

电学

上册

华中师范学院物理系
电学教研室编

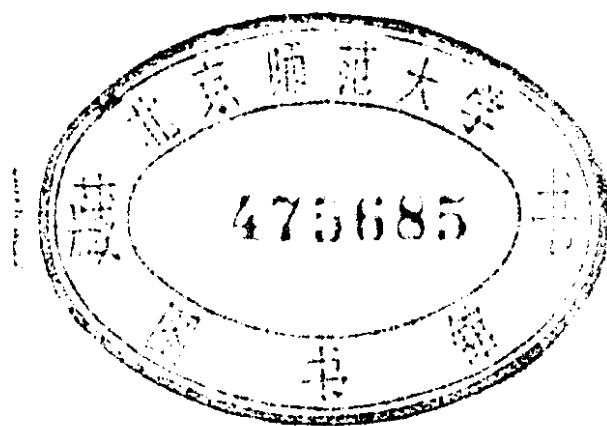
人民教育出版社

电 学

上 册

华中师范学院物理系
电学教研室编

041/60/05



人民教育出版社

1975年·北京

电 学

上 册

华中师范学院物理系电学教研室编

*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新华书店北京发行所发行

人 民 教 育 出 版 社 印 刷 厂 印 装

*

1975年7月第1版 1975年10月第1次印刷

书号 13012·015 定价 1.20 元

前 言

遵循毛主席关于“**教育要革命**”，“**教材要彻底改革**”的指示，在无产阶级文化大革命和批林批孔运动中，我们在批判刘少奇、林彪推行的反革命修正主义路线的同时，深入学科领域，对旧电学教材中的封、资、修教育思想进行了反复的批判。特别是最近通过对毛主席关于学习理论反修防修、安定团结和把国民经济搞上去的三项重要指示的学习，我们更加认识到旧教材是修正主义教育路线的产物，是为资产阶级的政治、经济服务的，是资产阶级统治学校的工具，必须加以彻底改革。

几年来，在党的一元化领导下，我们深入工厂、农村进行调查，向工农群众学习，同一些工人、革命技术人员实行三结合，编写了《电学》新教材。这套新教材编出后，先后在我系的两届工农兵学员中试用，在此基础上又进行了修改、充实和提高，尽量做到便于自学。

为了适应三大革命的需要和教育革命的要求，我们把旧大学中的三门课，即普通物理中的电磁学、电工学和电动力学的内容加以批判地吸收；并遵循“**实践、认识、再实践、再认识**”的认识规律，由浅入深地安排教材内容，尽可能把生产实际中的一些典型工艺和典型产品与电磁学的基本理论有机地结合在一起加以论述，贯彻理论与实践相统一的原则，使教材能为社会主义的经济基础服务。

在编写本教材时，我们努力运用毛主席的哲学思想作为指针，以通俗的语言揭示电磁现象的本质，电与磁的内在联系，以及两者

之间矛盾斗争的规律，以利于培养学员树立辩证唯物主义的世界观，提高他们分析问题和解决问题的能力。考虑到学校课程的特点，本教材注意了较广的知识面和适当的理论深度。对于近年来科学技术方面的新成就，书中也作了一些反映。

全书分上、中、下三册。上册的主要内容是直流电，静电场，磁场；中册的主要内容是电磁感应，交流电，变压器等；下册的主要内容是电动机，继电控制，发电机，可控硅应用，电磁波等。

由于我们对马列著作和毛主席著作学习得很不够，实践经验又极缺乏，教材中缺点错误一定不少，希望读者批评指正。

编 者

一九七五年六月

关于本书所用文字符号的说明

本书所用文字符号,除国际通用者例外,均根据 1964 年颁布的中华人民共和国国家标准 GB315-64《电工设备文字符号编制通则》所规定的原则,采用了我国汉语拼音字母。为了便于识别起见,凡是采用汉语拼音字母的下标符号,均以小写斜体字表示。兹将本书所用汉语拼音字母下标的意义列表说明如下:

符 号	意 义	符 号	意 义
B_b	饱和磁感应强度	R_c	标称电阻
B_s	剩余磁感应强度	R_f	分流(分压)电阻
E_b	标准电池的电动势	R_h	保护电阻
E_{jc}	击穿电场强度	R_t	可调电阻
H_{jw}	矫顽力	R_x	修正电阻
H_l	临界磁场强度	R_{yb}	右边电阻
I_b	饱和电流	R_z	中值电阻
I_d	短路电流	R_{zb}	左边电阻
I_f	分子电流	T_l	临界温度
I_l	临界电流	U_b	饱和电压
P_h	化学能功率(电池内部)	U_{bf}	报警电压
P_n	电源内部功率	U_{jc}	击穿电压
P_r	热能功率(电池内部)	U_n	耐压
P_{sc}	输出功率	W_n	电流在电源内部作的电功
P_{sr}	输入功率	W_w	电流在外电路作的电功
P_u	外电路功率	δ_b	饱和电流密度
R_b	标准电阻	δ_l	临界电流密度
R_{bl}	并联电阻		

目 录

前言	i
第一章 直流电与静电场	1
§ 1-1 电量 电源 电动势	1
(一) 电量	1
(二) 电流强度	4
(三) 电源	7
(四) 电动势	9
(五) 电源开路时的电动势	11
(六) 电位 电位差 电压	13
§ 1-2 欧姆定律 导体的电阻	17
(一) 欧姆定律	17
(二) 电阻率与电阻温度系数	21
(三) 电流的热效应 发热功率定律	24
(四) 电阻材料	26
实验一 电珠额定电流与额定功率的测量	30
(一) 电流表与电流测量线路	30
(二) 电压表与电压测量线路	33
(三) 万用电表电阻档的使用方法	35
(四) 小电珠额定电流与额定功率的测量	36
(五) 降压电路与分压电路	37
§ 1-3 电阻的串联与并联 分压与分流线路	39
(一) 电阻的串联	40
(二) 电阻的并联	41
(三) 分压与分流线路	44
(四) 电阻串、并联时功率的分配	47

实验二 用伏安法测量电阻	48
§ 1-4 万用电表的电流、电压档	52
(一) 微安表头改装为电流表	52
(二) 微安表头改装为电压表	54
(三) 万用电表的电流档	56
(四) 万用电表的电压档	59
(五) 电压档内阻对测量结果的影响	62
实验三 万用电表电流、电压档的设计与安装	64
§ 1-5 闭合电路的欧姆定律 万用电表的电阻档	69
(一) 闭合电路的欧姆定律	69
(二) 电源的端电压	72
(三) 蓄电池放电与充电时的功率	74
(四) 万用电表的电阻档	75
实验四 万用电表电阻档的设计与安装	80
§ 1-6 单电桥	83
(一) 单电桥线路	84
(二) 用单电桥测量电阻的方法	86
实验五 万用电表表头内阻的测量	89
实验六 万用电表电流、电压档的校准	91
§ 1-7 复杂电路的解法 电位差计	94
(一) 基尔霍夫定律	94
(二) 复杂电路解法举例	99
(三) 电位差计	102
实验七 用电位差计测量干电池的电动势及内阻	108
§ 1-8 双电桥	109
(一) 双电桥线路	109
(二) 用双电桥测量低电阻的方法	114
实验八 低电阻的测量	115
§ 1-9 静电场的场强	116
(一) 电荷之间的相互作用力	116

(二) 静电场的场强	117
(三) 电场强度的计算	121
(四) 电力线	129
(五) 高斯定理	131
§ 1-10 静电场的电位	139
(一) 电位及其与场强的关系	139
(二) 由电位求场强	144
(三) 等位面	147
§ 1-11 静电场中的导体	150
(一) 导体的静电平衡	150
(二) 导体上电荷的分布 尖端放电	152
(三) 静电感应	154
(四) 静电屏蔽	156
(五) 导体内部的电场与电流	158
§ 1-12 梯度与散度	162
(一) 电位与场强的关系 梯度	163
(二) 梯度的意义	164
(三) 高斯定理的微分形式 散度	169
(四) 散度的意义	172
(五) 微分形式高斯定理的应用	177
(六) ∇ 算符	180
附录 直角坐标系中矢量的方位角	181
§ 1-13 电容器	182
(一) 电容量	183
(二) 电容的计算	185
(三) 介质电容器 介电常数	188
(四) 电介质的绝缘强度 电容器的击穿	190
(五) 电容器的联结	192
(六) 电容器的充电与放电过程	195
(七) 电容器的能量	201
§ 1-14 电介质	203

(一) 电介质的极化	204
(二) 极化电荷	208
(三) 电介质内部的电场	212
(四) 有介质时的高斯定理 电位移矢量	213
(五) 电介质分界面上的边界条件	221
§ 1-15 电解液的导电性及其应用	224
(一) 电解液的导电性	224
(二) 电解定律	226
(三) F电池与蓄电池	232
§ 1-16 气体的导电性及其应用	239
(一) 气体的被激导电与自激导电	240
(二) 辉光放电及其应用	244
(三) 辉光放电在工业上的应用	246
(四) 弧光放电及其应用	249
(五) 日光灯	252
(六) 新型电光源	255
(七) 火花放电与电晕放电	257
§ 1-17 固体的几种电性质	258
(一) 金属中电子的逸出功	259
(二) 接触电位差	260
(三) 温差电动势与温差电偶的应用	262
(四) 热电子发射	266
(五) 压电效应及其应用	269
第二章 磁场	273
§ 2-1 基本磁现象	275
(一) 永磁铁	275
(二) 磁极与磁力线	275
(三) 磁极间的相互作用	278
(四) 电流周围的磁场	279
(五) 磁铁磁场与电流磁场的统一性	282
§ 2-2 磁场对电流的作用 磁感应强度	282

(一) 磁场对电流的作用力 磁感应强度	283
(二) 磁电动圈式电表的工作原理	289
§ 2-3 电荷在电场与磁场中的运动	292
(一) 电荷在电场与磁场中受力作用的基本规律	293
(二) 电荷受磁场力作用基本规律的应用	295
§ 2-4 电流磁场的环路定律与微分定律	310
(一) 电流磁场的环路定律	310
(二) 电流磁场的微分定律	317
(三) 电磁铁	321
§ 2-5 物质的磁性与磁路计算	327
(一) 物质的磁化	328
(二) 磁介质中电流磁场的环路定律 磁场强度 磁导率	330
(三) 磁化曲线	334
(四) 磁滞回线	336
(五) 强磁性材料	337
(六) 磁路计算	340
§ 2-6 超导电性及其应用	349
(一) 超导体的特性	351
(二) 超导电现象产生的原因	354
(三) 三种类型的超导体	357
(四) 超导电性的应用	362
第一章习题	367
第二章习题	374

第一章 直流电与静电场

§ 1-1 电量 电源 电动势

毛主席教导我们，要“从感性认识而能动地发展到理性认识，又从理性认识而能动地指导革命实践，改造主观世界和客观世界。”在这一节中，我们从经常见到的一些电现象入手，阐明有关电现象的基本概念。在往后的几节中，再结合生产实际中的几个典型实例，论述电路、电场的基本规律及其在生产实际中的应用。

(一) 电 量

日常生活中常见的电灯泡，里面有一段钨丝，如有电流通过，钨丝就会因灼热而发光。图 1-1-1 所示的电路，是由蓄电池 1、电灯泡 2、导线 3、开关 4 和电流表 5 组成。当合上开关使电路接通时，灯泡就会发光，说明钨丝里有电流通过。图 1-1-2 表示一杯

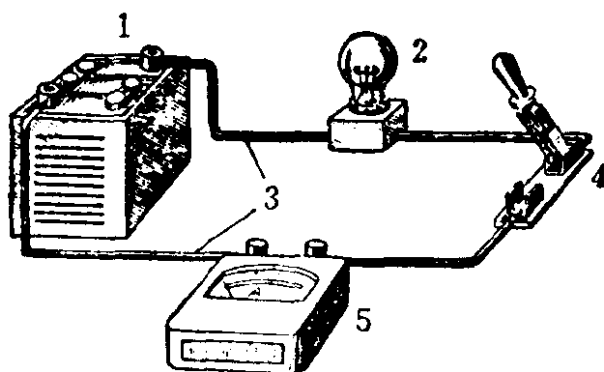


图 1-1-1

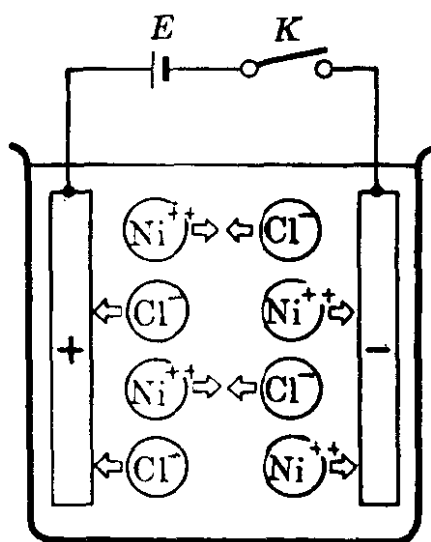


图 1-1-2

二氯化镍(NiCl_2)的水溶液, 里面插了两根金属棒, 接通电源 E 后, 二氯化镍水溶液中一根金属棒周围有氯的气泡冒出, 另一根金属棒上有镍淀积出来。这说明二氯化镍水溶液中有电流通过。

为什么钨丝和二氯化镍水溶液能够导电呢? 外因是变化的条件, 内因是变化的根据, 外因通过内因而起作用。下面, 我们先简单地介绍一下物质的原子结构, 从中说明钨丝和二氯化镍水溶液能够导电的内因。

原来, 一切宏观物体(固体、液体和气体)都是由原子和分子组成的, 而原子又是由电子和原子核所组成。例如, 最简单的原子——氢原子, 就是由一个带负电荷的电子和一个带正电荷的原子核组成, 如图 1-1-3 所示。电荷的多少称为电量。在氢原子中,

电子所带的电称为电子的电荷, 用

$-e$ 表示(负号表示电子带负电);

原子核所带的电称为原子核的电荷,

其电量与电子的电量相等, 但符号相反, 用 $+e$ 表示(正号表示原子核带正电)。

镍原子中共有二十八个电子, 它们的总电量为 $-28e$ 。这些

电子围绕镍原子核运动, 如图 1-1-4 所示。而镍原子核所带正电荷的

总电量正好是 $+28e$, 与它周围电子的总负电荷电量相等, 符号相反。

钨原子中原子核的总电量为 $+74e$,

相应地共有七十四电子在作绕核运动, 负电荷的总电量是 $-74e$ 。由于

原子核所带的正电荷, 与在其周围绕行的电子总的负电荷电量相等, 符号相反, 所以从外部看起

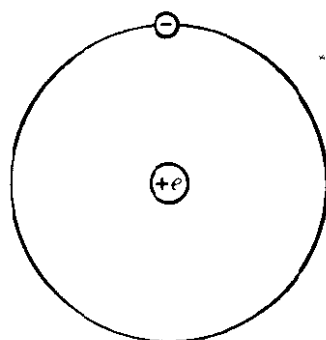


图 1-1-3

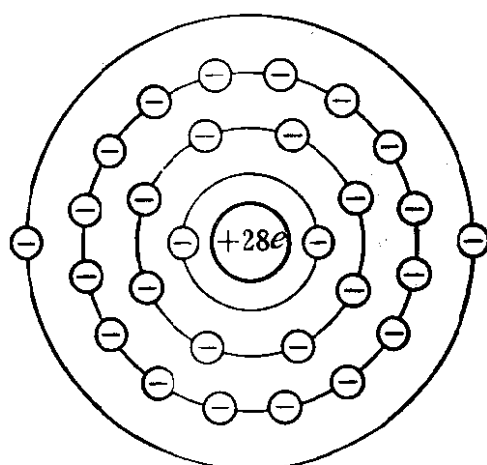


图 1-1-4

来, 整个原子既不显出阳电性, 也不显出阴电性, 我们说, 整个原子是电中性的。

但是, 任何原子内部都充满着阳电(即正电)和阴电(即负电)的矛盾。由于这两种电荷矛盾斗争的结果, 在一定的条件下, 就可以转化为电荷的运动, 形成电流。通常, 金属(如钨丝)原子中最外层的电子, 由于原子核对它的束缚力较小, 容易从原子中脱离出来, 而在金属内部自由运动, 这种电子称为自由电子。其余的电子则仍束缚于原来的原子核, 形成带正电性的整体, 叫做离子实, 它是构成金属晶格点阵的单元。由于金属中存在着大量的自由电子, 所以接上电源后, 自由电子在电源的作用下会形成定向运动。而电流就是大量的自由电子作定向运动的结果。当酸、硷、盐之类的化合物溶解在水里时, 它们就分解为带正电荷和带负电荷的微粒, 称为正、负离子。例如, 当二氯化镍溶于水中时, 就分解为带正电荷的镍离子 Ni^{++} 和带负电荷的氯离子 Cl^- 。镍离子 Ni^{++} 是由镍原子(图 1-1-4) 最外层失去两个电子而形成的, 因此它所带的电量为 $+2e$, 如图 1-1-5 所示; 氯离子 Cl^- 则是由氯原子最外层获得一个电子而形成的, 因此它所带的电量为 $-e$, 如图 1-1-6 所示。

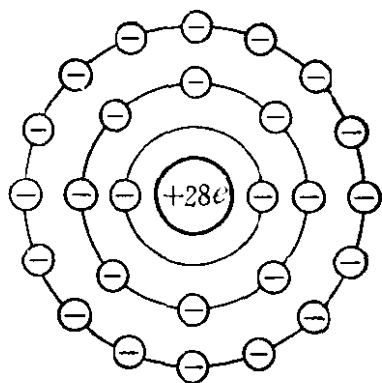


图 1-1-5

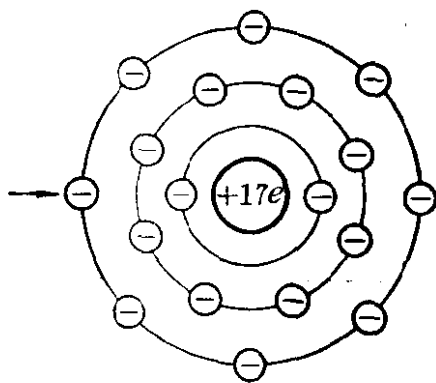


图 1-1-6

这样, 在二氯化镍水溶液中插入金属棒并接通电源以后(图 1-1-2), 带电的正、负离子就要向金属棒运动。负离子 Cl^- 流向接电源正极的金属棒(正极棒), 并把所获得的电子交给该金属棒而恢复

成氯原子；两个氯原子结合成氯分子，并以气泡形式沿着金属棒周围从溶液中冒出。正离子 Ni^{++} 则流向接电源负极的金属棒（负极棒），并从该金属棒获得两个电子而恢复成镍原子淀积在棒上。于是由电源、引线、金属棒和二氯化镍水溶液组成的整个回路中就有电流通过。所不同的是，二氯化镍水溶液中是带电的正、负离子在作定向运动，而金属棒和引线中，则是自由电子在作定向运动。

总之，不论是钨丝还是二氯化镍水溶液，它们之所以能导电，分析其内因，都是由于它们内部存在着能够自由运动的电荷（自由电子、正离子和负离子）。因此，接上电源后，在外因（电源）的作用下，自由电荷就作定向运动而形成电流。至于外因如何通过内因起作用而在电路中形成电流的问题，我们在后面还要详细论述。

前面曾经提到，电荷的多少称为电量，电量的符号用 q 或 Q 表示。在研究原子物理和原子核物理的时候，用一个电子所带的电荷作为电量的单位是很方便的，但是在电气工程中，用它作电量的单位嫌太小了，而用另一个远大于它的电量——库仑^①（简称库）作为电量的单位，两者的数量关系如下：

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ 个电子电荷 } e &= (1.60206 \pm 0.00003) \times 10^{-19} \text{ 库} \\ 1 \text{ 库仑} &= 6.24 \times 10^{18} \text{ 个电子电荷} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-1)$$

（二）电 流 强 度

通过前面的分析，我们知道，电流的实质是电荷的定向运动，

① 式(1-1-1)并不是库仑这一单位的定义，而是以库仑为单位实际测量电子电荷的结果。库仑的定义是从电流之间的电磁作用力而间接得到的。在第二章中将会看到，两根通电流的导线之间有相互作用力。人们规定电流的单位如下：在真空中平行放置两根细直导线，导线的轴间距离为2厘米，在两根导线中通以相同电流，如果因此而使导线每米长度上受到1达因的力，则此电流为1安培。而电量的单位库仑则如下定义：如果一根导线中有电流1安培，则每秒钟流过此导线任一截面的电量为1库仑。

它的强弱用电流强度 I 来表示。如果在 Δt 时间内通过电路某一横截面的电量为 Δq , 则该截面的电流强度为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1-2)$$

即: 电流强度等于单位时间通过电路横截面的电量。

电流强度的单位是安培(简称安), 用符号 A 表示。如果每秒钟通过电路截面的电荷为 1 库仑, 则电路中的电流强度是 1 安培。在有些情况下, 用安培作电流强度的单位嫌太大了, 就采用较小的单位, 即毫安 (mA) 或微安 (μA):

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ 毫安} &= \frac{1}{1000} \text{ 安} = 10^{-3} \text{ 安} \\ 1 \text{ 微安} &= \frac{1}{1000} \text{ 毫安} = 10^{-6} \text{ 安} \end{aligned} \right\} \quad (1-1-3)$$

通常我们把电流强度简称为电流, 例如电流强度等于 3 安就说电流为 3 安。

我们知道, 金属中的电流是带负电荷的电子作定向运动而形成的, 而溶液中电流的形成原因, 则既有带负电荷的负离子的定向运动, 也有带正电荷的正离子沿着相反方向的运动。由于历史上人们规定正电荷流动的方向为电流的方向, 而且一直沿用下来, 为了方便起见, 我们仍采用这一规定。尽管在很多情况下, 实际运动的是带负电荷的微粒(如金属中的电子), 但是, 这种运动总可以等效地看成为等量的正电荷沿着相反方向的运动, 因而我们就以这种等效正电荷运动的方向作为电流的方向, 并称为电流的正方向。电路中一般用箭头表示电流的正方向, 如图 1-1-7 所示。

常用的电流有两种: 一种是大小和方向不随时间而改变的电流, 称为直流电①(简称直流), 如干电池、蓄电池和直流发电机等供

① 还有一种方向不变, 但大小随时间而变化的电流, 称为脉动直流电。

给的就是直流电；另一种是大小和方向随时间而改变的电流，称为交流电（简称交流），如照明用电和动力用电都是交流电。在这一章中，我们只讨论直流电。关于交流电的问题，将在第三章中讨论。

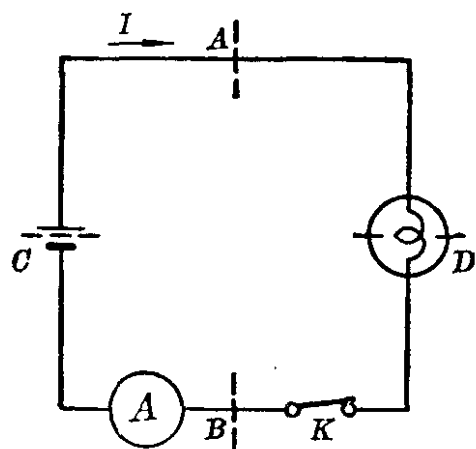


图 1-1-7

实践和理论表明，稳定的无分支直流电路中的任一点都有相同的电流强度 I 。我们看一下图 1-1-7，它是图 1-1-1 用符号表示的电路图，其中 A 、 B 是导线上的任意两点。如果通过这两点各作一横截面，则实验表明，这两个截面上的电流强度是相等的，都等于 I 。

为了证明上述结论，我们来考虑直流电路中任意两个横截面，如图中 A 、 D 处的截面。由于电荷既不能凭空产生，也不能凭空消灭^①，因此，通过 A 、 D 两截面的电流必然是相等的。如果这两个截面上的电流强度不相等，那么在这两个截面之间的 AD 一段电路中的电荷就会随时间变化。例如，如果流进这段电路中的电流大于流出的电流，那么在这段电路中，就会发生正电荷的不断积累（因为电荷不能凭空消失）。由于电荷具有同性相斥、异性相吸的特性，所以积累在这段电路中的电荷，会排斥再要流进来的电荷，使得这段电路的电流强度减弱下来，这样整个电路就不成其为稳定的直流电路了。因此，截面 D 的电流强度应该等于截面 A 的电流强度。同理，截面 B 、 C 的电流强度也应相同，且等于截面 A 、 D 的电流强度。可见，在稳定的无分支直流电路中，电流强度 I 处处相等，而且与导线的横截面积无关，这叫做电流连续性原理。

^① 这就是电荷守恒定律。它表明，电荷既不能凭空产生，也不能凭空消灭。正、负电荷的代数和保持不变。电荷守恒定律是最严格的自然规律之一。