

# 大学物理 (下册)

## DAXUE WULI

主 编 刘 博 赵德林

副主编 王祖松 张成义 张雅男



科学出版社

# 大学物理

(下册)

主 编 刘 博 赵德林

副主编 王祖松 张成义 张雅男

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书依照教育部大学物理课程教学指导委员会的基本要求编写, 全书分上、下两册, 涵盖了大学物理课程的各知识点, 并包含7个“气象物语”专栏。下册内容包括真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、电流和恒定磁场、电磁感应和电磁场、几何光学简介、光的干涉、光的衍射、光的偏振及吸收、波与粒子、量子力学基础和3个专栏(大气电荷和大气电流、大气静电场、大气散射现象与基本理论简介)。本书不仅可以让学生学习物理学的基本原理和方法, 而且通过将物理学基本原理与大气科学结合, 加深学生对物理学原理在大气科学中应用的认识。

本书可作为高等学校理工科非物理类本科专业的教材, 也可供其他相关专业选用, 并可供中学教师进修或其他读者自学使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理. 下册/刘博, 赵德林主编. —北京: 科学出版社, 2019.1  
ISBN 978-7-03-060264-0

I. ①大… II. ①刘… ②赵… III. ①物理学-高等学校-教材. IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018) 第 291640 号

责任编辑: 王腾飞 曾佳佳 / 责任校对: 彭 涛  
责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 许 瑞

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号  
邮政编码: 100717  
<http://www.sciencep.com>

**天津文林印务有限公司** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2019年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张: 19

字数: 448 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 前 言

大学物理课程是高等学校非物理类理工科专业学生必修的一门重要基础课程。本教材立足系统化夯实本科生的物理基础,全面提升学生的现代化科学素质,加强大学物理知识在大气科学领域和其他工程技术领域中的应用。

教材翔实系统地阐述物质的基本结构、基本运动形式及相互作用的科学规律;充分结合各类物理规律的发现过程、物理模型的构建、严密的理论推导、开创性的科学预言与实验验证、近代物理与经典物理的冲击与发展等的翔实介绍,训练学生的科学思维方法与科学实验验证的理念,逐步培养学生现代科学的自然观、宇宙观和辩证唯物主义的世界观,提升学生解决各类物理问题的能力和创新技能;“气象物语”专栏有机融入相关气象元素,物理原理在大气科学中的应用和实现,这些内容包含大气动力学、流体力学、大气热力学、大气电磁学、大气光学、大气辐射等知识,充分体现大学物理在气象学领域的基础地位和应用,使本书具有鲜明的气象特色。本书不仅让学生学习物理学的基本原理,还能让学生了解物理学与大气科学知识的融合,进一步加深对物理学的认识。

依据教育部最新颁布的《理工科类大学物理课程教学基本要求》,教材内容涵盖力学、振动与波动、热学、电磁学、光学和近代物理六大体系。结合教学需求,全书分为上、下两册,上册内容包括质点运动学、质点动力学、运动的守恒量和守恒定律、刚体力学、机械振动、波动、狭义相对论、气体动理论和热力学基础;下册内容包括真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、电流和恒定磁场、电磁感应和电磁场、几何光学简介、光的干涉、光的衍射、光的偏振及吸收、波与粒子、量子力学基础。习题设计合理,学生通过习题训练,加强重要知识点的巩固学习,达成课程的学习目标。

教材编写特色主要体现在:夯实基础、突出重点、融入气象、强化应用。

(1) 在经典力学部分,结合质点运动的描述方法,将大气微团抽象为理想化的空气质点模型,大气的运动就是所有空气质点运动的集体表现。各空气质点的速度矢量分布及随时间的变化规律实质就是大气风场随时间的变化规律,简要描述大气运动的拉格朗日法和欧拉法;大气动力学问题的研究几乎都是基于转动的地球参考系进行分析的,这与牛顿运动定律只适用于惯性参考系不一致,所以在质点动力学这一章,有针对性地加强对转动非惯性参考系的介绍,不仅分析惯性离心力对重力或重力加速度的影响,而且定性研究科里奥利力对大气运动的效应。例如,北半球的气旋及信风的成因,并详细给出转动非惯性参考系质点运动的动力学方程。

(2) 空气状态的变化和大气中所进行的各种热力学过程都遵循热力学的一般规律,所以在教材的热力学基础部分,首先从能量的观点出发,详细地分析热力学变化过程中有关热功转化的关系和条件,将能量转化和守恒定律应用于热力学过程得出热力学第一定律,并具体分析热力学系统的等体、等压、等温、绝热过程及循环过程;为了科学准确地理解热力学自发过程进行的方向性,介绍热力学第二定律,引入系统的状态函数:熵,并利用熵增原理解

释热力学第二定律的统计意义。

(3) 静电场、稳恒磁场、电磁感应与电磁场理论既是大学物理的重要组成部分，又是大气电磁学重要的理论基础。晴天低层大气电场就是静电场，大学物理中阐述的静电场的各种性质及分析方法完全适用于大气电场。所以在静电场章节部分：一方面系统介绍静电场的知识体系，另一方面还适当增加大气电场、大气离子、大气电导率、大气电流的知识的讲述，拓展学生对大气电学的了解和认识，并强化静电学的实际应用。巨大、迅变的雷电流的泄放，必将在其周围激发强变的感应电磁场，即雷击电磁脉冲，二次雷击的原理与电磁感应规律及麦克斯韦电磁场理论紧密联系，故本教材较全面地介绍稳恒磁场及性质，强化电场与磁场的相互关系及其在气象领域的应用分析。

(4) 光学部分，在简单介绍几何光学的基础上，着力专注于光的本性，重点讨论光的干涉、衍射、偏振、吸收、色散现象。并结合光学理论简单介绍光与大气的相互作用产生的多种大气光学现象，如雾、霾、海市蜃楼、暮曙光等。

本书由刘博、赵德林任主编，王祖松、詹煜、陈玉林、张成义、张雅男任副主编。此次编写工作过程，还得到了徐飞、李庆芳、雷勇、丁留贯、孙婷婷、刘战辉、蒋晓龙等老师的帮助和指导，在此表示衷心感谢。在本书编写过程中还借鉴了部分优秀教材和相关文献，特在此一并表示感谢。

本书受到下列课题的资助：

南京信息工程大学大学物理教材建设项目，项目号：1214071801010

南京信息工程大学教改课题项目，项目号：1214071701028

本书的编写出版还得到了科学出版社王腾飞等编辑的帮助，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不妥之处，敬请读者和同行专家批评指正。

刘 博 赵德林

2018年8月8日

# 目 录

前言

## 第 5 部分 电磁学

第 10 章 真空中的静电场	3
10.1 电荷和库仑定律	4
10.1.1 电荷 电荷守恒定律	4
10.1.2 库仑定律	6
10.1.3 静电力叠加原理	7
10.2 电场和电场强度	7
10.2.1 电场和电场强度	7
10.2.2 电场强度的计算	8
10.2.3 电偶极子	9
10.3 静电场线及电通量	13
10.3.1 电场线	13
10.3.2 电通量	14
10.4 静电场的高斯定理	17
10.4.1 高斯定理	17
10.4.2 高斯定理的应用	20
10.5 静电场的环路定理和电势能	23
10.5.1 静电场力做的功	23
10.5.2 静电场环路定理	24
10.5.3 电势能	25
10.6 电势	26
10.6.1 电势	26
10.6.2 电势的计算	27
10.7 电场强度与电势梯度	31
10.7.1 等势面	31
10.7.2 电场强度与电势梯度	32
习题	35
气象物语 E 大气电荷 大气电流	38
E.1 大气电荷	38
E.2 晴天大气电流	39
第 11 章 静电场中的导体和电介质	41
11.1 静电场中的导体	41



11.1.1	导体的静电平衡	41
11.1.2	静电平衡时导体上的电荷分布	42
11.1.3	空腔导体	44
11.1.4	静电屏蔽	45
11.2	电容 电容器	47
11.2.1	孤立导体的电容	47
11.2.2	电容器	48
11.2.3	几种常见电容器电容的计算	49
11.2.4	电容器的串、并联	51
11.3	静电场中的电介质	52
11.3.1	电介质对电容器电容的影响	52
11.3.2	电介质的电极化	53
11.3.3	极化强度	55
11.3.4	极化电荷与自由电荷的关系	56
11.4	有电介质时的高斯定理	57
11.5	静电场的能量	60
11.5.1	带电电容器中的能量	60
11.5.2	静电场的能量 能量密度	61
	习题	63
	气象物语 F 大气静电场	67
F.1	大气静电场	67
F.2	大气静电场的测量	69
<b>第 12 章</b>	<b>电流和恒定磁场</b>	<b>71</b>
12.1	恒定电流条件和导电规律	71
12.1.1	电流强度和电流密度	71
12.1.2	电流连续性方程 恒定电流	73
12.1.3	恒定电场的建立	74
12.1.4	欧姆定律的微分形式	75
12.1.5	电功率和焦耳定律	76
12.2	磁场 磁感应强度	77
12.2.1	基本磁现象	77
12.2.2	磁感应强度	78
12.2.3	磁感应线	79
12.3	毕奥-萨伐尔定律与应用	80
12.3.1	毕奥-萨伐尔定律	80
12.3.2	毕奥-萨伐尔定律的应用	81
12.4	磁场的高斯定理 安培环路定理	84
12.4.1	磁通量	84

12.4.2	磁场的高斯定理	85
12.4.3	安培环路定理	86
12.4.4	安培环路定理的应用	87
12.5	磁场对运动电荷的作用	89
12.5.1	带电粒子在磁场中的运动	89
12.5.2	霍尔效应	92
12.6	磁场对载流导线的作用	93
12.6.1	安培力	93
12.6.2	两平行载流长直导线的相互作用	95
12.6.3	磁场对载流线圈的作用	95
12.7	磁介质的磁化	97
12.7.1	顺磁性和抗磁性	97
12.7.2	原子中电子的磁矩	97
12.7.3	磁化强度和磁化电流	98
12.7.4	磁介质中的磁场	100
	习题	102
<b>第 13 章</b>	<b>电磁感应 电磁场</b>	<b>108</b>
13.1	电磁感应的基本定律	108
13.1.1	电磁感应现象	108
13.1.2	法拉第电磁感应定律	109
13.1.3	楞次定律	110
13.2	动生电动势	113
13.2.1	动生电动势	113
13.2.2	洛伦兹力传递能量	114
13.3	感生电动势 感生电场	116
13.3.1	感生电场	116
13.3.2	感生电动势	117
13.3.3	涡电流	118
13.4	自感与互感	119
13.4.1	自感	119
13.4.2	互感	121
13.5	磁场的能量 磁场能量密度	123
13.5.1	自感磁能	123
13.5.2	磁场的能量 磁场能量密度	124
13.6	位移电流 电磁场理论	125
13.6.1	位移电流	126
13.6.2	全电流安培环路定理	127
13.6.3	麦克斯韦方程组	128



习题 .....	129
----------	-----

## 第 6 部分 光学

<b>第 14 章 几何光学简介</b> .....	139
14.1 几何光学的基本定律 .....	140
14.1.1 光波和光线 .....	140
14.1.2 基本定律 .....	141
14.2 光在平面上的反射和折射成像 .....	144
14.2.1 平面反射成像 .....	144
14.2.2 平面折射成像 .....	144
14.3 光在球面上的反射和折射成像 .....	145
14.3.1 球面镜反射成像 .....	145
14.3.2 球面折射成像 .....	147
14.4 薄透镜成像 .....	149
14.4.1 傍轴光线薄透镜成像公式 .....	149
14.4.2 横向放大率 .....	150
14.4.3 焦点和焦距 .....	151
14.4.4 薄透镜成像作图法 .....	152
14.5 光学仪器 .....	153
14.5.1 眼睛 .....	153
14.5.2 放大镜 .....	154
14.5.3 显微镜 .....	154
14.5.4 望远镜 .....	156
习题 .....	156
<b>第 15 章 光的干涉</b> .....	158
15.1 光源和光的相干叠加 .....	158
15.1.1 光源 .....	158
15.1.2 光的单色性 .....	159
15.1.3 相干光的获得 .....	159
15.1.4 相干叠加与非相干叠加 .....	159
15.2 分波前干涉 (双缝干涉) .....	161
15.2.1 杨氏双缝干涉 .....	161
15.2.2* 其他分波前干涉装置 .....	165
15.2.3 干涉条纹可见度 .....	167
15.3 光程与光程差 .....	167
15.3.1 光程 .....	167
15.3.2 光程差 .....	168
15.3.3 薄透镜不引起附加光程差 .....	168

15.4 分振幅干涉 (薄膜干涉)·····	169
15.4.1 薄膜干涉·····	169
15.4.2 等倾干涉 (膜上、下表面平行)·····	171
15.4.3 等厚干涉 (膜上、下表面不平行)·····	174
15.4.4 迈克耳孙干涉仪·····	178
习题·····	180
<b>第 16 章 光的衍射</b> ·····	<b>183</b>
16.1 光衍射的基本定律·····	184
16.1.1 光的衍射现象·····	184
16.1.2 惠更斯-菲涅耳原理·····	184
16.1.3 衍射的分类·····	185
16.2 单缝夫琅禾费衍射·····	186
16.2.1 实验描述·····	186
16.2.2 半波带法分析·····	186
16.2.3 振幅矢量法分析·····	189
16.3 圆孔夫琅禾费衍射·····	192
16.3.1 实验装置和现象·····	192
16.3.2 瑞利判据和光学仪器的分辨率·····	193
16.4 平面衍射光栅·····	195
16.4.1 光栅常数·····	196
16.4.2 光栅衍射图样·····	196
16.5 X 射线衍射·····	201
16.5.1 实验装置·····	201
16.5.2 布拉格方程·····	201
习题·····	203
<b>第 17 章 光的偏振及吸收</b> ·····	<b>205</b>
17.1 自然光和偏振光 马吕斯定律·····	205
17.1.1 自然光·····	205
17.1.2 线偏振光 部分偏振光·····	206
17.1.3 圆偏振光 椭圆偏振光·····	206
17.1.4 偏振片 起偏和检偏·····	207
17.1.5 马吕斯定律·····	208
17.2 反射光和折射光的偏振·····	210
17.2.1 布儒斯特定律·····	210
17.2.2 玻璃堆起偏·····	211
17.3 晶体的双折射·····	212
17.3.1 双折射效应·····	212
17.3.2 惠更斯原理解释双折射现象·····	214

17.3.3 晶体光学器件	215
17.4 偏振光的干涉	216
17.4.1 偏振光干涉原理	216
17.4.2 干涉加强和减弱条件	217
17.4.3 偏振干涉的应用	217
17.5 光的吸收、散射和色散	218
17.5.1 光的吸收	219
17.5.2 光的散射	220
17.5.3 光的色散	221
习题	222
气象物语 G 大气散射现象与基本理论简介	223
G.1 瑞利分子散射	223
G.2 球形粒子光散射的米氏理论	224
G.3 非球形粒子的光散射	225
G.4 大气层中常见的光学现象	225

## 第 7 部分 近代物理 II

第 18 章 波与粒子	231
18.1 热辐射 普朗克的量子假设	231
18.1.1 热辐射	231
18.1.2 基尔霍夫辐射定律	231
18.1.3 黑体辐射实验定律	232
18.1.4 大气辐射简介	235
18.1.5 普朗克量子假设	235
18.2 光电效应 爱因斯坦的光子理论	238
18.2.1 光电效应的实验规律	238
18.2.2 光的波动说的缺陷	240
18.2.3 爱因斯坦的光电效应方程	241
18.2.4 光的波粒二象性	242
18.3 康普顿效应	244
18.3.1 康普顿实验	244
18.3.2 康普顿效应的量子解释	244
18.4 氢原子光谱玻尔的氢原子理论	248
18.4.1 氢原子光谱的规律性	248
18.4.2 玻尔的氢原子理论	249
18.5 德布罗意波 波粒二象性	253
18.5.1 德布罗意波	253

18.5.2 戴维孙-革末实验	253
18.5.3 微观粒子的波粒二象性	254
18.6 不确定度关系	258
习题	261
<b>第 19 章 量子力学基础</b>	<b>263</b>
19.1 波函数薛定谔方程	263
19.1.1 波函数及其统计解释	263
19.1.2 薛定谔方程	264
19.2 势阱中的粒子	266
19.3 一维方势垒隧道效应	271
19.4* 一维谐振子	273
19.5 氢原子的量子理论	274
19.5.1 氢原子的定态薛定谔方程	274
19.5.2 量子化条件和量子数	275
19.5.3 基态径向波函数和电子分布概率	276
19.6 电子的自旋 原子的电子壳层结构	278
19.6.1 施特恩-格拉赫实验	278
19.6.2 电子的自旋	279
19.6.3 原子的壳层结构	281
习题	282
<b>部分习题参考答案</b>	<b>283</b>
<b>参考文献</b>	<b>291</b>

## 第5部分

# 电 磁 学

早在 2000 多年以前，人们就认识到了电与磁的现象，并在许多领域逐步得到了应用。依据大气的电磁特性，大气被分成非电离层、电离层、磁层三个层次。其中大气电学研究的是 60 km 高空以下的非电离层中性大气的电学性质。早在 1752 年，大气电学的先驱富兰克林就指出雷电的本质就是电。雷雨云的起电机理、雷电的监测、大气放电的物理效应、人工影响雷电都是大气电学的重要研究内容。随着社会经济和科技的发展，雷电灾害有增无减，对雷电防护提出了更高的要求，这也促进了大气电学的迅猛发展和应用。

人类真正用科学的方法对电磁现象进行研究则是在 18 世纪以后，到 19 世纪中叶，经过大量的电磁实验研究，人们已总结出一系列重要规律，如库仑定律、毕奥-萨伐尔定律、安培定律、法拉第电磁感应定律等。1864 年，英国物理学家麦克斯韦在总结前人成果的基础上，大胆地提出了“涡旋电场”和“位移电流”的假设，并建立了完整的电磁场理论，这一理论预言了以光速传播的电磁波的存在，提出了光是一定频率范围电磁波的思想，彻底推翻了电与磁的“超距作用”观点，从而使电学、磁学、光学三者得以统一，这是 19 世纪物理学发展史上具有里程碑意义的理论成果。

1887 年，德国物理学家赫兹从实验上证实了电磁波的存在，证明了光是一种电磁波的预言，为人类利用电磁波奠定了基础。随后，无线电技术得到了迅猛发展，如无线电通信、无线电广播、无线电报、无线电话、无线控制等新兴技术很快进入了社会的各个领域。人类的通信遥控范围跃过了高山，跨过了大海，冲出了大气层，飞出了太阳系，逐渐延伸至茫茫的宇宙深处。电磁波的发现和应用是物理学的一次重大革命。

电能的开发及其广泛应用是继蒸汽机的发明之后，近代史上第二次技术革命的核心内容。20 世纪出现的大电力系统构成工业社会传输能量的大动脉；以电磁波为载体的信息与控制系统则组成了现代社会的神经网络。各种新兴电工材料的开发、应用，丰富了现代材料科学的内容。物质世界统一性的认识、近代物理学的诞生以及系统控制论的发展等都直接或间接地受到电工发展的影响。同时，各相邻学科的成就也不断促进电工向更高的层次发展。因此，电工发展水平是衡量社会现代化程度的重要标志，是推动社会生产和科学技术发展，促进社会文明的有力杠杆。

电动机作为最重要的动力源，从根本上改变了 19 世纪以蒸汽动力为基础的初级工业化的面貌，电热、电化学、电物理的发展，开辟了一个又一个新的工业部门和科研领域。总之，电的应用不仅影响物质生产的各个侧面，也越来越广泛地渗透到人类生活的各个层面。电气化已在某种程度上成为现代化的同义语，电气化程度已成为衡量社会物质文明发展水平的重要标志。



## 第 10 章 真空中的静电场

雷电是伴有闪电和雷鸣的一种放电现象。在我们的地球表面，覆盖着一层厚厚的大气，地球大气在太阳光的照射下，形成大气对流运动现象，其中有一部分大气含有大量的水蒸气，形成水气云团。高速对流的水气云团，做切割地球地磁场运动，在地球磁场的作用下，水气云团的两端形成巨大的带正、负电荷积电层，受大气对流的冲击，异种水气云团积电层在空中相遇，从而产生巨大的电荷放电现象，形成一种伴有闪电和雷鸣的雄伟壮观而又有点令人生畏的自然现象——雷电(图 10-1)。认识大气电荷、大气电场、大气电流、雷雨云的起电机理、电荷放电的物理效应、雷电的防护都必须掌握静电场等电磁理论知识。

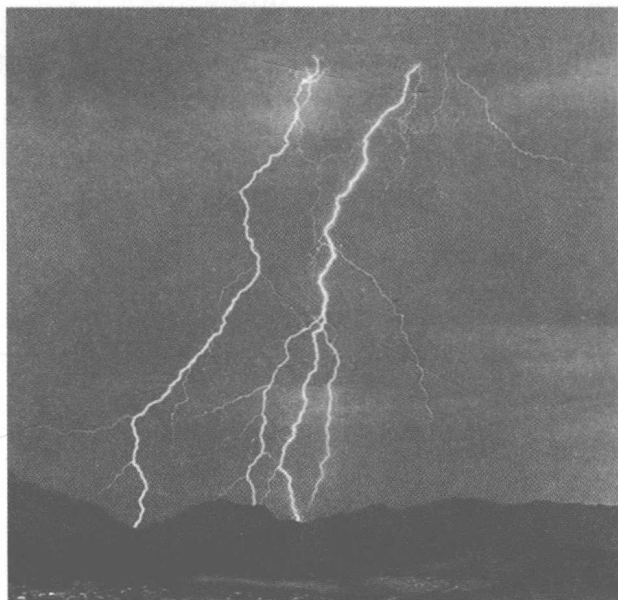


图 10-1 雷电现象

电荷周围都有电场存在，相对于观测者，静止的电荷在其周围所激发的电场称为静电场。电荷之间的相互作用规律被库仑实验定律揭示，它是电磁场理论的第一块基石。区别于常规实物，电场也是一种物质，是物质的另一种存在方式，它的客观实在性可以从两种方式体现：电场中的电荷一定受到电场对其施加的力的作用；在电场中移动电荷，电场会对其做功。基于电场的这两种对外体现，引入两个描述电场的基本物理量：电场强度矢量和电势标量。从电场叠加原理出发，阐述表征静电场基本性质的两个定理：高斯定理和环路定理。

## 10.1 电荷和库仑定律

### 10.1.1 电荷 电荷守恒定律

#### 1. 电荷

早在公元前 5 世纪,人们就发现,用毛皮摩擦过的琥珀能产生吸引羽毛等轻小物体的现象。当物体有了这种能够吸引轻小物体的性质时,就说它带了电,或有了电荷。大量的事实证明,自然界中只有两种类型的电荷:一种与丝绸摩擦过的玻璃棒的电荷相同,称为**正电荷**;另一种与毛皮摩擦过的硬橡胶的电荷相同,称为**负电荷**。并且,电荷与电荷之间存在相互作用力,同种电荷相斥,异种电荷相吸。正电荷、负电荷的名称是美国物理学家富兰克林于 1746 年首先提出的。

物体所带电荷的多少称为**电荷量**或**电量**,用  $q$  表示。在国际单位制中,电量的单位为库仑(简称库),符号为 C。

验电器是用来检测电荷和电量的最简单仪器,如图 10-2 所示,在玻璃瓶上装一橡胶塞,塞中插一根金属杆,金属杆上端带有金属小球,杆的下端悬挂着两片金属箔片。当带电体与金属小球接触时,金属箔因得到同种电荷而张开,所带的电荷越多,张角越大。

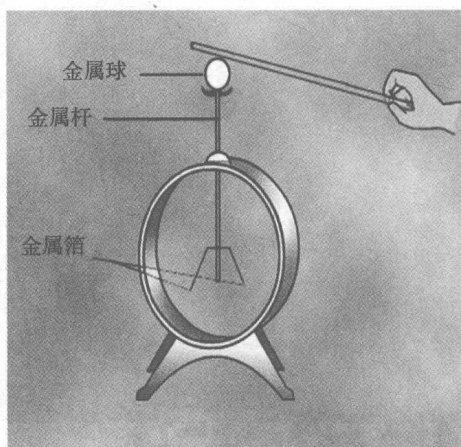


图 10-2 验电器

除用摩擦的方法使物体带电外,还可采用感应方法使物体带电,如图 10-3 所示,将带电体 A 靠近不带电的导体 B,在导体 B 靠近 A 的一端和远离 A 的一端出现局域电荷,这种使导体 B 带电的方式称为**感应起电**。

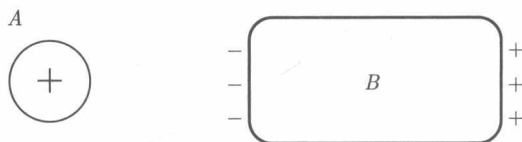


图 10-3 感应起电

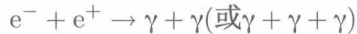
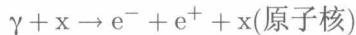
在自然界中,根据电荷输运情况,将电荷能通过的物体称为**导体**(如金属、石墨和酸碱的水溶液等);将电荷不能通过的物体称为**绝缘体**(如玻璃、塑料、橡胶、陶瓷等);另外还有一种物体,在常规情况下,其导电性能介于导体和绝缘体之间,称为**半导体**,如锗和硅等。

从微观结构分析:金属之所以导电,是因为其内部存在着大量的自由电子,它们可以摆脱原子核的束缚而自由地在金属内部运动;电解液之所以导电,是因为内部存在能做宏观运动的正、负离子;在绝缘体内部,由于电子受到原子核的强束缚,基本上没有自由电子,因此它们呈现绝缘的性质。

## 2. 电荷守恒定律

实验表明,在一个孤立系统中,无论发生了怎样的物理过程,电荷既不会创生,也不会消失,电荷只能从一个物体转移到另一个物体上,整个系统内正、负电荷的代数和始终保持不变,这个结论称为**电荷守恒定律**。电荷守恒定律是自然界基本定律之一,不管是在宏观领域,还是在微观领域,电荷守恒定律都适用。

现代物理研究表明,电荷不仅可以迁移,在粒子的相互作用过程中,电荷还可以产生和湮没。例如,



一个高能光子  $\gamma$  和一个重原子核  $x$  作用时,该光子可以转化为一个正电子  $e^{+}$  和负电子  $e^{-}$ (这称为电子对的“产生”);而一对正、负电子在一定条件下相遇,又会同时消失而产生两个或者三个光子(这称为电子对的“湮没”)。在已经观察到的各种过程中,正、负电荷总是成对出现或者成对消失的。由于光子不带电,正、负电子各带等量异号的电荷,电荷守恒并没有因此而遭受破坏。所以,这种电荷的产生和湮没并不改变系统中电荷的代数和,因而电荷守恒定律仍然成立。

## 3. 电荷的量子性

实验表明,电荷总是以一个基元电荷的整数倍出现于各类现象中,这种特性称为**电荷的量子性**。电荷的基本单元就是一个电子所带电量的绝对值,用  $e$  表示,其近似值为

$$1e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

电荷具有基本单元的概念,最初是根据电解现象中通过溶液的电量和析出物质的质量之间的关系提出的。法拉第、阿伦尼乌斯等都为此作出过重要贡献。他们得出,一个离子的电量只能是一个基本电荷电量的整数倍。直到 1891 年斯托尼才引入“电子”(electron)这一名称来表示带有负电的基元电荷的粒子。此后,密立根设计了著名的油滴实验直接测量了此基元电荷的数值。现在,已经知道许多基本粒子都带有正的或者负的基元电荷。例如,一个正电子、一个质子各带有一个正的基元电荷,一个负电子、一个反质子各带有一个负的基元电荷。