

〔苏〕Л. Д. 朗道 А. И. 基泰戈罗茨基 著



大众物理学 3

电子

科学出版社

大众物理学 3

电 子

〔苏〕Л. Д. 朗道 А. И. 基泰戈罗茨基 著

杨基方 谢祥生 黄高年 译

科 学 出 版 社

1983

内 容 简 介

本书是《大众物理学》第三册《电子》，因朗道逝世，由基泰戈罗茨基一人执笔，原书于1979年第一次出版。

本书内容丰富充实、叙述深入浅出、插图生动。主要内容包括电流、磁学、电磁场及无线电知识等。可供具有中等文化程度的学生、干部、科技人员、中学教师阅读。

Л. Д. Ландау А. И. Китайгородский

Физика Для Всех 3

Электрон

《Наука》 Москва 1979

大众物理学 3

电 子

〔苏〕 Л. Д. 朗道 А. И. 基泰戈罗茨基 著

杨基方 谢祥生 黄高年 译

责任编辑 姜淑华

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1983年12月第 一 版 开本：787×1092 1/32

1983年12月第一次印刷 印张：6%

印数：0001—10,000 字数：142,000

统一书号：15031·2446

本社书号：3351·13—3

定 价：0.82 元

序 言

在《大众物理学》第一册中，读者熟悉了宏观物体的运动规则和相互引力。第二册讲述了物质的分子结构和分子运动。

在第三册中，我们将讨论物质的电结构、电力和电磁场。

随后的第四册，主要论述光子、原子核的结构和核力。

这四本书包含了物理学的基本概念和基本定律的主要内容。书中所叙述的具体实例都是经过选择的，其目的是使它们能够尽可能清晰地说明物理定律的内容，展示出物理学考察自然现象时所采用的典型方法，也说明物理学是如何发展起来的；最后概括地表明，物理学乃是一切自然科学和技术的基础。

就在一代人的时间里，物理学的面貌发生了很大改观。物理学的许多章节已经发展成了一些具有很大应用价值的独立分支。看来，今天一个人如果只了解一些物理学的皮毛是远远不够的。这套书应当成为“大众”物理学，在它的帮助下，不同职业的广大读者将能够建立起有关物理学原理的概念并了解最近几十年来，在物理科学方面出现了些什么样的新鲜事物。

当然，这套书籍想必会使教师们和希望献身于物理学的中学生感到很大兴趣。

我再一次提醒读者注意，现在你拿在手里的不是一本教科书，而是一本科普读物。教科书中的内容，在材料的分配

与取舍上，取决于材料的难易程度。而科普读物则不遵守这种规则，因而它的不同章节的难易程度是不一样的。另一个重要的区别在于，在这套书籍中对一系列传统的章节我们将只作简略的叙述，用压缩老材料的办法为新的内容腾出更多的篇幅。

现在讲一讲《电子》这本书。为了描述电现象，必须回忆一些基本概念的定义。为此我采用了较为独特的方式，以便形象地解释物理现象。

六章中有两章讲的是应用物理。电工技术叙述得比较简要。对这一科目进行详细的讲解要求使用大量图表和线路。因此我们觉得，仅限于叙述电工学的一些基本原理和人人都应当知道的一些重要事实是可取的。

关于无线电这一章的情况也相似。因这本书的篇幅有限，只能涉及问题的历史背景及对无线电基础的概略叙述。

А.И.基泰戈罗茨基

目 录

序 言	v
第一章 电 学	1
电 流	1
静电学	7
电场	9
以什么作基础	15
电学的发展史	18
第二章 物质的电结构	21
电量的最小份额	21
离子流	22
电子束	24
密立根的实验	26
原子模型	31
能量的量子化	33
门捷列夫周期律	35
分子的电结构	37
电介质	41
气体的导电性	50
自持放电	54
等离子态物质	58
金属	62
金属中电子的逸出	66
温差电子现象	67

半导体	69
p-n 结	74
第三章 电磁现象	78
磁场的度量	78
均匀磁场的作用	84
非均匀磁场的作用	88
安培电流	90
原子的电子云	93
粒子的磁矩	95
电磁感应	101
感应电流的方向	103
电磁感应定律的发现史	105
感应涡流	108
感应冲击	109
铁的磁化率	111
磁畴	114
抗磁性物质和顺磁性物质	116
地磁	117
恒星的磁场	121
第四章 电工技术概要	123
正弦电动势	123
变压器	131
发电机	133
电动机	138
第五章 电磁场	143
麦克斯韦定律	143
辐射的力学模型	149
电磁场的两重性	154

光电效应	157
赫兹实验	160
电磁辐射的分类	166
第六章 无线电	170
无线电发展简史	170
真空三极管和半导体三极管	177
无线电发送 (广播)	181
无线电接收	184
无线电波的传播	186
雷达	188
电视	191
微电子电路	194

第一章 电 学

电 流

电学可以（并且应当）是一种范例，通过它可以使对物理学有兴趣的读者了解研究自然现象的所谓表观方法。这在拉丁文里叫 *phainomenon*，是现象的意思。而这里所讲的方法，其含意如下。研究者并不关心“事物的性质”。他使用言语只是为了叙述事实。他的目的只是描述现象，而不是去“解释”它。他所引入的几乎全部术语，只有在可以指明用数字方式来评价这些或那些概念时，对他才是有意义的。

为了减少对事实的文字性叙述，他求助于某些辅助名称。但它们的作用完全是次要的；完全可以用别的一些名词，或者用“某物”、“该物”来代替它们。

表观方法对研究自然科学有着巨大的作用。而电学现象在帮助读者理解这种方法的实质方面是少有的合适范例。

在本章的末尾，将简要地描述事物发展的顺序。现在向大家介绍建立电学现象表观理论的某种理想的蓝图。

我们把查理·奥古斯坦·库仑（1736—1806），亚历山德鲁·伏特（1745—1827），吉奥尔克·西蒙·欧姆（1789—1854），安德烈·玛丽·安培（1775—1836），甘斯·赫里斯捷安·奥斯特（1777—1851），埃米尔·赫里斯捷安诺维奇·楞次（1804—1865）和其他几位著名学者的事迹都集中到一个虚构的角色身上，设想这是一位研究人员。我们假设他具有现代的科学思想，并善于用现代的术语来叙述一

切。现在就由这样一位研究人员来进行我们的叙述。

他首先仔细地研究了蓄电池，并从这儿开始着手建立电学的表观理论工作。他注意到，蓄电池有两个“极板”。当用双手触及它们时，他立刻就明白了，最好别这样做（被电打一下相当不舒服）。经过这一次尝试以后，他产生了一个想法：“看来有某种东西从我身上通过”。我们把这“某种东西”叫做电。

于是他小心翼翼地进行操作。他试着用各种导线、棍棒、绳子等将极板连接起来。他看到了下述事实：分别用这些物体将两个极板连接起来之后，其中有些物体发热得很厉害，有些仅稍微发热，有些物体则根本不发热。

这个研究者决定这样来叙述它：“当我用导线将两个极板连接起来时，导线中有电通过。我把这个现象叫做电流。实验表明，不同的物体发热的程度也不同。那些不发热的物体，看来‘导’电很差，或者对电流的流通有很大的阻力。可以把它们叫做绝缘体或者电介质。”

研究者开始用液体做实验。结果，他搞清楚了，不同液体的行为同样也是不一样的。他发现了一个很有意思的现象：将两个碳电极（与极板连接在一起的物体）放进一个盛有硫酸铜溶液的容器中以后，会有微红色的铜屑沉积在其中的一根碳棒上。

现在研究者深信，他所研究的现象与某种流动物质有关。显然，这就应当说明流动的方向问题。譬如说，我们商定，把沉积铜屑的那个电极用负号表示，而另一个用正号表示。因为把它们叫做“负的电极”和“正的电极”太噜嗦，我们就干脆给它们起个名字，分别称它们为阴极和阳极。电流从正流向负，也就是从阳极流向阴极。

上述发现的意义远远不止这些。已经确定，每秒钟内在

阴极上增加的铜屑质量是一定的。看来，铜原子自身携带有电的流体。因此，研究者引入两个新的术语作为常用语。首先，他假定，铜屑质量 M 正比于沿回路流通的电量 q ，即引入定义

$$q = kM,$$

这里 k ——比例系数。其次，他建议把回路中单位时间内流过的电量称为电流

$$I = q/\tau.$$

现在研究者已经有了不少的收获。他可以用两个可测量的量来表征电流：单位时间内一段电路上释放出来的热量 Q 和电量 q 。

他现在又有了新的可能性：比较由不同的电源产生的电流。他测量了电流 I ，又测量了能量 Q （同一段导体以热的形式释放出的能量）。用各种导体重复了这些实验以后，研究者弄明白了，热量与流过导体的电量之间的比值对不同的电源是不同的。需要为这个比值考虑一个适当的术语。最后选定了“电压”这个词。电压愈高，释放出的热量愈大。

难道不是吗？比如有一个人拉着满载货物的小车，他愈使劲拉车，他的肌肉也愈紧张^①，他就愈觉得热。这样的考虑就是选择这一名词的理由。就这样，象现今所通用的那样用字母 U 表示电压，我们得到

$$U = Q/q, \text{ 或者 } Q = UI\tau.$$

我们已经迈出了头几步。发现了两个现象，即电流通过某些液体时会析出物质；电流会释放出热量。测量热量，这个我们会。测量电量的方法已经给出，也就是这一概念的定义已经给定。此外，还给出了两个派生概念——电流和电压

① 俄语中“紧张”与“电压”均为“Напряжение”。——译者注

的定义。

上面写出了几个简单的式子。但是，请注意：这些式子并不能称为自然规律。例如，研究者是把比值 Q/q 称为电压，而不是发现了 Q/q 等于电压。

于是，他开始寻找自然规律。对于同一根导体可以独立地测量出两个量：电流和热量，或者电流和电压（原则上这是一样的）。

对电流与电压之间的依赖关系的研究导致了发现一个重要的定律。绝大部分导体都遵守下述定律

$$U = IR。$$

量 R 可以称作电阻，它完全符合早期定性观察的结果。读者一定很熟悉这个公式：这是欧姆定律。把欧姆定律表示式中的电流值代入前一个式子，我们得出

$$Q = \frac{U^2}{R} \tau。$$

导体以热的形式释出的能量还可以写成另一种形式

$$Q = I^2 R \tau。$$

从第一个式子可以得出，热量反比于电阻。当我们这么说的时侯，还应当补充一句：在电压保持不变的情况下，我们第一次使用“电阻”这一术语时，也正是这种情况。而第二个式子确认，热量正比于电阻，此时要求我们补充说明：在电流保持不变的情况下。

读者可以认出，上面所写的表达式就是焦耳-楞次定律。

知道了电压与电流之间的正比关系之后，就可以确定导体的电阻。研究者很自然地要提出这样的问题：电阻是个很重要的量，它的量值与导体的材料、形状和尺寸之间有什么关系？

实验结果得出了下述关系

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

式中 l ——导体的长度, S ——它的横截面积。只有当全段导线粗细均匀时这个很简单的表示式才成立。如果需要, 我们也可以写出任意形状导体电阻的表示式, 只是需要使用比较复杂一些的数学运算。但是系数 ρ 表示什么? 它表征的是导体材料的特性。这个量称为电阻率, 它的数值可以在很大范围内变化。对于不同的物质, 它们的 ρ 值可以相差几十亿倍。

我们再作一些形式上的变换, 因为这对将来有用处。欧姆定律可以写成下面的形式

$$I = \frac{US}{\rho l}.$$

常常会用到电流与导体截面积的比值。这个比值称为电流密度, 通常用符号 j 表示。现在欧姆定律可以改写成下列形式

$$j = \frac{1}{\rho} \frac{U}{l}.$$

研究者以为, 对他来说, 欧姆定律已经全弄明白了。有了导线(它们的电阻都是已知的), 他就可以抛弃用量热计来确定电压的笨办法了, 因为电压不就等于电流和电阻的乘积吗!

但是, 他很快发现, 上述论断须要进一步弄清楚。他使用了同一个电源, 并用不同电阻的导线连接电源的两极。当然, 这时通过每根导线的电流是不同的。但是他发现, 电流与电阻的乘积 IR 对于每根导线也都不一样。他开始研究这一暂时尚不理解的现象, 后来发现, 随着电阻的不断增大, 乘积 IR 趋向于某个常量。

把这个极限值用 $\mathcal{E}$ 表示。这样我们就得到一个公式，它与通过直接测量电流与电压的方法得出的公式不完全相同。新的公式有如下形式

$$\mathcal{E} = I(R + r)。$$

这是不是怪诞的矛盾？

须要仔细想一想。当然，矛盾仅仅是形式上的。因为我们用量热方法直接测量电压时，测量的仅仅是连接蓄电池导线的电压。事情很清楚，蓄电池本身也会释放热量（只要用手摸一摸蓄电池就足以相信这一点）。蓄电池也有电阻。新公式中 r 的含意是很明显的：它是电源的内阻。至于量 $\mathcal{E}$ ，则给它一个专门的名称，称之为电动势。

这两个公式都称为欧姆定律（在这里应该说，保留了历史的真实性）。只是第一个公式称为部分电路的欧姆定律，而第二个公式是包括电源在内的全电路欧姆定律。

看来，现在一切都清楚了。关于直流电流的定律都已经建立起来了。

但研究者总还觉得不满足。即使不用量热法直接测量电压，研究工作仍然很繁杂。每次都要称量沉积在阴极上的铜的质量。谁都知道，这样做极不方便。

有一天（这是一个非常美好的日子），完全出于偶然，研究者把一个磁针放在有电流流通的导线旁边。从而作出了一个真正伟大的发现：当有电流流过时，指针发生偏转，并且电流的方向不同，指针偏转的方向也不同。

确定作用于磁针上的力矩大小，是不难的。由于这一发现，使人们认识到仅仅需要确定力矩与电流大小之间的依赖关系，就可以制造出测量仪表。研究者解决了这个问题，并设计出了一些带指针的出色仪表，它们可以用来测量电流和电压。

以上我们所讲的，是研究者在十九世纪前半世纪内，在研究直流电流的规律方面所做的工作。如果我们不讲他发现了电流之间的相互作用——往同一个方向流动的两个电流相互吸引，而往相反方向流动的电流相互排斥——那末，我们的叙述将是不完全的。显然，这一现象也可以用来测量电流。

当然，关于电磁定律，我并不限于最后这几段文字，有单独的一整章是讲它的。但我必须在这里提一下这些重要的事实，为的是好完成本章的任务。这一章的目的就是交待清楚描述电现象的一些基本概念（电流、电荷和场），以及它们之间的定量关系和量度单位是如何引入的。

静 电 学

假设，我们这位想像中的研究者对于自古以来称之为电现象的各种情况都很熟悉。很早以前人们就研究过琥珀和用皮毛擦过的玻璃棒的一些特殊性能，研究过在两个处于“带电”状态的物体之间产生火花的现象（其实谈不上研究，只是利用它们来成功地演示电现象）。因此，当研究者开始着手研究电流时，他自然要提出一个问题：沿导体流动的东西，和可以静止不动地处于某个物体上（直到将它“放电”为止）的那种东西是不是都是同一个“某物”？

即使撇开那些先前已经知道的情况不谈，难道不应当给自己提出这样的问题：既然这个“某物”能象液体似地流动，难道不能将它“倒进一个杯子里”去吗？

如果研究者想得到这个问题的直接答案，那么他应当按下述方式行动。取一个有足够高电压的电源（暂时我们还没有讲到量度单位，因此关于什么算作高电压，什么算作大电

流等诸如此类的问题，读者仍须耐心等待下文的解释），将它的一个电极接地，而在另一个电极上放一个空心小球。空心小球用很薄的铝箔制成，并用一根丝线吊着。再取另一个同样的小球，也用丝线吊起来，并在电极上碰一下。

现在使这两个很小的球相互接近（譬如说，接近到使两球的中心相距2毫米）。研究者又惊又喜，他发现，两个小球居然互相排斥开了。知道了小球的质量，再根据吊小球的线所张开的角度，就可以计算出它们之间作用力的大小。

研究者查明了：如果两个小球都与蓄电池的同一个电极相接触而充电，那么它们将相互排斥。如果一个小球从一个电极获取电量，而第二个小球从另一个电极获取电量，那么它们将互相吸引。

这个实验证明，把电量看成液体似的是有道理的，并且表明，流动的电和静止的电都可以这样来理解。

因为研究者可以根据沉积在阴极上的铜屑质量来确定电量，所以有可能调查明白，“往杯子里倒入了多少液体”，也就是说，小球从蓄电池的电极上“拿走”了多少电量。

首先研究者确信以下事实。如果将带电的小球“接地”，也就是说，用导线将它与大地连接起来，则小球将失去电荷。其次，还证实了电荷可以沿导线“流走”，也就是说，沿导线可以有电流通过。最后，在导线接地前，让它先通过盛有电解质的仪器，从而有可能测量出在阴极上析出的铜的数量，即可以测出小球上含有的静止电量。

研究者把这个电量称为小球的电荷，至于这个电荷的符号是正还是负，则取决于电流体是从那一个电极上获取的。

现在可以开始下一轮实验了。大小不一的小球可以从不同的蓄电池上获取数量不等的电量。将这些球放在几种不同的相互间距上，可以测量出它们之间的相互作用力。研究者

得出了下述重要的自然定律

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

两个小球之间的相互作用力正比于它们电荷的乘积，反比于它们之间距离的平方。读者从上面所写的公式中可以认出，这就是库仑定律。当然，库仑定律的建立过程完全不象我们所叙述的那样。而我们的研究者，他也不是一个历史学家。

电 场

研究者知道有两种类型的力。一种力是在一个物体与另一物体直接接触时才发生的。拉力或推力就属于这种。至于远距离作用的力，到目前为止他只知道重力，或者说得更概括一点，他只知道万有引力。

现在，除了这种已经熟悉的万有引力以外，他知道还有一种远距离作用力：两个带电物体之间的库仑引力或斥力。它与万有引力很相似。甚至表示式也很类似。

地球作用于物体的重力并不给计算带来特别的不便之处。至于说到库仑力（也叫静电力），有时候会遇到这样的情况，即电荷可能是以很复杂的形式，有时甚至是不知道的形式，分布在空间的。

但是，在不知道这些电荷的分布情况时也可以绕过去。我们知道，这些电荷在远距离上也能彼此“感觉”得到。那么，为什么我们不能说电荷总是产生电场呢？可能有人会指出，这里的困难在于，我们看不见这个电场。但我想——研究者说——不应当把电场看成是简化计算的一种数学的虚构。如果有一个力作用于位于某一点的电荷，那么这意味着，（空间的）这个点处于一种特殊的状态。电场是个自然

• • •