

高等学校哲学专业试用教材

自然科学基础之三

# 物理学基础

下 册

胡仁芝 朱尔恭 编著

中国人民大学出版社

高等学校哲学专业试用教材

自然科学基础之三

# 物 理 学 基 础

下 册

胡仁芝 朱尔恭 编著

中國人民大學出版社

高等学校哲学专业试用教材

自然科学基础之三

**物理学基础**

下册

胡仁芝 朱尔恭 编著

中国人民大学出版社出版

(北京西郊海淀路39号)

中国人民大学出版社印刷厂印刷

(北京鼓楼西大街石桥胡同61号)

新华书店北京发行所发行

开本：850×1168毫米32开 印张：13

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

字数：321,000 册数：10,000

统一书号：13011·28 定价：2.85元

# 目 录

第三编 电磁学的基本原理 .....	(281)
前 言 .....	(281)
§ 1. 电磁学的研究对象和特点 .....	(281)
§ 2. 电磁学的发展概况 .....	(283)
第八章 静电场 .....	(290)
§ 8.1 电荷 电荷守恒定律 .....	(290)
§ 8.2 库仑定律 .....	(294)
§ 8.3 电场 电场强度 .....	(297)
§ 8.4 电力线 高斯定理 .....	(304)
§ 8.5 静电场的环路定律 电势 .....	(313)
§ 8.6 静电场中的导体 .....	(322)
§ 8.7 静电场中的电介质 电极化强度 .....	(326)
§ 8.8 电位移矢量 有介质时的高斯定理 .....	(332)
§ 8.9 电场的能量 .....	(335)
思考题和习题 .....	(337)
第九章 电流和磁场 .....	(340)
§ 9.1 电流的基本规律 .....	(340)
§ 9.2 电源 电动势 .....	(346)
§ 9.3 电流的磁场 .....	(350)
§ 9.4 磁场的基本规律 .....	(363)
§ 9.5 磁场对运动电荷及载流导线的作用 .....	(368)
§ 9.6 磁介质存在时静磁场的基本规律 .....	(375)
思考题和习题 .....	(380)
第十章 电磁感应 电磁场 .....	(385)

§ 10.1 电磁感应现象 .....	(385)
§ 10.2 电磁感应定律 .....	(388)
§ 10.3 感应电动势 .....	(391)
§ 10.4 互感和自感 磁场的能量 .....	(397)
§ 10.5 电磁场 .....	(405)
§ 10.6 电磁波 .....	(413)
思考题和习题 .....	(419)
<b>第十一章 光的波动性</b> .....	<b>(423)</b>
§ 11.1 历史上关于光的本性的争论 .....	(423)
§ 11.2 光的干涉 .....	(429)
§ 11.3 光的衍射 .....	(437)
§ 11.4 光的偏振现象 .....	(443)
思考题和习题 .....	(447)
<b>第四编 现代物理学的基础知识</b> .....	<b>(449)</b>
<b>前言</b> .....	<b>(449)</b>
§ 1. 经典物理学的完成和机械自然观的局限 .....	(449)
§ 2. 物理学的伟大革命和现代物理学发展的概况 .....	(452)
<b>第十二章 相对论——关于时间、空间和引力的理论</b> .....	<b>(456)</b>
§ 12.1 狭义相对论建立的背景 .....	(457)
§ 12.2 狭义相对论的基本原理和洛仑兹变换式 .....	(466)
§ 12.3 同时的相对性 .....	(471)
§ 12.4 钟慢和尺缩效应 .....	(476)
§ 12.5 狭义相对论的时空观 .....	(485)
§ 12.6 速度变换公式和物质运动的极限速率 .....	(492)
§ 12.7 狭义相对论的质量、动量和能量 .....	(495)
§ 12.8 广义相对论和时空弯曲 .....	(509)
思考题和习题 .....	(525)
<b>第十三章 早期量子论和光的波粒二象性</b> .....	<b>(528)</b>
§ 13.1 热辐射现象及其规律 .....	(528)
§ 13.2 普朗克的量子论——能量的不连续性理论 .....	(532)

§ 13.3	光电效应和光子说 光的波粒二象性 .....	(538)
§ 13.4	康普顿效应——光的粒子性又一证明 .....	(547)
§ 13.5	电子的发现 原子的核型结构 .....	(550)
§ 13.6	氢原子光谱 玻尔的氢原子模型 .....	(558)
	<b>思考题和习题</b> .....	(568)
<b>第十四章 量子力学的基本概念</b> .....		(571)
§ 14.1	实物粒子的波粒二象性 .....	(571)
§ 14.2	波函数及其统计解释 .....	(577)
§ 14.3	测不准关系式 .....	(580)
§ 14.4	薛定谔方程 .....	(584)
§ 14.5	薛定谔方程在几个简单问题中的应用 .....	(587)
§ 14.6	量子力学对氢原子的应用 .....	(595)
§ 14.7	多电子原子的结构 元素周期表 .....	(601)
§ 14.8	有关量子力学的几个哲学问题 .....	(609)
	<b>思考题和习题</b> .....	(616)
<b>第十五章 原子核结构和基本粒子</b> .....		(618)
§ 15.1	天然放射性现象 .....	(618)
§ 15.2	原子核的组成——质子和中子 同位素 .....	(624)
§ 15.3	核衰变的位移定则 放射性同位素在地质学、考古学中的应用 .....	(630)
§ 15.4	核力 原子核的结合能 .....	(634)
§ 15.5	宇宙线和研究基本粒子的实验工具 .....	(639)
§ 15.6	其他基本粒子发现的概况 .....	(643)
§ 15.7	基本粒子的性质、相互作用及其分类 .....	(653)
§ 15.8	对称性和守恒定律 .....	(660)
§ 15.9	基本粒子的结构问题 .....	(668)
	<b>思考题和习题</b> .....	(677)
附录 I 基本粒子(稳定和亚稳定粒子)表 .....		(680)
附录 II 常用物理学基本常数表 .....		(682)
习题答案 .....		(684)

## 第三编 电磁学的基本原理

---

### 前 言

#### §1. 电磁学的研究对象和特点

电磁运动是自然界中普遍存在的一种重要的运动形式。电能是目前我们应用得最为广泛的一种能源，它与人们的生产和生活有着极为密切的联系。前面讲过的弹性力、摩擦力、分子力等等的本质无一不是电磁的相互作用。正如恩格斯所指出的：“地球上几乎没有一种变化发生而不同时显示出电的现象”，“我们愈是精密地研究各种极不相同的自然过程，我们就愈多地发现电的踪迹。”<sup>①</sup> 电磁学就是研究电磁作用和电磁运动规律的科学。它研究的范围包括电场、磁场、以及电磁场的相互联系和运动变化的规律。它是电工学、无线电电子学等应用科学的理论基础。正、负电荷之间的吸引和排斥，电和磁之间的相互联系和转化，是电磁学研究的基本矛盾。

电磁学主要是在科学实验的基础上建立起来的。人们首先通过观察，发现了大自然广泛存在着的各种电现象，如天空的闪电、摩擦起电以及某些生物电（例如电鳗）现象，同时也发现了磁石吸铁、磁针指南等磁现象。以后又通过实验发现了各种电、

---

<sup>①</sup> 恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社1971年版，第95页。

磁现象的具体规律，再逐步认识了电和磁的相互联系，最后建立起统一的电磁场理论。电磁学理论的体系结构具体地反映了这种从个别、特殊到一般的认识过程，体现了历史的和逻辑的统一。

电磁学在刚诞生的时候并未与生产实践发生直接联系，主要是在一些科学家的实验室内发展起来的。在开始一个时期内，它的一些实验成果也并未直接应用于生产，仅仅被作为一些新奇现象展出供公众观赏。直到电磁感应定律总结出来，在此基础上制成了电动机和发电机之后，它才在生产中得到了广泛的应用。在生产需要的推动下，电磁学本身进一步得到发展、完善，形成了系统的理论。电气化是第二次技术革命的主要内容，并且成为社会革命的一种重要推动力量。这一事实说明，虽然从根本上说，科学来源于生产又服务于生产，然而科学理论、科学实验和生产实践的联系是辩证的、复杂的。

马克思主义奠基人十分关心和重视电磁学的发展。恩格斯在《自然辩证法》一书中，写了一篇很长的论文《电》，对十九世纪中叶电学发展的情况作了分析和概括，对电的以太说作出了公正的评价。他指出了电学发展的道路，应当研究“什么是电运动的真正物质基础，什么东西的运动引起电现象”<sup>①</sup>。他还在与马克思的通信中讨论了电能传送的度量问题。他们特别强调电磁学发展的社会意义。恩格斯指出：“电的利用将为我们开辟一条道路，使一切形式的能——热、机械运动、电、磁、光——互相转化，并在工业中加以利用。”<sup>②</sup> 高压送电刚刚发明的時候，他就给予了高度的评价，指出了它的革命意义。他说：“这一发现使工业几乎彻底摆脱地方条件所规定的一切界限，并且使极遥远的水力的利用成为可能，如果在最初它只是对城市有利，那末到最后它终将成为消除城乡对立的最强有力的杠杆。”<sup>③</sup> 当马克思获

① 恩格斯：《自然辩证法》，第101页。

②③ 《马克思恩格斯选集》第4卷，第436页。



悉在英国展出了一个牵引火车的电力机车的模型时，曾异常兴奋地威廉·李卜克内西说：“现在问题已经解决了，这件事的后果是不可估计的。经济革命之后一定要跟着政治革命，因为后者只是前者的表现而已。”<sup>①</sup>

## §2. 电磁学的发展概况

电磁运动是比机械运动远为复杂的一种物理运动形式。因此，电磁学的发展比经典力学晚。经典力学在十七世纪已臻成熟，而电磁学直到十九世纪才建立起自己的理论体系。然而，与对机械运动、热运动现象的认识一样，人们对电磁运动的认识同样具有悠久的历史。

在古代的东方和西方，人们都积累了一些关于电现象和磁现象，主要是静电和静磁方面的感性材料。公元前七世纪，古希腊的哲学家和科学家泰勒斯（公元前624—547）就记述了织工和牧羊人在用毛织物或毛皮摩擦琥珀后能够吸引毛发和草屑、木屑的现象。这实际上就是摩擦起电，因此后来西方人就把“电”叫做“琥珀”。泰勒斯并且记述了某种矿物（即磁铁矿）具有吸铁的能力。他把这种现象解释为磁石具有灵魂。我国春秋战国时代也有“慈石召铁”、“顿车拾芥”的记载。在春秋末期成书的《管子·地数篇》、战国时期的《鬼谷子》、战国末期的《韩非子》、《吕氏春秋》等著作中，都曾经记述了天然磁石及其吸铁现象。相传秦始皇在修筑阿房宫时曾用磁石砌门，以防刺客暗藏铁器进宫行刺，这可能是用磁性进行安全检查的最早尝试。当时还发明了最古老的指南器“司南”，以后进一步改进制成了指南针。宋

---

<sup>①</sup> 转引自保尔·拉法格、威廉·李卜克内西：《忆马克思恩格斯》，三联书店1963年版，第43页。

朝的沈括（1031—1095）曾记述了四种指南针的安放方法：水浮法、指甲法、碗唇法、丝悬法，他还曾讲到，用磁石磨针可使针磁化变为指南针。他还最早发现了地磁偏角：“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也。”<sup>①</sup>北宋时指南针已广泛应用于航海，公元1119年宋代朱彧在《萍洲可谈》中记载：

“舟师识地理，夜则观星，昼则观日，阴晦观指南针。”<sup>②</sup>我国指南针约于十二世纪末十三世纪初由海路传入阿拉伯，然后传入欧洲。指南针传入欧洲以后，促进了西方航海贸易的扩大和新大陆的发现，刺激了资本主义工商业的发展。马克思曾经指出：指南针等的发明“是资产阶级发展的必要前提”<sup>③</sup>。

西方对电磁学的研究在中世纪停滞不前，在文艺复兴之后才重新活跃起来。英国伊丽莎白女王的御医吉尔伯特（1540—1603），对静电和静磁现象进行了大量的实验研究，发现许多物质例如玻璃、宝石、硫黄等与琥珀一样，经过摩擦之后也可以吸引轻的物体。他是最早正式使用“电力”、“电吸引”、“磁极”等名词的人。他第一个发现地球是一个大的磁石，从而很容易地解释了磁针为什么会指向北方。在他1600年出版的《论磁》一书中集中记录了他对磁学研究的成果。可以说，吉尔伯特与伽利略一样，也是科学实验的先驱者之一。

到了十八世纪，人们制造了起电机、蓄电池、金箔验电器和扭秤，才有可能对静电现象进行定量的实验研究。德国的盖利克（1602—1686）大约在1660年制造了第一架摩擦起电机，以后逐步改进为起电盘和感应起电机。蓄电池是由在荷兰莱顿大学工作的几位科学家于1745年发明的，所以叫做莱顿瓶。它是今天各种电容器的前身。验电器最早是在1705年制成的，最初是用两根麦

① 《新校正梦溪笔谈》卷二十四，中华书局1957年版，第240页。

② 参看戴念祖：《中国物理学史略》，《物理》杂志1981年第12期。

③ 《马克思恩格斯全集》第30卷，第318页。

秸并排悬挂在一根金属棒下端，当金属棒带电时，从麦秸分开角度的大小来测定电荷的多少。后来用金箔代替麦秸，使得实验更为精确。1777年，法国的库仑（1736—1806）在研究头发与电线的扭转弹性时制成了扭秤。这样，静电荷的产生、贮存、测量都有了新的仪器，为研究静电现象的规律创造了实验手段。1785年，库仑用扭秤测定了两个带电球之间的作用力，他与牛顿万有引力定律进行类比，建立了著名的库仑定律。后来他又把这一定律推广到磁学之中，使之成为电磁学中第一个定量的规律。库仑定律的发现，标志着电学真正进入了科学的行列。

在认识了大量静电现象以后，人们开始进一步探索电的本质，出现了各种假说。由于受当时机械论的影响，人们在发现一种新的运动形式时往往用一种特殊的物质来加以解释。对于电运动也是如此。法国的杜菲（1698—1739）在1733年到1737年发表的论文中，将电分为“玻璃电”和“琥珀电”两种，第一次提出了电的两种流体说。对于这种假说，恩格斯曾作过这样的描述：

“大家知道，电和磁象热和光一样，最初是被看作特殊的、没有重量的物质的。一提到电，大家知道，人们立刻就会想到两种相反的物质、两种‘流体’，一种是阳性的，一种是阴性的，这两者在正常的状态下互相中和，直到它们被所谓‘电的分离力’分开为止。”<sup>①</sup>美国的富兰克林（1706—1790）则认为只有一种电的流体，它以确定的常量包括在物体中，物体在正常的状态下呈中性。通过摩擦，一种物体失去了一部分电流体，它就带负电；另一种物体得到了一部分电流体，它就带正电。他认为电并不因用丝绸摩擦玻璃棒而被创造出来，只是通过摩擦从丝绸转移到玻璃棒上，丝绸失去的电荷与玻璃棒获得的电荷是相等的。这样，他首次提出了正、负电的概念和电荷守恒的思想。1752年，他还作了

<sup>①</sup> 恩格斯：《自然辩证法》，第98页。

著名的风筝实验，利用风筝把天空中的雷电引入莱顿瓶中，证明天上的电和地上的电具有同样的性质，从而把二者统一起来，从科学上破除了雷电是“上帝之火”、“神的愤怒”之类的迷信。他还在此基础上提出了制造避雷针的设想。后人歌颂这位伟大的科学家和革命家，说他“夺下了天空的闪电和暴君手中的剑”。除了认为电是一种特殊的物质的观点，还出现了另一种观点：“电只是物体的一种状态、一种‘力’”，“是运动的一种特殊形式”<sup>①</sup>。坚持这种观点的代表人物是法拉第。当电和热、机械等运动形式相互转化的规律和当量发现以后，这种观点得到了一定的实验证明，但是它也未说明是什么东西的运动引起了电现象。关于电的一种流体说和两种流体说以及与电是一种“力”之间的争论，直到十九世纪末、二十世纪初发现了电子、质子等基本的荷电体和弄清了电磁场的本质之后才得到解决。

人们的认识往往是从静止到运动。对电的认识也是从静电到动电。1780年，意大利生理学家伽伐尼（1737—1798）在作解剖青蛙的实验时，发现用解剖刀的金属尖端接触挂在铁杆上的蛙腿神经时，引起蛙腿剧烈的痉挛。通过反复试验，他认为这是与电鳗引起电击相类似的现象，因而提出了“动物电”的概念。他的同国人伏打（1745—1827）经过长期研究，不同意“动物电”的说法，他认为这是两种不同金属相互接触而产生电的结果，是一种“金属电”。1800年，他把铜片和锡片相接触并浸入盐的溶液中，然后将30、40或60片叠在一起，就产生了持续而稳定的电流，这就是著名的伏打电堆。伏打电堆的发明，使人的认识由静电进入了动电，由瞬间电流发展到恒定电流，为进一步研究电流运动的规律和电运动与其他运动形式的联系和转化创造了物质条件，导致了十九世纪电磁学的大发展。

---

<sup>①</sup> 恩格斯：《自然辩证法》，第99页。

188 十九世纪初，人们已经发现了电流的化学效应和电流的热效应，于是很自然地提出这样的问题：电流能否产生磁效应呢？丹麦哥本哈根大学自然哲学教授奥斯特研究了这个问题。奥斯特受德国古典哲学，主要是康德和谢林的影响很深，深信各种自然力的同一。他早在1803年就说过，我们的物理学将不再是关于运动、热、空气、光、电、磁以及我们所知道的任何其他现象的零散的汇总，而我们将把整个宇宙容纳在一个体系中。在这种哲学思想的指导下，他经过长期的实验，终于在1820年4月在一次课堂演示实验中首次观察到电流使沿电流方向放置的磁针偏转 $90^\circ$ ，发现了电流的磁效应。以后他又作了多种条件下的实验，前后共作了60多个，于7月正式发表了他的研究成果，在科学界引起轰动，开辟了电磁学发展史中的一个新纪元。

电和磁历来是作为两种独立的自然现象被分别加以研究的。早在十七世纪八十年代，库仑就认为，电和磁的作用规律虽然在数学形式上极为相似，但物理本质完全不同，它们之间没有联系，更不可能相互转化。奥斯特的发现开始将电和磁联系起来，给这种传统的观念以极大冲击。法国的安培（1775—1836）在得知这一发现之后，立即在这个方向上继续工作。他不仅重复了电流对磁针作用的实验，并进一步讨论了电流之间的相互作用，作出了两个电流方向相同时相互吸引，方向相反时相互排斥的结论，并在不久得出了电流元相互作用的安培定律。1821年，为了解释物体的磁性，他还提出了分子电流的假说。德国的欧姆（1787—1854）在另一个方向上进行了研究，于1827年总结出导线中电流运动的规律，即著名的欧姆定律。

自然界是辩证发展的。电可以转化为磁，磁是否也可以转化为电呢？安培、法拉第等人都在思考这个问题。1822年，法拉第在实验日记中就给自己提出了研究“转磁为电”的任务。经过近十年艰苦不懈的努力，到1831年，他终于从实验中发现变化的磁

场可以在导体中产生感应电流，从而发现了电磁感应现象。1851年，他正式建立了法拉第电磁感应定律。法拉第进一步揭示了电和磁的辩证关系，为发电机、电动机的发明制造奠定了理论基础。法拉第还提出了“力线”和场的概念，用近距作用说代替了超距作用说。他还作了大量实验，试图发现电力和重力之间的关系，结果虽然失败了，但法拉第仍然认为：“它们并没有动摇我的坚强信念，即重力和电力之间一定是有关系的，尽管它们未能证明这一关系的存在。”<sup>①</sup> 法拉第相信电磁力和引力的统一，为后来爱因斯坦研究“统一场论”开创了先河。这些事实表明，在法拉第的科学思想中，唯物论和辩证法的观点占有重要的地位。

十九世纪六十年代，英国的麦克斯韦系统地总结了前人的电磁学理论，同时作了从静场到变化场、从缓慢变化到迅速变化的假设性推广之后，建立了一组电磁场的基本理论方程——麦克斯韦方程组。麦克斯韦方程在电磁学中的地位与牛顿运动定律和万有引力定律在经典力学中的地位相当。麦克斯韦提出了位移电流的概念，认为不仅传导电流产生磁场，空间电场的变化也会产生磁场；反之，变化的磁场不仅能在导体中感生电流，在空间中也产生电场。这样就得到了变化的电场产生磁场，变化的磁场产生电场的结论。电场磁场的相互转化就产生电磁波。他还证明，光也是一种电磁波，从而把电、磁、光等过去认为互不联系的现象统一起来，实现了经典物理学的第三次大的综合。

1886—1888年，德国的赫兹（1857—1894）通过一系列实验，证明了麦克斯韦理论预言的电磁波的存在，并发现电磁波的传播速度等于光速，电磁波具有光的反射、折射、衍射、偏振等一系列特性，进一步证明了光的电磁理论。赫兹的实验为后来无

---

<sup>①</sup> 引自伽莫夫：《物理学发展史》，商务印书馆1981年版，第143页。

线电、雷达等的发明奠定了基础。

人们在认识了电磁运动的基本规律之后，进一步开展了对电磁运动的物质承担者的研究，力图弄清楚在导体中是什么东西的运动引起了电现象，从而把电磁运动与物质的结构联系起来。1892年，荷兰的洛仑兹（1853—1928）在麦克斯韦理论的基础上，建立了经典的电子论。二十世纪以后，在相对论和量子力学的基础上，经典电动力学又逐步发展成为量子电动力学。量子电动力学的理论计算与实验结果达到惊人的一致，是物理学最好的理论之一。当前，量子电动力学也还在不断地发展、完善，人们对电磁运动的认识永远没有完结。

## 第八章 静 电 场

人类对客观事物的认识是一个从简单到复杂、由静止到运动的发展过程。为了逐步把握电磁运动的规律，我们先讨论电磁运动中最简单的情况——在真空中电荷相对观察者是静止的情况。本章主要讨论真空中静止电荷的相互作用规律以及静止电荷周围激发的静电场的基本性质和描述静电场的两个物理量——电场强度和电势。本章内容在理论体系和研究方法上突出体现了电磁学的特点，因此是我们学习的重点。

在本章中对静电场基本性质的分析，还有助于我们了解场是物质存在的另一种形式，为进一步理解场的物质性打下基础。

### §8.1 电荷 电荷守恒定律

#### 1. 电荷

把两个不同质料的物体，例如丝绸和玻璃棒或者毛皮和塑料棒互相摩擦后，它们就能够吸引羽毛、纸片等轻微物体。我们说这时它们已处于带电状态中，即各自带了电或电荷。处于这种带电状态中的物体称为带电体。使物体带电叫做起电。用摩擦方法使物体带电叫做摩擦起电。

大量实验表明，自然界中的电荷只有两种：凡具有与丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电荷性质相同的叫正电荷；另一种与毛皮摩擦过的火漆棒所带的电荷性质相同的叫负电荷。带同号电荷的物体互相排斥，带异号电荷的物体互相吸引，这说明同种电荷间有



斥力，异种电荷间有引力。当等量异号电荷在一起时，它们的效应互相抵消，对外不再显示电性，这叫做中和。

电荷的正、负是相对的，把两种电荷中的哪一种叫做“正”，哪一种叫做“负”，带有一定的任意性。正如恩格斯所说：“正和负可以看作彼此相等的东西——不管把哪方面当作正，把哪方面当作负，都是一样的，不仅在解析几何中是如此，在物理学中更是如此。”<sup>①</sup>前边讲过，正、负电荷的命名在历史上首先是由富兰克林提出来的，国际上一直沿用到今天。

利用同性电荷相斥的现象可以制成验电器（图 8-1），它是检验物体是否带电的最简单仪器。验电器的主要部分是一根上端带有金属小球的金属棒，棒的下端悬挂着两片金属箔片。当带电体与金属小球接触时，金属箔便得到同种电荷，因相互排斥而张开。所带电荷越多，张角越大。电荷数量的多少叫做电量。



图 8-1

从验电器的实验看出，电荷可以从金属棒的一端移到另一端。但并非所有的物体都能允许电荷通过。允许电荷通过的物体叫导体；不允许电荷通过的物体叫绝缘体，也叫电介质。干燥的玻璃、橡胶、塑料、陶瓷等是良好的绝缘体。而金属、石墨和酸、碱、盐的水溶液（统称电解液）则是良好的导体。人体、墙壁和地球也是导体，但导电性不如金属。干燥且未被电离的气体是绝缘体，但被电离的气体却是导体。此外，还有一种导电性介于导体与绝缘体之间而且导电性质非常特殊的材料（例如锗和硅），叫做半导体。

应当指出，这种分类不是绝对的，导体和绝缘体之间并没有

<sup>①</sup> 恩格斯：《自然辩证法》，第194页。