

物理第八冊目錄

第十六講

頁數

第十五講內容測驗…………… 1— 1

第十四講內容測驗解答…………… 1— 3

第二十四章 熱學（續）熱源

A. 課程…………… 4—17

B. 教材問答…………… 17—18

C. 複習題…………… 18—19

D. 習題…………… 19—19

第二十五章 熱學（續）熱之傳播

A. 課程…………… 20—47

B. 教材問答…………… 47—49

C. 複習題…………… 49—51

D. 習題…………… 51—51

E. 第十六講內容摘要…………… 51—56

第十六講附錄

第十六講（D）習題解答…………… 57—58

第十五講內容測驗解答…………… 58—60

第十一講至第十六講內容總測驗…………… 60—65

第十一講至第十六講內容總測驗解答…………… 65—75

第十五講內容測驗

1. 液體沸點與其蒸汽飽和壓力之間，存有何種關係？
2. 所謂標準沸點，我們指的是什麼？
3. 外界壓力與沸點溫度之間，存有何種關係？
4. 我們可如何借助於水之沸點測定，間接測量地勢之高度？
5. 所謂凝結點，我們指的是什麼？
6. 蒸發熱是什麼？凝結熱是什麼？
7. 水之蒸發熱爲若干？
8. 如何測定水之蒸發熱？
9. 巴班鍋是什麼？其作用如何？
10. 盧斯儲熱器如何作用？間歇泉如何作用？
11. 由汽化所致之冷却作用是什麼？我們如何解釋其生成之原因？
12. 試舉出幾種汽化冷却作用之試驗。
13. 試述由於本身熱量所生成之沸騰作用。
14. 所謂沸騰之阻滯，指的是什麼？所謂凝結之阻滯，指的是什麼？
15. 試述萊頓佛羅斯特現象！
16. 對於溶液之沸點，我們可以說些什麼？
17. 借助於溶液之蒸溜作用，我們可以達到什麼目的？
18. 所謂液體混合物之分餾，指的是什麼？

第十四講內容測驗解答

1. 所謂凝固之阻滯指的是在不受震動之下，由於熱量之抽出，而使許多液體，一直冷却到遠離其凍結點以下而仍不凍結的一種現象。譬如說，使水冷却到 -15°C 而不結冰的現象。

2. 凍結時，冰的體積要比原有之水的體積，膨脹出 $\frac{1}{11}$ (9%)。於是，冰的比重要比水小些，因此而能浮在水面上。

3. 一物體之液態體積，倘若是較其固態體積爲大(水銀)，則其熔點即隨着增大之壓力而增高。與此相反，如其液態體積較固態體積爲小(水)，則其熔點即隨着增大之壓力而降低。在 1 大氣壓之下，冰之熔點爲 0°C ，但每當外界壓力再增加 1 大氣壓時，則其每次所降低之熔點溫度，即爲 0.0075°C 。

4. 所謂復冰作用，指的乃是在過勝壓力下，冰受熔解，且其熔解之冰，於過勝壓力解除以後，又復重行凍結之現象。

5. 所謂溶解熱，指的乃是使一固體質素溶解於某一液體中所需之熱量，而此熱量則是由溶液本身中吸取，以致使該溶液獲得冷却者。

6. 否。任何溶液之凍結點，總是低於純粹溶劑之凍結點。

7. 所謂冷劑，指的乃是，譬如說，一種碎冰與鹽類(食鹽、氯化鈣)的混合物，其中之冰自行熔解，而鹽類即溶解於熔融之冰水中。此二過程皆須消耗熱量。該熱量即由混合物中吸取，以致該混合物急劇冷却至 0°C 以下的溫度。

8. 就一般而論，合金的熔點，要比合金中個別組成成份的熔點爲低。

9. 每當蒸汽與其液體(譬如說，在一密閉之容器中)互相接觸時，該蒸汽即可成爲飽和蒸汽。於是，一種動力平衡狀態即告成立，這也就是說，從液體表面上逸出之分子數，與其從蒸汽返入液體中的分子數，乃是互相平衡的。

10. 所謂飽和壓力或蒸汽壓力，指的乃是飽和蒸汽的壓力；飽和密度則是此狀態下的蒸汽密度；飽和量乃是某一空間中所能容納的飽和蒸汽量；飽和溫度則是與飽和狀態所相當的溫度。在此溫度下，飽和壓力具有最大之張力，飽和密度具有最大之密度以及飽和量具有在某一空間中最大之蒸汽量。

11. 在同一溫度下，如果有關液體之標準沸點愈低，則各種蒸汽之飽和壓力也就愈大。

12. 祇要蒸汽與其液體保持接觸，則決不會如此。體積之縮減，導致蒸汽部份凝結，體積擴大則導致蒸汽之重新形成。

13. 溫度增加時，飽和蒸汽之壓力與密度即增大，在此過程中，隨即有新蒸汽之形成，祇要可資汽化之液體尚有存在就行。溫度降低時，一部份之蒸汽自行凝結，而其壓力與密度亦即隨之而減小。在上述二種情形之中，餘下之蒸汽，均保持飽和狀態。

14. 於此，我們可將充滿着飽和的蒸汽之空間，也就是其中已無剩餘液體之空間，加以擴大，或是將其溫度增高。在同一溫度下，未飽和蒸汽之壓力與密度，要比飽和蒸汽的為小。

15. 由於體積之縮減（壓縮），或由於溫度之降低，或由於二者之同時作用，可使未飽和之蒸汽先成為飽和，然後再使其凝結為液體。

16. 所有處於氣狀集團態之物體，其由於相當少許之體積壓縮，或由於少許溫度之降低，而能成為飽和蒸汽然後再成為液體者，我們即稱之為蒸汽。飽和蒸汽並不遵從氣體定律。與此相反，不飽和蒸汽却遵從氣體定律，且其遵從的程度是如此：凡是該蒸汽離開其液化狀態愈遠時，其遵從的程度也就愈接近。一般氣體則可認為是強度過熱的蒸汽，由於壓縮及冷卻作用，均能使其成為液體。

17. 祇是使蒸發的速度延緩。飽和蒸汽之壓力與密度，是與此空間中是否尚存有其他之氣體或蒸汽一事，並無關係。

18. 一液體之標準沸點愈低，其溫度愈高，其液面之飽和蒸汽由於空氣之對流作用而除去得愈快，其液面面積愈大，其已存在於空中之有關液體之蒸汽愈少，以及大氣壓力愈低，則該液體在空氣中汽化得愈快。

19. 所謂沸點，我們指的是此一不變的溫度，在此溫度下，由於熱量之輸入，能使某一液體於沸騰時進入氣體狀態。

20. 蒸發可於每一溫度下發生，但其作用僅限於液體之表面。與此相反，沸騰之發生則僅限於某一特定而不變之溫度。沸騰時，其汽化作用同時亦於液體之內部發生，因而形成汽泡。

第二十四章

熱學(續) 熱源

A. 課程

〔221〕**熱源之分類** 在這一章之中，我們想要與各位談一談熱的來源。我們將**天然的熱源**與**人爲的熱源**相區別。前者指的是太陽與地球；後者指的是化學反應、機械功與電流。太陽的輻射是我們的主要熱源。此一熱源使得地球上所有的有機生命成爲可能，並且是使得地球上發生風化現象的實際根源。

天然的熱源

〔222〕**作爲熱源的太陽** 太陽是一個極大的星球，其半徑爲695,400 公里。此一半徑幾乎等於月球至地球的平均距離 384,000 公里的二倍。因此，即使月球在太陽中運轉，地位也是足足有餘的。

太陽表面上的溫度差不多是 $6,000^{\circ}\text{C}$ 。至於其內部的溫度，有人估計爲好幾百萬度。時至今日我們已經知道，凡是恆星（就是我們的太陽也是算作恆星之一），都要受到一種質素的損失，在此過程中，太陽即放射出熱能（參閱第 254 節）。由於太陽的放射而每秒鐘所招致的質量損失，爲數約在 4 百萬公噸左右！這個數目，在太陽的全部質量中計算起來，還是極其微小的。在十年之中，這一個損失的數字，祇不過佔據太陽全部質量的十億分之一而已。因此，太陽的壽命並不顯得十分短促，而且更可能的是：如果將太陽當作一個光亮漸趨黯淡的恆星來看，則其壽命可能尙有 500 億至 5,000 億年之久。

根據此等數據，我們便可算出，太陽是如何繼續不斷地以巨大的熱能向宇宙之中放射出去。可是祇有其中極小的一部份達到我們的地球上來。這是因爲我們的地球離開太陽的距離十分遙遠的緣故。二者的平均距離（冬季時較夏季時略近）約爲 149,500,000 公里。一輛汽車，如以每小時 200 公里的速度行駛，亦需 $149,500,000 \div 200 = 747,500$ 小

時，亦即略多於 85 年的時間，始能完成這樣一段的路程。太陽光線以其每秒 300,000 公里的速度，則僅需 $8\frac{1}{3}$ 分的時間（參閱第十講第 135 節，例題 4）。

地球和太陽的遙遠距離，使我們易於了解下一事實，那就是：雖然由於日球的龐大，却祇有全部太陽熱能（此熱力是由太陽以輻射方式向宇宙之中發散出去的）的極小部份，達到我們的地球，這也就是說，祇有其全部熱能的 $\frac{1}{2,300,000,000}$ 。雖然如此，太陽熱能中之到達地球的一部份，其能量仍是如此巨大，以致除此以外的所有各種地球上人爲的熱源，全都被掩沒而退到次要的地位去了。

〔223〕**太陽常數** 太陽所傳送到我們的熱量，是隨着地球上的不同地區而互異。除此以外，即使就同一地區而論，也是隨着季節的變遷，以及一天之中時間的差異而有所不同。凡是太陽光線落到地面上愈垂直，以及其照射的時間愈長久，則此一熱量也就愈大。

法國物理學家普以葉（C. S. M. Pouillet, 1791–1868）爲了要測量照射到地球上來的太陽熱能，曾經使用過一種所謂**太陽熱能計**（Pyrheliometers）。此種儀器乃水卡計之一種，係由一根金屬套管所組成，管中有水，並將管蓋塗黑。塗黑的意義，乃是要使所有落到上面的太陽射線，全部被其吸收（參閱第 259 節）。由於此一熱量之吸收，乃使其中之水加熱，並使插入其中之溫度計，指示出溫度的升高。現在，我們倘使陽光**垂直地**在管蓋上照射幾分鐘，於是就可以從水量、其溫度之增高以及同樣情形下該儀器之已知水當量等數值，算出單位時間及單位面積上所垂直射入之日光熱能（參閱第十三講第 176 節）。倘若我們考慮到陽光射入地球大氣層後所受到的熱量的損失（參閱第 258 節），則我們所能得到的數值如下：**在大氣層界限**（參閱第三講第 46 節中大氣層構造圖）附近之處，其於每分鐘內，在每一平方厘米的黑體面積上，垂直射入之熱能，如以地球至日球之平均距離計算，約爲 2 卡左右。這也就是在一分鐘之內，能使 2 克之水增高溫度 1°C 之熱量。我們稱呼此一熱量爲**太陽常數**。根據近代儀器（露光計，或稱曝光計，是一種對光具有敏感的物质，可於受

到光線之影響後加以觀察的儀器)的計量，此一數值乃為每分鐘 1.93 卡。

根據此一數值，則每一平方米的面積，於每一小時中，由於垂直照射所受到的熱量，乃為 $2 \times 10,000 \times 60 = 1,200,000$ 卡 = 1200 仟卡。於是，在一平方公里面積之內，由於每一小時的不斷垂直照射之結果，就受到了 1,200,000,000 仟卡的熱量。我們可以這樣假定，這一熱量也可以由下述情況來產生，這也就是在平均的緯度上，由於每一整天之斜射日光向一平方公里所發射的熱量。這一數值，相當於約 150 公噸煤所產生的熱量（參閱第 226 節），如果我們假定，1 仟克之煤，在燃燒時可以產生 8,000 仟卡的話 ($1,200,000,000 : 8,000 = 150,000$ 仟克 = 150 公噸)。在全部一年之中，太陽發射到地球上來的熱量，共計為 $1,200 \times 10^{18}$ 仟卡。倘若將此一熱量，平均分佈於地球表面，則其影響所及，將可使蓋住全地球的約 30 米厚的冰層，全部融化。在此一計算中，我們並未將減弱日光輻射的地球大氣層，考慮在內（參閱第 258 節）。

[224] 以地球作為熱量之來源地溫的分層深度 我們的地球，具有本身的熱量；但對於地球表面，却未能有多大的影響，因此，也就無法對於大氣有任何的加熱作用。反之，由於地層鑽孔中及礦坑中測得的溫度所顯示，則每當我們設法接近地心時，其溫度總是有規則地向上增高的。

根據德國各地實測之結果，凡是位於約 1.3 米的地下深度，該處就可以不受每天之中溫度變化之影響；位於 20—25 米的地下深度，則該處便可以不受一年之中溫度變化之影響。位於較此更深之地層，則該處僅祇受到地球本身熱量的影響，因此，愈是深入，溫度便愈是增高。所謂地溫的分層深度，我們指的乃是可使溫度增加 1°C 的入地深度。這一數值，差不多是位於 30 米與 35 米之間。

在德國所曾鑽探之最深鑽孔，係在上西里西亞 (Oberschlesien) 之楚邱 (Czuchow) 地方，其深度為 2,240 米，溫度為 83°C ；其次係在麥爾塞堡 (Merseburg) 附近之許拉德巴哈 (Schladebach) 地方，

其深度爲1,748 米，溫度爲 56.6°C *。

根據同一原理，熱水、或甚至近乎沸騰的熱水，都可以由更深的地層下，噴湧出來。德國的卡爾斯巴德噴泉 (Karlsbader Sprudel)，具有 72°C 的溫度；美國黃石公園裏的“舊信仰” (Old Faithful) 熱噴泉，就有沸水湧出。從更深的地層中，也會噴出由活火山的噴口所湧出的熾熱的熔岩。

人 爲 的 熱 源

[225] 以化學反應作爲熱源 反應熱 一切化學反應，總是會連帶地發生熱的現象。不是產生熱量，便是消耗熱量。在第一種情形之下，我們名之爲放熱反應 (exothermisch)，在第二種情形之下，我們名之爲吸熱反應 (endothermisch)。

各種化學反應，總是依循下列這一現象而進行，那就是：參加反應之前的各原子，各屬於某一定的質素；但在反應之後，各原子便各集成另一新質素的分子。讓我們舉出一例，來說明這一現象。倘若我們將鐵與硫華密切混合，則雖在混合之後，我們仍可以設法使鐵屑與硫華粉末重新分開，譬如說，借助於磁石，我們就可以吸出鐵屑。在這種情形之下，我們就說，鐵與硫磺形成了一種機械的混合物。與此相反，倘若鐵與硫磺之間產生了一種化學反應，於是就會形成一種新的質素，這也就是硫與鐵的化合物，名曰硫化鐵。這一物質，既不具有鐵的特性，也不再具有硫的特性，雖然它原是由這二種質素組成的。每一原子的鐵 (Fe)，與每一原子的硫 (S)，化合而成每一分子的硫化鐵 (FeS)。祇要我們將鐵與硫的混合物，放在一個地方，用火焰加熱，我們就可以使上述的化學反應得以成立。反應一經開始，就有一種劇烈的熾熱現象，傳至全部的混合物，即使我們將火焰移去，亦復如此。於是，我們就可以看到一種放熱反應。另外一種熟悉的放熱反應，就是石灰的溶解作用。此一作用發生時，有相當的熱量釋出。於此，氧化鈣 (CaO) 與水 (H_2O) 發生作用而生成氫氧化鈣 [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]。

* 1949 年於美國加利福尼亞州洛山磯城附近之聖他保拉地方所鑽成之深井紀錄，曾達到 5,638.8 米之深度。

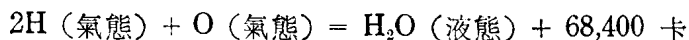
讓我們現在再來舉一個與化學變化有關而需要消耗熱量的例子。這個例子，就消耗熱量這一點而論，是與有些物理現象如同液體的汽化或是固體的熔化相類似的。倘若我們將硫磺蒸汽通過熾熱的焦炭，硫（S）與碳素（C）就化合成二硫化碳（CS₂），這也就是那種帶有惡臭的液體。由於此一過程之需要消耗熱量，所以這就是一種吸熱反應。祇要我們不再使焦炭成為熾熱，這也就是說，祇要不再有熱量由外界加入，則此一反應，亦即二硫化碳生成之反應，便會立即停止。

凡是敘述化學變化附帶所生之熱現象的這一部門化學的學問，我們稱之為**熱化學**。在化學反應中所伴生之熱量，我們稱之為**反應熱**。在放熱反應中，我們給予此種反應熱以**正的符號**；在吸熱反應中，則給以**負的符號**。由於一般的化合物恒以分子的狀態而出現，所以我們也總是以克分子為反應熱計算的根據，所謂克分子也就是以克為單位的分子量。一克分子中，總是含有同樣多少的分子數目（參閱第十一講第 148 節）。舉例來說，如果硫化鐵的反應熱是 23,800 卡，那就是說，當 55.85 克的鐵，與 32.066 克的硫，化合而成 87.916 克的硫化鐵時，就會有 23,800 卡的熱量釋放出來（根據第十一講第 143 節中之原子量表，鐵之原子量為 55.85，硫之原子量為 32.066，於是，化合物硫化鐵的分子量就成為 $55.85 + 32.066 = 87.916$ ，因此，一克分子的硫化鐵，其重量即為 87.916 克）。我們可將上述的放熱反應，用一種所謂**熱化學方程式**寫出來。如用此種方程式，將上例寫出，就成為如下的形式： $\text{Fe (固體)} + \text{S (固體)} = \text{FeS (固體)} + 23,800 \text{ 卡}$ 。上式括弧中的說明（固體），乃係指出該物屬於何種集團態。

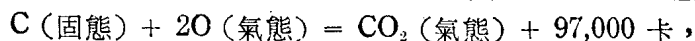
即以液體混合物而論，亦能產生出很多的反應熱量。倘若我們將水與硫酸相混合，則其所產生之熱量竟會高到如此程度，以致使混合物變熱。

[226] **氧化與燃燒熱** 着火溫度 熱值 在各種放熱反應中，有一群特殊化合物，那就是氧氣與其他元素所生成的化合物，亦即所謂**氧化物**。我們稱呼此種反應為**氧化**或**燃燒**。有時，與此反應相伴而生的熱量，可以達到如此強烈的程度，以致質素本身陷入於紅熱的狀態。質

素氧化時所生成之反應熱，名爲**燃燒熱**。我們可舉出二個重要的例子。氫氣燃燒時即生成水。於此，每二個氫原子[2H]，總是和 1 個氧原子，化合而成水的分子。於是，水的分子量就成爲 $2 \cdot 1.0080 + 16 = 18.0160$ ，而一克分子的水的重量，也就等於 18.0156 克。每一克分子液態水的形成，會產生 68,400 卡的熱量。此一熱化學方程式，就成爲如下的形式：



將固態碳素燃燒而成氣態的二氧化碳，其熱化學方程式應爲：



於此，其所伴生之熱量，仍應以一克分子之二氧化碳爲根據，此一克分子之重量，即爲 $12 + 2 \cdot 16 = 44$ 克。

爲了要使每一物質，能在純粹氧氣中，或在衆所週知的含有近乎 20 % (體積) 氧氣的空氣中，發生燃燒(氧化)，此一物質就必須預先加熱到某種一定溫度，我們稱呼此一溫度爲**着火溫度**。祇要燃燒作用一開始，則經由燃燒而所產生的熱量，就足夠維持燃燒而不斷。每一個別物體的着火溫度，相差很大。如所週知，煤在爐內，不能自動開始燃燒，而必須由其他易燃質素(木材、煤碳引燃物等)，使其達到着火溫度。此一溫度，視不同性質的煤而有所不同，普通是在 350°C 至 550°C 之間。與此相反，無色之磷，在 60°C 之空氣中已可着火。在有些情形之下，如將物體在室溫中與氧氣相接觸，即可着火。粗製品之磷化氫(PH_3)，祇要將其吹到空氣之中，就立刻着火。

在各種人爲的熱源之中，燃燒生成的熱源是其中最重要的一種。在熱化學上所能引起之最高溫度，是氫氧吹管中氫氣燃燒時的溫度($2,000^\circ\text{C}$)，以及鋁粉在熱焊法中燃燒時的溫度($3,000^\circ\text{C}$)。上述二種熱化學反應，在本叢書化學部分，已有講述，讀者可以參閱。純粹的氫氧吹管氣體，含有二份體積的氫氣，與一份體積的氧氣。鋁粉熱焊劑是一種含有鋁粉和氧化鐵的混合物。

爲了要計量燃燒熱，我們可以使用一種彈卡計(Kalorimetriscche Bombe)，這是一個鍍鉑或加有搪瓷面而具有 0.3—0.4 公升容積的鐵質容器，器內裝以近乎 25 大氣壓的壓縮氧氣，以及準備燃燒用的質

素，然後將整個容器置入水卡計中。着火溫度是用電氣方式來引起的。

對於工程技術人員具有重要性的，乃是燃料與操作物燃燒以後生成熱量之知識。最重要的燃料乃是**煤**。但是“煤”並不是由純粹的“**碳**”所組成。我們必須將此二物之區別弄個一清二楚。**碳**是一種化學元素(C)，因此，它是一種均勻質素。與此相反，由礦山中開發出來的**煤**，乃是由有機物質分解而成之產物，碳僅是此一產物中的主要成份。煤也許並不含有元素狀態的碳素，而祇是一種碳與氫、氧、氮的化合物，此外，再加上水份與礦物質；後者是不能燃燒的，因而成為灰份。因此，“煤”的燃燒熱是與純粹“碳”的燃燒熱，有所不同。此外，我們的燃料(無煙煤、石炭、褐煤、泥煤、木材等)，在燃燒時所發生的過程，都是很複雜的，此乃由於其不同的化學變化，逐一伴同發生的緣故，於是，我們所量得的燃燒熱，也僅能量到適合於實用精確範圍內的數值。我們談到燃料的熱值，指的乃是1仟克的固體、液體或1立方米氣體的燃料，於完全燃燒後，所產生的以仟卡來表示的熱量。

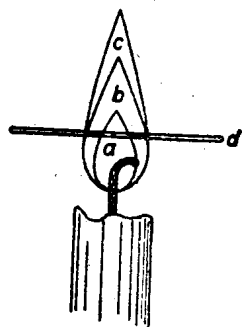
燃 料 的 熱 值

1 仟克無煙煤	約計 8,000 仟卡
1 仟克石炭	約計 7,000—7,600 仟卡
1 仟克焦炭	約計 7,000 仟卡
1 仟克褐煤	約計 2,700—4,600 仟卡
1 仟克泥煤	約計 3,800 仟卡
1 仟克木材	約計 3,600 仟卡
1 仟克石油(或煤油)	約計 10,500 仟卡
1 仟克中級柴油(或稱化氣油)	約計 10,250 仟卡
1 仟克酒精	約計 5,000—7,000 仟卡
1 立方米煤氣	約計 5,000 仟卡
1 立方米水煤氣	約計 2,600 仟卡

[227] **火焰 本生燈** 時常伴着燃燒而來的，是火焰的形成。在形成火焰之先，總是先要具有燃燒的氣體。此種情形中之最熟悉的例

子，就是蠟燭的火焰與煤氣的火焰。在一本十分值得一讀的小冊子（蠟燭的自然史）中，米歇爾·法拉第（Michael Faraday）曾將蠟燭選擇為許多物理學上與化學上觀察的論題。我們對於這一方面有興趣的，祇是限於如下所證實的一點，那就是點燃蠟燭能使其中之燃料，轉變成氣體狀態。這一點也可以由我們自己去證實，如果我們小心地將蠟燭火焰吹滅的話，那時，我們將可清晰地看見一陣煙霧，向上升起，在這一陣煙霧裏，就含有由蠟燭的固體物質所轉化的氣體。本叢書的化學部分，述及有關煤氣的製造，此種煤氣中之 40 % 至 50 %，乃由氫氣所組成。

凡是燒得很平穩的蠟燭火焰，都是由層層包圍的三個區域所組成的（第 365 圖）。內層區域 a，即所謂核心部份，稍微發出一些藍光。這一核心是由業已液化了的蠟燭質料，經過分解後所形成的一種尚未燃燒的氣體，其溫度是相當低的。火焰的最外層 c，發出淡藍色的光。這一層是代表着真正的燃燒區域。在這一層區域內，由於外界空氣中氧氣的介入，遂使這些可以燃燒的氣體，得以進行一種完全的氧化作用，而變成二氧化碳氣體和水。這一個區域，也是火焰最熱的部份。在火焰的中部 b，由於未有足夠之氧氣能由外界進入，致使此處形成一種不完全的燃燒。又由於此處所發生的高溫，分佈得很細小的碳素微粒，遂由燃燒氣體中遊離出來，而成熾熱的狀態，然後再進入燃燒區域 c 的狹窄邊界中而燃燒。這就是蠟燭火焰發生光亮的原因。倘若我們拿着一個冷瓷盤，放在發光部份之內，則碳素就會以碳煙的微粒遊離出來。又如我們將一根鐵絲 d，放入火焰的下部，則我們可以清晰地看到，在彼此互相分開的三處，有碳煙的形成，這也就是鐵絲穿過 b 罩層的地方（參閱第 365 圖）。



第365圖 蠟燭火焰的分層區域

a 最內層的藍色而不太發光的部份；b 中間部份，也就是碳素發出亮光的部份；c 外面最熱而不太發光的部份，也就是真正燃燒的區域。

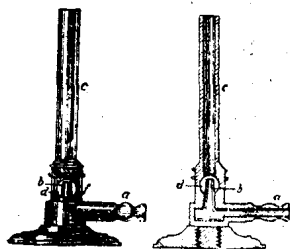
蠟燭火焰具有下述特點：燃燒氣體和氧氣的混合，大部份是在外

層區域 **c** 中發生的。另外有一種特殊型式的火焰，其所需要的空氣中氧氣，是經由火焰的內部輸入到燃燒氣體中去的。**本生燈**的火焰(R. W. Bunsen, 1811–1899，德國化學家)，就是屬於這種情形。如第 366 圖所示，氣體流經橡皮管接頭 **a**，而由一噴嘴 **b** 流入一煙筒似的管子 **c**。此管之下端有一側面開孔 **d**，可由一開閉閥 **f**，調整開口之大小。流入管子 **c** 的氣體，在開孔的地方，將外界空氣吸入，並與此空氣相混合，一直到本生燈的管口。於此，煤氣就可立刻燃燒，而無需先使其中之碳素微粒遊離出來。因此，火焰並不生出炭烟，而且僅發微光。在較外層之火焰邊界處，其溫度超過鉛之熔解溫度 $(1,770^{\circ})$ 。在這一個最熱的部份，我們可以裝上**煤氣燈**(Auerbrenner)的白熾罩。

倘若我們將開孔 **d** 關閉，則結果將與蠟燭所發生的情形一樣，那就是在火焰內部產生一種不完全的燃燒。從煤氣中遊離出碳素微粒，其火焰則發出明亮的光，生出炭烟而發出較少的熱量。

有時，我們可以觀察到本生燈的“回擊”。就是在煤氣爐中，我們也可以時常看到這種現象。在這種情形之下，氣體就直接在噴嘴開口 **d** 處燃燒，以致火焰冒煙

，管子 **c** 也變得十分發熱。此一現象，是當煤氣開關開得較小以致使煤氣之輸入量變得較少時，方告發生。此時，即有二種效果產生：一方面是使得煤氣—空氣混合物在 **c** 管中的流動速度減低，另一方面是使得混合物本身的空氣含量增高。現在我們也可以來談一談**燃燒速度**，而我們所謂的此一燃燒速度，其燃燒乃是限於導向某一特定處所，而且是由氣體與空氣之混合物所傳播出去的。實驗告訴我們，煤氣與空氣在適當的混合比例下燃燒時，會產生高速度的爆炸現象，這也就是當煤氣中的氫元素，與空氣中的氧元素，以 $2:1$ 之比例混合而成爆炸氣的時候。本生燈的“回擊”，就是屬於這種情形。當爆炸性氣體混合物的流動速度（順從噴嘴至本生燈管口之方向），較其燃



第 366 圖 本生燈

- a. 橡皮管接頭 b. 噴嘴
- c. 混合管 d. 側面開孔
- f. 開閉閥

燒速度（順從本生燈管口至噴嘴之方向）爲小時，則本生燈之火焰即向後回擊。祇要我們將空氣開口 d 關閉住，則雖在煤氣輸入量較少時，亦無此一現象發生。

〔228〕**人與動物之體熱** 在人與熱血動物之體軀內，進行着一些化學變化，這也就是產生體熱之原因。人類腋下之平均血液溫度爲 36.9°C 。不受氣候及季節影響之體熱，有其氧化或燃燒作用上之根據。呼吸時輸入肺中之空氣，將其中一部份之氧氣，移轉與血中浮動之紅血素。而我們所吃的含有碳素的營養物，即作爲其必需之燃料。營養食物的加工精製（溶解）工作，是在消化器官中進行的。從此以後，營養物質就轉入血液之中，再進而至身體各部份，以便在各處與血中帶來之氧氣緩慢地燃燒。氧化過程中所產生之二氧化碳，則由紅血素輸至肺臟而呼出。

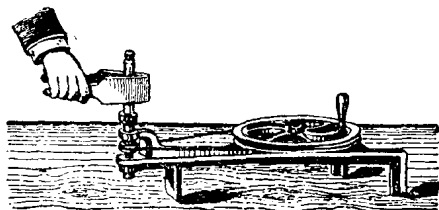
與人類及動物相反，植物從空氣中吸取二氧化碳氣體，將其中之碳留下，而將氧氣放出，至於留下之碳，則用作製造各種碳化合物（澱粉、糖等等）。此一變化，我們稱之爲**同化作用**（參閱本叢書生物部分第二十五講），而是直接受日光之照射後，在葉綠素中進行的。

因此，動物與植物的生活，乃處於互相依賴的關係之中。動物所呼出之二氧化碳，恰巧爲植物營養之所需，而植物吸取二氧化碳以後，則將其中所含有之氧氣，重新歸還給大氣層中之空氣。

〔229〕**以機械功作爲熱源** 極大多數的機械操作過程，都是會生出一種熱效應的。我們要將這些熱效應，分類敘述如下：

摩擦熱 鋸片於鋸木板後，會變得如此的燙手，以致我們無法用手去摸它。當我們用銼刀銼一鋼塊的時候，則銼刀與鋼塊都會變得很熱。從車床上切削下來的金屬切削片，會具有如此之高熱，以致切削片落水時會發出嗡嗡之聲。一輛快行車廂的轉軸，如果得不到足夠的潤滑，就會因摩擦而發熱。如果我們將一根編結用的針，放在拇指和食指中間來回摩擦，則將熱得使手指燙傷。一根頂端塞住而內部裝入醚液的黃銅管，倘被放在離心迴轉機的迴轉軸上（第 367 圖），而獲得快速迴轉，同時，我們倘用一木夾將此管夾住，而使其發生摩擦，

則如此所產生之熱量，將會使得醚液很快地蒸發並將栓塞如爆炸似地突然飛出。我們也可以使二塊冰塊，在 0°C 以下的溫度，由於彼此相互摩擦而融解。在所有到此為止業已敘述過的例子中，都是由於摩擦而生熱。除開這些例子以外，我們還可以任意找出更多類似的其他例子。



第 367 圖 醚液由於摩擦熱而獲得快速蒸發

撞擊熱 倘若我們將鉛丸裝入一根封住兩端的硬紙板長管中，然後重複倒置使鉛丸下落，則亦能使其發熱。與此相似，我們也可以將水銀或水，裝入一個容器中，然後劇烈搖動而使其發熱。河水在流經較大的瀑布以後（德國的萊茵瀑布，美國的尼亞加拉瀑布），其溫度會較前略高。裝鉛的步鎗子彈，如果碰射到一塊鐵板，就會發熱熔融，以致使鉛液四散。當炮彈射中一個目標的時候，由於撞針撞擊的效果，會引發炮彈中的火藥（撞擊引信）。所有這些例子告訴我們，凡是物體於運動中突然被阻擋的地方，就會發熱。

變形熱 倘若我們將一根已淬火而無彈性的粗鐵絲，夾在老虎鉗口上，然後快速地往復撓折，直到折斷為止，則在斷處就會發熱。硬幣在壓製時，一塊鉛或一根鐵絲在被用鐵鎚打平時，都會顯出發熱的現象。當固體的變形超過彈性極限而不能再自動回復到原來形狀的時候，也會有這種現象發生。

壓縮熱 隕石乃是地球以外的質體，被地球所吸引後，便以極大的速度墜入大氣層，生出強熱而發光，有如下墜的星球。因此，我們稱之為流星。不用說，一大部份熱量之產生，是由於隕石前端附近之空氣，受着強力壓縮之所致。腳踏車空氣泵浦之活門開口會變熱，如果我們將空氣打入內胎，這也就是說，如果我們將空氣予以壓縮的話。無論何處，祇要空氣或氣體受到壓縮，就會生熱。

現在最關重要的，就是下述這一認識：所有直到現在為止而業已敘述過的由機械作用發熱的例子中，總有機械功被消耗掉。所以機

機械功就是產生熱量的原因。這一關係可以很容易從摩擦作用中體驗出來。摩擦（第十講第137節）是運動的阻力，而此阻力則非由一沿着某一位移而作用的力，這也就是說，由機械功（功＝力×位移）來克復不可。爲了要使運動加速，此一消耗之功就要受到損失，但因此却獲得熱量。即使在其他各種曾予列舉的操作過程中，其所作用之機械功，亦都會轉變爲熱。在變形熱與壓縮熱的例子中，我們必須做功，才能使物體變形或受壓縮。在撞擊熱的例子中，功之作用，乃是使物體由靜止狀態轉爲運動狀態，或是在物體墜落之先，將其舉起。關於這一點，我們以後還要詳細加以觀察。總而言之：熱是由於機械功之消耗而產生的，或是說，機械功可以轉變爲熱。

物質動力論（第十一講第145節），很容易將此類熱之產生，解釋明白。凡是摩擦、撞擊、加壓、壓縮等作用，均能促進分子運動，使其更爲活躍，這也就等於是一種溫度的增高。由於各種機械作用所引起而看得到的外在運動，現在都轉變爲看不到的分子運動，使我們能從熱的現象中，感覺到它的存在。

如同邁爾（R. J. Mayer, 德國之醫生及物理學家，1814—1878年）初次所發現的一樣，每當產生熱量的時候，其所消耗之功，恒與熱量成一定之比例，亦即 427 米仟克之功與 1 仟卡熱量之比（機械功是以米仟克來量度的。例如，要在 1 米位移之中，克復 1 仟克之摩擦阻力，就必須要消耗 1 米仟克之功）。此一比數，亦即是指出 1 仟卡之熱量相當於多少米仟克之功的一種當量，我們稱之爲**機械的熱當量**。對於這一點，我們以後還要詳加討論。

〔230〕**取火之準備** 取火的歷史昭示我們，直到現在爲止，我們所利用的熱量，都是用機械功來產生的。最早的生火方法，乃是**鑽木取火**。這個方法的步驟如下：取一根軟而容易着火的木棒，放在硬木墊板上，使其迅速旋轉，直至其尖端發生摩擦熱而燃燒爲止（第 368 圖）。除去這一種原始方法以外，還有一些民族，用的乃是**打火**的方法。這種方法



第 368 圖 墨西哥人的鑽木取火

的步驟如下：用一塊鋼（取火用鋼塊）來撞擊一塊石頭（打火石），使其發生火花。此種火花乃是從鋼塊上被打下來的紅熱細屑，與引火物相遇而發生的。這種打火方法，是從後石器時代以來，就已爲人所熟知的。古老的日耳曼人，報告過一種特殊的生火方法。在冬節的時候，他們在地面上打下一根櫟屬的硬木柱樁，其上放置一轉輪，使其旋轉不停，直至自動發火爲止。於是新的爐灶之火，遂從此一火焰取得。現代化打火機，都是用一種鈰（Ce）和鐵所製成的合金作爲衆所熟知的引火石，使其與鋼輪相摩擦，而有細屑跳出。這些細屑，由於摩擦熱而獲得高溫，乃成爲發光的微粒，因此而能點燃汽油蒸汽或煤氣。

即使是壓縮熱，亦能在打火機中加以利用。所謂氣壓打火機（pneumatischer Feuerzeug），乃是一付附有活塞的小巧氣筒（第369圖）。倘若我們迅速地將活塞推入氣筒，這也就是說，倘若我們迅



第 369 圖 氣壓打火機

速地壓縮空氣，則固定在活塞頂端的火綿，就會着火。

現今我們所通用的火柴，其頂端即含有最重要的氧化劑氯酸鉀（ KClO_3 ）。火柴盒的摩擦面上，是由紅磷以及增加摩擦的玻璃粉等物混和而成。由於火柴頭在這種粗糙面上的摩擦，乃有少量的磷被擦附在火柴頭上。又由於摩擦所生的熱，乃使磷達到了着火溫度，然後在氯酸鉀的幫助之下，引起了爆炸式的燃燒。

[231] 以電流爲熱源 就工程方面來說，直到現在爲止，其發生熱量的方式，還是以煤之燃燒爲最重要。除此以外，由電來發生熱量的方式，也是愈來愈重要了。凡是電流經過每一導體，例如是電燈泡裏面的金屬絲之時，就會發熱。所發生的以卡爲單位的熱量 W ，可用下式計算之：

$$W = 0.24 \times i^2 \times w \times t \text{ 卡}$$

式中之 i 乃是以安培爲單位之電流強度， w 是以歐姆爲單位之抗阻， t 是以秒爲單位之時間。此式之演導步驟，請參閱本叢書之電學部份。