

高中物理教学参考讀物

物相变化和热机

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会編

上海教育出版社

高中物理教学参考讀物

物 相 变 化 和 热 机

上 海 市 物 理 学 会

中学物理教学研究委员会編

上 海 教 育 出 版 社

一 九 六 四 年 • 上 海

高中物理教学参考讀物
物 相 变 化 和 热 机

上 海 市 物 理 学 会
中学物理教学研究委员会編

*

上 海 教 育 出 版 社 出 版
(上 海 永 福 路 123 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 090 号

商务印书館上海厂印刷

新华书店上海发行所发行 各地新华书

*

开本：787×1092 1/32 印张：3 7/16 字數：78,000

1958 年 8 月第 1 版 1964 年 8 月第 10 次印刷

印数：200,031—250,030 本

統一书号：7150·20

定 价：(九) 0.32 元

U634.7/5

前 言

本書是“高中物理学参考讀物”的第八册，內容相当于高中物理学第二册第十章物态的变化和第十一章热机两部分。

物相变化是热学中的一个主要内容，在这一部分中着重叙述(1)相变的意义；(2)相变时的温度；(3)相变所需的热量；(4)相变时容积的改变以及(5)压强对于相变所生的影响。

在热机这一部分中，主要是叙述各种热机的结构、特点以及怎样提高热机的效率。

物相变化和热机分別由江浩与楊逢挺两同志执笔。由于編者的水平有限，教学經驗不足，不妥当甚至有錯誤的地方势所难免，請讀者随时予以指正，以便在再版时予以改正。

上海市物理学会
中学物理教学研究委员会

1958年5月

高中物理教学参考讀物書目

运动学

动力学

功和能

曲线运动 万有引力

振动和波 声学

流体力学

分子物理学和热学

物相变化和热机

电场

稳恒电流

电磁现象

几何光学

物理光学

原子结构

目 录

第一編 物相变化

第一章 熔解和凝固	1
1. 物相的变化	1
2. 晶体和非晶体	2
3. 熔解和凝固	4
4. 熔解热和溶解热	5
5. 熔解和凝固时体积的变化	7
6. 影响熔解温度的几个因素	8
第二章 汽化和凝結	13
1. 蒸发	13
2. 飽和汽	13
3. 汽化热	16
4. 影响蒸发快慢的几个因素	19
5. 沸騰	21
6. 沸騰温度与压强的关系	24
7. 液体的过热现象	26
8. 溶液的沸騰	27
9. 蒸餾	28
第三章 升华和三相点	30
1. 升华	30
2. 三相平衡点	31
3. 物质在等压下的加热	35
第四章 气体的液化	37
1. 气体等温变化时的情况	37

2. 临界点	39
3. 致冷方法和气体的液化	42
4. 应用液化空气法分离出它的組成部分	45
5. 应用液化气体可以获得低温	46
6. 物相变化与辯証法	46

第五章 空气中的湿度

1. 空气中的湿度	48
2. 露点	50
3. 湿度計	51
4. 露、霜、霧、雨、云、雹和雪的成因	54

第二編 热 机

第一章 热机

1. 热机的功用和組成	56
2. 气体膨胀做功	57
3. 热机的效率	59
4. 热机的分类	60

第二章 蒸汽发动机

1. 火室	61
2. 汽鍋	64
3. 蒸汽机	68
4. 蒸汽輪机	73

第三章 內燃机

1. 奥托內燃机	78
2. 狄塞耳內燃机	82

第四章 燃气輪机

1. 燃气輪机	85
2. 空气噴气发动机	86
3. 火箭噴气发动机	92

附录 复习参考題和計算題論証推导題

第一編 物相变化

第一章 熔解和凝固

1. 物相的变化 有許多物質，或因本身的溫度起了变化，或因它所受外界的压强起了变化，或因两者同时起了变化，那么物質內部分子的构造形式，有时就要相应的起变化，也可以說，分子有时就要有不同的分布情况。物質內部分子的构造形式不同，因此同一物質就可有固相、液相、汽相三种不同的相^①。物質的分子构造由一种形式变成另一种形式，我們就說物質的相起了变化。固相变成液相的过程叫做熔解，相反的过程叫做凝固。液相变成汽相的过程叫做汽化，相反的过程叫做凝結。固相变成汽相的过程叫做升华，相反的过程叫做凝固。

我們必須注意，实际上一般物質的相，是有多种多样的。同一物質的固体可以有几种不同的分子构造形式，即有不同形式的結晶，它們的化学性質虽完全相同，但物理性質却有很大的区别。例如冰有六种結晶形式，金剛石和石墨是同一物質(碳)的两种不同形式的固相，固体的鉄可有四种形式的固相(α 鉄、 β 鉄、 γ 鉄和 δ 鉄)，固体的硫磺有单斜晶体与斜方晶体两种的固相。

① 此处所指的“相”与有些物理書中所講的“态”的意义完全相同，所以物相变化就是物态变化。但現今在热学中，已把“态”字用来表示一定質量的物質的热学状态。一定質量的物質的热学状态，是由溫度、体积和压强三者所决定。为了避免混淆起見，所以我們采用相字来表示物質的固、液、汽三种相貌。

同一物質的液体也可以有几种不同形式的分子构造，例如液态的氮就有两种不同的液相。所以我們不要以为同一物質的两个不同的相，肯定的是指固、液、汽三相中的任何二相而講的。例如虽然都是固体，但不一定是同相。由金剛石和石墨組成的系統，由 α 鉄和 γ 鉄所組成的系統，都不是单相系統，而是双相系統。

温度与压强是引起相变的两个因素。在某种温度与压强下，固体硫磺可以从一种結晶形式变成另一种結晶形式。按照相变的定义講，这也是物相变化。同样，液体或汽体在某温度与压强下，它們的分子构造形式也可以变化，这也是物相变化。如此看来，固相、液相与汽相間的相互轉变，不过是許多物相变化中的較显著的而已（以后我們只預备討論这一类的物相变化）。不同的相有不同的物理性質（力学的、电学的与光学的性質），所以相的改变事实上是极易观察出来的。

固体物質如玻璃与瀝青等，并非結晶构造。加热时，温度逐漸升高，物質逐漸变軟，最后全部变为液体，但这时沒有分子构造方式的改变，所以虽然是固体变成液体，但不应叫它为物相变化。

在物相变化中，我們准备着重研究以下的四个問題。（1）相变时的温度；（2）相变时所需的热量；（3）相变时容积的改变；（4）压强对相变时所生的影响。

2. 晶体和非晶体 所有晶体都是有規則的几何形状，这是它最显著的外表特征。冬天的时候，水汽在玻璃窗上冻结成美观而有規則的图形，雪花是六角有規則的形状。晶体是被許多平面所包圍着的，这些平面的相对位置通常是对称的。例如明矾結晶是八面体（图 1），石英是一中間成六面棱柱，而它的两端都是六面棱錐所形成的晶体（图 2），岩盐結晶成一立方体。

晶体的物理性質是各向异性的，即在晶体的不同方向有不

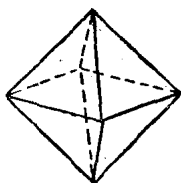


图 1

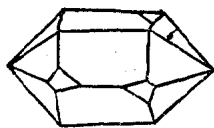


图 2

同的性质。例如晶体的各个方向的膨胀系数是不同的。在不同方向它的力学的、电学的和光学的性质也是不同的。

象石英和岩盐等每个

晶体的体积都是比较大的。单个的结晶叫做单晶体。然而大多数的结晶都是很小的。盐的粉末是许多微小结晶的集合。许多细小结晶的紧密集合叫做多晶体，一切金属都是多晶体，由于分子力把这许多小晶体集成一大的金属块。把金属的面磨光后，有许多金属即使用肉眼就可以看出它的结晶构造。有许多金属的结晶十分细小，只有用显微镜才能观察到。由于许多小晶体的排列是杂乱无章的，所以就整个金属块讲，它是各向同性的，但每个小晶体则仍是各向异性的。

晶体内的分子（原子或离子）都是有规则彼此对称地排列着，形成所谓空间格子。由此也可以说明，每一晶体的外表为什么都是一定的有规则的几何形状。

构成结晶的每一个分子（原子或离子）都与邻近的分子（原子或离子）有相互作用力。结晶体内的分子（原子或离子）所以有规则的排列，是由于在这种排列的情况下，每个分子（原子或离子）的位能都是最小值。由于每个分子（原子或离子）的位能都是最小，所以整个的晶体一般都是很坚固的。

非晶体是各向同性的。它的内部分子的排列是无规则的，因此它的外表也没有一定的几何形状。蜂蜡、玻璃、松脂和沥青等都是非晶体。

液体在重力的作用下，它的形状依盛它的容器的形状而变。非晶体在重力的作用下它的形状也要不断变化的。把一块沥青

放到漏斗里，虽然它并未熔化，但是经过一段时间后，它会变成棒状从漏斗的下面流下来。用玻璃做的物品，日子长了，它的形状总是或多或少要改变一些的。这是非晶体与晶体极大区别的一点。所以非晶体很近似于液体，可以说，非晶体是粘滞性极大的液体。严格的讲，只有晶体才可以称它为固体，但在习惯上我们也称玻璃、沥青等为固体。

3. 熔解和凝固 把纯粹的锡块放在一容器中，而后自容器之下均匀的加热。在锡块中钻一孔，孔中插一温度计，用以测量锡的温度的变化。在开始一阶段中，加热的时间逐渐增长，则锡的温度也逐渐升高。在直角坐标中，用横轴代表时间，纵轴代表温度，温度与时间的关系如图 3 中 OA 曲线所示。当升高到某一温度

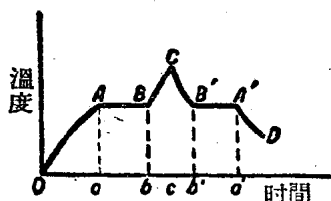


图 3

度(在图中以 aA 表示)时，则发现有第一滴液相锡形成。在以后一个相当长的时间内，温度保持不变，因此曲线由斜向上方而变成与横轴平行的直线(图中 AB 线段)。在这一阶段中，所加入的热量只是使固相的锡熔解成液相的

锡的量逐渐增加，而并不能使温度升高。在此应注意的，正在熔解过程中，必须不断搅动已熔解的锡，否则靠近容器底的熔锡，可以比其余的温度高一些。最后到全部的锡块都熔解后，温度又继续升高，如图中 BC 线段所表示的那样。到了如图中所表示的 cC 温度后，如果不再加热，而使其逐渐冷却，线段 CB' 斜向下方。当温度降到某一值(图中以 $b'B'$ 表示)时，则见有凝固的小锡块出现于容器中。以后容器中的锡虽继续向四周放出热量，但在一个相当长的时间内，温度也保持不变，如图中 $B'A'$ 所表示的那样。到了全部的锡都凝固后，温度又逐渐下降，在图中以

A'D 表示它的变化情形。

在熔解过程中，温度是不变的，熔解时的温度叫做熔解温度，也可以简称熔点。在凝固时，温度也是不变的，正在凝固时的温度叫做凝固温度，也叫做凝固点。对同一物质来讲，它的凝固温度和熔解温度是相同的。在熔解温度时，固体与液体是可以共存的。所以我們也可以这样讲，固体与液体共存时的温度叫做熔解温度。在熔解温度时，如果输入热量则进行熔解，如果放出热量则进行凝固。高于熔解温度，物质存在于液相或汽相，低于熔解温度时，一般以固相出现。

在这实验过程中，我们是假定锡所受的外界压强是不变的，否则熔解时的温度并不保持不变，凝固温度也并不与熔解温度相同。

如果用其他固体(晶体)来做实验，则所得结果大致相同，不过各种物质的熔解温度的差别是很大的，如表1所示。锡在 1452°C 时熔解，金 1063°C 、钾 80°C 、冰 0°C ，固相的氢则在 -257°C 时熔解。最难熔解的金属之一是钨，它的熔点是 3357°C ，因为它不易熔解，所以可用作白炽电灯的灯丝。

4. 熔解热和溶解热 如上一节所讲的实验那样，在熔解过程中，虽然继续有热量由外输入，然而锡的温度并不升高。我们可以提出这样一个问题，输入的热量变成了什么呢？

我们在第二节中已讲过，结晶体内部的分子是有规则的排列着。分子间有引力也有斥力，所有分子都是处于平衡而位能又是极小的状态中。每一分子只能在其平衡位置附近作振动而并不发生移动。当温度升高时，每一分子的振动动能增大，振幅变大，因此分子间的距离必然要增加。由此可以说明，物体的温度升高，它的体积就要膨胀。当温度升高到某一值(熔解温度)时，分子就可以离开原有的平衡位置而作移动。到了这种情况，分子

表 1 固体的热学常数

物 质	密 度 (克/立方厘米)	熔 解 温 度 (°C)	熔 解 热 (卡/克)
铝	2.7	659	92.4
钨	19.1	3357	—
铁	7.86	1528	49.4
钢	7.85—7.87	1300—1400	—
金	19.3	1063	13.9
黄 铜	8.4—8.7	約 900	—
铜	8.93	1083	41.6
镍	8.8	1452	68.0
锡	7.23	232	14.6
铅	11.34	327	6.3
正交形硫	2.07	119	10
银	10.5	960	24.7
铍	7.14	420	26.6
冕 玻 璃	2.4—2.8	—	—
硬 橡 胶	1.13	—	—
羊 毛	1.32	—	—

的排列变乱了,分子间的距离一般的也增加了。分子的排列变乱和分子间的距离增加,都使得分子的位能增加很多。由此可以说明,在熔解过程中,输入的热量是增加分子的位能,但并不改变所有分子的平均动能。物质的温度是和分子的平均动能联系着的而和位能无关。所以在熔解过程中,输入的热量只能增加分子的位能而不能增加物质的温度。相反的,在凝固过程中,分子距离减小,分子由杂乱而变成有规则的排列,使前所增加的位能转变成等量的动能,由物体的表面以辐射能的形式向空间辐射出去,这样,在凝固过程中,温度也是不变的。

当固体熔解成同温度的液体时，体积一般是增加 3—10%（水是例外），所以分子间的距离一般是增加 1—3%。不要以为这增加是微不足道的，实际上，物体从绝对零度增加到熔解温度时，总共也不过增加了这么多的距离，所以在熔解时增加的位能相当大，所需的热量相当多。

我們規定，每克物質在熔解溫度下，從固相變成液相時所需的热量叫做熔解熱。熔解熱只能使固体熔解成同温度的液体，温度并不升高，好象輸入的热量潜伏在物体内，所以熔解熱是潛熱的一种，因此熔解熱也叫做熔解潛熱。在凝固溫度下，每克物質從液相變為固相所放出的热量叫做凝固熱。對同一物質來講，凝固熱與熔解熱是相等的。

熔解熱的單位是卡/克，它與比熱的單位卡/克·度是不同的。在 1 气压下，錫的熔解熱是 14.6 卡/克，冰的是 79.9 卡/克，另有一些物質的熔解熱可在表 1 中找到。

在非結晶体的情況下，當溫度逐漸升高時，物質逐漸變軟。自開始熔解到全部熔盡，溫度並不固定，而是逐漸升高的，所以非結晶体既沒有一定的熔解溫度，也沒有一定的熔解熱。非晶体的分子的排列是雜亂而沒有規則的。非晶体由固体變成液体，分子的排列沒有本質上的區別，我們以前已講過，它沒有相的變化。

凡固体變成液体都需热量，固相物質溶解于液体而變成液相時，通常也需要热量。當鹽类物質正在溶化時，溶液溫度通常是下降的，此效應以硝石或硫代硫酸鈉溶于水中時最為顯著。溶解 1 克物質所需的热量叫做溶解熱。

5. 熔解和凝固時體積的變化 當物体自固体熔解成液体時，體積是要發生變化的。大多數的物質在熔解後體積是變大的，銀、銅、鋅和錫等就是這一類的物質。也有少數物質例如冰、

鉍与鎂等,在熔解后体积是縮小的。

在鑄造工业中,必須应用熔解时体积縮小的特性,这样在熔液凝固时,体积膨脹,压入模型的細微深处,因此制品的形状便可与模型逼真。

水的比重以在 4°C 时为最大。在天寒时,晚間河面的水温由于輻射等原因,必先变冷,比重变大而下沉,而河深处比重小的水則上升到达水面。上升的水亦复变冷,比重开始也变大,到了比重大于先前下沉的水,又引起对流。如此繼續进行,到了深处的水达到 4°C 后,比重最大, 4°C 的水不能再上升,河面水的温度繼續自 4°C 下降,体积反而逐漸变大,比重变小,水不再下沉,到达 0°C 时,水开始結冰。水結成冰时,体积仍是膨脹的,約增加9%,所以冰是浮在水面而不下沉的,由此也可以說明結冰常在水面开始的道理。严寒时,河面虽已結冰,但河底的水則仍在 4°C ,此时魚类常在河深处而不致冻死。

当水結冰时,体积是要脹大的,如果不允許它膨脹,則冰对

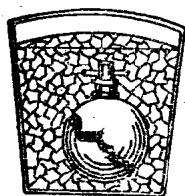


图 4

周圍物体产生很大的压力。設鑄鉄瓶有一厘米厚的坚壳,儲以水后,紧閉之而投入很冷的冷剂中,由于結冰膨脹而产生很大的压力,結果鑄鉄瓶爆裂(图4)。雨水流入岩石中的縫隙深处,天寒結冰,可以使岩石裂开。由于水結冰时体积的膨脹,可使植物的細胞破裂而死。

熔解的蜡或鉛等物質凝固时体积是縮小的,所以凝成的固体常有許多小孔。

6. 影响熔解温度的几个因素 以前已講过,温度与压强是影响物相变化的两个因素。而温度与压强又是互相影响的,由于压强的改变,可以影响相变时温度的高低。

如果固体熔解成液体时体积是胀大的,则增加压强的结果,可以使熔解温度升高,已熔解的物质在压强增大时能重新凝固,这是因为压强有阻碍膨胀的作用。到了温度相当高时,膨胀的趋势很大,结果仍是熔解,不过已较不增加压强时的熔解温度高了一些。水银在 1 大气压下,熔解温度为 -39°C ,而在 15000 大气压下,直至 10°C 方能熔解。

如果熔解时体积是缩小的,则增加压强的结果,是使熔解温度降低。已凝固的物质,在压强增大时能再变为液体,这是由于压强有帮助缩小的作用。由于增加压强,物质本来不熔解,现在可以熔解了。把一根钢丝跨在一块冰上,钢丝的两端各挂约 5 千克重的砝码,装置如图 5 所示。在钢丝之下的冰受到很大的压强,因此熔解温度降低,原先不熔解的开始熔解了,熔解热即取自冰的本身。已熔解的水流至钢丝之上后,一方面由于压强减小,另一方面钢丝下的冰熔解时吸取它的热量,所以水又结成冰。结果是钢丝穿过冰块,而冰块并未被分裂为二。同样理由可以说明,把两块冰紧压后再放松,则两块冰可合而为一。雪经压缩后可以成为一块坚固的球。滑冰者由于冰鞋下的冰暂时的熔解,好象加了一层滑润剂,所以滑行更加便利。但以上的情况,只限于冰的温度在 0°C 附近才能发生,如天气过冷,冰的温度过低,则虽增加压强,也很难使熔解温度降到冰当时的温度而发生熔解。滑冰者都有

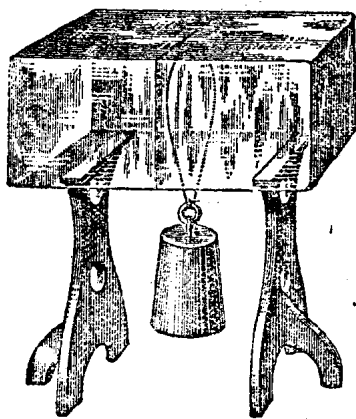


图 5

这經驗,十分冷的天气,滑冰是比较困难的。

熔解温度与压强的关系,可以用下式求得

$$\Delta T = 0.242 \frac{(V_1 - V_2)T}{\lambda} \Delta p \quad (1)$$

式中的 λ 为熔解热, T 为熔解温度, V_1 与 V_2 分别为液体与固体每克质量所占有的体积。 Δp 为压强的变化, ΔT 为相应的温度的变化。在錫的情况下, $V_1 > V_2$, 故当压强增加时, ΔT 为正, 即表示熔解温度因压强的增加而增加。如果以横坐标代表温度,

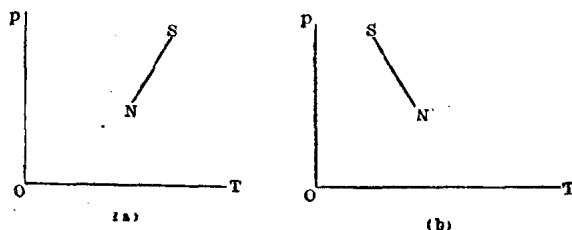


图 6

縱坐标代表压强, 则压强与熔解温度的关系如图 6 (a) NS 所示, 这曲线叫做熔解曲线。在水的情况下, $V_1 < V_2$, 当压强增加时, ΔT 为负, 即表示熔解温度因压强的增加而降低, 如图 6 (b) NS 所示。当压强增加 1 大气压, 实验的结果表明冰的熔解温度约降低 0.0075°C , 这和由式 (1) 所得的计算值是能很好符合的。由表 2 可以看出两种不同物质熔解温度与压强的关系。

表 2 压强与熔解温度

压 强 (大 气 压)	1	336	615	890	1155	
冰 的 熔 解 温 度	0°	-2.5°	-5°	-7.5°	-10°	
压 强 (大 气 压)	1	1000	4000	7000	10000	11000
三溴甲烷的溶解温度	7.78°	31.5°	94.7°	147.3°	194°	209.1°