

物理游戯

物 理 遊 戲

錢 嘉 集 朱 夢 梅 譯 述

于 樹 樟 校 訂

商 務 印 書 館 發 行

幻方

可隨意製造。

各式均備。讀後即

二、圓、多角形、

點、線、面、體、

一册定價二角五分

行發館專

(1136)

Mechanics and Some of its

Applications

The Commercial Value of

All rights reserved

中華民國十四年九月初版

物理遊戲一册

(每册定價大洋叁角伍分)

埠外加運費隨費)

V. E. Johnson

錢嘉集
朱夢梅

于樹樟

商務印書館

上海北河南路北首寶山路

商務印書館

上海棋盤街中市

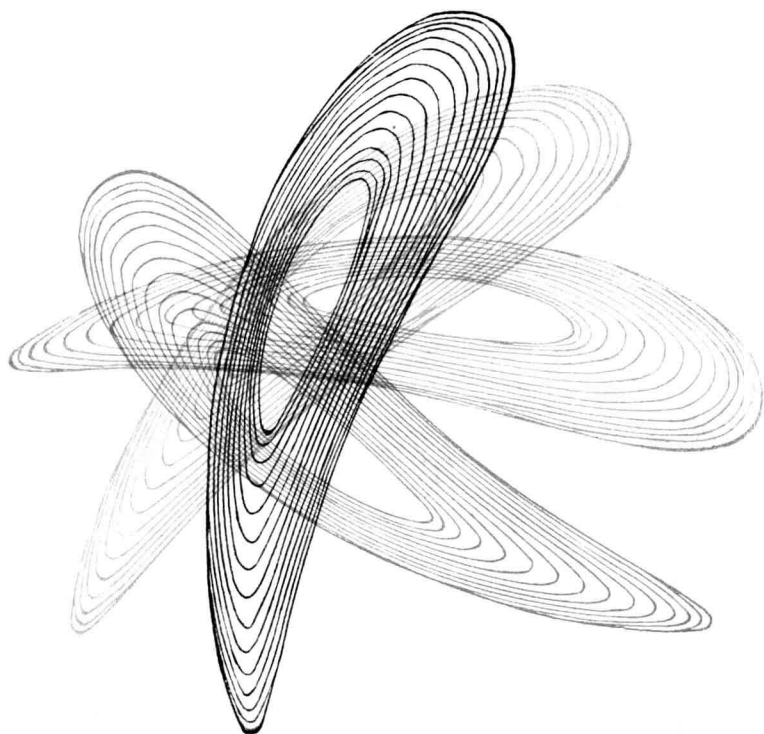
商務印書館

北京天津保定奉天吉林龍江
濟南太原開封鄭州西安南京
杭州蘭谿安慶蕪湖南昌漢口

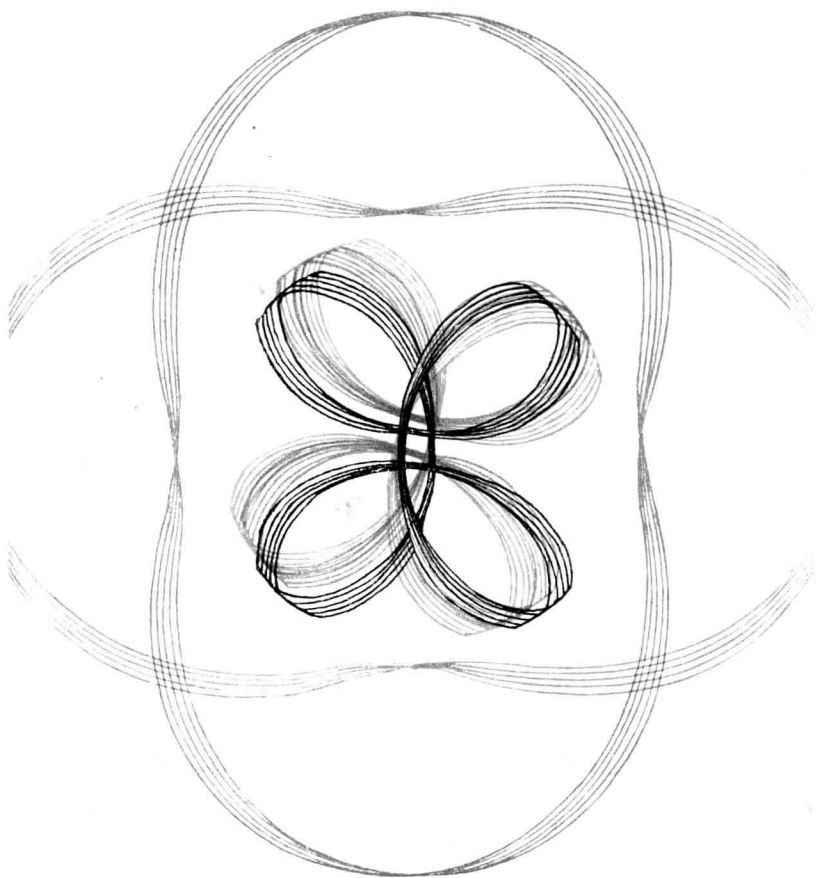
商務印書館分館

長沙常德衡州成都重慶瀘縣
福州廣州潮州香港梧州雲南
貴陽張家口新嘉坡

此書有著作權翻印必究



用繪圖機繪成(見第七章).此圖係用四種不同顏色之墨水
在四個不同之位置將同一之圖重覆而成.



兩圖之合圖,用四種不同顏色之墨水畫成.

序

遊戲爲人類之天性，孩提之童，知識未備，而獨富於遊戲性。因勢而利導之，化無益爲有益，此著作界之責也。今觀著作界之遊戲文字，如棋經，如詩鐘，如春燈謎語，是果爲有益之作品乎？日耗精神於無用之地，害且中之，益於何有？等而下之，有若麻雀之譜，有若撲克之經，有若花天酒地之門徑書，言其益耶，久久不能僂一指，言其害耶，舉千萬人之指而次第僂之，且猶不勝其僂也。畏友朱君夢梅怒焉傷之，思有以救其弊，商諸錢君嘉集，表情蓋同，因合譯物理遊戲一書，都九章：曰物性，曰比重，曰重心，曰抽陀螺及旋轉動力學，曰旋迴機，曰曲木標，曰繪圖機，曰擺，曰連接物及放大尺。是書所論，不踰力學範圍。旋迴機適用於海舶飛行機單軌鐵道，爲鎮定顛簸之要具。曲木標爲古代之弋器，遙擲飛鳥，鳥殫而標能自回至擲者手中，製甚簡單易驗。繪圖機能自繪算學上合式之圖，且所繪各圖無一重複，如萬花筲之瞬息變換。譯筆明白曉暢。普通國民讀之，均能了解。以深邃之科學，作極有興趣之遊戲，遊戲至是，乃有價值可言。嗟夫！孟氏兒嬉戲俎豆，卒成亞聖，賈人

子嬉戲鏡片，遂成望遠鏡之發明家，遊戲之足重也如此。二君
迻譯斯編，庶幾得其旨矣。書成，索序於余，余文不足爲二君
重，姑述所感，以告世之好言無益遊戲者。

民國十有二年國恥紀念後五日程瞻廬序

例 言

本書所論，不踰力學範圍。計實驗九十五節，插圖八十九幅。第四、第五、第六、第七、第九各章，多為平常物理教科書所未論及者。中學教員教授理化學之際，若於本書中採取新教材，教學時增加興趣不少。

本書各節，大半由譯者一一實驗。如第五章論旋迴機，第六章論曲木標，學理既新，變幻奇妙。閱者倘於學校開遊藝會或他種集會時，任擇數種實驗，不特能博觀者歡迎，亦可藉此灌輸人民科學知識。

本書第五章論旋迴機奧義最多。閱者苟明其理，可使航行海洋之船舶穩渡驚風駭浪中，可顯明地球正北之方位、及其自轉之原理，可使火車在單軌鐵道上行駛，可使天空之飛機穩定，應用無窮。即將本章各節，一一實驗之，亦頗饒奇趣。

第七章所論之繪圖機，閱者若能如圖製成一具，可繪新式圖畫數千萬種，殊有益於畫師及工廠。凡書局儀器店等倘能製成出售，必為學界所歡迎。

末章所論各種放大尺亦可按圖自製。無論何種圖畫，苟

備此尺，即可將原圖放大或縮小。

力學一門最爲深奧，故學生研究時，恆覺枯燥無味。本書所列各實驗，簡單易行，且說理明暢，中學學生及普通人士讀之，可增進物理知識不鮮。

物理遊戲目錄

第一章	物性學	1
第二章	比重	9
第三章	重心	18
第四章	抽陀螺及旋轉動力學	28
第五章	旋迴機	43
第六章	曲木標	61
第七章	繪圖機	70
第八章	擺	90
第九章	連接物及放大尺	101

物 理 遊 戲

第一章 物性學

凡物能占據空間者，皆曰物質。物質不一，爲我人視覺、意覺、聽覺、味覺、鼻覺所感觸者，皆爲物質。物質恆占一定之空間。譬如取一磚置於桌上，不能再以墨水瓶或他物占其同一地位；必先取去此磚，然後可以他物侵占其位置。下述類似此事之實驗甚多，可以證明其理。蓋兩物在同一時間不能占同一空間，在物理學上謂之不可入性。此性無論固體、液體、氣體、莫不如是。由表面觀察，有若干實驗似與上述定理完全反對；如木柱在空間必須占一地位，既爲不可入性，何以用鐵釘可擊入之？且釘頭既入木面，以槌連擊，則鐵釘深入木中，豈非顯背此理。人或疑物質不可入性之不確，實則木之分子被鐵釘壓迫，退居旁側以避之，非鐵釘真能入木也。鐵釘之所入者，乃木中之空間耳。故木質愈堅固細密，鐵釘愈不能深入，其理甚明。以下諸實驗似與上述定理不符，然物質之有不可入性固顯而易見也。

實驗 1. 用大玻璃杯一，滿盛酒精，再將比酒精體積大數

倍之羊毛絨塞入杯中，而酒精並不外溢。但此實驗須注意爲之，羊毛絨塞入宜緩不宜急，如圖 1。



圖 1.

實驗 2. 取玻璃燒瓶一，或玻璃杯一，滿盛清水。再取磨細之白糖若干，徐徐傾入水中（由此實驗可察知水中氣泡從傾入之糖粒旁側上升，蓋白糖所佔據者，非水之地位，乃驅逐水中含有之氣質而占其地位耳）。水中氣泡上升而糖溶化，用此方法，可加入多量之白糖，而不見水外溢，水之全體亦不上升，如圖 2。



圖 2.

實驗 3. 取玻璃量杯一，傾入清水至第五格，再傾入同量之酒精。酒精中可先加紅色之靛油少許，使酒精染成紅色，容易與水辨別。傾入酒精時，可從漏斗或玻管之上口徐徐沿邊而下，使漏斗或玻管之下口恰在水面之上；如此則水與酒精，輕者在上，重者在下，並不混雜。酒精與水適得十格，下五

格爲無色之清水，上五格爲紅色之酒精。再用玻棒緩緩攪和之，則熱度漸升，而水與酒精混合，是一是二，不能辨明。待其冷後，全體之清水及酒精忽減少不及十格，約得九格零四分之三。

實驗 4. 用玻璃器三隻(燒瓶、或高脚玻杯、酒杯均可，如圖 3)，甲瓶滿盛石子，乙瓶滿盛油菜子或他種植物之子或同體積之任何物均可，丙瓶滿盛細砂。甲瓶雖滿盛石子，然尚可傾入多量之清水；乙瓶亦然，但傾入清水之量略少；丙瓶則傾入水

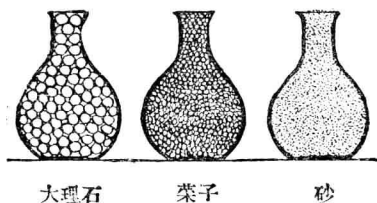


圖 3.

量更少；三瓶中水均不外溢則同。上述實驗，甲、乙、丙三瓶既滿盛石子、菜子、細砂等物，猶可加入清水若干，實顯明石子、菜子、細砂等各物質，此分子與彼分子間並非密接無隙，不過若干部分相接觸而已。此等物質既各有空隙，故可容少量或小分子之各種物質。

由是可知任何物質之分子，能侵入他物質之空間，不使增加其體積；如前節所述，白糖可入水之空隙中，即其例也。惟

二種物質分居二處，則必多占地位。以上實驗所定之理，今則因科學進步，而略有變更。從前以爲物質有不可入性，今可謂物質之原子有不可入性（如水一分子，爲輕氣二原子及養氣一原子組織而成，其物質極細不可再分，謂之原子）。自銻質發明之後，及歷次考得其奇異之性質，即原子中亦可混入他質；是爲高深之推理，此種討論，並不在此編範圍之內，故不暇論及。惟無論何物，必有不可入性，已爲世人所公認。甲物質能擴散至乙物質中，此理爲各種氣體之特性。今即以我等日常所吸入之空氣而言，不過爲數種氣體之混合物。其大部分爲淡氣、養氣、碳酸氣等。研究此三種氣體之比重或密度，淡氣之比重最輕，故應在最上層，養氣之比重略重，故應在中層，碳酸氣之比重最重，故應在下層。由各種生物一方面觀察，碳酸氣居於下層，最爲有害。然在實際上，此三種氣體並不如此上述分三層排列空中，而照定理互相混合，互相擴散，且其擴散之能力，此氣體入彼氣體中，與入真空無異。

實驗 5. 取玻璃瓶或燒瓶二，一滿盛碳酸氣，一滿盛輕氣，各用軟木塞緊塞瓶口。兩塞之中央均有一小孔，插入一玻璃管，使兩瓶之氣可在玻璃管中流通，其裝置如圖 4。碳酸氣較

重於空氣，故更重於輕氣（輕氣為各種已知氣體中最輕之氣）；但行此實驗，碳酸氣能上升至輕氣瓶中，輕氣能下降至碳酸氣瓶中，苟欲證明輕氣瓶中含有碳酸氣，可入濾淨之石灰水一杯，將瓶搖動，則濾淨之石灰水即變成牛乳色；因水中石灰與碳酸氣化合，成為碳酸鈣故也。欲證明碳酸氣瓶中含有輕氣，可入熟石灰（生石灰中加水消化後，名熟石灰。）一塊於碳酸氣瓶中，此石灰能將碳酸氣吸收淨盡；瓶中所存之氣，可用火燃之，倘此氣未與空氣混合，即無聲而燃，若空氣已入瓶中，燃時發輕微之爆裂聲。

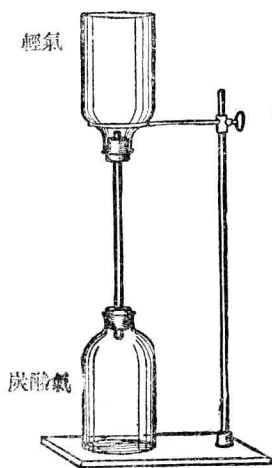


圖 4.

由上實驗，可知氣體實有擴散之能力，使地面上毒氣不能積存，隨時可與大量之空氣混合。大都氣體未冷凝之前，雖不能目見，均具有不可入性，可用下述種種實驗證明之。

實驗 6. 用風箱一具，將其柄抽開，再塞沒上口通風之處，倘此風箱完全不漏氣，此抽出之柄即不能推進。

實驗 7. 膀胱一枚，滿盛空氣，用繩紮緊其口；苟此膀胱不破，即不能壓扁。又如杯中滿水，傾棄之，人恆曰，此空杯也，其實非空，特杯中滿以空氣耳。

實驗 8. 用玻罩一，上連以活塞，活塞中穿入長短適宜之細鉛絲一條，鉛絲之下端縛小杯一隻。實驗時將活塞緊閉，務使空氣不能從上口逸出。鉛絲下端之小杯中，置鉀一小塊，將玻罩置入滿盛清水之大玻缸中，如圖 5，玻罩雖深入水中二三寸，然因空氣占據罩中，有不可入性，水即不能侵入罩內，亦不致與鉀相接觸。繼將活塞開放少許，空氣自上端逸出，水即上升，直至罩內之水與罩外之水齊平而止，同時水與小杯中之鉀相接觸，鉀立放光而燃。此實驗如無玻罩，用無底舊瓶亦可，如無活



圖 5.

塞，可用軟木一塊塞之，中穿一小孔，以手指抑閉其孔。玻罩中或換貯礆精氣或鹽酸氣，置入滿盛清水之玻缸，水立上升；因此二種氣體極易溶解於水中，凡 1 體積之水，當 0°C . 時，能吸收 1148 倍之礆精氣，或 503 倍之鹽酸氣。

實驗 9. 取下連空玻璃球之長玻管一枚，如無此等器械，可

取玻管一枚，下端連接一小燒瓶。先將小燒瓶之口用軟木塞緊塞。塞中本有一孔，玻管之一端即從木塞通入瓶中。乃加入清水，使水量升至玻管中，約及三分之一。如欲得較為注目之實驗，不妨加入任何顏料少許，將清水染成有色液體，庶外觀容易辨別。徐將此燒瓶插入滿盛清水之玻缸中。插入時，先檢明其管中水在何格（如圖 6 適在 4 點）。玻缸中之水，須預用溫度計試定其溫度，約為攝氏溫度計 4 度或華氏溫度計 39 度，然後加熱或使冷却玻缸中之水，玻管中之水即能上升。照物理學定理，普通物體，遇熱則漲，遇冷則縮；惟水之最高密度，在攝氏溫度計 4 度或華氏溫度計 39 度。因此特例，冰能浮至水面，顯明冰之密度略遜於水。

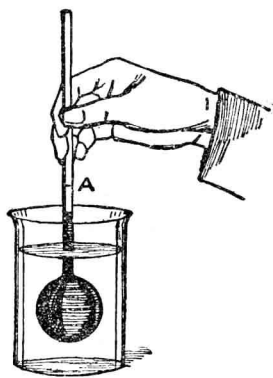


圖 6.

冰與同體積之水相較，冰多占體積百分之十。此奇異之漲縮，對於水中生活之動物，有極大關係；倘至冬日嚴寒時，冰皆沈於水底，則滿池之水，從底至面，皆變成固體之冰，水中生

物必完全死亡，幸冰比同體積之水較輕，故冰恆居水之上層。因水冷至華氏溫度計 39 度，對流即止，若從 100°F. 冷至 39°F.，其較冷之水，勢必下降，倘冷過 39°F.，其功效即與上相反。

實驗 10. 以下實驗水之最高密度，為頗有趣味及美觀之實驗。用較高之廣口玻璃瓶一，中滿以水，如圖 7 置入雞子一枚。此雞子須預穿一孔，去盡其黃白，再將孔封固，封口處縛線一段，線之下端縛一小鉛錘，鉛錘之分量，須先反覆測定，輕重適宜，以瓶中之水由 45°F. 至 50°F. 時雞子及小鉛錘恰沈至瓶底為度。此實驗如在冬日，外面氣候約在冰點或冰點以下，則瓶內之水將冷至

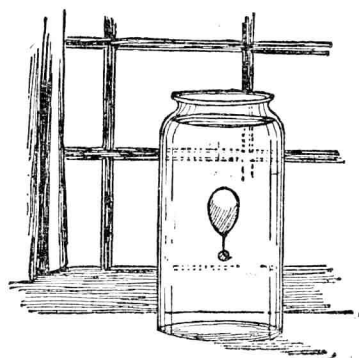


圖 7.

39°F. 或已至 39°F. 時(該度為水之密度最高之度)，雞子即漸漸上升。倘瓶內水之溫度不變，此雞子永浮於水面。若溫度或升或降，雞子即能下沈。或將此瓶及雞子等移至窗外，空中氣候冷至 32°F. 時，雞子即下沈；再將瓶及雞子等移入室中，氣

候達 39°F . 時，雞子又能上升，溫度再增，雞子復沈下。

第二章 比重

各種固體之密度懸殊，人皆知之。即以同體積之鉛、木二質而論，鉛重於木；此重量不等，非因其體積之關係，實因二物密度不同而使然。換言之，亦可謂鉛質點之結合比木質點之結合較密。欲求一物之比重，可將該物之密度與同容積水之密度相較即得。鉛之密度既大於木之密度，故鉛之比重高於木之比重。由密度之不同，物體乃有輕重。非獨固體為然，液體、氣體亦莫不皆然。下列實驗，表明各種液體密度不等，而遂有輕重之別。

實驗 11. 取有底之長玻筒二隻，如圖 8，一盛清水，一半盛清水半盛鹽水。實驗時，須先傾入鹽水，後加清水。欲不使清水與鹽水混合，可用玻管一枚，將清水徐徐沿管邊而下，玻管下端須適觸水面。然後取雞子二枚，一置第一玻筒中，一置第二玻筒中。第一玻筒本滿

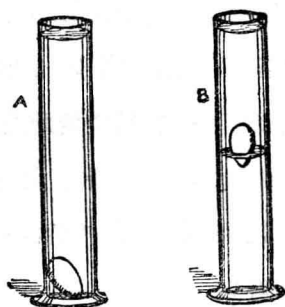


圖 8.

盛清水，雞子入其中，即下沈至底；第二玻筒所盛，半為鹽水，半為清水，故雞子沈至半途而止，停在清水之下，而浮在鹽水之上（鹽水溶液須濃）。乃用玻管攪和之，使鹽水與清水混合；倘鹽水非十分濃厚，雞子即能下沈；或所用鹽水，入鹽既多，已成飽和溶液，其上面清水又不多，祇及鹽水二分之一之容量，混合之後，雞子非但不能下沈，反欲上升。

實驗 12. 用有底長玻筒一隻（小者愈妙），傾入水銀、清水及油三物，三物容量須同。傾入後，將玻筒重搖之，使水銀、清水及油互相混合，靜置十分鐘後，仍各自分離，照三物之比重而排列上下，水銀最重，在下層，水次之，居中層，油最輕，浮在上面。既混合後所以再能分離者，其故有二，一因三物密度之不同，二因水銀、清水及油三者之性各不相混合；實驗 11 即不如此。若將鉛彈或鐵螺旋一枚緩投於此液體中，立即下沈，及遇水銀而止，遂停在水銀之上面而不能沈下，故何物能浮在水面，何物能浮在油面，均可實驗之，如圖 9。

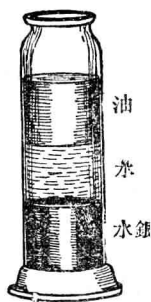


圖 9.

實驗 13. 不相混淆之五層液體。

取高酒杯一，紙漏斗四，如圖 10。先傾入甜冷咖啡茶若干，咖啡茶之上，加清水一層，其深淺須與咖啡茶同。欲不使清水與咖啡茶混合，傾入時，可用所預備之紙漏斗一只，務使其下端適觸咖啡茶面，乃將清水沿玻璃杯邊傾下，清水上面，可加紅酒（法國酒名 Vin du Midi）一層，深淺亦

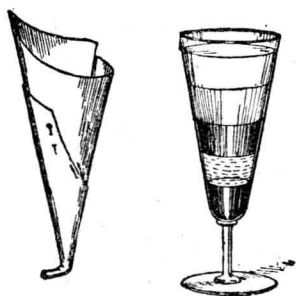


圖 10.

須相同，傾入時再用紙漏斗一只，加法如前。酒之上面，再加油（不可用石臘 (Paraffin)，須用較厚之黃色植物油）一層，傾入時仍用紙漏斗一只，手續如上。油之上面再加酒精一層，可用第四紙漏斗加之，其法亦同。上述之實驗，各種液體，深淺須同，每種液體之顏色可使之不等，如棕色、紅、黃、白是也。倘欲得別種顏色，於各種液體未混入玻璃杯時，可先加異色之靛油顏料 (Aniline dye) 少許。

實驗 14. 不相混淆之五層液體及上浮之蠟球。

此實驗與上略同，五種液體以次疊加，但其中另加小物，使更易顯明其理。實驗時，雖須略費精神，然所得之功效，實倍

於此。取長玻筒一，傾入水銀若干，如圖 11。上浮鉛球一粒（鉛球可染成任何色），或用玻璃球大理石球均可；上加同量之硫酸鋅溶液，加時可用玻管及漏斗等將液體徐徐沿玻筒邊而下，免使混合（硫酸鋅溶液可如下法預備：法用沸水十六分之一加侖，傾入硫酸鋅若干，至沸水不能再溶而止，待冷。上部分之清色液體即為硫酸鋅溶液）投入有顏色之蠟球（如紅球）一枚，蠟球中須藏小鉛彈一粒，二者之重量須於實驗前測定，使適能浮在硫酸鋅溶液之

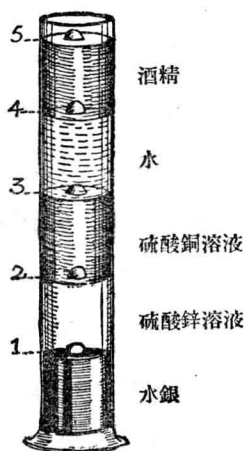


圖 11.

上而沈在硫酸銅溶液之中；今所傾入之第三種液體即硫酸銅溶液，預備法同前，再用蠟球一枚，球之輕重亦須預先測定，使能沈在水中而浮在硫酸銅之上，第四種之液體即清水，平時所用之井水等不甚相宜，清潔之蒸餾水最為合用，濾過之天然水亦可，再投入軟木球一粒，球中須稍加重量，使不能浮在酒精之上；第五種液體為普通酒精，用洋紅染成紅色，再用軟木球一粒投入之，即浮於其上。上述實驗，欲得完美之成績，玻筒之

高低須約十八吋，直徑約二吋或二吋半。上述法則，於傾入每種液體時，倘以為不便，請用下法實驗之。先將上述五球投入玻筒中，投時球須沿筒邊而下，而筒須斜執手中，庶免玻筒被球擊破；再用玻管或漏斗先傾入紅色酒精，如是則不帶別物之軟木球立即上升，餘皆不動；次傾入硫酸銅溶液，較輕之蠟球亦即上升；再傾入硫酸鋅溶液，第二蠟球又上升矣；終傾入水銀，在水銀之上面，鐵鉛等均能上浮，如軟木之浮在水面上也。

實驗 15. 各種氣體密度不同，可用下述之實驗顯明之。試取較長之玻璃罩一只，倒覆之如圖 12，置於相宜之墊上或

凹形之木架上，取小氣球三只，甲球滿裝輕氣及空氣，二氣體之比例以適能使球在罩中下沈為度，再傾入多量之碳酸氣，當傾入時，甲球即上升。乙球滿以輕氣，投入罩中，急用玻片蓋之，不使外溢。丙球貯以亞養化淡，投入罩

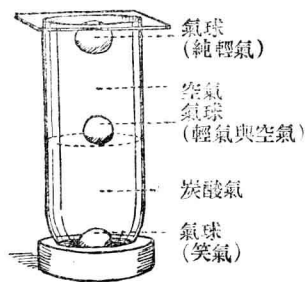


圖 12.

中，即下沈至底；蓋亞養化淡與碳酸氣密度相等，其所以下沈者，實所多之重量使之如此，簡言之，此所謂所多之重量，即球

殼之重量也。當置入丙球時，須格外注意，不使乙球外逸。倘不用氣球，可用肥皂泡代之。(1)

實驗 16. 阿基米得與王亥厄洛。

王亥厄洛由國庫中出金若干，命金匠製冠冕一頂，製成後，金匠即上表獻王，求察其成績，其形迹稍有可疑。王料冠冕中必雜以價值較低之金屬，如銀質等，王乃與其臣哲學家阿基米得商之，命阿氏實驗，以辨其真偽。惟此金冠業已製成，不能再將冠冕拆散，如何實驗？阿氏一時亦不能解決，求寬限數日，再覆王命。王允之。乃退出。數日後，阿氏適在洗浴時，偶得一事，為彼前所未見者。蓋當其體入滿水四分之三之浴盆時，見四周之水上升，且有多量之水外溢。由實際上論之，阿氏能解決冠冕之問題，實外溢水之功效也。既得此現象，阿氏之好奇心遂因之而起。彼思一部分之身體入於浴盆中，擠開水若干，倘將與身體同容積鉛製之物體投入水中，所上升及外溢之水，其容量及重量必與前同。但身體之重量，譬如百磅，比鉛身之重量必較輕多倍，鉛身至少有千磅之重，此二數被某定數相

(1) 肥皂水預備法。熱蒸餾水 80 盎司，蘇打(Soda) 1 盎司，各里司林(Glycerine) 30 溶液量盎司，混和之，隔幾分鐘重搖一次，搖數次後，即濾清之，冷置數日，即可取用。

除，二答數必大異。故經此實驗，不啻答彼之所欲得者，阿氏樂快之狀，難以形容，當時即由浴盆中跳出，裸體回家，口中疾呼，『我知之矣！我知之矣！』幾如發狂。至若何完畢其問題，人莫之知。有人云，阿氏將同重量之金銀各一塊，先將金投入水中，水必外溢，乃量其容量，後將銀投入，再量外溢水之容量，將二數相除，即得二金屬體積之比例。亦有人云，阿基米得取同重量之金銀各一塊，置水中衡之，所得之重量，非所擠開水之容量，實該水之重量，如此得二金屬之比重。第二說更為真確。故欲得一物之比重，先將該物在空氣中衡之，後入水中再衡之，二數相減，即得所擠開水之重量。該物體在空氣中之重量被水內所失之重量分之，即得欲求物體之比重。此例是否確實，可用下法實驗之：法

將冠冕一頂，如圖 13 稱之，計重 $17\frac{1}{2}$ 盎司（英美國所通用之常衡）。置砝碼於 B 盆中，C 盆下有小勾，用細鉛絲一條將冠冕掛之，傾入滿水之玻缸中，天

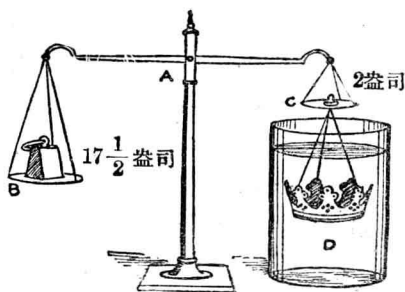


圖 13.

平必斜;欲再得平衡,C盆中須再加重量2盎司。故冠冕在水中秤之,計重 $15\frac{1}{2}$ 盎司,用下方程式求之。

$$\text{冠冕在空氣中之重量} = 17\frac{1}{2}$$

$$\text{冠冕在水中之重量} = 15\frac{1}{2}$$

$$\text{所缺之重量} = 2$$

$$2 \left| \begin{array}{r} 17\frac{1}{2} \\ \hline 8.75 \end{array} \right.$$

由答數觀之,所實驗之冠冕,乃由銅製成,因銅之比重爲8.89也(見下表)。倘所實驗之冠冕用金質製成,答數須爲 $19\frac{1}{4}$ 。

表 I

各種金屬類之比重

白金 20.98	銅 8.89	鋅 6.5至7.1
金 (約)19.4	(水)非金屬 1.00	鉛 2.6
水銀 13.57	鈉 0.97	鎂鋁齊 2.4-2.57
鉛 11.35	黃銅 7.8至8.4	鎂 1.74
銀 (約)10.47	鐵 (約)7.7	鉀 0.86
鈹 9.82	錫 7.29	鋰 0.59

上表之中有鉀、鈉、鋰三原質,其比重低於水之比重。鉀與冷水接觸即能發光而燃。鈉亦能與冷水化合,惟與熱水相

觸，方能發光而燃。鋰入水中，其性與鈉相同。倘水與漿混合之，置鈉或鋰於其中，鈉與鋰均能發光燃燒。倘置此二原質於濕吸水紙上，再將吸水紙浮於水面，鈉、鋰二物亦能起燃燒作用。鎂鋁(鎂鉛齊 (Magnalium) 之化合金屬，為鎂與鋁之合金)二原質雖比水較重，倘打成薄片，亦能浮於水上，置時務宜細心。能將薄片用油塗之更為妥當，因水不能侵入油中，可使此二金屬更易浮於水面。但此二金屬之薄片一入水中，即下沈至底。金亦能浮在水銀之上，若一入水銀之面，立即下沈。金於水銀中取出時，須將金立即細擦之，因金與水銀化合之力頗大，不易分開也。試翻閱第一表第二表及其說明，即能使讀者明瞭諸實驗中之意義，亦能使讀者再發明別種之實驗，可細觀之。

表 II

物質	每方呎之重量以盎司計算	
蒸餾水	1000	樟腦 989
生人之身體	891	樹脂 1100
蠟	897	瀝青 1150
冰	930	軟木 240
蜂蠟	956	白楊木 383

柏樹木	660	醚(鹽酸的)	874
法國黃楊	1030	橄欖油	915
巴西紅木	1031	莫賽利酒	916
美洲烏木	1331	標準酒精	930
美洲堅木	1333	亞麻仁油	940
英國橡木	970	蓖麻油	970
英國橡木(60餘年舊樹)	1170	紅巴得混酒	990
海水	1028	布管地酒(葡萄酒)	991
死海水(含鹽26%)	1240	白香冰酒	997
醚(硫酸的)	720	卜特客史酒	994
酒精(純)	796	焦油	1015
白蘭地酒	837	醋	1026
松節油	870	硼酸	1830

第三章 重心

不偏不倒之奇術

凡物無論處於何種地位,中必有支持其本體之點,點之四

周所有重量皆能平均;此點即謂之重心。故一物體置於他種固體之面積上,物體或能直立,或即倒下,

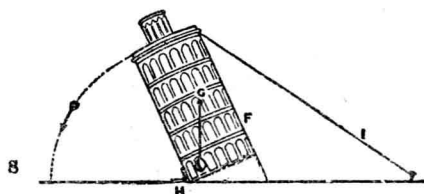


圖 14.

全視中心點之垂線在此物體之底中或底外為標準。如圖 14 比薩斜塔，因其重心點

之垂線全在斜塔底面以內，故塔雖傾斜而不倒下。然此斜塔之重心，不能再出底面少許。如

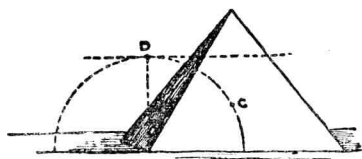


圖 15.

圖 15 所表明適得其反。在 C 點升至 D 點以前，此方尖塔必向一邊傾倒。須將塔上之 C 點上升至 D 部，方能直立。如圖

16 與 17，有一方一圓之木體兩塊，其重心之垂線悉在底面以內，倘用微力移動此物體，即能使之倒下。

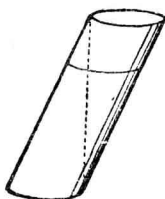


圖 16.

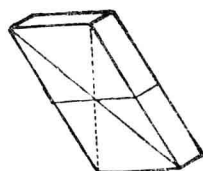


圖 17.

如圖 18 所裝置，有雞子形之物體二，及圓球一。甲物體如略用力由旁推之，即乘勢停止於其移動之地位，若將兩端上下移動，均能回復至於

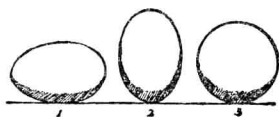


圖 18.

原處；第一變化謂之中立平衡，第二變化謂之穩平衡。乙物體

所居之位置，與甲物體異，謂之不穩平衡，因乙物體所占地位，極不穩定，微力推之即倒，不能恢復原狀。丙物體完全為中立平衡，因無論在任何方向推動之，即停在所移動之地位。凡一物體所居之地位，為穩平衡，即使用微力推動其物體，仍可回復原狀，其動時雖能將重心提上少許，然仍能下降。又一物體明明為不穩平衡，可變為穩平衡，惟須加重量使重心下降，比支持處低，或在支持處之下，如圖 19。吾人欲得穩平衡之物體，非特宜使重心之垂線居於底中，而重心之位置，亦必使其處於極低之位置，可用各種最簡單之實驗證明之。因此之故，吾人立於小舟之中，最為危險，倘船當搖動時則更甚，不測之事，皆由此而生，圖 20。若將某物體之重心點提高至某處，平穩之物體即變為不穩，故易傾覆。其所以傾覆者，蓋人在舟中搖擺，欲得一平穩之新位置耳。

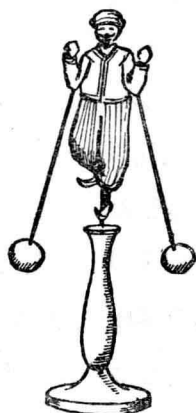


圖 19.



圖 20.

實驗 17. 哥倫波與雞子。

凡學校之生徒，大半均知哥倫波與雞子之故事。惟在哥倫波時，科學未十分發達，所以人常疑其究竟有無此等實驗，未敢確定。有人云，此事實為意大利之建築家勃蘭西君所實驗，因其欲在福倫斯地方建築禮拜堂房屋之圓頂，頗費經營，人均謂其不能成功。然此等議論，與本題無關。吾人所欲得者，用何法實驗此雞子耳。普通之人以為欲使雞子直立，必削去其一端之殼少許，如是則其底平正，方能直立。但此為靈敏之手術，而非科學之方法。苟欲使雞子直立，不必碎其一端之殼，實另有他法，惟此種實驗斷不可行於玻璃片或光滑之物面，宜將雞子直立於桌布之上。蓋雞子直立，為處於最不穩之平衡，微風偶吹，亦能使之側倒，不得不利用少許抵抗力也。在普通之

雞子(見圖 21,(1)),卵黃居於卵之中心(如圖中黑蔭之處爲卵黃,其旁爲卵白),其質較卵白爲密,故欲使此雞子直立,第一須將此雞子握於手中反覆重搖之,使卵黃散開。因卵黃

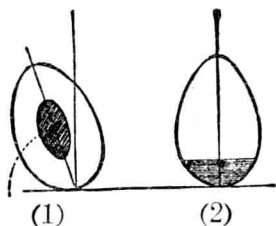


圖 21.

之分量較重於卵白,故散開後即沈至雞卵之下端。此雞子中大部分之重量既沈至下端,其重心點即低降(見圖 21,(2)),不穩定之物體變爲穩定。雖雞子直立非容易之事,然用此法已可使雞子直立矣。

實驗 18. 小孩何以較成人易於傾跌? 又吾人試以寶劍之尖頂於手指之上,可使此劍直立指上;若以劍柄頂於指上,則反易傾覆。其故安在?

用棒一根或傘一柄,使其較大之一端居上,較狹之一端居下,或即用此劍,使劍柄向上,劍尖向下,頂於手指之上,易得平衡而不下墜,其故可由圖 21 所實驗之理推論。凡一物體之重量(重心)離支點愈高,其經過重心之垂線更易出於底外,此

理固甚確；然物體重心所處之地位愈高，雖似甚險，但偶一傾側，極易恢復其重心之原狀。可知物體傾覆時，其重心所經過之弧線愈大，下墜之勢愈緩如圖 22, (A)，物體下墜時，其重心

所經過之弧線 CD 不過少許；如

圖 22, (B)，物體下墜時，其重心所經過之弧線 CD 甚大。設沿弧線

離 A, B 兩物體之重心約半寸許，

A 離垂線之斜勢，較 B 離垂線之

斜勢，更大數倍，故 A 物體已極斜側，而 B 物體之勢不過略側，

且容易恢復其直立之原狀。因此之故，扮演高蹺者，其足上附

着之棒愈長，較易行走，若足上附着之棒太短，反不易行走。又

如小孩比成人容易傾仆，矮者比長者容易跌倒，均因此理。圖

23 即表明上述之理。用木偶二，一長一短，其足部連屬於同

分量物質之底，面積大小

亦同。預備妥當後，乃置

此二木偶於木板上，將木

板沿桌面推動之。桌面須

預插一釘，當板移動時，使

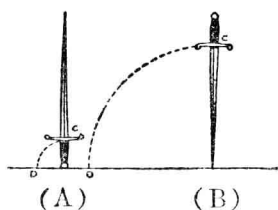


圖 22.

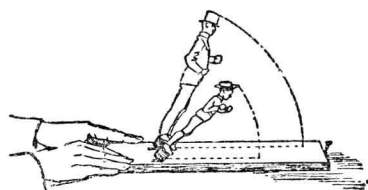


圖 23.

撞此釘，經此震動，兩木偶同時倒下，而短者比長者尤速。如上圖 19 所論，加重量於物體上，使物體之重心降至支點之下，則不平衡之物體可變為平衡之物體，下述第 19 節及第 20 節之簡單實驗，均表明此理也。

實驗 19. 如何能使雞子直立於玻璃瓶口之邊或大玻璃杯口之邊？

如圖 24，即顯明此實驗。其加於雞子上者，不過為完善之軟木塞一枚，及較重之銅匙兩隻耳。如是可使全體物質之重心點降下於雞子所支持之處（即瓶口與雞子一端相接之點），故能直立不墜。

實驗 20. 使磁盆穩立於針尖。

此實驗可照圖 25 之裝置，非特能使磁盆穩立於針



圖 24



圖 25.

尖之上，且能在針尖上盤旋不已，不至墜下。

實驗 21. 如何能使銅元直立旋轉於針尖之上？

實驗 22. 如何能使繡花針旋轉於圓頭針之頂上？

實驗 23. 將鉛筆之尖頂於手指上，如何能使其不倒？

實驗 24. 如何能使茶杯頂於洋刀或刺刀腰刀之尖？（閱者倘能如實驗 19 及 20 之裝置行之，此等問題不難解決也。）

實驗 25. 用棒一根，置其小部分於桌面，將鉛桶一隻掛於棒之大部分之上，而不使其傾墜，可用何法裝置？

就外表觀察，此種實驗似決難實行，然如圖 26 之預備，

即不至下墜。其法可將全棒五分之二置於桌面，取鉛桶一，斜懸於其上，再用棒一根如 EF G ，使其與 DHC 之棒

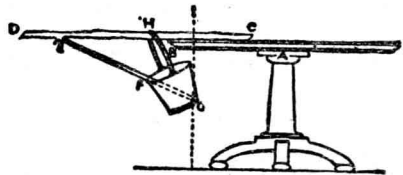


圖 26.

在 E 點相觸。其桶與棒之裝配，以適能使桶處於如圖所繪之位置為度。 EF G 之棒，須在 F 點接觸鉛桶之邊。然後以清水傾滿鉛桶中。倘二棒質極堅固，其全部各物決不至傾倒。就表面而論，此種實驗頗為奇妙，如何竟能將滿水之鉛桶，懸於

欲傾墜之棒上而不倒下。苟詳細察之，閱者能覓得桶之重心點，實在桌之下面，如圖中所繪垂直之虛線是。其理即等於用棒一根，一端用他棒支之，他端用桌面支之，中乃懸以滿水之鉛桶。圖 27 所顯之理，與圖 26 相同，所不同之點，在用較重之秤錘一，及一繩二棒耳。

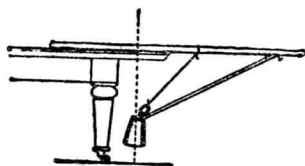


圖 27.

實驗 26. 順從及不順從之不倒翁。

如圖 28，為最古之玩具，即人人所知之不倒翁。其外表之形式，售者常常變更，但外形雖變，而其理不變。今試取偶人一枚，下連以半球形之重底，此底普通為鉛質製成。偶人之身，可用極輕之質料，尋常恆以接骨木之心為之。實驗時，壓之使倒而仍能直立者，因其上身之重量與鉛底之重量相差較遠，故吾人所欲研究者，實在其下端之鉛底耳。當半圓形之底在水平位置時（指其底面之上層而言），即其重心為最低之時，故無論將此不倒翁向任何方向壓



圖 28.

倒，均能提上其重心，故即有恢復原狀之勢力，而能直立不倒。又如順從及不順從之瓶，亦有同樣重底。瓶之上部分，為最輕物質所製，或用接骨木之心為之；瓶之中央，附以有孔之直管一枝，管中可插入質量較重之細棒，或較重金屬類之長針。在棒或針未插入時，此瓶恆保守其直立之地位，不易傾倒。若將長針插入管中，瓶即向橫側倒下，不能直立。

實驗 27. 一物體因其自身之重量，恆欲向下傾倒。今若再加重量於其傾倒之方向，用何法可使之不倒？

如圖 29 為木製或鉛皮製之玩具，一人騎於馬上，馬腹之下附以弧形之鉛絲及鉛球。行此實驗時，設馬腹之下不附以弧形之鉛絲及鉛球，祇將馬之後足置在桌邊上，如是則此玩具之重心約在馬之中部，其垂線既完全出

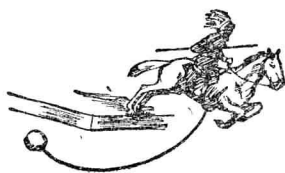


圖 29.

於底外（此所謂底係指桌面），萬不能立於桌邊。惟將其重心點移至馬之後部，故必須附以適宜之弧形鉛絲及鉛球，如是則馬雖欲向前傾倒，而後面之重量即重心點上提，仍能恢復其原狀。倘使將此玩具完全遷移位置，亦能保持其平衡，不至傾

仆。蓋所加鉛絲鉛球之重量，實並不在傾倒之方向也。上述實驗，其理既明，閱者不妨再發明同類之遊戲數種。總之凡最佳之不偏不倒奇術，莫如將旋轉之物體置入此等玩具中，如是則能反抗地心引力，呈微妙之作用；第四第五兩章，均討論是理也。

第四章 抽陀螺及旋轉動力學

陀螺(Top)之名，按之普通字典中之釋義，爲一倒圓錐體，可使之在其端上旋轉，恆作爲兒童之玩具。閱者研究本章及實地實驗後，當知陀螺一物，非祇供孩童玩弄之用，觀其旋轉不已時，中實具深奧之學理。本書中所討論之陀螺，爲目所能見之品，約若干大小，雖係普通之陀螺，其實驗所得之原理，與磁學及最奇妙之光學現象，均有十分關係。同一物體，當其靜止與旋轉時，作用大不相同，設在強電磁石之兩極中，將銅圓片旋轉之，乃使電流通過，旋轉之銅圓片立即停止，宛如受極強制動機之抵抗力，立刻阻當其進行者。

用圓厚紙片一塊，染成七色，如圖 30（欲得較良之效果，宜用光滑之顏色紙，分黏於其上，不可用水彩顏料繪之），將此圓厚七色紙片急旋轉之，所有紙面之七色即隱而不見，祇見一

白色之圓片，如幻術然，變化至速。若旋轉漸緩，七色復現⁽¹⁾。再取市售之平葉飛機模型（譯者按書中所述之平葉飛機模型，即我國小販所售之竹蜻蜓，費一二銅圓即可購得），如圖 31。



圖 30.

用兩手急轉此玩具使其有旋轉上升

之力，乃立時釋手，此玩具即能飛升至空中，待其力已盡，方始

下墜。此種實驗，實表明飛機動力學最

要之原理。現再論音學與此等作用之關

係，試取蓋耳頓警笛一具，此警笛市上恆

有出售，其價甚廉。其中之構造，有小風

葉或薄片二枚，一葉停而不動，其上葉當

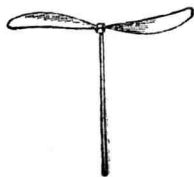


圖 31.

氣吹入時，即能急速旋轉。兩葉之地位，相距甚近，旋轉之效

果，能使吹入之氣或阻或通。旋轉若甚急速，能感動空氣，使成

一濃一淡之音波。故能發聲傳至人耳管中。其吹愈急，旋轉愈

速，音調亦愈高。

(1) 如將七色之輪，每色照其比例再分為三條，每色排列之次序不變，實驗時更佳。

再取抽陀螺一，如圖 32。實驗之。因其旋轉時，空氣從陀螺外出，能轉動陀螺中之薄銅葉，乃發出一種樂音。此等陀螺，常人恆稱之爲作聲之陀螺。當其旋轉時，亦能顯出別理；蓋此等陀螺盤旋之際，有極強之自主力，雖以他物擊之，不致倒下而中止其運動（所謂以他物擊之者，並不用極強之壓力，惟順其自然之勢以物略擊之耳），不過向其旁作奇異之斜圈而流走。如將此陀螺旋轉於光滑之石片上，兩手執石片向上振動，擲陀螺於空中，少頃下墜，承以石片，其陀螺之尖端仍直立於石片上旋轉不已，宛如不轉動之陀螺擲之向上仍能下墜無異。此實驗如將陀螺善轉之，可反復數次。



圖 32.

實驗 28. 試轉動陀螺於石片上，或磁盆玻片等任何堅固之平面上行之均可，繼擲此轉動之陀螺於空中，俟其下降，乃承以石片等，其陀螺之尖端在下，並能繼續旋轉，已如上節所述。今若改用圓木片一塊（其理由因欲使陀螺之尖端與此等平面多得摩擦力），其陀螺之尖端，宜擇其製造堅固者，重爲實驗；擲至空中時，有意使陀螺顛倒，尖端向上，上端居下，倘

所用之陀螺較佳竟不能辨別其顛倒與否，降下時仍舊尖端在下。同性質之他種實驗，均可行之。然無論用何種方法實驗，中有一要理，不可不知。要理為何，卽一物體當旋轉時，能發出一種特異堅強之勢力，不肯改變其平面之位置，雖用外力擾之，亦不能照外力所如之方向而動。

實驗 29. 取圓石子一枚，轉動於平滑之地面上，少時卽止。其所以停止之原因有三：一，地面與石子有摩擦力；二，物質有重量因其受地心之引力（其所以有摩擦力者卽因地心有引力故耳）；三，有空氣抵抗力。有此三原因，故此石子無外力增加，不能持久運動。

實驗 30. 取與上同形之石子，在光滑之冰面上轉動之，可注意其較上述實驗多行若干距離，倘用檯球代之，所行之距離更能增多若干；苟無外力變動其方向，其所經之路必爲直線。照上列種種實驗，或他種同理之實驗，能顯出凡物當運動時，倘無摩擦力或他種外力之抵抗，其物一經運動後，卽能循直線而行，永動不息。

實驗 31. 取雨傘或陽傘一柄。當其未撐開時，於每根傘骨之端，各縛小鉛球一枚。乃兩手執傘柄急轉之，傘骨各端所

附之小球，各向外作飛行之勢，而傘遂爲之撐開，如圖 33。此實驗或用木棒代之亦可。法取橫斷面積一方吋，長約三呎之木棒一根。木棒之一端，附以有絞鏈之短棒二枚，棒長約呎半。用兩手握長棒之他端急轉之，其所附之兩短棒即成向外飛行之勢，如圖 34。或取離心火車模型一具，及附屬之鐵軌等，實驗時更能顯明其理，如圖 35。當此離心火車模型在軌



圖 33.

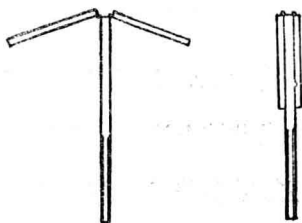


圖 34.

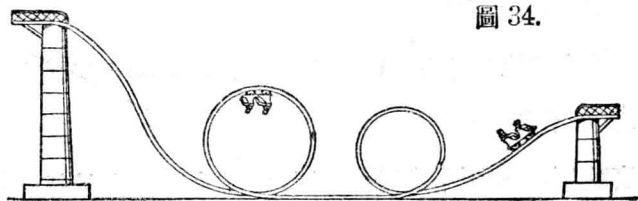


圖 35.

道上行動時，從此端至彼端，實經兩次倒懸，然其車體並不離軌道而下墜，且車中所置之銅圓亦不離車落下。此實驗倘用較大之模型，車中可置滿盛清水之玻杯一，當車行動時，車中杯水均不下墜。

實驗 32. 取繩三條，長短相同，其下端分開懸一空碗，一手握繩之他端，用力將碗旋轉，使此三繩絞緊，一手執碗不動，碗中加滿清水，乃再釋手。此三繩之扭轉力，能使碗向反對之方向旋轉，旋時碗中之水，向碗邊切面四散飛出，至地上成一圓圈形。今有同樣之實驗，其理更為顯明；可取長柄之布帚，浸入滿水之桶中，兩手將布帚柄之上端急轉之，其所呈之現象，可與上相同。

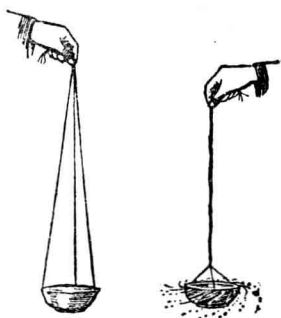


圖 36.

當陀螺旋轉時，其所結成物體之質點均有向外切面飛行之勢，所以能阻其飛散者，因陀螺中此質點與彼質點之間具有凝聚力之故。如上實驗所述之碗水旋轉時，實與旋轉流質之陀螺無異，碗中水與水之凝聚力不足，故離心力能勝過之，而

使碗水向碗邊四散飛濺。吾人實驗陀螺，當其適值穩轉時（此種現象，西人謂之睡眠轉動），其陀螺每層所轉動之質點，均成一平面形而轉。換言之，此非一平面，蓋為無數之並行平面同時同方向而轉動。因其每一層質點，同時同方向均有外散之力，故直接謂之一平面轉動亦可。倘陀螺盤旋欲倒時，其盤轉之平面，必先變更其方向約九十度，然而其向外飛散之力仍為切面而成直線。照幾何學學理而論，所謂直線者，其線中每點須觸平面，如是則其舉動相反，故旋轉時陀螺不倒。至陀螺急轉之際，其所組織陀螺之質點，均依幾層之平面而轉，有向各平面外飛散之勢力，故其軸心不用外力推動即不倒下。所以能使陀螺直立旋轉者，其力有二：一，地心向下之引力；二，其轉動之力。其轉動力同時向各方向成平面進行，故凡物旋轉時，非特不喜改變其軸心轉動之方向，而同時更增健強之剛性。今再用下述方法實驗之。

實驗 33. 取硬圓紙片一枚（紙之硬度厚薄須適宜不可太堅韌），其圓周約一呎或八吋。置此圓紙片於小旋轉器上轉動之，可顯明其剛性。又取普通鉛筆一枝，將其尖端穿過平闊之木塞或其他之塞中，約露出尖端半吋許，用膠水黏牢，如

是則鉛筆之上端成小柄，下端成陀螺之尖，恰如一通常之陀螺。乃取第一次所備之硬圓紙，穿過鉛筆之上端，黏於木塞，筆桿上部以線圍繞之，其桿頂附以比鉛筆略大之銅帽。此銅帽兩端皆空，上口用軟木或他物塞緊。乃以一手握銅帽，使鉛筆直立，一手將線頭抽動，如抽普通之陀螺，此器即能轉動。轉時木塞上所附之圓紙片不如初時柔軟及彎曲，變為極韌、極有剛性、不易彎曲、且能發音之物體。

實驗 34. 以鐵鏈製成之圓圈一枚置於旋轉器滑車之上，如圖 37。急將滑車轉動，乘其急轉之際，速以鐵棒撥下鐵圈。鐵圈雖墜地，並不壓扁，仍成圓圈形，與鐵箍木箍無異，在地面跳動，少時始停止。蓋當其旋轉時，此鐵鏈製成之圓圈實具有兩種之性質，即一為剛性，一為彈性也。

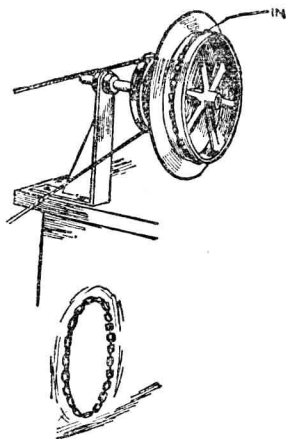


圖 37.

實驗 35. 用木箱一隻，平常之小茶葉箱亦頗合用，如圖 38。將箱口之對面，即箱底之上，開一

圓洞，洞口不可過大。箱口可用羊皮紙或較韌之棧色紙番布等封之。四周用膠水黏住，愈緊愈佳。再於箱之側面穿圓孔二，孔之大小，以適能容二玻璃曲頸甌之口爲度。

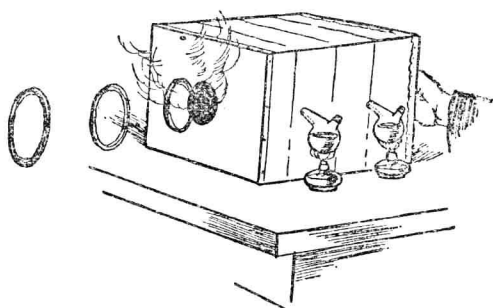


圖 38.

裝置既畢，一曲頸甌中入以礮精水，其他之曲頸甌中入以鹽酸。此兩曲頸甌之下，用火酒燈或他種燈火燃燒之。少頃，箱中即充滿氯化銻之白氣。斯時倘用手指輕彈箱口所封之紙面，或以平頭小槌微擊之，即有極美極大之圓氣圈從箱孔而出。此旋轉之空氣圈，賴有氯化銻之白氣，所以更能顯明。是種實驗，雖不甚奇，然頗增興趣。苟於箱中之煙圈發出時，使其此圈與彼圈相撞，更有趣味。因兩煙圈相撞，有時壓扁，有時互相跳動，或互相避讓。箱中所發出之氣圈，幾如橡皮等彈性物質所製成者。

實驗 36. 如上實驗，再燃洋燭一枝，置於距離發氣圈之

箱約二碼遠近，務使燭火之焰正對箱孔（所謂距離二碼者，並非一定，實驗者可隨意增加或減短）。箱中發出氣圈（無論混有白煙與否），一經衝撞燭火，火焰立滅。

實驗 37. 玻璃一隻，滿盛清水。另取滴管一枝（自來水筆裝墨水之滴管，或醫生用滴眼藥水之滴管均可。實驗時宜取其新者，若管中混有墨水即不合用），管中吸入牛乳少許，乃手握滴管上端之橡皮帽，使滴管下端與杯中水面相接觸，以手指壓迫橡皮帽，即有牛乳一滴下墜。當此牛乳滴入水中時，忽成一白色之圈，下沈至底。最奇者，此圈未墜至水底之前，能因一圈旋轉，發生多數白圈，更能因多數白圈發生無數白圈。此實驗雖簡單，足增興味不鮮。

實驗 38. 本節所述，為潑雷多 (Plateau) 最有興味之實驗。其所以有此實驗者，因潑氏欲液體當旋轉時，使不受地心引力之感動，乃有如圖 39 之裝置。法用

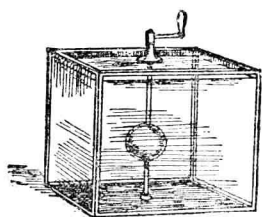


圖 39.

按實驗 36 若不用精密製煙之法，可用棕色紙若干張，閉置於此箱中燒之，其現象亦同，惟其效果不如精密裝置之佳。

玻璃方箱一隻，其中連一直槌。直槌之中，附以圓圈一枚。槌之上端有搖柄，下端附着於箱底。箱中滿盛酒精溶液二種（即酒精與水之混合液），一種較濃，一種較淡。此兩種酒精溶液，其酒精與水之比例，一種使橄欖油適能下沉為度，一種使橄欖油適能上浮為度。然後將容水較多之一層（即淡者）傾於箱底，將容水較少之一層（即濃者）置於箱之上部。乃用長頸漏斗，注意灌入橄欖油一滴，油即停留於槌之中段圓圈處，成圓球形。依此法實驗，其液體油質即無地心引力感動；至油之所以成圓球狀者，因其各質點互有引力之故。於是將槌端搖柄徐徐轉動，油球亦隨之而轉。轉時油球之頂與底形狀略扁，如地球之南北兩極然，其中部膨大，如地球之赤道然。繼將搖柄轉動愈速，此油球即變成橢圓形，換言之，即成一雞子形。最後愈轉愈急，其頂與底漸成平面形，又漸漸凹進，終成一平面之圓圈。此實驗如用幻燈顯明之，使此現象呈於白布幕之上，最為美觀。讀者不妨以此種現象，與天文學所述最普通天文之現象，互相比較之。

實驗 39. 按物理公例，無論何種物體，均可以三個正軸穿過之，且此物體無論在何軸之上，均能旋轉。今試取立方木

一塊，從頂至底穿一圓孔，將軸由孔穿過，此物體即能在軸上旋轉。再試從右至左或從左至右，任何橫側面再穿一圓孔，貫以長軸，其軸如上，或從他側面穿孔，穿過一軸，其現象亦然。故無論何種物體，均可穿過此三軸。今用檸檬一枚，從上至下可穿以一軸，此為較長之軸；再從側面橫穿一軸，與前軸成直角形，此軸可較前軸稍短。乃試將此物體旋轉。當其轉動時，此物體不能依兩軸之方向，同時並轉，必擇一定之軸，順其方向而旋轉之。欲研究此物體於二軸中究擇何軸，須察其自身所處之位置，大概視其重心是否在支點上或支點下為標準。倘轉動時不順物體自身所擇定之軸，則轉時兩方向之勢力必起衝突。所謂兩方向者，一方向即不能改變其轉動平面之勢力，一方向物體自身欲改變其方向，而欲順其所擇定之軸而轉。當其轉動之初，如甚得勢，至其結果，第二種勢力必占勝利。今再取檸檬一枚，橫置於光滑之桌面，上端用手指握定，作勢急轉之。初時此檸檬固順手勢用力之方向而轉，不久檸檬本體即發生一種振動之力，檸檬即漸漸直立而旋轉，直至停止始止。如用煮熟之雞子一枚，或用已吸出油質之椰子一枚，亦可行同式之實驗。

實驗 40. 用簡單之轉動器一具，如圖 40 所繪，一物體可懸於其上旋轉之。其所懸物體之支點，恆在重心之上。今

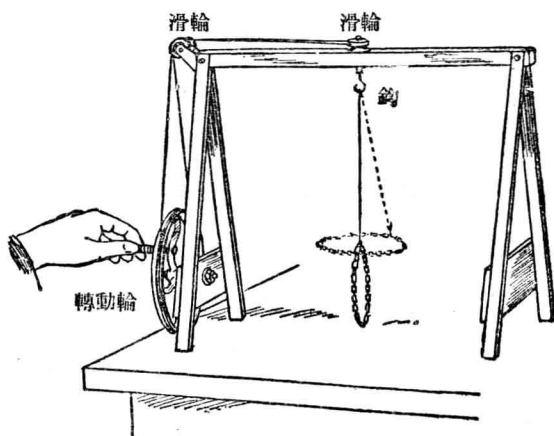


圖 40.

試取鐵鏈圈一枚，用線懸此圈於轉動器之鈎上，緩緩搖動旋轉器之柄，漸次增加其搖動之速度，初時鐵圈順其較長之軸而旋轉，後即由漸振動，使垂直之鐵鏈圈下端愈轉愈高。若再繼續搖動轉動器之柄，此鐵鏈圈終成一平面而轉。惟轉動其柄不可太速，萬一搖動漸增其速度至若何地位，靜轉之鐵圈又漸次振動。本節實驗，如無鐵鏈圈，可用鐵箍及棒，或用圓木圈，或木製圓錐（倘用木製圓錐形之物體，須將其尖端懸於轉動器

所連之繩上)。或取檸檬一枚，以轉動器上所附繩之下端繫住檸檬小柄，乃將轉動器之柄轉動，此檸檬即順其短軸而轉。

實驗 41. 本節實驗，為著者個人所發明，雖無甚奧妙，實地實驗時，亦頗饒奇趣。法用平常足球中之球膽一枚，膽中滿以清水一品脫或一品脫半；其裝水之容量，須視球膽之大小而定，可以增減。乃將球膽之口紮緊，另用細繩一條，一端縛住膽口，一端縛於轉動器之鈎上。裝置既畢，徐徐將轉動器之柄搖動，此球膽即起一種變化，與實驗 40 各物之變化無異。轉至後來，球膽之上下忽然凹入，成一平面圓圈形，與較小之救生圈相彷彿，成一平面形而旋轉。

將陀螺旋轉，何以能漸漸直立？

當一陀螺旋轉，其尖端在平面上作大圈時，即漸漸直立，有時竟能完全直立。吾人研究其理，知平常欲使旋轉之物體其尖端在平面上作圈，成圓圈轉動，而處直立之地位，必須增以外力，令其尖端作圈愈速。所以當陀螺靜轉之時，必有外力相助。倘陀螺旋轉時，不以手或其他物觸之，除陀螺本體與空氣互相摩擦之外，祇有陀螺之尖頭與桌面或地板面之摩擦力，然空氣與陀螺之摩擦力不足使其呈此現象，其呈此現象者，實為

桌面與地板面之摩擦力無疑。如圖 41，即表明放大陀螺軸心
下端尖頭之片面。圖 (a)

為陀螺直轉之狀，其轉軸

AB 直立，其最低之 A 點

在 EF 平面上而轉。圖 (b)

為陀螺轉動略斜之狀，與

GL 之垂線成一角度，此

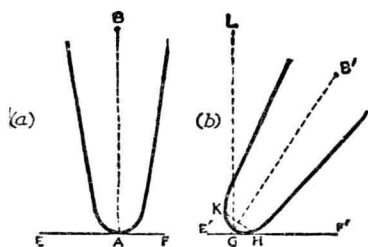


圖 41.

陀螺沿 GB' 軸線而轉。今試命 GB' 之軸線為輪軸，其所經
徑線與陀螺在桌面轉動之地位如 KH 。此軸輪轉動之方向，
作為時計橫置桌面，將其針旋轉之方向。於是陀螺轉動時，即
能發生一種勢力，使陀螺向心而轉。然陀螺之尖作圈時，亦欲
向心而轉，因任何旋轉之物體，苟其支點在重心之下，其自轉
及其作圈之方向必同（詳見第五章）。或陀螺旋轉之力甚速，
其自轉之速度較其尖在桌面作圈之速度更大，陀螺之自轉力
即能增加其作圈之速率，故陀螺漸漸直立。倘陀螺旋轉時愈
直，如圖 41 (b)，其轉軸下端所轉圓圈之直徑線必愈短，故陀
螺環行時自轉能愈速，此理極為明顯。故任何物體，倘其重心
較高於支點，旋轉時必能漸漸直立。

實驗 42. 地震陀螺。

取金類薄片特製空心之陀螺一，表面預開一孔(此等陀螺以黃銅製成者最為合用)。其所以如此構造者，因欲於此陀螺旋轉時，可投入一、二或三枚之小鉛丸耳。今試用指或線將此陀螺旋轉之，取鉛丸一粒自其孔投入，陀螺立能發生一種震動。倘投入之鉛丸愈重，則其震動之力愈大，再將同重量之鉛丸投入一枚，震動立止，即恢復穩定之狀態，而重量得以平衡。現將旋轉之陀螺立使其停止，二鉛丸所處之地位必互相對持，分離成一百八十度。倘不即停止，再以第三鉛丸投入，三丸必各相離成一百二十度，或三鉛丸之位置必居等邊三角形之角尖。此富有興趣之陀螺(英國福禮鐵街牛頓洋行，有製成此種陀螺出售)，為吉耳(H. V. Gill)教士所發明，其用此實驗，可表明同理之地震。蓋旋轉之物體(地球即為旋轉物體之一)，倘有一處震動，如地震或地殼一部分突然凝縮等事，旋轉之平衡即被擾亂。如欲重復其平衡之狀態，在該物體之他方面，須有同樣之更變也。

第五章 旋迴機

抽陀螺之中，最有趣味者，為旋迴機(Gyroscope)。圖 42

與 43 所表明，即為其最簡單之一種。此機構造雖極簡單，然可作奇妙之實驗。此種旋迴機，在英國市上不過價值一二先令。旋迴機之構造愈精，其旋轉之時間愈長，價亦愈高。但用普通值一二先令之旋迴機實驗，亦可得種種興味。當旋迴機未實驗時，須預先細測其鉛輪是否平衡，是否能安穩旋轉，宜用下法修理之。法用油塗轉輪之相銜接處（宜常塗之），然後測鉛輪能否自由旋轉，然不能使鉛輪與其附着處放鬆，宜用螺絲在外面圓圈上旋緊之，或在別種同樣架上均可。當修理時，鉛輪須直立。修理既畢，可將該輪旋轉。轉動之時，

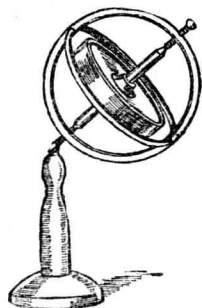


圖 42.

軸處於任何方向，鉛輪能否平衡，須細測之。倘一邊漸漸下墮，即顯鉛輪四面重量不均，可在較重之一邊鑿洞一個或數個，使重量平均而止。軸之一端用線繞之，抽線而使鉛輪急轉。倘在旋轉時，其表面無震動之現象，此旋迴機可預備作下述之實

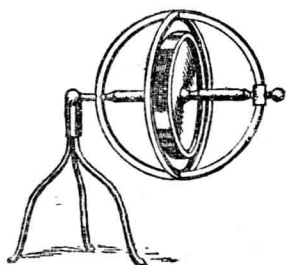


圖 43.

軸處於任何方向，鉛輪能否平衡，須細測之。倘一邊漸漸下墮，即顯鉛輪四面重量不均，可在較重之一邊鑿洞一個或數個，使重量平均而止。軸之一端用線繞之，抽線而使鉛輪急轉。倘在旋轉時，其表面無震動之現象，此旋迴機可預備作下述之實

驗。若稍有震動，須再鑿小孔，務使其旋轉時不震動為度。

實驗 43. 取旋迴機轉動之，轉動之方向須先擇定。乃置於所備之架上，使其輪軸直立。此後有何種之動作，宜細觀之。

實驗 44. 再取上述之旋迴機轉動之，此次所轉之方向與前相反。仍置架上，細測其呈若何動作。由上實驗，其所得之效果如下。當旋迴機轉輪旋轉時暫時之間，其軸能直立。但不久即漸漸斜倒。斜倒時，旋迴機必在架上作圓圈形旋轉，愈久愈斜，愈轉愈快，至終旋迴機之螺絲頭即離凹形之架頂而下墮。其中最宜注意者，即旋迴機作圓圈形旋轉，謂之旋迴之方向，必與旋轉之方向相同。故旋迴機轉時及墮時，其旋迴之方向，必與其轉輪所轉之方向相同，此非每一旋迴機能有此種之轉動，不過旋迴機當其重心點在支點之上時，均呈此現象。

實驗 45. 及 46. 仍依實驗 43 及 44 行之。惟將旋迴機旋轉時，不置於架上，但用繩一條，一端以手牽之，他端做

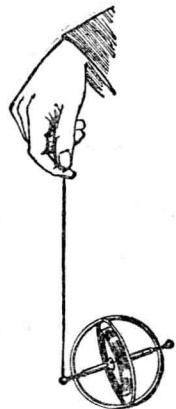


圖 44.

成一小圓圈，套於旋迴機輪軸之螺絲頭上，如圖44。

實驗 47. 取旋迴機一轉之。使此機直立於玻片磁盆或光滑物體之面上。當轉輪旋轉時，其外圈亦同時旋迴。倘將外圈染成各色(用采釉最合宜)，轉動時，極為美觀。

實驗 48. 用旋迴機一，用力急轉之。當其急轉之際，速置入可裝置旋迴機之箱內，將箱蓋合上，置箱於倒覆之玻璃杯底上，如圖 45 及 46。與杯底相密接之箱角，必須為旋迴機轉軸所立之箱角，且旋迴機轉軸之二端，須緊觸箱角，不使其滑脫，否則實驗時難得完美之效果。倘佈置完備，箱角必能直立於杯底，與箱中旋迴機同時而轉。其作用雖與幻術不同，然頗能引人注目。

實驗 49. 取長 15 呎或 16 呎之鉛絲一條，絲之粗細以能嵌入螺絲頭上面之凹處為度。再取旋迴機一，旋轉之。將鉛絲二端縛成斜勢，置旋迴機於鉛絲較高之一

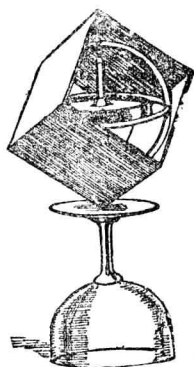


圖 45.

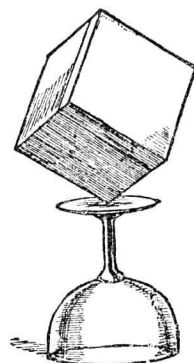


圖 46.

端，旋迴機受地心之
引力，即能沿鉛絲而
下行，如圖 47。

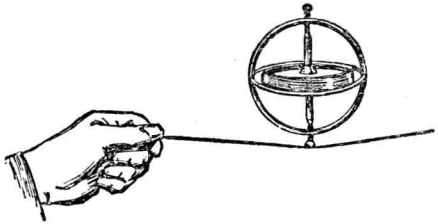


圖 47。

實驗 50. 取旋
迴機一，如圖 48，旋
轉之。如使其在保護

圈上轉動，置在桌面推滾之，則不橫倒。再將上述旋迴機旋轉，
其外圈以二手握住，向身體左右各方面
撓轉之，旋迴機即生抵抗力，不願改其旋
轉之平面。倘順其轉軸向上下推移，或
照其轉輪旋轉之平面推動，旋迴機一無
抵抗力。若彎曲其轉輪旋轉之平面，立
即起反對之動作。當旋迴機旋轉之時，向
某方向推動，雖不能處於直反對之地位，
然必有如蟹之橫行動作，偶不細心，必從
手中躍出而下墮。此種之問題，後再討論之。

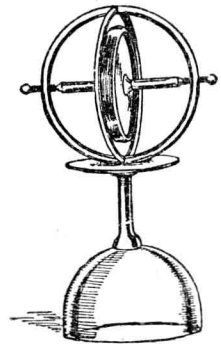


圖 48。

實驗 51 及 52. 每次實驗時，可用旋迴機二架，顯明其不
偏不倒之特性，如圖 49 及 50。而圖 50 之實驗，當初轉動時，

居於上首之旋迴機，務使直立。

實驗 53 及 54. 將旋迴機在架上轉之，如實驗 43. 當其作斜形旋迴時，與水平面約成 20 度之角，乃用鉛筆或鋼筆桿，或較輕之木條，順其旋迴之方向向前推之（須細心不可向上或向下推動），旋迴機即漸漸直立，反對地心之

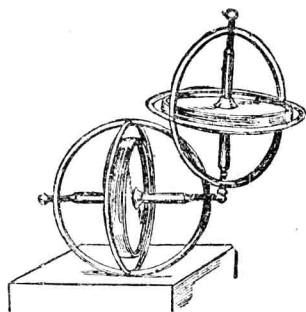


圖 49.

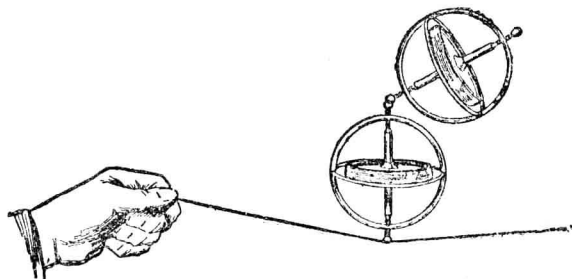


圖 50.

引力。倘用棒阻當其進行，緩其旋迴之勢力，旋迴機即受地心之引力，漸漸斜倒。由上簡單之實驗，能得旋迴機最緊要之理二：

(一) 當旋迴機一旋轉之後，即發生順其初所轉之平面繼續旋轉之能力，且其能力極大。

(二) 當旋迴機旋轉時，照常所得之效果，恆有繞支點旋迴之轉動，其遲速則不等。倘用外力增加其旋迴之勢力，旋迴機即漸漸直立；倘用外力阻當其進行，即漸漸斜倒。

實驗 55. 取同式之旋迴機二架(所謂同式者，即其轉輪有同等之重量也)，再用較輕之黃銅棒一條，長約二呎許，二端各附以旋迴機一，其中段鑿孔一，置於銅叉之上。將銅叉插入銅管，使能自由旋轉，乃置銅管於木架上，如圖 51。連旋迴機之銅棒能在平面軸上

自由轉動。圖中所示在中軸左旁之小活動平衡重錘，重體，可用之使全棒得平衡之勢，亦可使二邊輕重不均。如上裝置，連此旋迴機之銅

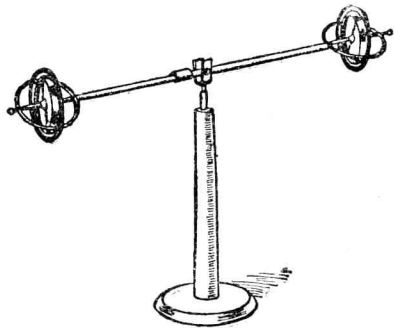


圖 51.

棒可有二種之動作，一為上下轉動宛如俯仰板然，二在中直軸上有旋迴運動。換言之，即置旋迴機於活節上，可向任何方向

旋轉，既可向上又可向下，既可向左又可向右，或同時間作二方向運動亦可。配置已妥，將旋迴機轉之，使二機轉輪自轉之方向相反，但轉須相同。倘不能十分相等，亦必使其略同。可用下法轉動之。法用釣魚線或平常黑色製地毯線一條，一端將甲機繞之，不即抽線，不使其旋轉，乃將黃銅桿轉動成半圓圈形，使乙機處於前甲機之地位，將線之他端繞之，其所繞之方向須與前相反。於是急抽去此端之線，使乙機旋轉，再將黃銅桿轉迴原處，將他端之線亦抽去之，使甲機亦轉。倘二次轉力相等，黃銅桿任處何地位，能立定不動，因甲乙二機之轉力互相混和也。

實驗 56. 再將上述甲乙二旋迴機轉之，但此次二機轉輪所轉之方向相同，黃銅桿即不能往所推之方向，倘將桿之一端壓下，銅桿即向右而轉；將同端上推之，銅桿即向左而轉。若將銅桿向右推之，該端即漸漸下墮；向左推之，即漸漸上升。每次所推之方向，與其所轉之方向，必成直角。若將其所轉之方向（只用一旋迴機亦可）與其所推之方向，細心研究之，即可得下述之公理：凡旋迴機轉動時，苟用外力向某方向推之，旋迴機必使其軸與所推轉之軸成一最合宜之地位，其自轉之方向

亦必與推轉之方向相同。

實驗 57. 取普通旋迴機一架,其輪軸一端之螺頭與一小滑車釘接,如圖 52,旋轉之,置於斜懸之鉛絲上,旋迴機即能順絲下行而不墮,此實驗比實驗 49 深進一步。

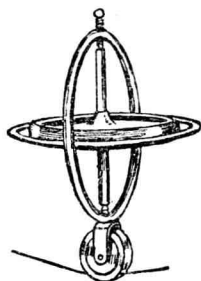


圖 52.

實驗 58. 此實驗與上述之實驗相彷彿,但此實驗中所用之旋迴機,其轉軸直接與滑車相觸(見圖 53),其地位當轉輪旋轉時適能使旁立之木偶人直立,且

能順鋼條(即鐵軌)迴旋不息.此玩具(單圈旋迴機)可在英國市上購之,其價值為一先令或不及一先令。

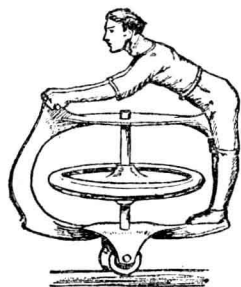


圖 53.

實驗 59. 取普通旋迴機一,其外面之一銅圈上釘以滑車二枚,如圖 54. 旋迴機之轉輪,或直立或成平面,毫無關係,圖中所顯之轉輪乃直立者. 茲將旋迴機急轉之,置於

斜懸或橫懸之鉛絲上或線上,旋迴機終不得平衡而下墮. 其

理由何在？上述實驗所連滑車，不過一枚（支點不過一處），故旋迴機能自由旋迴。今連以二滑車，照此實驗所預備，其旋迴即生衝突，或迴旋即被阻礙，故旋迴機即墮。

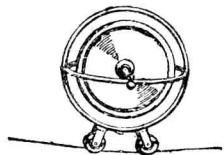


圖 54.

實驗 60. 欲使附有二滑車之旋

迴機平衡行動在鉛絲之上，旋迴機之架必須活動置於附滑車

之架上，如圖 55 及 56。旋迴機既能前後自由轉動，滑車在鐵軌或鉛絲上又能向二邊自由轉動，故旋迴機即有自由旋迴之機會。圖中所顯特別形式之旋迴機，機身既甚重，且重心頗低。倘善轉之，能穩立於鉛絲上約二分鐘許，惟其下端之活車不置於活節上，故此旋迴機不能轉灣，亦不能向前自進，不過順鉛絲之斜勢而流下。倘鉛絲處於水平位置，須用外力推動之方能前行，用自由發動機

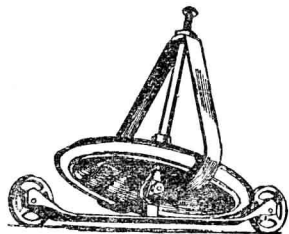


圖 55.

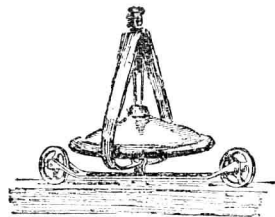


圖 56.

推動之亦可。旋迴機附配發動機後，不能穩立於鉛絲之上，其勢恆欲下墮，因不具改正之能力故。以行動之旋迴機實驗之，興味極足，亦能增益見識，更以深明其中種種理由者為尤甚。

實驗 61. 上述種種之旋迴機，其重心點均在支點之上，不轉動時，即不能直立，必須橫倒。但對於旋轉之物體，其重心不必定在支點之上，在支點之下或在支點處均可。如圖 57 (面盆陀螺)，其重心點即在支點之下。取普通洗面洋盆一只，倒覆之，中連細長之銚一，其一端須出盆底約半寸許，銚頂磨成尖形，如圓錐體形，旋轉在漏斗形頭之鐵柱上。乃將面盆轉動(用手指撥動之已足)，其旋迴之方向必與轉軸所轉之方向相反。

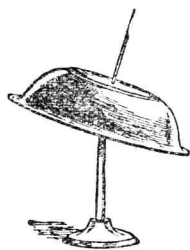


圖 57.

用此旋迴機再試上述種種之實驗，其所呈之現象，宜細觀之。

實驗 62. 用上述之旋迴機，在旋轉時，試與其軸相觸，所得之情形頗可研究。如圖 58 所顯之旋迴機與上述之面盆旋迴機相同；但其重量較大，為黃銅用他種機械製成，輪邊甚厚。用手急轉之，使一指(可用右手食指左面二節處)與其轉軸半端相觸，倘轉輪所轉之方向與自鳴鐘橫置桌面其指針所走之

方向相同，即自左至右。轉輪能緊壓手指，繞過食指之尖端，由指他方面而轉下。如轉軸有三四吋之長短，即能順每指上下而流轉。轉軸亦能沿圓銅圓或戒指而轉動，其外面裏面所轉之方向必相反。若用螺旋形鋼絲一條，使與轉軸相觸，所轉之形狀頗呈異趣；蓋由一方向急轉而入，由反方向

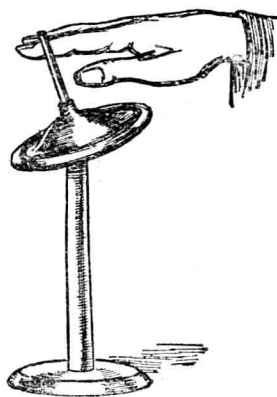


圖 58.

而出，其轉角之狀，殊為奇特。軸之旋轉頗生壓力，所以鋼條不甚堅固即變其形狀，不能發生滿足之摩擦力而收完美之成效。由上述實驗可得下理：倘旋迴機旋轉，使一物體與一輪軸相觸，輪軸在相觸物體上轉動之方向與轉輪自轉之方向必同。

實驗 63. 取圖 59 所示之簡單旋迴機，置於較輕之木架上，使能在直軸上自由旋轉。乃將架連機置於木製模型小舟之船殼上，再置船於滿水之桶

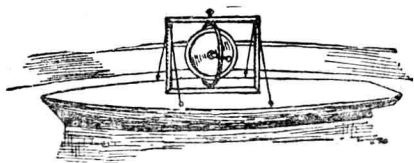


圖 59.

內。今使旋迴機旋轉在橫軸上，亦使順直軸而迴旋（即使其轉圓圈），小舟因之顛簸而前進，但四面之水平靜不動，小舟亦不蕩搖。苟不使旋迴機有圓圈轉動，小舟照上述之理立即搖動。倘置旋迴機於舟之裏面，再使轉輪在平面轉動，不如上作直立之旋迴，又使其重必較低於迴旋之軸，其所得之成績，更能滿意。此即爲雪利客 (Schlick) 定舟之法，使舟在海洋波浪中行走時不蕩搖而前進。

複式旋迴機

用簡單之旋迴機作以上種種之實驗，頗得奇趣；然用複式旋迴機繼續實驗，更能得奇幻奧妙之事實。圖 60 所顯，由攝影而得，爲作者所製造之複式旋迴機；其機雖甚大，但價值不昂。由此圖可見，簡單旋迴機上之轉輪之圓圈係置於較大之圓圈內，且能自由轉動，其外面圓圈及其所包括之各部分均能順一垂直軸自由旋轉。此種旋迴機，倘製造甚爲精細，當轉輪旋轉時，其架處於任何地位，或轉動任何方向，旋迴機之軸（除在連軸處稍有摩擦力外，一無阻力，且此摩擦力易被轉力勝過），無論何向，均不限制其轉勢。因此倘將轉輪旋轉，使其軸指定某某之方向，此軸即能繼續指定而不變。設此旋迴機

之轉輪甚大，且將其輪軸穿孔，在空輪軸中置望遠鏡一架，將此機之全部分置於架上，再將架堅附於輪船之艙面，使旋迴機旋轉（用電力轉動之）；將望遠鏡對準遠處之某物體，輪船雖搖蕩顛簸而望遠鏡仍指該物體而不稍移易。此種實驗，由我儕實地經驗，其所得之成績固甚佳也。

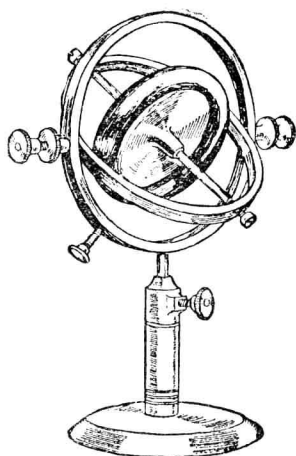


圖60.

實驗 64. 使一複式旋迴機

旋轉之，將輪軸齊平，或幾成平面形。將連輪軸之平面圓圈用力急擊之，全機即蠕動不息，其振動宛如糖汁流動之狀，甚為特別。此種實驗及以下各實驗，雖用製造極粗之旋迴機，亦可得吾人所欲得之效果。

實驗 65. 仍照上述實驗佈置，將旋迴機旋轉，惟不如上次急擊其圓圈，而向下壓之，旋迴機即不願直接下墮，同時向旁轉動如蟹行然，其直軸亦如別軸同時旋轉。倘向上推之，亦得同樣之效果，常有向旁之奇異動作。今再使之成水平，以水

平方向向旁推之，同時間此機亦向上或向下轉動，全視轉輪所轉之方向及所推動之方向爲標準。

實驗 66. 仍照上述之實驗，使旋迴機旋轉，惟不將圓圈向上下推動，用重錘一懸於其旁，其圓圈向下及向旁之動作甚顯明。倘旋轉甚佳及所垂之錘不過重，其旋轉之動作更覺明瞭，全機旋迴不息，而內圓圈即由平面之地位，一端漸漸下墮。

實驗 67. 當旋迴機仍轉動時，將外圈向其旋迴之方向推動之，其內圓圈即順從下之定律，漸漸上升：增速旋迴之力物體即漸漸直立。倘用外力阻礙其旋迴運動，物體即從地心引力之定律，漸漸斜倒。

實驗 68. 可將上二實驗重試之。惟使輪緩轉，其旋迴之速度即比前較大。

實驗 69. 今將外圈直軸在內轉動之木柱上之螺旋旋緊，不使其繞直軸轉動（此直軸長約六吋，其軸之下端在木柱底內之尖軸上旋轉）。機之全部分重量可壓緊其底，不使底轉動。今試將其轉輪略斜，則在前實驗中所遇之抵抗力完全消滅；即此轉輪轉動時不再生抵抗，與輪不轉動時無異。

實驗 70. 仍如上之實驗，惟將木柱上之螺絲放鬆，用右

手之大食二指握住其外圈之底(在直軸與外圈相連接之處),再用左手大食二指握住其內圈,使內圈上下擺動。其外圈直軸欲旋轉之傾向,或即名之為旋迴之效應,在右手兩指上易於覺察。

實驗 71. 茲將旋迴機內圈兩旁之螺旋軸旋進,使內圈成平面形,不能轉動,乃擊動轉輪使其旋轉。再將全部分之旋迴機順其直軸推動,上實驗所得之抵抗力即完全消滅。

實驗 72. 茲再將旋迴機直軸上之螺旋旋進,使直軸不能轉動。使其轉輪旋轉,一手握定木柱(或用兩手握之亦可,須視機之重量及大小為變通),將全機平舉,蹠足尖或足跟轉動身體,先向一方向轉動,後再向反對方向轉動,此機即能呈一種特別之現象。蓋旋迴機及其內圈,其初向一方面翻動,後即易其方向,如發生一種特別魔力然。此等現象,苟實驗者能細為審察,不難灼知其理。若第一次實驗身體所轉之方向,與旋迴機轉輪所轉之方向相同,即不呈奇異之作用,其轉也甚安定而有序。若於斯時立反身體之方向而轉,此旋迴機亦立即變動轉輪所轉之方向,欲順實驗者之身體向同方向轉動,因此其轉輪所轉動之軸,與人體轉動時無形之新軸,成為平行。且實

驗者之身體，既向反對之方向轉動，無論極靜極緩，此機均能被其感動。設身體轉動之際，立即停止，機亦被感而成反向之迴旋，即其初旋迴機轉動極緩，亦可顯明此特種之狀態也。

實驗 73. 先使機全部分能自由運動，一無阻礙。乃將旋迴機轉動之，再使其內層之圓圈直立，任其自由動作。斯時外面之圓圈，因在連接軸處微有抵抗（此連接軸即旋迴機轉動之軸與之相連接者），不久外圈感動轉輪之動力，亦徐徐旋轉，速度由漸增加。任其自轉自停，不加外力干涉，則轉輪必然先停；當其停止或將停時，輪軸即離其直立之地位，一端漸漸上升，至成平面，且微有振動。

實驗 74. 如上圖 60 所示之複式旋迴機，取其體積較大、製造更精良、平衡力極大、而抵抗力甚小者一具，用作實驗，可增樂趣極多。且實驗者利用此機，可察知地球之自轉。如作此等實驗，須將旋迴機內圈之一部分橫刻精密之度數。其旁須備有具交叉線之顯微鏡一具，苟旋迴機略有轉動，即可由鏡上之交叉線詳細察出。此顯微鏡應固置於架上，使與旋迴機內圈之水平位置等高。乃將旋迴機轉動，使內圈成水平，從顯微鏡中察之，即可考得一種旋轉動作；因此機繼續指定某向，

絲毫不變，故是等動作，並非機之動作，所動者乃其架與桌與顯微鏡與實驗者之自身及房屋全部之轉動耳。

實驗 75. 限止旋迴機之內圈之進行，於是此機除平面轉動外，不能再轉動。由此可察知此機之竭其自身之能力，使其軸向南北直指，以冀與地球自轉之軸互相平行。

實驗 76. 當旋迴機處於實驗 75 之地位時，限制其直軸使不轉動，而任其內圈在垂直平面內自由運動。此輪軸立刻能變其位置，與地球之自轉軸完全成爲平行。至於在垂直面內變更若干角度，須視實驗者在緯線之某度爲標準。

本章所論旋迴機之奧義不一。由吾儕所知，用旋迴機可使航行海洋之船舶穩渡驚風駭浪中，用旋迴機可核準地球自轉之原理，用旋迴機可顯明地球正北之方位，用旋迴機可察知地球某處之緯線，用旋迴機可代磁針之應用，用旋迴機可位置兵艦上之砲架成水平，用旋迴機可使放射魚雷合法，用旋迴機可使潛艇行海底時平而且穩，用旋迴機可使火車在單軌鐵道上行走（單軌鐵道爲白來能 (Brennan) 所發明）。不獨此也，應用旋迴機，可改正航行海洋船舶中之指南針，可用此研究拋物體之原理，亦將用此使天空不穩定之飛機平衡。蓋旋迴機之

構造雖甚簡單，而其應用實無限止也。(1)

第六章 曲木標

古昔野蠻人種所用之各種戰器，及其所製練習各器械，種類頗多，最特別者爲澳洲土人所用之曲木標 (Boomerang)。此種器械之特異之點，在其外觀上之特性。外貌甚簡單，其理則甚奧妙。此種器械，誠可謂具奇異之性質矣。蓋是等曲木標，擲之空中，能作奇妙之圖像及奇異之曲線。無論取何目的（譬如以此曲木標遙擊一鳥），持曲木標向目的物遙投之，其標仍能自回至擲者之處。或擲標使向房屋或大樹轉繞，其所行之路成一圓圈形，而標仍能自回。或使其繞擲者身體盤轉，在身體前面而墜，或在後面遠處而墜，皆能指揮如意。按澳洲土人所用之曲木標，能否有上述各種作用，尙屬疑問；因彼等所用之曲木標，除少數爲精良之品外，其餘製造均極簡單，不過爲一彎曲之木棒而已。彼等所製造簡單之器械，用爲擊人之利器固甚佳，欲作精美之實驗儀器則不足。大凡旅行經澳洲者，均知彼處土人用此利器；且互相傳述，謂此種能回之曲木標，

(1) 閱者如欲知旋迴機詳細之理論。可讀著者所編『旋迴機』一書。

係神術之一種。其實非是。吾人欲造一曲木標，能得上述種種迴旋之成績，並不甚困難。惟以曲木標擊各種動物，擊中後欲其再迴旋至原處，則其勢有所不能；但若所擲曲木標與物體表面觸接之輕微不足改變其所轉之方向時，仍可迴轉自如。曲木標之製造，形狀甚多，圖 61 所繪之式，係較為完善之一種。其構造為用薄而堅韌之木片

一枚，一面平，一面圓，兩邊極薄成為刀鋒形，其兩端亦成圓



圖 61.

形，乃使木片之中部向其平面彎曲成 120° 度之角為限。片之最厚處約三分之一吋，長約二呎或二呎半，最闊處約吋半，彎曲之法，除用蒸汽外，亦可用他法為之；法取長短同上之木片一，折而為二，各於其一端銼成斜面，使相貼切，成為 120° 度之角，乃以細釘數枚釘住，即成與上同式之木片。惟照上法用蒸汽烘彎者較佳。製成此完美之曲木標後，以一手執之，成平面形，在空氣中擲出，令其自能急速旋轉，此標即在空中速行，可達實驗種種目的。

實驗 77. 用卡片紙一張，剪成曲木標形，與圖 61 相同。其一端插在左手拇指之指隙中，用右手食指彈之，使紙曲木標

直飛於房中。此實驗須擇較大之室，且室中器具不可過多，以阻礙此紙曲木標之飛行。於無風時，在空場上實驗亦可。當其飛至盡頭時，宜細察其有若何之動作；因其飛至盡頭，仍能循原路轉回也。此種實驗，為幻術家所利用，以卡片自臺上擲至兩廊，能博觀者之歡迎。總之是等實驗，初見之固甚奇異，實則其能得優美之效果，完全在擲者之手術純熟。須視擲出時能否使卡片自身在平面旋轉為標準。卡片飛行之時，苟發生振動，空氣之阻力立能阻礙其進行。卡片擲出時，直前飛行而無振動，即能繼續直飛，直至力盡始止。其所以能特邊之一部分向前直飛者，蓋本於前章所述之理；因曲木標亦係陀螺之一種，惟其形不同耳。至其飛行至盡頭時，仍能循原路回至擲者之地位，其理因曲木標循原路之平面而回比改變其方向而回較易。譬如卡片從擲者手中飛出，假定其飛行之軌道成卵圓形，其飛行軌道之平面與水平面成 30 度之角度，且其已飛至最高之點。當其飛至最高之點時，擲力雖已盡，然卡片自身之力仍在旋轉。且地心引力，實無時無地不呈其作用，故擲力已盡，地心引力即占優勝之位置，欲引卡片下墜，但卡片自身轉動未止，故仍循原路而墜於本來之地位。倘回至別方向而墜，

必須改其平面，斯時自身旋轉力即阻當之，務使其不得回至擲者之處。擲者之力，使曲木標向某定方向飛行。設無自身之旋轉力，其邊衝開空氣，成不規則之形狀，即生一種振動；此振動能令曲木標完全反其平面，勢必從他方向而墜，不能再至擲者之地位。曲木標之形狀所以成彎形或新月形者，蓋欲於擲出之際，使其生一種必不可少之自轉力耳。

實驗 78. 取普通之木棒一枚（即西人所用之手杖），以手執其一端，用力擲之。當此棒離手飛出後，決不能使其棒不端對端而自旋轉。所以擲曲木標者，不過使曲木標之旋轉較棒加速而已。其所以加速者，因曲木標之邊成尖鋒形，減少空氣一部分之抵抗力之故。無論何種棒類或器械，當擲出時，均能生一種自然旋轉之力。倘棒之形略扁闊而不圓，用手平執其一端（拇指在上其餘四指在下握棒成爲水平），順其自離之方向擲去，可大增其旋轉力。

實驗 79. 再取十字架形之曲木標一，如圖 62 所繪者，其豎木長十六吋，橫木長十二吋。照此比例，亦可作較小之十字架形曲木標，惟其豎木與橫木之長短，必準此爲加減。可用硬紙或較薄之韌木片製之。實驗時，用右手拇指及餘指握長木片

之一端，十字架形在前方，將此曲木標緊靠體之左方，成水平形。乃向前擲之，令曲木標自左至右飛出，如圖63。曲木標當飛出時，其自然旋轉之方向必從左至右，如將時計橫置桌面盤面向上時，其指針所行之方向，且可察知曲木標進行之方向係曲線的，且曲線之方向永由右向左。

實驗 80. 仍用十字架形之曲木標一，以右手執之如前，將身體向左旋轉成半圓形，作照上述之方向擲出之勢，但此次則自右向左擲之，如圖 64。其自轉之方向與上相反，其前進之曲線方向曲向右方。每次注意擲之，其所得之效果完全相同。欲明白此理由，不可不參看以下著者之詳細說明。蓋曲木標在空中飛行，

當其自然轉動之方向與時計橫置桌面指針所行之方向相同之時，無論標之何端，其由六時至十二時所行之速度較其他端由十二時至六時所行之速度快。研究其故，知因從六時至十

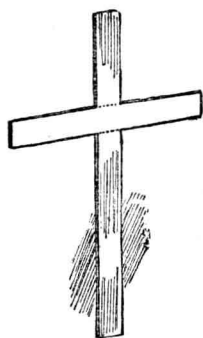


圖 62.



圖 63.

二時之一端向前飛行之速度，爲飛行速度與自轉速度之和，其他端從十二時至六時之向前之飛行，爲二者之較。換言之，此時左方之一端實多受擲出之力，故曲木標之此端上升之傾向較大。照第五章所論，閱者應憶及論旋迴機之理，一端多受力之效應能使前端向上

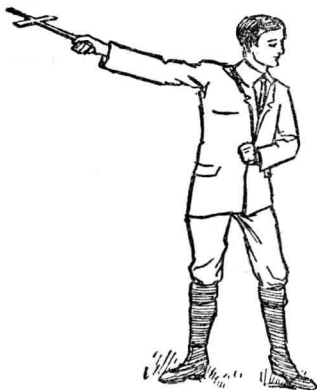


圖 64.

斜側；此種斜側，據第五章之實驗，爲其優勝之動作。現所實驗之曲木標，前端既比後端略高，且其前端之左邊爲最高之點，所以曲木標飛行時，其所經路程，非特向上，亦且向左，故能完全循環一次，或能循環數次。當擲者將曲木標擲出時，苟增加其斜勢，可使曲木標飛行顛倒，即其所經之路程亦與前相反。倘將曲木標擲出，其自旋方向與時計上指針所行之方向相反，其標飛行時，前端亦能逐漸上升，但其循環之方向不向左而向右。

實驗 81. 苟欲完全了解上述之解釋，閱者可再實驗如第

五章圖 60 所表明之複式旋迴機。將旋迴機中部之轉輪置於水平之位置而轉動之，使其旋轉之方向，從上下視，自左至右，使外層之二圈立於同一垂直面內。今置此旋迴機於實驗者之面前，使其圓圈之邊正對實驗者。乃以兩手執其外圈，使此旋轉之旋迴機之一端向實驗者略斜，其中部旋轉之輪即刻向上，仍占水平之位置。當曲木標擲出之時，為其環行速度及自轉速度最高之時；其環行最緩之時，為其飛至盡頭將欲循原路而還之時。當此之時，其自轉仍甚速，乃向擲者之身飛還。直至將欲下墜時，其飛行之速度又增，然其自轉之速度則減少矣。

實驗 82. 取十字架形之曲木標一，不取平面之方向擲出，而高舉之使過首部，向二三十碼外之地上之一理想目的物擲去（圖 65）。及此標脫手飛行，決不能恰如擲者之意料擊着此目的物，將至該地時，立即改其平面向左而轉。因此種擲法，其勢使曲木標向下並向前行，故其速度非常之高；且擲時苟能合法，其旋轉平面之改變極



圖 65.

速。若取同一方向重行擲出，但使其自轉與前相反，此曲木標即向右而轉。大凡擲曲木標時，應練習之手技不過二種，一於擲出時務使曲木標能自轉，一須留意增加其飛行力。有此二種練習，實驗時必能得心應手。今試製成一特式之曲木標，一面使成平面，一面使成圓形，其垂直斷面如圖66。擲出此種曲木標時，當其在空中平面飛行之際，倘能使圓形一部分向上，飛行力必大為增加。圖66中所顯之曲木標，雖飛行時成平面而無些微斜勢，然能上升頗高。當

其在空中飛行緩而自旋甚急時，此標有保守其平面旋轉之傾向。倘欲得各



圖 66.

種有趣味之飛行式，投擲不可過急；不過將其一端速擊出之，即能發生優美之自轉力。此優美之自轉力，對於各種優美飛行之姿勢決不可少。此種實驗，在空場中須擇晴日無風時行之。如有微風，宜向逆風方面擲出。當大風飛揚時，而實驗曲木標，其飛出之成績，不能合於常例，不能限止其飛至何方向而止，亦不能預料其若何飛動。故以上所論曲木標飛行之理，蓋指晴日無風雨時實驗所得之成績而言，不指有風雨時而言。西國風俗，人民在曠野或廣場中，以擲曲木標為最饒興趣之遊

戲。城市之居民雖鮮得曠野廣場，然亦可得有興趣之實驗，不過於製造曲木標時將其形式略為縮小而已。圖 67 所顯之曲木標，為硬紙或錫所製成。另附以簡單之器具。此器具為木板所製成之臺，厚約半吋，長十

二吋，闊六吋，其中一部分剪去，如圖 67 所示。圖中 AB 為鯨魚之骨，或用小鐘內之扁形鋼法條亦可。將臺之一端鑿小

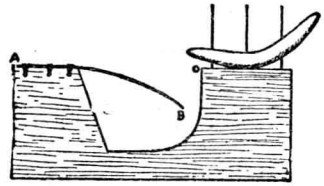


圖 67。

洞三、四，將鯨骨或法條釘於木臺上。此 AB 棒務使其彈動時，適能經過木臺他端之 O 點。其小曲木標可用別針三枚微釘住於木臺之彼端，如圖中所繪。乃將法條用手抑下而釋之，此法條即向上彈出，與曲木標相觸，使向其所指之方向而旋轉。此種實驗。任擇何種曲木標，不論如何變更其形式、大小或重量，均可為之。若略更動曲木標所置之地位，其向前之運動與其自身旋轉之力即因之而變。

此等合於科學性質之曲木標，而其初乃為澳洲土人所製（按此種土人在野蠻種類中為下等），甚為奇異。大約此為彼等偶然製成，非由研究學理而得者。考曲木標飛行時能自行

歸來，不過爲其能力之一部分，且爲昔時擲曲木標者所視爲不甚重要之一部分，此吾人所不可不注意者。近日所製精巧之曲木標，苟略加以練習，雖在力弱之人擲之，此標飛出可達百碼之遠。是種曲木標頗切實用，因其能擊較小之禽獸也。擊或不中，其標卽能自回，故在低濕之地，以之擊野禽類，頗爲合用，蓋平常在此等地方擲出之標不易覓得也。壽恩族土人 (Zuin Indians) 所用之彎棒，恆用以擊殺野兔并斷其腿，可代表曲木標之初步。埃及國紀念塔中所塑偶像，有作擲棒之勢者，恐當時埃及人已有在尼羅河畔用此等棒類擲殺較巨之野禽矣。惟細察偶像手中所握之彎棒，擲出時恐不能如一般曲木標之能自回也。

第七章 繪圖機

本章所述之繪圖機 (Designograph)，能自繪算學上各式之圖畫，十分精確。所繪成大多數之圖畫，非特具奇異之複雜性質，且甚美觀。此機當繪畫時，既無謬誤，又無絲毫遲速，作用頗奇。此機之特長，在能使所繪各式之圖案，可無一重複者。所以用此機繪圖，可得各種新式之圖案，更增研究之興趣。據常理而論，凡機器所作之工，最易重複，恆爲人所厭視。惟此

機所作之工，則能變化無窮。吾人欲得繪圖良好之效果，須先洞悉此機所以能繪成各式圖畫之理。蓋此機之能繪各式圖畫，恃有兩種運動，可舉例以明之。譬如一陀螺在旋轉而不振動之時，其轉輪四周上之諸點畫成同大之圓，互相疊合。若此陀螺之軸側倚桌面滾動，雖亦呈轉圈之現象，然其輪邊上之諸點所經之路不再互相疊合，而成爲許多圓形之曲線。又如有棒一條，其一端插入一鉛筆，此棒能向前後自由滑動；更備木板一塊，板上黏以白紙，此板亦能向前後滑動，惟其滑動之方向與棒滑動之方向須成直角，即一爲橫推一爲豎推。當棒滑動時，令其上之鉛筆能在木板之紙上作線。今試先滑動其一種，或棒或板均可，鉛筆在紙上所繪之圖必成直線。若棒與板同時滑動，並準一定之遲速，此鉛筆在紙上繪成之圖必爲迴旋之曲線，與海螺殼之形狀無異。可知繪圖時所繪曲線如何形式，全視此兩種動作之速率而定。若任何更變其一種動作之速率，即能更變其圖形。凡一運動之物體，經過一定時間，能回至原處再照前重行運動者，此種運動謂之周期之運動；其所經過之時間，謂爲其運動之周期。若一物體以一定速度作圈，在其適作成一圈所需之時間，稱爲其周期時間。若物體運動成爲

迴旋之曲線，如上述鉛筆之前後運動完全終了時所需時間，即爲其運動之周期時間，對於附記圖紙板之運動無關。今使附有鉛筆之棒向前後滑動，而令記圖板之運動準一定之速度而作圓圈形，板上所黏之紙亦須更換圓者。此新運動與前不同，乃爲下述二種最簡單之動作合成：一，直線運動；一，圓形運動。

圖 68 之繪圖機，爲著者所發明而自行製造者。用此實驗，能得上述之兩種運動如圖，機之下部有底板一塊，下連四

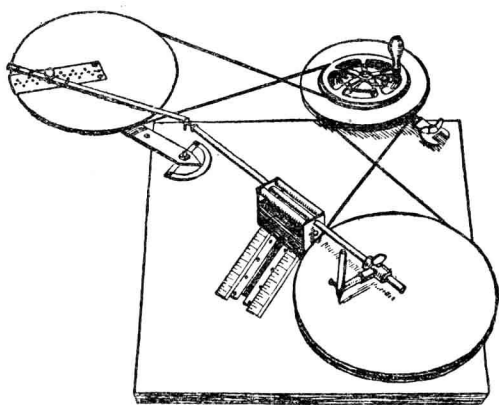


圖 68.

足(此四足在圖中不能見)，上有能旋轉之圓盤三塊，或稱之爲動滑輪。其一上連搖柄，即爲發動輪。左首較大之滑輪附有空洞之金屬板一，其用途能推動附着繪圖筆之木棒。此木棒所以能前後推動，由於一木片一條之相連接；木片之一端用搖

桿與附繪圖筆之棒相連，其他端附以圓頭針一枚，與旋轉之滑輪相連。此滑輪名曰繪圖滑輪。其第三之滑輪，即能在其上繪圖者，名曰記圖滑輪。今未論其餘各零件之前，先論圖 68 所顯明之繪圖機；中有數理，宜細知之。機上之記圖滑輪與繪圖滑輪均與發動輪相連。苟其附屬之皮帶或繩索不滑走（實驗時須注意其皮帶互相牽連，切勿任其滑走），兩輪旋轉之速度雖各異，而其比則同。今預備實驗之。試將此記圖之筆（或鉛筆）置於記圖滑輪之某處，乃令兩輪轉動，此筆即能在記圖滑輪上繪圖，其後即能成一種圖案。如圖 69 所示，完全由獨線所繪成。此為圖中之起線。又如圖 70 所示，為繪圖之完全者。至圖 69 所顯之象，為此機之繪圖滑輪與記圖滑輪之相對的第一次轉完全終了，而其第二次轉將始之際所成。又如圖 71 係三種圖案所合成，最外一層之圖案為五枚完美之環形圈。始繪之際，每圈不過為一獨線。第一線繪畢，若第二線所經之路，能與第一線十分接近，定能得較美之圖。設不能與第一線接近，其效果不良，須將兩輪之相對速度重為配置，方可實驗；此問題容後再討論。總之本章所論之繪圖機，乃一定期或循環合并動作之儀器也。此器變化甚繁；單變其繪圖滑輪之速

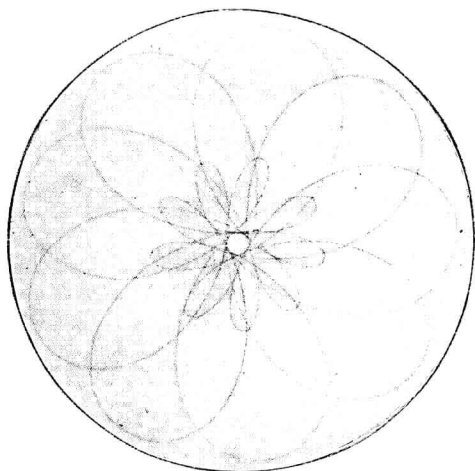


圖 69. 畫之開始。

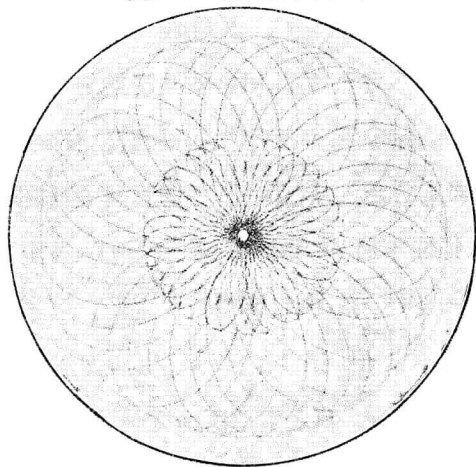


圖 70. 畫之完成。

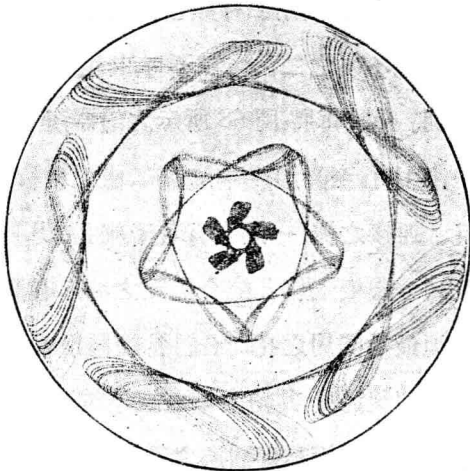


圖 71.

度，其圖樣即隨之而變；單變其記圖滑輪之速度，其圖樣即隨之而變；兩滑輪之速度並行變動，則其圖樣亦隨之而變換。如圖 68 所示，每滑輪設有三種之速度，即能繪成各式之圖案無數。至每滑輪變更其速度，不過為變化圖案數原因中之一。一種動作改變，其他連帶之動作亦隨之而變。由此例推，此機千變萬化，可繪成新式圖案數千種以達數十兆種；曾習代數學中之組合或排列法 (Combinations and Permutations) 者，易明其理，非妄語也。將所繪各圖並置相較，外觀若相彷彿，其實不

同，閱者可細為辨別。倘用二種顏色繪圖，紅色與綠色或藍色與橙色以及其他不同之二色均無不可，其繪成之圖，不同之點一見即能辨別。今試再將圖 68 所示之儀器，重為討論。其繪圖滑輪之上，從中心至圓周，附有金屬製成之狹板一條。板上有無數小孔。連接之棒，一端亦有若干細孔。凡圖案之變更，與棒上細孔同金屬板上細孔配合距離之遠近有關。如將棒上之孔與金屬板最近圓周之孔切合。當繪圖滑輪推動之際，其棒即作長距離前後運動，其繪圖筆可經過記圖滑輪之全部分。如將棒上之孔與金屬板最近圓心之孔切合，其棒即作短距離前後運動。在此長短兩距離之中，任擇何孔均可配合。繪圖筆所經記圖輪之直徑，任何部分均可隨意繪畫。今置各輪速率之變化不論，即就板與棒上之細孔言，每一變更，即能得一新圖。再論繪圖機中之方木塊；其兩端附以金屬板兩枚，連接繪圖筆之棒能在此金屬板兩端空洞中前後推動。此活動之方木塊，有二種方法可改變其地位：一在底板空隙處能前後推動，二能向各方捩轉。此木塊（如圖 72 左上角所示）用陰螺旋及有翼之螺絲與底板相連，故附着繪圖筆之活動棒，能達繪圖滑輪之任何地位，或成任何角度。在此機之上，各種機械不變，但

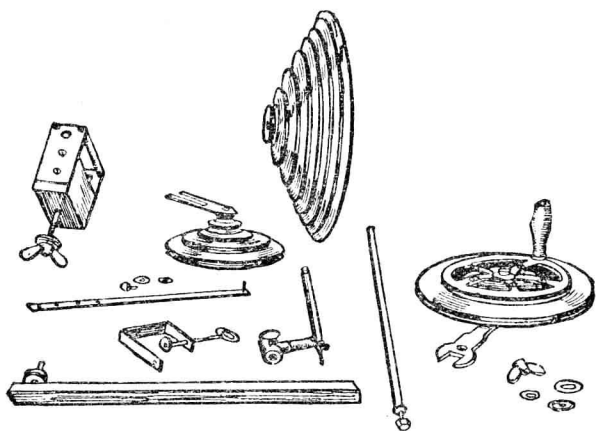


圖 72. 繪圖機之各部分。

變其方木之地位，亦能得各式之圖案。若再改換記圖筆在活動棒上之位置，圖案亦因之而變更。繪圖滑輪下面連接一棒，旋轉自如，其原因在使兩輪上繩索之位置容易變更（轉輪亦連於活動之棒上其理由相同），並且當方木塊變更地位或角度時，亦能使活動棒與繪圖輪在一線上。圖 74 爲圖 73 各器之一部分放大之形，一見即能明瞭。如圖 68 所顯明之繪圖滑輪，可變更得七種速度，發動輪可變更兩種，記圖滑輪可變更五種（可參觀圖 72）。惟此機祇可供之實驗之用，各種速度之變更，實驗上不能每個得最優美之圖案。現再研究此機上之速

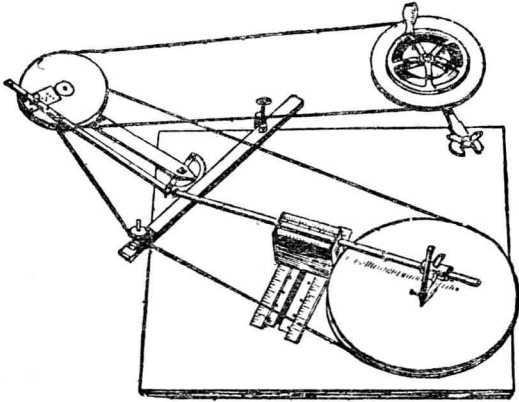


圖 73.

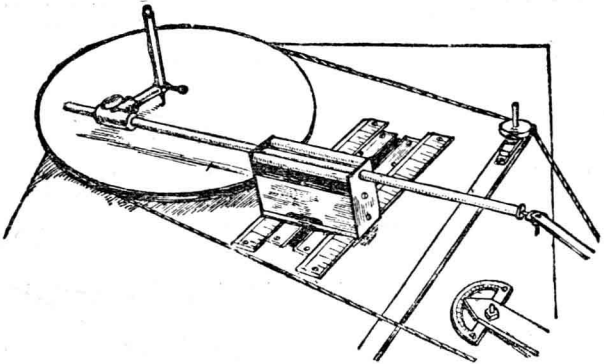


圖 74.

度之變更對於圖案之影響。設記圖滑輪轉動甚速，而繪圖滑

輪轉動甚遲，則繪圖筆經過記圖滑輪亦將甚緩慢，所繪之圖必成螺形，所成之螺絲殼形必不能優美。故此層最宜注意，務使記圖滑輪之行動速度勿甚大；實際上記圖滑輪之速度，無論何時宜低於繪圖滑輪。現再論與前相反之事實，設記圖滑輪旋行甚緩，繪圖滑輪旋行甚速，欲得此種動作，須增加如圖 79 之滑輪 *E*，形式與圖完全相同，但須使之略大。繪圖筆能往來經過記圖滑輪甚速，其所得之圖案必如圖 75 及 76 兩圖。如在一定繼續之時間變更筆上之顏色，所得之圖極為雅觀，能顯各線互相交錯互相組織之形，其美無與比倫。在此機之記圖滑輪與繪圖滑輪互相變化之兩極限中，有無限之速度可以變更，在記圖滑輪之上，可繪成單一之圖，如圖 75 及 76 是；或其全圖為數分圖所合成，如圖 71 是。以各種擺與此機相較，此機有一甚大之利益，即無論何時能使繪圖滑輪立刻停止，或變換顏色，變換後仍可在原處繼續行動。各種擺絕對不能如是。著者所自製之繪圖機，如圖 68, 72, 73, 74 所示者，其機之實在大小為：——底板闊 19 吋，長 21 吋；木厚 1 吋；四足各高 3 吋；底板上之隙，長 $7\frac{1}{2}$ 吋，闊 $\frac{1}{4}$ 吋；記圖滑輪之直徑為 $10\frac{3}{4}$ 吋，附有五種快慢之滑輪，第一種之直徑為 10 吋，第二種為 9 吋，第三種

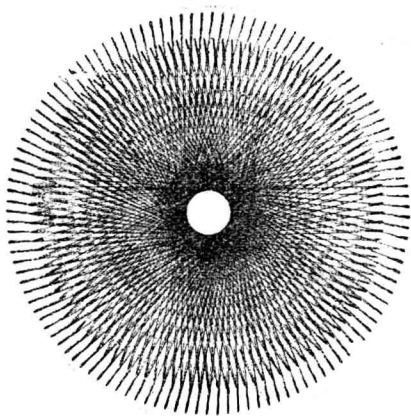


圖 75.

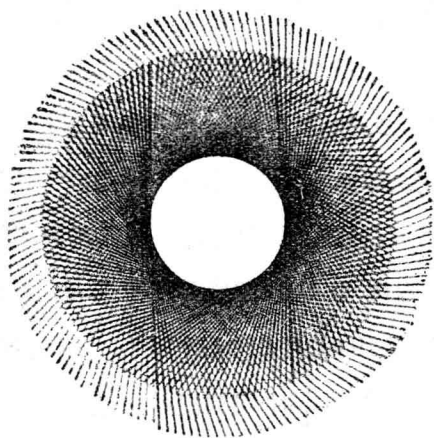


圖 76.

爲 $6\frac{1}{2}$ 吋，第四種爲5吋，第五種爲 $2\frac{1}{4}$ 吋。非繪特別之圖案，其下三種之滑輪可不備。繪圖滑輪之直徑（如圖68所示），長10吋，附有七種快慢之滑輪，第一種之直徑爲 $9\frac{1}{2}$ 吋，第二種爲 $8\frac{1}{2}$ 吋，第三種爲 $7\frac{1}{4}$ 吋，第四種爲 $6\frac{1}{4}$ 吋，第五種爲 $4\frac{1}{2}$ 吋，第六種爲3吋，第七種爲2吋。繪圖滑輪（見圖72）之直徑爲6吋，另附有五種快慢之滑輪，第一種之直徑爲 $5\frac{3}{4}$ 吋，第二種爲5吋，第三種爲 $2\frac{3}{4}$ 吋，第四種爲 $1\frac{1}{2}$ 吋，第五種爲1吋。發行輪附有兩種快慢之滑輪，其直徑一爲8吋，一爲 $5\frac{1}{2}$ 吋。以上所示之繪圖機祇供實驗之用，故其所表各滑輪之直徑之長短尺寸僅爲約略之數而非確定之數，不能依此而得完美之圖畫。惟兩種滑輪中，其較小者常能繪較佳之圖畫。繪圖機中之圓形黃銅活動棒長 $17\frac{1}{2}$ 吋，直徑長 $\frac{7}{16}$ 吋，扁形連接棒長12吋，闊 $\frac{3}{8}$ 吋，厚 $\frac{1}{8}$ 吋。此扁形棒與黃銅活動棒相連之處有活節，故能使黃銅棒可前後自由推動及旋轉，因此欲換繪圖筆上墨水之顏色時，使其筆上彎甚易。其附於繪圖滑輪輪軸之活動棒長8吋，附着於發動輪之活動棒長 $6\frac{1}{2}$ 吋。

精巧之遊戲繪圖機

圖77所示，爲一能引人入勝之小繪圖機，可以一先零之價

值購得之。全機之構造，底板長 $8\frac{1}{8}$ 吋，闊 $3\frac{7}{8}$ 吋，厚 $\frac{1}{2}$ 吋；發動輪之直徑為 $2\frac{1}{8}$ 吋；記圖滑輪之直徑為 $3\frac{3}{8}$ 吋；繪圖滑輪之直徑為 $1\frac{1}{8}$ 吋。繪圖滑輪附屬於長 $2\frac{1}{4}$ 吋之活

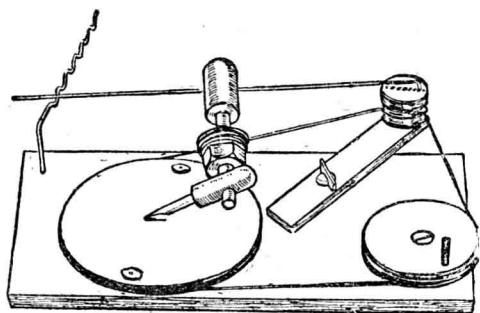


圖 77.

動板上。圖中所表明，有一繩套於三輪之上。帶繪圖筆筆杆之棒或絲，其一端在機上之槽內滑動，其他端隨繪圖滑輪而旋轉。故繪圖筆不止有簡單前後之動作，所繪之圖不止為直線，恆成卵形之曲線，一端較尖於他端。此機可用下述六種方法變更其圖案：(1)變更絲所插在小繪圖滑輪上之位置，(2)變更筆杆在絲上之位置(按筆杆中本有一空隙能使絲在隙中活動)，(3)變更空隙之兩邊角度，(4)變更筆之角度，(5)變更絲棒在彎曲絲上凹處活動之地位，(6)變更在木針上筆座之位置。有此種種變動，尚不能使圖案全異如吾人始願所欲得者，因有大部分複疊，且有時兩種變動得同樣之結果。此機之大缺點，

在無變更各種相對速度之滑輪。其小繪圖滑輪雖有二槽，但可惜此二槽大小相同。若欲使其中之一滑輪較小亦甚易。如果改小，此三輪宜用兩繩裝配，第一繩使發動輪與繪圖滑輪相連，第二繩使發動輪（用第二槽）與記圖滑輪相連，如此即可繪成最新之圖案。發動輪之槽可與小繪圖滑輪上之任何槽連接。由此變動，可得二種之新組合法（Combination）。除滑輪行動遲速之外，第二種缺點為繪圖滑輪太小。若繪圖滑輪與記圖滑輪大小相同，則能大增此遊戲繪圖機之用途。蓋如是，可使繪圖筆前後經過記圖滑輪之全直徑也。若更欲使其有益，可在發動輪與繪圖滑輪上各增加三種速度不同之滑輪，且使所增加之三滑輪之一滑輪之直徑甚小。倘將繪圖滑輪上之直徑最小之滑輪與發動輪上之直徑最大之滑輪相連，再使發動輪上之直徑最小之滑輪與記圖滑輪相連，則可使繪圖筆之速度增大，而記圖滑輪之速度減小。若此兩種速度相差甚遠，則可用各種墨水使所繪之圖案甚佳。一般言之，苟欲收此效果，須增具有兩種速度不同之滑輪一枚，方能令記圖滑輪徐徐轉動也。

變動圖案之大原因

上節所論由繪圖機之種種變換固可使圖案更變，但大多數變更甚微，而其圖大約成同式。欲使變更時顯明其圖案之不同，須用下述種種方法：

- (a) 變更全機轉動部分之遲速相對速度。
- (b) 移易繪圖滑輪上之微孔及變更繪圖滑輪之地位。如祇移易繪圖滑輪上之微孔而不變更繪圖滑輪之地位，則所變之圖案不過大小不同，而內容則一。
- (c) 用不同顏色之墨水。若兩種恰相同之圖案，一用紅綠兩色繪成，一用藍橙兩色繪成，則雖其為同式，然因其顏色不同而外貌亦大異。
- (d) 在同一繪圖紙之上，用細密之法以配合其圖案，使諸分圖成爲一圖。及至繪成，並無拼湊之痕迹；其實此等圖案，爲完全不同之諸分圖所配合而成，或爲同式而大小不同之分圖互相套合而成。

筆與墨水

前節所論遊戲繪圖機所用之筆乃普通之品（觀遊戲繪圖機之圖可察見其筆杆之上有鐵圈及鐵螺旋各一，用之以多得

壓力)，其墨水流出極速。本章各圖中所述著者自製之繪圖機，其筆頭用價值一先零之鋼筆尖，歷經實驗，甚合應用。繪圖機用之特製玻璃筆尖，可向科學儀器店中購之，價值甚廉。苟用此等玻璃筆尖，須特別注意，用後常以清水洗滌之；繪圖機所用之墨水，須用最佳者，宜擇易流動者，黏厚之墨水最不適用。小瓶墨水中之綠藍紫三色均可試用；而紅色之墨水不甚佳，因繪後不生光彩也。黃色橙色及他種顏色之墨水，在普通小瓶墨水中，未見有裝置出售者。若價值較昂之大瓶墨水，或備有此等顏色；蓋此種墨水，店肆中本為預備繪地圖或他種圖畫之用者。初用繪圖機繪圖時，其需用之墨水，若先擇紫、藍、綠、青、及深橙黃諸色，最能使人滿意。每換用一種墨水，其筆尖滴管等須換用新潔者。

紙

初實驗繪圖機時，宜用光滑之白紙。此等紙，每張之大小，約長4呎闊2呎。如欲繪精細之圖，須用光滑之硬白紙。繪圖時苟欲配用幾種顏色，俟所繪第一色已乾，乃再繪第二色，方不混淆。在筆杆上之壓力，未繪之前即宜試驗妥適。所鋪之紙，亦宜平正。記圖滑輪旋轉宜穩靜，不宜振動。繪圖紙在

記圖滑輪上，至少須用繪圖釘三枚釘住，勿任其折纒。

別種式樣之繪圖機

繪圖機之製造，式樣之多，無有限制。圖 78 與 79 所示，爲著者所製之簡單而有成效之兩繪圖機。此兩機將其發動輪省去；試細研究之，其滑輪 O 可作發動輪及繪圖滑輪兩者之用。圖 78 內之滑輪 E (此滑輪有兩種速度) 可名之曰惰滑輪或曰裝飾滑輪，其功用不過使所轉之繩加緊而已 (參看圖 73 及 74)。在圖 79 內，滑輪 E 用以改換記圖滑輪之轉動。在圖 78 內，記圖筆置於薄金屬板之一端，不直接與滑輪 O 相連；在

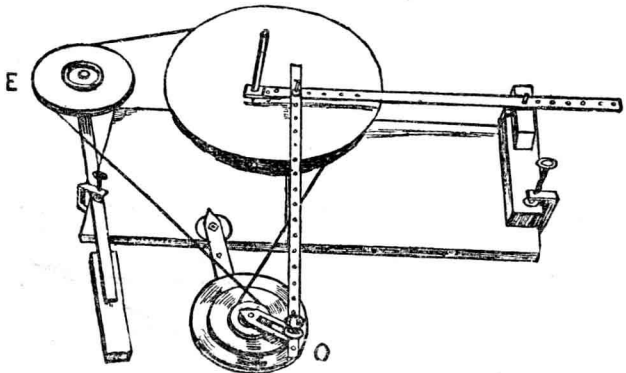


圖 78.

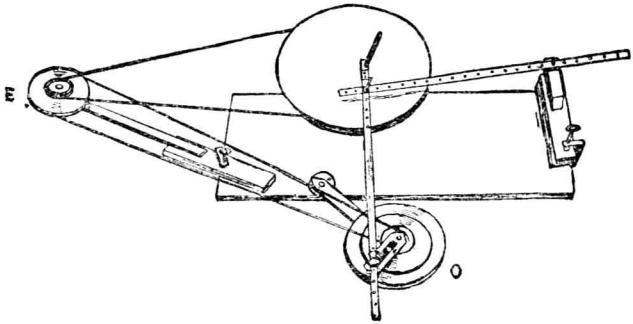


圖 79.

圖 79 內，記圖筆連於 O 處之棒上。其上一法（見圖 78）滑輪 O 轉動之際，最明顯之效果，在使記圖筆繪成圓圈之弧線；此圈之半徑，等於金屬板從其所轉之軸（在圖中右上角）至帶筆極端之長短。倘此端之板長而所行之路短，則繪成之弧線幾乎與直線相類；倘此端之板短而所行之路長，則所繪之弧線必為圓圈之大部分。若如圖 79 所布置，繪圖筆必能繪成某種卵形之閉弧線。若欲將圖變更，祇須改動此兩種金屬棒之相對地位。棒所旋轉之軸（此軸實為一已去頭之螺絲釘）釘住於木塊上，此木塊與底板相連之處可用鐵鉗鉗住，故木塊無論處於底板之任何地位均無不可。此機之繪圖筆能繪各式直線、曲線，故其應用之範圍，有時較前所論之繪圖機為廣。然此機應用

時有數種難點，宜預防之：繪圖筆在繪圖紙上之壓力，須使其平均，須使各部分有充分之自由動作；且其上之兩枚多孔長金屬棒，須保全其剛性。預防第一種難點之法，為加一活動秤錘於有軸金屬棒之他端而使之對稱；預防第二種難點之法，在製造此機時，宜小心，用靈敏之手術配合各機件。苟能如此，雖用最粗糙之機械，亦能得佳良之效果。如圖 79 所示之機之缺點，在雙速滑輪 *B* 之直徑太短，不足使記圖滑輪緩慢適宜。此滑輪上苟再增一與記圖滑輪之直徑相同之滑輪，其結果必較佳；若再能將其較小之滑輪減小少許，更能得益。

製造繪圖機之知識

本章所論繪圖機之理論及其繪成之圖（此種圖係先用繪圖機繪成乃攝影製版印入本書中者），閱者苟略具機械學之技能，頗能作實驗時之幫助，所棘手者，在製造有槽之滑輪較為不易耳。然苟有車床機一具，亦易著手。若無車床機而能得舊縫衣機上之飛輪及小輪等，亦足助製機之用。以舊腳踏縫衣機上之飛輪改作記圖滑輪最為適用。以舊手搖縫衣機上之飛輪改作繪圖機上之發動輪亦佳。此種舊輪，如用以製造繪圖機，其軸與軸承互相附着之處不可稍有破壞，必須轉動活

潑，方能得精美無誤之圖。譬如閱者能自製 1 呎以內之大小不同之滑輪，則各滑輪之直徑之長短以何者最爲實用，爲不可不先解決之問題；蓋滑輪之製造，須有一定之比例及配合法，方能得較佳之結果。前曾論及記圖滑輪之輪不可太小，設此滑輪之直徑長 1 呎，祇有一輪，則繪圖滑輪之直徑至小亦須 1 呎，至少附有三種速度之輪，第一種之直徑勿大於滑輪之 $\frac{3}{4}$ ，第二種約爲 $\frac{1}{2}$ ，第三種約爲 1 吋。另外在機上須備一第三滑輪，其直徑亦長 1 呎，附有三種速度之輪，第一種與滑輪之直徑相同，第二種甚小，第三種居中，約爲最大者之 $\frac{1}{3}$ 。倘記圖滑輪上有三種速度輪，則其直徑之大小，須等於其他滑輪上之中等者。在實地實驗時，若所用之滑輪不能得優美之圖，則不妨棄置之，另在車床機上製成合式之滑輪用之。若不用此多數滑輪，自當尙有他法以變更速度，不過不能較本節所論之繪圖機之製造更簡單耳。

重繪之圖

當機之各部分未拆散之前，欲重繪一圖案，固甚易易；因卽機已拆散而欲重繪一種特別美麗富於興趣之故作，亦非難事。如能將以下所論各種事實加以注意，無論何時皆可得之。

試觀圖 68, 73, 74, 在圓底板縫之兩旁有刻度尺各一。今名左邊之尺爲 A , 右邊之尺爲 B , 則由 $2\frac{1}{2}$ 吋 $A \times 2\frac{1}{8}$ 吋 B 即能知木塊之一定地位。又可作一記錄曰 九孔及三孔; 其意, 即大圓頭之黃銅針在繪圖滑輪銅板上從輪邊數起之第九孔, 在扁黃銅接連棒上從其端數起之第三孔。又可作一記錄曰從 R 端筆桿 $3\frac{7}{16}$ 吋; 由此即能知筆桿在活動棒上之一定地位, R 者即表明順棒視筆桿時上右手之邊也。如是則祇有連接繩之地位未定。今設將每滑輪上附有各種大小滑輪順其由大至小之次序名之曰 1, 2, 3, 等; 並命 D 爲發動輪, D, P , 爲繪圖滑輪, R, D , 爲記圖滑輪。於是作一記錄, $D. 1 X$ 至 $R. D. 2$ 及 $R. D. 1$ 至 $D. P. 5$; 其意即連接繩有二條; 一條連接發動輪上之最大滑輪與記圖滑輪上之第二最大滑輪; X 者, 意即連接繩相交叉也; 他一條接連記圖滑輪上之最大滑輪與繪圖滑輪上之第五最大滑輪。以上種種記錄爲重畫舊圖必需之條件。

第八章 擺

取細絲或堅韌之線一條, 其重量甚微, 可以忽略不計, 下端繫以重錘, 上端縛於穩定之處, 即成簡單之擺。此擺頗多興趣; 其所以多興趣者, 非獨因其中含有科學原理, 實又因其可

供時計之應用。圖 80 所示之二擺，爲二鉛球縛於絲線之下端而成。

實驗 83. 將圖中之較長之擺用手執之，引至一邊，再將手放鬆，此擺因地心引力即能往來搖動。終則因空氣及支點處之抵抗力而停止。佛科 (Foucault) 即利用擺之此種性質證明地球自轉。

實驗 84. 用細鋼絲一條，下垂一重鐵球或鉛球，球之下端附一指針，將絲之他端懸於天花板或樑柱之鈎上，鋼絲之長至少須 10 呎或 12 呎。地板上畫直線一條，使擺在此直線上往來擺動。使擺擺動之法，爲取堅韌之線一條，一端繫於擺絲之下將擺扯起，一端繫於直線上之一定點，用火燒斷此線，擺即脫離羈絆在線上往返擺動。不久擺上之指針即漸變其方向，而與地上之線成一小角；擺動之時愈久，此角愈大。所以有此種之變更者，非擺改其擺動平面，實因地球自轉之故也。

實驗 85. 以手將圖 80 所示之長擺向旁引之，使離垂線

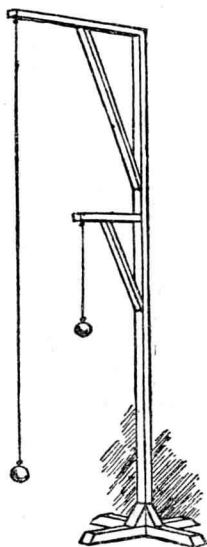


圖 80.

1 呎，乃放手任其振動；用心記明其所作完全往反之一定次數及其所需之時間。今再將擺向旁引開，使離垂線 2 呎，仍任其自由往反，當擺動之次數與上相同之時，其所需之時間亦相同。此爲伽利略 (Galileo) 所發明，即所謂擺之振動所需之時間與振幅之大小幾乎無關也。伽利略作此實驗之狀況頗有敘述之價值。茲記其大略如下。彼先將擺向一方引一定之距離，乃釋手使其振動；在其作一定振數之時間內，以手診察其脈息之跳動次數。乃再將擺引長，使擺幅較前爲大，放手後使其振動；在其與前作同一振數以內，仍以手診察其脈息之跳動次數以爲比較。用擺以記時間即賴伽利略之此種發明。

實驗 86. 如上節實驗，用擺兩枚，但其擺線之長短相等。以兩手分執之，使引長此擺之幅較他擺幅爲大，同時放手，可細察其若何振動。

實驗 87. 此實驗略與上相同。以小木箱或金屬箱二以代擺端之鉛球。此二箱之重量及體積大小須相等（取店肆裝售咖啡或椰子之鉛皮箱最爲合宜，或用二磁瓶代之亦可）。一箱置細沙半磅，一箱盛鐵屑半磅，或換用黃銅木屑及任何物質均可。如是使二擺之重量相同，擺線之長短亦相同，實驗時仍

可顯明此二擺之振動必然相同。由此可知擺之振動所需之時間，與擺錘之物質之種類並無關係；惟各物質必須置於同式二箱者，因欲其往來振動時所得空氣之抵抗力相等耳。此實驗爲牛頓所發明，並用此法證明地心對於物體之引力與組成物體之物質無關而與其質量成正比。用此最簡單之實驗可證明宇宙中最重要之定律。

實驗 88. 擺之振動時間雖與擺之振幅及其所組成之物質無關(但振幅須小)，然與擺線之長短則大有關係。擺線愈短，其振動之時間愈速。欲研究此兩者之間之關係之定律，可再觀圖 80，其一擺較他擺長四倍(兩擺之位置須互相接近)。試將兩手各執一擺球向一方面引之，使離其所靜止之地位之距離相等。同時將手釋放，則兩擺同時振動；當長擺第一次回至手中時，短擺已回至手中兩次。今設有三擺，其長短之比例爲 9,4,1，則其往回之次數必爲 3,2,1，之比。換言之，擺之振動與其線長之平方根成正比。

實驗 89. 凡小孩及成人所歡迎之普通鞦韆，其實即擺也。作用與反作用相等而相反爲人人所知之力學定律。然當吾人立於或坐於鞦韆架之板上時，與其他之物不相接觸，徐徐擺動，

厥後愈擺愈高，與架頂幾成一平面，其理安在？細察鞦韆架上之人之姿勢，可知當其自上而下時，必使其重心愈低愈佳，及已至最低之處，則必須提上其重心；換言之，即鞦韆或上或下，人亦必同時作或立或蹲之勢；此等動作，立者較坐者易於取勢，故立者較坐者可得更大之振幅。如圖 81, A 為鞦韆之支點。

G 為鞦韆及人之合體之重心，其箭形所示，為往來振動之方向。當鞦韆由 G 處降至 H 時（ H 為鞦韆上最低之點），人體必取蹲下之勢；俟鞦韆將降至 H 點時，人體

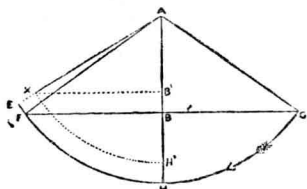


圖 81.

必速取直立之姿勢。倘不如此，則從 G 至 H 點向下之速度只足使鞦韆向上至 F 點。若至 H 點時，人即向上直立，則重心提上至 H' 點，故其向下之速度能使擺提高至 $H'B'$ ，此 $H'B'$ 等於 HB ，乃故使擺提高至 X 處，故擺之振動弧線為 $H'X$ 。弧線 $H'X$ 之半徑短於弧線 HF 之半徑，故角 BAX 大於角 HAF 故振幅增大 FAX 之角度。作鞦韆戲者既至此限制之地位，再向下蹲，使重心至 F 點。如是循環動作，則振動之振幅每次必加增也。

實驗 90. 如研究普通擺之運動，知其運動均從一暫時靜止之地位而起，初時甚緩，漸漸增速，及其至自然靜止時之地位時其運動極速。當其經過垂線後，運動漸緩，直至其終點暫時靜止後，又反向而行，其速度之變更如前。若將橡皮帶或螺旋形之鋼絲彈簧之下端懸以重錘，先用手將橡皮帶或鋼絲彈簧直垂下扯，既釋手後，此帶或彈簧即上下振動。雖此為縱振動，而擺為橫振動，然其運動之由緩而速由速而緩之變更則相同。

實驗 91. 同情擺。

用鏈條兩枚，各懸錘一，其上端縛於螺旋彈簧上，彈簧之上端連於木板上，木板置於兩椅背之上如圖 82。無論將其二鏈中之任何一鏈向下扯，使其在垂直平面內振動，其他一鏈亦起同式之振動；最後初動之鏈依法條由彈簧及木板將其能盡傳至旁一鏈上而靜止。既而第二鏈之振動又引起第一鏈之振動。當第二鏈由彈簧及木板將其能盡傳至第一鏈時，第二鏈又靜止。當一擺靜止之時，即他擺振動最劇烈之時。此種交換動作，其勢力固漸漸減少，然亦可延長至若干時間。實驗時頗為美觀。

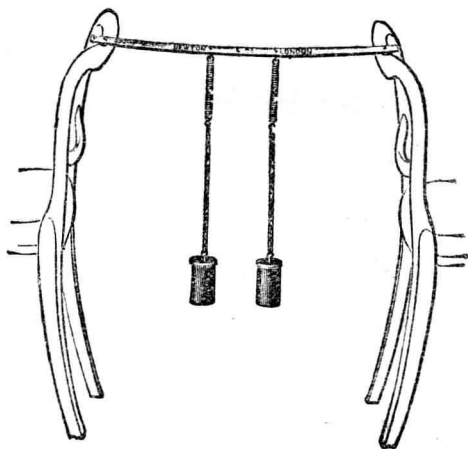


圖 82.

實驗 92. 擺動之同情擺。

取兩擺擺動之，亦可由其橫振動得以上實驗之相同效果。惟此種同情擺，其下懸之錘重量須相等，下垂之鏈長短亦須相同。在兩錘之上少許兩線之中，置活動牽引器。任將一擺橫扯，釋手聽其自由擺動，此二擺之交換振動與上述用彈簧實驗時之垂直振動之情狀無異。一擺之能完全被他擺吸收之前，其振動之次數全依錘上活動牽引器離錘之距離為標準。

實驗 93. 旋迴擺。

如圖 83, 連旋迴機於長棒之下端, 連棒之上端於固定之處, 其連接部分須能向各方自由轉動, 故連接處以活節為最佳。在旋迴機外圈之下, 連以漏斗形之物體一, 其中可滿盛細沙。當旋迴機不旋轉時, 擺之振動與常擺無異, 而漏斗下端墜下之細沙痕迹成為直線, 今試先將旋迴機轉動, 再一手握擺向一方面引之, 既而放手觀其往來振動, 在擺變更轉軸之方向時, 此旋迴機即生抵抗力阻止其轉動 (如上章所述)。故擺所振動之平面常變更其方向, 紙面上細沙濾下之痕迹可顯明其狀態。且附有旋迴機之擺, 旋迴機轉動時較不轉動時, 易於停止。

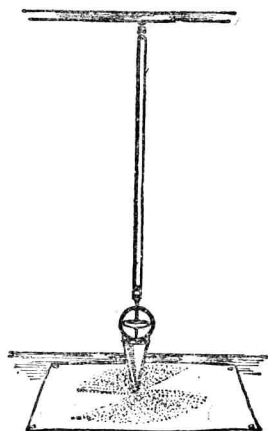


圖 83.

實驗 94. 沙擺。

圖 84 所表示, 為直立之本架一, 木桿高約 3 呎 6 吋, 木底長 2 呎闊 1 呎 6 吋, 兩直立木桿之距離為 1 呎 6 吋。P 為小

木桿，直立於木架之底上； A 為附着於底上不能活動之木片， BC 為能沿 A 邊活動之木片。連有漏斗之鉛輪之直徑4吋，厚1吋。此輪甚易製造，可先用木質製一模型，印於細沙上，使細沙成凹形之模，乃取去木製模型，以已鎔之鉛澆入之，待冷即成。鉛輪中所

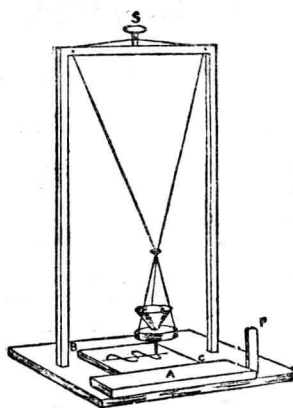


圖 84.

附之錫或玻璃漏斗之尖端之直徑約 $\frac{1}{16}$ 吋。此漏斗宜固定於鉛輪上，不使動搖。鉛輪之邊有三孔，距離相等。取釣魚用之弦線約九呎，將擺縛住，懸於木架上。兩直柱頂端之橫木中，有螺旋(S)，形如胡琴中之絞柱。今將沙滿盛漏斗中，向一旁抽動鉛擺，使之與兩柱之平面成直角形，而放手，同時將活動片 BC 在木架底上移動，則其墜下之沙成為波形之曲線。曲線之特別形態，全視活動片在底上移動之遲速及有規矩與否為變化。

勃刻痕(Blackburn)之雙擺

今取上述之擺略變更其安排之方法，即能使下端之擺錘

與漏斗在同一時間有兩種獨立之動作，其沙墜下所成之形態頗為奇觀。如圖 85, R 為擺線上之小銅圈，能在兩線上或上或下自由活動。設將銅圈在雙線上移高其全部分之四分之一，此兩線在 RS 處即併而為一，惟從 R 起至 RT, RV 兩段仍屬分開。

倘將擺向旁直扯之，任使其與二直柱之一相接觸，乃即釋放之，此擺之振動仍與單線擺相等， TR, TV 兩線不動，而擺之振動點從 R 處起。今將擺斜引之，使至底板之一角處，設與直立之短柱 D 相遇，即變成雙擺，一從 R 處振動，一從 T 處振動。短柱 D 之最佳地

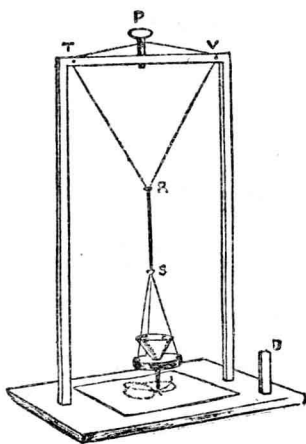


圖 85.

位為使其離右首直柱之距離適得兩直柱距離之半。下端之擺球須先用線縛於短柱 D 上。乃於漏斗中滿盛以沙。用火燒斷所縛之線，其擺即自行擺動。特燒斷線時應注意者，切勿任擺轉動，宜使其得安靜振動之狀態。如此則擺搖動時墜下之沙不成直線，亦不如上述將底上之板抽動時所成之波形曲線，而

自成一種彎曲線，且沙之痕跡能於此圖形上往返數次。所以能成此等彎曲線者，因同時間有兩種擺之動作，一種之擺線爲其全長之四分之一由 R 處振動，一種爲全擺從 $T V$ 處振動。兩擺振動之時間與線長之平方根成比，吾人已熟知之。故在此實驗之內，短擺較長擺之振動速兩倍。使銅圈在擺線之上下活動，即能變更兩擺之振數之比，因此可得無數美觀之曲線形。欲使此種曲線形久留於玻璃片上，可用下法試之：取方玻璃一片至少每邊須長 6 吋，玻璃片上先塗以法國漆或假漆，其塗法先將左手平握玻璃片之一角，用右手取盛漆之器傾適宜之漆於片上；乃將左手向前後左右傾側，使漆周流於玻璃片之面上；然後一角略向下斜，任餘漆流入盛漆之器中，此時仍須將玻璃片向兩旁略爲轉動。最當謹慎者，爲漆在玻璃片面宜均勻，不可或厚或薄。靜置此玻璃片於無塵埃之處，以待其乾。用時，塗漆之面宜上向，使振動之擺居其上。當沙在玻璃片上已繪成一圖時，立刻將擺握住，抽去玻璃片，平置熱火爐上，其漆立時熔化，然後靜置玻璃片待冷，其玻璃片上所餘之沙即可彈去。可保存之如保存幻燈中所用之影片然，另有一法，不用沙，可繪出此種曲線。法在漏斗之底附以金屬針一枚，

使此金屬針與用烟薰黑之玻璃片相接觸。預備薰黑玻璃片之法如下：取樟腦一小塊，約如豆大，置於磚上或瓦片上；再取錫一塊，剪成漏斗形，高約3吋，漏斗之底部剪成幾處缺刻；將樟腦燃着，罩漏斗於其上；如是則漏斗口發出濃烟，玻璃片在其上移動少時，即可薰黑。通常人多喜用沙實驗。惟須注意者，漏斗口之沙之流出之量不可太多。

第九章 連接物及放大尺

吾人欲繪一圓，則用圓規，欲繪一直線，則用直邊之尺；此二法甚不相同。如用直尺，即發生一種問題；蓋第一次果用何法，能使尺邊成爲直線？如照尺之法則繪圓，可用圓形平面之物體一，如銅圓然，置於紙上，將鉛筆尖沿其邊繪之，即成圓形。此種方法，與上述繪直線之法有相同之困難；因第一次製成物體時，須用何法方能使其成爲圓形？此種新穎有價值之問題，並無人討論，直至1864年始有方法，能用儀器繪成直線，如用圓規繪成圓圈然。最初討論此問題者爲浦斯而（M. Peaucellier）。浦氏係法國陸軍中之工程師，其製造儀器之法則容後討論。前浦氏八十年，即1784年中，瓦特（James Watt）始發明其平行運動；此事無一機器師不知，直軸之機關上幾無不

用之者。圖 86 所示，爲此器之最簡單者。 AD 與 CB 爲等長之直棒，能在 AB 兩軸上活動。此 AD 與 CB 兩棒由 CD 棒而相接連。 CD 棒之長，爲當 AD 與

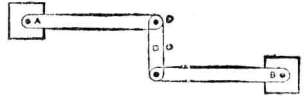


圖 86.

CB 平行時， CD 棒適能與之成正角，置記圖筆或鉛筆於 O 處， O 點適在 C, D 兩軸之中間。設此儀器移動其原來之位置甚少，則繪圖筆所繪之圖頗近於直線。其理由爲 C, D 兩處所繪之圓之弧線，其曲度適相反對，而記圖筆恰在兩弧線之中，故所繪之線既不凹向此方亦不凹向彼方，遂成爲直線。此等直線，雖所繪之距離甚短，亦祇成相似之直線，並不完全成直線形。若任此儀器自由動作，則其所繪之全線即成一 8 字形；而所繪之相似直線，不過爲 8 字中二線相交處之一段耳。

實驗 95. 用上圖三枚連接棒，變更其棒之長短，可得各式圖形及曲線。將此三枚連接棒與轉盤相接（見第七章），並細察其所繪成之圖有若何之變更。欲使此儀器久用不壞，連接棒宜用錫製或黃銅製成者爲佳。連接處之孔，用穿孔器穿成，至連接之軸孔，可取鞋匠所用皮鞋上之銅圈代之。接連處最要在轉動活潑，而不可太鬆。

浦斯而之直線繪畫機

如何能繪成直線？

浦斯而 (Peaucellier) 所用繪成直線之機，爲六枚以上之棒所組成，其接連如圖 87 所示。此外尚有一棒 PC ，其長短適等於 PB 間之距離。 BS 與 BD 同長。 $CSAD$ 爲等邊四邊形。連接軸 A 所經之路能繪成直線，故記圖筆可插在軸 A 之中。用五棒相連，能繪成直線，此問題早已解決。閱者可自運其精巧之技術以求其構造。

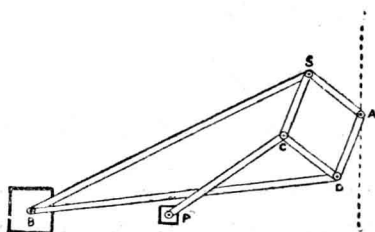


圖 87.

放大尺

放大尺 (Pantagraph) 並非新奇之儀器，爲三百年前雪納 (Christopher Scheiner) 所創造。雖距今年代已多，倘製作精巧，亦多興味而可供實用；蓋用此可以模倣已繪成之圖案，且可照原圖放大或縮小。尺之形式與接連處可以任意變換，惟中段式樣須成對邊相等之形。圖 88 爲最易構造之放大尺。爲等長之扁形棒 AH, GB, HC, BK 四枚所組成。棒之大小

不甚緊要，設其長為 2 呎闊為 1 吋厚為 $\frac{1}{8}$ 吋。C 為不能移動之連接軸，棒 HC 能在其上自由轉動，E 及 F 為二活動之連接軸，每一棒上均有小孔，每小孔相距約半吋許，以備裝置活動軸 E 及 F 之用。A 處連以記圖筆，B 處附以描寫原圖之尖頭棒。今設原圖在 B 處，吾人欲繪一放大之圖，祇將描寫圖樣之尖頭棒依原

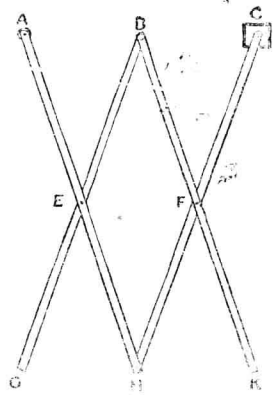


圖 88.

圖動作，而記圖筆尖端即能繪成一同樣放大圖畫。如尺之裝置如圖 88，則所得之新圖比原圖放大一倍。倘在實際上所限定之距離內，再變換棒之長短之比，則能得各種面積大小不同之圖。

斯荷之放大尺

此尺又名為斜形放大尺 (Plagiograph)，實在不過為一種改良之放大尺，係散凡斯脫 (Professor Sylvester) 教授所發明。形式略如普通放大尺，此尺能放大或縮小地圖及他種圖畫，與普通之放大尺同；但除放大縮小外尚有別種功用，可使圖畫轉

成各種之角。倘被鉛筆及尖頭棒轉成之角，從固定之中心點起，為 0 度或 180 度，即能得兩種普通之放大尺；倘將此角之度數之值依次作 360 度之任何倍數之變換，則當筆尖每次經過原圖之際，記圖之鉛筆即能繞固定之中心點再畫一原圖，如萬花鏡然。圖 89 即係此種

儀器。據著者所知，此種儀器並未曾實用，但由表面觀察，知其能繪成多種圖畫。圖中之 $A B C D$ 為等邊四邊形，係四枚同長之棒連接而成。然 $D A$ 及 $D C$ 兩棒各延長至 N 及 M

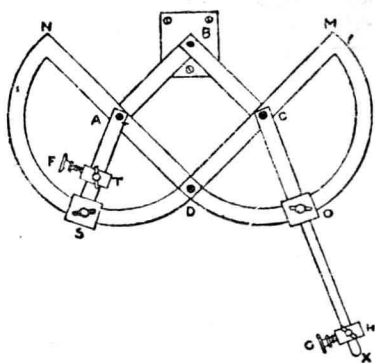


圖 89.

作為兩半圓 NSD 及 DOM 之直徑，全機在 B 處固定於一方木板之上。 AS 及 CX 係二木棒，一棒連尖頭棒，一棒連繪圖鉛筆。此二棒能在 A 與 C 兩軸上活動，並由兩活動方木塊 S 與 O 可固定於兩半圓 NSD 及 DOM 之任何位置。 FC 處接連尖頭棒， GH 處接連繪圖筆；或互相變易其地位亦可，惟視比原圖放大或縮小為準則。連尖頭棒及繪圖筆之物體能

在 AS 及 OX 兩處滑動； F 與 G 爲兩螺旋釘，能將尖頭棒及繪圖筆在一定之地位旋緊。兩半圓周之上須刻有度數。