

新 中 學 文 庫

物 理 學 概 論

第 二 冊

石 原 純 著

周 昌 壽 譯

商 務 印 書 館 發 行

自然科學小叢書

# 物理學概論

第二冊

石原純著  
周昌壽譯

王雲五 周昌壽 主編

商務印書館發行

## 第二章 熱力學及分子論

### 第一節 溫度

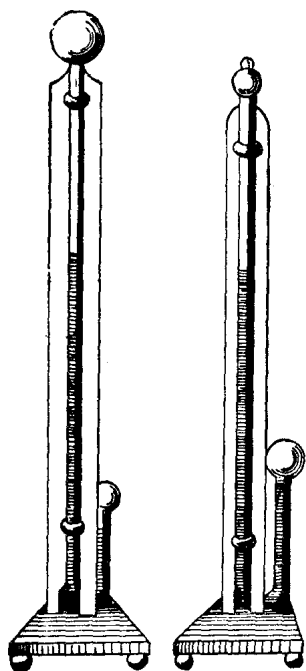
由日常經驗，各物體對於吾人感官，可以引起冷熱不同之感覺，即就一物體而言，其狀態亦隨其所引起冷熱感覺之程度而異。例如水冷則凝固成冰，蠟熱則熔化成液，或則蒸發成爲汽，或則發光現爲赤熱，凡此種種，統括之曰熱現象(thermal phenomena)。然論熱現象，若僅憑冷熱之感覺，頗欠精密。譬如同一冰也，以手撫之，有時覺其酷冷，有時又覺其不如是之甚。故在物理學上表示冷熱之程度，即溫度(temperature)，須用一種可



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 (Drebel) 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。而選定冰開始融化之溫度，即冰點 (freezing point)，及水開始沸騰之溫度，即沸點 (boiling



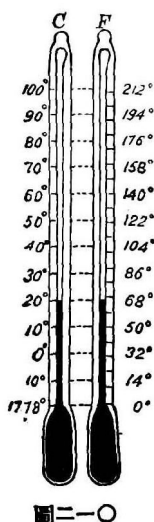
圖二〇九 空氣溫度計。

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。

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

point) 作爲溫度計上之兩定點 (fixed points) 者，則爲德國之藍柏 (Lambert)。舊時使用最廣之標度，爲華氏標度 (Fahrenheit scale)，係德國之華倫海於一七二四年所定，以水以之冰點作爲三二度，沸點作爲二一二度，將其間等分爲一八〇度。同時又有攝氏標度 (Celsius scale)，則爲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，而將其間等分爲一〇〇度。現今通常使用之溫度計，如圖二一〇所示，爲一玻璃細管，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，而爲發熱狀態。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)。此兩者同爲水平之玻璃管，量最高者，內容水銀，水銀頂上面，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

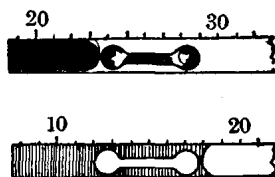
之處，與管相通之一點，製成特別窄狹。當溫度

升高時，下面之水銀固可由此處通過，昇至上

面。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



圖二一三

## 第二節 由溫度而起之體積變化

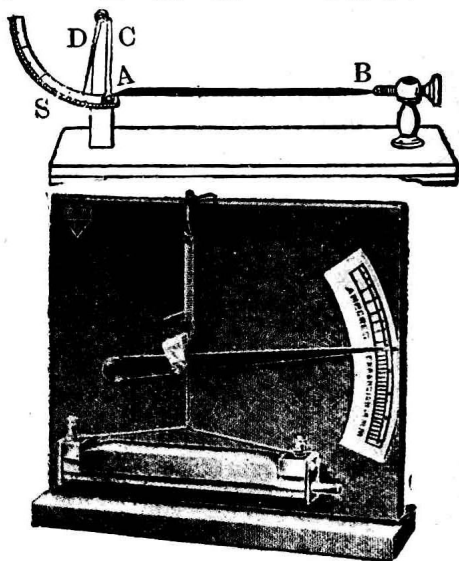
## 一 固體之膨脹

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。 $\alpha$ 爲一環，其內恰可容球 $\beta$ 嵌過，如加熱於球，使其溫度升高，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，溫度每升高一度，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

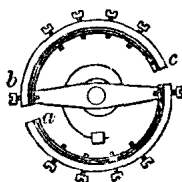
| 物質 | 膨脹係數                  | 物質 | 膨脹係數                  | 物質  | 膨脹係數                  |
|----|-----------------------|----|-----------------------|-----|-----------------------|
| 鉅  | $2.97 \times 10^{-5}$ | 銀  | $1.94 \times 10^{-5}$ | 鎳   | $1.35 \times 10^{-5}$ |
| 鉛  | $2.90 \times 10^{-5}$ |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

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  $0^{\circ}\text{C}$  時之距離為一米，即一公尺。

此。但此種合金，亦不能絕對  
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



圖二一五 補償擺。  
c 為銅棒，b, d, e 及 f 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。溫度升高，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。

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）。又有一種合金名因乏鋼（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，當與實際，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  $4^{\circ}\text{C}.$  度以後，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

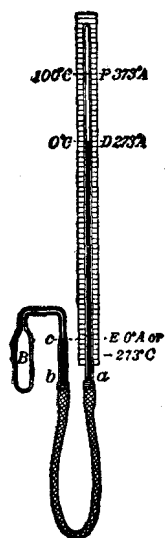
| 物質 | 體膨脹係數   | 物質                 | 體膨脹係數   |
|----|---------|--------------------|---------|
| 醚  | 0.00163 | 甘油                 | 0.00050 |
| 烴  | 0.00124 | 水銀                 | 0.00018 |
| 醇  | 0.00110 | 水 ( $20^{\circ}$ ) | 0.00018 |
| 石油 | 0.00092 |                    |         |

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 $1^{\circ}\text{C}$ ，則其容積膨脹之量，等於在 $0^{\circ}\text{C}$ 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，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，務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C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 $v_0$ 表 $0^{\circ}\text{C}$ 時之容積， $v$ 表其壓力假定保持 $v_0$ 之值，使其不變，而將其溫度



圖二一七

由  $0^{\circ}\text{C}.$  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  $\alpha$  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  $v$  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  $\alpha$  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完全適用，則當溫度  $t$  成於  $-273^{\circ}\text{C}.$  之時，與之相當之容積  $v$  應成爲零。通常卽以此  $-273^{\circ}\text{C}.$  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。卽  $T = 273 + t$ ，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  $20^{\circ}\text{C}$  之值，對於各種氣體，恆有一定不變之值。  
273

又溫度  $0^{\circ}\text{C}$ ，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，當漸次冷卻。最初對於此現象加以研究者，為牛頓，時在一七〇一年。當時曾假定冷卻之速度，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，發見物體受熱或冷卻之速度，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。

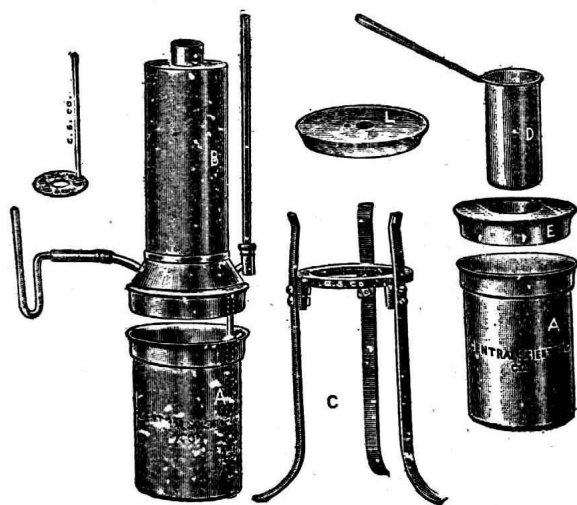
布拉克之思想，在今日固視為當然之事，但在當時，實不能不謂為卓見。又風之本身並不寒冷，乃人體中之熱，為空氣取去所致；皮裘本身，並不溫暖，乃人體中之熱，為其保留，故不覺寒，此等解釋，亦出之布拉克。

使水一克之溫度升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，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  $40^{\circ}\text{C}$  之水，與  $60^{\circ}\text{C}$  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  $50^{\circ}\text{C}$ ，而等於  $49.6^{\circ}\text{C}$ 。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

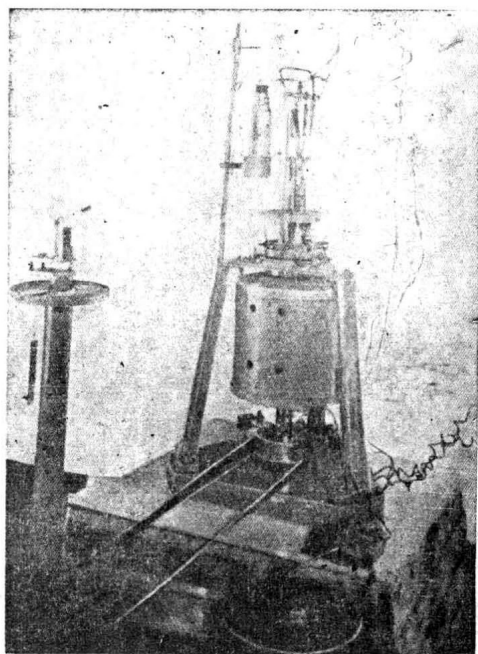
倍曰一仟克卡。(kilogram calorie)又使各種物質之溫度升高  $1^{\circ}\text{C}$ 。所須要之熱量，與使等量之水之溫度升高  $1^{\circ}\text{C}$ 。所要之熱量之比，曰各物質之比熱。(specific heat)各物質之比熱如下表：

|     |       |    |       |     |       |
|-----|-------|----|-------|-----|-------|
| 鋁   | 0.029 | 玻璃 | 0.19  | 水蒸氣 | 0.329 |
| 銀   | 0.055 | 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 | 0.165 | 鋅  | 0.092 | 汞汽  | 0.75  |
| 金、鉛 | 0.031 | 鋁  | 0.214 | 氫氣  | 2.37  |
| 銅   | 0.091 | 海水 | 0.94  | 氮   | 0.748 |



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。

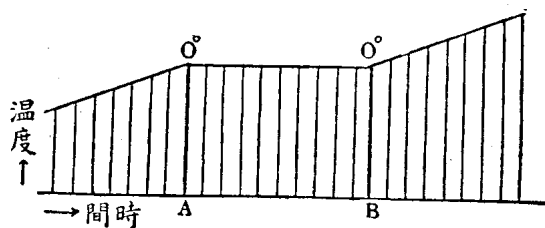
由表可知，大多數之物質，其之比熱值，均較一小，其中以水之比熱為最大，即受熱固不易，冷卻亦較難。由此可知，通常用水使其其他物體冷卻，及利用沸騰之水使其保留其熱量，均極便利。海岸地

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  $0^{\circ}\text{C}$ ，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  $0^{\circ}\text{C}$  以下，或  $0^{\circ}\text{C}$  以上，及保持  $0^{\circ}\text{C}$  之期間中，均如此。由此可知，當其保持一定不變之  $0^{\circ}\text{C}$ 。



圖二二一