論説及寄書

眞空の發成と其測定

會員 理學士 上 林 一 雄
工學士

京 都 青 柳 研 究 所

Vacuum and Its Measurement.

By K. KAMBAYASHI, Member.

Aoyagi Laboratory in Kyoto Imperial University.

(關 西 支 部 演 説)

内 容 梗 概

本文の首眼とする所は余の考案せる熱電式眞空計の發表なり。

鐵及びコンスタンタンより成れる熱電堆を成るべく壁の薄き硝子管中に封入し其管内の氣壓を數センチメートル(水銀柱)と成す。

此の細管の中央即ち熱電堆の接合點の在る附近を細き金屬線にて螺旋形に捲く。

斯の如く互に絶縁せられたる熱電堆と螺旋形捲線を有する數個の硝子管を測定せんとする眞空と連絡せらるべき直徑一時位の硝子管(甲)内に封入し是等の熱電堆及び螺旋形捲線を各別にセリースに連絡して外部に各ターミナルを出さしむ。

硝子管(甲)と同形の硝子管(乙)内にも前記の如き熱電堆と捲線とを封入し是を一定氣壓に排氣して封鎖す。

次に硝子管(甲)を測定せんとする眞空と連續せしめて後(甲)(乙)兩管内の螺旋形捲線をセリースに連續して外部より一定電流を通じて加熱し且兩管内の熱電堆を逆に連結して其の兩他端をミリヴォルトメーターに接續するときは其のヴォルトメーターの讀は測定せんとする眞空度に從ひて鋭敏に變化し一度其のヴォルトメーターを氣壓に就きて目盛なし置く時はヴォルトメーターの指度は連續的に眞空度を示す。

此の場合に於て加熱電流の少量の變動或は周圍溫度に可なりの増減あるも甲乙兩管内の熱電堆は互に逆に連結されて居る故ヴォルトメーターの指示には殆んど變化を來さず、是本器の特長とする所なり。

又(乙)管内の氣壓を適當に定め置くときは眞空度が或る一定度に至るときは熱電堆の起電力零となりガルバノメーターによりて眞空が或る一定度に達せるや否やを簡便に知ることが得。

猶此の場合には加熱電流の値如何は殆んど指示に關係せず。

Synopsis.

The essential part of the paper explains a new manometer invented by the writer.

The outline of its construction and its action is as follows:--

A thermo-couple of iron and constantan is sealed in a small glass tube (dia $\cong$ 0.5 m.m.) of thin wall, the air in the tube being exhausted to a pressure of few centimeter in mercury column. The middle part of the glass tube, where the junction point of the thermo-couple is situated, is wound by a fine metal wire which is to be heated by a constant electric current.

Four or more of such a glass tubes with heating coils and thermo-junctions are sealed in a glass vessel (A), dia $\cong$ 1 inch; length $\cong$ 8 inches, with a branch pipe. All the thermo-couples and heating coils being connected in series with their respective terminals outside of the vessel.

Another glass vessel (B) which contains some glass tubes with a heating coil and a thermo-couple as mentioned above, and of the same form as the vessel (A) is sealed after evacuated to a definite vacuum.

The two sets of the thermo-couples in the two tubes (A) and (B) are connected in opposite direction and both the heating coils are connected in series. If we connect the glass vessel (A) to a vacuum to be measured and heat the heating coil by a constant current, the reading of a millivoltmeter which connected to the terminals of the set of the thermo-couples continuously gives a measure of the vacuum in wide range with better sensibility and accuracy.

In this manometer, small fluctuation in heating current or appreciable change of surrounding temperature does not effect the voltmeter reading, because both the thermo-couples in the two glass vessels (A) and (B) are connected in opposition. This is special merit of the manometer. If the vacuum in the vessel (B) be properly pre-determined, the e. m. f. due to the thermo-couples becomes zero when the vacuum to be measured reaches a certain value. So that by means of the manometer with a sensitive galvanometer connected to the thermo-couple circuit, we can know very conveniently whether the vacuum in the tube (A) reaches a predetermined value. In this case the heating current is nearly in different to the indication of the galvanometer needle.

第一章 總 論

第一節 緒 言

私は今回照明學會關西支部第三回講演會に出演することを光榮とします。當支部にて講演せよとは去年の五月頃より青柳博士の御言葉であつたのですが準備の都合上遂に今日まで延びた次第であります。今日お話し致します主眼點は、私が財團法人青柳研究所に於て理事長青柳博士の御指導と同所技師全田、阿部兩學士の御援助によりまして考案致しました熱電式真空計(特許第三七六九一號)に就いてありますが、其部分だけでは今日の如き席上に於ける講演として餘り無

味乾燥に流れはしまいかと思はれました故表題の如き事柄に就いてなるべく通俗的にお話をし度いと思ひます。

第二節 氣體飛動説

總て氣體を構成せる分子は種々なる速度で飛動して居るものでありまして、其速度の方向は各分子間に於て凡ての方向に一様に分布せられ且つ其速さは溫度が一定ならば或る平均値を保持して居るものであります、(言葉を代へて言へばマックスウエルの速度分布の法則に従つて居るものであります)勿論、多數の分子が飛動して居るのでありますから各分子は互に絶へず衝突し或は其の容器壁に突撃しては跳ね返されて居ます。瓦斯の他物體に呈する壓力は即ち瓦斯分子が之に突撃して跳ね返されるに依りて生ずるものであります。又一定量の瓦斯の定溫の下に其の容器に呈する壓力が、其の容器の體積に反比するのは、各分子が容器壁を一定時間内に突く回數が其の體積に反比する故であります。

第三節 瓦斯分子の速度

今 a, b, c なる三邊を有する直方形内に封入せられて居る瓦斯に就いて考へて見ます。

第 壹 圖

其瓦斯の一分子の質量を m とし v_a, v_b, v_c を、其の速度 v の a, b, c 各邊に於ける分速度とするときは此の分子が OCB 面を單位時間に衝つ數は $n = \frac{v_a}{2a}$ であります。是故に單位時間に其分子が OCB 面の爲に受くる運動量の變化即ち其の面が其瓦斯分子より受くる力は

$$2mv_a \times n = 2mv_a \frac{v_a}{2a} = \frac{mv_a^2}{a}$$

となります、従つて面の受くる壓力 P は次の如くなります。

$$p = \frac{mG_a^2}{abc} \times Nabc = mNG_a^2 = \rho G_a^2 \dots \dots \dots (1)$$

但し G_a^2 = 其容積内の全分子の有する v_a^2 の平均、

N = 單位立積内に於ける瓦斯の分子數、

$\rho = mN$ = 單位立積内の瓦斯の質量即ち密度、

であつて、瓦斯分子は他の分子又は壁と衝突の際にエネルギーの損失なきものとし、且衝突の際に費さるゝ時間は無視して可なるものとす。

さて $v^2 = v_a^2 + v_b^2 + v_c^2$
である故

$G^2 = v^2$ の平均、

$G_a^2 = v_a^2$ の平均、

$G_b^2 = v_b^2$ の平均、

$G_c^2 = v_c^2$ の平均、

とすれば $G^2 = G_a^2 + G_b^2 + G_c^2$
となる。

分子の速度の方向は凡ての方向に一様に分布されてゐる故

$G_a = G_b = G_c$ となり、従つて $G_a^2 = \frac{G^2}{3}$ となる、故に式(1)は次の如くなる

$$p = \frac{\rho}{3} G^2 \dots \dots \dots (2)$$

式(2)は瓦斯の壓力が其の密度と分子速度の次乗の平均値との相乗積に比例することを示します。即ち同一の壓力を有する瓦斯體は密度の小なるもの程大なる速度を有することゝなります。

さて或る瓦斯の分子量を M とし其の全質量を kM グラム即ちグラム分子とし其容積を V と致しますと式(2)より

$$p = \frac{1}{3} \frac{kM}{V} G^2$$

一八 或は $pV = \frac{1}{3} kM G^2$

となります、ボイル氏の法則に依りまして $pV = RT$ である故

$$\frac{1}{3} MG^2 = RT$$

或は $\frac{1}{2} MG^2 = \frac{3}{2} RT \dots \dots \dots (3)$

但し T = 瓦斯の絶體溫度、

p の單位を ($\text{bar} = \text{dyne/cm}^2$), V の單位を cm^3 とするときは $R = 83.2 \times 10^6$ となる。

(3)式によりて瓦斯の運動のエネルギーが絶體溫度に比例することが判ります、即ち瓦斯の溫度は其の運動エネルギーの大小を示すこととなります。

$$\text{又此式より} \quad G = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 15,800 \sqrt{\frac{T}{M}} \text{ c.m./sec.}$$

となる故之から分子の平均速度を求むる事が出来ます。溫度 20°C に於ける二三の瓦斯の平均速度を下に記しますと、

酸素	$M=32$	$G=15,800 \sqrt{\frac{273+20}{32}} = 478 \text{ meter/sec.}$
窒素	$M=28$	$G=478 \sqrt{\frac{32}{28}} = 511 \quad //$
水素	$M=2$	$G=478 \sqrt{\frac{32}{2}} = 1912 \quad //$

是れ等の値は銃丸の有する速さの程度であります。

第四節 分子の質量及び單位立積中に於ける

瓦斯分子の數

或る瓦斯の 1 グラム分子の有する分子の數を n_0 とすると $M = n_0 m$ となり、分子量は分子の質量 m に比例しますから n_0 は一定となります。此の n_0 なる數は色々の方面から計算されてゐますが其の中の一方法としましては、

原子價 1 なるイオンの有する電氣量(是は一電子の有する電氣量と同一です) $= 1.59 \times 10^{-20} \text{ e.m.u.}$

原子價 1 なる元素の瓦分子を電解するに要する電氣量 $= 9647 \text{ e. m. u.}$ でありますから

$$n_0 = \frac{9647}{1.59 \times 10^{-20}} = 6.06 \times 10^{23}$$

と成ります、之は酸素の場合ならば 32 瓦が有する分子の數であります、此の數を $M = n_0 m$ に入れますと酸素一分子の質量は

$$m = \frac{M}{n_0} = \frac{32}{6.06 \times 10^{23}} = 5.3 \times 10^{-23} \text{ 瓦}$$

となります。

是は非常に微量なるもので全地球の質量と 100 匁位の物體の質量

との比較が丁度其物體の質量と酸素一分子の質量との比較に凡そ等しくなります。

次に或る瓦斯のM瓦(一瓦分子)の容積をV。とし其の單位立積中に含まるゝ分子の數をnと致しますと

$$n_0 = nV. \quad \text{或は} \quad n = \frac{n_0}{V.}$$

となります。

$$pV_0 = RT$$

の式から

$$n = \frac{pn_0}{RT} \dots \dots \dots (4)$$

となる此の式から單位立積中の分子の數は、其の壓力と溫度にのみよ
りて定まるべきもので、凡ての永久瓦斯に就いては一定であることが
知られます。

今溫度 20°C 壓力 10⁶ bar (約一氣壓)の場合に於ては一立方糎内の瓦斯
分子の數nは如何なる永久瓦斯に就いても

$$n = \frac{10^6 \times 6.06 \times 10^{23}}{83.2 \times 10^6 \times 293} = 2.45 \times 10^{19}$$

となります。

今假に電球内の空氣を凡て水銀柱一糎の百萬分の一即ち一氣壓の
十億分の一まで排除するも猶其球内の一立方糎に就いて24,500,000,000
(二百四十五億)の分子が有ることになります、全地球上の人口の二十倍
に近いものになります。

第五節 平均自由徑路 (Mean Free Path)

前に述べました様に 20°C, 一氣壓に於て一立方糎中の瓦斯分子の數
が $n = 2.45 \times 10^{19}$ であります故分子と分子の間の平均中心距離 d は大體
に於て

$$d = \frac{1}{n^{\frac{1}{3}}} = \frac{1}{(24.5 \times 10^{18})^{\frac{1}{3}}} \cong 3.44 \times 10^{-7} \text{ c.m.}$$

となります。分子の大きさは 3×10^{-8} c.m. 位のものです。

斯の如き平均距離にある分子が銃丸の如き速さを以て運動してゐ
る故に各分子が單位時間に衝突する總數は、

$$C_2 = \frac{n(n-1)}{2}$$

に比例する故或る特別の分子が他の分子と單位時間内に衝突する數は

$$\frac{nC_2}{n} = \frac{n-1}{2} \cong \frac{n}{2}$$

に比例することになります。且つ其の數は一分子の面積即ち直徑 σ の二乗と其の平均速度 v とに比例することゝなるべきでありますから、一分子が單位時間に衝突する數 N_0 は

$$N_0 \propto n\sigma^2 v$$

となります。

但し v はマックスウエル (Maxwell) 氏の分子速度の分布法則より出したる、平均速度にして次の如くになります。

$$v = \sqrt{8/3\pi} \quad G = 0.922G$$

今 L を一分子が一度他の分子と衝突してから次に衝突するまでに移動する距離の平均値としますと $N_0 = \frac{v}{L}$ となる理であります、故に

$$L = \frac{v}{N_0} \quad \text{となり} \quad L \propto \frac{1}{n\sigma^2}$$

となります。

此の L のことを瓦斯の平均自由徑路 (Mean Free Path) と云ひます。

式(4)より

$$L \propto \frac{RT}{n_0 \sigma^2 p} \dots\dots\dots (5)$$

となり L は p に反比することが分明します。

瓦斯の粘着力 (Viscosity) の實測と理論上の計算より、 L の値を知ることが出来ます。一氣壓 20°C に於ける L の値を記しますと

瓦斯	酸素	窒素	水素
L の値	9.93×10^{-6}	9.29×10^{-6}	17.44×10^{-6}

となります。

故に水銀柱 $\frac{1}{1,000}$ m.m. の眞空度に於ては空氣の L は約 10 糎となります。眞空電球内の氣壓は普通 $\frac{1}{10,000}$ m.m. 以下でありますから其の殘留瓦斯の L は 100 糎以上であります、斯の如き眞空に於きましても分子間の平均中心距離は

$$\frac{1}{n^{\frac{1}{3}}} = \frac{1}{(2.45 \times 10^{10})^{\frac{1}{3}}} = 3.44 \times 10^{-4} \text{ c.m.}$$

となります。

斯の如き球内に於ては各分子は互に衝突すること殆ど皆無にして

只球壁を突くのみであります。

第六節 分子が容器壁に單位時間毎に衝突する數

瓦斯分子が容器壁の單位面積に單位時間毎に衝突する數は $n \times v$ に比例する事は明であります。簡單なる計算によつて一平方糎を毎秒に衝突する數 Z は(6)式の如くなります。

$$Z = \frac{1}{4}nv \dots\dots\dots(6)$$

窒素に對しては一氣壓 20°C に於て

$$Z = \frac{1}{4} \times 2.45 \times 10^{19} \times 51,100 \times 0.922 \cong 2.9 \times 10^{23}$$

是を質量にて表はすと

$$Z_m = 2.9 \times 10^{23} \times 4.6 \times 10^{-23} = 13.5 \text{ 瓦}$$

となります。

又直徑 D 糎長さ l 糎を有する管内に在る瓦斯が其の管壁を一秒間に衝く數 Z は

$$Z = Z_0 \pi D l = \frac{\pi}{4} n v D l$$

にして其の瓦斯分子が其の管内にて一秒毎に衝突する總數 N は

$$L = N \cdot \frac{\pi}{4} D^2 l = \frac{v}{L} n \frac{\pi}{4} D^2 l = \frac{\pi}{4} \frac{n v D^2 l}{L}$$

$$\text{故に } \frac{Z}{N} = \frac{L}{D} \dots\dots\dots(7)$$

此の式より高真空の管内に於て、其の容器の直徑が數糎の程度なるときは瓦斯分子が或る時間内に其の器壁を衝く數は分子相互間に於て衝突する總數よりも遙に大となります。

此の事柄は後に真空計の説明を致します際に關係して來ます。

第二章 真空ポンプ

第一節 回轉式ポンプ

真空ポンプの中、最も幼稚なるものはピストンポンプである、ピストンポンプの稍進歩したるものがゲーリック氏のライルポンプであります。今日實用されて居るものは回轉軸式のもので此の主なるもの

はライルポンプ及び水銀ポンプの二種であります。

然し以上の如く液體封鎖を用ひる場合に於ては其の液體の働作溫度に於ける蒸氣張力以下の壓力を得ることは出来ません(液體空氣の冷却劑を用ひる場合は此の限りではありません)。

水銀の蒸氣張力は20°Cに於て約水銀柱の $\frac{1}{1000}$ 耗、30°Cに於ては $\frac{2.5}{1000}$ 耗あります。

第二節 ゲーデ氏分子式ポンプ

第二圖

第二圖の如き裝置に於て回轉子Aを高速にて回轉せしむるときは吸氣口Sに於ける壓力が排氣口Eに於ける壓力より小となり、其の差は大體回轉數に比例します。此の場合にポンプ内の氣壓を補助ポンプを以て適當に下げポンプの回轉子に衝突する分子の數をして相互に衝突する數より大となさしめ回轉子の周速度を瓦斯分子の速度より大ならしむるときは殆んど完全なる眞空

第三圖

を得る理であります、併し此の種のポンプは機械的に其の構造困難にして且つ破損し易き故水銀蒸氣ポンプの發明に依つて現今に於ては殆んど顧みられません。

第三節 水銀蒸氣ポンプ

ゲーデ氏分子式ポンプの回轉子に高速を與ふることの代りに水銀の蒸氣を高速を以て凝結器に向ふて運動せしめ其の高速分子と瓦斯分子との衝突に依りて瓦斯を蒸氣と共に一方に送つて高眞空を得んとするものが水銀蒸氣ポンプであります。

此の種のポンプにはゲーデ氏が始めて考案せられラングシュューア氏によりて改良されたものと思はれます。

第三圖はラングシュューア氏の水銀蒸氣ポンプであつて補助ポンプで $\frac{1}{100}$ 耗まで引けば 300 ワットの電力にて加熱して $\frac{1}{1000}$ 耗位の氣壓の處では毎秒 3000—4000 立方糎の速さで排氣すると云はれて居ます。此の種のポンプが排氣する理論上の極限はない程なれども實際 $\frac{1}{100,000}$ m.m. 位までは補助ポンプが $\frac{1}{100}$ m.m. 位まで作用すれば容易に排氣することが出來ます。

第三章 眞空計

第一節 マクレラッド眞空計

眞空計として普通用ひられ且つ他種の眞空計の標準となるものはマクレラッド氏の眞空計であります。マクレラッド氏眞空計に連結されて居る容器 R の氣壓を測定せん爲に第四圖に於ける水銀槽 A を上げて、圖の如き位置に置きたるときの B 槽内の瓦斯の容積を槽 B の全體の $\frac{1}{10,000}$ とするときは R の氣壓は $\frac{h}{10,000}$ なることが知れます、然し水銀は或る溫度に於て是れに相應する蒸氣壓を有する故若し水銀槽 B と容器 R とが A を上ぐる前に水銀蒸氣にて飽和して居つたならば h に其の溫度に於ける水銀の蒸氣壓 h^1 を加へたるものが容器の壓力となります。

故に R 及び B 内の水銀蒸氣にて飽和されてゐないとき或は水銀蒸

氣と瓦斯との混合が一樣ならざるときは h より R 内の氣壓を求むることは不可能であります、水銀の蒸氣壓は次の様な數であります。

溫度	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
蒸氣壓	0.00016 _{mm}	0.00026	0.00043	0.00069	0.00109	0.00168	0.00257	0.00387

第 四 圖

20°C 附近の室内溫度に於ては水銀の蒸氣壓に依る誤差は $\frac{1}{1000} m.m.$ の程度になります故本眞空計は此の儘用ひる場合には $\frac{1}{100} m.m.$ 以下の氣壓を測定する場合には其の結果に信を置けないのであります。

$\frac{1}{100} m.m.$ 以下の氣壓を測定するときは容器 R と眞空計とを連結する管の一部を適當の形にして此の部分 C を液體空氣にて冷却するか、或は其の内部に金箔(鍍金したる細線を螺旋形に捲きたるもの)にても可なり、を入れて水銀蒸氣が R 内に入るを防ぎ然も瓦斯は自由に R 及び B 内に飛動し得る様

にする。

斯の様に致しますと h は容器 R 内の氣壓を示すことゝなります、但し水銀蒸氣分子は幾分の流れをなして容器 C の方に進む故、瓦斯のみの壓力が容器 R 内に於て、水銀槽 B 内に於けるよりも大となつて、誤差を生ずる恐れがあります。此の誤差は普通室内溫度にては水銀蒸氣の平均自由徑路が大なる故無視しても宜しいのであります、然し水銀以外の蒸氣が入る恐れある場合には C 部を液體空氣で冷す必要があ

ります。

G. E Review P. NO 9 XXIII

第二節 粘着力真空計 (Viscosity Manometer)

瓦斯内にて運動する物體が其の瓦斯の粘着力によりて其の運動を
妨害せられる力が其の壓力に依りて變化するを利用したるもので此
の種の真空計の中ラングシュア氏の考案したるものを次に説明致
します。

第五圖

此の真空計は第五圖に示す如く
硝子内に封じられたる回轉圓板 A
(此の板はコイル G 中の電流に依り
て作らるべき回轉磁場によりて同
期的に回轉せられる)と其の上に近
く垂らされて居る他の圓板 B とよ
り成つて居ります。

A 板が回轉しますと器中の瓦斯
の粘着力の爲に B 板は其回轉の方
向に幾分の捻力を受けます、此捻力
は石英の吊絲の受ける撓りの角に
比例しますから此の角によつて知
ることが出来ます。而して瓦斯の
粘着力は千分の數耗程度以下の壓
力に於ては其氣壓に比例しますか
ら此角の大小に依つて氣壓を測ら
れます、此の種のものにて百萬分
の一耗程度の真空が十分測定できま

す、而して其の感度は圓板の毎秒の回轉數を變じて任意に定めること
が出来ます。

第三節 ラデヲメーター、マノメーター (Radiometer Manometer)

此の種のマノメーターはクヌードセン (Knudsen) 氏が始めて實用的に考案したるものであつて $1/10^8 m.m.$ 程度を測定し得ると云はれて居ります、其の原理は次の如きものであります。

第 六 圖

眞空中に於て A なる輕き中空矩形板を垂し其の兩側に第六圖の如き B なる二個の板を對立させます、而して B を A より高き或る一定溫度に熱するときは B 面を衝きたる分子は是より反射せられて元より大なる速度を以て A 面を衝く故に A 面の圖の如き方向に回轉せんとします。今 A と B との二面間の距離が其の瓦斯の平均自由徑路より大なる限りは其の回轉力は、

$$f = \frac{P}{2} \left\{ \sqrt{\frac{T_1}{T}} - 1 \right\}$$

となります、 f は A のフレの角から計算することが出来ます故に T_1 と T が知れて居ると P が

知れます然し T 及び T_1 を精確に定むることは殆んど不可能と思はれますから此の眞空計は不精確を免ぬられません。

第四節 抵抗眞空計 (Resistance Manometer)

(1919 年數學物理學會雜誌 152 頁 參照)

瓦斯の二面間の熱傳導度は、其の平均自由徑路が其兩面間の距離より大なるときは、其壓力に比例するものであります。故に眞空中にて一定の電流にて熱せられるべき細線(普通白金線)を眞空度を測るべき容器中に封入さすときは、其の溫度は其氣壓に依りて變じ、從つて其の線の抵抗(溫度により變化す)を測定して眞空度を比較することが出來

ます。勿論抵抗を精密に測定する爲には可なりの注意と精密なる計器を必要とします。

然し此の種の眞空計にては連續的に氣壓を與へないのと其の感度が各氣壓に就いて大略一樣である故眞空が高くなれば成る程示度が

不精密に成るのが缺點であります、其外加熱電流の少しの増減が比較的大なる誤差を生じます。

第五節 イオン真空計 (Ionization Manometer)

(Elekt. Zeits. 39. 235. 1918. Elec. World 73. 137. 1919)

第七圖

此種の真空計には圖の如く三個の電極が有ります、第一は陰極 A で電流によりて強熱されて電子を發散する様になつて居ります。第二の極は陽極 B で第三極 C は金網で作られ陽イオンを集むる用を爲すもので A と B との中間に在ります。陽極を通ずる電流はミリアムペア、メーター M.A にて測定し、極 C に集る陽イオン電流は C に連結されて居る良感電流計 G によりて測られます、且つ C は A に對して低い電位に成つて居ま

すから、陽イオンのみを探ります。瓦斯が真空計の内に無きときは陽イオンは無いのですから電流計 G に電流は流れません、若し瓦斯が存在して居ると(容器の大いさに比して其の平均自由徑路が大ならざる程瓦斯壓の低き場合、)其の瓦斯の分子の數従つて其の壓力に比例したる陽イオン電流が流れます。此の電流とミリアムペア、メーター内を流れる陽電流との比は大體に於きまして求むる瓦斯壓に比例する數を與ふることゝなります、此の種の真空計では 1×10^{-6} 托位まで測定が

できます。

第四章 熱電式真空計

第一節 其の構造

第 八 圖

本器の主要部は第八圖に示してあります様に螺旋狀金屬細線(3)に依りて絶縁管(2)を隔て、圍繞せられる四組の熱電堆(3)を封入したる(甲)(乙)二個の硝子管であります、其の螺旋狀金屬細線は直徑 0.004 吋で其の長さは一條に就き約 22 吋です。是を絶縁管上に

凡そ 5 分の長さに巻きます絶縁管には成るべく細く且つ壁の薄き硝子細管を用ひ其の細管は其の内部を數極の氣壓にして封じてあります、熱電堆としては 0.01 吋位の鐵線二本と 0.004 吋位のコンスタンタン線四本と接合したるもので一組の長さ約 2 吋であります、硝子管は内徑 1 吋長さ 6 吋位であります、硝子管中の螺旋狀線は直列に連結します。

甲管の方には支管(4)がありますが乙管の方は或一定の眞空に排氣して置きます、甲管中の熱電堆と乙管中の熱電堆とは逆に連結します此の兩管はなるべく氷を入れたる魔法ビン中に入れるのが普通であ

ります。(氷の代りに水を入れ其の温度が可なり變化するも結果には殆んど差違ありません)

第二節 其の作用

甲管を真空を測定すべき容器に連續せしめてから螺旋狀金屬線(1)中に一定電流を通じて之の温度を攝氏の 100° 乃至 300° に熱します。本器に於きましては 0.1 amp. から 0.3 amp. 位を用ひます此電流は測定すべき真空度に依りて適當に選擇致します、次に逆に接續せられて居ります熱電堆を成るべく抵抗の大なるミリボルト、メーター(4)に接續する、斯くしますとボルトメーター(4)の示す値は甲管中の熱電堆の接合點(3)の温度と乙管に於ける接合點(3')の温度との差に依りて定まります、接合點(3)及び(3')の温度は是を圍繞する螺旋狀線(1)の温度に依つて定まるものであります然して管内の氣壓は一定であります故螺旋狀線の温度は其内を通ずる電流が變らざる限り一定であります。

然るに甲管の氣壓は容器の氣壓と等しきもので従つて甲管内の螺旋狀線の温度は測定せんとする真空度如何に依つて變化するのであります、真空が高くなるときは其の瓦斯の熱傳導度が降り螺旋狀線の温度が昇り従つて接合點(3)の温度が昇るのであります、即ちボルトメーターの讀みは測らむとする真空度に依りて左右されます、此の場合に於きまして螺旋狀線中の電流の微量の變化又は甲乙兩管壁の温度に可なりの變化を來すも之等の變化の爲めに生ずる各螺旋狀線の温度變化は兩管内に於て殆んど等しき故に是が爲めに生ずる氣壓測定の誤差は無視することが出來ます。

本裝置に就きましてボルト、メーターの讀みを氣壓に就いて目盛り
三〇 をして置きますと、直に真空計として用ゐられます。

第三節 理 論

容器内に於ける瓦斯の熱傳導度は其の瓦斯の平均自由徑路が管の内徑より大なる場合に就いては大略其の氣壓に比例します、本器の場合に於きまして約千分の四まで此の條件に適合します。

第 九 圖

今 n = 螺旋狀線一個の卷數、

r = 其の細線の半徑、

R = 螺旋の平均半徑、

a = 其の抵抗に對する溫度係數、

ρ_0 = 0°C に於ける其の比抵抗、

a = 其の線の表面と硝子管壁との間の瓦斯熱傳導に依る定數、

b = 瓦斯内の傳導に依らざる其の線よりの熱傳播に依る定數、

t = 其の線の平均溫度、

t_0 = 硝子管壁の溫度、

とすると其の線中に i_0 なる密度を以て電流が通つて居るときの溫度平衡の狀態に於ては、甲管の氣壓を p とすれば

$$\frac{2\pi R}{\pi r^2} \rho_0 (1+at) (\pi r^2 i_0)^2 = n\pi r \cdot 2\pi R \left\{ a(t-t_0)p + b(t-t_0) \right\}$$

$$\text{即ち } \rho_0 r i_0^2 (1+at) = (ap+b)(t-t_0)$$

$$t-t_0 = \frac{\rho_0 r i_0^2 (1+at_0)}{ap+b-\rho_0 r i_0^2 a}$$

となります、又乙管内の一定氣壓を p_0 とし其の螺旋狀線の溫度を t' とするならば

$$t'-t_0 = \frac{\rho_0 r i_0^2 (1+at_0)}{a'p_0+b'-\rho_0 r i_0^2 a}$$

となります。

今熱電堆の高溫度接合點の溫度と螺旋狀線の平均溫度と等しく且つ其の低溫度接合點の溫度を管壁の溫度 t_0 と等しきものとし e' 及び

e'' を以て甲乙兩管内の熱電堆の與ふる起電力としますと、本電堆の場合には起電力は大略温度の差に比例しますからミリボルト、メーターに與へられる起電力 e は次の如くなります。

$$e = e' - e'' = 4k \left\{ \frac{\rho_0 r i_0^2 (1 + \alpha t_0)}{ap + b - \rho_0 r i_0^2 a} - \frac{\rho_0 r i_0^2 (1 + \alpha t_0)}{a'p_0 + b' - \rho_0 r i_0^2 a} \right\}$$

$$= 4k \frac{\rho_0 r i_0^2 (1 + \alpha t_0) \{a'p_0 - ap\} + b' - b}{(ap + b - \rho_0 r i_0^2 a)(a'p_0 + b' - \rho_0 r i_0^2 a)}$$

比例常數 k の値は大略 1°C に就きて 50 ミクロボルトであります。

或は $e = \frac{(Ap_0' - p)}{p + B} \dots \dots \dots (1)$

となります。

但し $p_0' = \left(\frac{a'}{a} p_0 + \frac{b' - b}{a} \right)$

$$A = \frac{4k\rho_0 r i_0^2 (1 + \alpha t_0)}{(a'p_0 + b' - \rho_0 r i_0^2 a)} \quad B = \frac{1}{a}(b - \rho_0 r i_0^2 a)$$

で p_0' は普通 p_0 に近きものであります。

$$\frac{de}{dp} = \frac{-A(B + p_0')}{(p + B)^2}$$

となり是れは本器の感度を表はすものであります即ち感度は氣壓の小となるに従ひ増加いたします。

又 (1) より $p = \frac{Ap_0' - Be}{e + A} \dots \dots \dots (2)$

となります。

此最後の式 (2) の常數 A, B 及 p_0' を實驗的に求むるときはボルトメーターの讀みにより直ちに瓦斯壓を知ることが出来ます。

然して管内の氣壓 p は之管を餘程良くエージ (age) せざれば少しく増加する恐れがあります、 p_0 が増加しますと求むる氣壓 p は實際の値よりも小さく出ます。即ち眞空度が良過ぎて出ることゝなります。

第五節 實驗

實驗裝置は第十圖に示してあります様に主要ポンプとしてはラングミューア氏水銀蒸氣ポンプを用ひ之が補助として電球製造用油ポンプを用ひました。本眞空計の目盛の標準としてはマクレッド眞空計を用ひ水銀蒸氣より來る誤差は圖示したる如くに金箔を用ひて

成るべく除くことゝしました。實驗の結果を次に表示します。

第 十 圖

眞空發成と其測定 理學士 工學士 上林一雄

起電力 e は milli-volt にて示し、壓力は水銀柱の高さにて milli-meter にて示す。

e	1.80	2.74	4.16	5.48	6.60	7.50	8.80
p	0.0800	0.0600	0.0374	0.0210	0.0109	0.00685	0.00360
e	10.26	11.70	12.50	14.10	15.00	15.35	
p	0.00200	0.00108	0.00082	0.00023	0.00010	0.00004	

三

是關係をダイアグラムにて示したるものが第十一圖であります、又此等の結果 (data) の内 p の値の $0.002^{m.m}$ 以下のものより式 (2) の常數を定

めますと次の如き式を得ます。

$$p = \frac{0.0308 - 0.00198e}{e - 5.03}$$

此の式より計算しますと

e	15	14	13	12	10	9	8
p	0.00011	0.00033	0.00064	0.00101	0.00221	0.00327	0.00503

となります、之の結果をダイアグラムに表して實測のものと比較したものが第十二圖であります。

又乙管を適當なる氣壓に排氣して封鎖し置くときは測定せんとする眞空度が或る一程度に至るときは熱電堆の與ふる起電力が零となる故ガルヴァノメーターを其熱電堆の兩極に連結するときは、其のデフレクションの有無によりて排氣係の眞空度が或る程度に達し居るや否やを容易に知ることが得、此場合に於ては加熱電流の大小は殆んどガルヴァノメーターの指示には關係せず。