

第三編

熱學 THERMOTICS

第一章 溫度及寒暑表

1. 熱及溫度 Heat and Temperature 吾人以手入於溫湯中。覺其暖。入於冷水中。覺其冷。其生此感覺者。必有所由起之原因焉。其原因曰『熱』。寒暖之度曰『溫度』。溫暖之物體。比寒冷之物體溫度高。

甲乙二物體相觸。若甲體比乙體溫度高。則甲之溫度漸降。乙之溫度漸昇。終至兩體溫度無差而止。此時乃熱由甲體傳於乙體。

對物體之寒暖必表以溫度之語者。以熱與寒。於積極與消極。非有全然反對之意義。例如賦熱於物體。遂謂其物體爲熱。若取去其熱。則其物體爲寒冷。非謂熱之物體有溫度。寒之物體無溫度。不過謂熱者溫度高。寒者溫度低耳。

物體之寒暖。由觸覺雖略知之。然有時同溫度之物體。由觸官之狀態。而異其感覺者。故專由吾人觸覺上。未得精測溫度之高低。例如於甲器盛冷水。乙器盛微溫湯。丙器盛溫湯。始入左手於甲。入右手於乙。須臾兩手同時移入於丙。則左手覺暖。右手覺冷。又金屬與綿卽爲同溫度。以手觸之。其感覺亦異。故物理學者因欲知溫度之高低製作『寒暑表』。

又縱由觸覺得知溫度之高低。亦不能確知其溫度實際所差有多少。若有寒暑表。則由該物體之受熱失熱。得觀測該物體所起之變化。蓋凡物體多有因溫度昇而膨脹。溫度降而收縮者。故欲精測此物體體積之變化。須知溫度之昇降。

2. 寒暑表 Thermometer 凡物體因溫度上昇。則膨脹。

寒暑表者。乃利用此性質以比較物體溫度之器械也。普通之寒暑表。用細長之玻璃管。下端成球狀或圓筒形者。此球或圓筒。名爲寒暑表之液槽。液槽與管之下部。容水銀或火酒。溫度若昇。則液膨脹而昇於管中。溫度降則液面下。故支管於劃度之板。觀液柱之昇降。得比較物之溫度。

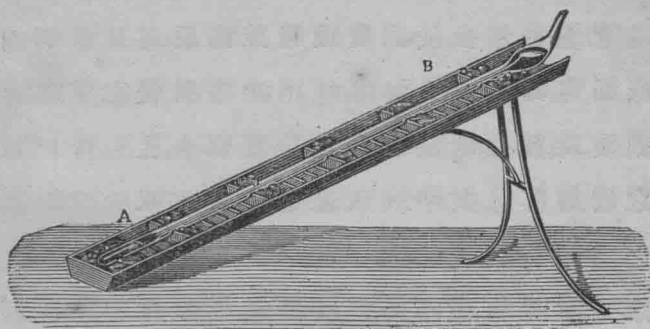
寒暑表之製法 寒暑表之玻璃管。須極細。自頂至下端。不論何部分。內部之直徑。宜一律均勻。下附液槽。若欲驗其內部之直徑。果否相等。可於管中約入五十耗之水銀柱。動之於上下之位置。各測其長。若不論水銀在管之何部分。水銀柱之長常相等。則知其直徑乃一律均勻者。反之水銀柱之長。若因水銀所傾聚之方向。顯生差異。則直徑因處而不相均。此管遂不適於用。近於管上端之部分。稍膨大。以灌入水銀之用。膨大部分之下仍細小作管狀。至水銀灌入。遂密閉其端。防塵埃水蒸氣等之侵入。

當將注入水銀時。先由開端注硝酸滌管。次洗以清水。待其乾燥後。入水銀。

入水銀之法。先少暖液槽。使其中之空氣膨脹。以其上端倒入於水銀中。遂以液槽中之空氣冷後。減其張力。故大氣壓水銀面。水銀入於膨大之部分。至水銀之量已足充液槽與管之一部分。遂直立其管。此時水銀少入於管中。但以管甚細。遂受內部空氣之抵抗。不能下降。茲欲使其水銀漏入。置之於傾斜之鐵架 AB 之上。以炭火熱之。(第1圖)則空氣

膨脹漸逃
於外。液槽
冷則空氣
之張力減。
水銀入於
液槽。再熱
水銀之全

第 1 圖

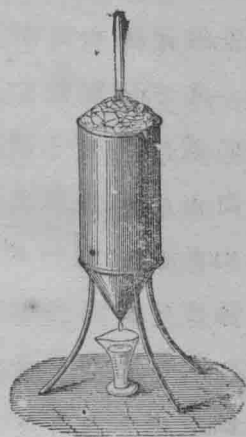


部分。使沸騰之。驅逐空氣。復冷之。水銀之蒸氣復變為液。至水銀充於液槽及管之下部。更暖之使水銀柱之上端達於管之頂點。此時乃此寒暑表最高溫度之點也。若更強熱之。則溫度愈高昇。逐出過量之水銀。但此時水銀柱之上端達於管頂點之溫度。(即最高溫度)比前之最高溫度高。又冷之使至最低之溫度時。水銀柱之上端在於管之下部。惟不可使入於液槽中。故製寒暑表時。其最高溫度愈高。則貯藏於管中之水銀量愈少。於最低溫度時。水銀之上端愈在於下方。勢至於有在液槽中者。因之定水銀之量亦不可不慎也。水銀之量既定。并已逐出管內之空氣。則以火熔閉其膨大之部分。

刻度法 欲使種種寒暑表之溫度能一致。且不論何時何處所定之溫度。常不變。則水銀柱之上端。所附之符號。不可不定溫度之標準。由實驗上凡冰溶時之溫度。不拘其周圍所置者為何物。當冰融解之間。始終之溫度常不變。若

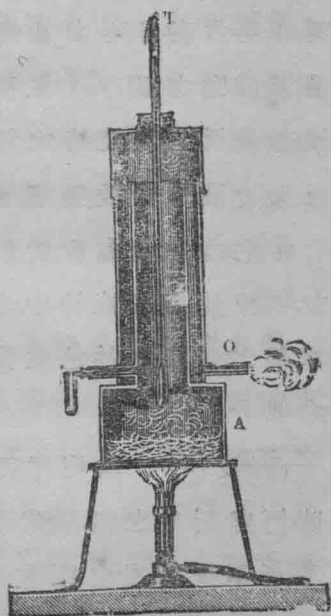
插寒暑表於融解之冰中。則見其水銀柱之上端常止於同處。因以此溫度爲標準。名曰冰點 Freezing point 寒暑表刻度時。欲知冰點之所在。以底面有孔之器。盛碎冰其中。插入寒暑表。使水銀之部分。全在於冰之中。(第2圖)冰融解之際。水銀漸漸下降。經少時後水銀柱之上端常止於一處。遂於此處記符號。即冰度也。

第 2 圖



第 3 圖

次求水蒸氣沸騰之溫度。凡水表面所受之壓力若不變。則沸騰後。其溫度始終如一。因之於大氣壓力七百六十耗時。採此溫度爲標準。是曰沸騰點 boiling point 記此溫度之點於寒暑表上。須用如右圖所示之器械。盛水於A器。由下熱之。則水沸騰。蒸氣由內圍壁穿外圍壁。外圍壁之傍。通一管O。使蒸汽由O口得逃於外。以維持溫度。T爲寒暑表。貫上端之栓。而懸於內桶之中。使其液槽在近水面之處。但勿使其沈於水中又



內圍壁之下部。附小壓力表示水蒸氣壓力與大氣壓力之差。然後視水銀所昇之處。記標點。即沸度也。

此二定點既定。遂得於沸點與冰點之間分割其度數。但其刻法各有不同。通常以冰點爲零度。以沸騰點爲百度。其間百等分之。以其各部分爲度。水銀昇一度時。溫度高一度。由此推之。譬如水銀柱之上端在二十五度之處。則此處之溫度。比冰點高二十五度。即云此處之溫度二十五度也。

又計百度以上之溫度於沸騰點之上方。與其下一樣刻法。零度以下亦如之。順次記 1, 2, 3, ……。零點以下。附負數之符號。以與零點以上者示區別。例如 -10 度者。謂比零度之溫度低十度。 -20 度者。謂比零度之溫度。低二十度也。若斯刻度之寒暑表。爲『攝氏寒暑表』。或曰『百度寒暑表』於學術界通用之。此外尚有『華氏寒暑表』『羅氏寒暑表』。學術界雖用之者少。於日用上尙未全廢。

攝氏原名 Celcius, 華氏原名 Fahrenheit, 羅氏原名 Réaumur. C.F.R.

羅氏寒暑表之割度。冰點雖與攝氏同。其沸騰點不曰百度。而曰八十度。即以零度與八十度之間。八十等分之。華氏之寒暑表。冰點三十二度。沸騰點二百十二度。此二點之間爲 $212 - 32$ 。即百八十等分之。茲就三氏之度數觀之。攝氏度數之百。合華氏度數之百八十。(即攝氏度數之五。合華氏度數之九) 又攝氏度數之百。合羅氏度數之八十。(即攝氏度

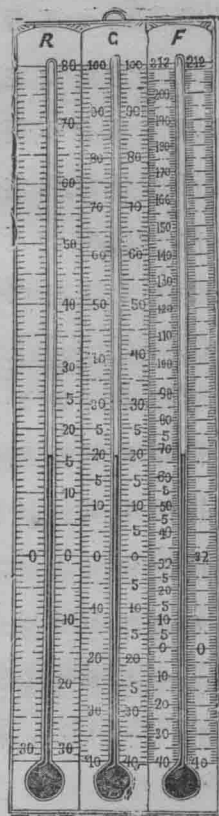
數之五合羅氏度數之四故 C.F.R. 之關係如次。

$$C = \frac{5}{9}(F - 32) = \frac{5}{4}R$$

$$F = \frac{9}{5}C + 32 = \frac{9}{4}R + 32$$

$$R = \frac{4}{5}C = \frac{4}{9}(F - 32)$$

壓力之影響 大氣之壓力，若非七百六十耗時，水蒸氣沸騰之溫度，非攝氏之百度。據阿拉士頓所觀測，壓力比一氣壓每增減二十七耗者，水蒸氣之溫度亦昇降一度。故其壓力之增減雖微，溫度之昇降，與壓力之增減，亦得依比例求之。譬如試驗寒暑表之沸騰點時，壓力為七百六十九耗，即比七百六十耗強九耗，是時水蒸氣沸騰之溫度為 $100 + \frac{1}{27} \times 9$ ，即 $100 + \frac{1}{3}$ 。故水銀柱之上端當在百度上一度三分之一上。



零點之移動 作寒暑表後，經時再試驗前所定標點之所在，則水銀所止之處，比前所定之處高，據達布黎之試驗，凡玻璃器熱至極高之溫度後，急冷之，則分子配置之形狀，起變化，因之其容積比在通常之溫度時稍增，寒暑表管之下端所附液槽，熱至極高溫度而冷之，其溫度急激變化，其容積未必亦如之，故其容積比尋常者略增，以此容積，作寒暑表，使用之間，徐暖又徐冷，恰反前之作用，因漸復其常態，又減其積，故寒暑表之度，所以經時而少昇也，正之之法，須再試驗冰點之所在，計零度比實冰點之處高幾度，以後用此寒暑表測溫度時，由其所示之度減此零點之移動，得實之溫度。

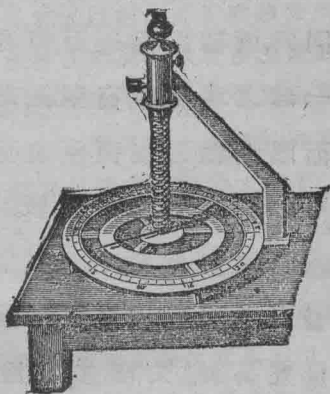
酒精寒暑表

水銀凡至冰點以下四十度之處，則結

冰。故計低溫度時。水銀製寒暑表。不適於用。欲計低溫度須用酒精製之寒暑表。此寒暑表之製法。與水銀製者略同。劃度時。求冰點亦如前。浸於融解之冰得定之。但不能浸於沸騰水之水蒸氣。蓋酒精以七十八度之溫度。即沸騰。故不能求液之頂點。又因蒸氣之張力。易破管。劃度時入於微溫湯。其側入已刻度之水銀製寒暑表。記其所示之度。於酒精製寒暑表之上。既得此點與冰點。則易刻劃其度數。

金屬寒暑表 乃利用金屬片之膨脹。以測溫度之器也。其法用白金、黃金、白銀薄片壓成一條。曲之成螺旋線。上端以螺旋釘制之。使固定不能移動。其下端附長針。隨溫度之高低。能旋轉於周圍刻度之圓盤上。螺旋線之內一層為白銀。黃金在中。外為白金。白銀之膨脹力最大。受熱則膨脹而伸長。其針向右旋。受寒則收縮。而針向左旋。其度數乃以水銀寒暑表比較而劃之也。

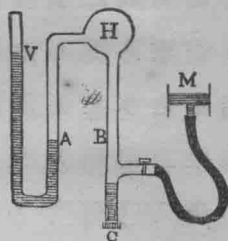
第 5 圖



空氣寒暑表 氣體比液體及固體膨脹率大。故造寒暑表用氣體者。比用固體液體造者銳敏。而其氣體用空氣。以空氣離液化點甚遠。且乾燥之。則常得同質。故甚便於為氣體寒暑表之用。且空氣之真膨脹與視膨脹。無須區別。蓋玻璃之膨脹。比空氣之膨脹甚小。故於寒暑表所示之度幾

無影響。其構造如圖。V A 爲壓力表。V 之上爲禿里賽離之真空。H 爲空氣室。M 爲水銀壺。今因溫度上昇。H 內之空氣膨脹。使 A 低下。V 上昇。茲舉上 M。使 B 上昇。如 A 低下之量。更迴捻拴 C。上下在 B 之水銀。使 H 內空氣之容積常不變。由 V A 測其壓力。自得知其溫度。

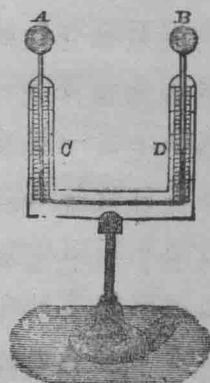
第 6 圖



示差寒暑表 示差寒暑表乃以比較兩物甚接近者之熱度。即 U 字形之酒精寒暑表也。

其兩端有球。內有空氣。兩球之溫度相同時。酒精之兩表面。恆在一水平面上。若一球之溫度較高。則此球內之空氣膨脹。而壓酒精之表面。使表面一高一低。由是可知兩球之溫度之較。

第 7 圖



其他尚有充水銀於管內溫之。測其所益出水銀之重量。而得知其溫度者曰『**重量寒暑表**』又測甚高溫度之裝置曰『**高溫表**』用以測深水中之溫度者曰『**水温表**』測地中溫度者曰『**地中寒暑表**』

寒暑表之靈敏 謂寒暑表之靈敏者。有二意義。一寒暑表所示溫度之變化迅速者爲靈敏。欲其隨溫度而速變。寒暑表中之水銀宜少。故液槽之容積要小。

又所示溫度。縱上下不速。而溫度之差雖微。亦能見諸寒暑表上。則此等寒暑表。亦得謂爲靈敏。欲使適此要件。兩度之距離要大。一度須能細分爲衆多之部分。又欲適此要件。須反前之要件。液槽之容積要比管一度之容積大。用寒暑表之目的。於此二要件中。必選其一。

製寒暑表必選用物質之理 造普通之寒暑表。不用固體與氣體。必用液體者。以固體之膨脹。比液體甚小。又固體粗鈍。不便於用。即於固體中。如金屬類。遇溫度之變化。屢於膨脹。或收縮之際。其組織漸次生變化。致其膨脹亦不同。故以金屬製之寒暑表所示之度。不能終始一定。

又氣體比固體與液體甚易膨脹。故氣體寒暑表甚靈敏。欲精測溫度。須用空氣寒暑表。但使用之。要注意周到。難如液體寒暑表。得簡便示溫度。

液體中特用水銀者。第一水銀比他液易得純粹者。第二水銀結冰之溫度 (-40°)。與沸騰之溫度 (360°)。懸隔甚遠。故大抵之溫度。以此寒暑表得測之。第三水銀比他液易感熱。示溫度自速。故多用水銀。

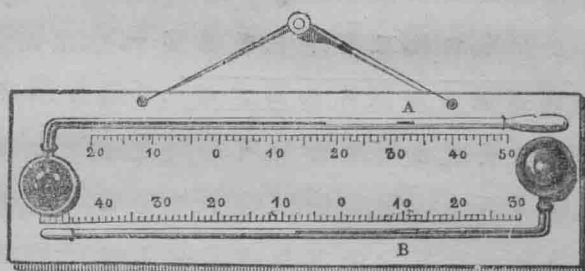
酒精寒暑表。於嚴寒之地。取其不易凍結也。又測低溫度亦得用之。惟溫度稍高 (78°) 即沸騰。故其用不若水銀廣。

3. 最高及最低寒暑表 Maximum and Minimum Thermometers 測一日中之溫度最高及最低者。爲『最高最低寒暑表』。其最普通者。有二種如次。

盧沙火德之最高寒暑表。(第8圖A)於水銀寒暑表之管內。入小鐵針A。以水銀與鐵間無附著力。故溫度昇時。水銀膨脹。推進此針。溫度降。則水銀收縮。針止而不動。故針之後端。即示最高

之溫度。故視水銀柱之前端所達之處。得知其溫度最高時若干。

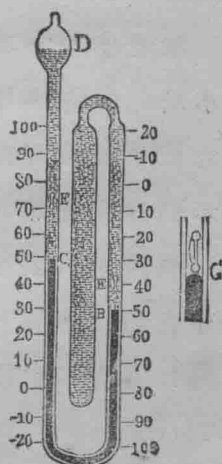
第 8 圖



又氏之最低寒暑表。(第8圖B)乃火酒製者。中置最小玻璃針。火酒膨脹時。因火酒之表面張力薄弱。火酒通此針之傍而流。此時針雖不動。然若火酒收縮。達針之後端時。則因玻璃針與火酒之粘著力。引針而退。故針之後端所在之處。即示最低之溫度。此寒暑表裝置水平。并在同板上。

第 9 圖

石克司之寒暑表。(第9圖)一表內裝置二針。得示最高及最低之溫度。所用之液。於A管內為火酒。火酒液柱之一端。接EC之水銀柱。其餘之部分。及D球之半亦充以火酒。E、F即玻璃之小針。如別圖所示之G形。有彈機者。溫度昇。則A內之火酒膨脹。通E針之傍。推水銀柱BC。因推F針。



又溫度降。則A內之火酒收縮。水銀柱BC復反故位。F針殘留於原位置。B之水銀柱却推E針。E達於某位置時。溫度若復昇。則火酒膨脹。E針仍止其位置。因之觀F針下端之度。得知最高溫度。觀E針下端之度。得知最低溫度。

此外如醫師所用之最高寒暑表。貯水銀之部分。作細圓筒狀。管與此圓筒部相接之處。內部少曲。水銀膨脹時。越此彎曲部分甚狹之間隙。而上昇。惟收縮之際。此部分之水銀斷。僅下部入於圓筒內。上部不能返於圓筒。故自其上端所示之度。得知最高溫度。

第一章之問題

1. 人身之血溫約合攝氏 37° 度。於華氏及羅氏爲幾度。
2. 純黃金於攝氏 1250° 度。始融解。又水銀於冰點下 39° 度始融解。於華氏各當幾度。
3. 華氏寒暑表之 98° , 72° , 40° , 12° , -10° 。各改爲攝氏寒暑表之度數。
4. 攝氏寒暑表之 682° , 0° , 45° , 15° , -3° , -20° 。各改爲華氏寒暑表之度數。
5. 鉛融解時之溫度爲攝氏之 326° 。其融解之際。所吸收之熱。等於與該鉛質量 5.37 倍之水之溫度昇攝氏一度者所要之熱。然則鉛融解時。合華氏之幾度。又其融解之際。所吸收之熱。當等於若干水之溫度昇華氏一度者所要之熱。可參照第二章比熱計算法。
6. 定氣之溫度。每於攝氏昇一度。則膨脹其容積之二百七十三分之一。問華氏昇一度。當膨脹幾何。
7. 攝氏之 -40° 。以華氏之度數表之如何。
8. 問攝氏寒暑表與華氏寒暑表同度數時之溫度。
9. 羅氏之若干度數。改算爲攝氏及華氏之度數之和之半。問羅氏之此度數。

第二章 熱 Heat

4. 熱量 一定質量之水。使其溫度上昇。要熱之。於此時一定質量之水溫度高者。比同質量之水溫度低者。所要之熱量亦多。故由物體溫度之變化。得測其物體所得之熱量。與其所失之熱量。

測熱量須先定其單位。

熱量之單位 1克之水由 0° 溫至 1° 。所要之熱量。爲熱量之單位。名曰『加羅』。

又不必盡由 0° 之水計之。如1克之水。不論由何度更溫 1° 者。所要之熱量等於1加羅。故

水1克溫至 1° 所要之熱量爲1加羅。

水1克溫至 t° 所要之熱量爲 t 加羅。

水 m 克溫至 1° 所要之熱量爲 m 加羅。

水 m 克溫至 t° 所要之熱量爲 mt 加羅。

又有時以1尅之水溫 1° 所要之熱量爲單位者。稱之曰大加羅。或稱爲尅加羅。對『大加羅』之名稱。於上所述者爲小加羅。或曰克加羅。『大加羅』即『小加羅』之千倍。

熱量者以水爲標準故測物體所移動之熱量。必并計水之量。例如溫度 80° 之銅塊。入於 20° 之水100克中。水溫至 30° 。此時水因銅塊被溫至 10° 。則受諸銅之熱量。依 mt 之公式爲 100×10 。即1000加羅。又銅因授熱於水。被冷至 $80^{\circ} - 30^{\circ} = 50^{\circ}$ 。從可知此銅塊欲使溫至 50° 。要1000加羅之熱。由是欲

使其銅塊溫 1° 。要其五十分之一。即要 $\frac{1000}{50}$ 加羅之熱。

5. 熱容量 Thermal capacity 及比熱 Specific heat
因物體其溫度高一度所要之熱量雖無一定。若其物體之物質同。且其質量相等。則其量一定。

熱容量之定義 物體之溫度高 1° 所要之熱量。爲其物體之熱容量。

今以 100° 之水100克。與 0° 之水100克。混合之。水之平均溫度爲 50° 。若以 100° 之銅100克入於 0° 之水100克之中。則水與銅之平均溫度凡九度。故銅由百度冷至九度時所失之熱量。即其溫度降九十一度時所放之熱量者。使同質量之水所昇之溫度僅九度耳。故銅一定質量之溫度昇一度。比水同質量之溫度昇一度。所要之熱量小。即銅之熱容量。比同質量水之熱容量小也。

測熱容量或如前節之例。(於前節之例銅塊之熱容量爲 $\frac{1000}{50}=20$ 克加羅)又若已知該物質之比熱。(比熱見次節)則以其比熱乘質量亦得熱容量。

例1 m 克清水之熱容量幾何。 答 m 「克加羅」

例2 熱容量 c 「克加羅」之物體。溫度上昇至 1° 。要幾何之熱量
答 c 「克加羅」

比熱之定義 物質1克溫度昇 1° 所要之熱量。與同質量之水溫度昇 1° 所要熱量之比。爲此物之比熱。而水之比熱爲一。故物之比熱。祇須以該物質一克溫度昇 1° 所要之

熱量表之簡言之。即比熱者乃其物質一克之熱容量也。

例 1 銅之比熱爲 0.993。求 50 克之銅。溫度昇至 15 度。所要之熱量。

(解) 以銅之比熱爲 0.993。故其 1 克之銅溫度昇 1 度時。所要之熱量爲 0.993 克加羅。因之 50 克之銅。溫度昇至 15 度時。所要之熱量。爲 $0.993 \times 50 \times 15 = 69.75$ 克加羅。

例 2 熱至 300° 之鐵 500 克。若冷至 50°。其所放之熱量若干。(鐵之比熱爲 0.11)

(解) 一克之鐵溫度若降一度。則其所放之熱量。等於昇一度所放之熱量。故即爲 0.11 克加羅。因之其 500 克之鐵由 300° 降至 50° 時。所放之熱量。爲 $0.11 \times 500 \times (300 - 50) = 13750$ 克加羅。

例 3 40 克之銅。與 72 克之鐵混合之。要使其溫度由 12° 昇 250°。所要之熱量若干。

(解) 40 克之銅溫度昇 1 度所要之熱度爲 $0.993 \times 40 = 3.72$ 克加羅。72 克之鐵溫度昇 1 度所要之熱量爲 $0.11 \times 72 = 7.92$ 克加羅。故其混合物之溫度。由 12° 昇至 250°。所要之熱量爲

$$(3.72 + 7.92) \times (250 - 12) = 2770.32 \text{ 克加羅。}$$

例 4 0° 之水 100 克。熱至 10° 所要之熱量。等於同量之水銀由 0° 熱至 300° 所要之熱量。因之求水銀之比熱。

(解) 0° 之水 100 克熱至 10° 所要之熱量。爲 $100 \times 10 = 1000$ 克加羅。以此熱量得使 100 克之水銀熱至 300°。則 1 克之水銀溫度昇一度所要之熱量當如次

$$\frac{1000}{100 \times 300} = 0.033 \text{ 克加羅。}$$

即水銀之比熱。

比熱者亦得看作『物體之熱容量』及『與其同質量之水之熱容量』之比其理如次。

$$\text{比熱} = \text{物質 1 克之熱容量} = \frac{\text{物質 1 克之熱容量}}{1}$$

$$= \frac{\text{物質1克之熱容量}}{\text{水1克之熱容量}} = \frac{\text{物質}m\text{克之熱容量}}{\text{水}m\text{克之熱容量}}$$

次求物體之熱容量及於某溫度之熱量者。可如次算出之。

某物體之熱容量 = (其物體之質量) × (其比熱)

熱量 = (其溫度) × (其比熱)

6. 熱量表 測定物體之比熱。所用之器械有種種。類舉之如次。

I **冰塊熱量表** 以冰塊穿孔。(第10圖)拭乾其內面。入測比熱之物體於此。豫測此物體之質量及溫度。以冰板掩孔。待物體之溫度降至零度。其內部之冰必少融。遂以紙拭去內部冰融所生之水。秤紙所增加之重。得定所融解冰之質量。以之爲 p 尅。凡冰變其溫度化水。每一尅要 79.25 之熱。今 p 尅之冰融解。故其所吸收之熱量。等於 $79.25 \times p$ 。又以此物體之質量爲 P 尅。以其比熱爲 x 。以其最初之溫度爲 t 。則此物體之溫度。降至零度所放之熱爲 Pxt 。物體所放之熱。即冰所吸收之熱。故

$$Pxt = 79.25 \times p$$

由此式得 x 之值。

孔內所生之水重。頗難精測。又孔內之溫度未必能如前

第 10 圖

