

经全国中小学教材审定委员会
2005 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-3

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



普通高中课程标准实验教科书

物理

选修 3-3

人民教育出版社 课程教材研究所 编著
物理课程教材研究开发中心



 人民教育出版社

总 主 编：张大昌

副总主编：彭前程

主 编：张维善

执笔人员：黄恕伯 孙 新 唐果南

绘 图：高 巍 王凌波 张 良

责任编辑：金新喜 张 颖

版式设计：马迎莺

审 读：王存志

普通高中课程标准实验教科书

物 理

选修3-3

人民教育出版社 课程教材研究所
物理课程教材研究开发中心 编著

*

人民教育出版社 出版

(北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081)

网址：<http://www.pep.com.cn>

浙江省出版总社代印

浙江省新华书店发行

浙江新华数码印务有限公司印装

*

开本：890毫米×1240毫米 1/16 印张：5 字数：108 000

2010年4月第3版 2010年10月浙江第7次印刷

印数：395 801—445 800册

ISBN 978-7-107-18610-3 定价：6.08元
G·11700 (课)

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究
如发现印、装质量问题，请与本厂联系。电话：0571-85155604

目 录

第七章 分子动理论

- 1 物体是由大量分子组成的
- 2 分子的热运动
- 3 分子间的作用力
- 4 温度和温标
- 5 内能

1
2
5
8
10
14



第八章 气体

- 1 气体的等温变化
- 2 气体的等容变化和等压变化
- 3 理想气体的状态方程
- 4 气体热现象的微观意义

17
18
21
23
26



第九章 固体、液体和物态变化

- 1 固体
- 2 液体
- 3 饱和汽与饱和汽压
- 4 物态变化中的能量交换

31
32
37
42
45



第十章 热力学定律

- 1 功和内能
- 2 热和内能
- 3 热力学第一定律 能量守恒定律
- 4 热力学第二定律
- 5 热力学第二定律的微观解释
- 6 能源和可持续发展

49
50
52
54
57
61
67



课题研究

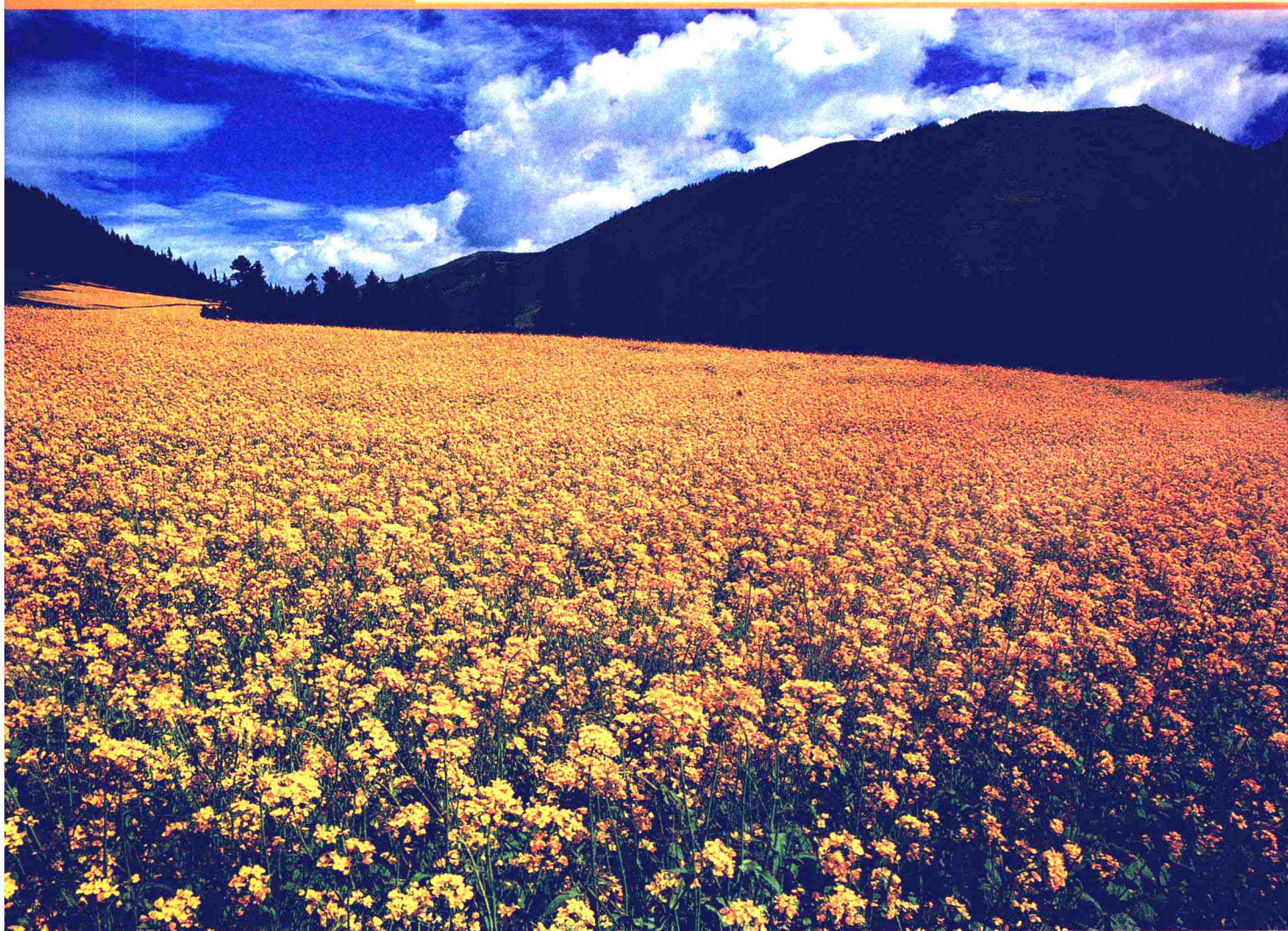
72

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……（这）可能是人类最初对自然法则的追求之一。

——王竹溪^①

第七章

分子动理论



暮春时节，金黄的油菜花铺满了原野。微风拂过，飘来阵阵花香。你有没有想过，为什么能够闻到这沁人心脾的香味呢？古希腊学者德谟克利特早就对此做出了解释，他认为这是由于花的原子飘到了人们鼻子里。德谟克利特认为“只有原子和虚空是真实的”。

古人的原子论仅限于思辨的范畴，没有尝试做出实验验证。随着科技的发展，特别是显微镜的发明，人们对微观世界的观察越来越深入，原子论的观点也逐渐为人们所接受。到了1982年，科学家制成了扫描隧道显微镜，使人类第一次观察到原子的排列。

^① 王竹溪（1911—1983），中国物理学家，中国科学院学部委员（现称院士），北京大学教授。

1

物体是由大量分子组成的

我们在初中已经学过,物体是由大量分子组成的^①。一个直径 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右的水珠,大小与细菌差不多,其中分子的个数竟比地球上人口的总数还多上好几倍!

我们可以通过什么途径知道分子的大小呢?

实验

用油膜法估测分子的大小

1. 怎样估算油酸分子的大小?

把很小的1滴油酸滴在水面上,水面上会形成一块油酸薄膜,薄膜是由单层的油酸分子组成的^②。尽管油酸分子有着复杂的结构和形状,但在估测其大小的数量级时,可以把它简化为球形,示意图如图7.1-1所示。测出油膜的厚度 d ,就是油酸分子的直径。

油膜的厚度等于这一小滴油酸的体积与它在水面上摊开的面积之比。因此,要估测油酸分子的直径,就要解决两个问题:一是获得很小的一小滴油酸并测出其体积,二是测量这滴油酸在水面上形成的油膜面积。

2. 如何获得很小的一滴油酸? 怎样测量它的体积?

请老师配制一定浓度的油酸酒精溶液,例如可以向 1 mL 油酸中加酒精,直至总量达到 500 mL 。

各实验小组用注射器吸取这样的油酸酒精溶液,把它一滴一滴地滴入小量筒中,记下液滴的总滴数和它们的总体积,这样便知道1滴溶液的体积了。例如, 100 滴溶液的体积是 1 mL , 1 滴体积就是 10^{-2} mL 。

根据上面的数据可以计算出1滴溶液中所含纯油酸的体积。例如,上述例子中 1 滴溶液含纯油酸 $2 \times 10^{-5}\text{ mL}$ 。

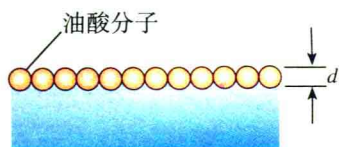


图 7.1-1 水面上单分子油膜的示意图

分子并不是球形的,但这里把它们当做球形处理,是一种估算的方法。估算在物理学的学习和研究中都是很有用的。

^① 在研究物质的化学性质时,我们认为组成物质的微粒是分子、原子或者离子。但是,在热学中,我们研究的是它们运动的规律,不必区分它们在化学变化中所起的不同作用,因此,本书把它们统称为分子。

^② 油酸的分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$, 它的一部分是羧基 $-\text{COOH}$, 对水有很强的亲合力;另一部分 $\text{C}_{17}\text{H}_{33}-$ 对水没有亲合力而要冒出水面。因此油酸分子会一个个地直立在水面上形成单分子油膜。

如果把1滴这样的溶液滴在水面，溶液中的酒精将溶于水并很快挥发，液面上的油膜便是这滴溶液中的纯油酸形成的。

3. 如何测量油膜的面积?

实验中的油酸薄膜是无色透明的，怎样才能看清它?

先往边长30~40 cm的浅盘里倒入约2 cm深的水，然后将痱子粉或细石膏粉均匀地撒在水面上。

用注射器往水面上滴1滴油酸酒精溶液，油酸立即在水面散开，形成一块薄膜，薄膜上没有痱子粉，可以清楚地看出它的轮廓，如图7.1-2。

待油酸薄膜形状稳定后，将事先准备好的玻璃板放在浅盘上，在玻璃板上描下油酸膜的形状。

将画有油酸膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上，计算轮廓范围内正方形的个数，不足半个的舍去，多于半个的算一个。把正方形的个数乘以单个正方形的面积就得到油膜的面积。

这样，根据1滴油酸的体积 V 和油膜面积 S 就可以算出油膜厚度 $d = \frac{V}{S}$ ，即油酸分子的大小。

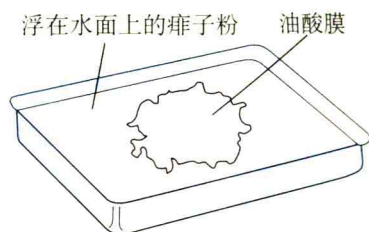


图 7.1-2 水面上形成一块油膜

分子的大小 把分子看做小球，这是分子的简化模型。实际上，分子有着复杂的内部结构，并不是小球。我们通常说分子的直径有多大，只是对分子大小的一种粗略描述。知道了分子尺度的数量级，能使我们了解分子是多么微小。油酸分子大小的数量级是 10^{-10} m。

测定分子大小的方法有许多种。尽管用不同方法测出的结果有差异，但数量级是一致的。测量结果表明，除了一些有机物质的大分子外，多数分子大小的数量级为 10^{-10} m。

分子如此微小，不但用肉眼无法直接看到它们，就是用高倍的光学显微镜也看不到。直至1982年，人们研制了能放大几亿倍的扫描隧道显微镜^①，才观察到物质表面原子的排列，使人类第一次看到单个原子。图7.1-3是我国科学家用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子的照片。

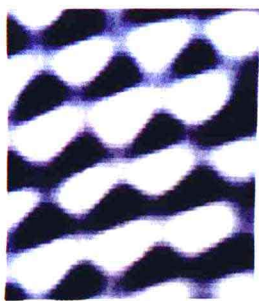


图 7.1-3 用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子的照片

阿伏加德罗常数 我们在化学课中学过，1 mol的任何物质都含有相同的粒子数，这个数量用阿伏加德罗常数 (Avogadro constant) 表示。

^① 由于发明了扫描隧道显微镜，德国物理学家宾尼希(G. Binnig)和瑞士物理学家罗雷尔(H. Rohrer)共同获得1986年诺贝尔物理学奖。

思考与讨论

以水分子为例,知道了分子的大小,不难估算阿伏加德罗常数。

1. 已知每个水分子的直径是 $4 \times 10^{-10} \text{ m}$, 每个水分子的体积约为多少?
2. 我们还知道水的摩尔体积是 $1.8 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{mol}$ 。如果水分子是一个挨一个地排列的, 那么 1 mol 水所含的水分子数是多少?

把你的估算结果与化学课本中的阿伏加德罗常数相比较。

为了得到更精确的阿伏加德罗常数,科学工作者不断地用各种方法测量它。1986年利用 X 射线测得的阿伏加德罗常数是

$$N_A = 6.022\,136\,7 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

通常可取

$$N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

在粗略计算中,甚至可取

$$N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

阿伏加德罗常数是一个重要的常数。它把摩尔质量、摩尔体积这些宏观物理量与分子质量、分子大小等微观物理量联系起来了,物理学中定量研究热现象时经常用到它。

问题与练习

1. 把一片很薄的均匀塑料薄膜放在盐水中,把盐水密度调节为 $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 时薄膜能在盐水中悬浮。用天平测出尺寸为 $10 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 的这种薄膜的质量是 36 g , 请计算这种薄膜的厚度。
2. 在做“用油膜法估测分子的大小”实验时,每 10^4 mL 油酸酒精溶液中有纯油酸 6 mL 。用注射器测得 75 滴这样的溶液为 1 mL 。把 1 滴这样的溶液滴入盛水的浅盘里,把玻璃板盖在浅盘上并描画出油酸膜轮廓,如图 7.1-4 所示。图中正方形小方格的边长为 1 cm 。
 - (1) 1 滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积是多少?
 - (2) 油酸膜的面积是多少?
 - (3) 按以上数据,估算油酸分子的大小。
3. 把铜分子看成球形,试估算铜分子的直径。已知铜的密度为 $8.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 铜的摩尔质量为 $6.4 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$ 。
4. 在标准状态下,氧气分子之间的平均距离是多少? 已知氧气的摩尔质量为 $3.2 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$, 1 mol 气体处于标准状态时的体积是 $2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。

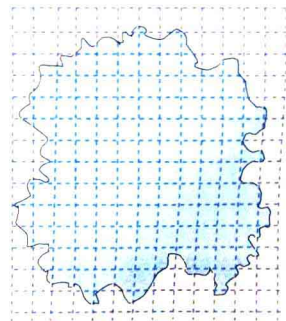


图 7.1-4

2

分子的热运动

一切物质的分子都在不停地做无规则的运动，这是我们在初中已经学过的知识。本节我们通过实验证据来说明这个结论。

做一做

1. 在广口瓶中滴几滴溴，它会逐渐蒸发，变为气体。几分钟后观察瓶中气体的颜色。
2. 在烧杯中盛多半杯清水，然后用长颈漏斗慢慢地把蓝色硫酸铜溶液注入，使它留在杯底，不要搅动液体。几十分钟后观察两种液体分界面的变化。

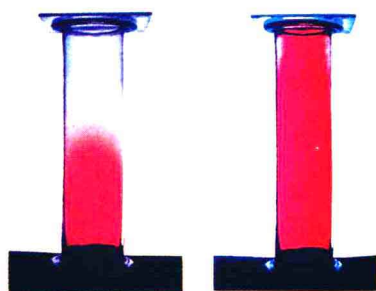


图 7.2-1 溴蒸气的扩散



图 7.2-2 液体的扩散

扩散现象 从实验和生活现象中我们都会发现，不同物质能够彼此进入对方。物理学把这类现象叫做**扩散 (diffusion)**。

扩散现象并不是外界作用（例如对流、重力作用等）引起的，也不是化学反应的结果，而是由物质分子的无规则运动产生的。图 7.2-3 中，酱油里的色素扩散到了鸡蛋清内。又如，把金片和铅片压在一起，不管金片放在上面还是放在下面，金都会扩散到铅中，铅也会扩散到金中。扩散现象是物质分子永不停息地做无规则运动的证明。

扩散现象在科学技术中有很多应用。生产半导体器件时，需要在纯净半导体材料中掺入其他元素，这就是在高温条件下通过分子的扩散来完成的。



图 7.2-3 酱油在蛋清中的扩散

布朗运动 19 世纪初，一些人观察到，悬浮在液体中的小颗粒总在不停地运动。1827 年，英国植物学家布朗 (R. Brown, 1773 — 1858) 首先在显微镜下研究了这种运动。下面我们做一个类似的实验。

实验

如图7.2-4,把墨汁用水稀释后取出一滴放在高倍显微镜下观察,可以看到悬浮在液体中的小炭粒在不停地做无规则运动。

在显微镜下追踪一个小炭粒的运动,每隔30 s把炭粒的位置记录下来,然后用直线把这些位置按时间顺序依次连接起来,就得到类似图7.2-5所示的微粒运动的位置连线。可以看出,微粒的运动是无规则的。

实际上,就是在短短的30 s内,微粒的运动也是极不规则的。

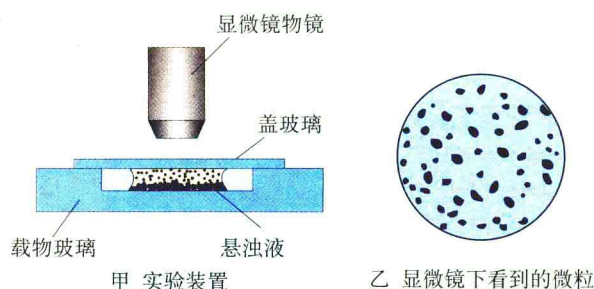


图 7.2-4 实验装置示意图

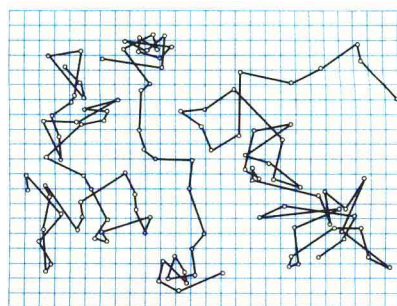


图 7.2-5 显微镜下看到的三颗微粒运动位置的连线

当时布朗观察的是悬浮在水中的花粉。他起初认为,花粉的运动不是外界因素引起的,而是花粉自发的运动。

是不是因为植物有生命才产生了这样的运动? 布朗用当时保存了上百年的植物标本,取其微粒进行实验,他还用了一些没有生命的无机物粉末进行实验。结果是,不管哪一种微粒,只要足够小,就会发生这种运动;微粒越小,运动就越明显。这说明微小颗粒的运动不是生命现象。后人把悬浮微粒的这种无规则运动叫做**布朗运动 (Brownian motion)**。

布朗运动是怎样产生的? 在显微镜下看起来连成一片的液体,实际上是由许许多多分子组成的。液体分子不停地做无规则运动,不断地撞击微粒。图7.2-6描绘了一颗微粒受到周围液体分子撞击的情景。悬浮的微粒足够小时,来自各个方向的液体分子撞击作用的不平衡性便表现出来了。在某一瞬间,微粒在某个方向受到的撞击作用较强;在下一瞬间,微粒受到另一方向的撞击作用较强,这样,就引起了微粒的无规则运动。



图7.2-6 微粒很小时,分子沿各方向对它的撞击不平衡。

悬浮在液体中的微粒越小,在某一瞬间跟它相撞的液体分子数越少,撞击作用的不平衡性就表现得越明显,因而布朗运动越明显。如果悬浮在液体中的微粒很大,在某一瞬间跟它相撞的分子数很多,各个方向的撞击作用接近平衡,这时就很难观察到布朗运动了。

我们无法直接看见分子的无规则运动。悬浮微粒的无规则运动并不是分子的运动，但是微粒运动的无规则性，间接地反映了液体分子运动的无规则性。

热运动 在扩散现象中，我们会发现，温度越高，扩散得越快。观察布朗运动时也会发现，温度越高，悬浮微粒的运动就越明显。这些事实表明，分子的无规则运动与温度有关系，温度越高，这种运动越激烈。因此，我们把分子永不停息的无规则运动叫做**热运动** (thermal motion)。

问题与练习

1. 请你通过一个日常生活中的扩散现象来说明：温度越高，分子运动越激烈。
2. 以下关于布朗运动的说法是否正确？说明道理。
 - (1) 布朗运动就是分子的无规则运动。
 - (2) 布朗运动证明，组成固体小颗粒的分子在做无规则运动。
 - (3) 一锅水中撒一点胡椒粉，加热时发现水中的胡椒粉在翻滚。这说明温度越高布朗运动越激烈。
 - (4) 在显微镜下可以观察到煤油中小粒灰尘的布朗运动，这说明煤油分子在做无规则运动。
3. 小张在显微镜下观察水中悬浮的细微粉笔末的运动。他把小颗粒每隔一定时间的位置记录在坐标纸上(图 7.2-7)，于是得出结论：固体小颗粒的无规则运动证明水分子的运动是无规则的。小李不同意小张的结论，他认为：“小颗粒沿着笔直的折线运动，说明水分子在短时间内的运动是规则的，否则小颗粒怎么会沿直线运动？”对此，说说你的看法。

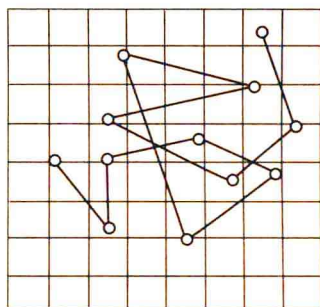


图 7.2-7 小张的观测记录

3

分子间的作用力

演示

取一支长约1 m的玻璃管，注入半管清水，再注入酒精，使液面几乎达到管口。用手指按住管口，上下几次颠倒玻璃管，观察管中液体体积的变化。

这个实验说明了什么？

分子间的作用力 气体很容易被压缩，说明气体分子之间存在着很大的空隙。水和酒精混合后总体积会减小，说明液体分子之间存在着空隙。压在一起的金片和铅片，各自的分子能扩散到对方的内部，说明固体分子之间也存在着空隙。

分子间虽然有空隙，大量分子却能聚集在一起形成固体或液体，说明分子之间存在着引力。用力拉伸物体，物体内部会产生反抗拉伸的弹力，说明分子间存在着引力。把两块纯净的铅压紧，它们会“粘”在一起，甚至下面吊一个重物也不能把它们拉开（图7.3-1），这也说明分子间存在引力。

分子间有空隙，但是用力压缩物体，物体内部会产生反抗压缩的弹力，这说明分子之间还存在着斥力。

深入的研究表明，两个邻近的分子之间的确同时存在着引力和斥力，引力和斥力的大小都跟分子间的距离有关，它们随分子间距离变化的关系如图7.3-2所示。图中的横坐标 r 表示两个分子间的距离，纵坐标 $F_{斥}$ 和 $F_{引}$ 的绝对值分别表示其中一个分子所受斥力和引力的大小。图中上面的曲线表示 $F_{斥}$ 随 r 变化的关系，下面的曲线表示 $F_{引}$ 随 r 变化的关系。

从图7.3-2可以看到， $F_{斥}$ 和 $F_{引}$ 都随着 r 的增大而减小，当两个分子的距离为 r_0 时，其中一个分子所受的引力与斥力大小相等，那么这个分子所受的合力为0。当分子间的距离小于 r_0 时，作用力的合力表现为斥力；当分子间的距离大于 r_0 时，作用力的合力表现为引力。

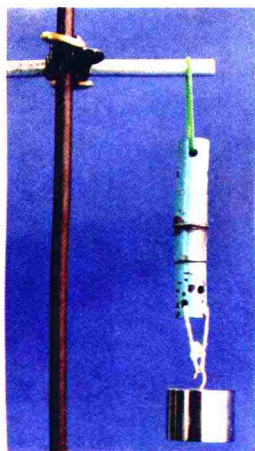


图7.3-1 压紧的铅块会“粘”在一起

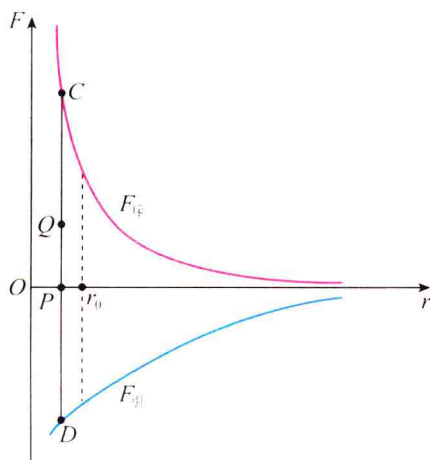


图7.3-2 分子间的作用力与距离的关系

习惯上斥力以正值表示，引力以负值表示，所以 $F_{斥}$ 和 $F_{引}$ 分别画在横轴的上方和下方。

在下面的思考与讨论中，可以按照这个规则判断合力是斥力还是引力。

思考与讨论

请在图 7.3-2 中作出一个分子所受另一个分子的斥力与引力的合力随分子间距离 r 变化的图象。例如，当 $r = OP$ 时，这个分子所受斥力的大小可以用线段 PC 的长度表示，所受引力的大小用 PD 的长度表示。从 C 向下作 $CQ = PD$ ，于是线段 PQ 的长度就代表了合力 F 的大小： $F = F_{斥} - F_{引}$ 。

再作出 r 取其他大约 10 个值时代表合力的点，连成平滑曲线。这条曲线将在本章第 5 节用到，因此作图时要尽可能准确。

讨论这条曲线的含义。

当分子间的距离在 r_0 附近时，它们之间的作用力的合力有些像弹簧连接着的两个小球间的作用力：拉伸时表现为引力，压缩时表现为斥力。

分子动理论 通过前面的学习我们已经知道：物体是由大量分子组成的，分子在做永不停息的无规则运动，分子之间存在着引力和斥力。这就是物质结构的基本图像。

在热学研究中常常以这样的基本图像为出发点，把物质的热学性质和规律看做微观粒子热运动的宏观表现。这样建立的理论是一种微观统计理论，叫做**分子动理论** (molecular kinetic theory)。由于分子热运动是无规则的，所以对于任何一个分子而言，在每一时刻沿什么方向运动，以及运动的速率等都具有偶然性；但是对于大量分子的整体而言，它们却表现出规律性。这种由大量偶然事件的整体所表现出来的规律，叫做**统计规律** (statistical regularity)。

问题与练习

1. 请描述：当两个分子间的距离由小于 r_0 逐渐增大，直至远大于 r_0 时，分子间的引力如何变化？分子间的斥力如何变化？分子间引力与斥力的合力又如何变化？
2. 当两个分子间的距离由图 7.3-2 中的 r_0 逐渐增大时，分子间相互作用力的合力会出现一个极大值。你能否用实际生活中宏观现象的例子说明分子间相互作用的合力的确存在着这样的极大值？
3. 为什么物体能够被压缩，但压缩得越小，进一步压缩就越困难？
4. 如图 7.3-3，把一块洗净的玻璃板吊在橡皮筋的下端，使玻璃板水平地接触水面。如果你想使玻璃板离开水面，向上拉橡皮筋的力必须大于玻璃板的重量。动手做一做，并解释为什么。

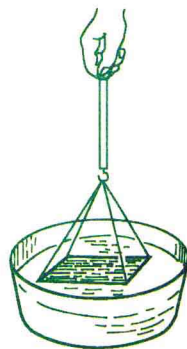


图 7.3-3 拉力与玻璃板受到的重力相等吗？

4

温度和温标

状态参量与平衡态 如果我们研究一箱气体的热学性质,这箱气体是由大量分子组成的一个研究对象,在热学中就叫做一个**热力学系统 (thermodynamic system)**,简称**系统**。系统之外与系统发生相互作用的其他物体统称**外界**。例如,用酒精灯加热容器中的气体,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。

在力学中,为确定物体(质点)机械运动的状态,我们使用了物体的坐标和速度这两个物理量。在热学中,为确定系统的状态,也需要用到一些物理量,这些物理量叫做系统的**状态参量 (state parameter)**。例如,为了确定系统的空间范围,要用到体积 V ,这是一个几何参量;为了确定外界与系统之间或系统内部各部分之间的力的作用,要用到压强 p ,这是一个力学参量;而要确定系统的冷热程度,就要用到初中已经学过的一个热学参量——温度 T 。

这节我们将从另一个角度认识“温度”这个物理量。

要定量地描述系统的状态往往很难,因为有时系统的参量会随时间变化。然而在没有外界影响的情况下,只要经过足够长的时间,系统内各部分的状态参量能够达到稳定。举例说,把不同压强、不同温度的两箱气体注入同一个容器,压强大的气体会向压强较小的一方流动,温度高的气体会向温度低的一方传热。但是如果容器与外界没有能量交换,经过一段时间后,容器内各点的压强和温度就都不再变化。这种情况下我们说容器内的气体达到了**平衡态 (equilibrium state)**,否则就是非平衡态。当系统处于平衡态时,由于系统所有性质都不随时间变化,我们就能比较容易地描述这些性质。在中学阶段,我们主要处理平衡态的问题。

两个温度不同的物体相互接触,这两个物体组成的系统处于非平衡态。

热平衡与温度 同学们在初中已经学过关于温度的知识。当热水中的温度计的读数不再升高的时候,大家就会自然地认为此时温度计的温度就是热水的温度。然而,现在要问的是:我们凭什么说这个时候温度计的温度就是热水的温度?

上面所说的平衡态,指的是一个系统内部的状态不再改变。下面要研究的是一个系统与另一个系统相互作用的问题。如果两个系统相互接触而传热,它们的状态参量将改变。但是经过一段时间以后,状态参量就不再变化了,这说明两个系统对于传热来说已经达到了平衡。这种平衡叫做**热平衡 (thermal equilibrium)**。

“平衡态”指的是一个系统的状态;“热平衡”指的是两个系统之间的关系,不要混淆。

两个系统达到热平衡后再把它们分开,如果分开后它们都不受外界影响,再把它们重新接触,它们的状态不会发生新的变化。因此,热平衡概念也适用于两个原来没有发生过作用的系统。因此可以说,只要两个系统在接触时它们的状态不发生变化,我们就说这两个系统原来是处于热平衡的。

实验表明:如果两个系统分别与第三个系统达到热平衡,那么这两个系统彼此之间也必

定处于热平衡，这个结论称为**热平衡定律**^① (law of thermal equilibrium)。

热平衡定律表明，两个系统处于热平衡时，它们必定具有某个共同的热学性质，我们就把表征这一“共同热学性质”的物理量叫做**温度 (temperature)**。也就是说，温度是决定一个系统与另一个系统是否达到热平衡状态的物理量，它的特征就是“一切达到热平衡的系统都具有相同的温度”。如果温度计跟物体 *A* 处于热平衡，它同时也跟物体 *B* 处于热平衡，根据热平衡定律，*A* 的温度便与 *B* 的温度相等，这就是温度计能够用来测量和比较温度高低的基本原理。

初中物理中，我们把温度看做物体冷热程度的标志，尽管这种认识比较肤浅，但它与我们这里对温度的定义是一致的。设想两个冷热不同的物体相互接触后，过一段时间当它们达到平衡态时，两个物体不就是“冷热相同”吗！

温度计与温标 如果要定量地描述温度，就必须有一套方法，这套方法就是**温标 (thermometric scale)**。

确定一个温标时首先要选择一种测温的物质，根据这种物质的某个特性来制造温度计。例如，可以根据水银的热膨胀来制造水银温度计，这时我们规定细管中水银柱的高度与温度的关系是线性关系；也可以根据铂的电阻随温度的变化来制造金属电阻温度计，这时我们规定铂的电阻与温度的关系是线性关系。同样的道理，还可以根据气体压强随温度的变化来制造气体温度计，根据不同导体因温差产生电动势的大小来制造热电偶温度计，等等。

确定了测温物质和它用以测温的某种性质之后，还要确定温度的零点和分度的方法。例如，摄氏温标曾经规定，标准大气压下冰的熔点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，水的沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；并据此把玻璃管上 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 刻度与 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 刻度之间均匀分成 100 等份，每份算做 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

现代科学中用得更多的是热力学温标。热力学温标表示的温度叫做**热力学温度 (thermodynamic temperature)**，它是国际单位制中七个基本物理量之一，用符号 *T* 表示，单位是**开尔文 (kelvin)**，简称开，符号为 K。

1960 年，国际计量大会确定了摄氏温标与热力学温标的关系：摄氏温标由热力学温标导出，摄氏温标所确定的温度用 *t* 表示，它与热力学温度 *T* 的关系是

$$T = t + 273.15\text{ K}^{\text{②}}$$

① 热平衡定律又叫热力学第零定律，这是因为热力学第一、第二定律发现后才认识到这一规律的重要性。

② 根据国家标准，在表示温度差的时候可以用摄氏度($^{\circ}\text{C}$)代替开尔文(K)。因此，这个式子中 *T* 的单位用 K，*t* 的单位用 $^{\circ}\text{C}$ 。

用管道把两个装着气体的容器导通，不久，两个容器中的气体达到了力学平衡，它们有了一种共同的“力学性质”，我们用“压强”这个物理量描述它。

用导线把两个带电导体连接，不久，两个导体达到了静电平衡，它们有了一种共同的“电学性质”，我们用“电势”这个物理量描述它。

“温度”在热平衡中的角色，与压强、电势相似。



图 7.4-1 伽利略的温度计

科学漫步

一、形形色色的温度计

自从伽利略制造了第一个温度计以后，温度就不再是一个主观感觉，而成了一个客观的物理量。至今，形形色色的温度计已经应用在各种场合。

人们总是根据物质某种与温度有关的性质来制作温度计的。最容易想到的就是“热胀冷缩”。例如，可以用一定质量的某种液体的体积

来表示温度，玻璃—水银温度计、玻璃—酒精温度计就是根据这种原理制作的。固体温度升高时也会膨胀。把线膨胀程度不同的两种金属片压合在一起，温度变化时，双金属片的弯曲程度会发生变化，带动指针偏转，指示温度。这就是“双金属温度计”。

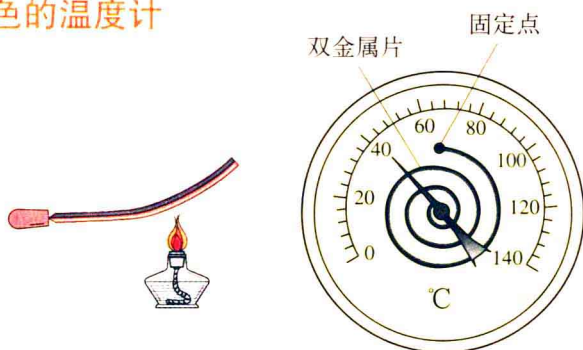
在一定容积的容器内，气体温度升高后其压强会增大。根据这种性质，我们可以用气体压强的大小来表示温度。“压力表式温度计”就是利用这个原理制作的。用氮气做测温物质的压力表式温度计，最高可以测量 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，用氢气做测温物质时最低可测到 $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这类温度计适用于对精度要求不高的工业测温。

材料的某些电学性质也跟温度有关。例如，金属的电阻率会随温度的升高而变化，我们把某种金属丝绕成一个感温元件，金属丝电阻的大小就可以表示温度的高低，这就是“电阻温度计”。常见的电阻温度计有“铂电阻温度计”和“铜电阻温度计”，铂电阻温度计是目前最精确的温度计。某些半导体材料制成的电阻随温度的变化比导体更明显，温度上升时电阻会变小，利用它可以制成灵敏的“半导体热敏电阻温度计”。但是热敏电阻的稳定性较差，主要用于低精度的测量。

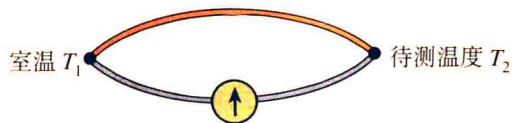
把一条金属丝的两端分别与另一条不同材料金属丝的两端熔焊，接成闭合电路，倘若两个焊点之间有温度差，电路中就有电动势产生，温度差越大，电动势也越大。这就是温差电现象，根据电动势就可以量度两个焊点之间的温度差。工业上广泛使用的“热电偶温度计”就是根据温差电现象制作的。这种温度计的测温探头，实际上就是两根金属丝相连的一个焊点。选择不同的金属丝可以做成不同的热电偶温度计，有的可以测量高达 $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温，有的可以测量接近绝对零度的低温。

某些铁磁性物质的磁性强弱跟温度有关，磁性的强弱便可以成为温度的标志。声音的传播速度跟介质的温度有关，声速也可以成为温度的标志。有些晶体（如石英）的固有频率跟温度有关，频率也可以成为温度的标志。根据这个

思路，磁温度计、声速温度计、频率温度计等都相继制成，而且发挥着各自的作用。



双金属温度计



热电偶温度计的原理

二、测温物质引出的问题

细心的同学可能已经注意到，上面谈到早期的摄氏温标时说，我们“规定”温度与细管中水银柱高度的关系是线性关系。难道一种物质的膨胀规律是人为“规定”的吗？当然不是。不过谈到物理规律时总要有个前提，即规律所涉及的物理量是可以测量的，而我们刚刚通过系统间热平衡的关系定义了温度的概念，还没有测量温度的方法，因此这里关于水银膨胀规律所说的规定，实际上是在观察事实基础上的一种假设。

这种规定会引出一些问题。如果规定了水银温度计中水银的体积与温度之间具有线性关系，那么用以测量温度的其他物质的属性就未必与温度构成线性关系。因此，使用不同的测温物质制作的温度计测量同一状态的温度时，难免发生偏差。

为了解决这一问题，人们试图寻找一种与具体的测温物质无关的温标。1848年英国物理学家开尔文（L. Kelvin, 原名 W. Thomson, 1824—1907）提出的热力学温标就是这样一种温标。至于为什么热力学温标不依赖于测温物质、它的零点是怎样确定的，在中学阶段就不做深入讨论了。

问题与练习

1. “在测定某金属块的比热容时，先把质量已知的金属块放在沸水中加热。经过一段时间后把它迅速放入质量已知、温度已知的水中，并用温度计测量水的温度。当水温不再上升时，这就是金属块与水的共同温度。根据实验数据就可以计算金属块的比热容。”

以上这段叙述中，哪个地方涉及了“平衡态”和“热平衡”的概念？

2. 天气预报某地某日的最高气温是 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，它是多少开尔文？进行低温物理的研究时，热力学温度是 2.5 K ，它是多少摄氏度？
3. 已知某物理量 X 与热力学温度 T 成正比，请把这个关系用等式表示出来。现在用摄氏温度 t 来表示温度，这个关系式又该怎样写？分别画出 $X-T$ 图象和 $X-t$ 图象的草图。
4. 图 7.4-2 甲表示某金属丝的电阻 R 随摄氏温度 t 变化的情况。把这段金属丝与电池、电流表串联起来（图乙），用这段金属丝做测温探头，把电流表的电流刻度改为相应的温度刻度，于是就得到一个最简单的电阻温度计。请判断：如果电池的电动势和内阻都是不变的，电流表上代表 t_1 、 t_2 的两点，哪个应该标在电流比较大的刻度上？

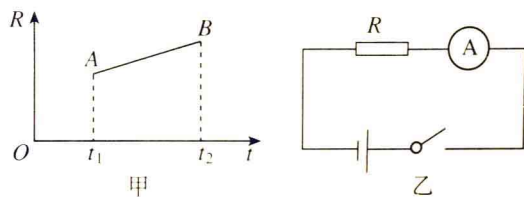


图 7.4-2 最简单的电阻温度计