

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书

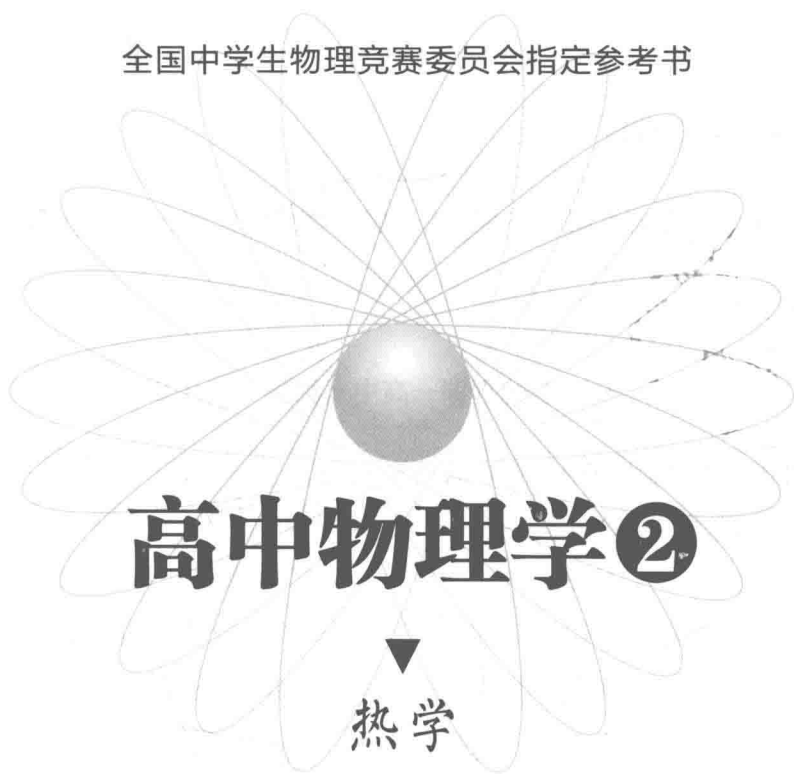
高中物理学②

▼
热学

沈克琦 主编

中国科学技术大学出版社

全国中学生物理竞赛委员会指定参考书



高中物理学②

▼
热学

主 编 沈克琦
编 委 张继恒 林 婉
张维善

中国科学技术大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高中物理学. 2/沈克琦主编. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2015. 6(2016. 10重印)

ISBN 978-7-312-03684-2

I. 高… II. 沈… III. 中学物理课—高中—教材 IV. G634. 71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 095048 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编 230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<http://shop109383220.taobao.com>
印刷 合肥市宏基印刷有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 787 mm×1092 mm 1/16
印张 9.25
字数 192 千
版次 2015 年 6 月第 1 版
印次 2016 年 10 月第 3 次印刷
印数 15001—20000 册
定价 28.00 元

前 言

这套教材是为学校里学习基础较好且学有余力并对物理学科饶有兴趣、愿意深入钻研的学生编写的,其内容的深度和广度均超出原来的教学大纲和现行课程标准的要求.其目的在于充分开发学生的智力,使学生在高中阶段不仅能学到比较扎实的基础知识,而且在科学思维和科学方法,理论结合实际地进行综合分析的能力,热爱科学、勇于探索创新的精神,严谨的科学态度和科学作风等方面都能得到培养和提高,从而具有较全面的科学文化素质,为今后进一步学习和工作打下良好的基础.

现就编写这套教材的一些考虑和如何使用本教材的建议叙述如下.

1. 教学重点放在基本概念和基本原理上.从伽利略、牛顿时代开始,经过 300 多年无数科学家的努力,物理学已经成为比较成熟、系统性很强的学科.物理学的成果对现代自然科学和工程技术的发展起着巨大的推动作用,每一门新技术的出现都是物理学研究取得突破的结果.说物理学成熟和系统指的是物理学的知识已形成内部结构严密的体系,广泛的实践已经证明物理学的基本原理和规律正确地反映了客观世界的运动、发展和演化.只要能正确地理解和掌握这些概念、原理和规律及研究问题的科学方法,许多看来头绪纷繁的问题都有可能迎刃而解,对不断出现的新知识的理解也将比较容易.所以,高中物理课的首要任务应该是基本物理概念和原理的教与学,力求使学生对它们有比较清楚的理解.因此,在教材中不惜多费笔墨对一些概念和原理做了比较深入的阐述,在教学中也应当在这方面多花一些时间.要做到真正的理解,单

靠讲和听是不行的,必须通过学生独立思考,把教学过程从被动接受转变为主动学习,才能使学习内容成为学生头脑中印象深刻、具有有机联系的知识.这个过程需要多花一些时间.这样,虽然表面上教学进度慢了,但实际上学生真正弄懂了所学内容,就能牢记不忘,而且学会了科学思维的方法,可以举一反三,触类旁通,把知识变活了,将来学习会越来越顺利,总的效果会是快而不是慢,且能学得更好、更扎实.

2. 如前所述,本教材的内容与传统和现行高中教材相比,在深度和广度上均有所超出.对于这部分内容的要求应区别不同情况做不同处理,不要都与基本原理的要求一样.这部分内容大体上可以分为四种情况.

(1) 与基本概念、基本原理密切相关的内容,学生应该掌握,才能达到“真正的理解”.如力学中的矢量、近乎微积分的分析处理方法、简谐振动表达式、振动的合成和波的叠加的推导等均属这一类.这些概念和方法在物理学中使用较多,也有助于学生更好地理解有关内容,高中学生也是能够掌握的.其中一些内容学生开始接触时可能有些困难,不要因此而回避,也不要期望一步到位.经过多次接触,反复运用,最后可以达到预期目的.

(2) 属于物理学基本原理,但在高中阶段只能达到初步理解的内容.如力学中的角动量、刚体定轴转动、流体动力学等均属此类.这些内容涉及的物理现象是生活中经常遇到的,它们又是进一步学习的基础.因此在高中应该教一点初步知识,以拓宽学生的思路,并为进一步学习做点准备.对这部分内容要求要适当,不能要求学生有深入的理解.在课后作业方面只要求做一些有助于理解所讲内容的习题.

(3) 适当增加了一些近代物理方面的内容.面向 21 世纪的中学生应该对 20 世纪初以来的近代物理学有一定的了解,跳出经典物理学的框框,获得比较完整、准确的物理概念.但由于学生数学物理基础的限制,这部分内容只能是初步的.对于书中增加的一些近代物理的基本概念、原理和结论,如相对论、量子论和粒子与宇宙等内容,有的采取渗透的方

法,在讲授经典物理知识时加入有关的内容;有的则比较系统地进行简要介绍,讲解中侧重基本概念、发展脉络和研究方法.近代物理学的发展过程充满了新旧观念的矛盾、理论与实验的矛盾,也正是这些矛盾推动了物理学的发展.这对于启发学生的科学思维和创新精神是十分有利的.这部分内容以及新增加的经典物理学中的统计概念、不可逆过程等,不可能要求学生完全理解,只要求学生知道一些最基本的概念,知道还有不少问题有待进一步学习就行了.这样,学生学到的知识是开放型的,而不是封闭型的,学生的求知欲得到进一步的激发.学到的某些新知识就如一个嫩芽,遇到适宜的环境,它就能够生长起来.每个人的条件不同,今后的发展也会有很大差别.这样安排有利于学有余力的学生通过学习较早地接触到更深一些的内容,从而达到更高的水平.教师在讲授这方面内容时可以相机行事,进行适当的增删.学生则要改变老师教多少就学多少的被动学习习惯,采取主动学习、充分发挥自己潜力的学习方法.

(4) 阅读材料.多数是介绍科学家的事迹和扩大知识面的材料.这些材料有利于提高学生的科学素质.阅读这些材料不费多少时间,希望每位学生都能认真阅读、思考并有所体会.

3. 一定要通过各个教学环节加强能力培养,特别是科学思维能力的培养.要结合理论教学和具体事例讲授科学家如何发现问题、如何探索解决问题的途径,他们采用的科学方法,他们具有的严谨的科学作风、兢兢业业的敬业精神和勇于突破的创新精神.讲授原理时要注意讲清思路而不是只讲结论.有的内容可以不讲而要求学生自学,思考题要求学生认真思考并相互讨论,把有关概念和原理真正搞清楚.做习题是教学过程的必要环节,要求学生在认真复习课堂讲授内容基础上独立完成作业.希望学生在解题过程中弄清思路,务求做一题就有一题的收获.

4. 实验教学是物理教学的重要环节.实验教学既与理论教学相联系,又有一定的相对独立性.鉴于已有专门的中学物理实验教材出版,本教材未编入具体的实验内容.

在编写这套教材时,曾组织大、中学校老师召开过多次座谈会,他们提出了许多宝贵的意见和建议.这套教材的力学部分先后由张继恒、张维善执笔;热学部分由张维善执笔;电磁学部分由林婉执笔;光学和近代物理部分由张维善执笔.沈克琦主持编写并对全书进行了审阅.

中国科学技术大学出版社为本教材的编写、出版做了大量工作,谨表诚挚的谢意.我们还由衷地希望看过和用过此教材的老师和同学提出宝贵的批评和意见,以帮助我们进一步改进,使之日臻完善.谨致谢忱.

沈克琦

2014年9月

目 录

前言	(i)
第 7 章 热学的基本概念	(1)
7.1 热现象的研究	(1)
7.1.1 热现象与热运动	(1)
7.1.2 宏观量与微观量	(2)
7.1.3 热力学和统计物理学	(3)
7.2 分子动理论基础	(4)
7.2.1 物体由分子构成	(4)
7.2.2 分子在不停地无规则运动	(5)
7.2.3 分子之间有相互作用力	(7)
7.3 温度和温标	(8)
7.3.1 平衡态和状态参量	(9)
7.3.2 热平衡和温度	(9)
7.3.3 温标和温度计	(10)
7.4 内能	(13)
7.4.1 分子动能	(13)
7.4.2 分子势能	(14)
7.4.3 内能	(15)
7.5 热量和热传递	(16)
7.5.1 热量	(16)
7.5.2 热传递	(17)
7.5.3 热平衡方程	(18)
第 7 章习题	(21)
阅读材料	(21)

第 8 章 气体	(24)
8.1 气体的实验定律	(24)
8.1.1 玻意耳定律	(24)
8.1.2 查理定律和盖·吕萨克定律	(28)
8.2 理想气体状态方程	(31)
8.2.1 理想气体及其状态方程	(31)
8.2.2 克拉珀龙方程	(33)
8.3 气体分子运动的特点	(37)
8.3.1 分子间的距离较大	(37)
8.3.2 分子间的碰撞频繁	(37)
8.3.3 分子沿各个方向运动的机会均等	(38)
8.3.4 分子速率按一定规律分布	(38)
8.3.5 统计规律和涨落现象	(40)
8.4 理想气体的压强	(41)
8.4.1 单一理想气体的压强	(41)
8.4.2 道尔顿分压定律	(44)
8.5 理想气体的温度和内能	(45)
8.5.1 理想气体的温度	(45)
8.5.2 理想气体的内能	(46)
8.6 真实气体 范德瓦耳斯方程	(48)
8.6.1 分子体积所引起的修正	(48)
8.6.2 分子间引力所引起的修正	(48)
第 8 章习题	(50)
阅读材料	(52)
第 9 章 固体和液体	(54)
9.1 固体	(54)
9.1.1 晶体的宏观特征	(54)
9.1.2 晶体的微观结构	(56)
9.1.3 晶体中粒子的热运动	(57)
9.2 液体	(58)
9.2.1 液体的微观结构	(58)
9.2.2 液体中分子的热运动	(58)
9.3 液体的表面现象	(59)

9.3.1 液体的表面张力	(59)
9.3.2 润湿(浸润)现象	(61)
9.3.3 毛细现象	(62)
9.4 固体和液体的热膨胀	(64)
第 9 章习题	(66)
阅读材料	(66)
第 10 章 物态变化	(68)
10.1 熔化和凝固	(68)
10.1.1 熔点	(68)
10.1.2 熔点与压强的关系	(69)
10.1.3 熔化热	(70)
10.2 蒸发 饱和气与饱和蒸气压	(72)
10.2.1 蒸发现象	(72)
10.2.2 饱和气与饱和蒸气压	(73)
10.3 沸腾 汽化热	(77)
10.3.1 沸腾	(77)
10.3.2 汽化热	(78)
10.4 液化 临界温度	(81)
10.4.1 液化与汽化曲线	(81)
10.4.2 临界温度	(82)
10.5 升华和凝华 三相点和三相图	(84)
10.5.1 升华和凝华 升华曲线	(84)
10.5.2 三相点和三相图	(85)
10.6 空气的湿度 露点	(86)
10.6.1 空气的湿度	(86)
10.6.2 露点	(87)
第 10 章习题	(89)
阅读材料	(90)
第 11 章 热力学定律	(93)
11.1 热力学第一定律	(93)
11.1.1 焦耳实验 功与内能	(94)
11.1.2 热量与内能	(95)
11.1.3 热力学第一定律	(96)

11.2 理想气体的几种热力学过程	(99)
11.2.1 等容过程	(99)
11.2.2 等压过程	(99)
11.2.3 等温过程	(101)
11.2.4 绝热过程	(101)
11.3 自然过程的“方向”和热力学第二定律	(105)
11.3.1 自然过程的“方向”	(105)
11.3.2 热力学第二定律	(106)
11.4 热力学第二定律的微观意义	(108)
11.4.1 宏观状态与微观状态	(108)
11.4.2 热力学第二定律的统计意义	(109)
11.5 熵与“热寂”	(111)
第 11 章习题	(112)
阅读材料	(113)
总复习题	(117)
部分习题答案	(129)
附录	(130)
索引	(132)

第7章 热学的基本概念

我国著名物理学家和物理教育家王竹溪教授(1912—1983)曾经指出:“热学这一门科学起源于人类对于热与冷现象的本质的追求,由于在有史以前人类已经发明了火,我们可以想象到,追求热与冷现象的本质的企图可能是人类最初对自然界法则的追求之一。”

历史表明,人类对于热与冷现象的本质的认识,经历了一段很长的探索过程.在这一过程中,一些基本概念的确立和廓清具有十分重要的作用.正如爱因斯坦所说:“用来描述热现象的基本的概念是**温度**和**热**,在科学史上经过了非常长的时间才把这两种概念区别开来.但是一经辨别清楚,就使科学得到飞速的发展.”这是因为客观的规律都是通过一定的科学概念去认识和表达的,而且这些概念本身,就在一定程度上反映着规律的本质.就后一方面而言,我们将要学习的热学中的一些基本概念,如温度、热量、概率和熵等都是和力学中的概念毫无共同之处的.只要设想一下,把这些概念用于一个分子是如何的不可思议,就可以明白这点了.

此外,科学概念的建立和廓清总是伴随着科学中的发现、推理和知识的演化过程,留下科学家攀登科学山巅的足迹,给后人提供科学的思考和研究方法,深化人们的洞察力,激发人们的创造力.在学习中有意识地领悟这些将是更为重要的.

7.1 热现象的研究

7.1.1 热现象与热运动

当物体的冷热程度发生变化时,物体的状态和性质也要发生变化.例如,在绝大多数情况下,物体受热后体积膨胀,遇冷时体积收缩;水在标准大气压下,加热到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会产生剧烈的汽化即沸腾,变成水蒸气,而冷却到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时又会结冰;柔韧的

橡皮管遇冷会变硬、变脆,当冷却到 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下时会变得像玻璃一样易碎;钢件经过淬火(烧成炽热后放入水中或油中迅速冷却)可提高表面的硬度,而经过退火(烧成炽热后缓慢冷却)又可降低硬度;导线受热后电阻会变大等.这些与物体冷热程度有关的物体状态和性质的变化统称为热现象.

在第1册力学中我们已经学过,物体间相对位置的变化称为机械运动.机械运动是自然界中普遍的现象,是自然界物质运动的一种基本、简单的形式.热现象也是自然界中普遍的现象之一,它是组成物体的大量分子、原子的永不停息的运动所表现出来的宏观效果.我们把这种组成物体的大量分子、原子的永不停息的运动称为热运动(Thermal Motion).

热运动与机械、电磁、化学等其他运动形式之间存在着广泛的相互联系和相互转化.例如,摩擦生热就是机械运动向热运动的转化,而在蒸汽机中,加热蒸汽使之膨胀,推动活塞做功,又是热运动向机械运动的转化;在白炽灯中,电流通过灯丝使灯丝被加热到炽热状态而发光,则是由电磁运动向热运动,并进一步由热运动向发光转化的双重转化过程.除此之外,飞机、火箭、宇宙飞船的飞行,金属的冶炼,各种热机和制冷设备的运行,气象的变化等,也都和热运动与其他运动形式的相互联系和转化有关.可见,热运动与工农业生产、科学技术和日常生活都有密切的关系.

热学就是研究物质热现象的规律及其应用的一门学科,是物理学的一个重要组成部分.

热学的研究对象是由大量分子、原子组成的物体或物体系统.当然,力学中所研究的质点、刚体和弹性体等也是由大量分子、原子组成的物体或物体系统,但力学中我们只考虑它们在空间位置的变化,而忽略了其中大量分子、原子的永不停息的热运动.所以,也可以更细致地说,热学的研究对象是由大量的永不停息地运动着的分子、原子组成的物体或物体系统.这种物体或物体系统在热学中称为**热力学系统**(Thermodynamic System),简称**系统**.系统外部与系统发生相互作用的物体叫作**外界**.例如,用酒精灯加热封闭在容器中的气体,把气体作为研究对象,它就是一个热力学系统,而容器和酒精灯就是外界.因此,热学研究的主要任务是通过研究热力学系统内部之间或它与外界的相互作用来确定该系统的性质及其变化规律.

7.1.2 宏观量与微观量

要研究一个热力学系统的性质及其变化规律,首先要对热力学系统的状态加以描述.在力学中,我们用位置、速度来描述质点的机械运动状态,用角位移、角速度来描述刚体的机械运动状态.那么,在热学中我们用什么物理量来描述一个热力学系统的状态呢?

让我们考虑盛在某一容器中的一定质量的某种气体,经验告诉我们,关于它的状

态,可以问的是:它的体积有多大?压强是多少?温度有多高?因此,它的状态可以用**体积**(Volume) V 、**压强**(Pressure) p 、**温度**(Temperature) T 来描述.这是一种从系统的整体上对其状态进行的描述,所用的表示系统状态和属性的物理量如 V 、 p 、 T 等,称为**宏观量**(Macroscopic Quantity).宏观量可以直接用仪器测量,而且一般能被人的感官所觉察.

另一方面,任何热力学系统都是由大量分子或原子组成的,分子或原子统称为**微观粒子**,其线度一般为 $10^{-10} \sim 10^{-9}$ m.它们在系统内不停地运动,并且彼此之间存在着或强或弱的相互作用.如果给出系统中所有微观粒子在某个时刻的运动状态,系统在该时刻的状态自然也就确定了.这是一种通过对微观粒子运动状态的刻画来对系统状态进行的描述,所用的表示微观粒子的状态和属性的物理量,如粒子的位置、速度和能量等称为**微观量**(Microscopic Quantity).微观量不能被我们的感官直接观察到,一般也不能直接用仪器测量.

7.1.3 热力学和统计物理学

对于物质热运动规律的研究有两种不同的途径,由此产生了热力学和统计物理学这两门密切相关的学科.

热力学(Thermodynamics)的研究方法:通过实验研究热现象,求得表征热力学系统状态及属性的宏观量所遵从的实验定律,并以此为基础,采用演绎的方法进一步研究热力学系统的各种热学性质和各种热现象的规律.在热力学研究中未涉及物质的微观结构,没有对热现象的微观过程设定任何假设,完全以客观的实验结果为依据,所以得出的结论具有普遍性和可靠性.

统计物理学(Statistical Physics)则采取这样的研究途径:从“物质由大量无规则运动的微观粒子组成”这一观点出发,对粒子间相互作用的性质和规律以及热现象的微观过程提出某种模型或假设.然后,根据这种模型或假设对大量微观粒子的运动问题采用统计的方法(如求分子动能的平均值等)和演绎推理的方法进行处理,最后得出关于整个系统应该具有什么样的宏观特性和这些宏观量遵从什么规律的一些结论.例如,从大量气体分子与器壁碰撞产生作用于器壁的压力和温度是气体分子热运动的标志的认识出发,可以求出气体压强的公式和玻意耳定律.统计物理学得出的结论必须接受实验的检验.如果结论与实验相符,表明理论中的模型和假设具有一定的合理性,从而揭示了热学宏观量和热力学定律的本质,深化了人们对热现象的认识.如果二者不符,则表明理论必须修改,从而促进了统计物理学的进一步发展.由此可见,热力学与统计物理学相辅相成,共同推动了热学研究的发展.

统计物理学是从 19 世纪中叶物理学家对**气体分子动理论**(Molecular Kinetic Theory of Gases)的研究开始的.因为在各种状态的物质中,气体的结构最简单,分子

运动的特点也最为突出,所以从研究气体开始是很自然的事.在下一节中,我们将介绍分子动理论的基本观点.



思考题

1. 什么叫热现象? 什么叫热运动?
2. 什么叫热力学系统? 什么叫外界?
3. 对热力学系统的宏观描述和微观描述的方法有何不同? 两者有何联系?

7.2 分子动理论基础

分子动理论对热现象及其规律的研究以下述三个基本观点为出发点,这些观点都是在一定的实验基础上总结出来的.

7.2.1 物体由分子构成

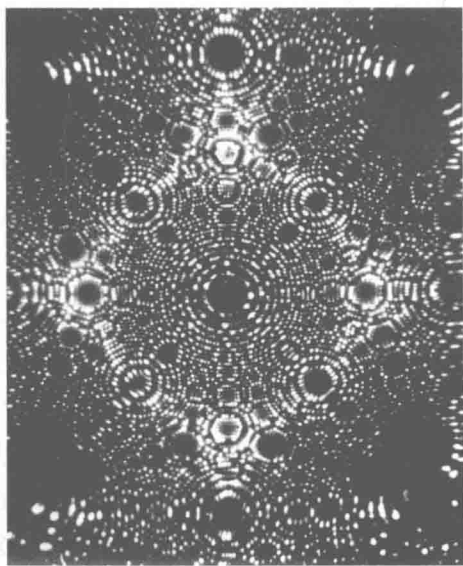


图 7.1 钨金属原子的排列图像

众多实验表明,物质是由大量不连续分布的分子(或原子)组成的,分子之间存在空隙.气体很容易被压缩,说明气体分子之间的空隙很大.酒精和水混合后的体积小于两者原有体积之和,表明液体分子间也有空隙.对贮存在钢筒中的油加压到 20 000 大气压时,发现油可以透过筒壁渗出,证明固体分子间也是有空隙的.现在用放大百万倍的电子显微镜或场离子显微镜可以直接观察晶体的微观结构图像(图 7.1),这使宏观物体由分子(或原子)组成的观点得到了直接证实.

不同物质的分子大小不同.常见的气体分子的直径约为 10^{-10} m,有些巨型分子,如塑料、人造丝等高分子化合物中的分子,其直径可达 10^{-7} m.但这个线度仍然是很小的,因此宏观物体中所包含的分子数目是很大的.

在化学中我们学过,当一定数量的某种物质所包含的分子(或原子等)数与

0.012 kg 的碳-12(^{12}C)的原子数目相等时,则把该数量的物质的量称为 1 摩尔. 摩尔的国际符号是 mol. 这就是说,1 摩尔任何物质包含相同数目的分子(或原子等),这个数目称为阿伏伽德罗常量(Avogadro Number) N_A . 它是微观世界的一个重要常量,在用分子动理论定量地研究热现象及其规律时经常要用到. 为此,一百多年来物理学家们不断努力用更精确的方法测定它. 现在测得的公认值是

$$N_A = 6.022\,141\,29(27) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

通常可取为 $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

已知分子的大小,可粗略估算出阿伏伽德罗常量. 例如 1 mol 的水,质量是 $1.8 \times 10^{-2} \text{ kg}$,体积是 $1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$. 水分子的直径是 $4.0 \times 10^{-10} \text{ m}$,体积约为 $3 \times 10^{-29} \text{ m}^3$. 如设想水分子是一个挨一个紧密地排列的,则 1 mol 的水中所含的分子数,即阿伏伽德罗常量为

$$\begin{aligned} N_A &= \frac{1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}}{3 \times 10^{-29} \text{ m}^3} \\ &= 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}. \end{aligned}$$

反过来,知道了阿伏伽德罗常量,又知道液体和固体的摩尔体积,再设想它们的分子是一个挨一个地排列的,就很容易估算分子的体积和直径.

同样,知道了阿伏伽德罗常量,又知道某种物质的摩尔质量,即 1 mol 该种物质所具有的质量,则可算出它的分子质量,如一个水分子的质量为

$$\begin{aligned} m_{\text{水}} &= \frac{1.8 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \\ &\approx 3 \times 10^{-26} \text{ kg}. \end{aligned}$$

可见水分子的质量是很小的. 除了包含几千个原子的有机物大分子外,一般分子的质量也在这个数量级附近.

7.2.2 分子在不停地无规则运动

打开香水瓶盖,芬芳的气味扑鼻而来,这是香水分子运动的结果. 像这种香水散布到空气中的现象称为扩散(Diffusion). 扩散现象不仅存在于气体中,液体和固体中也有.

在两支试管中注入清水,再用移液管吸入红墨水分别注于两支试管底部,此时将有明显的界面. 将其中一支试管放入盛热水的烧杯中,很快就会看到红墨水扩散到清水中去,而且热水的温度越高,扩散越快. 在另一支试管中,也可看到缓慢的扩散现象,如图 7.2 所示. 这表明,分子扩散的快慢与温度有关.

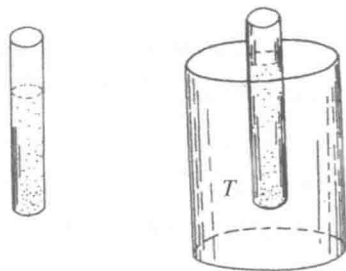


图 7.2 扩散现象

实验还表明,将表面光滑的铜块和铅块紧压在一起,经过较长的时间,我们可以在铜的表面层里发现铅的成分.这是固体的扩散现象.

1827 年英国植物学家布朗(R. Brown, 1773—1858)用显微镜观察悬浮在水中的花粉,发现花粉颗粒不停地无规则运动,后人把这种运动称作**布朗运动**(Brown Motion).不只是花粉,悬浮在液体中的微粒,都做布朗运动.把少量墨汁用水稀释,取一滴这样的液体放在显微镜下观察(图 7.3),就可以看到碳粒的布朗运动.观察表明,布朗运动是毫无规则的,图 7.4 中画出了其中三个微粒每隔 30 s 所观察到的位置,并用直线依次把这些位置连接起来.实际上,即使在这短短的 30 s 内,微粒的运动也是极不规则的.

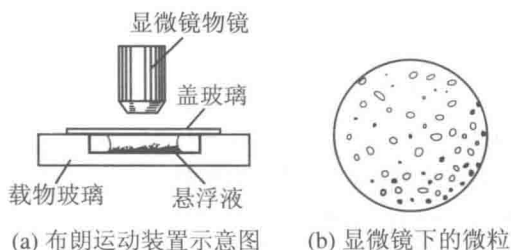


图 7.3 布朗运动的实验观察

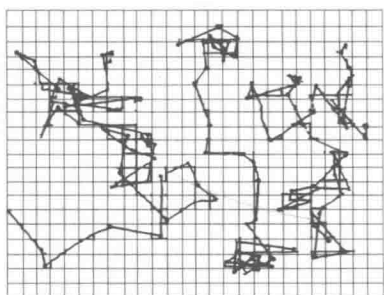


图 7.4 微粒的布朗运动轨迹

布朗运动起初被认为是由外界影响(如震动、液体的对流等)引起的.进一步的实验表明,在尽量排除外界干扰的情况下,只要悬浮颗粒足够小,在任何液体,甚至气体中都会发生这种运动.事实上,各个颗粒的运动情况不相同,也说明布朗运动不可能是由外界影响引起的.

悬浮颗粒为什么会做不规则运动呢? 1905 年爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)提出了这样的见解:微粒的运动是受到液体分子从四面八方撞击的不平衡所引起的.即在布朗运动的现象中,液体内部无规则运动的分子不断地从四面八方撞击悬浮颗粒.当微粒足够小时,它受到的来自各个方向的液体分子的撞击作用是不平衡的.在某一瞬间,微粒在某个方向受到的撞击作用强,它就沿着这个方向产生了速度变化.在下一瞬间,微粒在另一方向受到的撞击作用强,于是它的运动状态又改变了.这样,就引起了微粒的布朗运动.微粒越小,在某一瞬间跟它相撞的液体分子越少,撞击作用的不平衡性越明显,布朗运动也就越明显.反之,微粒越大,在某一瞬间跟它相撞的分子数越多,撞击作用的不平衡性越不明显.可以认为,撞击作用相互平衡,布朗运动也就不明显,以致观察不到.在这种认识的基础上,他进行了定量计算,所得出的结果在 1908 年由法国物理学家佩兰(J. B. Perrin, 1870—1942)用藤黄微粒悬浮在水中的实验所证实.

于是,液体分子做永不停息的无规则运动说明了产生布朗运动的原因.微粒的布