

A Discussion on Hygrometry.

Phys. Soc. of London, Proc. XXXIV Part II.

Feb. 15 1922.

航空研究所々員 瀬藤象二氏

I) The Measurement of Atmospheric Humidity

By Sir Napier Shaw, F. R. S.

此の論文は氣象觀測者として濕度の測定方法に關する意見を述べたもので、大體に於て乾濕球型が最も便利であり、濕球の溫度が氷點以下に降る場合には毛髮型に據るを便とすることを主張して居る。

毛髮型は同じ濕度でも狀況に依つて異なる指度を與へる故不都合であるとの N. P. L. の意見に對しては、氣象觀測の様な自然其物が可なり變化性に富んで居るものに對し非常に精密な確度を保つことは不必要だとの理由を以て反對して居る。

II) Some Modified Forms of Hygrometers.

By Ezer Griffiths, D. Sc. (N. P. L.)

著者は冷蔵庫内の濕度を測るに最も適當な装置は何であらうかと云ふ問合を受けてから、研究を進めた結果を此論文として發表したのでであると云ふ。其の内容は可なり廣汎な範圍に亙つて居るが、之を約言すれば次の如くである。

1) 濕度を任意の値に長時間一定に保つ装置。

室が小さい時には比較的簡單である。室を密閉して濃硫酸を入れた容器の液面を風の通る様に電氣扇で室内の空氣を循環せしめ、所定の濕度に達した時に其容器に蓋をすればよい。他の方法としては硫酸の濃度を所要の濕度と溫度とによつて適當に(下表による)撰定し室内の空氣をして其の中を潜らせればよい筈である。此は乍併實驗の結果不都合だと考へられる。即硫酸が泡立たせられる爲め微粒の形で飛散するものと見へ室壁をリトマス紙で檢べると酸性反應を呈した。此の方法に依らうとすれば空氣中に酸の

微粒が飛散するのを防ぐ爲空氣を glass wool の塞つた管を通さねばなるまいと思はれる。

第一 表

所要湿度 %	硫酸濃度 (%)			
	温度			
	0°	25°	50°	75°
10	63.1	64.8	66.6	68.3
25	54.3	55.9	57.5	59.0
35	49.4	50.9	52.5	54.0
50	42.1	43.4	44.8	46.2
65	31.8	33.0	37.1	38.3
75	29.4	30.4	31.4	32.4
90	17.8	18.5	19.2	20.0

室内に観測者が這入らねばならぬ場合には低い湿度に保つことは甚だ困難である。普通の人は静止の時でも一時間に 63 瓦の水分を發散するものであるが、攝氏零度の空氣一立方メートルを飽和せしむるには僅に 4.84 瓦の水分で足りるのであるから、餘程有效な乾燥剤を使はねばならない。

温度の高い時には又別に次の様な方法も考へられる。それは結晶水を有つて居る適當な結晶を棚に載せ空氣をその上から通すのである。そうすると其の結晶水の解離する蒸氣張力は一定の温度では一定である爲めに湿度を一定するのである。但し結晶状態のも

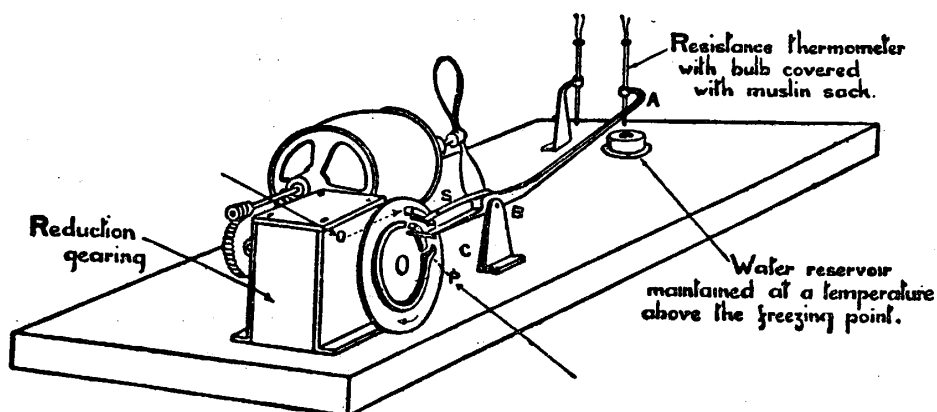
第二 表

温度 °C	湿度 (%)			
	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$
20	31.4	....	58.0	62.8
30	37.0	86	64.0	64.5
40	40.8	86	80.5	73.0
50	45.6	82.2	79.5	81.3
60	....	82.2	76.5	88.0
70	....	80.0	73.4	88.5
78	71.8		79.1	98.5

のと無水の状態のものを一處に置かねば效を奏しないことは勿論である。空氣の濕度が高過ぎると無水状態のものが水分を吸収して結晶體になり、濕度が低過ぎれば結晶状態のものが水分を出して調節するのである。

2) 濕度測定の標準。

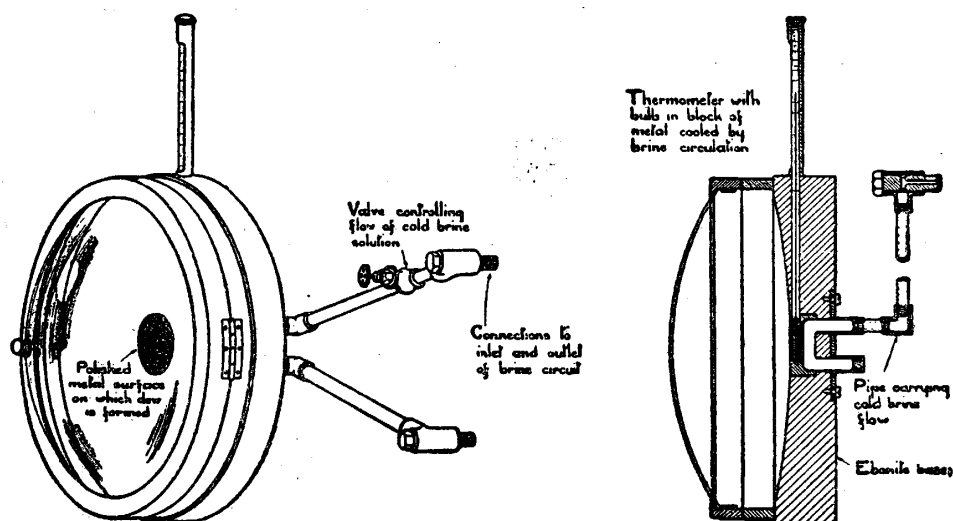
化學的濕度測定法は比較的乾燥した空氣に對しては精密な結果を與へ難いもので且つ實驗は非常に手間取るから、此の研究では露點型のものを標準として使つた。濕度計として現今知られて居るものの中で理論上標準として使ひ得るのは此の型許りである。



第一圖

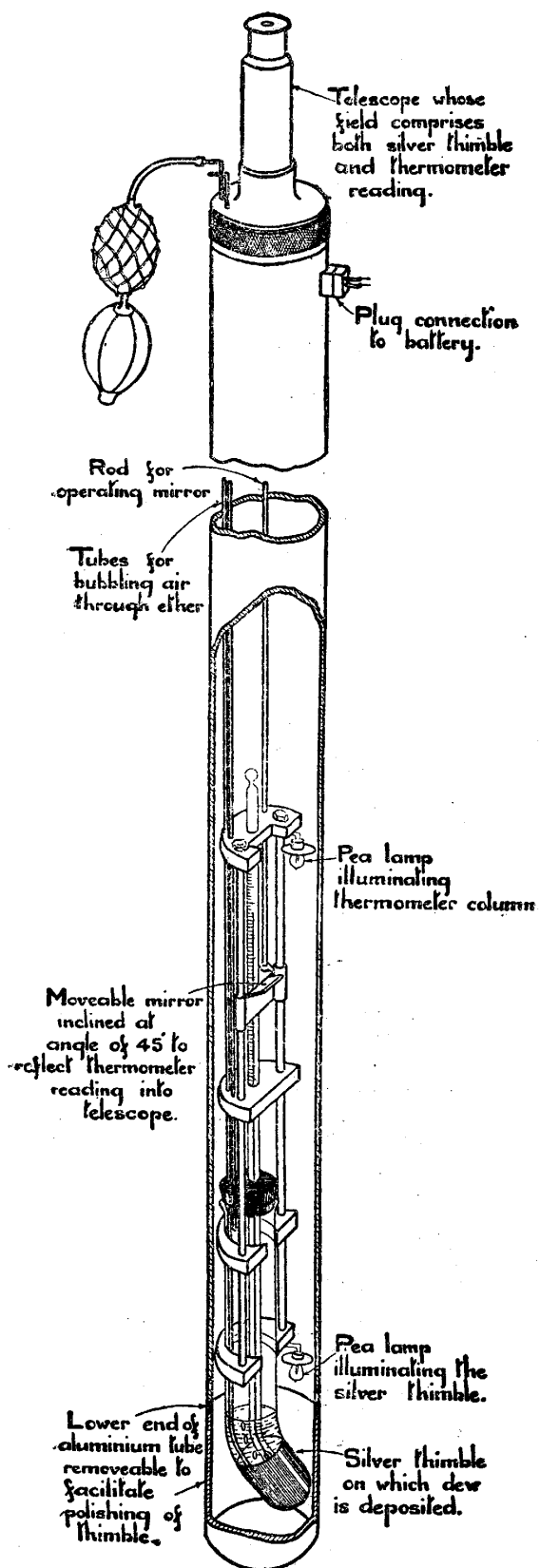
3) 乾濕球型。

空氣が靜止して居る時は此型は非常に不確であるが毎秒約三米の速度で空氣を通じて



第二圖

使へば比較的精密になる。普通使はれて居る Assmann 式のものを數個使つて見たが、氷



第三圖

點以上では 1 乃至 2% 位まで精確な結果を得た。温度の低い時には観測者が側へ近寄る爲めに誤差が出来るから、第一圖の様な遠距離で観測する装置を作つて好結果を得た。

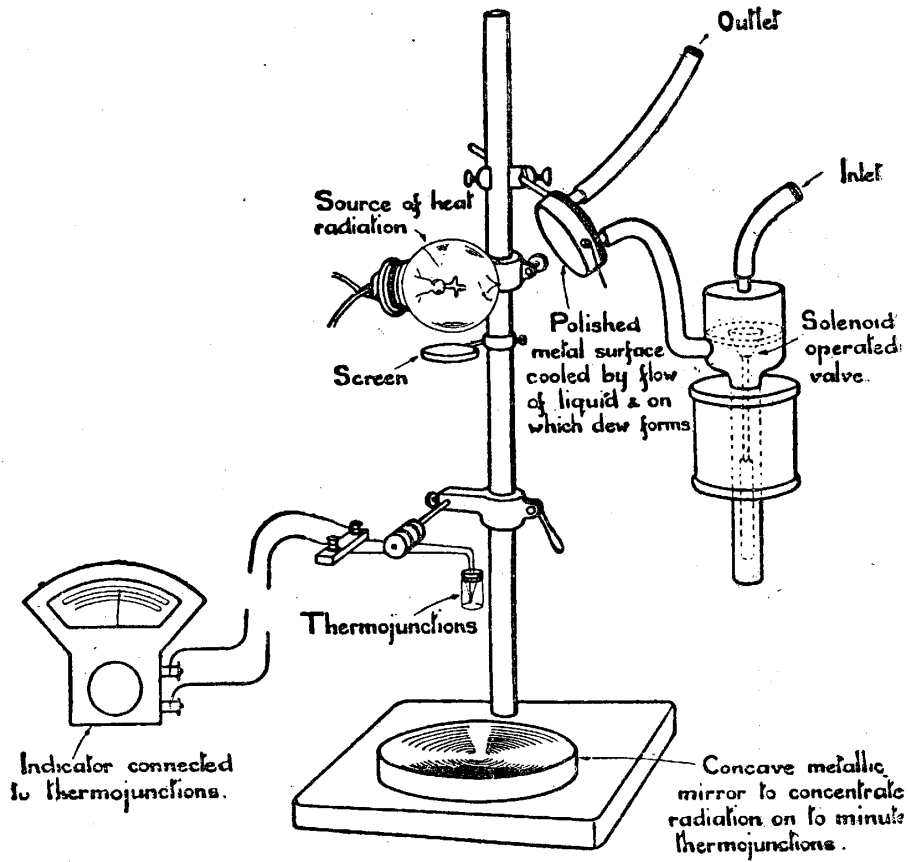
此は空氣の攪拌用扇風機の軸に reduction gearing で凡そ一時間に一回宛水溜の中へ濕球に相當する方の抵抗寒暖計の頭を浸す様にしてある。温度は今云つた様に、抵抗式寒暖計 (Resistance Thermometer) だから電線の配置さへよろしければ可なり距つた所でも観測することが出来る。此型ならば適當な記録装置を添加すれば自記式にも出来る。

4) 露點型。

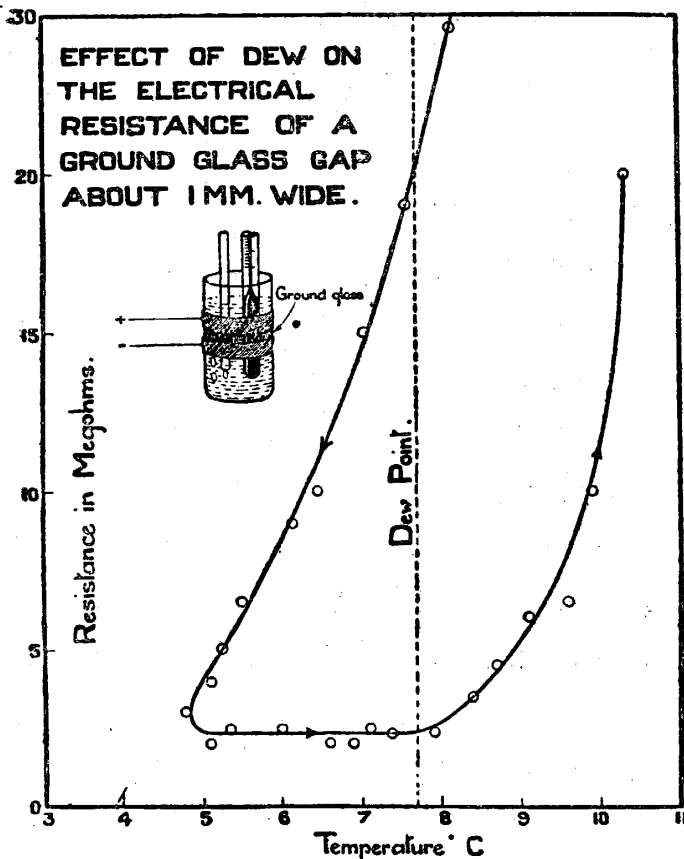
此の型で最も重要なのは露の置いた面の温度を精確に測ることと、露の置き初めと消え初めとの時期を精確に知ることとである。

前者に就ては寒暖計と露の生ずる面との熱傳導を出来る丈け良くすればよい。製作上に僅かの不注意がある爲めに可なりの不精密を生ずることがある。

次に露の眼に見える程度に生ずる時は單位面積にどれ位の水分があるかと云ふことが面白い問題である。色々の方法で實驗して見ると、極厚いもので一平方糎につき 14×10^{-6} 瓦、薄いもので 3×10^{-5} 瓦位らしい。此の結果から推算すると一平方糎に置いた厚い露は攝氏 0° の乾燥空氣 29 立方糎を飽和せしむることが出来ることになる。従てあまり小さい室で非常に乾いた空氣の濕度を此の方法で測る時には注意を要する譯である。



第四圖



第五圖

此の型のもので工業的に便利なもの
を三種作つて試験をした。

- i) 壁掛式。(第二圖)
- ii) 携帶式。(第三圖)

此等は皆其場て露の生ずる時、消
ゆる時の寒暖計の讀みを求めるもの
で使用に際しては従來のものと變り
はない。

- iii) 遠距離觀測式。(第四圖)

此は鏡の反射率が露の爲めに減ず
ると熱電對に當る熱量が減じ gal-
vanometer の振れが急に變化するこ
とを利用したもので、熱電對と gal-
vanometer との距離は遠くしても差

支ないから遠距離で露の發生消失を知ることが出来、別に鏡面の溫度を電氣的方法で測り、且つ圖の様に電磁石で瓣を被閉して冷却液を鏡の背面に送つたり止めたりする方法を採つて居る爲めに相當の注意の下に觀測すればよい結果が得られる。

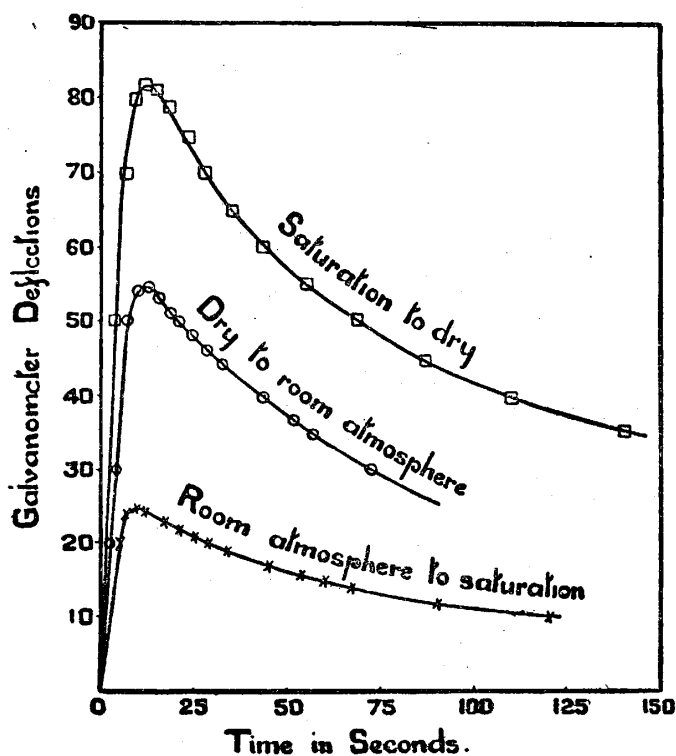
此の外第五圖の様に試験管の外壁を磨硝子にして白金を環狀に deposit させ一耗位の幅に切り去つた部分を作つて之に露が生ずれば電氣抵抗は變化する性質を利用してよい。曲線で示した通り露の消失する時の方が抵抗の變化が著しい。

5) 毛髮型、

此の型に就ては随分色々苦心して實驗をしたけれども。

- i) 長い間に permanent set が出る爲め實際より高い濕度を示す様になること、
- ii) 濕度を色々に變化した時、特に 5% 位の非常に乾いた状態を經過させると permanent set を生じ指度が狂つて来る。
- iii) 低い溫度 (-7°C) に曝した時毛の張力を大きく製作したものは元の室溫に戻しても permanent set が残る。
- iv) 普通の溫度 (16°C — 38°C) でも、溫度によつて指度が異なる。

等の缺點があるから、極端な状態に曝さぬ様に使つて居れば相當の結果が得られるかも知れぬが、あまり信頼を置くことが出来ない。



第六圖

知れぬが、あまり信頼を置くことが出来ない。

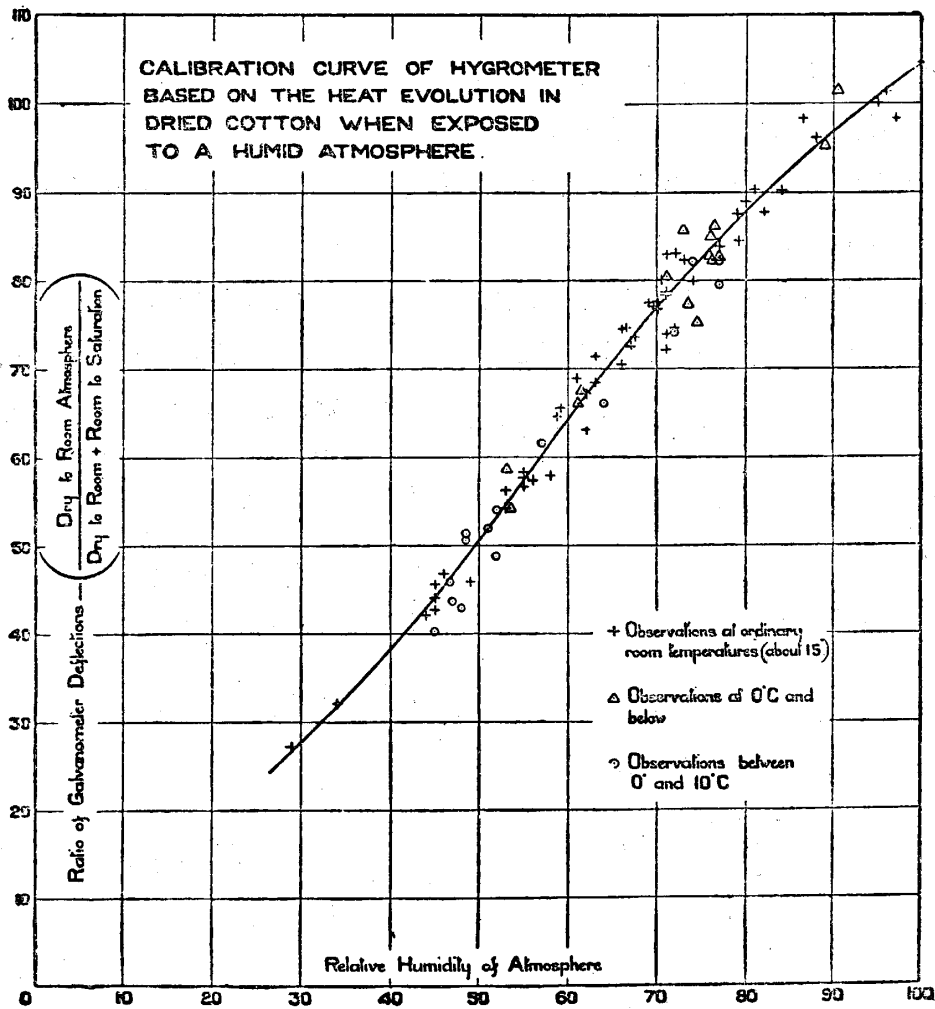
6) 綿が吸濕によりて生ずる熱量を利用した型。

乾いた綿を濕つた空氣に接すると濕氣を吸収すると共に熱が発生し、綿の溫度が上昇することは 1904 年に Orme Masson が發見した事實であるが、此れを利用すれば濕度計として使用する事が出来る。

著者の作つたものは綿捲のニッケル線を半分は其儘、半分はシエラックを塗つて吸濕性をなくした differential resistance Thermometer である。

最初之を乾燥して置いて、濕度を測らうとする空氣を導くと、第六圖の上から二番目 Dry to room atmosphere として示した曲線の様に Galvanometer が振れる。次に振れが零となるのを待つて飽和空氣を導くと第六圖の上から三番目 Room atmosphere to saturation として示した曲線の様に振れる。参考の爲めに更に乾燥した空氣と連絡せしめると今度は乾くのであるから galvanometer の振れは前と反對であるが圖の最上部の曲線 Saturation to dry として示したものが得られる。

各の最大値を比較すると丁度下二つの最大値の和 ($n_1 + n_2$) が上の曲線の最大値 (n_3) に等しくなる。



第七圖

今 $n_1 = \text{dry to room atmosphere}$ } の最大値とせば
 $n_2 = \text{room to saturation}$ }

$\frac{n_1}{n_1+n_2}$ を ordinate にし % Humidity を Abscissa として示せば第七圖の様になるから此の結果を逆に利用すれば湿度計として利用出来るのである。但し大分取扱が厄介だらうと思はれる。

III) The Theory of the Hair Hygrometer

By F. J. W. Whipple M. A.,

毛髮型湿度計の湿度と伸張率との關係に就て實驗の結果と理論とを綜合して述べたもので、第八圖及第九圖は Regnault の實驗結果を示したものである。

モスコウの B. Sresnevsky 教授の理論によれば毛髮を形成する細胞の中にはその内部に多少の水を含んで居るものがある。飽和空氣中ではこの細胞は水で満たされて居るが、空氣が乾燥するとその中の一部分は無くなつて液面の表面張力が細胞従て毛髮全體を收縮する様に働くから空氣の湿度に應じて伸縮するのであると云ふ。此の理論から收縮力 Q を次の式で表はし得ると云ふ結論を得て居る。

$$Q = R\rho\theta \log (p_0/p_1) - P_0$$

但し $R =$ gas constant ($=4.61 \times 10^6$ C. G. S)

$\rho =$ s. g. of water

$\theta =$ absolute temperature

$p_1 =$ 現在の水蒸氣の張力

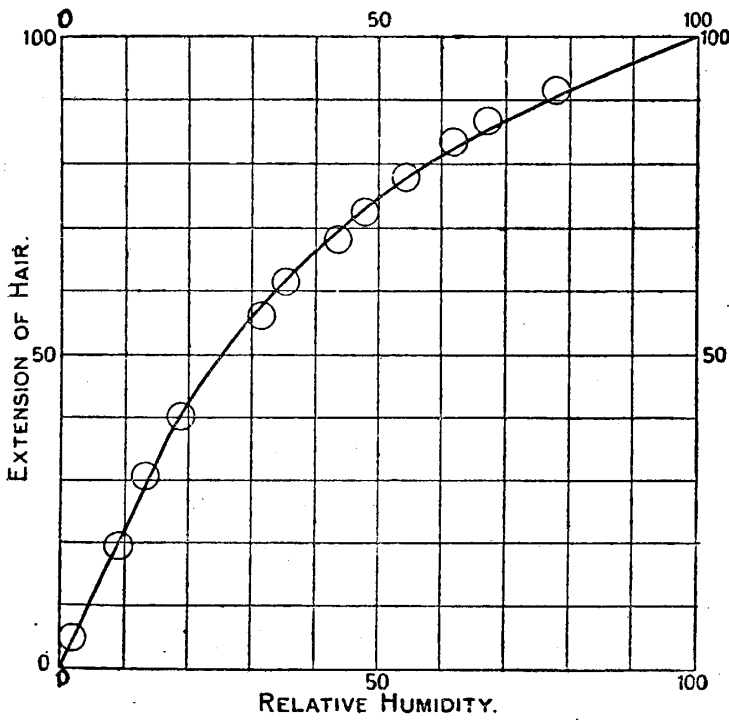
$p_0 =$ 其温度に於ける飽和水蒸氣の張力

$P_0 =$ 現在の大氣壓。

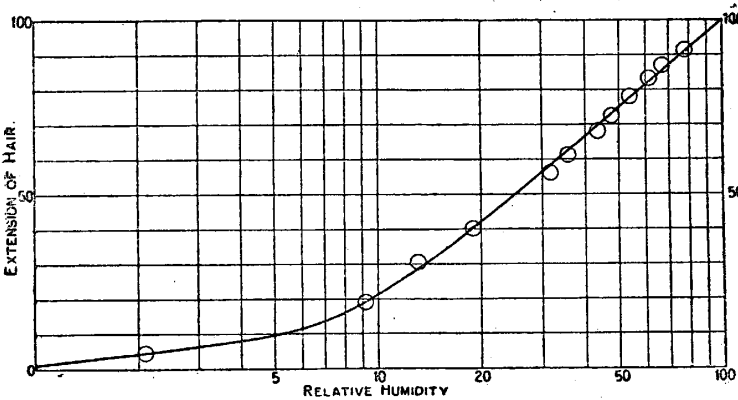
p_0/p_1 は即其の場合の湿度を示すものであるから毛髮の細胞に對して Hooke's law が成立するならば第九圖は直線になるべき筈である。(但し此の式には可なり大膽な假定があるから 15% 位から以上が大體直線になることも偶然の一致と見るのが妥當かも知れない。)

此の理論によれば伸張率は絶對温度 θ に比例することになつて居るか實驗では未だ確められて居らぬ。

著者は此等の理論と實驗の結果とから毛髮型はあまり乾いた空氣に曝すことを禁じ、修正 (Calibration) には 30% 100% の二點を使つて logarithmic curve から他の諸點を定めるがよいと云つて居る。



第八圖



第九圖

- p_w = 濕球の溫度 t_w 度に於ける飽和壓、
- P = 大氣壓
- S_p = 定壓の空氣の比熱
- L = t_w 度の水の氣化潛熱
- σ = 空氣に對する水蒸氣の比重
- K = 空氣の熱傳導率

IV) The Rational of Glaisher's System of Hygrometry.

By F. J. W. Whipple, M. A.
F. Inst. P.

乾濕球型の讀から濕度を計算するに Glaisher の表と云ふのがあるが此はあまり當てにならない。殊に低溫に於て甚だしいことを實證して居る。

V) The Wet and Dry Bulb Hygrometer

By Principal S. Skinner,
M. A., F. Inst. P.

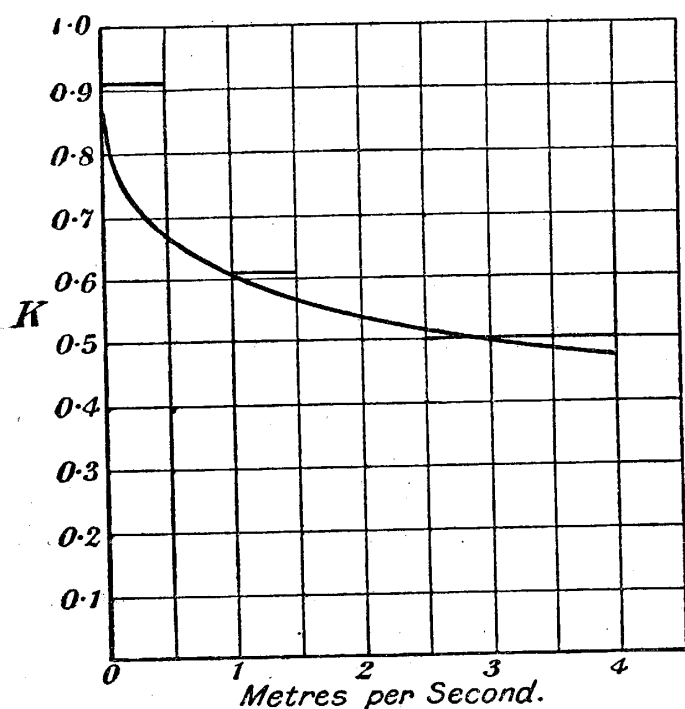
靜止した空氣中では次の式が成立つことは C. Maxwell が證明して居る通である。

$$p = p_w - \frac{PS_p}{L\sigma} \left(\frac{K}{rD} + \frac{AR}{4\pi CS_p \rho D} \right) (t - t_w).$$

但し $p = t$ 度に於ける水蒸氣の壓力

- $\gamma = 1.41$ (瓦斯體比熱の比)
- $D =$ 空氣中に於ける水蒸氣の擴散率
- $A =$ 濕球の表面積
- $R =$ 濕球の輻射係數
- $C =$ 濕球の電氣容量
- $\rho =$ 空氣の密度

此の式は實驗と照合して精確なことが知れた。



第十圖

空氣が運動して居る場合其の速度が相當に高ければ擴散による熱の消失は輻射に比して非常に大きくなるから大分違つて來る。此の場合には

$$p = p_w - K(t - t_w)$$

なる式が事實に最も近い。但しこの K は風速によつて變化する定數である。實驗の結果を圖示すれば第十圖の様になる。

VI) Note on Psychrometry in a Wind Channel

By R. A. Watson, F. Inst P.

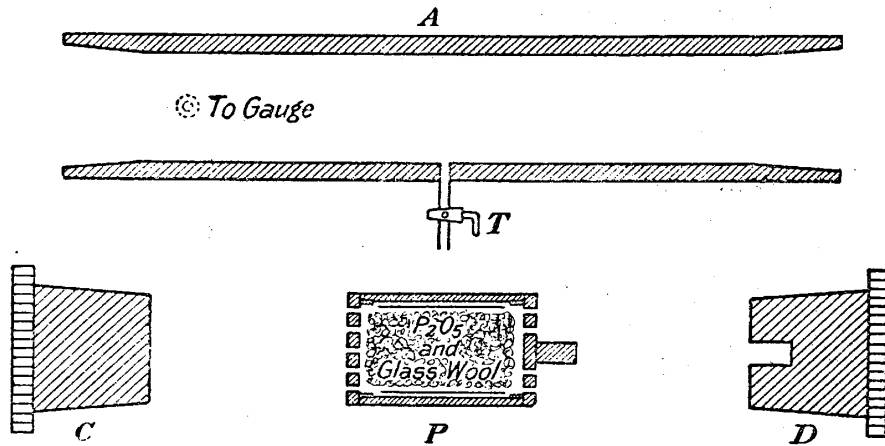
前の式の K に相當する Constant

は風速毎時 10 哩から 90 哩迄の間で 1% しか變らない。併し K は大氣壓に比例するものである。

VII) The Tilting Hygrometer: A new Form of Absorption Hygrometer

By H. G. Mayo, M. A. and Prof. A. M. Tyndall.

一定量の試料空氣を密閉器内に入れ其の中の水分を全部無水磷酸で吸收せしめると水蒸氣の分壓丈け壓力が下る此をその溫度の飽和蒸汽の壓と比較して濕度を定める方法で第十一圖の T は試料空氣との連絡を絶つコック。 C, D は栓。 P は無水磷酸と glass wool との混合はしたものの容器で兩端に孔があけてある。



第十圖

P は A の中にはまり A を 30° 位傾けると左又は右に滑る。その運動の際空氣は P の中を抜ける爲め凡そ二十回位左右に傾ければ充分吸取らせ得るのである。中々精密な結果が得られて居る。

VIII) A Thermal Hygrometer.

By Prof. A. M. Tyndall, D. Sc., and Prof. A. P. Chattock D. Sc.

II) の 6) で申述べてある Orme Massou の實驗に基くものである。此の研究の起りは鶏が卵を孵化する時卵のあたりの濕度を測る必要からであると書いてあります。Griffiths 氏と違ふ所は抵抗式寒暖計の代りに熱電對を使つて居る積であるが、熱電對を綿 (約 $\frac{1}{100}$ gr の) で捲いてあるから作用があまり面白く行かなかつた様です。それで些か持餘した結果 Engineering Committee of the Food Investigation Board に持出し、N. P. L. で Griffiths が研究を續けたものらしい。

IX) General Discussion.

色々な人が意見を述べた抜萃が出て居る。その中主なものをザツト紹介する。

I). J. S. Anderson. グリセリンを捲蕘の紙に浸したものを濕氣のある空氣中に曝らすと水を吸ふ結果光の屈折率が變化する。例へば攝氏 20° では

$$n = \text{屈折率}$$

$$\alpha = n^{2.693}$$

$$\alpha = \frac{n - 1.333}{1.4747 - 1.333}$$

とすれば

$$\text{百分率湿度 } H = 100(1 - a^x)$$

で表はされる。此の方法は更に詳しく研究すれば非常に精密な結果を與へるだらう。

2) A. H. Davis. 通風式乾濕球型のものに使ふ式を Principle of Similitude で導出せば次の様になる。

$$p = p_w - \frac{PS_p}{L\sigma}(t - t_w)f\left(\frac{vl}{\nu}\right)$$

但し $v =$ 風の速さ

$\nu =$ Kinematical Viscosity

$l =$ linear dimension of bulb.

3) H. A. Daynes. Katharometer (gas 及 Vapour の熱傳導がその含有量によつて變化する性質から逆に傳導率の變化を測つて含有量を求むる測定器) の原理は濕度計に應用出来ると思ふ。今問題になつて居る冷蔵庫に使ふ爲 -10° 位で 1% の濕度と云ふ極端の場合を取つて考へれば熱傳導率の測定は十萬分の一迄精密でなければならぬことになる勘定であるが、普通の Suspended pointer galvanometer を使つても百萬分の二位迄精密に測れるから精密の度では不足はないだらうと云つて居る。

(但し此は外の瓦斯が少しもない場合有效であらうが Griffiths も言つて居る通り水素炭酸瓦斯等が混じて居ると甚だ曖昧なものになることは實驗を待たずして明かなことである。) (終り)