

密尔根 盖尔

物理学实验教程

上海徐善祥編譯

密爾根
蓋爾
物理學實驗教程

商務印書館印行

商 務 印 書 館 發 行

一元
五角

分 析 化 學 實 驗 書

洋裝
一冊

項 鎮 方 譯 孔 慶 萊 校

是書首列六卷。除第五卷

外。爲高級生徒相當之學

程。第五卷爲 **醫師藥**

劑師機械師之用。

第六卷中。詳列各表

用之可 **應各大學**

校各化學會定性

分析之 **考驗**第七卷。論

試驗室之 **建築法**與

布置法兼列 **器械**

試品藥品各表。極便

研究之用。

A Laboratory Course in Physics
Millikan and Gale

(Translated into Chinese)

COMMERCIAL PRESS, LTD.

中華民國二年九月初版

(密爾根
蓋爾)物理學實驗教程一冊

(每冊定價大洋陸角)

編譯者 上海徐善祥

發行者 商務印書館

印刷所 上海北河南路北首寶山路
商務印書館

總發行所 上海棋盤街中市
商務印書館

分售處 商務印書館分館

安慶 長沙 桂林 漢口 南昌
蕪湖 杭州 福州 廣州 潮州

※此書有著作權翻印必究※

密爾根 蓋爾 物理學實驗教程

序 言

物理學之必需實驗。夫人而知之矣。獨是實驗之在中學。求其盡善盡美者。百不一覩。何哉。尋常中學校。限於財力。應用器械。往往不能全備。試驗室之習練。無論矣。即教室之中。一學年間作五六試驗。或自謂能事已畢。不求其他。間有一二經費充裕者。則又過事艱深。競誇精確。而於基礎之學理。普通之知識。反棄置而不顧。初學者基礎未立。欲其躡等以求。不亦難乎。凡此二者。由前言之。則原於我國經濟之困難。由後言之。則幾爲彼都學校之通病。其實皆非中學教育之正當法也。欲矯二弊。故美國密蓋二氏。於物理學正本之外。著爲此書。器械力求單簡。試驗務極普通。惟其單簡。故鄉僻學校。不難置辦。惟其普通。故初學之士。皆易從事。且本書雖與原著物理學相輔而行。而書中試驗。皆極新穎而無雷同。使學者得心應手。樂之不疲。此皆本書之特點也。至於教授之法。則宜注意以下數端。

(一) 實驗教程與物理學正本並用時。計每週教授

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

(二) 書中試驗。長短不同。或一課可兼作二試。或一試可分爲二課。臨時指導。是在教者。

(三) 實驗課之時間。以一時半爲最宜。若時間不能延長。則可依下第四條爲之。

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

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

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

中華民國二年二月

譯者誌

*此項儀器。上海商務印書館均備有特組。各校可隨時採購。

密爾根 蓋爾 物理學實驗教程

實驗 一

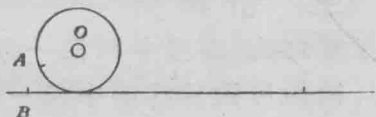
測 π 法 (即圓周對於直徑之比)

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

[一] 量圓周法 取一完全圓轉之片。而量其周如下。先於 A 處 (第一圖) 劃一小痕。痕爲短線。適與圓邊 (即圓之切線) 垂直。

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

(1)



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

註◎ 按不諳米制之人。恒以 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ 等分數爲便。其實十進之法。並不難記。須知 $\cdot 4$ 與 $\cdot 6$ 實爲 $\frac{1}{5}$ 之左右兩數。 $\cdot 2$ 與 $\cdot 3$ 實爲 $\frac{1}{4}$ 之左右

兩數耳。餘可類推。

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

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

〔二〕 量直徑法 將紮桿置圓圈上。而量其直徑。如第二圖所示。連量五次。每次擇一新直徑。而記至 $\frac{1}{10}$ 耗位。

(2)



〔三〕 計算法 由上測量。計算 π 值。卽圓周對於直徑之比。答案中祇記一疑似數足矣。

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

$$\begin{array}{r}
 8.436)26.52(3.143 \\
 \underline{25.308} \\
 1\ 2120 \\
 \underline{8436} \\
 36840 \\
 \underline{33744} \\
 30960
 \end{array}$$

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

(差分者，即所差之數，爲全數之百分之幾也。後仿此。)

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

注◎意◎ 末次除法中之分母，至圓後二數爲止。因計算差分時至此已足，不必深求也。

末將測量及計算之結果。並記如下。

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

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

實 驗 二

測圓柱體積之法

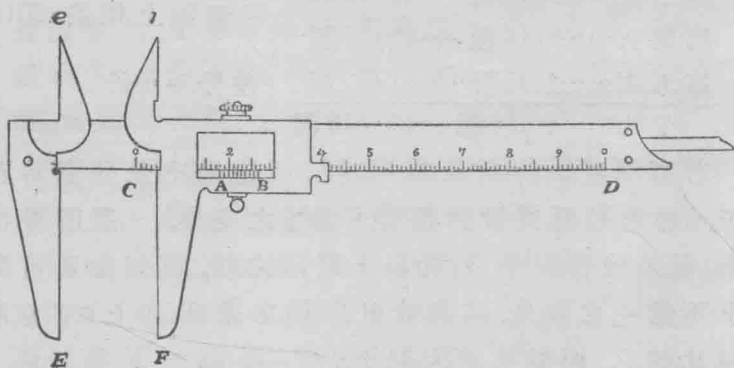
Determination of the Volume of a Cylinder

[第一法] 由測量之長度計算之。

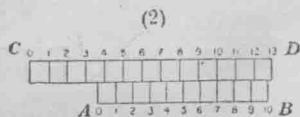
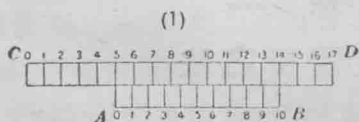
(1) 測量 先將紮尺量圓柱形器 (觀後第八圖) 之深。如是三次。每次量處不同。記數至 $\frac{1}{10}$ 耗位為止。(詳前) 後將游尺測圓規 Vernier Caliper 量內徑 D 。若無此規。則用前試之法亦可。務使紮尺之邊。切合圓柱之直徑。

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

(3)



(4)



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

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

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

凡測量所得之結果。須一一列表記之如下。

(第一次實測) (第二次實測) (第三次實測) (平均)

圓柱之高 = 8.26 厘 8.25 厘 8.25 厘 8.253 厘

圓柱之內徑 = 6.04 厘 6.03 厘 6.04 厘 6.037 厘

$\therefore R = 3.019$ 厘 $\therefore$ 體積 = 236.2 立方厘。

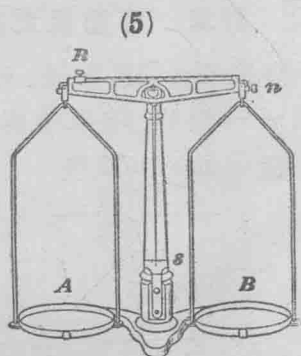
若圓柱底之直徑實為 10.0 厘。而測得者為 10.1 厘。問所測直徑之平方。比較實際。其差分當為若干。然則測徑時若差 0.3%。問計算圓面積時當得何差分。若測量圓柱直徑時。所差者為 0.1 厘。問差分為若干。

又問計算底面積時差分為何。計算圓柱體積時差分為何。以上諸問。演出後須一一正式登載簿中。

[第二法] 由圓柱所容水之重量求得之

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

取出圓筒。而以法碼代其位。先取最大之法碼試之。



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

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

(2) 用尋常法求圓柱之重 若用下法。簡而且捷。取出兩盤中之物移至圈度處。而將螺釘 n 略旋之。使指針恰對中點。所權之物。置 A 盤中。而遞加法碼於 B 盤。使指針復指原處。十克之內。移活錘 R 以較準之。(見前) 若兩次求重之結果。相差不出一二剎處之外。則以後權重時。可逕用第二法。尋常所用之法碼。其價極廉。自難精確。一剎之錯。亦意中事。卽用第一法。亦未必能增其準確。徒費手續耳。

註^① 若天秤桿之兩臂等重。則尋常法之結果。與替代法所得者。當同一準確。(詳後力率原理節。) 苟二法所得之結果不符。則必製器者未能使兩臂等長也。幸此種錯誤。每甚微細。無關緊要。

(3) 注水於圓柱而求其重 注水使滿圓柱。而蓋

以毛玻璃片。務使無空氣泡留存片下。拭乾外面之潮濕而權之。

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

一立方糲水重一克。故觀圓柱所容之水重若干克。即知圓柱之體積爲若干立方糲。

記實驗結果之表式如下。

	(第一次)	(第二次)	(平均)
空圓柱連蓋之重	221.6克	221.7克	221.65克
滿水圓柱連蓋之重	456.8克	456.6克	456.7 克
∴ 水之重量	= 235克(小數不計)		
(由第二法所得之結果)	體積 = 235 立方糲		
(由第一法所得之結果)	體積 = 236.2 立方糲(見前)		
二法結果之相差	= 1.2		
差分	$= \frac{1.2}{235} \times 100 = .51$		

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

實 驗 三

測鋼球密度之法

Determination of the Density of Steel Spheres

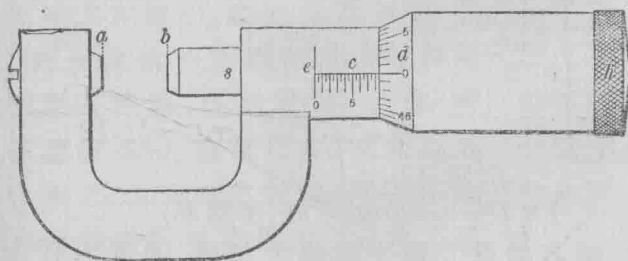
〔第一法〕 由球之徑與重以測之

(1) 球之直徑 取小鋼球數個。而以螺旋測圓規 Micrometer Caliper 量其直徑。若無此規。則可將球置兩木塊之間。如第六圖。而量其間之距離。或將球六七個順排一行。夾於兩尺之間。球行兩端。再以木塊夾之。木塊間之距離。除以球數。即球之直徑。(球以徑約二厘米者為最適用。) 依此法測量。至少五次。而取其平均數。

(6)



註◎ 按螺旋測圓規之式。如第七圖所示。c 尺上每段。與 s 旋



(7)

螺內兩格之距等長。恒爲半耗。旋螺頂 h 每轉一週。則鉗口 ab 間之距。增減半耗。若僅轉五十分之一。則 ab 間距離之增減。不過 $\frac{1}{50} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{100} = 0.01$ 耗。故苟將 d 處圓周分爲五十等段。則每段可表 b 處 0.01 耗之上下。用規時先將食拇二指。輕轉旋螺之頂 h 。使鉗口 ab 貼合。祇須兩指間自然之力。不復轉動螺頂。卽止而不旋。(若稍用力強旋 h 頂。則螺線必壞。慎勿爲之。) 此時刻圈上 O 度。當與刻尺上 ec 直線相對。(若不符合。則持規至教師前。請其較準 a 處之栓。) 放開鉗口 ab 。將所測之物置於其間。如前輕轉螺頂。至 h 不能復旋爲止。 ec 尺所示之數。係指 ab 間相距若干耗(或若干半耗)。 d 圈上所記之數(卽與 ec 符合者)。乃指一耗百分之幾(卽零數)。合此二者。而物之厚薄得矣。

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

$$\left\{ \begin{array}{lll} \text{設 } D = 2.534 \text{ 厘} & D^2 = 6.421 & D^3 = 16.27 \\ \hline 2.534 & \overline{D} = 2.534 & \overline{\pi} = 3.142 \\ \hline 10136 & 25684 & 3254 \\ 7602 & 19263 & 6508 \\ 12670 & 32105 & 1627 \\ 5068 & 12842 & 4881 \\ \hline D^2 = 6.421 & D^3 = 16.27 & \pi D^3 = 51.12 \\ \hline 6 \overline{) 51.12} & & \\ \hline \frac{1}{6} \pi D^3 = 8.520 \text{ 立方厘(卽體積)} & & \end{array} \right.$$

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

之密度。(即每立方糲中含若干克。)表記之如下。

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

(第一) (第二) (第三) (第四) (第五) (平均)

球徑(以糲計) 19.053 19.050 19.048 19.047 19.050 19.050

$\therefore$ 球之體積 $= 3.6216$ 立方糲

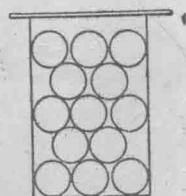
設十二球之總重 $= 341.0$ 克

則一球之重 $= 28.42$ 克

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

[第二法] 由球體之重量及其排擠之水重以測之

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



(8)

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

十二球及滿水小圓柱之合重 = 668.4 克

球置水中時圓柱之總重 = 625.0 克

被球排擠之水重 = 43.4 克

十二球之重量(由第一法) = 341.0 克

∴ 鋼之密度 = 7.85

第一法所得之密度 = 7.846

兩結果之相差 = .004

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

試由上二者之結果。決定何法為求密度之較確法。且言其故。

實 驗 四

二力之合力 Resultant of Two Forces

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