍的装置，只是用一些不同的导体按一定的方式叠置起来的装置，用三十片、四十片、六十片甚至更多的铜片（当然最好是用银片），将它们中的每一片与一片锡片（最好是锌片）接触，然后充一层水或导电性能比纯水更好的食盐水、碱水等液层，或填上一层用这些液体浸透的纸皮或皮革等，……这就能产生相当多的电荷。”

这个装置后来就被称为伏打电堆。如图1-3所示，最上一片是银，它下面是一层导电液体，再下面一片是锌，锌片下面又是银片（跟锌片接触），这样叠置下去，最下一片是锌。

学效应；此外，英国物理学家焦耳在长时期探索热和功之间关系并在用各种方法测定热功当量的数值的过程中，研究了电流通过导线时所发生的热效应的规律，这就是著名的焦耳定律。

在这些电流的效应中，电流的热效应只有传导电流才能产生，而电流的化学效应又只能发生在通过电解质的传导电流中，有趣的是不论哪种电流都能出现电流的磁效应。

除这些以外，电流还有发光效应，例如电流通过稀薄气体时，尽管温度不高，会发生不同颜色的光，霓虹灯的发光就是利用了这种效应，现在有些仪表上及家用电器（例如收录机上电平指示）中装置的发光二极管也是利用了电流的发光效应。

当电流通过导体时必然会出现这种或那种或同时发生几种电流效应；反过来，我们也可根据是否出现电流的效应来判定导体中是否存在电流；根据电流效应的强弱还可以测定电流的强弱。

4. 关于电流强度的一些讨论

(1) 为什么要提出电流强度这个物理量？

人们在对电流效应的深入研究中，发现利用不同的装置（如伏打电堆的数目不同、导线长短、粗细不一，等等）电流的效应不同，这是和电荷在导线中移动时形成电流的强弱程度有关，电流愈强，效应也愈剧烈。而电流的强弱与单位时间内通过导体截面的电量有关，并定义电流强度为

$$I = \frac{Q}{t},$$

式中 I 表示电流强度(简称电流)的大小, Q 是在时间 t 内通过导体截面的电量, 这是大家都熟知的。

为了纪念安培在研究电流方面的卓越贡献, 1893年在芝加哥召开的国际电学大会通过决定以“安培”作为电流强度的“国际”电学单位, 并规定

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}.$$

(2) 大家知道, 电流强度是标量, 但是我们常常又把导体中正电荷的移动方向规定为电流强度的方向, 这里我们想进一步谈两个问题:

① 既然规定了电流强度的方向, 那么它怎么又是标量呢?

我们规定的电流强度的方向仅仅表示电荷流动的去向, 由于正电荷在导体内运动时不是沿着某一方向, 便是沿着相反的方向流动, 因此如果借用代数符号, 假定沿某一方向移动为“+”方向, 它的反方向就可用“-”号表示。即使导线被弯曲、打结或发生其他任何扭曲时, 导线中的电流也仍然是这样, 即不是沿着某一方向就是沿着它的反

* 现在, 按国际单位制的规定, 根据 $I = \frac{Q}{t}$ 公式定义了电量的国际单位制单位, 即电流强度为 1 安培的电流在 1 秒内通过导体某一截面的电量叫做 1 库仑。就是说把我们所述的定义倒过来了, 这是因为国际单位制中规定了电流强度单位“安培”是基本单位, 而电量的单位“库仑”却是导出单位。至于什么是 1 安培, 是另外有定义的(根据电流的磁效应规定的, 将在后面介绍)。

方向流动，电流的合成是遵循代数加法的，而不服从平行四边形法则。

② 我们已经知道金属导体中的传导电流是自由电子的定向移动形成的，而电子是带负电的，那么为什么仍规定电流的方向为正电荷的移动方向，而不把它“改正”过来呢？

由于历史的原因，把正电荷的移动方向规定为电流方向。即使事实上金属导体中只有负电荷在移动，我们就认为负电荷移动方向的反方向是电流的方向，这对于研究电流的现象和问题并没有什么妨碍。况且在电解质导电中，也存在正电荷(正离子)的移动。因此没有必要“改”过来。

(3) 电流强度和它的单位——安培是国际单位制(SI)的七个基本物理量和基本单位之一。

自1954年第十届国际计量大会通过的决议，把电流强度的单位——安培规定为“实用单位制”的基本单位。1960年第十一届国际计量大会决定把上述实用单位制定名为“国际单位制(SI)”。其他的电学单位都由安培和力学或其他基本单位来导出，例如前述的1库仑的定义。而1安培是指“一恒定电流，若保持在处于真空中相距1米的两无限长而圆截面可忽略的平行直导线内，则此两导线之间产生的力在每米长度上等于 2×10^{-7} 牛顿”。*

* 1946年国际计量委员会，决议2；1948年第九届国际计量大会批准。参阅《国际单位制》第5页，科学出版社，1981。

(4) 研究一下导体中的电流情况: $I = neSv$ 。

最初研究电流的思想方法是认为电流在导体中流过就像水或其他流体在管中流过一样, 并且可以设想在导线上取任何一个截面时(例如图1-4中的截面A), 那么任何时刻有多少电量流入, 必然同时有相等电量流出(这在流体力学中叫做连续性原理, 电流也服从连续性原理)。设导线的横截面积为 S , 在时间 t 内电荷在导线内前进的距离为 l (从A到达B), 则在时间 t 内流经截面A处的电量即为A、B两截面间导线“管子”中的可移动电荷的全部电量; 若单位体积内可移动的电荷数为 n , 每个电荷带电量为 q , 则AB间“管子”内可移动电荷的电量

$$Q = Sl nq,$$

即

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{Sl nq}{t} = nqSv.$$

显然, $v = \frac{l}{t}$ 是电荷在导线中运动的平均速度。由于金属导体是电子的定向移动, 则上式中 $q = e$ (e 是电子或基本电荷的电量, 等于 1.6×10^{-19} 库仑), n 是导体中单位体积内的

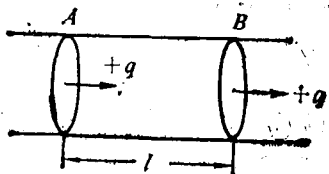


图 1-4

自由电子数目，一般金属每个原子大概只能提供一个自由电子左右。（从这个数字来看，所谓导体，其实其中也只有少数自由电子，原子中绝大部分电子仍是被原子核束缚住的，不能自由参加导电活动；不过话又得说回来，即使每个原子只“贡献”一个自由电子，那么以铜为例，单位体积内铜的原子数 $n = 8.47 \times 10^{28}$ 个/米³，仍是一个非常巨大的数目啊！*）所以一般取单位体积内可移动的电荷数时就近似地取单位体积内的原子数。

在电解液或气体中，运动的电荷不仅是负电荷。正、负电荷向着彼此相反的方向运动，因此在时间 t 内穿过任一截面的电量

$$Q = Q_+ + Q_-$$

因此，在电解液或气体中的电流强度

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{|Q_+| + |Q_-|}{t}$$

式中 Q_+ 、 Q_- 为通过截面正、负离子的总电量，虽然 Q_+ 和 Q_- 离子的电荷符号相反，但由于它们运动的方向相反，从而它们形成的电流的方向是一致的，所以 Q 总是 Q_+ 和 Q_-

* 铜的摩尔质量 $M = 63.5 \times 10^{-3}$ 千克/摩尔，密度 $\rho = 8.93 \times 10^3$ 千克/米³，可知铜的摩尔体积 $V = \frac{M}{\rho} = \frac{63.5 \times 10^{-3}}{8.93 \times 10^3}$ 米³/摩

尔 $= 7.11 \times 10^{-6}$ 米³/摩尔， $\therefore n = \frac{6.02 \times 10^{23}}{7.11 \times 10^{-6}}$ 个/米³ $= 8.47 \times 10^{28}$ 个/米³。

用其他方法测定，单位体积内铜的自由电子数约为 11×10^{28} 个/米³ 左右，即平均每个铜原子约出现 1.3 个自由电子。