

百科小叢書

溫度計與高熱計

謝寵澤著

王雲五主編

商務印書館發行

百科小叢書

溫度計與高熱計

謝龍澤著

王雲五主編

務印書館發行

民國二十一年一月二十九日
 敝公司突遭國難總務處印刷
 所編譯所書棧房均被炸燬附
 設之涵芬樓東方圖書館尙公
 小學亦遭殃及盡付焚如三十
 五載之經營墮於一旦迭蒙
 各界慰問督望速圖恢復詞意
 懇摯銜感何窮敝館雖處境艱
 困不敢不勉爲其難因將需用
 較切各書先行覆印其他各書
 亦將次第出版惟是圖版裝製
 不能盡如原式事勢所限想荷
 鑒原謹布下忱統祈垂管

上海商務印書館謹啓

版 權 所 有 翻 印 必 究

中華民國二十年八月初版
民國廿二年 國難後第一版
 四月印行

(九七三)

百叢書
 溫度計與高熱計一冊

每冊定價大洋肆角

外埠酌加運費匯費

著 作 者 謝 寵 澤

主 編 兼 發 行人 王 雲 五
上海河南路

印 刷 所 商 務 印 書 館
上海河南路

發 行 所 商 務 印 書 館
上海及各埠

溫度計與高熱計

目 錄

| | | |
|-----|-------------------|-----|
| 第一章 | 緒論 | 1 |
| 第二章 | 普通溫度計 | 4 |
| 第三章 | 特別溫度計 | 38 |
| 第四章 | 水銀溫度計的差誤和改正 | 54 |
| 第五章 | 氣體溫度計 | 80 |
| 第六章 | 高熱計 | 105 |
| 附錄 | | 126 |

溫度計與高熱計

第一章 緒論

春天暖，夏天熱，秋天涼，冬天冷；暖、熱、涼、冷這四個字是形容氣候的。究竟到甚麼程度算是冷，到甚麼程度算是熱，到甚麼程度算是暖，到甚麼程度算是涼呢？換一句話來問，就是暖，熱，冷，涼這四個字，有一定的界限沒有呢？像這樣問題，我們當然是不能答的；因為這一類的形容詞，本來是很模糊的，是無界限的。並且冷和熱是比較的，不是絕對的；譬如同樣的天氣，病人就覺得冷，康健的人就覺得暖；再如把左手放在冰上，右手放在熱水中，過一些時候，若是把左手移到冷水中，就覺得很熱，同時把右手亦插在這冷水中，就覺得很涼；其實水的冷熱沒有變化，不過因為感覺的變化，就覺得那水又熱又涼了。再如一間屋裏，有一塊鐵和

一塊木，鐵和木的溫度是一樣的，我們用手去摸，就覺得鐵比木涼。從這點看起來，冷、熱、暖、涼，四個字形容氣候，不但沒有很清楚的界限，並且是不可靠的。在日常生活之間，用這一類的形容字形容氣候，還可以的；在科學上，用這等字表示冷熱的程度，是絕對不可以的。所以在科學上表示冷熱，不憑藉我們的皮膚感覺，另外造出一種儀器，表示精確的溫度；這種儀器名曰溫度計(thermometer)。溫度計的種類很多，茲就其重要者分述於後。

熱量和溫度的關係 在述說各種溫度計以前，先說一說熱量和溫度的關係，因為這一層和溫度計的關係是很重要的。溫度是熱的程度高低，熱量是熱的分量多寡，兩個是絕對不相同的，不過其間亦有一定的關係。例如一件物體，溫度是二十度，我們若想把牠變熱，即增高溫度，必須供給牠許多熱量；我們若把牠變冷，即降低溫度，必須從那物體裏取出熱量來；所以說：一個物體得着熱量，溫度就增高，失去熱量，溫度就減低，這就是溫度和

熱量的關係。

但是熱量的多寡是不和溫度的高低成正比例的。換一句話說，供給的熱量多，溫度的增加不見得多；供給的熱量少，溫度的增加亦不見得少。譬如一塊鐵和一杯水，重量是一樣，溫度亦是一樣；我們要把鐵和水的溫度同增高十度，水所需的熱量，就比鐵所需的熱量多。再如用一小塊煤，燒一鍋水，鍋中水的溫度，不過增高數度，若用同樣的一塊煤（熱量相同）燒一杯水，杯中水可以沸騰，即增到攝氏一百度。故說溫度和熱量不是成正比例的。溫度計是表示溫度的，不是表示熱量的；譬如一杯沸水和一鍋沸水，兩個溫度雖同，而熱量不同；我們用一個攝氏溫度計插到杯裏鍋裏去試，所表示的溫度同是一百度；但是杯裏水和鍋裏水所含的熱量，溫度計就不能表示了。

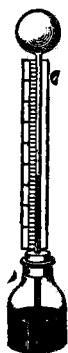
第二章 普通溫度計

伽利略氏氣體溫度計 (Galileo's air thermometer) 現在的日用溫度計和科學上簡單試驗所用的溫度計，大概全用水銀做成。在水銀溫度計未發明以前，意大利大科學家伽利略 (Galileo) 氏曾在 1593 年，發明一個空氣溫度計用以測量溫度，這可說是溫度計的始祖。這因為是伽利略氏所發明，所以就名爲伽利略氏空氣溫度計。現在分析說明如下：

(甲)構造 用一個極細的長玻璃管，管的上端吹成一球，先將球加熱，則球內空氣膨漲散出於外；此時將玻璃管的下端插入有顏色的水裏，過一些時，球內空氣稍冷，體積收縮，因之瓶內的水受大氣壓力而升入管中。如第一圖所示。管中水面的升或降，就表示溫度的減低或增高。管的後面有一塊平板，板上刻度數，表示溫度變化

的多少。用有顏色的液體，爲的是醒目；水面的升降，看得清楚些。

(乙)原理 物體冷則收縮，熱則膨脹，這是一定的道理；空氣溫度計即利用此理造的。如空氣的溫度變高，球內氣體溫度亦隨之增高，體積隨之漲大，壓迫水面下



第一圖

降。故如果看見管中水面下降，就知道空氣溫度增高。反過來說，空氣變冷，球中空氣亦冷，體積隨着縮小；水面因爲受外面大氣的較大壓力而上升。所以如看見水面上升，就知道空氣溫度降低。

(丙)劣點和優點 這種溫度計的計限(range)是非常的小，最大不過能測空氣溫度的變化；到太冷或太熱時，就不能用。但亦有一種好處，就是牠非常的靈，因爲牠是利用氣體的漲縮來測溫度，氣體的漲縮是很顯著的，所以空氣的溫度稍微有一點變化，牠就可以表示出來，這是牠比

別的温度計較優的地方。

液體溫度計 液體溫度計最常用的有兩種：一為水銀溫度計，一為酒精溫度計，分述如下：

(甲)水銀溫度計 日常生活和科學上所用的溫度計，大都是水銀溫度計；因為水銀結冰點很低，沸騰點又很高，並且受溫度變化的影響後，體積變化甚顯著，所以用牠造溫度計，是最相宜的。水銀溫度計的優點很多，暫不討論，先說水銀溫度計的原理和構造。

水銀溫度計的種類很多，現在先講一個標準的水銀溫度計，其他種種，以後分述。

(子)構造 這種溫度計的構造很簡單，大概是用一根細玻璃管，管下吹成一球；排出空氣，裝滿水銀，將上口封固，再在玻璃上刻成度數，即可應用。現在述其實際製造的方法。取一根厚的長玻璃管，管孔各部分粗細相同；先用水洗；因為水有時不能把垢污完全洗去，還須用硝酸洗；硝酸洗過再用水洗。最後用熱

的乾燥空氣吹過，管內垢污既盡除，水亦盡除，然後再試驗管孔是否均勻。試驗方法，為先吸入一點水銀入管內，約有一寸長。極精細的量得水銀的長度；然後把水銀流動到別的地位，再行量過。如此把水銀移動多次，若果量得水銀的長度全都相同，這個管孔一定是很勻的。但是這樣量得水銀的長度完全相同，是不可能的；若量得水銀的長相差甚微，那就很好，不一定要毫髮無差的。但是相差太多，就絕對不能用。若用這種管孔不勻的管做溫度計，將來表示溫度，一定很不準確。

試驗得一很好的玻璃管以後，就把牠一端加熱，熱到融化的時候，吹成一球。這球的大小，是很有關係的，球若是很大，刻度的每一度一定很長；因為球大則水銀很多，溫度變化一度膨漲的體積亦很大；若是球很小，刻度的每一度一定很短。這一種關係，以後還詳細講，現在仍繼續述說製造的方法。

吹成球後，就要裝水銀。將管的上端，作成一漏斗狀(如第二圖)，或是在管的上端，用橡皮管連上一個漏斗亦好，然後傾水銀入漏斗；這時候因為管太細，而且管內又有空氣，所以水銀不能向下流。將球略為加熱，球內空氣膨脹，穿過水銀而外出；冷後空氣體積收縮，故有一部分水銀從漏斗流入球內。如此熱冷替換數次，球內的水銀漸漸的多了。直至裝到一半，再把球慢慢加熱，直熱到水銀沸騰，此時水銀的蒸氣驅逐空氣外出。過一些時，空氣和水銀蒸氣完全驅出後，溫度降低，則球和管裏完全裝滿水銀了。再將該球加熱，球內水銀因熱膨脹向外流，不斷的加熱，水銀亦不斷的外流；直至熱到某一定程度(設為攝氏 200 度)，熱度不再增加，水銀亦不再向外流，

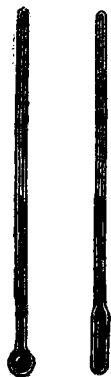


第二圖

然後用吹管火焰燒玻璃管的上端；不一些時，玻璃融化，而管口封閉，這時候溫度計就造成了。這種溫度計所表示的溫度，最高不過攝氏 200 度。

這種溫度計造成以後，刻上度數。但在刻度以前，必須放置一二十日；因為玻璃經過大熱之後，必須經過長時期，才能恢復原狀。造精密的溫度計，造成之後，必須經過數月方可刻度。

第三圖表示水銀溫度計的普通形狀。



第三圖

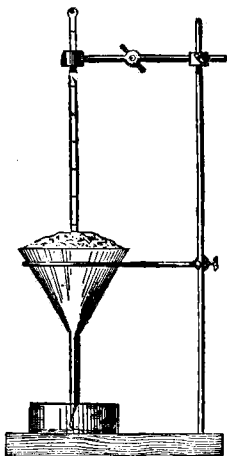
(丑)原理 水銀溫度計的原理，即是熱漲冷縮。熱則水銀漲而上升，冷則水銀縮而下降。所以水銀上升就表示溫度增高，水銀下降就表示溫度減低。以後所述的酒精溫度計，原理亦同。

(寅)刻度的標準和方法 依子的方法製成

溫度計，刻成度數，即可應用。例如水銀的升或降，即表示溫度的增或減。但在科學上，使用溫度計，不僅表示溫度的高低，還要有一種數量的表示，所以刻度應該有一個標準。現在科學上取作標準之點有二：一是水結冰時的溫度，名曰冰點 (freezing point)，二曰水沸騰時的溫度，名曰沸點 (boiling point)。這兩點固定，永無變化，故取作刻度的標準，名曰固定點。一件溫度計製成後，應先決定其兩個固定點，以後再就兩點間分為若干度。分度的方法有種種。一是以冰點為零度 (以 0° 符號表示)，以沸點為一百度 (以 100° 符號表示)，中間分成一百等分，每一等分便是一度。這是一個最普通最便利的分度法。此外分法尚多，以後詳述 (參看第18頁起所述日用的三種溫度計) 現在先講決定固定點的方法。

冰點 決定冰點法，乃以未刻度的溫度計直立於玻璃筒中；滿佈將溶化的碎冰於表的

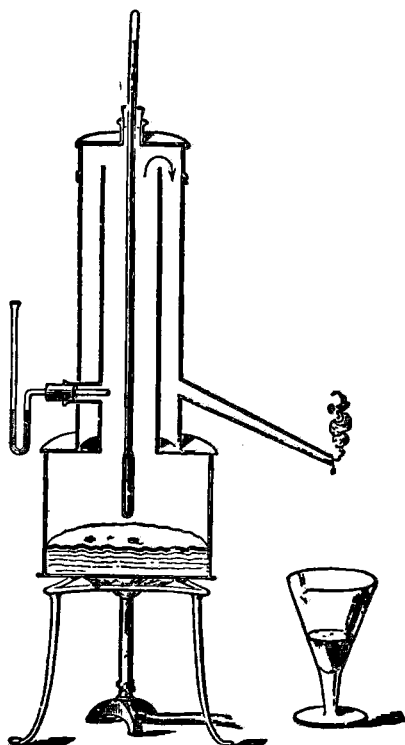
下部，如第四圖。此時水銀面就漸漸下降，過一些時，水銀面就不動了。此時在管上對準水銀面畫一記號，這就是一個固定點，即冰點。有時候用一個大漏斗，替代玻璃筒盛碎冰，以便融化的水流出去；但是這仍是不必需的，因為冰雖化水，倘有一點冰存在，筒裏溫度是零度，絕不上升的。



第四圖

沸點 用第五圖銅製

的儀器決定沸點。當水受熱化汽後，即自下向上飛騰。上部為雙層箱，溫度計插入內層，周圍即被水蒸氣包繞；外層保持熱不外散，使不易凝結成水。水蒸氣上升後，順外層下降，由邊管外出。計內水銀面，漸漸上升，俟不動時，即記其位置，是為第二個固定點，即沸點。



第五圖

溫度計插入時，要使水從柱幾不外露，惟上部微露一點，以便刻劃。左邊的彎管是表示氣壓，因為水化汽和壓力有關依。（參看第 28 頁起所述沸點與冰點的變化）

(卯) 水銀溫度計的計限 水銀溫度計的原理是熱漲冷縮。但水銀熱極則變汽，冷極則結冰；到此時，膨漲的係數就和液體時大異，故不能表示準確的溫度。水銀的沸點大約是 350 度（攝氏），冰點是零下 39 度，所以水銀溫度計的計限就在此兩點之間。

(乙) 酒精溫度計 用水銀溫度計測定溫度，最低不過攝氏零下 39 度，再冷的時候，就無用了。若要測零下 39 度以下的溫度，非用酒精溫度計不可。酒精的冰點大約是零下 130 度，故用以測低溫度，能測到零下 130 度（攝氏）。這是酒精溫度計的大優點。酒精溫度計的構造，原理等，全與水銀溫度計相同，今不再述。

酒精溫度計與水銀溫度計的比較 酒精溫度計與水銀溫度計比較起來，各有優劣。現在把酒精溫度計的優點和劣點與水銀溫度計比較，分述如下：

(甲) 酒精溫度計的優點：

(子) 假若一個酒精溫度計與一個水銀溫度

計的玻璃球，同樣大小，則酒精溫度計就比較水銀溫度計為靈敏（參看第24頁起所述液體溫度計的球和管）

又如酒精溫度計的球，等於水銀溫度計的球的十分之一，而兩者的管孔同樣粗細，則兩個溫度計的靈度 (sensitiveness) 相同。換言之，若兩個溫度計的球管全相同，則酒精溫度計的靈度，較水銀溫度計的靈度大十倍。

(丑) 酒精遠較水銀為輕，故酒精溫度計由內部壓力而生的差誤甚小；水銀溫度計由內部壓力而生的差誤大（參看第70頁起所述水銀溫度計所生差誤的別種原因）

(寅) 用溫度計測某液體的溫度時，假定未測以前，某液的熱度較高於溫度計自己的溫度；將溫度計插入某液體內，表內水銀或酒精當然吸收熱量以增高自己的溫度，直至與某液體溫度一樣為止。這一部分熱量從何處取得呢？當然由某液體供給，因之某液體的溫度降低一點。溫度計所吸的熱量愈多，所測的溫度愈不準確。今以靈度相同的水銀溫度計與

酒精溫度計作比較，酒精溫度計所測的溫度較為精確；因為靈度相同的兩溫度計，酒精溫度計上升若干度比水銀溫度計上升若干度所需的熱量少，換言之，就是用酒精溫度計測溫度，該液體降冷很微，所以很準確。

酒精溫度計較之靈度相同的水銀溫度計（上升的溫度同）所耗費的熱量少，證明如下：靈度相同的酒精水銀二溫度計，若管孔相同，設 V 為水銀球的容積，則 $\frac{V}{10}$ 為酒精球的容積。水銀的比重是 13.6，而酒精的比重是 0.8，故酒精的質量為 $\frac{V}{10} \times 0.8$ ，水銀的質量為 $V \times 13.6$ 。水銀的比熱 (specific heat) 約為 0.03，酒精的比熱約為 0.6；故溫度上升一度，水銀球所需的熱量為 $V \times 13.6 \times 0.03 = V \times 0.408$ ，而酒精球所需的熱量為 $\frac{V}{10} \times 0.8 \times 0.6 = V \times 0.048$ 。從此，可見測某種液體的溫度，該液體受酒精溫度計的影響而變冷的程度，較水銀溫度計的影響為小。

(卯)水銀溫度計的水銀柱升降時，往往受玻璃管的阻礙，運動不靈活。酒精溫度計就沒有這種病，因為酒精能濕潤玻璃管內壁。當計算溫度變化率 (rate of change of temperature) 時，水銀溫度計因為有不規則的升降 (運動不靈活的病)，故不可用。酒精溫度計升降較為有規則，故較合宜。

(辰)酒精膨漲與玻璃膨漲的比較大，水銀膨漲與玻璃膨漲的比較小；因此由球的變化所生差誤，對於酒精溫度計關係很小，對於水銀溫度計關係很大；即水銀溫度計因球的變化所生的差誤大，酒精溫度計因球的變化所生的差誤小。

(己)水銀到零下 39° 就變成固體；酒精到零下 130° 仍為液體，所以酒精溫度計能測低溫到零下 130° ，而水銀表則不能。

(乙)酒精溫度計的劣點：

(子)酒精的沸點大約是 78° (攝氏)，所以用

酒精溫度計測溫度最高不過 60° ，這是酒精溫度計的第一個大劣點。當製水銀溫度計時，先求得冰點，後求得沸點，於是劃分度數。但是酒精不到一百度就沸騰，所以製酒精溫度計不是這樣辦法，是用標準溫度計對照着劃度，實在是很不便利的。所以酒精溫度計有此短處，不但不能測高溫度，且製造時亦不便利。

(丑) 將酒精溫度計的球放在溫水中時，上部玻璃管仍然是冷的；球內的酒精因熱化氣上達於空間，遇冷管又凝結成珠，附着在管的內壁。因此所測的溫度不甚準確。但此種短處，很容易補救，就是設法使溫度計上部和球部同熱，或比球部更熱，此病自無了。

(寅) 水銀溫度計管的上部，完全是真空。如有一點空氣在裏邊，即起化學作用，或生一種壓力，是很不妥當的。所以裏邊不要一點空氣，酒精溫度計亦是這樣才好，但酒精溫度計很難使空氣和酒精完全分離，所以製成以後，

常常在球部或管部有小空氣泡；這雖然可以搖到上邊空間部分去，但是很費事的。

(卯)酒精溫度計的靈度，若與一個水銀溫度計的靈度相同，則酒精溫度計的管孔切斷面和牠的球比較，當然比水銀溫度計的管孔切面大；所以酒精在管內存在的一部分，比較水銀在管內存在的一部分多；因此由於管部外露所生的差誤(管外露則比球部冷，故生差誤)，酒精溫度計較水銀溫度計大。〔註：譬如水銀溫度計球的容積為 100，管孔斷面為 1；在靈度相同的酒精溫度計，若其球容積是 100，則其管孔斷面為 10；所以酒精溫度計管的內容物較水銀溫度計為多。〕

日用的三種溫度計 世界各國日常應用的溫度計，大約有三種：

(1)攝氏溫度計(Celsius thermometer)又名百度溫度計(centigrade thermometer)，(2)華氏溫度計(Fahrenheit thermometer)，(3)列氏溫度

計 (Réaumurther mometer)。這三種溫度計全是水銀溫度計，造法全同，不過刻度法不同，茲分述如下：

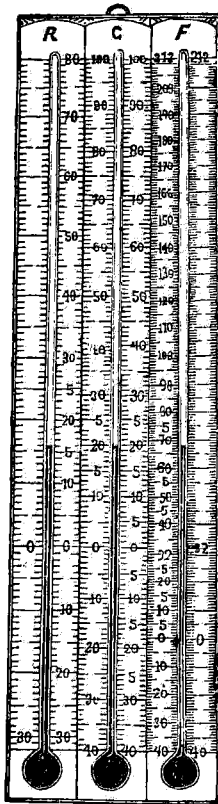
(甲)攝氏溫度計 此表為攝爾修(Celsius)氏所發明。按前面所講造液體溫度計的方法造成，並求得兩固定點。攝氏定下邊的固定點為零度，上邊的固定點為一百度，然後再將兩固定點中間的距離分作一百等分，每一等分為一度。記此種表的度數通常寫一C字母，表示攝氏的意思；例如五十度就寫 50°C ., 二十五度就寫 25°C .. 此表因為兩固定點間分作 100 度，所以又名百度溫度計。在百度以上或零度以下所刻的度數，亦照中間的比例刻分；在此種表上，以 0° 作為基本點，零度以上用正號(+)表示，如八十度，一百五十度，應記為 $+80^{\circ}\text{C}$., $+150^{\circ}\text{C}$.; 零度以下用負號(-)表示，如零下二十三度，則記為 -23°C ., 但在零度以上通常不寫正號，就寫為若干度，例如 $+150^{\circ}\text{C}$., 可寫為 150°C ..

(乙)華氏溫度計 此爲華氏所發明，故名。構造完全與攝氏溫度計相同，惟華氏定冰點爲 32 度，沸點爲 212 度，兩點的中間共分 180 等分，照此等分更於沸點之上冰點以下刻度，由冰點向下刻度到 32 度是爲零度。華氏定此點爲零度的原因，因當時華氏用冰鹽配成寒劑，作得最冷的結果，就是冰點下三十二度；華氏認此點爲最冷（絕對冷）的點，故定爲零度。其實這是不準確的。華氏是但澤（Danzig）的人，發明此溫度計，約在西曆 1714 年。記此表的度數，末尾常用字母 F，例如華氏五十度，就寫爲 50°F ；零下二十度，就寫 -20°F 。

(丙)列氏溫度計 此爲列氏所發明，故名。列氏亦以冰點爲 0 度，但以沸點爲 80 度，兩點中間共分八十等分。記度法末尾寫一字母 R，例如列氏三十度，就寫爲 30°R ；列氏零下十度，就記寫爲 -10°R 。

(丁)三種溫度計的關係 這三種溫度計的構

造完全相同，僅是分度法不同。所以這三種溫度計所表示的度數，可以互相換算。在三溫度計



第六圖

上，兩固定點中間的距離全都相同(假定三溫度計的球和管完全一樣，如第六圖所示)，不過

在攝氏表上，兩固定點間的距離 = 100°

在華氏表上，兩固定點間的距離 = $212^\circ - 32^\circ = 180^\circ$

在列氏表上，兩固定點間的距離 = 80°

所以攝氏 100° 等於華氏 180° ， $t^\circ\text{C.} = \frac{t^\circ \times 180}{100} = \left(\frac{t \times 9}{5}\right)^\circ \text{F.}$ ，若在 C. 溫度計上為 t° ，則在 F. 溫度計上所表的相當溫度應為

$$\left(\frac{t \times 9}{5} + 32\right)^\circ$$

由上理，可以求出下列的關係：

$$\text{華氏溫度} = \frac{\text{攝氏溫度} \times 9}{5} + 32 = \frac{\text{列氏溫度} \times 9}{4} + 32$$

$$\text{攝氏溫度} = \frac{(\text{華氏溫度} - 32) \times 5}{9} = \frac{\text{列氏溫度} \times 5}{4}$$

例題一、在標準氣壓之下，硫的沸點是 444.5°C. ；若將華氏溫度計放在硫的蒸氣裏(壓力為一氣壓)，華氏溫度計的度數是若干？

$$\frac{444.5 \times 9}{5} + 32 = 832.1^\circ \text{F.}$$

例題二、健康人的血液爲 98°F ，今將一攝氏溫度計的球放在口裏，過一些時，其所表示的溫度爲若干？

$$\frac{(98-32) \times 5}{9} = 36.7^{\circ}\text{C}.$$

(戊)華氏溫度計劃分兩固定點的距離爲 180 度的原因 水銀由冰點熱至沸點，所增加的體積，大約等於其冰點時全體積的 $180/10000$ ，所以華氏即將此兩點間分爲 180 等分；如此則溫度上升或下降一度，所增加或減少的體積，恰等於冰點時水銀全體積的 $\frac{1}{10000}$ 。

以上所述三種溫度計，日常應用極廣，而尤以攝氏計爲最。攝氏計在科學上用處亦極大，現在全世界科學界，都用此計測溫度了。華氏計在英國日常生活應用最普通，科學上亦有時應用。歐洲大陸各國人家，多用列氏計。列氏計沒有特別長處，不過習慣上是如此。英國人則不用列氏計。我國家庭所用，多爲華氏計或攝氏計。列氏計，我國人多不知之，在我國亦不多見。

液體溫度計的球和管 液體溫度計的原理，是在熱漲冷縮，利用體積的變化以表示溫度。但是體積的漲縮，不僅僅和溫度變化有一定的關係，並且和原來的體積有直接的關係。例如一杯水，在零度時，體積為 V ；若溫度增高一度，所增加的體積設為 v ，則此一杯水

在 0° 時，體積為 V ，

在 1° 時，體積為 $V + v$ ，

在 2° 時，體積為 $V + 2v$ ，

這是溫度和體積的關係。現在若將水增加一倍，溫度增高一度時，其增加的體積恰為 $2v$ ，從此看來，一杯水增加兩度，牠的體積增加 $2v$ ；兩杯水只增一度，牠的體積就增加 $2v$ 。所以原來體積的多少，和體積漲縮的多少有密切的關係。體積漲縮既和原體積有這樣的關係，所以球的大小，對於溫度計是很有關係的。

溫度計的球若很大，球裏的水銀當然很多，因此溫度增高一度，水銀上升之度亦很大。換言之，就

是靈度很大。例如溫度增一度，管裏水銀面能升高一寸，溫度增半度，水銀面能上升半寸，溫度增 0.1 度，水銀面亦能上升一分；人目亦能看的很清楚。總而言之，溫度稍有一點變化，在這種溫度計上就能表示出來，這就是靈度很大的溫度計。但是靈度太大的溫度計，亦有一種弊病，就是不能表示多的度數；普通溫度計差不多僅有一尺長，若是靈度很大，一度上升一寸，這種溫度計最多不過僅能表示十度；所以我們若想造一個能表多度數（三百度或二百度）的溫度計，必須減球的容積，球小則所含的水銀少，水銀升的範圍不大，表示的度數就多了。

溫度計管的粗細，和靈度亦有直接關係：管若粗，容量大，溫度增高一度，球內水銀上升不高；所以管孔變粗，則靈度很小，管孔變細，則靈度很大。不能表示多的度數，和球體增大的結果一樣。

球的大小和管的粗細，既與靈度有這樣關係，現在把牠的確切關係決定如下：

設 $V =$ 球的體積，若球是正圓，半徑 $= R$ ，

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

設 a = 管孔橫切面的面積, 若管孔是圓的, 半徑 = r , 則 $a = \pi r^2$ 。

又設 x = 溫度增加 1°C . 時, 管裏水銀面運動的距離。

又設 α = 在溫度增 1°C . 時, 水銀單位體積所增加的體積。

球內水銀當溫度上升一度所增大的體積 = $v\alpha$, 此增大的體積, 即上升到管裏邊去, 上升的高度為 x 。

$$\therefore ax = v\alpha,$$

$$\therefore x = \frac{v\alpha}{a}。$$

若球為正圓, 管孔亦為正圓, 則

$$x = \frac{\frac{4}{3}\pi R^3}{\pi r^2} \alpha = \frac{4}{3} \cdot \frac{R^3}{r^2} \alpha, \text{ 這就是所求關係。}$$

例題 設欲造一個水銀溫度計, 取一個圓管, 管孔的直徑是 0.2 釐, 如想使造成後, 每一度的距離等於 2 釐, 則其球應該吹成怎樣的大呢? 假定 $\alpha = 0.000181$ 。

將上式變化， $R^3 = \frac{3}{4} \frac{xr^2}{\alpha}$ ，

$$\therefore R^3 = \frac{3}{4} \times \frac{2 \times (0.1)^2}{0.000181} = 82.8,$$

$$\therefore R = \sqrt[3]{82.8} = 43.6 \text{ 釐}。$$

\therefore 球的裏面直徑應吹成 8.72 釐。

水銀溫度計的球和管，有種種狀態；但任何一種溫度計，管大概很細，爲的是表示分度清楚。普通溫度計，多用圓管吹成圓球；但在化學上用的溫度計，其球多造成一圓柱的狀態，爲的是容易插入各儀器內，如第七圖所示，即該溫度計的下半部。這種溫度計的圓柱球，普通全是 20 釐長，直徑是 3 釐。假定現在造這種溫度計，想使其每一度的距離 (x) 爲 2 釐，則可以按上法求管孔的直徑：

$$x = 2 \text{ 釐，}$$

$$v = \pi(1.5)^2 \times 20 \text{ 立方釐。}$$

設 r 爲管孔的半徑，並假定管孔是圓



第七圖

的，則

$$\pi r^2 \times 2 = \nu \alpha = \pi (1.5)^2 \times 20 \times 0.000181$$

$$\therefore r^2 = 0.0040689 \text{ 釐}^2$$

$$\therefore r = 0.0637 \text{ 釐}$$

所以管孔的直徑為 0.1274 釐。

像這樣的管孔，是非常的小了；因為太小，所以管內水銀很難看清楚；故將圓孔變為橢圓形或是扁形。第八圖所示，就是扁孔溫度計管的切面。若在扁孔垂直的方向來看，是很容易看清楚的。普通扁孔的後面，還有一層白瓷釉，如此則水銀升降，看得更清楚些。



第八圖

沸點與冰點的變化 溫度計刻度，必須求兩固定點，作為標準，劃分種種的度數。因為水的沸點和冰點是一定的，所以取為固定點。但是嚴格的講起來，水的沸點和冰點不是絕對一定的，是有些微變化的；水的結冰和沸騰，因為環境有種種不同，所以冰點和沸點亦隨着生變化。以下分述其變化

及其種種不同的環境：

(甲)壓力和沸點的關係 普通說水的沸點是 100°C ., 這句話裏還暗藏着在一氣壓 (one atmosphere) 時的一句話; 詳細說來, 水面上所受壓力若是一氣壓, 沸點就是 100°C .; 水面上所受壓力若是較一氣壓為小, 不等到 100° , 就能夠沸騰; 例如高山上煮水易沸, 就因為高山上空氣壓力小的緣故。水面上壓力若是較一氣壓大, 必須超過 100°C ., 才能沸騰; 例如蒸饅頭的鍋, 輪船的汽鍋, 裏邊的水, 大概都到 100° 以上才能沸騰; 因為鍋是密閉的,

裏邊的水受空氣壓力之外, 還受牠自己蒸汽的壓力, 所以鍋內壓力加大, 沸騰的很慢。這種現象是可以實驗的, 茲實驗如下:



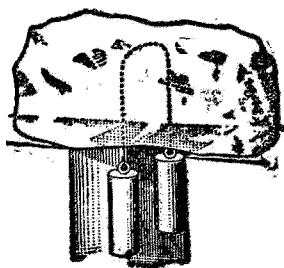
用一燒瓶, 裝半瓶

第九圖

水，煮沸後，用木塞塞住瓶口。若塞得很緊密，雖置火上，亦不易沸騰，因為瓶中水蒸氣多，壓力加大的原故。但此試驗宜用極堅固的瓶，否則易爆炸。再如第九圖裝置，用冷水澆瓶底，則見瓶內水大沸；因瓶內空氣多被水蒸氣逐出，瓶內水面壓力，僅有水蒸氣的壓力，現在用冷水一澆，則瓶中水蒸氣凝結，壓力減小，所以能再沸騰。

(乙) 壓力和冰點的關係 水在零度結冰，亦是指一氣壓的時候說。壓力增大或減小，水的冰點全不是零度。用

一塊冰來試驗，冰上面放一條絲線，線的兩端繫上重錘，則絲線能割冰而穿過如第十圖所示。穿過以後，



第十圖

冰仍然結成一塊，並不分作兩塊。這個實驗，正好證明水的冰點和壓力有關係，蓋絲線下的冰

壓力增大，所以就融化（壓力大，冰點降低）；及絲線割入冰裏，線上邊存有融化的水，這些水因為壓力減小，所以仍復結冰（壓力減小，冰點升高）。

（丙）水內含有物和沸點的關係 將清潔的水煮沸，用溫度計試一試，大約是一百度。假若水裏放入糖或鹽，溶解後再煮之，沸點定要增高，總在一百度以上。並且增高的程度和鹽或糖的多少有直接的關係。據化學家實驗的結果，能電離的物質如鹽之類，每一克分子(gram molecule) 溶解在 1000 立方厘米的水中，能使沸點增高 0.94°C ，不電離的物質如糖之類，每一克分子溶解在 1000 立方厘米的水中，能使沸點上升 0.52°C 。

（丁）水內含有物和冰點的關係 清潔的水結冰之時，大約為 0°C 。若水裏放入糖或鹽，冰點亦有變化。變化的程度和溶解物的多少，有直接關係。據化學家的實驗，能電離的物質如鹽之

類，每一克分子溶解在 1000 立方厘的水中，能使冰點下降約 3.4°C .；不電離的物質，如糖之類，每一克分子溶解在 1000 立方厘的水中，可使冰點下降約 1.9°C .

溫度計固定點的精密求法 水的冰點和沸點不一定，上已說過，所以造溫度計時，取定兩固定點，是很繁雜的事，不像本章前面所說的簡單。現在討論這個問題，就是將前面所說加以精密的補充。現在已經知道冰點沸點變化的原因，就根據這原因，將前面所說加以改正；求溫度計的兩個精確固定點方法如下：

(子) 壓力要在一氣壓時 因壓力和冰點沸點有極大關係，所以取定固定點要有一個標準壓力，一氣壓就是科學家取定的標準壓力。空氣平時的壓力是一氣壓，在風雨計上，水銀柱的高若是 76 粉；即表示一氣壓。但在刻度時，當時空氣若不是一氣壓（在風雨計上水銀柱的高，或為 75 粉，或為 74 粉），求得 0° 與

100°後，再加以改正。改正的方法，以後詳述

(參看第54頁起所述沸點的差誤和
改正及第68頁起所述圖表改正)

(丑)冰點 普通人稱溫度計下端的固定點爲冰點，實在是不相宜的。因爲水的冰點，最易起變化，實不如冰的融點(melting point)爲固定；純水結冰後，再使融化，其融化的水永久是零度，直至冰塊融盡後，溫度才上升。精密劃零度的方法，即先用蒸溜水放入玻璃試驗管中，再用一個銅柱插入水裏，然後冷之使結冰；冰結成後，取出銅柱，即插入要分度的溫度計。在冰與溫度計的中間，充滿蒸溜水，此蒸溜水即變爲零度；然後再以碎冰片包圍試驗管，放置約半小時，俟水銀柱固定約十分鐘後，即記出水銀柱的端點，這就是精確的冰點。若此時空氣壓力不是一氣壓，仍須改正，方爲正確。

(寅)沸點 求沸點亦是很難精確的。本章前面所述的方法，已算很精確的了。求沸點絕

不是把溫度計放在沸水裏，實在是放在水蒸汽裏。因為水雖然是極純潔的，沸點却常有變化。但是蒸氣只受壓力的影響，倘壓力固定為一氣壓，則溫度永久是一百度；若是壓力不是一氣壓，求得的沸點，尚須改正。

固體溫度計 在普通科學裏及日常生活中常用的溫度計，除上述的液體氣體溫度計外，尚有一種固體溫度計。固體溫度計的種類很多，茲擇其最簡單者，說明其原理和構造如下：

(甲)原理 液體氣體是熱漲冷縮的，固體亦然。造固體溫度計，不但是利用牠的熱漲冷縮，且利用各種物體的漲縮不等的性質；因為固體的漲縮，絕不像液體氣體那樣顯明，所以單利用固體的漲縮性製溫度計，表示的度數極不清醒；但如再利用其漲縮不等性，表示的度數就顯明了。如第

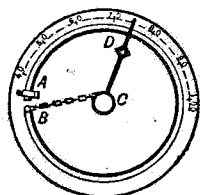


第十一圖

十一圖的試驗，用一塊鐵板和一塊黃銅板釘合

起來，如甲那樣；然後加熱，則兩板漸漸彎曲成乙形，向鐵的方面彎曲。這是何故呢？就因為鐵的線漲係數 (coefficient of linear expansion) 是 0.000012，黃銅的線漲係數是 0.00018，當加熱的時候，黃銅的膨脹較長，所以牠變成乙狀的變形。彎的愈大，即表示溫度愈高；倘溫度減低，則向銅的方面彎曲。這就是固體溫度計的原理。

(乙)構造 下圖所示為鐘面溫度計(dial thermometer)，用兩塊漲縮不等的金屬板，釘成圓形，在 A 端固定，B 端是活動的，C 為一軸，用鏈條與 B 接連，在 C 軸上有一指針 D，為指示溫度之用。當溫度增高時，因外層金屬板膨脹較大，所以 B 端向內彎曲，而指針向右



第十二圖

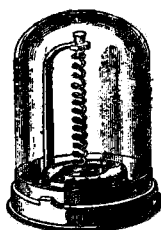
移動，指示較高的溫度。當溫度減低時，B 端向外移動，指針向左移動，指示較低的溫度。分度的方法，極其簡單，即用一水銀溫度計對照刻

劃，不須求固定點。

固體溫度計的表示溫度，比較不很精確，所以科學上多不用之。但用為自記溫度計（如最高最低溫度計之類，詳後），則較勝於水銀溫度計。

布勒格氏固體溫度計 固體溫度計種類極多，在上節所述的鐘面溫度計，是一個最簡單的；現在我再述一個很著名的團體溫度計，就是布勒格溫度計，因其為布勒格 (Breguet) 氏發明的，故名。茲略述其構造如下：

如第十三圖，中間的螺旋圈，是金、鉑、銀、三種金屬造成的；因為銀的膨脹係數最大，把銀放在最內層；鉑的膨脹係數最小，把鉑放在最外層；金片居於二者的中間，以



第十三圖

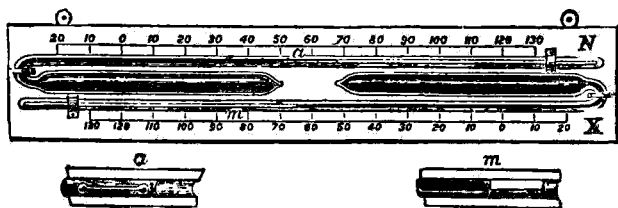
防鉑與銀的分離。將三金屬片釘合後，捲成螺旋狀；當溫度上升時，內面膨脹大於外面，故螺旋伸張；溫度低降時，則螺旋緊捲。在螺旋下端連

有一水平的指針，因螺旋的伸張或緊捲，使指針在刻度的鐘面上迴轉，因之可以表示溫度的變化。

第三章 特別溫度計

以前所論，全是通常用的溫度計；但在科學上或日常生活上認為以上諸種溫度計不足用，所以還需要許多特別溫度計。例如在化學上測物質的沸點或融點，常常要測到小數點以下數位的度數，這是普通溫度計不能測的。又如在一天之間，要知道最熱到多少度，最冷到多少度，使溫度計自己記出來，這亦是普通溫度計所不能的。以下專論種種特別溫度計。

刺得福氏最高最低溫度計 (Rutherford's maximum and minimum thermometers) 這種溫度計，專記某一定期間內的最高溫度和最低溫度，故名。式樣很多，本節所講的一種，是刺得福 (Rutherford) 所發明，如第十四圖，此最高最低溫度計，原是兩個溫度計，置在一處：一是水銀溫度計，專記最高溫度；一是酒精溫度計，專記最低溫度。現在



第十四圖

把其構造和作用，分述如下：

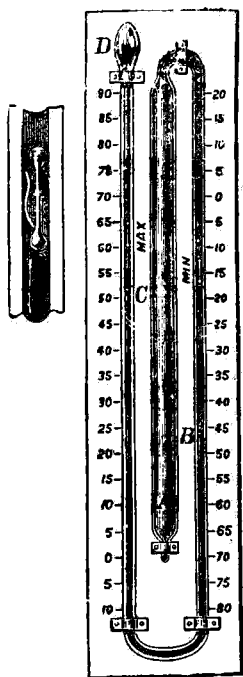
(甲) 如圖，X 爲水銀溫度計，構造和普通水銀溫度計一樣，不過形狀稍有變化，且必須放在水平位置。在玻璃管裏水銀面的上面，有一小鐵條，如 m 圖所示，此小鐵條極平滑，能左右活動，乃指示最高溫度的指針。當溫度上升時，水銀膨脹推動小鐵條向上移動；及至溫度下降的時候，水銀收縮，小鐵條即遺留在溫度最高之處，因之可知當日之中最高溫度。若是第二日再用的時候，拿磁石將小鐵條吸回，和水銀面再接觸。

(乙) 如圖，N 是一個酒精溫度計的變形，亦要放在水平的位置。有一根小瓷(或玻璃)條，兩端製成球狀，放在管裏，並且浸在酒精中，如圖 a

所示。溫度下降時，酒精收縮；因為酒精表面上有一種漲力，小瓷條不能穿破酒精的表面，遂隨酒精後退。及至溫度上升，酒精漲大，小瓷條就遺留在溫度最低之處，因之可以知當日最冷的溫度。再用時，將該表稍一傾斜，小瓷條即回到酒精表面。看最高最低溫度計，應當有一種注意：就是看最高溫度時，須看小鐵條同水銀面最接近的一端，看最低溫度時，亦須看小瓷條同酒精面最接近的一端。切不可認其他一端所指的地位為最高最低的溫度。

息克斯氏自記溫度計 (Six's self-registering thermometer) 自記溫度計，亦是一種最高最低溫度計。因是息克斯 (Six) 氏所發明，故名。這種溫度計在最高最低溫度計裏，發明最先。如第十五圖所示，A 長球中及 B 管的一半皆裝入酒精；酒精之下裝水銀；水銀之上（在 C 管的上半部）仍裝酒精，但不可裝滿，在 D 球的上半部留一空間，作為伸縮的餘地。在兩個水銀面的上邊，有兩個鐵條，

兩端作球狀，乃指示最高最低溫度的指針。又爲防止鐵條滑動起見，在柱旁安有一小彈簧，與管壁接觸；彈簧的力甚微，僅足以支持鐵條不下落，絕不防礙水銀的移動，旁邊一圖是放大圖。此溫度計的作用，和酒精溫度計一樣，不過外形稍有變化。中間的 U 形水銀，牠的漲縮所生的效果很小，最大的利用，是用牠推



第十五圖

動鐵條。當溫度上升時，A 中酒精膨脹，B 管水銀面下降，C 管水銀面上升，推條柱向上移動。及至溫度下降時，C 管水銀面下落，i 條即遺留在溫度最高的地位。當溫度下降時，A 中酒精收縮，B 管

水銀面上升，推動 i' 條向上移動，故可記出最低溫度。兩鐵條不與水銀面接觸時，亦是用磁石移動之。

這種溫度計在日常生活上，應用甚廣；如花園的園丁，醫院的看護，皆須置備。

泥氏紮氏最高溫度計 (Negretti and Zambra's maximum thermometer) 泥格勒替 (Negretti) 與紮布刺 (Zambra) 兩氏曾發明一種最高溫度計，原理簡單，構造巧妙。專記最高溫度，不能記最低溫度。構造和普通水銀溫度計相同，惟其球上部的管有一地方收縮，使其管孔變為極細，水銀出入很艱難；當溫度上升時，球內水銀被擠而出管的狹部，及至溫度下降，水銀收縮，因為狹部的孔太小，水銀不能回歸球內，因之球內水銀與狹部上邊的水銀分裂為兩部分，上部的水銀即存留在管中，不再移動；看上部水銀的位置，就知最高溫度了。如用此再測最高溫度時，即取而搖之，水銀即回球中。

這一種最高溫度計，常常利用作為人體溫度計

(clinical thermometer), 如第十六圖所示, 下有狹部當水銀收縮時, 即從此點分裂。

現在附述人體溫度計。人體溫度計原和普通的水銀溫度計大體相同; 不過因為用處不同, 所以亦有一些差別。現在把人體溫度計的特點分述如下:

(1) 全體宜小 檢察人體溫度, 常將溫度計放在舌底或腋間, 倘若全體太長, 難免大部分外露, 因而所測的溫度不準確, 所以這種溫度計長度常不過三寸。

(2) 宜用最高溫度計 檢查體溫, 當然要測最高點。如不用最高溫度計時, 因為空氣溫度常比人體溫度



第十六圖

低, 當將溫度計從腋間或舌底取出時, 溫度忽然降低, 表裏的水銀就很快的收縮, 至查看清楚, 水銀面已經下降許多, 如此所測的體溫極不準

確。若用自記最高溫度計，便可免除這種弊病。

(3) 計限極小 人體溫度，平常約 98.4°F ., 最低不過 90°F ., 最高不過 113°F ., 所以人體溫度計的計限亦極小。常約在 90°F . 至 113°F . 之間。

(4) 靈度要大 即每一度的間距要長，以便查看小數點以下的溫度。至於如何配置，靈度始大，已見前第 7 節，茲不贅述。

(5) 水銀要染色 爲查看清晰起見，水銀或染紅色，或染藍色。

(6) 特別分度 因爲人的常時體溫是 98.4°F ., 所以在該度的地方要特別記出。如第十六圖►的符號是。

腓立氏最高溫度計 腓立氏最高溫度計 (Phillip's maximum thermometer), 如第十七圖所示。構造與水銀溫度計完全相同，不過管部極細，且管中水銀有一斷部，斷部的中間有一氣泡，使斷部上下之水銀永不能接合；空氣泡上邊的小水銀柱，有如息克斯氏自記溫度計的鐵指針，專爲指

示最高溫度之用。這種溫度計平時最好置在水平的位置，免空氣泡上達；管部要極細，亦為此故。用時先將該表直立，輕輕振盪，至空氣泡的體積壓縮至最小為止（普通空氣泡的長，約為 $\frac{1}{32}$ 英寸），振盪以後，用以測溫度。當溫度上升時，水銀膨脹，推動上面的小水銀柱上升；及至溫度下降，水銀收縮，小水銀柱即存留在溫度最高之點。這種溫度計的分度，皆以小水銀柱的上端為準。此溫度計的外面，還包有一層很堅固的玻璃管，以供在深海測探之用；在深海底，水的壓力極大，非有此不可；在堅固玻璃管和球的中間，常常放有酒精，以令傳熱容易。



第十七圖

柏克曼氏精密水銀溫度計 (Beckmann's sensitive mercury thermometer) 此種溫度計，專為測量精密溫度和溫度細微變化之用，乃 1887 年時

柏克曼氏所發明，故名。但是有人說：發明人，不是柏克曼，實在是阿斯特瓦德 (Ostwald)，阿斯特瓦德氏是德國柏林大學教授，柏克曼氏曾在柏林大學作學生，他所以能有此發明，實係阿斯特瓦德氏教之。這種溫度計在科學上貢獻很大。考液體中所含溶解物的多少，和該液體的冰點沸點有一定的關係。利用此種關係，可以求得物體的分
子量。在1882年，大科學家刺烏爾特 (F. M. Raoult) 氏即發明此理；但沒有用此理測分子量。五年後，此種溫度計發明，始利用此理測分子量。現在詳述其原理和構造如下：

(甲)原理 若欲溫度計靈度極高，必須使其管部極細或球部極大，此理在第二章已經詳說，此種溫度計即全利用此理。



第十八圖

(乙)構造 在理論上講來，此種溫度計的管愈細愈妙；但亦不可太細，否則其中水銀柱所表示的溫度不準確。既欲溫度計極靈，又不欲其管太細，惟一的方法，就是增大球部，所以柏克曼氏溫度計的管部並不甚細，而球部則甚大。又因為這種溫度計的靈度很大，所以水銀升降的範圍亦很大。這種溫度計普通能表示攝氏百分之一度，換言之，就是攝氏溫度的兩位小數(如 15.28°)全能用此種溫度計表示很清楚。別種溫度計，如要有這樣高的靈度，製造時便有一種困難，如一度的距離能分出很清楚的一百等分，這距離的長，至少要二寸以上，假若造一個一百度(從 0°到 100°)的溫度計，就得長二丈。假若造一個二百度的溫度計，就得長四丈。這樣長不但便應用，並且是無法製造的。免除這層困難，就是柏克曼氏溫度計的大特色。在管的上端，有兩曲折，在曲折處，有一膨脹部分，這一部分專為存儲水銀之用。管的全長僅有五度，設欲測高

的溫度，先將球內水銀一部分排擠到膨脹部分裏存儲，然後再測詳細溫度（測的方法，以後詳述）；所以這種溫度計沒有固定點，雖然計限僅有五度；然而幾十度幾百度全可用以測定。

這種溫度計的管和球還要極薄，否則傳熱一定很慢，傳熱慢即不能感細微溫度的變化，所以要想使牠靈度極大，必須使牠外皮極薄。但如管長而且細，外皮極薄，當然是很容易破碎的。免除這種易碎的弊病，外面套一層很堅固的厚玻璃管，但此厚玻璃管，只可包圍管部，不可包圍球部，所以厚管的下端，固定在球管交界的地方，則一方面可以保護管，一方面仍可使溫度計的靈度極大。看第十八圖，即可明白一切。至於溫度計的分度，並不刻在細管上，亦不刻在厚管上；乃在細管厚管的中間，放一塊白瓷片，此片和細管很接近，度數就刻在瓷片上。

（丙）用法 此種溫度計沒有固定點，所以不能單獨用牠測定溫度；當用的時候，必須有一個

普通溫度計對照來用；譬如某液體的沸點大約是 51°C . (用普通溫度計測得), 但此 51°C . 不甚精確, 若欲測出精密沸點, 就用精密溫度計再測一次; 當測定以前, 將該溫度計, 熱到 51°C . 以上 (如 54° 或 55° , 但不得較 51° 高五度), 此時球中水銀即有少許被擠而入於上端的膨脹部; 到適當的時候, 容該溫度計稍冷, 管中水銀面就下降, 降到五度柏克曼氏溫度計的時候, 再看那普通的溫度計, 若恰好是 54°C ., 那就好了。到此時才可用該溫度計測定溫度; 這一層手續, 好像似規定該溫度計的固定點。以上規定的結果, 該溫度計的 5° , 就是表示 54°C ., 4° 就是表示 53°C ., 0° 就是表示 49°C .; 這時候再用牠測某液體的沸點, 可以測到小數點兩位以下, 例如該沸點若為 50.24°C ., 在這溫度計上可以明明白白的表示出來。再用時, 先將膨脹部的水銀傾回, 另行規定固定點; 例如已知某溫度是在 200° 到 202° 之間, 就將該溫度計先熱到 202° 以上, 即有多量的水銀

被擠而入於膨脹部，再看準該溫度計的 5 度是表示若干度，然後即依此為準以測某溫度的精密數。又如水的沸點正是 100°C ，水裏邊少加一點鹽，設其沸點增高甚微，變為 100.05°C ，普通溫度計不能測出，這種溫度計就能表示的很清楚。化學家就利用此以測分子量；至於怎樣測法，是屬於化學範圍，茲不贅述。分子量與溶解物的關係，在第二章已略述及。

高溫度計 在我們常見的溫度計裏，多是以一百度（攝氏）或二百度為所能測的最高溫度；偶有再高的，亦不過三百度。如欲測 300 度以上的溫度，怎樣辦呢？水銀在平常壓力之下，到 357 度就變成氣體，所以水銀溫度計最高僅能測到 357 度；但是實際上尙不能測到 357 度，因為水銀溫度計的水銀，面上是真空，無壓力的，不到 357 度，便化氣了。還有一層，溫度太高的時候，玻璃亦要融化，所以用玻璃造的表，不能應用測很高的溫度。這第二層困難，現在暫且不顧及，以後第六章還要詳

論。現在所論的高溫度計，仍是用玻璃的球和管，不過設法不令水銀沸騰，或是用別一種沸點高的液體，代替水銀。

水銀的沸騰和壓力有關係，在平常壓力(一氣壓)下，其沸點是 357°C .；壓力增高，沸點就可增高；所以在水銀溫度計的真空部分，設若裝入多量(壓縮)的氮氣(nitrogen)，水銀面上壓力增加，可止水銀的沸騰。並且球和管宜很堅固，以防受大壓力而破裂。如此的配置，可以測到 500°C .的高溫度。

金屬鈉和鉀合起來，可以造成一種合金，這種合金在普通溫度時，呈液體狀態，且和水銀極相似。用此代替水銀做高溫度計，可以測更高的溫度。

絕對溫度計(absolute temperature thermometer) 絕對溫度計是根據絕對溫度(absolute temperature) 而製作的。按查理(Charles) 氏定律，凡氣體溫度減少一度，其體積減少零度時體積 $\frac{1}{273}$ ；以此推下去，設某種氣體是完全氣體(perfect gas)，溫度降到零度下二百七十三度時，該氣體就完全

消滅。所以零度下 273 度就名爲絕對零度，絕對零度就是最冷之點的意思，絕不能再有一種溫度比牠再低。以絕對零度爲準，按攝氏的分度法測出來的溫度，名爲絕對溫度；譬如攝氏零下 270 度 ($-270^{\circ}\text{C}.$)，就是絕對溫度 3 度；攝氏 0° 或 15° ，就是絕對溫度 273° 或 288° ；現在把攝氏溫度和絕對溫度的關係，用數學式表示：

在習慣上，用字母 T 表示絕對溫度，用字母 t 表示攝氏溫度。

$$T = t + 273.$$

既然明瞭絕對溫度，對於絕對溫度計自然容易明白。絕對溫度計是用絕對零度作下端的固定點。因爲水銀到零下 39 度就結冰，絕不能用牠測零下 39 度以下的溫度，所以用水銀造絕對溫度計是不可能的。酒精亦是如此，因爲酒精冰點是 $-130^{\circ}\text{C}.$ 。

實際可用的絕對溫度計，大半是氣體溫度計，因爲有的氣體到極冷的時候，亦不變成液體，能永久遵守查理氏定律，因此就可利用以造絕對溫度計，

以測極低的溫度。

這種氣體溫度計的構造，以後再詳細說明，標準氫氣溫度計，就是一個絕對溫度計。(參看第99頁起所述標準氫氣溫度計)

第四章 水銀溫度計的差誤和改正

很精密很嚴格的講起來，以上所述的種種溫度計，全不能測出很正確的溫度。譬如任意取一個溫度計，測知室中的溫度是 20°C ., 這不過是一個約數。至於牠的差誤是從何而來的呢？原因很多，本章即詳細討論并講明改正的方法。溫度計的差誤，實在是很複雜，不但是一類溫度計有一類溫度計的差誤，就是一個溫度計，亦有牠自己的特別差誤，和別的溫度計不同。所以若把以前所述的溫度計，一一詳述其差誤和改正，實在是不勝其繁，並且沒有這種必要。因為水銀溫度計在日常生活及科學上，應用很廣，所以現在單提出水銀溫度計來，詳述其差誤和改正。

沸點的差誤和改正 在第二章，已講過沸點和壓力的關係。水的沸點隨壓力而變化很大，所以求沸點，一定要在標準壓力，即一氣壓之下。標準壓

力經科學家探定是等於水銀柱 76 釐高的重量，水銀柱是直立的，橫切面是一平方釐，溫度是零度，並且直立在緯度 45° 的海平面上。換言之，就是緯度 45° 地方的海面上，大氣壓力恰等於一氣壓；這就是科學家採用的標準壓力。測大氣壓力，常用氣壓計 (barometer)，但是測得的結果亦不甚精確，須經下列諸改正：

(甲) 水銀柱溫度的改正 水銀的密度 (density)，是隨溫度而變的：因為氣壓計水銀柱的重，恰等於其同橫切面的空氣柱之重，所以水銀密度減小 (溫度升高) 時，則氣壓計的水銀柱增長，水銀密度加大 (溫度減低) 時，則氣壓計的水銀柱變短，但其所表示的壓力則相同。所以只看水銀柱的長短，不能得準確的大氣壓力；必須加一種改正，方為正確。

設 $h_0 = 0^\circ\text{C}$. 溫度時水銀柱的高；

設 $h_t = t^\circ\text{C}$. 溫度時水銀柱的高。

又因為水銀柱的橫切面為 1 平方釐，則

0°C . 時水銀柱的體積 $= h_0 \times l^2 = h_0$ 立方糎

$t^{\circ}\text{C}$. 時水銀柱的體積 $= h_t \times l^2 = h_t$ 立方糎

設 $\alpha =$ 水銀體漲係數 (即溫度上升一度, 水銀一立方糎所增的體積),

則 $h_t = h_0(1 + \alpha t)$ 。

$\therefore h_t = \frac{h_t}{1 + \alpha t} = h_t(1 - \alpha t + \alpha^2 t^2 - \dots)$ 。因為 αt 太小, 其高次方可以略去,

$\therefore h_0 = h_t(1 - \alpha t)$ 。用此式就可以推出零度時氣壓計水銀柱的長。〔注意〕由實驗得 $\alpha = 0.0001802$ 。

(乙) 分度距離的改正 水銀因溫度變化體積, 而盛水銀的管, 當然亦因溫度變化長度, 因此該管上的分度就不準確, 這是應加改正的第二點。測水銀柱的長度, 是以 0°C . 為準; 改正分度的不準確, 當然亦以 0°C . 為準。福耳廷 (Fortin) 氏的氣壓計是在黃銅的管上分度, 黃銅的線漲係數 $= 0.00002$ (設 $= \beta$), 即該管每遇溫度增一度, 牠一糎的長變為 $(1 + \beta)$ 糎; 所以 0°C . 時該管一糎

的長度到 $t^{\circ}\text{C}$. 時應變成 $(1 + \beta t)$ 。

上文求得的 h_0 , 實不是水銀柱的真長短; 因 h_t 是從黃銅管的分度 t° 時記錄的, 當水銀柱增高時, 黃銅管亦隨着增長; 所以水銀柱的真長是 $= h_0(1 + \beta t)$ 。

設 $H =$ 水銀柱的真長, 則

$$\begin{aligned} H &= h_0(1 + \beta t) = h_t(1 - \alpha t)(1 + \beta t) \\ &= h_t[1 - (\alpha - \beta)t - \alpha\beta t^2], \end{aligned}$$

因爲 $\alpha\beta$ 相乘太小, 可以略去 $\alpha\beta t^2$ 一項, 則

$$H = h_t(1 - 0.000162 t)。$$

(丙) 緯度的改正 在緯度 (南或北) 45° 的地方, 用氣壓計測大氣壓力, 水銀柱的高恰等於 760 耗, 這是標準壓力。但在其他地方, 因爲水銀柱的重量有變化, 所以其他地方大氣壓力若恰等於標準壓力時, 氣壓計水銀柱的高度, 絕不是 760 耗, 因爲地心吸力與距離的平方成反比, 地球是扁的, 兩極距地心較赤道距地心近, 所以兩極引力大, 赤道引力小; 換言之, 就是兩極秤物

重，赤道秤物輕。在緯度 45° 地方，物質的輕重，適得其中，所以取作標準。

用數學推得，在緯度 x° (南或北) 地方的引力 $= \frac{45^\circ \text{地方的吸引力}}{1 + B \cos 2x}$ ，在此式中， $B = 0.00256$ 。

設 h 為緯度 x° 地方 0°C . 時，測得氣壓計水銀柱的高度，並且此水銀柱所生的壓力恰等於標準壓力，則

$$\frac{h}{1 + B \cos 2x} = 760 \text{ 耗}$$

$$\therefore h = 760 \times (1 + B \cos 2x) = 760 + 1.9456 \cos 2x.$$

(丁) 地方高出海面的改正 這一層和前一層相同，地方愈高，水銀重量亦愈輕，地方愈低 (即近海面)，水銀重量亦愈重。所以顯出標準壓力的水銀柱亦隨着該地方的高度增長。

(丙)，(丁)，兩層既然相同，所以可把這兩層改正併計。設在緯度 x° 的地方，該地方高出海面 h 呎， H_0 為顯出標準壓力水銀柱的長，並且該水銀是 0°C .；由數學方法推得

$$H_0 = 760 + 1.9456 \cos 2x + 0.00004547 h \text{ 耗}.$$

應用以上四種改正法，可以測得(用氣壓計)某地方的精確大氣壓力，知道精確大氣壓力，然後檢查水在各種壓力下的沸點表(附錄第三表)，可以知道該地方沸騰水面上蒸汽的精確溫度。把欲改正的溫度計放在沸騰的水蒸汽裏，視其內水銀柱指示何度？若指示的溫度和從附錄第三表裏查得的度數相同，則此溫度計是極精確無誤；若不相同，則此兩數的差，就是該溫度計沸點的差誤。這種差誤的計算和改正，下面舉例詳細說明。

改正沸點實例 設有一個溫度計，要試驗其沸點是否準確；先放在水蒸汽裏，如第五圖所示，過半小時後，看牠指示的度數，設為 98.55°C 。再看氣壓計水銀柱的高，設為 758.2 耗；當時空氣的溫度，設為 14.5°C ；試驗的地方，設是北緯 53° ；地方高出海面，設為 120 呎。

先對於風雨表的溫度，加以改正如下：

$h_0 = h_t(1 - 0.000162 t) \dots\dots$ 前節(甲)、(乙)的結果，

$$\begin{aligned} h_0 &= 758.2(1 - 0.000162 \times 14.5) \\ &= 756.4 \text{ 耗} \end{aligned}$$

在該地方能生標準壓力的水銀柱的高設為 H_0 。
〔即該地方大氣壓力若恰等於標準壓力，即一氣壓，
氣壓計水銀柱的高當為 H_0 〕，則

$$\begin{aligned} H_0 &= 760 + 1.9456 \cos(2 \times 53^\circ + 0.0000455 \times 120) \\ &= 760 - 1.9456 \sin 16^\circ + 0.0000455 \times 120 \\ &= 760 - 0.5360 + 0.00546 \\ &= 759.5 \text{ 耗(大約)。} \end{aligned}$$

所以該地方的標準壓力是 759.5 耗，和 45° 緯度地方的 760 耗相當。

現在標準壓力 = 759.5 耗，測得該地方此時的壓力 = 756.4 耗；那麼，標準壓力若等於 760 耗，現在所測的壓力應該是多少呢？設為 x ，則

$$x = \frac{756.4 \times 760}{759.5} = 756.8 \text{ 耗}$$

檢查附錄第三表，得見

在 756 耗壓力之下，水的沸點是 99.85°C 。

在 757 耗壓力之下，水的沸點是 99.89°C 。

∴ 在 756.8 托壓力之下，水的沸點是當為 99.88°C。

實驗得知該溫度計在水蒸汽裏所指示的溫度是 98.55°C，所以其沸點的差誤是 1.3°C，實際用此溫度計時，就在所測得的溫度(在 100 度附近的溫度)上加以 1.3°，就是改正的確實溫度了。

以上所述，是很精密的改正，但對於普通溫度計用不着這樣精密的改正，將改正氣壓計的種種手續，全可略去；因為水銀柱的長度變化不甚大時，影響到沸點，總在小數點二位以下，普通溫度計就測不到小數點二位以下，所以氣壓計的改正手續，全可略去。例如氣壓計測得大氣壓力 = 758.2 托，就用此數查附錄第三表，得見

在 758.2 壓力之下，水的沸點是 99.94° C. (大約)。

∴ 該溫度計的沸點差誤 = 99.94 - 98.55 = 1.39°，此數與前用精密法測得的結果相差不多。

如有一個普通溫度計，最小分度是半度，若用目

力察看牠的度數，只可看出小數點一位很準確，小數點二位就不能看了。對於此種溫度計，改正沸點，用上述的簡單方法已足。若是一個精密溫度計，分度最小是 $\frac{1}{50}$ 度，或 $\frac{1}{100}$ 度，改正沸點，必須用上述的精密方法。

管部粗細不勻的改正 一個溫度計的管部，如很均勻，則某一定量的水銀在管內任何部分所佔的長度，全相同；在第二章講管的選擇時，曾說到管部要勻，及試驗管部勻與不勻的方法，該方法就利用均勻則長度相同的道理。選擇一個極勻的管，差不多是不可能的，尤其是扁孔的管，更難做成極勻，所以溫度計造成之後，都有一種管部不勻所生的差誤，應該加以改正。改正之前，應先試驗該管那一部分粗，那一部分細？試驗的方法，先把水銀一小部分與球內水銀分離，即利用此小部分水銀，按前理試驗管部的粗或細。

分離一小段水銀是很難的事，所以製造溫度計，即先在球管交界處造成一狹部，如泥氏紮氏的最

高溫度計那樣。當溫度增加時，球內水銀出狹部，至適宜的時候，就將該表倒置，再使溫度降低，以指輕敲該溫度計，則水銀在管中的一小部分，與球內水銀分離。移動此分離的水銀細柱，量牠在各位置的長短。如第十九圖，設 ab 為分離的水銀細柱，最好使 ab 的長度，等於該表上十度左右；在理論



第十九圖

上講起來， ab 愈短，改正愈精確， ab 愈長，改正愈不精確。但太短時，計算太繁雜，所以 ab 的長等於十度左右為最適當。在管上所刻的度數，全是等分格， ab 的長，就用該刻度來量。在此位置量完，即移 ab 到 10° 與 20° 之間再量一次，依次移到 20° 至 30° ， 30° 至 40° ， 40° 至 50° ……之間，分別量之。就此量得的各數比較一下，比較的結果，就是差誤的結果，然後就根據這個結果加以改正。例如 0° 到 10° 之間管太細，那麼， ab 所表示的距離一定比較長一

點；假設所長的 $=\phi_1$ ，當用這個溫度計的時候，牠指示的溫度若為 10° ，這個 10° 實在不是 10° ，乃是 $(10-\phi_1)^\circ$ 。又如 10° 至 20° 之間管太粗，那麼 ab 所表示的距離一定比較短一點；假設所短的 $=\phi_2$ ，當我們用這個溫度計的時候，牠指示的溫度若是 20° ，此 20° 實在並不是 20° ，乃是 $(20-\phi_1+\phi_2)^\circ$ ；以後依此類推。至於 ϕ_1, ϕ_2, \dots 是怎樣求法呢？先要求出 ab 在各位置的長度，然後求出一個平均長，作為標準，即依此標準求各該數；求法如下：

設 l_1 為 ab 在 0° 至 10° 間的長度，在第十九圖上看，從 a 點到 1° ，大約等於 0.6° ，從 10° 到 b 點，大約等於 0.8° ，

$$\therefore l_1 = 9^\circ + .6^\circ + .8^\circ = 10.4^\circ.$$

又設 l_2 為 ab 在 10° 至 20° 間的長度，

l_3 為 ab 在 20° 至 30° 間的長度，

l_4 為 ab 在 30° 至 40° 間的長度，

.....

按求 l_1 的方法，求得 l_2, l_3, l_4, \dots ，如此可以造成

下表的前兩行。

假設溫度計上分度，已經改的很正確，則此 ab 在管中移動時，無論移到何處，所顯示的長度，當然是一定不變的，即以此不變的長度，作為標準長度，設為 L ；

再設 δ_0 是改正 0° 附近度數應該加上的數， δ_{10} 是改正 10° 附近度數應該加上的數， δ_{20} 是改正 20° 附近度數應該加上的數，等等……（注意： $\delta_{10}, \delta_{20}, \dots$ 可為正數，亦可為負數），則

$$\begin{aligned} L &= (10.8 + \delta_{10}) - (0.4 + \delta_0) \\ &= 10.4 + \delta_{10} - \delta_0 \\ &= l_1 + \delta_{10} - \delta_0 \end{aligned}$$

$$\text{同理 } L = l_2 + \delta_{20} - \delta_{10}$$

$$L = l_3 + \delta_{30} - \delta_{20}$$

.....

$$L = l_{10} + \delta_{100} - \delta_{90}$$

把以上十個方程式加起來，得

$$10L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{10} + \delta_{00} - \delta_0$$

δ_{100} 是沸點的改正, δ_0 是冰點的改正; 現在假設該溫度計的冰點沸點全都不錯, 那麼, $\delta_{100}=0$, 並且 $\delta_0=0$, 所以 L 就等於 ab 各個長度的平均值, 即

$$L = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{10}}{10},$$

從以上第一方程式, 得

$$\delta_{10} = L - l_1 = \phi_1, \quad [\delta_0 = 0]$$

同樣: $\delta_{20} = L - l_2 + \delta_{10} = \phi_2 + \phi_1, \quad [\text{設 } L - l_2 = \phi_2]$

$$\delta_{30} = L - l_3 + \delta_{20} = \phi_3 + \phi_2 + \phi_1 \quad [\text{設 } L - l_3 = \phi_3]$$

$$\dots = \dots\dots\dots$$

$$\delta_{90} = L - l_9 + \delta_{80} = \phi_9 + \phi_8 + \dots + \phi_1$$

$$[\text{設 } L - l_9 = \phi_9]$$

$$\delta_{100} = 0 \quad [\text{設沸點無差誤}]$$

總而言之, 若想求 $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 90^\circ, 100^\circ$ 各點附近的改正, 即按以下三層手續去作:

(1) 求出 ab 水銀細柱的平均長, L 。

(2) 用 L 依次和 l_1, l_2, l_3, \dots 等相減。

(3) 由 L 中減去 l_1 即得 δ_{10} , 由 L 中減去 l_1 , 再由 L 中減去 l_2 , 減得的兩量之代數和, 即得 δ_{20} , 以

下類推。

若有一溫度計，用上諸法，求得各數，造成下表：

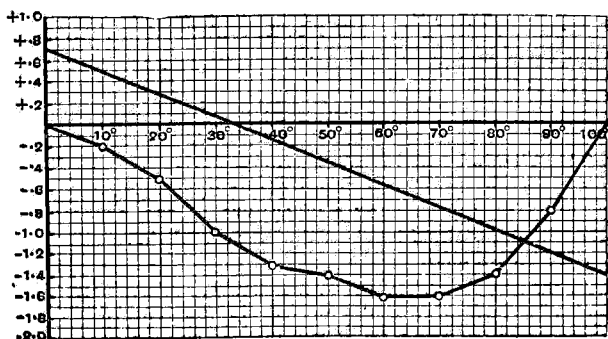
| ab 所在的位置 | ab 的長度 | 與平均值的差 | 改正 (10°, 20°, 各點附近應增加的數) |
|-------------|-----------------------------|---------------------|---|
| 0°與 10°之間 | $l_1 = 10.4$ | $L - l_1 = -.17$ | $\delta_{10} = \phi_1 \dots\dots\dots = -.17 = -.2^\circ$ (大約) |
| 10°與 20°之間 | $l_2 = 10.6$ | $L - l_2 = -.37$ | $\delta_{20} = \phi_1 + \phi_2 \dots\dots\dots = -.54 = -.5^\circ$ (大約) |
| 20°與 30°之間 | $l_3 = 10.7$ | $L - l_3 = -.47$ | $\delta_{30} = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = -1.01 = -1.0^\circ$ (大約) |
| 30°與 40°之間 | $l_4 = 10.5$ | $L - l_4 = -.27$ | $\delta_{40} = \dots\dots\dots = -1.28 = -1.3^\circ$ (大約) |
| 40°與 50°之間 | $l_5 = 10.4$ | $L - l_5 = -.17$ | $\delta_{50} = \dots\dots\dots = -1.45 = -1.4^\circ$ (大約) |
| 50°與 60°之間 | $l_6 = 10.4$ | $L - l_6 = -.17$ | $\delta_{60} = \dots\dots\dots = -1.62 = -1.6^\circ$ (大約) |
| 60°與 70°之間 | $l_7 = 10.2$ | $L - l_7 = +.03$ | $\delta_{70} = \dots\dots\dots = -1.59 = -1.6^\circ$ (大約) |
| 70°與 80°之間 | $l_8 = 10.0$ | $L - l_8 = +.23$ | $\delta_{80} = \dots\dots\dots = -1.36 = -1.4^\circ$ (大約) |
| 80°與 90°之間 | $l_9 = 9.7$ | $L - l_9 = +.53$ | $\delta_{90} = \dots\dots\dots = -.88 = -.8^\circ$ (大約) |
| 90°與 100°之間 | $l_{10} = 9.4$ | $L - l_{10} = +.83$ | $\delta_{100} = \dots\dots\dots = 0 = 0^\circ$ (大約) |
| | $L = 102.3 \div 10 = 10.23$ | | |

應用上表，就可以改正由於管部不勻所生的差誤；如用該溫度計測得的溫度是 60° ，然彼時的溫度實在不是 60° ，乃是 $60^\circ - 1.6 = 58.4^\circ$ 。還有一個應注意之點，就是 L (在表中看) 取定二位小數， l_1 ， l_2 ……等等僅有一位小數；那麼，平均所得的 L 的值，是否有錯呢？這大概是沒有錯的，因為用眼估量 l_1 ， l_2 ……等時，或是長一點，或是短一點，機會是均等的，所以平均所得的數，雖然到兩位小數，亦不會錯的。

圖表改正 (graphical correction) 本處仍接續上文，講管部不勻的改正。上文有兩個不完全的點，本處要補充完全了。不完全的點是甚麼呢？第一：應用前面的改正表，只能改正 10° ， 20° ， 30° ……各點及各點附近的差誤，若是 5° ， 15° ， 26° ，……這些點的差誤，就不能改正了；本處所述的圖表改正，任何一點的差誤，全都能够改正。第二：上文假定溫度計的冰點和沸點沒有差誤，即 δ_{100} 與 δ_0 均等於零，但是溫度計的冰點和沸點，沒有差誤的很

少，所以假設 δ_0 與 δ_{100} 等於 0，是不完全的；本處副表的改正，是連同各點的差誤，加以準確完全的改正。

如第二十圖，將溫度計的度數，畫在方格紙的橫線上（從 0° 到 100° ），再將 $\delta_0, \delta_{10}, \delta_{20}, \dots$ 之值，直對着 $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, \dots$ 畫在方格紙的豎線上。用格的多少，表示該數的大小。因為 $\delta_{10}, \delta_{20}, \dots$ 都是負數（參看第 67 頁的表），所以都在 $10^\circ, 20^\circ, \dots$ 的下邊。各點畫出以後，就把牠連成一條曲線。在這曲線上，就可以檢查出任何溫度的差誤了。例如 16° 的真溫度 = $16 - 0.4 = 15.6^\circ$ ； 55° 的真溫度 = $55 - 1.5$



第 二 十 圖

$$= 53.5^{\circ}.$$

現在接着研究冰點沸點的改正。設冰點的改正，應該加上一個數，就在 0° 的下邊（直對着）將該數畫在豎線上；設沸點的改正，應該減去一個數，就在 0° 的上邊（直對着）將該數畫在豎線上。用同樣的方法，將沸點的改正，亦畫在格紙的豎線上（直對着沸點）。然後將此兩改正點，用一直線連起來，此直線與曲線的距離，就是某相當點的改正數，但此數或加或減，須視兩線的位置來定的。在第二十圖，設該溫度計的沸點改正是 $+1.4^{\circ}$ ，冰點改正是 -0.7° ，就用這兩個點，畫出一條直線，如圖所示。至於改正的應用極為簡單，例如在該溫度計上指示的溫度是 5° ，則其真溫度當為 $5 - 0.7 = 4.3^{\circ}$ ，此 0.7 是從圖表上查出的，即 AB 的距離；亦就是 5° 的位置上直線和曲線的距離。又如 20° ，真溫度當為 $20 - 0.8 = 19.2^{\circ}$ 。又如 90° ，真溫度當為 $90 + 0.4 = 90.4^{\circ}$ 。

水銀溫度計所生差誤的別種原因 水銀溫度計

不準確的原因很多。以上所述，是兩種最大的原因。現在還要研究幾種別的原因。本處所述各種原因，多半不用改正；或者因為差誤太小，不改正亦不要緊；或者因為某種差誤不規則，改正不易，就在造溫度計時，預先於其構造上防備其差誤。茲分述各種差誤原因如下：

(甲)管部太細所生的差誤 溫度計管部太細時，其中水銀運動不靈活；當溫度增高或減低時，水銀柱有時不動，有時忽然上升或下降；這種原因，多半是由於毛細管作用。所以造溫度計，選擇玻璃管時，萬不宜太細；雖然是造精密溫度計，亦不可使其管部太細。

(乙)管部外露所生的差誤 若欲溫度計測得的溫度很精密，當然要使球中管中全部的水銀溫度相同；但是用溫度計時，管的一部常露在空氣中而不和球部的溫度相同，所以測得的溫度稍有差誤。例如所測的溫度比空氣溫度低，則其指示的溫度比真溫度高；所測的溫度比空氣溫

度高，則其指示的溫度比真溫度低。這種差誤非常的小，所以平常多不加以改正；但精密的測定溫度，對此亦要改正的。

(丙) 周圍壓力變化所生的差誤 因為要使溫度計內水銀感受溫度的變化很快，所以球的壁要做成極薄，因此遂生出一種微小的差誤來。蓋因周圍壓力加大，球部的容積就要變小，此時溫度雖不上升，其中水銀亦被擠而升高。壓力減小，球部容積隨之變大，此時溫度雖不減低，亦能使水銀下降。至於壓力變化的原因甚多，其主要者如下：

(子) 空氣壓力的變化。

(丑) 按液體力學的道理，球部浸入液體裏，隨其深淺而其周圍的壓力常常生變化。

(寅) 水銀柱的上端距離球的中心長短不同時，則球壁所受的壓力亦不同，這是一種內部壓力的變化。內部壓力的變化，常常不顯；但溫度計的位置有極大變化時，牠的内部壓力

亦有很大的變化。例如橫着用的時候，內部壓力極小，直立着用，內部壓力最大。

這一種差誤極微小，並且有時候有，有時候沒有，所以對此勿用改正。

管部外露所生差誤的改正 另用一個溫度計測得外露部分的溫度，此外露部分的溫度與原溫度計溫度之差設為 t° ，又測得外露部分的長為 l ，再設管孔的橫剖面為 A ，又用別的方法求得水銀與玻璃的膨脹係數 (coefficient of apparent expansion) 為 C_{a*} ，則外露水銀的體積為 $A \times l$ ， $A \times l$ 的溫度增加 t° 所增的體積 (在玻璃管上看) 為 $A \times l \times C_a \times t$ (假定球的溫度比管的溫度高)。那麼，增加的長 (在管上看) = $\frac{A \times l \times C_a \times t}{A} = l \times C_a \times t$ 。設一度的距離為 d ，則所改正的度數等於 $\left(\frac{l \times C_a \times t}{d}\right)^\circ$ 。若是球的溫度比管部高，就將此度數加上；若是球的溫度比管部低，就將此度數減去。

*〔註〕水銀的真膨脹係數 (coefficient of real expansion)

= 0.000181，但在溫度計上所觀察的水銀膨脹係數，不

等於 0.000181, 較此數稍小; 蓋因水銀膨漲時, 玻璃管亦隨着膨漲, 所觀察的乃是水銀真實膨漲係數和玻璃真實膨漲係數之差, 這種差數名叫水銀與玻璃的視漲係數。圖爲溫度變化時, 水銀和玻璃的體積一齊變化, 所以本節的改正要用視漲係數。

〔附錄〕求水銀在玻璃裏的視漲係數法 設有一個小口的玻璃瓶, 在 0°C . 時, 裏邊滿裝水銀; 若把牠熱到 $t^{\circ}\text{C}$., 就有一小部分水銀流出來。此時溫度若一減低, 水銀當当然要收縮; 假若再把牠熱到 $t^{\circ}\text{C}$., 該水銀仍然可以漲滿玻璃瓶。

設流出來的水銀 = m 克,

玻璃瓶中水銀熱到 $t^{\circ}\text{C}$. 所餘的 = M 克,

現在對於玻璃的膨漲不顧, 則 $M+m$ 克在 0°C . 的體積, 恰等於 M 克在 $t^{\circ}\text{C}$. 的體積, 即 M 克從 0°C . 熱到 $t^{\circ}\text{C}$. 所增的體積 = m 克在 0°C . 所佔的體積。

又設 $V_0 = M$ 克在 0°C . 時的體積,

$V_t = M$ 克在 $t^{\circ}\text{C}$. 時的體積,

$$\text{則 } \frac{V_0}{V_t} = \frac{M}{M+m},$$

$$\begin{aligned}\therefore C_a &= \frac{V_t - V_0}{V_0 t} = \frac{(M+m) - M}{Mt} \\ &= \frac{m}{Mt}.\end{aligned}$$

實例：一個小細口瓶，空的時候重為 5.913 克；裝滿水銀，在溫度 12°C 時，重為 61.755 克。熱到 100°C，小瓶裏水銀流出一部分，所餘重量為 61.022 克。求水銀的膨脹係數。

$$m = 61.755 - 61.022 = 0.733 \text{ 克。}$$

$$M = 61.022 - 5.913 = 55.109 \text{ 克。}$$

$$t = 100 - 12 = 88^\circ\text{C}。$$

$$\therefore C_a = \frac{m}{Mt} = \frac{0.733}{55.109 \times 88} = 0.000151。$$

軟玻璃所生的差誤 溫度計熱的時候，不但是水銀漲大，玻璃管亦漲大；譬如一個很靈的溫度計，初放到熱水裏，水銀面先下降，過一些時，水銀面纔上升，這就因為玻璃先受熱球管容積增大的原故。當溫度計熱的時間太大的時候，玻璃依然膨脹，及至再冷，玻璃很不容易收縮而恢復原狀，起初收縮還很快，等到牠的體積比原來體積祇略大一

些的時候，收縮就很慢了，往往經過數月或一年，纔能恢復原來體積。因為軟玻璃有這種特性，所以生出下邊幾種差誤：

(甲)零點的變化 溫度計造成之後，放置多日，再放到融化的冰裏試驗牠的冰點，則水銀柱指示的溫度稍稍高一點（即在刻度零點以上）。這種差誤，是由於玻璃球管造成之後，沒有放置多日就在上邊刻度；度數刻好以後，球管的容積漸漸的變小，所以指示的溫度較高。這種差誤改正極易，即將該溫度計插入融化的冰裏，重新核定牠的冰點；假設新求得的冰點較溫度計上原來的冰點高 0.1°C ., 當用此溫度計時，測得某溫度是 64.5°C ., 則其真溫度是 64.4°C ..

(乙)熱後的差誤 溫度計測過高溫度之後，即時又用牠測低溫度，因為玻璃膨脹還沒有復原，所以測得的溫度比真溫度稍低；欲免除此種差誤，沒有好的方法，惟有不用一個溫度計連着測兩次高低不同的溫度。這種差誤是暫時的，大

約經過一天以後，就不顯了。並且因為這個原故，造溫度計的時候，常常先決定冰點，後決定沸點；倘若先決定沸點，表上所劃的 0° ，就生出（甲）段所述的差誤了。

溫度計的熱容量 (heat capacity) 所生的差誤當溫度計插入某種熱液體的時候，因為溫度計的溫度增高，需要一部分熱量，所以該液體的溫度較以前要降低一點；設若該液體的分量不甚多時，則所生的差誤更大。再進一步研究，假設某液體的溫度漸漸增高，則溫度計裏邊水銀的溫度，永久比某液體冷一點；所以用水銀溫度計的時候，雖然把以前種種的差誤都改正，仍然不能表示極精確的溫度；但此種差誤極微小，並且被測液體的分量很多時，或被測液體的溫度固定時，就可以說沒有此種差誤，所以此種差誤是不用改正的。假若測精密溫度時，這種差誤是要改正的，若不改正，牠的差誤總比 $\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$. 大；換言之，測得的溫度，小數點一位以下，就不準確了。

差誤的總論 從以上所述看起來，溫度計的差誤是很多的，並且是很複雜的。還可以說，凡是水銀溫度計沒有無差誤的，據格立菲司 (Griffiths) 氏的考究：——雖然巧匠按照學理造成的最好溫度計，亦不能沒有差誤，差誤的最小限是 $0.4^{\circ}\text{C}.$ 。再談到改正上，雖然經過多次改正，亦不能測得極精確的溫度，若能使其差誤小到 $\left(\frac{1}{100}\right)^{\circ}\text{C}.$ ，或 $\left(\frac{6}{1000}\right)^{\circ}\text{C}.$ ，那就算很精確了。改正差誤，使其差誤小到 $\left(\frac{1}{100}\right)^{\circ}\text{C}.$ ，須經下列幾種的改正：

- (1) 求出沸點差誤，加以改正。
- (2) 求出冰點差誤，加以改正。
- (3) 核準管孔的不勻，加以改正。
- (4) 求出臨時零點的變化 (76 頁甲與乙)；宜作數次觀察，加以平均的改正。
- (5) 估計在水平位置和直立位置所生的差誤，加以改正。
- (6) 觀察內部壓力變化所生的差誤，加以改正。
- (7) 求出溫度上升時，水銀溫度比其周圍溫度差

異若干(格立菲司 (Griffiths) 氏謂：用水銀溫度計不能測精確的下降溫度，就因為表內外溫度不同)，加以改正。

(8) 求出管部外露所生的差誤，加以改正。

從上邊看起來，求精密溫度是很難的一件事，但普通應用上量定溫度，用不着精密到這樣程度，只對於大的差誤稍加改正就完了。還有一層，就是測兩不同溫度的差 (difference)，不用改正，因為兩溫度各個的差誤，大約相同，兩溫度相減，可將其差誤消去，而得很精確的溫度差。

第五章 氣體溫度計

在第二章，曾講過一個氣體溫度計，不過是很簡單的，並且用牠只可以測溫度的變化，不能測出一定的溫度來（因為沒有固定點）；該溫度計還有一種不完全的地方，就是測定溫度的範圍太小，不能用牠測較高或較低的溫度。現在所要講的氣體溫度計，構造是很複雜的，原理是很深奧的，在科學上是很有價值的。

以前所講的溫度計，多半是用測普通溫度，至於最高溫度或最低溫度，就不能測了；氣體溫度計，能測最低溫度。水銀溫度計最低能測到 -39°C ，酒精溫度計最低能測到 -130°C ，到了 -130°C 以下，就須用氣體溫度計來測定。

溫度的低，不是無限的，按查理氏定律推測起來，溫度最低只能到 -273°C ，這是一個最冷之點，名爲絕對零度（參看第51頁起所述絕對溫度計），所以氣體溫度計的

最低點，亦就到 -273°C 。但是實際講起來，現在還沒有人能使溫度冷到 -273°C ，現代科學家對於這一層正在積極研究之中，1911年時，奧泥斯 (Kamerlingh Onnes) 氏曾將溫度冷到 -271.3°C ，距絕對零度僅差 1.7°C 。（參看附錄第一表）

波義耳氏定律 (Boyle's law) 氣體溫度計是和波義耳氏定律有直接關係的；因我們用氣體造溫度計，亦是利用牠的熱漲冷縮性，除此以外，還要利用牠的體積和壓力的關係；這一項是氣體的特性，因為固體液體的體積，多不受壓力的影響，惟獨氣體的體積是隨壓力變化的；壓力增大，則體積縮小，壓力減小，則體積變大。波義耳氏定律，是專講氣體體積和壓力的關係，所以在解釋氣體溫度計以前，先要詳述波義耳氏定律。

由實驗測得，在溫度一定的時候，某定量氣體的體積與其所受壓力的相乘積，等於一個常數 (constant)；質言之，就是體積隨壓力變化，這一方面增大，他一方面就減小，無論變化到甚麼時候，乘積

永久不變；這就叫波義耳氏定律。大概講起來，凡是氣體沒有不遵守此定律的；但是精密講起來，有的氣體完全遵守該定律，有的氣體不完全遵守該定律，遵守該定律的氣體名爲完全氣體；造溫度計必須用完全氣體，由實驗得知，純粹的乾燥空氣，以及氮，氧，氫，等氣體皆是完全氣體，不過要在普通溫度壓力變化不甚大的時候；假若壓力變化太大，或溫度不是普通溫度，該氣體等就不遵守此定律了。

查理氏定律 (Charles's law), 又名給呂薩克氏定律 (law of Gay-Lussac) 此定律是專講氣體體積和溫度的關係。由實驗測得，設氣體在 0°C . 時的體積爲 V ，溫度每增加一度，體積要增加 $\frac{V}{273}$ ；溫度增加兩度，體積增加 $\frac{2}{273} \times V$ ；溫度減低一度，體積減少 $\frac{1}{273} \times V$ ；照此推下去，溫度減低 273°C ., 體積就變成零了；換言之，就是到了絕對零度的時候，氣體的體積就完全消滅了。這一種關係，就名爲查理氏定律。此定律亦可以用下邊的話說明：

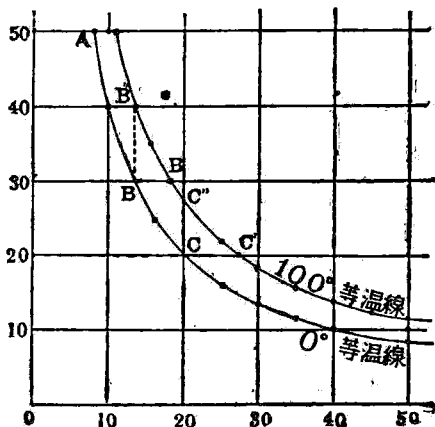
在壓力不變的時候，某定量氣體所佔的體積，與絕對溫度成正比例。

再用公式來表示，設在絕對溫度 T_1 度時，氣體體積 = V_1 ，在 T_2 度時，體積 = V_2 ，則

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2 \text{ 或 } V_1 = \frac{V_2 T_1}{T_2}。$$

再用極簡單的話來說明該定律，就是壓力不變時，溫度每增 1°C ，氣體體積增加 0°C 時體積的 $\frac{1}{273}$ 。

等溫線 (isothermal) 與其一般方程式 波義耳 氏定律，可以用一個方程式表示；如壓力 = P ，體積 = V ，則 $PV = K$ ，此處的 K 表示一個常數。第二十一圖是在方格紙上把該方程式和該式的變化用一個曲線表示出來，橫線上的數是表示體積，豎線上的數是表示壓力；曲線 ABC 就示該方程式；例如 C 點，壓力 = 20，體積亦等於 20，二者的乘積 = 400；再如 B 點，壓力等於 30，體積 = 13.33，二者的乘積 = 400，此 400 是常數，就是方程式裏的 K 。但是這個曲線僅表示體積和壓力的變化，表示



第二十一圖

的溫度是一定不變的，所以這個曲線名叫等溫線。假若溫度變化，就須另用一個曲線表示；如圖 ABC 是零度時的等溫線；B'C' 是 100°C. 時的等溫線，在此等溫線上的 K 就不等於 400 了，蓋 400 是 0°C. 時的 K；所以不隨體積壓力變，而隨溫度變。我們就利用 K 和溫度的關係，來測溫度。

利用第二十一圖，就可以計算溫度。設橫線上的數是立方呎，在 0° 等溫線上看，壓力等於 20 時，則體積為 20 立方呎；按查理氏定律，壓力若常為 20，

該氣體 20 立方糎，從 0°C . 到 100°C . 所增的體積我們可以計算出來，因之在圖上得着 C' 點。此 CC' 即表示 20 立方糎（壓力不變）從 0° 到 100°C 所增的體積，所以在通過壓力 20 的橫線上， C 點即表示 0°C ., C' 點即表示 100°C .. 我們既然求出 C' 點，就可以算出 100°C . 時的 K 來， $B''C''$ 曲線利用 K 就可以畫出來了。

假若第二十一圖很大的時候，就可以把 CC' 分作一百等分，就在 CC' 線上表示出 $1^{\circ}, 2^{\circ}, 3^{\circ}, \dots, 99^{\circ}, 100^{\circ}$ 來，這種表示溫度的方法是很笨的，現在講一個計算溫度的方法：

某定量的氣體，在一定壓力之下，從 0°C . 熱到 100° 所增的體積設為 δ ；用該氣體測溫度時，量牠體積的變化，設其變化後的體積，與 0°C . 時體積之差為 x ，並且此時壓力仍與前一定壓力相同，則溫度等於

$$\frac{x}{\delta} = \left(\frac{x \times 100}{\delta} \right)^{\circ}\text{C}.$$

$$\frac{x}{\delta} = \frac{x \times 100}{\delta} \times \frac{1}{100}$$

在第二十一圖上，兩個等溫線的 K 不同，所以須用兩個方程式表示該兩曲線，溫度若變化多次，曲線更多；每一個曲線用一個方程式表示，太繁雜了，所以要找出一個方程式表示一切的曲線，這個方程式名叫普通方程式。現在求該方程式：

設在 0°C . 時，等溫線的方程式為 $P_0V_0=K$ ，在此方程式的曲線上任取一點，與此點相當的體積為 V_1 ，壓力為 P_1 ；現在把溫度增到 100°C .，若壓力不變，其所增的體積為 V_2 ，則

$$P_1(V_1+V_2)=100^\circ\text{C}. \times \text{等溫線方程式的常數。}$$

設 P 與 V 表示 100°C . 等溫線上任一點的相當壓力和體積，則

$$PV=P_1(V_1+V_2)=P_1V_1\left(1+\frac{V_2}{V_1}\right)$$

又設 α 為氣體 1 立方呎從 0° 到 1°C . 所增的體積，

$$\text{則 } \frac{V_2}{V_1}=100\alpha。$$

$$\text{又 } P_1V_1=K，$$

$$\therefore PV=P_1V_1(1+100\alpha)=K(1+100\alpha)。$$

若溫度增加 $t^\circ\text{C}$. (代替 100°)，增加的體積 = V_2 ，

則 $\frac{V_2}{V_1} = t\alpha$, 所以 $t^\circ\text{C}$. 等溫線的方程式爲

$$\underline{PV = K(1 + \alpha t)}, \text{這是一個普通方程式。}$$

α 的數值, 在前面已經知道等於 $\frac{1}{273}$, 把此數值代入方程式裏, 則

$PV = K\left(1 + \frac{t}{273}\right) = \frac{K}{273}(273 + t)$ 。 $\frac{K}{273}$ 亦是一個常數, 我們用 R 表示之, 再用 T 表示絕對溫度, 得一個普通方程式如下:

$$\underline{PV = RT}$$

〔此式與前式是一個, 惟前式用攝氏溫度, 此式用絕對溫度〕。

氣體壓力係數 (pressure coefficient of the gas) 溫度增加, 則氣體體積漲大; 在溫度增加時, 壓力亦增加, 可以使體積不變。設有某定量的氣體, 從 0°C . 熱到 1° , 同時增加壓力使該氣體體積不變, 則此增大的壓力和原來壓力的比, 名爲氣體壓力係數。此係數恆用 β 代之, 完全氣體的 β , 其數值與前面所述的 α 相等, 即等於 $\frac{1}{273} = 0.003665$ 。

$\beta = \alpha$, 證明如下:

由前面, $PV = K(1 + \alpha t)$ (1)

若某定量氣體在 0°C . 時, 其體積 $= V_1$, 壓力 $= P_1$,
熱到 100°C ., 並且使牠體積不變, 所增的壓力 $= P_2$,
則 100° 等溫線的方程式爲

$$PV = (P_1 + P_2) V_1 = P_1 V_1 \left(1 + \frac{P_2}{P_1}\right).$$

同前理, $\frac{P_2}{P_1} = 100\beta$,

又 $P_1 V_1 = K$,

$$\therefore PV = K(1 + 100\beta),$$

同前理, 以 t° 代 100° ,

$$\therefore PV = K(1 + \beta t), \dots\dots\dots (2)$$

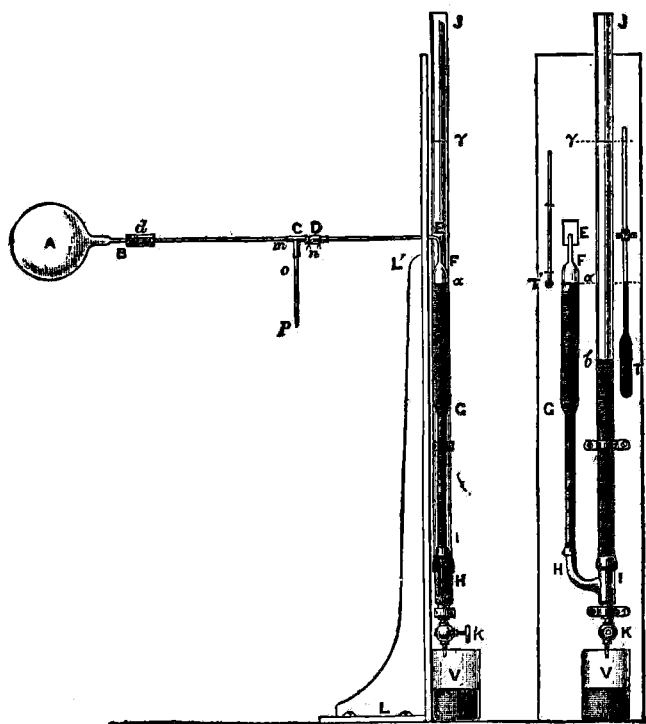
(1) 式與 (2) 式比較, 可知 $\alpha = \beta$ 。

[注意] (1), (2) 兩式在溫度計上應用很大。

關於氣體溫度計的重要原理全說完了, 以下述
各種氣體溫度計。

勒諾氏定體積空氣溫度計 (Regnault's constant volume air thermometer) 如第二十二圖, A 球以 BE 細管與直立的 FH 粗管相連通, HF 粗管的下端與 JI 管連通, HI 彎曲部分是用金屬造成,

下端有活塞 K，開的時候，可使該兩管與外面通連，爲的是放出水銀之用。A 球的體積大約爲 700 立方糎，先把球內弄成極乾燥，然後放入一種乾燥的氣體，此時 A 球周圍用融化的冰包圍。在 J 端



第 二 十 二 圖

向 JI 管裏裝水銀，直裝到水銀面上升到 FH 管的 a 點爲止。因爲 BE 細管上的邊管 CP 與外面通連，所以 JI 管內水銀面與 a 點平。在這兩管內量水銀面的高，爲的精確起見，常常要用望遠鏡量。水銀裝好以後，就把 PC 邊管的 P 孔封上，此時 A 球內的氣體是一氣壓溫度等於 0°C 。這溫度計的構造大概是如此，以下接着講牠的用法。

假設用此溫度計測某液體的沸點，先將 A 球放在該液體的蒸汽箱裏，設其沸點在 0°C 以上，則 A 中氣體必然膨脹，此時在 J 處傾入水銀，增大壓力，以維持牠的體積不變，就是使 FH 管裏的水銀面永久在 a 點（若其沸點在 0°C 以下，則 A 中氣體必然收縮，此時急將活塞 K 轉開，使水銀漏入 V 裏，以減少 JI 管的壓力，可以維持 HF 管的水銀面永久在 a 點，亦就是維持 A 中氣體體積不變）。將水銀傾入（或漏出）適宜後，設 JI 管裏水銀面高到 γ 點，用極精密的方法，測知 γ 點比 a 點高若干，此 $a\gamma$ 的高就是增加的壓力；設該溫度計原來

的壓力(大氣壓力) = P , 增加的壓力 = P' ; 又設 A 球裏氣體體積 = V , 則 $PV = K$ (此式為 0°C . 時的等溫線方程式), 按照前面求得的方程式,

$$(P + P')V = K(1 + \beta t), \quad t \text{ 即所求的溫度。}$$

$$\text{解方程式, } PV\left(1 + \frac{P'}{P}\right) = K(1 + \beta t),$$

$$\text{代入 } PV = K,$$

$$K\left(1 + \frac{P'}{P}\right) = K(1 + \beta t)$$

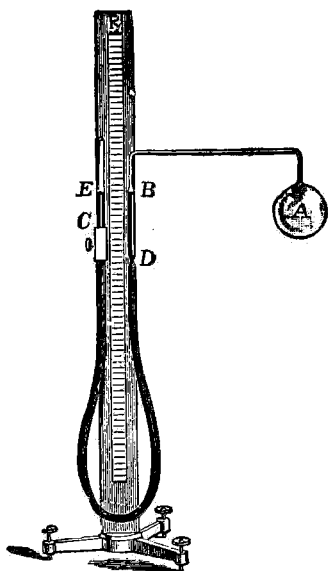
$$\therefore \frac{P'}{P} = \beta t$$

$$\therefore t = \left(\frac{1}{\beta} \times \frac{P'}{P}\right)^{\circ}\text{C.}$$

在此式中, β 已知 = $\frac{1}{273}$, P 與 P' 均由實驗求得, 皆為已知數, 由此可以求出某液體的沸點來。若所求的溫度比 0°C . 低, 則 P' 是負號, 所以求出來的溫度是零下若干度。

佐來氏定體積空氣溫度計 (Jolly's thermometer) 此溫度計與上節所述的勒諾氏溫度計原理用法完全相同, 不過構造上微差。用勒諾氏溫度計測定溫度時, 常要在 J 處傾入水銀, 在 K 處放出水銀, 這是很不便的; 在佐來氏溫度計, 就無此種

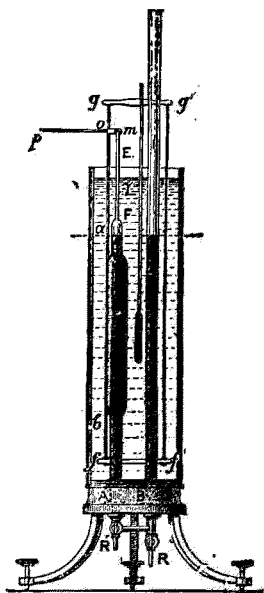
不便；方法是用一個很堅厚的橡皮管，把 BD 和 E C 兩個玻璃管連起來，當溫度變化時，要使水銀面永久在 B 點（即 A 中氣體體積不變），就上下移動



第二十三圖

EC 管；E 水銀面和 B 水銀面的差，就是增加或減少的壓力。中間有 R 尺，用量 BE 的距離，如第二十三圖。

勒諾氏定壓力空氣溫度計 (Regnault's constant pressure air thermometer) 此溫度計的構造，完全和第二十二圖一樣，不過測溫度的方法，與那一個完全不同；那一個是使 A 球內氣體體積不變，這一個是使 A 球內氣體所受的壓力不變。當溫度變化時，因為 A 球內氣體體積漲縮的原故，遂使 FH 管內水銀上下移動，這時候或由 J 傾入水銀，或由 K 放出水銀，使 FH 和 JI 兩管的水銀面永遠在一水平面上，則 A 球內氣體所受的壓力永和大氣壓力相等而不變。檢查體積的變化，就可以求出溫度來。當測定溫度時，還有一層應該注意的，就是 A 球裏氣體溫度常常和



第二十四圖

FH 管裏氣體的溫度不相同，應該加以改正；求出精確的體積變化，然後再計算溫度。如第二十四圖所示，將 A 和 B 兩管用水包圍起來，水裏插一溫度計。測得水的溫度，就是 A 管裏的溫度。計算溫度，常用下邊的方程式：

$$PV = RT. (\text{求得的溫度是絕對溫度})$$

設在 0°C . (即絕對溫度 273°) 一氣壓時，連於 p 管之玻璃球之體積為 700 立方糎；現在用牠測某種液體的沸點，就把此球放在某液體的蒸汽裏，球內氣體因漲大即有一部分擠入 A 管；在 A 管上看出膨漲的體積是 100 立方糎；再看水中溫度計上所表示的溫度為 10°C ., 即絕對溫度 283° ，設球內此時的溫度為 T (所求之數)，其真正膨漲的體積為

$$100 \left[1 + (T - 283) \times \frac{1}{273} \right] = 100 + \frac{100T}{273} - \frac{28300}{273}$$

$$\text{按公式: } P \times 700 = R \times 273 \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{又 } P \times \left(700 + 100 + \frac{100T}{273} - \frac{28300}{273} \right) &= RT \\ P \times 700 + P \times \frac{1}{273} (27300 + 100T - 28300) &= RT \\ P \times 700 + P \times \frac{1}{273} (100T - 1000) &= RT \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

用(1)式除(2)式,則得

$$1 + \frac{1}{273 \times 700} (100 T - 1000) = \frac{T}{273}$$

$$273 + \frac{1}{700} (100 T - 1000) = T$$

$$273 + \frac{1}{7} (T - 10) = T$$

$$273 + \frac{T}{7} - \frac{10}{7} = T$$

$$1911 - 10 = 7 T - T$$

$$6 T = 1901$$

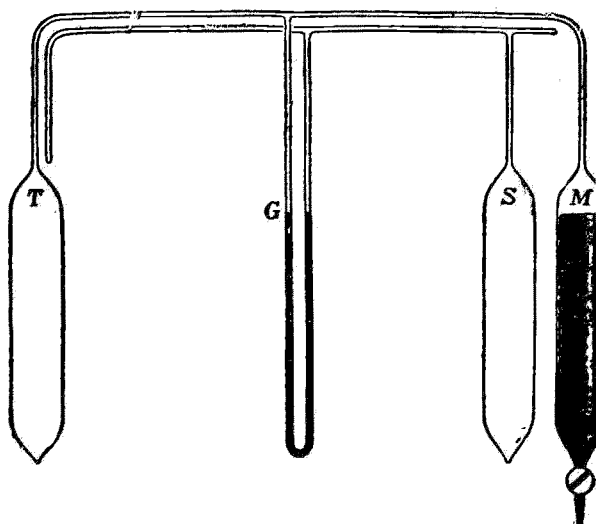
∴ $T = 317^\circ$ (絕對溫度),

即某液體的沸點是絕對溫度 317° , 亦即是 $317 - 273 = 44^\circ\text{C}$ 。

勒諾氏由實驗測得的結果, 定壓力溫度計不如定體積溫度計的精確。

卡楞達爾氏對稱溫度計(Callendar's compensated air thermometer) 此種溫度計, 亦是一種定壓力氣體溫度計。如第二十五圖, T 球與盛水銀的 M 球直接通連, T 球與 S 球中間用一硫酸壓力

計 G 連接；硫酸壓力計是一極細曲管，中盛硫酸，硫酸面的高低，即表示 S 與 T 壓力的大小；S 球裏



第二十五圖

滿裝乾燥空氣，並且用融化的冰把牠包圍起來，則 S 中的壓力常為固定不變的，與外面大氣壓力無關。再把 T 球放在融化的冰裏，增加或減少 M 球裏的水銀，使 T 和 S 的壓力相等（G 的兩邊液面相平，即表示兩邊壓力相等），此時 T 球的溫度為

0° C.。若欲測某氣體的溫度，即將 T 放入某氣體內，增減 M 裏的水銀，使 T 和 S 的壓力仍相等；在 M 上有刻度，看水銀增減的體積是若干？即可以算出某氣體的溫度。

測溫度時，AB 細管裏邊的空氣不和 T 裏的溫度相同，不免發生差誤；卡氏另外添出一個 CD 細管，此細管的大小粗細與 AB 全同，有此管即可免除上述的差誤；此溫度計所以名為對稱的原故即在此。

卡楞達爾氏將 T 和 S 兩球製成對稱的狀態，大小相同，裏邊所盛的空氣質量 (mass) 亦一樣多，用公式

$$T = \frac{V_1 T_0}{V_1 - V_2} \quad (T \text{ 表示絕對溫度})$$

測出來的溫度極正確，能測到高溫度 450°C.，所測的溫度到小數點以下一位仍極準確。

現在將上面所用

$$T = \frac{V_1 T_0}{V_1 - V_2} \text{ 公式的由來，說明如下：}$$

設 $T = T$ 球內空氣的絕對溫度，

$V_1 = T$ 球內的體積。

又設 $T_0 = M$ 球內水銀面上空氣的絕對溫度，

$V_2 =$ 水銀面上的體積。

(實驗時將 M 放入融化的冰裏，則 $T_0 = 273^\circ$)

又設 $T_1 = AB$ 管內氣體的溫度，

$V_3 = AB$ 管內的體積。

又設 $m = T$ 與 M 兩球及 AB 管內空氣的質量。

又設 $\rho = 0^\circ\text{C}$. 時空氣的密度 (即單位體積的質量)，此時各球內壓力全等於 S 球內的壓力。則

T 球內空氣在 $T_0(0^\circ\text{C}.)$ 時所佔的體積 $= \frac{V_1 T_0}{T}$ ，

$\therefore T$ 球內空氣的質量 $= \frac{V_1 T_0}{T} \times \rho$ 。

同理， M 球內空氣的質量 $= V_2 \rho$ ；

AB 管內空氣的質量 $= \frac{V_3 T_0}{T_1} \times \rho$ ，

$\therefore \frac{V_1 T_0}{T} \times \rho + V_2 \rho + \frac{V_3 T_0}{T_1} \times \rho = \rho T_0$

$\left(\frac{V_1}{T} + \frac{V_2}{T_0} + \frac{V_3}{T_1} \right) = m_0$

又設 $V_4 = S$ 球的體積，

$V_5 = CD$ 管的體積，則

S 球及 CD 管裏氣體的質量 = $\rho T_0 \left(\frac{V_4}{T_0} + \frac{V_5}{T_1} \right)$ 。

卡楞達爾氏使硫酸壓力計兩邊的空氣質量相等，

並使

$$V_3 = V_5,$$

$$V_1 = V_6,$$

$$\text{則 } \frac{V_1}{T} + \frac{V_2}{T_0} + \frac{V_3}{T_1} = \frac{V_4}{T_0} + \frac{V_5}{T_1},$$

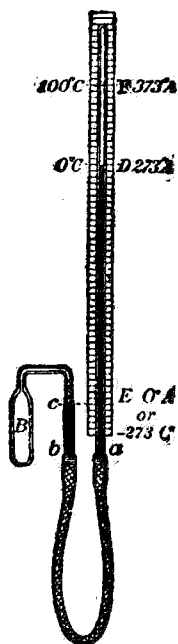
$$\therefore \frac{V_1}{T} + \frac{V_2}{T_0} = \frac{V_1}{T_0}; \quad \frac{V_1}{T} = \frac{V_1 - V_2}{T_0};$$

$$\therefore T = \frac{V_1 T_0}{V_1 - V_2}.$$

$T_0 = 273$, V_1 與 V_2 都可以測知，因之可以求得 T 為若干度。

標準氫氣溫度計 (standard hydrogen thermometer) 此種溫度計亦是一個定體積溫度計，構造完全和佐來氏的定體積氣體溫度計相同。氫氣的性質，是差不多完全合乎波義耳氏定律的，並且氫氣的膨脹係數與壓力的變化完全無關，(別的氣體，當壓力減小時，膨脹係數稍微增加)，所以採定

氫氣作為量溫度的標準物質。
 本處所述，為一氫氣溫度計；在巴黎萬國標準度量衡局 (International Bureau of Weights and Measures) 即採用此表，作為標準溫度計。如第二十六圖，B 球內裝入氫氣，a 管上端使成真空。先把 B 球放在融化的冰裏，上下移動 a 管，使 b 管內水銀面到 C 為止；因為 a 管上端為真空，所以 B 內氫氣的壓力恰等於水銀柱 DE；把 D 點記在後面的板片上，是為 0°C 。



第二十六圖

再將 B 球放到沸騰的水蒸汽裏，裏邊的氫氣就膨脹起來，此時將 a 管上提，壓力增加，使 b 管中水銀面仍回 C 點；則 B 內氣體所增的壓力恰等於 a 管內增高水銀柱的壓力，此時 ED 水銀柱變為 EF，把 F 點再記在後面的板片上，是為 100°C 。將 DF

距離分作 100 等分，按此等分向 100 度以上 0 度以下劃等分格，每一等分是為攝氏一度；再劃出 E 點使與 C 點平，則 DE 的距離恰等於 273 等分，所以 E 點就是絕對零度。由此亦可以證明波義耳氏及查理氏定律。

用此溫度計測溫度時，即將 B 球放入欲測的物體裏，上下移動 a 管使 B 內體積不變，看 a 管內水銀面的位置，即知該溫度為若干。

氣體溫度計與水銀溫度計的比較 前述種種溫度計，多半是用物質體積的變化來測溫度；用作測量溫度的最好物質，須具下列幾種性質：

(1) 膨脹均等 即溫度每變化一度，體積的變化恆為一定。

(2) 膨脹係數大 即溫度每變化一度，體積變化甚大；如此纔能測精密溫度。

(3) 熱的容量小 即稍微受一點熱量，其體積即生變化，如此纔能使溫度計極靈。

(4) 比熱 (specific heat) 無變化 物質單位

質量，溫度變化一度所吸收或放出熱量的數，謂之比熱。若某物質無論在甚麼溫度的時候，牠的比熱永久不變，這種物質用來測溫度極為準確。勒諾 (Regnault) 氏由實驗測得，在等壓力之下凡氣體比熱皆相等，且比熱無變化。別種物質的比熱常隨溫度變化。

(5) 溫度達限寬 在某達限以內，以上四種性質無變化，則此溫度的達限愈寬愈妙。

(6) 熱的傳導速 或由輻射法傳熱，或由對流法傳熱，傳的愈快，差誤愈少。

凡物質具有以上六種性質的很少，比較起來，氣體雖然不全有該六種性質，但是相差不多，所以氣體用作測溫度的物質算是最好。在各氣體之中，尤以空氣，氫氣等為最好。水銀在 0° 到 100°C . 之間，尚具有以上各個性質，到 100 度以上， 0 度以下，就與以上各性質不相近了。這是水銀溫度計不如氣體溫度計的一點。

用一個水銀溫度計，同一個氣體溫度計，對照比

較，除 0°C . 與 100°C . 相合外，其餘各度多不相合；由此推想，不是水銀膨脹不均等，就是氣體膨脹不均等；科學家用熱動力學 (thermodynamics) 的道理，已經證明氣體漲縮差不多是均等的，所以我們斷定水銀的漲縮不是均等的，這是水銀溫度計不如氣體溫度計的又一點。幸而在 0° 到 100°C . 之間，由於漲縮不等所生的差誤很小，用水銀溫度計測普通溫度，還不致發生大差誤；在 0° 到 100°C . 之間，最大差誤不過 0.2°C .，但是到了 300° ，能差到 4°C .，所以用水銀溫度計測精密溫度時，常常要用氣體溫度計對照改正。

此外還有一點，就是氣體膨脹係數約為水銀膨脹係數的二十倍，用氣體溫度計測細微的溫度變化，實較水銀溫度計便利的多，這又是氣體溫度計一優點。

水銀溫度計製造簡單，用時便利，這是水銀溫度計的一個優點。

氣體溫度計最大用處，就是用牠可以測極低溫

度,但有許多氣體太冷的時候,容易變成液體;論起空氣,氫氣等來,雖然近似完全氣體,然到了溫度太低的時候,亦不遵守波義耳氏定律,這是氣體溫度計的一個大缺點。

第六章 高熱計

以前所述種種溫度計，全是用測普通溫度和最低溫度，即是從絕對零度到攝氏四五百度中間的溫度。如過了五百度以上的高溫度，就不能測了。另外有測高熱的方法和儀器，本章即是敘述這些。但是測量高熱是很難的事，儀器的原理和構造，都很複雜，絕不像以前所述各溫度計的那樣簡單；且測定的方法，又非常多，（參看第106頁起所
述各種高熱計）幾一種高熱計，即根據一種原理，仔細講起來，實在是不勝其繁。許多歐美科學家著有巨冊的書，專述高溫度的測定，如柏澤斯 (Burgess) 與沙忒力厄 (Chatelier) 所著的高溫度測定法一書，有五百餘頁。現在要用很短的篇幅，詳述深奧的原理和各種儀器的構造，是不可能的。所以本章僅述大略而已。

測定高溫度的儀器的原理既和以前種種溫度計判然不同，所以就不能泛稱為溫度計，另起一個專

名，名曰高熱計 (pyrometer)；至於高熱計和溫度計 (thermometer) 的區別，亦沒有一定。換句話說，測甚麼溫度的儀器算是溫度計，測甚麼溫度的儀器算是高熱計？沒有很清楚的界限大。概講來，水銀溫度計所不能測的高溫度（三百度以上），另用一種儀器測定，這種儀器就名高熱計。

各種高熱計及其原理大要 測高溫度的方法，非常的多，所以高熱計的種類亦非常的多；現在僅就已經實用的各種高熱計，分述大略如下：

(甲) 氣體高熱計 這種高熱計原理比較簡單，就利用氣體體積，溫度，壓力，的關係，使氣體體積不變化，求出壓力的變化，即可算出溫度來。這種高熱計，就是前章所述的各種氣體定體積溫度計，不過構造上稍微有一點變更（參看第 111 頁起所述氣體高熱計）前章所述的卡楞達爾氏對稱溫度計，能測度到 450°C ，亦算是一種高熱計。

(乙) 熱最高熱計 (calorimetric pyrometer)

此種高熱計是利用熱量測溫度，因為熱量在某

定量的物質裏因溫度而變，溫度高則熱量多，溫度低則熱量少；用方法先測得某定量物質的熱量，根據熱量的多寡即可算出溫度來。

測熱量所用的物質，以金屬爲最相宜；在實驗室測高溫度常用鉑，在工業上測高溫度常用鎳。此種高熱計很簡單，用的時候亦不費事，並且置備很容易，所以在工廠裏此種高熱計應用極廣。

(丙)射熱高熱計(radiation pyrometer) 此種高熱計是利用熱物體的輻射總熱量以計算溫度，因爲輻射熱量的多寡亦是和溫度成正比的。又各種物質放射能力，各有不同，因之指示溫度物質所受的影響亦不相同，所以用此種高熱計測熱量，應注意到各種物質的放射能力。此種高熱計測最高的溫度很相宜，如太陽，弧光電燈，極熱的電爐……等，測定溫度的儀器，不能與之接近，縱或能接近，亦不能抵抗其高熱，所以測這種高溫度，最好用射熱高熱計。

(丁)光學高熱計(optical pyrometer) 光和

熱全由波動而成，有時光波可以變成熱波，有時熱波可以變成光波，所以光和熱有密切的關係。發光體的溫度高，發光就強；溫度低，發光就弱；所以測得光的強度，就可以算出溫度來。測某種熱物體的光度常常把光分成光帶 (spectrum) 然後測光帶某一部分一定波長的放射熱，指示溫度的儀器即受其影響而表示溫度。這種測高熱法，在工廠裏應用很廣；尤其是測不易接近的物體（如轉動的物體）的溫度，用這種方法更相宜。用這種方法，最宜測最高溫度，所測溫度若在 1700°C . 以上尤妙。

(戊) 電阻高熱計 (electric resistance pyrometer) 電流經過金屬傳導體，常常有阻力發生，阻力的大小，與溫度有關係；測得某種金屬傳導體電阻力的變化，可以算出溫度來，這就是電阻高熱計原理的大概。電阻高熱計的傳電線常常用鉑線，此鉑線若不甚粗的時候，所測的溫度高到 1000°C . 都很準確。

在實驗室測高熱，用這種高熱計最好，不過構造上稍為複雜。近來在工廠中亦有用電阻高熱計測溫度的。

(己)熱電高熱計 (thermoelectric pyrometer)

電學上在一個原理：即一個傳導體的兩端放在溫度不同的地方，傳導體裏就有電流發生；電流的強弱，和兩端溫度相差的度有密切的關係。所以測得兩端的電動力 (electromotive force)，就可算出溫度的差來；若一端的溫度是知道的，他一端的溫度，自然就能算得了。這種高熱計在工業上和科學上均有很大的用處，因為牠構造簡單，所以用時亦方便。裝置很精密的時候，用一個電位表測電動力，能測很精確的溫度到 1600°C ., 再好還可以到 1750°C ..

(庚)收縮高熱計 (contraction pyrometer)

此種高熱計利用黏土質的常縮性測溫度。發明最早，是一個著名的瓷業家威季吳得 (Wedgwood) 氏發明的。威季吳得是發明細瓷的人，亦

是第一個研究高溫度的人。他在 1782 年曾發表一篇文章，申說研究高溫度的重要。他說：

『用火煉燒成的物質（如瓷），常常因為火力不足或火力過度的緣故，減少美觀；所差的火力雖很微，所差的美觀程度就很大。』

從牠的話看來，再看牠的職業和發明，就可以推想當年他研究高溫度的興味了。他為自己應用便利起見，特自定一種特別分度法來，這種分度法和攝氏分度法全不相同，他所定的 0° ，就是 600°C 。現在把這兩種度數，列表比較如下：

| | | | | | |
|------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 威氏度數 | 0° | 15° | 30° | 100° | 140° |
| 攝氏度數 | 600° | 800° | 1000° | 1200° | 1400° |

威季吳得氏當年測得黏土質收縮與溫度的關係，如下表：

| | | | | | | | | | |
|--------------|---|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| 威氏溫度 | 0 | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° | 180° | 210° | 240 |
| 單位長縮 短的長度 | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 0.35 | 0.4 |

這種高熱計，現已不通行，惟瓷業工廠，尚偶有

幾家沿用。

近來高熱計日新月異的發明，以上僅就重要的述其名稱和原理的大概；在以上所述的每一種裏，又有許多的種類，所以高熱計繁多的很；現在不能逐一詳述，略舉一二簡單的式樣，詳述於下：

氣體高熱計 此種高熱計，大概講起來，和前章所述各種定體積空氣溫度計相同；不過因為要用牠測高溫度，所以構造上稍微有一點變更。現在只就應該變更的地方詳加解釋，其餘相同的地方，就不用說了。氣體高熱計和氣體溫度計不相同的地方，就是一個球部（如第 23 圖的 A，第 26 圖的 B），因為測高溫度時，球部要和高溫度直接接觸，所以最好的球須具有下列的條件：

- (1) 堅固 遇高溫度不易破裂，又不易熔化。
- (2) 緻密 平時或高熱時，內部氣體壓力無論如何的大，不能使氣體滲透出外。
- (3) 化學的愛力小 無論熱到甚麼程度，永不

和所盛的氣體或外面的氫氣起化學作用。

(4) 漲縮小且均等 球內氣體既然是定體積的，最好要球的體積一點亦不改變。倘或球的體積因溫度的變化而生漲縮，則球內所盛的氣體不能保持牠的定體積，所測的溫度當然不準。但若球的漲縮無論在甚麼溫度常是均等的，還可以加以改正。所以造球的物質最好用不漲不縮的物質，其次就是用漲縮均等的物質。

(5) 薄且易傳熱 遇熱後，在很短的時間內，球和牠所盛的氣體全變為相等的溫度。

各種氣體高熱計依據以上各條件，常選用下列各物質，製造球部：

(甲) 鉑 浦耶 (Pouillet) 氏氣體高熱計，即用鉑質造球；鉑的化學的愛力小，不易破裂，這是牠的優點。至於鉑的漲縮度，差不多均等，如下表：

| | 自 0°C. 至 100°C. 間 | 自 0°C. 至 1000°C 間 |
|--|----------------------|----------------------|
| 平均線漲係數 (mean linear coefficient) | 0.000007 | 0.000009 |

但是鉑能滲透氫氣，這是鉑球對於氫氣溫度計的一個大缺點。科學家藍達爾 (Randall) 氏很精密的方法，測知鉑在紅熱的狀態，除氫氣外，無論甚麼氣體都不滲透。鉑的價值太貴，亦算是一種短處。

(乙) 鉑與銱 (iridium) 的合金 此種合金比鉑更堅固，察浦愛斯 (Chappuis) 氏與對 (Day) 氏曾用此合金造高熱計的球，球裏裝氣，所測的溫度到 1150°C . 還很精確。鉑裏和銱百分之十或百分之二十，可以造成極堅固的球，球壁的厚僅要半耗，雖受高溫度和大壓力，亦不變形。

(丙) 銱 用銱作氣體高熱計的球，亦是非常的堅固，能測到 1600°C .；不過容易破裂，這是銱的劣點。

(丁) 鐵 用鐵作球，最大惟一的好處，就是取其價值賤。鐵滲透氫氣和鉑一樣，並且容易和空氣，碳酸，水蒸汽等起化學作用，所以鐵球高熱計，球內僅能用極純的氫，別的氣體全不能用。

牠的線漲係數與鉑比較起來，是很大的，並且漲縮度不是均等的，熱到 850°C . 的時候，忽然收縮全長的四百分之一。茲將鐵的膨漲及其膨漲隨溫度的變化列表如下：

| | 自 0°C . 至 100°C . 間 | 自 0°C . 至 1000°C . 間 |
|--------|--|---|
| 平均線漲係數 | 0.000012 | 0.000015 |

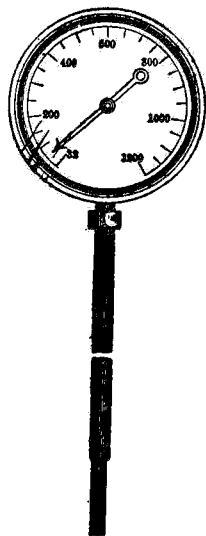
(戊) 瓷 瓷差不多是不滲透氣體的，所以用牠造球，是很好的。但是瓷的所以不滲透氣體，是因為牠外面有一層釉，到了 1000°C . 以上，瓷釉不是變軟就是破裂。所以溫度太高了，瓷就失去牠這一個大優點。從這種情形看來，用瓷球的氣體高熱計，不能測 1000°C . 以上的溫度。瓷易破碎，這是一個大劣點，並且瓷在某種情況之下，有溶解氣體的特性。瓷的膨漲，不甚均等，但線漲係數是很小的，在 0°C . 到 1000°C . 之間，線漲係數的平均值約為 0.0000045 到 0.000005 之間。

(己)玻璃 玻璃是很容易變形的，所以玻璃球到 550°C . 以上，就不能用了；但是在 500°C . 以下，玻璃實在是比瓷好。

(庚)石英玻璃 (quartz glass) 此種物質造球，最大的好處是牠不變形，牠的膨脹係數是很小的，大約等於白金膨脹係數的 $\frac{1}{17}$ 。到了很高的溫度，牠更不易變形，據科學家研究的結果，到 1500°C .，牠的形狀就成爲很固定的了。

固體膨脹高熱計 早年的高熱計，多半是利用兩種金屬相對的膨脹表示溫度；或是利用金屬和石墨或耐火黏土的相對膨脹以表示溫度。本處所述，即此種高熱計。歐美各國測高溫度的多用此種高熱計，因爲牠既簡單而又便利。用牠測較低溫度時，常常名爲機械溫度計 (mechanical thermometer)。此種高熱計，不甚精密，所以在工業上但求大概的溫度時，或者溫度的關係不甚重要時差不多全用此種高熱計。最普通的樣子，如第二十七圖，爲一鐘面高熱計；下邊是一個長鐵管，管裏邊

套着一顆石墨柱，此管和柱用很複雜的槓桿與指針通連；當溫度變化的時候，石墨的膨漲比鐵的膨漲小，所以管的長短變化比較石墨大，因之推動槓桿使指針轉動。這個高熱計的最高限度不過是 800°C ., 即 1500°F .; 並且用測較高溫度的時候，很容易損壞，因為此種溫度計的體質不宜經受大熱，熱的很久，即發生變化，體質既有變化，



第二十七圖

所測的溫度自然就不準了。用牠測溫度的時候，應該常常加以改正；但此計所生的差誤很不規律，改正非常困難，所以改正時只就 0° 加以改正就完了，別的差誤可以不顧，實在亦無法顧到。用此計時，即將下邊的長管插入欲測定溫度的物體裏，插入的深淺不同，往往亦發生差誤。

鉑絲電阻高熱計 (platinum resistance pyrometer) 金屬絲的電阻，隨溫度而變，利用這種性質，可造高熱計。先求出金屬絲在某種溫度之下，電阻是若干？再求出種種電阻各個相當的溫度來，然後把電阻和溫度的關係，用一個曲線表示出來；當測溫度的時候，先求得該金屬絲的電阻，即刻在曲線上就能查出溫度來。

造這種高熱計時，應注意下列各條件：

(1) 須要選擇一種金屬絲不因高溫而損壞的。

(2) 金屬絲在一定溫度之下所生電阻力，要沒有變化。

(3) 要選擇一種金屬絲，牠的電阻和溫度的變化是有規律的。

換句話說，就是表示電阻和溫度的曲線，能用一個方程式表示出來。如此，只求出電阻和溫度關係的幾個點後，就可以依據這幾個點，很省事的畫出一個曲線來，以便應用。

西門子 (W. Siemens) 氏是第一個造鉑絲電阻

溫度計的人，他用鉑絲纏在耐火黏土柱上，外面用一個熟鐵管保護起來。他發現鉑絲經過高溫度以後，再行冷透，電阻不能復原。這一種弊病，絕不是鉑的本性，實在是因為經過高熱後，黏土柱裏的矽質 (silica) 附在鉑絲上，使牠變性。

以後又有卡楞達爾 (Callendar) 氏研究這個問題，他用鍊過的鉑絲纏在雲母架上，再用一個硬玻璃管或瓷管，把全體保護起來，以防鉑絲和外界的氣體化合；如此所測的溫度很準確，平常最大的差誤不過 $\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$.；雖然溫度高到 1300° ，所生的差誤亦不過 $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$ 。

由實驗測得：設 R_0 為一段鉑線在 0°C . 時的電阻， R_t 是該鉑絲在 $t^{\circ}\text{C}$. 時的電阻力，則其關係可用下方程式表示，

$$R_t = R_0(1 + at + bt^2)$$

上邊的方程式裏，有三個常數 (constant)， R_0 ， a ，和 b ；這三個常數的值，可以算出來。算的方法，即先求三種已知溫度的電阻：

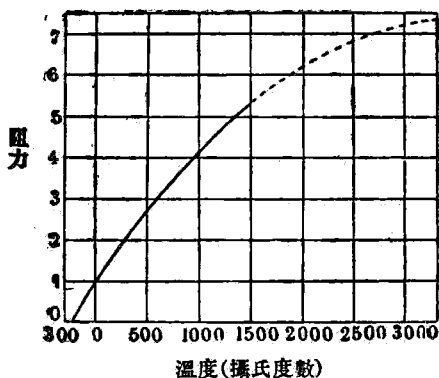
(1) 水的沸點 (在一氣壓之下 = 100°C .)，

(2) 冰的融點(在一氣壓之下 = $0^{\circ}\text{C}.$),

(3) 硫的沸點(在一氣壓之下 = $444.53^{\circ}\text{C}.$),

由實驗求得這三種溫度的電阻,代入上方程式裏,即得三個方程式,有三個方程式,當然可以決定三個未知數, R_0, a, b ; 這三個未知數知道以後,用上方程式亦可求溫度 t 。

· 表示鉑絲電阻和溫度關係的曲線,是一個拋物線如第二十八圖上的曲線,即為拋物線的一部分;畫此線的方法,先在方格上畫許多的點,每一點表

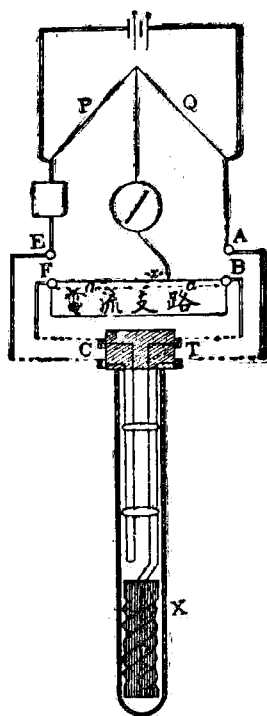


第二十八圖

示上方程式的一個特殊情形,連接各點,就成曲線。

卡楞達爾 (Callendar) 氏曾用鉑絲電阻高熱計測定溫度，他的方法如下：

如第二十九圖，C 和 T 是兩個對稱的電路，電流經過 C 或 T 時，所生的阻力相等。X 是鉑製捲絲，鉑絲的兩端即與 T 的下兩端相接連。圖的上部是一個測電阻的儀器，名叫惠斯登橋 (Wheatstone's bridge)；橋共分有四臂，P, Q 兩臂是相同的，其餘兩臂，一個包含 X, T 兩部分和 FB 線的一段，通過 A, B 兩極成一電流輪道；



第二十九圖

道；一個包含電阻箱 R，並 C 和 FB 的左一段，通過 E, F 兩極成一電流輪道。設 X 表示鉑絲的電

阻， R 表示電阻箱的電阻， T 與 C 亦各表示該兩部的電阻。再以 $2a$ 表示 FB 線上的電阻， x 表示 FB 線上由中點到與電流表 G 接觸的一點一小段的電阻，則 FB 線左右兩段的電阻，一為 $a+x$ ，一為 $a-x$ 。電流通後，增減 R 的電阻，並在 FB 上移動電流表 G ，使 G 的指針不偏倚；這時候就表示兩邊的電阻相等；因為 P 和 Q 是相等的，可以不計，則

$$R+C+a+x=X+T+a-x$$

又因 T 和 C 的電阻相等，所以

$$R+a+x=X+a-x,$$

$$\therefore X=R+2x$$

從這一個方程式，可以求得鉑絲在某溫度時的電阻，把這 X 的值代入方程式 $(R_t = R_0(1+at+bt^2))$ 裏的 R_t ，三個常數是已經求得的，就可以從這個方程式求得某溫度 t ；或在曲線上求出亦可。

電阻溫度計的優點 水銀溫度計是缺點很多的，所以用牠測溫度時，須有種種的改正。用電阻溫度計測溫度，既可免去水銀溫度計的缺點，又有許多

特別優點，茲將其重要的分述如下：

(甲)零點是固定的，無論經過多久的時候，零點不變，所以決定幾個固定溫度的電阻以後，就可以畫出一個電阻溫度的曲線來；此曲線能永久用之，沒有改正的麻煩。

(乙)表示溫度很準確，不像水銀溫度計須有那樣許多的改正。

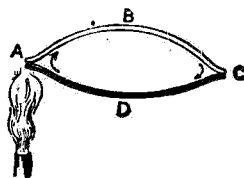
(丙)達限很廣，最高能測 1300°C . 以上，零度以下的溫度亦能測。

(丁)構造很簡單而靈巧，絕不像氣體溫度計那樣複雜；牠的保護管若有水銀溫度計的球那樣大，所測的溫度就很精密，不必用許多的鉑絲。

(戊)鉑絲雖然很貴，但所用的絲很細又很少，所以值價亦不大。

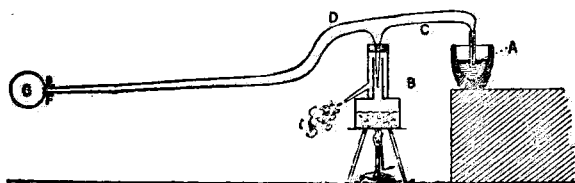
熱電高熱計 (thermo-couple pyrometer) 用兩種金屬線，使兩端接合起來，如第三十圖，A 端加熱，則金屬線裏發生電流；電流的大小，與 A, C 兩

端的溫度有很密切的關係，並且關係是有規律的，所以若測得 ABCD 裏的電流或 AC 兩端的電位差，即可算出溫度



第三十圖

是多少，這就是熱電高熱計的原理。用這種原理測高溫度，在 1826 年柏克勒爾 (Becquerel) 氏第一次提議，以後羅伯次 (Roberts) 氏及奧斯丁 (Austen) 氏，用這種原理造成高熱計，應用於英國造幣廠 (Royal Mint)，到現在這種原理應用更廣了。現在述此高熱計的構造和用法：如第三十一圖，所用



第三十一圖

的兩種金屬絲，一為純鉑，一為鉑和 $\frac{10}{100}$ 銦或銻 (rhodium) 的合金，用這兩種金屬，為的是經高溫

度不變化。ABC 是合金絲，ADE 與 FB 兩絲全是純鉑。A 接合端用一個耐火黏土管保護，B 接合端放在壓力不變的水蒸汽裏，使 B 點的溫度常為 100°C ., E, F 兩端聯於一個極靈的電流表 G; G 的電阻要很大，至少要 200 歐姆 (ohm), 爲的是金屬絲電阻變化不影響於電流，而使 G 的指針偏斜常爲一定，如此則 G 表上所表示的數是爲 E, F 兩點的電位差，即電動力 (E.M.F.)。

設要測某種金類的熔化點，就把 A 放到盛熔化金類的坩堝裏，看 G 指針的偏斜是多少？就從這偏斜的度數算出溫度。G 所生的電動力 (E.M.F.) 用 E 表示，由實驗得，電動力與溫度的關係如下：

$$E = b(t_2 - t_1) + c(t_2^2 - t_1^2)$$

在方程式裏， t_1 是知道的，等於 100°C ., 電動力 E, 可以在 G 上求知，c 和 b 是兩個常數，這兩個數的值很容易求，就是在 A 處用兩種已知道的溫度先試驗，得着兩個方程式，就可以決定 c, b 兩未知數的值了。方程式裏各種數值既然全知道了，當然 t_2

是容易算出來的， t_2 就是熔化金類的熔點。

這種高熱計是很準確的（用氣體溫度計比較而知），和電阻高熱計水銀高熱計比較起來，最大的優點，就是牠能自記某種金屬的熔點，因為金屬熔化以後，溫度仍然變化，牠的熔點很難確定，熱電高熱計能自記出來；當溫度正到牠的熔點時，G 的指針有一小時期不動；所以看見 G 的指針不動時，即知該金屬已經熱到熔點了；但不動的時間很短促，很難看出，所以科學家常用反光照像法以測得該指針在何時不動。

結論 本書所述的溫度計與高熱計，到此為止。低溫度能測到離絕對零度不遠，高溫度能測到一兩千度；溫度再高，則用光學高熱計等測之，此種高熱計已在本章中述過牠的大略了。現在科學發明，一日千里，溫度計高熱計的種類，非常的多，本書所述，不過是很重要或是很常見的，讀者諸君，幸勿以掛一漏萬相譏！

附 錄

第一表

低溫度發明人及年代表

| 年代 (西元) | 做成的低溫度 | 實 驗 者 |
|------------|-----------|-----------------|
| 1714 | -17° C. | 華倫海(Fahrenheit) |
| 1778 | -40° C. | 梵馬律謨(Van Marum) |
| 1823 | -102°C. | 法拉第(Faraday) |
| 1877 | -103°C. | 卡耶特(Caillet) |
| 1877 | -183°C. | 批克推(Pictet) |
| 1898 | -262°C. | 雕爾(Dewar) |
| 1908 | -269°C. | 奧泥斯(Onnes) |
| 1911 | -271.3°C. | 奧泥斯(Onnes) |

第二表

各種極普通極重要的溫度

| 攝氏溫度 | 各種物體 |
|--------|---------------------------|
| 7000 | 太陽 |
| 3500 | 弧光電燈 |
| 2800 | 氫氬吸管 |
| 2230 | 貝色麻鍊鋼爐 (Bessemer furnace) |
| 1710 | 鉑熔點 |
| 1500 | 鐵熔點亦是白熱的最低溫度 |
| 1060 | 銅的熔點 |
| 960 | 銀的熔點 |
| 400 | 煤炭燃燒大約在此溫度 |
| 357 | 水銀的沸點 |
| 327 | 鉛的熔點 |
| 230 | 錫的熔點 |
| 115 | 硫的熔點 |
| 100 | 水的沸點 (= 212°F.) |
| 79 | 酒精沸點 |
| 36.8 | 人體溫度 (= 98.4°F.) |
| 17 | 海水平均溫度 (= 62°F.) |
| 0 | 水的冰點 (= 32°F.) |
| -17.7 | 冰鹽寒劑 (= 0°F.) |
| -39 | 水銀冰點 |
| -61.7 | 自然的最低溫度 |
| -182 | 氮的液化點 |
| -253 | 氫的液化點 |
| -271.3 | 已經求得的最低溫度 |
| -273 | 絕對零度 |

第三表

在不同壓力下水的沸點表

表內所給的壓力數，是 0°C. 時在緯度 45° 的海平面上水銀柱的高，以耗為單位。

| 壓力 (mm.) | 沸點 (攝氏溫度) | 壓力 (mm.) | 沸點 (攝氏溫度) |
|-------------|--------------|-------------|--------------|
| 733 | 98.9939 | 757 | .8897 |
| 734 | 99.0318 | 758 | .9265 |
| 735 | .0695 | 759 | .9633 |
| 736 | .1073 | 760 | 100.0000 |
| 737 | .1449 | 761 | .0367 |
| 738 | .1826 | 762 | .0733 |
| 739 | .2202 | 763 | .1099 |
| 740 | .2577 | 764 | .1465 |
| 741 | .2953 | 765 | .1830 |
| 742 | .3327 | 766 | .2194 |
| 743 | .3702 | 767 | .2559 |
| 744 | .4075 | 768 | .2923 |
| 745 | .4449 | 769 | .3286 |
| 746 | .4822 | 770 | .3649 |
| 747 | .5194 | 771 | .4012 |
| 748 | .5567 | 772 | .4374 |
| 749 | .5938 | 773 | .4736 |
| 750 | .6310 | 774 | .5098 |
| 751 | .6681 | 775 | .5459 |
| 752 | .7051 | 776 | .5820 |
| 753 | .7421 | 777 | .6180 |
| 754 | .7791 | 778 | .6540 |
| 755 | .8160 | 779 | .6900 |
| 756 | .8529 | 780 | .7259 |

第四表

重要的固體線漲係數表

表中的數是從 0°C. 到100°C. 的平均係數。

表中的數是大概的，不是一點也不錯的。

| 物 體 | 線 漲 係 數 |
|-------------------|-----------|
| 微漲金(鋼鎳合金) (invar) | 0.0000009 |
| 石 英 | 0.0000017 |
| 玻 璃 | 0.0000086 |
| 鉑 | 0.0000089 |
| 熟 鐵 | 0.000011 |
| 鋼 鐵 | 0.000012 |
| 銅 | 0.000017 |
| 黃 銅 | 0.000019 |
| 銀 | 0.000019 |
| 鉛 | 0.000028 |
| 錫 | 0.000023 |
| 冰 | 0.000040 |
| 硫 | 0.000060 |

