高級中學適用

初級物理實習講義

丁燮林著

中華教育文化基金會
科學教育委員會編輯

商務印書館發行

高級中學適用

初級物理實習講義

丁 燮 林 著

中華教育文化基金會
科學教育委員會編輯

商 務 印 書 館 發 行

初級物理實習講義

目　　錄

引論

實習

附錄

初級物理實習講義

引　　論

I. 常　用　儀　器

停錶　停錶與通常所用之錶不同；通常之錶，錶上之時針分針秒針，運行不息；停錶上之分針及秒針，撥之始動，阻之即停。故停錶可用以直接測得任何一個現象所經過之時間。例如欲測一物體由某點A行至某點B所需之時間，則祇須於物體經過A點時，將錶開行，於物體經過B點時，將錶停止，則錶上分針及秒針所記出之分數與秒數，即爲此物體由A點行至B點所需之時間。

在尋常之物理實習內，停錶常用以測（ a ）一種循環現象之循環率，即測定單位時間（即每秒鐘）內此循環現象發生之次數；或（ b ）測定一種循環現象之週期，即測定此循環現象，循環一次所需之時間。

無論測定一種現象之循環率或週期，測定方法，乃先令此現象循環若干次，然後於循環至某一次之起點時，將錶開

行，經過若干次之循環後，於某一次循環之終點時，將錶停止。如此則所得的時間，爲此循環現象完全地循環了若干次所需之時間；若以測得之時間除循環之次數，則得數爲每秒鐘內之循環數，即循環率；若以循環之次數除測得之時間，則得數爲循環一次所需之時間，即週期。

無論測定週期或循環率，不應於一種循環現象尚未發生之先，即將錶開行；或一面令此現象起始循環，同時將錶開行。

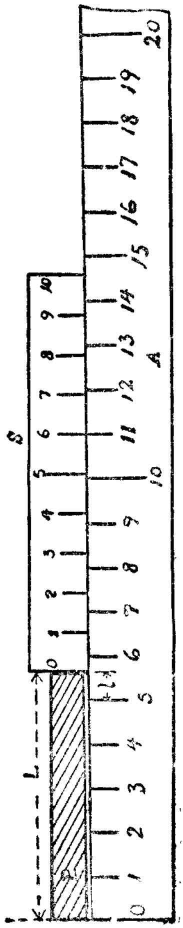
無論測定週期或循環率，不應預先定出一個時間，然後測定在此預先定出之時間內，觀察某種現象循環若干次。因爲在此預先定出之時間內，一種現象未必恰能循環若干次，換言之，即循環之次數，未必能爲整數。

登記錶上分針秒針所記出之時間時，應將分數化爲秒數，并將秒之小數記出。

用停錶時，應先觀察錶上之秒針，是否恰指零線，若有差誤，則應將得數加以校正。

小數尺及小數矩　通常所用之米突尺，尺上最小之分度，大概爲 mm.；用此種米突尺以測量長度，即刻可知其爲若干mm.；但物體之長度，未必恰爲 mm. 之整數，而多半爲若干 mm. 并帶小數若干。此若干小數，在不求精確之測

量，或可省略不計，或可藉目力估得其近似之值。否則欲得準確之數，必須採用他種測長之儀器，其最淺易者，為小數矩。



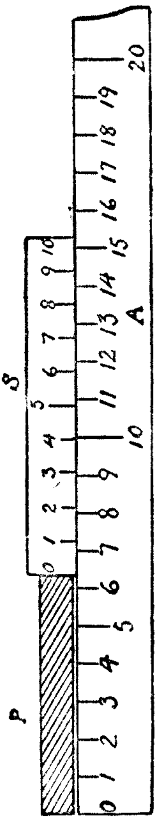
第 1 圖

圖 1 中，A 為米突尺，S 為小數尺。小數尺共分為10分度，其全長與米突尺之 9 分度相當。故小數尺上每一分度之長度為 9/10 mm.，米突尺上每分度之長度與小數尺上每分度之長度之差為 $1-9/10=1/10$mm.。

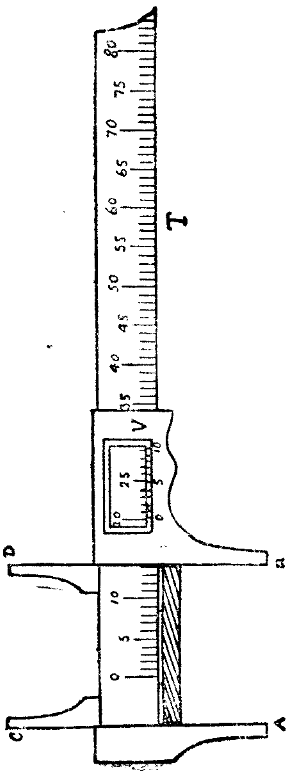
假定 P 為欲測之物體，如圖安置，一端與米突尺上之 0 線相平，他一端與小數尺之 0 線相接，則此物之長度 L 必等於米突尺上 0 線與小數尺上 0 線間相隔之距離。如圖所示，則此物體之長度，為 5 mm. 帶小數 l。此小數 l 即等於小數尺之 0 線與米突尺之第 5 分度線間之距離，此距離究竟等於 1 mm. 之若干分，可於小數尺上求之如下。

觀察小數尺上之分度線中，第幾分度線恰與米突尺上之任何一分度線相對。

如圖所示，則小數尺之第 6 線，與米突尺之第 11 線相對。既知小數尺上每一分度與米突尺每一分度相差之數爲 1/10



第 2 圖



第 3 圖

mm.，故知小數尺之第 5 線與米突尺之第 10 線相隔之距離

爲 1/10；小數尺之第 4 線與米突尺之第 9 線相隔之距離爲 2/10mm.；以此推算，則可知小數尺之 0 線與米突尺之第 5 線相隔之距離爲 6/10mm.,此即爲所求之小數 l。故得物體之長度爲 5 mm. 又 6/10 mm.，即 5.6 mm.。

由以上所舉之例，可知用小數尺量任何一物體之長度時，由小數尺 0 線之位置，可得長度中 mm. 之整數；由小數尺上與米突尺上相對之一線，可得長度中 mm. 之第一位小數。

設小數尺上之各分度線中，無一線恰與米突尺上之分度線相對，則或取各線中最近於相對之一線，認爲相對，求出 mm. 之第一位小數爲止；或取小數尺上最近於相對之兩線，比較此兩線相差之量，更求出 mm. 之第二小數。例如圖 2 所示，或以 6.4 mm. 作爲物體之長度，因小數尺上之第 4 線最近於相對。或進一步以 6.36 mm. 爲物體之長度，因小數尺上之第 3 線及第 4 線，最近於與米突尺上之分度相對，而以第 3 線相差之量，與第 4 線相差之量相較，約成 4 與 6 之比率。

圖 3 爲根據小數尺原理所造成之小數矩。T 爲米突尺，V 爲小數尺，小數尺套於米突尺上，可以沿米突尺移動。A，B 爲小數矩之一對齒，C，D 爲又一對齒。A C 固定於米突尺上，B D 固定於小數尺上。當 A 與 B，C 與 D 接觸時，米突

尺上之0線與小數尺上0線恰相對 故若將小數尺向右滑動時，每對齒間之距離，恆等於兩0線間之距離。今若將欲測之物體置於 A B 兩齒之間，或套於 C D 兩齒之外，使與兩齒緊接，則物體之長度（置於 A B 之間時），或其內空之距離(套於 C D 之外時)，即爲兩齒間之距離，亦即等於米突尺與小數尺上兩0線間之距離。此距離可依上述小數尺求得。

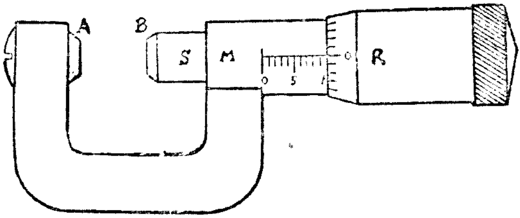
小數尺上分度之長度與米突尺分度長度之比率，不限於爲9與10之比。又除量長度之小數尺外，尚有量角度之小數尺；但其原理，皆與上述之小數尺相同。

螺旋規 螺旋規（圖4）之主要部分爲一精確之螺旋柱 S 及一螺旋套 M，螺旋柱可在螺旋套內旋轉。假定螺旋套是固定的，則螺旋柱在套內旋轉時，同時必有前進或後退之運動。假定螺旋柱每旋轉一週，其前進或後退之距離爲 1 mm.，則當螺旋柱旋轉若干週數時，螺旋柱必同時前進或後退若干 mm.。若螺旋柱旋轉之角度不足一週，則螺旋柱前進或後退之距離亦必定不足 1 mm. 而爲 1mm. 之分數。此分數必等於螺旋柱旋轉之角度與全週角度之比率。

與螺旋柱相連者，有一圓帽 R，隨螺旋柱而旋轉。螺旋柱旋轉之角度，可由圓帽邊緣上之分度而知。假定圓帽之邊緣上，共分爲100等分，則可知螺旋柱旋轉一等分，其前進

或後退之距離爲 1/100 mm.。

與螺旋套相連者，有一米突分度尺；尺上最小之分度爲



第 4 圖

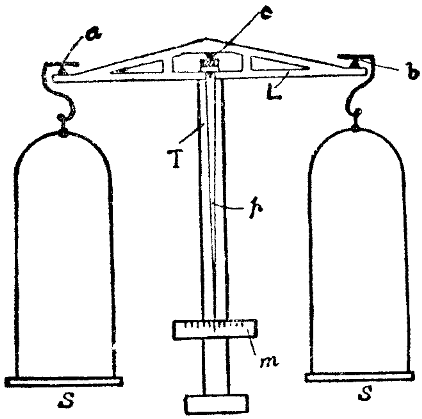
1 mm。當螺旋柱旋轉時，圓帽之邊緣即沿此米突尺向前移動，故由圓帽邊緣在米突分度尺上之位置，可知螺旋柱旋轉之次數，即螺旋柱前進或後退之 mm. 數。

圖中 A 爲固定於螺旋套上之平面，B 爲螺旋柱之頂端平面。當螺旋柱向右方轉至極端時，即 A B 兩平面相接觸時，螺旋柱圓帽之邊緣，恰與米突尺上之 0 線相重；邊緣上分度之 0 線，恰與米突尺上之橫線相對。今若將任何欲測之物體夾於 A，B 兩平面間，則此物體之長度或厚度即爲 A，B 兩平面間之距離，亦即等於螺旋柱從極端向右前進之距離。依上述之理，此距離之整數部分，可由米突尺上分度求得；小數部分，可由螺旋柱圓帽邊緣上之分度求得。

各種螺旋規螺旋柱每轉一週，其進退之距離，不必皆爲 1 mm.。螺旋柱圓帽邊緣上之分度，亦不必皆爲 100 等分。故用螺旋規時，應先令其螺旋柱旋轉一週，觀察其進退之距

離；再觀察圓帽邊緣上之分度數，推算出螺旋柱旋轉每一分度時其進退之距離。

用螺旋規時，在未量物體之先，應將螺旋柱轉至極端，觀察圓帽邊緣上之0°線，是否恰與米突尺之橫線相對。如果螺旋柱轉至極端時，零度線超過米突尺上之橫線，則此超過之量必須加於以後所量得之一切得數，方為眞確之得數。若螺旋柱轉至極端時，零度線尙不達米突尺上之橫線，此欠缺之量必須從以後量得之一切得數中減去，方為眞確之得數。此超過或欠缺之量，名為零度差。



第5圖

天平　天平（圖5）之重要部分，為其橫樑L；樑上裝有三刀邊。中間一刀邊c刀口向下，兩端兩刀邊a，b，刀口向上。秤物時刀邊c落於支柱T上，天平之左右兩等盤S，分懸於刀邊a，b上。從刀邊c至兩端兩刀邊a，b間之距離相等。

與天平之橫樑相連者，有一長指針 p，隨同橫樑擺動。與天平之支柱相連者，有一短分度尺m，固定於支柱之下端。等盤中之重量相等時，指針或靜止，或左右擺動。靜止時，指針指分度尺之中央；擺動時，向兩邊擺動之度數相等。

天平所以比較兩物體之重量，故欲求一物體之重量，必另備重量已知之砝碼。設將物體置一等盤內，砝碼置於另一等盤內，若天平平衡，則物體之重，等於砝碼之重。在天平上可秤之物體，其重量變化之範圍雖廣，然所需用之砝碼數，目，則極有限。今先假定所欲秤之物體，其重量僅爲自1 gm. 至 10 gm. 之十種整數重量，則僅備有四種砝碼，卽足敷用，例如 1 gm.,2 gm.,2 gm.,5 gm. 四種。因用此四種砝碼，卽可組合成自 1 gm. 至 10 gm. 之十種重量。假定所欲測之物體，其重量爲自 1 gm. 至 100 gm. 之一百種整數重量，則僅須加造 20 gm., 20 gm., 及 50 gm.三種砝碼，亦足敷用。若再加造200 gm.,200 gm.,500 gm.三種砝碼，則凡在 1000 gm. 以內之各種整數重量，皆可秤出。再以同理推之，若兼有.1gm., .2 gm., .2 gm., .5 gm.; 及 .01 gm., .02 gm., .02 gm., .05 gm.，八種小數砝碼，則凡在 1000 gm. 以內之物體，不但其 gm. 之整數部分，可以求出，卽其第一位及第二位小數，皆可秤出。故通常砝碼之配合，大概如下.

500 gm.,	200 gm.,	200 gm.,	100 gm.,
50 gm.,	20 gm.,	20 gm.,	10 gm.,
5 gm.,	2 gm.,	2 gm.,	1 gm.,
.5 gm.,	.2 gm.,	.2 gm.,	.1 gm.,
.05 gm.,	.02 gm.,	.02 gm.,	.01 gm.,

有此二十種砝碼，可以秤出自 .01 gm. 至 1000 gm. 十萬種重量。

用天平時，對於下列各點，應加注意：

1. 砝碼恆用鑷子夾取之。

2. 加砝碼於等盤內，或由等盤內取砝碼時，應先將天平之橫樑架起，使刀邊與支柱及等盤分離。

3. 被秤之物體，恆置左方等盤內，砝碼恆置於右方等盤內。

4. 比較兩等盤內之重量時，不應待指針靜止，觀察其是否靜止於短分度尺之中央，應令指針左右擺動；指針向分度尺 0 線兩邊擺動之距離相等時，兩等盤之重量相等。

5. 增減等盤內之砝碼時，應依砝碼大小之次序，次第更換之。

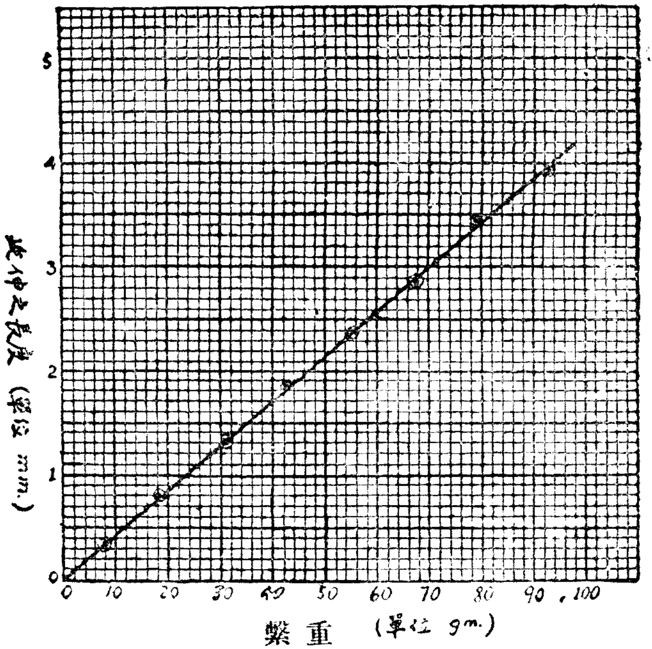
6. 用畢天平時，應將天平之樑架起；將砝碼置放於原備之盒內。

II. 作圖線法

物理實習中，常用一種圖線表示兩種量之關係，例如螺旋彈簧延伸之長度，與其所繫重量之關係；或定量之氣體，在定溫度之下，其體積與其壓力之關係。表示之方法，乃令兩量中之一量，任意變更若干次，每次於此一量變更之後，測出他一量之大小；於是用代數上之座標法，以此第一量爲橫距，他一量爲縱距，於方格紙上，標出代表每次測得各量之各圖點；然後經過各圖點作一圖線（或爲直線，或爲曲線）；由此圖線，可以看出兩種量之關係。

例 1　假定由實習測得螺旋彈簧延伸之長度與其所繫重量之關係如下表所示，則圖 6 即爲表示此兩種關係之圖線。

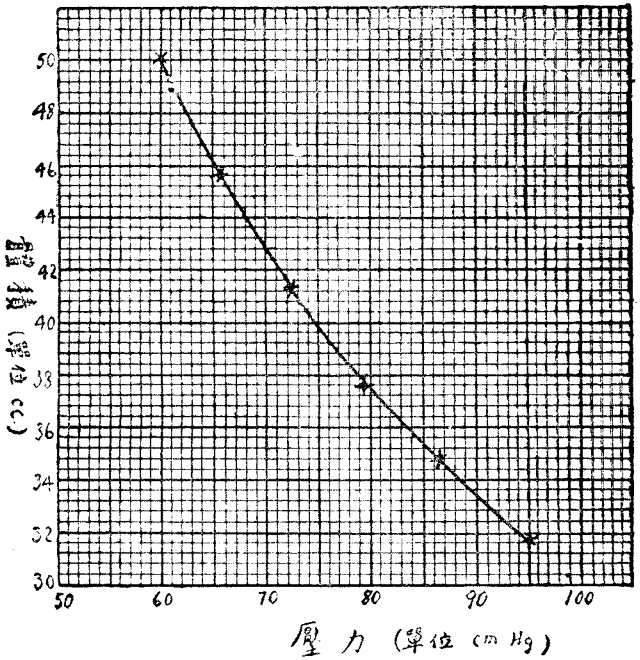
彈簧所繫之重量 gm.	8.0	18.0	31.0	42.3	55.8	67.4	79.0	92.8
彈簧延伸之長度 mm.	.34	.80	1.31	1.85	2.39	2.77	3.49	3.93



第 6 圖

例 2 假定由實驗測得定量之氣體，在定溫度之下，其體積與其壓力之關係如下表所示，則圖 7 即爲表示此兩種關係之圖線。

壓力 cm. Hg	60.0	65.5	72.5	79.4	86.2	95.0
體積 c.c.	50.1	45.8	41.4	37.8	34.8	31.6



第 7 圖

作圖線時，應注意下列各點：

1. 通常皆以任意變更之第一量爲橫距，以他一量爲縱距。

2. 方格紙上，每一小格所代表一量之多寡，可以任意選擇；且橫格與豎格所代表兩種量之數量，不必相同。

3. 縱距橫距，皆不必由 0 點起始；祇須將作圖時所

用到之部分表出。因此表出之部分，可以佔有圖紙之全部，而不偏於紙之一邊或一角。

4. 圖中各點，極少恰在一直線，或有規則之曲線上者；作圖時不可用直線將各點一一連結，應緊靠各點，作一直線或整個的一曲線（參看圖 6 及圖 7），使落於圖線兩邊之圖點，數目大略相等。

5. 於圖點上加一圈，或作一×字，使之醒目。

6. 注明橫距，縱距所代表各量之名目及單位。

III. 準　度

任何精密之儀器，用以測量物體之各種度量，如長度重量溫度等，祇能得一近似之值，並確知其錯誤之量不能超過一定限度，而不能測得此量之絕對值。例如用一米突尺測一物體之長度，最普通之量法，乃將米突尺與此物相並，令物體之一端，與米突尺上之0線相平，然後觀察物體之他端與米突尺上何處相對。但米突尺之0線是否絕對的恰與物體之一端相平無從斷定；物體之他一端亦祇能知其落於某兩分度線之間。有時憑目力觀察，也許物體之極端似乎與尺上之某一分度線恰恰相平，但如果我們可以將尺上分度線變成極細，同時再用顯微鏡觀察，則物體之極端亦一定落於線之此邊或彼邊。故米突尺上之分度線愈細，分度愈密，則得數愈精（即小數愈多），但結果仍祇能知物體之極端，落於尺上某一最小分度之內。換言之，即知物體之長度等於若干個小分度有零，而不能確知物體之長度絕對的等於若干。

本上所述，關於表示物體度量之方法，有兩點應當注意：

（1）　例如言

物體之長度 = 26.3 mm.

其意義爲此物體之長度爲 26.3 mm. 有餘或不足，但所

以言其等於 26.3 mm. 者，因其與 26.3 mm. 最相近，即因其與 26.3 mm. 相差之量，較其與 26.2 mm. 或 26.4 mm. 相差之量爲小，故將得數寫爲 26.3 mm.。故言

(a) 物體之長度 = 26.3 cm. 與

(b) 1 小時 = 3600 秒 或

(c) 瓶中鐵球之數目 = 282,

三者之意義，性質上根本不同。(a)中 26.3 爲測得之數目，乃一種近似之值。(b)中 3600 乃一種假定之數目；(c)中 282 乃數得之數目。後二者皆爲絕對的。

(2) 在算術上任何一數，其小數點之後，可以任意加圈；如 13.2 = 13.200。但在物理實習上表示物體之度量(或物理度量)時，小數點後之圈數，不能任意增減。因 26.3 cm.，與 26.30 cm. 之意義，完全不同。蓋寫作 26.3 cm. 時，3 字之後，不寫數目，乃表示 3 字以下之小數不知爲何數，或不必寫出；寫作 26.30 cm. 時，則表示 3 字以下之第一位小數曾經測出而知其爲零。故設有兩數相加，如 124.6 + 1.2453，照算術應爲 125.8453。但二者若爲物理數量，則第一數 124.6 其 6 字以下之第一位小數，即不知其爲何數；得數中之第二位小數 4，即已不可靠；4 以下之各位小數，更不待論。故依計算物理數量之規則，上

之加法應爲

$$124.6+1.2453=125.8 \text{ 或 } 125.\overset{(}{8}(4)$$

(4上加括弧表示不可靠之意)

物理數量之近似性，已如上述。所謂準度，乃言測得之數，在若干分中不致錯到一分之意。設有米突尺，其精密之度能量出 mm.。今用以量長約 100 cm. 之物體，得 103.3 cm.，則此得數之準度爲 1/1000，即最大之錯誤不能超過總量1000分之1，因在總量 1000 多 mm. 中，不致錯到 1 mm.。若此米突尺更能量出 mm. 之第一位小數，測得物長爲103.34 cm.，則得數之準度，較前增進 10 倍，因現在在 10000 分中不致錯到一分。今再假定用可以量出 1/100 mm. 之測長顯微鏡測長約 1 cm. 之物體，得 1.024 cm.，則此得數之準度亦爲 1/1000。因現所能量出之最小量爲 1/100 mm.，原有之總量有 1/100mm. 之 1000 倍有餘，而在此 1000 倍有餘分中不致錯到一分。現在將上述之兩種測量相較，就所能量出之最小度量而論，前者祇能量出 mm.，後者能量出 1/100 mm.，後者所用器具比較精密 100 倍；但就兩種得數而論，其準度相等。故得數之準度，非視所能量出最小度量之若何細微而定，乃視此最小度量與總量之比率而定。

由準度之意義，及以上所述用數目字表示物理度量所含

帶之意義，可知一種度量得數之準度，可從得數中有幾位數字看出，例如言長度等於 124.3 cm.，則準度爲 1243 分之 1。言重量等於 24.3 gm.，則準度爲 243 分之 1。且得數之準度僅視得數有若干位數字而定，與小數點之位置無關。例如下列各數：147 cm., 14.7 cm., .147 cm., 14.7 sec., 1.47 gm. 等，其小數點之位置雖不同，但其準度則同爲 1/147。由上所述，更可知表示物理度量之得數，其小數點後不可任意加 0。因言長度 = 49.5 cm. 其準度爲 1/495，約爲 500 分之1；言長度 = 49.50 cm. 則其準度爲 1/4950，即約爲 5000 分之1。

設有一量，其準度爲 1/100；今設以此數自乘，或與他一量相乘，或相除，其得數之準度，最高亦祇能爲 1/100。例如以 12.4 cm. 自乘，若依尋常之算術求之，應得

$$12.4^2\ \text{cm.}^2 = 153.76\ \text{cm.}^2$$

但得數中最後之兩位數字爲無效數字，得數只能有三位，即

$$12.4^2\ \text{cm.}^2 = 154\ \text{cm.}^2$$

欲證明得數最後之兩位數字爲無效數字，祇須假定原數 12.4 cm. 乃 12.42 cm. 之近似值，則其平方應爲

$$12.42^2\ \text{cm.}^2 = 154.2964\ \text{cm.}^2$$

今既不能斷定原數 12.4 cm. 不能爲 12.42 cm.，則自不能斷定其平方不能爲 154.2964 cm.^{2}，即不能斷定其得數爲 153.76

cm.^{2}，故得數祇應寫爲

$$12.4^2\ \text{cm.}^2 = 154\ \text{cm.}^2$$

綜上所述，可得下列之數項規條：

1. 任何一量之準度，視表示此量數目字之位數而定，與小數點之位置無關。例如124 cm., 12.4 cm., 1.24 cm., .124 cm., 其準度皆相同。

2. 以數量互相乘除，其得數之準度，視此數量中準度最低之一量而定。若此數量中準度最低一量數字之位數爲 3，則得數之位數亦爲 3，或最多爲 4。

3. 以數量互相乘除，若其中有一量，在測量之時其準度不能甚高，則其他各量在測量之時，即無須過於精密。例如測一長約 20 cm.，寬約 1cm. 長方形之面積，若寬度祇能到 cm. 之第 2 位小數(假定爲1.05 cm.)，則測量長度時，祇須知其爲若干 mm. 而不必測出 mm. 之小數。

凡以三位數字之物理數量相乘除，其最後得數祇有前三位爲有效數字；若用尋常之算術求之，則寫出之數字，無用者過於一半。故計算物理實習之結果，常應用對數表或計算尺（即滑尺）求之。

實　　習

實　習　1

體　積，質　量，密　度

【目的】　用螺旋規，小數矩測球體及柱體之體積；用天平秤重量；由物體之體積及重量求其密度。

【解釋】　物質之密度＝每單位積體內所含之質量，其單位爲 gm./cc.。

【儀器】　小數矩，螺旋規，金屬球，柱體，鋼米突尺。

【方法】

（A）研究小數矩及螺旋規之用法。

用螺旋規測球之半徑＝r cm.，算出球之體積＝$\frac{4}{3}\pi r^3$cc.，用小數矩或螺旋規測柱體之半徑＝r cm.，用米突尺測柱體之長度，至 mm. 之小數第一位＝L cm.，算出柱體之體積＝橫斷面積×長度＝$\pi r^2 \times L$ cc.。

（B）注意天平之構造，及砝碼之組合法。

將以上量過之各物體，用天平秤之，記其質量。

用滑尺（或對數表）算出各物體之密度。

【得數】　　球之半徑＝r ＝………cm.,

$\therefore$ 球之體積 $= \frac{4}{3}\pi r^3 =$ ………cc.,

球之質量 $= m =$ ………gm.,

$\therefore$ 球之密度 $= m/\frac{4}{3}\pi r^3 =$ ………gm./cc.。

柱體之長度 $= L =$ ………cm.,

柱體之半徑 $= r =$ ………cm.,

$\therefore$ 柱體之體積 $= \pi r^2 L =$ ………cc.,

柱體之重量 $= m =$ ………gm.,

$\therefore$ 柱體之密度 $= m / \pi r^2 L =$ ………gm./cc.。

【問題】 何以測柱體之半徑，須用小數矩或螺旋規，測柱體之長度，祇須用米突尺？

上所測得之各量，測量時，何者最需精密？

秤重與測長兩種手續，何者較為精密？

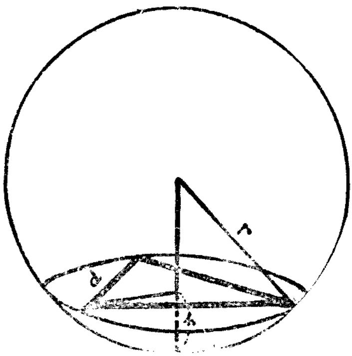
假設天平之兩比樑，不恰等長，如何可以求得物體之眞重量？

實 習 2

球 面 規

【目的】 用球面規測薄玻璃片之厚及凹凸球面鏡之曲率半徑。

【解釋】 設將一等邊三角形水平置於一凹球面上(圖 8),



第 8 圖

則自球面之最低點至平面之垂直距離 h, 與球面之曲率半徑 r, 及三角形每邊之長度 d, 三者之關係如下式:

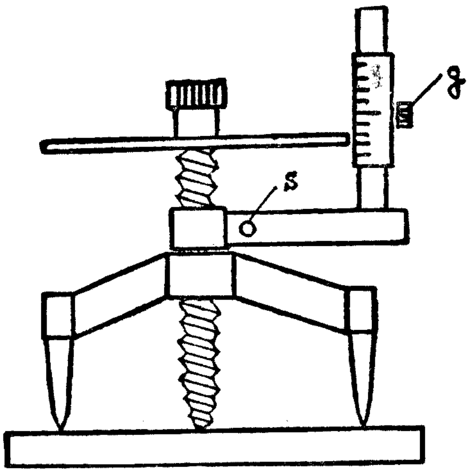
$$r = d^2/6h + h/2$$

【儀器】 球面規，平玻璃板，凹球面鏡，凸球面鏡，薄玻璃片，鋼米突尺。

【方法】 試驗球面規之圓盤旋轉一週，其上昇或下降之距離若干。

視圓盤上共分若干度，於是推得圓盤旋轉每一分度，其中足進退之距離。

置球面規於玻璃板已經磨平之一面上（圖9），一手將



第 9 圖

球面規之圓盤向下旋轉，同時以他一手持規之一足，推轉之；當規之中足尚未與玻璃板接觸時，球面規僅在玻璃板上滑動。及中足與玻璃板接觸，則球面規將繞中足而旋轉。故由球面規在玻璃板上運動之方法，可以知規之中足與玻璃板之相離或相觸。

令球面規之中足與玻璃板接觸，將圓盤徐徐反轉，令中足與玻璃板相離。再將圓盤下轉，令中足與玻璃板相觸。如此順轉倒轉，直至在一分度之內，可以察覺中足與玻璃板之

相觸或相離。

旋轉圓盤，令球面規之中足恰與玻璃板接觸。轉鬆縱尺柄上之螺旋 S，將縱尺移對圓盤上之零度線。移尺時，毋令球面規轉動。再轉鬆縱尺上之螺旋 g，將尺上下移動，令圓盤之邊，恰對縱尺 10 mm. 之分度線，或其他適當之分度線。記此線之分度數，為球面規之『零度記數』。

置薄玻璃片於玻璃板及球面規中足之間，作同樣之試驗。令球面規之中足恰與玻璃片接觸。由縱尺上之分度及圓盤上之分度，得圓盤之高，至 mm. 之小數第二位或第三位，為球面規測玻璃片之記數。此記數與零度記數之差，為玻璃片之厚。

先後置球面規於凹凸兩球面鏡上，令球面規之中足恰與球面鏡鏡面接觸。記圓盤之高，為球面規測球面鏡之記數。此記數與球面規零度記數之差，為球面鏡之最高點（或最低點）至通過球面規足端的平面之垂直距離 $= h$ cm.。

用米突尺測球面規三邊足間之距離，至 mm. 之小數第一位，共得三數。求出三數之平均數 $= d$ cm.。

從測得之 h 與 d，依上式求出球面鏡之曲率半徑。

【得數】 球面規之零度記數＝……… cm.,

玻璃片記數＝……… cm.,

∴　玻璃片之厚＝……… cm.。

球面規之零度記數＝……… cm.,

凸球面鏡之記數＝……… cm.,

∴　h ＝……… cm.。

球面規足端之距離＝(1)……cm., (2)……cm.,

(3)……cm.,

平均數＝d＝……cm.,

∴　$r=d^2/6h+h/2$＝……cm.。

球面規之零度記數＝……cm.,

凹球面鏡之記數＝……cm.,

∴　h ＝……cm.,

∴　$r=d^2/6h+h/2$＝……cm.。

【問題】　用幾何理證明算曲率半徑所用之等式。

實 習 3

Archimedes 氏之原理及其應用

【目的】 實驗 Archimedes 氏之原理；應用 Archimedes 之原理測銅塊，鹽水及白蠟之比重。

【解釋】 Archimedes 氏之原理： 物體之一部分或全部分沉沒於液體之中時，液體加於物體之浮力，等於被物所排去液體之重量。

比重： 物體之比重＝物體之重量與相等體積水之重量之比率。

【儀器】 空實兩銅柱體（實銅柱體之大小，恰能容於空銅柱內），天平，砝碼，玻璃杯，鹽水，銅塊，白蠟。

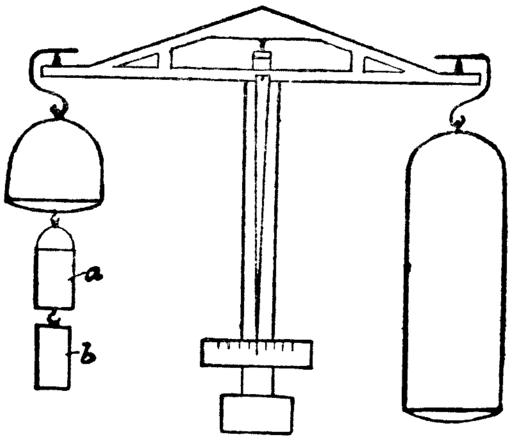
【方法】

（A）懸空銅柱 a（圖10）於天平之左側，懸實銅柱 b 於其下，秤之，記其重量 $=W_1$。貯水玻璃杯中，置杯於銅柱之下，令實銅柱之全部，沒於水中。減少天平右等盤中之砝碼，使天平平衡，記砝碼之重量$=W_2$。

$W_1-W_2=$水之浮力。

貯水空銅柱中，使滿，增加天平右等盤中之砝碼，再令天平平衡，記砝碼之重量$=W_3$。$W_3-W_2=$空銅柱中水之重

量。設空銅柱之容積等於實銅柱之體積，加於實銅柱之浮力，



第 10 圖

等於等體積水之重量，則$W_3 - W_2 = W_1 - W_2$，即$W_3 = W_1$。

將空銅柱取下，將實銅柱擦乾，懸於天平之左側，秤之，記其重量＝W。從測得實銅柱之重量，及與銅柱等體積水之重量，算出銅之比重。

（B）用細線繫銅塊於天平之左側，秤之，記其重量＝W_1。將銅塊全體沒入水中秤之，記其重量＝W_2。再將銅塊沒於鹽水中秤之，記其重量＝W_3。從W_1，W_2，及W_3，算出銅及鹽水之比重。

（C）用細線繫白蠟，懸於天平之左側，秤之，記其重量＝W_1。

繫銅塊於白蠟之下，將銅塊沒於水中，秤之，記其重量，

爲銅塊在水中之重量與白蠟在空中之重量二者之和 $= W_2$。將銅塊與白蠟同沒於水中秤之，記其重量$= W_3$。從W_1，W_2，及W_3，算出白蠟之比重。

【得數】（A）實銅柱＋空銅柱之重量$= W_1 = \cdots$gm.，

實銅柱在水中＋空銅柱在空中之重量

$= W_2 = \cdots$gm.，

實銅柱在水中＋空銅柱＋水之重量

$= W_3 = \cdots$gm.，

加於銅柱上之浮力$= W_1 - W_2 = \cdots$gm.，

銅柱內容水之重量$= W_3 - W_2 = \cdots$gm.，

銅柱之重量$= W = \cdots$gm.，

$$\therefore \text{銅之比重} = \frac{\text{銅柱之重量}}{\text{等體積水之重量}} = \text{——} = \cdots\cdots\cdots。$$

（B）銅塊在空中之重量$= W_1 = \cdots\cdots\cdots$，

銅塊在水中之重量$= W_2 = \cdots\cdots\cdots$，

銅塊在鹽水中之重量$= W_3 = \cdots\cdots\cdots$，

$$\therefore \text{銅之比重} = \frac{\text{銅塊之重量}}{\text{同體積水之重量}}$$

$$= \frac{\text{銅塊之重量}}{\text{銅塊在水中失去之重量}} = \cdots\cdots。$$

$$\therefore \text{鹽水之比重} = \frac{\text{與銅塊等體積鹽水之重量}}{\text{與銅塊等體積水之重量}} = \cdots。$$

（C）　蠟塊在空中之重量 $= W_1 = \cdots$gm.,

蠟塊在空中銅塊在水中之重量 $= W_2 = \cdots$gm.,

蠟塊與銅塊同在水中之重量 $= W_3 = \cdots$gm.,

∴　加於白蠟上之浮力 $= \cdots\cdots\cdots$gm.。

∴　白蠟之比重 $= \text{——} = \cdots\cdots\cdots$。

【問題】 實驗（A）中，計算銅柱之比重時，所需與銅柱等體積水之重量，應當以 $W_1 - W_2$，抑以 $W_3 - W_2$ 充之？

比重之單位爲何？

實習 4

比　重　瓶

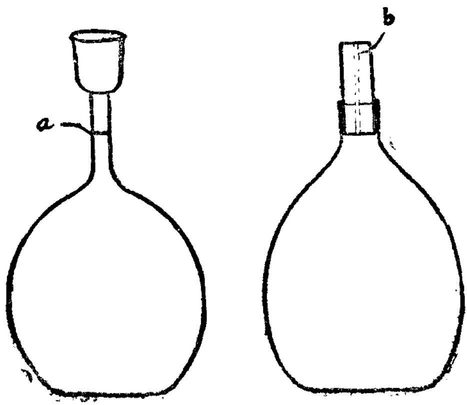
【目的】 用比重瓶測液體及固體碎屑之比重。

【解釋】 比重＝物體之重量，與相等體積水之重量之比率。

【儀器】 比重瓶，玻璃珠，液體，天平，砝碼。

【方法】

（A）液體之比重：先以水，後以少許之酒精將比重瓶洗清。擦乾瓶之外部。用抽氣筒將瓶之內部吹乾。置瓶於天平之等盤中，秤之，記其重量＝W。



第 11 圖

貯水瓶中，令水面之最低點，與瓶頸上之標記 a（圖11）

相平（設比重瓶爲有塞者，則將瓶與塞之細管 b 貯滿之），再秤之，記其重量$=W_1$。兩次重量之差，等於瓶內水之重量。傾去瓶中之水，貯以液體，再秤之，記其重量$=W_2$。從最初與最後秤得之重量，求出瓶中液體之重量。液體之體積，既與水之體積相同，故液體之比重，卽等於液體之重量與水之重量之比率。

（B）固體碎屑之比重：取玻璃珠若干，重約在 20 gm. 左右，秤之，記其重量$=W$。貯水比重瓶中，滿至頸上之標記，秤之，記其重量$=W_1$。將秤過之玻璃珠，置於比重瓶中，滿以水，震搖瓶中之玻璃珠，將所有空隙間之空氣擠出。加水瓶中，再令水面昇至瓶頸上之標記。再秤之，記其重量$=W_2$。從以上所得之各重量，先算出與玻璃珠等體積水之重量，然後求出玻璃之比重。

【得數】（A）　空瓶之重量$=W=\cdots$gm.,

瓶滿貯水之重量$=W_1=\cdots$gm.,

瓶滿貯液體之重量$=W_2=\cdots$gm.,

$\therefore$ 水之重量$=W_1-W=\cdots$gm.,

$\therefore$ 液體之重量$=W_2-W=\cdots$gm.,

$\therefore$ 液體之比重$=\dfrac{W_2-W}{W_1-W}=\cdots\cdots$。

（B）　玻璃珠之重量$=W=\cdots$gm.,

瓶貯水之重量 $= W_1 = \cdots$gm.,

瓶中加玻璃珠再滿貯水之重量 $= W_2 = \cdots$gm.,

$\therefore$　與玻璃珠等體積水之重量 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots$gm.,

$\therefore$　玻璃之比重 $= \frac{}{} = \cdots\cdots$。

【問題】 帶塞之比重瓶，與頸上作標記之比重瓶，何者較為精密？

實習 5

Hare 氏儀器

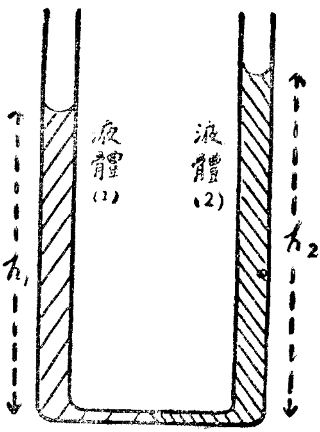
【目的】 用 Hare 氏儀器直接比較兩液體之比重。

【解釋】 密度＝物體每單位體積內之質量。

比重＝物體之重量與相等體積水之重量之比率。

水之密度爲 1，故物體之比重與物體之密度，數目相同。

液體之壓力：液體加於每 cm.^{2}平面面積上之力，爲液體加於此平面上之壓力。當液體靜止時，其加於液體表面以下任何水平面（或任何微小之平面）上之壓力＝液體之密度×此水平面（或此微小之平面）至液體表面之距離。設液體之密度爲 ρgm./cc.，距離爲 h cm.，則壓力爲 ρh gm./cm.^{2}。



第 12 圖

設有兩種液體(1)，(2)，盛於垂直之兩玻璃管中（圖12）；液體之高度爲 h_1，h_2；密度爲 ρ_1，ρ_2，則加於管底之壓力爲 $h_1\rho_1$ 及 $h_2\rho_2$。

若此兩液體之壓力相等，則

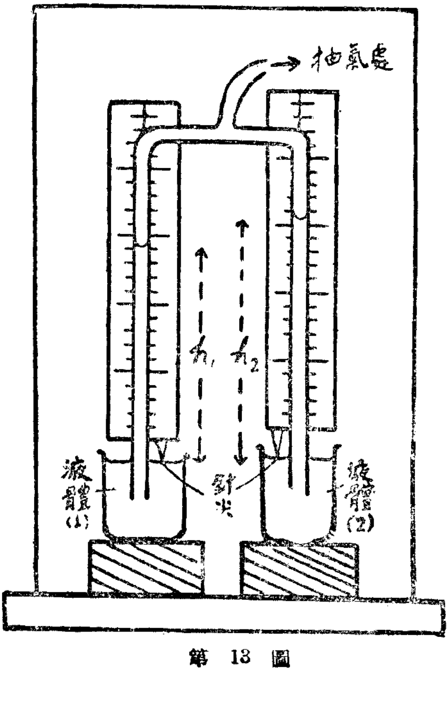
$$h_1\rho_1 = h_2\rho_2,\ 即\rho_1/\rho_2 = h_2/h_1。$$

但兩液體比重之比，等於兩液體密度之比，故

$$\frac{液體(1)之比重}{液體(2)之比重}=\frac{液體(1)之密度}{液體(2)之密度}=\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{h_2}{h_1}。$$

【儀器】 Hare 氏儀器，液體兩種。

【方法】 貯兩液體於兩小玻璃杯中，將 U 形玻璃管之兩端沒於兩液體中（圖13）。由橡皮管，抽去 U 形玻璃管中一部分之空氣，令兩側管中之液體上昇，近於管之頂端。用夾將



第 13 圖

橡皮管夾緊，保持玻璃管中液體之高度不變。提高玻璃管後之米突尺，令其下端針尖恰與液體之表面相觸，量管中液體上昇之高度（從杯中液體之表面量至玻璃管中液體凹表之最低點）$=h_1$。用他一尺，同樣量他一液體之高度$=h_2$。挨次加入少許之空氣於玻璃管中，令液體下降約 5 cm.。每次變動米突尺之位置，量出兩液體之高度 h_1，及 h_2；算出 h_1 與 h_2 之比率。由 h_1 與 h_2 比率之平均數，求出兩液體比重之比率。

以水代上實驗中所用之液體（1）。用同法求得液體（2）之比重。再由上得之結果，算出液體（1）之比重。

【得數】

h_1 〔液體（1）〕	h_2 〔液體（2）〕	h_2/h_1

平均$\frac{h_2}{h_1}=\cdots\cdots$；　$\therefore\ \frac{\text{液體（1）之比重}}{\text{液體（2）之比重}}=\cdots\cdots$。

h_1 （水）	h_2 〔液體（2）〕	h_1/h_2

平均h_1/h_2＝……；　∴　液體(2)之比重＝……＝……。

∴　液體(1)之比重＝……＝……。

【問題】　兩杯中液體之表面，應否在同一水平面上？

若 U 形玻璃管兩側管之粗細不同，對於以上之實驗，有無關係？

測量液體表面上升之高度時，何以不令米突尺之下端沒於液體之中？

實習 6

Nicholson 氏比重計

【目的】 用 Nicholson 氏比重計，測固體及液體之比重。

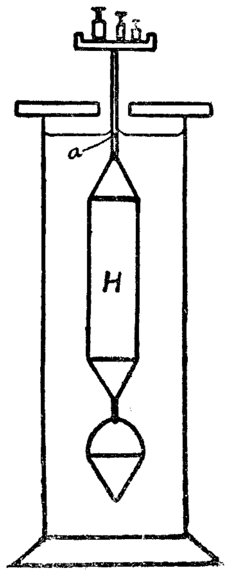
【解釋】 Archimedes 氏原理：物體之一部分或全部，沒於液體中時，液體加於物體之浮力，等於被物所排去液體之重量。

比重＝物體之重量與等體積水之重量之比率。

【儀器】 Nicholson 氏比重計，玻璃筒，有縫之筒蓋，液體，金屬小塊，砝碼。

【方法】

（A）貯水玻璃筒中，使滿。置比重計 H（圖14）於水中，排去附着於比重計上之空氣泡。加蓋於玻璃筒上，置比重計之細頸於蓋縫中，加砝碼於比重計之頂盤內，令比重計下沈，其頸上之標線 a 恰與水面平。記頂盤內所加之重量＝ W_1。取去頂盤內之砝碼，加一小銅塊於頂盤內。再加砝碼，令比重計沉至頸上之標線。



第 14 圖

記砝碼之重量$=W_2$。W_1與W_2之差，等於銅塊之重量。置銅塊於比重計下端沈於水中之懸盤內，再加砝碼於比重計之頂盤，令比重計沈至頸上之標線，記砝碼之重量$=W_3$。從上得之結果，先算出銅塊在水中所失之重量。依Archimedes氏之定理，銅塊所失之重量＝等體積水之重量。由是從銅塊在空中之重量，及等體積水之重量，求出銅之比重。

用其他金屬一種或兩種，作同樣之實驗，測定各該金屬之比重。

(B) 貯液體於玻璃筒中，使滿。置比重計於液體中，排去附着於比重計上之空氣泡，加砝碼於頂盤內，令比重計沈至頸上之標記，記砝碼之重量$=W_4$。將比重計擦乾，秤之，記其重量$=W$。從比重計之重量及其沈於水中及液體中時，頂盤內所加砝碼之重量，求得水及液體加於比重計上之浮力。由是算出液體之比重。

【得數】(A) 比重計沈於水中須加之砝碼$=W_1=$……gm.,

銅塊加於頂盤內時須加之砝碼$=W_2=$……gm.,

銅塊置於水中時須加之砝碼$=W_3=$……gm.,

∴ 銅塊在空中之重量$=$… $=$……gm.,

∴ 銅塊在水中減少之重量$=$… $=$……gm.,

∴ 銅之比重$=$… $=$……。

(B) 比重計之重量 $= W = \cdots\cdots gm.$,

比重計沈於液體中須加之砝碼 $= W_4 = \cdots\cdots gm.$,

比重計沈於水中須加之砝碼 $= W_1 = \cdots\cdots gm.$,

$\therefore$ 液體之浮力 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots gm.$,

水之浮力 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots gm.$,

$\therefore$ 液體之比重 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots$。

【問題】 帶縫之筒蓋何用?

何以各種比重計之頸皆極細?

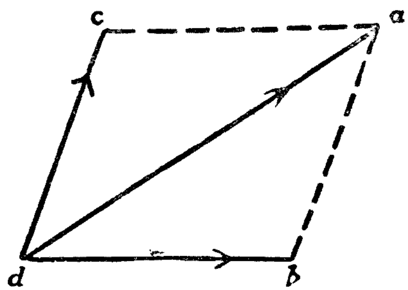
排去附着於比重計上之空氣，最好用何方法?

實　習　7

力　之　平　衡

【目的】 實驗力之平行四邊形規則及多邊形規則。

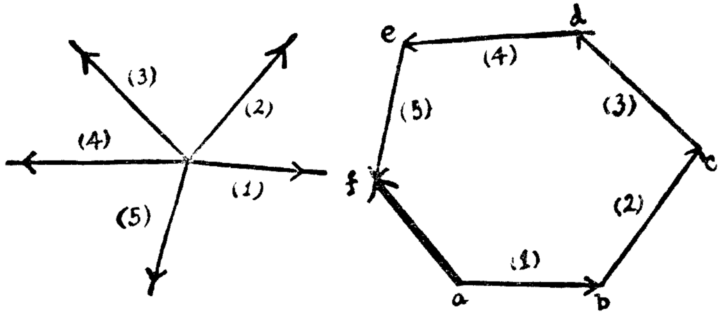
【解釋】 平行四邊形規則：設有二力，同時加於一質點上，今設從一點a(圖15)作a b，a c 兩線，與二力之方向平行，長短與二力之大小成一定之比例；再以此兩線為邊，作成一平行四邊形；從兩線之相交點a，至對角作對角線ad；則a d 線與二力之合力平行，線之長短與合力之大小成相同之比例。



第 15 圖

依上之規則，設有三力加於一質點上，而成平衡，若依上法，求得任何二力之合力線，則此線必與第三力同在一直線上，長短必與第三力之大小成比例。

多邊形規則：設有數力，同時加於一質點上；今設從任何一點a起，作直線a b (圖16)，代表第一力之方向與大小(即令線之方向與力之方向相同，長短與力之大小成比例)；



第 16 圖

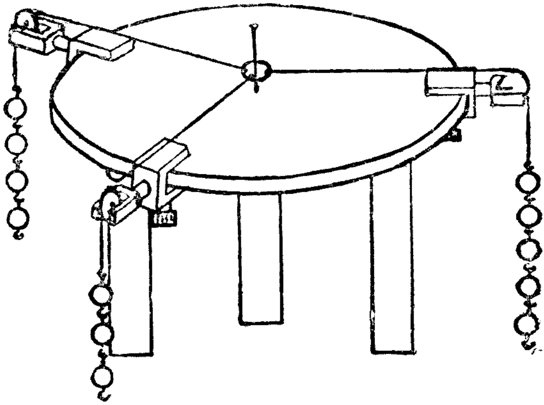
從第一線之終點，作第二線 b c，代表第二力之方向與大小；再從第二線之終點，作第三線 c d，代表第三力；如此挨次作線，至最後之力爲止；則自最初起點，至最末一線之終點，所作之直線 a f，代表此數力所組成合力之方向與大小。

依上之規則，設有多數之力同時加於一質點上，而成平衡，假定其中有一力爲未知數，若依上之方法挨次作線，求得其餘各力之合力線，則此合力線必與未知之力，同在一直線上。線之長短，必與力之大小成比例。

【儀器】 圖桌，滑車，小鐵圈，小鉛球，帶鈎細線，繪圖紙，米突尺。

【方法】

（A）將繪圖紙釘於圖桌上，中央立一針（圖17），將小圈套於針上，將繫於圈上之各線，通過滑車，分繫3,4,5,



第 17 圖

鉛球於三線之端。變動三滑車之位置，使三力平衡（即使針不與圈接觸）。於三線之下，各作一鉛筆點。取去針與小圈及繫線。由針點向三鉛筆點，作三線，表三力之方向。

由針點起，於三線中之任何兩線上，各取一段；令段之長短，與所代表力之大小成比例。以此兩段之線爲邊，作平行四邊形，從針點向對角作對角線。用米突尺，量此對角線之長度。由此線之長度，及所選擇之比例，算出第三線線上所繫之鉛球數目。量對角線與第三鉛筆線所成之角度。

（B）繫一重量未知之物體於一線之上，將所有之鉛球，分繫於其餘各線上。變動各線用力之方向，令其平衡。如上作鉛筆線，代表各線之方向。除代表物體之一線外，於其餘各線上，各取相當一段，代表力之大小。應用多邊形規則，

求出代表此諸力合力之線。從此線之長度，算出物體之重量。

量合力線與代表物體之線所成之角度。

【得數】 (A) 第一線所繫之鉛球數＝……，

第一鉛筆線之長度＝……cm.。

第二線所繫之鉛球數＝……，

第二鉛筆線之長度＝……cm.。

第三線所繫之鉛球數＝……，

對角線之長度＝……cm.。

∴ 算得第三線上所繫之鉛球數＝……。

對角線與第三線所成之角度＝……。

(B) 合力線之長度＝……cm.，

代表每個鉛球之線長度＝……cm.，

∴ 物體之重量＝……。

合力線與代表物體之線所成之角度＝……。

【問題】 實驗(B)中，求得物體重量之單位為何？

實習 8

槓桿原理

【目的】 用槓桿，滑車，及槓稱實驗槓桿原理。

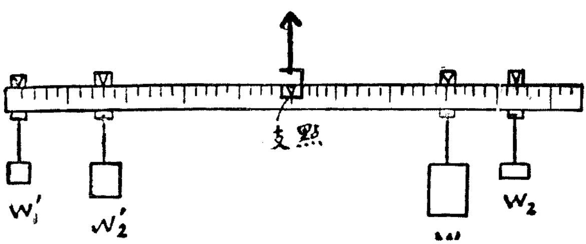
【解釋】 力之旋轉勢：設有一物，可以繞一軸旋轉，有力 F，與軸垂直，加於物之任何一點，則由軸至力之作用線之垂直距離，與 F 之相乘積，爲此力對於該軸之旋轉勢。

槓桿原理：設有槓桿，可以繞一水平軸旋轉，若加於槓桿上各力之順時針方向的旋轉勢之和等於各力之背時針方向的旋轉勢之和，則槓桿平衡。

【儀器】 槓桿及其繫重鈎，滑車，槓稱，砝碼。

【方法】

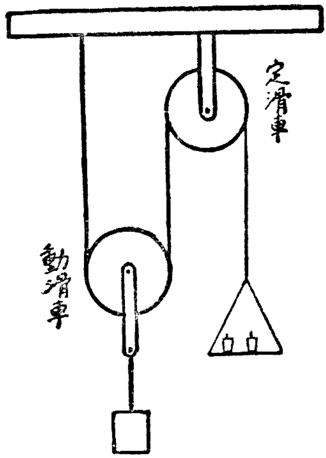
（1）繫重 W_1，W_2 於槓桿之一邊，W_1'，W_2' 於槓桿之他一邊（圖18），變動一重或數重之位置，使槓桿平衡。量



第 18 圖

各重至槓桿支點之距離。算出各力方向相同的旋轉勢之和。

（2）繫重 W 於動滑車之下（圖19），加砝碼於定滑車上所掛之等盤内，逐漸增加其量，至動滑車恰能起始上昇爲止，記砝碼之重 $= W_1'$。逐漸減少等盤内之砝碼，至動滑車恰能起始下降爲止，再記等盤内砝碼之重 $= W_2'$。算出 W_1' 與 W_2' 之平均數 W'。秤出等盤之重量 w' 及動滑車之重量 w。算出 $\frac{W+w}{W'+w'}$ 之比率。



第 19 圖

（3）取去槓稱之稱鏈。加砝碼於稱之繫物鈎上，使稱平衡。記砝碼之重 $=W$。取下砝碼。將稱桿擱於一刀邊上，求出稱桿之重心。量重心至稱之支點之距離 $=l'$。秤出稱桿之重量 $=W'$。由 W，W'，及 l' 算出稱之繫重點至其支點之距離。用米突尺量出此距離之約略值。

（4）秤出稱鏈之重量 $= W_1'$。選擇稱桿上距支點不太近之任何一分度線 X。量此分度線至支點之距離 l_1。假定分度線上所標示之重量數目精確，由以上量得及秤得各量，算

出稱之繫物點至其支點之距離（注意稱上分度線所標示之重量單位，與砝碼之重量單位，是否相同）。

【得數】 (1) $W_1=\cdots\cdots$，　$l_1=\cdots\cdots$，　$W_1l_1=\cdots\cdots$；

$W_2=\cdots\cdots$，　$l_2=\cdots\cdots$，　$W_2l_2=\cdots\cdots$；

$\therefore$ 背時針方向的旋轉勢之和 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

$W_1'=\cdots\cdots$，　$l_1'=\cdots\cdots$，　$W_1'l_1'=\cdots\cdots$；

$W_2'=\cdots\cdots$，　$l_2'=\cdots\cdots$，　$W_2'l_2'=\cdots\cdots$；

$\therefore$ 順時針方向的旋轉勢之和 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

(2) 動滑車起始上昇時，等盤中之砝碼重量

$=W_1'=\cdots\cdots$，

動滑車起始下降時，等盤中之砝碼重量

$=W_2'=\cdots\cdots$，

W_1' 與 W_2' 之平均數 $W'=\dfrac{W_1'+W_2'}{2}=\cdots\cdots$。

等盤之重量 $=w'=\cdots\cdots$，動滑車之重量 $=w=\cdots\cdots$，

$\therefore\ \dfrac{W+w}{W'+w'}=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

(3) 稱桿平衡時，鉤上所繫砝碼之重量 $=W=\cdots\cdots$，

稱桿重心至其支點之距離 $=l'=\cdots\cdots$，

稱之重量 $=W'=\cdots\cdots$，

$\therefore$ 算得繫物點至支點之距離 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

用米突尺量得此距離之約略值＝……。

(4) 秤之重量＝W'＝……； 錘之重量＝W_1'＝……，

稱桿重心至支點之距離＝ l' ＝……，

分度線X至支點之距離＝ l_1' ＝……，

分度線X上所標示之重量＝ W ＝……，

∴ 算得繫物點至支點之距離＝……。

【問題】 用槓桿原理，證明實驗（2）中$\frac{W+w}{W'+w'}$之比率應等於 2。

天平兩端所懸之重量不恰相等時，何以天平略向一邊傾側之後，重力可以平衡？

實　習　9

單　擺

【目的】 證單擺擺動週期之平方，與擺長成比例；測重力加速率。

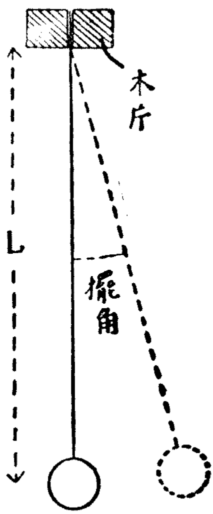
【解釋】 自繫擺之點，至擺球中心之距離，爲單擺之擺長。擺動最遠時，擺線與垂直線，所成之角，爲擺角。

自擺球經過任何一點，向任何一方運動之時刻起，至下次經過同點，向相同之方向運動之時刻止，中間所經之時間，爲擺之週期。

假定單擺之擺角不大；擺線之質量不計，長度不變；繫擺之點，不能移動；則擺長與週期之關係如下：

$$T=2\pi\sqrt{L/g}$$

式中 T 爲週期；L 爲擺長；g 爲重力加速率；在一定地點，g 之值不變。



第 20 圖

【儀器】 細線，鉛球，鐵夾，小木片，米突尺，方格紙，停錶。

【方法】 注意停錶之用法。

以線之一端繫鉛球，將線之他一端，置於兩小木片之中(圖20)，用鐵夾緊夾兩木片，令兩木片之底面平齊，擺之長約在 100 cm. 左右。

令鉛球左右擺動，擺角約爲 5°。用下法測定擺之週期。

於擺球之後置一物，或畫一線，以標示擺球靜止時之位置。當鉛球擺動，經過其靜止之位置，向任何一方運動時，口中數擺動之次數。先由 4 或 3 向下倒數，經過零數，再一一向上數之，至 100。於口中數零時，將錶開行；於數至 100 時，將錶停止。記錶上所記之時間，至秒之第一位小數。此爲單擺作 100 次完全擺動所須之總時間。以 100 除之得擺之週期＝T。

用米突尺，量自繫擺點至擺球中心之距離＝ L。算出T^2及 L/T^2 之值。

次第減短擺長約至 60，40，20，10，5 cm. 左右。作同様之試驗，每次記擺之長度及其週期。算出T^2 及 L/T^2之值。結果用下之表式登記之。

作兩圖於方格紙上，同以 L 爲橫距，一以 T 爲縱距，一以 T^2 爲縱距。注意兩圖不同之點，解釋其意義。

從第二圖，求得 L/T^2 之平均數。依上式，求出 g 之值。

【得數】

L	T	T^2	L/T^2

平均數$L/T^2=\cdots\cdots$,　$\therefore\ g=4\pi^2L/T^2=\cdots\cdots$。

【問題】 欲得準確之擺長，應當如何量法?

何以測定週期時，以圓球在最低點，爲計時之起點及終點?

何以測定週期時，必令單擺擺動擇定之若干次，而觀察其所須之時間；不能擇定若干時間，而觀察單擺在此時間之內，擺動若干次?

實習 10

物體之自由墜落

【目的】 從物體自由墜落之距離及時間，測重力加速率。

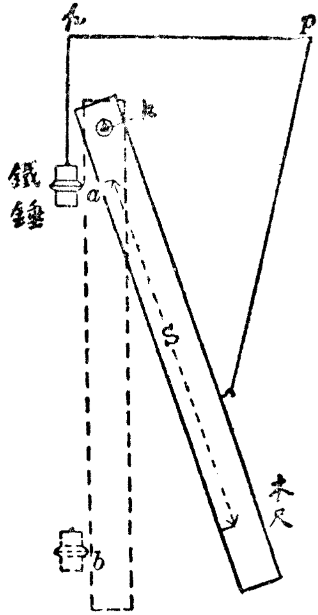
【解釋】 假定重力之加速率為 g，設有一物，從靜止起，向下墜落，其最初之速度為 0， 經過 t 秒鐘後， 其速度必為 tg；故其平均速度為 $\frac{0+tg}{2}=\frac{1}{2}tg$；其墜落之距離＝平均速度×時間；即

$$S=\frac{1}{2}gt\times t=\frac{1}{2}gt^2。$$

【儀器】 長木尺，鐵錘，停錶，米突尺。

【方法】 用煤油燈將木尺下端之一面燻黑，將木尺掛於帶有刀邊之釘上 k（圖21）。取長線一段，懸於木尺以上 pp 兩釘上，以線之一端，繫鐵錘，鐵錘之位置，約在木尺頂端以下數cm.，當木尺垂直時，其邊恰與木尺上 a 點接觸。線之他一端繫於木尺下端之鈎上，將木尺牽向一側，與垂直線約成 5 度之角。用鉛筆於木尺上作短線，標明木尺與鐵錘相觸之點。用火將線燒斷，令鐵錘下墜，同時木尺向垂直之位置擺動。待木尺擺至垂直之位置時，此鐵錘下墜之距離，尚不及木尺之長，鐵錘將與木尺下端燻黑之部分相碰，而留一

痕跡 b 於其上。量木尺上 a b 兩點間之距離，爲鐵錘下墜之距離＝S。



第 21 圖

作同樣之試驗若干次，記每次量得 S 之長度。

令木尺擺動 20 或 30 次，用停錶記其所須之時間，至秒之第一位小數。求出木尺擺動之週期。算出鐵錘下墜之時間＝t。從 S 之平均數及 t，依上式算出重力加速率 g。

【得數】

鐵錘下墜之距離 ＝S＝ { (1)……cm., (2)……cm., (3)……cm.,

……………………，
……………………，

∴ 平均數 S = ………cm.。

木尺擺動一次所須之時間 = ………sec.,

∴ 木尺之週期 = ………sec.,

∴ 鐵錘下墜之時間 = t = ……sec.,

∴ g = —— = ………。

【問題】 木尺擺動之週期，與木尺之擺角，有無關係？假定木尺之週期，隨擺角之大小而變，則測木尺週期時，所用之擺角，應當如何？

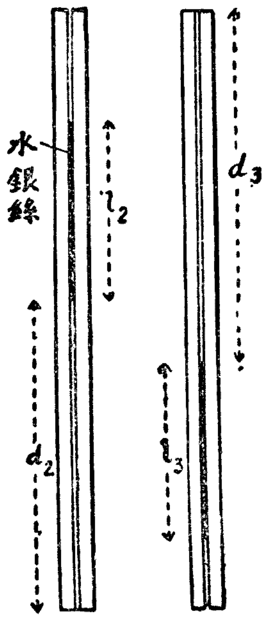
實 習 11

大氣壓力，氣壓表

【目的】 應用Boyle氏之定律，用毛細管測大氣之壓力。

【解釋】 大氣壓力，爲空氣在測量之地點，加於每cm.^{2}面積上之力，通常以空氣能支持若干高之水銀柱於眞空管中表顯之。此眞空管中水銀柱之高，名『氣壓表高』。但水銀之密度，隨溫度變化，水銀柱之重，因地點而異。故復規定：大氣壓力等於在緯度45°之地點，海水之平面，溫度爲0°C.時高 76 cm.之水銀壓力時，爲標準大氣壓力。

Boyle氏之定律：定量之氣體，溫度不變時,其體積與壓力成反比例



第 22 圖

【儀器】 氣壓表，毛細管〔長約 70 cm.，一端封口，一端開口，管之中間，有長約 10 cm. 之水銀絲，水銀絲與玻璃管閉口之間，封閉空氣（圖22)〕，米突尺，木架。

【方法】 觀察氣壓表之構造，研究其用法，記氣壓表高 $=H$。

置毛細玻璃管於水平面上，略推送之，令水銀線絲，在管中自由走動，使水銀不致與管表附着，因而水銀絲兩端之壓力，發生差異。用米突尺量自管之閉口至水銀絲近端之距離 $=d_1$。將管垂直夾於木架上，開口向上，量水銀絲之長度 $=l_2$，及閉口至水銀絲近端之距離 $=d_2$。將管顚倒，再量水銀絲之長度 $=l_3$，及玻璃管閉口至水銀絲近端之距離 $=d_3$。（實驗時，毋令手與玻璃管封閉空氣之一端接觸。）

設毛細管之內圓半徑處處相等 $=a$，則當管水平時，管中封閉空氣之體積 $=d_1\times\pi a^2$，壓力等於大氣壓力。此壓力可先假定 $=H'$cm. 之水銀柱。當玻璃之開口向上時，管中封閉空氣之體積 $=d_2\times\pi a^2$，壓力等於大氣壓力加水銀絲之壓力，即 $H'+l_2$ cm.Hg。當玻璃管開口向下時，管中封閉空氣之體積 $=d_3\times\pi a^2$，壓力爲大氣壓力減去水銀絲之壓力，即 $H'-l_3$ cm. Hg。設實驗之時，管中空氣之溫度未變，則依 Boyle 氏之定律，得

$$d_1H'=d_2(H'+l_2)\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$d_1H'=d_3(H'-l_3)\cdots\cdots\cdots(2)$$

$$d_2(H'+l_2)=d_3(H'-l_3)\cdots\cdots\cdots(3)$$

從上三式算出 H'，記其平均數，爲間接求得之大氣壓力。以間接求得之大氣壓力，與直接測得之大氣壓力比較，用百分式，表顯其差。

【得數】 測得氣壓表高 $=H=\cdots\cdots\cdots$ cm.,

$d_1=\cdots\cdots$ cm.; $d_2=\cdots\cdots$ cm.; $d_3=\cdots\cdots$ cm.;

$l_2=\cdots\cdots$ cm.; $l_3=\cdots\cdots$ cm.;

從(1)式得 $H'=\cdots\cdots=\cdots\cdots$ cm.,

從(2)式得 $H'=\cdots\cdots=\cdots\cdots$ cm.,

從(3)式得 $H'=\cdots\cdots=\cdots\cdots$ cm.,

平均數 $H'=\cdots\cdots$ cm.,

差異 $\frac{H\sim H'}{H}=\cdots\cdots\%$。

【問題】 何以實驗時，手指不宜與玻璃管封閉空氣之一部接觸?

水銀絲之長，何以必須測量兩次？設兩次所得之數不同，如何解釋？

實習 12

Boyle 氏之定律

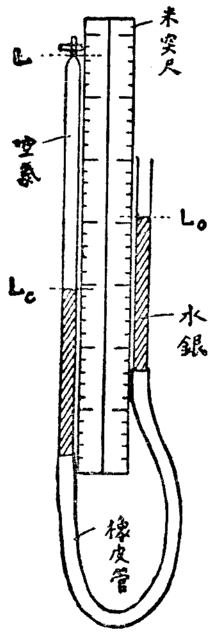
【目的】 實驗 Boyle 氏之定律。

【解釋】 Boyle 氏之定律：定量之氣體，溫度不變時，其體積與壓力成反比例。

【儀器】 簡單之 Boyle 氏儀器（兩玻璃管繫木架上，橡皮管連接兩管之下端：一管固定，上有玻璃塞；他一管可以上下移動；橡皮管及兩管下部，貯水銀；木架上有米突尺，可以測兩管中水銀柱之高度），方格紙。

【方法】 對準氣壓表，記水銀柱之高＝H，爲氣壓表高（參閱實習 11 解釋）。

開左邊玻璃管上之玻璃塞(圖23)；移動右邊之玻璃管，令左管中之水銀面約在管之中央。緊閉玻璃塞，將右管提高，令右管中之水銀面高於左管中之水銀面約十數 cm.。注意左管



第 23 圖

中之水銀面，是否移動，驗察管塞有無漏洩。（設左管中之水銀漸漸上昇，是必因管中空氣向外漏洩。須從新將塞洗清，塗以極少量之塞油。）

證實玻璃塞無有漏洩後，將右管分 5 次，至 10 次，次第向下移動。直至將右管中之水銀面降至左管中水銀面以下十數 cm. 爲止。每次記兩管中水銀面之高度。

從大氣壓力，及兩管中水銀面之差，算出每次左管中空氣之壓力。

從左管空氣柱頂端之高度，及管中水銀面之高度，算出每次管中空氣之體積。（空氣之體積，應等於空氣柱之高度×管之橫斷面積；但若假定管之橫斷面積平勻，則求空氣體積之比率時，可即以空氣柱之高度，代其體積。）

算出每次空氣體積與壓力之相乘積。用下之表式，登記所得之結果。

作二圖於方格紙上；同以空氣之體積（V）爲縱距，一以空氣之壓力 (P) 爲橫距，一以壓力之反數$\left(\frac{1}{P}\right)$爲橫距。

【得數】　氣壓表高＝H＝……，

空氣柱頂端之高度＝L＝……cm.，

右管水銀柱高 L_o	左管水銀柱高 L_c	$L_o - L_c$	$P = H + L_o - L_c$	$V = L - L_c$	PV	$\frac{1}{P}$

【問題】 Boyle 氏之定律，是否在任何境況之下，皆適用？

假定 Boyle 氏定律準確，則上作之兩圖，應為何形？

假定左管之塞漏洩，表中 P V 之值受何影響？

實　習　13

Atwood 氏之機械

【目的】用 Atwood 氏之機械，試驗等速度運動，及等加速率運動，測重力加速率。

【解釋】假定物體運動經過之時間為 t，距離為 S，設其運動之速度平勻，等於 V，則 $S=Vt$……(1)

設運動之速度不平勻，其加速率平勻，等於 a；令其最初之速度為 V_0，最後之速度為 V_t，則 $V_t=V_0+ta$……(2)

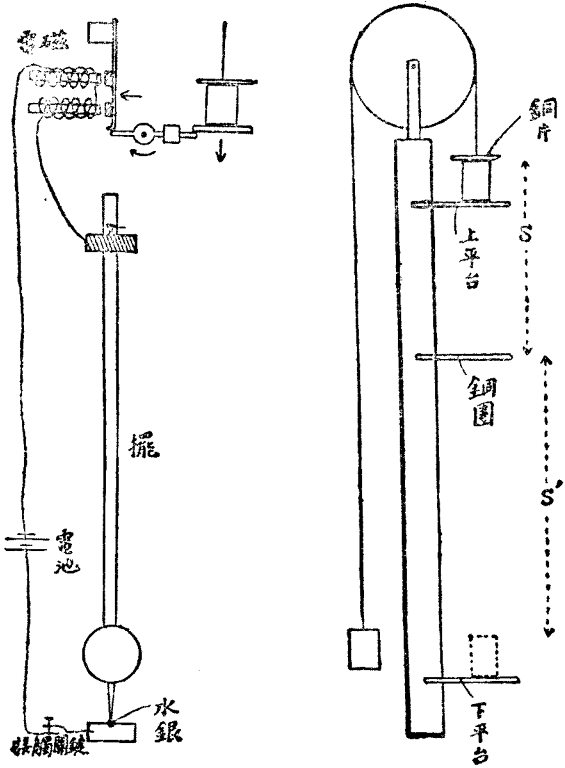
$$S=\frac{V_0+V_t}{2}\cdot t=\frac{V_0+V_0+at}{2}\cdot t=V_0t+\frac{1}{2}at^2\text{……}(3)$$

若物體之運動，從靜止起始，則$V_0=0$，(2)(3) 兩式，變為　　$V=at$……(4)；　$S=\frac{1}{2}at^2$……(5)

【儀器】Atwood 氏之機械（用電磁釋放物體，用鐘表測定時間），停錶。

【方法】注意 Atwood 氏機械之構造，及電磁之作用（圖24）。

試驗懸於機械上右邊之銅錘，能否從木柱上所裝之銅圈內自由升降無礙。將右邊之銅錘提高，微牽之，令其徐徐下墜，其速度將因機械頂上圓輪之阻力逐漸減少。加適當之薄



第 24 圖

錫片於銅錘之上，使增加之重量，適與圓輪之摩擦力抵消，則銅錘可以繼續下墜，速度不變。

加銅片於右邊銅錘之上，置銅錘於機械上端之平台上，移圓圈於平台之下。壓接觸開鍵通電流釋放銅錘。假定電磁每秒鐘發音一次，移動平台下圓圈之位置，使銅錘釋放後至

錘上銅片落於圓圈上之時間，恰爲一秒（即令銅片落圓圈上所發之音，與電磁釋放銅錘後第一次所發之音，合而爲一）。量銅錘在此1秒鐘內下墜之距離（注意銅錘下墜之距離，大於由平台至圓圈之距離）$=S$。從等加速率運動之公式，算出加速率 a。

移機械下端之平台於圓圈之下，照樣令銅錘下墜，惟銅片取去之後，仍令銅錘繼續下降。移動圓圈下平台之位置，令銅錘由圓圈墜至下平台之時間恰爲1秒。量銅片取去後，銅錘在此1秒鐘內下墜之距離（注意銅錘下墜之距離小於由圓圈至平台之距離）$=S'$。依等速度運動之公式，算出銅片取去後銅錘下墜之速度。變動下平台之位置，令銅錘從圓圈墜至平台之時間爲2，3，4……秒。每次量銅錘下墜之距離，算出銅錘下墜之速度。

銅錘經過圓圈時，錘上之銅片，落於圈上，故此後銅錘之運動爲等速度運動，其運動之速度，即以前等加速率運動，第一秒末後之速度。故由此速度，可以算出以前等加速率運動之加速率。從上得之各速度算出加速率 a。

移動圓圈之位置，令銅錘自上平台落至圓圈之時間，恰爲2，3，等秒。每次先從圓圈以上之等加速率運動，算出加速率；後從圓圈以下之等速度運動算出速度，再由此速度，

算出加速率。

秤兩銅錘，記其質量 $=M$。秤銅片，記其質量 $=m$。用停錶測定擺之週期。假定繫錘之絲及機械上圓輪之質量，皆不計算（若所求得重力加速率之數不準，可將圓輪質量之半數加入兩銅錘質量之內），從 M，m，擺之週期，及上所求得之加速率，算出重力加速率。

【得數】

從上平台墜至圓圈之時間	距離 S	加速率 a	從圓圈墜至下平台之時間	距離 S′	速度	加速率 a
1			1 2 3 4			
2			1 2 3			
3			1 2			

平均數加速率 $=a=\cdots\cdots$；　擺之半週期 $=\cdots\cdots$；

校正之加速率 $=A=\cdots\cdots$；兩銅錘之質量 $=M=\cdots$gm.；

銅片之質量 $=m=\cdots\cdots$gm.；

$\because$ 力 = 質量 × 加速率；即 $mg=(M+m)A$。

$$\therefore\quad g=\frac{M+m}{m}A=\cdots\cdots。$$

實習 14

水之表面張力

【目的】 由毛細管現象測水之表面張力。

【解釋】 假定在水之表面上，作一直線；直線兩邊之水面，有向此直線收縮之力。力之方向，與線垂直；力之大小，與線之長度，即表面之寬度成比例。每單位寬度表面之收縮力，名爲水之表面張力。即水之表面張力之單位爲dynes/cm.。(表面張力之作用，類似一有彈性之薄膜，惟彈性薄膜必須伸張之後，始有張力，其張力與膜之寬，厚，及伸張之量有關係。水之表面，無所謂厚，亦無須伸張，其張力僅與表面之寬成比例。)

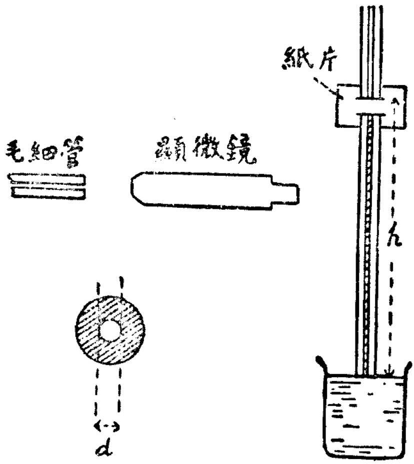
【儀器】 玻璃杯，毛細管(長約 8 cm.，內徑約 1 mm.)帶木塞之夾，米突尺，測長顯微鏡。*

【方法】 洗清毛細管，裁長約 3 cm.，寬約 1.5 cm.之厚紙片(圖 25)。於紙之中央，用小刀劃相距約 .7 cm.，長約 .8 cm.之兩平行線，與紙之長邊平行，將紙片劃穿。將毛細管置於紙片之兩劃縫中。用鐵夾夾毛細管，令管在木塞內，

* 若無測長顯微鏡，則毛細管孔之直徑，可用水銀絲之方法測定之。

可以上下移動。

洗清玻璃杯，貯滿新鮮自來水。將毛細管中之水泡除去，將管之下端沒水中，至水面以下約 2 cm.。將管徐徐向上昇移，同時由水面之下視毛細管之下端，令管口恰與水面平齊。若管之內部淨潔，則管中



第 25 圖

之水面應隨管昇降，其上昇之高，應爲一恆數。將管所套之紙片，移至管中水面上昇之點，令管前管後之割線邊，與管內水面之最低點同在一水平面上。從水中取出毛細管；用米突尺量從毛細管之下端至紙片割線邊之距離。作同樣之實驗三次，記三次量得距離之平均數，爲管中水面上昇之高＝h。

觀察顯微鏡之各種運動方法。令顯微鏡之鏡筒水平。轉動顯微鏡管內之十字線，令一線垂直，一線水平。配合接目鏡與十字線間之距離，使十字線清楚可見。將毛細管，水平夾於鐵架上，以管孔對顯微鏡之接物鏡。距離約 3 cm.。變

動此距離，令毛細管之管口，合光於顯微鏡之十字線上，管孔清楚可見。用螺旋，使顯微鏡在水平面上左右移動。先令管口內圓之一邊，與十字線之垂直線重疊。由顯微鏡之小數尺，記顯微鏡之位置。移動顯微鏡，令管口內圓之他一邊，與十字線重疊，再記顯微鏡之位置。兩次記數之差，等於管口內圓之直徑。將毛細管旋轉 90°（或令顯微鏡上下移動）再量其直徑。同樣量他一端管口之直徑，算出量得各數之平均數＝d。

從管中水面上昇之高（h）及管口內圓之半徑（r）用下之公式算出水之表面張力（T）。

毛細管中，水面成一凹球面形。玻璃面與水面相接之處，有一界線；假定在水面上，距此界線極小距離之下，想像作圓周線，此線之長，等於管之內圓周圍。圓周線以下之水面，本於表面張力之作用，為圓周線以上之水面所牽引。此牽引力之方向，為垂直，向上；力之大小，必與水面以下所懸水柱之重量平衡。設水之表面張力每 cm. 為 T dynes，毛細管內圓半徑為 r，則玻璃牽引水面之力＝$2\pi rT$；設水面上昇之高為 h，水之密度為1，則水柱之重量＝πr^2hg dynes。故得

$$2\pi rT=\pi r^2hg;\quad 即\ T=\frac{hrg}{2}。$$

【得數】 水面之高＝h＝……cm.；

管之內圓徑 $= d =$ (1)……cm.,　(2)……cm.,

(3)……cm.,　(4)……cm.,

平均數 $d =$ ……cm.,　$\therefore$　$r =$ ……cm.。

$$\therefore \quad T = \frac{hrg}{2} = \text{……dynes/cm.}$$

【問題】 測量管之內圓直徑時，何以將管旋轉 90°；何必測量管之兩端？

上實習中以紙片之割線邊，標定管中之水面，有何優點？

實　習　15

靜摩擦力與動摩擦力

【目的】　測木與玻璃間靜摩擦力與動摩擦力之係數。

【解釋】　兩物之面相接觸，欲令一物在他一物之面上，由靜止而運動，須加以力。此力最小須等於兩物間靜摩擦力最大之限度。此摩擦力最大之限度，與兩物相壓之力成比例，其比率為此兩物間靜摩擦力之係數。

兩物之面相接觸，欲令一物在他一物之面上，以等速度繼續運動，須加以力。此力最小須等於兩物間動摩擦力之最大限度。此摩擦力最大之限度，與兩物相壓之力成比例，其比率為兩物間動摩擦力之係數。

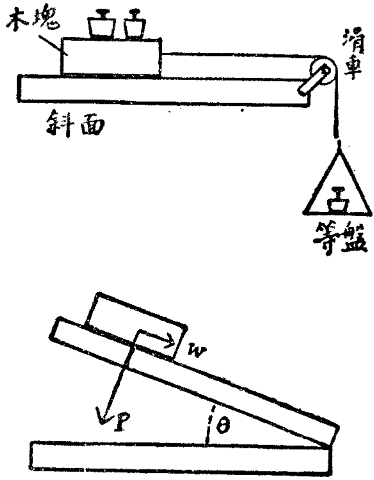
兩物之面相接觸，將一物傾斜，令他一物藉自己之重力，在此物上由靜止而滑動，其所需最小之傾斜角，名為滑角，滑角之 tan，等於兩物間靜摩擦力之係數。

兩物之面相接觸，將一物傾斜，令他一物藉自己之重力，可以以等速度在此物上繼續向下滑動，　其所需最小傾斜之 tan，等於兩物間動摩擦力之係數。

【儀器】　斜面，木塊，砝碼，米突尺。

【方法】

(A)置斜面於桌上，使其面水平(圖 26)。置木塊於斜面之上。將線之一端繫於木塊之鈎上；他一端繫等盤，懸於滑車上。加砝碼於等盤中，徐增其量，令木塊由靜止而滑動。記砝碼及等盤之重量＝W。秤木塊，記其重量＝P。算出木塊與斜面間靜摩擦力之係數。



第 26 圖

次第加砝碼於木塊之上，以增加木塊與斜面間之壓力。徐增等盤中之砝碼，令木塊滑動；每次記木塊上砝碼與木塊重量之和，及等盤內砝碼與等盤重量之和。算出靜摩擦力之係數。

(B)置木塊於斜面之上，置砝碼於等盤之內，而徐增其量，每次以指輕敲斜面之板，使木塊滑動。俟等盤內之砝碼增加至一定重量時，木塊可以以等速度在斜面上繼續滑動。記等盤中砝碼與等盤重量之和，算出木塊與斜面間動摩擦力之係數。

次第加砝碼於木塊之上，每次作同樣之試驗，算出動摩擦力之係數。用表式登記以上所得之兩種結果。

（C）置木塊於斜面之上，將斜面之端舉高而徐增其傾斜之角度。俟傾斜角增至一定之度數時，木塊起始向下滑動；記此傾斜角，求出此角之 tan。

加一重量於木塊之上，作同樣之試驗。

（D）置木塊於斜面之上，將斜面之一端舉高，而徐增其傾斜之角，同時以手指輕敲斜面之板，使木塊滑動。俟斜角增至一定之度數時，木塊可以以等速度在斜面上繼續滑動。測傾斜角之 tan。

加一重量於木塊之上，作同樣之試驗。

【得數】

（A）

壓力 P	引力 W	靜摩擦力之係數 $\frac{W}{P}$

平均靜摩擦力之係數＝…………。

（B）

壓力 P	引力 W	動摩擦力之係數 $\frac{W}{P}$

平均動摩擦力之係數＝…………。

（C）木塊上無重量時 $\theta=\cdots$；　$\tan\theta=\cdots$；

木塊上加重量時 $\theta=\cdots$；　$\tan\theta=\cdots$；

（D）木塊上無重量時 $\theta=\cdots$；　$\tan\theta=\cdots$；

木塊上加重量時 $\theta=\cdots$；　$\tan\theta=\cdots$。

【問題】 解釋中，不言'所需之力，最小須等於摩擦力'，而言'等於摩擦力最大之限度'，何故？

實習 16

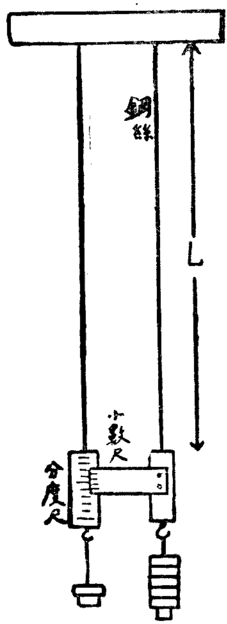
Young 氏彈性率

【目的】 測鋼絲之 Young 氏彈性率。

【解釋】 Young 氏彈性率 $=\dfrac{\text{每單位面積之張力}}{\text{每單位長度延伸之量}}$。

設有鋼絲長爲 L，橫斷面積爲 A，加重量 F 於絲之一端後，鋼絲延伸之量爲 l，則鋼絲之 Young 氏彈性率爲:

$$Y=\frac{F/A}{l/L}=\frac{FL}{Al}。$$



第 27 圖

【儀器】 鋼絲二，繫於同一木樑上；一絲之下端繫重錘，錘以上，繫一分度尺；一絲之下端繫一繫重器，裝有一小數尺，可以沿分度尺滑動；砝碼，橡皮帶，帶分度鏡之木架，螺旋規。

【方法】 置 2 kg. 之砝碼於繫重器上(圖27)，記小數尺之零線在分度尺上之位置。次第增加砝碼，每次 2 kg.，增至 10 或 12kg.。每次增加砝碼後，記小數尺零線之位置。將砝碼次第減少，每次 2 kg.，減至 2 kg. 爲止，每

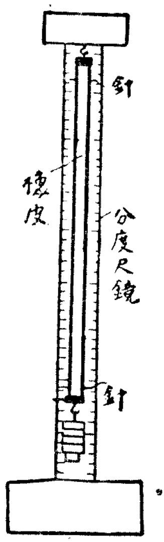
次減少砝碼後，再記小數尺零線之位置。如是每一重量，有兩記數。取兩數之平均數，爲與此重量相當之記數。

依重量大小之次序，將上得之各平均記數，分爲相等之兩組，登記於表式中，以兩組中，相當兩項之數（即第二組之第一項，與第一組之第一項；第二項與第二項，餘類推。）各個相減，取減得各數之平均數。以兩組中相當兩項重量之差除之，得每增加 1kg.，鋼絲延伸之量。

用螺旋規，測鋼絲上端，下端，中部各處之直徑，求得鋼絲半徑之平均數 = a。

用米突尺量鋼絲之長 = L。

以重量爲縱距，鋼絲延伸之長爲橫距，作圖線表顯二者之關係。將重量之單位變爲 dyne，從上得之各量算出鋼絲之 Young 氏彈性率。



第 28 圖

同法測定厚橡皮帶之 Young 氏彈性率。橡皮帶之上端與下端各裝一針（圖28），每次繫重之後，從分度尺鏡上測出兩針間之距離，爲橡皮帶之長。

【得數】

	重　量	增加重量時之記數	減少重量時之記數	平均	每增加…kg.增加之延伸
第一組	2 kg.			……	……
	4			……	……
				……	……
	6			……	……
第二組	8			……	
	10			……	
				……	
	12			……	

平均每增加……kg.增加之延伸＝……；

鋼絲之長＝L＝……；

鋼絲之半徑＝a＝……；

∴　橫斷面積＝A＝……；

Y＝……。

【問題】　測量鋼絲延伸所用之分度尺，不裝於一固定之物體上，而與鋼絲繫於同一木樑之上，何故？

求重量與延伸之關係時，何以不將第一，第二，第三等項，挨次相減，然後求得其平均數，而用以上所述之分組法？

實習 17

螺旋彈簧

【目的】 實驗 Hooke 氏定律。

【解釋】 依 Hooke 氏定律，彈簧延伸之量，與彈簧之張力成比例。彈簧之張力，等於所繫之重量，故彈簧延伸之量，與所繫之重量成比例。

設彈簧因繫重而延伸，延伸之量爲 L。今若令所繫之重上下振動（設此所繫之重之質量，較彈簧之質量甚大，因之彈簧之質量，可以略而不計。），則由上之定律，可以證明此振動爲調和運動，其週期爲 T:

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}。$$

式中 g 爲重力加速率。

【儀器】 螺旋彈簧，砝碼，方格紙，停錶。

【方法】

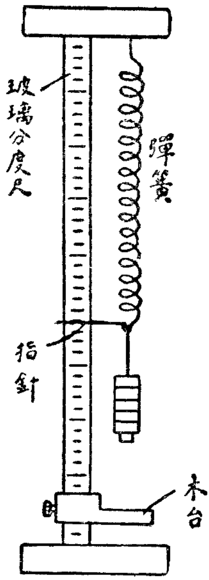
（A）未加砝碼之前，記彈簧之指針在分度尺上之位置，爲彈簧之零記數(圖 29)。加 1，2，3，……相等之砝碼於彈簧之上，每次記彈簧指針之位置。次第減少砝碼之數，每次再記指針之位置。從彈簧之零記數，與以後所得之各記數，算出每次彈簧由其最初之位置延伸之量。

以彈簧所繫砝碼之數爲橫距，彈簧延伸之長爲縱距，作圖線，表示繫重與延伸之關係。與每一砝碼之數相當之延伸量有二，一爲增加砝碼時所得，一爲減少砝碼時所得。若兩次所得之數不甚符合，以不同之記號，標明代表此兩種延伸量之圖點，以示差別。

（B）繫一重量未知之物於彈簧之上，由彈簧延伸之長，及上所得之圖線，推算物體之重量。以每個砝碼之重量爲單位。

（C）繫半數之砝碼於彈簧之上，令其下降，待其靜止，記指針之位置。算出彈簧延伸之長＝L_1。

繫半數之砝碼於彈簧之上，用木尺托之，使彈簧之指針，指零記數，急抽木尺，令砝碼自由下墜。移動彈簧下面木台之位置，令砝碼第一次墜至最低點時，恰與木台接觸。由此求得彈簧延伸最長時，指針之位置。算出彈簧延伸之長＝L_2。算出 L_2/L_1 之比率。



第 29 圖

（D）將全數之砝碼繫於彈簧之上，令其上下振動；用

停錶測定 100 或 80 次所需之時間，算出振動之週期；從週期及彈簧延伸之長，算出重力加速率。

【得數】

(A)

砝碼之數(增加時)	指針位置	延伸之量	砝碼之數(減少時)	指針位置	延伸之量
0			0		
1			1		
2			2		
3			3		
4			4		
⋮			⋮		

(B)　物體延伸彈簧之長＝……；

由圖得物體之重量＝……。

(C)　$L_1=\cdots\cdots$；

$L_2=\cdots\cdots$；

$\therefore\quad L_2/L_1=\cdots\cdots$。

(D)　全數砝碼延伸彈簧之長＝L＝……；

振動…次所需之時間＝……；

∴　振動之週期＝T＝……。

$\therefore\quad g=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

【問題】　證明 L_2/L_1 之值，應等於 2。測量彈簧延伸之量用玻璃分度尺，有何優點？

實習 18

木樑之彎曲

【目的】 實驗木樑之彎曲與所繫之重量及木樑之長，寬，厚各量之關係。

【解釋】 設有木樑（圖30）兩端支於刀邊上，中點繫重，則木樑因重力之作用，中部向下彎曲；其中點下降之距離，與

（1）所繫之重量成正比例；

（2）木樑之寬成反比例；

（3）兩支點間之距離之立方成正比例；

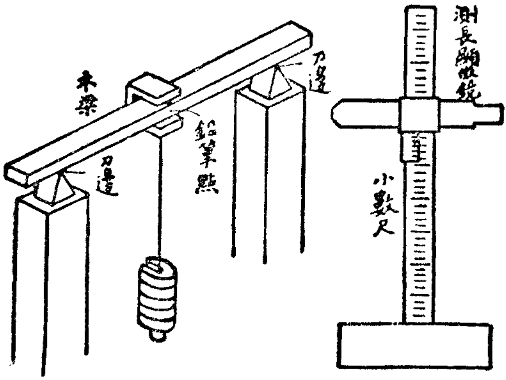
（4）木樑之厚之立方成反比例。

【儀器】 兩木樑，兩木架，等盤，砝碼，測長顯微鏡。

【方法】

（A）中點下降之距離與繫重之關係：將較寬之木樑置於兩木架上，令木樑闊面上兩端之黑線，恰落於木架上之兩刀邊上。繫等盤於樑之中央。欲測木樑中點下降之距離，先於木樑側面之中央作一鉛筆點（或釘一白尖紙），用測長顯微鏡，測得此鉛筆點之高（即令鉛筆點與顯微鏡內之十字線之交點相重疊，記顯微鏡小數尺之位置）。次第增加相等之砝碼於等盤之內，每次將顯微鏡向下移動，測得鉛筆點之高。算

出每次中點由最初之位置下降之距離。用表式表出中點下降之距離與繫重之關係。



第 30 圖

（B）中點下降之距離與木樑之寬之關係：先後置寬狹兩木樑於刀邊之上，兩樑之厚相等，兩刀邊間之距離不變。繫相同之重量於樑之中央，照上法求兩木樑中點下降之距離（$=Y_1, Y_2$）。用螺旋規測兩樑之寬各若干次，取其平均數，爲兩木樑之寬（$=b_1$，b_2）。比較 Y_1/Y_2 及 b_2/b_1 之比率。

（C）中點下降之距離與兩支點間距離之關係：取較寬之木樑，繫相等之重量於其中央，先令木樑闊面上距離較遠之一對鉛筆線，落於刀邊上，然後再令同面上距離較近之一對線，落於刀邊上，照上法測得每次中點下降之距離（$=Y_1'$，Y_2'）。用米突尺量出木樑上第一對線及第二對線間之距離（=

L_1，L_2）。比較 Y_1'/Y_2' 及 L_1^3/L_2^3 之比率。

（D）中點下降之距離與木樑之厚之關係：先後置厚薄兩木樑於刀邊之上，兩樑之寬相等，兩刀邊間之距離不變，繫相等之重量於樑之中央，照上法求出兩次木樑中點下降之距離（$=Y_1''$, Y_2''）。用螺旋規測兩樑之厚各若干次，取其平均數，爲木樑之厚（d_1，d_2）。比較 Y_1''/Y_2'' 及 d_2^3/d_1^3 之比率。

【得數】

（A）

秤盤內之重量 $=W$	細微鏡之位置 $=S$	中點下降之距離 $=Y$	Y/W
0			
1			
2			
3			
⋮			

（B）木樑（1）中點下降之距離 $=Y_1=\cdots\cdots$；

木樑（2）中點下降之距離 $=Y_2=\cdots\cdots$；

木樑（1）之寬（平均數）$=b_1=\cdots\cdots$；

木樑（2）之寬（平均數）$=b_2=\cdots\cdots$；

$\therefore Y_1/Y_2=\cdots=\cdots$；　$b_2/b_1=\cdots=\cdots$。

（C） 用第一對線時中點下降之距離 $= Y_1' = \cdots$；

用第二對線時中點下降之距離 $= Y_2' = \cdots$；

第一對線間之距離 $= L_1 = \cdots$；

第二對線間之距離 $= L_2 = \cdots$；

$\therefore$ $Y_1'/Y_2' = \cdots = \cdots$； $L_1^3/L_2^3 = \cdots = \cdots$。

（D） 木樑（1）中點下降之距離 $= Y_1'' = \cdots$；

木樑（2）中點下降之距離 $= Y_2'' = \cdots$；

木樑（1）之厚（平均數）$= d_1 = \cdots$；

木樑（2）之厚（平均數）$= d_2 = \cdots$；

$\therefore$ $Y_1''/Y_2'' = \cdots = \cdots$； $d_2^3/d_1^3 = \cdots = \cdots$。

實習 19

金屬絲之旋扭

【目的】 實驗金屬絲旋扭之角度與所加偶力之旋轉勢及絲之半徑之關係。

【解釋】 强度相等，趨勢相反，不同在一直線上之平行兩力，謂之偶力。以偶力中一力之强度，與兩力間之垂直距離相乘，為偶力之旋轉勢，或簡稱偶力之勢。

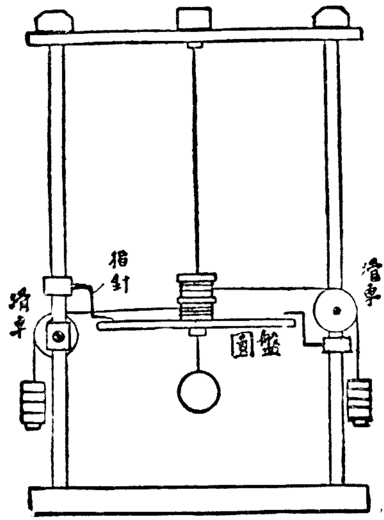
設有金屬絲（圖31），上端固定，下端以一偶力旋扭之，則金屬絲旋扭之角度，與所加偶力之勢成正比例，與絲之半徑之四次方成反比例，與絲之長成正比例。

【儀器】 鐵架，金屬絲（一端連短方條，落於鐵架上端之方孔中，一端夾於圓盤之中心，盤之軸上，可加偶力，其旋轉之角度，可由盤上之分度及架上之指針測定之。），砝碼。

【方法】

（A）令鐵架柱上之兩滑車與圓盤同在一水平面上，將繫等盤之兩線分繫於盤軸之兩鈎上。向相同方向將兩線各繞軸數週，然後分掛於兩滑車上。移鐵柱上所裝之兩指針，至圓盤之邊，記指針在圓盤上所指之度數，為指針之零記數。置相等之砝碼於兩等盤中，使金屬絲旋扭，記兩指針之度數，

由每一指針之兩次記數，算出圓盤旋轉之角度。取其平均數，爲金屬絲之扭角 $=\theta$。次第增加兩等盤中之砝碼，作同樣之實驗若干次。每次照樣算出圓盤由其最初之位置旋轉之角度。



第 31 圖

（B）加相等之兩重量於兩等盤中，先令圓盤向一方旋轉，然後再令之向他一方旋轉，求得金屬絲扭角之平均數 $=\theta$。將金屬絲取下，換以質料相同長度相等半徑不同之另一絲。留相同之砝碼於等盤中，作同樣之試驗，求得絲之扭角之平均數 $=\theta'$。用螺旋規測兩金屬絲之半徑各若干次，取其

平均數，為絲之半徑（$=\gamma$，γ'）。比較 θ/θ' 及 γ'^4/γ^4 之兩比率。

【得數】

（A）

等盤中所加之砝碼W	指針之度數		扭角		平均數 θ	θ/W
	(1)	(2)	θ_1	θ_2		
0						
1						
2						
3						
⋮						

（B）　所用之砝碼＝…………，

第一絲扭角之平均數＝θ ＝……，

第二絲扭角之平均數＝θ'＝……，

第一絲之半徑（平均數）＝γ ＝……，

第二絲之半徑（平均數）＝γ'＝……，

$\therefore\ \theta/\theta'$＝……，

γ'^4/γ^4＝……。

【問題】上實習中之各量，測量之時，何者最須精密？求圓盤之轉角，何必用兩指針？

實習 20

玻管水銀溫度表之分度

【目的】 用未刻定點及分度之溫度表，測定溫度。

【解釋】 玻管水銀溫度表，乃一帶球之毛細管，球與管中貯水銀。藉水銀絲在毛細玻璃管內之升降，規定及測量溫度之高低。其法先測定毛細管中水銀絲之頂端，在擇定之兩溫度時（平常以水之冰點及沸點為此兩溫度）之高，作為溫度表之兩定點；將兩定點間之距離，分為若干分；然後凡水銀絲昇高一分度，其溫度之增加，定為一度。

依攝氏之分度法，兩定點間之距離，分為 100 等分，水之冰點為零度，寫作 0°C.；沸點為 100 度，寫作 100°C.。

水之沸點及冰點，皆隨大氣之壓力而變，在壓力距 76 cm. Hg. 不遠時，壓力每增加 2.72 cm.，沸點增高 1 度。

冰點之變更甚微，在平常實驗內，可以不計。

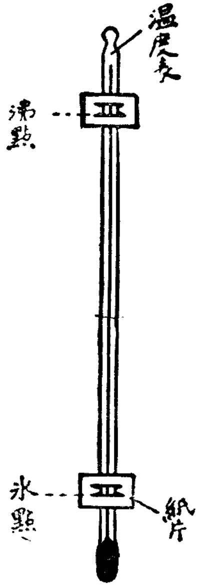
【儀器】 未刻定點及分度之溫度表，通常所用之玻管水銀溫度表，熱量表（即銅罐），碎冰，Bunsen 燈（或酒精燈），米突尺，木架。

【方法】 置碎冰於熱量表內，加涼水少許；夾溫度表於木架上，將表之下端沒於冰水中。取長方形之小紙片，用小

刀在紙中央劃長約 1 cm. 之兩平行線，與紙之長邊平行，將紙片套於溫度表上（圖32）。待水銀絲在玻管中已降至極低之時，將紙片移至水銀絲頭，令管前管後紙片之割邊與水銀絲之頂端同在水平面上，標定水銀絲頂端之位置。此點爲水之冰點。

貯蒸溜水於玻璃杯中，沸之。置溫度表之下端於沸水中，待管之水銀絲不復再昇時，用另一紙片，標定水銀絲之位置。此點爲水之沸點。用米突尺量兩紙片割邊間之距離，爲冰點沸點間之距離＝L。

取去溫度表，將其下端擦乾，置空氣中約數分鐘，待水銀絲不復變動時，將上一紙片移至水銀絲之頂端，下一紙片仍留原處。量兩紙片割邊間之距離＝L_1。



第　32　圖

用玻璃杯取自來水，貯滿。將溫度表置水中，再用上一紙片標定水銀絲頂端之位置，量兩紙片割邊間之距離＝L_2。

觀察氣壓表，由大氣之壓力，推算沸點之溫度。從上得之結果，算出試驗室內空氣之溫度，及自水管新取出自來水

之溫度。

用平常之玻管水銀溫度表（先認明表上每一小分度所代表之度數）直接測定空氣及水之溫度。

【得數】 沸點冰點間之距離＝L ＝……；

在空氣中水銀絲頂端至冰點之距離＝L_1＝……；

在水中水銀絲頂端至冰點之距離＝L_2＝……；

大氣壓力＝…………；

∴ 沸點之度數＝…………。

∴ 空氣之溫度＝－＝……。

∴ 自來水之溫度＝－＝……。

直接測得空氣之溫度＝…………。

直接測得自來水之溫度＝…………。

【問題】 解釋中，何以說‘藉水銀絲在毛細管內之升降’，不說‘藉水銀之膨脹’？

實習 21

玻管水銀温度表之定點

【目的】 校正玻管溫度表之定點，觀察溫度表之“露管差”。

【解釋】 溫度表之冰點及沸點測定後，時日長久，表端玻璃球之容積，漸生變化，遂發生定點之差誤。

若溫度表置於冰水及沸水中，所記之溫度，高於表上標明之定點，則差誤為正；若低於定點，則差誤為負。

凡測定之量，因儀器之不準，不與眞正之量相等時，則欲得眞正之量，必須將測得之量，加以校正。其普通表示之規則為

測得之量＋校正之量＝眞正之量

測得之量－眞正之量＝差誤

故　　　校正量＝－（差誤）

溫度表定點之校正量＝－（定點之差誤）

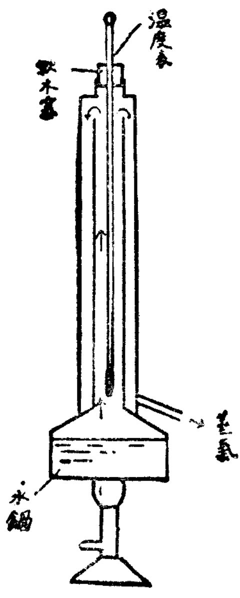
露管差：用溫度表時，若有一部分之水銀絲暴露於外，則此一部之水銀與玻璃球內水銀之溫度不能一致。故測量液體或氣體之溫度時，表上所記之溫度，將視有無水銀暴露於外，及暴露部分之多寡而微生差異。此差異名為溫度表之露

管差。

【儀器】 玻管水銀溫度表(表上最小分度為.1或.2度)，熱量表，冰屑，酒精燈，蒸氣管。

【方法】 置冰屑於熱量表內，加水其中，埋溫度表之玻璃球於冰水中，至0°線。越數分鐘，記溫度表上所記之溫度 $= \theta_o$。

置溫度表於蒸氣管中(圖33)，先令溫度表自0°線以上之玻管，露於塞之外面。置燈於蒸氣管水鍋之下。待有蒸氣從管中發出後再數分鐘，記溫度表所記之溫度 $= \theta$。



第33圖

向木塞內推進溫度表，令塞之表面與溫度表20°之線相平。待數分鐘，記溫度表所記之溫度。將溫度表次第推至40°，60°，80°及100°之線，每次同樣觀察溫度表所記溫度。最後所得者為水之沸點 $= \theta_b$。從最後所得之沸點，減去以前所得之各溫度，為每次之露管差。以露於塞外水銀絲之長(以度數為單位)為橫距，以求得露管差之各數為縱距，作一圖線。

從大氣壓力，推算沸點之溫度＝θ_B（算法見實習20中解釋)。從算得之沸點及測得之沸點，算出溫度表沸點之校正量。

【得數】　測得之冰點＝θ_0＝…，∴冰點之校正量＝……。

大氣壓力＝……，

算得之沸點＝……＝……，

測得之沸點＝θ_b ＝…，∴沸點之校正量＝…。

與木塞相平之度數	露於管外之水銀絲長(度數)	θ	露管差之校正量

【問題】　測水之沸點時，何以不將溫度表置於水中？

實習 22

比熱

【目的】 測黃銅及鉛之比熱。

【解釋】 $$比熱=\frac{增加物體溫度\ 1°C.所需之熱量}{增加同量水之溫度\ 1°C.所需之熱量}$$

因 1 gm. 之水，溫度增高 1°C. 所需之熱量爲 1 cal.，故設有 1 gm. 之物質，溫度增高 1°C. 所需之熱量爲 S cal.，則此物質之比熱爲 S。

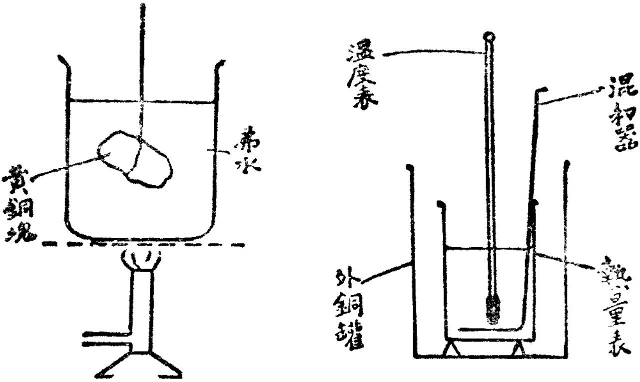
設增加物體溫度 1°C.所需之熱量，與增加若干水量之溫度 1°C.所需之熱量相等，則此水量名爲此物之“水當量”。故物體之水當量＝物體之質量×物質之比熱。

【儀器】 熱量表，溫度表，黃銅塊，鉛球，玻璃杯，試管，酒精燈。

【方法】 秤黃銅塊，記其重量$=W_1$。置水玻璃杯內，沸之，以絲繫銅塊，懸之於水中（圖34）。

擦乾熱量表（即小銅罐），及混和器，秤之，記其重量$=W_2$。貯冷水於熱量表內，及半，再秤之，記其重量$=W_3$。置熱量表於大銅罐內。

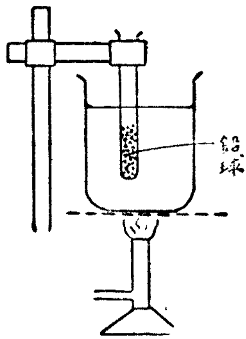
測熱量表內涼水之溫度$=\theta_1$，記沸水之溫度$=\theta_2$。從沸水內取出銅塊，迅速投入熱量表內。混和熱量表內之水，同



第 34 圖

時用溫度表觀察其溫度之變化，記其最高數 $=\theta_3$. 從物理常數表中查出熱量表物質之比熱。算出其水當量。

假定銅之比熱爲 S，立一方程式，一邊表示銅塊從 θ_2 變至 θ_3 所失之熱，一邊表示熱量表內之水及熱量表從 θ_1 變至 θ_3 所得之熱，由此方程式求出 S。



第 35 圖

同樣測小鉛球之比熱。熱鉛球時，可將鉛球置於一乾試管內（圖 35），置管於沸水中，最少 10 分鐘. 然後將鉛球傾入熱量表內。

【得數】 黃銅之重量 $=W_1=\cdots\cdots$;

熱量表及混和器之重量 $=W_2=\cdots\cdots$;

熱量表,混和器及內容水之重量 $=W_3=\cdots\cdots$;

$\therefore$ 水之重量 $=W_3-W_2=\cdots$。

水之溫度 $=\theta_1=\cdots\cdots$;

銅之溫度 $=\theta_2=\cdots\cdots$;

水與銅混和後之溫度 $=\theta_3=\cdots\cdots$;

熱量表之比熱 $=s=\cdots\cdots$;

$\therefore$ 熱量表之水當量 $=e=\cdots\cdots$。

假定銅之比熱 $=S$,

$\therefore$ 銅塊放出之熱量 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

水與熱量表所得之熱量 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

$\therefore$ $S=\cdots\cdots$。

(鉛球得數之登記法仿此)

【問題】 上實習中何處最易發生差誤?

比熱有無單位?

實 習 23

水之密度與溫度之關係

【目的】 用比重瓶，測定水在擇定各溫度時之密度。由水之密度算出水在各溫度時之平均膨脹率。

【解釋】 體積膨脹率：物體之溫度，每增加 1°C.，物體增加之體積，與其在溫度 0°C.時原有體積之比率，為此物體之體積膨脹率。

兩溫度間之平均膨脹率：設物體之膨脹不平匀，其在溫度 t_1 時之體積為 V_1，在溫度 t_2 時之體積為V_2，則$\frac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)}$為此物體在兩溫度 t_1，t_2 間之平均膨脹率。

設有比重瓶，在溫度 t_1 時之容積為 V'_1，玻璃之體積膨脹率為 a，則瓶之溫度為 t_2 時，其容積為

$$V'_2=V'_1\{1+a(t_2-t_1)\}。$$

設此瓶在溫度 t_1 時，瓶內容水之質量為 m_1，則水之密度為 $\rho_1=m_1/V'_1$；設在溫度 t_2 時，容水之質量為 m_2，則水在 t_2 時之密度為 $\rho_2=m_2/V'_2$。故由瓶在各溫度時之容積，及瓶中容水之質量，可以求得水在此各溫度時之密度。

假定已知在溫度 t_1 時，水之密度為 ρ_1，則在溫度 t_1 時，

每單位質量水之體積為 $V_1=1/\rho_1$；已知在溫度 t_2 時，水之密度為 ρ_2，則在溫度 t_2 時，每單位質量水之體積為 $V_2=1/\rho_2$。既知單位質量之水在溫度 t_1 時之體積為 $1/\rho_1$，溫度 t_2 時之體積為 $1/\rho_2$，則由平均膨脹率之定義，得水在 t_1，t_2

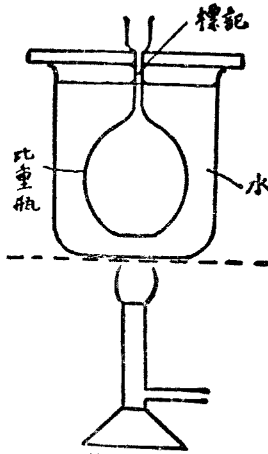
兩溫度間之平均膨脹率 $=\dfrac{\dfrac{1}{\rho_2}-\dfrac{1}{\rho_1}}{\dfrac{1}{\rho_1}(t_2-t_1)}=\dfrac{\rho_1-\rho_2}{\rho_2(t_2-t_1)}$。故由水

在兩溫度時之密度，可以求得水在此兩溫度間之平均膨脹率。

【儀器】 比重瓶，溫度表，水池，方格紙。

【方法】

(A) 置乾比重瓶於天平上秤之，記其重量 $=W_1$。用冰塊減低水池內水之溫度至 4°C. 左右 $(=t_1)$。置比重瓶於池水內約數分鐘（圖36）。以池水滿之，至瓶頸上之標記。取出比重瓶，乾其外部，秤之，記其重量 $=W_2$。假定水在此溫度時，其密度為 1，算出瓶在此溫度時之容積 $=V_1$。



第 36 圖

(B) 次第增高池水之溫度至 20°，40°，60°，及 80° C.。

每次置瓶於池內，以池水滿至瓶頸之標記，求出瓶中容水之質量（當池水之溫度已增至 60°C.時，瓶由池內取出後，可先置於冷水涼之，然後再置於天平上秤之）。

從物理常數表查出玻璃之體積膨脹率。算出瓶在各溫度時之容積，再由秤得之各量，算出在各溫度時，水之密度。以溫度爲橫距，密度爲縱距，作一圖，表示密度與溫度之關係。

從水之度密，算出水在各繼續兩溫度間之平均膨脹率。

【得數】（A）比重瓶之重量 $=W_1=\cdots\cdots$；

瓶加內容水之重量 $=W_2=\cdots\cdots$；

$\therefore$ 水之重量 $=W_2-W_1=\cdots\cdots$。

$\therefore$ 瓶之容積 $=V=\cdots\cdots$。

（B）

溫度	瓶之容積	水之質量	水之密度	平均膨脹率
4°				
				…………
20°				
				…………
40°				
				…………
60°				
				…………
80°				

【問題】 何以溫度高時，先將比重瓶中之水置冰水中涼之，然後置於天平上秤之？

實習 24

水之絕對膨脹

【目的】 測定水在兩溫度間之平均絕對膨脹率。

【解釋】 設有定量之水，在溫度 t_1 時，體積為 V_1；在溫度 t_2 時，體積為 V_2；則每增加溫度 ρ，單位體積增加之平均量 $=\dfrac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)}=$ 水在 t_1，t_2 兩溫度間之平均膨脹率 $(=a)$。

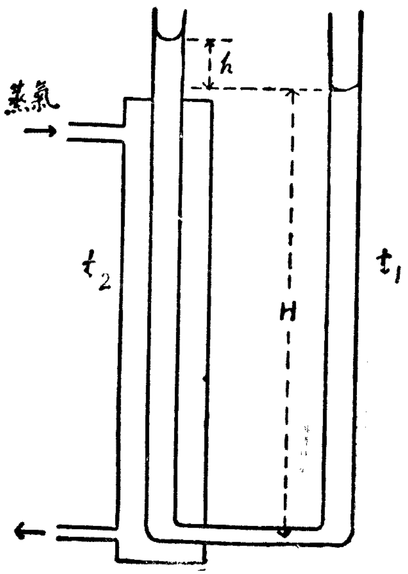
設在溫度 t_1 時，水之密度為 ρ_1，則單位質量水之體積為 $V_1=1/\rho_1$；設在溫度 t_2 時，水之密度為 ρ_2，則單位質量水之體積為 $V_2=1/\rho_2$。在 t_1，t_2 兩溫度間水之平均膨脹率 $=\dfrac{V_2-V_1}{V_1(t_2-t_1)}=\dfrac{\rho_1-\rho_2}{\rho_2(t_2-t_1)}$。故由水在兩溫度間之密度，可以求得水在此兩溫度間之平均膨脹率。

設有 U 形之玻璃管（圖37），兩邊貯水高 H。溫度為 t_1，密度為 ρ_1。今設將一側管內水之溫度增高至 t_2，則水之密度，將隨之而變為 ρ_2，水之高將膨脹至 $H+h$。但兩管既相通，兩管下端水之壓力必等。故 $\rho_2\times(H+h)=\rho_1 H$，即 $\rho_1/\rho_2=1+\dfrac{h}{H}$。以上既證明水之平均膨脹率 $a=\dfrac{\rho_1-\rho_2}{\rho_2(t_2-t_1)}$，故得

$$a=\frac{h}{H(t_2-t_1)}。$$

【儀器】 U 形之玻璃管(一側管置蒸氣管內)，沸水壺，溫度表，酒精燈。

【方法】 貯水於 U 形管內，至水面露出於蒸氣管外爲止。移動兩管中間米突尺上之銅套，測出管中水面之位置。記出水面至 U 形管下端橫管中心之距離 = H。



第 37 圖

貯水沸水壺內，沸之，接導管於蒸氣管上，令蒸氣由管上通入，管下通出。過數分鐘，用銅套測出兩管中水面之位置，算出兩管中水面上昇之高。將溫度表深入涼水管內，測

出冷水之溫度 $= t_1$。由大氣壓力，算出蒸氣之溫度 $= t_2$（參閱實習 20 解釋）。

從量得之各量算出水在溫度 t_1，t_2 間之平均膨脹率。

【得數】 最初由水面至橫管之距離 $= H = \cdots\cdots$；

冷水管中水面上昇之高 $= h_1 = \cdots\cdots$；

熱水管中水面上昇之高 $= h_2 = \cdots\cdots$；

冷水之溫度 $= t_1 = \cdots\cdots$；

熱水之溫度 $= t_2 = \cdots\cdots$；

$\therefore$ 在溫度…間水之平均膨脹率 $= \dfrac{h_2 - h_1}{(H + h_1)(t_2 - t_1)} = \cdots$。

【問題】 何以上實習中測得之膨脹率，名爲絕對膨脹率？

何以上實習中測得之膨脹率，名爲平均膨脹率，且必言明在何兩溫度之間？

實習 25

長膨脹率

【目的】 測黃銅之長膨脹率。

【解釋】 物體之溫度每增高 1°C.,物體所增之長,與原有長之比率，爲物體之長膨脹率。原有之長,通常以物體在 0°C. 時爲標準。

假定物體在 0° C. 之長爲 L_0，在 t_1 時之長爲 L_1，在 t_2 時之長爲 L_2，則物體之長膨脹率

$$a=\frac{L_1-L_0}{L_0 t_1} \text{或} \ a=\frac{L_2-L_0}{L_0 t_2}。$$

又物體從溫度 t_1 至溫度 t_2 所增之長爲

$$L_2-L_1=aL_0(t_2-t_1),$$

$$\text{即} \ a=\frac{L_2-L_1}{L_0(t_2-t_1)}。$$

假定 L_0 與 L_1 相差甚少，上式可變爲

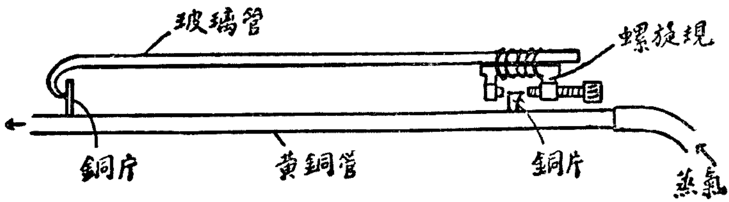
$$a=\frac{L_2-L_1}{L_1(t_2-t_1)}。$$

故測得物體在溫度 t_1 之長，及溫度增至 t_2 時物體增加之長，a 之値可以求出。

【儀器】 黃銅管〔兩端各裝一凸出之銅片；一片與管垂

直，中有小孔，一片與管平行，帶一尖角，向管口（圖38）〕，玻璃管（一端裝螺旋規，他一端彎作鈎形），沸水壺，導管，酒精燈。

【方法】 將銅管水平夾於木架上，貯水沸水壺中，沸之，將溫度表置銅管內約數分鐘，記銅管之溫度 $=t_1$。用米突尺量銅管之長，從管端之銅片起，至他一銅片之角尖 $=L_1$。將玻璃管之鈎，置銅片之小孔中，令他一銅片之角尖恰與螺旋規之端接觸，記螺旋規上之度數。取去玻璃管，用導管連結沸水壺與銅管之一端，令蒸氣由管內通過，約十數分鐘，再用螺旋規測量兩銅片間之距離。記螺旋規之度數。螺旋規兩次記數之差，爲銅管增加之長。從氣壓表所記之大氣壓力，算出蒸氣之溫度 $=t_2$。由上得之各數算出銅之長膨脹率。



第 38 圖

【得數】 兩銅片間銅管之長 $=L_1=\cdots\cdots$,

螺旋規第一次之記數 $=S_1=\cdots\cdots$,

螺旋規第二次之記數 $=S_2=\cdots\cdots$,

$$\therefore\quad \text{銅管增加之長} = S_2 - S_1 = \cdots\cdots,$$

$$\text{銅管最初之溫度} = t_1 = \cdots\cdots,$$

$$\text{大氣壓力} = \cdots\cdots,$$

$$\therefore\quad \text{銅管最後之溫度} = t_2 = \cdots\cdots,$$

$$\therefore\quad a = \frac{S_2 - S_1}{L_1(t_2 - t_1)} = \cdots\cdots = \cdots\cdots。$$

【問題】 何以測銅管之長，可用米突尺，測銅管膨脹之量，須用螺旋規?

銅管全部，同時膨脹，何以僅以兩銅片間之距離，為銅管之長?

實習 26

空氣之膨脹率(1)

【目的】 從定量之空氣在兩定溫度所佔之容積測空氣之膨脹率。

【解釋】 設有定量之空氣，在一定壓力之下，在溫度0°C.時之體積爲 V_0，在溫度 t 時之體積爲 V_t，則 V_t 恆可以下式表之：

$$V_t = V_0(1+at)$$

式中 a 乃一常數，爲空氣之膨脹率。

故空氣之膨脹率等於定量之空氣，每昇高溫度 1°C.所增之體積，與其在 0° C. 時體積之比率。

設有定量之空氣，在溫度 t_1 時之體積爲 V_1，在 t_2 時之體積爲 V_2，則由上之結果，得

$$V_1 = V_0(1+at_1),\qquad V_2 = V_0(1+at_2),$$

從此二式得

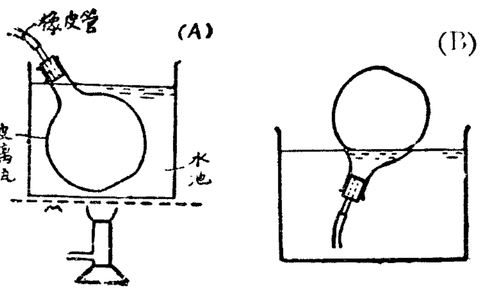
$$a = \frac{V_2 - V_1}{t_2V_1 - t_1V_2}。$$

故從定量之空氣在兩溫度時所有之體積，可以求得空氣之膨脹率。

【儀器】 玻璃瓶（裝橡皮塞，塞中裝小玻璃管，管之上端連短橡皮管），水池，酒精燈，溫度表，細頸漏斗。

【方法】 用酒精少許，洗清玻璃瓶，用抽氣筒將瓶之內部吹乾。將橡皮塞，緊塞瓶口內，秤之，記其重量$=W_1$。

將瓶置熱水池中沉至瓶頸（圖39，A）。用燈將池水燒沸，記其溫度$=t_2$。留瓶於沸水內約5分鐘，用手指緊捏橡皮管，防止空氣出入，急將瓶由沸水內取出，倒置於涼水池內。待瓶口已在水中，放鬆橡皮管，任涼水浸入瓶中。埋瓶之全部於涼水中約數分鐘，瓶口依然向下，記涼水之溫度



第 39 圖

$=t_1$，將瓶底提出水面，使瓶內之水面，與瓶外之水面同在一平面上（圖39，B）。急將橡皮管捏緊，將瓶從水內取出，正放桌上。放鬆橡皮管，擦乾瓶之外部，置天平上秤之，記其重量$=W_2$。用漏斗將水貯入瓶內至細玻璃管之上端，再

將瓶之外部擦乾，置天平上秤之，記其重量 $=W_3$ 假定水之密度為 1，從 W_1，W_2 及 W_3，算出空氣在 t_1 及 t_2 時，在瓶中所佔之容積。假定在 t_1 及 t_2 時瓶中空氣之壓力，同等於大氣壓力，從算得空氣之兩容積及測得之兩溫度，算出空氣之膨脹率。

【得數】 瓶之重量 $=W_1=\cdots\cdots$，

瓶帶水之重量 $=W_2=\cdots\cdots$，

瓶滿貯水之重量 $=W_3=\cdots\cdots$，

空氣在 t_1 時之容積 $=\cdots\cdots$，

空氣在 t_2 時之容積 $=\cdots\cdots$，

涼水之溫度 $=t_1=\cdots\cdots$，

沸水之溫度 $=t_2=\cdots\cdots$，

$\therefore \quad a=\cdots\cdots=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

【問題】 瓶在涼水池內，未捏橡皮管之先，先使瓶內瓶外之水面同在一平面上，用意何在？

上實習中，在 t_1 及 t_2 時，瓶中空氣之壓力，是否皆恰等於大氣壓力？

實　習　27

空氣之膨脹率(2)

【目的】 測定在一定壓力之下，定量之空氣，在不同之各溫度時所佔之容積；用圖線法，從所得之結果，求得空氣之膨脹率。

【解釋】 設有定量之空氣，在一定壓力之下，在溫度 0°C. 時之體積爲 V_0，在溫度 t 時之體積爲 V_t，則 V_t 之値，恆可以下式表之：

$$V_t = V_0(1+at)$$

式中之 a，乃一常數，爲空氣之膨脹率。

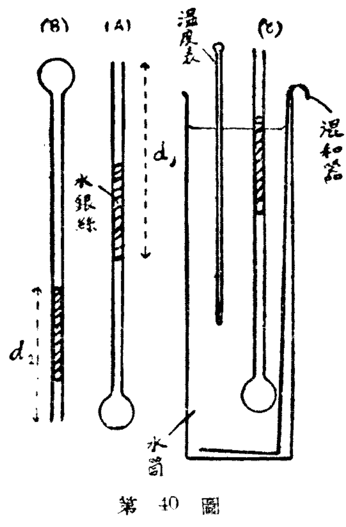
故空氣之膨脹率，等於定量之空氣，每增加溫度 1°C.所增之體積，與在0°C. 時體積之比率。

假定有定量之空氣，已知其在 t_1, t_2, t_3 等溫度時之體積爲 V_1，V_2，V_3 等；今設以溫度爲橫距，體積爲縱距，畫出 (t_1, V_1)，(t_2, V_2)，(t_3, V_3) 等各點；通過各點，作一直線；則此直線之 tan，等於此定量空氣每增高溫度 1°C.所增加之體積。再延長此線與 Y 軸（即 $t=0$）相交。則交點之縱距，等於此定量空氣在 0°C.時應有之體積。以此體積，除以上求得每增高溫度 1°C.所增加之體積，得空氣之膨脹率。

【儀器】 毛細玻璃管（圖40）（一端開口，一端爲球狀，管之中央，有長約 10 cm. 之水銀絲，水銀絲之下封閉定量之空氣），水筒，溫度表，混和器。

【方法】

(A) 玻璃管之容積：將玻璃管垂直夾於木架上，管口向上（圖40，A），用米突尺量管口至水銀絲遠端之距離 $=d_1$；將玻管顛倒(圖40，B)，再量管口至水銀絲遠端之距離 $=d_2$。每次測量兩三次，取其平均數 量水銀絲之長 $=L$。以單位



第 40 圖

管長之容積爲單位，算出全管之容積如下：

假定全管之容積爲 V 單位，則當管口向上時，管中空氣

所佔之容積爲 $V-d_1$，其壓力爲 $H+L$，H 爲大氣壓力；當管口向下時，管內空氣所佔之容積爲 $V-d_2$，其壓力爲 $H-L$。設管內空氣之溫度前後一致，則由 Boyle 氏定律，得

$$(H+L)(V-d_1)=(H-L)(V-d_2)$$

由氣壓表得 H 之值；從上式算出 V。

(B) 空氣之膨脹率：貯水於玻璃筒內，置玻璃管於水中，管口向上，水銀絲以下，全沒於水中（圖 40,C）。混和筒中之水，記其溫度 $=t$，量管口至水銀絲遠端之距離 $=d$。加熱水於筒中，將筒水之溫度增高約 10°C.，再混和筒中之水，記其溫度，量管口至水銀絲遠端之距離。次第將筒水之溫度增高 5 次至 7 次，每次作同樣之測量。從所得之結果，先由 V 及 d，算出管中空氣所佔之容積。作溫度與體積之圖線。由圖線推出空氣在 0°C.時應有之體積，及每增高溫度 1°C.所增加之體積。然後再由此兩數求得空氣之膨脹率。

【得數】 (A)

管口向上時，管口至水銀絲遠端之距離 $=d_1=\cdots\cdots$；

管口向下時，管口至水銀絲遠端之距離 $=d_2=\cdots\cdots$；

水銀絲之長 $=L=\cdots\cdots$；　大氣壓力 $=H=\cdots\cdots$；

∴ 全管之容積 $=V=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

(B)

溫度 t	距離 d	容積 V－d

從圖得在 0°C. 時空氣之容積 $=V_0=\cdots\cdots$；

每增高 1°C.所增加之體積 $=\cdots\cdots$；

∴　空氣之膨脹率 $=\cdots\cdots$。

實習 28

定積空氣温度表

【目的】 用空氣溫度表測水之溫度，以所得之溫度與玻管水銀溫度表所測得之溫度比較。

【解釋】 定積空氣溫度表，乃取定量之空氣，使其體積不變，藉其壓力之變化，規定空氣之溫度。

設此定量之空氣，佔有若干之體積，在水之冰點時，其壓力為 P_0，在水之沸點時，其壓力為 P_θ；將兩壓之差，分為相等之 100 分，於是空氣之壓力，每增加一分，其增高之溫度，即定為 1°C.。

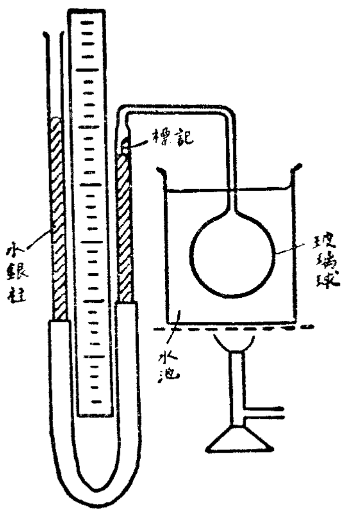
溫度每增高 1°C.，空氣壓力增加之量，以空氣在 0°C. 時之壓力除之，得空氣之壓力增加率。

【儀器】 定積空氣溫度表，玻璃水銀溫度表，水池，碎冰，酒精燈。

【方法】 注意與玻璃球相連之管上，有一標記(圖41)；有此標記，可令球內之空氣常佔相同之容積。

將空氣溫度表之玻璃球，置於水池內，覆以碎冰（未加冰塊之先，應令閉管中之水銀柱，在標記之下數 cm.，不然，則球內空氣因冷而收縮，管中之水銀將被吸入球中）。將玻

管水銀溫度表置冰水中，數分鐘後，記其溫度 $= \theta m$。將空氣溫度表管中水銀柱之頂端升高至管上之標記。量標記之高 $= h_1$。量開管中之水銀柱頂端之高 $= h_2$。置燈於水池之下，混和池中之水(玻璃球之全部必須全沒於池水之中)。注意池水溫度之變化。待溫度約增高至 25°C. 時，將燈取去，混和池水，將閉管中之水銀再升高至標記。量開管中水銀柱之高，同時速記水銀溫度表所記之度數。繼續將池水之溫度增高至50°，



第 41 圖

75°C.及水之沸點；每次同樣將閉管中之水銀增高至標記，量開管中水銀柱頂端之高，記水銀溫度表之溫度。

將閉管中之水銀降低，取去水池下之燈。

對準氣壓表，記大氣壓力＝H cm. Hg，算出沸點之溫度。

算出空氣在各溫度時之壓力＝P_θ。

從空氣在冰點及沸點之壓力，及沸點之溫度，算出空氣之壓力增加率。

從上得之結果，及空氣在其餘各溫度時之壓力，算出各溫度之度數＝θ。以算得之度數與水銀溫度表上所記之度數比較。

【得數】

H	h_1	h_2	θm	P_θ	θ	$\theta-\theta m$

空氣之壓力增加率＝……＝……。

【問題】照上之實驗方法，玻璃球內空氣之體積，是否在各溫度時，皆恰相等？

實習 29

融解潛熱及蒸發潛熱

【目的】 測冰之融解潛熱及水之蒸發潛熱。

【解釋】 將單位質量之冰，變爲同溫度單位質量之水，所需之熱，爲冰之融解潛熱。將單位質量之水，變爲同溫度單位質量之水氣，所需之熱量，爲水之蒸發潛熱。

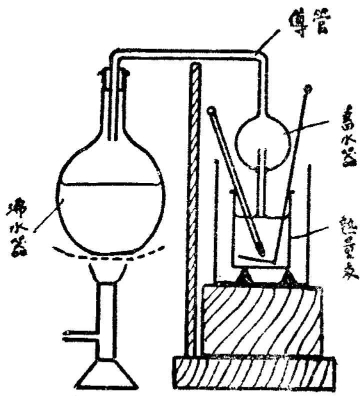
【儀器】 熱量表，溫度表，冰塊，沸水器，帶蓄水管之導管，酒精燈，木塊，鉛片。

【方法】

(A) 擦乾熱量表及混和器，秤之，記其重量 $=W_1$。貯水熱量表內，約滿至三分之二，再秤之，記其重量 $=W_2$。置熱量表於熱水中暖之，令其溫度約比室內之溫度高 5°C.。從水中取出熱量表，擦乾其外部，放入銅罐內，使熱量表立於羊毛墊或軟木塞上，以防熱之傳導。混和熱量表內之水，記其溫度 $=\theta_1$。取小冰數塊，去其表面之水，逐漸放入熱量表內，同時觀察表內水之溫度。待其溫度降至室內溫度約 5°C.以下，停止加冰。繼續混和表內之水，待全部之冰融解無餘，記溫度表所記之最低溫度 $=\theta_2$。

再秤熱量表及混和器，記其重量 $=W_3$　查出熱量表物

質之比熱。算出熱量表及內容水從溫度 θ_1 降至 θ_2 所失之熱，及冰塊變爲水後由 0°C. 升至 θ_2 所得之熱；由此得冰之融解潛熱。



第 42 圖

(B) 貯水沸水器內，置火其下熱之(圖42)。連結導管，以鐵夾夾之。置水熱量表內，約滿至三分之二。加冰塊少許，使表內水之溫度，約比室內之溫度低 10°C.。秤熱量表及混和器，記其重量 $= W_1$。

將沸水器中之水燒沸。待已有蒸氣從導管中續出不絕，先量出表內水之溫度 $= \theta_1$，置木塊於導管管口之下，木塊與沸水器之間，置鉛板，防輻射之熱，影響表內水之溫度。置熱量表於木塊之上，令導管之口，緊接水面。用混和器混

和表內之水，同時觀察水之溫度（注意勿令熱水由導管之口滴入表內），待溫度升至比室內溫度約高 10°C.，將熱量表取下，繼續混合熱量表中之水，記其最高之溫度 $=\theta_2$。速秤熱量表及混和器，記其重量 $=W_3$。由大氣壓力，算出蒸氣之溫度 $=\theta_3$ 從上得之結果，先算出熱量表及表中之水從溫度 θ_1 增高至 θ_2 所得之熱，及蒸氣已變水後，由沸點 θ_3 降至 θ_2 所失之熱。由是算出每單位質量蒸氣凝結時所失之熱，即為水之蒸發潛熱。

【得數】　熱量表及混和器之重量 $=W_1=\cdots\cdots$,

熱量表混和器加水之重量 $=W_2=\cdots\cdots$,

熱量表混和器加水加冰之重量 $=W_3=\cdots\cdots$,

∴　水之重量 $=\cdots\cdots$;　冰之重量 $=\cdots\cdots$;

熱量表加冰以前水之溫度 $=\theta_1=\cdots\cdots$,

熱量表加冰之後水之溫度 $=\theta_2=\cdots\cdots$,

熱量表之水當量 $=e=\cdots\cdots$,

∴　熱量表及其內容物所失之熱量 $=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

冰融解時所取之熱量 = 冰之潛熱 × 冰之質量 $=L(W_3-W_2)$。

冰變水後增加溫度時所取之熱量 $=\cdots\cdots$。

因熱量表及其內容物所失之熱量 = 冰融解時所取之熱量

＋冰變水後增加溫度所取之熱量。故

$L=\cdots\cdots$。　　　　試驗室之溫度$=\cdots\cdots$。

〔(B) 之得數仿此〕

【問題】 何以未加冰時，先將表內水之溫度升高；未加蒸氣時，先將表內水之溫度減低？何以求熱水之質量時，必須速秤？

實習 30

熱傳導率

【目的】 測銅之熱傳導率。

【解釋】 設有銅柱，長為 L，橫斷面積為 A，柱之一端，溫度為 θ_2，他端溫度為 θ_1，$\theta_2>\theta_1$，則每秒鐘內由高溫度一端，經過銅柱，傳至低溫度一端之熱量 φ，可以下式表顯之：

$$\varphi=K\frac{\theta_2-\theta_1}{L}A。$$

式中K為一恆數，為銅之熱傳導率。故銅之熱傳導率，等於單位長，單位橫斷面積之銅塊，兩端溫度相差 1°C. 時，每秒鐘內自一端傳至他端之熱量。

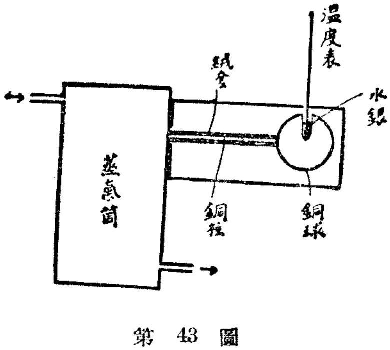
【儀器】 細銅柱（圖43）（上有氈質套，防熱之散發，一端螺旋於銅球上，他一端螺旋於蒸氣筒上，銅球之上，有小孔容溫度表之玻球），溫度表，沸水壺，停錶，熱量表，以脫。

【方法】 貯水於沸水壺內，沸之。用導管將蒸氣導入蒸氣筒內。加少量之水銀於銅球之孔內。將溫度表插入孔內。將熱量表套於銅球之上。加以脫少許於銅球上，以減低銅球

之溫度至室內溫度以下約 2°C.。用停錶記銅球之溫度每增高 0.2°C. 所需之時間，至溫度增至室內溫度以上約 2°C. 為止。

作一溫度與時間之關係圖線。從圖量出當銅球之溫度與室內之溫度相等時，銅球每秒鐘增加之溫度（即於圖上銅球與室內溫度相等之一點，量出圖線之 tan.）。

記室內之溫度 $=\theta_1$。由大氣之壓力，算出蒸氣之溫度 $=\theta_2$。秤銅球，記其重量 $=W$。查出銅在 θ_1 時之比熱。量銅柱之半徑 $=a$，及除去兩端螺絲後銅柱之長 $=L$。



第 43 圖

假定當銅柱之溫度與室內之溫度相等時，銅球每秒鐘所得之熱量，即等於銅柱每秒鐘傳來之熱量，由上得之結果，可以算得銅之熱傳導率。

【得數】

溫度 θ	時間 t	溫度 θ	時間 t

試驗室之溫度$=\theta_1=\cdots\cdots$,

從圖得銅球在 θ_1 時溫度增高之速率$=D=\cdots\cdots$,

銅球之重$=W=\cdots\cdots$, 銅球之比熱$=S=\cdots\cdots$,

銅球每秒鐘內所得之熱量$=WSD=\cdots\cdots$,

銅柱之半徑(平均數)$=a=\cdots\cdots$, 銅柱之長$=L=\cdots\cdots$,

大氣壓力$=\cdots\cdots$, ∴ 蒸氣之溫度$=\cdots\cdots$。

∴ 銅之傳導率$=\cdots\cdots$。

【問題】 銅球孔內之水銀何用?

銅球孔內水銀之溫度,既隨銅球之溫度而增加,則計算每秒內銅球所得之熱量時,上式應如何改正?

實 習 31

失 熱 之 定 律

【目的】 求(1)液體溫度低落之速度；(2) 求溫度低落之速度與當時溫度之關係；(3)從溫度與時間之關係圖上，推求液體之冰點。

【解釋】 Newton 氏失熱之定律：物體失熱之速率，與物體溫度及環境溫度二者之差成比例。

物體溫度之低落，由於熱之外散。當物體由液體變爲固體時，潛熱放出，故此時溫度低落之速度減少。待全部之液體盡變爲固體後，潛熱已完，速度復增。故若令物體由液體變爲固體，而觀察其溫度之低落，作一溫度與時間之關係圖，圖之上必有平坦之部分。此平坦之部分，與液體之冰點相當。

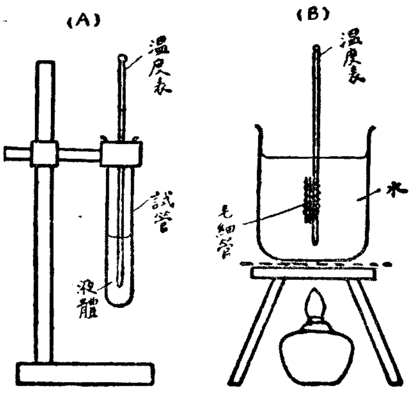
【儀器】 玻璃試管，玻璃杯，溫度表，酒精燈，白蠟油，毛細管，方格紙，停錶（或帶有秒鐘之錶）。

【方法】 (1)置少量之水於試管中，約深數 cm.。貯水玻璃杯內，以火熱之，將試管下端沉熱水內。待水之溫度增至 90°C. 左右，將試管取出，夾於鐵夾之兩軟木間（圖44，A）。用另一木架夾溫度表，將溫度表置試管內，令表之玻璃球全沒水中，不與玻璃接觸。從溫度表上水銀柱經過 90°C.之時間

起，記錶上之時刻。以後每隔半分或一分鐘，記溫度表上所記之溫度，至溫度降至約 25°C. 爲止。

(2) 置白蠟於另一試管內，置試管於沸水中熱之。同樣從 90° C. 起，每隔半分鐘或一分鐘，記其溫度，至溫度降至約 45°C. 爲止。

記試驗室內之溫度 $=\theta$。



第 44 圖

(3) 於同紙上，作水及白蠟之溫度時間關係圖，以時間爲橫距，溫度爲縱距。注意兩線不同之處。從白蠟之圖線，推測白蠟之冰點。

(4) 從水之溫度低落圖，量出水之溫度經過 80°C. 時前後 5 分或 10 分鐘內，水之溫度低落若干度。算出溫度之低

落速率。同樣算出水之溫度在 70°，60°，50° 及 40°C. 之左右時，溫度低落之速率。以溫度低落之速率為橫距，水之溫度與室內溫度二者之差為縱距，作圖線於另一紙上。

(5) 貯少量之白蠟於短毛細管內，用線繫毛細管於溫度表之玻璃球上（圖44，B）。置溫度表於玻璃杯內，用小火將杯內水之溫度徐徐增高，同時注意毛細管內白蠟之變化。於白蠟變為透明時，記溫度表之溫度。將火取去，令杯中之水漸冷。於白蠟復變為不透明時，再記溫度表上之溫度。取兩溫度之平均數，為白蠟之冰點。

【得數】

水	時　間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	溫　度										
白　蠟	時　間										
	溫　度										

室內溫度＝……。

水之溫度與室內溫度之差						
溫度低落之速率						

從圖得白蠟之冰點＝……。

$$\left.\begin{array}{r}\text{白蠟變爲透明時之溫度}=\cdots\cdots,\\ \text{白蠟變爲不透明時之溫度}=\cdots\cdots,\end{array}\right\}\therefore\text{白蠟之冰點}=\cdots。$$

【問題】 熱白蠟時，不將試管直接置於火上，而置於熱水中熱之何故?

實習 32

凝露點

【目的】 測凝露點；由凝露點推算空氣之相對濕度。

【解釋】 在一定溫度之下，定量空氣內，能含之水氣，有一定之限度；達此限度，則空氣中之水氣飽和；過此限度，則所多之水氣，凝爲露珠，雨點或霜雪冰雹等。

水氣之壓力，視定量空氣內所含水氣之多寡爲比例。當水氣飽和時，水氣之壓力最大，故此壓力，名最大之水氣壓力，或飽和水氣壓力。定量空氣內，所能含水氣之最大限度，視溫度而增加，故飽和水氣之壓力，亦視溫度而增加。飽和水氣之壓力，與溫度之關係，可以由物理常數表查得之。

空氣之相對濕度，等於現時定量空氣中所含之水氣量，與飽和時同量空氣內所含水氣量之比率。或等於現時空氣中水氣之壓力，與飽和時水氣壓力之比率。

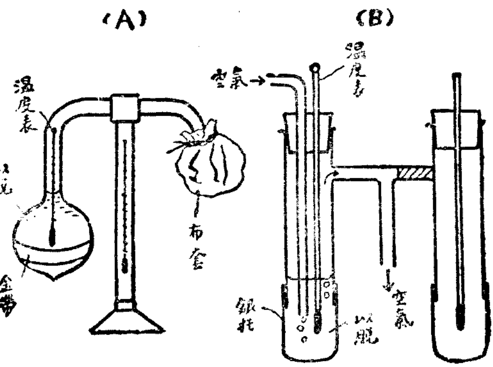
假定現時空氣內水氣之壓力爲 P_2，此壓力與溫度 T_2 時水氣之飽和壓力相當；但現時空氣之溫度爲 T_1，較 T_2 爲高，故現時空氣內之水氣，尙未飽和。今若將空間一部分空氣之溫度減至 T_2，則此部分內之水氣飽和，將凝結於與冷空氣接觸之物面上，而成露珠。此溫度 T_2，即爲現時空氣之凝露點。

若知現時空氣之溫度，從物理常數表可知現時飽和水氣之壓力；若知現時空氣之凝露點，從表可知現時空氣內水氣之壓力。由此二者可得現時空氣之相對濕度。

【儀器】 Regnault 氏之濕度表（圖45,B），Daniell 氏濕度表（圖45,A），抽氣管。

【方法】 注意兩種濕度表之構造。

將抽氣管與 Regnault 氏濕度表之中管連接，令空氣由管中之以脫內經過，助其蒸發，減低其溫度（此時所用之氣流，不妨較大，令以脫之溫度低落迅速）。待溫度低落至若干度以下，管下之銀托面上，發生露珠。於是從管中之溫



第 45 圖

度表，記以脫之溫度。此時溫度低落既速，故當管外空氣之溫度，降至凝露點時，管中以脫之溫度必已降至凝露點之下。故溫度表上所記之溫度，必較凝露點為低。

將氣流停止，任管中以脫之溫度，徐徐增高。待溫度增至若干度時，銀托面上之露珠消滅。再記溫度表上之溫度。此溫度又必較凝露點爲高，但比以前之得數爲相近。

再令氣流通過以脫內，待溫度已降近至凝露點時，將氣流減少，使以脫之溫度徐徐低落。用一紙片，試擦銀托之面，見有痕跡可辨時，記溫度表上之溫度。停止氣流，再令以脫之溫度徐徐增加。及銀托面上不現痕跡時，記溫度表上之溫度。如此重復試驗，直至先後所得之兩溫度相差不過 0.2° C.。取其平均數，爲凝露點。從他管內之溫度表上，記室內之溫度。

加以脫於 Daniell 濕度表玻璃球之布套上，使他一球內以脫之溫度低降，用紙片試擦球上之金帶。如上求得凝露點之溫度。

由物理常數表查出與現時室內溫度相當，及與凝露點相當之飽和水氣壓力。算出現時空氣之相對濕度。

【得數】 Regnault 氏濕度表：露珠發見時之溫度＝……，

露珠消滅時之溫度＝……，

∴　凝露點＝……。

與室內溫度相當之飽和水氣壓力＝……，

與凝露點溫度相當之飽和水氣壓力＝……，

∴　相對濕度＝……。

Daniell 氏濕度表：（得數記法仿上）

【問題】 R 濕度表他一管上之銀托何用？

兩種濕度表之構造，孰優孰劣？

實　習　33

響　應　管

【目的】　用響音管測空氣傳音之速度。

【解釋】　音波在某物質中每秒鐘傳達之遠，爲此物質傳音之速度(V)。

物體或物質中之質點，每秒鐘內振動之次數，爲物體或質點之振動數(n)。

振動一次所需之時間，爲振動之週期(T)。

繼續兩波峯間之距離，爲波長(λ)。

由上之定義，得 $V=n\lambda$，$T=\frac{1}{n}$。

設有玻璃管一端開口，一端閉口；開口之上，置音义，上下振動；則此上下振動的運動，先由音义傳於附近之空氣，再由管口以上之空氣，傳於管內之空氣，及管底，發生反射，復由管內之空氣，傳於管外之空氣。

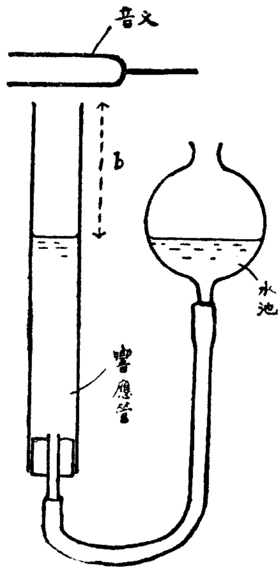
設音波在管內一來一往所需之時間，等於振動週期之$\frac{1}{2}$，$\frac{3}{2}$，$\frac{5}{2}$等倍數，則由管內傳出之振動，與管外空氣原有振動之方向相合，遂發生響音現象，即空氣振動之振幅加大，聲音之強度大增。

在一週期之時間內，音波傳達之遠，既等於音波之長，故欲令音波在管內一來一往所需之時間爲週期之$\frac{1}{2}$，$\frac{3}{2}$，$\frac{5}{2}$等倍，則管之長必需等於波長之$\frac{1}{4}$，$\frac{3}{4}$，$\frac{5}{4}$等倍。

（依理論，玻璃發生響應現象時，管之實長，須加"管口校正量"，方等於上述音波之各倍數。此管口校正量，約等於管半徑之6/10。）

【儀器】 響應管，音叉，米突尺。

【方法】 以軟搥擊音叉，使其齒上下振動。持音叉於管口之上（圖46），同時提水瓶，令玻管內之水面，由管口漸漸向下低降。待水面降至一定之距離時，發生響應現象。用管上之橡皮圈標明此時水面所佔之位置。令水面在橡皮圈之上下，升降若干次，測定水面居何位置時，管中發出之音聲最大。移橡皮圈至此點，量自管口至橡皮圈之距離＝a。再將水面向下低降，待再降低至一定之距離時，管內發生第二次響應現象。同樣用橡



第46圖

皮圈標明水面之位置。量自管口至橡皮圈之距離$=b$。用同樣之方法量得第三，第四，等次發生響音時水面至管口之距離$=c,d,e$等。

假定上述應當加於管長之管口校正量爲 x，則依理論

$$a+x=\frac{1}{4}\lambda;\quad b+x=\frac{3}{4}\lambda;\quad c+x=\frac{5}{4}\lambda;\quad d+x=\frac{7}{4}\lambda;\cdots$$

$$\text{即}\quad b-a=\frac{1}{2}\lambda;\qquad c-a=\lambda;\qquad d-a=\frac{3}{2}\lambda;\qquad \cdots$$

由上式求得 λ 之平均數。從音叉之振動數 n（標明於音叉之上）及 λ 之平均數，算出空氣傳音之速度 V。

用其餘之兩音叉，作同樣之實驗。從三次所得之結果，算得 V 之平均數。

從各音叉 λ 之平均數及 a，算出管口校正量。

記試驗室內之溫度。

【得數】

音叉	振動數 n	響應距離	λ	平均 λ	$V=n\lambda$
第一音叉		$a=\cdots\cdots$ $b=\cdots\cdots$ $c=\cdots\cdots$ $d=\cdots\cdots$	$b-a=\cdots;\therefore\lambda=\cdots$ $c-a=\cdots;\therefore\lambda=\cdots$ $d-a=\cdots;\therefore\lambda=\cdots$ $\cdots\cdots\cdots;\cdots\cdots\cdots$		
第二音叉					
第三音叉					

平均V＝……。

室內溫度＝……。

管口校正量＝－＝……。

【問題】 登記室內之溫度何意？

實習 34

拍音

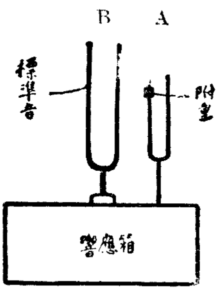
【目的】 測定兩音叉每秒鐘內拍音之數；試驗音叉上附重，對於其音調之影響。

【解釋】 振動數：音叉每秒鐘內振動之次數，為音叉之振動數。設有兩音叉，同時振動，則從兩音叉所發出之音波混合；若兩音叉之振動數，相差甚少，則混合音波之強度，發生高低循環變化；此種變化，謂之拍音。

每秒鐘內拍音之數，等於兩發音體振動數之差。

【儀器】 音叉，軟搥，停錶，方格紙。

【方法】 將音叉A及B裝於響應箱上（圖47），以軟搥擊之，使之同時振動。（或將一音叉裝箱上，將他一音叉之柄與箱或桌面接觸。）從某一次之拍音起，數拍音之數，至不可辨別為止。用停錶記經過之時間。從拍音之數及所經之時間，算出每秒鐘內拍音之數。此數即等於兩音叉振動數之差。



第 47 圖

欲求兩音叉之振動孰大孰小，加一小蠟塊，或小銅片，於音叉A

之齒上，再測定每秒鐘內拍音之數。音叉附重之後，則振動數減少，故若第二次測得之拍音數，較第一次少，則音叉A原有之振動數，必較音叉B之振動數爲多。反之，如第二次測得之拍音數較第一次爲多，則音叉A之振動數，必較音叉B爲少。假定音叉A或音叉B之振動數爲已知，從上得之結果，算出他一音叉之振動數。

將小重附於音叉A之齒上，令其位置逐漸移向音叉之柄端，每次測出每秒鐘內之拍音數，量附重至齒端之距離。以距離爲橫距，每秒鐘內之拍音數爲縱距，作圖線表示所得之結果。

【得數】　第一次拍音之總數＝……，

時間＝……，

∴每秒鐘內拍音之數＝……；

（音叉……之齒上附重）

第二次拍音之總數＝……，

時間＝……，

∴每秒鐘內拍音之數＝……；

已知音叉A之振動數＝……，

∴音叉B之振動數＝……。

每秒鐘內之拍音數						
重量至齒端之距離						

【問題】 何以將音叉之柄與桌面接觸時，音叉發出之音聲，較之持音叉於手中時爲强？

實習 35

獨　弦　琴

【目的】　求弦長與音調，及張力與音調之關係。

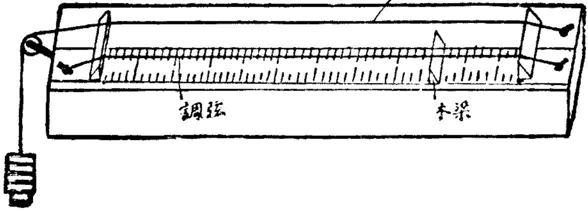
【解釋】　設琴弦之張力不變，則弦之音調(振動數)與琴弦之長成反比例；設令音調爲 n，弦長爲 L，則 $nL=$ 恆數。

設琴弦之長不變，則音調與張力之平方根成比例；設令張力爲 T，則 $\frac{\sqrt{T}}{n}=$ 恆數。

【儀器】　獨弦琴，音义，砝碼。

【方法】

(A)音調與弦長之關係：擇音調最低之音义，令其與琴上之調弦(圖48)，同時振動。將音义之柄靠於琴板上，用耳力辨別音調之高低。旋轉琴弦一端之螺絲釘以增減弦之張力，改變其音調，先令其高低與音义音調之高低相近；然後



第 48 圖

置木樑於弦之下，近於弦之一端，變動其位置，令調弦與音叉二者之音調恰相等。（辨別之法，可先令琴弦與音叉發生拍音。然後將木樑之位置逐漸移動，令拍音之數，逐漸減少，直至不可辨別。若耳之辨別力不足，可置倒V形之輕紙片於調弦振動一段之中央，若弦之音調，與音叉之音調幾相等，則音叉振動時，其柄一與琴面接觸，琴弦將緣響應之作用，隨之振動，弦上之紙片，將在弦上飛動。若弦之音調與音叉之音調恰相等，則弦振動之猛烈增加，音叉一與琴板接觸，紙片將立即飛脫。）既求得調弦音調與音叉音調恰相等時，記弦之長$=L_1$（即振動一段之長）。記音叉之振動數$=n_1$。

不變調弦之張力，移動弦下之木樑；用同法令弦之音調與第二及第三音叉之音調相等，記每次弦之長，及音叉之振動數。比較弦長與音調之相乘積。

(B) 音調與張力之關係：照上法置木樑於調弦下之一端，令調弦之音調與第一音叉之音調恰相等；求得 L_1。

掛相當之重量於他一琴弦之一端，令其音調與調弦之音調相近。移動調弦下之木樑，令兩弦之音調恰相等。量調弦振動一段之長$=L'_1$。應用實習(A)之理，算出現時調弦及他一弦之音調 $=n'_1=n_1\frac{L_1}{L'_1}$。記弦上之張力$=T_1$。增加弦上

之張力至T_2。移動調弦下之木楔，再令其音調與第二弦之音調相等。記調弦之長$=L'_2$。算出第二次調弦之音調$=n'_2$。再增加弦上之張力至T_3，同法測定其音調n'_3。比較$\sqrt{\frac{T}{n'}}$之值。

【得數】

(A)　$n_1=\cdots\cdots$，　$L_1=\cdots\cdots$，　$n_1L_1=\cdots\cdots$；

$n_2=\cdots\cdots$，　$L_2=\cdots\cdots$，　$n_2L_2=\cdots\cdots$；

$n_3=\cdots\cdots$，　$L_3=\cdots\cdots$，　$n_3L_3=\cdots\cdots$；

……………………………………

(B)　$T_1=\cdots\cdots$，　$n'_1=n_1\frac{L_1}{L'_1}=\cdots\cdots$，　$\sqrt{\frac{T_1}{n'_1}}=\cdots\cdots$；

$T_2=\cdots\cdots$，　$n'_2=n_1\frac{L_1}{L'_2}=\cdots\cdots$，　$\sqrt{\frac{T_2}{n'_2}}=\cdots\cdots$；

$T_3=\cdots\cdots$，　$n'_3=n_1\frac{L_1}{L'_3}=\cdots\cdots$，　$\sqrt{\frac{T_3}{n'_3}}=\cdots\cdots$。

實　習　36

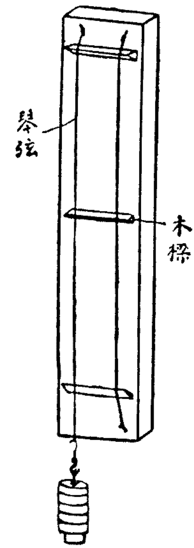
音調之絕對測定

【目的】 用獨弦琴測定音叉之音調。

【解釋】 設琴弦之張力 = T dynes，單位弦長之質量 = m gm.，琴弦之長 = L cm.，則其振動數 $n = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{m}}$。

【儀器】 獨弦琴，音叉，弦線。

【方法】 加相當之重量於弦之一端（圖49），擊音叉，使之振動。將音叉之柄置琴板上。彈琴弦，試其音調，增減弦端之重，令弦之音調與音叉之音調約略相等。移動弦下木樑之位置，令琴弦發出之音調，恰與音叉之音調相等。〔辨別之法，可先令琴弦與音叉發生拍音，然後將木樑之位置稍微變動，令拍音之數，逐漸減少，直至不可復辨。若琴爲水平位置（參閱圖48），可置倒V形之紙片於琴弦之中央。若琴弦與音叉之音調幾乎相等，則音叉一與琴板接觸，琴弦即緣響應之作用，隨之



第 49 圖

振動，紙片將在弦上飛動。若琴弦與音叉之音調恰相等，則琴弦之振動猛烈，音叉一與琴板接觸，紙片立即飛落。）記弦上之張力＝T。量弦之長＝L_1。增加弦上之張力至T_2，T_3，T_4等；每次變動木梁之位置，令琴弦發出之音調，恰與音叉之音調相等。量琴弦之長＝L_2，L_3，L_4等。比較$\frac{\sqrt{T}}{L}$之值算出其平均數。

秤另備與琴弦相同之金屬線。量其長，算出每單位線長之質量 ＝m（或由弦之半徑及線質之比重間接算出之）。從$\frac{\sqrt{T}}{L}$之平均數及 m 之值，依上式算出音叉之音調。

【得數】

琴弦之長 L	張力 T	$\sqrt{T}$	$\frac{\sqrt{T}}{L}$

平均數$\frac{\sqrt{T}}{L}$＝……；

弦線之長 ＝……；

弦線之重 $=\cdots\cdots$;

$\therefore$ 單位線長之質量 $=m=\cdots\cdots$

$\therefore$ 音叉之音調 $=n=\dfrac{1}{2L}\sqrt{\dfrac{T}{m}}=\dfrac{1}{2\sqrt{m}}\cdot\sqrt{\dfrac{T}{L}}=\cdots\cdots$。

(音叉上標明之振動數$=\cdots\cdots$。)

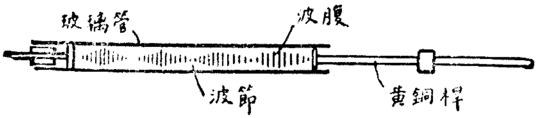
【問題】 將琴之位置由水平的改爲垂直的，有何優點?

實習 37

Kundt 氏管

【目的】 用 Kundt 氏管，測黃銅傳佈縱波之速度。

【解釋】 設將一黃銅桿之中點夾於鐵夾內，用布包桿之一端，帶少許松香末擦之，則桿之內部，發生縱波，桿之中點，爲波節，兩端爲波腹，波之長，等於桿長之一倍。設桿之一端，裝軟木片，置於一大玻璃管內（圖50），管中置乾



第 50 圖

軟木屑，他一端裝可以移動之軟木塞，則當銅桿振動時，縱波由銅桿傳於玻璃管內之空氣；若管內兩端木片間之距離適當，則管中空氣，發生響音現象，成定常波，將管中之木屑集於各波節上。故由管中木屑之集合點，可以測管中空氣之波長。若假定空氣傳音之速度爲已知，則從音波之長及傳音之速度可以算出音波之振動數。此振動數，必與黃銅桿內縱波之振動數相等。旣知桿內縱波之振動數及波長，可以算出黃銅傳音之速度（速度＝波長×振動數)。

【儀器】 黃銅桿， Kundt 氏管，軟木屑，松香末，粗布，鐵夾，米突尺。

【方法】 用布擦淸大玻璃管之內部，置少許之乾木屑於其中。搖振玻管，使木屑平均散布於管之全部。將裝玻管之木架緊夾桌面上。將黃銅桿之中點，夾於鐵夾內，將桿上一端之木片，放於玻管之內。將玻管略轉，使木屑附着於玻管之側面，俾管內空氣振動時木屑易於感受其振動之影響。用粗布帶少許之松香末，包黃銅桿擦之，令之振動出聲，同時推移玻璃管內他一端之木塞。待兩木塞間之距離變至適當之大小時，管內木屑卽作急烈之振動，成疏密相間之波形狀態（圖50）。擇定相距最遠之兩波腹或波節，量其距離，記所量之節數，算出波長。

再振搖玻管，將木屑散布全部，作同樣之實驗兩次，每次算出波長。

由物理常數表查出空氣在 0°C. 時傳音之速度。由此數，依上之公式，算出實習時空氣傳音之速度。

由黃銅桿之長，及桿內縱波之振動數，依上述之理，算出黃銅傳音之速度。

再由物理常數表查出黃銅之密度及其 Young 氏彈性率，依下式，算出黃銅傳音之速度。

$V=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$，式中V為黃銅傳音之速度，E為黃銅之Young氏彈性率，ρ為黃銅之密度。

【得數】

擇定兩波節間之距離	波節之數	波長

平均波長＝……，

空氣在0°C.時傳音之速度＝……，

室內之溫度＝……，

∴ 實習時空氣傳音之速度＝……。

縱波之振動數＝……，　黃銅桿之長＝……，

∴ 黃銅傳音之速度＝……。

黃銅之密度＝……，　黃銅之 Young 氏彈性率＝……，

∴ 黃銅傳音之速度＝……。

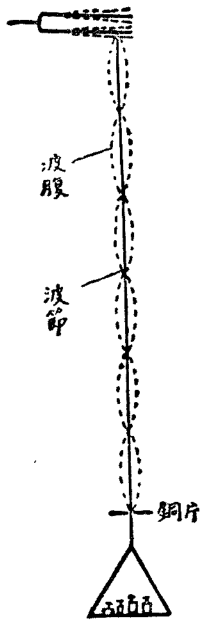
實　習　38

線之橫向振動

【目的】 證明橫波在線上傳布之速度＝$\sqrt{\dfrac{\text{線之張力}}{\text{單位線長之質量}}}$。

【解釋】 設有一線，一端繫於一定點上，從線之他一端發出連續之波動，則此波動由線之此端，向定點一端傳布，達定點，發生反折現象，將原波折回，線上各點，遂同時感受兩波之影響，作恆定之橫向振動，將全線之長，分爲若干振動段節。此種恆定之振動，名爲定常波。

傳布定常波之物質，其中各質點，既皆同時感受往返兩波之影響，有當兩波經過時，兩波振動之振幅相等，方向恆相反，故其影響抵消，質點常靜止；此各點名波節。反之，位於兩波節中點之各質點，當兩波經過時，兩波振動之方向，恆相同，影響相加，故各點振動之振幅增大；此各點名爲波腹。



第 51 圖

接續兩波節或兩波腹間之距離，等

於原有波長之半。設 V 爲波之速度，n 爲振動數，λ 爲波長。V 恆等於 nλ。故若上式確實，則 $V=n\lambda=\sqrt{\frac{T}{m}}$；式中 T 爲張力，m 爲單位線長之質量，二者皆爲 C. G. S. 絕對單位。

【儀器】 Melde 氏器械，蓄電池，標準音叉，電流關鍵，砝碼。

【方法】

(A)連結電池及藉電磁振動之音叉。置電流關鍵於電路之中。繫長線之一端於音叉之一齒上。於線之他一端，繫等盤，將線之下端置於可以上下移動之銅片夾縫中（圖51）。

通電流，使音叉振動。加砝碼於盤中，令線之振動分爲若干段節（假定爲 3）。略微移動銅片之位置，令線上之各波節完全不發生振動（若機械上無此銅片，可增減盤中之重量）。變換盤中之砝碼，令線上振動段節之數目，次第爲 3，4，5，等。每次量銅片至線端之距離，記線上之張力＝T。算出每次之波長＝λ。

(B)應用拍音之理（參閱實習34），從標準音叉之振動數，測量實習中所用音叉之振動數。設實習時音叉上之繫線與音叉之齒平行，則線之振動數，即等於音叉之振動數。設線與音叉之齒垂直（如圖51），則線之振動數等於音叉振動數之半。記線之振動數＝n。

取若干長之線秤之。量其長，算出單位線長之質量$=m$。比較每次$n\lambda$與$\sqrt{\frac{T}{m}}$之値，及各次$\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$之値。得數用下之表式登記之。

【得數】　線之重量$=\cdots\cdots$，

線之長$=\cdots\cdots$，

$\therefore$　單位線長之質量$=m=\cdots\cdots$。

標準音义之振動數$=\cdots\cdots$，

每秒鐘內拍音之數$=\cdots\cdots$，

$\therefore$　音义之振動數$=\cdots\cdots$。

線之振動數$=n=\cdots\cdots$。

振動段數	振動線長	波長$=\lambda$	張力$=T$	$\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$	$n\lambda$	$\sqrt{\frac{T}{m}}$

【問題】　證表中$\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$一行所得各數，應爲一恆數。

實習 39

平面鏡

【目的】 實驗平面鏡之反射定律。

【解釋】 從光之投射線與鏡面相遇之點，作一直線，與鏡面垂直，此線名鏡面之法線。

包含光之投射線及鏡面法線之平面，名投射面。

投射線與法線所成之角，名投射角；反射線與法線所成之角，名反射角。

反射定律：（a）投射線，反射線，法線，同在一平面上。

（b）投射角與反射角相等。

由平面鏡反射定律可以推得平面鏡反射時，（a）物至反射面之距離，與像至反射面之距離相等；（b）連結物像二者之直線，與反射面垂直。

視點差：兩物之相對位置，因觀察點之不同，發生差異；此差異，名視點差。

【儀器】 平面鏡片*，繪圖紙，針，分度規，米突尺。

【方法】

（A）紙上作直線，線上立長短兩針。用一目依直線之方向

* 平面鏡最好選一反射面在鏡之前面者。例如黑質之玻璃磚，即可充用。不然亦應選一鏡片較薄者。

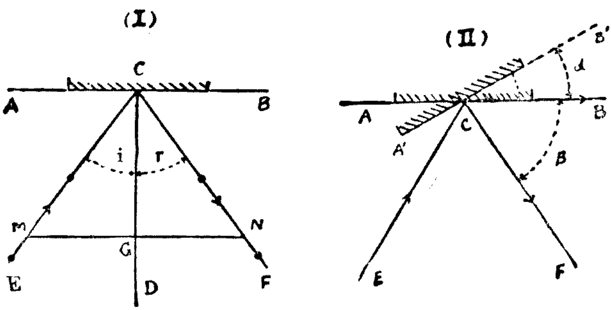
觀察兩針。令目左右移動，設以短針爲標準，觀察兩針相對位置之變化，實驗以下之視點差規則:

(a) 若長針距目較遠，則目向左，長針亦向左（對短針而言）；目向右，長針亦向右。

(b) 若長針距目較近，則目向左，長針向右；目向右，長針向左。

故由兩針之視點差，可以推知兩針距目孰近孰遠。

(B) 紙上作細鉛筆線 AB〔圖 52 (I)〕。從 AB 中點 C，作 CD 線，與 AB 垂直；作 CE 線，與 CD 線約成 30° 之角。置鏡片於紙上，令鏡面垂直，面向 D，鏡之反射面邊，落於 AB 線上。於 CE 線上，垂直立兩針，距離約 10 cm.。從鏡面視兩針之像。移動目之位置，使目與兩針之像，同在一直線上。於目與針像之間，再垂直立兩針，使後立之



第 52 圖

兩針，與前兩針之像，同在一直線上，距離約 10 cm.。經過後立之兩針，作 CF 線，與 CE 相交於 C。用箭頭表示光線投射及反射之方向；用 i 標明投射角，r 標明反射角。

於 CD 線上，距 C 點約 10 cm. 以外之一點 G，作直線，與 CD 垂直，與 CE 交於 M，CF 交於 N。用米突尺量 MG 及 NG 之長。

作相同之實驗兩次，一次令投射角約等於 45°，一次約等於 60°。

(C) 再令鏡片之反射面，沿一直線直立。於鏡之前約 10 cm. 立一短針，鏡之後約 10 cm. 立一長針。從鏡邊以上，視鏡後之針，同時從鏡面內，視短針之像。令目左右移動，由視點差之規則，推知長針至反射面之距離，比短針影像至反射面之距離，較近或較遠。移動長針之位置，使針與像無視點差。即無論目之位置，如何變動，針與像不能分離。則長針之位置，必與短針影像之位相重。量短針至鏡面之距離，等於物至鏡之距離；長針至鏡面之距離，等於像至鏡面之距離。經過兩針之迹，作直線。量此直線與鏡面所成之角。

(D) 如 (A) 令 CE 與鏡面所成之角，約為 60°，求得 CF 線。將鏡面依 C 點旋轉，令 CE 之像與 AB 同在一直線上〔圖50(II)〕。沿鏡面畫一直線，用分度規量鏡面旋轉之角 α，

及 CE 像線旋轉之角 β。

【得數】（B）（1）MG＝……，　NG＝……；

（2）MG＝……，　NG＝……；

（3）MG＝……，　NG＝……。

（C）物至反射面之距離＝……；

像至反射面之距離＝……；

連結物像之直線與鏡面所成之角＝…。

（D）鏡面旋轉之角＝…；像線旋轉之角＝…；

$$\therefore \frac{\text{像線旋轉之角}}{\text{鏡面旋轉之角}} = \cdots\cdots。$$

【問題】設所用鏡片，即爲平常之鏡面，其反射面在鏡之背面，則依上實習所作之投射線與反射線之交點，是否在反射面上？

證明像線旋轉之角，應等於鏡面旋轉角之二倍。

實習 40

玻璃磚之折光

【目的】 實驗折光定律。

【解釋】 從光之投射線與透光體表面相遇之點，作直線，與面垂直，此線爲面之法線。

包含投射線與法線之平面，名投射面。

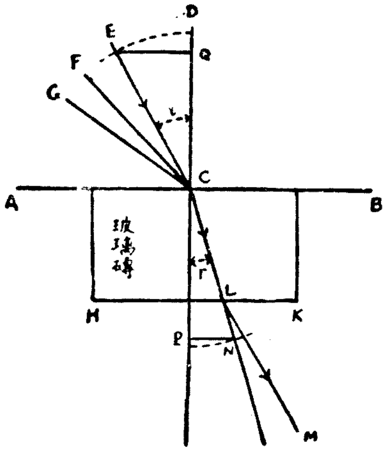
投射線與法線所成之角，名投射角(=i)；折射線與法線所成之角，名折射角(=r)。

折光定律：（a）投射線，折射線，法線，同在一平面上。（b）投射角之 sin 與折射角之 sin 之比率，爲一恆數。此恆數爲折射一邊之物質對於投射一邊物質之折光率。

【儀器】 玻璃磚，繪圖紙，分度規，圓規，針，米突尺。

【方法】 於紙之中央，作直線 AB（圖53）。從 AB 之中點 C，作 CD 線與 AB 垂直。再作 CE，CF，CG 三線，約與 CD 線成 30°，45°，及 60° 之角。將玻璃磚平置於 AB 直線無線之一邊，令磚之一長邊與 AB 線並齊。用細鉛筆線，沿磚之他一長邊作直線 HK。立兩針於 CE 線上，相距最少約 10 cm.，從 HK 一邊，視 CE 線及兩針之影。再立兩針於玻璃磚 HK 之一邊，兩針相距最少亦 10 cm.，令

後立兩針與前立兩針之影像同在一直線上。經過後立兩針之位置，作直線 LM，與 HK 相交於 L。連結 CL。得 EC 爲投射線，CL 爲折射線，LM 爲出射線。用箭頭表示光線進行之方向，用 i 標明投射角，r 標明折射角。



第 53 圖

延長 DC 及 CL。以 C 爲心，畫半徑約 10 cm. 之圓弧與 CE 相交於E；與 CL 相交於 N。從 E 及 N，向 CD 各作垂直線 NP 及 EQ。量 NP 及 EQ 之長。算出玻璃對於空氣之折光率：

$$\mu=\frac{\sin\ i}{\sin\ r}=\frac{EQ}{NP}。$$

用 CF 線及 CG 線，各作同樣之實驗，算出 μ。

【得數】 (1) $i=\cdots\cdots$， $EQ=\cdots\cdots$， $NP=\cdots\cdots$，

$$\therefore \quad \mu=\frac{EQ}{NP}=\cdots\cdots。$$

(2) $i=\cdots\cdots, \cdots\cdots=\cdots\cdots, \cdots\cdots=\cdots\cdots,$

$$\therefore \quad \mu=\cdots\cdots=\cdots\cdots。$$

(3) $i=\cdots\cdots, \cdots\cdots=\cdots\cdots, \cdots\cdots=\cdots\cdots,$

$$\therefore \quad \mu=\cdots\cdots=\cdots\cdots。$$

【問題】 投射線之方向與出射線之方向，有何關係？

投射線與出射線間之垂直距離，與投射角，及玻璃之厚，有無關係？

實習 41

三　稜　鏡

【目的】 實驗三稜鏡之折光，測最小之傾斜角，求玻璃之折光率。

【解釋】 光線經過三稜鏡，先由空氣折入玻璃內，再由玻璃折入空氣內，其最初之方向與最後方向所成之角，為傾斜角（圖54）。

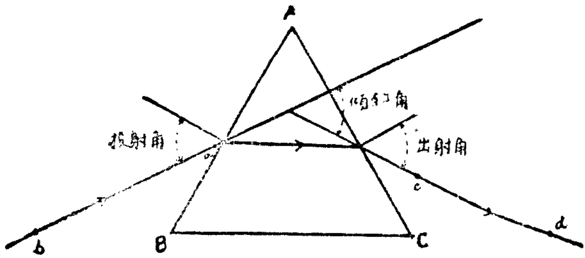
光線射進之面，與光線射出之面，所成之角，為三稜鏡之折光角。傾斜角之大小，視投射角而變，當投射角與出射角相等時，傾斜角最小。設三稜鏡之折光角為 A，最小之傾斜角為 D，則鏡質之折光率 $=\dfrac{\sin\frac{1}{2}(A+D)}{\sin\frac{1}{2}A}$。

【儀器】 三稜鏡，繪圖紙，方格紙，針，分度規，米突尺。

【方法】

(A) 置三稜鏡 ABC 於繪圖紙上，令鏡之折光角 A 直立（圖54）。靠鏡之 AB 邊立一針 a；距針約 10 cm.，再立一針 b；令經過兩針之線，約與鏡之 AC 面垂直。從 AC 面視兩針之像。於目與像之間，再立兩針 c，d，與前兩針

之像，同在一直線上，距離約 10 cm.。沿三稜鏡之邊，用鉛筆畫三線，記鏡之位置。經過先立之兩針作直線，爲光之投射線；經過後立之兩針，爲光之出射線。延長兩線相交所成之角，爲傾斜角。用分度規量投射角，出射角，及傾斜角。



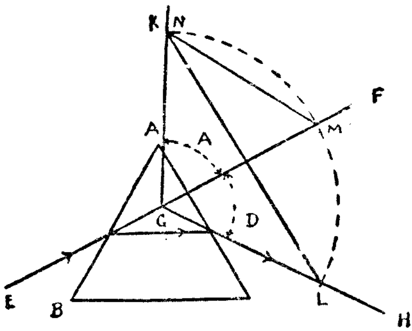
第 54 圖

用較大約 15° 及較小約 15° 之投射角，作同樣之實驗兩次。每次量出投射角，出射角及傾斜角，注意三者之關係。

(B)於紙之中央，作一長線 EF。置三稜鏡於線之上，令鏡之折光角 A 位於直線之一邊，對邊 BC，完全位於直線之他一邊（圖55）。從三稜鏡向 F 之一面中，視 E 端一段直線之像。旋轉三稜鏡，則像線之方向變動。用米突尺或兩針求得傾斜最小之方向。沿米突尺或經過兩針作直線GH，與 EF 相交於 G。則 FGH 爲最小之傾斜角＝D。沿鏡之三邊，作三鉛筆線，記鏡之位置。從 G 向 H 之對邊作 GK

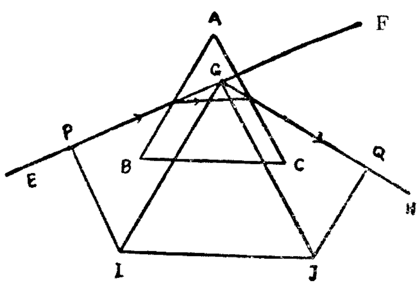
線，令 KGF 角與三稜鏡之 A 角相等。以 G 爲心，作半徑約 10 cm. 之圓弧，與 GH，GF，及 GK 三線相交於 L，M，及 N 各點。連結 LN 及 MN。量兩線之長。則玻璃之

$$折光率 = \mu = \frac{\sin \frac{1}{2}(A+D)}{\sin \frac{1}{2} A} = \frac{\frac{1}{2} LN/GN}{\frac{1}{2} MN/GN} = \frac{LN}{MN}。$$



第 55 圖

(C) 如 (B) 作 EF 線，求得最小之傾斜方向及 G 點。從 G 向 BC 之一方作 G I 線，與三稜鏡向 E 之一面平行(圖56)；



第 56 圖

作 GJ 線，與向 F 之一面平行。令 GI 與 GJ 等長，各約 10 cm.。從 I 及 J 向 GE 及 GH，各作垂直線，與兩線相交於 P 及 Q。連結 IJ。則玻璃之折光率$=\dfrac{\text{空氣傳光之速度}}{\text{玻璃傳光之速度}}$ $=\dfrac{PG+GQ}{IJ}$。

【得數】 (A)

投射角 i	出射角 r	傾斜角 D

(B) $LN=\cdots\cdots$, $MN=\cdots\cdots$, $\therefore\ \mu=\dfrac{LN}{MN}=\cdots\cdots$。

(C) $IJ=\cdots\cdots$, $PG=\cdots\cdots$, $GQ=\cdots\cdots$,

$$\therefore\ \mu=\frac{PG+GQ}{IJ}=\cdots\cdots。$$

【問題】 證(1)投射角與出射角相等時$\mu=\dfrac{\sin\frac{1}{2}(A+D)}{\sin\frac{1}{2}A}$,

(2) $\dfrac{\text{空氣傳光之速度}}{\text{玻璃傳光之速度}}=\dfrac{PG+GQ}{IJ}$。

實　習　42

像　似　的　深

【目的】 從物體像似的深，測水及玻璃之折光率。

【解釋】 設置一物於空罐內，罐中貯水，則物之位置，似乎較無水時昇高。此昇高之位置，爲物體的像似的位置。從物體像似之位置至水面之距離，爲物體像似的深度；從物體實在之位置至水面之距離，爲物體實在的深度。

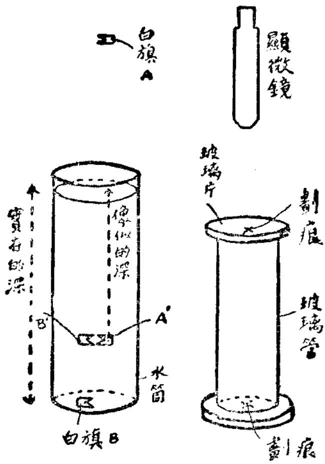
物體實在的深度與像似的深度之比率，等於透光質之折光率。

【儀器】 長圓筒，白紙片，米突尺，木架，厚玻璃磚，平底小玻璃管，測長顯微鏡。

【方法】

(A) 置一小三角形紙片 B 於長筒之底上（圖57），加小重壓之。貯水筒中，使滿。夾另一紙片 A於木架上，令紙片位於水面以上。從水面下視，則水面以下有水面以上紙片之影像A′。移動水面以上紙片之位置，使其影像與筒底之紙片影像 B′ 無視點差，則紙片之影像與水內紙片像似的位置，必同在一處。量水以上紙片至水面之距離。此距離必等於紙片影像 A′ 至水面之距離，亦即等於水中紙片像似的深度。

量水以上紙片至筒底之距離，減去其至水面之距離，得水之深，即水中紙片實在的深度。試驗三次，從所得各數之平均數算出水之折光率。



第 57 圖

(B) 觀察顯微鏡之各種運動法。

令顯微鏡之鏡筒垂直。置小玻璃管於鏡下之平台上。將玻璃片蓋管口上，片上劃痕向下。將管底之劃痕，對光於顯微鏡之十字線上。由顯微鏡之小數尺，記顯微鏡之位置。試驗三次，取其平均數。昇高顯微鏡，將玻璃片向下一面面上之劃痕，對光於十字線上，再記顯微鏡之位置。管中貯滿清水，加蓋，再將管底面上之劃痕，對光於十字線，記顯微鏡

之位置。從三次所記之數，算出管底實在之深，及像似之深。於是算得水之折光率。

(C) 畫一黑線於白紙片上，畫一黑線於玻璃磚上。置玻璃磚於顯微鏡之下，作同樣之試驗。求得玻璃之折光率。

【得數】

(A) 從水以上之紙片至水面之距離＝像似的深＝……，

從水以上之紙片至筒底之距離＝……，

∴ 從水以下之紙片至水面之距離＝實在的深＝……，

∴ 水之折光率＝……。

(B) 管底劃痕合光，管中無水時，顯微鏡之位置＝……，

管底劃痕合光，管中有水時，顯微鏡之位置＝……，

玻璃片劃痕合光時，顯微鏡之位置＝……，

∴ 管底像似的深＝……＝……，

∴ 管底實在的深＝……＝……，

∴ 水之折光率＝……。

(C) (記法仿上)

【問題】 實習(A)中，何以不用米突尺直接量水中紙片至水面之距離？

實習 43

薄透鏡

【目的】 測凸透鏡及凹透鏡之焦點距離。

【解釋】 平行光線，投射於凸透鏡上，設光之方向與鏡之軸平行，則光線通過透鏡後，經鏡之折光，集合於透鏡軸上之一點。此點名凸透鏡之焦點。

平行光線，投射於凹透鏡上，設光之方向與鏡之軸平行，則光線通過透鏡後，經鏡之折光，向四方分散，若將光線向後延長，則各線集合於軸上之一點。此點名凹透鏡之焦點。

從透鏡之中心，至焦點之距離，為透鏡之焦點距離。

一切距離，皆從透鏡之中心，向兩方量之，凡向光線射來之一方所量得之距離，皆為正數；向相反一方所量得之距離，皆為負數。

依以上之規定，凡凹透鏡之焦點距離，皆為正數，凸透鏡之焦點距離，皆為負數。

設自透鏡至物體之距離為 u，至影像（或真或虛）之距離為 v，透鏡之焦點距離為 f（u，v，f，皆為代數量），則三數之關係如下：

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}。$$

$\frac{1}{f}$ 爲透鏡之焦點曲率，名透鏡之強度。透鏡強度之單位爲 dioptres。1 dioptre 強度之透鏡，其焦點距離爲 100 cm.。

設將兩薄透鏡相併而成一聯合透鏡，則聯合透鏡之焦點距離 F 與原有兩透鏡焦點距離 f_1 及 f_2 之關係爲

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}。$$

卽聯合透鏡之强度，等於原有兩透鏡强度之和。

【儀器】 凸透鏡，凹透鏡，平面鏡，鏡夾，針，米突尺，白紙旗。

【方法】

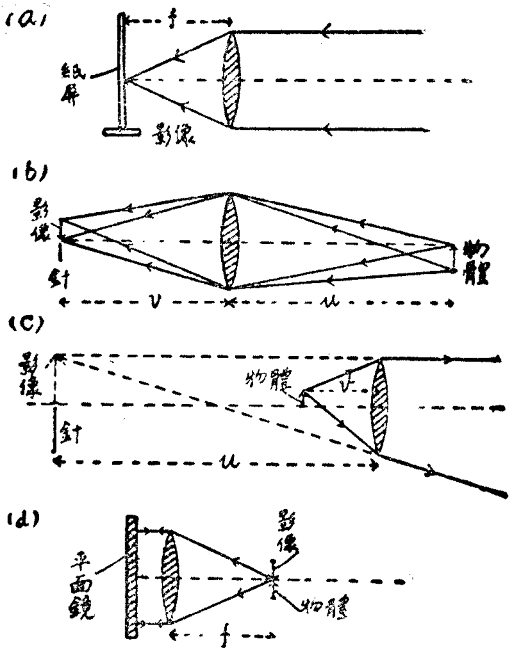
(A) 凸透鏡

(1) 置凸透鏡於鏡夾中，令透鏡之軸水平（圖 58,a）。置一紙片於透鏡之後。擇一遠物，觀紙片上透鏡造成遠物之影像，變動透鏡紙片間之距離，求得最清楚之影像，量透鏡至紙片之距離，此卽透鏡之焦點距離。

(2) 立一針於透鏡之一邊，令其距透鏡之遠，大於透鏡之焦點距離（圖58,b）。從透鏡之他一邊，視針之影像。應用視點差之理，用另一針，求得影像之位置。量透鏡至兩針之距離，加以應有之正負符號。以量得之數代上式中 u 及

v，求得透鏡之焦點距離 f，及鏡之强度 P。

(3) 置針於透鏡之一邊，令其距鏡之遠，小於透鏡之焦點距離（圖58,c）。置另一針於影像所在之一邊，向透鏡之內視影像，同時由透鏡之上邊視後立之針。應用視點差之理，求得影像之位置，算出透鏡之焦點距離及其强度。注意此次所成之影像與上次所成之影像，不同之處。

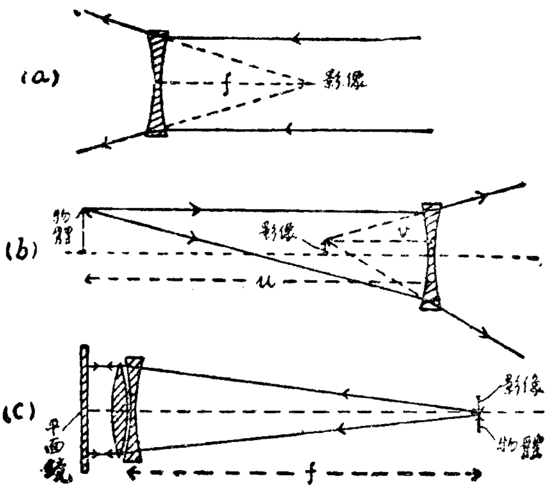


第 58 圖

(4) 置一平面鏡於透鏡之後，鏡面向透鏡，透鏡之前立一針（圖58,d）。從置針之一邊視針之影像。移動針之位置，令針與影像相重。量透鏡至針之距離，此距離等於透鏡之焦點距離＝f。

(B) 凹透鏡

(5) 從凹透鏡視一遠物之影像。置一針於影像所在之一邊（圖59,a），照(A)(3)之方法，應用視點差之理，求得影



第 59 圖

像之位置。量透鏡至針之距離＝f。

(6) 置針於透鏡之一邊，從透鏡之他一邊，視針之影像(圖59,b)。用另一針，照上實習所用之方法，求得影像之位置。量透鏡至兩針之距離，算出透鏡之焦點距離及强度。

(7) 將凹透鏡與一强度較大之凸透鏡相並，成一聯合凸透鏡(圖59,c)，用方法(4)求得聯合透鏡之焦點距離＝F。從 F 及凸透鏡之焦點距離 f_1，求得凹透鏡之焦點距離 f_2 及其强度。

(C) 作一表，表明物體至凸透鏡及凹透鏡之距離 (a) 大於鏡之焦點距離時，(b) 小於鏡之焦點距離時，其影像之位置及性質；即 (1) 與物體在同邊或對邊，(2) 正立或倒立，(3) 實像或虛像。

【得數】

(A) 凸透鏡 (1) 用遠物之影像，$f=\cdots\cdots$；$\therefore P=\cdots\cdots$；

(2) $u=\cdots\cdots$，$v=\cdots\cdots$，$\therefore f=\cdots\cdots$； $P=\cdots\cdots$；

(3) $u=\cdots\cdots$，$v=\cdots\cdots$，$\therefore f=\cdots\cdots$； $P=\cdots\cdots$；

(4) 用平面鏡 $f=\cdots\cdots$；$\therefore P=\cdots\cdots$。

(B) (5) 用遠物之影像 $f=\cdots\cdots$；$\therefore P=\cdots\cdots$；

(6) $u=\cdots\cdots$，$v=\cdots\cdots$，$\therefore f=\cdots\cdots$， $P=\cdots\cdots$；

(7) $F=\cdots\cdots$，$f_1=\cdots\cdots$，$\therefore f_2=\cdots\cdots$， $P=\cdots\cdots$。

(C)

物體之距離		影像		
		同邊或對邊	正立或倒立	實像或虛像
凸透鏡	小於焦點距離			
	大於焦點距離			
凹透鏡	小於焦點距離			
	大於焦點距離			

【問題】 以上測透鏡之焦點距離所用之各種方法，何者比較的最爲精密？

解釋實習（4）中，用平面鏡求凸透鏡焦點距離之原理。

實習 44

球面鏡

【目的】 測球面鏡之曲率半徑及焦點距離。

【解釋】 平行光線，投射於凹球面鏡上，設光之方向，與鏡軸平行，光線經鏡面之反射，集合於鏡軸上之一點，此點為凹球面鏡之焦點。平行光線，投射凸球面鏡上，設光之方向，與鏡之軸平行，光線經鏡面之反射，向四方分散，若將光線向後延長，則各線集合於鏡軸上之一點，此點為凸球面鏡之焦點。

從球面鏡之中心，至焦點之距離，為球面鏡之焦點距離。球面鏡之焦點距離，等於球面鏡曲率半徑之半。

一切距離，皆從球面鏡之中心向兩方量之，凡向光線射來之一方量得之距離，概為正數；向相反之方向量得之距離，概為負數。

故依上之規定，凡凹球面鏡之焦點距離及曲率半徑，皆為正數，凸球面鏡之焦點距離及曲率半徑皆為負數。

設從球面鏡至物體之距離為 u，至影像（或真或虛）之距離為 v，球面鏡之焦點距離為 f，(u，v，f，皆為代數量) 則三數之關係為

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

$\frac{1}{f}$ 名爲球面鏡之强度。

【儀器】 凸球面鏡，凹球面鏡，平面鏡，針，白紙旗，米突尺。

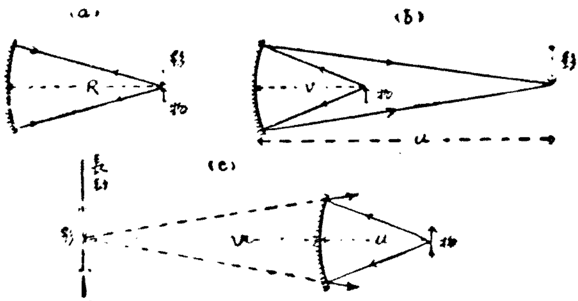
【方法】

(A) 凹球面鏡

(1) 置一白紙旗於凹球面鏡之前，向鏡內視紙旗之影像(圖60,a)。移動紙旗之位置，令紙旗自身與其影像相重。量紙旗至鏡面之距離。此距離等於球面鏡之曲率半徑＝R (何故?)。算出球面鏡之焦點距離＝f，及其强度＝P。注意影像之位置。

(2) 置紙旗於球面鏡之前，令其距鏡面之遠，略大或略小於球面鏡之曲率半徑(圖60,b)。應用視點差之理，用另一紙旗，求得影像之位置。量兩紙旗至鏡面之距離，加以應有之正負符號。以量得之數代上式中之 u 及 v，算出球面鏡之焦點距離 f，及其强度 P。

(3) 置一長針於球面鏡之前，令其距鏡面之遠，小於球面鏡之焦點距離(圖60,c)。置另一長針於球面之後。向鏡內視前一長針之影，同時從鏡面之上，視鏡後之針。移動後一針之位置，令其與前一針之影像相重。量兩針至鏡面之距

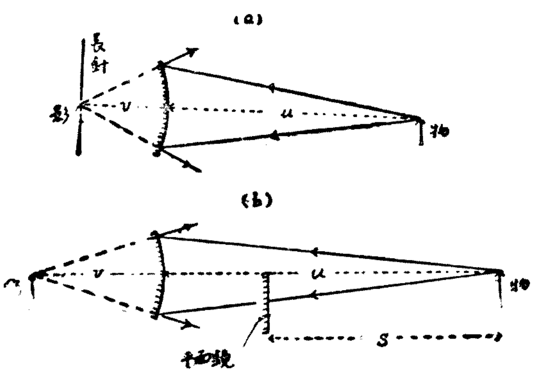


第 60 圖

離，算出 f 及 P。注意此次所成之影像與上次所成之影像不同之點。

(B) 凸球面鏡

(4) 置一長針於凸球面鏡之前，置另一長針於鏡之後（圖 61,a），照(A)(3)所用之方法，求得凸球之焦點距離及強度。



第 61 圖

(5) 置平面鏡於球面鏡之前，鏡面同向一面。令球面鏡之上半，露出於平面鏡之上（圖61,b）。置一長針於兩鏡之前，向兩鏡之內，視長針之影像。移動平面鏡之位置，應用視點差之理，令兩鏡內之影像相重。量針至兩鏡之距離，算出球面鏡之焦點距離及其強度，並加以說明。

【得數】

(A) 凹球面鏡

(1) $R=\cdots\cdots$, $\therefore$ $f=\cdots\cdots$, $P=\cdots\cdots$;

(2) $u=\cdots\cdots$, $v=\cdots\cdots$, $\therefore$ $f=\cdots\cdots$, $P=\cdots\cdots$;

(3) $u=\cdots\cdots$, $v=\cdots\cdots$, $\therefore$ $f=\cdots\cdots$, $P=\cdots\cdots$。

(B) 凸球面鏡

(4) $u=\cdots\cdots$, $v=\cdots\cdots$, $\therefore$ $f=\cdots\cdots$, $P=\cdots\cdots$;

(5) 長針至球面鏡之距離 $=u=\cdots\cdots$,

長針至平面鏡之距離 $=S=\cdots\cdots$,

$\therefore$ 長針影像至球面鏡之距離 $=v=\cdots\cdots$,

$\therefore$ $f=\cdots\cdots$, $P=\cdots\cdots$。

【問題】 以上所用各種方法之中，以何法為最精密?

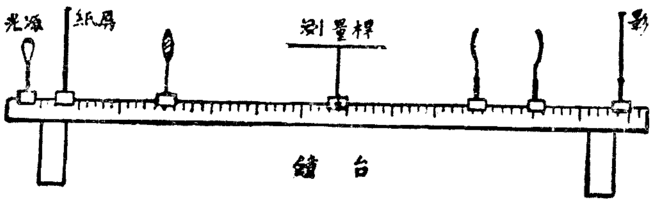
實習 45

鏡台

【目的】 用鏡台測薄透鏡及球面鏡之焦點距離。

【解釋】 (參閱實習 43 及 44)

【儀器】 鏡台，上裝光源，影片，有三角形小孔紙屏，凹凸透鏡及球面鏡，測量桿(圖62)。

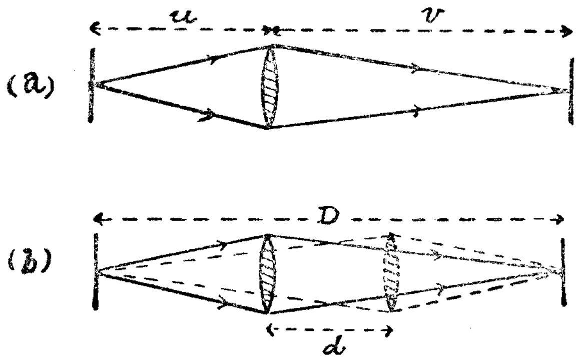


第 62 圖

【方法】

(A) 置凸透鏡於鏡台之中央，置光源於凸透鏡之一邊(圖63,a)。光源之前，置有孔之紙屏。置影片於凸透鏡之他一邊。令光源，透鏡，及紙屏上之小孔，同在一水平線上；透鏡之軸與光台平行。變動影片及紙屏至透鏡之距離，令小孔之影像，射於影片上。將影片前後移動，求得最清楚之影像。用測量桿量出從透鏡至小孔之距離＝u，及其至影像之距離＝v，由下式算得凸透鏡之焦點距離 f，及其強度P。

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}；\quad P=\frac{1}{f}。$$



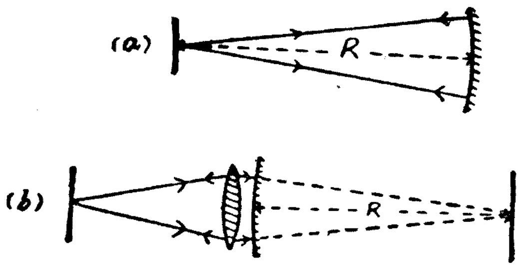
第 63 圖

(B) 置紙屏及影片於光台上，令其距離大於凸透鏡焦點距離之四倍(圖63,b)。置凸透鏡於紙屏及影片之間。將凸透鏡由紙屏逐漸向影片移動。注意小孔之影像在影片上發現兩次。固定紙屏及影片之位置，單令透鏡移動，求得影片上兩次最清楚之影像。記凸透鏡兩次所佔之位置。算出第一位置至第二位置之距離 = d；量紙屏紙片間之距離 = D。由下式算出凸透鏡之焦點距離 f。

$$f=\frac{D^2-d^2}{4d}。$$

(C) 置凹球面鏡於光台之上，令鏡之反射面向光源及紙

屏（圖64,a）。移動球面鏡，使小孔之影像射於孔之近側，求得最清楚之影像。量鏡面至小孔之距離。此距離等於鏡面之曲率半徑＝R。算得球面鏡之焦點距離 $f=\frac{R}{2}$。



第 64 圖

(D) 將凸透鏡與凸球面鏡併合，同置光台上（圖64,b），令球面鏡之反射面向光源及紙屏。變動凸透鏡與凸球面鏡之位置，使小孔之影像，射於孔之近側，求得最清楚之影像。記球面鏡之位置。將鏡取去，置影片於透鏡之後，令孔之影像印於影片上，變動影片之位置，求得最清楚之影像。量得影片至以前球面鏡所佔位置之距離。此距離等於球面鏡之曲率半徑 ＝R。算得球面鏡之焦點距離＝ $f=\frac{R}{2}$。

【得數】

(A)　u＝⋯⋯，v＝⋯⋯，∴　f＝⋯⋯，　P＝⋯⋯；

(B)　$D=\cdots\cdots$，$d=\cdots\cdots$，$\therefore$　$f=\cdots\cdots$，　$P=\cdots\cdots$；

(C)　$R=\cdots\cdots$，　$\therefore$　$f=\cdots\cdots$，　$P=\cdots\cdots$；

(D)　$R=\cdots\cdots$，　$\therefore$　$f=\cdots\cdots$，　$P=\cdots\cdots$。

【問題】 (1) 方法(B)中凸透鏡兩次所佔之位置至紙屏及影片之距離，有何關係？

(2) 用影片求影像之法，比之應用視點差之原理，用另一物體求影像之法，用途之廣狹如何？

(3) 解釋方法(D)中藉凸透鏡求凸球面鏡曲率半徑所含之原理。

(4) 由問題(1)之答案，證實習(B)中所用之公式。

實習 46

水及甘油之折光率

【目的】 用凹球面鏡測水之折光率；用凸透鏡及平面鏡比較液體之折光率。

【解釋】 設薄透鏡鏡質之折光率爲 μ，兩邊鏡面之曲率半徑爲 r_1，r_2，焦點距離爲 f，則依折光之定律，四數之關係如下：

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

r_1 爲向焦點一邊鏡面之曲率半徑。r_2 爲背焦點一邊鏡面之曲率半徑。

【儀器】 凹球面鏡，凸透鏡，平面鏡，甘油，白紙旗，米突尺。

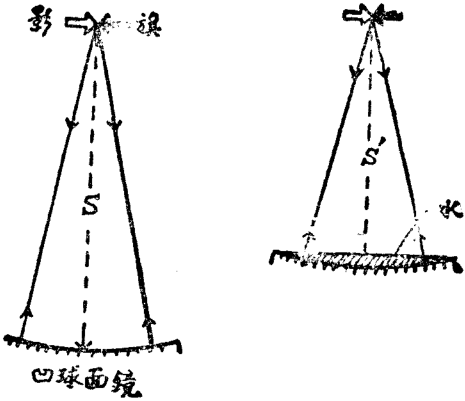
【方法】

(A) 將凹球面鏡平放凳上(圖 65)。夾紙旗於木架上，令紙居凹鏡之上，向鏡中視紙旗之影像。上下紙旗之位置，使紙旗自身與其影像相重。量鏡面至紙旗之遠＝S。

加少許之水於凹球面鏡之上，變動紙旗之位置，再令紙旗與其影像相重。量鏡面至紙旗之距離＝S′。算出水之折光

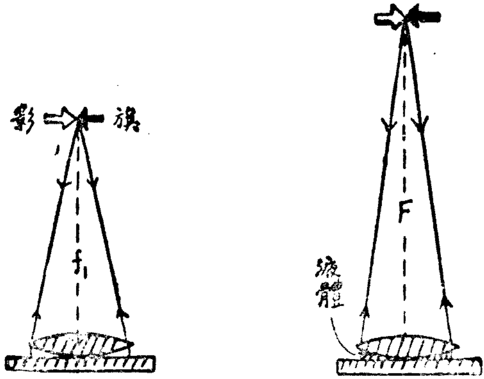
率 $\mu=\frac{S}{S'}$。

用甘油作同樣之實驗。求得甘油之折光率。



第 65 圖

(B)平置平面鏡於凳上，置凸透鏡於平面鏡之上(圖66)。照上法用紙旗作同樣之實驗，令紙旗自身與其影像相重。量



第 66 圖

出透鏡至紙旗之距離，此距離等於凸透鏡之焦點距離 $=f_1$。

置少量之水於透鏡及平鏡之間，做成一水質之凹透鏡，此水質之凹透鏡與玻璃凸透鏡相並，成一聯合透鏡。用紙旗作同樣之試驗，令紙旗與其影像相重。量出透鏡至紙旗之距離。此距離等於聯合透鏡之焦點距離 $=F$。依下式算出水質凹透鏡之焦點距離 $=f_2$。

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}。$$

置甘油於平面鏡及凸透鏡之間，照上法求得甘油做成凹透鏡之焦點距離 $=f'_2$。

水質凹透鏡及油質凹透鏡兩面之曲率半徑旣皆相同，故若水之折光率爲已知，從兩透鏡之焦點距離，可算得甘油之折光率。

【得數】(A)水　$S_1=\cdots\cdots, S'_1=\cdots\cdots, \therefore \mu_1=\frac{S_1}{S'_1}=\cdots\cdots$；

甘油$S_2=\cdots\cdots, S'_2=\cdots\cdots, \therefore \mu_2=\frac{S_1}{S'_2}=\cdots\cdots$；

(B)水　$f_1=\cdots\cdots$, $F_1=\cdots\cdots, \therefore \frac{1}{f_2}=\cdots\cdots$；

甘油$f_1=\cdots\cdots, F'_1=\cdots\cdots, \therefore \frac{1}{f'_2}=\cdots\cdots$；

$$\therefore \quad \frac{\mu_1-1}{\mu_2-1}=\frac{\frac{1}{f_2}}{\frac{1}{f'_2}}=\cdots\cdots。$$

$$\because \quad \mu_1=\cdots\cdots,$$

$$\therefore \quad \mu_2=\cdots\cdots。$$

【問題】 用解釋圖證實習(A)中所用之公式 $\mu=\frac{S}{S'}$。

實習 47

全反射

【目的】 用玻璃磚，測玻璃對水之界角。

【解釋】 光線由玻璃射入水中，折射角恆大於投射角；當折射角爲 90° 時，投射角名爲界角。投射角若大於界角，則折射角大於 90°。換言之，即光線不能射入水中，而在玻璃與水之界面上發生反射；此種反射，名爲全反射。

設水之折光率爲μ_1，玻璃之折光爲μ_2，則玻璃對於水之折光率爲μ_2/μ_1。

設玻璃對於水之界角爲 c ，則

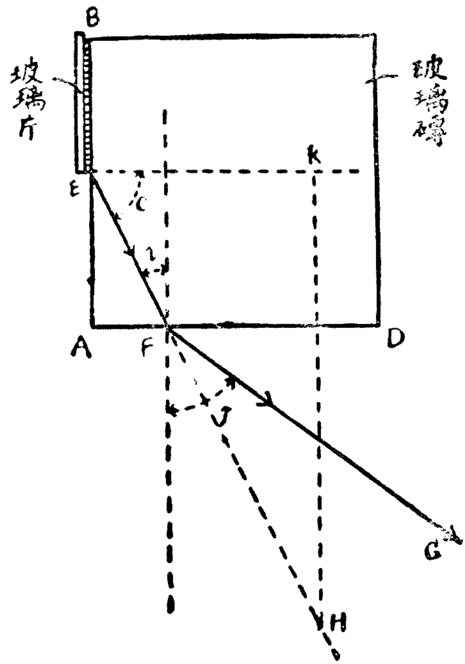
$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin c}=\frac{\mu_2}{\mu_1} \quad 或 \quad \sin c=\frac{\mu_1}{\mu_2}。$$

【儀器】 玻璃磚，黑色小方玻璃片，鹽水，針。

【方法】

將玻璃平置桌上（圖67）。沿磚之四面作鉛線，名其前面爲 AD，左面爲 AB。靠玻璃磚之左面 B 角，立玻璃片。玻璃片與玻璃磚之間，置濟水少許。從玻璃磚之 AD 前面視玻璃片前端片邊 E 之影像。將目由左向右移動。注意當目近左邊時，不見影像，必俟目已移向右邊若干距離，方有影像

可見。用兩針測定能見影像之地域與不能見影像地域之界線FG。用鉛筆於玻璃片前端片邊之下作一點，名此點爲E。經過兩針點作FG直線，與AD線相交於F。連結EF。從E點作EK線，與AB垂直，則KEF角，爲玻璃對於水之界角$=c$。延長EF線約10 cm.至H。從H向EK作垂直線。量出c角之sin。sin c等於玻璃對於水之折光率。



第 67 圖

從投射線 EF，及折射線 FG，求得玻璃對於空氣之折光率（注意光線係由玻璃射入空氣）。假定水對空氣之折光率爲 1.33，算得玻璃對水之折光率。

置鹽水於玻璃片與玻璃磚之間，作同樣之試驗，求得玻璃對於鹽水之折光率。從此數及以上所求得玻璃對於空氣之折光率，算得鹽水對於空氣之折光率.

【得數】（水與玻璃）$\sin c = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \cdots\cdots$;

玻璃對於空氣之折光率 $= \mu_2 =$

$$\frac{1}{\text{空氣對於玻璃之折光率}} = \frac{1}{\frac{\sin i}{\sin r}} = \frac{\sin r}{\sin i} = \cdots\cdots;$$

$$\text{水之折光率} = \mu_1 = 1.33;$$

$$\therefore \frac{\mu_1}{\mu_2} = - = \cdots\cdots。$$

（鹽水與玻璃）

$$\sin c' = \frac{\mu'_1}{\mu_2} = \cdots\cdots;$$

$$\mu_2 = \cdots\cdots;$$

$$\therefore \mu'_1 = \cdots\cdots。$$

【問題】何以置目於 FG 線之左，祇能見 AB 面，而不能見玻璃片？

實習 48

放大鏡及顯微鏡

【目的】 測放大鏡之放大率；用兩透鏡造成一顯微鏡，測其放大率。

【解釋】 從物體之兩端，作兩線至目所成之角，名爲物體之視角。物體距目愈近，其視角愈大，物體亦較清楚。但物體至目之距離小於 25 cm. 時，物體即不甚明瞭，故通常以 25 cm. 爲"明視最近點"。物體經透鏡之折光，則目所見者，爲物體之影像。此影像之視角，與物體視角之比率，爲放大鏡或顯微鏡之放大率 (M)。尋常比較放大鏡及顯微鏡之放大率時，以物體在明視最近點之視角，及經透鏡折光後所造成之影像在明視最近點所成之視角爲標準。

本折光之定理，依以上之定義，若假定放大鏡距目不遠，則放大鏡(即凸透鏡)之放大率M，可以證明其等於 $1-\frac{25}{f}$；式中 f 爲放大鏡之焦點距離。

顯微鏡之放大，可認其爲二次做成。先由接物鏡造成物體放大之實影像，再由接目鏡將此影像放大。接物鏡之放大之倍數，等於影像與物體之比率。其倍數等於影像至透鏡之距離，與物體至透鏡距離之比率，即 v/u。接目鏡之作用，

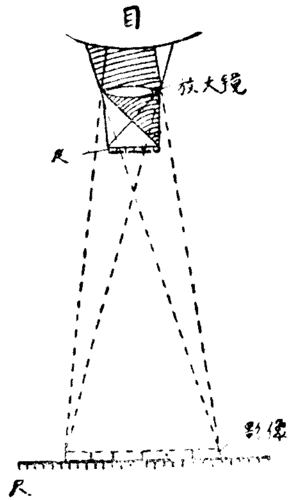
與放大鏡之作用完全相同，故其放大率等於 $1-\frac{25}{f}$。顯微鏡之放大率，等於兩次放大倍數之相乘積，故

$$M=\frac{v}{u}\left(1-\frac{25}{f}\right)。$$

【儀器】 放大鏡，凸透鏡二（一充顯微鏡之接物鏡，其焦點距離約從 2 至 5 cm.；一充顯微鏡之接目鏡，焦點距離約從4至5 cm.），鐵架，方格紙片，鐵圈二，木台，米突尺二。

【方法】

(A) 置一米突尺於桌上，置他一米突尺於鐵架上，令第二尺居第一尺之上，方向平行，距離約 25 cm.（圖68）。用放大鏡視上一米突尺，求得放大之影像。同時用另一目直接視桌上之米突尺。移動放大鏡及上一米突尺之位置，使其放大之影像與下一尺重疊。記影像上 1mm. 之長與桌上米突尺上若干 mm. 相當。此數照定義為放大鏡之放大率。

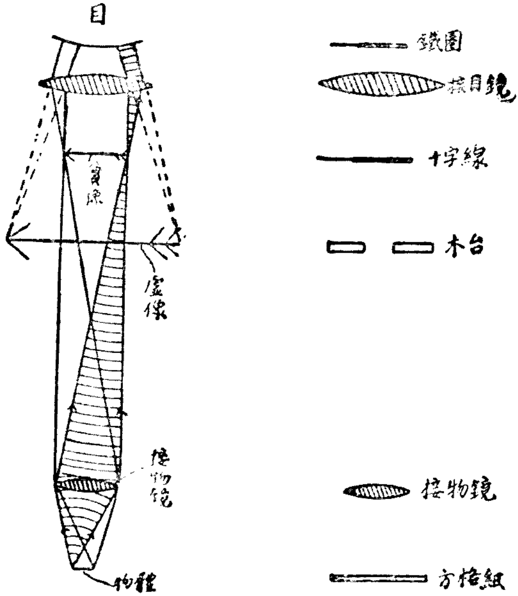


第 68 圖

量放大鏡之焦點距離，從上述之公式算出放大鏡之放大

準。

(B) 置方格紙片於顯微鏡之接物鏡下，距離約略大於接物鏡之焦點距離(圖69)。從接物鏡之上，視方格紙之實像。應用視點差之理，用鐵圈上之十字線，定影像之位置。用接



第 69 圖

目鏡將此影像放大。從接目鏡之上，經過接目鏡，視此第二次放大之影像。移動目之位置，使所見影像之範圍增大。用另一鐵圈定目之位置。置木台於接目鏡之下，距目約 25 cm.，令由方格紙片上射出之光線，由木台之孔中通過。用一目直

接視木台上之方格紙，同時用他一目，從接目鏡中，視下邊方格紙片之影像，比較兩目所見方格之大小。其倍數等於顯微鏡之放大率。

(C)置另一方格紙片於十字線上，從接目鏡之上，經過接目鏡，視十字線上所置之紙片，及接物鏡下所置紙片，經接物鏡放大後之影像。比較兩紙片方格之大小，其比率等於接物鏡放大之倍數。用十字線上之方格紙片，將接物鏡造成之實像遮蓋。用一目直接視木台上之紙片，同時用他一目。從接目鏡中，視十字線上之紙片。比較兩紙片方格之大小。其倍數等於接目鏡之放大率。將接物鏡放大之倍數與接目鏡之放大率相乘，得顯微鏡之放大率。

(D) 量接物鏡至其下邊紙片之距離＝ u；量十字線至接物鏡之距離 ＝v。測出接目鏡之焦點距離 ＝f。算出顯微鏡之放大率，$M=\frac{v}{u}\left(1-\frac{25}{f}\right)$。

【得數】 (A) 放大鏡之放大率　M＝　……　＝……。

(B) 顯微鏡之放大率　M＝　……　＝……。

(C) 接目鏡放大之倍數　＝　m_1　＝……，

接目鏡之放大率　＝　m_2　＝……，

∴　顯微鏡之放大率　$=m_1\times m_2$　＝……。

(D) $u = \cdots\cdots$,　　$v = \cdots\cdots$,　　$f = \cdots\cdots$,

$$\therefore \quad M = \frac{v}{u}\left(1 - \frac{25}{f}\right) = \cdots\cdots。$$

實習 49

望遠鏡

【目的】 用兩透鏡造成一望遠鏡，測其放大率。

【解釋】 從物體之兩端，作兩直線至目所成之角，名為物體之視角。

物體經光學儀器之折光後，其影像所成之視角，與不經過儀器物體自身所成視角之比，為此儀器之放大率。

望遠鏡之放大率，因物體及其最後所成影像至目之距離而異。凡言望遠鏡之放大率，有三種規定：或令影像至目之距離，等於物體至目之距離；或令影像至目之距離，等於明視最近點；或當物體距目為無限遠時，亦令影像為無限遠。照最後之規定，望遠鏡之接物鏡所造成之實像至接物鏡之距離，必等於接物鏡之焦點距離。接目鏡至實像之距離，必等於接目鏡之焦點距離。望遠鏡之接物與接目兩鏡如此配合，名為標準配合。

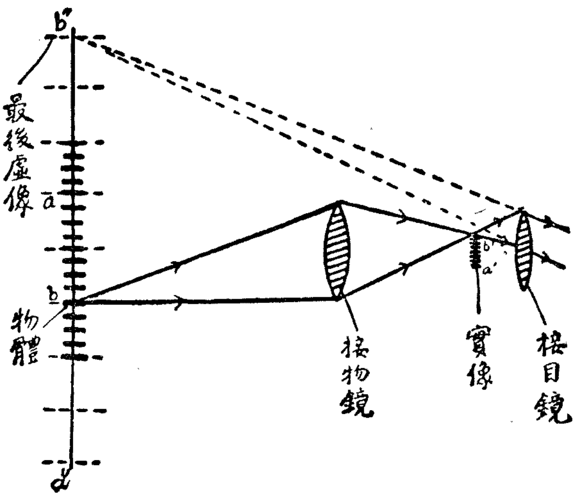
若物體距目之遠，比望遠鏡本身之長甚大，則依折光之定律，可以證明無論望遠鏡之配合如何，其放大率恆等於接物鏡所造成之實像至接物鏡之距離，與其至接目鏡距離之比。故望遠鏡為標準配合時，其放大率等於接物鏡之焦點距離與

接目鏡焦點距離之比。

【儀器】 凸透鏡二（一充望遠鏡之接物鏡，焦點距離約 15 cm.；一充望遠鏡之接目鏡，焦點距離約 5 cm.），凹透鏡（焦點距離約 5 cm.），鐵針，米突尺。

【方法】

(A) 於數丈遠之外，垂直立一長分度尺。用焦點距離較大之凸透鏡，造成長尺之實影（圖70）。應用視點差之理，用一長針定影像之位置。用焦點距離較小之凸透鏡，將此實像放大。兩凸透鏡造成天文望遠鏡。用一目從第二凸透鏡之後，



第 70 圖

視放大之影像，同時用另一目直接視長尺。移動第二透鏡之位置，使放大之影像與長尺相重。看放大影像每一分度之長，與長尺上若干分度相當。其比率等於望遠鏡之放大率。

(B) 量鐵針至第一透鏡及第二透鏡之距離。算出兩距離之比率，等於望遠鏡之放大率。注意最後影像之位置。

(C) 測兩透鏡之焦點之距離(方法參閱實習43)，算出此兩透鏡所造成之望遠鏡在標準配合時應有之放大率。

(D) 用一凹透鏡代替上實習內之接目鏡，置凹鏡於接物鏡及影像之間，造成 Galeleo 氏望遠鏡。直接比較影像之分度及尺上分度之大小，求出望遠鏡之放大率。注意最後影像之位置。

(E) 量兩透鏡之焦點距離，算出在標準配合時，望遠鏡應有之放大率。

【得數】 (A) 天文望遠鏡之放大率＝……。

(B) 鐵針至接物鏡之距離$=S_1=$……，

鐵針至接目鏡之距離$=S_2=$……，

$$\therefore \quad \frac{S_1}{S_2}=\cdots\cdots。$$

(C) 接物鏡之焦點距離$=F=$……，

接目鏡之焦點距離$=f=$……，

$$\therefore \quad \frac{F}{f} = \cdots\cdots。$$

(D) Galeleo 式望遠鏡之放大率＝……。

(E) 接物鏡之焦點距離＝F＝……，

接目鏡之焦點距離＝f＝……，

$$\therefore \quad \frac{F}{f} = \cdots\cdots。$$

【問題】 述天文望遠鏡與 Galeleo 氏望遠鏡不同之點。

實習 50

照度表

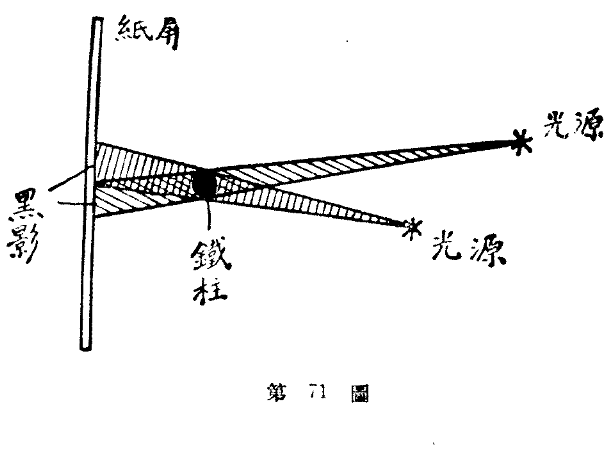
【目的】 用 Rumford 氏及 Bunsen 氏照度表比較電燈光及燭光之照度。

【解釋】 光之照度，與光源之强度成正比例，與至光源距離之平方成反比例。

【儀器】 Bunsen 氏照度表，Rumford 氏照度表，洋燭，本燭，電燈，鐵架，米突尺。

【方法】

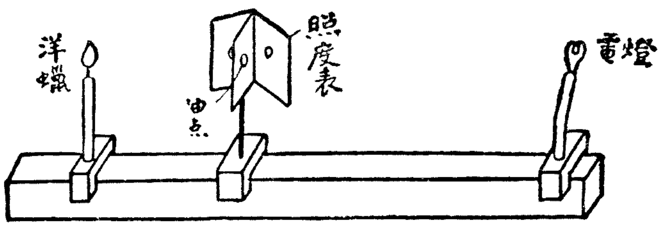
(A) 於白紙屏前置鐵桿，再前置洋燭及電燈，令燈及燭至鐵桿所作之線，約與紙屏成相等之角(圖71)。注意紙屏上



第 71 圖

之兩鐵桿黑影，移動燈及燭之位置，使兩黑影之邊相接。變動兩燈至紙屏之距離，令兩黑影深淺之度相等。量兩燈至黑影之距離。設電燈之距離爲 d_1，洋燭之距離爲 d_2，則電燈之照度，與洋燭照度之比爲 $d_2^2 : d_1^2$。

(B)於鏡台之一端置洋燭，他一端置電燈，中間置Bunsen氏照度表(圖72)。變動電燈及洋燭至照度表之距離，令從鏡面內所見兩油點光度之深淺相同。量電燈至油點之距離$=d_1$，洋燭至油點之距離 $=d_2$，算出電燈光之照度，與洋燭照度之比率。變換電燈及洋燭至照度表之距離，再算出兩種光源照度之比率。



第 72 圖

(C)用同樣之方法，比較洋燭與本燭之照度。

(D)將兩洋燭及三洋燭相幷，與單燭之光比較。假定各燭光之强度相等，證明反平方定律。

【得數】 (A)電燈至紙屏之距離$=d_1=\cdots\cdots$，

洋燭至紙屏之距離 $= d_2 = \cdots\cdots$,

$$\therefore \frac{\text{電燈光}}{\text{燭燈光}} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \cdots\cdots。$$

(B) 電燈至油點之距離 $= d_1 = \begin{cases} (1)\cdots\cdots, \\ (2)\cdots\cdots, \end{cases}$

洋燭至油點之距離 $= d_2 = \begin{cases} (1)\cdots\cdots, \\ (2)\cdots\cdots, \end{cases}$

$$\therefore \frac{\text{電燈光}}{\text{洋燭光}} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \begin{cases} (1)\cdots\cdots, \\ (2)\cdots\cdots。 \end{cases}$$

(C) 本燭至油點之距離 $= d_1 = \cdots\cdots$,

洋燭至油點之距離 $= d_2 = \cdots\cdots$,

$$\therefore \frac{\text{本燭光}}{\text{洋燭光}} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \cdots\cdots。$$

(D) 雙燭台至油點之距離 $= d_1 = \cdots\cdots$,

單燭台至油點之距離 $= d_2 = \cdots\cdots$,

$$\therefore \frac{\text{雙燭之光}}{\text{單燭之光}} = \frac{d_1^2}{d_2^2} = \cdots\cdots。$$

實習 51

磁力線

【目的】 用指南針，畫磁力線，觀察其在磁尺附近之分佈。

【解釋】 磁力線，乃在磁場內所作之線，所以代表磁力之方向。換言之，即若置一指南針，於線上之任何一點，則磁針靜止之方向，恆為此線之切線。

指南針北極所指之方向，為磁力線之趨向，即磁力促迫磁針北極前進之方向。

【儀器】 磁尺，指南針，厚紙片，白紙，米突尺，軟鐵塊，鐵屑。

【方法】

(1) 置指南針於紙上，令紙之長邊與針平行，固定紙之位置。沿紙邊，置磁尺，令其北極向北。沿磁尺之周圍作線，以記磁尺之位置。置指南針於磁尺北極之附近。用鉛筆於磁針之兩端，各作一點定磁針之方向。將指南針在紙上移動，令磁針之南極佔先前北極所佔之位置。再用鉛筆，於磁針之兩端，各作一點。照樣將指南針連續向前移動，每次用鉛筆記磁針之方向，連結各鉛筆點作曲線，此線即為磁場內之磁力

線。用此法畫兩磁力線；令其一，從磁尺之南極，連結至北極，其一向磁尺之外發射。於線上作箭頭，表示磁力線之趨向。

(2) 將磁尺之兩端倒轉，同樣再作兩線。以線之粗細，標別前後所得之線。注意其形式上不同之點。

(3) 置磁尺於另一紙上，使尺之方向與地磁力之方向垂直，磁尺之北極向東。於磁尺之兩邊各畫一磁力線，連結磁尺之南北兩極。

(4) 將磁尺倒轉，令北極向西。再同樣畫兩磁力線。注意前兩線與後兩線不同之處，並解釋之。

(5) 再置磁尺於另一紙上，令其北極向北。用指南針，求出磁場內之兩中和點（即磁場內地磁力與磁尺磁力大小相等，趨向相反之兩點，在此兩點，磁針之方向無定）。量中和點至磁尺中心之距離。

(6) 將磁尺之頭倒轉，再求出中和點，及其至磁尺中心之距離。

(7) 置磁尺於厚紙片之下。紙片之上，散布鐵屑。以手指輕敲紙片，觀察鐵屑排列之形式，及其運動之趨勢。作一草圖表示之。

(8) 置軟鐵於磁尺之一端，再觀察鐵屑排列之形式。注

意軟鐵之影響。作一草圖表示之。

【得數】 磁尺北極向北時，中和點在磁尺之……。

中和點至磁尺中心之距離＝……。

磁尺北極向南時，中和點在磁尺之……。

中和點至磁尺中心之距離＝……。

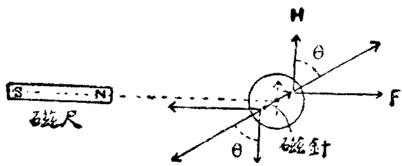
【問題】 假定地球磁場之強度爲已知數，如何從實習(5)及實習(6)中所求得之中和點距離，算出磁力之磁勢？

實習 52

單磁極之磁場

【目的】 用旋轉式磁針，測單磁極之磁場，證明反平方定律。

【解釋】 設地磁場之磁力及磁尺之磁力，同時加於旋轉自由之磁針上，則磁針靜止時之方向，必為二力合力之方向，假定地磁場磁力為 H，磁尺之磁為 F，H 與 F 之方向垂直(圖73)，假定二力同時作用時，磁針靜止後之方向與地磁力方向所成之角為 θ，則 θ 與 H及 F三者之關係為$\tan\theta=\frac{F}{H}$。



第 73 圖

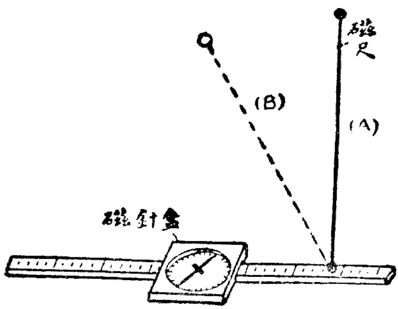
若固定磁針於地磁場內之一點，此點磁力之强度為 H，變動一單磁極至磁針之距離(r)，則依反平方定律，在置放磁針之地點，單磁極磁力之强度(F)等於 $c\frac{1}{r^2}$；c 為一恆數。代入上得之等式，得 $\tan\theta=\frac{c}{Hr^2}$，或 $r^2\tan\theta=\frac{c}{H}$。H既

亦爲一恆數，故 $r^2 \tan\theta$ 必爲一恆數。

【儀器】 旋轉式磁針，兩端裝鐵球之長磁尺，木架，方格紙。

【方法】

(A) 將長磁尺及其餘一切鐵器移遠，將磁針盒水平置於桌上，旋轉之，使分度針之兩端各指 0° 線。令磁尺垂直立於磁針盒之附尺上，磁尺之下端距磁針 10 cm.（圖74，A），用木架固定之。讀分度針兩端所指之度數，記其平均數。此即爲磁針之轉角 $=\theta$。將磁針之下端次第移至距離 15，20，30，40 cm.，每次記磁針之轉角，及磁尺下端至磁針之距離 $=r$。算出 r^2 與 $\tan\theta$ 之相乘積。



第 74 圖

(B) 將磁尺傾斜固定於木架上，令磁尺之上端，常在通過磁針中心之垂直線上，下端仍在磁針盒之附尺上（圖 74，B）。照以上之實驗方法，變動磁尺下端之距離，記磁針之轉角。算出 r^2 與 $\tan\theta$ 之相乘積。

(C) 用磁尺之他一端，照(A) (B) 兩種方法中較爲精確之一法，作同樣之實驗。以 $\tan\theta$ 之值爲縱距，$\frac{1}{r^2}$之值爲橫距，將(A) (B) 之結果，各作一圖表顯之。

【得數】

磁尺位置法	距離r	轉角θ	r^2	$\tan\theta$	$r^2\tan\theta$	$1/r^2$
(A) 磁尺垂直						
(B) 磁尺傾斜						
(C) 磁尺………						

【問題】 實習(B) 中，將磁尺之上端，位於通過磁針中心之垂直線上，用意何在？

磁針兩極之磁性强弱，對於轉角之大小，有無影響？

磁針分度針下面之玻璃鏡何用？

求磁針之轉角，何以必須讀分度針兩端所指之度數，而取其平均數？

實習 53

磁尺之磁場

【目的】 證明磁力之反平方定律，比較磁尺之磁勢。

【解釋】 磁場加於單位磁極之力，爲此單位磁極所在地點磁場之强度。在任何磁極之磁場內，任何地點之磁場强度，與磁極之强度成正比例，與從此地點至磁極距離之平方成反比例。

置磁針於磁尺之附近，若磁尺中點至磁針所作之線與磁尺之方向平行，則磁尺之位置，名爲"縱向"；若與磁尺之方向垂直，則磁尺之位置，名爲"橫向"。

設磁尺兩極之强度爲$\pm m$，兩極之距離爲l，則磁尺之磁勢$M=ml$。若從磁針至磁尺之距離較磁尺之長度甚大，則由反平方定律得：磁尺居縱向位置時，磁針附近磁場之强度爲$2M/d^3$；居橫向位置時，强度爲M/d^3。式中d爲磁針至磁尺中點之距離。

【儀器】 懸掛式小磁針*，兩短磁尺，方木塊。

【方法】

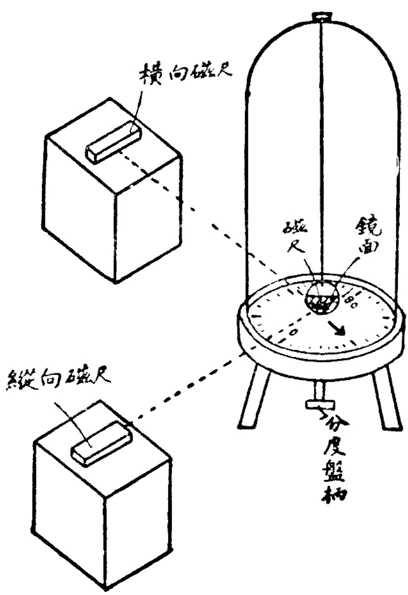
(A) 反平方定律：將磁尺及其餘一切鐵器移遠，旋轉磁

*若無此種懸掛式小磁針，可用上實習中所用之旋轉式磁針代替之。

針器，使磁針恰懸於分度盤之中央（圖 75）。從小鏡上部擦去水銀之部分，視分度盤之 180° 線，從小鏡內，視0°之影像。旋轉分度盤之柄，使二線相重。

置長磁尺於磁針之南或北 20 cm.，居橫向位置，與磁針同在一水平面上。待磁針靜止，看小鏡內何線之影與180°線相重，記其度數＝S_1。將磁尺之頭倒轉，再記與 180° 相重的影線之度數＝S_2。

置磁尺於磁針之東或西 50 cm.（從磁尺之中點量起），居縱向位置。再看何線之影，與 180° 線相重，記其度數＝S_3。倒轉磁尺，再記影線之度數＝S_4。



第 75 圖

磁尺之磁場，在置放磁針地點之附近，其磁力之方向，既皆與地場之方向垂直，故兩次磁尺磁場之强度，與兩次所得轉角之 tan 成比例。

但若假定磁針之轉角甚小，轉角之 tan，可用轉角代替之，則磁尺居橫向位置時與其居縱向位置時磁場強度之比爲

$$\frac{S_1+S_2}{S_3+S_4}。$$

再使磁尺居橫向位置，令其加於磁針上之磁力，與地磁力垂直。變動磁尺至磁針之距離，使磁針之轉角爲 45°(鏡內之影線爲 90°)。量出磁尺至磁針之距離 $=d_1$。使磁尺之位置爲縱向，作同樣之試驗，再量出其至磁針之距離 $=d_2$。算出 $\frac{d_1^3}{d_2^3}$ 之值。

(B) 比較磁尺之磁勢：置兩磁尺於磁針相對之兩邊，令其位置同爲縱向，變動磁尺至磁針之距離，使其加於磁針上之磁力恰相消。量出兩磁尺至磁針之距離 d_1 及 d_2。從 d_1, d_2 算出兩磁尺磁勢之比 M_1/M_2。用橫向位置，再算出 M_1/M_2 之比。

先後使兩磁尺居縱向之位置，距磁針等遠，加於磁針之磁力方向，與他磁力垂直。記磁針之轉角 θ_1 及 θ_2。從 θ_1 及 θ_2 算出 M_1 與 M_2 之比。

【得數】 (A) $S_1=\cdots\cdots$，$S_2=\cdots\cdots$，$S_3=\cdots\cdots$，$S_4=\cdots$，

$$\therefore \frac{\text{橫向位置時磁場之強度}}{\text{縱向位置時磁場之強度}}=\frac{S_1+S_2}{S_3+S_4}=\cdots\cdots,$$

橫向位置時磁尺至磁針之遠 $= d_1 = \cdots\cdots$,

縱向位置時磁尺至磁針之遠 $= d_2 = \cdots\cdots$,

$\therefore \quad d_1^3/d_2^3 = \cdots\cdots$。

(B) 磁尺(1)至磁針之距離 $= d_1 = \cdots\cdots$,

磁尺(2)至磁針之距離 $= d_2 = \cdots\cdots$,

$$\therefore \quad \frac{\text{磁尺(1)之磁勢}}{\text{磁尺(2)之磁勢}} = \frac{M_1}{M_2} = - = \cdots\cdots。$$

用磁尺(1)時磁針之轉角 $= \theta_1 = \cdots\cdots$,

用磁尺(2)時磁針之轉角 $= \theta_2 = \cdots\cdots$,

$\therefore \quad M_1/M_2 = \cdots\cdots$。

【問題】 實習(A)中將磁尺倒轉，取兩次所得磁針轉角之平均數，以比較磁場之強度，有何優點？

證明磁尺居橫向位置時，及縱向位置時，磁場強度之公式。

實　習　54

磁　場　之　強　度

【目的】 用擺動磁針比較地磁場與磁尺磁場之強度；由此比較磁場各部之強度。

【解釋】 磁場加於單位磁極上之力，為磁場之強度。

設用無扭力之細線，繫磁針之中點，將磁針水平懸掛於勻平磁場內，而令其以懸線為軸，左右振動，則磁場之強度(H)，可從磁針之磁勢(M)，惰勢(I)及其擺動週期(T)求得之。其式如下：

$$T=2\pi\sqrt{I/MH}。$$

【儀器】 擺動磁針，磁尺，停錶，木架，方格紙。

【方法】

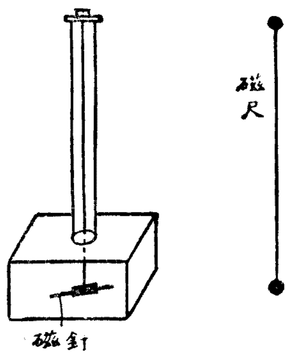
(A) 將磁尺垂直固定於木架上，令其下端與擺動磁針同在一水平面上(圖76)。將磁針及磁尺同放在地磁線上，使磁尺立於磁針之南，相距 10 cm.，用帶有磁性之小刀，引起磁針擺動。藉響應之現象，將磁針之振幅，約減至 10°。記磁針擺動 10 次或 20 次所需之時間，算出其週期 $=T_{1s}$。移磁尺至磁針之北 10 cm.，再令磁針振動。算出其週期 $=T_{1n}$。用同法測出磁尺在磁針之南及北 15，20，25，30 及 40 cm. 時，

磁針之擺動週期$=T_{2s}$，T_{2n}，T_{3s}，T_{3n} 等。

作一圖，表示距離與週期之關係。

(E) 由上得之結果，算出磁尺磁場，與地磁場水平部分之比。其法如下：

假定地磁場水平部分之強度爲 H，假定當磁針距離磁尺 10 cm. 時，其附近磁場之強度爲 I_1，設磁尺之下端爲北極，則當磁針在磁尺之北時，其合成磁場之強度，爲地磁場與磁尺磁場強度之和，即 $H+I_1$。若磁針在磁尺之南，則合成磁場之強度，爲地磁場與磁尺磁場強度之差，即 $H-I_1$，或 I_1-H。但磁場之強度與放在該點之磁針擺動週期之平方成反比例。即



第 76 圖

$$\frac{H+I_1}{H\sim I_1}=\frac{T^2{}_{1s}}{T^2{}_{1n}},$$

$$\therefore\quad \frac{I_1}{H}=\frac{T^2{}_{1s}-T^2{}_{1n}}{T^2{}_{1s}+T_{1n}}\quad 若\ I_1<H;$$

$$或\quad \frac{I_1}{H}=\frac{T^2{}_{1s}+T^2{}_{1n}}{T_{1s}-T^2{}_{1n}}\quad 若\ H<I_1。$$

照上式算出距磁極15，20，25，30及40cm.時，磁場之強度與地磁場強度之比率。作一圖，表示$\frac{I}{H}$與距離之關係。

【得數】

距離 r	擺動次數		時間		週期T		T^2		磁極磁場強度 $\frac{I}{H}$	$\frac{I}{H}r^2$
	南	北	南	北	南	北	南	北		
10cm.										
15										
20										
25										
30										
40										

【問題】　變動磁針至磁尺之距離時，何以不移動磁針而移動磁尺？假使所用之振動磁針甚大，關於以上實習所得之結果有無影響？

實習 55

地磁場

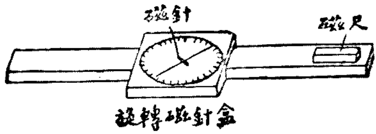
【目的】 用磁尺測定地磁場水平份之強度。

【解釋】 (參閱實習52,53及54中之解釋)

【儀器】 擺動磁針盒，旋轉磁針，磁尺，銅尺，螺旋規。

【方法】

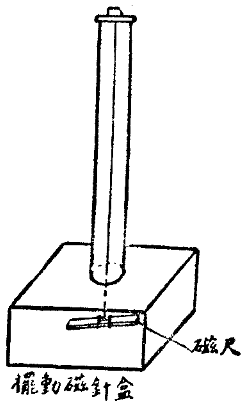
(A) 測定 M/H: 將旋轉磁針盒置桌上，旋轉之，使分度針所指之度數為零。置磁尺於磁針之東或西，縱向位置 (圖77)。選取磁尺至磁針之適當距離，令分度針之角度在 45° 左右。量磁尺中點至磁針之距離。記分度針兩端所指之度數。將磁尺之頭倒轉，再記分度針兩端所指之度數。取其平均數，為磁針之轉角 $=\theta$。假定磁尺加於磁針上之磁力為 F，地磁場水平份之強度為 H，則 $F/H=\tan\theta$。但 $F=\frac{2Md}{(d^2-l^2)^2}$，式中 M為磁尺之磁勢，d 為自磁尺中點至磁針之距離，2l 為磁



第 77 圖

尺兩極相距之遠(約等於 5/6×磁尺之長)。將 F 之值代入上式，得$M/H=\frac{(d^2-l^2)^2}{2d}\tan\theta$。從此式求出$\frac{M}{H}$之值。

(B) 測定 MH：置擺動磁針盒(圖78)於磁針所佔之位置，將銅尺懸於磁針盒內，聽其藉懸線之扭力而旋轉。銅尺每旋轉一二週，以手停之，使銅尺不致因其惰性動能，將懸線向相反之方向轉扭。懸線之扳扭退完後，持定懸線之鈎，取下銅尺，以磁尺代之。用帶有磁性之小刀，引起磁尺之擺動。減小其擺角約至10°。記磁尺擺動 20 或 30 次所需之時間，算出其擺動週期 T。設



第 78 圖

磁尺以懸線爲軸旋轉之惰勢爲 I，則 $T=2\pi\sqrt{\frac{I}{HM}}$。量磁尺之長及寬，秤其重量，將其惰勢算出。代入上式，算出 HM 之值。

從(A)，(B) 求得之結果算出 H 及 M。

【得數】 磁尺中點至磁針之距離 $=d=\cdots\cdots$cm.,

磁針之轉角 = (1) …, (2) …, (3) …, (4) …,

轉角之平均數 = θ = ……, $\tan\theta$ = ……,

磁尺之長 = ……,

∴兩極間之距離 = 2l = …… cm.。 ∴l = ……。

$$\therefore \frac{M}{H} = \frac{(d^2 - l^2)^2}{2d} \tan\theta = \cdots\cdots$$。

磁尺擺動……次所需之時間 = ……sec,

∴週期 = T = ……sec。

磁尺之長 = a = …… cm.,

磁尺之寬 = b = …… cm.,

磁尺之重量 = m = ……gm.,

$$\therefore 磁尺之惰勢 = I = m\left(\frac{a^2 + b^2}{12}\right) = \cdots\cdots,$$

∴ HM = ……,

M = ……,

H = ……。

實習 56

電池,電流,正切電流表

【目的】依 Ampére 氏規則，定電流之方向；用正切電流表測量電流。

【解釋】Ampére 氏規則：假定一人在電流導線之內，順電流之方向游泳；人之對面置一指南針，則電流發生之磁力，恆使磁力之北極向人之左邊轉側。或

設用右手握電流導線，伸直拇指，若拇指代表電流之方向，則其餘四指代表導線四圍磁力之方向。本此設有一指南針置於導線之近傍，則磁針之北極，將順四指之方向轉側。依 Ampére 氏規則，設有電流，在一螺旋導線卷上流通，則此螺旋導線卷，成一磁尺。螺旋導線上電流旋轉之方向與穿過導線卷磁力之方向，可以右手螺旋代表之；若電流旋轉之方向與螺旋旋轉之方向相當，則磁力之方向與螺旋前進之方向相當。

設有電流，强度爲 C (C. G. S. 電磁單位)，通過一卷導線上，卷線之圈數爲 n，半徑爲 r，則電流在卷線中點所發生之磁場强度爲 $\frac{2\pi nc}{r}$ (gauss)，方向與卷線平面垂直。設將此卷線置於地磁場內，令卷線與地磁子午線在同一平面內，

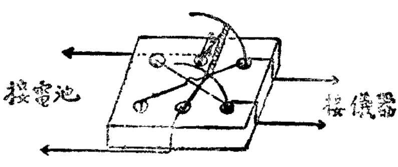
再於卷線之中點，置一小磁針。若令電流C通過卷線，則磁針因感受電流之磁力，將向與卷線平面垂直之方向轉側。其靜止之方向，必為地磁磁力與電流磁力二者合力之方向。假定磁針之轉角為θ，卷線中點之電流磁力為F，地磁場磁力水平份之強度為H，則$\tan\theta=\frac{F}{H}$，但$F=\frac{2\pi nc}{r}$，故$\frac{2\pi nc}{r}=H\tan\theta$，即$C=\frac{Hr}{2\pi n}\tan\theta$。

【儀器】 Daniell氏電池，Leclanché氏電池，蓄電池，螺旋導線筒，正切電流表，電流表，無定電阻，反流關鍵，彎脚規。

【方法】

(A) 研究正切電流表及各電池之構造，作一說明草圖。注意反流關鍵之用法(圖79)。

用導線連結Daniell氏電池之兩極。依Ampére氏規則，用一指南針定電流之方向，於是定電池之正負極。用Leclanché氏電池，作同樣之試驗。(注意：勿用蓄電池作同樣之試驗。蓄電池非外加電阻，不可逕用導線將電池之兩極連結。)



第 79 圖

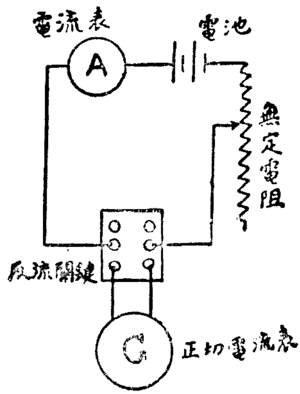
(B) 將D.氏或L.氏電池之正極與螺旋筒標明"A"字之

一極連結，電池之負極與他一極連結。用指南針試驗螺旋導線筒兩端之磁性。依 Ampére 規則，推得導線旋繞之方向：即假定以"A"爲導線之起點，推得其旋繞之方向，由上下視，爲順時針的，抑爲背時針的。

(C)置正切電流表於桌上，旋轉之，使其導線卷，在地磁之子午平面內，其指針所指之分度爲零。

將蓄電池之一極與無定電阻連結(圖80)，將蓄電池之他一極與電流表上符號相同之一極連結。將電流表之他一極及無定電阻之他端連結於反流關鍵上不相連結之兩終點上。將反流關鍵其他兩對終點中之任何一對與正切電流表連結。作一草圖，表示連結之方法。

藉無定電阻之增減，變動電流之强度，令正切電流表指針之轉角約在 45° 左右。觀察電流表記數 A。記正切電流表指針兩端所指之度數。用反流關鍵反轉電流之方向，再記指針兩端所指之分度。取四數之平均數爲正切電流表之轉角 θ。變動無定電阻，使正切電流之轉角約在 30° 及60° 左右，作同樣之測定。每次



第 80 圖

記電流表之記數，及正切電流表之轉角。用彎脚規量出電流表導線卷之半徑 r。由正切電流表之轉角 θ，卷線之半徑 r，卷線之圈數 n，及地磁場磁力水平份之強度 H，依上式算出電流之強度 C。

【得數】

(A) Daniell 氏電池正極物質爲……，負極爲……。

Leclanché 電池正極物質爲……，負極爲……。

(B) 螺旋導線旋繞之方向，由"A"點起，由上下視，爲…時針的。

(C) 卷線圈數 = n = ……，卷線半徑 = r = ……，地磁場磁力水平份強度 = H = ……。

正切電流表之轉角 θ	$\tan\theta$	電流強度 C	A

【問題】 可否將無定電阻連結於反流關鍵及正切電流表之間？

可否將電流表連結於反流關鍵及正切電流表之間？

何以由正切電流表測得電流之強度，與電流表上之記數不同，二者是否應有一定之比率？

實習 57

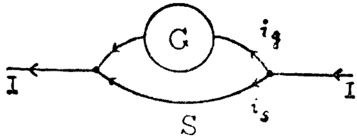
Ohm 氏定律，線動式電流表

【目的】 用線動式電流表，應用 Ohm 氏定律，測電池之內部電阻。

【解釋】 Ohm 氏定律： $\frac{\text{電動力}}{\text{電流}}=\text{電阻}$ 或 $\frac{E}{I}=R$。

電流表之便徑：線動式電流表爲測量微小電流之儀器。遇所測之電流過强，電流表不能應用時，電流表上常加用一便徑。便徑爲一低電阻之導線，與電流表平行連結（圖 81），將一部分之電路分成兩路，一部分電流仍由電流表通過，但大部分電流由便徑通過。通過兩路電流之比率，與兩路之電阻成反比例。便徑之電阻愈小，則通過電流表一部分之電流愈少。惟假定便徑與電流表之電阻不變，則通過電流表之分電流與通過全導線之總電流，成一定之比例。設電流表之電阻爲 R_g，通過電流表之分電流爲 i_g，便徑之電阻爲 R_s，通過便徑之分電流爲 i_s，則總電流 $I=i_g+i_s$，$\frac{i_s}{i_g}=\frac{R_g}{R_s}$，

$i_g=I\frac{R_s}{R_g+R_s}$。



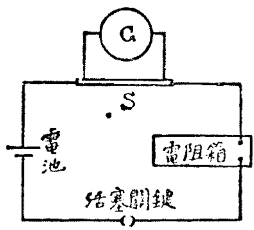
第 81 圖

【儀器】 粗製之線動式電流表，便徑兩種，Daniell 氏電池，電阻線，電阻箱，活塞關鍵，方格紙。

【方法】

(A)研究線動式電流表之構造，作一說明草圖。

將電流表之便徑 S_1 與電流表平行連結(圖 82)，將電池之一極結於便徑之一端。將電池之他一極，經過電阻箱及活塞關鍵(活塞取出)結於便徑之他一端。取用電阻箱全部之電阻。放進活塞關鍵之活塞，使電流流通。記電流表之轉角 θ 及所用之電阻 R。挨次減少所用之電阻，作同樣之試驗三次或四次，每次記電流表之轉角及所用之電阻。



第 82 圖

設電池之電動力為 E，內部電阻為 r，電池外部導線之電阻為 R，則依 Ohm 氏定律，得每次導線上之總電流 $I=\frac{E}{r+R}$。若 r 與 R 比較甚小，可以略而不計，則 $I=\frac{E}{R}$，即 $IR=E$。假定電流表之轉角 θ 與通過導線上之總電流 I 成比例，則 θR 相乘積應為常數。

(B)將便徑 S_2 與電流表平行連結。用電阻線連結便徑之一端與電池之一極。用平常之粗導線連結便徑之他一端與

電池之他一極。觀察電流表之轉角 θ_1。僅用電阻線之一半連結電池之一極與便徑之一端，他一極與他一端仍用粗導線連結。再觀察電流表之轉角 θ_2。將電阻線之兩段相併，連結便徑與電池，再觀察電流表之轉角 θ_3。設電池之電動力為 E，內部電阻為 r，外部電阻為 R，則依 Ohm 氏定律，得

$$I_1=\frac{E}{r+R_1},\quad I_2=\frac{E}{r+R_2},\quad I_3=\frac{E}{r+R_3}.$$

I_1, I_2, I_3 為每次電流，R_1, R_2, R_3 為每次之外部電阻。假定每次電流 I 與電流轉角成比例，則由上三式得

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{\theta_1}{\theta_2}=\frac{r+R_1}{r+R_2}\quad(1),\qquad \frac{I_2}{I_3}=\frac{r+R_2}{r+R_3}\quad(2)$$

設電阻線每單位長度之電阻為已知，先算出每次外電阻 R 之值，由 (1) (2) 兩式算出電池內電阻 r 之值。

(C) 電流表之轉角 θ，既與電流 I 成比例；假定 $I=K\theta$，K 為一常數，則 $I=K\theta=\dfrac{E}{r+R}$，即 $r+R=\dfrac{E}{K}\left(\dfrac{1}{\theta}\right)$。以 R 為縱距，$\dfrac{1}{\theta}$ 為橫距，將上得之結果，得一圖線。從圖上求出 r。

【得數】 (A)

所用電阻 R	電流表轉角 θ	θR

(B) $\theta_1 = \cdots\cdots$, $\theta_2 = \cdots\cdots$, $\theta_3 = \cdots\cdots$。

每單位長度電阻線之電阻 = ……。

∴ $R_1 = \cdots\cdots$, $R_2 = \cdots\cdots$, $R_3 = \cdots\cdots$。

由(1)式算得 $r = \cdots\cdots$。由(2)式算得 $r = \cdots\cdots$。

(C) $\frac{1}{\theta_1} = \cdots\cdots$, $\frac{1}{\theta_2} = \cdots\cdots$, $\frac{1}{\theta_3} = \cdots\cdots$。

由圖得 $r = \cdots\cdots$。

【問題】 何以使徑及電流表之電阻不加入外電阻之內?

實 習 58

Wheatstone 氏橋

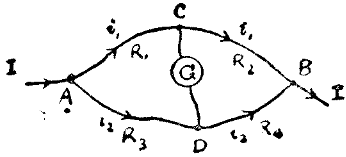
【目的】 用 Wheatstone 氏橋及電阻箱，測未知之電阻；證明計算合成電阻之規則。

【解釋】 設有兩個或兩個以上之電阻線，若將第一線之一端，與第二線之一端連結，將第二線之他一端，與第三線之一端連結，再將第三線之他一端，與第四線之一端連結，如此推至最後之線，則此諸線之連結，名爲接續的連結。若將各線之一端結於一處，將各線之他一端，結於一處，則此諸線之連結，名爲平行的連結。假定各線之電阻爲 r_1, r_2, r_3 等，則各線接續連結時，其合成之電阻 R 爲：

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \cdots\cdots;$$

平行連結時，其合成之電阻 R′ 爲：

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \cdots\cdots。$$



第 83 圖

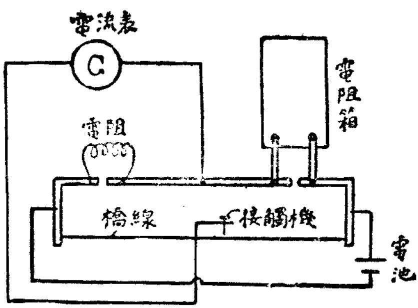
Wheatstone 橋之原理： 設有 ACB, ADB 兩導線(圖

83)，平行連結，有電流由 A 向 B，或由 B 向 A，同時在兩線上流過。設 ACB 線上任何一點 C 之電位，與 ADB 線上任何一點 D 之電位相等，換言之，即用導線連結 CD 兩點而不發生電流，則 ACB 線上 AC 一段之電阻，與 CB 一段電阻之比，等於 ADB 線上 AD 一段之電阻，與 DB 一段電阻之比。即 $R_1/R_2=R_3/R_4$。本 Wheatstone 橋之原理，設有 R_1,R_2,R_3,R_4 四電阻，造成 Wheatstone 氏橋，其中一電阻爲未知數(假定爲 R_3)，他一電阻爲已知數(假定爲 R_4)，而 R_1 與 R_2 之比率，可以任意變動，則於 R_1 與 R_2 成某一比率時，電位可以平衡。既得電位平衡時 R_1 與 R_2 之比率，則未知之電阻 R_4，可從 R_3 之值，及 R_1 與 R_2 之比率算出，即 $R_3=R_4\times\dfrac{R_1}{R_2}$。

【儀器】 Wheatstone 橋，電阻線兩種，電阻箱，電流表，電池，銅皮，導線。

【方法】

(1) 將電阻線連於橋上之一空隙內(圖84)。將電阻箱用銅皮結於橋之他一空隙內。將電池連於橋之兩端。將電流表之一端，結於橋上兩



第 84 圖

空隙中間之螺旋上，他一端，用一長線結於橋之接觸機上。從電阻箱內取用電阻R（即將寫明 R 處之銅塞拔出），其大小須約與未知之電阻相等。將接觸機移近橋之一端，壓之，使與橋線接觸，注意電流表旋轉之方向。將機移至橋線之他一端，再令之與橋線接觸，注意電流表旋轉之方向。若所取之電阻適當，則第二次電流表旋轉之方向，應與第一次之方向相反。令接觸機與橋線之各點接觸，求出中和點。即在此點上，橋線與機接觸，電流表不生變化，而在此點緊接之兩旁，電流表向相反之兩方向旋轉（中和點，應距橋線之中點不遠，若太偏於橋線之一端時，可更換電阻箱內所取之電阻以變動之）。設中和點至橋線一端之距離為 l_1，至他一端之距離為 l_2。l_1 為與電阻線相接之一端，l_2 為與電阻箱相接之一端，假定橋線之粗細處處相等，則電阻線之電阻 x_1 本 Wheatstone 橋之原理，可由下之比例式求之：

$$\frac{x_1}{R}=\frac{l_1}{l_2}。$$

(2)將電阻線與電阻箱之位置互換，再求出中和點，算出 x_1 之值。

(3)同法測出他一電阻線之電阻 $=x_2$。

(4)將兩電阻線接續連結，用同法測定其合成電阻 $=X$。

(5)將兩電阻線平行連結，用同法測定其合成電阻 $=X'$。

【得數】 (1) $l_1=\cdots\cdots$cm., $l_2=\cdots\cdots$cm., $R=\cdots\cdots$ohms,

$\therefore$ 第一電阻線之電阻 $=x_1=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

(2) $l_1=\cdots\cdots$cm., $l_2=\cdots\cdots$cm., $R=\cdots\cdots$ohms,

$\therefore$ 第一電阻線之電阻 $=x_1=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

(3) $l_1=\cdots\cdots$cm., $l_2=\cdots\cdots$cm., $R=\cdots\cdots$ohms,

$\therefore$ 第二電阻線之電阻 $=x_2=\cdots\cdots=\cdots\cdots$。

$\therefore$ 兩線電阻之和 $=x_1+x_2=\cdots\cdots$。

(4) $l_1=\cdots\cdots$cm., $l_2=\cdots\cdots$cm., $R=\cdots\cdots$ohms,

$\therefore$ 直接測得兩線電阻之和 $=X=\cdots\cdots$。

(5) $l_1=\cdots\cdots$cm., $l_2=\cdots\cdots$cm., $R=\cdots\cdots$ohms,

$\therefore$ 兩線平行連結時之合成電阻 $=\cdots=X'$

$=\cdots\cdots$,

兩線電阻反數之和 $=\dfrac{1}{x_1}+\dfrac{1}{x_2}=\cdots\cdots$,

合成電阻反數之和 $=\dfrac{1}{X'}=\cdots\cdots$。

【問題】 何以連結電流表可用導線，連結電阻箱須用銅皮？

何以電流不生變化時，不能遽決定接觸點爲中和點？

實習(2)將電阻線與電阻箱之位置互換，用意何在？

實習 59

郵局電阻箱

【目的】 用郵局電阻箱，測鐵絲之比電阻。

【解釋】 Wheatstone 橋之原理：（參閱實習 58 解釋）

設有 R_1, R_2, R_3, R_4 四電阻，造成一 Wheatstone 橋，其中 R_3 爲未知數，R_1 與 R_2 之比率爲已知數，R_4 之值可以任意變動，則藉 R_4 之變化，可以求得電位之平衡。若求得在電位平衡時 R_4 之值，則未知電阻 R_3 之值，可從 R_4 之值及 R_1 與 R_2 之比率算出，即

$$R_3 = R_4 \times R_1/R_2。$$

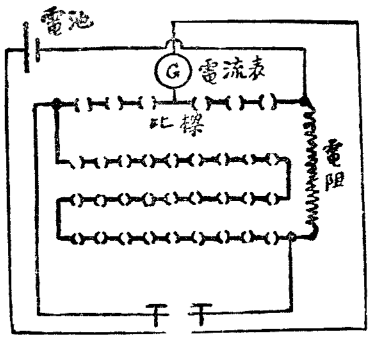
比電阻：設有金屬線，長爲 L，橫斷面積爲 a，則其電阻R，可用以下之公式表示之，即 $R = S\frac{L}{a}$。式中 S 爲一恆數，爲此金屬物質之比電阻。故由上之定義，1 cm. 長，1 cm.² 橫斷面積之物體所有之電阻，等於此物體物質之比電阻。

【儀器】 郵局電阻箱，鐵絲，電池，電流表，螺旋規。

【方法】

(1)注意郵局電阻箱上之比樑，電阻組，及電池，電流表，與未知電阻之結線處(圖85)。注意其原理與 Wheatstone 橋相同之點。

(2)照圖將電池，電流表，及鐵絲連結於電阻箱上。於電阻箱比樑之兩邊各取 10 ohms 之電阻。將電阻組內各電阻之銅塞轉緊，即令電阻爲零。壓電池路內之接觸機，使電流流通。壓電流表路內之接觸機，令其作短時間之接觸。注意電流表旋轉之方向。將電阻組內最大電阻之銅塞拔出（通常即將電路斷絕，即令電阻爲無限大），再令兩接觸機作短時間之接觸，注意電流表旋轉之方向。若各處連結之方法無誤，則此次電流表旋轉之方向，應與前次相反。由電阻組中任意取用電阻 R，看電流表旋轉之方向。由電流表旋轉之方向，可以推知可致平衡之電阻，必較 R 爲大或爲小。增減 R，先得其最近於平衡之值；即求得 n 及 n+1 兩電阻，使取用 n 時，電流表向一方旋轉，取用 n+1 時，電流表向另一方向旋轉，則可知可致平衡之電阻必爲 n 有零。此時比樑之比率既爲 1:1，故知鐵絲之電阻必爲 n ohm 有零，即已求得未知電阻之整數部分。



第 85 圖

(3)將比樑右邊之 10 ohm 電阻，換以 1 ohm 之電阻，比

樑之比率，遂由 1:1 變爲 1:10。欲得平衡，此次所需用之電阻必比上次增高 10 倍，故必在 10 n 與 10(n+1)之間。先用此兩電阻作同樣之試驗，前者應表示過小，後者應表示過大。但此兩數之間，尙有 9 單位，可以作進一步之試驗。挨次用 10n 至 10n+10 中間之各電阻作同樣之試驗，求得最近於平衡之兩電阻。假定此兩電阻爲 10 n+m 及10 n+m+1 (m 爲由 1 至 9 中間之任何一數)， 則未知電阻之第一位小數爲 m。故未知電阻之第一位小數求得。

(4)增加比樑之比率至 1 : 100，用同法求得未知電阻之第二位小數。

(5)量鐵絲之長及其半徑，算出其橫斷面積，由其長，橫斷面積，及其電阻，算出鐵之比電阻。

【得數】　　鐵絲電阻之整數=……，

鐵絲電阻至第一位小數=……，

鐵絲電阻至第二位小數=……，

∴鐵絲之電阻=……ohms。

鐵絲之長=L=……，鐵絲之半徑=r=……，

∴鐵絲之橫斷面=a=……。

∴鐵絲之比電阻=S=……。

實習 60

電池之內部電阻

【目的】 用電壓表測 Daniell 氏電池之內部電阻。

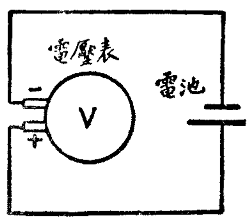
【解釋】 任何導線兩極端電位之差，等於通過導線之電流與導線電阻之相乘積。

若無電流通過電池之內部，則電池兩極電位之差，即等於電池之電動力。若有電流通過電池之內部，則電池兩極之電位差，等於電池之電動力，減去電流與電池內部電阻之相乘積。假定電池之電動力爲 E，內部電阻爲 r，通過電池內部之電流爲 i，則電池兩極之電位差 $V=E-ir$。

【儀器】 Daniell 氏電池，電壓表，電阻箱，電路關鍵。

【方法】

將電壓表標明“+”號之一端，與電池之正極連結(圖86)，標明“−”號之一端，與電池之負極連結。記電壓表分針所指之數 $=E$，爲電池兩極之電位差。



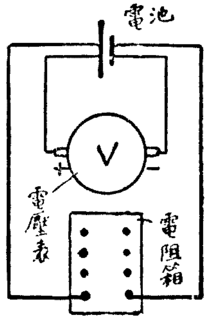
第 86 圖

因通常所用之電壓表，電阻甚大，當電壓表與電池連結時，通過電池內部及電壓表之電流甚小，電池之內部電阻亦甚小，因此電阻與電流之相乘積，可以略而不計，故電池

之電動力，可假定其等於電壓表上之記數。

將電壓表與電阻箱平行連結(圖87)。由箱中取用適當之電阻(R)。再將電壓表之兩端與電池之兩極連結。記電壓表上之記數＝V。V仍爲電池兩極之電位差。惟現在電流增大，故此數小於電池之電動力E。設此次通過電池內部之電流爲i，電池內部電阻爲r，則$V=E-ir$。

在電池之外部，因電流有兩路可通，故祇有一部分之電流由電阻箱通過，他一部分，則由電壓表通過。但電壓表之電阻較電阻箱之電阻甚大，故可假定電流之全部，由電阻箱通過。電阻箱之電阻爲R，通過電阻箱之電流，旣可假定等於i，則電阻箱兩線端電位之差，即電池兩極電位之差，必等於iR。故得$V=iR$。以i之値代入上式，得



第 87 圖

$$r=\frac{(E-V)}{V}R。$$

由E，V，R之値，算出電池之內部電阻。

變換R之數四次或五次，每次記電壓表之記數。算出電池之內部電阻。用下之表式登記所得之結果。

【得數】

R	V	$E-V$	$r=\frac{E-V}{V}R$

實 習 61

電 位 表

【目的】 用電位表測 Daniell 氏電池，及 Leclanchè 氏電池之電動力。

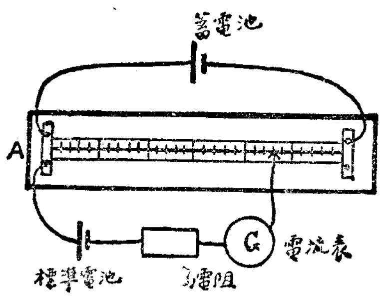
【解釋】 導線上任何兩點 A 及 B 電位之差，等於 AB 線之電阻，與通過 AB 線上電流之相乘積。

若無電流通過電池之內部，則電池之電動力，等於電池兩極電位之差。

【儀器】 電位表，蓄電池，標準電池，Daniell 氏電池，Leclanchè 氏電池，電流表，高電阻。

【方法】

(1)將蓄電池及標準電池之正極， 同結於電位表之一端 A(圖 88)。將蓄電池之負極，結於電位表之他一端 B。將標準電池之負極，經過電流表，及高電阻，結於電位表之接觸機上。移接觸機至電位表線之一端，壓之，使與電位表線接觸，注意電流表旋轉之方向。移接觸機至電



第 88 圖

位表線之他一端，壓之，使再與電位表線接觸注意電流表旋轉之方向。（在表上移動接觸機時，勿令機之刀邊，與表線相磨，以防有損表線之勻平）若第二次旋轉之方向，與第一次之方向相反，則兩接觸點之電位，必一較標準電池負極之電位爲高，一較爲低。於此兩接觸點之間求出中和點 C_1，即在電位表線上求得一點，在此點，令接觸機與表線接觸，電流表不生變化，而在此點之緊傍兩點，則電流表向相反之兩方向旋轉。（若電流表不甚靈敏，則已得中和點之大概位置後，可將高電阻取去，俾中和點之位置，可以精確求出。）記中和點至 A 端之距離 $= L_1$。電池之正極，既與表線之 A 端相結，電位必相等。電池之負極，與中和點 C_1 接觸時，既不發生電流，其電位亦必相等。故電池兩極電位之差，等於 AC_1 線 A, C_1 兩端電位之差，即電池之電動力，等於 AC_1 線 A, C_1 兩端電位之差。

(2) 取去標準電池及高電阻，易以 Daniell 氏電池，作同樣之實驗，求出中和點 C_2，則 D. 電池之電動力，必等於 A, C_2 兩點之電位差。記中和點至 A 端之距離 $= L_2$。假使通過電位表之電流，先後强度未變，假定電位表線之粗細勻平，則線上任何兩點間之電位差，恆與兩點間之線長成比例，故兩電池電動力之比，等於 L_1 與 L_2 之比。從表查出標準電池

在實驗室溫度之電動力。從求得之 L_1 及 L_2 算出 Daniell 氏電池之電動力。

(3)同法求出 Leclanchè 氏電池之電動力。

(4)將 Daniell 氏及 Leclanchè 氏電池接續連結，直接求出兩電池電動力之差。

【得數】 標準電池中和點之距離 $L_1=$ ……cm.,

D.電池中和點之距離 $L_2=$ ……cm.,

L.電池中和點之距離 $L_3=$ ……cm.,

標準電池之電動力＝……,

∴D.電池之電動力 $=E_1=$ ……＝……。

L.電池之電動力 $=E_2=$ ……＝……。

$E_2-E_1=$ ……。

直接求得兩電池電位之差＝……。

【問題】 供給電位表上電流之蓄電池，可否以 D. 或 L. 電池代之？上實驗中，可否將蓄電池之負極，與標準電池之負極同結於電位表之 A 端？

實習 (1) 中所用之高電阻何用？何以既得中和點大概位置之後，可以將高電阻取去？

實習 62

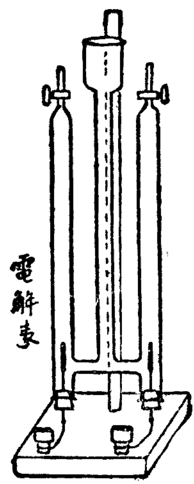
電解

【目的】 用電解表測定輕氣之電化當量。

【解釋】 1 Coulomb 電量所能分解之物質質量，爲此物質之電化當量。

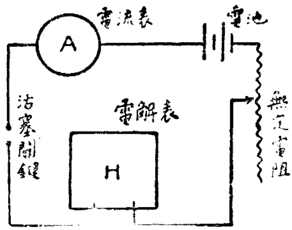
【儀器】 電解表，電流表，蓄電池，停錶，溫度表，無定電阻，活塞關鍵。

【方法】 盛水玻璃杯中，加淡硫酸少許，混和之，傾此水於電解表內(圖89)，將兩側管中之空氣完全排出。將兩側管之玻璃塞關閉，將電池，電流表(注意以電流表標明"＋"號之一端，與電池之正極相結，或標明"－"之一端，與電池之負極相結)，活塞關鍵，無定電阻，及電解表，接續連結(圖90)。增減所用之電阻，令電流表所記之電流，約爲 0.5 amps。此時兩側管內，應發生氣泡，聚集於兩管之上端。注意兩管中氣泡發生之速率不同，多者爲輕氣，少者爲養氣，輕氣與電池之負極相結，養氣與電池之正極相結。過一



第 89 圖

二分鐘，視電流之强度有無變化。若無變化，拔出活塞關鍵之銅塞，令電流停止，轉開兩側管之玻璃塞，將已經聚集之氣體放出。將玻璃塞關閉，從新放進活塞關鍵之銅塞，將電路連結。同時用停錶記電流流過之時間。待輕氣管中所得之氣體，約達30c.c.



第　90　圖

左右時，將電路斷絕，同時停止停錶。在此時間之內，電流之强度應始終一致，若有變化，應隨時增減所用之電阻，令電流復爲原數。記電流之强度 a，及通過之時間 t，算出通過電解表內電量之總數。記輕氣之體積 V。量輕氣管中水面與中央管中水面之差。記實驗室內之溫度 T。看氣壓表，記大氣壓力 H。從大氣壓力，及測得兩管中水面之差，算出輕氣管中氣體之壓力。減去水氣之壓力(由表查出)，得輕氣之壓力。算出管中輕氣在常境，即在 0°C. 及 76cm. Hg 壓力，應佔之體積 V_0。由表查出輕氣在常境時之密度。由是求得輕氣之質量。從通過電解表之電量及分解所得輕氣之質量，算出輕氣之電化當量。

【得數】　電流＝a＝……，

時間＝t＝……，

$\therefore$電量$= \quad at \quad = \cdots\cdots$。

水面之差$= \quad h \quad = \cdots\cdots$,

大氣壓力$= \quad H \quad = \cdots\cdots$,

$\therefore$氣體壓力$= \quad P \quad = \cdots\cdots$。

室內溫度$= \quad T \quad = \cdots\cdots$,

水氣壓力$= \quad p \quad = \cdots\cdots$,

$\therefore$輕氣壓力$= P - p = \cdots\cdots$。

輕氣體積$= \quad V \quad = \cdots\cdots$,

輕氣在常境之體積$= \quad V_0 \quad = \cdots\cdots = \cdots\cdots$,

輕氣在常境之密度$= \quad \rho \quad = \cdots\cdots$,

$\therefore$輕氣之質量$= V_0 \rho = \cdots\cdots$,

$\therefore$輕氣之電化當量$= \dfrac{V_0 \rho}{a\,t} = \cdots\cdots$。

實　習　63

電　量　表

【目的】 用銅電量表測定電流。

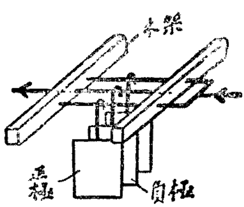
【解釋】 1 Coulomb 電量所能分解之物質量，爲此物質之電化當量。電流所從流進電量表之一極，爲電量表之正極；電流所從流出電量表之一極，爲電量表之負極。

【儀器】 銅片，硫酸銅(或硫酸銅溶液)，蓄電池，電流表，無定電阻，活塞關鍵，停錶，玻璃杯，玻璃瓶。

【方法】

秤出重約 60 gm. 之硫酸銅，放入玻璃瓶中，加重約四倍之蒸溜水。震搖玻璃瓶，使硫酸銅溶化。加數滴强硫酸於溶液中。

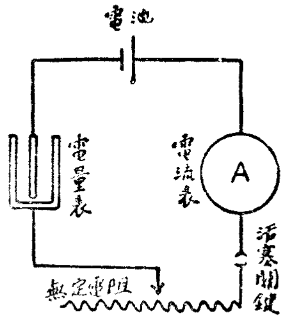
用米突尺約略量出充當電量表負極銅片之電鍍總面積，算出須用電流之適當强度。(欲得堅固有光彩之電鍍表面，電流不可過强；每 cm.^{2} 面積所受之電流，不應超過 .02 amp。)



第 91 圖

用細沙紙將負極銅片之表面擦光，用水洗清。將銅片掛兩木架之中銅杆上(圖91)，將其他充當電量表正極之兩銅片掛於木架之其他兩銅杆上。用導線將電池之負極結於

電量表之負極上。將電池之正極，經過電流表，無定電阻，活關塞鍵，結於電量表之正極上(圖92)。注意將電流表之標明“＋”之一端與電池之正極連結。放進活塞，完成電路。變動無定電阻，求得適當之電流強度。過數分鐘，將電流停止，觀察電量表負極之新表面。如有堅固細密之新銅表面，且處處勻平，先用水，後用少量之酒精冲洗之，然後用酒精燈上之熱空氣烘乾之(若新銅表面不堅實一致，則須用沙紙再將銅片擦光，重行試驗)。



第 92 圖

將銅片置於天平上秤之，記其重量＝W_1。將銅片放回於電量表內，再令電流通過，同時將停錶開行。記電流表之記數＝A′。約過半小時後，停止電流同時將停錶停止。記停錶上所記之時間＝T。在此時間之內，電流之强度應始終一致，若有變更，應更動無定電阻，使電流保持其原有强度。

將負極銅片如上洗清烘乾秤之。記其重量＝W_2。從此次秤得重量減去上次秤得重量，爲負極銅片上新加銅質之重。由此重量及銅之電化當量，算出通過電量表之電量。除以電流通過之時間，得電流之强度。

【得數】　未通電流前負極銅片之重 $= W_1 = \cdots\cdots$,

電流通過後負極銅片之重 $= W_2 = \cdots\cdots$,

新加銅質之重 $= W_2 - W_1 = \cdots\cdots$,

銅之電化當量 $= \cdot 0003292$ gm./coulomb.

$\therefore$ 通過電量表之電量 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots$。

電流通過之時間 $= T = \cdots\cdots$,

$\therefore$ 電流之强度 $= \cdots\cdots = \cdots\cdots$。

電流表上之記數 $= A' = \cdots\cdots$。

【問題】　求通過電量表之電量，何以從負極所得之銅質計算，而不從正極所失之銅質計算？

實習 64

電磁之感應

【目的】實驗電磁感應各定律;間接測定地磁場之俯角。

【解釋】通過任何一導線卷內之磁力線之數目，有增減時，導線上發生感應電動力。感應電動力之大小與磁力線增減之速率成比例。

假定磁力線之方向爲右手螺旋前進之方向，則因減少磁力線所發生之感應電動力，其方向與螺旋旋轉之方向相同，因增加磁力線所發生感應電動力之方向，與螺旋旋轉之方向相反。

【儀器】大小螺旋導線筒，靈敏電流表，望遠鏡與米突尺，磁尺，指南針，Daniell 電池，壓觸關鍵，長導線，螺旋導線環。

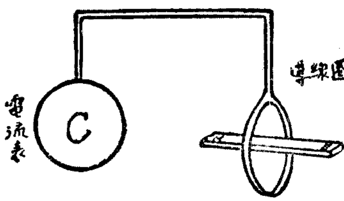
【方法】

(1) 置望遠鏡及米突尺於電流表之前約 100 cm.，從望遠鏡內觀察電流表小鏡內米突尺之影像。見到影像之後，配合望遠鏡之接目鏡，求得米突尺最清楚之影像。移動米突尺，使其影像上之零線與望遠鏡內十字線之縱線相重。

(2) 將電池之一極與電流表一終點連結。將一導線結於

電池之他極，將另一導線接於電流表之他一終點上。將此兩導線之端，與一高電阻之兩端接觸（此高電阻之電阻必須極高，可用鉛筆在一厚紙上作一鉛筆線充之），觀察電流表旋轉之方向，作一記錄，表明電流表旋轉方向，與導線上電流流動方向之關係。（例如電流由電流表之右一終點流進，則電流表向左方或右方旋轉。）有此記錄，則以後可以由電流表旋轉之方向，推知電流在導線上流動之方向。

(3)將長導線之兩端連結於電流表之兩終點上。將導線之中部繞成兩套之導線圈(圖93)。將磁尺之北極迅速投入圈內，同時觀察電流表內所發生之影響(注意此影響爲瞬時的)。



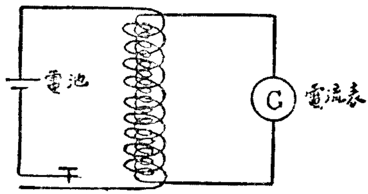
第 93 圖

記電流表旋轉之方向。待電流表恢復原狀之後，迅速將磁尺抽出，再記電流表旋轉之方向。用磁尺之南極作同樣之實驗。應用實驗(2)所得之結果，推得每次電流在導線圈上旋轉之方向。用表式登記所得之結果。

(4)同上將長導線結於電流表上，導線之中部作成兩套之導線圈。將導線其他部分之來線與去線相併，使其密合。將磁尺之北極或南極迅速投入圈內，同時觀察電流表，記其轉

角（即第一次之擺角）。將尺迅速抽出，再記電流表之轉角。記其平均数S_2。將導線圈增加至 4,6,8,10 套。作同樣之實驗，每次記電流表之轉角。用表式表示電流表轉角與導線圈套數之關係。

(5)將大螺旋導線筒套於小螺旋導線筒之上。將電池，經過壓觸關鍵，接於大導線筒上(圖94)。將小導線筒接於電流表上。壓迫壓觸關鍵，通電流，同時觀察電流表內所發生之影響，注意電流表旋轉之方向。放鬆壓觸關鍵，斷電流，再注意電流表旋轉之方向。由實驗(2)之結果，推得感應電流在小導線筒上旋繞之方向。由電池池極之符號，知原電流在大導線筒上旋繞之方向，用表式表示此兩種電流方向之關係。



第 94 圖

(6)將螺旋導線環之兩端結於電流表上。持環手中，令環之面南北向。將環之面迅速調轉(即將環旋轉 180°)，記電流表之轉角。將環迅速轉回，再記電流表之轉角。取其平均數$=S_H$。持環手中，令其面水平。將環之面迅速調轉，記電流表之轉角。將環迅速轉回，再記電流表之轉角。取其平均數$=S_V$。算出地磁場之俯角$=\tan^{-1}\dfrac{S_V}{S_H}$。

【得數】 (3)

發生感應方法	導線卷上電流旋轉之方向(由前面看去)
北極投入	
北極抽出	
南極投入	
南極抽出	

(4)

導線圈套數	2	4	6	8	10
電流表轉角					

(5)

原電流之方向(由上下視)	感應電流之方向(由上下視)	
	通電時	斷電時

(6) $S_H=\cdots\cdots$,　　$S_V=\cdots\cdots$,

$$\therefore 俯角=\tan^{-1}\frac{S_V}{S_H}=\cdots\cdots。$$

【問題】 證地磁場之俯角$=\tan^{-1}\dfrac{S_V}{S_H}$。

附　　錄

本書各實習需用儀器名單

小數矩(大號)	3
(小號)	3
螺旋規(大號)	2
(小號)	4
米突尺(長 1 m. 者)	12
(長 $\frac{1}{2}$ m. 者)	12
(鋼製長約 30 cm. 者)	6
金屬及木質柱體及球	各若干個
帶鈎之金屬小球	若干個
天平(製造較粗者)	3
(製造稍精者)	3
砝碼	8 組
球面規(大號)	2
(小號)	2
大凸球面鏡(直徑大小，以可置大號之球面規爲限)	1
大凹球面鏡(大小與凸球面鏡同)	1
實驗 Archimedes 氏原理所需用之儀器	1

比重瓶(有塞者)	4
(無塞者)	2
玻璃球	若干
Hare 氏儀器	1
比重計及玻璃筒(Nicholson 氏)	1
實驗平行四邊規則所需用之圓木桌(帶滑車及砝碼等)	1
槓桿	1
滑車	1
槓稱	1
單簡之 Boyle 氏儀器	1
Atwood 氏機械	1
毛細玻璃管(粗細不等者)	各若干
測長顯微鏡	2
斜面	1
單簡之 Young 氏彈性率儀器	1
螺旋彈簧(裝木架上，帶玻璃分度尺)	1
强側彈性率測量器	1
溫度表(由 0°至100°C. 最小分度爲 1°)	6
(分度刻至冰點及沸點之外最小分度爲.2°)	4
(未刻分度者)	2

蒸氣管(可容長溫度表)	2
熱量表	4
蒸氣鍋	4
定積空氣溫度表	1
濕度表(Regnault 氏)	1
濕度表(Daniell 氏)	1
響應管	2
音叉(振動數 128)	2
(振動數 256)	2
(振動數 312)	2
獨弦琴	2
Kundt 氏管	2
平面鏡條	2
玻璃磚(約 10×5×1.5 cm)	2
三稜鏡(60°折光角)	2
薄透鏡(凸，焦點距離約 10 cm.)	2
(凸，焦點距離約 25 cm.)	2
(凹，焦點距離約 10 cm.)	2
(凹，焦點距離約 25 cm.)	2
氣壓表	1

小凸球面鏡(焦點距離約 25 cm.)	1
小凹球面鏡(焦點距離約 25 cm.)	1
鏡臺(帶光源，透鏡，球面鏡，影片等)	1
凸透鏡(焦點距離約 15 cm., 3－5 cm., 及 2－4 cm.)	3
照度表(Bunsen 氏)	1
磁尺(長約 10－20 cm. 者)	2
(長約 5 cm. 者)	2
磁尺盒及磁尺(測地磁場强度所用者)	1
鐵屑	
指南針	4
磁强表	2
電池(Daniell 氏)	2
(Leclanchè 氏)	2
蓄電池(每個 2 volts)	4
單簡之線動式電流表	3
正切電流表	1
反流關鍵	2
活塞關鍵	4
壓觸關鍵	2
强電流表(由0→10 amp. 最小分度 0.1 amp.)	1

活動電阻(約10 ohms 及 100 ohms)	2
Wheatstone 氏橋	1
電阻箱(10 ohms)	2
郵局電阻箱	1
電壓表 (0→10 volts)	1
靈敏低壓電流表(爲比較電位用者)	3
單簡之電位表	1
標準電池(兩種)	2
高電阻(10,000 ohms)	1
電解表	1
停錶	6
粗砝碼($\frac{1}{2}$ kg., 1 kg., 及 2 kg.)	各約 10
成套粗砝碼(由 5 gm. 至 1 kg.)	3
等重小砝碼(各種)	若干種
玻璃杯	
玻璃瓶	
鐵架	
酒精燈	
其他常用之器具	

定價 6 元 8 角