

萬有文庫

第二集七百七種

王雲五主編

物理學概論

(二)

石原純著

周昌壽譯

商務印書館發行

物理學概論
(二)

著 石 原 純
譯 周 昌 壽

自然科學小叢書

第三章 熱力學及分子論

第一節 溫度

由日常經驗，各物體對於吾人感官，可以引起冷熱不同之感覺，即就一物體而言，其狀態亦隨其所引起冷熱感覺之程度而異。例如水冷則凝固成冰，蠟熱則熔化成液，或則蒸發成爲汽，或則發光現爲赤熱，凡此種種，統括之曰熱現象(thermal phenomena)。然論熱現象，若僅憑冷熱之感覺，頗欠精密。譬如同一冰也，以手撫之，有時覺其酷冷，有時又覺其不如是之甚。故在物理學上表示冷熱之程度，即溫度(temperature)，須用一種可



圖二〇八 德勒柏爾之實驗。

表示空氣受熱而生之膨脹

以作成標準之現象，以作比較始能得精密結果。

自古即知物體受熱，則其體積膨大，尤以空氣之膨脹程度最大。一六〇八年德國之德勒柏爾 (Drebbel) 曾作一實驗，如圖二〇八所示。將曲頸玻璃瓶之口，浸入水內，加熱於瓶底，見有氣泡由水逸出。瓶如冷卻，則有水自瓶口進入瓶內。最初欲利用此項空氣膨脹 (expansion) 之現象，造成一種量度溫度之器者，為伽利略。其在一六一五年寄人之書翰中，曾述及此事。是為空氣溫度計 (air thermometer) 之嚆矢。至於用液體代替空氣，造成溫度計之人，則為法國之醫師累冉 (Jean

Rey)，時在一六三

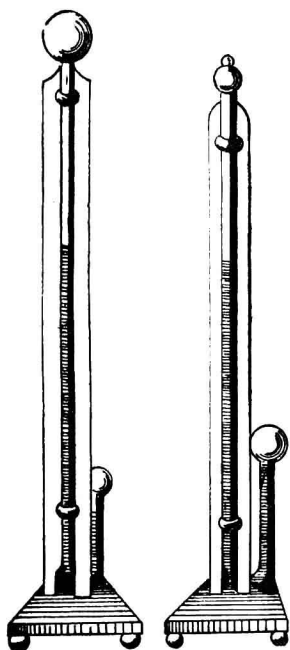
一年。而選定冰開始

熔化之溫度，即冰點，

(freezing point)，

及水開始沸騰之溫

度，即沸點 (boiling



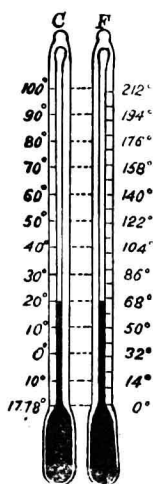
圖二〇九 空氣溫度計。

左為斯圖謨 (一六七六年) 所製之溫度計，兩球均盛空氣，使一球受熱，即由此求出其溫度。

右為同時代之攸邦所製，上部之球為真空。

point) 作為溫度計上之兩定點 (fixed points) 者，則為德國之藍柏 (Lambert)。舊時使用最廣之標度，為華氏標度 (Fahrenheit scale)，係德國之華倫海於一七二四年所定，以水以之冰點作為三二度，沸點作為二一二度，將其間等分為一八〇度。同時又有攝氏標度 (Celsius scale)，則為攝爾修於一七四二年所定，以水之冰點作〇度，以沸點作一〇〇度，而將其間等分為一〇〇度。現今通常使用之溫度計，如圖二一〇所示，為一玻璃細管，下部特別膨大，內盛水銀，將水銀上方之空氣逐盡，然後密封而成。在物理學上所言之溫度，概用攝氏度。例如言人之體溫，在通常之健全者，應在三六度至三七度之間，若在此以上，即非健全狀態，而為發熱狀態。又夏季極暑之時，空氣之溫度較三七度略底，大抵在三〇度內外。

欲知在某一時期中之最高溫度，或最低溫度，則用最高溫度計 (maximum thermometer) 或最低溫度計 (minimum thermometer)。此兩者同為水平之玻璃管，量最高者，內容水銀，水銀頂上而，有一小鐵釘之指標，如圖二一一所示。



圖二一〇

量最低者，內容酒精，在酒精頂面下，有一小玻璃棒之指標。此兩指標，均與管內之液面相接觸，由其位置，可以讀出液面曾經昇到之最高或最低之處，表示其間所歷之最高或最低溫度。

量度人體溫度使用之溫度計，為醫用溫度計 (clinical thermometer)。

如圖二一二所示，亦為最高溫度計之一種。管之下部特別膨大

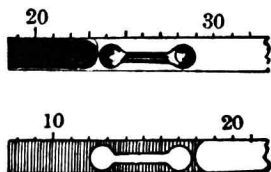
之處，與管相通之一點，製成特別窄狹。當溫度

昇高時，下面之水銀固可由此處通過，昇至上

而。當溫度降低時，業已昇上之水銀，即從此處截斷，仍留原處，不能還其原位，故可

讀出其最高之溫度。此外尚有自記溫度計 (self-recording thermometer)，係用

鐘機關，使一圓筒轉動，而將溫度之連續變化，在圓筒上所捲之紙上，一一記出。



圖二一一 指標。

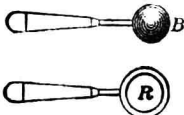
(上)最高溫度計；

(下)最低溫度計。

圖二一二 醫用溫度計



第二節 由溫度而起之體積變化



圖二一三

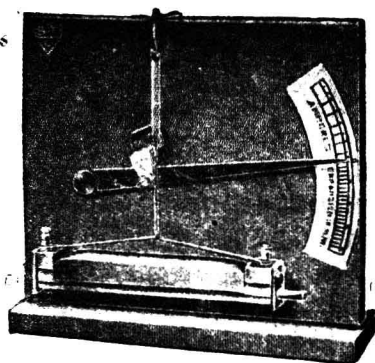
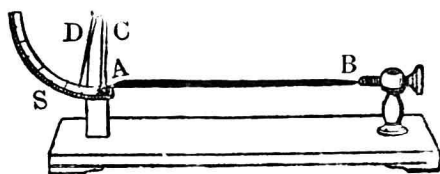
一 固體之膨脹

固體受熱，雖亦膨脹，但程度頗低，膨脹之量極微，故不易於觀測。最初作此項實驗之人，爲意大利之阿加的米亞得耳西門特，時爲一六六七年。其用器如圖二一三所示。爲一環其內恰可容球 $\hookrightarrow$ 嵌過，如加熱於球，使其溫度昇高，即不能通過此環。又如使用圖二一四之器，即可檢查固體之長度膨脹量爲若干。

固體之長度膨脹之比例，大體與溫度差

成正比，換言之，溫度每昇高一度，其長度增加對於全長之比，各物質均各有一定不變之值，與現在之溫度無關。此值通稱之曰膨脹係數 (coefficient of expansion)。

固體之膨脹雖不大，但若須要精密之一定長短時，非特別加以注意不可。例如溫度中之米達



圖二一四
棒因受熱伸長牽動其指針，沿刻度弧而動。

固體線膨脹係數表

物質	膨脹係數	物質	膨脹係數	物質	膨脹係數
錫	2.97×10^{-5}	銀	1.94×10^{-5}	鎳	1.35×10^{-5}
鉛	$2.90 \times$	黃銅	$1.89 \times$	鋼	$1.16 \times$
鋁	$2.42 \times$	銅	$1.71 \times$	鉑	$0.90 \times$
				因乏鋼	$0.09 \times$
				玻璃	0.8×10^{-5}

免却溫度之影響，正當之辦法，須指定此原器上之兩標線間之距離，在某一溫度時，為一米，方免誤差，通常則定為溫度 0°C 時之距離為一米，即一公尺。



圖二一五 補償擺。

c 為銅棒， b, d, e 及 i 為鐵棒。銅之膨脹係數，約為鐵之二倍以上，故若配合適宜，可使擺之全長一定不變。



圖二一六 切開擺輪。

圓環內層 a 為鐵，外層 b 為黃銅，兩者釘合為一，然後截開，使其成為兩半圓。溫度昇高，則黃銅之膨脹較盛，故截斷之口向內部彎曲。再轉動兩端之螺旋，可使附在其上之錘，適宜位置。

原器，即非選用膨脹係數特別小且又極堅牢之物質製造不可。通常此項原器，均用鉑及鈹之合金製成，即由於此。但此種合金，亦不能絕對

又時鐘之擺，亦須有一定不變之長度，其時間方能準確。溫度升高，擺如因膨脹增長，則振動之周期將亦隨之延長，結果將使時針之進行遲緩。表內所用之擺輪，其性質亦同，為輪之半徑增大，則其轉動慣量（moment of inertia）亦隨之加大，結果亦使其進行遲緩。為避免此種影響起見，通常對於擺及擺輪，均用兩種不同之金屬，適宜配合使用，如圖二一五及二一六所示，是為補償擺（compensated pendulum）。又有一種合金名因瓦（invar）係由 64% 之鋼及 36% 之鎳合成，其膨脹係數特別微小，故亦可用之製造鐘表之擺。

火車鐵軌接合之處，及鐵橋之端，均必留有少許空隙，不能封滿。因鐵之膨脹係數遠大於地面，夏日酷暑之時，如無此等空隙，軌道或橋必因膨脹結果而生彎曲，即不堪使用。

固體除長度膨脹，即所謂線脹係數（coefficient of linear expansion）而外，尚有體膨脹，其體脹係數（coefficient of cubic expansion），可由線脹係數計算之。即體脹係數均等於線脹係數之三倍。又中空之容器如玻璃瓶等，受熱膨脹時，可將其內部容積，看作即用玻璃充滿，加以計算，常與實際，大致不差。

二 流體之膨脹

水銀溫度計管內之水銀面，隨溫度而昇，此時水銀固然膨脹，同時玻璃亦有其膨脹，但玻璃之膨脹係數在於水銀膨脹係數之下，故液面即以兩者之差昇高。不僅水銀與玻璃爲然，一般之液體其膨脹係數均較固體之膨脹係數爲大。

液體中以水之膨脹最無紀律，其膨脹係數隨溫度而變，在攝氏四度以下，並成爲負數。換言之，由 $0^{\circ}\text{C}.$ 至 $4^{\circ}\text{C}.$ 之間，不特不膨脹，轉而收縮，超過 $4^{\circ}\text{C}.$ 以後，方開始膨脹，故水之密度以 $4^{\circ}\text{C}.$ 時爲最大。冬季湖水或池水結冰之時，因密度大之冰水，在於表面近傍，而密度最大之 $4^{\circ}\text{C}.$ 之水，均在池底或湖底，故僅限於表面一部分之水結冰。 $4^{\circ}\text{C}.$ 之水，因其密度最大，故質量、重量之單位，及比重之定義，均用之。即一克云者，從精密言之，係 $4^{\circ}\text{C}.$ 之水一立方厘米之質量，而一克之重，則爲其重量。又一切物體之比重，均係對 $4^{\circ}\text{C}.$ 之水而言。

液體之膨脹係數

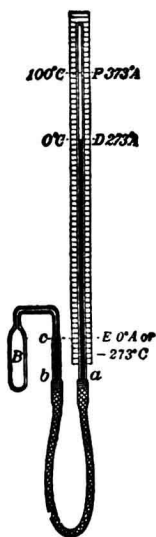
物質	體膨脹係數	物質	體膨脹係數
醚	0.00163	甘油	0.00050
烱	0.00124	水銀	0.00018
醋	0.00110	水 (20°)	0.00018
石油	0.00092		

亦不待言。

氣體之容積變化較液體更為顯著，最初製造溫度計所利用之物質即為空氣，由此一點已足知之。法國之查理 (Charles) 於一八七七年取各種氣體一一加以實驗，發見其膨脹係數恆一定不變，與氣體之種類無關。其後於一八〇二年，再經給呂薩克 (Gay-Lussac) 加以精密之檢查，結果量得各種氣體溫度每升高 1°C ，則其容積膨脹之量，等於在 0°C 時之容積之 $\frac{1}{273}$ 。

一方面氣體如受壓力作用，則其容積當生收縮。故當溫度升高之時，如保持其容積使成一定，即可測得其壓力之增加。如第二一七圖所示之器， S 內容氣體，周圍用冰包圍，其次改用沸騰之水蒸氣包圍，提高或降低導管內之水銀面，移使其左端管內之水銀面，恆與一玻璃針之尖端相接觸。即恆在 O 點上。由左右兩管中之水銀面之高差，即可算出其內之壓力增加為若干。

試命 S 表 0°C 時之容積 S 。表其壓力。假定保持 S 之值，使其不變，而將其溫度



圖二一七

由 0°C . 升高至 $t^{\circ}\text{C}$. 則其容積之膨脹應爲 $v_0 + v_0 \alpha t = v_0(1 + \alpha t)$ 。此中之 α 表膨脹係數。其次再假定保持溫度 t 之值，使其不變，而將其壓力由 p_0 變至 p ，因此其容積亦不得不變，以 e 表之則由波義耳定律得

$$pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$$

此式表氣體之壓力、容積及溫度間之一般關係，通稱之爲波義耳查理定律。(Boyle-Charles' law)。

假使 α 之值確等於 $\frac{1}{273}$ ，並無少許誤差，又假使上述之波義耳查理定律對於任何情況均可完全適用，則當溫度 t 成於 -273°C . 之時，與之相當之容積 e 應成爲零。通常即以此 -273°C . 之溫度，定爲絕對零度，(absolute zero) 而由此計算之溫度，則稱爲絕對溫度 (absolute temperature)。(參照本章第八節及第九節) 以 T 表之，即 $T = 273 + t$ ，故波義耳查理定律成爲

$$pv = p_0 v_0 \left(1 + \frac{1}{273} t\right) = \frac{p_0 v_0 T}{273}$$

或作

$$\frac{pv}{T} = \frac{p_0 v_0}{273}$$

右端之 $P_{0.0}^{273}$ 之值，對於各種氣體恆有一定不變之值。

又溫度 0°C ，壓力等於一大氣壓即等於水銀柱高 76 厘米時，稱為標準狀態 (standard condition)。

第三節 熱量及比熱

觀測溫度變化之各種現象，而加以研究之時，除用表示冷熱程度之量，即溫度而外，尚須使用另外一種概念，是即熱量 (Heat)。受熱後之物體，放在空氣中，當漸次冷却。最初對於此現象加以研究者，為牛頓，時在一七〇一年。當時曾假定冷却之速度，與物體溫度及周圍溫度之差為比例，又與物體之表面積為比例。其後更經多數之人，繼續研究，發見物體受熱或冷却之速度，隨物質種類而異，水銀較其他之輕液體為速，銅、黃銅、鋅之類，較其餘各種金屬為速。惜當時對於溫度與熱度之差別，尚未明瞭，甚至有信除熱量而外，尚有一種冷量存在者。闡明溫度與熱量之關係者，為英國之布拉克 (Black)，時在一七五七年。



圖二一八 布拉克。

有之熱容量 (thermal capacity) 各不相同。

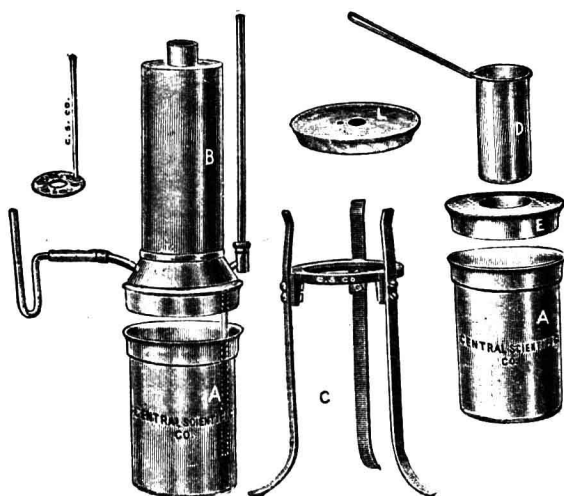
布拉克之思想，在今日固視為當然之事，但在當時，實不能不謂為卓見。又風之本身並不寒冷，乃人體中之熱，為空氣取去所致；皮裘本身並不溫暖，乃人體中之熱，為其保留，故不覺寒。此等解釋，亦出之布拉克。

使水一克之溫度昇高 1°C ，所要之熱量，取作熱量之單位，稱之曰一卡 (calorie)，其 1000

互相接觸之物體，具有成為等溫之傾向，由於熱量欲成平衡使然。但各物體所具有之熱量各不相同。例如 40°C 之水，與 60°C 之水銀，以等量混和時，其混合後之溫度，並不成為兩者之平均值，即 50°C ，而等於 40.6°C 。此時水所取得之熱量，當然非等於水銀所失去之熱量不可。由此可知同一質量之水，與同一質量之水銀所具

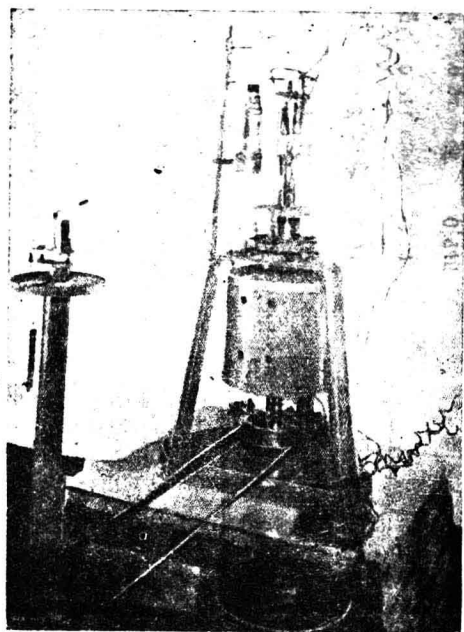
倍曰一仟克卡。(kilogram calorie)又使各種物質之溫度升高 1°C 。所須要之熱量，與使等量之水之溫度升高 1°C 。所要之熱量之比，曰各物質之比熱。(specific heat)各物質之比熱如下表：

鉍	0.029	玻璃	0.19	水蒸氣	0.329
銀	8.055	醋	0.58	錫	0.052
鎳	0.106	空氣	0.169	鐵	0.105
汞	0.033	鉑	0.032	木料	0.7
炭酸氣	0.155	鉗	0.092	汞汽	0.75
金，鉛	0.031	鋁	0.214	氫氣	2.37
銅	0.091	海水	0.94	氫	0.745



圖二一九 卡計。

受熱之物體投入水中，由溫度之升高，以量度其熱量。



圖二二〇 精密之卡計。

最近新金山 (melbourne) 大學
測定熱功當量時使用之儀器。

表中關於氣體者，係就一定容積之比熱而言。

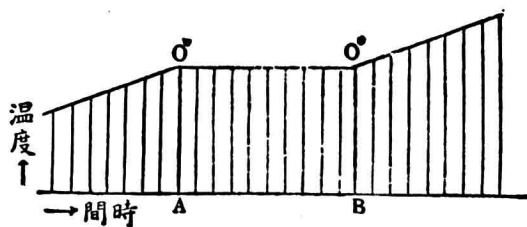
由表可知，大多數之物質，其之比熱值均較一小，其中以水之比熱為最大，即受熱固不易，冷却亦較難。由此可知，通常用水使其他物體冷却，及利用沸騰之水使其保留其熱量，均極便利。海岸地

方，氣溫變化不大，反之，山地之氣候，則變化極易，亦由於此。

第四節 由溫度而生之狀態變化

一 熔解及凝固

冰熔則成水，水凝則成冰，此為日常經驗之現象。布拉克對於此等現象，曾加以詳細之實驗研究，其結果如下：試將一溫度計插入冰塊中，放在溫暖之處，即見其溫度升高甚速，但升至 0°C ，即暫時停止，不復再行昇上，直至全體之冰，盡化為水為止，溫度計所示之度數，決不轉變。全體之冰悉成為水以後，溫度又漸次升高，其狀況圖如二二一所示。當此期間之中，冰塊由其周圍同樣得熱，設將冰塊懸住，即見有寒冷之空氣，自其下方不絕流過，不問冰塊溫度在 0°C 以下，或 0°C 以上，及保持 0°C 之期間中，均如此。由此可知，當其保持一定不變之 0°C 。



圖二二一