

大学物理

下 册

万仁浚 编著
乔本元

北京邮电大学出版社

大学物理

下 册

周小来 万仁浚 王永钢 编著
张晓光 杨经国

北京邮电大学出版社

(京)新登字 162 号

大学物理 (下册)

编 著 者 万仁浚 乔本元

责任编辑 李明田

*

北京邮电大学出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

高碑店市印刷厂印刷

*

850×1168 毫米 1/32 印张 16.375 字数 421 千字

1995 年 5 月第一版 1995 年 5 月第一次印刷

印数: 1—4500 册

ISBN 7-5635-0218-1/O·11 定价: 12.00 元

图书在版编目(CIP)数据

大学物理 下册/万仁浚, 乔本无编著. —北京: 北京
邮电大学出版社, 1995

ISBN 7-5635-0218-1

I. 大… II. ①万… ②乔… III. 物理学-高等学
校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 07334 号

本书是工科《大学物理》教材。全书分上、下两册。上册包括力学、电磁学。下册包括分子物理、热力学、振动、波动、波动光学及近代物理。本书的起点及难度略高于一般工科大学物理教材。适当地加强了理论的系统性。习题及例题的难度也相应地提高，着重于对学生能力的培养。整体上贯彻“基本要求”，但高于“基本要求”。因此本书适用于第一批录取的院校，特别是分 A、B 班教学的 A 班使用。对 B 班略去带星号的内容及习题，也是适用的。

前 言

这本教材是在我们编写的讲义的基础上，经过了三届试用以后重新改写而成。它积累了我们多年的教学经验，特别是近几年在教改中所作的一些探索。如果说这本教材有什么特色的话，那就是起点和难度较高。我们这样作的目的，主要是为了贯彻因材施教的教育原则。近年来高中学生水平不断提高。对于第一批录取的工科院校，学生基础好，能力也较强。如果仍用老教材，学生往往觉得过于轻松，也引不起学习兴趣。经常听到教师抱怨，一些学生学完了《大学物理》，还将标量与矢量写成等式。也听到后续课的教师反映，如学习理论力学时，还不习惯于用正规方法解题；学习电磁场理论时掌握不住矢量方程的物理意义等等。总之是有一个台阶不容易跨越。我们觉得责任不在学生。而是作为基础课——《大学物理》教学中的问题。这就是因为在物理教学中没有能对学生进行较为严格的、系统的能力培养，也缺乏足够的锻炼。例如矢量问题，往往限于公式的表示上。真正的使用也只是分解与合成，这和中学没有什么差别，只不过多了一个矢量符号。另外在理论的系统性、严密性以及能力的培养上，也主要是教师在课堂上强调，而没有相应的教材配合。尽管讲了，学生不一定真正体会。特别是力学部分，除刚体一章外，学生在未学书上的内容之前，绝大部分习题已都会作。因此对物理课一开始就掉以轻心。这样因循习旧，以后想改变也不容易。办学是作为物理课程整体的基础，如果在力学中没有得到较为系统的、严密的物理思维和能力的训练，必然影响其后的学习。因此在本教材中，我们参考国内外的优秀教材，提高了力学的起点。对力学以外的其他部分也有相应的提高。电磁学部分在理论的系统性及深度上稍有加强，并注意内容

的现代化。例如引用了电流单位的最新定义,收入了量子霍尔效应等。光学部分加强了自然光的特性及干涉理论的阐述,以此贯穿衍射及偏振光干涉。而不是只讲几个干涉、衍射装置,以免有内容零散之感。热学部分加强了统计概念及规律的阐述。对熵这个在理论及实际上都非常重要的概念着墨稍多,从宏观和微观两个方面阐述了它的意义。近代物理部分着重用近代物理的思想和观点来阐述和整理在本课程中必需讲解的那些基本内容。并注意介绍近代物理的新成就。使教材具备应有的时代风貌。

为了与教材内容配合,除基本习题外,我们增选了一些较难的习题,以深化概念和提高能力。侧重于灵活性,过偏、过繁的题则未选入。

当然,我们没有忘记这本教材仍然是工科《大学物理》。在保证“高等工科大学物理课程教学基本要求”的前提下,只有少量“放花”。对于超出“基本要求”的内容,在节前注有*号者,可以不讲,也不影响后续内容的学习。本教材在理论体系、内容和方法上仍然是工科大学物理的水平,因此也适合一般工科院校使用。

作为一种尝试,也是一个抛砖引玉之举。限于编者水平,可能有错误或不妥之处。恳切希望得到批评指正。

本书由万仁浚(绪论,第一、二、三、四、五、六、十七、廿二章)、乔本元(第七、八、九、十、十一、十二、十三章)、周小来(第十四、十五、十六章)、王永钢(第十八、廿六章)、张晓光(第十九、廿、廿一章)、杨经国(第廿三、廿四、廿五章)分工编写。张雨田选编力学学习题。田贵花选编电磁学习题。

上册由万仁浚统稿,下册由乔本元统稿。

全书由北方交通大学余守宪、周盛芳审稿。他们详细审阅和修改了原稿,并多处提出富有建设性的意见。谨致谢意。

编者

一九九四年三月

目 录 (下册)

第三篇 气体动理论和热力学基础

第十四章 气体动理论

- § 14-1 分子力与分子热运动 (5)
- § 14-2 理想气体压强和温度的统计意义 (8)
- § 14-3 麦克斯韦速率分布律 (14)
- § 14-4 统计规律和涨落现象 (25)
- § 14-5 玻尔兹曼分布律 重力场中微粒按高度的分布
..... (28)
- § 14-6 能量均分定理 气体的内能 (32)
- § 14-7 气体分子的平均自由程 (36)
- § 14-8 气体的运输过程 (40)
- § 14-9 范德瓦尔斯方程 (45)
- 习 题 (50)

第十五章 热力学第一定律

- § 15-1 准静态过程 (53)
- § 15-2 功 热量 内能 热力学第一定律 (55)
- § 15-3 热容量 (61)
- § 15-4 热力学第一定律对理想气体的应用 (66)
- § 15-5 循环过程 卡诺循环 (76)
- 习 题 (85)

第十六章 热力学第二定律

- § 16-1 热力学第二定律的经典表述 (91)
- § 16-2 热力学第二定律的实质 (93)
- § 16-3 热力学第二定律表达式 熵 (97)

§ 16-4 热力学第二定律的统计意义	(112)
习 题	(117)

第四篇 振动和波动

第十七章 简谐振动

§ 17-1 简谐振动	(120)
§ 17-2 简谐振动的图示法	(124)
§ 17-3 平行简谐振动的合成	(127)
§ 17-4 相互垂直的简谐振动的合成	(133)
习 题	(136)

第十八章 波 动

§ 18-1 波动的基本概念	(140)
§ 18-2 平面简谐波	(146)
§ 18-3 波的能量和能流密度	(159)
§ 18-4 惠更斯原理	(166)
§ 18-5 波的叠加 波的干涉	(170)
§ 18-6 驻波	(174)
§ 18-7 多普勒效应	(183)
§ 18-8 电磁波简介	(186)
习 题	(192)

第五篇 波动光学

第十九章 光的干涉

§ 19-1 光波干涉的基本原理	(200)
§ 19-2 普通光源的发光机制 获得相干光的方法	(208)
§ 19-3 光程的概念	(212)
§ 19-4 杨氏双缝干涉(分波阵面干涉)	(217)
§ 19-5 薄膜干涉(分振幅干涉)	(225)
§ 19-6 迈克尔逊干涉仪	(237)
§ 19-7 空间相干性与时间相干性	(242)

习 题	(250)
第二十章 光的衍射	
§ 20-1 光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	(254)
§ 20-2 夫琅和费单缝衍射	(257)
§ 20-3 夫琅和费圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	(265)
§ 20-4 光栅的衍射	(269)
§ 20-5 光栅光谱	(282)
§ 20-6 X射线的衍射	(286)
习 题	(289)
第二十一章 光的偏振	
§ 21-1 自然光和偏振光	(293)
§ 21-2 起偏和检偏	(297)
§ 21-3 反射和折射时光的偏振现象	(300)
§ 21-4 双折射	(305)
§ 21-5 波晶片 椭圆偏振光和圆偏振光的获得与检验	(314)
§ 21-6 偏振光的干涉	(320)
§ 21-7 人工双折射与偏振光干涉的应用	(323)
§ 21-8 旋光现象	(326)
习 题	(327)
第六篇 近代物理基础	
第二十二章 狭义相对论基础	
§ 22-1 经典时空观 伽利略变换与力学相对性原理	(331)
§ 22-2 狭义相对论的实验基础	(337)
§ 22-3 狭义相对论的基本假设	(340)
§ 22-4 洛仑兹变换	(343)

§ 22-5	狭义相对论的时空观	(347)
§ 22-6	相对论动力学基础	(361)
	习 题	(372)
第二十三章 量子与光子 氢原子结构理论		
§ 23-1	黑体辐射	(375)
§ 23-2	普朗克量子假设	(381)
§ 23-3	光电效应 爱因斯坦光子理论	(385)
§ 23-4	康普顿效应	(390)
§ 23-5	氢原子光谱 玻尔理论	(396)
§ 23-6	实物粒子的二象性	(406)
§ 23-7	波函数	(410)
§ 23-8	不确定原理	(414)
	习 题	(418)
第二十四章 量子力学初步		
§ 24-1	薛定谔方程	(423)
§ 24-2	一维势阱与势垒	(427)
§ 24-3	谐振子	(431)
§ 24-4	氢原子	(434)
§ 24-5	电子自旋	(440)
§ 24-6	原子的壳层结构	(443)
	习 题	(447)
第二十五章 激 光		
§ 25-1	自发辐射、受激吸收和受激辐射	(450)
§ 25-2	粒子数反转	(455)
§ 25-3	光学谐振腔	(458)
§ 25-4	激光器	(461)
§ 25-5	激光的特性和用途	(464)
第二十六章 半导体		
§ 26-1	固体的能带与固体的导电机理	(466)

§ 26-2 本征半导体与杂质半导体	(477)
§ 26-3 PN 结	(482)
习 题	(501)
习题答案	(504)

第三篇 气体动理论和热力学基础

热运动是指物体中分子或原子的无规则运动，这种广泛存在的分子无序运动也是自然界的一种基本运动形式。大量分子热运动的整体效应在宏观上表现为物体的热现象及热性质，热学是研究热现象及其规律的科学。

从18世纪开始，由于蒸汽机而引起的第一次工业革命，促进了人们对热现象及其规律的研究。到19世纪中叶，建立了完整的经典热学理论，它包括宏观理论及微观理论。宏观理论称热力学，它以实验为基础，通过归纳和推理得出有关热现象的基本定理。其中作出主要贡献的是焦耳 (James Prescott Joule, 1818—1889)、卡诺 (Sadi Carnot, 1796—1832)、开尔文 (Kelvin, 即 W. Thomson, 1824—1907)、和克劳修斯 (R. E. Clausius, 1822—1888)。微观理论指气体动理论 (曾称气体分子运动论)，它从物质的分子结构和分子运动观点出发，对于每个分子应用力学定律、对大量分子应用统计方法，研究大量分子热运动的整体效果，从而解释物质的热现象及热性质。对该理论作出重要贡献的主要是麦克斯韦 (James Clerk Maxwell, 1831—1879)、玻耳兹曼 (Ludwig Boltzmann, 1844—1906)。热力学理论和气体动理论相辅相成，前者对热现象及其规律给出普遍而可靠的结论，而后者则从微观本质上作出解释。

热学研究的具体对象是由大量分子和原子组成的宏观物体或物体系，我们称这些宏观物体或物体系为热力学系统或简称系统。

系统以外的物体统称外界。如研究气缸内气体的体积、压强等变化时，这气体就是系统，而气缸壁、活塞、发动机的其他部分以及大气等都是外界。

要研究系统的热学性质及其变化规律，首先要对系统的状态加以描述。热力学采用宏观描述的方法，气体动理论则采用微观描述方法。

所谓宏观描述就是用几个可测量的量来描述系统的性质。例如描写气缸内气体的整体属性时，其体积、压强、温度等物理量称宏观量，其描述的状态称宏观态。

如果给出了系统中所有分子的力学量，例如分子的质量 m 、某时刻的位置 r 、速度 v 等，也就是给出了该系统在该时刻的状态。这种通过对分子运动状态的说明而对系统的状态加以描述的方法称微观描述。 m 、 r 、 v 等称微观量。

宏观描述和微观描述是描写同一热现象的两种不同的方法，因此它们之间必有一定的内在联系。这就是：宏观量是微观量的统计平均值。这是因为，宏观物体所发生的各种热现象都是它所包含的大量微观粒子运动的集体表现。这里所说的集体表现就是指可直接观测的宏观热性质，而把宏观量解释为微观量的统计平均值。例如，气体对容器壁的压力是大量气体分子撞击容器壁的集体效果，气体的压强（宏观量）是微观量 v^2 的统计平均值。

本篇以理想气体为研究对象，介绍热力学的基本定律和气体动理论的基本内容，从宏观和微观两个侧面阐明热力学系统平衡态的性质及热力学过程的规律，并将主要涉及热力学系统的平衡态的研究。

所谓平衡态，是指在不受外界影响的条件下，一个系统的宏观性质（如温度、压强、密度等）不随时间改变的状态。平衡态只是一种宏观上的寂静状态，在微观上系统并不是静止不变的。在平衡态下，组成系统的大量分子还在不停地运动着，这些微观运动的总效果也随时间不停地变化着，只不过其总的平均效果不随

时间变化罢了。因此我们讲的平衡态应该理解为**动态平衡**。

由于一个系统总要受到外界的干扰，所以严格的不随时间变化的平衡态是不存在的。平衡态是一个理想的概念，是在一定条件下对实际情况的概括和抽象。但在许多实际问题中，往往可以把系统的实际状态近似地当作平衡态来处理，而比较简便地得出与实际情况基本相符的结论。因此，平衡态是热学理论中的一个很重要的概念。

系统的平衡态可以用一组宏观状态参量来描述。这是因为，当系统达到平衡时，系统内所能观察到的一系列性质都不随时间改变，因而可以用某些确定的物理量来表征系统的状态。所以，我们就可以选择其中若干个可由实验测定的物理量作为描写系统状态的变量，称它们为**状态参量**。例如一定体积内单一成份的气体，在平衡态下，当忽略重力影响时，其压强、温度处处一样，于是可用体积 V 、压强 p 、温度 T 来描写它的状态。实验结果表明，对一定的系统，在平衡态下，它的状态参量满足一定的关系，这个关系叫物态方程（曾称状态方程）。

理想气体的物态方程为

$$pV = \frac{M}{\mu} RT$$

它是从真实气体实验定律总结出来的，反映了气体在压强不太大，温度不太低的情况下的客观规律。其中 M 是气体的质量， μ 是气体的摩尔质量， R 是摩尔气体常数，其值等于 $8.314\text{J/mol} \cdot \text{K}$ ， T 是热力学温度，也叫绝对温度，它的国际制单位叫“开尔文”，简称“开”，记作 K 。按 1960 年国际计量大会的规定，绝对温度与摄氏温度的关系是 $T = t + 273.15$ 。

1 摩尔的任何气体中有 N_A 个分子， N_A 叫阿佛加德罗常量。 $N_A = 6.023 \times 10^{23}/\text{mol}$ 。

若以 N 表示体积 V 中气体分子总数，则摩尔数 $\nu = \frac{M}{\mu} = \frac{N}{N_A}$ 。若引入另一个普适常量 k ， k 称玻尔兹曼常量。

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$$

则理想气体物态方程又可写作

$$pV = NkT$$

或

$$p = \frac{N}{V} kT = nkT$$

n 是单位体积内气体的分子数，叫气体数密度。

下面我们首先讨论气体动理论。

第十四章 气体动理论

气体动理论是统计物理学的前身和组成部分，是统计物理最简单最基本的内容。

在大量实验事实的基础上，对物质的微观模型可归纳为下述三个基本观点：物体由大量分子所组成；所有分子都在作不停的无规则运动；分子间存在相互作用力。气体动理论就是从这三个基本观点出发，用统计的方法求出表征大量分子、原子集体运动的统计平均值及其变化规律。

通过对本章的讨论，使我们了解一些气体性质的微观实质，同时对统计物理处理问题的基本方法有一个初步认识。

§ 14-1 分子力与分子热运动

物质气、液、固聚集态的基本差别就在于分子力与热运动这一对矛盾双方谁占主要方面，所以必须对分子间作用力作进一步说明。

一、分子力的半经验公式及其图线

分子力可以看作是由两种力合成的，一种是吸引力，一种是排斥力，这两种力都是保守力。

分子力起源于电子、原子核间的电磁相互作用。相互作用关系很复杂，无法由实验直接测定，理论上也很难用简单的数学公式表示，故通常是在实验的基础上，采用简化模型来处理问题。按照伦纳德-琼斯 (Lennard-Jones) 理论，两个分子间相互作用力与分子间距离 r 的关系是

$$f = \frac{a}{r^m} - \frac{b}{r^n} \quad (m > n) \quad (14.1)$$

称为分子力的半经验公式。

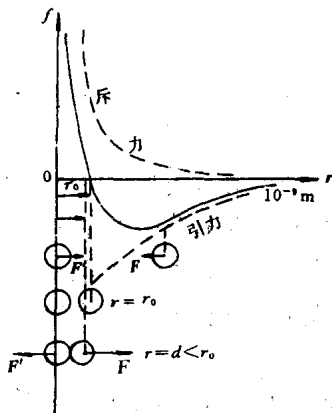


图 14-1 分子作用力的变化曲线

其中第一项为正值表示斥力，第二项为负值表示引力，两种力都与两个分子中心间的距离 r 的高次方成反比，随距离的增加减少得很快，故都属短程力。由实验知，对于不同的分子都有 $n=7$ ，而 m 在 $10\sim 13$ 之间，故排斥力随距离的变化比吸引力更快。分子间相互作用力随分子间距离变化的关系用图(14-1)表示。图中画出了分子间斥力、引力及合力随距离 r 变化的关系，其中实线表示合力。

当 $r=r_0$ 时（一般数量级为 10^{-10}m ），斥力等于引力，合力 $f=0$ 。一般固体、液体中相邻分子间距离大体上等于 r_0 。

当 $r>r_0$ 时，合力 $f<0$ ，表示分子间的引力起主要作用。 $r>10^{-9}\text{m}$ 后，引力就可忽略不计，这时的气体可看成理想气体。

当 $r<r_0$ 时，合力 $f>0$ ，表示分子间斥力起主要作用，且随 r 减小急剧增大。这就是固体和液体有很大抗压性的原因。

理想气体分子只有运动到彼此间距离 $r<10^{-9}\text{m}$ 后才开始受到引力，这引力又进一步促使分子接近，直到 $r<r_0$ 后分子受到很大斥力才弹开。这个过程很象两个弹性小球的碰撞过程，而在“碰撞”过程中两个分子中心所能达到的最小距离 d 相当于两个弹性球接触时的距离，因此将 d 叫作分子的有效直径。图中是设想一个分子静止不动，并处于坐标原点，另一分子从很远处以一定速度自右向左向它接近。“碰撞”时 d 略小于 r_0 ，其具体数值与分子