

# 热学

刘锦城 著

江西高校出版社

## 前 言

20世纪即将过去,对物理学的发展来说,这不愧是光辉的世纪。自1900年量子概念的提出,揭开了微观世界研究的序幕,既是人类研究辐射的需要,也是为深入一步认识微观世界的需要。随着人类的进步,科技的发展,推动着人们对微观世界从小的方面向微观世界进军,大的方面向宇观世界推进,探索向极低温和极高温双极端的客观规律,创立了量子论与相对论学说,并以此为工具研究微观与高速的物理现象。并沟通了时间与空间的联系。

18世纪资本主义的蓬勃发展,产生了热机致使掀起了人类第一次工业革命,到19世纪热机已广泛用于火车、轮船、汽车、飞机。至20世纪更加精确化,并发展更巨大的原动力,火箭不仅从地球表面任一地方射到欲达任一目标,而且已作为探索宇宙的交通工具,推动宇宙飞船遨游太空。现在人们已关心地球上的能源危机问题,不仅大力发展电力,且在广泛地探索各种能源的开发与利用问题。把共产主义看成是“苏维埃政权加电气化”,已远远不能满足人类发展的需要了。

20世纪由无线电、红外线、超声波,发展到激光、电脑、超导等,高科技正日新月异,蓬勃创新。人们在注意对能源、环境及自身机体的更深入的认识。

我们的国家也正在“一穷二白”的基础上,经过痛苦的曲折的摸索,认识到不仅要一改“东亚病夫”之态,更要迅速发展科技这第一生产力,实现四个现代化,以便使我们在21世纪中叶赶上和超过世界先进水平的强国。毫无疑问教育是基础,在此形势面前,我们要建设具有中国特色的社会主义,就必须加强人才教育。师范院校是培养教师的摇篮,使基础教育现代化是我们肩上义不容辞的职责。

物理是科技基础知识的基础,为适应四个现代化的需要,改革与发展物理学是当务之急。

20世纪中叶的课程,已不能满足现代的需要。目前大学物理的热学多是包括热力学、统计物理学与物性学三部分拼合而成,经过人们200多年的努力,这三部分虽各成体系,内容精练,但抽象并较分立。大专院校热学的教学中往往反映它是难教难学的课程。为改变这一现状,适应新形势的需要,本教材以热力学系统为统一研究对象,以探索系统的热学性质与规律为线索,纵贯全书,以热力学和分子物理学两方法,共同交合研究同一对象。这样改编的热学课程,结合教学实践,并通过改革教学方法和教学手段,以适应于教学现代化的需要。

本教材尊重前人的功绩,继承先辈积累的知识,又汲取了近年来迅速发展的有关科技知识,考虑到热学的领域是系统大量粒子(主要是分子)的热运动,不大涉及粒子的组成问题,书中所引用的量子理论解释热容量等问题,既是提高的内容又是给学生开拓视野,启发学生去找参考材料,涉猎广泛的科技知识,并从中培养自学能力。

为了加强对中学师资的培训,本教材不仅着重在温度、气态方程、热力学第一定律等基础知识上增强了内容,且以小实验,自学材料,观察实践等方式引导中学生去开展业余科技小组,培养能力。即尽量注意中学物理教师应有素质的培养。

虽时间仓促,但为慎重,在编写过程曾把部分内容、热学教学新编大纲等,特请教赵凯华、包科达、刘昌年、梁绍荣、李湘如诸先生及战永杰、郭新凯、王生贵等同行专家审阅,且颇获教诲。特此致谢,并准备在今后的教学实践中,更广泛请教同行家,望能获更多的帮助。

限于本人的水平,本书定会存在一些错误和不足之处,敬请读者指正。

编者 刘锦城

1998年春节

# 目 录

导 论 .....	(1)
§ 1. 热力学研究的对象、内容与方法 .....	(1)
§ 2. 热力学系统 .....	(4)
§ 3. 热力学系统所处的态 .....	(10)
§ 4. 最简单的热力学的理想模型 .....	(12)
§ 5. 理想气体的压强 .....	(15)
§ 6. 热学发展简史 .....	(17)
观察·实验 热气球与蛋壳火箭 .....	(24)
阅读材料 我国古代热学 .....	(25)
思考题 .....	(28)
习 题 .....	(28)
第一章 温 度 .....	(30)
§ 1. 热力学第零定律 .....	(30)
§ 2. 温 标 .....	(32)
§ 3. 气体温度计与理想气体温标 .....	(34)
§ 4. 热力学第三定律 .....	(37)
自学材料 常用温度计及特种温度计 .....	(38)
观察·实验 模仿伽利略温度计 .....	(40)
观察·实验 自制温差电偶观察实验 .....	(40)
阅读材料 三相管 .....	(41)
阅读材料 温度领域 .....	(41)
思考题 .....	(44)
习 题 .....	(45)

第二章 气态方程——系统的状态变化 .....	(48)
§ 1. 气体实验定律 .....	(48)
§ 2. 理想气体状态方程 .....	(52)
§ 3. 道尔顿定律 .....	(56)
§ 4. 温度的微观本质 .....	(58)
§ 5. 表示理想气体的状态曲面 .....	(61)
观察·实验 沉浮子 .....	(63)
观察·实验 理想气体 $p$ 、 $V$ 、 $T$ 函数投影模型 .....	(63)
阅读材料 历史上气体定律的建立 .....	(64)
思考题 .....	(67)
习 题 .....	(79)
第三章 系统做功的能力 .....	(76)
§ 1. 能量概念 .....	(76)
§ 2. 系统的内能 .....	(77)
§ 3. 热量的度量与测定 .....	(78)
§ 4. 热量的传递 .....	(89)
§ 5. 系统的功 .....	(94)
§ 6. 热力学第一定律 .....	(98)
§ 7. 理想气体的等值过程 .....	(102)
§ 8. 绝热过程与多方过程 .....	(107)
§ 9. 焓及在热化学上的应用 .....	(117)
阅读材料 量子理论的产生及对热容的解释 .....	(121)
阅读材料 能源的开发与利用 .....	(125)
思考题 .....	(127)
习 题 .....	(129)
第四章 系统热循环与热机 .....	(137)
§ 1. 热循环 .....	(137)

§ 2. 热 机 .....	(144)
§ 3. 两种典型的内燃机 .....	(147)
§ 4. 外热机 .....	(151)
§ 5. 更广泛的热功转换 .....	(155)
§ 6. 制冷机 .....	(157)
观察·实验 橡皮辐带的热机 .....	(162)
观察·实验 走马灯旋转架 .....	(162)
观察·实验 スターリングエンジンの模型 .....	(162)
阅读材料 太阳能 .....	(164)
阅读材料 未来的发动机 .....	(167)
思考题 .....	(172)
习 题 .....	(173)
<b>第五章 系统实际过程进行的方向 .....</b>	<b>(176)</b>
§ 1. 系统的实际过程是不可逆的 .....	(176)
§ 2. 热力学第二定律 .....	(178)
§ 3. 卡诺定理 .....	(182)
§ 4. 热力学温标 .....	(185)
§ 5. 熵增原理 .....	(187)
§ 6. 熵增效果——“能”贬值 .....	(199)
§ 7. 自由能 .....	(204)
观察·实验 乒乓球复原实验 .....	(207)
观察·实验 围棋子游戏实验 .....	(207)
观察·实验 微观态模拟游戏实验 .....	(207)
阅读材料 “热寂说”与“大爆炸学说” .....	(208)
思考题 .....	(212)
习 题 .....	(214)
<b>第六章 系统中微粒的运动 .....</b>	<b>(219)</b>

§ 1. 平衡态下系统内分子的热运动 .....	(219)
§ 2. 系统内大量分子运动的统计规律 .....	(225)
§ 3. 麦克斯韦速率分布律 .....	(233)
§ 4. 麦克斯韦速率分布律的应用 .....	(242)
§ 5. 玻耳兹曼分子按势能的分布律 .....	(250)
附录表 6-1 积分表 .....	(255)
附录表 6-2 误差函数简表 .....	(256)
观察·实验 自制粒子速率分布模拟实验器 .....	(257)
阅读材料 地球外表的大气层 .....	(258)
阅读材料 Maxwell - Boltzman·Bose - Einstein 及 Fermi - Dirac 三种统计 .. .....	(260)
思考题 .....	(263)
习 题 .....	(264)
<b>第七章 系统非平衡过程</b> .....	(270)
§ 1. 典型非平衡现象的宏观规律 .....	(270)
§ 2. 非平衡过程的微观机制 .....	(274)
§ 3. 稀薄气体输运现象与“真空” .....	(283)
观察·实验 用“烟雾”观察气流 .....	(286)
观察·实验 双层“跑马灯” .....	(286)
观察·实验 热的传导失散 .....	(286)
阅读材料 非平衡态热力学与耗散结构 .....	(287)
阅读思考 关于“真空” .....	(290)
思考题 .....	(291)
习 题 .....	(292)
<b>第八章 系统的自由凝集态</b> .....	(296)
§ 1. 实际气体的实验等温变化 .....	(297)
§ 2. 物质的临界状态 .....	(299)

§ 3. 范德瓦耳斯理论 .....	(302)
§ 4. 范德瓦耳斯等温线与临界状态 .....	(306)
§ 5. 实际气体的内能、焦-汤效应 .....	(309)
观察·实验 素瓷盛凉水 .....	(313)
观察·实验 水蒸汽的液化 .....	(313)
观察·实验 白酒的蒸馏 .....	(313)
阅读材料 低温物理学 .....	(314)
阅读材料 超导现象及其应用 .....	(315)
思考题 .....	(318)
习 题 .....	(319)
<b>第九章 凝聚态系统 .....</b>	<b>(322)</b>
§ 1. 晶体的宏观特征 .....	(322)
§ 2. 晶体的微观结构 .....	(326)
* § 3. 晶体中粒子的运动及其能量 .....	(330)
* § 4. 半导体的电子性质 .....	(337)
§ 5. 液晶的初步知识 .....	(341)
观察·实验 观察周围有哪些天然晶体 .....	(346)
观察·实验 结晶提纯 .....	(346)
观察·实验 观察液晶 .....	(346)
阅读材料 液 晶 .....	(347)
阅读材料 现代科技中的晶体材料 .....	(349)
思考题 .....	(352)
习 题 .....	(353)
<b>第十章 系统的可流动密集态 .....</b>	<b>(355)</b>
§ 1. 液体的热学性质 .....	(355)
§ 2. 液体的微观结构及微观运动 .....	(356)
§ 3. 液体的界面现象 .....	(360)



观察·实验 液体的物理性质 .....	(372)
阅读材料 关于液体其它形态 .....	(374)
思考题 .....	(381)
习 题 .....	(382)
<b>第十一章 系统的相态转变 .....</b>	<b>(384)</b>
§ 1. 一级相变 .....	(385)
§ 2. 气液相变 .....	(386)
§ 3. 汽化曲线 克拉珀龙方程 .....	(391)
§ 4. 固液相变 溶解曲线 .....	(396)
§ 5. 固气相变 升华曲线 .....	(399)
附录表 11-1 常见物质在 1 atm 下的熔点和溶解热 .....	(401)
附录表 11-2 常见物质在 1 atm 下的沸点和相应的汽化热 .....	(402)
附录表 11-3 水的相平衡压强 .....	(402)
* § 6. 实际物质单元系统的 $pVT$ 图 .....	(403)
观察·实验 你周围物质的三相态变化 .....	(406)
观察·实验 测乙醚的饱和蒸气压 .....	(406)
阅读材料 关于相变的认识 .....	(409)
思考题 .....	(416)
习 题 .....	(417)
后 记 .....	(420)

# 导 论

## § 1. 热学研究的对象、内容与方法

### 一、热学及研究对象

热学是物理学中的重要分支之一，它的研究对象是自然界里大量粒子混杂运动组成的系统，我们把它称为热力学系统。这些大量粒子可以是分子、原子、离子、自由电子等游离的基本粒子，也可以是电离的根基团、原子团，它们组成了气态、液态和固态各种常见客观物质，也可以包括等离子体、超密度物质等宏观系统。所以热力学系统在实践中就是各种物质系统。由于系统中大量粒子，总是不停息地无规则运动着，我们把这种运动叫热运动，它所反映的宏观现象叫热现象。这些大量粒子混杂运动统计的结果，往往是使系统做机械运动，实现能量的转换而做功。所以我们把这些由大量粒子永不停息地做无规则混乱运动的物质系统与温度紧密相关，又与对外做功直接联系的系统叫热力学系统，并作为热学研究对象。显然在工业、农业、气象、日常生活各领域中都充满着热力学系统，周围物质世界都是热力学系统。

热力学系统受温度变化的影响，将改变它的几何占有空间、改变系统物质组成物体的各种机械力学性质，或改变它的电磁性质。因此，研究热力学系统随着温度变化而发生物理性质变化的现象与规律，就是热学研究的内容。

总之，热学是研究物质热运动规律的学科。热学研究的任务就是掌握热力学系统随温度变化的热学性质及其变化规律，为学习后继课程，如电磁学、原子(核)物理，以至光学、半导体、固体物理，甚至化学、天文、气象、生物生命科学奠定有关的基础。为社会主义革命和建

设、认识自然和改造自然服务。它本身不是技术课程而是基础课程。

## 二、热学研究的方法

根据热力学系统的特点及热运动的规律有别于物理学中其它分支,因而研究方法也比较特殊,最基本的有两种:

1.宏观上采用唯象的方法把热力学系统看成连续分布的物质。系统状态和性质,可以用实验直接观察测定。由于热运动是系统现象的微观本质,而热现象是系统内微观粒子热运动随宏观统计的平均结果,对一定量的某种气体,它的几何状态可用体积线度来描述,它的力学状态可用压强来描写,这在宏观上都可用实验来测定的,所以这些方法都是唯象的。另外,诸如密度、热容、比热、膨胀系数、热传导系数、粘滞系数……等都是以系统可进行宏观测量与描述某一特性的物理量,我们把这些量叫宏观量,且这些量值大小与变化都直接与温度有关。

2.微观上,光学显微镜直接观察不到分子,但借助电子显微镜及更先进的仪器,也可间接反映分子的大小线度。可是分子总是不停息地运动,单个分子的运动通常情况下平均可达  $10^2\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \sim 10^3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,在每秒钟内它要与其他分子碰撞  $10^9$  次。碰撞实在太频繁了,每秒钟内几十亿,且任一个可观到的热力学系统内包含微观粒子非常多,致使我们无法,也没有必要研究单个粒子运动的瞬时速度、加速度及其轨迹。经典的牛顿力学在此失去了实用价值,这种机械的必然规律,要让位给统计平均的或然率即描写系统内大量粒子在微观上运动的统计规律。实际上热现象是一种宏观上观察出来的系统内大量粒子热运动的集体表现,是大量微观粒子运动的统计平均效果。所以,描述系统状态的宏观量,总是这些微观粒子状态相对应的微观量统计平均值。对系统内某一个粒子来说,具有偶然(或然)性,但在一定条件下,对既定系统,总体来说具有确定的统计的规律性。故统计方法是我们在微观上研究系统内大量粒子运动的重要方法,而概率论是其重要的手段。

### 三、热学的内容

这两种截然不同的方法,又产生了两种理论:热力学与统计物理学.它们阐述的是同一研究对象——热力学系统的热运动及它和其它运动形式之间的能量转换关系,只是用不同办法进行研究而已.热力学就是把系统看成统一连续体,用实验测定其各种状态的物理量,然后用严密的数学逻辑推理寻找它们之间的相互联系,确立相应的定律和公式,以便可利用数学运算,推断出各物理量如何随系统热学特征函数——温度的变化而演变的各物理量的数学表达式,结合热力学第一定律、热力学第二定律以及热力学第三定律,就构成热力学的主要内容.这里均不需涉及系统的微观组成与结构,及其微观粒子究竟是如何运动的.这些理论是人们从实践的实验中建立的,也可通过实践与实验来检验的.而统计物理学是基于热力学的实验测定,提出分子运动论为主导的理论,用统计平均的办法与探索热现象的微观粒子所遵循的力学规律,从本质上来研究系统的宏观热学性质.微观粒子的热运动无法用实验直接测定,故正确与否,又要通过它所推论出的结果是否与宏观测量相符合来验证.所以这两种方法和理论又是相辅相成的.

传统的基础物理中的热学是包括了热力学、统计物理学及用这两种理论去认识物质热学性质的所谓物性学这三部分.更高级一些理论物理中,另有热力学和统计物理学(或分子物理学)两门理论物理.人们常常把这两门学科又合为“热统”作为四大理论物理学中的一门.我们师专层次的热学只讲基础物理学中的热学内容,本课程将以研究热力学系统热特征及其能量转换规律为主线,把两种方法交织柔和去研究同一对象,尽力纲举目张,宏观微观有机结合,以辩证唯物的观点,更自然地认识自然界.使学生不只是“学会”,而主要是“会学”这热学中的基础知识和基本规律.

## § 2. 热力学系统

### 一、宏观认识

1. 我们用一边界包围住所要研究的一定量的热力学系统, 就有系统内外之分. 边界周围媒质就是系统的外部, 边界内部的气体、液体、固体、等离子体、磁介质、超密物质都是系统内大量微观粒子组成的. 例如: 气缸内部有气体燃料及助燃的氧气或空气, 气缸壁外接触的冷却水或大气就是系统的外界, 这是把气缸壁厚度忽略不计的划分法. 如果考虑厚壁气缸, 则与气体接触内壁就是界面, 而气缸壁就是外界了.

2. 按系统与外界是否有物质能量转换可分为:

开放系: 与外界既有物质交换又有能量的转换的系统;

封闭系: 与外界只有能量的转移, 没有物质的交换的系统;

孤立系: 既无能量与外界转移, 又无物质和外界交换的系统.

系统与外界被绝热壁包围时, 不传递热量构成的绝热系统, 是属于封闭系, 而不能断定为孤立系, 因为它还可通过做功来转换能量.

3. 系统的“元”与“相”.

系统只有一种物质分子组成, 该系统就叫单“元”系; 有三种以上物质组成的系统叫多“元”系. 如: 纯净的糖水溶液只有糖与水分子组成就叫二“元”系.

系统内具有同样物理性质的均匀部分叫“相”. 系统内由一相通过边界到另一相时物理性质要发生突变. 如水与水蒸气共存的系统, 水的分子通过水面到水蒸气中, 就是从液相通过界面到达气相中. 且在固相中也可以细分为不同的相, 如金刚石与石墨是碳的两个不同的固相, 而铁有四个固相( $\alpha$  铁、 $\beta$  铁、 $\gamma$  铁、 $\delta$  铁), 冰有七个固相; 液态的氮也有氮 I 与氮 II 两种液相.

“元”与“相”是不相关的两个独立的概念, 可以有单元多相系, 如: 水、冰、水蒸气可以在一定条件下共存为单元三相系, 也可以有

多元单相系,如:空气就是氧气、氮气、氦气、二氧化碳、水蒸气……等混合而成的多元单相系气体。

二、从微观上来认识热力学系统,人们总结出分子运动论,此理论认为

1. 不论那种系统,在通常可观察的范围中,一定量的物质系统中都是由大量的微观粒子组成的。1mol 的物质就有

$$N_A = (6.022045 \pm 0.00031) \times 10^{23} \text{ 个微观粒子组成。}$$

[例 1] 我们来估算通常情况下,每立方厘米纯水中有多少个分子?

解:每立方厘米纯水有质量

$$M = 1.0 \times 10^{-3} \text{ kg,}$$

水的摩尔质量:  $\mu = 18.0 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

则它有摩尔数:

$$\nu = \frac{M}{\mu} \quad (0-1)$$

所以 
$$\nu = \frac{M}{\mu} = \frac{1.0}{18.0} = 5.56 \times 10^{-2} \text{ mol.}$$

上述  $N_A = (6.022045 \pm 0.00031) \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  叫阿佛伽德罗常数,取前三位即每摩尔数约为  $6.02 \times 10^{23}$  个,则这 1 克纯水有水分子个数为:

$$N = \nu \cdot N_A = 5.56 \times 10^{-2} \times 6.02 \times 10^{23} = 3.35 \times 10^{22} \text{ 个。}$$

这是一个巨大的数目,设想把这些水分子平均铺满整个地球表面,则每平方米的面积上有水分子个数:

$$\frac{N}{S} = \frac{N}{4\pi R^2} = \frac{3.35 \times 10^{22}}{4\pi \times (6.37 \times 10^6)^2} = 6.57 \times 10^7 \text{ 个。}$$

其中地球半径取三位有效数字  $R = 6.37 \times 10^3 \text{ km}$ ,即每平方厘米面积内仍有 6 千多个水分子,另外,可推算出标准状态下,每立方厘米的空气中混杂的分子数约有  $2.688 \times 10^{19}$  个。

同种分子可看成是全同粒子,它的线度有多大?它们之间的距离又如何呢?

液体的可压缩性较小,通常情况下,可认为不能压缩,即在微观上,可认为是一个最小粒子与另一个最小粒子是紧密排列的,仍以每立方厘米的纯水为例,每个水分子将占空间体积为:

$$V_0 = \frac{10^{-6} \text{m}^3}{3.35 \times 10^{22}} = 2.98 \times 10^{-29} \text{m}^3.$$

按它是立方体估算,其线度为:

$$d = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{2.98 \times 10^{-29}} = 3.10 \times 10^{-10} \text{m}.$$

以微观线度计量单位  $1 \text{Å} = 10^{-10} \text{m}$  计算,水分子的线度约是  $3.10 \text{Å}$ ,每个氢原子半径约为  $r_0 = 0.53 \text{Å}$ ,线度为  $0.53 \times 2 = 1.06 \text{Å}$ ,则一个水分子是由两个氢原子与一个氧原子构成,而氧原子的线度也差不太大.那么每个水分子线度为  $3 \text{Å}$  多点,显然以上估测基本正确.

表 0-1 常见物质分子的线度大小:(单位:1 Å. 仅供参考)

氢气	氯气	二氧化碳	氮	水	氧气	氦	氩
2.3	3.5	3.3	3.1	3.10	3.0	1.9	3.0

分子间还有一定空隙,气体可很容易地被压缩,可见气体分子间隙较大.如:空气中各分子间距离,在标准状况下平均为:

$$l = \sqrt[3]{\frac{1}{2.68 \times 10^{25}}} = 3.44 \times 10^{-9} \text{m}.$$

可见分子间也有一定的空隙,即空气分子间的距离平均是分子线度的 10 倍左右.就是液体分子间也有空隙,例如:取一根 1 米长内径为 1 厘米的均匀玻璃管(如托利拆利玻璃管),一端开口,一端封闭,其中注有一半纯水,再在上面徐徐注一半酒精(为了便于观察,可预先滴有红色),以橡皮圈记下总液面高,然后往复振荡混和,可以明显观察到最后的总体积减少了,这是由于两种液体分子的空隙互相

被对方分子填补了.这说明液体也是由大量微观粒子分离地组合而成的,即使它们是固体,微观粒子间也有一定的空隙.例如:密封于钢筒中的油在两万个大气压作用下也可通过钢筒壁的铁原子间的空隙而渗漏出来.实验说明:任何物质都是由大量的不连续分布的分子或原子等基本微粒所组成的.

## 2. 组成系统的最小微粒都在永不停息地作无规则运动.

大量实验证明,各种物质分子总是在做永不停息的无规则的混杂运动,这一运动叫大量分子的热运动.例如:扩散现象,带有某种气味的气体总是自发地由浓度大的地方迁移到浓度小的地方.有色液体滴入清水中也可明显观察到这一扩散现象.即使是固体内微粒也是在不停运动着,把两种不同的金属压紧在一起,经过一段时间检验,在表面层内互相都有对方的分子.

实验证明,温度越高,扩散现象进行得越快.这是因为温度越高,说明分子混杂运动越剧烈,即是热学运动越明显.随着温度升高,物质要膨胀,也就是要增加分子间的平均距离.气体压强随着温度升高要增大,实质上就是分子撞击器壁的动量变化越大平均压力才越大.历史上,著名的布朗运动就是有力证据.1826年,英国植物学家布朗在用显微镜观察悬浮于液体中的花粉时(如图0-1a),发现花粉小颗粒在液体中总是在作无

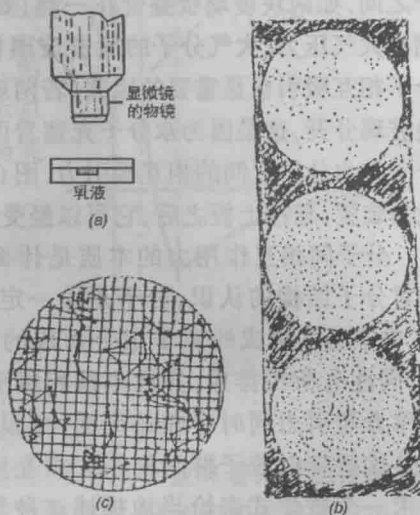


图0-1

规则的运动,花粉颗粒越小,混乱运动越剧烈,温度越高,无规则运动



也越剧烈。显微镜观察的实质是花粉团受周围水分子混乱撞击不平衡造成的无规则运动(如图 0-1b)。表示三个不同层次的显微镜观察到的视场,图 0-1c 是其中一个视场,它表示三个花粉团颗粒,每隔一定时间记录下来的径迹。这一现象就叫布朗运动。这充分说明热运动的实质是组成物质系统的大量粒子的无规则混杂运动,而温度又是这无规则运动剧烈程度的标志。

### 3. 分子间存在着相互作用力。

大量事实说明,分子间存在着相互作用。例如:把固体棒拉断,需要施加一定的拉力,把物体打碎需要很大的冲力,这说明了分子之间有引力;固体与液体很难压缩,说明了分子之间有斥力;两段铅块磨光的面接触压紧后,再加以很大的拉力,才能拉开,说明了分子间距离必须接近到一定程度才显示出引力,且这种引力不仅限于同种分子之间。如两块玻璃板叠合在一起,要分开较困难,当然主要因两外侧有大气压力(大气分子的撞击玻璃板体现的压力),但两玻璃板间分子相互吸引也是重要的因素,若两玻璃之间注满水,则更难把这两块玻璃分开,这是因为水分子充塞着两玻璃面间的空隙,体现出玻璃分子与水分子之间的相互吸引力。图 0-2 表示两块玻璃间注水而构成的装置,悬挂上板之后,它可以经受一定的拉力。

分子间相互作用力的本质是什么?按照现代人们对分子结构的认识,分子是由一定的原子核与核外“电子云”构成的原子组合而成的复杂的带电系统。同性电荷相排斥,异性电荷相吸引,就构成分子间斥力与引力同时存在的局面。所以分子力的本质就是这些带电粒子群间复杂的相互作用。人们企图寻求一个数学式来恰当地描述这种复杂的作用力,目前一般近似地用下列半径公式来表示:

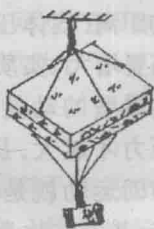


图 0-2

两分子间的斥力  $f_1$  与它们之间的距离  $r$  的  $n_1$  次方成反比: