

物理第七冊目錄

第十四講

頁數

第十三講內容測驗	1— 1
第十三講(D)習題解答	1— 3
第十二講內容測驗解答	3— 5
第二十一章(續) 熱學(續)	
A. 課程	6—15
B. 教材問答	15—17
C. 複習題	17—17
D. 習題	17—18
第二十二章 熱學(續)	
A. 課程	19—35
E. 第十四講內容摘要	35— 37

第十五講

第十四講內容測驗	38— 39
第十四講(D)習題解答	40—42
第二十二章(續) 熱學(續)	
A. 課程	43—48
B. 教材問答	48—50
C. 複習題	51—52
D. 習題	52—53
第二十三章 熱學(續)	
A. 課程	54—71
B. 教材問答	71—72
C. 複習題	72—73
D. 習題	73—74
E. 第十五講內容摘要	74—76
第十五講(D)習題解答	76—78

第十三講內容測驗

1. 查理定律所述何事？所謂絕對零度指的是什麼？
2. 卡路里是什麼？
3. 如欲將 m 克水加熱，使其升高 $t^{\circ}\text{C}$ 時，則所需熱量 W 爲若干？
4. 所謂一質素之比熱指的是什麼？水之比熱爲若干？
5. 設一質素之比熱爲 C ，則將 m 克之該質素加熱，使其升高 $t^{\circ}\text{C}$ 時，所需熱量 W 爲若干？
6. 所謂兩質素混合時的熱平衡，指的是什麼？
7. 黎希曼及布拉克混合法則中各述何事？
8. 關於氣體之比熱可以說些什麼？
9. 鉛、水銀、空氣之比熱各爲若干？
10. 所謂一物體之熱容量指的是什麼？所謂卡計水當量指的是什麼？
11. 試列舉由一種集團態轉變爲另一集團態之詳細過程。
12. 所謂熔點指的是什麼？
13. 所謂凝固點和冰點指的是什麼？
14. 液態水銀之冰點爲若干度？鉍之熔點爲若干度？
15. 熔解熱是什麼？凝固熱是什麼？
16. 冰、銅、水銀、苯之熔解熱各爲若干？
17. 各位所熟悉的卡計有那幾種？又如何用以測定一質素之比熱？
18. 如何測定冰之熔解熱？

第十三講(D) 習題解答

第十九章

$$1. \quad \frac{1}{273} = 3 \times 0.000009 \times x; \quad x = 136^{\circ}\text{C} \quad 2. \quad 2 = 1 \times \left(1 + \frac{1}{273} \cdot x\right)$$

$x = 273^{\circ}\text{C}$ 。 3. $15 \times (1 + \frac{100}{273}) / (1 + \frac{20}{273}) = 15 \times 373 / 293 = 19.1$
 立方厘米。 4. $300 = 200 \times (1 + \frac{x}{273}) / (1 + \frac{30}{273}) = 200 \times (273 + x)$
 $/ 303$; $x = 300 \times \frac{303}{200} - 273 = 181.5^{\circ}\text{C}$ 。 5. $5 \times (1 - \frac{100}{273}) = 3.17$ 公
 升。 6. $v_m = 1.723 \times \frac{303}{285} = 1.832$ 公升; $z = v_m - v_{12} = 1.832 - 1.723$
 $= 0.109$ 公升 = 109 立方厘米。 7. $2 - 1 \times (1 - x / 273) / (1 + 17 / 273)$
 $= (273 + x) / 290$; $x = 307^{\circ}\text{C}$ 。 8. $4 \times (1 + 47 / 273) / (1 + 11 / 273)$
 $= 4 \times 320 / 284 = 4.5$ 仟克* / 平方厘米。

第 二 十 章

1. $2.4 \times 55 = 132$ 仟卡。 2. $300 \times 78 = 23,400$ 仟卡。 3. 水之質
 量為 $100 \times 600 = 60,000$ 仟克，溫度降低 $11.4 - 5.2 = 6.2^{\circ}\text{C}$ ；付出之
 熱量為 $60,000 \times 6.2 = 372,000$ 仟卡。 4. $500 \times (60 - x) = 3,000 \times (x$
 $- 20)$; $x = 25.7^{\circ}\text{C}$ 。 5. 混合溫度 x 在 20°C 與 25°C 之間; $6 \times (30 -$
 $x) + 8 \times (25 - x) = 11 \times (x - 20)$; $x = 24^{\circ}\text{C}$ 。又計算本題時，如假定
 x 是在 25°C 與 30°C 之間，于是就得到 $6 \times (30 - x) = 8 \times (x - 25) + 11$
 $\times (x - 20)$ ，結果仍為 $x = 24^{\circ}\text{C}$ 。 6. 鐵: $600 \times 0.111 \times 50 = 3,330$ 卡；
 水銀: $500 \times 0.0333 \times 10 = 166.5$ 卡；鉛: $6 \times 0.031 \times 150 = 27.9$ 仟卡；
 鋅: $2 \times 0.092 \times 80 = 14.72$ 仟卡。 7. 體積 160,000 立方分米；密度
 $0.001293 \times 700 / 760 = 0.001191$ ；空氣質量 $160,000 \times 0.001191 = 190.56$
 仟克；熱量 $190.56 \times 0.241 \times 20 = 918.5$ 仟卡。 8. $400 \times 0.0333 \times (10$
 $- x) = 100 \times (x - 2)$; $x = 22.4^{\circ}\text{C}$; $150 \times 0.031 \times (90 - x) = 50 \times x$; $x =$
 7.6°C 。 9. $30 \times 0.031 = 0.93$ 仟卡。 10. $200 \times (50 - 30) = (300 + r)$
 $\times (30 - 20)$; $r = 200 \times 20 / 10 - 300 = 100$ 卡。 11. $480 \times x(15.5 - 14$
 $) = 100 \times 0.091 \times (55.5 - 15.5)$; $x = 0.51$ 。 12. $(450 + 123) \times (22 -$
 $20.7) = 86.1 \times x \times (100 - 22)$; $x = 0.1$ 。 13. $800 \times (19 - 12) = 150 \times$
 $0.032 \times (x - 19)$; $x = 1,186^{\circ}\text{C}$ 。 14. $(3 \times 0.091 + 100) \times 80 = 8,021.84$
 仟卡。 15. $500 \times 0.106 \times (x - 20) = 1,000 \times (100 - x)$; $x = 95.9^{\circ}\text{C}$ 。

$16. 1 \times (x - 10) = 1 \times 0.093 \times (100 - x)$; $x = 17.6^\circ\text{C}$ 。
 $17. 1 \times 5 = x \times 0.241 \times 5$; $x = 4.15$ 仟克。
 $18.$ 鐵之質量 $100 \times 1 \times 7.12$ 克; $10,000 = 100 \times 7.12 \times 0.111 \times x$, 式中之 x 係代表所增高之溫度; $x = 126.5^\circ\text{C}$ 。
 長度之增加為 $z = 1 \times 0.000012 \times 126.5 = 0.0015$ 米。
 $19.$ 欲使壓力增為一倍, 則溫度須增高 x° , 亦即 $2 \times 760 = 760 \times (1 + \frac{1}{273} \times x)$;
 $x = 273^\circ\text{C}$; 1 公升空氣之質量為 0.001293 仟克; 熱量為 $0.001293 \times 0.172 \times 273 = 0.06$ 仟卡。

第十二講內容測驗解答

1. a) 根據液體之體積變化 (液體溫度計)。
 b) 根據補償帶之形狀變化 (金屬溫度計)。
 c) 根據氣體在體積不變情況下的壓力變化 (氣體溫度計)。
 d) 根據金屬線之電阻變化 (鉑電阻溫度計)。
 e) 根據熱電偶之電壓變化 (熱電高溫計)。
 f) 根據一灼熱物體所發出之輻射能 (輻射高溫計)。
 g) 利用熔錐。
2. 最常用的是水銀溫度計, 最準確的是氣體溫度計。
3. 以冰之熔點作為下定點, 以水在 760 毫米氣壓之沸點作為上定點。此兩定點在攝氏溫標上被定作 0° 及 100° , 在列氏溫標上被定作 0° 及 80° , 在華氏溫標上被定作 32° 及 212° , 在絕對溫標上被定為 273° 及 373° 。
4. 所謂基本間隔指的是溫標上冰之熔點和水之沸點這兩定點之間的間隔。此項間隔在攝氏溫標上被分成 100 等份, 在列氏溫標上被分為 80 等份, 在華氏溫標上被分成 180 等份。
5. 溫度計之不同管徑, 視玻璃種類而為轉移之水銀視膨脹、熱之後效、以及有限度的量度範圍等。
6. 液體溫度計的標度間隔會逐漸增大, 亦即溫度增高時, 液體

之膨脹並不是平均的。此爲液體溫度計和水銀溫度計不同之處。

7. 借助于盧瑟福式和恩克斯式最高最低溫度計。

8. 體溫計乃是一種最高溫度計，其玻璃下端特別狹細；所以每逢水銀由最高位置試圖退縮時，水銀線即在該處截斷，管內所遺水銀線之端點即指出最高之溫度。

9. 所謂體膨脹係數，指的乃是固態、液態或氣態物體每逢升高 1°C 時，該物體膨脹之體積大於或小於其 0°C 時體積之倍數。所謂線膨脹係數，指的乃是固態、液態或氣態物體每逢升高 1°C 時，該物體膨脹之長度大於或小於其 0°C 時長度之倍數。

10. $\beta = 3\alpha$ 。

11. 僅有立體膨脹。

12. 線膨脹者爲 $l_t = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$ ，體膨脹者爲 $v_t = v_0 \cdot (1 + \beta \cdot t)$ ，其中之 l_t 和 l_0 爲 $t^{\circ}\text{C}$ 和 0°C 時之棒長， v_t 和 v_0 爲 $t^{\circ}\text{C}$ 和 0°C 時之體積， α 爲線膨脹係數， β 爲體膨脹係數， t 則爲以 $^{\circ}\text{C}$ 表示之溫度。

13. 發生很可觀的力之作用。此力與產生比種因熱（放熱或吸熱）而引起的同一長度變化所需之機械力相較，大小正好相等。

14. 是爲兩種不同金屬帶用鉚接等方法做成的連結物。由于所用不同金屬的線膨脹係數亦不相同之故，此金屬帶在溫度變動時即形成不同的彎度。通常用在錶之平衡擺及金屬溫度計上。

15. 是爲這樣的一種擺，能够補償其因溫度變動而發生之長度變化，使鐘能保持同一快慢而不變。此項長度之補償作用，可用水銀帶（葛雷漢姆）或用楔形補償擺（哈列羅），以達成之。後者係利用鐵棒與鋅棒二者之不相等的膨脹作用而製成。

16. 液體的膨脹係數和固體的相反，係顯著地隨着溫度而增加；但水銀則爲例外。

17. 溫度之增高會使比重減小； $s_t = s_0 / (1 + \beta \cdot t)$ ，其中之 s_t 爲 $t^{\circ}\text{C}$ 時的比重； s_0 爲 0°C 時的比重， β 爲體膨脹係數， t 爲溫度。

18. 借助于 $b_t = b_0 / (1 + \beta \cdot t)$ ，其中之 $\beta = 0.000182$ 爲水銀的膨脹係數。

19. 固體之線膨脹係數，可用拉瓦西及拉吉拉斯頓量儀器之方法

以測定之。液體之膨脹係數可用比重瓶法，或用不受容器膨脹影響的度隆——普秤式連通管方法以測定之。

20. 水由 0°C 加熱至 4°C 時反而會收縮，故在 4°C 時具有最大密度，是為水之反常現象。此種反常現象，乃靜止之河水雖在嚴冬也不會整個凍結之原因所在。

21. 所有氣體之膨脹係數均屬相同，並且在壓力不變之情況下，每升高 1°C 時，其所膨脹之體積 γ ，約為它們在 0°C 時佔有之體積之 $\frac{1}{273}$ 。如 v_t 為 t° 時之體積， v_0 為 0° 時之體積，則 $v_t = v_0 \cdot (1 + \gamma \cdot t)$ 。

第二十一章 續

熱 學 (續)

A. 課 程

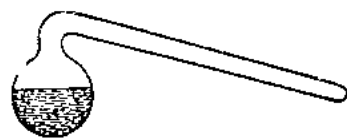
[187] **凝固之阻滯** 固態物質在加熱時如不經熔解，則其溫度不能升高到超出熔點以上之程度。另一方面，頗多液體如在空氣隔絕與不受任何震動之情形下慢慢地被抽除熱量時，却能冷卻到遠低於其凝固點溫度以下而不凝固。此一現象稱為**凝固之阻滯或過度冷卻**。例如純淨的水即可冷卻到 -15°C 而不結冰。但此種過度冷卻之水如一旦略加搖動，或一旦用一小粒冰之晶體投入其中時，則一部份的水便會立即凍結；同時溫度計也升至 0°C ，並保持在此一溫度而不變。試問熱量來自何處？此一實驗能夠明顯地指出凝固過程可能和熱量之某種演變有聯帶關係；事實上亦確係如此。蓋每一克 0°C 之水變成 0°C 之冰時非吸收 79.7 卡熱量不可，所以當水重新凍結為冰時，此一熱量必定會重新出現。於此可見當冰熔解時，進入水中之熱量乃是作為潛熱保留在水中的。當過度冷卻之水一旦凝固時，則將結成如此之多之冰，使得所釋放的潛在熔解熱足夠將冰和水之全部質量加熱至 0°C 。

例題：設將 1 仟克之水小心地冷卻，使其過度冷卻到 -10°C 。試問經搖動後溫度升至 0°C 時，將有若干之冰結冰？設所結之冰為 x 克，則所餘之水為 $(1,000 - x)$ 克。 x 克之冰會放出 $x \times 79.7$ 卡之潛熱。因為此項潛熱須將 x 克之冰和 $(1,000 - x)$ 克之水由 -10°C 加熱至 0°C 之故，所以必須等於 $x \times 0.505 \times 10$ 卡加上 $(1,000 - x) \times 1 \times 10$ 卡。于是從 $x \times 79.7 = x \times 0.505 \times 10 + (1,000 - x) \times 10$ 式中，便可求得所結之冰為 $x = 118.1$ 克。

第 344 圖所繪儀器，可用以證示水之過度冷卻。此項儀器為一附有管子的球形容器，其中盛有一半之水，經過煮沸後，容器內之空氣遂被全部逐出，此時須將管口立即閉。由于失卻了空氣作為緩衝之

故，尚在沸騰之水乃鎚擊器壁，叮叮作響。此一儀器，乃被定名為水鎚。如將此儀器放置在冷却劑（第194節）之中，水即過度冷却，並會在輕微震動之下立刻凍結為冰。

細雨落在極冷的凍結地面上時，就會結成令人畏懼的光滑冰面。其所以會形成的原因，亦可從水之過度冷却現象中得到解釋。但雨水如三為過度冷却時，則雖在 0°C 以上而尚未凍結的地面上，也會形成光滑冰面。這是因為過度冷却之水滴一旦碰到阻礙物時，就會立刻凍結，並以一種光滑的冰之表層鋪蓋在此阻礙物上所致。冰雹更極可能是由于小水滴在高空冷空氣層中過度冷却所形成；這些細水滴在空中匯聚在一起之後，一部份便會立即結為冰雹。



第544圖 顯示水之過度冷却之水鎚

如所周知，相片定影劑硫代硫酸鈉 ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 用作過度冷却實驗，實最相宜。此一化學品加熱至 48°C 時即變為液體狀態，然後可使其過度冷却到室內溫度。當其凝固時，它便很明顯地重新放出其原先在液化時所吸取之熱。每一新結成之晶體均會有熱量放出。因此，溫度遂升高到硫代硫酸鈉之凝固點 (48°C)。保熱器 (Thermphor，源出于希臘文；Thermos = 熱，Phoros = 擁有者。) 即為一種實際利用潛熱蘊藏之設備。此項設備為一具有夾層之容器，夾層之間存有硫代硫酸鈉。後者溶解時會吸收熱量，凝固時又會逐漸放出熱量，所以能在較長的一段時間中保持升高之溫度，使容器中的液體不致冷却。

〔188〕凝固及熔解時之體積變化 一切質素在凝固和熔解時，均會發生體積變化而無例外。其中可以分為下述兩種情形。

a) 大多數物體凝固時均會收縮，熔解時膨脹。我們在熱水上澆注大量熔蠟時，水面上就會佈滿一層液態的蠟。等到冷却以後，這原先蓋滿於整個水面上的一層液態蠟便進入凝固狀態，並結為一圓盤，其圓周要比容器內渾小得很多。但是當蠟熔解時，則它相反地會發生膨脹現象。

b) 少數物體會在凝固時膨脹，熔解時收縮。水即為一重要的例子。如同第186節b所述，1克之水在 0°C 時具有1.0908立方厘米之體積，

物⑦ — 7 —

1克 0°C 之水則具有 1.0001 立方厘米之體積，所以 1 克水在結冰時，其體積將增大 0.0907 立方厘米，約為 1.0001 立方厘米的 1/11；這也就是說：水在凍結時，其溫度雖不起變化，但其體積則會漲大 1/11 (9%) 之譜。這一現象是在 760 毫米大氣壓和溫度保持 0°C 不變的情況下發生的。倘若使水繼續冷卻到 -1°C 、 -2°C 、 -3°C 等溫度時，則它如同一般固體一樣，又會重行收縮。在 -10°C 至 0°C 之間，水之膨脹係數為 0.000054。但另一方面，過度冷卻之水在溫度降至 -1°C 、 -2°C 、 -3°C 等溫度時則會膨脹。(參閱第十二講第 331 圖所示之情形)。

當我們想到固態水中分子的分佈，一定要比液態水中緊密得多時，水在結冰時的物性就未免顯得有點特殊。但我們只要再仔細一想，則又覺得並無可異之處，蓋水的分子在結冰時係凝聚成晶體，在此一過程中，個別晶體之間可能是構成了較大的空隙；因此之故，個別分子形成之集團雖比在原先液體狀態下更為密集，但全部分子的總體積却仍有大于液態時總體積之可能也。又因水由 4°C 冷卻到 0°C 時，大家都知道它是要膨脹的，所以此種膨脹過程殆可視為結晶之開始。除水以外，鉍、銻、鋅、錫、鑄鐵以及含有鉍或鉍之某幾種合金也都會在凝固時膨脹。所有這些物體在固態時之比重均比液態時為小，故其固塊能浮在熔液上面（例如冰之浮於水面）。另一方面，所有凝固時收縮之物體，其固態時的比重均大于液態時的比重。因此之故，其固塊乃在熔液中下沉，譬如在熔解牛油、硫磺時便會發生此種現象。

製造鑄件時，通常是將液態金屬灌入中空的模型，使其在模型中凝固。高碳鑄鐵會在凝固時膨脹，因此能將模型完全充滿。鋼及其他金屬則與此相反，會在凝固時收縮。此項體積之減小亦即所謂收縮量者，可趁金屬猶為液態時再灌進新的金屬液予以填補，或是將模型製造得略比鑄件為大，亦為常用之補救辦法。凡在凝固時會收縮的金屬，均不能鑄造成準確的形狀，實為易于了解之事。金質或銀質的硬幣和獎牌之不能用鑄造方法製造，而須用沖壓機壓印，道理即在於此。又印刷所用鉛字必須具有完全明確的輪廓，所以祇能選用一種在凝固時會膨脹的金屬作為鑄字材料。通常所用的鉛字是以鉛、銻、錫三者之合金為原料，此項合金能在凝固時膨脹，故能將字形的最微細的輪

廓顯現出來。

〔189〕水在結冰時體積增大之重要性

1. 倘水在結冰時具有收縮之特性，則冰之比重一定會較水為大，于是就會在火至海洋小至河池中沉入水底。此項過程勢非持續到全部的水凍結為冰不可，這無異于水族生物死亡之宣佈。所幸結冰時水的體積是會增大的，所以相反的冰就可以像一層油膜似的浮在溫度較高的水層上面，為水族生物構成一種掩護物。物理學家路福德伯爵（Graf Rumford）曾在他的研究報告中闢一專章，專門討論此種過程，結果認為這是出於上蒼的安排。他這種偏向於宗教的觀點，乃是一般自然科學家屢見不鮮的。

2. 水在結冰時的膨脹力非常龐大。大家都知道裝水之玻璃瓶會在結冰時破裂。如果利用一個鑄鐵的厚壁空心球（第345圖），則更能證出此種炸裂的作用。我們先將水自上端灌入球中，並用一堅固的螺旋塞將其塞緊；然後將此球放置在雪和鹽之冷卻劑（第194節）中冷卻到 -20°C ；過不多久，就可以聽到沉重的爆炸聲，此乃冰將鐵球炸開之聲。此種爆炸，由于範圍不大，所以並無危險。根據此一實驗，各位就不難了解，嚴冬時倘不於水管外面加上一層具有保溫作用之保護物，將會發生何種後果。



第345圖 鐵彈中之水結冰時，會使鐵彈炸裂。

3. 水結冰時的炸裂作用，是山脈風化的主要原因之一。雨水倘在秋季流入岩石裂縫或多孔的岩層中，到了冬寒季節，就會凍結成冰，並以無可抗拒之威力將岩石炸裂（凍裂）。

此項工作持續若干年之後，山脈便會遭受破毀，而炸開之山岩石塊則將墜落深淵，並在落地時撞裂成許許多多小石塊。後者被山溪不停地搖滾，終于形成一片亂石，日後則變成細沙之平原。水和冰就是如此將山岩變為可耕之平地的。

結冰時引起之炸裂作用，有時也會在自然界中造成有害的後果。

春季之一夜嚴寒，往往能將生長得極其茂盛的草木予以毀滅。植物細胞與脈絡中的水份在凍結時，由于膨脹作用，能將壁膜炸破，使植物的組織因此而被損毀。

〔190〕**熔點和凝固點與外界壓力之關係** 在通常情形下，大氣中的一切物體均係受到約為1大氣壓（=760毫米水銀）之壓力。由于物體表面受到外界壓力時，物體即難于膨脹之故，所以每當外界壓力增加時，就必定會產生一種後果，那就是阻止那些在熔解時會膨脹的物質之熔解。另一方面，外界壓力之增加則有利于那些在熔解時要收縮的物質之熔解。事實上亦確是如此。

a)一物體在液體狀態下的體積如係大于固態時的體積時，則其熔解溫度隨壓力之增大而升高。譬如蠟之熔點在500大氣壓之下就要比1大氣壓下時升高 10°C 。石蠟之熔點在100大氣壓下即比1大氣壓下時升高 3.5°C 。水銀之熔點當壓力加至15,000大氣壓時，則可由 -38.87°C 升高至 $+10^{\circ}\text{C}$ 。湯姆生氏(W. Thomson)曾經研究過，地球內層由于受到位于該層之上的地層之龐大壓力之故，所以地球內部的溫度雖高，但該處之岩石仍能保持固態而不變；倘在1大氣壓下具有此同一溫度時，該處之岩石就會變成液體了。

b)一物體在液體狀態下的體積如係小于固態時的體積時，則其熔解溫度隨壓力之增大而降低。冰在大氣中所受壓力約為1大氣壓，其熔點為 0°C 。根據實驗，每當壓力增高1大氣壓時，則冰之熔點便降低 0.0075°C 。故在100大氣壓的超壓下，則冰之熔解溫度將降低為 -0.75°C ($100 \times 0.0075 = 0.75$)，這也就是說，在此一壓力下，溫度高于 -0.75°C 時全部為水，低于 -0.75°C 時則全部為冰。倘在更高的壓力之下，則熔點降低更劇；譬如在500大氣壓之下時即為 -4.2°C ，1,000大氣壓之下時為 -9°C ，在2,100(約)大氣壓之下時則為 -22°C 。如果壓力繼續增加上去，則冰便會變為另一形式，其熔點又將重新升高，譬如到了6,200大氣壓時，又會回到 0°C ，到了22,000大氣壓時，甚至於會上升為 $+76^{\circ}\text{C}$ 。

歸納起來，我們可以這樣說：壓力之增加通常均有利于那些在凝固時會收縮的物質之凝固，也有利于那些在熔解時會收縮的物質之熔

解；換言之：壓力之增高均有利于一種與縮小體積相應的集團態之出現。

〔191〕復冰現象 由于水在大于 1 大氣壓力和低於 0°C 之情況下，仍能保持其液態之故，所以反過來就可以得到一種結論，那就是 0°C 的冰在大于 1 大氣壓力下，必不能保持其固體形態而會發生熔解，因為冰的凝固點在這種情形下，已經降低到 0°C 以下了。但當壓力減輕以後，則熔解之水又會重新凍結起來。此一現象稱為復冰（拉丁文 Regelation = 再行結冰）。

1. 毛森氏 (Mousson) 將冰放進一圓筒中（第346圖），冰上置有一球，當其用螺旋旋緊使冰受到大的壓力時，冰即熔解，球則落于筒底。但當其放鬆螺旋時，水又凍結成冰。



第 346 圖 毛森氏復冰實驗

2. 鮑特姆萊氏 (Bottomley) 將一塊長冰放置在兩個支架上，再在冰之中央套上一金屬線，線之下端繫一重體（第347圖）。重體之全部重量僅能作用在金屬線所貼置的狹窄冰面上，這也就是說，冰之受壓面積極小；但如所周知，所謂壓力乃指作用於單位面積上之力（譬如是以克*/平方厘米）而言，因此在上述情形下，就會產生一種很大的壓力。在此壓力作用之下，因為冰之現有溫度 0°C 業已超過其應有之熔點，所以 0°C 之水必定會開始熔解。又因冰在熔解時需要吸收附近的熱量之故，所以熔解之水遂被冷卻到 0°C 以下，而形成所謂過度冷卻的現象。這一部份的水



第 347 圖 鮑特姆萊氏復冰實驗

一旦越離金屬線套圈，從壓力下解脫出來時，則又重行凍結為冰；結冰時所放出之熔解熱可使溫度又升高到 0°C 。金屬線套圈即以此種方式穿經冰塊之中，並能在一段時間以後穿過整個冰塊。我們可以很清楚地看到這一過程。但這被切成兩塊的冰，會在切開之處重新凍結得如此堅固，而不至於斷裂。

3. 設將兩塊表面略帶潮濕的 0°C 之冰

壓緊在一起時，則所加之壓力便會在互相接觸的表面上引起溶解。溶解的水是迅速冷卻的，所以當它一旦避開超壓而進入標準大氣壓力之下時，則又重新凍結，使那兩塊冰結合在一起。

在所有和復冰有關的現象中，尚有一點需加解釋的，那就是復冰並非僅視所施之力而定，而是和作用於單位面積上之力，亦即和壓力有關。所以在某一定大小之力之作用下，其作用之面積愈小，則復冰作用愈能引人注目。對於此類作用在微小面積上的壓力，我們往往會低估其數值。譬如利用針鑿時，手指很容易將1仟克*之力加在縫針上；針尖之直徑約為0.2毫米，其橫斷面則約為0.03平方毫米（ $0.1^2 \times 3.14 = 0.0314$ ）=0.0003平方厘米。所以針是用1/0.0003仟克*/平方厘米的壓力，這也就是大於3,000仟克*/平方厘米的壓力，鑽入其所欲鑽穿之質素。又如剃鬚刀片則係以10,000仟克*/平方厘米左右的壓力剃割鬚根。

4. 復冰作用可用以說明冰的外顯性的可塑性能。利用壓擠的方法，我們很容易將硬幣、石頭等等印記在冰上。冰在足夠的壓力之下更能被壓，注意的形態。除此以外，復冰作用亦能說明另一現象，那就是0°C之雪可用手壓捏成堅固之冰塊；但如所周知，這是用溫度較低之雪不能達成的。例如-1°C之雪，倘欲使其溶解，那就非得施予1/0.0075=134大氣壓不可。又在下列情形下，亦能發生同一現象；譬如在步行者踐踏之下，或是在雪橇、車輛之壓力下，雪就漸漸地變成連在一起的水面。又如在高山上，下層的雪受到上層雪的壓力作用便會變成冰川。當冰川最下層的水受到上部的壓力變為液體時，便會發生所謂冰川之滑動。最後，滑冰鞋所以能在水上滑行的原因亦不難了解，蓋滑冰者的體重是全部加在冰刀上，這一條狹窄的冰乃在高壓力之下溶解，于是在冰和刀之間所形成之水膜就像潤滑劑一般地引起一種減低摩擦的作用。

[192] **溶液和溶解熱** 一個體物質，譬如鹽類，往往可被溶解於一溶劑中，譬如水中。鹽類雖在溶劑具有任一溫度時均能溶解，但溫度愈高時，則被溶解之鹽量亦愈多。定量之水在某一定溫度下祇能溶解某一定量之鹽類。倘一溶液中猶未含足此一定量之鹽類時，該

溶液即稱為**未飽和**。另一方面，倘在一溶劑的底部尚存有一部份未經溶解的鹽類時，則此溶液稱為**飽和**。溶劑的溫度愈高時，就得吸取更多的鹽類，才達到溶液的飽和狀態。

倘有多種鹽類同時溶解時，它們的可溶性就會於彼此之間受到影響（關於這一點，我們在這裏還不能作進一步的說明）；祇有氣體始能具有無限制混合的特性，至於各種液體彼此之間的溶解能力以及一液體對各種不同質素的溶解能力則大多數都是有其限度的。

我們可以把溶解視作一種轉變成液體狀態的作用，至少可以說在此一作用中，分子總是被互相分開，而於彼此之間形成更大之隔距的。因此溶解就和熔解一樣，殆非消耗熱量不可。此種熱量稱為**溶解熱**。溶液倘不能由外界取得此一熱量時，則被溶物質勢非從溶劑及其本身攫取不可，故當形成溶液時，其本身之溫度恒會發生降低現象。譬如將硝酸鉍溶解在等重的水中，而兩者原先之溫度為 $+10^{\circ}\text{C}$ 時，則溶液之溫度便會降低到 -15°C 左右。利用氯化銨在水中之溶解，我們也同樣可以引起劇烈的冷卻作用。食鹽溶解時的冷卻作用較輕，糖則更為微弱。雖然如此，但當我們在茶中加糖，湯內加鹽時，這兩種液體的溫度多多少少總是會降低的。

一種被吸取之溶解熱雖會潛留于溶液之中，但當已溶之鹽一旦重新由溶液中變為晶體析出時，即又釋出。這是可以由硫代硫酸鈉（ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ）、硫酸鈉（ Na_2SO_4 ）以及醋酸鈉（ CH_3COONa ）等之過飽和溶液中得到最好的證明的。**過飽和溶液**可依下述方式製備之：先在熱水中溶解如此多的鹽，使其恰好構成一種飽和溶液；接着倘將飽和溶液冷卻，則它便會變成過飽和者，這也就是說，此時其中所含已溶解的鹽已超過其所能溶解之量，因此乃不得不使一部分之鹽變為晶體析出。但在不受任何震動之條件下，此種過飽和狀態却能繼續保持下去，而不致發生一部分之鹽於逐漸冷卻時變為晶體析出，並將潛在之溶解熱重新釋出之現象。譬如100克之水在 33°C 時所能溶解之硫酸鈉約為50克，但在 15°C 時便祇有15克左右。但我們倘使 33°C 的飽和溶液在不受震動之條件下冷卻至 15°C 時，則多餘的35克硫酸鈉便仍會留在溶液中。此時如將此過飽和溶液稍加震動，則多餘之鹽便會立即析

出爲晶體，而時溶液的溫度也會升上去。溶液之有過度飽和，猶之乎液體之有過度冷卻一樣〔187〕。

〔193〕**溶液之凝固點降低** 將自 1 份重量食鹽和 10 份重量水之溶液開始凝固時，溫度計上所指出的溫度總是零下好幾度。此際有一點值得注意的，那就是所結之冰中全無食鹽。倘食鹽溶液是未飽和的，則在凝固時水即和食鹽分開。因此之故，海冰熔解爲水後，總是不含鹽份的。又如極冰所造成之海也總是淡水海；許多質素溶解在醋酸、苯、或其他溶劑中所形成的溶液，情形亦復如此。我們從經驗中知道，溶液中含有愈多的鹽類時，則其凝固點愈爲降低。譬如：含有 1% 食鹽的水（100 克水 + 1 克食鹽）係在 -0.6°C 時凝固；10% 者係在 -6°C 時凝固；海水係在 -2.5°C 時凝固等等。飽和食鹽溶液的凝固點則更低至 -22.4°C 。準此：溶液的凝固點恆較純溶劑的爲低。

〔194〕**冷劑** 冷劑爲物質之混合劑，可用以達成降低溫度至 0°C 以下之目的。冷劑之中，以水和食鹽所製者最爲著名。當搗碎的冰中摻入鹽時，冰遂液化而與食鹽構成一種溶液。但冰在熔解時非消耗熱量不可，另一方面，食鹽在熔解之水中溶解時也是需要熱量的；這些熱量既未由外界輸入，勢非從冰—鹽—冷劑本身攫取不可，結果遂爲後者之冷卻，並且要一直冷卻到 -20°C 左右爲止，惟溶劑却仍保持其液體狀態而不變。

茲將其他數種冷劑分述於下；至其配製時之溫度均係從 15°C 開始：80 克芒硝 (Na_2SO_4) 和 50 克濃鹽酸能够冷卻到 -12°C ；150 克之結晶氯化鈣和 100 克冰能够冷卻到 -49°C ；52 克硝酸銨、55 克硝酸鈉 (NaNO_3) 和 100 克水能够冷卻到 -26°C ；固態二氧化碳加在乙醚中構成之溶液則更能冷卻到 -110°C 左右。

如所周知，電車軌道上的雪雖在 0°C 以下，亦可用撒上食鹽的方法使其熔解。此一方法實際上也是以造成冷卻作用爲目的，祇不過所產生的冷卻溫度猶不能使含鹽甚多之雪水凝結罷了。

〔195〕**合金之熔點** 一般言之，所有液態混合物之凝固體或熔點總要比其成分者爲低；上文第 193 節中所討論的溶液凝固點之降低，只不過是此一普通現象中的特殊情形而已。例如高碳鐵（鑄鐵在熔解狀

態下含有3.5至4%溶解之碳)之熔點，就要比低碳鐵(含有0.05至0.6%碳)低些，這是在第十三講第182節附表上可一望而知的。所謂合金乃是兩種或多種金屬構成的混合物。黃銅是銅和錫之合金，約在 900°C 左右熔解，所以此構成該合金的銅(熔點為 $1,083^{\circ}\text{C}$)具有較低之熔點。又如錫焊條乃由等重之錫(231.8°C)和鉛(327.4°C)所組成的合金，其熔點僅為 220°C 。另一種由等重之鉀和鈉所組成的合金在室溫之下會變為液態，雖然這兩種金屬個別存在於室溫時均為固態。我們從下述羅斯合金與伍特合金的例子中，更可以看出合金之熔點會比其成分的熔點降低到何種程度：羅斯合金係由2份鉍(271°C)、1份鉛(327.4°C)和1份錫(231.8°C)組成，能在 94°C 時熔解。伍特合金係由7至8份鉍、4份鉛、2份錫、1份至2份的鎢組成，在 70°C 時即能熔解。

B. 教材問答

師：設將一塊 0°C 之冰投入 0°C 之水中時，冰會不會熔解？

生：在空氣溫度保持 0°C 不變之條件下，冰和水仍會各自保持其原有的集團態，這也就是說，冰是不會熔解的。

師：設以一塊 0°C 之冰投入 0°C 之食鹽溶液中時，則將如何？

生：在此種情形下，冰是要熔解的。同時，因為熔解時所需之熱量是從熔液中吸取而來的，所以溶液亦會發生冷卻的現象。

師：5仟克 0°C 之冰置於室內時，要比5仟克 0°C 之水，獲致更大之冷卻作用，何故？

生：因為冰熔解時，會在室內多吸取 $5 \times 79.7 = 398.5$ 仟卡的熱量之故。

師：所謂水銀具有2.8卡之熔解熱，其意義為何？

生：這就是說，1克固態之水銀在 -38.87°C 時，需要2.8卡的熱量，才能變為液體。

師：海水在 0°C 時為何不凍結？

生：這是因為海水中含有鹽份之故；含有鹽份的溶液，其凝固點

總要比純水低些。

師：設將 -1°C 的冰塊全面加以 200 大氣壓的壓力時，則將發生何種現象？

生：壓力每增高 1 大氣壓時，冰之熔點即降低 0.0075°C ；在 200 大氣壓的壓力下，冰之熔點為 $-1.5^{\circ}\text{C}(0.0075 \times 200 = 1.5)$ 。因此， -1°C 之冰在 200 大氣壓下，勢非溶解不可。

師：設在復冰實驗中，懸於金屬線（直徑為 0.5 毫米）下端之重量為 40 仟克*，而冰塊之寬度等於 10 厘米時，問此金屬線作用於冰面上的壓力為若干？

生：受壓面積為 $10 \times 0.05 = 0.5$ 平方厘米，故壓力為 $40/0.5 = 80$ 仟克*/平方厘米。

師：此一壓力將使冰之熔點降低到 0°C 以下若干度？

生： $80 \text{ 仟克}*/\text{平方厘米} = 80/1.033 = 77.4$ 大氣壓。在此一壓力下，冰之熔點約為 $-0.6^{\circ}\text{C}(0.0075 \times 77.4 = 0.58)$ 。

師：如此說來，冰之溫度應為若干度，才能讓該金屬線穿將過去？

生：應高於 -0.6°C 。

師：冰在真空中將于何種溫度溶解？

生：壓力每降低 1 大氣壓時，熔點便增高 0.0075°C ，所以冰在真空中將于 $+0.0075^{\circ}\text{C}$ 溶解。

師：大氣壓力連續發生變動時，冰之熔點是否也會相應地發生顯著的變動？

生：否，大氣壓力普通僅會在若干毫米水銀柱的範圍內發生變動，所以對於冰的熔點是不會引起太大影響的。

師：設將 -5°C 的未飽和食鹽溶液冷卻到 -10°C 時，該溶液是不是會全部凍結？

生：否，祇能先結成少許不含鹽份的冰；接着下去，因為溶液中所含鹽份的百分比增大之故，其凝固點遂降至 -10°C 以下。

師：“冰在 0°C 時溶解”和“冰在 0°C 時凝固”乃是一般的說法；但在一個盛有 0°C 的冰和 0°C 的水的瓶子中，總不能說冰全部溶解而