

136927

基本館藏

大連工學院參考用書

物理學教程

Н. Д. Папалекси 主編

第三分冊

Г. С. Горелик 編

劉導豐 譯



大連工學院出版

1952年5月

20.79 33
516/7771 C
TЧ.К
12432

大連工學院參考用書

物 理 學 教 程

Н. Д. Папалекси 主 編

第 三 分 冊

Г. С. Горелик 編

劉 導 豐 譯

大連工學院出版

1952年5月

目 錄

第 三 篇

熱力學和分子物理學

引 言

第十三章 熱力學第一定律

§ 1. 往復機的簡單圖解，狀態的熱力學意義	4
§ 2. 歷史簡述	8
§ 3. 絕熱的密閉器	9
§ 4. 熱力學第一定律	11
§ 5. 內能	13
§ 6. 熱力學第一定律和力學	16
§ 7. 溫度	18
§ 8. 狀態方程式	22
§ 9. 理想氣體	24
§ 10. 理想氣體溫標	27
§ 11. 卡路里，熱功當量	30
§ 12. 蓋呂薩克—焦耳的實驗	31
§ 13. 焦耳—湯姆生的實驗	33
§ 14. 具有活塞的汽缸內氣體的絕熱膨脹和壓縮， 布阿尚方程式	35
§ 15. 熱量	38
§ 16. 是否可以問：物體中有多少熱量呢	40
§ 17. 熱容量，羅伯特邁爾關係式	41
§ 18. 閉合過程，「熱轉變為功」	44

第十四章 熱傳導淺論

§ 1. 熱流量，導熱係數	46
---------------	----

§ 2. 溫度平衡的原始過程	47
§ 3. 周期性的過程，「熱的慣性」	50
§ 4. 熱傳導論的一些概念	52
§ 5. 對流	53
§ 6. 非熱平衡之下的穩定溫度	54
§ 7. 溫度調節器	56

第十五章 分子運動論基礎

§ 1. 熱運動	58
§ 2. 原子和分子	59
§ 3. 熱力學第一定律和分子運動的觀點	61
§ 4. 分子射線	62
§ 5. 分子速度的測定，施忒恩的實驗	63
§ 6. 分布的統計律	64
§ 7. 分子的速度分布的統計調查	66
§ 8. 分布曲線	69
§ 9. 馬克斯韋的分布	70
§ 10. 分子的平均速度和平均移動動能	71
§ 11. 以絕對溫標表示分子的平均移動動能	72
§ 12. 由分子運動論推證理想氣體狀態方程式，亞佛 加德定律	73
§ 13. 混合氣體，道爾頓定律	77
§ 14. 在重力場內分子的分布	78
§ 15. 亞佛加德羅常數的測定	79
§ 16. 平均的自由運行長度	82
§ 17. 氣體的內部摩擦	84
§ 18. 氣體的導熱係數	88
§ 19. 擴散	90
§ 20. 極度抽空的氣體	91
§ 21. 極度抽空的氣體內摩擦和導熱性	93

§ 22. 真空抽氣機	94
§ 23. 江德瓦爾方程式	96
§ 24. 表面張力是親和張力的結果	99
§ 25. 氣體內能	102
§ 26. 焦耳—湯姆生效應	104
§ 27. 理想氣體熱容量，能量對自由度方面的均勻分布	106
§ 28. 固體熱容量（杜隆—比梯定律）	107
§ 29. 對於能量對自由度的均勻分布律的批判	108
§ 30. 自由度可以生長或萎縮	110
§ 31. 普朗克定律，量子論	111
§ 32. 熱容量的量子論，固體熱運動是彈性波動的疊合	113

第十六章 相的平衡和轉變

§ 1. 相的意義，初步敘述	117
§ 2. 液氣系統的平衡，平衡的壓強	117
§ 3. 「氣體」和「蒸汽」	121
§ 4. 液氣系統的內能，蒸發熱	122
§ 5. 由分子運動觀點來看蒸發和凝結	123
§ 6. 沸騰	126
§ 7. 為何當 $F(T)=P$ 時液體才沸騰？	129
§ 8. 為何在沸騰時液體不更熱起來？	131
§ 9. 過熱現象	132
§ 10. 核粒上的凝結	134
§ 11. 液氣雙相系統性格的一般敘述	137
§ 12. 非穩定狀態	140
§ 13. 臨界點，由氣相狀態到液相狀態的連續性轉變	142
§ 14. 液氣系統和江德瓦爾方程式	146
§ 15. 臨界溫度很低的氣體的液化	150
§ 16. 固相和液相間的平衡，融解，結晶	152
§ 17. 固相液相和氣相的 T_p 總同	155

§ 18. 固相互相之間的平衡	156
§ 19. 第二類相變	158

第十七章 熱力學第二定律

§ 1. 第二類永動機問題	159
§ 2. 單熱源的氣體原動機是可能的嗎?	160
§ 3. 沒有將功轉變成熱的極限情形	163
§ 4. 不可逆的實際過程和極限的可逆過程	164
§ 5. 因摩擦而引起的不可逆性	165
§ 6. 擬靜力學的過程	167
§ 7. 雙熱源的簡單熱機	168
§ 8. 迦爾諾循環	169
§ 9. 可逆閉合過程性質的淺述	171
§ 10. 迦爾諾定理	172
§ 11. 熱力學溫標	174
§ 12. 熱力學溫標和理想氣體溫標的契合性	176
§ 13. 熱度	178
§ 14. 熱力學第二定律	178
§ 15. 熵	181
§ 16. 熵圖的繪製	182
§ 17. 作為研究工具的熱力學第二定律	183
§ 18. 應用熱力學第二定律於物體的膨脹和壓縮	184
§ 19. 服從汪德瓦爾方程式的物質的內能	187
§ 20. 克拉貝倫—克勞修斯公式	189
§ 21. 馬克斯韋定律	190
§ 22. 液氣雙相系統的平衡壓強和其分界面曲率的關係	192
§ 23. 應用熵圖於不可逆過程的研究	193
§ 24. 不可逆的閉合過程的效率	194
§ 25. 趨向於熱力學平衡時熵的變更，克勞修斯不	196

第三篇

熱力學和分子物理學

引 言

研究力學（本書第一篇）時，不但涉及關於一物對另一物的相對運動的問題，也提及有關物體內部的狀態變更的問題。比如，想要知道藉同一繩索如何可以使駁船有不同的加速度，就會發現當繩索變形（伸長）愈甚時，加速率也就愈大，類此的問題亦須提出解決。力學研究物體狀態的變更（諸如繩索的伸長，氣體的收縮，液體膜面的縮小等等），認為物體內的機械應力是由物體的形狀所決定的（如氣體的壓強由氣體體積所決定，及其他）。

由觀察自然界得知，除了前已熟悉的物體狀態的變更外，還有很多別的狀態變更的樣式，諸如蒸發，凝結，磁化，化學反應，碳素反應（如金剛石內的碳素）等等。再者，上述那些狀態的變更（如伸長和收縮）實際上也比在力學中所規畫的複雜得多；同一體積的氣體，其壓強可以有很大的變更範圍，鋼條不受拉力時，其長度也可增加。物體狀態的變更（力學中業已講過的以及其他的），如像不受拉力的鋼條的伸長，洒在手上的乙醚的蒸發，腳踏車打氣筒內空氣的壓縮，變壓器鐵心的磁化，燃料的燃燒等等，一般說來，都具有引起『熱的』感覺的切實意義。物理學中以一致的觀點考究物質狀態的所有各種變更的一部門，冠以**熱力學**^①的名稱，其原因在此。物理學中建立於同一目的的另一部門，則稱為**分子運動論**。熱力學和分子運動論的區別，在於它們所從出發的觀點不同和它們所運用的方法不同。

分子運動論發軔於一種看法，即物體是由大量的微粒（分子和原子）所構成的。一立方厘米的大氣約有 3×10^{19} 個分子數目；一個物

① 西文出自古希臘文 θερμα 意為放熱或加熱。——原文

體即使是在靜止中，其分子原子却還是作迅速雜亂的運動的。分子運動論的目標是要把從實驗直接觀測到的物體性質（壓強、溫度、折射率，磁化強度等），解釋為物體內微粒間相互作用的總和。於此，它引用了統計學的方法，不注意個別質點的運動，而只注意表徵大量質點集體的運動的一些平均數量。因此，分子運動論的另一名稱是**統計物理學**。

反之，熱力學不以說明物體狀態變更的內部機構為其任務。熱力學的一些定律，是用來從實驗所得的統察的諸量間關係，直接引申出別的統察的諸量間關係，而不顧及分子和原子。（一種量，以大量的分子原子集體視為一體而表徵其性質的，稱為統察的量，例如液體的流動速率，鋼條的變形，溫度，折射率等等。反之，一種量，例如分子的速率，原子的徑度，就不是統察的量，常稱為微察的量。）比如，由實驗得知橡皮筋在冷卻時伸長，由熱力學原理可以推斷出（業經實驗證實），拉長橡皮筋就使它變熱。橡皮在冷卻時而不在加熱時伸長的事實和橡皮分子結構的特殊性，二者之間有什麼聯繫，這不是熱力學的事情，而是分子運動論的課題。

以不同的觀點討論物質狀態的變更，熱力學和分子運動論是互相充實而且一致的。

在作進一步的陳述之前，有兩點必須提起注意：

1. 在本書中，『熱力學和分子物理學』篇因為排列在電磁學和光學的前面，所以不得不將有關本篇的電磁學現象光學現象的資料撇開不加引證（這些資料詳見第二卷各篇中）。熱力學和統計學對於物體的電性和磁性、電池的變化過程、光的輻射散射等等的用處，並不比對於物體膨脹、融解、蒸發等等的用處更不重要，這是必須強調的。此外，熱力學和分子物理學對於化學現象有多麼大的用處也不提及，這些將在物理化學或化學物理的專門教程中論及。

2. 熱力學的陳述方式很分歧，至今還可見於各種物理教科書中。目前首須就已知的，作熱力學基本陳述的嘗試，使其具有邏輯結構的清晰性（儘管不是全面的）。這一邏輯結構出自卡拉台沃多利（1909）和 T. A. 阿凡那西也夫——埃倫費斯特（1928）的名著，其主

要形式表現在兩方面。第一、熱量的概念不成型於熱力學第一定律^①的陳述中，却作爲一個引中的概念而出現。第二、在可逆過程的對稱性（由熵的**存在**表示之）和熵的**增值性**（在熱力學平衡的達成中）之間作一明確的分界。照阿凡那西也夫——埃倫費斯特的說法，這兩個在邏輯上無關的主題的全體不稱爲熱力學第二定律而祇取前一主題爲熱力學第二定律。這種革新可能不會立刻獲得某些人的同情，他們已經習慣於歷來相沿的說法了，不過我們以爲如果充分運用了講授的才能（這裡無從判斷能够推進多少），這種革新對於物理學教程中最難的一部門的真實了解，將會有很大的裨益。

① 原文 *принцип* 應譯成原則，茲按我國習慣在此處譯成定律，——譯註

第十三章 熱力學第一定律

§ 1. 往復機的簡單圖解。狀態的熱力學意義。從往復機的簡單圖解分析一下往復機的動作，就不難瞭解到，物體狀態的變更的熱力學意義和物體狀態的變更在力學中簡化了的意義，二者之間有何區別；也不難瞭解到，這簡化了的意義為何在許多場合中必須加以揚棄。

如圖 250 所示，在氣缸中原已壓縮的氣體，膨脹起來，推舉活塞而作功，此功轉變成飛輪的動能。

氣體的壓強因膨脹而變更，這種變更常藉『示狀圖』描述之。以橫軸表氣體的體積 V ，以縱軸表氣體的壓強 p （圖 251）。氣體由體積 V_1 膨脹到體積 V_2 ，它所作的功 A 可用圖形 $MABCN$ 的面積表示



圖 250

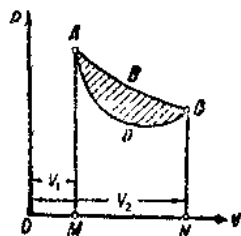


圖 251

($OM = V_1$, $ON = V_2$)，或用下一分析式（第八章 § 7）表示，

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV,$$

此處標號 ABC 指被積分函數的圖形是曲線 ABC ，以 A 和 C 的橫坐標作積分的上下限。

若無摩擦力，飛輪所得的動能等於功 A 。

設體積 V_1 相當於活塞的最高位置，體積 V_2 相當於活塞的最低位置，當體積由 V_1 膨脹到 V_2 時，飛輪就轉過半周。此後，飛輪因已獲得動量，將繼續旋轉，活塞開始下降。

先假設在活塞的去程和回程中，對於每一體積的數量只有一個壓強的數量與之相應。如此，在示狀圖上，去程和回程就只用一個曲線 ABC 表示。

氣體在壓縮時，相當於活塞的回程，氣體體積由 V_2 變到 V_1 ，所作的功 A' 是負的，其絕對值仍等於面積 $MABCN$

$$A' = -A = \int_{CBA} p(V) dV。$$

結果，飛輪在一次全旋轉中，動能的增加是零；飛輪在活塞的回程中把在活塞的去程中所獲得的動能全部失去。如果有阻止飛輪旋轉的力（有用的阻力^①，摩擦力），而飛輪在最初已具有若干動能，則見飛輪每旋轉一周，其動能就減少一些，直至停止旋轉。即雖不計有用的及有害的阻力，往復機氣缸內氣體的交替的膨脹和壓縮也只好維持飛輪的旋轉。

因此，上述裝置中回程的示狀曲線若和去程的示狀曲線相合，這裝置就不能當作原動機使用。但，若回程的示狀曲線比去程的示狀曲線稍低（比如圖 251 中，回程是 CDA ，稍低於去程 ABC ），亦即對於同一體積，去程中相應的壓強稍大於回程中相應的壓強，那末，這裝置就可以當作原動機使用。

因為，氣體在壓縮時所作的功，其絕對值（面積 $MADCN$ ）小於氣體在膨脹時所作的功（面積 $MABCN$ ），飛輪在旋轉一周中得到了淨功（由圖 251 中畫有斜線的閉合圖形的面積測定之）。一次往復中活塞所作的功是

$$A + A' = \int_{ABC} p_1(V) dV - \int_{ADC} p_2(V) dV。$$

此處被積分的是不同的函數 $p_1(V)$ 和 $p_2(V)$ ，由示狀曲線 ABC 和 ADC 分別表示之。因此，這一裝置若在膨脹中比在收縮中具有較大的壓強，這一裝置就可當作原動機使用。

試問這種情形實際上可否存在？

按照彈性變形的力學意義，彈性力是由形狀所單義地決定的（第七章 § 2）而液體或氣體的壓強則更是由其體積所單義地決定的。如果這完全符合事實，作為原動機使用的工作裝置就成為不可能的了。幸而，彈性力和變形間單義的相關性只是一個簡化了的理想的假定。

① 有用的阻力指外加的阻力。——譯註

有時，比如在推定彈簧或鋼樑振動的固有周期時，這假定並不引起嚴重的差誤。可是，在許多的場合中，尤其在談到往復機的時候，這假定就非得拋棄不可。實際上，體積一定的物體確可具有不同的壓強，而具有一定壓強的物體也可有不同的體積。

例如，取一個驗溫器——具有水平細頸的玻璃泡，頸內有一小段水柱（圖 252）。用手握泡，則見原已呈平衡而靜止的水柱向右移動，達到新的平衡位置而靜止。水柱在前後二平衡位置時，玻璃泡內的空氣的壓強都等於大氣壓強。因此，泡內空氣的壓強未變而其體積則改變了。

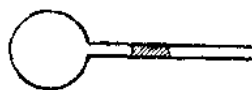


圖 252

再作另一實驗。將這玻璃泡的細頸插入一杯水內（圖 253），以手握泡，泡內空氣就有一部分成小氣泡自頸口逸出。將握泡的手拿開，管內就有水上升，杯內和管內水面高度之差，正比於泡內空氣壓強和大氣壓強之差。今再以手指接觸玻璃泡，頸內水面將下降，如欲使管內水面和管壁的相對位置不變，則勢必將頸更深地插入水中才成。因此，泡內空氣體積未變而壓強業已增大。

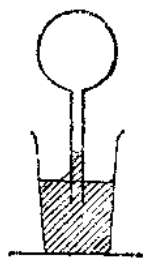


圖 253

同樣，若把活塞固定在一定的位置，將氣缸包以沸水，則氣缸內空氣的壓強增大。將氣缸放在冰上，則氣缸內空氣的壓強減小。因此，比如當活塞上升時將氣缸和沸水接觸，下降時和冰接觸，這就可以使膨脹在較大的壓強下進行，使壓縮在較小的壓強下進行。（實用的往復機當然不是如此的；不過使工作物質在較大的壓強下膨脹在較小的壓強下壓縮，則是一切往復機所同具的特點。）

類此的觀察引出一個結論，即事實上物體的體積不能決定其壓強，而物體的壓強也不能決定其體積；體積和壓強的變更可以互不相關。這一基本事實的提供，顯示了不同於力學的熱力學特點。

凡下所述，除非特別聲明，都認為物體中各處的密度或壓強相同（比如，在管子裡的氣體，若有聲波而波長比管長小，就不是如此的了）。由實驗得知，若物體的體積 V 和壓強 p 保持不變，則在或久

或暫的時間後，該物體將達成一種狀態，其時物體內部所有各種統察的運動（如流動，振動）都停止下來，而所有的量（標誌着由統察所觀測到的該物體的性質，如磁的性質光的性質）也都有十分確定的數值且和 V 、 p 有關。這樣的狀態稱為穩定的狀態。以後凡是說到物體的狀態，除非特別聲明，都指穩定的狀態。物體的每一穩定狀態，在物體的 V 、 p 平面上都有一點和它相應。

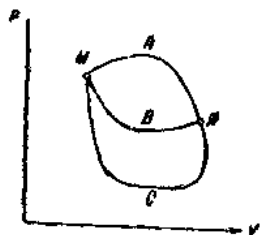


圖 254

物體由一個狀態過渡到另一狀態，比如由狀態 M 到狀態 N （圖 254），可沿不同的『途徑』進行，即可以經歷不同系列的中間狀態；曲線 MAN 、 MBN 、 MCN 表示了一些途徑。若 V 、 p 平面上某途徑業已規定好，在這途徑上的 V 和 p 就不再是自變量；在這既定的曲線上， p 是 V 的一個既定的函數。

不同的曲線規定不同的函數。物體因由狀態 M 過渡到狀態 N 而作的功，顯然和過渡的途徑有關。

處理多個物體的系統（集體）時，若要說明這系統的狀態，當然要列舉這系統中每個物體的狀態（如體積壓強）。

前面故意不提『較熱』『較冷』『加熱』等等的字眼。這些字眼用於日常的語言中，是爲了表達『冷的或熱的』感覺，而這種感覺即使在示性上也十分不可靠。比如，把手先放進一杯水內，再放進另一杯水內，可能覺得第二杯水比第一杯水『冷些』；但如果把手放進第一杯水內後，先插到雪裡再放進第二杯水內，就會覺得第二杯水反而比第一杯『熱些』。此外冷熱的感覺很粗疏且只有很小的範圍，太熱太冷就會引起疼痛的感覺，從來沒有人建議靠冷熱感覺來研究液體空氣或熔化的鋼的。以後（§ 7）將藉一個十分單純的定義引出和冷熱感覺無關的『溫度』的概念（正如聲音的高低有和聽覺無關的定義，參看第十二章 § 17），由這概念，『較熱』『較冷』等等字眼就可以有了十分確切的物理意義。到了那個時候，就可以把前面所述的作出一個合乎邏輯的結論：要想把圖 250 的裝置當作原動機使用，氣體在膨脹時必須一般地比在壓縮時稍熱一些。

在給溫度的物理定義以前，爲了閱讀方便起見，偶爾也在描述實驗的事實時訴諸冷熱的感覺，但在論辯中和重要陳述中則不藉用冷熱的感覺。

§ 2. 歷史簡述。照十九世紀前半葉一般流行的看法，熱現象起源于一種特殊的質料，稱爲熱料或熱質，它和通常的物體混在一起。那時認爲對於這種質料也有一個熱的守恆定律，和通常物質的守恆定律並行，即這質料和通常的物質一樣是不生不滅的。

熱質論的特性如下：物體裏的熱質越多，物體就越熱（正如，湯裏的鹽越多湯就越鹹）。熱質要從較熱的物體跑到較冷的物體裡去；比如拿火燒水，熱質就要從火焰穿過容器的壁跑到水裡。熱質從較熱的物體跑到較冷的物體裡時也可能作功；正如，水從堰壩的高處流到低處時，能够推動水磨或渦輪機。

人們對於熱質的信念，被著名的摩擦生熱的現象的縝密研究所中傷。熱質論會解釋過這種現象，說熱質可因摩擦而從物體的原子間的空隙裡擠出來，和擠出海綿裡的水一樣，說得確切一點，就是儘管被摩擦的物體裡含有的熱質的量未變，可是它的熱容量却減小了，因而顯得熱了一些。

例如達維的著名實驗就反駁了這種看法。達維指出冰塊和冰塊互相摩擦時冰就可以化成水。在這實驗中，冰化成水並不要『較熱的』物體的參與，即毋須『熱質的輸入』。這樣的水，和冰在火上燒化了的水，並沒有什麼不同，而且更具有同樣的熱容量。但當冰被火燒化成水時，冰却『吸收了熱質』（融解的潛熱），因而水比冰『包含了較多的熱質』。那末，達維的實驗就說明了物體所具有的熱質的量，可以不需外界的輸入而自行增加，換言之，熱質的總量並非守恆不變的。於是，熱質論的基本觀念就垮台了。

除了熱質論，早已有了另一完全別緻的看法，即對於熱現象本質的分子運動的看法。十七十八世紀中，許多著名的學者如波義耳，顯克，洛曼羅索夫，柏努禮等，曾給這一學說作了很大的貢獻。他們認爲引起了熱現象的，不是因爲有那種特殊的質料，而是因爲有一種運動，即一般物質中那些看不見的質點的運動；物體的質點的運動越猛

烈，物體就越熱；正和倫福德所說的一樣，鈴鐺搖得越凶就越響。

到上世紀第四十年代，以羅伯特邁爾和焦爾的創作為主，終於認定了那視為物質的熱料或熱質是不存在的；並由此發現了熱力學的第一定律，內容詳於後節。此後又過了很久，熱力學第一定律的縝密的邏輯的分析指出了（卡拉台沃多利 1909 年），甚至那特別的物理量即『熱量』的引用，也是不必要的。不過有些業已廢棄的學說中的術語，壽命往往會比它原來的學說的壽命長些，這在科學史上倒是常見的事；『熱量』『熱容量』等等名詞，今後仍將採用。

熱質論的死滅和熱力學第一定律的發現，是科學史上的大轉機之一。熱力學第一定律成了能量守恒的普遍定律，概括着所有物理學化學生理學等，對所有自然科學的發展都有重大的影響。它高度地加強了分子運動論的說服性，這一理論在二十世紀初葉獲得了決定性的勝利，開創出新而有力的觀察方法。

§ 3. 絕熱的密閉器。在述及熱力學第一定律以前，先要介紹絕熱的密閉器的概念。

下面所談的物體，是指包封在不讓物質穿透過去的『密閉器』內的物體；例如封閉在容器內的液體，具有緊密活塞的氣缸內的氣體等等。前曾提及（參看『引言』），電磁現象將不予考慮；因此處於密閉器中的物體的狀態變更，若是起因於在密閉器之外的物體對這物體直接作用的力，如像磁鐵吸力等等，這類狀態的變更就不予考慮。

裝在密閉器中的物體的狀態變更，可分成兩類：1. 在變更時密閉器的一部分作機械運動，2. 在變更時密閉器沒有一部分有機械運動。

當往復機氣缸內的氣體膨脹時，密閉器的一部分即活塞發生位移，這是第一類的變更。把活塞釘牢，因火燒氣缸，氣缸內氣體的壓強增大，這是第二類的變更。

用熱質論時代所遺留下的命名法來說，在第二類的變更中，只發生裝在密閉器內的物體和外界物體之間的**熱交換**。^①

熱交換而引起的物體狀態的變更，其快慢和密閉器的性質大有

① 熱交換也可以伴隨着第一類的變更，參看 § 15。——原註

關係。若把盛有冰塊的薄玻璃器皿或金屬器皿移近火焰，冰融化得很快；若用水把冰和火隔開，情形就不同了。比如，在有水的玻璃試管的底部固定住一些小冰塊不讓上浮，把試管的上端移到火焰上，當水

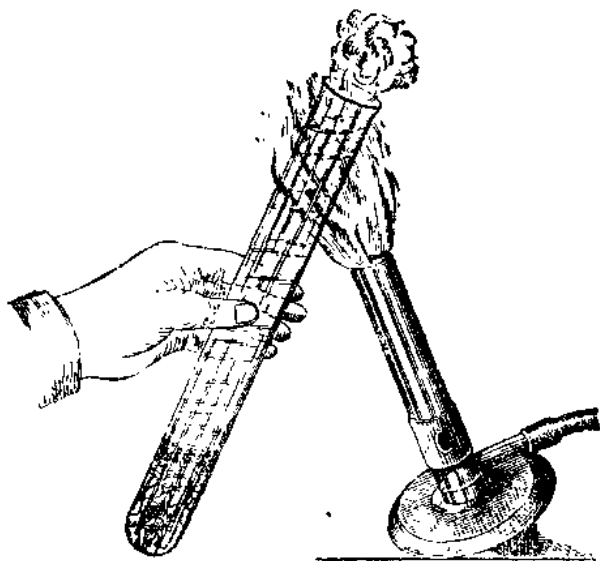


圖 255

已燒得沸騰時，冰塊還不會融化（圖 255）。

改裝一下圖 253 所示的儀器，也可以說明水的這種性質。將玻璃泡插在漏斗裡並傾水入漏斗，使泡上的水層只有幾個毫米厚（圖 256）；水面上加一層笨液並點起火來，儘管火焰很大，玻璃細頸內的水面却可經數分鐘之久而無顯著的變化。如果沒有這『水護套』，只以玻璃泡作氣體的護套，手指的接觸就足夠使細頸內的水面降低很多。

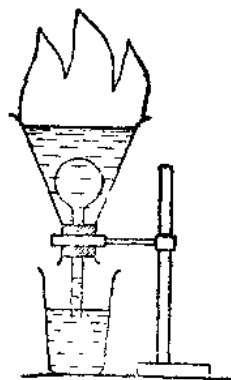


圖 256

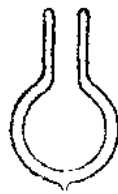


圖 257

如用杜爾瓶^①（簡稱『杜爾』）作密閉器，熱交換所引的狀態變更將進行得更慢。圖 257 示杜爾的截面圖，由兩層玻璃製成，玻璃層內的空氣抽得很空（參看第十五章 § 21），玻璃對着稀薄空氣的表面上噴以銀層。這種容器可用以儲藏液體空氣（真空保溫器就是按照杜爾的原理製造的）。

假使逐步改良杜爾瓶，很可能把裝在裡面的液體空氣保存到幾月幾年乃至無窮的歲月。這一想像的極限的情形，就是理想的密閉器的概念。這種密閉器可以完全不讓裝在它裡面的物體和外界的物體有任何熱交換，以致引起在它裡面的物體的狀態變更，不論經過多麼長的時間。這樣的密閉器稱為絕熱的密閉器。

因此，絕熱的密閉器具有下一特點：置於絕熱密閉器內的物體，其狀態的變更，只可能起因於密閉器的一部分的運動。

在密閉器中的物體，其狀態的變更，稱為絕熱的變更或絕熱的過程。

有時，實際的杜爾瓶、水護套或甚至包圍着物體的空氣等等，都可以在實用上視為和絕熱密閉器差不了多少。這是指着這種情形，即在實驗進行時，在密閉器內的物體，其狀態的變更主要地只是由於密閉器一部分的運動的結果。同一密閉器，有時可視為絕熱密閉器，有時則不可。比如，腳踏車打氣筒的活塞動得很快時，對於筒內空氣狀態的變更而言，氣筒大致可視為絕熱的密閉器；動得很慢時則不然。聲學中對於氣體內聲波的傳播速度，有一初級近似的假定，即氣體中包有任意體積的閉合氣體層，可以視為一個絕熱的密閉器。任意兩個物體間的間壁，若可視為絕熱密閉器的一部分，稱為『絕熱的間壁』。

§ 4. 熱力學第一定律。焦耳的實驗（1843年）對熱力學第一定律的建立，起了很大的作用。

圖 258 示焦耳在許多實驗中所用的裝置之一。水量熱器 K （即盛水的容器）放在可以近似地視為絕熱的密閉器（對這實驗而言）中，密閉器包括包圍水量熱器的空氣，木座腳和支出來的軸柱。水量熱器的內部由垂直的有洞的銅隔片分隔成四部分（圖 259 示其截面），釘在

① 就是家常用的熱水瓶內的玻璃瓶。——譯註