

大学物理教程

DAXUEWULI JIAOCHENG

(下册)

■ 主编 贾 瑜
沈 岩

 郑州大学出版社

河南省“十一五”重点图书出版规划高等院校理工科专业教材

04
88-13;2

大学物理教程

DAXUEWULI JIAOCHENG

(下册)

■ 主编 贾 瑜
沈 岩



111017309 河南工业大学



 郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程(下册)/贾瑜,沈岩主编. —郑州:郑州
大学出版社,2007.5

ISBN 978-7-81106-475-9

I. 大… II. ①贾…②沈… III. 物理学-高等学校-教
材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 003807 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

河南东方制图印刷有限公司印制

开本:710 mm × 1 010 mm

印张:19

字数:394 千字

版次:2007 年 5 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

1/16

彩页:1

印次:2007 年 5 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-81106-475-9

定价:28.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换



前言

q i a n y a n

物理学是研究物质结构、物质基本运动形式和物质之间相互作用的自然科学,它的基本理论目前已经渗透到自然科学乃至社会科学的各个领域,并应用于生产技术的许多部门,是其他学科的基础。物理学经过几百年的发展,深刻地影响着人类对物质世界的基本认识、人类的思维方式和社会生活,是人类文明发展的基石。以物理学基础为内容的大学物理课程,是高等学校理工科各专业学生的一门重要的通识性必修课程。该课程所教授的基本概念、基本理论和基本方法是构成学生科学素养的重要成分,是一个科学工作者和工程技术人员所必备的基础知识。

大学物理教材改革要体现现代化,是当今物理学教育的一个共识,也是目前大学物理教师正在积极探索解决的课题。作为一门公共基础课,大学物理教材的现代化建设,是我国理工科本科教育现代化的迫切需要,是培养 21 世纪高素质科技人才的迫切需要。《大学物理教程》是在教育部教学指导委员会颁布的大学物理课程的教学基本要求基础上,结合河南省自己的教学改革实践,由郑州大学、河南大学、河南工业大学、河南理工大学、河南教育学院、郑州轻工业学院、中原工学院、南阳理工学院等单位长期工作在大学物理教学一线的专家、学者编写而成的。在编写过程中我们立足于河南省理工科物理的教学实际,着重体现地方大学物理学的教学特色,从编写的体系结构到对课程要求的难易程度都作了很大的改革尝试,并力图把现代的教育思想、教育理念注入整个教材中,使教材充满了浓厚的现代气息。

重要的是,本教材并没有按传统模式,将普通物理学的知识体系分解为力学、热学、电磁学、光学和近代物理学等 5 个部分,而是依据物质运动水平与结构层次重新整合了相应的教学内容,使教材在知识体系上更加趋于完整。具体地说,我们首先依据物体运动水平组织安排了有关宏观低速物体运动规律和宏观高速物体运动规律的内容。其中,在第一篇宏观低速物体运动规律中,主要介绍了牛顿运动学、牛顿动力学、刚体以及物质的周期性运动等。同时,考虑到相对论是近

Qqdv29104

代物理学的基础,我们又将狭义相对论、广义相对论和宇宙学等知识作为统一内容在宏观高速物体运动规律中作了部分介绍。

其次,我们着重强调了两个物理学的基本图像,即基本相互作用的场论图像和物质世界的波动图像。在场论图像中,我们介绍了自然界中的4种基本相互作用,以及有关这些作用的场论机制,以此作为物理学统一性的一个标志。尤其需要指出的是,在物质世界的波动图像中,我们通盘策划了物质的波动理论部分,并重点突出了物质世界运动的波动线索,即突出了波动理论在描述物质世界运动规律中的特殊地位,具体地说,就是把有关机械波、电磁波、光波和物质波等内容用波动线索统一地串接起来,以便帮助学生能进一步了解自然界波的共性,并建立完整的波动理论的知识框架。

另外,为了能够与单质点物质运动规律的知识内容相呼应,我们还综合介绍了以大量分子、原子为研究对象的复杂体系的运动规律,其内容主要包括气体分子统计规律、流体运动规律和固体能带结构等。最后一篇是有关近代物理知识的部分内容。

本教材另一个特点是注重将一些前沿课题介绍给学生,在每一章的后面都附有一个与本章相关的前沿课题知识或者技术专题。这有助于学生及时了解当今科技的发展前沿,从而激发他们学习物理学的兴趣。与此同时,我们还在每篇篇首和每章章末配有相应的知识框图,以便使学生能够对相关章节的知识内容有一个整体的了解。

本教材的编写得到了郑州大学、河南大学、河南教育学院等院校的领导的支持和关心。在教材编写过程中,郑州大学物理工程学院李玉晓院长、河南教育学院刘金海院长多次询问教材编写情况,并给予很多有益的指导。全书由贾瑜、姚乾凯策划,分上、下两册出版。上册由姚乾凯、梁富增任主编;参加编写的人员有:中原工学院梁富增(第一、二、四章),南阳理工学院陈兰莉(第三章),郑州大学鲁占灵(第五章)、姚乾凯(第六章),河南工业大学富笑男(第七、十二章),河南大学孟杰(第八章)、郭浩(第九章第一、二节)、刘平安(第九章第三至五节、第十一章)、赵慧玲(第十章第一至四节)、刘向阳(第十章第五至七节)。下册由贾瑜、沈岩任主编,参加编写的人员有:郑州轻工业学院沈岩(第十三、十四章,附录),郑州大学贾瑜(第十五章)、赵维娟(第二十一章),河南教育学院赵先林(第十六章)、宋友林(第二十二章),河南理工大学张培峰(第十七、十八章)、崔燕岭(第十九、二十章)。

郑州大学出版社对本书的编写和出版给予了极大关心和支持。郑州大学物理工程学院张逸民教授、李新建教授,河南工业大学孟静副教授在教材编写过程中提出了很多具体的建议,在此,表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者
2007年1月



目 录

m u l u

第四篇 大量粒子系统的运动规律

第十三章 气体动理论	3
第一节 平衡态 温度 理想气体物态方程	3
一、平衡态	3
二、状态参量	4
三、温度	4
四、物态方程	6
第二节 理想气体的压强 温度的统计意义	6
一、物质的微观模型	6
二、理想气体的微观模型	7
三、理想气体的压强	7
四、温度的微观意义	9
第三节 能量均分定理 理想气体的内能	10
一、自由度	10
二、能量均分定理	11
三、理想气体的内能	12
第四节 麦克斯韦速率分布律	12
一、麦克斯韦速率分布律	12
二、三种特征速率	13
三、麦克斯韦速率分布律的实验验证	15
第五节 气体分子的平均自由程	16
一、碰撞频率	16
二、平均自由程	17
第六节 真实气体 范德瓦耳斯方程	18
一、真实气体等温线	18
二、范德瓦耳斯方程	19

第十四章 热力学基础	31
第一节 准静态过程 功 热量	31
一、准静态过程	31
二、准静态过程的功	32
三、热量	34
第二节 热力学第一定律	34
一、内能	34
二、热力学第一定律	35
第三节 热力学第一定律对理想气体的应用	36
一、等体过程 定体摩尔热容	36
二、等压过程 定压摩尔热容	38
三、等温过程	40
四、绝热过程	41
第四节 循环过程 卡诺循环	44
一、循环过程	44
二、卡诺循环及其效率	45
第五节 热力学第二定律 熵	47
一、热力学第二定律	47
二、可逆过程和不可逆过程	48
三、卡诺定理	49
四、熵	50
五、熵增加原理	53
第十五章 流体力学	65
第一节 流体静力学	65
一、静止流体内一点的压强	65
二、静止流体内压强的分布	67
三、帕斯卡原理	68
四、阿基米德原理	68
第二节 理想流体的定常流动	70
一、理想流体	70
二、流体运动的描述方法	70
三、定常流动	71
四、流线和流管	71
五、不可压缩流体的连续性方程	72

第三节 伯努利方程	73
一、伯努利方程概述	73
二、伯努利方程的应用	74

第五篇 波动物理学基础

第十六章 机械波动理论	85
第一节 机械波的形成 平面简谐波	85
一、机械波的形成和传播	85
二、横波和纵波	87
三、波线、波面、波振面	87
四、波速、波长以及波的周期和频率	88
五、平面简谐波	89
第二节 波动方程	92
一、平面波波动方程	92
二、一般情况下的波动方程	93
第三节 波的能量 能流密度	93
一、波的能量	93
二、能流和能流密度	95
第四节 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	97
一、惠更斯原理	97
二、波的衍射	98
三、波的反射和折射	99
第五节 波的干涉 驻波	101
一、波的叠加	101
二、波的干涉	101
三、驻波	103
第十七章 光的干涉	115
第一节 光的电磁理论	115
第二节 杨氏双缝干涉	117
一、相干光的获得	117
二、相干叠加	118
三、杨氏双缝干涉	119
四、洛埃镜实验	121
第三节 光程与光程差	121

一、光程和光程差	121
二、等光程性	123
第四节 等倾干涉 等厚干涉	124
一、薄膜干涉公式	124
二、等倾干涉	126
三、等厚干涉	129
第十八章 光的衍射与偏振	141
第一节 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理	141
一、光的衍射现象	141
二、惠更斯-菲涅耳原理	142
第二节 夫琅禾费单缝衍射	143
第三节 光栅衍射	147
第四节 夫琅禾费圆孔衍射 分辨本领	152
一、夫琅禾费圆孔衍射	152
二、光学仪器的分辨本领	153
第五节 自然光与偏振光	154
第六节 起偏和检偏 马吕斯定律	155
第七节 反射和折射时光的偏振 布儒斯特定律	157
第十九章 物质波理论	169
第一节 黑体辐射疑难	169
一、黑体辐射	169
二、普朗克量子化假设	171
第二节 光的波粒二象理论	172
一、光电效应	172
二、康普顿效应	174
第三节 德布罗意的物质波假说	177
第四节 波函数及其统计解释	180
一、波函数	180
二、波函数的统计解释	181
第六篇 物质的微观结构及其运动规律	
第二十章 现代量子理论	191
第一节 玻尔的氢原子理论	191
一、玻尔的氢原子理论	192

二、玻尔氢原子理论的缺陷	195
第二节 量子力学初步	196
一、薛定谔方程	196
二、不确定关系	198
三、薛定谔方程的应用	199
第三节 隧道效应 激光	206
一、隧道效应	206
二、激光	207
第二十一章 核物理与粒子物理简介	218
第一节 原子核的基本性质 核模型	219
一、原子核的基本性质	219
二、核力	227
三、核模型	228
第二节 原子核的放射性衰变	231
一、放射性现象	232
二、原子核的衰变规律	234
第三节 核反应、核裂变与核聚变	237
一、核反应概述	237
二、核裂变	239
三、核聚变	240
第四节 粒子物理简介	242
一、粒子的分类	242
二、基本粒子的相互作用	244
第五节 对称性与守恒定律	246
一、对称性	246
二、守恒定律	247
第二十二章 固体物理学	254
第一节 周期性晶体结构	255
一、晶体结构	255
二、晶格的周期性	256
三、倒格矢与布里渊区	257
第二节 金属自由电子气理论	259
一、自由电子的能级与波函数	259
二、状态密度	260

三、费米能级	262
四、电子气的热容	265
习题答案	269
附录	284
附录 I 基本物理常量最新数值表	284
附录 II 中华人民共和国法定计量单位	286
参考文献	290

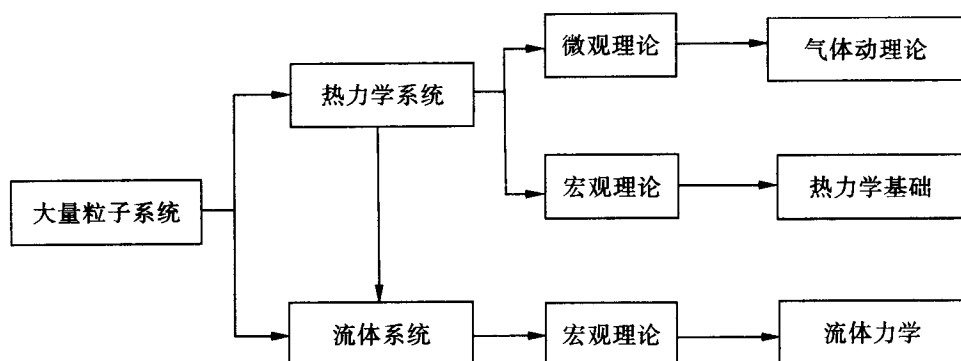
第四篇

大量粒子系统的运动规律

从微观结构讲,宏观物体都是由大量的微观粒子构成的。因此,宏观物体都属于大量粒子系统。然而根据所研究问题的性质,宏观物体却有着不同的理想模型和研究方法。若不考虑微观粒子的运动,只是讨论物体的宏观机械运动,可把物体视为质点或刚体。同样是不考虑微观粒子的运动,但物体的形变不可忽略时,我们可以把物质视为连续介质,相应的理论称为连续介质力学。连续介质力学的最基本假设是“连续介质假设”,物质的宏观性质主要受牛顿力学的支配,用统一的观点来研究连续介质在外部作用下的变形和运动规律。既不考虑物体宏观的机械运动,也未深入到物质的微观结构和微观粒子运动的层次,而研究由大量粒子构成的宏观物体的热现象规律的理论称为热力学。热力学根据由观察和实验总结出来的热现象的规律,用严密的逻辑推理方法,研究各种宏观物体的热性质,它是一种唯象的、描述性的理论,具有很强的普适性和较高的准确性,但不能解释物体热现象和热性质的微观本质。不考虑物体宏观的机械运动,而从物质的微观结构和粒子的微观运动着手,研究宏观物体的热现象和粒子热运动规律的理论称为统计物理学。统计物理学认为,单个粒子的运动遵循力学规律,由大量粒子组成的系统的整体行为和性质却遵循统计规律,系统的宏观性质是大量粒子的集体表现。统计物理学是一种深刻的解释性理论,系统而严谨,具有高度的概括性和普适性,并能揭示物体热现象和热性质的微观本质。热力学和统计物理学是关于大量粒子系统宏观热现象的基本理论,二者既各具特色又互相补充,相得益彰,形成了完整的热学理论。

本篇包括三章内容。第十三章气体动理论是统计物理初步;第十四章热力学基础是热力学的基本内容;第十五章流体力学是连续介质力学中最简单、最基本的内容。

本篇知识结构框图





第十三章

气体动理论

气体动理论是最早形成的关于气体系统的统计理论。它从气体的微观模型出发,利用牛顿力学规律分析单个气体分子的运动,借助于统计方法,导出并建立处于热力学平衡态的气体系统的热现象和热性质的宏观规律。

本章首先引入热力学平衡态的概念,通过描述平衡态引入状态参量和理想气体的物态方程,然后利用理想气体的微观模型,采用统计的方法,导出理想气体的压强公式,揭示温度的微观本质,讨论能量均分定理和麦克斯韦(Maxwell)气体分子速率分布律,最后介绍气体分子的平均自由程及真实气体。

第一节 平衡态 温度 理想气体物态方程

一、平衡态

热学的研究对象是大量微观粒子(分子、原子或其他粒子)组成的宏观物体,通常称这样的研究对象为热力学系统(简称系统),而把与热力学系统存在密切联系的系统以外的部分称为外界。根据系统与外界相互作用的特点,可把系统分为三种。一种是系统和外界既无能量交换又无物质交换的系统,称为孤立系。另一种是系统与外界只有能量交换而无物质交换的系统,称为封闭系。第三种是开放系,即系统与外界既有能量交换又有物质交换。

热学对系统的研究集中在与系统内部状态有关的宏观性质及其关系上面。对于一个与外界存在相互作用的系统而言,其宏观性质会在外界的影响下,或者不断发生变化,难以名状;或者宏观性质不均匀,因点而异。这都给系统宏观性质的描述带来极



大的困难。人们在实践中发现,一个不受外界影响的系统,最终总会达到宏观性质不随时间变化且处处均匀一致的状态。我们把在不受外界影响的条件下系统处于宏观性质不随时间变化的状态,称为热力学平衡态,简称平衡态。

这里我们必须注意:首先,系统处于平衡态的条件是“不受外界影响”。对于孤立系这个条件自然满足,但真正的孤立系是不存在的。若系统与外界存在相互作用,但系统与外界没有物质交换,且其能量交换可以忽略不计,则可以认为系统不受外界影响。其次,平衡态下系统的宏观性质不随时间变化,但从微观的角度看,组成系统的大量粒子的微观运动状态仍处于不停的变化之中,只是大量粒子运动的总效果不变,这在宏观上就表现为系统的宏观性质不变。因此,这种平衡又称为热动平衡,即热力学动态平衡,这与力学中质点或刚体的平衡状态完全不同。另外,在外界的影响下,系统的宏观性质也能处于不随时间变化的状态,但这种状态不叫平衡态,而称为稳定态。

二、状态参量

怎样描述热力学系统的平衡态呢?既然系统在平衡态下,其宏观性质不随时间而变,我们就可以选择与热现象有关的、表征系统宏观性质的、易于测量的参量来描述系统的平衡态。由于这些参量之间可能存在一定的关系,我们总可以选择若干个独立的参量来描述系统的平衡态,我们把选作描述系统平衡态的一组相互独立的宏观参量称为系统的状态参量。

由于热运动能够改变宏观物体的几何形状和大小,影响材料的弹性系数等力学性质,以及介质的电磁特性及物体所处的聚集态等诸多方面,按状态参量的性质可将其分为几何参量(体积、面积、长度),力学参量(压强、表面张力、弹性系数),电、磁参量(电场强度、磁感应强度),化学参量(摩尔数、摩尔质量)和热学参量(温度)等几类。用这几类参量的若干个或全体同时描述一个系统的状态是热力学中特有的方法,它反映了热力学系统的复杂性和热力学研究对象的广泛性。

描述不同的系统所需要的状态参量的个数和种类是不同的。对于由一定量的单种化学成分的物质组成的气体、液体或者固体系统,我们称之为简单均匀系。对简单均匀系常用体积 V 、压强 p 描述系统的宏观状态。

三、温 度

温度是热学中特有的物理量,用来表征物体的冷热程度。物体的冷或热原本依赖于人们对物体的直接感觉,这种建立在主观感觉之上的概念,注定要被严格而科学的定义取代。

假设有两个热力学系统,原来各自处于平衡态,现使两个系统相互接触并能发生传热(称热接触),热接触后的两个系统的状态一般都将发生变化,但经过一段时间后,两个系统的状态便不再变化,这表明两个系统最终达到了一个共同的平衡态。由于这种



共同的平衡态是两个系统在发生传热的条件下达到的,所以称二者处于热平衡。

一种特殊的情况是,热接触后两个系统的状态都没有发生任何变化而达到了热平衡。由此我们可以看出,两个系统即使不进行热接触也能达到热平衡,热接触仅仅为热平衡提供了一定的条件而已。

现在考虑 A 、 B 、 C 三个热力学系统,将 A 和 B 相互隔绝,但使其同时与 C 热接触,经过一段时间之后, A 和 C 及 B 和 C 都将达到热平衡。这时,若将 A 和 B 进行热接触,则发现 A 和 B 的状态都不发生变化。这说明 A 和 B 也处于热平衡。由此可以得出结论:如果两个热力学系统的每一个都与第三个热力学系统处于热平衡,则它们彼此也必定处于热平衡,这称为热平衡定律。热平衡定律是否勒(Fowler)于 1939 年才提出的,虽提出较晚,但因其在热力学定律体系中较为重要,并处于基础的地位,不便列于已经成名的热力学第一定律、第二定律之后,故称之为热力学第零定律。

热力学第零定律告诉我们,互为热平衡的物体必具有共同的宏观性质。我们定义这个决定一系统与其他系统是否处于热平衡的宏观性质为温度,它的特征就是一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。

这里关于温度的定义与我们日常生活中温度的概念是一致的。根据生活经验我们知道,物体的冷热程度是由该物体自身的状态决定的,当两个冷热程度不同的物体热接触时,热的变冷,冷的变热,最后两物体的冷热程度完全相同。

一切互为平衡的物体都具有相同的温度,这是用温度计测量温度的依据。我们可以选择适当的系统作为温度计,测量时使温度计与待测系统热接触,当二者达到热平衡时,温度计所指示的温度就是待测系统的温度。

以上关于温度的定义只是定性的,完全的定义还应包括温度的数值表示,我们把温度的数值表示法叫做温标。

建立一种经验温标需要包含三个要素:选择某种测温物质并确定其测温属性(如测温物质为水银,以其体积作为测温属性);选定固定点,并设定其数值(如摄氏温标,以冰的正常熔点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,水的正常沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$);规定测温属性随温度的变化关系,对温标进行分度(如摄氏温标,对水银温度计规定水银体积随温度作线性变化,在 $0\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间等分为 100 小格,每小格为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

由于建立经验温标具有较多的任意性,因此,选择不同测温物质或不同测温属性所确定的经验温标并不严格一致。为使温度的测量准确、统一,人们在寻求建立不依赖于具体测温物质及其测温属性的温标方面进行了不懈的努力。先是建立了理想气体温标,它以气体为测温物质,利用理想气体在体积(或压强)不变时压强(或体积)与温度成正比的关系,并规定在水的三相点时温度为 273.16 K (单位 K 读作开)。由此建立的温标称理想气体温标。所有的气体当其压强趋于零的极限条件下都可视为理想气体,因此,理想气体温标是借助于实际气体温标并外推到压强趋于零的极限条件而实现的。理想气体温标与测温物质(气体种类)及其测温属性(压强或体积)无关,



但在极高或极低的温度下,气体已不能存在温度范围,理想气体温标形同虚设。

在卡诺(Carnot)定理的基础上,开尔文(Kelvin)提出可建立一种不依赖于任何测温物质和测温属性的理想温标,并称之为绝对温标或热力学温标。热力学温标同样规定水的三相点的温度为 273.16 K。在理想气体温标的适用范围内,热力学温标可以利用理想气体温标来实现。

热力学温标是一种理想化的温标,国际上规定热力学温标为基本温标。但为了更好地统一并方便地进行各个温度区间的温度测定,国际计量大会制定了国际实用温标,有关规定可参考相关资料。

下面给出常用的摄氏温标 t 与热力学温标 T 之间的换算关系:

$$T = 273.15 + t \quad (13-1)$$

即热力学温标规定为 273.15 K 为摄氏温标的零度。

四、物态方程

当系统处于平衡态时,系统的温度与状态参量之间存在一定的函数关系,我们把平衡态下状态参量与系统温度之间的关系式称为系统的物态方程。在热力学部分,系统物态方程的具体形式是由实验来确定的。实验表明,在压强不太高、温度不太低的条件下,各种气体都遵从玻意耳定律、查理定律和盖·吕萨克定律。在任何情况下都能严格遵从上述三大定律的气体称为理想气体。由气体的三大实验定律可以得到质量为 M 、摩尔质量为 M_m 的理想气体物态方程为

$$pV = \frac{M}{M_m} RT \quad (13-2)$$

式中 $R = 8.31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。有时我们也把能严格遵从理想气体物态方程的气体称为理想气体。

第二节 理想气体的压强 温度的统计意义

一、物质的微观模型

分子动理论是从物质的微观结构出发来阐明热现象的规律的。因此,物质的微观结构、微观粒子的受力和运动特征是这一理论的基础。人们通过大量实验,逐步建立了物质的微观模型,要点如下:

宏观物体都是由大量的微观粒子,即分子或原子所组成,分子或原子具有一定大小(原子线度为 10^{-10} m)和质量(氢气分子质量为 $3.3 \times 10^{-27} \text{ kg}$);分子或原子处于永不停息的热运动之中,热运动的剧烈程度与物体的温度有关;分子或原子之间存在相互作用力,当其相距较远时表现为引力,相距较近时表现为斥力。