

中学物理

热学 与分子物理学

张计怀



HONGXUEWULI
REXUE
YUFENZI WULIXUE

河北人民出版社

中学物理

热学与分子物理学

张计怀

河北人民出版社

前 言

本书详细介绍了热学与分子物理学的基本知识和应用，共分六章讲述。为了巩固所学知识，在每一节后面都附有一定数量的习题，供练习与思考。为了配合中学物理教材及教学安排，本书在内容上把热学与分子物理学穿插讲述。

本书可供中学生课外阅读；知识青年自学。中学青年物理教师参考。

本书由何平制图。

编者

一九八三年于北京师范大学

目 录

第一章 热现象与物态变化	(1)
§ 1-1 一般热现象	(1)
§ 1-2 温度与温度计	(2)
§ 1-3 热量及热传递	(8)
§ 1-4 比热 热平衡方程式	(15)
§ 1-5 燃烧值 热功当量	(23)
§ 1-6 晶体的熔解和凝固	(29)
§ 1-7 汽化与液化	(36)
§ 1-8 升华与凝华	(44)
第二章 分子运动论	(46)
§ 2-1 分子	(46)
§ 2-2 分子的运动	(48)
§ 2-3 分子力	(51)
§ 2-4 物质三态的分子结构	(54)
§ 2-5 物体的内能	(58)
§ 2-6 理想气体分子运动论	(64)
第三章 气体的性质与气体定律	(69)
§ 3-1 气体的有关常数及状态参量	(69)
§ 3-2 气体的等温变化 玻义耳—马略特定律	(76)
§ 3-3 气体的等压变化 盖·吕萨克定律	(85)
§ 3-4 气体的等容变化 查理定律	(94)
§ 3-5 理想气体状态方程	(102)

§ 3-6	气体的绝热过程	(112)
§ 3-7	道尔顿定律	(114)
§ 3-8	真实气体	(116)
§ 3-9	气体的应用	(118)
§ 3-10	高压气体与真空的获得	(120)
第四章	液体的表面性质	(124)
§ 4-1	液体的表面能	(124)
§ 4-2	液体的表面张力	(129)
§ 4-3	毛细现象	(136)
第五章	汽的有关性质	(143)
§ 5-1	饱和汽	(143)
§ 5-2	未饱和汽	(150)
§ 5-3	空气中的水蒸汽	(154)
第六章	热力学基础及热机	(161)
§ 6-1	热力学的功	(161)
§ 6-2	热力学第一定律	(164)
§ 6-3	热力学第一定律在理想气体 等值过程中的应用	(168)
§ 6-4	热机的工作原理及效率	(173)
§ 6-5	往复式蒸汽机	(177)
§ 6-6	蒸汽轮机	(178)
§ 6-7	内燃机	(179)
§ 6-8	喷气发动机	(183)
习题答案		(186)

第一章 热现象与物态变化

§ 1-1 一般热现象

“热”是我们非常熟悉的一个词，宇宙间各式各样的现象和“热”有着密切的联系。当你早晨起床之后打开收音机，可以听到天气预报，它告诉你一天的有关热现象：是晴天还是阴天；是刮风还是下雨；最高气温和最低气温是多少。当你洗脸时，冷、热水混合在一起，有一个合适的温度你才感到舒适。就餐时桌上有热食也有凉食才可口。大自然的热现象更是和人的生活有着密切的关系：春天来临，大地慢慢苏醒了，花草树木开始吐出嫩绿的新芽。劳动人民在广阔的土地上开始了春耕。随着气温的不断变化，庄稼开始生长、结果、收获。到了冬天，大地被白雪覆盖，朔风吹得各种动物到处避寒，各种昆虫钻到土里过着它们的冬眠生活。所有这一切，都跟周围环境的温度有关。在工农业生产上，热现象到处可以见到。例如，拖拉机为什么能耕地，汽车为什么能在公路上跑，火车为什么有那么大的力量，运载那么多的生产物资。这些都是根据热现象的规律和有关原理设计制造的。可见热现象无论在日常生活中，大自然的千变万化中，工农业生产中都起着非常重要的作用。

当冷热的程度发生变化时，对物质的各种性质也要发生

影响，如物质的状态，固、液、气可以相互转化；力学性质也可以变化等。而这些变化，往往又和生产技术、工程建设以及日常生活发生联系。蒸汽机、气体压缩机械、致冷设备等大型装备都是热现象的具体应用。

热现象看起来好象很简单，大家对它也很熟悉，但是，对于热的实质并不是用几句话就可以说清楚的。在历史上，科学家们经过了几百年的辛勤劳动，才建立了热现象的理论基础。我们将在以后的章节去研究这些理论。

习 题

你能找出与热无关的例子吗？

§ 1-2 温度与温度计

一、温度

凭我们的感觉可以判断我们所接触的物体是冷还是热，同时还可以判断哪个是冷物体，哪个是热物体。冷与热的说法只能是定性地、相对地反映这个物体的冷热程度，可以说是很不确切的。同一种状态下的物质，在不同情况下，是冷还是热可以得出完全不同的结论。例如，在严寒的冬天，如果你在室外停留较长时间后用手去接触自来水感到它是热的，而在炎热的夏天，自来水比冬天要热一些，但用手去接触它时却感到它是冷的。可见，冷与热的感觉没有一个确定的标准，这对科学地研究有关热现象是不能满足要求的。为了定量而又科学地反映物体的冷热程度，我们引入一个很重要的热

学量——温度。用温度的高低来反映物体的冷热程度。关于温度的物理实质我们将在以后讨论。处于每一种状态下的物质，总对应着一个温度，对于自来水，我们说它具有一定的温度，这是一个客观存在的事实，避免冬暖夏凉的矛盾说法。

为了定量的反映某种物质的温度，必须制造一种能够测量温度的仪器，温度计就是应用非常广泛的一种。图 1-1 所示的是实验室所用的液体温度计。为了知道温度计的原理，下面讲一讲与此有关的热膨胀。

二、热膨胀

物质的状态有三种，即固态、液态和气态。在一般情况下大多数物质，温度升高，体积膨胀，温度降低，体积收缩。只要大家细心观察，到处可以看到物质的这种性质。例如，冬天被拉紧的电线到夏天就变得松弛而下垂，再到冬天又被拉紧。对于液体的膨胀与收缩，例如酒精等就更明显的表现出来。我们看这样

一个有趣的现象：在室内正常温度（大于 4°C ）下，拿一个大肚小口的烧瓶，瓶内盛有带红色的水，再用带有玻璃管的塞子塞紧瓶口，并有一部分红水上升到玻璃管内一定的高度。如果把烧瓶放进盛有热水的容器内，我们发现玻璃管内的红水微微下降一点之后，随即又上升，如图 1-2 所示。这种现象说明：在烧瓶刚放进热水中时，烧瓶由于受热而膨胀使其体



图 1-1

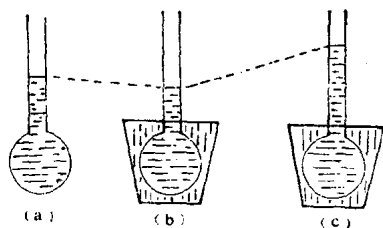


图 1-2

积增大，而这时红水还来不及膨胀，因此水面略有下降。随后红水也开始膨胀，红水的体积也增大。因此，红水在管内就开始上升。对于气体的热膨胀，可以拿自行车车胎为例子来说

明。如果你的自行车胎是旧的，在夏天千万不要打气太足，否则，当在灼热的公路上行驶一段时间后，由于胎内气体受热膨胀，车胎就会“放炮”。以上种种现象都属于热膨胀现象。

水的热膨胀性质不同于一般物质。纯水在 4°C 时密度最大，也就是说纯水的质量一定时， 4°C 时所占的体积最小。在常温下装满一烧杯水，如果在杯底下加热，杯内的水会受热膨胀而体积变大，因此会慢慢溢出烧杯；还是这个装满水的烧杯，如果在寒冷的冬天由常温的室内把它拿到 0°C 以下的室外，我们会看到水面先稍有下降然后膨胀溢出，继而变成冰而体积变大使烧杯破裂。从以上事实可以看出，水有一个特殊温度点，在这个温度点以上或以下水的体积都是变大的，这个温度就是 4°C 。由于水的特殊性质，所以水不适用于做温度计内的液体。

三、温度计

温度计是利用物质受热时膨胀，冷却时收缩的性质制成的测量温度的仪器。在常温下测量温度用的温度计，是

把液体放在封闭的真空厚壁毛细玻璃管内制成的。水银、酒精是做温度计比较好的液体。前者虽然受热膨胀较小，但不易挥发。后者虽然容易挥发，但受热膨胀显著。玻璃受热膨胀不显著而且透明，所以它对液体体积变化时影响不大，而且容易观察液体的体积变化。所以它是做温度计的好材料。把温度计接触或插入待测物质，经过一定的时间，温度计和待测物质就达到相同温度，利用玻璃管上的刻度反映液体在管内的高度，就可以定量的决定待测物质的温度。

温度计的读数多少是根据什么规定的呢？换句话说就是玻璃管的刻度是根据什么标准刻出来的呢？某一种物质冷热程度在待测时间内可以是固定不变的，但用不同标准的温度计去测量会得出不同的读数。原因是它们选择的零点不一样。目前我国通用的是摄氏温标（用 $^{\circ}\text{C}$ 表示），有时也称百分温标。摄氏温标有两个标准温度，当冰溶解但还没完全溶解时，冰、水混合时的温度规定为零度，通常用 0°C 表示；在一个标准大气压下，当水沸腾时沸水的温度规定为 100° 度，用 100°C 表示。把一只尚未刻度的温度计先后分别插在冰水混合物内和一个大气压下的沸水内，刻上 0°C 和 100°C ，就定出了温度计的两个标准点，分别称为水的凝固点和沸点。在 0°C 和 100°C 之间，均匀地刻出100个小格，每一个小格就代表温度变化一度。而在 0°C 以下和 100°C 以上也以同样距离刻上若干小格，这些小格分别代表零下和 100°C 以上的温度。

除了摄氏温标以外，经常使用的另一种温标叫做华氏温标（用 $^{\circ}\text{F}$ 表示）。华氏温标的零点和刻度不同于摄氏温标。华氏温标 32°F 时是摄氏温标的 0°C ，而 212°F 是摄氏温标的 100°C 。

华氏温标在英、美国家用的比较多。在我国也有对比使用的，但做为国家规定的各种有关温度的数据，都是指摄氏温标。图 1-3 所示是测量室温用的摄氏温标和华氏温标 并用 温度 计。

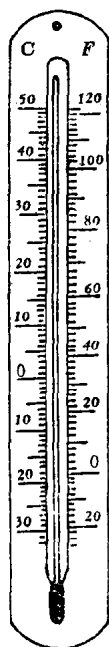


图 1-3

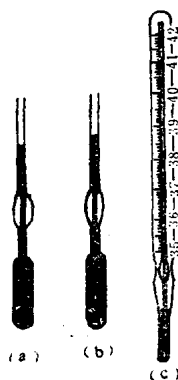


图 1-4

一般温度计在测量物质的温度时，为了准确读出待测物质的真正温度，不要把温度计从待测物质中拿出后再看它的读数。因为一旦温度计离开待测物质，温度计的读数就要发生变化。

在医学上测量病人体温的温度计是一种构造特殊的温度

计，俗称体温计。体温计下端的泡比上端玻璃管的容积要大得多，泡里液体（水银）温度的微小变化，引起泡内液体体积的微小变化。但这种体积的微小变化在玻璃管内高度的变化却非常显著，可以准确地测量 $\frac{1}{10}$ 度。同时体温计可以离开人体而准确的读出人的体温。这是因为体温计底泡的略上方，管子非常细。只有在较大压力下液体才能通过这样细的管子。当体温计在人的腋下时，由于泡内液体温度升高体积增大，液体可以通过细管上升，如图 1-4(a)。当体温计从腋下取出后，由于冷却液体体积收缩，结果液体在细管处断开，使上部的液体停留在原处。因此能准确的读出人体的温度，如图 1-4(b)。图 1-4(c) 是体温计的外形。

液体温度计只适用于常温下的测量，温度太高时，玻璃管熔化，液体汽化；温度太低时液体凝固。两种情况下液体温度计就失去了作用。因此，高温、低温时测量温度需用特殊的仪器来测量。

习 题

1. 你观察一下铁路枕木上的铁轨，为什么在两段铁轨的接头处总是留一段空隙？

2. 三弦琴（钢弦木架）在室内定好音调以后，拿到寒冷的室外音调会发生什么变化？

3. 两只水银温度计的底泡容量不同，但其毛细管的粗细一样。试问哪只温度计灵敏度高？为什么？

4. 为什么水不能充当液体温度计内的液体？

5. 能否用体温计去测量沸水的温度？能否用液体温度计去测量炉火的温度？

6. 请你拿一只实验室用液体温度计(包括 0°C 和 100°C)，测量以

下几种情况水、雪的温度：①开水的温度。②正常情况下把手插入水中感到水不冷不热时水的温度。③冬季晚上雪的温度。④白天雪融化时雪的温度。

§1-3 热量及热传递

一、热量

首先纠正在我们日常生活中，关于对“热量”一词的错误理解。如在冬天当我们看到一个比较胖的人且穿得较少时，我们会脱口说出因为他的“热量”多不怕冷。又如，同温度的一桶热水和一杯热水同时放在温度较低的环境下，杯里的热水要比桶里的热水冷得快，这一事实很自然的解释为一桶水的热量比一杯水的热量多。这些看来似乎合理的说法，却与我们热学中关于热量的定义完全不同。问题是出在把热量看成是反映物体所含内能多少的物理量，是把热量与物体所含的内能相混淆。所谓热量是指在热传递过程中物体内能的变化量。如果某一物体的内能没有变化，对它谈论热量是没有意义的。热量和温度也是完全不同的两个概念。大家可从下面几个例子中，认真体会一下热量的真正科学含义：

例 1 把一个烧红的铁球放进一杯冷水中经过不长的一段时间，铁球和水的温度相同。这时的温度低于原来铁球的温度而高于原来水的温度，在温度变化的过程中，铁球因放出了热量而温度降低；水因吸收了热量而温度升高。如果不考虑其它热量损失，铁球放出的热量应等于水吸收的热量。

可见，热量是伴随物质的状态发生变化时而出现的一个物理量。

例 2 烧杯与杯内的凉水，可以通过电炉或酒精灯加热使其温度升高。在这过程中电能或化学能转变成了烧杯和水的内能，在这能量转换的过程中，烧杯与水吸收了热量使它们的状态发生了变化。我们又一次看到热量是在状态变化过程中出现的物理量。

例 3 两块木板相互摩擦，木板发热，说明木板的温度升高。用叶片搅动容器中的水，也可以使水的温度升高。这两个过程都是外力对物质做机械功引起物质的状态变化。可见“热量”与“做功”有相似之处，两者都是反映状态发生变化时出现的物理量。而不是反映状态的量，说某物体含有多少热量是没有意义的。

热量的单位是卡。它的定义为：将 1 克纯水使其温度升高 1°C 所需的热量。当然，1 克纯水当温度下降 1°C 时所放出的热量也为这个数值。后来发现不同温度的水每克升高 1°C 所需热量不一样，大约在 15°C 和 20°C 之间差别不大。但在接近 0°C 和 90°C 以上差别就比较显著。因此，为对卡的定义更准确，一般都用 1 克纯水由 14.5°C 升高到 15.5°C （或由 19.5°C 升高到 20.5°C ）时所需要的热量。这样测出的热量单位卡的数值才和功的单位焦耳的数值相对应。即 1 卡相当于 4.182 焦耳，通常为了计算方便可取：

$$1 \text{ 卡} = 4.18 \text{ 焦耳} \quad \text{或} \quad 1 \text{ 焦耳} = 0.24 \text{ 卡}。$$

习惯上把前者叫做热功当量，后者叫做功热当量。这就是热量和功的单位之间的换算关系。

这里要说明一点，国际度量衡委员会已不再承认卡为热

量的单位。因为从物理实质上讲能、功、热量的单位都应一样，所以热量的单位也应是焦耳。由于目前我国中学物理课本仍在用卡，所以在本章也采用卡为热量单位，适当介绍焦耳单位，以便为下面使用焦耳单位打下基础。

二、热传递

热传递是改变物质状态的重要方式，现在我们就来研究传递热量的几种方式。

1. 传导

每一人都有亲身体会，如果你用手握住一根不太长的铁棒或铜棒的一端，用炉火把另一端烧烫时，你的手也会感到很烫。这是因为热量从被烧的一端传到了手握的一端。又如，用铝锅盛上冷水放在炉上加热时，炉火通过锅壁把热量传给凉水，使凉水获得热量而温度升高。这些都是属于热传导。那么热传导的快慢与哪些因素有关呢？首先是与物质本身的性质有关：例如，金属是热的良导体，木材、橡皮、玻璃、石棉是热的不良导体。这些都是由物质本身的性质决定的。对于同一种物质，导热快慢又和其面积、厚度有关。因此，我们为了确切地反映每种物质的导热能力，引入一个叫导热系数（有时也叫热导率或传导率）的物理量。设在物体内部垂直于导热方向取两个相距 1 厘米，面积为 1 厘米² 的平行平面，而这两个平面的温度相差 1℃，则在 1 秒内从一个平面传导到另一平面的热量就规定为该物体的导热系数，用 α 表示，其单位为卡/（厘米·秒·度）。但有时也用千卡/（米·小时·度）为单位。图 1-5 所示是导热系数定义的原理示意图。

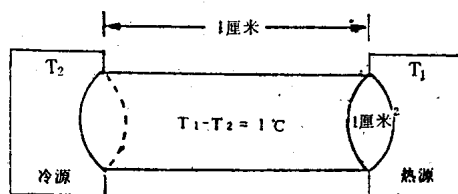


图 1-5

表 1-1 物质的导热系数 (室温)

名称	α , 卡/(厘米·秒·度)	α , 焦耳/(米·秒·度)
铝	0.49	205
黄铜	0.26	109
铅	0.083	34.7
水银	0.020	8.3
银	0.97	406
钢	0.12	50.2
绝缘砖	0.00035	0.15
混凝土	0.002	0.8
玻璃	0.002	0.8
石棉	0.0001	0.04
木材	0.0003—0.0001	0.12—0.04
冰	0.004	1.6
空气	0.000057	0.024
氩气	0.000039	0.016
氮气	0.00034	0.14
氢气	0.00033	0.14
氧气	0.000056	0.023

上表列出了有关各种物质的 α 值。

热传导发生的条件是存在着温度差，而且热量总是从高温“流”向低温。在日常生活和生产建设中，有的需要利用热传导，有的则需要防止热传导。例如室内取暖的暖气片就利用金属易传热的道理制成的。而高温炉则是用不易传热的绝缘砖砌成的。

2. 对流

液体或气体的对流也是热量传递的重要方式。例如，铝锅内的水被加热时，紧靠锅底处的热水因受热膨胀，其密度减小向上流动。而上面的冷水密度大则向下流动。因此，给水加热的过程中就产生了对流。又如，室内暖气片周围的空气受热膨胀上升，别处较凉的空气就来补充流向暖气片附近。这就形成空气的对流。从以上两例可以看出，对流与传导是不同的。所谓对流是指：高温物质本身带着自己所得内能通过自己的运动去到达另一处，而另一处的低温物质跑来补充，吸收热量来提高自己的温度。所以，靠液体或气体本身的流动而实现热传递的过程叫对流。

对流现象不仅在日常生活，工农业生产、科学研究方面有重要应用，而且在大自然界，对流有着它特殊的作用。例如，某处的空气因受热膨胀上升，别处的冷空气就流来补充，这就形成风。我们所讨厌的寒流的形成也是这个道理。当空气中含有较多的水蒸汽而受热上升时，就形成天空中的云。更奇怪的是，由于水的特殊性质，对流对冬季湖泊、河流的结冰有着特别重要的作用，正是这种作用，才使得水底下的鱼类等不致冻死。大家知道，在冬季，水的温度下降，当水温低于 4°C 时，水的密度减小体积增大，因此，温度再