

3

772264

(4)

編輯大意

1. 本書根據民國二十五年四月教育部頒行之修正高級中學課程標準編輯而成，以供高級中學物理學實驗課程之教科書之用，兼作師範學校、職業學校之教本及參考書之用。

2. 本書目的在於訓練學生自作實驗，此種工作處處均與實際接觸，與由講解得到之知識，迥不相同。特於卷首冠以實驗須知一章，使學生對於實驗究係何事？須有何種準備？以及如何方能完成其使命？得一簡明觀念，然後始及於正式之實驗，此一章含義極為重要，懇讀而領悟之，當於實驗工作思過半矣。

3. 本書所輯實驗正篇 35 題，題材及編次一切均遵照教育部之規定，並按照編者所著復興高中教科書物理學，分為七部如下：(1) 緒論 2 題，(2) 力學 8 題，(3) 熱學 8 題，(4) 聲學 2 題，(5) 光學 6 題，(6) 磁學 1 題，(7) 電學 8 題，以便與教室中講授之物理學，取得聯絡，並在各題下註明其為部定『高級中學物理學實驗設備標準』中之某種第幾實驗，以便檢索。

4. 本書除教育部修正課程標準中所規定之 35 題而外，更附有補充實驗五題，以供有餘力者作補充之用，此五題編在卷末，俾免與部定者相混。

5. 每一實驗，分作 7 項，即(1)目的：在使學生得知本實驗之最後目的何在；(2)解釋：在使學生對於本實驗所包含之原理，得一明確概念，然後着手實驗，方能得心應手；(3)儀器：在使學生認識本實驗所需用之儀器及材料；(4)方法：在使學生按照最簡便步驟，達到本實驗之目的；(5)選習：在使學生得知除本實驗所規定者而外，尚有他法可以採用，如學校設備充足，儘可令學生分組實驗，以收異途同歸之效；(6)報告：在使學生將實驗結果，整理成爲系統，或填表格，或施計算，或作圖表，必須一一做到；(7)問題：使學生應用所得之知識，解決理論上或實際上遇到之種種問題。

6. 在學生方面對於每一實驗可分三步工作：第一步爲準備工作，即前條中所述之(1)，(2)，(3)三項，第二步爲實測工作，即前條中之(4)項或(5)項，第三步爲整理工作，包括前條中之(6)，(7)兩項，凡文中附有……空白之處，均須一一填寫清楚，方能完卷。

7. 各實驗所選用的儀器及材料，盡量遵照教育部頒行之中學物理學實驗設備標準中所規定者，但遇有『實驗設備標準』中所缺者，如本書實驗 15, 17 及 29 等，則盡力採用簡單儀器或借用其他實驗中已備有者，以免耗費。又『實驗設備標準』中所規定之儀器，如不敷應用時，間亦增加一二項，如在實驗 20 中，增加 C' 調音叉，在實驗 35 中改用新式真空

管，並增加四極真空管一個，及適當材料數項，俾學者對於現在風行各地之收音機，得以略識其梗概。

8. 本書用活葉裝訂，每一實驗均可各自獨立，備學生工作完後即可抽出，用夾釘夾好，填寫姓名，組別，日期，連同使用後之儀器，交與教師，以作結束。

9. 卷末附錄各表，供整理報告之參考，雖篇幅不多，但對於本書中四十實驗，已足敷用。

10. 各題所需要之原理，雖在解釋項下，盡量敘明，如尚有所疑，可參考拙著復興高中教科書物理學，即知其詳。該書與本書不僅互相銜聯，即公式符號等，亦完全一致，極便印證。

11. 本書名詞一律採用教育部公布之物理學名詞，並附原文以便讀者。

12. 本書實驗方法，大都採自下列兩書：

Millikan-Gale-Davis: Exercises in Laboratory Physics.

N. H. Black: New Laboratory Experiments in Practical Physics.

並曾親自指導學生，實習數次，自認結果尚能滿意。自初版出書後，承各地採用者，不吝賜教，除隨時依照改正外，附此誌謝。

中華民國二十五年十月十日 編者識

目 次

實驗須知	1
------	---

I. 緒 論

實驗 1. 長度之測定(游標尺之用法)	7
實驗 2. 天平及螺旋測徑器之用法(測定有規則固體之密度)	11

II. 力 學

實驗 3. 彈簧秤與 <u>虎克</u> 定律	17
實驗 4. 固體及液體之比重與 <u>阿基米得</u> 原理	25
實驗 5. 液體之比重(<u>海耳</u> 方法)	29
實驗 6. <u>波義耳</u> 定律	33
實驗 7. 力之平行四邊形定律	39
實驗 8. 槓桿與力矩	43
實驗 9. 斜面上物體之運動——功之原理	47
實驗 10. 單擺	51

III. 熱 學

實驗 11. 壓力與沸點	55
實驗 12. 金屬之比熱及量熱器	59
實驗 13. 黃銅桿之線膨脹	63
實驗 14. 氣體之膨脹	67
實驗 15. 相對濕度	71
實驗 16. 冰之熔解熱	75
實驗 17. 水之汽化熱	79
實驗 18. 熱之功當量	83

IV. 聲 學

實驗 19. 氣柱之共鳴	89
--------------	----

實驗 20. 絃之振動	93
-------------	----

V. 光 學

實驗 21. 球面鏡	97
實驗 22. 光度計	101
實驗 23. 水及玻璃之折射率	105
實驗 24. 透鏡	111
實驗 25. 望遠鏡	117
實驗 26. 顯微鏡	121

VI. 磁 學

實驗 27. 磁場	125
-----------	-----

VII. 電 學

實驗 28. 原電池	133
實驗 29. 電勢計	139
實驗 30. 電阻及其聯接法(惠斯登電橋之用法)	145
實驗 31. 電流之磁效應——簡單電流計之製法; 安培計與伏特計之用法	151
實驗 32. 電燈與電功率	159
實驗 33. 應電流	165
實驗 34. 發電機和電動機原理	171
實驗 35. 簡單無線電接收器	175

VIII. 補充實驗

實驗 36. 加速運動	181
實驗 37. 冷卻曲線	187
實驗 38. 磁性理論	193
實驗 39. 電之化學效應	199
實驗 40. 電動勢	205

附 錄

I. 幾何公式.....	211
II. 度量衡換算表.....	211
III. 密度表.....	211
IV. 固體線脹係數.....	212
V. 比熱.....	212
VI. 在不同溫度及壓力下之乾燥空氣密度.....	212
VII. 水汽最大壓力.....	213
VIII. 乾濕泡溫度計表.....	213
IX. 水之沸點.....	214
X. 三角真數表.....	214
XI. 煉銅線電阻.....	215

高級中學教科書

物理學實驗

實驗須知

§ 1. 物理學與實驗。

物理學通常分爲理論物理學 (theoretical physics) 與實驗物理學 (experimental physics) 兩方面, 相輔並進, 缺一不可。以實驗爲根據建設成爲新理論, 由理論演繹出新結果, 再由實驗檢查所得的結果是否正確。如是互相因果, 一方面既可覓得新知識的確證, 同時在他一方面, 又可發見前人所未發之祕。晚近自然科學其所以能够日進千里, 原因即在於此。試就電磁學說: 先有了法拉第 (Faraday) 實驗知識的統一, 然後方有馬克士威 (Maxwell) 電磁理論的大成, 更由此推定有電磁波 (electromagnetic wave) 存在, 最後更有赫芝 (Hertz), 果然創成電磁波, 作實際的證明, 成爲近世無線電的嚆矢, 卽其一例。

§ 2. 實驗準備。

每着手一個實驗之前, 先要認定實驗的目的何在? 應用的原理爲何? 目的不明, 固然無從着手; 原理不熟, 亦將茫無頭緒, 不知其所以然。不過是徒費精力時間, 決不能收實驗的效果。

實驗的目的原理既經明瞭以後, 還要知道本實驗中須用何種儀器? 每種儀器的構造如何? 使用前須詳加檢查, 看他有無錯誤? 如其有誤, 須加以適宜之調準 (adjustment), 方能使用, 否則根本已錯, 結果安能準確?

實驗的目的, 本在於發見研究事項中所含有的事實, 必須虛心靜氣, 大公無私, 方能得到正確的結果。如抱有成見, 難免不強使結果與己見相符, 決難發見真理。又對於同一之量, 作數次實測時, 結果當然參差不齊, 必欲使其強同, 或使其相差不大, 亦犯同一弊病, 均須切忌。

§ 3. 平均結果。

任何實驗, 均必反覆演做若干遍, 方能期其正確。如僅作一次實驗, 其間是否包含錯

誤，實無從得知。但實驗者的手法，每次總有不同，對於標度 (scale) 的讀法，隨時也略有差異，故各次所得的結果，決無完全一致之理。如取各次結果的平均值 (mean value)，當較任何一次的結果，與事實相近。實驗次數愈多，平均值亦愈可靠。初習實驗者，多認為只須方法正當，每次均應得到同一結果，於是不知不覺中，有一種傾向，欲強使以後各次所得的結果，與前一次相同，因此陷入前條所述的弊病，須盡力避免。每作一次實驗，均當拋除成見，力求正確，始有平均的價值。

§4. 不足一最小分度的估計。

在實驗中，以讀刻度尺 (scale) 上的度數，最為重要，長度，溫度，角度等的測定，莫不如此。所測的標線，多不能和刻度尺上的分度標線，完全相重。例如圖 1 所示，箭頭處的讀數 (reading)，在於標線 8 與 9 之間。此時唯有由目力估計其所地位，應為一最小分度的十分之幾。這樣估出來的數值，雖不十分正確，但較之不去估計，總勝一籌。並且若能熟練，也不難得到精確的結果。即就圖中所示的例而論，應讀的標線差不多落在兩分度標線的正中，但又並非真正中央，故可斷定其為 8.4。並且 8.4 與 8.6 之間，有顯然區別，決不會弄錯。不過 8.4 與 8.3 之間則不能確定。由是可以斷定此時估計得來的 8.4 縱令不甚準確，其不準程度，至多也不過一最小分度的 0.2 而已。遇有必要時，除將估計數值記明而外，尚須將不精準的程度，一並記明。故通常對於所得的結果，不作 8.4，而作 8.4 ± 0.2 。意即最多僅含有 0.2 的誤差 (error) 在內。

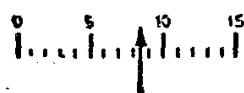


圖 1. 估計小數。

§5. 有效數字。

設對於某物的長度，作 7 次實驗，所得的結果如下：

12.32, 12.35, 12.34, 12.38, 12.32, 12.36, 12.37 釐米，如按照 §3，取其平均，則得 12.34857 釐米，數字既嫌冗長，並且毫無意識。真正的值，只有最初三位，即 12.3，可以無疑。其次一位，當與 5 相去不遠。此數果為 5 與否，尚且難斷，遑論以下各位數字，只好從此截止，故應作 12.35。其中共含有四位數字。此四位數字在理性上，均覺其可以憑信，故稱為有效數字 (significant figure)。在普通實驗中，每一數值均必包含有一位由估計得來的數字在內，此一數字，亦當認為有效數字之一。在通常實驗中，有效數字以三位時為最多，但亦有只用兩位的時候。

0 也是一個數字，應不應算作有效數字，頗易滋疑。例如用最小分度為一度的溫度計，測得結果為 20.5°C 。此時的有效數字，共有三位，極為明顯。中間的一位為零為 2，或為任何其他數字均無妨礙。如測得的結果為 0.24 時，雖也是三位數字，但首一位的 0，目的只在

表示小數點應在何處罷了，並沒真實的意義，故此時有效數字，僅有兩位。又如黃銅的線脹係數為 0.0000185，光速度為 186,000 每秒英里，均各只有三位有效數字。如欲避免此項混淆，最好對於一切結果，均將其有效數字盡量列出，用 10 的冪數來表小數點的位置。如上舉兩例，則寫作 1.85×10^{-5} ，與 1.86×10^5 ，即可一目瞭然。反之，如測一長度得 20.00 釐米，此時四位數字，均為有效數字。因尺上的最小分度為毫米，故第三位是否為零，當然不成問題，即毫米之十分之幾，亦可用目力估計，仍不失其為有效數字。在此數的後面去任意加零，固然不可，但減去其應有的零，只作 20 釐米，亦復不宜。何則？作 20 釐米時，只能保證其兩位數字準確，此後為零為 1 為 2 為 3 均在不可知之列。作 20.00 釐米時，則斬釘截鐵，保證以後尚有兩位數字均為 0，其精確程度，遠勝於僅有兩位有效數字時。

§ 6. 誤差之百分數。

表示誤差的大小，通常將誤差化為所測數值的百分數，稱為誤差百分數 (percentage of error)。例如測 110 碼長的軌道，如含有 0.5 碼的誤差，則誤差百分數約為 0.5%。假使原測的長度為 220 碼，誤差數依舊為 0.5 碼，則誤差百分數約為 0.25%。此種心算方法，雖僅得其大略，但在實際上頗為便利，用處也最多，須隨時注意去練習。如欲知其詳細的數字，則由下列的公式去計算：

$$(\text{誤差}) : (\text{測得的值}) = (\text{誤差百分數}) : 100 \%$$

$$(\text{誤差百分數}) = \frac{(\text{誤差})}{(\text{測得的值})} \times 100 \%$$

代入例中的數值，

$$= \frac{220.5 - 220.0}{220} \times 100 \%$$

$$= 0.228 \%$$

計算誤差的百分數，通常只須有兩位有效數字即足。故由上式計算而得的結果，與上述心算得來的結果，大致相符。

§ 7. 實驗數據之計算。

初習物理實驗的人，每易忘卻有效數字的位數，陷入位數過多之弊。不特徒費勞力，且致結果等於虛構。試舉一個例來說，有人步測一個圓形軌道，得其直徑為 286 步，估計每步約 2.7 尺，故其直徑為 $286 \times 2.7 = 772.2$ 尺。由此去求軌道的長度，可照下式計算，即

$$772.2 \times 3.1416 = 2,425.94352 \text{ 尺}$$

假使估計每步的長時，含有 0.1 尺的誤差在內，當令軌道全長發生 $286 \times 3.1416 \times 0.1 = 89.8 \dots\dots$ 尺的誤差。可知所得結果，僅有最前兩位可靠，從第三位起已大有可疑，遑云第四

位以下，故應援用 § 5 中所述的方法，適宜加以截止，改作

圓形軌道的長 = 2.4×10^8 尺，

始合於理。為初學者便利計，對於實驗數據(experimental data)，特設定則三條，以便計算：

- 定則 1. 加減時各數據的數字均須適宜截止，不得使其超過可疑數字所在地位以下。
- 定則 2. 乘除時答數的有效數字位數須與數據中最少有效數字位數相同。
- 定則 3. 截去無效數字時，當按四捨五入的規定。

例如

實驗數據	誤差	計算
2,807.5	± 0.3	2,807.5
0.0648	± 0.0006	0.1
83.695	± 0.008	83.7
525.0	± 0.5	525.0
		和 = 3,416.3

第一及第四兩數據，均以小數點下第一位，為有效數字的末位，故按定則 1，各數據均應截至小數點下第一位，故得表中結果。假使不援用定則 1，照所有位數全部相加，結果當成為 3,416.2598，與表內所得結果比較，並無顯著的差別。又上舉圓形軌道長度之例，即須援用定則 2 適宜截止。又在上表中截止各項數據時，均按照定則 3 行使。

§ 8. 圖示法。

如有甲乙兩量，彼此互相伴同變化，可由實驗求出其間的關係。例如螺簧 (spiral spring) 的伸長與其所懸重量，有密切關係。試變更所懸重量，分次求得與之相應的伸長，

實驗	錘重	螺簧伸長
第一次	0 克	0.0 毫米
第二次	5 克	4.0 毫米
第三次	10 克	6.5 毫米
第四次	15 克	11.3 毫米
第五次	20 克	14.1 毫米
第六次	25 克	19.5 毫米
第七次	30 克	23.5 毫米
第八次	35 克	25.5 毫米
第九次	40 克	30.3 毫米

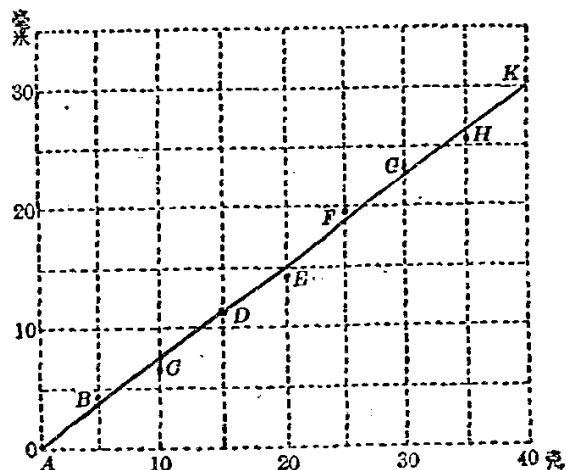


圖 2. 錘重與伸長之關係。

結果如上，照代數學上使用坐標法，沿橫軸取錘重，沿縱軸取螺簧的伸長，對於上列九次實驗，當各得一點，與之相應，如圖 2 所示。各點差不多都排列在通過原點的一直線上。如各點與此直線相去不遠，則此少許的差，儘可看作實驗上的誤差。於是得知錘重與螺簧間的關係，可用一直線表出。又如在一定溫度之下，求氣體的容積與壓力的關係，亦可使用此法。在物理學上，圖示法異常重要，須注意加以練習。用此法求得的各點，因含有種種誤差在內，決不能完全排列在一直線上或一曲線上。故用曲線表示時，不可按次一一用直線連結，應緊靠各點，作一直線或一圓滑曲線。並須注意在所作直線或曲線左右兩旁各點，數目大略相等，如圖 2 所示。

§ 9. 繪具報告。

實驗與計算終了後，實驗的結果已得，其次即當繪具報告。報告中應列出實驗名稱為何？目的何在？使用何種儀器？測得各種量的原值為何？運算使用的公式為何？（有時並須詳記計算的經過。）所得的結果為何？末尾須將實驗日期時刻一一記出，如使用圖示法並須附入插圖，務使未曾參與實驗的人讀去，亦可一目瞭然。

實驗 1.

組別.....姓名.....

長度之測定

(游標尺之用法)

高中物理學生實驗設備標準 甲種第一及第二

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 測圓板的直徑及其圓周,由此計算圓周率。

[解釋] 量度 (measurement) 一事,對於現代文化,具有極重大的意義,對於日常生活,亦有絕大的影響,工業的進步,全靠量度的精確而來。物理學實驗,即在指導學生如何量度各種事物?如何方能得到正確結果?各種量度之中,以對於長度的測定,最為簡單,而又最為基本。日常量布量地,雖然習之有素,但那種量法,均只能得其大略,不足以言精確。必須按照下列方法做去,始能得到滿意的結果。至於使用的尺度,用市尺用英尺,雖然自由,但在實驗室內,則限定專用米制 (metric system),因其概以十進位,極便處理,俾全力注重於測定方面。人力固有窮時,任何測定,終不免含有少許的誤差,但總當盡力所及,並須決定其準確的程度,始克蕙事。

通常米尺的標度,僅到毫米為止,故對於在 1 毫米以下的長度,只好用目力去估計,所得的結果,當然不能正確。如改用圖 3 所

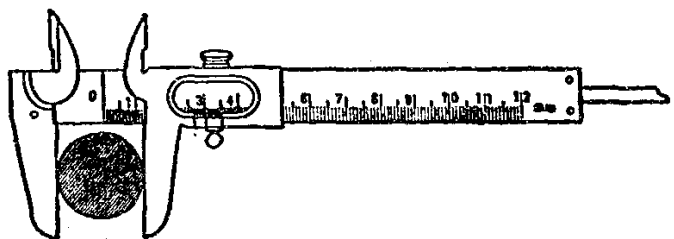


圖 3. 游標測徑器。

示的游標測徑器 (vernier caliper),

就可以將最小分度的分數,正確讀出,用不着去估計了。此器由正副兩尺配合而成。正的是普通用的米尺,固定不動,稱為主尺 (main); 副的甚短,可沿主尺滑動,稱爲游標尺 (vernier)。主尺上的標度,是普通米尺上的釐米毫米等,游標尺上的標度則不然。主尺上的 9 分度恰與游標尺上的 10 分度相等。即將 9 毫米的長度,分作 10 等分,則其 1 等分即成爲游標尺上的最小分度。故游標尺上的一最小分度,應長 0.9 毫米。當游標測徑器的兩腳互相接觸時,主尺上的零點的標線,恰與游標尺上的零點標線相重。游標尺上的第一分度的標線,與主尺上的第一分度標線則相參差,彼此相距爲 0.1 毫米。第二分度標線間,則相差 0.2 毫米,第三分度標線間相差 0.3 毫米,餘準此。如使此游標測徑器的兩腳分開,且使其相離 0.4 毫米遠,則游標尺上第四條標線,即與主尺上的分度標線中的一條,恰巧相

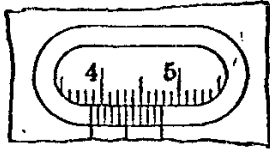


圖 4. 游標尺讀法。
圖例應讀作 3.80。

重。故凡讀游標尺時，先注意與游標尺上的零點標線最接近，而又在其左邊的主尺的標度（如就圖 4 所示的例而言，即 3.8），其次再覓游標尺上的第幾條標線，恰巧與主尺上的標線，互相重合（就圖 4 的例而言，則為第 6 條標線）。此第幾的數目，即所求毫米的十分之幾。故用此器可將毫米的十分之幾，即釐米的百分之幾，逕行讀出，不特用不着估計，並較估計的結果，更為準確。

游標測徑器的全體形式如圖 3 所示，其兩腳分上下兩套，上一套用來測管孔或容器的內徑，下一套用來測外徑，尺上的標度，普通有英制及米制兩種。

【儀器及材料】 本實驗所要的儀器及材料如下，右端所列的編號，完全採用教育部頒行之『高中物理學生實驗設備標準』以便查對。

數 量	名 稱	編 號
1	圓板(circular disk)	D5
1	米尺(meter stick)	M8
1	游標測徑器(vernier caliper)	V1

【方法】 (1)用游標測徑器將圓板夾住，由標度上將圓板的直徑讀出，讀至毫米數之十分之幾為止。

(2)照上法測定圓板上其他四條直徑的長度，連前共計實測 5 次，然後求出此 5 次結果的平均數，作為所測圓板的直徑長度。

(3)用鉛筆或小刀在圓板靠邊處，沿半徑方向劃出一道極細的直線條痕，次將圓板的邊豎立在米尺的邊上，使劃出的條痕恰與米尺上的一條分度標線相重，然後令圓板沿着米尺滾過，直到條痕又滾到米尺上為止，將其間滾過的長度讀出，亦讀至毫米為止，並估計不足 1 毫米的零數。

或如圖 5 所示的方法，令圓板 O 立在紙上，先使圓板邊上的條痕 A 與紙面接觸，在其接觸處用鉛筆作一記號如 B 。其次令圓板在紙面上沿一直線滾過，直至條痕 A 再與紙面接觸為止，

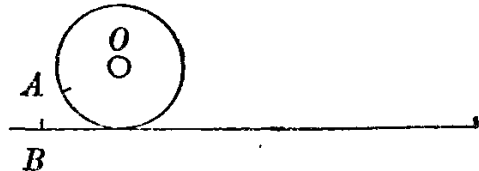


圖 5. 測圓周法 1.

仍用鉛筆將其接觸處記出。取去圓板，用米尺測出紙上前後兩次標出的記號間的距離，即得圓板的圓周長度。其不足一毫米的零數，則由目力估出。

(4)使用米尺上不同的部分，照方法(3)再作 4 次實驗，連同(3)共得 5 次的結果，取其平均值，作為所測圓板的圓周長度。

(5) 圓周率為圓周與直徑的比，通常用 π 來表，由上面所得的平均值，算出圓周率，再拿所得的結果，和日常慣用的 π 即 3.142 比較，即可決定所測結果的誤差，及其百分數。

[報告] 將各次實測所得的結果，按次填入下列表格中，並照其旁所列的方式，計算圓周率及誤差，將所得結果，一一填入空格內。

	直 徑	圓 周
第一次	.....釐米	.....釐米
第二次	.....釐米	.....釐米
第三次	.....釐米	.....釐米
第四次	.....釐米	.....釐米
第五次	.....釐米	.....釐米
平 均	.....釐米	.....釐米

$$\text{圓 周 率} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$$

$$\text{誤 差} = 3.142 - \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$\text{誤差百分數} = \frac{\text{誤差}}{3.142} \times 100$$

$$= \dots\dots\dots\%$$

[選習] 用一條薄紙，繞在圓板或任何圓柱的周圍，使其成匝，如圖 6 所示的狀況，然後用細針將紙條重疊處刺穿。將紙條取下張開，再用米尺測定相鄰兩針孔間的距離，此距離即所求圓板或圓柱的圓周長度。以 π 除之，即得圓板或圓柱的直徑。

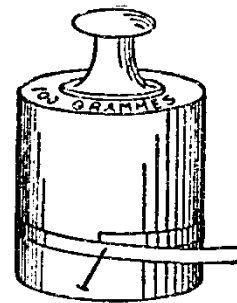


圖 6. 測圓周法 2.

問 題

1. 測定直徑時，如所得的值包含有 0.01 釐米的誤差在內，結果算得的 π ，有多少的誤差？

[答]

2. 測定圓周時，如亦含有 0.01 釐米的誤差，結果算得的 π ，應有多少誤差？

[答]

3. 比較前兩題中的誤差，究竟孰大孰小？並說明何以有大小之分？

[答] 問題 1 的誤差.....於問題 2 的誤差。.....

4. 照選習所述的方法，利用紙條測定圓周時，因紙有相當的厚，應發生誤差，須如何始能將此項誤差決定？

[答]

實 驗 2.

組別..... 姓名.....

天平及螺旋測徑器之用法

(測定有規則固體之密度)

高中物理學生實驗設備標準 丙種第一

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定鋼球的質量及其直徑，推算鋼的密度。

【解釋】 鋼球的質量可用天平測定，體積可在測定直徑後，用求積的公式算出。以體積除質量，即得密度。

又因水的密度雖隨溫度而異，但在作初步物理實驗時，勿庸十分精密。通常氣溫大都在 15°C 附近，在此時的水的密度，應為 0.998 每立方釐米克，故即令看成每 1 立方釐米的水有 1 克的質量，亦無大差。利用此理，只須求得固體在水內所排除之水的質量，亦可推知固體之體積。

測質量的儀器為天平 (balance)，其主要的部分，是橫在上方的水平框架，如圖 7 所示的 Rn ，稱為梁 (beam)。梁的中央裝有一個三角柱，柱的三個稜都取水平的方向，其中一稜正向下，稱為刀口 (knife-edge)。此刀口承放在中央支柱的瑪瑙平台上。梁的左右兩端，各有一個刀口，其稜均正向上方。A, B 為盛物體及砝碼的盤，即懸在梁端的兩個刀口上。全體三個刀口的稜，彼此平行，與梁恰相垂直。梁的中央裝有一根長針 s ，通稱為指針 (pointer)。指針後方有象牙標度板，其上分刻 20 分度。梁旁有架，可由下方的螺旋 (圖中未繪出)，使其上下移動。上則將梁舉起，俾不用時，刀口不致受傷；下則將梁釋放，即使其刀口橫放在瑪瑙平台上，俾得自由左右搖動。

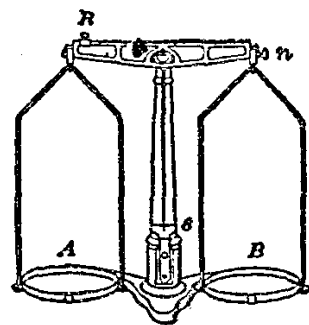


圖 7. 天平的構造。

用天平測定物體的質量，須用砝碼。每個砝碼均有一定的質量，質量在 1 克以上的砝碼，多用黃銅製成，質量在 1 克以下，則用鉑或鋁製成，每套砝碼的配合，亦有一定，其方式如下：

100, 50, 20, 10, 10, 5, 2, 1, 1, .5, .2, .1, .1,
.05, .02, .01, .01, .005, .002, .001, .001.

單位用克，對於百克以上的配合，亦做此。

有種天平可以略去小號砝碼，而在梁上放一游碼 (rider)，以作代替，其形狀如圖 7 中的 R ，可沿梁左右滑動。梁上刻有標度，自梁的左端至中央分爲 10 格。如此游碼本身的質量爲 10 克，當其在梁上左邊第六標度處時，其效果與右邊盤內盛有質量 6 克的砝碼時相同。故由此游碼的位置，可將十分之一克乃至小於百分之一克的質量讀出。

直接測定球徑時，須用圖 8 所示的螺旋測徑器 (micrometer caliper)。其桿上的標度 c 與螺旋 s 上的螺距 (screw pitch)

相當，即其最小分度通常爲半毫米。如將螺旋頂 h 轉動一周，則鉗口 ab 間的距離即增減半毫米。如轉動 h 不及一周，僅一周之 $\frac{1}{50}$ ，則 ab 間的距離，亦僅變更半毫米的 $\frac{1}{50}$ 即增減 .01 毫米。故若將圓周 d 上的標度，定爲一圓周的 $\frac{1}{50}$ ，則其每一分度，即代表 ab 間 .01 毫米之變化。

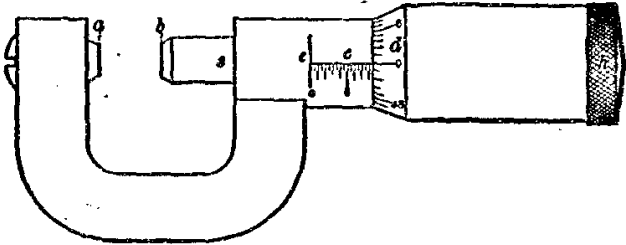


圖 8. 螺旋測徑器。

實驗使用此器之前，須先轉動螺旋頂 h ，使鉗口 ab 互相接觸。接觸的程度，須到用拇指及食指輕輕夾住螺旋頂 h 時， h 能從兩指間滑落，而不致發生轉動爲度。切忌將螺旋上的螺線擠緊。當 ab 互相接觸時，圓周 d 上的標度中的 0 度標線，恰巧與桿上所記的縱線相重。如發見此兩線不能相重，即須將此器送交教師，調準 a 塊，使其適合，然後方能使用。

既經檢明或調準以後，方能將欲測的球體，夾在鉗口 ab 的中間，仍照前法用拇指及食指輕輕夾住螺旋頂，而能使其從兩指間滑落並不引起發生轉動，然後從桿上的標度將釐米數及毫米數讀下，再從標度 d 上將桿上縱線所指的度數讀下，兩者相加，即得所求的長度。

〔儀器及材料〕 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	螺旋測徑器 (micrometer caliper)	M10
10	鋼球 (steel balls)	S7
1	盛水器 (vessel)	V2
1	天平 (balance)	B2
1	砝碼 (set of weights)	W2
1	玻璃片 (glass plate)	G9

〔方法〕 (1) 用螺旋測徑器將 10 個鋼球的直徑測出，每一鋼球測定一次，將 10 次結果平均後，用作鋼球的直徑，命爲 D 。

(2) 將 10 個鋼球放入圖 7 所示的天平的 B 盤內, 在 A 盤中放鐵釘紙片等任何物體, 使天平成爲平衡, 注意此時指針應停在象牙標度板的中央標線, 即記有 0 號的地方。並須使梁上的游碼 R 恰放在梁上標度的零位處。然後取去鋼球, 用砝碼來作代替, 先用大砝碼, 過重則換較輕的。照此逐漸增加。如用到最小的砝碼, 仍不能得平衡, 則移動游碼 R , 務使指針正對標度板上的零點爲止。既達目的後, 再將 B 內所有的砝碼的質量, 與游碼所示的數值, 一一相加, 即得 10 個鋼球的總共質量。此法爲測定質量最正當的方法, 通稱爲代替法 (method of substitution)。

(3) 從 B 盤內將全部砝碼取出, 放在一邊, 暫不歸還砝碼盒內, 留備下用。次將 A 盤內原放的鐵釘紙片等取出, 將游碼移到零點。轉動梁上一端的螺釘, 如圖 7 中的 n , 使指針正指象牙標度板上的零點, 然後將 10 個鋼球放入 A 盤, 在 B 盤內加砝碼, 次序照 (2), 使指針復回原位。如用至最小砝碼仍有不足時, 則移動游碼 R 以作補助。然後將砝碼及游碼所示的數值相加, 其和亦可作爲十個鋼球的質量。如是所得者若與 (2) 的結果相較, 其最後一位數字相差不出一二, 則以後稱物即可逕直使用此法, 不必採用代替法。因砝碼本身的質量, 即不易精確, 結果發生如是些微的差異, 原屬應有之事。縱令使用 (2) 的方法, 亦然所補。故不如逕採此法, 轉覺省事。

(4) 將 (2) 及 (3) 的結果平均之, 作爲 10 個鋼球的質量, 命爲 W 。

(5) 注水入盛水器中令滿, 將玻璃片蓋住器口, 使玻璃片下面, 不留少許空氣泡。揩乾器外及玻璃片外面沾着的水滴, 放在天平的左方盤內, 並在盛水器旁將 10 個鋼球一同放入盤內, 然後測定其總質量, 如是實驗兩遍, 取其平均值, 作爲盛水器滿水時連同玻璃片及 10 個鋼球的質量, 命爲 W_1 。

(6) 從盤內將盛水器取出, 去玻璃片, 將 10 個鋼球一一投入器內水中, 如圖 9 所示。再用玻璃片蓋住器口, 不留氣泡, 並將外面水滴揩乾, 再放入天平上測定其質量 W_2 。如是實驗兩遍, 取其平均。

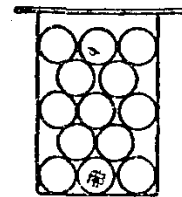


圖 9. 求鋼球的體積。

【報告】 將各次實驗所得的結果, 一一填入下列表格中。然後一方面從直徑計算鋼球體積, 一方面從排去水的質量推算其體積, 求鋼的密度, 比較兩次結果, 誤差幾何? 並算出誤差的百分數如下:

(1) 鋼球直徑 D	
第一球	.....釐米
第二球	.....釐米
第三球	.....釐米
第四球	.....釐米
第五球	.....釐米
第六球	.....釐米
第七球	.....釐米
第八球	.....釐米
第九球	.....釐米
第十球	.....釐米
平均 D	.....釐米

(4) 十球的質量 W	(5) 球在器外總質量 W_1	(6) 球在器內總質量 W_2
第一次 (8).....克	.....克	.....克
第二次 (8).....克	.....克	.....克
平均 W =克	W_1 =克	W_2 =克
每一球質量 w =克		

由 (1) (4), 鋼球密度 = $\frac{w}{\frac{1}{6}\pi D^3}$ =每立方釐米克

由 (4), (5), (6) 鋼球密度 = $\frac{W}{W_1 - W_2}$ =每立方釐米克

誤差 =

誤差百分數 =%

[選習] (1) 將 10 個鋼球並排在米尺上, 上面用一木塊或另一米尺壓住, 兩端各用一木塊或硬紙片折轉, 從旁壓緊, 使各球均排列在一直線上, 且互相緊接, 如圖 10 所示。在米尺上讀出此一系列鋼球的全長, 並估計至十分之一毫米為止。其次再移動鋼球至米尺上其他的部分, 照樣實驗, 共測 5 次, 然後取其平均, 以球之總數除之, 即得一個鋼球的平均直徑, 由此以求鋼球之密度。

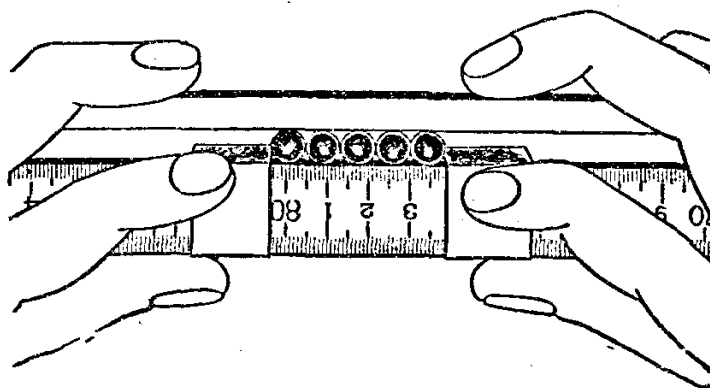


圖 10. 並排測直徑法。

(2) 用任何質料作成的長方塊或圓柱, 照同一方法實驗, 求該物質的密度。

問 題

1. 測鋼球的直徑時, 如含有 .005 毫米的誤差在內, 測排出的水的質量時, 如含有 .2 克的誤差在內, 則用本實驗求得的鋼球體積的誤差, 應有百分之幾?

[答]

2. 本實驗測定鋼球的密度, 共用兩法, 那一種比較精密些?

[答]

3. 如使用量杯, 將如何測定鋼球的體積?

【答】

4. 用量杯測得的結果,能不能如本實驗中方法(3),(4)的結果精確?其理由何在?

【答】

5. 用天平測質量時,爲何將物體放在天平的左盤內,而在右盤內加入砝碼?

【答】

6. 本實驗中對於容積與質量兩種測定之中,那一種應該特加精密,方合於理? 試說明其理由。

【答】

實驗 3.

組別.....姓名.....

彈簧秤與虎克定律

高中物理學生實驗設備標準 丁種第一

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 求螺簧的伸長與作用力的關係。

【解釋】 物體受外力作用，則其形狀或容積即生變化，外力一去，又恢復其原狀，這樣的性質，稱為彈性(elasticity)。具有這樣性質的物體，稱為彈性體(elastic body)。如外力過大，則雖將外力除去，亦不能完全恢復故狀。故欲其完全恢復，不可用過大的力作用。即適用的力，有一定的範圍，通稱為彈性限度(limit of elasticity)。外力與彈力合成一種應力(stress)，所生的形狀容積等的變化，即為應變(strain)。日常使用的彈簧秤，汽車上裝的緩衝器，椅墊內裝的彈簧，都是彈性的利用。其中尤其是彈簧秤(spring balance)由一條螺簧造成，受了些微的力作用，都能發生與作用力的大小相應的伸長(elongation)，極有規則。本實驗的目的，即在求作用力和伸長間的關係。此項關係，通稱為虎克定律(Hooke's law)。實驗時多用特殊的設備，以便觀察，如圖 11 所示，通稱為喬里秤(Jolly's balance)，或用圖 12 所示的儀器亦可。此儀器的裝置，為一鉛直垂下的螺簧，上端固定，下端有一指針，針尖正對標度尺，標度尺在鏡面上。觀測人的眼須放在連結針尖與鏡中的像的直線上，方能避免視差(parallax)。

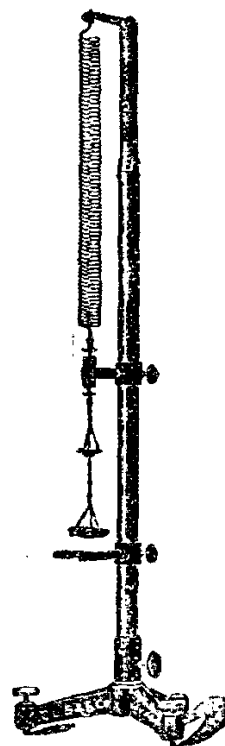


圖 11. 喬里秤。

又螺簧的伸長如為 l ，試將所懸砝碼由靜止處曳下稍許距離，然後放令自由，螺簧即上下往返振動不已。由虎克定律可以證明此項振動和擺的振動一樣。如命 T 為其週期，則有下列的關係：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中的 g ，表重力加速度。

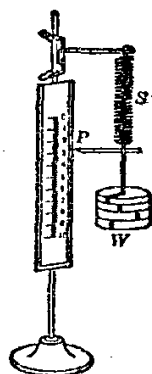
【儀器及材料】 列舉如下：

數量	名稱	編號
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	錶或停錶(watch or stop watch)	W1
1	喬里秤 (Jolly's balance)	J2

如無現成的喬里秤，則用下列儀器代替。

1	螺簧附指針(spiral spring with index)	S6
1	砝碼盤 (pan for weights)	P1
1	尺 (metric scale)	M9
1	木臺 (wooden platform)	W11

【方法】 (1) 將圖12所示的儀器平放臺上，盤中不放砝碼，細察指針



所示的標度，記為零點。

(2) 在盤中加 100 克的砝碼，觀測一次。再加 100 克合成 200 克，又觀測一次。如是次第添加，每次加 100 克，直加至全體共 400 克為止，記出各次指針的讀數。然後再由盤中次第將砝碼取出，每次亦只取去 100 克，直至完全取盡為止，將各次指針的讀數記出。

再在方格紙上，沿橫軸取各次砝碼的重量，沿縱軸取各該次的伸長，將 (1) (2) 所得的結果，一一標出，如砝碼增加時所得的點，與砝碼減少時

圖 12.

所得的點不符，須用兩種不同符號記出，以示區別。再將各點順次連結成

線，以表重量與伸長間的關係。

(3) 在盤中放一未知重量的物體，觀測其伸長，從 (1) (2) 所得的結果，推算其重量。

(4) 將半數的砝碼放在盤中，俟其靜止時將指針的讀數記下，由此算出彈簧的伸長，命為 l_1 。

次用木尺將盤底托住，使其昇上至指針正指零點為止。再將木尺急速抽去，則盤及其

中砝碼隨着降下，將此時指針的最低的讀數記下，由此算出彈簧的最大的伸長，命為 l_2 。

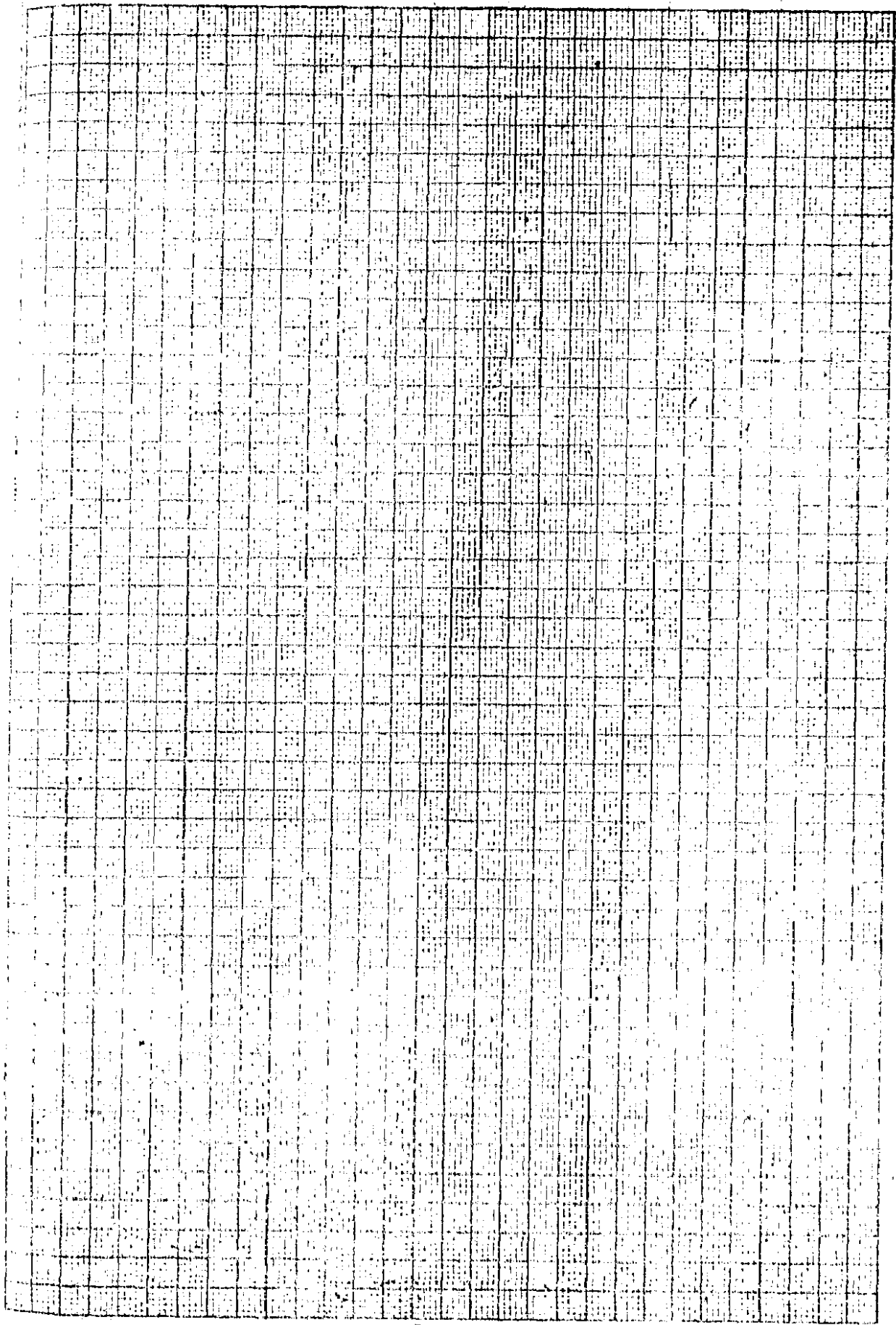
求 $l_2:l_1$ 的比。

(5) 將全數砝碼，盡放在盤內，測出其伸長為 l ，再令其上下振動，用錶或停錶測定其 100 次振動所需的時間。

【報告】 將 (1) 與 (2) 所得的結果，記入下列表格中。

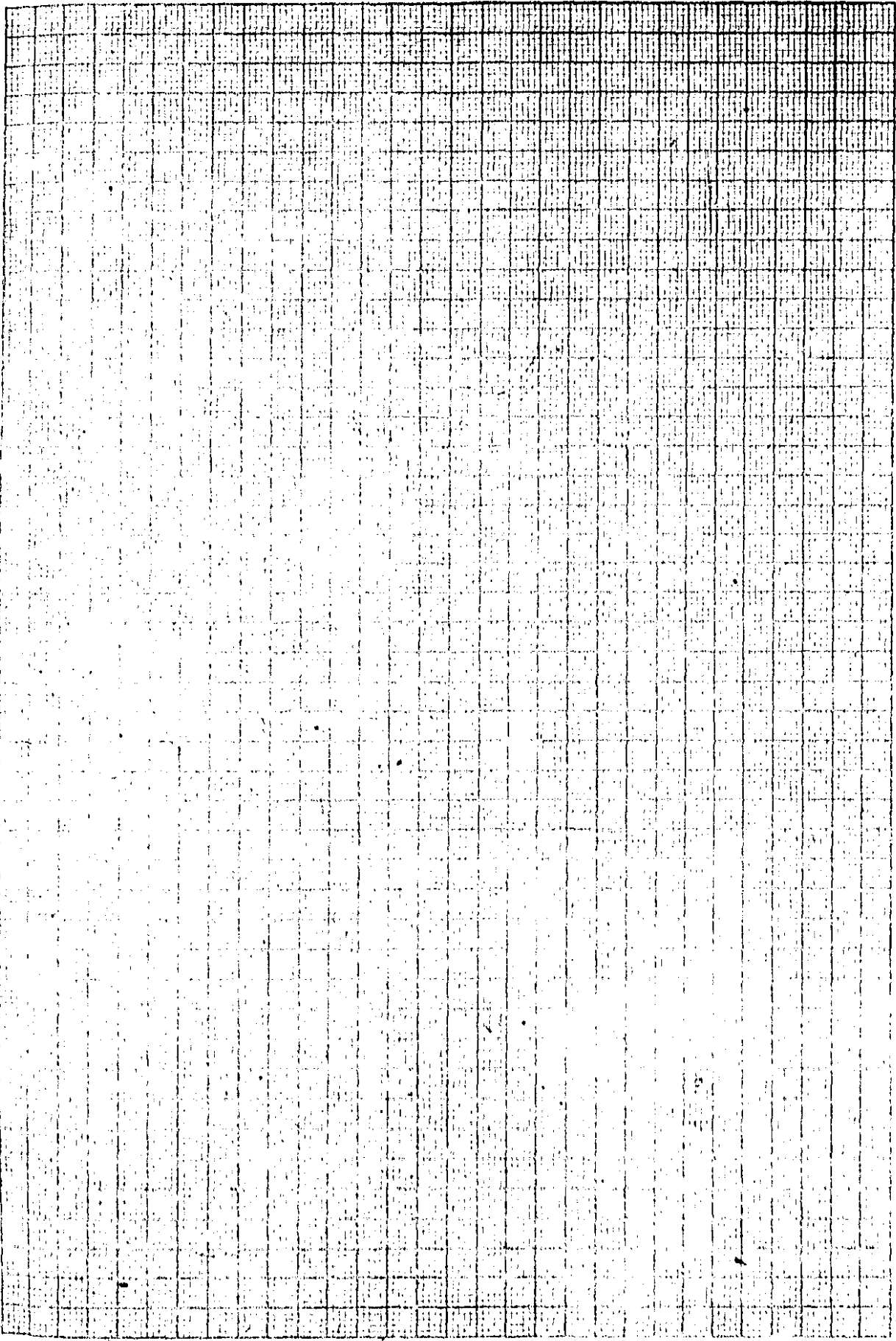
實驗 8 圖表 1 伸長和重量的關係[方法(2)的報告]

伸長(單位用釐米)→



砝碼重量(單位用克)→

誤差(單位用克)→



砝碼重量	指針的讀數	伸長	每加100克的伸長
0克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
100克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
200克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
300克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
400克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
300克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
200克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
100克	.....釐米	.....釐米	.....釐米
0克	.....釐米	.....釐米	.....釐米

平均每加重 100 克的伸長 = 釐米

平均每加重 1 克的伸長 = 釐米

由重量與伸長的關係圖表中，檢出(3)的未知重量所生的伸長，應與若干克重相當，即

實測所得的伸長 = 釐米

由圖推知其重量 = 克

由(4)算出 $l_1 = \dots\dots\dots$ 釐米

$l_2 = \dots\dots\dots$ 釐米

故 $l_2 : l_1 = \dots\dots\dots$

可知彈性振動中的振幅和單擺的情形，亦相類似。

由(5)測得

100 次振動的時間 = 秒

故

其週期 $T = \dots\dots\dots$ 秒

伸長 $l = \dots\dots\dots$ 釐米

$$\therefore \text{重力加速度 } g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = \dots\dots\dots$$

[選習] 將已知其正確質量的砝碼，分別一一懸在彈簧秤的鈎上，檢查標度尺上的標度，是否正確。如指針的讀數，比盤中實際的重量大，所大的那一些，應為正的誤差 (positive error)；如指針的讀數，比實際的重量小，所小的那一些，應為負的誤差 (negative error)。用一方格紙將這些誤差一一記下，凡是正的誤差，都記在水平軸的上方；負的誤差，都記在水平軸的下方。畫成一條曲線，將標度尺上各標度處所有的誤差表出。

問 題

1. 表示重量和伸長的關係，即是表示虎克定律的曲線，是一種什麼線？試用方程式將此線表出。

[答]

2. 一切的螺簧,受到 100 克的重力作用,是否都生同樣大小的伸長? 一個螺簧的伸長,究竟和什麼量有關係?

[答]

3. 設有一個極其敏銳的彈簧秤,其標度是在海面處刻成功的,將此彈簧秤拿到高山頂上去用,結果是否正確? 又從赤道地方拿到極地去用時,標度受不受何種影響?

[答]

實驗 4.

固體及液體之比重與 阿基米得原理

高中物理學生實驗設備標準 乙種第二

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究固體在液體內排去的液量與浮力間的關係，並應用此關係求固體或液體的比重。

【解釋】 在靜止的液體內，任取一部分而論，其周圍的各部分，對於此一部分表面，均有壓力作用，該部分表面各點所受到的壓力，雖隨其深度而異，但全體所受壓力的合力，則與此一部分的重量相等，否則即不成其為平衡。故任何部分液體所受壓力的合力，恆與其重量相等，而方向則相反。縱令設法將此一部分的液體取出，另用同一形狀的物體，代替他原佔的地位，由周圍而來的壓力，亦不為之稍變。故凡在液體內的物體，無一個不受有這種向上方作用的力。這個力通稱為浮力(buoyancy)。浮力的作用點為與此物體作同一形狀的液體的重心，通稱為浮力中心(center of buoyancy)。物體因受浮力作用，其視重量(apparent weight)減輕，所減去的重量，即同容積的液重。此項關係，通稱為阿基米得原理(Archimede's principle)。

按密度的定義，為單位體積所含有的質量。故求一物體的密度，只要測定其質量和體積，以體積除質量，即可算出。但必須物體作幾何學形狀，即作極有規律的簡單形體，方易求得其體積。遇有形狀不規則的物體，就只好利用阿基米得原理了。即是物體在水內減輕的重量，應為與此物體同一體積的水重。又因水的密度等於1每立方釐米克，故重量的單位用克，體積的單位用立方釐米，則表示減輕重量的克數，亦即物體體積的立方釐米數，故以此數除物體質量之克數，即為所測密度的每立方釐米克數。

【儀器及材料】 列舉如下：

數量	名稱	編號
1	天平 (balance)	B2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	鋁質圓柱(aluminum cylinder)	A4
1	游標測徑器(vernier caliper)	V1

2	燒杯 (beakers)	B8
1	米尺 (meter stick)	M8
	火油(或汽油)(kerosene or gasoline)	K1 (G1)
	線 (thread)	T3

[方法] (1) 用實驗 1 的方法, 測出鋁質圓柱的高度和直徑, 對於直徑須用游標測徑器分測四次, 取其平均值。

(2) 用一端盤下有鈎的天平, 或如圖 13 所示, 將一端的盤取下, 而用適宜的衡重體 (counterpoise) c 來作代替亦可。轉動右端螺旋 n 使天平平衡, 指針恰指標度尺上的中央零點, 然後將鋁質圓柱用線懸在衡重體或鈎下, 在右端盤中加適宜的砝碼, 使天平再成爲平衡, 讀出所加的砝碼的重量 W_1 。

(3) 將圓柱浸入盛水的燒杯內, 如圖 13 所示, 務使柱面不留少許氣泡, 然後測出其重量 W_2 。

(4) 將圓柱由水中取出拭乾, 然後再放入盛火油或汽油的燒杯中, 如圖 13 所示, 仍使柱面不留氣泡, 測出其重量 W_3 。

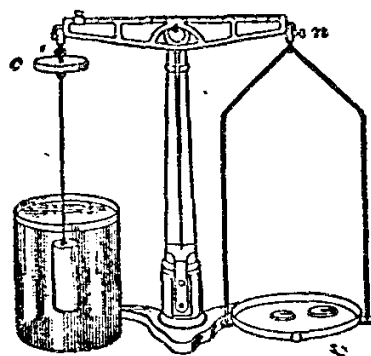


圖 13. 阿基米得原理。

[報告] (1) 先由方法 1 的結果, 計算圓柱的體積, 如下:

直徑 D	高 H
第一次.....釐米	.....釐米
第二次.....釐米	.....釐米
第三次.....釐米	.....釐米
第四次.....釐米	.....釐米
平均=.....釐米	.....釐米

$$\therefore \text{圓柱體積 } V_1 = \pi \frac{D^2}{4} \times H$$

$$= \dots\dots\dots \text{立方釐米。}$$

(2) 次將方法(2), (3)及(4)的結果, 填入下列表格, 再行計算。

空氣中圓柱的重量 $W_1 = \dots\dots\dots$ 克

	水 中	火油或汽油中
液中的重量	$W_2 = \dots\dots\dots$ 克	$W_3 = \dots\dots\dots$ 克
減輕的重量	$W_1 - W_2 = \dots\dots\dots$ 克	$W_1 - W_3 = \dots\dots\dots$ 克
排去的液重	.....克	.....克
與此相當的容積	.....立方釐米	.....立方釐米
與 V_1 比較相差	.....立方釐米	.....立方釐米
相差百分數%%

其中從排去的液重計算與之相當的容積時, 須檢查本書卷末附錄 III 密度表。

又若從方法(2),(3),(4)的結果,按照阿基米得原理,計算鋁的比重和火油或汽油的比重時,可如下計算:

$$\text{鋁質圓柱在空氣中的重量} = W_1 \text{ 克}$$

$$\text{鋁質圓柱在水中的重量} = W_2 \text{ 克}$$

$$\text{鋁質圓柱在火油(或汽油)中的重量} = W_3 \text{ 克}$$

$$\text{故鋁的比重} = \frac{\text{空氣中的重量}}{\text{同容積的水重}}$$

$$= \frac{W_1}{W_1 - W_2}$$

$$= \dots\dots\dots$$

$$\text{火油(或汽油)的比重} = \frac{\text{和圓柱同容積的火油重}}{\text{和圓柱同容積的水重}}$$

$$= \frac{W_1 - W_3}{W_1 - W_2}$$

$$= \dots\dots\dots$$

【選習】 改用邊上刻有標度的量杯,來作實驗.盛水於量杯內,先在圓柱未浸入水以前,讀出杯內水面所在的標度.然後再將圓柱浸入水中,再讀出新的水面標度.由前後兩次讀數的差,即可求得圓柱的容積.

問 題

1. 試說明在空氣中的物體,何以比在水中要重些?

【答】

2. 雞卵在清水中沈下,若加適宜的鹽入水內,雞卵即逐漸浮起,是什麼緣故?在家中試照此法作一實驗.

【答】

3. 假如在游泳池內平臥,僅有鼻端露出水面,試測定自己在空氣中的重量,由此計算自己的體積.

【答】

4. 在本實驗中減輕的重量,究竟到那裏去了? 如果還不明白,可將一盆水先放在天

平上,測定其質量,其次再將圓柱從一個三腳架上吊下,使其浸在盆內水面下,但不可與盆底接觸,然後再測一次質量,第二次所得的結果,和第一次比較,是增加還是減小? 增減的量是多少? 何以會如此? (注意此時盆中的水面,當圓柱浸入時,已有相當的升高.)

【答】

實 驗 5.

液體之比重(海耳方法)

高中物理學生實驗設備標準 丙種第三

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 應用海耳方法(Hare's method)求液體的比重。

【解釋】 應用連通器的原理,去測定液體的比重,爲事極便,爲此目的而設的連通器,是一個 T 形管,通稱海耳儀器 (Hare's apparatus)。在其兩邊的支管上,各接一小段橡皮管,並在橡皮管下端,各連一條長玻璃管,將長玻璃管的下端分別浸在兩個盛有液體的燒杯內,並令管端在液體的表面下,如圖 14 所示。更在中央支管端連一橡皮管,管端有一活缺(pinch cork)P, 下方再接上一小段玻璃管。

如開放 P 處活缺,從管口吸氣,即見兩燒杯內的液體,從管內昇上,俟昇達相當的高度,再將活缺夾緊,管內液面即停止不動,此時作用於各部分的壓力,關係如下:

(1) A, B 兩燒杯內的液體表面,均露在大氣中,故作用於兩液面上的壓力,同爲大氣壓力,命爲 P。

(2) 兩支管上部爲均勻的空氣,且互相連通,故兩管內液柱頂面所受的下壓力,彼此相等,命爲 Q。

(3) 試在管內設想一點,此點與管外液面在於同一水平面內。作用於此一點的下壓力有二,一爲在此點以上的液柱壓力,一爲在液頂上的氣體壓力 Q。此兩者之和,必須與作用於管外液面上的大氣壓力 P 相等,始能保持平衡。如命 x, y 表從管外液面至管內液頂的高度,即兩管內液柱高度, ρ_1, ρ_2 表兩種液體的密度,則兩管內在單位面積上的液柱重量當爲 $x\rho_1, y\rho_2$ 。故就圖中左方液體而言,平衡的條件,應爲

$$x\rho_1 + Q = P,$$

就右方液體而言,平衡的條件,應爲

$$y\rho_2 + Q = P.$$

故得

$$x\rho_1 = y\rho_2,$$

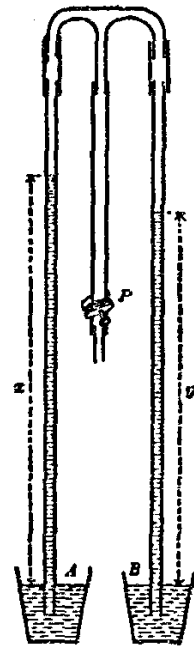


圖 14. 海耳儀器。

或

$$\frac{y}{x} = \frac{\rho_s}{\rho_y}$$

如右方的液體爲水，則 $\frac{\rho_s}{\rho_y}$ 爲左方液體之比重。

即所求左方液體的比重，等於以此液柱的高度除右方水柱的高度所得之商，與兩管的形狀大小無關。故利用此法測定液體的比重，爲事極便，通稱之爲海耳方法(Hare's method)。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	海耳儀器(Hare's apparatus)	H2
2	米尺 (metric scale)	M8
2	燒杯 (beakers)	B8
	酒精 (alcohol)	A2
	火油 (kerosene)	K1

【方法】 (1) 將海耳儀器照圖 14 所示的狀況裝妥，兩端的玻璃下面各置一燒杯，右邊的盛水，左邊的盛酒精，使管的下端各浸入液體表面下，中間的橡皮管用活鉗 P 夾緊。

(2) 放鬆活鉗 P ，用口從中央的玻璃管口盡力吸氣，使杯中的液體從兩管中昇上，直至一方的液體幾達於管頂爲度，此時須注意切不可令液體流入中央支管。假使有此事發生，必須將兩杯中的液體傾棄，另換新的使用。俟液體已將昇達一方管頂，即用 P 將橡皮管夾緊。夾緊以後如仍見液柱繼續下降，那是管口有氣漏了進去的表示，須將橡皮管套緊，或用石油脂(vaseline)，蓖麻油(castor oil)，甘油(glycerine)塗上，或用線縛緊均可。務使活鉗 P 夾上以後，管內的液面即一定不變。

(3) 將米尺立在兩玻璃長管的旁邊，測定燒杯內液體表面所在處的標度和玻璃管中液柱頂面所在處的標度，由此計算管內液柱的高度。

(4) 用水柱的高度，除酒精柱的高度，求酒精的比重。

(5) 將活鉗 P 略微放開，使空氣出入少許，因此變更管內外液體表面的高度，再測定液體的高度。如是實驗兩遍，連前合計三次，同樣分別計算，取其平均。

(6) 將活鉗 P 放開，令液體全部流入燒杯中，將酒精傾入酒精瓶內，將燒杯與此一方的玻璃管洗淨後，改用火油，再作同樣的實驗。

【報告】 將實驗所得的結果，填入下列表格，算出結果以作報告：

	用 酒 精 實 驗			用 火 油 實 驗		
	I	II	III	I	II	III
管內液面的讀數	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
杯內液面的讀數	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
液柱的高度	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
管內水面的讀數	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
杯內水面的讀數	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
水柱的高度	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
實驗求得的比重	.....			.....
與通常承認的比重相差	.....			.....
誤差的百分數%		%		

【選習】(1) 用比重瓶 (specific gravity bottle) 盛液體令滿，在天平上測定其質量 W_1 。再換用水，測定一次得 W_2 ，最後將空瓶測定一次，得 W_3 。故

$$\text{瓶內的液重} = W_1 - W_3 \text{ 克}$$

$$\text{瓶內的水重} = W_2 - W_3 \text{ 克}$$

兩者的容積相等，故

$$\text{液體的比重} = \frac{W_1 - W_3}{W_2 - W_3}$$

(2) 在玻璃筒內盛入液體，愈多愈佳，將比重計 (hydrometer) 浸入其中，如圖 15，讀出液面在於比重計上的標度，即可逕直得到液體的比重。

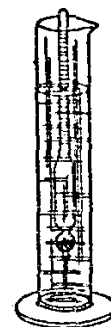


圖 15. 比重計。

問 題

1. 用海耳方法實驗時，使液體在玻璃管內昇高，是什麼作用？

【答】

2. 用海耳方法實驗時，兩管內的液柱頂上所受的下壓力，如何比較？

【答】

3. 用海耳方法實驗時，兩燒杯內的液面所受的壓力，如何比較？

【答】

4. 每一單位容積中的液體比較重些的應在那一方？(在液柱高的一方或低的一方)。

【答】

5. 本實驗的方法和選習中的幾種方法,互相比較,那一種靠得住些? 各種實驗的誤差,來源何在?

[答]

6. 通常使用的比重瓶,外面都標明其容量為若干,其重量則與一銅塊相等。使用此器只要實測一次,即可求得液體的密度,其法如何?

[答]

7. 求液體的比重時,用水來作標準物質,有什麼優點?

[答]

8. 海耳儀器的兩邊玻璃長管內徑若不相等,對於實驗,有無關係?

[答]

實 驗 6.

組別.....姓名.....

波 義 耳 定 律

.....

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 乙種第三

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

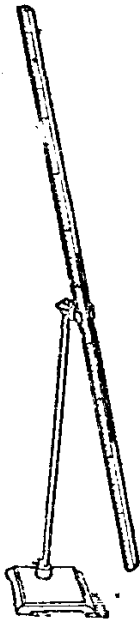
【目的】 當溫度不變時，求一定質量的氣體容積與壓力的關係。

【解釋】 打氣入車胎內，胎即鼓起，欲其鼓到一定的程度，打入的空氣量，也有一定，這是日常遇見的事實。這樣鼓脹後的車胎，假使遇着驟熱，有時竟會炸裂，遇着驟冷，則又瘪陷下去，可見一定量的氣體，其容積和溫度壓力都有密切的關係。本實驗是假定溫度一定不變，由實驗去求壓力和氣體的容積間的關係，這個關係是1662年英人波義耳 (Boyle) 發見的，通稱為波義耳定律 (Boyle's law)。

本實驗中最重要的儀器是一個毛細管 (capillary tube)，一端封閉，一端開放。管中有一段汞，汞與管底之間，有一定量的空氣封閉在內。這一段汞的作用，和不透氣的活塞一樣，而且還沒有摩擦作用。汞柱向着外界空氣的一面，受大氣壓力作用，當管在水平位置時，汞柱的重量由管的側面支住，所以管內封閉着的空氣，也只受到大氣的壓力作用，和在管外的時候一樣。但若毛細管的閉端比開放的一端低，汞柱就有向管底流下的傾向，因此增加管內封閉着的空氣的壓力。當管成直立時，如閉端正在下方，則汞柱的全重，都加到管內氣體上面，此刻管內封閉着的空氣，所受的壓力，應等於大氣壓力加由汞柱重量而來的壓力。如測定大氣壓力時用汞柱的釐米數作單位，此時封閉着的空氣所受到的壓力，即等於汞柱的長度加氣壓高度 (barometric height)。假使毛細管的閉端在上，開端在下，則汞柱有流出管外的傾向，因此使封閉着的空氣所受的壓力減小。當毛細管成爲鉛直時，減輕的壓力恰等於汞柱所生的壓力，此時封閉着的空氣所受到的壓力，即等於氣壓高度減去汞柱的長度。在此兩者間的位置時，壓力的增減，由汞柱的上下兩表面間的垂直距離而定。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1 m.	毛細管 (capillary tube, 1 mm. dia.)	C3
1	氣壓計 (barometer)	B4
1	米 尺 (meter stick)	M8



[方法] (1) 將毛細管的中點用夾子與架子夾住, 如圖 16 所示, 俾其可以任意轉向種種方向。第一先使其取鉛直的位置, 開端在上, 閉端在下, 如圖 17 最左方所示, 同時觀測氣壓計上大氣壓力高度, 及測定 AB 的長。二者相加即得此時管內空氣的壓力 P_1 , 再測定 BC 的長度, 作管內空氣的容積 V_1 。

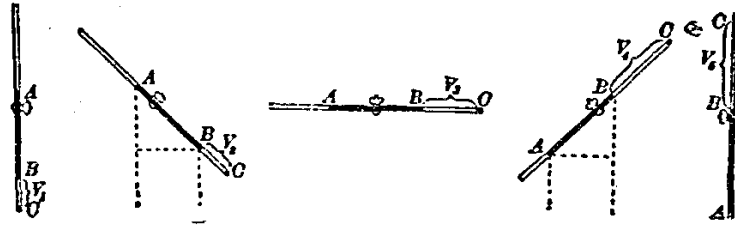


圖 16. 波義耳定律。

圖 17. 毛細管的種種位置。

(2) 將管轉至約略與水平面成 45° 的地位, 測定 A 點及 B 點對於臺面的高度, 取其差, 即得 AB 兩點間的鉛直距離。將此加入氣壓高度中, 即得此時管內空氣的壓力 P_2 。再測此時 BC 的長度, 作管內空氣的容積 V_2 。

(3) 將管轉至水平位置, 如圖中正中所示, 此時管內空氣所受的壓力即大氣壓力 P_3 , 再測定此時 BC 的長度, 作空氣的容積 V_3 。

(4) 將管再繼續轉 45° , 俾閉端 C 略在上方, 同樣測定 AB 兩點間的鉛直距離, 從氣壓高度減去此距離, 即得此時作用的壓力 P_4 , 再測定 BC 的長度, 作空氣容積 V_4 。

(5) 將管轉成鉛直, 開端正向下方, 如圖中最右所示, 從氣壓高度減去 AB 的長度, 即得此時作用的壓力 P_5 , 再測 BC 的長度, 作空氣容積 V_5 。

[報告] 將所得的結果填入下列表格, 再行計算報告:

位 置	(1)正立	(2)正斜 45°	(3)水平	(4)倒斜 45°	(5)倒立
空氣容積 BC 即 V	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
A 點的高	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
B 點的高	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
AB 間鉛直距離	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
氣壓高度	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
壓力 (汞柱) P	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
壓力乘容積 PV	.....	.....	.....	.....	.....
與 PV 平均值相差	.....	.....	.....	.....	.....

PV 的平均值 =

並計算 $\frac{V_2}{V_1} = \dots\dots\dots, \frac{V_3}{V_1} = \dots\dots\dots, \frac{V_4}{V_1} = \dots\dots\dots, \frac{V_5}{V_1} = \dots\dots\dots$

$\frac{P_1}{P_2} = \dots\dots\dots, \frac{P_1}{P_3} = \dots\dots\dots, \frac{P_1}{P_4} = \dots\dots\dots, \frac{P_1}{P_5} = \dots\dots\dots$

差 =, 差 =, 差 =, 差 =

【選習】 (1) 用一個 J 字形的玻璃管，短端封閉，長端有一漏斗，這是波義耳最初使用的儀器，通稱為波義耳管(Boyle's tube)。用橡皮帶將此管縛在有標度的鉛直架上，如圖 18 所示。然後從漏斗徐徐注汞入內，令汞將 J 字管的彎曲部分佔滿，並昇入短管上二三釐米高為度，然後用指敲管，使一部分的空氣從短管逸出外面，結果令短管內的汞面，比長管內的汞面略高。由標度上讀出短管內汞面 B 與管端 C 的標度，求空氣的容積 BC 。再由兩管中汞面的高度差 AB ，及大氣壓力，求此時作用的壓力，陸續從漏斗中加汞，變更管內的壓力，再求空氣的容積。

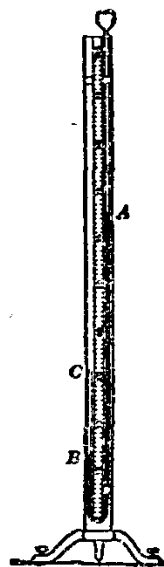


圖 18. 波義耳管。

(2) 用圖 19 所示的儀器，亦可作此實驗。兩端為玻璃管，下部用橡皮管連結，內盛汞，一端開放，一端有管塞可以自由啓閉。俾便使兩汞面成同一高度，如圖中所示的 A 與 B ，然後轉動管塞，封閉 B 上的容氣，以資實驗。

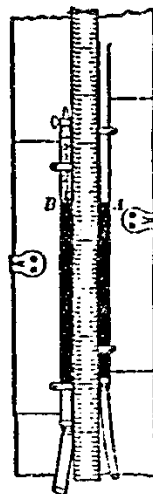


圖 19. 備有滑管的儀器。

問 題

1. 一定量的氣體，當溫度不變時，其壓力與容積有怎樣的關係？試用代數方程式將此關係表出。

【答】

2. 從上列表格計算出來的 $\frac{V_2}{V_1}$ 和 $\frac{P_1}{P_2}$ 之間，有什麼關係？

【答】

3. 若容積較實驗中最大的容積增加成二倍，三倍，四倍時，試用 PV 的平均值算出壓力為何？

【答】

4. 同樣若壓力比實驗時的最大壓力增加成二倍，三倍，四倍時，其容積當如何？

【答】

5. 試在所附的方格紙上,沿橫軸取壓力,沿縱軸取容積,將問題 3 問題 4 求得的六對相應的容積和壓力,以及在本實驗中由實驗求得的五對容積和壓力,一一以點表出,並用連續曲線將這十一點連結起來,所得的曲線,是一種什麼曲線?

【答】

6. 實驗時的汞柱中若含有空氣泡在內,當生何種影響?

【答】

實驗 6 圖表 壓力和容積的關係

容積(厘米³)



壓力(汞柱毫米數)→

實 驗 7.

組別.....姓名.....

力之平行四邊形定律

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 乙種第一

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究平行四邊形定律。

【解釋】 通常決定一個力，有三個不可缺少的要件，一是大小 (magnitude)，二是方向 (direction)，三是作用點 (point of action)。此三要件通稱為力之三要素 (three elements of force)。由作用點沿力的作用方向引一條直線，使其長短與力的大小成比例；在力作用的方向的前端，加一箭頭，表示向背。這樣一來，就可以用所畫成的一直線，將該力完全表出。

一物體受一單獨的力作用，必發生運動。若欲停止其運動，必須有一大小相等方向相反的第二力，作用於同一點上，方能辦到。這樣的兩個力，稱為相互的平衡力 (equilibrant)。如方向相反的兩力，大小不等，作用於物體的同一點上，其結果必使物體沿着較大的力的方向運動。如兩力作用於物體的同一點上，但兩力的方向既非相同，亦非相反，而成為一種角度時，物體亦發生一種運動，與受有一單獨的力作用時相同。如欲停止其運動，非另以其平衡力加於同一點上不可。故與此平衡力大小相等方向相反的力，和兩力合作的效果，完全相同。前者稱為兩力的合力 (resultant force)，兩力則稱為其分力 (component force)。

實驗力的合成，以用彈簧秤 (spring balance) 為最簡便，彈簧秤的構造，詳實驗 3。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
3	彈簧秤 (spring balance)	B3
1	米尺 (meter stick)	M8
1	小圈 (small ring)	R5
1	木板 (wooden board, 75 cm.sq.)	W8
1	圓規 (compass)	C15
	釘 (nails)	I6
	針 (pin)	P5

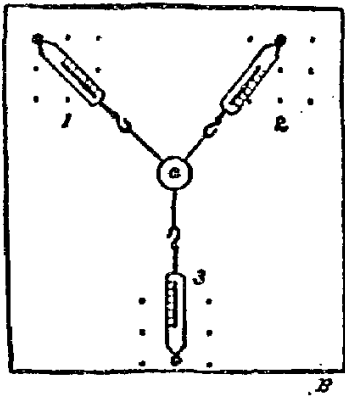


圖 20. 不平行力的合成。

【方法】 (1) 照圖 20 所示，將三個彈簧秤鈎上的繩，同時繫在一個小圈 a 上，彈簧秤的圈則套在木板 AB 上的木柱上。須使各個彈簧秤上的指針，均各有相當的移動。在小圈 a 後，襯紙一張，用圖畫釘釘牢於木板上，在小圈的中心點用針戳一小點。略微移動小圈，俟其恢復平衡，小點仍在小圈中心固佳。否則須將小圈略微提高，免受紙面摩擦作用。如是調準以後，再用針在三條繩下各記一小點(離 a 愈遠愈佳)，記下各秤上的讀數。

(2) 將各彈簧秤取下，放在平臺上，檢查其指針是否均在零度處，如其不在零度，須適宜改正(1)中記下的讀數。

讀數。

(3) 取下木板上的紙，用鉛筆將圈心與在繩下的各點，連結成爲直線，代表相應各力的方向。再在此各直線上按一定比例各取長度，使與各力相應。例如三秤上的力若爲 700 克，1000 克，及 1200 克，則取 7 釐米，10 釐米，及 12 釐米代表之。

(4) 由三力中任取兩力，作爲兩邊，造成一平行四邊形，從中心點 a 引平行四邊形的對角線，用米尺測定此對角線的長度，並求其代表的力。例如對角線長 13.4 釐米，則所代表的力即爲 1340 克。

(5) 以求得的(4)的結果，與原在第三秤上的讀數比較，求其誤差。

【報告】將實驗結果，填入下列表格：

第一秤的讀數 = 克	改正 = 克	$\therefore F_1 = \dots\dots\dots$ 克
第二秤的讀數 = 克	改正 = 克	$\therefore F_2 = \dots\dots\dots$ 克
第三秤的讀數 = 克	改正 = 克	$\therefore F_3 = \dots\dots\dots$ 克
比例尺：每 1 釐米代表 克		
第一線長 = 釐米	第二線長 = 釐米	
對角線長 = 釐米		
\therefore 合力 = 克		
誤差 = %		

【選習】 用四個彈簧秤，同時加於小圈上，俾有四力同時作用，按照同樣方法，求其結果。

問 題

1. 實驗時如畫的平行四邊形愈大，則所得的結果愈精確，是什麼緣故？

【答】

2. 如圖 21 所示，在鉛線 AB 的中點 C ，懸 50 仟克的重量，使 B 的張力加大，假定鉛線的斷點強度 (breaking strength) 等於 50 仟克，試證明 ACB 角如超過 120° ，鉛線必被斷裂。

【答】

3. 汽船以 12 每小時仟米的速度向北而駛，風力則以 5 每小時仟米的速度，吹船向東，求船行的方向及速度。

【答】

4. 用圖 22 所示的籃盛 2000 仟克重的機件，俾可由起重機提高處，求鏈上作用的力。

【答】

5. 如前題中籃邊的繩在起重機的鉤上作 60° 的角度，繩的張力幾何？

【答】

6. 如前題的角度為 120° ，求繩的張力。

【答】

7. 從上面各題的結果，試說明與物體使上時，繩應如何懸掛，始屬正當？

【答】

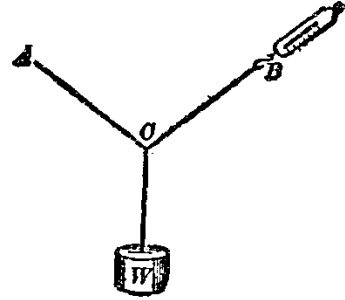


圖 21.

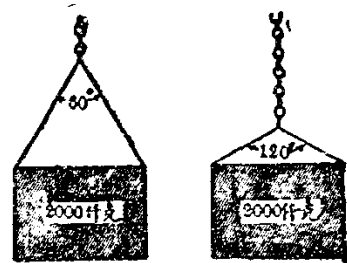


圖 22. 用起重機吊籃。

實 驗 8.

組別.....姓名.....

槓 桿 與 力 矩

高中物理學生實驗設備標準 甲種第三

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 研究力矩原理。

[解釋] 槓桿 (lever) 中最常見的是第一類槓桿,支點在中,分力在外,平衡力向上,分力向下。槓桿上作用的力,互成平衡時槓桿大都取水平方向靜止不動,要是平衡破裂,就會發生轉動,並且是繞平衡力的作用點而轉。發生轉動的原因,不僅作用的力的大小有關係,還有力的作用點與支點的距離,也有關係。支點和力的作用線間的垂直距離,稱為臂 (arm),臂與力的大小的相乘積,稱為力矩 (moment of force),由力矩即可決定轉動。

設一物體同時受若干的力作用,其效應都在使物體向同一的方向發生轉動,須對於各力,分別求出其單獨的力矩,再將各力矩相加,即得總力矩。

[儀器及材料] 列舉如下:

數 量	名 稱	編 號
1	米尺 (meter stick)	M8
1	刀口及架子 (knife edge on support)	K3
1	砝碼一組 (set of weights)	W2
1	天平 (balance)	B2
1	彈簧秤 (spring balance)	B3
1	未知重量 (unknown weight)	U1
	線 (thread)	T3

[方法] (1) 將米尺 AB 插入活動的刀口架子 C 中,如圖 23 所示。刀口支在 f 上。俟米尺平衡時將 C 旋緊,讀出刀口正對米尺上的分度,定為米尺的支點。

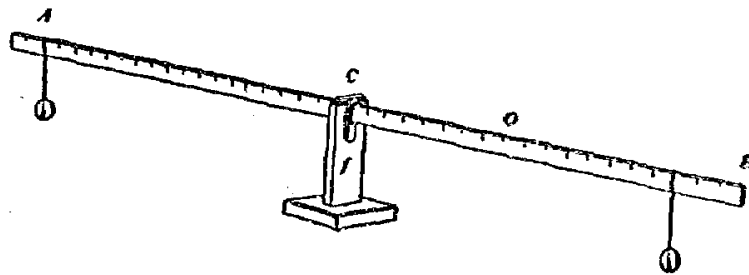


圖 23. 力矩原理。

(2) 用線懸 100 克的砝碼 W_1 於米尺上接近其一端，再懸 200 克的砝碼 W_2 於他端。俟米尺平衡時，讀出兩懸點的標度，比較兩力矩。

(3) 取兩個砝碼 $W_1 = 100$ 克， $W_2 = 50$ 克，各懸在槓桿上支點左端的兩點上，不可離支點太近，在支點右端懸 $W_3 = 200$ 克的砝碼，使米尺平衡。取 W_1 與 W_2 的力矩的和，與 W_3 的力矩作比較。

(4) 在左邊近端處懸一未知重量 X ，與支點間的距離為 l 釐米，在右端懸已知重量 W ，使其平衡。根據(2)(3)所得的結果，求 X 的重量，再用天平測定 X 的重量，比較兩種結果。

(5) 在左邊不同的兩點，懸未知重量 X 及一已知重量 W_1 ，在右邊懸兩已知重量 W_2 及 W_3 於不同的兩點上，使米尺平衡。命 l 表 X 與支點間的距離。照前應用(2)(3)的結果，求 X 的重量，並與直接用天平測定的結果比較。

(6) 將刀口 C 滑至米尺上其他一點，如 O ，使 OC 約為 10 釐米至 15 釐米。在 O 與 B 之間懸一重量 W 約 200 克，俾米尺平衡。然後應用力矩原理，假定米尺的全重均作用於其重心，由支點 C 的位置，求米尺自身的重 X ，並比較所得的結果，與直接測得的結果。

(7) 用彈簧秤將米尺的支點 C 掛住，先求出米尺的重量，其次在兩端懸砝碼成平衡後，再測出在支點處作用的向上方的拉力。比較在支點處作用的向上方的拉力的矩和由砝碼及米尺自身重量而來的力矩的和。

【報告】 將實驗結果，照下列次序，填入表格，加以計算。

- | | |
|---|--------------------------------|
| (2) $W_1 = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米； | } 誤差百分數 = $\dots\dots\dots\%$ |
| $W_2 = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米； | |
| (3) $W_1 = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米； | } 力矩的和 = $\dots\dots\dots$ 克釐米 |
| $W_2 = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米； | |
| $W_3 = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米； | |
| (4) $W = \dots\dots\dots$ 克； 臂長 = $\dots\dots\dots$ 釐米； 力矩 = $\dots\dots\dots$ 克釐米。 | 誤差百分數 = $\dots\dots\dots\%$ |

$l = \dots$ 釐米; $\therefore X = \dots$ 克; 直接從天平量得 $X = \dots$ 克。

(5) $W_2 = \dots$ 克; 臂長 = \dots 釐米; 力矩 = \dots 克釐米; }
 $W_4 = \dots$ 克; 臂長 = \dots 釐米; 力矩 = \dots 克釐米; } 力矩的和 = \dots 克釐米。

$W_1 = \dots$ 克; 臂長 = \dots 釐米; 力矩 = \dots 克釐米。

$l = \dots$ 釐米; $\therefore X = \dots$ 克; 直接由天平測得 $X = \dots$ 克。

(6) 刀口 O 的讀數 = \dots 釐米; O 點的讀數 = \dots 釐米。

$\therefore OC = \dots$ 釐米。

又 $W = \dots$ 克; 臂長 = \dots 釐米; 力矩 = \dots 克釐米,

$OC \times X = \dots$ 克釐米; $\therefore X = \dots$ 克,

直接由天平測得 $X = \dots$ 克。

(7) 米尺的重量 = \dots 克

向上方的拉力 = \dots 克

米尺的力矩 = \dots 克釐米

砝碼的力矩 = \dots 克釐米

米尺和砝碼的力矩的和 = \dots 克釐米

拉力的力矩 = \dots 克釐米

相差的百分數 = \dots %

問 題

1. 試述由方法(2)(3)得到的結果。

[答]

2. 由本實驗可以不用天平的兩盤,而能將任何物體的重量求出,其方法如何?

[答]

3. 由方法(6)的結果,何以能够證明一物體的重量,即其各分子所受重力的和,可以看成集中於一點作用?

[答]

4. 使用鐵鉗剪鉛絲,在距支點 9 英寸處使用 20 磅的力,則放在距支點 1.5 英寸處的鉛絲,當受到多大的力作用?

[答]

5. 一人重 150 磅, 欲用長 5 英尺的槓桿, 撬起重 600 磅的石塊, 略去槓桿的重不計, 求支點。

[答]

6. 一男孩重 100 磅, 坐在蹺蹺板的一端, 距支點 6 英尺遠。一女孩重 80 磅, 坐在蹺蹺板的另一端, 距支點 6 英尺遠, 再有一女孩重 60 磅, 須坐在何處, 始能使板平衡?

[答]

7. 有二個以上的力, 在不同的作用點上, 同時作用於一物體, 但各力均在支點的同一段。此時欲決定其轉動, 應該將諸力相加起來, 還是應該將其力矩相加起來? 並說明何以要如此。

[答]

8. 槓桿平衡時, 各力矩應當有何種關係? 這個關係就是力矩原理。

[答]

實驗 9.

斜面上物體之運動

功之原理

高中物理學生實驗設備標準 甲種第四

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究功之原理及斜面的效率。

【解釋】 如有力作用於一物體上，使物體移動其位置，則稱此力對於物體作功 (work)。如物體移動的方向，恰與力的作用方向一致，此時力作的功，即以力的大小和物體移動的距離的乘積來表。以 1 達因的力作用，使物體在其作用方向上進行 1 釐米的路程時，此力所作的功，稱為 1 爾格 (erg)。爾格的一千萬倍，稱為 1 焦耳 (joule)。

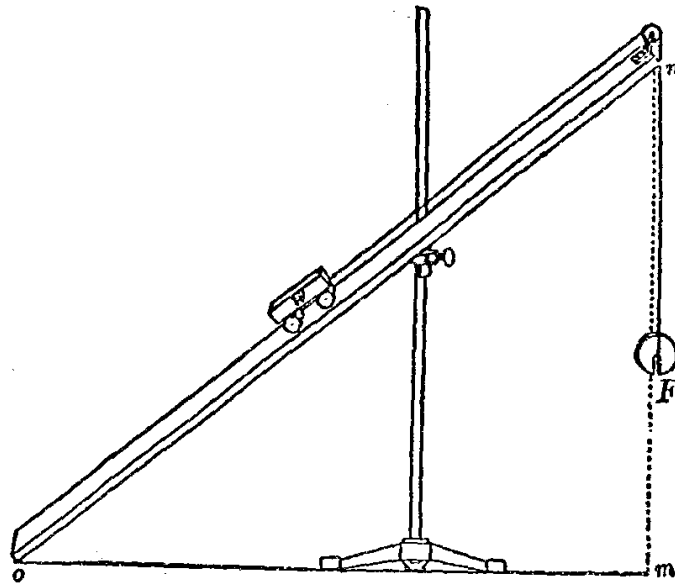


圖 24. 斜面上的運動。

重力單位制，力的單位用克，長的單位用釐米，故功的單位為克釐米 (gram-centimeter)。

以力 F 作於一物體上，使其沿斜面 (inclined plane) 滑上，如 F 的方向與斜面一致，斜面由底至頂的距離長為 l ，則此時力所作的功，當為 Fl 。如命此物體的重量為 W ，由斜面的底至其頂的鉛直距離為 h ，則因此運動必須反抗重力作 Wh 的功。如斜面平滑，可以略去摩擦作用不計，此兩種的功，即 Fl 與 Wh 應彼此相等。本實驗的目的即在由實驗檢查此兩功，是否果然相等。

任何機械均不能使由外供給的功，全部變成有用的功，必有一部分消耗於其他不可避免的原因，故有用的功，恆小於所供給的功。前者對於後者的比，其值恆小於 1，通常用其百分數來表，稱為機械的效率 (efficiency)。

曳車的力 F ，使車沿斜面從底昇至頂所供給的功為 $F \times l$ ，車的重量 G ，其中所載砝

碼的重量 w_2 ，從底昇至頂所得有用的功，等於 $(C+w_2) \times h$ 。故

$$\begin{aligned} \text{斜面的效率} &= \frac{\text{(車及載重所得有用的功)}}{\text{(F力所供給的功)}} \\ &= \frac{(C+w_2)h}{Fl} \end{aligned}$$

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	小 車 (car)	C4
1	斜面附滑輪(inclined plane with pulley)	I2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	米 尺 (meter stick)	M8
1	夾子及架子(clamp and stand)	C8
1	天 平 (balance)	B2
	線 (thread)	T3

【方法】 (1) 在天平上將小車的質量測出命為 C 克。

(2) 將斜面架在架子上，令其傾斜角成為 45° ，在圖 24 所示的 F 處，懸 100 克的砝碼，俾其能將小車曳至斜面之頂。其次在小車內一面加砝碼，一面輕輕敲擊斜面，使小車恰能自行沿斜面徐徐滑下為度。讀出此時小車內添加的砝碼質量 w_1 克。

(3) 從小車中將砝碼逐漸取去，並一面輕輕敲擊斜面，直至小車恰能自行沿斜面徐徐上昇為度，讀出此時小車中殘留的砝碼質量，命為 w_2 克。

(4) 取 $C+w_1$ 與 $C+w_2$ 的平均值，作為砝碼 F 所能支持停在斜面上的物體的質量 W (當然是說沒有摩擦作用的時候)。

(5) 用米尺測定斜面的高度，即圖 24 中的 mn ，命為 h 釐米；及斜面的長度，即圖中的 on ，命為 l 釐米。

(6) 計算 Wh 及 Fl 。

(7) 變更 F 處所懸的鐘的質量，作同樣的實驗。

(8) 將斜面改作 30° 的傾斜，作同樣實驗。

【報告】 將各次所得結果，填入下列表格中，然後再行計算：

(1) 功之原理

	C	w_1	w_2	W	F	l	h	$W \times h$	$F \times l$	誤差百分數
第一次	.....克	.....克	.....克	.....克	.....克	.....釐米	.....釐米	.....爾格	.....爾格%
第二次	.....克	.....克	.....克	.....克	.....克	.....釐米	.....釐米	.....爾格	.....爾格%
第三次	.....克	.....克	.....克	.....克	.....克	.....釐米	.....釐米	.....爾格	.....爾格%
第四次	.....克	.....克	.....克	.....克	.....克	.....釐米	.....釐米	.....爾格	.....爾格%

(2) 斜面的效率

	F 力所供給的功 $F \times l$	車及載重所得有用的功 $(C+w_2) \times h$	效率 $\frac{(C+w_2)h}{Fl}$
第一次	.....爾格	.....爾格%
第二次	.....爾格	.....爾格%
第三次	.....爾格	.....爾格%
第四次	.....爾格	.....爾格%

【選習】 試在斜面上穿一孔道，與斜面的長邊平行，令曳車的線從孔中穿過，線的他端繫一靈敏的彈簧秤。如此即可用水平方向的力曳車使上。其餘一切，均照本實驗方法，最後求其平均效率。

問 題

1. 將斜面的傾斜減小時，有何益處？

【答】

2. 將斜面的傾斜減小時，有何害處？

【答】

3. 試舉兩種足以影響斜面效率的原因。

【答】

4. 煤坑深 150 米，從坑底將 2000 斤米煤運上平地，須功若干？

【答】

5. 假定在無摩擦的斜面上，斜面每進 25 米升高 1 米，則用 200 斤米的力，可以曳上

若干重量?

【答】

6. 假定摩擦不計,在每進 100 米即升高 5 米的斜面上,將 4000 仟克重的汽車推上,須用力若干?

【答】

實 驗 10.

組別.....姓名.....

單 擺

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丙種第二

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 檢查單擺的週期與振幅，錘重及擺長等的關係。

【解釋】 單擺 (simple pendulum) 是用細線懸住的小球，上端固定，下端可以自由擺動。固定的一點稱為懸點。由懸點至小球中心的距離，稱為擺長 (length of pendulum)。小球當靜止時所在的位置，即最低的位置，稱為平衡位置 (position of equilibrium)。擺動時小球由極左的一點或極右的一點至平衡位置，其間的圓弧的長度，稱為振幅 (amplitude)。由平衡位置起擺若向左運動，達於極左的一點，即折回向右，通過平衡位置，仍繼續向右，達於極右的一點，再折回向左，復返於平衡位置為止，其間所歷的時間，稱為擺的週期 (period)。故若振幅一定不變，通過一振幅所要的時間，應為四分之一週期。如命 T 表週期， l 表擺長， g 表重力加速度，則當振幅不大時，應有下列的關係：

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

本實驗即在由實驗證明此結果是否正確。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	鋼球，作擺錘用 (steel ball, as pendulum bob)	S8
1	錶 (watch)	W1
1	鉛彈 (lead shot)	L5
1	夾子與架子 (clamp and stand)	C9
1	木球，作擺錘用 (wooden ball, as pendulum bob)	W5
1	米尺 (meter stick)	M8
	線 (thread)	T3
●	火漆 (sealing wax)	

【方法】 (1) 用火漆將鋼球膠在細線的一端，線長約 2 米，上端用夾子夾住，如圖 25 所示。在球的後面橫放一米尺，俾球擺動時，可以觀測其位置在於米尺上何處。然後使球擺

動，令其振幅為 10 釐米或 12 釐米。當每次球由平衡位置通過時，即由一觀測者，用鉛筆擊桌為號。第二觀測者則專注視其錶，測定在某時某分某秒的擊聲為觀測的起點，令擊桌的人數計整數，從 1 至 100。測時者注視第 100 擊聲時，錶上為幾時幾分幾秒。如能將秒的十分之二讀出尤佳。照樣共測三次。

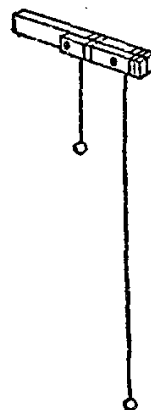


圖 25. 擺。

(2) 將擺幅增至 30 釐米作同一實驗，共測兩次。

(3) 再將擺幅增至 2 米作同樣的實驗，只作一次即足。

(4) 將鉛彈及木球，各用一條細線膠住，夾在木夾上，令擺長與(1)相等，令三球同時振動，振幅均為 30 釐米，檢查其週期有無不同。

(5) 將擺長減至前此實驗的擺長的四分之一，使其以小振幅振動，測定其完成一百次振動所要的時間。

(6) 再將擺長減至原長的九分之一，測定其一百振動所歷的時間。

[報告] 將方法(1)(2)(3)測得的結果，列入下面的表格，以便計算。

方法	振幅	開始觀測時刻	觀測終了時刻	共歷時間	一振動的時間 即週期 T
(1)	10釐米				
	第一次	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	.....秒
	第二次	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	.....秒
	第三次	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	.....秒
			平均 = ...秒	平均 $T =$秒	
(2)	30釐米				
	第一次	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	.....秒
	第二次	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	.....秒
				平均 = ...秒	平均 $T =$秒
(3)	200釐米	.....點.....分.....秒	.....點.....分.....秒	.....秒	$T =$秒

方法	擺長 l	振動 100 次 所歷時間	週期 T	T^2	$\frac{l}{T^2}$	$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$
(1)	.....釐米	.....秒	.....秒	.....	.....	.....
(5)	.....釐米	.....秒	.....秒	.....	.....	.....
(6)	.....釐米	.....秒	.....秒	.....	.....	.....
						平均 $g =$

問 題

1. 試從擺的理論推想,擺長不等時,週期應否相等?

[答]

2. 方法(4)的結果如何?週期是否與擺的重量有關係?

[答]

3. 擺的振動,根據那一種力的作用?何以單擺不能永久振動下去?

[答]

4. 照本實驗求得的 g 的數值,與通常承認的 980 每秒每秒釐米,相同否? 求實驗的誤差及其百分數.

[答]

5. 通常承認的 g 的數值,何以隨地不同?

[答]

6. 週期等於 2 秒的擺,稱為秒擺(second pendulum),求秒擺應有的擺長?

[答]

7. 測定週期時,必取 100 次或 50 次振動所歷的時間,何以不擇定若干時間,去求在此時間中擺的振動次數?

[答]

實驗 11.

組別.....姓名.....

壓力與沸點

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 乙種第四

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究壓力與沸點的關係，並檢查溫度計上的沸點與冰點的標度，是否正確？相差幾許？

【解釋】 通常使用的溫度計，為汞溫度計(mercury thermometer)，其標度由兩定點(fixed point)而定，一為水在標準大氣壓時之沸點(boiling point)，一為標準大氣壓下之冰點(ice point)。以沸點為 100 度，以冰點為零度的分度法，稱為攝氏溫標(Celsius scale)或稱百分度(centigrade)，通常用 °C. 表示。以沸點為 212 度，以冰點為 32 度的分度法，稱為華氏溫標(Fahrenheit's scale)，通常用 °F. 表示，兩種溫標間的關係如下：

$$C = (F - 32) \frac{5}{9}$$

例如人體溫度為 37°C.，同時亦為 98.6°F.

溫度計上的兩定點，在製定當時，固屬準確。但經歷長久歲月，玻璃管的容積，漸生變化，遂有誤差發生。用以測定其他物體的溫度，讀數與真正溫度不符，須加以改正(correction)。通常表示改正時，須使用下列公式，即

$$(\text{測定所得讀數}) + (\text{改正}) = (\text{真量})$$

又
$$(\text{測定所得讀數}) - (\text{真量}) = \text{誤差}$$

故
$$\text{改正} = -(\text{誤差})$$

故
$$(\text{定點的改正}) = -(\text{定點的誤差})$$

又水之沸點為 100°C.，係就標準大氣壓而言，如水表面所受的壓力變動，則在水中生成的汽泡，受到的壓力亦不同，必須此項飽和汽(saturated vapor)之壓力，足與周圍水分子之壓力相抗，始能保持其形狀。故如水面上的壓力增大，則液體的溫度必須相當升高，方能有汽泡發生，即其沸點當隨着壓力增加而升高。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	長頸沸水壺(boiler with extension)	B10
2	溫度計 (thermometers)	T2
1	橡皮塞 (rubber stopper)	R8
1	U形開管流體壓力計 (open-tube manometer)	M4
1	氣壓計 (barometer)	B4
1	夾子 (pinch clamp)	P6
1	米尺 (meter stick)	M8
1	燒杯 (beaker)	B8
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	三腳架 (tripod)	T5
	冰 (ice)	I1
	水銀 (mercury)	M5
	橡皮管 (rubber tube)	R10

【方法】(1) 加水於沸水壺，令半滿，上加橡皮塞，令其塞緊不得漏氣，塞中插有一溫度計，其 100°C . 的標度，只在塞面上露出 2 毫米乃至 3 毫米，不得過長，然後用酒精燈從壺下加熱，如圖 26 所示，俟水沸後溫度計內汞面升至不能再昇約歷二三分鐘之後，再讀出溫度計上的標度，同時從氣壓計上讀出當時的大氣壓力。

(2) 用橡皮管將圖中 O, A 兩處的口套上，加上夾子，使其封閉，不可漏氣，煮水令沸，至溫度升高至 101°C . 或 102°C . 為度。

(3) 將酒精燈撤去，將流體壓力計 G 裝在 O 處，開放 A 處的夾子，此時流體壓力計中的汞面，停止在圖中 G 處。然後從壺下再用酒精燈煮水，觀測流體壓力計中的汞面，決定此時壺內的壓力。

(4) 將 A 處用夾子夾緊，繼續加熱，令流體壓力計中兩方汞面相差至 2 釐米或 3 釐米為度，讀出此時溫度計上所示的標度。

(5) 再繼續加熱，至流體壓力計內兩管的汞面相差為 4 釐米或 5 釐米為度，求溫度計

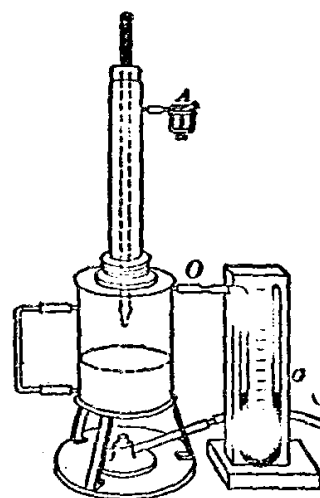


圖 26. 沸點。

的標度，連同(4)共實驗4次。

(6) 由計算求使沸點升高 1°C . 所要的壓力的增加。再從氣壓計讀出的氣壓高度，推算流體壓力計中的兩汞面，要相差多少，方能使壺內的氣壓恰成爲 76 釐米？並推算在 76 釐米的氣壓時，溫度計的示度當爲若干？由此得到的結果，和 100°C . 的差，就是這個溫度計的沸點標度的誤差。

(7) 將上面的溫度計由壺內取出，放入燒杯中，先用溫水浸二三分鐘後，再改用碎冰或雪圍住，如圖 27 所示，並澆水少許於其中，靜候汞面停止不再降下時，讀出其示度。

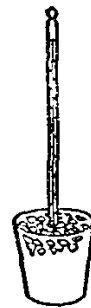


圖 27. 冰點。

【報告】 將測得的結果，填入下列表格，按照次序計算：

(1) 在大氣壓力下的沸點 = $^{\circ}\text{C}$. 氣壓高度 =釐米

(3) 壺內的壓力 =釐米 沸點 = $^{\circ}\text{C}$.
 開管中作用的大氣壓力 =釐米

(4)(5)

	流體壓力計中 兩汞面高差	沸點的度數	每釐米所生 的沸點變化
第一次	.....釐米	.....$^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
第二次	.....釐米	.....$^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
第三次	.....釐米	.....$^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
第四次	.....釐米	.....$^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.

平均每釐米的沸點變化 = $^{\circ}\text{C}$.

(6) 壺內氣壓等於 76 釐米時流體壓力計的汞面高差 =釐米

76 釐米時的沸點 = $^{\circ}\text{C}$. 誤差 = $^{\circ}\text{C}$.

(7) 冰點(從溫度計讀得) = $^{\circ}\text{C}$. 誤差 = $^{\circ}\text{C}$.

【選習】 將日常家用的溫度計，和實驗室中使用的精密溫度計，同時插入普通的溫水(約 25°C .) 中，比較其標度，求其誤差。又再放入碎冰和食鹽的混合物中，求零點下的標度的誤差。

問 題

1. 燒飯若不加蓋，就不會熟，是什麼緣故？

【答】

2. 在蒸汽鍋 (steam boiler) 上使用的溫度計，標度多高到 150°C . 爲何有此需要？

【答】

3. 一個蒸汽鍋在未炸裂以前,發出來的蒸汽固然不多,一旦炸裂,立見有大量的蒸汽發出,是什麼緣故?

[答]

4. 用熱水管取煖時,管中的水的溫度,可以昇高至 110°C ., 試說明其何以如此?

[答]

5. 由實驗得知壓力每昇高 1 大氣壓(atmosphere), 則冰點當降低 0.0072°C ., 何以檢查溫度計的冰點,不加以氣壓的改正?

[答]

6. 一個溫度計若先經沸點的檢查,完了後立即檢查他的冰點,此時所得的讀數,和未經沸點先作冰點檢查時所得的讀數,並不相同,試說明其故?

[答]

7. 檢查溫度計的沸點時,必將溫度計下面的泡和上面的桿,同時包圍在蒸汽之中. 假使只有下面泡在蒸汽內,上面的桿露在空氣中,所得的結果,決不相同.是什麼緣故?

[答]

8. 假使有一個極其精確的溫度計,要如何纔能推算所在地點的高度?

[答]

9. 求氣壓高度等於 77 釐米時的沸點.

[答]

實 驗 12.

組別.....姓名.....

金屬之比熱及量熱器

高中物理學生實驗設備標準 甲種第五

.....
實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究量熱器的用法並測定銅塊鉛塊等固體金屬的比熱。

【解釋】 熱量的單位通常用卡 (calorie), 1 卡的熱量, 是使 1 克的純水的溫度升高 1°C . 所需要的熱量, 物質的種類不同, 則其單位質量的溫度升高 1°C . 所要的熱量, 當然也不一樣. 通常對於各種物質每單位質量升高溫度 1°C . 所要的熱量的卡數, 稱為各種物質的比熱 (specific heat). 若對於一個物體而言, 情形又復不同, 因為一個物體升高溫度 1°C . 所要的熱量, 除與構成此物體的物質種類有關外, 且與其所含質量的多寡亦有關係, 故通常稱此所要的熱量為該物體的熱容量 (heat capacity). 如命 s 表構成此物體的物質的比熱, 此物體的質量為 m 克, 則其熱容量應等於 ms 卡. 一方面假使有 ms 克的水, 欲使其全體的溫度升高 1°C . 所要的熱量, 當然也等於 ms 卡. 換句話說, 就是此物體的熱容量, 恰與 ms 克水的熱容量相等. 通常即名此 ms 克, 為此物體的水當量 (water equivalent). 計算各種物質的比熱時, 使用此種水當量極為便利.

測定物體的比熱, 通常多使用混合法 (method of mixture), 在此法內常假定將高溫度的物質, 與低溫度的物質混合成爲一體時, 並無熱量的損失發生. 即由高溫體發出的熱量全部, 均用以使低溫體的溫度升高, 此外別無銷耗.

測定熱量時有一必不可少的儀器, 名爲量熱器 (calorimeter), 通常用銅製成, 表面鍍銀, 目的在防止熱量因輻射散失出外, 器壁有兩重, 其間爲空氣層, 亦爲保溫而設. 使用量熱器測物質的比熱時, 混合後的物質必須攪勻, 溫度計上的標度必須讀至每一小分度的十分之一.

假定所測物體的質量爲 W_1 克, 冷水的質量爲 W_2 克, 冷水的溫度爲 $t_1^{\circ}\text{C}$. 物體受熱後的溫度爲 $t_2^{\circ}\text{C}$. 水與物體混合後的共同溫度爲 $t_3^{\circ}\text{C}$. 物體的比熱爲 C , 則物體因入冷水內失去的熱量爲 $CW_1(t_2 - t_3)$ 卡, 冷水因受物體投入所增加的熱量爲 $W_2(t_3 - t_1)$ 卡, 此兩者應相等, 故

$$CW_1(t_2 - t_3) = W_2(t_3 - t_1)$$

事實上不特冷水本身受熱，溫度升高，即盛冷水的量熱器內筒連同溫度計及攪動器等的溫度，亦隨同升高。欲得精確結果，非將此等儀器因溫度升高所要的熱量一一加入計算不可。爲簡便計，可先求取此等儀器之水當量以 w 表之。求法，先用 w_0 克的水，代替所測的物體，熱至 t'_2 °C.，然後投入 W_2 克 t_1 °C. 的冷水中，攪勻後使其溫度成爲 t'_3 °C.，則由

$$w_0(t'_2 - t'_3) = (t'_3 - t_1)(W_2 + w)$$

式可求出 w ，然後代入下式：

$$C = \frac{(W_2 + w)(t_3 - t_1)}{W_1(t_2 - t_3)}$$

即可求得所測物體的比熱。事實上量熱器多用黃銅製成，實驗的結果黃銅所吸收的熱量約爲同一質量的水所吸收的熱量的十分之一。故即以量熱器的質量的十分之一，作其水當量。如命 W_3 表量熱器的質量，則水當量應爲

$$w = \frac{1}{10} W_3,$$

結局比熱的計算，應改用下式

$$C = \frac{(W_2 + \frac{1}{10} W_3)(t_3 - t_1)}{W_1(t_2 - t_3)}$$

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	沸水壺 (boiler)	B9
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	有柄銅罐(dipper)	D2
2	溫度計 (thermometers)	T2
1	木塞 (cork)	C29
1	天平 (balance)	B2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	三腳架 (tripod)	T5
1	量熱器 (calorimeter)	C1
1	玻璃棒 (glass rod)	G11
	鐵釘 (iron nails)	I6
	碎鋁塊 (aluminum pellets)	A5
	鉛丸 (lead shots)	L5

【方法】 (1) 在天平上將鐵釘的質量 W_1 測出, 盛入有柄銅罐內, 然後將銅罐放在沸水壺中, 用酒精燈煮水令沸, 至少須煮沸 10 分鐘後方能使用, 如圖 28 所示。

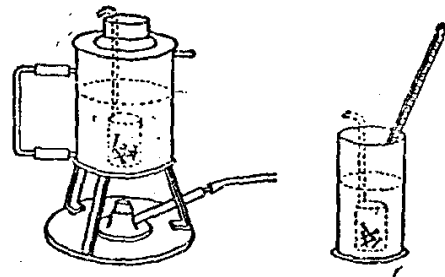


圖 28. 測金屬的比熱。

(2) 用抹布擦乾量熱器內筒, 在天平上測定其重量 W_3 。

(3) 將冷水注入量熱器內, 令半滿, 再用天平測定其質量 W_4 , 然後放入外面大銅罐內。

(4) 讀出冷水中溫度計的度數 t_1 及沸水壺內溫度計的度數 t_2 。

(5) 從沸水壺內將有柄銅罐提起, 迅速將罐內鐵釘投入量熱器中冷水內, 用玻璃棒攪和均勻, 俟溫度計內汞面停止不昇上時, 讀出其度數 t_3 。

(6) 換用碎鋁塊鉛丸等分別實驗。

(7) 測定實驗當時室內的溫度。

注意: 本實驗內所用冷水之溫度 t_1 應較室溫低, 混合後之溫度 t_3 應較室溫高, 二者與室溫相差之數能大約相等, 則所得結果可較準確。

【計算】 將實驗結果按照下列表格次序計算。

	鐵 釘	鋁 塊	鉛 丸
金屬的質量 W_1	.....克	.....克	.....克
量熱器內筒的質量 W_3	.....克	.....克	.....克
量熱器內加水後的質量 W_4	.....克	.....克	.....克
水的質量 $W_2 = W_4 - W_3$	.....克	.....克	.....克
室內的溫度	.....°C	.....°C	.....°C
冷水的溫度 t_1	.....°C	.....°C	.....°C
沸水即金屬的溫度 t_2	.....°C	.....°C	.....°C
混合後的溫度 t_3	.....°C	.....°C	.....°C
量熱器的水質量 $w = \frac{1}{10} W_2$	.....克	.....克	.....克
照公式算出的比熱 C	.....	.....	.....
一般承認的比熱	.....	.....	.....
誤差	.....	.....	.....
誤差的百分數%%%

【選習】 (1) 由比熱的公式, 即

$$C = \frac{(W_2 + \frac{1}{10} W_3)(t_2 - t_1)}{W_1(t_3 - t_1)}$$

可知其中共含有七個未知量在內, 即 $C, W_1, W_2, W_3, t_1, t_2, t_3$ 。其中只須由實驗測定六個,

其餘的一個即可由此式算出。假使將一個燒紅了的鐵球，投入量熱器內的冷水中，觀測水的前後兩次的溫度及鐵球的質量，水的質量，量熱器的質量，並本書卷末附表中鐵的比熱，即可將未投入水以前的鐵球的溫度算出。

(2) 同樣方法又可用來測定液體物質的比熱，法用已知比熱數值的金屬塊，投入所求液體中，即可計出該液體的比熱。

(3) 利用冰的熔解熱(heat of fusion)，亦可求物體的比熱。法將雪或碎冰盛在量熱器內，將高溫物體投入其中，測定熔解的水量，即可算出此物體的比熱。

問 題

1. 本實驗中的三種物質，那一種能使 100 克的水，溫度昇得最高？

[答]

2. 將 200 克銅投入 20°C . 的水 100 克中，使水的溫度升高 25°C . 求銅原有的溫度。

[答]

3. 50°C . 的水 100 克和 10°C . 的水 200 克混合後，溫度當成幾度？

[答]

實 驗 13.

組別.....姓名.....

黃 銅 桿 之 線 膨 脹

高中物理學生實驗設備標準 丙種第四

.....
實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定黃銅管的線脹係數。

【解釋】 物體遇熱則脹，遇冷則縮，這是日常習見的事實。一條固體，如黃銅管之類，當其溫度為 $t_1^{\circ}\text{C}$. 時，長度為 l_1 釐米，如溫度昇至 $t_2^{\circ}\text{C}$.，其長度亦增加成為 l_2 釐米。此時溫度的相差為 $(t_2 - t_1)^{\circ}\text{C}$.，長度的增加為 $(l_2 - l_1)$ 釐米。平均每昇高溫度 1°C .，其長度當增加 $\frac{l_2 - l_1}{t_2 - t_1}$ 釐米可知，若再以原長 l_1 除之，即得每 1 釐米的固體，溫度每昇高 1°C . 所增加的長度，通常用 α 來代表，即

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

此 α 是一個常數，其值隨固體的物質而異，通稱之為線脹係數 (coefficient of linear expansion)。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	黃銅管 (brass tube for linear expansion)	T7
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
2	桌上夾子 (table clamps)	C10
1	沸水壺 (boiler)	B9
	橡皮管 (rubber tube)	R10
1	螺旋測徑器 (micrometer caliper)	M10
1	溫度計 (thermometer $0^{\circ} - 110^{\circ}\text{C}$.)	T2
1	米尺 (meter stick)	M8
1	氣壓計 (barometer)	B4
1	三腳架 (tripod)	T5

【方法】 (1) 取黃銅管長約 100 釐米，內徑約 1 釐米，兩端距管口約 5 釐米處各有

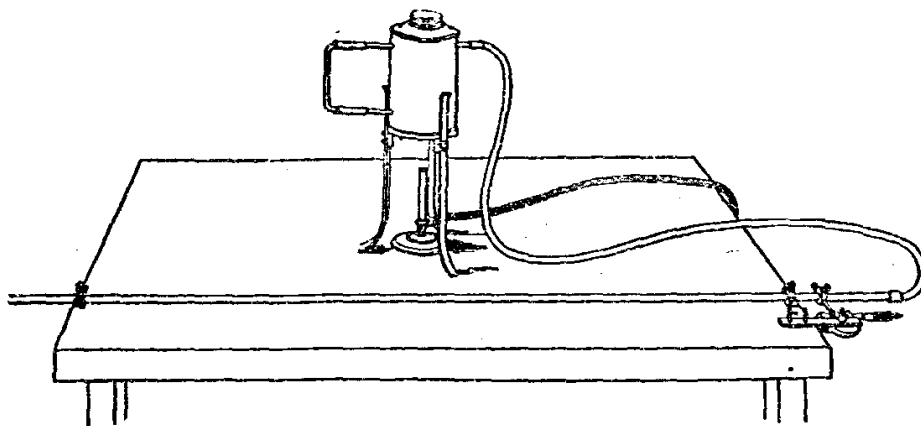


圖 29. 線脹係數.

一金屬橫板，與管垂直。將兩板間的管外用絨布包住，用夾子將一端橫板夾在桌上，他一端下墊一光滑圓柱，俾其可以自由移動。管的兩端各套一橡皮管，一端與沸水壺連，他端可放汽，如圖 29 所示。管旁放米尺，以備測定兩橫板間的距離。用另一夾子將螺旋測徑器夾在桌上，使螺旋夾端與自由一端的橫板相觸，先令沸水壺中的冷水，從管中流過，同時用溫度計測定冷水的溫度 t_1 。

(2) 在米尺上測定管上兩橫板間的距離 l_1 ，同時在螺旋測徑器上讀出所示數字 s_1 。

(3) 用酒精燈煮水，使汽由管端噴出極盛，觀測氣壓計，知此時的氣壓高度，由此計算蒸汽的溫度 t_2 。

(4) 同時轉動螺旋測徑器，使與管口橫板再行接觸，求此時螺旋測徑器的讀數 s_2 。

(5) 傾出瓶中的熱水，另換冷水，從頭再行實驗，如是共行三次實驗。

【報告】 將各次讀數，照下列表格填入，然後用線脹公式計算其係數。

	管長 l_1	測徑器讀數		銅管的膨脹 $s_2 - s_1 = l_2 - l_1$	冷水溫度 t_1	氣壓高度 H	沸點 t_2	線脹係數 α
		s_1	s_2					
第一次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....°C.	.....釐米	.....°C.	.....
第二次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....°C.	.....釐米	.....°C.	.....
第三次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....°C.	.....釐米	.....°C.	.....

平均黃銅的線脹係數 =

一般承認的黃銅線脹係數 =

誤差 =

誤差的百分數 =%

【選習】 如有圖 30 所示的儀器，即柯文膨脹器(Cowan's expansion apparatus)，即可作線脹係數之精密測定，欲測定之黃銅管 T 放在指針軸 N 上，指針軸又放在滾子軸承

(roller bearing) BB 之上。指針的轉動可在刻度圓盤上讀出。即指針每轉一圓周，表示黃銅管膨脹的長度，等於此指針軸的一圓周。如指針的轉動不及一圓周，則其膨脹的長度，亦只為指針軸的一圓周的分數。

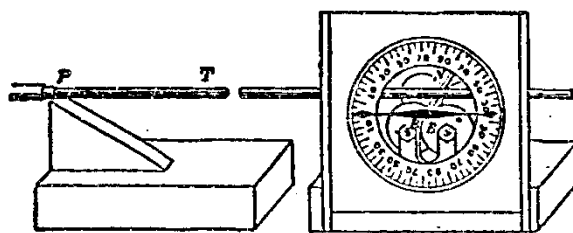


圖 30. 柯文膨脹器。

用螺旋測徑器可將指針軸的直徑測出，由此不難決定黃銅管的線脹係數。

問 題

1. 何以測黃銅管本身的長度，只要用米尺即足，而測其膨脹，卻要用螺旋測徑器？

【答】

2. 黃銅管全體都應該膨脹，何以測定時只取兩橫板間的距離？

【答】

3. 各種金屬的線脹係數，各不相同，假使有兩塊不同種類金屬，釘牢成爲一塊，拿在火上去燒，結果應如何？

【答】

4. 如從測得黃銅的每 1 百分度的線脹係數，欲改作每 1 華氏度，應當如何計算？

【答】

5. 假定鐵的線脹係數爲每 1 百分度 0.000011，求 10 米長的鐵管當溫度從 5°C . 昇至 110°C . 時，當膨脹幾英寸？

【答】

實 驗 14.

組別.....姓名.....

氣 體 之 膨 脹

.....
實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丁種第三

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 在一定的壓力下求一定量的空氣體積和溫度變化的關係。

【解釋】 設有一定量的空氣，在溫度等於 0°C . 時的體積為 V_0 ，在溫度等於 $t_2^{\circ}\text{C}$. 時的體積為 V_2 ，則其體積的增加當為 $V_2 - V_0$ ，溫度的昇高等於 $t_2 - 0$ 即 $t_2^{\circ}\text{C}$. 故每昇高 1°C . 的體積增加等於 $\frac{V_2 - V_0}{t_2}$. 若再以原有的體積除之，即得每 1 單位體積每昇高 1°C . 所增加的體積，通常用 β 來代表，即得

$$\beta = \frac{V_2 - V_0}{V_0 t_2} \dots\dots\dots(1)$$

此 β 也是一個常數，通稱為空氣的體脹係數 (coefficient of cubic expansion).

如再命 V_2 與 V_1 各表此一定量的氣體在 $t_2^{\circ}\text{C}$. 與 $t_1^{\circ}\text{C}$. 時之體積，則依上述定義得 $V_2 = V_0(1 + \beta t_2)$ ， $V_1 = V_0(1 + \beta t_1)$ 消去 V_0 ，則得

$$\frac{V_2}{1 + \beta t_2} = \frac{V_1}{1 + \beta t_1}$$

即 $V_2 + \beta V_2 t_1 = V_1 + \beta V_1 t_2$

故得 $\beta = \frac{V_2 - V_1}{V_1 t_2 - V_2 t_1} \dots\dots\dots(2)$

如實驗中所選用之溫度有一為 0°C .，則用 (1) 式求之，如兩溫度均非 0°C .，則須用 (2) 式計算之。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	燒瓶(容積約100—150立方釐米)附一孔橡皮塞 (flask with one-hole stopper)	F3
2	大號燒杯(beaker)	B8
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	三腳架 (tripod)	T5

1	天平 (balance)	B2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
2	溫度計 (thermometers)	T2
1	夾子 (pinch clamp)	F6
	橡皮管 (rubber tube)	R10

[方法] (1) 用酒精將燒瓶洗淨，按上橡皮塞(塞的孔中，插有一短玻璃管，管口再套一橡皮管)，然後在抽氣機上將燒瓶內氣體抽去，用夾子夾緊橡皮管，在天平上測定燒瓶及其附件之質量 W_1 。

(2) 放開夾子，將燒瓶放入盛熱水的大號燒杯內，沈至燒瓶之頸如圖 31，其下用酒精燈加熱，使瓶中水沸騰，由氣壓高度算出此時的溫度 t_2 。

(3) 燒瓶在沸水內經歷五六分鐘之後，再用夾子將瓶上橡皮管夾緊，不讓空氣出入，立即改放入盛冷水的瓶內，如圖 32，且令其倒放，瓶口向下，俟瓶頸已在水面下後，放開夾子，任冷水進入燒瓶內部，並令全瓶沈在冷水面下約歷數分鐘之久，測定此時冷水的溫度 t_1 。

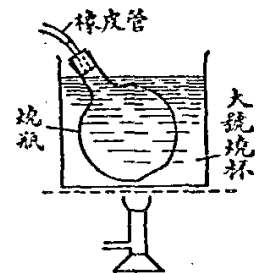


圖 31.

(4) 將燒瓶提起，使其內部的水面，和瓶外燒杯中的冷水面，成同一高低，即圖 32 所示的情況，再將夾子夾緊，將燒瓶由杯中取出，正放於桌上，拭乾瓶外水滴，將夾子放開，然後在天平上測定其質量 W_2 。

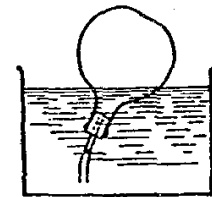


圖 32.

(5) 使用漏斗注水入瓶，直令滿至細玻璃管上端為度，拭乾瓶外水滴，在天平上測定其質量 W_3 。

(6) 照此方法重行實驗一遍。

[報告] 因水的密度為每立方釐 1 克，故從 W_1 , W_2 , W_3 可以算出空氣在 t_1 , t_2 時在瓶內所占的容積。又因此時瓶內空氣的壓力等於大氣壓力，故從容積及溫度，可以按照解釋中的公式，算出空氣的體脹係數 β 。將各次實驗所得的結果，按照下列次序計算，然後取其平均值，並求誤差之百分數，以作報告。

瓶的質量 $W_1 = \dots\dots$ 克

瓶與一部水的質量 $W_2 = \dots\dots$ 克

瓶中滿盛水的質量 $W_3 = \dots\dots$ 克

空氣在 $t_1^\circ\text{C}$. 時的體積 $V_1 = \dots\dots$ 立方釐米

空氣在 $t_2^{\circ}\text{C}$. 時的體積 $V_2 = \dots\dots$ 立方釐米

氣壓高度 $H = \dots\dots$ 釐米

沸點 $t_2 = \dots\dots^{\circ}\text{C}$.

冷水溫度 $t_1 = \dots\dots^{\circ}\text{C}$.

從公式(2)算得空氣的體脹係數 $\beta = \frac{V_2 - V_1}{V_1 t_2 - V_2 t_1} = \dots\dots$

通常承認的空氣的體脹係數 $= 0.00367 = \frac{1}{273}$

誤差 $= \dots\dots$

誤差的百分數 $= \dots\dots\%$

[選習] (1) 使用一條厚玻璃管，約 50 釐米長，內徑約 1.5 毫米，一端封閉，管中有一滴水銀如圖 33 中的 M ，長約 2 釐米或 3 釐米。其下封閉有一段空氣柱 AM ，長約 20 釐米乃至 25 釐米。將管直立，使閉端向下，插入碎冰桶中，或雪桶亦可，且令 M 在雪或冰面下，用鉛筆敲玻璃管，俟水銀滴停止不再移動，然後用細橡皮圈標出此時汞滴的位置，須使橡皮圈的下一邊與汞滴的下端一致。然後將管取出橫放在米尺旁，測定管底與橡皮圈下邊的距離，作在 0°C . 時空氣的容積。其次將此管放在沸水壺噴出的蒸汽中，使管為蒸汽包住。俟汞滴停止不再昇上時，仍用橡皮圈標出汞滴的位置，照前測定汞滴下而與底的距離，作在沸點時空氣的容積。同時由氣壓計上的氣壓高度，推出此時沸點的溫度。



圖 33. 空氣溫度計。

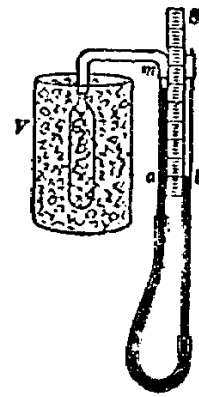


圖 31. 氣體膨脹的壓力係數。

(2) 一定量的氣體在密閉容器中受熱時，其體積一定不變。故溫度升高，則氣體對於容器壁作用的壓力，隨着增加。煤氣機蒸汽機等的原理，均由於此。如命溫度 0°C . 時的氣壓為 P_0 ，溫度 $t^{\circ}\text{C}$. 時的氣壓為 P_t ，則其壓力增加為 $P_t - P_0$ ，溫度的變化為 $t^{\circ}\text{C}$. 故溫度每升高 1°C . 所增加的氣壓為 $\frac{P_t - P_0}{t}$ 若再以原有的氣壓 P_0 除之，即得每 1 單位氣壓每升高 1°C . 時所增加的壓力，其值與氣體的體脹係數完全相等，以 β 代之，即

$$\beta = \frac{P_t - P_0}{P_0 t} \dots\dots (1)$$

同樣對於任意兩溫度 t_1, t_2 時，成爲 $\beta = \frac{P_2 - P_1}{P_1 t_2 - P_2 t_1} \dots\dots (2)$

通稱之爲氣體膨脹之壓力係數 (pressure coefficient of expansion of gas)。

利用上述的結果，只須測定壓力係數，即得體脹係數。

使用的儀器如圖 34 所示，容器 B 內有一定量的空氣，與兩玻璃管 a, b 相聯，中夾橡皮管一段，內容水銀。當 B 未連通以前，使 a, b 內的汞面，均約在刻度尺 S 的底部，距底約 5 釐米爲度。從 S 的底到下面橡皮管連結處，至少要有 30 釐米， a 內汞面和 m 處橡皮管連結點的距離，約爲 4 釐米。然後將 B 結上，放入容器 V 內， V 中盛碎冰，將 B 全體圍住。其次提高 b ，俾 a 內汞面恰與 m 相對，用鉛筆輕敲 a ，以免汞留存管上。如是歷兩三分鐘之久，俾 B 內空氣和冰的溫度相同，然後讀出 S 上之 a, b 汞面所在處的標度，同時讀氣壓計上的氣壓高度。其次再將 B 放入蒸汽中，同樣令 a 內汞面與 m 相對，然後讀出兩方汞面的標度，由此即可算出空氣膨脹的壓力係數。

實驗時應當注意，當 B 由蒸汽中取出時，須先令 b 管降低，否則 B 受冷後，汞將吸入 B 內。

問 題

1. 當燒瓶在冷水燒杯內未夾緊橡皮管前，先要使燒瓶內外的水面，成同一水平面，用意安在？

[答]

2. 燒瓶內的空氣壓力，是否在本實驗內始終未變？

[答]

3. 實驗中燒瓶內的空氣，必須乾燥，用意安在？

[答]

4. 實驗前要將燒瓶洗淨，有什麼需要？

[答]

實驗 15.

組別.....姓名.....

相對溼度

.....
實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定露點並計算相對濕度。

【解釋】 大氣中的水汽已達到最大壓力(maximum pressure)時,即成爲飽和(saturation)時,皮膚上的水分,即停止汽化,感覺潮濕;反之,大氣中的水汽壓力距離最大壓力甚遠時,皮膚上的水分汽化進行極速,感覺乾燥。故由現在大氣中實有的水汽壓力,對於同溫度應有的水汽最大壓力之比,可以決定乾濕程度。通常則以 100 乘此比表出之,稱爲相對濕度(relative humidity),或即略稱爲濕度(humidity)。一方面又可用每 1 立方米的空氣中含有的水汽的克數來表,稱爲絕對濕度(absolute humidity)。

通常室內的空氣所含的水汽雖距離飽和狀態尙遠,但若能使其溫度降低,則可達到飽和狀態,此後溫度如再繼續下降,當有一部分的水分,脫離大氣而出,凝結成露(dew)。此時的溫度,稱爲露點(dew point)。

如命 t 表室內空氣的溫度, p 表其水汽壓力, P 表在 t 時應有的水汽最大壓力,則其關係當如圖 35 所示:假定此時空氣的溫度能降至 t_0 , 與之相當的水汽最大壓力恰等於 p , 此 t_0 即爲露點。命 H 表相對濕度,則其關係如下:

$$H = \frac{p}{P} \times 100\%.$$

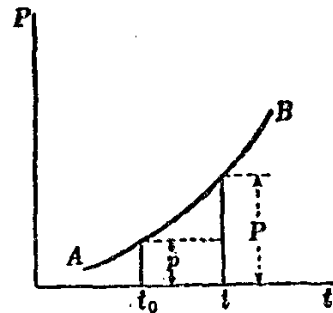


圖 35. 露點與溫度的關係。

故只須求得當時的溫度 t , 及露點 t_0 , 即可從水汽最大壓力表中(本書卷末附錄 VII)檢出與 t 相當的 P 及與 t_0 相當的 p , 代入上式, 將相對濕度 H 算出。

測定濕度更有一簡便方法, 即使用乾濕泡濕度計(wet and dry bulb hygrometer), 如圖 36 所示, 由兩個溫度計合成, 其一之泡, 外包濕布, 布的下端浸在水槽內, 使其恆濕, 其他一個, 與之並立, 下端露在空氣中, 是爲乾泡, 如室內空氣中的水汽尙未飽和, 則濕泡外面的水分, 必將蒸發不已, 因此使其溫度降低, 乾泡則恆表室內氣溫。此兩溫度計上示度的差, 由於蒸發遲速而定, 蒸發的遲速又由相對濕度而定, 如空氣已達飽和狀態, 則濕泡的蒸發停止, 兩者的示度當相同。故由兩者示度的差, 與上述由露點決定的濕度, 兩相比較, 造

成一表，以備檢索。此表即本書卷末附錄VIII所載之表。只須讀得乾濕兩溫度計示度之差，及乾泡方面的示度，即可由表內檢出所求的相對濕度。此器甚便，故用途亦廣，不過當使用前，必須使濕泡近旁的空氣充分流通，俾便暢行蒸發，結果方可靠。

【儀器及材料】 列舉如下：

- 1 露點溫度計 (dew-point hygrometer)
- 1 乾濕泡溫度計(wet and dry bulb hygrometer)
- 醚 (ether)

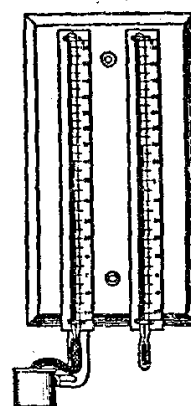


圖 36. 乾濕泡溫度計。

【方法】 (1) 先將露點溫度計(圖 37) 的鍍銀盒的蓋取開，注醚入內，約令半滿，然後加蓋，徐徐壓緊抽氣器(aspirator) 的橡皮球，送空氣入盒內，使醚的蒸發加速，溫度因而降低。直到鍍銀盒表面上有露現出，此時盒內的醚的溫度已降到

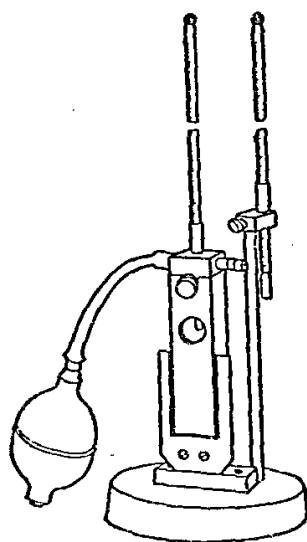


圖 37. 露點溫度計。

露點。因為必要降到這個溫度，和盒面接觸着的空氣層內所含水汽纔達到飽和狀態，纔能夠將其含有的過剩水分析出。故一面送空氣入內，一面要注視着盒面，一見盒面起霧，立刻將插在盒中的溫度計上的示度讀出，命為 t_1 。

(2) 盒面既經起霧以後，即無須再行送氣，但仍須注視盒面，到所起之霧全部退盡，重行送復原有的光亮的一瞬間，將插在盒內的溫度計的示度讀出，命為 t_2 。

(3) 上面測得的 t_1 ，通常較露點略低，因為到得我們覺察出盒面生霧，已經略遲一步，同樣測得的 t_2 ，也較露點略高，因為到得我們覺察出霧已消盡，也已經略遲了一步了。故結果 t_2 總比 t_1 略大。不過兩者相差有限，決不能超出 1°C . 的範圍以外。假使超過了 1°C .，那一定是實驗上有了過失，不是手指觸及儀器，就是呼吸出來的氣息，擾亂了空氣的狀況。其中尤其是呼出的氣息，一觸及鍍銀盒面，立即起霧，務要盡力避開，始能得到正確可靠的結果。到得 $t_2 - t_1$ 在 1°C . 以內，即可將所得的讀數記下。並計算兩者平均值，即

$$t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$$

作為所求得的露點。

(4) 照上述方法重複實驗四次，連前共作五次實驗，由其結果再平均之，即得露點。

(5) 記出另一溫度計上的示度，用作實驗當時的空氣溫度。

(6) 從附錄 VII 內檢索與露點及氣溫相當的水汽最大壓力,由解釋中的公式計算出相對濕度。

(7) 注意乾濕泡溫度計上濕泡一方面的空氣,使其流通甚暢,然後每隔 1 分鐘取一次讀度,如每次讀度已無變化,即可將所得的結果記下。

(8) 由乾泡的示度及乾濕兩泡所示的溫度差,在附錄表 VIII 內求出相對濕度。

(9) 比較 (6) 與 (8) 的結果。

【報告】 將所得的結果,按照下列表格填入。

(1), (2), (3), (4):

	(1) 起露時的溫度 t_1	(2) 露退盡時的溫度 t_2	(3) 露點 $t = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$
第一次	.....°C.	.....°C.	.....°C.
第二次	.....°C.	.....°C.	.....°C.
第三次	.....°C.	.....°C.	.....°C.
第四次	.....°C.	.....°C.	.....°C.
第五次	.....°C.	.....°C.	.....°C.

(4) 平均露點 =°C.

(5) 空氣溫度 =°C.

(6) 露點之飽和水汽壓 =釐米(汞柱)

氣溫之飽和水汽壓 =釐米(汞柱)

相對濕度 $H = \frac{p}{P} \times 100 = \dots\dots\dots\%$

(7) 乾溫度計的讀數 =°C.

濕溫度計的讀數 =°C.

溫度差 =°C.

(8) 相對濕度 =%

(9) 誤差 =

誤差百分數 =%

【選習】 (1) 如無露點溫度計,則用一光亮金屬筒,照圖 38 所示裝置,使空氣泡由醚府送入,自醚內升起經由他一玻璃管逸出。此時因為有空氣泡在醚內生成,無異增大蒸發的面積,可使蒸發加速,結果當與使用露點溫度計相同。

(2) 如並光亮的金屬筒亦不可得,則使用任何光亮的容器,或極薄的玻璃杯,內盛水,徐徐加入碎小冰屑,並不絕

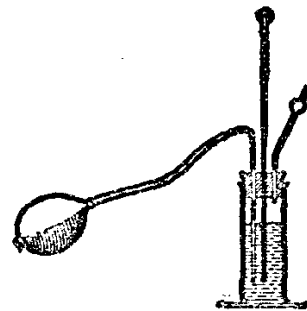


圖 38.

攪拌，則杯外亦可起霧。假使露點在冰點以下，則可徐徐加少些鹽屑入冰水中，直至杯外有霧出現為止。

(3) 如未備有乾濕泡濕度計，則用兩只通常的溫度計來作代替。一只用紗布或燈芯線(wick) 將其下端包住，約包四五層，並垂下一部分約二三英寸長。將紗布或燈芯線的下端浸在水內，使溫度計的泡離水面約二三釐米為度。其餘一只溫度計，亦與之相並而立，但下端露在大氣中，只須設法使濕泡周圍的空氣流通不已，其示度即不再變動。

問 題

1. 在極寒的時候，可以看見口中和鼻孔中有雲狀的濕氣噴出，是什麼緣故？

[答]

2. 教室裏面坐滿了人，室內的空氣濕度，會不會變化？

[答]

3. 在房內有什麼方法可以增加濕度？

[答]

4. 戶外空氣中分析出來的水分，是露是霜，由何而定？

[答]

5. 夏天相對濕度比較大的時候，何以覺得氣悶？

[答]

6. 乾濕泡濕度計上的濕的一方的溫度計的讀數，總比乾的一方要低些，何以如此？其下面的水，既然陸續蒸發不已，何以溫度不會繼續降下，而有一定的限度？

[答]

7. 空氣受熱之後，其相對濕度將受何種影響？其絕對濕度又如何？

[答]

實 驗 16.

組別.....姓名.....

冰 之 熔 解 熱

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 甲種第六

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定 1 克冰熔成同溫度的水所要的熱量。

【解釋】 1 克的水在 0°C . 時所含有的熱量,比 1 克的冰在 0°C . 時所含有的熱量要多些,所多的熱量,通稱為冰的熔解熱 (heat of fusion). 設有 W_1 克的熱水,其溫度為 $t_1^{\circ}\text{C}$., 和 W_2 克的 0°C . 的冰混合,結果恰好將冰全部熔盡,最後的水溫恰成為 0°C ., 則由熱水放出的熱量應為 $W_1 t_1$ 卡,如命 L 卡表所求的冰的熔解熱,則使冰全部熔盡所要的熱量,應為 LW_2 卡,兩者應相等,即

$$W_1 t_1 = L W_2$$

故

$$L = \frac{W_1 t_1}{W_2}$$

但事實上,要使冰和水的分量,以及熱水的溫度,配合得恰巧能將冰熔盡,而又不令溫度升高,實在不容易辦到。故通常實驗時,所用的冰不特熔解而已,並且熔解所成的水,還要增加一些溫度。假定有 W_1 克的熱水,溫度為 $t_1^{\circ}\text{C}$., 和 0°C . 的冰 W_2 克混合後,除冰全部熔盡而外,殘餘的水,一律成為 $t^{\circ}\text{C}$. 的溫度,並且使用的量熱器內筒,溫度也由 $t_1^{\circ}\text{C}$. 降至 $t^{\circ}\text{C}$., 如命其質量為 W_3 克,比熱為 C , 則量熱器所放出的熱量,應等於 $W_3 C(t_1 - t)$ 卡。故得

$$W_1(t_1 - t) + W_3 C(t_1 - t) = W_2 L + W_2 t$$

$$\therefore L = \frac{(W_1 + W_3 C)(t_1 - t) - W_2 t}{W_2}$$

事實上量熱器的物質,多用黃銅,故其比熱,可用 $\frac{1}{10}$ 來代替,故求熔解熱的公式如下:

$$L = \frac{(W_1 + \frac{1}{10} W_3)(t_1 - t) - W_2 t}{W_2}$$

【儀器及材料】 列舉如下:

數 量	名 稱	編 號
1	量熱器 (calorimeter)	C1

1	天平(balance)	B2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	溫度計(thermometer)	T2
1	酒精燈(alcohol lamp)	A3
1	三腳架(tripod)	T5
1	抹布(towel)	T4
	冰(ice)	I1

【方法】 (1) 在天平上測定量熱器內筒的質量 W_3 。

(2) 盛水入量熱器內筒，約至三分之二滿，用酒精燈加熱，約至 50°C 。為度，在天平上測定其質量。

(3) 將量熱器內筒連同熱水，放入銅罐內，插入溫度計，攪勻後，測定其溫度 t_1 。

(4) 測定實驗時室內的溫度。

(5) 取冰塊一一用抹布揩乾，投入水內，不得令水濺出，隨投隨攪勻，並注意觀察溫度，至全體冰熔盡後，將此時的溫度 t 讀出。為求實驗結果準確計， t 與室溫之差，須大約等於 t_1 與室溫之差。

(6) 在天平上測定此時量熱器內筒，及其內容的質量，從 (2) 的結果算出所加的冰的質量 W_2 。

(7) 使用解釋中所列的公式，算出熔解熱 C 。及誤差。

【報告】 將上面所得的結果，按照下列的表格填入，再行計算熔解熱。

		第一次	第二次
(量熱器內筒)+(水)+(冰)的質量	$W_3+W_1+W_2$	.....克	.....克
量熱器內筒與水的質量	W_3+W_1	.....克	.....克
冰的質量	W_2	.....克	.....克
量熱器內筒的質量	W_3	.....克	.....克
水的質量	W_1	.....克	.....克
熱水和量熱器內筒的溫度	t_1$	.....^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
室內空氣的溫度		.....$^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
冰與水混合後的溫度	t$	.....^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
水與量熱器內筒的溫度變化	t_1-t$	.....^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
冰熔解後的溫度變化	t$	.....^{\circ}\text{C}$.	.....$^{\circ}\text{C}$.
量熱器內筒物質的比熱	C	.....	.....
水放出的熱量	$W_1(t_1-t)$	.....卡	.....卡
量熱器內筒放出的熱量	$W_3C(t_1-t)$	.....卡	.....卡
熔化成水以後的冰所受到的熱量	W_2t	.....卡	.....卡
計算而得的冰的熔解熱	L	.....卡	.....卡
通常承認的冰的熔解熱	L	80 卡	80 卡
誤差		.....卡	.....卡
誤差的百分數	%%

[選習] 試研究家中所用的冰箱，測定其內容的容積，室內的溫度，冰箱中最低的溫度，冰箱中最高的溫度，每小時熔解的冰量等，最良的冰箱最低溫度應為 45°F . 至 65°F . 每小時銷耗的冰量約為 1.5 磅，現在使用的冰箱，能不能與這個條件相符？

問 題

1. 冰熔解時一面既要吸收相當的熱量，一面溫度又不昇高，然則所吸收的熱，到那裏去了？

[答]

2. 何以本實驗內所用熱水之溫度(t_1)與室溫之差，須大約等於混合後溫度(t)與室溫之差，始可得較準確之結果？

[答]

3. 何以測定熱水的質量，不用容器而用天平？

[答]

4. 何以每次投入冰塊，必先用抹布擦乾？

[答]

5. 冰汽水時用冰比用冰水好些，何故？

[答]

6. 使冰箱中發冷的是冰，還是冰的熔解？

[答]

7. 欲使 200 克的水溫從 80°C . 降到 40°C ., 要若干克的冰？

[答]

8. 40 克的 0°C . 的冰，與 200 克的 60°C . 的水混合後，溫度如何？

[答]

9. 冰的熔解熱是什麼意義?

[答]

實 驗 17.

組別.....姓名.....

水 之 汽 化 熱

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定 1 克的蒸汽凝成同溫度的水所放出的熱量。

【解釋】 使 1 克的液體化爲同溫度的汽，必須吸取相當的熱量，此項熱量，隨物質種類而異，通稱爲汽化熱(heat of vaporization)。通常所說的水的汽化熱，是指在沸點時 1 克的水變成同一溫度的蒸汽(steam) 所要的熱量的卡數而言。水既沸騰以後，壓力如一定不變，則其溫度亦保持着沸點的溫度，不再升高。變成的蒸汽如遇冷凝結成水，亦須將汽化時所吸收的熱量，全部放出。此時放出的熱量，又稱爲蒸汽的凝結熱(heat of condensation of steam)，其數值與汽化熱恒相等。故由凝結熱可以測知汽化熱。

測定 100°C 的蒸汽每 1 克變成 100°C. 的水所放出的熱量，通常係將此項蒸汽導入冷水中，而觀測冷水的溫度變化，並求量熱器和水的質量，由此決定導入蒸汽的質量。仍用混合量熱法(method of mixture) 原理，令量熱器與水所吸收的熱量與蒸汽凝結成水並降至量熱器溫度所放出的熱量相等，即可算出水之汽化熱。本實驗中測定質量的精密程度，須達 0.1 克，溫度須達 0.1°C.，方能有效。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	量 熱 器(calorimeter)	C1
1	沸 水 壺(boiler)	B9
1	酒 精 燈(alcohol lamp)	A3
1	凝 汽 器(condensed-steam trap)	
1	溫 度 計(thermometer)	T2
1	天 平(balance)	B2
1	砝碼一組(set of weights)	W2
1	三 腳 架(tripod)	T5
1	氣 壓 計(barometer)	B4

【方法】(1) 先將量熱器內筒放在天平上測定其質量，命為 c 。

(2) 次在量熱器內筒內盛水，約至三分之二滿為度，並在天平上將其質量測定，如命 w 表水的質量，則此時測得者當為 $c+w$ 。

(3) 從上述兩次結果，可以算出水的質量 w 。

(4) 測定室內氣溫 t 。

(5) 測定量熱器內筒內水的溫度 t_1 ，須令 t_1 約在 t 下 10°C 。如水温過高，可略加少許冰屑入內，但須攪勻，俟水內冰屑完全融盡後，始測定其溫度。

(6) 照圖 39 所示，將各儀器連接，煮水使沸，俟有蒸汽自壺旁支管噴出，再用橡皮管連至凝汽器上，並在凝汽器與沸水壺之間，加一木塊隔住，俾沸水壺的熱不致影響到量熱器中。將凝汽器的他一端的玻璃管迅速插入量熱器內水面下約二三釐米深處。隨即用溫度計攪拌器內的水，俟溫度計的示度已昇至室內氣

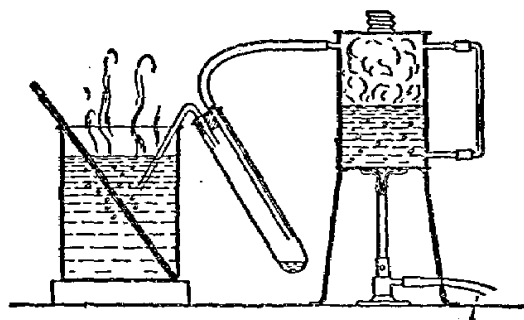


圖 39. 水之汽化熱。

溫以上約 10°C 。時，又迅速將凝汽器的管由水中提出，仍不絕攪拌器內的水，俾其溫度全體均勻。讀出其最高的溫度 t_2 。從(5)與(6)即可得知水溫度的變化為 t_2-t_1 。

(7) 再在天平上測定量熱器內筒連同水及蒸汽凝成之水的總質量，如由蒸汽凝成的水的質量為 m ，則所得者應為 $c+w+m$ 。再從(2)的結果，即可得知增加的質量 m ，即凝結成水的蒸汽質量。

(8) 從氣壓計上讀出當時的氣壓高度，從附錄 IX 檢查此時的沸點應為 T 度。再與(6)相較，即知蒸汽不僅凝結成 T 度的水，並且溫度更繼續降低而成 t_2 ，故降下的溫度應為 $T-t_2$ 。

(9) 從上面的結果，可知水內增加的熱量應為 $w(t_2-t_1)$ 卡，量熱器內筒本身所增加的熱量應為 $\frac{1}{10}c(t_2-t_1)$ 卡，此兩項之和，即本實驗中增加一方的熱量。

(10) 一方面由蒸汽凝結成同溫度的水，所放出的熱量為 mL 卡，其中的 L 即每 1 克的蒸汽凝結成同一溫度的水所放出的熱，亦即本實驗中所求的汽化熱。又由沸點繼續降至 t_2 ，此 m 克的水又應放出 $m(T-t_2)$ 卡的熱。此兩項之和，即本實驗中放出的熱的總量。

(11) (9)與(10)應相等，故可求出由蒸汽凝結而放出的熱量 mL ，再由(7)即可算出汽化熱 L 的數值。

(12) 從(1)到(11)再依次實驗一遍。將兩次求得的 L 平均之，用作本實驗求得的汽化熱。

(13) 將求得的汽化熱，與通常所承認的汽化熱的數值 539 比較，求誤差的百分數。

[報告] 將實驗的結果，一一填入下列表格內：

	第 一 次	第 二 次
(1)量熱器內筒的質量 c	.....克	.....克
(2)量熱器內筒與水的質量 $c+w$	.....克	.....克
(3)水的質量 w	.....克	.....克
(4)室內氣溫 t	..... °C.	..... °C.
(5)水的最初溫度 t_1	..... °C.	..... °C.
(6)水的最末的溫度 t_2	..... °C.	..... °C.
溫度的變化 t_2-t_1	..... °C.	..... °C.
(7)量熱器水，內筒，及蒸汽總質量 $C+w+m$	.....克	.....克
蒸汽的質量 m	.....克	.....克
(8)氣壓高度	.....釐米	.....釐米
沸點 T	..... °C.	..... °C.
凝成水後再繼續降低的溫度 $T-t_2$	..... °C.	..... °C.
(9)水所吸收的熱量 $w(t_2-t_1)$	.....卡	.....卡
量熱器內筒所吸收的熱量 $\frac{1}{10}c(t_2-t_1)$	.....卡	.....卡
吸收的總熱量 $(w+\frac{1}{10}c)(t_2-t_1)$	.....卡	.....卡
(10)蒸汽凝結後由沸點降至 t_2 放出的熱量 $m(T-t_2)$	.....卡	.....卡
(11)放蒸汽凝結時放出的熱量 mL	.....卡	.....卡
故汽化熱 L	.....卡	.....卡

一二兩次 平均汽化熱乙 =卡
 通常承認的水的汽化熱 = 539 卡
 誤差的百分數 =%

[選習] (1) 用酒精或其他具有一定沸點的液體，作同種實驗，求其汽化熱。

(2) 任取一定量的水，徐徐加熱，使其溫度由 0°C. 起漸次升高直至 100°C. 為止，注意觀測其所經歷的時間若干，此後仍繼續加熱，但決不見溫度升高，所加之熱，當然用以供汽化之用，如是直至全部的水均已汽化完盡為止，共歷若干時間，亦詳細測出，比較兩次測得的時間，可將水的汽化熱大致測出，試用 100 克的水，在 300 立方釐米容量的派勒克斯燒杯(Pyrex beaker)內試求之。

問 題

1. 本實驗中當蒸汽在冷水內噴出時有大聲隨之發出,是什麼道理?

[答]

2. 用蒸汽暖室,送入輻射器(radiator)的蒸汽溫度,假使和由輻射器放出的熱水溫度相同,房中如何能夠溫暖?

[答]

3. 同一大小的房間使用蒸汽暖室的輻射器,比使用熱水暖室的輻射器,要小些,是什麼緣故?

[答]

4. 將1 仟克的水從 20°C . 熱起,直至完全化爲蒸汽爲止,共消耗多少熱量?

[答]

5. 有 100°C . 的蒸汽 10 克,進入 20°C . 的水 250 克之中,求結果所成的溫度。

[答]

實 驗 18.

組別.....姓名.....

熱 之 功 當 量*

高中物理學生實驗設備標準 丁種第五

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 求落體的動能與其產生的熱量間的關係。

【解釋】 熱也是能的一種形態，可以變化成功，也可以由功變成，但能的單位用爾格 (erg)，即以 1 達因的力作用於一物體，使物體在力之作用方向上移動 1 釐米的距離時所作的功。熱的單位用卡 (calorie)，即使 1 克的水溫度升高 1°C. 時所要的熱量。兩者既同屬一體，則 1 卡的熱量，換算成爲爾格時，其數值應有一定，此數通稱爲熱之功當量 (mechanical equivalent of heat)。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
2kg.	鉛丸 (lead shots)	L5
1	金屬容器, 盛鉛丸用 (metal vessel, for lead shots)	M7
1	紙筒 (card-board tube)	C7
1	溫度計 (thermometer)	T2
3	木塞, 紙筒用 (corks)	C29
1	米尺 (meter stick)	M8
1	天平 (balance)	B2
1	砝碼一組 (set of weights)	W2
	冰 (ice)	I1

【方法】 (1) 先測定實驗時室內空氣的溫度。

(2) 盛鉛丸約 2 仟克於金屬容器內，鉛丸要用乾燥的，放在冷處(如冷水池內)，俾其溫度降下，較室內氣溫低下 5°C. 或 6°C.

(3) 將上面的鉛丸盛入紙筒中，紙筒約長 1 米，直徑 5 釐米或 6 釐米，用厚牛皮紙卷成，接合處用膠封牢，並用繩綑住，兩端用木塞塞緊，如圖 40.

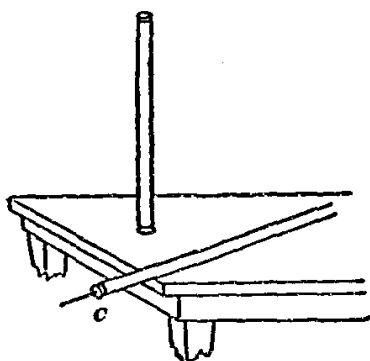


圖 40. 熱功當量.

(4) 手執紙筒中部,使管徐徐顛倒,俾管內鉛丸得由一端滑至他端,如是五六遍之後,管內鉛丸即可完全攪和,且手執中部,兩端之溫度亦不至受手的影響。

(5) 將上端木塞 A 取去,換用中插有溫度計的木塞 C ,然後徐徐將紙筒放平,並略顛倒,令筒中鉛丸,全部滑至溫度計的一端,將溫度計的球部包圍住,如圖中所示。其次一手執筒,一手令溫度計在木塞孔內轉動,使其球部在鉛丸中轉動至兩分鐘之久,讀出其溫度。如

此時的溫度較室內氣溫低下的程度,尚在 3°C . 以外時,則仍繼續使管往復顛倒,俾鉛丸往來於兩端之間,直至其溫度與室內氣溫相差,不超過 3°C . 為度,並將此時的溫度 $t_1^{\circ}\text{C}$. 讀出。

(6) 將上面的溫度讀出後,立刻令筒直立,將木塞 C 取出,換用木塞 A ,如圖中所示。然後迅速使筒上下顛倒,並連續顛倒至七十次之多:每次顛倒均須令下端貼緊於桌面上,以防鉛丸將下端木塞銜脫。每顛倒一次,鉛丸原有之勢能(即由底舉高至頂所得到的勢能),均變成爲沿管內落下的動能,降至筒底全部動能又均變成熱能,因木塞厚紙,均非導熱體,差不多全部的熱能都進入鉛丸內,進入木塞和紙筒中的,不過毫不足道的一小部分而已。如是顛倒七十遍後,立刻取去木塞 A ,換用 C ,照前法讀出此時鉛丸的溫度 $t_2^{\circ}\text{C}$ 。

(7) 再令紙筒直立,取去木塞 C ,用米尺插入筒內測定鉛丸頂面至木塞 A 底面間的距離,用作紙筒每次顛倒時,鉛丸通過的平均距離 h 。

(8) 照此方法實驗三遍。

注意: 爲欲防止傳導及輻射消耗的熱量,鉛丸開始的溫度,必須較室內氣溫低下 2°C . 或 3°C ., 實驗完了後的溫度,也恰在室內氣溫上 2°C . 或 3°C ., 如是,若實驗時鉛丸溫度之變化,頗爲迅速而均勻,即可避去輻射的影響。通常避免由輻射而來的誤差,均用此法。

本實驗所含有的唯一誤差,係溫度計的溫度必須經相當的時間之後,始能與鉛丸成爲完全同一的溫度。當此期間中,鉛丸不免由輻射及傳導,陸續失去一部分的熱量,所以溫度計上表示出來的溫度,不能成爲全部鉛丸的平均溫度,這一種誤差是不能避免的。又溫度計須吸收相當熱量,計內水銀始得膨脹,此被吸收的熱量,亦能影響於實驗結果。

[報告] 命鉛丸的全重爲 W 克,每次降落的距離爲 h 米,鉛的比熱,檢表知其爲 .0315,溫度的變化爲 $(t_2 - t_1)$,熱之功當量爲 J ,則鉛丸連續落下 70 次所失去的勢能應

等於 $Wh \times 70$, 鉛丸吸收的熱應為 $W \times .0315 \times (t_2 - t_1)$ 卡,

故 $JW(t_2 - t_1) \times .0315 = 70Wh$

$$J = \frac{70h}{(t_2 - t_1) \times .0315}$$

式中未含有鉛丸的重量 W , 故不必測定。

試舉一例, 將所得結果填入表格, 並照上述公式計算如下:

例	第一次	第二次	第三次
室內氣溫	18.5°C.	18.5°C.	18.5°C.
鉛丸初溫 t_1	16.0°C.	17.1°C.	16.7°C.
鉛丸末溫 t_2	21.7°C.	22.6°C.	21.0°C.
顛倒次數	100	100	80
落下高度 h	.76 米	.76 米	.76 米
熱之功當量 J	423 克米/卡	439 克米/卡	449 克米/卡

平均熱之功當量 = 437 克米/卡

通常承認的熱之功當量 = 427 克米/卡

誤差 = 10 克米/卡

誤差百分數 = 2.4%.

照此次序將本實驗讀得的數值, 一一填入下列表格中, 再照樣計算, 以作本實驗的報告:

	第一次	第二次	第三次
室內氣溫	.....°C.	.....°C.	.....°C.
鉛丸初溫 t_1	.....°C.	.....°C.	.....°C.
鉛丸末溫 t_2	.....°C.	.....°C.	.....°C.
顛倒次數	.....	.....	.....
落下高度 h	.....米	.....米	.....米
熱之功當量 J	.....克米/卡	.....克米/卡	.....克米/卡

平均熱之功當量 = 克米/卡

通常承認的熱之功當量 = 427 克米/卡

誤差 = 克米/卡

誤差百分數 =%

【選習】 使用焦耳摩擦機(Joule's frictional machine), 求熱之功當量, 結果比較精確。此項儀器的構造, 如圖 41 所示, 其主要部分係兩個銅製錐體彼此互相嵌合, 極為密切, 如圖 42, 內錐備盛水, 固定不動, 外錐連於軸上, 隨軸轉動, 軸則更由皮帶套在手車上, 軸的轉動數另有一在其下端之計數器 (counter) 讀出, 內錐的上面, 有一大圓盤, 用以防止內

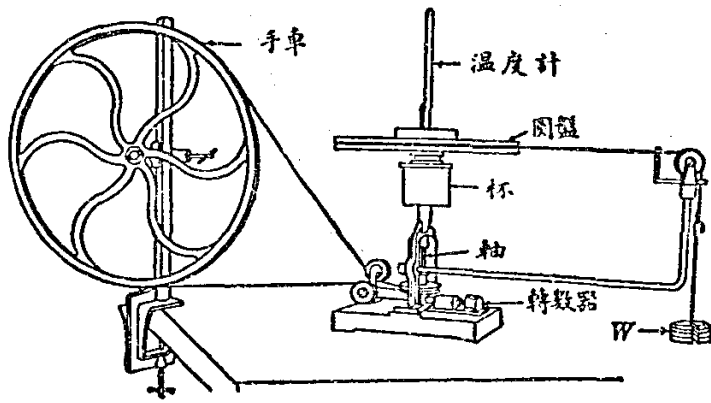


圖 41. 焦耳摩擦機。

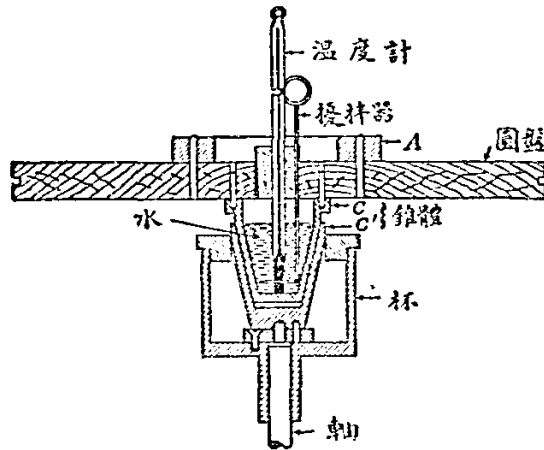


圖 42. 焦耳摩擦機的截面。

錐，避免轉動。盤周有槽，槽內套線一條，線的他端懸掛砝碼 W 經一固定滑輪垂下，如圖 41。此時對抗兩錐體間的摩擦作用而作的功，與假定外錐固定不動，內錐因 W 落下，所作的功相同。如命圓盤周圍的槽的半徑為 r ，砝碼落下時圓盤共轉 n 周，則此時所作的功應為 $W \times 2\pi r \times n$ 。一方面此項的功，並不能全數用於使內錐體所盛的水溫度升高，同時兩錐體以及其內附屬的攪動器 (stirrer)，也同樣的受到熱，假定此等錐體的材料比熱為 0.695，即可

將兩錐體及攪動器的水當量算出。若再將因輻射，傳導及對流等遺失的熱，省略不計，即可將所生的熱的卡數算出。

實際使用此器時，先將兩錐體及攪動器的全質量在天平上測出。其次盛水於內錐，使水面距錐的頂上約 1 釐米，並使水的溫度約在室內氣溫以下 10° ，將水的質量測出。然後裝入焦耳摩擦機的軸上。實驗生中一人，須全力一面注視溫度計，一面使攪動器在錐內的水中不停的攪動。另一人則用手轉動手車，轉動的速度雖不必均勻，但砝碼 W ，卻須單獨由摩擦力懸住。所以手車的轉動速度，必須恰足以將砝碼 W 舉起，支持砝碼 W 的線，始能與盤邊成為切線。

本實驗最好須使水的溫度變化，約達 10°C 。度左右，並使室內的氣溫，在其兩極端的中央。俟水溫適宜，然後讀出計數計和水的溫度，方開始轉動手車。至溫度升高約 8°C 。時，即停止手車。但攪動器的運動仍須繼續，直至溫度計上指示的溫度已達於最大值為止，將此最大值的溫度記出。再讀出計數計所指的數值，減去未轉前所讀得的數字，即得軸的轉

齒的全數。

實驗所得的結果，可照下列方式計算：

$$\text{水的質量} = M \text{ 克}$$

$$\text{兩錐體及攪動器的水當量} = w \text{ 克}$$

$$\text{溫度的升高} = t^{\circ}\text{C.}$$

則 發生的熱量 $H = (M+w)t$ 卡

又命 軸的轉數 = n

$$\text{盤的周邊} = 2\pi r \text{ 米}$$

$$\text{消耗於摩擦的功} = W \times 2\pi r \times n \text{ 克米}$$

故 每 1 卡的熱 = $\frac{W \times 2\pi r \times n}{(M+w)t}$ 克米的功。

報告時，可照下列次序，即

1. 兩錐體及攪動器共同的質量 = 克。
2. 兩錐體，攪動器連同水的質量 = 克。
3. 故水的質量 = 克。
4. 線上懸掛的砝碼質量 $W =$ 克。
5. 圓盤的半徑 $r =$ 米。

	第 一 次	第 二 次	第 三 次
室內空氣的溫度	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$
轉動前計數計的讀數	.....	.....	.....
轉動後計數計的讀數	.....	.....	.....
轉動前水的溫度	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$
水的最高溫度	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$	.....$^{\circ}\text{C.}$
由上式計算而得熱之功當量	.....克米/卡	.....克米/卡	.....克米/卡
平均熱之功當量 =	.....克米/卡		

問 題

1. 假使用鐵丸實驗，溫度的升高應較使用鉛丸時高些，還是低些？

[答]

2. 何以使用鉛丸實驗時，比較他種金屬適當？

[答]

3. 測熱之功當量不易得到準確結果,其難處何在?

【答】

4. 設有 1 升的水降落 50 米,求降落後水的溫度?

【答】

實 驗 19.

組別.....姓名.....

氣 柱 之 共 鳴

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 甲種第七

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 利用空氣柱的共鳴,測定音叉的頻率及波長。

[解釋] 音叉 (tuning fork) 發出的音,極其單純,每 1 秒間振動的次數,恆常不變,通稱之爲音叉的頻率 (frequency)。將振動中的音叉,放在空氣柱上,如空氣柱的長短適宜,音即加強 (reinforcement),這個現象,稱爲共鳴或共振 (resonance)。設想音叉的一叉股 (prong) 在振動中正向下方移動時 (圖 43),應有一列密波 (condensation wave) 由股發發出,向下傳播而去,直達於氣柱的底,然後折回。如氣柱長短適宜,當密波回到氣柱頂面時,恰巧遇着叉股也正向上方移動,兩方的運動,步調相同,故成爲加強的音。如命 l 表氣柱的長, λ 表音叉發出的音的波長,則適合這個條件的氣柱長爲

$$l = (2m - 1) \frac{\lambda}{4}$$

其中的 m 表任意的正整數,故若調整空氣柱的長度,使其接連兩次可發最大共振 (maximum resonance),即得下列之關係:

$$l_1 = (2m - 1) \frac{\lambda}{4}, \quad l_2 = \{2(m + 1) - 1\} \frac{\lambda}{4}$$

故

$$l_2 - l_1 = \frac{1}{2} \lambda.$$

一方面聲波在空氣中傳播的速度,隨溫度而異,據實驗得知 0°C . 時空氣中的聲波傳播速度 v 如下:

$$v = 331 \text{ 米/秒.}$$

每溫度昇高 1°C ., 速度增加 0.6 每秒米,故在 $t^\circ\text{C}$. 時的聲波速度 v_t 如下:

$$v_t = 331 + 0.6 t \text{ 米/秒.}$$

如命 n 表音叉的頻率,則

$$n = \frac{v_t}{\lambda}$$

故只須將音叉的波長 λ 及當時空氣中聲波速度 v_t 求得,即不難將音叉的頻率算出。

【儀器及材料】 列舉如下：

數量	名稱	編號
1	C 調音叉 (C tuning fork)	T8
1	G 調音叉 (G tuning fork)	T9
1	橡皮槌 (rubber hammer)	R9
2	橡皮圈 (rubber bands)	R7
	橡皮管 (rubber tube)	R10
1	夾子 (pinch clamp)	P6
1	玻璃長筒 (long glass vessel 附木塞及管 with cork and tube)	G13

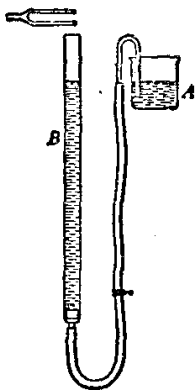


圖43. 音叉的波長(1).

【方法】 (1)照圖 43 所示方法,將水盛入長筒中,使筒 B 內的水面,可以任意昇降,到適宜程度,再用夾子夾住橡皮管,斷絕水流交通。

(2) 一人執 C 調音叉,即頻率等於 256 的音叉,用橡皮槌擊響後,速放在筒 B 上面,第二人則調整 B 內水面高度,求引起最大共鳴時,水面的最高位置,用橡皮圈標出此時的水面所在處。

(3) 照上法反覆實驗數遍取其平均位置。

(4) 照上法實驗,但令 B 內水面降低,求第二最大共鳴時水面的位置,同時用橡皮圈標出,並照樣實驗數遍取其平均位置。

(5) 照上法用 G 調音叉,即頻率等於 384 的音叉實驗。

【報告】 將上測各項結果,填入下列表格後,再照解釋中所列公式計算。

	C 調音叉	G 調音叉
兩橡皮圈距離 $l_2 - l_1$	.....釐米	.....釐米
波長 $\lambda = 2(l_2 - l_1)$	.....釐米	.....釐米
溫度 t	.....°C.	.....°C.
聲波速度 $v_s = 331 + 0.6t$	.....米/秒	.....米/秒
頻率 $n = \frac{v_s}{\lambda}$	.....	.....
音叉上標明的頻率	.....	.....
誤差	.....	.....
誤差的百分數%%

【選習】 (1) 將一玻璃筒插入水內,如圖 44 所示,持管上下調準氣柱長短,使其成爲能發最大共鳴的最短管長,不必再求第二最大共鳴,亦可求得音叉頻率。因此時的管長等於 $\frac{1}{4}\lambda$ 。但經種種實驗,知此時音波在管內往返所經過的實驗距離,與此略有差異,因爲聲波在管內側面,也可以反射,管口的空氣又驟然開放,與在管內情形不同,所以也要受到相

當的影響，須將空氣柱的直徑的 $\frac{1}{4}$ 加入空氣柱的長，爲之改正。故

$$(\text{實測氣柱長}) + \frac{1}{4}(\text{管徑}) = \frac{1}{4}\lambda$$

其餘計算與本實驗相同。

問 題

1. 用橡皮錘敲響音叉時，所用的力，對於音叉的振動，有沒有影響？

[答]

2. 使音叉的頻率增加，有沒有方法？假使有的話，是一種什麼方法？

[答]

3. C 調音叉和 G 調音叉的頻率不同，是什麼原因？

[答]

4. 兩音叉的音，如相差適爲八音度 (octave)，在上述實驗中，將生出何種結果？

[答]

5. 室內溫度爲 20°C ，頻率爲 384 的音叉的波長幾何？

[答]

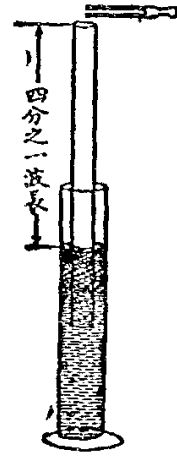


圖 44. 音叉的波長(2).

實 驗 20.

組別.....姓名.....

絃 之 振 動

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 乙種第六

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 求絃長及張力對於音調的關係。

[解釋] 樂器中如胡琴，鋼琴，小提琴等，都是利用絃 (string) 的振動發音的。絃為兩端張緊的線，其由獸類的腸製成的稱為腸膜絃 (cut gut string)，其由金屬製成的，稱為金屬絃 (metal string)。用弓 (bow) 在絃上拉過，或用指撥槌敲，均可使其振動發音。

使用樂器之前，必先調諧 (tuning) 他的音調，如用胡琴，小提琴時，都將上面捲絃的紐捲緊或放鬆，變更絃的張力，使其適宜。其次在奏弄時，則用手指按住絃上適宜的一點，變更其振動部分的絃長，即可發出隨心所欲的音。故絃樂器所發的音，由張力及絃長，可以為之決定。本實驗的目的，即在研究此兩者對於音調的關係。使用的儀器為絃音計 (sonometer) 其構造是一個空箱，或是一塊木板，上有活動的支柱，通稱為絃柱 (bridge)。絃即張於其上，一端固定，他端跨在滑輪上，下面用砝碼墜下。撥絃使其振動，即以絃柱與固定端為節點 (nodal point) 而成定波 (stationary waves) 振動。

[儀器及材料] 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	絃音計 (sonometer)	S5
1	絃柱 (bridge)	B12
1	滑車 (pulley)	P12
1	砝碼盤 (pan for weights)	P1
1	C 調音叉 (C tuning fork)	T8
1	C' 調音叉 (C' tuning fork)	T10
1	G 調音叉 (G tuning fork)	T9
	鋼琴絃 (steel piano wire)	S9
1	砝碼一組 (set of weights)	W2

[方法] I. 長度的關係。

(1) 將鋼琴絃的一端繫在絃音計 A 的固定端上，如圖 45，中間插入絃柱 b ，他端跨過滑輪 P 後，下懸砝碼盤，內加適宜砝碼，使絃張緊，並能發出 C 調音叉的同音 (unison) 爲度。

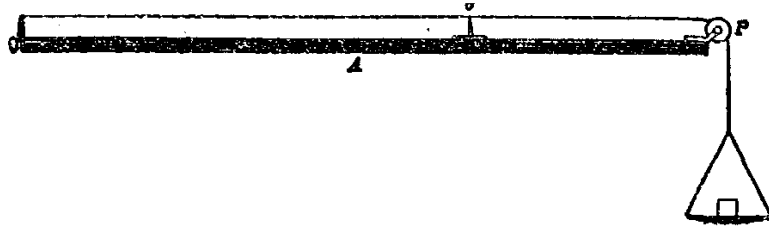


圖 45. 絃音計。

注意：辨別兩音是否爲正確同音，可利用拍音 (beat tone) 的現象。即是兩音的振動相差不遠時，由干涉 (interference) 的結果，成爲時強時弱，若斷若續的節拍聲音，即通常所謂的拍音。琴絃所發的音，要不是和 C 調音叉所發的音相近，決不會聽到拍音，所以只要聽到了拍音，就知道他們快要成爲同音了，此刻須將絃柱 b 略爲移動，俾拍音的節拍逐漸延長，最後到得完全消滅，即成爲同音。

假如直接用耳辨別不到，則可剪一小紙條，折成一倒 V 字形式，跨在鋼琴絃的振動部分的正中央，如絃所發的音和 C 調音叉的音，將近成爲同音，則將音叉的柄放在絃音計的板上，一與板接觸，即由共振作用，使鋼琴絃發生振動，可以看見跨在弦上的紙條，飛動不已。若兩者已成爲完全同音，絃的振動更形猛烈，音叉的柄一與絃音計板接觸，絃上所跨的紙條立即飛脫。

既得同音之後，在絃音計上測定此刻絃柱 b 與固定端間的距離。

(2) 移動絃柱 b ，使與固定端更爲接近，直至絃發的音能與 C 調音叉成爲同音爲度。此音叉 C 所發的音，適爲 C 調音叉所發的音的八音度 (octave)。鑑別的方法同前，測定此刻 b 與固定一端間的距離。

(3) 移動 b ，使絃與第三音叉 G 成爲同音，測定 b 與固定端間的距離。

(4) 由上面三次實驗所得的距離，和三個音叉上標明的頻率，判斷張力一定不變時，絃的振動和絃的長度有什麼樣的關係。

II. 張力的關係。

(5) 在絃音計上並排張同樣的兩條鋼琴絃，在同樣的地位上加絃柱 b ，使其與絃的固定端約作 60 釐米的距離。用同樣的砝碼將兩絃曳緊，即是使兩絃上作用的張力，彼此相等，緊張的程度在使兩絃所發的音，雖甚低而頗清晰，在其中一絃（假定爲第一絃）所繫的

砝碼盤中增加適宜的砝碼，使其與第二弦成爲同音，求此時第一絃所受的張力爲若干。

(6) 移動第一絃的柱，使其振動部分減半，俾成爲八音度。然後再在他第二絃的砝碼盤中增加砝碼，使兩者又成爲同音，求此時兩絃所懸的重量各若干，兩者的比幾何？

(7) 令第一絃的振動部分的長度，僅成爲原有的三分之二，張力仍舊不變，調準第二絃的重量，使再成爲同音，測定第二絃的重量。

(8) 從(6)推得的關係，計算(7)應得的重量，與實驗測得的結果比較，是否能夠一致。

【報告】 將上面各次實驗及計算，填入下列表格中。

I. 長度的關係。

(1) C 調絃的長度 =釐米

(2) C' 調絃的長度 =釐米

(3) G 調絃的長度 =釐米

從上面實驗的結果，斷定絃的振動和絃的長度的關係如下：

(4) $\left\{ \begin{array}{l} \text{算出 } C' \text{ 調絃應有的長度} \\ \text{算出 } G \text{ 調絃應有的長度} \end{array} \right. \begin{array}{l} = \dots\dots\dots \text{釐米} \\ = \dots\dots\dots \text{釐米} \end{array}$

II. 張力的關係。

(5) 第一絃所懸的重量 =克

(6) $\left\{ \begin{array}{l} \text{第二絃所懸的重量} \\ \text{(第二絃所懸重量) } \div \text{ (第一絃所懸重量)} \end{array} \right. \begin{array}{l} = \dots\dots\dots \text{克} \\ = \dots\dots\dots \end{array}$

(7) 實測所得的重量 =克

(8) 計算推知的重量 =克

(9) 誤差 =克

誤差的百分數 =%

【選習】 求絃的直徑對於音調的關係，使用直徑比等於 1:2 的兩條同物質的絃，用螺旋測徑器，將兩者的直徑精密測出，將第一絃的張力適宜調準，俾與 C 調音又同音。其次使第二絃亦受到同一的張力，移動第二絃下面的絃柱，使與第一絃同音。測定兩絃振動部分的長度，推算第二絃要是與第一絃同一長度時，其頻率如何？又長度與張力均一定不變時，頻率與絃的直徑有怎麼的關係？

問 題

1. 通常對於胡琴或小提琴校音時，用的是什麼方法？

【答】

2. 製造鋼琴的人，對於高音應該用長絃或短絃？

【答】

3. 要昇高小提琴的音，以何法為最快？

【答】

4. 修理鋼琴的人用什麼方法校準其音？

【答】

5. 鋼琴或小提琴上的低音的絃為甚麼要用細線纏繞於其上？

【答】

實 驗 21.

組別.....姓名.....

球 面 鏡

高中物理學生實驗設備標準 丙種第五

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 求球面鏡的焦距。

【解釋】 用球面的一部分來作反射表面的，稱為球面鏡(spherical mirror)球面鏡中，用球的裏面作反射面時，稱為凹鏡(concave mirror)，用球的表面作反射面時，稱為凸鏡(convex mirror)，球的中心稱為曲率中心(center of curvature)，由中心引至鏡的邊緣所夾的角度，稱為孔徑(aperture)，鏡面的中心點稱為頂點(pole 或 vertex)，連接頂點和球心的直線，稱為主軸(principal axis)，實物與鏡面的距離，通常用 u 來代表；經凹鏡反射後造成的像與鏡面的距離，通常用 v 來代表；曲率半徑用 r 來代表，此三者之間，有下列的關係

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}.$$

如將物體放在無窮遠，則此時的 u 成為 ∞ ，由上式得知 $\frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ ，即反射線集合處與鏡面的距離，恰等於曲率半徑的一半，這一點，稱為主焦點(principal focus)，其與鏡面間的距離 f ，稱為焦距(focal length)，故上式成為

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

上式雖對於凹鏡求得，但對於凸鏡，亦可仿用，平行光線經由凸鏡反射後，愈遠雖愈行散開，不再集合，但如向鏡後延長之，亦集於一點，因光線實際並不經過此點，故通稱之為虛焦點(virtual focus)。

通常對於凹鏡之焦距 f ，概用正號，對於凸鏡之焦距 f ，概用負號，實物與鏡面之距離 u 概用正號，如此，使用上式求得之 v ，如為正數，則表實像(real image)，如為負數，即表虛像(virtual image)。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	支鏡架子附夾子(holder for mirror with clamp)	H6
1	支燭架子附夾子(holder for candle with clamp)	H4

1	凹鏡	(concave mirror)	C18
1	凸鏡	(convex mirror)	
1	米尺	(meter stick)	M8
1	燭	(candle)	C2
	針	(pin)	P5
1	架針木塊	(wooden block for pin)	W6
1	平面鏡	(plane mirror)	

[方法] I. 凹鏡的焦距

(1) 將凹鏡裝在架上，使日光投射於凹鏡，在鏡前立一紙條，俾太陽的像生於紙條上，測定紙條與鏡面間的距離，此距離即凹鏡的焦距 f 。

(2) 移轉凹鏡使由遠處房屋發出的光照及其上，仍用紙條定出凹鏡所造房屋的像的位置，照上法測定焦距 f 。

(3) 在鏡前立一燭，使其與鏡面間的距離約為焦距的一倍半，並在紙屏上造成燭的

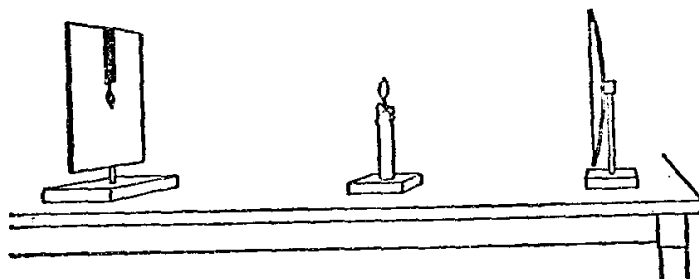


圖 46. 凹鏡的焦距。

鮮明的像，如圖 46 所示，測定燭與鏡面的距離 u 和紙屏與鏡面的距離 v ，然後從公式

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

將焦距 f 算出。

(4) 在木塊上插一針，令針頭正對鏡的頂點，針與鏡面的距離約等於焦距的二倍，此時若將眼放在鏡前，較針距鏡更遠 8 釐米或 10 釐米之譜，即見凹鏡中映出的針像，頭在下方木塊轉在上方，適宜移動針的位置或凹鏡的位置，俾針和針的像，頭頭相對，成為同一直線為止，然後令眼左右移動，細察針與像有無相對運動，如其有之，則表示兩者距眼，遠近不同，須適宜調準針的位置，直至眼雖左右移動，針與像仍無相對移動為止，此時像的位置，也就是針自身所在的位置，故此時的針應在凹鏡的曲率中心，測出此時針與凹鏡的距離，即得凹鏡的曲率半徑 r ，折半即得凹鏡的焦距 f 。

上述四種方法，各各實驗三遍，然後取平均值作所得的結果。

II. 凸鏡的焦距:

(6) 將凹鏡從架上撤下,換用凸鏡,仍照(4)的方法,將抽在木塊上的短針,放在凸鏡前,並令針尖正對鏡面的頂點,如圖 47. 另在鏡後放一長針,從前面窺短針的像,應生在鏡後. 將長針或凸鏡適宜移前數級,俾鏡中所見之短針之像,與從鏡上所見長針的本身,恰相重合為止. 並且眼雖左右移動,長針本身與短針之像,亦無相對運動,測出短針與鏡面的距離 u , 及長針與鏡面的距離 v . 從公式計算凸鏡的焦距.

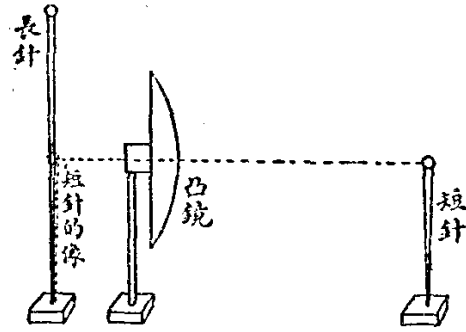


圖 47.

(6) 變更短針與凸鏡的距離 u , 照樣實驗一共三次, 取其平均.

(7) 如圖 48 所示, 在凸鏡與針之間, 加放一平面鏡 M , 使平面鏡和凸鏡的鏡面, 同向着針; 平面鏡的頂邊恰好和凸鏡的頂點, 在同一水平線上. 人向鏡中望去, 可以看見兩鏡中各有一個針的像. 移動 M 至適宜的位置, 可使兩像互相重合. 並且眼雖左右移動, 兩像之間亦無相對運動, 以防視差. 測出針與凸鏡的距離 u 及針與平面鏡 M 的距離 v . 從公式計算凸鏡的焦距.

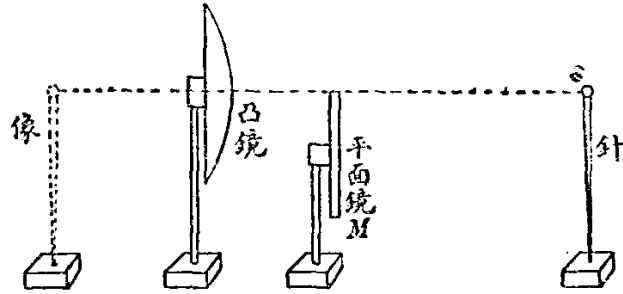


圖 48.

(8) 變更短針與凸鏡的距離, 照樣實驗一共三次, 取其平均.

(9) 將方法(6)與(8)的結果, 再平均之, 作凸鏡的焦距.

[報告] 將所得的結果, 分列填入下列兩表格中.

I. 凹鏡的報告:

	(1) 日光法 求得的焦距	(2) 遠景法 求得的焦距	(3) 用 燭			(4) 用 針 求得的焦距
			燭的距離 u	像的距離 v	焦 距	
第一次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第二次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第三次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
平均	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
四種不同方法求得的結果的總平均					$f = \dots\dots\dots$ 釐米	

II. 凸鏡的報告：

	(5), (6) 兩針法求焦距			(7), (8) 加用平面鏡求焦距		
	短針的距離 u	長針的距離 v	焦 距	針與凸鏡的距離 u	針與平面鏡的距離 v	焦 距
第一次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第二次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第三次	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
平 均	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....釐米
兩種不同方法求得的結果的穩平均						$f = \dots\dots\dots$ 釐米

問 題

1. 站在一面凸柱面鏡(convex cylindrical mirror)的前面,映出來的面貌如何?

[答]

2. 用幾何學的方法,須如何方能決定一個柱面鏡的曲率中心?

[答]

3. 修面要用一種什麼表面的鏡纔好? 何以要如此?

[答]

4. 在凸球面鏡中映出的像,和在凸柱面鏡中映出的像,有那裏不同?

[答]

5. 汽車上用的燈,後面概有一面凹鏡,何以不用球面而用拋物面?

[答]

6. 試用作圖法表示凹鏡造成的像。

[答]

7. 設凹鏡的焦距為 1 米,在鏡前 3 米遠的物體,經此凹鏡造成的像應在何處?

[答]

8. 設凸鏡的焦距為 1 米,在鏡前 3 米遠的物體,經此凸鏡造成的像,應在何處?

[答]

實 驗 22.

組別.....姓名.....

光 度 計*

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丁種第八

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

〔目的〕 求光之強度與距離之關係，及測定電燈的燭光。

〔解釋〕 夜晚上市街和房屋內要有適宜的光亮，不是一個簡單的問題，又要光亮充足，又要不帶色彩，又要不炫耀人目，又要花費不大，都是緊要的條件。要滿足這些條件，第一件值得考慮的，是燈的本身的發光強度 (luminous intensity)。用一個標準光源來作比較。通常採用的標準光源，是英國標準蠟燭 (English standard candle)。這種蠟燭在水平方向上發出來的一柱光線的發光強度，定為一燭光 (candle power)。

據經驗得知受光照及的物體，距離光源愈遠，愈覺黑暗不明，此項明暗程度，通稱為照度 (intensity of illumination 或簡寫作 illumination)。與 1 標準燭光相隔 1 米遠處受到的照度，稱為 1 米燭光 (meter-candle)。

通常比較兩光源的發光強度，係使此兩光源分別照及同一之物體上，而比較其照度。這樣的儀器，稱為光度計 (photometer)。光度計有種種的形狀和名稱，實驗上使用的最簡便的光度計，莫如本生光度計 (Bunsen's photometer)。使用一個紙屏，中央有一油斑，成為半透明，故又有油斑光度計 (grease-spot photometer) 的名稱。紙屏立在兩種光源之間，使一邊各受一光源照及，移動紙屏，使兩邊的明亮程度相等，油斑消滅不可得見。由此時兩光源與屏之距離即可推知兩光源的發光強度。

按一物體所受到的照度，是和此物體與光源間的距離的平方成反比例的。所以用一個 16 燭光的電燈，照 1 米遠的物體，物體所受到的照度當為 16 米燭光。假如將此物體再移遠 1 米，即與電燈相隔共有 2 米之遠，則其所受到的照度，就被成 $\frac{16}{4}$ 即 4 米燭光了。概括起來說其關係應成為

$$\text{照度(米燭光)} = \frac{\text{光源強度(燭光)}}{\text{距離之平方(米)}}$$

所以用油斑光度計比較兩種光源強度時，如命 X 表某一光源的強度 (未知)，S 表另一光源的強度 (已知)，A 及 B 表兩光源各對於紙屏 D 的距離，如圖 49 所示，應有下列的關係，即

$$\frac{X}{A^2} = \frac{S}{B^2} \quad \text{或} \quad \frac{X}{S} = \frac{A^2}{B^2}$$

爲欲比較精確，特將紙屏 D 裝在一個盒內，如圖 50 所示。在盒的左右各開一孔，以容 A 及 B 的光射入，觀測者從正面 E 處注目。在屏的兩側各立一平面鏡如 m_1, m_2 ，俾紙屏兩側的明暗，可以同時看出。

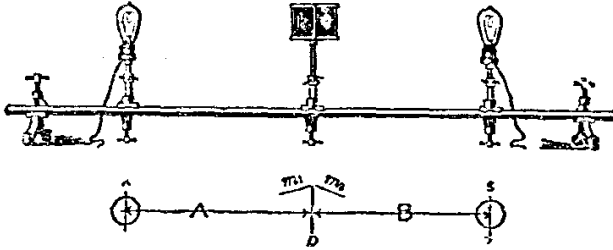


圖 49. 本生光度計。

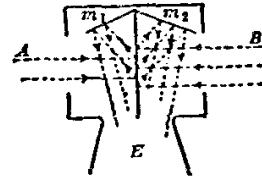


圖 50. 明暗比較法。

【儀器及材料】 列舉如下：

數量	名稱	編號
1	光度計 (photometer)	P4
1	米尺 (meter stick)	M8
2	米尺架子 (supports for meter stick)	S12
5	燭 (candles)	C2
2	支燭架子附夾子 (holder for candle with clamp)	H4

【方法】 (1) 照圖 51 所示的樣式，在 A 處燭架上燃燭一隻，在 B 處燭架上亦燃燭一隻，令各燭的火燄均長 3 釐米，將光度計 C 放在兩燭架之間，適宜移動，俾兩面的明暗相等，然後測定 AC 及 BC 的長度。

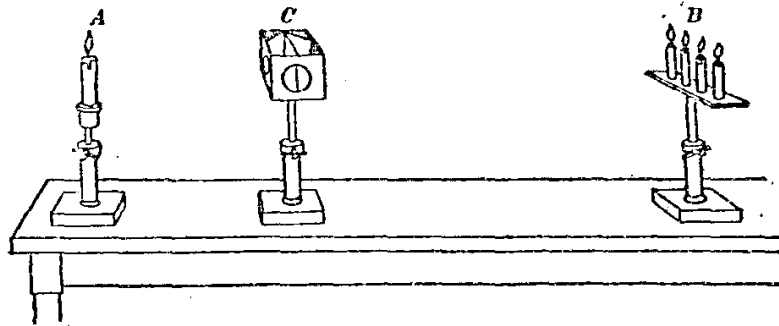


圖 51. 光度計用法。

(2) 在 B 處共燃兩燭， A 處仍燃一燭，令火燄之長相等，再移動光度計 C ，至兩方明亮相等爲止，測定此時 AC 及 BC 的長度。

- (3) 在 B 處燃 3 燭, 同樣實驗一遍。
- (4) 在 B 處燃 4 燭, 同樣實驗一遍。
- (5) 求兩光源的燭光的比, 及兩光源與光度計距離的平方的比, 由此求光度的定律。
- (6) 將 B 處燭燭撤去, 換用煤氣燈或電燈, 利用(5)的結果, 求燈的發光強度。

【報告】 將上面所得的結果, 按照下列表格填入:

方法	A 處燭數	B 處燭數	AC	BC	$\frac{A \text{ 的燭光}}{B \text{ 的燭光}}$	$\frac{AC^2}{BC^2}$
(1)	1	1	.....釐米	.....釐米	.....	.....
(2)	1	2	.....釐米	.....釐米	.....	.....
(3)	1	3	.....釐米	.....釐米	.....	.....
(4)	1	4	.....釐米	.....釐米	.....	.....

(5) 的結果.....

(6) A 的燭光 = 1, $AC = \dots\dots$ 釐米, $BC = \dots\dots$ 釐米

據(5)的結果, $\therefore B$ 的燭光 =

【選習】 如備有手提光度計, 即英尺燭光計 (foot-candle meter); 如圖 52 所示; 其上標度為英尺燭光 (foot-candle), 可用以測定夜間寫字檯上所受到的照度, 單位即為英尺燭光。又可在電燈直下一點測定其照度, 同時測定此一點與電燈的距離, 計算電燈在此一方向上的燭光, 同樣又可在汽車頭燈 (head light) 直前, 測定其燭光。

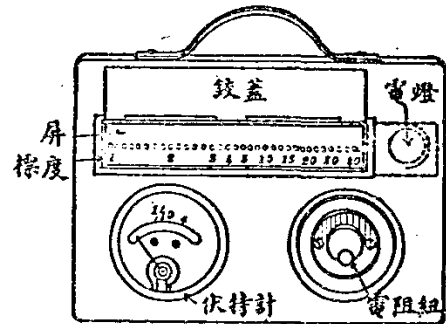


圖 52. 英尺燭光計。

問 題

1. 在商店中或工廠中, 照度為何如是重要?

[答]

2. 煤氣燈和電燈的用費, 如何比較?

[答]

3. 鎢絲電燈的效率, 何以會比碳絲電燈的好?

[答]

4. 設 25 瓦特的鎢絲電燈的效率為每瓦特 1.15 燭光, (a) 求此燈泡的燭光; (b) 假定每 1 仟瓦小時的電費為 1 角, 問此燈點 1000 小時, 應付費若干?

[答] (a)

(b)

實 驗 23.

組別.....姓名.....

水及玻璃之折射率

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 甲種第八

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 在紙上繪出光在玻璃內或水內通過的路徑，由此測定其折射率。

[解釋] 光在組織均勻的介質 (medium) 中傳播時，是沿着一條直線前進，決不變更方向，但若遇着組織不同的第二種介質，那就得在兩介質的交界處，改變方向，然後進入第二介質中。既已進入第二介質以後，組織又成爲一律，故其新方向亦一定不變，這種現象稱爲光之折射 (refraction of light)。在第一介質內的光線，稱爲入射線 (incident ray)，在第二介質中的光線，稱爲折射線 (refracted ray)。兩光線和境界面相交於一點，在此點引境界面的法線。入射線和此法線間的角度，稱爲入射角 (angle of incidence)，折射線和此法線間的角度，稱爲折射角 (angle of refraction)。折射時的關係，爲 (1) 折射線與入射線各在法線的一邊，且與法線在同一平面內；(2) 入射角的正弦對於折射角的正弦的比，等於光波在第一介質內傳播的速度，對於其在第二介質內傳播的速度的比，此比是一個常數，通稱爲光由第一介質進入第二介質時的折射率 (index of refraction)。

通常用 i 表入射角， r 表折射角， v_1 表光波在第一介質內傳播的速度， v_2 表其在第二介質內的速度， μ_2 表光由第一介質進入第二介質時的折射率，則上述的關係成爲

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \mu_2$$

[儀器及材料] 列表如下：

數 量	名 稱	編 號
1	厚玻璃磚 (glass block)	G8
1	分度規 (protractor)	P11
1	圓規 (compass)	C15
1	米尺 (meter stick)	M8
1	稜鏡 (prism)	P10
1	針 (pin)	P5
1	矩形或三角形玻璃瓶 (rectangular or triangular jar)	

【方法】 (1) 在紙上畫一直線 AC , 如圖 53 所示, 令稜鏡 mnO 的一邊, 和 AC 完全相重, 或用玻璃磚來代替稜鏡亦可, 如圖 54 所示. 命 O 點表稜鏡頂點, s 表由 O 點引至直線 AC 之垂足, 在 s 兩旁任取兩點 q, t , 使 $qs = st$. 在 O, q, t 三點上, 各立一針.

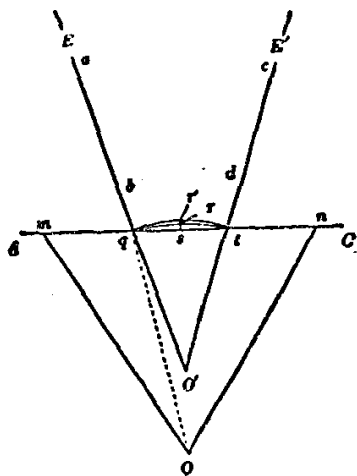


圖 53. 稜鏡的折射

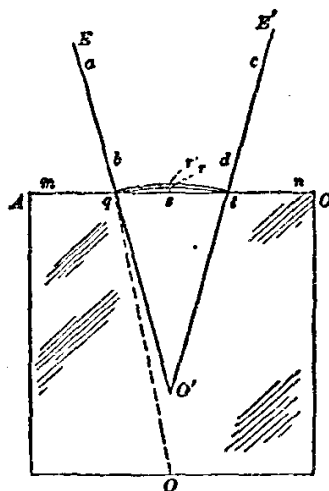


圖 54. 玻璃磚的折射

(2) 將眼放低, 幾與紙面成同一平面, 從遠處 E 透過玻璃, 觀察 O 處所立的針. 令眼左右移動, 俾在 q 處的針, 和透過玻璃出現的 O 針的像 O' , 以及眼睛的位置 E , 三者恰在一直線 ab 上. 在此時眼睛的位置 E 處, 再立一針, 同樣對於 t 點亦求得 E' 點, 立一針, 與 t 及 O' 同在一直線 cd 上.

(3) 撤去稜鏡及針, 用直線連結 Eq 及 $E't$, 延長之得交點 O' . 以 O 點為圓心, 以 $Oq = Ot$ 為半徑作圓弧 qrt ; 以 O' 點為圓心, 以 $O'q = O't$ 為半徑, 作圓弧 $q'r't$.

(4) 測定 Oq 及 $O'q$ 的長度, 此兩者的比, 即表光在空氣中的速度對於其在玻璃中的速度的比, 故即所求的折射率 μ .

(5) 在 s 點兩傍另擇一對 q, t , 仍使 $qs = st$, 然後按照 (2), (3), (4) 的方法, 實驗一遍.

(6) 用矩形瓶或三角瓶盛水, 代替玻璃, 照前實驗.

【報告】 將上面測得的結果, 照下列表格填寫, 算出玻璃及水的折射率, 並在所附空白紙上, 將實驗所作的圖繪下, 以作報告:

	玻 璃			水		
	Oq	$O'q$	折 射 率 μ	Oq	$O'q$	折 射 率
第 一 次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....
第 二 次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....
平均玻璃的折射率=.....			平均水的折射率=.....			

[107]

【選習】 將玻璃磚放在紙上，用鉛筆沿其一邊畫一直線，如圖 55 中的 DE ，在他一邊

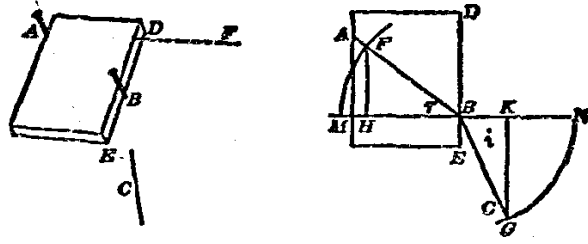


圖 55. 折射率又一求法。

A 處立一針，通常從 DE 一邊，透過玻璃，窺見 A 處的針的下半段，和在空氣中望見的 A 處的針的上半段，不相連續。只有從 DF 方向上看去，始連續成一直線。此 FD 的方向，恰與 DE 成垂直。欲知光線在玻璃內及透出玻璃後進行的方向如何，可在 DE 的邊上，插第二針 B ，如圖中所示。令眼移動，至 A 針的像和 B 針恰好相重，並用米尺的一邊比準這個方向。即是使 A 的像和 B ，都在米尺的同一邊上。然後用鉛筆將此邊畫下，如 C 。撤去玻璃，連結 AB ，表光在玻璃內透過的方向，再延長 C 至 B 。此 BC 即表光線透出玻璃後的方向，在 B 點引 MN 與 DE 垂直，即成法線。以 B 為圓心，以適宜長度 BG 為半徑畫圓周，與 BC 相交於 G ，與 BA 相交於 F 。從 G 及 F 引 MN 的垂線，得 GK 及 FH 。故

$$\sin i = \frac{GK}{BG}, \quad \sin r = \frac{FH}{BF},$$

但 $BF = BG$,

故
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{GK}{FH}.$$

故只須測定 GK 及 FH 的長度，即可推算折射率。

再將 A 處的針移到 A' 點上，又可做一次實驗，以便取其平均值。

又可用分度規將 i, r 兩角測出，檢卷末所附的三角函數表，求得其正弦值，再計算折射率。

用稜鏡實驗時，如圖 56 所示，在任意兩點 AB 各插一針，從他一邊 EG ，沿 CD 方向望去，得見 AB 兩針恰好相重。撤去稜鏡，連結 BC ，表在玻璃中的光線方向。在 B, C 兩點作玻璃面的法線。由此可求向稜鏡投射的光線方向，和透過光線的方向間的關係。

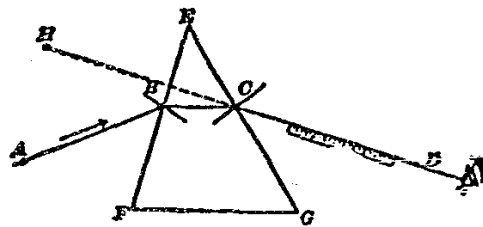


圖 56. 用稜鏡實驗的又一法

問 題

1. 如光在空氣中的速度為每秒 186,000 英里,求在玻璃中及在水中的速度,

[答]

2. 使用的玻璃磚或稜鏡的厚薄大小,及矩形瓶的各邊的厚薄和折射率有沒有影響?

[答]

3. 要如何方能使折射角大於入射角?

[答]

4. 光線斜向透過玻璃窗時,發生什麼效應?

[答]

5. 從空氣進入水的折射率等於 1.33,是說水較空氣的折射程度高些還是低些? 試明其故。

[答]

6. 光線從水中進入空氣,折射角等於 90° ,此時的入射角稱為臨界角 (critical angle).求此時的臨界角(用作圖法及從正弦表計算)。

[答]

實 驗 24.

組別.....姓名.....

透 鏡

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 乙種第七

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 求凸透鏡與凹透鏡之焦距。

【解釋】 將玻璃片的兩面中的一面，或兩面同樣磨成球面的一部分時，稱為透鏡 (lens)。中央部分較厚的，稱為凸透鏡(convex lens)。邊緣部分較厚的，稱為凹透鏡(concave lens)。連結兩球面中心的直線，稱為透鏡軸線(axis of lens)。如構成透鏡的物質的折射率較外面介質的折射率大，則光線經凸透鏡折射後，有會聚的性質。經凹透鏡折射後有發散的性質，所以凸透鏡又稱為會聚透鏡(converging lens)，凹透鏡又稱為發散透鏡(diverging lens)。平行於軸線的光線經凸透鏡折射後，全部會聚於一點，稱為透鏡的主焦點(principal focus)。其與透鏡間的距離稱為透鏡的焦距(focal length)，通常以 f 表之。如命 u 表實物在凸透鏡前的距離， v 表像與透鏡間的距離，則有下列關係：

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

上式不僅對於凸透鏡為然，即對於凹透鏡，亦可適用。唯對於各量之正負號，須慎重區別而已。凡實物與透鏡之距離 u ，概取正號，與在球面鏡時相同。凸透鏡之焦距 f ，恆取正號，凹透鏡之焦距 f ，恆取負號。像與透鏡之距離 v ，如為正數，則表實像；如為負數，則表虛像。

設將兩透鏡併合一處使用，即成一聯合透鏡。如命 f_1 、 f_2 表兩透鏡之焦距， F 表聯合透鏡之焦距，則有下列之關係：

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

又命 S 表實物的長度， S_1 表像的長度，則有下列的關係：

$$\frac{S}{S_1} = \frac{u}{v}$$

即像與實物的大小的比，等於兩者對於透鏡的距離的比。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	網塊 (wire netting)	W4

1	木塊	(wooden block)	W6
1	紙尺	(paper scale)	P2
1	平面鏡	(plane mirror)	P7
	針	(pin)	P5
	紙板	(board paper)	
1	凸透鏡	(convex lens, 焦距 15 釐米)	C24
1	凹透鏡	(concave lens, 焦距 30 釐米)	
1	米尺	(meter stick)	M8
1	燈	(lamp)	L1
1	支鏡架子附夾子	(holder for lens with clamp)	H6

[方法] I. 凸透鏡之焦距.

(1) 將各儀器裝置如圖 57 所示的樣式, O 為網塊, L 為凸透鏡, B 為木塊. 在木塊表面上貼紙尺一小條, 在 O 的背後點燈或燃燭, 適宜移動 B 或 L , 俾網像生於木塊 B 的紙條上. 測定此時由 O 至透鏡 L 中點間的距離 u , 及由 L 至 B 的距離 v .

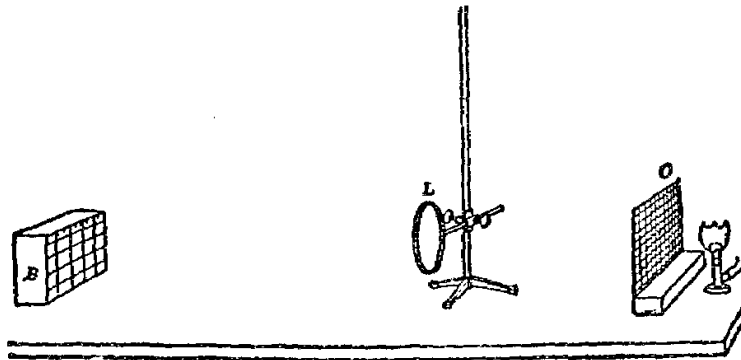


圖 57. 透鏡的焦點.

(2) 就 B 上的紙尺測出網像 10 格(或 20 格)的長度, S_1 為若干毫米. 再在 O 上用米尺測定其實在 10 格(或 20 格)的長度 S 為若干毫米.

(3) 照上述方法, 任意變更 u , 使其成為 30 釐米, 40 釐米, 50 釐米, 60 釐米, 實驗四次. 從公式

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

算出透鏡的焦距 f , 並算出 $\frac{u}{v}$ 和 $\frac{S}{S_1}$.

(4) 將透鏡轉向太陽, 撤去 O , 移動 B , 使太陽在 B 上造成的像縮成極小的一點. 測

定此時由透鏡至 B 的距離，是即透鏡的焦距。

(5) 如當日無太陽，則照上法對於遠景，如遠處房屋之類作實驗，求焦距。

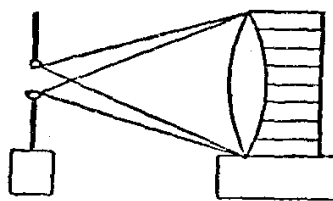


圖 58. 焦距

(6) 在透鏡後方立一平面鏡，前方放一木塊，上插一針，如圖 58. 令針端正對透鏡的中心點。移動木塊使針的像和針本身，端與端相接，雖眼向左右移動，亦不見針與

像間有任何相對移動。此時針的像和針本身應在同一位置，測定針端與透鏡中心點間的距離，即得焦距 f 。

II. 凹透鏡之焦距。

(7) 將凹透鏡 L 垂直嵌入一塊硬紙板中，使其一半在紙板上，一半在紙板下。通過透鏡中心在紙板上畫一直線與透鏡垂直，如圖 59 中之 AB ，則 AB 即表透鏡之軸線。在透鏡

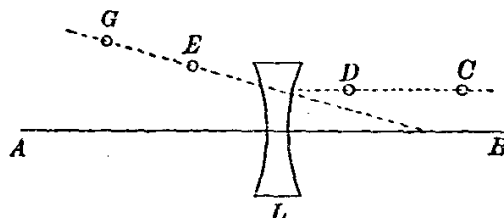


圖 59.

一邊，立兩針 C, D ，使連結 C 與 D 之直線，與 AB 平行。從透鏡之他一邊，隔透鏡窺望 C 與 D ，移動眼之位置，俾眼中所見 C 與 D 之像，一前一後，彼此相重。再在眼與透鏡之間，插 E 與 G 兩針，俾眼中所見四針均在同一直線上。然後用直線連結

E 與 G ，延長後與 AB 相交於 F 。測定 F 與透鏡 L 之距離，即得凹透鏡之焦距。

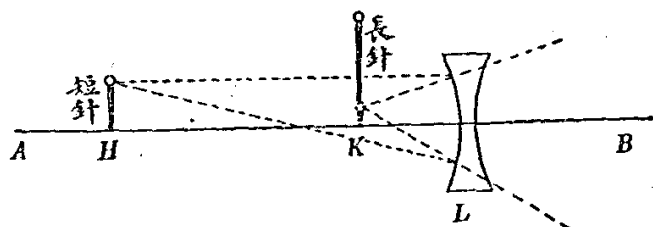


圖 60.

(8) 在 (7) 所作之凹透鏡軸線 AB 上任意一點 H ，如圖 60，立一短針，眼從透鏡之他一邊，隔透鏡窺視短針之像。在像結成之處插一長針 K ，俾眼雖左右移動，而短針之像與長

針 K 之間，並無相對運動。測定短針 H 至 L 之距離 u ，及長針 K 至 L 之距離 v 。

從透鏡之公式 $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ 算出凹透鏡之焦距。此時按照解釋中所述之規定，公式應改作

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = -\frac{1}{f} \quad \text{即} \quad \frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

則 u, v, f 三量，均可使用正數矣。並變更 u 之數值，共實驗四次。

(9) 將凸透鏡 L_2 與凹透鏡 L_1 聯合使用，造成一聯合透鏡，其結果與一凸透鏡之

效應相同。照方法 (6) 加一平面像 M 測定此聯合透鏡之焦距 F , 如圖 61. 然後在公式 $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ 中代入 F 及凸透鏡之焦距 f_1 (用報告(3)的結果), 計算凹透鏡之焦距 f_2 .

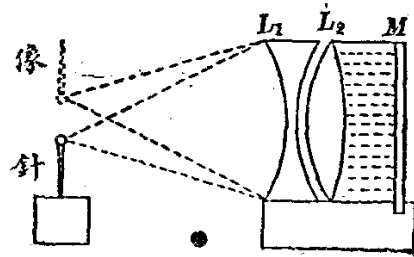


圖 61.

注意 此時 F 及 f_1 均為凸透鏡, 應取正號, f_2 為凹透鏡, 應取負數.

[報告] 將上得結果, 照下列表格填入;

I. 凸透鏡的實驗.

	u	v	$\frac{1}{u} + \frac{1}{v}$	f	S	S_1	$\frac{u}{v}$	$\frac{S}{S_1}$
第一次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....	.....
第二次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....	.....
第三次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....	.....
第四次	.....釐米	.....釐米	.....	.....釐米	.....釐米	.....釐米	.....	.....

故照方法 (3) 求得的平均 $f = \dots\dots$ 釐米

照方法 (4) 求得的 $f = \dots\dots$ 釐米

照方法 (5) 求得的 $f = \dots\dots$ 釐米

照方法 (6) 求得的 $f = \dots\dots$ 釐米

II. 凹透鏡的實驗

照方法 (7) 求得的凹透鏡的焦距 $f = \dots\dots$ 釐米

	$u=HL$	$v=KL$	從 $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ 算出的 f
第一次	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第二次	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第三次	.....釐米	.....釐米	.....釐米
第四次	.....釐米	.....釐米	.....釐米

故照方法 (8) 求得的平均 $f = \dots\dots$ 釐米

照方法 (9) 求得的 $f = \dots\dots$ 釐米

[選習] 試研究照相機的構造, 使用何種透鏡? 是固定焦點的 (fixed-focus), 是直線的 (rectilinear), 還是去像散的 (anastigmatic) 透鏡? 假使是由透鏡組 (combination lens) 造成的, 那就將前面的透鏡撤去後, 使其能照一張畫片, 此時照得的相能否各點都很鮮明? 再將先前撤去的前面的透鏡加上, 再照一次, 研究用兩重透鏡的優點在於何處? 何以要用一種光闌 (diaphragm), 可以開大小種種不同的孔? 照相機要放到怎樣的遠近, 纔能得到

明瞭的像?什麼時候應當將孔口關閉?試用照相機去照一相,並將照相機的名稱,透鏡的焦距,使用的光闌,露光的時間,日期,光線明暗,使用的照相片名稱等項,一一記明。連同照得的相片,貼入實驗簿內。

問 題

1. 試說明手箱形的照相機,何以不須配焦點?

[答]

2. 若在凸透鏡的主焦點上燃一電弧,透過的光應成爲發散,平行,或會聚中的那一種?何以如此?

[答]

3. 欲使像與透鏡的距離,等於實物在那一邊與透鏡間的距離,須將實物放在何處?

[答]

4. 實物長 2 英尺距透鏡 4 英尺,透鏡的焦距爲 4 英寸,求像在何處?像長若干?

[答]

5. 試繪一圖表示用凸透鏡如何能將平行光線會聚到焦點上去。

[答]

6. 試繪一圖表示用凸透鏡如何能將不平行的光線會聚到一點上去。

[答]

7. 實物在凸透鏡前 10 釐米,像在透鏡後 40 釐米,求透鏡的焦距。

[答]

實 驗 25.

望 遠 鏡

高中物理學生實驗設備標準 丙種第六

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 用兩透鏡造成一望遠鏡，測定其放大率。

【解釋】 將遠處物體造成放大的像以供觀察的儀器，通稱為望遠鏡(telescope)。最簡單的是天文望遠鏡 (astronomical telescope)，由兩個凸透鏡結合而成，一為物鏡，一為目鏡，如圖 62 所示。物鏡的焦距恆較目鏡的焦距為長。兩鏡裝在圓筒的各一端，圓筒的長可伸可縮，如觀極遠的物體，如天體之類，則使筒縮短；如觀較近的物體，則使筒伸長。在此種望遠鏡中所見的像，概為倒像，故對於地上物體，不甚相宜。如將目鏡改用一凹透鏡，即可矯正，使其成為正立的像，這就是伽利略望遠鏡(Galilean telescope)。

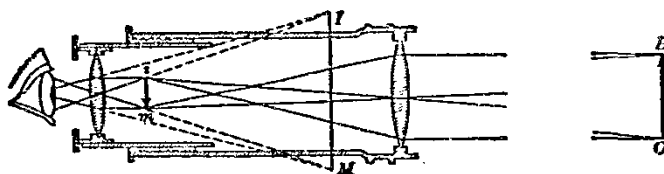


圖 62. 天文望遠鏡

使用望遠鏡時，實物概在無窮遠處，故先經物鏡造成的像，生在物鏡的主焦點上。此實像與物鏡間的距離，即等於物鏡的焦距。同時實像又必生於目鏡的焦點上，故實像與目鏡的距離，即等於目鏡的焦距。望遠鏡的放大率 (magnification) 恆等於物鏡造成的實像與物鏡間的距離，對於實像與目鏡間的距離之比。換句話說，就是望遠鏡的放大率，等於物鏡焦距與目鏡焦距之比。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
2	支鏡架子附夾子(holder for lens with clamp)	H6
1	紙 屏(card board screen)	C6
1	凸 透 鏡(convex lens $f=15$ cm.)	C24
1	凸 透 鏡(convex lens, $f=5$ cm.)	C23
1	米 尺(meter stick)	M8
1	凹 透 鏡(concave lens $f=5$ cm.)	C17

〔方法〕 (1) 在壁上或紙屏上貼一白紙條，上畫若干條相黑而作等距離的平行線，相互間約隔 2 釐米的距離作為紙尺。先用焦距較大的凸透鏡，在距屏稍遠處正對紙尺，使其能造成此紙尺的實像，在實像處插一針，利用實驗 21 中的方法(4)，決定實像的確實地位。其次再用第二凸透鏡，將此實像放大，此兩凸透鏡即成為天文望遠鏡，前一透鏡為物鏡，第二透鏡為目鏡。

(2) 配準目鏡的位置，俾一眼從鏡中所見紙尺的放大像，和另一眼從鏡外直接看見的紙尺，兩相重合；如圖 63 所示，並使像中的一條標度線，和直接看出的紙尺上的一條標度線，完全相重，如圖中最下一端的狀況。然後數出像中每一分度中，共含有紙尺的若干分度，所得的數字，即望遠鏡的放大率。

(3) 測定針與兩凸透鏡間的距離，計算兩種距離之比，亦即望遠鏡的放大率。

(4) 照實驗 24 的方法，分別測定兩凸透鏡的焦距，取其比，以表望遠鏡的放大率。

(5) 撤去第二凸透鏡，換用凹透鏡，但須插在物鏡與實像的中間，如圖 64 所示，即成伽利略望遠鏡。同樣用一眼從鏡中望紙

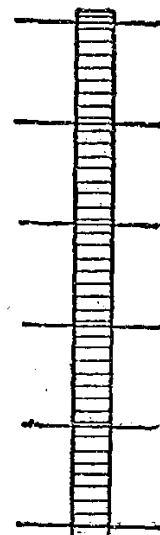


圖 63. 兩尺的重合。

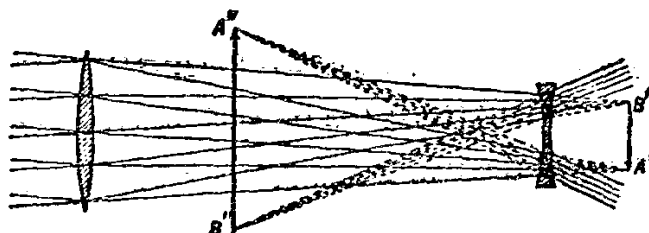


圖 64. 伽利略望遠鏡。

尺的像，另用一眼直接注視紙尺，又得與圖 63 相類似的結果，然後由此求伽利略望遠鏡的放大率。

(6) 照實驗 24 的方法，分別測定伽利略望遠鏡的兩透鏡的焦距，取其比，即得其放大率。

〔報告〕 (2) 天文望遠鏡的放大率 =

(3) 針與物鏡的距離 $l_1 = \dots\dots\dots$ 釐米

針與目鏡的距離 $l_2 = \dots\dots\dots$ 釐米

- 兩者的比即望遠鏡的放大率 $\frac{l_1}{l_2} = \dots\dots\dots$
- (4) 物鏡的焦距 $f_1 = \dots\dots\dots$ 釐米
 目鏡的焦距 $f_2 = \dots\dots\dots$ 釐米
 望遠鏡的放大率 $\frac{f_1}{f_2} = \dots\dots\dots$
- (5) 伽利略望遠鏡的放大率 $= \dots\dots\dots$
- (6) 伽利略望遠鏡的物鏡焦距 $f_1 = \dots\dots\dots$ 釐米
伽利略望遠鏡的目鏡焦距 $f_2 = \dots\dots\dots$ 釐米
伽利略望遠鏡的放大率 $\frac{f_1}{f_2} = \dots\dots\dots$

問 題

1. 望遠鏡的目鏡,何以要用很短的焦距?
 [答]
2. 經望遠鏡的目鏡造成功的像,是虛像還是實像?
 [答]
3. 望遠鏡的物鏡愈大,功效愈佳,是何緣故?
 [答]
4. 望遠鏡的物鏡,何以要用很長的焦距?
 [答]

實驗 26.

組別.....姓名.....

顯 微 鏡

高中物理學生實驗設備標準 丁種第七

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 用兩透鏡造成一顯微鏡,求其放大率。

[解釋] 將物體放在凸透鏡的焦距內,則成直立的虛像,且較實物更大。利用此理可得放大鏡(magnifier),或稱單顯微鏡(simple microscope)。像的大小對於實物大小的比,稱為放大率(magnification)。像要生在明視距離(distance of distinct vision)處,方能看清。健全的眼明視距離為 25 釐米,故若令 M 表放大鏡的放大率, f 表其焦距,則有下列的關係:

$$M = \frac{25}{f}.$$

單獨一個凸透鏡,放大的功效有限,欲觀察細微的物體,通常均用兩個或兩套的透鏡合成一個顯微鏡(microscope),如圖 65 所示。其主要部分為一圓筒,上下各有一套透鏡,下方的透鏡 L ,稱為物鏡(objective);上方的透鏡 E ,稱為目鏡(eyepiece)。實物 AB 在物鏡 L 的焦點近傍,經物鏡造成放大實像 CD ,再從目鏡中觀察,更經放大成為 $C'D'$, $C'D'$ 與目鏡 E 的距離,等於明視距離 25 釐米。

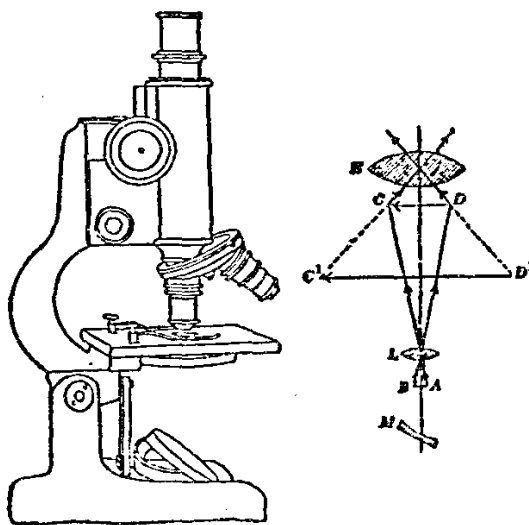


圖 65. 顯 微 鏡.

如命 l_1 表物鏡 L 與目鏡 E 的焦點間的距離,即 L 與 CD 間的距離,也就是從 L 與 E 的距離內減去目鏡 E 的焦距 f 所得的差數。命 l_2 表物鏡 L 與實物 AB 間的距離,則

$$\text{物鏡的放大率} = \frac{l_1}{l_2}$$

又 $\text{目鏡的放大率} = \frac{25}{f}$

故 $\text{顯微鏡的總放大率} M = \frac{l_1}{l_2} \times \frac{25}{f}$

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
2	一孔木塞 (1-holed corks)	C30
1	顯微鏡筒 (microscope tube)	M11
2	放大鏡 (magnifying lenses)	M13
1	夾子與架子 (clamp and stand)	C11
1	米尺 (meter stick)	M8
1	毫米標尺 (millimeter scale)	M12
1	燈 (lamp)	L1
1	網塊 (wire netting)	W4

【方法】 (1) 將兩個一孔木塞放入顯微鏡筒的兩端，鏡筒用厚紙或鉛皮製成均可，木塞頂端各附有放大鏡，用橡皮圈一條(或兩條)經過兩塞頂端縛住之，如圖 66 所示。然後用夾子將圓筒夾住，使其直立桌上，令筒上下，俾在其下方桌面上的毫米標尺，可從鏡中望見。通常鏡筒上端與桌面間的距離，較 25 釐米略長。

(2) 將米尺平放於桌上，如圖中所示，提高其一端，使其與鏡筒外方的一眼恰距離 25 釐米，然後兩眼並用，一從鏡中窺其下方的毫米標尺，一從鏡外直視米尺，測定顯微鏡中所見的每 1 毫米中，包含有米尺上的若干毫米在內，是即顯微鏡的放大率的直徑數。

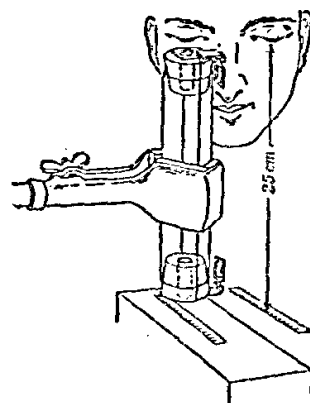


圖 66. 顯微鏡實驗法。

(3) 在距眼 25 釐米處放一紙片，將從鏡內窺見的相鄰兩標度線的射影在紙上標出，然後測定紙片上此兩標線間的距離，用毫米作單位表出，所得的數值也就是放大率 M 的直徑數。

(4) 單獨將透鏡 L 及 E 的焦距分別測定，再在 L 的後方燃燈，燈外加鐵網，如圖 67 中的 AB ，在 L 的他一方立一紙屏，前後變動紙屏的位置，使鐵網 AB 的顯明的像 CD 生

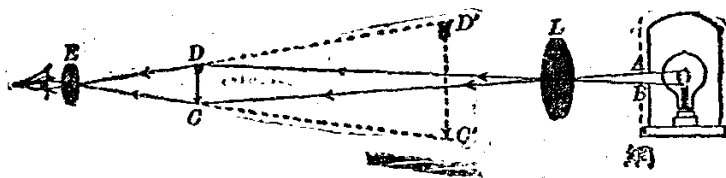


圖 67. 用鐵網實驗.

於其上, 再在紙屏的背後放透鏡 E , 並令其前後移動, 將眼接近 E , 以能透過 E 窺見明顯的紙面為度. 測定此時紙屏與兩透鏡間的距離, 及鐵網 AB 與 L 間的距離 l_2 , 然後撤去紙屏, 眼仍不離 E , 前後移動 E , 至能明瞭望見鐵網的放大像 $C'D'$ 為度, 此時 E 與 $C'D'$ 間的距離即成為明視距離, 故由公式

$$M = \frac{l_1}{l_2} \times \frac{25}{f},$$

可以算出顯微鏡的放大率 M .

[報告] 照方法(2)直接比較得來的 $M = \dots\dots$ 直徑

(3) 在紙片上測得的 $M = \dots\dots$ 直徑

(4) 測得 $l_1 = \dots\dots$ 釐米

$l_2 = \dots\dots$ 釐米

$f = \dots\dots$ 釐米

$$\therefore M = \frac{25l_1}{fl_2} = \dots\dots \text{直徑}$$

問 題

1. 試繪一圖將顯微鏡中光線的通路表出.

[答]

2. 顯微鏡造成的像倒正如何? 虛實如何?

[答]

3. 顯微鏡所用的目鏡, 用意何在?

【答】

4. 顯微鏡所用的物鏡,用意何在?實物放在這個物鏡的何處?像成於何處?

【答】

5. 顯微鏡的物鏡,為何要用焦距極短的透鏡?

【答】

6. 顯微鏡的目鏡和實物間的距離,何以要那樣精確的配準?

【答】

7. 顯微鏡的鏡筒要是加長了,對於放大率有什麼影響?

【答】

8. 照着實驗時合成的顯微鏡,有些什麼缺點?

【答】

實 驗 27.

組別.....姓名.....

磁 場

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丁種第六

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 用羅盤針的偏轉在磁鐵近傍畫出磁力線表示磁場狀況。

[解釋] 羅盤中的磁針,本指着南北的方向,但若近傍另有一磁鐵存在,羅盤中的磁針,即發生偏轉,由此可知任何磁鐵的周圍空間,都和通常的自由空間,性質大不相同,通稱之為磁場(magnetic field)。此時羅盤中磁針所指的方向,就是磁場在此一點所有的方向。故若在磁鐵周圍畫出若干條曲線,如將羅盤放在此種曲線中的任何一點時,羅盤磁針所取的方向,都和在這一點所作的曲線的切線相重,則此等曲線,即可將磁場內各點的方向表出,這樣的曲線,都稱為磁力線(magnetic lines of force)。

[儀器及材料] 列舉如下:

數 量	名 稱	編 號
2	條形磁鐵 (bar magnets)	M1
1	羅盤 (compass)	C16
1	木板,架磁鐵用 (wooden board for magnetic field)	W9
1	米尺 (meter stick)	M8
1	軟鐵棒 (soft iron bar)	S4
	鐵屑 (iron filings)	I5
	藍印紙 (blue print)	

[方法] (1) 在桌上或圖畫板上將本實驗內所附的空白紙鋪平,將羅盤放在紙上,轉動紙的方向,使其較長的一邊,恰與羅盤中指針的方向一致,然後將紙用圖畫釘釘在板上。次將條形磁鐵放在紙的中心,並使鐵的方向和紙的長的一邊一致,用鉛筆沿磁鐵四周畫直線,將磁鐵的輪廓繪在紙上。然後將羅盤放在磁鐵周圍任何一點上,俟羅盤中磁針停止後用鉛筆在磁針的兩端各作一小點在紙上,標出此時羅盤磁針所取的位置。再將羅盤移動,使其尾端與前次的前端相重,亦用鉛筆將新位置上前端所在處記出,如圖 68 所示。如是連續的記去,可在紙上畫成互相啣連的若干點,用一曲線連結起來,即成為一條磁力線。照此

方法將磁針另移他點，又可得另一條磁力線。
如是實驗，即可繪成若干條磁力線。

(2)在同一紙上，若將條形磁鐵顛倒過來，又可繪出若干條的磁力線。

(3)在空白紙的底面上，使條形磁鐵與紙面較短的一邊取一致的方向，又可得若干條的磁力線，同樣將磁鐵顛倒過又畫出若干條。

(4)照(1)及(2)的方法實驗，可以檢出紙上有若干點，具有特殊的性質，即當羅盤放在此等地點上時，指針的方向並沒有一定，如是的位置，特稱為中立點(neutral point)，試將此等中立點至磁鐵中心點的距離各長若干測出。

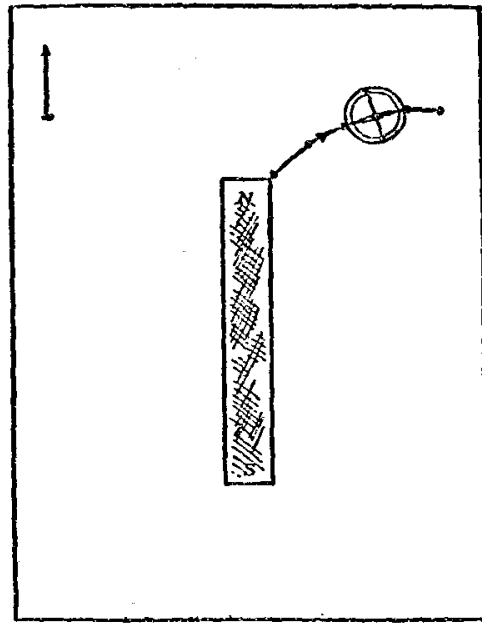


圖 68. 求磁力線法。

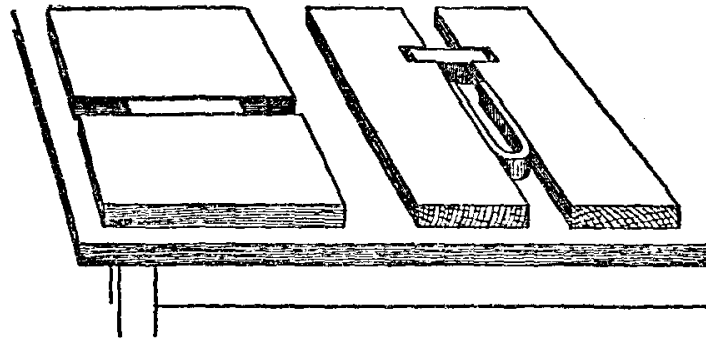


圖 69. 用藍印紙求磁力線。

(5)將條形磁鐵放在木板的槽內如圖 69 左方所示的形狀，用藍印紙(blue-print) (由學校另備)蓋在其上，然後從一二尺高處篩鐵屑於藍印紙上，用鉛筆略微敲動，即見鐵屑排列成爲無數曲線，彼此相似，與用羅盤尋出的磁力線相同。

(6)將上面排成曲線形的鐵屑及藍印紙連同木板磁鐵等，移至日光下稍曬片刻，俟藍色變成棕色後，再刷去鐵屑將藍印紙浸入水內洗淨，再放在平處令其乾燥，鐵屑排成的磁力線，即永留於其上。

(7)將軟鐵棒放在條形磁鐵的一端，但不必完全接觸，照方法(5)，(6)用鐵屑將其磁力線記出，注意觀察軟鐵對於磁力線的影響。

[選習] (1)改用蹄形磁鐵如圖 69 右方所示作實驗，或改照下列各種配合作實驗亦

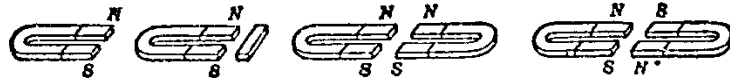


圖 70. 各種配合的磁鏡.

可,如圖 70 所示.

(a) 兩條條形磁鐵放在平行方向,相互隔 1 英寸左右的距離,且令同名的極,彼此相對.

(b) 兩條條形磁鐵排列如(a),但令異名的極彼此相對.

(c) 兩條蹄形磁鐵,以異名的極相對,彼此約隔二三英寸的距離.

(d) 兩條蹄形磁鐵,以同名的極相對,彼此約隔二三英寸的距離.

(2) 如無藍印紙,可用鉛筆照鐵屑排列的形勢,畫一草圖表出.

(3) 或用照相用的感光紙亦可,但須在暗室中露光,並照通常照相法沖洗.

[報告] 本實驗的結果,如下:

(1) 及 (2) 求得的磁力線如下圖:

(4)各中立點與環鐵中心間的距離如下：

.....釐米， 釐米， 釐米，
.....釐米，

(5), (6) 所得的藍印紙, 即黏貼於此紙上

(7)的結果黏貼於本紙上。

據圖可知軟鐵對於磁力線的影響為.....

.....

問 題

1. 每一粒鐵屑是否成爲一磁鐵?有何證據可以證明?

[答]

2. 在磁場內撒布鐵屑,何以會排列成爲磁力線?

[答]

3. 一條磁力線表示什麼意義?

[答]

4. 兩個同名磁極間表現出來的磁力線有何性質? 兩個異名極間的磁力線又何如?

[答]

5. 中立點共有幾點?何以會有此等特殊點現出?

[答]

實驗 28.

組別.....姓名.....

原 電 池

高中物理學生實驗設備標準 甲種第九

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 製造原電池並研究其各部的情况及電池的極化。

【解釋】 最初發明製造電池的人，是意大利的伏打(Volta)，所以現在最簡單的電池，還是稱爲伏打電池(Voltaic cell)，日常使用的乾電池(dry cell)，以及電鈴(electric bell)，電筒(flash light)，無線電(radio)中所用的電池，都是伏打電池的變相。種類雖多，原理大抵相同。簡單伏打電池係將兩種金屬板浸在一種適宜的溶液內，兩金屬板上就生出電勢差(potential difference)，如用一條銅線將此兩金屬板連結起來，電流(electric current)即從其中陸續不絕的流過，發出電流的一方，稱爲電池的陽極(positive electrode)，電流向着流去的那一方，稱爲電池的陰極(negative electrode)。兩極間的電勢差，又稱爲電池的電動勢(electromotive force)，通常就用略寫的 E. M. F. 或 emf. 來表，在電機工程上，又稱爲電壓(voltage)。電流所通過的部分，稱爲電路(circuit)。用銅線來連結電池的兩極，目的就在造成一條電路，俾電流可在其中通過，此項工作通稱爲通(to close 或 to make)。將銅線截斷，或由任何一極撤下，目的在使電路不通，電流因此停止，這種工作通稱爲斷(to open 或 to break)。電路既通以後，電流立達於定態，每秒間由電路的橫截面通過的電量，稱爲電流的強度(strength of current)。

電池中如通電稍久，陽極板因被氣體等屑積包圍，致令電流受其妨礙，且常受有一反電動勢(counter electromotive force)，其效應在使電流減弱。這種現象稱爲電池的極化(polarization of cells)。欲免受此影響，須用適宜的方法防止其發生，此時使用的藥品，稱爲去極劑(depolarizer)。不生極化的電池，就稱爲非極化電池(nonpolarizing cells)。

電池中使用的極板，如不純粹，則同一板上也可以成立一個小電池，發生一種小電流，是爲局部電流(local current)；因此消耗極板，受無益的損失。欲免此弊，只須將汞塗在極板表面上，使表面的一層成爲汞齊(amalgam)，就不會有局部電流發生了。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	玻璃杯 (glass tumbler)	G12
1	銅片 (copper plate)	C25
1	鋅片 (zinc plate)	Z1
1	碟 (dish)	D3
1	電極夾子 (holder for electrode)	H5
1	驗電流器 (galvanoscope)	G4
1	羅盤 (compass)	C18
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	丹孺爾電池 (Daniell cell)	D1
1	微孔杯 (porous cup)	P9
1	勒克蘭社電池 (Leclanche coil)	L6
1	乾電池 (dry cell)	D6
	二十四號銅線 (copper wire, No. 24)	G27
	三十六號德銀線 (German silver wire, No. 36)	G7
	硫酸銅溶液 (copper sulfate solution)	C26
	硫酸鋅溶液 (zinc sulfate solution)	Z2
	硫酸 (sulfuric acid)	S11
	水銀 (mercury)	M5

【方法】 連結電路時應首先注意連結部分的表面，定要清潔，連結又要堅牢，俾電流通時任何部分都可以容電流易於通過。

I. 稀硫酸對於銅片和鋅片的作用：

(1) 斷路(open circuit)：盛水於玻璃杯中至三分之二為度，然後加入硫酸，硫酸的量約等於水的六十分之一。取鋅片一塊，寬約 1 釐米，投入杯中，觀察有何效應發生（此時發生的氣泡為氫氣）。

其次取出鋅片投入同樣大小的銅片，實驗其結果。

其次將鋅片銅片同時投入杯中，不可使鋅片銅片接觸，觀察此時兩片上發生什麼效應，將各種結果記出。

(2) 通路(closed circuit)：壓緊兩片的上端，使其嚴密接觸，觀察兩金屬片上有何效應發生，並記出所得的結果。

II. 汞齊的效應：

(3) 在碟內傾入汞少許，取鋅片浸入汞內，令汞塗在鋅片的潤濕部分上，直至塗遍成爲極勻的汞面爲止。再將此鋅片重行投入盛着硫酸溶液的玻璃杯中，照 I 作實驗，觀察所起的變化，並記錄所得的結果。

III. 用銅線連結鋅片與銅片所現的效應：

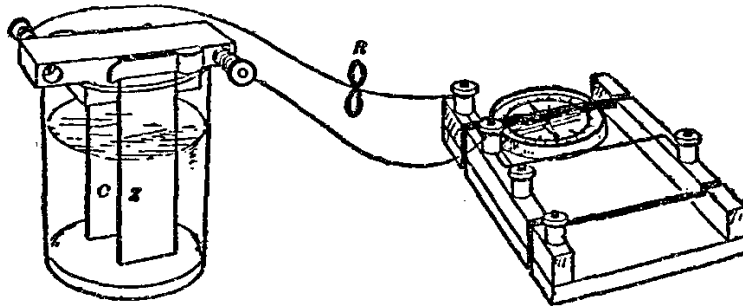


圖 71. 用驗電流器時。

(4) 將銅片和塗汞齊的鋅片，用電極夾子夾住，如圖 71 所示。用二十四號銅線繞成 25 匝的線圈，裝在羅盤的南北方向上，線圈的兩端又分別連於兩個接線柱 (binding post)，如是配成驗電流器 (galvanoscope)。然後再用二十四號銅線將銅片及塗汞齊的鋅片上端，分別各與驗電流器上的接線柱相連，其間並須夾入一個相當大的電阻 R ，如圖中所示的狀況，再將此兩金屬片同時浸入硫酸溶液中，觀察其效應。

如有低讀數 (low-reading) 的安培計 (ammeter) 可用，即撤去驗電流器，而將連結兩金屬片的銅線，逕至連結於安培計上，如圖 72 所示。(圖中雖未繪出前圖所用的 R ，但仍以加用爲宜。且不僅此一處，凡是用安培計或電流計做實驗的時候，其電路中均須插入相當的電阻。在電路尚未接通之前，務要檢查一遍。此項電阻，是否確實插入，尤其是用乾電池或蓄電池等作實驗的時候，更爲緊要，一不注意即發生決流 (short circuit)，將安培計等燒燬，務須嚴重注意。)

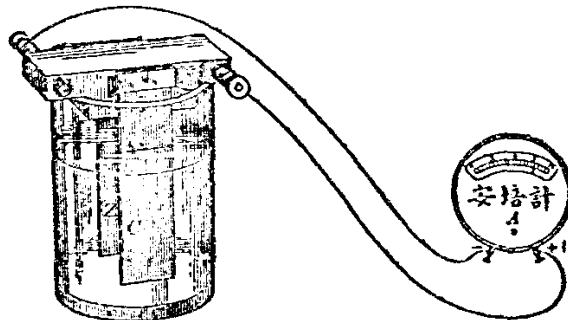


圖 72. 用安培計檢查。

(5) 將銅線從驗電流器上撤下，令其兩個尖端同時與舌端接觸，當兩金屬片在硫酸溶液中時有何感覺？當兩金屬片從硫酸溶液中取出以後，又有何感覺？

IV. 極化作用：

(6) 重換新的乾銅片，或將上面用過後的銅片，在酒精燈上燒至不能用手拿的程度，然後放令自行冷卻。然後用電極夾子夾住，此銅片及鋅片照前此方法連結至驗電流器上，但須在其電路中插入第三十六號的德銀線長約 1 米，令其連結處異常緊牢，切不可稍有鬆動處所（或用第三十號德銀線代替第三十六號的德銀線亦可，但仍不如用第三十六號為佳）。轉動羅盤，令其中的指針正指着 0 度，然後將兩金屬片浸入硫酸溶液中，俟指針驟然停止時，立將其偏轉讀出（如此時所得的偏轉，已超過 40° 或 50°，須將羅盤在推架中滑動，使其與 25 匝的線圈略為離開，直至發生的偏轉在 50° 度以內為止）。注視指針約一分鐘之久，將觀察所得的結果記出。

由方法 (3) 的結果，得知鋅片上的汞齊要是塗得很均勻，就只有銅片上面纔有氫氣發生。試用一塊短銅片，與此銅片及鋅片同時接觸，即使其決流 (short circuit)，歷時半分鐘之久，結果不過使氫氣大量發生罷了。同時可見羅盤中的指針差不多恢復其原本的 0° 位置，因此時大部分的電流，受決流的作用，均從短銅片上通過所致。再撤去短銅片，觀察指針的偏轉能否完全恢復原狀。

從上面所得到的結果，推斷銅片上集有氫氣泡時，對於電池所能供給的電流強度，有什麼影響？這個關係就是所謂的極化，凡有此種現象發生的電池，通稱為極化電池 (polarizing cell)。

V. 非極化電池：

(7) 仍用玻璃杯盛硫酸溶液，內浸微孔杯。微孔杯中盛硫酸銅的飽和溶液。將鋅片浸入硫酸溶液內，銅片浸入微孔杯內的硫酸銅溶液中，如是造成丹聶爾電池。然後再照方法 (6) 作實驗，或用重力電池 (gravity cell) 來代替亦可，兩者都極相類似。

(8) 使用乾電池及勒克蘭社電池，照方法 (6) 作實驗。在未決流之前，須先令該總銀線在電路內留住相當時期，以減弱電池之電力，庶免決流時因電過強或致發生危險，且此種試驗方法，對於電池本身之損失亦頗不小，務宜注意。通常對於此類極化的電池，概在其陽極上或溶液中放有適宜的氧化劑，俾便除去發生的氫氣。電路一斷，一切又恢復原狀，故能供長時間的使用。

[報告] 本實驗所得的結果，照下列次序填入。

I. 稀硫酸對於銅片和鋅片的作用：

- (1) 斷路： 鋅片投入後，
銅片投入後，

鋅片銅片同時投入後，

(2)通路： 上端接觸時，

II. 汞齊的效應：

(3)斷路： 汞齊後的鋅片投入時，

通路： 汞齊鋅片與銅片同時投入，並將上端壓緊時，.....

III. 用銅線連結銅片和鋅片所現的效應：

(4)在驗電流器(或安培計)上察見

(5)在溶液中時舌端感覺.....,在溶液外時.....

IV. 及 V. 極化作用：

	(6) 極化電池	(7) 丹森爾電池 或重力電池	(8) 乾電池或勒 克蘭社電池
最初的偏轉
經歷1分鐘後的偏轉
決流後撤去短銅片後的偏轉

根據實驗的結果，斷定銅片上如集有氫氣泡時，電流將為之.....

問 題

1. 試說明有電流發生時電池中所起的化學作用。

[答]

2. 一個電池的養料是什麼？電既能夠作功，那麼，到底消耗些什麼東西，方能夠發生電流？

[答]

3. 為什麼電報局裏發送電報都用重力電池，而電鈴則用乾電池？

[答]

4. 在鋅片上塗一層汞齊，用意安在？

[答]

實驗 29.

組別.....姓名.....

電 勢 計

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 研究電勢計的原理並用以測定勒克蘭社電池及丹聶爾電池的電動勢。

[解釋] 通常用來測定電壓 (voltage) 的方法, 大都使用高電阻的電流計 (high-resistance galvanometer), 即是通常所謂的伏特計 (voltmeter), 而伏特計上的標度, 卻又從電勢計 (potentiometer) 上轉刻成功的。所以測定兩點間的電勢差 (potential difference), 根本還是出於電勢計的應用。並且使用電勢計去測定一個電池的電動勢, 既不必從電池中實際引出電流, 所以也不會影響到所測的電勢差的數值, 結果異常準確。不過使用電勢計, 必須先要有一個確定不移的電勢差, 來作比較的標準。通常為此目的而設的, 有標準電池 (standard cell), 最常見的一種, 如圖 73 所示, 為衛斯吞電池 (Weston cell), 其陽極為汞, 沉在糊狀的硫酸亞汞 (mercurous sulphate) 下面; 陰極為鎳汞齊 (cadmium amalgam), 沉在飽和硫酸鎳 (cadmium sulphate) 溶液下面。在 20°C 時, 此種電池的電動勢等於 1.0183 伏特, 故在法定上 1 伏特的電勢差等於衛斯吞電池的電壓的 $\frac{1}{1.0183}$ 。

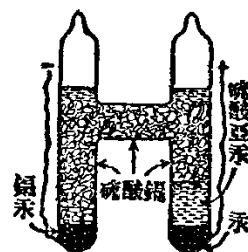


圖 73. 衛斯吞電池。

電勢計的種類很多, 在本實驗中只須使用簡單的就可以了, 其構造如圖 74 所示, ABC

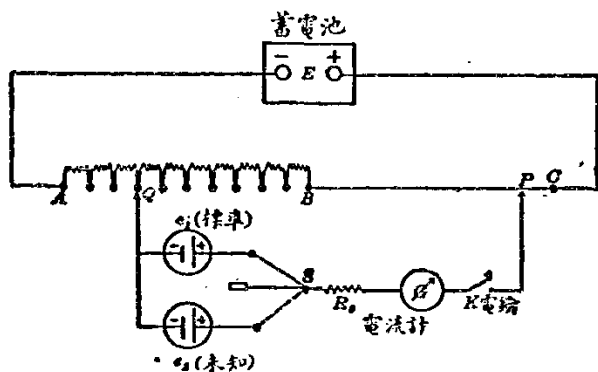


圖 74. 簡單電勢計。

為高電阻, 兩端與蓄電池 E 相連, 故電路中有微弱但極安定的電池流過。沿途各點, 電勢遞降, 由歐姆定律, 知電勢降落 (potential drop) V 與電流強度 I 及經過的部分的電阻 R 之間, 有下列的關係:

$$V = IR$$

現如照圖中所示, 使標準電池 e_1 與一靈敏電流計 G 及一電鍵 K 串聯後, 再使其兩端與電阻中的 PQ 兩點接觸, 假定標準電

池 e_1 的電壓的方向，恰與 PQ 兩點間的電勢降落相反，並且調準 P 與 Q 的位置，使接觸後電流計 G 中亦無電流通過，如此，經過此一段電阻 PQ 的電勢降落 IR ，當與標準電池 e_1 的電動勢恰好相等。

其次再用另外一個電池 e_2 來代替標準電池，此 e_2 的電動勢為未知，照前在電阻 AB 上尋取兩點，使接觸後 G 仍不動，假定此新得的兩點為 P' ， Q' ，其間的電阻為 R' 。如此則新電池 e_2 的電動勢，當與 $P'Q'$ 部分的電勢降落 IR' 相等。

由上述兩次的結果，得

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{IR}{IR'}$$

$$e_2 = \frac{R'}{R} e_1$$

故只須求得 R 與 R' 的數值，即可算出此新電池的電動勢 e_2 為標準電池的電動勢的若干倍。在簡單的電勢計內， AB 一段的電阻是用十個線圈串聯而成，每一個線圈的電阻為 10 歐姆。其 BC 的一段，則用一條滑線 (slide wire)，長 50 釐米，電阻亦等於 10 歐姆。用此計測電池的電動勢時，在電池的電路中，常插入一個電阻 R ，俾此電路中不致有可以感知的電流流過，因此電池中也不至於發生極化作用 (polarization)。測定有極化作用的電池時，使用此法，即不致受極化作用的妨礙。

[儀器及材料]

數 量	名 稱	編 號
1	簡單電勢計 (simple form potentiometer)	
1	鉛蓄電池 (lead storage cell)	
1	達松發爾電流計 (D'Arsonval galvanometer with shunt)	G2
1	伏特計 (voltmeter)	V3
1	丹聶爾電池 (Daniell cell)	D1
1	勒克蘭社電池 (Leclanche cell)	L6
1	衛斯吞電池 (Weston cell)	
1	電鍵 (switch)	
1	電鑰 (key)	K2
1	米尺 (meter stick)	M8

[方法] (1) 照圖 74 所示，先將電勢計的兩端 A 及 C 連結至一蓄電池 E 的兩極。 E 的電動勢約為 2 伏特，較諸本實驗中所用各種電池的電動勢均略大。注意此時連結，須

使 A 的一端和蓄電池的陰極相連， C 的一端和蓄電池的陽極相連。

(2) 次將標準電池 e_1 的陰極連結至變阻器 AB 的接線柱 (binding post) 上，其陽極則與電鍵 S 相連，電鍵與高電阻 R_0 ，電流計 G 及電鑰 K 等串聯，而 K 的他端則連至與滑線 BC 相接觸的 P 上。

(3) 轉動變阻器 AB 上的活動搖柄，使 Q 與 A 相重，並令 P 亦與 C 相重，然後按電鑰 K ，注意觀察電流計 G 的指針偏轉的方向。次使 Q 與 B 端接觸，再按 K 觀察 G 的指針偏轉的方向。如第二次的偏轉方向，與第一次的偏轉方向相反，則知此兩點之中，必有一點電勢高出於 e_1 之上，他一點的電勢，又在 e_1 之下。可知恰與 e_1 的電動勢相等的點，應在此兩點之間。於是改變 Q 的位置，直至在 AB 上相鄰兩結頭處，亦能使 G 的偏轉改換方向為度。

(4) 然後再滑動 P ，使其在 BC 之間，得一點，雖將 K 壓下亦不見 G 的指針偏轉，並且將 P 在此一點的左右略微移動， G 的指針均能發生方向相反的偏轉。其次再將電流計上所加的分路 (shunt) 撤去，檢查所得的 P 點，位置是否正確。如其不正確， G 的指針仍將有些微的偏轉，適宜滑動之，直至指針完全不動為止。

(5) 讀出此時 Q 與 B 間的電阻數 R_1 ，並用米尺測定 BP 的長度 l_1 。

從 l_1 算出 BP 間的電阻 r_1 及 QP 間的全電阻 R_1+r_1 。

(6) 測定室內的氣溫，從衛斯吞電池的表上讀出實驗時該電池的電動勢 e_1 的數值。

(7) 從 (5) 與 (6) 的結果，由歐姆定律計算出此時 AC 上流過的電流強度 I 。

(8) 轉動電鍵 S ，使用丹聶爾電池 e_2 代替衛斯吞電池，照 (3) 至 (5) 實驗，算出電池電路兩端所接觸的兩點 $P' Q'$ 間的全電阻 R_2+r_2 。由此及 (5)，照解釋中的公式算出丹聶爾電池的電動勢。

(9) 同樣再求出使用勒克蘭社電池實驗時的 R_3+r_3 ，並計算勒克蘭社的電動勢。

(10) 將丹聶爾電池與勒克蘭社電池反對串聯起來，照前實驗一遍，求出這兩個電池的電動勢的差。

(11) 再用伏特計直接測定丹聶爾電池與勒克蘭社電池的電動勢，與 (8) (9) 比較。

[報告] 將實驗所得的結果，一一填入下列表格內。

(5) Q 與 B 之間所含有的電阻	$R_1 = \dots\dots\dots$ 歐姆
BP 的長度	$l_1 = \dots\dots\dots$ 釐米
BP 間應含有的電阻	$r_1 = \dots\dots\dots$ 歐姆
全部的電阻	$R_1+r_1 = \dots\dots\dots$ 歐姆

(6) 室內的氣溫

$$t = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$$

實驗時衛斯吞電池的電動勢

$$e_1 = \dots\dots\dots\text{伏特}$$

(7) 通入 AG 的電流

$$I = \frac{e_1}{R_1 + r_1} = \dots\dots\dots\text{安培}$$

	(8) 用 <u>丹聶爾</u> 電池實驗	(9) 用 <u>勒克蘭社</u> 電池	(10) 兩電池反對串聯
R	.....歐姆	.....歐姆	.....歐姆
l	.....釐米	.....釐米	.....釐米
r	.....歐姆	.....歐姆	.....歐姆
$R+r$	.....歐姆	.....歐姆	.....歐姆
電動勢 $\frac{R+r}{R_1+r_1}e_1$	.....伏特	.....伏特	.....伏特

從(8)(9)的結果算出兩電池電動勢之差 =伏特

(11) 從伏特計讀出丹聶爾電池的電動勢 =伏特

與(8)的結果比較, =伏特

從伏特計讀出勒克蘭社電池的電動勢 =伏特

與(9)的結果比較 =伏特

[選習] 如無衛斯吞電池,則用一個手電筒使用的乾電池來作替代,其電動勢可假定等於1.50伏特。

問 題

1. 本實驗中使用的蓄電池 B , 用處何在? 可否用其他的電池, 如丹聶爾電池或勒克蘭社電池來作代替。

[答]

2. 本實驗中如圖 74 的連接法, 可否改將蓄電池的陽極連到 A 點, 衛斯吞電池的陽極連到 Q 點?

[答]

3. 在方法(4)內 P 點既已大致決定之後, 何以還要撤去電流計上的分路, 方能得出準確的地位?

[答]

4. 既然如上問,要撤去分路後,方能得到準確的 P 的位置,那麼,為什麼最初又要用有分路的電流計呢?何不一直就用不加分路的電流計,豈不簡單些?

[答]

5. 從方法(11)的結果,說明發生差異的原因。

[答]

實 驗 30.

組別.....姓名.....

電 阻 及 其 聯 接 法

(惠 斯 登 電 橋 之 用 法)

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丙種第八甲種第十

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 練習惠斯登電橋的用法，決定導線的長短，粗細，物質種類與其電阻的關係，並求數條導線串聯及並聯使用時的總電阻。

【解釋】 惠斯登電橋 (Wheatstone's bridge) 是一個環形的電路，其主要部分，如圖 75 所示，從電池流出來的電流，自電路上的一點 A 分為兩路，在另外的一點 B 復合而為一。全體共由 AC ， CB ， BD ， DA 四導體合成，每一導體稱為橋臂(arms of bridge)。在 A 點的電勢，較 B 點的電勢為高，故由 A 或經 C 至 B ，或經 D 至 B ，沿途各點的電勢，次第降低。故在 ACB 上任取一點 C ，同時必可在 ADB 上求得一點 D ，此 D 點的電勢，恰與 C 點的電勢相等。如用導線將

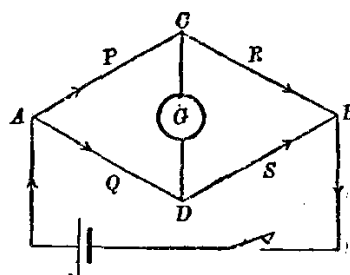


圖 75. 惠 斯 登 電 橋.

這樣尋出來的一對點，即 C 與 D 連結起來，其中插入一個電流計 G ，則因 C 與 D 的電勢既相等， CD 間不應有電流流過，故 G 的指針不生偏轉。如命 P, Q, R, S 表各臂的電阻， V_A, V_B, V_C, V_D 表四臂互相接合處，即 A, B, C, D 的電勢，則因

$$V_C = V_D,$$

且

$$\frac{V_A - V_C}{P} = \frac{V_C - V_B}{R},$$

$$\frac{V_A - V_D}{Q} = \frac{V_D - V_B}{S},$$

故

$$P:Q = R:S.$$

如 P, Q, S 為已知，則由上式立可將未知的 R 算出。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	惠斯登電橋 (Wheatstone's bridge)	W3
2m	三十號德銀線 (German silver wire, No. 30)	G6

1	米尺	(meter stick)	M8
1	螺旋測徑器	(micrometer caliper)	M10
1	電流計	(galvanometer)	G2
1	乾電池	(dry cell)	D6
1	電阻 1 歐姆	(resistance, 1 ohm)	R3
1m	二十四號德銀線	(German silver wire, No. 24)	G5
1m	三十號銅線	(copper wire, No. 30)	C28
1m	三十號鐵線	(iron wire, No. 30)	I7
	接線	(connecting wire 即第十七號 或第十八號銅線)	C22

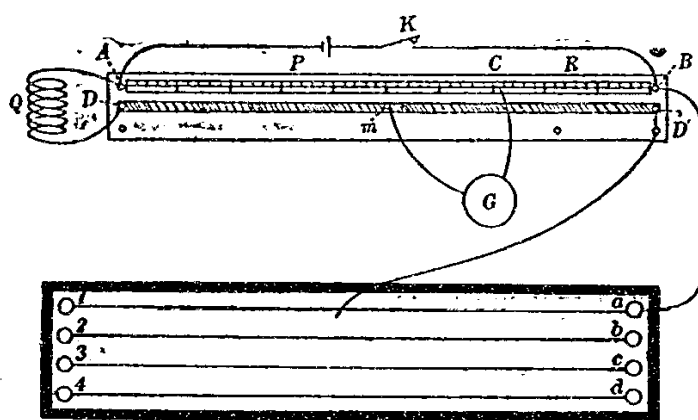


圖 76. 電阻的測定.

[方法] I. 長度與電阻的關係:

(1) 照圖 76 上半的所示, 將第一條長 1 米的三十號德銀線, 在 AB 兩點張緊, 下面放米尺, 然後用接線將其兩端 A 和 B 經電鑰 K 連接到乾電池的兩極, 再在 A 與 D 的中間, 將 1 歐姆的電阻 Q 結上. DD' 是惠斯登橋上的一條粗銅棒, 其電阻可以略去不必計算, 故由 D 至 D' 可以看成圖 75 中的一點 D . 在 B 與 D' 之間, 則插入所欲測定其電阻的導體.

次將第二條的三十號德銀線, 及其餘三條金屬線, 照圖中下半段的樣式, 平行排列張緊. 其中 $1a$ 表示三十號德銀線, $2b$ 表示二十四號德銀線, $3c$ 表示三十號鐵線, $4d$ 表示三十號銅線, 並用接線兩條, 一條將 B 點與 a 點連結起來, 另一條的一端連 D' , 他一端則與 $1a$ 的中點相連.

最後將銅棒 DD' 上的一個接線柱 m , 用接線連至電流計 G 的一端, 電流計他一端連一相當長的接線, 使足夠與 AB 線上所有各點接觸, 然後關閉電鑰 K , 將由電流計出來的

接線端 C 沿 AB 線上試探。注意在 AB 上尋出一點，雖 C 與此點接觸，而電流計的指針亦不偏轉，讀出此時 AC 與 CB 兩部分各長若干，開放電鑰 K 。命 $AC=l_1$ ， $CB=l_2$ 。

因德銀線 AB 既是全體均一的粗細，所以分作 AC 與 CB 兩部分時，此兩部分的電阻 P 與 R 的比，也就由此兩部分的長度 l_1 與 l_2 的比爲之決定，今若以 S 代表 B 與 D' 間的電阻，即得

$$l_1 : l_2 = Q : S$$
$$\therefore S = \frac{l_2}{l_1} Q$$

但 Q 既是 1 歐姆，故所求的半米長的三十號德銀線的電阻 S 的數值即等於 $l_2 : l_1$ 。

(2) 移動由 D' 出來的接線端，直至 $1a$ 的 1 的一端，即使 $1a$ 全長均包含在 B 與 D' 之間，然後關閉電鑰，照上法在 AC 上求出另一 C 點，使電流計的指針不生偏轉。

再照上式由讀出的兩長度的比，計算三十號德銀線 1 米長所有的電阻 R_1 。

(3) 從上面兩次實驗所得的結果，決定長度對於電阻的關係。

II. 直徑：

(4) 用二十四號的德銀線代替 $1a$ 照方法 (2) 實驗，求其長度爲 1 米時的電阻，命之爲 R_2 。

(5) 用螺旋測徑器測定，或檢本書後面所附之表，求出上面兩種導線的直徑各爲若干？

(6) 計算上列兩種德銀線的直徑的平方比，及電阻的比。

(7) 從上得到的兩種比，決定直徑對於電阻的關係。

III. 導線的種類：

(8) 照方法 (2) 實驗，計算出長 1 米的三十號鐵線的電阻，命之爲 R_3 。

(9) 同樣再測算長 1 米的三十號銅線的電阻，命之爲 R_4 。

(10) 鐵線與銅線，長及直徑均相同，而電阻則不等，試計算兩者之比。

(11) 同樣再求同樣大小的德銀線與銅線的電阻的比。

IV. 串聯：

(12) 用第十七號或第十八號的銅線 (檢查附表即知此等銅線的電阻太小，可以不必計及) 一小段，將導線 $2b$ 與 $3c$ 的左端連結起來，然後再將 b 與 c 兩端分別接至 B 與 D ，照前法求此兩條導線串聯使用時的總電阻。

(13) 由方法 (4) 及 (8) 分別求得此兩條導線的電阻，相加起來，應爲若干？

(14) 比較 (12) 實測的結果和 (13) 計算的結果。

(15) 決定串聯使用時電阻的關係。

V. 並聯:

(16)用第十七號或第十八號的銅線一小段,將導線 $2b$ 與 $3c$ 的右端,也同樣連結起來,照前法求出此時的電阻。

(17)再同樣求導線 $1, 2$ 及 3 並聯使用時的電阻。

(18)由公式 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ 算出 R , 與 (16) 的結果比較。

(19)由公式 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ 算出 R , 與 (17) 的結果比較。

【報告】 本實驗的報告,可照下列表格填寫:

方法	導線	長度	線數	$l_1=AC$	$l_2=CB$	電阻
I (1)	德銀線 $1a$ 的一半	50 釐米	30	.....釐米	.....釐米	$S=.....$ 歐姆
(2)	德銀線 $1a$	100 釐米	30	.....釐米	.....釐米	$R_1=.....$ 歐姆
II (4)	德銀線 $2b$	100 釐米	24	.....釐米	.....釐米	$R_2=.....$ 歐姆
III (8)	鐵線 $3c$	100 釐米	30	.....釐米	.....釐米	$R_3=.....$ 歐姆
(9)	銅線 $4d$	100 釐米	30	.....釐米	.....釐米	$R_4=.....$ 歐姆
IV (12)	$2b$ 與 $3c$ 串聯			.....釐米	.....釐米	..... 歐姆
V (16)	$2b$ 與 $3c$ 並聯			.....釐米	.....釐米	..... 歐姆
(17)	$1a, 2b, 3c$, 並聯			.....釐米	.....釐米	..... 歐姆

I. (3)

II. (5) 導線 $1a$ 的直徑 = 釐米, 導線 $2b$ 的直徑 = 釐米。

(6) $\left(\frac{\text{導線 } 2b \text{ 的直徑}}{\text{導線 } 1a \text{ 的直徑}}\right)^2 = \dots\dots\dots$, 導線 $1a$ 的電阻 = 歐姆, 導線 $2b$ 的電阻 = 歐姆

(7)

III. (10) $\frac{\text{鐵的電阻}}{\text{銅的電阻}} = \frac{R_3}{R_4} = \dots\dots\dots$,

(11) $\frac{\text{德銀的電阻}}{\text{銅的電阻}} = \frac{R_1}{R_4} = \dots\dots\dots$.

IV. (13) $R_2 + R_3 = \dots\dots\dots$ 歐姆,

(14) $2b$ 與 $3c$ 串聯時的電阻 = 歐姆,

(15)

V. (18) $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \therefore R = \dots\dots\dots$ 歐姆,

據 V (16) 並聯電阻 = 歐姆。

(19) $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \therefore R = \dots\dots\dots$ 歐姆。

據 V (17) 並聯電阻 = …… 歐姆。

[選習] (1) 通常將惠斯登電橋，造成可以攜帶的形式，如圖 77 所示，外形如一箱，內裝有電流計，電阻，電池及電鑰等。三種已知的電阻，均由轉盤調準。使用此器將各未知的電阻測定，然後串聯起來測其總電阻，最後又並聯起來實驗一次，用計算求得的結果來檢驗實測的結果。

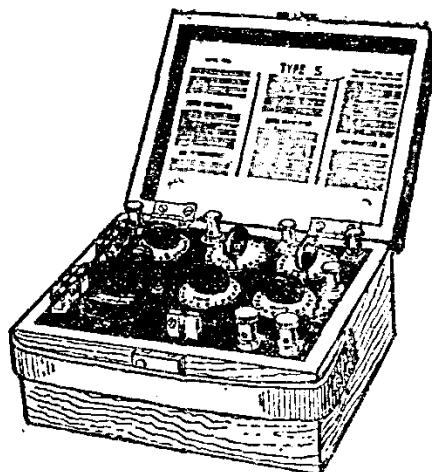


圖 77. 惠斯登電橋。

(2) 不必利用惠斯登電橋，亦可測定導線的電阻。其法如圖 78 所示，使用安培計及伏特計各一個。安培計與電鑰 K ，及兩個乾電池串聯後一端連 I ，他端連 a 。伏特計的一端連 a ，他端連 Ia 的中點或 I 。

按電鑰 K ，使電路通，讀出安培計及伏特計上的示度，應用歐姆定律，即可算出半米長或 1 米長三十號德銀線的電阻。本實驗內所欲測定的各項電阻，均可改用此法測之。

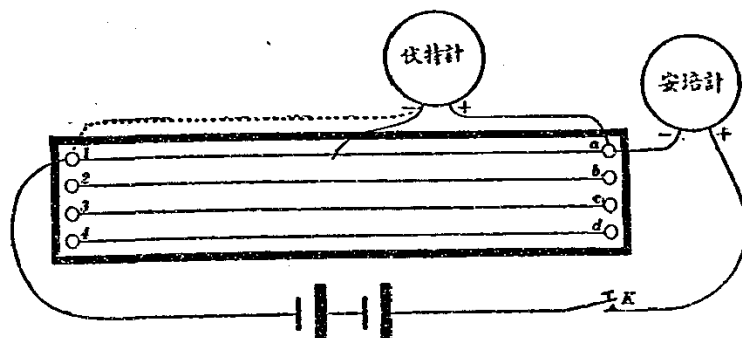


圖 78. 導線的電阻。

問 題

1. 細導線的電阻比粗導線的電阻是大些，還是小些？

[答]

2. 用惠斯登電橋實驗時，何以當接觸點 C 恰在導線中點近旁時，結果更加精確？

[答]

3. 測定受熱的導線，如電燈的燈絲的電阻，何以不能應用惠斯登電橋？

[答]

4. 電橋使用的電流計何以要用不擺電流計 (dead beat galvanometer)?

[答]

5. 同一長度同一直徑的鐵線的電阻,等於銅線的幾倍?

[答]

6. 同一長度同一直徑德銀線的電阻,等於銅線的幾倍?

[答]

7. 設有三個線圈,電阻各為 10 歐姆,有什麼方法,將此三個線圈全都聯結起來使用,但其結果的電阻只有 15 歐姆?試作圖表出。

[答]

8. 設有三個線圈,其電阻為 5 歐姆, 10 歐姆及 15 歐姆。問串聯使用時與並聯使用時的電阻各若干?

[答]

實驗 31.

電流之磁效應

(簡單電流計之製法, 安培計與伏特計之用法)

高中物理學生實驗設備標準 乙種第八

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究安培定則及簡單電流計與伏特計。

【解釋】 電流為目力所不能見, 很不容易檢查, 通常都是利用他對於磁鐵的作用, 去檢查和計量。最初發見這個效應的人, 是荷蘭的奧斯特(Oersted)。他發見一條銅線中, 要是有了電流流過, 近傍的磁針就會由原來的南北方向離開一定的角度, 由此推想電流的周圍, 必定有磁力線包圍着。按定義, 此時磁針的 N 極移向的方向, 即代表磁針所在處的磁力線的方向。

用銅鋅造成功的電池, 當電流通過時, 在電池的內部, 電流的方向是從鋅向銅; 在電池的外部的接線中, 則係由銅向鋅。換句話說, 就是電流的方向和氫氣運動的方向相一致。用一個極精緻的驗電器(electroscope) 就可以檢查出來。當電路斷時, 銅板上帶有少量的正電荷, 而鋅板上則帶有少量的一電荷。所以電池中的銅板或炭板, 都稱為陽板(plus plate), 而鋅則稱為陰板(minus plate), 電流的方向, 就是陽電荷移動的方向。

關於電流方向和由電流發生的磁場方向, 有安培定則(Ampere's rule), 即電流之一小部分作用於 N 極的力的方向, 與包含導線及磁極的平面垂直; 而電流的方向對於磁力方向的關係, 和右轉螺旋的前進方向對於轉動方向的關係相同。故若照圖 79 所示, 用右手握導線, 拇指伸向電流的方向, 則磁力線在導線周圍繞導線作同心圓, 其方向與拇指以外的其他各指所指的方向相同。

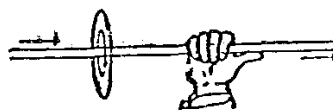


圖 79. 安培定則。

利用電流的磁效應, 將導線圈懸在磁鐵的兩極之間, 送電流入線圈, 則線圈即應送入電流強度而生偏轉 (deflection); 直至由磁極所受的磁力與由支持線圈的物體的彈力, 恰成平衡, 始停止不動。故由其偏轉, 可將電流的強度測出, 這就是達松發爾電流計 (D'Arsonval's galvanometer) 的原理。如將電流的強度, 用安培作單位標出, 就成為通用的安培計 (ampere-meter 或 ammeter), 最常見的安培計的形狀如圖 80 所示, c 表線圈, 用錘形彈簧 p 支持住, 使其上的指針, 指着零點位置。送電流入線圈, 指針即指出電流的安培數; B 與 B' 之間有粗導線

一條，成爲分路 (shunt)，使電流自 B 起分爲兩途，一從安培計內之線圈 c 中流過，一從此分路逕直流通。分路之電阻遠小於線圈之電阻，故從線圈中通過之電流，僅一小部分而已。故一切安培計上，均附有數個分路，以便選擇使用，即對於各種大小範圍不同的電流，均可用同一的電流計去測定。

上述電流計的原理，不但可用以測定電流，並可用以測定電路上任何兩點間的電勢差。如其標度用伏特數，即成爲通常所用的伏特計 (voltmeter)。伏特計的外形及構造均與安培計相似，僅多一高電阻與其線圈串聯，同時又不用分路而已，如圖 81 所示。其電阻 (R) 之大，在數千歐姆以上，故通入其中的電流只一極小的部分。

伏特計也和安培計一樣，同一儀器，可用以測定種種範圍的電勢差。但在安培計用的是分路，在伏特計用的卻是串聯着的高電阻，稱爲伏特計倍加器 (voltmeter multiplier)。在這樣串聯成的電路的兩端的電勢差雖大，但在伏特計的兩端的電勢差，卻不過其中的一部分。

安培計和伏特計雖可任意變更其測定的範圍，但使用的分路或倍加器，必須要用原儀器中所備有的，方可免去危險，並能得到正確的結果。有許多安培計和伏特計，都在儀器上有特設的接線柱，標明所測的範圍，其標度上亦有與之相應的度數，使用時務宜注意。

在安培計中既有一個分路，大部分的電流即由此分路中流過，伏特計中串聯着一個電阻極大的線圈，使通過線圈中的電流減弱，所以用伏特計時只要略微注意到伏特計的量度，範圍不過於狹小，就不致弄壞，可是安培計則不然，平常弄壞的都是安培計。因爲使用安培計時，在電路上一定要有相當大的電阻，始能自由調準，否則必有危險。例如使用的是一個 30 安培的安培計，假使不加別的電阻，直接和 6 伏特的蓄電池連結，還不必等到真正的連結，只須一接觸即可將安培計燒壞，不堪使用了。因爲這個時候，蓄電池內部的電阻和安培計本身的電阻，都很微小，可以不必計及，所以一接觸就有大量的電流過將其燒壞。

【儀器及材料】 列舉如下：

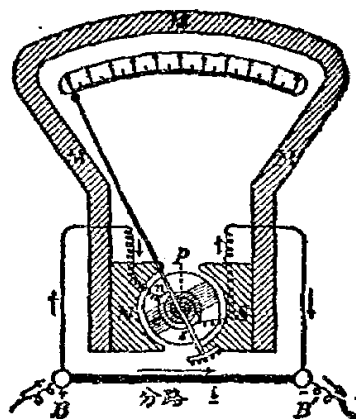


圖 80. 安培計.

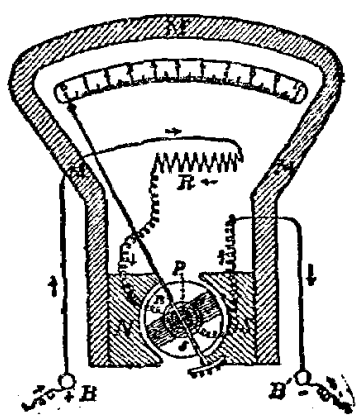


圖 81. 伏特計.

數量	名稱	編號
1	乾電池 (dry cell)	D6
1	螺旋線圈 (helix)	H3
1	軟鐵棒 (soft iron bar)	S4
1	羅盤 (compass)	C16
1	U形鐵心 (U-shaped core)	U2
1	線圈 (coil)	C12
1	按鈕 (push button)	P13
1	電流計模型(model galvanometer)	G3
1	蹄形磁鐵 (horse-shoe magnet)	M2
1	木塞 (cork)	C2
1	安培計 (ammeter)	A7
1	伏特計 (voltmeter)	V3
1	變阻器 (rheostat)	R3
1	電鑰 (key)	K2
1	換向器 (commutator)	C11
	接線 (connecting wire)	C22
	汞	M5

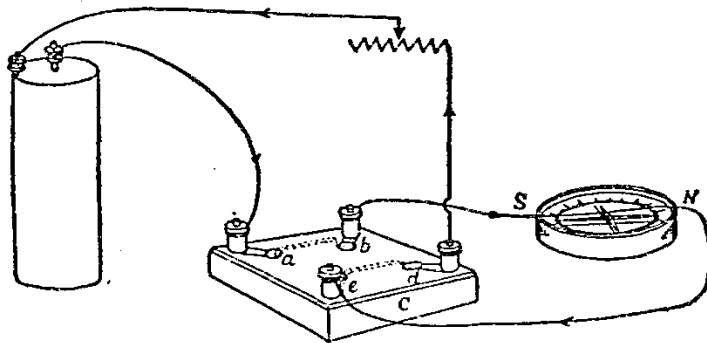


圖 82. 線電流 (linear current) 的磁效應。

【方法】(1)照圖 82 所示的樣式連結乾電池，俾電流從炭板經過換向器(commutator) C 而達於鋅板，如無現成的換向器，則插入電鑰以作代替。不過要轉換電流方向時，須將連結電池兩極的接線交換過即得。接線一律使用二十號或二十四號的銅線，並且在換向器的右邊，必須有 2 米或 3 米長，方足敷用。裝置完成後，再在換向器上的杯內盛入汞，俾各點都能得到接觸。將換向器的頂部插入，俾汞杯 a 與 b 相連，e 與 d 相連，電流在羅盤上面

自南向北流過，如圖中所示，記明磁針偏轉的方向。

(2) 將換向器頂部轉動 90° ，俾汞杯 a 與 e 相連， b 與 d 相連。如是一來，可使電流的方向倒轉，在磁針上面從 N 向 S 流過，將此時磁針偏轉的方向記下，並與安培定則比較

(3) 令電流的方向不變，但將磁針移在導線的上方，記出此時磁針所受的影響，並與安培定則比較，利用換向器使電流的方向倒轉，再將所得的結果與安培定則比較。

(4) 令導線在羅盤磁針的 N 的前面，取鉛垂的方向，俾電流從上向下流過，其次再轉換向器，令電流自下向上流過，將兩次所得的結果，和安培定則比較。

(5) 令導線仍成水平，在羅盤上面正中，但取東西方向，令電流從東方向西方流過。磁針偏轉否？此實驗能否證明磁力線所在的平面與電流方向垂直？

(6) 取導線連結鄰室中的電池（或將電池蓋蔽，使實驗者不能目覩其兩極亦可），利用羅盤檢出導線中的電流方向。

(7) 令導線在羅盤上，仍取南北方向，如方法(1)，並令導線與羅盤表面貼近，記出此時偏轉的大小，如偏轉已超過 4° ，則在電路中插入相當的電阻（即德銀線），俾其偏轉恰等於 4° 為度，然後將導線從羅盤下面繞回，俾導線成爲一迴線(loop)，上部的電流，係從南而北，下部的電流係從北而南流過，再記出此時偏轉的大小，與前此單獨由上面通過時的結果比較，並說明其所以然。

(8) 將導線再繞羅盤一次，成爲兩重迴線，使所成的線圈平面(plane of coil)仍在南北方向上，記明所得偏轉的大小，同樣再加多一匝，共成三重迴線，又再實驗一遍，將生何種變化？並加以說明。

(9) 將迴線從羅盤取下，使其兩方同時的在羅盤上面，如圖 83 所示，說明所得的結果。



圖 83. 線圈的磁效應。

(10) 取導線在鉛筆上繞成圖 84 所示的形狀；共有四五十匝之多，兩端連結至一乾電池，使電流通過，即成爲螺線管。用羅盤檢查此螺線管，是否已成爲磁鐵？即是否其一端能吸收羅盤的 N 極，而他端則表現推斥？其次將電流的方向倒轉，記出所得的結果。

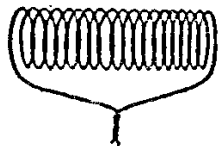


圖 84. 螺線管的磁效應。

如用右手握螺線管，俾各手指均指着電流的方向，如圖 83 所示，則拇指所指的方向，即磁力線的方向，即拇指應表示螺線管的 N 極。試將上面所得的結果，和此定則比較，並從安培定則將此結果導出。

(11) 將軟鐵棒插入螺線管內，然後照方法(10)實驗一遍，與以前的結果比較，強弱如何？何以如此？軟鐵棒如不在螺線管中而在其外，但與之極相貼近，是否也能受到磁化？

其次將電流的方向倒轉，將其對於磁針兩極的作用記出。

再將 U 形鐵心的一端用粉筆作一記號。將接線繞在其上，造成一螺線圈，使電流通過其中，俾有記號的一端成爲 N 極，其他的一端成爲 S 極，然後用羅盤作實驗。

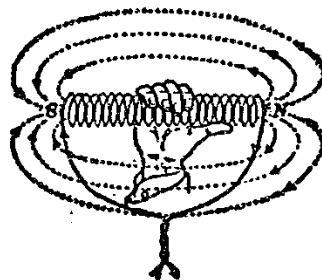


圖 85. 螺線管的磁力線。

(12) 取電流計模型，如圖 86 的右邊所示，係將蹄形磁鐵懸在盒內，中間懸一線圈，用三十二號銅線繞成，共有一百匝或較此更多。線圈的平面恰與連結蹄形磁鐵的兩極的直線，在同一平面內，懸掛此線圈，用四十號絕緣銅線 (insulated copper wire, No. 40) 兩條，各與線圈的一端相連，互相

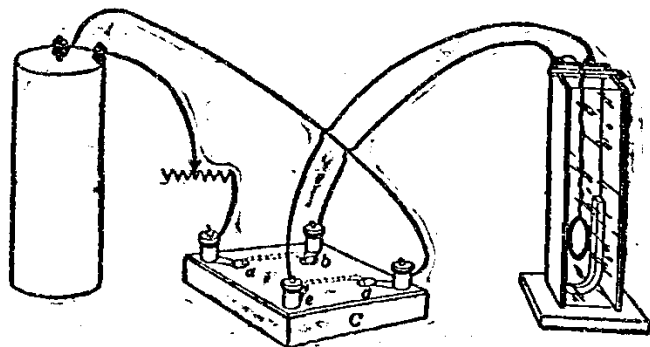


圖 86. 電流計模型。

扭合如繩，如圖中狀況，經由軟木塞出於盒上，軟木塞即放在支架上，然後照圖中方法由一乾電池經換向器送電流入線圈中，記明線圈上附着的指針的偏轉，其次倒轉電流的方向，再試一遍。

其次轉動木塞，俾線圈的平面和連結磁鐵兩極的直線成垂直，然後送電流入線圈，照前實驗，再倒轉電流的方向，同樣實驗。

說明各次所得的結果。

(13) 將上面所述的電流計模型，與安培計，變阻器，乾電池及一電鑰串聯成一電路。並在電流計模型的盒下部貼一紙片，使取水平位置，恰與線圈上的指針貼近而又不相接觸，俾便於指針隨着線圈移動時，在紙面上可將指針的地位記出。裝置妥當後，再按電鑰，使電路通，在紙上記下此時指針的地位，同時在安培計上讀出此時的電流強度，即將所得的讀數記在紙片。變更變阻器的電阻，使指針取種種不同的地位，一一與安培計比較，將讀數各各在紙片上標出，如此，即成功一個簡易的安培計。

(14) 使用上面造成功的簡易安培計，試測簡單的電路中的電流強度，將得數記出。

(15) 使用適宜的接線, 造成分路, 再作 (14) 的實驗, 將其結果記下。

(16) 將簡單電流計與一乾電池, 一高電阻的變阻器, 及一電鑰串聯成一電路。適宜增加電阻, 俾按電鑰後, 電流計的指針, 僅能表現轉動的程度為止, 記出此時指針的地位。

其次增加一個乾電池, 仍用串聯法加入電路中, 在紙面上記出此時指針的位置。其次再加一個, 直至增至 4 個乾電池為止。

由所得的結果, 推定指針偏轉與電勢差的關係。

[報告] 將實驗所得的結果照下列次序表格造成報告:

方法	電流的方向	羅盤的位置	(磁針的 <i>N</i> 極移向何方)
(1)	由南而北	導線下方	.....
(2)	由北而南	導線下方	.....
(3)	由北而南	導線上方	.....
	由南而北	導線上方	.....
(4)	垂直向下	導線的南邊	.....
	垂直向上	導線的南邊	.....
(5)	由東而西	導線的下方	.....
(6)			
(7)	由南而北	導線的下方	偏轉 =
	通過一匝迴線	導線的中間	偏轉 =
(8)	通過兩匝迴線	導線的中間	偏轉 =
	通過三匝迴線	導線的中間	偏轉 =
(9)	如圖 81	如圖 81	偏轉 =
(10)			
(11)			
(12)	線圈面和兩極直線平行時:		
	線圈面和兩極直線垂直時:		
	理由:		
(13)	自製的簡易安培計可以測定的範圍由.....安培到.....安培。		
(14)	用自製安培計測定.....電路中的電流為.....安培。		

(15) 用第.....號銅線長.....釐米做成分路,測得前條的電路其電流為.....安培.

(16) 自製的電流計串聯高電阻後,結果如下:

一個電池 偏轉 =

二個電池 偏轉 =

三個電池 偏轉 =

四個電池 偏轉 =

由是推知, 電動勢增加一倍時偏轉.....

問 題

1. 用何物決定導線周圍的磁場強度?

[答]

2. 有電流通過的一條導線,其周圍的磁力線是否經由非導體中間通過?

[答]

3. 有兩種方法可以使一電磁鐵增強,其法為何?

[答]

4. 如從電磁鐵的 N 極望去,圍繞電磁鐵流過的電流,是沿順時針方向,還是沿反時針方向?

[答]

5. 螺線管的中心,插入軟鐵對於螺線管的磁力,有何影響?何以如此?

[答]

6. 如將螺線管的纏繞方向,從由左而右改作由右而左,對於磁極的出現,有無影響?

[答]

7. 使用蹄形電磁鐵,比用棒形電磁鐵有利些,是什麼緣故?

[答]

8. 電磁鐵比永久磁鐵好,是什麼緣故?

[答]

9. 電磁鐵的鐵心要用那一種的鐵?

[答]

10. 通常使用的電磁鐵,其導線的絕緣材料,用什麼物質?

[答]

11. 通過電鈴中的電流,方向如果倒轉,有什麼不同?

[答]

12. 電流停止以後,電磁石的鐵心有無磁性餘下?試由實驗證明推測的結果。

[答]

13. 精確的安培計,其分路兩端間的最大電勢差等於 0.050 伏特,如果使用的安培計可以測 25 安培,那麼,他的電阻有多少?

[答]

14. 使用安培計讀出的安培數,是否與未用安培計以前該電路中的電流強度,完全相同?並說明其理由。

[答]

15. 使用伏特計去測電勢差時,能否因此影響到原電路中的電流強度?

[答]

16. 精確的伏特計,每 1 伏特的範圍,應有 100 歐姆的電池,求 3 伏特的伏特計的電阻。

[答]

實 驗 32.

組別.....姓名.....

電 燈 與 電 功 率

高中物理學生實驗設備標準 丁種第九

.....
實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定電燈的功率，研究接電燈的方法。

【解釋】 電路中有電流通過，即發生相當的熱，此項熱量與導線的電阻及通過的電流強度，均有一定不移的關係。如熱量過大，導線受熱的結果，遂由紅而白，輻射成光，電燈 (electric lamp) 即由此製成。最初發明的電燈，係將炭的細條，即炭絲 (carbon filament)，封在玻璃泡 (bulb) 內，兩端用鉛線導出泡外，將泡內空氣抽去，通電入內，炭絲受熱，溫度升高至 $1,800^{\circ}\text{C}$ 。遂發光。這樣的電燈泡，稱為炭絲燈 (carbon filament lamp)。現今使用的電燈泡，其燈絲概用金屬絲 (metal filament) 製成，尤以用鎢絲製成的為最多，通稱為鎢絲燈 (tungsten lamp)。通電時溫度升高至 $2,300^{\circ}\text{C}$ 。而發光。如更在泡內封入少量的氮氣或氬，溫度更可升高至 $3,700^{\circ}\text{C}$ 。始行發光。

在作本實驗前，有一件事要特別注意，就是實驗 31 內關於安培計和伏特計的使用法，必須透徹了解，方不至於損壞器械。因為關於電燈的實驗，大都要使用較強的電源，一有不慎，必受鉅大的損失，所以每次結線的工作完畢後，必先經指導者檢查後，方能按下電鑰，接通電路，不可貿然去做。

通常的電燈都是使用交流 (alternating current) 點燃的。因此也得要用交流的安培計和交流的伏特計，方能測定通過的電流。這種交流用的安培計和伏特計，當然也要範圍較廣的，方能供本實驗的使用。因為此時是利用電燈廠送來的電流，力量很強，危險更大，更非經過導師的檢查以後，不可令電流通過。假使未備有此種交流用的儀器，僅有直流用的安培計和伏特計時，可改用蓄電池來供給電流，電燈泡也改用汽車上裝的那種小電燈泡，或用聖誕節用來裝飾聖誕樹的小電燈泡亦可。總之，不問直流交流，實驗的方法，都是一樣。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	安培計 (ammeter)	A7

1	伏特計(voltmeter)	V3
4	燈座 (lamp sockets)	L3
1	電鑰 (key)	K2
4	電燈泡(lamp bulbs 3 volts.)	L2
3	乾電池(dry cells)	D6
	接線 (connecting wire)	C22

【方法】 I. 費用的比較：

(1) 照圖 87 所示的連結法，將 20 瓦特的鎢絲燈泡 a ，40 瓦特的鎢絲燈泡 b ，55 瓦特的炭絲燈泡 c ，100 瓦特的炭絲燈泡 d 和安培計 A 伏特計 V 連結起來，如各燈泡上未曾標明燭光，可向指導師問明後，自行標出。

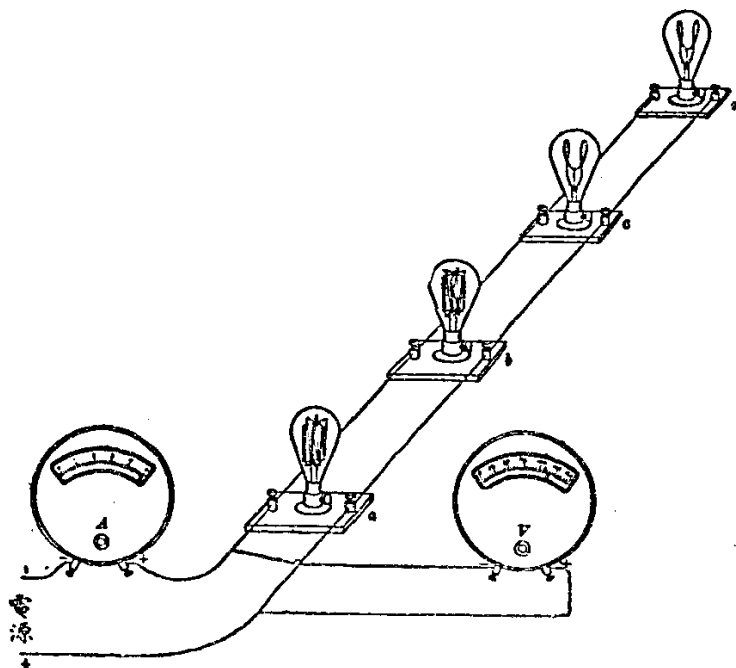


圖 87. 並聯的電燈。

(2) 將電燈泡 a 的開關扭開，使 a 發光，讀出此時安培計上及伏特計上的度數。由此計算 a 需要的功率為若干瓦特，以計算的結果與燈泡上標明或由指導師處問得的瓦特數比較，再求每 1 燭光要若干瓦特。

(3) 次將 a 關閉，單獨使 b 發光，照樣實驗計算。

(4) 次將 b 關閉，單獨使 c 發光，照樣實驗計算。

(5) 次將 c 關閉，單獨使 d 發光，照樣實驗計算。

(6) 從歐姆定律將各燈泡發光時所有的電阻算出，依 a, b, c 及 d 的次序，命為 R_1 ，

R_2, R_3 及 R_4 .

II. 電燈的接線法:

(7) 仍照前圖的方法, 將 4 燈並聯起來, 令各燈一律發光, 讀出此時安培計和伏特計上的度數. 由此計算全體並聯使用時的總電阻 R_P 應為若干歐姆.

(8) 據方法 (6) 的結果, 從理論上應有 $\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$ 的關係, 試從此算出 R_P , 與 (7) 的結果比較.

(9) 照圖 88 所示的樣式, 將四燈改作串聯, 安培計也串聯入內, 讀出其上的度數.

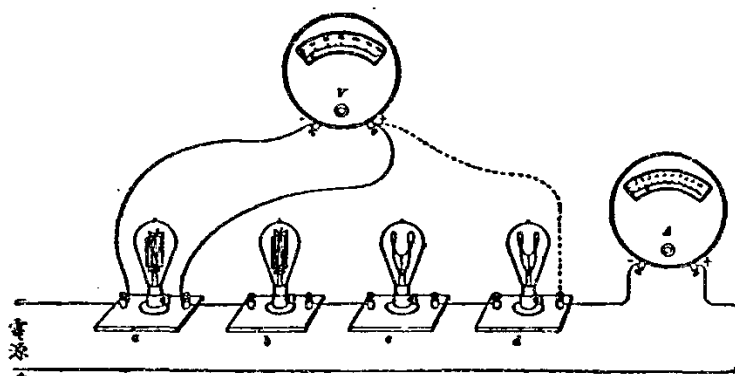


圖 88. 串聯的電燈.

(10) 次將伏特計逐次與各燈並聯, 分別讀出所示的度數, 最後再與全體四個串聯着的電燈泡並聯, 讀出總計的伏特數.

(11) 計算串聯時各個電燈的電阻 R_1, R_2, R_3 及 R_4 . 並注意此時電燈的光, 遠不及並聯時強烈, 即燈絲的溫度, 較串聯時為低.

(12) 先從安培計和伏特計上讀得的數字, 將串聯着的四個電燈的總電阻 R_s 算出, 再從理論上 $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$, 將 R_s 算出, 加以比較.

[報告] 將各次所得的結果, 按照下列表格填入計算.

I.

燈泡	伏特計讀數 V	安培計讀數 I	功率 W	燭光 P	每燭光的功率 W/P	電阻 (熱時)
a	.....伏特	.....安培	.....瓦特	.....燭光	.....瓦特	$R_1 = \dots$ 歐姆
b	.....伏特	.....安培	.....瓦特	.....燭光	.....瓦特	$R_2 = \dots$ 歐姆
c	.....伏特	.....安培	.....瓦特	.....燭光	.....瓦特	$R_3 = \dots$ 歐姆
d	.....伏特	.....安培	.....瓦特	.....燭光	.....瓦特	$R_4 = \dots$ 歐姆
並聯四燈泡	.....伏特	.....安培	•	•	•	$R_P = \dots$ 歐姆

由 $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$ 算出的 $R_p = \dots\dots$ 歐姆

II.

燈泡	伏特計讀數 V	安培計讀數 I	電阻 (冷時)
a	.....伏特	.....安培	$R_1 = \dots$ 歐姆
b	.....伏特	.....安培	$R_2 = \dots$ 歐姆
c	.....伏特	.....安培	$R_3 = \dots$ 歐姆
d	.....伏特	.....安培	$R_4 = \dots$ 歐姆
串聯四燈泡	.....伏特	.....安培	$R_s = \dots$ 歐姆

由 $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ 算得的 $R_s = \dots\dots$ 歐姆

問 題

1. 通常炭絲燈與鎢絲燈的壽命均在 1000 小時至 2000 小時之間。若連破斷一併計入，可看作 500 小時。試就電燈公司的定價計算(即每仟瓦小時價洋若干)，在 500 小時內一個 16 燭光的鎢絲燈的電燈費為若干？又同一燭光的炭絲燈在 500 小時內的費用如何？試比較那一種合算些？

【答】

2. 溫度升高後炭絲的電阻是增大還要減小？

【答】

3. 溫度升高後鎢絲的電阻如何變化？

【答】

4. 設有三間屋子，每間均裝 4 盞電燈，應該如何接線？試繪一草圖表出。

【答】

5. 40 瓦特的電燈泡在 110 伏特的電線上使用時, 有多大的電阻?

【答】

實 驗 33.

應 電 流

高中物理學生實驗設備標準 乙種第九

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 用永久磁鐵及電磁鐵研究應電流。

[解釋] 由乾電池有電流發出，其來源出於氯化銨糊對於鋅筒的化學作用，鋅的消耗頗大，所以一個乾電池，能夠供給的電流有限得很。我們現在使用着的電流，都是大量生產的，故乾電池決不適用。好在發生電流的方法很多，並不限於此一種化學方法。其中有一種是利用機械能來轉變成為電能，是利用法拉第(Paraday)發見的電磁感應(electromagnetic induction)的現象成功的。現今發電廠中，就是用的這種方法，供給大量的電流。此種電流通稱為應電流 (induced current)，發生此種電流的電動勢，稱為應電動勢 (induced electromotive force)。發生的方法是使永久磁鐵或電磁鐵對於一個線圈(coil)發生相對運動，或使一個有電流流過的線圈，對於另一線圈發生相對運動，都可以在原本並無電流的線圈中發生電流。原有的電流稱為感電流(inducing current)，其所流過的線圈，稱為原線圈(primary coil)，有應電流發生出來的線圈，稱為副線圈(secondary coil)。關於應電流的方向，有楞次定律 (Lenz's law)，即應電流的方向，在由其電流之反作用以阻止此項電流的運動。為簡便計，可伸開右手的前三指，使其互成垂直，以拇指所指的方向，代表磁場的方向，中指所指的方向代表運動的方向，則食指所指的方向，就是應電流的方向。

關於應電動勢的大小和方向，又有訥伊曼定律(Neumann's law)。即在線圈內發生的應電動勢，與橫貫此線圈而過的磁力線的減少率成正比。故如命 E 表應電動勢， t 表變化發生的時間， N_1 表開始時的磁力線數， N_2 表臨末時的磁力線數，則

$$E = -K \frac{N_2 - N_1}{t}$$

或

$$E = \frac{N_2 - N_1}{t} \times 10^{-8} \text{ 伏特}$$

[儀器及材料] 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	電流計 (galvanometer)	G2

2	乾電池	(dry cells)	D6
2	線圈	(coils 600, or 700-turn No. 27 copper wire)	C12
1	條形磁鐵	(bar magnet)	M1
1	鐵棒	(iron bar)	I4
1	換向器	(commutator)	C14
1	蹄形磁鐵	(horse-shoe magnet)	M2
	二十四號銅線	(copper wire, No. 24)	C27

【方法】 I. 磁鐵的感應：

(1) 用二十七號銅線繞成 600 匝或 700 匝的線圈，如圖 89 所示的 A，將其兩端連結至電流計上。用銅線數尺與一個業已陳舊僅存殘餘電壓之乾電池連接，使其決流 (short

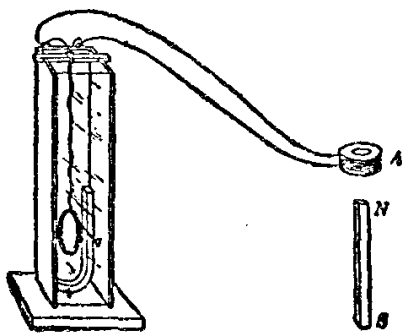


圖 89. 磁鐵的感應.

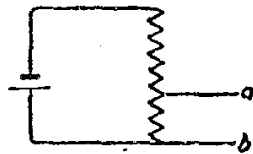


圖 90.

circuit)，並將電流計的兩接線柱與此銅線相接觸，(或如圖 90 所示將普通乾電池一個，與一電阻 R 串聯成一電路，再由 ab 兩線端接連電流計亦可。)檢查發生偏轉的方向，決流的用意，在避免有過度強烈的電流從線圈中流過，既知偏轉方向，即將電流進入電流計的接線柱標出，以後即可從線圈偏轉的方向，推知電流究從那一個接線柱進入電流計中。

次將線圈 A 驟然套在條形磁鐵的 N 極上，測定電流計的偏轉方向及偏轉的分量。

(2) 試從上面所得偏轉的方向，推出線圈 A 套進磁極上發生的應電流的方向，並決定線圈 A 與 N

極接近時，與 N 極相隔最近的一面(即圖上線圈 A 的下面)，在此時應成爲 N 極或 S 極？

(3) 從磁鐵上驟然將線圈 A 抽出，照前將此時的偏轉方向和分量測定，比較所得的結果，與 (1) 的結果，並決定當線圈離去磁鐵時，最後離開的一面，和磁鐵的 N 極是同名或異名的極？又當線圈尚在磁鐵上套住，但未運動時，是否有應電流由其中流過？並說明其何以如此？由此推定發生應電流最重要的條件是什麼？當線圈套上磁鐵時，其運動的速度，對於感應出來的電流強度，有沒有影響？還有使用的磁鐵的強度，對於感應出來的電流強度，有沒有影響？試用兩條條形磁鐵來實驗，將兩個 N 極併在一處，然後將線圈套上，看其結果怎樣？

(4) 用線圈照着圖 91 所示的狀況和次序，一一實驗。線圈左邊所畫的小箭頭，表示線

圈移動的方向，試將圖中標有『?』記號的地方，應為 N 極或 S 極，一一填出。

(5) 照上述的方法改用磁鐵的 S 極來作實驗，記出電流計偏轉的方向及應電流的方向。

根據實驗所得的結果，決定在線圈中感應出來的電流，其效應是在助長線圈的運動，抑或是在阻止其運動？

II. 電磁鐵的感應：

(6) 照圖 92 所示的方法，將方法 I 中所用的線

圈 A，套在鐵棒上，再將此線圈的兩端經由換向器後，與兩個串聯着的乾電池 B 相連。再

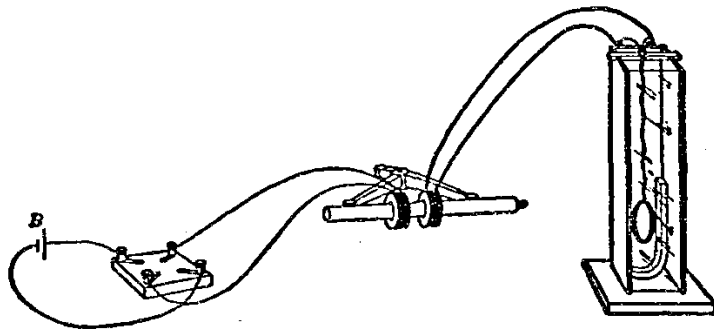


圖 92. 電磁鐵的感應。

將另一同樣的線圈也套在此鐵棒上，此第二線圈則與電流計相連。次將換向器的上方插入，俾電路通，記出此時電流計指針所得的結果。從偏轉的方向，決定在第二線圈，即與電流計串聯着的線圈，通稱為副線圈中發生的應電流的方向，並與第一線圈即與乾電池串連着的線圈，通稱為原線圈，比較兩方面的電流方向，彼此是相反的，還是相同的？推想本實驗和方法 I 所得的事實，其間有什麼共同的因果存在？

(7) 推開換向器的上方，使電路斷，記下此時副線圈電路中發生的應電流的方向和分量，並與 (6) 的結果比較，比較原線圈中的電流方向與副線圈中的電流方向。決定副線圈中的應電流，是否因電磁鐵中的電流變化而產生出來？究竟在副線圈中發生的應電流的效應，是在助長鐵心的磁力變化，抑或是在阻止其變化？

III. 線圈在磁場內轉動時的感應：

(8) 照圖 93 所示的方法，將線圈懸在蹄形磁鐵的兩極中間，使線圈的平面恰和連結兩磁極的直線成垂直。將線圈連結至電流計上。然後驟然轉動線圈，使其轉 90° 後，線圈的平面恰和磁場平行，求此時發生的應電流的方向。

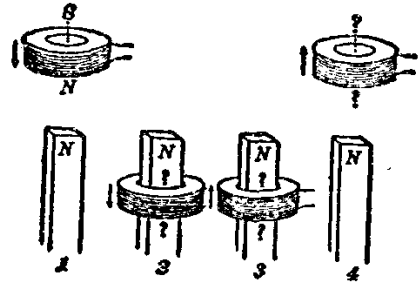


圖 91. 運動與極性。

將另一同樣的線圈也套在此鐵棒上，此第二線圈則與電流計相連。

次將換向器的上方插入，俾電路通，記出此時電流計指針所得的結果。從偏轉的方向，決定在第二線圈，即與電流計串聯着的

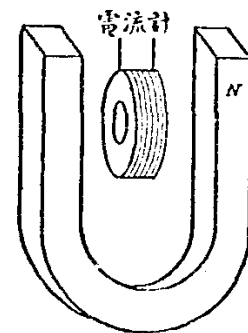


圖 93. 轉動線圈的效應。

俟電流計停止後再繼續照同一方向令線圈再進 90° ，求此時發生的應電流。

同樣再令線圈繼續轉去，每次均只轉 90° 。

決定應電流的方向，究在何種位置時方纔顛倒過來？

【報告】(1) 偏轉的方向.....， 偏轉的角度 =

(2) 套進時發生的應電流方向為.....

套進時與 N 最近的一面成為.....極。

(3) 抽出時偏轉的方向.....， 偏轉的角度 =

抽出時發生的應電流的方向為.....

與套進時的結果.....

抽出時和磁極最近的一方成為.....極。

線圈套在磁鐵上，如不運動，.....應電流發生，因.....

發生應電流最重要的條件是.....

套上時的速度，對於應電流的強度.....影響，運動愈速，則應電流愈.....

磁極的強度對於應電流的強度.....影響，故兩個 N 極並用時的結果.....

單用一個 N 極時.....

(4)

位 置	上 面	下 面
2	.....極	.....極
3	.....極	.....極
4	.....極	.....極

(5) 使用 S 極的結果，一切均與使用 N 極相.....

應電流的效應是在.....線圈對於磁鐵的運動。

	偏轉的方向	應電流的方向	和感電流
(6) 通時	方向相.....
(7) 斷時	方向相.....

(6) 和 I 間所存在的共同因果為.....

(7) 副線圈中的應電流.....因電磁鐵中的電流變化而產生出來。

應電流的發生是在.....鐵心磁性的變化。

(8)

線圈的位置	1.與磁場垂直	2.與磁場平行	3.再垂直但與1相反	4.再平行但與2相反
應電流的方向	.....	.....	.....	.....

應電流的方向,是在.....位置時改變。

問 題

1. 試用能量不滅原理說明本實驗所得的應電流。

[答]

2. 若將線圈固定不動,改用磁鐵插入線圈中或從線圈中抽出,是否亦有應電流發生?何以如此?

[答]

3. 用永久磁鐵發生出來的應電流,何以遠不及使用電磁鐵發生的強烈?

[答]

4. 感電流初斷時發生的應電流,何以較感電流初通時發生的強烈得多?

[答]

實 驗 34.

發 電 機 和 電 動 機 原 理

高中物理學生實驗設備標準 乙種第十

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 研究發電機和電動機的構造及原理。

[解釋] 線圈在磁力場內轉動,可以發生應電流,此時應電流的能,即取給於線圈的轉動,故由機械能一變而成電能。現今大規模的發電,都是這個原理應用而成的,為這個目的而設的儀器,通稱為發電機 (dynamo)。反過來,假使懸一個線圈在磁場內,更從外面送電流進入線圈中,此項線圈受磁力場作用的結果,自行轉動起來。其轉動所需要的機械能,即取給於從外面送入的電流,是由電能一變而成機械能。這樣的器具,通稱為電動機 (motor)。所以發電機和電動機的構造原理,都極相似。其中最緊要的部分如下: (1) 場磁鐵 (field magnet) 為發生磁力線的本源; (2) 電樞 (armature) 為在磁場中轉動的線圈,電流或運動即從此部分而得; (3) 匯電環 (slip ring) 是兩個金屬製成的環,固着於電樞的軸上,線圈的兩端各與一環銲接。在線圈中發生的應電流,均匯集於此兩環之上,然後由此送出外面。但線圈在磁場內每轉動 180° , 必轉變一次方向,故匯集於此兩環上,以及由此導出外面的電流,應為交流 (alternating current); (4) 整流器 (commutator) 是兩個半環,互相絕緣,亦固着於轉動軸上,代替匯電環使用,線圈的兩端,各與半環銲接,故每當線圈中的應電流轉變方向之一瞬間,恰巧此兩半環的地位互易,故由此送出的電流,方向恆一不變,即成直流 (direct current); (5) 刷 (brush) 是金屬片,或金屬絲製成的刷,可以沿匯電環或整流器滑動,電流即經由其上進入電樞中或送出外面。

[儀器及材料] 列舉如下:

數 量	名 稱	編 號
1	模式電動機(model motor)	M13
1	乾電池 (dry cell)	D6
1	羅盤 (compass)	C16
1	電流計 (galvanometer)	G2
2	條形磁鐵 (bar magnets)	M1

【方法】 I. 久磁電機(magneto):

(1) 將備有匯電環的電樞裝好,將兩條條形磁鐵放在電樞傍邊,如圖 94 所示,配準刷的地位,與匯電環接觸.用接線將刷連接至電流計的兩端,然後緩緩轉動電樞,觀察電流計上指針的偏轉,並決定發生的電流是直流還是交流?假如知其為交流,那麼,電樞轉到何處,電流纔改變方向?

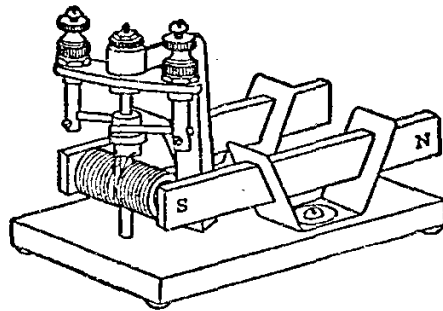


圖 94. 久磁電機模型.

(2) 用種種不同的速度,轉動電樞,求速度增加時電流所受的影響?

II. 直流發電機(direct-current dynamo):

(3) 將前實驗使用過的備有匯電環的電樞取去,改用一種備有整流器(commutator)的電樞,並注意將刷裝上,再將永久磁鐵放在電樞的近傍,沿一定方向轉動電樞,觀察電流計上指針的偏轉,其次再沿反對的方向,轉動電樞,觀察電流計上指針的偏轉,再說明所得的結果.

(4) 用種種不同的速度轉動電樞,求速度增加時,電流應受何種影響?

(5) 將電樞近傍的磁鐵,漸次移開,觀察電流當受何種影響?

(6) 由上述實驗的結果,決定發生的電流或發電機產生的電動勢,應受那兩種量的影響?

III. 直流電動機(direct-current motor):

(7) 將上面實驗中使用的電流計撤去,改用兩個乾電池和一個電鑰串聯起來,將刷裝在適宜的地方,使電樞的鐵心在適當的地點上轉換其極性,俾得繼續轉動.試就電樞完成一周轉動的期間內,用羅盤針檢驗其磁性,是否符合?

(8) 將磁鐵漸次移開,使磁場逐漸減弱,求電樞轉動的速度,應受何種影響?

(9) 或取去一個電池,或雖仍用兩電池,但在電路中插入一個可變電阻,使電樞中的電流逐漸減弱,求電樞轉動速度應受何種影響?

(10) 如何方能使電樞的轉動方向反轉?如將電流方向反轉,當受何種影響?茲將磁鐵的兩極對調過來,俾磁場方向反轉,求其結果.最後再同時既反轉電流的方向,又反轉磁場的方向來實驗,求其所生的影響.

IV. 串繞及分繞電動機(series and shunt-wound motor):

(11) 將上面實驗中使用的永久磁鐵撤去,改用一個電磁鐵來作實驗.先將電磁鐵和

電樞乾電池等串聯起來，如圖 95 左邊所示，反轉電流的方向，說明所生的效應。

(12) 次將電磁鐵改與電樞並聯，即成爲分繞的狀況，如圖 95 中右邊所示，反轉電流的方向，假使對於轉動方向能發生影響，即加以說明。

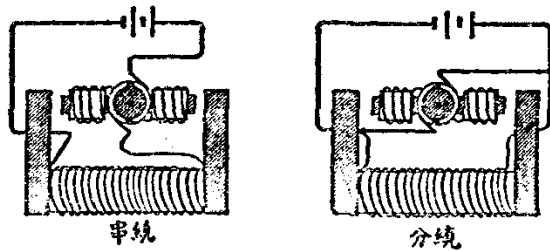


圖 95. 串繞及分繞電動機。

[報告] 將實驗所得的結果，照下列次序填出，以作報告：

- I. (1) 指針的偏轉：.....
發生的電流是.....流。
電樞轉到.....時，電流改變方向。
- (2) 速度增加時，電流的強度.....
- II. (3) 電樞沿.....方向轉動時，指針向.....偏轉，電樞沿反對方向轉動時，指針.....向.....偏轉，其理由如下：.....
- (4) 速度增加時，電流強度.....
- (5) 磁鐵漸次移開時，電流.....
- (6) 電流或電動勢應受.....和.....的影響。
- III. (7) 刷裝在.....，鐵心改變極性處爲.....，用羅盤針檢驗的結果.....
- (8) 磁場減弱時，電樞轉動的速度.....
- (9) 電流減弱時，電樞轉動的速度.....或.....
- (10) 欲使電樞轉動的方向反轉，可.....或.....
電流方向反轉時，運動的方向.....
磁極對調後，運動的方向.....
電流磁極同時反轉時，運動的方向.....
- IV. (11) 電流的方向反轉時，電樞轉動的方向.....
- (12) 電流的方向反轉時，電樞轉動的方向.....，此現象可由.....說明，即.....

[選習] 假使實驗室中備有小號的分繞發電機(約 0.25 馬力)，以及運動此機的電動機，就可以做很有益的實驗；同時還要使用一個安培計，一個伏特計，兩個變阻器(rheostat)，

一個計速器(speed counter). 實驗的目的在求轉動速度和發電機所生的電壓有何關係? 場電路中的電阻增加時, 電壓當受何種影響? 當場電流成爲零時, 何以電壓不減成爲零? 擔負(load)增加時, 電壓當受何種影響?

問 題

1. 發電機的四要部, 各有什麼功用: (a) 場磁鐵, (b) 電樞, (c) 整流器, (d) 刷?

[答]

2. 試舉三種增加發電機的電壓的方法。

[答]

3. 發電機發生的電流, 是直流還是交流?

[答]

4. 如將刷夾(brush holder) 略微移動, 即使整流點略微移動, 結果可使電動機的速度發生變化, 求變化的關係, 並說明其理由。

[答]

5. 舉出實際應用電動機的例若干個, 並指明何種使用串繞? 何種使用分繞?

[答]

6. 現今的發電廠何以通用極大的發電機?

[答]

7. 在小工廠裏何以使用許多的小電動機? 優點在那裏?

[答]

實驗 35.

簡單無線電接收器

組別.....姓名.....
實驗日期.....年.....月.....日
評閱日期.....年.....月.....日
評定等第.....

高中物理學生實驗設備標準 丁種第十

【目的】 研究收音機各部的構造及其結連方法。

【解釋】 現今的無線電(radio)收音機，以使用真空管(vacuum tube)為最便利，而又最有力量。此種真空管有三極的，有多極的。三極的簡稱為三極管(triode)，形如一普通的燈泡，如圖 96 所示。但泡的裏面通常均有一層分佈不均勻之金屬，此為欲掃除管內殘餘之氣體時，使鎂，鈉，鉍等汽化，過後此類汽凝附於泡的裏面而成者。下方插頭有互相絕緣的端四個，露出外面。泡內的燈絲(filament)用鎢鈦合金製成，由下端 F, F 導出管外，俾得與電池相通，燈絲周圍有導線網，稱為柵極(grid)由下端 G 導出管外，燈絲與柵的外方，圍有一金屬罐形物，稱為板極(plate)，由下端 P 導出管外，故此燈泡內共有燈絲，柵極，板極等三極，彼此互相絕緣，故有三極管的名稱。

A 電池組(A battery)用來使燈絲白熾，俾其分子因受熱而起激烈運動，放出電子，散逸於四周。 B 電池組(B battery)的陽極連板極，陰極連燈絲，則由燈絲放出的電子，本帶陰電，受板極上陽電的吸引，穿過柵極的縫隙而達於板極，再經由 B 電池組中通過，復返於燈絲。如是繼續流過，成一種電流，通稱為板極電流(plate current)。 C 電池組加在柵極電路(grid circuit)上以定柵極對於燈絲之電勢，板極電流的變化基點也隨着柵極對燈絲之電勢而定。此種電池，普通常用在高頻率及低頻率放大之真空管，並且將陽極連燈絲，陰極連柵極。

變阻器(rheostat)用來變更 A 電池的電流強度，可變耦合線圈(variable coupling coil)及變量容電器(variable condenser)，用來變更電路中的電容(capacity)和電感(inductance)，俾其適合所接收的電波。旁路容電器(by-pass condenser)使高頻率的振動電流，逕回燈絲，不致受聽筒等高電阻的妨礙。柵漏阻(grid leak)為極大的電阻，俾柵極所吸收的電子，可自此流去，而又不致流去太速。

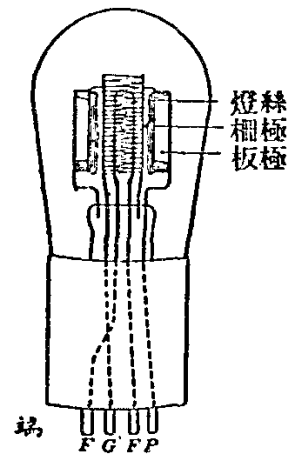


圖 96. 三極管.

[儀器及材料] 列表如下:

數量	名稱	編號	圖中記號
1	電木板 (bakelite board 14"×8")	B1	
1	木板 (wood board 14"×8'×1/2")	W10	
2	UX230真空管 (radio tube, UX 230)	R2	V_1, V_2
1	UX232真空管 (radio tube, UX 232)	R2'	V_3
3	真空管座 (radio tube socket)	R1	
3	變量容電器 (variable condenser) (0.00035 mfd, 0.00035 mfd, 0.00025 mfd)	C21	C_1, C_2, C_3
4	定量容電器 (fixed condenser) (0.00025 mfd, 0.00025 mfd, 0.002 mfd, 0.002 mfd)	C20	C_4, C_5, C_6, C_7
1	變阻器 (rheostat) (20 Ω)	R4	R
1	聽筒 (ear phone)	E1	P
1	音頻變壓器 (audio-frequency transformer(1:3))	A9	T
1	柵漏阻 (grid leak) (2~5megohm)	G14	GL
2	高頻抗流線圈 (high-frequency choke coil)(4~5mH)	C33	CH
1	A 電池組 (A battery 2v.)	B5	A
1	B 電池組 (B battery 135v.)	B6	B
1	C 電池組 (C battery 4.5v.)	B7	C
2	電木圓筒 (bakelite cylinder) (diameter 3.8 cm. length 10 cm.)	B13	L_1, L_2, L_4, L_5
1	開關 (switch)	S13	S
1磅	二十八號雙絲銅線(double silk covered wire No. 28)	C33	

[方法] 按照圖 97 至圖 99 的接線法,在電木板及木板上,自行配置各種材料,接線完成後,再按圖一一檢查,有無脫漏或錯誤的地方。

其次再架設天線(antenna)。天線用裸銅線,至短須用75英尺,始能接受遠地的廣播,最好架設於屋頂或其他高處,不但要和房頂牆壁離開,就是樹木以及裝有電話線或電燈線的電桿,也不要接近,尤不可和電線平行。兩端連結在玻璃或瓷器的絕緣體上,然後再將全線張緊,如果地位不足,可將天線分做數段,平行架設亦可。從天線引到屋內收音機上的一段導線,通稱為引入線(lead-in)或略稱引線(lead),則用包被線(coverd wire),一端要鉸

接在天線上，一端連到收音機上。

其次再裝設地線(ground)，如在都市地方，可以利用自來水管，將自來水管用砂紙擦亮，然後將粗銅線繞在擦亮處，約四五匝，再用錫錫緊，銅線的一端則接至收音機上。如無自來水管則用金屬導線或網或板，埋在地面下潮濕處，深度須在1米以上。如在山地或多石之處，則在近地面處，張一條銅線亦可，或即張在安設天線的兩柱上近地面處，距地面約半米之譜，兩端也要絕緣。

不僅天線地線的連結處，要用錫接，就是其他各部分連結處，也都要用錫接，因唯有此法，方可減小電阻，且能保證其確實接牢也。

各部分連結用的導線，長短務須事前估定，短固不敷用，長亦礙事。又連接線切不可亂行交叉，不僅妨礙檢查，並且妨礙收音，甚至有決流(short circuit)的危險。

各項結線完成，並經檢驗無誤，然後再照圖上所示，將各種電池組，一一連結。

最後始將三極管插入座內，此時務宜注意管下的各插頭所應插入的部位，一有錯誤，三極管即有燒燬的危險。

最後再將與A電池組串聯着的變阻器R，轉到最大電阻的地位，始將開關S振開，注視三極管內的燈絲已否發光。如使用二個以上的三極管時，最好先將一個三極管插入，俟開關振開後，果已有光發出，並且變更R的電阻時，燈光亦能隨着增減，然後再將其他的三極管插入。徐徐轉動可變容電器，並酌量減少燈絲電路中的電阻，先試收聽本地或附近電臺的播音，然後再試收遠地電臺的播音。

圖97所示的接線法，只能接收本地電臺的播音。因為沒有高頻的放大，又沒有再生的設備，所以對於附近地方的電臺播音，已經接收不到，遠地更說不上。

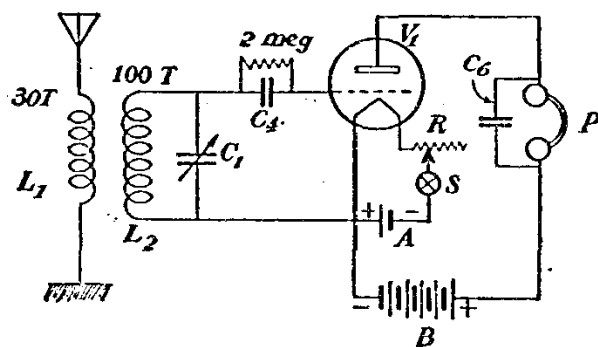


圖 97. 一燈機。

L_1 及 L_2 繞在同一圓筒上， L_1 共 30 匝，

L_2 共 100 匝，匝與匝間的距離 5 毫米，

注意：收音成績的良否，與機件的構造，配置，接線所經的路，天線和地線的好壞，都有很大的關係。學者必須加意試驗，方能得到滿意的成績。如照圖 98 及 99 的方法，仍不能收聽遠地的播音，必定有原因存在，務須將障礙尋出。

實驗完畢後，首須斷去各電源後，再拆除其他的機件。

97—98各圖中所用的記號，均在儀器及材料表中最右邊的一項詳細註出，各圖並附有簡單的說明：

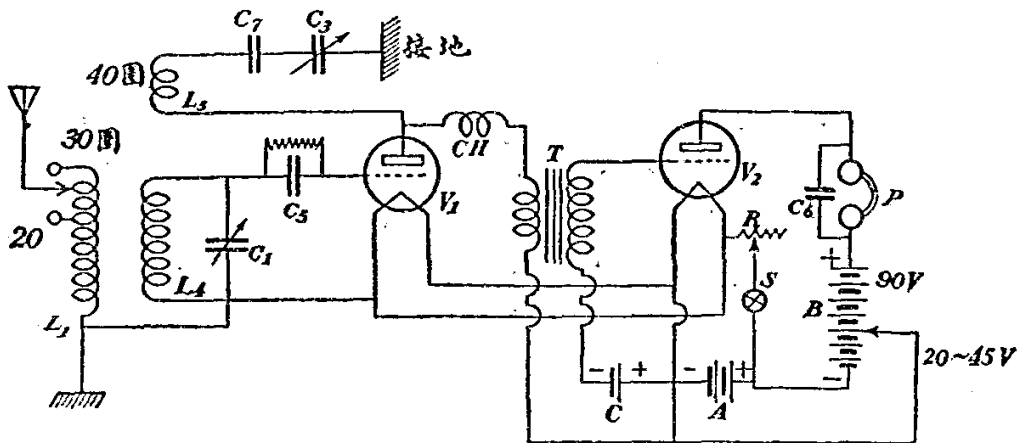


圖 98. 二燈機. V_1 : 再生檢波管, V_2 : 音頻放大管.

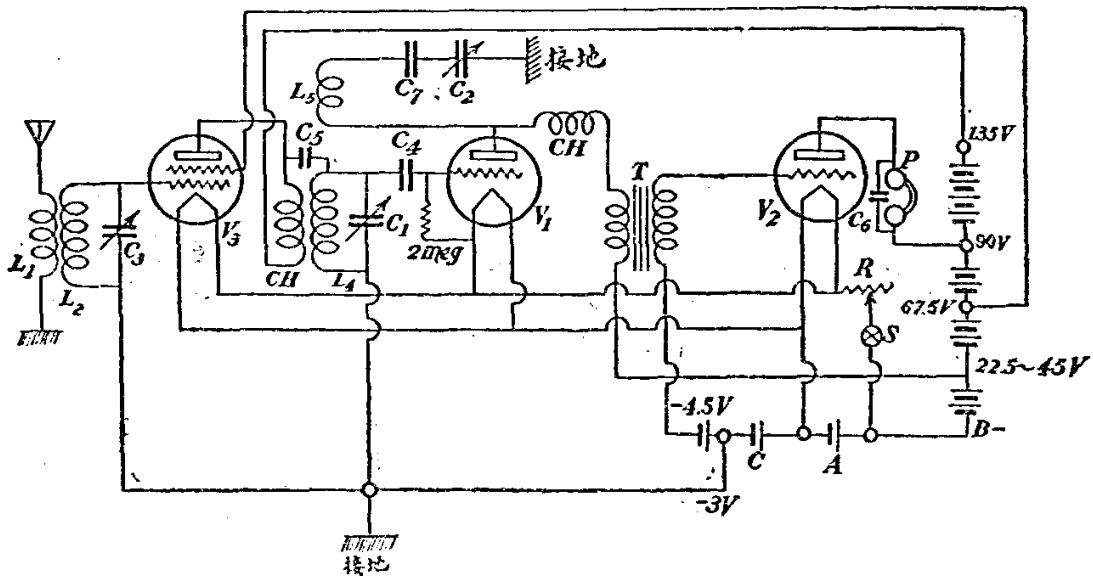


圖 99. 三燈機. V_1, V_2 同圖 98, V_3 四極真空管 UX 232, 高頻放大用.

實 驗 36.

組別.....姓名.....

加 速 運 動

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丁種第二

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 測定落體經歷時間和距離，推算重力加速度 g 。

【解釋】 凡在地面附近，未受支持的物體，均以一定的加速度，向地球表面落下，此時所作的運動是一種等加速度運動。這一定的加速度，通常用 g 來代表，稱為落體加速度 (acceleration of a falling body)，又因此項加速度，由於重力作用而來，故又名重力加速度 (acceleration of gravity)。如命 t 表落下所經歷的時間， s 表在此時間內經過的路程，則其關係如下：

$$s = \frac{1}{2} gt^2$$

如由實驗求 g 的數值，最好使用阿特武德機 (Atwood's machine)，這是一個滑輪，兩邊各懸着一個物體，如圖 100 所示。如兩邊物體的質量 m_1, m_2 彼此相等，則成為平衡，或者靜止不動，或者作等速度運動。如 m_1, m_2 彼此不相等，就發生等加速度的運動。試假定 m_2 向上昇起， m_1 向下降落，命 T 表繩的張力， a 表 m_2 上昇或 m_1 落下的加速度。先就 m_1 一方面而論，作用於其上的力，僅有兩種：一種是重力 m_1g ，方向向下；一種是繩的張力 T ，方向向上。兩力合作的結果，向下方作用的合力應為 $m_1g - T$ ，故由運動定律，得

$$m_1g - T = m_1a$$

再就 m_2 一方面而論，也是受到兩種力的作用，一種是向上方的張力 T ，一種是向下方的重力 m_2g 。此兩力合成的結果，等於 $T - m_2g$ ，其作用的方向向上方，故由運動定律，得

$$T - m_2g = m_2a$$

將此兩式相加，即得

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$$

[181]

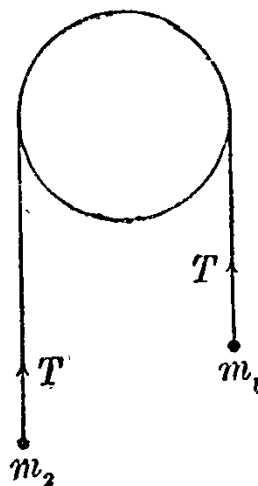


圖 100. 阿特武德機

通常因為 g 的數值太大，不便直接測定，但若利用上面的公式，只要 m_1 和 m_2 相差不遠， a 就可以小到任何程度，俾便我們任意觀測，這就是阿特武德機的優點。

實際使用阿特武德機時，先令兩邊所懸的物體，質量相等，次在一方加上少許過剩的質量，通常用一薄銅片即足，此時當作等加速度運動，經歷時間 t 秒後通過的距離 s 釐米，應有下列的關係，

$$s = \frac{1}{2} at^2$$

將 s 及 t 各各測定，即可將 a 算出。

其次在上述等加速度運動中，如將過剩質量之銅片取去，以後即以取去銅片當時的速度 v' ，繼續作等速度運動，從此以後，其經歷時間 t' 與通過距離 s' 的關係當如下：

$$s' = v't'$$

測定 s' 與 t' 即可求出其速度 v' 。如取除銅片的時刻，在於開始運動後的第 t 秒之末，則由此可以推算出，在未取去銅片以前的加速度 a ，即

$$v' = at$$

將上述兩種方法求得的 a 平均後，即可利用上式，推算 g 的數值。不過 m_1 與 m_2 的差別，只在一方有過剩的銅片而已。故若令 M 表落體的質量， m 表銅片的質量，實際上

$$m_1 = M + m, \quad m_2 = M$$

代入前式，即得

$$a = \frac{m}{2M + m} g$$

$$g = \frac{2M + m}{m} a$$

以上的計算，是將滑輪的摩擦略去不計而得的結果，故使用阿特武德機時，務須使滑輪的摩擦，儘量減小，否則上式即不適用。

[儀器及材料]

數量	名稱	箱號
1	簡單阿特武德機 (simple Atwood's machine)	AS
2	平臺 (platforms)	P8
1	落體 (falling body)	F1
1	電磁鐵 (electromagnet)	E3
2	乾電池 (dry cells)	D6
1	電鑰 (key)	K2

1	水銀接觸器 (mercury contact device)	M6
1	擺 (pendulum)	P3
2	圈 (rings)	R6
1	停錶 (stop watch)	W1

【方法】(1) 先檢查右邊的落體，如圖 101 所示，能否從木柱上所裝的銅圈內，自由通過無阻，次再將各物品照圖 102 所示的方法接好，俾電鍵按下時，擺恰通過平衡位置。同時因電磁鐵發生作用，牽動上方平臺，釋放落體。

(2) 上項工作準備完了以後，再將銅片套在落體上，落體則放在上方平臺上。然後手按電鍵，使電流通入電磁鐵內。假定電磁鐵每秒鐘發音一次，則適宜配準兩平臺間的銅圈位置，俾落體釋放後，從銅圈中通過時，即將落體上所套的銅片，遺留於銅圈之上，且其間所經歷的時間，又恰為 1 秒（即銅片落在銅圈上所發出的聲音，和電磁鐵釋放落體後所發出的第一次聲音，合而為一）。將落體在此 1 秒鐘內所經過的距離 s 測出，此時應當注意圖中的 s ，並非上平臺與銅圈間的距離，實應較之略大。

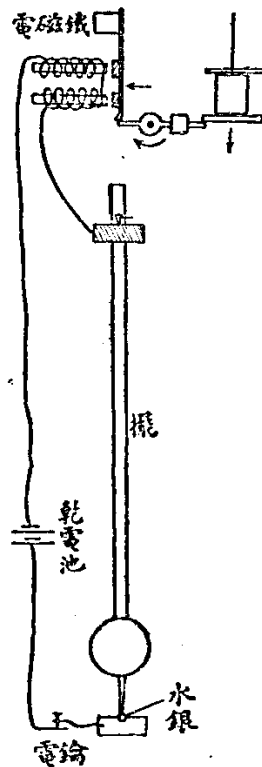


圖 101.

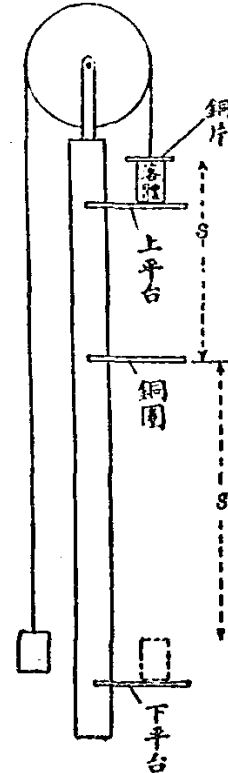


圖 102.

體後所發出的第一次聲音，合而為一)。將落體在此 1 秒鐘內所經過的距離 s 測出，此時應當注意圖中的 s ，並非上平臺與銅圈間的距離，實應較之略大。

(3) 適宜配準下平臺的地位，俾落體將銅片卸在銅圈上以後，仍繼續下降，即從通過銅圈起，至到達下平臺為止，其間所歷的時間，亦恰為 1 秒鐘，並測定落體自卸卻銅片至到達下平臺為止，在此 1 秒鐘所通過的距離 s' 。此時當注意圖中的 s' 並非銅圈與下平臺間的距離，實應較之略小。

(4) 移動下平臺的位置，令落體自卸卻銅片起至到達下平臺為止，其間所經歷的時間恰為 2 秒，3 秒，4 秒等，各各照前法實驗一遍。

(5) 移動銅圈的位置，令落體自被釋放以後，至卸卻銅片為止，其間所經歷的時間，恰為 2 秒，3 秒等，各各照前法實驗一遍。

(6) 在天平上測定落體的質量 M 及銅片的質量 m ，然後以停錶測擺的週期。

[報告] 將各次實驗所得的結果，一一填入下列表格中，然後取其平均值作為落體的加速度，再由之計算 g 的數值。

由上平台落至 原點所歷時間 t	通過距離 s	加速度 $a = \frac{2s}{t^2}$	由銅片落至下 平台所歷時間 t'	通過距離 s'	速度 $v' = \frac{s'}{t'}$	加速度 $a = \frac{v'^2}{t'}$
1 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$	1 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			2 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			3 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			4 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
2 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$	1 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			2 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			3 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
3 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$	1 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
			2 秒	.....釐米	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}}$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$
平均	$a = \dots\dots\dots$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$	平均	$a = \dots\dots\dots$	.....$\frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$	

平均加速度 $a = \dots\dots\dots \frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$

擺的半週期 $T = \dots\dots\dots$ 秒

落體的質量 $M = \dots\dots\dots$ 克

銅片的質量 $m = \dots\dots\dots$ 克

重力加速度 $g = \frac{2M+m}{m} a = \dots\dots\dots \frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$

[選習] 如無阿特武德機，則可使用圖 103 所示的木擺，亦可實測出重力加速度 g 的數值。此器為一木條，長約 2 米或 3 米，寬厚各約 2 釐米，上端用皮帶或鋼片懸住，當其自由時，木條成爲鉛直。鐵球自上面落下時，始終未嘗與木條的邊離開。先將木擺索向一方，再放任其自由，同時使鐵球自由落下，則鐵球必與木擺上的一點相碰。如在木擺與鐵球相對着的一邊，貼白紙條，再在紙條上貼複寫紙，即可將鐵球與木擺相碰着的一點記下。用米尺將鐵球出發點至碰着木擺的一點間的距離 s 測出。在此時期內木擺恰好完成其一振動的四分之一。同時用停錶將所歷的時間 t 測出，即可推算 g 的數值，其步驟如下：

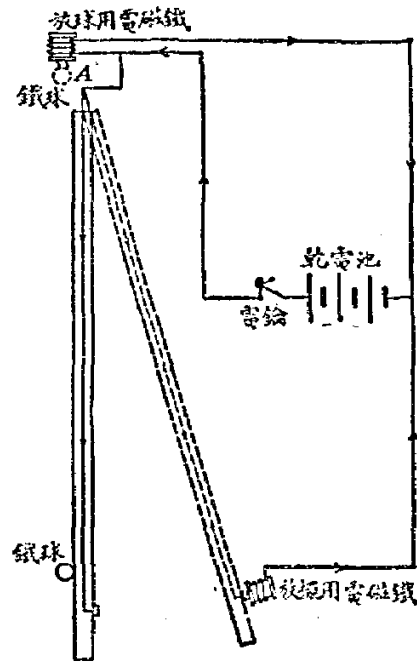


圖 103. 木 擺

- (1) 照圖 103 所示的方法，將各器裝好。
- (2) 使木擺自由振動，用停錶測定木擺連續作 50 次全振動所歷的時間，須讀至 0.2 秒為止。
- (3) 照上法至少須實驗三遍，每遍均取 50 全振動。將三次結果平均後，用爲其作 50 次全振動所需的時間。
- (4) 按電鑰令鐵球吸在上方電磁鐵的下端，正對木擺的頂端，同時木擺也被下方電磁鐵吸住，其次開放電鑰，則鐵球與擺同時動作，直至兩者相碰。測定鐵球的出發點與相碰點間的距離。
- (5) 照前法實驗 10 遍，取其平均值作通過的距離 s 。
- (6) 將實測結果製爲表格一一填清後，再照下式計算重力加速度，即

$$\text{木擺的周期 } T = \frac{t}{50} = \dots\dots\dots \text{秒}$$

$$\text{鐵球落下的時間} = \frac{1}{4}T = \dots\dots\dots \text{秒}$$

$$\text{平均距離 } s = \dots\dots\dots \text{釐米}$$

$$\text{重力加速度 } g = \frac{2s}{(\frac{1}{4}T)^2} = \frac{32s}{T^2} = \dots\dots\dots \frac{\text{釐米}}{\text{秒}^2}$$

以作報告。

問 題

1. 在本實驗方法(2)中的注意爲『圖中的 s 並非上平臺與銅圈間的距離，實應較之略大』。又在方法(3)中的注意爲『圖中的 s' 並非銅圈與下平臺間的距離，實應較之略小』。試說明之。

[答]

2. 通常均假定 $g=980$ 每秒每秒釐米，與本實驗測得的結果比較，有多少誤差？

[答]

3. 求本實驗的誤差的百分數。

[答]

4. 使用木擺時，擺動的角度與週期有沒有關係？如有關係，又當如何選定擺角？

[答]

實驗 37.

組別.....姓名.....

冷 卻 曲 線

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丁種第四

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究液體冷卻時及凝固時所起的溫度變化。

【解釋】 化學性質一定不變的晶體物質受熱時，最初溫度上昇，達於一定的溫度以後，即停止不再昇高，雖仍舊吸熱，但只改變其一部分成爲液體而已。這個現象，稱爲熔解，在實驗16中已曾述及。到得固體全部熔解完盡爲止，溫度都是一定不變的，這個溫度通稱爲熔點(melting point)。反之，熔解成爲液體以後的物質，受了冷卻又會化成固體，這個現象，稱爲凝固(solidification)。自開始凝固起，至完全凝固爲止，其間的溫度，也是一定不變的，這個溫度，通稱爲凝點(solidifying point)。在相等壓力下各晶體的熔點和凝點的值都相等。有些液體可以冷到熔點以下幾度之多，還沒有凝固。又有些雖然也可以冷到熔點下，卻不至於到幾度之多，這種現象，稱爲過熔(superfusion)，或過冷(undercooling 或 supercooling)。但一旦開始凝固以後，這種過冷的液體的溫度，突然昇高，達於熔點，以後即停止在熔點上，一直到全部凝固完畢爲止，都是同一的溫度。而且凝固時必定要放出當其熔解時所吸收入內的熱量。

通常過冷的程度不甚高的物質，如萘(naphthalene, 熔點 $80^{\circ}\text{C}.$)，乙醯苯胺(acetanilide, 熔點 $115^{\circ}\text{C}.$)及二苯胺(diphenylamine, 熔點 $54^{\circ}\text{C}.$)等。過冷程度頗高的物質，如大蘇打(sodium thiosulphate 或 hyposulphite of soda, 熔點 $48^{\circ}\text{C}.$)及乙醯胺(acetamide, 熔點 $82^{\circ}\text{C}.$)等。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	夾子及架子(clamp and stand)	O11
1	試管 (test tube)	T1
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	溫度計 (thermometer)	T2
1	錶 (watch)	W1

[方法] (1)將試管用夾子夾緊支在架子上,如圖 104 所示.管內盛乙酰胺的結晶,約至三分之一滿為度.用酒精燈從管底加熱,直至全部熔解成為液體為止.如乙酰胺吸有很多的溼氣,則須煮沸.如沒有乙酰胺,可用大蘇打來代替.不過當溫度降低時,須從外加入大蘇打的結晶少許,方能引起全部的結晶.徐徐插入溫度計,放在管中液內,注意觀察溫度計內的汞面,若已離管頂不過半英寸,立即提出液外,以防炸裂.俟液體已冷至 100°C . 附近,始能將溫度計靜放於其中,不可觸及試管與此溫度計.注意觀察管內的液體和溫度計的汞面,結果可見溫度一逕降低,可降至 60°C . 附近,尙未開始結晶.並注意開始結晶時,溫度有何種變化?

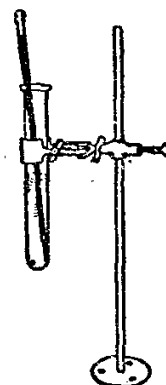


圖 104. 冷卻曲線實驗.

(2)同樣實驗可反覆做數遍,檢查凝固進行中液體的溫度是否一定不變?

(3)再加熱使管內溫度升高至 100°C . 附近,仍須注意不可令溫度計炸裂.然後放置任其冷卻,從 100°C . 降下至 45°C . 為止,每隔半分鐘,讀出一次溫度.

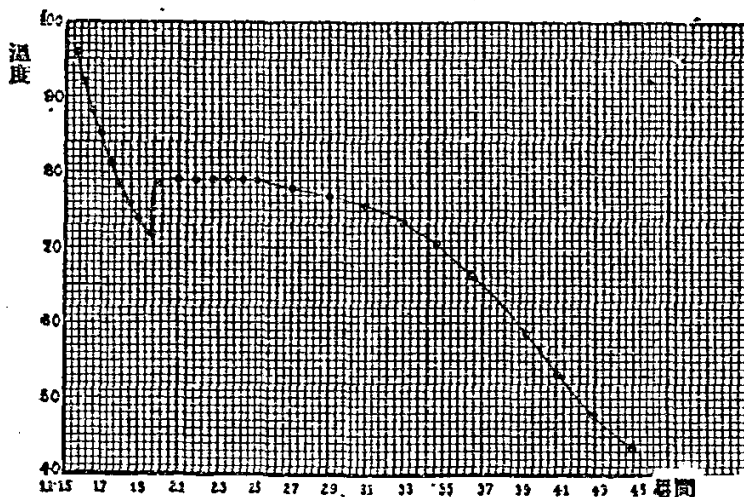


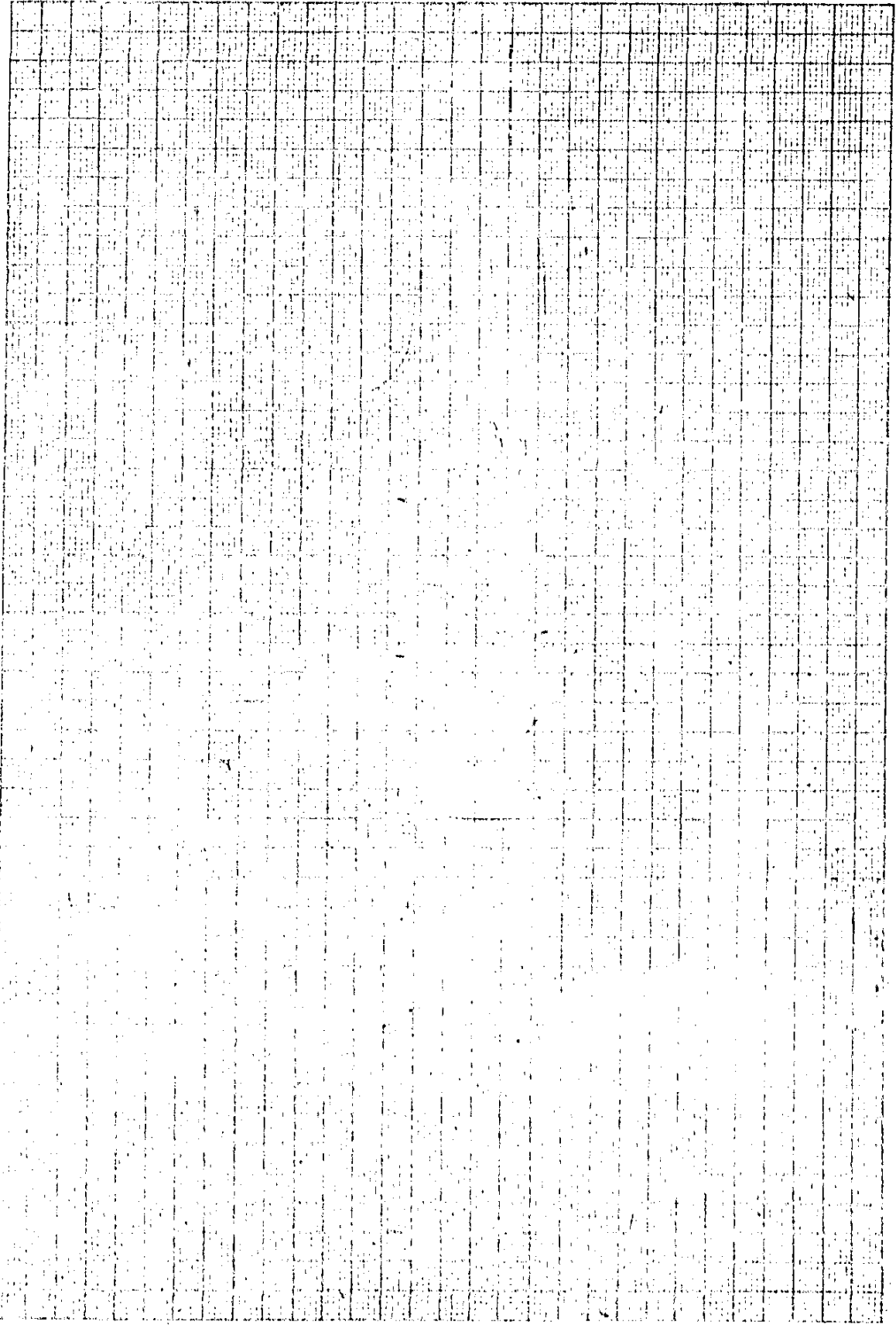
圖 105. 冷卻曲線

(4)在方格紙上沿橫軸取觀測的時刻,沿縱軸取讀出的溫度,將上面得出的結果記下,形式略如圖 105 所示的狀況.就圖 104 的例而言:開始觀測時為午前 11 點 15 分,一直繼續到午前 11 點 45 分為止.由圖上可知從 11 點 15 分起,至 11 點 19.5 分止,其間溫度從 100°C . 一直降至 71.8°C .,進行頗速,自是以後,溫度轉而升高,成為 79°C .,且能保持至 5 分鐘之久.在其次之 20 分鐘中間,始徐徐從 79°C . 降至 48.5°C .

[報告] 本實驗的報告要項列舉如下:

(1)開始結晶時的溫度.....

實驗 87 圖表 冷卻曲線



時間(點,分)→

溫度(°C.)→

5. 從固體物質中欲將溫度計取出,用何法最爲安全?

[答]

6. 水凝固時,有無熱量放出?

[答]

實驗 38.

組別.....姓名.....

磁性理論

.....

實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丙種第七

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 研究磁鐵相互間的作用,並應用磁的感應製造磁鐵。

[解釋] 凡能引起鐵屑的物體,稱為磁鐵 (magnet)。由天然產生的,如磁鐵礦 (magnetite, Fe_2O_4), 磁黃鐵礦 (magnetic pyrite, $\text{Fe}_n\text{S}_{n+1}$, n 通常為 11, 有時亦可為 5, 7, 8 或 16 等數) 以及鈷, 鎳等的礦石, 稱為天然磁鐵 (natural magnet)。由人工造成的, 稱為人造磁鐵 (artificial magnet)。人造磁鐵有種種的形狀, 其長如一棒的, 稱為條形磁鐵 (bar magnet); 曲作馬蹄鐵形狀的, 稱為蹄形磁鐵 (horse-shoe magnet); 兩端磨尖, 細長如一針狀的, 稱為磁針 (magnetic needle)。通常將磁針的中點, 支在一個鉛直的軸上, 令磁針全體取水平位置, 且能在水平面內自由轉動。

磁鐵的兩端, 吸引鐵屑最多, 此種作用最強的處所, 稱為磁極 (magnetic pole)。連結兩極的直線, 稱為磁軸線 (magnetic axis)。水平磁針平衡時, 兩極各指一定的方向, 不能互相交換: 大致與地理上的南北方向一致。向北的一極稱為指北極 (north-seeking pole), 或略稱北極 (north pole), 通常用 N 表出, 故又略稱 N 極 (N pole); 指南方的一極, 稱為指南極 (south-seeking pole), 同樣略稱南極 (south pole), 用 S 表示, 亦稱 S 極 (S pole) 凡一磁鐵必同時具有此兩極, 決不會有單獨的一個磁極, 可以獨立存在的。

兩磁鐵的極, 互相接近時, 彼此均受一種力的作用, 這種力稱為磁力 (magnetic force)。如接近的兩極同為 N 極, 或同為 S 極, 則彼此推斥, 如一為 N 極, 一為 S 極, 則彼此吸引。即同名的極相斥, 異名的極相引。由實驗得知, 同一磁鐵的兩極, 對於外來磁鐵作用的力, 雖有引力和斥力的區別, 但力的大小總是一樣的。其狀況和代數學中使用的正負號, 恰相類似。便宜上規定 N 極為正極 (positive pole), S 極為負極 (negative pole)。關於兩磁極間作用的力, 有庫倫定律。如命 m, m' 表兩磁極的磁極強度 (strength of pole), r 表其間相隔的距離, k 表比例常數, μ 表兩磁極間存在的介質所特有的導磁係數 (permeability), f 表相互作用的力, 則庫倫定律可用下式表出, 即

$$f = k \frac{mm'}{\mu r^2}$$

在真空中或空氣中， μ 等於 1，故成爲

$$f = k \frac{mm'}{r^2}$$

如有兩磁極，強度相等，在真空中或空氣中相隔 1 釐米的距離，相互間作用的力，恰等於 1 達因，如是磁極強度，定爲磁極的單位，稱爲單位強度的磁極 (pole of unit strength)，或略稱單位極 (unit pole)。

在磁鐵近傍的軟鐵片，也有吸引其他鐵屑或磁極的性質，好像也變成了一個磁鐵的一般。這個現象稱爲磁之感應 (magnetic induction)。使軟鐵變成磁鐵的作用，即稱爲磁化 (magnetization)，原來的磁鐵，稱爲感磁鐵 (inducing magnet)。受其磁化作用，由軟鐵變成的磁鐵，稱爲應磁鐵 (induced magnet)。由感應而成的磁鐵，不過是暫時的現象，只要將原來的感磁鐵撤去，應磁鐵又恢復了本來的面目，不能吸引鐵屑了。所以此種暫時的磁鐵稱爲暫時磁鐵 (temporary magnet)，而原來的感磁鐵，磁性永不消失，故稱爲永久磁鐵 (permanent magnet)。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
2	縫 針 (knitting needles)	K4
1	蹄形磁鐵 (horse-shoe magnet)	M2
1	條形磁鐵 (bar magnet)	M1
1	羅盤 (compass)	C16
1	酒精燈 (alcohol lamp)	A3
1	鋼棒 (steel rod)	S10
1	鎚 (hammer)	H1
1	銼刀 (file)	F2
	線 (thread)	T3
	鐵屑 (iron filing)	I5

【方法】 I. 製造永久磁鐵：

(1) 取縫針一枚，用銼刀在其一端作一標記，然後用條形磁鐵，或蹄形磁鐵的 N 極，在縫針上由一端擦至他端。將摩擦後的縫針平放臺上，移向羅盤，直至羅盤的指針起了 10° 左右的偏轉 (deflection) 爲止。在臺上將此時縫針兩端所在地位標出，決定此時與羅盤最接近的一端，對於羅盤磁針的指北極作用力，是引力還是斥力？又此端是 N

極還是 *S* 極？

(2) 將縫針頭尾顛倒，但仍占同一的地位，比較前後兩次表現的強度，及磁極的符號。

(3) 用磁鐵再在縫針上摩擦一次，摩擦的方向，和前一次完全相同，然後放在原處，照前重行實驗，觀察此時羅盤的偏轉是否增加？並加增若干？

(4) 再用磁鐵繼續在縫針上摩擦，直至其成為飽和(saturation)為止，換句話說，就是以後雖再摩擦，亦不能使羅盤針上偏轉增加。

II. 震動對於飽和磁鐵的影響：

(5) 將飽和後的縫針猛擲於地，然後再照前法實驗，記明所起的變化。

(6) 執縫針在桌面連續敲擊數遍，再照前實驗。

(7) 由分子磁說解釋上列兩種實驗應得的效果。

III. 折斷對於磁化縫針的影響：

(8) 取長縫針一枚，用磁鐵摩擦，俾其磁化，並標明針上兩端孰為 *N* 極，孰為 *S* 極，然後投入鐵屑中，觀察其中央有無磁性表現。

(9) 將上述的細長針折為兩段，然後先就羅盤，次就鐵屑分別檢查折斷處及本來的兩端。

(10) 再取其中一段，又折而為二，照前法實驗。

(11) 由分子磁說將上述各種實驗的結果，加以解釋。

IV. 加熱對於磁鐵的影響：

(12) 取上面實驗折斷後的磁針一小段，長約 1 英寸，放在羅盤近傍一定的處所，測定羅盤的偏轉，然後將此針放在銅絲做成的架上，用酒精燈將針燒紅，再放在羅盤近傍的原處，記出此時所得的結果。

(13) 再將此小縫針燒紅，從速放到蹄形磁鐵的兩極中間，直至完全冷卻以後，再用羅盤檢查其結果。

(14) 試用分子磁說解釋上面實驗應得的結果(但勿忘卻小縫針燒紅時，其分子的運動更形激烈)。

V. 由磁的感應製造磁鐵：

(15) 取未受磁化的縫針或小鋼釘，放在蹄形磁鐵的兩極間，與連結兩極之直線平行，用錘猛擊縫針數遍，但勿令其與磁鐵接觸，然後取出就羅盤檢查其兩極。

(16) 將此針顛倒過來，仍放在蹄形磁鐵的兩極中間，但仍不接觸，再用錘連擊數下，然後取出就羅盤檢查其結果。

(17) 取鋼棒豎立在南北向的平面內幾近於垂直，但上端略偏向南方約成 20° 或 30° 的傾斜。用錘猛擊其上端，連續至三四遍，然後持至羅盤近傍檢查其兩端，並決定孰為 N 極，孰為 S 極？

(18) 將上邊的鋼棒上下顛倒後，照前實驗。

(19) 試用分子磁說解釋所得的結果。

(20) 綜合以上各種實驗結果，對於受磁化的鋼棒中的情況，將作何判斷？並繪圖表出磁化後分子磁鐵的排列狀況，及未受磁化以前的分子排列狀況。

[報告] 本實驗的結果如下：

I. 製造永久磁鐵：

(1) 縫針的位置在.....方向，其中心距羅盤的中心.....釐米，銼有標記的一端在於...

縫針最近羅盤的一端對於羅盤的 N 極作用的是.....力。

縫針最近羅盤的一端是.....極。

(2) 縫針位置顛倒後，其銼有標記的一端在.....

縫針與羅盤針間作用的力，較 (1) 為.....

縫針最近羅盤的一端是.....極。

(3) 羅盤指針的偏轉.....，增加的角度為.....

(4) 飽和後所生的偏轉為.....

II. 震動對於飽和磁鐵的影響：

(5) 擲地後對於羅盤指針的作用.....

(6) 敲擊後對於羅盤指針的作用.....

(7) 由分子磁鐵說對於上兩項結果的解釋：.....

III. 折斷對於磁化縫針的影響：

(8) N 極在長縫針上標有.....記號的一端。

中央.....磁性表現。

(9) 折斷後原有的兩端的極性.....，折斷處表現成爲.....

(10) 再折一次結果與 (9).....

(11) 由分子磁說：.....

IV. 加熱對於磁鐵的影響:

(12) 磁針長.....釐米,在羅盤近傍取.....方向,其中心距羅盤中心.....釐米,羅盤的指針因此而生的偏轉為.....經燒紅後再試,其偏轉.....成.....

(13) 在蹄形磁鐵的兩極中間冷卻後,再加檢查,結果偏轉.....成.....

(14) 據分子磁說:

V. 由磁的感應製造磁鐵:

(15) 經鏈擊後,與蹄形磁鐵 *N* 極最接近的一端表現成爲.....極,其他的一端表現成.....極.

(16) 顛倒位置,並加鏈擊後,結果與(15)相.....

(17) 上端成爲.....極,下端成爲.....極.

(18) 上下顛倒後實驗的結果,與(17)相.....

(19) 據分子磁說:

(20) 綜合實驗所得,知.....

磁化後分子磁鐵排列的狀況.

磁化前分子磁鐵排列的狀況.

問 題

1. 由磁極感應而生的極,是同名的極,還是異名的極?

[答]

2. 磁鐵對於一塊軟鐵,發生感應作用時,本來的磁極強度或重量,是否因此減小?軟鐵的重量,是否因此增加?

[答]

實 驗 39.

組別.....姓名.....

電 之 化 學 效 應

.....
實驗日期.....年.....月.....日

高中物理學生實驗設備標準 丙種第十

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

【目的】 研究電解現象並應用來作電鍍。

【解釋】 純粹的硫酸溶解在水內，就分離成爲兩種粒子：一種是 H，帶着陽電荷，一種是 SO_4 ，帶着陰電荷，這個現象稱爲游離(ionization)，如通電流於化合物，使起分解作用，則稱爲電解(electrolysis)，發生電解的溶液，通稱爲電解質(electrolyte)，在溶液內游離出來的兩種帶電粒子，稱爲游子(ion)，其中帶有陽電的 H，稱爲陰向游子(cation)，帶有陰電的 SO_4 ，稱爲陽向游子(anion)，在這樣的溶液內，假使有電流流過，陰向游子必定與電流的方向相同，出現於陰極；陽向游子則與電流的方向背道而馳，出現於陽極，電流要是不斷，游子的這種運動也不停止。如不用硫酸而改用硫酸銅，陰向游子成爲 Cu，陽向游子仍爲 SO_4 ，電流通過其中時，在陰極出現的是 Cu，在陽極出現的本應爲 SO_4 ，但若陽極用的是銅板，則 SO_4 即與銅化合成爲硫酸銅。

通常使用最廣的蓄電池(storage battery 或 accumulator)，也是利用電流的化學效應而成的，汽車上用來開動，點燈以及燃燒氣體等，都是用的這種電池，外形是一個黑色的盒子，頂上有鉛片露出，一個盒內含有三個乃至六個同樣的電池，串聯成爲一器，因此這個盒子的全電勢有 6 伏特乃至 12 伏特。每一個電池用硬橡皮瓶或玻璃瓶裝着，其中的陽極呈棕色，表面上有一層二氧化鉛(lead dioxide, PbO_2)；陰極呈灰色，表面是用鉛絨(spongy lead)製成。兩極都作板狀，相間裝在瓶內，不過陰極板比陽極板多一塊，每塊極板都很薄，彼此又隔得很近，相鄰兩板的中間，用絕緣體的木板來隔住，瓶內的液體爲稀硫酸，由一容積的硫酸與三容積的水混合而成。硫酸溶液的濃度，最好用比重計測定。由外面送電流入此蓄電池內，則引起極板上的變化，是爲灌電(to charge)，既經灌電以後，用接線連結兩極，其上自有電流發生以供使用，是爲放電(discharge)，其實蓄電池並不能將電儲蓄起來，不過可將電能變爲化學能儲蓄於其內，再由化學能變爲電能，以供不時之需。蓄電池的容量(capacity of storage battery)係由開始放電直至電動勢降至 1.8 伏特爲止，其間由電池所能供給的電量，表示此項容量，通常用安培小時(ampere hour)作單位，1 安培小時即

表用 1 安培的電流可以連續放電歷 1 小時之久，在此期間內由蓄電池所供給的電的總量。

當蓄電池放電時，有水生成，故稀硫酸的濃度降低，比重減小，當蓄電池灌電時，有硫酸發生，故溶液的濃度增加，比重也加大，故蓄電池的放電程度，可由其溶液的比重測知。

【儀器及材料】 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
2	釘 (nails)	I6
2	乾電池 (dry cells)	D6
1	安培計 (ammeter)	A7
1	伏特計 (voltmeter)	V3
1	電鈴 (electric bell)	E2
2	鉛片 (lead plates)	I4
	硫酸 (sulphuric acid)	S11
	抹布 (towel)	T4
	硫酸銅溶液 (copper sulfate solution)	C26
	三十六號德銀線 (German-silver wire, No. 36)	G7
	接線 (connecting wire)	C22

【方法】 (1) 取接線兩條，將尖端裸出，即以裸出的一部分繞在釘上。再將其餘的兩端，連接到串聯着的兩個乾電池上，然後將釘端浸入硫酸的稀溶液中，觀察兩釘之中，最先有氣泡出現，而且後來氣泡集得甚多的，究竟是和電池的 + 極相連，還是和一極相連結的一個？乾電池的 + 極是炭，一極是鋅，發生得最盛的氣泡是氫氣；在其他一極上發生的氣體是氧氣，這是因為陽向游子 SO_4 到了陽極，和水游離出來的 H 游子結合，復成為硫酸，致令失去了 H 的水，只剩下 O 游子，故在陽極上表現出來。

試繪一簡圖，表出在稀硫酸中的電流方向，陽向游子運動的方向，陰向游子運動的方向，以及液中的陽極陰極，在液體以外的電路中，電流是從陽極（炭）經由接線等流去以達於鋅。

(2) 將釘從銅線端取下，使銅線的裸出部分和夾信紙時使用的別針 (metal clip) 相連，在每一個別針上夾一小鉛片，然後令此兩鉛片各沈一半於硫酸銅溶液中，決定那一方的鉛片上發生氣泡，是和電池上 + 極相連的鉛片，還是和其一極相連的鉛片？前者稱為陽極 (anode)，後者稱為陰極 (cathode)。這些氣泡是氧氣，約歷一分鐘後再將鉛片從液內提起，用抹布擦乾，觀察此時所得的結果，並決定銅游子所帶的電荷為陰為陽？

將兩別針夾住的鉛片交換過，照上法實驗一遍，將所得的結果記出。決定銅游子運動的方向是否和電流一致，抑或相反？

這個實驗就是日常的電鍍 (electroplating)。從所得的結果，試言要想鍍的物體應該放在陽極上，還是放在陰極上？

(3) 要使電鍍得到均勻的結果，必得要溶液能夠保持一定的濃度。所以使用的陽極金屬就用要想鍍上去的金屬。譬如要想鍍銅，陽極就得用銅，溶液用硫酸銅；要想鍍銀，陽極就用銀，溶液就用硝酸銀或氰化銀。

試取濃厚的硫酸銅溶液，將要鍍的物體放在陰極，此時的陰極只要用一條鉛棒就可以。陽極方面用一塊銅或一條銅棒，連結一個乾電池，令電流從其中通過數分鐘，注意此時陰極上面發生的變化。要是銅不能貼在物體上，須在電路中插入一些電阻，或改用比較稀薄一點的溶液，來作實驗。

(4) 用乾淨的鉛片兩塊(取前用兩塊鉛片，浸在濃硝酸內，稍之取出，用舊布揩乾，即得乾淨的鉛片。)裝在支架上，玻璃杯內盛水至三分之二滿，再加十分之一的硫酸，將上面裝好的兩塊鉛片浸在其中，連結一伏特計，檢查此時有無電動勢發生。

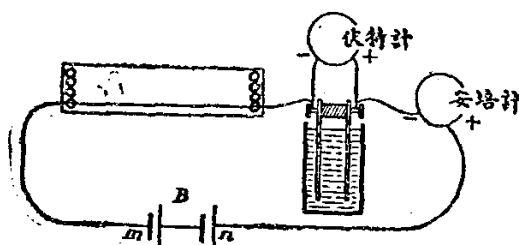


圖 106. 化學效應 (1)。

其次將此電池和五六歐姆的電阻，低讀度的安培計，以及兩個乾電池串聯起來，如圖 106 所示。令觀測者一人記出伏特計上的度數，同時另一人記出安培計上的度數，並於此後每隔 10 秒或 15 秒鐘，將兩種度數陸續讀出。

其次再用一粗大銅塊，與電阻並聯起來，俾電路中的電阻得以減少，或由電路中將電阻抽去亦可。注視此時兩種極板的狀況，在陰極板上有大量的氫氣出現，陽極板上出現的氧氣為量極少。如是歷兩分鐘之久，然後從溶液中將極板提出。試看氧氣應出現的陽極上面，有無微帶紅色的沈澱物生成？假使沒有，那就再將極板放入液內，令電流再繼續通過少許時間；直至有此種微呈紅色的沈澱物生成為止。這種沈澱物就是二氧化鉛，在陽極上何以氧氣不多？試說明其理由。

(5) 將上面造成的兩極板，重行浸入溶液內，將與電阻並聯着的大銅塊取去，即是使電流非從電阻中通過不可。記明此時伏特計上的度數，現在讀得的數，比兩接線頭 m 和 n 最初與兩乾電池 B 連結時的數，增加若干伏特？其次將 m 和 n 從 B 取下，檢查此時由兩極板發生的電動勢為若干伏特，然後將 m 和 n 互相連結起來，注視此時安培計上將生何種

變化?現在看到的電流的方向和先前用乾電池送到安培計中的電流方向,有何不同?此刻是蓄電池放電的時候,注視伏特計和安培計約兩分鐘之久.由此實驗可知陽極上生成的二氧化鉛的沈澱物,在蓄電池內可以引起反電動勢(back electromotive force),試用此現象說明當灌電於蓄電池時,何以伏特計的偏轉漸次加大,而安培計的偏轉則漸次減小?並從實驗所得的結果,推定灌電時要若干伏特?

(6) 將鉛板洗淨,重行灌電十五分鐘,然後用此蓄電池連結至一電鈴,並令其放電,測定此蓄電池能令鈴響若干時間?

[報告] 本實驗的報告項目列下:

(1) 最初有氣泡出現後來氣泡集得最多的,是和電池上的.....極連結着的鐵釘. 電流的方向如下圖:

- (2) 發生氣泡的是.....極.
- 銅游子所帶的是.....電荷.
- 鉛片交換後的結果.....
- 銅游子運動的方向和電流方向.....
- 要想鍍的物體應放在.....極上.

(3) 陰極上面發生的變化為.....

(4) 未灌電前.....電動勢.

灌電時

時 間	開 始	10 秒 後	20 秒 後	30 秒 後
伏 特
安 培

陽極上只有極少量氧氣出現的理由:

.....

(5) 放電時: 與蓄電池並聯着的銅塊取去後.....伏特.

 較 m, n 最初與 B 連結時增加.....伏特.

m, n 從 B 取下的電動勢.....伏特.

m 與 n 接觸時,安培計上的變化

.....

電流的方向和灌電時的電流方向.....
 放電進行中伏特計和安培計的變化.....
 灌電時伏特計逐漸增加安培計逐漸減小的理由:

.....
 一個蓄電池所要的電動勢為.....伏特。

(6) 可以繼續至.....秒。

[選習] (1) 如無安培計和伏特計可用, 則照圖 107 所示的方法亦可。圖中 a 為銅片, b 為鋅片, R 為電阻等於 1000 歐姆的線圈, V 為驗電流器, 即在線圈下放一羅盤而成。將銅鋅兩片與此 R 及 V 連結, A 為另一驗電流器, 用匝數等於 25 的粗銅線繞成一線圈, 下面放一羅盤而成, V 表示一簡便伏特計, A 表示一簡便安培計, r 表 100 歐姆的電阻, B 表由兩個乾電池串聯而成的電池組 (battery), 但開始時並未和電池電路中的 m 和 n 相連結。移動 V 的羅盤, 令其偏轉至 8° 或 10° 為止。此項偏轉即表示由銅鋅硫酸造成的電池所有的電動勢, 即約等於 1 伏特。其次用兩塊鉛板代替銅板和鋅板, 觀測此時的伏特計中有無電動勢表現, 並說明其理由。其次將 m 和 n 連結至電池組 B 的兩極, 以後照本實驗做去。

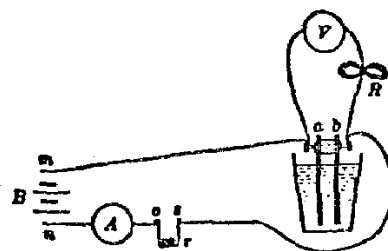


圖 107. 化學效應(2).

.....
 簡便安培計, r 表 100 歐姆的電阻, B 表由兩個乾電池串聯而成的電池組 (battery), 但開始時並未和電池電路中的 m 和 n 相連結。移動 V 的羅盤, 令其偏轉至 8° 或 10° 為止。此項偏轉即表示由銅鋅硫酸造成的電池所有的電動勢, 即約等於 1 伏特。其次用兩塊鉛板代替銅板和鋅板, 觀測此時的伏特計中有無電動勢表現, 並說明其理由。其次將 m 和 n 連結至電池組 B 的兩極, 以後照本實驗做去。

(2) 如備有愛迪生鎳鐵蓄電池 (Edison's nickel-iron storage battery), 試用來做灌電及放電的實驗, 但用愛迪生電池卻不能利用比重去檢查放電的程度, 試說明之。

問 題

1. 如電流的方向反轉, 那麼, 陽向游子和陰向游子的運動方向, 當受何種影響?

[答]

2. 銅的精鍊最後是利用電鍍, 法將不純粹的銅棒放在陽極, 溶液用的是硫酸銅。陰極上聚集的是什麼? 何以如此?

[答]

3. 如果在陽極上的棒含有銅和銀在內, 溶液是硝酸銀, 當電流通過時, 在陰極上集起來的是何種金屬? 其他的一種金屬, 又到那裏去了?

[答]

4. 使蓄電池重新灌電時,時間上有無制限?何以如此?

[答]

5. 從一個蓄電池至多可以得到若干電壓?

[答]

6. 灌電時何以要將灌電電流的+極與蓄電池的+極相連,-極與-極相連?

[答]

7. 說明灌電時和放電時所起的化學反應。

[答]

8. 蓄電池內何以經歷相當時期以後,常常要加水?

[答]

9. 放電時安培計的連結何以要顛倒過來?

[答]

實 驗 40.

電 動 勢

高中物理學生實驗設備標準 丙種第九

組別.....姓名.....

實驗日期.....年.....月.....日

評閱日期.....年.....月.....日

評定等第.....

[目的] 比較各種形式的電池的電動勢。

[解釋] 同實驗 28.

[儀器及材料] 列舉如下：

數 量	名 稱	編 號
1	伏特計 (voltmeter)	V3
1	簡單電池 (simple cell)	
1	玻璃杯 (glass tumbler for simple cell)	G12
1	銅片 (copper plate)	C25
1	鋅片 (zinc plate)	Z1
2	電極夾子 (holder for electrode)	H5
1	炭棒 (carbon rod)	C5
1	鉛片 (lead plate)	L4
1	鋁片 (aluminum plate)	A6
1	勒克蘭社電池 (Leclanche cell)	L6
1	丹聶爾電池 (Daniell cell)	D1
1	乾電池 (dry cell)	D6
	硫酸 (sulphuric acid)	S11
	接線 (connecting wire)	C22
	食鹽溶液 (salt solution)	S1
	碳酸鈉溶液 (sodium carbonate solution)	S3

[方法] 分條如下：

I. 極片的大小和距離對於電動勢的影響：

(1) 將銅片、鋅片裝在電極夾上，然後用接線將鋅片和銅片各連結至一伏特計上，如圖 103 所示，令銅片、鋅片浸入硫酸溶液中，約有 2 釐米或 3 釐米深，讀出伏特計的示度。

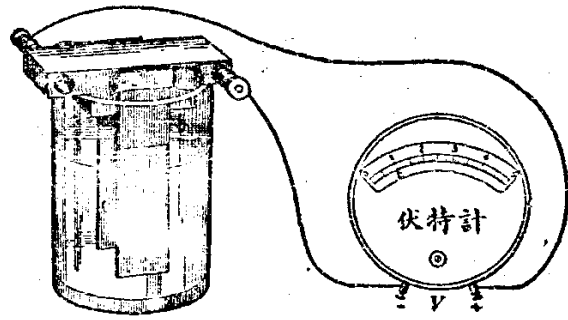


圖 103. 電動勢的實驗。

(2) 將銅片和鋅片再多浸入硫酸溶液中，直至電極夾子可以安放在玻璃杯上為止，再讀出此時伏特計的度數。

(3) 從電極夾子上將銅片取下，將原來夾在夾子上的結線端直接押在銅片上，使此銅片與鋅片盡量離開，直至兩者各與玻璃壁相貼為止，然後讀出伏特計的度數；其次再令銅、鋅盡量接近，但仍須略微分開，不可彼此直接接觸，再讀出其度數。

(4) 從上面三種實驗，推定兩金屬板間的距離，以及浸入液中的板面積的大小，對於電池的電動勢的關係。

II. 各種不同種類的金屬片對於電動勢的影響：

(5) 用鉛片代替銅片，讀出伏特計上的度數，並記明此時何種金屬為陽極，何種為陰極，並用鋅與銅，鋅與鉛，鋅與炭，鋅與鋁等配合作兩極實驗，記下各各所得的電動勢。

注意：伏特計上的兩個接線柱，標明有 + 與 - 的記號，凡與標明有 + 記號相連的金屬片，就是陽極；凡與標明有 - 記號相連的金屬片，就是陰極。

(6) 用鉛片代替鋅片作同樣的實驗，並用鉛與銅，鉛與鋁，及鉛與炭配合，各各作同樣的實驗，將電動勢各別記出。

(7) 比較(5)與(6)的結果，能否從(5)的結果將(6)推斷出來？

(8) 要是能夠如此，試將這五種物質列成一定的順序，凡在前一位的金屬，對於後面的都成為陽極；凡在後一位的金屬，對於前面的都成為陰極；並推定那兩種金屬配合起來，可以得到最大的電動勢。

(9) 從上面實驗的結果，推定金屬的種類對於電動勢的關係。

III. 各種不同種類的溶液(即電解液)對於電動勢的影響：

(10) 將銅片和鋅片分別浸入下列各種溶液中。

(a) 稀硫酸，(b) 食鹽溶液，(c) 碳酸鈉溶液，(d) 通常的水，讀出其度數，每次使用時，須將金屬片洗滌揩乾。

(11) 將銅片和鋅片浸入(a)稀硫酸，(b)在一滿杯水內加入二十滴硫化銨 (ammonia

sulphide: $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 造成的稀溶液作實驗，記出所得的度數，並標明那一片是陽極？那一片是陰極？

(12) 推定電解液的種類對於電動勢的方向及大小的關係。

IV. 串聯和並聯使用時對於電動勢的影響：

(13) 取原電池或乾電池兩個，令一個電池的鋅板 Z ，如圖 109 所示，和第二電池的銅板或炭板 C 相連，然後將其餘的兩極用接線連至伏特計上，這種連結的方法，通稱為串聯 (series connection)。讀出此時伏特計上的度數，再分別將使用的兩電池的電動勢，在伏特計上測出，並比較串聯後的電動勢和單獨使用時的電動勢。

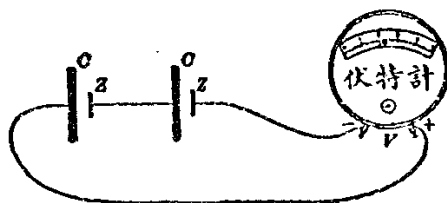
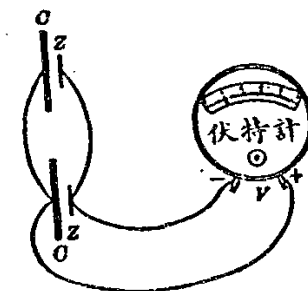


圖 109. 串聯.

(14) 將兩個乾電池的鋅片和鋅片連在一處，

銅片和銅片，或炭片和炭片連在一處，然後再將此兩處用接線連結至伏特計上，如圖 110 所示。這種連結的方法，通稱為並聯 (parallel connection)。讀出此時伏特計上的度數，並以之與單獨一個電池的電動勢比較。



● 圖 110. 並聯.

(15) 推論串聯和並聯使用的電池，應有多大的電動勢。

V. 各種商品電池的電動勢：

(16) 用伏特計分別將原電池，勒克蘭社電池，乾電池等的電動勢測出，並加以比較。

[報告] 將各次實驗所得的結果，照下列表格填入以作報告：

- I. (1) 金屬片浸下二三釐米時的電動勢 = 伏特。
 (2) 金屬片全部浸在液內時的電動勢 = 伏特。
 (3) 金屬片分離至最遠地位時的電動勢 = 伏特。
 金屬片相隔極近時的電動勢 = 伏特。
 (4) 浸入液中的面積增大時，電動勢.....
 兩金屬片間的距離縮短時，電動勢.....
- II. (5) 鋅⁻， 銅⁺， 電動勢 = 伏特；
 鋅.....， 鉛.....， 電動勢 = 伏特；
 鋅.....， 炭.....， 電動勢..... 伏特；
 鋅.....， 鋁.....， 電動勢..... 伏特。

- (6) 鉛....., 銅....., 電動勢 = 伏特;
 鉛....., 鋁....., 電動勢 = 伏特;
 鉛....., 炭....., 電動勢 = 伏特.

(7).....

(8) 排列成功的順序: 炭,.....,,, 鋅.

(9).....

III. (10) 鋅銅: (a) 在稀硫酸中, 電動勢 = 伏特;

(b) 在食鹽溶液中, 電動勢 = 伏特;

(c) 在碳酸鈉溶液中, 電動勢 = 伏特;

(d) 在通常的水中, 電動勢 = 伏特;

(11) (a) 銅....., 鐵....., 在稀硫酸中, 電動勢 = 伏特;

(b) 銅....., 鐵....., 在硫化銨中, 電動勢 = 伏特.

(12).....

IV. (13) 兩電池串聯使用時的電動勢 = 伏特;

單獨第一個電池的電動勢 = 伏特;

單獨第二個電池的電動勢 = 伏特.

(14) 兩電池並聯使用時的電動勢 = 伏特.

(15) 串聯使用時的電動勢 =

並聯使用時的電動勢 =

V. (16) 原電池的電動勢 = 伏特;

勒克蘭社電池的電動勢 = 伏特;

乾電池的電動勢 = 伏特.

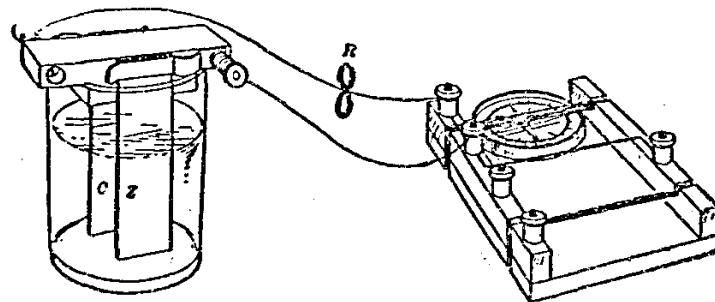


圖 111. 作驗電流器代替法.

[選習] 如無伏特計,則用一驗電流器來作代替,但須在電路中串聯一電阻極高的線圈,如圖 111 所示的 R 。此一部分的電阻,必須在 1000 歐姆以上,方足敷用。並且驗電流器中的指針的偏轉,不得超過 20° 。用這樣的儀器來代替伏特計,其偏轉就差不多和作用的電動勢,成爲一定的比例。

問 題

1. 電池的電動勢由何物決定?

[答]

2. 用面積極大的金屬板來作電極,並且放在液中相隔極近,有何好處?

[答]

3. 乾電池的兩極用的是炭和鋅,爲什麼緣故?

[答]

4. 實驗方法(8)排成的順序,是就稀硫酸而言,要是改用稀鹽酸又如何?

[答]

5. 本實驗定要用電阻極高的伏特計或驗電流器,爲的什麼?

[答]

附 錄

I. 幾何公式

$$\text{三角形的面積} = \frac{\text{底} \times \text{高}}{2}$$

$$\text{圓周} = \pi D = 2\pi R$$

$$\text{圓面積} = \pi R^2$$

$$\text{球面積} = 4\pi R^2$$

$$\text{球體積} = \frac{4\pi R^3}{3}$$

$$\text{柱體積} = \text{底面積} \times \text{高}$$

$$\pi = 3.14$$

II. 度量衡換算表

1 釐米 = 0.394 英寸	1 英寸 = 2.54 釐米	1 英寸 = 1000 密爾
1 米 = 3.28 英尺	1 英尺 = 30.5 釐米	1 英尺 = 12 英寸
1 仟米 = 0.621 英里	1 英里 = 1.61 仟米	1 碼 = 3 英尺
1 立 = 1.06 瓜特	1 加倫 = 4.55 升	1 英里 = 5280 英尺
1 立方釐米水重 1 克	1 立方英尺水重 62.4 磅	1 加倫 = 4 瓜特
1 克 = 15.4 格令	1 英兩 = 28.4 克	1 瓜特 = 2 派恩特
1 仟克 = 2.20 磅	1 磅 = 454 克	1 磅 = 16 英兩
		1 格令 = $\frac{1}{7000}$ 磅

III. 密度表(克/立方釐米)

汞	13.6	木紫槓	1.2	錫	7.3
玻璃(冕牌)	2.5—2.7	樹	0.7—0.9	鉛	2.65
玻璃(火石)	3.0—3.6	松	0.4—0.6	銅	8.93
酒精(95%)	0.807	黃銅	8.4—8.7	銀	10.5
冰	0.911	金	19.3	鎘	11.4
汽油	0.68—0.72	鋅	7.1	煤(無煙)	1.4—1.8
海水	1.03	鉻	21.5	大理石	2.5—2.8
火油	0.80	鐵	7.1—7.9		

IV. 固體線脹係數

石英(溶化)	0.000005	因鋼(invar)	0.000009	鋼	0.000011
玻璃(軟)	0.000085	銻	0.000028	銅	0.0000167
黃銅	0.0000189	鉛	0.0000231		

V. 比熱

固		體		液	
玻璃	0.190	鐵	0.119	二硫化碳(15°C.)	0.230
冰	0.502	錫	0.055	汞(20°C.)	0.1333
黃銅	0.090	鉛	0.219	水	1.000
銻	0.093	銅	0.0933	酒精(17°C.)	0.602
鉛	0.0324	銀	0.056	甘油(0°-100°C.)	5.076
鎳	0.109	銻	0.0315	火油	0.5-0.6

VI. 在不同溫度及壓力下之乾燥空氣密度(克/升)

溫 度	壓 力(單位用毫米)							
	710	720	730	740	750	760	770	780
0°C.	1.208	1.225	1.242	1.259	1.276	1.293	1.310	1.327
2	1.199	1.216	1.233	1.250	1.267	1.284	1.300	1.317
4	1.190	1.207	1.224	1.241	1.258	1.274	1.291	1.308
6	1.182	1.199	1.215	1.232	1.248	1.265	1.282	1.298
8	1.173	1.190	1.207	1.223	1.240	1.256	1.273	1.289
10	1.165	1.182	1.198	1.214	1.231	1.247	1.264	1.280
12	1.157	1.173	1.190	1.206	1.222	1.238	1.255	1.271
14	1.149	1.165	1.181	1.197	1.214	1.230	1.246	1.262
16	1.141	1.157	1.173	1.189	1.205	1.221	1.237	1.253
18	1.133	1.149	1.165	1.181	1.197	1.213	1.229	1.245
20	1.125	1.141	1.157	1.173	1.189	1.205	1.220	1.236
22	1.118	1.133	1.149	1.165	1.181	1.196	1.212	1.228
24	1.110	1.126	1.141	1.157	1.173	1.188	1.204	1.220
26	1.103	1.118	1.134	1.149	1.165	1.180	1.196	1.211
28	1.095	1.111	1.126	1.142	1.157	1.173	1.188	1.203
30	1.088	1.103	1.119	1.134	1.149	1.165	1.180	1.195

VII. 水汽最大壓力

溫度 (°C.)	壓力 (毫米)	溫度 (°C.)	壓力 (毫米)	溫度 (°C.)	壓力 (毫米)	溫度 (°C.)	壓力 (毫米)	溫度 (°C.)	壓力 (毫米)
-10	2.2	0	4.6	10	9.2	20	17.3	30	31.7
-9	2.3	1	5.0	11	9.8	21	18.6	31	33.6
-8	2.5	2	5.3	12	10.6	22	19.8	32	35.5
-7	2.7	3	5.7	13	11.2	23	21.0	33	37.6
-6	2.9	4	6.1	14	12.0	24	22.3	34	39.8
-5	3.2	5	6.5	15	12.8	25	23.7	35	42.0
-4	3.5	6	7.0	16	13.6	26	25.1	36	44.4
-3	3.7	7	7.5	17	14.5	27	26.7	38	47.5
-2	4.0	8	8.0	18	15.5	28	28.3	40	53.1
-1	4.2	9	8.6	19	16.5	29	29.9	45	71.7

VIII. 乾濕泡溫度計表

乾泡溫度 (°C.)	乾 濕 兩 泡 溫 度 讀 數 相 差 (°C.)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15	90%	80%	70%	61%	52%	44%	36%	28%	20%	12%							
16	80%	81%	71%	62%	54%	46%	38%	30%	22%	15%	8%						
17	91%	81%	72%	63%	55%	48%	40%	32%	25%	18%	10%						
18	91%	82%	73%	65%	56%	49%	41%	34%	27%	20%	13%						
19	91%	82%	74%	66%	57%	50%	43%	36%	29%	22%	16%	9%					
20	91%	83%	75%	67%	58%	52%	44%	38%	31%	24%	18%	11%					
21	91%	83%	75%	68%	59%	53%	46%	39%	33%	26%	20%	14%	8%				
22	92%	84%	76%	68%	60%	54%	47%	40%	34%	28%	22%	16%	10%				
23	92%	84%	76%	69%	61%	55%	48%	41%	36%	30%	24%	18%	12%	8%			
24	92%	85%	77%	69%	62%	56%	49%	43%	37%	32%	26%	20%	14%	10%			
25	92%	85%	77%	70%	63%	57%	50%	44%	38%	33%	28%	22%	16%	12%	8%		
26	93%	85%	78%	71%	64%	58%	52%	45%	39%	35%	29%	24%	18%	14%	9%		
27	93%	86%	78%	71%	65%	59%	53%	46%	41%	36%	31%	26%	20%	16%	11%		
28	93%	86%	79%	72%	66%	59%	54%	47%	42%	37%	32%	27%	22%	18%	13%	9%	
29	93%	87%	79%	73%	67%	60%	55%	49%	43%	38%	33%	28%	24%	19%	15%	11%	
30	94%	87%	80%	73%	67%	61%	56%	50%	44%	39%	34%	30%	25%	21%	17%	13%	9%

IX. 水之沸點

壓力 (毫米)	沸點 (°C.)	壓力 (毫米)	沸點 (°C.)	壓力 (毫米)	沸點 (°C.)	壓力 (毫米)	沸點 (°C.)	壓力 (毫米)	沸點 (°C.)
681	96.95	701	97.75	721	98.53	741	99.29	761	100.03
682	97.00	702	97.79	722	98.57	742	99.33	762	100.07
683	97.03	703	97.83	723	98.61	743	99.37	763	100.11
684	97.07	704	97.87	724	98.65	744	99.41	764	100.15
685	97.11	705	97.91	725	98.69	745	99.44	765	100.18
686	97.15	706	97.95	726	98.72	746	99.48	766	100.22
687	97.20	707	97.99	727	98.76	747	99.52	767	100.26
688	97.24	708	98.03	728	98.80	748	99.56	768	100.29
689	97.28	709	98.07	729	98.84	749	99.59	769	100.33
690	97.32	710	98.11	730	98.88	750	99.63	770	100.37
691	97.36	711	98.14	731	98.91	751	99.67	771	100.40
692	97.40	712	98.18	732	98.95	752	99.70	772	100.44
693	97.44	713	98.22	733	98.99	753	99.74	773	100.47
694	97.48	714	98.26	734	99.03	754	99.78	774	100.51
695	97.52	715	98.30	735	99.07	755	99.81	775	100.55
696	97.56	716	98.34	736	99.10	756	99.85	776	100.58
697	97.59	717	98.33	737	99.14	757	99.89	777	100.62
698	97.63	718	98.42	738	99.18	758	99.93	778	100.66
699	97.67	719	98.45	739	99.22	759	99.96	779	100.69
700	97.71	720	98.49	740	99.25	760	100.00	780	100.73

X. 三角真數表

角度	正 弦	正 切	角度	正 弦	正 切	角度	正 弦	正 切
0°	0.000	0.000	31°	0.515	0.601	62°	0.883	1.881
1	0.017	0.017	32	0.550	0.625	63	0.891	1.963
2	0.035	0.035	33	0.545	0.619	64	0.899	2.050
3	0.052	0.052	34	0.559	0.675	65	0.906	2.145
4	0.070	0.070	35	0.574	0.700	66	0.914	2.246
5	0.087	0.087	36	0.583	0.727	67	0.921	2.356
6	0.105	0.105	37	0.603	0.754	68	0.927	2.475
7	0.122	0.123	38	0.616	0.781	69	0.934	2.605
8	0.139	0.141	39	0.629	0.810	70	0.940	2.747
9	0.156	0.158	40	0.643	0.839	71	0.946	2.904
10	0.174	0.176	41	0.656	0.869	72	0.951	3.078
11	0.191	0.194	42	0.669	0.900	73	0.956	3.271
12	0.208	0.213	43	0.683	0.933	74	0.961	3.487
13	0.225	0.231	44	0.695	0.966	75	0.966	3.732
14	0.242	0.249	45	0.707	1.000	76	0.970	4.011
15	0.259	0.263	46	0.719	1.036	77	0.974	4.331
16	0.276	0.287	47	0.731	1.072	78	0.978	4.705
17	0.293	0.306	48	0.743	1.111	79	0.982	5.145
18	0.309	0.325	49	0.755	1.150	80	0.985	5.671
19	0.326	0.344	50	0.766	1.192	81	0.988	6.314
20	0.342	0.364	51	0.777	1.235	82	0.990	7.115
21	0.353	0.384	52	0.783	1.280	83	0.993	8.144
22	0.375	0.404	53	0.799	1.327	84	0.995	9.514
23	0.391	0.424	54	0.809	1.376	85	0.996	11.43
24	0.407	0.445	55	0.819	1.428	86	0.998	14.80
25	0.423	0.466	56	0.829	1.483	87	0.999	19.08
26	0.433	0.488	57	0.839	1.540	88	0.999	25.04
27	0.454	0.510	58	0.843	1.600	89	1.000	57.29
28	0.469	0.532	59	0.857	1.664	90	1.000	無窮大
29	0.485	0.554	60	0.865	1.732			
30	0.500	0.577	61	0.875	1.804			

XI. 煉銅線電阻

英國線規	直徑(毫米)	直徑(密爾)	面積(圓密爾)	在 20°C. 每千英尺 (歐姆)	雙層綳包線 每磅長度(英尺)
10	2.59	101.9	10,380.	1.09	30.9
11	2.31	90.7	8,234.	1.23	33.9
12	2.05	80.8	6,530.	1.69	48.8
13	1.83	72.0	5,178.	2.00	61.5
14	1.63	64.1	4,107.	2.62	77.4
15	1.45	57.1	3,257.	3.18	97.2
16	1.29	50.8	2,583.	4.01	122.
17	1.15	45.3	2,048.	5.06	153.
18	1.02	40.3	1,624.	6.37	192.
19	.90	35.4	1,238.	8.04	247.
20	.87	33.0	1,022.	10.1	298.
21	.72	28.5	810.	12.8	375.
22	.64	25.3	643.	16.1	472.
23	.57	22.6	509.	20.3	555.
24	.51	20.1	404.	25.6	731.
25	.46	17.90	320.	32.3	911.
26	.41	15.94	254.	40.8	1123.
27	.36	14.20	202.	51.4	1389.
28	.32	12.64	159.8	64.8	1695.
29	.29	11.28	126.7	81.7	2127.
30	.26	10.02	100.5	103.	2564.
31	.23	8.93	79.7	130.	
32	.20	7.95	63.2	161.	
33	.18	7.08	50.1	207.	
34	.16	6.30	39.7	261.	
35	.14	5.61	31.5	328.	
36	.13	5.00	25.0	414.	

由上表可見第十三號線的粗細，約為第十號的一半，故電阻亦倍之。同樣第十六號線約為第十三號的一半，電阻亦大一倍。

3

772264

(4)

3

772264

(4)