

密爾根 蓋 爾

物理學實驗教程

徐善祥編譯

密爾根 蓋 爾

物理學實驗教程

徐善祥編譯

一九五四年重印



發行館印務

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要
 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

上海商務印書館啓

版 權 所 有 翻 印 必 究

中華民國二年八月初版
 民國二十二年國難後第一版
 一月印行
 民國二十二年國難後第二版
 七月印行

(二五三四)

密爾根
 蓋爾
物理學實驗教程

每冊定價大洋陸角

外埠酌加運費匯費

0.48

編纂者 徐善祥

發行所 上海河南路
 商務印書館

發行所 上海及各埠
 商務印書館

密爾根 蓋爾 物理學實驗教程

序 言

物理學之必需實驗。夫人而知之矣。獨是實驗之在中學。求其盡善盡美者。百不一觀。何哉。尋常中學校。限於財力。應用器械。往往不能全備。試驗室之習練無論矣。即教室之中。一學年間作五六試驗。或自謂能事已畢。不求其他。間有一二經費充裕者。則又過事艱深。競誇精確。而於基礎之學理。普通之知識。反棄置而不顧。初學者基礎未立。欲其躐等以求。不亦難乎。凡此二者。由前言之。則原於我國經濟之困難。由後言之。則幾為彼都學校之通病。其實皆非中學教育之正當法也。欲矯二弊。故美國密蓋二氏。於物理學正本之外。著為此書。器械力求單簡。試驗務極普通。惟其單簡。故鄉僻學校。不難置辦。惟其普通。故初學之士。皆易從事。且本書雖與原著物理學相輔而行。而書中試驗。皆極新穎而無雷同。使學者得心應手。樂之不疲。此皆本書之特點也。至於教授之法。則宜注意以下數端。

(一) 實驗教程與物理學正本並用時。計每週教授

三次。實驗一次。足敷一學年之用。書末附表。略示課程分配之法。如以各校鐘點不同。未能一律。則不妨參酌情形。略為修改。惟必須先定一表。依次為之。庶一學年中配置均勻。無前輕後重之弊。

(二) 書中試驗。長短不同。或一課可兼作二試。或一試可分為二課。臨時指導。是在教者。

(三) 實驗課之時間。以一時半為最宜。若時間不能延長。則可依下第四條為之。

(四) 本書共分五十餘課。每課各分小段。若能全作固佳。萬一限於時間。不能達此目的。則一課中相類之試驗。不妨從略。其不相似者。可按段之多少。分生徒為若干班以為之。

(五) 習練簿之紀錄。為實驗課之要務。切宜注意。其紀載之法。可由各教習隨時規定。總以紀載詳確。有條不紊為主。

(六) 書末第三表。列應用之儀器。及其價目。以備教習參考之用。計有二組。甲組較完備。乙組較普通。教者可視本校之財力以定之。*

中華民國二年二月

譯者誌

*此項儀器。上海商務印書館均備有特組。各校可隨時採購。

密爾根 蓋爾 物理學實驗教程

實驗一

測 π 法(即圓周對於直徑之比)

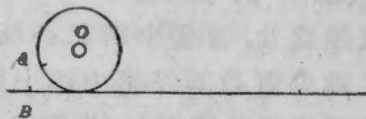
Determination of the Ratio of the
Circumference of a Circle to its Diameter

[一] 量圓周法 取一完全圓轉之片。而量其周

如下。先於 A 處(第一圖)劃一小痕。痕為短線。適與圓邊(即圓之切線)垂直。

後將圓片豎立於枳桿之上。使片上 A 痕。切對桿上 B 畫。(B 為枳桿上任何一點。姑令為10種刻度處。) 次

(1)



以拇指與食指。穩持圓片之中孔(O)。沿桿平滾之。直至圓片全轉一週為止。(滾時慎勿以指觸圓片之邊。)此時 A 痕。必與桿上某耗刻度符合。若不適合。則當用小數記出。以符十進之制。

註。按不諳米制之人。恒以 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ 等分數為便。其實十進之法。並不難記。須知 $\cdot 4$ 與 $\cdot 6$ 實為 $\frac{1}{2}$ 之左右兩數。 $\cdot 2$ 與 $\cdot 3$ 實為 $\frac{1}{3}$ 之左右

兩數耳。餘可類推。

依上法覆量四次。每次別擇一處爲起點。而記其長短。末取五次所得之數。平均計之。定爲圓周之長。

註。 按每次所量之數。於耗之 $\frac{1}{10}$ 位。既不能確準。則末次所得之平均數中。其 $\frac{1}{100}$ 耗位。自必無從確準。若並記 $\frac{1}{100}$ 耗位之數。則不特無謂。且致誤會。儼若所得之數。反較實測爲精確也者。故關於物理學之實驗。凡遇此種疑似之數。即以此爲止。不再深求。惟有時試驗多次。而每次所得之結果。皆不甚遠。則不妨多記一數。雖其數爲0。亦可記之。以示與祇記一數者有別。

(二) 量直徑法 將枳桿

置圓圈上。而量其直徑。如第二圖所示。連量五次。每次擇一新徑。而記至 $\frac{1}{10}$ 耗位。

(2)



(三) 計算法 由上測量。計算 π 值。即圓周對於

直徑之比。答案中祇記一疑似數足矣。

欲知何數爲答案中第一疑似數。以直徑除圓周如右。將每步之疑似數逐一標出。如黑字印之諸數字。至末次之餘數(30960)。則全爲疑似數矣。故知其商(3)亦爲疑似。

8.436)26.52(3.143

$$\begin{array}{r} 25 \cdot 308 \\ \hline 1 \ 2120 \\ 8436 \\ \hline 36840 \\ 33744 \\ \hline 30960 \end{array}$$

1 2120

8436

36840

33744

30960

次將所得之結果。與理想之 π 值(即31416...)比較之。求其相差若干。而用下法計算差分 Per cent of error.

(差分者。即所差之數，為全數之百分之幾也。後仿此。)

$$\begin{array}{r} \text{設實驗之結果} = 3.143 \quad 3.1416 \text{ 之 } 1\% = .031 \\ \text{理想之值} = 3.1416 \quad .0014 \\ \hline \text{相差} = .0014 \quad \frac{.0014}{.031} = .045 \text{ 即差分。} \end{array}$$

注○意○ 末次除法中之分母。至圈後二數為止。因計算差分時至此已足。不必深求也。

末將測量及計算之結果。並記如下。

(試驗)	(直徑)	(圓周)	
第一次	8.43 糲	26.50 糲	$\frac{\text{圓周}}{\text{直徑}} = 3.143$
第二次	8.45 糲	26.55 糲	
第三次	8.44 糲	26.52 糲	與理論上相差 .0014
第四次	8.43 糲	28.50 糲	
第五次	8.43 糲	26.52 糲	差分 = .045
平均	8.436 糲	26.518 糲	

若實測直徑時所差為 .1 耗。問結果中差分應為若干。(即求 .1 耗對於全徑 8.436 糲之差分。) 將所得答案。載入練習簿中。列於以上諸項之後。須知此為實測上不能免之差分。試與今日所得之差分(即上 .045)。兩兩比較之。而觀其孰大孰小。

實驗二

測圓柱體積之法

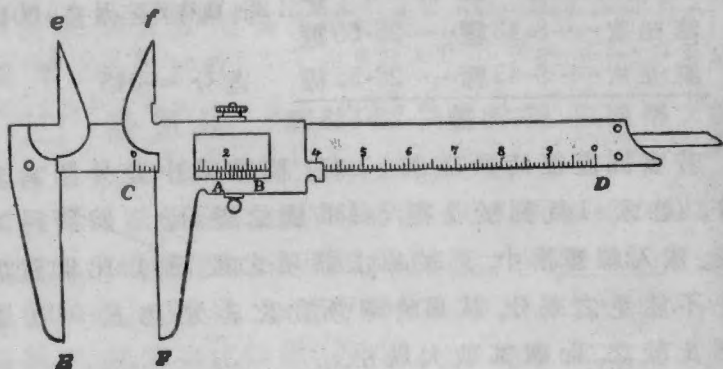
Determination of the Volume of a Cylinder

[第一法] 由測量之長度計算之。

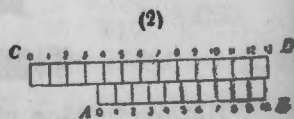
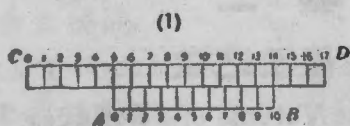
(1) 測量 先將尺量圓柱形器 (觀後第八圖) 之深。如是三次。每次量處不同。記數至 $\frac{1}{10}$ 耗位為止。(詳前) 後將游尺測圓規 Vernier Caliper 量內徑 D 。若無此規。則用前試之法亦可。務使尺之邊。切合圓柱之直徑。

註。 按游尺 (舊名物逆係譯 Vernier 之音) 用以量刻度之小分。上有活尺 AB 。可沿定尺 CD 游移 (第三圖)。欲量之物。置於 E 與 F 之間。其 E 與 F 恍如剪刀之雙刃。附着時活尺上圈刻度。與定尺上圈刻度相符。惟活尺 AB 上十段。與定尺 CD 上九段等長。同為 9 耗。

(3)



(4)



故游尺(即活尺)每段, 等於·9耗。第四圖(1)爲游尺定尺放大之形。此處游尺上之圈刻度, 恰符定尺上之5耗刻度。即所量之直徑爲5耗時, 兩尺互對之位置也。夫AB上一段, 等於·9耗。而CD上一段, 等於全耗。則是游尺之每段, 較定尺之每段短·1耗。故按(I)之位置。AB上之刻度1, 必在CD上刻度6之後·1耗。AB上2, 必在CD上7之後·2耗。AB上之3, 必在CD上8之後·3耗。AB上之7, 必在CD上12之後·7耗。餘可類推。反之。若游尺之1, 移至定尺6之下, 則其圈刻度必已進前·1耗。若游尺之5, 移至定尺10之下。則AB之○度, 必已進前·5耗也。故觀游尺上何段與CD上某段恰符。即可知AB之圈刻度。已在所經CD上某段之前若干 $\frac{\text{耗}}{10}$ 。例如第四圖(2)式讀作3.7耗(即.37耗), 因游尺之圈刻度。已移過定尺之3耗刻度。而其7刻度。恰符CD之某刻度也。以上云云。乃言量器外形之法。若所量者爲器之內形。則當以e, f兩小刃。加於測圓規之上。移動游尺。使刃邊恰觸器壁。其餘手續。悉與前同。

(2) 計算 由圓柱之高L及其底面積(即 $\frac{\pi D^2}{4}$ 或 πR^2 ; D爲直徑; R爲半徑)。可得圓柱之體積。演算時將疑似數一一標出。結果中祇記兩疑似數足矣。如下。

設 $R = 2.513$ 耗 $\begin{array}{r} 2.513 \\ \hline 7539 \\ 2513 \\ 12565 \\ 5026 \\ \hline R^2 = 6.315 \end{array}$	$R^2 = 6.315$ $\pi = 3.142$ $\begin{array}{r} 12630 \\ 25250 \\ 6315 \\ 18945 \\ \hline \pi R^2 = 19.841 \end{array}$	$\pi R^2 = 19.84$ $L = 8.01$ $\begin{array}{r} 1984 \\ 15872 \\ \hline 158.91 \text{ 立方耗} \\ \text{(即圓柱之體積)} \end{array}$
---	---	---

凡測量所得之結果。須一一列表記之如下。

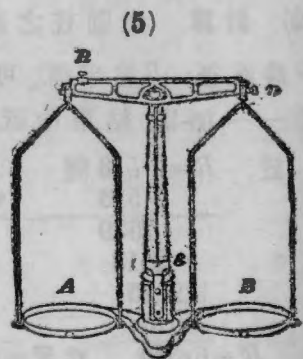
	(第一次實測)	(第二次實測)	(第三次實測)	(平均)
圓柱之高	= 8.26 浬	..... 8.25 浬	..... 8.25 浬	..... 8.253 浬
圓柱之內徑	= 6.04 浬	..... 6.03 浬	..... 6.04 浬	..... 6.037 浬
$\therefore R = 3.019$ 浬	\therefore 體積 = 236.2 立方浬。			

若圓柱底之直徑實為 10.0 浬。而測得者為 10.1 浬。問所測直徑之平方。比較實際。其差分當為若干。然則測徑時若差 0.3%。問計算圓面積時當得何差分。若測量圓柱直徑時。所差者為 0.1 浬。問差分為若干。又問計算底面積時差分為何。計算圓柱體積時差分為何。以上諸問。演出後須一一正式登載簿中。

[第二法] 由圓柱所容水之重量求得之

(1) 用替代法求圓柱之重 取空圓筒(即圓柱)一。上蓋毛玻璃片。置第五圖天秤之 B 盤內。其 A 盤中任置何物(如鐵塊, 彈珠, 紙片之類)以抵之。務使兩盤平衡。此時指針直指 θ 片之中央刻度。而活動秤錘 R 。適對秤桿之圈刻度。

取出圓筒。而以法碼代其位。先取最大之法碼試之。



若不過重。則置 B 盤中。次第加入他法碼。若所加之法碼過重。則取次大者代之。如是大小遞降。可省無數手續。不然。若初加入者為小法碼。則小法碼用罄時。其重或仍未得。勢必一一取出。仍以大者代之。其繁孰甚焉。

若平衡所差之重。在 10 克之內。則須將活錘 R 沿桿游移。務使指針恰對中間中央刻度。此時 B 盤中諸法碼之總重。加以刻桿左邊 R 所指之小數。即體之重也。刻桿上每段既代表十分克之一。則估計每段之分數。而克重百分之幾。亦可約略得之。以上所述。實為求重之正當法。謂之替代法 Method of Substitution。

(2) 用尋常法求圓柱之重 若用下法。簡而且捷。取出兩盤中之物移至圈度處。而將螺釘 n 略旋之。使指針恰對中點。所權之物。置 A 盤中。而遞加法碼於 B 盤。使指針復指原處。十克之內。移活錘 R 以較準之。(見前) 若兩次求重之結果。相差不出一二釐處之外。則以後權重時。可選用第二法。尋常所用之法碼。其價極廉。自難精確。一釐之錯。亦意中事。即用第一法。亦未必能增其準確。徒費手續耳。

註[⊙] 若天秤桿之兩臂等重。則尋常法之結果。與替代法所得者。當同一準確。(詳後力率原理節。) 苟二法所得之結果不符。則必製器者未能使兩臂等長也。幸此種錯誤。每甚微細。無關緊要。

(3) 注水於圓柱而求其重 注水使滿圓柱。而蓋

以毛玻璃片。務使無空氣泡留存片下。拭乾外面之潮濕而權之。

重注新水以覆驗之。兩次所得結果。自當符合。即稍有不符。亦不當相差甚遠。取其均數以爲水柱與蓋之合重。由此減去柱與蓋之重。即得水之重量。

一立方厘水重一克。故觀圓柱所容之水重若干克。即知圓柱之體積爲若干立方厘。

記實驗結果之表式如下。

	(第一次)	(第二次)	(平均)
空圓柱連蓋之重	221.6克	221.7克	221.65克
滿水圓柱連蓋之重	456.8克	456.6克	456.7克
∴ 水之重量	= 235克(小數不計)		
(由第二法所得之結果)	體積 = 235 立方厘		
(由第一法所得之結果)	體積 = 236.2 立方厘(見前)		

$$\text{二法結果之相差} = 1.2$$

$$\text{差分} = \frac{1.2}{235} \times 100 = .51$$

若權水時差 .2 克。問計量體積時應差若干。若按測量體積時不能免之錯誤言之。問第一法與第二法結果不符之處。猶在情理之中乎。試由所得之結果。決定何法較爲準確。

實驗三

測鋼球密度之法

Determination of the Density of Steel Spheres

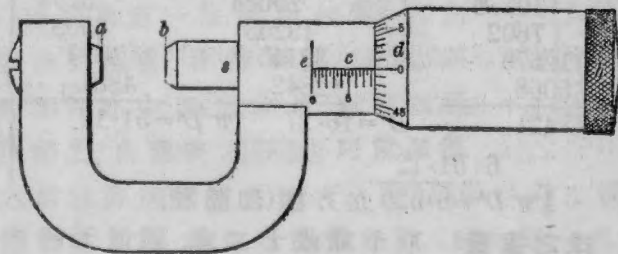
〔第一法〕 由球之徑與重以測之

(1) 球之直徑 取小鋼球數個。而以螺旋測圓規 Micrometer Caliper 量其直徑。若無此規。則可將球置兩木塊之間。如第六圖。而量其間之距離。或將球六七個順排一行。夾於兩尺之間。球行兩端。再以木塊夾之。木塊間之距離。除以球數。即球之直徑。(球以徑約二釐者為最適用。) 依此法測量。至少五次。而取其平均數。

(6)



註。按螺旋測圓規之式。如第七圖所示。c 尺上每段。與 s 旋



(7)

螺內兩格之距等長，恒為半耗。旋螺頂 h 每轉一週，則鉗口 ab 間之距，增減半耗。若僅轉五十分之一，則 ab 間距離之增減，不過 $\frac{1}{50} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{100} = 0.01$ 耗。故苟將 d 處圓周分為五十等段，則每段可表 b 處 0.01 耗之上下。用規時先將食指二指，輕轉旋螺之頂 h ，使鉗口 ab 貼合，祇須兩指間自然之力，不復轉動螺頂，即止而不旋。(若稍用力強旋 h 頂，則螺線必壞，慎勿為之。) 此時刻圈上 \bigcirc 度，當與刻尺上 ec 直線相對。(若不符合，則持規至教師前請其較準 a 處之栓。) 放開鉗口 ab ，將所測之物置於其間。如前輕轉螺頂，至 h 不能復旋為止。 ec 尺所示之數，係指 ab 間相距若干耗(或若干半耗)， d 圈上所記之數(即與 ec 符合者)，乃指一耗百分之幾(即零數)，合此二者，而物之厚薄得矣。

假以 V 表體積， D 表直徑，則球之體積，為 $V = \frac{1}{6} \pi D^3$ 此後演算，不必如前二試將疑似諸數一一標出，祇須記明原數中之最不確準者有若干位，則答數中(或積或商)亦存若干位可矣。如下。

$\begin{array}{r} D = 2.534 \text{ 厘} \\ \underline{2.534} \\ 10136 \\ 7602 \\ 12670 \\ \underline{5068} \\ D^2 = 6.421 \end{array}$	$\begin{array}{r} D^2 = 6.421 \\ \underline{D = 2.534} \\ 25684 \\ 19263 \\ 32105 \\ \underline{12842} \\ D^3 = 16.27 \end{array}$	$\begin{array}{r} D^3 = 16.27 \\ \underline{\pi = 3.142} \\ 3254 \\ 6508 \\ 1627 \\ \underline{4881} \\ \pi D^3 = 51.12 \end{array}$
$6 \overline{) 51.12}$		
$\frac{1}{6} \pi D^3 = 8.520 \text{ 立方厘(即體積)}$		

(2) 球之重量 取十球或十二球，同置天秤衡之。由球之全重，球之多少，以及一球之體積，可以測得鋼

之密度。(即每立方厘米中含若干克。)表記之如下。

注◎ 原數中最不準確之數(即 3.142)有小數三位。故答案中小數亦有三位。

(第一) (第二) (第三) (第四) (第五) (平均)
球徑(以厘米計) 19.053 19.050 19.048 19.047 19.050 19.050

∴ 球之體積 = 3.6216 立方厘米

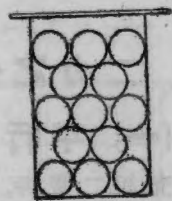
設十二球之總重 = 341.0 克

則一球之重 = 28.42 克

∴ 鋼之密度 = $\frac{28.42}{3.6216} = 7.846$

[第二法] 由球體之重量及其排擠之水重以測之

取圓柱形之器一。容量約為 150 立方厘米。注水滿之。而蓋以毛玻璃片。如第八圖。器中空氣泡。毋使存留片下。拭乾器之外面。置天平之左盤中。器旁並置球若干枚。(球數與第一法所用相等) 合衡之而求其總重。移器出盤。去蓋。將諸球悉投水中。重蓋以片。拭乾器外面而復衡之。由兩次之各重。可以推得水之為球排擠者重量若干。蓋 1 立方厘米水重 1 克。故末次所得之數(即由第一次之重量減第二次之重量)。必為被擠水之體積若干立方厘米。抑



(8)

即球之體積也。末衡球之重量。以求鋼之密度。且與第一法所得之結果比較。而求其差分若干。如下記載之。

十二球及滿水小圓柱之合重	= 668.4 克
球置水中時圓柱之總重	= 625.0 克
被球排擠之水重	= 43.4 克
十二球之重量(由第一法)	= 341.0 克
∴鋼之密度	= 7.85
第一法所得之密度	= 7.846
兩結果之相差	.004

$$\text{差分} = \frac{.004}{7.8} \times \frac{100}{1} = .05$$

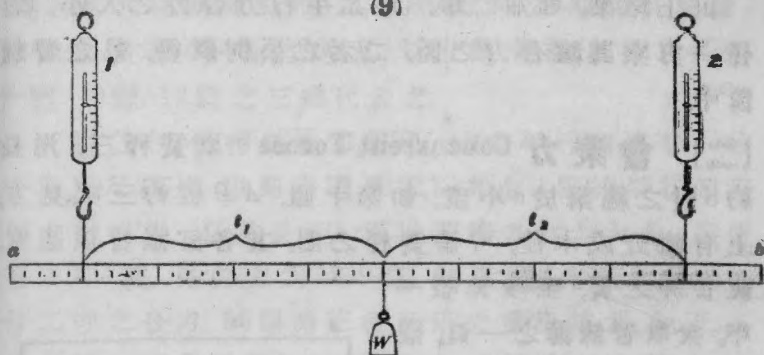
試由上二者之結果。決定何法為求密度之較確法。且言其故。

實 驗 四

二力之合力 Resultant of Two Forces

[一] 平行力 Parallel Forces 取釘或栓或三足架支起二簧秤。如第九圖。秤之相隔為某定距。故枳桿懸於其下。恰在適宜二點。(如圖中 10 厘與 90 厘兩刻度處。)二秤(圖中 1 與 2)所示之重。分別記之。次取某體 (W) 懸於枳桿 50 厘處。(W 之重量。已先權得。約與一簧秤確衡所達之限。相去不遠。)察二秤現示之度。

(9)



而求其與初示度相差之數。命之曰 F_1 及 F_2 。後將 W 重陸續移至 40 厘, 30 厘, 20 厘等處。而分記每次秤示之度。

若以 l_1 與 l_2 代表每次 W 支點距離 1 與 2 之份數。則記載之法如下

無 W 時 在 50 厘處時 W 在 40 厘處時 W 在 30 厘處時 W 在 20 厘處時

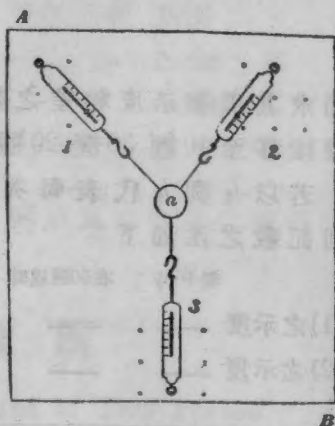
(1) 之示度 — — — — —
 (2) 之示度 — — — — —

F_1	F_2	$F_1 + F_2$	W	$F_1 \times l_1$	$F_2 \times l_2$

由上結果。可知二事。(1) 二平行力合力之大小。(2) 任一力乘其離合力之距。二者之公例既得。載之習練簿中。

〔二〕 會聚力 Concurrent Forces 取簧秤三。用長約8吋之繩繫於 a 小環。如第十圖。 AB 板約三尺見方。上有鐵釘或木栓。可插簧秤之圈。其各釘眼皆須適宜。使各秤之簧。至少伸張一半。

次取習練簿之一頁。襯於中圈之下。以畫圖釘釘之於板。(或用墜物壓之亦可。) 而用尖銳之針。穿圈中心點。作一小點於紙。移放中圈。若圈復舊位時。中心點與針眼不符。則是簧秤黏着於板。致生磨擦。可將秤圈在釘上提起略高。即無此弊。三線之下各總紙上作點以爲記。(點離 a



(10)

愈遠愈妙) 後察各簧秤所示之度。分別記之。解去各秤。平置桌上。察其指針是否與 \circ 號恰合。若不適符。則須將各差。加減於前記之數以改正之。針不及 \circ 則加。過則減。移紙離板。而由中點至他三點。各繪一細線。此三線之方向。即各力之方向也。截量諸線。

使其長與各線為比例。其比例尺寸。務期簡單便捷。例如各力為 700 克, 1000 克, 1200 克, 等數。則可以長為 7 厘, 10 厘, 12 厘之三線代表之。

三線之中。任擇二線以為邊。繪成平行四邊形。(繪時須用尺與規。以期邊適平行。)次由 a 點繪平行四邊形之對角線。量其長短。而推算所表力之大小。假使線長 134 耗。則知力為 1340 克。餘類推。此對角線乃表首二秤之合力。試與第三秤所示之重比較之。如下。

第一秤之示度 = —— 克 改正度 = —— 克

第二秤之示度 = —— 克 改正度 = —— 克

第三秤之示度 = —— 克 改正度 = —— 克

第一線(1)之長 = —— } 對角線之長 = ——

第二線(2)之長 = —— } ∴ 合力 = —— 克

∴ 差分 = ——

由上實驗。可知二力交於某角度時。其合力之大小及方向。究為何物。試詳言之。而載入習練簿中。

實 驗 五

液體無礙表面下之壓力

Pressure beneath the Free Surface of a Liquid.

[一] 證明關於深度密度之定律

(1) 水內之測量 十一圖之 M 為壓力表 Manometer.

取置滿水長玻筒中。使沉至最深之度。筒長至少 1 呎。如後第六十四圖之式。(可以長一呎徑四五種之長玻璃管爲之。其一端閉以橡皮塞。) 先量水面至短臂水銀柱頂之距而記之。命之曰第一深度。次量二臂中水銀柱兩高之差。命之曰第一壓力。(壓力之大小。恒以水銀柱高之耗數記之。而不用克數) 提高壓力表約五種。如前法量之。如是遞量。每次減深約五種。以及水面爲止。

(11)

(2) 石油內之測量 傾水出器。而注石油 Gasoline 滿之。如前法試驗。而表記所得效果如下。

水內之測量(深度) (壓力) $\left(\frac{\text{深度}}{\text{壓力}}\right)$

— 種; — 耗; —

— 種; — 耗; —

— 種; — 耗; —

石油內之測量(深度) (壓力) $\left(\frac{\text{深度}}{\text{壓力}}\right)$

— 種; — 耗; —

— 種; — 耗; —

— 種; — 耗; —

**(二) 正比例之圖解**

凡甲乙二數之關係。如上文深度 (D) 之與壓力 (P) 者。名曰甲與乙爲正比例。正比例中。甲數增一倍時。乙數亦增一倍。甲增二倍三倍。乙亦如之。觀上第三第六兩項。即 D 與 P 之比。其值始終不變。故苟以 P_1, P_2, P_3

等字代表諸壓力。而以 D_1, D_2, D_3 等字代表諸深度。則

得 $\frac{D_1}{D_2} = \frac{P_1}{P_2}, \frac{D_1}{D_3} = \frac{P_1}{P_3}$ 等等。 即 $\frac{D_1}{P_1} = \frac{D_2}{P_2} = \frac{D_3}{P_3}$ 等等。

簡言之。即 $\frac{D}{P} = \text{某恒數}$ 。

此為以代數式表示深度與壓力為正比例之法。

尚有一法。亦可顯明二者之關係。即以圖 Graphics 或線 Curve 代表之也。欲知何種線可代上文之正比例。可用下法演之。

取方格紙一。如十二圖所示。繪直角相交之二線 OX 與 OY 。命之曰軸。 OX 線以上。每格代表一耗壓力。 OY 線之右。每格代表液面下二種深度。 AB 線在 OX 之上 18.5 格。故線上無論何點。均可代表 18.5 耗之壓力。 CD 在 OY 之左 12.5 格。故其上無論何點。均可代

(12)

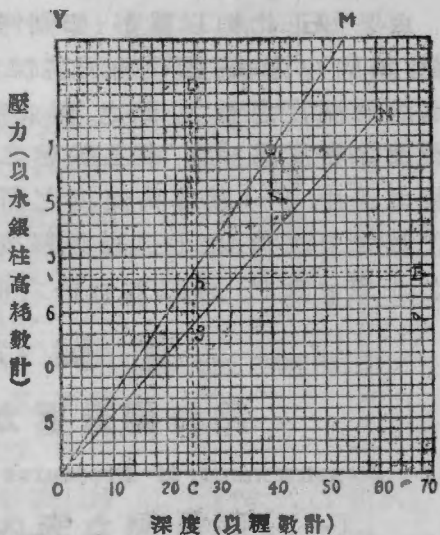


表 25 種之深度。其交點 b 即代表深為 25 種。壓力為 18.5 耗之景象。故若水深 40 種時壓力為 29.6 耗。其景象亦

可以 l 代表之。因 l 距 OY 線 20 格 (每格 = 2 厘)。距 OX 線 29.6 格 (每格 = 1 耗) 也。其餘水面下各深度之壓力。均有一特別之點表之。將見所得諸點。盡在 OM 直線之內。試用直尺及尖鉛筆繪線以連之。其石油中所得之壓力深度。亦於同軸上如法繪出。所用尺度 Scale。亦與前同。即 OX 以上。每格表一耗壓力。 OY 之右。每格表 2 厘也。將見此次諸點。在 ON 直線之內。

註。所用尺度。不論大小。不論整數或分數。均可代表某某壓力或某某深度。祇求所繪之線。不出紙界之外可耳。

由是知正比例以圖解 (即幾何之法) 表之。實為一直線。試取 cg 之長 (即石油於某深度之壓力)。以 cb 長 (即水於同深度之壓力) 除之。而求所得者為何數。(注。意。石油之密度為 $\cdot 71$) 由上試驗之結果。可得三端。一一載之冊中。(一) 壓力與深度之關係。究為何物。(二) 以代數式表之為何。(三) 以圖解表之為何。末問十二圖之 cb 以 cg 除之。何以知所得之商。即為石油之密度。

實 驗 六

用表測量壓力之法

Measurement of Pressures by Manometers.

[一] 測量壓力表內液之密度

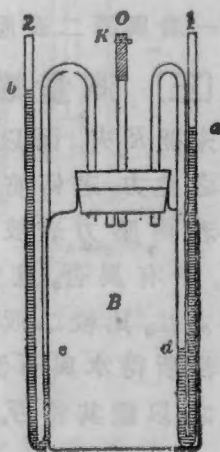
取一有玻塞之瓶。容量至少 200 立厘者。衡之三次。初為空瓶。繼滿以水。後滿以石油。由末二次之重量

減去首次空瓶連塞之重。即得等量水與石油之各重。由是可推算石油之比重。(即石油之重。比其同量之水重。)所得之數。當與石油之密度相等。因物之密度。為一立方厘米之克重數。而一立方厘米之水。恰重一克也。記之如下。

- 空瓶(連塞)重 —— 克
- 瓶與水 重 —— 克
- 瓶與石油 重 —— 克
- ∴ 瓶中之水 重 —— 克
- ∴ 瓶中石油 重 —— 克
- ∴ 石油之密度 = ——

(二) 測 B 瓶之壓力

取壓力表(或驗壓器 Pressure Gauge) 二。一滿以水。一滿石油。裝置如十三圖式。由 O 管迫空氣入 B 瓶。直至二表內之石油。幾達管頂。然後以簧夾(K)緊閉橡皮管。使瓶與外界空氣。斷絕交通。兩表內液面穩定後。即以尺量 a, d, b, e, 四處之各高(即自桌面至各液弧面最低處之距)。命 a, d 二高相差之厘米數為 h_1 ; b, e 之差為 h_2 ; 而以 d, 與 d_2 代表第一



(13)

表與第二表內液體之各密度。

假使所測之壓力為 p (即施於每方糲表面上之克重數)。將見 $p = h_1 d_1$; 且 $p = h_2 d_2$; 試演出之。以觀二者結果。若何符合。用此法可以核密度測量〔一〕之準確與否。至於兩表中之壓力。出自一瓶。故二者之無異。不言可知。

所得結果。紀載如下。

自桌面至 a 點 = —— 糲	自桌面至 b 點 = —— 糲
<u>自桌面至 d 點 = —— 糲</u>	<u>自桌面至 e 點 = —— 糲</u>
$\therefore h_1 =$ —— 糲	$\therefore h_2 =$ —— 糲
$\therefore h_1 d_1 =$ ——	$\therefore h_2 d_2 =$ ——

由是得平均壓力 p (即每方糲所任之克重數) = ——
 第一表與第二表壓力之相差 (以差分計之) = ——

(三) 測量煤氣管中之壓力

末開 K 夾。而以橡皮管接於煤氣管嘴。以觀兩表所示之壓力。若何符合。紀載之法。悉與〔二〕同。

若兩壓力表玻管之直徑。大小不同。則所得之結果。亦有異否。且言其故。由上文第二法。可得一簡捷之法。比較二液之密度。學者能自言之歟。試將此簡捷法所得水與石油之密度。與上文第一法之結果比較之。以觀其符否。

實 驗 七

亞幾默德之原理 及 固體之密度

Archimedes' Principle & the Density of a Solid

〔一〕 藉浸沈物以驗亞氏原理

移去天秤左盤。易以 c 錘。如第十四圖。 c 重當與原盤相等。(即不恰等。愈近愈妙。移動 n 螺釘以較準之。務使指針恰對中央刻度。

左臂之下。懸一鋁圓筒。

(用鋁取其輕。然他質亦可。) 容量約 50 立方吋有餘。

右盤中置法碼慎衡之。而紀其重量。

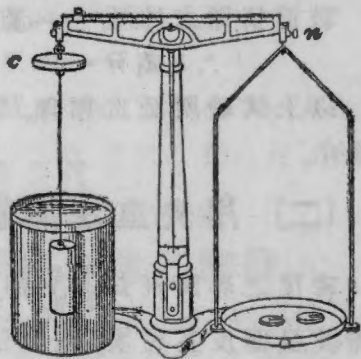
次取圓筒浸於水(筒內無水)。刷淨筒外空氣泡而復衡之(如圖)。

由上二者。可知此物之浸入水中。失重若干。

後量圓筒之大小。

而計算其體積為若干立方吋。(量圓筒之法。或用遊尺規。或用螺旋規。或祇用絲繩繞之二三十次。而測其周。)

將物體所失之重。與被物擠開之液重比較之。(擠開之液重。即該物體積與液體密度相乘之積。此處密



(14)

度爲 1。因所用之液體爲水也。）

再浸筒於石油中衡之。如前作比較。（此處石油之密度即實驗六（一）所得之結果。）

紀載如下。

空氣中圓筒之重 = — 克 空氣中圓筒之重 = — 克
 水中圓筒之重 = — 克 石油中圓筒之重 = — 克
 \therefore 水中所失之重 = — 克 \therefore 石油中所失之重 = — 克
 圓筒徑 = — 糎 — 糎 — 糎 平均 = — 糎
 高 = — 糎； \therefore 體積 = — 立方糎
 被筒擠開之水重 = — 克 被筒擠開之石油重 = — 克
 差分 = — 差分 = —

以上試驗所証之原理。試以己言述之。而載之練習簿中。

〔二〕 用失重法測重於水之固體之密度

密度之界說既爲 $\frac{\text{質量}}{\text{體積}}$ 。則欲知固體之密度。似莫便於衡其量而度其積矣。然此法用於形體不整之物（如煤塊）。則體積無從直測。密度自難推求。不若利用〔一〕所得之原理。以定求積之法。何也。知物在水中失重若干即知同積之水當重若干。而水之密度既爲 1（單位）。則水之體積即物之體積也。故

$$\text{物之密度} = \frac{\text{物於空氣間之重量}}{\text{物浸水中時所失之重}}$$

又有一法。不必另事測量。祇須用〔一〕所得結果。亦

可求原物之密度。其法(1)將所量大小求得之體積，除物於空氣間之重。(2)將失重法所得之圓筒體積，除其空氣間之重。(兩法相同，可並用以作核驗。)紀之如下。

(1) 鋁之密度 = 質量 ÷ 量得之體積 = ——

(2) 鋁之密度 = 質量 ÷ 由失重求得之體積 = ——
 差分 = ——

試用第二法(失重法)求某不規則體(如黃銅體)之密度。紀載如下。

黃銅體於空氣間之重 = ……克

黃銅體浸水中時之重 = ……克

∴ 黃銅之密度 = ……

(公認之密度 = 8.4)

實 驗 八

亞幾默德之原理與液體之密度

Archimedes' Principle & the Density of a Liquid

[一] 藉浮物以驗亞氏原理

取十一圖所用之深器。滿以水。而以薄玻璃圓管置其中。管徑約 $\frac{1}{2}$ 吋。長二十四吋。管底置鉛丸以爲壓。如十五圖之式。(爲後(二)便利計。可先將載鉛丸之管。試沉石油中。使管頂離液面約 2 吋。後移置水中。不必另換鉛丸。)管沈至何處。裹以細橡皮圈以記之。移管

出水抹拭至乾。置天秤上衡之。以求管與鉛丸之合重。次量管之直徑(須易四五處)及管底離橡皮圈之距。有此二者。即可計算浮物(此處為玻管)擠開之水。其體積與重量。各為若干。紀載如下。

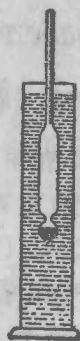
第一次所得之管徑 = ... 厘	浸部之長 = ... 厘
第二次所得之管徑 = ... 厘	管之截面積 = ... 方厘
第三次所得之管徑 = ... 厘	擠開之水重 = ... 克
第四次所得之管徑 = ... 厘	管與鉛丸之合重 = ... 克
平均管徑 = ... 厘	差分 =

試由以上結果。審定浮物之公例。載之簿中。

(二) 用浮物之公例測液之密度

(1) 恆重浮秤 Constant-weight (16)

Hydrometer 將上管連鉛丸置石油筒中。夫管非與擠開之液體同重不能浮。而石油又較水為稀。則管於輕液中之浸部。必較水中為深(如C處)。試以橡皮圈記之。移管而量沈部之長。假使管在水中之浸部為 l_1 ；而其在石油中之浸部為 l_2 。則石油之密度。必為 $\frac{l_1}{l_2} \times$ 水之密度。



(15)



(17)



欲知其故。可以 A 表管之截面積。而以 d 代表石油之密度。如是被管擠開之水必重 Al_1 。而被管擠開之石油必重 Al_2d 。兩重相等(同為浮物之本重)。故 $Al_2d = Al_1$ ；即 $d = \frac{l_1}{l_2}$ 。(水之密度為一。) 試用尋常市售之恆重浮秤(第十六圖)。以核驗所得之效果。

(2) 恆積浮秤 Constant-volume Hydrometer

取試管一。吹成十七圖之式。徐入鉛丸。使管浸石油中時。沈至窄頸之 α 處。移管拭淨。連鉛衡之。復取置水中。加增鉛丸。使管沈至原處(即 α)。如前衡之。兩次被擠之液。體積相等。而此積各液之重。又各等於管連內容之重。則是同積之水與石油。其各重不難衡。而石油之比重。立可推知矣。試與(1)所得之結果比較之。並載如下。

(1)

(2)

管於水中浸部之長 = ... 厘

浸入水中某處之重 = ... 克

同管於石油中浸部之長 = ... 厘

浸入石油同深處之重 = ... 克

石油之密度 =

石油之密度 =

用十六圖浮秤測得密度 =

(1) 與 (2) 之差 =

差分 =

差分 =

由上實驗。可得普通求密度之二法。試詳言之。載之簿中。

用恆重浮秤以測液體密度。圓筒式(十五圖)不若窄頸式(十六圖)之準。是為何故。若將形體適便之

固體。先衡於空氣。次衡於水。末衡於他液 (如石油)。由三次所衡之重。可定該液之密度。學者能詳述其法歟。試依第七實驗之式計算之。

實 驗 九

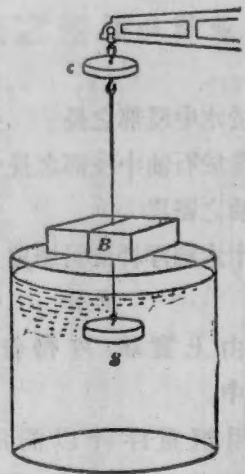
輕於水之固體之密度

Density of a Solid Lighter than Water

[一] 先求空氣中之物重後繫墜物而

衡之於水 若物輕於水。則與物同積之水重。可藉墜物以求之。法將十八圖之木塊 (B)。搽以石蠟 (Paraffin)。以防水漬。先衡之於空氣中。繼繫墜物衡之。(墜物在水中。木在水外。如圖所示。) 後取木與墜物並浸水中而權其重。末二次重量之差。為水施於木之浮力無疑。猶言木塊所擠之水重。亦即木塊之體積也。(其故詳前。) 由此相差之數及木塊於空氣中之重。可得木之密度。紀之如下。

(18)



木在空氣間之重量 = ... 克

木在空氣間墜在水中時之合重 = ... 克

木與墜均在水中時之合重 = ... 克

∴ 木之密度 =

上表中木之密度若何而得之。且問如此推算。何以知所得者即為密度。

〔二〕 由木塊之重量、長短、闊狹、厚薄、而得之

用稜桿量木塊之長闊厚。如前第二圖所示。由此諸數及〔一〕所得之重量。計算其密度如下。

木塊長 = ... 厘米 ∴ 木塊之體積 = ... 立方厘米

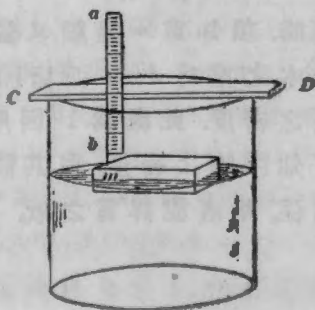
闊 = ... 厘米 ∴ 木之密度 = ...

厚 = ... 厘米 (一) 與 (二) 間之差分 = ...

〔三〕 由木塊沈水之深以得之

以蠟粘針於稜尺一端。如十九圖所示。針尖觸浮木一角(m)時。直條CD。恰符稜尺某處。詳審而記出之。次將針移離木塊。使尖觸水面。稜尺度如前記出。若木塊之面純平。則其沉水之深。當等於其厚減去以上二次記度之差。欲求

(19)



此深準確。須將針移觸木之四角。而取其平均差，以求木之沈部(h')。由沈部(h')及木厚(h)。可得以下之關係。以計算密度。即

$$d(\text{密度}) = \frac{h'}{h}$$

紀載如下。

	(第一角處)	(第二角處)	(第三角處)	(第四角處)
針觸水面時積尺之示度 =	..... 糲	..... 糲	..... 糲	..... 糲
針觸木塊時積尺之示度 =	..... 糲	..... 糲	..... 糲	..... 糲
二者之差 =	..... 糲	..... 糲	..... 糲	..... 糲
平均差 =	..... 糲			
h (木厚) =	.....		
$\therefore h'$ (沉部) =	.....		
$\therefore d$ =	.....		

亞幾默德之原理曰。浮物之重。等於其擠開之液重。上文公式 ($d = \frac{h'}{h}$)。即由此理而來。試證明之。(解釋此題時。須知重 = 體積 \times 質量。故苟以 A 表木頂之面積。則木之重為 Ahd 。而擠開液體之重為 $Ah'd'$ 。其 d' 即液體之密度。此處為 1 因所用之液為水也。) 由上分解。可知浮物之密度。與其體積及體積之沉部。有一定之關係。學者能詳言之歟。

實驗十

某定積氣質於溫度不變時

壓力與體積之關係

The Relation between the Pressure and Volume
of a Given Mass of Gas at Constant Temperature

〔一〕 波以爾定例之證明 Verification of

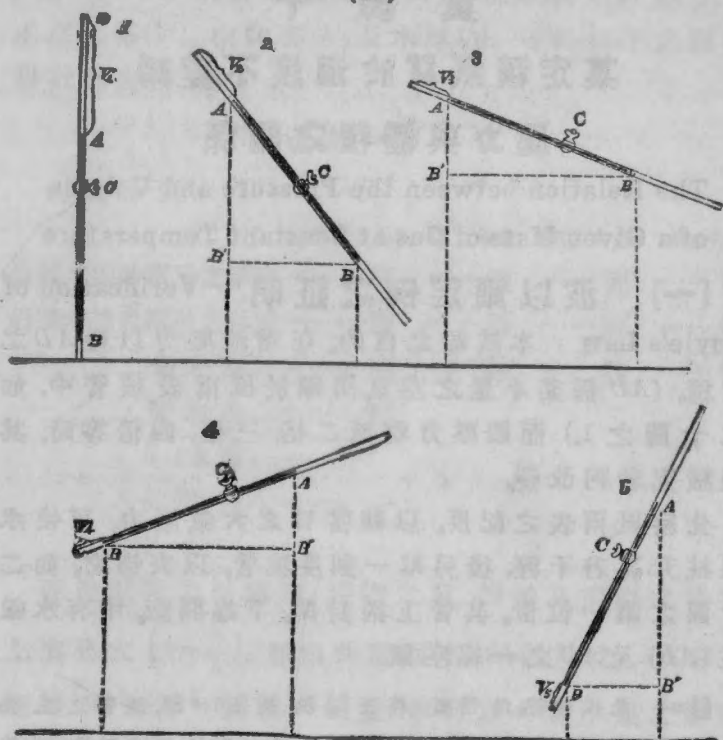
Boyle's Law 本試驗之目的。在增減壓力以變 AD 之體積。 (AD) 係某小量之空氣，閉錮於風雨表玻璃管中。如二十圖之1.) 而觀壓力增至二倍，三倍，四倍等時。其體積究若何改變。

先察風雨表之記度。以觀當日之大氣壓力。可使水銀柱升高若干糎。後另取一刻度玻璃管。以夾持之。如二十圖之第一位置。其管上端封閉。下端開廠。中有水銀柱 (AB) 及 AD 之一線空氣。

註。此處玻璃管。內徑須1耗至 $1\frac{1}{2}$ 耗。長須110耗。洗管之法。先取重鉻酸鉀溶於硫酸。熱而注之管中。後以蒸水及淨酒精。次第沖滌。末鼓空氣吹之使乾。至其裝置水銀之法有二。(1)將管插入盛深水銀之大管中。及水銀上升毛細管。達管頂之下12或15耗時。即用火漆將上端封固。或(2)將管平置桌上。一端接以硬橡皮管。注水銀於其中。及彼端空處。祇餘五六耗。即可封固矣。

慎量 AD 之長。管之截面積。既自上至下。無稍區別。則管中空氣之體積。自必與管長為正比例。故 AD 之長。

(20)



可視作第一體積。命之曰(V_1)。次量 AB 水銀柱之長爲若干種。由當日風雨表度。減去此長。必爲 V_1 積空氣所受之壓力，以水銀柱長之種數計之者。命之曰(P_1)。傾斜玻管。使閉錮空氣第二體積 V_2 (第二十圖之2)。減爲原積 V_1 之一半。分量 A 與 B 距桌面之高。將二高之差，由風雨表度減去之。即得 V_2 所受之壓力 P_2 。(其所

以然者。因液體壓力之大小，祇關平面之高低也。如不信。可取不等長之玻管二。一短而直立。一長而傾斜。通其底端而置水其中。則二管內水面齊平。此可證壓力之相等也。不然。若長管底之壓力較大。則短管之水面。必將高於長管矣。）

次第將管傾斜。如第二十圖(3)(4)與(5)之三位置。使管中空氣之體積。為原積之 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{4}$ 等分 分量 AB 兩端距桌面之高。而計算各積所受之壓力。(注◎意◎若管開端向下。則管中空氣所受之壓力。小於風雨表度。若開端向上。則壓力大於風雨表度。)

以上試驗之結果。列表如下。

置位	閉鎖空氣之體積	A端距桌面之高	B端距桌面之高	二高之差	風雨表高度	壓力	壓力×體積	與平均PV乘積之差
1								
2								
3								
4								
5								

$$V_2/V_1 = \dots\dots V_3/V_1 = \dots\dots V_4/V_1 = \dots\dots V_5/V_1 = \dots\dots$$

$$P_1/P_2 = \dots\dots P_1/P_3 = \dots\dots P_1/P_4 = \dots\dots P_1/P_5 = \dots\dots$$

$$\text{差} = \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots \dots\dots$$

(二) 反比例之圖解式

Graphical Representation of an Inverse Proportion

上文PV二值。互有關係。P增至二倍，三倍，四倍時。

V 減至 $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$ 等值。故曰，第一數與第二數為反比例。觀上表第八項中所得之值。可知兩數之依此互變者。其乘積必為恒數。故苟以 P_1, P_2, P_3 等字，代表 V_1, V_2, V_3 各積所受之壓力。則有下式。

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}; \frac{P_1}{P_3} = \frac{V_3}{V_1}, \text{等類。即 } P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = P_4V_4.$$

簡言之。即 $PV = \text{恆數}$

此即以代數式表明 PV 二值之互為反比例也。若以圖解釋之。則可用方格紙。依第五試驗之法。於橫格上繪諸壓力。豎格上繪各體積。由上定律（即 $PV = \text{恆數}$ ）。可以計算原積增至二三四倍時。各受壓力若干。及最大壓力增至二三四倍時。體積各為若干。後將實驗及計算之效果。並列圖中。合為一線。慎擇尺度。務期圖與紙相稱。

所得之線。必為雙曲線 *Hyperbols* 其兩臂伸張。漸近 OX 與 OY 二軸。然終不能及。因壓力無論如何增加。必不能減體積至無有。體積無論若何漲大。壓力亦不因之消滅也。凡為雙曲線所漸近而終不附着者。謂之漸近線 *Asymptotes*。如此處之二軸是也。

總結實驗所得之結果。而載諸冊。詳言壓力與體積二者之關係。先以言述之。次用方程式表之。末後斷定此種關係。若以圖解之法釋之。當為何種曲線。

實 驗 十 一

蒸發生寒, 飽和, 露點, 蒸發致凍

Cooling by Evaporaion; Saturation; Dew-point;

Freezing by Evaporation

〔一〕 蒸發生寒 取四呷玻璃瓶三。一盛以脫。一盛酒精。一盛清水。皆半滿。以小塞閉之。取置室中少時。使瓶之溫度。與室中同。以線繫寒暑表上端。懸諸空氣中。往返振動。若所記之度不復更改。則即記出。定為室中之溫度。後取表插入以脫瓶。使玻璃球浸入液面之下。半分鐘後即記出以脫之溫度。其他二瓶中酒精與水之溫度。亦如是察之。

次取各液少許。分注小號白磁蒸發杯中。使寒暑表球。適浸入液。另取一試管。內容等量之以脫。插燒瓶中置之一旁。取寒暑表置於以脫蒸發杯中。表桿略偏。使玻璃球全浸於液。細察溫度之改變。必達穩定而後記之。其他二杯中酒精與水及試管中以脫之溫度。皆次第察之。記之如下

室內溫度	=.....	蒸發杯內以脫之溫度	=.....
瓶中酒精之溫度	=.....	蒸發杯內清水之溫度	=.....
瓶中以脫之溫度	=.....	蒸發杯內酒精之溫度	=.....
瓶中清水之溫度	=.....	試管內以脫之溫度	=.....

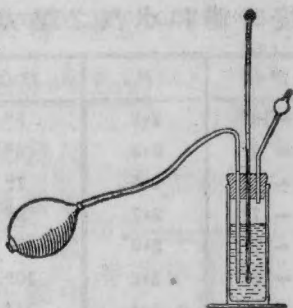
問上文試驗。表明蒸發對於蒸發物生何結果。問試管中以脫之溫度。何以與蒸發杯內不同。試取以脫、清水、及酒精各一滴置手上。以察消滅之先後。由此試驗。解明蒸發杯內以脫之溫度。何以低於酒精。酒精之溫度。何以低於清水之故。若物體之溫度。低於室內之溫度。則室中之熱。漸傳於物。問杯中各液達恆溫度時。其每秒因蒸發而失之熱量。對於每秒所受諸室者。有何關係。以上答案。一一記載簿中。

〔二〕 飽和 由上室中及瓶中之溫度。能知閉器內之液面上。究有無蒸發乎。夫以某液閉置空間。苟其間液面不復蒸發。則此間所容該液之蒸氣。已達飽和。所謂飽和者。猶言此處於某溫度時所能容之某液蒸氣。已充乎其量也。試將寒暑表球裹以棉花。浸入以脫瓶中。後移高少許。使球與棉花皆在液面之上。惟仍不出瓶外。細察一二分鐘內所示之溫度而記之。次將裹棉之球。移置試管中。亦距液面少許。一二分鐘後亦記溫度。末將此物提出置空氣中。而記不變之溫度。此處寒暑表球。裹以浸濕某液(以脫)之棉花。已易地三次。先在該液飽和蒸氣之中。次在半飽和間。後在全乾而無該液蒸氣之處。問三者之溫度。異同若何。換新棉花重包寒暑表球。浸入清水瓶內。取出揮之。至溫度不變為止。若此時室內空氣中毫無水汽。則所示溫度。有何不同。若飽足水汽。又當若何。觀乾濕二球溫。

度之不同。而大氣之乾濕。可略知其概。學者能詳言其理歟。

〔三〕 露點 某定間所容之蒸氣量。恒隨溫度而減。故將某飽和處之溫度減低時。其間所容之蒸氣。一部份即復凝結。若該處所容蒸氣。未達飽和。則減溫時不即呈效。必俟溫度極低。使其間所容之蒸氣量。直達飽和。始能凝結。露點者。即大氣減溫時。其間水汽初凝之溫度也。露點時有參差。視當日大氣中水汽之多少為斷。

(21)



取一光亮之金類管。注以脫其中。滿至三分之二。如二十一圖所示*。徐擠橡皮球。鼓氣入之。以速其冷。因空氣泡面積甚大。多此泡即大增蒸發之面積也。管內光面初呈霧狀時。其附着之空氣層。適達飽和。放其濕氣。故此時之溫度。即為露點。一見霧狀。即記溫度。後止氣溜。而察霧面消滅時之溫度。(注◎意◎作者試驗時。慎勿噓氣於管內光面。)反覆試驗。務期霧面呈顯及消滅時之二溫度。相差不出 1° 之外。乃取二溫度之平均。定為露點。

* 欲變通此法。可注水於光亮器中。取小冰屑投入。徐徐攪之

而記容器外面成霧時之溫度。若露點在冰點(即 $0^{\circ}C$)之下,則須加鹽於冰,使其成霧。

由上所得之露點及下表諸數,可以推測大氣之濕度。濕度為當日大氣之濕量。比室內溫度時所容足量之濕氣。故以室內濕度時飽和水汽之壓力。除露點溫度時飽和水汽之壓力。即得濕度。

$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P	$t^{\circ}C$	P
-10°	2.2	5°	6.5	19°	16.3
-9°	2.3	6°	7.0	20°	17.4
-8°	2.5	7°	7.5	21°	18.5
-7°	2.7	8°	8.0	22°	19.6
-6°	2.9	9°	8.5	23°	20.9
-5°	3.2	10°	9.1	24°	22.2
-4°	3.4	11°	9.8	25°	23.5
-3°	3.7	12°	10.4	26°	25.0
-2°	3.9	13°	11.1	27°	26.5
-1°	4.2	14°	11.9	28°	28.1
0°	4.8	15°	12.7	29°	29.7
1°	4.9	16°	13.5	30°	37.5
2°	5.3	17°	14.4	35°	41.8
3°	5.7	18°	15.3	40°	54.9
4°	6.1			45°	71.4

(說明) 上表 $t^{\circ}C$ 指百度表所記之溫度。 P 指該溫度時飽和水汽之壓力。以水銀柱高之耗數也。

(三) 蒸發致凍 灑水數滴於桌。而置光亮金類管於其上。管中盛以脫少許。鼓氣速入以脫。以觀其管能否凍牢桌上。

實驗十二

彈性物所受之力對於其位置移易之關係

Relation between Force acting upon an Elastic Body and the Displacement produced

(佛克氏之定律 Hooke's Law)

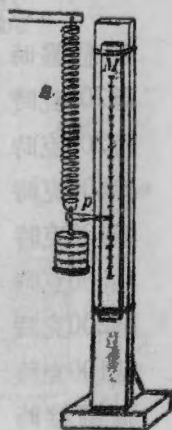
[一] 伸張 取鋼簧 S 及鏡尺 M ，裝置如二十二圖。細審獨懸錘盤時。彈簧伸至何處。欲求確切。須直視 p 處。使指針之尖。與針尖在鏡中之像。視之適成一線。此時視線所對鏡尺何度。即記出之。記數至一耗十分之幾為止。(鏡尺所示：祇至耗數為止。故耗之 $\frac{1}{10}$ 位。須以臆斷定之。)

次第加重。每次百克。至四百克為止。針尖各達何度。分別記之。後將各重一一移去。亦分別記其示度。

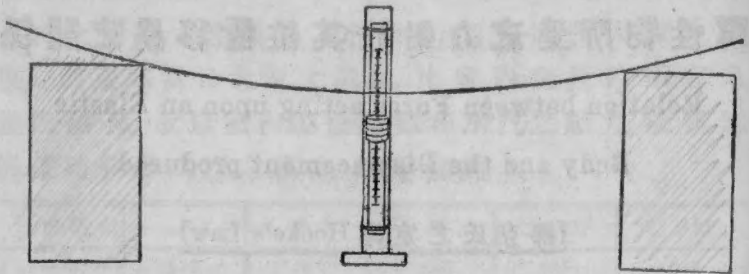
列表記之如 (二)。

[二] 屈曲 取一木桿(或鋼條)支起兩端。如二十三圖所示。以鏡尺置桿中央之後。增減權重。而記度數如 (一) 法。(此處可將臘黏針於桿中央。以作指針)

(22)



(23)



(一) 與 (二) 所得之結果。列表如下。

	(簧之示度)	(相差)	(桿之示度)	(相差)
獨懸盤時	= —	—	—	—
懸100克時	= —	—	—	—
懸200克時	= —	—	—	—
懸300克時	= —	—	—	—
懸400克時	= —	—	—	—
懸300克時	= —	—	—	—
懸200克時	= —	—	—	—
懸100克時	= —	—	—	—
獨懸盤時	= —	—	—	—

由上二種彈性之移易。可知撓力 F 與移易距 D 二者之間。固有定律。學者試以己言述之。且記諸簿中。再以方程式表此定律。末後以圖解之法演之。令 OY 向 (十二圖) 之每格。代表十五耗之位置移易。而 OX 向之

句格。代表十克之力重。就每組所定之點。以尺繪直線以連之。務期與點切合。

實驗十三

空氣漲大之係數

Coefficient of Expansion of Air

(註。下文甲乙二法。可視校中之佈置。任擇其一。若儀器齊備。能分全班為二。一半作甲。一半作乙。後比較所得之結果。尤為有味。)

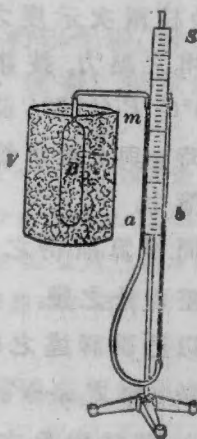
[甲] 漲大之壓力係數

Pressure Coefficient of Expansion

若將某氣體置某定積之閉器中熱之。則該氣體施於器壁之壓力。與熱俱增。其每度增加之壓力。對於 0° 時氣壓之比。即謂之氣體漲大之壓力係數。例如以 P 代表某溫度($t^{\circ}C$)時之壓力。而以 P_0 代表 $0^{\circ}C$ 時之壓力。則總壓力必增 $P_t - P_0$ ；每度之壓力。必增 $\frac{P_t - P_0}{t}$ ；而其壓力係數 c 。必為此數之被除於 P_0 ；即

$$c = \frac{P_t - P_0}{P_0 t}$$

(24)



欲實驗之。先記風雨表之度數。次按二十四圖所示。較準 a 與 b 兩臂內水銀柱之高。使各距 S 尺底約五釐。其 b 臂下端接橡皮管處。則須離 S 尺底至少三十釐。而 a 臂內水銀表面。則須距 a 管上 m 劃痕約四釐。另取 B 球。內注純硫酸數滴。使其中空氣。完全乾燥。然後以厚橡皮管如圖連接於 a 。置 V 器中。以濕雪或冰屑包圍之。提高 b 臂。使 a 中之水銀柱。達 m 痕處。以鉛筆輕彈 a 管。免致水銀黏着管壁。略待一二分鐘。及 B 中空氣與冰同溫。即復較準 m 處水銀。而由 S 尺細審 a 與 b 之各高。移風雨表球置於發汽鍋。而蒸沸其水。(如二十五圖。)較準 b 臂。使 a 柱復達 m 處。審 b 柱之高而記出之。表度既得。速放落 b 臂使復原位。庶 B 球冷時。水銀不致吸入。

b 柱兩次示度之差。即 B 中氣體由 $0^{\circ}C$ 熱至 $100^{\circ}C$ 時所增之壓力。按諸上文方程式。此差當為 $P_t - P_0$; t 為 $100^{\circ}C$; P (即 $0^{\circ}C$ 時 B 內之壓力) 為風雨表之高度。減零度時 a 與 b 兩水銀柱之高差也。試驗之結果。依次詳載簿中。

問推算所得之恒數。與公認之恒數 (即 $0.00367 = \frac{1}{273}$)。相差百分之幾。此所謂熱漲之壓力係數者。究為何物。能以己說詳述之歟。若測度 b 時高差誤半耗。則公式子數 (即 $P_{100} - P_0$) 中當得差分若干。總答案中差分若干。若試驗日之水沸度。為 $99.5^{\circ}C$ 而非 $100^{\circ}C$ 。則答案

中之差分。當爲若干。由種種原因言之。所得之差分。究爲意中事乎。

[B] 漲大之體積係數

Volume Coefficient of Expansion

由波以爾之定律。可知壓力不變之某氣體。若其熱度增大。體積亦增。恰與增壓之率無異。漲大之體積係數云者。卽每度所增之積。對於原積之比也。若以 V_{100} 與 V_0 分別代表 100°C 時與 0°C 時之體積。而以 c 表體積係數。則有下式。

$$c = \frac{V_{100} - V_0}{100V_0}$$

此係數卽由 0°C 以上。每度每立糵所漲之體積。其值當與上文之壓力相符。

欲實驗之。可取風雨表管 * 一。長約四十糵。封固其一端。而以一線之乾燥空氣(約二三糵長)。用水銀線(用作指線)閉置其中。

* 製管之法。取內徑 1.5 耗之管。以熱王水 *aqua regia* 或重鉻酸鉀 *potassium bichromate* 洗之。再以蒸水滌之。徐徐吹入空氣。(空氣須先經綠化鈣 *calcium chloride* 管以期乾燥。)烘之使乾。後將一線水銀(長約二糵)徐吸入管。復振落之。使水銀距彼端約二十三糵許。卽可用本生錢封固彼端矣。

慎量指線及全管而記其長。管近閉端處粗細不勻。亦次酌量核算。將管直插玻璃甕中。閉端向下。以冰雪

圍之。至指線處爲止。輕彈管旁。後由管頂量至指線之頂而記其長。移管入軟木塞孔。以塞蒸汽鍋之口(如二十五三十六兩圖)。水汽即自上孔發出。一二分鐘後。較準管及塞中之高。務期指線之頂。恰與塞頂齊平。再由管端量至木塞之頂。管之粗細。上下既不甚懸殊。則上兩次測量之差。可視作 $V_{100} - V_0$ 。(其故詳第十試)。由初次之三數。可推得空氣線 $0^\circ C$ 時之長。以 V_0 代表之。觀下式自明。

$$\begin{aligned}
 \text{設水銀指線之長} &= 18.0 \text{ 耗} \\
 \text{玻管之長} &= 476.5 \text{ 耗} \\
 0^\circ C \text{ 時由管頂量至指線} &= 251.0 \text{ 耗} \\
 100^\circ C \text{ 時由管頂量至指線} &= 174.5 \text{ 耗} \\
 \therefore V_{100} - V_0 &= 251 - 174 = 76.5 \text{ 耗} \\
 V_0 &= 476.5 - (251 + 18) = 207.5 \text{ 耗} \\
 \therefore c &= .00369
 \end{aligned}$$

對於公認值 (.00367) 之差分 = .6.

問以上差分。與量 $V_{100} - V_0$ 差 1 耗時所得者孰大孰小。若所差甚大。則非管之粗細不齊。必管中之空氣未乾也。

實 驗 十 四

黃銅之熱漲係數

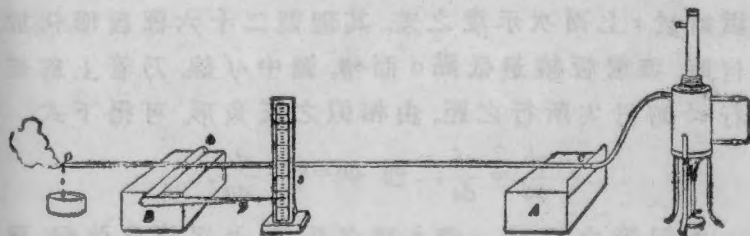
Coefficient of Expansion of Brass

凡固體之熱漲係數。等於加熱一度時所漲全長之幾分。猶言每度每種之所漲也。若以 l_1 與 l_2 分別代表 t_1 與 t_2 兩溫度時之各長。而以 k 表係數。則其式如下。

$$k = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

上式之正確。可藉二十五圖之器驗之。取黃銅管一。長約一呎。管徑一吋。c 處橫刻淺槽。安放 A, B 二木塊之上。使此端之槽適攔於 A 上之金類鋒刃。而彼端支於徑約六耗之小玻管 b (或銅管)。下墊玻片。膠於 B 塊。其 b 管一端用火漆膠一指針 b。長約 20 吋。黃銅管受熱發漲時。b 向前滾。運動指針 p。使旋轉於鏡尺 s 之上。將管連於容冷水之汽鍋如圖。以寒暑表插入銅管開端 o。約三四分鐘後抽出。審定管之溫度。復插管

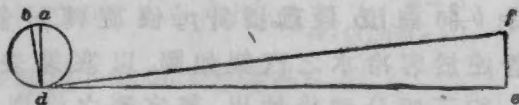
(25)



中。此時指針在尺鏡上何處。須以 $\frac{1}{10}$ 耗計之。詳細載入簿內。(察看時。務使目與針尖及針尖之像。成一直線。後仿此。)

燒熱汽鍋。使汽由管蓬蓬而出。(若汽勢極大。則銅管不須裹以不良導體。而已能達汽之溫度。然為省熱計。試驗時恆以紙作筒。徑約 $1\frac{1}{2}$ 吋。圍於管外 c 與 b 之間。) 汽由 o 出一二分鐘後。細察指針之位置。并記寒暑表之示度。用尺桿量 c 鋒至 b 管中心之距。及指針之長(由針尖量至 b 管中心)。後用螺旋測圓規。量 b 之徑。至少量度三處而取其平均。其數之確準。須至 $\frac{1}{100}$ 耗位。若無此規。則可用細麻線繞 b 十次或二十次。由線之長。即可推算 p 徑長若干。

(26)



欲知黃銅伸長幾何。可將指針長與玻管徑之比。除指針於 b 上兩次示度之差。其理觀二十六圖自明。任於何時。玻管恆繞最低點 d 而轉。圖中 ef 線。乃管上部經行 ab 時針尖所行之距。由相似之三角形。可得下式。

$$\frac{ab}{ad} = \frac{ef}{de}, \quad \text{即} \quad ab = ef \div \frac{de}{ad}.$$

由銅管之漲大。與 b 間之長短。及溫度之改變。可

以計算管之漲大係數。即管增熱一度時， c 與 b 間之所漲。為其全長之幾分也。如有餘暇。可將銅管取下。以水冷之。使達室內溫度。重作前試。而取兩次之平均數。定為 k 值。

計算長度時。所用單位。務須一律。或全用厘數。或全用耗數。勿半厘半耗也。所得結果。列表如下。

	管之溫度			s之示度			cb之長	b之直徑	係數
	第一次	第二次	差	第一次	第二次	差			
第一次試驗	——	——	—	——	——	—	——	——	——
第二次試驗	——	——	—	——	——	—	——	——	——

k 之平均值 = ——

k 之公認值 = .0000187

差分 = ——

試將 $k = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$ 方程式。用簡語說明之。若測度

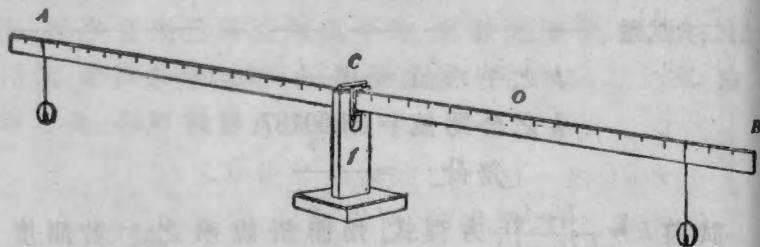
指針位置時所差為0.2耗。問測量針於s上之行距時。當得差分若干。若管之平均溫度較蒸汽低一度。問計算答案時。差分若干。以上二差。較之實驗之差。大小若干。

實驗十五

能率之原理 Principle of Moments

取秤桿 AB 。穿入活夾 C 中。如二十七圖。夾有刀口。支於 f 木架上面之玻璃片。 AB 在架平衡時。即旋螺使 C 緊夾秤桿。細審刀口準對秤尺何度。定為支點 $Fulcrum$ 。然後依次試驗之如下。

(27)



(1) 用線繫 100 克重之 W_1 於近一端之某點。另取 200 克重之 W_2 懸於彼端。審定秤桿平衡時 W_2 重支於何點。取各重分乘其離支點之距。問兩能率之關係若何。(力與槓桿臂長之乘積。謂之該力之能率)

(2) 易兩重之一。而再比較其能率。

(3) 取 W_1 與 W_2 兩鍾。一重 100 克。一重 50 克。分懸秤桿之左臂。惟勿過近支點。其右臂懸一 200 克重之 W_3 以平衡之。審定 W_3 懸何處。然後將首二力之總能率。與末一力之單能率比較之。

(4) 取一未知之重 X 。懸於左臂近端之某定點。距支點計 l 長。另取已知之重 W 。懸於右臂之某點以平衡之。由上三節所得之能率原理。可以求得 X 之重量。試衡於天秤以核驗之。

(5) 取未知之重 X 與已知之重 W_1 。分懸米桿右臂之兩點。其左臂則懸已知重之兩錘 W_2 與 W_4 以平衡之。設 X 之距支點為 l 。試計算未知之重。且權以核之。

(6) 將刀口活夾移至枳桿 O 處。復旋緊之。次取 200 克之物。懸於 O 與 B 間之某點。使桿於支點。適能平衡。後按能率之原理。計算桿重若干。(桿在初支點時。地球施於其上之吸力。可視作單力。與桿之全重相等。)

若以 W 代表桿之重。則由能率之原理。得

$$W \times CO \text{ 距} = \text{已知之重} \times \text{該重離 } O \text{ 之距。}$$

直接權之。以作比較。所得結果。列表如下。

$$(1) \left. \begin{array}{l} W_1 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_2 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \end{array} \right\} \text{差分} = \dots$$

$$(2) \left. \begin{array}{l} W_1 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_2 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \end{array} \right\} \text{差分} = \dots$$

$$(3) \left. \begin{array}{l} W_1 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_2 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_3 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{能率之和} = \dots \\ \text{其能率} = \dots \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \end{array}} \right\} \text{差分} = \dots$$

$$(4) W = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots$$

$$l = \dots; \therefore X = \dots; X \text{ 衡得之重} = \dots$$

$$\begin{aligned}
 (5) & \left. \begin{aligned} W_3 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_4 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \\ W_1 = \dots; \text{其槓桿臂} = \dots; \text{其能率} = \dots \end{aligned} \right\} \text{二能率之和} = \dots. \\
 & l = \dots; X = \dots; X \text{ 衡得之重} = \dots.
 \end{aligned}$$

(6) 刀口在 C 處之示度 = \dots ; 其在 O 處之示度 = \dots .

\therefore 槓桿臂 OC 之長 = \dots ; 已知之重 = \dots ; 其槓桿臂 = \dots ;

\therefore 秤桿之重 = \dots ; 衡得之重 = \dots ; 差分 = \dots .

由上之結果。可以斷定何事。由上文試驗。可知不用天平兩盤。亦有法可以衡物。試言其法。觀(6)之結果。何由知物體之全重(即地球吸其各質點之總力)。可以視作聚於一點。

實 驗 十 六

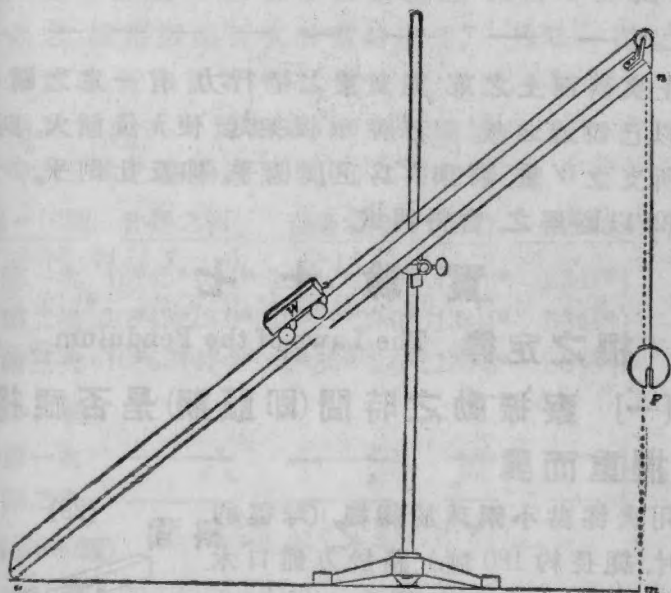
工作原理之見於斜面

The Principle of Work for the Inclined Plane

某力所成之工作。既等於該力乘其推動某點之距。則二十八圖 F 力之推動某物。上行斜面 (on) l 距。其所成之工作。必為 Fl ($l=on$)。惟是反抗地球引力之工作。為所運之重 W 乘其移高之垂直距 h ($=mn$)。故施力之工作 Fl 與抵力之工作 Wh 。其間必有一定之關係。本試驗即求無磨擦時。此關係究為何物。

試將斜面支起如二十八圖。與桌面約成 45° 之角。 F 處懸一 200 克重之錘。 W 車中置彈或釘。至車穩定為

(28)



止。加重車中之載。使指輕彈斜面時。車能徐徐瀉下。後將車中之釘。逐一取出。合置一旁。及指輕彈時車復徐徐上升。即止不取。取車及其重並置桿秤衡之。別之曰上升之重。後復加入移出之重而復衡之。命之曰下降之重。用尺桿慎量 mn 之高。命之曰 h 。斜面 (on) 之長。命之曰 l 。取上升與下降二重之平均。命之曰 W 。即斜面無摩擦時。 F 力能於其上所支之重也。

略移斜面 on 使與平面成 30° 。如前試驗之。列表如下。

	F 力	上升之重	下降之重	W 重	h 高	l 長	F/l	Wh	相差
第一試	—	—	—	—	—	—	—	—	—
第二試	—	—	—	—	—	—	—	—	—

上文斜面上之重，與支重之平行力，有一定之關係。能以已說述之歟。若將 on 板架起，使 h 值漸大。則 F 力所支之 W 重。將與 h 爲正反例乎。抑反比例乎。若將 (2) 以圖解之。當得何式。

實 驗 十 七

擺之定律 The Laws of the Pendulum

(一) 察振動之時間(即顛期)是否視擺幅擺重而異

用火漆黏小鋼球於細繩。(球徑約 $\frac{3}{4}$ 吋，繩長約 180 吋。)懸於方鉗口木夾之下。如二十九圖所示。令一生注視某處。使該處之某定點或記號。與繩同一視線。振動其球。使經 10 吋或 12 吋長之擺幅。每次球過某定點時。以鉛筆擊桌爲號。另命一生察看秒針以記之。記時者既擇定某點。某分某秒之擊聲爲起點。即傳口號於彼生。於是彼生按擊數之。至百爲止。此時秒針所示。爲幾點幾分



幾秒(能察秒之幾分尤妙)。須詳細記之。次將擺幅增大至20厘或30厘。如前法重驗之。末後增至2呎許，亦如之。細察振動百次各需時若干。另取一擺。自支點至球心，長與前等。惟質量重量，與前不同(例如前次用鋼球，則此次可用鉛球。)細察擺幅同為三十(或四十)厘時。三者之振動遲速若何。列表如下。

(幅=10 <u>厘</u>)	首擺之初	百擺之終	全時	一振動之時	平均
第一次	10 ^m 45 ^s 10.4 ^o	10 ^m 47 ^s 25.0 ^o	134.6 ^o	1.341 ^o	} —
第二次	10 ^m 49 ^s 15.0 ^o	10 ^m 51 ^s 29.0 ^o	134.4 ^o	1.344 ^o	
第三次	10 ^m 53 ^s 47.2 ^o	10 ^m 56 ^s 2.0 ^o	134.8 ^o	1.348 ^o	

(幅=30厘)

第一次	_____	_____	_____	_____	} —
第二次	_____	_____	_____	_____	

(幅=200厘)

第一次	_____	_____	_____	_____
-----	-------	-------	-------	-------

問極小之擺幅與顫期有無關係。若將擺幅增大，有何效果。問擺之輕重於顫期有何影響。

〔二〕 求二擺之長與時之關係

重易第一次所用之球。略鬆木夾。移繩上下。以較準其長。其法另懸一擺。定長為180厘。命二生分視之。每擺經過中線時。各以足抵地為號。直至長繩(即長180厘者)振動一次時。短繩適振二次。則足聲相應。而所

求之長得矣。慎量兩擺之長。先由夾底量至球頂。後加各球之半徑。由上結果豫算之。若某擺較 180 厘之擺。顛期速三倍。則其長當為若干。且實驗之。以証豫算之不謬。列表如下。

第一擺之長 = ——

第二擺之長 = ——

第三擺之長 = ——

$$\frac{\text{第一擺之長}}{\text{第二擺之長}} = \frac{(\text{第一擺之顛期})^2}{(\text{第二擺之顛期})^2} = 4$$

$$\frac{\text{第一擺之長}}{\text{第三擺之長}} = \frac{(\text{第一擺之顛期})^2}{(\text{第三擺之顛期})^2} = 9$$

(三) 由上事實求秒擺之長

取上所用最長之擺。擺諸較短之弧。求其平均數以為顛期。既有此數以及擺長。則藉上文擺長與顛期之定律。可以推算每秒振動一次之擺。應長若干。欲求此數準確。須將上文各數。用圖解之法推之。如下。

設 t_1, t_2, t_3 為三擺之各顛期。而 l_1, l_2 與 l_3 為其各長。則按上例。

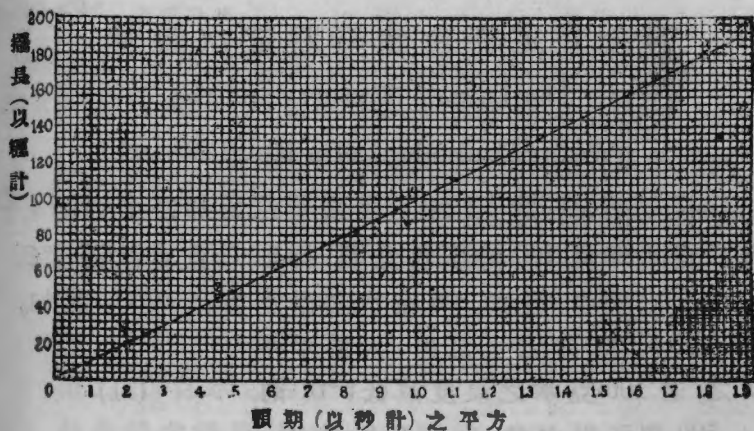
$$t_1 = 1.346 \text{ 秒} \quad t_2 = \frac{1}{2} \times 1.346 = .673 \text{ 秒} \quad t_3 = \frac{1}{3} \times 1.346 = .4487 \text{ 秒}$$

$$t_1^2 = 1.812 \text{ 秒}^2 \quad t_2^2 = .4530 \text{ 秒}^2 \quad t_3^2 = .2013 \text{ 秒}^2$$

$$l_1 = 180.00 \text{ 厘} \quad l_2 = 45.00 \text{ 厘} \quad l_3 = 20.00 \text{ 厘}$$

按第三十圖之式。於 OY 右之各格。繪出 t_1^2, t_2^2, t_3^2 等數。而於 OX 上之各格。繪出 l_1, l_2, l_3 等數。所用尺度。務期合

(30)



宜。庶全圖上三點並示。而仍不在紙之範圍。後取極尖鉛筆。經 0, 1, 2, 3. 四點。繪一細線。沿線踪跡 $t^2=1$ 處。l 為若干。此即秒擺之長也。

用此圖解之法。酌核多數之觀察。最為簡當。

上文試驗所得之顛擺定律。試一一用已說述之。

按上文之圖解。求某定長(設為 141 厘米)鍾擺之週期。

高等物理學中。證明墜體一秒間所達之速度 g 。可以秒擺之長乘 π 而得之。試用此法計算 g 值。而與公認之值(即 $g=980$) 作比較。

實 驗 十 八

混合之定律及金類器之水當量

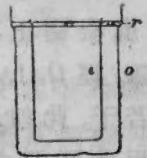
The Law of Mixtures and the

Water Equivalent of a Metal Vessel

〔一〕 混合之定律 熱之單位爲加路里 Calorie。乃一克水增溫 $1^{\circ}C$ 時所收之熱。抑卽一克水減溫 $1^{\circ}C$ 時所發之熱也。例如 100 克水之溫度增高 $10^{\circ}C$ 。則曰。 $100 \times 10 = 1000$ 加路里之熱。入於水中。反之。若 100 克水之溫度減低 $5^{\circ}C$ 。則曰。 500 加路里之熱。自水發出是也。

(31)

實驗之法。取乾燥之寒暑表。置容量至少爲 300 立方厘米之金類器中。(如三十一圖之內器之全器。合內外言之。名曰加路里量熱器 Calorimeter。) 二三分鐘後察之。定爲室內之溫度。



(1) 取小器二(如第三試驗所用之黃銅小圓筒)。各注水百克。用本生燄 Bunsen flame 熱之。攪動不絕。使此器之溫度。較室內低 6° 或 8° 。彼器之溫度。較室中高 6° 或 8° 。(兩器之溫度。須用兩寒暑表分別量之。) 溫度一得。卽將兩器之內容。同時傾入與室同溫之器中。用兩表同時攪動。約一分鐘後。卽察各表所示之混合溫度。

註。 兩器之所以必用兩表者。因恐彼器驗溫時。此器溫度已

變也。末次驗溫時所以兩表並用者。因市售之寒暑表。絕少準確。相差每至 $\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ 之多故也。

計算溫水所失之熱為若干加路里。寒水所得之熱為若干加路里。一一記載之。〔見下(乙)〕

(2) 重作前試。惟此次用低於室溫度 6°C 之水二百克。與高於室溫度 12°C 之水一百克攪和之。紀載如下。

(甲)

室溫度	= 19.15°C
第一100克水之溫度	= 12.7°C
第二100克水之溫度	= 25.7°C
混合後之溫度(按第一表所示)	= 19.1°C
混合後之溫度(按第二表所示)	= 19.3°C
第一100克水所得之熱	=——加路里
第二100克水所失之熱	=——加路里

(乙)

二百克水之溫度	=—— $^{\circ}\text{C}$
一百克水之溫度	=—— $^{\circ}\text{C}$
混合後之溫度(按第一表所示)	=—— $^{\circ}\text{C}$
混合後之溫度(按第二表所示)	=—— $^{\circ}\text{C}$
二百克水所得之熱	=——加路里
一百克水所失之熱	=——加路里

上文試驗。證明增溫物體所得之加路里熱量。對於減溫物體所失之加路里熱量。有一定之關係。所不能

免者。寒暑表之示度難期盡準。有時或至差誤 $\cdot 1^\circ$ 耳。凡不等溫度之物體，互相混合時。恒有此種關係。故可視為熱量交換之定律。學者試能用已說陳之。并詳記諸冊。

注[○]意[○] 上文試驗。乃指混合器之溫度。與室內無稍差池。然亦有不盡然者。試用下法以驗之。

〔二〕 金類容器之水當量 取水 150 克。置三十一圖量熱器^{*}之裏筒ⁱ。另取小圓筒(如第三試驗所用者)。盛水百克。較準溫度。使盛 150 克者低於室溫度約 10° 。盛 100 克者高於室溫度約 15° 。用^r圈移ⁱ置^o中。以防手之熱或傳於水。用二寒暑表分攪二器之水。略偏冷水之容器。使水多着器壁。且使器與水同溫。慎量二水之溫度。速將溫水傾入冷水器內。再攪半分鐘。而記二表末後所示之度。由是計算溫水所失及冷水所得。各為若干加路里熱。此次二者之值。並不相同。其故何也。試由二數之差。及器所增之溫度。求該器增溫一度時。需熱若干加路里。此即與器熱量相當之水克數。故謂之量熱器之水當量。^{**}其記載之法如下。

^{*}若無此器。可用第三試驗之圓筒二個。各盛水 75 克。此筒低於室溫度若干。則彼筒之高於室溫度。亦為若干。

^{**}求銅器之水當量。尋常以器之重(此處為 135 克)乘銅之比熱(即 $\cdot 095$ 參觀下章)而得之。其結果為 $12\cdot 8$ 。與上文所得相較之。所差祇 $\cdot 4$ 耳。

150 克水之溫度	= 8.1°C
100 克水之溫度	= 38.0°C
二水混合後之溫度	= 19.5°C
容器溫度之增	= 11.4°C
冷水所得之熱	= 1710 加路里
溫水所失之熱	= 1850 加路里
差 (= 器所收之熱)	= 140 加路里
器之水當量	= 12.3

100 克水初溫度。高過室溫度。150 克水之溫度。不及室溫度。其高過之數 (15°), 所以必為不及數 (10°) 之一倍有半者。因欲末後之混合溫度。與室溫度相仿也。欲求終溫度準確。以此佈置為最宜。試言其故。

試驗混合之定律時。必注意於混合器吸收之熱。何也。若測混合溫度時所記之度。較所示之度高 1°, 則實際之水當量。當為若干。試設例演出之。問所得之結果。差誤不過多乎。

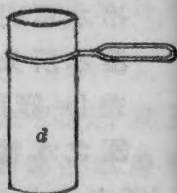
實 驗 十 九

比 熱 Specific Heat

〔一〕 等重異質物(如鉛鐵鋁三質)減溫一度時所放熱之比較 取三十六圖式之汽鍋三具。各揭其蓋。注水入之。使右旁水表中。約高半吋許。置本生燄於其下熱之。命一生取鉛丸 150 克。盛之以勺

(如三十二圖之式) 而入鍋中。第二生取鐵釘 150 克。第三生取鋁片 150 克。亦如之。(若以前諸試驗。向係一人獨爲。則此處可用三人。若向係二人合爲。則此處須用六人。) 次令各生衡出(或量出) 150 克之水。置第三試驗所用之圓筒中煖之。使合室中溫度。一一分記之。鍋中之水煮沸約五分鐘後。令各取勺中之物。傾入圓筒器之水中。攪水半分鐘許。然後察各器之溫度而記之。(此時各生於罄勺之後。可重裝乾燥鉛丸。以備下半節試驗之用。丸與勺之合重。約至八九百克。即止不裝。衡得實重。乃置鍋內。其寒暑表球須深埋鉛中。逼近鍋底。) 以上所用三種金類之重量與溫度。既各相等。而其投入水中時。水之體積及溫度。又復相等。則若末後之溫度不同。必等重異質之物體減溫一度時。所放之熱有異也。故曰。

(32)



一克某質加溫一度時所需之熱。或減溫一度時所放之熱。謂之此質之比熱。

取簿記載試驗之結果。詳述三種金類比熱不同之大概。且言鋁之比熱。大於鐵者約幾倍。鐵之比熱大於鉛者約幾倍。(以上三比熱。與三溫度之改變約爲比例。因三金類之減溫度數大約相同。即同自 100°C 降至室溫度也。)

〔二〕 確量鉛之比熱法 權三十一圖量熱器

裏筒之重。取溫度低於室內約 $12^{\circ}C$ 之水二百克入之。復權其重。移置外筒 \circ 之內。

註 \circ 若無量熱器。則可單用第一段之圓筒。而不用外筒。惟如是則所用之水與鉛之重量。皆須折半。

用玻棒將勺內之彈攪動。熱之約十五分鐘。後察埋於其中寒暑表之溫度。將寒暑表移出。置加路里量熱器之冷水筒中攪之。及達適宜之溫度（至少須比室溫度低 $8^{\circ}C$ ）。即傾勺投彈入之。（若有露成於裏器之外。則未混合時先拭乾之。）攪混合物約二分鐘。然後記出末後之溫度。衡勺之重。表載如下例。

勺與鉛丸之合重	=1201 克
勺之獨重	= 103 克
\therefore 鉛丸之獨重	=1098 克
量熱器之重	= 157 克
量熱器與水之合重	=415.9 克
\therefore 水之獨重	=258.9 克
室溫度	= $22^{\circ}C$
鉛丸之溫度	= $98.5^{\circ}C$
水之始溫度	= $12.8^{\circ}C$
混合後之溫度	= $22.3^{\circ}C$
水溫度之增高	= $9.5^{\circ}C$
量熱器之水當量（見前十八）	=14.7 克

水重與水當量之和	=273.6 克
水與量熱器所吸收之總熱	=2599 加路里
鉛丸溫度之減低	=76.2°C
∴ 鉛之比熱(即每克鉛丸降溫一度所放之熱)	=.0311
鉛比熱之公認值	=.0315
差分	=1.3

以上求得之值。實何所指。試詳載冊中。

鉛丸與水混合之先。降溫極速。其後愈降愈遲。學者於此。能悟試驗時所以必求終溫度近於室溫度之故乎。(答是問題時。須牢記以下二端。(一)終溫度必俟二三分鐘後始得。(二)物之高於室溫度者恆傳熱於室。物之低於室溫度者。恆吸熱諸室。惟輻射甚易失熱。故用混合法量熱頗難準確。)

衡鉛丸時無須求克之小數。何也。

試驗既畢。鋪鉛丸於薄布之上而俟其乾。

(附錄) 更有一試驗。饒有興味。今附誌之。以備學有餘力者自試之用。

求白熱物體之溫度 由距桌面上 50—100 厘米處。用細銅絲懸一銅桿。長約 2 厘米。徑約 12 毫米。須高低適宜。使銅桿觸本生燄最熱處(即內燄之頂)。取容量約 300 立方厘米之量熱器衡之。半滿以水。水溫約較室內低 12°C 或 15°C。復衡二者之合重。置諸套筒中。燒熱銅桿。約十分鐘後。即審水之溫度(此時當較室溫度低 8° 或 10°)。

移去本生燈。速提量熱器以就銅桿。使白熱之銅。浸於器底。攪之約一二分鐘而察終溫度爲若干。

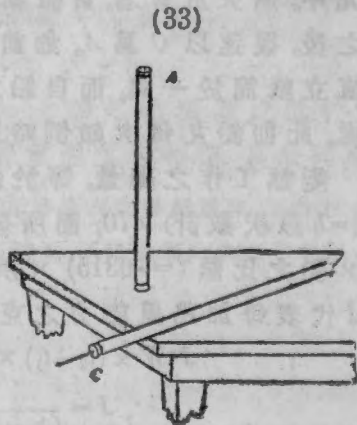
假令每克銅降溫 $1^{\circ}C$ 時所放之熱 (即銅之比熱) 爲 0.095 加路里。計算白熱銅之溫度爲若干。覆試之。而觀前後兩試之結果。若何符合。

實 驗 二 十

熱之工作當量 Mechanical Equivalent of Heat

本試驗之目的。在證明墜體達地時。其運動能力。悉變爲分子顫動之能力 (即熱)。且求每一加路里熱放出時。需工作能力若干克呎也。所求之量。名曰熱之工作當量。其法取鉛丸自某定高墜下。由其增高之溫度而得之。如下。

傾乾燥鉛丸二包於金類器中。置諸冷處 (如冰水內) 使其溫度低於室內約五六度。將丸倒入紙筒。如三十三圖所示。筒長約一呎。徑約五六釐。以棕色厚紙疊卷爲之。黏以膠而束以繩。管之兩端。以軟木栓密塞之。振搖紙筒。使其中



鉛丸完全攪和。(攪和之法，將管徐徐顛倒，使鉛丸自此端瀉至彼端，惟倒時須持管之中部，以防兩端之溫度為手熱所影響也。) 如是顛倒五次(或十次)之後，去上端之塞(A)。而易以C塞(三十三圖)。插入寒暑表。漸傾紙筒，使鉛丸徐徐而下，全埋寒暑表球。斜持紙筒如圖。搓扭寒暑表於鉛丸之間，約二分鐘，然後察其溫度。若其低於室溫度者不止二三度，則仍將管往復顛倒之，務求其與室溫度相差，不過三度之外。

溫度既得，即以A塞易C，豎立如圖。後速完全倒之，陸續不絕者凡七十次。(倒管時下端須附着於桌面，則鉛丸不致脫塞而出。) 每次顛倒時，鉛丸因提高管長而得之能力，悉變為降下之運動能力。及達管底，則此能力又變為熱。惟紙與軟木皆為不良導體，故此熱全留丸中。所失於管者，實微細不足計較也。顛倒七十次之後，復速以C易A，如前法察其溫度。末後去C塞，直立紙筒於一端，而自鉛丸之頂量至A塞底前據之處，此即鉛丸每次顛倒時所經之平均高也。

變熱工作之總量，等於鉛丸之重(=W) × 下墜之高(=h以呎數計) × 70；而所發之熱，等於鉛丸之重(=W) × 鉛之比熱(=.0315) × 所增之溫度(=t₂-t₁)。故苟以J代表每加路里能力之克呎數，則所得有如下式。

$$J \cdot W \times (t_2 - t_1) \times .0315 = 70 \cdot W \cdot h$$

$$\therefore J = \frac{70h}{(t_2 - t_1) \cdot 0315}$$

上式中右邊之 W 與左邊之 W 對銷。故可不計。

欲防傳導及輻射之耗熱。故上文之鉛。其始溫度之低於室溫度。約如其終溫度之高於室溫度。蓋如此則始終二時間之更變溫度。捷且等速。而輻射可免矣。

若有餘時。可將前法覆試數次。記之如下。

	(第一次)	(第二次)	(第三次)
室溫度	=18.5°C	18.5°C	18.5°C
鉛之初溫度	=16.0°C	17.1°C	16.7°C
鉛之終溫度	=21.7°C	22.6°C	21.0°C
顛倒之次數	=100	100	80
墜之高(h)	=.76呎	.76呎	.76呎
工作當量	=423克呎	439克呎	449克呎

工作當量之平均值 = 437克呎

工作當量之公認值 = 427克呎

差分 = 2.4

由上試驗。可斷言何事。鉛丸始溫度之低於室溫度。必求與終溫度之高於室溫度者相彷彿。其故何歟。

註⁹ 本試驗失錯之原因。實在寒暑表之得鉛溫度。需時頗久。傳導輻射。所不能免。故溫度或高或低。不能恰為鉛丸之平均溫度也。

實 驗 二 十 一

狀態變化之致冷 Cooling through Change of State

〔一〕 凝固實能放熱 晶體(如冰之類)融解時。既吸收外界之熱。則按諸循環之理。液體復固(即結晶)時。亦必輸其熱於外界。此說之確否。可藉本試驗以證明之。

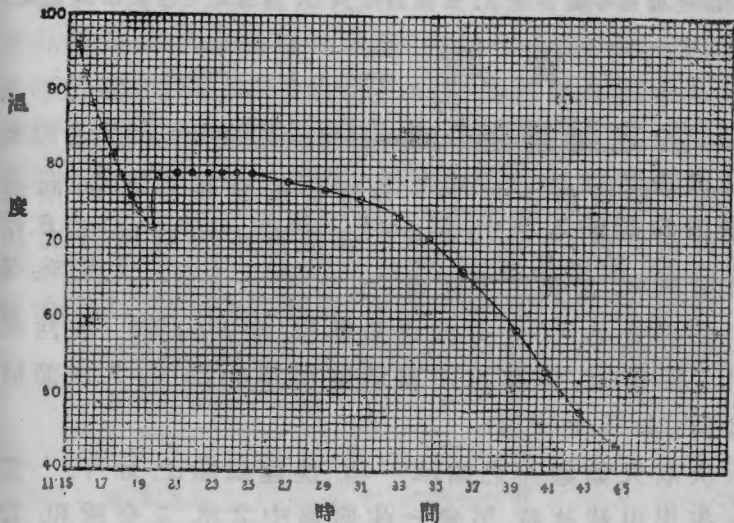
取架或夾以支試管。管置阿西弟美得(有機化學藥品之一。西名 acetamide)晶粒。使管滿至三分之一。以本生燄徐徐熱以融之。(若此物多含濕氣。則可沸之。)將寒暑表徐徐插入液中。惟須目注刻管。若水銀離頂已不及半吋。則須急抽出。不然。則水銀之漲力。將使寒暑表破裂。不可不慎也。(若寒暑表頂端有熱漲空腔。則破裂可免。若無此腔。則融晶時置沸水中為妥。勿直接用火燄也。)

融晶之液冷至 100°C 時。插入寒暑表而靜察之。(此時勿用手觸管及表。)管中之液漸冷。有時或降至 60°C 。尙未結晶。然結晶一起。溫度即變。學者能言其變之狀態。且下一斷語乎。靜俟二三分鐘。細察凝固液體之溫度。有無更改。此時所放之熱。必有來源。試詳言之。

〔二〕 致冷之曲線 重增溫度至 100°C 。手續須謹慎如前。物質漸冷時。每半分鐘時。測其溫度而記之。自 100°C 量至 45°C 。所獲之數。按圖繪出。以縱格代

表溫度。橫格代表時間。三十四圖所示之時。乃由上午十一點十五分起至十一點四十五分止。其十一點十五分與十一點十九分半之間。溫度降低甚速。由 100° 以達 71.8° 。後即驟升至 79° 。停頓約五分鐘。乃復徐降

(34)



至 43.5° 。此一例也。試將當日試驗所得之曲線。亦如是解之。此處阿西弟美持。溫度冷過其冰點。猶未結晶。及一結晶。溫度即驟升至冰點 穩定片時。直至結晶完全。溫度始降。凡物質之靜俟自冷者。恆有此現象。名曰過冷 Under-cooling。

若有餘暇。可注蒸水少許於試管。置冰鹽混和之寒

劑中。寒劑之溫度約 -8° (零度以下八度)許。細察管中之水,是否呈顯同象。(注意。管須靜置一旁。)管中溫度達 -2° 或 -3° 時。若提高少許而攪之。則水之結晶可立致。物質亦有不能過冷者。試取洋樟腦 Naphthaline 少許如法驗之。

(按洋樟腦各藥房皆有。惟阿西弟美得。則須由化學藥品所購取。)

實 驗 二 十 二

水之融解熱 The Heat of Fusion of Ice

冰之融解熱云者。乃一克冰於零溫度化液時所需之加路里熱。亦即一克水於零溫度結冰時所發之加路里熱也。其量用下法求之。

取容量約300立方糎之量熱器。衡其內筒*。後注水至 $\frac{2}{3}$ 復衡之。熱其水使高於室溫度約 25°C 。入內筒於套筒(如三十一圖)。

次取大如雞卵之潔冰一塊。捷速試驗之如下。當一生用巾拭冰時。另命一生將筒中之水。完全攪和。若其溫度之高於室內。不及 15°C 。則必重溫之。務期其高出室溫度。在 15° 與 25° 之間。此時蒸發所耗或不少。故須重衡器與水以核之。不絕攪動。速記水之溫度(寒暑表球。切勿移出水外。)而令彼生取冰入之。(為時勿過久。至多一二秒鐘。)冰沿寒暑表桿而下。則水不濺

*若用第三試驗之圓筒。則水與冰之重。皆須減半。

出。攪之不已。一俟冰塊全消。即察其溫度而記之。此時當低於室溫度。約自 2° 至 $10^{\circ}C$ 。若仍在室溫度之上。則當取略大之冰塊覆試之。其所以然者。欲求室與器交換之熱。無甚影響也。重衡裏筒及其內容。而減去前次所衡之數。定為冰之重量。

設以 x 代表冰之融解熱。而以 w 代表所融冰之克重。則冰融時所耗之加路里熱量。必為 xw 。冰方全融時。變成 w 克重之 $0^{\circ}C$ 水。而此水之溫度復升至 t (即混合液最後之溫度)。故前後共需之熱。由器與水之致冷而來者。必為 wt 加路里。若致冷之水重 W 克; 水之初溫度為 t_1 ; 而器之水當量為 e ; 則水與器所發之加路里熱總量。必為 $(W+e)(t_1-t)$ 。所得之熱。既等其所失。則以方程式解之。惟 x 為未知數。求之不難矣。今列表如下。

量熱器之重 = — 克

量熱器與水之合重 = — 克

∴ 水之重 = — 克

室溫度 = — $^{\circ}C$

水之始溫度 = — $^{\circ}C$

水之終溫度 = — $^{\circ}C$

∴ 水溫度之減低 = — $^{\circ}C$

量熱器連水及冰之重 = — 克

∴ 冰之重 = — 克

器之水當量(觀實驗十八) = —

∴ 冰之融解熱 = —

冰之融解熱之公認值 = 80

∴ 差分 = —

上文所得之數。又名水之隱熱 Latent Heat of Water。此名作如何解。試詳載之冊中。

(附錄) 如有餘時。可作下試以驗隱熱。

求水汽之凝結熱 To find the Heat of Condensation of Steam 導水汽入 250 克重之水。水之初溫度。約在室溫度之下 10°C 。其終溫度約在室溫度以上 10°C 。重衡其水。以求汽之化水者重若干。由此計算每克水汽凝液時共發熱若干加路里。

實 驗 二 十 三

酒精之沸點 The Boiling Point of Alcohol

液體之沸點云者。即該液飽和蒸氣之壓力等於大氣壓力時之溫度也。欲求酒精之沸點有二法。其結果當相符合。第一法將該液及其蒸氣閉錮器中。而量各溫度時之壓力。此壓力等於大氣壓力時。其溫度即為沸點。第二法較為直捷。乃將該液置開器中沸之。由液上升之蒸氣觸寒暑表時。所示之溫度即沸點也。

[一] 飽和蒸氣之壓力等於大氣壓力時之溫度 三十五圖之玻管 A。閉固一端。灣如 U 字形。而半滿以水銀。注酒精少許。徐側玻管。使酒精入於閉

管。而無絲毫空氣雜於其中。試驗之如下 (35)

取管及寒暑表並置水中。管之短臂。須全浸沒。徐熱而屢攪之。將見溫度漸高時閉管之酒精。於某度化氣。此後若再增高溫度。則閉端之水銀。必被擠下。及二臂之面齊平。則酒精蒸之壓力。必等於大氣壓力無疑。試實驗之。而記其溫度。



加熱之。使短臂之水銀面。較長臂內低 5 厘。細察溫度。且計算大氣壓力每增高 1 厘時。酒精之沸點增高若干。

〔二〕 由液面上升蒸氣之溫度

取酒精少許置大試管中。管底置小釘數枚。使沸時不致衝撞。浸管下端於水而熱之。管中酒精沸騰時。持寒暑表距液面之上少許。俟溫度不復改變。即記出之。而與第一法所得之結果作比較。列表如下。

〔一〕 酒精蒸氣施一氣壓時之溫度 = — °C

酒精蒸氣施一氣壓 + 5 厘水銀時之溫度 = — °C

∴ 壓力每增 1 厘時酒精沸點之增高 = — °C

〔二〕 由沸酒精面上升蒸氣之溫度 = — °C

〔一〕 與 〔二〕 結果之差 = — °C

上文試驗。證明何事。試筆記之。

實 驗 二 十 四

核 驗 寒 暑 表 刻 度 之 定 點 且 求 大 氣 壓 力

每 增 一 厘 時 水 沸 點 之 改 變

To test the Fixed Points of a Thermometer, and to find the Change in the Boiling Point of Water per Centimeter Change in the Barometric Pressure

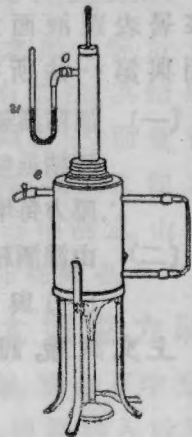
取三十六圖之汽鍋。半滿以水。用密塞插入寒暑表。表上之沸度(即 $100^{\circ}C$)。約在塞之上二三釐。取開臂之壓力表 Open-arm manometer(u)連於出汽管 o 。煮沸其水。較準儀之大小。使表兩臂內之水銀柱齊平。水沸二三分鐘之後。細審寒暑表之示度。並記風雨表之高。

次將密合之橡皮管套於洩汽管 e 。以夾半閉之。使兩臂之水銀柱。因汽半錮而起二三厘之差。重察溫度。且以尺桿慎量兩臂之高差。將夾收緊少許。使高差為五六厘。如前記之。

如是者數次。每隔二厘。測量一次。末次之高差。當在 8 厘與 10 厘之間。

其末後數次。或需本生燈數具。因汽洩難免。必須速蒸以補之也。

(36)



由上各示度。計算氣壓每增 1 耗時。沸點改變若干。酌其平均而定為準。由此數及風雨表之高。計算 76 厘氣壓之下。溫度當為若干。所得之數。由 100 減去之。即寒暑表刻度之差誤也。

欲驗此表冰度之準否。將冰屑置漏斗上。埋入表球至 0° 處。上灌以流水陸續漏下。及溫度不變即記出之。列表如下。

	第一次	第二次	第三次	平均
壓力表之高差	= ——	——	——	
各壓力下之沸點	= ——	——	——	
壓力每增 1 耗時沸點之改變	= ——	——	——	——
氣壓之水銀柱高	= —— 厘			
\therefore 76 厘壓力下之寒暑表示度	= ——			差數 = ——
\therefore 0 厘壓力下之寒暑表示度	= ——			差數 = ——

以上試驗。證明壓力對於沸點。有何影響。試筆記之。

實 驗 二 十 五

磁 場 Magnetic Fields

[一] 磁棒周圍之磁場 (1) 取磁棒一。置三十七圖之板槽內。蓋以藍印紙 Blue-print。而由一二尺高處。篩鐵屑於其上。屑務均勻且勿過厚。以筆彈紙。將見紙上鐵屑。排成曲線。環繞兩極。各各對稱。

(2) 取一短小羅針。游移紙板之上。而求羅針方向

與曲線之向有何關係。凡此曲線。專指磁力之方向。故名磁力線 Magneticlines of force.



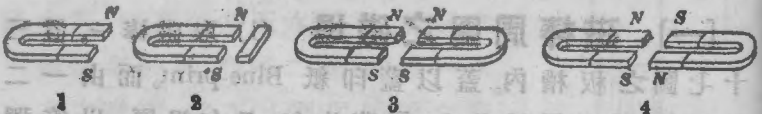
(8) 將板及紙。晒於日光中。其紙上鐵屑。絕不震動。稍俟片刻。將見紙上無鐵屑之處。悉變棕色。刷去鐵屑。將紙浸於水約五分鐘。糊於平玻片上以乾之。乾後插入練習簿中。以備查攷。

若校中無此藍紙。或日光太弱。不能晒印。則可用鉛筆仿鐵屑之曲線。繪樣於習練簿。圖中須示明南(S)北(N)兩極。且用箭道指示羅針N極轉動之方向。(所謂北極者。即磁針懸空時。準對地球北極之一端也。)

(二) 各組蹄形磁周圍之磁場

取硬紙或玻片。附着各組磁鐵 (如三十八圖各式)。

(38) Magnetic Fields



而灑鐵屑於紙上。研究各磁場之性質。並繪圖於冊以明之。

實 驗 二 十 六

磁氣之分子性質

Molecular Nature of Magnetism

〔一〕 製永久磁石之法 取縫針一。用銼劃其
一端以記別之。

(1) 用磁棒或蹄形磁之 N 極。順摩縫針。由此端
以至彼端。後按東西向置針於桌。桌上本有羅針。其中
點處適與縫針延長之線垂直。漸將縫針移近羅針。
使羅針之偏倚角為 10° 。用筆於桌上記出縫針兩端之
位置。問縫針之近端。為羅針 N 極所驅乎。抑為其所
吸乎。然則此端之為 N 為 S 。不難定矣。(如不能決定。
可將此縫針置鐵絲架上。以線懸之。而觀何端指北。)

(2) 倒置縫針而復驗之。此次磁場之力及二極之
符號(或 N 或 S)。與前有何不同。

(3) 如前摩擦此針。復置原處驗之。此時偏倚有無
增加。且增若干。

(4) 接續摩之。至飽和為止。此後任摩若干次。羅針
之偏倚。不復變矣。

〔二〕 震動對於飽和磁石之影響

(1) 將前針擲地。如前復驗之。而記其改變之狀。

(2) 將針抵桌猛擊數下。復驗之。

(3) 若磁氣之爲物。由分子按序排列而生。則受猛烈之震動時。當生何效。

[三] 折斷磁感針之效果

(1) 取極長縫針。以磁感之。記出南北二極。投諸鐵屑中。以觀針之中央。有無磁感。

(2) 折針爲二。而用羅針先驗斷處。後驗舊端。再用鐵屑覆驗之。

(3) 將斷針再折爲二。如前復驗之。

(4) 磁石之成。可視作無數分子。端與端接。各自成磁。試據此說以解所得之效果。

[四] 燒熱磁石之效果 (1) 取前斷針之一小段。置羅針之旁某處。以察其偏倚若干。後用銅絲爲架。置針其上。用本生燄熱至紅熾。復以羅針驗之。而記其效。

(2) 再熱至紅。速置蹄形磁二極之間。俟其冷後復驗之。

(3) 若磁氣確爲磁分子按序排列而生。則上文熱之效果。當若何解之。(須知針方紅熾時。其分子顫動不息。)

[五] 用感應製磁石之法 (1) 取一未感磁縫針(或小鐵釘)持於蹄形磁兩極之間。以重物猛擊此針之數下。惟勿使針觸磁。後移近羅針以驗之。

(2) 倒針持之。重置磁極之間復擊之。問驗針時，其磁極有何改變。

(3) 取一鐵棒。(或由三足架移下。或即第十二試驗所用之桿。) 樹於南北向之平面內，略偏向南。約二三十度。將上端猛擊數下。而驗兩端之磁力。且察何端為 N 極。

(4) 顛倒此棒而重驗之。此時 N 極在何端。或曰。分子為永久磁石。磁感云者。不過使此分子盡列一行耳。試據此說以釋上文所得之結果。

由上文種種試驗。能想像鐵棒中磁感之情狀乎。

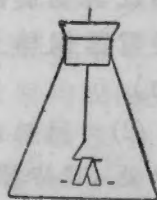
試繪二圖。一表感磁鐵棒中磁分子之想像狀態。一表未感磁時之形狀。

實驗二十七

靜電氣之效果 Static Electrical Effects

驗電器 Electroscope 之製法。取十八號銅絲。屈之如三十九圖式。穿入橡皮塞(如橡皮塞無眼。以針穿之。如有眼而過大。則可用硫磺或火漆色圓銅絲。以期牢固。且助絕緣也。)以二吋長之鉛箔懸於銅絲之橫部。插入玻璃瓶如圖。

(39)



註④ 按上式之驗電器。即在盛夏亦能保持電氣數小時。切鉛箔之法。將箔平鋪紙上。箔上復加一紙。一邊露出少許而後以剃刀或利刀如鋸木式割之。

〔一〕 良導體與不良導體

Conductors and Non-conductors (1) 將第三試驗之小鋼球。用封蠟(即火漆)黏於絲線。(或取一分銅元一個。用封蠟黏於玻棒一端。更妙。)此器名曰驗電板 Proof plane 另取蠟棒一。用絨布擦之以起電。將驗電板先觸電棒。後觸驗電器之銅絲。觀鋁箔之立展。可知電氣之過金類導絲。難易若何。且知分入二箔之電氣互施何力。

(2) 用未電感之蠟棒。木尺。手指三者。次第觸驗電器片時。而觀三物之中。何者導去電氣為最易。

(3) 再以電感驗電板或鋼球。先以手觸之。後再試以驗電器。絨擦之封蠟。手持之仍保其電。而驗電板與鋼球之電。則指觸即失。何也。

〔二〕 正負二電 Positive and Negative Electricity

(1) 如前法電感驗電器。另持一感電之封蠟近之。而記其對於鋁箔(或展或否)之效果。且解其故。(須知驗電器銅絲上所有之電。本由火漆棒而來。觀〔一〕可知。)

(2) 用絲巾摩擦玻棒。漸近驗電器。而記其始初之效果。(若持棒過近。則其效適反。)欲釋其理。則此玻棒之施於驗電器者。當視作何力。

凡與絲擦玻棒所生之電同類者。習俗謂之正電(+).

其與絨擦火漆所生之電同類者。習俗謂之負電(-)。

(3) 消放驗電器(用手觸之法) 而用玻璃棒與驗電板。按前法(即驗電板與封蠟棒)電感之。後持感電之火漆棒近此器。而察先後之結果。

由上結果。斷定同類異類電氣之間。有何作用。

(4) 將驗電器或正感或負感之。另取一紙片。摩擦衣袖。持近此器。而察紙片有無電感。正負若何。以巾撲懸球。如上察之。

[三] 同時感應二體 懸二鋼球使相附着。離球一吋處。持定感電之封蠟。準對兩球球心。此時先將二球分開。後取各球持近負感之驗電器。問近封蠟之球。其電感之正負若何。並記彼球之符號。或曰。無感之物體。本具等量之正負二電。平時勻散體中。完全互相抵消。一受外界感觸。則或正或負。皆能自由行動。學者能據此說以解釋上文所呈之現象歟。

[四] 用感應法傳電於驗電器

持感電之封蠟。逼近驗電器。惟不附着。鋁箔大展時。移去封蠟。則箔即收垂。是為何故。試假前說(三)以明之。重展鋁箔。惟未移封蠟之前。以手觸器。則箔亦收。何也。再試之。惟此次先移手指。後移封蠟。此箔反開展。何也。試藉感電之玻棍及蠟棒二物。研究驗電器得諸感應之電。與感體之電。異同如何。

詳述電氣中感應 Induction 與傳導 Conduction 之大概。

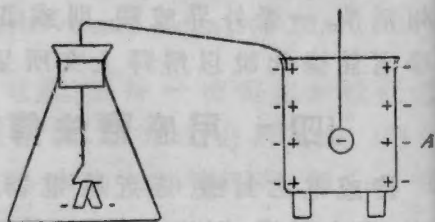
[五] 電感佈於導體表面之証據

取封蠟二條。支起十八試驗所用量熱器之內筒。以電感之。次將絲懸鋼球。觸器之外面。持近驗電器。問鋼球上有無電氣。以手觸球而去其電。置於器內。及底而止。復移出之。置驗電器上。察其現象而筆記之。且問上用之金類器。何以必用封蠟爲架。

[六] 証明正負兩電發現時其量相等

(1) 負感鋼球。而置四十圖之 A 器內。其器連於驗電器。由鉛箔之展度。可測 A 器外面感電之多少。次將球觸 A 之裏面。此時箔之展度。乃示球上原有電氣若干。因按 (五) 段云云。此電現已盡在之器外面也。問球觸器壁時展度改變否。又問球上原有之負電。與器外因感而得之負電。相較之下。多少如何。

(40)



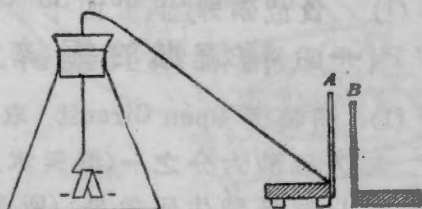
(2) 復感此球。懸於 A 內而不觸壁。細察箔展之狀。以指觸器外面。先移手指。後移鋼球。(留球上之電。

以爲後用。) 問展度是否同前。箔上之電。其號爲何。重落鋼球使觸器壁。問驗電器呈何電感。然則球上之負感。與器內由感應而得之正感。究有何關係。

[七] 凝電器 Condenser 之原理

(1) 用銅絲接連驗電器於垂直之金類片 *A* (如四十一圖式)。片約 4 吋見方。釘於木塊。用封蠟支高。次取感電之封蠟一觸 *A* 片以感之。(若驗器所示。顯有漏電。則將封蠟足架用布擦之。至熱爲度。) 以手觸第二片 (*B*)。移近 *A* 片。相離約一二耗。問 *B* 片對於 *A* 片之電位。有何影響。(電位差可藉驗電器箔箔之展度以測之。)

(41)



(2) 復用電感蠟棒。手續務須同前。再觸 *A* 片一次。如是數次。以達原展度爲止。由觸 *A* 之次數。估計 *B* 片在後時。 *A* 片之電氣容量。約增幾倍。即此次需電若干。方可復其原電位也。設謂 *A* 之負感。能驅負電由指入地。而感應正電於 *B*。則 *A* 生某展度所需之電。 *B* 近時較 *B* 遠時爲大。其故不難明知。試詳言之。

(3) 插一 5 吋見方之玻璃片於 *AB* 之間。惟不接觸。

細察驗電器。問 A 之電位及凝器之電量。有無增減。推近各片。使與玻璃接觸。抽出玻片。而感 A 片至某展度。重插玻片。而求此時約須多加幾倍電於 A 。方可復原展度。

玻片居間時 A 片之電。比玻片移去時 A 片之電。謂之玻璃之感應比量 Specific Inductive Capacity of Glass。

實 驗 二 十 八

弗打電池(又名賈法尼電池)

The Voltaic Cell (or Galvanic Cell)

〔一〕 稀硫酸於銅鋅二片間之作用

(1) 開輪道 Open Circuit 取大玻杯。滿水至三分之二。加入硫酸六分之一(指與水比)。取1糲闊之鋅片一入之。以察硫酸生何效果。(所發之泡乃輕氣。)次以銅片同法試驗之。末後將兩片同時置硫酸中。片與片慎勿接觸。細察各片上之現象。分別記之。

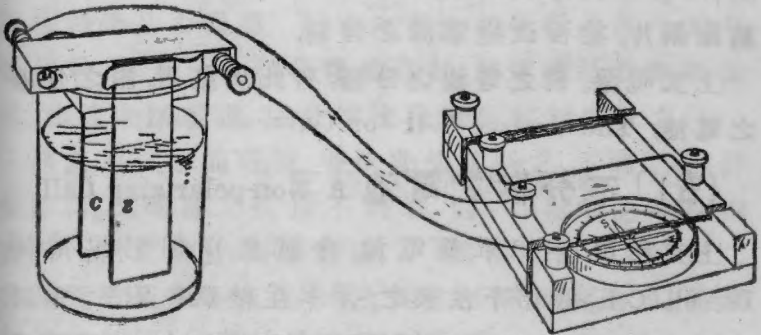
(2) 閉輪道 Closed Circuit 將兩片之上部。緊相接觸。而觀各片面上有無變動。且詳記之。

〔二〕 混汞 Amalgamation 之效 將鋅片浸入水銀杯中。以手塗之。使鋅片之濕部上。鍍成極勻之水銀面。然後移入硫酸。如〔一〕法歷試之。以觀有無他象。且筆記之。

(三) 銅絲連二片時所現之效果

(1) 欲求便於取持。用夾分夾銅鋅二片。如四十二圖之式。而用二十四號之銅絲。連於驗電流器 Galvanoscope 之接端。其器爲二十二號銅絲繞 25 道之絡圈。安置於南北方向者。浸片於酸。以觀器之磁針有無效果。

(42)



(2) 斷其連絡。而取銅絲並觸舌端。藉此證明片間確有作用。入酸即呈。出酸即滅。

(四) 分極 Polarization 重換新乾銅片。(或將舊片用本生燄烘乾之。至熱極不能手持。然後任其自冷。)與鋅片分夾。如前法連於驗電流器。惟此次輪道間插一三十六號(或三十號亦可)之日耳曼銀絲約一呎長。轉旋羅盤。使針指向 0° 號。然後將片浸入硫酸。羅盤之針。始必猛轉。後漸穩定。即記出其偏斜之度。(如偏斜

度大過四十或五十度。則須將羅盤沿架移離絡圈。至偏斜在 50° 之內爲止。) 略待片時。以察磁針有無更改。由(二)之試驗。考得以汞鍍鋅時。輕氣泡祇發於銅片。今將短銅片接連兩片。使成短輪道又名接短電道 Short Circuit。將見輕氣泡大發。而針偏復至 0° 處。因此時之電流。大半舍遠就近。徑行短銅片也。移去短銅片。以察針之偏倚。是否仍復舊位。且斷定輕氣泡之積聚銅片。能否改變電流之強弱。

上文現象。謂之電池之分極。有此現象者。謂之分極之電池。

〔五〕 不分極之電池 A Non-polarizing Cell

上文所用。名曰單簡電池。今試易以但尼里電池 Daniell Cell。或用下法製之。用本生燄烘乾銅片。重置於夾。取硫酸銅之飽和溶液。注於大玻璃杯中。至半滿爲度。另取一小號罇杯盛硫酸鋅液。安置大杯之內。然後將鋅片浸入硫酸鋅液(內杯)。銅片浸入硫酸銅液(外杯)。(罇杯用以隔開二液。而不阻電流之道。) 細察磁針而記其度。構造短輪道而即斷之(法見前)。以觀此時針偏。能否復舊。由是可斷定但尼里電池。是否亦爲分極。銅片之浸於硫酸銅也。其澱積即銅質而非輕氣。學者於此。能悟電流不變之故歟。問輕氣之附集。與銅質之澱積。何者能改片之性質。

[六] 分極之商業電池 再易以雷克蘭雪電池 Leclanche Cell。(如無此物，用乾電池亦可。)此池之要素。外杯有鋅一根，圍以礪砂 sal ammoniac。內杯(即罇杯)有炭一片。埋入二養化錳質也。先以三呎長之日耳曼銀連之。而觀電流之由此而過者。兩分鐘內力減與否。(若偏倚過於 45° ，則可將羅盤推離絡圈。或將絡圈二十五道改爲單道。)接短電池約半分鐘後釋之。以察偏倚是否復舊。而定此電池之分極與否。重復接短電道。約一分鐘後復察磁針。問電流是否漸漸復原。末後全斷輪道。數分鐘後復驗針偏而筆記之。

將前用之單簡電池。亦依此法試驗之。不同之處。詳細記出。二電池之所以不同者。因一(指單簡電池)則輕氣之附集於片，無法掃除。一(指雷克蘭雪)則有二養化錳質能與輕氣化合，故炭片無輕氣附集也。故雷克蘭雪電池。於開輪道時能自復原。

實 驗 二 十 九

電流之磁氣效果 Magnetic Effect of a Current

[一] 右手規則即安培規則

The Right-hand Rule or Ampere's Rule

電流所經之導絲。既能轉旋隣近之磁針。(見前試)則絲之四圍。必有磁力線繞之。按諸界說。磁針北極指動之方。即爲磁力線之方向。

銅鋅電池之正電。液間由鋅而至銅。絲間由銅而至鋅。即依輕氣所行之方向而流也。何以知爲正電，因開輪道時以驗電器察之。兩片均略有靜電氣，於銅爲正。而於鋅爲負也。故弗打電池之炭或銅片。謂之正片。其鋅片謂之負片。所謂電流之方向者。乃指正電所行之方向也。

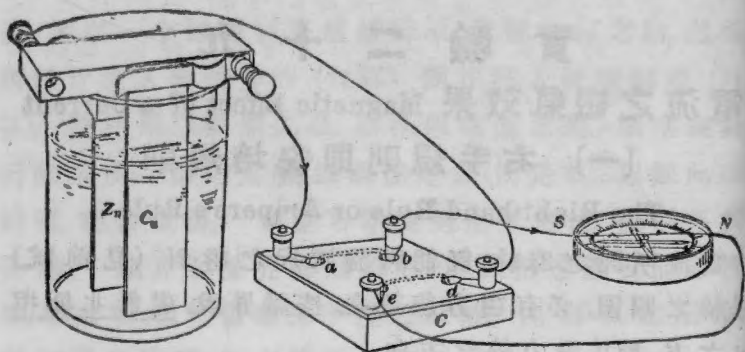
(43)



藉下諸法。試驗四十三圖所示之定律。曰。若用右手握絲。拇指順電流之向。則繞絲之磁力圈線。均順握絲四指之方向。

(1) 聯絡單筒電池或乾電池。如四十四圖之式。使由

(44)



銅(或炭)發出之電流。先經交換器 Commutator。(c)繼過磁針之上。自南而北。後經交換器而返至鋅片。(觀圖中箭道自明。)一切連絡。均用銅絲(約二十四號)。其在交換器之右者。須長十至十二呎。連絡既妥。安置交換器之上部。而記磁針北極所轉之向。

(2) 旋轉交換器之上部經 90° 。使水銀杯 a 與 e 連。 b 與 d 接。(前此 a 與 b 連。 e 與 d 接。)如是則導絲間之電流倒向。過針時自北而南。筆記針轉之效果。而與右手規則參觀之。

(3) 不易電流之向。惟將羅盤移於導絲之上。此時磁針呈何效果。與規則所言。異同若何。羅盤在導絲上時。如前將電流倒向(見(2))而復驗之。

(4) 豎持導絲。使電流於羅針北極前面。垂直而下。後復轉向。使垂直而上。分驗規則之準否。

(5) 橫持導絲。使電流經過磁針中點。自西而東。復驗之。以上種種試驗。證明磁力線所處之平面。實與導絲之向為直角。試詳解之。

〔二〕 求未知電流之方向 取導絲接於隔壁室內之電池。(或將電池蓋罩。不使人見。)此時電流之方向。不能前知。須用羅針持近導絲以定之。測定之後筆記於冊。後沿絲踪跡至電池。以核驗所定之方向。有無錯誤。

〔三〕 套圈之效 Effect of Loops

(1) 導電流經羅盤之上。由南而北。如〔一〕法。導絲須切近羅盤之面。此時針偏若干。宜細察之。後將絲繞至羅盤後面。成套圈形。使絲上部電流。自南而北。下部電流。自北而南。問針偏有無增減。且言其故。

(45)



(2) 再將套圈兩部。一并移至羅盤上面。如四十五圖式。而解釋其現象。

(3) 末將導絲環繞羅盤數道。套圈之平面為南北向。問每次多加一道時。於針偏有何影響。且言其故。

實 驗 三 十

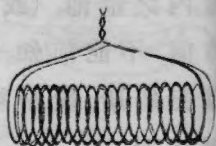
電 流 絡 圈 之 磁 性

Magnetic Properties of Coils carrying Currents

〔一〕 螺線之磁效 Magnetic Effect of a Helix

(1) 裝置輪道如四十四圖。其電流之源。或為單筒電池。或為乾電池皆可。另取銅絲繞鉛筆四五十道。使成細螺線如四十六圖之式。次用羅盤驗螺線之磁性。以觀二端能否分

(46)



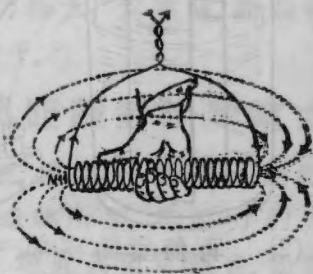
別驅吸針之北極。

(2) 用交換器倒螺線間電流之向。此時螺線二端。對於磁針二極呈何效果。

(3) 下列規則。可以審定螺線兩端。孰為南而孰為北。試核驗之。且證明此律原由安培規則而來。

其律曰。若用右手握圈。令手指皆順電流過絲之方向。(如四十七圖)則拇指必指螺線之北極。

(47)



〔二〕 電磁石 Electro-magnet 之原理

(1) 取一未感磁之軟鐵條(如細長釘之類)。通入此螺線。而依前法驗螺線與釘之磁性。此時二極之磁力。較前強弱如何。

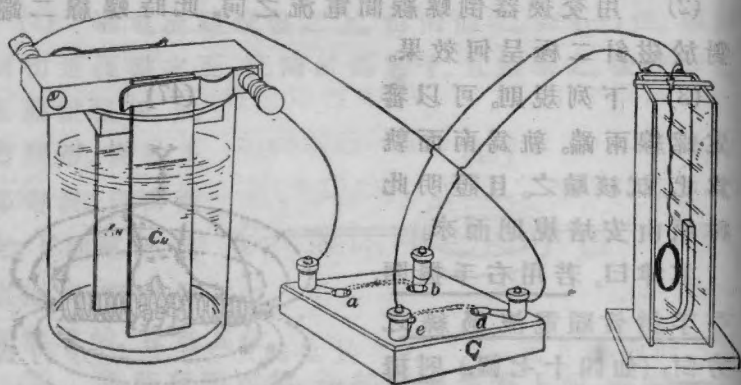
(2) 用交換器易電流之向而復驗之。

(3) 取一種粗鐵絲(或鐵條)。屈之如U字形。以鉛粉記出一端。而於兩端接以電流導絲。使記出之端適為N極。以羅針驗之。

〔三〕 阿生乏電流表 D'Arsonval Galvanometer 之原理

(1) 用三十二號銅絲。製成一百七十五道之絡圈

(48)



懸諸蹄形磁石兩極之間。如四十八圖所示。圈之平面。須與接連兩線之虛線相平行。其由絡圈上連至軟木柱之二線。當為絕緣之四十號銅絲。鬆扭如圖。導電流先經交換器。後入絡圈。而記圈之現狀。

(2) 倒電流之向而復察之。夫此絡圈不過一平扁之螺線耳。然能如是轉旋者何也。

(3) 旋轉頂部之軟木柱。使絡圈之平面。與接連磁極之虛線相垂直。通過電流而復驗之。

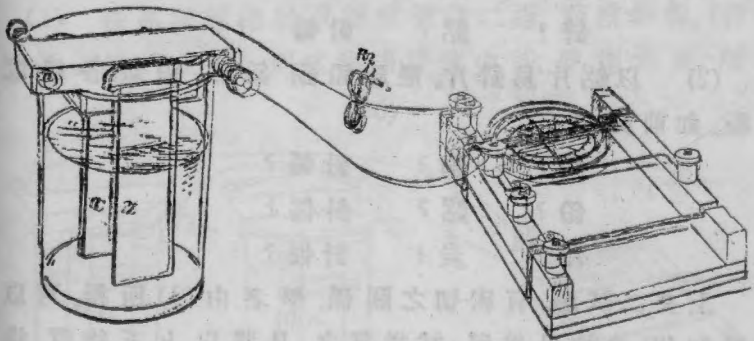
(4) 將電流倒向。如前覆驗。每次所呈之效。一一詳解之。

實驗三十一

動電力 Electromotive Forces

本試驗之目的，在比較各電池之動電力(即電壓力)。其比較之法。用極長細絲(阻力極大)為導絲。而觀各電池由此導入之電流。多少若干。

〔一〕 電池片之大小與距離對於動電力之影響 取一百道之電流表。連其一端於小絡圈(R)。如四十九圖。圈為日耳曼銀絲所製。其阻力約為1000歐姆。後通單節電池輪道。經此高阻電流表。如圖所示。而察針偏之度。(若針偏過於 20° 。則須移遠羅盤少許。)移片至液面。復察針偏。解脫連絲。移開木架及片。另換新片。較前窄狹。浸於液中。以前用之絲連



(49)

之。此時針偏若干。分開二片以觸玻杯之壁。後復漸漸移近。以察針偏若何改變。(詳察針偏度數時。須先將電流表之盒用筆輕彈之。以防針黏。)

由上試驗。可知兩片之距離。與浸部之面積。對於電池之動電力確有影響。試詳述之。

(二) 電池片質對於動電力之影響

輪道之佈置。一如前法。惟以鉛片易銅片。若羅針所轉方向同前。則知外輪道(即液外導絲間)之電流。自鉛至鋅。即鉛浸硫酸時對於鋅為正。反之。若針轉異向。則鋅對於鉛為正。此理甚明。不難思索。試將鋅鉛。鋅炭。鋅鋁。各組電極 Electrodes 歷驗之。筆記如下。

鋅 - 銅 + 針偏 = 12°

鋅? 鉛? 針偏 ?

鋅? 炭? 針偏 ?

鋅? 鋁? 針偏 ?

(2) 以鋁片易鋅片。歷驗鉛銅。鉛鋁。鉛炭。各組電極。如前記之。

鉛? 銅? 針偏?

鉛? 鋁? 針偏?

鉛? 炭? 針偏?

上文二試驗。有密切之關係。學者由(1)所得。可以推知(2)之結果為何。試詳言之。且將以上五物質。排列成表。表中各質。對於下則為正。對於上則為負。問

用表中何組。(任何二質。可爲一組。) 可得最高之動電力 且問製片之質。於動電力有何影響。

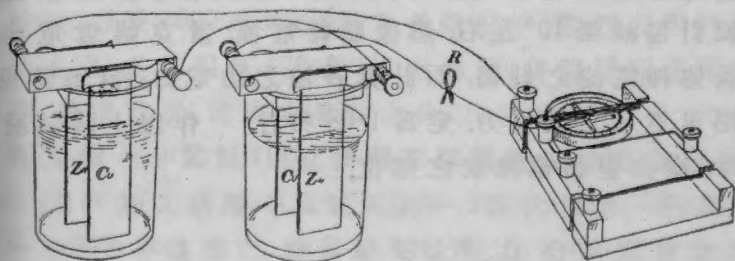
〔三〕 電液(即電解物 Electrolytes) 對於動電力之影響 將鋅銅二片。依次浸於以下各液。(1) 稀硫酸 (H_2SO_4); (2) 食鹽 ($NaCl$) 溶液; (3) 碳酸鈉 (Na_2CO_3) 液; (4) 清水 (H_2O)。而用前電流表測各針偏。(注◎每易新液。須先將二片洗滌極淨。)

將二片裝夾浸入硫酸電池。而記偏度。傾出硫酸。易以硫化銻 ($NH_4)_2S$ 液。此時針轉之方向。有何更變。然則電液之對於動電力之大小及方向。究有若何影響。

〔四〕 縱組 Series Connection 橫組 Parallel Connection 對於電池動電力之影響

(1) 接高阻輪道於單簡電池之二極。而察針偏。(若針偏過於 5° 或 10° 。則當移開羅盤少許。使達此度。所

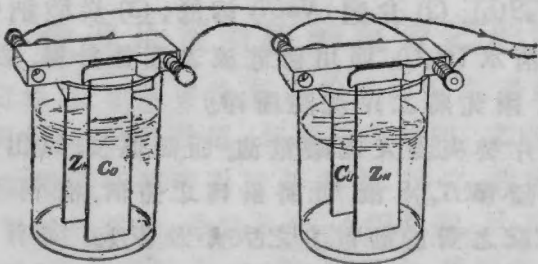
(50)



以然者，因欲動電力適宜，可與針偏作比例也。）

取同類電池二具。按縱組法連之。（即以此池之鋅極接彼池之銅極，如五十圖之式。）插入輪道而記針偏。

(51)



(2) 將上二電池按橫組法連之。鋅接鋅而銅接銅，如五十一圖之式。再察針偏。而與單池所得效果比較之。問縱組橫組之於動電力，有何影響。

[五] 各種商業電池之動電力

將電流表之輪道，裝置如四十九圖所示。用臨時置備之但尼里電池（見二十試驗之第四節）。移動羅盤，使針偏減至 10° 左右。然後驗乾電池，雷克蘭雪電池及他種電池之針偏。而計算各池之動電力。（計算時但尼里電池之動電力，定為 1.08 弗打。）作以上諸試驗時，慎勿變動電流表之部位。

實驗三十二

歐姆定律 Ohm's Law

〔一〕 證明輪道間電流持恆時其動電力與阻力之比亦不變 (1) 取但尼里電池(或乾電池)一具。用阻力達1000歐姆之日耳曼銀絲絡圈。連於高阻電流表之二端。而細察針偏之度。

(2) 縱連(見前)二電池於上表。針偏自必加增。此時若插入第二電流表。將其日耳曼銀絲之絡圈。縱接第一表之絡圈。問針偏是否減至原度。

(3) 若器械利便。可用三電池縱連之。而觀第三電流表絡圈插入時。針偏果否減至原度。由上諸試驗。可知電流不變時。阻力與動電力俱增。試詳言其證明之法。

〔二〕 證明動電力持恆時電流與阻力爲反比例 (1) 導但尼里池之電流。經交換器,高阻電流表,以及1000歐姆之日耳曼銀絲絡圈。四者用縱組法連之。若針偏過 12° 或 14° 之外。則當將羅盤移遠絡圈。使達此度。電流未易向之先。與已易向之後。其針偏度須一一記出。(用交換器可以倒電流之向。法見前。)

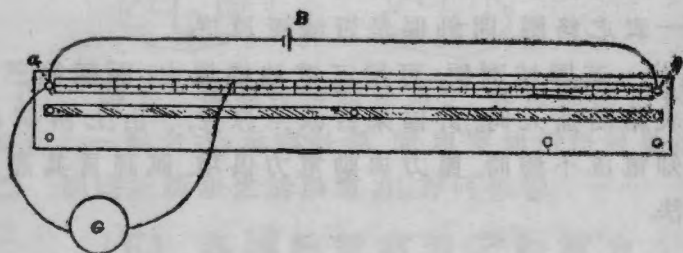
(2) 加入絡圈一及電流表一(其式與第一圈及第一表同)。亦縱連之。雙套絡圈之阻力。自爲單套之二

倍無疑。詳記電流倒向前後之針偏。而察阻力加倍時電流若何改變。

〔三〕 證明某定電流經過輪道時任何二點間之電位差與二點間之阻力為正比例

(1) 取一但尼里電池 B (如二十八試驗中第四節所置)。連於三十號日耳曼銀絲之兩端。絲長一呎。張於枳桿 ac 上面。如五十二圖所示。次將高阻電流表 G 之

(52)



一端。連於接筭 a 處。而將彼端用指緊壓絲上距 a 約 10 呎之處。細察針偏而記之。(若針偏過四五度之外。則移開羅盤以就之。) 針偏之度數。即所以量度 10 呎長絲兩端間之電位差 (即電壓力之差) 者也。

(2) 移動無礙端 (即指壓之端)。使離 a 點為 20 呎, 30 呎, 40 呎等距。而記各距之針偏。二十呎長絲之阻力。顯為 10 呎者之二倍無疑。其餘亦可類推。然則電位差與阻力之間。究有何種關係。

上文試驗。證明輸道之阻力(R)，電流(C)，與電位差($P.D.$)三者。無論若何改變。其間恆有一定之關係。即電流與 $\frac{\text{電位差}}{\text{阻力}}$ 為比例也。若某導絲兩端之電位差為一弗打。而經過此絲之電流為一安培。則此絲之阻力。即可視為阻力之單位。以方程表之。有如下式。

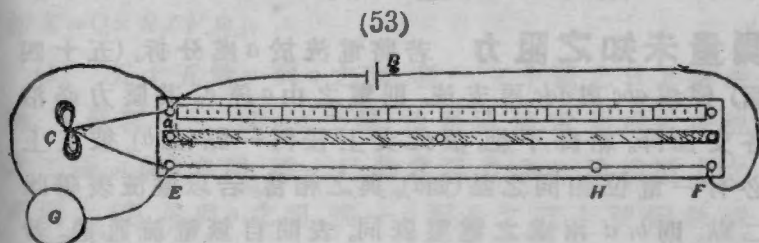
$$\frac{P.D.}{R} = C \quad \text{或} \quad \frac{\text{弗打數}}{\text{歐姆數}} = \text{安培數}$$

此即所謂歐姆之定律也。

實 驗 三 十 三

阻力之比較 Comparison of Resistances

[一] 用電壓降低法比較銅鐵及日耳曼銀各質之阻力 (1) 用三呎長之三十號絕緣銅絲。結成絡圈 C (五十三圖)。以一端連於接筭 E 處。兩接筭處 E 與 H 之間。張一 80 呎長之三十號鐵絲。 H 與 F



之間。張一 20 呎長之三十號日耳曼銀絲。圖中 a 與 F 二點。與乾電池 B 之兩極連接。插入高阻電流表之絡

圈 (G) 於輪道，使磁針之偏度。適足量度銅絲絡圈 (C) 間電壓降紙之數 (即電位差)。慎記於冊。

(2) 將前在 a 處之電流表之一端。移至 E 處。而將彼 (即前在 E 處者) 沿鐵絲向 H 而行。直達某點。使該點與端 E 點間之電位差。等於 aE 二點間之電位差。即以電流表之針偏。與前恰等為度。此時電位差與電流。既不改前量。則阻力亦必與前無異。故按歐姆之電律 ($\frac{P.D.}{R} = C$)。電流表兩端間之鐵絲段。其阻力必與 C 絡圈間三呎銅絲所具之阻力相等。試計算之。而求鐵絲之阻力。較等長同徑之銅絲。大過幾倍。

(3) 將表之無礙端 (即甫經移動者)。接於 F 處。而將彼端 (即在 E 處者) 沿日耳曼銀絲移動。至針偏達前度為止。如前計算。以比較銅絲與日耳曼銀絲之阻力。

(二) 用韋脫司登電橋 Wheatstone's Bridge

測量未知之阻力 若將電流於 a 處分拆。(五十四圖) 使成 abc 與 adc 兩支流。則電之由 a 達 c 。其壓力必沿各支而降。絡釋不絕。故此支上任何一點 (如 b)。彼支上必有一電位相同之點 (如 d)。與之相當。若以電流表聯此二點。則 b, d 兩處之電壓既同。表間自無電流通過。若將觸 d 之端略向右移。電流必依某方向通過 G 表。若向左移。電流必反其向。故祇須將電流表導絲之一端。

沿 adc 支左右移動。至磁針不復偏倚。即得與 b 同電位之 d 點矣。 d 點既得。而四段 ($ad=P$; $dc=Q$; $ab=R$; $bc=X$) 之阻力。不難證明其有以下關係。即

$$P/Q = R/X$$

欲知上式之確否。可用歐姆定律以證明之。其法如下。設以 PD_1 代表 a 與

d 間之電位差。而以 PD_2

代表 d 與 c 間之電位差。

則 $b d$ 二點之電位既同。

a 與 b 間之電位差。亦必

為 PD_1 ; 而 b 與 c 間之電

位差。亦必為 PD_2 。且 ad

與 dc 二段間之電流。既

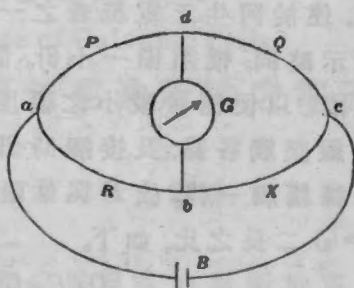
同為 C_1 。則按諸歐姆定

律。 $C_1 = PD_1/P = PD_2/Q$; 即 $PD_1/PD_2 = P/Q$ 也。同例言

之。下半支之二段間。 $PD_1/PD_2 = R/X$; 故 $P/Q = R/X$ 。

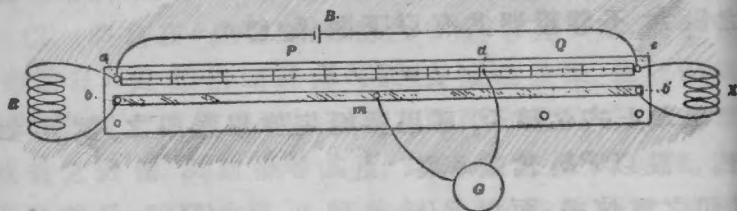
即 $X = Q \times R/P$ 也。

(54)



(1) 五十五圖 a 與 c 之間。張一三十號之日耳曼銀絲。下置枳桿一。其 ac 二端。連於單筒電池或乾電池之二極。 a 與 b 之間。插一已知之阻力(如一歐姆阻力之絡圈之類)。 b' 與 c 之間。插一3 呎長之三十號銅絲絡圈(如(一)所用)。其 b' 與 b 間銅片之阻力。減至極小。可以不計。故全片可視作五十四圖之一 b 點。其接筭 m

(55)



處。連於阿生乏電流表之一極。此試裝置。與四十八圖所示略同。惟須備一小針。置於合宜之處(參觀後五十七圖)。以便測量較小之偏度。次將G表未繫之一端。沿ac線歷觸各點。及接觸時針不生偏。即以此處為d點。全絲粗細一律。故P與Q兩阻力之比。猶 $ad (=l_1)$ 與 $dc (=l_2)$ 二長之比。如下。

$$Q/P = l_2/l_1$$

$$\therefore X/R = l_2/l_1 \text{ 即 } X = R \times l_2/l_1$$

(2) 如前法測50 厘長三十號鐵絲之阻力。由此計算該絲長3 呎時。阻力為若干歐姆。此處所得之值。為鐵銅二阻力之比較。問此值與(一)所得者。相差幾何。

(3) 如前法測25 厘長三十號日耳曼銀絲之阻力。計算此絲長3 呎時。阻力若干歐姆。且與(一)所得之值比較之。而求其差分若干。

由測算之結果。造一三金類之阻力比較表如下。(定銅絲阻力=1)

金類	用電位差法求得之阻力	用電橋法求得之阻力
銅	1	1
鐵	8.1	7.9
日耳曼銀	17.8	18.5

實驗三十四

賈法尼電池之內阻力

Internal Resistance of Galvanic Cells

〔一〕 外阻甚小時賈法尼池所供之電流

前於動電力之試驗(第三十一)中。考得兩片之距離。及片浸部之面積。與高阻絡圈所發之電流。初無關係。今將低阻絡圈如下法試之。

(1) 用單道粗銅絲。接聯但尼里電池兩極於電流表之中二線。而記針之度。

(2) 徐提鋅片出杯。而記其效。前於三十一實驗中。已證明動電力不因二片浸部之面積而有所增減。則此處鋅片之提高。按歐姆定律言之。輪道間有何改變。然則片之大小與距離。對於內阻力究有何種影響。

〔二〕 外阻甚小時連組電池所供之流

(1) 取但尼里電池一具。接於單道絡圈之電流表。移動羅盤。使磁針偏度。約在 6° 與 10° 之間。

(2) 另取一但尼里電池。(所致針偏。須與上文約略相等。) 縱接前池。此時兩電池所致之偏度。比之單電池大小如何。三十一試驗之外阻甚大。此試之外阻甚小。問二者所呈之效果。有何不同。

(3) 橫接二電池而察偏度。三十一試驗中。既證明橫組不能改變電池之動電力。則此時所得之效。當若何解釋之。

(三) 但尼里電池內阻力之量法

(1) 取自造之但尼里電池。連其一端於單道絡圈之電流表。表之第二接筈。連於韋司脫登電橋之定筈。電池之彼端。繫以一呎長之二十四號銅絲。絲端復繫三十六號之日耳曼銀絲。長亦一呎。先將銅絲緊按定柱。移動羅盤。使針偏約在 12° 與 20° 之間。此偏度指輪道間除內阻外無他阻力時。電池所能供給之電流也。次取此三十六號絲之半圈。環繞定筈。移遠銅絲。使輪道間多包三十六號之絲。此時電流適為前流之半。試取插入之日耳曼銀絲而量其長。電流減半時動電力既始終如一。則知電池之全阻力。必已加倍。而銅絲之阻力。又至微且細。可以不論。故知電池之內阻力必等於所插日耳曼銀絲之阻力也。

(2) 同例量度第二電池之內阻力。亦以某定長日耳曼銀絲之阻力計之。

(3) 復用前法。測度二電池縱連時之內阻力。問單

電池之內阻力。與雙電池縱連時之內阻力。有何關係。

(4) 橫連二池。如法測量其合併內阻力。問單電池之內阻力。與雙電池橫連時之內阻力。有何關係。然則外阻甚小時欲得最大之電流。當用何法聯絡電池。又問外阻甚大時當若何聯絡。

上文諸阻力。皆可以歐姆數計之。蓋三十六號日耳曼銀絲之阻力。每呎為26歐姆也。(參觀附錄B)

實 驗 三 十 五

電 解 及 蓄 電 槽

Electrolysis and the Storage Battery

〔一〕 水之電解 取兩銅絲銼光其尖。以一端纏於長釘之頭。(如用白金電極更佳。惟此物不常有。且價昂耳。) 一端連於縱接之二乾電池。浸釘頭於稀硫酸(如二十八試驗所用之液)中。將見二釘之一。先發氣泡。其勢蓬蓬。問此釘所接電池之極。為正(即炭極)歟。抑為負(即鋅極)歟。

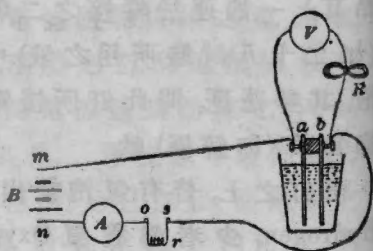
兩釘之上。皆有氣泡發出。惟多少不同。多者為輕氣 Hydrogen。少者為養氣 Oxygen。欲知其由。當設想硫酸($H_2 O_4$)分子入液時。能劈分為三電子 Ions (即正負電感之原子)。其二為輕(H_2)其一為硫養_四(SO_4)_H集此端。發為輕氣。 SO_4 集彼端。復析分而發養氣也。若此說果確。則欲輕氣原子之附集此釘。必得何種電

感而後可。欲 SO_4 電子之附集彼釘。必得何種電感而後可。

〔二〕電鍍法 Electro-plating 移去二釘。易以金類小夾。各夾鉛片*一枚。半浸硫酸銅 ($CuSO_4$) 液之內。此時何片之上。發生氣泡。陽極 Anode (即接於電池正極之片) 歟。抑陰極 Cathode (即按於電池負極之片) 歟。(注◎意◎ 此時所發之泡。實係養氣。) 一分鐘後。移片出液。以布拭乾而記所呈之象。由此斷定硫酸銅中之銅電子。受何電感。互易二片之位置覆試之。而觀其效。

〔三〕蓄電槽 (此時可分生徒為二班。合作之。) 裝置單簡電池一具。如五十六圖之式。 a 與 b 為銅鋅二片連於自造弗打表 Voltmeter 之二端。其表之要素。為電流表 G 。及高阻 (約 1000 歐姆) 絡圈 R 。絡圈之下。置一羅盤而已。圖中之 A 為

(56)



* 原文 Nickel 乃美國之五分幣。以鎳銅雜質鑄成。吾國無此幣。故此處用鉛片代之。譯者註。

附◎註◎ 若欲鉛片復其舊觀。浸諸強硝酸中約一二秒鐘。取出用舊布擦之。

自造之安培表 Ammeter。乃另一電流表及二十五道粗銅絲之絡圈。圈下亦有羅盤。 r 爲 100 歐姆之阻力。(欲得此阻力。可用四十號銅絲一百道。與 A 所用者等粗。) B 爲二乾電池縱接而成之電槽。惟未與上文電池輪道相接。徐移 V 表之羅盤。使針偏達 8° 或 10° 。此偏乃指單簡電池(即銅鋅硫酸所成)之動電力。約爲一弗打 Volt。移去鋅銅二片。易以鉛皮。問弗打表 V 顯何動電力。且解其故。次將 m, n 二端連於乾電池 B 之兩極。羅針略定時。即記 A 與 V 所示之偏度。靜俟二分鐘後。復記之。(A 表之示度。祇須記其尺度之分段。 V 表上則須將弗打數及分段並記之。)

後將金類條按於 o 及 s 二處(或以銅絲接之)。以接短輪道。將見陰極上之輕氣泡。蓬蓬勃勃。陽極上則養氣無多。如是約二分鐘後。移片出液。以察發生養氣之片上。有無淡紅澱質。如無此物。可將輪道復接片時以驗之。此澱質爲何。即過養化鉛 lead peroxide 也。然則陽極上之養氣。何以如是其小。能悟其故歟。

重置二片於液。移去 o, s 二處短道 Shunt (又名近路)。而記 V 表之示度。此時比 m 與 n 初接 B 槽時。約大幾弗打。斷絕 m, n 與 B 之聯絡。而察鉛片之間。發生動電力若干弗打。以 m 直接於 n 。而察安培表有何現象。問所驗之電流。與由電槽經安培表之電流比較之。其方向爲何。蓄電槽放電時。細察 V, A 二表之現象。約閱

二分鐘。上文試驗。證明鉛池中陽極之過氧化鉛。實能發生背動電力 Back *E.M.F.* 試藉此理。解明蓄電槽受電時。何以弗打表針偏增高。安培表針偏降低之故。且求蓄電槽一具所需之電。共若干弗打。

注●意● 如鉛片欲留為後用。須用沙皮擦之。

實 驗 三 十 六

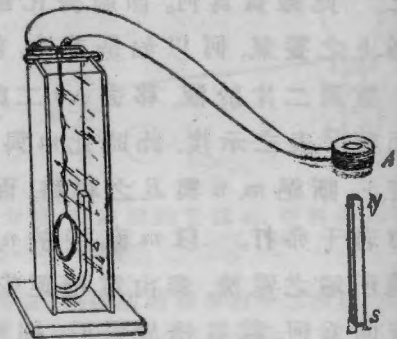
感應電流 Induced Currents

〔一〕 磁石之感應電流 (1) 裝置阿生乏之電流表。如五十七圖所示。圈上插一細絲(或禾稈)以作指針。另取單簡電池一具。先用銅絲數尺。接近其輪道。後將該絲接於電流表而察偏度。(所以如此者。因恐絡圈旋轉過猛也。)針偏對某向(或左或右)時。慎記電流入表之一端(或左或右)。

(注●意● 此法藉針偏之向。以定電由何端導入電流表。法至簡便。後可用之。)

次取六七百道之二十七號銅絲絡圈 *A*。連於電流表。接絲之端。務先銼光。交互纏之。投 *A* 絡圈於

(57)



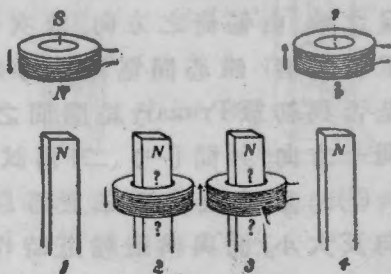
磁棒 N 極之上。而記指針偏倚之方向及略約之大小。
(欲知偏倚之大小，可用紙尺懸於針後以察之。)

(2) 由指針偏倚之方向，可以決定 N 極上絲圈間感應之電流，方向為何。當此感應電流經過之時，絡圈可視作暫時磁石(參觀實驗三十)。問該磁石轉向 N 極之一端，為 N 乎。抑為 S 乎。

(3) 驟將絡圈移離磁棒。如前記出偏倚之方向及大小。且與(1)所得之方向大小比較之。問未離磁棒之圈端，與棒極同號乎。抑異號乎。

(4) 五十八圖示絡圈之四位置。依各箭道而行。絡圈由電流之感應而生兩極。試於習練簿上按圖繪出。且示各極之符號(或 S 或 N)。

(58)

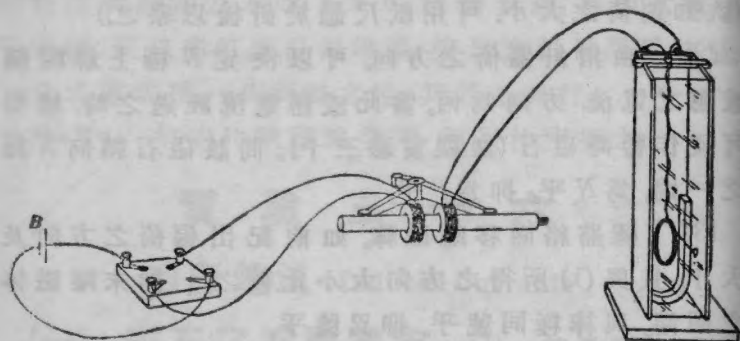


(5) 易磁棒之 S 極。依前諸法歷試之。

而察每次電流及偏倚之方向。問 A 絡圈間感應磁氣之勢。為反對絡圈之進行歟。抑翼助之歟。

〔二〕 電磁石之感應電流 (1) 取前試所用之七百道絡圈。套於鐵棒(如三足架上鐵桿之類)之外。而用交換器連諸 B 電槽(係乾電池或一具或二具)。如

(59)



五十九圖所示。棒上另一絡圈 (在右者)。則連於阿生乏電流表。插入交換器之上部以造輪道。而察指針所呈之效。由偏倚之方向。求次級 Secondary 絡圈 (即連於電流表者) 鐵心間電流之方向。問此間之感應電流。是否與初級 Primary 絡圈間之電流 (即取給於電槽者)。同一方向。并問 (一) (二) 兩試驗之間。有何關係。

(2) 移去交換器之上部以斷輪道。細察偏倚之方向及大小。而與構造輪道時作比較。再將次級絡圈間感應之方向。與初級間電流之方向。兩兩比較之。問次級輪道之電流。自何而來。由電磁石之磁氣發生乎。抑為磁氣改變所致乎。然則感應電流之勢。對於鐵心磁氣之改變。究為抵抗歟。抑為翼助歟。

(3) 將三足架推近鐵棒 (觀五十九圖)。使磁力線經鐵道而回。不於空氣間往返。歷驗輪道構造與破裂二

時之偏倚度。而與前未置三足架時比較之。(所差雖小。然不難見。)

〔三〕 代那模 Dynamo 與電動機 Motor 之原理

(1) 持 A 絡圈於蹄形磁兩極之間(六十圖)。絡圈之平面先與連兩極之線垂直。後驟轉 90° 使圈面與力線平行。細察垂絡圈(在右邊之圈)之偏倚向。

(60)

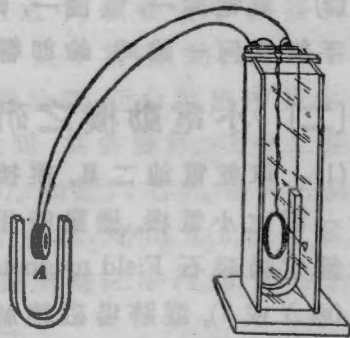
(2) 指針既定。復如前轉圈再經 90° 。察彼圈之偏倚方向而記之。

(3) 如前再轉兩象限(每象限 $\text{Quadrant} = 90^\circ$) 而察之。

(4) 若絡圈照此盤旋。問何處能得順向之電流。

何時得逆向之電流 并問電流易向時。絡圈適轉至何處。

(5) 凡代那模有極強之電磁石。迫圈旋轉而生感應電流。若在電動機。則圈在強磁場中。因感應而生旋轉。此二者之別也。 試將上文所用之器械研究之。指出何部與代那模相符。何部與電動機相符。



實 驗 三 十 七

電鈴與電動機 Electric Bells and Motors

〔一〕 電鈴之研究 (1) 接一電鈴於乾電池。先將槌附着於鈴。後移離少許。而用尋常羅盤分驗電磁石之現狀。蹤跡電流之道。而於習練簿繪一草圖以釋鈴響之理。

(2) 取電鈴一，電池一，鈴鑰 Push-button 二，連接之。使手觸任何一鑰時。鈴即響應。

〔二〕 小電動機之研究

(61)

(1) 取乾電池二具。縱接六十一圖之小電機。機動時用小羅盤定場磁石 Field magnets 之極(或 N 或 S)。蹤跡場磁繞絲之道。而由三十實驗之律。推算何端當為 N 。何端當為 S 。問推算之效果。與實驗所得者是否相符。



(2) 制機使止。蹤跡銜鐵 Armature 絡圈之絲。然後由前定之律。推算旋轉時某某等處磁氣之記號。而以羅針一一核驗之。(磁氣易向之點。尤宜注意。)然則電機之輪轉不息。及必循某向盤旋。其理不難知矣。試詳言之。且筆之於書。

(3) 研究線之盤繞。決定電池兩極互換時。電機能否倒向。筆之於書。而驗所言之確否。

實 驗 三 十 八

音於空氣間之速度 Speed of Sound in Air

(下文甲乙二試。可任擇其一爲之。如十三實驗之例。)

[甲] 分生徒爲二班。相隔恰一杆。(此距用20呎長之繩。量50次而得之。)每班之中。須各備手鎗空彈及立止錶 Stop watch 一具。令一班中某生。將白巾連舉三次以爲號。第三次之末撥機放鎗。而命彼班中某生。用立止錶慎記見光與聞聲之間。共爲幾秒。次令二班易而爲之。以獨除風吹之效力。如是六七次。每次另易一人以記時。其結果之大異於衆者。必由立止錶之試用。未能合法。可置不計。由諸試驗之平均。計算音於某溫度時行於空氣間之速度。

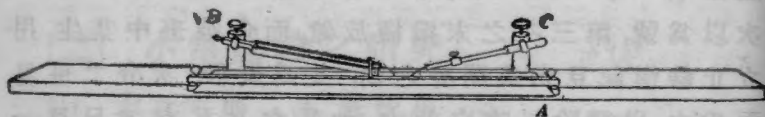
(乙) 若立止錶一時未備。則可懸每秒振動一次之重擺。附以白色之物。(或用白堊將擺塗白亦可。取其顯而易見也。)後置一屏。處於特別地位。故非適當擺幅中點之處。不能見擺所在。令一生立近擺錘。每擺過中點時。將任何發音器重擊一下。其餘諸生。向後漸退。其初擺影與響聲不符。後達一點。擺影與擊聲復合。則卽立定。此時距擺之遠近。卽音速度之值(每秒若干丈或若干杆)也。

實驗三十九

音叉之顫數 Vibration Number of a Fork*

(1) 將六十二圖之玻片 A 置樟腦燄 (或煤氣燄) 之上燻黑** 之。玻片須前後移動。以期塗抹勻淨。且免火燄過熱。致有破裂之虞。置玻片於板。塗面向上。次取留痕筆 Stylus 二支。分置 B, C 二夾。使筆尖適可輕觸玻

(62)



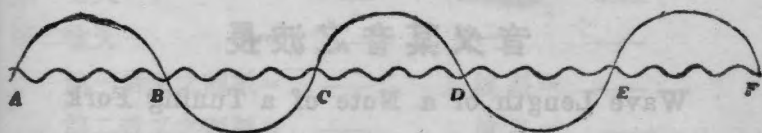
面。尖與尖近。皆在玻片運動直線之內。以木槌輕擊音叉使之顫動。(或用胡琴弓彈之亦可。) 擊後速另取一球擺之。將片自其下抽出。不疾不徐。務期玻片上顯現球之完全擺動二三

(2) 球擺完全一次時。又擺幾次(即 CD 之間)。試細數之。後數 BD 間, CE 間, 與 DF 間之各顫數。其不滿全顫者皆以十分之幾略估之。取其平均。定為球擺一

* 若有玻片十五枚。顫律器械一具。即足敷全班三十人之用。作是試時。教者自任摹跡。而令學者任量度之事。

** 或用鉛粉和酒精調成白漿。塗於玻片之上亦可。用此法不減明顯。然較燈煤清潔多矣。

(63)



次時，叉之擺數。

(3) 用前法復跡兩痕。取三數之平均。定為球擺一次時，音叉擺動之準數。

(4) 取尋常之錶。計算球之擺率(即每秒鐘擺幾次)。

(5) 由是計算音叉之擺率(即一秒間完全擺動幾次)。列表如下。

	第一痕	第二痕	第三痕	球之顫數
A 與 C 間之顫數 =	—	—	—	—
B 與 D 間之顫數 =	—	—	—	—
C 與 E 間之顫數 =	—	—	—	—
D 與 F 間之顫數 =	—	—	—	—
平均 =	—	—	—	—
末次平均 =	—	—	—	—
球之顫率每秒 =	—	—	—	— 次
叉之顫率每秒 =	—	—	—	— 次

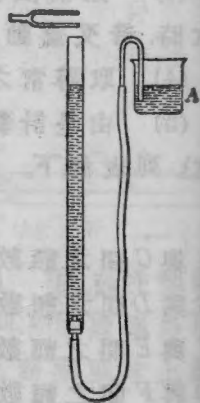
實 驗 四 十

音 叉 某 音 之 波 長

Wave Length of a Note of a Tuning Fork

(1) 令一生於木塊上擊顫 C' 調音叉 (即每秒顫動 512 次者)。速移近六十二圖之管 (如十一圖所用)。叉臂之平面。須適在管端之上。叉響時另命一生。將 A 器上下移動。以增減管之長度。慎察最高共鳴 Maximum resonance (即音最響時) 之最短管長。以橡皮圈記出其處。分數次覆驗之。

(64)



(2) 漸增管中空氣柱之長。而得第二最高共鳴之位置。如前記之。夫最高共鳴兩位置間之距。既知適為半波長。則此處兩皮圈間之距。以 2 乘之。當為該音叉所發音之波長無疑。試以此長與計算之波長比較之。計算之法。取音叉上標出之顫數。除室溫度時音之速度。即得波長。(按溫度當 $0^{\circ}C$ 時音於空氣間之速度 = 332 呎。其後每增一度。速加 60 呎。)

(3) 另取一叉。其所發之音。較前叉低一樂階 (八音為一階 Octave)。依前法試之。列表如下。

第一共鳴長度 第二共鳴長度 長度相差之二倍(=λ)

第一音叉 = — — —
 第二音叉 = — — —
 第一音叉之顫數 = —; ∴ 波長 = —
 第二音叉之顫數 = —; ∴ 波長 = —

表中λ之值若何求法。筆之於書。上列之法。有時可用以計算音之速度。試詳論之。夫音調不論高低。速度皆等。然則由上文之試驗。能知相隔一階之二音。其顫數有何關係乎。

實 驗 四 十 一

顫絃之定律 Laws of Vibrating Strings

[一] 張絃顫率之關於長度 (1) 六十一圖 A 板上面。張一 00 號之風琴鋼絃。插橋(或名馬)於 b 處。而用滑車 p 懸一水桶。桶之容量須至少六夸(按一夸 quart = 一加倫 gallon 四分之一, 約合我國一升。)注水

(65)

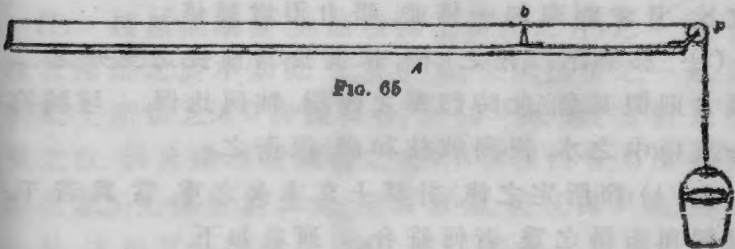


FIG. 65

入桶，使摘絃中部時，所發之音與最低之音又（如 C 音又）相和。慎量定端與 b 間之絃長而記之。

(2) 移橋左右，直至所發之音，與高過一階之樂（此處為 C' 調）相和。量度絃長而記之。

(3) 依前法（即移 b 位置）另用一又（如中 C 以上 G 調）和諧絃音。而記絃長。

(4) 由度量之長度，與標出之顫數，求張力不變時絃顫率與其長度相關之定律，筆之於書。

〔二〕 張絃顫率之關於張力

(1) 按六十五圖之式另裝一板，與前板並置一處。 b 橋之位置亦同（設離左端 60 釐）。懸等重物（如同量之水）於滑車之下，使二者之張力相等。所發之音，須低而清，顯為樂音某調。如二音間仍聞升沈 Beats，則必增減桶中之水，令其恰和。然後取一絃所懸之水與桶合衡之，而求其張力為若干重。次將彼絃 b 橋，移至前長之半，以發高過一階之音。此絃則長度不改，惟增水重，使與彼絃和諧。分衡水與桶之合重，而定二重之比。且求顫率加一倍時，張力須增幾倍。

(2) 移動第二絃之 b 橋，使其長為前長之三分之二。張力則似其舊。此時顫率之改變，按何比例。增減第一絃桶中之水，使與彼絃和諧。復衡之。

由 (1) 節所定之律，計算上文末次之重，當為若干，以觀與衡得之重，若何符合。列表如下。

- (一) C 絃之長 = — 厘
 C' 絃之長 = — 厘
 G 絃之長 = — 厘
 C' 絃由計算而得之長 = — 厘
 G 絃由計算而得之長 = — 厘
- (二) 第一張絃之重 = — 克
 第二張絃之重 = — 克
 以第一重除第二重 = — 克
 第三張力之重 (計算所得) = — 克
 第三張力之重 (實驗所得) = — 克

由 (一) 與 (二) 所得之定律 以冊詳載之。

實 驗 四 十 二

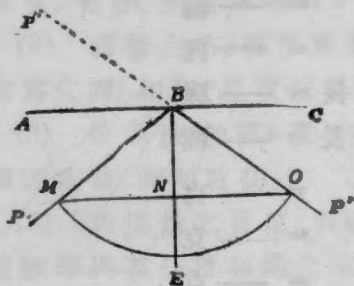
光由平面鏡反射之定律

Laws of Reflection from Plane Mirrors

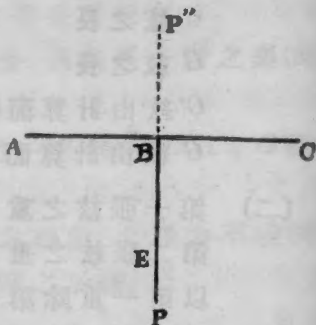
〔一〕 證明入射角等於反射角之理

(1) 燻黑玻璃條 (如顯微鏡上所用之片) 之一面。用橡皮圈繫之於小木塊。豎立於紙。使未燻黑之一面。適與紙上所繪之 AC 直線符合。如 66A 圖。(後面所以塗黑之故。因此處專驗前面之光。不欲後面有光反射以礙之也。) 先插針於 B 處。附着玻面。後任擇 P 點。亦插一針。其第三針所處之 P' 點。則在照見 P 像之 $P''B$ 直

(66 A)



(66 B)



線內。移去玻片。用半圓規 Protractor 或雙足規 Dividers 於 B 處繪出 BE 線與 AC 垂直。以線接連 BP 及 $P'B$ 。即用半圓規慎量入射角 (PBE) Angle of incidence 及反射角 ($P'BE$) Angle of reflection。若無半圓規。則可取 B 為中心點。繪一圓弧。截 PB , $P'B$ 二線於 M 及 O 二點。而量 MN 及 ON 之長。

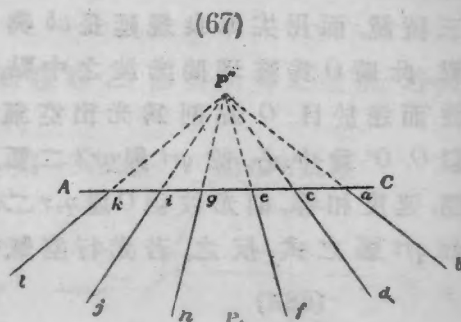
(2) P 針另擇他點。如前驗之。

(3) 末後位置 P 針於某點。使與其像 P'' 及 B 點同一直線。以線連 B, P 二點。亦於 B 處繪 EB 線與 AC 垂直。若入射角等於反射角。則 PB 與 BE 二線。當符合而為一線 (66 B. 圖)。

(二) 位置平面鏡所成之像 (1) 將針插於 P 點。如六十七圖。繪 AC 線。以平面鏡邊合之。後用直尺繪 ab, cd, ef 等線。使 P'' 像自 b, d , 等點視之。皆顯在

各線(延長)之內
移去平鏡。沿長各
線。其交點 P'' 即像
之位置也。

(2) 量由 P 至 AC
及由 P'' 至 AC 之各
垂直距。及 PP'' 線
於 AC 線上所成之
角度。



末將(一)與(二)所得之效果。整齊列表。載諸冊中。

實驗四十三

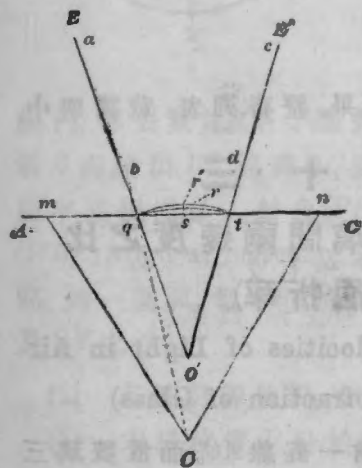
求光行空氣間及玻璃間兩速度之比 (即玻璃之屈折率)

To find the Ratio of the Velocities of Light in Air
and Glass (Index of Refraction of Glass)

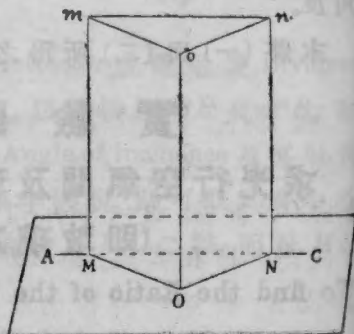
取大紙按六十八圖之式。繪一直線 AC 。而置玻璃三稜鏡 mnO 於其上。其一邊須與線吻合。後將界尺按紙。使目由 E 點沿 mnO 平面斜視時。 O 角顯在界尺直線之內。即畫一細線 ab 以表之。(注意。三稜鏡直立於紙。 mn 邊在上。 O 角在下。如六十八圖之 B 式。)移目至 E' 處。如前繪 cd 線。(注意。之在 mn 中垂線之右。與 E 點之在其左。須約相等。)用細針眼記出 O 之實際位置。移去

三稜鏡。而用尖筆良規延長 ab 與 cd 二線。使相交於 O' 點。此時 O 為玻璃間光波之中點， O 尖之光，即藉此光波而達於目。 O 點則為光出空氣時該波之中點也。試以 O, O' 為中心。繪 qrt 與 $qr't$ 二弧。若光行空氣與玻璃間，速度相等。則光波由 O 達 q, r 二點時。其形狀位置，當如 qrt 弧之式，反之。若光行空氣間，較於玻璃間為速。

(68A)



(68B)



則該波之實際位置，當為 $qr't$ 弧。其 sr'/sr 即兩速度之比。且亦為 qrt 與 $qr't$ 二曲度之比。即二曲線偏離 qst 直線多少之比也。任何一點。凡弧之曲度加倍者。其中心點必近一半。即二弧之曲度。與其半徑為反比例。故 sr'/sr 之比。實與 $Oq/O'q$ 之比相等。試將二半徑之長用稜桿慎量之。而記為光行空氣間與玻璃間速度之比。是之謂

玻璃之屈折率。

另擇 E 與 E' 之位置覆驗之。而對所得之效果。若何符合。列表記之如下。

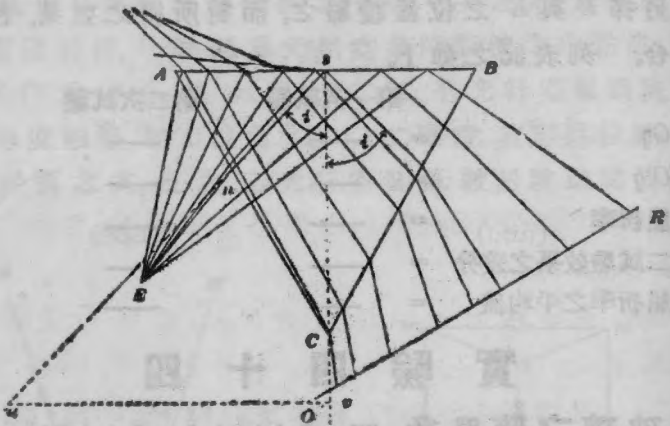
	第一次試驗	第二次試驗
Oq	= —	—
$O'q$	= —	—
屈折率	= —	—
二試驗效果之差分	= —	—
屈折率之平均值	= —	—

實 驗 四 十 四

玻璃之臨界角 The Critical Angle of Glass

取三面磨光之玻璃三稜鏡。安放紙上。移近窺見天光之 OR 窗前。如六十九圖。(或用毛玻璃。置白光之前以代窗。) 目在 E 處。藉 AB 反射之光。以窺白天(或毛玻)之豫。將見有青藍之線。分 AB 為二部。光亮截然不同。右邊較左邊為明。(若一時不能見。則可向左右以覓之。) AB 上 s 處。有一墨點。移目左右。至分界線之青邊與此點恰符為止。按圖所示。光之由 AB 反射而達目者。其源離 A 之右愈遠。則所成之入射角亦愈大。當入射角大於(或等於)臨界角時(如圖中 s 與 B 之間)。入射於 AB 之光線。完全反射。反之。若入射角小於臨界角(如圖中 A 與 s 之間)。則光半反射而半傳遞 其青藍之線。平分全場為光亮不等之二部者。乃 AB 上全反射之

(69)



起點。即 i 角等於臨界角時也。欲量此角之大小。可將界尺按定。使其邊與 s 點及分界線之青邊三者。同一直線。即於紙上標出之。次將筆尖繪三稜鏡之周界。而以細針刺一小點於 s 處。移去三稜鏡。延長所繪之線。使與 AC 相交於 n 點。以線連接 s n 二點。 s 處立垂直線。而用半圓規量度 i 之角度。此即玻璃之臨界角也。延長 sn 及 s 處之垂直線。使其長約在 6 吋與一呎之間。繪 w 線與 AB 平行。此處 us/wv 之比。當與前試屈折率之值相等。其理過深。非初學所易領會。學者用此以作核驗之助足矣。

實 驗 四 十 五

凹面鏡之焦點長度

Focal Length of a Concave Mirror

(一) 支起凹面鏡。直對日光。令照一日影於鏡前之紙條。光點最小最明時。由鏡心量至該點。定為焦點之長度。命之曰 f 。

(二) 依前法射一遠屋之像於紙。以核驗焦點之長度。

(三) 置燭燄 (或電光) 於離鏡 25 糎 (或 20 糎) 處。照其像於屏。而用下式計算焦點之長度：—

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{f}$$

公式中 u 與 v 為物與像離鏡心之各距也。

(四) 木塊上插一針。針頭準對鏡心。移針離鏡。至相距約二倍焦點長度之處。此時若目在鏡前某處。較針距鏡遠 8 糎 (或 10 糎)。則物與像皆在目中。惟物豎而像倒。如後七十一圖所示之式。移易針 (或鏡) 之位置。使所見針尖與針尖之像。同一直線。然後移目左右視之。以觀針之與像。有無相關之運動。有之。則必因二者距眼遠近不同。距眼遠者 (此處為像)。眼左亦左。眼右亦右。 (如或不信。可將鉛筆二支置目前。同一直線。一遠一近。後將目左右移動以驗之) 較準針尖之

位置。使無此種運動。此時像之所在。即針之所在。故針之位置。必為鏡曲度之中心 Center of curvature of mirror。試由鏡量至針尖。此即鏡曲度之半徑 Radius of curvature of mirror 也。此長與鏡之焦點長度。有一定之關係。試求而得之。列表如下。

焦點長度 (由第一法) = ——

焦點長度 (由第二法) = ——

焦點長度 (由第三法) = ——

鏡之半徑之半 = ——

實 驗 四 十 六

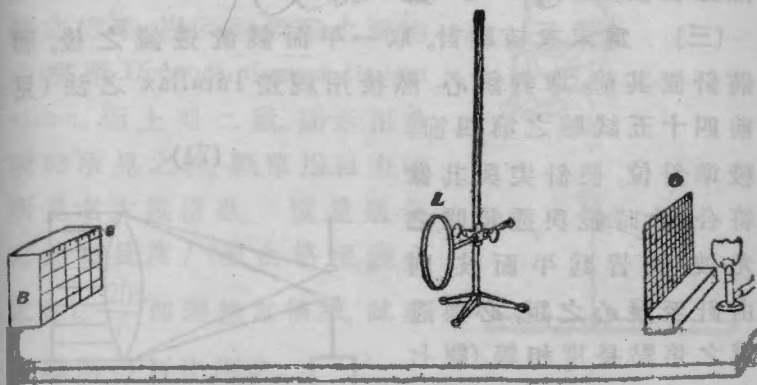
凸透鏡成像之定律

Laws of Image Formation of Convex Lenses

(一) 按七十一圖之式。裝置鐵絲網 O ，閱書鏡* (焦點長度約十五厘米) L ，及木塊 B (塊上有紙尺度 s)。 O 後置火燄。使光耀甚亮。較準 B 與 L 之位置。以 s 上照得絲網嚴切之像為度。慎量 u 與 v 之長。 (u 為 O 與 L 之距。 v 為 s 與 L 之距。) 次察十格 (或二十格) 絲網之像。蓋罩 s 尺若干耗。另用一尺。量度絲網十格 (或二十格)，共估若干耗。由二次之測量。可得 L (即物之長) 與 L' (即像之長) 之值。

* 按閱書鏡即尋常顯微鏡，用以閱書者。西名 Reading Glass。

(70)



後將 u 長改變三四次 (如 30, 40, 50, 60 厘米等長) 重驗之。而由 $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ 公式。計算透鏡之焦點長度 f 。

計算 L/L' 與 u/v 兩比。列表於下。

u	v	$\frac{1}{u} + \frac{1}{v}$	f	L	L'	$\frac{L}{L'}$	$\frac{u}{v}$

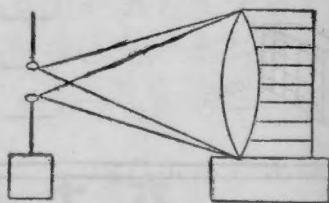
問由上文末二項之值。可以斷定何例。

(二) 移去 O 網。而射遠屋之像於 s 。直接測量鏡之焦點長度。

(三) 爲末次核驗計。取一平面鏡置透鏡之後。而將針置其前。準對鏡心。然後用視差 Parallax 之法 (見前四十五試驗之第四節)。

較準針位。使針尖與其像符合。此時鏡與透鏡間之光波。既皆爲平面波。則由針至鏡心之距。必與透鏡之焦點長度相等。(觀七十一圖自明。)

(71)



試將 (二) 與 (三) 所得之效果。與 (一) 表中第四項 (f) 之值比較之。

實 驗 四 十 七

單簡透鏡之倍率

Magnifying Power of a Simple Lens

七十二圖所示。爲尋常鏡。乃一單簡透鏡。適在透鏡之焦點處。下有銅架及方格眼*。按圖將柶桿一。平置桌上。另豎一柶桿以較準左目之位置。使距平尺恰二十五釐。次將透鏡移上。切近左目。然後二目並用。以察右目所見方格之闊。抵左目所見尺度若干耗。後將

* 普通名驗布鏡 Linen tester.

力格之實際闊(亦以耗數計),除上文所得之耗數,即得單簡透鏡之倍率。因 25 厘爲眼之視物最明距 Distance of most distinct vision。而上列二數,顯示用透鏡時所見之物,較單用目力時所見者大幾倍也。慎量透鏡之焦點長度 f (即由格至鏡心之距)。 $\frac{25}{f}$ 即理想之倍率。試與實驗所得者比較之。

(72)



實 驗 四 十 八

天文遠鏡 The Astronomical Telescope

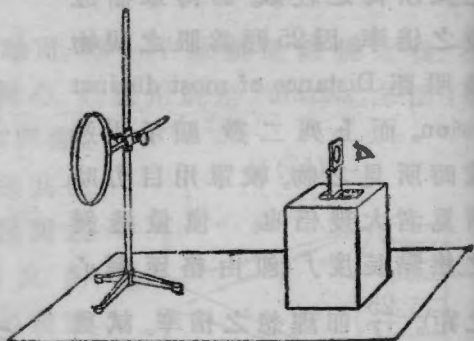
〔一〕 製遠鏡法 若用前試所備之單簡放大鏡以作接目鏡 Eye-piece。及四十六試驗中之閱書鏡以作對物鏡 Objective。可以構造一天文遠鏡如下。支閱書鏡於架。如七十三圖所示。試以白紙板。以求遠處某屋照得清像之處。乃將驗布鏡(上試所用者)置紙板之後。相距恰爲鏡之焦點長度。移去紙板。而由接目鏡窺察遠境。若該處物象(如牆壁之類)。未能清顯。則可略移接目鏡之架以就之。所求既得。乃量兩鏡間之距。而與兩鏡焦點長度之和比較之。其中有無關係。

若何理由。試一一詳解之。

(73)

〔二〕 遠鏡 倍率之量法

於黑板上繪二橫線。相距約三吋與六吋之間。而用一目由遠鏡窺之。及見



二線清顯。即閉彼目而令一生於黑板上繪二線。其位置及大小。須與遠鏡所見適符。(雙目兩用時。初覺困難。略加習練。即覺甚易。)如是數次。每次計算倍率。而與遠鏡之理想倍率比較之。(理想倍率。即對物接目二鏡焦點長度之比也。見前二試。)

實 驗 四 十 九

複顯微鏡 The Compound Microscope

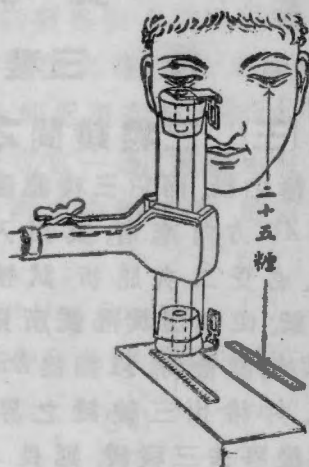
〔一〕 製顯微鏡之法 取錫筒(或紙筒)一。二端各插軟木塞。塞各有孔。孔徑約一釐。孔上各裝透鏡(即驗布鏡上所用者)一。以橡皮圈繫之。次將筒用架支起。與桌垂直。鏡下有刻積度之木塊。移鏡上下。

直至刻度之像清顯爲止。此時管頂之距桌面。約二十五糎有餘。

(74)

〔二〕 顯微鏡倍率之

量法 平置稜桿於桌。如七十四圖所示。提高其一端。使距左目恰二十五糎。於是雙目並用。(其左單用目力。其右則對顯微鏡。)同時注視二尺度。測定右目所見之一耗。蓋罩左目所見者若干



耗。即求顯微鏡之放大倍數也。若以 l_1 表由對物鏡至接目鏡焦點面之距。(即由二鏡心之距。減對物鏡之焦點長度 f) 而以 l_2 表對物鏡至實物之距。則 l_1/l_2 即指對物鏡所成之像。比實物大幾倍也。而接目鏡之倍率爲 $25/f$ 。故複顯微鏡之總共倍率爲 $25/f \times l_1/l_2$ 。試量 l_1 與 l_2 二長。而將實驗之值。與計算之值。兩兩比較。整齊列表以記載之。

實驗 五十

三稜鏡 Prisms

[三] 三稜鏡間之光線路 繪一 AC 線於習練簿之紙。而以三稜鏡置其旁。如七十五圖所示。光之由 AC 方向來者。其出入鏡間。必受二次屈折。試按尺於紙。使其邊與隔鏡所見之 AC 位置恰符。以細線 DE 記之。并繪出三稜鏡之界線。末後移去三稜鏡。延長 AB , DE 二線。使與鏡之界線相交於 f, g 二點。 $AfgE$ 即光線出入三稜鏡時所經之路也。

(75)



[二] 光之分散 Dispersion of Light

(1) 光路之大致既得〔一〕。乃將三稜鏡直對日光。使射光於地板上蔭處。日光與鏡之間。置一紙板。上有窄孔。寬約二三耗。將見地板上之日光。析為多色。試依次名之。而察光線經三稜鏡時。何色屈折最大。何色屈折最小。再於紙板上鑿二孔。寬各 2 耗。相隔亦 2 耗。先閉一孔以察光帶 Spectrum。後將二孔並開。而觀兩光帶疊接處之色。有無改變。光帶各色之能重合為白。此試足以證之乎。試不用孔。單持三稜鏡於日

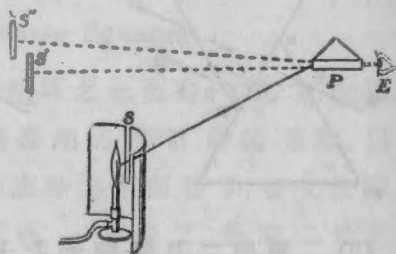
光中驗之。此時惟疊接處之邊有色。中央無之。何也。

(2) 持三稜鏡切近目前。以窺黑板上之白紙窄條(約二耗寬)。(若用電燈絲或煤氣燄之邊。其效更顯。)此時紅光在三稜鏡之底邊。藍光則近頂尖。是爲何故。試以寬紙易窄條由鏡窺之。則見現紅一邊。裏面由紅而黃。現藍一邊。由藍而綠。此時紙之中部無色。惟兩邊則有之。且色皆不同。試言其故。

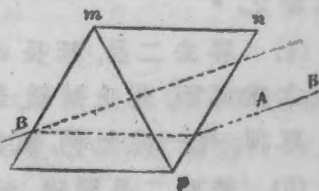
(三) 輝線光帶 Bright-line Spectra

取本生燄裝置如七十六圖。令一生持鉑絲(或石棉塊)三。一蘸食鹽(綠化鈉)液,一蘸綠化鋰液,一蘸綠化鈣液。次第入燄。鉑絲藏於S孔之下。故目不能見。各質蒸氣白熱時。令他生於距10吋處由三稜鏡窺之。(如圖所示。)而記各光帶之現狀。

(76)



(77)



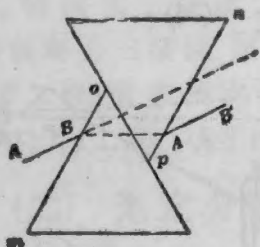
(四) 光線經平行面玻片時之路

取三稜鏡二。(簡言之曰二晶。後仿此。)合成七。

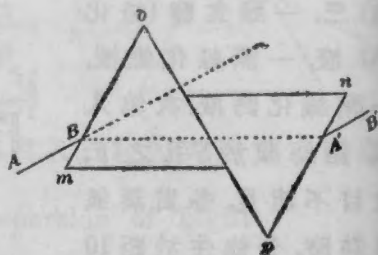
十七圖之單玻。其 om, pn 二邊。互相平行。繪一粗線 AB 。而以界尺之邊與 AB 之像符合。用 $A'B'$ 線記之。以表光線方向。由所得之效果。能決定光經平行面玻片時。其方向究何若乎。

(2) 持定一晶而將彼晶扭轉。直至 mo 與 pn 間之厚。恰為前厚之半。(即此晶之尖。瀉至彼晶面之中央。如七十八圖之式。) 此時 om 面與前位置平行。即將 AB 隔鏡延長之。如 $A'B'$ 線。

(78)



(79)



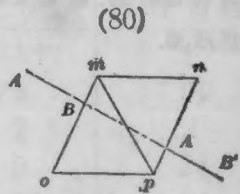
(3) 再將二晶扭轉如七十九圖之式。 om 仍與原位置平行。此時光線所經之厚。為 (2) 之三倍。即按前法試驗之。

(4) 移去二晶。延長 AB 線。而量 AB 與 $A'B'$ 間三位置之垂直距。以上試驗。證明光線之橫面移動。與玻片厚薄。有一定比例。試詳言之。

(5) 若將二晶緊附。而令 AB 線與 om 面垂直。則 $A'B'$

處無 AB 之蹤跡可尋。然苟有水一點。在 mp 接觸面之間。則 $A'B'$ 處立顯 AB 。試言其故。

若 AB 確與 om 垂直。則三稜鏡移去時。將見 AB 延長之線。與 $A'B'$ 同一直線。無所謂橫面移動 Lateral displacement 也。試言其故。



實 驗 五 十 一

量光法 Photometry

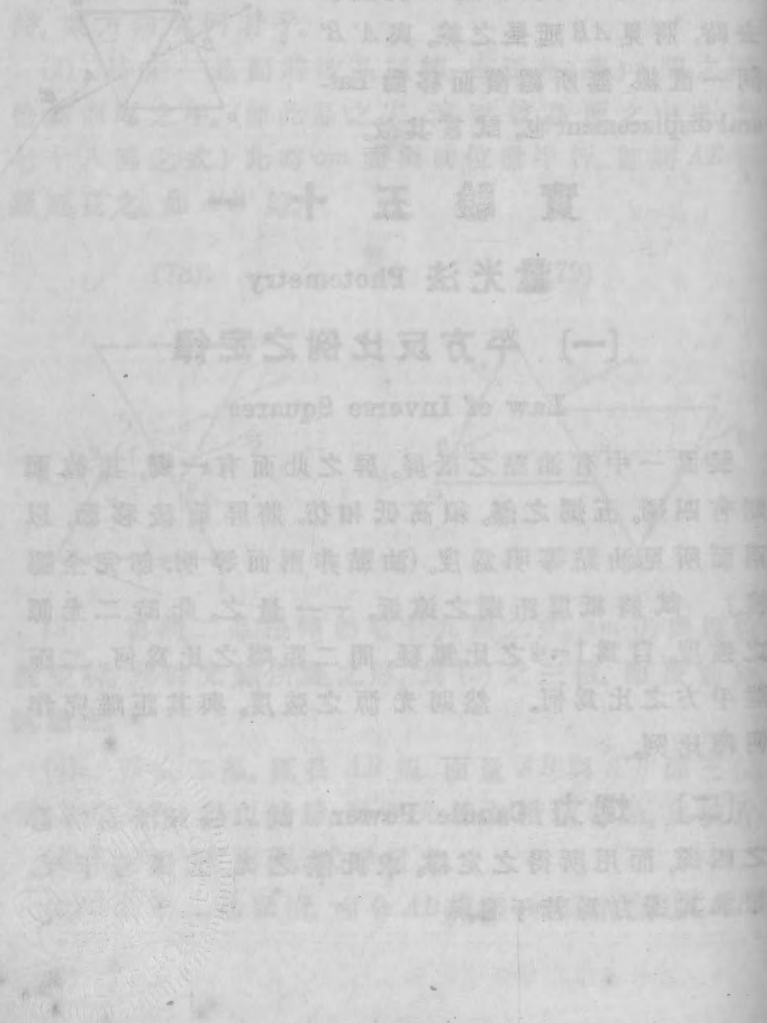
[一] 平方反比例之定律

Law of Inverse Squares

裝置一中有油點之紙屏。屏之此面有一燭。其彼面則有四燭。五燭之燄。須高低相仿。將屏前後移動。以兩面所見油點等明為度。(油點非兩面等明。即完全隱沒。) 試將紙屏距燭之遠近。一一量之。此時二光源之強度。自為 $1=4$ 之比無疑。問二距離之比為何。二距離平方之比為何。然則光源之強度。與其距離究作何種比例。

[二] 燭力 Candle Power 試以煤氣燄易前節之四燭。而用所得之定律。求此燄之光。抵燭若干支。即求其燭力為若干也。

*本試驗專為學校之備有暗室者設。然苟生徒過多。即有暗室。亦難同時合作。教者如以此試不便於試驗室。則可移作教室之課。以期溥徧。



附 錄 一

物理學課程分配表

1

章	標 目*	實驗之次序	教授週數
1	度量	1, 2 (上半)	1
2	力與運動	2-5	2½
3	液體間之壓力	6, 7	2
4	空氣間之壓力	8, 9	2½
5	分子運動	10-12	2½
6	分子力	13, 14	1½
7	量熱與熱漲	15	1½
8	工作及工力	16-18	2
9	工作及熱力	19-21	2½
10	狀態變化	22, 23	1½
11	熱之傳播	24	1
12	磁氣	25	1
13	靜電氣	26, 27, 28 (上半)	2½
14	動電氣	28-31	2½
15	{電流之化學, 磁氣, 以 及生熱諸效果, }	32, 33	1½
16	感應電流	34-37	2½
17	音之性質及其傳遞	33-40	2
18	樂音之性	51, 42	2
19	光性及光之傳布	43-45	2
20	成像	46-48	2
21	色之現象	48-49	1½
22	無形輻射	50	1
	溫 習	(51)	1
總計			42週

*此指物理學原書各課之標目。

附 錄 二

銅絲及日耳曼銀絲之阻力

(以勃沙二氏之尺度 Brown & Sharp Gauge 爲準)

號數	直徑 (以 $\frac{1}{1000}$ 吋爲單位)	一千呎絲之阻力 (以一歐姆爲單位)	
		純 銅	18% 日耳曼銀
15	57.07	3.314	59.652
16	50.82	4.179	75.222
17	45.26	5.269	94.842
18	40.30	6.645	119.610
19	35.89	8.617	155.106
20	31.96	10.566	190.188
21	28.46	13.323	239.814
22	25.35	16.799	302.382
23	22.57	21.185	381.330
24	20.10	26.713	480.834
25	17.90	33.684	606.312
26	15.94	42.477	764.586
27	14.20	53.563	964.134
28	12.64	67.542	1215.756
29	11.26	85.170	1533.060
30	10.03	107.391	1933.038
31	8.93	135.402	2437.236
32	7.95	170.765	3073.770
33	7.08	215.312	3875.616
34	6.30	271.583	4888.494
35	5.61	342.443	6163.974
36	5.00	431.712	7770.816
37	4.45	544.287	9797.166
38	3.97	686.511	12357.198
39	3.53	865.046	15576.828
40	3.14	1091.865	19653.570

附 錄 三

應用儀器名目表* (甲組)

- 1 meter stick, 尺桿一
- 1 brass disc, 8 cm. diameter, 圓銅片一 (8 釐徑)
- 1 hollow cylinder with glass cover, 圓筒一
(銅製, 容量約 150cc) 連玻璃蓋
- 1 laboratory balance with leveling screws and counterpoise, 物理天平連法碼一組
- 1 set iron weights, slotted with holder, 1-500, 5-100, 1-50, 2-20, 1-10 gram, 鐵製法碼全組
(五鎰一枚, 一鎰五枚, 五釐一枚, 二釐二枚, 一釐一枚)
- 1 vernier caliper, 游尺測圓規一
- 2 micrometer calipers, one with ratchet stop and one without, 螺旋測圓規二 (一有簧閘, 一無簧閘)
- 8 steel spheres, $\frac{3}{4}$ inch diameter, 小鋼球八
- 2 blocks, 4"×4"×2" (substitute for caliper method), 木塊二 (4 吋×4 吋×2 吋)
- 1 boxwood rule, metric, 木尺一
- 3 spring balances, 2000 grams, 簧秤三 (可衡至 2000 克重)
- 1 board for mounting balances, 58 cm.×84 cm., 簧秤板一 (58 釐×84 釐)
- 1 iron weight, 2 kilo, 鐵製法碼一 (2 斤重)
- 1 glass tube 110 cm.×4 cm., ends annealed, with rubber stopper, 玻璃管一 (長 110 釐, 徑 4 釐, 兩端燒鈍, 連橡皮塞一)

*價目未定, 後當續刊

- 1 glass manometer tube, 驗壓力管一
- 1 jar with two manometers inlet tube, pinchcock
大玻璃瓶一(連壓力表二, 簧夾一, 細玻璃管一)
- 1 bottle, with glass stopper, 8 oz, 八呎玻璃瓶一
(連玻璃塞)
- 1 aluminum cylinder with hook, 鋁筒一(連鈎)
- 1 beaker glass, No. 550 cc. 燒杯一(容量550 cc)
- 1 constant weight hydrometer tube, 恆重浮秤一
- 1 constant volume hydrometer tube, 恆積浮秤一
- 1 constant weight hydrometer, commercial form,
for light liquids, 商業恆積浮秤一
- 1 lb. lead shot, 鉛丸一磅
- 1 battery jar, 玻璃缸一(大式)
- 1 sinker, 鉛墜一
- 1 wooden block, 木塊一
- 1 Boyle's law tube, 110 cm. long, 1 mm. bore,
unfilled, 波爾定律管一(110 厘米長, 1 毫米徑,
無水銀)
- 1 set of supports, (tripod, rod, clamp, burette
holder), 三尺架, 鐵棒, 夾, 滴管架全組
- 1 dew point apparatus, 驗露點器一
- 1 thermometer, 110°C 寒暑表一
- 3 bottles, 125 cc 玻璃瓶三(容量125 cc)
- 3 evaporating dishes, 2½" diam., 蒸發杯三(2½"
徑)
- 1 mirror scale, with support, 尺鏡一(連架)
- 1 spring, for Hook's law and weight holder,
彈簧一(佛克氏定律用)
- 1 steel rod, 鐵棒一
- 2 wooden support blocks, 木塊二

- 1 pressure coefficient apparatus, 壓力係數試驗器一
- 1 volume coefficient tube, unfilled. 體積係數試驗器一(無水銀)
- 3 steam generators, 發汽器三
- 1 brass tube and pointer, 銅管及指針各一
- 1 demonstration balance, consisting of knife edge, clamp, and support, 天平說明器一組
- 1 inclined plane with pulley, 斜面(連滑車)
- 1 pulley only, 滑車
- 1 carriage, 車一
- 1 clamp, 夾一
- 1 iron ball, $\frac{3}{4}$ inch, 鐵球一($\frac{3}{4}$ 吋)
- 1 lead ball, $\frac{3}{4}$ inch, 鉛球一($\frac{3}{4}$ 吋)
- 1 calorimeter, double, with fibre ring, 量熱器一套
- 1 Bunsen burner, 本生燈一
- 100 grams aluminum pellets, 鋁丸 100 克
- 1 glass stirring rod, 8 inch \times $\frac{1}{4}$ inch, 玻棒一(8吋 \times 4吋, 攪液用)
- 1 tube for mechanical equivalent of heat, 熱之工作當量試驗管一
- 1 stirrer, 攪棒一
- 1 glass U tube, U形玻管一
- 1 manometer tube, 壓力管一
- 1 glass funnel, 4 inch, 玻璃漏斗一(四吋徑)
- 1 pinch-cock, 簧夾一
- 1 board for magnet, large size, 大木板一(用於磁鐵)
- 1 bar magnet, special, 磁棒一(特製)

- 1 package blue print paper, 5×7 inches, per package of 24 sheets, 藍紙一包 (5×7吋, 每包二十四張)
- 1 lb. iron filings, per package, 鐵屑一磅
- 1 sifter, 篩一
- 1 horseshoe magnet with armature, 蹄形磁一
- 1 compass, high grade, 羅經一 (精製)
- 1 doz. knitting needles, 大縫針十二
- 20 darning needles, 細縫針二十
- 1 stirrup, 鐙形架一
- 1 electroscope, simple, 單筒驗電器一
- 1 pair condenser plates, mounted, 凝電片二 (有架)
- 1 glass friction rod, 玻棒一 (摩擦電用)
- 1 wax rod, 火漆棍一
- 1 silk pad, 絹布一方
- 1 flannel pad, 絨布一方
- 1 glass plate, 6×6 inches, 玻片一 (6吋×6吋)
- 1 galvanometer frame, with three windings, 電流表架一 (三道絲圈)
- 1 simple voltaic cell, 單筒弗打電池一具
- 1 small porous cup, 小罈杯一
- 1 commutator, 電流交換器一
- 1 exploring compass, 1 inch, 小羅經一 (一吋徑)
- 1 D'Arsonval galvanometer, 阿生乏電流表
- 1 soft iron horseshoe core, 蹄形軟鐵心
- 1 resistance coil, 1000 ohms, 阻力圈一 (1000 歐姆)
- 1 each of zinc, copper, lead, iron and aluminum elements, 鋅, 銅, 鉛, 鐵, 鋁, 炭各一片
- 1 carbon element, 炭片一

- 1 Wheatstone's bridge with potentiometer attachment, 韋脫司登電橋一
- 2 dry cells, 乾電池二具
- 1 resistance coil, 1 ohm, 阻力圈一 (1 歐姆)
- 6 lead strips, 鉛條六
- 2 induction coils, 感應絡圈二 (小)
- 1 induction coil, larger hole, 同上 (略大)
- 1 soft iron rod, 6 inch \times $\frac{1}{2}$ inch, 軟鐵棒一 (6" \times $\frac{1}{2}$ ")
- 1 electric bell, 電鈴一
- 2 push buttons, 電鈴鑰二
- 1 dissectable electric motor, (mounted), 電動機一
- 1 stop watch, 立止錶一
- 1 revolver, 手鎗一
- 1 seconds pendulum, 秒擺一
- 1 tuning fork apparatus with fork and glass plate, 音叉驗器一 (連音叉及玻片)
- 2 extra glass tracing plates, 玻片二
- 1 rubber hammer, 橡皮槌一
- 1 tuning fork, 256 vibrations, 音叉一 (256 顫)
- 1 tuning fork, 384 vibrations, 音叉一 (384 顫)
- 1 tuning fork, 512 vibrations, 音叉一 (512 顫)
- 1 sonometer attachment to inclined plane, 斜面連音表一
- 1 piece of glass, lacquered black on back, 玻片一 (一面漆黑)
- 1 protractor, 4 $\frac{1}{4}$ inch, 半圓規一
- 2 prisms, 三稜鏡二
- 1 concave and convex mirror, brass, 凹凸鏡一 (銅製)

- 1 convex lens, with handle and wire screen, 凸透鏡一(連柄及鐵絲簾)
- 4 paper scales, 紙尺四
- 1 low burner, with aluminium tip, 低燄燈一
- 2 linen testers, 驗布顯微鏡二
- 1 tube and scale, 顯微鏡管及尺
- 1 simple photometric outfit (Bunsen's) 本生光度表全具

附 錄 四

應用儀器名目表* (乙組)

- 1 meter stick, 尺桿一。
- 1 brass disk, (8 cm. diam.), 圓銅片一 (8 厘米徑)
- 1 balance, 天平一
- 1 set weights with holder, 法碼一組
- 1 micrometer caliper, with ratchet stop, 螺旋測圓規一
- 2 brass cylinders, with glass cover, 銅筒二 (150 cc) 連玻蓋
- 8 steel balls, 2 cm. diameter, 鋼球八 (2 厘米徑)
- 3 spring balances, 2000 g., 簧秤三
- 1 parallelogram law board, 平行合力板一
- 1 glass tube, 110 cm. by 4 cm., ends annealed, rubber stopper, 玻管一 (110 厘米長, 4 厘米徑, 二端燒鈍) 連橡皮塞
- 1 manometer bottle, with inlet tube, pinchcock and manometers, 壓力瓶一 (連玻管, 簧夾, 及壓力管)
- 1 aluminium cylinder, 鋁筒一
- 1 constant-weight hydrometer tube, 恆重浮秤一
- 1 constant-volume hydrometer tube, 恆積浮秤一
- 1 wooden block with sinker, 木塊一 (連鉛墜)
- 1 Boyle's law tube, 波以爾定律管一
- 1 tripod, rod, clamp, burette holder, 三足架, 鐵棒夾, 滴管架全具
- 3 bottles, 125 cc., 玻瓶三 (125 cc)
- 3 evaporating dishes, 5 cm., 蒸發杯三 (5 厘米)

* 價目未定, 後當續刊

- 1 mirror scale and support, 尺鏡一(連架)
- 1 thermometer -20°C . to 110°C ., 寒暑表一(-20°C 至 110°C)
- 1 spring and weight holder for Hooke's law, 佛克氏定律器一(彈簧及懸重器)
- 1 dew-point apparatus, 露點驗器一
- 1 steel rod, 鐵棒一
- 2 wooden support blocks, 木架二
- 1 pressure-coefficient-of-air apparatus, 空氣之壓力係數試驗器一
- 1 tube for volume-coefficient of air, 空氣之體積係數試驗管一
- 1 steam generator, 發汽器一
- 1 apparatus for expansion-coefficient of brass, 黃銅之熱漲係數試驗器一
- 1 demonstration balance, 天平指示器一
- 1 inclined plane and sonometer, 斜面及音表一
- 1 carriage for inclined plane, 斜面所用之車一
- 1 pendulum clamp, 擺夾一
- 1 boiling-point-of-alcohol tube, 火酒沸點管一
- 1 spun-brass calorimeter, two vessels, 300 cc. and 1000 cc. 銅製量熱器一(內筒 300 cc, 外筒 1000 cc)
- 1 tube for mechanical equivalent of heat, 熱之工作當量試驗管一
- 1 high-grade compass, 羅經一(連針)
- 1 small bottle acetamide, 阿西第美特一小瓶
- 1 bar magnet, 磁棒一
- 1 horseshoe magnet, 蹄形磁一
- 1 electroscope, 驗電器一
- 1 galvanometer frame with three windings, 電流表架一(三道絡圈)

- 1 simple voltaic cell (complete), 簡單弗打電池
全具
- 1 porous cup for Daniell cell, 罇杯一 (但尼里
電池用)
- 1 D'Arsonval galvanometer (complete), 阿生乏
電流表全具
- 1 1000-ohm resistance coil, 阻力圈一 (1000 歐姆)
- 1 each of carbon, aluminium, and lead electrodes,
炭片, 鋁片, 鉛片各一
- 2 lead electrodes, 鉛片二
- 1 Wheatstone's bridge with potentiometer attach-
ment, 韋脫司登電橋一
- 1 commutator, 電流交換器一
- 1 1-ohm resistance coil, 阻力圈一 (1 歐姆)
- 1 dry cells, 乾電池二
- 2 coils for induction, 感應絡圈二
- 1 electric bell, 電鈴一
- 2 electric push buttons, 電鈴鑰二
- 1 electric motor, mounted, 電動機一
- 3 tuning forks, 音叉三 (256, 384, 512 顫數)
- 2 fork-rating apparatus, 顫線器一
- 1 glass plate, lacquered black on back, 玻片一
(一面漆黑)
- 2 prisms, 三稜鏡二
- 1 concave mirror 凹面鏡一
- 1 convex, mounted reading lens, 凸透鏡一
- 2 linen tester lenses, 驗布顯微鏡二
- 1 microscope tube, 顯微鏡管一

密爾根 物理學實驗教程刊誤表

頁數	行數	誤	正
11	12	永	水
17	2	$\frac{D_6}{P_3}$	$\frac{D_3}{P_3}$
31	13	V/V_3	P_1/P_3
43	12	指針b	指針P
44	1	尺鏡	鏡尺
44	12	p 徑	b 徑
51	8	1.341秒	1.346秒
65	6	阿西弟美持	阿西弟美得
75	18	色圍	包圍
75	19	鉛箔	鋁箔
76	9	電感	感電
86			46圖倒置
87			47圖倒置
128			75圖中AC線 上漏A字
131	15	1=4	1與4

