



\*A213468\*

學校家庭適用

# 理化普及儀器實驗法

第一組：力學·聲學·熱學

中華書局有限公司發行  
中華教育用具製造廠製

國立政治大學圖書館典藏  
由國家圖書館數位化

131  
111

# 序

我常常想，假如我們使用科學儀器能如兒童應用玩具一樣容易有趣，我們愛好科學，一定與兒童愛好玩具一樣；假如科學儀器的售價，能比照現在各大書局翻印的古書之低廉，科學儀器不但可以普及一切學校，也可以走進許多人的家庭；假如這兩個問題有了解決方法，科學教育之突飛猛進，是不待言的，科學救國也不至成爲空洞的口號。我不是學科學的人，也不是懂科學的人，但却常常留心這兩個問題的解決方法。要解決這兩個問題，有三個原則：第一，儀器必須簡單樸質，使製造容易，第二，一件儀器必須能作許多種試驗，第三，儀器必須便於裝卸仿製。近幾年來遇着學科學的朋友，和儀器公司裏的先生們，常常提出這些意見，鼓勵他們製作，但都沒有很好的結果。民國二十一年奉命赴歐考察教育，便中頗留意於科學儀器的製造。在波蘭時曾經看見好幾個中學校的學生能自己製造學校用的桌椅、櫥櫃。我想既能自製用具，爲什麼不能自製儀器？隨後在德國克魯伯礮廠附設的中學，看見該校師生合製的三大屋子的物理儀器，作法真算得簡單極了，材料多半是廢物——火柴盒子，紙煙筒子，餅乾盒子，都是製儀器的好材料，不待改作的。化腐朽爲神奇，真值得我們仿效。可是這不是容易事。教師沒有創造天才，沒有製作訓練，何能仿造？後來在德國，又看見有科學儀器材料箱的製造，箱係長方形，長不滿一公尺，闊高不滿十分之二公



11.2.10  
213468

所以我時常的在那裏想，我們倘使能够有一組十分完備的儀器，價格很低廉，使多數人均能有力量置辦，那學校就可以購置多份，分歸學生們使用，而費用浩繁的工場，也就不必要了。後來楊思默先生赴歐考察教育歸，告我在德見着一種科學儀器材料箱，定價怎樣低廉，用途怎樣廣大，我們中國正是缺少這一種教育利器，可能師其意而製造一種合於現在國情的一組，以供國人應用，因之就產生了這一種「學校家庭適用理化普及儀器」。

這一種理化普及儀器，全部分成四組，第一組由九十七件儀器，組成一箱，可以做力學、聲學、及熱學方面的實驗共六百七十八個，第二組由四十五件儀器，組成一箱，可做光學方面的實驗共二百八十五個，第三組由五十五件儀器，組成一箱，可做電磁學方面的實驗共三百八十九個，第四組專供化學實驗用。全部儀器，都根據作者多年實地教學的經驗，經過縝密的計劃，屢次改進，纔告成功，所以用來實驗時都無需另加製造的手續，學生們有了這副儀器，就能用種種組織的方法，構成切合實用的實驗用具和儀器，供各種基本實驗之用。實驗法每組儀器刊印一冊，全部依據物理學研究進程慣例編輯，故可兼作學校物理學教本之用。

每組儀器，可以三四個學生合在一起，在一個實驗桌上，共同實驗。實驗法曾經一番嚴密詳細的配置工夫，每個實驗，都有前面的實驗可做根據。基本的實驗，實驗編號用黑體字刊印，補

充實驗，則用普通字刊印。

實驗法，說理十分詳盡而爽直，因此本儀器也可以在家庭內給子女們應用，可以在一種富於興趣的狀態之下，來擴充和增進他們在學校裏所習得的智識。所以該種儀器是學校家庭都可適用，實為普及理化智識的一種良好工具。

本儀器雖經詳密設計，然仍難免有不妥之處，倘蒙海內專家，隨時予以指正，俾該種儀器可以日臻完善，尤所深盼！

民國二十四年十月

汪畏之

# 儀器零件說明

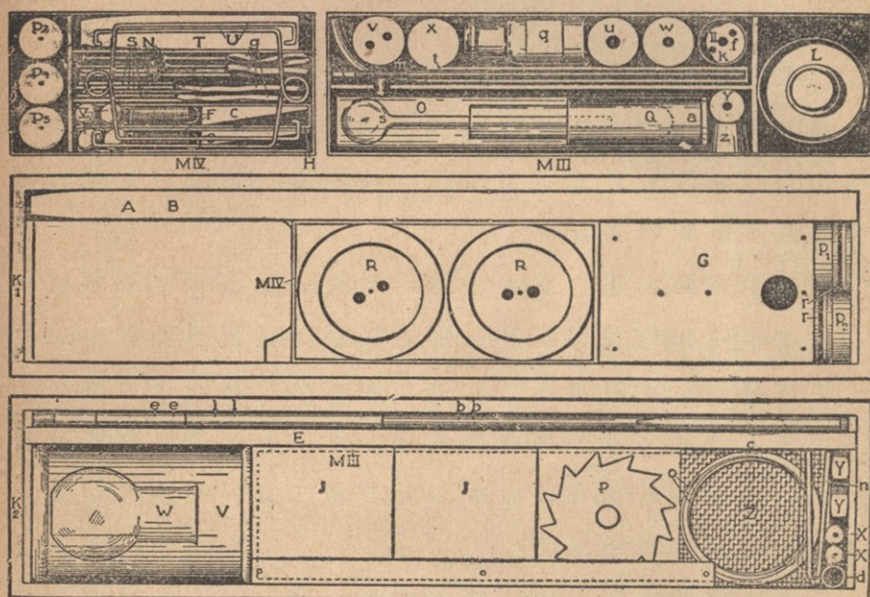
全部儀器，分貯上下兩木箱中，上方的木箱，貯藏固體力學方面的用品；下方的木箱，貯藏補充用品，如各種容器、管子等類。使用時，二木箱可以並排安放，使一切用品，一目瞭然。收藏時，應按照以下的說明來安排。

在上方的木箱內，有兩根長的木桿，一塊臺板（或木塊），二個小滑輪，兩個扁鐵錘，和一隻短紙匣。這紙匣裏面，在中央的一格內，藏着支持針、釘和膠皮帶；在前方的一格內，藏着滑輪夾、彈簧和木楔；後方的一格內，藏着短木柱；在側面的一格內，藏着三個厚的重錘；最後，在紙匣的上面，放着二個秤盤鈎，又兩個大滑輪，可以放在紙匣底下。

在下方的木箱內，由小箱蓋隔出一條側溝，安放氣壓計用管和別的玻璃管（這些玻璃管，取出時，最好用一支持用針挑起）。木箱的左端，是玻璃筒和燒瓶。長紙匣裏面，在一個長格內，藏有大玻璃管和套在管內的浮秤管、試驗管及鋁筒等；其他一個長格內，藏有大膠皮塞、水銀瓶、吹叫管、活塞、黃銅管、溫度計和膠皮管；側面一格內，藏有酒精燈。在木箱靠近長長匣外端的一小格內，是各種螺旋用品（如螺旋管等），如玻璃片、鐵絲網、齒輪（棘齒輪）、琴鋼絲和膠皮圈等，應用較少的用品，都藏在紙匣下面。

一切用品，使用後，要隨即藏好。其他例外的用品，如火柴、布

片、紙張等，切勿放在箱內，以免混淆。



- |            |   |
|------------|---|
| A. 木柱      | K <sub>1</sub> . 木箱上半   |
| B. 槓桿      | K <sub>2</sub> . 木箱下半   |
| C.C. 木楔二個  | L. 酒精燈  |
| D. 箱蓋      | NN. 開口釘十隻   |
| E. 小箱蓋     | O. 具側口的大玻璃管   |
| F.F. 彈簧二個  | P <sub>1</sub> . P <sub>2</sub> . 扁鐵錘二個                           |
| G. 臺板      | P <sub>3</sub> . P <sub>4</sub> . P <sub>5</sub> . 重錘(鐵, 黃銅, 鉛)三個 |
| H.H. 滑輪夾二個 | Q. 試驗管  |
| J.J. 玻璃片二塊 | R.R. 大滑輪二個  |

- |                      |                |
|----------------------|----------------|
| S. S. S. S. 支持針四支    | n. 音叉          |
| T. 短木柱               | o. o. 鋼絲(有環)二根 |
| U. U. 秤盤鈎二隻          | p. 齒輪(棘齒輪)     |
| V. 底具圓孔的玻璃筒          | q. 水銀瓶         |
| W. 小燒瓶               | r. r. 小滑輪二個    |
| X. X. 螺旋管二個          | s. 浮秤管         |
| Y. Y. 螺旋帽二個          | t. 溫度計         |
| Z. 鐵絲網               | u. 具大孔膠皮塞      |
| a. 鋁筒                | v. 雙孔膠皮塞       |
| b. b. 氣壓計玻璃管二支       | w. 單孔膠皮塞       |
| c. 扁平膠皮圈             | x. 無孔膠皮塞       |
| d. 黃銅管(噴水唧筒用)        | y. 有孔小膠皮塞      |
| e. e. 玻璃管(長 5 釐米)二支  | z. 無孔小木塞       |
| f. 吹叫管(吹嘴)           | I. 編織針         |
| g. g. 膠皮帶十圈          | II. 吹叫管木塞      |
| h. 膠皮管               | III. 長紙匣       |
| i. 有尖端的玻璃管           | IV. 短紙匣        |
| k. 活塞                | V. 硬木球十粒       |
| l. l. 玻璃管(長 18 釐米)二支 | VI. 鐵球         |
| m. 黃銅管(長 24 釐米)      |                |

【附註】 全組用品,共計 57 種 97 件,另有方格紙(毫米格)一

張,附在本書後面.



# 目次

固體力學	1
靜止和運動	1
力	4
惰性	8
擺	11
離心力	21
運動的阻礙	27
材料的堅固性或消極抵抗	34
附着力	39
落下和傾覆	42
槓桿	50
滑輪	65
斜面	74
楔	78
螺旋	80
功	82
能	89
液體力學	92
液體內的壓力	92
液體的浮力	99

---

氣體力學	109
空氣的重量	112
唧筒	122
氣壓計	126
飛行	135
聲學	137
絃線	140
吹叫管	147
熱學	156
液體的膨脹	158
氣體的膨脹	160
溫度計	161
熱的傳播	168
熱量	179
熔解和凝固	184
沸騰	187
蒸氣機	193
石油發動機	197
蒸發	200

學校家庭適用

## 理化普及儀器實驗法



## 固體力學

## 靜止和運動

1. 置二鐵錘  $P_1, P_2$  於桌上,而互相比較,雖經長時間的考察,在二者間不能尋見任何差異,二者均為扁圓體,直徑及高度均相同,其重量、平滑、顏色、光彩亦均相等。

但吾人緊握其一,而其他一錘,用指撥動,使其滾動時,則以前二個完全相等的物體,驟然互相各異,其一為運動,其一為靜止。我們平常所見到的一切物體,或在靜止的狀況中,或在運動的狀況中,惟嚴格言之,靜止的狀況,祇有為比較的,即對於物體鄰近的四週為靜止。實際我們知道地球與靜止其上的物體,在空間仍不絕奔馳,是以絕對的靜止,不能存在。

2. 一物體在靜止時,若無任何外力,不能開始運動。我們必須推之挽之,或使風吹之,將某種力施於其上,方能起動。無力即無運動。

我們以二指舉重錘  $P$  於空中,輕釋之,雖吾人不用任何推挽的方法,而  $P$  即迅速向地下墜。此運動的發生,仍係受有一種動力;此力類似磁力,能吸引所有的物體,趨向地球的中心。此地

表所示：

蝸牛.....	0.0015 米	特別快車...	20—25 米
步行者.....	1.4 米	傳書鴿.....	30—40 米
乘腳踏車者.....	4—5 米	聲(空氣中).....	333 米
汽車.....	8—24 米	鎗彈.....	600 米
特快輪船.....	12 米	光線.....	300000000 米

## 力

12. 在開始第 2 實驗中,我們查知無力的作用,則不能發生運動力的發生,或由於我們的肌肉,或則如滾球的實驗中,由於地球的吸引或引力,但利用

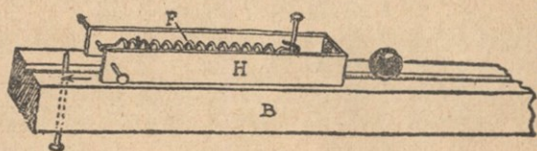


圖 二

緊張下的彈簧的彈力,亦可使球發生運動(圖二)。

將釘插入槓桿 B 的第五孔,令彈簧 F 附於其上;彈簧外面覆一滑輪夾 H,另用一釘,平貫 H 的二臂,而將彈簧的游離端附於其上,末後用一釘,自下面穿過 B 的第一孔或第二孔,用力將 H 向後拉動,使彈簧緊張,就以此釘作為止釘,現置球或鉛筆於槽中,使接近滑輪夾,乃將此止釘下抽,驟然將彈簧釋放,物體即藉其彈力而運動。

13. 現將彈簧再拉長二孔,則物體投出愈遠,由此可見彈簧伸張愈長,則發出的力愈強。

14\*我們先用直徑 1 至 2 毫米(Millimetre)粗的鐵絲，彎成一重錘 P，用的雙鉤，置重錘於 B 的槽中，兩端各連一彈簧，緊握重錘，將一側的彈簧，引長一

個孔，他側的彈簧引長二個孔。如斯，同時在相對的



圖三

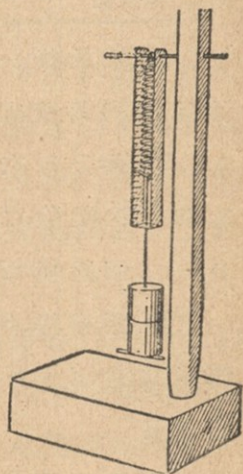
方向，有二個不同的力，作用於重錘上，錘一經釋放，立即向力量較強的一方移動(圖三)。

15. 錘停止於何處？他並不完全跟着較強的力走去，因以前力量較弱的彈簧，現在亦被引長至若干程度，以至相對的二力，成爲平衡。一物體受相對的二力牽曳，非至二力平衡，不能靜止

16. 二童拔河，雖兩方各以全力拉着，而繩不移向任何一方時，即二童的力量，恰正相等。

17. 現不用肌力，而代以其他互相牽曳的二力，即引力與彈簧的彈力。是因前者永遠趨向地球的中心，即永遠向下垂直作用，須將彈簧掛着，以便向上垂直牽曳。

木柱 A 垂直插入臺板 G 的孔中，彈簧與滑輪夾，用支持針 S 附着於木柱的上端，彈簧的下端，游移在滑輪夾的刻度上，以作指針。縛一繩於彈簧的下端，自滑輪夾的孔中穿過，在游離端上，打成一小圈。在此繩上



圖四

\*見設計者言末後第三段。

懸掛重錘 P 三個,其法將小圈自其中心的小孔穿過,而下面用一橫柱固定(圖四)。每個重錘各重 100 克(Gramme),此等重錘係用不同的材料製成,大小不一。今將重錘 100 克,200 克,300 克的依次載在彈簧上,而就滑輪夾的刻度,記錄彈簧的長度。若備有砝碼一組(或向他處借來),則介於其間的長度,亦可決定。結果表示於下:

負 荷	彈簧長度	0 克以上所增加的長度	負荷每克所增加的長度
0 克	40 毫米	—	—
20 克	44 毫米	4 毫米	$4 \div 20 \text{克} = 0.20 \text{毫米}$
50 克	50 毫米	10 毫米	$10 \div 50 \text{克} = 0.20 \text{毫米}$
100 克			(以下仿此)
200 克			
300 克			
400 克			
500 克			

對於最後一欄,我們應得相似或竟相等的價值。因彈簧的伸長,確與負荷成比例,即引長三倍與負荷增加三倍相符。

18. 欲得每克所增長度的最近數值,可將所求得的各數值的和以次數除之,取其平均數,此為比較最正確的數值。如其中有一、二個數值,極不一致,即為觀察錯誤之徵,故應重復測量。

19. 懸槓桿 B 於支柱,利用槓桿上的刻度,以代滑輪夾 H,可測量負荷至 500 克。若將二彈簧直長相連,則伸長增至二倍,觀察尤易。

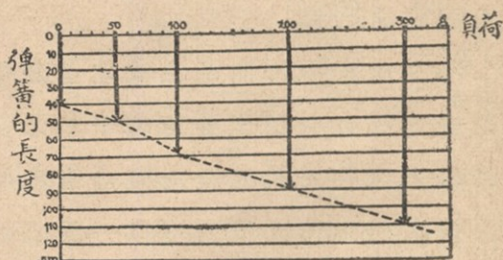
20. 表中所得的結果,亦可以圖代表之。將 0 克,50 克,100 克,150 克,200 克,300 克等負荷測定後,吾人想像將此等負荷不同的

彈簧，順次掛在一橫桿上，自左而右，從沒有負荷的最短彈簧起始，一直到右側負荷最重，引伸最長的一個彈簧為止，每個彈簧，各用一垂直線代表，遂得一圖表，頗似圖五。

圖五並不完全與彈簧上所求得的结果相符合，其用意僅表示如何將此等結果，列入本書後面所附圖版II的表格而已。以後所有測量，將一律採用我們自己所作圖表上標明的數值。

### 21. 從實地試驗求

得的圖表，極有效益。我們將彈簧（垂直線）的下端，用點線連結起來（圖五）。若我們的測量準確，則此連結線



圖五

成一頗直的線。如有何參差，則為觀察者的工作不善。現可自此圖表，推定許多數目。一彈簧在80克的負荷下，長為若干？我們祇須自圖表上緣代表80克的等分點，向下劃一直線而測量之，即得負荷為130克或210克時，彈簧長若干？均可利用此法以測得。

22. 反是，我們自彈簧的長度，可查知其所受的引力，必為若干克數。在10釐米的長度，顯然為250克。在任何實驗，彈簧的長度假定為6釐米時，我們在圖表內的曲線上，尋出距離上緣亦達6釐米的一點，因此時上端標明為80，所以彈簧必被80克所牽引。以後我們將常用彈簧測力，即測量彈簧的伸張度，而在圖

表中，尋出其相應之力是，如斯則我們的彈簧，已變成一「力的測量器」或「力計」，我們已知 100 克的力，幾將彈簧引長 20 毫米，故以後祇須記着彈簧每伸長 1 毫米，與 5 克的力相當，即可。

23. 如學生備有秤量 25 仟克 (Kilogram) 的一種彈簧秤，則可用以測量肌力；其法，將秤上的環與鈎，以兩手握住，橫於胸前而盡力引離之，即得。

24. 在學校中，可照前法決定全班學生的肌力，將結果製成一圖表，對於每個學生，各用若干釐米長的一條垂直線，直立於一橫線上以代表其肌力，此等垂直線的上端，照圖五互相連結，肌力何人最強，何人最弱，可以一望而知，若一年以後，再行測量，而記入同一圖表，則肌力上有何變化，立即可以明瞭。

## 惰 性

25. 我們在前節曾謂運動僅在力的影響下發生，因此下面的實驗，更足令人驚奇。

(圖六) 納一硬木小球 V 於試驗管 Q 中，將管置木柱 A 的槽中，迅

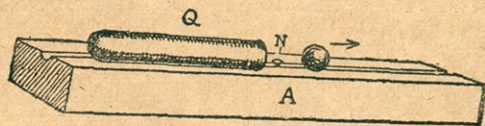
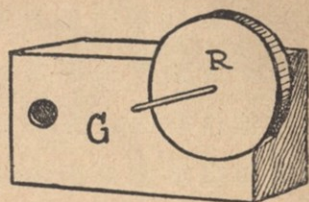


圖 六

速向前推行，直至為釘 N (僅突出槽面少許) 所阻而止，以前試驗管與球雖共同移動，待試驗管被釘阻止，球即躍出管外而向前滾動。球一經運動後，具有保持其運動狀態的傾向。

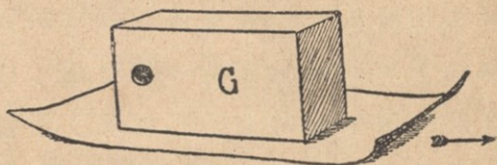


26. 用支持針 S 作軸，將大滑輪 R 裝在臺板 G 一角的孔中，用手使輪迅速旋轉，在推動力停止了許久以後，輪仍繼續轉動，蓋因此輪具有一種「惰性」，即一種保持運動的能力或傾向故也。（圖七）



圖七

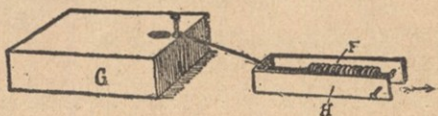
27. 圖八示臺板 G，如何因其下的紙，適當牽曳，而始終隨其移動。



圖八

28. 但將紙很迅速的向前拉去，情形即改變，臺板並不隨之移動而停止不動。一物體在靜止的狀況下，不能驟然變成運動的狀況，它具有保持靜止的傾向。

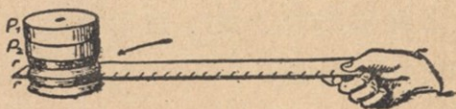
29. 將「彈簧力計」用線繫在臺板 G 上（圖九），將彈簧向前拉動，視察彈簧引伸至若干長度，臺板始行移動。當臺板在其支持物（箱蓋 D）上，以均等的速度向前移動時，



圖九

再考察彈簧所保持的伸張度，在移動開始時及繼續移動時所需要的力，各為若干克數，可從實驗 20 的表中查得。

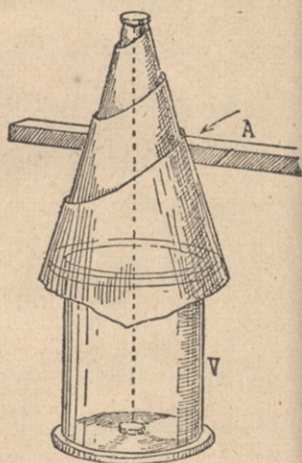
30. 在圖一〇所表示的實驗，也可用惰性來說明，置二鐵錘  $P_1$ ,  $P_2$  於二小滑輪



圖一〇

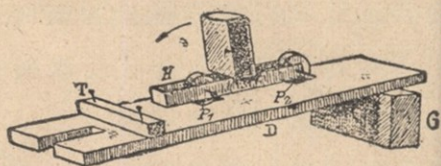
$r_1, r_2$  上。此時用一扁尺(或黃銅管  $m$ )，可將一小滑輪擊去，而其上的鐵錘，並不下墜。他借助的地方，就是因為有着鐵錘的重量壓在上面的緣故。

31. 圖一一表示一件頗堪驚異的玩藝。用報紙一張，繞成圓錐狀，置於玻璃筒  $V$  上。其頂端安置一錢幣，用木柱  $A$  將圓錐擊去時(當心玻璃)，錢幣並不與紙一同飛去，而直墜於玻璃筒中。試求其解說。



圖一一

32. 用二重錘  $P$  及滑輪夾，裝成一小車(圖一二)，代表腳踏車，車上置火柴匣一，作為乘者。當腳踏車沿斜坡滾下而遇一障礙物( $T$ )時，乘者頭部最前，向前跌出。腳踏車驟然停止時，乘者的身體，仍保有繼續向前運動的傾向。



圖一二

33. 在滑輪夾  $H$  的外側，裝二小滑輪，作為前輪，重錘  $P_1, P_2$  作為後輪，以構成一馬車，置一物件(火柴匣)於其上，作為御者。吾人在此簡單模型，見馬驟然向前拉動時，御者必向後傾欹。其上身依然靜止着，下體則被拉向前方，遂不得不取傾斜的位置，而向後傾欹。

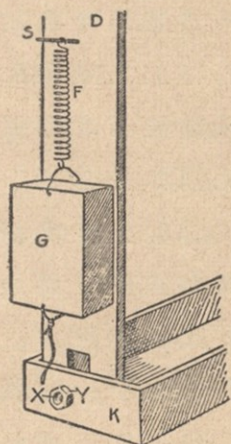
34. 將盛水達七八分的容器(例如酒精燈  $L$ )，急向前推，

水（仍保靜止）即向後盪出於桌上（圖一三）。



圖一三

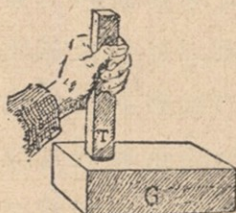
35. 圖一四中，臺板 G 掛在一彈簧上，板下繫一頗細之線，將線緩緩拉下，彈簧即逐漸伸長，木板下降。但突然間用力一拉，在尚未勝過木板的惰性以前，線已中斷。



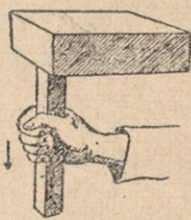
圖一四

36. 實驗 35，亦可用以解說裝鏈柄之法（圖一五 a）。臺板 G 作為鏈頭，短木柱 T 作為鏈柄。鏈頭寬鬆的套在柄上，懸空提起，用力打擊柄的上端時，柄即滑入鏈頭的孔中，直至嵌合極緊而止。

37. 反是，如將鏈柄的上端向下，在桌上打擊，以固定之（圖一五 b），則在鏈柄的運動，突然停止時，鏈頭的惰性，使其不得不滑下而緊套在柄上。



a



b

圖一五

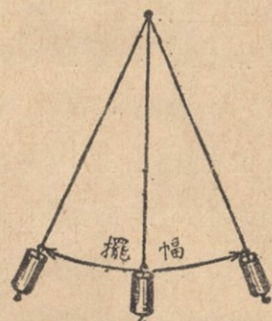
### 擺

38. 用支柱 A 裝在臺板 G 上，並用支持針 S 插入 A 的最上

孔中，構成一支架，在支持針上繫一線，線的下端懸一重錘 P。重錘在靜止時，可使線引伸於垂直的方向，因在此位置，重錘與地心最爲接近。

39. 讀者可利用此垂線錘，以確定器具、門框等是否垂直。

40. 若將重錘自其最低的位置，向側面移開（一面將線拉緊），而釋放之，則發生何種現象？重錘即開始擺動，換言之，即開始依一種圓弧而運動，先以加速度向下運動，繼而因惰性的原因，以減速度向對方運動上去，直到引力再將其吸下爲止（圖一六）。試與實驗 8 互相比較。



圖一六

41. 吾人用一時錶，先計算一分鐘內擺動（自一個最高點至其他一個最高點或半個擺動）的次數，再照樣計算一分鐘（此時不讓擺有任何新的激動），我們發見每分鐘內擺動的數目，均相同。

42. 第二次，將重錘自其最低點向一側僅拉過 5 釐米，再計其每分鐘擺動的次數，將擺動的次數除時間，即得單獨擺動一次的時間。最奇異的，擺動的時間，與擺動的闊度或擺幅無關。我們持尺 B，放在擺線的後面，測量擺從垂直位置擺過的距離，每隔 10 秒鐘，測定一次，擺動的擺幅，只管減低下去，此結果用圖表來表示，十分相宜。

43. 現更尋出擺的重量，即重錘的重量，對於擺動的時間，究

有何種影響。我們再用鈎子懸一重錘於線的同一結上，即在第一重錘之傍（不是下面），照前法來試驗。我們尋出擺動的時間，依然不變，即與擺錘的重量，毫無關係。

44. 現在把原來的線對折，減短重錘的線，再測定每分鐘的擺動數。此時發見擺動的時間，較前為短。短的擺擺動起來，比長擺來得快。

45. 一個 25 釐米長（從支持點到重錘中心）的擺一分間是擺動幾次？其擺動的時間（即週期）是多少？這擺的長度如量得很精確，則一分間應擺動 120 次。現在不難求出擺動一次的時間是： $60 \text{ 秒} \div 120 = 0.5 \text{ 秒}$ ，即半秒。

重錘的擺動，是迅速而不停的，所以計算其擺動次數時，數目不必完全讀出，可照下法來計數……20, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 30, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 40, ……。

46. 我們試記住擺動的拍子，不看着擺，把半秒逐一數出。如把拍子改成全秒，更好。此時可再用擺來校驗（祇須計算每擺動兩次即一往復的數目）。這是很可驚異的，因為沒有擺，我們數起秒數來，大抵比實際要快得多。

47. 現在知道擺愈長，擺動愈慢；我們把擺加長，使其自左至右，一擺動之間，恰正經過一秒。長 25 釐米的一種擺所需的時間是  $\frac{1}{2}$  秒。要達到完全的一秒，我們且把他的長度加長一倍而達 50 釐米。要放長擺，我們須把支架靠近桌子的一邊，使重錘可以越過桌子而擺動。我們再計算擺動的次數。現在擺動的時間是

多少？他並不是一秒，却比我門所料想的來得短。因為擺的長度加倍，其擺動的時間，並不加倍。

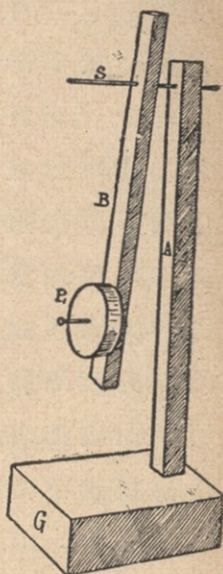
48. 現在我們要越過一級來試驗，把擺立即加長為原來的四倍，即自 25 釐米放長到 1 米。此時擺動的時間是多少？其結果，要使擺動的時間加倍，必須四倍其長度。這是一個要重的定律。要擺動的時間變為三倍，我們必須使擺長不祇是加到三倍，而是變為九倍。所以要：時間加倍，擺長須 4 倍，時間三倍，擺長須 9 倍，時間四倍，擺長須 16 倍，……那是很明顯的。你們誰能證明這定律，而依次的繼續加以實驗？長  $16 \times 25$  釐米的一種擺，擺動一次是否真的要 2 秒鐘？可以在梯子上或從窗口來試驗。

49. 長一米的擺（確數為 99.4 釐米），因其一秒間適擺動一次，故稱秒擺。用此種擺來測量時間，正如我們用米尺量長度，用克（藉彈簧）表示力一樣。在實驗 11，假使我們曾用一種秒擺，來代替那簡單的計時法，對於步行者的速力，當能獲得一種更可靠的結果。這實驗，現在應該利用我們新的時計，來重做一次。

50. 某科學發明家帶了這一種秒擺，到南半球去，發見他的擺，在從前雖然很可靠，在赤道上却改變其擺動的時間。他把這現象，很正確的歸因於地球北半球的引力的較大。在赤道上，秒擺的長度是 0.99356 米。我們取一磁石（可從本儀器第三組——電磁學——中借用），靠近擺錘的下面放着，換言之，即利用一磁石以增強地球的引力時，果然我們見到擺動的速度，顯然加

快。磁石可用釘固定在臺板中央的小孔內；一種短的擺（20釐米），比長的擺相宜。

51. 測量時間時，所觀察的事件和擺動的擺，每不能同時照顧。此時擺每擺動一次，應當用一種可以聽聞的信號表示出來。這一種擺，必須比現在的線擺做得堅固些。我們用槓桿 B 來代線，這槓桿用針由其頂端下面的第二孔穿入，以支持之。這擺擺動起來也極好；實際一切懸掛的物件，例如電燈等，都能像擺一樣的擺動。再在這槓桿下端最後的一個孔內，附以滑輪 R 或重錘 P，擺即告成。因此種桿擺，應該把懸掛點和重錘中心之間的距離，取作有效的長度，所以這擺，祇須把重錘在其槓桿上移上或移下，便可改變或調節其擺長（圖一七）。



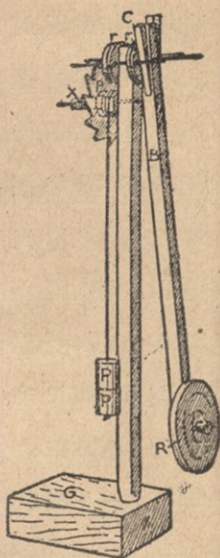
圖一七

52. 我們在槓桿 B 的前面，裝一音叉，騎跨在懸掛針之上，由此，使擺動可以聽聞。在針下約二個孔，適當音叉兩股之間，插入另一枚針於槓桿上。如斯則每一擺動，音叉即可被擊一下。

### 鐘 擺

53. 我們以前所做的擺，擺動以後，不久便又停止；但時鐘的擺，則終日走動。這是因一種輕微的推動力所致，這種推動力，經過一種懸掛重錘的拉力或重力所引動的一串齒輪，在每次擺

動時，傳達於擺上。這一種鐘擺的構造，很是有趣，我們可以照圖一八來組成一個模型。把金屬的棘齒輪  $P$ ，旋在螺旋管  $X$  的一端；這螺旋管中心有孔，可以和針適合。針先插入支柱  $A$  頂端下的第三孔中，然後把一端裝有棘齒輪的螺旋管，套於其上。先把細繩的一端，緊夾於棘齒輪與螺旋帽之間，且繞好在螺旋帽的溝中，而從其游離的一端，掛上一個重錘以後，重錘即可使棘齒輪迴轉。細繩的繞法，須逆着齒尖的方向繞去，使棘齒輪可以順着齒距傾斜的方向而迴轉。我們再用一種制動的裝置，即所謂操縱鉤者，把棘齒輪和擺連結起來，使棘齒輪祇能緩緩的走動。在支柱頂部的孔內，插入一支持針，作為二小滑輪  $r$  的軸。這二個小滑輪，一個裝在支柱的前面，一個裝在支柱的後面。槓桿  $B$ ，也由其第三個孔，套在這支持針上，掛下來做擺。再有兩枚針，分別在支柱和槓桿的兩側，穿過二小滑輪，使其固結一起。這二枚針，須透出前滑輪面約 1 釐米，惟軸端則與滑輪面相齊。擺桿和最後所說的二枚支持針之間，嵌入二個木楔  $C$ ，如斯連結之後，二滑輪即堅固附着於擺上。這二枚針突出的一端，在棘齒輪的齒間通過，以防止其迴轉。他們的作用，像一種制動機一樣。擺每擺動一次，他們祇許棘齒輪移過或逃過一個齒，故有操縱鉤之名。操縱鉤每次隨着一個齒運動過去，這



圖一八



個齒落到他的針上，傳達一種推動力於擺，如斯而維持其擺動

54. 當時鐘走快或走慢時，這一種擺的速率如何調節？擺錘移上或移下的效果，當由實驗尋出之。

55. 我們的鐘擺儀器，走動起來很是巧妙，可惜重錘片刻就降到了臺板上，時間很短促，所以在終日要走動的時鐘，重錘並不直接掛在操縱鉤上，而是經過一種複雜的齒輪聯動裝置的。圖一九表示一種調帶聯動裝置，加在我們的鐘擺儀器上的情形。調帶可以採用一種膠皮帶，從下方的大滑輪，引到上方的小滑輪上。此時拉動的重錘，比以前要做得重些。

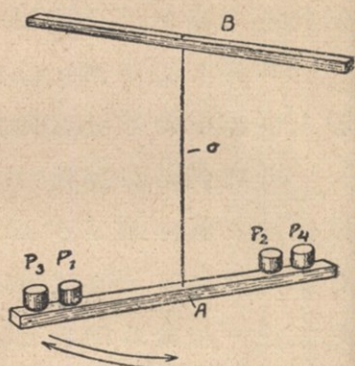


圖一九

56. 操縱鉤也可以用別種力引動，來代替重力的拉動；例如用彈簧的彈力是。至於這個計畫怎樣可以實現，我們留給學生自己去想。

57. 在時錶內，當然不能採用重力來做一種動力，因為他們非有一些走動的餘地不可。因此，祇有緊張狀態下的彈簧的彈力，可以利用，以達此目的。爲了同一緣由，粗笨的擺，也不能不用別的調節器來代替。和擺一樣，也能完成均一的擺動的，是一種水平擺。第一步，我們須照圖二三，組成一個支架。箱蓋 D 和 E，用螺旋管 X 和螺旋帽 Y，固定在木箱 K 兩端側壁的內側，槓桿 B 則以水平位置，架在他們頂上而固定之。取 30 釐米長的一段鋼絲 o，使一端通過槓桿中心的孔，其游離的一端，則照樣通過支

柱 A 中心的孔 (圖二〇), 各用一木條 (火柴), 把他們固定在孔內。鋼絲透出孔外的部分, 無需切除。A 懸掛在 B 上, 當靜止時, 對於 B 應成直交。我們現在把他從平衡的位置, 轉過一些, 他便會迴旋擺動。當第一分間和第二分間, 擺動的次數是多少? 又當第三分間, 是多少? 擺動的次數, 和他們的擺幅是沒有關係的, 正如尋常的擺一樣。

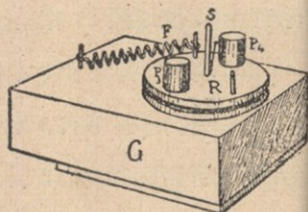


圖二〇

58. 我們把重錘  $P_1$ ,  $P_2$ , 在距離中點相等的地方, 分別放在擺動的 A 的兩側時, 其對於擺動的次數, 有何效果?

### 時 錶 的 輪 擺

59. 時錶內不絕迴旋擺動的小輪, 便是這一種水平擺, 名曰輪擺或平衡輪。圖二一是表示這種輪擺構成的情形。針 S 作為一種垂直軸, 滑輪 R 用小針嵌入針的一傍, 使固定其上, 針的下端, 停在玻璃片 J 上, 使運動時, 摩擦力可以儘量減小; 而滑輪 R 則和臺板 G 完全離開而運動。滑輪的上面, 用二重錘  $P_3$ ,  $P_4$ , 在同一直徑的兩端壓着, 以增其重量。在滑輪內側的一個小孔內插入火柴一, 由此引張一螺旋彈簧, 到臺板一端的另一火柴上。滑輪上, 在彈簧附着處對面的一點, 另裝一木針, 以接受藉操縱

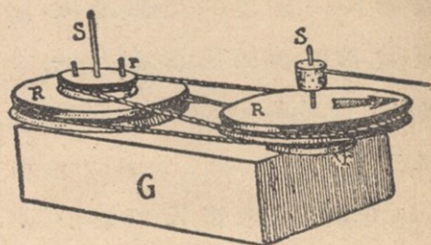


圖二一

鉤而運動的槓桿所傳來的推動力，我們須用手指把他輕輕的撥動來代替。

60. 時鐘的兩枚指針，頗令人迷惑，因為他們好像在同一軸上迴轉，可是並不以同一速力運動。我們用圖二二的排列法，來仿造這一種減速聯動裝置。

左方二滑輪  $R$  和  $r$ ，用木針（火柴）互相連結。右方位於下面的小滑輪  $r$ ，先用粗線或繩一段，



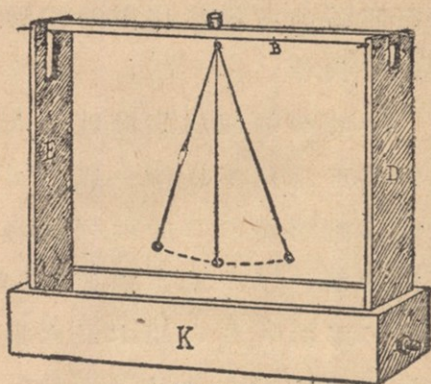
圖二二

由其中心的孔通過，然後套在針  $S$  上，使其與軸不致滑動，而同一迴轉。但其上的大滑輪  $R$ ，則能自由轉動，與  $S$  無關。取一小木塞，側面插一小針，套在  $S$  上，作為時鐘的分針。這二組滑輪，用調帶（膠皮帶）連結起來。再在右方的滑輪面上，黏貼一紙做的指針，作為時鐘的時針。當我們迴轉左方的一組滑輪時，右方的二指針亦即迴轉，不過在同一時間內，大滑輪上的指針所轉過的角度，顯然比木塞上的指針來得小。假使短指針的速度，像時鐘裏面一樣，要減低到祇有長指針的十二分之一，則滑輪的直徑，應該是多少？

61. 實驗 57 的支架，可以用來掛一線擺，祇須取一小針插入木塞內，便可懸掛起來。我們聽憑擺以任何方向而擺動，把木塞和掛着擺的小針迴轉時，或則使支架全體，以懸掛點直下的一點作中心而注意迴轉時，觀其有何現象發生。擺的懸掛點雖在



迴轉，擺仍保持其擺動的方向或擺動的平面；這事實對於地球繞着地軸而迴轉，曾給與一重要的證據。此種實驗，名曰福柯擺實驗(Foucault's pendulum experiment)(圖二三)。



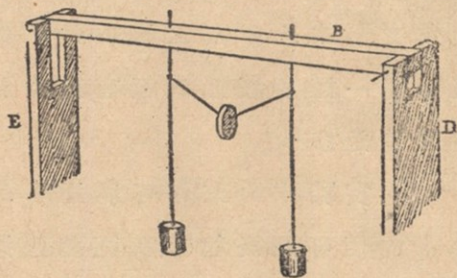
圖二三

62. 要使木箱 K 和架子

迴轉起來相當的正確，我們把他放在實驗 102 的球軸承上面。當靜止時，在木箱底部的內面，擺的直下，作一記號，迴轉時，注意這一點，不使移動。

63. 比較單純的形式，可用一種雙擺來說明。這擺由二個擺組成，一長而重，一短而輕，後者附着於前者之上。第一擺用二線從支架的橫樑上掛下來，比較用單線來得好。

64. 最有興趣的，是一種交感擺的實驗。取兩個確切相等的擺，用木楔固定於支架的橫樑上。這二個擺用一橫線互相連結，橫線的中央，先繫一滑輪，以增其重量。撥動其中一擺而擺動，片刻以後，第二擺也開始擺動，雖則第一擺



圖二四

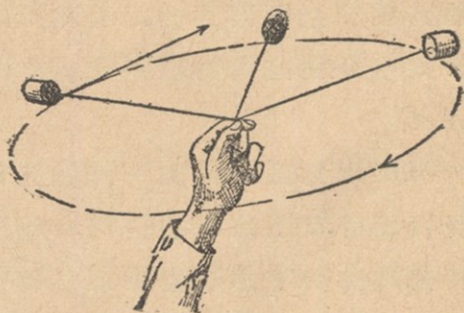
幾已完全停止，後來第一擺，又復開始擺動。要之，他們的動作頗

似彈性的形式,力和能,由一擺而至他擺,交互轉換(圖二四)

## 離 心 力

65. 在實驗32,我們知道一個騎腳踏車的人,當他的車子,因碰到障礙而突然停止時,因具有一種繼續運動的傾向,而向前傾跌。這種一度獲得運動以後,要繼續把他保持,是一切物體的通性。我們想像臺板G是一輛拖車,板上放着的物件(火柴盒)是乘客。當我們把拖車先依直線方向移動,次以同一速度,急速轉灣時,乘客即跌下。在前一個例,我們知道傾跌的原因,在於保持向前運動的一種傾向,突然受阻的緣故。在現在的一個例,則乘客雖自由繼續其運動,而仍然跌落,惟此時不向前跌,而向側面跌下。這事實使我們不能不照下面的說明來解釋,即一個運動着的物體,不但要保持其運動,還要保持其運動於同一方向。拖車每次轉灣,因其方向已改換,而車上的物體,仍要保持一直線的運動,以至跌落。在拖車急速轉灣時,這一種不測是常有的。

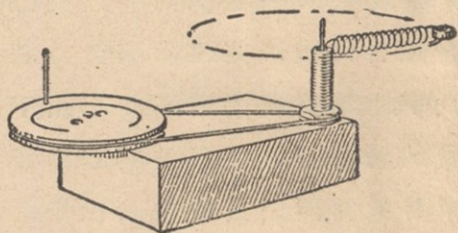
66. 先在細繩的一端,繫一重錘P,握持他端而給與一種推動力於重錘時,重錘僅能依從細繩所規定的圓路運行,而繼續其運動,並不依一直線的方向飛開去。且在圓路內,因方向不絕改變,



圖二五

物體在每一瞬間，要努力脫離其軌道，所以他在繩上不絕用力曳引，宛如有一種力量，把他從中心拉開去的一般。這一種力，名曰離心力，其效果可以從我們握繩的手感覺到。這細繩應該用堅牢些的（圖二五）。

67. 要使一個物體，很便利的作一種圓周運動，我們可以建造一個離心機（圖二六）。手搖輪在前面已裝過，是用釘作軸而迴轉的，另一枚釘作迴轉用的曲柄。這些釘的裂口要放闊些，使其緊嵌於孔中。迴轉輪的地位，由螺旋帽 Y 代替，用大孔旋在螺旋管 X 上。螺旋帽未曾旋上螺旋管以前，先用一段線，從孔中穿過，使其緊嵌在螺旋管上。當我們迴轉大輪的曲柄時，調帶（膠皮帶）引動小輪（螺旋帽和螺旋管），以極快的速度迴轉。在這個實驗中，大小二輪須儘量遠開裝



圖二六

設，即裝在臺板兩對角的孔內。大輪迴轉一次時，小輪迴轉的次數是多少？這些迴轉數的比例，即應用聯動裝置所得到加速的程度。

68. 取彈簧一，由其一端鈎入螺旋管側面的孔中而掛着，另從黃銅管 m 上取來螺旋帽一，繫在彈簧游離的一端。當手搖輪轉動時，彈簧下端沈重的螺旋帽亦即轉動，而離心力即發生作用。離心力依遠離螺旋管的方向而作用，把彈簧拉動引長，由螺

旋帽所顯出的圓周的擴大，顯然可辨（圖二六）。

69. 轉動的速力加倍，對於離心力有何效果？

70. 我們用大螺旋帽 Y 來替代，以增加轉動着的螺旋帽的重量時，即使手搖輪祇徐徐轉動，也見到彈簧現出一種較強的伸張。轉動的物體愈重及其速度愈快，則離心力顯然也愈大。

71. 取大小滑輪 ( $R, r$ ) 各一，用兩根火柴，插入他們相對的孔內，使互相結合，以便一同轉動；我們把他作為一種轉臺，在螺旋帽和螺旋管的地位，用速度頗低的聯動裝置來轉動他。取重錘  $P_3, P_4, P_5$ ，第一個放在滑輪  $R$  的中心，第二個放在靠邊，第三個放在半徑的中點。當轉動時，離心力對於最外的一個重錘，作用最強，第一個被摔下來。那一個重錘，是最後跌落？嚴密的說起來，這個離心力的增加，祇是由於重錘和中心相距較遠，而具有較大的速度之故，因為轉臺的迴轉數，始終未曾改變。

72. 前面雖然這樣的講：離心力以放射的方向，向外作用；但是我們觀察物體從圓盤上飛開去所取的方向，就覺得很奇怪。這個必須進一步來探究。我們把滑輪的邊緣弄溼，使其迅速迴轉時，見水滴很正確的依切線方向飛開去，在桌上留着顯明的痕跡。

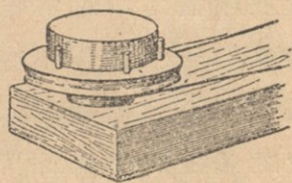
73. 這個也無需就全圓周來說明。當我們把一支濡溼的玻璃管，經過一大的圓弧而振動時，即能把吸着的水摔去。

74. 一個濡溼的毛刷，當我們用手輕壓在毛上而迅速的劃過時，即有無數水點濺出。這現象如何解釋？試實驗之。

75. 下面的實驗，祇有在飛散的水滴，並不損礙什麼的時候，可以舉行。所以在水滴所及到的範圍內，書籍、紙張等類，都須搬出。先把火柴植立在轉臺周緣的孔中，在這個「木柵」的後面，放一塊潮溼的海綿或布片（不要太溼），其大小至少要比木柵的間隙大些。當我們把他急速迴轉時，有何種現象發生？養蜂人從蜂房提取蜜汁，以及洗衣作裏乾燥衣服，其方法也和上面的實驗相同。

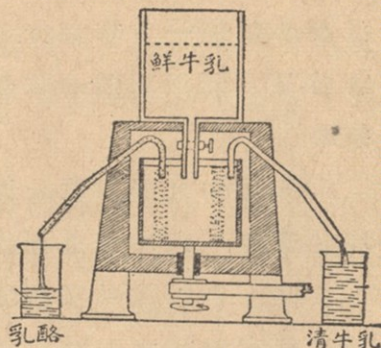
### 離心分離機

76. 我們的酒精燈，放在圓盤的三根木栓間，剛巧適合（圖二七）。酒精燈的蓋除去，其本身嵌在木栓間如不甚牢固，則用紙片墊緊。注水其中，深約數毫米。水以略加着色者為宜。起先祇緩緩迴轉，我們從上方向容器中看去。



圖二七

77. 在着色水內加入煤油幾滴時，這個實驗便變成特別有益。當水爬上容器的內壁時，煤油因比水輕，所以受離心力的影響較少，仍留在後面，積聚在中心的週圍。在製乳場裏，用離心力從較重的清牛乳中分出輕的乳酪，其方法和上面的實驗，恰正相同。其應用的機器，名曰離心分離機；內



圖二八



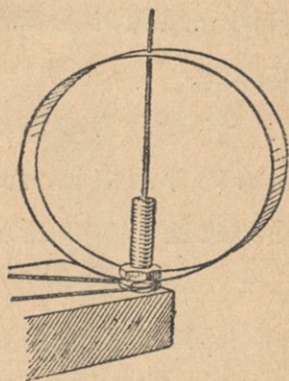
部的構造，略如圖二八所示，很是簡單，無需再加說明。

78. 水的爬上容器的側壁，利用燒瓶來試驗，更為明瞭。其法，注水於燒瓶，至其容量的三分之一而止，把他放在平滑的桌上，以極小的圓周，迅速迴轉之。

79. 把一個盛滿水的容器，依垂直的圓周轉動，而水不瀉出，那一種技巧，這裏也可以提及一下。最好是用一種有柄小水桶來試驗。我們用一個滑輪R，圖二七的容器，和一個秤盤鉤U，來組成一件代用的東西，也很容易。U附着於R的方法，可參看圖四二。

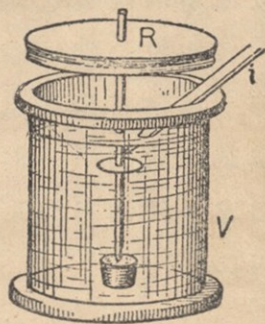
### 地球兩極的壓縮

80. 我們再用螺旋帽和螺旋管，裝在我們的離心機上做轉輪，其垂直軸則用一編織針來代替。取畫圖紙一條，闊約2釐米，長約40釐米，彎成一圓環，而固定於編織針上。其兩端如圖二九所示，夾持在螺旋帽之間。現在以極快的速度，把他旋轉。圓環上和迴轉軸相距最遠的部分，受到離心力的作用，一定最強，而靠近軸的部分，可以絲毫不受影響。這種對於圓環的不平等的拉動，其結果在兩極會受到一種壓縮。因同一原由，地球在其兩極也和紙環一樣的壓縮，而沿赤道則膨凸。地球在赤道上的直徑是12754千米(Kilometre)，在兩極是12712千米。



圖二九

81. 關於兩極的壓縮,普拉推氏(Plateau)的油球實驗, (圖三〇), 給我們一個很動人的說明。把酒精和水適當混合, 可以得到一種比重和橄欖油相仿的液體。最初一滴油在酒精內會沈下去, 但是把一定量的水加足之後, 油滴便會在液體中浮起或保持平衡, 成一種圓球的形狀。取洋鐵小圓片一, 先在中心穿一個小孔, 把他套到支持針 S 上 (照圖三〇的裝置, 插在液體中), 然後繼續把大的油滴, 加在這小圓片的上面和下面。擲取油滴的方法, 可用一玻璃管 i, 以其尖端吸取這些油滴, 會形成一個圓球。



圖三〇

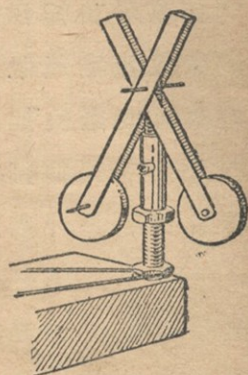
我們一經把針開始迴轉, 油球亦即轉動, 而在其兩極, 形成壓縮的狀態。

82. 把針留心而快一些迴轉, 不難把油球引離而成一油環, 繞於圓片的週圍, 由此可以說明薩徒氏環(Saturn's rings)的起原 (和實驗 340, 341 比較)。

### 離 心 調 速 機

83. 離心調速機是離心力在工業上一種重要的應用。取一支支持針, 固定於臺板一角的孔中, 作為一種垂直軸, 遇必要時, 把臺板移近桌邊, 使針得以透出板下。另取螺旋帽和螺旋管各一, 套在軸上。螺旋管用黃銅管 d 和第二螺旋管 X 接長。下方的螺旋管和固定螺旋帽旋緊在一起; 上方的螺旋管, 則襯一厚紙條

旋緊之第二螺旋管的頂部，插入一水平釘，以支持二滑輪夾H；滑輪夾下端，則附以重錘 $P_1, P_2$ ，以增其重量。支持重錘的釘，用紙片嵌入其一端的裂口間，以防脫出。當我們迅速迴轉這器具時，重錘（實際是球）便會因離心力的拉動，帶着滑輪夾的兩臂而稍稍開張。如迴轉的速力再增加上去，重錘又有怎樣的動作？（圖三一）。



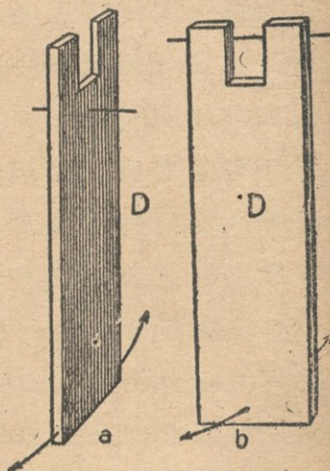
圖三一

## 運動的阻礙

### 空氣的阻力

84. 嚴格的講起來，擺一度使其擺動以後，不再借助任何外力，而應該永遠的這樣擺動下去。可是實際上，他不久就歸於停止。這事實的原因，可以藉下面的實驗來表明。我們利用大的箱蓋D來做一個擺，在其一端缺口下方的孔中，穿入一針，像擺一般，令擺動於側邊的方向。在一秒間，他是完成多少擺動？（圖三二a）。

85. 我們把同樣的實驗，重做一次；不過懸掛的針，從板邊的孔內插入。此時箱蓋一定對着板面的方向擺動。我



圖三二

們很易看出擺幅的急速低減，其運動因空氣所給與的阻力而減殺。這種空氣阻力，是自由運動進行上的一種障礙，運動面愈大及運動愈快，則障礙力也愈大。（圖三二 b）。

86. 一張攏緊的紙落下去，比一張平正的（不攏緊的）紙來得快，這是什麼緣故？

87. 降落傘是根據空氣的阻力製成的，取報紙一方，四角各繫一線，線長略與其對角線相等；線游離的一端，結在一起，在結上繫一木塊（短木柱 T）當這個降落傘從樓窗上聽他落下去時，他會緩緩的降到地上。

### 摩 擦

88. 我們把臺板 G 放在箱蓋 D 上，而把他推一下時，臺板即沿箱蓋滑動，可是不拘其動量若何，瞬即停止運動。據實驗 25，一切物體一度獲得運動後，有繼續保持其運動的傾向；所以現在我們斷定：這個傾向，一定受到什麼反抗，而使板停留起來。這一種運動的障礙，便是存在於箱蓋面和臺板面之間的一種摩擦。

89. 雖有摩擦，而欲產生並永久維持一種運動，則不能不繼續用力。當我們用圖九的彈簧裝置，以一種均等的速率，把臺板 G 沿平板拉動時，注意黃銅夾上彈簧已伸張到尺度的那一點（不是在運動開始的瞬間，是當均一運動的時候）。我們就實驗 20 的圖表，把彈簧產生上項伸張度所需要的力，查出來。這一種使用的力，即代表摩擦所生的阻力（摩阻力）。

90. 其次，我們須把方纜彈簧所拉動的載重查明，這是極容

易的，祇要用彈簧秤（僅黃銅夾和彈簧已足）把臺板 G 提起，再量彈簧的伸張度，即可求出。圖五的表，直接表出相應的載重的克數。摩擦對於載重的關係，可照下法求出。例如用 40 克的力，能拉動 200 克，因此摩擦等於載重的五分之一，或者 0.2。在以上的實驗，實際的摩擦，大小如何？

91. 現在我們可以在箱蓋上附着一砂紙（應完全蓋沒），臺板 G 的下面，也同樣附着一張；砂紙要很平貼的張在 G 上，可用圖畫釘固定於其垂直的兩側。現在要用多大的力，纔能拉動？

92. 我們已知道摩擦隨表面的不平正或粗糙而增加。所以祇料想：以同樣的載重，加在較大的面積上，因不平更多，摩擦也要更大。我們把臺板 G 的側面放在下面來試他一下；把拉動時所需要的力，和第一次實驗（實驗 89）的結果相比較。（此時不用砂紙）。

面積的增加，其影響極微，因面積較大時，各個凹凸互相壓迫，沒有那般沈重，所以較易克服。但載重的影響，是很明顯的。當我們把四個重錘 P 載在板上時，其摩擦力強弱如何？摩擦因載重而增加；可是照實驗 91 一樣，依照所拉載重的比例計算，傾向於大體相同的價值。這個數目，便是這兩種表面間的摩擦係數。

93. 在箱蓋 D 上鋪一玻璃片 J，並用小木栓（火柴）插入二孔內，以防其向前滑動。再把另一塊玻璃片，鋪在其上，而把臺板 G 放在第二塊玻璃片上。在臺板 G 的下面，生二個小突起（火柴），使第二玻片祇能隨木塊而運動。這樣就能試驗出玻璃對玻璃

的摩擦；可是這二個表面儘管平滑，因發生附着作用，其摩擦並不像我們所料想的微小。（參看實驗129）

94. 在兩塊粗糙的平板中間，塗了肥皂，為何摩擦就能減低？車輪的軸上，為何要塗加滑油？因為潤滑料可以把凹凸填平，而使表面光滑。試由實驗查出兩個滑潤面中間的摩擦。

95. 力除用彈簧外，也能用重錘來測定。把拉的繩，通過一滑輪，末端繫一秤盤（由第二滑輪R及一銅鈎U組成），用以盛重錘。不過測驗時，要用全組的重錘；且秤盤的重量（約36克），必須計算進去。

以前實驗的時候，我們的目的，都在於測定保持均等速度的運動時所需要的力。實驗96，祇顯出運動開始時的摩擦或靜摩擦。這種靜摩擦，比運動時候的摩擦稍大。今把幾種物體的靜摩擦係數和動摩擦係數，表示於下：

摩 擦 面	靜 摩 擦 係 數	動 摩 擦 係 數
木 對 木	0.5	0.36
金 屬 對 金 屬	0.18	0.17
革 對 鐵	0.56	0.28
石 對 石	0.70	0.70

96. 先把臺板G放在箱蓋D上，然後把箱蓋的一端逐漸擡起，板即向下滑動。在箱蓋未曾達到一定的傾斜度以前，板不會滑下。G的滑動，開始於何種角度（用度數計算）？（圖

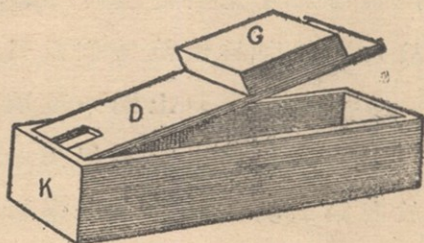


圖 三 三

三三)。

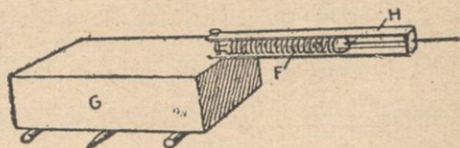
97. 在以上的例,非在靜摩擦克服以後不可,當箱蓋擡高到滑動運動正將開始的時候,我們雖輕微的把板推一下,他就要制不住的繼續滑下去,因為運動的時候,摩擦較小,在這一種情形下,惰性,即保持靜止的一種傾向,並不參與,因為所求的,祇是物體的一種運動而不是什麼速度。

98. 土、沙、煤等,每聚成堆貯藏堆積時,要使堆的四邊成垂直,是不可能的;因堆中各小片,祇有靠着摩擦纔能穩定,當傾斜度變為過大時,他們隨即瀉下,在箱蓋上作一小沙堆,以度數估計其傾斜度;再使箱蓋漸漸傾斜,而視察沙的行動。

### 滾動摩擦

99. 取一重錘 P, 以側面向下, 放在我們面前, 輕輕的向前一推, 重錘即滾開去, 可是不久便又停止, 當其滾動的時候, 摩擦把他停留了下來, 現在把他圓形的一端, 轉向我們, 再推動他, 因此他一定沿其縱軸的方向滑開去, 當我們用以前相彷彿大小的力量, 把他推動時, 其行程較前如何? 滾動摩擦是比滑動摩擦小得多。

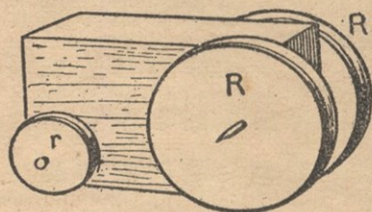
100. 採石匠和泥水匠, 利用這事實來搬運重大的石板, 就是把圓的木桿放在搬運物的下面, 作為滾子, 以滾動摩擦來代滑動摩擦, 如斯移動石板, 其所用的力, 可以減省不



圖三四

少在箱蓋 D 和臺板 G 的中間,放入鉛筆三支;像實驗 90 一樣,用一彈簧秤把臺板拉動,測得的力,和實驗 90 的相比,相差很大(圖三四)。

101. 每當一滾子在載重後面脫離時,須把他調到前面載重之下,這一種手續覺得非常麻煩,由是引起把滾子永久固定到載重或載物臺上去,後來便發明運物的車子。我們照圖三五,用四個滑輪 R, R, r, r, 兩枚針(軸)和臺板 G, 可以組成一輛運貨車。試用彈簧裝置測定其拉動時所需要的



圖三五

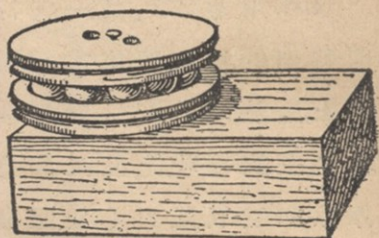
的力車輪,至少在他們接觸地面的部分,變滑動摩擦而為滾動摩擦。車輪在接觸軸的部分,誠然有一種滑動摩擦發生;但這個阻力,能因軸承的磨光與加油潤滑而大為減低。

### 球 軸 承

102. 在臺板 G 的中心插入一針,把滑輪 R 以凹面向上而套在針上,其次,把第二滑輪 R, 以凹面向下而套在同一軸上,再取一火柴,插入上方滑輪的一個側孔中,作為搖手或曲柄,由此能使其在下方(固定的)滑輪上迴轉,十分輕易。可是當我們用着五個重錘,把  $P_1$  和  $P_2$  套在垂直軸上,其餘三個,在其週圍以相稱的間隔,套在垂直釘上以後,轉動起來,要用一種很顯著的較大的力量。因為有一種頗大的滑動摩擦,存在其間。現在把上方的滑輪擡起,在下方滑輪的凹面內,嵌入等大的硬木球 V 一串,



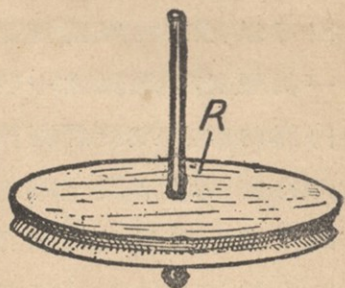
仍把上方的滑輪蓋上（圖三六）此時加重的滑輪，比以前要容易迴轉得多。滑動摩擦已變成一種滾動摩擦，就是說在下方滑輪和木球之間，再在木球和上方滑輪之間，都成爲滾動摩擦。例如腳踏車的軸上，旋盤的軸上，都用這種球軸承，來把滑動摩擦改變爲一種滾動摩擦，使其走動能十分靈便。



圖三六

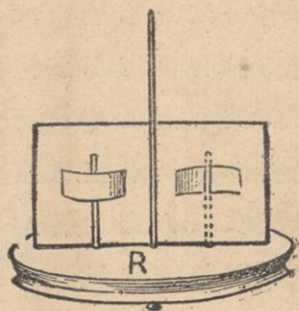
### 陀 螺

103. 摩擦能減少得愈多，則物體開始推動以後，運動也可以持續得愈久。一個陀螺，轉動於一個點子上，其摩擦真是極微。取滑輪 R 一個，自其中心孔，插入火柴一支（插至火柴頭相近爲止），即成一陀螺。這陀螺能旋轉多少時候？（圖三七）



圖三七

104. 當一張紙片，照圖三八的方法，垂直固定在陀螺上以後，其停止旋轉，比以前要快得多。此時運動的障礙，是受到那一種阻力？同樣的翼輪或風輪，用來支配和調節迴轉速度的，見於時鐘的報時機件中



圖三八

105. 用重錘  $P_1$  及一支持針  $S$  組成的一種陀螺，旋轉起來，時間特別的持久。要使重錘固定在光滑的針上，須在重錘直下的針上，塗熱的火漆一層。更令此陀螺在一種平滑的板上或錶面玻璃上旋轉時，尤能長久持續旋轉，足供玩賞。因在這個狀況下，摩擦和空氣阻力（重錘磨光），對於陀螺，作用都極微。

## 材料的堅固性或消極抵抗

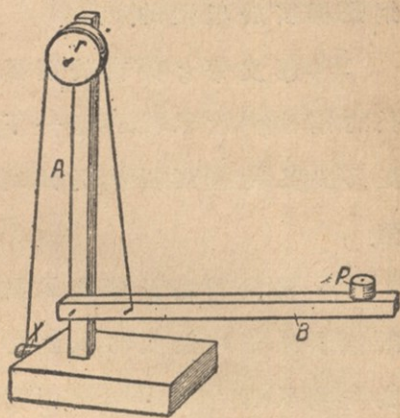
在線的一端，掛一重錘。重力在促使他向地球的中心運動。防止這運動實現的，祇有線。假使重錘十分巨大，重力的作用，甚至可以把線拉成兩段。這分裂開來所需要的力，隨物體而異。有一種假說，認為組成一物體的最小粒子即分子，互相吸引，這個內部的吸引力，稱為凝聚力，物體的最小粒子（分子），靠這一種力保持密接，以形成一連續的質塊。在所謂固體的狀況下，這一種凝聚力非常強大，所以把他們的分子分離開來，要用一種頗大的力量。其分子間的連結，很強硬而不可更易。所以凡屬固體，各具有一定的形狀或式樣。至於液體，凝聚力要小得多，分子間運動比較自由，可以任意置換。所以液體並無一定的形狀或式樣，常隨其容器的形狀而定。氣體則毫無凝聚力；他們的分子，反而互相排斥，所以極易擴散開來，以至充滿任何可以利用的空間。煤氣在一個開放的容器中，可以散佈到全室。

固體、液體、氣體這三種狀態，是物質的三個基本狀態。

106. 要查考一根線的強度時，我們須把勝過其分子間的凝

聚力，即拉斷他，所需要的力量測定出來。這個祇要用一種試驗伸張強度或引伸抵抗的機械，便能測出（圖三九）。

把線的一端，繞在槓桿 B 第三孔中的一個釘上，再從支柱 A 上面的小滑輪 r 上通過，引到臺板 G 一端的螺旋管 X 上，像旋緊胡琴上的絃線一樣，



圖三九

旋動 X，把線引張，直到 B 超過水平線而止。我們在線的右端相近，把重錘 P 放在 B 上時，槓桿即向下移動，使線伸張。如我們曾以粉筆在線上相距 30 釐米的兩點，作一記號，我們就能測出經 100 克的重力拉動後，兩點間的長度，已變成多少。極多的物體，是可以擴張的或（大半是金屬）可以延伸的。

要在 B 上加 200 克的重量，我們可以用下面的方法來代替，就是把重錘 P 向 B 的游離端移動，移到和 B 的迴轉點或支點的距離，適為其兩倍而止。我們從經驗上知道他在這新的地位上，發出 200 克的一種拉力。我們再測量線的伸張，旋動 X，把槓桿 B 仍移到水平的地位，把重錘 P，依次的放在第七、第九、第十一、第十三、第十五孔上，因此拉力每次增加 100 克。線是在那一個拉力上面，裂開或拉斷的？

107. 用同樣的方法，測量一細銅絲的擴張性（延性），證明

銅是極富於延性的。

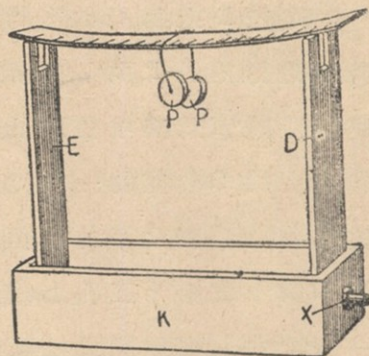
108. 膠皮帶  $g$  極富於擴張性。先量其長度，然後把他拉到原長的兩倍，釋放以後，再量一下，現在他的固定長度，比原長已伸長多少？凡物體擴張後，仍回到他們原有的大小的，稱為彈性物體。

109. 當我們測量彈簧  $F$  在未引伸之前和引伸（到原長的兩倍）過後的長度時，我們得到恰正一樣的數值。在一定的限度內，鋼具有完全的彈性；膠皮則僅為不完全的彈性。彈簧即使整天的一直引伸着，釋放以後，仍會恰切的回到他原來的大小。膠皮處於同一境況下，顯出一種永久的引伸或加長。

110. 例如一種鋼絲（匣內的有環鋼絲），拉起來，很不容易引伸，因為鋼的引伸抵抗，非常強大。試用全組的重錘，來把他試驗一下。

### 橫梁的負擔能力

111. 線、繩、金屬線、鏈，可以拉開或拉斷；平板、橫梁、橋，可以壓彎或壓斷。取一扁尺，橫放在架（用箱蓋  $D$ 、 $E$  造成）上，把重錘從其中心掛下，而觀其彎曲。彎曲的程度，要用尺量出。彎曲度是否和載重成比例？（圖四〇）



圖四〇

112. 把扁尺以側面向下，嵌入

支柱的缺口內，而掛上重錘如前，很詭奇的，幾乎看不出什麼彎曲，橫梁用側面放着，其負擔能力比平放着更大。

113. 即使是一種堅硬的紙板，用側邊放着時，也能用作一種橫梁，用重錘掛起來，不過他時常要越出垂直的位置，而彎向右面或左面。

114. 把紙條摺曲，使其橫截面成 L 形時，水平的一半紙條對於側面一半紙條的伸張，也與以較大的強固性，因此向側面彎曲的傾向也極小。試實驗之。做欄柵用的鐵棒，每彎成這個形式

115. 紙條經兩次摺曲，即成 U 形的橫截面，而變成負擔能力非常可驚的一種橫梁。在 L 和 U 兩種式樣以外，T 和 I 的式樣，也是常見的。所有這些

橫梁，其負擔能力幾乎和實心的橫梁一樣，而

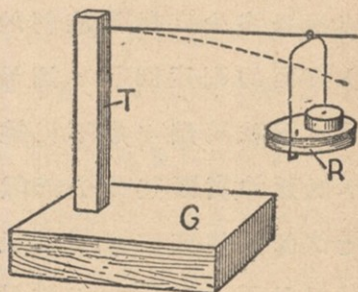


圖四一

且具有分量較輕，價值較廉的利益。(圖四一)

116. 製造上要用材節省，莫過於管子，因為管子的負擔能力，比較用同等材料所製成的別種橫梁要大得多。取大的報紙一張，捲成直徑 2 釐米的一個管子，把他放在我們的試驗架上，而附加載重時，見到一種些微的彎曲。

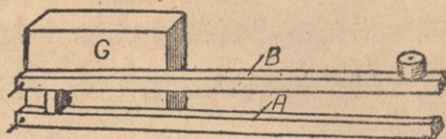
117. 有許多橫梁或橫桿，祇固定或支持於一端，游離而突出的一端，則附加載重他們自然要彎曲下來，



圖四二

或則會斷裂試用一編織針，插入支柱 T 以驗之（圖四二）。

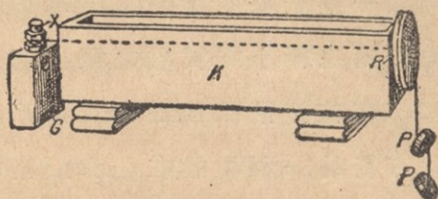
118. 一個糖塊的分子凝聚力，可以打擊或壓榨勝過他；其壓碎所要用的力，可以由圖四三的壓榨機測定出來。



圖四三

119. 螺旋錐和鑰匙，除用引伸、打擊、壓榨外，也可以因扭換而

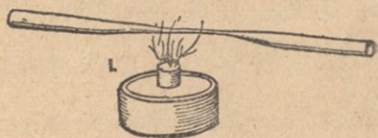
損壞。取一根長約 60 釐米、直徑 2 毫米的金屬線，從木箱 K 兩端側壁上的細孔中穿過（圖四四）。金屬線的一端，再穿過 R 的中心孔，彎轉



圖四四

而倒穿在傍邊的一個孔中。其他一端，從螺旋管 X 上的橫孔穿過，並用一螺旋帽 Y 把他夾住，以防轉動。木箱 K 用板片墊高，至 X 和 R 位於同一高度，或金屬線成爲水平而止。另取細繩一，固定其一端於滑輪 R 下面的溝內，並纏繞於輪上。我們現在把重錘 100 克、200 克、300 克的依次加在這繩上。重錘每增加一次，金屬線旋捲過多少度數？這旋轉的度數，如果用本儀器第二組（光學）裏面的刻度圓板來測量，就覺得很便利。

120. 窗玻璃幾乎看不出撓性，也不能延伸。實際，其分子極微細的變位，即能使其破裂，所以很是脆弱。但是用一段廢棄的玻璃管，



圖四五

在酒精燈上加熱以後，情形就各異。他變成柔軟，在兩端用力拉一下時，即成一精細的玻璃絲。加熱後的玻璃，即能延伸菲薄的玻璃，也像玻璃絲的作用一樣，極富於撓性和彈性。（圖四五）

121. 火漆在加熱以後，也能引伸而成線條。反是，石蠟則不能如此處理，他並不先軟化，而驟然的融解。在這一點，鑄鐵的性質，和石蠟相似；鍛鐵則類似玻璃和火漆。

試用一釘，先把他插入冷的火漆中，然後插入融解的火漆中，這個實驗，證明液體的凝聚力，是極微弱的。

## 附 着 力

122. 當我們用粉筆在板上寫字，粉筆的微粒附着到板上。這些微粒，已脫離他們的分子結合。這是比較粉筆微粒間的凝聚力量顯然強大的一種力量，使他們黏附到板上的。這個新的分子力，作用於異種物質微粒之間的，稱為附着力（與凝聚力相比較）

123. 插入一鉛筆於水中，在鉛筆抽出水面以後，因附着力的緣故，有些水滴，仍附着其上。

124. 用水銀\*作同樣的實驗，見其並不沾濡鉛筆。鉛筆和水銀，顯然沒有附着力存在其間。玻璃和水銀之間，玻璃和水之間，

\*用水銀實驗，須特別注意。第一要避免水銀的濺出；應當備一大而平坦的硬紙盤（箱蓋），用以收集偶爾濺出的水銀滴。萬一有些水銀落在地上，可用一條鋅片，在酸中浸過，仔細把各個水銀小球，收集在一起。水銀的小滴一遇鋅片，立即附着其上。水銀蒸發，其臭氣能傷害呼吸器官。且除鐵以外，一切金屬，都能和水銀起化學作用，所以應避去接觸。指環等應除去。

其作用如何?

125. 取木板一小方,放在一張硬紙板上,然後在嚴密的注意下,倒一小滴水銀在板上;觀察其形狀,並和水滴的形狀相比較。

126. 結局,水銀有時也能沾濡(即附着或被覆)的,我們祇須用一段磨光的銅絲或鋅片,接觸一滴水銀時,便能見到,在這些金屬和水銀之間,其附着力勝過凝聚力。

127. 在水和蠟燭油之間,或水和一種充分塗過油的木板之間,是否有什麼附着力存在?這些物體,不受水的濡溼,他們對於水的附着力甚微,無論如何,總比水分子間的結合力(即液體的凝聚力)來得小,這裏自然祇指質地均一的濡溼而言,不是一些水滴的偶然附着。

128. 水與油並不混合,這些液體的凝集力,比他們相互間的附着力為大,油滴何以浮在肉汁或菜羹上面,試說明之。

129. 兩塊濡溼的玻璃片互相疊着,非常堅固的結合在一起,祇有使其向側滑動,纔得分開,因附着力在玻璃與水及水與玻璃之間,現着他的作用。(圖四六)



圖四六

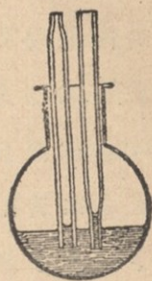
物體用膠質、水泥、銲藥等接合起來的方法,也是根據於固體和液體間的附着力,無非是在物體之間,嵌一層液體,藉硬化(即凝固和乾燥)而使其耐久罷了。

130. 持玻璃管。或 1 而切近水面(在燒瓶 W 內),在浸入水中的瞬間,視察其下端,這現象是水對於玻璃的强大附着力



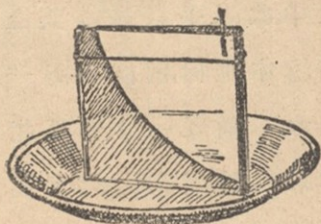
所引起的。水的微粒爬到玻璃上，尤其在口徑極狹窄的管子，中心部分的水分子也被他們帶上去。水在管中作何形狀？（圖四七）

131. 以上的實驗，可以用細管 i 尖銳的一端，重做一次。水上昇管中，達到一種更大的高度。在細如毛髮的細玻璃管，即所謂微管或毛細管者，水上昇尤高。因此這一種吸引，稱為微管作用。



圖四七

132. 液體不單上昇於狹窄、細微的管中，通常在物體狹隘的間隙或裂縫中，也能上昇。取二玻璃片 JJ，用酒精揩拭清潔，令一面的二邊相接而直立，對面的二邊，則夾入一火柴，使其離開，並用一膠皮帶，把他們紮在一起。這二塊玻璃片當放入水中時，水就會爬到片子間楔形的間隙中去，且在狹窄的部分，會比隔離得較闊的部分，昇到一種更高的水平面。因此水的表面，會形成一種美麗的曲線。水可以用幾滴紅墨水染色（圖四八）。如手頭缺少一種碟子，可以把玻璃筒底倒轉向上來代替。



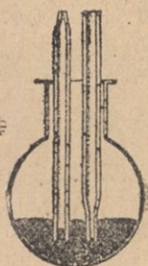
圖四八

133. 在未上糊料的紙、濾紙或吸墨水紙，紙纖維為微隙所分離。把吸墨水紙的一角，浸入墨水中，墨水就會昇上去，其故安在？

134. 把糖塊的一角，浸入茶中，也發生同樣的現象。

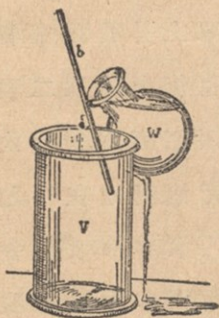
135. 因微管作用全靠附着力，而水銀，我們知道是不具附着力的；所以用水銀代水，當能獲得一種不同的現象。在一種狹小

的玻璃管中，現出的水銀面是怎樣的？水銀在玻璃管的內面、外面，以及沿玻璃容器的一面，作何形狀？（參看圖四九）



圖四九

136. 像圖五〇所畫出的那種意外，是時常遇到的，這全由於附着力所致，因液體附着於器壁，而沿其外側瀉下去，從這件事實，也可以看出附着力有時是非常銳敏的，此時祇須用一玻璃棒引着，液體就祇能沿棒而流入第二容器中。



圖五〇



圖五一

137. 取一玻璃管 $l$ ，先插入水中，次以手指按捺其上端，從容器中提出，便能取得一滿管的水（圖五一）。當手指祇稍稍舉起時，因重力比水滴和玻

璃之間的附着力更強，水即開始流出，那水滴漸漸的變大，最後乃脫離管子而落下，試觀察先後落下的水滴，都是一樣大小的。令水滴落入試驗管中，積到一釐米的高度，要用多少滴數？

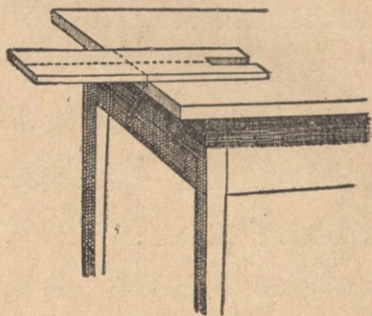
用酒精作同樣的實驗，因酒精和玻璃之間的附着力較小，現出的滴子，比較小得多。

## 落下和傾覆

138. 在實驗 2，謂一切懸空的物體，必行跌落，放在桌上的箱

蓋D,顯然不會落下,不過他會壓在桌上,我們把箱蓋慢慢地推到桌子的邊緣上時,箱蓋即漸失其支持,到末了,就會落下去,我們見到板無需支持其全體,當其一部分仍停留在桌上時,他並不一定落下;不過到了懸空的部分,已重於支持的部分時,他必落下。

139. 在邊緣非常挺直的一種支持物上,我們可以把板一直向前推去,直到突出的部分,恰正和支持部分一樣重為止,此時板已開始傾側,但並不落下,即板的二部互相平衡,沿着桌邊,用鉛筆在板的下面,劃一直線(圖五二)。如果以前兩方確實互相平衡,則我們把板調轉放着,使以前支持的部分,成了突出的部分,突出的部分成了支持的部分以後,也一定互相平衡,我們再像以前一樣,劃一鉛筆線,果然見二線大體互相一致。



圖五二

140. 當板開始向下翻轉之時,他在這鉛筆線上,祇停留片時。假使板是較大而較重,這條線竟可以把他的全重支持起來,因此這一條線可稱為重的中心線,凡物體支持在這條線上的,因沿其平衡線而支持着,他並不落下,木柱T可橫放在臺板G上,而箱蓋D,祇要確切的支持在他的平衡線上,當能穩定在T的上面,箱蓋D,像我們所預料的,並不跌落。

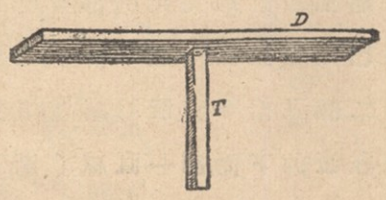


3163-1

02755

141. 現在我們可以把箱蓋 D, 以其長邊平行於桌邊而放在桌上, 再向前推去, 直到他將要落下為止; 仍沿着桌邊, 在板下劃一鉛筆線, 這條線, 一定又是一重的中心線或平衡線, 沿這條線而支持, 也可以使板不至跌落. 用槓桿 B, 沿這條線放在板的下面, 把他支持起來, 便能證明.

142. 如斯求得的兩條平衡線, 相交於一點, 要支持全板, 祇支持這一點就很夠了. T 可以插入 G 的大孔中, 令其直立; 再把 D 放在 T 上, 使交點恰正在 T 的方頂上面 (圖五三). 此時平板 D 全部的重力, 落在這一點上, 因此這一點稱為「重心」.



圖五三

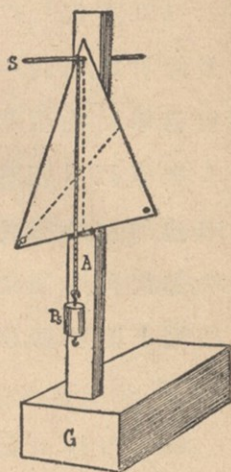
143. 在重心上, 祇是一個極小的面積 (幾乎是一點), 由此足以支持全體. 在 T 的頂上, 固定一釘, 稍微留意些, 能使箱蓋平衡在釘的頭上. 重心是否和板的幾何學的 (外表的) 中心相一致? 試用尺測定, 並說明其結果.

144. 令支柱 A 植立在臺板 G 上, 自其頂上的孔中, 穿出一編織針, 從針上掛下一擺 (細繩和重錘 P.) , 而使其立即停止. 關於這個靜止擺的方向, 有何名稱? 任何靜止的擺, 會取這同一的方向. 鉛錘 P. 取作這靜止擺的擺錘後, 即名垂線錘.

145. 用粉筆在箱蓋 D 的重心上作一記號, 由大孔下面的一個小孔, 掛在支柱 A 的編織針上, 同時就在箱蓋的前面, 把垂線

錘從針上掛下來，對於 D 的重心點地位和他的懸掛點的關係，我們很感到一種興趣。再把板上其他二孔掛起來，各實驗一次。

146. 以上的實驗，表示自由懸垂於一點的物體，其重心常在懸垂點下面，適位於其垂直線上。這事實給我們一個尋出其他物體的重心的方法。從一張堅硬的紙板上切取一三角，用釘在三個角上各穿一孔。三角的三條邊，其長短以 12, 8 和 10 釐米為宜。現在把三角上面的一角掛起來，替代箱蓋，其前面也掛以垂線錘。當我們沿垂線錘劃一鉛筆線時，重心一定位於這線上，所以這條線是一條平衡線。用同一方法，再從其他二角求得兩條這樣的線。論到重心的地位，這完善的結果是不容有所懷疑的。把三角的這一點，支持在鉛筆的鈍端上，以證明這個推斷是不錯。（圖五四）



圖五四

147. 如斯，查知任何式樣的硬紙板，其重心都是像以前一樣，經兩次懸垂而求得的二平衡線相交的一點。

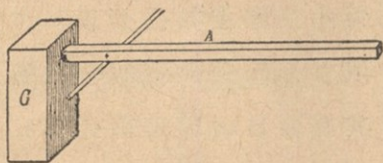
148. 我們略一思索，便能覺悟到我們的滑輪 R，其重心非與其圓心相一致不可。可是也可以用實驗來證明，把他掛在一細針（縫針）上，共兩次，再放在一鉛筆上，試驗其結果。

149. 現在我們有兩個方法，來測定臺板 G 的重心。在 G 的六個面上，各用以上二法，測定重力線的交點。如斯，我們共求得六

個重點  $G$  的真實重心，就是我們可以想像物體全盤的重量輻集着的一點，一定位在板的裏面是顯然的。這真實重心，一定就是臺板各相對面上的重心連結線（共三條）相交着的一點。這個重心點，祇有在平薄的物體，可以接近。

150. 臺板  $G$  的重心，與其幾何學的中心，也不一致；因為有多量的材料，已因一側的大孔而挖去。在更不規則的物體，重點和幾何學的均稱，隔離更遠。用支柱

$A$  和臺板  $G$  組成一鎚，從外表看來，他的重心在那裏？試用簡易方法，尋出他的重心，就是把鎚頂在



圖五五

指端上而移動，直到  $G$  和  $A$  平衡於一種水平位置而止。（圖五五）

151. 滑輪  $r$  的重心，位於其幾何學的中心上。這圓板用支柱  $T$  上面的一個支持針，穿入其邊緣的一個小孔而掛下時，他常常會較準其位置，使重心落到懸掛點的直下（圖五六 a）。雖屢次把他從這個位置移開，他一定會回到他的原位，每次都是如此。這圓板是處於穩定的平衡。在這情形下，其重心是最接近地球的中心；即使遇有運動，祇有使其離開這最小距離的地位。故謂之穩定平衡。

152. 當我們把支持針插入圓板中心下面的一個小孔內時，祇要用一些技巧而耐心些，就可以使圓板取得重心在上，懸點在下的一種平衡位置。不過稍些把圓板接觸一下，即能使其離

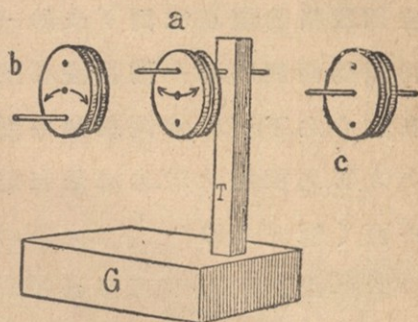
開這不穩定平衡的狀況,而仍取實驗 151 的位置,不穩定平衡的任何變更,就地心而言,都是使其進入一種更順利的地位的,因謂之不穩性平穩。(圖五六 b)

153. 再把支持針,穿過圓板的中心,換言之,即穿過他的重心,此時可以把圓板迴轉到任何位置,都會停留,因為在迴轉的時候,重心既不增高,也不降低,

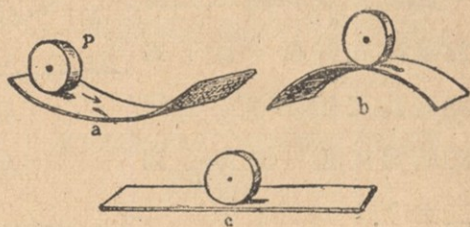
所以這一種變位,無論如何,不會影響到地球的引力,因謂之中性平穩。(圖五六 c)

154. 處於穩定平衡下的物體,有所運動時,祇有傾向於升高重心的一途;不穩定平衡遇有運動時,則傾向於降低重心;中性平衡遇運動時,常保持其對於地心的距離,把重錘 P 放在紙板的凹面上,凸面上和平面上,即可說明之(圖五七)。

155. 取硬紙條一,用圖畫釘附着其一端在臺板 G 的重心上,而懸掛着,(記着真實的重心是在木板裏面),作為一垂線錘,現在把板慢慢的傾側過去,直到他倒在別一面上,始終垂直掛

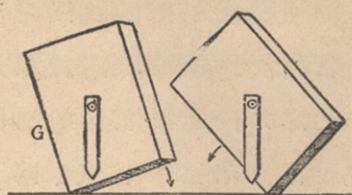


圖五六



圖五七

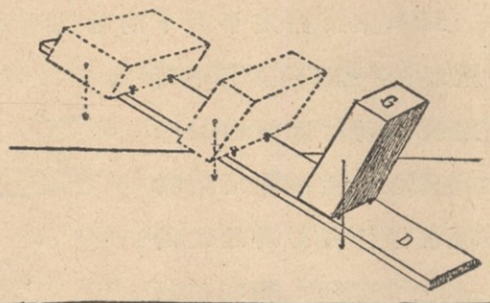
下的垂線錘（紙做的指針），會立即指出物體正在倒下去的一面；因為傾側時，那一面就變成位在重心之下，而板常倒在那一面上去。等到板靜止時，也總是在這一面。（圖五八）



圖五八

156. 上面的觀察，可以再用以下的實驗來證實一下。置臺板 G 於箱蓋 D 上；箱蓋上面，先用二木栓插入二小孔內（不過透出板面幾毫米），以防止 G 的滑開去。現在把箱蓋 D 慢慢的擡起，D 是在什麼時候倒過去？

157. 再照下面返覆的實驗，當板靜止在：(1) 狹長的一面；(2) 狹而短小的一面；(3) 廣闊的一面，就是半高、高和低的放着時，在臺板 G 倒下去的時候，把箱蓋和桌面所成的角度，逐一量出。（圖五九）。



圖五九

高放着的物體，因重心的地位較高，會更快的越出底面，所以傾覆亦較易。

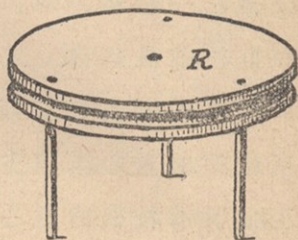
158. 如底面或支持面較狹，祇稍微傾斜一下，重心就會越出底面以外。當我們把木柱 T，橫放在臺板 G 和箱蓋 D 的中間（與 D 成直交），以減小 G 的底面時，我們見到使 G 倒下所需要



的傾斜度,要小得多。

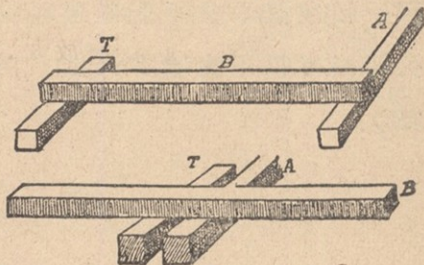
159. 物體的支持面,是無需全部和支持物接觸的,當臺板靜止在四根脚(釘)上時,差不多和他全體着實的時候,一樣的不易傾覆,在支持點中間的全面積,當視為底面無疑。

160. 現在做一個三脚的桌子(圖六〇)來代替四脚的,考驗那一種較易傾覆,誰是三脚桌的實際底面?三脚桌和三脚椅,雖則他們的穩定性減低些,却具有一種特長,是四脚的桌椅所及不到的,這就是雖在不平的地面上,決不搖動,和四脚的家具,絕然不同。



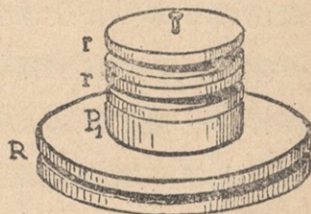
圖六〇

161. 木桿B,如圖六一上那般放着,和通體支持着一樣的安穩,但是當支持的架子各移向中央而互相接近時,其穩定性即低減,這是何故?



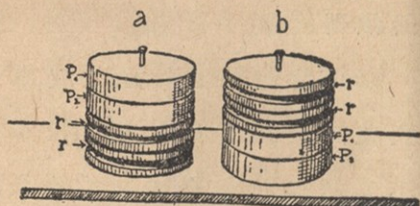
圖六一

162. 關於底面的另一個例,可藉圖六二來說明,用  $r$ ,  $r$ ,  $P_1$  做成的一個圓柱,非常安穩的支持在一個較大的底盤 R 上,因此雖把他傾側到一個頗大的角度,常重新會倒回過來,試實驗之



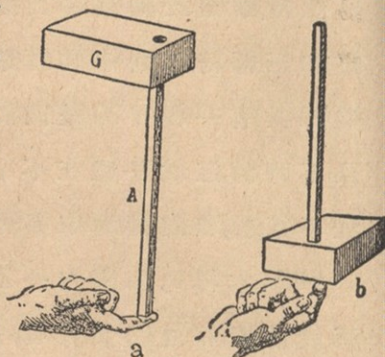
圖六二

163. 這一種圓柱,他幾個重錘的分配,不是毫無分別的,如果一種是金屬的重錘放得高(a),一種是金屬的重錘放得低(b),則在一種傾斜的面上,那一種圓柱較易傾覆?(圖六三)



圖六三

164. 木鏈支持在柄的一端,使具有較高的重心(a),或支持在G的一面,使具有較低的重心(b);這兩種位置,那一種比較穩定?試根據以前的實驗來解答,可是木鏈在指頂上,以那一種位置,最易平衡,單憑理論,還欠明瞭,可以用實驗來決定(圖六四)。

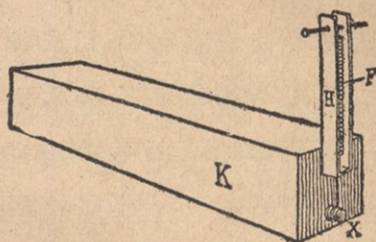


圖六四

## 槓 桿

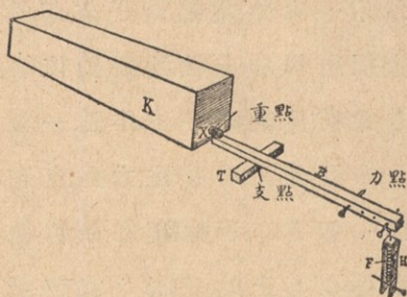
165. 在舉起重物時,有時遇到一個人所有的力量是不夠,我們試想像這一隻裝滿儀器的箱子,是要裝到一輛手車上去的一件重物,最適當的辦法,自然先要從舉起箱子的一端來着手,要得到一個把柄,就是可以用力的一點,我們先在木箱一端的側壁上,裝一螺旋管,彈簧F的一端,用繩連結在這螺旋管上;我們握住橫針,把黃銅夾向上拉動,試把木箱提起,讀出彈簧的伸

張度,以便求出所用的力量。假使彈簧是伸張到28釐米,我們從實驗22,查知和這個伸張度相應的力量,是 $28 \times 5$ 克 = 140克。彈簧或許沒有這般大的力量,即彈簧伸張時,會碰到黃銅夾,使測量變為不可能。(圖六五)



圖六五

166. 所以使得我們不能不引用一種力臂或槓桿。我們把木桿B插入螺旋管的下面,並在B的第五孔下面,放入木柱T,作為槓桿的一種支枕。當我們把槓桿游離的一端壓下時,有何現象發生?我們把迴轉點兩邊的槓桿兩端運動的方向,互相比較一下;然後理解:力點、重點、支點(迴轉點)、力臂、重臂等名詞。(圖六六)



圖六六

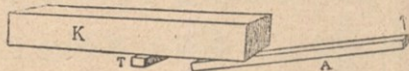
167. 要把箱子舉起,在槓桿的游離端須用多少力量(由彈簧指出)向下拉動?在這裏和以後,凡用彈簧秤測量,以下的兩點是很重要的:就是彈簧的繩要繫到槓桿上;要用黃銅夾H拉動。否則黃銅夾H的重量會壓在槓桿上,使我們的結果,陷於錯誤。此時箱子舉起所要用的力,較前為小;這事實說明槓桿所以是一種助力器的意義。實驗時,槓桿等器具應設立在桌邊。

168. 當我們把力臂減短三個孔時,要用多少力量纔能把箱

子舉起?

169. 我們也可以把支枕 T 的邊,向箱子移近,使重臂從第五孔減短到第三孔(圖六六)。要使力臂保持同樣是 12 等分的長度,須把彈簧的附着點,也向支枕移近 2 等分。我們實驗的結果,可總括如下:槓桿在作用時,力臂愈長,重臂愈短,則用力愈小。

170. 一種兩臂槓桿,當他的力臂已下壓到地面時,其所能上舉的高度,即達其極限。在箱子已經達到的位置,於槓桿兩傍,各用一火柴盒把箱子支起,然



圖六七

後把槓桿和支枕抽去。要使箱子再舉高上去,我們用木桿 A,把方式稍些改變一下,作為一種槓桿(圖六七)。我們把槓桿向上方拉動,此時重點、力點、支點是在那裏?槓桿的全體,現在是向那一個方向運動?現在槓桿雖則祇有「一臂」(因支點位於木桿在桌上的一端),我們仍稱重臂和力臂。力臂、重臂,我們總是從支點算起,此時重臂是位在力臂上面。

171. 單臂槓桿的力臂、重臂,像實驗 168 和 169 一樣,把他減短時,用力發生怎樣的變化?箱子固定的一端,要用一支針插入桌內,防止向前滑動。

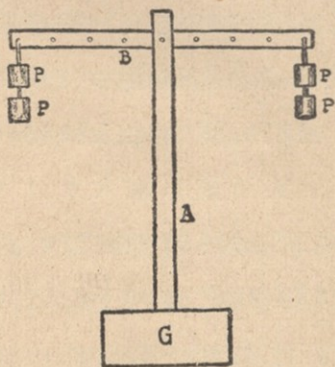
172. 在以上的實驗,槓桿的兩臂都不是等長的。我們把 T 的支持邊緣移到兩臂槓桿的中心下面時,即得一兩臂相等的槓桿。這一種槓桿,顯然得不到利益。我們考察彈簧的伸張,其力量的不足,宛如直接在箱子本身上拉動一樣。

## 軒輕板和天平

173. 往往看見有些小孩,用根橫木做支架,把一條長板橫放在上面,而在板的兩端坐着,做一種軒輕的遊戲來玩.一面的小孩,常把自己盪下去,來舉起對方的小孩.這一種軒輕板,顯然是槓桿裝置的一種.我們仿照這一種軒輕板,來造一個小的模型.用支柱 A 和臺板 G 做成一支架.木桿 B,用一枚釘 S,從其中央直上的小孔穿過,使附着於 A,作為擺動的板.此時在中心支持着的 B,代表一個兩臂相等的槓桿.

槓桿掛得和水平相似,表示其兩側的重量,互相平等,是為平衡.

174. 我們把重錘 P,掛在槓桿左臂或右臂的極端,以亂其平衡.同樣在他臂上掛一相等的重錘(因其替代實驗 172 彈簧的拉動,可稱之為力),平衡即由此恢復.(圖六八)



圖六八

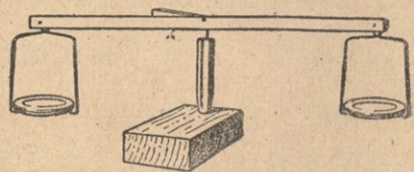
由以上的實驗,可得一定律:兩臂相等的一種槓桿,如力與重相等,則成平衡.

175. 將槓桿的支點,依次的移到槓桿中點兩側的第一、第二、第三孔內.槓桿的兩臂一經變成不等,平衡即被擾亂.所以我們的定律,祇適用於兩臂相等的一種槓桿.

176. 當我們用兩種什麼物件代替重錘掛着,而一臂沈下時,我們斷定這一面的物件,是比較其他臂上掛着的物件來得重.

這一種兩臂相等的槓桿，可供吾人較量物品重量之用，是很顯然的。日常生活上，商業上所用的天平，即根據這原理製成。

天平祇是一種兩臂相等的槓桿，兩個臂上，各掛一秤盤，備安放所要衡量的物品及重錘（即砝碼）之用。取兩個滑輪 R 和兩個黃銅鉤 U，把 U 的二端，從 R 下面插入相對的兩個側孔內，即可造成一對秤盤。秤盤鉤上方的小環，須掛入槓桿兩端的孔隙中，即先使小環和孔隙相對，然後用釘插入。如槓桿靜止時，不會成水平，用木楔放在槓桿較輕的臂上，並徐徐向外移動，使其平衡。（圖六九）



圖六九

**177.** 試用天平檢驗重錘  $P_3$  和  $P_4$  的重量，是否相等。

**178.** 我們的天平，是否可以用來稱一根火柴？我們且放一根在秤盤裏，天平對於如此微細的載重，多分是無從感覺的，因為一側所超出的重量，不足以勝過槓桿支點上的摩擦。假使我們能把這摩擦減低，便是更輕些的載重，我們的天平也能稱得出來，就是天平會變成靈敏得多。

**179.** 在商業上所用的天平，其槓桿支持在一種三稜形的軸，即所謂刃口的上面，使軸上的摩擦減少。這一種刃口，早已裝好在槓桿 B 中央的裂口內。我們祇須把短柱 T 植立在臺板 G 上，在 T 的頂上，垂直插入一釘，而使 B 上面的刃口，支擱在釘的頭上，即可（圖六九）。現在一根火柴能稱得出麼？

180. 一根火柴會有多少重?這個很容易查出,我們從一枚支持針重 $5\frac{1}{4}$ 克的事實來着手,現在祇須用許多火柴,放在一方的秤盤裏,使其和對方的一枚針S相平衡,然後用火柴的數目來除,即可求得單根火柴的重量,如斯,試求出我們的天平,能把如何微細的一種載重感應(迴轉)出來,就是說其感量是多少。

181. 天平的敏感性,隨載重而異,當秤盤中已用二個重錘載着,就是說各載以200克的重量時,須放入多少火柴,纔能使槓桿沈下半個釐米?假定一座天平,要用 $4/1000$ 克始達到這目的,則其確實的感量,當由下法求得:就是把這微細的重量,用總載重來除, $4/1000 \div 400 = 1/100000$ ,所以這天平的感量是 $1/100000$ 克。在我們的天平,感量是多少?

182. 我們參照實驗180的處理方法,可以製造一種較小的砝碼。例如要造成10克、20克、50克的砝碼,先把重錘 $P_1$ 作為我們的標準重量,再用紙片若干,放在對方的秤盤裏,使和 $P_1$ 相平衡。紙片用拆散的舊書或案頭日曆充當,很是適宜。假使要和100克平衡,須155張, $15\frac{1}{2}$ 張即代表10克,現在我們在一方的秤盤裏,放紙片 $15\frac{1}{2}$ 張,在對方的秤盤裏,放鐵絲一段,先用鉗子剪截,後用銼刀仔細修整,使和紙片的重量相平衡。我們用同樣的方法,製造20克的砝碼二個,50克的一個,那三種鐵絲,各彎成不同的形式,以示區別,即:

$$10 \text{ 克} = I; \quad 20 \text{ 克} = U; \quad 50 \text{ 克} = V.$$

183. 現在我們的天平,雖則已證明是很靈敏的了,可是他稱

起來是否正確（這一點或許更加重要），我們並不知道。第一個條件要辦到的，是：槓桿的兩臂，須絕對等長。因此刃口和掛秤盤的釘，其間的距離，要把他重行測量或檢查一下。我們利用支柱 A 做一根尺，用一枚小的木螺旋，一部分旋入 A 中心的孔內，釘的頭部，能確切的垂直於 A 而迴轉。另取一釘，插入 A 一端的孔內，令其尖端突出約一釐米，以釘頭和釘尖向上，把 A 放在桌上。現在把槓桿放在 A 的上面，令刃口擱在木螺旋釘頭的旋口間，同時釘尖便會大略的接觸在槓桿一端的釘頭中心上。如槓桿倒轉時，釘尖並不恰切的落在釘頭上，則須用螺旋起（旋鑿），仔細的把刃口適度移動，以較整其位置。

184. 槓桿兩臂的長短，雖已仔細校整，而仍不會平衡時，就是槓桿的木材，重量不能通體一律。這一種偏倚，可把紙片貼在槓桿上，或用小釘釘在較輕的臂上，一次把他校整。此時天平仍會不正確，因為兩個秤盤，輕重並不全然相等。這一種不平等，在較輕的一側，用一段細金屬線，繞在秤盤鉤上，即能校整；那繞着線的鉤及其滑輪上，用記號等標出，表明他們是屬於一起的。

185. 我們的天平，現在已能用來衡取可靠的重量。但我們還要說明一種方法，使我們能夠用一種不正確的天平（即兩臂不等而秤盤的重量也不相等的一種天平），來衡取正確的重量。第一步，把所要稱的物體，放在一側的秤盤裏，在他側的秤盤裏，把我們的酒精燈的容器放進去，而用水或砂傾入，使兩側互相平衡。於是把所要稱的物體取出，換以砝碼，至再成平衡而止。

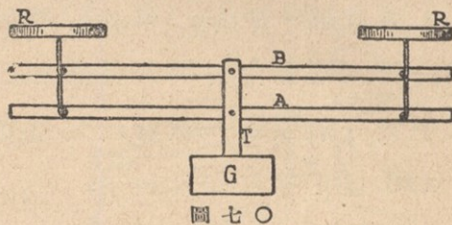


此時這些砝碼，自然代表着我們物體確切的重量，是無疑的。

186. 另一個方法，是二重稱法，把物體先放在一側的盤裏稱，然後放到別一側的盤裏再稱。當我們第一次稱得重量為  $G_1$ ，第二次稱得重量為  $G_2$  時，真實的重量，一定是二者的平均數，殊為明顯。即：

$$\frac{G_1 + G_2}{2}$$

187. 圖七〇表示天平的一種更便利的裝置；此種形式的天平，稱為托盤天平。二個托盤，藉二根平行導桿的作用，能交互的平行昇降。托盤用兩根堅固的金屬線支持；這金屬線，在附着於導桿的兩點，彎成小圈形。



圖七〇

### 不 等 臂 槓 桿

188. 在實驗 175，當槓桿的兩臂長短不相等時，儘管重與力相等，其平衡立即擾亂。但在兩臂不相等的一種槓桿，於某種狀況下，也可以得到平衡。我們再陳述一下：支點到重點和支點到力點的直接距離，是用槓桿的兩臂來規定的。無論在那一種情況下，槓桿上沒有作用的一段（透出重點或力點以外的），一概不能計算在內。距離 8 等分地方的一個單獨重錘，在距離 4 等分的地方，要用那一種重錘，可以使其平衡？

189. 平衡非不可能，既查明後，我們可將重和重臂及力和力臂，即代表每種槓桿的特性的四種數量，根據實驗，把下表填滿。

乘 積	重	重 臂	力	力 臂	乘 積
$2 \times 2 = 4$	2	2	1	4	$1 \times 4 = 4$
	2	...	1	6	
	3	1	...	3	
	...	2	1	6	
	2	4	1	...	
	2	...	2	1	
	...	2	1	8	
	3	2	...	3	
	3	4	2	...	

當我們一經使力與力臂相乘,重與重臂相乘,而把乘積在第一、第六兩欄內,各填入他們自己的地位以後,有如數值的因果配置一般,顯出一種物理定律,是多麼有規則。

190. 這定律可表示如下:

不等臂槓桿當力 × 力臂的乘積等於重 × 重臂的乘積時,即成平衡。

無論何時,「槓桿數量」中三個數量已知道,第四個數量即可從以上的定律推出。

例: 重臂長10釐米,載重60克,在30釐米長的一個力臂上,要用多少力量來作用,纔能平衡?

乘積  $10 \times 60 = 600$ , 在力臂的一側,一定要得到同一的數值,所以  $力 \times 30 = 600$ ,  $力 = 20$  克。

191. 上面的算學公式,可以用下面的一條規則來代替:

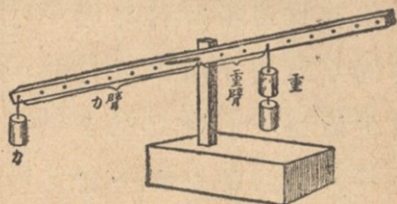
要求出一個槓桿的未知數量,我們祇須把槓桿已知的一側乘起來,再用槓桿不全知的一側的已知數字來除。

例：力 = 25 克；力臂 = 12 釐米，重臂 = 15 釐米；重 = ?

$$\text{重} = \frac{25 \times 12}{15} = 20 \text{ 克}$$

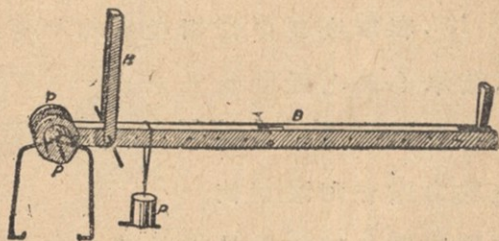
192. 小孩的軒輕板，通常是一種不等臂槓桿，當一個 46 仟克重的小孩，坐在距離迴轉點（支點）270 釐米的地方時，對方坐着體重 42 仟克的一個同伴，須離開迴轉點多少遠？

193. 當我們把 1, 2, 3, 4 四個重錘，依次的掛在一個槓桿重臂的第一等分點上時，我們可以用第五個重錘，在別一臂或力臂上，先後的掛在第一第二第三和第四孔內，以平衡之。反是，當某種物件掛在第一孔內，在別一臂上的第五孔內掛一重錘，而得平衡時，我們斷定那物體的重量，必五倍於重錘，即重 500 克是，這裏的孔，在兩臂上自然是從支點算起的，這一種不等臂天平，對於感量是怎樣？（圖七一）



圖七一

194. 不等臂天平，即普通所說的秤，其重臂大部分歸於無用，秤量則藉力臂的加長，而可以顯著增加。最簡單的方法，祇須把迴轉點從槓桿中心移到桿端第三孔內，即成一秤。黃銅夾 H，可用以掛秤。現在槓桿一側的過重，自然須設法抵消；



圖七二

其法，在重臂最外側的一個孔內，插入一支持針，針上放重錘三個，並附一秤盤鉤，作為懸掛重物的鉤。此時力臂或許太輕，可用木楔插入或即放在臂上，使其平衡。這一種衡器，名曰桿秤。現在試用桿秤來稱幾種日用的器物。（圖七二）

195. 書信秤是一種特殊形式的秤。秤上的載重愈大，秤桿所標明的弧度也愈長；秤桿傾斜放着，其末端以重錘  $P_1$  加重。我們用幾個重錘來把他試驗一下。這一種模型，絕不能使我們滿意，因為載重一經放入盤內，

能使秤桿運動時，秤桿立即倒（迴轉）過去。為何發生這現象？（圖七三）

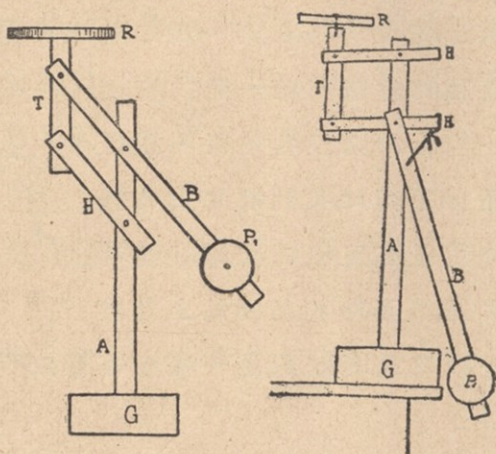
196. 真的書信秤，一定要照圖七四的樣子製造。重臂須和力臂  $B$ ，幾成一直角，如把導桿  $H$  下方的一片，經短棒而連接秤桿

的一端，秤桿即自能採取這角度。

197. 在家庭裏面，仔細查考起來，有許多東西，是變相的槓桿。

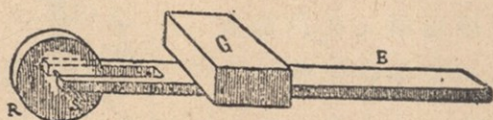
獨輪車（圖七五）是一種單臂槓桿。其支點、重點、力點在那裏？要使

重臂、力臂負擔的重量，盡量減少，載重須放在什麼地方？



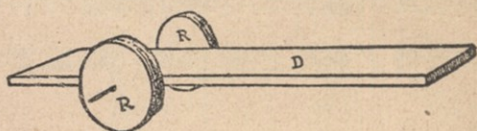
圖七三

圖七四



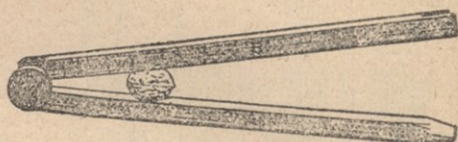
圖七五

198. 在一種二輪的貨車(場車)上,如載重分配得適當,其兩臂即不加扶持,也能獨立(圖七六).



圖七六

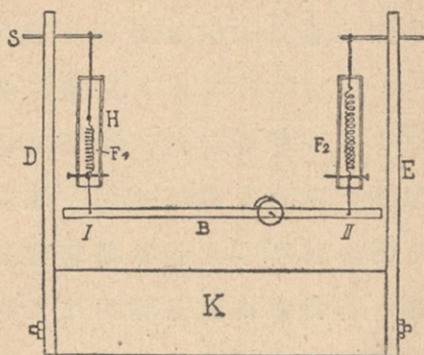
199. 堅果鉗從二個單臂槓桿組成,這二個槓桿,在我們的模型中,用一堅固的金屬絲相連(圖七七). 鉗子、鑷子、剪刀,屬於那一種槓桿?



圖七七

200. 在一條槓桿上,也可以同時用兩個力拉動,以代替一個力(圖七八). 把箱蓋(D和E)旋在木箱K兩端的外側. 二螺旋管各用一螺旋帽旋緊,不過透出木箱內側的一端,須用釘由其橫孔插入,使之固定. 在槓桿的中心孔內,貫穿一針,針的兩端各套一重錘P. 我們先用一個彈簧秤,來試驗槓桿和重錘的向下拉動;然後依照圖七八把槓桿掛在兩個彈簧秤的末端,並把懸掛彈簧秤的繩拉上,直到槓桿成爲水平而止. 槓桿的兩端,各有多少重量拉動?

201. 這二個力,已把他們中間的重量,平均分去. 當重錘附着在槓桿中心的一側時,情形就不再如此(圖七八). 當槓桿的一側是4等分,別一側是12等分時,兩側



圖七八

所承受的重量，各為若干？如果我們把其中的一個懸掛點，看做固定的支點，槓桿即代表一種單臂槓桿。左側彈簧 $F_1$ 的力，一定是：

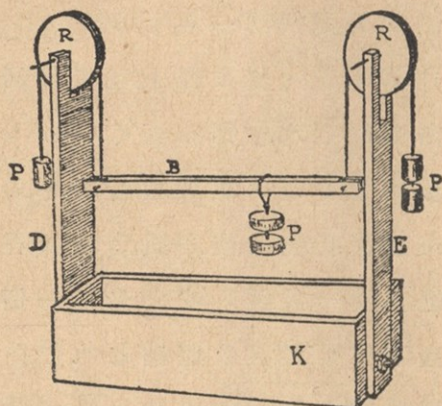
$$F_1 \times 16 = 200 \text{ 克} \times 4; \quad F_1 = \frac{4 \times 200}{16} = 50 \text{ 克}.$$

當我們從右側的彈簧 $F_2$ 出發時，支點位於 I，而右側彈簧 $F_2$ 的力，要：

$$F_2 \times 16 = 200 \text{ 克} \times 12; \quad F_2 = \frac{12 \times 200}{16} = 150 \text{ 克}.$$

所以當實驗時，右側的彈簧，其負擔較重，伸張更強；可是懸掛的繩，仍要引上，到槓桿再成水平而止。

202. 圖七九的裝置，更明白的顯出：把槓桿支持起來，在一側要用 50 克，在別一側要用 150 克的力量。建築家



圖七九

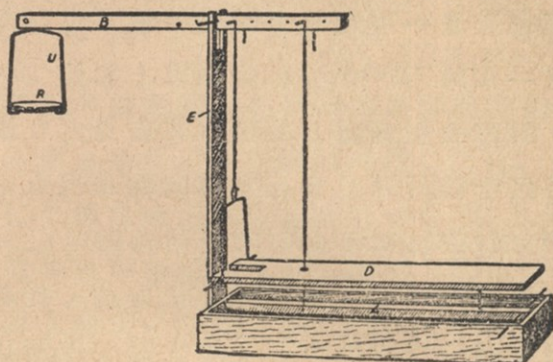
每依照上面的方法，來計算橫梁的負擔。

### 臺 秤

203. 在一種等臂的天平，因為砝碼始終要等於負載的重量，所以稱起來很是費事。在這一種情況之下，通常都採用一種臺秤（俗名磅秤）。用這類臺秤權衡重物，普通只稱出載重的十分之一，即負載的重量，常十倍於砝碼。至其構造的原理，可從圖八〇來研究。把木箱上半部放在下半部上，作為一底盤。木箱的

下半部上,先把較小的箱蓋E,用螺旋管旋上,備裝置槓桿之用。

這槓桿B,兩臂不相等,六個等分放在木箱的一側十個等分放在外側,從其第七孔中,插入一針做軸。支柱A,在銳邊的一端,貫穿一編織針,能以此為軸而轉動,更



圖八〇

用一線自其最後一個孔起,經過大箱蓋D上面的圓孔,而與槓桿B短臂上的一個孔相連結。這線的長度,須加以調節,使槓桿B和支柱A互相平行。在支柱A向上一側的一個孔內,插入一釘。大箱蓋D,一端擱在這釘上,對方的一端,則用一條線和一個秤盤鉤U,和槓桿B短臂的第一等分點連結。這秤盤鉤,用一枚針插入D的橫孔內,由此附着於D上。線附着的孔內,用木栓塞緊,以防脫出。在槓桿長臂外側的最後一點上,加一秤盤(用黃銅鉤U和滑輪R組成)。像上面那樣互相連結着的這些槓桿,須在槓桿B上放一重物,使其自由懸掛時,成為平衡。

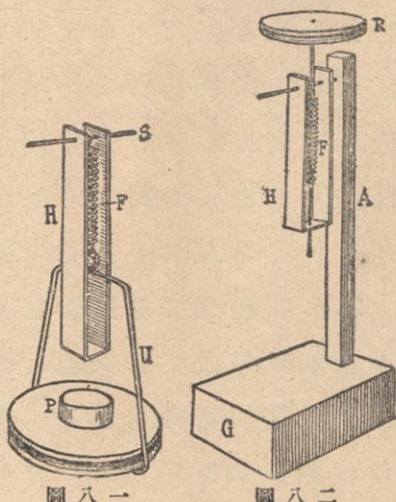
204. 我們現在用兩隻紙袋,各盛砂500克,來稱。用平常的天平稱起來,勢必要把我們所有的重錘,都放到一面的秤盤裏。要試驗我們的臺秤,把這1000克的重物放在底盤的臺上,而在秤盤內放一個重錘P。如斯,兩方即確切的成為平衡。

要了解上方的兩臂槓桿和下方的單臂槓桿,如何共同作用,却要費一些腦筋。1000克的載重,可以放在臺板D的中央,此時一側的500克,拉在鈎和線上,其他500克則壓在支持臺板D的釘上。在重臂上的拉力,其着力處在第一等分點上;因力臂長出十倍,所以從臺板D傳到鈎和線上的500克拉力,祇須用50克即能使其平衡。釘承受的負擔也是500克。支柱A的重臂(從釘到軸——編織針),比力臂(從線到軸——編織針)長出幾倍?因A的力臂,長於重臂五倍,所以知道祇有100克作用於連結A和B的線上。這100克的拉力,其着力處在重臂的第五等分上,所以祇須用50克即能使其平衡。所以總共在秤盤內放着50+50克,平衡着臺板上1000克的載重。

205. 載重放在臺板上,離秤盤愈近,似對於支持點上所受到的壓力愈小。惟載重無論放在臺板的何處,皆能取得平衡。試實驗以證明之。

206. 現在感知我們的螺旋彈簧和滑輪夾那種裝置,尤其是附加一秤盤的,確實可以代表着秤的一種(圖八一)。

207. 備有托盤的一種廚秤的模型,如圖八二所示。在彈簧中貫穿一編織針,其下部先銼一缺刻,以使用線和彈簧連結。



圖八一

圖八二



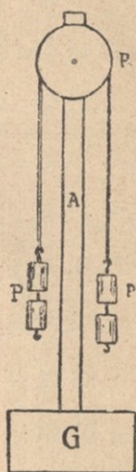
## 滑 輪

槓桿祇能使我們把一個載重舉到極小的高度。建築的人，則必須把重物移到高樓上去，所以他們採用滑輪以代槓桿。這一種滑輪，是能在軸上自由迴轉的一個圓板，輪周開有凹溝。先取一針，插入支柱A的上部，然後把圓板裝在針上，即成一滑輪（圖八三）。

208. 兩個重錘，掛在繩的一端，作為載重力則由別一端重錘的重力來代表。我們先用三個重錘，其次用一個，最後用兩個。我們見到三個重錘，把載重舉起，十分輕易，一個重錘全然不濟事，兩個重錘則使滑輪保持平衡，即無論載重或重錘在何地位，滑輪總是靜止不動。

209. 維持平衡的條件，在前面等臂槓桿項下，我們曾查明過，就是力 = 重。當我們用粉筆在滑輪上劃幾條直徑時，顯然可以說，一個滑輪是無數的等臂槓桿所形成的，所以同樣的定律，兩方都適用。

210. 上面那種滑輪，因其中心點一定不變，所以稱為定滑輪。定滑輪並不能省力，祇用來變更拉動的方向。向下方拉動，比向上拉動更便利。例如用馬來拉上一件載重時，這一種定滑輪是省不掉的，因馬只能沿水平方向拉去。圖八四即代表這一種用途的滑輪裝置。



圖八三

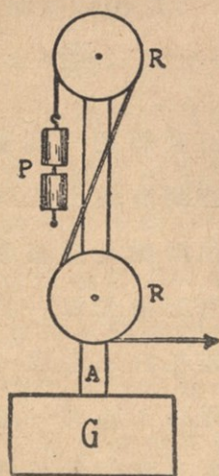
211. 在圖八五,滑輪用一枚針做軸,裝置在一個可以移動的滑輪夾H上,或者可以用較輕的滑輪r來代R.滑輪夾向下懸掛繩的一端,固定在A的針上,滑輪和夾吊起.這一種滑輪,其中心點能隨重物上下移動,所以稱為動滑輪.

212. 用我們的彈簧秤,先把直接舉起兩重錘P,所要的力

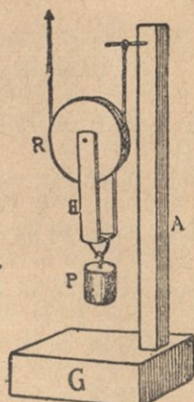
測定,然後照圖八五的裝置,再把他測定,使我們很驚異,在後者,雖滑輪和滑輪夾也一同要舉上去,而所需要的力,反而較小.這是因為有一半的載重,已由固定的繩負擔去;

在固定的繩上插入一彈簧秤,即能證明.(圖八六)

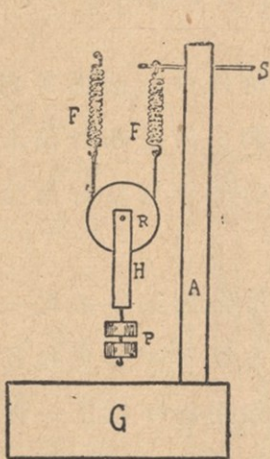
213. 力雖顯然節省,拉起來必須向上,因有此種不便,仍不能認為有利.可是我們自有補救的方法,就是把繩再通過一定滑輪,如斯,即能向下方拉動



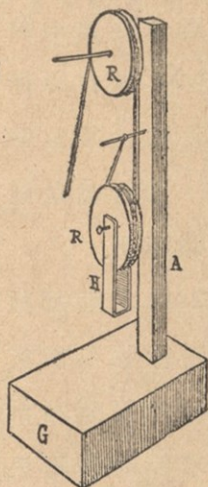
圖八四



圖八五



圖八六



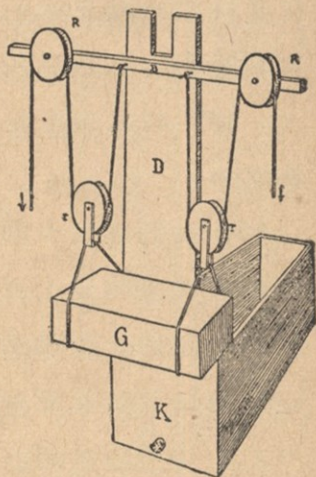
圖八七

(圖八七)在動滑輪上掛重錘二個,代表載重,在繩的游離端,要掛上多少重錘,纔能使載重平衡於任何高度?

214. 在動滑輪,所用的力,祇等於載重之半.我們在動滑輪上劃一直徑,見其確乎代表一種單臂槓桿.其支點位在固定繩一側的溝內,重點一致於軸或圓板的中心,力點則和輪周上與游離繩分離之點相一致.把槓桿的兩臂,畫在圓板上.

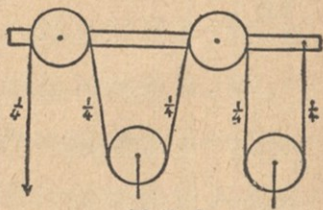
215. 一個體重70 仟克的人,用一種定滑輪能舉重若干?用一種聯合滑輪,能舉重若干?我們假定他可以把全身的重量掛在繩上,用全力來拉動.

216. 所以我們知道單獨一個人用一種聯合滑輪所能舉起的載重,確是有限.假使現在遇到一件過於重大的物件,我們可以像圖八八那樣,引用兩組滑輪,來把他拉動.此時,每組滑輪各分去載重的一半,在每條繩上,只須  $\frac{1}{4}$  的力量拉着.支持二大滑輪 R 的橫桿,固定於箱蓋 D, D 則旋緊在木箱上.小滑輪 r 裝在滑輪夾內.



圖八八

217. 現在我們可以把左側一組滑輪的固定繩,和其他一組滑輪的游離繩,連結起來,改成圖八九的樣子.在這種聯合滑輪,以前拉在固定針上的繩,

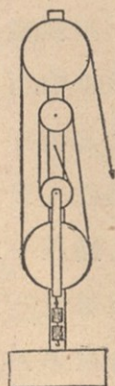


圖八九

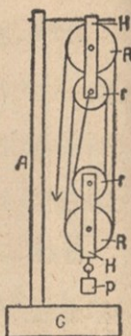
現在是把別組滑輪繩的游離端向下拉着,因此祇剩一側的游離繩拉動,而祇要四分之一的力量。

圖九〇表示排列略行改變的一種滑輪,這裏也可以明白的看出:祇須用一個重錘,可以把四個重錘舉起。

118. 一大一小的滑輪,聯在一個框內的,名曰滑輪組(圖九一)。動滑輪的數目還可以增加上去,而載重對於拉力的倍數,始終會依照動滑輪的總數而加大。



圖九〇



圖九一

用一種六個滑輪的滑輪組,要多少力量,纔能把 360 仟克舉起?

319. 我們確實見到在舉起一件重物時,要把非常長的一段繩拉過後,重物纔上昇一些距離。在實驗 218, 使重錘昇高 20 釐米時,拉過的一段繩有多少長?力的節省,顯然是和繩要拉過的距離的加長,恰正相抵。

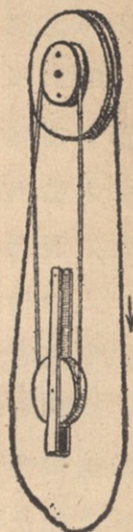
在力的方面有所節省,距離或時間方面即有所損失。

這規則不單非常重要,適用的範圍也極廣,因此曾稱為力學的「黃金規則」。在實驗 212 把載重提起時,應當和手所移過的距離,互相比較。

220. 在某種滑輪組,滑輪不是互相上下裝着,而是並排裝着的。這一種滑輪組,我們可以照下法裝成:把大滑輪和小滑輪分別裝入兩個滑輪夾內,再在二滑輪夾的中間及外側,各置一滑

輪,同貫穿在一個公共軸上。

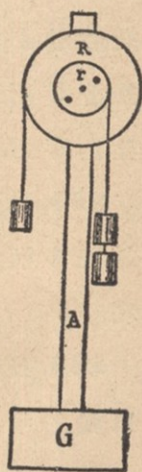
221. 一種特別變異的滑輪組,是差動滑輪組。在圖九二的上方,大小二滑輪已裝在一公共軸上,且用小木栓(火柴)使其互相固結。下方有一小的動滑輪,裝在滑輪夾中間。繩(約2米長)兩端連結而成一環。繩在上方的小滑輪上,已繞了兩周,以防其滑動。當我們依箭頭的方向拉動時,因拉過的繩,有一部分常不再從小滑輪(與大滑輪同時轉動)上放下來,所以下方的小動滑輪會慢慢地上昇。如果這小滑輪祇比大滑輪稍微小些時,載重祇會依照繩繞上部分比放下部分超出的一些長短昇上去,所以稱為差動滑輪組。



圖九二

### 輪 軸

222. 在滑輪組,除差動滑輪組以外,提舉力的增加,常和滑輪數的增加相伴。此外,用兩個直徑不同的滑輪,也可以得到一種省力的利益;這二個滑輪,同裝在一軸上,並用木栓固結一起,使其同時轉動。如圖九三所示,我們把一個重錘  $P$  掛在大滑輪上,另用一繩,把重錘依次的(先三個,次一個,最後二個)掛在小滑輪  $r$  上。繩在一端打成一個圈套,套入滑輪的溝內,然後把他們收緊,以不再滑動為度,再可以用水濡溼,使完全吃緊。滑輪的半徑和重錘



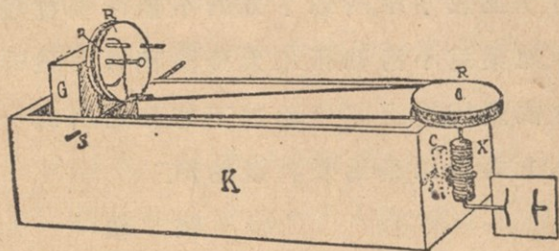
圖九三

數目之間,有何種關係?

**223.** 小滑輪的直徑愈小,則愈能省力,小滑輪也可以用螺旋管  $X$  來代替,要把這細小的軸,和大滑輪連結,可把軸上的繩,再在大輪上繫緊,使軸縛牢在上面,由實驗及測量半徑的結果,得到下面那樣的一個定律:

輪軸上所用的力對於載重,恰正和軸的半徑之長對於輪的半徑之長,成同一比例.

224. 例如舵輪,輪不用繩而直接用手迴轉時,以上的定律,也能適用,要了解輪船上把舵時的情形,我們想像我們的木箱是一隻船,照圖九四的樣子,裝着舵和舵機螺

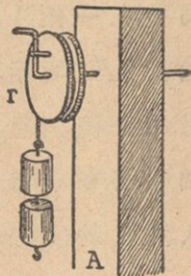


圖九四

旋管  $X$  用作舵的導管,用一個雙圈套,從木箱一端側壁上的大孔內穿過,把他附着在木箱上,並用一木楔  $G$  撐緊之。

**225.** 我們可插一枚開口釘,來代表舵輪上的許多柄,此時手執柄,迴轉起來,可以非常便利

**226.** 我們想像圓板除了必需裝柄的一個單獨的半徑以外,其餘完全除去,如斯,則適成一曲柄(搖手)。這曲柄,用一段金屬線或一



圖九五

枚編織針先燒成赤熱，使其軟化後，即易彎成小滑輪側孔內的一個木針，用作搖轉釘(圖九五)。

227. 我們也可以把螺旋管來改成一種絞盤，祇須在他的橫孔內，貫穿一金屬絲，而把他彎成一種曲柄的樣子，即成同樣的定律，我們在輪軸上發見的，也適用於曲柄。在那些地方，應用着曲柄？

228. 藉皮帶等，傳達動力於機械的級輪（俗名皮帶盤），也是輪軸，我們的木滑輪，可用來做這一種級輪。在臺板 G 的兩個橫孔內，各插入一釘及一大滑輪，用一膠皮圈（代皮帶）互相連結，在一方的滑輪上，插一火柴作為曲柄；把二輪轉動的方向和迴轉數，互相比較。

229. 我們把輪間的皮帶交叉以後，轉動的方向，有何變化？

230. 當我們採用一個大滑輪和一個小滑輪時，迴轉即變為各異。當大輪迴轉一次時，小輪迴轉幾次？假使大輪迴轉一次，小輪轉過  $3\frac{1}{2}$  週，就是迴轉的比例是  $1:3\frac{1}{2}$ ，這一種聯動，謂之 1 對  $3\frac{1}{2}$ 。我們兩個滑輪的聯動是幾對幾？

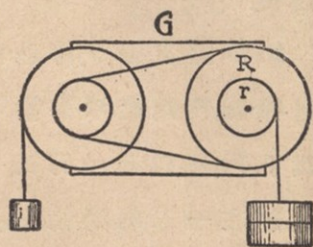
231. 小滑輪用一個小直徑的重錘 ( $P_3$ ) 來調換，而定其聯動之比，並實驗之。

232. 當我們用小滑輪來轉動時，大輪即以較低的速力迴轉；此種聯動，謂之減速聯動，和以前的加速聯動相對待。這一種聯動裝置，祇須把曲柄移到小滑輪上，即成。

233. 一種減速聯動或加速聯動，還能減低或增高上去，我們

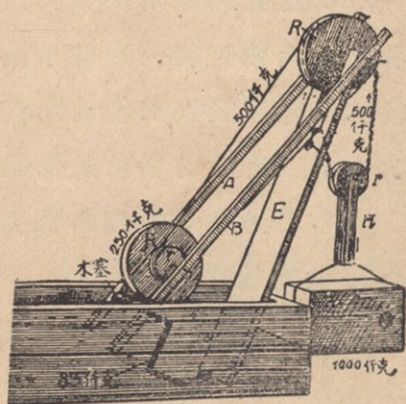
在臺板 G 一角的孔內，裝一大輪，再在對角的孔內，裝一小輪，把皮帶加上。在小輪的同一軸上，再加一大輪，並與小輪相堅結（與實驗 221 比較）；用另一皮帶，從大輪連到第三角孔內裝着的一個小輪上。此時，其聯動之比為何？

234. 據力學的黃金規則，無論何時，祇要動力的行程較長，我們的力施展起來，一定會更有力量。試就一種簡單的聯動裝置，用重錘來實驗，以求出和聯動速力之比例相應的力之得失（圖九六）。



圖九六

235. 舉起極重的載重所用的起重機，由以前所述的各種助力器聯合而成。我們照圖九七來構成一起重機。把木箱的兩半疊起，上半部用本儀器內其他用不到的零件壓住。在木箱上半部內，靠着開口部的一側，把起重機設立起來。先要聲明的，曲柄軸上的小輪，祇是一個平常的木塞。在木箱下半部的底上，插入一圖畫釘，以防平板 E 滑動。把平板向後或向前移動，即能增減起重機的傾斜度。平板 E 的地位，須



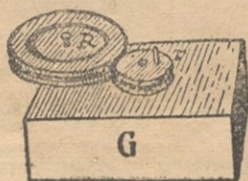
圖九七

靠近木桿 A 和 B。繩從 E 的圓孔內穿過，打一個結，以保持其地



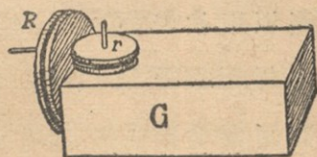
位繩從這一點起，先通過下方負帶載重的動滑輪，次則通過定滑輪 R，引到輪軸(由一大一小滑輪互相固結而成)的小輪 r，照實驗 222 的方法，繫緊於其上。輪軸的大輪，則由一皮帶(膠皮圈)和曲柄軸上的木塞連結。

236. 像起重機裏面，小輪的地位，和大輪變成十分接近時，因皮帶容易滑落，每代以齒輪。我們的滑輪，雖則沒有齒，也可以照圖九八，做成一種裝置，運動起來和齒輪一樣。如二輪互相壓緊，全體很均勻，則大輪也可以隨小輪的轉動而迴轉。



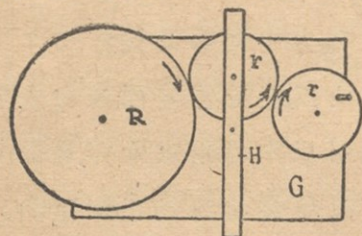
圖九八

237. 圖九九表示軸並不平行，而互成直角的兩個輪子，如何傳動的情形。大輪用螺旋管 X 做軸承，裝在臺板 G 的一個側孔內。

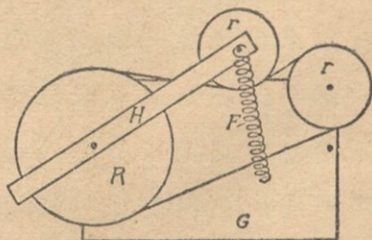


圖九九

238. 互相嚙合的二齒輪，以反對方向轉動。假使要他們以同一方向轉動，則其間須插入一第三傳動輪或媒輪(圖一〇〇)。滑輪夾 H 的重量，可使媒輪常壓向其他二輪。



圖一〇〇

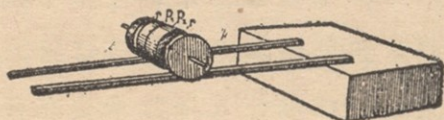


圖一〇一

239. 圖一〇一表示備有緊張滾輪的一種聯動。此時皮帶用一種沒有彈性的繩，代替膠皮圈。上方的（中央）滑輪  $r$ ，和大滑輪  $R$  同裝在一滑輪夾內。滑輪夾則沿  $R$ （左方）的軸轉動。滑輪  $r$ （緊張滾輪）由彈簧  $F$  拉向皮帶，自動的使皮帶保持一種均勻的工作張力。

## 斜 面

240. 一個沈重的桶，要裝到一輛運貨汽車上去。富於經驗的車夫，既不用槓桿，也不用滑輪，却喜歡用兩根木桿擱在車上，把那個桶，沿着木桿滾到車上去。我們且把這個辦法來摹仿一下。臺板可代表貨車。A 和 B 是木桿，兩個重錘  $P_1, P_2$ ，可夾在兩個滑輪  $r$  中間，做桶。沿木桿把這個「桶」滾上去；



圖一〇二

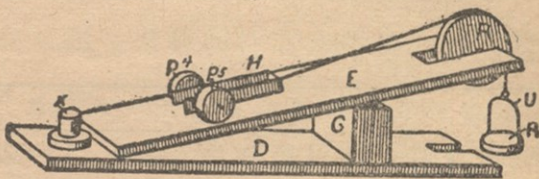
把此時所需要的力，和直接垂直的舉起來要用的力，相比較（圖一〇二）。

241. 這一種搬運貨物的斜面，顯然也是一種助力的裝置。我們可以求出在這一種斜面上，重和力中間的比例。

圖一〇三，箱蓋  $D$  可以作為地板，螺旋管  $X$  固定在大孔內，因下面附有螺旋帽， $D$  必須再用兩根木桿墊成水平。箱蓋  $E$ ，即斜面，一端抵住螺旋管，一端用臺板  $G$  擱起。我們從斜面的下端（左側）起，照  $G$  的厚薄，在  $D$  上用粉筆劃成十等分；如斯，在我

們的斜面上,有 4 至 40 釐米的一列粉筆線斜面的傾斜度,可以藉變更 G 的(支持緣)位

置來改變,因此我們常用斜面的長,等於其高的 3 倍、8 倍……等,

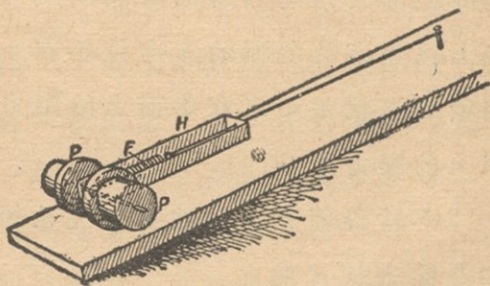


圖一〇三

來表明,因為斜面突出在 G 的支持緣以外的部分,在計算斜面的斜度時,毫無作用。

現在我們用兩個扁的重錘( $P_1, P_2$ )分別裝在滑輪夾的外側,做成一小車,因小車愈重,所得的結果可以格外顯明,所以我們用一支長的針,把重錘  $P_3, P_4$ , 也加在車身的兩側,此時小車的重量為 400 克,我們用一條細繩,一端打個結,從滑輪夾上端的孔內穿出,把小車拉起在斜面上,在這個初步的試驗中,表示小車在斜面上拉起所要的力,隨斜面的傾斜度而增加。

**242.** 我們在小車內裝一彈簧秤,把他的繩,在斜面的上端繫住(圖一〇四);如斯則所用的力,可以一望而知,且較為正確。其結果,即拉力對於斜面斜度的比例,如後表所示。



圖一〇四

把第三欄和第六欄的數值比較一下,顯得重對力的倍數和斜面長度對高的倍數,恰正相等,即:

在斜面上之拉力,對於載重,和斜面高度對於長度保持同

一比例。

斜面的長	斜面的高	長 ÷ 高	載 重	拉 力	重 ÷ 力
40 釐米	4 釐米	10 倍	400 克	40 克	10 倍
36 ,, ,,	4 ,, ,,	9 ,,	400 ,,	45 ,,	9 (8.83....) 倍
32 ,, ,,	4 ,, ,,	8 ,,	400 ,,	50 ,,	8 ,,
28 ,, ,,	4 ,, ,,	7 ,,	400 ,,	57 ,,	7 (7.07....) ,,
24 ,, ,,	4 ,, ,,				
20 ,, ,,	4 ,, ,,				
16 ,, ,,	4 ,, ,,				
12 ,, ,,	4 ,, ,,				
8 ,, ,,	4 ,, ,,				

23. 把臺板 G (代表高度) 狹長的一面放着 (8 釐米), 可以得到一組相似的數值。

244. 當載重在一個斜面上時,我們所用的力,祇及到他的一部分,其餘的重量,一定壓在別的地方。實際的情形是:他垂直的壓在他的支持物即斜面上。我們用另一彈簧秤,附着在小車的軸上,以垂直於斜面的方向拉起。在小車舉起的瞬間,我們得一個數值,這就是小車在斜面上的壓力。斜面傾斜愈甚,作用於斜面上的壓力愈小。

245. 當斜面直立時,載重即完全掛在繩上,斜面上的壓力,則完全除去。試實驗之。

246. 實驗 242, 243, 也可以用全組的砝碼,照圖一〇三來舉行。秤盤要十分減輕,使其重量可以略去。用一方紙,摺成適當的形式,可以充當。

247. 在實驗 245, 力必與重相等, 至為顯明; 斜面在這個特殊情形下, 其長度和高度相等, 而載重移動的方法, 變成和一種定滑輪相似 (和實驗 208 比較)。

248. 問題: 斜面長 34 釐米, 高 4 釐米把 20 克重的一輛小車拉上去, 要用多少力量? 我們查出長對於高的倍數:  $34 \div 4 = 8\frac{1}{2}$  倍, 所以需要的力:  $20 \div 8.5 = 2.35$  克。

問題: 街道在不成為水平狀態的時候, 也是一種斜面, 其傾斜度是用長度的百分之幾計算的。如百分之四的傾斜度, 就是說每一百米, 高度增加四米。在實驗 242, 假使斜面有 100 釐米長, 他可以達到的高度, 也就是以長度百分之幾計算的一種傾斜度。試就實驗 242, 斜面的各個地位, 都用百分數來表示他的傾斜度。

例: 平面每 36 釐米, 昇高 4 釐米, 所以每長 100 釐米, 昇高:  $\frac{4}{36} \times 100 = 11.1$  釐米。

斜面每 100 釐米昇高 11.1 釐米時, 其傾斜度是 11.1%。

問題: 如用一架蒸氣機, 在千分之一二·五 (或 1.25%) 的傾斜度上, 把 140 噸重的一列車輛拉上去, 須發出多少動力?

我們查出: 長: 高 = 100: 1.25, 動力不難由此求出。

249. 桶裝到車上去, 往往把繩的一端, 繫在車上, 再自下而上, 沿着桶繞過去; 在繩子繞過去的一端拉着, 把桶滾到車上去 (上下索搬運法)。這個方法, 認為可以使拉力再減省一半, 其故安在? 這實驗裏面的桶, 可以用我們的玻璃筒 V 代表。 (和圖一〇二

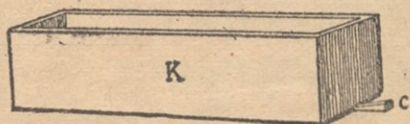
比較)

## 楔

如前所述,斜面也和槓桿、滑輪一般,是起重時的一種省力辦法。載重藉某種力量,沿着一個斜面拉上去。此時或許有人會想到還有一種裝置,其中的重物靜止着,斜面則成爲運動的部分,就是把斜面插入重物的下面,而把他舉起來,這一種可以移動的斜面,稱爲楔。

**250.** 本儀器內共有兩個楔。把他們像斜面一樣疊起,其間有何差異?他們的側面(或斜面之長),各爲其背(即斜面之高)的幾倍?楔的銳緣(楔口)與斜面的何部相當?

**251.** 我們照圖一〇五,把其中的一楔,插入木箱一端的下面,由此使木箱的一端舉起。當物體密接在他的支持物上,無論槓桿或滑車的繩,都不能放進去,此時往往祇有這個方法,纔能把他舉起。

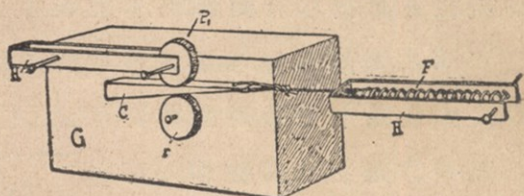


圖一〇五

**252.** 把我們的兩個楔,分別插入,而約略估計其所用的力量。小的楔嵌進去,比大的楔更容易。斜面的定律,楔也能適用。此時應如何說明?

**253.** 楔嵌進去的時候,因滑動摩擦所引起的阻力頗大,所以測得的力,雖則很確切,並不能把定律證實。在圖一〇六的楔測驗器,支持物和載重的摩擦,都十分減低。用一條細繩,一端穿過

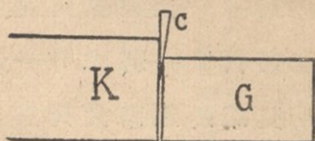
楔口部分的孔繫住,由此把楔和一個彈簧秤連結,即能測定所用的力.用厚楔需要多大的力?用薄楔又怎樣?



圖一〇六

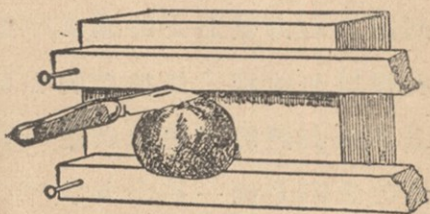
254. 在上方滾輪  $P_1$  (載重) 的兩側,還可以加上其他的重錘,以測定一 300 克的載重所要的拉力.

255. 楔不單用於起重,譬如兩塊靠緊在一起的重的石塊,也用楔來分開.在圖一〇七,由臺板 G 和木箱貼近放着,用來代表樹幹、整塊的大理石或花崗石等,都用楔來劈分.斧、刀、鑿等,便是這一種劈分用的楔.



圖一〇七

256. 鋒利的刀,用力小而較易透入分割物內.一柄鈍的刀和一柄鋒利的刀,他們切入蘋果內所需要的壓力,可以利用圖一〇八的器具,把他測驗出來.這器具和圖四〇的裝置相當.我們在槓桿上放一個重錘 P, 並把重錘慢慢的向外側移動,直到刀切入蘋果而止.作用在刀上的壓力,依照槓桿的定律計算.

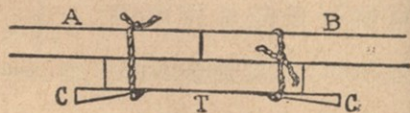


圖一〇八

257. 楔除用以分割外,也用於固定或撐緊.例如木箱內放着臺板 G, 在 G 和木箱側壁間,把小的楔嵌入後,則 G 變成很緊密

的嵌在裏面,把木箱倒轉,也不至跌落。

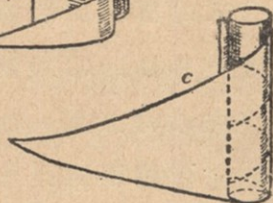
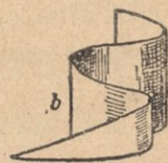
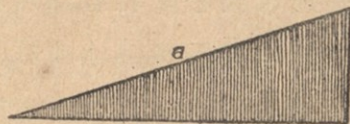
258. A, B 兩木桿,可用木柱 T 和兩條繩接合起來,再用木楔 C 嵌入,使繩十分緊張的縛着 (圖一〇九)。在實驗 410, 可以利用這一種接合法。



圖一〇九

## 螺 旋

259. 取箱蓋大小的畫圖紙一張,沿其對角線剪成兩個直角;把其中一個,以直角的底邊向下放着 (圖一一〇 a)。此時這直角代表一斜面,——載重沿其斜坡向上移動,能使載重上昇。如陡峭的道路或街道,即此種斜面的實例;所以我們的紙製直角,可以代表一種街道的側形或縱斷面。通到高丘或山嶺上去的道路,每造成轉輾屈曲的樣子,使得人們容易爬上去。把我們的直角,摺成這一種屈曲的道路 (圖一一〇 b)。



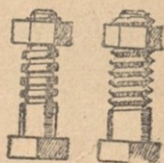
圖一一〇

260. 樓梯也是斜面,他們在室內也是屈曲上昇,因一直線昇上去,則所占地位,未免太多。在角樓或塔內,地位十分狹窄,一種屈曲的樓梯,還是容納不下,所以每見到以一種螺旋形的樓梯來代替。把我們的玻璃管,暫且當做這一種



塔。把我們的紙直角，從斜面的上端起始，底邊則始終靠着玻璃管的下端，捲在他的上面，直角的斜邊，捲繞在玻璃管的週圍，慢慢的降低，形成一圓筒形的螺旋（圖一一〇）。所以一種螺旋線，可以想像由一斜面捲繞在一個圓筒上而產生的。我們的螺旋線，有幾轉，即有多少螺紋？相鄰二螺旋線中間的距離，稱為螺距。粗疏的螺紋，表示一種急螺旋，精細的螺紋，表示一種慢螺旋。螺距對於螺柱圓周的比例，稱為螺旋的進度。我們的螺旋線，其進度為若干？（用圓周的百分之幾來表示）

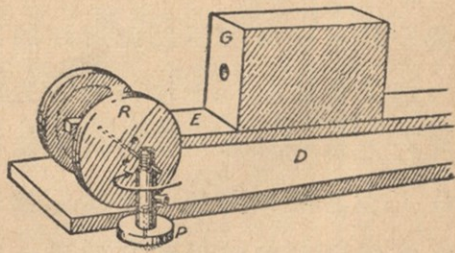
261. 在真的螺旋，螺旋線不祇畫在桿子上，而已車了進去。假使是用一種三角車刀車成的，則成爲一種三角紋螺旋；車成一種長方形的溝時，則成爲一種方紋螺旋（圖一一一）。我們的螺旋管，他的螺紋屬於那一種形式？螺紋數目是多少？其螺距闊若干？測量螺距時，要求得比較正確的數值，可以把螺紋的總闊量出，再用螺紋數去除。



圖一一一

262. 一種平常的螺旋，螺紋刻在外面的，要一種螺旋帽來搭配；這種螺旋帽，螺紋刻在內面，和螺旋外面的螺紋，恰正相配。當我們緊握螺旋，以時針的方向，把螺旋帽轉動時，有何現象發生？

263. 因螺旋祇是一種變相的斜面，所以也可以用來



圖一一二

起重圖一一二表示用一種起重螺旋，擡起汽車的情形。

264. 但螺旋最普通的用途，是固定。此種螺旋，一端須有一頭，或另配一螺旋帽。我們可以用一支橫針來代替螺旋頭的作用。我們把兩塊平板，互相搭着用螺旋來固定（圖一一三）。

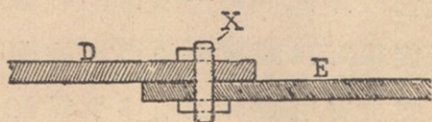


圖 一 一 三

### 提 要

槓桿、滑輪、輪軸、斜面、楔和螺旋，都是起重用的器械。因大的機械，幾乎全由他們聯合成功的，所以也叫做簡單機械。我們可以淺顯的說，滑輪和輪軸，是槓桿的子孫，楔和螺旋，則最後可以追溯到斜面。然則槓桿和斜面，稱為一切機械的根源或元素，亦無不可。

## 功

265. 我們在上面研究過的一切器械，都是想法使工作便於進行而設計的。這些器械能使我們節省勞力；不過我們覺得力一方面所得到的利益，可惜完全被「行程隨力的節省而遞增」的一種障礙所抵消。因此所作的功，還是一樣。所以在判斷生產力或工作成績時，不單消費的力，就是經過的距離，也必須計算在內。這個可以用下面的例來說明。把箱蓋 D 豎起，固定於臺板 G 上，在其缺口內裝一滑輪（圖一一四）。取一重錘掛在繩上。在重錘尚未舉起以前，我們用一支針指示繩端的地位，由此以

上,每隔10釐米,各插一針,標明10釐米,20釐米,30釐米等距離。現在我們把重錘舉起,所作的功,如下表所示:

- 1 錘舉上 10釐米;功=1×10=10
- 2 錘 ,, ,, 10釐米;功=2×10=20
- 1 錘 ,, ,, 20釐米;功=1×20=20
- 2 錘 ,, ,, 20釐米;功=2×20=40
- 2 錘 ,, ,, 30釐米;功=2×30=60
- 3 錘 ,, ,, 20釐米;功=3×20=60

在第二和第三例,及第五和第六例,所作的功,顯然相同。計算所作的功,其真確的數值,由所用的力和指定的行程相乘而得:

$$\text{功} = \text{力} \times \text{行程}$$

如舉起的高度=1米;載重=1仟克,我們即得:

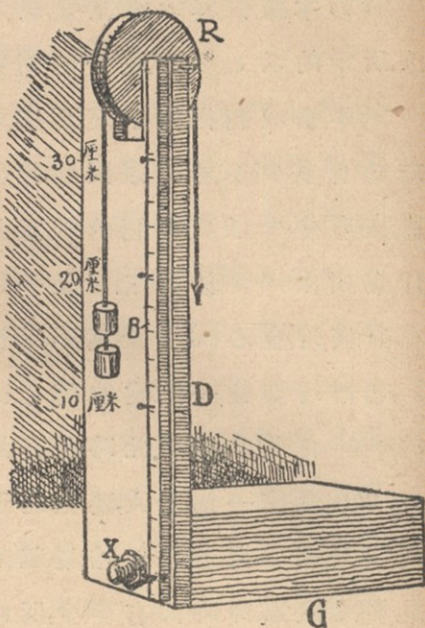
$$\text{功} = 1 \text{ 米} \times 1 \text{ 仟克}$$

這個特殊的功,用做功的單位,稱爲一「仟克米」。

一個仟克米,就是使一仟克,升高一米所要做的功。

266. 假使我們把三個 100 克重的重錘,舉高到65釐米時,我們完成的功是多少?

$$\text{功} = 0.3 \text{ 仟克} \times 0.65 \text{ 米} = 0.195 \text{ 仟克米}$$



圖一一四

267. 本組儀器的總重量,假定是3.5仟克,把他從地上舉到桌上,所作的功是多少?桌子的高度,可用尺B測量。

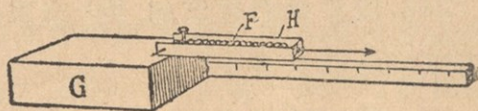
268. 當我們從樓下爬到三層樓上時,我們兩腿的肌肉所作的功有多少?要解答這問題,先要知道地下到三層樓上垂直的高度有多少,以及我們的體重是多少。例如:高度10米和體重65仟克相乘=650仟克米,這是一件費力頗大的功,體力薄弱的人,在登樓時,會心跳不止,實不足怪。這種人要避免這些不快的症狀,爬樓時要慢一些;當他們已到了樓上,他們依然是作了上面的650仟克米的功,此時計算所作的功,時間並不列入。

269. 假使一個工人,要把若干等重的包分別搬上樓頂的貯藏室去,或則把這些包結集起來,打成了一個總包,作一次搬上去,無論搬運的時候有多少,所作的功,仍毫無差別,此時用一單獨的定滑輪,把包裹拉上去,來代替從樓梯搬上去,何以用力就會節省?在搬取載重時,工人每次也要把他的身體搬上去,如利用滑輪,則祇有載重昇上去。

270. 除了起重以外,還有別種的功。馬拉車子,也是完成一種功,其計算功的方法,也是:

$$\text{功} = \text{力} \times \text{行程}$$

力最好用一個彈簧秤來測量,我們把臺板G,沿木桿A和B(互相啣接),拖過70釐米的一段行程(圖一一五),從這兩個已知數,可以算出拖



圖一一五

引時所作的功例如：力 35 克，行程 70 釐米；所以功 = 0.035 仟克  $\times$  0.7 米 = 0.245 仟克米，這個功，不如我們所料想的大。

**271.** 在以上的實驗，當拖車（臺板 G）上裝了載重以後，所用的力即增大，雖行程的遠近相同，功也增加，在以上兩種實驗，載重都是曳行而不是提舉，所以功不是消費於重力的克服，而全是消費於摩擦或摩阻力的制勝，在一切機械，功經過摩擦而損失，所以要創造一種機械，不藉外力的繼續加入，而會永遠走動下去的，是一件不可能的事。

**272.** 以前所講的功，時間並不與分，假使某人在一秒鐘之間，已把 1 仟克舉起到 1 米的高度，另一個人，則需要兩秒鐘，這兩個人所作的功，誠然是恰正一樣，但是某種工作，能在較少的時間內做成的那種人，因其功率較高，一定更受人歡迎，我們在功和功率之間，須仔細辨別，測量功率，用每秒仟克米做單位。

所謂每秒仟克米，就是說，在一秒鐘裏面，把一仟克舉起一米時所需要的功率。

**273.** 問題：某人體重 60 仟克，在一小時內，攀登一 300 米高的山，他所需要的功率是多少？他的妻子，從一條比較平坦的路，跟上去，在兩小時內到達山巔，其所需功率，又是怎樣？此時所要作的功是  $300 \text{ 米} \times 60 \text{ 仟克} = 18000 \text{ 仟克米}$ 。

男子所作的功如下：

在 60 分鐘內..... = 18000 仟克米

在 1 分鐘內或 60 秒鐘內..... = 300 仟克米

在 1 秒鐘內..... = 5 仟克米

所以他的功率是 5 每秒仟克米。他的妻子，也重 60 仟克，是：

在 120 分鐘內..... = 18000 仟克米

在 1 分鐘內..... = 150 仟克米

在 1 秒鐘內..... = 2.5 仟克米

實際人們所能維持的功率，也不過如此。

274. 較大的功率，可取給於馬。一個 75 每秒仟克米的功率，在工業上稱爲一馬力，雖則一匹馬實際的功率，常低於這個數目。但是理論上的馬力，祇是用於測量發動機的功率。我們假定在一個礦井的出口，裝一電動機（馬達），其輪上繫着附有重量 40 仟克米的一條繩，下垂到井底。電動機每秒間能把這載重升高到 7.5 米。如斯則其功率（每秒）爲：

$$7.5 \times 40 = 300 \text{ 每秒仟克米。}$$

$$75 \text{ 每秒仟克米} = 1 \text{ 馬力}$$

$$300 \text{ 每秒仟克米} = 300 \div 75 \\ = 4 \text{ 馬力}$$

故電動機的動力，可以馬力計算。

一個小的汽機模型，其功率可以用圖一一六表示的裝置，來把他測定。

275. 在以上的方法，常不能求得一發動機全部有效的功率。有些人，使發動機拉動一皮帶，測定在工作上已發生效力的力。同時測量皮

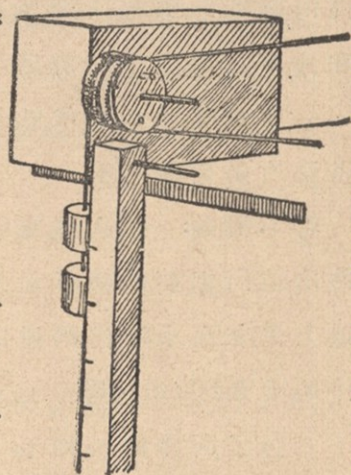
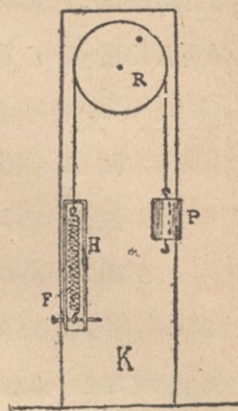


圖 一 一 六

帶在這個力的影響下能走動的速力其裝置如下(圖一一七)。把箱蓋在木箱上旋緊在缺口直下的孔內,把大滑輪的軸插入滑輪上裝一曲柄(火柴),並在溝內通過一細繩(不要太細)。繩的左端連結一彈簧秤,他端懸掛一重錘而下垂。彈簧因這個重錘的牽引而向上伸長,達到和 100 克引力相應的程度而止。我們把滑輪轉動時,起先繩會跟着滑輪走動,而再把彈簧引長上去,直到彈簧的張力,和繩在輪上的摩擦平衡而止。此時繩即開始滑動,而彈簧張力的增加,即表示摩擦的阻力。我們如繼續轉動,則必須繼續克服這阻力,就是說,我們須作出一種功。滑輪每次轉



圖一一七

動所要使用的力,由彈簧秤指出。繩雖則靜止在那裏,我們還是要盡力轉動,好像要把彈簧秤上所指出的載重,實地捲上去的一般。不過右方的重量,須從彈簧秤的示度中減去,因為他的拉力,和我們同一方向,以至併入我們的力量裏面。換言之,重錘唯一的目的,祇是使繩緊張,來做出一些摩擦罷了。我們把顯然可以舉起的載重是多少,查明以後,未曾決定的,祇剩載重(如繩不滑動)可以上昇的速力。滑輪每轉動一次時,繩自己可以在輪上圍繞一次,所以其速度是:

$$\text{速度} = \text{每秒間的迴轉數} \times \text{滑輪的圓周}$$

迴轉自然要十分均勻,所以宜在一側設立一小擺,其每秒

間的擺動數，則預先算定，在轉動滑輪時，用擺來定時間，並視察彈簧的伸張，把結果（除去重錘的重量）和每秒間的速力相乘，即得功率的每秒仟克米數。用我們的模型求得的價值極小，不够換算成馬力。我們且看下面另一個例。我們假定輪每秒間是 4 轉，引張的重量是 200 克，彈簧的張力是 450 克。

$$\text{力} = 450 - 200 = 250 \text{ 克}$$

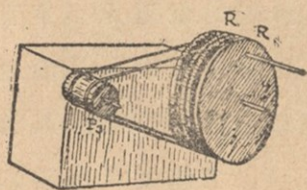
$$\text{圓周} = \text{直徑} \times \pi = 7.5 \text{ 釐米} \times 3.14 = 23.55 \text{ 釐米}$$

$$\text{速度} = 4 \times 23.55 = 94.20 \text{ 釐米}$$

$$\text{功率} = 0.25 \text{ 仟克} \times 0.94 \text{ 米} = 0.235 \text{ 每秒仟克米。}$$

276. 在小的蒸氣機或電動機，可照前法來查出他的馬力。計算高速度的迴轉數，似乎有些困難。此時可以使小的發動機先轉動一大輪，從大輪低速的迴轉，照聯動裝置的應有關係，把發動機的迴轉數推算出來。

277. 平常應用的一種迴轉計數器（速力計），由兩個齒輪組成，此二齒輪藉一個小直徑的第三齒輪（媒輪）而轉動。大齒輪中的一個，比別一個少去一齒，因此每轉過一次，他比別一個齒輪，落後一齒。在某一時間內，轉過多少次數，可由此推定。用下面的一個模型，可以把他的說明（圖一一八）。二滑輪 R，在同一軸上互相獨立而轉動，各由一皮帶，和傳達動力的滾輪（重錘）P，連結。此時如二輪完全相同，他們自然會以同一速力而



圖一一八



迴轉，而劃在兩方輪緣上的一種粉筆記號，在迴轉時，也不會顯出相對的變位。可是因兩方的直徑（從溝的內側量定），微有不同，勢必發生一些變位。如不見發生，我們故意在內側一個滑輪的溝內，繞上幾轉線，使其直徑不等。現在把小輪P，轉過幾次後，內側的輪已落在後面。小輪是轉過多少次數以後，二粉筆線復相一致？無論何時，根據二粉筆線之間的角度（弧長），即不難把滾輪所必須轉過的迴轉數，計算出來。

## 能

要防止一個擺停止下來，須不絕與以輕微的推動。我們把這個責任，委諸重錘（參照實驗53），經一系列走時齒輪的傳動，供給必要的推動力於擺。我們把重錘捲起，使他能做這一種功；此時重錘即具有作功的能力。他具備潛藏着的「能」。同樣，放在高處的各种物體，也各有一定量的能藏着。

**278.** 放在廚頂上的兩個重錘，如利用一定滑輪，便能把盛滿水的一個小瓶拉上，同時重錘即降到下面來。再要把他們舉到2米高的一個廚頂上去，便要作一種功，等於 $2\text{米} \times 0.2\text{仟克} = 0.4\text{仟克米}$ 。第二次降落到地下，他們又能完成恰正同樣大小的功。換言之，曾經舉起到某一高度的一個物體，他保有的能，和以前把他舉到那高度時所要作的功，恰正相等。

適纔舉起了的重錘，已得到可以舉起其他物體的能力；他具有0.4仟克米的能。

在高處的那些水,都具有作功的能力。他們的功,等於水的重量和可以落下的高度,乘得的積。

某湖蓄水 9000 立方米,其地位在谷底 20 米以上,他藏着的能有多少? (1 立方米 = 1000 立方分米,約重 1000 仟克)

能 = 9000 × 1000 仟克 × 20 米 = 180000000 仟克米。

279. 鐵索車或空中鐵道 (高架車路),在極簡單的方式下,利用水的潛能。這一種

車路的模型,可以照圖一一九裝成。把臺板 G 放在廚頂上,假使距離擴大些,放在一個陽臺上面。上方的瓶,用水裝滿,到了下面,把水傾去。上升的滑輪,載着他的

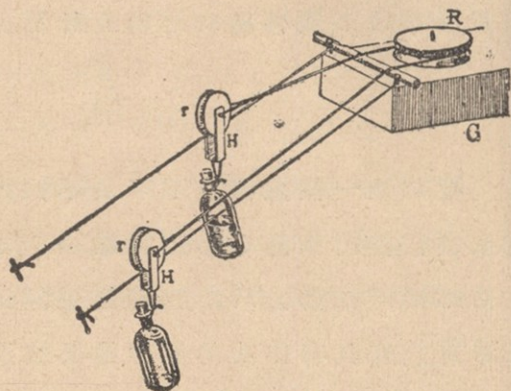


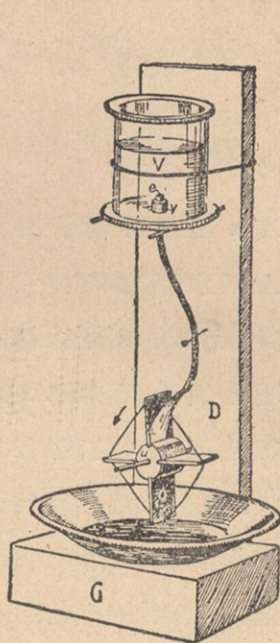
圖 一 一 九

空瓶及一紙袋,袋內則裝着要運輸上去的物件。

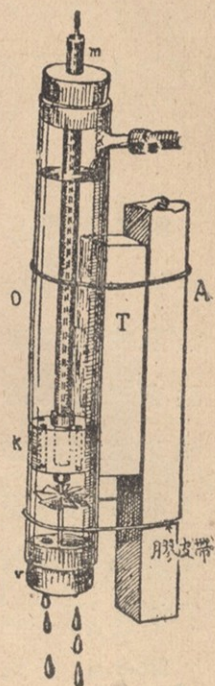
280. 湖水也可以藉轉動一種水輪來作功,再用適當的傳達法,把水輪的動力,供給於機械。用一支針 S 作軸,一個穿孔的膠皮塞 u, 火柴盒上拆下的四塊木片,可做成一水輪模型。膠皮塞的孔內,插入一玻璃管 e, 玻璃管外面,先用紙包捲,使和塞孔相適合。木片用一膠皮帶紮緊,以防脫落。塞上要做出小的切口,以便把木片或葉板插入。(圖一二〇)

281. 水輪利用水力,並不充分。水渦輪則效率高得多。我們照

圖一二一構造一水平式的低壓水渦輪。取一薄鐵圓片，中心用釘穿一小孔，並做出若干放射形切口，達到中心相近。把每個分割部分的右緣，向下彎曲。小輪固定在一金屬線（徑2至3毫米）上，離其下端約2釐米。把活塞k和唧筒桿m，插入玻璃管O內，至小輪的軸，突出在黃銅管內而止。我們把水注入玻璃管內時，水祇能通過活塞上的孔，而落在渦輪



圖一二〇



圖一二一

的斜葉板上。葉板上的水壓，可以使渦輪轉動。水槽（玻璃管O）內的水升高時，輪轉動的速力，也隨之增加。膠皮塞v做渦輪軸下方的軸承，廢水從他的兩個孔排出。

水面的高度，更乘以每秒間流過的水的重量，即為功率。

例如水的高度=15米；每分鐘流過的水=6立方米（6000呎）：

$$\frac{15 \text{ 米} \times 6000 \text{ 仟克}}{60 \text{ 秒}} = 1500 \text{ 每秒仟克米}$$

$$1500 \text{ 每秒仟克米} = \frac{1500}{75} = 20 \text{ 馬力}$$

# 液 體 力 學

## 液 體 內 的 壓 力

**282.** 用膠皮塞  $x$  閉合具側管玻璃管的下孔,把重錘  $P_3, P_4, P_5$  穿於一編織針上,以水平方向,持入玻管中,然後將玻管直立。但注意使重錘不與玻管接觸,將針輕輕引出現三重錘互相疊積,共有三百克的壓力壓於膠皮塞  $x$  上。我們握玻管於手中時,除預先將塞緊塞,膠皮塞頗有不勝任壓力而落下的可能,但不決致破損玻管。概言之,固體僅壓其支持物,而不影響其受器的側壁,即祇有「下壓力」,而無「側壓力」。(圖一二二 a)

**283.** 我們試將球形物,例如圓滑的豌豆,累積於玻璃管中,與重錘相似。作此實驗我們並不感到如何困難,因知球形物極易移動,受上面的壓力後,則向側面移動。此當然有玻管阻

止之。但玻管被豆充滿時,最底下的豆不特壓其底面,且同樣壓其側面。在此情形中,具垂直下壓力及側壓力。側壓力為小球互相疊積而移動的必然結果。(圖一二二 b)

**284.** 我們應同樣感覺到將水滴互相堆積,液體的單一分子也具極大的移動力,常隨受器的形狀而移動,故除垂直壓力外,且加側壓力於受器上。側壓力的存在,可以水從側孔流出為證。

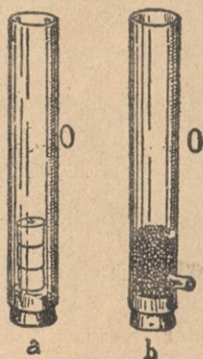
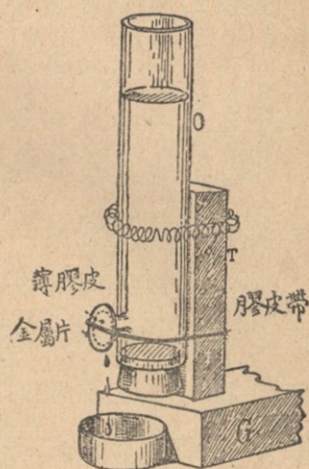


圖 一 二 二

若在以前的實驗中，玻璃管的側管在底部附近，水必從側管流出。

**285.** 欲阻止水的流出，可置薄膠皮一方（最好用修補膠皮胎所用的膠皮，此可向修理腳踏車的店鋪中購得），置於孔上，外面蓋以金屬片，用膠皮帶縛緊，使二者不能脫落。如圖一二三所示，玻璃管  $O$  用彈簧  $F$  束縛於短木柱  $T$  上，彈簧的二端繞玻璃管而至木柱後面，互相鉤住。玻璃管必須嵌入木柱的圓槽中。側管口，倘使不甚光滑，以致漏水，可用砂石將其磨光。然後注水入玻璃管中，加至離流出口約二釐米處。此時膠皮帶尚能抵抗其側壓力，而阻止水的滲出。再注以水，則水的側壓力增加，若不將金屬片



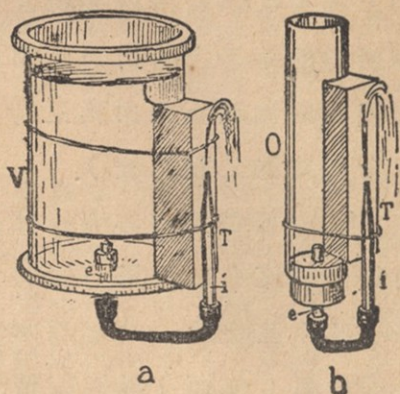
圖一二三

緊縛，則金屬片將漸被水頂開，而水開始滴下。水在管中上昇愈高，則水滴落下愈速。此證明水柱愈高，則側壓力愈大。

**286.** 將水繼續增高，每次四釐米，計其每半分鐘內的滴數，其結果可用點線記出，作成一圖解。自此所得的曲線，可以略示水柱高低與壓力大小的關係，惟所示數值，並不能用以求得液體壓力的定律。

**287.** 從實驗 285 所得的結論為玻璃管中含水愈多，則其下壓力愈大。傾水入玻璃管至五釐米高，計其逸出的水滴。再用木柱自上面插入玻璃管中；其木柱占據玻璃管內地位的大部分，水則昇至

連以膠皮管及尖頭玻璃管，如圖一二七所示，兩尖頭玻璃管  $i$  必須固定於同一高度，則二尖端所噴出的水，亦必昇至同一高度，對於貯水器的體積雖一為小玻璃管  $O$ ，一為極大的玻璃筒  $V$ ，並無關係。



圖一二七

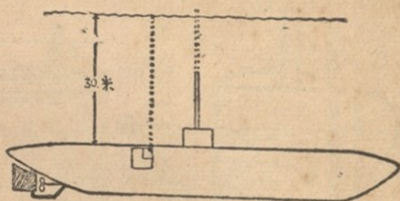
295. 玻璃筒  $V$  中所貯的水，其容積及重量較大，其下壓力

因分布於較大的底面上，故大小仍相同。流出口所受的壓力，僅為停於此區域以上水柱的壓力。若此區（或流出口）擴大，則其壓力亦增加。故以上的定律，僅適用於流出口的截面相等者。此壓力易於計算。玻璃筒底的孔，約為一平方釐米（須實測）。水留於其上高至一釐米，則有一立方釐米的水柱壓於此區域上。其重量適為一克。故塞上的壓力亦為一克。水平線在孔上二釐米，則含二立方釐米的水柱，重為二克；或一平方釐米的區域，壓力（在塞上）為二克。十釐米高的水柱，壓力為十克；若高至一米，則壓力為一百克。於一平方釐米上，若需要一仟克的壓力，則水柱須高至十米。

296. 用木塞緊塞一空瓶（不可太小），繫繩而下垂以石，自船上沈入海水中。若深達十米，其上面每方釐米受一仟克的水壓力。倘薄玻璃瓶沈入水中，深至二、三十米，一定在瓶塞處開裂，或

是被水壓破，待提出水面，常僅餘數碎玻璃片。

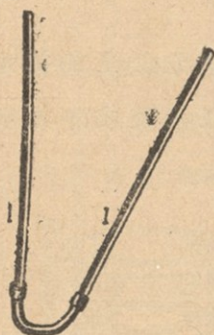
297. 潛水艇入水，沉至三十米，每平方釐米受三仟克的壓力，每平方分米達三百仟克，而每平方米，多至三萬仟克。全艇上的壓力既如此之大，故深逾五十米，則艇身之硬鋼板必彎曲及鑿穿。



圖一二八

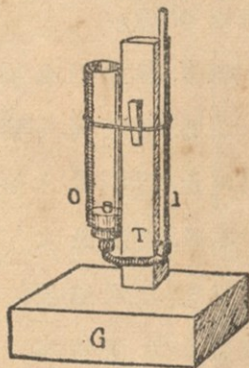
298. 在實驗 296 中，若為一開啓的瓶，則不致擠碎，因其中所貯的水，加壓力於瓶的內面，與瓶外相等。

299. 取二玻管以膠皮管相連，置於平行地位，管口向上。試觀察二管中水的上昇高度，同在一水平線。水柱壓入空管中，直至他管的水柱成相同高度，而與第一管中的壓力抵消而止。連通器的水平線，始終為同一高度。



圖一二九

300. 在連通器中，水平線的相等，與器的大小無關，因壓力僅與水柱高度有關，而不受其數量影響



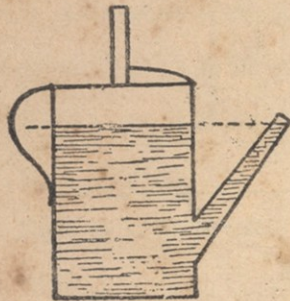
圖一三〇

(圖一三〇)。

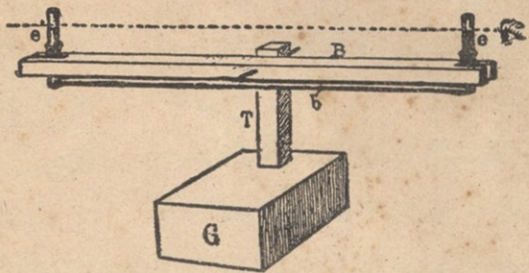
301. 將實驗 299 中的一玻管欹側，而水平線仍維持相同高度，實則欹側玻管中所貯的水，多於垂直玻管。

圖一三一示構造不良的澆水壺其劣點何在?可將水灌至壺頂否?

302. 在連通器中的水平線,無論將器如何移動,必定相等,若



圖一三一



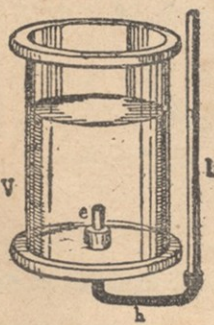
圖一三二

將水平線相連,則必為水平,依圖一三二的裝置,可用作測量時的水準器。

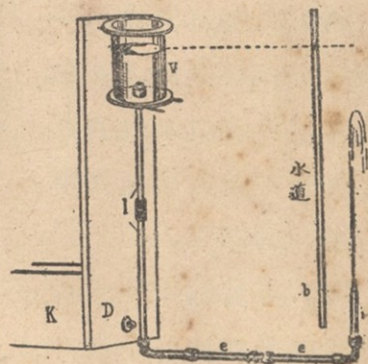
303. 不透明金屬製水鍋上的測水表,亦依連通器之理製成。

取玻璃筒,外套以紙,使成不透明,依圖一三三連結一玻管,即可知其中的水平線。

304. 接連最大的玻管充水道,玻璃筒作水櫃用木柱 A 將水櫃升高,則水管中的水可升至若干高。



圖一三三



圖一三四

305. 因相同理



由,火燒時,水管的水上噴的高度,絕不能超過水櫃。若以尖嘴管代水管,而觀察其水的噴出高度(在空地上行之),何以噴水較低?(空氣阻力)。

306. 配成 U 形連通管,灌水半滿,其一傾入揮發油,則見與連通管的定理,顯然不合。因揮發油較水輕,故須昇至極高,始與水的壓力相等(圖一三五)。

## 液體的浮力

以前的實驗中,證明水具下壓力及側壓力;然則何以不向上壓?

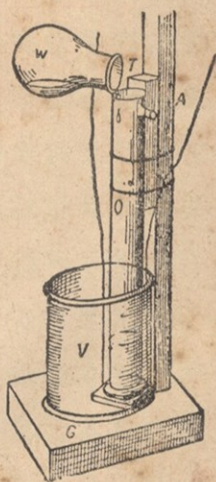
307. 注水入玻璃筒 V 中,幾至邊緣,置鋁筒其上,用鉛筆將其沒水中,此需若干的力。水對於侵入的物體發生若干抵抗,故水亦具上壓力。吾人稱此向上的水壓力為「浮力」。

吾人沒大杯於水中,例如酒精燈,則浮力愈大,因其接觸水的面積較大。

308. 依照圖一三六來實驗,浮力的效果尤顯。用具側管的玻璃管,把不具側管的一端,在石上磨光(實驗 285),將其附於短木柱 T 上,再用針固定於木柱上,玻璃管的底部覆以膠皮



圖一三五



圖一三六

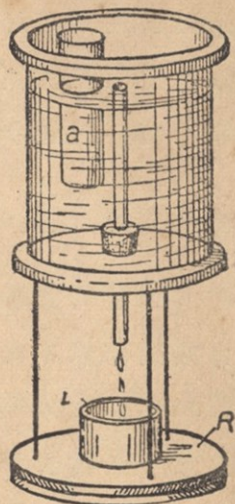
片及玻璃，用繩繫着，沈入水中，則膠皮片因浮力而貼於管口，注水入玻璃管中，直至管內的水平線升至與管外的水同高，試觀察其結果。

309. 行以上的實驗時，必見玻璃管浸入水中，玻璃筒中的水即上昇，因水被侵入的玻管所排擠。若先將水灌至邊緣，則筒內的水必被擠出。採用圖一三七的裝置，則排出的水可以盛器承受。將玻璃筒 V 安置於三腳架（滑輪 R 及三支持針）上，排水管下置酒精燈的容器。排水管在玻璃筒中伸出離筒邊約一釐米高，乃不絕灌水入玻璃筒中，直至水自排水管流出而止。將流出的水傾去，乃將鋁筒 a 撇入水中，幾至其邊緣，然將將流出的水保存，而傾於浸入的鋁筒中。當鋁筒中未加水以前，水的浮力推之向上，及加水則鋁筒漸漸下沈，直至最後一滴注下後，若其尚未完全沈下，亦必沒至其邊緣。因浮力上推的力，與其排出水的重量相等。故定律為：

浮力與排出水的重量相等。

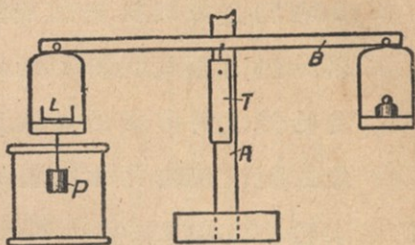
310. 二重錘  $P_1$ ,  $P_2$ ，懸於簧秤上，則彈簧伸至某點。將秤提至水上，使重錘沒入水中。試察秤上的示度，重量已顯然減少。此因浮力已消去其一部分負荷，故物體在水中減少其重量。

311. 此亦可以天平顯示。將短木柱 T 固定於木柱 A 的上半



圖一三七

部物體(P)用鐵絲懸於天平一側的秤盤上(圖一三八)。二秤盤內,一置酒精燈L,一置另一重錘P,並用小石塊或沙使其平衡。把盛滿水的玻璃筒舉起,直至所懸的物體沒入水中,左側的秤盤,即升高。



圖一三八

**312.** 把實驗 311 重做一次,但此時,其排出的水,如實驗 309 中以鋁筒 a 盛之,我們將此排出的水,灌入酒精燈中,作何狀況? 此結果在紀元前二百二十年,亞幾米得氏(Archimedes),即已發現。

一物體在水中失去的重量,與排出水的重量相等。

**313.** 如實驗 312, 使天平兩側平衡,須傾排出的水於酒精燈中,現可用砝碼一組,以代之。即重錘沒入水中後,加砝碼於左側的秤盤中,至天平兩臂平衡而止,所加的砝碼代表浮力。試計其須若干克的重量。

**314.** 我們可曾想到:若物體所失的重量多於其原有的重量時作何現象,此不可思議的事實,仍能合乎亞氏定理。可用插有一火柴的軟木塞,稱之得五克,再用此火柴固定於秤盤下,乃沒入水中稱之,因浮力大於木塞的確實重量,約更須加二十克重量於秤盤,始能令其完全沈沒。凡不能以其自身的重量沈沒的物體,稱為浮體。

**315.** 在物體輕於排出的液體時，則浮於液體的上面。

若物體的重量，與排出的液體相等，則浮於液體之中。

若物體重於排出的液體，則下沉。

此三種狀況，可用木塞、盛水將滿的鋁筒及重錘三者，同入於盛水器中實驗之。

**316.** 金屬物體置水中，當然沈入水中，若與一較輕的物體相連結，則又能上浮，縛螺旋帽於木塞上試之（圖一三九），此為救命圈的原理。

**317.** 雖全由金屬構成的物體，若其形狀能排出大量的水者亦能浮於水面，例如酒精燈（鐵殼船）。



圖一三九

**318.** 我們置重錘於酒精燈底上，則（鐵船）亦沈入水中。

**3.9.** 某人體重七十仟克，入浴時，沈沒水中，至其已排七十仟克的水而止。此人若仰臥水中，其口及鼻適在水上，因物體排出七十仟克重的水，即表示其體積為七十立方分米，故此人的體積，亦達七十立方分米。

**320.** 實驗 319 示如何從重量以決定體積的大小。此決定體積的方法，亦可應用於不浮的物體。因沈沒物體的消失重量，等於排水的克數，故消失重量為 15 克，則排水亦為 15 克。因每立方釐米的水重為 1 克，排出水的體積，當為 15 立方釐米無疑。即體積的立方釐米數，與物體重量在水中消失的克數相等。

在實驗 311 中，重錘  $P_0$  的體積為何？

321. 現我們利用新得的知識,以決定重錘 $P_1$ 及 $P_2$ 的體積.

322. 其結果與數學計算所得者符合否?圓筒的體積從其直徑及高度算得.

323. 計算圓筒體積的方法尙屬簡易,若無一定形狀的物體(例如石子),則幾不能用數學方法計算,所以唯有利用浮力來推算.

324. 所得的數目,還可用以下方法覆核,即沈石子於圖一三七的排水器中,流出的水可盛於量杯,以計算流出水的容積.

325. 在實驗前,我們當然先須預備一量杯,將玻璃管O用一膠皮塞閉合,然後從圖版 III 中剪下尺度,用膠皮帶縛於管外,其註有「邊緣」的線,與玻管上緣齊平,注水於其中,至尺度標明O處,注水入空鋁筒使滿,注入玻管O中,因鋁筒的容量為40立方釐米,故水在玻管中上昇的定點,在尺度對側的空白處,可以劃一線,註明為40立方釐米.

再注一鋁筒水於玻管O的水中,則可再得一80立方釐米的線,在O至40及40至80的中央劃線,示20立方釐米及60立方釐米,再行等分,則成為十進線,若線的距離為18毫米以代表10立方釐米,可知每1.8毫米高的水柱,等於1立方釐米.

自後無論何時,均可利用此量杯,惟尺度的邊緣須與玻管的上緣齊平.

326. 從以前實驗,知灰色小重錘 $P_1$ 重亦百克,但其大僅鐵錘 $P_2$ 之半,再進一步,實驗323所用的石子,雖大於鐵錘約二倍,而

重則遠遜。此重量的不同，顯然由於材料的殊異。許多物質，大小相同，輕重互異。所以我們不計物體的大小，不能即謂鉛重於鐵，鐵重於石。我們可以確定此等物體的體積，而計算各物質等體積的重。應用實驗 320, 321, 323 及 326 的結果，求得：

黃銅錘……立方釐米 = 100 克；1 立方釐米 =  $\frac{100 \text{ 克}}{\dots\dots\dots}$  = ……克

鐵錘……立方釐米 = 100 克；1 立方釐米 =  $\frac{100 \text{ 克}}{\dots\dots\dots}$  = ……克

鉛錘……立方釐米 = 100 克；1 立方釐米 =  $\frac{100 \text{ 克}}{\dots\dots\dots}$  = ……克

石塊……立方釐米 = ……克；1 立方釐米 =  $\frac{\dots\dots\dots \text{ 克}}{\dots\dots\dots}$  = ……克

**327.** 所有物質均可用此種方法計算，下表為最重要物質每立方釐米的重量。

白金………21.4	甘油………1.2
金………19.3	食鹽溶液………1.1
水銀………13.6	牛乳………1.03
鉛………11.3	<b>水………1.0</b>
銀………10.5	蜜蠟………0.96
銅………8.9	石蠟………0.87
黃銅………8.4	櫟木………0.7—1.3
鐵………7.8	人體………0.9—1.1
玻璃………2.4—5.9	冰………0.91
大理石………2.7	石油………0.81
石灰石………2.6	酒精………0.79
鋁………2.6	木塞………0.24
硫酸………1.8	

**328.** 以上表中祇有數目而無名稱者，蓋此種數值，實含有下列諸種意義：

1. 一立方釐米的克數
2. 一立方分米的仟克數
3. 一立方米的千仟克數

依上述原由，下列各物的重量為若干，均可推算得之。

- (a) 照重錘  $P$  大小的金圓柱？
- (b) 照臺板  $G$  大小的櫟木板（無孔）？
- (c) 灌滿小燒瓶  $W$  的石油數量？
- (d) 照我們儀器箱（外緣）大小的大理石塊？
- (e) 設鐵道貨車載重為  $11 \times 1000$  仟克，能載白金若干立方米？白金塊的大小與貨車比較，自當遠遜。

任何物質的一立方釐米的重量，為此物質的標準數值，此數值稱為此物質的「比重」。故上表中之數值，均為各物質的比重。

**329.** 利用比重的知識，我們可反求未知物的材料，此時必先用秤稱及計算，以決定其比重，然後把結果與以上比重表內的數目相比較。實驗 323 中的石塊，其組成若何？

330. 若疑指環是否純金，可測定其比重。

331. 求液體的比重，最好將液體灌滿已知容量的容器，例如鋁筒，以測定之。先將空筒用天平稱得其重量，乃灌滿液體，再稱之。可用酒精作此實驗。

332. 欲求一塊糖的比重,若浸入水中則溶解,惟入酒精則不溶,故可用以代水.但在此狀況中,糖塊體積的立方釐米數目,當然等於浮力再除以酒精的比重.

浮力等於排出液體的重量.

333. 決定浮體的比重時,因其不沈入水中,故須懸重錘於其上,使其沒入水中.利用此法,以求軟木的比重爲若干?

334. 水的比重爲我們的單位,故特別標明.在水以上的各種物質,比較水重,沈沒於水中,以下爲較輕者,浮於水上.蠟燭是否浮於水上?試實驗之.

335. 在試驗管的水內,傾入石油少許,因石油較水輕,故浮於水上.

336. 牲犧水銀一小滴,試其是否浮於水上.此水銀切不可重入水銀瓶中,因水銀須保持乾燥,以備實驗 410 之用.

337. 當然不單水能使物體浮起,其他液體亦具有同樣性質.試置軟木於酒精,任其浮起.並用蠟燭一段,亦置於酒精中.其解說可於上表中尋得之.

338. 現將實驗 315 中的定義加以修改如下:

若物體輕於等體積的液體時,則浮於液體之上.

339. 因蠟燭沈於酒精中而浮於水上,則可將二液混合,使混合液的比重適與蠟燭同.在此混合液中,蠟燭不沈亦不浮,而停留於混合液的中間.混合液的配製法,用玻璃管 O,置蠟燭一小段於其中,先加一百立方釐米的酒精,再慢慢以水加入,但須不



絕攪和。

340. 同樣,可用酒精與水做成一種混合液,能使橄欖油一小滴浮懸其中;因其不受地心引力的影響,故其形狀極圓,油滴下時可用尖頭玻管或滴管。

341. 此實驗可證明天空中的物體,完全受其自身黏着性的影響,故必成爲球形。普拉推(Plateau)的實驗,即在比重相同的液體中,旋轉着的油滴,示兩極壓縮而成扁圓形(實驗81,圖三〇)

342. 雞蛋在普通水中下沉,在食鹽飽和溶液中則上浮。食鹽須加至有一小部不能再溶解而止,且須不絕攪動。

343. 所有物體除金及白金外,必能浮於比重較大的液中。鐵(圖畫釘)能浮於水銀中。(除鐵外,其他金屬切不可使與水銀接觸,否則二者均將損壞)。

344. 軟木,木及蠟燭均浮於水上,但同時可見其上浮的程度不同,從其沈入水中部分的深淺,可知其各種的比重。

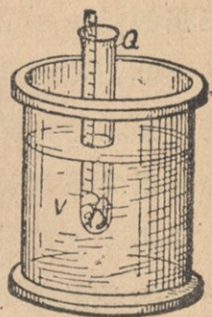
345. 冰的比重爲0.9,故沈入水中的部分爲其全體的十分之九,用一冰柱以作實驗,浮動的冰山,其水下的部分遠大於其露出部,於船舶甚爲危險。

346. 用一玻璃管O,先貯以水,後貯以酒精;投鉛筆於其中,觀察鉛筆在此二液體中沈至若干深度。

347. 鉛筆在比重較大的食鹽溶液中沈入不深,船舶在大海中沈入部分較淺,而在河口反深,其理相同。

348. 因此比重的大小,顯然可用一浮體迅速求得,最適宜於

此用途者為「比重表」，可納小石數塊於試管Q中，使其得直立浮在液體中，用毫米格一張（附在書末），附着於玻管內，浸於水中及酒精中，觀察沈入的深度，決彼此不同，劃線於紙上（圖一四〇）以記出之。

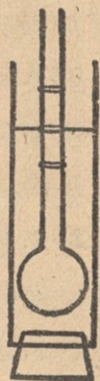


圖一四〇

349. 以上用的酒精幾為純酒精，故同份量的水及酒精混合，則約為百分的五十酒精，其比重約在以上二記號線的中間。

350. 利用以上的試管，可直接測知燒酒內酒精的成分。

351. 欲得尤為精確的結果，可用一端吹成球形的薄玻管（圖一四一），則尺度的距離較遠，可用膠皮圈（可從膠皮管上切取）以作記號，球形部加入水銀，以代小石重量，試重行實驗 346。至灌入水銀方法，可參考實驗 412。



圖一四一

352. 純粹牛乳，因有滋養料溶解於其中，較水為重，故攪水牛乳比重較小，比重表沈下較深，去牛酪的牛乳，其較輕的成分（脂肪）已除去，故較純粹牛乳重，但我們所製的比重表，甚為粗陋，不足測攪水的牛乳；此須用測乳表。

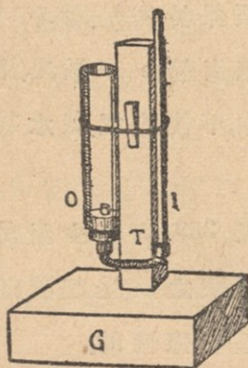
353. 實驗 306 中液柱的高度各異，現可知為其比重的不同，若我們自其遇合點起，測二液柱的高度，必與其比重成比例。

# 氣體力學

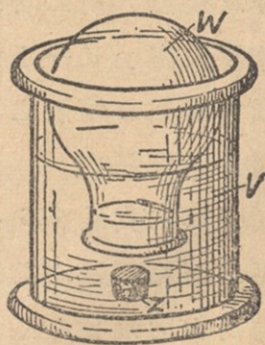
**354.** 置一小木滑輪  $r$  於面前，欲以手中所持扁鐵錘代替小滑輪  $r$  的地位，則惟有先將小木滑輪移去。即每一物體占據若干地位，而有一物體存在的地方，同時他物體不容侵入。液體對於此定義並非例外，當我們浸入一固體於其中，液體即向別處讓出。雖其形狀改變，但仍保持其所占的地位。空氣亦確與此相同。我們能置一物體於桌上，而絕不感到少量的阻力，惟我們知道現今置物體的地方，以前為空氣。因所有固體牢持其所占的地位，而空氣極易離開，有些人便懷疑空氣究竟能否認為一種物體。以下實驗，證明空氣在某種環境下要求其地位，與其他物體同樣堅決。

**355.** 二玻璃管  $O$  及  $I$ ，以膠皮管相連，如圖一四二，將水傾入，則二玻璃管中的水，停止於同一水平線上。茲用指將狹管頂端封塞，再灌水於他管中，則狹管中的水，因其上的空氣無從逸出，絕不能上昇。故空氣所存的地方，亦無一物體能與之同時存在。

**356.** 傾水於玻璃筒中至半滿，另取一小燒



圖一四二



圖一四三

瓶，瓶口向下，壓入水中，水在瓶口四周上昇，直至淹沒其頂，完全被水包圍而止，水流入瓶中至若何高度？何以不再流入？若我們先安置一小木塞於水中，則瓶內的水面，尤易窺視（圖一四三）。

357. 在水底燃燒蠟燭，並非特別困難，置一短燭，長一至二釐米，於水上，用火燃着，再覆一短管於其上，向下壓入，而燭仍繼續燃燒，經短時間後，則燭滅熄，水在瓶中稍昇，其解說可參見任何化學書籍。

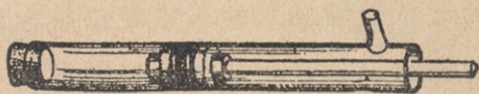
358. 取一玻璃筒 V，裝一膠皮塞及附有膠皮管的玻璃管，倒置於滿貯水的受器中，直至水完全將玻璃筒包圍而止，膠皮管的游離端先用木塞塞着，以免空氣逸出，將膠皮管開啓時，如何情形？吹空氣入管中，如何情形？此模型說明潛水鐘之理，潛水鐘用以建築碼頭及橋樑，使能在水下工作，空氣不絕由皮帶輸入鐘中。

359. 再有其他方法，可以證明空氣阻止水的侵入，即插一漏斗於燒瓶 W 中，二者須保持密接，漏斗可用玻璃筒 V 下裝一單孔膠皮塞 y，及一小流出管。來做成，流出管由大的單孔膠皮塞 w，緊插於燒瓶之中，不使洩氣，灌水於大漏斗內，則僅絕少幾滴注入燒瓶中。

360. 在實驗 356 及 359 均有少量的水流入，此因空氣被水壓迫而稍稍減小其體積之故，提起玻瓶，減少壓力，則回復其從前所占的地位，空氣是有彈性的。

361. 我們將空氣壓縮於具側管的玻璃管 O 內時，此事實益

加顯明(圖一四四)。管  
的一端以膠皮塞閉合。用  
一唧筒活塞 k 旋入黃銅



圖一四四

管 m 中；活塞上的槽用溼棉線纏繞。取二螺絲帽，一旋於桿上，一旋於活塞下。活塞的孔內，塞入溼紙的小球，活塞稍向下推，則空氣壓縮，放手則活塞又再向上移動。壓縮空氣的分子回復原形之力，名曰「膨脹力」。

362. 如圖一四五，將玻璃管引成一尖端，下端須插入水中，且與燒瓶須密不通風(用一膠皮塞)。自玻璃管吹空氣於瓶中，將空氣壓縮至極小地位，及停止吹入，壓力弛鬆，空氣迫水自瓶中射出。



圖一四五



圖一四六

363. 因瓶內的壓力不久即消失，故化學試驗室中通用的洗滌瓶，另加一裝置，使水不絕噴出。即再用一附有膠皮手轆的玻璃管插入瓶中，使水面上永久維持過量的壓力。

364. 在實驗 361 中，將空氣原有體積，繼續壓縮  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{8}$  等則若何？我們將膠皮塞向外(膠皮塞塞入時不可太緊，為安全計，以布纏於管外)，脹力隨空氣地位減小而增加，最後膠皮塞發聲射出，是即氣鎗。

我們放鎗時，藥筒中所含的火藥，驟然變成氣體，占據極大

的地位，壓縮氣體的脹力，壓迫鎗身及鎗彈，因鎗彈為阻力最小之點，故以極高速度，從鎗口射出。

## 空氣的重量

**365.** 在以前的實驗中，見空氣占有若干地位，與固體及液體相同，雖無顏色，凝合性及固定形狀，然必須同一視作物體。物體的另一通性，為其重量。空氣既為一物體，則必具重量。所以我們可用秤稱之。空氣當然不能直接置於秤上，須貯於瓶中，然後稱之。吾人置瓶於天平的一側，他側置砝碼時，嚴格言之，已將空氣同玻璃一併稱之，因瓶雖外觀似空，實滿貯空氣。先取一玻璃瓶，裝以極吻合的膠皮塞及有膠皮管的玻璃管 e。最簡單的方法，用一極大的汽水瓶，因所備的膠皮塞適能與瓶口吻合，若用較大的瓶，則尤易感到重量的不同。膠皮管用簧夾夾住。膠皮管關閉後，將玻璃瓶與空氣、膠皮塞、膠皮管及簧夾共同稱之。然後開啓膠皮管，用力將空氣自瓶中吸出，（吸時須稍用力，但此法決不能將所有空氣除盡），再加夾而稱之。

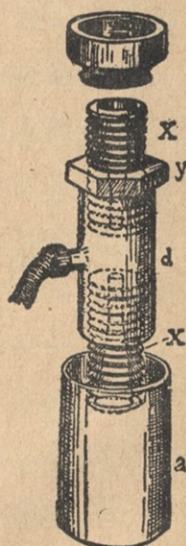
**366.** 我們盡力將空氣吸出後，用二指夾住膠皮管，再在水中放啓之（在玻璃筒中），水竄入瓶中，占據空氣除去後所留的地位。瓶的其他部分仍含有空氣，此顯示用吸吮的方法，祇能除去瓶中所含空氣的一極小部分。

**367.** 再將瓶、瓶塞及膠皮管完全乾燥，欲使空氣抽出較有效果，則必須配合抽氣機械，能使此事實愈加明瞭。

納雙孔膠皮塞  $v$  於鋁筒  $a$  中，一孔中插入一尖端玻璃管，灌水入筒中至三分之二，取一玻璃  $e$ ，以水平方向，與尖端玻璃管相接，使尖端玻璃管的尖端，適在玻璃管口的中央之前。乃用力吹  $e$ ，令吹氣以直角方向，通過尖端。水由直管中上昇，末後在尖端發出細霧。此即噴霧器的模型。

368. 噴霧器的作用，有若空氣攜帶水粒相似，當空氣自橫管口，吹經尖端玻璃管口時，挾尖端玻璃管內的空氣與俱行，因此與玻璃管  $e$  相聯的尖端玻璃管中空氣暫告缺乏，造成真空，而水乃上昇噴出。

此種噴水唧筒，在實驗室中極有功用，所以我們須構造此噴水真空唧筒。取黃銅管  $d$ （從未用過），將管的上口旋入孔較小的螺旋圓管  $x$ ，下口旋入孔較大的圓管  $x$ ，二圓管在黃銅管內相距約 3 毫米（圖一四七）。既得準確的距離後，須用螺旋帽  $y$  以抑制之，使此距離不生任何變動。圖中的唧筒上為一頭大底小的雙聯螺旋圈。此可向煤氣或自來水材料店購買。因須聯接的圓管為  $\frac{1}{4}$  吋，用  $\frac{1}{4} \times \frac{1}{2}$  或  $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$  吋，可照自來水螺絲的大小而定。以此雙聯圈將唧筒與自來水管相聯。若彼此不能十分吻合，則纏以棉花少許，使之密切。若自來水管不用螺絲，則以長約十釐米的膠皮管連接。但膠皮管須包帆布，以鐵絲或銅絲緊縛於自來水龍頭及圓



圖一四七

管上。

唧管的下端須浸入有水的鋁筒中，纔能工作。在黃銅管 d 的側管上套以膠皮管。自來水龍頭開後，我們見水自鋁筒流出，充滿氣泡。將膠皮管閉合頃刻，水泡立即消失。此因空氣自黃銅管的側管進入，與噴水相伴而噴出。

369. 我們浸吸管於盛水的杯中，杯內水並不增加，而反一吸即乾。此足證明我們的器械確為一唧筒。

370. 我們將 d 的側管與實驗 366 中燒瓶的膠皮管相連，開啓自來水。待下面受器中的氣泡不再發生，則燒瓶內的空氣已除去至相當地步。用簧夾閉合膠皮管，與唧筒分離。再開啓簧夾時，空氣重回入瓶中而作聲；此為唧筒工作適當的明徵。

371. 現再抽去空氣，閉合簧夾，置於天平上稱之。乃開啓簧夾，任空氣竄入瓶中，若所有手續均精密，因空氣竄入而重量增加，瓶即下沈。可見空氣確有重量。

最好在 天平桿上裝置一紙針。手頭若無任何砝碼，則置酒精燈小杯於空盤上，傾沙於其中，直至天平完全平衡而止。需置十分之一克的砝碼（或沙）若干始再得平衡？此所加的，代表約 110 立方釐米空氣的重量。然則一立方分米的空氣，重為若干？準確權之，證明約為 1.29 克。

372. 有見識的學生，從實驗 366 中所得的知識，也許謂我們無法保證噴水唧筒已將所有的空氣除去。此抗議極為合理，欲除去此差誤的原因，我們應作如下的實驗。



先將瓶及所有附屬物在天秤上稱之。我們再將空氣抽出，置於天平盤上，而其他盤上，仍有砝碼或沙（代表有空氣的瓶的重量），必須加一克的十分之幾的重量，方得平衡，此所加數值即被唧筒抽去空氣的重量。欲求得其體積，則浸膠皮管（仍閉合）的一端於水中，遂將簧夾開啓，水侵入瓶及管中的數量，乃確代表我們所稱的空氣體積。我們將水傾入量杯中量之（與實驗 325 比較），即可計算得之。例如：

$$230 \text{ 立方厘米空氣的重量} = 0.3 \text{ 克}$$

$$\text{或 } 1 \text{ 立方厘米空氣的重量} = \frac{0.3}{230} = \dots\dots \text{克}$$

$$\text{因 } 1 \text{ 立方分米空氣} = 1000 \text{ 立方厘米}$$

$$\text{故 } 1000 \times \dots\dots = \dots\dots \text{克}$$

373. 我們假定欲決定瓶中原有的空氣體積，最好將瓶用水完全灌滿，由此量其體積為若干。我們用唧筒可將空氣抽出至若何程度？殘留的空氣為原來體積的百分之幾？用特殊的空氣唧筒驅除空氣，在白熱燈中，空氣僅存原有數量的  $\frac{1}{1000000}$ ，無線電真空管空氣僅存原有數量的  $\frac{1}{10000000}$ 。

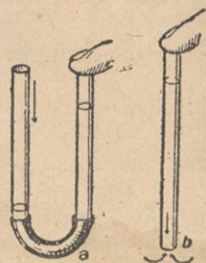
### 空 氣 壓 力

我們的地球受一層深約 300 至 600 仟米的空氣所包圍；但與地球的直徑 12754 仟米相比較，則仍微小不足並提。我們僅能在大氣籠罩下生活，有如魚僅能在水中生存一樣。深海的生物居於海底，我們則居於空氣海之下。鳥在不同的高度飛翔，堪比海中之魚，在海中游泳，然有一點不同，即海面與空氣之間有

於唇或舌上?

380. 在實驗 376 中, U 形管的任何一支, 減少空氣壓力, 他支中的空氣壓力, 即驅水向前支中上昇, 將空氣吸出後, 即以指蓋覆, 使空氣不能加壓力於蓋覆管, 則水藉開放管的空氣壓力, 而昇至蓋覆管的最高點 (圖一五〇 a)。

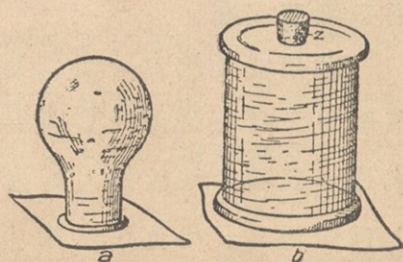
381. 我們浸一玻璃管 l 於水中, 愈深愈佳, 以指閉其上端, 而提出水面, 因在管內不受壓力影響, 水並不流下 (圖一五〇 b), 何以指一開啓, 水即流下?



圖一五〇

382. 注水於小燒瓶 W 中, 直至流出而止, 上覆一紙, 使無氣泡存留於其間, 再將燒瓶顛倒, 空氣壓力使紙貼於瓶上, 而水不下流 (圖一五一 a)。

383. 此實驗可用玻璃筒 V 代替, 將筒沒入水中, 筒底的孔, 用小木塞 z 密塞, 上用一硬紙, 或明信片以作蓋, 顛倒之, 水亦不下流, 此現象完全藉底下一面的空氣壓力, 若將木塞拔出, 水即不能存留筒中, 此現象甚顯明 (圖一五一 b)。

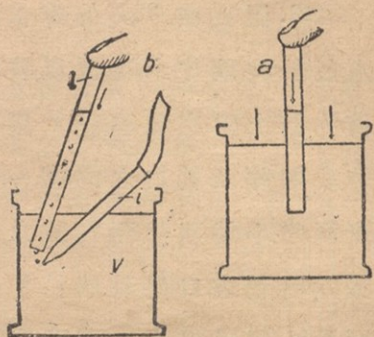


圖一五一

此等實驗, 下面應置一盆, 以防失敗時盛水用。

384. 將一玻璃管浸入水中少許, 在其上端吸之, 貯於瓶中的水即上昇管中, 加於水面的空氣壓力, 亦加於管中的水, 吸後, 水

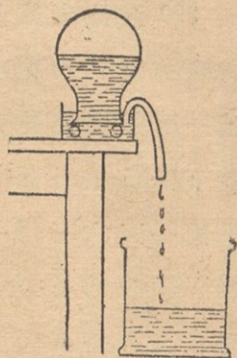
被迫，代替空氣除去後所留出的地位（圖一五二 a）。



圖一五二

385. 我們如用長玻璃管 L，一部分浸於水中，用指閉其上端，然後提起，則水不下注，被封鎖的空氣，當然藉其彈性或脹力，而壓水向下，但下端開孔上的大氣壓力更強，若加氣泡少許於空氣閉塞的管中，則水向下降，氣泡如何導入，見圖一五二 b。

386. 注水入小燒瓶 W 至三分之二，用酒精燈的容器 L 置於其上，如一帽然，輕輕壓住，將瓶倒置，將此實驗重做一次，但在瓶倒置前，瓶口用二火柴墊起，使水能流出至酒精燈中，事實並不如是，燈底的水平線極低，至氣泡能竄入燒瓶中，始有水少許流入燈底。圖一五三中，用燈帶自酒精燈的邊緣垂下，以若是方法，則酒精燈內的水漸減，燒瓶的水流下以補充之。此種方法，供給家禽的飲水時用之。

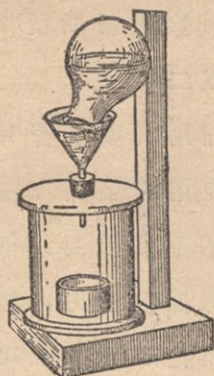


圖一五三

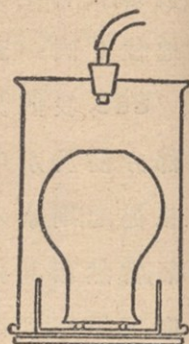
387. 在化學實驗中常須使液體滲過濾紙為免去常常傾液體於漏斗的麻煩，用自動加增方法，其處理如圖一五四，其作用與上同，濾紙可用普通吸水紙代替，褶法見圖二一九。



**388.** 置實驗 386 的家禽飲水瓶於玻璃片上，再覆以玻璃筒 V，筒上附有玻璃管及膠皮管。玻璃片及筒口之間，襯一膠皮圈，僅小燒瓶的頸內貯水。用真空唧筒或口，將玻璃筒 V 裏面的空氣吸出，水即下降，充滿燈底，因外面空氣除去後，燒瓶內空氣的脹力即起作用，而逐瓶中之水外出，若再使空氣入玻璃筒中，則發生若何情形？（圖一五五）。



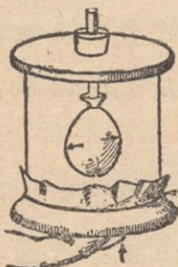
圖一五四



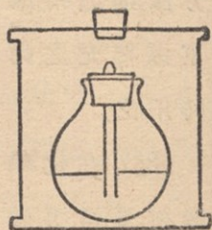
圖一五五

**389.** 置一完好的魚鰾於裝有真空唧筒的玻璃筒 V 內，則魚鰾擴大，其理與實驗 388 相似。

**390.** 游泳者咸知肺部充滿空氣，能助游泳者運動其身體。但明瞭肺懸於胸腔中，僅在氣管口（喉）與體相連者較少，因此祇一面氣壓使肺充滿空氣，肺與胸部及膈中間的空間為真空。膈下降，肺被外面氣壓擴大。依照圖一五六可用一魚鰾做成藉膈呼吸的模型。豬膀胱（在下面）代表膈，將其緊壓及弛鬆，可使玻璃筒內的魚鰾作呼吸運動。



圖一五六



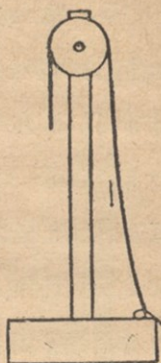
圖一五七

**391.** 置噴水泉於玻璃筒中，而將空氣抽出，則若何？試說明之。

(圖一五七)。

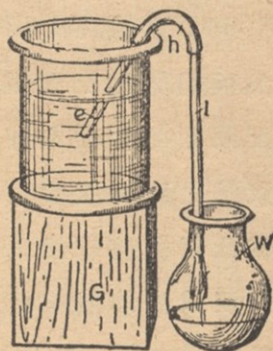
392. 用一短管在火柴上熱之,以稀薄其中的空氣,用力壓於膠皮片,然後黏貼一玻片上,冷卻後,短管因外界的氣壓而固附於其上,若將此短管與附着其上的玻片,倒懸於玻璃筒,將空氣抽出,則發生若何情形?

393. 為便利以後的說明計,我們先做一簡單的實驗,置一繩於滑輪 T 上,使一端較他端長(圖一五八),將繩縱之,則長端曳短端向上。



圖一五八

394. 取一長玻璃管及一短小玻璃管,以膠皮管相連,形成一 U 形管,將管完全浸入水盆中,使水充滿於其中,管的兩端用指封之,短臂浸入玻璃筒 V 的水中,用台板 G, 將玻璃筒升高,而長臂則納入小燒瓶 W 中, U 形管一放開,則水立即自高器流入低器中,長臂中的過度重量及大氣壓力引水超過高器的邊緣流下,以致乾涸,是為虹吸管,可不賴傾倒或穿孔以乾涸一容器之水(圖一五九)。



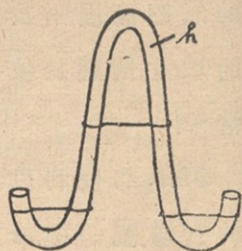
圖一五九

395. 長膠皮管亦可用作虹吸管,祇須於納入 V 與 W 之先,充滿以水,若欲虹吸管停止工作,則舉高較低之瓶,至與高瓶在同一水平線上,若欲水經虹吸管再回至原瓶則如何?

照理水柱應在虹吸管的最高點各自分離,而回入其容器,

同時使管成爲真空，但此屬不可能之事，因二瓶的水面上均有大氣壓力存在。

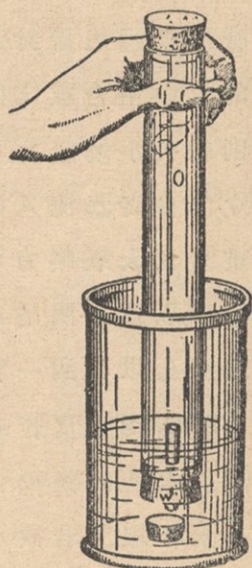
396. 如上方瓶中的水面下降，致空氣進入短臂中時，則發生如何情形？至虹吸管内無水，雖上方的瓶中重灌以水，亦不再流。用一玻璃管在酒精燈中彎成圖一六〇的形狀。此虹吸管可以不至完全流乾，在上方瓶中的水重灌滿後，即又開始工作。亦可用膠皮管彎成圖一六〇的形狀，而用鐵絲縛成。



圖一六〇

## 唧 筒

397. 實驗 394 的虹吸管供自高處瓶中的液體輸送至低處瓶中之用。然須解決相反問題的時候亦甚多，即如何將液體自低瓶輸送至高瓶。實驗 381 中所用的管，或可作此用途。將管浸入液體中，用手閉其頂，提管至較高的瓶，使液體流入其中。名曰浸沒吸管。



圖一六一

398. 一浸沒吸管在下口以上擴大，如圖一六一，能保持大量液體。當提起時，最上孔用塞閉合，側孔用指閉塞。

399. 若抽水的瓶僅含少量的水，則祇少

許的水能入吸管中，吸管的上口用膠皮塞塞住，側管上附一膠皮管，可利用大氣壓力，將水吸上，使有較多的水驅入吸管中，用簧夾將膠皮管夾住後，提起吸管，使水流入較高的瓶中。

**400.** 危險液體，如酸類，或臭味可厭的，如揮發油或煤油，必不能用上述的方法吸起，裏面的大氣壓力，亦可藉活塞除去。活塞由唧筒活塞  $k$  及用作活塞棒的黃銅管組成（圖一六二）。活塞的上下各用一螺旋帽使之固定。唧筒下端裝一膠皮塞，中貫一小玻璃管；上端用一具大孔的膠皮塞  $u$ ，以引導活塞棒。活塞壓下後，將小管  $e$  沈入水中，再拔起活塞時，則發生若何情形？活塞內的孔必須保持氣密，或墊以溼吸水紙。若活塞棒上加一膠皮塞，徑粗的一端向活塞，用一螺旋帽與活塞相連，則活塞內的孔亦閉合，水隨活塞流入管中；可將管提起，再壓下活塞，則水流入較高的瓶中。



圖一六二

**401.** 用尖端玻璃管  $i$  以代替  $e$  時，活塞下壓，水即射出，是為注射器。

以注射器引水，極不方便，尤其是有大量的水時，因每次須將器與水一同提起。普通用壓水唧筒，僅將水吸起，而唧筒不動。

**402.** 欲將注射器變成唧筒，第一須阻止吸起的水不再回入器中，僅使水向一面流出，此種構造名曰活瓣。取一小金屬片，安置於膠皮塞之上，即可作此用途（圖一

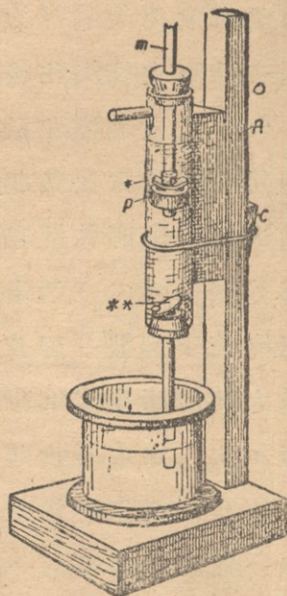


圖一六三

六三) 我們吸收玻璃管的上端時,水經玻璃管 $\theta$ 上昇,流入其中,後活塞下降,活瓣即落下,膠皮塞中的孔閉合,水即留於管中,試實驗之。

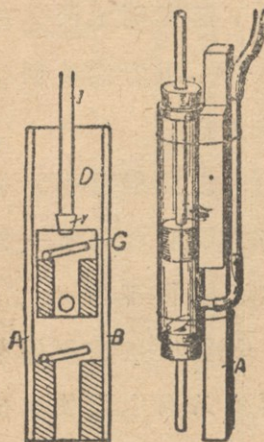
403. 上述實驗,也可利用活塞將低處的水吸起。

404. 活塞中的孔,以前閉塞,現亦裝一活瓣,可用一硬紙製成的小片,中央穿一孔(闊6毫米),沿活塞棒旋於活塞上,圖一六四,示如斯製成的唧筒,並示如何用繩及木楔使唧筒直立於木柱上,在頂端,有大孔膠皮塞 $u$ ,以引導活塞棒,小側管爲出水管,出水管上或可加一膠皮管,引水重回至小燒瓶,若活塞升降緩慢,可見活瓣的作用



圖一六四

405. 在箱蓋上畫一唧筒的縱剖面圖,移動台板以作活塞,示吸水唧筒的作用尤佳,硬紙板的小條,用圖畫釘固定其一側以代表活瓣,活塞上提時,活塞上的瓣閉合,底活瓣開放(圖一六五),至活塞的運動停止時,底活瓣向下閉合,活瓣則直至活塞再壓下時,始行開啓。



圖一六五

圖一六六

406. 壓水唧筒與此吸水唧筒稍有不同。



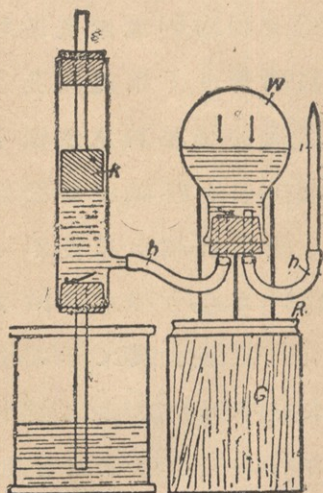
壓水唧筒有一實心的活塞，故活塞上的孔，須再塞沒。如圖一六六所示，膠皮塞上面的水，被其壓下，經側管逸出。在此狀況中，側管位在唧筒下端。用一短膠皮管，將尖端玻璃管連於側管上。管的尖端，必須插入膠皮管中（注意尖端之折斷）。另用支持針納入管中，以作活瓣，防水重回至唧筒。用  $l$  及  $b$  使玻璃管向上延長。

407. 此壓水唧筒的模型亦應畫於箱蓋上，以便細細研究，與實驗 405 中相同。

408. 在吸水唧筒，汲水者立於高處，液體在下面向其自身一方射出，在壓水唧筒，則汲水者立於下面，將液體向上射出。救火機則須用後者。

救火機即由二壓水唧筒組成，以一氣室相連，作用如噴水泉相似，因其所含空氣的脹力，迫水射出較遠，且可將斷續射出的水，改為連續射出。側方的活瓣（在小燒瓶內），可以用紙板做成，如圖一六七，此活瓣僅蓋在雙孔膠皮塞一側的孔上。尖端玻璃管裝在膠皮管的頂端，以作射嘴。壓力調節室必須約含一半的空氣，其支架就用實驗 309 的三腳架。

409. 若我們極留心從事於實驗 404 中吸水唧筒的構造，並將活塞及紙瓣



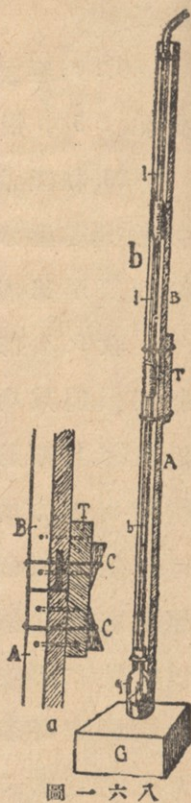
圖一六七

潮溼，而迅速壓動，則唧筒竟能減少玻璃筒 V 中的空氣；但應用噴水唧筒，效率尤佳。

## 氣 壓 計

410. 以下的實驗，我們要用一高的支柱，可用支柱 A 及橫桿 B 構成之。將 A 與 B 互相唧接，以短木柱 T 相連。用釘四支，穿過短木柱的孔，再插入支柱上二孔，及橫桿上二孔中。若認為必需，則用索縛緊，再用楔 C 使其堅定，如圖一六八 a。我們尚可將柱升高，即插於箱蓋 D 的開口中，將蓋附着於台板（用螺旋圓管 X）上。惟對於現在的用途，二木桿已足。

現附 80 釐米長的玻璃管於木桿上，管由玻璃管 b（兩端開孔）及玻璃管 l 接合而成。此長管浸於水銀瓶中。因水銀決不可使之流出，故須牢記非將全部器放在大的紙板上（邊要折起）以後，不可從事於使用水銀。雖任何留心，有時水銀仍不免滴於桌上，收集之頗為困難。水銀又不可使其沾水。若有水落入水銀中，可將水徐徐傾去，其餘用吸水紙除去之。若欲完全除去水分，則將水銀瓶開放，置於盛水的容器中，水內先加入多量的食鹽，然後將水（及水銀）熱至沸騰。此方法



圖一六八

須於戶外行之，以免嗅到有毒的水銀蒸氣。水銀除鐵外，所有金屬均能溶解，故切不可與指環接觸，因接觸後頗難於除去，其他金屬體如銅、鋅、黃銅等，亦能同樣受害。若偶然有此事發生，則加稀硝酸於水銀中，充分振盪，使混合的金屬溶解，然後用水洗去酸性，再照上法令水銀乾燥。

**411.** 將長管浸入水銀後，乃在管的頂端附一噴水唧筒，將水銀吸起。（注意！全部儀器須放入紙板蓋上）。不完善的唧筒，切不可附於管上，不然水或自唧筒流出，經吸管而流入水銀。唧筒停止前，亦須先用簧夾，或除去膠皮管，與玻璃管隔斷。水銀在管中上昇，無論如何盡力運動唧筒，至一定高度，即停止不進。意大利物理學家托利息里氏（Torricelli）在1643年首先解說此事實，謂水銀柱的上昇，係受大氣的壓力，此壓力能與七百六十毫米的水銀柱重量平衡。在我們的實驗中，水銀能升至若何高度？（圖一六八）。

水較水銀輕 13.6 倍，昇至  $13.6 \times 760$  毫米或約十米高，始與大氣壓力平衡。所以吸水唧筒的吸管長逾十米，則水不能吸至此高度。

**412.** 或有人提出反對，謂空氣唧筒或許不能將空氣完全除去，致玻璃管中在水銀上的空間，並未完全成爲真空。此反對在以下的實驗中，恐不能再行堅持。用二支長的氣壓計玻璃管 bb（一支一端封閉），構成一長管，灌入水銀。爲免避溢出起見，水銀瓶上用一有孔膠皮塞 y，玻璃管穿入孔中，管則附於支柱上。

(圖一六九),方不至搖動,使水銀逐漸滴入玻璃管中,末後完全充滿.現將管及瓶移至幾成水平,除去膠皮塞,將管漸漸欹側,直至適成反向,使水銀瓶在下,管的封閉端在頂端.支柱插入台板 G 的孔中,細察管中的水銀柱,特別是其上端.

413. 管傾側時,水銀再完全充滿,管直立時,則再降下,而留下真空.依實驗 381, 大氣壓力阻止液體柱流出,保留水銀柱 720 至 760 毫米,以得平衡. 760 毫米代表海平線上的尋常壓力.依實驗 295, 在決定液體壓力的大小時,僅以垂直高度為準,故測量水銀柱的最低線至最高線,以求其高度為若干.

414. 以前所決定的水銀柱高度 760 毫米,其壓力適與大氣相等.此水銀柱可以核算水銀的比重,較同高度的水柱大 13.6 倍.依實驗 295, 十米高的水柱若為一平方釐米的面積,重為 1 仟克.或 76 釐米長的水柱,重 76 克.故水銀柱的重量為  $13.6 \times 76 \text{ 克} = 1033.6 \text{ 克}$ .此為每平方釐米上的大氣壓力,或地面每平方釐米上約有一仟克的空氣壓力加於其上,如實驗 374 已定下的,充滿水銀的玻璃管,能使我們測量大氣壓力,故用以為測量氣壓的器具,名曰氣壓計.

415. 水氣壓計應至若干高,始能與大氣壓力平衡?何以唧筒不能引水至十米以上?

416. 我們另插一小玻璃管於氣壓計下端的水銀瓶塞內.管端



圖一六九

附以膠皮管，玻管周圍用溼棉花纏繞，使不漏氣。吹氣入水銀槽，使氣壓增加時，或將空氣吸出使氣壓減低時，水銀柱作何情形？

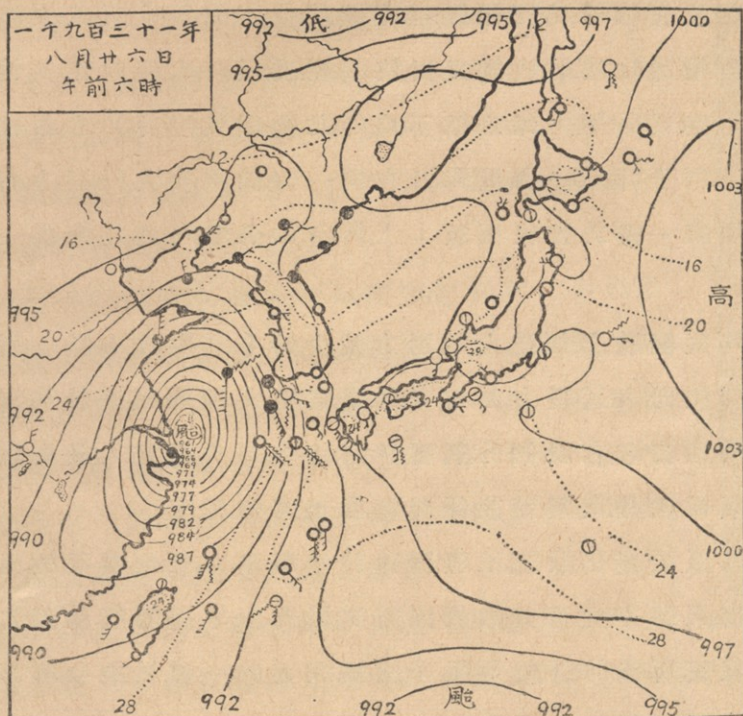
417. 空氣的壓力每日並不均等，加增則氣壓計的水銀柱上昇，降下則下降。若一月間每日在同一時間觀察大氣壓力，而將記錄填成一表於書後圖版 I 上，所有的各點，可連接而成一曲線。

418. 從經驗上知道，大氣壓力減少時（氣壓計下降），則有下雨的傾向，大氣壓力加增時，則常為晴天。因此氣壓計可視為氣候的預告者。在我們的氣壓計記錄中，每次應記入氣候狀況，以示氣候改變與氣壓改變間符合至若何程度。

419. 氣候變化狀況，不僅關係於空氣壓力，且依空氣的溫度及溼度，風的方向，及其他原因而定。因此，頗準確的氣候預告，唯有求報紙所載的氣象台報告。組織完善的一種氣象台，每日收集各氣象台的電報，總合起來畫成一氣象圖。茲附東亞氣象圖一以為例（圖一七〇）。

氣壓計水銀柱的高低，通常以毫米計。但測量空氣壓力，常不用此種單位，許多國家採用水銀柱，在海平線上面的尋常壓力高度 760 毫米（參見實驗 411, 413, 414）以作單位，謂之一氣壓。

760 毫米的高度更等分成一千格，名曰千分線，圖一七〇中的壓力，即以此單位代表。每千分線等於 0.75 或  $\frac{3}{4}$  毫米水銀柱高。以此新單位讀氣象圖，甚為便利。吾人僅須記千分線 1000 代表尋常氣壓，故較低則示低於尋常氣壓計，較高則示高於尋常氣



—— 等 壓 線	○ 快 晴	⊙ 雪	↻ 軟 風	2-4	烈 風	⊙ 颶 風
- - - 等 溫 線	⊙ 晴	⊙ 霧	M.P.S. 4-6	15-20	⊙ 25-35	
⋯ 不 連 續 線	⊙ 陰	⊙ 雷 雨	M.P.S. 6-10	20-25	⊙ 35-40	
	⊙ 雨	⊙ 濃 霧	M.P.S. 10-15	25-29	⊙ 40<	
波浪的狀態 沒有記號示海面平滑 乙 海面極靜 丙 有小波浪 丁 浪少 戊 浪尚可						
浪稍高 浪甚高 怒濤 方向示波浪的來向						

圖 一 七 〇

壓計氣象圖中的溫度為攝氏表。風所吹方向，普通自高氣壓至低氣壓，其方向用小箭表示。

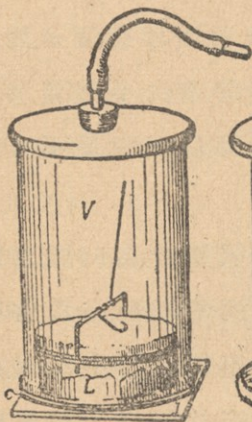
420. 空氣在山上自較山谷稀薄，故山頂或高處的空氣壓力常小，而氣壓計下降。在阿爾卑斯山頂蒙勃蘭克地方，氣壓計水銀柱常停止於 433 毫米(17.5 吋)處，每上升十米，則水銀柱降下

一毫米。

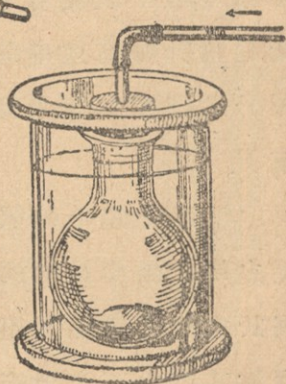
反言之，如水銀降下三毫米，我們可決定已升高至三十米。故氣壓計可供爬山者及飛行家測量高度之用。

照以上的事實，各氣象台所述的氣壓計記錄，不能直接互相比較，因各氣象台在海平線上的高度不同，故所有記錄，必須先經高度上的訂正，同以海平線為標準，方能錄入氣象圖中。

421. 水銀氣壓計易折，且太長，使用不甚便利，故常用小而攜帶便利的無液氣壓計代替。無液氣壓計的要部，為一金屬盒，盒內空氣抽出，固封，因受大氣或強或弱的壓迫，可使附裝於盒中央的槓桿及指針發生移動，空盒雖微動，因槓桿的作用，可使指針在氣壓計表面上動作放大，能窺視清楚。無液氣壓計的動作，如圖一七一所示。用羊皮紙或洋信紙糊於酒精燈容器上，用膠皮帶縛緊，務使氣密而不漏氣。用一硬鐵絲彎成一架，在離紙蓋約一釐米上，另用一膠皮帶縛住鐵絲架上，再纏一細鐵絲，但不可太緊，使其能自由轉動。短端適停於低蓋上，而其長端則向上突出為針。全部裝置放於連接真空唧筒的受器中，空氣壓力減退或加增時，發生如何情形？



圖一七一



圖一七二

422. 圖一七二的一種

空氣氣壓計，對於大氣壓力的小波動極靈敏。在玻璃管中，有色水一小點，若氣壓增加，則向瓶一方推移，因小燒瓶中空氣能稍受壓擠。外面氣壓減低，水滴即向外移動。可惜空氣溫度的改變亦致水滴發生進退。但溫度改變的影響，可用以下方法減少，即將小燒瓶置於玻璃筒中，充滿以水，筒的四周，用木塞嵌緊，不然瓶將浮起。用此極簡單儀器，可以證明地板上的空氣壓力大於桌面。

423. 用噴水唧筒將受器中的空氣噴出時，氣壓減至極低，竟能使水銀柱高僅40釐米。測量此氣壓的氣壓計，最好用一長42釐米的玻璃管，其一端封閉。此管充滿水銀，插入小燒瓶中（經過雙孔膠皮塞），瓶內貯有剩餘的水銀。充滿水銀的管必須沒入瓶內的水銀中。膠皮塞的第二孔中，插一小管e，附於真空唧筒上。若水壓頗大，所有連接處密不漏氣，則應能減少氣壓，直至氣壓計示度僅數釐米。因此我們可知此為估計唧筒效率的方法。不過要減低氣壓，至氣壓計示度在二釐米高以下，實屬不可能（圖一七三）。



圖一七三

424. 以上短小的氣壓計，名曰壓力計，測量大氣氣壓以下的壓力用之。但測量過度的氣壓，亦為常有之事。煤氣管中的壓力，高於空氣，否則煤氣不能從管中噴出。我們要測量此過度的壓力，因其壓力不十分高，故用以下簡單的器械已足。我們將以前

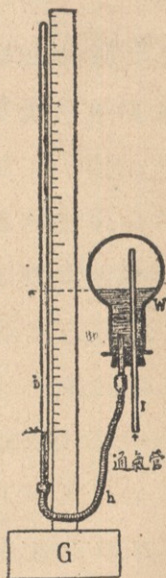


實驗（圖一七三）的水銀重傾入水銀瓶 q 中，而代以等長而兩端開口的玻璃管，注水少許於小燒瓶中，用短玻璃管 e，以膠皮管連於煤氣龍頭，愈密愈佳，煤氣衝入瓶中，壓迫瓶中的水上昇，水柱升高至若何地步？從以前的實驗，我們知道大氣壓力能壓水至十米高，若現在水柱（玻璃管中）高為 25 釐米，則煤氣管中過多的壓力僅為大氣的  $\frac{1}{40}$ ，此過多壓力在汽鍋中能昇至十至二十大氣壓力。

425. 測量較高的壓力，則使水入一端封閉的玻璃管，壓迫封鎖的空氣。

但第一，我們必須尋得壓榨空氣的壓力與容積間的正式關係，圖一七四是依此目的造成的儀器，將封閉管 b 附着於木柱 A 上，其一側用針懸一尺度 B。貯水銀的小燒瓶 W 經過玻璃管 e，以膠皮管與氣壓計玻璃管相連，玻璃管 l 亦固定於木柱中，用來平衡內外的壓力，將瓶升高或降下，閉合管中水銀線的高度變異，何以管中的水平線不與小燒瓶在同一線上，如連通瓶中的情形？此因水銀上的空氣在封閉管中不能逸出之故。

426. 封閉玻璃管在附着於木柱前，我們灌入六釐米高的水銀柱於管中，則二水銀面（管中及瓶中）能達同一高度，在約一仟克的大氣壓力下時，封閉空氣柱為若干長？現我們提高燒瓶，直



圖一七四

至燒瓶中的水銀面較管中水銀柱適高出7.4釐米,在此情形中,壓力增加100克或閉合管中空氣則在1100克壓力下,在此壓力下,空氣所占之地位為若干?燒瓶及管內水銀面相差達14.8釐米或1200克的壓力,空氣柱高為若干?還有1300克、1400克的壓力,亦可以相同的方法決定。

427. 波以耳和馬利忒(Boyle-Mariotte)定律,謂壓力及壓縮空氣的體積之乘積,在以前實驗中,其值必永久相同,或必為一定數。因此我們能查出所測定的數值是否準確。例如:

$$1. 1000 \text{ 克} \times 36 \text{ 釐米} = 36000$$

$$2. 1100 \text{ 克} \times 32.7 \text{ 釐米} = 35970$$

$$3. 1200 \text{ 克} \times 30 \text{ 釐米} = 36000$$

要證明以上的定律,當然要用實驗 426 實際求得的數值。

428. 36 釐米高的空氣柱需要若干壓力壓榨至 18 釐米高?

$$\text{壓力} \times 18 \text{ 釐米} = 36000 \text{ 因此}$$

$$\text{壓力} = \frac{36000}{18} = 2 \text{ 仟克}$$

429. 我們傾去玻管中的水銀,注水至其上的空氣地位為 40 釐米高,乃連結於自來水龍頭上。龍頭一開放,水壓迫空氣,水壓力,可依以上的定律計算。

$$\text{壓力} = 40000 \div \dots\dots \text{釐米} = \dots\dots \text{克}$$

$$= \dots\dots \text{仟克} = \dots\dots \text{氣壓}$$

430. 由以上壓力測量,如求得壓力為四氣壓,則因十米高的水柱壓力,有一氣壓(每平方釐米為一仟克),可推知水櫃必

較我們的自來水龍頭高四十米。

## 飛 行

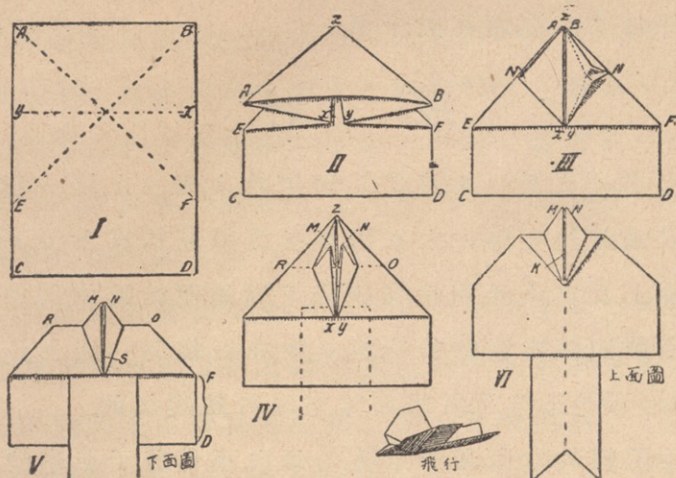
431. 從支柱 A 及短木柱 T ( 固定於 A 側 ) 上懸一橫桿, 其一側加砝碼盤, 他側加一大紙袋, 紙袋由報紙摺成, 上尖下大, 須倒掛於桿上, 及完全平衡後, 在紙袋下燃燒酒精燈, 使其中所含的空氣溫熱, 因熱空氣輕於冷空氣, 故在紙袋的一端上昇, 蒙忒高賴 (Montgolfier) 兄弟的氣球, 即係充滿着熱空氣的。

432. 物體輕於空氣者, 有上昇的傾向, 預備若干肥皂液及一短玻管 e; 將肥皂泡充滿空氣, 肥皂泡離開玻管後, 或將漸漸下沈, 因加上肥皂膜的極微重量, 而較空氣重。

433. 將煤氣龍頭與短玻管相連, 使肥皂泡內充滿煤氣, 何以充滿煤氣的肥皂泡, 其行動與充滿空氣者不同? 輕氣更佳, 氣船及氣球常用輕氣, 惟現用氦氣代替。

434. 在落下傘的情形中, 可窺見空氣的阻力, 能使面積大的物體, 向下作一種滑翔的運動, 此種飛行, 形成現代飛機的發明。圖一七五為一紙模型, 係依下方法摺成。

用紙一方 ( 圖一七五 I ), 質宜堅韌, 且須為直角, 先將 A 角褶於 F 上, 致褶成 BE 褶線, 更將 B 角褶於 E 上, 褶成 AF 褶線, 將紙翻轉, 依 XY 亦褶一褶線, 乃將 A 置於 E 上, B 置於 F 上, 得 Z 點頂角, 褶成如圖 II, 再 A 角及 B 角同向中央褶轉, 遇於 Z 點 ( III ), 因此我們得到新角 M 及 N, 更依圖 III 褶法, 褶成圖 IV, 其法將新



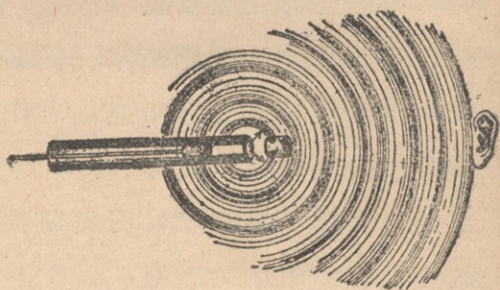
圖一七五

角M或N,執持壓下,其邊旁之紙使與AX或BY線相齊,使M及N變成二個短耳,此二個短耳褶成後,將Z角沿RO線向後彎屈,褶成圖V狀,飛艇的尾則用另一紙條,長與圖I的全張同,闊如圖V中之FD,在前部下面垂下,如圖IV中的點線,再沿其縱軸褶疊即成,下方的圖爲其側形,飛行時,用指夾住向前飛去,即能滑翔於空中。

# 聲 學

在上文，已將大氣中的各種現象敘述過，現在我們更將研究大氣中的另一種現象，名之為聲。處理是等現象的科學，謂之聲學。

435. 我們當將實驗 364 再做一次，以作引導。推進活塞入玻璃管，直至緊塞於他端的膠皮塞，被壓縮空氣突然彈出為止。此際可聞得一爆裂聲，其聲係由空氣傳播所致，蓋空氣受壓，急速衝出管口，而激盪其四周鄰近的空氣所致。同時，四周的空氣，更繼續擴大，振動其鄰近空氣。是以空氣的壓縮，實起於管口部份，分佈成同中心的圓形，待到達我們的耳膜後，纔覺察一種爆裂聲。（圖一七六）

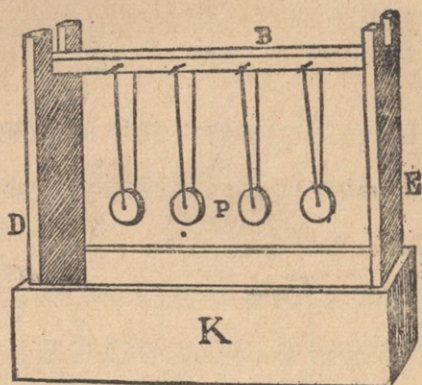


圖一七六

436. 空氣（或音波）常均勻傳播於各方面，猶如投石於洗物盆中的靜水內時所起的波紋一樣。但其所異者，即後者只為水平面的環狀傳播罷了。

437. 在池或湖中實驗水波的展開動作，十分明顯；因小木塊在水上並不向前行動，惟隨波上下沈浮而已。空氣的微粒亦僅互相碰撞，發生輕微的移位後，即回復其原來位置。

438. 欲闡明碰撞的變化，我們可製一模型如下。扁鐵錘  $P_1, P_2$  及小木滑輪  $r$ ，各繫於線上，務使其中心為同一高度。推動第一重錘，則彼開始擺動，此推動可以依次傳遞過去（圖一七七）。



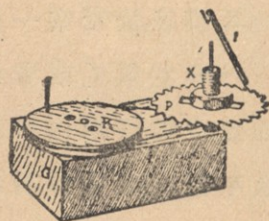
圖一七七

439. 我們同時注意實驗

438，即動作自第一錘傳至末一錘，必須經過若干時間。同樣，音波中的空氣微粒進行亦須經過若干時間，約每秒鐘可行經340米，換言之，音波的速度為每秒340米。在三千米以外的處，我們見其發火光後，須經若干時間，纔聞得其爆炸聲。聲音在三秒間，大概可進行一千米的距離。

440. 以一小滴管連續不斷的注水滴於水面上，則每滴可發生一輕微之聲。而因是種聲音連續不斷，猶如下雨，可使我們鼓膜上發生一種噪聲。

441. 圖一七八示齒輪  $p$  在離心機上，可以迅速旋轉的裝置，（與實驗67中圖二六互相比較）。當輪徐徐旋轉時，用玻管  $l$  吹氣於齒上，齒的間隙每次從玻管前經過，即有一縷空氣通過，在輪轉過去的一側，引起空氣的濃縮，即音波是。每旋轉一次，發生音波若干。



圖一七八

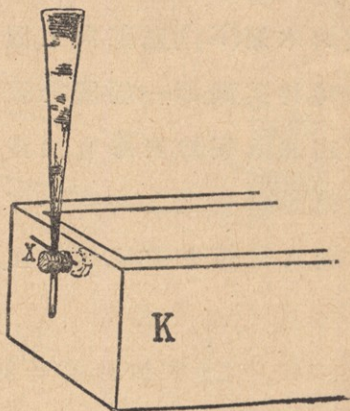
442. 先緩慢旋轉，我們可聞得一營營聲音，其後轉動加速，則可覺察其變為一音調。如欲得更大的速度，則以不用轉輪為宜，而在齒輪軸上纏繞以繩，急將此繩曳出，如抽陀螺然，齒輪即急速旋轉不已。音調為快而有規則的連續音波的結果。

443. 轉動慢，可得低音，而較速的轉動，可得高音。今我們欲計算空氣究須經過若干次的振動，纔能發生最低的音級而仍認為音調者。此時可用平均速度轉動搖輪，計其在半分鐘內的旋轉次數，由此推算得每秒間的旋轉次數。因皮帶連動的關係，齒輪的旋轉次數，當為搖輪的倍數。齒輪轉動次數與齒的數目相乘，即為每秒間音波的振動數。

444. 我們轉動搖輪，可發生一樂音，並如前法計算其音波振動數。在每秒內，連續不絕的音波數，最低為16，最高為30,000。

445. 汽車信笛發音的作用，與持一明信片觸於旋轉齒輪的齒上而發聲，其理相同。若送有力的空氣或蒸氣，則汽笛之聲，可以極高。用實驗 644 中圖二三五的噴出蒸氣，直接接於汽笛，即可發聲。

446. 信笛的音調頗不和諧，故可用他方法不絕推動空氣，使發音調（圖一七九）。我們將編織針的一端，推入螺旋銅圓管 X 的孔中，並將一螺絲帽固着於木箱

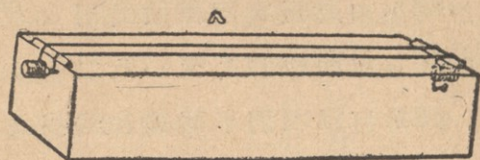


圖一七九

縮短弦的振動部份，弦的張力相等，惟長度減少，能發出較高的音。

459. 在木箱另一端，我們更裝一螺旋銅管及螺旋帽，另張一弦於前者的一旁，旋緊之，使二弦發出同一的音調。(圖一八四)

其次，我們在一弦中心的下面，放一細玻璃管，試比較全弦與半弦的音調，凡善於辨別音樂者，當能立



圖一八四

即檢出半弦所發的音調，高出於全弦，而適為其第八音程。

460. 基本音調或主音調(屬全弦)與其第八音調(屬半弦)在合鳴時甚為悅耳，因二者發出一種和諧的聲音，苟將細玻璃管(或稱音馬)在半弦下略一移動，即發生雜亂的音。

461. 試再移動音馬，則我們又可找得與主音相和的音調。

462. 試移動其音馬，可奏成一完全音階，最好用書後圖版III的音階紙條，以作幫助；因振動弦的各級長度，相互間必與其振動數一樣，保持一定的比例，即  $24:27:30:32:36:40:45:48$  是最重要者，弦的振動長度適為音階紙條的二倍，紙條用圖畫釘釘住，一端(註有「邊緣」二字者)必須置在共鳴器一邊的小火柴梗之下，他端適當弦的中點；將音馬照紙條上的劃線，依次移動，即能彈出標明在上面的各種音調，弦的振動長度，須適為46釐米。

463. 將一滑輪 r 固定於木箱一端的支持針上，此針的裝置，



猶如實驗 446 中的編織針，用線一根，以作弦線，環繞滑輪而成雙線，線的一端固定於開口釘上，他端則附着於螺旋管，以便絞緊之用。如是則我們可得同張力的二弦，且其長度相等，故可發出相同的音調。若用一粗一細的線連結，其連接處，置於滑輪上，則得張度相同，而粗細不一的二線；此二線發音的高低如何？線愈粗，發音愈低，因音調的高低，實與振動弦的長度、粗細、重量及張力均有關係。

464. 在一緊張的弦線下，橫置一鉛筆，將其等分為二，並在此等分點上按以手指，使其分隔更完全。試撥動弦線的一半，即觸之使止，而細聽之，聲音仍繼續不斷。此乃因靜止一半的弦線，亦被感而發生振動的緣故。

465. 用一胡琴的弓，輕拉弦線一半之上，如欲見其他一半的振動，則覆一小紙於弦上，此小紙因受振動而被彈落。

466. 我們如欲作一臨時拉弓，使弦線發音，可在木柱 A 的兩端各插一釘，二釘之間緊張一繩，上塗松香即成。

467. 欲明白振動從弦的一半傳至他一半甚易。此種振動在不連續而互相並列，同調的弦線，亦可傳遞。如將一弦彈動後立使靜止，則其他一弦，因第一弦的音波推動關係，亦繼續振動而發音。

468. 我們以二根音調不同的弦重行實驗，即可知振動的傳遞，只限於二者的振動在絕對一致之時。

469. 發音及收音的二弦線，亦無需張在同一板上。我們先彈

動一弦，並以口學其音調，於是使弦靜止，口向共鳴器以短聲歌其音調，則此弦接受此調，而重起響應，觸弦則其音亦止。

470. 當我們唱與弦線不同的音調時，其弦並不響應，試實驗之。

471. 在共鳴器上有音調不同的二弦，我們以口唱其中一弦的音調時，則祇此弦能響應。

472. 試啓鋼琴蓋，足踏其踏板，使弦線上阻制物舉起，對準此樂器高歌一聲，則弦線能使此聲延長甚久，但發回聲的弦線，祇爲其音調的振數與歌聲相同者。

人耳聽音方法，據海爾霍次氏 (Helmholtz) 學說，其理亦與共鳴器的選音同，在內耳（耳蝸）的裏面有若干纖維伸展，其中長的或短的纖維，各自接受外來的高音或低音的音波而起振動，然後經神經而傳達至腦。

473. 選擇共鳴的例，在力學中亦可遇見，欲使擺繼續擺動時（如實驗 51 中所示），或繫一膠皮帶於其上，而牽動之，此時僅我們的牽引與擺的振動和合的時候，始能成功，不然，各個繼續引動，互相抵消其效果，擺即停止不動。

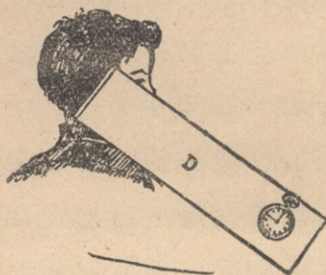
474. 在二彈簧間懸一重錘，亦代表一種有一定振數的擺動方式（見實驗 452 圖一八二），問每秒振數若干？苟將木桿以一定的節拍，上下振動時，重錘必擺動甚劇，但我們若使振數，參差不齊，則重錘並不如此。

475. 持共鳴板（或箱）於耳側，如前數實驗的方法，使弦發

聲，其聲音的強度必更大，木亦如其他固體，傳音較空氣為佳，因其分子團結甚緊，故能使音波傳播更速，試與實驗 438 比較。

476. 傳導率的較大，可以下法證明之。試以共鳴板（即箱蓋 D）的一端置耳傍，而以錶接近他端，我們恐祇能聞其聲，如將錶觸板，其音響如何？（圖一八五）。

477. 弦或線的傳聲亦較空氣為佳，以一音叉懸於長四十釐米長的線環上，套於一學生的頭上，惟此線必須經過二耳側，當音叉與任何堅硬物體撞擊後，則聲音由線傳入耳中，甚為悅耳。（圖一八六）

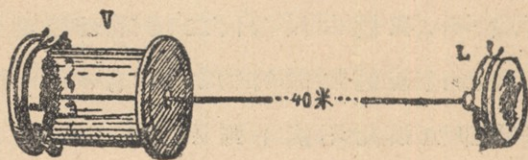


圖一八五



圖一八六

478. 線段傳話器係根據線及其他固體的傳導而成，張膀胱膜或紙於底具圓孔的玻筒 V 的口上，用線緊縛，另用堅韌的細繩一，繫火柴穿過膜心及玻筒底的小孔，取酒精燈容器亦作一相似的鼓膜，在線的他端，亦繫火柴穿過其膜，線長為 40 米，除線的二端繫於膜上外，其餘部分皆須懸空，如潮溼之，則尤有效果，我們持一膜於耳側，另使他人在他端膜上輕叩，則其輕叩之聲，甚為清晰，若在空



圖一八七

氣中，殆不能聞得之。（圖一八七）

479. 當我們擊電線桿時，苟他人正以耳接近木桿，則雖隔五至十桿的距離，亦能聞聲，在此情形中，乃銅絲的傳聲。

在此我們必須特別說明者，電話中所聽得的聲音，並不由音波直接傳送，而為電流的中間物在流動，始能產生。又，電話中或電線附近所聞營營之聲，並非為通話或通訊時的傳播，而為受風的影響所起的振動。

480. 凡堅硬的物體，皆為聲音的良導體；柔軟的物體，例如膠皮，可認為不良導體。試用一膠皮塞，自玻璃筒 V 的內面，裝於其底孔上，而安置手錶於塞上，筒上蓋玻璃一片，雖持筒近耳，所聞錶聲極細弱。但如將膠皮塞拔去，安置錶於筒底，則結果殊異。羊毛、棉花以及各種鬆散之物，皆為不良導體。

481. 錶的細弱聲音，係由於筒內空氣被筒壁激動所發生，是種傳導方法，可用抽氣唧筒抽去 V 筒的空氣而阻止之。此時仍置錶於膠皮塞上，試問聲音的強度若何？在絕對真空中，聲音必不能傳導。

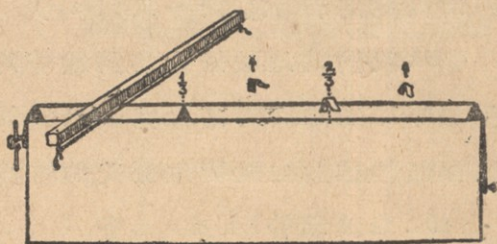
482. 在實驗 436，我們已注意到盆中的水波，從盆邊折回而趨向中心。音波的從平面折回，亦復如是，是即所謂回聲。置錶如實驗 480，我們由側面向之接近，至適能聞其聲音為止，乃持一玻璃板或其他類似的物於筒口，作四十五度的傾斜，所聽得的聲音即加強，此不能不歸因於音波的被玻璃板所折回。

483. 用手作空筒，亦可利用以折回音波，所以我們往往舉手

於耳後，就是這原因。

484. 在實驗 464 中，振動弦線的半部，則他半部亦起振動，蓋二者同調，然他半部的弦線，雖非一半長短，亦有發生共振或共鳴的可能。我們試在弦線的四分之一處，置一音馬，分弦線為長短二部，試彈較短的弦或以弓拉之，拉後立即停止，持共鳴器近耳，則可聞長弦繼續發音。以手觸弦，其聲亦止。我們對於此長弦何以能發生如短弦同一的聲調，不免驚奇。其理由在其振動為局部的而非全體。局部之間，有幾點保持不動，名為節。

485. 我們如欲證明節的存在，可置摺轉的小紙條若干於弦上。無論何時，弦線振動後，除在節上的紙條安然不動外，其餘均被彈去。



圖一八八

局部振動的結果，一弦線不特產生與其長度符合的基本音調，且亦發生較弱的音調，名曰倍音或諧音。

## 吹 叫 管

486. 我們嘗見吹笛或吹簫者，因管孔高低不一，在一側以口吹之，則發各種音調。我們如取試驗管 Q，照樣試之，亦可發音。

487. 凡聲音的發生，必須有振動。弦線的振動，可以觸之使止。試管則不然，我們繼續吹時，以手固執之，其聲並不因此停止。因

此可知試管的發音，並不在玻璃的振動，而由含於管中的空氣柱。

**488.** 注水於試管的一部分，再吹之，則其音調若何？管的音調愈高，振動的空氣柱愈短。

其說明如下。空氣的一部分向試管口吹去，使管內的原有空氣壓縮。待試管不能再容空氣壓入，於是回向管口流出。管內的空氣一出一入，於是發生疏密。因之短管較長管易於充滿，而壓縮及稀薄的交換愈速。

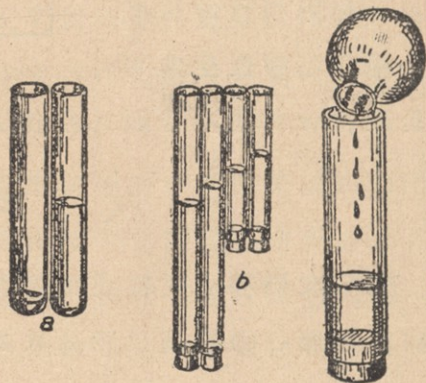
**489.** 注水管內，至適足以發生前音的第八音程，則此時空氣柱的長度為若干？（圖一八九 a）

**490.** 我們試比較筆套與試驗管的音調，並使二者的空氣柱長相等。可知聲調的高低完全以空氣柱的長度為依歸，而與其直徑無涉。雖然，如欲發生優美的音調，必須注意其長闊的比例。

**491.** 取玻璃管 l, l, 及 e, e, 各閉塞其一端，用膠皮帶縛成一束，一部分灌以水，使可發 1, 3, 5, 8 四音。如以試驗管代之，則其音更響，有如樂器一般。（圖一八九 b）

**492.** 音調的高低與空氣柱長度有關，其事實可由此闡明

之：即以木塞閉住玻璃管一端，而將小燒瓶 W 的水注入其中。水



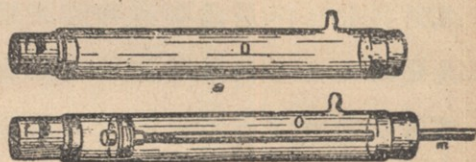
圖一八九

圖一九〇

滴入聲音調的高低，完全與空氣柱長度有關係。其他高深的器具，如瓶之類，都可以作同樣的實驗。（圖一九〇）

493. 吹一口徑寬闊的管，使之發音，頗為困難，蓋空氣必須衝擊管的邊緣，始能發音。為易於符合此必須的條件起見，我們可於玻管口插一吹叫管。（圖一九一）在吹叫管的一端（離缺口較近之一端），插入一軟木塞，適至缺口的邊緣為止，玻管的他端，則以一膠皮塞封閉之。經幾次試驗之後，學者即能使其發音。（圖一九一 a）

494. 我們如吹的過猛，則結果如何？空氣柱開始分成若干段而振動，發生諧音。



圖一九一

495. 空氣柱愈短，則音調愈高。如在活塞上加配一膠皮塞  $u$ ，試驗較為便利。學者略有相當的技巧以後，即能發生音階的升降。（圖一九一 b）。

496. 如將吹叫管  $f$  的下端封閉，其自身即代表一短笛。

497. 笛的下端無閉塞的必要，蓋開口的笛亦能發音。然則開口的笛與閉口的笛（用手按沒），其音調的高低，究有何區別？試緩吹驗之。

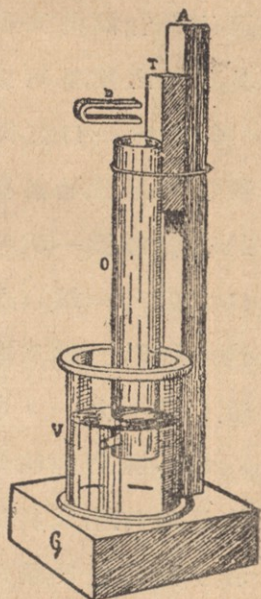
498. 共鳴（或共振）的現象，在空氣柱振動的情形中，亦如弦振動所見的一樣。圖一九二示一具有側管的玻璃管  $O$ ，縛於木柱上，其下置盛有水的玻璃筒  $V$ 。將筒上昇下降，則管中的空氣柱，隨之長短。持一振動着的音叉，放在  $O$  管的上口，同時將水

槽提起，直至音叉的聲特別響亮而止。在此情形中，管內空氣柱的振動與音叉的振動已相符合。

499. 充滿空氣的空洞，也具有其特殊的音調，遇一定數目的振動，即起共鳴，而折回此特殊的音調。試持一玻管接近耳側，並以鋼琴奏出各種音階，遇適合玻管的特殊音調，則其聲聽來最為響亮。物體共鳴或共振，調合而為同一波長，於無線電話上，甚占重要；所不同者，即以電波代替音波耳。

500. 音量的逐漸增加及減低，於實驗498中，當音叉在玻管口上沿其縱軸旋轉時，已知之。至於解釋此現象，我們必須參考物理學書籍，此因音波的干涉而起在何種地位，其音最響？

501. 風琴、笛的發聲，均與管同，惟管樂器中如軍號的發聲則殊異，無經驗者吹號，往往用力過猛，致不能發音，因軍號並無發音裝置，非如玩具喇叭上的有振動金屬片。其所以發音，全恃吹號者口唇的顫動，故吹號時二唇必須緊閉。我們可用玻管吹成如軍號之聲，惟須具有相當耐心，緊閉二唇，對準玻管口，於是吸氣充滿兩頰，壓之使由



圖一九二



圖一九三



二層間衝入管中，即可發音，其音初不和諧，末後則甚為響亮。(圖一九三)

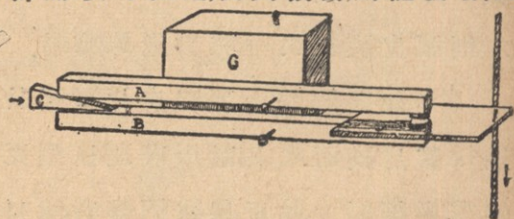
502. 軍號音調的高低，對於玻管長度的關係，較諸兩層的關係，尤為重要。我們如加一吹叫管(塞除去)於玻管的下端，以使管長增加，則其所發音調有何變化？

503. 有一種喇叭，其音調完全由管的長短而變遷。如取報紙一張，以玻管為心，捲成一紙管，可以上下伸縮，猶如該種之喇叭管。

504. 手風琴、口琴、兒童用喇叭，及汽車喇叭的聲音，係由金屬簧舌的振動而生。此項金屬簧舌的模型，我們雖不能使其發音，但可以示其一般的情形，製法如下。將黃銅夾H上的一臂，放在箱蓋的缺口上，以代簧舌，此簧舌的一端固着於蓋上，他端則懸空以便振動。我們想像從空箱的一端吹入空氣，則空氣必由蓋上的缺口逸出，使軟片振動，空氣的流出，即時而通暢，時而阻塞。金屬簧舌的動作，亦不外乎如此。

505. 以棒或槌撞擊懸於空中的圓板(如齒輪)或鐘，均能發音。此外如鑼，亦為金屬平面的振動。

506. 一玻片，固定其中部而以弓拉之，使其振動，則能發音。我們分置鈕扣二粒於玻璃片的上下二側，夾於槓桿A與B中間，以夾住玻璃片(圖一九四)。



圖一九四

所謂拉弓，則可以一條塗松香的繩代替，見實驗 466。如是則發出高而尖銳的音。

507. 散布細沙於平板上，如上法以繩拉之，則細沙排列成二根顯明的對角線，謂之節線。故凡平板的振動，均分為四部分，是謂克拉尼氏(Chladni's)圖紋。

508. 以燈心數段墊於玻管下，離管的兩端約為管長之四分之一。如以棒擊管，則有聲發出。短的硬木桿發出的聲音若何？

509. 是項聲音係木桿的橫振動所發生。如使木桿或玻管交迭的縮短增長所起的縱振動，同樣亦可發聲。我們試用膠皮塞  $y$  套在玻管  $b$  的中央，再插入玻筒  $V$  的底孔，將玻璃筒平持。玻管上裹以塗有松香的布，將布急速抽去，則玻管可發出一種極尖的聲音。

510. 人的發聲，由於緊張在喉頭上部的二枚皺襞，即聲帶振動而起。此二皺襞，有時閉合成一狹縫，有時則開放成一裂口。當呼吸的空氣經其裂口時，二皺襞的邊緣開始振動。我們可以下述的方法製成一精巧模型。張薄膠皮一片（可取自自由車車輪的內胎）於吹叫管  $f$  的口上，在對準吹叫管裂隙的膠皮上，以利刃割一裂縫，長約一釐米。先用木塞塞住管口，然後向管吹之，則膠皮膜發出一種尖脆的聲音。

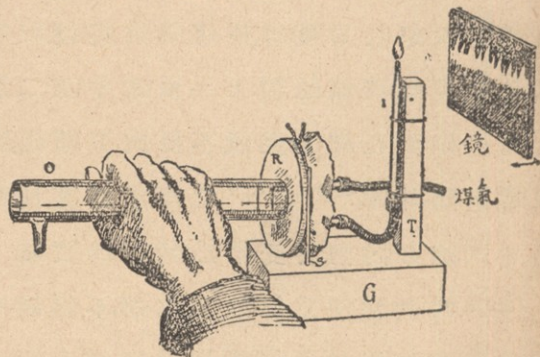
511. 如我們將上項膠皮片緊張於玻璃管的口上，將吹叫管貼接膠皮膜而吹之，則與喉頭模型更相像。因玻管對於聲音的性質，影響頗大，此正與我們聲音，隨口腔的形狀而變化一樣。

512. 母音與子音有何區別?茲以英文字爲例:若我們完全以音韻法朗誦子音,如 bbb, ccc, ddd 等,而不雜以母音之聲,如 be, ce, de 等,如置手於喉頭上,可感得祇是一種噪聲,並非純粹的聲音此外如 m, n, r, l 等字,則與上不同,此項聲音可作爲音調,因當其發音時,喉頭必振動而有相當的伸長。

513. 當我們啓口或閉口時,輕擊我們的頰部,可證明我們口腔有一定的音調,常因其形狀而改變。

514. 鼓膜爲一層薄膜,張於我們外耳的底部,遇音波而起振動,其模型可由下法製造之。取硬紙板環一個,厚一毫米,闊一釐米,外徑八釐米;環上張溼紙,用繩將紙固定於木滑輪 R 的外溝上,使紙乾燥,我們對紙膜高喊一聲,同時以手觸之,則可覺略有振動。

515. 大木滑輪 R 的二孔,以前未曾用過,今將見其用途。在一孔上插入小玻璃管 e, 管的外口接以煤氣管。在他孔上亦插一小玻璃管 e, 管的外口,則聯接以一膠皮管,同時膠皮管的他端又接一玻璃管 i, 此管的末端引成極尖。管與膠皮管接合處,均塗以石蠟。以煤氣通過第一 e 管而入空腔,則必由第二 e 管流出,及至 i 管的



圖一九五

頂點時，可用火點着之，壓力須調節至火焰高度約一釐米半為度。如對紙膜歌唱，情形若何？因充滿煤氣的紙腔，必時大時小，因之通出的煤氣，感受不同的壓力，故火焰亦隨紙膜的振動而生忽長忽短的現象。（圖一九五）

516. 火焰的長短，應設法使眼易於感覺。持一小鏡於火焰傍，我們視其反射的像，並無甚可以注意之處，但如將鏡以適當的速度在水平線上往來移動時，則火焰的反射像成一寬闊的光帶，有人向紙膜歌唱時，則此光帶又成十分差異的現象，因見光帶上部排成尖銳的火焰舌。試以具有側管的玻璃筒  $\bigcirc$  作為號筒，緊附於紙膜上，對筒呼  $\overline{\bigcirc}$  或  $\overline{\bigcirc\bigcirc}$ ，先發低音，然後再發高音。此種火焰的反射像，在振動的種類及性質的鑑定上，極有功用。

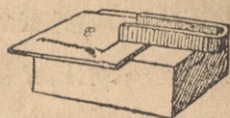
517. 沒有煤氣設備的地，可用電石氣 (Acetylene gas) 代之。

518. 凡振數在十六至三萬以內所發的聲音，我們均能聞得，而認為一種音調，如在三萬次以上的振數，則非我們的耳力所能及，但火焰則仍能表出。蓋火焰感應，實較我們的耳靈敏。此種靈敏的火焰甚易獲得，使煤氣由尖端玻璃管  $i$  向鐵絲網通過，網放在尖端玻璃的頂上一釐米半至二釐米處，在網上以火燃之，此火焰祇在網上燃燒，不使向下蔓延，而發出噪聲。當我們在相當距離外呼 “s” “s” “s” 之聲，或作其他嘶聲，或取一串鑰匙搖動，則火焰必跳動若受驚然。他對於實驗 509 的尖聲，反應特著。

519. 我們當注意煤氣的火焰，不但能感覺聲音，並能與其他火焰互起衝突。試將二尖端玻璃管上的火焰，互成直角而燃燒，

即可見到試實驗之。

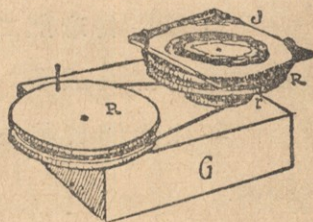
520. 音波當然不能長久存在,然留聲機則能將音波用線痕刻在片子上,以記錄且保存之,我們試在音叉的一臂上縛金屬絲一根,音叉振動時,即令絲在燻有煤煙的玻璃片上經過,則有曲線現出,此種曲線與在留聲機片子上的刻線無異。(圖一九六)



圖一九六

在玻片上燻煙的方法,最易者,為將玻璃片燻於松節油的火焰上即成,松節油甚易燃燒,與安息油相似。

521. 將燻有煤煙的玻璃片縛於木滑輪 R 上,如圖一九七,則我們可於玻璃片上,記錄振音叉的跡線,成一螺旋狀的波線。設實驗 514 的紙膜上能裝置一鋼筆尖,以代音叉,則歌者的聲波可以記錄,而與真實的留聲機模型相差不多。



圖一九七

# 熱 學

**522.** 我們當可謂重錘  $P_1$  及  $P_2$  絕對相似，皆為鐵質、圓形、平滑、白色；且其高度、重量均相等，同在靜止狀況。二錘雖有是等相同性質，但一點上，可使其不同。即取一錘置酒精燈上熱之，不待其變黑，即行取下，所得結果，一錘甚熱，而一錘仍冷。

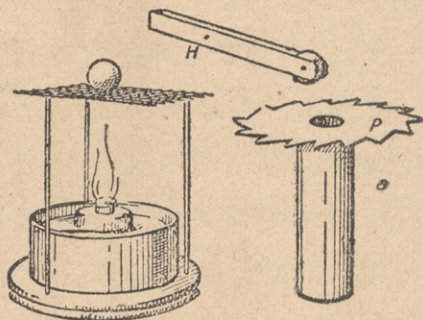
**523.** 將上述二錘同置箱中搖動之，我們雖能見之，然不能辨別其孰熱孰冷，蓋熱為物體的不可見的性質。

熱給予物體的特性，有下列各點，為冷物體所無。

1. 以手觸冷熱二物體片刻，則熱者能刺激神經，傳達於腦部，致有熱的感覺。
2. 注水滴於熱物體上，即沸騰而發聲。注水於冷物體，則不然。
3. 在冷熱二物體上各置石蠟一塊，若干時間後，置於熱體上的石蠟熔解，而置於冷體上者則否。

故熱物體實有若干性質，與冷者不同。物體的其他變化，亦有許多為熱所引起，因此我們必須詳細研究，以便明瞭物體含熱時的種種情形。

**524.** 我們先當注意鐵球  $VI$  能自由通過齒輪  $P$  的孔。現將球置於鐵絲網上，以火熱之，二



圖一九八

分鐘後，再移置孔上，則球已不能通過（圖一九八）。可見球受熱後，已顯然膨脹，燒熱的球，可用黃銅夾 H 挾持之。

525. 若將上述的鐵球，任其置於孔上，經若干時後，則如何

由上述二實驗，我們可知：

物體受熱則脹，受冷則縮。

526. 用支持針二，插入木柱 A 與 B 的二端，二針的中間引張一長銅絲，則此絲受熱

時的膨脹，殊足驚人（圖一九九）。試在銅絲的中央懸一重錘 P，以酒精

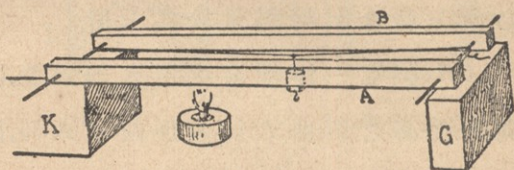


圖 一 九 九

燈在下往來燃燒，或用燭火數枝，排成一列於其下尤佳，此時金屬絲有何變化？夏日的電線，往往較冬日下墜尤甚，何故？

527. 粗的金屬桿受熱後，亦能增長，但必須照圖二〇〇裝置，其膨脹方能顯著。置箱蓋 D 緊接於木箱之旁，蓋的他端上又橫

臥一臺板 G。由木箱裏面，穿出一針於側面，針端套以一黃銅管，管的他端則置於臺

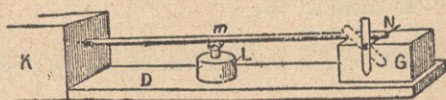


圖 二 〇 〇

板上，以紙板作一指示器，用針穿過其中心，而將針橫置於黃銅管及臺板之間，使黃銅管的一端，擱置於此針上，乃以酒精燈熱黃銅管。若管的一端緊貼木箱的側面，則必向對方膨脹，如是，必使附有指示器的針轉動。

528. 如以玻璃管 I 代替金屬管，則我們可知玻璃雖亦能膨

脹，然終不及金屬管之大。

若長度相等，熱度相同，則玻璃的膨脹係數為 0.0009，鐵為 0.0012，黃銅為 0.0017，鋅為 0.0029。

529. 鋅片一條，其上鑲以同樣的鐵片，共同加熱後，因一面的膨脹大於他面，必起彎曲。

530. 取動物膠一片，置手掌上，則因膠片的下層受熱而膨脹，必向上彎曲。試呵熱氣於其上層。

531. 試取一洋鐵箱蓋，用火加熱後，以水作不平均的冷卻，則其表面必起折曲。火爐的煙囪生火時，往往發噼啪的聲音，何故？

532. 取窗玻璃一塊熱之，則必爆烈。因受熱不勻後，如前述的洋鐵箱蓋一樣，發生彎曲，然玻璃甚為脆硬，遂致炸裂。

533. 自實驗 120，我們已知玻璃絲極能彎曲，今再將其拉成細線，並注意其彈性。因薄玻璃能抵抗不均的熱度，故化學分析者利用之以煮沸液體。我們所用的試管，即其一例，在其中煮水，可無爆裂之慮。

534. 溫度的變化過速，雖極薄的玻璃，亦有危險。試以實驗 533 的玻璃絲燒熱後，滴以冷水而試驗之。

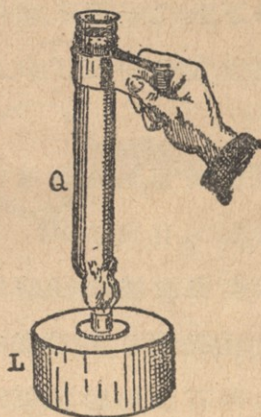
試解釋熱水注入冷瓶或冷水注入熱瓶時發生的現象。但玻璃瓶置冷水中，徐徐加熱，則不致爆裂。試以藥瓶照樣試驗之。

## 液體的膨脹

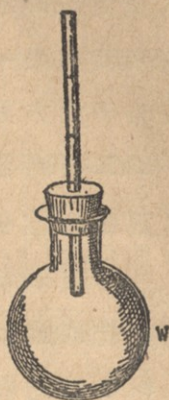
535. 注石油於試管 Q 中，至距管口約二釐米為止，套一膠皮



圈於水平線上，以紙條裹  
試管，手執於紙條的二端  
(圖二〇一)。當加熱時  
視其水平線，即可知液體  
受熱後亦能膨脹。問所膨  
脹者，為原高的幾分之幾？



圖二〇一



圖二〇二

536. 在以上實驗中，如  
將石油滿盛至管口，則加  
熱膨脹後，必有油溢出管

外。今用小燒瓶滿貯以水（水曾沸一次），瓶口加膠皮塞，塞上  
附有短玻璃管及膠皮管。加塞時壓水上昇至管口。於是舉火熱之，  
並以玻璃器接受自膠皮管脹出的水。設已知燒瓶的容量為100  
立方釐米，而自瓶內流出者為4立方釐米，則水的膨脹率當為  
 $\frac{1}{25}$  或 0.04。其實我們不能得此真正數值，因我們不能將水熱至  
沸點。

537. 我們還可以用下面的方法來實驗，即於塞上插一玻璃  
管，不使膨脹的水流出瓶外，如圖二〇二。加熱愈久，則水上昇愈  
高。

538. 實驗 536 中，直接量得排出水的容量。若我們測定玻璃管  
e 的容積，則經實驗 537 後，可得相同的結果。玻璃管容量測定方  
法，可固定膠皮管於玻璃管上，浸於盛有水二十立方釐米的量筒  
中，使水上昇入玻璃管，至水柱為二十釐米高。然後將水提出筒外，

亦須置一淺箱。

於是在溫度計的管上套以膠皮塞，全部倒置，插入水銀瓶口，須靜心搖盪，最好將全部上下振動，使水銀滴入球形液槽中，待水銀升入溫度計管內約二釐米高為止（圖二〇五）。

544. 切不可將溫度計直接在火焰上加熱，蓋恐致炸裂。我們可將溫度計投入盛水的燒瓶內，於是舉火熱瓶，先在水銀的水平線旁，套入膠皮圈，然後加熱，愈久則水銀柱上昇亦愈高，但至水沸時，無論熱至如何久長，水銀即不再上昇。在水銀柱停止上昇的一點，謂之沸點，應套一膠皮圈，以作

標記。燒瓶的三脚架，可照圖二〇六 a，用木滑輪、鐵紗及三支持針作成。

545. 盛碎冰或雪於玻璃筒中，乃插入溫度計的水銀球，則又可得一固定的溫度點。冰的一部分已溶解成水，水中仍有無數小冰，故各部的溫度，均屬

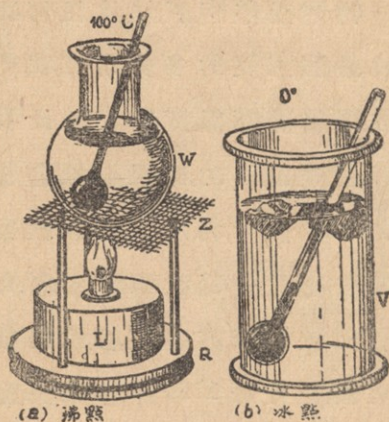
相同。此時水銀柱停止於一固定點，即為冰點（圖二〇六 b）。

546. 溫度計再置於沸水及冰中，則水銀是否復回至原點？

547. 因沸點及冰點為溫度的絕對固定點，表示二種一定溫



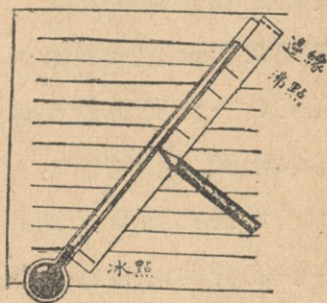
圖二〇五



圖二〇六

度,所以此二點間溫度的中間狀況,亦得確定。沸點與冰點間的距離,可任意分爲若干等分,稱爲溫度。在列氏溫度計,分爲八十等分(自零度至八十度);攝氏則分爲一百等分(自零度至一百度);華氏則分爲一百八十等分,以三十二度爲冰點,二百十二度爲沸點。其中以攝氏表應用最廣,尤其廣用於科學上。華氏表則多應用於家庭之中。凡溫度在零度以下者,皆以負號表之。

如欲製百分的尺度,可裁圖畫紙一條,闊八毫米,將其斜置於書後所附的毫米格上(圖二〇七)。令玻管上的冰點記號,與紙的下端O處適平,乃安排標尺的斜度,以使沸點的記號又與毫米紙的十釐米線相合。無論何處,凡與毫米線相遇的標尺邊上,用鉛筆作一記號。如是可均分爲十格。若基線之距離頗遠,則可等分爲百格。(見實驗548)將標尺貼於溫度計之旁,



圖二〇七

套以膠皮圈,使標線的上端適與玻管的上端相齊。

548. 若溫度計中用石油以代替水銀,則分格線的距離更大,且二固定基點亦甚易決定。惟石油的油污,易於固着玻管的內面,難以清潔。

549. 一般的溫度計內亦灌以酒精。有色的酒精,可用紅色墨水少許染成,灌於溫度計中的方法,與以前灌入水銀同。最好用

離心力，使玻璃不絕轉動，迫酒精入管中，最後管內所存的空氣，可將管插入熱水內以除去之。

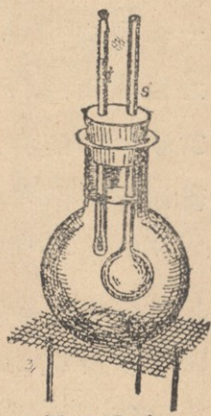
如將此項溫度計投入熱水及冷水內時，我們可見液體柱的膨脹力極大。

550. 我們亦須決定其沸點，如入沸水中，酒精蒸氣即開始逸出，故決不能用此法決定之，因酒精的沸點為攝氏78度也。反之，冰點的地位，則易求得。

551. 我們何以不用着色的水灌入溫度計中？此實因水在攝氏一百度始沸騰，而在攝氏零度即行冰凍，水銀雖亦能冰凍，惟其冰點在攝氏零度下三十九度，即負三十九度，而其沸點則在三百六十度，故水銀溫度計可用以測量此二者間的溫度，酒精直至負一百度始凝結，故可用以測量低溫，在室內最高限度應為六十度。

為避免蒸發及溢出之危險起見，我們必須將溫度計的管口熔合，惟在封閉之前，須抽去管內的空氣，何故？若暫時用之，則溫度計無須閉合。

552. 因酒精溫度計的沸點不能測定，故冰點即零度以上的表格，無從決定，此惟有用我們的水銀溫度計互相比較，而後得之，即將二者並列插入燒瓶的塞中，瓶內貯水，下加以熱，待水銀柱每上昇10度，測量酒精柱離管口的距離，遂將此



圖二〇八

距離畫於毫米紙上，如果把求得的各點連結起來，必成一直線。

當酒精溫度計接近沸點（即70度至80度）時，酒精的膨脹度若何？乃依測得的結果，在紙條上分出度數，貼於溫度計上（圖二〇八。）

553. 由此法製成的溫度計，我們不能認為十分正確，至少，必須依上法再實驗一次，此時讀二溫度計的示度，而記出每十度間的錯誤。

554. 攝氏(C)、華氏(F)、列氏(R)三種溫度計，可依照下列公式，互相換算：

1. 華氏化爲攝氏..... $C = (F - 32) \times \frac{5}{9}$
2. 攝氏化爲華氏..... $F = (C \times \frac{9}{5}) + 32$
3. 列氏化爲攝氏..... $C = R \times \frac{4}{5}$
4. 攝氏化爲列氏..... $R = C \times \frac{5}{4}$

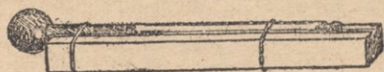
以上公式必須熟記，度數如在零度以下，可加一負號於其數字前。

555. 我們現在可以利用溫度計，測定室內溫度，近火爐爲幾何，近窗口爲幾何，又可測定我們所飲的茶湯，其適當的溫度爲幾何，每日以同一時刻，測量室外溫度，將一月中所得的結果連成一曲線，則更加有趣，書後所附圖版 I 的圖表，即專爲此而設備者。

556. 測量一日或一夜內的最高及最低的溫度，使我們尤其感到興趣，測量最高溫度的溫度計（或簡稱最高溫度計），可以利用自製的水銀溫度計（浮秤管 s），其法即在溫度計管

內納入縫針一小段，此針須適能自由通過管徑者方合，於是將其傾斜放下，使其浮於水銀面，再將溫度計平放於短木柱 T 上，並以膠皮圈縛住（圖二〇九）。

以火柴一根，在水銀球下微熱，惟火焰不可與玻璃相接觸，試視察



圖二〇九

有何變化？待水銀退回時，針又如何？針端以前與水銀觸接的，即為最高溫度。如欲將針重浮於水銀上，則可用磁石吸下，或動搖溫度計。

457. 測量最低溫度的溫度計（或簡稱最低溫度計），可以酒精溫度計製之（參看實驗 549）。其法，先將溫度計插入熱水中，使酒精上昇達管口，於是投入短鐵桿，並令管口與水銀瓶相連。

當溫度下降時，酒精柱收縮，則水銀引入管中，因此便推動鐵桿，反之如溫度上昇，則水銀離鐵桿而起，而其下的酒精無力推動鐵桿，故彼得安然不動。

558. 最高與最低二溫度計，亦可合而為一，參看圖二一〇，即可知之。但必須加分



圖二一〇

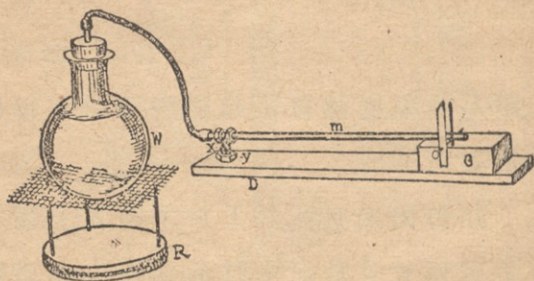
度標尺二，其一示最高（或水銀的）溫度，他一則示最低（或酒精的）溫度

559. 我們現既能測量各種溫度，故不妨將關於膨脹諸實驗再一一復習之，以自行測定各物體的膨脹係數，我們先決定黃

銅管在攝氏 100 度的膨脹此時黃銅管因向游離的一端膨脹，故能使指示器旋轉（圖二〇〇）。

初步實驗：我們應計算指示器每轉一週，黃銅管的長度增加若干，轉二週長度增加若干。由此我們又可計算每轉過一度時所增的長度，譬如，指示器旋轉為二十七度，則為此單位的二十七倍。

室內溫度計所示的溫度，即為本實驗最初的溫度。於是將指示器安置於零點，即與針成垂直或水平地位（見圖二一一），然後用膠皮

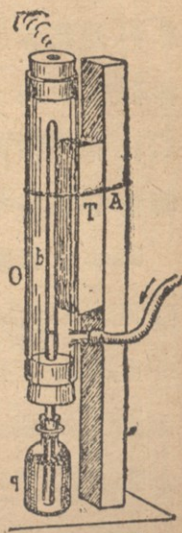


圖二一一

管導燒瓶中的蒸氣通過黃銅管。片刻後黃銅管亦達攝氏 100 度。而此時指示器已旋動。先計算溫度每增加一度黃銅管膨脹若干，再算增加一百度時，膨脹若干。所得結果與實驗 528 所示的價值相符合否？

560. 以同樣方法，我們可求得玻璃的膨脹係數。

要確定空氣的膨脹係數，其裝置必須如圖二一二。灌少許水銀於玻管 b（上端封閉）中，灌入時，可先將管加熱，使其中空氣逃逸一部分，



圖二一二

乃插入水銀瓶中待冷，則管的一部分充滿水銀，然後於水銀昇達的一點，加一膠皮圈在管外套一具側管的大玻璃管O，先充滿溫度已知的冷水，再將冷水放出，然後用實驗 559 的蒸氣發生器通入蒸氣。

## 熱 的 傳 播

### I 對 流

**561.** 空氣受熱後，必起膨脹，遂引起種種現象，這正是我們現在所要研究的。

用釘固定短木柱T於木柱A上，短木柱上的狹溝，須面向A。置玻璃管O於短木柱的闊槽中，縛以膠皮圈或繩，再用木楔撐緊，使不能動搖。在管的上口，蓋一薄紙，令其邊緣僅有少許擱在筒上。在管底燃火柴或短燭，其中所含的空氣受熱膨脹，故漸稀薄。由實驗 431 我們知道較其四週空氣輕的物體，必向上昇，故筒中的稀薄空氣亦向上昇，因之能衝去薄紙而使其落下，證明筒中熱空氣的上昇。

**562.** 水流能推動水輪，空氣的流動亦能旋轉風車。我們試將直徑約五釐米的圓形硬紙剪成輻射狀的切口；將截切面的同一邊，均向下扭轉，使成風車的輪翼。在其中心，略壓成凹痕，再在此處用針端支持，而此針則以膠皮圈縛於玻璃管O緣上。管底加熱後，管中熱氣上昇，可使風車旋轉（圖二一三）。

**563.** 凡屬火焰，即無玻璃管，亦能生向上的氣流，我們只須置



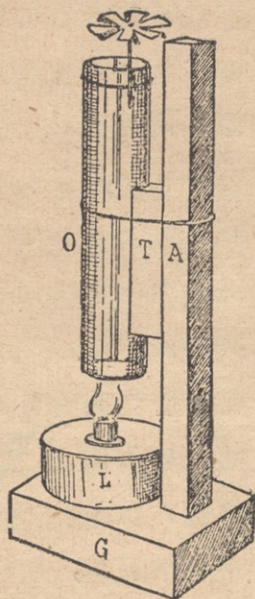
小風車於縫針上，下燃以燭，即可驗知。

另一實驗，能發生如蛇的舞動，即將書後所附圖版III的螺紋圖，依螺旋線剪下，而插於針上，如圖二一四。上昇的熱空氣能鼓動紙蛇作盤旋舞。

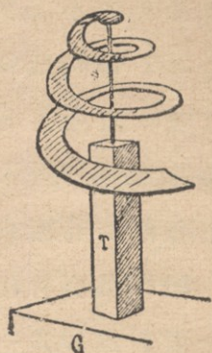
564. 冬日如有火爐，則前二實驗的裝置，祇須置於爐上即可試驗，因該處亦有熱氣不絕上昇，近天花板之處，似較地板上為熱，蒼蠅多棲息於天花板，而我們足部甚覺寒冷，都是這個原因。

565. 但熱氣並不止於天花板，如有上昇機會，仍欲繼續上昇。若將門開啓少許，立即逸出。試置蠟燭或酒精燈的火焰近門縫上端，有何特殊現象？

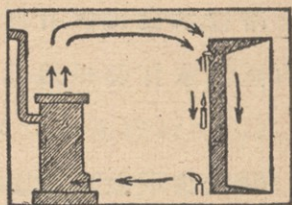
566. 空氣由門縫上端衝出，必有其他空氣由門外衝入，否則室內必致缺乏空氣。我們已證明確有此事，試置火焰近門縫的下端，則被吹向室內（圖二一五）。



圖二一三



圖二一四

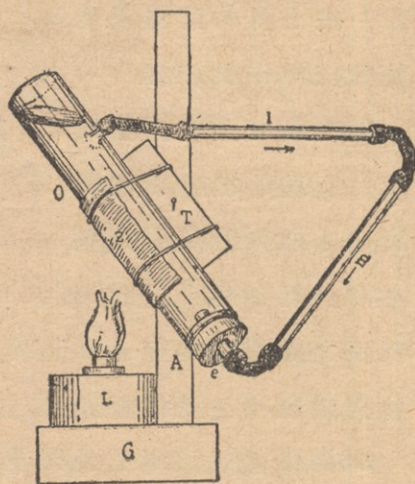


圖二一五

在夏日我們常見森林旁邊的樹木，逆着森林的方向吹動，由此可見熱氣自地面上昇，同時冷氣流入，遞補其地位。此種空氣受熱的不均，即為生風的原因。

567. 我們已知水受熱亦能膨脹，故熱水必較冷水為輕，所以在燒瓶內置混有木屑的水，則水的對流殊為明顯。惟必須為柵樹的木屑，因柵木的比重與水相同。我們可見此木屑由燒瓶的中心部上昇，而由其邊部下降。

568. 具側管的玻璃管 O，其一面裹鐵紗 Z 一塊，在紗上圍繞鐵絲二根，縛管於短木塊 T 上（圖二一六）。用紗的目的，在使管不直接與火焰接觸，否則有破裂之慮。管旁有導水管，以膠皮管、玻管 l、黃銅管 m，及玻管 e，依次合成，此管上端連接玻璃管的側管，下端可接玻璃管的底孔。當在鐵紗下加熱時，筒內的水上昇，由側管而入導水管；及冷後，水復由底孔回至玻管。熱水經過黃銅管時，常放出一部的熱，熱水汀即根據此原理，以暖和各室。



圖二一六

## II 傳 導

569. 由前數實驗，知熱的傳播係藉空氣或液體為媒介。凡藉流動的空氣或液體以散布熱者，即謂之對流。但熱亦可無須物

體的流動，以散布各處。

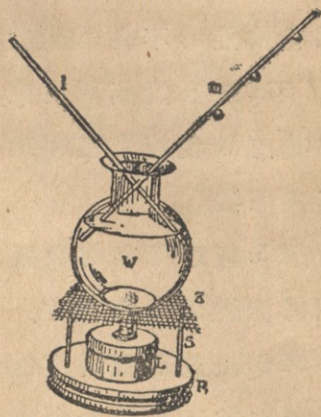
試執黃銅管的中部，而將其一端置火焰中加熱，要經過若干秒後，我們手纔覺燙痛？又以玻璃管作同樣試驗，並注意其傳熱的速度，可知熱在黃銅管上傳遞，實較在玻璃管為速。此種導熱方法，謂之傳導。黃銅的傳熱，實佳於玻璃。

570. 我們更可以下法，闡明玻璃和黃銅，對於熱的傳導率各自不同（圖二一七）。以蜜蠟（或石蠟）黏小石，掛於玻璃管及黃銅管上，當二管漸漸受熱時，小石依次下墮。在最下者最先，問二管經過相等時間後，其受熱程度各如何？

在以上二實驗，傳熱體的分子絕未向前運動，而熱已傳布開去。要解說這現象，我們唯有承認現今科學家關於熱的本質所主張的一種說素。

自熱空氣的行爲，我們得知熱物體的分子呈活潑顫動狀況，分子運動和緩的物體為冷；分子運動猛烈的物體為熱。當運動時，顫動分子常碰撞其他分子，使之亦起同樣運動，於是熱得以傳導。

571. 以前我們將黃銅管的一端插入熱水，則全棒均熱；同樣，我們亦可將黃銅管的一端插入冷水，而使之冷化，蓋熱常由高溫而向低溫移動。今不加冷水而使黃銅管放熱，需時若干？如加



圖二一七

以冷水，需時若干？

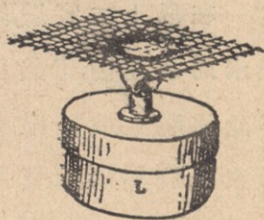
572. 爲詳細觀察放熱的步驟起見，可於金屬杯中，滿置熱水，插入溫度計，每隔一分鐘或一秒鐘，讀出其所指示的熱度，而記於本書圖版II的表格上，將所有的各點連結，則成一曲線，我們由此圖表，可知其冷卻，逐漸進行。

573. 如將金屬杯裹以厚毛織物，而照前法製成圖表時，因毛織物爲熱的不良導體，其曲線傾斜較緩。

574. 將小燒瓶W滿盛熱水，任其置於空中，而與藏於木屑或棉花內的玻筒V，互相比較溫度的下降，凡粗鬆的原料，均熱的不良導體。

575. 何以着火的炭，置於鐵絲網上立即熄滅，而置於灰燼上則仍能燃燒？試實驗之。

576. 鐵絲網蓋於酒精燈焰上，則火焰只能在其下燃燒，此實因鐵絲網爲良導體的金屬，將大量的熱吸收，故其所餘的熱力，不足以燃着酒精蒸氣（圖二一八）。



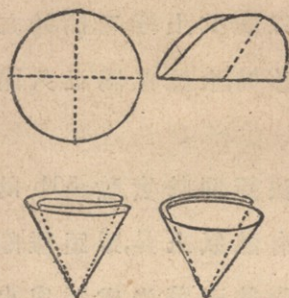
圖二一八

577. 在木桿上繞以黑線，持入火焰，線不久即燒去。

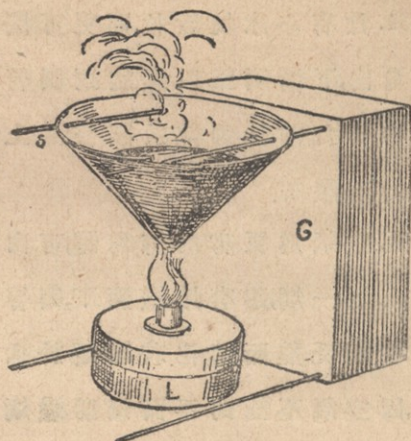
578. 如上法繞黑線於黃銅管m或黃銅錘P，則並不燃燒，欲使線燃燒，第一須有高溫度，因火焰所供給的熱，常被黃銅管傳去，故不能立即燃燒。

579. 紙雖是極易燃燒的物質，我們如將圖畫紙褶成小鍋，內盛以水，在酒精燈焰上加熱時，可使其中的水達到沸點，試剪圓

紙一塊（直徑15釐米），摺成漏斗狀（圖二一九），用支持針



圖二一九



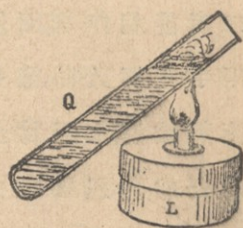
圖二二〇

二枚，在紙的邊緣穿過，而插在臺板G上（圖二二〇）。G下，亦有二針，以防顛覆。

火焰與紙接觸部分，只能在盛水之處，如此，則紙之所以不能燃燒，因熱被水傳去之故。

580. 由以上實驗，有人必謂水為一熱的良導體。誠然，當水受不均勻的熱而起流動時，常能吸收大量的熱；但在此過程中，若不讓水分子運動，情形就各異。

在盛水的試管上部加熱，（如圖二二一，切勿置火焰於水面的上部，以免玻璃破裂）上部的水，開始沸騰，而在我們執持處以下，則仍冷如故，此足證水非熱的良導體。此時因熱水存留在上部，故冷水與熱水不



圖二二一

能藉對流混合。

581. 如有小冰塊數枚，則更可闡明水的不良導性。冰塊置於試管 Q 內，下面須繫以螺旋銅圓管 X，以防其上浮。乃開始加水於管中，再如前法加熱於該管的上部，移時，水雖沸騰已久，而冰塊則仍不融解。

582. 空氣為更劣的傳導體，可由下法證明。於實驗 561 的玻璃管口上置一燭，即有熔蠟滴下，因管內有熱氣上昇，雖距離頗遠，亦能使燭受熱而熔化。若置燭於火焰旁約五釐米處，雖與火焰極近，因空氣不能向平面流動，蠟燭不能熔化。總之，靜止的空氣，均不能導熱。

583. 以下實驗亦證明氣體狀態的物體，為熱的不良導體。試在三腳架上（不用鐵絲網）置一洋鐵罐蓋，燒至赤熱。取尖端玻璃管作滴管，滴水赤熱面上，水滴滾轉，經若干時而不蒸發。然滴水於熱度較低的部分，則立即蒸發。在此情形中，因水滴與赤熱罐蓋間，存有蒸氣一層，而為熱的不良導體，故水不能立至沸點。

584. 我們現在測量同在室溫下的水及水銀的溫度，水預先放在室內，水銀則盛於玻璃器中（注意：水銀不可盛於鋁筒，因二者能起作用，而使鋁筒破壞）。我們雖明知二者溫度相等，然用手指探入時，總覺水銀較水尤為寒冷，此種感覺實由於水銀傳熱較速。水銀為金屬，故為熱的良導體。因良導體能將我們皮膚上的熱，迅速吸去，因此我們能感得水銀較不良導體的水為冷。故如欲檢別物體的傳導性，只須以手觸之，即可知其大概。

585. 鐵、鋁筒、木、羊毛、絲及玻璃等，均以此法測量其傳導性。

### III 輻射

真空亦為熱的不良導體，較空氣尤劣，故保持液體的冷度或熱度用的保溫瓶，其瓶壁均有二層，將其間的空氣抽出，以阻止傳熱的損失（圖二二二）。



圖二二二

是種保溫瓶所傳導的熱，雖係極微，藉對流而傳布，亦屬不可能，然其所盛的熱水經過若干時後，亦能變冷。考其原因，我們可知熱的散播除傳導、對流外，尚有第三種方法，即所謂輻射。是地球的所以能繼續自太陽吸收大量的熱，全賴乎輻射，蓋太空中，實毫無空氣存在，故傳導或對流均無從發生。由下列諸實驗，可知輻射作用與傳導及對流，截然不同。

586. 置手背於日光下，立覺溫暖。苟有一同伴持書本將日光遮斷，我們雖不去觀看手背上的日光是否遮去，亦能覺察之。如障礙物除去，則又覺溫暖。此與平日雲片暫時遮住日光的情形相同。由此，可知熱線的照射速度，與光線的速度相似。此種作用與前述對流、傳導等的遲緩，實大有不同。

熱線與光線相似，亦係代表一種能媒的波動運動，能媒則假定分布於所有空間。但熱線的波動，較光線緩慢；因此我們眼球的神經細胞不能感受，而皮膚的末端神經，則能感覺此種緩慢的波動。光波則不然，因其振動過速，不能使我們發生接觸的感覺。

氣少許，問以手觸鋁筒，則水柱如何？水柱的所以上昇，由於空氣的膨脹，是種測溫器，實無異一裝空氣的溫度計，因空氣的膨脹係數頗大，故溫度稍有不同，亦能靈敏的顯出。

爲避去傳導或對流，傳熱起見，將測溫器移近酒精燈，中隔玻璃片 J。不久，鋁筒固受酒精燈的輻射熱而水柱即行升高，每隔若干時間，將水柱高度記錄，製成如前的曲線圖表。

595. 鋁筒的一側燻以煤煙，以供下述實驗，先將測溫器拆開，並用冷水將筒全部寒冷，然後再裝合如舊，仍照實驗 594 的方法，實驗比較，先將未燻有煤煙的一面向燈火，摘其記錄，再使燻煤煙的一面向燈火，亦記錄之。所得的記錄，可點於實驗 594 中的同一紙上。

596. 輻射的熱，並不一定須與光共同存在，如在火焰的情形那樣，蓋不發光的物體亦能射熱，試將扁鐵錘 P，在酒精燈上熱之，而靠近測溫器有煤煙的一面放着，則水柱亦能上昇（圖二二五 b）。圖中的短木柱 T 及支持針 S，均係支持重錘用的。

597. 裝有熱水的瓶，移近測溫器，表示亦能射熱。

598. 我們的身體亦不絕射熱，置手於頰旁，即能感知。

599. 用簡單的實驗，即能證明熱線亦如光線能自光亮物體上反射，如以食指伸入鋁筒中，不久即生暖熱的感覺，蓋自我們手指射出的熱，已被鋁筒所反射，而回至手指。

600. 盛於器內的熱水，其溫度因輻射而漸漸減低，我們已見輻射的熱射入黑暗的物體較射入光亮的物體爲易，可是我們



還要探究他們輻射的放熱能力究竟怎樣。試將鋁筒完全塗以煤煙，插入溫度計，杯內盛以沸水，每隔一分鐘讀溫度計上的記錄，並繪出一曲線，以示溫度的減低。於是將煤煙擦去，再盛熱水如前法試之；然其所得曲線，與前略有不同，此即示黑色物體的射熱，較光亮者為速。故光亮受器的保熱，時間較黯者尤久。

圖二二二的保熱瓶，其夾層均塗以銀質，其目的即使熱的損失減少。

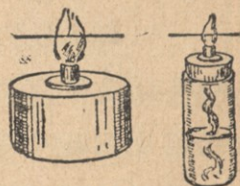
## 熱 量

601. 一物體在高溫中熱至熾紅，此種色澤的變化，有一定的程序，常因溫度的不同，而色澤相異，其程序如下：

熱至開始赤色	.....	525°(攝氏)
熱至暗赤色	.....	700°
熱至明赤色	.....	950°
熱至黃色	.....	1100°
開始白熾色	.....	1300°
灰白熾色	.....	1500°

以上溫度，我們可以軟鐵絲插入火焰，就所呈的顏色而測定其溫度。

602. 小鋁筒加單孔膠皮塞  $w$ ，中插一短玻管。(圖二二六)，管內穿入紗帶作燈芯，製成一酒精燈，筒內置酒精少許。我們



圖二二六

可試驗此種火焰可否使鐵絲熾紅，其結果小火焰的溫度完全與大火焰同，而與火焰的大小無關。

603. 取清水將酒精攪淡，使適足以發火，試測火焰熱度，可見熱度與燃料的性質，實大有關係。

604. 我們已知燃料相同的大小二火焰，其熱度完全相等，今再欲研究大小二焰各熱 100 立方釐米的水，使增加二十度，需時多少，可將燒瓶盛水置於三脚架之鐵絲網上，舉焰熱之，杯中插溫度計。

例如水的最初溫度為十五度，其最後溫度為三十五度，先以小焰熱之，需時多少？再以大焰，如前試之，需時若干？

605. 以上實驗所得的結果，小焰雖具相同的溫度，但水的加熱時間較大焰久長，所以我們又得一新的概念，即除熱度之外，有一種熱量是也，二火焰的溫度雖相等，而大者能產生較大的熱量，欲將一百立方分米的水加熱，升高十度，須一定的熱量，如欲將同量的水，亦升高十度，則須加相同的熱量。

使一立方分米的水增高一度所需的熱量，稱為一卡路里 (Calory, 或簡稱卡)。問實驗 604 的酒精發出若干卡？此計算法殊為簡單，只須將水的數量乘所增的熱度即得：

$$\text{即 } 0.1 \text{ 立方分米} \times 20^{\circ} = 2 \text{ 卡}$$

606. (a) 使 15 度的水 2 仟克，熱至沸點，須用熱量多少？其所增加的溫度為  $100^{\circ} - 15^{\circ} = 85^{\circ}$ 。

(b) 以大酒精燈作上述實驗，需時若干？

(c)以小酒精燈作上述實驗,需時若干?

607.較強的火焰發生較多的熱,而燃料的耗費亦愈大,我們比較燃料的耗費及熱的產生,最好將酒精燈在施用的前後稱之,其所失的重量,即為所耗的酒精。水在燒瓶中加熱後,測量其 100 立方釐米的水上升的溫度,即可求出酒精對於水所加的熱量,其記算法如下:

每 4 克的酒精,可使 0.1 立方分米的水增加  $44^{\circ}=4.4$  卡

1 克的酒精,可生  $\frac{4.4}{4}=1.1$  卡;

1000 克的酒精,可生  $1000 \times 1.1=1100$  卡。

此數即示每一仟克酒精所生的熱量。

608.以上數值,其實並不能代表可以達到的熱量的全部,蓋一部分的熱,受空氣的對流作用而損失,故不能作用於水。我們精確測量燃料的熱力,須有嚴密的裝置,以免損失熱量。

木材 1 仟克可生熱量 3400 卡;

泥炭 1 仟克可生熱量 4000 卡;

酒精 1 仟克可生熱量 7200 卡;

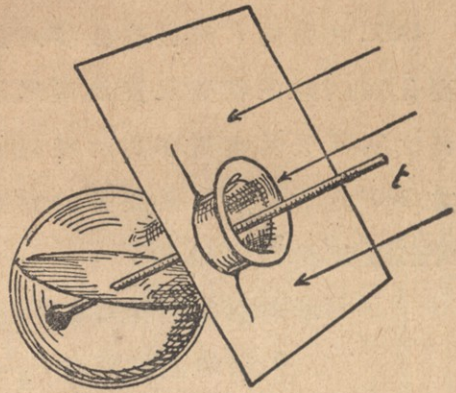
無煙煤 1 仟克可生熱量 8000 卡;

煤油 1 仟克可生熱量 10000 卡;

煤氣 1 仟克 = 1.25 立方米,可生熱量 12000 卡。

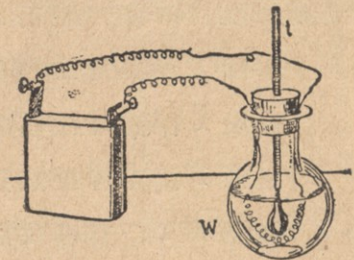
609.日光所供給的熱,不費分文,雖其熱度鮮有越攝氏 30 度 (華氏 86 度) 者,但供給地面的熱能,確甚巨大,較之得自上述燃料者,尤為重要。試測驗地面每平方釐米所得的熱量。圖二二

七係太陽光線，經過燒瓶口而射於水中（最好用黑墨水染黑），其周圍的光線，皆被白紙隔去，以免射及瓶上。以溫度計測量水的最初及最後的溫度各一次。設水的體積為50立方釐米，即 $\frac{1}{20}$ 立方分米，則熱量甚易求得。以瓶口的面積除熱量，即得每平方釐米上所受的熱量。



圖二二七

610. 地球所蘊藏的煤炭、木材，必有告罄的一日，屆時，則人類不得不另求其他熱源代替。這些勢必仰給於利用瀑布的能力所發生的電流。我們以下法證明電流能生熱力。取二米長的細鐵絲一根，繞成螺旋形，與二銅絲相連，以銅絲連接電源。今設用手電筒的電池以實驗。細鐵絲浸於水面之下，水中熱度的升高可以溫度計測量。問二分鐘內電流產生若干卡？（圖二二八）



圖二二八

611. 我們感覺寒冷時，常將兩手摩擦，蓋摩擦能生熱。試將編織針平置桌上，用木塞摩擦二十次，針即變為灼熱。此外，敲擊或強壓，均能生熱。

### 混合物的熱

612. 物體除各有其特質（可由重量見之）外，尚各含有不見質量的熱量。當將二種溫度不同的水互相混合時，則不特將其體積相併，其熱量亦完全融合。例如先將燒瓶內的水五十立方釐米熱至沸點，再傾入五十立方釐米的冷水，試測量混合體的溫度。

所要求得的溫度，亦可用數學方法計算得之。

在  $18^{\circ}$  的水 50 克含  $0.05 \times 18 = 0.9$  卡

在  $100^{\circ}$  的水 50 克含  $0.05 \times 100 = 5.0$  卡

---

100 克混合體含 5.9 卡

1000 克混合體含 59 卡

此 59 卡，從以前所知道的，能熱一立方分米的水上昇  $59^{\circ}$ ，因此混合體的溫度當為  $59^{\circ}$ 。試將所測得的溫度與此值相比較。

613. 所測得的溫度並不與計算所得者十分符合，因玻璃亦吸熱。若欲免去此困難，可使水與玻璃共重為一百克，惟如此做法仍遇一其他錯誤。因其他物體如玻璃每升高 1 度所需要的熱，不及水的大。

用鐵絲繫於鉛錘及黃銅錘上，投入  $50^{\circ}$  的溫水內，少頃取出，而置於二燭間（圖二二九），則二錘將所受的熱使蠟燭熔化。二錘的熱度雖相等，然所熔的蠟，其量各異。因其一錘具較大的吸熱力，換言之，其比熱較他錘為大。



圖二二九

重一仟克的物體，溫度升高一度，所含的熱量如下：水1.0卡；石油0.50卡；鐵0.11卡；黃銅0.09卡；鉛0.03卡。

614. 先將鐵錘黃銅錘及鉛錘各一，置沸水中受熱，再用玻璃管作量杯，在20立方釐米處以膠皮圈以作標記，管中盛水，先測其原有溫度，置一錘於其中，再測其最後溫度，其他二錘亦如法處理，每次將水更換，試互相比較溫度的增加，三錘所測得的數值，何以不同？是否與以上的比熱符合？

615. 以100克的鐵錘熱30克的水，其所增熱度若干？照前例計算之。

616. 用石油30克以代水，問溫度升高若干度？

617. 火焰的高熱不能用溫度計測量，取黃銅錘P，置於火焰上，再投入200立方釐米的水內，若水的溫度增加36度，則其所傳的熱量為 $0.2 \times 36 = 7.2$ 卡，100克的黃銅每加熱1度，須吸收熱量0.009卡，故以0.009除7.2，即得火焰的熱度為800度。

## 熔 解 和 凝 固

618. 物體繼續受熱，膨脹至分子移動甚遠，以致失却其間的固結性，固體因之熔化而成液體，熔化開始時的溫度，因物體的種類而異。

圖二三〇示燒瓶的口上，蓋以硬紙一塊，插四釘於其上，中插溫度計，浸入水中，四釘的下端，各懸一小石，石上分別黏附蜜蠟、硬脂、石

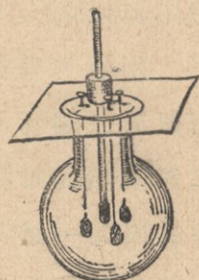


圖 二 三 〇

蠟及硫黃各黏附物體至若干溫度開始熔化？硫黃非至 140 度，不能熔化。

619. 在鋁筒內將蠟燭的硬脂熔化，任其冷卻，當其正開始凝固硬化時，測其溫度，以此時溫度與熔化時的溫度相比較。

620. 向藥房中購取定影鹽（即次亞硫酸鈉）10 克，而熔化之。當其開始熔化時，應測溫一次，待大部分已熔化時，再測一次。此後，雖繼續加熱，而溫度並不增高，蓋熱用以疎散分子間的聯絡，而非昇高溫度。非至全部熔化後，溫度決不突然增加，但溫度計在 100 度以上，即有破裂之慮，須注意。

621. 我們將火焰移去後，令溫度計仍浸入定影鹽中，任其安置。最堪驚異者，液體的溫度降至溶點以下，而仍不凝固，因我們意想凝點當與熔點相同，置器於冷水中，亦不凝固。

但屆時我們如加入少許未曾熔化的定影鹽結晶體於冷液中，則該鹽在轉瞬間即行凝固，有如已忘其原狀，必待其晶體以促醒者。當其正在凝固時，以手觸之，覺得如何？其溫度的增加，我們可以假定解釋之，即凡熔化的物體，凝固之前，必須將其在熔化時所吸收的熱，全部放出。

622. 在前實驗中，如用玻管在器邊略攪動，亦能產生結晶體或凝固體。

623. 冰的熔化，需熱甚大。取乾燥的冰 50 克（用布揩乾）投入 50 克的沸水中，再計算混合體的溫度如下：

冰 50 克在 0 時含..... 0 卡，

水 50 克在  $100^{\circ}$  時含.....5.0卡,

待冰完全熔化成水時,

水 100 克共含.....5.0卡,

則水 50 克含.....2.5卡.

因 2.5 卡的熱可使 1 立方分米的水升高  $2.5^{\circ}$ , 亦即能使 50 克的水(50 克為 1 立方分米的  $\frac{1}{20}$ )溫度較此數增加 20 倍, 即  $50^{\circ}$  是此數值與我們的觀察符合否? 結果決非如此, 水內尚含有若干卡? 其他的卡已顯然消失, 必被冰的溶解所耗費, 每立方分米的水, 在結冰時, 再放出熔解熱, 多至 80 卡.

**624.** 糖及食鹽溶解時, 因分子間分散, 亦耗費若干的熱, 燒瓶內盛水, 使 100 克食鹽溶於其中, 試在溶解前後各測溫一次.

625. 如以硝石(硝酸鉀)代替上述的食鹽, 則溫度降落更巨, 試以試管 Q 實驗之.

**626.** 熔化及溶解同時發生時, 溫度的減低特大, 在玻筒 V 中置雪三份, 食鹽或硝石一份, 則雪熔化成水, 而食鹽溶於雪水中, 其溫度降低至若何程度?

**627.** 以鋁筒盛水, 置於上述寒冷混合液中, 即可製成人造冰.

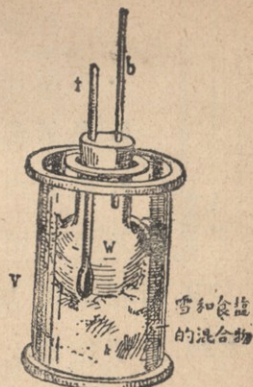
628. 將硝石溶解於酒精燈容器中, 而置於潮溼的桌上, 雖在酷暑, 亦能凍結於桌上.

**629.** 將石蠟或硬脂熔化於杯中, 未曾熔化的石蠟或硬脂片, 在其中是沈還是浮? 此極易說明, 因液體已膨脹, 比重較固體為輕, 故未曾熔化的石蠟或硬脂下沈.



630. 但以冰作同樣實驗，則冰浮於水面上。此為水的特殊行為，頗堪驚異。因水凝固時，其質量不但不加重，且反減輕，是故冰浮於水上。

631. 水不但有上述的特殊情形，且將近凝點時，膨脹亦頗不規則。我們將膠皮塞緊蓋於燒瓶 W 口，塞上插氣壓計玻管 b 及溫度計，瓶內盛水至邊緣，水曾沸過，已將內部的空氣全部驅出，使少許的水昇入玻管內（圖二三一）。待瓶內水的溫度降至  $10^{\circ}$  或竟至  $0^{\circ}$  時，吾人嚴密注意玻管中水柱的高度。最好將此高度與溫度計上的示度，時時互相比較，並畫成一圖表。可見水的密度最大時，適在  $4^{\circ}$  的時候，此後更冷下，則水柱不再收縮，反而開始膨脹。



圖二三一

何以深的湖水，其溫度降至  $4^{\circ}$ ，而結冰的區域，只及於湖面？此事實對於水棲動物甚為重要。

632. 水的不規則凝固，可以使多孔的岩石崩裂，致成粉碎。試將粉筆浸於水中若干時，取出露於霜上，以實驗之。

## 沸 騰

633. 水在燒瓶內漸漸加熱時，留心觀察所發生的諸現象。下列諸連續的變化，各發生於何溫度？

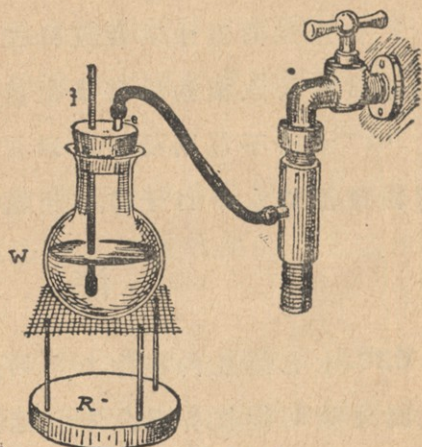
1. 瓶的外壁附有露滴。

2. 露滴消失.
3. 瓶的內壁發生露滴.
4. 內壁的露滴又消失.
5. 自水中發出空氣泡.
6. 有輕微的霧由瓶口上昇.
7. 水略作鳴聲.
8. 蒸氣泡上昇至水面.
9. 蒸氣由瓶口逸出,於是水乃沸騰.

沸騰乃由液體狀態迅速變成蒸氣或氣體狀態時的現象  
水約在攝氏 100 度時沸騰.

634. 上項盛沸水的燒瓶上加雙孔膠皮塞  $v$ , 插入溫度計及連有膠皮管的開口玻管. 試將膠皮管夾住片刻, 不使蒸氣逸出, 則瓶內發生若何現象? 水面上有蒸氣的壓力後, 沸騰立即停止, 溫度計則上昇至 100 度以上.

635. 壓力增加既能阻礙沸騰, 則壓力減少必能促進沸騰. 將上述的導管接於噴水唧筒上 (圖二三二), 使瓶內的壓力減少, 同時將酒精燈一度移去, 此時溫度雖然下降, 而水立即沸騰. 問至何溫度則沸騰停止? 溫度所以下降, 是因為自水



圖二三二

中吸去沸騰所需的熱。

636. 圖二三三的裝置,可用以測量空氣抽出後,氣壓逐漸減低,而在各種低氣壓下的沸點溫度,將所得結果,畫成一圖表。

637. 山上因氣壓較低,故沸點亦低,我們如何利用溫度計以測定山的高度?取二玻管,盛生蛋白,兩端均用木棉團塞住,使不致外溢,取其一管置水中,

漸漸加熱,使水沸騰,則蛋白在一定溫度內,開始凝固。

638. 照實驗 636, 將氣壓減低,使水在 $80^{\circ}$ 時沸騰,再用其他一玻管置於水中,問蛋白凝固否?故在極高的山上,不能將肉類等煮熟,此時祇須將壓力加大,則沸點亦增高。

639. 食鹽的濃溶液在何溫度始行沸騰?(以30克食鹽溶於100立方釐米水中)。

640. 酒精在何溫度沸騰?試取試管一支,裝酒精高約2釐米餘,中置溫度計,投沸水內實驗之。

各種液體的沸點,略舉如下:

以脫(醚).....	$36^{\circ}$	亞麻仁油.....	$316^{\circ}$
揮發油.....	$60^{\circ}$ 至 $80^{\circ}$	水銀.....	$360^{\circ}$

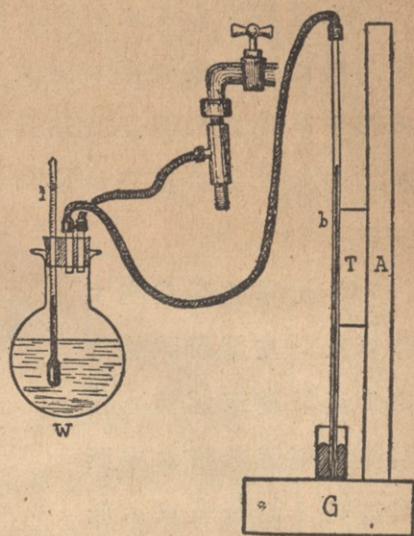
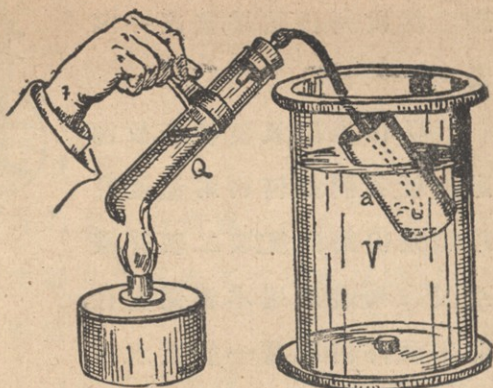


圖 二 三 三

641. 置 10 立方釐米的水於鋁筒 a 中，以火加熱，測量熱至百度的時間。其後雖繼續加熱，溫度不再增加，僅使水蒸發。水熱至沸騰需時幾何？又至蒸發完結，需時幾何？（但切勿將空玻璃器熱之過久）完全蒸發所需的時間約為加熱至  $100^{\circ}$  時所需的五倍。

642. 用單孔膠皮塞 y、導管及膠皮管，將試管內的水蒸氣導至鋁筒 a，但鋁筒必須置於冷水中。蒸氣因受冷而凝結成水。此即所謂凝結是也（圖二三四）。

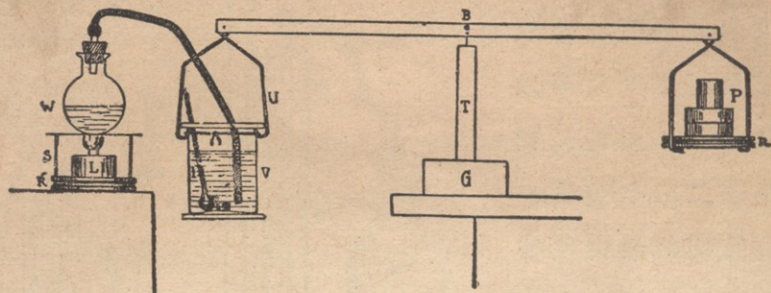


圖二三四

643. 我們亦可將燒瓶的水蒸氣導入試管內，試管的一部分須置冷水。當此工作進行時，何以有噪聲發出？試解釋之。試管內的冷水不久即成熱水，因水蒸氣攜帶不少熱量，此熱量係由液體化成氣體時所吸收者。以下的實驗，用以測量 5 立方釐米的水，在蒸發時所吸收的熱量。

644. 用燒瓶、瓶塞、導管及膠皮管裝成一蒸氣發生器，置於三腳架上。其旁架一天平。天平的一臂懸玻璃筒 V，內盛冷水 100 克，並插有溫度計；他臂上加砝碼，使其平衡，外加五克於其上。乃導水蒸氣於冷水內，直至有 5 克的水，已由水蒸氣凝結而成為止。及超過五克後，天平當然亦立即向左邊傾斜。現測量冷水最

後的溫度，並計算水蒸氣凝結時所放出的熱量（圖二三五）。



圖二三五

例如：冷水的最初溫度為 $15^{\circ}$ ，最後溫度為 $44^{\circ}$ ，

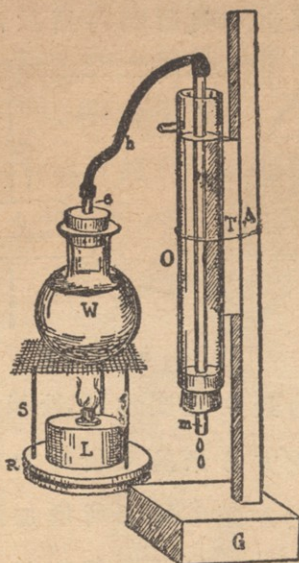
則0.1立方分米的水所增加的熱度為 $29^{\circ}$ ，

1立方分米的水所增加熱度為 $2.9^{\circ}$

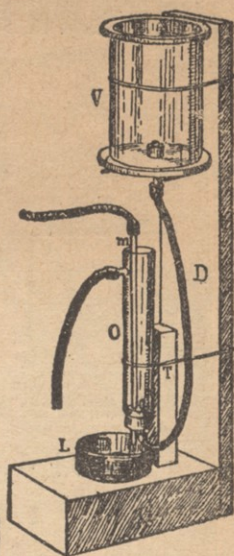
所以5克的水蒸氣所攜帶的熱量為2.9卡如更欲精確，則應注意到由蒸氣凝成的 $100^{\circ}$ 的水5克，降至 $40^{\circ}$ ，則放出的熱為 $0.005 \times 60 = 0.3$ 卡。5克蒸氣中其餘的2.6卡，即一仟克蒸氣中有520卡，為代表蒸發時所吸收，變為液體時所重行放出的熱量。汽化熱最正確的數值，每仟克為539卡。

**645.** 燒瓶內盛水，並加入泥沙一撮，食鹽及墨水各少許，然後將其蒸發，在試管中凝結之。圖二三六示水蒸氣的冷卻裝置。O內盛冷水，當蒸氣通過時，遇冷而液化，將所凝結的液體收集起來，細察其顏色、水味，與前迥然不同，可見其雖係不淨的溶液所化成，然一經蒸發後，毫不含泥、食鹽及墨水等物質。此足證明蒸餾水不能攜帶此種固體。故凡用此種蒸餾法，取得的水，能不含以前溶液內所有的雜質。

646. 用以冷却蒸氣的冷水,常因吸收蒸氣的熱量而溫度增高,以致失去其功用,所以我們照圖二三七,裝成一冷却管使冷水由玻管的下端流入,而由上端側管流出,如此,則蒸氣經黃銅管自上流下時,先遇稍溫的水,至管之下部則完全凝結,冷却管的水流,以一簧夾調節之



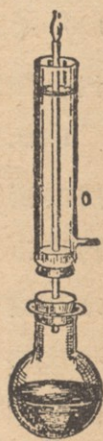
圖二三六



圖二三七

647. 酒精30立方釐米,用兩倍的水攪淡後,即用燈芯亦不燃燒,今用以前的蒸餾法,將混合液蒸餾,最好在蒸餾器中插一溫度計,在 $82^{\circ}$ 前所得的蒸餾液為第一批,於 $95^{\circ}$ 前所得者為第二批,分盛於二玻璃器中,將此二液先後用燈芯燃燒,以試其燃力,則第一批所得的能燃燒,證明與純粹酒精無異,可回入酒精瓶中;第二批則不能燃燒,純為清水,凡沸點不同的數種液體混合後,均可用蒸餾方法分析之。(酒精的沸點 $78^{\circ}$ ,水的沸點 $100^{\circ}$ )

648. 圖二三八係示一回流冷却器,所謂回流冷却器者,即液體於其中蒸發時,此器能將其蒸氣液化而



圖二三八

仍令回入液槽中。今我們用水與酒精的混合液蒸發時，則水蒸氣被凝結後，回入蒸發器中，而酒精蒸氣則仍能由冷却管而外出，我們可於管口點火以燃之。

649. 用上述方法，將含有多量酒精的溶液，如燒酒等蒸發時，可將酒精析出，如在管口點火，亦能燃燒，為一極有趣味的實驗。

650. 酒精成分高的飲料，亦係蒸餾而得，惟其法則並不如前所述者。所含酒精，係由適當的液體發酵而成，此項液體內須含有百分之幾的糖質。

## 蒸 氣 機

651. 水化氣時所占據的空間，約為原體積的 1700 倍。如蒸氣被封閉，則必向容器的四周外壓，其結果能將容器衝破。在鋁筒 a 中置水少許，上插入活塞（其孔須先行填塞），活塞與黃銅管相接，黃銅管則插入膠皮塞 u 的大孔內，以便自由上下。此外，膠皮塞鋁筒如何縛於木柱，悉照圖二三九左所示。若我們在筒下舉火熱水，則活

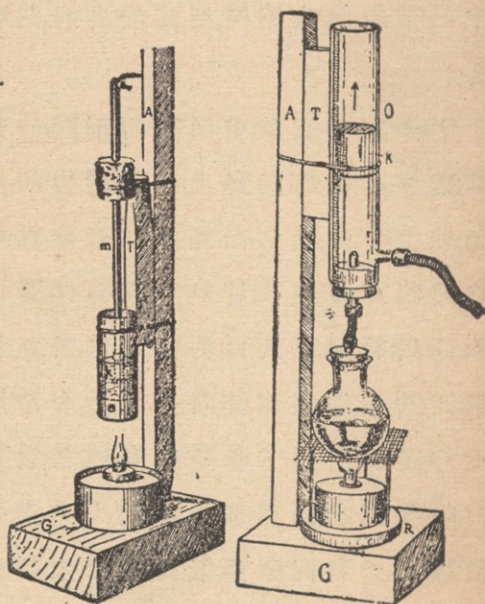


圖 二 三 九

塞上升，火停則又下降。

652. 若將發生蒸氣部分和圓筒分別裝置，則更為靈敏，所用的活塞，如實驗 400。且二膠皮管必須附以彈簧夾，使之交互閉閉。進氣門切勿關閉過久，蓋蒸氣除此管外，並無其他出路（圖二三九右）。

653. 最好先構成一保險活瓣，助此工作，可插一玻璃管。於雙孔膠皮塞  $v$  的另一孔中，將光邊向上，用一小木塞，貫以支持針，令針的大部分插入玻璃管內，而掛在木塞上，小木塞及玻璃管口之間或須襯以薄膠皮（可用輪內的氣胎），支持針的上部加一螺旋銅圓管  $X$  或其他重物，此負荷的重量須試得之，圓筒的進汽門久閉後，活瓣能自行開啓，但活塞運動時，須仍舊閉合。

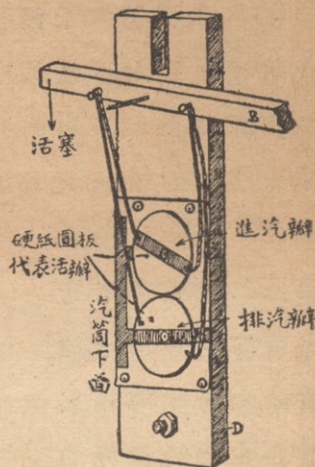
654. 在前實驗中，活塞的下降，一方面果因重量的關係，而尤其重要者，則為活塞上空氣壓力的作用，蓋蒸氣將活塞頂上後，即在玻管內液化，如是則玻管幾成真空，我們為使此液化作用迅速起見，可將玻管  $O$  下端的側管與冷水槽  $V$  相連， $V$  的地位，須高出於蒸氣入口約數毫米，於是將側管夾住，當活塞上昇至最高點後，即將側管略一開放，令冷水一二滴入內，則筒內蒸氣立即凝固，活塞下降的運動，因之益覺有力。

655. 最初的蒸氣機亦如上述模型，用以運動唧筒，據說有一個專司交替開關蒸氣門及冷水管的兒童，發明以繩將此等活瓣與唧筒的橫桿連結，可使機器自行開閉，今我們照圖二四〇



的裝置，製成一模型，與該孩所發明者同樣靈活。當橫桿的一端上昇時，必有一活瓣開啓而他活瓣關閉，反之，他端上昇時，則他活瓣開啓，而一活瓣關閉。當初的蒸氣機，均採用此種方法以動作。

656. 其後的蒸氣機，依照瓦特氏的裝置，交互導入蒸氣於活塞的上方和下方。此種蒸氣的轉換，係由滑瓣司之。活塞的前後運動，用連桿及曲柄，變成迴轉運動，更裝以有相當重要的重飛輪，分配蒸氣的滑瓣，由偏心輪運轉。

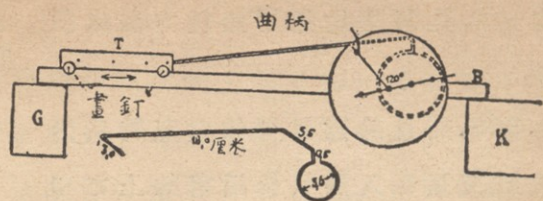


圖二四〇

在裝配蒸氣機的活瓣模型以前，我們應熟悉各部分的構造。先從連桿講起。木滑輪 R 的軸，固定於木箱的側壁上。另於滑輪的側孔中插一支持針，以作曲柄；並穿入槓桿 B 的末孔中。當滑輪轉動時，槓桿的他端必往來移動於桌上。因之迴轉運動，已變為前後往復運動。在蒸氣機中，則反是，B 槓桿的往復運動，使滑輪為迴轉運動。但我們不能便說已完全成功。因曲柄達最遠一點時，迴轉運動必歸於停頓，即所謂死點是。

657. 為助曲柄通過死點起見，蒸氣機上所以必須裝一重飛輪。我們可以用二重鐵錘  $P_1$ 、 $P_2$  固定於滑輪的背面，以作飛輪，因其動量甚大，即能使曲柄得以通過死點。

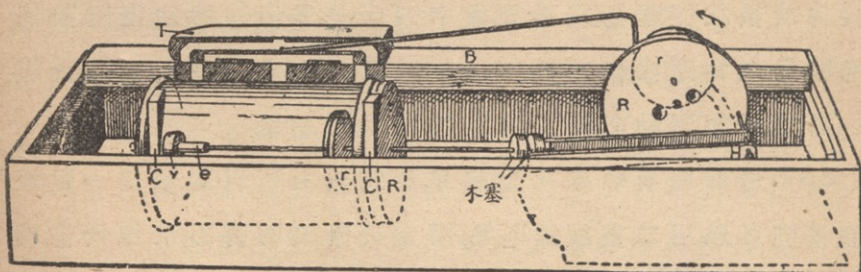
658. 今再將大小滑輪各一，連結一起連接結的方法，為用一公共軸通過大滑輪的中心孔及小滑輪的側孔，而小滑輪的中心孔適貼在大滑輪側孔上，以火柴插穿過此二孔，因之，我們可得一偏心輪。用一硬金屬絲（直徑約  $1\frac{1}{2}$  毫米者）一端彎成環形，令吻合小滑輪的槽，他端長二十五釐米，彎成圖二四一所示的形狀。大滑輪的軸與偏心輪插於槓桿的



圖二四一

第四孔上，使小偏心輪接近槓桿。大滑輪用曲柄針轉動之，則金屬絲推動短木柱 T，作往復移動，與實驗 656 相同。於 T 的近下緣處，揷圖釘四枚以防其向側面滑下。用偏心輪的優點，是他的迴轉，不若曲柄軸的會受到阻礙而中斷。

659. 今我們可以裝置一蒸氣機滑瓣的模型而毫無困難了。（圖二四二）木箱上半 K，即為此目的而預備。玻璃筒 V 代表汽筒，木滑輪 R 為其前蓋。玻璃筒的底孔加以單孔膠皮塞 y，膠皮塞



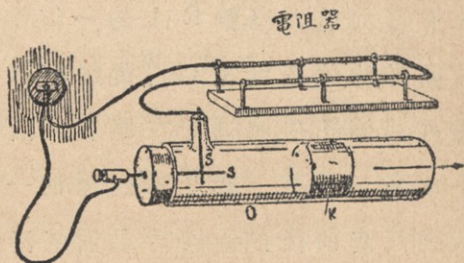
圖二四二

中插一短玻管，以編織針一枚通過此管及滑輪的中央孔，權作活塞柄，針上附一小滑輪（在玻筒內）以作活塞。木楔 C 係用以固定玻筒及滑輪 R 的位置。於是再如以上的實驗，裝成偏心運動，將書後圖版 III 裏面滑瓣紙條的上半截剪下，貼於短木柱 T 的側面（即向木箱內部的一面），仍用圖畫釘以引導 T 的移動。次將該圖的下半截，貼於負載滑瓣的槓桿上。飛輪及偏心輪的公共軸，固定於 B 的第四孔。連接偏心輪及滑瓣間的連桿仍裝置如前。大滑輪 R 上的一釘，作曲柄，其地位必須較偏心輪最前進的位置退後  $120^\circ$ 。黃銅夾 H 的一端（右端），以曲柄針插入其側孔中，他端（左端）與活塞柄相連。其連接法，係利用小木塞二個，其一在 H 的內面，他一則在 H 的外面。今若轉動曲柄，則活塞前後移動，同時上面的滑動木塊 T 亦作短距離的進退移動。圖版 III 的滑動活瓣的下半部，示蒸氣的通路，極為明晰，引導蒸氣入玻筒的前端及後端。其中部用為廢汽的出路。當偏心輪正立在公共軸上時，此紙條宜貼在 B 上，使與 T 上的紙條相合。今我們漸漸轉動曲柄，並研究活塞與滑瓣的交換動作的情形。每當活塞達於一邊時，滑瓣移動特速，將一邊的入汽門啓開，使蒸氣流入，同時又將他邊的排汽門啓開，以使廢汽排出。

## 石油發動機

660. 蒸氣的體積，較水膨大 1700 倍，蒸氣機的原動力，完全由此而來。今石油（或揮發油）發動機，則係利用爆發氣體的能

力當氣油的蒸氣與空氣混合後，遇熱爆發，其所占體積，較燃燒時為尤大，如將此混合氣體用一活塞封閉於試管中，則爆發時所生的能力，可將活塞衝出。氣油的此種動力，可照圖二四三來說明。具有側管的玻璃管 O 中，有唧筒活塞 k，將其外層剝去少許，使在玻管中略一傾側，活塞即能滑動為止。玻管近側管的一端，用膠皮塞緊塞，再用木棉及紙，使保持氣密，然後用支持針 S<sub>1</sub> 穿過膠皮塞，次用尖端玻管 i，自側管滴入氣油（或安息油）數滴於玻管內，同時吹入空氣少許。此混合氣體可由電火花使其爆發，其電流可取自電燈的壁上插頭中，使插頭的一極與支持針 S<sub>1</sub> 直接相連。電流中，必須加一電阻器



圖二四三

（可從本儀器第三組中借用），否則易於發生危險。電線插入插頭後，切不可與之接觸。另一極可與電阻器相連接。線端亦繫有支持針 S<sub>2</sub>，插於短木柱 T，以便執持。今將 S<sub>2</sub> 由側管插入玻管中，令與塞上的 S<sub>1</sub> 相摩擦，即發火花，於是氣油混合物立即着火，活塞因之向前飛出。此實驗可連作數次，不必再加油。

661. 若於氣體在發光前壓縮至極小地位，則其爆發力愈大。故石油發動機的動作，有四衝程，其情形如圖二四四所示。

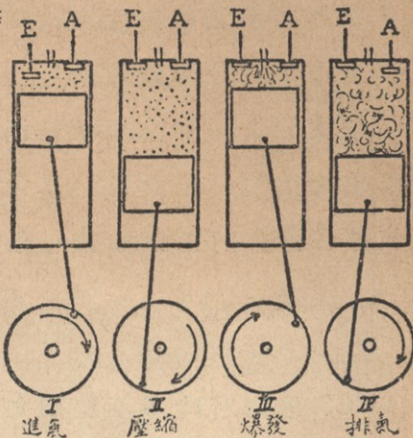
I. 活塞第一次向上移動（在圖中向下），進氣瓣已開啓，來自揮化器的空氣及氣油蒸氣，即由此門流入，充滿氣筒。

II. 活塞向下退回時,二活瓣均閉合,混合氣體被壓縮.

III. 活塞第二次開始向上運動時,二電線間發生火花,活塞被推出.

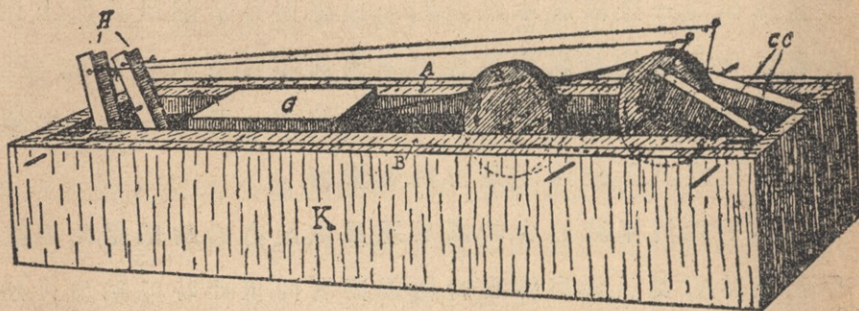
IV. 活塞第二次退回,排氣瓣開啓,爆發過的氣體,由此排出.

曲柄每轉動二次,進氣及排氣二瓣各開啓一次,所以他們由同一的軸運轉,其速度適爲曲柄軸之半.



圖二四四

662. 圖二四五示以上活瓣的精巧模型. 臺板 G 權作活塞, 另以鐵絲彎成曲柄軸, 以轉動代表飛輪的木滑輪 R<sub>1</sub>, 並由同軸的小滑輪, 使第二滑輪 R<sub>2</sub> 的轉動速度適爲一半. 在 R<sub>2</sub> 中插火柴數枚, 彼此相隔爲圓周的四分之一, 交互舉起左右二木楔 C. 二木楔上各插有一堅固的針, 針端以二線與二黃銅夾 H 相連, 而二



圖二四五

且則裝在木箱的對面，支持於二橫針上，當飛輪  $R_1$  轉動時，木楔交互上下，於是牽動黃銅夾或活瓣桿，活瓣則假定與此二桿連結。惟實際上則飛輪的軸與活瓣軸中間必須裝以齒輪，俾轉動正確，否則如用線段司之，不免有不規則之處。然我們得實驗此模型各部分的動作，亦感有相當的興趣。

## 蒸 發

**663.** 液體有時雖不特別加熱，在蒸發時，亦化成氣體。取吸墨水紙三條，分別浸於水、酒精及揮發油中，任其懸置空中。何者乾燥最快？何者最慢？故溫度雖甚低，而液體仍能蒸發為氣體。惟蒸發的遲速，須視其沸點而定，沸點低者蒸發快，否則較慢。

**664.** 蒸發與液體的空氣接觸面積，殊有關係。試分置石油各二立方釐米於箱蓋及試管中，均曝於窗口，則此二等量液體的蒸發時間，各為多少？

**665.** 我們為明瞭熱對於蒸發的影響起見，可用碟二隻，各盛等量揮發油，一碟置於冷鐵錘  $P_1$  上，他碟則置於熱鐵錘  $P_2$  上。但揮發油極易燃燒，於瓶蓋開啓時，室內切不可有火焰存在。

**666.** 用相同的碟二隻，均盛揮發油，將其一碟用一紙扇之，使通風，並注意其蒸發速度，是否受着影響。

**667.** 手指沾揮發油少許，置於通風處，則有冷的感覺，此因液體蒸發時，需要熱量，與沸騰時所需要者同；但此時並無如火焰等熱源，故不得不由我們指上吸收。用水亦可得同樣的冷却感。

覺。

668. 我們如欲用溫度計測量蒸發時的冷卻,可於鋁筒 a 內盛水及半,上插膠皮塞及溫度計,筒的下半部包以硬吸水紙,可用膠皮圈套住,在酒精燈容器內,預備些水,待溫度計的水銀柱停止時,將筒浸於此水槽中,水滲入吸水紙,開始蒸發,故必自筒內吸收在此過程中所需要的熱量,此時溫度計的示度如何?

酒精燈容器內,如置揮發性的液體如酒精,揮發油,以脫等以代替水實驗時,則所發生的現象,更為顯著。

669. 鋁筒 a 內盛以脫,上插膠皮塞及導管,以噴水(真空)唧筒與導管相連時,則以脫的蒸氣自筒內吸出,而此時因蒸發所生的冷卻,至為劇烈,如將杯浸於水中,則杯的四周,可完全被冰包圍,製人造冰所用的機器,即應用此原理造成。

因蒸發的結果,空氣中常含有若干水分,此水分溶解於空氣,猶如固形的鹽溶解於水中一樣,為比較起見,用此種鹽作一實驗,頗有興趣。

670. 100 立方釐米的水於  $20^{\circ}$  時,可溶硝石 31 克,此時其溶液已經飽和,但加熱至  $40^{\circ}$  時,其溶解力即增高,可再加 33 克,至沸騰時,其溶解量竟可達 200 克以上,溶液一經冷卻後,則此過多的分量亦即沈澱析出,我們試將 100 克的硝石溶於沸水 100 立方釐米中,使之冷卻,並用溫度計測其開始沈澱或結晶於底時的溫度,溶液內如含有尚未溶解的鹽,則已達飽和狀態無疑。

671. 空氣亦同樣能溶解水分而成飽和,溫度愈高,則溶解的

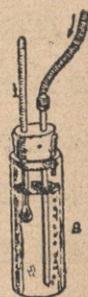
水量亦愈大，停滯在水面上的空氣，常儘量吸收水分，故必飽和。試管內盛水高約 1 釐米，上蓋以塞，則管內空氣立即飽和，如用冷水在外邊冷卻之，則發生何種現象？

672. 以上試管內面所生的露，可將管加熱而除去，因熱空氣能含的水分較冷空氣所含者尤多。試實驗之。

下表示一立方分米的空氣在各種溫度中能含的水量。

-10°.....	2.37 克	20 .....	17.16 克
0 .....	4.84 克	22 .....	19.25 克
+ 2 .....	5.55 克	24 .....	21.57 克
4 .....	6.35 克	26 .....	24.13 克
6 .....	7.24 克	28 .....	26.96 克
8 .....	8.25 克	30 .....	30.08 克
10 .....	9.37 克	32 .....	33.49 克
12 .....	10.62 克	34 .....	37.24 克
14 .....	12.01 克	36 .....	41.35 克
16 .....	13.56 克	50 .....	82.42 克
18 .....	15.27 克		

673. 空氣飽和時，遇稍冷的物體，即有溼氣析出，若未達飽和時，則須在極冷的物體上，方有水滴現出。此種水滴的凝結在冷物體上，可作計算溼度時的指針，因之我們可裝置一測量溼度的器械。鋁筒上蓋膠皮塞，塞中插一附有膠皮管的玻管及一溫度計（圖二四六）。膠皮塞勿過緊，可插一火柴於塞與筒之間。筒內



圖二四六



盛以脫約至三分之二，由膠皮管吹入空氣，經過筒內，於是以脫即行蒸發而冷卻，溫度計因之下降，至某一溫度，筒的外壁如出汗的樣子，附有露滴，如欲更明顯，可用一針在筒旁摩擦，開始結露時的溫度，謂之露點，今假定此時適為 8 度，則由實驗 672 的表中，可知此溫度下的空氣，所含的水量，超過一定的數值（8.25 克）時，必將所超過者排出，所以我們室中的空氣，當含有 8.25 克的水量，此種露點裝置，可示空氣中水分的正確容量。

674. 若室中的溫度為 14°，照理應含水分 12.01 克，但如所含者只 8.2 克，則此時空氣必非飽和，我們將此時的水量與此溫度內所能含最大水量相比，謂之比溼，換言之，實驗 673 所示者祇絕對溼度而已。

於是可知，

於 14 度時，…………… 12.01 克 = 100%，

0.12 克 = 1%，

$$\therefore 8.25 \text{ 克} = \frac{8.25}{0.12} = 68.7\% \text{ 溼度.}$$

如以實驗 673 所示者為空氣的絕對溼度，而其時的溫度為 10°，則比溼多少？

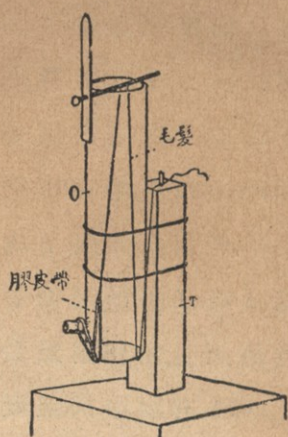
675. 空氣狀況與所能含蓄的水分相比，求得的正確係數，是為比較溼度，而非絕對溼度，換言之，此係數係示該時的空氣溼度，距飽和狀態的遠近若何，因此，製成一種特殊的器械，以測量此項比較溼度，其最著名者，當推梭蕭氏 (Saussure) 的毛髮溼度計，圖二四七即以棉紗代毛髮時的概況。

取針及紙條作一指示器，以線繞之，線的一端，用膠皮帶與玻管的側管相連，而他端則引至木柱 T，而繫於小釘上，如斯，線的長度起何變化，可由指示器的運動顯出。

676. 在玻管 O 的側管吹入潮溼空氣時，情形如何？指示器的運動，是由於線段的伸長，還是縮短？

677. 以火柴在玻管 O 下燒烘，使線段乾燥，而指示器向原來的地位運動，但火柴切勿太近，以免線段着火。

678. 實際測量的結果，線段的膨脹，往往參差不齊，故線段常代以人髮，或用若干條併成一根較粗的髮線，人髮愈軟愈佳，但使用前須除去其上的油脂，最好浸於揮發油或以脫中除去之。毛髮的膨脹，適與棉線相反，後者遇溼氣立即收縮，而前者於溼度增加時，反而伸長。

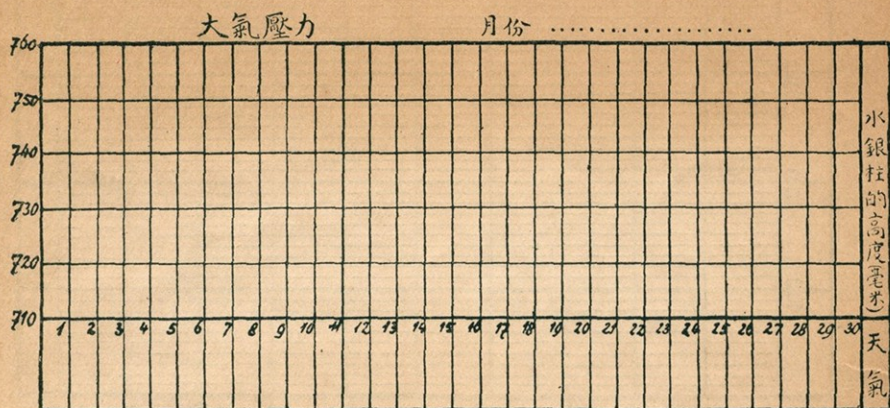


圖二四七

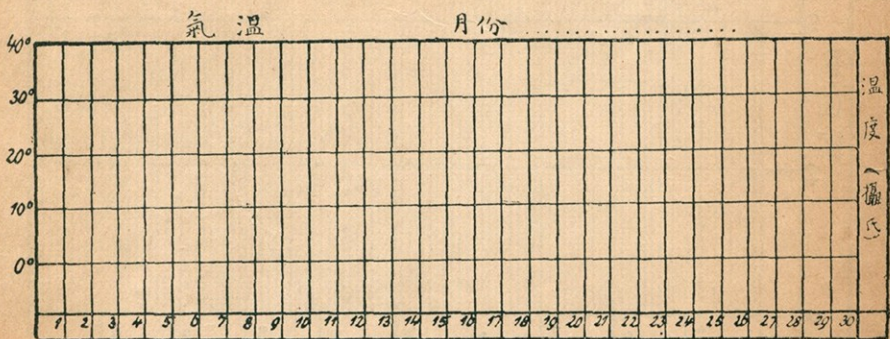
(完)



# 圖 版 I

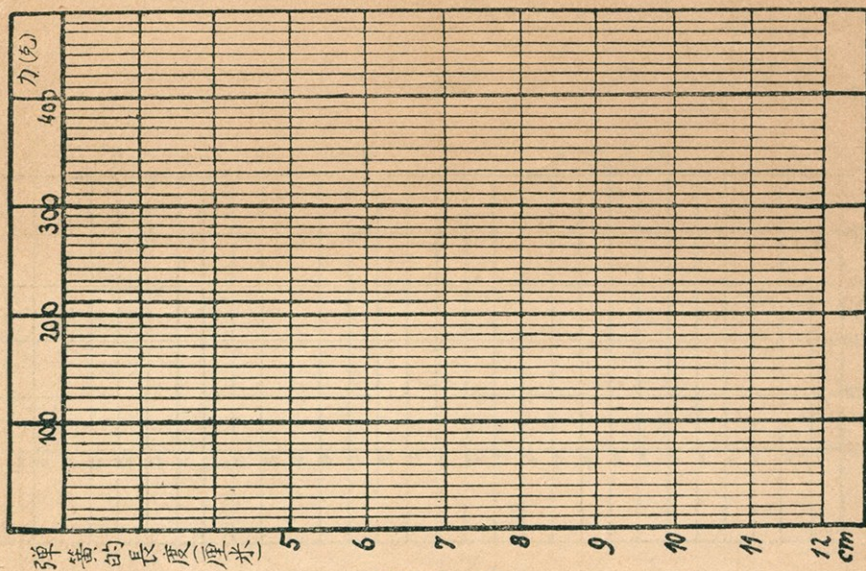


實驗 417

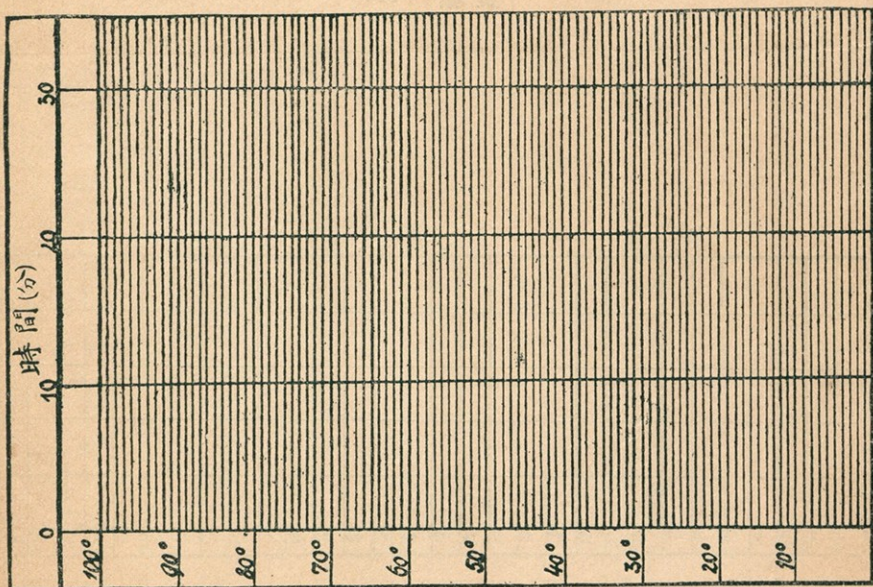


實驗 555

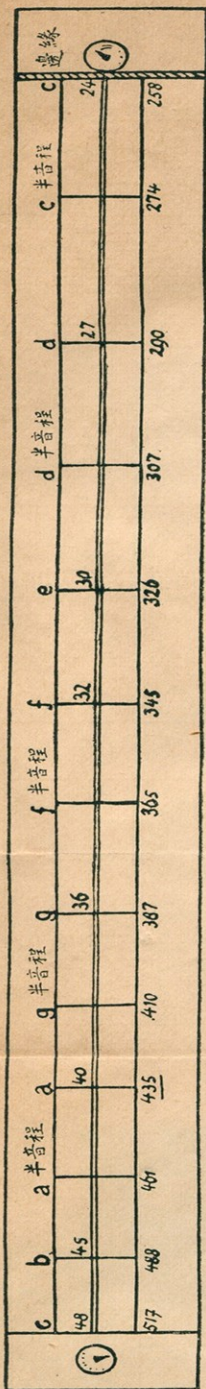
# 圖 版 II



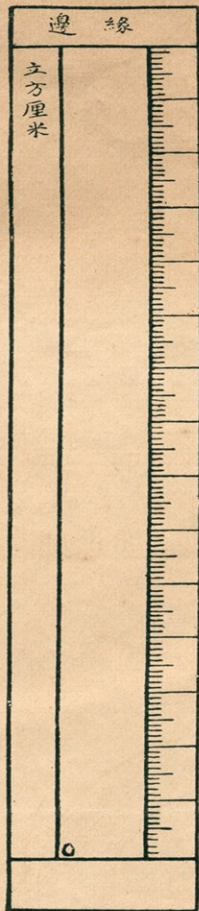
實驗 20



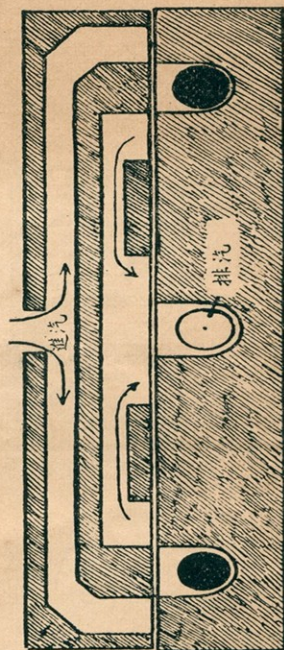
實驗 572, 594, 595



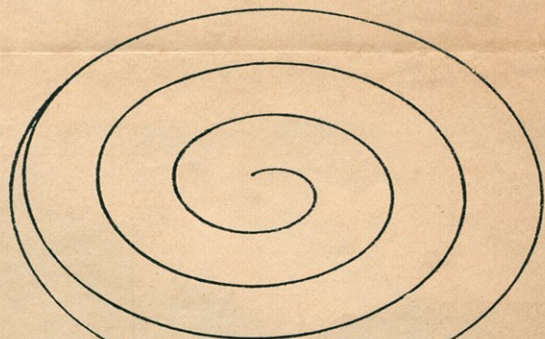
實驗 462



實驗 325



實驗 659



實驗 563

期 限 卡

Date Due

首借到期  
79.12.12

館 書 圖 學 大 治 政 立 國

著者 汪之良 書碼 530·34  
Author Call No. 131  
1.1

書名 理化普及儀器實驗法  
Title

登錄號碼  
Accession No. 213468

月日	借閱者	月日	借閱者
Date	Borrower's Name	Date	Borrower's Name
	張		
	張		

國立政治大學圖書館

530·34  
書碼 131  
1.1 登錄號碼 213468

