

University

大学物理学

Physics

(第二版)

下册

主编 魏 环 莫文玲

高等教育出版社

University

大学物理学

Physics

(第二版)

下册

主编 魏 环 莫文玲

副主编 谷建生 宋丽华 薄惠丰

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是编者多年教学研究和教学实践的总结。全书精炼了经典物理学的内容,重点加强了相对论、量子力学、熵、混沌、分形、对称性的内容,一定程度上实现了大学物理教学内容的现代化,革新了大学物理课程的整体面貌,突出了大学物理课程对培养学生科学文化素质的作用。全书分为上、下两册,上册包括力学、振动与波动(包括光学)、统计物理与热力学基础,下册包括电磁学、相对论、量子物理和一些近代物理专题。

本书可作为理工类专业大学物理课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/魏环,莫文玲主编.--2版
--北京:高等教育出版社,2017.6
ISBN 978-7-04-047681-1

I.①大… II.①魏… ②莫… 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(2017)第108902号

DAXUE WULIXUE

策划编辑 张海雁	责任编辑 张海雁	封面设计 姜磊	版式设计 于婕
插图绘制 杜晓丹	责任校对 刁丽丽	责任印制 毛斯璐	

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京天时彩色印刷有限公司
开本 787mm×1092mm 1/16
印张 19.75
字数 490千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2013年1月第1版
2017年6月第2版
印 次 2017年6月第1次印刷
定 价 38.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 47681-00

第二版前言

本书是基于编者多年教学研究和教学实践的体会和经验,并在我校所编《大学物理学》(下册,2013年出版)的基础上修订而成的。

工科学生占高等学校基础物理教学对象的绝对多数,学生自身未来可持续发展的愿望和社会产业的需求,均对其的适应性,特别是创造性提出了更高的要求。作为工科教育基础的大学物理课程担负着更大的责任,特别是培养学生的科学文化素质的重要责任。这就要求工科物理教育应实质性地加强而不是削弱;应更加注重物理学的现代内容和科学方法、科学的工作语言、明晰的物理图像和物理过程,而不仅仅是传授物理知识。大学物理教材应当适应这样的形势。下面对本书作几点说明。

一、课程内容的现代化

传统的大学物理课程的绝大部分内容只关注一个世纪之前的物理学,渐渐失去了对学生的吸引力,使学生缺乏对近代物理学的了解,由此造成科学素质的严重缺失。为此本书大大加强了近代内容。由于学时的限制,重点加强了近代物理学中意义重大、接受度高的内容,如相对论、量子力学基础、熵、混沌和对称性等。按照教育部的精神,“教学内容改革的重点是要实现物理课程内容的现代化”,“侧重于基本原理和方法,并且要有一定的深度”。

二、完整介绍量子力学的基本架构

量子力学基础无疑是大学物理课程中最应当加强的。本书以力学量取值的统计分布为线索,把量子力学的五个基本假设贯穿在一起,完整地介绍了量子力学的基本概念和原理,使量子物理在书中所占比例从约7%上升到约20%,使其篇幅和深度都能与力学、电磁学相当而真正成为重点内容。

三、重点加强的其他内容

除量子物理之外,本书重点加强了相对论、熵、混沌和对称性的内容,其中关于对称性的介绍从绪论开始,贯穿于质点力学、相

对论、气体动理论、热力学、电磁学、量子物理各章,直到粒子物理的标准模型。

对近代物理学内容的介绍,我们一方面避免新闻报道式的叙述,而突出其中的物理原理和物理方法;另一方面避免脱离工科学生的实际,照搬理论物理教材,做到教材的科学性与适用性的统一。

四、教学实践

本书是我校物理教师十几年教学研究成果的总结,重点加强的内容在实际教学中讲授多年。实践表明工科学生可以接受这些内容,大学物理的“趣味性和吸引力”得到了提高。想增加新内容,但学时又很有限,为了解决这个矛盾我们对一些传统内容和技巧性的数学计算作了适当精炼。

本书适用于 110 学时左右的课程。配合两个学期的大学物理课程,本书分为上、下两册,上册包括力学、振动与波动(包括光学)、统计物理与热力学基础,下册包括电磁学、相对论、量子物理和一些近代物理专题。

参加下册编写的人员是,胡鸿奎、王凤鸣、王汝政(第九章),宋丽华、薄惠丰、赵宏微(第十章、第十一章),谷建生(第十二章),盛嘉茂、莫文玲(第十三、第十四章),魏环、莫文玲、盛嘉茂(第十五章),薄惠丰收集、整理了本册书的课外教学资源,统编了课后习题及部分例题。全书由魏环、莫文玲统稿。

封面上的照片,左边是月球环形山,右边是微观粒子在云室中的径迹。感谢华北理工大学杨海波老师提供了封面素材。

我们特别感谢东南大学恽瑛教授、北京大学陈熙谋教授、北京大学出版社瞿定老师提出的中肯建议,感谢高等教育出版社对本书出版的支持,感谢华北理工大学校领导和教务处对大学物理课程改革的指导和支持。

虽然编者多年从事教学研究和教学实践,但成书难免会有不足之处,我们真诚地希望老师和同学们对本书提出宝贵意见。

编 者

2017 年 1 月 21 日

目 录

第四篇 电 磁 学

引言	3	10.4 安培环路定理	66
第九章 静电场	5	10.5 磁场对电流的作用	69
9.1 电荷 库仑定律	5	10.6 带电粒子在电磁场中的运动	75
9.2 静电场 电场强度	7	10.7 磁介质	81
9.3 静电场的高斯定理	14	10.8 铁磁质	87
9.4 静电场的环路定理	19	思考题	90
9.5 静电场中的导体	29	习题	91
9.6 电容 电容器	34	第十一章 电磁感应 麦克斯韦电磁理论	96
9.7 静电场中的电介质	38	11.1 电磁感应定律	96
9.8 静电场的能量	46	11.2 动生与感生电动势 有旋电场	100
9.9 恒定电流	48	11.3 自感和互感	105
思考题	53	11.4 磁场能量	107
习题	53	11.5 麦克斯韦电磁理论简介	109
第十章 恒定磁场	57	11.6 电磁波	114
10.1 磁场 磁感应强度	57	11.7 超导体	120
10.2 毕奥-萨伐尔定律	60	思考题	125
10.3 磁通量 磁场的高斯定理	65	习题	126

第五篇 近代物理学

引言	133	习题	179
第十二章 相对论基础	134	第十三章 概率波和薛定谔方程	181
12.1 伽利略相对性原理 牛顿的绝对时空观	134	13.1 前期量子论	181
12.2 狭义相对论的基本假设	138	13.2 概率波 态叠加原理	189
12.3 狭义相对论时空观简介	143	13.3 概率幅的性质 不确定关系简介	198
12.4 洛伦兹变换与狭义相对论时空观的再认识	151	13.4 薛定谔方程 定态问题	201
12.5 相对论动力学基础	159	13.5 定态的例子	204
12.6 电磁场的统一性和相对性	167	思考题	212
12.7 广义相对论简介	171	习题	212
思考题	178	第十四章 力学量的概率分布 原子	215
		14.1 力学量的算符表示	215

14.2 厄米算符的本征值问题 力学量的 概率分布	220	* 14.10 纠缠态和量子信息	260
14.3 共同的本征函数 不确定关系	226	思考题	262
14.4 守恒与对称	230	习题	262
14.5 角动量的本征函数 氢原子	232	第十五章 近代物理专题	265
14.6 全同粒子 自旋	239	15.1 固体的能带 pn 结	265
14.7 多电子原子的电子壳层结构	245	15.2 分形	274
* 14.8 氢分子 共价键	251	15.3 原子核 对称性与粒子物理学	280
14.9 微扰 激光	254	15.4 恒星 宇宙	298
习题参考答案	306		
参考文献	307		

引 言

第四篇 电磁学

引言

电磁学是经典物理学的一部分,在物理学中占有重要的地位.电磁学主要研究电荷、电流产生电场和磁场的规律,电场和磁场的相互联系,电磁场对电荷、电流的作用以及电磁场对物质的各种效应等.

电磁学是在人类对电磁现象的长期观察和生产活动的基础上发展起来的.早在公元前人们就积累了比较丰富的电学和磁学知识.公元前6世纪,古希腊哲学家泰勒斯发现,用布摩擦过的琥珀能吸引轻微物体.在我国战国时期已有记载的“司南”是世界上最早出现的指南针.在公元10世纪的《武经总要》中叙述了制造指南针的方法,公元11世纪初指南针已被用于航海活动中.人们把对电现象的认识发展成为电学,对磁现象的认识发展成为磁学.在相当长的一段时间里,人们认为电现象和磁现象是互不联系的,电学和磁学一直在彼此独立发展.电学发展初期,对静电的研究进行得非常缓慢,因为一直没有找到产生稳定的静电的方式.直到1600年盖里克发明了摩擦起电机,才使人类对电现象进行详细观察和细致研究的愿望成为可能.人类对磁现象的认识起源于天然磁石吸引铁块的现象.系统地对磁现象的研究始于16世纪.1600年英国医生吉尔伯特出版了专著《论磁》,这标志着磁学从经验变为了一门科学;1750年米切尔提出了磁极之间的作用服从平方反比定律;1785年法国科学家库仑用扭秤实验得到电力的平方反比定律.至此电学和磁学进入了定量科学研究的阶段.1820年丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应,敲开了“电转化为磁”的大门,揭示了电与磁之间的联系,同年安培发现了磁铁对电流的作用.电学与磁学隔绝的情况有了突破.电磁学进入了大发展时期.1831年法拉第发现了电磁感应现象,进一步证实了电与磁的联系.1865年麦克斯韦总结了从库仑定律到安培、法拉第以来电磁学的全部成就,建立了系统的电磁场理论,完成了物理学史上的又一次大综合.

如今,电磁场理论已渗透到物理学和其他自然科学的各个领

域,成为研究物质世界必不可少的基本理论.电磁技术促进了人类生产技术的进步,从电工、无线电、遥控和自动化,到通信和电子计算机等,无不以电磁技术为基础.

第九章 静 电 场

9.1 电荷 库仑定律

一、两种电荷

按照原子理论,组成原子的基本粒子为电子、质子及中子.电子与质子带有电荷,中子不带电荷,组成物质的原子是电中性的.自然界存在两种电荷,电子和质子带有等量异号电荷.美国物理学家富兰克林(Benjamin Franklin, 1706—1790)首先以正电荷、负电荷的名称来区分两种电荷,这种名称一直沿用至今.电子带有一个单位的负电荷,质子带有一个单位的正电荷.通常情况下,物质原子中正电荷与负电荷数相等,物质呈电中性.当存在某种外加作用时,会造成物质的电子过多或不足,使物体带电,这称为起电.用摩擦的方法使物体带电称为摩擦起电,如果物体电子过多就带负电,如果电子不足则带正电.如丝绸摩擦过的玻璃棒带正电,毛皮摩擦过的橡胶棒带负电.我们称带有电荷的物体为带电体.带电体所带电荷数量的多少叫电荷量,通常用 Q 或 q 表示,单位是 C(库[仑]).

二、电荷的量子化

1913 年密立根(Robert Andrews Millikan, 1868—1953)设计了有名的油滴实验,最先直接测定了电子所带的电荷量.一般用 e 表示元电荷,即电子所带电荷量的绝对值,测定值为

$$e = 1.602\ 176\ 620\ 8(98) \times 10^{-19} \text{ C}$$

在计算中通常取 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$, 实验表明, 自然界中任何一个带电体所带电荷量 q , 必然是元电荷的整数倍, 即

$$q = ne \quad (n \text{ 为整数})$$

电荷量的这种只能取离散的、不连续的值的性质, 叫做电荷的量子化.

近代物理理论提出了基本粒子由夸克组成的模型, 每一个夸克或反夸克可能带有 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$ 的电荷. “夸克”还有待实验证实. 即使证明了夸克的正确性, 元电荷量由 e 变为 $\frac{1}{3}e$, 电荷的量子化仍是普遍的规则.

三、电荷守恒定律

大量实验表明, 对于一个与外界没有电荷交换的孤立系统, 系统内无论发生什么过程(物理过程、化学过程……), 系统内的正负电荷的代数和不变, 这就是电荷守恒定律.

电荷守恒定律是物理学中的基本守恒定律之一, 在一切的宏观过程和微观过程中都是成立的. 如摩擦起电、静电感应、核衰变等过程中电荷守恒均成立. 电荷守恒也是与某种对称性相联系的.

实验表明, 电荷是与速度无关的量, 不因参考系的改变而改变, 电荷守恒定律在所有惯性系中都是成立的, 符合相对性原理的要求.

四、库仑定律

实验表明, 电荷之间存在着力的作用. 法国物理学家库仑 (Charles Augustin de Coulomb, 1736—1806) 在 1785 年通过扭秤实验最先发现了静止点电荷之间作用力的规律.

库仑定律: 在真空中, 两个静止点电荷 q_1 与 q_2 之间相互作用力的大小与 q_1 和 q_2 的乘积成正比, 与它们之间的距离 r 的平方成反比; 作用力的方向沿着它们的连线, 同号电荷相斥, 异号电荷相吸(图 9-1).

在国际单位制中, 库仑定律的数学表达式为

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \quad (9.1)$$



库伦



文档: 库伦

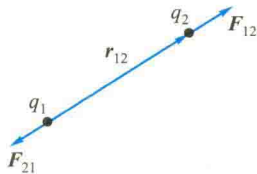


图 9-1 库伦定律

式中, q_1 和 q_2 分别表示两个点电荷的电荷量(负电荷取负值), F_{12} 为 q_1 作用于 q_2 的力, r_{12} 代表 q_2 相对于 q_1 方向的位置矢量, ε_0 为真空电容率(或真空介电常量), $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$, 则

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8.988\,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

根据牛顿第三定律, q_2 作用于 q_1 的力为

$$F_{21} = -F_{12}$$

库仑定律是关于静电相互作用的基本定律, 它是不是在所有的空间范围内都成立? 著名的卢瑟福 α 粒子散射实验和大量的近代物理实验表明, 库仑定律在 $10^{-11} \sim 10^9 \text{ m}$ 的巨大范围内都是极其准确的。

例 9-1

氢原子中, 电子和质子的距离为 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$, 它们之间的库仑力和万有引力各为多少?

解 电子与质子之间的距离远大于它们自身的线度, 因此可将电子与质子看成点电荷, 由库仑定律可得二者之间的库仑力为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 8.1 \times 10^{-8} \text{ N}$$

由万有引力定律可得二者之间的万有引力为

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2} = 3.7 \times 10^{-47} \text{ N}$$

比值为

$$\frac{F_e}{F_g} = 2.27 \times 10^{39}$$

可见, 库仑力要比万有引力大得多, 所以在原子中, 作用在核外电子上的主要为库仑力, 而万有引力则可以忽略。

9.2 静电场 电场强度

一、电场

两个静止的电荷之间存在着力的作用, 静电力是通过什么来传递的? 静电力的传递是否需要时间? 历史上对这个问题有过两种截然不同的观点. 一种是超距作用的观点, 认为非接触物体之间的作用力不需要任何媒介的传递, 也不需要传递时间, 静电力属于超距作用. 另一种是近距作用的观点, 认为力是存在于直接接触的物体之间(接触作用), 两个不接触物体的相互作用需要媒介的传递, 需要传递时间. 近代物理学证明静电相互作用需

要传递时间,尽管这个时间可能很短,静电相互作用也需要媒介的传递,这个媒介就是电场。

近距作用的观点就是场观点.场的概念是由英国科学家法拉第首先提出来的.物理学的近代研究表明,凡是电荷存在的空间,周围就存在着场,场对处于其中的电荷有力的作用.静止电荷激发的场称为**静电场**.静电场对处于其中的电荷的作用力称为静电力.场可以脱离电荷和电流独立存在,它具有自己的运动规律,场和实物(由原子、分子组成的物质)同样具有能量、动量等属性.场是物质的一种形态.用哲学语言来说,场是客观存在。

二、电场强度

电场对处于其中的电荷有力的作用,这是电场的一个重要性质,为了描述电场的这个重要性质,引入一个物理量——电场强度.可以通过观察电场对检验电荷的作用力来研究电场中各点的电场强度。

检验电荷必须满足如下要求:① 检验电荷必须是点电荷,以便于研究空间各点电场的分布;② 检验电荷所带电荷量要足够小,不会影响原有的电场分布.为了研究方便,我们通常取检验电荷为正电荷 q_0 。

实验表明,检验电荷 q_0 在电场中不同的点受力不同,这说明电场中各点的电场性质不同.另一方面,就电场中同一点而言,检验电荷 q_0 在该点所受的电场力 F 与 q_0 有关.但 F 与 q_0 的比值则与 q_0 无关,是个不变的矢量,这个矢量描述了电场在该点对电荷施力的性质,称为电场在该点的**电场强度**,简称场强,用符号 E 表示:

$$E = \frac{F}{q_0} \quad (9.2)$$

式(9.2)表明,电场中某点处的电场强度的大小等于位于该点的单位正电荷所受的电场力,方向与正电荷在该点受力的方向一致.电场强度是空间位置的单值函数。

在国际单位制中,电场强度的单位为 N/C (牛每库)或 V/m (伏每米)。

根据电场强度 E 的定义,在已知电场强度分布的空间,点电荷 q 在电场中受力为

$$F = qE$$

三、电场强度叠加原理

1. 静止点电荷的电场

下面讨论在场源电荷(激发电场的电荷)静止的参考系中电场强度的分布.先讨论一个静止点电荷的场强分布,即点电荷 q 所激发的静电场中各点的电场强度矢量 $\mathbf{E}$ 的分布.点电荷的电场可由库仑定律及电场强度定义式直接求出.

如图9-2所示,在真空中,有一点电荷 q 位于坐标原点 O ,由原点指向场点 P 处的矢量为 $\mathbf{r}$.若把检验电荷 q_0 置于场点 P ,由库仑定律可得 q_0 所受的电场力为

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^3} \mathbf{r}$$

有时也用 $\mathbf{e}_r$ 表示矢量 $\mathbf{r}$ 的单位矢量,即 $\mathbf{e}_r = \frac{\mathbf{r}}{r}$,由电场强度定义式(9.2)可得 P 点的电场强度为

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (9.3)$$

式(9.3)为真空中点电荷 q 在任一点激发的电场强度表达式.不论 q 是正电荷还是负电荷,该式均成立.如果点电荷 q 为正电荷,说明电场强度的方向与 $\mathbf{e}_r$ 方向相同,若点电荷 q 为负电荷,说明电场强度的方向与 $\mathbf{e}_r$ 方向相反.从式(9.3)可以看出静止点电荷激发的电场具有球对称性.需要注意的是,若场点接近场源电荷,就必须考虑场源电荷的形状和分布(即此时场源电荷不能视为点电荷),即当 $r \rightarrow 0$ 时式(9.3)不成立.

2. 电场强度叠加原理

通常情况下,空间存在的是由多个点电荷构成的点电荷系,空间任一点的场强就是这些点电荷共同激发的.我们可以根据力的叠加原理和库仑定律得到电场强度的叠加原理.

若将检验电荷 q_0 置入点电荷系 $q_1, q_2, \dots, q_n$ 所激发的电场中,由力的叠加原理可知,检验电荷在给定场点处所受的作用力 $\mathbf{F}$ 等于各场源电荷对 q_0 的作用力 $\mathbf{F}_1, \mathbf{F}_2, \dots, \mathbf{F}_n$ 的矢量和,即

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{F}_i$$

两边除以 q_0 ,则有

$$\frac{\mathbf{F}}{q_0} = \frac{\mathbf{F}_1}{q_0} + \frac{\mathbf{F}_2}{q_0} + \dots + \frac{\mathbf{F}_n}{q_0} = \sum_{i=1}^n \frac{\mathbf{F}_i}{q_0}$$

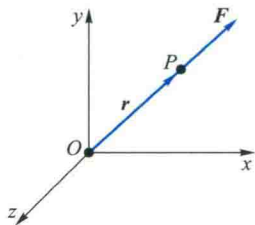


图9-2 静止点电荷的电场

根据电场强度定义, $\frac{F_i}{q_0}$ 表示点电荷 q_i 单独存在时在场点 P 处激发的电场强度 E_i , 因此上式可写成

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \cdots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \mathbf{E}_i \quad (9.4)$$

即点电荷系所激发的电场中任一场点处的总场强等于各点电荷单独存在时在该点产生的场强的矢量和, 这就是**电场强度的叠加原理**, 简称场强叠加原理.

将点电荷场强公式(9.3)代入式(9.4)可得点电荷系的场强公式为

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_i^2} \mathbf{e}_{ri} \quad (9.5)$$

式中, r_i 为点电荷 q_i 到场点 P 的距离, $\mathbf{e}_{ri}$ 为由点电荷 q_i 指向场点 P 的单位矢量.

若场源电荷是总电荷量为 q 且电荷连续分布的带电体, 则可以认为带电体是由无数个电荷元 dq 组成的. 把电荷元当作点电荷处理, 则电荷元 dq 的电场强度为

$$d\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \mathbf{e}_r$$

式中 r 为电荷元 dq 到场点的距离, $\mathbf{e}_r$ 为由电荷元指向场点的单位矢量. 整个带电体在场点激发的总场强可由积分计算, 即

$$\mathbf{E} = \int d\mathbf{E} = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (9.6)$$

积分遍及整个带电体, 要完成这个积分计算, 需要根据带电体的几何形状、电荷分布情况选取不同的微分元. 若把带电体分成许多体积微分元 dV , 则 $dq = \rho dV$; 若把带电体分成许多面积微分元 dS , 则 $dq = \sigma dS$; 若把带电体分成许多线微分元 dl , 则 $dq = \lambda dl$. 其中 ρ 、 σ 、 λ 分别为电荷的体密度、面密度和线密度, 它们一般为空间坐标的函数.

电偶极子是两个电荷相等、符号相反、相距 l 的点电荷 $+q$ 和 $-q$ 构成的系统, 如果 l 远远小于它们到场点的距离, 该系统就称为电偶极子. 从 $-q$ 指向 $+q$ 的径矢 $\mathbf{l}$ 称为电偶极子的轴, $q\mathbf{l}$ 称为电偶极子的电偶极矩, 用 $\mathbf{p}$ 表示:

$$\mathbf{p} = q\mathbf{l} \quad (9.7)$$