



普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等院校物理精品教材



大学物理简明教程 (下册)

主编 王安蓉 刘定兴 邹 星 魏 勇
主审 陈立万 聂祥飞 赖于树



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理简明教程(下册)

主 编	王安蓉	刘定兴	邹 星	魏 勇
副主编	贺叶露	何成林	许 刚	孙 跃
	舒纯军	刘利利		
主 审	陈立万	聂祥飞	赖于树	

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书以物理学的基本概念、定律和方法为核心,在保证物理学知识体系完整的同时,重点突出以物理学的思想和方法来分析问题、解决问题的综合能力的培养和训练。结合地方普通高等院校的特点,增补了一些物理学在相关交叉学科的发展和应用实例,理论联系实际,既激发学习兴趣,又丰富知识面,不断提高读者的综合素质。

本书共分为8章,分别介绍了气体动理论、热力学基础、真空中的静电场、导体和电介质的静电场、恒定电流的磁场、电磁感应、相对论基础、量子物理基础等内容。每章均配有习题,并给出了部分参考答案。

本书为适应不同地区、不同专业的本科生及高职类学生大学物理课程教学和自学而编写的,可作为不同专业本科生、高职类学生、大专及成人教育的大学物理课程教学的教材和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理简明教程.下册/王安蓉等主编. —武汉:华中科技大学出版社,2017.9

ISBN 978-7-5680-3274-2

I. ①大… II. ①王… 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 188381 号

大学物理简明教程(下册)

Daxue Wuli Jianming Jiaocheng(Xiace)

王安蓉 刘定兴 邹 星 魏 勇 主编

策划编辑:范 莹

责任编辑:余 涛

封面设计:潘 群

责任校对:祝 非

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:武汉科源印刷设计有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:18.25

字 数:372千字

版 次:2017年9月第1版第1次印刷

定 价:42.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

前 言

进入 21 世纪,我国的高等教育已从“精英教育”逐步走向“大众教育”,为适应新形势下科学技术的发展对人才培养的新要求,高等教育越来越强化基础教育课程,注重学生综合素质的培养。另外,随着科学技术的发展,学科之间的交叉与结合尤为突出,物理学正进一步向电子、机械、土木、生物、化学、材料科学、医学等学科领域渗透与发展。因此,良好的物理基础是学好其他自然科学与工程技术科学的基本保障。物理学所阐述的基本原理、基本知识、基本思想、基本规律和基本方法,不仅是学生学习后续专业课的基础,也是全面提高学生科学素质、科学思维方法和科学研究能力的重要内容。大学物理课程是理工类各专业的必修公共基础课,在培养学生辩证唯物主义世界观、科学的时空观等方面起着重要的作用。

本书在保持大学物理课程体系的完整性、科学性、系统性和逻辑性等特点的前提下,适当调整了部分内容的顺序和结构,对内容难度大的部分进行删改,在注重陈述物理学的基本知识、概念、规律的同时,适当减少综合性、运算繁复的例题,选用一些切合实际的应用题,增加了一些物理学的交叉发展和应用实例。

《大学物理简明教程》分为上、下两册。上册包括力学、振动与波和波动光学;下册包括热学、电磁学、相对论和量子物理学。上册中力学、振动与波由贺叶露老师编写,波动光学由何成林老师编写。下册中热学由邹星老师编写,电磁学由刘定兴老师编写,相对论和量子物理学由王安蓉老师编写,习题由魏勇老师编写,最后由王安蓉老师负责全书的修改和定稿工作。参加讨论和编写的还有许刚、舒纯军老师。陈立万、聂祥飞和赖于树教授仔细审查了此书,华中科技大学出版社有关工作人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的辛勤劳动,在此一并表示感谢。

不同院校不同专业的物理教学计划学时数可能存在差异,在使用本教材时可根据其具体情况对内容进行重组或取舍,书中带“*”号部分内容可根据实际教学课时自行处理,可选择讲授或让学生自己阅读。

由于编者学识和教学经验有限,书中难免存在不当和疏漏之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2017 年 8 月

目 录

第3篇 热 学

第9章 气体动理论	(3)
9.1 平衡态 温度 理想气体状态方程	(3)
9.1.1 平衡态 温度	(3)
9.1.2 理想气体状态方程	(4)
9.2 分子热运动和统计规律	(6)
9.2.1 分子热运动的图像	(6)
9.2.2 分子热运动的基本特征	(7)
9.2.3 分布函数和平均值	(7)
9.3 气体动理论的压强公式	(9)
9.3.1 理想气体的微观模型	(9)
9.3.2 速率分布函数	(10)
9.3.3 压强公式的简单推导	(10)
* 9.3.4 理想气体压强公式的推导	(12)
9.4 理想气体的温度公式	(14)
9.4.1 温度的本质和统计意义	(14)
9.4.2 气体分子的方均根速率	(15)
9.5 能量均分定理 理想气体的内能	(16)
9.5.1 分子的自由度	(16)
9.5.2 能量均分定理	(17)
9.5.3 理想气体的内能	(18)
9.6 麦克斯韦速率分布律	(18)
9.6.1 分子速率的实验测定	(19)
9.6.2 麦克斯韦速率分布律	(20)
9.6.3 从速率分布函数 $f(v)$ 推算分子速率的三个统计值	(21)
* 9.7 玻尔兹曼分布律 重力场中粒子按高度的分布	(22)
9.7.1 玻尔兹曼分布律	(23)
9.7.2 重力场中粒子按高度的分布	(24)
9.8 分子的平均碰撞次数及平均自由程	(25)

习题 9	(27)
阅读材料 温度与热量	(30)
第 10 章 热力学基础	(31)
10.1 热力学第一定律	(31)
10.1.1 热力学过程	(31)
10.1.2 功、热量、内能	(32)
10.1.3 热力学第一定律	(34)
10.2 热力学第一定律对于理想气体等值过程的应用	(35)
10.2.1 等体过程 气体的摩尔定容热容	(35)
10.2.2 等压过程 气体的摩尔定压热容	(37)
10.2.3 等温过程	(39)
10.3 绝热过程 * 多方过程	(40)
10.3.1 绝热过程	(40)
10.3.2 绝热过程方程的推导	(41)
* 10.3.3 多方过程	(43)
10.4 循环过程 卡诺循环	(45)
10.4.1 循环过程	(45)
10.4.2 卡诺循环	(46)
10.5 热力学第二定律	(51)
10.5.1 热力学第二定律	(51)
10.5.2 两种表述的等价性	(52)
10.6 可逆过程与不可逆过程 卡诺定理	(53)
10.6.1 可逆过程与不可逆过程	(53)
10.6.2 卡诺定理	(54)
* 10.6.3 卡诺定理的证明	(55)
10.7 熵	(56)
10.7.1 熵的存在	(56)
10.7.2 自由膨胀的不可逆性	(57)
10.7.3 玻尔兹曼关系	(59)
10.8 熵增加原理 热力学第二定律的统计意义	(61)
10.8.1 熵增加原理	(61)
10.8.2 热力学第二定律的统计意义	(62)
10.8.3 熵增与能量退化	(63)
10.8.4 熵增和热寂	(63)
习题 10	(64)
阅读材料 麦克斯韦妖	(67)

第 4 篇 电场和磁场

第 11 章 真空中的静电场	(71)
11.1 电场 电场强度	(71)
11.1.1 电荷	(71)
11.1.2 电荷守恒定律	(71)
11.1.3 电荷的量子化	(72)
11.1.4 库仑定律	(72)
11.1.5 电场强度	(73)
11.1.6 场强叠加原理	(74)
11.1.7 电场强度的计算	(75)
11.1.8 带电体在外电场中所受的作用	(80)
11.2 电通量 高斯定理	(80)
11.2.1 电场的图示法 电场线	(80)
11.2.2 电通量	(81)
11.2.3 高斯定理	(82)
11.2.4 高斯定理的应用	(84)
11.3 电场力的功 电势	(86)
11.3.1 电场力的功	(86)
11.3.2 静电场的环流定理	(87)
11.3.3 电势能	(88)
11.3.4 电势 电势差	(88)
11.3.5 电势的计算	(89)
11.4 电场强度与电势的关系	(91)
习题 11	(92)
阅读材料 压电体	(94)
第 12 章 导体和电介质的静电场	(96)
12.1 静电场中的导体	(96)
12.1.1 导体的静电平衡	(96)
12.1.2 导体壳和静电屏蔽	(98)
12.1.3 有导体存在的静电场电场强度与电势的计算	(99)
* 12.2 静电场中的电介质	(101)
* 12.2.1 电介质的极化	(101)
* 12.2.2 极化强度和极化电荷	(102)
* 12.2.3 电介质的极化规律	(103)

12.2.4	有电介质时的高斯定理	(105)
12.3	电容 电容器	(106)
12.3.1	孤立导体的电容	(106)
12.3.2	电容器及其电容	(106)
* 12.3.3	电容器的连接	(107)
* 12.3.4	范德格拉夫起电机	(108)
12.4	电场的能量	(110)
12.4.1	带电系统的能量	(110)
12.4.2	电场能量	(111)
习题 12		(112)
阅读材料	磁单极	(114)
第 13 章	恒定电流的磁场	(115)
13.1	恒定电流	(115)
13.1.1	电流 电流密度	(115)
13.1.2	电源的电动势	(116)
13.2	磁场 磁感应强度	(117)
13.2.1	基本磁现象	(117)
13.2.2	磁感应强度	(118)
13.2.3	磁通量	(119)
13.2.4	磁场中的高斯定理	(120)
13.2.5	毕奥-萨伐尔定律	(121)
13.2.6	毕奥-萨伐尔定律的运用	(123)
13.3	安培环路定理	(126)
13.3.1	安培环路定理	(127)
13.3.2	安培环路定理的应用	(128)
13.4	磁场对运动电荷的作用	(131)
13.4.1	洛伦兹力	(131)
13.4.2	带电粒子在匀强磁场中的运动	(132)
13.4.3	霍尔效应	(134)
* 13.4.4	磁流体发电	(136)
13.5	磁场对载流导线的作用	(137)
13.5.1	安培定律	(137)
13.5.2	无限长两平行载流直导线间的相互作用力	(138)
13.5.3	磁场对载流线圈的作用	(139)
13.5.4	磁力的功	(141)

13.6 磁介质	(143)
13.6.1 磁介质的分类	(143)
* 13.6.2 抗磁质与顺磁质的磁化	(144)
* 13.6.3 磁化强度	(145)
13.6.4 磁介质中的安培环路定理	(145)
13.6.5 铁磁质	(149)
习题 13	(153)
阅读材料 等离子体及其磁约束	(157)
第 14 章 电磁感应	(159)
14.1 电磁感应定律	(159)
14.1.1 电磁感应现象	(159)
14.1.2 楞次定律	(160)
14.1.3 法拉第电磁感应定律	(160)
14.2 动生电动势与感生电动势	(162)
14.2.1 动生电动势	(162)
14.2.2 动生电动势的计算	(163)
14.2.3 感生电动势	(165)
14.2.4 电子感应加速器	(167)
* 14.2.5 涡电流	(168)
14.3 自感应和互感应	(169)
14.3.1 自感应	(169)
14.3.2 互感应	(170)
14.4 磁场能量	(172)
14.4.1 自感磁能	(172)
14.4.2 磁场能量	(173)
14.5 位移电流 电磁场理论	(174)
14.5.1 位移电流	(174)
14.5.2 全电流定律	(177)
14.5.3 麦克斯韦方程组	(178)
习题 14	(179)
阅读材料 遥感技术	(182)

第 5 篇 近代物理

* 第 15 章 相对论基础	(187)
15.1 伽利略相对性原理经典力学的时空观	(187)

15.1.1	伽利略相对性原理	(187)
15.1.2	经典力学的时空观	(188)
15.2	狭义相对论基本原理 洛伦兹坐标变换式	(189)
15.2.1	狭义相对论基本原理	(189)
15.2.2	洛伦兹坐标变换式的推导	(192)
15.3	相对论速度变换公式	(194)
15.4	狭义相对论时空观	(196)
15.4.1	“同时”的相对性	(197)
15.4.2	时间膨胀	(198)
15.4.3	长度收缩	(199)
15.4.4	相对性与绝对性	(200)
15.5	狭义相对论动力学基础	(201)
15.5.1	相对论力学的基本方程	(201)
15.5.2	质量和能量的关系	(203)
15.5.3	动量和能量的关系	(204)
15.5.4	广义相对论简介	(207)
* 习题 15		(209)
阅读材料	宋超新星爆发和光速不变性	(211)
* 第 16 章	量子物理基础	(213)
16.1	热辐射 普朗克的量子假设	(213)
16.1.1	热辐射现象	(213)
16.1.2	基尔霍夫辐射定律	(213)
16.1.3	黑体辐射实验定律	(215)
16.1.4	普朗克量子假设	(218)
16.2	光电效应 爱因斯坦的光子理论	(221)
16.2.1	光电效应的实验规律	(221)
16.2.2	光的波动说的缺陷	(223)
16.2.3	爱因斯坦的光子理论	(224)
16.2.4	光的波-粒二象性	(225)
16.2.5	光电效应的应用	(225)
16.3	康普顿效应	(227)
16.3.1	康普顿效应	(227)
16.3.2	光子理论的解释	(228)
16.4	氢原子光谱 玻尔的氢原子理论	(231)
16.4.1	氢原子光谱的规律性	(231)

16.4.2	玻尔的氢原子理论	(232)
16.4.3	氢原子轨道半径和能量的计算	(233)
16.4.4	玻尔理论的缺陷	(235)
16.5	德布罗意波 波-粒二象性	(237)
16.5.1	德布罗意波	(237)
16.5.2	戴维孙-革末实验	(238)
16.5.3	电子显微镜	(240)
16.6	不确定度关系	(242)
16.7	波函数 薛定谔方程	(245)
16.7.1	波函数及其统计解释	(245)
16.7.2	薛定谔方程	(247)
16.8	薛定谔方程在一维问题中的应用	(249)
16.8.1	一维无限深势阱	(249)
16.8.2	扫描隧道显微镜	(255)
16.8.3	谐振子	(256)
16.9	量子力学中的氢原子问题	(257)
16.9.1	氢原子的薛定谔方程	(257)
16.9.2	量子化条件和量子数	(258)
16.9.3	氢原子中电子的概率分布	(259)
16.10	电子的自旋原子的电子壳层结构	(260)
16.10.1	施特恩-格拉赫实验	(260)
16.10.2	电子的自旋	(261)
16.10.3	原子的电子壳层结构	(261)
* 习题 16		(263)
阅读材料	红外技术	(266)
习题答案		(273)

第 3 篇

热

学

热学研究的是物质分子的热运动。大量分子的无规则运动导致了物质热现象的产生。本篇共有两章,第九章介绍气体动理论,第十章介绍热力学基础。前者着重于阐明热现象的微观本质,后者侧重于阐明热现象的宏观规律。两者所用方法虽不同,但对热运动的研究来说却相辅相成,缺一不可。

在气体动理论中,我们将首次运用统计方法进行概率性的描述,以弥补经典力学决定论的不足。热现象是大量分子运动的集体表现,各个分子的位置、速度实际上无从一一测定,但为了从大量分子运动和相互作用出发推导气体的宏观性质,就必须引入这些分子位置、速度分布的概率假设,并运用统计方法。

热力学定律是以大量的实验事实为基础的,从能量的观点出发,分析研究热功转换的关系和条件,以及如何提高能量效率等一系列技术问题。这种研究方法和气体动理论所采用的方法迥然不同,它的实用价值很高。通过对热力学理论的介绍,将进一步证明能量、内能、功、熵等概念的重要性和实用性,这是学习物理学所必须掌握的。

第 9 章 气体动理论

气体动理论是在物质结构的分子学说的基础上,为说明人所熟知的气体的物理性质和气态现象而发展起来的。在这些熟知的性质和现象中,我们可以举出理想气体定律,微小悬浮粒子的布朗运动,流动气体的黏性,热的传导和比热,物体的热胀冷缩,固、液、气三态的相互转变,非理想气体的状态方程,等等,这些与温度有关的物理性质的变化统称为热现象。与力学研究的机械运动不同,气体动理论的研究对象是分子的热运动,热现象就是组成物质大量分子、原子热运动的集体表现。分子热运动由于分子的数目十分巨大和运动的情况十分混乱,而具有明显的无序性和统计性。就单个分子来说,由于它受到其他分子的复杂作用,其具体运动情况瞬息万变,显得杂乱无章,具有很大的偶然性,这就是无序性的表现。但就大量分子的集体表现来看,却存在一定的规律性。这种大量的偶然事件在宏观上所显示的规律称为统计的规律性。正是由于这些特点,才使热运动成为有别于其他运动形式的一种基本运动形式。在本章,我们将根据所假定的理想气体分子模型,运用统计方法,研究气体的宏观性质和规律,以及它们与分子微观量的平均值之间的关系,从而揭示这些性质和规律的本质。

9.1 平衡态 温度 理想气体状态方程

9.1.1 平衡态 温度

气体平衡状态是一个非常重要的概念(我们首先给它一个初步的定义,再逐渐完善)。在一定条件下,一定质量的气体在一定容器内,不管气体内各部分原有的温度和压强如何,经过足够长时间后,气体内各部分终将达到相同的温度和压强,并且不再随时间发生变化,那么该气体就处于平衡态。考虑到组成气体的微粒间的热运动存在,气体的平衡状态也称为热动平衡态。气体分子的热运动是永不停息的,通过气体分子的热运动和相互碰撞,在宏观上表现为气体各部分的密度均匀、温度均匀和压强均匀的热动平衡态。

当气体处于平衡态时,其状态保持不变,这时就可以使用一些物理量来描述气体的状态属性,如几何的体积(V)、力学的压强(p)、热学的温度(T)和化学的物质的量(n)等,这些用来表征状态属性的物理量称为状态参量。

对于给定的气体,它的状态一般用下面 3 个状态参量来表征:气体的体积是气体

分子所能达到的空间,单位为立方米(m^3)。气体的压强是气体分子作用在容器壁单位面积上且指向垂直壁方向上的作用力,单位是帕斯卡,简称帕(Pa)。它与1个标准大气压(atm)及毫米汞柱(mmHg)的关系为

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

温度的概念比较复杂,它的本质与物质分子运动密切相关,温度的不同反映物质内部分子运动剧烈程度的不同。简单地说,在宏观上我们用温度来表示物体的冷热程度,并规定较热的物体有较高的温度。温度的分度方法即温标,常用的有两种:一是热力学温标 T ,单位是 K;另一个是摄氏温标 t ,单位是 $^{\circ}\text{C}$ 。热力学温度 T 和摄氏温度 t 的关系是: $T = t + 273.15$ 。

一定质量的气体的平衡状态,可用状态参量 p 、 V 、 T 的一组参量值来表示。例如,一组参量值 p_1 、 V_1 、 T_1 表示某一状态,另一组参量值 p_2 、 V_2 、 T_2 表示另一状态,等等。当气体的外界条件改变时,它的状态就发生变化。气体从一个状态不断地变化到另一状态,所经历的是各状态变化的过程。过程进展的速度可以很快,也可以很慢。实际过程常是比较复杂的,如果过程进行十分缓慢,所经历的一系列中间状态都无限地接近平衡状态,这个过程就称为准静态过程或者平衡过程。显然平衡过程是个理想的过程,它和实际过程毕竟是有差别的,但在许多情况下,可近似地把实际过程当作平衡过程处理,所以平衡过程是个很有用的模型。

9.1.2 理想气体状态方程

实验表明,表示平衡态的三个参量 p 、 V 、 T 之间存在着一定的关系。我们把反映气体的 p 、 V 、 T 之间的关系式称为气体的状态方程。一般气体,在密度不太高、压强不太大(与标准大气压比较)和温度不太低(与室温比较)的实验范围内,遵守玻义耳(R. Boyle)定律、盖-吕萨克(J. L. Gay-Lussac)定律和查理(J. A. C. Charles)定律。应该指出,对于不同气体来说,这三条定律的适用范围是不同的。不易液化的气体,如氮、氢、氧、氦等适用的范围比较大。实际上在任何情况下都服从上述三条实验定律的气体是没有的。我们把实际气体抽象化,提出理想气体的概念,认为理想气体能无条件地服从这三条实验定律。理想气体状态的三个参量 p 、 V 、 T 之间的关系即理想气体状态方程,可从这三条实验定律导出。当质量为 n 、摩尔质量为 M 的理想气体处于平衡态时,它的状态方程为

$$pV = \frac{n}{M}RT \quad (9.1)$$

式中: R 称为摩尔气体常量,在国际单位制中,

$$R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$$

从式(9.1)可以看到,如果气体的温度 T 不变,则 p 、 V 之间的关系在 p - V 图上是一条等轴曲线,这条曲线称为理想气体的等温线。图 9.1 所示的是不同温度下的

几条等温线,位置越高的等温线,相应的温度越高。上面曾指出,一定质量气体的每一个平衡状态可用一组(p 、 V 、 T)的量值来表示,由于 p 、 V 、 T 之间存在着式(9.1)所示的关系,所以通常用 p - V 图上的一点表示气体的一个平衡状态。而气体的一个平衡过程,在 p - V 图上则用一条相应的曲线来表示,如图9.2所示,曲线I、II表示从初状态(p_1, V_1, T_1)向末状态(p_2, V_2, T_2)缓慢变化的一个准静态过程。

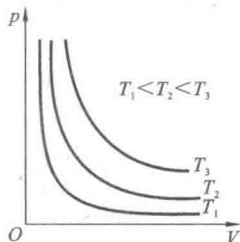


图 9.1 一定质量理想气体的等温线

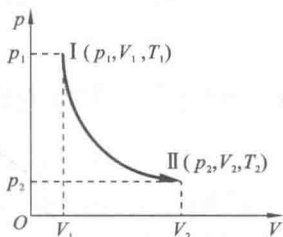


图 9.2 平衡态和准静态过程的示意图

例 9.1 某种柴油机的气缸容积为 $0.827 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。设压缩前其中空气的温度是 47°C , 压强为 $8.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。当活塞急剧上升时, 可把空气压缩到原体积的 $1/17$, 使压强增加到 $4.2 \times 10^6 \text{ Pa}$, 求这时空气的温度。如把柴油喷入气缸, 将会发生怎样的情况? (假设空气可看作理想气体)

解 本题只需考虑空气的初状态和末状态, 并且把空气作为理想气体, 由式(9.1), 我们有

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

已知 $p_1 = 8.5 \times 10^4 \text{ Pa}$, $p_2 = 4.2 \times 10^6 \text{ Pa}$, $T_1 = 273 \text{ K} + 47 \text{ K} = 320 \text{ K}$, $\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{17}$, 所以

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = 930 \text{ K}$$

这一温度已超过柴油的燃点, 所以柴油喷入气缸时就会立即燃烧, 发生爆炸, 推动活塞做功。

例 9.2 容器内装有氧质量为 0.10 kg , 压强为 $10 \times 10^5 \text{ Pa}$, 温度为 47°C 。因为容器漏气, 经过一段时间后, 压强降到原来的 $5/8$, 温度降到 27°C 。问: (1) 容器的容积有多大? (2) 漏去了多少氧气? (假设氧气可看作理想气体)

解 (1) 根据理想气体状态方程 $pV = \frac{n}{M}RT$, 求得容器的容积 V 为

$$V = \frac{n}{Mp}RT = 8.31 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

(2) 设漏气一段时间之后, 压强减小到 p_1 , 温度降到 T_1 。如果用 m' 表示容器中剩余的氧气的质量, 则由状态方程求得

$$m' = \frac{Mp_1V}{RT_1} = 6.67 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

所以漏去的氧气质量为

$$\Delta m = n - m' = 3.33 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

9.2 分子热运动和统计规律

9.2.1 分子热运动的图像

物质结构的分子原子学说是气体动理论的重要基础之一,按照物质结构理论,自然界所有物体都由许多不连续的、相隔一定距离的分子组成,而分子则由更小的原子组成,所有物体的原子和分子都处在永不停息的运动之中。实验告诉我们,热现象是物质中大量分子无规则运动的集体表现,因此人们把大量分子的无规则运动称为分子热运动。1827年,布朗(R. Brown)用显微镜观察到悬浮在水中的花粉颗粒,不停地在做纷乱的无规则运动(见图9.3),这就是所谓的布朗运动。布朗运动是由杂乱运动的流体分子碰撞花粉颗粒引起的,它虽不是流体分子本身的热运动,却如实地反映了流体分子热运动的情况。流体的温度越高,这种布朗运动越剧烈。

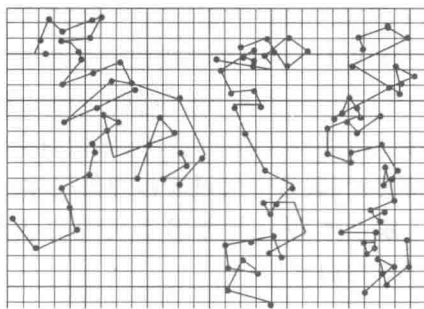


图 9.3 布朗运动

在标准状态下,对同一物质来说,气体的密度大约为液体的 $1/1000$ 。假设液体分子是紧密排列着的,那么气体分子之间的距离大约是分子本身线度(10^{-10} m)的 $\sqrt[3]{1000}$ 倍,即 10 倍左右。所以可把气体看作是彼此相距很大间隔的分子集合。在气体中,由于分子的分布相当稀疏,分子与分子间的相互作用力,除了在碰撞的瞬间以外,极为微小,因此在一定情况下可以省略。在连续两次碰撞之间分子所经历的路程,平均约为 10^{-7} m ,而分子的平均速率很大,约为 500 m/s 。因此大约平均经过 10^{-10} s ,分子与分子之间碰撞一次,即在 1 s 内,一个分子将遭到 10^{10} 次碰撞。分子碰撞的瞬间时长,约等于 10^{-13} s ,这一时间远比分子自由运动所经历的平均时间 10^{-10} s 小。因此在分子的连续两次碰撞之间,分子的运动可看作由其惯性支配的自由运动。每个分子由于不断地碰撞,速度的大小和方向也在不断地改变着,在连续两次碰撞之间所自由运行的路程或长或短,参差不齐。因此它们在我们面前呈现出一幅纷繁动乱的图像。至于上述数据的由来,我们以后自会明白。