

最新實用物理學

BLACK & DAVIS

NEW PRACTICAL PHYSICS

陳嶽生譯

汝梅子
字
富念

中
梅
宗
春
敬
譯



著者原序

本書之著者，深信初等物理學之研究，應以對於日常處境中，各方面習見之許多機械與設備，逕有了解其構造與運轉所據基本原理之企圖為始。故本書自始至終，寧以物理學上原理之應用，見之於日常生活者為重，而視分子學說與原子構造之精言微旨稍輕。由經驗可知，學生若能自其已習或方習之科學，探究其應用，而不覺成為習慣，則必大為滿意。是以學校之設備完善，環境適宜者，其所授物理學一科，必成為課程表中最受人歡迎之一目。

為提醒此一觀點起見，著者乃採用最新實用物理學一名，以題本書。在他方面言之，著者對於近十年來理論物理學之最大盛況及其遠大發見，絕非不顧。著者等亦信此二者對於已有成就之學生，極有關係而甚屬重要，固不待言。但為經驗學識，皆屬有限之初學物理學者計，則此等事理，與彼等自己之生活，相去太遠，殊無重大之意味。故論及之時，稍述即止。

更有進者，在最近十年之內，我國工業研究所中，

有許多聰明之士，埋頭工作，其數之衆，無可與匹，因而發見基本原理之新應用亦復不少。此諸應用，本書僅擇其適於所期之目的者數種，以爲教材。然即此區區數種，對於“實用物理學”範圍之推廣，已甚重要矣。

本書現在之一版，因時代變遷之所許，在精神方面，在教授法方面，以及在一般之內容方面，幾與以前各版相同。至於教材，則特按久長之經驗所示者，試排成可教之次序，且於實驗室之物理學，與家庭，與室外，與工廠內之物理學間，常加以直接之聯絡。計算問題，寧擇其切於實用者，而捨棄人爲者，且將解題時涉及之繁難算法，減至極少限度。最後並於每章之後，編成簡明之提要，以助學生集中其注意於重要之事理。又提出許多問答題與計算題，迫使學生爲求其答案計，至教室以外訪問機器匠，美術家，工程師，以及其他之能告彼以珍貴之智識及見解者。

在此一版中，著者信以爲改良之處者若干點，其中可聲明者如下：

1. 常努力使書中本文簡化而擴充，即所舉之例證亦然

2. 計算題與問答題，皆全加改訂，且細分等級。

3. 在附錄中增加溫習用之補充問答題與計算題數百則。

4. 題材已求其新,關於飛艇,無線電交通,以及電視與有色有聲電影之基本原理者,庶可講述稍詳。

5. 近時對於X線與結晶體之驚奇實驗,略述其梗概,並對於由此而可洞燭物質之構造一端,深加注意

下略。

一九二九年正月勃萊克識。

目 錄

○第一章	導言:權與度	1
○第二章	簡單機械:槓桿與滑輪	18
○第三章	功,功率及摩擦力	46
○第四章	液體內之壓力	77
○第五章	空氣之壓力	108
○第六章	正在運動之液體與氣體	145
○第七章	材料之彈性與強度 表面張力	160
○第八章	作用貫於一點之力	179
○第九章	加速運動	199
○第十章	運動之三律	218
○第十一章	勢能與動能	235
+第十二章	熱與膨脹	247
+第十三章	熱之傳播	271
+第十四章	冰,水,及蒸氣	285
✱第十五章	蒸汽與氣體引擎	319
✓第十六章	△磁學	350
✓第十七章	△靜電	368

√第十八章	△電流	.....	387
√第十九章	△電路	.....	410
√第二十章	△電流之磁效應與化學效應	.....	429
√第二十一章	△電功率,電熱,電燈	.....	455
√第二十二章	△發電機與電動機	.....	473
√第二十三章	△誘導圈及變壓器	.....	502
√第二十四章	△交流	.....	524
√第二十五章	音波	.....	541
√第二十六章	樂音	.....	561
√第二十七章	照明:燈與反射器	.....	590
√第二十八章	透鏡與光學器械	.....	618
√第二十九章	光帶與色	.....	660
√第三十章	△無線電報及無線電話	.....	678
√第三十一章	△陰極線與X線 放射性	.....	712
	附錄	.....	729
	復習問答題與計算題	.....	733
	西文索引	.....	1—16

最新實用物理學

第一章

導言：權與度

物理學之科學觀——內容及分類——物理學包含計量兼描寫——英國制與米突制之重要單位——時間之單位——密度。

1. 物理學之科學觀。將在本書中論述之一種物理學，與人人所畢生研究而不知者不同，主要之點，在於不獨欲答“爲何”及“如何”之問題，而並欲爲“究係若干”之設問，尋求答案。蓋欲取用萬物以得最大之利益，祇於精確權度物量時，始能得一種智識，以資臂助。例如汽車之上山，乃因燃於引擎內之汽油，使引擎轉動車輪，車輪相繼抵於路面而後推，如路不過滑，即驅車前進矣，此事之約略狀況人人知之。然物理學家於注意上述一切情形後，猶須進而自問，如：“此汽車用油若干？在理想之情狀下，應用油若干，多用之油，

耗於何處?制動機須施力若干,始克勒停汽車於山上?制動機之表面,須有若干大小,始能勝任?制動桿須如何堅固?”等種種問題,當彼能答此一切問題以及其他多種問題時,始可利用彼之機械,更多效果,且或可改良其機械之構造焉。

2. 物理學之分類。是故研究物理學之目的,要在習於運用準確之思想,以究常見之事物,但事物之種類繁多,情狀複雜,故以全科分成:力學,熱學,電學,聲學及光學五門爲便,今試以欲詳細研究汽車爲例,在力學門中,當研究其拐臂,齒輪,槓桿,唧筒,以及制動機,並包括此諸機械之動作,及其構造上材料之強度;在熱學門中,當研究引擎,揮發器,以及射熱器;在電學門中,當研究電花栓,電花圈,發電機,以及蓄電池;在聲

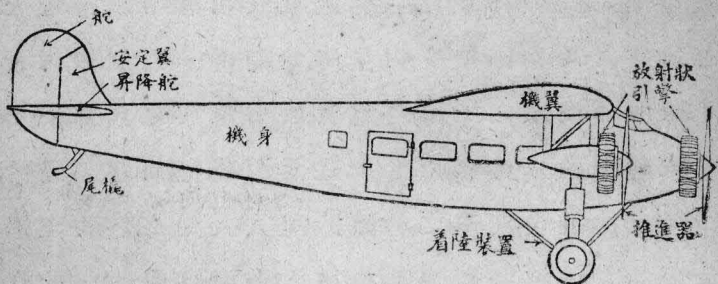


圖1 飛機之側面

學門中，當研究喇叭與消音器；而最後在光學門中，當研究迴光燈及其反射鏡與透鏡，仿此可示任何一種近代機器，不問其為汽車，為機關車，為汽船，為渡過大洋之郵船，為飛機（圖1）或為潛水艇，皆不獨將物理學之諸原理，合為一體，且大部分為物理學所造成。

3. 物理學始於計量。於此開端之時，極可回憶柏拉圖（Plato）氏之古諺，柏氏云：“若自任何技術中除去算術，量度以及權衡，則所餘者已無幾。”故在實驗室中，學者將習知測定種種不同之物，此事並非專為使彼求得若干結果而已，且欲使彼在一生之中，如遇一事一物，即可賴已成之技，作精密之測定，並能將常遇之量的問題，加以準確可靠之討論，惟物理學上一切計量，均稍有出入，而所需準確之程度，則賴乎計量之目的，此宜謹記勿忘，例如決定兩哩石間之距離，一吋之誤差，遠不如測量汽車軸承之直徑，所生百分之一吋之誤差為重要。

4. 計量之單位。在國內各物買賣之價值，係以元角分計量，此種幣制，以十進制為根據，即以十之倍數計算，深以為幸，然就他一方面言，則權度之制即非十進制，因而極不便利，惟因磅，呎，夸，加侖，以及噸，仍

通用於英美兩國，故必須熟知其化法。在最近百餘年中，其他文明各國，多數採用米突權度制，此制中諸單位之關係，即以十之倍數表示之。在科學工作方面，米突制之採用，幾遍全世界，因此制可大減演算時之工作也。故英美權度制與米突權度制，宜兼收並用而熟習之。

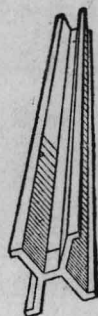


圖 2 國際米突棒。桁腹上所刻兩痕間之距離，即係一呎之長。

5. 呎與碼。呎為特製金屬棒上兩線間之距離(圖 2)，此棒保存於巴黎附近，國際權度局之珍品儲藏庫內。*

此金屬棒之長度，因隨溫度之升降而稍有變動，故以在融冰之溫度時，所量得之距離為準。在美國華盛頓國立標準局內，存有此棒之副樣，極為準確，此樣即為美國之法定呎。

在美國一碼之長，法定為一呎之 $\frac{3600}{3937}$

6. 數種重要之長度單位。有數種長度單位，將見其常用於物理學上，故列之於下表，能記憶更佳

*創此制時，本擬定一呎之長，應等於地球赤道至任一極距離之千萬分之一，然據此定義，終不能仿製一準確之呎。有後實測，知地球之“平均極象限”約為 10,002,100 呎。

長度單位

英國制	1 呎	= 12 吋
	1 碼	= 3 呎
	1 哩	= 5280 呎
米突制	1 糲(公分)	= 10 耗(公厘)
	1 呎(公尺)	= 100 糲
	1 杆(公里)	= 1000 呎
相等值	1 吋	= 2.54 糲(圖 3)
	1 呎	= 39.37 吋



圖 3 英國制與米突制長度單位之比較。

7. 面積之單位。面積單位用之最廣者，為各邊有單位長之正方之面積。例如城市屋基之面積，即用方呎計算，其單位為各邊長一呎之正方。在實驗室中，面積往往用方糲計量，其單位亦為正方，每邊長一糲，一方吋約等於 6 方糲。如以 2.54×2.54 即 6.45 方糲為一方吋，則更較準確。

通常決定面積之法，即係按量得之直線向度 (dimensions) 而計算。例如矩形或平行四邊形之面積，等於底乘高 ($A=b \times h$)。三角形之面積，等於 $\frac{1}{2}$ 底乘高 ($A \times \frac{1}{2} b \times h$)。圓之面積，等於半徑平方之 3.14 倍 ($A = \pi r^2$)。

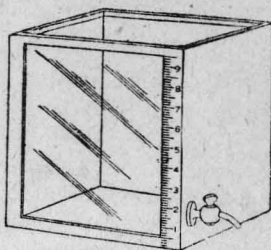


圖 4 一呎之箱，為各邊長 10 釐之立方。

8. 體積或容量之單位。體積單位用之最廣者，為各稜有單位長之立方之體積。例如貨車之體積，係用立方呎計算，單位為各稜長一呎之立方體。在實驗室中，常用立方釐以計玻璃甌之容量。呎 (liter) 為各邊長 10 釐之立方之體積 (圖 4)。故一呎等於 1000 立方釐。

體積單位

英國制

1 立方呎 = 1728 立方吋

1 立方碼 = 27 立方呎

相等值

1 加侖 = 4 夸 = 231 立方吋

米突制

1 呎 (公升) = 1000 立方釐

1 立方呎 (立方公尺) = 1000 呎

相等值

1 呎 = 1.06 夸

決定有規則立體之體積，最善之法，莫如按量得之向度而計算。例如欲知箱之體積，則求其長乘寬再乘高之積。如遇圓柱形，則計算其底之面積（半徑平方之3.14倍或 πr^2 ）再以高乘之。球之體積為 $\frac{\pi D^3}{6}$ ，或 $0.524 D^3$ 。至於液體之計量，則用有刻度之金屬或玻璃量杯。例如在英國制中，即有以加侖及夸計量之量杯，如量少量之液體，則用按液體盎司（一派 pint 之十六分之一）刻度之量杯。在米突制中，則有按呎及立方呎刻度之玻璃甌及量杯（圖5）。一茶匙之容量，約為立方呎，而一立方呎約有20滴。

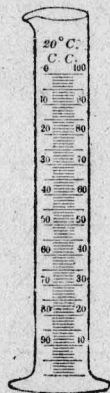


圖5 有刻度之玻璃量杯。

計 算 題

（分數須化成小數，答數須求至三位有效數字）

1. 加14呎，62呎，以及4呎，而以呎表其和。
2. 自8呎減去21呎與2呎之和。
3. 若干呎等於1呎？
4. 若干呎等於1呎？
5. 現在飛機之高度記錄為38,500呎。問此數合若干呎？
6. 若干呎等於1哩？
7. 某汽車之車輪連胎之直徑，為30吋。問(a)車行一哩時；(b)車行一呎時，輪轉若干次？

*欲知“有效數字”之意義，可參閱麥美倫公司出版，勃萊克所著之實用物理學實驗教程。

8. 一水族蓄養器長 60 厘米，闊 30 厘米，深 45 厘米，問此器可容水若干升？

9. 五加侖之汽油罐，可容若干升？

10. 以煤氣吹入供玩弄之氣球，欲使其膨大至直徑 20 厘米，須用煤氣若干升？

9. 重量之單位。† 尪 (kilogram, 公斤) 爲一特製鉑鈹圓柱之重量，此物與標準尺同保存於巴黎之附近；又爲此柱之極準確之副樣之重量，此樣現存於美國華盛頓國立標準局 (圖 6)。製此兩圓柱時，原擬

使其重各等於純水一升之重，惟其後已證實此數不甚準確，然爲目前應用計，則殆已充分準確矣。故等於一尪千分之一之克 (gram, 公分)，爲水一立方厘米之重量。美國市上通行之五分銀幣，重係五克，而

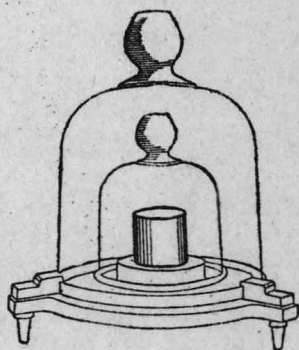


圖 6 標準尪。

半圓銀幣之重爲 125 克，此事如記憶之，或有用處。

在美國常衡之一磅，法定爲尪之 $\frac{1}{2.204622}$ 。

重量之單位

英國制

1 磅 = 16 盎司

1 噸 = 2000 磅

米突制 1 克 = 1000 尅

1 尅 = 1000 克

相等值 1 尅 = 2.20 磅

1 立方呎之水重 62.4 磅

1 立方吋^{24°C}之水重 1 克

10. 衡重之機械 彈簧秤 (圖 7) 爲衡物重之

簡單機械，亦可用以計量他種之力，例如由繩索所施牽引之力，此秤內含螺旋形之彈簧圈，其被引之力，即由外面尺度上之指針指示之。彈簧秤甚爲便利，故其用極廣，且其所示之度，就多種實用之目的而論，已屬十分精密。



圖 7 按克及盎司
刻度之彈簧秤。

臺秤 (圖 8) 之構造，爲一裝置靈敏之等臂秤桿，其兩端各支一盤。

秤桿係用以表示兩物體之重量相等者；如兩物體支於秤桿之兩端而得其平，即謂此兩物體有同一之重量。用臺秤決定任何物體之重量，須用一組砝碼爲憑藉，此種砝碼，可用種種方法連合，使與物體之重相配。

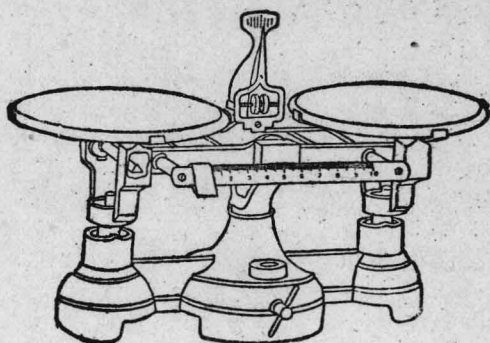


圖 3 裝有瑪瑙軸承之臺秤。

11. 時間之單位 凡文明諸國，皆用秒，分，小時為時面之單位。一小時為自今日正午至次日正午之時間之二十四分之一。一分為一小時之六十分之一；而一秒為一分之六十分之一。故一小時含有 60 乘 60 即 3600 秒；而平均太陽日含有 24×3600 即 86,400 秒。科學家常用秒為時間之基本單位。

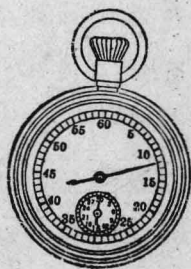


圖 9 按停錶，可以計量五分之一秒之時間。

計量尋常之時間，可用鐘或錶計量短時間，則用一種特殊形式之錶，稱為按停錶（圖 9）；此錶可讀得一秒之五分之一。

計 算 題

1. 若干克等於1磅?
2. 若干克等於1盎司?
3. 糖每磅價洋6分,問每斤之價若干?
4. 美國鐵路章程,允許每一乘客攜帶行李150磅,

試用斤表示此數。

5. 一童子可擲一8磅之彈,至28呎6吋之遠,問在米突制中重量與距離之相等值若何?

6. 有時或聞“一派一磅,天下通行”之語,問水一派重若干磅?(1夸=2派)

7. 汽油之重,約爲水重之四分之三,求汽油一升重量之克數。

8. 一空牛乳瓶重720克,滿盛以水時,瓶重1670克,問此瓶可容若干升?

9. 一刻度之玻璃量杯,內半徑長8寸,可容450克之水,杯上之刻度,係表立方寸數,問(a)在水面讀得之度數爲何?(b)在杯內之水,有若干深?

10. 一汲水桶深9吋,其平均之直徑亦爲9吋,問此桶汲水至滿時,可汲若干磅?

12. 密度 人人皆知鉛較重於軟木塞;然有時尙欲發問,“一磅之鉛與兩磅之軟木塞,何者較重?”須知“重”字實有兩種不同之意義,兩磅之軟木塞,當然較重於一磅之鉛,其義正與兩磅之煤,較重於一磅之煤相同,此時之“重”字,係指物質之全部重量而言,在他一方面,謂鉛“較重”於軟木塞者,係指一塊之鉛,衡其重量,逾於同體積之軟木塞而言,故用“密度”一詞,

以指明鉛與軟木塞所具此項天賦之性質,使更確切即謂鉛之密度,大於軟木塞之密度是也。

欲就數值方面比較物質之密度,祇須衡同體積之各物。若不便於取恰為一立方糵之物質,則求體積較大者之重量,而決定其所佔之立方糵數。於是計算其每單位體積之重量,此即稱為密度者是。例如鉛之密度為每立方糵11.4克,而軟木塞之密度,為每立方糵0.25克。水之密度為每立方糵1克,或每立方呎約624磅,或每加侖約8.34磅。銅之密度為每立方糵8.93克,或每立方呎重555磅,或每立方吋0.321磅。在科學工作上,通常以每立方糵中之克數(克/糵³),分別表明各物質之密度。

密度表*

(每立方糵中之克數)

鉑(即白金).....	21.5	銻.....	7.1
金.....	19.3	玻璃.....	2.4—4.5
水銀.....	13.6	花崗石,大理石等.....	2.5—3.0
鉛.....	11.4	鉛.....	2.65
銀.....	10.5	硬木(曬乾者).....	0.7—1.1
銅(紫銅).....	8.93	軟木(曬乾者).....	0.4—0.7
黃銅.....	8.4	冰.....	0.911
鐵.....	7.1—7.9	人體.....	0.9—1.1

*此表係供參考之用,不必記憶之。

軟木塞.....	0.25	淨水.....	1.00
濃流酸.....	1.84	石油.....	0.80
海水.....	1.03	汽油.....	0.75
牛乳.....	1.03	空氣.....	約爲 0.0012

因水之密度，在英國制中爲每立方呎 62.4 磅，而在米突制中，則爲每立方呿 1 克，故祇須以 62.4 乘米突制中之密度，即約英國制中之密度。

13. 密度之測定。由實驗以決定一物之密度，最簡之法爲衡此物而量其體積，再計算其每單位體積之重量。

例如，有松板一塊，長 6 呎，闊 1 呎，厚 6 吋，其體積即爲 3 立方呎。若此板重 90 磅，則其密度即爲每立方呎 30 磅。

一空石油罐重 1.25 磅，於盛滿石油時，重 36.25 磅，故知罐內之石油，淨重 35 磅。若此罐可容 5 加侖，則石油之密度，即爲每加侖 7 磅。

純鋼一塊，長 15 呿，闊 6 呿，厚 1.5 呿，而其重量爲 1050 克；於是知鋼之密度，爲每立方呿 $\frac{1050}{135}$ ，即 7.8 克。

如欲求形狀不整齊之石塊之密度，可由其排水量以決定其體積。當石塊浸於水中時，即排去與其體積相等之水，故在有刻度之量杯中，此排去之水，其體積即可由升高之水面讀得之。

例如，在有刻度之量杯中，設有水 100 立方呿，以石投入時，水面升至 160 立方呿處，於是石之體積知爲 60 立方呿

設此石重150克，則其密度即為每立方糎 $\frac{150}{60}$ 即 2.5 克。

由前數例觀之，即知物體之密度，係以體積除其重量而得。故

$$\rho = \frac{M}{V}$$

密度 = $\frac{\text{重量}}{\text{體積}}$

因重量與體積，有種種不同之單位可用，故述及一物之密度時，僅舉一數，猶未充足，必兼舉所用之單位始可。故鉛之密度，當謂為每立方糎 21.5 克（或 21.5 克 / 糎³）

若已知一物之密度，即可算得此物任何體積之重量，此事亦甚明顯。工程師即採用此法，以計不能權衡之建築物與橋樑之重量，因

$$\text{重量} = \text{體積} \times \text{密度}$$

故也。

例如，有一玻璃板長 9 糎，闊 5 糎，厚 3 糎，問其重若干？因玻璃之密度為每立方糎 2.5 克，而此玻璃板之體積為 $9 \times 5 \times 3$ 即 135 立方糎，故其重量為 135×2.5 即 337.5 克。

又如有一鋼筋混凝土製成之橋脚，某工程師算得其中含有材料 2500 立方呎，並知此種材料平均每立方呎約重 150 磅。於是此橋脚之重量，即等於 2500×150 即 375,000 磅（約 188 噸）。

若所求者為一物之體積，則有

$$\text{體積} = \frac{\text{重量}}{\text{密度}}$$

例如, 100 克之砝碼, 其體積為 $\frac{100}{8.4}$, 即 11.9 立方厘。

計 算 題

(必要時可用 12 節之表)

1. 牛乳一卮, 其重若干(克)?
2. 有金屬一塊, 長 10 厘, 闊 8 厘, 厚 6 厘, 其重量為 1267 克。問 (a) 其密度為何? (b) 此係何金屬?
3. 一石塊之三向度, 為 4 呎, 2 呎, 15 吋, 而其重量為 1625 磅。求其以每立方呎中之磅數表示之密度。
4. 一通常之平底酒杯, 其容量約為 280 立方厘。問 (a) 此杯可容水銀若干厘? (b) 可容水銀若干磅?
5. 若干立方厘之軟木塞, 其重可與 100 立方厘之鉛相等。
6. 鉛製圓柱長 8 厘, 直徑為 4 厘。問此圓柱重若干克?
7. 問直徑 6 呎之花崗石球, 其重若干? 假定花崗石之密度為每立方呎 170 磅。
8. 問一立方呎之鉛, 重若干磅。
9. 一救生器中之軟木塞重 20 磅。問其體積為若干立方呎?
10. 一冰塊長 18 吋, 闊 12 吋, 厚 10 吋。問重若干磅?
11. 一玻璃板長 30 厘, 闊 20 厘, 重 1218 克, 而其密度為每立方厘 2.9 克。問玻璃之厚度為何?
12. 以 500 克之黃銅砝碼, 緩緩沉入盛水至口之杯中。問 (a) 有若干立方厘之水溢出杯外? (b) 溢出之水重若干?
13. 通常之磚, 合 32 塊之體積為 1 立方呎。設有一磚係以黃金製成者, 問力量限於 100 磅之童子, 能否舉起此

磚?說明計算之法。

14. 鐵路旁之圓柱形蓄水櫃,其內部深10呎,直徑6呎,問此櫃可容水若干噸?

15. 用汝自己之體重,算出當汝在水櫃中水面以下時,汝所排去之水之立方呎數。

16. 罷爾沙(Balsa)為一種輕木,有時用於製造飛機,長4呎,闊1呎,厚6吋之板,僅重14.6磅。試比較軟木塞與罷爾沙之密度。

17. 匙一把,外觀似為銀製,當沉入量杯中時,水面自460立方厘米升至468立方厘米,匙之重量為76克。問此匙是否為純銀製成?並述其理由。

18. 一室長8呎,闊6.2呎,高2.8呎,求(a)以斤數,(b)以磅數表室中空氣之重量。

19. 一銀球外觀似實,其實中空。球重4.5斤,而直徑為10厘米,問中空之部分,其體積為若干?

20. 油一滴已知其重量,滴於水面;散而為圓形之薄膜,其直徑亦可量得。問如何可計此膜之厚度?

第一章 提要

在米突制中,標準長度為呎(39.37吋),標準斤(2.2磅)等於1000克。一立方厘米之水重1克,一呎等於1000立方厘米(約為1.06夸)。

一物之密度,為單位體積之重量。

$$\text{密度} = \frac{\text{重量}}{\text{體積}}$$

$$\text{重量} = \text{體積} \times \text{密度}$$

$$\text{體積} = \frac{\text{重量}}{\text{密度}}$$

$$1 \text{ 磅} = 453.6 \text{ 克}$$

$$1 \text{ 立方呎水} = 62.4 \text{ 磅}$$

問 答 題

1. 小鋼球之直徑,汝將以何法量之?

2. 一書一頁之厚度,用何法可以量得?

3. 有玻璃管一，其口腔甚細，汝用何法可以決定其內直徑？
4. 在 0,00128 中，有效數字幾位？
5. 船上所用之時計與鬧鐘，有何區別？
6. 軟木塞因其密度甚小之故，有何二種用處？鉛因其密度甚大之故，有何三種用處？
7. 若橡皮球壓至小於其尋常之大小，則(a)其重量有變動否？(b)其密度如何？試述答語之理由。
8. 爲何萬國運動會中之紀錄，常以米突制單位表示之？
9. 米突制中所用之字首 kilo-, centi-, 以及 milli, 有何意義？
10. 牛乳一卮之價，與一夸之價，孰貴孰廉？
11. 試在百科全書中，一讀英國長度標準史。
12. 試在百科全書中，一考米突制之起源，何時由政府介紹與美國？
13. 米突制優於英國制之點何在？
14. 因何英美二國，不在商業上採用米突制？

實 習 題

1. 標準時。汝所居地之鐘錶肆，如何求得標準時，以攷準其鐘與錶？
2. 計量之誤差。一夸之量器，汝將用何法以測驗其準確之程度？自家中取一而測驗之。
3. 家庭計量。汝之家中，用何種計量單位？將各單位列成一表，並說明其相互之關係。（參閱美國標準局通告 55 號——家庭計量）。

*試答此項問題時，希望學者參閱各種參考，如辭典，百科全書，工程便覽，以及民衆科學雜誌，且希望其在教室以外擴充眼界，並詢問美術家及商界中人之問題。

第二章

簡單機械：槓桿與滑輪

各種槓桿——力矩之原理——在支點之力——平行力——重心概論——槓桿之重量——穩定性——機械利率——輪與軸——滑輪組。

14. 爲何用機械 就“機械”一詞之專門意義而言，則有多種常用之器具，均可謂爲機械。利用繩索、轆轤，成人可將鋼琴舉至三層樓窗。利用滑板，童子可將一桶麵粉，推入貨車。利用鷹爪錘，女孩可拔匣上之釘，如彼單用手指，恐不能動其分毫。可見藉簡單之機械，可作多種之事，此諸事無機械即不能作，因人力不足故也。易言之，機械可以增加人所能施之力，即推或挽之力。更有進者，有數種機械，助人工作，可較不用機械時迅速而便利。例如用釣魚桿，則餌之安置較爲妥當，而將捕得之魚挑起時，亦較速多多。最要者，爲利用獸力、風力、水力，或蒸汽力起見，即常須用及機械焉。

15. 負有等重砝碼之槓桿 最簡之機械爲槓桿無疑。軒輊板、臺秤之臂、汽船之推進桿，均爲槓桿，就天平而論，則祇於距離 AF 等於距離 BF (圖 10) 時，

天平之桿始受等重砝碼 W_1 與 W_2 之影響，而自由擺動。概言之，等重之砝碼，祇在置於離支持之點等遠之處時，始得其平。在物理學之專門詞語上，剛體秤桿所轉動之點 F ，稱為支點（fulcrum）秤桿之支點，為堅利如刀鋒之突

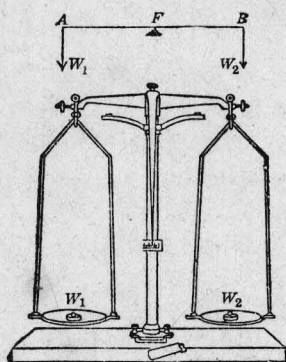


圖 10 等臂之槓桿與等重之砝碼。

出物所成，稱之為鋒稜；桿之兩端，各負一盤，此盤亦懸於鋒稜之上。此種構造，係用以減少摩擦力至最低限度者。

16. 負有不等重砝碼之槓桿。槓桿所負之砝碼，或施於槓桿之力，往往有不相等者。如體重不相等之兩人，為軒輊戲時，即屬此例。又如尋常之唧筒柄，亦其一例。不等重之兩砝碼如離支點相等，則較大之砝碼，即有較大之趨勢，使槓桿下沉，其事固甚明顯。又如等重之兩砝碼離支點不相等，則離支點較遠者，即有較大之趨勢，使槓桿下傾，其事亦甚明顯。故欲使不等重之兩砝碼得其平，則較輕之砝碼，必須置於離支點

較遠之處始可

設取一尋常之米突尺，支其中部而使之平(圖 11)，於 A 處懸一 50 克之砝碼 W_1 ，離支點 F 40 厘米，再於他側之一點，懸一 100 克之砝碼 W_2 ，使與前一砝碼得其平，則知 100 克砝碼所懸處之 B 點，約離 F 20 厘米，即為 50 克砝碼與支點距離之半。

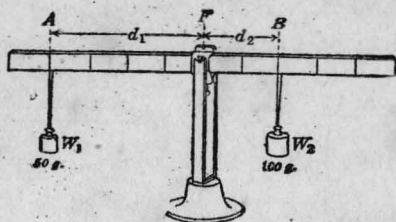


圖 11 槓與不等重之砝碼。

由精細之實驗，可知任何兩不等重砝碼，祇於一側之砝碼乘其與支點之距離，等於他側之砝碼乘其與支點之距離時，始得其平。是以於圖 11，即有

$$W_1 \times d_1 = W_2 \times d_2$$

此重量與距離之關係，亦可表成下列之方程式

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

鐵錘，剪金屬之夾剪，夾鉗(圖 12) 等等，皆為此種槓桿之例。作用於其上者非兩砝碼之重，而為兩力(推或挽)，其一稱



圖 12 夾鉗為以鉸釘為支點之槓桿。

爲抵抗力 (resistance), 又一稱爲發動力 (effort). 今若稱支點與抵抗力之距離爲抵抗力臂, 而稱支點至發動力之距離爲發動力臂, 則可述其原理如下:

$$\text{發動力} \times \text{發動力臂} = \text{抵抗力} \times \text{抵抗力臂}$$

17. 支點在一端而發動力在他端之槓桿. 當

用小車(圖 13)以運載重物時, 即得支點 F 在一端之槓桿. 其所含之原理, 正與適所討論者相同. 推車之時, 有兩種趨勢正在作用,



圖 13 小車爲支點在輪軸之槓桿.

彼此必須互抵: 即重量 W 使槓桿下傾之趨勢, 與發動力 E , 即挽車之力, 舉槓桿向上之趨勢是也. 以支點與重量作用線之垂直距離乘重量, 即可計量其繞支點旋轉之效力; 即其使槓桿下傾之趨勢. 此須有一反對方向之旋轉效力與之相抵, 則發動力或挽車之力乘其支點之距離是也.

設取一輕質之棒, 以軸釘下裝之於直豎之壁或柱上 (圖 14), 而使此棒能自由旋轉, 並於其上懸一重物 R , 設謂爲 20 磅, 離支點 6 吋. 於是在 B 點用彈簧秤將棒吊起, B 點離 F 12 吋, 則見由彈簧秤計量之發動力, 即挽棒之力, 約爲 10 磅. (棒之重量, 當然須除去不計.) 欲表示依反對方向使

棒旋轉之趨勢，其方程式仍為

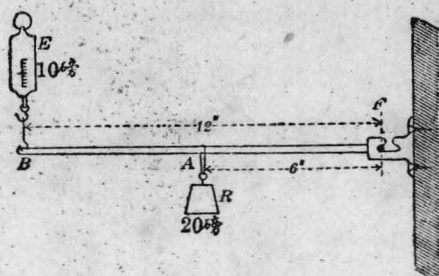


圖 14 支點下在一端之槓桿

$$R \times AF = E \times BF$$

夾碎堅殼果之鉗，以及鐵撬置其一端於地上時（圖 15），即為支點在一端之槓桿之例。



圖 15 用鐵撬舉物，以地為支點。

18. 負載在一端而支點在他端之槓桿。有時槓桿之支點在其一端，重物或所欲克制之抵抗力在他端，而所施之發動力在中間之一點，例如手舉重物時，前臂即成此種槓桿。如圖 16，亦為說明此類槓桿之例。圖中一人正在以鐵鎚舉一重量 R ，用其左臂 F 作

爲支點,而用其右手施發動之力 E .



圖 16 鐵鏟爲重量近於一端之槓桿,在他端之手作用如支點。

今更用上節所述之器械(圖 17),以說明此例。在此實驗中,置一 10 磅重之砝碼 R ,於離支點 F 12 吋之處,而以彈簧秤 E 吊於離支點 6 吋之處,即見所需上挽之力,在此時爲 20 磅,即適爲重量之兩倍。

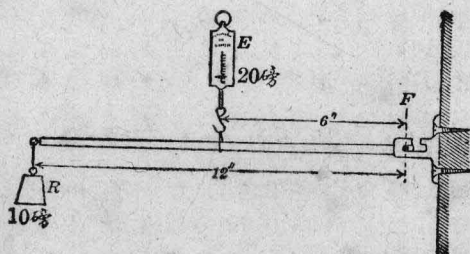


圖 17 砝碼在一端而支點在他端之槓桿。

因是而知，不問抵抗力(重量)與發動力(上挽之力)作用於何處，同一原理恆成立。此可述之如下：

$$\text{發動力} \times \text{發動力臂} = \text{抵抗力} \times \text{抵抗力臂}$$

問答題與計算題

(畫圖說明下列諸問題)

1. 剪刀，手套張開器，開罐器，火鉗，以及硬殼果鉗，皆為槓桿之例，試以圖指明其支點及作用兩力之方向。

2. 有釘一袋，懸於槓桿之上，離支點 18 吋，在他側離支點 15 吋處懸一 5 磅之砝碼，槓桿恰平。問此袋之釘，重量若干？

3. 鐵條一段，欲以剪刀斷之。今置此鐵條於離鉸釘 0.5 吋之處，而在柄上離鉸釘 6 吋之處加一 25 磅之力，問鐵條所受之力若干？

4. 剪紙之剪刀，柄短而刀長，而用以剪金屬者則適相反，其故何在？

5. 兩童子一重 100 磅，一重 140 磅，用一長 12 呎之板作軒輊戲。問支板之處，須離較輕之童子若干呎？(命 x = 離較輕之童子之呎數，而 $12-x$ = 離較重之童子之呎數，板重略去不計。)

6. 小車(圖 13)之柄離軸 4 呎 6 吋，車上載重 200 磅，其與軸之距離，可視為 18 吋。問將柄舉起，須用若干發動力？

7. 設小車上之重載，離輪愈近，則舉起車柄愈易，其故何在？

8. 以長柄之螺旋鉗，轉出生鏽之螺釘帽，較易於用短柄者，其故何在？於此例，何者為抵抗力臂？

9. 壓上唧筒(圖 99)之柄，其兩臂為 5 吋與 28 吋，當用 20 磅之力將柄推下時，問作用於活塞上之力若干？

10. 以棒載重，而以肩承之時，為何所載之重，應置於棒上離肩較近之處，而不置於較遠之處？

11. 一棒長 32 吋，其下端相近處連於樞紐之上，用以把船上之舵，若牽舵之索繫於樞紐以上 14 吋之處，而在柄上推以 10 磅之力，問舵索上受力若干？

12. 在圖 14 中之砵碼如為 25 磅，而距離 AF 為 3 吋， BF 為 15 吋，則發動力 E 之大小如何？

13. 有一種安全瓣為一槓桿，其上載一鐵球（圖 18），蒸汽上推之力 60 磅，適可舉起 8 磅之球。 PB 之距離為 14 吋，問 PS 之距離為何？

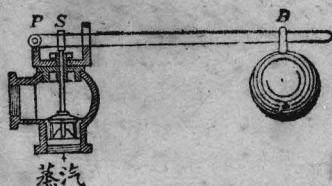


圖 18 蒸汽鍋上之簡式安全瓣。

14. 一童子體重 110 磅，可舉之重亦為 110 磅。試述兩種方法，使彼藉此

法可用長 5 呎之鐵撬，以舉重 340 磅之石。用每一方法時，須算出石與支點之距離，又假定彼利用鐵撬之全長。

15. 有一長 12 呎之板，伸出於廊下平地以外者 6 呎。若以重 46 磅之石，置於板上離廊內一端 0.5 呎處，問一重 72 磅之童子，可在板上走出廊沿，最多至於何處，不使此板傾下？

19. 機械利率。前此已知如利用槓桿，則可用 100 磅之力，舉起重 500 磅之物，此時所克制之抵抗力，五倍於發動力。就任何機械而言，抵抗力對於發動力之比，稱為機械利率 (mechanical advantage)。

但又已知抵抗力對於發動力之比，等於抵抗力及發動力與支點相對距離之反比。故計算槓桿之機械利率，往往此發動力臂除抵抗力臂，庶較便利。此語

可以方程式簡述之如下：

$$\text{機械利率} = \frac{\text{抵抗力}}{\text{發動力}} = \frac{\text{發動力臂}}{\text{抵抗力臂}}$$

例如，有一尋常之壓上唧筒，其柄之兩臂為5吋與28吋，則此唧筒柄之機械利率，為 $\frac{28}{5}$ ，即5.6。此即謂在柄上施1磅之發動力，在唧筒桿上可得5.6磅之牽挽力。

20. 負載兩重物之槓桿。小車往往用以載運兩件重物，例如兩袋水泥，或一箱一桶，欲求上挽之力，祇須計算二重物 W_1 與 W_2 ，各具繞支點 F 旋轉之效力，而使此二效力之和，等於上挽之力，即發動力 E 所具之旋轉效力(圖19)，即謂

$$W_1 \times BF + W_2 \times AF = E \times CF$$

是也。或中 CF ， BF ，及 AF 之距離，均垂直於力之作用線。

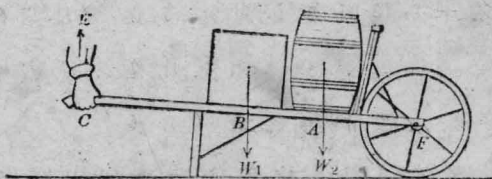


圖 19 負載兩重物之小車。

故知凡欲抵消二個以上之重物所具旋轉之效力，可以各重量之作用線，與支點之垂直距離乘各重量，而使此諸積之和，等於發動力乘其作用線至支點之垂直距離，即得。

21. 力矩之原理。一力之旋轉效力，已知其有賴於兩種原素，即力之量，及其作用線在支點之距離

是也。力與其至支點之垂直距離之乘積，稱為力矩。

例如，命 AF (圖 20) 為一剛體之棒，可繞 F 點旋轉者。作用於 A 之力 B ，其力矩為 B 乘 FA ；而 C 之力矩，等於 C 乘 FD ，今若 B 等於 C ，問何者有較大之力矩。

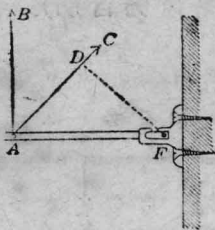


圖 20 力矩等於力乘其至支點之垂直距離。

概言之，如欲使槓桿成平衡，則凡使槓桿依一方向

旋轉(順鐘向)之諸力矩之和，必須等於使槓桿依反對方向(逆鐘向)旋轉之諸力矩之和。

22. 在支點之力。 前述用鐵鏟舉物時(圖 16)，曾謂執鏟之左手為支點，但此手亦必用力下推，正與他手之必向上挽，同屬十分明顯。其實亦可視右手為不等臂槓桿之支點，而施發動力者為左手。

概言之，當有三力作用於任何物體時，三力中任何一力之作用點，可視為支點，而以其他兩力為抵抗力與發動力。

就以前所述各種槓桿而論，欲知支點所發之力為何，可畫數圖如下(圖 21)而研究之。在第一圖中，支點在兩砝碼或兩力之中間，例如軒轅板；在第二圖中，支點在一端，而發動力在他端，例如小車；在第三圖中，

支點與抵抗力在兩端，例如鐵鏟。此三種之原理，均相同（閱通例自明）。

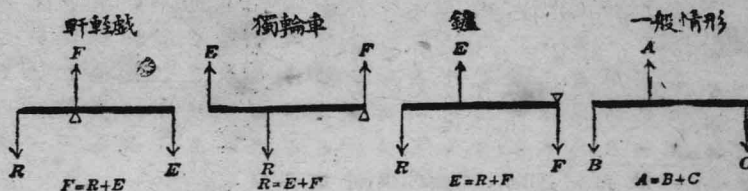


圖 21 施於槓桿支點之力。

當三（或三以上）平行力成平衡時，牽引於一方向之諸力之和，必等於牽引於他方向之諸力和。應用此原理於圖 21 所示之任一種特例，即可得一方程式以求支點所發之力 F 。

23. 平行力概論。在前此已研究之多種槓桿中（例如載一或二重物之小車，及煤鏟），所有正在作用之力，皆互相平行。在此諸例中，實含有兩條普遍之原理，可概括以前所已知之一切。行一簡單之實驗，即可明此二原理。

以輕質之棒（圖 22），懸於二或二以上之彈簧秤 A, B, C 之鈎上，再將數碼 D, E 懸於棒上種種不同之點，讀彈簧秤上之度數，易知上挽之諸力和，

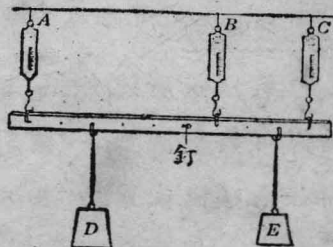


圖 22 平行力。

等於下引之諸力和，為不變之事實。即不行此實驗，亦可預測此事必真；因若他一組力不能與他組相抵，則棒將移動矣。

今如假定此棒之上有若干小孔，而以一釘穿過其中一孔，釘入棒後之牆，釘時須謹慎將事。於是視釘為槓桿之支點，而計算一切欲使此棒依順鐘向繞釘而旋轉之諸力矩，及欲使此棒依反鐘向旋轉之諸力矩。將見此兩組之力矩，適彼此相等。於此又可預知此事之必真；因若任何一組力矩超過他組，則棒又將繞釘旋轉矣。

又釘可穿入棒上任何一點之孔中，亦屬明甚。故知繞任何一點之諸力矩，必能相抵。

由此實驗，可知當數平行力成平衡時，必須適合下列之二條件：
順鐘時針方向的力矩之和等於
 反對時針方向諸力矩之和

(1) 牽引於一方向內之諸力和，必須等於牽引於反對方向之諸力和。

(2) 使物體繞任何一點按順鐘向旋轉之諸力矩和，必須等於使物體繞同一點按逆鐘向旋轉之諸力矩和。

此二原理甚為重要，故宜記憶之。

24. 關於平行力之實用問題。假定有重 3000 磅之汽車一輛，停於橋上，在橋長四分之一處（圖 23），而欲知橋之兩端之基，各受車重之力若干。命 B 與 C 為所求向上二力之大小，設用上述之原理 (2)，而取繞 C 之作用點即橋之左端之力矩。於是 C 之力矩為零，而得

$$B \times 4x = 3000 \times x$$

$$B = 750 \text{ 磅}$$

其次，再用原理(2)，取繞 B 之作用點即橋之右端之力而得

$$C \times 4x = 3000 \times 3x, \quad \therefore C = 2250 \text{ 磅.}$$

最後用上述之原理(1)，以復驗計算有無錯誤，故應有

$$B + C \text{ (向上)} = A \text{ (向下)},$$

據此知並無錯誤，因 $750 + 2250 = 3000$ 也。

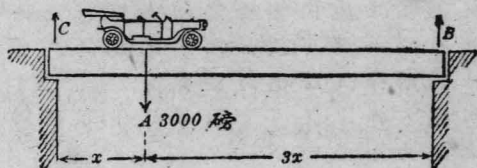


圖 23 停有汽車之橋。

25. 曲槓桿. 在實用之機械中，所見供實際應用之槓桿，往往有曲而不直者，此種槓桿之兩臂，不成一直線。

今試一考尋常鷹爪錘(claw hammer)，用於拔釘時之情形，以爲例(圖 24)。設於 B 處用 60 磅之扳力即發動力，則釘之抵抗力 R 爲何？欲答此問，須先量發動力臂 FB ，如量得其長爲 12 吋，然後再量抵抗力臂 FA ，設其長爲 1.5 吋。於是發動力之力矩，爲 $E \times FB$ ，而抵抗力之力矩爲 $R \times FA$ 。使此兩力矩相等，即得

$$60 \times 12 = R \times 1.5$$

故 $R = 480 \text{ 磅.}$



圖 24 鷹爪錘作用如曲槓桿之情形。

在此例中，槓桿之兩臂，

互相傾斜；但力矩之原理，仍可應用，猶如兩臂成一直線時。然，曲槓桿之例甚多，如用以運轉汽車制動機之槓桿，及在鐵路揚旗之組織中，用以傳遞牽曳之力於轉角處之槓桿，皆是。

問答題與計算題

1. 有甲乙兩童子，以一桿擡一重 100 磅之物。兩人之手相隔 10 呎，而重物離甲童 3 呎。問各人負重若干？桿之重量略去。

2. 一米突尺上，懸有 50 克之砝碼在 10 厘米刻度處，及 100 克之砝碼在 70 厘米刻度處。如以繩懸此尺，須懸於何處，始能使此尺在水平位置內成平衡？尺之重量略去。

3. 一人持滿鏟之煤，其左手握於鏟柄之端，而其右手則離左手 22 吋，煤與鏟全量，共為 50 磅，並假定其在離此人左手 40 吋之處。問 (a) 彼用左手壓下之力若干？(b) 用右手舉上之力若干？

4. 設題 3 中之鏟煤者，將其右手移近於鏟，則對於 (a) 其右手所必用之力，(b) 其左手所必用之力，有何影響？

5. 一成人與一童子，以長 8 呎之桿，擡一 200 磅之重物。若童子祇能承受 45 磅之重，問此重物須置於桿之何處？

6. 伐木之人，常用一種“鐮鉤”（圖 25），以轉動所伐之木材。問如何可由量度以求此種工具之機械利率？與木材之大小有關係否？



圖 25 鐮鉤。

7. 某公司之出品目錄中，載有一種“大力錘”之廣告，其語謂在錘柄祇須用力 50 磅，即能生 1100 磅之力以拔

一釘，錘柄之長為 12 吋，問 (a) 釘與支點間之距離若何？(b) 當釘拔出之時，此距離有如何之變動？(c) 此項變動，對於拔釘之力有何影響？試用略圖以說明之。

8. 某汽車上之腳踏制動機，其狀如圖 26 所示，此機以固定點 F 為樞軸而繞之旋轉，當足壓於踏板 P 上時，即有極較大之力着於 R 桿上，試用略圖指明計算發動力之力矩，及抵抗力之力矩之法，又圖 26 所示之槓桿，其機械利率如何？

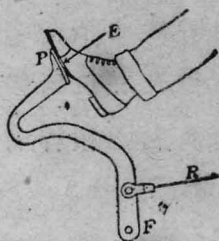


圖 26 汽車腳踏制動機，係曲槓桿。

9. 以彈簧秤二，懸一重量可以不計之桿，兩秤相隔 50 釐，在兩秤之間，有砝碼二，懸於桿上：一為重 100 克者，離左側之秤 24 釐；一為重 200 克者，離右側之秤 16 釐，求兩彈簧秤上所示之度數。

10. 一米突尺支於其中央之樞軸上，負有砝碼數個，分配如下：重 10 克者在 15 釐刻度處；重 25 克者在 30 釐刻度處；重 40 克者在 80 釐刻度處。問 (a) 於 40 釐刻度處懸何砝碼，可使尺平？(b) 支點上受力若干？

11. 長 40 呎之橋，離其一端 15 呎之處，有一重 4 噸之貨車，離此同端 25 呎之處，有一重 3600 磅之汽車，問此兩種負荷，合由橋之兩端之支柱，各負若干？

12. 長 12 呎之桿，於其中點懸有 25 磅之砝碼，此桿支於 A 端及離 B 端 3 呎之處。問在何處懸一 75 磅之砝碼，庶可使兩支柱平分負荷之全部？

13. 一鐵撬長 5 呎，以其尖端置於石塊之下，並用小石子為

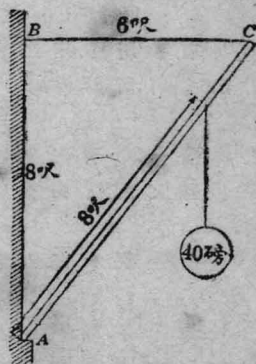


圖 27 桿與繫桿之繩，用以支持重物者。

支點，置於離尖端 5 吋之處。設在鐵撬他端 5 吋處用力，問機械利率爲何？

14. 一桿長 10 呎，支於 A 端之樞軸上，他端繫之以繩 BC ，繩在水平之位置，而與桿交成一角，如圖 27 所示。設有重 40 磅之物，懸於離 A 端 8 呎之處，問在水平之繩上，有張力若干？桿之重量不計。

26. 重心。前此研究槓桿時，恆假定槓桿本身之重量，可以不計；惟實際情形並不如此。今所欲述之問題，即爲如何可將槓桿之重量，一併算入。

設有量重而質勻之木材(圖 28)平擱於地上，而有一人舉其一端 B ，此人須用

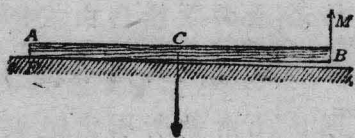


圖 28 人 M 舉木材 AB 之一端。

力若干？試察擱於地上之他端 A ，則可視之爲支點 B ；而此人所出發動力之力矩，爲彼所用之力 M ，與木材 AB 之長度之積。今可設想木材之重量，爲無數微小木屑之重量和，此等微小木屑，各在其離支點之處，發生作用。但其與支點之平均距離，實爲木材長度之半。故木材重量之力矩，爲木材重量 W 與其長度之半之積。總而言之，木材之作用，猶如其全部重量匯集於中點時然。此點即稱爲木材之重心 (center of gravity)。概言之，物體之重心，爲可以設想物體全部重量所匯

集之點。若物體為有規則幾何圖形，則此點可由計算而得，惟通常由實驗求之較易。

27. 由實驗求重心之法。若物體之形狀簡單，而其密度又處處相同，例如軸或木板，則重心當在物體之中央。若遇形狀不規則之物體，如類似於棒球棍者，則求重心之最簡方法，係棒球棍平衡於鋒稜之上。又如桌椅一類之物，其重心可由考察下之性質而得，即椅若懸掛而能自由擺動，重心必直在懸掛之點以下是也。故椅或其他不規則之物體，若繼續懸之於兩點，則由此兩點所引之錘線 (plumb line) 之交點，即可定其重心。

欲明此義，可取不規則之鋅片一，在近邊處鑿 A, B, C 三小孔，如圖 29 所示，將鋅片懸於穿過 A 孔之釘上，且使錘線亦懸於此釘之上，在鋅片上劃一線，以示錘線經過之迹，於是懸鋅片於另一孔 B ，再仿前法劃第二線，兩線之交點 G ，即為鋅片之重心。當懸鋅片於第三孔 C 時，錘線必經已得之重心。

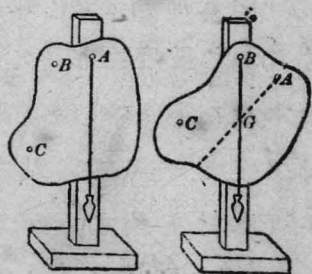


圖 29 用錘線求重心

他若環，輪，或舟之重心，則不在物體本身之內，而在內部空洞之空間中。惟

如欲答關於此種物體如何動作之問題，則並不因此而發生困難。譬如輪或機械之旋轉部分，苟不繞其重心而旋轉者，其軸承即受震動，此語仍可陳述；且可隨意設想此種重心，係由極輕而堅硬之鋼，固定於物體之上。

28. 槓桿在重心之重量。 重心之概念，在必須考及槓桿重量之問題中，將見其尤為便利；因今可假定槓桿之全部重量，匯集而作用於其重心也。

例如，假定有一重 18 盎司之錘，平衡於離柄端 10 吋之處。當以一魚縛於柄端時，全體平衡於離柄端 6 吋之處。問魚重幾何？

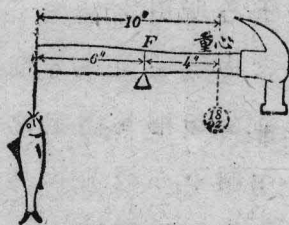


圖 30 使魚錘之重量相抵而平衡。

設先作一精細之圖(圖30)，錘之重量 18 盎司，可視之為匯集於重心點者，此點離柄端 10 吋，即離支點 4 吋。命 x 為魚之重量，此魚作用於離支點 6 吋之處，於是

$$6x = 4 \times 18$$

$$x = 12 \text{ 盎司, 爲魚之重量}$$

29. 穩定。 重心之概念，又可藉以了解穩定 (stability) 之問題。

設置一木塊 A 於斜面之上，而自其重心引一錘

線，此線落於木塊底面之內（圖 31）。設於同斜面上，置另一木塊 B ，其底與 A 相同，而高則倍之，自其重心所引之錘線即落於底面之外，而木塊 B 即行倒下。

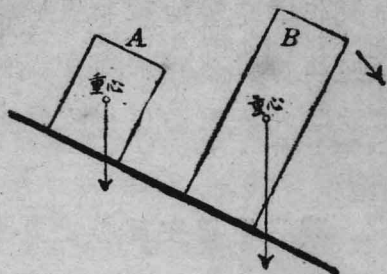


圖 31 穩定之物體與不穩定之物體。

概言之，若自物體重心所引之錘線，

落於物體底面以外，則此物體即不穩定，即自行倒下是也。此即稱為穩定之條件。然有數種物體，即使不致自行倒下，亦較他物易於擊倒。就此義而言，顯見物體之重量愈大，底面愈大，而重心愈低，即愈穩定。

問答題與計算題

1. 長 30 呎之電報桿，重 420 磅，其重心在離較粗一端 12 呎之處，如欲將此桿較細之一端，自地上舉起，問須用發動力若干？

2. 有一質地勻稱之棒，長 10 呎，其上負有 45 磅之重物，懸於棒之一端，當將此棒支於離此端 2 呎之處時，即成平衡，問棒之重量如何？（棒之重心係在中央。）

3. 一 6 磅之砝碼，懸於勻稱桿之一端，桿長 8 呎，重 11 磅，問此桿可平衡於何點？

4. 天窗門之鉸鏈在 AB 邊，執 CD 邊以舉之，當門將近於直垂之位置時，為何轉動較易？（提示：試一考天窗門

之重心)。

5. 一勻稱之桿 AB 長 12 呎，重 50 磅，擱於離 A 端 3 呎之支持物上。設有一 8 磅之重量在 A ，問在 B 須用若干上舉之力，始克保持桿之水平位置？

6. 一童子有一重 2 磅之釣竿，竿長 10 呎，向其重心在離較粗一端 3.5 呎之處。彼欲求釣得之魚之重量，乃懸之於釣竿較粗之一端，而使釣竿平衡於籬邊上，即見其適平衡於離此端 15 吋之處。問彼有魚若干磅？

7. 有一載煤之貨車，欲權其輕重，惟駕車者覺其重量已逾磅秤所能權衡之範圍。如先將其前輪置於秤檯上而權之，再將其後輪置於秤檯上而權之，而將兩次所權得之重量相加，能求得其重量否？試明其理。

8. 一成人與一小童，以長 10 呎之勻稱桿，抬一載有重物 100 磅之筐。設桿之重量為 20 磅，問須置筐於何處，則可使成人所負之重，為小童所負之重之三倍？

9. 一橋長 100 呎，重 200 噸，其重心在中央。一重 100 噸之機關車，停於橋上，其重心在離北端 40 呎之處。問橋之各端之石墩，所承之總重量為何？

10. 一門闊 4 呎，重 80 磅，其鉸鏈相隔 5 呎。試視此門為直角槓桿，其支點在下方之鉸鏈，而求上方鉸鏈在水平方向內牽門之力。

11. 一人欲舉一沉重之木材，乃用長 12 呎而重 60 磅之勻稱桿為槓桿。彼置此桿使其接觸木材之點離桿端 6 吋，而離用作支點之木塊 20 吋。設此人將其全身之重量 160 磅，作用於離桿之他端 6 吋之處，問着於木材之力為何？

12. 兩獵人相隔 8 呎，共抬一鹿於桿上，第一人負重 105 磅，第二人負重 175 磅。桿上懸鹿之兩點，一離第一人 30 吋，一離第二人 18 吋。問 (a) 鹿之重量為何？(b) 桿上何點適在鹿之重心之上方？(c) 懸於各點之重量為何？

30. 輪軸。有一種特殊形式之槓桿，為輪或拐

臂堅附於軸或盤筒上而成。所欲舉之重物，或不論何種抵抗力，往往由繩或鏈作用於軸；而發動力或牽曳之力，則着於輪之邊緣，如圖 32 所示。欲計算與已知抵抗力 W 相平衡所必需之發動力 E ，祇

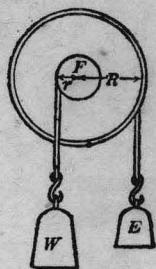


圖 32 輪軸。

須求出繞輪軸 (wheel and axle) 中心 F 之力矩。設命輪之半徑為 R ，而命軸之半徑為 r ，則得

$$\text{抵抗力} \times \text{軸半徑} = \text{發動力} \times \text{輪半徑}$$

故

$$W \times r = E \times R$$

或

$$\frac{W}{E} = \frac{R}{r}$$

此可用言語述之如下：軸所舉之重量對於輪上作用之力之比，等於輪之半徑對於軸之半徑之比。故輪軸之機械利率，等於輪半徑除之以軸半徑。

於此宜憶及輪與軸之直徑或周長，與其各自之半徑有同比。

31. 輪軸之用處。以繩及吊桶由井汲水時，所用之絞盤 (windlass, 或 winch) 即為輪軸原理之實地應用。在絞盤之中以拐臂代輪，拐臂之長即相當於輪之半徑。

例如，假定欲用絞盤以舉 75 磅之重物（圖 33），其盤筒之直徑為 6 吋，而其拐臂之柄離盤筒之中心 15 吋，因軸半徑為 3 吋，故有

$$15 \times E = 3 \times 75$$

即 $E = 15$ 磅

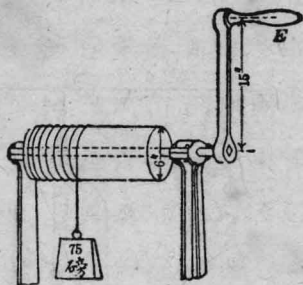


圖 33 絞盤之圖。

輪軸之另一實地應用，即為拔錨機 (capstan)。

在此例中，軸或盤筒係在

直垂之位置，而發動力有時用木槌以出之。在近代船舶上，則用汽力或電力以旋轉盤筒。小舟上之舵輪 (steering wheel)，用於貨車或街車制動機上之手輪 (hand wheel)，以及家用之種種器具，例如冰淇淋製造機，麵包打漿器，絞衣機，以及門上之把手等等，亦皆為輪軸之例。

32. 滑輪。 如圖 34 所示之定滑輪 (fixed pulley)，為一可以自由轉動之輪，其邊緣有槽，稱為轆轤 (sheave)，其軸支於固定之盤車 (block) 中而成，一柔而韌之繩索或錨纜，跨於輪上。若相等之重量或相等之力，作用於此繩之兩端，則適可互相平衡也明甚。即發動力 E 等於負荷或抵抗力 W 是也，故定滑輪之機械

利率爲 1. 然有時用力下曳,較上引爲便.

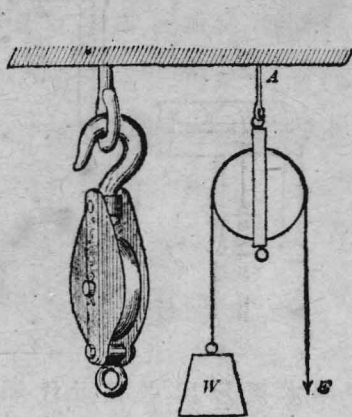


圖 34 定滑輪.

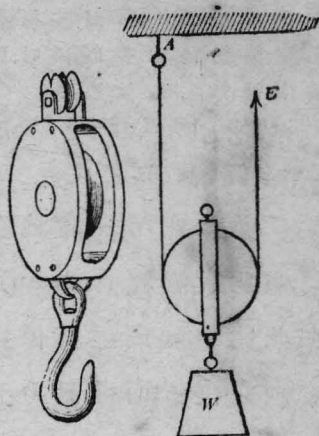


圖 35 動滑輪.

有時往往將盤車附於欲舉之重物上,如圖 35 所示,此時即稱之爲動滑輪 (movable pulley). 於此發動力 E 不等於重量 W , 因負荷 W , 可以見其爲二繩所支, 故各繩皆使一上引之力, 等於所舉重量之半. 即

$$E = \frac{W}{2} \text{ 或 } \frac{W}{E} = 2$$

是也.

故單動滑輪之機械利率爲 2.

33. 滑輪之組合. 在實用方面, 定滑輪與動滑輪, 通常兩者並用. 如圖 36 所示者, 即爲合用有兩轆轤

之空盤車，與有兩轆轤之動盤車之例。繩之一端，繫於定盤車上，而發動力則作用於繩之他端。今試一計所欲舉之重量，與所用之發動力間之關係。由圖 36，可見重物與動盤車，為四繩所支。因此在各繩上之牽曳之力，若不計盤車之重量，則為重量 W 之四分之一。又可見牽曳之力 E ，等於各繩之牽曳力，因定滑輪祇改變牽曳之方向也。故

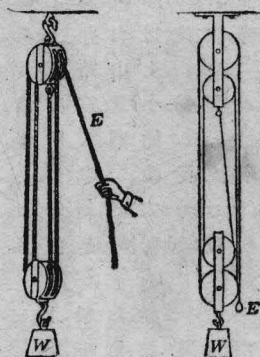


圖 36 兩具雙重盤車。

$$E = \frac{W}{4}$$

而機械利率 $\frac{W}{E}$ 為 4。

此意蓋謂動盤車之摩擦力及重量，若不計及，則作用於 E 之牽曳力 100 磅，適可與 W 處 400 磅之重量相平衡。

概言之，凡成對之滑輪，不問其數如何，祇須計其支持重載之繩數，即可求其機械利率。

問答題與計算題

1. 輪軸之兩直徑，須成何比，俾 150 磅之發動力，可以

支持 1 噸重載？其機械利率為何？

2. 石磨上之拐臂長 9 吋，而磨盤之直徑為 30 吋，如作用於拐臂之力為 50 磅，問在磨盤邊緣發出之力為何？

3. 如絞盤之軸之直徑長 6 吋，又如有一桶之水，重 60 磅，欲使之自井上昇，則拐臂之適當長度為何？

4. 上山路須用特製之制動輪，問該輪應較常用者為大抑為小？試言其故。

5. 如圖 37 所示，係用單定滑輪二，以升高一桶 (barrel) 之麵粉。若此桶麵粉重 200 磅，問馬須用何力牽曳？

6. 升高船上之帆，係用單動盤車一，附於帆端之斜桁上，及雙重定盤車一，附於桅桿之頂，繩之一端，縛於動盤車上。問在繩上用 100 磅之力，可以抵制若干抵抗力？

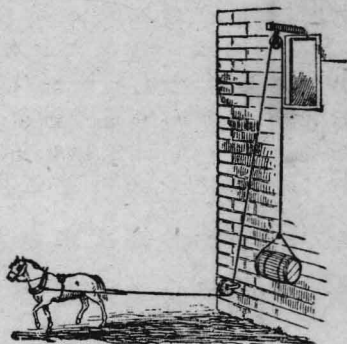


圖 37 簡單滑輪組。

7. 重 75 磅之人，欲於架空之支持物上，裝設一組滑輪，以舉重約 300 磅之鐵塊，試畫圖說明其組合之法。又下壓於支持物上之力為何？

8. 欲用 100 磅之發動力，以舉 500 磅之重物，最少須用滑輪若干？應如何排列？

9. 一童子用單定滑輪與繩索，可將自己舉離地面。若彼重 86 磅，則彼用於繩上之力約為若干？說明答語理由。

10. 設一童子有雙重盤車與三重盤車各一，則彼用 60 磅之力，可支持最大之重量為何？

11. 一人可用 120 磅之力曳物，試繪出一組滑輪，使此人能用以曳起有抵抗力 720 磅之汽車於海灘上。假定在滑輪組中無摩擦力。

12. 一汽車陷於沙泥之中，欲曳之使出，乃備一馬，一繩，及二具三重盤車以供應用。若此馬曳繩，可出200磅之力，持久牽曳，而將一盤車縛於樹上，將又一盤車縛於車上，則可克制抵抗力若干？試求此問題之兩種解法，其一係將繩之一端縛於定盤車，又一係將繩之一端縛於動盤車。

13. 在“單式西班牙雙重盤車”中（圖38），機械利率為何？

14. 如圖39所示之動臂起重機（hoisting derrick），為一裝有齒輪之絞盤所成，盤筒之直徑為8吋，其上裝有大齒輪一，有齒60枚；連於大齒輪之小齒輪，有齒十枚，而拐臂之半徑為18吋，問此種雙輪軸之機械利率為何？

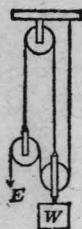


圖38 單滑輪二，排成“西班牙式雙重盤車”。

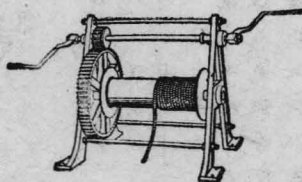


圖39 動臂起重機乃雙輪軸。

第二章 提要

力矩之原理，可用以解各種直曲槓桿，及輪軸等問題者，為：

$$\text{發動力} \times \text{發動力臂} = \text{抵抗力} \times \text{抵抗力臂},$$

欲求支點上之力，或解滑輪組之問題，則有：

$$\text{向上諸力之和} = \text{向下諸力之和}.$$

$$\text{機械利率} = \frac{\text{抵抗力}}{\text{發動力}} = \frac{\text{發動力距離}}{\text{抵抗力距離}}$$

平衡之定律，可應用於任何物體受二或多力之作用者，爲：
 (1) 在任何方向內之諸力和 = 在反對方向內之諸力和。
 (2) 繞任何點依順鐘向之力矩和 = 繞同點依反鐘向之力矩和。

問 答 題

1. 車載稻草而上下於山岡之時，往往較同一之車載沙泥而行，易於傾覆，試言其故？

2. 欲增加汽車之穩定性，用何方法？

3. 試將人類與四足獸相比，孰較穩定。

4. 人負重物於其背而登樓，爲何僂偻向前？

5. 在等臂槓桿中，有無任何機械利率？爲何在機械中往往用及之。不等臂槓桿，爲何用處頗多？

6. 爲何用曲柄螺旋鑿，極易扭脫小螺旋釘之頭？

7. 載有磚塊之卸

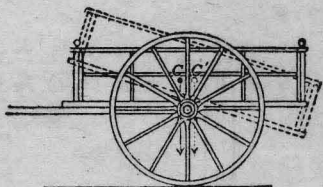


圖 40 使車身傾側，可移動重載之重心。

貨車(tip-cart)，將其前端略舉數吋，如圖 40 所示，即自動漸漸下傾，何以如此，試說明之。

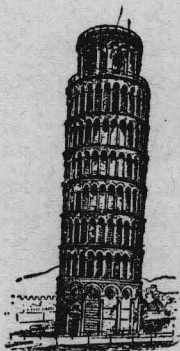


圖 41 意大利碧利之斜塔。

8. 碧利(Pisa)之斜塔(圖 41)高 188 呎，設一石自塔頂於其斜傾之一側落下，着地時離塔底 15 呎，按比例尺畫出塔與地面所成之角，說明此塔何以下倒之故。

9. 若已知汽車各輪所支之重量，則將如何決定車房地板上直在車之重心下之一點？

實用習題

1. 磅稱。在雜貨商店及肉鋪中常見之磅稱(camputing scale)，試描寫其構造，並說明其動作之情形。
2. 汽車制動機之槓桿。考察數種汽車上所裝之緊急保險機，即手拉制動機之動作情形，畫圖示其大小，計算所含各槓桿之機械利率。
3. 打字機。細察數種打字機，畫圖表示從字鍵至字模之槓桿作用。若手指用力4盎司壓鍵，持久不變，試估計紙上所受之壓力。
4. 鋼琴。研究數種鋼琴自鍵至擊絃錘之作用，定支點之地位，而量槓桿之臂在鍵上之力與錘上之力相比，何者較大？
5. 縫紉機。須注意踏板如槓桿，下輪與上輪速率之比使縫針上下之機關，鈎線機關，等等。

第三章

功,功率及摩擦力

功——功之原理——差動滑輪——斜面——楔與傳轉輪——螺旋——連動齒輪——簡單機械原素之組合。

力率——動力之傳遞。

摩擦力——牽引力——影響於摩擦力之主因——滑潤作用——摩擦係數——機械之效率。

34. 作功之機械。前此已見可用較小之力(發動力)於槓桿,以舉較大之重量(抵抗力)。然亦應憶及,發動力作用所經之距離,必遠較抵抗力受制所經之距離為大。又有數種機械,其所生之效果,與此相反。例如在自由車中,即有大力作用於踏板之上,經過較小之距離,而此力即用以克制作用於後輪胎上之較小之力,其所經之距離,遠較前者為大。在本章之內,將求一基本之原理,與力作用時所經之距離有關者。此稱為功之原理 (principle of work), 非惟可以應用於槓桿及滑輪,且可應用於斜面,楔,螺旋,以及組合此等簡單機械原素而成之一切複雜機械。

35. 何謂機械之功。一人自月臺上舉一箱至貨車中,或拖曳此箱使之移動於月臺之上,則謂此人

作功(圖 42). 但彼若並未舉起或移動此箱, 則不問其推或曳之如何劇烈, 就此字在科學上之意義而言, 彼並未作功. 易言之, 功以成就之效果計其量, 而與努力或疲乏之程度無關. 在科學術語上, 功之意義乃指克制抵抗力而言.

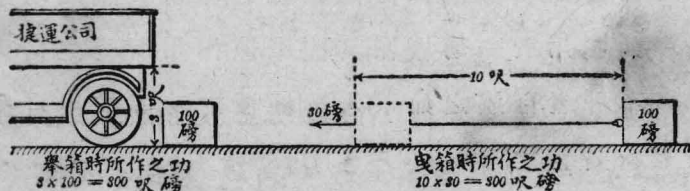


圖 42. 作功之兩例.

設舉一磅之重, 使之移動 1 呎之垂直距離, 即謂作功一呎磅; 如將 100 磅之重舉高 3 呎, 即作 300 呎磅之功; 或如用力 30 磅於 100 磅之箱, 曳之移動 10 呎, 則仍作 300 呎磅之功. 易言之,

$$\text{功 (呎磅)} = \text{力 (磅)} \times \text{距離 (呎)}$$

於此有一事宜記憶之, 即計量距離時, 所按方向須同於出力之方向是也.

例如, 有一機師用銼刀銼物, 發出 10 磅之力向下, 15 磅之力向前, 依水平方向連銼 40 次, 每次將銼刀移動 6 吋, 則彼作功若干? 全距離為 20 呎而水平力為 15 磅明甚; 故所作之功為 300 呎磅, 因下壓之力不生何種運動, 祇足以引起

銼刀與被銼表面間之摩擦作用，故 10 磅之下壓力雖常在作用，實未作功。

在米突制中，功之普通單位為克裡與瓦特，力以克數或瓦數計，而距離則以裡數或瓦數計。

36. 功之原理。在各種機械中，使發動力作用於一部份，則機械他部份之抵抗力，即被克制故功之原理，如應用於一切機械，其因摩擦作用所受之損失可以不計者，可述之如下：入於機械之功，等於出自機械之功要言之，

$$\text{入功(input)} = \text{出功(output)}.$$

如圖 43 所示之滑輪組，即為一例。出功等於重量 W 乘使之舉起之距離，而入功等於發動力 E 乘其作用所經之距離，假定使重量 W 舉起之距離為 D ，而發動力 E 作用所經之距離為 d ，則入功為 $W \times D$ ，而出功為 $E \times d$ 。於是由功之原理，

$$W \times D = E \times d$$

或

$$\frac{W}{E} = \frac{d}{D}$$

但使重量舉起 1 呎時，支持盤車之各繩，必皆縮短 1 呎明甚，故 E 必移動 6 呎；易言之，

$$d = 6D$$

將 d 之此值，代入前一方程式中，即得

$$\frac{W}{E} = 6.$$

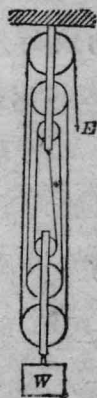


圖 43 兩具三重盤車。

又如, 在輪軸 (圖 44) 中, 出功等於重量乘其舉起之距離, 而入功等於發動力乘其作用所經之距離。為便利計, 假定輪適旋轉一週; 於是使重量舉起之距離, 等於軸之圓周, 即 $2\pi r$; 而發動力作用所經之距離, 為輪之圓周, 即 $2\pi R$ 。故由功之原理

$$E \times 2\pi R = W \times 2\pi r,$$

或 $E \times R = W \times r,$

此與視輪軸為變相槓桿而得之方程式適用。

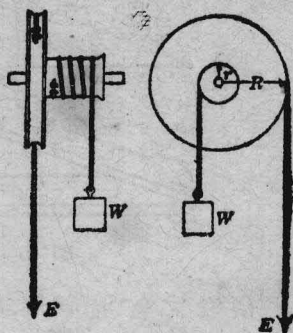


圖 44 用輪軸所作之功。

37. 斜面。過重之鏟與桶, 不易自地面舉入車中者, 常使之滾轉於斜攔之板而上行。此即所謂斜面 (inclined plane) 之例也。凡道路之面不成水平面者, 亦為斜面之例。由經驗知斜度愈峻, 則曳重物上行時所需之力愈大。欲求發動力及重量負荷與斜度之間, 究有若何之關係, 可作一簡單之實驗, 其中摩擦力可以不計。

假定布置一極光滑之斜面, 與水平面成一定之角, 如圖 45 所示。命重量即負荷為一沉重之金屬圓柱, 滾轉時絕少摩擦作用。以一繩繫於圓柱上, 而使之套於斜面頂端所裝之滑輪上, 然後在他端懸足數之砝碼, 使可拉動重載, 緩緩上昇於斜面。此時將見負荷對於發動力之比 $\frac{W}{E}$, 約同於斜面長度 L 對其高度 H 之比 $\frac{L}{H}$ 。

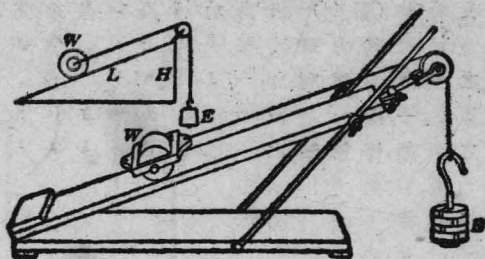


圖 45 用斜面所作之功。

由功之普遍原理,亦可求得抵抗力與發動力,對於斜面之長度與高度之此種關係.假定使重量 W 滾轉而自斜面之底昇至其頂.此時已使之舉高 H 呎,而所作之功為 W (磅) 乘 H (呎),即 WH 呎磅.但同時因重量 W 在斜面上移動而上昇至頂,如斜面之長度為 L ,則發動力 E 已移動 L 呎,故入於斜面之功等於 E (磅) 乘 L (呎),即 EL 呎磅.故若略去摩擦力,即得普通規則:

重量 × 斜面之高度 = 發動力 × 斜面之長度.

如是則斜面之機械利率,可書之為:

$$\frac{\text{抵抗力}}{\text{發動力}} = \frac{\text{斜面之長度}}{\text{斜面之高度}}$$

38. 斜面之斜度. 土木工程師測斜面之斜度時,係按水平方向與直垂方向測量其距離,當彼謂斜度為百分之一時,即指該斜面每經百呎之水平距離,即升高一呎而言.易言之,斜面之斜度為高對於底之百分比.例如路面若每經 100 呎之水平距離即升高 5 呎,則謂此路之斜度為百

分之五。因真正良好之路面, 其最峻之斜度不得過百分之三, 故用微小之力, 例如馬所能出之力, 可以移動極重之物, 上行於漸漸升高之斜坡, 如一直上昇, 則可舉之重量必遠遜於前者。在山嶺衆多之區域內, 所築大道皆迴環曲折者, 即因此故也。又如欲使階級易於攀登, 必須使其斜勢和緩。

計 算 題

1. 一人將 196 磅之麵粉一桶, 舉入高出地面 3.5 呎之貨車中, 問此人作功若干?

2. 一人負一噸之煤於筐中, 上昇 20 級之階梯, 每級高 7 吋, 問彼作於煤上之功若干?

3. 在米突制中, 功以尅枳計量, 問將 50 呎之水, 用抽水機抽至 40 呎之高時, 所作之功若干?

4. 一女孩體重 125 磅, 攀登於本克爾希爾 (Bunker Hill) 紀念碑之巔, 此碑之高爲 220 呎, 問彼作功若干?

5. 欲於地面推動 100 磅之櫃, 如須用力 40 磅, 問 (a) 於推動此櫃 4 呎時, (b) 於舉高此箱 4 呎時, 作功若干?

6. 一馬重 1200 磅, 拖一載重之車, 其重一噸, 於 4 小時內行 10 哩。設此馬所出平均之曳力爲 130 磅, 問此馬作功若干?

7. 一人重 150 磅, 以繩跨於桅端之空滑輪, 而自行提升於桅桿之上, 問彼昇至 100 呎高之時, 作功若干。

8. 一組之滑輪, 含有三重定盤車及雙重動盤車各一, 用此滑輪組, 一人用 120 磅之力, 將石塊舉高 8 呎, 不計摩擦力, 算出彼所作之功。

9. 自 40 呎深之井, 用輪軸舉起 650 磅之負荷。如拐臂須轉八十次, 每次所經之圓周爲 8 呎, 則作用於柄之力爲何? 假定無摩擦力。

10. 一斜面每伸 25 呎, 昇高 1 呎, 欲於其上曳 200 磅之重壓, 徐徐上昇, 問須用力若干? 摩擦之效應不計。

11. 若接近於橋之路, 每伸 10 呎即昇高 1 呎, 則可使

曳力 150 磅之馬，能曳若干重之物向上行？假定摩擦力可以略去。

12. 設一人能使 125 磅之力，而欲將 400 磅之鐵，由斜欄之板推入高 3 呎之貨車，則彼可用之最短之板爲何？彼作功若干？

13. 一物重 5 磅，止於斜面之上，斜面之長爲 10 呎，高爲 6 呎，而底長 8 呎。不計摩擦力，而求移此物體上行於斜面 7 呎所需之功。

14. 一汽車重 2400 磅，在每伸 40 呎即升高 1 呎之山岡上，使之上行半哩時，其引擎所作之功爲何？摩擦力不計。

39. 楔。 若不將負荷曳起於斜面，而將斜面推入負荷之下，則斜面即稱爲楔 (wedge)。楔之角度愈小，當然愈易在抵抗力之下推之使入。將楔推入時所需之發動力，與所克制之抵抗力間之關係，因受摩擦力之影響甚大，故不能簡述之。

凡劈割穿鑿之器具，例如斧，鑿，以及木工所用之刨，又如釘與針，皆作用如楔。木工常用楔以使鎚頭或斧頭牢附於其柄上。伐木之人，常用楔以分裂所伐之木。在多種機械中，常用旋轉之楔，即傳轉輪 (cam) 以推傳動之桿。

40. 螺旋。 當須用巨大之力時，例如舉起建築上之重物，則如槓桿與滑輪等之機械，即不足以應用，因不能得充分之機械利率故也。欲達此項目的，須用

螺旋, 如起重螺旋機者是也。

建築師所用之一種起重螺旋機示如圖 46。螺旋本身並不旋轉, 但螺旋帽則徐徐轉動, 以使負荷升高, 此螺旋帽每轉畢一週, 螺旋即升高其相隣兩螺線間之距離, 發動力係作用於柄端者。

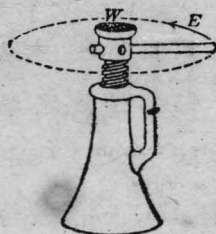


圖 46 建築師之起重螺旋機。

螺旋之旋距 (pitch), 為相隣兩螺線間之距離。螺旋每轉

一週, 出功等於重量乘旋距, 而入功等於發動力乘其作用所經之距離——即柄端所作之圓周是也。

設 W 等於欲舉之重量而 p (旋距) 等於相隣兩螺線間之距離, 則每轉一週所出之功為 W 乘 p 。命 E 等於作用於柄上之發動力, 而 $2\pi r$ 等於其作用所經之圓周長, 於是 E 乘 $2\pi r$ 即為入功。故應用功之原理於此機械, 若可不計摩擦力, 即得

$$\text{重量} \times \text{旋距} = \text{發動力} \times \text{旋徑之圓周},$$

$$\text{或} \quad W \times p = E \times 2\pi r,$$

$$\text{故} \quad \frac{W}{E} = \frac{2\pi r}{p}$$

易言之, 螺旋之理論的機械利率, 為柄端旋徑之圓周, 對於螺旋之旋距之比。

在實際上，摩擦力耗去所入之功之大半，故入功大於出功，但此損失並非完全無益，因摩擦力可使螺旋不致自行倒退也。

41. 螺旋之應用。木工之木螺旋 (wood screw) 與機師之螺釘 (bolts)，皆所熟悉者，又如機師之虎頭鉗 (圖 47)，上有螺旋以槓桿轉動之者，亦大都見過，此外尚有測微螺旋 (圖 48) (micrometer screw)，用以作



圖 47 機師之虎頭鉗。
螺旋係用槓桿轉動之。

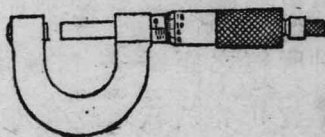


圖 48 測微螺旋，可量至一耗
之 0.001。

極精密之測定者，亦為一例。此種螺旋之螺線，非常準確，其旋距極小，恐僅及 1 耗。若此種螺旋轉過 $\frac{1}{100}$ 週，則軸端恰前移 0.01 耗而已。螺旋之上部分成 100 等分，故螺旋所轉過一週之分數，立可準確指出。欲測微小之距離如紙之厚度，以此為最易之法。

船與飛機之推進機 (propeller) (圖 49)，常設想其狀如螺旋；豈知實係螺旋。船之推進機有葉板二枚或

三枚,裝於軸之一端,而由軸之他端之引擎,驅之使轉,轉時非常迅速,致使受其衝動之水,無暇他去,於是推進機猶如平常螺旋之旋進於木,而在水中旋轉以前進矣。

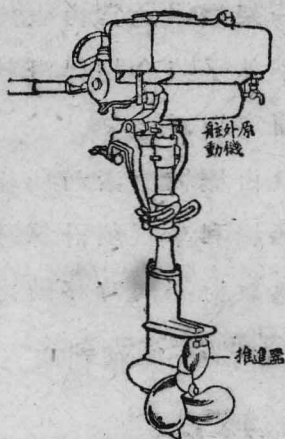


圖 49 三葉推進機,與輪面發動機。

42. 螺旋齒輪. 螺旋齒輪 (worm gear) 爲又一可得巨大機械利率之工具,由一有螺線之軸切於一齒輪而成. 軸轉一週,即使齒輪旋過兩齒之距離. 故若齒輪有 n 齒,則軸旋轉時,其速爲輪之 n 倍. 於是此種螺旋齒輪之機械利率,等於輪上之齒數.

此種工具通常用以驅動運貨汽車之後軸 (圖 50), 又用以減低計速器 (speed counter) 中之速率.

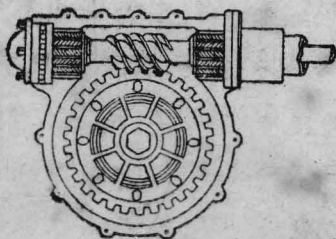


圖 50 用於運貨車後軸上之螺旋齒輪。

43. 簡單機械之組合. 在工廠及工場之中,所

謂一架機器，通常由上述簡單之機械原素組合而成，即不外乎集合槓桿，滑輪，輪軸，螺旋以及齒輪而成，惟繁簡有別耳。

由機械原素如此組合而成之任何機器，欲計算其機械利率，祇須計算發動力移動之距離，對於抵抗力或負荷在同時移動之距離之比即可。是以

$$\text{機械利率} = \frac{\text{發動力距離}}{\text{抵抗力距離}}$$

44. 差動滑輪。在工場中，欲將沉重之機件舉起，往往利用如圖 51 所示之差動滑輪 (differential pulley)。此種滑輪係由三繞輪所成，二繞輪在上方之盤車中，直徑不同而固接為一體；又一則在下方之盤車中，一循環不斷之鍊，跨於此兩盤車上。在上方之盤車中之繞輪，其邊緣有突起之物，可所嵌入鍊之各環中，使鍊不致滑動。此種差動滑輪，有極大之機械利率。

今試裝設此種滑輪一具而細究之，以觀其巨大之機械利率何由而得。鏈曳下時，較大之定滑輪捲鍊之速度，大於小滑輪解鍊之速度，如欲計算此種設置之機械利率，可假定 E 所移下之距離，是以使定滑輪旋轉一週，設 R 為大定滑輪之半徑，則 E 所作之功即

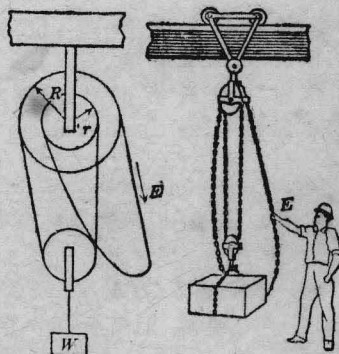


圖 51 差動滑輪。

爲 $E \times 2\pi R$. 設 r 爲小定滑輪之半徑, 則旋轉一週所解之鍊長, 爲 $2\pi r$, 故重量 W 將升上 $\frac{1}{2}(2\pi R - 2\pi r)$, 或 $\pi(R-r)$, 而所作之功即爲 $W \times \pi(R-r)$. 故若略去因摩擦力而受之損失, 即得

$$W \times \pi(R-r) = E \times 2\pi R$$

由此得

機械利率

$$= \frac{W}{E} = \frac{2R}{R-r}$$

因兩定滑輪半徑之差 $(R-r)$ 甚小, 故機械利率甚大頗明。

差動滑輪尙有第二種實用上之利益, 即當發動力 E 弛解之時, 常有充分之摩擦力, 足以保持所支之重量, 不致下落也

計 算 題

(此諸題中, 摩擦力均不計)

1. 汽車起重螺旋機之槓桿臂長 1 呎, 螺旋之旋距長 0.3 吋, 如在臂端用 40 磅之力, 可以舉高之重量爲何?

2. 建築師所用之起重螺旋機, 其槓桿自中心伸出 2 呎, 設一人用 100 磅之力可舉 25 噸之重, 問一吋之中必須有螺線若干?

3. 在前題之中, 機械利率爲何?

4. 木匠工作檯上之虎頭鉗(圖 47), 其螺旋之旋距爲 0.2 吋, 而螺旋之柄長 7 吋, 設以 25 磅之力作用於柄端, 問由鉗口發出之力爲何?

5. 腳踏車之踏板在半腰, 以 100 磅之力壓之使下, 拐臂長 6 吋, 而鏈輪之直徑爲 8 吋, 求鏈上之張力, 即牽曳之力。

6. 在前題中, 如接於後輪之鏈輪, 其直徑爲 2.5 吋, 而輪之直徑爲 28 吋, 問 (a) 踏板旋轉一週時, 車行若干遠? (b) 當乘車之人以 100 磅之力壓於踏板上時, 後輪胎後推於路面之力若干?

7. 一汽車引擎重 840 磅，欲用差動滑輪舉之。設一人將鏈連拉 32 次，每次拉下 18 吋，則可舉高 4 呎。問此人所用之力爲何？

8. 從傳轉輪之軸心，至輪邊之最長與最短之距離，如自等於 $1\frac{1}{2}$ 吋與 1 吋。設在傳轉軸上之齒輪，其直徑爲 4 吋，則以 10 磅之力作用於齒輪邊緣時，由傳轉輪發出之平均力爲何？（提示：應用爲無摩擦力之機械而設之功之原理。）

45. 功與功率。 “功”與“功率”（power）兩詞，在俗談中往往混而爲一，或互相換用。在物理學上，“功”之一詞，其意蓋謂克制抵抗力。例如一童子若負 50 磅重之水桶，昇 12 呎之梯，卽作 600 呎磅之功。不論彼完成此事之時間爲一分，或一小時，其所作之功之量並不增減；惟一分鐘內欲成此事，則所需動力之量，當爲一小時內完成此事所需者之 60 倍。“功率”一詞，卽加有時間之概念，故功率之意義，爲作功之速率，於是

$$\text{功率} = \frac{\text{功}}{\text{時間}}$$

46. 馬力。 蒸汽引擎最初之用處，爲抽出礦中之水。此種工作，以前由馬爲之；故估計任何引擎之功率，常謂等於若干匹馬之功率。詹姆斯瓦特（James Watt）欲確定此種計量之單位，曾實行若干次實驗，以決定一馬在一分鐘內，能作功若干呎磅。彼求得強

壯之拉貨車之馬, 由繩及滑輪, 可將 150 磅之重量, 自煤礦拉出, 在一分鐘內經過 220 呎之距離. 於是在一分鐘內所作之功, 爲 150×220 即 33,000 呎磅. 故此每分 33,000 呎磅, 或每秒 550 呎磅之速率, 即稱爲馬力 (horse power), 欲求引擎之馬力, 祇須計算其每分鐘內所作之功之呎磅數, 除以 33,000; 或每秒所作之功, 除以 550 即得.

$$\text{馬-秒磅} = \frac{33000}{60} = 550 \text{ 呎磅} \quad \text{馬力} = 746 \text{ 瓦}$$

$$\text{馬力 (H. P.)} = \frac{\text{每分呎磅數}}{33,000}$$

功率的單位, 瓦, 馬力, 瓦.

$$= \frac{\text{每秒呎磅數}}{550}$$

例如, 有一用於抽水之引擎, 欲使之每小時抽出 10,000 加侖, 送入高出水源 50 呎之貯水池. 問需馬力若干?

一加侖之水重 8.34 磅; 故 10,000 加侖之水重 83,400 磅. 將此重量舉高 50 呎所作之功, 爲 $83,400 \times 50$ 即 4,170,000 呎磅. 因此功係於一小時內所作者, 故每分鐘所作之功爲 $\frac{4170000}{60}$, 即 69,500 呎磅. 故所需之馬力當爲 $\frac{69500}{33,000}$ 即 2.1 H. P.

在米突制中, 功率之普通單位爲瓦, 其數相當於 1.34 馬力.

47. 功率之測定. 小型之蒸汽或氣體引擎, 或電動機, 其機械功率往往用如圖 52 所示之摩擦制動機 (Prony brake), 在試驗室中決定之. 裝在引擎或

電動機軸上之滑輪，嵌入有摩擦作用之兩木塊間。木塊之一，固定於桿上。桿之一端，連於彈簧秤上。當滑輪旋轉之時，勢欲攜制動之兩木

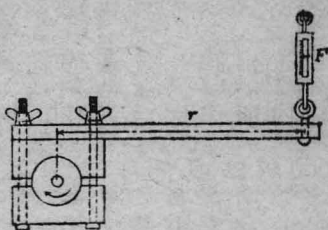


圖 52 用以測定功率之摩擦制動機。

塊與俱轉。但因彈簧秤以向上之力作用於制動機桿之端，故為所阻。此反抗之摩擦力，可用壓緊木塊於滑輪之螺旋以節制之。引擎此時係在反抗彈簧秤上所示之力而作功，此力作用所經之距離，等於桿端所畫之圓周。於是一分鐘內所作之功，等於旋轉一週所作之功，乘以每分之旋轉次數；而馬力則等於每分鐘所作之功之呎磅數，除以 33,000。為便利計，可書式如下：

$$H. P. = \frac{\text{力(磅數)} \times 2\pi \times \text{桿長(呎數)} \times (\text{每分旋轉次數})}{33,000}$$

例如，摩擦制動機上所用之彈簧秤，當引擎使軸每分鐘旋轉 120 次時，示度為 50 磅。桿長自滑輪中心至彈簧秤為 30 吋。求制動之馬力為何？

$$\text{答} \quad \frac{50 \times 2 \times 3.14 \times 2.5 \times 120}{33,000} = 2.85 \text{ H. P.}$$

→ 48. 功率之傳遞。在裝有數架機器之任何工場中，極易辨出有兩種分別——一種為原動機器

(driving machine), 即係蒸汽或油引擎, 水車或電動機是也; 一種爲推動機器 (driven machine), 鑷床, 鑽孔機, 刨機以及鋸機皆是. 在原動機器與作功之機器間, 必須常有連絡之設備; 即傳遞之媒介是也. 若此等機器, 相隔不遠, 則普通之方法, 係用軸梗, 皮帶, 鏈條, 或齒輪; 但當原動機器與推動機器相隔遼遠, 有時甚至相離數哩之遙時, 則須用電力傳遞. 電傳之法, 將於第二十四章中說明之.

用皮帶, 繩索, 鋼纜, 或循環不斷之鏈條傳遞動力之時, 係使之套於兩滑輪上, 如圖 53 所示. 就 (a) 之情形而言, 則兩轉輪旋轉於同方向內; 就 (b) 之情形而言, 則皮帶交叉, 兩滑輪

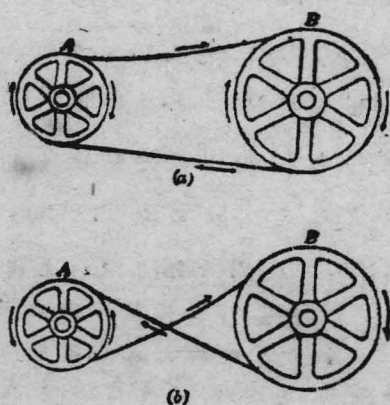


圖 53 用皮帶傳遞動力.

(a) A 與 B 在同方向內旋轉.

(b) A 與 B 在反對方向內旋轉.

在反對之方向內旋轉. 設大滑輪之圓周 (或直徑), 爲小滑輪之圓周 (或直徑) 之 n 倍, 則後者旋轉之速度,

必 n 倍於大滑輪之速度明甚。

同理對於齒輪亦然；且因接合之兩輪，其邊緣上之齒之大小須相同，故可用各輪上之齒數，以計其圓之量，此兩端之速率，其比等兩輪上齒數之反比。兩齒輪之旋轉方向相反，正與套有交叉皮帶之兩滑輪之情形相同。

問答題與計算題

1. 設在積雪之水平路上，曳一 200 磅之雪車而行，所用之力為 22 磅，問曳此雪車行過 50 呎時，作功若干？
2. 在前題中，設按每小時 4 哩之速率曳雪車而行，問需馬力若干？
3. 挖掘地窖，可用鑿石鏈與鐵鏈，或用蒸汽自動鏈。問通常需要 (a) 多量之功者，(b) 多量之功率者，為何種方法？
4. 一升降機之發動機，可將共重 1500 磅之籠及其負荷，自高 100 呎之建築物之底，在 10 秒鐘內提升於頂，問其馬力為何？
5. 一人於努力作功之時，其平均馬力為 $\frac{1}{7}$ ，問彼在若干時間之內，可將重 50 磅之水桶，自深 33 呎之井中提出？
6. 將每小時 60 哩化為每秒若干呎。（在變換速率單位時，此數頗有用處，須記憶之。）
7. 1600 馬力之機關車，按每小時 30 哩之速率馳行之時，着於列車上之曳力為何？使機關車馳行所需之動力不計。
8. 一柴油引擎，每分鐘可將 300 立方呎之水，射至 80 呎高，問其馬力為何？
9. 一九二八年自羅馬飛至巴西之飛機，其機器中

裝有550馬力之電動機,當飛機按每小時90哩之速率飛行時,問由推進機發出之力有若干磅?

10. 一機器裝有直徑50吋之滑輪,欲使之每分鐘旋轉240次,有一電動機可用,其旋轉速率為每分鐘1200次,問在電動機上,應裝一若何大小之滑輪?

11. 在電車發動機中,連於電動子軸上之小齒輪,有齒20枚,而連於車軸上之連動齒輪,有齒30枚,設車輪之直徑為33吋,求在車行100呎後電動機軸旋轉之次數。

12. 一汽車每分鐘可行20哩,其後輪之直徑為30吋,其差動輪之齒數比(圖54中B與P之齒數比),為3.63,問引擎使轉運軸每分鐘旋轉之次數為何?

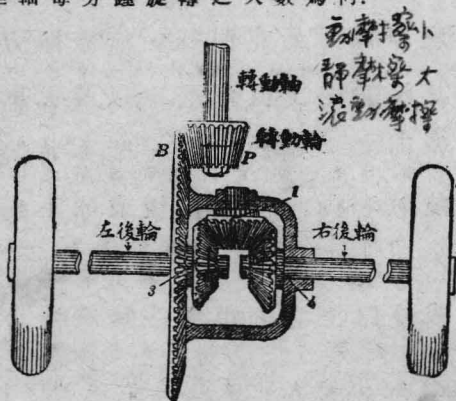


圖 54 汽車上之差動輪,可改變運動之方向,而使兩後輪不相連接。

13. 若同一引擎,依同一之速率運行,由一螺旋齒輪與後輪相連接,而齒輪上有齒30枚,則汽車前行之速率為每小時若干哩?

§49. 摩擦力. 前此所談關於機器之原理,皆根據於摩擦力可以略去之假定,然在機器運轉之時,摩

擦力往往發生極重要之作用，有時受其損害，有時得其大利。故可就利益方面着想，一詢摩擦力究係何物，其作用如何，用何法決定其大小，以及其對於機器運轉之影響如何。

凡使一物體在他物體上滑移或滾轉之發動力，其相反之抵抗力，即所謂摩擦力也。

50. 摩擦力往往有益。有多種機器，設置，以及動作，皆須賴摩擦力始克運行。如無摩擦力，則皮帶將不緊貼於其滑輪之上，汽車，電車，以及火車之制動機，將不能運轉，而釘與螺旋，以及火柴，亦將無用。甚至行路亦不可能，試在極光滑之地板或冰上疾趨，即可知之。

汽車或鐵路上之列車，無一無摩擦力而可運動者，因推進輪之前進，端賴輪與路，軌間之曳引阻力 (traction)，即摩擦力驅之使然也。故汽車輪胎之表面，往往有球狀之物或不規則之突起物，嵌入柔軟之路，或附有吸盤，可以黏着於光滑之舖道上，以增加曳引阻力。在陰溼之天，汽車夫又用鍊條以增加 (圖 55) 曳引阻力，而機關車上之司機者，則將沙泥撒於適當車輪前面之軌上。於停止汽車或列車時，曳引阻力亦十

分重要,正與開行時同.汽
車輪滑動時,向前滑固易,
向旁滑亦易;此稱爲溜動
(skidding).發生溜動時甚

爲危險,因在片刻之中,控制汽車之能力已完全失去.
欲防止此事,在轉灣之時,駕車者必須使車緩緩而行,
或行於沙泥之上,而在潮溼之天,須用鏈條縛於輪上.

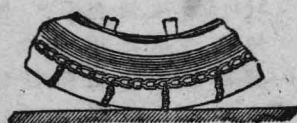


圖 55 汽車輪上之鍊,欲用
以防止溜動者。

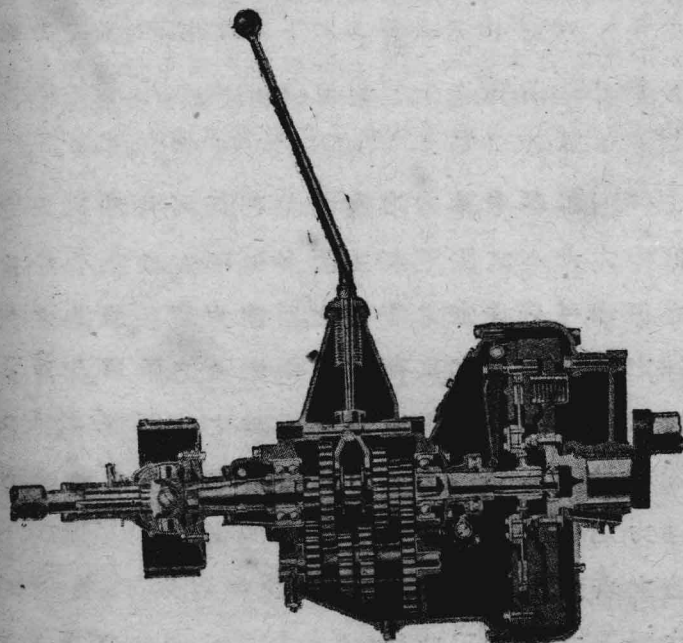


圖 56 汽車之萬能節,傳動齒輪,以及圓板接合子之剖面圖。

51X 摩擦接合子。因氣體引擎不能在重荷之下開動，故知在汽車之中，必有某種設置，在引擎緩運轉時，將其拐臂軸連於車之轉動軸。此種設置為一種摩擦接合子 (friction clutch)。在所謂錐狀接合子 (cone clutch) 中，有一皮面之錐體，由彈簧推入飛輪之錐形邊緣。在複式圓板接合子 (multiple-disk clutch) 中，有一串之金屬圓板，排成兩列，其中一列為轉動圓板 (driving disks)，與飛輪同轉；餘一列為交替圓板 (alternate disks)，即傳動圓板 (driven disks)，則連於總軸 (main shaft) 之上。當轉動圓板與傳動圓板，為接合子之彈簧壓於一處之時，轉動圓板即曳傳動圓板與之俱轉。於是可見在兩種情形之下，動力之傳遞，完全經由摩擦接觸物。當司機人欲使車停時，即壓其足下之踏板，將接合子放鬆。接合子彈簧之彈力因是而去，而圓板亦相分開，故轉物圓板之旋轉，可與傳動圓板脫離關係。單式圓板接合子 (圖 56) (single-disk clutch)，為此種接合子之最新式者。

520 影響摩擦力之主因。在任何特殊情形之下，摩擦力大小之決定，其主因多而不定，故祇有最普遍之原理，可以肯定之。概言之，摩擦力須視摩擦表面移動之速度，其上之重荷，以及兩表面之性質及當時之情狀而定。設將此兩摩擦表面驗之於顯鏡下，則見兩者均高低不平 (圖 57)，猶如山峯之起狀。言其實，則摩擦力之發生，即由於相摩擦之表面上，有此不規則之現象之故。明乎此，即易於了解影響摩擦力之

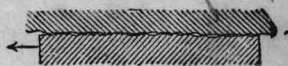


圖 57 摩擦兩表面之截

面放大圖。

多種主因矣。

53. 速度對於摩擦力之效應。通常謂摩擦力與速度不甚相關,此語似有幾分真確,然發動摩擦力 (starting friction) 明明較滑動摩擦力 (sliding friction) 爲大,此於用彈簧稱以曳一箱或沉重之木塊,使在桌面上移動時,即可見之。機關車之推進輪若不容其滑動,則機關車即可使沉重之列車開始運動者,端因此故;苟車輪始終滑動,則就地急轉,無濟於事矣。更有進者,速率增加時,摩擦力即有幾分減少;故鐵路列車之車輪與制動機包頭 (brake shoe) 間之摩擦力,在每小時行60哩之時,僅及每小時行20哩之時三分之一至一半。工程師或司機人當列車或汽車行駛漸緩時,即將制動機之壓力放鬆者,亦緣此耳。

54. 表面對於摩擦力之效應:滑潤作用。在他一方面,摩擦力與摩擦表面之性質與情狀極有關係。當表面光滑而堅硬之時,摩擦力即較小。例如極光滑之兩金屬表面,所生之摩擦力或僅及兩木材表面在同狀況下所生摩擦力之半,而此又僅及未磨光之兩石面所生摩擦力之半。

由適當之滑潤作用 (lubrication), 摩擦力可以大爲減

少，若將肥皂或石蠟塗於滯澀之抽屜上，則啓閉即大較容易，完全塗油或敷有脂肪之金屬表面，所生之摩擦力，或僅及乾燥之同表面所生之摩擦力之 $\frac{1}{4}$ ，甚至 $\frac{1}{5}$ 。故使各種機械起滑潤作用，非常重要，不獨工場中之大機器如此，即縫紉機，腳踏車，風車，農用機器，耕田引擎，亦復如此，而尤以汽車爲甚。置汽車者，似皆忘油與油脂，亦應按一定之時，灌入車中，不可間斷，與汽油同。設此而不爲，則在各種軸承中，以及在汽缸中所增加之摩擦力，皆足使此等機件耗損較速，遲早之間，並軸承亦將“燒滅”(burns out)。此即謂軸承之表面，由一種微白色易於融解之合金(alloy)稱爲巴壁金(Balbit metal)所製成者，融解或開裂，露出粗糙之表面，而配合之處亦大大寬鬆。於是引擎各部即“互相衝突”(knocks)，而所起之震動，或可折斷連合桿而毀損各機件。有時軸承或活塞，或竟“凍結”(freeze)，此即謂軸或活塞因熱而膨脹，直至容積過大，滯滯而不能動，而機即停矣。在火車上“車廂發熱”(hot boxes)，即爲對於滑潤作用處置失當，因而發生意外之習見之例。

各種引擎，不獨須使之常起滑潤作用而已，且各部份之機件，應加以適當之滑潤劑(lubricant)，是以汽車之輪軸承，需用油脂，差動輪需用濃厚如牛固體之油類混合物，拐臂箱需用濃厚合度之汽缸油，而彈簧之薄片，需用油與石墨所成之膠，反之如錶軸承，須用最淨之純粹輕鯨腦油，凡有價值之機器，皆附有關於滑潤作用之詳細說明者，應依此說明書，謹慎行事。

55. 乾燥之表面所生之摩擦力與接觸面之大無甚關係。曳一磚狀之木塊，使之移動於桌面之上，當木塊直立時，所用之力與木塊橫睡時約同。反之，由極有滑潤作用之表面所生之摩擦力，則殆與接觸面

之大小成正比例。

56. 重荷對於摩擦力之效應:摩擦係數. 當箱中有重荷之時,所用曳以移之力,遠較箱中無所有時為大.論其實,則使一箱在地板上滑動,如箱之容量加倍而其全重量亦加倍時,所需之力亦加倍,如重量增為三倍,則所需之力亦增為三倍.就多種情形而言,摩擦之表面往往不成水平,而使兩表面壓緊之力亦並非重量,但如將用以使摩擦表面互相對壓之垂直力,增為雙倍或三倍時,則因摩擦力而來之反曳之力,亦增為雙倍或三倍.概言之,克制摩擦力所需之力,殆與垂直壓力成正比例.即不問重荷如何,就已知之兩表面而論,則以全垂直壓力除摩擦力所得之分數,幾為常數,此分數即稱為摩擦係數.

$$\text{摩擦係數} = \frac{\text{摩擦力}}{\text{垂直全壓力}}$$

例如,有一重 800 克之物,為 300 克之力所曳,緩緩行於水平之板上,則摩擦係數為 $\frac{300}{800}$, 或 0.375.

就已知之情形而用及摩擦係數時,往往可由工程便覽或從前之經驗,至少得其近似值.於是摩擦力即可用方程式

$$\text{摩擦力} = \text{摩擦係數} \times \text{垂直全壓力}$$

計算而得之。

例如，有一機關車，其推進輪所負之重量為 160,000 磅，而輪與路軌間之摩擦係數，知其約為 0.25，則機關車於其車輪滑移以前，所能發出之最大曳力，即為 $0.25 \times 160,000$ ，即 40,000 磅。

計 算 題

1. 一童子重 110 磅，坐於雪車之上。若能於水平方向內，以 13 磅之力，曳之而行，問摩擦係數為何？

2. 一物壓於磨石之上，所用之力為 25 磅；摩擦係數為 0.3。問因摩擦作用而生之向後引力為何？

3. 自來所造最重之運貨機關車，名佛及寧號，計重 450 噸，其全部重量，幾盡負於其推進輪之上。若鋼與鋼間之摩擦係數為 0.18，問此機關車於滑動以前，能發之曳力（即連車鉤上之曳力）為何？

4. 欲將重 200 磅之稻草一包，在長 10 呎之斜欄之滑材上，曳之使起，須用力 160 磅。滑材之高端，在其低端之水平線上方 6 呎之處。問摩擦力為若干磅？

5. 駛行之雪車與積有冰層之路面間之摩擦係數，為 0.02。今有馬一雙，其作功之速率為 2 馬力，問可曳若干重之負荷，按每小時 3 哩之速率，行於水平之大路上。

6. 有一蒸氣自動鏟，以六馬力之引擎運轉之，每小時可將 200 噸之砂礫舉至 15 呎高。問因反摩擦而作之功為何？

7. 一馬作功之率適為一馬力，曳一重 700 磅之箱於水平之地板上，若箱與地板之摩擦係數為 0.3，問此馬能否按每分 160 呎之速率曳箱而行？說明計算之法？

57. **機械之效率**. 前此所論及之機械,向假定其為理想或完全之機械,其中絕無摩擦作用.果如此者,出功即等於入功.惟在各種實驗之機械中,即因摩擦而有損失或虛耗之功.機器之入功,其一部份祇用於使機器運轉,即在其有用之出功為零時,亦然.因而機器所作有用之功,常較少於其入功,而功之原理,可述之如下式:

$$\text{入功} = \text{出功} + \text{因摩擦而損失之功}$$

機器之出功對其入功之比,稱為機械之效率 (efficiency of the machine). 此數常較小於一,且往往用百數以表之;即謂機械之出功,乃其入功之百分之幾是也.出入之功,均可以功之單位,或功率之位以表之.

$$\text{效率} = \frac{\text{出功}}{\text{入功}} = \frac{\text{機械所作之功}}{\text{施於機械之功}}$$

或

或

$$\text{出功} = \text{效率} \times \text{入功}$$

例如用某種複合滑車起重時,知欲舉起500磅之重物,須用力125磅,並知力須移動6呎,始可使重物升高1呎.問此種盤車之效率為何?此機械之

$$\text{出功} = 1 \times 500 = 500 \text{ 呎磅,}$$

而

$$\text{入功} = 6 \times 125 = 750 \text{ 呎磅.}$$

故效率爲 $\frac{500}{750}$ ，或 0.667，或 66.7%。

槓桿之摩擦作用甚小，故其效率幾爲 100%；惟在商用之盤車中，效率有時小於 50%，而在起重螺旋中，摩擦作用甚大，故效率往往低至 25%。

機械中之摩擦作用，可由採用球軸承或滾子軸承（圖 58），而使之減小，同時其效率即增大。惟此種軸承之成本甚高，即因此故而其用不能普遍。

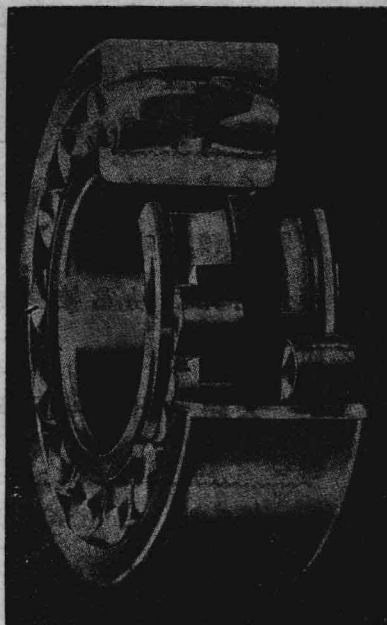


圖 58 滾子軸承，例如機關車及汽車上今所用者即是。

計 算 題

1. 一發動機其效率爲 90%，能發出 5 馬力之功率，問其入功必須爲何？
2. 有一重 1500 磅之保險箱，用複合滑車舉之至 12 呎高之處，欲作此事，必須用 400 磅之力，曳下 60 呎之繩索，問在此種情形下，所用之滑輪組織，其效率爲何？
3. 一起重機其效率爲百分之六十，爲一五馬力之發動機所運轉，問每小時內，此機可舉若干噸之煤至 50 呎之高？

4. 一礦車滿載煤塊, 重 3000 磅, 停於路軌之上, 此軌每伸 15 呎, 即升高 1 呎, 問 (a) 若無摩擦作用, 須有何力始可使之安於其位? (b) 若使此車向上移動, 須用 280 磅之力, 問摩擦力為何?

5. 一 4 馬力之發動機, 連於唧筒之上, 唧筒之效力為 75%. 若將水抽至 45 呎之高, 問此唧筒每小時內可抽水若干加侖? 一加侖之水, 重約 8.4 磅.

6. 一蒸氣自動錘在 4 秒之內, 將 1000 磅砂礫舉至 12 呎之高, 設用 30 馬力之引擎以運轉此機器, 問由摩擦而損失之功率, 其百分數為何?

7. 有一建築師之起重螺旋 (jack screw), 用以舉 10 噸之重物. 螺旋上每吋中有螺紋 5 條, 而發動力臂之半徑為 2 呎, 如此螺旋之效率為 40%, 問須用如何大之曳力?

8. 一人用滑輪組織, 將 200 磅之麵粉一桶, 於 96 秒中舉至 12 呎高, 若滑輪組織之效率為 50%, 問此人按何馬力而作功?

第三章 提要

功之原理:

$$\text{功 (呎磅數)} = \text{力 (磅數)} \times \text{距離 (呎數)}.$$

在任何無摩擦之機械中,

$$\text{出功} = \text{入功}$$

若有摩擦,

$$\text{出功} = \text{入功} - \text{因摩擦而損失之功}.$$

功率 = 作功之速率.

$$\begin{aligned} 1 \text{ 馬力} &= \text{每秒 } 550 \text{ 呎磅,} \\ &= \text{每分 } 33,000 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

$$\text{摩擦係數} = \frac{\text{摩擦力}}{\text{垂直全壓力}}.$$

$$\text{摩擦力} = \text{摩擦係數} \times \text{垂直全壓力}.$$

提要

$$\text{效率} = \frac{\text{出功}}{\text{入功}} = \frac{\text{機械所作之功}}{\text{施於機械之功}}$$

$$\text{出功} = \text{效率} \times \text{入功}$$

問 答 題 X

1. 在下列諸機器如：絞衣器，掃地器，冰酪凝結器，磨，以及旋轉切肉器中，可尋得何種簡單機械原素？

2. 在本章中所述之簡單機械原素，其應用除本書中所提及者外，試問在教室以外，於一星期內，曾見及其他應用否？

3. 下列諸物，各有何種特殊之用處：鎖釘帽 (lock nut)，有翅釘帽 (wing nut)，楔門 (cotter pin)，螺旋套 (lag screw)，以及有眼螺釘 (eyebolt)。

4. “功”之一詞，試區別其通俗之用意，與物理學及工程學上之專門之用意，試舉一功之例，不屬於專門之“功”者。

5. 試就“機械利率”與“效率”二名詞，加以區別，並舉例以明之。

6. 如欲造一機械，藉之可用 15 磅之力移動 80 呎，以舉 100 磅之重至 16 呎之高，證明此為不可能之事。

7. 試問 (a) 汽車上之齒輪，能否增大汽車引擎之功率？(b) 當車上行於峻斜之山坡時，司機者為何將機撥慢？

8. 摩擦作用乃接觸表面上高低不平之所致，將此解釋記於胸中，然後說明下列各事實：

(a) 開始移動時之摩擦力，大於正在滑動時之摩擦力。

(b) 將接觸面稍稍擦過，摩擦力即可變小。

(c) 油與脂，能減少摩擦力。

(d) 同物質之表面間，其摩擦力大於異物質表面間之摩擦力。

9. 試問 (a) 當路軌滑而列車重時，管理機關車之工

程師, 將如何開動其列車? (b) 爲何如此即能達其目的?

10. 馬一雙在堅硬而光滑之路上, 所曳之負荷, 爲何可較在泥濘之路上或沙路上所曳者爲重? (試一考滾動摩擦).

11. 於停止列車或汽車時, 爲何以不力壓制動機, 致使推進輪不能轉動, 而僅能滑行於路面爲妥善?

12. 圖 58 所示者, 爲鐵路運貨車上所用之一種滾子軸承. (a) 說明此種裝置如何可以減少摩擦? (b) 在汽車中, 何處用及滾子軸承? (c) 在球軸承中, 何處有滑動摩擦?

13. 在巴拿馬運河開成以後數年間, 有一處之河岸常常崩壞, 頗以爲苦. 其後屢次改動河岸之斜度, 終達於“安定之角度”. 問決定此“安定之角度”者爲何?

實 習 題

1. 汽油船推進機之旋動. 試訪一汽油船主, 一詢推進機之旋距, 如何計算. 當輪旋轉一週之時, 如運動並無損失, 試求出船行若干遠?

2. 汽車之重心. 以汽車置於權衡柴草及煤炭之臺秤上, 權其重量. 求出此重量中, 有若干爲後輪所負. 算出重心在前軸後若干遠之處? 欲決定重心離地若干高, 能思得任何方法否?

3. 瞄準(leveling)之方法. 試訪一測量家, 詢問鐵路上“規定斜度”; 決定山之仰角, 等事所用之方法. 此諸方法均甚巧妙, 而又不難領悟.

4. 汽車起重器. 借得各式汽車起重器(automobile jack)數具, 而測定各器之機械利率. 機械利率大, 是否即爲真正之利益?

5. 人之馬力. 測定一段長階梯之垂直高. 用按停錶(stop watch)決定汝疾馳上梯所需之時間. 算出汝使自身之重量升高此垂直距離時, 所作之功, 由此即能求得汝之馬力. 邀汝之友, 亦來一試此項實驗.

6. 運轉家用機械之動力。求出汝能發出若干馬力，以轉動如麵包混製器 (bread mixer)，或冰酪凝結器等器具。(提示：用彈簧秤量出於實驗開始時及結束時所需之曳力，而取其平均值，並量出半徑。於是再計算汝在 1 分鐘內可使該器旋轉若干次。)

7. 汽車起重器之效率。欲得數百磅之負荷，可取一長木材(約須長 8 呎，寬 2 吋，厚 4 吋)，橫欄於起重器之上。置一 50 磅之砝碼於木材之一端，而將木材之他端縛定於地下，並使起重器離此端極近 (1 至 2 呎)，測定舉此負荷所需之發動力，計算起重器於不同之數種負荷下之效率。參閱勃氏著——實用物理學實驗教程。

功之單位
絕對單位

(力) F (距離) S (功) W (20)
 磅呎，呎呎，呎呎呎呎
 法國制

$$\begin{aligned} 1 \text{ 克物} &= 9 \times 1 \\ &= 980 \times 1 \\ &= 980 \text{ 達} \end{aligned}$$

$$1 \text{ 磅物} = (9 \times 1) = 32 \text{ 磅達}$$

靜力平衡的條件

第四章

液體內之壓力

用液體之機械——力與壓力——液體內因其重量而生之壓力——連通器內液體之水平面，巴斯恰氏傳遞壓力之原理——在壓榨機方面之應用，液體之浮力——阿幾默得原理及其應用，固體與液體之比重。

58. 用液體之機械。機械有所含原素不止前此所習之槓桿，滑輪，螺旋，齒輪，以及其他簡單原素者，例如水車，水壓機，以及水壓起重機，皆利用液體，更有進者，船之浮，錨之沉，以及潛水艇之隨其司令之意而或浮或沉，均遵守有關於液體之某種定律，在本章之內，並將見液體如何可以用作極利之媒介物，以傳遞壓力於若干汽車上所用水壓制動機之組織中。

59. 力與壓力之區別。於研究液體與氣體時，必須就“力”與“壓力”二名詞，細加區別。力之意為推或挽所用之全力，常用磅數，克數或斤數以表示。壓力之意，為受推或挽之作用之表面，其每一單位面積上所受之力。即謂

$$\text{壓力} = \frac{\text{力}}{\text{面積}}$$

是也。故壓力常用每方吋若干磅，或每方呎若干克以表之。例如在龍頭 (faucet) 處之水壓力，或為每方吋 40 磅 $\left(\frac{\text{磅}}{\text{吋}^2}\right)$ ，或汽鍋中之蒸汽壓力可達每方吋 150 磅 $\left(\frac{\text{磅}}{\text{吋}^2}\right)$ ，或大氣壓力達每方呎 1000 克 $\left(\frac{\text{克}}{\text{呎}^2}\right)$ 。

63. 液體內因其重量而生之壓力。在圓柱形開口水槽 (圖 59) 中之水，即因本身沉之故，而施力於槽底之上。對水槽底所施之全力，即為水之全重量。壓力則為槽底一方呎或一方呎上所承一部份之水之重量。此一部份之水，可設想其為一小水柱，自槽底伸至水面，其截面適為一方呎或一方呎。此水柱之體積，其數字恰等於其高度之數字，即水之深度之數字。此水柱之重量，為其體積與其密度數乘之積，而此重量即為槽底所受之壓力。故就開口之水槽或他種器皿中之液體而論，顯有

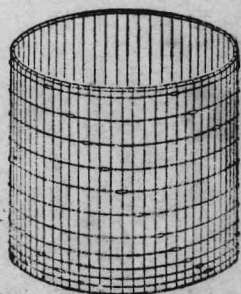


圖 59 以杉木桶板製成之圓柱形水槽。

$$\text{全力} = \text{面積} \times \text{深度} \times \text{密度}.$$

例如，有一箱，其底寬 10 呎，長 20 呎，箱之深為 15 呎。設此箱中滿盛以水，則箱底每方呎上，支有高 15 呎，重 15 克之水柱；而底上之壓力即為每方呎 15 克。在底上向下之全力，即係 $200 \times 15 \times 1$ ，或 3000 克。

61. 形狀不同之器中向下之壓力。前此所論之器，皆有垂直之壁。然尋常所用之提桶，其壁並不垂直，而向外張開，如圖 60 中之 *B* 即是。人或以為 *B* 器中之水，既較 *A* 器中之水為多，則 *B* 器之底每方呎上之壓力，亦必較大於 *A* 器之底每方呎上之壓力。然此端實不真確。*B* 器之底每立方呎上，祇須支持在底之上方之小水柱，正與 *A* 器之底同。餘下之水在斜壁之上方者，即為斜壁所支，並非由底支持。若 *A* 器與 *B* 器中底之面積與水之深度均相同，則雖 *B* 所含之液體較多於 *A*，兩器中液體施於底上之向下之全力，亦相同。

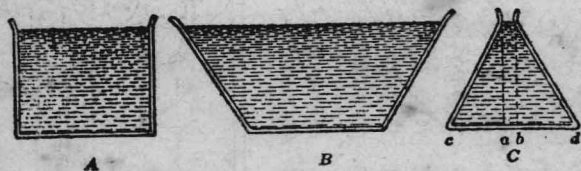


圖 60 盛水之器，其壁有不同之形狀。

A. 垂直； B. 外張； C. 成圓錐狀。

在 *C* 器中，底之面積與水之深度，皆與 *A*, *B* 相同，惟其口較小於底。於此易見，在底之正對器口之一部

份 ab 上之壓力，同於其他兩器內之壓力。且初試以為自 a 至 c 及自 b 至 d ，壓力似將漸漸減少。惟此實不確。當器壁外斜之時，即向上托，以承水之餘量，故當器壁內傾之時，即向下推，以補水之不足，兩者適可互相比擬也。在圖 60 之三器中，底上之壓力與全力，均相同，即謂，液體向下之壓力，與器之形狀無關是也。

圖 61 示一巧妙之器具，與法人巴斯恰氏所發明者相似，可以說明此諸原理。一盛水之器有隨意之形狀者，旋入環形之座，此座有一薄而可曲之金屬片，即用作此器之底。當器中之水施壓力於此金屬片上時，片之中心即稍稍起彎曲如彈簧然，因此得藉齒棒與小齒輪之作動，使盤面上之指針轉動。如是即不啻有一種彈簧秤，以量器底上之壓力。水槽 T 可使之隨意升降，而連通管則柔軟可以屈曲自如，用此二物以灌水入或放水出器 C ，頗為便利。

在此器具上用形狀不同之盛水器，可顯示當深度相同時，底上之壓力亦相同，與器之形狀無關。更有進者，以水緩緩灌入器中時，可顯示壓力與深度成正比例而增加。最後，如用食鹽之飽和溶液，因密度較大於水，故可顯示當深度相

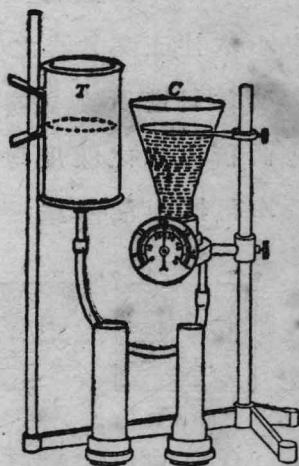


圖 61 底上之壓力，與器之形狀無關。(巴斯恰之瓶)

同時，底面之壓力正比例於密度。

62. 液體之上壓力。 若將提桶向下按之欲使之沉入水中，即覺有極大之抵抗力，必須克制之，此因水之上壓力施於提桶之底故也。欲知水之此種上壓力，究大至如何程度，試行下之實驗。

取一玻璃筒，就底邊緣磨光以去其底，而托以玻璃板或厚紙，用線吊之，不使墜下（圖 62）。當將此筒推入水瓶中時，即可放去所執之線，而所托玻璃筒之底，並不下墜。由此可見水之有上壓力也明甚。設將有色之水緩緩注入筒中，玻璃板仍固定不動，直至筒內與筒外之水平面殆相同時，玻璃板始墜下。



圖 62 水之上壓力同於下壓力。

據此可謂，就一般而論，液體在任何深度所施之上壓力，等於同液體在同深度所施之下壓力。

計 算 題

1. 在直立之管內，水深 10 呎，問管底上之壓力（克/吋²）為何？
2. 在直立之管內，水深 40 呎，問在底面上之壓力（磅/吋²）為何？

3. 潛水艇於海水中在水面下30呎時，其所受之壓力(呎/吋²)爲何？(海水之密度 = 每立方呎1.03克.)

4. 每方呎一呎之壓力，可以支持若干高之水柱？

5. 欲得每方吋1磅之壓力，“水頭”(head of water)須高若干？

6. 一救火引擎可發每方吋50磅之水壓力，如不計空氣之阻力，試利用5題之答數，以求此引擎射水之高度。

7. 水銀之密度爲每立方呎13.6克。問高76呎之水銀柱，其底面之壓力爲何？

8. 一鉛桶其底之直徑爲16呎，而口之直徑爲24呎。假定桶中盛水至25呎之深。問(a)底面之壓力爲何？(b)底面所受之全力爲何？

9. 一兩端開口之管，其截面之面積爲4平方呎，於其底端置一金屬片，重2克。於是將此管投入汽油中，使管底在液面下10呎之處。若將松節油(密度爲每立方呎0.87克)注入管中，須注至若何深度，始可使金屬片墜下？

10. 水銀每立方吋重0.49磅。(a)在杯中盛水銀至4吋之深，求杯底上之壓力。(b)如杯之直徑爲2吋，則底上



圖 63 梵薩學院之蓄水池。

之全力爲何?

11. 圖 63 示梵薩學院之蓄水池,圓柱形之蓄水池,其直徑爲 22 呎,而高爲 14 呎,蓄水池之底高出地面 85 呎. 問(a) 當池中水滿時,地上之水壓力爲何? (b) 此蓄水池能容水若干加侖?成橢圓體之底部不計.

63. 液體向側面亦施壓力. 若於盛有水之槽或桶之側面,穿一孔,則水噴射而出,此乃人人皆知之事.可見當未穿孔以前,液體必已壓向桶側之此一小塊.於是知液體之因其重量而有側壓力,正與有下壓力同.

用圖 64 所示之壓力計,可研究此側壓力如何依深度而變.此計有一橡皮之膜;可繞一水平軸而旋轉,並由橡皮管通至一 U 字形之玻璃管,其中盛有某種有色之液體.當將壓力計放入水瓶中,使之下沉時,即見有色之液體上下移動.此即顯示壓力因深度之增加而亦漸漸增加.若使薄膜面向他方,如前沉之入水,亦得同一之結果.若使支橡皮管之架止於一定之深度而不動,而使橡皮膜繞水平軸旋轉,即見在玻璃管內之液體,實際上靜止不動.由此可知壓力在各方向內均相等.

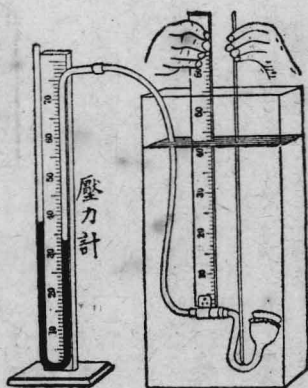


圖 64 壓力計指示液體內之壓力在各方向內均相等.

液體之側壓力,與液體之深度及密度同增.在已

知之深度，液體所施各方向內之壓力，確皆相同。

64. 側向力之計算法。欲計算水向堤或壩所發之全力，須憶及側壓力在水面爲零，向下漸增，至底其值最大。在水底之壓力，已知其等於底爲單位正方形而高等於水深之水柱之重量。平均側壓力等於半腰之壓力，即水底壓力之半。且常有

$$\text{液體之力} = \text{面積} \times \text{平均壓力}$$

例如，有一箱寬 10 呎，長 20 呎，深 15 呎，其中滿盛以水（圖 65）。欲問勢在推出箱端之全力爲何？

在側面半腰處之壓力，爲每方呎 7.5 克。在箱端之面積爲 10×15 即 150 方呎。故推向箱端之全力爲 150×7.5 ，即 1125 克。

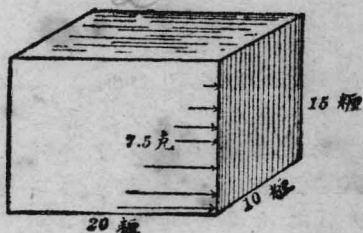


圖 65 水推向箱壁之力，等於面積乘平均壓力

又例。假定此箱爲一大水槽，其中滿盛以水，而其向度爲 10 乘 20 乘 15，所表者均爲呎數。欲問水槽端所受之推力爲何？

半腰之壓力，等於底爲 1 方呎而高爲 7.5 呎之水柱之重量，即 7.5×62.4 ，或每方呎 468 磅是也。因在水槽端之面積有 10×15 即 150 方呎，故水槽端所受之全力爲 150×468 即 70,200 磅，或約 35 噸。

65. 連通器內液體之水平面。注水於壺，則壺

頸之水與壺腹之水齊平,此似爲人所共察之觀象。要知此即所謂液體自得其平(liquids seek their own level)是也;或謂,同一液體在連通器內,不問器數之爲何,其在各器內之自由表面,恆在同一之水平面上。蓋液體內之壓力,既與自由表面下之深度有關,則此即爲當然之現象。因若連通兩器之部份中,有任何點離其在上之兩自由表面不等,則在此點相對之兩壓力即不能平衡,而液體必自一器流入他器,至兩器中之水平面相同時始止也。

裝於蒸汽鍋上之量水計(圖 66),即爲此原理之良好應用。此計爲一厚壁之玻璃管所成,其頂端連於汽鍋之蒸汽部份,其底端連於汽鍋之沸水部份。當取換玻璃管時,即將 A 與 B 兩滑瓣關閉,滑瓣 C 偶或開放,以吹開連通之路,因此路有時阻塞不通也。

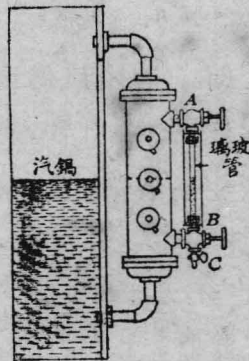


圖 66 裝於汽鍋上之量水計,可示鍋內之水平面。

計 算 題

1. 一水槽長 8 呎,寬 5 呎,盛水至 120 呎之深,問其兩側及兩端所受水外推之全力爲何?
2. 一堤長 50 呎,高 6 呎,堤外之水適及堤邊,問水壓

向堤之全力爲何？

3. 有一不通氣之立方櫃，每邊長 6 呎，沉於深 24 呎之河底，求此櫃之一垂直面上所受之水力。

4. 游泳池中之水，在一端深 4 呎，而在他端則深 10 呎，若此傾斜之底長 60 呎，寬 30 呎，問其上所受水之全力爲何？

5. 有一鍋製之立方箱，每邊長 10 呎，其一側插有一管，在箱底上方 2 呎之處，若以水通入管中，而水面在此點上方 40 呎之處，試求 (a) 箱頂所受之全力，(b) 箱之一側所受之全力。

6. 在 5 題中，管中水柱之全長爲 40 呎，而管之截面之面積爲 1 方呎，比較管中與箱中之水之全重量，與箱底所受之全力。

66. 液體所傳遞之壓力。液體在開口之器中，其在液面下深度不同處之壓力，前此嘗討論之矣。今試就完全有限界之液體而論之。

如圖 67 之箱，以水充滿其全部，而於箱頂裝設相等之兩活塞 A 與 B。任何外力加於 A 上者，即由液體傳遞至 B，並不減少。設在箱側再裝設第三相等之活塞 C，則除因 C 之位置在水面之下，而有相當側壓力施於 C 上時，前述同一之力，亦絕不減少而由液體傳遞至 C。

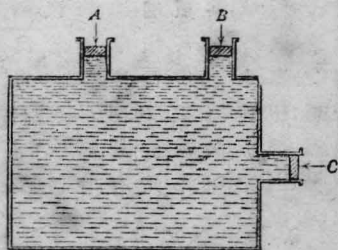


圖 67 密閉之箱，中盛以水，並裝設相等之活塞三具。

故施於限界液體任何部份上之壓力，即由液體

傳至容器內壁之各部分，並不減少。此一事實，通常稱爲巴斯恰(圖 68)氏定律(Pascal's law)。



圖 68 勃萊司巴斯恰(1623—1662)。

著名之法國算學家與科學家。

67. 水壓機。 巴斯恰氏之原理，其在實業上最重要之應用，即爲造水壓機 (hydraulic press)。用此機器，能以微小之發動力，克制巨大之抵抗力。

在圖 69 所示之器中，假定有一磅之力下按於小活塞上，而大活塞之面積爲小活塞面積之 100 倍。則大活塞上之壓力，將見其亦爲每方吋 1 磅，正與在小活塞

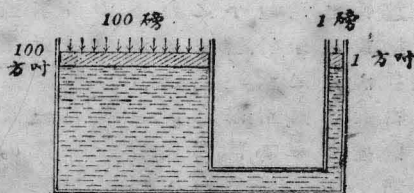


圖 69 施於活塞上之力，與其面積成正變。

上同。於是必須有100磅之力，下按於大活塞上，以與小活塞上1磅之力相平衡。

總而言之，壓力為液體所傳遞，即可使每平方吋上受同一之力之作用；而施於兩活塞上之力，乃與其面積成正比例。

$$\frac{\text{大活塞上之力}}{\text{大活塞之面積}} = \frac{\text{小活塞上之力}}{\text{小活塞之面積}}$$

即，大活塞上之壓力 = 小活塞上之壓力。

惟有一事須注意者，即利用水壓機雖能發出巨大之力，仍須移動不少之距離始可，故得之於力者，失之於距離。從功之原理(36節)，即知其當如此也。

68. 水壓機之應用。此機通常在釘書作中用於壓書成某種形狀，又可用於壓榨紙與棉花以便打包，或用於壓鋼板成某種形狀以為汽車上之遮泥板，或用於榨取果實內之油，種種不能盡述。

巴斯恰氏之原理，又可應用於水壓升降機，在高大之建築內，常用是機以舉沉重之負荷。又有一種水壓起重機(hydraulic jack)，為一極緊密之機器，可以舉起自50至600噸之重物，經過短小之距離，最多不過一呎。此原理最通俗之用途，或在牙科醫生與理髮師所用之水壓椅。

商用之水壓機(圖70)，其構造確與前述之模型相似，惟在大小兩活塞之間，通常有一節制滑瓣*v*；且小活塞之構造，猶如一唧筒，其底有一滑瓣*d*，供加添液體之用。使小活塞上下者，常為一槓桿。運用此機之方法甚為簡單。當唧筒之活塞向上動時，唧筒底之滑瓣開，而液體(通常為油)即

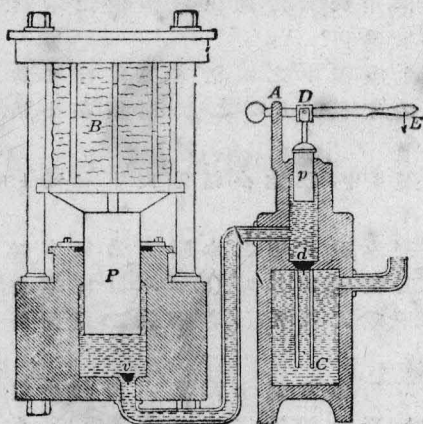


圖 70 水壓機之剖面圖。

自貯藏器流入。當唧筒活塞向下運動時，液體即被迫而經由連通管過滑瓣 v 以入大筒，而將作功之大活塞稍稍推向上方。若大活塞之截面較小活塞大100倍（即直徑之比如10:1），則當小活塞每上下運動一次時，大活塞被舉而上之距離，僅為小活塞被壓而下之距離之 $\frac{1}{100}$ 。惟因大活塞所發之力，如不計摩擦力，為作用於小活塞上之力之100倍，從而知施於機上之功，等於此機所作之功，就實際情形而論，出功常少於入功，所少者即反抗摩擦力之功是也。

計 算 題

1. 若水壓機中兩活塞之直徑，各各為1吋與10吋，問其截面之面積為何？
2. 若題1中之小活塞，使之承受每方吋20磅之壓力，則在大活塞上，必須加以何力，始能使之不動？摩擦力不計。
3. 若有10磅之全力作用於題1之小活塞上，問(a)

須有何全力作用於大活塞上始能使之不動？(b) 此水壓機之機械利率為何？

4. 某水壓機中之兩活塞，其直徑之為 20 吋，一為 1 吋，若欲使大活塞發出 5 噸之力，問須在小活塞上加力若干？

5. 在題 4 中，假定小活塞向下移動 1 呎，問大活塞向上移動若干？

6. 自來水總管中之水壓力為每方吋 50 磅，而某昇降機之活塞，其直徑為 10 吋。(a) 如不計摩擦力，算出此昇降機可舉起若干重之負荷？(b) 若摩擦之損失為 25%，則可舉之負荷為何？

7. 圖 71 所示者為水壓機之活動小模型，其大活塞之直徑為 1 吋，而小活塞之直徑為 0.25 吋，小活塞以槓桿使之上下，而連於槓桿上離支點 2 吋之處，若有 20 磅之力作用於離支點 10 吋之處，問大活塞所發之力為何？

8. 一人體重 150 鎊，立於水壓風箱(圖 72)之頂蓋 C 上，且將水灌入管中，以自舉其體，若頂蓋方一呎，問在管中之水，須高過風箱中之水若干，始能與其體重相平衡？

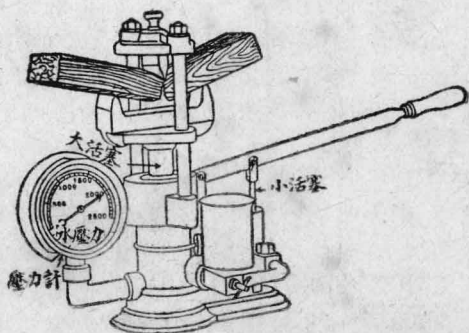


圖 71 水壓機之活動模型。



圖 72 一人將水灌入風箱，以自舉其體。

69. 液體之上浮效應。當在游泳之時，水幾使人體全浮於其面，自溪底拾石，出水後即覺石較重於前，物在水中，似即減輕；易言之，水使置於其中之物上浮是也。欲知物體在水中，較之出水時究減輕至若何程度，可一試下之實驗。

取一中空之金屬圓柱形杯 C ，與一製作精密之金屬塊 B ，其大小恰可配合於 C 杯之內部，將此二物共懸於天秤之一臂，如圖73所示，並於他臂之秤盤內置砝碼 W ，使成平衡。於是取水一杯，承於 B 塊之下，使其全部浸於水中。此時天秤之左臂即向上昇，顯示水有向上推 B 之力，但如注水入 C 杯，待其恰滿時，平衡立可恢復。由此可見使 B 上浮之力，等於其同體積水之重量。若用煤油以代水，而行此實驗，則見此論亦完全真確。

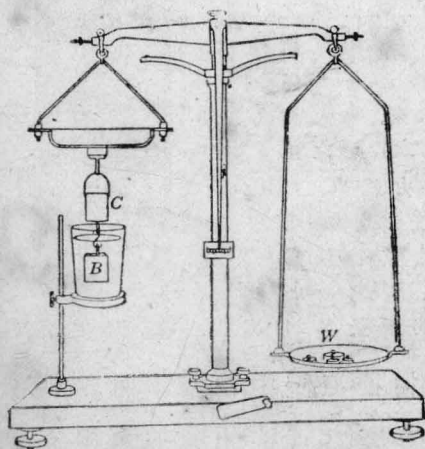


圖 73 液體之上舉效應等於所排開之液體之重量。

以此實驗所說明之原理，與阿幾默得 (Archimedes) 之大名相關聯，其辭可述之如下：

物體置之液體中，即有力使之上浮，此力等於物體所排開之液體之重量 (阿幾默得原理)。

70. 阿幾默得原理之說明。由下列，立可領悟此一原理。

假定有一長方塊，浸於一瓶之水中，如圖 74。命此塊之向度為 $10 \times 6 \times 4$ 釐，而命其頂在水面下 5 釐之處，命其底在水面下 15 釐之處，於是在頂上之壓力，即每方釐上所受下按之力，為 5 克，而在底上之壓力，即每方釐上所受上推之力，為 15 克。因頂與底之面積均為 6×4 ，即 24 方釐，故在底上向上推之全力為 24×15 ，即 360 克，而在頂上向下按之全力僅有 24×5 ，即 120 克。兩者相抵，結果得一 240 克之上推之力，即浮力是也。但此恰為所排開之水之重量；因所排之水，其體積為 $10 \times 6 \times 4 = 240$ 立方釐，而此一體積之水，其重量為 240 克也。

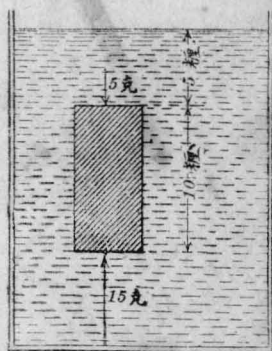


圖 74 浸於水中之長方塊，在其頂與底上作用之力。

不問在何種液體中，在液下何處，並不問物體之形狀如何不整齊，常可持此同一之理論。故可謂在任何密度之任何液體中，物體似減輕其重量，所減者即

爲所排該液體之重量。

71. 浮體。此上推之力，即浮力，如較大於所浸之物體，將有何種現象發生乎？物體顯然上昇，而當上推之力尙大於下曳之重力時，必繼續上昇不已。但當物體之任何部份一突出水面之時，所排開之水立即減少，因而上推之力亦減少。故至物體突出水面之部份，足以減少浮力，使與物體之重量相等時，物體即停止上昇，而飄浮於水面矣。

就此種情形觀之，則見浮力爲物體本身之重量。

浮體在其飄浮之液體中，必排開該液體之與其本身重量相等之部份。

下述之實驗，可使此阿幾默得原理，應用於浮體之時，更爲真實。假定取一有排水管之罐，使之平衡於臺稱之上，如圖75所示。先以水注於罐中，待水從排水管中流出，至停止之時，再於他端之秤盤內置相當之砝碼，使成平衡。再於臺稱之旁置一桶，以受罐中二度溢出之水，於是輕輕將一木塊投入水中。此時水又從排水管溢出，至止而不流之後，又見臺稱成平衡如前。由此可見溢出之水，其重量適等於木塊之重量。如將桶中所受木塊排去之水權之，亦可驗明此語之不謬。

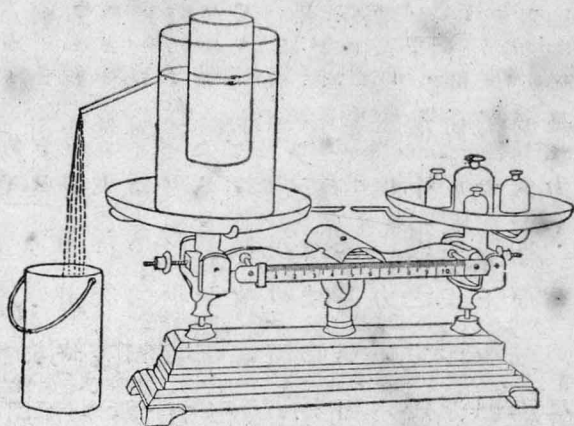


圖 75 浮體排開與其本身重量相等之液體。

72. 阿幾默得原理之應用。舟及舟中之設備，若已知其重量，則其所排開之水之重量，亦立可知之。故能推算其必須下沉至如何深，始得排開與其本身重量相等之水。舟在淡水中，必較在鹹水中沉下稍深，而滿載之時，必較中空時沉下為深，此亦明甚。

如圖 76 所示之浮塢(floating drydock)，亦應用同一原理造成。當水櫃 T, T, T 充滿水時，塢即下沉，直至水平面及於

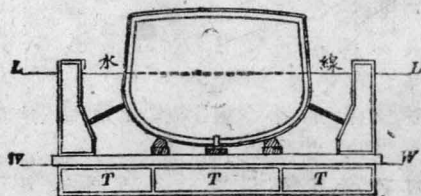


圖 76 浮塢之剖面圖。

LL 而止。待修理之舟，於是飄入塢中，乃將水櫃 T, T, T 中之水，再行抽出。各櫃之水既空，塢即上昇，至水平面達於 WW 線而止。舟與塢所排開之水，其重量固仍與二者之重量相等，惟排水之情形有不同耳。

潛水艇 (submarine boat) (圖 77) 之構造，係使艇身稍輕於水。將水放入積水櫃中時，即可使之沉入水中，再將壓縮之空氣，逼入積水櫃中，驅水外出，又可使之上昇。

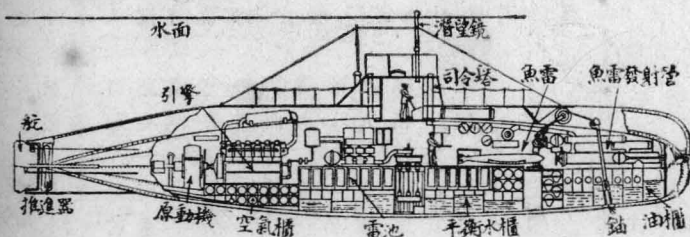


圖 77 潛水艇之浮與沉，係由變其排水量所致。

問答題與計算題

- 一金屬立方體，每邊長 10 呎，浸於水中。其頂面成水平，而在水面下 20 呎深處。
 - 求在頂上向下作用之全力。
 - 求在底上向上作用之全力。
 - 求宛如失去之重量。
 - 求大小與此金屬立方體相同之水之重量。
- 一金屬立方體，每邊長 6 呎，在空氣中重 700 克。求其在水中之重量。
- 長方木塊長 22 呎，寬 6 呎，高 4 呎。浮於水中時，露出水面之高為 1 呎。問此木塊重若干？
- 一童子重 120 磅，若彼浮於水中之時，除其鼻外，全身浸沒於水，問其體積為何？
- 一玻璃球，其體積為 76 立方呎，在水中重 190 克。問其在空氣中之重量為何？

6. 一木塊其體積為150立方呎，置於盛有水之器中，水之為其所排而溢出者，有95立方呎，問此木塊之密度為何？

7. 提桶之一部份充之以水，重35磅。若以重1磅之活魚一尾，投於桶中，則此桶之水將重若干？試述汝之答案之理由。

8. 一駁船長20呎，寬10呎，其四面皆係垂直之面。當以重4000磅之汽車一輛運入船中時，船將沉入水中更深若干？

9. 一木箱長20呎而寬為10呎，其頂開口，浮於水中，當以一缸之砝碼放入箱中時，水面之界線在離箱底7呎之處，問木箱之重量為何？

10. 每邊10呎之正方形銅塊(銅之密度每立方呎8.4克)，在煤油(煤油之密度每方呎0.75克)中重若干？

11. 一行於江中之駁船長60呎，寬20呎，當中空之時，露出水面5呎。如於其中裝載煤塊，裝至船身僅露出水面1呎，問其所載之煤有若干長噸(2240磅)。

73. 比重與密度. 利用阿幾默得原理，可得一便利之方法，以比較任何物質與同體積之水之重量。此二重量之比，稱為該物質之**比重**。易言之，

$$\text{比重} = \frac{\text{物體之重}}{\text{等體積之水重}}$$

例如，有大理石一塊重100克，而其等體積之水重40克，則大理石較水重 $\frac{100}{40} = 2.5$ 倍。故大理石之比重即是2.5。

比重一詞之意義，與密度頗不相同。物質之比重

爲一抽象之數 (abstract number); 例如謂水銀之比重爲 13.6 者,即指水銀較同體積之水重 13.6 倍而言,但物質之密度則爲一具體之數 (concrete number). 因 1 立方厘之水 1 克,從而知 1 立方厘之水銀,其重必爲 1 克之 13.6 倍,即 13.6 克是也. 故在米突制中,水銀之密度爲每立方厘 13.6 克. 在英美制中,因 1 立方呎之水重 62.4 磅,故 1 立方呎之水銀,其重必爲 62.4 磅之 13.6 倍也明甚,即 850 磅是也. 是以在英美制中,水銀之密度爲每立方呎 850 磅.

在米突制中,水之密度爲立方厘 1 克,因而有

$$\text{密度(每立方厘之克數)} = \text{比重(之數)}.$$

在英美制中,水之密度爲每立方呎 62.4 磅,因而有

$$\text{密度(每立方呎之磅數)} = 62.4 \times \text{比重(之數)}.$$

74. 決定固體比重之方法.

通則. 先權物體之重量,次求等體積之水重,末以等體積之水重,除物體之重.

凡求固體或液體比重之種種方法,皆包於此通則之中. 各法不同之點,僅在同體積之水重之求法,相異而已.

第一法 若物體係一有規則之幾何體，則可量其向度，而計其體積，由此即可求得等體積之水重。

第二法 若物體係一能沉入水中而不致溶化之固體，則可決定其在水中失去之重量，此即等體積之水重是也，以式表之，即為

$$\text{比重} = \frac{\text{物體之重量}}{\text{物在水中失去之重量}}$$

例如，有銅一塊，在空氣中權之，重178克，而在水中則重158克，失去之20克，即為等體積之水重，故銅之比重為 $\frac{178}{20} = 8.9$ 。

第三法 設物體輕於水而又不溶於水，則可擇一足使物體全部沉入水中之大錘，懸於物體之下，如圖78所示，於是將水一瓶承於此兩者之下，舉之起使水平面適在錘與物體之間而權之，然後再將水瓶舉高，使水平面在物體之上方，再權之，此時權得之重量，較先所權得者為少，因第二次權時，水有浮力加於物體之上，而在第一次則無，兩次權得之重量，其差即等於物體

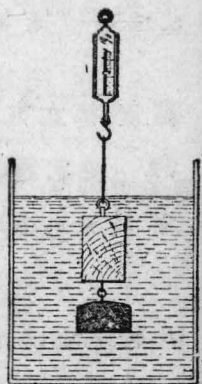


圖78 用錘使木塊沉入水中以決定其比重。

所排之水重，故

$$\text{比重} = \frac{\text{物體之重量}}{\text{獨對該物體之水之浮力}}$$

例如，有一木塊在空氣中重 120 克，懸一適當之錘於其下，使錘在水中而權之，重 670 克，兩者均在水中時，重 90 克，於是水對於木塊之浮力為 $270 - 90 = 180$ 克，故此木塊之比重為 $\frac{120}{180} = 0.667$ 。

須注意水之浮力大於木塊之重量，此木之所以上浮也。

75. 決定液體比重之法。

第一法。取一空瓶而權之，於是充滿液體而權之，更易之以水而權之，乃各減空瓶之重量，而比較液體與其等積之水重，即得

$$\text{比重} = \frac{\text{液體之重}}{\text{等體積之水重}}$$

例如，有一瓶，中空而完全乾燥時重 400 克，充滿水時重 900 克，充滿汽油時重 775 克，於是即知汽油之比重為 $\frac{375}{500} = 0.75$ 。

決定液體之比重時，為求便利與準確起見，特製一種稱為比重罇 (specific-gravity flask) (圖 79) 之瓶，似備採用，製此罇時，通常使其在某一定溫度時，可含一

定量之純水，例如 500 克，其頸上有一刻痕，充水即至此痕而止。

第二法。取玻璃一塊，先衡之於空氣中，次衡之於液體中，再衡之於水中，於是求其在液體中所失之重量，及在水中所失之重量。在液體中所失者即為其所排液體之重量，而在水中所失者，即為等體積之水重，於是知

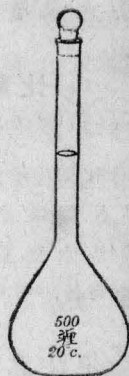


圖 79 比重樽。

$$\text{比重} = \frac{\text{液體中所失之重量}}{\text{水中所失之重量}}$$

例如，有一玻璃片在空氣中重 330 克，在硫酸中重 150 克，而在水中則重 230 克。此玻璃片在硫酸中失去 180 克，而在水中失去 100 克。因此二者為等積之酸與水之重量，故硫酸之比重為 $\frac{180}{100} = 1.8$ 。

第三法*。決定液體比重之法，最為通行者，係用比重計 (hydrometer)。此計通常用玻璃製成，有一圓柱形之幹，及一球，球中製有水銀或鉛彈，使之重而能直立於液體之中（圖 80）。將液體注入高瓶之中，再將比重計輕輕插入液內，任其自由直浮於於中，於是

*尚有用平衡柱之一法，當於實驗課本內敘述之。欲明其理非先讀本書第五章不可。

觀察比重計之榦與液面相觸之處。在榦之內部，通常襯有刻度之紙，其上標明比重之數(或密度每立方釐之克數)，可以直接讀得。比重計在輕液體如煤油，汽油，以及酒精之中，必較在重液體如鹹水，牛乳以及酸液之中，沉下較深，以排開與其重量相等之液體。在事實上，常用兩種各別之儀器，一以測重液體之比重，其榦上表示水之數字 1.000，近於榦頂；一以測輕液體之比重，其榦上表示水之數字 1.000，近於榦底。

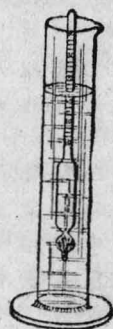


圖 80 比重計，用以測定液體之比重者。

76. 比重計在商業上之用途。有多種液體，例如糖漿，硫酸，酒精之類，其商業上之價值，皆直接視其比重而定，故比重計之用途頗廣。比重計之形式最著者，恐即為用於檢驗牛乳而稱為驗乳器 (lactometer) 之一種。牛乳之比重，在 1.027 至 1.035 之間，因重要者僅為最後二數字，故驗乳器之刻度，係自 20 至 40，其意即指自 1.020 至 1.040。牛乳之比重，並不能據之以斷牛乳之價值。牛乳除含水(大約有 87%)以外，尚含較重於水之若干物質，例如蛋白質，糖，以及鹽；並含較輕於水之他種物質，例如脂肪。故如欲知牛乳之濃度，則除比重以外，猶須決定其脂肪之量，如屬可能，並須決定其所含他種固體之量。關於牛乳之問題，最重要者當然為清潔與否，惟此則必須留待細菌學家為之矣。

比重計尚有一極普通之用途，即係檢驗尋常之鉛板

蓄電池 (storage battery). 習至 322 節, 即將見及此種蓄電池中之液體乃稀硫酸, 並將見及蓄電池充電 (charge) 及放電 (discharge) 之程度, 其決定之法, 莫善於測稀硫酸之密度. 當蓄電池充電已足之時, 其中之溶液, 應有約 1.29 之比重; 迨蓄電池放電將盡, 比重即降至約 1.15. 檢驗汽車蓄電池所用之比重計頗小且包於大玻璃管之中 (圖 81). 欲取酸液行檢驗時, 可緊壓大玻璃管頂之球, 插入酸中而又弛放之, 即可抽起足量之液體, 使比重計浮於其中.

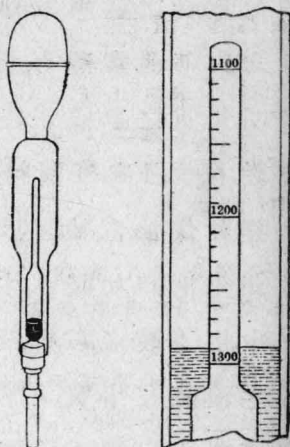


圖 81 吸上比重計, 用以檢驗蓄電池者.

計 算 題

1. 一物體之比重為 3.5, 問其密度在 (a) 米突制中為何? (b) 英美制中為何?
2. 若鐵之比重為 7.8, 則製一缸之砝碼, 須用鐵若干立方釐?
3. 有礦物一塊, 在空氣中重 42 克, 在水中重 25 克, 算出其比重.
4. 一石塊在空氣中重 15 磅, 在水中重 9 磅.
 - (a) 求其比重.
 - (b) 求其在米突制中之密度.
 - (c) 求其在英美制中之密度.
5. 花崗石之比重為 2.5, 今有 4 立方呎之花崗石一塊, 懸於水中, 須用何力以持之.

6. 一木塊其向度爲 $15 \times 10 \times 8$ 吋, 浮於水中, 其最大之一面出水 2 吋.

(a) 求其重量.

(b) 求其比重.

7. 一鐵質之立方(鐵之比重爲 7.5) 體, 每邊長 10 吋, 浮於水銀之中(水銀比重爲 13.6), 問露出水銀面者若干立方吋?

8. 某童子一手攜水一桶, 重 40 磅, 他手攜鱒魚一尾, 重 2 磅. 鱒魚之比重爲 1. 彼將鱒魚投入水桶之中, 問 (a) 鱒魚在水中“失去之重量”爲何? (b) 此童子必須舉重若干?

9. 以鐵一塊, 投入滿盛水銀之器, 溢出之水銀重 78 克, 此鐵塊在水中重 68 克, 求鐵之比重.

10. 一木板厚 8 吋, 浮於水中時, 沉入水面以下者 5 吋, 求此木板之比重.

11. 設有一測錘在空氣中重 3360 克, 而在海水中(比重爲 1.03) 重 3051 克, 則在淡水中將重若干?

12. 銅(比重爲 8.00) 製之 100 克砝碼, 在煤油中重 90 克, 問煤油之比重爲何?

13. 一木塊重 150 克; 於其下懸一重錘, 當錘在水中而木塊在空氣中時, 兩物共重 350 克, 當木板與重錘二者均在水中時, 共重 100 克, 求 (a) 木塊之體積及 (b) 其比重.

14. 有一 400 立方吋之冰塊, 浮於水中時, 排開 360 克之水, 此冰塊置於汽油中, 即自行沉下, 而全浸於汽油中時, 重 36 克, 求 (a) 冰之比重, (b) 汽油之比重.

15. 軟木一塊重 300 克, 又木料一塊, 其體積爲 250 立方吋, 兩物同投入滿杯之水中, 若溢出之水爲 450 立方吋, 則木料之比重爲何?

16. 空瓶一只, 重 90 克, 當滿盛水時, 重 310 克; 而當滿盛硫酸時, 重 486 克, 求硫酸之比重.

17. 一空瓶重 50 克; 注水於其中至滿, 即重 200 克, 將乾燥之沙泥若干, 置於空瓶之中, 則重 330 克, 再將水灌滿

之，則瓶與沙泥及水，共重 370 克。

(a) 求瓶之容量。

(b) 求沙泥之體積。

(c) 求乾燥之沙泥之比重。

18. 金屬一塊在空氣中重 50 克，在水中重 44.12 克，而在酒精中重 45.29 克。問 (a) 此金屬之比重爲何；(b) 酒精之比重爲何？

19. 玻璃一塊在空氣中權之爲 31.1 克，在水中爲 37.6 克，而在氯化鈉（即通常之食鹽）之溶液中爲 36.4 克。算出 (a) 玻璃之比重；(b) 食鹽溶液之比重。

20. 一木塊獨權之於空氣中，重 50 克。當以重錘繫於木塊之下，使錘在水中而木塊在空氣中時，再權之，則重量爲 190 克。當錘與木塊同在水中時，重量爲 120 克。問 (a) 水施於木塊上之浮力爲何？(b) 木塊之體積爲何？(c) 木塊之比重爲何？

第四章 提要

$$\text{壓力} = \frac{\text{力}}{\text{面積}} \quad \text{力} = \text{壓力} \times \text{面積}$$

在有自由表面之液體內（液體之重量爲唯一之原因）：

壓力係——

與方向無關係。

正比例於深度。

正比例於液體之密度。

與底爲單位正方形而高等於深度之液柱之重量相等。

表面上之平均壓力 = 表面中心之壓力。

表面上之全力 = 面積 \times 平均壓力。

在受壓之液體內（液體之重量無關係）：

壓力向各方傳遞，並不減少。

力與面積成正變。

阿幾默得之原理：

物體不論一部份或全體浸於水中，常有等於其所排水重之力，使之浮起。

$$\text{密度} = \frac{\text{物體之重}}{\text{物體之體積}}$$

$$\text{比重} = \frac{\text{物體之重}}{\text{等體積之水重}}$$

在米突制中，因1立方厘之水重1克，故

$$\text{密度(每立方厘之克數)} = \text{比重(之數)}.$$

在英美制中，因1立方呎之水重62.4磅，故

$$\text{密度(每立方呎之磅數)} = 62.4 \times \text{比重(之數)}$$

求比重：

物體之重量，以等體積水之重量除之。

求等體積水之重量：

1. 計算體積，水之重量 = 體積 × 水之密度。
2. 物體全部浸於水中時失去之重 = 等體積之水重。(有時恐須用及重錘)。
3. 以等體積之水與液體，注於瓶中而權之。
4. 求固體在水中與在液體中所失之重量。(可用下沉之錘或上浮之標，如比重計。)

問 答 題

1. 以水壓機檢驗汽鍋，利益何在？
2. 在水壓機中，為何往往用油以代水？
3. 阿幾默得原理為一種學說抑為定律？試述其理由。
4. 畫圖示一容器，其底上所受之力小於其所含液體之重量。
5. 在“見聞雜談”(With the Men Who Do Things)一書中，有謂女孩以其一足之鞋跟支其全身重量時，所施於地上之壓力，較諸高聳之建築物如武爾活茲(Woolworth)大廈所施於地之壓力更大之語，試說明之。

6. 在深雪中行走時，爲何須穿雪鞋？
7. 汝之實驗室中之水壓力爲何？在汝所居之屋宇中，二層樓之水壓力與三層樓之水壓力，有無可見之區別？
8. 未經提煉之牛乳，與撇去乳酪之牛乳相較，其比重孰大？又與攪水之牛乳相較，比重孰大？試述汝之結論之理由。
9. 據謂阿幾默得因欲察出一“金”冕是否係由純金製成，遂冠以彼名之原理。試擬一或係彼所採用之方法。
10. 魚腹中之氣囊，何以能使魚體在水中自由上升或下沉，試說明之。
11. “浮標” (can buoy) 之所以能浮者，是否因中含空氣之故？試說明之。
12. 當鐵甲船初製成時，頗難使駕駛人員信其安全無虞。鐵之沉於水中，係屬顯明之事實；何以鋼鐵製之船舶能浮，試明其故。
13. 船舶自淡水之江河中，行至海洋中時，是否更形沉下或上浮？
14. 船隻之“排水量”何解？聰明之船舶打樣師，能在船隻未下水之前，劃一水線於其上，僅有約一時之誤差，當彼須測此線之地位時，須行何種考參？
15. 何種金屬浮於水銀之中？
16. 類於武爾活茲大廈之建築物，如能使之入水不漏，而並不加其全部之重量，即能浮於水中，其大部份將露出於水面，試說明之。
17. 有人謂在深水中游泳較之在淺水中爲易，此語確否？
18. 據謂荷蘭國昔有一童子，曾將其臂插入堤上在海面150呎下之孔中，以救其國，免於洪水之災。試問小小童子，果能拒彼北海之全力否？

實 習 題

1. 堤之構造。研究若干大堤之截面，而說明其形狀。堤岸有凸其一面向上流者，其故何在？
2. 蓄水池之構造。欲得較大之力於底，所用方法爲何？
3. 浮塢與浮橋。架浮橋之平底舟 (pontoon)，其構造爲何？如何用錨及纜使之穩泊？決定其所負重量者爲何？
4. 救生器。使常人在淡水中浮起，須有若干浮力？因何此力須視人體在水中之部份而定？標準救生器 (Standard Life Preserver) 全浸於水時，決定其上升之發動力。用標準救生器可使常人身體之何部份露出於水面？(參閱 Ginn and Company 出版，Packard 所著之日用物理學 *Everyday Physics*)。
5. 製比重計。用一驗管，管口裝一單孔橡皮塞，孔中插入薄壁之玻璃管，在試驗管中置鉛彈以鎮之，用何法可使此種比重計直接指示比重？

第五章

空氣之壓力

空氣之重量——真空唧筒——真空唧筒之用途——大氣壓力——由托里坵利實驗測定大氣之壓力——氣壓計——氣壓計之種類與用途——用於液體之唧筒——虹吸——空氣之浮力——空氣壓縮機——空氣壓縮機之用途——氣體之壓縮性——波義耳定律——壓力計量器。

77. 空氣機械。 空氣機械係由利用氣體之性質而成，正與水力機械之利用液體之性質同，時當今日，清除房屋則常用真空唧筒；在腳踏車，汽車，以及飛機上裝置輪子，則用空氣輪胎；停止特別快車之疾駛，則用空氣制動機；在工場中運轉鑽與銼，則用壓縮之空氣；而飛艇與飛機，則激增其在商業上之重要。凡此種種機械，如欲明瞭其運轉之情狀，必須先行研究氣體之一般之性質，尤以大氣為首要。在本章之內，更將研究空氣之壓縮性，以及賴空氣壓力而運轉之各種唧筒

大 氣

78. 空氣之密度。 常人習處於其四週之空氣

中,恆不思及空氣之既有體積又有重量.言及“空瓶”之時,其實所指者乃充有空氣之瓶.但當欲充液體於細頸之瓶時,即見液體之入瓶,祇可使與空氣之逸出同速.設覆玻璃罇,使口向下,而推之入水,則罇中並無水侵入,因已充有空氣在先也.空氣之佔據空間,正與其他任何液體相同.

更有進者,空氣及其他氣體,皆有重量,惟此事現實之機會鮮耳.

空氣有重量一事,欲使之明顯,可試行下之實驗.以一單孔橡皮塞裝於巨大之球狀玻璃罇之頸上,更於孔中插入玻璃活栓一具.然後用真空唧筒(vacuum pump)將罇中之空氣抽出,而關閉活栓.使罇與唧筒脫離後權之.於是再開活栓;即聞空氣衝入罇中之聲.此時可見天平側傾,表示罇之重量增力(圖 82).

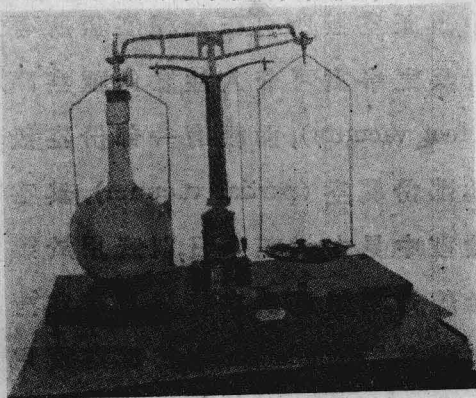


圖 82 充有空氣之罇,權之較重於空無所有之罇

由精細之實驗，知在尋常大氣情況下，一呷之空氣重約1.2克，或1立方呎之空氣重約1.2盎司。

因氣體既有體積又有重量，故可用通常之方法以表示其密度，即每立方呎若干克或每立方呎若干磅是也。例如尋常空氣之密度約為每立方呎0.0012克，或每立方呎0.076磅。有多種氣體，例如氦氣，煤氣，輕氣，其密度較諸空氣猶小。例如輕氣在尋常大氣情況下，其密度祇約為每立方呎0.000084克（約為空氣密度之 $\frac{1}{14}$ ）。

79. 真空唧筒 於一六五〇年，德國麥德堡 (Magdeburg) 之市長奧吐逢古立克 (Otto von Guericke) 氏，早已知道空氣為物質，彼即能用密閉之器中抽出之，使器中真正空無所有。在此種空無所有之空間中，又似有奇異之事實可令人注意。此種空間稱為**完全真空** (perfect vacuum)，而祇有一部份空氣移去之空間，即稱為**部份真空** (partial vacuum)。真空唧筒以前祇於實驗室中見之；惟在今日，則廣用於製造保溫瓶，電燈，X光線球，無線電真空管，以及真空清除器。在蒸汽引擎之凝集器 (condenser) 中，其真空須用大容量之真空唧筒以維持之，此種唧筒在商業上甚為重要。

如圖 83 所示者，為簡式機械的真空唧筒，其構造為一金屬之圓筒 C ，內裝活塞一具，而筒之下端有二短管 A 與 B ，管內有自動圓錐狀滑瓣各一，其裝置之法，係在使空氣由

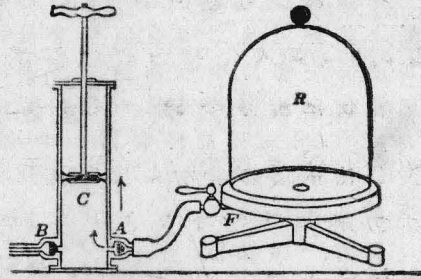


圖 83 簡單真空唧筒與接受器。

A 入而自 B 出。當將活塞拉起時，在欲使成真空之 R 器中之空氣，即膨脹而經 A 瓣入於圓筒 C 。當將活塞按下之時，即將筒內之空氣壓縮，因而 A 瓣閉，而出口之 B 瓣開。是以每使活塞上下一回，即將 R 器中空氣之一定部份，抽出器外，此一定部份，即係 C 之體積對於 C 與 E 之體積和之比。若於 B 管另接一器與唧筒相連，則顯見唧筒之作用，猶如壓縮器，而將空氣逼入於另器中。

80. 高度真空唧筒。由前節可見，雖用機械方面完美唧筒，永不能盡將空氣抽出；因每抽一次，祇能移去空

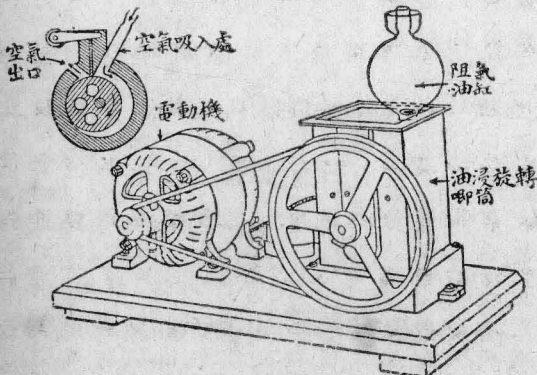


圖 84 高度真空旋轉唧筒，以電動機使之運轉。

氣之一定部份，其餘下之空氣，隨即膨脹而充滿於器中，且實際上，並無完美之唧筒，因常有漏洩也。欲減少漏洩，通常在高度真空唧筒中，以油塗於活塞及滑瓣之上，且有用偏心圓柱使之旋轉於圓柱形箱內，以代活塞之上下於圓筒內者(圖 84)。用此種旋轉唧筒 (rotating pump) 兩具，前後相連而浸於油中，能得非常高度之真空，其中僅含在常總上應存空氣之百萬分之一。

尚有一種擴散唧筒 (diffusion pump)，現時常與旋轉唧筒聯用，以造可達之最高度真空。圖 85 即為此類高度真空唧筒中一種之略圖。在器底加以熱，使水銀蒸發，水銀蒸氣經 F 而上升，折向下方並向外而抵於用冷水冷却之壁 W ，欲使成真空之器連接於 V ，而輔助之旋轉唧筒則連

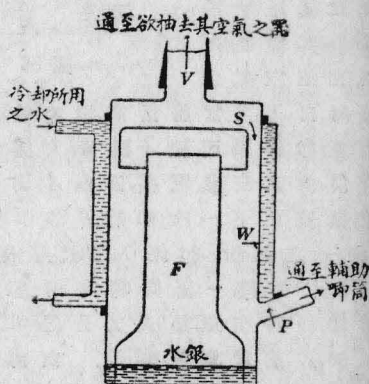


圖 85 郎滿氏 (Langmuir) 水銀唧筒。

之於 P 。空氣經過 S 時，與水銀蒸氣流相遇，後者即挾之而俱下，沿 W 壁以出 P 管，即由該處之輔助唧筒抽去。水銀蒸氣即凝結而降落於底，再行蒸發。此種唧筒之作用非常迅速，而對於可得之壓力，似無更低之限制焉。

81X 真空唧筒之應用。真空清除法 (vacuum cleaning) 即為由真空而生之“吸力 (force of suction)”，對於清除房屋及其設備之應用。在手攜真空清除器 (圖 86) 中，用電動機以轉動一風扇，此扇即將欲清除之表面上之塵埃，由止於該面管嘴吸入，塵埃之微粒與空氣流，同經風扇而入於器上所裝之袋中，塵埃即在此處濾去，而空氣則由袋側逸去。

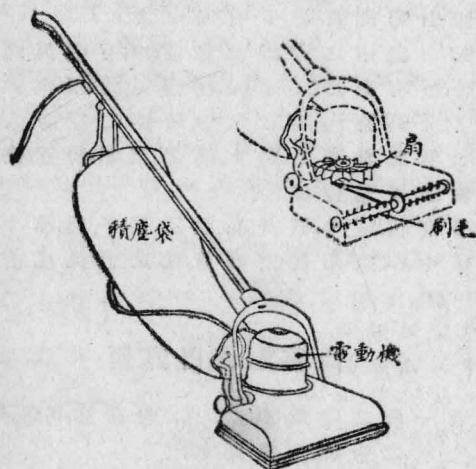


圖 86 連有掃帚之手攜真空清除器。

在多數之近代建築物中，常於最下一層設置巨大之真空清除器，而各室中設置吸塵之管，通至此器。另一附有吸塵口或尖嘴之橡皮管，可連於任一吸塵管上，在此種裝置中，吸得之塵埃，常在空氣未達真空唧筒以前，先行濾去。

於抽出電燈泡中之空氣時，所欲使成真空者，雖僅為微小之空間，然所希望之真空則為極高度者，欲達此目的，須用兩級塗油旋轉唧筒。餘下之空氣，更由燃磷或其他易燃之物於泡中而除去之。X光線管之製法，大致相同，惟須產生更高度之真空耳。此可用凝汞唧筒得之，此種唧筒連轉之原理，根本不同前已見之矣。無線電真空管 (radio tube) 及高度真空整流器 (high-vacuum rectifier)，亦需非常高度之真空，其中之氣壓，恐須低至水銀柱1耗之萬萬分之一。

✕空氣輸送管 (pneumatic dispatch tube) 用於百貨商店中以傳遞現款及用於若干城市中以傳遞郵件者，其一端有一真空唧筒，所欲傳遞之物件，置於皮匣之中，皮匣緊貼於

金屬管內，即由唧筒自管中吸之而去。

蒸汽動力廠中之蒸汽凝集器中，有時因蒸汽管接合處之不完善，而有空氣漏入，此種空氣，常用巨大之真空唧筒以抽出之；又供給汽鍋之水中所溶之空氣，入此組織，亦須抽出之。如無此種唧筒，則上述之空氣，將逐漸積聚於凝集器中，而真空因是毀壞。

在化學實驗室中，以及在製造果子露，濃牛乳，或其他食品之工廠中，亦須用真空唧筒，使於低溫度有迅速之蒸發（參閱 210 節）。

問答題與計算題

1. 若一呷之空氣重 1.2 克，則在高 3 呎，長 10 呎，寬 8 呎之室中，空氣之全部重量爲何？
2. 擇一寬大之長方形室，量其向度之呎數，然後計算其中所含空氣之重量。（假定 1 立方呎之空氣重 0.076 磅）
3. 當權一開口之器時，求得之重量祇爲器之重量歟，抑爲器與器中空氣之共重歟？試說明之。
4. 在若干近時之高壓力實驗中，常將空氣壓縮至其密度千倍於尋常之空氣。此種空氣就密度與水比較，將如何？
5. 英國之飛行船 R-34 號，其容量爲 2,000,000 立方呎，其中所貯之氣體爲純粹之輕氣。如假定輕氣之密度爲每立方呎 0.0053 磅，則此船中所含輕氣之全部重量，將爲若干噸？
6. 有一重 842.6 克之瓶，當將其中空氣抽去若干時，瓶重 839.8 克。設將此抽去空氣之瓶，倒植於充水之大器中，而將瓶塞上之管開放，則流入瓶中以代空氣之水，計重爲 2244 克。由此已知之數，求空氣一立方呎之重量。
7. 一真空唧筒，其圓筒之體積爲 500 立方呎，今用以抽去一呷之罇中之空氣。問在連抽三次之後，罇中所餘空氣之密度爲何？（提示：求每抽一次後，罇中所餘之空氣

爲何部份)。

82. 大氣之壓力. 因吾人係居於空氣洋之底, 並因此種空氣爲有重量之流質 (fluid), 故預料其能施壓力, 乃屬當然之事. 平時所以不覺其有壓力者, 實因其在物體之底上推之力, 殆與在物體之頂下推之力相同故耳. 如除去在下之此種上壓力, 即能察出在頂上之下壓力, 其大究至如何程度. 欲爲此事, 可用真空唧筒, 即用肺亦可去其一部份.

設以橡皮膜蒙於漏斗管 (thistle tube) 之一端, 而自他端用口吸去球中之空氣, 則見橡皮膜即爲大氣壓力迫向下凹.

如用銅製之半球與真空唧筒行此實驗, 猶可令人驚異. 設以玻璃板蓋於此種半球 (全部塗油) 之上, 如圖 87 (左方) 所示, 而逐漸將空氣抽出, 則玻璃板爲其上方空氣之壓力所壓, 愈壓愈下, 終至爆裂. 玻璃板碎成無數小塊, 同時發高大之聲.

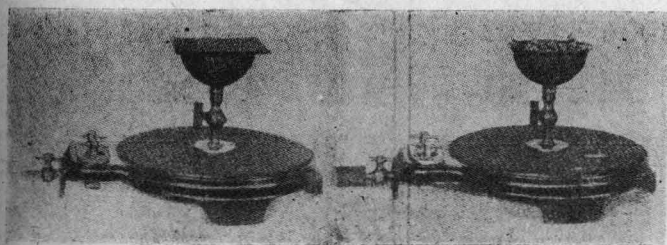


圖 87 當自玻璃板下將半球中之空氣抽出時大氣之壓力即將玻璃板壓碎。

古立克氏之各種實驗中，最有趣味者，恐即為其著名之“麥德堡半球” (Magdeburg hemispheres) 實驗。此係中空之半球兩具，直徑約為22吋，兩球配合極密，俾可自其間抽出空氣。於是四圍大氣之壓力，即將兩球壓緊於一處。古氏當德皇之面，行此實驗時，須用馬十六匹，各半球上連馬四對，始可將兩球拉開 (圖88)。

83. “自然忌真空。”昔人常以“自然忌真空，”(Nature abhors a vacuum) 一語，試解多種現象。但當意大利大哲學家伽利略 (Galileo) 氏 (圖89)，發覺水唧筒不能使水昇至33呎以上時，彼即聲稱自然之忌真空，如在33呎之處突然停止，則誠為奇癖矣。彼又早知空氣有重量，知並“對於真空之抵抗” (resistance to a vacuum)，可用約高33呎之水柱以計其量。然彼仍留此問題於其友人而兼為其弟子之托里拆利 (Torricelli) 氏，以連合此兩重觀念焉。

84. 托里拆利之實驗。於一六三三年，托里拆利利用玻璃管中之水銀柱以代水柱，而得計量自然“賦與真空”之“抵抗之法”。

設取長約三呎之堅玻璃管，封其一端，而完全灌以水銀，即可將此實驗重演一次。灌水銀時，須留意勿使氣泡侵

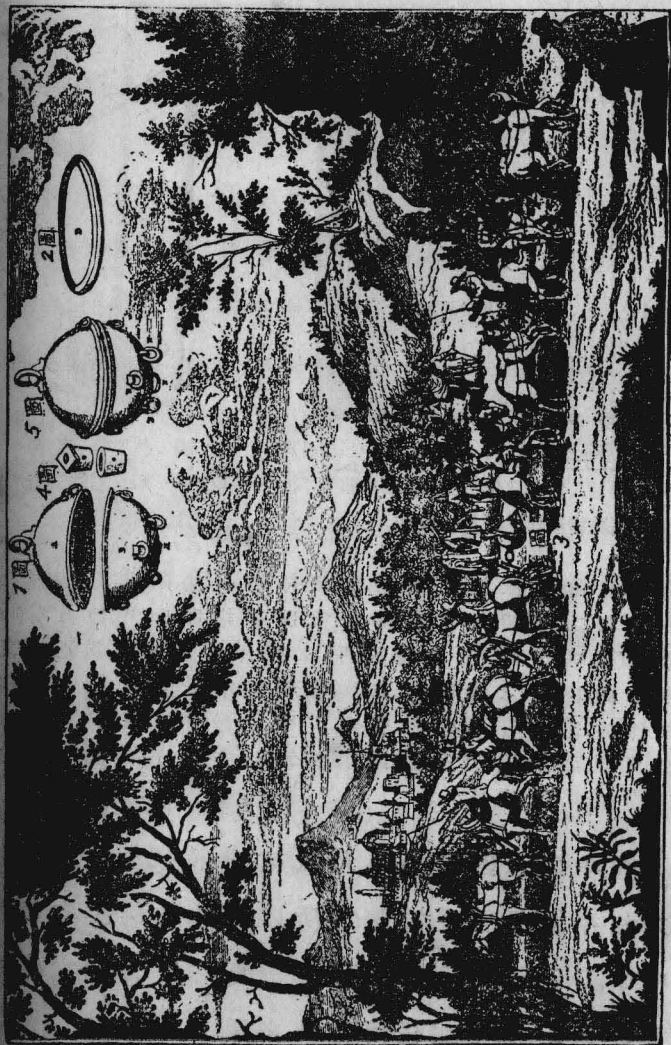


圖 88 奧吐達古立克氏，於一六五〇年當德皇之面，行麥德堡半球之實驗。

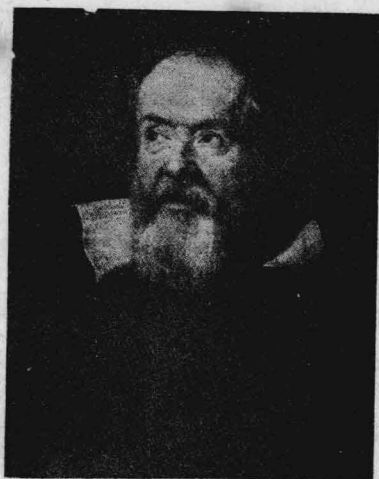


圖 89 伽加略伽利氏 (Galileo Galilei) (1564-1642), 常稱之爲“近代科學鼻祖”, 因彼爲用實驗證明理論之第一人。

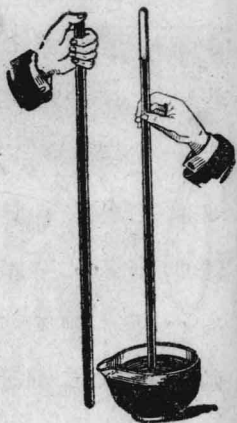


圖 90 托里拆利之實驗——用水銀柱與空氣之壓力相平衡。

入, 苟有氣泡, 須除去之。灌滿之後, 即以手指閉其口, 倒置之, 而將開口之端插入水銀杯中, 當將手指移開時, 即見管中之水銀(圖 90)下降, (若在海平面上行此實驗時,) 其面止於杯中水銀面以上約 30 吋之處。若使玻璃管向一側斜傾, 則水銀即充塞全管, 而擊於管頂, 有聲若然, 頗爲尖銳, 管中水銀面以上之空間, 除微量之水銀蒸氣外, 絕無他物, 其實已極近完全之真空矣。

管中之水銀柱, 適與大氣施於杯中水銀面上之壓力相平衡, 易言之, 液體之所以上升於抽去空氣之管中者, 乃因大氣所施於管外液面之壓力, 推之使昇耳, 並非因真空可生任何神祕之吸力所致也。

85. 自托里坻利實驗計算大氣壓力之法。 由

液體內同深度處各方向之壓力皆同之定律，即知當水銀柱支於倒植之管中時，管中 a 處之壓力（圖 91），同於大氣施於管外液面之壓力。在 a 處者，乃水銀柱 ab 柱所施之壓力。在標準情況下， ab 之高約為 76 釐，故 a 處之壓力，等於高為 76 釐而截面為 1 方釐之水銀柱之重量。此即為 76 立方釐之水銀之重；即 $76 \times 13.6 = 1034$ 克是也。

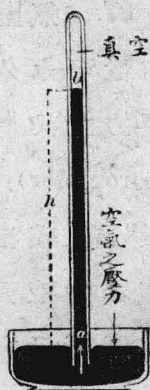


圖 91 用水銀柱計量大氣壓力。

在英美制中，大氣之壓力，等於

高約 30 吋而截面為 1 方吋之水銀柱之重量；即 $30 \times 0.49 = 14.7$ 磅是也。故如約略言之，則一“氣壓”(atmosphere) 約為每方釐 1 尪，或每方吋約 15 磅。

86 高處空氣之壓力。 於一六四八年，巴斯恰

(Pascal) 氏據理推斷，以為水銀柱如僅為空氣之壓力所支持，則在高處柱當較短。因此彼即攜一托里坻利管，登巴黎高塔之頂，果見水銀柱之高稍降。乃函託其內兄，在法國南部之山上驗之，以期獲得更可憑以決斷之結果，其內兄昇高至 1000 呎時，水銀柱居然下降

約 8 哩,此事使彼二人均驚喜萬分焉。

87. 氣壓計. 托里坵利所創之佈置可永久設立之,以爲推測大氣壓力之具。斯時即可稱之爲氣壓計(barometer)。所謂“檢視氣壓計上度數”者,僅指精確測定水銀柱在貯藏器中液面以上之高度而言耳。如圖 92 所示之一種氣壓計,其貯藏器之底,可以彎曲,以便上下移動,使器中之水銀面,適觸於射入器內之象牙針尖。於是管中水銀之高度,即可在附於管外之分度尺上讀得之。

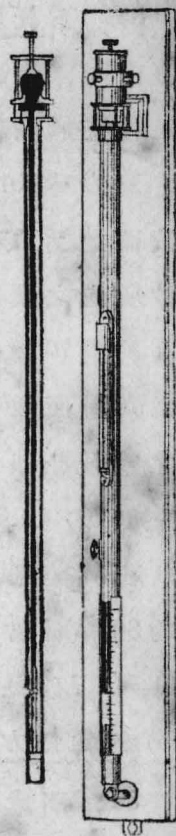


圖 92 水銀氣壓計
(福丁式 Fortin)。

另有一種攜帶較便之氣壓計,稱爲無液氣壓計, (aneroid barometer), 或稱金屬氣壓計,如圖 93 所示。此器之名稱,即指明其“不含液體”,而其重要之部分,係一盤狀之金屬圓盒,盒頂薄而有韌膜。當空氣已由盒抽去之時,即將盒密封,其頂以一堅固之彈簧支持之,以防其內陷。當空氣之壓力變動時,盒頂即上下移動。此微小之運動,再用槓桿與一靈敏之鍊,多多擴大之,並傳之於一指針,此針即在分度尺上移動。另有一絲狀彈簧,可救濟鍊之鬆弛,分度尺上之刻度,相當於標準水

銀氣壓計上之度數。無液氣壓計之大小，種種不等，有小至與尋常之錶相同者。



圖 93 無液氣壓計，及其構造之圖。

88. 氣壓計之用途。氣壓計所指示者，乃大氣壓力之變遷變遷之原因，或在太氣本身之有波動，或係觀察者地位之有昇降。

設將氣壓計置於一定高度之處，而時時察之，或置備一自錄氣壓計 (barograph)，使之自動劃出連續

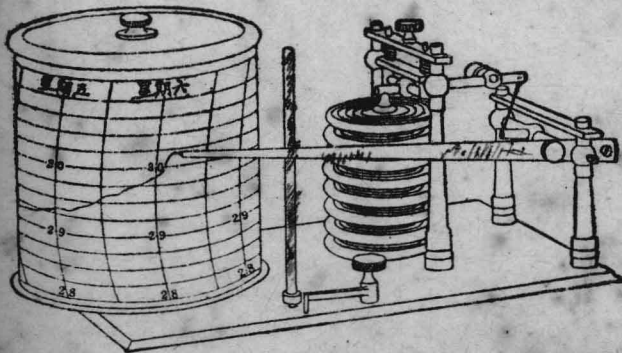


圖 94 自錄氣壓計 (barograph)。

測
氣
壓
之
儀
器

之線(圖94),則見氣壓之高低視氣候而定。由經驗,知“氣壓計大降”,即大氣壓力之突然減低,常有風雨隨之而至;而“氣壓計上昇”,即大氣壓力之增高,常預示天氣之將晴;如“氣壓計所示度數高”而不變動,即知天氣晴爽,穩定不變。

氣象局在不同之各地,同時檢視氣壓計之度數,而將彙集之結果,電知繪製氣象地圖之中央站。在此種地圖上,可察得在若干廣大之區域內,氣壓低降,而在其他區域內,氣壓增高,氣壓降低之各地,往往為風雨之中心,其遷移之方向,通常係由西至東。設已知何處之氣壓低降,且知其遷移之概況,即可預報天氣之晴晦。圖95所示者為政府所製氣象地圖之一斑。圖中之曲線,表示該線所徑各地之氣壓

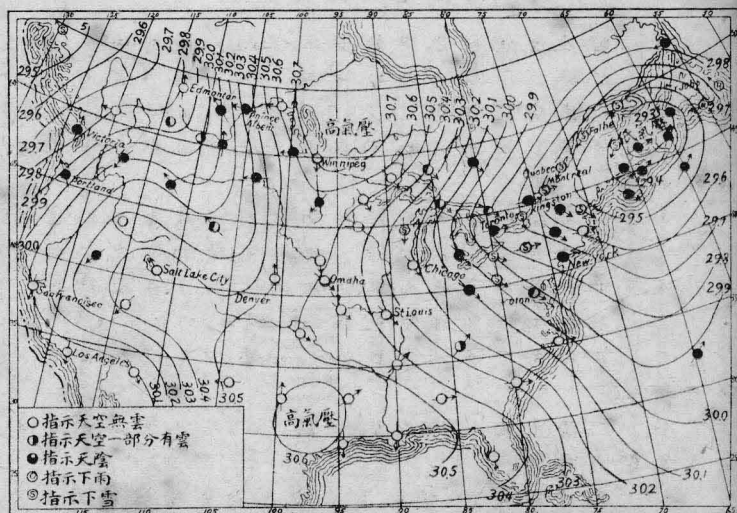


圖 95 美國之氣象圖,表示等壓線之所在。

相等，稱為等壓線(isobars)，各地風之方向，係用箭線表示。細究此等現象(即氣象學)之結果，知氣壓之低，實因空氣流依逆鐘向旋轉，成一大旋渦所致。

氣壓計之另一重要用途，即為測量兩地高度之不同。若測量家或探險家攜氣壓計而上山，即見當彼上升之時，大氣壓力即減低。在海平面以上不甚高之處，大約每升11呎，氣壓減低1耗，或每升90呎，減低0.1吋。無液氣壓計之按呎數或呎數刻度者，稱為測高計(altimeter)，航空家常攜之以便知悉彼等已昇至之高度。

問答題與計算題

1. 將橡皮管內之空氣抽出，管即內陷，何故？
2. 氣壓計所示之度數，在屋內與在屋外，是否相同？試述汝所持意見之理由。
3. 氣壓計玻管之直徑，為何不能使氣壓計所示度數發至差異？
4. 設氣壓計斜傾，對於氣壓計所示度數有影響否？
5. 據謂古立克氏，曾造一水柱氣壓計，突出於其屋頂。一木偶浮於管中之水面，為何通常不用水柱氣壓計？
5. 當氣壓計所示度數為74.5 釐時，相當於若干吋？
7. 當氣壓計所示度數為75 釐時，大氣壓力為每方 釐若干克？
8. 一潛水者工作於淡水面下51 呎之處，問彼所受之大氣壓力為若干？
9. 若汝體重150 磅，則汝身體之表面積，將約為17.3 方呎，問空氣壓於汝身之全力為何？

10. 一航空家在高處使其肺張開，可與在低處時同，然彼仍覺缺乏空氣之苦，試說明之。

11. 一花房之玻璃頂，由兩面所成，各長300呎，寬10呎，問大氣推此屋頂向內之力爲何？

12. 一氣壓計所示度數變動1吋，問壓力之變動，以每方吋之磅數表之，當爲若干？

13. 設兩處之氣壓計所示度數相差1吋，則每方哩上之壓力相差約若干？

(1方哩=4,000,000,000方吋略。)由此答數，自否可得風常自“高壓”吹向“低壓”之理由。

14. 取兩玻管，使之各各直立而浸其下端於水及煤油中(圖96)，其上端則連以吹口。當將管中之空氣，吸出若干之時，水昇21吋，而煤油昇33吋。求煤油之比重。(此係求比重之普通方法。)

15. 原創之麥德堡半球，現保藏於莫尼區(Munich)之博物院中，球之內直徑約爲22吋。當將空氣抽出之時，據謂每半球上須用馬八匹，始能將兩半球拉開。假定大氣之壓力爲每方吋15磅，試求各隊馬所用之力。(提示：計算在直徑22吋之圓上之力，何故?)

89. 用於液體之唧筒。

昔人常用唧筒以抽起井中之水，惟不知其所以然之故耳。彼等以爲此乃“自然忌真空”所致。今日則皆知其中所藏之理，

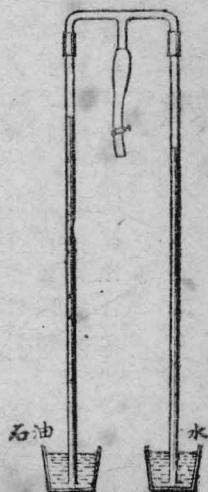


圖 96 用平衡水柱求比重。

與水銀氣壓計之理同，即井中水面上之大氣壓力，迫使水上升於唧筒中是也。

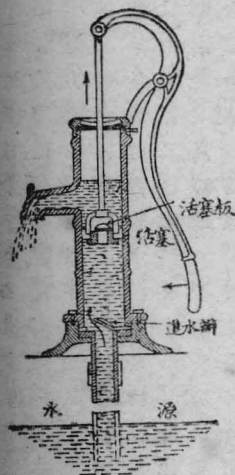


圖 97 吸上唧筒。

於導管，經滑瓣而入於圓筒。當活塞下降之時，進水滑瓣關閉，活塞上之滑瓣開，水即衝入活塞之上方。第二次將活塞抽起時，水即由唧筒口擠出矣。滑瓣切不可較井中水面高出 34 呎以上，而在實際則罕有過 30 呎者。何故？

尋常之汽油計量唧筒（圖 98），其主要部份係一吸上唧筒。因汽油為較水易於洩漏之液體，故在油池中之導管底，常增設一滑瓣。

尚有一種唧筒，如圖 99 所示者，稱為壓上唧筒。導管及其滑瓣，完全與前述家用唧筒之相當部份同，但活塞上並無開口之處，

尋常之吸上唧筒 (lift or suction pump) (圖 97)，有一圓筒，由導管與井或水池相通。在圓筒之底，有一進水之舌狀滑瓣，開時向上，一活塞可用把手使之上下於圓筒之內。此活塞亦有一向上開之滑瓣。當將活塞抽起之開時，其滑瓣閉而不開，因本身之重量，以及壓筒上面水與空氣之壓力之故。在活塞與筒底間，設進水滑瓣不空，則成爲部份真空。但井中水面上空氣之壓力，迫使水上升之壓力，迫使水上升。

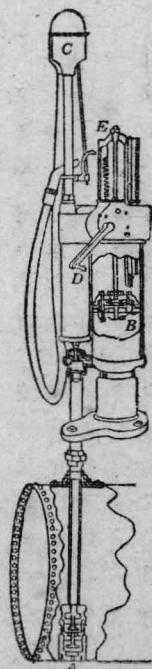


圖 98 汽油計量唧筒。

即不神能
 但何事不做則已做則教人
 用心努力不奮鬥
 使之速成心不南

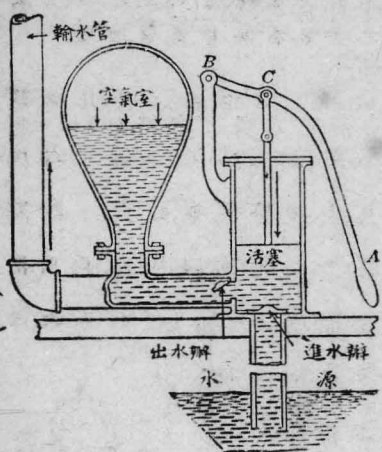


圖 99 有空氣室之壓上唧筒。

與震動，可連一空氣室 A 於放水之導管上，俾使室中之空氣，有彈性作用，可以調劑水勢，在救火引擎上或自來水廠中所用之強力唧筒，皆屬“複式”，其水流更較穩定。

如欲將多量之水提高短距離，可用一種離心唧筒 (centrifugal pump)。此器略似後退之水車，當其內部之輪 (圖 100) 旋轉之時，流入輪轂近傍之水，即被挾至葉板之間，而向外拋入輪週放水之隙地，即有稍微壓力，亦可抗之。離心唧筒往往用以流通汽車上冷卻組織中之水，而油之流通亦用是器。又有所謂通風器 (blower) 者，係相仿之機械，可用以迫使空氣流由屋內通過，以保屋內空氣之清潔；可用以手攜真空清除器中發生吸力。此種通風器，往往連用數具，以得較高

而水管與第二滑
 瓣，均在圓筒之底將
 活，塞，提，起，圓，筒，即，充，水；
 壓，之，使，再，下，降，即，流，出。
 若，儘，量，加，力，於，活，塞，
 足，以，將，水，壓，上，至，極，高，
 之，處，故，此，種，唧，筒，可，設，
 置，於，接，近，井，底，或，礦，底，
 之，處。

因水之被
 昇，祇在活
 時，故水流
 亦時斷時
 因是而發
 生之軌

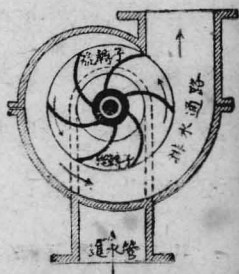


圖 100 離心唧筒之縱剖面。

之壓力。由蒸汽臥輪運轉之巨大通風器，常用於火力猛烈之爐，因其所供燃燒必需之空氣流，非常穩定故也。

90. 虹吸。虹吸(siphon)為彎曲之管。其兩臂不等，可用以輸送液體自不甚高之處至較低之處。凡瓶與之桶不易傾側者，欲其中液體流盡，或自一器將液體抽去，而不致攪亂器底之沉澱物，以用虹吸為便。設管中充滿液體，而其位置如圖 101 所示，則液體即自

A 器流出而在較低之 D 處放洩。使液體流動之力，係在水平面 AA' 與 DD' 間水柱 CD 之重量。設將水平面 DD' 提高至 AA'，則此力消滅，而水即停止不流；若使水平面 DD' 昇過 AA' 之上，液體即流回 A 器之內。然則虹吸之起作用，祇在一器中液體之自由表面，較低於他器中時耳。因使短臂中之水充滿者為大氣壓



圖 101 虹吸。

力，故如彎處 B 在水平面 AA' 以上逾 34 呎時，虹吸即不起作用。西法海

1. 兩管液面不能同高
2. 兩管液面高度之差 < 33 呎

在工程方面，往往大規模利用虹吸，例如在動力廠中，用以凝結蒸氣之水，往往取自海洋，昇高 10 呎或 15 呎而至凝結器，復由處處不漏氣而作用如虹吸之導管，輸回海洋。

至於唧筒之唯一工作，僅使導管中之水，時時反抗摩擦而運動。在溝渠中亦用虹吸以輸水越過山岡。惟在此時有空氣泡爲水所挾以俱流，而羣集於各岡之頂，故須裝置抽氣小唧筒，以使導管中完全充水。在化學實驗室中，多用玻璃虹吸，自常備之試藥瓶中抽取液體。

計 算 題

1. 自海平面處之油池，用完美之吸上唧筒，將生油（比重爲 0.89）吸出，可吸高至若干呎？
2. 在美國考羅雷杜（Colorado）省，鄧佛（Denver）地方之氣壓表，若其所示度數爲 25 吋，則用完美之吸上唧筒，可將水抽高約若干呎？
3. 一壓上唧筒須將水送至高出於其筒面 20 呎之處。當活塞下降之時，筒中之壓力爲何？
4. 一唧筒每分鐘可將 100 加侖之水抽高 20 呎，問其馬力爲何？（例定活塞四週絕不漏水。）
5. 一水銀槽深 120 吋，其中盛有水銀深 94 吋。問用虹吸越槽口可將水銀移去若干？用爲虹吸之管，須長若干，始可將水銀儘量移去。

91. 空氣之浮力。吾人已知登山之時，空氣壓力即漸減。感覺靈敏之氣壓計，即在由地板舉至桌上時，亦能顯示壓力之減低。故任何物體底上所受空氣之上壓力，微較其頂上所受空氣之下壓力爲大。易言之，由空氣圍繞之各物上，均有浮力作用，正與在液體中同。此浮力等於各物所排空氣之重量（阿幾默得原理）。

欲使此空氣有浮力之原理，似更較切實，可取一中空之銅球，與一實質之銅塊，使在真空唧筒之接受器中相平衡(圖 102)。當將空氣抽出之時，銅球似較重於實質之銅砵碼，因其週圍空氣之支持力已撤去故也。若將空氣速放入內，則銅球之上昇極微。



圖 102 空氣之浮力視所排空氣之體積而定。

重量，可以不計。例如麵粉一桶，在真空中權之，較在空氣中僅多半磅許。但若所排空氣之體積，與重量相比較為甚大，例如氣球然，則物體即被舉而上昇，猶木片浸於水中而上浮然。

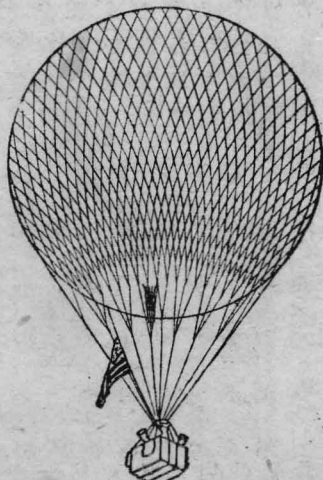


圖 103 美國陸軍用球形氣形。

92. 氣球與飛艇。
氣球(圖 103)之囊，係用塗有橡膠之薄布或

薄網二三層製成，有時用牛腸製成之薄膜加以薄布使之堅固，蓋欲使之既輕且堅，而又極近於絕不洩氣也。飄蕩自由之氣球，皆屬球形，因就定量之網或布料，製成此形，可得最大之體積也。球下懸有柳枝編成之筐，以載乘客、器械以及鎮壓之重物，在自由氣球，此筐係用輕索織成之網，絡於氣球之上。氣囊中所充之氣體，雖對於短時間之行程，可用煤氣，甚至用熱空氣，然通常皆用輕氣。

飛艇(airship)為可以駕駛之氣球，其上裝有推進器與汽油引擎，並有水平與垂直之舵。飛艇之形狀，頗與臘腸相似，並有尖銳之首與尾，俾可在行經空氣之時，使迎頭之抵抗減少。齊泊林(Zeppelin)式之飛艇，例如曾於一九一九年橫渡大西洋之R-34號，或一九二八年之哥拉夫齊泊林號(Graf Zeppelin)，皆有巨大之剛體網架(圖104)，用極輕而又極堅固之鋁合金製成，其上蒙以輕而不受天氣影響之網或布。內部有各別之輕氣囊15個至20個，各占架之一格。此種飛艇上之駕駛員，可攀登各處，內至相隣兩氣囊之間，外至艇殼之上，以便修理。在小號飛艇中，祇有氣囊一個，由內部氣體之過量壓力，保持其形狀。在非剛體之飛艇中，有懸車一輛或多輛，用纜索懸於縫於氣囊外層之襯片上。在半剛體之飛艇中，則氣囊之外有堅硬之龍骨，使氣囊本身堅硬，而可支持懸車。

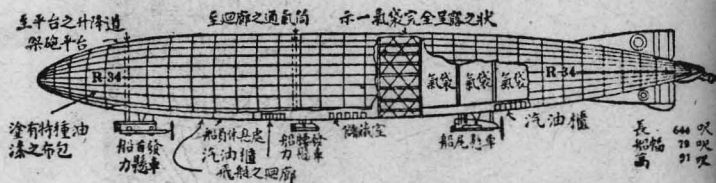


圖 104 剛體式(即齊泊林式)之可駛飛艇。

飛艇航空之危險，其一大原因厥為火患。在戰爭之時，常用火彈以襲擊飛艇。在太平時代，飛艇之外殼有時因塵

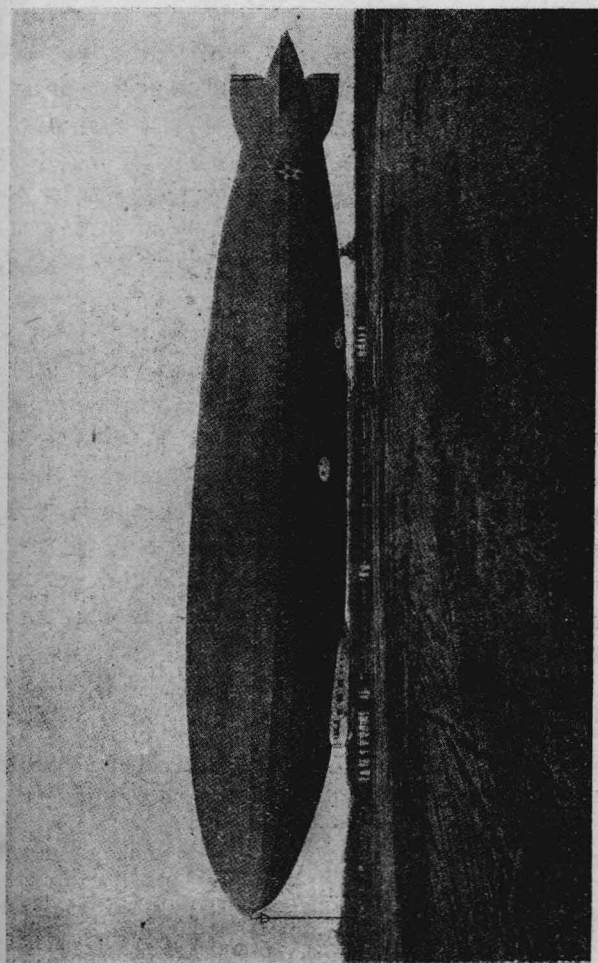


圖 105 擊留於桅竿之羅斯安其兒號 (Los Angeles). 此飛艇內充氦氣.

可變的傳積一為 $(\gamma - b)$ $b =$ 一定量分子身之傳積

擦而生電，如放電而起火花，亦可使輕氣自燃。又自引擎洩出之熱氣，亦為危險之常因。在本國，則自數種特殊之自然氣體製出多量不燃之氦氣 (helium)，以充飛艇 (圖 105)，可防免火患而保安全。

欲計算氣球之總浮力，祇須求得所排空氣之重量，與氣囊中氣高之重量之差。總浮力之大部份係用於舉起氣囊，纜索，懸車，以及在飛艇中之引擎。其餘未用之浮力 (disposable lift)，可用於舉起鎮壓物，燃料，乘客，以及貨物。

問答題與計算題

注意，——在此諸題中，假定各氣體每立方呎之重量如下：空氣 0.076 磅；氦氣，0.0105 磅；輕氣，0.0053 磅。

1. 以五噸之冰置於如 R-34 號之飛艇外殼上，即可使之墜下；但在此飛艇之殼內，置五噸之輕氣，則可使之上昇。試說明其理。
2. 當氣球上昇至較高處時，問有何種變化，發至於 (a) 大氣之壓力？(b) 空氣之密度？(c) 氣球之浮力？
3. 一球形之氣球，內含輕氣 20,000 立方呎，而氣囊，懸籃，人，以及各種設備，共重 900 磅 (氣體之重量在外)。此氣球祇可昇至某一定高度。問在該處之空氣，其密度為何？(例定氣球於上昇時，其體積無變動。)
4. 昇南渡號 (Shenandoah) 飛艇，其容量為 2,100,000 立方呎。問當充以輕氣時，其總浮力，與充以氦氣時有何差別？
5. 一氣球之容量為 37,000 立方呎，充以百分之 95 之純輕氣 (其餘為空氣)。氣球，繩索，懸籃，共重 1000 磅，並有兩乘客，各重 150 磅。欲將此氣球曳下與地相近，需力若干？

受壓力之空氣

93. 巴斯恰定律適用於氣體。受壓力之氣體，其作用恰與受壓力之液體同，即兩者皆傳遞壓力於

Van der Waal 方程式 $a = \text{常數}$ } 視氣的性質
 $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = C$ } $b = \text{常數}$ } 視氣的性質
 分子之間的吸引力 第五章 之 容積 之 壓力 193

各方向，並傳至容器內壁之各處，絕不減少是也。

94. 空氣壓縮器。在79節內所述之真空唧筒，如在B處連一管，亦可用為空氣壓縮器 (air compressor)，將空氣自太空壓入密封之筒與筒中可得之壓力，視作用於唧筒柄上之力而定。汽車輪胎，需有每方吋自30磅至75磅之壓力 (在大氣壓力之上)，因此之故，通常恆用由電動機運轉之唧筒 (圖106)，或手搖唧筒亦可。

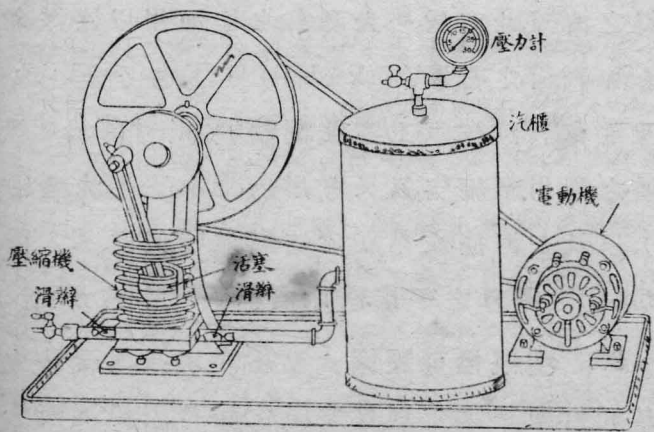


圖 106 由電動機運轉之空氣壓縮器。

由蒸汽引擎或電動機動轉運轉機之巨大空氣壓縮器，在鋼鐵廠，工場，以及採礦場中，常用之以供給壓縮空氣。此種壓縮空氣，放出時可急煽火力猛烈之

爐，或儲之於鋼筒中，而用以運轉種種藉空氣而作用之機器。

95. 壓縮空氣之用途。 有多種器械，係用壓縮空氣使之運轉，例如用以打造鋼鐵器具上之釘頭之打帽鎚 (riveting hammers)，以及用於鑿石，敲鐵，鑽孔等等之空氣的器械皆是。此諸器械，概較其他手攜之器械，輕而且簡，而火患亦較少。當此等器械用於礦中時，放出之用過之空氣，可以逐去礦中之濁氣，而易以新鮮之清氣，此亦為一大利益也。他如用以擦淨金屬與石塊表面之石鑽 (rock drill) 與沙吹 (sand blast)，以及電車與蒸汽車上空氣制動機 (air brakes)，皆為普通之應用。壓縮空氣又可用以使水不入沈櫃 (caisson)，以及在河底或港底建築隧道時，使水不入隧道 (tunnels) 之開口之一端。潛水者 (divers) 亦常用之。

96. 空氣極可壓縮。 壓縮之空氣與受壓力之水，其間有顯著之差別，即空氣之體積，因受壓而大為縮小，而水則幾終不能壓縮是也。此顯著之差別，可以下列實驗示之。

取一銅管配有密合之鋼塞者 (圖 107)，充以空氣，則以手按塞，易推之使下，將手放開，則鋼塞幾彈回原處。荷鋼塞

實不能復回原處者，乃因空氣有一部份漏洩之故耳。其封閉在內者，作用與彈簧無異。但如在此銅管之中，充以水或其他液體，確不能用手將鋼壓下至任何可察之距離；如用錘敲擊鋼塞之一端，其結果猶如全管為實質之木柱，蓋液體殆不可壓縮也。

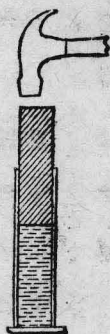


圖 107 水幾不可壓縮。

空氣所具此種受壓而又立能恢復原狀之能力，即其壓縮性

與其完全彈性，合成所謂空氣之彈力 (resiliency)。在氣胎，氣墊，網球以及足球中即利用此種特性。

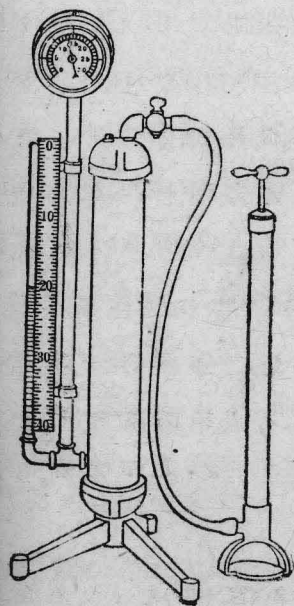


圖 108 測量空氣壓縮性之器械。

97. 空氣之體積如何隨壓力而變遷一波義耳定律。一定量之空氣，當其壓力變遷時，其體積變遷之量如何，於一六六二年首先為愛爾蘭人羅伯脫波義耳 (Robert Boyle) 所研究，其後數年，法人馬

律奧脫(Mariotte)亦研究之。

如欲自行研究此問題，可作下述之實驗。圖108所示者爲一大鐵圓筒與一小玻璃管，管之上端封閉，下端則與大圓筒相通連。管上又連有壓力計量器（鮑唐式 Bourdon）一具，可直接指示壓力每方吋之磅數。器械之全部，約半充以油，若干量之空氣，即爲油所錮於玻璃管之頂部。施壓力時，係用連於圓筒頂之壓氣唧筒（compression pump），因管腔大小一律，故可用空氣柱之長度，以計密閉空氣之體積。設開始實驗時，管內空氣柱高24吋，而壓力爲每方吋15磅，其後壓入空氣，至壓力加倍而止（即每方吋30磅），即見空氣之體積，縮成原體積之半，即柱高縮至12吋是也。若再壓入多量之空氣，至壓力三倍而止（即每方吋45磅），則見空氣之體積減至三分之一，即縮至8吋是也。

由此數度實驗，可知當溫度不變時，一定質量之氣體，其體積隨其壓力而反變。此原理即以波義耳定律（Boyle's law）之名聞於世。凡屬氣體，皆可應用此定律，且可世記號表之如下式：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{反比例}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (\text{此式須記憶之!})$$

其中 V_1 爲一定質量之氣體，在壓力 P_1 下之體積，而 V_2 爲壓力變至 P_2 ，而溫度不變時，該氣體變遷之體積。

若施於一定量之空氣上之壓力加倍而體積因是減半，則空氣之密度亦必加倍，此事甚明。概言之，空

氣或任何氣體之密度，在固定之溫度下，隨壓力而正變。

由充分之高壓力，可將氣體之積體減至極小，利用此性質，可儲藏極緊縮之氣體，運至各處。例如養氣，可用以鍛接與割銼，可用以療病，並可使航空家在極高之處能呼吸如常，即壓入堅固之鋼筒中出售壓入時，其所受壓力有高至每方吋 1800 磅者。

98. 壓力計。氣壓計實為一壓力計量器，用以測量一氣壓或一氣壓以下之壓力者。吾人尚需測量高壓力之計量器，例如裝於汽鍋上或壓縮空氣筒上者，又需測量低壓力之計量器，例如裝於蒸汽引擎之凝結器上或真空唧筒之接受器上者。

欲測壓力稍微之差別，例如尋常煤氣之壓力，可用開管壓力計 (open tube manometer)，此計常用輕於水銀之液體，以示壓力之度數。

設取一玻璃管，曲之如圖109所示，以顏色水充於管之一部份，即成一適用之計量器，以測尋常煤氣之壓力。此壓力通常可使 A 平面間，有約二吋之差。

測高壓力時，如用此種壓力計，即使充水銀，亦覺笨重不堪，故須用一種閉管壓力計 (closed manometer)。

meter) 如圖 110 所示。當壓力為一氣壓時，兩臂中之水銀成同一水平面。若壓力逾於此者，水銀即被迫而入密閉之一臂中，照波義耳定律，將所封空氣壓縮之。刻度表可使表示氣壓之數。

99. 鮑唐氏彈簧壓力計。在實用方面常用鮑唐氏彈簧壓力計 (Bourdon spring gauge)。

此計之刻度，常使在壓力實為一氣壓時，所示度數為零；即其所指示者，乃所測壓力與大氣壓

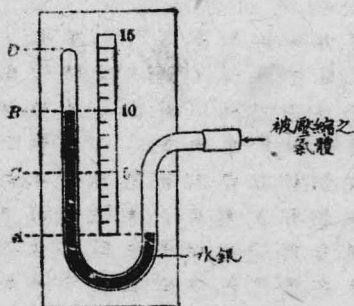


圖 110 測量壓縮氣體壓力之閉管壓力計。

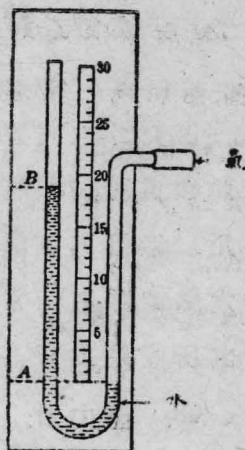


圖 109 測量氣體壓力之開管壓力計。

間之差是也。故當工程師用此壓力計而謂壓力 100 磅時，實指在一氣壓以上每方吋 100 磅而言；如意在指真空以上之全壓力而言，則常謂絕對壓力 100 磅。

12. 一玻璃管，其體之粗細通體一律，插入水銀中，使露出水銀面外者為20吋，於是將管頂封閉，而將管提起，至其中空氣柱之長為36吋而止。問 (a) 管內空氣之壓力，以水銀柱高表之，為何？(例定大氣壓力=76吋之水銀柱。)(b) 管內與管外水銀面之差為何？

13. 動動機之活塞，其直徑為10吋，當以壓力計測得其中壓力為每方吋80磅時，加於活塞上之力，淨計若干？

第五章 提要

空氣有重量，在 0°C . 時，1呎重1.29克，1立方呎重1.2盎司，大氣壓力等於——

30吋(76吋)之水銀柱，

34呎(1034吋)之水柱，

每方吋14.7磅(約15磅)，

每方吋1034克(約1斤)。

大氣壓力愈昇愈減，自海平面每昇11呎，約減1吋。

氣壓計所示度數，於預報氣候上有大用處——氣壓計度數疾降，常有大風雨隨至或伴至。

空氣之浮力等於所排空氣之重量。

氣球之總浮力等於氣體與所排空氣之重量差。(阿幾默德原理)。

巴斯恰氏壓力傳遞之定律：受壓力之氣體，將壓力傳遞於各方面而不減其大小；全壓力隨面積而變。

波義耳定律：在固定溫度下，一定質量之氣體，其體積隨壓力而反變。

氣體之密度隨壓力而正變。

問 答 題

1. 設有疑及“吾人係居於空氣洋之底”一語者，將以何種理由使之深信？

2. 用何法可藉紙片將杯水倒置而水不流出？何故？

問答題與計算題

(在此諸題中,假定溫度不變。)

1. $P_1V_1 = P_2V_2$, 為何乃波義耳定律極不完全之表示?
2. 圖108中之空氣柱,當絕對壓力為每方吋20磅時,若見其高為18吋,則須用若干壓力,可使柱高減至13吋?
3. 壓力每方吋15磅之空氣一百立方呎,壓縮之成為56立方呎,問彼時之壓力為何?
4. 在每方吋15磅之絕對壓力下之空氣一百立方呎,使之受每方吋300磅之絕對壓力,問體積之變遷為何?
5. 一筭之體積為2立方呎,充以壓縮空氣,至絕對壓力為每方吋3000磅而止,問迫入此筭之空氣,在每方吋15磅之絕對正則壓力下者,有若干立方呎?
6. 空氣350立方呎,須壓縮之入於如何大小之空間,始可由壓力計測得每方吋90磅之膨脹力。
7. 一藏氣圓筭高4呎,其內部之截面為0.2方呎,筭中所藏之乙炔(俗名電石氣 acetylene),以壓力計測其壓力為每方吋1785磅,問自此筭可取出若干體積之氣體,其壓力為一氣壓?(即每方吋15磅)
8. 一汽車胎含有空氣1.1立方呎,以壓力計測其壓力為每方50吋磅,若輪胎爆裂,此一團空氣將膨脹至何體積?
9. 當沉櫃之底在水面下68呎深處時,其中之空氣壓縮成若干分之一?
10. 含有一氣壓之空氣200立方吋之筭中,再壓入250立方吋,問現在筭內之壓力為何?(例定一氣壓為水銀柱高76吋。)
11. 汽胎唧筒之活塞,可上下移動18吋,今以壓力計連於其上,當唧筒之柄提至最高時,壓力計上所示度數為零,問當活塞降入筒內3吋時,壓力計上所示度數為何?(例定不洩氣,且不發熱。)

呎之高時，此壓力有變動否？何故思及其如此？

16. 航空家昇至高處時，身體上所受之影響，可在實驗室中推知之，問如何可行此項試驗？

17. 穿潛水衣而入水者，為何必須供以壓縮空氣？

18. 在採集花崗石之礦場中常用壓縮空氣以運轉鏈鑽，而不用蒸氣，其故安在？

19. 氣量計(圖113) (gasmeter) 之作用如何？

20. 設將氣量計置於氣樓中而不置於地窖中，則煤氣賬單上之數量將發生差別否？在分間租居之屋中，每間各裝一氣量計，則最上層之居民，出資購用之煤氣，較多抑較少？

21. 一煤氣廠建於山谷之中，煤氣總管自廠中通至谷上山巔之高屋，在總管中之煤氣壓力，如以圖109之壓力計測之，則在屋中之壓力與在廠中者相較孰高？其故何在？

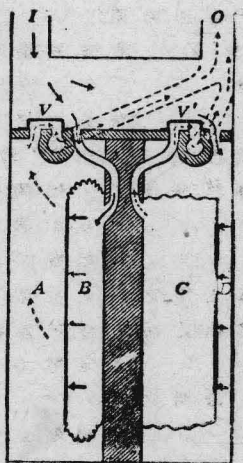


圖113 氣量計之構造圖。

實用題

1. 肺之容量。佈置一器械，以測自己及學友之肺之容量，與汝同年齡之人，其正則肺容量為何？何人之肺容量較大，運動家抑非運動家，男孩抑女孩？練習深呼吸數天或數星期，能增加汝之肺容量否？

2. 真空清除器之吸力。用開管壓力計試驗真空清除器之風扇吸力。(欲知詳細，請閱哥特(Good)氏著物理實驗室設計 (Laboratory Projects in Physics)，麥美倫圖書公司所出版)。

3. 汽車之真空供給組織 (vacuum-feed system)。設法

3. 說明滴藥管(medicine dropper)中之液體,所以不疾沖而出之故。

4. 以水銀壓力計置於真空唧筒上之高玻璃鐘內,將有何結果?

5. 試述無液氣壓計較優於水銀氣壓計之利益數種。

6. 乾燥之吸上唧筒,於未用前往先注少許之水於唧筒上部,謂之“開機”(priming),試說明此手續如何可使唧筒恢復其工作情形。

7. 加長虹吸之較長一臂,將有何效果?

8. 一船擱於海灘之上,其中盛水及滿,如何可藉適當長度之救火皮帶,將船中之水盡行移去?用同一方法,能將水之漏入浮於水面之船者取出否?

9. 大氣壓力為虹吸作用之所必需,如何可用實驗以證明之。

10. 醋桶側之塞子不拔去,則醋不流出,試說明之。

11. 說明飲料貯藏器(drinking fountain)(圖 112)之作用。

12. 測高計(altimeter)為航空家所用決定高度之儀器,問(a)其構造如何?在船行之前,必須“撥正”,何故?

13. 擬一計劃,使全級同學就下列二事互相比賽:(a)自肺部吹出空氣,以增加壓力,(b)吸入空氣,以造真空。

14. 欲節制球形氣球(圖 103)之運動,常攜帶沙袋以作鎮壓之用,問(a)如何可使氣球上昇或下降?(b)在船程中駕馭之,可至何種限度?

15. 血之壓力,約及每方吋 17 磅,當航空家昇至 10,000

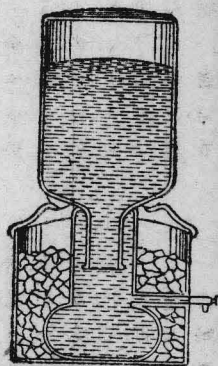


圖 112 飲料貯藏器。

第六章

正在運動之液體與氣體

自來水廠,放水筒,起水筒,測水器,水表—水車與臥輪,導管中之流動摩擦—隨流動速度變遷之壓力變遷,

100. 自來水廠. 凡城市必須應付下之問題,即預備多量之純水,以供家庭及工廠之用,並須備極多之水以防火患是也,所備之水,非惟其量須足,且須有充分之壓力,可迫之達於高大屋宇之頂,若城市位於

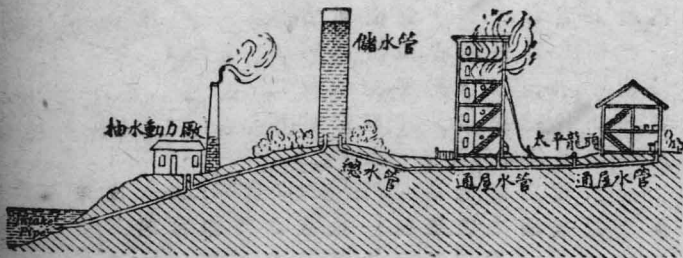


圖 115 自來水組織之剖面。

山之左近,例如鄧佛(Denver)及羅斯安琪兒(Los Angel),則水可自高聳之貯水池,以巨大之導管稱爲總管(main)者,引入屋內,因水常思自得其平,故在屋宇之中,可昇至與貯水池同高,惟在多數之城市中,例如在

獲得此種組織之圖樣，或至汽車房實地考察拆除之部份。詢問機械工程師，以明此組織之運用情況。

4. 作氣壓計。作一J字形之水銀氣壓計，用堅固之玻璃管(直徑約1厘米者)設彎曲之處以厚壁之橡皮管製成，則充水銀時較易，使之固定於板上，而用一滑移之米突尺，以測量水銀柱之高。

5. 虹吸水流之速率。用虹吸以抽空所與水桶中之水，測定其所需之時間，用較長之管，並使兩水平面相差更多而再作此事，將增加虹吸彎曲處離桶中水面之高而得之效果，加以研究。

6. 血之壓力。試求醫師如何測量病者之血之壓力，畫出所用器械之詳圖，其中有所謂壓力筒 (pressure sleeve) 者，有何功用？表示血壓之單位為何？

7. 車胎壓力計。圖 114 所示者，為一種壓力計之縱剖面，此計可應用於測量汽車或腳踏車上輪胎中壓縮空氣之壓力，說明其運用之情狀。

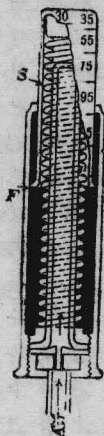


圖 114 汽車胎上所
用之壓力計量器

之最下層行至氣樓時，可以察知，即如以壓力計連於一點而細察之，亦可見及不論在屋之何處，壓力常隨出水量之多寡而有昇降。

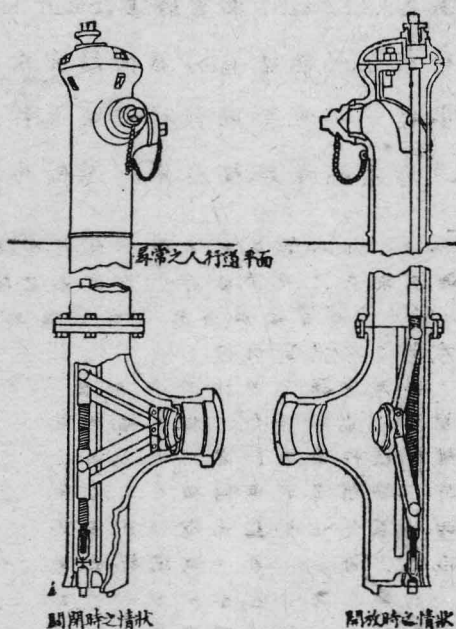


圖 117 救火起水筒之剖面，示其中斷滑瓣 (cut off valve) 開關之情形。

下述之實驗，表示同一事項，惟規模較小而已。於圖 118，蓄水池 R 上連有導管 AB ，沿導管各處之壓力，以 C 、 D 及 E 三管內水之高度指示之。當於 B 處將導管閉塞時，在 R 、 C 、 D 以及 E 內之水平面相同；此時

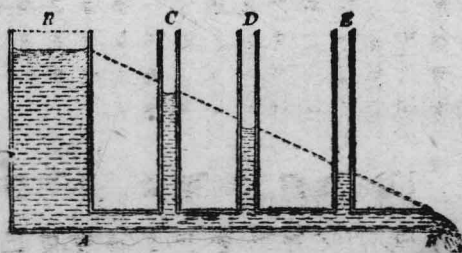


圖 118 壓力因導管中之摩擦而低落。

詩家谷 (Chicago) 與 聖路易 (Saint Louis), 重力組織 之自來水廠, 不能建造, 必須採用 抽水組織 此種組織, 須有廣延之水流區域, 有時離城市甚遠, 此外則為貯水池, 通水溝, 抽水站, 積水塔, 以及輸水總管 (圖 115)。

101. 放水管與起水筒。自來水導管之此種大規模組織, 其常見之部份, 祇有人行道傍之救火起水筒 (fire hydrant), 以及洗面盆與浴缸近傍之龍頭 (faucet), 兩者均不過開閉導管之滑瓣而已。

尋常龍頭之內部構造, 如圖 116 所示, 其柄可使一螺旋運轉, 螺旋則迫令一覆有纖維質襯圈之圓片, 緊抵於圓口之上, 如是即將水路閉塞, 設將柄按另一方向旋轉, 則圓片上昇, 露出隙口, 此種滑瓣損壞之道有二: 其一為襯圈磨損, 又一即柄之鬆弛是也, 兩者均可去舊易新, 並不困難, 填塞螺旋柄使之緊密, 係用棉線纏繞於滑瓣之幹, 而用所謂白蓋 (gland) 以保持之。

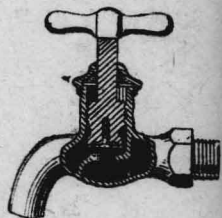


圖 116 普通放水管之剖面。

起水筒之內部構造, 如圖 117 所示, 救火皮帶連於起水筒上近頂端之處, 猛扭一垂直之桿, 即可開其中斷滑瓣, 為防免餘水之停留於起水筒, 而在冬季結冰起見, 另有一巧妙之裝置, 可使筒底之滴水滑瓣 (drip valve), 即在中斷滑瓣關閉時, 亦能開放, 使水洩去。

102 水壓力之變動。水自樓上之放水管流出, 較自樓下之放水管流出為慢, 當已注意及之無疑, 此乃樓上之水壓力較低故耳, 水壓力之減低, 非惟自屋

完全章動，即有一定量之水流經此表，自盤向上突起之軸端，其運動之路徑為圓，因而推動齒輪，使之轉動上面之記數器。

水表之針面，如圖 120 所示，其上共有六圓，各分成 10 等分，在各圓外之數字，指示該圓中指針轉畢一週之立方呎數。例如圖 120 之針面，指示 94,450 立方呎（“一”數之圓，未示度數。）自來水公司按期派員查驗此表，即可易知各期所費之水量，而按比例定應收之水費。

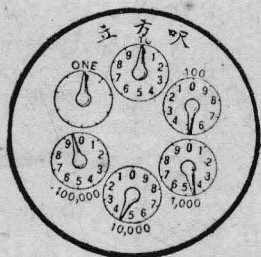


圖 120 水表之針面，所示度數為 94,450 立方呎。

104. 水車 疾流與下降之水，久已用為能之源。凡有瀑布之處，或其附近河中有急流之處，皆有可寶之能源。舊式之水車有**上擊**(overshot)與**下擊**(undershot)二種；上擊者由水之重量緩緩使輪旋轉，下擊者使輪下當急奔之水流。此種舊式水車，其效率幾與近代水車相同，惟其動力之量，即由巨大水車所發者，亦過小而不足以供多數事業之用。

近代所用新式之水車，有**拍爾吞**(Pelton)水車與水臥輪兩種。當水之來源不多而其壓力，或其“水頭”

稱為靜止狀況，但當由 B 處拔去塞子，而水流出之時，沿導管各點之壓力即不復相同，離蓄水池 B 愈遠，壓力即愈低，此種壓力降低之原因，係在水流經導管對管壁發生摩擦作用。

自此實驗，可見如有數放水管同時開放，而水正在流動，則隣近之壓力即減小，欲使水壓力之此種變遷一律，並使此組織中略具柔性，通常恆於離屋較總蓄水池為近之處，建立積水塔，在發生意外之時，此塔又可用作副蓄水池。

103. 水表. 按今之習慣，消費者所用之水，其量常以立方呎或加侖之數表示之，計水量之表，位於輸水線路上；且常在最下層由總管分來之導管入屋之處

家庭合用之水表，其最普通之一種，為盤式 (disk type) 水表，如圖 119 所示，圖中揭去其一面，以顯其作用之部份。在底部有一量水室，中含一硬橡皮之圓盤，此盤之中央連於一小球之上，球可運轉於室頂及室底之座中，此盤不論轉至何地位，常適觸及室之四側，並適觸及室之上下圓錐形之兩面，當水流經此表時，即使此盤起一種迴旋俯仰之運動（稱為章動 nutation），圓盤每經一次之

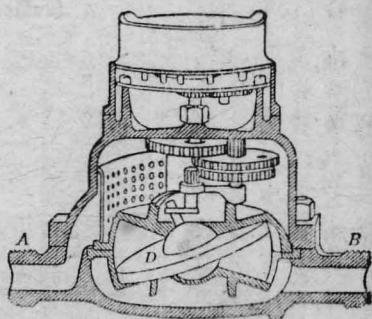


圖 119 盤式水表，揭去其一面，

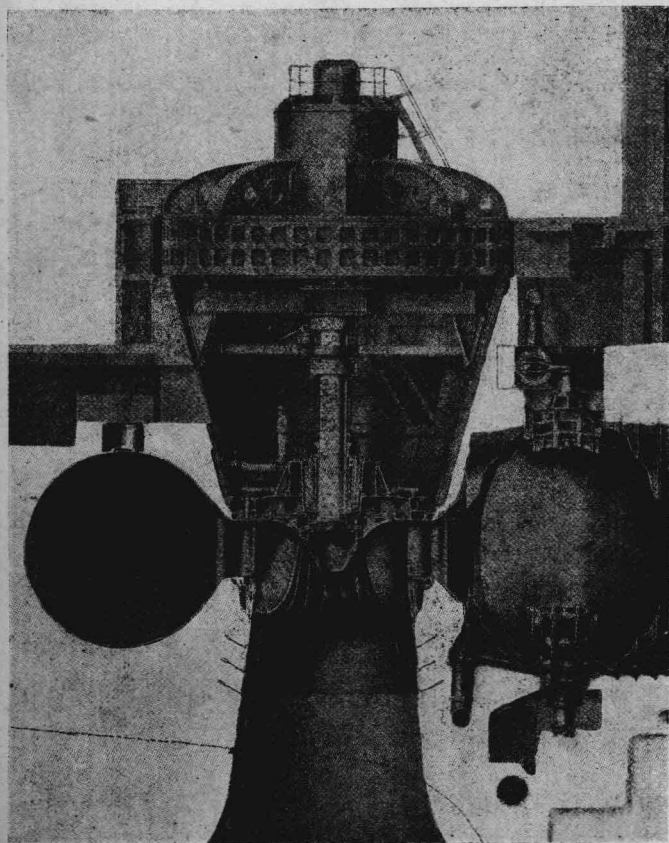


圖 122 具有 54,000 馬力，內有 27 呎蝶形滑瓣（在右方）之臥輪，與交流發電機（在上方）之剖面。此係塞司奎哈那（Susquehauna）河上康諾永哥（Conowingo）設計之一部份。此臥輪按 81.8 r.p.m. 之速率，在 89 呎之直垂水頭下運轉。

上常連一直垂之軸，可將動力傳遞於上方之發電機。流經臥輪之水量，可由旋轉導翼（guide vane）以增減。

甚高之時，即用拍爾吞水車。凡湖之位於山之高處者，往往用堅固之鋼製導管，導湖水而下，且使之按

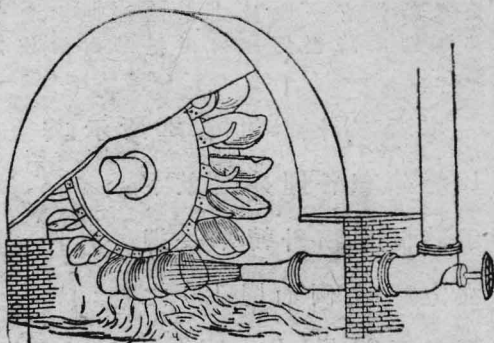


圖 121 在水頭甚高時所用之拍爾吞水車。

驚人之速度，衝擊於輪邊所附之杯狀戽斗上(圖 121)。

例如在加利福尼亞(California)省之克利克(Creek)大河旁，蓄水池之高，約在水車之上 1900 呎。水自 6 吋之射口噴出，其速率為每秒 350 呎(約為每分鐘 3.5 哩)；而水車之直徑為 94 吋，每分鐘旋轉 375 次(略記為 375 r.p.m.)。

水車之最要者，在今日厥推臥輪(turbine)。此種臥輪，用於水流甚大而“水頭”適中之處，例如在尼阿嘎拉瀑布(Niagara Falls)近旁，及在塞司奎哈那河上之康諾永哥堤旁所設者(圖 122)皆是，臥輪置於圓柱形之井底，而全浸於水中，水入臥輪匣，經過多數導葉(shutters)間之進水道，導葉彎曲，使水依最有利之方向，衝擊於可動之輪葉，而使輪旋轉。當水已作畢其功時，即自輪匣之底，落入匣下之“尾閘”(tail race)。臥輪

水頭、

單位質量

逐有之動力也、

在頭、單位質量之壓力、

第六章

面,在高出池面 140 呎之山上,建一蓄水池,以得適當之壓力,問 (a) 在村中之水壓力爲何? (b) 如抽水機不絕自池抽水至蓄水池,每小時可抽 100,000 加侖,其馬力爲何?

9. 104 節所述之克利克大河旁之水車,假定其各輪有一射口供水,一效率爲 80%, 試算出各水車外放之馬力。

10. 瑞士國華利斯(Wallis)動力廠,利用 1650 呎之瀑布(據謂係世界最高之瀑布),廠中之拍爾吞水車,具有 3000 馬力,若效率 80%,則每秒有若干呎之水流出?(1 馬力 = 每秒 76 呎呎)。

105. 流動摩擦. 水流於導管之中,沿導管之壓力,已知其有低落之勢,此因水及管壁間有摩擦作用之故耳,此種摩擦,在截面較小之導管中,較在大導管中爲大,導管長度增加,摩擦亦隨之而增大,由下之實驗,可以證明此事。

設以供水管連於如圖 124 所示之 T 形管上,即見置於短臂下之大口杯,充水遠較置於長臂下之大口杯爲速。

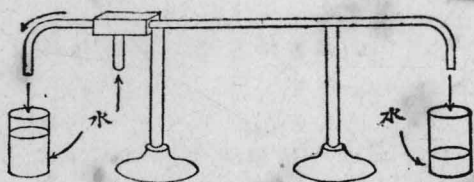


圖 124 水自短管流出,較自長管流出爲速。

對流動摩擦有影響之另一要素,爲表面之特性,在陳舊生鏽之鐵製導管中之摩擦,由推想亦知其當

其間隙口之大小而節制之。

作於水車上之功，爲流過之水重與水頭或蓄水
池與尾閘之水平面差之乘積。

兩種近代水車之效力，均常自百分之80至90。

例如在尼阿嘎拉之水頭爲136呎，而流經各臥輪之水，約爲每分鐘22,550立方呎，於是每分鐘作於各臥輪上之功爲 $22,500 \times 62.4 \times 136$ ，即191,000,000呎磅，即內受之動力約爲5800馬力是也。因其外放之動力爲5000馬力，故效率約爲86%。

問答題與計算題

1. 如何可用水表以探家中自來水管之有無洩漏？
2. 如何可驗水表之是否正確？
3. 充滿浴缸所需之水，如何可定其價？
4. 設校舍中在一星期內所用之水爲1750立方呎，而水費若爲每100加侖價洋2角5分，問此星期之水費若干？

5. 有何二種要素，可決定瀑布所發動力之量。
高度與流量，即由重力決定

6. 一瀑布高55呎，每秒可供水200立方呎與一臥輪，其效率爲80%，問此臥輪所發之動力爲何？

7. 一水動機(圖123)連於龍頭上，每分鐘用水4立方呎，而以壓力計測得壓力爲每方吋50磅，如此發動機之效率爲75%，則其馬力何爲？

8. 某村之水，來自一池，池之位置；約與村同一水平

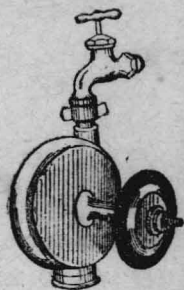


圖123 連於龍頭上之水動機

流動摩擦之又一例，見於江河之中，江水或河水，與河床之底及兩側間，多少有幾分摩擦作用。在論及船舶之行動時，流動摩擦必須仔細計及之。最後，於計畫飛機與飛艇之形式時，空氣抵抗力必須細細算出。為輔助此項工作起見，在晚近數年中，已製成精緻之風筒 (wind tunnel)，可利用之使實驗紀錄易於彙集 (圖 125)。

柏努利比說明

106. 壓力隨速率之變遷而變遷。 假定液體正

在穩然流動於水平導管內，如圖 126 所示者然，而導管收縮於其中部 B 。因水流穩定，故可假定在一秒內流經 A 處之液

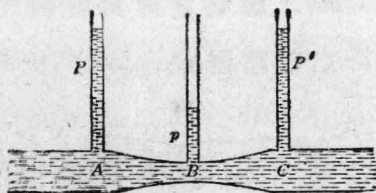


圖 126 B 處之壓力較小於 A 或 C 處之壓力，而速率則較大。

體，其體積與流經 B 或 C 者相同。但因導管之截面，在 B 處者其面積較小於在 A 或 C 處之截面，故液體之直流速率，在 B 處必較在 A 或 C 處為大。

如欲比較此 A ， B 以及 C 三點之壓力，可將頂端開口之直垂細管，連於水平導管之上，則各管中液體被推而上昇之高度，即可以之計其下端壓力之量。由

然遠較不腐蝕之光滑銅製導管中之摩擦爲大。最後又知水在直導管中流動，較之在大小長短相同而曲屈之導管中爲易。液體在已知導管中流動之速率，欲算得之並非簡易之事；因流動摩擦本身，即視液體流動速率與液體本性而定。例如輕油即較重生油易於流動。

決定氣體在導管中之流動狀況時，流動摩擦有極密切之關係。惟就一般情形而論，則液體與氣體在導管中流動時，其行爲可視之爲殆相同。

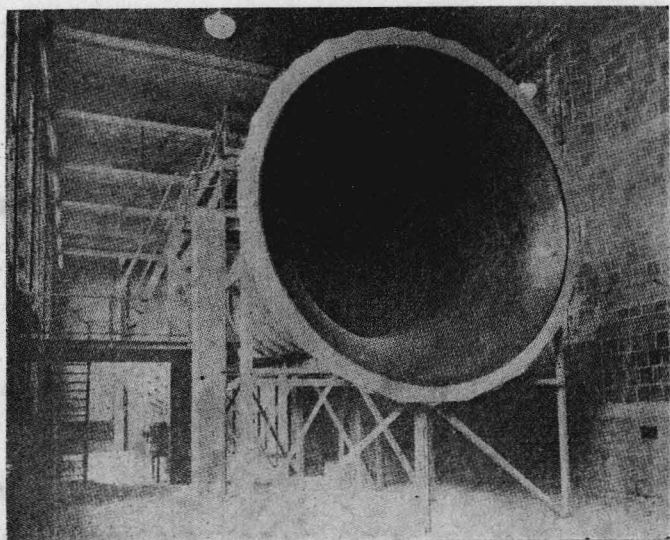


圖 125 直徑7½呎之風筒，麻省理工大學(Massachusetts Institute of Technology)所備以供航空實驗之用者。

拋出之棒球，其路徑所以彎曲之故，可以此原理解釋之。凡球，不問其為棒球，網球，或哥爾夫球，設在拋擊之時，使之急轉而去，則球即有向前直射 (to follow its nose) 之趨勢。欲明瞭此現象之理由，試研究圖

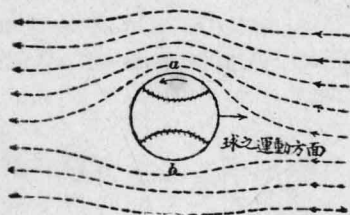


圖 128 表示棒球何故上彎之圖。在 a 處之壓力，較在 b 處者為小。

所示者，為旋轉之球正在向右進行，而同時又在繞水平軸旋轉之狀況，今試假定此球不在向右進行，而幻想旋轉之球靜止不動，惟空氣則在向左移動。在球之一側 a 處，球面與空氣均依同方向移動，故可幫助空氣之運動。但在他一側 b 處，則球面之反向移動，使空氣之運動遲緩。故空氣之速率，在 a 處者較在 b 處者為大，因而空氣之壓力，在 b 處者較大於在 a 處者。球在前行時，所以折向其旋轉之方向者，職是故耳。

問 答 題

1. 空氣流之摩擦，有使日長或日短之趨勢否？說明其理。
2. 某船裝有巨大之圓筒二具，可使之疾轉。試說明猛烈之風，對於此船將有何作用。

此實驗,可知導管最粗之處,壓力最大,而在最小之處則壓力亦最小。欲明此現象之理,祇須一省液體之任何小部份,當其經過導管之收縮部份 B 時,其速率較在寬大部份時為大。然則在由 A 流至 B 之際,速度必增加無疑。由此可知其後面必有較大之壓力;同理,自 B 流至 C 時,速率必減低。由此可知在 C 處必有較大於 B 處之壓力。一般之原理可述之如下:速度較大之處,壓力較小;而速度較小之處,則壓力較大。

107. 模範之應用數則: 用以噴射消毒劑及芳香料之噴霧器(atomizer) (圖 127), 即係習見之應用待



圖 127 尋常之噴霧器及玻璃模型。

噴射之液體,置於玻璃器中,器中復有一管浸於液體之內。當將橡皮球壓榨之時,球內之空氣被迫,即疾衝而出。斯時即吸起液體,由管上昇,而吹之向前,成爲霧沫。蓋此時管口有疾馳之空氣流,因而減低管中液面上之壓力,於是大氣壓力即將液體壓起於管中矣。

問答題與計算題

1. 在倫敦可掘一自流井 (artesian well), 不用唧筒, 常有水自導管之端流出, 說明其理。
2. 在某鎮中有二放水管, 其大小相同, 而以壓力表測得其中之壓力亦同, 設其中之一離蓄水池一哩, 而他一離池二哩, 則將兩管開足之時, 各管在每分鐘內所放出之水, 其量相同否?
3. 將放水管開放時, 有時水先急沖而出, 流經數秒鐘後, 又變為非常遲慢, 在樓上之放水管, 尤覺其如此, 說明其理。
4. 沿海岸之某處, 潮來時水昇 10 呎, 問 (a) 如何可使能自此潮顯出? (b) 此能何以未在商業上大規模利用之?
5. 高 100 呎而每秒流水 300 立方呎之瀑布, 與高 200 呎而每秒流水 150 立方呎之瀑布, 汝將假定其所發之動力相同否? 試述汝之答案之理由。

實 習 題

1. 自居之城市或村鎮中之給水組織。查詢自來水之水源, 水頭, 每日用水總量, 以及每千立方呎之水費。
2. 水動機之動力與效率。以水動機連於放水管, 而測定水動機正在運轉時之水壓力, 用彈簧稱二具及跨於滑輪之粗索, 行制動之試驗 (brake test), 計算在大不相同之負荷下之馬力與效率。(欲知其詳, 請閱勃萊克著物理學實驗教程)。

3. 在桌上置書二冊，相距2吋，而以一紙置於此二書之上，如向兩書之間吹風，有何現象發生？說明其故。

4. 如圖 129 所示，以球棍擊哥爾夫球時，球之飛行有無向上或向下彎曲之趨勢？試說明之。

5. 兩划船泊於急流之河中，以索繫於船首，相距2呎(圖 130)。設河流轉緩，則兩船相離將益遠歟，抑更近歟？試明其理。

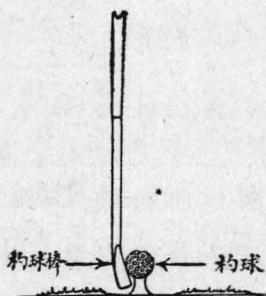


圖 129 哥爾夫球飛行之路徑為何？

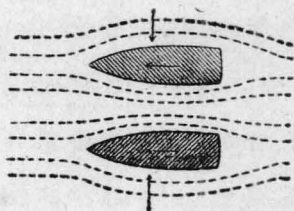


圖 130 兩船相擠於一處之故。

第六章 提要

水之所以流經導管者，因有高聳之蓄水池或抽水機所保持之壓力（“水頭”）故耳。

流動摩擦使導管之線路中遭遇壓力之損失，此項摩擦作用，與(1)內表面之粗糙程度，(2)導管之大小，(3)導管之長短，以及(4)流動之速率均有關係。

水動力已有經濟上之重要之地位。

欲求水車之馬力：

$$H.P. = \frac{\text{每分鐘之流量(磅數)} \times \text{水頭(呎數)}}{33,000} \times \text{效率}$$

在運動之流質內，不問何處，如速率增加，壓力即減低，速率減低，壓力即增加。

能力，將如何作用於其上。

譬如支持升降機之鐵索，或鞦韆架上之繩，或正在將動力自一滑輪傳遞於他滑輪之皮帶，其必須抵抗者，均為作用於各端之牽引力。此牽引力有使之伸長之勢，且恐有時竟斷之為二。此時即謂該部份——即鐵索、繩或皮帶——受伸張之作用(intension)，意即謂“在緊張之狀態中”是也。

次如橋之脚，或屋之基，或廊廡之柱，其所受之力，則與此大不相同。其必須抵抗者，乃作用於各端之推擠力，此力有使之縮緊之勢，且恐有時竟壓碎之而使之倒下。此時即謂該部份——即橋脚、屋基或廊柱——受壓縮之作用(incompression)，意即指“在壓縮之狀態中”是也。

又如屋內擱置樓板之橫梁，或平板橋上之橫桁，則承受橫貫之應力(stress)，而其必須抵抗者，為曲撓(bending)。梁與桁於不勝重任時，即斷而為二，一若置棒於膝上，按之使斷然。

更如汽車上連接引擎與後輪之轉動軸，以及多數工廠中，高架於頭上而旋轉之軸，藉以傳遞動力於各種機器者，均須抵抗扭轉(twisting)。

第七章

材料之彈性與強度 表面張力

不同之各種應力——應力及應力變形——虎克定律——彈性限度——折斷強度。固體，液體，以及氣體——液體與氣體內之擴散——氣體運動說——勃郎運動——表面張力——凝聚與附着——毛細管現象——液體之吸收氣體與固體之吸收氣體。

108. 研究材料之重要。 建築工程師欲建橋築屋或製造機器，非惟須知作用於其各部份之力，並須知建造時所需之各項材料如木，磚，石，三和土或鋼鐵之強度。此種學識，必須用極精密之方法，試驗每種材料，始可得之。凡製造鋼梁或鋼軌之大工廠，皆設有試驗所，庶可使其出品售出之時，有強度之保證。即如織造廠，亦須將織成布匹之紗線，試驗其折斷強度(breaking strength)。材料強度之研究，對於公眾實屬非常重要，故美國政府於華盛頓之標準局(Bureau of Standards) 中，特設一科，專司此事。在本章之內，即將習知如何實行此等試驗，以及如何利用所得之結果。

109. 不同之各種應力。 工程師於計畫製造一樑一柱，或機器之某部份時，必須先知其必須抵抗之

而不向下彎曲者。即使橫桁之質地極優，亦常向下彎曲，惟以尋常之觀察，不能覺之而已。同樣，凡汽車上之轉動軸，於正在傳遞動力之時，即稍扭轉。其他數種應用，亦復如此，即皆可使受應力之物體，常稍變其形是也。

“應力變形 (strain)”一語，在力學 (mechanics) 中即用以表示因受應力之作用而發生之形狀之變動。故應力一詞，常指正在作用之力，而應力變形一詞，則指力所生之效應而言。

111. 應力變形對於應力之關係。欲察作用於物體之應力之量，與由是而生之應力變形之量，其間究有無任何關係，可一試下之實驗。

I. 伸張 試取一鋼絲或彈簧銅線，用夾

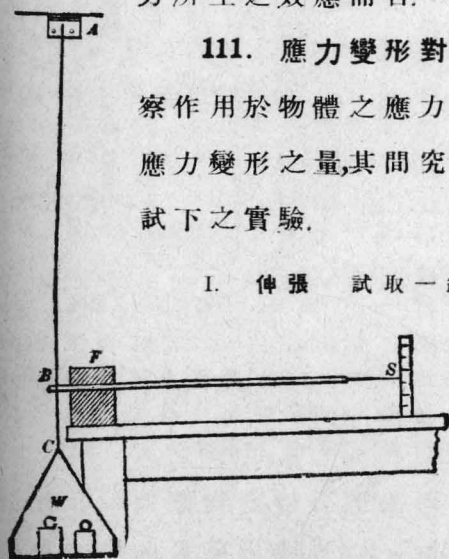


圖 132 用不同之負荷伸長一線。

子將其一端牢夾於天花板相近之處，再於其下端懸一盤以承砝碼 (圖 132)。因鋼絲之伸長微小，故須用槓桿或他種裝置以擴大之。先在盤中置放砝碼，適足使鋼絲成直線，以後再加

最後如一察鋼鐵構成物中鉸釘之任務(圖 131),又與前述四者相異。鉸釘之處,係在使此板不得滑移於他板之上。此種鉸釘,往往因其兩半所受推向相異兩側

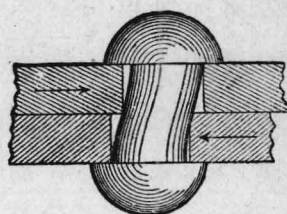


圖 131 鐵板對於鉸釘之剪軋作用。

之力過大,以致剉成兩段,其斷面光滑而潔淨,且與介於兩板間之表面相平行。用剪刀剪斷布匹或紙張時,所用者即爲此種應力。故謂鉸釘受軋剪 (shear) 之作用,意即指其所處之狀況,猶如以大剪刀剪之爲二然。

於是乃知有此五種應力:即張力,壓縮力,曲撓力,扭轉力,以及剪軋力是也。就各應力而論,所用之材料及其形狀,應擇最能抵抗作用於其上之特種應力者而用之。例如用泥灰膠於磚塊,極可承受壓縮,但如欲使之抵抗他種應力,則絕無效用。鋼則抵抗任何應力,均甚適當。鑄鐵抵抗壓縮之能力,可四倍於其抵抗伸張之能力,類此者不能盡舉。

110. 應力及應力變形。不問何時,如此五種應力,有一作用於物體之上,則該物體即稍變其形。每當沖貨車或列車經過橋面時,橋之橫桁,無有充分堅硬

種應力。

112. 彈性. 在前節之中,所行數種實驗,與材料之彈性(elasticity)有關係。由“彈”之一字,自然思及橡皮之帶,其伸長也頗易,而當應力一去,又可恢復其原來之形狀與大小。所謂彈性,即指材料之能恢復其原狀者之此種性質而言。但由實驗,知橡皮之彈性並不完全;因若將橡皮帶之長度測定,而使之伸長至適宜之度,然後放鬆而再測之,即見較原來略長。精鍊之鋼與彈簧銅,其彈性之近於完全,即遠較橡皮為甚。

例如鋼球落於石板之上時,即暫時變形,略呈橢圓體之狀(圖 134);但立即自板上躍起,以恢復其原來之形狀。

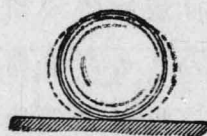


圖 134 鋼球之彈性,使之在撞擊他物時略呈扁狀。

凡氣體,皆為彈性完全之物。各種氣胎,即利用此性質以造成,液體亦具完全彈性,但幾不能壓縮之,故液體之此種性質,無多大之實用。

113. 彈性限度及折斷強度. 在伸張之實驗(第 111 節)中,已見若以有充分重量之負荷,懸於鋼絲之下,則當除去負荷時,鋼絲即不能恢復其原有之長度。此時鋼絲所呈者已為永久之形狀矣。對於他種應力,

砝碼，每次一塊，並須記下逐次指針之相當位置。每加一次，必須將所加者重行取出，以察指針是否回至原位置。至指針不能回至原處時，即停止不加，而在當時即可不記最後指針之位置。於是若從指針各次之偏差，算出鋼絲實際之延伸，而以使之伸長之力，除每次延伸之長，即見諸商皆約略相同，即延伸之長與負荷成正比例是也。

II. 壓縮 就壓縮論之，此理亦真。由實驗，可知在平常狀況下，彈簧縮短之度，與作用之力成正比例。

III. 曲撓 支一金屬桿或金屬管於錄稜之上，而懸不同之砝碼於其中央，即可實行對於曲撓之相仿之實驗。用類於前述張力實驗中所用之槓桿，或測微螺旋(micrometer screw)，即可量出桿之中部微小之偏斜。如前，又察得曲撓之度與負荷成正比例。

IV. 扭轉。如圖 133 所示之器械，可用以實行關於扭轉之實驗。金屬桿之右端，用螺釘緊緊夾住，其左端則夾之於輪殼中。置於盤中之砝碼，施扭轉之力於桿上，而所生扭轉之量，即可在輪緣上讀得其度數。如前，又察得扭轉之度，與使之扭轉之應力成正比例。惟在此時之應力，係指扭轉力之力矩而言，特稱之為扭率(torque)。例如一磅之力，作用於距離(半徑)一呎之處，即發出一呎磅之扭率。

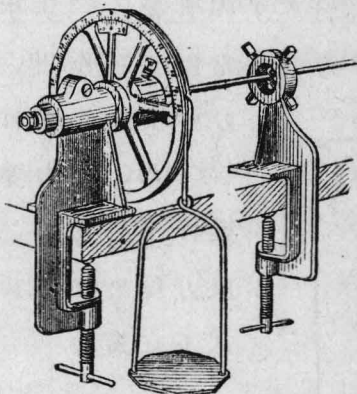


圖 133 扭轉金屬桿之器械。

就此種種情形而論，應力變形與應力成正比例。此稱虎克定律 (Hooke's law)，蓋以發見此律之科學家而命名者。若應力不過大，則虎克定律可適用於各

4. 在 111 節中所述扭轉器械之輪，其直徑如爲 9 吋，並有一 2 磅之力，作用於輪緣，則可使金屬桿端扭轉 3° ，今如輪之直徑爲 12 吋，則欲使同桿扭轉 5° ，須以何力作用於輪緣？

5. 作一實驗以求樑之曲撓對於負荷之關係時，得紀錄如下：

負荷之磅數	10	20	30	40	50	60	70
彎曲之吋數	0.05	0.10	0.15	0.21	0.25	0.29	0.35

按此諸值描點，使縱坐標表示負荷，橫坐標表示曲撓，此處所解釋者係何定律？

6. 有一鋼琴上所用之鋼絲，長 90 吋，直徑 0.035 吋，以不同之負荷，使之延伸如下表：

負荷之磅數	5	10	15	20	25
延伸之吋數	0.016	0.033	0.048	0.064	0.079

描一曲線，以示延伸對於負荷之關係，使縱坐標表負荷，橫坐標表延伸。

7. 有一樑，平支於相距 6 呎之兩點上，而以重物逐漸加於支點間之中部，當重量加至 840 磅時，樑即折斷。如支點相隔 8 呎，則於承重 630 磅時即折斷。問當兩支點相距 11 呎時，若干重量即可使之折斷？試造一定律，使此數實驗可以適用之者。

8. 設有一直徑 0.1 吋之鋼桿，受 1030 磅之牽引力而折斷，又有一直徑 0.2 吋之鋼桿，受 4120 磅之牽引力而折斷，則直徑 0.4 吋之桿，將受何力而折斷？

114. 固體，液體，以及氣體。 固體，液體，以及氣體之性質，已有研究及之者，今將解釋物質如何具有此種性質，欲爲此事，可一思尋常之物質，並非均勻連續

亦復如是,在其他各實驗中,若充分加大應力,即可見之。任何特種應力,使物體呈永久形狀之最小力,稱爲該物體對於該特種應力之彈性限度 (elastic limit)。苟負荷常在彈性限度以下者,虎克定律恆能成立;但如應力較大於彈性限度,則所生之偏差即較虎克定律所預示者爲大。

設在伸張之實驗中,更將負荷加重,則終達於極大之點,使鋼絲伸長極速,而幾立時折斷。對於他種應力,亦復如此,就曲撓之實驗而試之即知。任何特種應力,可使物體毀損之最小者,稱爲該物體對於該特種應力之最高強度或折斷強度 (breaking strength)。

材料之彈性限度,常遠較其折斷強度爲小。但有若干材料——如玻璃之類——則遵守虎克定律直至達於其折斷點而止,中途永不呈永久之形狀。

問答題與計算題

1. 紐約城中有所謂髮斗屋 (Flatiron Building) 者,係一高而細小之建築物,其屋在大風雨中,彎曲逾二呎。畫圖顯示何部份因風壓力之故而受張力,何部份受壓縮力。
2. 設一磅之砝碼懸於某彈簧下時,使之延伸 2 吋,則使之延伸 $\frac{1}{2}$ 吋之砝碼爲何? $\frac{2}{3}$ 磅可使延伸若干?
3. 設一樑支於其兩端,而於其中部置重 80 磅之負荷,樑之彎曲爲 0.7 吋,則使此樑彎曲一吋之重量爲何?

116. 氣體之擴散. 物質分子之逐漸混和,在氣體為尤甚.氣體透過多孔杯之擴散,可於下之實驗中見之.

設以塞子與玻璃管,將多孔杯倒架如圖 135 所示,而命輕氣(或煤氣)充滿覆於多孔杯外之玻璃瓶,即見氣泡自玻璃管浸於水中之一端升起,由此可知輕氣正在透過多孔之杯壁,而迫令空氣由底外出.今若斷絕氣流,而撤去玻璃瓶,立見水在玻璃管中徐徐上昇;此即表示杯內之氣體,正在透壁而出.

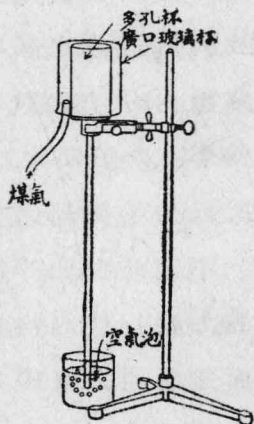


圖 135 輕氣透過多孔杯之擴散.

以少許鹵精 (ammonia), 或任何他種氣體有極濃之臭味者,攜入室中,則在室中各處,

均可立時聞到鹵精之臭味,由此事實,可知氣體之微粒,在室內週行甚疾.不僅此也,無論氣體之相關密度如何,置於一處,常相混合.故重氣體如二氧化碳,與輕氣體如輕氣,和於一處,決不彼此各居一層,——如液體中之水銀與水然——而迅即擴散成為齊一之混合物.由實驗,知氣體之密度愈小,則其擴散之速度愈大由於繼續而有選擇性之擴散,將氦氣自天然氣中

之塊，乃由極小之微粒所成。即覺極有用處。此諸微粒，稱之爲**分子**(molecule)。在固體之中，此種分子攢聚於一處，極爲密切，故鮮能自由運動；但在液體之中，分子之團結，即無如此堅固。液體所占之體積雖定，但其形狀則隨容器之形狀而變，即爲明證。

至於氣體，則有膨脹之趨勢；欲解釋此趨勢，祇須假定分子相離較遠，而正在按高速率運動不已。在固體中，其分子亦假定正在迅速運動；但其運動受約束頗甚，且或僅爲振動而已。

115. 液體之擴散。 欲證明液體中有此種分子運動，可實行下列之實驗。

在高玻璃瓶中充水幾滿，再由長莖之漏斗管 (thistle tube)，注入硫酸銅之濃溶液。因此溶液較密於水，故在初時見兩者有分明之界線。然在若干時間以後，即見藍色漸漸向上散開，終至兩種液體全部混和而止。

重液體向上散入輕液體中之此種變動，稱爲**擴散**(diffusion)。欲說明此現象，可將自由運動之權力，歸諸較重液體之分子，彼等即藉此而得行入在上面之較輕液體中。又如以糖一塊，投入一杯之茶，亦可證明此事。蓋糖雖沉於杯底，但如隔充分之時間以後，縱使並未攪動液體，而全杯之茶，亦均覺其有糖之甜味。

要言之,此即所謂氣體運動說 (kinetic theory of gas) 是也。

118. 勃郎運動. 若以顯微鏡察看浮游之極小微粒,例如水中之洋紅,即見各微粒皆處於迅速而不規則之運動狀態中,如用極度顯微鏡以察更小之微粒,亦見有同樣之運動,惟更較迅速耳.此種運動,稱為勃郎運動 (Brownian movement). 最近曾經證明,極細之油點浮遊於完全靜止之空氣中,亦具此同樣之跳躍運動.此等微粒所以有不規則而永久之運動者,因受週圍分子之撞擊之故,蓋此諸分子自身常在運動也,於是由勃郎微粒,即可揣想分子所具此種不絕之跳躍之狀,分子自身之運動,固不能見,然其運動對於物質之較大微粒之結果,則可見之(圖 136).

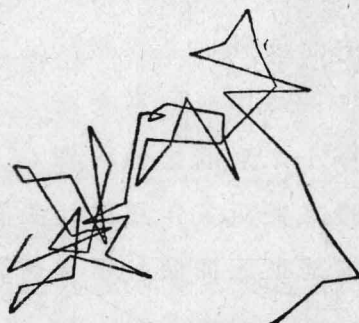


圖 136 浮游之微粒,因勃郎運動而經之路線。

問 答 題

應用氣體運動說,解釋下列各事:

分出,其所用之方法,即以此爲根據。

⑪⑦ 氣體壓力之說明. 欲說明氣體之壓力及擴散,可採用物質之分子組織說.分子之微小,小至雖用放大率最強之顯微鏡,亦不能窺見之.在一立方呎之氣體內,分子之數不下於 25×10^{18} (即25以後有18位爲零). 分子間之空隙,尙遠較分子本身爲大.氣體之所以易於壓縮者,即此故耳。

不僅此也,此等微小之顆粒,尙在以極大之速度,向各方飛行.彼等均循直線前進,除非彼此互相衝撞,因而躍向他去.氣體之分子,似無久居一處之耐性,一若固體之分子然.氣體之所以能充滿容器全部者,即此故也.氣體之壓力,亦可藉此以說明之.蓋無數之氣體分子,向其週圍之器壁撞擊,不啻有繼續之力,欲將器壁外推也.當氣體壓縮至體積變爲一半時,壓力即加倍,因密度加倍,則每秒向器壁撞擊之分子,其數亦加倍也.即欲計算發生此向外壓力所必需之分子速度,亦屬可能.於尋常狀況之下,氣體分子遊行之速率,似在每秒1哩與7哩之間.(砲彈之速率,鮮有大於每秒一哩半者.) 加熱於氣體,即增加此分子之速率;使氣體冷卻,即使分子運動遲緩。

頗烈。尚有一事可加注意者，即有多數物質，若使之兩兩相觸極密，則其間生極大之吸引作用，例如木與膠，石與水泥，油漆與木皆是。當此種吸引作用存在於同種之微粒間時，例如表面張力，即稱之為**凝聚** (cohesion)，當其存在於異種之微粒間時候，即稱之為**附着** (adhesion)。

121. 毛細管現象。 設有 U 形玻管二 (圖 138)，其兩側之管，直徑為 30 耗與 1 耗。今如以混有墨水之顏色水，注入第一管，而以水銀注入第二管，即見 U 形管兩側之管中，水與水銀之表面，均不在同一水平面上。

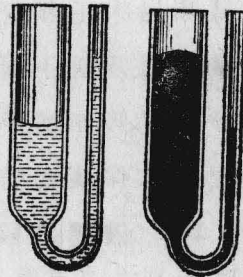


圖 138 水與水銀在毛細管中所呈之現象。

水沾潤於玻管之表面，而為所引；即附着作用頗大是也。水銀並不沾潤於玻管表面，而水銀微粒間之凝聚作用，使玻管與水銀之間，似有相拒之狀。故水銀之表面上凸，且細管中之表面，較粗管中者為低。就水而觀之，則各管均在吸起液體以與重力之牽引相抗。管愈細，液體之上昇亦愈高。因此等微管，其細如毛，故稱之為毛細管 (capillary tube，西文之 capillary，係自拉丁字 *capillus* 而來，其意為如毛)，而此種現象，即稱為毛細管現象。

- (a) 空氣制動機圓筒中之壓縮空氣，將活塞推動。
 (b) 空氣泡在水中上昇時變大。
 (c) 當抽氣唧筒 (air pump) 之活塞上提時，若干空氣自接受器入於筒內。
 (d) 瓶口加塞以後，瓶中之空氣仍繼續施壓力於瓶壁。
 (e) 汽車輪胎在暑天較硬於寒天。
 (f) 以少許空氣導入水銀氣壓計之真空，即使水銀柱下降。

119. 表面張力。 當一滴之水，經由空氣墜下時，本身即收縮幾成一完全之球(圖137)。同樣，製造鉛彈，即由於使鎔化之鉛汁，自塔頂之篩落至塔底之水池中而成。概言之，液體任其自由時，即有成爲表面積極小之形狀之傾向。即

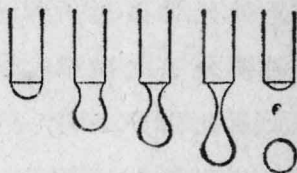


圖 137 水滴之成因。

液體之表面，其作用猶如張緊之彈性膜，能收縮時即收縮是也。此種傾向，稱爲**表面張力** (surface tension)。

表面張力以肥皂泡示之，頗爲明顯。沾油之針，甚至輕微之平底鉛製濾茶器，雖皆爲較密於水之金屬，而能浮於水面者，亦可以表面張力解釋之。同理，有數種昆蟲，能行走於水面之上者，亦由表面張力使然。

120. 凝聚與附着。 欲說明表面張力，可一思液體係由微小之顆粒(分子)所成，此等微粒，互相吸引

視氣體在液面上壓力之高低而有多寡。例如蘇打水 (soda water), 即以壓力使尋常之水, 吸收多量二氧化碳 (carbon dioxide) 而成。當壓力一去, 氣體即現為泡而逸出, 激烈噴起, 如蟹吐沫。由精細之實驗, 知氣體被吸收之量, 與壓力成比例。水所能吸收氣體之量, 因氣體之性質而大不相同。例如在 0°C (攝氏零度) 及氣壓 76 厘之水銀柱高時, 一立方厘之水, 可吸收 0.049 立方厘之氣, 或 1.71 立方厘之二氧化碳, 或 1300 立方厘鹵精。平時市上所售之鹵精水 (aqua ammonia), 亦不過鹵精之水溶液而已。

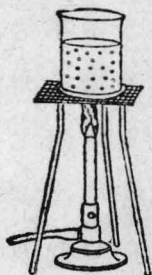
124. 固體之吸收氣體。 若干多孔之固體, 例如木炭, 白泥, 絲等類, 均有大容量以吸收氣體。其所以能吸收氣體者, 似因固體外部或內部諸孔之表面上, 可有氣層凝結之故。例如木炭可吸收 90 倍於其體積之鹵精, 或 35 體積之二氧化碳。木炭之可以利用為除臭之物者, 即因有此性質故耳。

液體與固體之吸收氣體, 有一習見之例, 即以牛乳及乳油, 與葱, 魚, 或其他食物, 置於冰箱之同一格內, 則牛乳及乳油, 均沾有葱臭或魚腥之氣味是也。譬如葱, 常發出少量之氣體, 頗易嗅得, 或由眼中流淚, 亦可

(capillarity). 燈燭之心,吸水紙,以及海綿等物,其吸起液體之情狀即如此。

122. 泥土中之毛細管現象. 在大雨之後,園地或犁過之田,其泥土全溼,至於極深之處,當日光再照之時,接近於表面之水分即行蒸發,但其下層之水,又在泥土之罅隙中呈毛細管現象而上昇,因而蒸發不絕。然若將與表面相近處之泥土掘鬆,或耕過而碎之,則罅隙過大,毛細管作用即失其效力,而表面蒸發大為減退。同時更下層之毛細管現象,仍繼續發生,而將水分吸起,吸至植物之根可以取用之處。如是即可將潤土之水保藏而善用之。

123. 液體之吸收氣體. 若徐徐加熱於含有冷水之燒杯,即見有無數小氣泡聚於杯壁之上(圖 139),而由液底昇至液面。此等氣泡,初時似將認之為蒸汽泡;然確係空氣泡無疑,一因此等氣泡出現時,溫度在水之沸點以下,二因昇至在上較冷之水層中時,並不凝結之故。



由此簡單之實驗,可見尋常之水,含有溶解之空氣,並知水容空氣之量,因溫度之增高而減少。魚在水中得保其生命者,即因水中溶有空氣之氧故也。液體吸收氣體之量,又

圖 139 水中之空氣泡。

液體之表面，有收縮而使其面積成爲最小之傾向(表面張力)。

液體在能潤濕之管內上昇，在不能潤濕之管內下降(毛細管現象)。

液體所吸收氣體之量，與壓力成正比例。

問 答 題

1. 肥皂泡膜有時謂爲較堅於鋼，其意何能？
2. 鋼與橡皮，其彈性孰大？
3. 試舉汽車上使車行穩定之部份三四處。
4. 打網球者，如何可以決定一打網球中，何者最“靈”？
5. 以郵票黏於信封上時，說明漿糊之作用。
6. 說明在書寫之時，筆，墨水以及紙之作用。(毛細管作用之兩側)。
7. 氣體之體積縮小，則其向外之壓力增加，說明此事之理。
8. 金屬之“疲勞(fatigue)”作何解釋，試查明之。(可查閱百科全書)。
9. 何謂“鋼筋混凝土”(reinforced concrete)?鋼筋混凝土在建築方面，較平常之混凝土有何優點？

實 習 題

1. 試驗金屬之折斷強度。試取粗細號數相同之黃銅絲，紫銅絲，鐵絲以及鋼絲各一，將其頂端縛定，而懸一水桶於其末，以沙灌入桶中，直至各金屬絲折斷而止，權各次所用之沙，則諸金屬之比較強度，即可求得矣。
2. 自動閉門器。圖140所示者，即爲此種裝置之一，處於門上之狀況，及其內部之構造，試至五金肆中，購置此種器械一具，而察出其運用之情狀，用此裝置，如何可使門

覺之牛乳及乳油一吸收此氣，其味即變矣。

問 答 題

1. 若將安全剃刀片，小心置於水面上，可使飄浮，說明此事之理。
2. 海中之波浪，有時可用油使之平靜，說明其理。
3. 自滴藥器落下之水滴，為何大小殆相同？
4. 一滴水與一滴水銀，在松板上之作用，有何分別，試說明之。
5. 將玻璃瓶中之液體傾出時，如何可藉匙或玻棒，使液體不沿瓶之外側流下？
6. 說明手中^中之作用。
7. 說明加熱於玻璃桿端而使光滑之方法。
8. 毛細管作用，是否使(a)水銀氣壓表，(b)水柱氣壓計所示之度數，較應有之度數為高或低？
9. 管口之肥皂泡，當管身離口時，即行收縮，說明其故。
10. 黑甲水蟲，如何能在池沼面上跳躍，甚至其足不陷入水面以下。

第七章 提要

應力者，作用於物體上之各種力也。

應力變形者，物體受應力作用而生之變形也。

虎克定律：在物質之彈性限度內，所生之變形與所施之力成正比例，此定律對於各種應力皆真。

彈性限度為使物體足永久形狀之最小應力。

折斷強度為使物體破壞之最大應力。

液體與氣體之擴散，及氣體之壓力，可用物質運動說以說明之。

第八章

作用貫於一點之力

以矢表力——力之平行四邊形——力之合成與分解
——求摩擦係數——對於帆船及飛機之應用。

125. 三力作用於一點。在機械或其他裝置中，往往有不平行之諸力，互相抵消而成平衡。例如有一

街燈，以張於兩柱間之線，懸之於街心，如圖 141 所示。

於此即有三力作用於一點而成平衡：第一力，為直垂

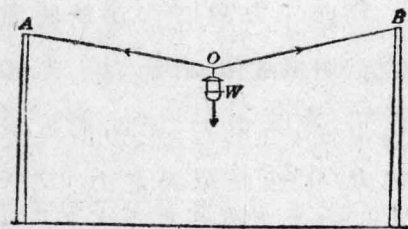


圖 141 三力作用於O點。

之牽引力 OW ，由燈之重量而來；第二力，為繩之一部份 OA 所施之牽引力；而第三力則為繩之他部份 OB 所施之牽引力。今將一察如此之三力，其大小及方向之間，須有何種關係存在，始得互相平衡。

126. 以矢表力。此三力若各以矢表示之，則於想像其情狀時，大為便利。如力之方向，即以矢之方向表之，作用點 (point of application) 以矢尾表之，而力之

閉時不發巨聲。

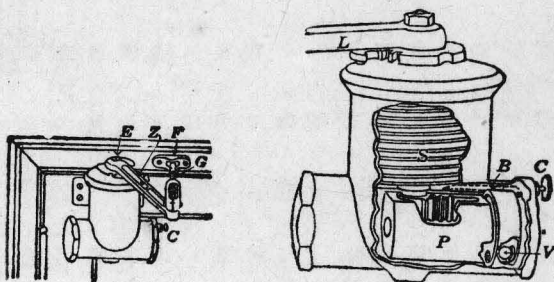


圖 140 自動閉門彈簧。

3. 平震器. 汽車上之平震器 (shock absorber), 有何效用? 試一查此種裝置之運用情狀, 其應用之原理為何?

4. 泥土中水之上昇. 取燈罩二, 充以泥土, 在一燈罩之頂端, 舖以厚約 2 吋之細而燥之鬆泥, 在他一燈罩之中, 則將泥團緊, 置各燈罩於盆水之中, 此實驗所證明者為何? 於耕種時, 如遇天氣乾燥, 如何可利用之以作救濟?

5. 空氣中擴散之速率. 在密閉之室中, 以若干磅精傾於溫暖之板上, 而令數人立於距離不同之處, 乃用按停錶決定臭味達於各人之速率 (每秒若干呎). 板之溫度與傳播之速率有影響否? 室內之溫度與此速率有影響否?

械，而作一完全之圖。作圖時先選定適當之比例尺，繼在 OA 上量一距離，相當於 OA 上之張力，而畫一矢線於 X ；同法在 OB 上定 Y 之地位，於是引 XB 平行於 OY ，引 YR 平行於 OX ，作成平行四邊形於 OX 及 OY 上。對角線 R ，顯為 OX 及 OY 之合力。因若量 OR ，而由所定力之比例尺，

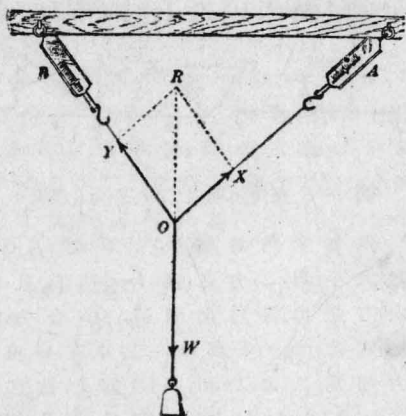


圖 144 證明力之平行四邊形之原理之實驗。

推算其所表之力之量，即見此合力 OR ，恰恰與第三力 OW 相等而反向，即 OW 與 OR 成平衡，亦即與 OX 及 OY 成平衡是也。

與二力成平衡所必需之力，稱為平衡力 (equilibrant)。如在前述之例中， OW 力即為 OX 與 OY 二力之平衡力。

交成任何角而作用之二力，如各表之以矢，則其合力可以作於此二矢上之平行四邊形之對角線表之。

當三力成平衡時，任二力之合力，與第三力相等而反向，故可視之為前二力之平衡力。

合力與平衡力大小相等，方向相反，且在同一直線上。

128. 合力視力與力之交角而定。欲決定二力或二以上諸力之合力，非惟須知其大小，並須知其相交之角。如一究大小相同而交角不同之二力，例如圖 145 所示，即可明瞭此事。從圖可見，當 OX 與 OY 之交角，

大小，則表以矢之長度，其單位以適宜之比例尺為準。

例如在圖 142 中，箭長三單位。若假定每單位代表 10 磅，則 OX 矢即表 30 磅之力，向東作用於 O 點。圖 143 表示二力 OX 與 OY 其大小各自為 30 磅與 40 磅，兩力均作用於 O 點， OX 向東，而 OY 向北。

若此二力同時作用於物體上之 O 點，則其結果猶如有一單獨之力，作用於 OX 與 OY 之間，而近於較大之力 OY 然，此單獨之力 OR ，所生之結果與 OX 及 OY 二力同，故稱爲此二力之合力 (resultant)。

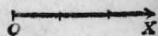


圖 142 向東作用之 30 磅之力。

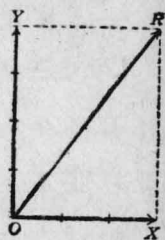


圖 143 互成直角之二力 OX 與 OY ，其合力爲 OR 。

127. 力之平行四邊形之原理。設於 OX 及 OY 上作一平行四邊形，則對角線 OR 即表合力，此可以下之實驗證明之。

取二彈簧稱 A 與 B ，懸之於黑板頂上線中之釘上，如圖 144 所示。今試以繩連二秤之鉤，而於繩之近中央之處，懸一已知之砝碼 W 。設在此三繩之後，於黑板上各畫一線，則各線即可計示各力之方向。今更注意各繩上之張力，即砝碼 W 之重量與彈簧稱 A 及 B 所示之度數。乃撤去此器

如圖 146 (a) 所示, 重量 W 爲 2000 磅, 而 AC 索上之張力爲 1500 磅, 試問 AB 所發之力當爲何?

解此類問題時, 以先作力之圖解 (force diagram) 爲便利, (圖 146 b), 其中 AW 表示重量 W 之牽引力, AC 表示繩索之牽引力, 而 AE 則爲起重機臂之抵撐力, 因此三力成平衡故可應用力之平行四邊形之原理, 今所欲求者, 爲 AC 與 AW 之合力 AR , 因 AC 與 AW 交成直角, 故知

$$\overline{AR}^2 = \overline{AC}^2 + \overline{AW}^2 = 1500^2 + 2000^2$$

即 $AE = 2500$ 磅。

是以 AB 所發之推力爲 2500 磅。

再假定有一重 100 磅之小兒, 在作鞦韆之戲 (圖 147), 一人用 20 磅之力, 推此小兒至一邊, 問繩索所發之牽引力, 其大小及方向爲何?

在力之圖解 (圖 147) 中, CW 表示小兒之重量 (100 磅), CP 表示此人向小兒推出之力 (20 磅), 而 CR 即表所欲求之繩索牽引力, CP 與 CW 之合力 CE' ,

等於 $\sqrt{CP^2 + CW^2}$ 即 $\sqrt{(20)^2 + (100)^2}$, 此數約等於 102 磅, 是以繩索上之張力, 亦爲 102 磅, 其方向如圖解中所示。

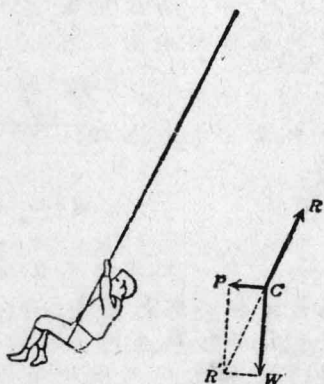


圖 147 作鞦韆戲之小兒, 有三力作用於其身上。

問答題與計算題

(在下列諸計算題中, 先用比例尺求解, 後用計算方法; 比例尺能作至如何大, 即作至如何大)。

1. 一力 8 磅向東, 又一力 4 磅向北, 求其合力。
2. 二力各爲 80 磅, 其作用之方向交成直角, 求其合

自180漸減至0°時,合力 OR 即漸增。

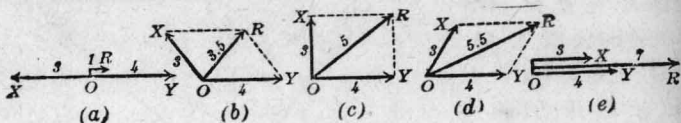


圖 145 交角不同之二力,合力 R 之大小,視 X 力與 Y 力之交角而定。

例如交角若為180°,如圖(a), OX 與 OY 二力反向,而合力之大小為二力之差,4-3即1,且作用於大力之方向內,即向右是也。當角度漸減, OR 合力即漸增,直至交角為0°時,如圖之(e), OX 與 OY 二力在同直線上,同方向內作用,而合力即為二力之和,4+3即7。當二力交成直角時,如圖之(c),合力之大小,可自關於直角之角形各邊之幾何命辭——即斜邊上之正方,等於兩股上之正方和是——以推算之。

是以

$$\overline{OR}^2 = \overline{OX}^2 + \overline{OY}^2$$

$$\overline{OR}^2 = 3^2 + 4^2 = 25$$

$$OR = 5$$

如遇斜角,例若圖145中之(b)及(d),則合力可由比例尺,或三角法以算得之。

求二或二以上諸分力 (component force)之合力,其法稱為力之合成 (composition of forces)。

129. 證明力之合力之例,假定有一起重機臂 AB ,連於壁上,

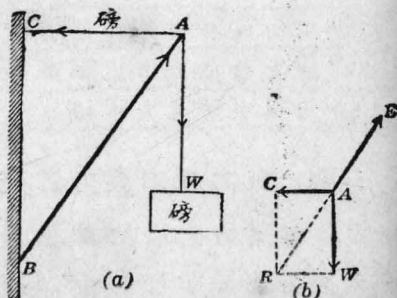


圖 146 三力作用於起重機臂外端 A 。

130. 力之分解. 力之合成之原理,可以逆用,設有一力,已知其大小與作用方向,即可求得他二力,按已知之方向與之成平衡,今試就懸於街心上面之燈而論之,以爲例(圖 141).若已知燈之重量,及繩索下陷之角度,即可算得繩上之張力.

例如,假定燈之重量爲 50 磅,而懸燈之繩 ALB (圖 150) 下陷時,使 ALB 與 BLR 兩角,皆爲 75° . 在圖解中,自 L 向下引 LW 矢,按任何適當之比例尺,以表示 50 磅之力,因兩繩必須將燈

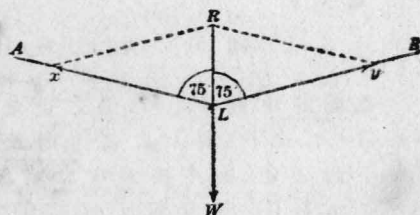


圖 150 作用於街燈上三力之圖解。

架起,故代表兩繩上張力之二力,其合力必與代表重量之力相等而反向,是以作 LR 與 LW 相等而反向,然後以 LR 爲對角線,作平行四邊形,使其邊平行於 LA 及 LB , Ry 係與 LA 相平行,而 Rx 則與 LB 相平行, Ly 表示 LB 繩上之張力,由量法求得約爲 96.6 磅,而 Lx 則表示 LA 繩上之張力,亦約等於 96.6 磅.

一力分解成與之適成平衡之二力,欲另舉一好例證,可就懸於托架上而自柱外伸之街燈,如圖 151 所示者而論之.

例如,假定有一重 50 磅之街燈 L ,以長 10 呎之剛桿 AB ,及縛於 PC 柱之 A 點以上 3 呎處之鐵索 BC ,自 PC 柱挑之

力。

3. 一力 10 磅向東，又一力 14.1 磅向西南，求其合力。

4. 二力各為 100 磅，交成 60 度之角而作用，求其合力。

5. 一小孩坐於鞦韆板上，漸為一力曳向一邊，此力作用於水平方向(圖 147)。

(a) 繩上之張力，是否增加抑減少？

(b) 水平之力是否增加抑減少？

畫圖證明汝之答語。

6. 有三力成平衡，其中二力各為 80 磅，且交成 120 度之角而作用，求第三力之大小？

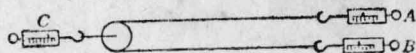


圖 148 三平行力。

7. 有一光滑而正在旋轉之滑輪(圖 148)，係用彈簧稱 A, B 以及 C 支持之。設 A 稱上所示者為 400 克，則 (a) 當自 A 與 B 引出之繩互相平行時，其他兩稱上所示之度數為何？(b) 當二繩交成直角時，為何？

8. 在正方形花壇之四隅，立有四柱，鐵絲繞其外而為其所支，如圖 149。若將鐵絲綑緊，至各點之張力為 20 磅，則在每柱上之牽引力，其大小及方向為何？

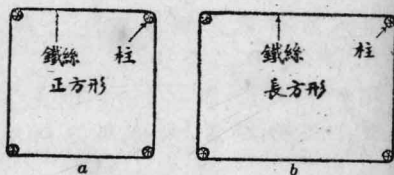


圖 149 作用於柱上之力。

若花壇之形為長方，答案仍同否？試說明之。

9. 有一 4 磅重之鉛錘，縛於繩端，而曳於正在駛行之船後，繩與水面成 45 度之角。問 (a) 水對於鉛錘所施之力為何？(b) 繩上之張力為何？

130. 力之分解. 力之合成之原理,可以逆用.設有一力,已知其大小與作用方向,即可求得他二力.按已知之方向與之成平衡.今試就懸於街心上面之燈而論之,以爲例(圖 141).若已知燈之重量,及繩索下陷之角度,即可算得繩上之張力.

例如,假定燈之重量爲 50 磅,而懸燈之繩 ALB (圖 150) 下陷時,使 ALR 與 BLR 兩角,皆爲 75° . 在圖解中,自 L 向下引 LW 矢,按任何適當之比例尺,以表示 50 磅之力.因兩繩必須將燈

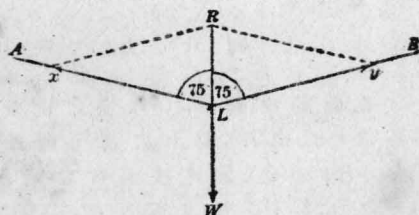


圖 150 作用於街燈上三力之圖解。

架起,故代表兩繩上張力之二力,其合力必與代表重量之力相等而反向,是以作 LR 與 LW 相等而反向.然後以 LR 爲對角線,作平行四邊形,使其邊平行於 LA 及 LB , Ry 係與 LA 相平行,而 Rx 則與 LB 相平行. Ly 表示 LB 繩上之張力,由量法求得約爲 96.6 磅,而 Lx 則表示 LA 繩上之張力,亦約等於 96.6 磅.

一力分解成與之適成平衡之二力,欲另舉一好例證,可就懸於托架上而自柱外伸之街燈,如圖 151 所示者而論之.

例如,假定有一重 50 磅之街燈 L ,以長 10 呎之剛桿 AB ,及縛於 PC 柱之 A 點以上 3 呎處之鐵索 BC ,自 PC 柱挑之

於外，問 BC 索上之張力爲何？

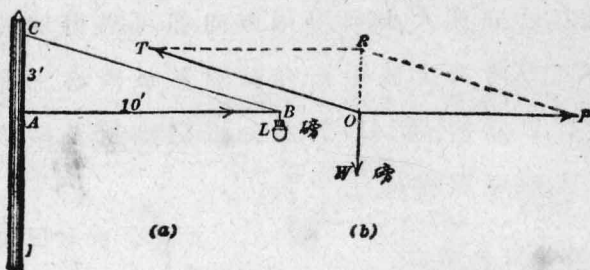


圖 151 三力作用於懸於托架上之街燈。

在圖解中(圖 151 (b)),燈之重量表以 OW , AB 桿之抵拒力表以 OP , 而 BC 索上之張力則表以 OT . 因已知 OW 一力之大小(即 50 磅), 故可按適當之比例尺而作之, OP 與 OT 之合力, 必須與 OW 等量而反向, 是以使 OR 等於 OW , 而與之相反, 於是以 OR 爲對角線, 完成平行四邊形, 即得 OP 表示 AB 桿向燈抵拒之力, 及 OT 表示 BC 索上之張力, 設將此二線與比例尺細較, 即知張力爲 174 磅, 問抵拒之力 OP 爲何?

概言之, 凡單力皆可分解成二力, 作用於已定之方向, 祇須作一平行四邊形, 使其對角線表示此單力, 而其兩邊則在已定之方向內, 即得。

131. 在已定方向內之分力. 若已知一力, 則可求得他二力, 其中一力表示已知力在已定方向內之全效

例如在圖 152 中, 見有運貨船 AB , 正以 BC 牽曳之而行, 沿 BC 纜之力, 即可分解爲二力, 其一爲 BE , 乃

曳船循河前進之有效力，又一為 BD ，與 BE 交成直角，乃無用之力，或竟較無用更有弊害，因其有推船向岸之傾向也。 BC 之有效分力 BE ，可計算以得之，祇須

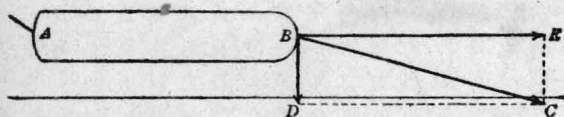


圖 152 作用於運貨船上之力 BC ，其有效分力為 BE 。

按比例尺作 BC 力，然後以 BC 為對角線作一長方，如 $BECD$ ，即得。

132. 關於解實用問題之提示。力之平行四邊形之原理，為研究力學之基礎之一，藉幾何上之圖解而述此原理時，似屬簡單；但遇以此原理，用於起重機，橋樑，或屋頂之結構時，即覺難於着手，其故在於解實用問題之際，鮮能求得小至足以視為一點之物體，諸力即作用於其上。然物體雖大，仍可用此方法，以解各項問題。因若物體為三力所制而靜止，則三力之作用線 (lines of action)，如延長之，必相交於一點，如圖 153 (a) 所示。若有三力作用於物體，而不合此條件者，如圖 153 (b)，則物體即行旋轉。故物體縱大，亦可視諸力係作用於物體內之一點然。

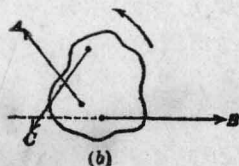
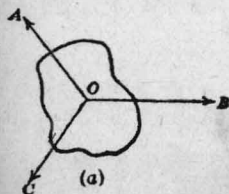


圖 153 靜止(a)及旋轉(b)之條件。

解實用問題時之另一困難，為不易揣想作用於任何已知物體之一切諸力（抵抗或牽曳之力）。一樑或一桿，雖未移動，恐亦正在行其或推或曳之舉。由實驗，知作兩圖解相並，可收臂助之效。其一應為物體自身之簡圖，離其四週各物而獨立。此簡圖應顯示向度，角度，以及作用於此物體上一切諸力之方向與作用點。至於此物體自身或正在施於他物體之任何力，則可不必計及。但物體之重量，不可遺忘。第二圖解須顯出力之本體，各表之以矢，起於公共之一點，而合於比例尺，此外更作必要之輔助線，以得所需之平行四邊形與合力，如是而已。

全作

計 算 題

（解此諸題，請用大而精密之圖解，並於可能範圍內，由計算以復驗所得之答數）。

1. 已知有 100 磅之一力，向北作用。分解此力成二力，一向東北，而他一向西北。
2. 已知有 100 磅之一力，向北作用。分解此力成二力，一向西北，而他一向東。
3. 一力 12 磅，正在向東牽曳，試分解之為二力，使其一為 4 磅而向東南牽曳。
4. 一動滑輪支持 120 磅之重物，如圖 154 所示。若跨輪之繩，其兩節交成直角，則繩上之張力為何？若角度增大，則張力將受若何之影響？

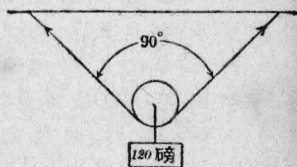


圖 154 繩上之張力為何？

5. 某人推刈草機 (lawn mower) 前進 (圖 155)，用 60 磅之力貫之於柄，柄與地面，斜成 30 度之角。(a) 此力之有效分力為何？(b) 若柄與地面，斜成 45 度之角，則有效分力為何？
6. 一 V 形之水槽，其兩面交成 90 度之角，中置一光滑之球，重 20 磅。問此球施於水落各面之垂直力為何？

7. 已知有100磅之一力，向北作用。試將此力分解為二力，交成直角，而其一為他二之。

8. 有一缸之法碼一枚，懸於二枳之繩之中點，繩之兩端，縛於天花板上相距一枳之二鈎上，問各鈎所受之曳力為何？

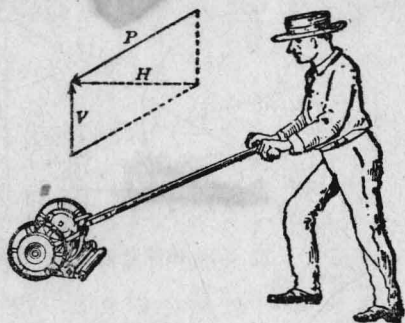


圖 155 某人前推之有效分力。

9. 有麵粉一罐，重200磅，止於滑材之上(圖156)。設滑材與地面斜交而成30度之角，則(a)使此罐靜止之人，須發出平行於斜面之力為何？(b)滑材施於罐上之(垂直)力為何？

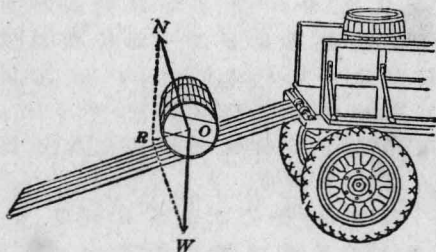


圖 156 作用於滑材上之罐上之諸力。

10. 一重50磅之球，止於高2呎而長5呎之斜面上，問(a)重力之有效分力，使球沿斜面滾下者為何？(b)球按直角壓向斜面之力為何？

力之平行四邊形之應用

133. 斜面上之摩擦。當物體置於斜面上時，摩擦即有阻滯其滑下之傾向(圖157)。若傾斜之角甚小，則摩擦即足以阻止物體之自斜面滑下。

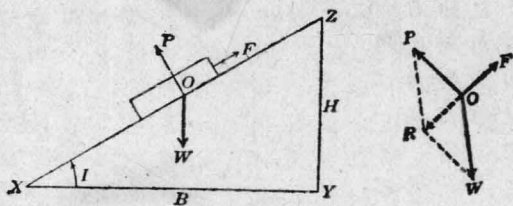


圖 157 摩擦適足以保持重物於斜面之上。

例如，有一電車在斜坡之上，運轉其制動機，使車停止。則斜坡須有若何之斜度，始可使車不滑下？

在圖解(圖 157)中，命 OW 表示車之重量， OP 表示斜面向車身之壓力，而 OF 表示阻滯車動之摩擦。當此三力成平衡之時， OP 與 OW 之合力——即 OR ——必為一相等之力 OF 所反抗。今 OF 永不能超過視壓力與摩擦係數而定之極限值，壓力乃身重之一部份，視斜度而定，而摩擦係數則由路軌之情形以決。但合力 OR 則因斜面之愈峻而增加，故當斜面峻峭之勢增加時，終至 OR 大於 OF 所能有之值，而車乃滑下。若知輪與軌間之摩擦係數，即可算出適可使車不滑下之斜度。

命圖 157 所示者即具此斜度。摩擦係數之定義(第 56 節)，已知為摩擦與壓力間之比，故在此例，得

$$\text{摩擦係數} = \frac{OF}{OP} = \frac{OR}{OP}$$

由幾何學，知三角形 OPR 與 XYZ 為相似形，蓋其三角各自相等也，從而知

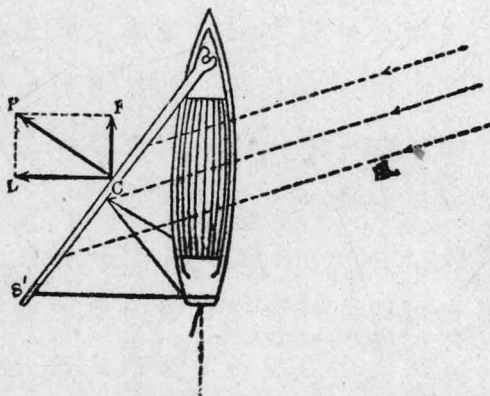
$$\frac{OR}{OP} = \frac{H}{B} = \frac{\text{斜面之高}}{\text{斜面之底}}$$

是以

$$\text{摩擦係數} = \frac{\text{斜面之高}}{\text{斜面之底}}$$

欲測定滑動摩擦係數，用此法頗覺便利。

134. 逆風行舟之情形. 命圖 158 表示一舟, 舟

圖 158 逆風行舟之情形. CF 力為 CP 之有效分力.

之帆,以及風之方向.此等之風,常見其推舟向前,罕有迫舟後退者.吹向斜帆 S' 之風,偏折而生一垂直於帆面之力.在圖解中,此力可表之以 CP 矢. CP 力又可分解為二分力:其一為 CF ,乃有用之分力,平行於舟之龍骨而向前直指;他一為 CL ,乃無用之分力,有使舟側傾而橫行之傾向.如龍骨頗深,或於舟傍放一闊板入水,則此種側向之運動,即大受阻礙.故風之全效,仍為驅舟前行.

135. 飛機與海上飛行機. 在世界史上,第一次成功之長途飛行,為雷脫 (Wright) 兄弟所開創,時在一九〇三年之十二月十七日.自是以後,飛行機械之

構造，日趨完善，成爲戰時之有力武器，並可用以偵察森林起火之所在地，窺探海中魚羣之聚藏處，便利無比，而在商業運輸上之需要，尤日見增加，郵件之往來，亦由飛機，而在歐洲則每日按定時開行之飛機，其航空路線，已縱橫交錯，遍及全洲矣。

雙翼機 (biplane) 爲流行之式；其機有二翼，上下相重，各翼皆長而狹，行動時長邊向前，此種形式，已知其所發每方呎之浮力，遠較其他形式爲大，巨大之單翼機 (monoplane)，即機身之兩側，各具一單翼者，顯爲將來通行之式 (參閱本書裏封面)。其翼頗厚，足使翼身不藉他物之支持而極堅固，且往往蒙以金屬之薄層，以代通行之綢布。

推進機係用輕而動力甚大之油引擎直接使之運轉，例如雷脫旋風發動機 (Wright whirlwind motor) 即是 (圖 159)。在小型飛機中，機前有一推進機，其功用在曳機前進。在大型飛機中，則有引擎三具，各使一推進機運轉。

飛機身下，有二或多輪，故可起落於任何平滑之廣場上。海上飛行機 (seaplane) 則有不透水呈船狀之機身，故可起落於海面之上，通常又有較小之船狀浮

子,連於下翼之各端下,使機身在停飛之時,得保平衡。

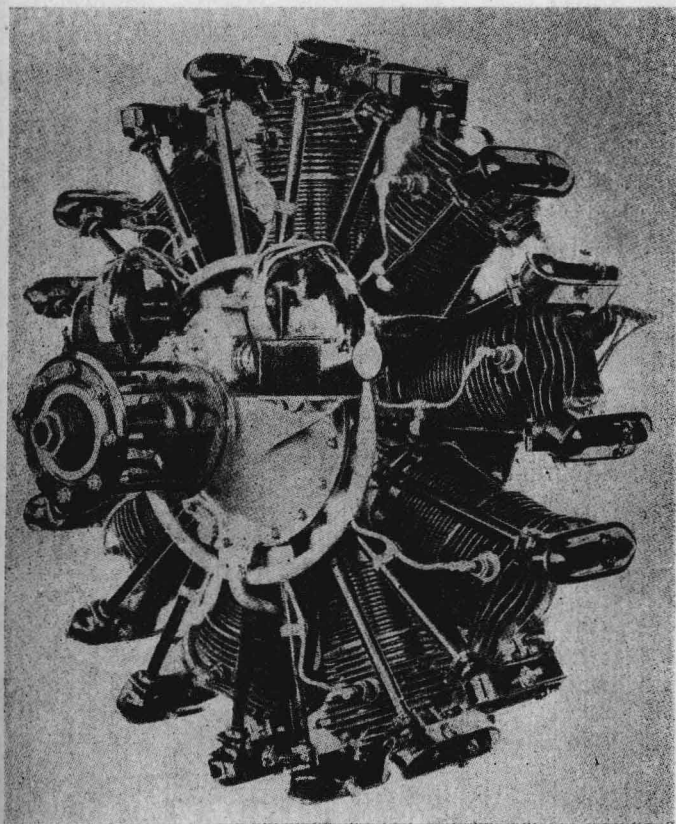


圖 159 在飛機上廣用之雷脫旋風發動機,此機有200馬力,具汽缸九隻,乃輻射式(radial type)之空氣冷卻引擎(air-cooled engine)。

136. 支持飛機者如何? 氣球之所以上昇者,球與其中所儲之氣體,其重量略遜於所排空氣之故也。

然飛機則遠較其所排之空氣爲重。故支持之者，僅爲抵抗機翼之空氣之上壓力耳。

此作用頗與風箏乘風上飄相似。流動之空氣，擊於斜傾之風箏下半面，折而向下，即發生幾垂直於風箏面之一力。由此力與風箏索之牽曳力，即得一合力，直向上而適與風箏之重量相平衡。

就飛機而論，亦有空氣急流過翼，惟此則由飛機平身行經空氣所致，

而在風箏則因風而來耳。此急流之空氣，折向下方，而生一力 OP ，推向翼面，且與之殆成垂直（圖 160）。

又有前推之力 OF ，爲推進機所發，此力殆與風箏索之引力相當。此二力有合力 OR ，向上直指而與飛機之重量相平衡，一如風箏然。設推進機

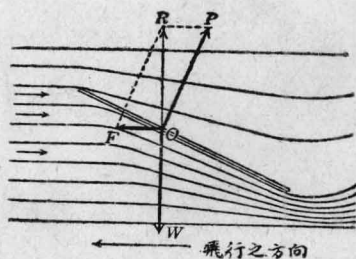


圖 160 作用於飛機翼之諸力。

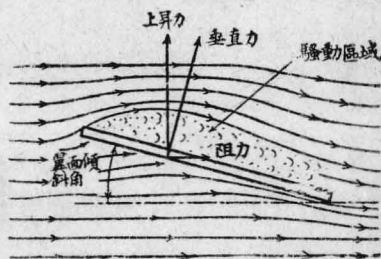


圖 161 運動之平面之圖解。

之速率增加，則前推之力 OF 與空氣向翼推擊之力 OP ，亦增大，於是向上之合力 OR 即大於飛機之重量而機乃上昇。

傾斜之平面，迫之行經空氣時，其當先一邊後方之空氣，即有一部份發生騷動(圖 161)。空氣之阻力，即因此騷動而增加。由實驗，若使翼身彎曲，如圖 162 所示，則此所謂層形翼 (cambered wing) 者，可使騷動減少，而發生如波線所示之空氣流。其結果，因翼首 (leading edge) 上半面之彎曲，空氣流即自翼背上騰，然後折而向下，因此翼面所受之壓力減少，而浮力增加。有時浮力之因此翼背上之負壓力 (吸力) 而來者，幾佔全力之四分之三焉。易言之，即翼背被曳而起，而翼腹被推而上也。近代飛機之翼，於製造之時，常使其背較曲於其腹，如圖 163 所示。此種式樣，乃由多數實驗與計算而得，可使所生之浮力，適合舉重之所需，而空氣之阻力，亦因以大減，且在同時又具有構造上所需之強度焉。

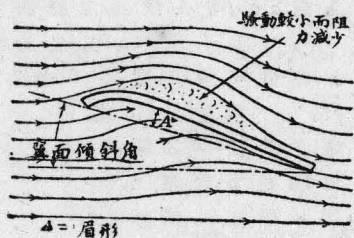


圖 162 弧狀翼之圖解。

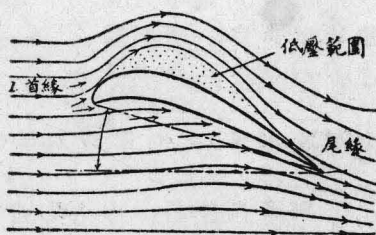


圖 163 飛機翼週圍空氣狀況之圖解。

計 算 題

1. 圖 164 示一簡單之起重機，當重量 P 為一噸而

BAC 角為 45° 之時，求 BC 上之張力及支拒 AC 之推力。

2. 在圖 152 內，若運貨船之 B 點，離絳路 10 呎，而有 200 磅之力，施於 50 呎之絳繩上，則有效分力為何？

3. 一熨斗在熨衣板上滑行時，摩擦係數為 0.18，問 5 呎長之熨衣板，其一端須舉至如何高，始可使熨斗適能自滑？

若熨斗重 8 磅，則在傾斜之熨衣板上，摩擦力為何？

4. 一童子重 120 磅，坐於懸床之上，懸床之二索，與直垂線各自成角 30° 與 60° ，各繩上之張力為何？

5. 一鋼樑長 10 呎，其一端支於壁中之剜形上，而他端則吊於鍊上，如圖 165 所示。假定此樑每呎重 40 磅，而各端承其重量之半，試求鍊上之張力。

6. 若 5 題中之鍊，其縛於壁上之一端，離樑僅 5 呎，則鍊上之張力將為何？在如此之位置，鍊之張力遠較在題 5 之位置為大，何故？

7. 用 5 呎之繩，曳一有負荷之雪車，行於雪上，如於水平方向牽曳時，須用力 6 磅，今若將繩端舉起，較雪車高 3 呎，則須用力若干？

8. 一石重 160 磅，以 20 呎之繩懸之，繩端縛於樑上，若以水平之力，曳石使離直垂線 12 呎，求 (a) 力之大小，及 (b) 繩上之張力。

9. 二繩互成直角，共支一重物，繩上之張力，各自為 42 磅與 56 磅，求 (a) 二繩所支之重量，及 (b) 二繩與直垂線所

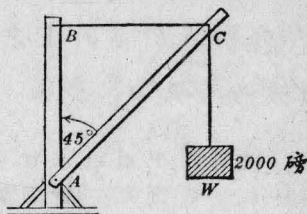


圖 164 簡單起重機。

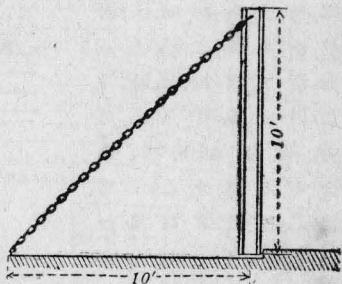


圖 165 支於壁上之樑。

成之角。

10. 以竹竿推窗使起，竿與直垂線斜成 30° 之角。若沿竹竿所拖之力為 12 磅，則 (a) 使窗上昇之力為何？ (b) 使窗抵於檻上之力為何？

11. 持滾石機之柄，曳之上昇於斜面，使柄與斜面常相平行。如滾石機之重量為 224 磅，而斜面對於水平線之傾斜為 30° ，(a) 決定必須施於柄上而與斜面平行之力。(b) 滾石機拖於斜面之力為何？摩擦之效應，略去不計。

第八章 提要

力可表之以矢，其長按比例尺定之。——

方向以矢頭指示之。

作用點以矢尾指示之。

力之量以長度指示之。

力之平行四邊形：

二力之合力，為以表二力之矢為邊，所作平行四邊形之對角線。

二力之平衡力，與此二力之合力相等而反向。

力之分解：

一單力可分解為作用於已定方向之二力，祇須作一平行四邊形，使其對角線表此單力，而其兩邊在已定之方向內。

設平行四邊形為矩形，則其一邊即表該方向內之有效分力。

若三力作用於物體而成平衡，則其作用線必經一點，或相平行。

問 答 題

1. 將刈草機推經長草時，為何把柄使下？
2. 以拖拂揩拭地板，推之較曳之為難，何為？
3. 以繩縛於煙囪之頂，欲曳之至地，繩宜短歟，抑宜

長歟?作二圖以說明之。

4. 有畫一幅,設以繩縛於其兩側而懸之,則於繩長之時,抑於繩短之時,宜用較為堅固者?

5. 測量家測量距離,欲得極準確之結果時,常用彈簧稱連於其所用鋼製卷尺之兩端而張之,何故?作用於卷尺之力為何?

第九章

加速運動

速率與加速度——定加速度之運動之規律——落下爲定加速度之運動——重力加速度之值——拋射體。

137. 平均速率。設一人於3小時內步行12哩，則謂此人平均每小時行4哩。實則在其行程中任何特點，彼或前進較速或較遲無疑；惟彼之平均速率，或平均速度，乃每小時4哩耳。概言之，

$$\text{平均速率} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}.$$

設已知一汽船之平均速率爲每小時22哩，則以全日之小時數乘平均速率，即得此船一日所行之路程爲 $22 \times 24 = 528$ 哩。

速率表

	每小時哩數	每秒呎數	每秒呎數
軍隊之進行	3	4.4	1.3
運動家(一英里賽)	14	20.5	6.3
同上(百碼賽)	20.4	30	9.1
海船	27	39.6	12.1
特別快車	50	73.5	22.4
颶風	110	162	49
飛機	194	285	87
聲音	750	1100	335
來福鎗彈	1360	2000	610

表示速度有種種不同之法；如謂汽車以每小時 25 哩之速度進行，大汽船每小時行駛 18 海里 (knot, 或 nautical mile, 一作浬)，以及來福槍彈每秒飛行 2000 呎等。工程師與其他科學界中人，常用每小時之哩數 (哩 / 小時)，每秒之呎數 (呎 / 秒)，或每秒之糎數或呎數 (糎 / 秒，或 呎 / 秒)，以表速度。前表中所載者，即係速度之數種特例可供參考，

計 算 題

(解此諸題時，必要時可用速度表中所載之已知數。)

1. 每秒若干呎，同於每小時六十哩？(此數能記憶之最佳。)
2. 在紐約或芝加哥之緯度處之人，因地球自轉之故，實際上正在以每小時 775 哩之速度，向東進行。問每秒進行若干呎？
3. 於第一次飛越大西洋時，在 15 小時又 57 分內，行徑 1890 哩之路程。問平均速度為每小時若干哩？
4. 在一九二八年舉行之動會中，一萬米賽跑之記錄為 30 分又 18.8 秒。問以每秒之呎數所表之速度為何？以每秒之呎數所表之速度又為何？(1 呎 = 3.28 呎)
5. 一人以來福鎗射擊半哩外之靶。問在開鎗後若干時，鎗彈擊靶之聲始達於此持鎗者之耳？

138. 變動之速度。 當列車自站開行時，其速度漸增；而當其將達應停之站時，其速度又漸減。可見列車之速度，並不一致相同，而因中途停止以及路面傾

斜各異之故，時在變動。負重之雪車，自高山之頂滑下時，其速度漸增；但當其達於山底之平地上時，車行即轉緩而速度漸減，終至停止。其速度自零起漸增而達於最大值，然後漸減而復為零。同樣，自大砲射出之彈，或引擎之活塞，其速度亦不一致相同，而時在變動。

往時警士欲決定汽車在任何點之速度時，恆在該點之附近處，量出適當之距離，而測定汽車行過此一定距離所需之時間。例如量定距離——此距離有時稱之為“試車界” (trap)——為四分之一哩，而測得之時間則為 20 秒，即知速度為每分鐘四分之三哩，或每小時 45 哩，但如駕車者留意於此試車界，則在入界之初時，苟車行過速而易於肇禍者，即可將車行之速度放緩，而使通過此量定距離之平均速度，在限度以內，故欲查察此等駕車者，即欲知其在任何點行車之速度之較確值，須使所定之距離，在可以精確測定時間之範圍內，儘量縮短。

近時之車務警士，見有駕汽車而疾馳者，即乘自動腳踏車尾隨之，閱其自駕之車上，所裝速度計 (speedometer) * (圖 166)，即可決定前車在任何一瞬間之

*此器所據之原理，將於 378 節中討論之。

速度。

139. 加速度。乘坐電車，遇車之開行或停止過驟時，實覺大殺風景。由此即發生速度變動率之計量問題，此速度變動率稱為加速度 (acceleration)。今已知靜止

之電車開行時，如使其速度緩緩增加，在10秒後增為每小時15哩，則對於乘客並無不適。假定此速度之增加，係按一定之率——在本書中，祇論及定加速度——則電車之速度，每秒增加每小時1.5哩，或因每小時15哩即係每秒22呎，亦可謂每秒速度之增加，為每秒2.2呎。

概言之，

加速度 = 每單位時間速度之變動。

加速度常以每單位時間若干速度單位表示之。因有多種不同之速度單位——例如小時哩 (miles-per-hour, 即每小時之哩數之略稱, 下仿此), 小時杆, 秒呎, 以及秒糎——故表示同一加速度之法亦甚多。例如前述電車之加速度, 可表之為



圖 166 汽車速度計，指示速度及車行之哩數。

速度單位	時間單位
1.5 小時哩	每秒
或 2.4 小時杆	每秒
或 2.2 秒呎	每秒
或 67.0 秒裡	每秒

凡此諸語，其意均同。工程師有時用前二式以表加速度；其他科學界中人，通常用後二式較多。為便利計，恆將“秒秒呎”縮寫為呎/秒²，而將“秒秒裡”縮寫為裡/秒²；但此縮寫之式，不過各表每秒所增之若干速度單位而已。

140. 正負加速度。 當速度正在增加之時，則謂加速度為正，而當速度正在減少之時，則加速度為負。例如球自塔下墜，愈降愈速；球之加速度即為正。然在擲球向上時，則愈升愈慢；球之加速度即為負，或稱之為減速度 (retardation)。

按定加速度自靜止出發之運動定律

141. 速度對於時間之關係。 若知任何物體之加速度，即易於計算其出發若干時後之速度。

例如列車之加速度若為每秒 0.2 小時哩，試問在車行一分鐘後，其速度為何？

一分等於 60 秒。設列車每秒增加速度 0.2 小時哩，則其速度在開行 60 秒後，將為 0.2 之 60 倍，即每小時 12 哩。

定律 I. 若加速度一定，則所得之速度與時間

成正比例

若物體自靜止出發，即有

終速度 = 加速度 × 時間

$$v = at. \quad (1)$$

142. 距離與時間之關係。假定有一雪車於下山之際，按一定之率增其速度。設其加速度為每秒 3 呎，則於自靜止出發後最先五秒之內，其速度為何？吾人早已知其在第五秒末之速度為每秒 5×3 ，即 15 呎。今此車係自靜止出發者，即其初速度為零，而其速度漸漸增加，直至其終速度在第五秒末者為每秒 15 呎。故其平均速度為其初速度與終速度之半和，即每秒 7.5 呎。

$$\text{平均速度} = \frac{\text{初速度} + \text{終速度}}{2}$$

在 137 節中，已知運動所經之距離，等於平均速度與時間相乘之積。

故於此例，雪車行經之路程為 7.5×5 ，即 37.5 呎。

概言之，自靜止出發之物體，其平均速度為終速度之半：

$$\text{平均速度} = \frac{1}{2} v.$$

但已知終速度爲 $v=at$ ，然則

$$\text{平均速度} = \frac{1}{2} at.$$

是故距離爲

$$s = \frac{1}{2} at \times t$$

$$\text{即 } s = \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{II})$$

定律 II. 若加速度一定，自靜止出發所經之距離，與時間之平方成正變。

於應用此定律時，加速度應表之以呎 / 秒²，或呎 / 秒²，或呎 / 秒²，而 t 則表秒數。

143. 速度對於距離之關係。在 129 節表中提及之電車，假定欲知其自靜止開行後，經若干距離，始有每小時 30 哩之速度。因此問題所涉及者，祇速度，距離，以及加速度，故以列一方程式祇含 v , s ，以及 a 者爲便。

由方程式 (I)，得

$$t = \frac{v}{a}$$

更由方程式 (II)，得

$$s = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} a \times \frac{v^2}{a^2} = \frac{v^2}{2a}.$$

於是

$$v = 2as$$

(III)

定律 III. 若物體由靜止出發而加速度一定,則速度與所經距離之平方根成正變.

由方程式 (III), 可解關於電車之問題.

已知 $v =$ 每小時 30 哩 = 每秒 44 呎,

又知 $a =$ 每秒 2.2 秒呎.

$$\text{於是 } s = \frac{v^2}{2a} = \frac{44^2}{2 \times 2.2} = 440 \text{ 呎.}$$

注意每小時 30 哩與每秒 2.2 秒呎, 不可直接代入式中, 因內含兩種不同之時間單位——即小時與秒——與兩種不同之距離單位——即哩與呎——故也.

概言之, 凡代入方程式之諸量, 必先表之以相合之單位 (consistent units) 始可.

於此有一事必須憶及, 即此所述之諸律, 祇對於由靜止出發之物體有效是也. 方程式 (I), (II) 及 (III), 能記憶之, 可以節省時間. 又有可注意者, 即就 v 與 t , s 與 t , 以及 v 與 s 各對之數量, 皆各有一方程式是也. 採用方程式時, 常取其可自己知數直接求得所需數者.

144. 負加速度. 假定有一工程師, 正在以每小時 50 哩之速度駕車前進時, 遙見路軌上 200 碼以前處, 有一小孩. 若彼之緊急空氣制動機, 可使車得每秒

4 秒呎之減速度,則彼能否使車及時而停?

於此所述者為減速度,即負加速度之問題.今試用逆推之法以解此題.蓋此工程師若能按已定之減速度,在已定之距離內,使車停止,則在同距離內,按等值之加速度,亦能使車得此速度,其事甚明.故可改問此工程師能否按每秒 4 秒呎之加速度,在 200 碼內得每小時 50 哩之速度.二問之答語實相同.

因所關之數量為速度 v , 與距離 s , 故用方程式(III).

已知 $v = \text{每小時 } 50 \text{ 哩} = 73.3 \text{ 呎/秒}.$

及 $a = 4 \text{ 呎/秒}^2.$

於是 $s = \frac{v^2}{2a} = \frac{(73.3)^2}{2 \times 4} = 672 \text{ 呎} = 224 \text{ 碼}.$

故知此工程師不能使車及時而停.

問答題與計算題

1. “等速運動”(uniform motion)與“等加速運動”(uniformly accelerated motion)間,有何不同之處? 試各舉一例以明之.

2. 列車自站開行,按每秒 0.5 小時哩之不易之率,增其速度.問在若干分鐘內,車行可達每小時 45 哩?

3. 一汽車正在以每小時 30 哩之速度前行.運轉制動機,車即於 10 秒內停止.問減速度(a)以每秒若干小時哩表之為何?(b)以每秒若干秒呎表之,則為何?

4. 使物體由靜止出發,於 6 秒內移經 99 呎之距離之加速度為何?

5. 欲使飛機在開行半分鐘內,得每小時 60 哩之速度,所需之加速度(每秒若干秒呎)為何?

6. (a)一物體由靜止出發,在第一秒中行經 12 呎,問其加速度爲何?(b)此物體在第一秒末之速度爲何?

7. 自靜止出發而常受固定力作用之某物體,若在第一秒內移動 4 呎,則在第三秒內,移動若干呎?

8. 一硬橡皮之平圓盤,在冰上以每秒 50 呎之速度出發,若對於冰之摩擦,使之每秒減速 4 呎,則可行至若何遠?

9. 一車以等加速運動自斜軌上開始下馳,在 6 秒內所歷之距離爲 24 呎,求其(a)加速度, (b)在 6 秒末之速度, (c)在 6 秒間之平均速度。

10. 一汽車裝有頗佳之制動機,可按每秒 8 呎之率,使之減速,此車在以每小時 30 哩之速度進行時,需如何長之距離以使車停?

11. 一快汽船按每秒 0.4 呎之定加速度,自靜止出發,問此船在離其出發點若干呎處,乃達每小時 15 哩之速度?

12. 在某種制動機之廣告中,載有(a)每小時行 15 哩之汽車,可在 20.8 呎內停止;及(b)每小時行 30 哩之汽車,可在 83.3 呎內停止,試計算二者之加速度(呎/哩²)。

13. 一礮長 20 呎,礮彈出口時之速度爲 2500 呎,(a)加速度爲何?(b)礮彈行經礮身需時若干?

14. 一汽車正在按每小時 30 哩(每秒 44 呎)之定速度進行,當其行經一停止之自動腳踏車時,後者即開始出發,加速度爲每秒 8 呎,問 (a)後者在若干秒內可以追及汽車?(b)在追及時其速度爲何?

145. 落下乃等加速運動. 在實驗室內,可以決定物體落下不同距離之時間,連行此種實驗數次會得數如下:

距離	時間	時間之比
36 呎	0.272 秒	3
64 呎	0.363 秒	4
100 呎	0.452 秒	5
144 呎	0.542 秒	6

上述諸距離，可見其幾與時間之平方恰成正變，例如 36 對 64 之比，等於 3^2 對 4^2 之比。此關係在加速度不變之例，適已見及之矣（參閱定律 II）。故落下亦爲等加速運動之例。

自由落下之物體，速度增加甚疾，故難於直接觀察之。古時伽利略曾使一球自斜面上滾下，以研究落下物體之規律。用此方法，重力減小而落下時間增長，故測之較爲準確焉。

146. 伽利略之斜面實驗。 伽利略在長 12 碼之板上，挖一寬一吋之槽，而使一銅球在槽中滾下。就種種不同之斜度與距離，試之約百次以後，伽氏乃斷定就一定之斜度，落下之距離殆依時間之平方而正變。今如一考伽氏測時之法，則知彼於此實驗之得慶功成，殊屬非凡。彼於水壺之底開一甚小之口，而在銅球滾下已知距離之時間內，以杯盛由壺流出之水。於是權水之重，而按所定重量之比例，以決落下之時間焉。

伽利略之此諸實驗，其尤足動人之處，乃在伽氏因之而變更其關於落下物體之距離與時間之理論。古代哲學家之必欲以實驗試其理論者，伽氏似為第一人云。

147. 凡自由落下之物體，其加速度均同。於一五九〇年，人民仍信重物之下落，較輕物為速；易言之，即以爲落下體之速度，視其重量而定是也。但伽利略則堅持凡物體若不爲空氣所礙，則在同時間內，落下同一之距離，至於若干物體，如紙片毛羽等類，其所以落下較緩於金屬或錢幣者，唯一之原因，在於空氣之抵抗而已。伽氏因欲見信於其懷疑之友伴，乃登碧剎 (Pisa) 斜塔之巔，而令大小不同，質地相異之球，在同時落下。塔下之人，皆見諸球同時脫落，同時下降，並聞同時擊地之聲。其中有因而信服者；有返家查考古哲學家阿里士多德 (Aristotle) 之書，而不信任其感覺之可靠者。

其後真空唧筒發明，伽利略所見之真理，乃由使羽毛與錢幣同在真空管中落下而證實。

設以金屬一片與輕微之物體，例如紙片，或通草球，或羽毛之類，同置於長玻管中（圖 167），而抽出管中之空氣，則

於急遽將管倒轉之時，即見兩物相並，自管頂落至管底。若開放管側之塞子，復令空氣入管，而再作此實驗，即見金屬先落至底。

148. 重力加速度之值。 自測定自由落下時間之實驗所得諸已知數（145節），即可決定重力加速度之值；而自使球滾下斜面之實驗所得之已知數，亦可計算此常數之值。然由此二法所得之答數，皆不及用擺實驗而得者為精確。

擺之用為調整鐘之運動之具，眾所熟知，其連續擺動之時間相等，即係古時伽利略所發見；伽氏並知擺動之時間，與擺錘之重量，性質，以及擺動之修廣均無關係，惟依擺長之平方根正變，而依重力加速度之平方根反變。此可表為公式如下：

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

式中 t 為擺動一次所需時間之秒數， l 為擺長之槓數， g 為重力加速度之每秒若干秒槓之數，而 π 則為

3.1416

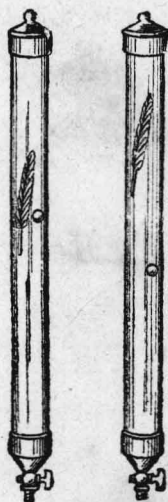


圖 167 羽毛與錢幣在真空管中一同落下：

t 與 l 可以直接測定，而 π 則為已知數，因此可自此公式計算 g 之值，即

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$$

是也。

重力加速度之值，約為每秒 980 秒呎，或約為每秒 32 秒呎。此數因處地之不同而略有變動。

關於落下物體之問題，正與其他論及定加速度之問題相同。在方程式中常用 g 以表 全力加速度。

是以就自由落下物體之自靜止出發者而論，即有

$$v = gt,$$

$$s = \frac{1}{2}gt^2,$$

$$v^2 = 2gs.$$

在圖 168 中，所示者即係自由落下物體在連續數秒內所歷距離之呎數，以及每秒末所得速度之秒呎數。由圖可見在第一秒中所經之距離 AB 為 16 呎，在第二秒中所歷之距離 BC 為 48 呎，第三秒中所經之距離 CD 為 80 呎，等等。此連續之諸距離，與奇數 1, 3, 5, 7, 9, 等等成正比例。

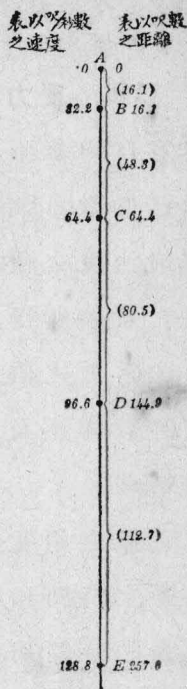


圖 168 自由落下之球。

欲將物體向上拋至已知之高度,其所需之速度與物體自同一高度落下所得之速度相同,此事如記憶之,頗有用處.(試以此語與144節作一比較).

計 算 題

1. 抄錄下表,並將空去之數字填入。

落下之時間	每秒末之速度 呎/秒	全時間之平均速度 呎/秒	落下之全距離 呎	末秒內落下之距離 呎
1 秒.....				
2 秒.....				
3 秒.....				
4 秒.....				
5 秒.....				

2. 石塊自由落下,在最初半秒內經若干呎?

3. 武爾沃史 (Woolworth) 大廈高達 792 呎。一球自其頂落下,問球着地時,其速度爲何?

4. (a) 一石落下,經若干時後,可達每秒 112 呎之速度? (b) 已經之離距爲何?

5. 一球擲向上而復落於地,計需時 6 秒。(a) 擲球之速度爲何? (b) 球上昇至何高度?

6. 來福鎗向上直放,鎗彈出口之速度,爲每秒 2000 呎。問(a)在 10 秒之末,其速度爲何? (b) 在 10 秒之末,其離地之高度爲何?

7. 一物體直向上拋,其初速度爲每秒 50 呎,當其經過離地 100 呎之一點時,其速度爲何? (提示:先求此物體上昇至何高度?)

149. 拋射體。飛行之棒球或哥爾夫球，自飛機下投之炸彈，來福槍彈，或由戰艦上之大礮所發之拋射體，其異於自由落下體之處，僅在拋射之機器，使之賦有初速度而已。若拋射體自舟中平射而出，則其落水之時，與自舟直下無二。

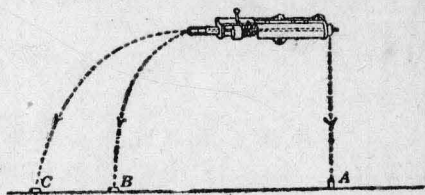


圖 169 A 球與拋射而出之 B 球或 C 球，在同時着地。

上述最後之一語，可用圖 169 所示之器械以實地證明之。一球 A 直向下墜，而同時另有一球 B 平射而出，兩球擊地，係在同時。

苟無空氣之抵抗，又若重力始終不起作用，則拋射體之運動，將極簡單，即依出發時之方向，往前直進，且速度永不變動是也。例如自 A 點出發（圖 170），則在 1 秒之末，達於一處，於是二秒之後，乃達 2 處，3 秒之後，即至 3 處，依此前進，常在直線 AB 之上。

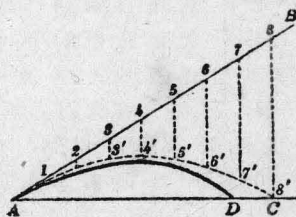


圖 170 拋射體之路徑。

然真正拋射體之運動，則異於適所述之幻想之運動，其故有二。第一，真正之拋射體，於初離發射之機時，立受重力之作用，而開始下墜，一如未有拋射之運動然。故如欲求其在某時之位置，如謂第三秒之末應在何處（苟無空氣之抵抗），則祇須計算自由落下體在 3 秒中降下若干（即 144

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

呎是也), 即得真正拋射體之位置 s' , 適在不受重力作用應居之處 s 以下 144 呎處。圖 170 中之路徑 AC , 可稱之為拋射體之理想的或真空的軌道 (trajectory)。實際之軌道為 AD , 較 AC 更低, 且因空氣抵抗之故, 在下降之一側, 其勢較峻, 側向之運動因是而減, 故欲拋射體經達已定之水平距離, 須預定其拋射之遠度, 範圍遠超於前者以外, 而其落下之時間, 亦較應費之時間為久也。

計 算 題

1. 一石自直聳之懸崖之巔平擲而出, 在空氣中歷時 4 秒, 而着地之處, 離崖根 140 呎, 試求崖之高以及擲石之速度。

2. 自高達 1600 呎而按每小時 90 哩速度飛行之飛機, 投下炸彈一枚, 欲圖襲擊一艦, 問 (a) 在飛機尚未飛越此艦若干秒以前, 即應將炸彈擲下? (b) 當炸彈落下時, 飛機進行之距離為何?

3. 設自華盛頓紀念碑 (高達 555 呎) 之巔, 以每秒 30 呎之速度, 將石塊平擲而出, 則其着地之處, 離碑脚若干遠?

第九章 提要

$$\text{平均速度} = \frac{\text{距離}}{\text{時間}}$$

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度之變動}}{\text{時間}}$$

按定加速度自靜止出發之運動定律:

$$\text{I. } v=at. \quad \text{II. } s=\frac{at^2}{2}. \quad \text{III. } v^2=2as.$$

重力加速度之值:

$$g=32 \text{ 呎/秒}^2=980 \text{ 釐/秒}^2.$$

拋射體之運動, 係由自由落下運動與直線運動連合而成。

問 答 題

1. 汽車與疾馳之人,其加速度大概以何者為大?試說明之。
2. 若一球自靜止下墜,則其第一秒間落下之距離,並不同於第一秒末之速度,此一事實,試說明其理。
3. 擺之速度,當其經過擺動距離之中點時最大,何故?
4. (a)大礮與白礮,有何不同之處?(b)各礮之特殊用途為何?
5. 就大礮而論,以汝之見解觀之,礮身與地成何角度,則可得最大之射擊距離?
6. 一密閉之車停於鐵路之上,一球自車頂落下,着於車底之某定點,荷此車係以每小時40哩之速度正在進行,則球着車底之點是否不變?試細心說明之。畫一線以示球在運動之車中落下時約略之途徑。
7. 有多種放水管,其放出之水流,皆平靜而呈光滑之圓柱狀,此種水流之直徑,在底部較在放水管之處為小,試說明其故。

實 習 題

1. 汽車之加速度。用按停錶與速度計,就種種不同之情形,以測汽車之正負加速度。如能另得一式樣完全不同之汽車,則更試以同一之實驗。將所得之結果,加以討論。
2. 將棒球向上直拋。試驗諸生將棒球向上直拋之能力。用按停錶,測定球之上下之總時間,計算球上昇至何高度,及其拋出時之速度。

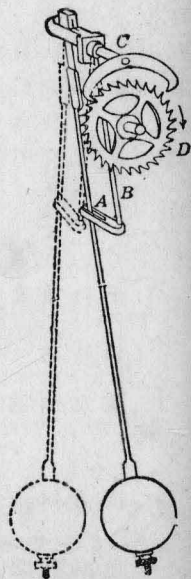


圖 171 鐘之擒縱輪與擺。

3. 試行加利略之三種著名之實驗。(a)擺之擺動長度,對於擺動一次之時間,有何影響否?所用之擺,儘量擇其長者,計時可用脈搏之次數,一如伽氏之所爲。(b)球之重量,對於其落下某定距離所需之時間,有無影響?試在高大之屋頂,用大小相同之金屬球與木球各一以驗之,設計使兩球同時脫落。(c)試球在斜面上球體之加速度,變更斜度而試之,計算 g 之值,一如伽氏之所爲。

4. 鐘內擺之用度。試分析擺鐘之機件而加以考察,並將所見者與圖171比較,擒縱輪之運動,如何爲擺所控制?使擒縱輪運轉者爲何?如能往鐘樓或教堂考察其裝大鐘之機件,試作一報告。

第十章

運動之三律

牛頓之定律——惰性——力與加速度之基本比例式
——作用與反作用——質量。

150. 牛頓之運動定律。前此已就不同之運動，敘述其概況，例如定速度運動與定加速度運動是也。今將研究發生此等運動之力，以說明其原理，關於此部份之物理學所具之智識，實皆起源於牛頓爵士 (Sir Isaac Newton 圖 172) 之時代，牛氏於一六八七年，曾著自然哲學之原理 (原名 Principia) 一書，所謂自然哲學，即今之物理學是也，其全書，實則自牛氏以後之力學，皆根據於極簡之三定律，稱爲牛頓之定律，第一律爲



圖 172 牛頓爵士 (1642-1727)，氏爲英格蘭人，於科學中創設力學之一門，並於光學方面，多有重要之發見。

惰性定律，第二律爲加速度定律，第三律爲相互作用定律，此諸定律將依次討論之。

151. 第一律——惰性。自然界中諸物，皆不能由靜自動，或由動自止，而常需若干自外而來之力，使之或動或止，此乃習見之事實也。譬如乘車，當其突向前開之時，車中人皆覺有向後倒下之傾向。蓋足雖已爲行動之車所前移，而身體則仍有靜止之傾向故耳。

物之具此性質，可以實例證之。取硬紙片一，面覆銅幣，使成平衡於手指之上，乃迅將紙片彈去，則銅幣仍留於指。銅幣之所以祇略略移動者，因由摩擦而生之力，過小不足以使之出發故也。用圖 173 所示之裝置，亦可行此試驗。

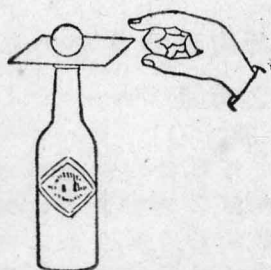


圖 173 惰性保球不動。

由見觀之，顯見物體在靜止之時，常有保持其靜止之傾向。此種物性稱爲惰性(inertia)。

又如立於方在進行之列車中，則當列車突然停止時，即覺有向前倒下之傾向，此亦爲吾人所經歷者。蓋斯時吾人之足雖隨車而止，而吾人之身軀，仍欲繼續循直線向前運動故也。方在運動之物體，使之繼續

依同方向運動之物性，亦稱惰性。

物體對其狀態之變更，不問在靜止或在運動之時，似常欲加以反抗。此一事實，牛頓氏述之如下文：

定律 I. 凡物體，如無外力迫使變更其狀態，則常保持其靜止，或循一直線作等速運動。

152. 離心之傾向。 物體循直線而運動之傾向，在欲使該物體循一圓而運動之時，甚為明顯。蓋斯時須有一力將物體曳向中心，始可使之不沿切線飛去也。此力稱為向心力 (centripetal force)，意即謂直向中心之力也。

例如當汽車轉灣之時，如速度頗大，則乘車者即覺擠向外側之坐墊，坐墊之彈力，又推之向內，使循所欲經之曲徑，以穿過空間。汽車之自身，如欲循曲線安全行過，則必賴其輪胎抵於路面之摩擦，推之向內，苟路面過滑，以致不能發出必要之向內之力，則汽車溜動 (skids)，即依切於路線之方向，開始逸去是也。

更如運動家手持 16 磅之鐵球，在未擲之先，高舉過頂而擺動之時，須用力曳之向內，以招球之惰性。當彼停止用力內引之時，球即依切線而飛去。故彼之所為，在於脫手使之逸去而已。

更如磨石之輪，旋轉甚疾，有時輪忽碎裂者，因其諸部份間之凝聚作用，不足發必要之向心力，以維持其各部份循各自之圓路而運動之故耳。

又如在析乳器 (圖 174) 中，牛乳較濃之部份，散於外緣，而較輕之牛酪，則集於中央，此因牛乳之惰性，較大於牛酪

之惰性，即牛乳沿切線運動之傾向較大之故耳。圓錐狀之平圓板，旋轉甚疾，故能使牛乳以高速度旋渦。

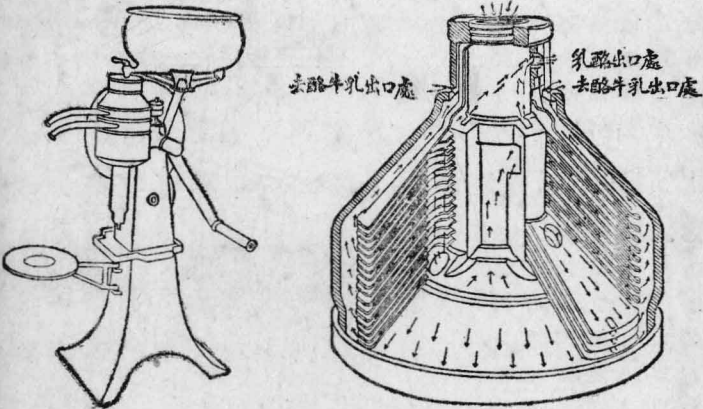


圖 174 析乳器及其旋轉圓板之圖。

凡此種種，均表明離心之傾向 (centrifugal tendency)，即欲遠離中心而沿切線飛去是也。使物體循曲徑而行時，常呈此現象。

利用離心之傾向，可以分析各物，此等機器，常稱之為離心分析器 (centrifuge)。例如在鍊糖廠中，自晶糖提出原漿 (mother liquor) 所用之機器 (圖 175)，以及洗衣作中，所用驅除衣服中水分之旋轉之多孔籃，皆是。

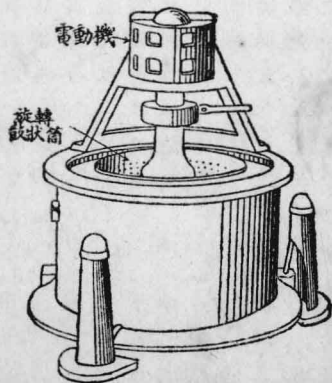


圖 175 離心析糖器 (sugar centrifuge)，用以自糖晶析出糖漿。

153. 向心力之計算。使物體循圓而轉所必需之力，往往須計算之。由實驗，知重物體所需之力，較輕物體所需者為大。又當速度增加時，此力顯然亦須加大。疾行之汽車，迴轉於銳急之曲線上，較之在半徑較大之曲線上，易於溜動。總而言之，向心力之大小，顯與重量、速度以及曲率半徑 (radius of curvature) 三要素有關係。

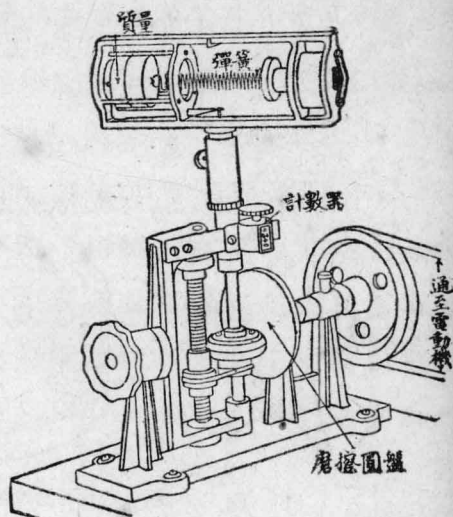


圖 176 計量向心力之器械。

用圖 176 所示之器械，則已知質量按已知速度循已知半徑之圓旋轉而生之向心力，即可由彈簧以計其量。此等實驗，可以證明下之公式：

$$F = \frac{wv^2}{gr}$$

式中 w 為重量， v 為速度，而 r 為圓之半徑。

問 答 題

1. 滑冰者如何利用惰性？
2. 流星上昇時，為何不能“保持其一直線上等速運動之狀態”？
3. 在電車中，往往見有“請待車停再下”之警告牌。問此事與惰性有何關係？

4. 一比重計浮於水桶之中，當水桶急轉之時，比重計將入水較深否？試逐汝之答語之理由。

5. 特別快車能從置於軌道間之長水槽，以高速度取水，祇須將速於直垂導管之戽斗，浸入水中即可。問水之能上昇於導管者何故？

154. 第二律——加速度。 不問何時，如有“不平衡之力，時在作用於一物體上，則此物體即有在該力作用方向內之加速度，而此加速度又與力成比例。所謂不平衡之力 (unbalanced force) 者，即指在一方向內較他方向內為大之牽引或推拒之力而言。

例如有一機關車，以每小時 50 哩之定速度，曳列車前行。引擎當然時在施力於列車，但此外尚有其他諸力，因摩擦及空氣之抵抗而來者，亦在依反對方向作用於列車，且此諸力適與引擎之牽引力相平衡，故實在向前之力為零；蓋若不為零，則列車非惟常在前進，而且向前加速；即其速度將時在增加是也。實在之力與加速度為相互之因果，而並非實在之力與運動，此應記憶之，蓋頗重要也。

定律 II. 已知物體之加速度，與加於此物體之力成比例。 此即謂若有任何已知之物體，在此一時受 F_1 力之作用，而在彼一時受 F_2 力之作用，則

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

式中 a_1 與 a_2 ，即係 F_1 與 F_2 二力各自所生之加速度。

是以吾人若用一定之力推一汽車，而在另一時

則用二倍於前之力推之，則第二次汽車所得之加速度，亦二倍於其第一次所得者。

欲使一力時時作用於一物體，其一法為命此物體落下，斯時正在作用之力為已知者，蓋即係物體之重量 W 也。加速度亦為已知者，蓋即為 g ，其值約為每秒 32 秒呎，或每秒 980 秒厘。故物體之重量及其落下時之加速度，常可用為適所述之比例式中之已知數即

$$\frac{F}{W} = \frac{a}{g}$$

是也。

由此即能計算欲使某物體得一定加速度所需之力。

例如有一運貨之列車，重 1000 噸，如欲使之得每秒半秒呎之加速度，所需必要之力為何？

$$\frac{F}{1000} = \frac{0.5}{32}$$

$$F = \frac{1000 \times 0.5}{32} = 15.6 \text{ 噸}$$

155. 相合之單位。 在方程式 $F/W = a/g$ 中，不論以何種單位表 F 與 W ，一無差別，祇須表此二者之單位相同可矣。兩者均可表之以磅，以盎司，以噸，以尅，以克，或以比較少見之單位稱為“達”(dyne)者亦可。達為

極小之力單位，常用於科學工作上，其定義可謂之爲一克之重之 $1/980$ 。^{*}其重約等於一廷。凡已知之力，若以此諸單位中任何一種表之，則由下表，可易以他種單位：

1 克 = 980 達	1 達 = 0.00102 克
1 磅 = 455 克	1 克 = 0.00220 磅
1 磅 = 445000 達	1 達 = 0.00000225 磅

同理， a 與 g 亦可表之以任何單位，祇須表此二者之單位相同。若兩者均以秒秒呎表之，則 g 之數值爲 32；若三者均以秒秒厘表之，則 g 之數值爲 980。

問答題與計算題

(在此諸題中，用 32 呎/秒² 或 980 厘/秒² 以代 g)

1. 40 磅之力加於重 200 磅之物體之加速度爲何？
2. 1 克之力在重 490 克之物體上所生之加速度爲何？
3. 若 90 克之力使某物體約 480 秒秒厘之加速度，則使此物體約每秒 1000 秒厘之加速度之力爲何？
4. 欲使 1 磅之質量約每秒 32 秒呎之加速度，所需之力爲何？
5. 一達之力，在重 1 克之物體上，所生之加速度爲何？(注意：此題之答數，常視之爲達之定義。)
6. 從前題用確切之字句，述達之定義。
7. 一物重 10 磅，本在靜止之中，動後第 5 秒之末，得每秒 20 呎之速度。問初時有何力加於此物體？

*參閱本節後之計算題 5 與 6。

8. 一克之力，見其在某物體上所生之加速度每秒 9.8 呎，問此物體重若干？

9. 一力 2 磅，作用於 8 磅之質量，歷時 3 秒，又一力 3 磅，作用於 16 磅之質量，歷時 4 秒。試比較二者所約之終速度。

10. 某汽車行於水平之路，當其動力停止之時，猶以每小時 30 哩之速度前進，續行 22 秒而止。若此車之重為 2000 磅，則使車停止之連合之摩擦力為何？

156. 第三律——相互作用。 牛頓氏之第三律，以習見之二事為根據，其第一事實可述之如下：在自然界中，如無發力與受力之二物體相關連，則永不能有力之作用。例如鐵路列車被曳之時，即有曳此列車之引擎；而就他方面言之，如無被推或被曳之物，則引擎即無所施其推挽之力。又如電車或汽車，雖似將自身推向前行，然在實際上則輪下之軌或路，正在施力於輪，而推車前進。當車軌潤滑或道路泥濘，以致不能推輪之時，有何現象發生，吾人均曾見及。即發動機雖在竭力鼓動如前，而車則不動是也。此外不問何種物體，均可舉之為例：蓋一切物體均有一力曳之向下，此力稱為物體之重量（即重力）；然發此力者，眾皆知其為地球也。

於是所謂第一事實者即此：在自然界中每有一

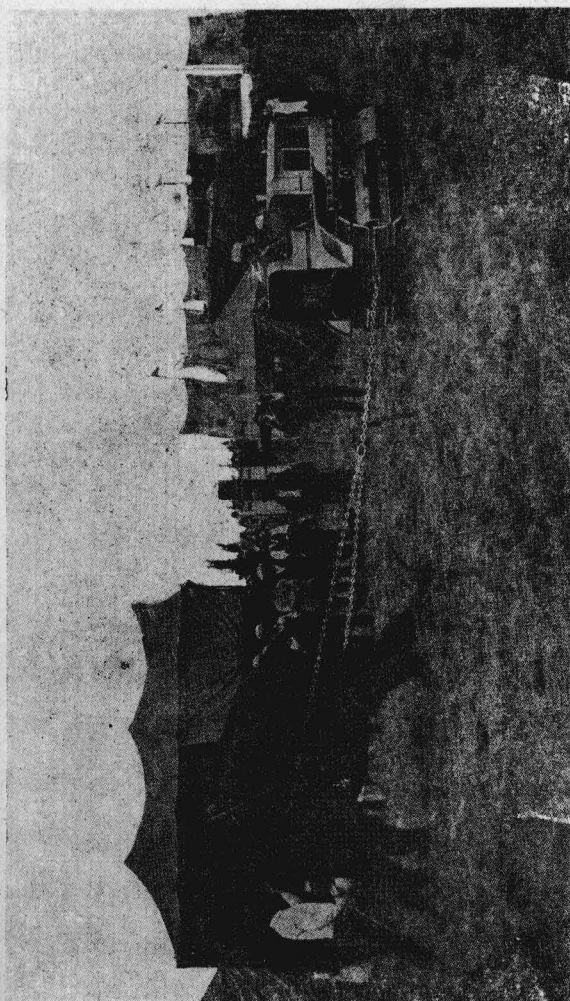


圖 177 重 7200 磅之三十輪之象，在此拔河之戲中爲輪帶牽引車所敗。

力必二物體與之相關，其一爲發者，又一爲受力者。

但尙有更進於此者。吾人可謂不問何時，在自然界中每有一力，非惟須有兩物體相關，且必有另一力亦與之互爲因果。即力永不單獨存在而常成對偶是也。在圖 177 所示之拔河戲中，象正欲將鐵鍊曳向彼方，而牽引車則正欲將鐵鍊曳向他方。當象與牽引車雙方施力相等之時，鐵鍊止而不動，呈緊張之狀態。機關車施力於列車時，列車亦施一反對方向之力於機關車。列車之曳機關車向後，其費力一如機關車之曳列車向前（當正在以等速度運動之時）。若道路正在前推於汽車之輪，則車輪亦必在後推於路。

欲使此觀念似更真實起見，可作一小規模之實驗，如圖 178 所示者然。設將玩具小引擎之發條開足，而置之於旋轉自如之圓形軌道上，則見軌道亦在旋轉，而輪下之雙軌向後倒退。若將軌道堅持之，則引擎之前行，較速於先；又如將引擎堅執之，則軌道向後旋轉，亦較速於先。

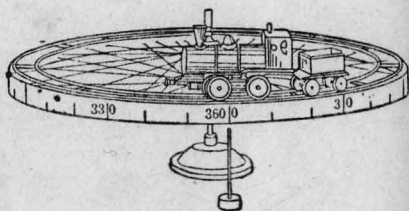


圖 178 軌道推引擎向前。

最後所欲述者，當任何物體正在爲地球所引而

下降時，物體亦必在用相等之力曳地向上，此語初聞之似未可盡信，但此亦不過因力恆小而地球則甚大，以致力對於地球所起之效應不能察覺之故耳。然就重物體之大如月球者而論之，則此效應在天文家視之，即頗

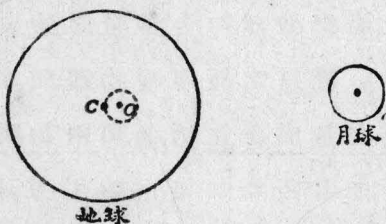


圖 179 月與地球，皆繞 O 點而旋轉。

明顯。地球與月球，實皆繞 O 點而旋轉（圖 179），此點並非恰在地球之中心，故月球必須不絕牽引地球，使其重心繞以公共重心為中心之圓而旋轉。

力之發生常成對偶，彼此相等而方向相反，此事牛頓述之如下：

定律 III. 對於每一作用（即力），必有一大小相等而方向相反之反作用。

157. 萬有引力。 地球與月球互相吸引之事實，僅為一極普遍之定律之一例而已。此普遍定律亦為牛頓所發明，稱為萬有引力定律（law of universal gravitation）。按此定律，凡宇宙中有質之物，皆在互相吸引。當以兩書置於桌上而相接近之時，彼此即相吸引；但力過於微小，無人能察見之而已。然太陽對於地

球之吸力，亦即地球對於太陽之吸力，其性質與兩書之吸力同，其大則逾 10^{24} （即1之後隨以24個零）噸，蓋太陽與地球，均含多量之物質，足之發生如許大力也。

概言之，任何兩物體間之吸引力，與兩物體內物質之量成正比例，而與兩物體間距離之平方為反比例；即當距離加倍之時，引力減為四分之一，而當距離三倍之時，引力減為九分之一是也。

158. 質量與重量之別。在尋常之談話中，“質量”與“重量”常相混淆。在研究牛頓之第二律時，雖未用及“質量”之一名詞，然仍以知其確切之意義為佳，庶可於讀用此名詞之書時，易於了解。

質量者，(mass) 物質之量也。*“在已知物體內有若干物質”一問之答語，即為質量。

重量 (weight) 者，牽引物體之重力也。故物體之重量，為作用於物體之力，並非指其所含者為何而言。

質量之單位，為大小一定之白金塊所含物質之量(標準鈎)。

重量之單位，為地球對於此同一白金塊，在緯度 45° 近海平面處之牽引力。

*近代之研究，指明物質或僅為能之表現。

因在此標準狀況之下，一尅之質量其重量爲一尅，故物體之“標準重量”與質量，其數值相等。但若攜一尅之質量而登高山之巔，以靈敏之彈簧秤權之，則其重量即不及一尅，因離地球之中心較遠，故地球牽引之力較小也。由彈簧秤上所讀得之度數，可稱之爲該質量之“本地重量” (local weight)。

因一切物體，皆依同一之比例在山頂上減其重量，故可不必下山，而求得任何物體之標準重量 (standard weight)，祇須用一組“標準砝碼”，權之於等臂天秤之上可矣。在實驗室內或外界欲求物體之準確重量時，亦常以此法得之。故當吾人謂物體之重量時，幾常指其“標準重量”而言。

因 $F = \frac{W}{g}a$ ，且因標準重量 W 與質量 M 之數相等，則若（於用克、厘及秒之時）書

$$F = \frac{ma}{980}$$

或 $980 F = ma$,

亦可約 F 之同值。

於此 F 係以克數表之；然若選定 f 達數以表力，以代 F 克，則 F 與 f 之數即不相同，而

$$f = 980 F$$

故 $f(\text{達}) = m(\text{克}) \times a(\text{厘/秒}^2)$,

或 $\text{力}(\text{達數}) = \text{質量}(\text{克數}) \times \text{加速度}(\text{厘/秒}^2)$.

此係表示牛頓第二律之又一法。

問答題與計算題

1. 一人在駕帆之舟中,以手在桅桿上前推,為何不能使舟移動?
2. 在一八一二年之海上大戰爭中,一舟爲他舟所追,斯時風勢甚微,此舟因其所裝之礮自船尾向後發射,而敵舟之礮則在船首向前發射,故得逃去。試說明之。
3. 航空家於(a)推動其飛機之時,(b)使飛機迴轉之時,(c)空氣中使機行遲緩之時,如何利用反作用?
4. 一磅之糖,在水星中將祇重5.5盎司。試將此語加以說明。
5. 在地球與月球之間有一點,於彼處物體將無重量。試說明之。
6. 16磅之礮彈,若其位置恰在地球之確切中心,則其重量將爲何?
7. 地球之重量,曾由以擺在近山處行實驗所得之結果,計算得之。汝能思一可用之方法,而想像如何可得結果否?

第十章 提要

牛頓之運動定律及基本比例式:

- I. 凡物體常保持其靜止或循直線之等速運動之狀態,非受外力所迫,決不更變。
- II. 已知物體之加速度,與作用於此物體之力成比例。

$$\frac{F}{W} = \frac{a}{g}$$

III. 對於每一作用(或力),必有一相等而方向相反之反作用。

質量之意,爲已知物體內物質之量。

重量之意,爲牽引物體之重力。

問 答 題

1. 地球爲何在兩極成扁平之狀?
2. 物體在赤道處較在北極爲重,試舉二理以說明此事。

3. 機關車牽曳列車出發之時,所發之力須較大於使列車前行之力,試述二理由以說明此事實。

4. 磨石之輪,小者以較大之速度(即每分鐘旋轉之數較多)旋轉,較之大者爲安全,其故何在?

5. 在華盛頓之緯度處,地球旋轉之速度爲每小時800哩,苟物球一旦停止旋轉者,則華盛頓紀念碑所受之影響爲何?

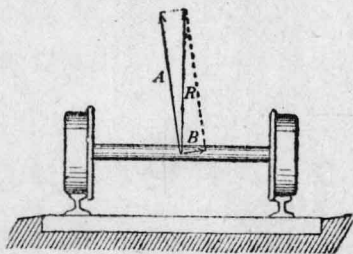


圖 180 在曲徑上隆起之鐵軌。

6. 鐵路軌道,爲何在曲徑上隆起,試一究圖 180,其中 A 爲向上推於車輪之力, B 爲向心力,由鐵軌向內所發,而 R 則爲合力。

7. 鐵路軌道必須隆起之斜度,是否可由其“曲率半徑”而決定?試說明之。

8. 說明離心唧筒運用之原理,參閱圖 100。

實 習 題

1. 陀螺與旋迴器(gyroscope)。旋轉之陀螺,直立不倒,其故何在?取舊踏車之輪,於其胎中灌之以沙,製成一巨

大之旋轉陀螺。試於此輪旋轉時驟擊之。試求一專論陀螺之書研究之(Boys—*Spinning Tops*)。

2. 機器中之離心調節器。考察留聲機，農用氣體引擎，以及蒸汽引擎上之調節器；試求其所以能控制機器運轉速度之故。

3. 筋斗飛行。製一可以運用之模型，以實演所謂“筋斗飛行”(looping the loop)之技藝，說明其所關之原理。航空家作“筋斗飛行”時，何以能不墜出飛機之外？

第十一章

勢能與動能

能——勢能——勢能之計算法——動能——動能之計算法
——力時積與動量——能之變形——能常住定律。

159. 能 欲將一樁擊入地中之時,常高舉重錘,而使之落於樁頂(圖 181),舉起重錘之際,是作功於錘,而結果則錘能作功——即擊樁入地是也。重錘在其升高之位置所具可以作功之量,稱之爲能 (energy)。

若用較重之錘,或舉之較高,則作於錘上之功亦較多,而結果錘即有較多之能,而擊樁入地亦將較深。

自拍爾吞水車(參閱 104 節)之噴射口噴出之水,因其運動迅疾而能作大量之功,是以亦具有能。噴出之水,其量愈多,其流愈速,則可得之能,其量亦愈大。

概言之,任何物體所具之能,可謂之爲物體能作功之量。

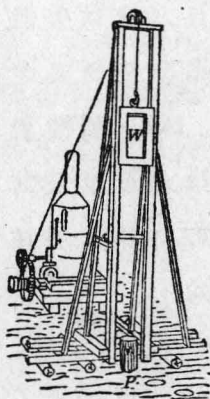


圖 181 打樁機將木材
春入地中。

160. 勢能. 尼阿嘎拉 (Niagara) 瀑布頂上之水, 因其量多而位高, 故具有作功之能力甚大, 而能運轉適當之水臥輪. 又如鐘式錶中之發條, 將其捲緊之時, 即因形狀之變更而生彈性變形, 故於弛放之時能使鐘或錶運轉. 物體由其地位或變形之狀態而具之能, 稱爲勢能 (potential energy). 例如升高之打樁機重錘, 所具之能爲勢能. 氣體引擎圓筒中之壓縮熱空氣, 適在爆發後所具之能, 亦爲勢能.

161. 勢能計算法. 就打樁機而論, 重錘之勢能, 視錘之重量及其升起之高度而定. 易言之, 重錘之勢能, 可由計算將錘舉高所作之功而得之. 以記號表之, 則爲

$$P.E. = W \times h$$

式中 W 爲物體之重量, 而 h 爲物體曾經升起之直垂距離. 勢能 ($P. E.$) 之單位, 與功之單位同.

例如, 有一打樁機之重錘, 重 3000 磅, 而被舉高 12 呎; 則錘之勢能即爲 3000×12 即 36,000 呎磅, 或 18 呎噸.

計 算 題

1. 一缸之砝碼置於高 245 呎之架上, 其勢能爲何?
2. 一棒球重約三分之一磅, 問在若何高處, 始有 15 呎磅之勢能?

3. 有鹽一罐，重 200 磅，曾用平行於斜板之力 80 磅，使之滾上 10 呎之板，問其勢能爲何？

4. 水槽中有水 7200 加侖，槽底高 27 呎，若槽中之水深 6 呎，問水之勢能爲何？(水 1 加侖重 8 磅)。

5. 某鎮所用之大鐘，其發條爲一鋼絲，懸有重 28 磅之錘，而捲於平均直徑爲 6 吋之鼓形輪上。若須將拐臂轉過 24 次，始將鋼絲完全捲起，則此鐘於開足之時，重錘所具之勢能爲何？

162. 重力能。 當打樁機之重錘下落時，即漸失其勢能，但當其速度增加時，即漸漸獲得另外一種之能，終至適當擊樁之時，其勢能全部轉成運動之能，是謂動能(kinetic energy)。

沉重之
飛輪(圖 182)
於動力既除
之後，尙能使
機器運轉若
干時，是以因
其運動之故

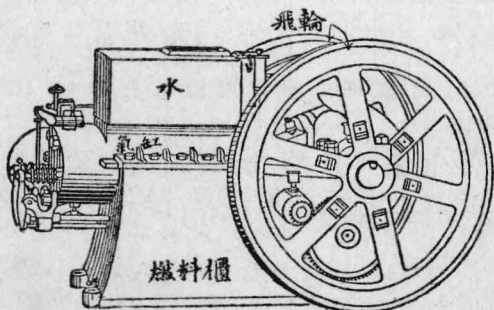


圖 182 氣體引擎上之飛輪，在運動之時有動能。

而能作功。引擎必須作功於飛輪，始能使之得高速度；而飛輪則於正在運動之時，能作功於軸。飛輪旋轉愈速，重量愈大，則於停止以前能作之功亦愈多。

凡運動之物體，皆有動能；即在其停止運動之前，皆能對抵抗力作一定量之功是也。

163. 動能計算法。 欲計算運動物體在將停之前，對反抗之力能作若干之功，可將此問題逆推之，而計算須作若干之功以使此物體開始運動，且得達於已知之速度。

任何力 F 經距離 s 所作之功，其基本方程式為

$$\text{功} = Fs.$$

但吾人早知(154節)欲使重量為 W 之物體，以加速度 a 而開始運動，所需必要之力 F ，可表以方程式

$$F = \frac{W}{g} a.$$

故所作之功為

$$Fs = \frac{W}{g} as.$$

但 as 之積，可由加速運動第三律(第143節)以速度 V 之式表之。

$$\text{是即} \quad V^2 = 2as, \quad \text{或} \quad as = \frac{V^2}{2}.$$

故所作之功為

$$Fs = \frac{WV^2}{2g}.$$

是以

$$\text{動能} = \frac{WV^2}{2g}.$$

用此方程式時，須使各單位相合。例如 F 與 W 均為力，必須表以同單位，又如 s , V ，與 g ，亦必表之以同一之長度單位。表示速度 V 與加速度 g 時，習慣上常用秒為時間之單位。

功之單位，通用者有數種如下：

呎磅(ft. lb.)，

呎噸(ft. T.),
 克厘(g. cm.),
 妊枳(kg. m.)以及
 達厘(一名“厄”(erg)).*

因此諸功單位,各由力單位乘距離單位而成,故若一審表示 W , V 以及 g 所用之力單位爲何,所用之距離單位爲何,即可斷定動能之單位爲何。

164. 動能方程式之應用. 此方程式可助吾人以解多數有用之問題,關於運動物體之帶有距離之觀念者。

例如假定有一重 2500 磅之汽車,正在以每小時 30 哩之速度疾行,忽使之在 90 呎內停止,問所用制動之力爲何? 每小時 30 哩之速度 = 44 呎/秒。

於是代入動能方程式而得

$$F \times 90 = \frac{2500 \times (40)^2}{2 \times 32}$$

故 $F = 840$ 磅。

又如假定打樁機之重鏈重 1500 磅,鏈自 20 呎高之處,落於一樁之頂,而擊樁入地 18 吋,問於擊樁之時,供給樁之動能爲何?又地所發之平均抵抗力爲何?

鏈擊樁時之速度,可自

$$V^2 = 2gs = 2 \times 32 \times 20$$

一式計算約之。

故 $K. E. = \frac{1500 \times 2 \times 32 \times 20}{2 \times 32}$
 $= 30,000$ 呎磅。

*達厘通稱爲厄(erg);因厄爲極小之功單位,故往往用 10^7 厄以代之,稱爲一朱(joule)。

於此須注意者，運動之錘擊棒時之動能，等於舉高之錘之勢能。

若地之平均抵抗力為則 F ，則有

$$F \times 1.5 = 30000 \text{ 呎磅}$$

$$F = 20000 \text{ 磅}$$

問答題與計算題

1. —16磅之鐵彈離手之時其速度為每秒32呎，問其動能為何？
2. 10磅之球每秒移動4呎，另一相似之球重量加倍而速度減半，試比較二球之動能。重量與速度，對於動能之影響，何者較甚？
3. 華脫強笙 (Walter Johnson) 所拋之棒球，以儀器測得其速度為每秒120呎，假定球重 $\frac{1}{3}$ 磅，求其動能。
4. 皮爾特 (Byrd) 司令之南極探險飛機，於載物之時，約重10000磅，設此機以每小時90哩之速度飛行，則其動能有若干呎噸？
5. 一石重20克，以每秒800呎之速度拋擲之，問其動能有若干厄？
6. 一10磅之砵碼自靜止落下5秒後，其動能為何？
7. 合衆國若干戰艦上之14吋大礮，射出之彈重1400磅，且據謂有65,600呎噸之“礮口能” (muzzle energy)。問礮彈離礮口時之速度為何？
8. 在3呎之距離內，欲使具有90,000厄動能之物體停止，需抵抗力若干？
9. 有冰一塊，重100磅，在光滑之地板上，以每秒12呎之速度使之滑移，若冰在木上之摩擦係數為0.15，試求 (a) 冰之最大動能，(b) 在未被摩擦力所阻止以前滑移之距離。
10. (a) 若干克之力，作用於98克之球，歷時2秒後可使球約每秒100呎之速度？(所有抵抗力，均略去不計)。(b)

當此球達此速度時，有能若干？(c)力所經之距離爲何？

165. 動勢與動量。 一力作用於運動之體物，歷時較長，則成效亦較宏，其事明甚。以學術上之專名稱之，則謂力之動勢 (impulse) 較大。動勢可定其義爲力與力之作用時間相乘之積，故又名力時積。

運動物體之動量，視其質量與速度而定，在絕對制中表之爲 mv ，以尋常之重力單位表之，則爲 $\frac{w}{g}v$ ，設吾人表牛頓之第二律爲 $F = \frac{w}{g}a$ ，則 $Ft = \frac{w}{g}at$ ，即 $Ft = \frac{wv}{g}$ ，式中 Ft 一項即爲力時積，而 $\frac{wv}{g}$ 則爲動量。此方程式又可書之爲 $F = \frac{wv}{gt}$ ，易言之，即實在作用之力，等於加速物體每秒所得之動量。

此動量方程式，可助吾人以解多數問題，關於運動物體之帶有時間觀念者

例如有一電車重 12 噸，每小時疾行 15 哩，能在 7 秒之內停止。問阻止之力爲何？

$$F = \text{每小時 15 哩} = 22 \text{ 呎/秒}$$

$$F \times 7 = \frac{12 \times 22}{32}$$

$$F = 1.18 \text{ 噸。}$$

另一模範問題，係關及開放來福槍者。當火藥爆炸時，幾立刻發生巨大體積之氣體，此氣體一方驅彈

使前，而一方則施相等而反向之壓力於槍身，兩力作用之時間殆相同，即鎗身所得之動勢等於鎗彈所得者是也。故傳於鎗彈之動量，等於傳給鎗身之動量。來福鎗開放之時，鎗把所以向後撞擊者，即因此故。

166. 能之變形 在自然界中，動能與勢能，皆在逐漸互相變易。

例如當擺錘（圖 183）在其擺幅之最高點 A 時，所有之能為勢能，因其高為 h 故也。當其降下之時，此勢能逐漸消失；但擺錘之速度漸增，至 B 處其能皆為動能。當擺錘再向他側上昇至於 C 點時，其速度及動能皆漸減，但其勢能則又增。在 C 之能，皆為勢能，苟不因摩擦而有何損失，則與在 A 之能相等。

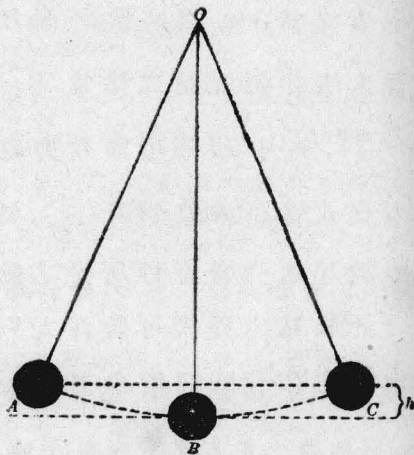


圖 183 擺內能之變形。在 A 與 C 處為勢能；在 B 處為動能。

仿此，打樁機之鏈在其最高位置所有之能，皆為勢能。當鏈擊樁之時，即失去此勢能，但同時獲得等量之動能。

167. 能常住。 就以前諸例觀之，知能永不由非能之物而來，亦不變成非能之物。宇宙之間，能之總量

常不變，惟其形態與分布之狀況，有變更而已。在任何機械中，或因摩擦，輻射等，故而能有漏洩；然漏去之能並未毀滅，僅變為熱而散於機械之四周耳。

例如，在圖 183 之擺內，不問擺錘擺至何處，其動能與勢能之和常同，除非有摩擦之作用。苟有摩擦作用者，則能之一部分消失而變為熱，在擺中所餘者即較少於前；但能之總量仍未變動。

不問何時，一種形式之能消失，他種形式之能即出現，其量相等。能不可創，亦不可滅，祇可變其形式導其流，此事實首先述之者，如德人羅伯特梅葉耳 (Robert Mayer)，惟語氣尚不明晰，其後赫爾莫爾茲 (Helmholtz) 始確定之。此稱能常住定律 (law of the conservation of energy)，已成為物理學上各門最重要之通律矣。

168. 能之消散。 用能或將能轉移之時，雖永無可毀滅者，然常有他種之損失。例如用機械能以運轉機械，而機械相繼以作功，例如舉起某物之時，機械放出之能，因摩擦之故，常較所受之能為少，其不足之部分，變為熱而擴散，故已非有用之能。但世間所有能之總量，並無損失，惟其一部分自有用變為無用，自可用變為不可用而已。不問何時，凡機械能或化學能變為

電能,或電能與熱能變為機械能,亦復如此,開爾文爵士 (Lord Kelvin) (圖 184) 為首先承認下列普通原理之一人,即凡用能或將能轉移之時,其一部分常自吾人控制之下逸去,而永遠消散,不復可用。

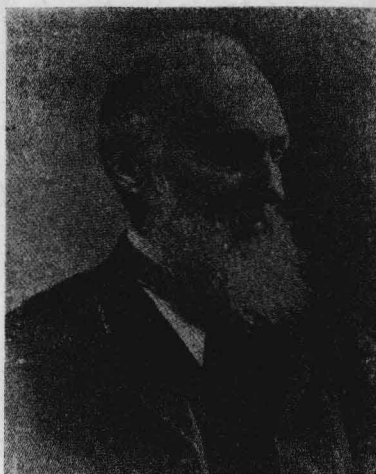


圖 184 開爾文爵士 (又名威廉湯姆生 William Thomson, 1824-1907), 任格拉斯哥(Glasgow)大學物理學教授逾五十年,又為著名電氣工程師,大西洋之海底電線,係氏所敷設,熱力學之發展,氏為首創者。

問答題與計算題

1. 一汽車重 3200 磅,當此車以每小時 30 哩之速度前行時,求其動量。
2. 有 200 磅之質量,可以自由運動,今以 40 磅之力作用於其上,欲使得每秒 24 呎之速度,問須歷時若干?
3. 一人在大帆船中,用繩曳一小划子向彼比較作用於兩船之力及其動量,在兩秒之末,小船即有較大之速度,其故安在?
4. 一鎗重 8 磅,射出半盎司之子彈,其鎗口速度為每秒 2000 呎,若此鎗能自由移動者,求其倒退之速度。
5. 一球重 100 磅,自 90 呎高之教堂頂之尖閣落下。

問當此球經過離地 15 呎高之一點時其動能與按能爲何?

6. 若能常住原理真確,則利用槓桿,滑輪,輪軸等機械,可以 10 磅之力,克制 100 磅之抵抗力,此事汝將如何解釋之?

7. 有一重 100 噸之列車,其速度爲每小時 45 哩,爲其制動機所制而停.問(a)在停車時能之損失爲若干呎噸?(b)所失之能,大概何往?

第十一章 提要

物體之能者,物體可以作功之能力也.

能之單位,同於功之單位.

勢能 = Wh .

$$\text{動能} = \frac{Wv^2}{2g}. \quad \text{動量} = \frac{Wv}{g}$$

能常住:能永不可創,亦不可滅,祇可變其形式導其流而已.

問 答 題

1. 試舉動能轉爲勢能又回復爲動能之二例.
2. 旋轉之地球,其動能假有利用之可能性否?
3. 大礮發射時,其能之變形如何,試探索之.
4. 鐘錶之發條,捲緊以後,其勢能如何可決定之?
5. 磨坊池中之水驅上擊水車而轉,又利用所得之動力以運轉鋸木機,試追跡能之變形.
6. 接棒球之人,於搶球之時,常以其無指手套向後移動,何故?
7. 能之供給於人者成何種形式?供給於馬者爲何?供給於汽車者爲何?供給於機關車者爲何?
8. 鐘因其四周之空氣有摩擦作用,故如不繼續以能供給於擺,則即將止而不動,問供能之法如何?(用圖 171 以明之).
9. 試就“力,功,功率,能”四名詞造句四,此四名詞須

引用得宜，並劃線於其下。

實 習 題

永動機。 在百科全書中查閱永動機 (perpetual-motion machine) 一條，其中有若干種係假定可以運轉者，試述其概況，並說明其構造之謬點。

第 十 二 章

熱 與 膨 脹

溫度計之分度——固體之線膨脹與體膨脹——液體之膨脹——水之最大密度——氣體之膨脹——絕對分度——氣體之壓力係數——氣體方程式——熱之分子說。

169. 熱之來源。吾人最重要之熱源爲太陽。太陽之光線愈直，則照及之處所受之熱亦愈多。在日中之時覺較早晚爲熱，在夏日覺較冬季爲熱，在赤道近傍覺較在兩極爲熱者，職是故耳。

地球之內部，亦在發熱。溫泉與火山，卽其明證。又如開礦入地，每深百呎，溫度卽約高一度。

然吾人欲使屋室溫暖，或使引擎轉動，固未嘗直接有賴於太陽或地球內部之熱，惟賴燃燒木料，煤炭，油或煤氣所生之熱耳。如是所得之熱，係間接自太陽而來，蓋係古代藏於植物中之化學能也。

電爲便利之熱源，可隨地取用之——例如電鐸器，電烘器 (toaster)，電熨斗，或電灶，皆係用電發熱之器，他如小電爐 (electric oven) 可用以塗珐瑯質於機器之各部，大電爐 (electric furnace) 則用以粗鍊金屬。

電流之此種熱效應，將於第二十一章中詳述之。

吾人由前次研究機械之所得，以及日常之經驗，知摩擦亦能生熱，例如於劃火柴，用鑽鑽孔，用鋸及銼之時——實則凡在機械能消失之時——即覺有熱發生。

約翰丁達爾(John Tyndall, 1820—1893)氏，在其講演“熱乃運動之表現”時，曾行一驚人之實驗，以示摩擦可以生熱。

今試注少許之水於金屬之管（圖185），以行此同一之實驗。若以塞子封閉此管，而用發動機使之旋轉，則見旋轉之管與木夾間之摩擦作用，在數分鐘後，即發生足量之熱，使水沸騰，而將塞子吹出。

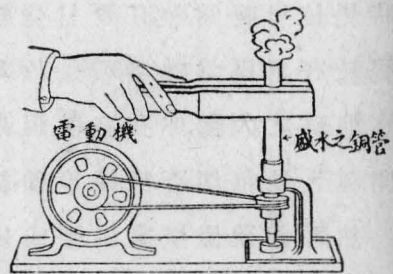


圖 185 對旋轉金屬管之摩擦作用，可使管內之水沸騰。

溫度測定法

170. 溫度計。深邃之地窖，其溫度縱使未嘗大變，然在夏日似較冷，在冬日似較暖。又如自室外寒冷之處入室，往往覺室內頗暖，然居留片時之後，又似覺其涼矣。是以吾人對於各物溫度之感覺，極不可恃，蓋

全以片時一己之情狀爲衡者也。故必須有一種儀器，以指示物體之冷與熱，確至如何之程度，此即所謂溫度計 (thermometer) 是也。大多數之液體，例如水銀與酒精，受熱則脹，遇冷復縮，尋常之溫度計即利用此事實而製成。

171. 攝氏與華氏之分度法。用於科學試驗之溫度計，其幹上兩定點間之距離，分成若干等分，而稱之爲度(圖 186)。在所謂攝氏溫度計 (centigrade thermometer) 上，冰點 (freezing point) 記之爲零 (0°)，而沸點則記爲一百 (100°)。當分度擴充至零點以下時，則稱之爲零下若干度，或負若干度。

在通行英語之處，常用華氏 (Fahrenheit) 分度法，創於 1714 年。此法冰點記爲 32 度 (32°)，而沸點則記爲 212° ，故介於冰點與沸點間之部份，係分成 180 等分(圖 186)。因攝氏分度法中 100 等分，相當於華氏分度法中之 180 等



圖 186 攝氏與華氏兩種溫度計之分度法。

分，故攝氏之一度，相當於華氏之 $\frac{9}{5}$ 度。欲將攝氏溫度計上所表溫度之度數，變成華氏溫度計上之度數，尚須憶及 $0^{\circ}F$ （即華氏零度）乃在 $0^{\circ}C$ （即攝氏零度）以下華氏32度之處。

例如 $68^{\circ}F$ ，為冰點以上 $68-32$ ，即華氏36度；而華氏36度等於 $\frac{5}{9} \times 36$ ，即攝氏20度。因攝氏計上之冰點為 $0^{\circ}C$ ，故冰點以上攝氏20度即為 $20^{\circ}C$ 。是以 $68^{\circ}F$ 相當於 $20^{\circ}C$ 。

欲化華氏度數為攝氏度數，或化攝氏度數為華氏度數，可用方程式：

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

因水銀冷至 $-39^{\circ}C$ 時，即將凝結，故測低溫度所用之溫度計，常含着紅色或藍色之酒精。

172. 特殊溫度計。溫度計常製成種種特殊之形式，包以特殊之護匣，以應特殊之需要。例如沐浴溫度計，牛乳溫度計，孵卵溫度計（incubator thermometer），製糖果用之溫度計，旋入蒸氣暖室器旁之溫度計，以及科學實驗上特製之溫度計等皆是。凡此種種，其原理均無相異之處。

然有一種家用上極重要之溫度計，其構造特異，人人皆應明瞭。此即所謂體溫計

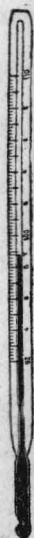


圖 187 體溫計。

(clinical thermometer) 是也(圖 187), 以此計置於病人之舌下, 即可探知其有無寒熱, 此計之水銀腔, 適當球之上面之處, 稍起收縮, 當水銀膨脹時, 擠過此隘口而上昇於幹中, 一如常態, 但當自病者口中, 取出此計而察看其上所示之度數時, 全體即復冷卻, 水銀柱即在收縮之部分裂開, 並不全體降入球內, 因而仍可指示所達之最高溫度焉。

問答題與計算題

1. 運用制動機過速, 則有火星自車輪爆出, 何故?

2. 將下列各度數改爲攝氏

度數: $70^{\circ}F.$, $150^{\circ}F.$, $0^{\circ}F.$, $-10^{\circ}F.$

3. 某日空氣之溫度在正午時爲 $90^{\circ}F.$, 而次日夜間則爲 $45^{\circ}F.$

問溫度之低降, 在攝氏溫度計上爲若干度?

4. 伽利略氏之第一溫度計,

係由含有空氣之球, 覆於細長之水柱上而成, 如圖 188 所示者然, 問 (a) 如何可將水灌入管中? (b) 空氣之壓力, 如何影響於此溫度計上所示之度數? (c) 溫度低降, 則其所示度數有何影響?

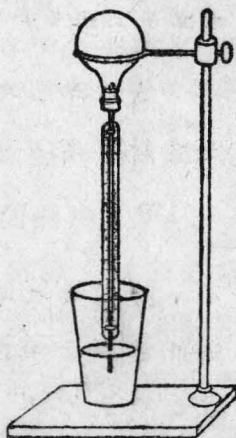


圖 188 伽利略氏之空氣溫度計。

5. 抄錄下之溫度表, 並補足之。

	華氏	攝氏
鉛之熔解點		327°
硫磺之熔解點	239°	
水銀之凝固點		-39°
汽油之沸點		80°
氮氣之液化點	-452°	

6. 在地球表面上之溫度, 自有記載以來, 最低者爲

$-90^{\circ}F.$ ，而最高者為 $136^{\circ}F.$ 。試將此二溫度間之差，表之以
(a)華氏之度數，(b)攝氏之度數。

7. 若欲製一溫度計，使其分度寬濶而易於辨認，則
(a)其幹內之腔，應粗抑應細？(b)其球應大抑應小？

8. (a)體溫計之水銀柱，在既用之後，如何可使之復降？(b)爲何應於冷水中洗濯之，而不可洗之以熱水？

9. 華氏溫度計上之度數，在何溫度適爲攝氏溫度計上度數之兩倍。

10. (a)華氏溫度計上之度數，在何溫度適與攝氏溫度計上所示者同？(b)取華氏計上任何度數加以 40° ，再以 $\frac{5}{9}$ 乘之，復減去 40° ，得數卽爲相當之攝氏計上之度數。此法爲何有效？

膨 脹

173. 由熱而膨脹——固體。建築鐵路軌道時，常在鐵軌之啣接處，留一空隙，使鋼鐵在夏日有膨脹之餘地。車輪之鐵緣，須於熱時套於輪上，因斯時其廓較大，而易於將輪嵌入也。待其冷卻之時，卽收縮而緊箍於輪上矣。尋常之掛鐘，在夏日報時往往遲緩，蓋其擺因膨脹而稍長，遂致擺動遲緩也。凡固體受熱，幾皆

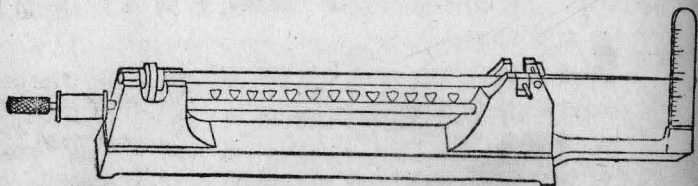


圖 189 金屬棒膨脹與收縮時所發之力。

膨脹,或多或少,惟此膨脹之量甚微,須費特殊之心力,始能見之也。

當固體膨脹或收縮之時,可發出巨大之力,在下列之實驗中,可用驚人之方法,顯示金屬棒因膨脹與收縮而發出之力。

在圖 189 所示之儀器中,有一金屬棒,棒下有小火燄一排,加熱於棒。棒之膨脹雖甚微,然可用棒端之曲槓桿以擴大之;故棒受熱,則指針即上舉。

欲顯示正在膨脹或收縮之物體,常發生巨大之力,可以鋼針一枚,穿於棒上接近指針處之孔內,乃調整他端之螺旋帽,使棒之此端擱於架上罅隙之左側。斯時若加熱於金屬棒,則橫貫之鋼針忽斷,而指針即急向上舉。於是以前一鋼針穿於孔中,調整螺旋,使棒端擱於罅隙之右側,而令棒收縮,鋼針仍折斷如前,而指針急向下降。

174. 金屬之不等膨脹。 由精細之實驗,知不同之金屬,按不同之率而膨脹。例如白金之膨脹,較少於其他普通之金屬,而鋅則較甚。若較準白金棒之長度於 $0^{\circ}C.$, 則在 $100^{\circ}C.$ 時,棒之長度逾於原長者為 0.9 耗。仿此,鋼棒之逾於原長者為 1.3 耗,而鋅棒之長,將增加 2.9 耗。

若將不同之金屬兩條,如鐵與黃銅,用螺釘拴於一處,或鉸合於一處(圖 190),成一複棒,則加熱

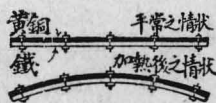


圖 190 加熱於複金屬棒所得之效果。

於其上時，因金屬之不等膨脹，而棒即蜷曲。

類於此種之複棒，為大多數“金屬溫度計”(metallic thermometer)之主要部份。一長棒圈成螺旋形，固定其一端，其他端之運動則擴大之而傳之於指針。在自錄溫度計(recording thermometer, 圖 191)中，有一圓紙片，用鐘機使之每日或每星期旋轉一次，而溫度之連續記錄，即由針端所附之筆描出。

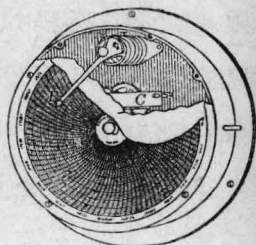


圖 191 自錄溫度計圖之旋轉，由於鐘機筆之移動，由於圈狀之複棒。

複棒之自由移動之一端，非惟可用以指示溫度，並可用以控制密閉空間內之溫度；此種器具，稱為整溫器(thermostat)。

175. 膨脹之計量。 已知之物體，例如鋼軌，如欲察其膨脹之多寡，必須先知關於此事之三要件，即其長度，溫度升高之度數，以及所用特殊物質之膨脹率(rate of expansion)是也。

例如吾人若知有一鋼軌長 33 呎，而溫度每高攝氏一度，則每尺膨脹 0.000010 呎，則自冬至夏，溫度之相差約為攝氏 50°，即可計算其膨脹之長短矣。其膨脹之長，等於每度每呎膨脹之長，乘以長度之呎數，再乘以溫度升高之度數，即

$$\begin{aligned} \text{膨脹之長} &= 0.000010 \times 33 \times 50 \\ &= 0.0165 \text{ 呎} = 0.198 \text{ 吋。} \end{aligned}$$

$$\text{膨脹之長} = \text{膨脹係數} \times \text{長度} \times \text{升高之溫度}$$

稱爲線膨脹係數 (coefficient of linear expansion) 之因子，爲單位長度溫度每高一度所增之長。此數爲一極小之小數，因物而不同。不問表長度之單位如何，其算得之膨脹之長常同，此應注意者。其故安在？膨脹係數通常係就攝氏度數而定，惟欲就華氏度數而決定之，則乘以 $\frac{5}{9}$ 即得。此又何故？

若干普通物質之膨脹係數，相當於攝氏一度者，列於下表：

鉍	0.000029	鑄鐵	0.000011
鉛	0.000029	鋼	0.000010
鋁	0.000023	白金	0.000009
錫	0.000022	玻璃	0.000009
銀	0.000019	配利克司(Pyrex)玻璃	0.0000032
黃銅	0.000019	鎳鋼(invar 26%Ni)	0.0000009
紫銅	0.000017		

176. 實例數則。在建築鋼橋時，常須使鋼鐵有膨脹之餘地。例如橫跨蘇格蘭福斯海峽 (The Firth of Forth in Scotland) 之大橋(圖 192)，其長逾一哩有半，其留待膨脹之地

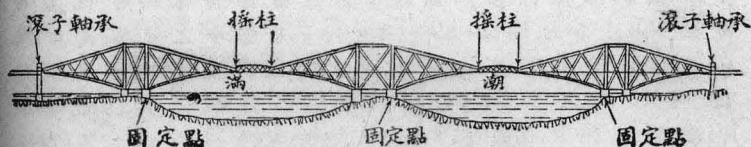


圖 192 蘇格蘭之福司海峽大橋。

位，約共 6 呎。又如在蒸汽動力廠內，長導管上常裝有滑動

之接筒，除非管之彎曲處，可盡量因膨脹而屈撓。

當燈罩受熱之時，玻璃即行膨脹，若一點之水，着於其上，則水漬近傍之玻璃，即疾行冷卻，而自其他部分收縮，於是燈罩破裂。

水晶雖外觀似玻璃，然因其膨脹係數極小(0.000005)，故赤熱之水晶坩堝，可突然將其投入於水中而不致碎裂也。

在錶內之擺輪(balance wheel)，若不加抵償之裝置，則在氣候炎熱之時，其往復即較遲緩，蓋渦狀細發條(hairspring，俗稱遊絲)之溫度增高而彈性減退，且因輪之半徑膨脹，致其邊緣離中心較遠，是以輪之旋轉變為遲緩也。故如將兩條不同之金屬，製成輪緣，外層用黃銅而內層用鋼，以螺釘旋合之，如圖 193 所示，則當溫度升高之時，輪邊之自由端即向內蜷曲，於是可使邊緣之一部份，較近於輪軸，橫桿(cross-bar)之膨脹與渦狀細發條之疲弱，皆可以此抵償之矣。



圖 193 錶之抵償擺輪。

177. 固體之體膨脹。金屬棒受熱之時，非惟在長度方面膨脹，即在濶度與厚度方面亦膨脹；總而言之，即其體積增加是也。此種在體積方面之膨脹，稱為體膨脹(cubical expansion)。假定有一立方，其稜各長 1 吋，溫度為 0°C ，而使此立方之溫度升至 1°C ；則立方之各稜，其長將變為 $(1+k)$ 吋， k 為線膨脹係數。原體積 1 立方吋，將變為 $(1+k)^3$ 立方吋。今知 $(1+k)^3$ 等於 $1+3k+3k^2+k^3$ ；但因 k 乃極小之分數，故 $3k^2$ 與 k^3 之值，小至可以不計，而不覺其有誤差。立方之體積於是為 $1+3k$ ；因此每立方吋每度之體積之膨脹，為 $3k$ 立方吋，而體膨脹係數，為線膨脹係數之三倍。

例如玻璃之線膨脹係數為 0.000009，而體膨脹係數乃 0.000009 之 3 倍，即 0.000027 是也。故在 0°C 適可容 1 呎之長頸玻璃瓶，在 100°C 即可容 1002.7 立方吋。

問答題與計算題

1. 厚玻璃製之牛乳瓶,以熱水注入其中時,較之薄玻璃製之長頸瓶,易於碎裂,說明其理。

2. 華盛頓紀念碑在正午時,微有彎曲,約為一吋之百分數,問碑向何方傾斜?說明其故。

3. 有一黃銅之米突棒,在 15°C . 時準確無差,問在 20°C 時,其誤差為何?

4. 一鐵製之直導管,輸送蒸氣自一屋至他屋,兩屋相距 180 呎,若此導管置於溫度為 20°C 之處,則當 100°C 之蒸氣通過該導管時,長度將增加若干?

5. 建造房屋之鋼架時,常先將帽釘燒赤,然後穿入鋼樑之孔,乘其熱時加帽,此法可使鋼樑緊合於一處,何故?

6. 有一長 33 呎之鋼軌,自 -17°F . 熱至 100°F . 時,其膨脹之長度為 0.275 吋,問按 華氏表為準之線膨脹係數為何,又按 攝氏表為準者為何?

7. 鋼骨水門汀,係由水門汀中包含鋼桿而成,此兩種材料,其膨脹係數相同,今有鋼骨水門汀之橋一座,長 450 呎,問其在夏季與冬季之二極端溫度間,即自 100°F . 至 -10°F , 其長度之增減各為何?

8. 一鋼絲在 15°C . 時,長 150 呎,電流通過其上,變為 151.3 呎,問此鋼絲受熱至如何程度?

9. 直徑 100 吋之玻璃圓片,若其溫度自 20°C . 變至 520°C ., 問圓片之周圍將有何變動?

10. 一鉑絲與一鋅條,同在 0°C 時量之,其長彼此各為 251 呎與 250 呎,問在何溫度,兩者之長相等?

178. 液體之膨脹. 設取一圓底長頸小瓶,充以墨水染色之水,而插入附有玻璃管及紙尺之塞子,如圖 194. 於是將此長頸瓶放入盛有冰水之玻璃缸中,而於紙尺上記出液體在玻璃管內之地位,今若以此長頸瓶放入盛沸水之盆中,則將先見管內液體驟然下降(何故?),然後見其迅速上昇,顯見液體之膨脹,較速於玻璃也。

通例，液體之膨脹，知較固體為甚，例如一呷之水，自 0° 熱至 $100^{\circ}C$ 。時，其體積之增加，約為43立方呎，然而同體積之鋼塊，則祇膨脹3立方呎，水銀及多種有機液體，例如醚，酒精，油類，石油，其膨脹較水猶甚，而以石油為最。

液體一如固體，受熱而膨脹之時，其力幾不可抵抗，設於膨脹之際為其四周之物所阻，即發生甚大之壓力。

就液體與氣體而論，常測其體膨脹，而不測其線膨脹，然因含液體之器皿，與液體同時膨脹，故祇察及其貌似膨脹耳。在水銀溫度計中，貌似膨脹祇約為水銀之實在膨脹之 $\frac{5}{6}$ 。

體膨脹係數，為溫度升高1度，每單位體積之膨脹數，例如酒精之體膨脹係數為0.00104，而水銀之體膨脹係數為0.000182。

179. 水之異常行爲。固體與液體，大概皆受熱則膨脹，適已見之矣，水雖如此，然近其冰點種則相異。

設取高玻璃瓶，充以碎冰幾滿，如圖195，而置之於側，稍歷片時，則面上之水，其溫度變為 0° ，而冰為 0° ，而瓶底之



圖 194 液體之膨脹。

水,其溫度約為 $4^{\circ}C$. (即 $39.2^{\circ}F$.). 因最重之液體當沉於底,故由此而知在 $4^{\circ}C$ 之水,較密於在 0° 之水.

由極精確之實驗,知水在 $4^{\circ}C$.時,其密度最大.當 $4^{\circ}C$.之水,或加熱或冷卻,均

膨脹而減輕,如圖195之曲線所示.

此一事實,極為重要,否則湖中之水,在冬季結冰之時,非但表面凝結,且將自底至面,凍成一塊,凡水中之生物,將因是而毀滅無噍類矣.

180. 氣體之膨脹. 用圖196

所示之器械,可以證明氣體受熱時之巨大膨脹,頗為容易.即以手覆於瓶上,其熱亦足以使氣泡自管中被迫而出,在水中上昇.若以火燄之熱,加於瓶上,則氣泡昇起極速.若片時之後,移去火燄,而聽玻璃瓶冷卻,則水即上昇入瓶,以占逸去空氣之地位.由吸入瓶中之水之體積,顯知有大部份之空氣,曾在膨脹之際排去.

氣體如空氣,煤氣,或輕氣等之膨脹,其所以顯著之故,原因有二:第一,因膨脹係數甚大(約為水之九

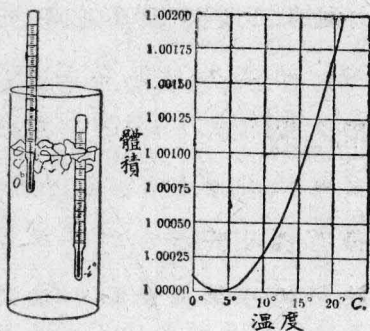


圖195 水在 $4^{\circ}C$.之最大密度.



圖196 氣體受熱時膨脹.

倍),而第二則因各種氣體之膨脹數殆皆相同。

氣體之膨脹係數,可用粗略之法,測之如下。假定有一口徑一律之管,如圖 197 所示,管之一端封閉,而其中有水銀一小顆,將密閉之氣體 AB ,與大氣隔開。(乾燥之空氣,為供實驗用之良好氣體。)設將此管置於方在冰凍之混合物中,其溫度為 0°C .,則管中之氣體即行收縮,而吾人可量得長度 AB ,此長將假定之為 273 耗。若置此管於 100°C 之蒸氣中,則氣體即行膨脹,而吾人可再量其長度,此長 AB' ,將見其得為 373 耗。由此實驗,知溫度每昇 1 度,空氣之膨脹為 1 耗(玻璃之膨脹可以略去不計),即溫度每昇 1 度,氣體膨脹其 0°C . 時之體積之 $\frac{1}{273}$,或 0.00366 是也。

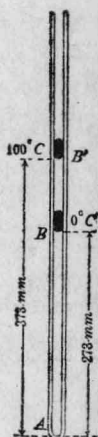


圖 197 氣體在固定壓力下之膨脹。

概言之,不同之氣體,殆有相同之膨脹係數,即為 $\frac{1}{273}$, 或 0.00366。

181. 開爾文 (Kelvin) 式絕對溫度計。 在適所述之實驗中,開始所用者為 0°C . 時長 273 耗之空氣柱;苟已將此氣體自 0° 冷至 -1°C .,則長度 AB 當縮短一耗;又若已將其冷至 -10°C . 者,則空氣柱之長度,當變為 263 耗。然則於無限冷卻之時,若空氣柱繼續按此率縮短,則空氣在 -273°C . 之體積,將變為零。就

事實而論，吾人永不能得一氣體有如是之低溫度乃至 $-273^{\circ}C$ 者，因各種已知之氣體，在未達此溫度之前，均已變成液體矣。然此 $-273^{\circ}C$ 之溫度，在氣體之研究上，有非常之趣味。此溫度稱為絕對零度 (absolute zero)，而以此點為 0° ，量得之溫度積為

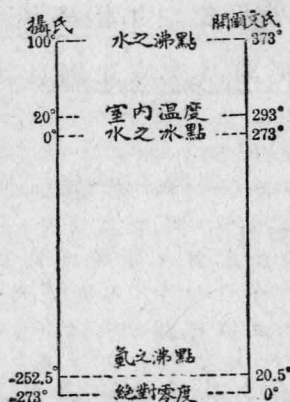


圖 198 攝氏計與克氏計。

絕對溫度 (absolute temperature)，或開氏計 (Kelvin scale) 上之溫度。開氏計 上之溫度，可以字母 K 表明之。是以 $0^{\circ}C. = 273^{\circ}K$ ， $50^{\circ}C. = 323^{\circ}K$ ，而 $100^{\circ}C. = 373^{\circ}K$ 。欲將任何溫度，自攝氏計變至開氏計 (閱圖 198)，祇須加 273 度即得。若以 t 表攝氏計 上之溫度，而以 T 表開氏計 上之溫度，則有

$$T = t + 273.$$

182. 氣體之體積如何隨溫度而變動。百餘年以前，有法國人名查理 (Charles) 者，研究氣體之膨脹，而求得溫度變遷相同時，一切氣體所起之膨脹或收縮，亦相同，祇須壓力不變。

概言之，當壓力保持不變時，氣體之體積殆與其絕對溫度成比例。此定律稱為查理定律 (law of Charles)。

氣體在一定之壓力下，其體積與溫度間之此種關係，可以方程式

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (I)$$

表之，甚為簡明，式中 V_1 與 V_2 ，表同壓力下，在不同之絕對溫度 P_1 與 P_2 時之體積。

由上述絕對溫度之討論，將見任何氣體當其溫度自 $273^\circ K.$ ($0^\circ C.$) 昇至 $2 \times 273^\circ$ ，或 $546^\circ K.$ ($273^\circ C.$) 時，其積即變為二倍。

例如，假定吾人有若干量之氣體，當溫度為 $15^\circ C$ 時，佔據 320 立方糎，問在 $0^\circ C.$ 時，其所占之體積為何？

先將問題中已知之攝氏溫度，加以 273，化成絕對溫度；於是

$$\frac{V_1}{320} = \frac{273}{273+15}$$

$$V_1 = \frac{320 \times 273}{288} = 303 \text{ cm}^3.$$

解此類問題之際，由計算所得之結果，宜與原有之體積比較，以察其是否合理，是以在實驗室中，如量得氣體當溫度為 $20^\circ C.$ 時之體積，則在標準狀況下 ($0^\circ C.$)，該氣體之體積當較小百分之 7 是也。

計 算 題

1. 在 0°C . 時, 400 立方呎之空氣, 若熱至 100°C ., 則其新體積爲何?
2. (a) 在 34°C . 之物體, 其熱是否倍於在 17°C . 之物體? (b) 在 127°C . 之物體, 其熱是否倍於在 -73°C . 之物體? 試述汝之答語之理由.
3. 實驗室中之溫度爲 17°C ., 有 200 立方呎之氧發生, 此氧在 0°C . 時之體積當爲何?
4. 22.4 呎之氧, 在 0°C . 時之重量爲 32.0 克, 問在 35°C . 時, 同此重量之氧, 其體積爲何?
5. 一玩具氣球中之氫, 在 10°C . 時之體積爲 45 立方呎, 如欲使其體積變爲 50 立方呎, 必須加熱至何溫度(攝氏計之度數)? 假定氣球地於氣體之壓力, 並不變更.
6. 某日之晨, 溫度爲 17°C . 時, 煤氣櫃中之煤氣, 量得其體積爲 50000 立方呎, 問在下午二句鐘, 當溫度達 23°C . 時, 櫃中煤氣之體積爲何? 假定欄蓋能自動上昇, 保持對於氣體之固定壓力.
7. 有一小口徑之管, 一端封閉, 所含之空氣, 以短水銀柱維持其固定之壓力(圖 197). 若空氣柱之長在 0°C . 時爲 34 呎, 而在 100°C . 時爲 47 呎, 則空氣之體膨脹係數爲何? 以此值與書中所載者比較.
8. 一呎之空氣, 在 0°C . 與一氣壓時, 重 1.293 克, 問在 100°C . 與一氣壓時, 空氣之密度爲何?
9. (a) 從圖 195 所示之曲線, 求一立方呎之水, 與 0°C . 時一立方呎之水同重之第二溫度. (b) 一立方呎之水, 在何溫度, 其重爲 4°C . 時之 0.998?
10. 水銀之體膨脹係數爲 0.000182. 在 -10°C . 時 300 立方呎之水銀, 熱至 115°C . 時, 變爲若干立方呎?
11. 汽油之膨脹係數, 約爲華氏每度 0.0006. 若有一坦克車, 含有 100000 加侖之汽油, 溫度爲 60°F ., 則當溫度降

爲 0°F . 時,其體積將縮去若干?

183 氣體之壓力如何隨溫度而變動. 因氣體之體積,隨溫度之增加而亦增加,故逆料一定量之氣體,若受熱而仍束之於同一空間內,則壓力必將增加,其說頗爲合理,爲決定氣體之壓力係數 (pressure coefficient) 起見,曾有各種極精細之實驗,其結果知不論何種氣體,如其體積保持不變,則溫度每高攝氏計上一度;壓力之增加,殆爲 0°C . 時之 $\frac{1}{273}$, 或 0.00366 . 於此可見,此數卽爲壓力不變時體積增加之分數.

此語如用絕對溫度述之,當較便利,苟如是者,卽有:凡氣體之體積不變者,其壓力與絕對溫度成比例;或

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{II})$$

例如有一汽車,將室氣壓入其其輪胎,壓至每平方吋 70 磅(絕對值)之壓力,其時空氣之溫度爲 17°C . 在炎熱之某日,此車經行駛以後,胎內空氣之溫度昇至 57°C . 如假定輪胎不伸長,則胎內之壓力有何變動?

$$\frac{70}{P_2} = \frac{273+17}{273+57}$$

$$P_2 = \frac{330 \times 70}{290}$$

= 每方吋 79.8 磅

184. 氣體方程式. 在同溫度時, 氣體之體積與壓力間之關係, 可用波義耳定律(第97節)簡述之如:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (\text{III})$$

式中 V_1 為已知量之氣體, 在壓力 P_1 下之體積, 而 V_2 則為同量氣體在壓力 P_2 下之體積, 兩者溫度相同.

氣體對於壓力兼對於溫度之關係, 可表之以氣體方程式(gas equation).

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

當 $T_1 = T_2$ 時, 可立見此方程式變為方程式 III (即波義耳定律); 而當 $V_1 = V_2$ 時, 又立見此方程式變為 $P_1/T_1 = P_2/T_2$, 此乃方程式 II 之別式; 又如 $P_1 = P_2$, 亦立見此方程式變為 $V_1/T_1 = V_2/T_2$, 此乃方程式 I (查理定律)之別式也.

例如, 有一定量之氣體, 在 15°C ., 壓力 740 耗時, 知其體積為 1200 立方糎, 今欲求其在標準狀況下, 即溫度為 0°C . 而壓力為 760 耗時之體積.

因有

$$\frac{P_1 V_1}{273 + t_1} = \frac{P_2 V_2}{273 + t_2}$$

$$\frac{740 \times 1200}{273 + 15} = \frac{760 \times V_2}{273 + 0}$$

測之

$$V_2 = \frac{740 \times 273 \times 1200}{760 \times 288} = 1119 \text{ 立方糎.}$$

185. 低溫度與高溫度. 開爾文爵士以及其他

科學家之探究，皆暗示如絕對零度之意義，乃宇宙中可有之最低溫度，則溫度 $-273^{\circ}C.$ (較爲精確之值係 $-273.2^{\circ}C.$) 確爲絕對零度之結論。雖尙未有人能使物體冷至絕對零度，然與此點相差僅及數度之溫度，則已能由液化氣體之蒸發而得之。用液體空氣，可得低至 $-200^{\circ}C.$ 之溫度；而用液體輕氣，則可得 $-258^{\circ}C.$ 之低溫度。勒登 (Leyden) 之奧涅斯 (Onnes)，曾求得液體之沸點爲 $-268.6^{\circ}C.$ ，在絕對零度之上僅 4.5° 耳。於一九二一年，奧氏 又使液化氦在 0.02 耗之壓力下沸騰；而使其冷至在絕對零度之上或不及 1° 之低溫度焉。在此等低溫度時，橡皮與鋼鐵，皆將脆若玻璃；而金屬之導電性，則較在尋常溫度時大爲增進。

用以鎔化金屬之爐，其中之溫度遠較水之沸點爲高。例如鐵約在 $1100^{\circ}C.$ 時溶解，白金在 $1755^{\circ}C.$ 時鎔解，而鎢則須至 $3000^{\circ}C.$ 始溶解。極高之溫度，常用電弧得之，可達 $3700^{\circ}C.$ 據推測，太陽之溫度或可高至 $6000^{\circ}C.$ ，而若干恆星之溫度，或可至 $50000^{\circ}C.$ 云。

186. 熱爲何物之理論。以熱爲物質分之迅速振動，或充於分子間之能媒之振動，理由頗多。欲解釋此等現象，若干科學家乃幻想有一種無重量有彈性

之流質，稱爲能媒者，充滿於一切之空間。吾人以爲熱熨斗之分子，其振動較冷時爲速；而此種分子運動波及其四周之能媒，於是循直線向各方送出，成爲放射熱焉。

當溫度約爲 550°C . 時，鐵變爲“赤熱”，而在 1300°C . 時，則變成“白熱”。吾人又可幻想，鐵於尙未發赤之前，係在送出黑暗之熱線；但當其赤熱或白熱之時，即在放出可見之熱線，即光線是也。吾人以爲此等熱線與光線之不同，祇在振動之遲速，及其對於人目之效應而已。設振動次數在每秒 400×10^{12} (400 trillions) 以下，則認其爲熱；但若振動次數在每秒 4×10^{14} 與 8×10^{14} 之間，則視神經即認其爲光矣。熱與光，皆爲放射能之形。此種放射能以每秒 187000 哩之巨大速度進行。此即謂放射能在一秒之中可繞行地球七次也。

以此理論爲根據，則物體受熱而膨脹，即由其分子振動更烈所致，蓋分子振動之速度既增，即須有較爲寬展之地步，以便行動也。在某一定溫度時，此種運動非常劇烈，以致分子離其原位置而散去，物體遂易其態；即熔解或沸騰是也。在絕對溫度時，此種分子運動概行停止。

計 算 題

1. (a) 一定量之空氣，在溫度 27°C 。壓力 75 厘時，其體積為 400 立方吋。問在溫度 327°C ，壓力 150 厘時，其體積將為何？(b) 一定量之空氣，在溫度 27°C 。壓力 75 厘時，其體積為 400 立方吋。問在溫度 327°C 。時，壓力 150 厘下，其體積為何？
2. 一鋼桶充滿空氣，其溫度為 15°C 。壓力一氣壓，封閉之而投於爐內，熱至 1000°C 。彼時空氣施於鋼桶之壓力有若干氣壓？鋼之熱膨脹不計。
3. 一磅之空氣，在 0°C 。一氣壓時，占有 12 立方呎之體積。若加以 10 氣壓之壓力，而於壓縮時溫度昇至 187°C 。則其體積將為何？
4. 某學生在化學實驗室中，發生 50 呎之氫，溫度 10°C 。壓力 700 耗。求其在標準狀況下，即溫度 0°C 。壓力 760 耗時之體積。
5. 五立方呎之氫，其溫度為 27°C 。封閉於堅固之鋼筒中，如欲使此氣體之壓力加倍，必須加熱至何溫度(攝氏)？
6. 一立方呎之空氣，溫度為 10°C 。加之以熱，至其體積與壓力皆加倍而止。問在此二條件下之(攝氏)溫度為何？
7. 汽車引擎之汽缸中，其壓力適在爆發以前者，或為 5 絕對氣壓；而在爆發以後，則或為 12 絕對氣壓。若爆發之作用，視為汽缸中氣體一時發熱所致，而爆發前之溫度若為 200°C 。則爆發後之溫度當為何？
8. 在海平面上，氣壓計所示度數達 76 厘，而溫度為 17°C 。；在山巔則氣壓計所示度數僅及 40 厘，而溫度則為 -13°C 。試比較此兩地之空氣一立方呎之量。
9. 以空氣充於汽車輪胎，由壓力計知壓力達於每方吋 45 磅。其時溫度為 17°C 。問當溫度昇至 30°C 。時，如輪胎之大小不增，則壓力計所示之壓力為何？
10. 容積一呎之長頸瓶，中含 1.293 克之空氣，溫度為

0°C. 而壓力為 76 釐，問在 50°C. 與壓力 50 呎時，其所含空氣有若干克？

第十二章 提要

攝氏計 100 度 = 華氏計 180 度。

$$\frac{\text{攝氏溫度}}{100} = \frac{\text{華氏溫度} - 32}{180}$$

線膨脹係數 = 溫度每一度每單位長增加之長。

膨脹度 = 膨脹係數 × 長度 × 升高之溫度。

體膨脹係數 = 溫度每一度每單位體積增加之體積。

膨脹度 = 膨脹係數 × 體積 × 升高之溫度。

固體之體膨脹係數 = 3 × 線膨脹係數。

氣體之壓力係數 = 增加之壓力 / (壓力 × 升高之溫度)。

增加之壓力 = 壓力係數 × 壓力 × 升高之溫度。

一切氣體之體積係數殆相同。

一切氣體之壓力係數殆相同。 } 其值為 $\frac{1}{273}$ 。

體積係數與壓力係數殆相同。

氣體方程式：
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

T (開氏計) = t (攝氏計) + 273。

問 答 題

- 井水在冬季似暖而在夏季似冷，何故？
- 以水為溫度計中之膨脹液，則不合實用，何故？
- 試繪一利用空氣膨脹之溫度計之圖。
- 鉑絲可以封入或熔入尋常之軟玻璃，而銅絲則不能，何故？
- 何謂“伸縮關節 (expansion joint)”？在何種情形之下，必須用伸縮關節？
- 鐵路上兩軌啣接處，欲留出適當之空隙時，必須考慮之數種主因為何？
- 汽車之汽缸中之活塞，有時因滑潤不適當，而謂

爲“凍結(freeze)”，試說明之。

8. 常度合金(invar)爲鋼與鎳所成之合金，其性質依所用之此二種金屬之相關量而變，此種合金甚至可有“負係數”，“負係數”一語，其意爲何？

9. 以冰裹於煤氣導管通至氣量計之處，能否減少煤氣賬單上之數目？

10. 華倫海(Fahrenheit)爲何選擇 32° 與 212° 爲其溫度計上之二定點？試在百科全書或物理學史中，一讀最初之溫度計小史。

11. 自極熱之水中取出一杯，而覆之於光滑之表面上，今欲再舉此杯，頗感困難，何故？

實 習 題

1. 取火之古法。試按童子軍便覽中所述之方法取火，近時國中頗盛行取火競賽，頗有趣味。

2. 體溫。在劇烈運動以後，恆覺非常之熱，體溫是否超過常度？試測之。

3. 最高最低溫度計。如圖199所示之“最高最低”溫度計，試說明其作用。此種溫度計有何用處？

4. 溫度之圖表。取包皮紙一張，長約10吋，畫極大之溫度計於其上，自絕對零度($0^{\circ}K.$)至 $1000^{\circ}C.$ ，自本書或他書之溫度表中，摘取各種不同之有趣味之溫度，分別注於適宜之處。

5. 電燈泡之引入線。現在用以代鉑之合金，其性質成分等等，可向教師或電料商詢得之，此種合金之發明史，頗有趣味。

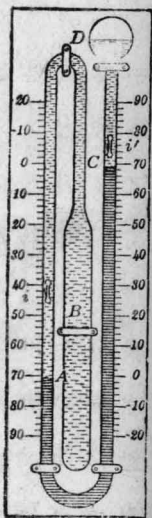


圖 199 最高(右)最低(左)溫度計。

第十三章

熱之傳播

省熱之問題——由對流而傳播——對於熱水及熱空氣
暖室法之應用——固體，液體，以及氣體之傳導——輻射
——熱之反射與吸收。

187. 省熱 因省熱之意，大概指節省燃料而言，

故熱保藏，乃國家經濟之問題。熱常有自暖物移至冷物之傾向，而永不能全部留用。然如研究不傳熱之物體而知其性質，則本欲散去之熱，即可大部保存之。例如鋼製客車之壁，即塗有一層隔熱之物質，因鋼為傳熱之良導體，故此類車輛，在冬季將使熱之虛耗甚多也。房屋之牆壁，中空有氣者，亦因此故。雙重之窗，在冬季可以節省多量之熱，因兩窗間之空氣不流通也。爐灶及散布熱於屋內各處之導管，如在其四週圍以優良之隔熱體，則於短時間內，即可獲節省煤炭之利。在工廠之中，蒸氣導管之外，常塗有石棉或氧化鎂等以隔熱者，亦因此故耳。在室內之暖空氣，如任其自壁爐之開口處逸去，則耗費之熱頗多；故壁上方烟突中之風門，與壁爐中不生火時，應關閉之。在天氣寒冷之時

熱空氣爐之冷氣輸入管，應使其近於關閉，氣流經過爐身之循環，即屋內用一或數迴氣管 (return flue) 以維持之。

欲明保熱之各種方法，必須研究熱之傳播情形。熱之傳播，大概不出三種不同之方法，即所謂對流 (convection)，傳導 (conduction)，以及輻射 (radiation) 是也。

188. 對流。 欲說明對流之情形，可先作下述二簡單實驗。

取一玻璃瓶，截去其底，再取一玻璃管，曲之 (圖 200)，使其兩端可以插入瓶頸之塞子中。今若倒置此瓶，而充之以水，水中和以少許木屑，則當以火燄前後搖動於玻璃管下時，即見管中之水，循環流動，自 *A* 至 *B*。其循環之方向為自 *A* 至 *B*，須注意之。何故？

一木箱有玻璃面 (圖 201) 在其側，頂有二孔，蓋以玻璃之烟突。若置一燭於一烟突之下，則空氣之對流，即自冷烟突 *A* 下降，而由熱烟突 *B* 上昇。以燃着之紙捻放近冷烟突之頂，則對流更為明顯。

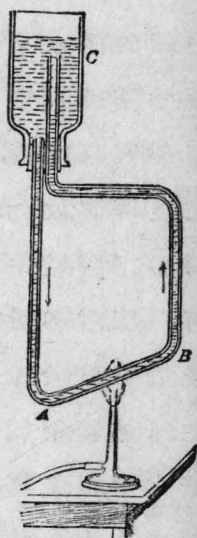


圖 200 水之對流。

凡暖室及通風之裝置，均根據於所謂對流之作用，而對流之作用，又由液體與氣體之膨脹而來。任何氣體或液體，受熱即行膨脹，故一定量之氣體或液體，其體積既增加，密度即隨以減少，於是較輕之氣體或液體，為其四週較重之氣體或液體所推而上昇，正如水中之木塊，為其四週之水所推而上浮者同，此即對流運動之解釋也。

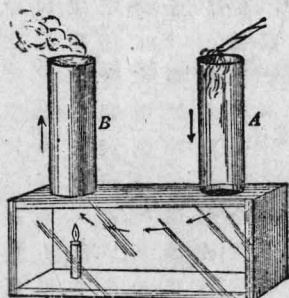


圖 201 空氣之對流。

189. 由對流傳熱。因對流中向上之部分，較暖於其復降之部分，故每一循環，火燄或其他在底部之熱源之熱，即傳至頂端較冷之部份。此種以熱物或流質之較熱部份，自此移至他處之傳熱方法，即稱為對流。

用射熱器 (radiator) 暖室 (圖 202)，即為利用對流之一例。與射熱器接觸之空氣，受熱而上昇，而室內其他部分之冷空氣，則沿地板流去，以代其位。

190. 烟突內之氣流。欲使任何物體燃燒，必須給以繼

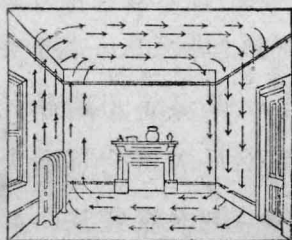


圖 202 室內空氣之對流。

續不斷之新鮮空氣，例如火爐或熔爐 (furnace) 之烟突，其中之氣流 (draft) 即係對流之一例，火所產生之熱氣，為自火下入爐之較重之冷空氣所推而上昇，當爐火初生之時，氣流並不甚急，因烟突內之空氣，尙未受熱故也，使烟突直立且十分光滑；使烟突伸出於房屋之其他部分；使烟突遠離屋外之牆，以免迅速冷卻；以及用複壁構造烟突，以保持突內之氣全部溫暖，皆可得甚急之氣流，烟突不可過大，以致熱氣不能充滿其中；亦不可過小，以致氣流不暢，工廠中所用之烟突，往往甚高者，因氣流之緩急，須視熱空氣柱之全重量，與外面相似之空氣柱重量之差而定；而此差則殆與烟突之高度成比例故也。

巨量之熱，為烟突內之氣體所攜去；但不可以為此熱全部耗廢，稱為聚熱機 (economizer) 之器械，已經發明，可以利用此熱而輸送較冷之氣體自烟突上昇；但在此種情形之下，必須用巨大之風扇，以動力運轉之，使所需之氣流得以發生，故可謂烟突內失去之熱，即係為氣流所付之價。

191. 熱水暖室。 廚之下汽鍋中熱水，以供洗衣室及浴之用者，其裝置如圖 203 所示，冷水自將及水槽底之導管入槽，水自槽底入螺旋狀之導管，此導管以煤氣火燄，或廚房中爐灶之火熱之螺旋管中之水受熱，即被迫上昇，而在槽頂近傍，流回槽內，如是即發生一循環作用，繼續不已，直至槽內之水，殆盡經螺旋導管，而水槽全部發熱為止。

熱水暖室法 (hot-water system of heating house) 亦根據此對流之原理 (圖 204)，在地下室中之火爐，將水

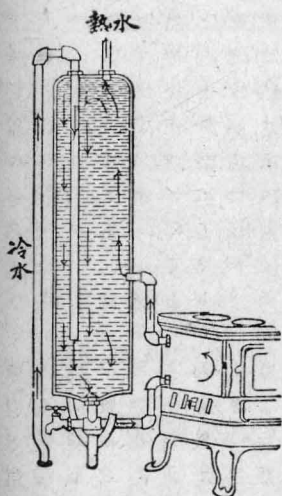


圖 203 廚下熱水之汽鍋。

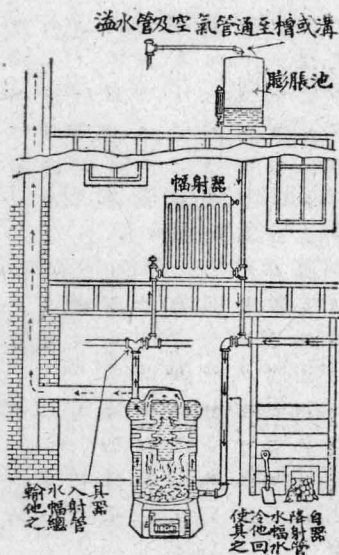


圖 204 熱水暖室法。

熱至幾達沸點。熱水自爐頂經導管而上昇，入於屋內各室之鐵製射熱器中。因各射熱器露出之面積甚大，故其熱立即由熱水放出，傳與近傍之空氣。於是冷卻之水，即自射熱器經回水管復降入爐底。地下室中之導管上，常厚塗不傳熱之石棉一層，以防止熱之發散。

192. 熱空氣暖室法。 在地下室中之熱空氣爐(圖 205)，僅為一大火爐，外圍以電鍍鐵片製成之護套，爐與外鐵套間之空氣，以爐火熱之，於是自室外經冷氣輸入管而來之較重之冷空氣，即推之上昇於通氣

管烟當然由烟突上昇。入於室內之冷空氣，其一部分即自門窗逸去；其餘則由迴氣管返至爐底。

熱水煖室法，並無交換室內空氣之準備；即並無通風之裝置用

熱空氣煖室，則有少許之新鮮空氣，繼續流入室內。在私家之住屋內，即此已足。但在學校、教堂以及其他公共建築中，必須用其他方法，使多量之清潔而新鮮之空氣，繼續流入屋內。在公眾集會之廳堂中，欲得適當之通風，則據估計，每人每分鐘，約需新鮮空氣50立方呎。在廣大之近代學校建築中，係用大動力之風扇，自室外抽入空氣，以布濾過之，再經過蒸氣管使之溫暖，然後分布於通氣管中，送入各室。污濁之空氣，即自近地板之出氣管被迫而出。此種簡接之煖室法，雖不經濟，然可得完美之通風。

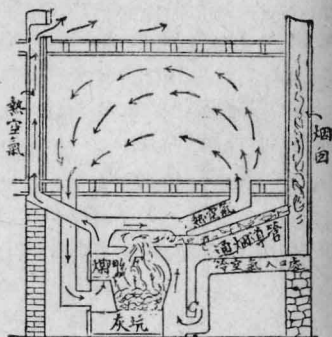


圖 205 熱空氣爐及其迴氣管。

問答題與計算題

1. 烟之上昇於烟突，係被推抑係被曳？試說明之。

2. 在日間往往有微風自海上吹來，在晚間則往往有微風自陸地吹去，此事實試說明之。
3. 某屋中在冬日生熱之法，頗爲妥善，有二窗半開，一在二層樓，一在三層樓，問空氣經過此二口，其運動之方向爲何？試說明之。
4. 在熱水煖室之裝置中，爲何必須用一膨脹池？
5. 若1立方呎之空氣，在 0°C .時重0.081磅，則在高30呎每邊1呎之方烟突中之氣空，如熱至 260°C .，其重量爲何？
6. 在平常之屋內，有一火爐之烟突高30呎，9吋見方，設流通於烟突內之空氣，其平均溫度爲 260°C .，而外面之空氣，其溫度爲 0°C .，則外面之相似空氣柱，較烟突內之空氣柱重若干倍？
7. 飛行家低飛於有林木及田野之區域上，常覺其機傾斜於一側，有人以爲此乃“空氣之缺陷”所致，更較有理之說明爲何？

193. 固體之傳導. 吾人已見由於移動熱物，或使熱流質流經導管，即可將熱傳播，但吾人亦可不移動任何物體，而將熱傳播，即由所謂傳導與幅射之二以方法是也。

盡人皆知銀匙浸入熱茶之中時，其柄即熱，若以鐵大棒之一端放於火中，則他端如無木柄，必將燙傷持棒者之手，然若以木棍插入火中，則他端實難覺其有何熱度，故斷言銀與鐵之導熱，較木爲優，概言之，金屬皆傳熱之良導體也。

有若干物質,例如石,玻璃,木,羊毛,皮,以及灰燼之類,皆傳熱之不良導體,故稱爲隔熱體(heat insulator). 金屬如銀,銅,黃銅,鐵,鉛等等,與非金屬比較,皆爲良導體,由精細之研究,知卽爲金屬,其導熱之能力,卽導熱率(heat conductivity),亦大不相同. 此可由下之實驗知之.

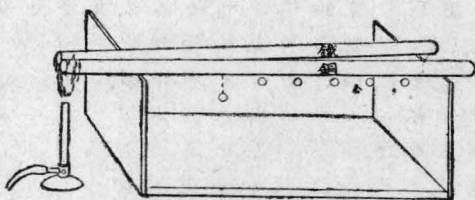


圖 206 銅與鐵之相關導熱率。

取銅棒與鐵棒各一,用火漆將若干小鋼球,按規定之間隔,膠於二棒向下之一側。若以火燄熱二棒之一端(圖 206),則銅棒上之鋼球,自最近火燄者始,立即落下,其後鐵棒上之鋼球,始依次落下,在鐵棒上之鋼球,其第一枚尙未落下以前,銅棒上之鋼球往往已落去一半矣。

194. 液體與汽體傳

導. 液體與氣體,較之金屬爲極不良導體. 此可由下之實驗知之.

取大試驗管,充之以水,且以冰數塊投入水中,用鐵絲網使冰塊沉至水底,如圖

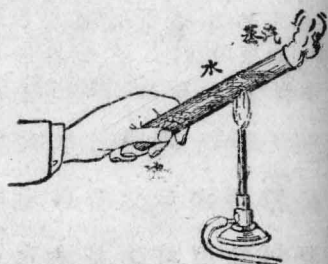


圖 207 水爲極優良之隔熱體,故冰與沸水,可同在一試驗管之中。

207 所示，乃管端之水熱至沸騰，歷若干時，管底之冰仍未融化。

由測量導熱率之實驗，知鐵之導熱率為水之百倍，而水之導熱率則 25 倍於空氣。

物質為傳熱之良導體者，亦為傳電之良導體，厥為有趣味之事實也。

195. 應用。火棒與水壺，皆有木柄或他種隔熱體之柄；真空瓶（圖 208）能保持瓶內物體之熱度或冷度，歷時頗久；吾人在冬季，須穿棉衣或毛織品；其所以然之故，皆可以導熱率之此種差別說明之。質地不緊之毛織品之衣服，皮，羽以及鴨絨被，皆有效之隔熱體，因有多量之空氣，含於其細孔之中，而又不能發生對流之故也。

對於冷與熱之觸覺，奇特者頗多，此亦因導熱率不同之故也。例如在寒冷之室中，各物有此較彼更覺其冷者。金屬之物體，因為良導體，自手取熱頗速，故觸之即覺其冷。其他物體，例如木與紙之類，則自手取熱甚緩，故觸之不覺其冷。同理，一片金屬置於炎日之下，即覺其較暖於近傍之木塊焉。

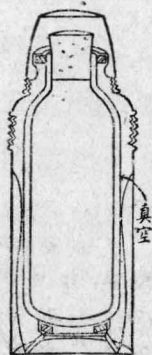


圖 208 真空瓶，即保溫瓶之剖面。

196. 輻射。若加熱於鐵球，而懸之於室內，則以手移近鐵球之下，即覺其熱。此並非由對流所致，蓋熱空氣當自球上昇者也。此亦非由傳導而來，因氣體乃極不良之導體也。同理，若以手移近發光之電燈泡，即

覺其熱；但當電燈熄滅之時，熱之感覺立行停止。燈泡之玻璃爲不良導體，而在泡中殆無空氣存留，故熱之感覺，既不能由對流而來，亦不能由傳導而來也。更有進者，巨量之熱自太陽而來，達於地上，然曾乘氣球與飛機上昇者，皆覺空氣愈高愈稀，故假定地球之大氣，僅爲數哩厚之包裹，而以外之空間實空無所有，實頗合理，是以太陽之熱，亦不能由對流或傳導而達於地。

欲解釋此現象，若干科學家幻想有一種無重量，有彈性之流質，稱爲能媒者，充於一切空間之內，而能由一種稱爲輻射之方法，傳播熱與光。一物體不與傳導體相接觸，而自行冷卻時，即稱該物體輻射其熱，或由輻射而冷卻。若將一屏，例如一書，隔於燃着之燈與人面之間，則燈之熱即不能再覺。故吾人以爲熱線亦猶光線，係循直線進行者。由實驗，知熱線與光線同，可用鏡反射之，或用聚火鏡 (burning glass) 使之集於一焦點。

若干物質，例如玻璃與空氣之類，常聽太陽之熱線全部透過，幾不加阻止，故此輻射熱僅使其稍暖而已；即謂此類物體“透熱 (transparent to heat)”是也。其他如水一類之物質，不聽熱線透過，任何輻射能射於

其上，即使其變暖；此類物體為“不透熱 (opaque to heat)”之物體。

197. 輻射能之反射與吸收。

輻射熱或輻射能，可用輻射計 (radiometer, 圖 209) 探測之。此器為一玻璃球，中有四葉板，各板一面塗有煤烟，他一面則有光澤。此四葉板裝於直垂軸上，故極易旋轉。球中之空氣，抽去殆盡。當輻射熱射至葉板時，葉板即行旋轉，其方向常使塗黑之一面後退，旋轉之速度，得視所受之能而定。



圖 209 測輻射能之輻射計。

取二凹鏡，如圖 210 排列之，可示輻射能之反射。將鐵

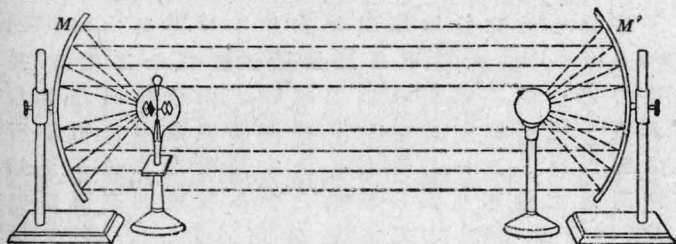


圖 210 輻射熱為凹鏡所反射。

球熱至殆將發紅，乃置之於離輻射計稍遠之處，使輻射計之葉板，不因直接之輻射，而生轉動。於是移兩凹鏡近前，使球與輻射計，適當二鏡之焦點。今即見葉板轉動頗疾，蓋受反射之能所致也。輻射能着於葉板之黑面，即被其吸收，是以黑面生熱較白面為速，近黑面之空氣分子，其跳躍較之近白面之空氣分子為活潑，因而推向黑面亦較向白面為烈。

鏡或琢磨極光之表面，皆為良好之射器，然其本身則仍冷而不熱。白雪在日光中融化甚緩，但雪上如

灑以煤烟，或蒙有黑塵，則即吸收輻射熱而融化頗速。概言之，能反射之物或白色物，不易吸收輻射熱，而粗糙或黑色之物，則吸收輻射熱頗速。

色澤鮮明，兼能反射之熱物，當其由輻射而冷卻時，又知其較緩於粗糙而暗黑之物。例如磨光之銀杯，其將熱輻射之速度，較緩於煤烟薰黑之杯者，達二十倍。概言之，良吸收體爲良輻射體，而不良吸收體爲不良輻射體。

感覺極敏之檢驗輻射熱之熱電檢熱器(thermoelectric detector of radiant heat)，晚近已發展至極完全之地步，甚至一哩外之一燭，其輻射熱亦能檢驗之。此種檢熱器，曾用以測天空一星所輻射之熱；用以探測擲彈飛機之引擎所輻射之熱，而得其方向，於是決定飛機之地位；甚至用以探測漸近之敵軍身體所輻射之熱，而警戒其來襲防禦之陣地。

問 答 題

1. 紅熱之鉸釘，在木上冷卻，較之在鋼上冷卻，何者爲速？試言其故。
2. 暖房(玻璃花棚)之玻璃，其作用猶如捕熱之窰，何故？
3. 大理石之地板與地毯，雖同在一室之中，而前者較冷，何故？
4. 在夏季及在熱帶，人多喜穿白色之衣服，何故？
5. 兩極之探險家，覺彼等自埋於雪中，頗可保持其體溫。試說明其理。

6. 羊毛毯往往呼之爲“溫暖”之物，但於夏日，則可用以蓋冰，使冰不致融化，試說明之。
7. 茶壺之面，何以當磨光之，而壺底則須塗以黑色？
8. 當日光照臨積雪時，污濁之雪，融化較速於清潔之雪，何故？
9. 飛行家飛至極高時，雖離太陽較近，而恆覺異常寒冷，何故？
10. 一人在山頂觀測，一人乘飛機觀測，其機之高度與山頂在同一水平面，但其下則爲一平原，此二人中，何人覺較溫暖？
11. 新聞紙何以能保護植物，不受霜害？
12. “屋內變冷”一語何解？
13. 冰房(ice house)之壁，往往裏以木屑，何故？

第十三章 提要

熱之傳播，由於對流，傳導以及輻射。

液體與氣體之傳熱，係由受熱之分子，離熱源而他去之運動所致。流質之受熱部份上昇，較冷且較密之部份下降，遂成對流。

金屬爲熱之最良導體，而氣體則爲熱之最不良導體。組織不密之物體，其所以能不傳熱者，厥因其含有空氣之故。

輻射乃能之穿過空間之遷移，物質吸收之，卽現爲熱。太陽爲輻射能之巨源。粗而黑之物體，乃最佳之輻射體及吸收體。

問 答 題

1. 火棒之上，裝以螺旋形之鐵絲柄，較之同形式之實質金屬柄，其護手之功用爲大，何故？
2. 火爐不置於氣樓上，而置於地窖中，除便利以外，尙有何種理由？

3. 冰酪製造器之外桶，何以用木製，其內桶何以又用金屬製？
4. 若置熱物體於金屬之上，其冷卻是否較之置於木上為速？說明其理。
5. 在冬日以舌尖觸鐵籬，頗為危險，如觸木籬，則又不然，何故？
6. 試舉三種金屬之名稱，皆為熱之良導體，並各舉其因導熱率頗高之用途。
7. 禦裘於身，毛在內較之毛在外為暖，何故？
8. 壁爐有時因地位不佳，或構造不良而冒烟，試舉可以發生此事之三種可能的缺點，並各說明其所以致氣流不暢之故。

實 習 題

1. 熱水暖室之模型。試佈置一具熱水暖室之模型，可在化學實驗室中，取玻璃瓶，長頸瓶，塞子，玻璃管等作之，說明汝所作模型之運用情形。
2. 室內之溫度與空氣流。用射熱器使室內生熱，而將所有門窗，盡行關閉。(a)測驗室內各處及在不同水平面之溫度。(b)用烟，羽毛，或負重而可以飄浮於靜空氣中之玩具氣球，以試驗空氣流。
3. 試驗保溫瓶。取各家製造之保溫瓶(即熱水瓶)，一一盛以冰水，歷24小時，再盛以沸水，亦經同長之時間，以驗其保溫之能力，自最佳之瓶至最劣者，將所得之結果列成一表。
4. 風門之用途。用圖細述汝所見火爐或溶爐之一切“風門(damper)”，並說明其作用。

第十四章

冰,水,及蒸氣

熱之計量——英國熱單位與卡——比熱——冰點——冰凍時體積之變化——冰之熔解熱——在不同壓力下之冰點——蒸餾——水之蒸發熱——蒸氣煖室——濕度——霧,雨,及雪——製冰及冷藏

193. 熱之計量法. 設有人購煤一噸,則此人以錢易得者爲何耶?吾人或答以:得2000磅之物質,其中或有60磅之水,240磅爲灰,而其餘則大半爲炭與輕氣,然此人所欲知而真可引起其趣味者,並非物質之種類,而爲彼所購得之熱量.因熱非物質,僅爲能之一種形式,故不能直接以磅數或夸(quart)數計其量,必須由其可生之效應以計其量.例如一磅之硬煤,苟能完全燃燒,且在燃燒時發生之熱,苟能全部用以熱水,則約7噸之水可熱至溫度升高華氏1度.工程師計算各種燃料之熱值,其所用單位,均爲如可表示使一磅之水之溫度升高華氏一度所需之熱者.此熱單位稱爲“英國熱單位(British thermal unit),”而以 B. t. u. 記之.例如下表中,即載有數種燃料之平均熱值.

煤氣	每立方呎	600 B. t. u.
乾燥之木	每磅	5000 B. t. u.
潮濕之木	每磅	14000 B. t. u.
石油或汽油	每器	磅 19000 B. t. u.

在歐洲各國,以及一切物理與化學之實驗室中,所用之熱單位爲米突制單位,稱爲克卡(gram calorie).

克卡者,使一克之水,溫度升高攝氏一度所需之熱也。需用較大之單位時,則用尅卡(kilogram calorie). (1尅卡 = 3.97 B. t. u.).

199. 不同之物質所吸收之熱. 於爐上熱一壺之水,遠較熱同重量之熨斗爲緩,此衆所習知之事也. 熱一尅之水,使其溫度增加一度所需之熱,可使同重量之鋁,溫度增加得5度,使鋅或銅增加溫度得10度,使銀或錫增加溫度得20度,而可使鉛或水銀,增加溫度得30度. 在事實上,由實驗,知每單位重量之水,溫度增高每度所需之熱,較任何他種物質所需者爲多.

因使一克之水,溫度升高攝氏一度所需之熱爲一卡,故使一克之銅增加溫度攝氏一度,祇需十分之一卡之熱,使一克之銀升高溫度一度,祇需二十分之一卡,而使一克之鋁升高溫度一度,祇須三十分之一卡.一克之物質,使其溫度升高攝氏一度,所需熱之卡

數,稱爲該物質之比熱 (specific heat). 是以水之比熱爲1,銅之比熱約爲0.1,其餘類推.在英國制中,物質之比熱,爲使一磅之物質,升高其溫度華氏一度,所需熱之 B. t. u. 數須注意比熱之數值,在兩種制度中均同.此何故耶?

下述之實驗,可以顯示物質比熱相差之程度

取同重量之不同金屬圓棒若干,例如鐵,銅,錫,以及鉛,置於油中,熱至約 150°C .於是如將此四金屬棒,同時置於石蠟之薄板上,如圖211所示,則四棒均將石蠟熔化,而陷入其中,但深淺各殊.鐵陷入最深,銅及錫次之,而鉛則陷入僅少許而已.比熱最大之金屬,在冷卻時放出最多之熱量,故其熔解石蠟亦最多.

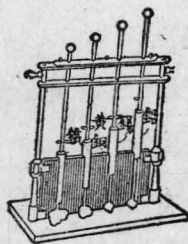


圖 211 金屬之比熱,各各不同.鐵之比熱,較鉛之比熱爲大.

200. 比熱測定法. 熱物質,例如熱水銀,灌入冷水之中時,水與水銀,立即達於同溫度.水銀冷卻放出之熱,即用以熱水.若在此過程中熱無損失,則熱物體放出之熱量,等於冷物體所得之熱量.

此種混合法 (method of mixture),祇在轉移之際無熱損失時,始準確不誤.實際上此事頗難處理.然在實驗室中決定物質之比熱,此仍爲通用之法.

例如有 323 克之鉛彈，熱至 100°C ，然後澆注於溫度 10°C 之 100 克之水中，攪和以後，水與鉛之溫度同為 18.2°C 。被容器吸收之熱不計。

設命 x 為鉛之比熱，則鉛所放出之熱為 $323(100-18.2)x$ 卡。因水之比熱為 1，故水所吸收之熱為 $100(18.2-10)$ 卡。於是可列成方程式如

放出之熱 = 吸收之熱

$$323(100-18.2)x = 100(18.2-10)$$

因而得

$$x = 0.033 \text{ 卡}$$

由極精細之此種實驗，求得普通物質之比熱如下：

比 熱 表

(米突制式 英國 制通用)

水	1.00	錫	0.094
冰	0.50	銅	0.093
空氣	0.24	銀	0.056
鋁	0.22	錫	0.055
乾泥	0.20	水銀	0.033
鐵	0.11	鉛	0.031

所可異者，凡尋常物質，以水之比熱為最大，是以欲使一磅之水，增加其溫度一度所需之熱，約五倍於一磅之泥土，溫度升高一度所需之熱。海洋之作用，遂如巨大之溫度調節器。在夏季海水吸收多量之熱，在冬季緩緩放出，給與陸地與空氣。海島上之溫度，全年無 10°F 之上下者，即此故耳。

計 算 題

(必要時可參閱上之比熱表)

1. 20克之水,欲使其溫度升高 6°C .,需熱若干卡?
2. 15克之鐵,欲熱至溫度增加 20°C .,需熱若干卡?
3. 一缸之銅,自 110°C .冷卻至 15°C .,其放出之熱量,

試計算之。

4. 有鐵一塊,重150克,熱至溫度增加 1°C .以同量之熱加於若干克之水,可使其溫度亦升高 1°C ?.〔此答數稱為鐵塊之水當量 (water equivalent).〕

5. 6磅重之熨斗,自 70°F .熱至 280°F .,需若干B. t. u.之熱?

6. 從二種熱單位定義,計算相當於1 B. t. u.之卡數.

7. 若煤價每噸40.00元,而煤氣之價為每1000立方呎4.80元,則自值洋四分之煤與煤氣,各可得熱若干(B. t. u.)?

8. 一煤氣爐之效率為75%,用以熱30加侖之水,自 50°F .熱至 200°F .,須費洋幾何?

9. 溫度 100°C .之水400克,注入溫度 20°C .之水中,混合後之溫度為 84°C .問有冷水若干克?

10. 若供給浴室之沸水,溫度為 212°F .,冷水之溫度為 45°F .,則欲預備溫度為 100°F .之浴水20加侖,應各取幾何?

11. 若50克之鉛,溫度為 88°C .者,投入溫度 44°C .之酒精40克中,結果之溫度為 36°C .假定熱無損失,求酒精之比熱.

12. 一鉛球重100克,熱於爐內,歷若干時間以後,乃投之於 0°C .,400克之水中.水之溫度,升至 10°C .問爐內之溫度為何?(鉛之比熱=0.04)

13. 一缸之鐵砧碼,溫度為 18°C .,投入 96°C .,200克之水中.盛水之器重90克.問最後之溫度為何?(容器之比熱=0.1)

14. 一銅壺重 1200 克, 含有 $10^{\circ}C.$ 之水 2400 克. 今以煤氣火燄熱之, 每分鐘可供熱 15000 卡. 問熱至壺內水沸, 需時幾何?

15. 某熱空氣爐之熱氣調節器, 每分鐘各可放出 15 磅之空氣. 此種調節器為數共八, 而爐之效率則為 60%. 若所有之空氣, 入爐時之溫度為 $20^{\circ}F.$, 而熱至 $80^{\circ}F.$, 問每星期需煤若干?

201. 熔解與凝固. 在寒冷之冬日, 如自戶外攜取一桶之雪或冰入室, 而置之於爐上, 則將見其溫度初在 $0^{\circ}C.$ 以下, 再漸漸昇至該點. 於是止而不動, 或幾不動, 直至冰雪全部熔解. 然後水之溫度乃漸漸升高. 當冰 (或雪) 化為水時, 此不變之溫度, 稱為冰之**熔解點** (melting point), 而為 $0^{\circ}C.$ 或 $32^{\circ}F.$

以碎冰與食鹽, 製成寒劑, 而置之於含有純水之試驗管中, 亦可決定水之冰點. 水之溫度, 將見其徐徐降低, 直至水開始結冰為止. 於是溫度固定不變, 直至全部之水凝結為冰. 由水變成冰時, 此不變之溫度稱為水之**冰點** (freezing point), 而為 $0^{\circ}C.$, 或 $32^{\circ}F.$

結晶體之物質, 例如冰及多種金屬, 在一定之溫度變為液體, 而此等物質之熔解點, 與其凝固點 (freezing point) 同. 非結晶體 (non-crystalline) 之物質, 例如鐵, 玻璃, 以及石蠟, 則當矣於熔解點時, 經過一種柔軟

而呈漿狀之狀態。若干物質,例如脂肪,其熔解點與凝固點不同,例如牛酪在 28° 與 $33^{\circ}C$. 之間熔解,然其凝固之溫度則在 $20^{\circ}C$ 與 $23^{\circ}C$. 之間。

熔解或凝固點表

鎢	$3000^{\circ}C$.	鉛	$327^{\circ}C$.
鉑	$1755^{\circ}C$.	錫	$232^{\circ}C$.
鋼	1300 至 $1400^{\circ}C$.	硫磺	$115^{\circ}C$.
玻璃	1000 至 $1400^{\circ}C$.	焦油臘	$80^{\circ}C$.
鑄鐵	1100 至 $1200^{\circ}C$.	石蠟	約為 $54^{\circ}C$.
銅	$1083^{\circ}C$.	冰	$0^{\circ}C$.
金	$1063^{\circ}C$.	水銀	$-39^{\circ}C$.
銀	$960^{\circ}C$.	酒精	約為 $-112^{\circ}C$.

有數種合金,其熔解之溫度,遠在其合成之各金屬之熔解點以下。“武德合金 (Wood's metal)” (錫 2 成 + 鉛 4 成 + 鉍 7 成 + 鎳 1 成,均以重量計) 在 $70^{\circ}C$. 即熔解,甚至在熱水中亦能熔解,此種合金,係用以塗封錫罐,以及自動熄火噴水器者。

202. 凝固時之膨脹. 液體凝固時,大概收縮,因在固體之狀態,分子之團結,較在液體狀態為密也。但當吾人憶及冰塊恆浮,而水壺往往因冰凍而碎裂之時,即見水乃凝固時膨脹之液體。在事實上言之,一立方呎之水,可變為 1.09 立方呎之冰。鑄鐵 (cast iron) 於凝結為固體時,亦略行膨脹。鑄鐵之所以用於鑄物者,即因此故;蓋惟如此,始能對於模型無微不肖也。若冷

卻時一起收縮，當然欠缺不齊矣。鑄造良好之活字時，須用凝固時稍漲之金屬；鉛、錫及銅之合金，有此性質，故常用以鑄活字。

水於結冰時，其膨脹之力頗巨，可由下述實驗見之。

試以水充於鑄鐵之球中，以螺旋栓封閉之，如圖 212 所示，而置此鐵球於一桶之冰與食鹽之內。當球內之水結冰時，內部之壓力，愈增愈大，卒可使鐵球爆裂。



圖 212 正在結冰之水，所發膨脹之力，可使鐵球碎裂。

自來水管及汽車之射熱器，在寒夜溫度甚低，足使其中之水結冰時，往往爆裂者，其理可由此而知矣。

203. 壓力對於正在熔解之冰之影響。 設以金屬線圈，懸一 40 或 50 磅之砝碼於冰塊之上，如圖 213 所示，則金屬線即徐徐截冰塊而過，蓋金屬線下之冰，因受壓力而熔解；但水沿線而上，復結為冰，冰塊遂堅實如舊矣。

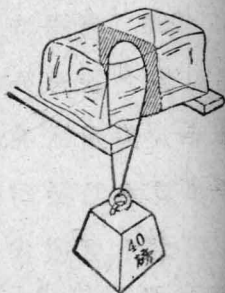


圖 213 金屬線截冰塊而過。

由此實驗，可知冰點因壓力而降低，冰乃熔解。此固意料中事，蓋施於任何物體之壓力，

有阻止其膨脹之傾向也,更有進者,因水於結冰時膨脹,故壓力有阻止其結冰之傾向;其結果即使冰點降低,然欲使冰點降低攝氏一度,幾需每方吋 1 噸(1850 磅)之壓力焉。

滑冰之際,冰鞋底下之高壓力,使冰熔解,成一薄層之水,其滑異常,以手搓雪,可以成團者,亦因此故。蓋雪片相壓之處,即行熔解,當壓一鬆,所成水層即復結為冰矣。冰塊之流成冰河,迂迴曲折而下者,亦可以同理說明之。

204. 使冰熔解所需之熱。 若一碟之冰與水,溫度為 0°C ., 置之於室內,而室內其他各物之溫度皆為 0°C ., 則冰不熔解而水亦不冰,但若以寒劑圍繞此碟,例如冰與食鹽,則水即凝結為冰;或如將碟攜入較暖之室,則冰即熔解。

然則冰當熔解之時,須吸收熱能,而其溫度並不昇高,其事似頗明顯矣。以熱量稱為冰之熔解熱(heat of fusion of ice), 或熔解冰之潛熱(latent heat)。

205. 使 1 克之冰熔解需熱若干耶? 解此問題時,可應用前用以決定金屬比熱之混合法。

例如,以 0°C . 之冰 200 克,置於 300 克, 70°C . 之水中,然後

攪透之，則在全體之冰熔解以後，溫度將為 10°C ，容器所吸收之熱不計。

命 $X =$ 熔解 1 克之冰所需熱之卡數。

則 $200X =$ 熔解 200 克之冰所需熱之卡數。

又 $200 \times 10 =$ 使已熔解之冰自 0°C 昇至 10°C 所需熱之卡數。

而 $300(70-10) =$ 水在冷卻時放出之熱之卡數。

吸收之熱量 = 放出之熱量

於是 $200X + 200 \times 10 = 300(70-10)$

因知 $X = 80$ 卡。

由最精密之實驗，知冰之熔解熱恰為 80 卡，此即謂使 1 克， 0°C 之冰，變為 1 克， 0°C 之水，須吸收 80 卡之熱是也。

206. 水結冰時放出之熱。 使固體之冰變成液體之狀態，須用熱能先使其分子分離，因液體分子團集較疏也，此事適已見之矣。今將說明在相逆之過程中，即在凝固之時，此能復現為熱。下述之實驗，即可證明凝固為放熱之過程。

設將 201 節中所述之實驗，再作一次，惟使水，溫度計以及試驗管(圖 214)均安靜不動，則將見管內之水，冷至 0°C 以下數度而尚未結冰，殊覺可異。但如一經攪動，或投



圖 214 結冰之水放熱。

入冰塊一枚,則水立時結為冰;同時溫度驟昇至 0°C . 保持不變,直至全體之水皆凝結為止.凝固時放出之潛熱,即為管外之瓶中寒劑所吸收.

水凝時所放之熱,有時可以利用.如置一桶之水於花房或地窖內,即可防止植物或菜蔬凍結.蓋水於開始先行凝固之際,放出之熱,即可使溫度之降於 0°C . 以下,不致過低.當大湖結冰之時,其放出之熱,可使沿湖一帶之溫度,不至如他處之低.

207. 冰箱內利用正在熔解之冰. 冰箱者,僅為頂上

有冰之箱而已(圖 215),此冰即用以使食物常冷者.冰傍之空氣受冷,即因密度增大而下降,吸收食物或箱壁之熱後,再行上昇,如圖中矢

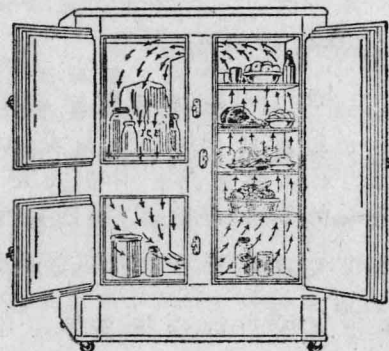


圖 215 冰箱內空氣之循環.

翫所示,空氣之冷却,幾全因冰於熔解吸收其熱所致.故冰箱中之冰絕不熔解(苟有如是之冰箱者),則冰箱即毫無用處.更有進者,以纖維質之物覆於冰上,固為省冰之良法,然於貯藏食物則大不相宜.在他方面言之,如冰箱內冰之熔解,僅因熱自箱壁漏入所致,則亦為不經濟.故使冰箱經濟合用,有二要素;第一,須設法使食物之熱,儘量為冰所吸收;第二,須設法使室內之熱,不侵入冰箱.欲達第一種目的,須使箱內之對流自由無阻;欲達第二種目的,須使箱壁有良好之隔熱作用,而箱

門應緊閉，非必要時，不可開門。

計 算 題

1. 0°C . 之冰 20 克，欲熔解之，需熱若干卡？
2. 20°C . 之水 12 克，化成 0°C . 之冰時，其放出之熱爲若干卡？
3. 若以 83 克之冰，投入 300 克， 40°C . 之水中，結果之溫度爲何？
4. 0°C . 之雪 300 克，欲以 100°C . 之水熔解之，並使其溫度昇至 30°C .，需水若干？
5. 若將 72°C . 之水 100 克，注於冰塊之上，而在冰塊之下，承受所有之水，則水之全重量爲何？
6. 零下 8°C . 之冰 40 克，欲使化成 60°C . 之水，需熱若干卡？(冰之比熱 = 0.5.)
7. 有一 900 克之銅球，溫度爲 300°C .，置於含冰 50 克，及含水 150 克之容器中，問結果之溫度爲何？
8. 熔解任何量之冰所需之熱，爲使同量之水溫度升高 1°C . 所需熱之若干倍？爲使同量之水溫度升高 1°F . 所需熱之若干倍？熔解 1 磅之冰，需若干 B. t. u. 之熱？
9. 木醇每克可放出 6000 卡之熱，今在效率 60% 之爐中，燃燒木醇 10 克，問可熔解 0°C . 之冰若干，使其溫度昇至 20°C .？
10. 若以 0°C . 之冰 100 克，投入 1100 克之茶中，茶之溫度爲 40°C .，而盛茶之玻璃缸重 700 克，問遺留未熔解之冰有幾何？假定茶之比熱爲 1，而玻璃之比熱爲 0.19.
11. 已熔解之鉛 100 克，溫度 326°C .，注入 1000 克， 20°C . 之水中，問結果之溫度爲何？鉛之熔解點爲 326°C .，而其熔解熱爲 5.6.
12. 試驗冰箱二具，而得下列之結果：

	室內溫度	箱內最低溫度	每小時溶解冰之重量
第一號冰箱	92.1°F.	52.7°	1.50 磅
第二號冰箱	91.8°F.	57.2°	1.78 磅

此二冰箱,何者較優,並言其故?

208. 水之沸騰之程序. 取圓底長頸瓶(圖 216),半

充以水,而在瓶塞中插入溫度計,壓力計,以及放氣管各一,水初受熱時,滲於水中之空氣,先成爲小氣泡而上昇至水面,於是蒸氣泡成於水底;但此等氣泡上昇,遇上層較冷之水,即潰裂而消失,遂發生嚮嚮之聲,即俗所謂“水滾 (simmering)”之聲是也,當蒸汽泡開始達於水面時,即謂水已沸騰(boil),蒸氣在長頸瓶中,將見其清明一如空氣,但當其離放氣管而出時,即凝成白色之雲霧。

沸騰既起,已在疾昇之溫度計,立即達於 100°C.且止而不變。

若封閉放氣管之活塞,則壓力計即顯示壓力之增加,而溫度計則顯示沸水之溫度,亦有相當之增加。

最後,若移去本生燈,俟水稍冷,然後以放氣管連於吸氣器 (aspirator),則壓力減低,水仍沸騰矣。

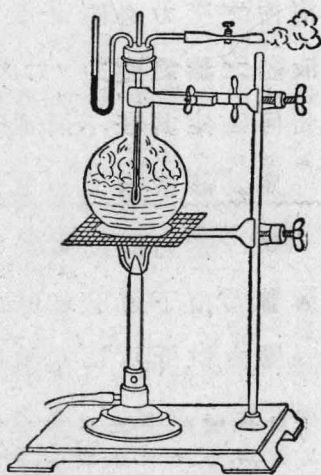


圖 216 在玻璃瓶中的沸水。

故沸騰之過程,即在於液體中有蒸氣泡發生,昇至水面而逸去耳,發生此現象時所達之溫度,即爲該

液體之沸點(boiling point).

沸點尚有第二定義,較此更為精確.蒸氣泡之能存於液內,祇在泡中蒸氣之向外壓力,至少等於液面所受大氣之下壓力之時,其事固甚明顯.蓋若泡內之壓力,小於泡外之壓力,則泡必將立潰矣.故氣泡若成,則泡內之壓力必隨溫度之不同而異其大小.此即稱為液體之蒸氣壓力 (vapor pressure),在下文中,將立見如何決定其在不同溫度之各值.液體之沸點,因此又可定為該液體之蒸氣壓力達一氣壓時之溫度.

209. 壓力變動對於沸點之影響. 由下述有趣味之實驗,知壓力減低,可使水沸騰.

取長頸瓶,半充以水而熱之,俟其急沸,乃自火上取下,立即塞以橡皮栓,使密不洩氣.於是可將瓶倒置,如圖 217 所示,並以冷水淋其頂,使之冷卻.瓶中之水,立即復沸.此蓋瓶頂之蒸氣凝縮,遂使液面所受壓力大為減低所致也.

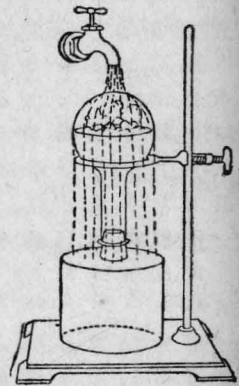


圖 217 在龍頭下之沸水

由前述之二實驗,知液面所受之壓力若增,則液體開始沸騰之溫度必昇;若壓力減低,則沸騰之溫度

亦降。吾人如憶及大氣平時施於液面之壓力,每方吋達15磅,則此事即可明瞭矣。蓋若減低此壓力,則蒸氣泡之發生亦較易;若壓力增加,則氣泡之成,亦較為困難也。無論如何,氣泡之發生,祇在溫度之高,足使氣泡於既成之後,其內部之壓力等於液面所受壓力之時。故由觀察液體在不同壓力下沸騰之各溫度,即可決定該液體之蒸汽壓力,因溫度而變遷之情形。由實驗,知近 100°C .時,水之蒸氣壓力,每當溫度升高攝氏一度,即增加約及水銀柱之27耗;或謂壓力每增加水銀柱1糎,則水之沸點即升高 0.37°C .

因攝氏溫度計上之 100° ,已定為沸水之溫度,又因水沸時之溫度,大受壓力變遷之影響,故須規定一標準壓力 (standard pressure),以核準溫度計之刻度。此標準壓力,公認為高760耗之水銀柱,其溫度在 0°C .者所施之壓力,在此壓力之下,水沸之溫度由定義即為 100°C .

210. 應用。使液體在儘低溫度時沸騰,有時甚為需要。例如在所謂真空罐 (vacuum pan) 中之糖漿或牛乳,常沸之以去其水分,惟此種真空罐,不過抽去一部分空氣之密閉之罐,而水沸之溫度僅為 70°C .,故留剩之粒狀糖 (granulated sugar) 或牛乳,亦祇凝縮,並未煮熟也。

在高山之頂,水沸之溫度甚低,故鷄卵不能煮熟,哥倫

比亞之克律潑爾溪 (Cripple Creek, Col.), 其地約在海平面上一萬呎, 在彼處煮番薯, 所需之時間, 幾達在波士頓 (Boston) 之二倍焉。故在此等地勢甚高之處, 烹煮時須用一種密閉之器, 稱為“密煮器 (digester, 或 pressure cooker)”, 如圖 218 所示。某種食物, 煮之宜急者, 以及裝罐之食品, 欲迅近殺菌者, 亦須用此密煮器。密煮器在商業上, 可用以提取骨內之膠。在密煮器中壓力增加之效果, 與在汽鍋 (boiler) 中同。汽鍋上之壓力計表示 100 磅時, 其中之水如正在沸騰, 則其溫度並非 100°C ., 而為 170°C ., 或 338°F 。

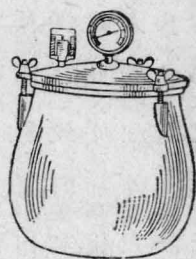


圖 218 家庭用密煮器。

211. 沸騰程序之概述。 前此所述關於沸騰之程序, 可概述如下:

(1) 液體祇在其溫度可使其蒸氣壓力等於液面所受壓力時, 始行沸騰。

(2) 所謂液體之“沸點”者, 即係液體在一氣壓之下可以沸騰之溫度; 即其蒸氣壓力為一氣壓, 或水銀柱 760 耗時之溫度也。

(3) 各種液體, 各自有其沸點。水之沸點由定義為 100°C 。

(4) 不在一氣壓下之沸騰, 其規律如下: 壓力愈高, 使液體沸騰所需之溫度亦愈高。

沸 點 表

(壓力在 760 托)

鉍.....	918°C.	酒精.....	78°C.
硫磺.....	445°C.	醚.....	35°C.
水銀.....	357°C.	氨.....	-34°C.
飽和食鹽溶液.....	108°C.	氧.....	-183°C.
水.....	100°C.	氫.....	-253°C.

212 蒸溜. 在多數地方,能確得純水之唯一方法,即所謂蒸溜(distillation)者是.

盛水於器而沸之,其器可使水蒸氣經一冷管,而復歸於液體之狀態(圖 219). 水蒸氣成爲液體之此種變化,稱爲

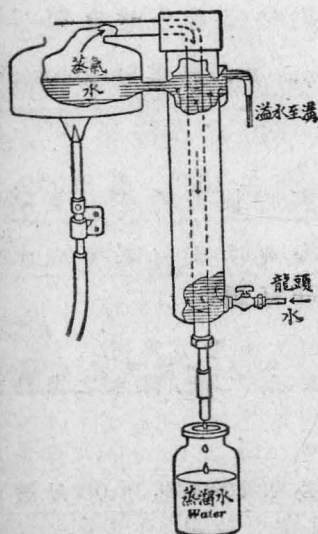


圖 219 由蒸溜取純水。

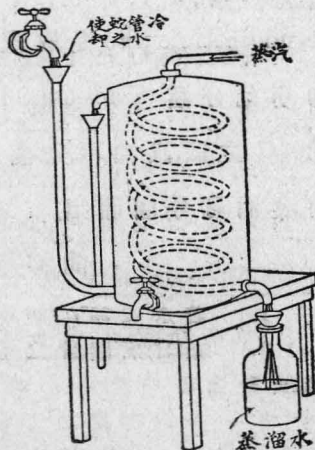


圖 220 螺旋凝縮器有廣大之冷却表面。

凝縮,而使此種變化發生之器具,稱為凝縮器(condenser),自凝縮器一端滴下之水為純水,其中之雜質,皆殘留於沸水之器中。

蒸溜之程序,在於使液體沸騰,再使其蒸氣凝縮在商業上,常用“螺旋凝縮器(worm condenser)”製造蒸溜水以出售。所謂螺旋凝縮器,為一繞成螺旋形之管,浸於流通之冷水中(圖 220)。用此方法,冷卻之表面甚大而占地不廣。

蒸溜兩種液體之混合物時,其蒸氣中所含沸點較低之物質,遠較原混合物中所含之部分為多。故此種物質,殆可使其完全與沸點較高者分離。自粗石油(crude petroleum)提取汽油(gasoline)與煤油(kerosene),即用此分溜(fractional distillation)之方法,在 70°C . 與 120°C . 之間,汽油可分溜而出,而在 150°C . 與 300°C . 之間,煤油可分溜而出。

問答題與計算題

1. 若水在 95°C . 時沸騰,則大氣壓力為何?
2. 某日氣壓計之度數表示 77.2 裡,問水之沸點為(攝氏計上)若干度?
3. 哥羅勒度之阿爾脫曼(Altman, Colorado),為美國最高市鎮之一,其地沸水之溫度約為 88.5°C . 問 (a) 氣壓計上所示之度數約為若干? (b) 若地平每高 900 呎,氣壓計上即有約 1 吋(2.5 裡)之差,試求該鎮高度之略值。

4. 自附錄中所載之數值,試描一水之蒸氣壓力曲線,以橫線表溫度,以縱線表壓力。(提示:用5小格表 $10^{\circ}F.$,或10小格表 $10^{\circ}C.$,而用20小格表每方吋10磅之壓力。)

5. 某飛機所達最高之高度,約為40,000呎,在該處之大氣壓力約為6.8吋,問沸點為何(華氏及攝氏)?

6. 有一密煮器,係供蒸氣壓力較大氣壓力更增20磅時煮物之用者,問器內之溫度為何?

7. 食鹽或糖,對於水之沸點有何影響?驗之。

8. 少許變性酒精(enatured alcohol),對於水之沸點有何影響?試之。冬季之汽車射熱器中,須用酒精,與此有何關係?

9. 馬克吐渾(Mark Twain)在其所著之“域外飄流記(Tramp Abroad)”中,有上山時,行至“沸其溫度計”而止之語,問彼曾作何事,何故如此?

213. 水之蒸發熱. 置壺水於爐上,則水愈熱愈甚,直至沸騰而止。斯時若有通行無阻之放氣管,可使蒸氣洩去,則不論加若干之熱於壺,溫度止於 $100^{\circ}C.$ 或 $212^{\circ}F.$ 而不變。於沸水時似覺消失之熱能,稱為蒸發熱(heat of vaporization),或蒸氣之潛熱。此種蒸發熱,即為使一克之水之分子,互相分離,行動自由而成為水蒸氣所需之熱。

214. 欲得一克之水蒸氣,需若干熱量? 使溫度 $100^{\circ}C.$ 之水1克,變成 $110^{\circ}C.$ 之蒸氣,欲決定其所需之熱量,可用混合法;且不測水蒸汽蒸發時所吸收之熱量,而測水蒸汽凝縮時所放出之熱量。

例如取 400 克之水，溫度為 5°C ，而以充足之乾燥水蒸氣，溫度為 100°C 。者通入其中，使水之溫度昇至 35.2°C 。然後權水重量約 420 克。由此而知有 20 克之蒸氣，已凝縮為水。然則 1 克之水蒸氣凝縮成 100°C 。之水時，其放出之熱量為若干卡乎。

命

$x =$ 蒸發熱。

則

$400(35.2-5) =$ 冷水所吸收之熱，

$20x =$ 水蒸氣凝縮時放出之熱，

而

$20(100-35.2) =$ 凝成之水自 100° 冷至 35.2°C 。所
出之熱。

吸收之熱量 = 放出之熱量，

於是

$400(35.2-5) = 20x + 20(100-35.2)$ ，

而

$x = 539$ 卡。

由晚近之實驗，知水之蒸發熱約為 540 卡。易言之，即使任何量之水變成水蒸氣，較之將同量之水，自冰點熱至沸點，需用五倍以上之熱量是也。在英國制中，使一磅之水溫度為 212°F 。者，變成 212°F 。之水蒸氣，需熱 540×1.8 即 972 B. t. u.

215. 水蒸氣煖室法。 水之蒸發熱，遠較其在任何實際溫度範圍內，冷卻時所放出者為多，煖室多用水蒸氣者，即此故也。水蒸氣發生於汽鍋中，每水一磅，當其受熱而蒸發時，吸收約 1000 B. t. u. 之熱。水蒸氣以管通至需熱之處，然後使其凝縮，再將 1000 B. t. u. 之熱放出。由凝縮而成之水，於是由重力而復流回汽鍋之內。此種煖室之具，其全體之壓力，高出於大氣壓力者，僅數磅而已。

在旅社及大餐館之廚房中,魚羹肉汁以及蔬菜之類,皆置於有複壁之大銅鍋內,以水蒸氣通過複壁之間而煮之。在煉糖廠中,盛糖漿於桶,桶內有螺旋形之管,通水蒸氣於管而使其凝縮,糖漿由是而煎乾。行此二法時,溫度之高低,可隨意調節而使之固定不變,祇須使新來之水蒸氣經過一調節滑瓣,滑瓣之作用,在於使新鮮水蒸氣入瓣之速度,適足以保持正在凝縮之水蒸氣,壓力固定不變。

工廠,辦公室,旅社,校舍,以及其他巨屋大廈,通常咸用水蒸氣取煖,而水蒸氣則來自地下室之汽鍋。有時使水蒸氣在各室之財熱器中凝縮;有時往往使之凝縮於螺旋管或網狀管中,而將新鮮空氣吸近管傍,因而既可取煖,又可通風。此種方法,稱為簡接煖室法 (indirect heating), 如圖 221 所示。

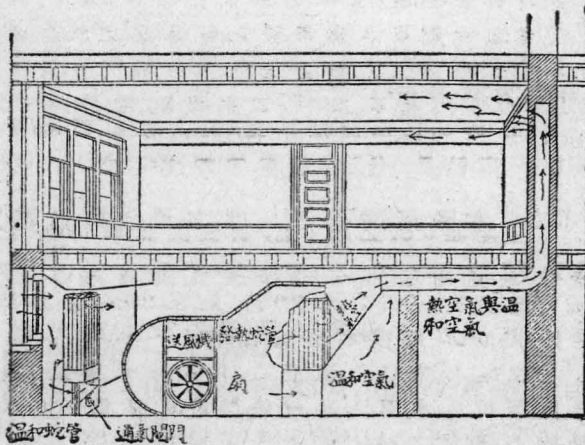


圖 221 簡接煖室圖。

用射熱器時,往往發生氣塞 (air-bound) 之弊;因在不用之時,空氣即流入器內,或汽鍋之水中,溶有空氣,遂上昇而

集於其內，於是冷却頗速，遂阻塞水蒸氣不令入內矣。欲除此弊，可用自動小氣門(air vent)。小氣門之一種，如圖 222，有一烏木棒 A ，在冷時縮短，足使頂上之孔開放，故積聚於內之空氣即可逸出。當熱水蒸氣達木棒時，復伸長而將氣門關閉。若水達氣門，則玻璃鐘 B 內常含若干空氣，即上浮而將門關閉焉。



圖 222 射熱器上之自動氣門。

計 算 題

1. 溫度在 100°C . 之水 40 克，欲化之為蒸氣，需熱若干卡？
2. 2 呎之水，欲自 15°C . 熱至 100°C .，且變為蒸氣，需熱若干卡？
3. 溫度在 62°F . 之水 10 磅，使之蒸發所需之熱，以 B. t. u. 計之，當為若干？
4. (a) 100°C . 之水蒸氣 20 克，使其凝縮而冷至 40°C .，計算其放出之熱量。(b) 此熱可使若干之水，自 10°C 昇至 40°C .？
5. 溫度在 0°C . 之冰 1 呎，欲使其化成 100°C . 之水蒸氣，需熱幾何？
6. 溫度在 10°C . 之水 500 克，通以 100°C . 之水蒸氣，使其溫度昇至 40°C .，問需水蒸氣若干？
7. 在某射熱器中，溫度在 110°C . 之水蒸氣 1.5 呎，在一小時內凝縮成水，水離射熱器時，溫度為 90°C 問在此小時內，放於室內之熱有若干卡？
8. 有一 900 克之鐵球，熱至 400°C .，投入 150 克之水中，水之初溫為 20°C . 問可發生水蒸氣若干克？
9. 一游泳池長 60 呎，寬 30 呎，而水之平均深度為 5 呎，溫度為 212°F . 之水蒸氣，通入池中，使水之溫度自 63°F . 昇至 68°F . 價需水蒸氣若干磅？

10. 有汽鍋一具,甚效率為65%.若假定煤每磅所發之熱為14,500 B. t. u.,則溫度為 $50^{\circ}F.$ 之水100磅,在此汽鍋中化成 $212^{\circ}F.$ 之水蒸氣,需煤若干磅?

216. 蒸發. 碟中之水,露於空氣中,漸漸消失,或蒸發而去,此乃衆所習見之事.蒸發(evaporation)在任何溫度,皆能發生,但祇限於液體之表面;至於沸騰,則多半進行於液體之內部,但祇限於達一定溫度之時,此二者相異之處也.四週之空氣愈熱而愈燥,則蒸發之進行亦愈速.例如溼布在燥熱之天,較之在陰寒之天,易於乾燥.

217. 由蒸發而冷卻. 若以數滴之醇或醚,滴於手上,則因醇或醚蒸發迅速,而手遂覺寒冷異常.凡液體當蒸發之時,必自他物取熱,故液體本身及其附近任何物體之溫度,皆由是而低降矣.此即謂蒸發之過程中,熱被吸收也.在炎熱之天,乘車疾行,較之停車不動為舒適,蓋空氣流動既速,皮膚之潮氣蒸發亦較速也.是以潤水於指,舉而試風,可辨其向;風來之處,手指覺冷焉.

218. 由沸騰而凝固. 使物質蒸發,需巨量之熱,此事常利用之以得低溫度.

取液體二氧化碳一桶，平臥之如圖 223，開滑瓣，則液體因壓力解除，沸騰甚速，遂使近傍各物，連液體在內，冷卻頗烈，以致一部份之液體凝固。滑瓣開後不久，袋內即充滿白色之固體，即凝固之二氧化碳是也。此固體蒸發極速，故可得低至 -80°C 之溫度。若置此固體於燒杯中，且和以醚，則此混合物可使試驗管中之水銀凝固。醚之作用，係在迅將試驗管之熱，傳於固體二氧化碳。

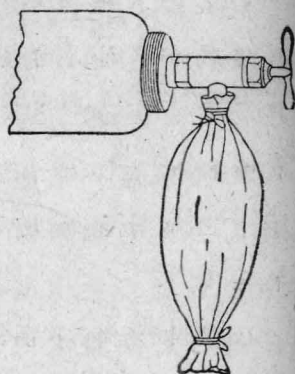


圖 223 液體二氧化碳沸騰與凝固。

219. 製冰與冷藏。 在製冰及冰藏之裝置中(圖 224)，先將氣體鹵精用唧筒壓縮之，然後使之冷卻，直至液化而止。在此壓縮及凝縮之過程中，熱即放出，如使鹵精經過淋以流水之管，此熱即可除去液化後之鹵精，於是導管入於冰櫃 (ice tank) 或冷庫 (cold-

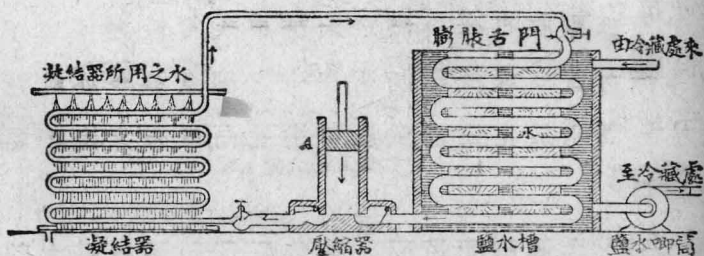


圖 224 製冰之裝置

storage),並聽其經由小口之滑瓣而膨脹。如是則可抑制其流動,而可使唧筒維持足量之壓力,以保持碯精在赴滑瓣之中途,仍呈液體之狀態。在他方面言之,則一過滑瓣,壓力即甚小,故碯精即迅速蒸發。蒸發之時,冷庫中之熱量遂為其所吸收。此時之碯精,又準備再受壓縮矣。

在製冰之時,膨脹導管(expansion pipes)過通一

鹽水池,池中置以盛純水之小罐。當罐中之水凝固之時,即自池中提起而取出其冰碯精。固可用之再三,但動力必須不絕供給於壓縮器。

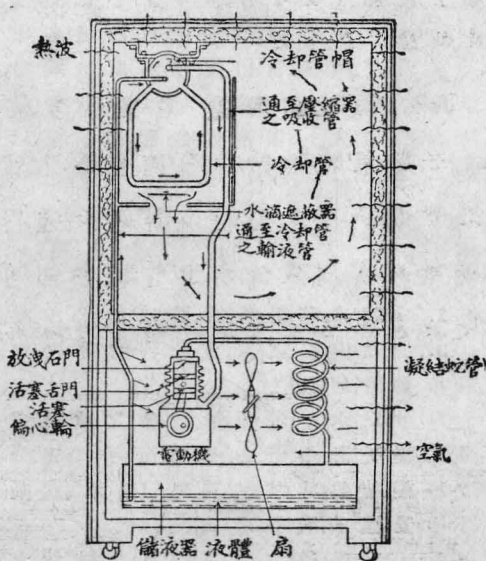


圖 225 家用電氣冰箱。

家用之

無冰冷藏器(iceless refrigerator)(圖 225),亦有一小壓

縮器，以電動機運轉之，又有冷卻蛇管 (cooling coil)，膨脹滑瓣，以及消熱蛇管 (refrigerating coil)，消熱蛇管即用以代冰者，此種冰箱，有用礮精者，亦有用氯甲烷 (methyl chloride) 或二氧化硫 (sulfur dioxide) 者，其用法則同。

此外尚有一種無冰冷藏器，係根據“由吸收而冷卻”之原理而製成者。礮精氣先吸收於水中，然後用熱 (本生燈) 自水放出之。此後即使礮精在凝縮器 (不息之流水) 中，冷卻而液化。液化後之礮精，再使之在低溫度與低壓力之蒸發器 (evaporator) 中蒸發，因而吸收四週各物之熱，寒冷之發生，此乃真因也。最後，礮精復為水所吸收，而仍加熱於水以驅出之。循環變化，一如前述 (圖 226)。欲免除運動之部份，例如唧筒，則由引入一種惰性氣體，例如氫，以保持全部裝置中，各處之總壓力相同。

問 答 題

1. 試述蒸發與沸騰不同之三點。
2. 在炎熱之天，坐於疾行之汽車中，較坐於停留之汽車中為冷，何故？
3. 以水一薄層，塗於錶之玻璃蓋上，然後置於抽氣唧筒之接受器中。若由此唧筒可得充分之真空，則水之一部份將凝結為冰。試述其理。(提示：欲吸收水蒸氣，可在接受器中置濃硫酸一碟)。
4. 在熱帶地方，居民欲使其飲水冷卻，常盛之以多孔之瓶，而置於陰暗而空氣流通之處。試說明之。
5. 試一憶水分子之活動力，而說明(a)飽和蒸氣之情狀，及(b)由蒸發而冷卻時之情狀。

220. 空氣中之潮氣. 在夏季之時,盛冰水之瓶,其外面往往蒙有水珠一層.初時或以爲此乃瓶中之水,由瓶上之小孔滲出所致;但以顯微鏡窺之,知塗釉之瓷或玻璃,並無小孔.因此之故,必須斷定此種水滴,係來自四週之空氣者.空氣因與寒冷之瓶相接觸,遂冷卻而附其一部份之潮氣於瓶上.若注少許之水於瓶而緊塞之,則水並不蒸發,因水上之空氣,迅即爲潮氣所“飽和”也.可見空氣祇能含一定量之潮氣,而其量則視溫度而定.

設注少許之水於薄玻璃之長頸瓶中而塞之,乃置瓶於日光之下,或爐火之上,待其既熱,然後冷之,則見瓶壁因蒙有水滴,而致模糊.蓋飽和之熱空氣,在冷卻時即變爲“過度飽和 (supersaturated)”矣.

由精細之實驗,知一立方呎之飽和空氣,在不同溫度時所含水蒸氣之量如下:

在 -10°C . 時爲 2 克

在 20°C . 時爲 17 克

在 0°C . 時爲 5 克

在 30°C . 時爲 30 克

在 10°C . 時爲 9 克

在 100°C . 時爲 597 克

由此表可見凡在某溫度飽和之空氣,如溫度再昇,則於未達飽和狀態以前,仍能吸收更多之水氣;但如冷卻,則必須放出其所含水蒸氣之一部份:

在擦洗或游泳之後,常覺髮乾遲緩,蓋濕髮近傍之所

有空氣，殆已迅爲潮氣所飽和矣。如以新鮮空氣易去此飽和之空氣層，例如在微風之中，或以電扇吹之，則蒸發既速，乾燥亦較容易。“電拭器 (electric towels)”以暖空氣吹於人手，其作用正同。

221. 相對濕度。 空氣所含之潮氣，往往不盡其所能；即往往不達於飽和是也。然若溫度驟降，則同量之潮氣，即使空氣飽和矣。

若置醚於磨光之鍍板匣中，迫使空氣入內，而使其冷至室內溫度以下，則匣外即發現露珠一層（圖 227）。發生此現象時之醚之溫度，稱爲露點 (dew point)，

露點者，空氣中之水蒸氣開始凝縮時之溫度也。若使空氣冷至露點以下，則其水蒸氣之一部份凝縮，而露珠遂集於物體之上矣。可見“乾燥”與“潮濕”二語，用於大氣時，實有純粹之相對的意義。蓋其所比較者，乃實際所含之水蒸氣量，與同溫度達於飽和時可含之量耳。此二

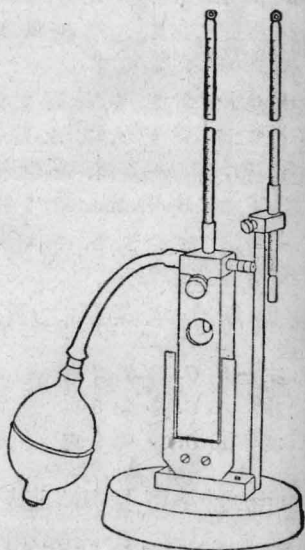


圖 227 露點測定器。

量之比,稱為相對濕度 (relative humidity). 例如吾人可在新聞紙上,讀得相對濕度為85%. 此即謂空氣中實際所含之水蒸氣,乃在同溫度飽和時可含之量之85%也.

222. 乾濕球溫度計. 取二溫度計,如圖 228 排列之,左側溫度計之玻球為乾球,而右側溫度計之玻球上,則包以潮濕之棉燈芯,其下端浸於杯水之內,若以電扇使二溫度計週圍之空氣,流動不息,則在不久以後,濕球溫度計所示之溫度,即較低於乾球溫度計. 此因棉燈芯之水分蒸發,故玻球冷卻也. 週圍之空氣愈燥,則蒸發愈速,因而乾濕二溫度計上度數之相差亦愈多. 用此器所附之表(參閱附錄),即可自此二溫度計所示之度數,以決定空氣之相對濕度焉.

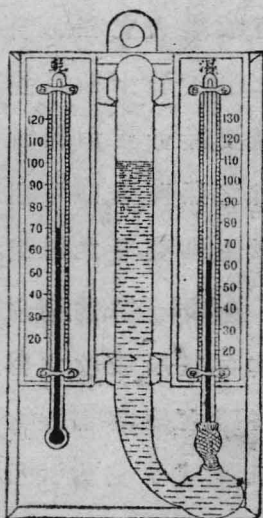


圖 228 乾濕球溫度計,可用以求空氣之濕度.

223. 決定濕度在實際上之重要. 人皆知炎熱之天,在波士頓 (Boston) 遠較在鄧佛

(Denver) 為不舒適. 以因波士頓地近海濱,相對濕度較高,而鄧佛則處於內地,且在海平面一哩之上,其相對濕度較低之故也. 當相對濕度頗高之時,吾人即覺天氣濕而熱,因膚上之汗,不能迅速蒸發之故. 反之,濕

度過低，亦屬有害。校舍、旅社、私人之住宅，在冬季須用特殊之預防法，使其中之空氣不致過於乾燥，花房尤應如此。在棉織廠中，則空氣又須使之潮濕，以利紗線之紡織。

因在季春或孟秋之時，如有霜發生，則於五穀有害，故農人宜在每日下午，能預知夜間是否冷至結冰，此事實屬十分重要。由露點之溫度，即可預知夜間之溫度，降低至如何地步；因溫度既達露點，則凝露時放出之蒸發熱，即可阻止溫度之更降矣。若露點在 $40^{\circ}F$ 以上，則夜間之溫度，罕有降至冰點者。

224. 露、霧、雨以及雪。 在清靜之夜間，大地幅射其白晝所吸收之熱。草與葉因幅射其熱頗暢，故冷卻甚速，立使其鄰近之空氣，溫度降至露點以下，於是潮氣凝縮而成露，溫度更低，即結為霜 (frost)。此現象適與水珠之成於冰水之瓶上，或御目鏡者自戶外入暖室而鏡上生霧之情形相同。雲蔽於天空，而露不能成者，因幅射為雲所減少之故耳。若空氣之潮氣，凝縮時不與地面之物體相觸，而與高處之大塊冷空氣相遇，則雲生而雨亦或降矣。至於霧，則僅為接觸地球之雲而已。

在極高處之雲,或爲冰片所成,但大概則由微小之水滴而成。極小之水滴,猶如微細之塵埃,有落下之傾向;但祇能緩緩而下。有時降入溫暖而尙未飽和之空氣層,於是復變爲蒸氣。有時遇上昇之空氣流,較其落下爲速,即挾之俱昇,因而呈飄浮之狀。例如火車車頭上面之雲氣,即由微小之水滴所組成,然仍與熱空氣一同上昇。雲無耐久之性,其成也,僅示大氣中水蒸氣之凝縮,方在成雲之處進行而已。在雨雲之中,水之微粒合於一處而成爲大水滴,即易於制勝空氣之抵抗力而下降及地矣。若雲之溫度在 $32^{\circ}F.$ 以下,則水之微粒,即連合而成雪之結晶,形成六角,巧小玲瓏,頗爲美觀(圖 229)。



圖 229 雪之結晶,亦角形而具種種不同之狀。

氣象學家所稱之“降積量 (precipitation)”,係合雨與雪而言。例如在紐約每年約有 150 日之雨或雪,而全年之降積量,若不乾涸,則地上水深約可達 3 呎。

尋常耕種之區，每年應有總降積量十八吋以上，平均分配於全年

問答題與計算題

1. 潮濕之風，自海洋吹上山之一側時，有何現象發生？試說明之。
2. 加熱於室內之空氣，若室內之水分，無洩於室外者，則室內空氣之相對濕度即減低，此何故歟？
3. 衣服為北風所吹，則極易乾燥，何故？
4. 在何種氣候之下，嚴霜最易結成？何故？
5. 在劇烈運動之後，坐於冷空氣流通之處，則易“傷風(catch cold)”，何故？
6. 下述各語之誤點，試改正之：
 - (a) 露“降”於夜間。
 - (b) 冷水瓶“出汗”。
 - (c) 冰在暖而且濕之室內“發蒸氣”。
7. 長10呎，寬6呎，高3呎之室中，若氣溫為 20°C ，則欲使空氣飽和，需水若干尅？
8. 若第7題中所述之室內，其空氣之相對濕度為60%，則室內所含之水有若干磅？

第十四章 提要

熱量之單位：

1 卡 = 使1克之水溫度升高 1°C 。所需之熱。

1 B. t. u. = 使1磅之水溫度升高 1°F 。所需之熱。

比熱 = 使1克之物質溫度升高 1°C 。所需之卡數。

= 使1磅之物質溫度升高 1°F 。所需之 B. t. u. 數。

水之比熱 = 1 (不問用何種單位)

混合法：

熱物體放出之熱 = 冷物體吸收之熱。

壓力——

每氣壓可使水之冰點降低 0.0072°C .

每水銀柱 1 吋,可使水之沸點升高 0.37°C .

溶解熱 = 在溶解之際所吸收之熱,
= 在凝固時發出之熱.

水之溶解熱,為 80 卡.

物質之沸點,為其蒸氣壓力適達一氣壓時之溫度.

蒸發熱 = 在蒸發之際所吸收之熱,
= 在凝縮時發出之熱.

水之蒸發熱,為 540 卡.

蒸溜者,使液體沸騰,然後使其蒸氣凝縮之過程也.

用此法可使液體與其所溶之固體分離,或使二種液體之混合物分離,蓋沸點各各不同也.

相對濕度 = $\frac{\text{空氣中實際所含之潮氣}}{\text{在同溫度之飽和空氣所含之潮氣}}$

蒸發為一種冷卻之程序.

問 答 題

- 1 在冬季,汽車之射熱器中如用碳酸銨之氨水溶液 (ethyl glycol 或 prestone), 較之用變性酒精,有何優點?有何不利之處?
- 2 在十二月中,據飄洋者之報告,在海中較暖,抵岸時反覺冷,試說明之.
- 3 冰山之四週常有霧,何故?
- 4 氣壓計升高溫度計上常有何種變化伴之而起?
(試參閱氣候地圖,並牢憶低壓 (LOW) 常向東移.)
- 5 在果園中舉火薰烟,可以防免果樹之受霜害,何故?
- 6 以“乾雪”搓雪球頗難,何故?何謂“乾雪”?
- 7 南美洲之某山,高 11,000 呎,在山頂以水置於黑錫罐內,如曝於日光之下,水即沸騰,試述發生此作用之三種原因.

8. 水在岩石之隙縫中結冰，有助於泥土之造成，試說明之。
9. 若知露點為 10°C ，如何可求 20°C 時之相對濕度？
10. 描一曲線，以示 -20°C 之冰變成 120°C 之蒸氣時，熱量與溫度之關係。（使橫線 1 耗表示 10 卡，縱線 1 耗表示 2° 。）

實 習 題

1. 煤之熱值。若能得一熱量計 (calorimeter)，則立可決定煤之熱值 (heat value) (每磅若干 B. t. u.)，結果約可準確至 1% 之內。用法及計算法，均詳載於隨熱量計附送之說明書內。

2. 導管中水之結冰。通常咸謂熱水導管在寒冷之夜間結冰，而附近之冷水導管則不冰，試置冷水與熱水於二試驗管中，插入食鹽與冰之混合物中以驗之。

3. 密煮器。以溫度計插於密煮器之蓋上，充水於鍋中，約及三分之一，乃加熱於水，直至溫度計指示稍高於 212°E 而止。於是開保險滑瓣，使空氣逸出。今再加以熱，見壓力每增二磅，即記下其時之溫度，直至增加每方吋 20 磅而止，加熱須緩，就所得各結果描一曲線，須注意水蒸氣自保險滑瓣逸去後，即難於揭開鍋蓋，何故？

4. 水蒸氣煨室裝置。校舍，旅社以及工廠中之煨室裝置，試一究其汽鍋，需用何種燃料？如何加熱於水？裝於汽鍋上之三種保險裝置為何？水蒸氣之分布，係用一導管或二導管？各室之通風如何？

第十五章

蒸汽與氣體引擎

蒸汽引擎之重要——汽鍋——移動滑瓣引擎——凝汽器——效率——膨脹——汽筒凝汽作用——複合——蒸汽臥輪——氣體引擎——四衝及二衝引擎——油引擎——熱之機械當量。

225. 蒸汽引擎之重要。距今約二百年前，世界之工作，概藉人或獸之肌肉能力以成，利用風車及水車，偶一爲之而已。此語即謂當時在各處皆無鉅量之動力，可以利用，而有用之器物，則由許多各不相謀之工匠，散居四處，獨自製造，或合少數之友朋，共同製作，產量皆不多也。

一七〇五年時，英國鐵工湯麥斯牛考孟(Thomas Newcomen)氏，造成第一架可用之蒸汽引擎；彼時即用以抽去煤礦中之積水。牛考孟氏之引擎，製作既極簡陋，而又耗費多量之燃料，以與其所作之工較，殊屬得不償失；然已大有裨益於採礦矣。嗣後七十年間，蒸汽引擎之構造，因襲舊法，無大改變。於是有一蘇格蘭之技師，出而發明與改良，成其空前之事業，僅窮其一人一生之力，而今日之蒸汽引擎中主要之部分，幾莫不

備。此人者何，即詹姆司瓦特(James Watt)是也(圖 230)。

自瓦特改良蒸汽引擎以後，全球文明之地，生活狀況即起劇烈之變動。鉅量之動力，今可集中於單一之機廠；工廠之制，自然由此而生，終至大量生產而後已。工廠之制既行，獨立之工匠，乃為其所排斥，而有今日之勞工問題。鐵道與汽船，更形發達，世界各地之聯絡，遂較前愈益密切。因此種種，蒸汽引擎之影響於人生者，至大且深，自有機器以來，無一可與抗衡也。

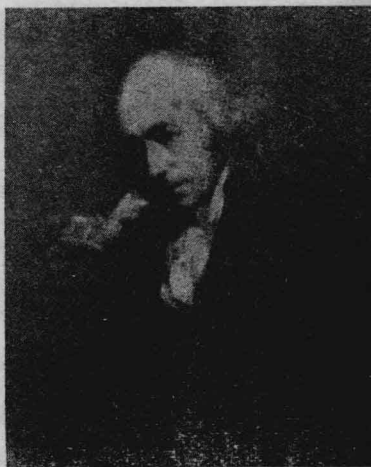


圖 230 詹姆司瓦特(1736-1819)，格勒師果大學(Glasgow University)之器械製造師，因改良蒸汽引擎而著名。

226. 現代蒸汽機械。在現代之蒸汽機械中，不問其為火車頭，為航海巨船，或為中央發力所，皆以汽鍋發蒸汽，用之於蒸汽引擎中，且常放之入空氣，或入於凝汽器中。凡此數項，茲將順次討論之。

227. 蒸汽鍋之種類。優良之汽鍋，當有巨大之

容量，以與其龐大之體積相稱，且應有高大之效率。所謂汽鍋之容量，乃指其每小時所發蒸汽之量而言。例如現代之運貨車之車頭，每小時可發 50000 磅以上之蒸汽，即其容量。汽鍋之容量，大都憑其所有傳熱表面之大小而定。蓋介於火與水間之鍋壁，其每方吋上每小時流過之熱量，大約只有某定量之多也。故汽鍋之構造，形狀往往極為複雜，俾可儘量擴張其傳熱之表面。

火車頭之汽鍋(圖 231)，為火管式汽鍋 (fire-tube boiler)。其構造係一圓筒狀之外套 (shell)，內插直徑 3 或 4 吋之管，火與烟即經由此諸細管而過。水與蒸汽，則充滿套內管外之其餘部分。現代各動力廠，則用水管式汽鍋(圖 232)，其構造適與前者相反，即水在管內，而火與烟則在管外是也。此

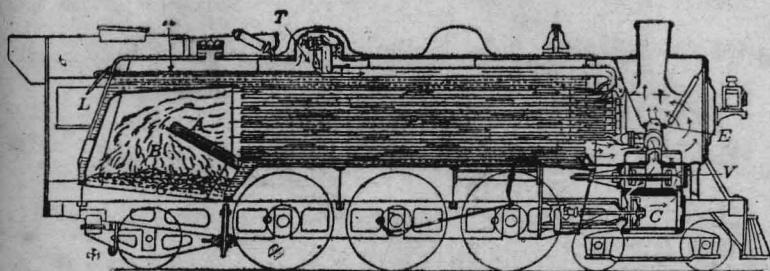


圖 231 現代火車頭之縱剖面。G，火門；B，火箱；A，磚屏，用以防護直接受熱；P，火管；L，節汽槓；R，節汽桿；T，節汽瓣；E，排汽管；V，活塞瓣；C，汽筒。

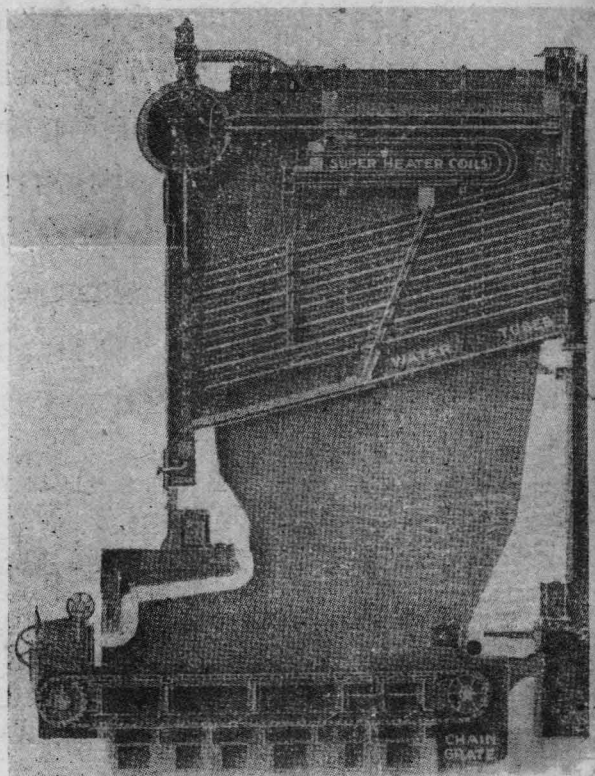


圖 232 有蛇管過熱器 (super-heater coils) 及鏈鎖火門之水管汽鍋。試觀火門之上有大空隙，以備燃料可以完全燒去之用。

種汽鍋；其管稍帶傾斜，且各端皆接於通路 (passage)，導至上方之鼓狀汽筒 (drum)；水管與通路，以及鼓狀汽筒之下部，皆為水所充滿；鼓狀汽筒之上半，則為蒸汽所占之空間。火在水管前端之下；因燃燒而生之火與烟，為磚壁所阻而抑其向，故可經過水管二次或三次，始由烟窗上昇而出。

現代之汽鍋上有一改良之處，爲自動添煤器 (automatic stoker)，能因需要而將少許之煤，自動撥入火門之內。撥煤入內時，由下至上者，其裝置稱爲下撥添煤器 (under feed stoker)。在若干種機械中，先碎煤成屑，然後吹入爐中，立使燃燒。有時以燃料油噴入，在汽鍋下燃燒；如是則可節省裝置添煤器之費用，且可減少灰燼焉。

228. 汽鍋之通風。 汽鍋之容量，又須視有效之通風，可用以使火力加猛者而定。燃燒 1 磅之煤，大約須用 20 磅之空氣。欲得優良之通風，有時用高聳之煙囪，有時則用大風扇，以成強壓通風 (forced draft)。在軍艦中，欲得強壓通風，往往使添煤器活動於其中之火室全部，可以密閉而不洩汽，並使火室充滿高壓空氣，該高壓空氣，係由吹管或唧筒送入火中，使其儘速穿過火燄而去。

229. 汽鍋之效率。 汽鍋之效率，亦等於出能除以入能，正與其他各種機械相同也。就汽鍋而論，出能乃所發蒸氣中所有之熱量，而入能則係所用煤中之熱量。現代之汽鍋，其效率之範圍自 60% 至 75%。煙囪中之熱氣，掠去之熱甚多。火箱及汽鍋之座架，亦由放

射作用而失去一小部分之熱。至於烟囱中噴出之濃烟，實為多量未曾用過之燃料，成為廢物，且鄰近之空氣，由是而污濁不清，更有弊害也。

230. 往復蒸汽引擎。小機器中常用之引擎，為移動滑瓣 (slide valve) 引擎 (圖 233)。蒸汽來自汽鍋，入於汽室 (steam chest)，然後經通路 *s* 入於汽筒之上部，一如圖中之矢所示者然。同時汽筒下部之廢汽，則正在經過滑瓣內部之空處，而至排汽通路 *E*。於是此廢汽乃經背後之管，圖中未能繪示者，逸入空氣之中，或至凝汽器內。待活塞之一衝既畢，滑瓣已推至最上端，足以放新鮮之蒸汽，入於汽筒之

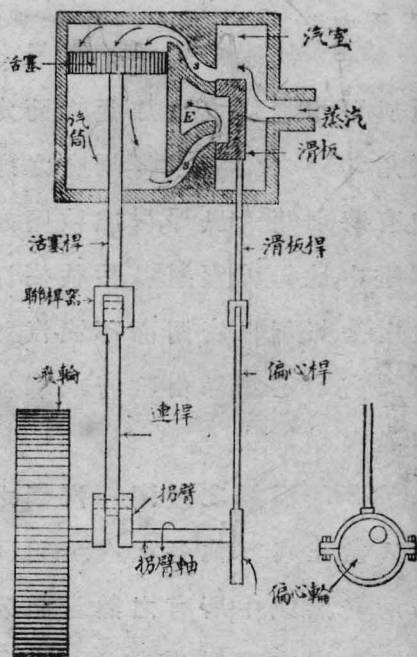


圖 233 簡單滑瓣蒸汽引擎之圖。

下部，而上部之廢汽，又逸入排氣管中。移動滑瓣之被推而上下移動，乃由所謂偏心輪（eccentric）者使之然。此輪為圓形之盤，固著於主軸之上，穿軸之點，不在中心而稍偏於一側。偏心輪之往復運動，更由軸鉗（collar）傳於移動滑瓣桿。

231. 凝汽器。引擎排汽管，其開口處逕通大氣者，稱為不凝汽引擎（noncondensing engine）。此種引擎之動力，全視汽鍋中之蒸汽壓力，超於外面大氣壓力之多寡而定。尋常之火車頭及大多數之引擎，皆屬此式。在實際上，火車頭

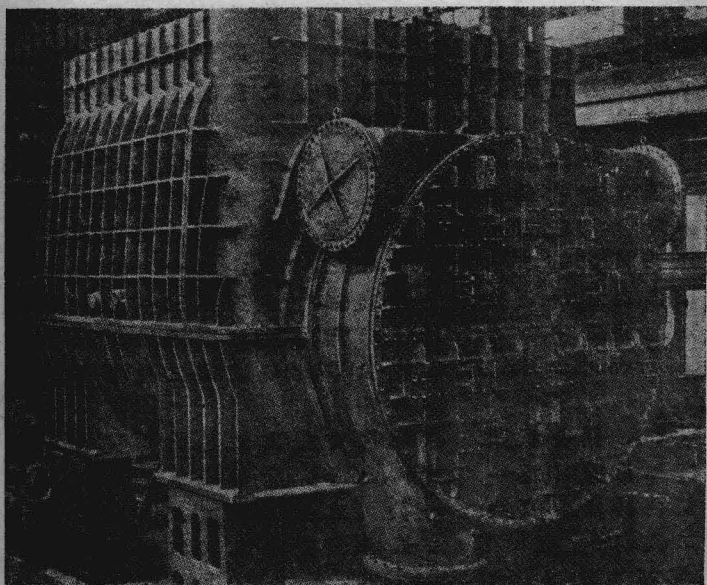


圖 234 巨大體積之蒸汽凝結器（視圖中左下角之人，即可知此器之大），近世蒸汽臥輪所用者，即屬此類。

全賴廢汽之急噴而出，將烟囱中之烟，吹之先昇，以使鍋爐得通風之效。

將廢汽送入真空室或凝汽器 (condenser)，則更為經濟。有一種引擎，其蒸汽之來自汽筒者，由冷水噴射口使之凝結；又有一種引擎，則於大鋼箱內，置冷水循環之管 (圖 234)，而使蒸汽凝結於其中。已凝之蒸汽，用小唧筒抽出之，兼可抽去偶或漏入之空氣。此種引擎名為凝汽引擎 (condensing engine)。航海用之引擎，幾常為凝汽引擎，俾可使已凝結之蒸汽，復入於汽鍋之中，蓋汽鍋中若充以鹹水，恐將迅即破壞也。

232. 膨脹之蒸汽。若來自汽鍋之新鮮蒸汽，任其推動活塞，待一衝既畢之後，然後驅之出筒，再任其入於大氣或入凝汽器，則顯見將耗費多量之能。故欲自蒸汽得較多之功，可使滑瓣在活塞既行其 $\frac{1}{4}$ 或 $\frac{1}{3}$ 之衝程 (stroke) 後，即行關閉，而聽蒸汽膨脹，以畢其有餘之衝程。蒸汽於來源隔斷後，其壓力與溫度，則降落頗速。

233. 汽筒凝汽作用。當蒸汽引擎之排汽滑瓣開放時，不能立即逸出之蒸汽，其壓力即因而突然減少，且其溫度亦降低頗烈。於是當活塞回衝之時，此較冷之蒸汽，即被驅至汽筒之一端，而冷卻該端之筒壁。當二次補充之高壓熱蒸汽，自汽鍋而來，入於汽筒之時，必須再加熱於筒壁，而在此過程之中，即有多量之蒸汽凝結。此種汽筒凝汽作用 (cylinder condensation)，乃蒸汽引擎效率減低之重要原因之一。

234. 複合引擎。欲使汽筒凝汽作用，大為減少，可將蒸汽先用於高壓小汽筒內，使壓力微有低落，然後使此小汽筒內排出之汽，通入一較大之中壓汽筒，使其壓力在此第二汽筒中，更稍降低。最後使蒸汽通入第三具低壓汽筒，其壓力在此汽筒內，第三次又稍降落，即降至通常待放時之氣壓。此種引擎稱為三次膨脹引擎 (triple-expansion engine)，其中任一汽筒溫度之降低，約降至原有溫度之三

分之一，而因汽筒凝汽作用以致發生之損失，即由是而大為減少。有時祇用汽筒兩具，此種引擎，稱為複合引擎 (compound engine)；偶或用汽筒四具，使蒸汽逐一通過，此種引擎，即所謂四次膨脹引擎 (quadruple-expansion engine) 者是也。

問答題與計算題

1. 圖 233 所示之水管，其效率何以較之汽鍋之單獨圓筒部份為高？

2. 近代火車頭上之壓力計，其所示之壓力，通常在每方吋 200 磅以上。若火夫或機師為蒸汽所沖擊，往往灼傷致死。試說明其理？

3. 有所謂蘇格蘭式汽鍋 (Scotch boiler) 用於航海者，其火箱在外套之內，且其四週除裝置添煤出灰之門之處外，完全圍之以水。此種構造有何利益？

4. 一火車頭之汽鍋，每小時可由 $54^{\circ}F$ 之水，發生 50,000 磅之蒸汽。若此汽鍋在一小時內，用去每磅生熱 14,000 B. t. u. 之煤 3 噸，則其效率為何？

5. 一蒸汽引擎之活塞，其面稱為 120 方吋，而其衝程則為 2 呎。若蒸汽之“平均有效壓力” (mean affective pressure) 為每方吋 50 磅，問加於活塞上之全力為何？

6. 在第 5 題中，飛輪軸每轉一週（即活塞行畢二衝程）時，所作之功為若干呎磅？

7. 若第 5 題中之引擎，每分鐘旋轉 150 次，則其“實馬力 (indicated horse power)” 為何？所謂實馬力者，蒸汽作於活塞上之功，以馬力計之工率也。

8. 有一著名之公式，往往書為

$$2 \frac{PLAN}{3300}$$

其中 P 為汽筒中之“有效壓力”每方吋之磅數， L 為衝程長度之呎數， A 為活塞面積之方吋數，而 N 為每分鐘旋轉數。今欲問：

- (a) 由此公式所得之值，爲何種之量？證明汝之答語。
- (b) 此種呎單位與吋單位之奇特配合用法，能說明其故否？

9. 一火車頭，其汽筒之直徑爲 27 吋，活塞衝程之長爲 2.5 呎，轉動輪之直徑則爲 5 呎。若汽筒中蒸汽之平均有效壓力，爲每方吋 60 磅，而此引擎每小時前進 50 哩，問實馬力爲何？

10. 近代蒸汽引擎，現在常用一種活塞瓣 (piston valve) (圖 235)，尤以火車頭用之爲甚，問其動作之情狀爲何？

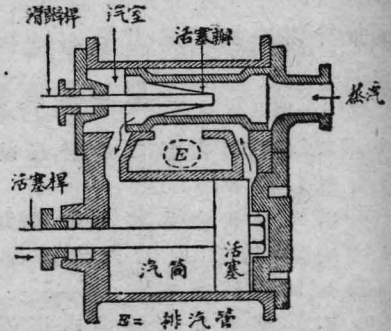


圖 235 蒸汽引擎之活塞瓣。

235. 蒸汽卧輪。 以上所述之往復引擎，皆用拐

臂及連桿，將活塞桿之進退運動，變爲旋轉運動。因活塞在每一衝程之末，勢必趨於靜止，故在高速率之引擎中，運動之屢發屢停，必極頻急。因此之故，即有強烈之震動，以致不得不建築巨大而耗財之基礎。在汽船上，不絕之軋轆，使人不期而震，大爲不快。近

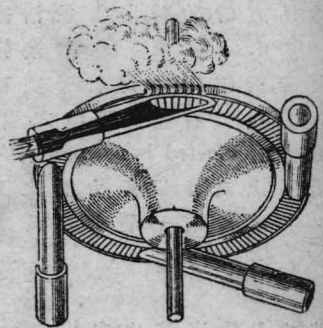


圖 236 特拉伐氏之蒸汽卧輪，圖中示其一組之噴汽口。

數年間,已發明一種形式絕不相同之新引擎,稱為蒸汽臥輪 (steam turbine), 其中即無往復運動。此種引擎,占地亦遠較蒸汽引擎為少。蒸汽臥輪之異於其他各式之蒸汽引擎者,其主要之點在於蒸汽中所發出之熱能,先用之於使蒸汽本身自行運動,以動能賦予蒸汽,繼即用此動能以作功於臥輪之葉版(blade)。

236 蒸汽臥輪之運轉情況。最初之一種臥輪,

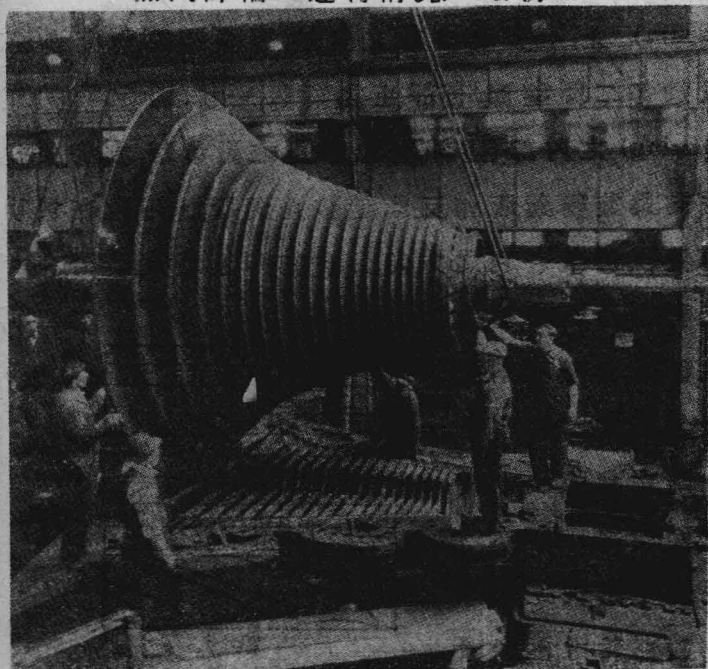


圖 237 一座60,000-kw. 之臥輪發動機裝合之情形。圖中正在將蒸汽臥輪之轉動子,配合於輪匣之下半。此臥輪係紐約愛迪生公司所裝設備用者。

有一或多個噴汽口 (nozzle), 高壓之蒸汽, 由此而入。運動迅速之蒸汽, 擊於輪緣之葉版(圖 236) 而用其動能將葉版向前推動。在此種臥輪中, 蒸汽自汽鍋之壓力降至大氣之壓力, 一次而畢; 而輪緣之速率則甚大。有時輪轉之速度, 大至每分鐘 70,000 次, 故用臥輪者, 多數須用減速齒輪(reduction gear)。

近日之商用臥輪, 其中一種之主軸上, 或鼓形輪 (drum) 上, 有排有多數之圓盤, 盤緣裝設葉版多枚, 且於每二圓盤間, 有靜止之葉版一排, 固定於輪匣 (pasing) 之內部 (圖 237)。此靜止之諸葉版, 其彎曲之方向, 與旋轉葉版相反。此諸靜止葉版, 其用處在於引導蒸汽仍最有利之方向, 衝擊旋轉葉版(圖 238)。在此過程中, 蒸汽之壓力減低, 而其體積則漲大, 為準備其膨脹計, 相隣之葉版製作較大, 而輪之直徑亦增長若干。蒸汽之所以自鼓形輪之小端噴入, 而自太端噴出者,

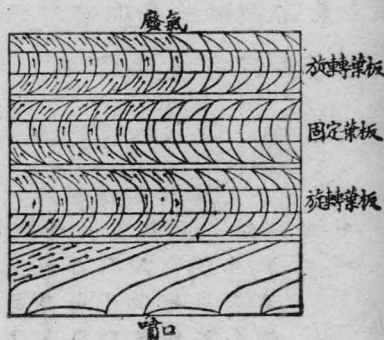


圖 238 蒸汽自一葉板至他葉板之路徑。

即因此故也。

在若干中央發力所中，已製有 70,000 馬力以上之大臥輪，以推動發電機。

237. 蒸汽機械之效率。 前已見及近代汽鍋之效率，約為 70%；但在引擎本體之中，仍有較大之損失。自引擎放洩之蒸汽，常掠去多量未經用過之能。故用壓力 136 磅之汽鍋以發動之蒸汽引擎，其可達之效率，最大不過 18.5%，此實可以證明者也。

此 18.5%，不可忘其僅為引擎單獨之效率，故引擎與汽鍋之效率，合計當為 70% 之 18.5%，即僅約 13% 耳。由此可知煤之能，約有 87% 不得變為機械能。用極高之溫度，現有之最精良之引擎，亦不過用及煤中原有之能之 24% 左右而已。近代之火車頭（圖 239）所能利用之能，或尚不及 3% 也。

問答題與計算題

1. (a) 試列表以示蒸汽臥輪優於往復引擎之點。
(b) 往復引擎亦有較優於蒸汽臥輪之處否？
2. 高度真空凝汽器須與蒸汽臥輪連用，何故？
3. 航海巨舶之用蒸汽臥輪，何以較火車頭為多？
4. 蒸汽臥輪當按低速率運轉時，其效率較之往復引擎用同量蒸汽時之效率為低。試說明其理。
5. 一蒸汽引擎之活塞，其面積為 500 方呎，平均未

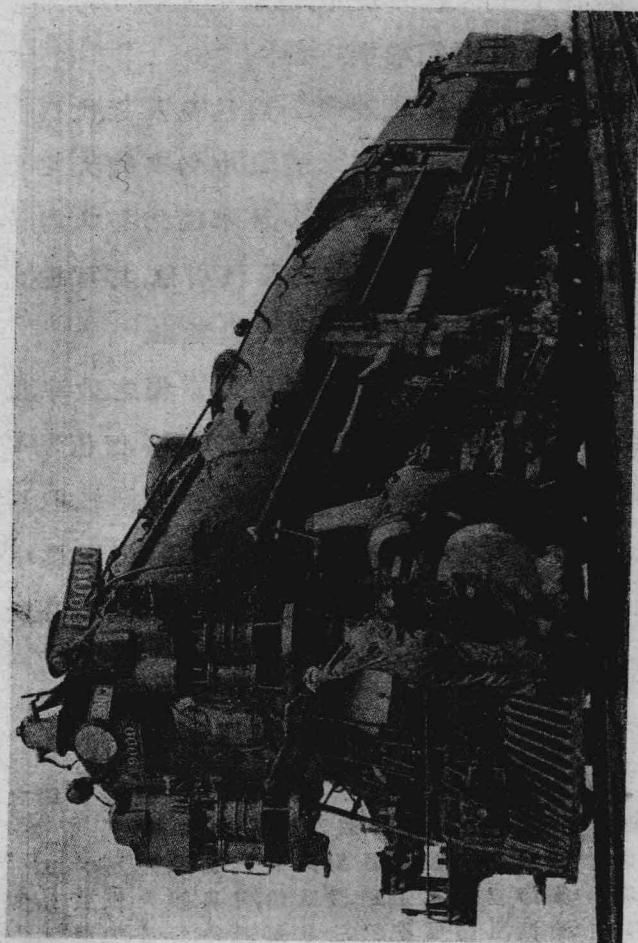


圖 239 近代無關節之火火車頭，重量，807,000 磅；長度，102 呎， $6\frac{3}{8}$ 吋；馬力，4750；裝有滾子軸承。

平衡之壓力每方吋 60 磅，而衝程之長為 30 吋，若其效率為 15% 而發出之馬力為 80，問其每分鐘旋轉之速度為何？

238. 氣體引擎與油引擎 蒸汽引擎與油引擎或氣體引擎，其主要不同之處如下，即在蒸汽引擎中，燃料燒於汽鍋之下，而為原動物質之蒸汽，則由導管引入引擎之中；而在氣體引擎或油引擎中，燃料即在引擎本體之氣缸中燃燒，而因燃燒所生高熱之產物，自身即為原動之物質，易言之，氣體引擎乃內燃引擎 (internal-combustion engine) 也。

初創之此種引擎，用尋常之煤氣為燃料；此即“氣體引擎”一名之來源也。近時多改用液體燃料，在汽車與摩托艇中，則特用汽油 (gasoline, 俗稱戡士林)，在農用曳引車 (farm tractor) 中，特用煤油，而在近代之油引擎中，有時用粗油甚至燃料油 (即自粗油提去汽油及煤油後所餘之油)。有數種真正氣體引擎，至今仍有用之者，此等引擎，係藉自煤製成之發生爐煤氣 (producer gas)，或由鼓風爐發出之煤氣而轉動。

239. 揮發器 近代之揮發器 (carburetor)，通常皆屬噴霧式 (spray type)，或噴口式 (nozzle type)，其器係將汽油噴成霧狀物，射入空氣流中，以成爆發劑 (explosive mixture)。由圖 240，可明噴霧揮發器 (spray carburetor) 之原理。今日

之商用揮發器，其所蒸發之液體，揮發性必須較以前所用者為弱，其運用必須冬夏兼可，而其所供給之爆發劑，必須高速率及低速率兼可適用。因此之故，近代之揮發器，乃由精巧而複雜之機件，結構而成。

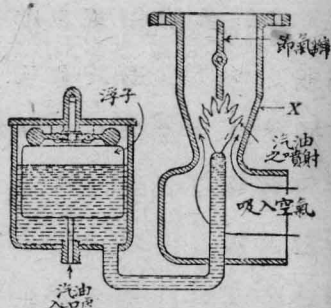


圖 240 說明噴霧式揮發器原理之圖。

240. 氣體引擎之冷卻。 氣體引擎之氣缸，既不得不兼為爐與缸二者之用，則若不自外面冷卻之，必受熱而致發生危險。欲防此失，可在氣缸之外，圍以有水循環之護套 (jacket)，而以水冷卻之。水在氣缸護套中受熱而上昇，逆流入於輻射器內，在此器內水再冷卻。於是已冷之水，復自輻射器之下部，回至引擎之氣缸之外。在多種汽車中，此天然之對流復助之以離心唧筒，而於此時所用之輻射器與水，可較對流組織中所用者輕而少。

氣體引擎之氣缸，亦可用空氣冷卻之，祇須使其外表面成褶皺之狀，以便放熱迅速，並迫使空氣流吹過此表面即可。摩托自轉車，少數之汽車，以及多數飛機之引擎上，皆用此種冷卻方法。

241. 氣體引擎之動作狀況. 氣體引擎,幾皆為爆發之氣所推動,此氣在引擎之氣缸內爆發而推動活塞,活塞之運動,則由連桿傳於拐臂軸.此種爆發作用,與火藥在大砲中爆發相同.以氣體與空氣之混合物,送入氣缸之密閉之一端,然後使之着火;氣體於是爆發,幾為瞬時燃燒,遂生極高之溫度,而壓力亦有相當之增加.

命試取中空之錫罐一只,以數滴汽油滴於其中,即可證明氣體與空氣之混合物之爆發力.(所用汽油之多寡,視錫罐之大小而定,可由試驗而決定之).茲再取一尋常汽車上所用之電花栓,插入錫罐之側(圖 241),然後覆之以蓋,並搖動之以使汽油蒸發,而與空氣相混合.於是用誘導圈使電火花通過電花栓之兩端,若罐中之氣體與空氣,依適當之成分而配合,則必立即爆發而將蓋衝開.

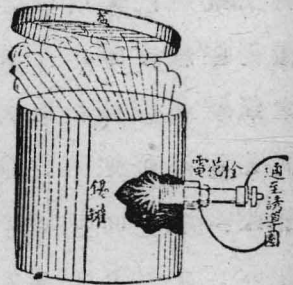


圖 241 用電火花使汽油蒸汽與空氣之混合物爆發.

氣體在引擎中爆發以後,因燃燒而生之產物,必須除去,而再將補充之新鮮氣體與空氣送入,以備第二次爆發之用.實行此項動作,其道有二.一用於四衝引擎 (four-stroke engine), 其中活塞每衝四次,即拐

臂軸每轉二次，爆發一次；又一用於二衝引擎 (two-stroke engine)，其中每兩衝即每一轉爆發一次。

242. 二衝氣體引擎 此種形式之引擎(圖 242)，往往用之於摩托艇中，其爆發劑送入不漏氣之拐臂匣 (crank case) 中，且在活塞下衝之時微微受壓，當活塞將近於其衝程之終點時，先使排氣門 (exhaust port) *E* 露出，使氣缸中已用過之氣體，放去其一部份，然後再使送氣門 *B* (transfer port) 露出，拐臂匣中所充之微受壓縮之氣，於是衝入氣缸之中，將殘餘之已爆發之氣體，先行擠出缸外，活塞再向上衝，送氣門與排氣門先後遮蔽，送入之新氣遂受壓縮，當活塞經過其上靜點 (upper dead center) 時 (或適在已過之後)，受壓之

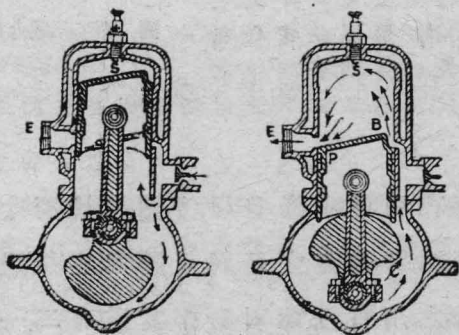


圖 242 二衝氣體引擎。

氣立即爆發。在此種引擎中，其惟一之真正滑瓣，為一輕巧之阻止瓣 (check valve)，新鮮之氣體，即由此處進入拐臂匣中。此種形式之引擎，其不便利之處在於新鮮之氣體，有一部份與已用過之氣體，同由排氣門而出，是以較之他種形式之引擎，須用較多之汽油。然就另一方面言之，則此種引擎極為簡單，且每轉一週即推動一次。

243. 四衝引擎。此為汽車、飛機，以及靜置機械所最適用之一種。在汽缸之端，有滑瓣二 (圖 243)：一為進氣瓣 (inlet valve)，此瓣可容來自揮發器之氣體與空氣之混合物入內，一為排氣瓣 (exhaust valve) 此瓣開入一多口排氣室 (exhaust manifold)，廢氣即自此室經由減聲器 (muffler) 而放散於大氣之中。在氣缸密閉之一端，插入一電花栓，以使爆發劑着火。有時插入之電花栓，不止一個，用以增加燃燒之速度。

此種引擎之動作情狀如下。在稱為吸氣衝程 (suction stroke) 之第一次衝程中，進氣瓣開放 (圖 253 (1))，且當活塞下降時，新補充之氣體與空氣即被吸入。在稱為壓縮衝程 (compression stroke) 之第二次衝程中 (圖 243 (2))，活塞上昇而兩滑瓣同時關閉，氣體即被壓縮至原有體積之 $\frac{1}{4}$ 乃至 $\frac{1}{7}$ 。適當活塞達於缸頂，或適在活塞將達缸頂之前一

汽 車 汽 缸 中 之 情 况

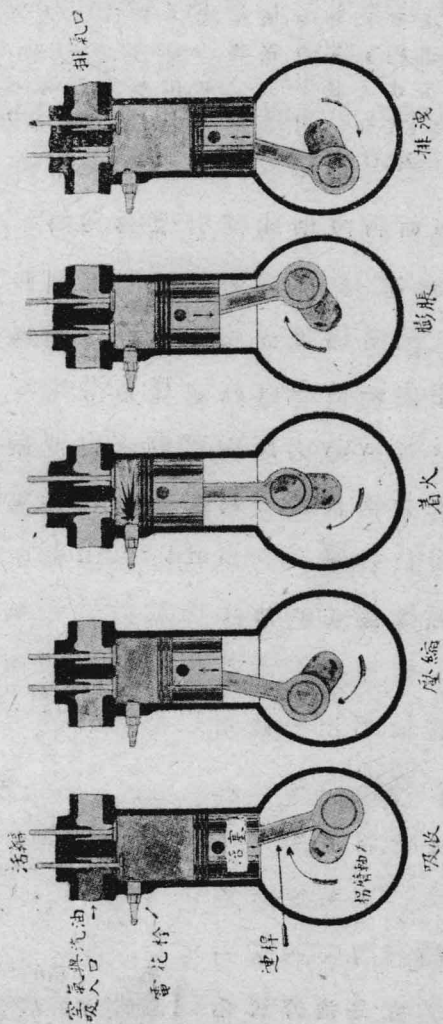


圖 243 氣缸引擎之四衝程：(1)吸氣衝程，(2)壓縮衝程，(3)膨脹或工作衝程，(4)排氣衝程。

瞬間之際，受「計時調節器 (timer)」控制之着火裝置，即使電火花發射於電花栓之隙口之間，而氣體即行爆發，極熱之氣體在活塞後膨脹，施高壓力於其上而推之向下，此即稱為膨脹衝程或工作衝程 (expansion or working stroke) (圖 243 (3))。當活塞方達於底之時，排氣瓣開放，已燃燒之氣體，乃因活塞之重行上昇而被迫外出，此即為排氣衝程 (exhaust stroke) (圖 243 (4))。

然則所謂四衝者，乃 (1) 吸氣衝程，(2) 壓縮衝程，(3) 工作衝程，(4) 排氣衝程是也。此四衝程，合成一完全循環 (cycle)，或週而復始之動作。一循環中，拐臂軸旋轉二次，因動力之獲得，祇在每隔一次之向外衝程中，故用一重飛輪，以保持引擎之在其餘三衝程中之運轉不息。在汽車與飛機引擎中，則用氣缸 4, 6, 8, 9, 或 12 具，以推動單一之拐臂軸，且調節其爆發之時間，以使彼此連發動能，無時或輟。

空氣冷卻式之航空用引擎，近時已頗盛行。此種引擎通常為輻射式 (radial form)，其氣缸排成輻狀，圍繞於圓形拐臂匣之四周，所有之活塞桿，皆

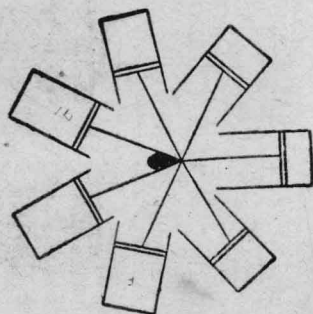


圖 244 輻射式引擎之拐臂軸與活塞連接之方法。

連於拐臂軸之單一拐臂而運轉，如圖 244 所示。林白大佐 (Colonel Lindbergh) 在其著名之飛行航程中，所乘“聖路易之靈”號所用之來特旋風引擎 (Wright Whirlwind engine) (200 馬力)，即為空氣冷卻輻射式引擎之一例(圖 245)。

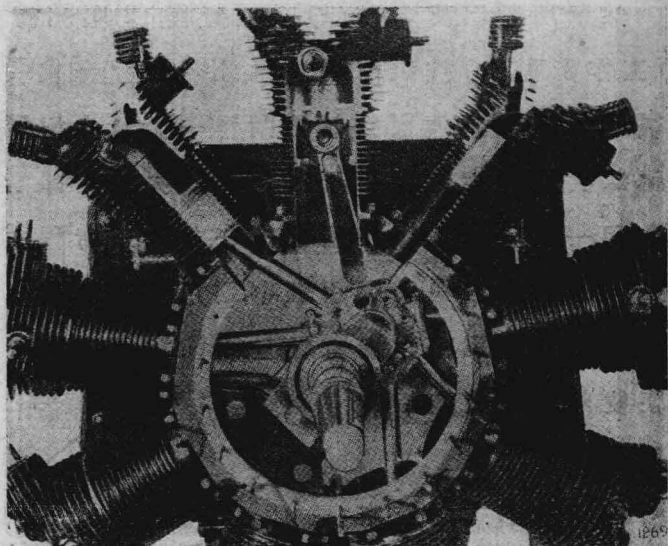


圖 245 來特旋風式飛機用引擎，其拐臂匣之一部份揭開，以示拐臂與活塞及其連桿。

244. 油引擎. 任何汽油引擎，若已用汽油使之發動，且已使之全體發熱，則幾可皆用煤油使之運轉一時期，但若揮發器並非特製以揮發此較難蒸發之

燃料者,引擎之運轉不能持久,雖然,煤油引擎 (kerosene engine) 今固用於許多農用自動車,而收有成效也(圖 246)。



圖 246 加利福尼亞果園中,用以開掘溝渠之環帶牽引車,此種“穿田越野之車頭”(cross-country locomotive),亦用之於築路與伐木。

用粗油爲燃料時,將純淨之空氣吸入氣缸內,迅速壓縮之,由是而發生大熱,於是將燃料直接噴入氣缸之中,在狄塞爾(Diesel)引擎中,油之吹入,係用大加

壓縮之輔助空氣流。狄塞爾引擎無需揮發器或電花

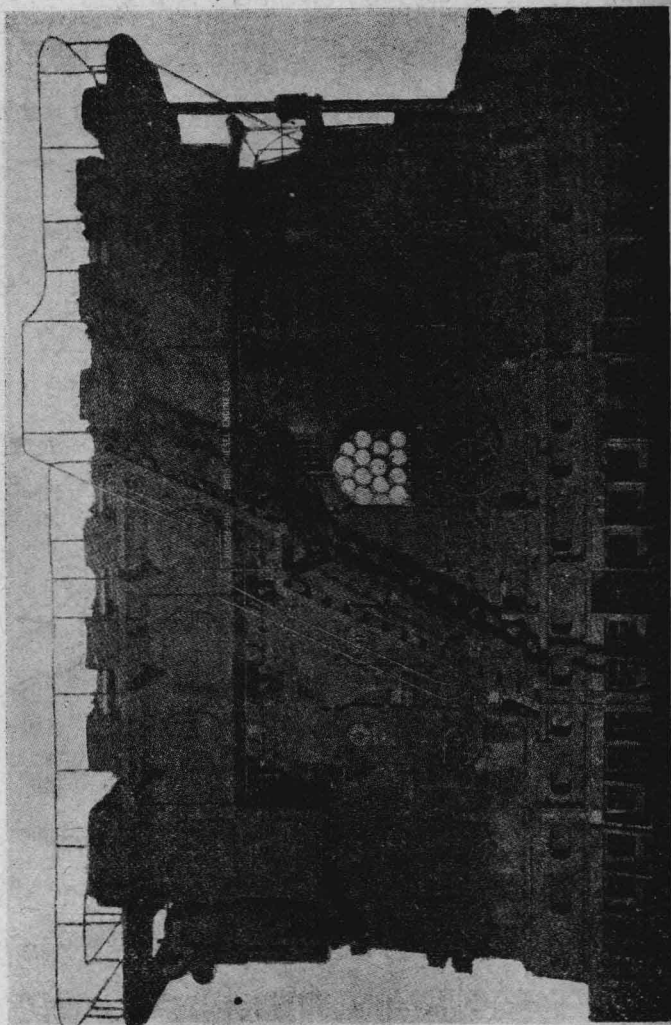


圖 247 用於航海工程之狄塞爾引擎，馬力 3000，乃一六氣缸之油引擎也。

栓，因油一與非常壓縮之熱空氣接觸，立即開始燃燒也。此種引擎亦製成二衝式與四衝式兩種。

狄塞爾引擎用於潛水艇，運貨車（圖 247），以及火車頭，因其用煤節省，無需大煙囪，且無煙塵與灰燼。然機身沉重，且發動與運用之，皆需多量之壓縮空氣；如有損壞，修理亦較蒸汽引擎為困難。惟因巨大之狄塞爾引擎，其效率甚高——有時高至百分之40——故動力廠中現漸採用之。

問 答 題

1. 飛機何以不用蒸汽引擎，而用汽油引擎推動之？
2. 汽車之下列各部分，其作用為何：飛輪，接合子（clutch），風扇，差動輪（differential），電花栓，拐臂軸，減聲器，輻射器，揮發器，節氣瓣？
3. 在汽車之引擎中，因氣體之燃燒，而有 1400°C .以上之溫度，比較鋼之熔解點已略高，而引擎乃屬鋼製，然則使引擎之免於熔解者，何耶？
4. 尋常之氣體引擎能自行發動否？汽車之引擎，如何使之自行發動？

245. 熱之機械當量. 引擎之效率，吾人曾時加以考究，而未忘敘述其計量之法。出能與入能，顯然必須有某種方法以比較之，而出能之計量，自以呎磅或尅呎為宜，入能之計量，自以 B. t. u. 或卡為宜。此中即含有須求呎磅與一 B. t. u. 間，或一尅呎與一卡間之

一定關係，此一問題，約至前一世紀之中葉，有一英國人名朱耳 (Joule) 者，出而行其著名之攪水實驗時，始得解決。

朱耳氏曾取盛水之箱，中置翼輪 (paddle wheel)，以行其實驗(圖 248)。

翼輪之旋轉，由於重錘，蓋重錘下降時，即解開翼輪軸上所繞之繩，故輪因是而旋轉也，水箱之壁，復有固定之翼突出水中，以阻止水之隨輪而轉。

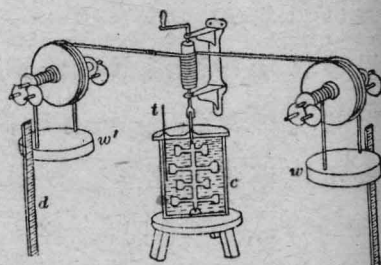


圖 248. 朱耳氏計量熱之機械當量之機械。

在此一實驗中，加入之機械之功，可由錘之重量，乘其下降之距離而計量之；而所生之熱，可由水之重量，乘以昇高之溫度而計量之。實驗之時，曾加以非常之留意，以防止熱之有何損失。朱耳氏由此實驗，以及其他性質相仿之實驗，即宣布下之原理：加入之功之單位數，常比例於所生之熱之單位數，是故機械之功，動能，勢能，以及熱，皆為形式不同之能，而可彼此互相變換者也。

由朱耳氏實驗以及羅蘭德(Rowland)在鮑爾的穆爾(Baltimore)所行實驗之結果,咸以爲778 呎磅之功,相當於使一磅之水昇高華氏一度所需之熱,或加熱於一呎之水使其昇高攝氏一度所需之能,等於將一呎之重舉高427呎所作之功。

1 B.t.u. = 778 呎磅之功。

1 呎卡 = 427 呎呎之功

是以欲計算引擎之效率,須用上述之關係,以加入之

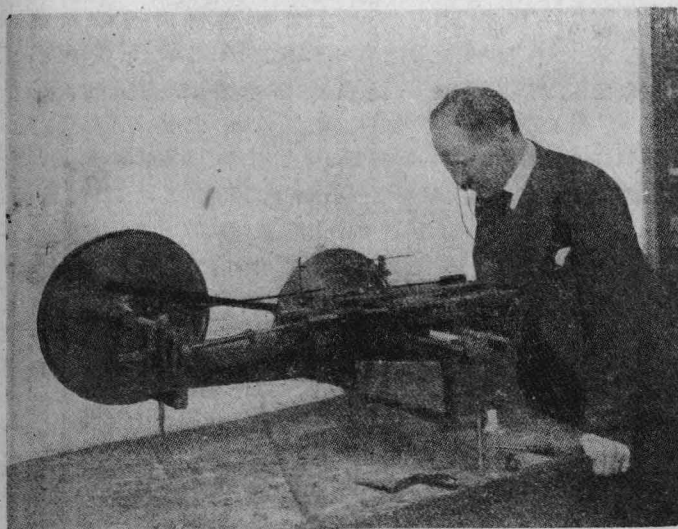


圖 249 亨利羅蘭德(Henry A. Rowland)(1848-1901),任鮑爾的穆爾之約翰霍布金司(Johns Hopkins)大學教授多年,羅氏以其在靜電學及熱力學中之實驗而著名,羅氏曾發明彎曲格子 (curved grating),現在分光術(spectroscopy)中廣用之。

熱除所作之功，惟須化兩者為相同之單位。

朱耳氏之此項工作，足為能常住原理之確證而扶持之，蓋由此可知熱與工作，僅係不同形之能耳。

問答題與計算題

1. 試舉三例，以示熱之變形為機械能；即應用熱以生運動或作功是也。
2. 試舉三例以示功變形為熱。
3. 1磅之煤可以供給之能，用以舉1磅之重，可舉至若何高乎？假定絕無損失。（美國每年約開掘84,000,000噸之煤，試一思其所蘊之能！）
4. 有一四分之一馬力之電動機，用以攪動相似於圖248所示之器械中之水。若4.1磅之水，於1分鐘內熱至 $2.6^{\circ}F$ ，試假定所生之熱一無損失，而求熱之機械當量。
5. 若1磅之煤可生14,000 B. t. u. 之熱，則每燃煤1磅發生1馬力時（horse power hour）之引擎，其效率為何？（“馬力時”者，1馬力引擎在一小時內可作之功之全量也）。
6. 一本生燈每小時約用煤氣25立方呎，若煤氣之燃燒價（fuel value）為每立方呎500 B. t. u.，又若能不損失，則可得於此燈之馬力為何？
7. 若一加侖之氣油，於燃燒時可生110,000 B. t. u. 之熱，而汽車引擎之效率為20%，則每加侖之汽油，可生出若干馬力時？
8. 一汽車每小時行24哩時，平均每行20哩需汽油1加侖，其引擎之平均出能為10馬力，問此車之全效率為何？
9. 一重10磅之鉛球，自高1500呎之氣球下墜，擊於地面之時，球之溫度升高 $5^{\circ}F$ 。問能之百分之幾，用於使鉛球發熱？（鉛之比熱=0.032）
10. 一汽車重3000磅，按每小時30哩之速率前行，突

然停止。問其制動桿所生之熱爲何。(用 B. t. u. 表之?)

第十五章 提要

在往復蒸汽引擎中，活塞先被膨脹之蒸汽推向一方，然後推向他方，每一衝程所作之工，視平均壓力，活塞面積，以及衝程長度而定。

在蒸汽臥輪中，有葉輪若干枚，封於匣中。此諸輪皆爲高速度之蒸汽所衝，爲高壓力之蒸汽所推而轉動。臥輪引擎佔地既少，且絕少震動。

內燃引擎之運轉，由於氣缸內燃燒而膨脹之氣體所發之力。此力加於可動之活塞上，活塞則連於拐臂軸。

在四衝氣體引擎中，一循環係由吸氣，壓縮，工作，以及排氣四衝程合成。

氣體引擎與油引擎構造簡單，機身輕便而堅密，且動力頗大，其效率之高，乃因氣缸內所用極高之溫度所致。

熱之機械當量爲一 B. t. u. 化成呎磅之值，或一尅卡化成尅枳之值。

$$1 \text{ B. t. u. } = 778 \text{ 呎磅.}$$

$$1 \text{ 尅卡 } = 427 \text{ 尅枳.}$$

$$\text{效率} = \frac{\text{出能}}{\text{入能}}$$

兩者皆須表以同一單位。

問 答 題

1. 蒸汽外套可以增加蒸汽引擎之效率，何故？
2. 水套可以增加汽油引擎之效率否？試說明之。
3. 汽油引擎之氣缸，如何可以使之滑潤？
4. 往復蒸汽引擎之效率，試述其所以低微之理由數端，在引擎本身中，能之損失最重大者爲何？
5. 裝有蒸汽臥輪之船，如何使其推進機反其旋轉之向？

6. 高速度之臥輪,其所發之動力,較之大小約相同之往復引擎爲大,何故?

7. 在汽車上,引擎之拐臂軸與轉動軸 (driving shaft) 之聯絡,須用一組齒輪,稱爲傳動機 (transmission) (圖 250),何故?在蒸汽火車頭上,何以無需此種齒輪?

8. 太陽直接發射之光線,曾有人試利用之以爲能源,試設一計劃以行此事。

9. 試將人體與蒸汽引擎作一比較,儘量舉出相仿之點,汝能設一計劃,以試驗人體之機械效率否?

10. 大砲視爲熱引擎,將用何法以計算其效率?

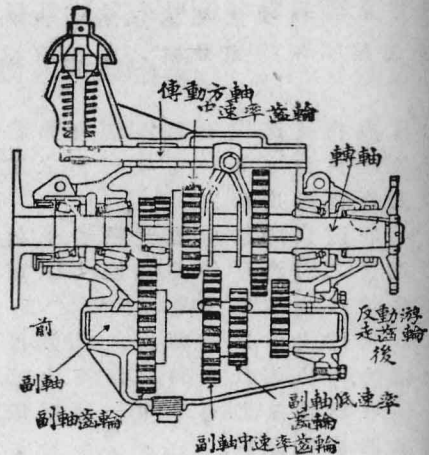


圖 250 汽車上所用之傳動齒輪。

實用題

1. 火車頭之駕駛。如有機會,可至鐵路停車場參觀,一訪工程師或火夫,請其說明節氣瓣,反向槓桿,以及空氣制動機,在停車或開車時之用法。

2. 蒸汽引擎模型。在一大平板上,製一可以運轉之往復引擎模型,各部份自板面突起約 1 吋。以手移動活塞時,其餘各部份當於正確所需之時間內,爲相應之運轉。

3. 蒸汽臥輪。取銅片或錫片剪開,彎成適當之形狀,製爲小戽斗 (bucket) 若干,裝於直徑六吋之木圓盤之邊緣上,實驗時,用小汽鍋或耐壓煮物器 (pressure cooker) 所發之蒸汽,自大小不同形狀各別之噴口射出,使圓盤轉動。

4. 汽車之機械作用。研究引擎之構造與動作，以及連接引擎與轉動輪之各部份機件。

第十六章

磁學

磁性——天然磁石——磁極——引與斥——羅盤及地球磁性——磁場——誘導磁性——透磁性與抗磁性——永久磁石之用途——磁性之理論。

246. 磁性。 鐵與鋼可以獲得一種奇特之吸引與指示方向之性質，稱爲磁性，其應用在商業上非常重要。在本章與以後數章內，將見羅盤，電話，電報，無線電收音機，發電機與電動機，以及現有計量電流之大多數之儀器，其作用與磁性有何關係。磁性之真正本質，吾人確尚未深知，然關於其發生與效應，則已獲得不少智識，且至今仍在研究未止也。

247. 天然磁石。 有一種礦石稱爲吸鐵石 (lodestone) 者，有吸引鐵屑及同種礦石小塊之能力，此事知之已歷多世紀矣。在小亞西亞 (Asia Minor) 之瑪革納西亞 (Magnesia) 之附近，此物出產甚豐，以是之故，希臘人稱之爲“瑪革納滴得” (magnetite)，即磁鐵礦是也。

吾人可取磁鐵礦 (Fe_3O_4) 一片,以顯其能吸取鐵屑(圖 251),但不能吸取銅屑和鋅塊,如取鋼製縫衣針一枚,用磁鐵礦一塊磨擦之,即可使之發生磁性。



此種礦物,在本國發現之處頗多,在瑙威及瑞典亦產之。圖 251 吸鐵石吸引鐵釘。

以此種天然磁石 (natural magnet), 磨擦鋼棒, 則鋼棒本體即變為磁鐵, 於是稱之為人造磁石 (artificial magnet)。在此後之一章內, 吾人將學習用電流以製磁石之法。

248. 磁極。 吸鐵石之磁性, 大抵必集中於兩點或兩點以上, 此事歐人經多年後始有人注意及之。若取長吸鐵石之祇有此種定點二點者, 且此二點相近於其二端者, 以線懸之, 則此石即自使其一點向北他點向南而停止。吾人今日則用磁化之鋼針以代吸鐵石, 而稱此種裝置為羅盤 (compass) (圖 252)。此項儀器, 對於航海家, 探險家, 以及測量家之如何重要, 盡人皆知。中國人之有羅盤, 為時甚早, 多年以

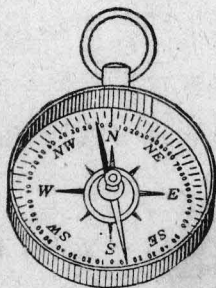


圖 252 袖珍羅盤。

後，歐人始重行發明。

吸鐵石磁性集中之兩點，一向北，一向南，皆稱爲磁極；(poles of the magnets)。向北者曰指北極 [north-seeking (*N*) pole]，(或稱北極)；向南者曰指南極 [south-seeking (*S*) pole] (或稱南極)。

249. 磁性斥拒作用。世人既知磁石之能吸引物體，後數百年始知磁石有時亦能斥拒他物。

若以磁石之指南極或南極持近懸掛或載於尖軸上之他磁石之南極，則兩極即互相斥拒(圖 253)。若使兩北極

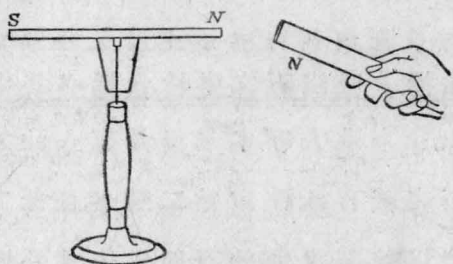


圖 253 同性磁極相斥。

(*N* pole) 相接近，則亦彼此相斥。但若使北極移向動磁石之南極，或使南極移向北極，則兩者即彼此相引。

即

同極相斥，

異極相引。

是也。

由實驗，知磁極間相引或相斥之力，依兩極距離之平方而反變，此即謂磁性之引力與斥力，當距離增加時，減小甚速也。例如在相距 2 糎之二異極間之引力，為相距 1 糎之二異極間引力之 $\frac{1}{4}$ ；而在相距 3 糎時，引力僅減至 $\frac{1}{9}$ 。

250. 方位角與伏角。羅盤發明之後，立即見及其並不正對南北之向。往昔嘗假定其所偏之角度，即所謂方位角 (declination) 者，到處相同，其說歷時頗久。至哥倫布於一四九二年赴美洲時，始於阿曹爾 (Azore) 附近之某處，發現該處羅針，不生方位角。方位

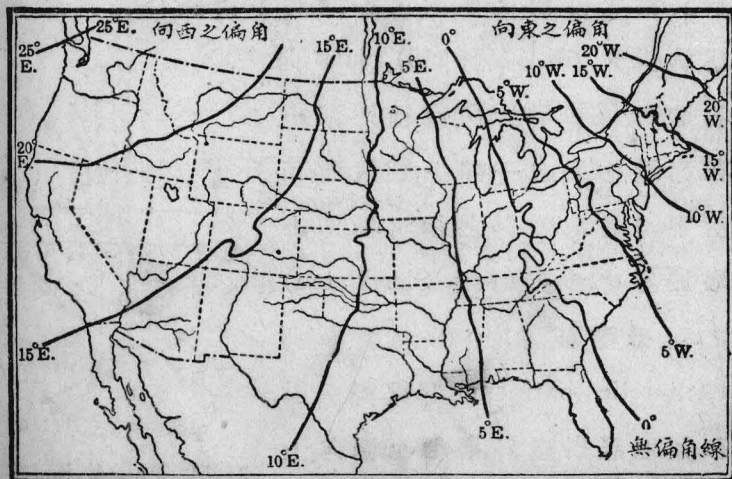


圖 254 表示等方位線之美國地圖。

角既因地而異，則其確切之智識，對於航海家與測量家，顯屬非常重要，是以各國政府，刊印精密之地圖，指示等方位線 (lines of equal declination)。圖 254 所示者，即爲此種地圖，在此圖上，將察見美國之極東北區，方位角大至 $20^{\circ} W$ ，向西至俄亥俄 (Ohio) 省之辛辛那提 (Cincinnati) 附近之一處，方位角減至 0° ，再西至極西北區，則轉而偏向於東，大至 $20^{\circ} E$ 以上。因一地之伏角，亦時有變動，故此等地圖，須時時加以修正。

自哥倫布之時代以還，約經百年之久始發見，若使鋼針完全平衡，能上下左右自由旋轉，然後磁化之，則其指北極在北半球之各地，將下俯成一極大之角，稱爲伏角 (dip) (圖 255)。如更向北進，此角即增大，向南行則減小。在赤道附近之一圈上，無伏角。在南半球各地，磁針之指北極即上舉於空中。沙克爾敦 (Shackleton) 之南極進征隊，曾在大南極洲 (Antarctic continent) 上，覓得一點，在其地懸掛磁針，則指北極向上而直立。

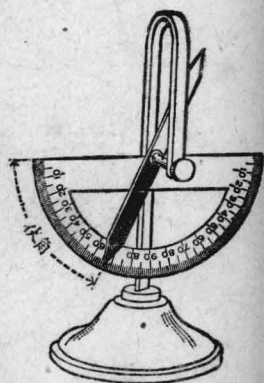


圖 255 平衡之針，指示磁伏角。

251. 地球乃一磁石。十六世紀始，英國人吉爾伯特 (Gilbert) 始說明此等奇特之磁的現象。吉氏取一小吸鐵石，磨之成球狀，以細小之羅針放近此球，察知其動作情狀，與羅針之在地球表面無二。故吉氏稱其吸鐵石球為小地球 (terrella)，且因此而遂信此球確可為地球本體之代表。

然則地球乃一碩大之磁石耳(圖 256)，與實驗中

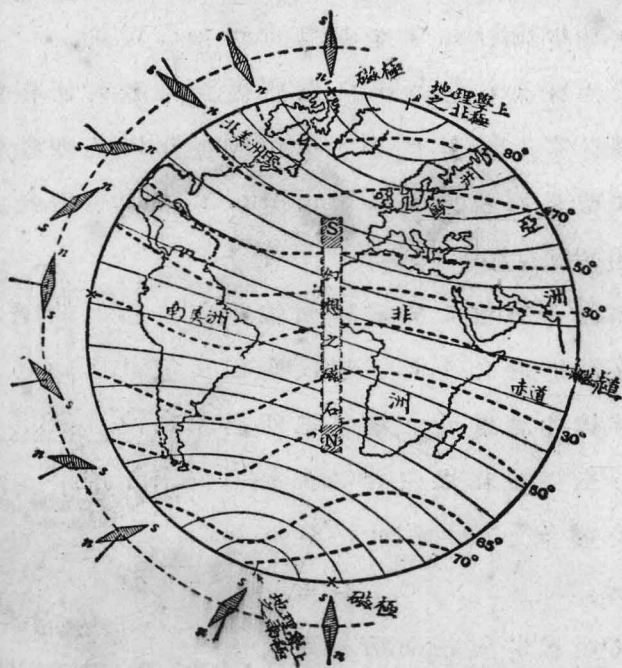


圖 256 地球亦呈磁性，一如碩大之圓磁石。

習見之棒磁石相比，則其厚度較之長度特大，但除此以外，固與棒磁石絲毫無異也。地球之有指北極與指南極，亦與其他任何磁石同；然由引斥定律(laws of attraction and repulsion)觀之，則其指南極不得不在美人披阿利(Peary)所發見之地球北端，而其指北極不得不在挪威人亞夢得森(Amundsen)所發見之地球南端，殊為奇特也。此二磁極，並不恰在地理上之南北二極。其一，即“北磁極 (Magnetic Pole of the North)”，在北美洲赫貞灣 (Hudson Bay) 之附近，但漸在向西移動；又一，即“南磁極 (Magnetic Pole of the South)”，則在南極洲南維多利亞大地(South Victoria Land)附近，幾與前者相對。

因等方位線與等伏角線並非正圓，故地球之磁化，必略有參差，更有進者，其磁極之位置，已知其正在逐年徐徐移動。此等現象之所以然之故，以及地球之何以全體磁化以生此等現象，則尚未了解。

問 答 題

1. 磁石是否常有二以上之磁極？
2. 磁石能吸引錫罐否？說明其理。
3. 鐵塊之磁極，如何可用羅針以決定其位置？
4. 如何可用一羅針大略比較兩磁石之極強 (pole strength)？

5. 在阿刺斯加(Alaska)之羅針,指向何方?
6. 披阿利到達北極時,其羅針指向何方?
7. 北磁極離地理上之北極若干遠?
8. 汝所居之處,羅針之方位角爲何?

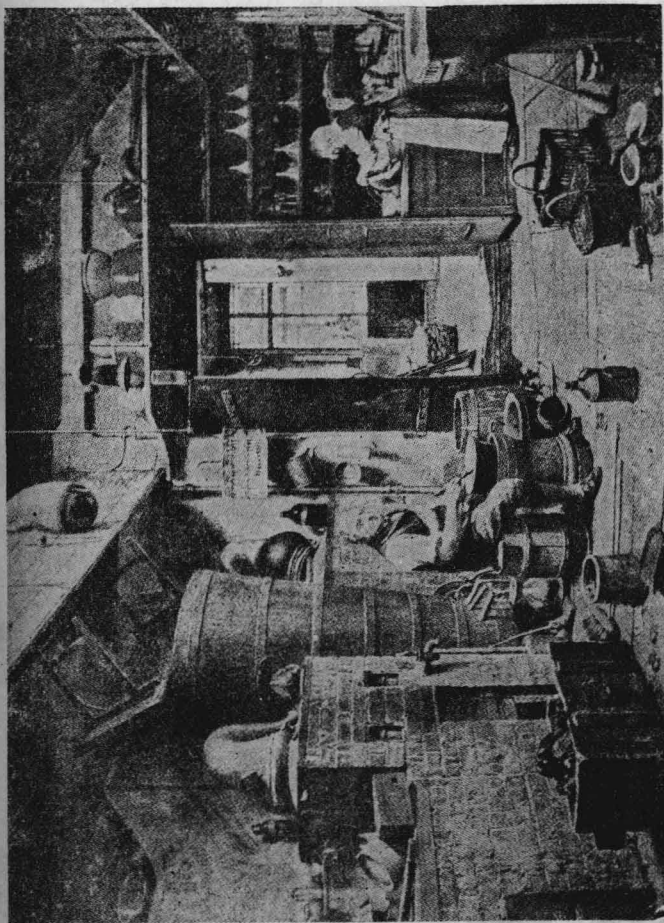


圖 257 米歇爾法刺第(1791-1867)在亨姆弗雷大衛爵士(Sir Humphry Davy)之實驗室中爲侍者,開始作其科學上之工作,其後米氏在電化學與電磁學方面,皆有重大之發見。

9. 袖珍羅盤之北點,有時其近傍有一小矢,此小矢有何意義?可靠否?

10. 圖 254 中之等方位線 (isogonic lines),何以皆非直線?

252. 磁石週圍之磁場. 米歇爾法刺第(Michael Farady)氏(圖 257),首先察知欲確實領悟磁石之作用,祇可求之於研究磁石週圍之空間,兼及磁石之本體.

欲爲此事,其一法乃取硬紙一張(或賽璐珞,即假象牙),覆於一磁石之上,而將鐵屑散播於紙面(圖 258),於是

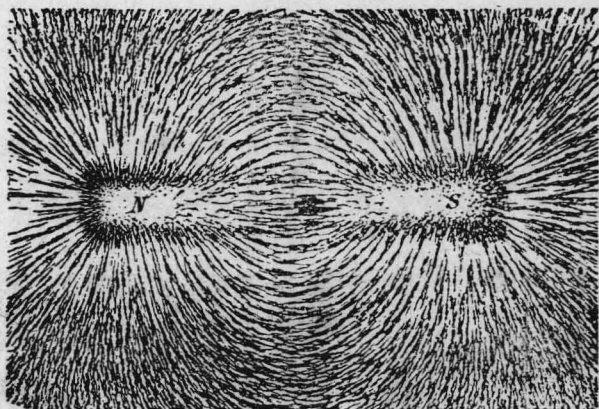


圖 258 用鐵屑以描棒磁石周圍磁力線之迹。

指輕敲硬紙片,使鐵屑微微跳動,則鐵屑即自行排成有規則之線,由一極而至他極,此因每顆鐵屑,因受原來磁石之影響而稍經磁化,遂按一定之方向自行排列,有微小之羅針,居同一之地位,亦必止於同一方向之內,試小羅針以易鐵屑,此事即可驗明無誤,用此方法亦可描出諸線,惟不能

如是迅速耳。

用此方法，法刺第氏即畫出彼之所謂磁石週圍之力線(line of force)，磁力線(line of magnetic force)者，線之處處可以指示指北極受其隣近一切諸極引斥之作用，被迫而取之方向者也，此即可爲磁力線之定義。由此道以思考力線，則線上應加以小矢鏃，指明其自指北極至指南極之行程中所循之方向。磁力線又名磁流(magnetic flux)，有此觀念，則一磁石影響於其隣近之他磁石，呈何情況，即使於記憶。

253. 力線猶如彈性纖維。 法刺第本人對於此等力線，其所定意義之真實，遠甚於此。法氏以爲凡磁石週圍，即無鐵屑以表顯力線，亦確有力線存在，布於空間。

無論如何，法氏心目中之此種力線，其作用一如張於空間之纖維，時欲收縮，以是而力曳其兩端之二極；又如時欲乘收縮之勢，向兩側突

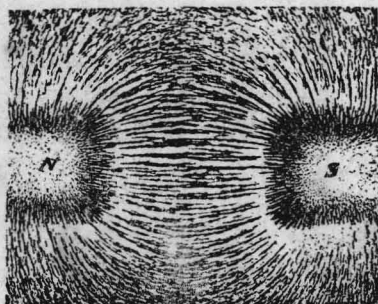


圖 259 異極間之磁力線

起，以是而彼此排擠，不能相聚。力線之有此等性質，欲察知其所以然之故，並非易事；但此諸性質，一經假定（猶之遊戲訂定規則），則就其種種實用方面而論，不難自此推得將有如何之現象發生也。

若置二磁石之同極於一處，而用鐵屑以描其力線之迹，則結果將如圖 259 所示。若吾人假定力線有收縮之傾向，則易知兩同極不得不互相吸引。但由同極所成之力場（field of force），將如圖 260 所示；若假定力線互相向兩側排擠，並有彼此分離之傾向，則顯知二極不得不互相斥拒。此種假定，並非此等現象所以發生之說明；然此乃令人憶及將有若何現象發生之簡易方法，且此後將時時利用之。

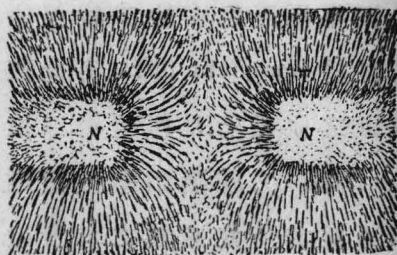


圖 260 二同極間之磁力線。

254. 誘導磁性。 試取未經磁化之軟鐵棒，將其一端插入鐵屑之中，則此棒並不吸引鐵屑；但若以永久磁石（permanent magnet）放近此棒，則軟鐵屑即變為磁石，而能吸取鐵屑。移開永久磁石之時，軟鐵即失去其磁性，而鐵屑即落下矣。

鐵之移近磁石而磁化者，謂之由誘導作用而磁化（magnetized by induction）。若移近鐵塊之磁極為指北極，則用羅針可以顯出，誘導磁石（induced magnet）

有一 N 極，在遠離磁石之一端，有一 S 極，在接近磁石之一端。

由實驗，知極軟之鐵，因誘導作用而磁化頗速，而當力場移開時，失去其磁性亦速。然硬鋼則難於磁化，惟善於保留其磁性，因此之故，電話與磁石發電機 (magneto) 中所用之磁石，皆以特種硬鋼製成。

255. 透磁性與抗磁性。若取軟鐵一塊，置於磁場之內，則見近處之所有力線，皆有擠入鐵中之傾向 (圖 261)。

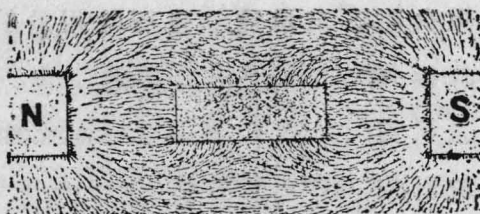


圖 261 軟鐵置於磁場之內，即由誘導作用而磁化。

力線之可以永生於任何媒質，其與真空比較之難易程度，開爾文爵士 (Lord Kelvin) 稱之為該媒質之透磁性 (permeability)。如是，則鐵之透磁性，數百倍於空氣。以錶移近強磁石時，其擺輪往往磁化。錶之運轉，即因此而發生障礙。欲防止錶之發生此種磁的阻礙，精製者往往包於軟鐵匣中以保護之。磁力線之絕緣體，

係屬不可得，但鐵則往往用為磁屏 (magnetic screen)。

抗磁性 (reluctance) 與透磁性相反，可定其義為物質對於磁流所起之抵抗，如是，則鐵與鋼之抗磁性皆弱。有數種合金，例如矽鋼 (silicon steel)，因其抗磁性極低，故電機中廣用之。近數年中，曾發見一種奇特之鎳鐵合金，通稱為**透磁齊** (permalloy) 者，其透磁性約為軟鐵之30倍。此種合金，在磁力變化微小而需要大透磁性之交換磁場 (field of communication) 中，殊為適用。

256. 永久磁石之用途。磁石除用於航海家與

測量家之羅盤外，又為種種量電儀器，例如電流計，安計，弗計，以及瓦時計之主要部分，此於以後數章中，即

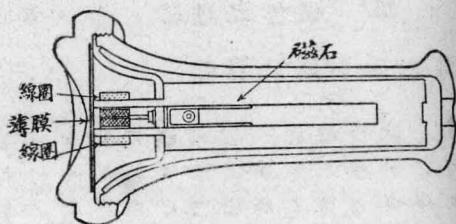


圖 262 電話聽話器，中有U形永久磁石。

將論及電話聽話器，其匣中亦皆有一小小永久磁石 (圖 262)。電話之鈴聲每起，即有永久磁石在司控制鈴珠之役；而在通至鄉野之電話線上，遇有通話至“中央電話局”時，亦賴數枚永久磁石而能通電。凡近代

之速率計 (speedometer), 皆有一時在旋轉之永久磁石。凡摩托自轉車與飛機, 其磁石發電機中皆有永久磁石。美國現時在商業上所用永久磁石, 其數恐須至少有二千萬枚。

在此種商業方面應用永久磁石, 須將鋼條彎成彷彿馬蹄之狀, 使其兩極相並於一處, 則其磁場即因是而大強, 欲得一強度不變之磁石, 須用經過嚴密試驗之鎢鋼; 而在已經成形, 堅硬, 磁化之後, 再用人工使之成熟 (artificially aged)。人工成熟之一法, 係將磁石置於沸水或油中連熱數次。

257. 磁性之理論。 有一簡單之磁性之理論, 可得之於下述之實驗。

試取織針一枚, 或錶之發條一段, 先燒之至赤熱, 然後浸之於冷水中, 使其堅硬, 於是磁化之, 且誌其 *N* 極。今若於其中央近傍不顯磁性之處, 折斷之, 而使折斷之兩端接近一羅針, 則見斷處一為 *N* 極, 一為 *S* 極。若反覆斷之數次, 則見磁石每斷一次, 即有新磁極二造成, 如圖 263 所示者然。

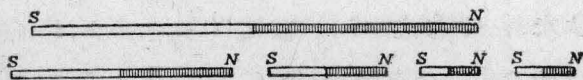


圖 263 折斷之磁石, 其斷處有磁極呈露。

一磁石可以斷為無數之小磁石, 玻管中滿盛鐵

屑,可使磁化;但震盪之,即失其磁性.任何磁石,若燒至赤熱,或搖撼之,錘擊之,或扭之絞之,即失其一部或全部磁性.

凡此種種事實,暗示一種磁性之理論 (theory of magnetism),其說創議於法人安培(Ampere)氏,而成於德人佛伯(Weber)氏與英人伊溫(Ewing)氏.凡鐵棒,皆假定其由微小之顆粒所成,諸顆粒皆為永久磁石.何故如此,尚無知之者.此等小磁石,平時顛倒錯亂遍於全棒(圖 264),故無累積之引力或斥力,可於棒外察及.然鐵棒於磁化之時,諸小磁石排列成行,或相平行,或近於平行(圖 265),猶

如兵士演陣,皆面向一方.在棒之近傍,一排之前端,其作用為其前一排之後端所抵消;但在棒之兩端,有許多未經抵消之



圖 264 未磁化之鐵棒之模型。

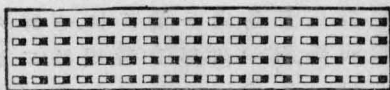


圖 265 已磁化之鐵棒之模型。

極露於外面,指北極在一端,而指南極在他端.吾人所稱磁石之兩極,即此等不受束縛之極,所成發出斥力或引力之點也.

據此理論，易知磁石折斷爲二時，並不妨礙此等小磁石之行列，在斷處出現之新極，僅爲始終曾居該處諸小極之集合體，惟今則初次立於獨立而可辨認之地位耳。

若此理論果屬真確者，則一定之鐵塊，其可生之磁性，即有一定之限度，此事亦屬明甚。蓋當所有此等小磁石，皆已秩序井然排成行列之時，則不問使其磁化之力，若何強大，即無事可爲矣。此種磁石，稱之爲已經飽和(saturated)。

第十六章 提要

磁石可以吸引鐵，鎳，鈷之片屑。

磁石之極，爲吸引作用最大之點。

吸引與斥拒之律：

同極相斥。

異極相引。

地球乃一大磁石，其南磁極近於地理上之北極。

方位角爲磁針北極指北時，與真正之北向偏差之角度。

伏角爲地球磁力線與水平面所成之角。

磁力線爲獨立之北極所欲循以移動之路徑。

磁力線有收縮其長度，而又向兩側膨脹之傾向；即沿磁力線有張力，而又有與之成直角之壓力是也。

磁場乃空間中之有磁力線者。

透磁性係指力線可以永生於任何媒質，與在真空中比較之難易程度而言。

抗磁性爲物質對於磁流所起之抵抗。

問 答 題

1. 畫一蹄形磁石，且示其兩極近傍力線分布之情況。

2. 若有棒磁石兩條，並置於一匣之內時，應如何排列之？何故？

3. 取一長軟鐵棒，直立之，則其下端即欲斥拒羅針之北極，何故？

4. 鐵棒在第 3 題所述之位置，以鏈擊之之時，其效應增加抑減少？何故？

5. 取鋼製縫針若干枚，以線穿之為一束而懸之，如以強磁石之一極放近其下，則縫針之動作何如？何故？

6. 船上之羅盤匣，當船在波浪中顛簸之際，能設法使其常保水平之位置否？

7. 美國海軍中所用標準羅盤之一，稱為“液體式 (liquid type)” (圖 266)。試說明其優點。



圖 266 液體羅盤之縱剖面。

8. 近時發明一種新式羅盤，不藉磁性之作用，此羅盤之名稱為何？其運用以何原理為根據？

9. 鐵甲船之船身，大都使其永久磁化，何故？使其磁化時，決定其方向者為何？當其在海中時，漸漸失去其磁性之一部份，何故？

10. 鐵甲船中之羅盤，如何可以“補償 (compensate)”之，使其不受船中誘導磁性之影響？

11. 卡納基學院 (Carnegie Institute) 有一特製之船，幾全未用鐵。此船之製，因欲探索世間何種學理，能思之否？為達此目的計，此種船舶有何優點？

12. 欲決定真正之北方，除羅盤所示之方向外，尚需其他何種報告？

13. 珠寶商如何使錶之磁性退去？

實 用 題

製造磁石。取鋼製織針，舊銼刀，或鐘錶發條之殘片，先燒之至赤熱，然後浸之入冷水，使其堅硬。以永久磁石擊之，即可使之磁化，如用電磁石（將於305節述之），更佳。架之於織針之尖端，置於小匣中，即可用之如羅盤。

第十七章

靜電

由摩擦而得之電——導體與絕緣體——正負電荷——
 驗電器——電之分佈——感應充電——蓄電器——起電盤
 ——天電——電子論。

258. 摩擦帶電。西歷紀元前 600 年，希臘哲學家泰勒斯(Thales) 知琥珀一經摩擦，即能吸引紙屑及他種輕物。此外尚有多種物質，例如橡皮、玻璃，以及硫磺，亦具同樣性質。不論何人，在寒冷而乾燥之晨間，以硬橡皮製之髮梳，猛梳其髮後，即能察覺此現象。因彼時髮梳即能吸取紙屑，累累如鍊也。吉爾伯特(Gilbert) 稱此為電的 (electric) 現象，係由希臘字 electron 得來，其意即琥珀也。

物體具此吸取紙屑之性質時，謂之帶電 (electrified)，或謂有電荷 (electric charge)，或謂光電 (charged with electricity)。物體未經充電時，謂之中和 (neutral)。由多次精細之實驗，知任何兩種相異之物質，互相摩擦以後，甚至接觸極密以後，即帶電。

259. 電引力與磁引力之比較。電之吸引力與

磁之吸引力，相同之處甚多，故至十六世紀時，始認明有兩種極不相同之現象，須分別討論。磁化祇易發生於鐵、鎳、鈷三種金屬以及一二種不普通之合金中；而帶電之現象，則摩擦任何物體，類皆成功，尤以非金屬為最易。磁化體常至少有兩極，以集中其一部或全部之磁力；且兩極相異，因其一極若吸引羅盤 (compass) 指針指北之一端，則他極常斥拒之也。金屬物體一經摩擦而帶電，其性質往往不集中於數點，各部分之引力，均具相同之作用。然而電亦有兩種，正如磁之有兩極，將於以下各節中見之。

260. 導體與絕緣體。 物質有能傳電者，有不能者。譬如以某種帶電體，設為用貓皮擦過之火漆棒，觸一金屬球，若用乾燥之絲線懸球，即能使之充電，若用銅絲，即不能。以銅絲懸球，球所得之電，固與以絲線懸掛時所得者相等，但又經銅絲而流去矣。同理，帶電體一經實驗者之手指觸及，即失其電荷。物質之傳去電荷迅速者，例如金屬，稱為導體 (conductor)；其阻止電荷逸去者，例如琥珀與絲線稱為非導體 (non-conductor)；或絕緣體 (insulator)。電燈，電話，電報等導線，所以架於玻璃柱或瓷柱上者，即因防免漏電之故耳。

欲分開導體與非導體,並無明晰之界限。大多數之物質,均稍能導電,即就良導體 (good conductor) 而論,其傳導力亦大不相同。

在下表中,載有數種普通物質,其排列之次序,係依絕緣能力之高下而定。

絕 緣 體	非 良 導 體	良 導 體
硬 橡 皮	乾 燥 木 材	金 屬
乾 燥 空 氣	紙	氣 體 炭
石 蠟	酒 精	石 墨
硫 磺	煤 油	鹽 及 酸 之 水
樹 脂	純 水	溶 液

凡物質之易由摩擦而帶電者,均為絕緣體。以因摩擦絕緣體時,不問何處,電一發生,即留存該處,而現其作用;如為導體,則電立即漏去矣。

凡物質之為電之良導體者,亦為熱之良導體。

261. 陽電與陰電。

設以貓皮或絨布擦樹膠棒,置於蹬形器中,以絲線懸之,或置於插在絕緣架上之迴旋器中,再將另一擦過之樹膠棒,接近前棒之一端,則見兩棒互相斥拒(圖 267)。同理,用絲綢擦過之兩玻璃棒,亦互相斥拒。但以擦過之玻璃棒,接近擦過

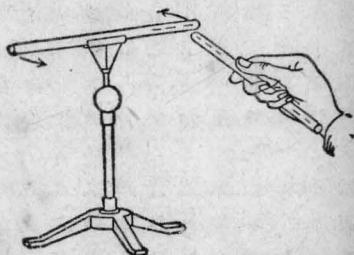


圖 267 具同性電荷之二帶電棒互相斥拒。

之樹膠棒，則互相吸引。

此等實驗，可以證明電有兩種，世界科學界中人，公認玻璃棒經絲綢擦過後所帶之電爲陽電(positive electricity)；火漆棒或樹膠棒經絨布擦過後所帶之電爲陰電(negative electricity)。物體充以同性之電，則相斥；充以異性之電，則相引。即

同性電荷相斥，異性電荷相引。

從實驗又知，帶電體不問其所充之電爲陽或陰，常吸引未帶電之物體。

262. 驗電之法。欲查驗一物體之帶電情形，可用驗電器 (electroscope)。有一簡單之驗電器，係用絲線懸掛二木髓球於玻璃架上所成。

若使未帶電之物體，接近木髓球(圖 268)，則兩球並無動作。若使帶陽電之物體，接近木髓球，則二球即爲所引，遂亦帶陽電，而又爲所斥；且兩球亦互相斥拒。於是若有帶陰電之物體近之，則帶陽電之木髓球，即爲所引，但一與之相觸，兩球即變成帶有陰電，而立即飛回。今試再以帶陰電之物體近之，則帶陰電之木髓球，即爲所斥，但以手或任何其他未帶電之物體，近此二球時，又將吸引之。是以若知木髓球上電荷之爲陰或陽，而又見與其接近之物體斥拒之，即知該物體之電荷，與木髓球同性。但若

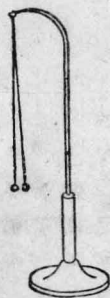


圖 268 木髓球
驗電器。

發生吸引作用，則該物體或帶異性之電荷，或未曾帶電。

有一種較為靈敏之驗電器，即所謂“金箔 (gold-leaf)”驗電器，惟今日則改用鋁箔懸於銅片之傍，已極通行矣。此器通常裝於前後皆有玻璃之木箱內，以免其受空氣流之影響。直立之金屬桿，則穿硫磺塊之中心而過。鋁箔之動作，以小弧光電燈，射影於屏上，如圖 269 所示，可使全班學生，皆能見之。

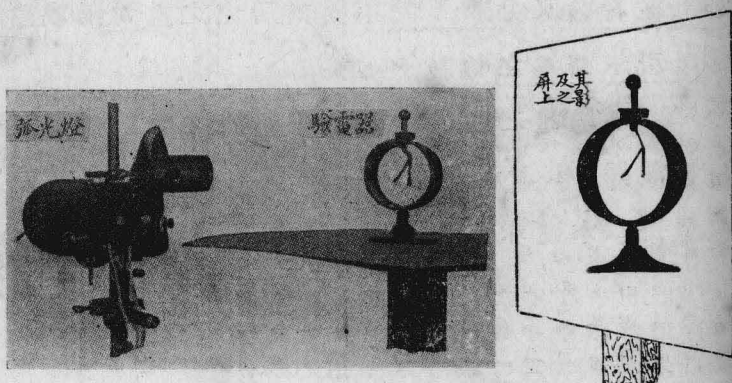


圖 269 鋁箔驗電器射影於屏上。

當吾人使帶電之玻棒，近於銅棒之頂時，鋁箔即自銅片颺開。若移去玻棒，箔又垂下。然若使帶電強烈之玻棒，竟與驗電器相觸，則鋁箔張開，止而不動。

此時即謂驗電器帶有陽電。若以帶陽電之物體，近於帶陽電之驗電器，則箔之飛出也更遠；但接近之物體，若帶有陰電，則箔即下迴。就此二者而論，器外之帶電體移開之時，鋁箔皆恢復其原有之地位。是以用帶有已知電荷之驗

電器，即可驗出物體帶電之狀況。

用此種驗電器，可以獲得不少關於帶電物體之智識。例如摩擦一絕緣導體時，導體即行帶電；故可斷言凡物體皆因摩擦作用而生電。若吾人立於玻璃踏板上，而取玻棒摩擦之，吾人之身體即帶陰電；如取火漆棒以貓皮擦之，則吾人身上即帶陽電。普遍言之，凡二相異物體互相摩擦之時，其一即帶陽電，而在同時他一即帶陰電。

263. 電在導體上分布

情況。吾人試取錫杯一只，置於石蠟板上，如圖 270 所示，且盡量使之帶電，或陰或陽均可。於是可用裝於絕緣柄上之小金屬盤或球，通稱之為驗電板

(proof plane) 者，試其各點之電量。若以驗電板觸帶電杯之外表面，然後以前者近於帶電之驗電器之銅球，則見杯之外面，有強大之電荷。若以驗電板觸杯之內表面，則見絕無電荷。

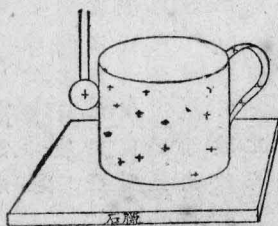


圖 270 使絕緣之錫杯帶電。

由此觀之，電荷完全在導體之外表面，而其最大之密度，乃在角頂及突出之尖端，亦可證實之。在實際上，尖端之電荷，其密度非常之大，以致在此等尖銳處之電荷，易於逸入空氣。

1. 試比較磁極與帶電物體之舉動。
2. 自由擺動之帶電物體，取一定之方向否。
3. 吸墨水紙之碎屑，能附着於帶電之玻棒上片刻，然後跳落，試說明其理。
4. 實驗摩擦生電時，在寒冷乾燥之冬日較佳，何故？
5. 用懸於絲線上之帶電木髓球，試驗物體之是否帶電時，利用吸引作用與斥拒作用，以何者為妥？何故？
6. 導體與絕緣體，在其商業之應用上，以何者較為重要？試述其理由。
7. 帶陽電之鋼棒，若以金屬絲連之於地，即失去其電荷。此棒若使磁化，而以同法連之於地，亦將失其磁性否？取此二者比較之。
8. 實質之銅球，其所負之電荷，與不較之同大之空心銅球所負者為多，何故？假定兩球充電至同勢。
9. 法刺第氏曾製一大箱，裱以錫箔，然後以其最靈敏之驗電器置於箱中，當其使錫箔之外面帶電，即使多至足以放出長電花時，亦未見箱內有何電的效應，說明其理。

264. 物質之原子說。 吾人今信萬物皆由稱為原質 (element) 之一或數種物質所合成。例如水，即由氧與氫二原質所合成。吾人更定原子 (atom) 為原質最小之顆粒可以參與化學變化者。吾人早已見及，氣體乃由無數之微粒，稱為分子 (molecule) 者所合成。在大多數之普通氣體中，例如氧、氮以及氫，各分子係由二原子依化學的化合作用，并合於一處而成。在化合物中，一分子係由不同原質之二或二以上之原子所合成。是以水分子乃由二氫原子與一氧原子所合成。

265. 原子之電子說。一切原質之原子，現信其皆由陽電與陰電所合成。陰電之存在，其形爲極小之粒子，稱爲電子 (electron)，按各種排列之法，羣集於陽電之週圍，以陽電爲其核 (nucleus)。在尋常狀態之下，原子乃屬中和，即諸電子所帶陰電荷之總數，等於核所帶之陽電荷之數是也。不問何種原質，凡原子之構造皆相同，因其皆由電子與核所合成也。一物質之原子，與他物質之原子之相異之點，惟在其所含電子之數有多寡，其核所帶電荷之量有大小而已。例如氧原子，含有 8 電子，繞一有相當大陽電荷之核(圖 271)。雖



圖 271 氧原子之模型。

氫原子爲吾人所知最輕之原子，且以其過小之故，即用最有擴大力之顯微鏡，亦無見之之望，然各電子猶不過具有氫原子 $\frac{1}{1845}$ 之質量也。

帶陰電之物體者，其所含電子之數，多於其應含之數之物體耳；帶陽電之物體者，其所含之數，少於其應含之數之物體耳。在導體中，電子相繼自若干原子脫離束縛，而復入於其他之原子；是以在任何一瞬間，導體中有許多自由電子，以及已失去電子因而帶有陽電之原子，其數與電子相應。任何物體，其中自由電

子之數愈大，則該物體之導電能力亦愈大。絕緣體即係不含自由電子之物體。

266. 由誘導而帶電。吾人早已見及，以帶電體移近未帶電之驗電器時，可以使驗電器受其影響；但吾人又曾見及，一將帶電體移開，此種影響立即消滅。使帶電體發現於近傍，因而發生暫時帶電現象之此種方法，稱爲由誘導而使帶電 (charging by induction)。

茲取架於絕緣體上之二金屬球 A 與 B ，並置於一處，以說明此種帶電之過程，一如圖 272 所示者然。吾人今以帶陰電之物體，例如擦過之火漆棒，移近與 B 球相接觸之 A 球；而當帶電體停留於 A 球近傍之際，將兩球分開。一加以查驗，即見 A 球帶有陽電，而 B 球帶有陰電。

若以帶陰電之棒 R ，移近一導體 C ，如圖 273 所示，而以手指觸於導體，且若先移開手指，然後移開帶電之棒，則見導體已帶陽電。若再行此實驗，惟此次手觸導體之點，係在他處，例如 b 點，則見導體之仍帶陽電，與前絲毫無二。

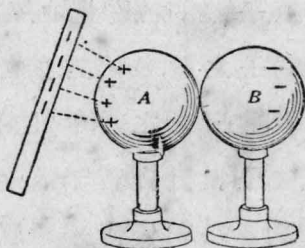


圖 272 使二金屬球帶電。

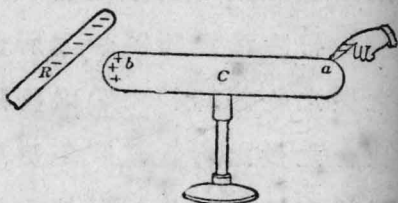


圖 273 由誘導使導體帶電。

此種由誘導而使帶電之過程，可以想像之如下

當帶有陰電之棒，接近絕緣之導體時，導體中陽電與陰電之分布如下，即離棒較遠之一端，其電荷與棒上之電荷同性，而離棒較近之一端，其電荷與棒上之電荷異性是也。此如以電子之語述之，即謂帶電棒上所有過多之電子，將導體中之自由電子，斥至較遠之一端，因而在其近端，留有不能動之帶陽電之原子是也。

若在導體感受電荷影響之際，斷之為二，即得不同之永久帶電物體二。若以指觸及導體，則被斥之電子，即取道吾人之身體而入於地；但帶陽電之原子，則留而不能去，概言之，吾人可斷定由誘導而使帶電時，誘導電荷之性，與引起誘導之電荷之性相反。

由此可悟金箔驗電器之原理，當以帶電體移近驗電器之銅球時，金箔與銅片，即由誘導作用，而同時帶電，其性與移近之電同，因是而金箔即行張開，如圖

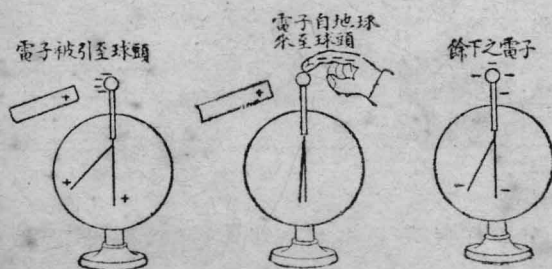


圖 274 由誘導作用使驗電器帶電。

274 左側第一圖所示。若先由接觸作用使驗電器帶陽電，然後以帶陽電之物體近之，則此帶電體即自金箔吸取電子，於是金箔即帶更多之陽電，而其張開之角度亦愈大。在他方面觀之，若以帶陰電之物體，移近此器，則此帶電體即將銅球上一部分之電子，斥拒至遠處，於是金箔所帶陽電減少，因而稍稍垂下。

267. 蓄電器。在電之許多實用方面，已知必須增加導體荷電之容量。增加導體之大小，當然亦可達此目的；但用所謂蓄電器(condenser)則更為便利。

今試取金屬板 A，裝之於絕緣之座上，而以銅絲連結板與驗電器。若吾人使 A 板帶電，即見驗電器之金箔張開。金屬板帶電所達之勢（或電壓），驗電器足以測量之。今再製一第二金屬板 B，相似於 A 板，但與地相連，

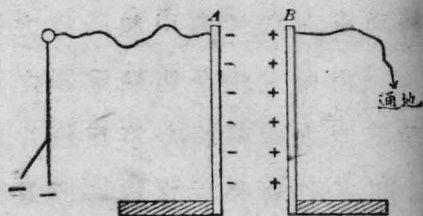


圖 275 說明驗電器原理之實驗。

如圖 275 所示。當吾人以 B 板移近 A 板時，驗電器之金箔即行下垂；但若再將 B 板移開，則金箔又向外開張如前矣。此第二金屬板 B，使其密近於 A 板之時，A 板之電容量，即為之增加。

試再將 B 板移至 A 板之近傍，而重使 A 板帶電，直至金箔開張之角度，與前相同而止，即可證明此語之不虛。

金屬板之荷電容量，因其密近於其他通地之相

似金屬板而大為增加，此事將屬明甚。蓋通地之金屬板，自第一帶電板而由誘導作用以生電，其性與第一板所帶者異。此二板上之異性電荷，發生吸引作用，遂將第一板上之電，引至與通地之板相近之一面，而使其脫離其餘各部份。如是即可加以更多之電荷矣。

今再取一玻璃之板，插入二金屬板間，又可顯示絕緣質在二導板間之影響。蓋當插入之際，驗電器之金箔即行垂下，然移去玻璃板，金箔即開張如前。由此可知蓄電器之電容量，因玻璃板而增加。

聯合若干導板而隔以絕緣體之裝置，稱為蓄電器。蓄電器荷電之容量，正比例於板之面積，而反比例於二板間之距離。絕緣體之性質，與此亦有關係。用玻璃、雲母，或石蠟紙為絕緣體——稱通感體 (dielectric)——時，電容量遠較用空氣層為通感體時為大。

268. 商用蓄電器。昔者在一七四五年時，荷蘭來頓大學 (University of Leyden) 有人以錫箔敷於玻璃之內外，而製成蓄電器 (圖 276)。此所謂來頓瓶 (Leyden jar) 者，

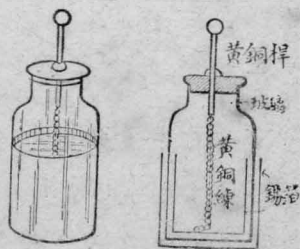


圖 276 製成來頓瓶式之蓄電器。

至今實驗時仍用之。但電話誘導圈 (induction coil), 以及電報中所用之蓄電器, 則其形式通常遠較此瓶爲簡潔而精緻。圖 277 所示者爲兩組錯綜相間之錫箔, 隔以塗有石蠟之紙片, 或隔以雲母片。錫箔之相間各層, 互

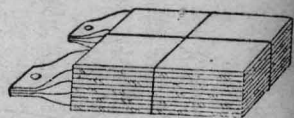


圖 277 定板蓄電器之構造。

相聯結, 成爲兩端。蓄電器兩端之間, 無通電之連絡。因此錫箔之一組, 可使之帶陽電, 而同時可使他組帶陰電。此陰陽兩電, 互相羈束, 故大量之電, 可以累聚其上。此種蓄電器之電容量, 正比例於板之面積及每組中之板數。

有一種變量蓄電器 (variable condenser), 常用於無線電收音器中者, 其構如圖 278 所示。此器含有若干扁平之金屬半圓形, 疊置於一處, 但彼此相距雖近而實不相觸。相間之各片, 固定於一處而連至一端; 其餘

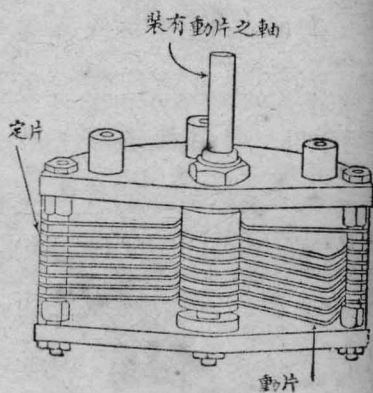


圖 278 變量蓄電器。

各片則裝於中央之軸上，軸可旋轉且連至他端。當動片旋轉至完全與靜片相合之時，此蓄電器之電容量為最大。將動片旋轉，使其各片嵌於定片間之面積減少，則電容量即逐漸減小。

269. 以水壓力喻電容量。取儲水之管，充水至不同之水平面，如圖 279 所示，可以說明蓄電器。蓄電器之導板，相當於儲水之管。水平面較高之水管 A，代表帶陽電之導板，而他一水管 B 即代表帶陰電之導板。兩水管底之連通管，相當於連結導板兩端之銅絲。當連通管開通時，水即自管中衝過，立使兩水平面齊平。此即代表蓄電器之放

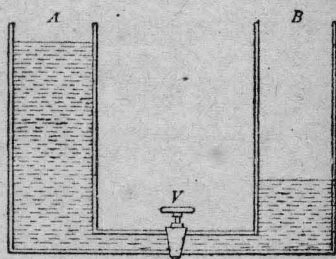


圖 279 以水力喻蓄電器。

電 (discharge)。當連通管中之滑瓣初次開放之時，由 A 管衝來之水，非常急速，往往所作過度而在 B 管中上昇，水平面反較 A 管為高。於是再行流回，如是往來流動者數次，直至因導管之摩擦作用使運動消滅而止。蓄電器通以短路 (short circuited) 之時，其情形與此正相同，放電之動作過度，遂致蓄電器帶與前相反之電。於是再行放電，而電荷即往來擺動，非常迅速，直至電之運動，因相仿於摩擦作用稱為導線之電耗阻 (electrical resistance) 者，使之消滅而止。如用專門術語述之，則謂蓄電器之放電，乃震盪的 (oscillatory) 現象。

增加二水管之體積，猶之增加蓄電器之電容量。增加二水管水平面相差之高，則與增加蓄電器中勢差 (或電壓差) 相類。

270. 誘導起電機。最簡單之誘導起電機，為起

電盤 (electrophorus). 此器係合硬橡皮板與較小之金屬盤裝有絕緣柄者而成。

以貓皮擦硬橡皮板 (圖 280 中之 B), 使其帶陰電。於是置金屬盤 A 於板上, 而以手指觸金屬盤, 使其與地相通。當吾人舉起金屬盤, 使之接近來頓瓶之銅球時, 即有火花自間隙躍過。反復行此手續, 可用起電盤使來頓瓶帶強大之電。

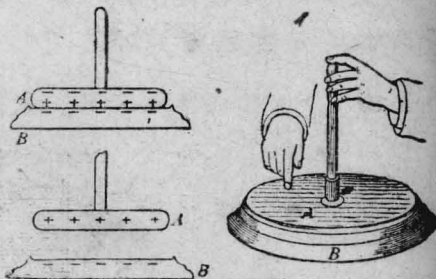


圖 280 起電盤由誘導作用而電。

當以金屬盤置於帶陰電之板上時, 電子即自金屬盤連橡皮板之下面, 被斥至上部。吾人以手指觸金屬盤時, 此等電子即經吾人之手而逸於地。由此過程, 金屬盤即全體帶陽電矣。橡皮板一經帶電之後, 即可自起電盤連續使金屬盤帶電, 不拘次數, 而橡皮板上之電荷, 不生可覺之變化。此因能自舉金屬板之手而來也。

此外尚有較爲複雜之靜電起電機, 例如都伯勒霍爾士起電機

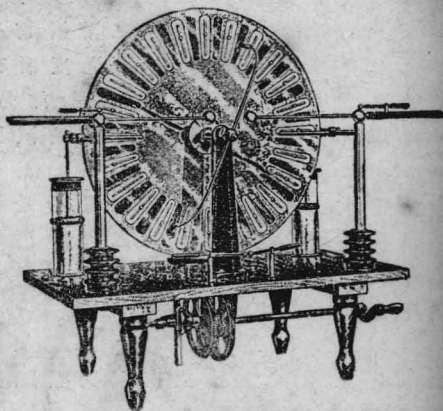


圖 281 威姆孝斯脫起電機, 其所據之原理, 與起電盤同。

(Toepler-Holz electric machine)以及威姆孝斯脫(Wimshurst)起電機(圖 281),亦利用誘導之原理而製成。此等起電機大都供實驗室中試演之用。

271. 大氣之電。 約在十八世紀之中葉時,彭家明弗蘭克林(Benjamin Franklin)(圖 282)以其著名之風箏,證明雷雲帶有尋常之電荷,而閃電乃巨大之電花。此發見在當時為各地之科學家所承認,乃屬空前之舉。所最足稱奇者,恐係弗氏之未曾立遭雷擊而死。是年之中,俄國有一人即因試行同樣之實驗而喪其生。



圖 282 彭家明弗蘭克林(1706-1700).
美國著名政治家,科學家,又為著作家,曾以科學方法研究電;發明避雷針。

嗣後弗蘭克林又發明避雷針(lightning rod),將不用避雷針時,或致由雷擊而穿屋宇以起放電作用之電,安然導之入地。當帶電之電之雲,對於地球發生誘導作用時,即有受束縛之異性電荷,集中於

良導體以及高聳之物體，例如大樹，烟突(圖 283)，以及教堂之尖閣上，於是遂成一巨大之蓄電器。若電荷積聚過多，或電雲過於接近地球，則介於中間之通感體(即空氣)崩潰，而此大蓄電器即行放電，發生電閃之光，有時長至五哩，而巨聲繼作，稱之為雷聲之起，皆以為乃由放電時受熱之空氣帶驟然急行膨脹所致。

雷雲帶電之原因，前此向視為神祕莫測，今由實驗已知水經上昇之空氣流而落下，如空氣流上昇之勢極猛，足以激水四散，則下降之水滴，其大者往往帶陽電，而細小成霧者則帶陰電。因雷雲之成，係在上升之巨大空氣流之頂上，則雨時所降之大雨，所以往往帶陽電，以及為空氣流衝向上方者之霧，所以成為帶陽電之其故顯然可知矣。

用避雷針防免雷擊之功用，其說各頗有極不相同之意見。脆弱之避雷針，建立不穩或通地不暢達者，確較無避雷針更劣。在他方面言之，若實之導體，立於屋頂上，分布宜之各點，或立於尖閣之頂，且皆無尖銳之彎曲點而又時向下以通至優良之地中，實為

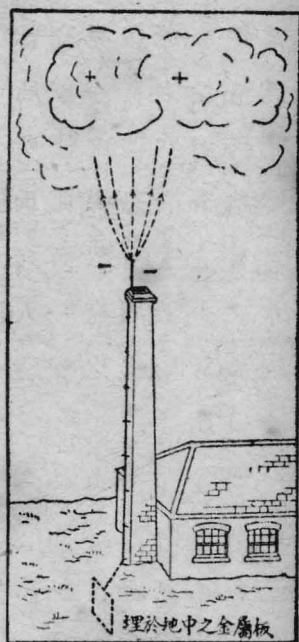


圖 283 帶電之雲，使烟突受誘導作用而生異性之電。

可寶之保護物也，電話及電燈之導線，以及電力之導線，則通用各種不同之避雷器(lightning arrester)以保護之。

問 答 題

1. 磚砌之烟突，需用避雷針較之同高之鋼製烟窗爲切，何故？

2. 若以來頓瓶置於石蠟之上，即不能使之帶可覺之電，何故？

3. 來頓瓶可以攜之手中而不覺受震或失去電荷之任何一部份，何故？

4. 使蓄電器放電如何可得安全？

5. 若一絕緣之金屬球，使其帶陰電，如何可使其他之絕緣金屬球，不問其數之幾何，均帶陽電？第一金屬球失去其電荷之一部份否？

6. 若有一絕緣之金屬球，使之帶陰電，如何可使其他絕緣之金屬球，不問爲數幾何，均帶陰電？第一金屬球失去其電荷之若干部份否？

7. 由誘導作用使驗電器帶電時何以必須先移開手指，然後移開帶電體？

8. 在天氣乾燥之時，汽車上即有短小之電花，自金屬部份發至手上，(a)汝將如何說明此電之所由來？(b)何以此電不常逸至地中？

9. 鋼製之汽油運送車往往帶電。(a)有何危險否？(b)如何可以防止之？

第十七章 提要

凡物體皆可由接觸或摩擦而帶電，或帶陽電，或帶陰電。

同性電荷相斥。

異性電荷相引。

中和之物體含有等量之陽電與陰電。

凡絕緣之物體，皆可由誘導作用使之帶電，陽電與陰電並現於相異之處。

物質之原子係由電子(陰電之微粒)所成，電子圍繞一陽電之核。

帶陽電之物體，其電子之數不足。

帶陰電之物體，其電子之數有餘。

蓄電器係由兩導體隔以絕緣體而成。

實 用 題

各種蓄電器，察出汽車電花圈中之蓄電器，其構造與無線電報中所用者相異之處，何故？

第十八章

電 流

運動之電——水流——電瓶——電流與電子——電路——安培,歐姆,以及弗打——水壓之喻——歐姆定律——電流,電壓以及耗阻之計量——耗阻之計算——銅線尺度表——溫度對於耗阻之效應.

272. 靜電與動電. 十九世紀以前,世人關於電之所知者,實際上皆論及靜電 (electrostatics) 而已.避雷針幾為唯一有用之發明,遂重視過甚,所曾發明之最有用之儀器,即為蓄電器.

在最近五十年間,電在藝術與工程方面,已一躍而居首要之地位,吾人於以下八章之內,即將見之.電燈與電動機,電車,電話,無線電報與無線電話,以及由電轉遞功率,皆已成為日常之事.凡此種種,皆有關於動電 (electricity in motion) ——即電流是也.

273. 電流與水流. 電之自證其存在,其道甚多,雖其確實之性質,尚未決定,然調節種種效應之定律,以及電流之種種應用,固可熟知之也.吾人如牢憶今方論及一沿導體流動之某物,甚與水在導管中流動

相同，將覺其十分便利耳。

茲以下述一事爲例。假定一水槽立於鐵路軌道之旁，軌上停有火車頭及其所附之煤水車，正在加水。水自水槽中流出，經導管而入煤水車，如圖 284 所示。水之流也常向下；即水之所以流動者，因水平面之差而生所謂水壓高度 (hydraulic head) 之動力，使之然也。此高度即以水槽中之水面與導管中水面間之水平差 (difference in level) 計其量。

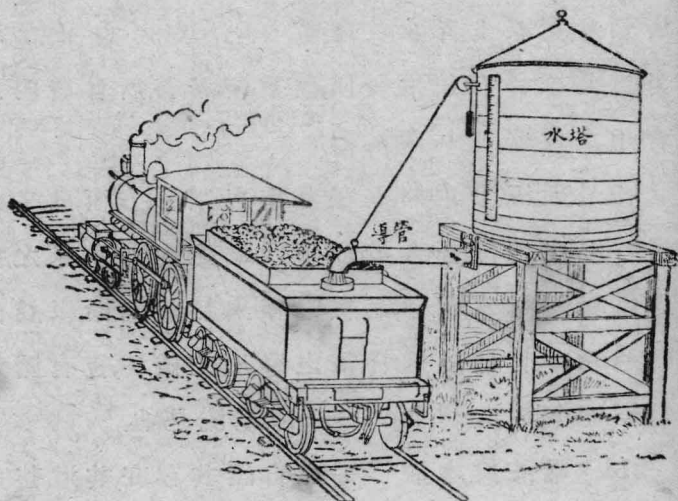


圖 284 水平面之差，有使水流動之傾向。

若以金屬絲連接乾電瓶 (dry cell) 之兩縛柱 (binding post)，即其兩電極 (terminal)，則兩極之電勢

差使電流發生於金屬線上,其道頗與上述之水流相同.揀電鈴之扣(圖 285),而鈴鳴線熱,由此事實,可知有某物正沿導線流動也.此物即稱之爲電.乾電瓶兩極性之不同,謂之爲電勢差,有使電流動之傾向.

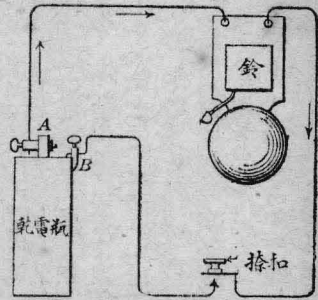


圖 285 乾電瓶中之勢差,使電沿導線流動。

274. 簡單電瓶 由化學作用生電勢差且維持

繼續不絕之電流,其法乃百餘年前意大利之科學家弗打 (Alessandro Volta) (圖 286) 所發見.



圖 286 阿勒桑特羅弗打(1745-1827). 意大利物理學家,曾發明電池,驗電器,起電盤,以及蓄電器。

設取銅片與鋅片各一,置之於玻璃杯中,使其各不相觸,然後以淡硫酸若干,注入杯中(圖 287).吾人察見銅片不受酸之作用,而鋅片則立

有氣泡覆於其面，泡昇於頂，鋅片漸為酸所腐蝕。

用靈敏之驗電器，行精細之實驗，知銅片帶陽電而鋅片帶陰電。若以串連電鈴與捺扣之銅線，連此二板，則由捺扣而鈴鳴之事實，可知有電流正自一板經此銅線流至他板。導線中之電流，假定其自銅片（電勢較高之片）流至鋅片（電勢較低之片），此說已歷多年。

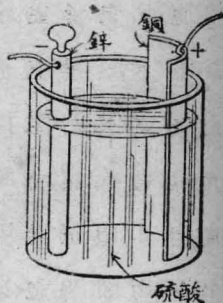


圖 287 簡單電瓶。

任何二導電體，幾盡可代鋅片與銅片以供此用；但此二片，必不可為同一之物質所成。同樣，其他液體亦可用以代硫酸；惟此液體〔稱為電解質 (electrolyte)〕，必須能對二種金屬之一，起化學的侵蝕作用。二片中受侵蝕較緩者，吾人稱之為陽極（以 + 記之）(positive electrode)，他一片即稱之為陰極（以 - 號表之）(negative electrode)。

275 電流與電子流。 依據電子之說，金屬與其他固體之導體，較之絕緣體有甚多之自由電子，此於 265 節中已見之。電池或任何發電機，當其連於電路 (electric circuit) 中時，並未產生任何電子，不過使其循

一定方向運動而已。此電子之說，爲電動力 (electromotive force) 所驅而經過導體者，即爲電流。但有一事當注意之，不可忽略，即此電子流所行之方向，係由陰極至陽極是也。此與習慣上假定已久之陽電所流之方向，即由陽極至陰極者，適相反背。因以前所述各節，以此習慣爲根據者已多，故仍將假定電流之方向，爲陽電宛如按習慣上之方法而流動時所循之方向。惟同時又應憶及，不問何時，如在論述直接涉及電子之現象之際，電子流所取之方向，實與此習慣上之電流相反。

276. 電路。 穩定之電流，非在有完全之導電路徑，即可以循環之路徑時，不能流動。此種可以通行電流之路徑稱爲**電路** (electric circuit)。電路之一部份，在電瓶之外，包括電鈴，捺扣，以及連線者，稱爲**外路** (external circuit)；又一部份在電瓶之內者，即二金屬片與液體，稱爲**內路** (internal circuit)。可見在外路中之電流，假定其自銅片(或炭棒)經過金屬導線而流至鋅片，再取道自鋅片經過液體而至銅片(或炭棒)之內電路，以畢其路徑。若將液體外面之金屬線剪開，即將**電路截斷**，則電勢差固仍保其舊，然電流不復能流，因

導電路徑已中斷之故。若吾人將線之兩端再行接合，即將電路閉合，則電流又可流動矣。

277. 水之比喻。適所述之電瓶之作用，可與用唧筒抽水，使其在導管內循環之狀相比較。電瓶即可視為抽電之機械。

假如有二水槽，如圖 288 中之 A 與 B，安置之使 A 槽所在之水平面，較 B 槽為高。一連有唧筒 P 之導管，自 B 槽之底通至 A 槽之底。若兩槽中充水未滿，而開動唧筒，則 B 槽中之水，都被吸至 A 槽，A 槽中之水平面即行升高。若有排水管自 A 槽通至 B 槽，則 A 槽中溢出水即返流於放水將盡之 B 槽中，而水乃不過由唧筒之作用，循環流經導管與二水槽而不息。此與電瓶在外路閉合時之情狀頗似。

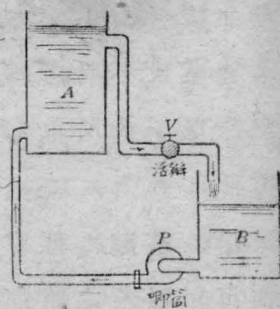


圖 288 以水喻電流，唧筒之作用，一如弗打電瓶。

今若以活瓣 P 關閉排水管，則唧筒立可抽盡 B 槽中之水；自此以後，唧筒固仍可運轉不停，然不能抽得涓滴之水，於是即無水流經過導管而流動矣。

此與電瓶之兩端無金屬線連結時之情狀，頗相似。兩片仍保有原來之電勢差，然無電流流動。

278. 電流之單位。安 水流經導管而過之速率，可以每秒若干加倫或若干立方呎計之。同樣，電流之速率，可以每秒有某定量之電經過某點而計之電

量之單位，稱爲庫隆(coulomb)，因紀念法國科學家庫隆氏而有是名。計量此種電量之方法，將於319節中述之。每秒中輸送一庫隆之電之電流，即稱爲一安(ampere)*之電流。此單位乃依法國科學家安培 (André Marie Ampere) 氏而定名。因吾人通常所關及者，爲電流之速率而非電量之速率，故安之一名，用之極多，而庫隆一名，用之甚鮮也。



圖 289 安特雷馬利安培(1775-1836)。法國科學家與算學家，研究電流之磁效應。

用此單位則新乾電瓶之兩端連以短而粗之銅線時，線上約有30安之電流經過。40瓦(40-watt)之鎢絲燈，所用電流約爲三分之一安，而用爲路燈之弧光燈，則需5安至10安。電話受話器中經過之電流，不及0.1安，而電車上之電動機，往往須費40或50安之電流，汽車上之發動電動機，須在短時間內用電150或200安之多。

279. 耗阻之單位。歐 水流經過導管之際，因管內之摩擦作用而其行遂緩，此事吾人皆習知之若

*國際安之定義將於319節中述之。

導管長而且細，又粗糙不光，則其對於流過之水，所加之阻力亦大，此事吾人亦知之。仿此，所謂電耗阻 (electrical resistance) 者，即導體對於電流所起之反抗是也。於 260 節中，吾人已將物體分成兩類，一為導體而又一為非導體即絕緣體。然縱為最佳之導電體，亦不能完善而絕無缺點，蓋一切導電體，對於電流皆有反抗作用也。

耗阻之單位為歐 (ohm)，* 依歐姆 (Georg Simon Ohm) 氏而定名。歐氏為德國科學家，首創關於電流之定律，其律將於 282 節中討論之。

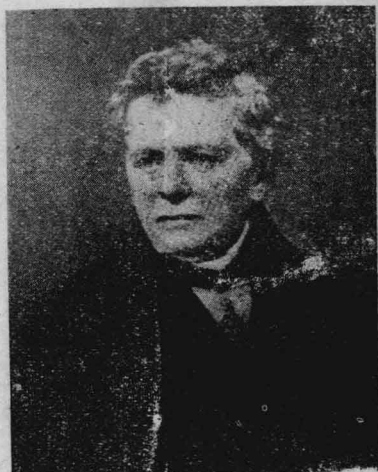


圖 290 喬格西孟歐姆 (1787-1854)，德國物理學家，即發見以其名為名之電學定律之人也。

用此單位，10 號銅線 1000 呎之耗阻幾恰為 1 歐。18 號之銅線 (此即尋常用以連接電鈴之線) 157 呎，或鐵絲 26 呎或錳鎳鋼 (manganin) 6 呎其粗細與銅絲相同者，皆有 1 歐之

*國際歐之定義，公議為長 106.3 cm.，重 14.4521 克之水銀柱，在 0°C . 時所起之耗阻。依此條件之水銀柱，其橫截面極近於 1 平方耗。

耗阻，直徑 $2\frac{1}{2}$ 吋之電鈴，其耗阻通常大概 在 1.5 歐與 3 歐之間，電報音響器之耗阻約為 4 歐，電話受話器之耗阻約為 60 歐，而 40 瓦之電燈，在白熱之時其耗阻為 300 歐。

280. 勢差. 弗 在水力學中，吾人皆知欲使水在導管中流動，必須有驅水使動之力；此力可由水平面之差或唧筒而來。同樣，欲使電沿導線流動，必須有**電動力**(electromotive force)，例如電鈴之勢差或他種發電機所供給者然。電動力之單位為**弗** (volt)，此名即依發見由化學方法生電流之科學家弗打氏而定。弗之定義，可述之如下，即一弗者，驅一安之電流通過一歐之耗阻所需之電動力也。

例如，用鋅片銅片以及稀硫酸製造之簡單電瓶，其電動力約為一弗。普通乾電瓶之電動力，約為 1.5 弗，而鉛製蓄電池之電動力，約為 2 弗。電燈之電流，常用 110 弗或 220 弗之電動力輸送，而電車則運轉於 550 弗左右之電動力下。

電動力(省寫為 e. m. f.) 有時稱為**電壓**(voltage) 或**勢差**。此三名者，皆指同一之力，即使電運動或有使電運動之傾向之“**推力**(push)”是也。

281. 弗與安之區別. 電流之強度(intensity)以**安**計其量；驅電流使動之電動力，則以**弗**計其量。在已知之電路中，電動力愈大，則電流亦愈大。吾人必待有一定量之電動力，以使已知之電流經過已知之導線，

正與必須有一定量之水“頭(head),”以使已知之若干加倫之水,於每秒中流過已知之導管相同。不問爲水或電,皆須有可動之力,然後有可流之流;然有時縱有可動之力,或竟無可流之流也。蓋當電路中開關(switch)未合之時,猶之水管中滑瓣關閉之時,電動力(弗)固有,然電流(安)則無也。

因吾人於研究電性之時,論及電流之處甚多,故對此三名詞宜有清晰之概念,此實非常重要。茲再臚述如下:

- (a)電流(電之流動之速率),
- (b)耗阻(調節流動之反抗),
- (c)電壓(使電流動之力)。

下列之表,更可助吾人以確定此三單位之意義,三單位者,即安,歐及弗是也。

單 位	關於水者	關於電者
量	加倫	庫倫
水或電流 每秒通過之量	每秒一加倫	安 每秒一庫隆
耗阻	(無單位)	歐
原動力	若干呎之水頭	弗

電路中之電流，除非有電動力使之流動，而電流之量，則為電路之耗阻所節制。以唧筒迫水流經導管之時，流過之水量，正比例於唧筒所施之壓力，而與導管因摩擦作用而生之抵抗力，成反比例。同樣，當強迫電流沿導線流過時，電流之大小，與電瓶或其他發電機之電動力或電壓，成正比例，而其電路之耗阻成反比例。介於電流，電動力，以及耗阻三者之間之此項關係，稱為歐姆定律 (Ohm's law)，因歐姆為正式宣布(在1827年)此定律之第一科學家也。此定律可述之如下：沿導體之電流強度，等於以耗阻除電動力所得之商。

$$\text{電流(安數)} = \frac{\text{電動力(弗數)}}{\text{耗阻(歐數)}}$$

用記號表之則為

$$I = \frac{E}{R}$$

茲舉例如下：有一電流為110弗之電動力所驅，流經耗阻5歐之導體，假定欲求其強度，由歐姆定律得

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110}{5} = 22 \text{ 安.}$$

在已知抵抗之電路中，維持一定之電流，若欲求其所需之電動力，則有下式：

$$E = IR.$$

例如，設有弧光燈一盞，其耗阻（在熱時）為 5.5 歐，欲送 10 安之電流經過此燈，求其所需之電動力，則得

$$E = IR = 10 \times 5.5 = 55 \text{ 弗.}$$

以已知之電壓加於電路，若欲求必需插入之耗阻，使其中流過之電流有一定之強度者，則以前述基本方程式，書為下式而用之：

$$R = \frac{E}{I}.$$

假如，有一電熱器，假定其可以安然擔負 10 安之電流，若以斷電熱器用於 115 弗之電路上，則其熱耗阻之值當為何？

$$R = \frac{E}{I} = \frac{115}{10} = 11.5 \text{ 歐.}$$

因歐姆定律為研究電流之基本定律，學者如熟記其律有此三式，當得不少之便利。

於此尚可指出一點，或有用處，即歐姆定律所表之關係，乃一般之原理 (general principle)，可備用於自然動作之全體而不誤；即謂結果 (result) 正比例於所施之力 (force) 對於抵抗 (resistance) 之比是也。

計 算 題

1. 12 弗之電壓，作用於 0.25 歐之耗阻，可生之電流為何？
2. 有一 6 弗之汽車用電池，可輸送若干電流，經過 20 歐之耗阻？

3. 欲送電流 2.5 安經過(a) 2 歐之耗阻,所需之電動力爲何?(b)經過 50 歐之耗阻,需電動力若干?
4. 一電燈所用電流爲 0.4 安,問其燈絲在 115 弗之下之熱耗阻爲何?
5. 有一電烘器,在熱時之耗阻爲 22 歐,欲使 5 安之電流通過之,須有如何之電壓?
6. 有一電磁石,自 115 弗之電線取用 5 安之電流,問其從 230 弗之電線,將取若干電流。
7. 有一電磁石,其耗阻爲 15 歐,可安然擔負 6 安之電流,問加於其上之電壓,最高可達若干弗?
8. 有一電鐸器,用於 115 弗之電路中時,需電流 1.2 安,問其耗阻爲何?
9. 若某電路之耗阻加倍,則電動力須有若何之變動,始可保持電流之不變?
10. 一電話聽話器之耗阻,爲 80 歐,而所需之電流則爲 0.07 安,問必須加於此聽話器之電壓爲何?

283. 電流及電壓之計量. 吾人早已見及,以水

表插入導管之中,則在任何時間內通過之水,即可易計其量。於是立可計算水流之平均速率,即每秒流過任何點之水量。電流流動之速率,如欲計其量,祇須插入一安計(ammeter)而已。

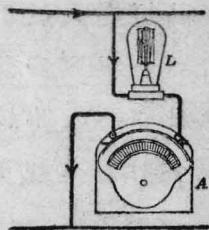


圖 291 以安計 A 量流經燈 L 之電流。

圖 291 所示者,爲一安計插於電燈之電路中,以計流經電燈之電流之量。凡經過電燈之電流,將見其必經安計而過。安計本身之耗阻甚小;其構造精巧如錶,故用時須謹慎從事。連接安計之法,係使電流自標有正(+)-號之縛柱入

此儀器，而自標有負(-)號之一端流出，此事亦須注意及之。

使電流流經任何用電器具之電動力，即電壓，如欲計其量，可不必截斷電路，即不必間斷流經是器之電流，吾人祇須以弗計(voltmeter)之兩端，連於該器具之兩端可矣。流經是器之電流，將見其並不流經弗計。

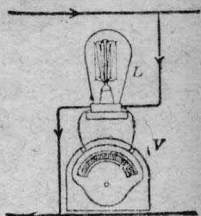


圖 292 弗計 V 測定越過電燈 L 之電壓。

圖 292 所示者，為連接弗計，以測使電流流經電燈之電動力之法，由此圖立可見及，弗計係橫連於電燈之兩端，且使其標有正號(+)之縛柱，連於電燈之正(+)側(即電流入燈之處)，弗計乃具有極高耗阻之儀器，故僅將極小部分之電流，引由其中而過。

安計與弗計，須知其正確之用法，此事甚屬重要，安計須插入於電路之中，而弗計則祇須橫連於電路可矣。若誤以安計橫連於電路，則因盛大之電流洶湧而過，即將立時燒毀。讀者切勿一試！

284. 耗阻之計量。弗計安計法。
測定耗阻最簡之法，在無需極度之準確時，可以利用弗計與

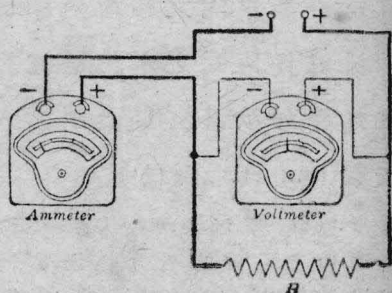


圖 293 測定耗阻之弗計安計法。

安計二種普通儀器。今假定此欲測而未知之耗阻，其值為 R 。以安計與其串聯，而以弗計橫連於此未知之耗阻上，如圖 293 所示。應用歐姆定律，即得耗阻等於以電流除電壓；即

$$R = \frac{E}{I}$$

注意。當欲測之耗阻高而電路中之電流微小時，通常以弗計環連於耗阻與安計二者之上。此因越過安計之電壓，所占全電壓之部分，較之流經弗計之電流，所占全電流之部分為小也。

285. 用威斯頓橋測定耗阻。測定耗阻，有一較為準確之法，係用威斯頓橋 (Wheatstone bridge)。此橋之主要部份，為四耗阻所成之環，

如圖 294 中標以 R, X, m 以及 n 者即是。當電鑰閉合時，電流自電瓶而出，在 A 處流入環中，且在是處分為兩支，一支 I_1 經 AC 而過，一支 I_2 經 AD 而過。在 C 與 D 間，連一

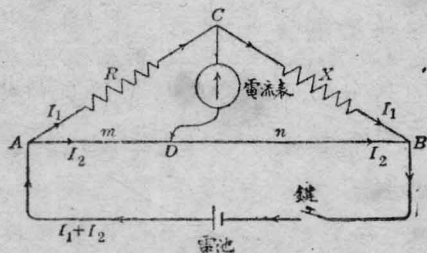


圖 294 威斯頓橋之電路。

電流計 (將於 309 節中述之)。於是調整 R, X, m ，以及 n 四耗阻，使無電流經過電流計，此即謂 I_1 之全部，必須皆經 CB 而過，而 I_2 之全部，必須皆由 DB 經過，且 C 與 D 又為“等勢 (equipotential)”之點是也。如此調整之後，

越過 AC 之電壓

$$E_C = I_1 E$$

而越過 AD 之電壓 $E_D = I_2 m$.

但因 C 與 D 係在同一電勢之下，故此二電壓相等，而得

$$I_1 R = I_2 m. \quad (1)$$

由相仿之理由，得

$$I_1 X = I_2 n \quad (2)$$

以方程式(2)除方程式(1)，即得

$$\frac{R}{X} = \frac{m}{n}.$$

由此威斯頓橋之基本方程式，若已知 R ， m ，以及 n ，即可計算 X 。

如圖 295 所示者，

其耗阻 ADB 為一長一積之金屬線，其截

面全線一律，因斯時之耗阻 m 及 n ，乃與距離 AD 及 DB 成正比例，故上之方程式可書為

$$\frac{R}{X} = \frac{\text{距離 } AD}{\text{距離 } DB}.$$

其中 R 為已知之耗阻，例如耗阻箱 (resistance box)，而距離 AD 與 DB ，可直接自尺上讀出，如牢憶

$$\frac{\text{左耗阻}}{\text{右耗阻}} = \frac{\text{左距離}}{\text{右距離}}$$

將覺頗為便利。

比較耗阻之此一方法，能得非常精密之結果，需要極大之準確度時，多用之，以威斯頓橋與桿秤相比較，或能有補於記憶，已知之耗阻，無異於一組已知之砝碼也。當 m 等於 n 之時，即得一等臂天平，而 R 乃與 X 相等。

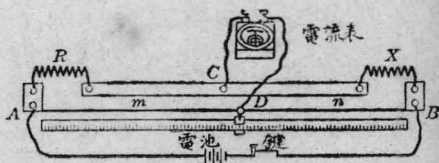


圖 295 滑線式之威斯頓橋。

283. 導線耗阻之計算法。導線之耗阻，有賴於

四端：導線之質地，長度，截面，以及溫度是也。由實驗，知

任何導體之耗阻,依其長度而正變,依其截面而反變。

因導線通常皆呈圓柱形,故以方吋計算其截面之面積,殊為不便,因此電機

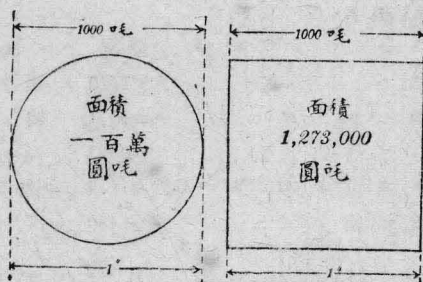


圖 296 用圓毫計圓與方之面積。

工程師對於導線之直徑為千分之一 (0.001) 吋者,稱之為直徑一毫(mil),而其截面積則稱之為一圓毫(circular mil). 用圓毫表示之導線截面積,等於其直徑毫數之平方,因圓之面積,依其直徑之平方而變也

例如,有一導線,其直徑若為 15 毫,則其截面積,即為 $(15)^2$ 或 225 圓毫. 直徑 1 吋之導線,其直徑為 1000 毫,而其截面積為一百萬圓毫. 一方吋之面積,以圓毫計之,為 $4/\pi$ 百萬(圖 296).

欲計算一導線之耗阻,通常皆與同物質之導線一段,長為 1 呎而截面積為 1 圓毫者之耗阻,比較而得. 此段導線,稱之為一毫呎 (mil foot) 之線.

一毫呎導線之耗阻,有時稱為製成此線之物質之比阻 (specific resistance), 或阻率 (resistivity). 在下表中所舉者,為少數普通物質,在 20°C . 時,以每毫呎若

于歐計之比阻:

鉛	17.0	鋼(製路軌者)	83.5-130
銅	10.4	鎢	35.8
日耳曼銀(18%)	181	$I_a I_a$	295
鐵(商用者)	66.4-81.4	鎳鉻鋼	670
錳鎳鋼	250-450		

以任何導線之全長呎數,乘此種導線一毫呎之耗阻(以歐數計),再以其截面積之圓毫數除之,立可算出該導線之耗阻。

為便利起見,此法可用方程式表之如下:

$$R = \frac{Kl}{d^2}$$

其中 R 為耗阻之歐數, K 為一毫呎之耗阻(銅在 20°C . 時, K 之值為 10.4 歐), l 為以呎數計之長度,而 d^2 則為截面積之圓毫數。

例如,於計算銅絲 500 呎,其直徑為 40.3 毫者之耗阻時,得

$$R = \frac{Kl}{d^2} = \frac{10.4 \times 500}{(40.3)^2} = 3.2 \text{ 歐.}$$

287. 溫度對於耗阻之效應. 若以長約 10 呎之 30 號鐵絲,繞於石棉板上,而使電流通過之,則用一安計與鐵絲圈串聯(圖 297),將見用本生燈加熱於鐵絲時,電流之強度,大為減低。

由種種實驗，知一毫呎之銅線，在 20°C . 時，其耗阻為 10.4 歐，然在 0°C . 時則僅為 9.6 歐。耗阻為 1 歐之銅線圈，在 0°C . 時準確者，其耗阻隨溫度之昇高而增加，

大約每度增加 0.00426 歐。由於精測導線在冷時之耗阻，然後再測其在熱時之耗阻，可得一借電以測溫度之法。

大多數之純粹金屬，其耗阻隨溫度昇高而增加之率，幾盡相同。此耗阻之增加，因加熱於純粹金屬而來者，幾恰與絕對溫度成比例。是以鎢絲燈之耗阻，在冷時為 20 歐；然此同一之燈，其耗阻當燈絲在白熱之時，即行昇至

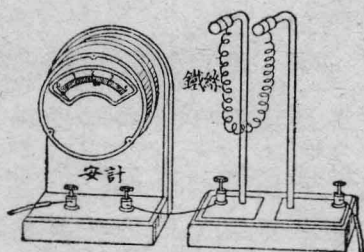


圖 297 加熱於鐵絲，增加其耗阻而減少電流，由安計可以見之。

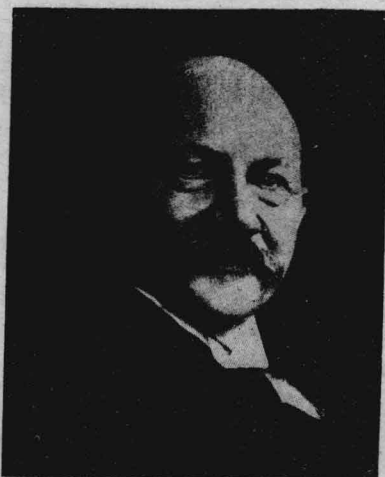


圖 298 赫克卡墨林登納(1853-1926)，荷蘭物理學家，在來頓大學任教授者四十年，曾研究物質在極低溫度之性質。

400 歐。

288. 溫度對於耗阻之特殊效應。有若干金屬，冷至溫度僅在絕對零度以上不多數度時，即在某一溫度竟驟然失去其全部之耗阻，而其在該點引導電流之易，數千倍於在該點以上。此一事實，以超越導電性(superconductivity)聞，為赫克卡墨林盎納(Heike Kamerlingh Onnes)氏(圖 298)新近在來頓大學所發見，其理尚未說明。大多數之金屬之齊，非惟其耗阻較其所自成之金屬為低，且其所受溫度變動之影響，亦大為減少。例如“錳鎳鋼”，乃鋼、鎳、鐵，以及錳四者之齊，其比阻自每毫呎 250 歐至每毫呎 450 歐，視所用四種金屬之比例而定；但其耗阻鮮因溫度之昇降而有變化。

有少數物質，例如炭、玻璃，以及瓷，其耗阻反因受熱而減少。例如炭絲燈之耗阻，當其熱時，僅約及同一燈絲冷時之耗阻之半。

289. 銅線尺度表之用途。尋常製造銅線，祇限於數種標準之粗細。在美國，此等粗細之度，皆按白朗(Brown)與沙伯(Sharper)之尺度(gauge)〔簡稱白沙尺度(B & S Gauge)〕而定。有時稱為美國電線尺度(簡稱 A. W. G.)。在附錄中，有一表載明銅線之標準粗細，其中除極細者外，僅雙號數為通常所用。表之第二行載每一尺度號數之毫數(0.001 吋)。第

三行所載者，為截面積之圓毫數，此數早已得悉其為直徑毫數之平方矣。第四行所載者，為 20°C . 時每千呎之耗阻。凡關於導線之計算，可因用此表而大簡，從此表又可見及，號數愈大，銅線愈細，凡每間兩號，則截面積減半，而耗阻則加倍。

計 算 題

1. 一圓線之直徑為 0.25 吋，求其截面積之圓毫數。
2. 某號大小之鐵絲 600 呎，其耗阻為 32 歐，問此種鐵絲若干呎，其耗阻為 48 歐。
3. 直徑 0.25 吋之銅線 1 哩，其耗阻為何？
4. 傳送電力所用之銅線，其直徑為 0.204 吋。(a) 問其尺度號數為何？(b) 其每哩之耗阻為何？
5. 截面積為 320 圓毫之銅線 100 呎，試求其耗阻。
6. 有一 14 號銅線之圈，其耗阻為 5 歐，問此圈之長為若干呎？
7. 銅線二百呎，其耗阻約為 0.4 歐，問其尺度號數為何？
8. 一弗計橫連於某電熱器，其所示度數為 110 弗，又有一安計與此電熱器串聯，示度為 5 安，問此電熱器之耗阻為何？
9. 欲送 4 安之電流，經過 16 號銅線 2000 呎，問需電壓若干弗？
10. 有一無線電話聽筒，用威斯頓橋檢查其耗阻時，見滑子離枳桿左端 34 槓，其時有一 1000 歐之線圈在左側之隙口中，問聽筒之耗阻為何？
11. 有一威斯頓橋在“平衡”狀態，一如圖 295 所示，若將滑子移向 A 端，電流將由電流計自 C 流至 D 否，抑依反對方向流過？說明其理。

第十八章 提要

電流在外路內向上流動自 $+$ 至 $-$ 。

、(電子依相反之方向而流)

電流在電瓶或發電機內，向上流動，自一至十。

電流之單位爲安，相當於每秒若干加侖。

耗阻之單位爲歐，相當於導管內之摩擦。

電動力(e. m. f.)之單位爲弗，相當於水頭。

歐姆定律:

$$\text{電流} = \frac{\text{電動力}}{\text{耗阻}}$$

可應用於全電路，或一部分之電路。

若應用於全電路，必須計及電瓶之內耗阻，兼及外耗阻。

安計——耗阻頗低——串連於電路——可通全部電流。

弗計——耗阻甚高——橫連於電路——分流一小部分之電流。

威斯頓橋:

$$\frac{\text{左耗阻}}{\text{右耗阻}} = \frac{\text{左距離}}{\text{右距離}}$$

導線之耗阻 =

$$\frac{\text{比阻(每毫呎)} \times \text{長度(呎數)}}{\text{直徑之平方(毫數)}^2}$$

問答題與計算題

1. 動電之研究，其較重要於靜電之研究，何以如是之甚？
2. 在圖 291 中之安計，若使其與電燈易位，即使電流先入安計，然後入燈，則其所示度數，仍相同否？說明其理。
3. 弗計與安計，其外表大致相同，若有一學生，將弗計誤爲安計，以與電燈(圖 291)串聯，則結果將如何？
4. 以安計橫連於高電壓之電路，則有危險發生，何故？
5. 若有標明 110-120 弗之電熨斗一具，連於 (a) 220 弗之電線上，將有若何現象發生？(b) 連於 50 弗之電線，則若何？
6. 用威斯頓橋求得之鎢絲燈之耗阻，何以極不可

靠?

7. 齊之有“錳鎳鋼”之性質者,有何實用?
8. 一鐵絲之耗阻,與同長之 18 號銅線相等,問此鐵絲之近似尺度號數約爲何?
9. 一銅線與一截面積相同之鐵線,其耗阻相等,問何線較長?
10. 銅線與一呎之鉛線其耗阻相等者比,較重抑較輕?(比阻與比重,兩者須兼顧之。)
11. 設有一人正在檢查許多相差不大之耗阻,則如何可將威斯頓橋調整,以使各耗阻可直接讀得,無須分別計算?

實 用 題

1. 用弗安計法查驗耗阻。用汽車上之蓄電池,或無線電話上之“B”電池一具,弗計一具,以及安計一具,兩者各有適當之刻度,即能查驗普通電具之耗阻,例如電話聽話器,電鈴上之線圈,以及電扇上所用之電動機,真空吸塵器,或縫衣機等,電燈,電烘器,電濾器,電鉗器,或電拍節器之冷耗阻,亦可求得;惟此等器具之熱耗阻,則求之較難。
2. 製造電阻器。在木製圓柱上覆以石棉,再將裸銅線緊繞於其上,裝一可滑之銅片,與銅線接觸,使電流由滑子而離導線,如此之電阻器,可用以調節電燈之明與暗,或調節玩具電動機之速率。

第十九章

電路

串聯電路——歐姆定律應用於部分電路——並聯電路——串聯與並聯之電瓶——乾電瓶之構造——乾電瓶之缺點——兩極電壓——導線中之電壓降。

290. 串聯電路。假定吾人以若干電具聯於一處，如圖 299 所示，使電流經過此諸器具之順序如下：安計 A_1 ，電燈 L ，稀硫酸之溶液 S ，安計 A_2 ，水電動機 M ，及其電阻器 H ，最後經安計 A_3 而回至開關 Z 。在此電路中，將見燈

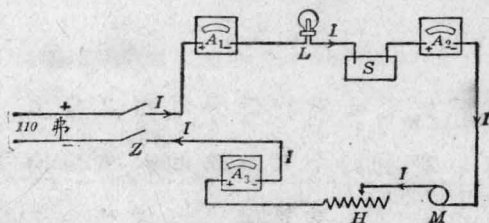


圖 299 串聯電路，其中各器具前後相串。

光黯淡，電動機適能轉動而已；但燈既發光，可知電流正在流經此單一之電路也。在電路之各部份，電流之強弱有別否？試比較安計所示之度數。

當以數件電具，前後相繼而連於一處時，稱之為串聯(in series)。電流循單一之路徑，在其電路中環行，且在電路之各處，大小均同，不問其耗阻之如何。為路徑固可由物質不同，大小亦不同之導體組成，但全路

之耗阻,則等於各部份耗阻之和。

例如,有器具三件,串聯於一處,其耗阻如下: A , 50 歐; B , 30 歐;而 C 則為 16 歐(圖 300)。於是全耗阻為此三耗阻之

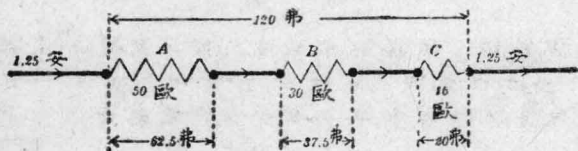


圖 300 三耗阻 A, B , 及 C 串聯於一處。

和即 $50+30+16=96$ 歐。若以此三耗阻連於 120 弗之電線,則按歐姆定律,通過之電流為

$$I = \frac{E}{R} = \frac{120}{96} = 1.25 \text{ 安。}$$

291. 歐姆定律對於部分電路之應用。 歐姆定律非惟可以應用於全部電路,而且可以應用於部分電路,此宜牢憶之,非常重要。由此說,即謂電路中某部份之電流,等於越過該部份之電壓,除以該部份之耗阻是也。

例如,吾人欲求前題中越過 50 歐之耗阻之電壓。因電流為 1.25 安,故得

$$E = IR = 1.25 \times 50 = 62.5 \text{ 弗。}$$

越過 30 歐之耗阻之電壓,則為

$$E = IR = 1.25 \times 30 = 37.5 \text{ 弗。}$$

最後,越過 16 歐之耗阻之電壓,則為

$$E = IR = 1.25 \times 16 = 20 \text{ 弗。}$$

全電壓即等於此三電壓之和，即

$$62.5 + 37.5 + 20 = 120 \text{ 弗。}$$

節制串聯電路之規律如下：

串聯電路各部分中之電流皆相同。

串聯之若干耗阻，其全耗阻為各耗阻之和。

越過串聯之若干耗阻之電壓，等於越過各該耗阻之電壓和。

此外，因電壓等於耗阻乘電流 ($E=IR$)，且因電流 (I) 在串聯電路之各部份中皆相同，從而知越過串聯電路任何部分之電壓，與該部分之耗阻成比例。

292. 並聯電路。茲請再為布置一分歧之電路，如

圖 301 所示。安計 A_1 用以測定全部電流；安計 A_2 用以測定電燈 L 中之電流，而安計 A_3 則用以測定電動機中之電流。由此配

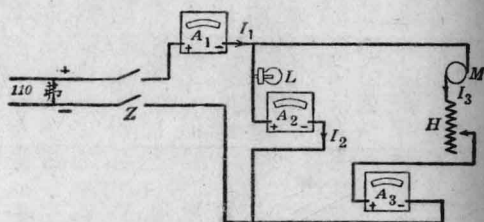


圖 301 分歧之電路。

置，顯然立見三安計所示之度數各各不同，但安計 A_1 所示之度數，則等於 A_2 及 A_3 所示度數之和。

當二件或多件電具，相並而連結時，電流即分流於各路，而稱之為並聯 (in parallel 或 in multiple)。

圖 302 所示者，即係耗阻彼此各為 4 歐與 6 歐之二導線，其並聯之情形；其兩端 (A 與 B 兩點) 間之電壓為 12 弗，應用歐姆定律，吾人求得沿 4 歐之導線之電流，為 $\frac{12}{4}=3$ 安，而流經 6 歐之導線者，則為 $\frac{12}{6}=2$ 安。較大之電流 3 安，可見其流經較小之耗阻 4 歐。又見流經含此並聯兩線之全電路之電流，為 2+3 即 5 安，此並聯二線之合阻 (joint resistance)，即此電路之耗阻介於 A 與 B 之間者，亦可應用歐姆定律以求之。介於 A 與 B 間之電壓為 12 弗，而電流則為 5 安；量以耗阻不得不為

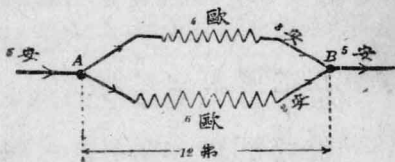


圖 302 兩線並聯。

$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{5} = 2.4 \text{ 歐.}$$

是以吾人可見並聯兩導線之合組，較之各線單獨之耗阻為小。然此可以下之一事說明之，即在 A 與 B 之間，運輸電流之平行路徑愈多，則此兩點間之耗阻愈小是也。若以三導線並聯之，則合組將更小焉。

此與二水槽在不同之水平面，連以三導管之情形甚相同。在已知時間內，由二導管流出之水，顯較由單一之導管流出者為多，而由三導管流出者，將更多也。故如連通二水槽之導管愈多，則節制水流總量之抵抗力，自然愈形微小矣。

293. 分枝電路之耗阻。欲求並聯電路之合組，當先求經過各支路之電流，然後加合此諸電流以求

總電流最後以此總電流除越過並聯電路之電壓。在電壓未知之時，假定其爲一弗。

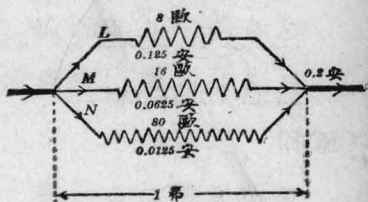


圖 303 並聯之三耗阻 L, M , 以及 N 。

例如，有(圖 303)三耗阻 L, M , 以及 N , 並聯於一處。 $L=8$ 歐, $M=16$ 歐, 而 $N=80$ 歐。假定越過此一組導線之電壓爲一弗。

於是在 L 中之電流爲 $\frac{1}{8}$ 安, 即 0.125 安; 在 M 中者爲 $\frac{1}{16}$ 安, 即 0.0625 安, 而在 N 中者則爲 $\frac{1}{80}$ 安, 即 0.0125 安。總電流爲 $0.125+0.0625+0.0125=0.2$ 安; 而合阻爲 $\frac{1}{0.2}$ 歐或 5 歐。

觀察此問題之另一方法, 係用所謂形導 (conductance), 即耗阻之倒數是也。並聯電路之形導, 等於各分支形導之總和。例如, 在適所解之問題中, 命 R 爲合阻則有

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{16} + \frac{1}{80} \text{ 而 } R=5 \text{ 歐。}$$

前所論者, 稍加考量, 即可知耗阻相等之兩導線, 在並聯之時, 其合阻適爲任一線耗阻之半。若耗阻相等之三導線, 並聯一處, 則其合阻適爲三線中一線之耗阻之三分之一, 四, 五以上, 按此類推, 若以耗阻相等之導線串聯之, 則其全耗阻即爲單一導線之二, 三, 四等倍。

節制並聯電路之定律如下:

越過若干並聯耗阻之電壓相同。

經過全電路之總電流等於經過各部分之電流

之總和。

並聯電路之合阻，等於電壓除以總電流，或謂並

聯電路之形導，等於各部分之形導總和。

計 算 題

1. 有三耗阻 200, 200 與 40 歐，橫越 290 弗之電線而串聯。問此部分電路之耗阻爲何？在此電路中經過之電流爲何？
2. 一燈之耗阻爲 45 歐，與一線圈串聯於 110 弗之電路中，以冀有 2 安之電流流過。問線圈之耗阻爲何？
3. 以 6 弗之汽車頭燈四盞，串連於一處，若其燈需電流 3 安，問合成之耗阻爲何？
4. 一 55 歐之燈，另一 30 歐之燈，以及一 15 歐之線圈，串聯於一處。越過 30 歐之燈之電壓爲 120 弗。求：
 - (a) 在電燈與線圈中之電流。
 - (b) 越過 55 歐電燈之電壓。
 - (c) 全電壓。
5. 有三耗阻，一爲 30 歐，又一爲 40 歐，而第三耗阻則未知其大小，三者與一安計串聯，安計上所示之度數爲 2.5 安。線上之總電壓爲 225 弗。求：
 - (a) 未知之耗阻。
 - (b) 越過 30 歐之電壓。
 - (c) 越過 40 歐之電壓。
6. 有電燈五盞，其耗阻各爲 250 歐，問其並聯時之合阻爲何？
7. 有二導線並聯於一處，其耗阻彼此各爲 40 歐與 60 歐，問其合阻爲何？

8. 若有一導線，其耗阻為 4 歐，則另一導線之耗阻須為若干歐，方可與前者並聯，而得合阻 3 歐？

9. 有相同之電燈十盞，並聯時其合阻為 25 歐，求電燈一盞之耗阻。

10. 有一並聯之連合電路，係由 4 歐與 12 歐之兩分支所成，若欲輸送 9 安之電流，經過此連合電路，所需之電壓為何？

11. 有熾熱燈三盞，並聯於 112 弗之線上，若每燈各需電流 0.5 安，問此三燈之合阻為何？

12. 電具三付，並聯於 112 弗之電路中，若第一器具之耗阻為 10 歐，而第二器具之耗阻為 20 歐，三者共用之總電流為 20.8 安，問第三者之耗阻為何？

294. 串聯之電瓶。 非惟各別之外耗阻，可以串聯，即電瓶或發電機，本身亦可串聯。圖 304 所示者，即為串聯之三乾電瓶。第一號電瓶之炭棒（即+極）連於第二號電瓶之鋅筒（即-極）；第二號電瓶之炭棒，連於第三號電瓶之鋅筒；而其供給於外路之電流，即自第三號電瓶之炭棒流出，經過外路之後，電流即返於第一號電瓶之鋅筒。是以可見電流繼續流經各電瓶。

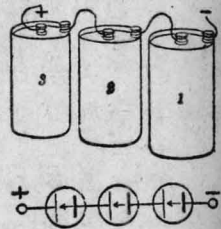


圖 304 串聯之三電瓶。

若以弗計查驗一乾電瓶，則見其發出之電動力約為 1.5 弗，串聯之二電瓶，其電動力約為 3 弗，串聯

之三電瓶，其電動力約為 4.5 弗。故串聯之電瓶，其全體之電動力為諸電瓶電動力之和。

若吾人設想第一電瓶將電抽至較高之某電勢(或電平面)，而第二電瓶將電抽至更高之電勢，第三第四等亦然，則或可藉此而易於領悟串聯電瓶之電動力，所以等於諸電瓶電動力總和之故。圖 305 所示者，為以水比喻三電瓶串聯之情形。

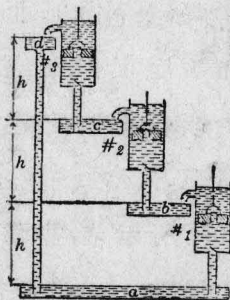


圖 305 以水喻三電瓶之串聯。

由串聯而結合之電瓶，其內阻當然為各單電瓶內阻之和，正與任何串聯電路之耗阻相同也。

295. 並聯之電瓶。 以任何方法將一或多電瓶連合於一處，稱之為電池(battery)。

有時以電瓶或發電機並聯，較為有益。圖 306 所示者，即係將三乾電瓶並聯而成之電池。並聯者，凡陽極(即炭棒)皆連結於一處，而所有陰極(即鋅筒)亦連結於一處之謂也。若吾人測驗此並聯電瓶

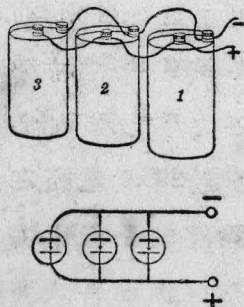


圖 306 並聯之三電瓶。

全體之電動力，則見並聯電池之電動力，同於一電瓶之電動力。

若吾人設想各電瓶皆在將電抽送至某電勢(或謂為電平面)，而所有電瓶皆相並而工作，則或可藉此而易於領悟並聯之電瓶，其電動力所以不大於單一電瓶之故。圖 307 所示者，並聯電瓶之水之比喻也。

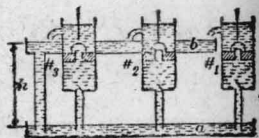


圖 307 以水喻之電瓶並聯之情形。

並聯電池之內阻，為一電瓶之耗阻，除以電瓶之數，正與其他任何並聯電路之耗阻同。

例如，有三電瓶並聯，每電瓶之電壓為 1.5 弗，而每電瓶之耗阻為 0.12 歐，問流經 0.22 歐之外阻之電流為何？

此電池之內阻為 $\frac{0.12}{3}$ 歐，即 0.04 歐。全耗阻為內阻與外阻之和，即 $0.26 + 0.04 = 0.3$ 歐是也。由歐姆定律，流經外耗阻之電流為 $\frac{1.5}{0.3} = 5$ 安。

於是每一電瓶中之電流，將為 $\frac{5}{3}$ 安，或 1.67 安。

296. 電瓶之最佳排列法。 設有乾電瓶六只，則除將其全行串聯或全行並聯外，尚可用其他二法排列之。例如吾人可排之成二行，每行有電瓶三，乃將各行中之電瓶串連之，再將二行並聯之，如圖 308 A. 所

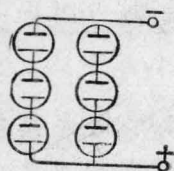


圖 308A 六電瓶三三串
聯，二二並聯。

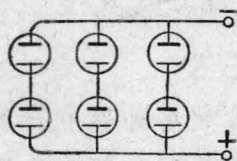


圖 308B 六電瓶二二串聯，
三三並聯。

示者然。又可將此六電瓶，排成三行，每行有電瓶二，乃將各行之電瓶串聯，再將三行並聯，如圖 308 B. 所示者然。

用任何方法連結之電池，欲求其強使流經已知耗阻之電流，法如下：第一步，求全電壓，即以串聯之電瓶數，乘每電瓶之電壓；第二步，求內阻，即以串聯之電瓶數，乘一電瓶之耗阻，再以並聯之行數除之；第三步，求全耗阻，即內阻與外阻之和；最後，應用歐姆定律，即以全耗阻除全電壓。

連結電瓶之時，使其全體之內阻，與外阻相差最少，則可得最大之電流，此乃可以證明之事。

是以欲得最大之電流經過已知之耗阻，若外阻大，則將電瓶排成串聯；但若外阻甚小，則將電瓶排成並聯。

在實用方面，外阻與內阻相比，常較內阻為大；故

電瓶通常多串聯。

計 算 題

1. 有著電瓶十二具，每具之電動力為2弗，內阻為0.006歐，欲將其連結成爲電池，若電瓶之排列，可使(a)之有最大電動力時，問全電池之電壓與耗阻爲何？(b)有最小之耗阻時，電壓與耗阻爲何？

2. 前節中所述六電瓶之四種排列，求其輸送於外阻10歐之電流，各爲若干？假定每電瓶之電壓爲1.5弗，而每電瓶之內阻爲0.12歐。

3. 求此四對排列法之六電瓶，每種所送經外阻0.1歐之電流。

297. 乾電瓶之內部構造。在最近數年之內，所謂乾電瓶“dry cell”者，實際上已漸成爲開電路(open circuit)，或間歇電路(intermitent circuit)——例如電鈴與有線電報，信號裝置，電筒，以及氣體引擎上所用之着火電路等所用唯一之原電瓶(primary cell)。在此電瓶(圖309)中，陰極爲一鋅筒，即供安放其他各物之用，而陽極爲一炭棒，其形或爲圓柱，或起錐狀。鋅筒之內壁，鋪有可以吸收水分之木髓紙板，或吸水紙一層，飽吸氯化銨(sal ammoniac)與氯化鋅之水溶液。紙層與炭棒之間，充以糊狀之物，係由炭屑與二氧化錳，浸於氯化銨之水溶液中，調和而成者。以此混合物填充於電瓶，填至約離筒口一吋以內而止。電瓶之頂，通常用瀝青以封口。鋅筒之外壁，往往塗之以漆，而將電瓶

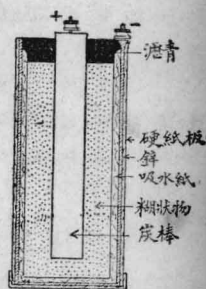


圖 309 乾電瓶之剖面圖。

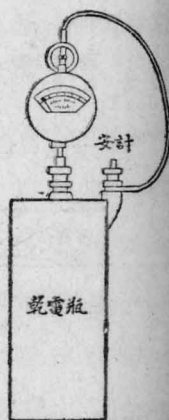


圖 310 測驗乾電瓶。

置於密合之硬紙套中，此種電瓶中之氯化銻溶液，即用以代前述簡單電瓶中之硫酸者。

美國所製造之乾電瓶（每年約五千萬個），約有百分之八十，其鋅筒之高為六吋，而直徑為2.5吋。此種電瓶新出廠時，以安計驗之，當發出最少達20安之電流，而最多不過30安，尚有較此甚小之乾電瓶，製之以供電筒之用。用弗計測驗乾電瓶，即知電瓶之大小，對於其電壓之高低無影響。

在無線電器械中，往往需用乾電瓶數個，串聯於一處。此等電池，以“B”電池稱者，今皆製成極便使用之式（圖311），且可隨意獲得22.5弗（15電瓶）或45弗（30電瓶）之電壓。

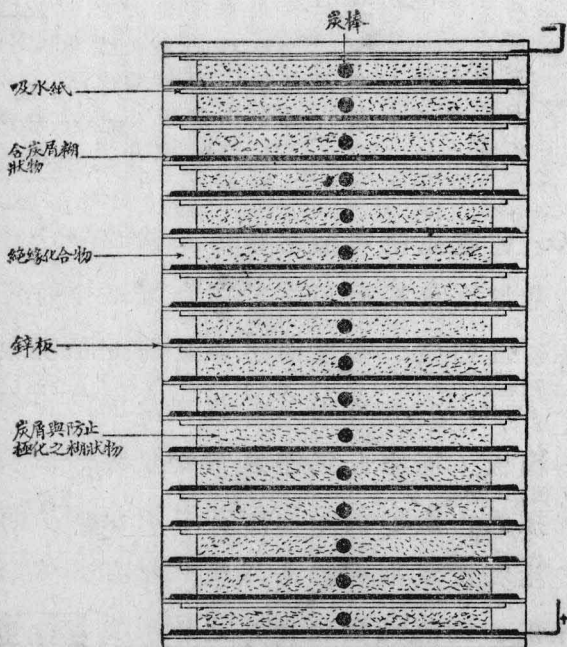


圖 311 16電瓶之“B”電池（層疊式）。

298. 乾電瓶之耐久時間。乾電瓶之“壽命”，並非固定之量，往往有僅擱置於架上之乾電瓶，歷一年之久而未嘗一用者，竟致乾涸而完全無用。有時由三乾電瓶所成之電池，例如可以用作無線電話收音機中之“4”電池者，幾時時用及，而反可保持至二月之久。乾電瓶之耐用時期，須視其電路閉合時間之長短而定；然可由於排列電路使任一電瓶被吸取之電流，微小不大而延長其壽命。

在陳舊之乾電瓶上，有時可見鋅筒上有若干小孔，此即表示此金屬已由化學變化消蝕而盡，蓋驅電以經電瓶及外阻之能，即由此化學變化而來也。是以可見鋅之作用，猶之燃料，與用煤以得驅水流經導管之能，極相類似。由電瓶放出此種電能之速率，即可用以決定鋅之消蝕之速率；正與汽鍋中發出蒸汽能之速率，可用以決定煤之消耗速率相似。大電瓶之耐用時間，自較小電瓶為久，因其含有較多之鋅也。吾人所以祇用乾電瓶以為極小電流之源，而用發電機（將於第二十二章述之）以供給家用及商用之動力者，即因用鋅以作燃料，不免過昂故耳。

299. 乾電瓶中之極化作用。往昔早已發見，以導線連電瓶之兩端而用之於閉合電路中時，電流並不能保留其固定之強度而迅即衰弱。此種現象，稱為極化 (polarization)，曾考得其發生之原因，乃由氣體附着於陽極板上而來，此氣體通常為氫氣體既繞板而成層，電瓶之內阻即因是而增加，且有反對方向之電動力發生。在乾電瓶中，加入二氧化錳，即用之為阻止極化劑。然即因有此極化作用之故，乾電瓶不應聽其連於閉合電路中過久也。

300. 電瓶之兩極電壓 若以弗計連於乾電瓶上，即見其電動力約為 1.5 弗。若以高耗阻(1000 歐)之線圈，橫連於兩極，再以弗計測之，則見弗計所示之兩極電壓，幾與前同，相差甚微。但若以短而粗之導線，橫連於兩極(即以短路(short-circuit)連電瓶)，使有多量之電流流出，則由弗計，可見兩極電壓遠小於前。

由此實驗，顯見正^是在發出電流之電瓶，其兩極電壓常小於其電動力，或^其其開路電壓。若吾人憶及，此電壓須用以輸送電流^經過電瓶之內阻者，則此事實即可明瞭；蓋與用電壓^何送電^出過任何其他耗阻，正相同也。

例如，有一乾電瓶，若其電動力為 1.5 弗，而其內阻為 0.07 安，則在發出 5 安之電流之時，其兩極電壓為何？

$$\begin{aligned} \text{用以克制內阻之電壓} &= \text{電流} \times \text{內阻} \\ &= 5 \times 0.07 \\ &= 0.35 \text{ 弗。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{兩極電壓} &= \text{電動力} - \text{用於克制內阻之電壓} \\ &= 1.5 - 0.35 \\ &= 1.15 \text{ 弗。} \end{aligned}$$

若電流為 10 安，則兩極電壓為 $1.5 - 10 \times 0.07 = 0.8$ 弗。

因電瓶之電動力，其一部分常不得不用於輸送電流，以經其內阻，故此內阻當儘量使之減低。尤以電瓶須送出大量電流之時為最要。在事實上電動力之一名詞，用以敘述適用於完全電路之歐姆定律時，常

指開電路之電壓而言。

301. 導線內之電壓降。吾人適已見及，電池因輸送電流經過其內阻，需用電壓之故，其兩極電壓常較其電動力為小。似此，當電流用於離發電機極遠之處時，在電線收電之一端，其電壓常較發電機之電壓為小。此導線內之電壓降 (voltage drop)，等於電流乘導線之耗阻 (IR)。在尋常實用方面，室內電線之電降，決不可超過百分之二。

若已知電線之長短與材料，及其所負擔之電流，即可計算電壓降(圖 312)。

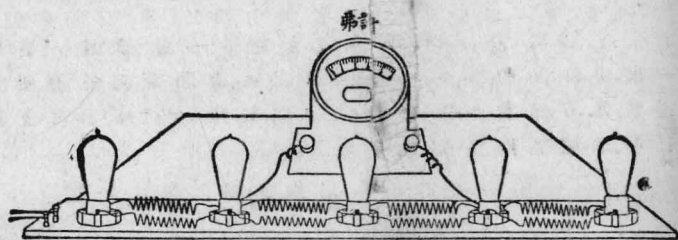


圖 312 導線內之電壓降，隨耗阻而變。

例如，有 4 號銅線 1500 呎，其中有 40 安之電流正在流過，求此導線內之電壓降。

按照銅線尺度表(見附錄)，4 號線 1000 呎之耗阻為 0.248 歐。故 1500 呎之耗阻當為 1.5×0.248 ，即 0.372 歐。電壓降 $E = IR = 40 \times 0.372 = 14.9$ 弗。

又若有導線 5000 呎，以電流 15 安送經此線時，準其有 12 弗之電壓降(圖 312)，問需如何大小之銅線？

用歐姆定律計算耗阻：

$$R = \frac{E}{I} = \frac{12}{15} = 0.8 \text{ 歐.}$$

於是此線 1000 呎之耗阻為 $\frac{0.8}{5}$ ，即 0.16 歐。照尺度表，有此耗阻之線介於 2 號與 3 號之間，故當用較大之一號，即第二號是也。

問答題與計算題

1. 一乾電瓶，以弗計測驗之，知其電動力為 1.5 弗，以安計驗之，則有電流 7.5 安流出。若安計之耗阻可以不計，試求此電瓶之內阻。

2. 若電車線正在輸送 150 安之電流，而其電壓降為 12.5 弗，問此線之耗阻為何？

3. 有乾電瓶六個，各有 1.5 弗之電動力，串聯之時，可送 2.7 安之電流經過耗阻為 3 歐之線圈。問各電瓶之內阻為何？

4. 圖 313 所示者，為一包含電池一組，電鑰一具，線圈一個，安計及弗計各一之電路。當電鑰閉時，兩儀器所示之度數，為 17 弗與 2 安；當電路切開之時，弗計所示之度數為 18 弗。求線圈與電池之耗阻為何。

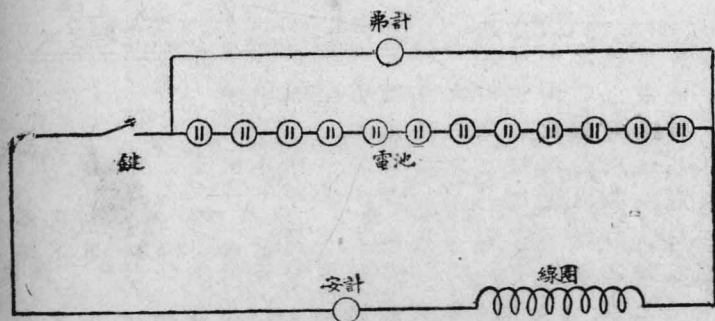


圖 313 電池之耗阻為何又線圈之耗阻為何？

5. 長 4 哩之銅線，正在輸送 100 安之電流，若此線之直徑為 0.325 吋，問其中之電壓降為何？

6. 有一新乾電瓶，測其電動力與發出之電流，約為 1.5 弗與 25 安。用經若干時間之後，其電流與電動力，變為 10 安與 1.2 弗。其電流之損失，何以遠較其電動力之損失為多？

7. 一安計橫連於新乾電瓶之兩端，其所示之度數約為 25 安，一安之電流，常可致人於死命，今如以兩手之各一指，觸於此乾電瓶之兩端，可保安全否？說明其理。

第十九章 提要

關於串聯之耗阻——

電流處處相同。

全體之耗阻，等於各部分之耗阻和。

越過全體之電壓為越過各部分之電壓之和。

關於並聯之耗阻——

越過諸導體之電壓相同。

經過全體之總電流，為經過各部分之電流之和。

合阻等於電壓以總電流除之，或謂全體之形導等於其各部分之形導之和

$$\text{形導} = \frac{1}{\text{耗阻}}.$$

關於串聯之電瓶——

電動力為諸電瓶之電動力之和。

耗阻為諸電瓶之耗阻之和。

每電瓶內流經之電流，同於外路中流過之電流。

關於並聯之電瓶——

電動力與一電瓶之電動力相同。

並聯之電瓶有 n 個，則其耗阻為任何電瓶單獨之耗阻之 $\frac{1}{n}$ 。

每電瓶內之電流為外路中電流之 $\frac{1}{n}$ 。

電瓶之電能，係由溶液對於鋅之化學作用而來，鋅乃電瓶之燃料也。

電瓶之電動力=電瓶之抽電作用之全部=開路電壓。

兩極電壓小於電動力之量，為使電流經過電瓶內阻所必須之電壓。

導線內之電壓降等於電流乘導線之耗阻(IR)。

問 答 題

1. 並聯之導線，其合阻何以永不能等於各耗阻之平均數？
2. 在分歧之電路中，電流“常取道於最小之耗阻”，此語確否？說明其理。
3. 在住宅內之熾熱燈，係並聯者，當電燈旋明之盞數愈多，則於(a)總電流發生若何之變動？(b)總耗阻發生若何之變動？
4. 除乾電瓶外，尚有何種原電瓶，有時亦採用之？乾電瓶較優於他種電瓶之處何在？
5. 與其用弗計測乾電瓶，寧用安計測之，何故？
6. 測得乾電之電流為25安一語何解？乾電瓶是否可發生如許之電流？
7. 真正乾涸之乾電瓶，何以無用，試說明之。
8. 串聯之乾電瓶六個，若以低耗阻之安計測之，則由安計所示之度數，知其所發之電流，並不多於一電瓶，試說明此事實所以然之故。
9. 若汝試用發電機，重使乾電瓶充乾，則將有若何情形發現？
10. (a)乾電瓶之電動力，與何事有關？(b)其耗阻有賴乎何事？
11. 在何種環境之下，以並聯乾電瓶為有利？
12. 在已知之導線內，電壓降如何依電流而變？

實用題

1. 氯化碲電瓶之製造及使用。欲知詳細之說明，請閱固特氏之物理學實驗室設計 (Good-Laboratory Projects in Physics)，此書由美國麥美倫公司 (Macmillan Company) 發行。
2. 設立一小規模之電燈與電力之設備。按照固特氏實驗室設計一書之說明爲之。
3. 乾電瓶之查考。用鋸將門鈴或電筒所用之乾電瓶，或無線電話之“B”電池剖開，須注意其中所填物質之氣味，炭棒之形狀，以及溶液對於鋅之效應。

第二十章

電流之磁效應與化學效應

磁效應——厄斯特德之發見——電流周圍之磁場——電磁圈——電磁石——在舉重磁石，電鈴，電報，達孫發爾電流計，安計，以及弗計方面之應用。

化學效應——電解——電鍍——電鑄——精鍊金屬——銀庫計。

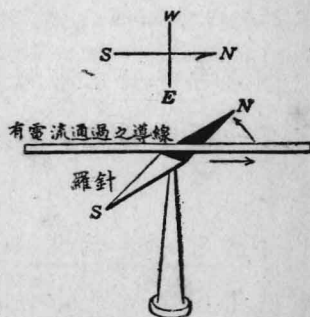
蓄電池——鉛電池與愛迪生電池。

電流之磁效應

302. 厄斯特德之發見。 一八一九年，有一丹麥

物理學家名厄斯特德 (Oersted) 者，曾發見一現象，引起當時最大之興趣，蓋厄氏所發見者，乃磁與電間有

關係之第一明證也。厄氏察得若以連結弗打電瓶兩極之導線，置於羅針之上方，則可使羅針之北極偏向西方，其時電流係自南至北，如圖



314 所示；而將此導線置於

羅針之下，則可使其北極偏向東方。

圖 314 導線內之電流，在羅針上方使之偏斜。

303. 電流周圍之磁場。羅針之北極，既可指示磁力線發射之方向，則由厄斯特德之實驗，顯知電流必可造成一磁場，與導體成直角。

欲明瞭此現象，可取一豎立之導線，穿過一水平之紙板，而送一強電流經過此線，更以鐵屑散布於紙片之上，而在電流經過導線時，輕敲紙片，則磁力線即因是而顯，鐵屑皆自行排列成同心之圓，圍繞中央之導線。取一小羅盤，置之於紙板上不同之處，即見此等力線之方向，如圖 315 所示。

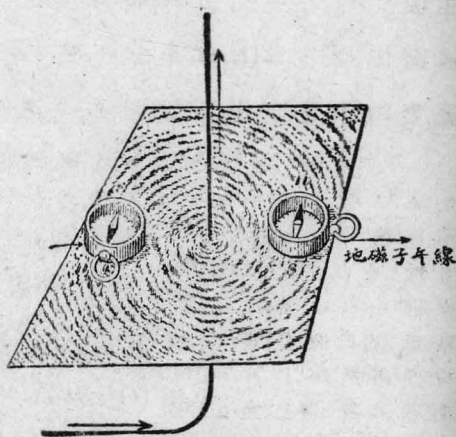


圖 315 圍繞電流之磁力線。

運送電流之直導線，其周圍之磁流，欲記憶其方向，有一極便利之定則，即所謂拇指定則 (thumb rule) 是也。

若以右手握導線 (圖 316)，使拇指指電流之方向，則其餘四指即指導線周圍磁場之方向。

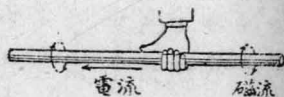


圖 316 決定導線周圍磁場之拇指定則。

若知導線近傍之磁場方向，即可用此規則，以求電流之方向。

304. 線圈周圍之磁場。 若將運送電流之導線，曲成一環，則一切力線，即自環之一面入環，而在環之他面出環。若將數環合於一處以成一線圈，則所有力線，實際上皆穿過全圈，而回至圈外之他一端。

(1)吾人可將寬鬆之銅線圈，穿過紙板或假象牙板，須使鐵屑可以勻布於板之光滑表面，而當強電流送經此線圈時，鐵屑可以指明磁力線（圖 317）。由於輕敲紙板且用小羅盤以察驗，即可見磁流線之一般方向。每線之周圍，將見有少數之圓線，且此諸線，皆自兩環之隙外出。此諸圓線，即名線圈之“磁漏”（leakage flux）。

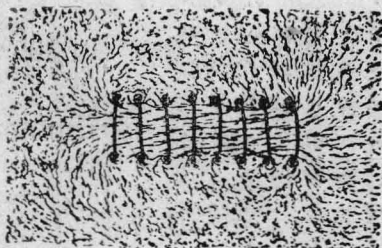


圖 317 開線圈周圍之磁流。

(2)若以絕緣銅線密繞成圈，而送電流過之，則以此圈移近羅針時，即見其作用一如棒磁石。若電流之方向倒轉，則圈之兩極亦互易。

(3)若當電流經過之時，以軟鐵心插入圈中，則鐵心即可

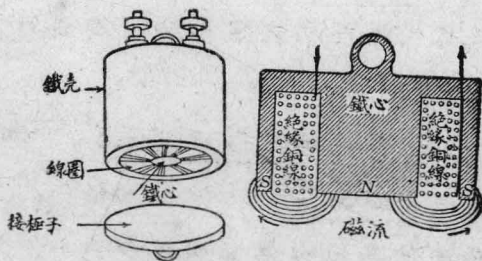


圖 318 電磁起重機之活動模型。

施強大之引力於小鐵塊；然當電流斷絕之時，鐵心幾立時失其磁性。

(4)若用一巨大之蹄形電磁石 (electro-magnet)，或電磁起重機之模型 (圖 318)，並以大電流通過，即可顯示電磁石可以發出驚人之引力。

線圈內之鐵心，其透磁性遠較空氣為甚，故同一線圈上之同一電流，其所發於鐵心之磁力線，較之發於單獨之空氣心內矣，大至數千倍。

305. 電磁石。鐵心以線圈圍繞之，即名電磁石。電磁石用途之廣，非惟因其引力強大，又因其心若以軟鐵製成，則其磁性可以隨意調節之故耳。此種電磁石之為磁石也，祇在電流經過其線圈之期間，電流一停，鐵心幾回復其天然之本性，然此磁性之喪失，並不完全；尚有極小部分之餘磁性 (residual magnetism)，可以留經或長或短之時間。

各種電機，包括電鈴，電報，電話，發電機，以及電動機，幾皆有電磁石為其一部分。



圖 319 運送電流之線圈，決定其極性之定則。

欲決定電磁石之極性，即以用於直線之姆指定則，用另一方法述之，將覺其頗為便利。

關於線圈之姆指定則。 以右手握線圈，使四指

指線圈內電流之方向，則拇指即指線圈之北極（圖 319）。

電磁石之強度，有賴於電流之強度（安數）與線圈之環數（即捲數）相乘之積——即全視所謂線圈之安捲（ampere turns）而定也。

爲利用電磁石之兩極起見，常將鐵心及線圈，彎成馬蹄之形。

電磁石之應用

306. 舉重磁石。 在一八三一年時，有一正執教鞭於阿爾朋尼（Albany, N.Y.）學院之著名美國教員兼科學家，名約瑟夫亨利（Joseph Henry）（圖 320）者，曾製一實用之電磁石，而美國之法刺第氏，亦於此時製成實用之電磁石。亨利所製之磁石，能支持其本身五十倍之重量，在當時咸以爲非常奇特。

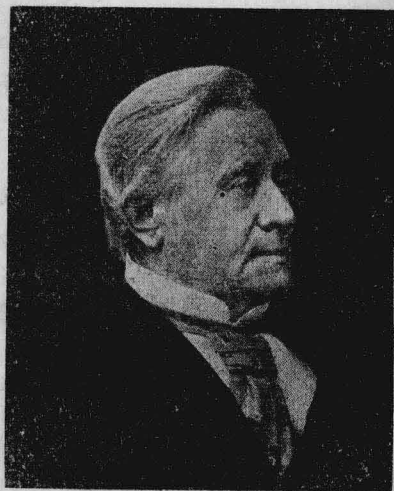


圖 320 得瑟夫亨利（1799—1878），最先研究電磁石與電磁誘導定律之美國人

近時所造之電磁起重機(圖 321),其力非常巨大,當以鐵心之面接觸於鐵或鋼所鑄之物件,而開通電流之時,則電磁石之極表面每方吋可舉起 100 至 200 磅之鐵,然一將電流關斷,則其所吸之鐵,仍立時放下。



圖 321 舉重磁石,正在舉起重15,000磅鐵塊。

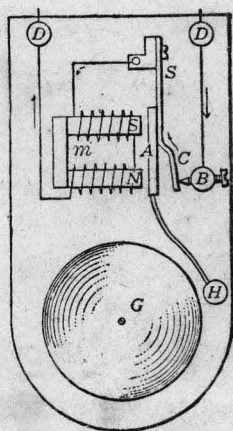


圖 322 電鈴之構造。

307. 電鈴。電鈴之電路,通常包括二成多電瓶所成之電池,捺扣,以及導線,鈴之本體除外(圖 322)。當將捺扣壓下以閉合電路時,電流即流經電磁石 m 而吸引銜鐵 A 。銜鐵既撥向左側,即曳彈簧 C 脫離螺釘接觸點 B ,而電路即斷。於是電流因此停止,而電磁石即放去銜鐵。銜鐵再由彈簧 S 之作用,躍回原處,又將電路在螺釘處閉合,而以前之過程,再全行重複。銜鐵上附有一錘,故當其往復振動之際,即連連擊鈴頗速。

而鈴乃鳴矣。

308. 電報收發之原理。電報者，用儀器借電力

傳書於遠地之謂也；薩繆爾模斯氏

(Samuel F. B. Morse) 於一八四

四年初創之電報

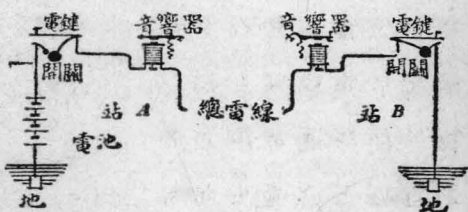


圖 323 簡單之電報電路。

機，係在移動之紙條上，打出點與線以傳音信。近時之收報機，稱為音響器 (sounder) 者，則發出串連之尖銳微聲，隔以長或短之歇止時間，以仍點與線，而消息之收受，亦用耳以仍目焉。

電報機之主要之部份，為電池，電鑰，以及音響器，如圖 323 所示。在實際上所用之電池，由蓄電瓶所成，但為實驗之故，任何電池，皆可用之。

電鑰 (key) (圖 324) 為使電路迅速開合之裝置，頗與捺

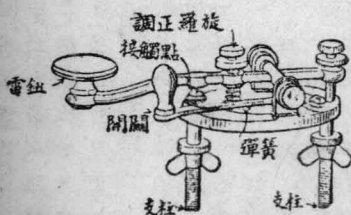


圖 324 電報之鑰。

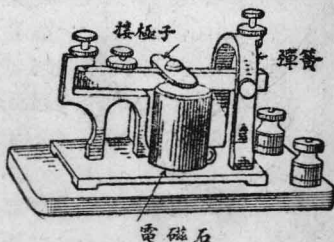


圖 325 電報音響器。

扣相似。音響器(圖 325)係由一電磁石與軟鐵製之銜鐵裝於金屬棒上而成。此棒裝於樞軸之上，以便上下移動。當電流通過電磁石時，銜鐵即被引而下；當電路切斷之時，即有一彈簧將金屬棒再推向上。金屬棒之上下，有固定螺釘兩枚，限制其運動，尖銳之聲，即由敲擊此二釘而來。因金屬棒敲擊此二螺釘所發之尖聲不同，則耳內即可辨別此二聲間之時間，視電鑰壓下之時間或短或長，而定其為一點或一劃。

當電報通行於商業上時，即覺稱謂電報線之導線，其耗阻甚大，以致電流微弱，不能使音響器發聲，縱以多數電瓶，串聯一處，亦難收效。故即採用一

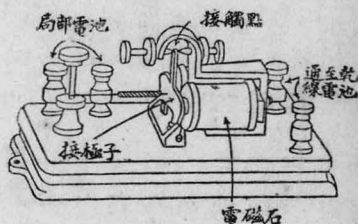


圖 326 電報繼電器。

種繼電器(relay) (圖 326)，以開合一局部電池之電路，此電路即可使音響器發聲。此繼電器中有一電磁石，其線圈乃由許多捲之極細之銅線所成。在此電磁石之前方，有一輕鐵槓桿，為一極靈敏之彈簧所曳，而與電磁石相離。其電路之連絡，如圖 327 所示。當總電路中之電鑰閉合時，微弱之電流使繼電器中之電磁石，發生磁力，足以曳銜鐵與固定螺釘相觸，若斯則局部電路閉合，即送一強電流通過音響器，而其聲可聞矣。

在尋常之電報系統中，慣用單一之塗銻鐵線，或硬銅線，而用地為電流之歸路。沿線各站，皆有一局部電路，係由電池與音響器所成，而以繼電器閉合之。繼電器之動作，由總電路司之，總電路中

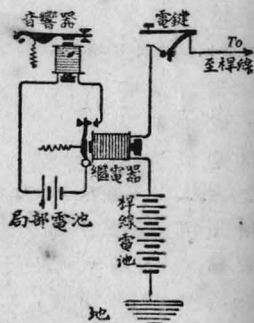


圖 327 電報繼電器之電路圖。

有電鑰一具，以及總線電池一組或發電機一座，每一電鑰之上，皆附有開關一具，俾可除發報者正在送信之一站外，各處之總路皆常閉合。

海底電報 (submarine telegraphy) 始於一八三七年，然至一八六六年，橫越大西洋之海底電線，始敷設成功。其銅心與鋼鞘 (steel sheath) 之作用，猶如一碩大之蓄電器之兩板。此種配置，其結果使電信之傳遞極為遲緩。在他端所得之牽引力亦極微小。故在開爾文爵士 (Lord Kelvin) 發明非常靈敏之收報機以後，第一條大西洋海底電線，始可應用。近時海底線利用透磁齊 (permalloy) 以後，海底電報傳遞之速率，已大為增加矣。

309. 達孫發爾電流計。 有一種測探微弱電流

之儀器，稱為電流計 (galvanometer)。近仍之電流計，通常皆以可動之線圈 (moving coil) 與固定之磁石製成。此種電流計，稱之為達孫發爾式 (D'Arsonval type)。

圖 328 所示者，為電流計之一種。永久磁石成一環狀，兩極之間有一隙口，而線圈則繞於金屬架上，架支於寶石之軸承。線圈為二彈簧所夾持，彈簧皆成螺線之形，又為電流經過線圈之出入孔道。線圈係用異常細微之銅線，繞於極輕之長方形架上而成，且懸於磁石之 N 與 S 兩極之間。在此可動之長方架

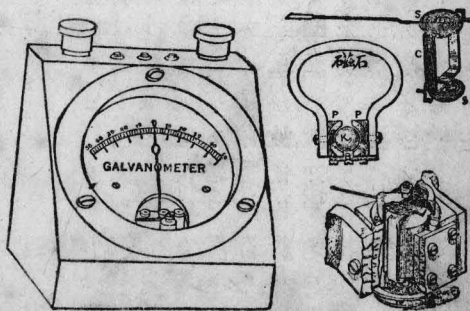


圖 328 達孫發爾電流計，及其主要機件之圖。

內之空處，有一軟鐵之圓柱，以集中磁力線。若有一電流經過線圈，則此線圈即成一微小之磁石，具南北二極，且欲自行旋轉，使其兩極儘量與固定磁石之兩極相近。線圈所能反抗螺線彈簧而旋轉之角度，即用以計電流之量。

310. 安計。 商用安計爲一種分路動圈電流計 (shunted moving coil galvanometer)。此儀器(圖 329)有

一可動之線圈，係由極細之絕緣銅線，繞於輕質長方形架上而成，架裝於寶石軸承之上，介於永久馬蹄形磁石兩極之間，正與 309 節中所述電流計相同。欲測之電流祇有極小之一部份，或竟祇及全部之千分之一，經過此

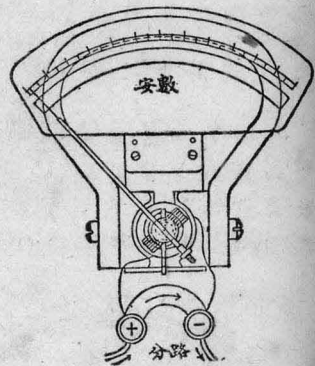


圖 329 安計，爲分路電流計。

可動之線圈，其大部分則流經所謂分路 (shunt) 之金屬條，越線圈而過。因流經線圈之電流，爲全部電流之一定之分數，故附於動圈之指針，可使其在有刻度之標尺上，直接指出全電流之安數。

安計之耗阻，實際上乃分路之耗阻，將見其爲甚小，而經過此儀器之電流，將見其爲全部分之電流也。安計常與所欲測其電流之器具串聯(圖 330)。此

儀器之陽(+)極,與導線之陽(+)極相連,測電流之時,須留意選用適宜之分路。

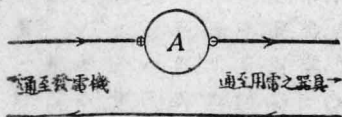


圖 330 安計之連結法。

311. 弗計 商用弗

計(圖 331)者,不過一耗阻極高之電流計而已。當以電動力加於電流計時,其所謂通過之電流,係與電壓成比例。故其上之標尺,可以刻成直接可讀電壓之度數。

由於考究圖 332 所示之水之比喻,則此事即可明瞭。由此圖顯見連通管 AB 中之水流,祇 AB 中之流水極少,不致使欲測之二水平面之差,有顯著之變動時,始可用以計水平面 L 與 L' 間之差而無誤。

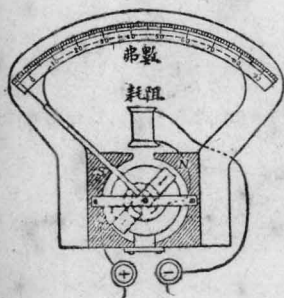


圖 331 弗計,高耗阻之電流計也。

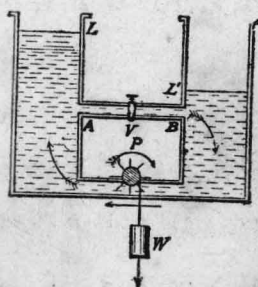


圖 332 以水喻弗計。

此儀器通常為一動圈電流計,如安計同。其實此同一之儀器,往往可作別用。弗計之兩端間,並無分路,此與安計不同;惟弗計有一串聯之線圈,其耗阻極大,

故祇有極微之電流，可以通過此器。然通過線圈者，乃全部電流也。在實際上，此種弗計測得之值，祇在電流小至不足以影響於所欲之電壓時，始能準確無誤。

欲使弗計在種種不同之範圍內可以應用，祇須以不同之耗阻，與同一電流計串聯即可。弗計係

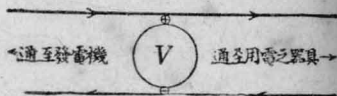


圖 333 弗計之連結法。

橫連於電路中欲測電壓之處；其陽(+)極與導線之陽極(+)相連(圖 333)。

問答題與計算題

1. 一電磁石覺其磁力太弱，不足以勝任所欲為之事。問其強度可用何法增加之？
2. 若以羅針一枚，置於一南北向之電車線下，而見其北極偏向東方，則線內電流之方向為何？
3. 舉重磁石之鐵心，寧用軟鐵而不用鋼者，其優點何在？
4. 畫一蹄形磁石，周圍繞有線圈，一如望此磁石兩極時之所見之形狀。標明兩極 N 與 S ，再以曲線矢鏃指示每圈中電流之方向。
5. 一線圈有線 70 捲，運送 3 安之電流，另一相似之線圈，有線 50 捲，運送 4 安之電流，問兩圈之磁力，何者為大？
6. 試作一圖，以示一電鈴線路之接法，可在房屋之前後門捺扣，皆能使鈴發聲。所用電池祇一組。
7. 繼電器與音響器，其構造上有何差別，可使一器能因弱電流而動作，他器則不能？

電流之化學效應

312 溶液之導電。當電流沿銅線而流動時，銅線即發熱，且有磁場圍繞之。當電流流經鹽與水之溶液時，此溶液亦發熱而為磁場所圍；且在同時即行分解。例如在一定情形之下，電流可將鹽水分解為苛性鈉(caustic soda)，氫氣以及氯氣。液體非盡能導體者；例如酒精及煤油即皆為非導體。凡液體之能導電及在導電過程中多少能分解者，稱為電解質(electrolytes)。

吾人試取稀硫酸溶液，氫氧化鈉，普通食鹽，以及糖之溶液，又取煤油及水以行此實驗。有一種形式簡單之器具，如圖 334 所示，圖中之玻璃杯，即盛有試驗之液體，而試驗之器具，則為二金屬線，自架頂垂下，架上置有指示燈泡一個。以此裝置連於尋常之電燈線路中或蓄電池之兩端。當電燈明時，即示金屬線浸入之溶液為導體。上列各液體，何者試得為電解質？

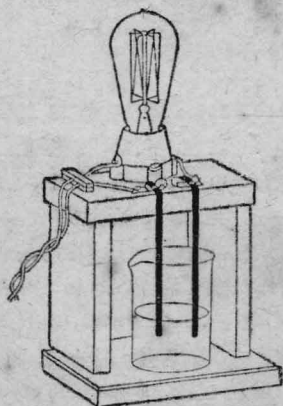


圖 334 測驗溶液之導電性。

313. 水之電解。水(加稀硫酸少許)置於如圖 335 所示之儀器中，可用電流分解之。白金之兩電極，連之於電池或發電機上，至少須有 10 弗之電壓。A 管中之電極，連於陽(+)極者，即稱為陽極(anode)；而在 B 管中之他極，即為陰極(cathode)，電流自陽極經過溶液而至陰極。在兩極之傍，皆

見有小氣泡上昇，而氣體在 B 管中集合之速，較之在 A 管中加倍。當 B 管集氣已滿時，即將開關旋開，而試驗所集之氣。欲驗 B 管中之氣體，可開管頂之活栓，而以燃着之火柴，小心放近管口，此氣體着火即燃，其燄呈淡藍色，可知其為氫氣。若開 A 管之活栓，而以燒紅之松枝近之，則松支立發火燄，可知管內之氣體為氧。

至此吾人已見水為電所分解，得其成分為氫與氧。此種用電流分解化合物之方法，稱為電解 (electrolysis)。

314. 電解之理論。電解之過程，可說明之如下。當以微量之硫酸 (H_2SO_4) 加入水中時，硫酸即分裂為三部分，即各帶一陽電之二氫離子 (ion) ($2H^+$)，以及帶二倍陰電之硫酸鹽離子 (sulfate ion) (SO_4^{--}) 是也。當電流送經溶液之時，陽性氫離子 ($2H^+$) 即漂向陰極，而陰性硫酸鹽離子 (SO_4^{--}) 則漂向陽極。氫離子一至陰極，即放棄其陽電，而上昇於水面，成為氫氣泡。硫酸鹽離子一至陽極，即放棄其所帶之陰電，而與水 (H_2O) 再起作用，成為硫酸 (H_2SO_4)，而放出氧氣 (O_2)。在此過程中，所加硫用以導電者，並未耗去，而水 ($2H_2O$) 則分裂為氫 ($2H_2$) 與氧 (O_2)。

315. 電鍍。電鍍 (electroplating) 之過程，可以下述實驗說明之。

取炭板電極二，置於玻璃缸中，充以硫酸銅 ($CuSO_4$) 溶

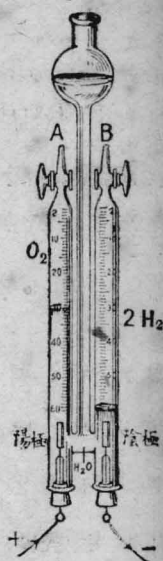


圖 335 用電流分解水。

液，如圖 336 所示。在電流通過溶液已歷數分鐘之後，即見陰極塗有金屬銅一層，而陽極則並未改變。若顛倒電流之方向，即見銅又堆稱於清潔之炭板上，蓋此板今為陰極也。其已塗有銅層之陽極，則其銅逐漸消失。

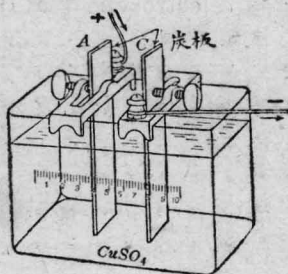


圖 336 電鍍銅於炭板之上。

用此方法，可將一金屬

塗於他金屬之上。例如銅及鐵所製之器具，在空氣中常易銹蝕者，即可塗以鎳或鉻，使其不易銹蝕。仿此，賤價之飾物，多鍍以金或銀。刀，叉，羹匙等器，鍍銀者頗多，其最佳者，即所謂“三重”或“四重”鍍銀(金)器是也。

在實用方面，電鍍金銀，常在電鍍槽(electroplating vat)中行之，如圖 337 所示。欲鍍之物件，懸於一銅棒上；而待沉積之金屬，在此例中為銀，懸於另一銅棒上。槽中含有待沉積(deposit)之金屬之溶液。鍍銀之時，常用氰化銀鉀(silver and potassium cyanide)之溶液。懸有待沉積金屬之銅棒，連於低電壓發電機之十極，而他一銅棒則

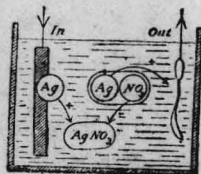


圖 337 鍍銀之電鍍槽。

連於一極。陽極之銀溶解於液內，與銀在陰極沉積同速，故溶液之濃度毫無變化。當所塗之銀層，已達適當之厚度時，即可加以最後之擦摩，使表面有令人滿意之光彩。

316. 電鑄。讀者或將以為此書係由所排之活字印成；抑知不然。大多數之書籍，印數甚多者，皆用電

鑄版 (electrotype plate) 印成。其法先將活字排成之各頁，印之於蠟模之上，使其字字留痕，製成一蠟版。因蠟之本身並非導體，故須以石墨 (graphite) 塗於其上。於是將此模型浸於硫酸銅之溶液中，且與陰極之銅棒相連，使其自成陰極，而陽極則為純銅之版。待電流使銅沉積於此蠟模之上，已如名片之厚，即將此銅版自蠟模上剝下，而用活字金屬 (type metal) 托於其底，使其堅硬足供印刷之用。

317. 金屬之精鍊。銅之自鎔鐵爐來者，類皆不純，不

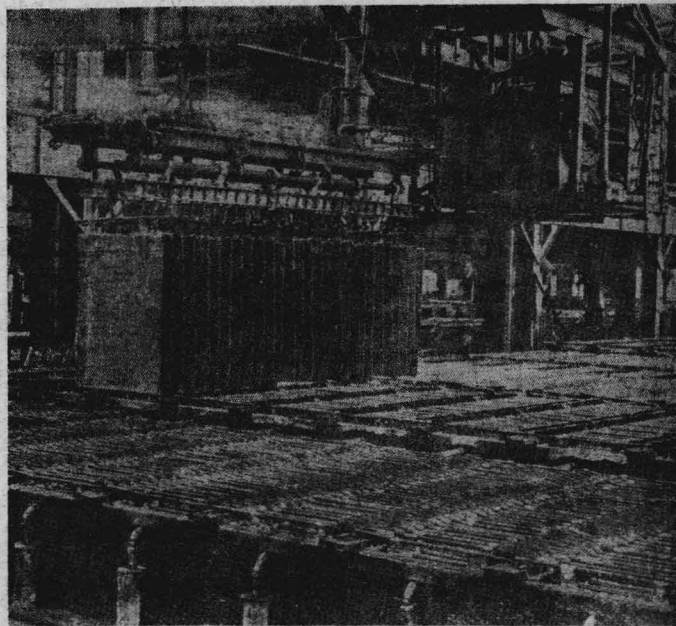


圖 338 電解煉銅之槽。

足以供製造傳電之導線或海底電線之用。故電機上所用之銅，尚須用電鍍法精鍊之。粗銅為陽極，純銅之薄片為陰極；而溶液則為硫酸銅（圖 338）。由電流而沉積之銅，異常純淨。陽極之粗銅，逐漸消失，其雜質則降於鍍槽之底，一如浮泥。在此泥中，常有金與銀，足以補償此精鍊之費用。來自尋常鎔鐵爐中之粗銅，含有百分之二至百分之五之雜質，今用電解法將其精鍊，可得約百之 99.95 之純銅。以此法提淨之銅，在商業上通稱電解銅 (electrolytic copper)。

318 金屬之電化當量。 法刺第曾作實驗數次，發見已知之電流，在已知之時間內，自溶液沉積已知之金屬，其量常同。此在實際上非常真確，故為修正標準安計之刻度，現時所知最準確之方法之基礎。電流所沉積之金屬量，有賴於(1)電流之強度，(2)流過之時間，(3)金屬之性質。當 1 安之電流通過溶液時，由電解而沉積之物質，其一定之量稱為該物質之電化當量 (electrochemical equivalent)。

電化當量表

原 質	記 號	每安時沉積之克數
鋁	Al	0.337
銅	Cu	1.186
金	Au	3.677
氫	H	0.0376
鎳	Ni	1.094

氧	O	0.298
銀	Ag	4.025

319. 噶國安之定義。電機工程師已公認用電流之化學效應以定安之義，若以銀 (Ag) 板二，置於硝酸銀 (AgNO_3) 溶液之瓶中，又若以電池之陰陽兩極，各連於一板之上，則將見通入電流之板 (即陽極)，因銀質溶解而重量減少，而流出電流之板 (即陰極)，因有銀質沉積其上而重量增加。由國際協定，沉積 0.001118 克之銀之電量，為一庫 (coulomb)；而每秒內可沉積 0.001118 克之銀之電流，之一安 (ampere)，用此法以精測電流

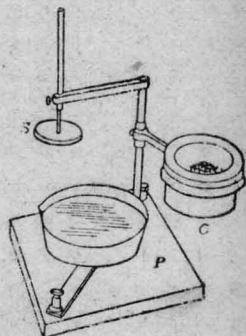


圖 339 銀庫計，用以修正安計刻度者。

之儀器，稱為銀庫計 (silver coulometer)，如圖 339 所示。此器之陽極為左側之銀盤 S，而其陰極則為底下之銀 (或鉑) 杯 P。右側之多孔杯 C，置於溶液中陰陽兩極之間，以收容因陽極之不純淨而生之汙泥或黏性物質。

蓄電池

320. 何謂蓄電池？有人以為蓄電池乃蓄電器之類，電即儲蓄於其中；抑知不然，在蓄電池中，電能係自電瓶中之化學能而來，正與在其他任何電池中相同也。使蓄電池充電 (charging) 之過程，係在於使電流經過溶液以造成某種化學物質，正與電解水時造成氫與氧相同。在放電 (discharging) 之過程中，電即由充

電時所成物質之化學作用而來。

321. 簡單之鉛蓄電瓶。

取尋常之鉛板二，置之於玻璃之電池瓶中，充以極淡之鹽酸溶液，即可得一小鉛蓄電瓶。欲使其充電，即造成陰陽二板，迅速，以此瓶與一安計，串聯於三或多電瓶之電池；或連之於6弗之發電機（圖340），更佳。當電流正在經過之時，氣泡即自兩板上昇。在數分鐘之後，若使其與發電機分離，而以弗計之線觸其兩鉛板之端，則弗計即顯其有2弗之電動力。於是若以電鈴與此安計及鉛蓄電瓶串聯，則鈴即發聲，由此可知有電流發生；而由安計可知放電時所生之電流，與用以使蓄電瓶充電之電流，方向相反。在充電以後，將兩板自液中取起時，可見陽極之B板呈褐色，因其上蒙有過氧化鉛（ PbO_2 ）一層也；而陰極之A板，則為純鉛（Pb）之通常之灰色。

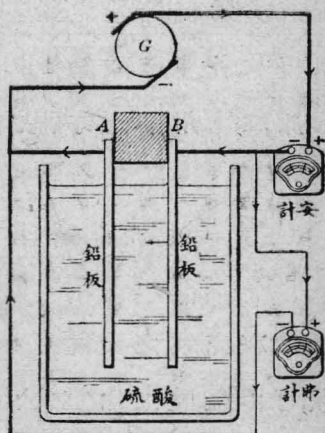


圖 340 鉛蓄電池之製法。

322. 商用鉛電池。在商用

鉛蓄電瓶（圖341）中，陰極板留海綿狀之純鉛（Pb）板，而陽極板則為過氧化鉛（ PbO_2 ），其電解質則為稀硫酸。在充電之過程中，深褐

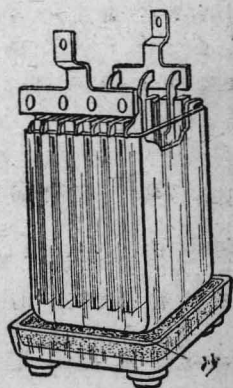
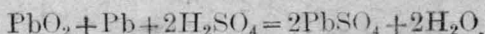


圖 341 鉛蓄電瓶之玻璃缸，置於沙上。

色之陽極板，即有過氧化鉛塗於其上，而灰色之陰極板，則成爲海綿狀之鉛。在放電之過程中，兩板皆逐漸回復其各蒙硫酸鉛(PbSO_4)之原狀。此等變化之化學的原理，可用下列方程式簡述之：

←— 充電



放電 —→

在充電之際，將見硫酸溶液加濃。故蓄電瓶之情形，可由硫酸之比重決定之。商用鉛電池之兩板，或先用粗糙之鉛，然後由化學方法，使之變成作用物質，即過氧化鉛與海綿狀之鉛，或爲全體鑽孔之板，孔中填以作用物質(Active material)。

323. 鉛蓄電池之用途。蓄電池最常見之形式，爲汽車上用以發動、點燈、發火者以及無線電收音機上所用者無疑。此等電池，通常含有電瓶三個(6弗)，或電瓶六個(12弗)，其容量則自60安時(參閱324節)至80安時(ampere hour)。因大多數之汽車主人，對於爲發動及點燈之中樞神經之電池，往往不加以應有之注意，故此等電池之製造，不得不對於善用與濫用，雙方兼顧也。

中央動力站，往往用極大之蓄電池，以輔助“高峯(peak)”電流之輸送而調整之，兼可備發生意外時補充之用。潛水艇上亦需用大蓄電池；因艇在水底時，全賴其電池以得動力也。火車上之電燈，亦用蓄電池，而以車輪軸所運轉之發電機，使其充電。在運送重物之貨車上，蓄電池之用途亦廣。

此外蓄電池之重要用途尚多——例如無線電報與無線電話，中央動力站不能到達處所之私人電燈裝置，電話總局(telephone exchange)以及電報電路，火警及信號裝置，以及必須用固定電壓之實驗室，皆須用蓄電池也。

324. 蓄電池之查驗。 蓄電池與其他精緻之機件同，亦須時時加以巧妙之查察。吾人固可用安計查驗乾電瓶，其事極易；但若以同法試行於蓄電池，則安計即立時燒斷，此因蓄電池之內阻異常微小，從而流經安計之電流甚大有以致之也。

蓄電瓶之電壓，約為 2 弗。然當憶及電瓶之開路電壓，絕不能憑以察覺電瓶關於充電及放電之情狀。當其按照正則速率充電或放電之際，其電壓必須時時測之。電瓶充電最足時，其電壓可達 2.5 弗。當其按照正則速率放電，至其兩極電壓降至 1.8 弗時，放電應即停止。蓄電瓶出售之價，視其容量之安時數 (capacity in ampere

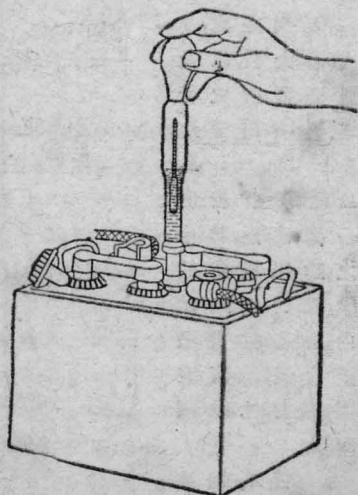


圖 342 用比重計查驗蓄電池。

hours) 而定,而安時之計算,則又以 8 小時之穩定放電為準是以 80 安時之電池,可維持 10 安之電流經 8 小時之久,而 10 安即為其正則放電率。

決定蓄電池中所充之電,最佳莫如用比重計測其電解質之比重(圖 342)。所用酸液之比重,視電池之種類及其作何用途而定。汽車上之輕便蓄電池,其溶液之比重,在充電最足之時,應自 1.27 至 1.29,而在放電已盡之時,應為 1.15 至 1.17。蓄電池製造廠,常備有所製電池之使用及保護之詳細說明,隨電池附贈。

325. 愛迪生蓄電池。鉛蓄電池之大不滿人意之處,其太重,太費,以及需要嚴密之管理。邁麥司愛迪生 (Thomas A. Edison) 曾發明一蓄電池,其中之陰極板為純鐵,置於鋼架之內,陽極板為過氧化鎳,而溶液則為苛性鈉(圖 343)。

因此種電瓶,係供牽引工

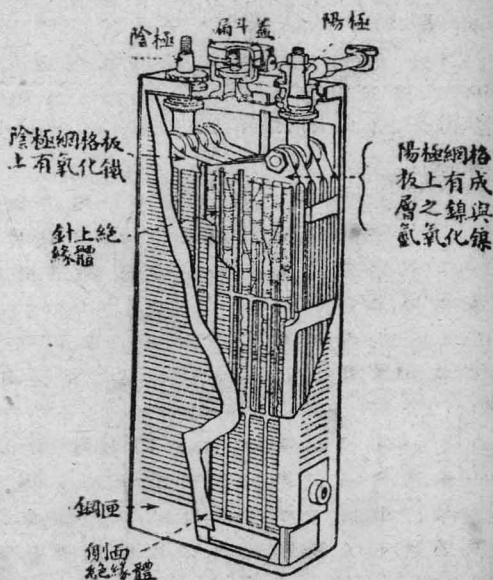


圖 343 愛迪生蓄電池,其一面揭開,以示其內部之構造。

作(traction work)之用,故曾煞費苦心,使其既輕且堅,而又占地不大,其板與溶液,不置於玻璃缸或硬橡皮槽中,係置於鍍鎳之薄鋼片匣內,在鉛電瓶中,放電之標準電壓為2弗;在愛迪生電池中,則為1.2弗。出能之容量相等時,愛迪生電瓶之重量,約僅為鉛電瓶之半因愛迪生電瓶之內阻,略較鉛蓄電瓶為高,故其效率略遜。

計 算 題

1. 5安之電流,在8小時內由硝酸銀溶液沉積之銀質,為若干克?
2. 若以2安之電流,鍍銀於藥匙,歷三小時之久,問藥匙之重量,將增加若干?
3. 10安之電流,在4小時之內,可以析得若干呎之氫氣?(氫氣一呎之重,在正則狀況下為0.09克)。
4. (a)若用50安之電流,欲沉積1呎之銅,須經若干時間?(b)若所用電流加倍,則需若干時間?
5. 在一天(二十四小時)之內,欲沉積2.5磅之鎳,問需電流若干?
6. 以200安之電流,精鍊一噸之銅,須歷時若干?
7. 在修正安計刻度之際,準許電流通過2小時又15分,其沉積之銀為39.5克。若安計之刻度準確,則其所示之安數當為何?
8. 有電鍍槽二,串聯於一處,其一用以鍍金,而又一則為鍍銀槽,問當沉積之銀已達1克之時,沉積之金為若干?
9. 有一鉛電瓶,其電動力為2.00弗,而其內阻為0.004歐,問其在放電25安之際,兩極電壓為何?
10. 有一六弗之蓄電池,其內阻為0.03歐,若用20安之電流使其充電,則所需之電動力為何?
11. 若有一鉛電瓶,其電動力在開路上為2.3弗,而其兩極電壓,當電瓶正在輸送10安之電流時,祇為2弗,問

此電瓶之內阻爲何?

12, 有一蓄電池,係用鉛蓄電瓶二十四個串聯而成,各瓶之電動力爲2.1弗,正則充電率爲15安,而內阻則爲0.005歐,若此電池用發電機使之充電,則發電機之兩極電壓須爲何?

第二十章 提要

磁力線之圍繞直電流者爲同心之圓。

關於直導線之拇指定律:用右手,拇指指電流方向,四指蜷曲,方向同於磁流。

力線之圍繞線圈者,大多數穿過圈內而由圈外回至原處。

關於線圈之拇指定律:用右手,拇指指向N極,四指蜷曲,方向同於電流。

電磁石之強度,全視安捲之數而定。

安計爲低阻電流計,直接置於(串聯)欲測電流強度之線路中。

弗計爲高阻電流計,連於欲測電勢差之兩點。

電解質爲能導電之液體,在導電之過程中其一部分常爲電所分解(電解是也),電解質之分子,在溶液中分裂爲帶陽電與陰電之原子或原子團,稱爲離子。

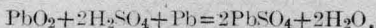
物質爲電流所沉積之重量

$$= \text{電化當量} \times \text{電流} \times \text{時間}。$$

鉛蓄電瓶:陽極板,過氧化鉛;電解質,硫酸;陰極板,海綿狀之鉛。

充電及放電時之化學作用:

←—充電



放電——→

愛迪生蓄電池:陽極板,過氧化鎳;電解質,苛性鈉溶液;陰極板,鐵。

問 答 題

1. 凡由電流而生之磁性，與磁化之鋼棒所具者，有不同否？
2. 決定電磁石強度之三要素為何？
3. 蹄形磁石之兩線圈，其捲法往往不同，須使電流在此二線圈內依相反之方向流動，此何故耶？
4. 試將含有電磁石之種種用具與機器，列成一表。
5. 有數處蒸汽動力廠，其發動係以千餘哩外之開關司之，汝能將此種裝置，繪成一圖否？
6. 達孫發爾電流計，較之定圈動針式之電流計為便利，何故？
7. 以二電鈴並聯，其鳴聲較串聯時為大，何故？
8. 電流之化學效應，試舉其實用四端。
9. 欲決定發電機之兩極，何者為陽，何者為負，有時用二銅線連於兩極，而將其露出之兩端浸於水中，其一立即變黑，問由此實驗，如何可知何者為陽極？
10. 三重電鍍板與四重電鍍板何解？
11. 以電鑄印版印書時，較之原來之活字版，有何優點？
12. 蓄電瓶比乾電瓶有何優點。
13. 試舉蓄電池之普通用途。
14. 何以不能乾電瓶使蓄電瓶充電。
15. 在蓄電池中，何以必須用蒸餾水？
10. 試舉使用及保護蓄電池之“禁例”十條，列為表。

實 用 題

1. 在家中裝置電鈴，假定有人請汝裝一電鈴，先作電線路徑，電鈴捺扣及電池之地位之圖，再作一表，備載所用之材料以及各項之代價，汝所估計之維持電池之費用若干？

2. 搜尋電鈴電路之損壞之處。假定汝家中之電鈴，按而不鳴。試述汝當如何尋得損壞之處，並如何修理之。

3. 用弗計及安計之測驗。許多有趣味之實驗，載於美國紐華克地方威司登電器公司(Weston Electrical Instrument Company, Newark, N. J.) 印行之 B 字第七號威司登電器專論(Weston Monograph, B-7.)。

4. 電鍍。將銅幣與銀幣各一枚，懸於二銅線上，浸之於硫酸銅溶液中。取乾電瓶若干串聯之，而以此二線連於其上。連結之法，可分兩種，(a)使電流自銅幣流至銀幣，(b)電流自銀幣流至銅幣。注意各幣之表面有何變化。

5. 關於蓄電池充電所之報告。參觀在附近之蓄電池充電所，察其使蓄電瓶充電之法，以及查驗蓄電池情狀之法。凡所用儀器，皆須描寫之。試取一已經拆開之“帶病”蓄電池，加以考察。汽車上所用之蓄電池，其壽命若是之短促，何故？

6. 用電解法清滌銀器。在鉛製之鍋內，充以焙用碱(baking soda)與食鹽之熱溶液(每種約一茶匙，和以一夸之水)。將暗晦之銀器，全體浸於此溶液之中。使此溶液沸騰數分鐘，直至銀器上之黑髒除去為止。再將銀器在清水中濯之，並用軟布拭之，此法之化學作用，其說明載於白康二氏實用化學修訂本(Black and Conant—Practical Chemistry, revised ed.) 中。此書為美國麥美倫公司所出版。惟此法不適用於電鍍之器具。

第二十一章

電功率,電熱,電燈

熱效應——保險絲及電路自斷器。

電功率之計算——瓦及瓩——電能——瓩時及朱。

電燈——真空鎢絲燈及充氣鎢絲燈——金屬弧燈及鈾弧燈。

電熱

326. 由電生熱。吾人皆熟知電燈明時,燈泡甚熱;吾人或曾用及,或曾見及電熨斗 (electric flatiron) (圖 344), 電烘器, 電濾咖啡器 (coffee percolator), 以及電射熱器 (electric radiator)。然吾人或未實感凡電流不論如何微小, 皆能生熱也, 在電鈴, 電報, 或電話中, 生

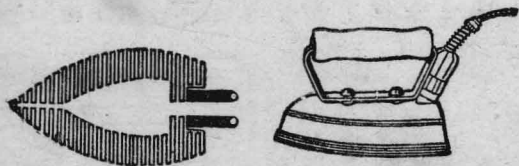


圖 344 電熨斗及其生熱線圈。

熱甚緩, 以致由幅射而散失, 故其銅線之溫度升高, 不能察覺。然發電機之出能 (out put), 即因有此熱效應

而受限制；因若所發之電流過於強大，則線圈即發熱甚高，以致絕緣部分着火而機損失。

327. 保險絲及電路自斷器。欲保護用電之機械，使其不受損於因過量電流而生之熱，須在電路中插入某種之“電安全瓣(electrical safety valve).”在家用電燈以及小電動機之電路中，電流微小，可用保險絲(fuse)，在動力總站之電流強大，須用電路自斷器(circuit breaker)。保險絲之主要部分，為齊絲或齊片(圖 345 a)，此種齊能在極低之溫度熔化，使已熔化之金屬，不致引起災禍。保險絲之大小，係使其在偶有強電流通過時，立即熔化而將電路切斷。當保險絲正在熔化之一瞬間，有一電弧經過隙口，此弧或可使其附近之物着火。故通常將保險絲封於石棉之管中，例如“筒式保險絲(cartridge fuse)”(圖 345 b)；或置之於磁杯中，可以旋入於燈座(socket)之中，猶如電燈，是為“栓式保險絲(plug fuse)”(圖 345 c)。當保險絲

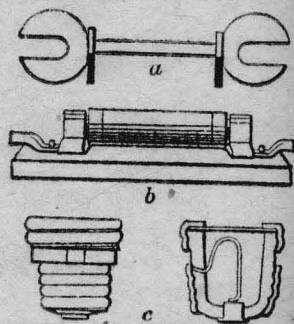


圖 345 各種保險絲：(a)鏈式，(b)筒式，(c)栓式。

熔化之時,稱之爲“爆斷(blow out).”

電路自斷器(circuit breaker)

不過一大開關,當過量電流經過之時,可由一電磁石自動使其張開。今如取一線圈,裝於桌上, (圖 346) 離桌面甚近,且附一軟鐵心,則電流通過之時,鐵心即被引而上,電路自斷器之原理,以此說明之頗善。在電路自斷器中,電流即流經一附有動鐵心之線圈,當流過之電流超於電路所能安全輸送之量時,鐵心即被引而上,電路遂開。

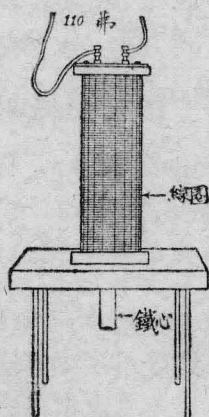


圖 346 軟鐵心被電磁石所引上。

電功率之計算

328. 電功率之計量方法. 欲計水功率之量,須知每秒流過之水量,以及水之“頭.”若斯則

$$\text{水功率} = \text{每秒之流水量} \times \text{水頭}$$

$$\text{H. P.} = \frac{\text{每秒流水之磅數} \times \text{呎數}}{33000}$$

欲計電功率之量,吾人須將每秒流過之電量,即電流之強度,乘以電壓。若斯則

$$\text{電功率} = \text{電流強度} \times \text{電壓}$$

電功率之單位爲瓦 (watt), 其界說可定已爲保持一安之電流, 流動時電壓降落一弗所需之功率。

$$\text{瓦} = \text{安} \times \text{弗}$$

因瓦爲極小之功率單位, 故通常皆用**瓩** (kilowatt, 略號 kw., 俗稱基羅瓦特, 瓩即 1000 瓦是也。

$$\text{瓩} = \frac{\text{安} \times \text{弗}}{1000}$$

例若有一電燈, 自 110 弗之電路, 吸取 0.4 安之電流則此燈所用之功率, 即爲 0.4×110 , 即 44 瓦。

又若有一電熱器, 其耗阻爲 110 歐, 問在 550 弗之電線上, 其耗電之功率爲何? 電流爲 $\frac{550}{110}$ 即 5 安; 而功率則爲 5 乘 550, 即 2750 瓦, 或 2.75 瓩

不問何時如有電流流經一電路, 則必需功率以維持其反抗電路之耗阻而流動。若此一部分之電路所耗功率之全部, 皆用以使該部電路發熱, 則此功率即等於電路兩端間測定之電壓, 乘以流經該電路之電流。

$$\text{即} \quad P (\text{瓦數}) = E (\text{弗數}) \times I (\text{安數})$$

但按照歐姆定律

$$E = IR.$$

因而有

$$P = IR \times I = I^2 R.$$

機械功率既以馬力 (h. p.) 計, 則宜知機械功率單位與電工率單位間之關係, 始便由實驗, 知

$$1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦}$$

$$1 \text{ 瓩 (kw.)} = 1.34 \text{ 馬力 (h. p.)}$$

瓦計 (wattmeter) 爲直接測定電路中功率之器。此器含有粗銅線製成之定線圈二, 與用電之具串聯; 介於此二線圈之間, 裝一可動之線圈, 此圈橫連於總線, 與弗計之連結法相同 (圖 347)。定圈之磁場正比例於電流, 而動圈之磁場則與電壓成正比例, 故作用於動圈之扭力矩, 正比例於電流與電壓之乘積, 即正比例於瓦數。

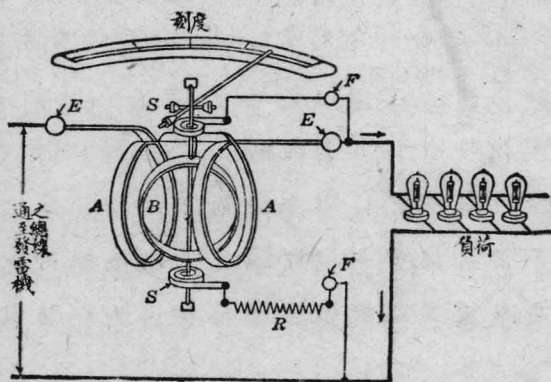


圖 347 瓦時計之構造。

323. 電能。功率之意, 爲作功之速率, 即能之耗費速率是也。所作功之總量, 或所耗電能之總量, 乃等於作功之速率與時間之乘積。據此, 若有一蒸汽引擎

按15馬力之功率，作功8小時，則其所作之功，即為8乘15即120馬力時 (horse-power hour)。仿此，若有一發電機，按15瓩之功率發電8小時，則其所作之功，即為8乘15或120瓩時 (kilowatt hour, 俗稱基羅瓦特時)。

例如，吾人日常用電，付電費時即按瓩時計。若電費之價，每瓩時1角，又若有一大商店，用電流100盞，每盞耗電之率為50瓦，則流明3小時，所付電費即為

$$\frac{100 \times 3 \times 50 \times 0.10}{1000} = 1.50 \text{ 元.}$$

在實驗室中，往往覺用較小之能單位——瓦秒 (watt second) 或朱 (Joule)——為便。

能(朱數) = 電流(安數) × 電動力(弗數) × 時間(秒數)。

或

$$W = IEt.$$

朱與其他通常所用能單位之關係，如下表所示：

$$1 \text{ 朱} = 0.102 \text{ 瓦秒 (10000000 厄)}$$

$$= 0.738 \text{ 呎磅}$$

$$= 0.238 \text{ 克卡.}$$

$$1 \text{ B. t. u.} = 1054 \text{ 朱.}$$

330. 瓦時計。 凡用電之人，莫不與自錄瓦時計 (recording watt-hourmeter, 俗稱電表) 發生關係，此計能將所消費之電之瓩時數，自動記於針盤之上，其針盤與氣量計 (gasmeter) 上所有者相同。

圖 348 所示者為湯姆森式 (Thomson form) 之瓦時計。此器實係一小電動機, 其動圈(即電動子)旋轉之速度, 正比例於電能經過此許之速率, 自錄針盤, 即為電動子所驅而轉動。此器之定圈(即磁場)與總線相串聯。是以磁場之強度, 與流經總線之電流成比例, 電動子橫連於總線, 其所取之電流, 正比例於越過總線之電壓, 是以使電動子轉動之扭力矩, 正比例於電流與電壓相乘之積; 即與總線內之瓦數成正比例。

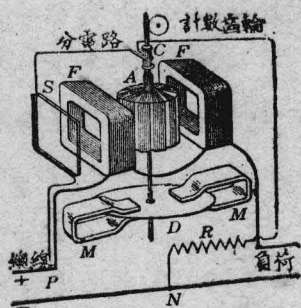


圖 348 湯姆森瓦時計。

此種機械之惰性, 將使其運轉太速, 或當電流停止之時, 阻礙其立即停止, 故有一鉛製圓盤旋轉於永久磁石之兩極間, 發生電滯 (electric damping) 作用以補救之。在此圓盤中所生之渦流 (eddy current, 將於 378 節中述之), 即有使其轉動遲緩之傾向。

此種瓦時計直流電路 (direct current circuit) 與交流 (alternating current) 電路, 皆可採用之。

331. 電流所生之熱之計量。吾人適已見及, 能之輸送於電熱線圈例如熨斗或鐸器者, 為每秒 EI 朱, 或在 t 秒之內為 EIt 朱。但因從歐姆定律, 知 $E=IR$ (若在所論及之一部分電路中, 無電瓶, 發電機, 或電動機), 故可另述此關係如下, 在討論電熱器時, 常覺其便利也。

$$\text{由電能轉變之熱} = I^2 R t (\text{朱數}),$$

或因一朱已由實驗求得，約等於0.24卡，而書之為

$$H = 0.24I^2Rt$$

此式中之

H = 用卡數所表之熱，

I = 用安數所表之電流，

R = 用歐數所表之耗阻，

t = 用秒數所表之時間。

計 算 題

1. 一室之中，有電燈五盞，各自110弗之總線，取用0.4安之電流，問五燈齊明，需電功率若干(瓦數)?
2. 一電燈其上註明110弗與50瓦，問其所需之電流為何?當其放光之時，其耗阻為何?
3. 某電車公司之發電機，正在輸送電流於電車線，速率1500安，電壓550弗，問其供給功率之速(瓦)為何?
4. 一400瓦之電烘器，製時專備用於115弗之電路，問其耗阻為何?
5. 一30歐之電熱器，其在110弗之電線及115弗之電線上所用之功率(瓦數)，試比較之。
6. 一洗衣公司用電熨斗五具，其耗阻各為20歐，並聯於110弗之總線上，問其所需之功率為何?
7. 若110弗之電燈，各需0.5安之電流，則10瓦之發電機，其所發電流可供此種燈若干盞之用?
8. 一10安之保險絲，能輸送充足之電流，以供並聯於115弗總線上之50瓦電燈十盞，及400瓦電扇一座之用否?試示計算之法。
9. 一電車之二電動機，若各需25安之電流，則此車自550弗之電路所用之功率為何?
10. 若電費每瓦時1角6分，則點50瓦之電燈十二

盡,經歷3小時,所用電燈之代價爲何?

11. 一40瓦之電燈點經10分鐘,問其所消費之能有若干?

12. 有一30歐之電熨斗,用電流4安,每小時所發之熱有若干卡?

13. 若電價每瓦時爲1角4分,則12題中之電熨斗,四小時內所用之電,其值幾何?

14. 一400瓦之發熱器,若其效率爲80%,則其每秒所供給之熱有若干卡?

15. 一電熱水器,連於110弗之電線上時,用電3安.若此器之效率爲70%,則加熱於600克之水,使其溫度自 20°C . 昇至 60°C .,需時幾何?

16. 有一10歐之線圈,用以加熱於1000克之水,使其溫度在10分鐘之內,自 15°C . 昇至 75°C .. 問須用電流若干?

電 燈

332. 鎢絲燈. 近代之熾熱燈中之燈絲,爲純粹

之金屬鎢 (metallic tungsten), 其熔解點

異常之高,在 3000°C . 以上. 此纖細之金屬

絲,爲電流熱至白熱,即至熾熱 (incondes-

cence). 在100瓦電燈中所用之鎢絲,其半

徑僅約3毫(即0.003吋;然頗長,故封入平

常之燈泡中時,須繞之於星形之架上,成

曲折之線. 電之引入燈絲而復出也,經過二短金屬線,

此二線(圖349)熔入燈泡之壁中,以防空氣之漏入,故

其膨脹係數,須與玻璃之膨脹係數同. 此二線由銅線



圖 349 真空
鎢絲燈.

連至燈泡底部之銅圈與金屬尖端之上。

333. 充氣鎢絲燈。以前之電燈製造家，慣將熾熱燈(B種鎢絲燈)之泡，抽去其空氣幾成完全之真空，因若有任何空氣留在泡內，即可維持燃燒而燈絲將燒斷也。然由實驗，已知在此種電燈中，燈絲徐徐蒸發，致有黑暗如鏡之

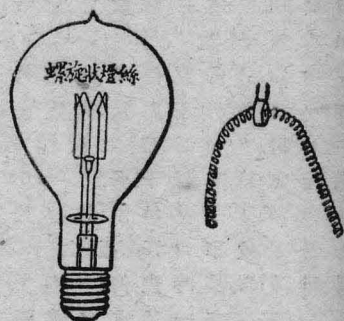


圖 350 充氣鎢絲燈及其圈狀燈絲。

金屬一層，堆積於泡之內壁之上。在另一種電燈(C種鎢絲燈)之燈泡內，則常充以有惰性之氣體，例如氮與氬，燈絲之四周圍以有惰性之氣體，則其蒸發即緩，且可使運用鎢絲之熱度，較在真空泡中為高。此種電燈(C種鎢絲燈)中之長燈絲，繞成非常細小之螺旋形(圖350)，且裝配極為緊密，以防止其為氣體所冷卻，至於可察之程度

因現代之鎢絲燈，其燈絲皆發強烈之光，故應封之於毛玻璃泡之內。新出之燈泡，其毛糙之面係在泡內，泡外光滑如故，而由玻璃透過之光，幾仍未減少。充氣之燈，約有3000至4000燭光，現在皆用以為街燈(圖

351),而迄今尙作此用之弧燈,大部分已爲其所代矣

334. 熾熱燈之壽命與等級。若無意外之折斷,鎢絲燈保存至1000小時,並非難事,此種電燈,通常相集成羣,並聯於有110至120弗之固定勢差之電路之上,現在之廠家,慣將各種熾熱燈,按瓦數而定其等級,且將設計時所定運用此燈之電壓,標明於各燈之底部,在過去數年中,製造家已將鎢絲燈之效率,屢次提高,且進步甚速,此種電燈,較之今已廢而不用之舊式炭絲燈,其效率高至約三倍,真空鎢絲燈消費

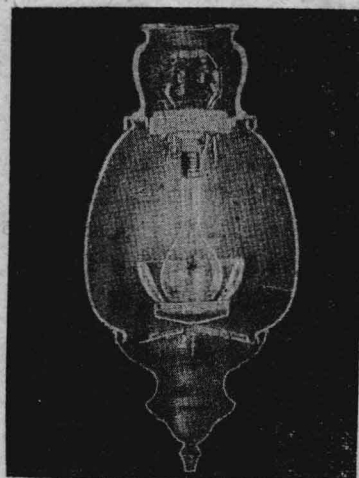


圖 351 熾熱燈今已廣用之爲街燈。

電能之率,約爲每燭光1.25瓦(參閱433節),全視燈之大小而定,充氣之100瓦之燈,用於並聯電路中者,消費電能之率,每燭光不及0.80瓦;而充氣之串聯電燈用爲街燈者,其消費電能之率,可低至每燭光0.45瓦。

335. 電弧。距今約百年前,亨夫雷達威(Humphry Davy)氏曾用2000電瓶所成之電池,以發一電弧於二木炭棒之間,此不過爲亨氏講授時顯赫之實驗而已,直至六十年後,實用之發電機已經製成時,電弧始能成爲商用,其時立即發見,煤氣爐內所成之骨炭(coke),用爲發弧光之炭極材料,較之木炭爲耐久

欲表現電弧之形式，可以 50 弗或 50 弗以上之電路，連於二炭棒，且與一變量耗阻器串聯。此弧所發之光，非常強烈，目上必須遮以黑玻璃，以避直接之閃耀。弧光可用凸透鏡(convex lens)投射於幕上。若用直電流，則火坑(crater)成於陽極炭棒之上，而火錐成於陰極炭棒之上，皆可見之(圖 352)。若以鐵絲置於弧中，可使溶化，其所發熱之大，可以想見矣。

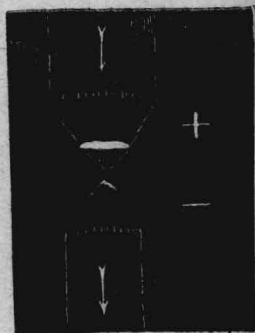


圖 352 電弧之陽炭棒與陰炭棒。

336. 近代弧光燈。電弧之炭極，縱為骨炭，亦欲燒去，故有一種自動弧燈(automatic lamp)已經發明，此燈能逐漸送其兩炭極，使之互相接近。此種弧燈之最初之數種，有利用鐘錶之機件以送炭者；但現在通用接合子(clutch)，而以電磁石運轉之。

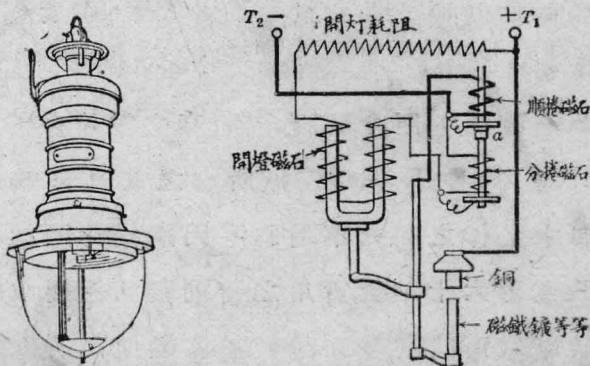


圖 353 金屬弧燈及其各部分之連絡。

有一種商用之此種弧燈,爲**金屬弧燈** (metallic arc lamp), 或稱**磁鐵礦弧燈** (magnetite arc lamp) (圖 353). 此燈之陰極,爲磁鐵礦或其他相似之物質,碎成粉末,壓緊於鐵皮管中而成;陽極則爲堅實之銅,消耗甚緩.此種弧燈,曾置於固定電流之電路中,用爲街燈,至今仍有用之者.

與**汞弧** (mercury-arc) 燈,即庫拍休易特 (Cooper-Hewitt) 弧燈之中,

所利用者爲水銀蒸氣之發光性.一真空玻璃管,長自 2 呎至 4 呎(圖 254),水銀即蓄於其下端,欲使電流開始流過水銀蒸氣,必

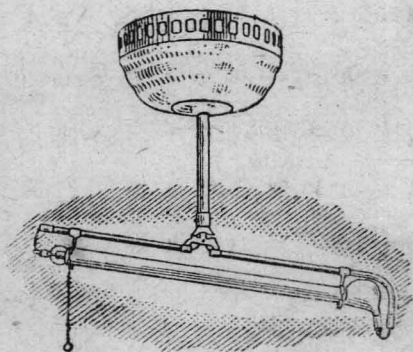


圖 354 錄弧燈,開時須使傾斜.

須用一種特殊之裝置;但一經開始,電流流經熱蒸氣即易,而水銀蒸氣乃發綠色,藍色以及黃色所合成之光,但幾乏紅光,被照之物件,因是而呈特殊之色。(參閱第二十九章).

錄弧燈之不用玻璃管而易以水晶管者,可用以

殺菌,因水晶可透最短之光波,即著稱之紫外線 (ultra-violet ray)是也。

337. 電鍛接與電爐。吾人或皆曾見及鐵匠以二鐵棒之端置於火中而熱之,待其赤熱,然後以錘敲擊,使二棒接合爲一,此事如利用電熱,則收效之宏,遠甚於人工,先使二棒之端相觸,乃以強電流通過之,因接觸之點,爲耗阻最大之處,故在此點所發之熱甚高,而迅即達於可鍛接之溫度,此法今通用於修理電車

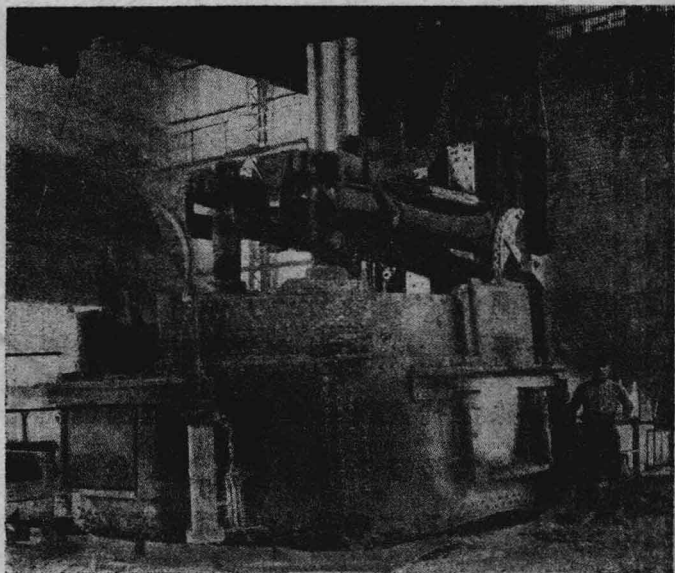


圖 355 美國本雪文尼亞省,杜克斯納之卡尼基製鋼公司所用之20噸,3相赫洛兒式弧爐。

軌道,以及普通之鋼鐵工場,近代之橋樑及建築物之鋼骨,均已不用栓釘結合,而易以電熱鍛接矣。

因由電弧可得極高之溫度,故用之於爐中以製二碳化鈣(鈣與炭之化合物)(calcium carbide)及矽鎔(carborundum) (炭與矽之化合物)。電爐又廣用於鋼鐵工場中,製造特種鋼齊之含有鎢或鉬(molybdenium)者,用之尤多(圖 355)。

當氫氣流經過二鎢極間之電弧時,因溫度甚高,氫分子之大部份,分離為自由原子,此等分離之原子,通行結合以成氫分子時,即發生強熱之火燄,其溫度約在 4000°C .以上,此種發燄氫原子,已應用於金屬之熔化及鍛接矣。

問答題與計算題

1. 最大之(一九二九年所製)商用熾熱燈(圖 356),其直徑測得為 12 吋,需電 50 瓦。若電價每瓦時 1 角 1 分,則使用此燈 20 分鐘,其代價若干?
2. 若一弧光燈需電流 8 安,及電動力 90 弗,則此燈之耗阻為何?其所用之瓦數若干?
3. 一 50 瓦之鎢絲燈,若其發光之率,為每燭光 1.2 瓦,則其應發之燭光若干?
4. 112 弗之電燈四盞,各用 0.5 安之電流,並聯於電燈之電路中,求諸燈共需之電流,及其合阻。
5. 40 瓦之電燈,並聯於 110 弗之電路上,最多可點

幾盞，不致熔化（“即爆斷”）
10 安之保險絲？

6. 一電車運轉於
550 弗之電線上，問用何
法，可在車中點 110 弗之電
燈？試作一圖以示連結之
法。

7. 有一 110 弗之發
電機，其所發電流，足供耗
阻各為 240 歐之並聯熾熱
燈 480 盞之用，試計算其瓦
容量？

8. 有一探海燈
(searchlight)，需電流 100 安
及勢差 60 弗，此燈連於 110
弗之電路時，須以若干歐
之耗阻與之串聯？

9. 若第 8 題之探
海燈，其電弧所發之燭光，
為數 128,000,000，則此弧每
瓦能發若干燭光？

10. 一大廈離發電
機 200 呎，其中有 25 瓦 110
弗之電燈一百盞，並聯於
線上，若輸送電流之總線，其
上之電壓降不超過 2 弗，則
須用何種大小之線？

11. 有一威爾斯巴克煤氣燈 (Welsbach lamp，係奧國威
爾斯巴克所發明，利用氧化鈦及氧化鋁所製之紗罩而發
強光者)，每小時消費之煤氣為 3.5 立方呎，約可發 70 燭光。
有一 40 瓦之電燈，其發光之率為每燭光 1.1 瓦。若以煤氣
每千立方呎價洋 1.1 元，電能每瓦時價洋 8 分而論，則在屋



圖 356 此新製之 50 瓦電燈，係供航空站
照探之用，傳為世界最大之燈。

內欲得同量之光,用煤氣與用電之所費各如何,試比較之.

12. 通常多喜用電燈而不願用煤氣燈,試舉其理由二端.

13. 有熾熱燈二盞,其耗阻在熱時各為240歐,連於勢差為120弗之二電線間.求此二燈在(a)並聯時,(b)串聯時所需之總功率(瓦數)為何?

第二十一章 提要

保險絲之主要部分,為易熔化之短金屬線,置於電路之中,當超過定量之電流經過時,此線立即熔化,而電路即斷.

功率之送至電路者 = 電流之強度 \times 電壓.

瓦 = 安 \times 弗.

1 馬力 = 746 瓦.

電能表以瓦時 = 瓦 \times 時.

功率用以克制耗阻者 = 電流自乘 \times 耗阻.

瓦 = (安)² \times 歐.

朱為一瓦秒.

能以朱表之 = $I^2 R t$.

熱以卡表之 = $0.24 I^2 R t$.

熾熱燈含有纖細之鎢絲,其絲為電流所熱而成白熱.燈泡或為真空,或含一種有惰性之氣體,例如氫或氮.

弧燈有賴於電極之蒸發.在炭弧中,陽極炭棒上之火坑,溫度最高.電弧多用於電鍛接與電爐.

問 答 題

1. 大多數之保險絲用何質料製成?何故?
2. 20安之保險絲,其直徑是否較大於10安之保險絲?試述汝之答案所據之理由.
3. 若有一電線,假定其僅能擔負15安之電流,則以30安之保險絲置於其間,必有危險,何故?

4. 以 110 弗之電燈，橫連於 6 弗之汽車蓄電池之兩端，則有何種效果？試說明其理。
5. 有一種電燈泡，碎時發大聲，另一種則否，何故？試說明之。
6. 一 25 瓦之鎢絲燈與一 50 瓦之鎢絲燈，其耗阻何者較大？試述汝之答案所據之理由。
7. 鎢之何種性質，使其成爲燈絲之良好資料？
8. 使用電熨斗時，必須慎防者爲何？
9. 若在已知之電線上，電流加倍，則因熱之增加而受之功率損失爲何？
10. 聖誕樹上之電燈，通常連結之法如何？何以如此連結？此種電路之弊病何在？

實用題

1. 使用各種電具每小時之代價。將家庭中所有各種用電之器具，攜至學校實驗室內，測定各器所用之功率，然後比較其代價。
2. 關於汝所居城市之電燈系統之報告。所用之街燈，屬何種類？工廠之給電如何？家庭之給電如何？分布之方法如何？汝自己家中之電線接法如何？電表裝於何處？如何用保險絲保護電線？
3. 袖珍電筒。取一袖珍電筒，將其燈頭除下，細察其內部之構造，畫一清晰之圖，以示其電路並說明其作用。

第二十二章

發電機與電動機

發電機——銅線橫截磁力線——誘導電動力之大小及方向——傅勒明之定則——旋轉之環——整流子——鼓形發電子——勵磁。

電動機——運送電流之線上側向之推力——決定推拒方向之電動機定則——商用電動機之各式——反電動力——發動箱——應用——效率。

338. 法刺第之發見。吾人所用之電流，苟祇能盡取諸電池者，則街中室內，決不能以電燈照耀如晝，而出入交通，亦不能乘電車以馳騁若飛。蓋以鋅為弗打電瓶之燃料，則其價頗昂，故用電池為巨量電流之源，所費自屬不貲也。

約當一八三一年時，法刺第與亨利二人，皆發見機械能可以直接轉變為電能。彼等用磁石以生電流之法，即為商用發電機之基本原理，近代之電流，可以賤值得之者，厥賴乎此耳。

發 電 機

339. 發電機之重要。自法刺第與亨利二人，發見奇異之現象以後，約經四十年之久，商用發電機始

現於世蒸汽引擎氣體引擎，以及水車，其巨大之能，今皆可由此機轉變為電。用此法所發之電，可以傳遞至數百里之外，其電可用於電動機，以運轉各種機器，可用於各種電燈，以照耀街道與家室，可用於發熱器，以煖車廂與房屋，且可用於爐中，以熔化鋼鐵。是以近代之實業，因發電機可供賤值之電，而為其所改革也。

340. 銅線橫截磁力線。欲明發電機之基本概念，有一簡便方法，即效法於法刺第，一考單一之銅線，越過磁場時，其上所生之誘導電動力如何，是也。假定

直銅線 AB ，被推向下，

越過磁場，如圖 357 所

示，在 AB 之內，即生一

誘導電動力，其力使 B 之電勢較高於 A ，以弗計連 A 及 B ，即可知之。

銅線若靜止不動，即無

電流流動。若銅線之方向，與磁力線平行，則銅線即使移動，亦無電流流動。總而言之，銅線必須橫截磁力線而運動，線上始有誘導電動力也。

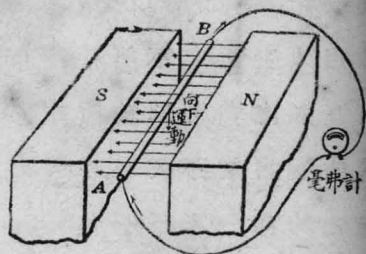


圖 357 橫截磁力線為銅線內之誘導電動力。

341. 誘導電動力之方向。吾人適已見及，當 357

圖中之銅線向下移動之時，其中之誘導電流，係自 A 流至 B 者。若使銅線向上移動，則誘導電流必將自 B 至 A 。更有進者，若不變銅線運動之方向，而將磁場顛倒，則電流之方向亦倒。然則將見誘導電動力有賴於下之二主要原因：(a) 銅線運動之方向，(b) 磁流即磁力線之方向。此三方向間之關係，可用傅勒明 (Fleming) 氏之三指定則，如圖 358 所示者以記憶之。

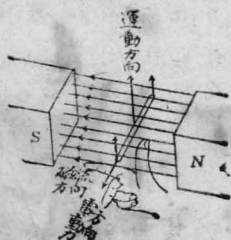


圖 358 決定誘導電動力之右手定則。

傅勒明之定則。伸右手之拇指，食指及中指，使其互成直角。若拇指所指者為銅線運動之方向，而食指所指者為磁流之方向，則中指所指者即為誘導電流之方向。

342. 誘導電動力之量。 若吾人有一大電磁石，其兩極為平面者(如圖 359)，即可證明關於導體內誘導電流之各種定律。若使銅線在兩極之空隙間，向下移動，則誘導電流可以概計 (millivoltmeter) 示之。若手持銅

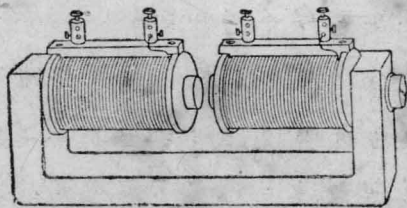


圖 359 證明誘導電動力之電磁石。

線止於空隙之間，即察知並無電流。若使銅線平移，與磁力線平行，則亦不能得電流。若使銅線經空隙向上移動，即察見有方向相反之電流，適符傅勒明之定則。若增加流經電磁石之電流，以加強磁場，則誘導電流亦隨之而增。若移動銅線經過空隙較速，誘導電流亦增。最後，若將銅線曲成若干捲之環，將環自空隙移下，使環之一側之各線，皆橫截磁力線，則見誘導電流亦增。

由此實驗，可見誘導電動力之增加，由於使銅線越過磁場，移動較速，由於加強磁場，以及由於增多線之捲數。總而言之，誘導電動力之量，賴於三要因：(1)速度；(2)磁場；及(3)捲數。

誘導電動力正比例於速電 \times 磁流 \times 捲數。

343. 發電機。將機械能變成電能之機器，稱為發電機(generator)。其主要部分有二：(1)磁場，其產生也或由永久磁石，例如磁石發電機(magneto)即是，或由電磁石，例如大發電機即是，(2)以銅線繞於可轉之鐵環或鐵鼓上所成之可動線圈，稱為發電子(armature)發電子上之線，相當於上述實驗中之動線。

344. 旋轉線環中之電流。若以長方形之線圈，置於大號蹄形磁石兩極之間(圖360)而旋轉之，則用柔韌之線，將線圈連至電流計上，即可檢得其中之電流，如用電磁石更佳。線圈之兩端，可連之於兩滑環，與圖360所示之單線環連於 x, y 相同，則更覺便利。 B' 與 B'' 二刷，緊貼於滑環之上者，係與一電流計相連。當吾人轉動線圈時，電流每

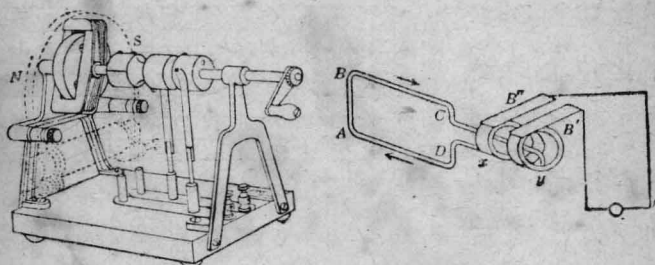


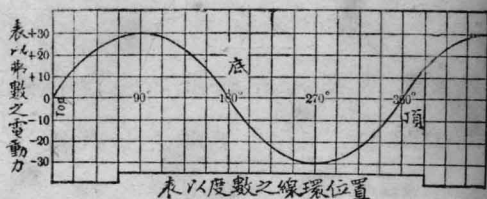
圖 360 旋轉於電磁石兩極間之線圈，及連於滑環之單線環。

隔半週，方向相反。

若吾人先考究單線環旋轉於磁場之中時，有何現象發生，則旋轉線圈中所發生者為何，即易於瞭解。今設先置線環之平面於豎垂之地位，然後依順鐘向旋轉其柄，則 BC 線在第一半週中，向下移動；故由傅勒明之定則，吾人應預期誘導電動力有送電流自 B 至 C 之傾向。同時 AD 線正在向上移動，而電流必有自 D 流至 A 之傾向。其結果，在第一半週中，電流繞經線環之方向為 $ABCD$ 。在第二半週之中，電流即倒流，而按 $ADCB$ 之方向繞行於線環。

據此可知在線圈內所發生者為交流(alternating current)，每旋轉一週，易其方向者二次。又可知其誘導電動力在第一半週中，自零起向上趨至極大點，再降至零；然後依相反之方向，倒行至極大點，最後再回至

零。當線圈在水平之位置時，誘導電動力達其最高度，因 AD



與 BC 二線，在圖 361 表示誘導電動力對於線環位置之關係之曲線。此位置橫截力線最速也。此可用圖 361 之曲線說明之。線環旋轉一週（即 360° ），可得一段曲線，包括一方向之極大電動力，及相繼之反向極大電動力。此稱交流之一循環 (cycle)。

機器之製為發送交流用者，稱為交流發電機 (alternating-current generator, 略稱 $a.c.$ 發電機，或交流機 (alternator)。

345. 直流發電機。欲得一直流 (direct current)，即常按同一方向流動之電流，吾人必須用整流子 (commutator) 欲瞭解此整流子之作用，吾人試先就極簡單之一種研究之。若 344 節中所述線環之兩端，連於一裂環 (split

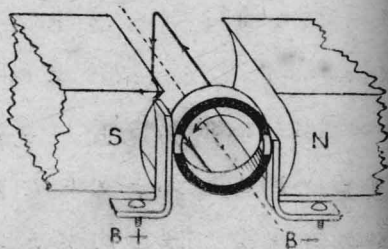


圖 362 裂環整流子。

ring), 如圖 362 所示, 則可置 $B+$ 與 $B-$ 二刷於此環之對側, 使各刷先與線環之一端相連, 繼與其他端相連。由於調整二刷之合宜, 使其在電流適反其方向之時, 即在線環適處於豎垂之位置時, 自整流子之此半環渡至彼半環, 即可使電流祇從 $B+$ 一刷流出, 而祇在他刷 $B-$ 流入。縱使線環本身內之電流, 每週反向二次在外路中之電流, 其方向亦常相同。

此種機器所發出之電流, 可以圖 363 中之曲線代表之。其方向雖常相同, 然呈脈動 (pulsating) 之狀。

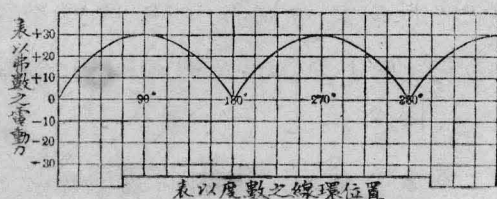


圖 363 表示線環之裝有整流子者, 其所發脈動電動力之曲線。

用整流子以發直流之機器, 稱為直流發電機 (direct-current generator, 或略稱 d-c. generator)。

346. 商用發電機。因旋轉單線環於磁場中而產生之誘導電動力, 由於取用多捲線, 以及由於旋轉線圈極速, 可使其大為增加。然電流量仍有脈動之狀, 而以此脈動電流供種種用途, 不滿意處甚多。於是

當前之問題遂爲如何製一機器，可發穩定(steady)之電流。

在商用發電機中，吾人可察知此事之成，由於利用線圈若干，勻布於軟鐵鼓形圓柱之表面。此諸線圈排列有方，務使常有其中之一，正在橫截磁力線而過。爲使諸線固定起見，乃於圓柱表面開縱行之凹槽若干條，而以諸線嵌入其中，如圖364所示。每有一線圈，

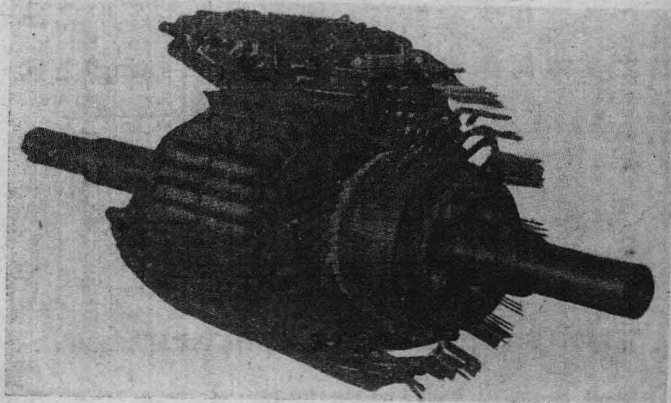


圖 364 一部分破損之鼓形發電機。諸線圈皆嵌於凹槽之中，而其端則連於整流子之各片。

整流子上即須有一裂片(segment)與之相連。故線圈之數愈增，則整流環所分之節(即裂片)數亦必愈多。例如有線圈十六，則整流子即分成十六節。整流子係由銅片圍於軸上而成，兩片之間及片與軸間，隔以薄

層之雲母,使其絕緣。

鼓形圓柱,係由軟鐵製之薄圓片,疊於一處而成。此鼓體之作用,非惟可支持線圈於其上,且可減少磁場電路中之抗磁性。蓋鐵心之透磁性,既數千倍於其所占空間之空氣,則磁流當然因此而大為增加也。

圖 365 所示者,為商用二極 (two-pole) 直流發電機,其發電子上線圈排列之圖式。視察此圖以後,顯見鼓體右側諸線上之誘導電動力,其方向皆同;因其方向係自紙中外出,即向讀者而來,故於小圓中置一點以表示之。同樣在鼓體左半面之諸線,其誘導電動力之方向,係在送電流入紙,即離讀者而去,故於圓中作一十字以表示之。鼓形之頂上與底部之導線,並不橫截磁力線,是以並無誘導電力。兩刷皆與整流子裂片之連於頂上及底部之導體者相接觸。

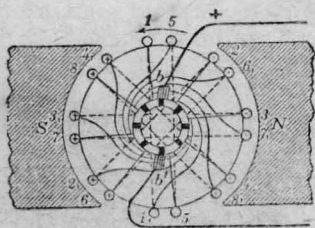


圖 365 鼓形發電機繞線之式,及其兩極,整流子,與刷。

線圈繞於鼓體之法,係使電流由標明十號之刷外出,流經外阻,再回至標明一號之刷,此事亦屬明甚。電流回至有十號之刷時,即分為兩支;其一半行至鼓體一側之導線及整流

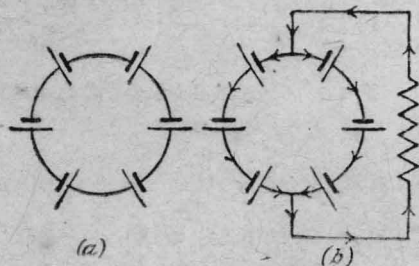


圖 366 反向電池。(a)無外電路者,(b)有外電路者。

子之裂片，他一半則行至鼓體他側之導線及裂片，是以發電子之電路有二重，即由其兩半節並聯而成。觀於發電子之此種繞線之法，又顯知全發電子之電動力，僅為含有全部線圈一半之二串聯電路中任一電路之電動力。發電子原理，可以圖 366 所示之電瓶以喻之。在鼓體凹槽中之線，為作用導體，而其各端之線（圖中虛線所示鼓背之線），僅供連接此等導體之用而已。

347. 多極發電機。 適所敘述之機器，稱為雙極發電機 (bipolar generator)，在商業上所用者，通常皆為四極，六極八極，甚至多極之機，尤以巨大之機器上所用者為然。此種發電機，稱為多極發電機 (multipolar

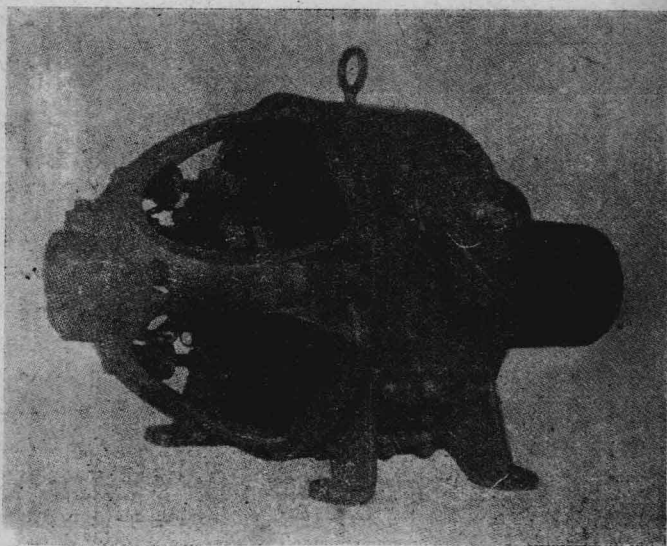


圖 367, A 四極發電機及其整流子與電刷在左側。

generator). 由於增加極之耦數,則商用之電壓(110 弗, 220 弗, 或 550 弗), 在極低之旋轉速度即可得之, 不若雙極發電機之須轉動極速也吾人早已見及, 發電機之電壓, 有賴於發電子諸線橫截磁力線之速率. 但在四極發電機(圖 367 A)中, 發電子上之各線, 在每轉一週之際, 即橫截磁力線之全部四次, 而在二極機中, 則僅二次. 因此之故, 四極機之速度, 祇須為二極機速度之半, 即可得同一之電壓. 更有進者, 多極機製造之費用較少, 蓋所需透磁之鐵較少也. 試閱圖 367, B, 可察知各刷正負相間, 而分連於發電機之陰陽二極.

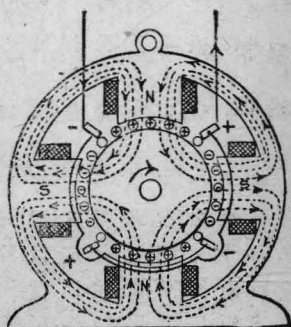


圖 367, B 四極發電機之剖面圖.

348. 發電機磁場之激勵. 在磁石發電機中, 磁場係由永久之鋼製磁石而來. 在其他之發電機中, 大都皆用強力之電磁石, 以造磁場. 激勵此等磁石所需之電流, 有時由機外之源, 例如蓄電池而來; 但通常則電機自身供給勵磁之電流. 發電機因激勵磁場線圈之法不同, 而別為三種: (一)順捲(series wound)發電機, 其所發之全部電流, 皆取道磁場線圈而至外路; (二)分捲(shunt wound)發電機, 其總流之一小部分, 轉入線圈以勵磁, 其磁場線圈與外路係並聯者; (三)複捲(compound wound)發電機, 順捲之線圈, 與分捲者兼

收並用。

在順捲發電機(圖 368)中,一部分線圈係用粗線數捲繞成,當外路中之電流增加時,磁場之強度亦增加,故可得較高之電壓以供給電流,此機用於供給電流以點弧燈,因弧燈須用固定電流也。

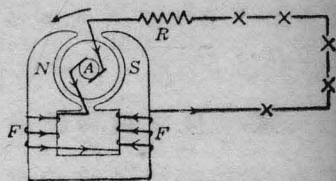


圖 368 順捲發電機,有一變量耗阻器 R,連於總線中以節制電流。

當磁場為分捲時(圖 369),線圈係由多捲之細線繞成;因於此機中,由總電路轉來之電流,須儘量使之微小,故場線圈之耗阻當高,此種電機,係按一定之速度運轉之,當此機之負荷增加時,即開通之燈數增多,因而所需之電流增加時,其兩極電壓即稍稍降落,場線圈中之電流,因是而減少,而兩極電壓愈益降低,故分捲發電機,不能用以供給固定之電壓。

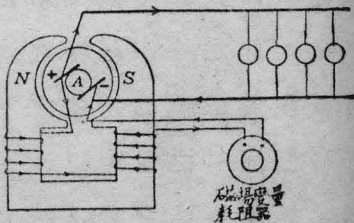


圖 369 分捲發電機,有一變量耗阻器,連於場電路中,以節制電壓。

分捲發電機,因負荷過重以致兩極電壓降低之弊,可用複捲發電機(圖 370)除之,此即最通用之發電機是也,此機中加入數捲之串聯線圈,電壓即可保持不變;如此裝置,在電流增加時,即有昇高電壓之傾向,正與

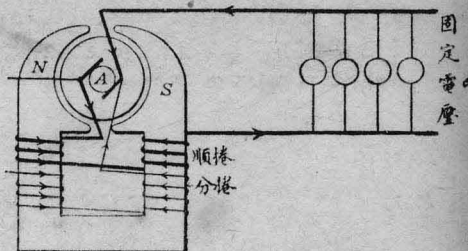


圖 370 複捲直流發電機之連結法。

順捲發電機同。若將線圈細加調整，則不問負荷之多少，電壓幾恆不變。

349. 發電機中之能源。發電機之自身不能造電，祇能將機械能轉變為電能，此一事當牢憶勿忘。例若吾人欲用電以使屋內光明，則僅購置一發電機，猶為未足；吾人必須再購一蒸汽引擎(圖 371)，一氣體引擎，或一水車，始可用以運轉發電機。吾人早已見及，誘

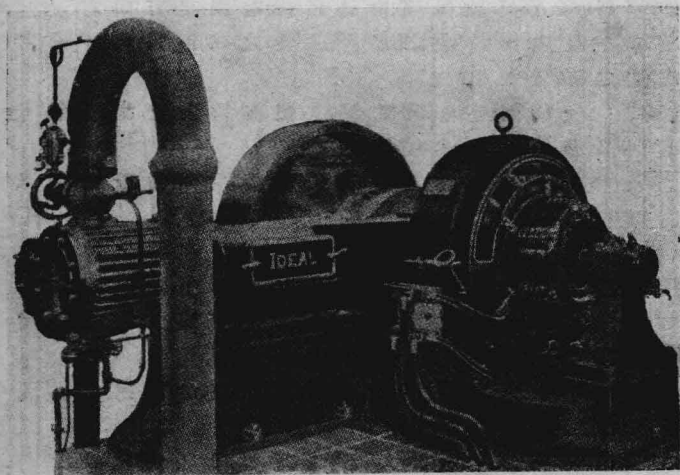


圖 371 蒸汽引擎運轉直流發電機。

導電流之方向，常欲反對導線之運動，從而發電機中之電流愈大，則所需轉動之功率亦愈高。巨大之發電機，例如發電所中用以供給電車及城市電燈所需之

電流者，有時須用二萬至七萬馬力之蒸汽引擎以轉動之。

問答題與計算題

1. 一直垂之線，為密閉電路之一部分，(a)若一棒磁石之 N 極，依水平方向經過此線時，線中有無電流發生？(b)若 S 極經過此線，則如何？(c)若 N 極在線之近傍向下移動，有無電流發生？
2. 一人面對電磁石，其 N 極在此人之左側，彼以直垂之線一條，插入兩極之隙，此線為電路之一部分，而插入之時，線離此人而去，問線內誘起之電流，其方向為何？
3. 決定發電機之電壓，主要之三因為何？各原因對於電壓之影響如何？
4. 一單圈雙極發電機，欲使其所發電流每秒有 60 循環，則每分鐘須使其旋轉幾次？
5. 有一八極發電機，欲使其發生 60 循環之交流，每分鐘須旋轉幾週？
6. 一分捲之發電機，其電動力當電路之外阻增加，而旋轉速率保持不變之時，所感之影響為何？試說明其理。
7. 試舉直流之用途三端，其效果為交流所不能發生者，說明其理。
8. 一發電機以 500 弗之電流 40 安，送至通入某工廠之傳遞總線上，總線之耗為 3 歐。(a)所發生之工率若干(瓦)？(b)在工廠所得之電壓為何？(c)工廠所得之功率若干？
9. 有燈六十盞，各需 0.4 安之電流，用 110 弗之發電機其效率為 80% 者使之放光，問運轉此發電機之汽油引擎，其馬力為何？

電動機

350. 發電機可用作電動機。吾人早已見及，發

電機以蒸汽引擎,氣體引擎或水車使之轉動時,可以發電,今將更見此種電流,如何可以通入與發電機完全相同,惟稱為電動機(electric motor)之第二種機器,而用此機以轉動電車,印刷機,縫衣機,或其他需要機械能之任何機器總而言之,發電機乃一兩用之機器也(reversible machine). 例如有時汽車上之同一機械,時而用為發電機,時而又用為電動機,以運轉另一機械

電動機之構造,與發電機完全無二,亦由一電磁石,一電動子(armature)以及附有電刷之整流子所成。然欲瞭解此數部分在電動機中之作用,必須對於有

電流通過之線,在磁場中之動作,先有明晰之概念。

351. 磁場對於有電流通

過之線所發側向推力

試以柔韌之導線 aa , 懸一銅棒 M 於電磁石之兩極間,使其可以自由擺

動,如圖 372

所示,乃以

電流通過

電磁石,使

其兩極一

為 N , 一為

S , 如圖所

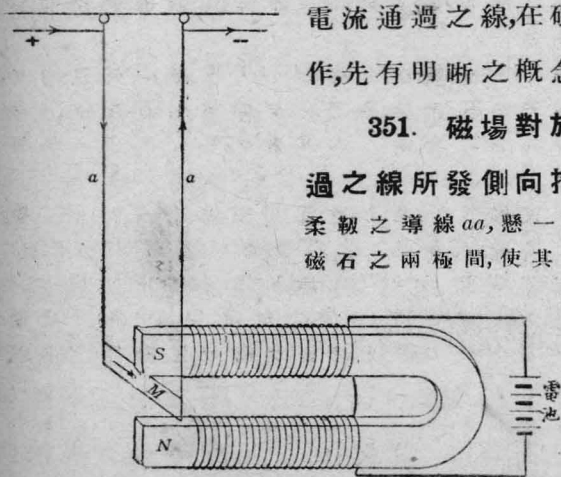


圖 372 有電流通過之導體 M , 在磁場中所受之側向推力。

示，於是若用蓄電池送一強電流經過導體 M ，其方向如圖所示，則將見介於二極間之 M 棒，立被橫推向左。若 M 中之電流易向，則 M 之運動亦倒，者被橫推向右。

強磁石兩極間之磁場，實屬均一，可以圖 373, A 之平行力線表之。

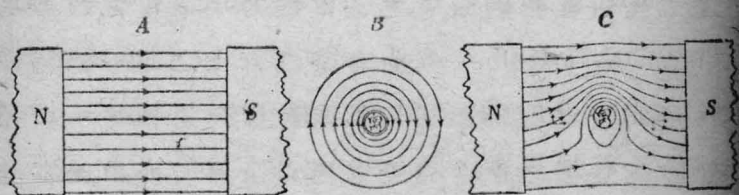


圖 373 磁場： A ，單獨磁石之均一磁場； B ，單獨電流之圓磁場； C ，磁石及電流之合成磁場。

若回憶凡電流皆能自生一磁場，其力線為同心圓，則有電流通過之線，在磁場中所受側向之推力，即可藉此而悟。圖 373, B 所示者，為一導線，其上有電流流入，即電流與紙面成直角，而離吾人以去是也。繞此導線之磁力線，依順鐘向而行。

若以有圓磁場之導線，置於磁石南北二極間均一磁場之內，則力線之密集於導線上方者（圖 373, C ）較下方為多。但在第 253 節中，已見磁力線可以想像其作用一如張緊之橡皮帶，則於此時勢將推導線向下。若倒轉導線內之電流，則磁力線之密集，係在導線

之下，故推導線向上。

352. 電動機之三指定則。導線在磁場中因受推力而運動，欲記憶其方向，其規則與發電機定則無二，惟以左手易右手耳。

353. 電動機之作用。電動機中之電動子(armature, 即發電機中之發電子)，幾專用鼓形(參閱第346節)，與發電機相同。在此種電動子中，須憶及作用之線係在鼓體四週之凹槽中，如圖 374；而經過鼓體兩端之線，其連結之法，係使電流自一側(設謂之為右側)而出時，將由他側(即左側)而入。至於此諸線究用何法連結，就目前所欲述者而論，並不重要；其排列之法，不同者實甚多也。由上述數端觀之，不問其繞法如何，在電動子右側之線(⊙)，將為磁場所推而向上，其在電動子之左側者(⊕*)，則將為磁場推向下，此事固甚明也。*易言之，必有一扭力矩，有使電動子依逆鐘向而旋轉之傾向。此扭力矩之量，須視電動子上

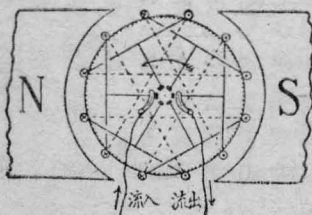


圖 374 鼓捲電動機之線路。

*⊙ 指示電流外出，⊕ 指示電流入內。

作用線之長度及圈數，電動子中之電流，以及磁場之強度而定。

用另一方法觀察此作用，係注意電動子內此等電流之效用，在使電動子之鐵心成爲磁石，其北極在底部而其南極在頂部。此二極與陽磁石二極間之引力與斥力，即可使電動子依矢鏃所示之方向而旋轉。

整流子與兩刷所司者，爲使其某數圈中之電流，當電動子旋轉時易其向，以保持電流之循環，正與在發電機中同，圖 374 所示者即是。

354. 電動機之種類。 直流發電機與直流電動機，其構造往往絲毫無二。是以亦有順捲電動機，例如電車及汽車上所用者是，有分捲電動機，例如用於工場中以運轉機器者是。故又有雙極與多極之電動機，欲使電動機按低速率而旋轉，則於製造之時，須加以甚多之極。

近代直流發電機與直流電動機，大都在主極之間，有較

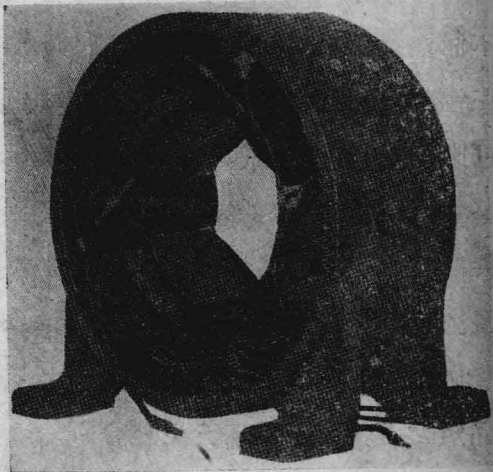


圖 375 有二中間極之直流四極電動機。

小之二極，稱為中間極(interpole)，或交換極(commutating pole) (圖 375)，其上有串聯之場線圈，故其強度視電動子內電流而定。此二極之添設，並不在於增電動子之功率，祇在於防止電流過大或速率過高時，電刷間發生火花而已。其作用之說明，學者可於論電機之專書中得之。

355. 電動機中之反電動力。 假定吾人取一電

燈與安計，與一小電動機串聯，如圖 376 所示。若手持發電子不動，而將電流來自電線或蓄電池者，突然開通，則電燈即大放光明；但電動子既已旋轉，燈即變暗。

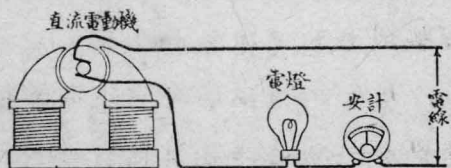


圖 376 用燈與安計，可示電動機於發動之時，所需電流較正在旋轉時為多。

由此可知電動機所用之電，在電動子已在旋轉之時，較之電動子堅持不動之時為少。電線或電池之電動力，以及電路之耗阻，並未因運轉電動機而有何變動。故電流必因有一反電動力 (back electromotive force) 發生，其作用與外來電動力 (driving e. m. f.) 相抗，以致減少。

因電動機有串聯之線圈繞於電動子上，橫截磁力線而過，故勢必在此諸線中生一電動力，即每一電動機同時又為發電機是也。此誘導電動力之方向，常與使電流經過電動機者相反。

當電動子旋轉愈速時，反電動力亦愈大，正與發電機相同，而加於電動機之外來電動力，與反電動力之差亦愈小，此差即為驅電流而過發電子耗阻之電動力。故電動機在旋轉遲緩時，所取電流較之旋轉迅速時為多，而於發動之時，所取電流較之已達高速時更多。

例如假定加於電動機上之外來電壓，即總線之電壓，為110弗，而電動機之反電動力為105弗，則迫使電流經過發電子之電壓，淨得 $110 - 105$ ，即5弗。若發電子之耗阻為0.5歐，則電動子之電流即為 $5.0 / 0.5$ ，即10安。但若於電動機靜止之時，以全電壓（110弗）加於其上，則電流即為 $110 / 0.5$ ，即220安。

356. 使電動機發動。

電動機由靜止而發動之時，當然最初並無反電動力；故若以電動機直接連於總線，則過量之電流甚大，足以燒燬電動子。欲防止電流在初流時有此急衝之勢，須先以發動耗阻 (starting resistance) 置

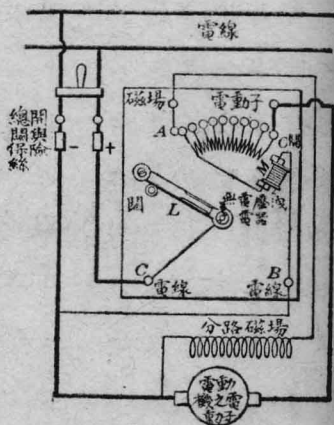


圖 377 連於分捲電動機之發動箱。

於電路之中，然後隨速率之增高，逐步減去之。圖 377

所示之發動箱(starting box),——即變阻器(rheostat)——即供此用。

電動機之應用

357. 分捲電動機 工廠及工場之中,用長軸粗索以及皮帶傳遞功率,其法殊屬危險,且喧噪不寧,又不經濟。在近代之工廠中,電功率自中央發電所發送,傳遞於廠中各部,用之於電動機中,以運轉單獨之機器,或連合之機器。功率之傳遞用電,則皮帶與長軸之危險及不便之處,均可免去,各機可以置於任何之地位,其速率且可用磁場變阻器(field rheostat)以調節之。有此種設備之工場及工廠,通常皆用分捲電動機,

因所需者為固定速率之電動機,而分捲電動機在無負荷或負荷不多之時,其速率與負荷已足之時,幾相

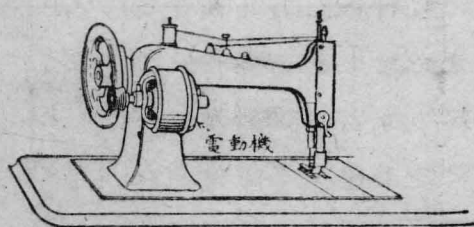


圖 378 用分捲電動機運轉縫衣機。

同也。電動機又為極便利,極舒適之家用機械。是以吾人欲用小分捲電動機以運轉縫衣機(圖 378),且用之以運轉無冰之冰箱中小消熱機(refrigerating plant)

之壓縮機焉。

358. 順捲電動機。起重機與電車，皆須用順捲電動機，因此種電動機之發動扭力矩(starting torque)甚大故也，順捲電動機中之扭力矩，正比例於電流之

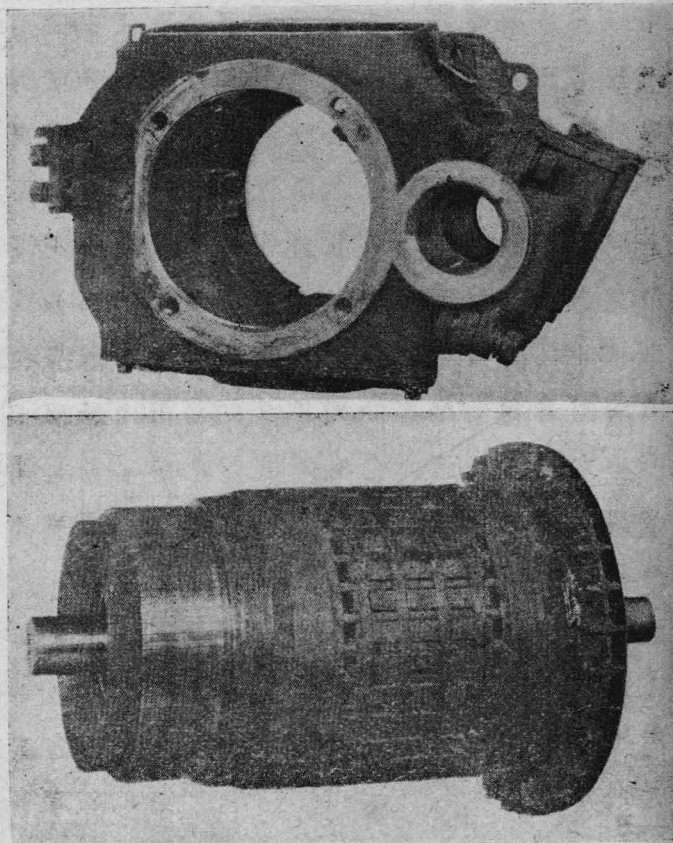


圖 379 電車所用順捲電動機：上圖為磁場線圈及機座；下圖為電動子，整流子在左，其右則有一通氣風扇。

平方,而在分捲電動機中,扭力矩係與電流成正比例。順捲電動機中之扭力矩,當速率最低時為最大(因反電動力甚小之故),此其所以成為適用於起重機與電車之一種電動機也。當順捲電動機上之負荷降至零時,電動機即將“空轉”(race);即愈轉愈速,直至電動子碎裂成片而止。因此之故,順捲電動機須直接連於其所運轉之機械,或貫以同軸,或接以齒輪,俾使其永不能與負荷相離。

圖 379 所示者為電車所用之電動機,其電動子已取出,以顯其內部配合之狀。磁場為四短極所成,突起於套內,此套既足供保護電動機之用,又可作為磁流所經之路徑。電動子轉動甚疾,故其速率必須用一對齒輪以減低之,甚大者係在轉動輪之軸上,圖中所未示。此二齒輪,使轉動軸之速率,約為電動機速率之四分之一。

電車通常皆用直流系統運轉之。有一多極複捲之大發電機,位於發電處,維持約為 550 弗之電壓,加於電車線 (trolley line) 或第三軌 (third rail) 與軌道 (track) 之間。有一“饋電線(feeder)”,即耗阻頗小之粗導線,與電車線平行,且每隔若干距離與之相連,以防

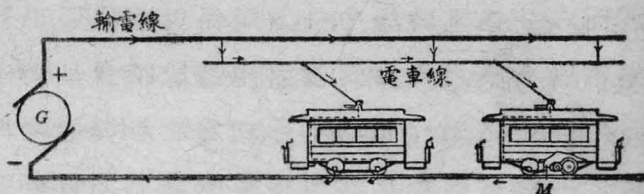


圖 380 電車軌道之基本電路。

止有若干電車在遠離動力廠之處取用電流之時，總線上發生巨大之電壓降，電流自電車線而下（圖 380），經接電桿（trolley pole）而入於制御器（controller）。此器係由巧排若干開關而成，電車司機人，利用此器，使兩電動機串聯，且使發動耗阻全部在電路之中，即可使其車發動；於是移動一槓桿，逐漸除去此發動耗阻，最後將兩電動機改成並聯，如圖 381 所示。是以在發動之時，每一電動機僅得總線電壓之半，而在以全力疾行時，其所得者即為全電壓，電流由車輪

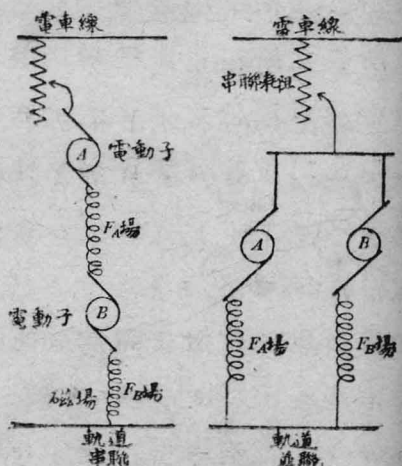


圖 381 電車之串聯並聯制御法。

而離電動機，乃取道鐵軌及地，而返於發電處。

359. 電動機之效率。 電動機之用途所以廣大者，其理由之一即為效率甚大，有時高至80%或90%。

電動機之效率，

與任何機械之

效率同，亦指出

能對於入能之

比而言，加於電

動機之安數及

弗數，欲測之頗

易，由此即可計

算加入之瓦數。

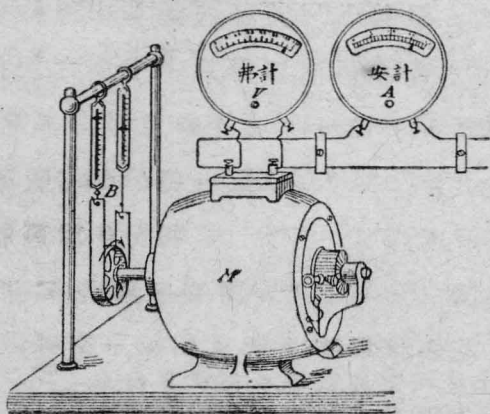


圖 382 用制動測驗法，測定電動機之效率。

欲求機械功之出能，工程師常用“制動測驗法 (brake test)”。有一種簡單之制動機，係以皮帶或繩索，繫於二彈簧秤上，且使套於電動機軸上之滑輪下而成，如圖 382 所示者然。

若滑輪旋轉，如矢所示，則因滑輪對於皮帶有摩擦作用，顯見一彈簧秤所用之力，較他彈簧秤為大。摩擦力之大小，即等於兩秤上度數之差，而此力作用於滑輪時，其作用點每分鐘所經之距離，則等於滑輪之

圓周乘每分旋轉數

一分鐘內所作之功，等於摩擦力乘滑輪所經之距離。

最後，若以某種普通功率單位表出能與入能，而以入能除出能，即得效率。下列之關係，頗有用處宜知之。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 瓦} &= \text{每分 } 44.3 \text{ 呎磅,} \\ &= \text{每分 } 6.12 \text{ 呎呔.} \end{aligned}$$

問答題與計算題

1. 圖 383 所代表者，為一雙極電動機，其電動子依反鐘向旋轉。試摹此圖，並以點與十字*置於圓中，以表電動子與場線圈中各電流之方向。

2. 一安計與一電動機串聯，在疾轉之時，安計所示之度數為 6 安。問適在電動機初轉之時，安計所示之電流當較多，抑較少？試說明其故。

3. 一電動機之耗阻為 0.75 歐，問當加入之外來電動力為 115 弗而反電動力為 112 弗時，流經電動子之電流為若干；

4. 一電動機與發電機相連而成一組，自 110 弗之電線，取用 40 安之電流，而發出 45 弗之電流 70 安。問此電動機

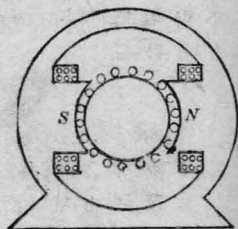


圖 383 雙極發動機上導線之剖面。

*圓內之十字，表示尾穿過紙面，其意即電流正在流入。圓內之點，則指有電流外出而言。

與發電機之合成效率爲何？

5. 一電動機有四馬力，連於115弗之電路，在負荷已足之時，需電流32安，求其效率。

6. 一電動機其效率爲90%，當其正在發出5馬力且連於110弗之發電所時，其所吸收之電流爲何？

7. 一汽車自動器 (self-starter)，自6弗之蓄電池取用80安之電流，而其效率爲80%，問其馬力若干？

8. 有一電動機，用制動測驗法驗之，測得其在113弗之電壓下，取用電流67安，而所發出之馬力爲8.5。試計算其效率。

9. 在愛斐爾塔 (Eiffel Tower) 中有一電昇降機，舉7000磅之負荷，每分鐘升高400呎，若此機之效率爲75%，而電費爲每瓦時洋4分，則此負荷舉高400呎，所需之值若干？

10. 電動機之發電機效應，其意何指？電車下山時，如何可以利用此效應？

11. 新墨西哥號，爲美國海軍第一艘燃油而用電推進之戰艦，問自油至推進機，能之轉變若何？此種動力機關，有何優點？

第二十二章 提要

發電機之原理：

當導線橫截磁力線時，即有誘導電動力發生。

欲決定誘導電流之方向，用右手——

拇指表示運動方向。

食指表示磁流方向。

中指表示電流方向。

誘導電動力之大小隨速率 \times 磁流 \times 捲數而變。

商用發電機之裝有——

滑環 (slip ring) 者，可發交流。

整流子者可發直流。

發電機決不能造“能”，惟將機械能轉變爲電能而已

電動機將電能轉變為機械能。

有電流通運之導線，置於磁場而與之成直角時，為磁場所推而起側向運動。

欲知運動之方向，用左手。

凡電動機在轉動之際，同時有發電機之作用，此發電機作用之電動力，與運轉電動機之電流相反，即所謂反電動力是也。

淨電動力，驅電流而過電動子者，等於外來電動力減去反電動力。

歐姆定律祇在用淨電動力時，始可適用於電動機之電動子。

問 答 題

1. 導線之圈，應如何旋轉於地球磁場中，始可得極大之誘導電流。

2. 線圈如何旋轉於地球磁場中，則可不生誘導電流？

3. 商用發電機與電動機，何以不用單圈發電子與單圈電動子？

4. 在發電機中所損失之能，變為何物？

5. 餘磁性 (residual magnetism) 在發電機初動之時，有何用處？

6. 發電機之外電路中，燈數增加時，所需旋轉發電子之力，應否增加抑當減小？試說明其理。

7. 有一為皮帶牽動之分捲發電機，用以使蓄電池充電，皮帶忽裂而機仍轉動不息，試說明其故。

8. (a) “60 循環之交流”一語何解？(b) 以電燈置於 25 循環之電路中，何以其光閃爍不定？

9. 電車軌道上，雖有多量之電流流過，然人立軌上，永不受害，試明其理。

10. 常用於地道中之第三軌，有何用處？此第三軌皆

以爲其較軌道爲危險，何故？

11. 電車之運轉，概不用蓄電池以代架空電線即第三軌之傳電方法，何故？

12. 電車上山之時，流過軌道之電流，較下山時爲多，此何故歟？

13. 能常住定律如何可適用於電動機之入能與出能，試說明之。

14. 用於發動汽車及使蓄電池充電之電動發電機 (motor generator)，如何可就變動之速率維持固定之電壓，試求其故。

15. 分捲電動機中加入稱爲磁場變阻器 (field rheostat) 之輔助耗阻，與其場線圈串聯，藉以減少經過線圈之電流，即可節制其速率，問速率將因此而增加否，抑將減少？何故？若實實驗用之電動機，曷一試之。

實 用 題

1. 發電處。參觀電燈公司或電車公司之發電處 (electric power house)，並作關於汽鍋，引擎，發電機，交換機 (switch-board) 等等之報告。

2. 測驗發動發電機。向汽車修理舖購一舊發動機 (starter)，拆卸其各部分而考驗其場線圈，發電子，整流子，以及刷毛。將此機重行裝配，而測其用爲發動電動機 (starting motor) 時之效率。試求第三刷在使蓄電池充電時如何有節制電流之功用。參閱霍伊康三氏所著之“用油汽車”(Hobbs, Elliot, and Consoliver—*The Gasoline Automobile*)，McGraw-Hill 圖書公司出版。

第二十三章

誘導圈及變壓器

磁石所誘起之電流——楞次定律

電流所誘起之電流——誘導圈——汽車點火器——自誘
——斷續火花圈、電話。

變壓器之作用——變壓器之原理——變壓器之用途
——長途傳遞——渦流。

360. 磁石所誘起之電流。絕緣細導線多捲所成

之圈，若將其兩端連於靈敏之電流計，然後再將強磁石之一極，迅速插入圈內，如圖384所示，則可察見電流計之指針暫有偏斜，當吾人再將磁石急舉而起時，又可察見相反之偏斜，今若放下磁石執之不動，即見電流計之指針回至零點，若將此實驗重行一次，而使磁石上下移動較緩，則見偏斜較小於前。

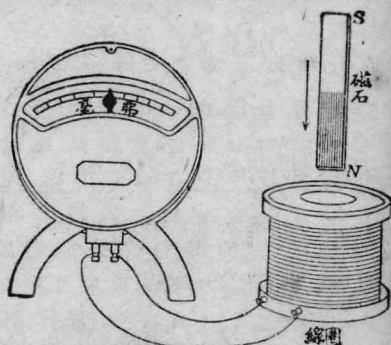


圖 384 以磁石NS急插入線圈，可生暫時之電動力。

由此實驗，可知由於移動磁石，使其出入線圈，能產生暫時之電流。此種電流稱為誘導電流。由此實驗，顯見電流之誘起祇在磁石正當運動之際，而運動之

方向改變，電流之方向亦倒。因電流之流動，常有電動力使之然，故磁石出入線圈之運動，必生一誘導電動力無疑。

361. 誘導電動力之方向。 若取與前相同之裝置(圖 384)，而先使磁石之 N 極在下，後使 S 極在下，插之入圈，則見兩次之偏斜，方向相反。欲決定正在流過線圈之電流，其方向如何，可將銅線銜線各一，啣於口中，造成一微小之弗打電瓶而將兩線與電流計相連。因吾人知銅為陽極，故可比較電瓶電流與誘導電流所註電流計偏斜之方向，因而決定誘導電流之方向。用此方法，可察得當將磁石之 N 極插入線圈中時，誘導電流所取之方向，係在使線圈之上端為 N 極，仿此可發見當磁石之 S 極插入線圈時，誘導電流所取之方向，係在使線圈之上端為 S 極。不論以 N 或 S 極插入，線圈上端常成斥拒運動磁石之極。

誘導電流之方向，可以述之如下：

誘導電流所取之方向，在使其磁力作用，有抵抗產生該電流之運動之傾向。此

稱楞次定律 (Lenz's law)。

362. 電流所誘起之電流。 因電磁石之能力，可使其較大於鋼製磁石，故以電磁石移近線圈，應預期有更大之電流，可以誘起。

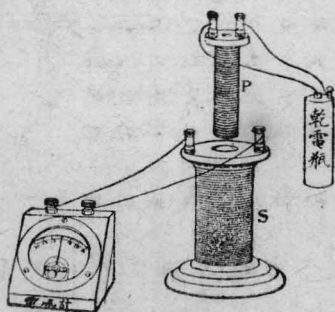


圖 385 運動之電磁石 P ，使 S 圈中生一電流。

茲將圖 385 中之二次圈(secondary coil) S 連於電流計,而將一次圈(primary coil) P 連於電池。當以有電流通過之一次圈 P , 插入另一圈 S 或自其中抽出之時,即有電流誘起,正與移動磁石,出入此圈相用。然誘導電流則較前大甚,吾人又覺 P 圈中之電流加強,則磁場強度增高,因而誘導電流之強度亦然。

由於插一鐵心於一次圈內,亦可增加誘導電流,蓋鐵心可使磁場大強,因而線圈四週磁力線之數亦大增。

若置一次圈及其鐵心於二次圈內,則由於啓閉一次電路內之開關,即可得一誘導電流。開關一啓一閉,電流計上之偏斜方向相反。

概言之,經過線圈之磁力線,其數一有變動,即有誘導電流生於此線圈。

363. 商用誘導圈。在誘導圈(induction coil)(圖 386)中,鐵心係用軟鐵線製成:一次圈係用粗銅線繞成,捲數頗少,而二次圈則由極細之絲包(silk-covered)

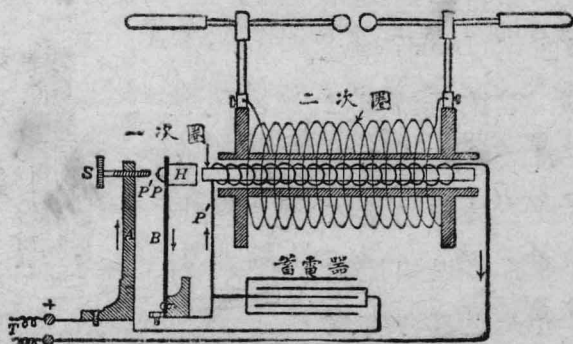


圖 386 誘導圈。

銅線捲成，捲數甚多，且與一次圈絕緣，頗為周密。欲使一次電流之斷續極速，通常以電流斷續器(interrupter) H ，連於線圈之端以司之。此自動斷續之動作，其原理與第 307 節中所述之振動電鈴完全相同。當此種線圈中之一次電路截斷時，電流仍有繼續之傾向，一似有惰性者然，故縱在開關間隙 $P'P$ 已稍張開之後，亦可一躍而過之。有此原因，電流之“截斷”遂緩，而誘導電動力亦弱。故將蓄電器橫連於間隙，以除此弊。此蓄電器通常用錫箔製成，間以石蠟紙使其絕緣，排列之法如圖 277 所示。此器無異於儲電之棧。當一次電路截斷時，電流可急衝而入，斷續器上之電花即可減小。即使連以蓄電器，仍有電花發生，故接觸點之尖端必須鑲以銀或鎢，並須常使潔淨無垢。

誘導圈之種類，通常就其二次圈兩極間之距離為電花所能躍過者而定。當運用誘導圈時，祇須使其兩極充分接近，即有電花躍過其隙，繼續不斷。此種誘導圈，有時稱為藍姆考夫圈(Ruhmkorff coil)。

364. 誘導圈之用途 誘導圈

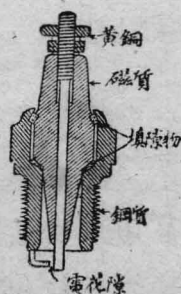


圖 387 油引擎電
花栓之剖面

最重要之實用，在於氣體引擎中之點火器無疑。欲發一電花躍過電花栓(spark plug, 俗稱火星塞)(圖 387)之兩端，須用數千弗之電壓。

在多數汽車及航海之引擎上，直流係由發電機及蓄電池供給，其上有調節電壓之裝置。在此組織中，須有一誘導圈，一斷續器，以及一分配器(distributor)，此器可將高壓電流，輪流入各栓。此組線之原理，如圖 388 所示。

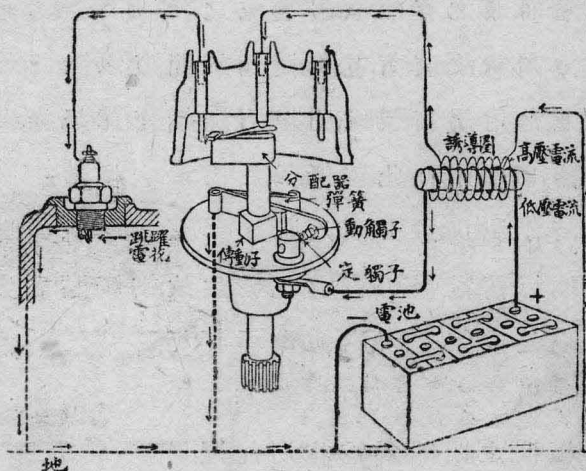


圖 388 汽車點火器之組織，用電池，電花圈，以及高壓分配器各一。

誘導圈有時與蓄電池合用，置於便於攜帶之器具中，以供激勵 X 光管 (X-ray tube) 及發生無線電報中之電波 (electric wave) 之用。此二者將於第三十及第三十一兩章中述之。

365. 自誘. 若以捲數多而有軟鐵心之線圈,連於電池,可見當開關閉合之時,電流並不立達其充足之量,一如歐姆定律所決定.電流之有此結果(當然所歷時間甚短),其理如下,即電流初通時,造成一磁場,此磁場初生之際,其力線即橫截線圈之各捲,因而誘起一電動力於其中,此電動力反對電流之通過.

當開關放開之時,原電流並不立降至零,仍有躍過開關間隙而繼續流動之傾向.蓋電流自有之磁場初滅時,其力線又橫截線圈之各捲,但在此時之自誘電壓,扶持電流繼續流動.

欲顯示自誘之作用,可取一6弗之小電燈,橫連於電磁石之兩極間.若再連一蓄電池,使有4弗之電壓越過此燈(圖389),則電燈先發光頗明,但當電流既已穩定之時,迅即變暗,當將開關閉時,燈又轉明.

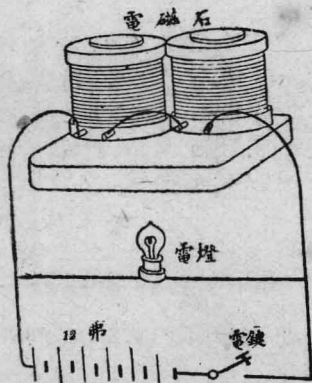


圖 389 表示電磁石中自誘, 效應之實驗.

電路反抗電流變動之性質,稱爲該電路之自

誘(self-induction)或誘導(inductance).電路之此種性質,有時稱之爲電磁惰性(electromagnetic inertia),因其

極相同於吾人在機械中所發見之性質也。自誘作用，在交流電路中甚屬重要，尤以在高週率電流之電路中為然。

366. 自誘之應用。自誘之原理，可利用之於斷續點火器 (make-and-brake ignition)。所用者為單獨線圈，由多捲之線繞於軟鐵心上而成。當此種線圈，用以供給氣體引擎之泡缸中之電花時，其電路如圖 390 所示。其兩極為引擎之汽缸內之兩點，一點固定 (A)，而他點可動 (S)。當 (A) 與 S 分離之時，因線圈之自誘而發之誘導電動力，足使電花躍過其間隙。

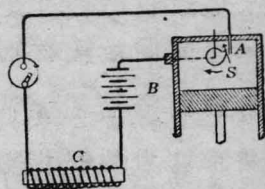


圖 390 用為氣體引擎點火器之斷續電花圈。

用電池電流以點家用之煤氣燈時，所用之線圈即屬此種。若於大電磁石例如電動機之場磁石之電路初斷之時，以指觸間隙任一側之導體，則因自誘而生之電流，有時使人起劇烈之震動。

電 話

367. 電話受話器。於一八七六年時，亞力山大格刺漢柏爾 (Alexander Graham Bell)，證明人類談話之音，可以用電傳遞，全世界為之驚奇不置。柏爾氏之器械，其主要部分至今仍用之者，以柏爾受話器 (Bell receiver) 聞。此器為一硬橡皮匣，中藏鋼製之蹄形磁石，其兩極皆繞有極細之線所成且捲數甚多之線圈

(圖 391).一薄鐵圓片置於此磁石之前,其中心幾與其兩端相觸.圓片之外,套一中央有孔之硬橡皮蓋,或稱耳片 (earpiece),以使圓片固定,不致脫落.

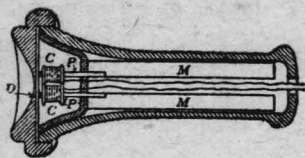


圖 391 雙極電話受話器之各部分。

欲顯示電話受話器之作用,可將大受話器一具,與電燈串聯於交流總線,或連於可發交流之磁石發電機.吾人立聞巨大之營營聲,發自器中.若使受話器向上直立,而以鉛筆輕點於鐵膜 (diaphragm) 之上,則見鉛筆即上下跳動.蓋通過線圈之交流,更迭使磁石忽強忽弱,其吸引鐵片之力遂時大時小,因而鐵片發生振動.此振動傳於空氣,於是發音.

368. 微音器. 今製一極簡單之微音器 (microphone), 以示如何可生適當之電流,使受話器發言語之音,以易此營營之聲.

此微音器可以弧燈所用之炭棒三條製之(圖 392).若此種微音器與電池及電話受話器串聯,而以一錶置於其底板之上,則滴滴之

錶聲,雖受話器與其相離頗遠,亦可於器中聞之.蓋錶使底板微震,傳及炭棒,致其接觸點之耗阻發生變化,電流因亦變動.變動之電流,於是將受話器之膜前後牽曳,而將週圍之空氣,激之使動,音乃得聞.



圖 392 簡單微音器。

369. 電話送話器 近代之電話送話器 (tele-

phone transmitter), 不過一意匠細密之微音器而已。此器有一小匣(圖 393), 其中滿藏硬炭之粒。匣之前後, 爲磨光之炭板, 而匣之四側爲絕緣體。匣前之炭板, 連於膜之中央, 故當膜振動之時, 炭板隨之稍有忽進忽出之運動, 此一炭板固定於外套之堅實之背。電

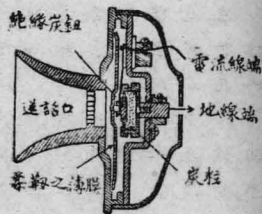


圖 393 電話送話器之剖面。

流自電池而來, 流至前板, 於是經炭粒向後流至他板, 再沿電話線流出而至受話器。當膜向後微動之時, 即壓緊炭粒, 其耗阻遂減小, 而電流加強, 亦將受話器之膜向後牽曳。當送話器之膜向外移動時, 電流減少, 而受話器之膜亦向外移動。若一人向送話器發言, 使其膜起相應之振動, 則受話器之膜, 起同樣之振動, 而在四週之空氣中, 發生同類之音波(圖 394)。

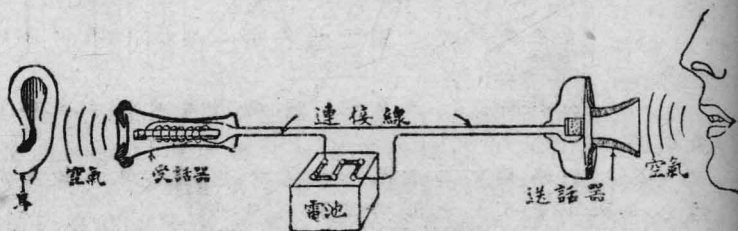


圖 394 簡單之電話電路。

370 中央電池式與局部電池式。適所述者，為各大都市所用通話之法，其電池為一碩大之蓄電池（或發電機），置於中央電話局之內，各線在任何時刻通話，皆用其電流。

在多數鄉村電話總局中以及孤獨之支線上，則另用一法，稱為局部電池式（local-battery system），因其設備費及維持費，皆較廉也。即在城市之中，於長途電話線上，所用者亦與此式相同。

在此式中，各用戶之電話機上，皆有乾電瓶數具，與其送話器串聯，如前所述。惟所生變動之電流，不逕由總線送出，而取道一小誘導圈之一次圈，回至電池。其時誘導圈之二次圈，即將一誘導電流送入總線，其變化一如原電流，但其電壓則較前高甚。若斯則“線虧（line losses）”大為減小，因而能之入於受話器者，亦較原電流直接送出時為多。就電方面而言，此式實優於中央電池式（central-battery system）。此式之所以不用於城市中者，其主要原因，蓋在於欲使如是衆多之局部電池，同時可用，一無損壞，實屬困難耳。

問 答 題

1. 一密閉線圈置於桌上，以磁石之 S 極插入其中時，圈內電流之方向為何，試作以圖而註明之。
2. 試說明楞次定律對於 (a) 電動機，(b) 發電機之應用。
3. 誘導圈所發之電花，欲決定其長度，有四要素，試列舉之。
4. 誘導圈之一次圈與二次圈中之電流，其主要之差別為何？
5. 誘導圈之二次圈兩端之間，僅在斷續器截斷電路之時發生電花，而在接連電路之時則否，何故？
6. 最初之電話送話器，有以磁化之鐵片，置於線圈

近傍而製成者。此器不用電池。問電流如何可因人之發言而生？

7. 當電話線近於交流電力總線而與之平行時，電話受話器中有時可聞營營之聲，說明其理。

變壓器

371. 何謂變壓器？前此已見誘導圈係由直鐵心繞以兩線圈而成——一為一次圈，捲數甚少，一為二次圈，捲數甚多。當斷續之電流經過一次圈時，即有連貫之同向高壓電花，躍過二次圈兩極之間。

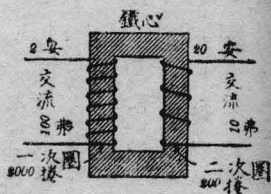


圖 395 理想降壓器。

此因一次圈之電流屢次急斷之故。反之，在變壓器 (transformer 俗稱方棚) (圖 395) 中，鐵心常為長方形，而成密閉之磁鐵路 (magnetic circuit)。其第二不同之點，則為變壓器中，常以交流加於其一次圈，因此生一交磁流於鐵心之中，此交磁流更在二次圈中誘起一交流。

372. 變壓器之作用。變壓器僅能變化電壓，不能將交流變成直流，此事須切記莫忘。變壓器之作用，可由敘述鳴鈴變壓器 (bell-ringing transformer) 知之，即藉以從平常之交流電燈線，取用功率以運用電鈴。

蜂音器 (buzzer), 開門器 (door opener) 以及同類之器具者, 以顯示之, 或最妥善。此小小之裝置, 可變電燈線之 110 弗, 為電鈴所需之 5, 10, 或 15 弗。

圖 396 所示者, 即為一種鳴鈴變壓器之外表及內部之構造。A 與 B 兩端, 經保險絲而連於 110 弗之交流電路, 稱為一次極 (primary terminals), x 與 y 兩端, 為二次極 (secondary terminals), 當一次電壓為 110 弗時, 此兩極間之電壓為 10 弗。今如考察其內部, 則一見其構造之簡單, 將為之驚奇不止, 蓋其中僅有鐵心一與線圈二也。鐵心係由柔韌之薄鋼片若干所成, 鑄為適當之形狀, 使成密閉之磁路。用珐瑯包線 (enamel-covered wire 俗稱漆包線) 繞成之一次圈 P, 其捲數約為 880, 而二次圈 S 之捲數, 則約為 80。

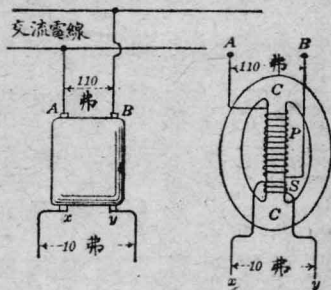


圖 396 鳴鈴變壓器及其內部構造。

873. 變壓器之原理。 任何變壓器, 皆有二線圈, 相並而繞於公共鐵心之上。當使交流通過一圈 (稱為一次圈) 時, 鐵心即為其磁化, 發生洶湧之磁流, 先流於一方向, 繼流於他方向。此磁流除經第一圈外, 亦經過第二圈 (即稱為二次圈者) 故, 在二次圈中誘起一交流。因經過兩圈之力線, 其數相同, 故每圈之弗數相同。因此一次圈內之總電壓, 對於二次圈內總電壓之比,

同於一次圈之捲數對於二次圈之捲數之比，此可以下列方程式表之：

$$\frac{\text{一次圈上之電壓}}{\text{二次圈上之電壓}} = \frac{\text{一次圈之捲數}}{\text{二次圈之捲數}}$$

若斯則交流之工率，可見其藉鐵心中之磁流，由一次圈而傳遞於二次圈。

374. 尋常之廣布變壓器。 因街道上之傳遞總線，其電壓常在 2300 弗左右，故必須變之或“降之 (step it down)” 為 115 弗，始可用於私人之家中而保無虞。此種變壓器，其高壓線圈 (high-tension coil) 係由多捲之細線所成，連於 2300 弗之電路；而低壓線圈 (low-tension coil) 則由粗線所成，捲數頗少，連於屋內之燈路。就此例而論，高壓圈即一次圈之捲數，須為低壓圈即二次圈之 20 倍，但二次圈之線，必須較一次圈為粗，因二次電流，約為一次電流之 20 倍也。故變壓器所發之能，幾與其所受之能同量，惟有一小部分 (約自百分之二至百分之五)，在變壓器中變為熱而失去耳。因此變壓器之效率甚高，自百分之九五至百分之九八。

變壓器通常製成兩種：一為鐵心式 (core type) (圖 397, A)，其線圈係繞於長方形鐵心之兩側者，一為鐵殼式 (shell type) (圖 397, B)，其中之鐵心，係圍繞於外包薄片之線圈者。

兩種之鐵心，皆以柔韌之矽鋼薄片製成。

最新式之一種，實為改良鐵心式，並採取鐵殼式之許多優點而成。其線圈繞於鐵心之一股，而他股 (leg) 則分成四部分，圍繞套有線圈之中央一股而成對稱，如圖 397, C 所示。此一種稱為 H 式 (H-type)。欲保線圈之絕緣，常將變壓器置於鐵匣之中，而圍之以油。用交流以點電燈之諸屋，其近傍之電桿上，通常皆附有此等鐵匣。

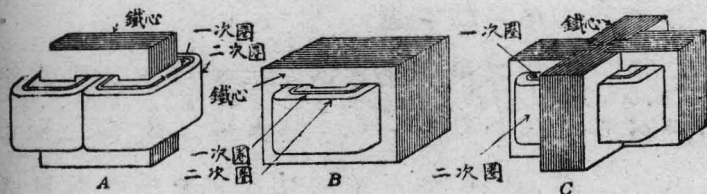


圖 397 三種變壓器：A，鐵心式；B，鐵殼式；C，H 式。

375. 變壓器之用途。 在電燈廠中，慣用交流機以發電壓在 2300 弗之電。電流即在此高電壓之下，傳遞至各區域，再就地降至 115 弗，以供屋內點燈之用。降壓器 (step-down transformer) 之另一重要用途，為以電壓極低之巨大電流，供給電爐及電鍛接之用。

欲證明此事，可以一捲或二捲之粗銅線，繞於小降壓器之鐵心上，如圖 398 所示，然後將其一次圈，連於 110 弗之交流電路 (苟可得交流電路者)。粗線之兩端，應附鐵釘一雙，若於電流通時，使兩釘

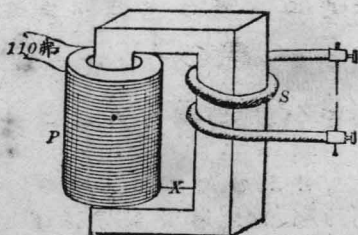


圖 398 實驗上之降壓器用於鍛接。

尖端相觸，則兩釘皆發赤熱，即可鍛接矣。

電車軌道之毘連各節，往往用此法鍛接之。所需之電流甚大，惟時間頗短。電流係用降壓器得來，降壓器之二次圈，祇有一捲或二捲，為極粗之銅條。此二次圈之兩端，夾於所欲鍛接之軌上，接合處之兩側，各有一端。

376. 功率之長途傳遞。 現時利用高電壓之交流，甚至達二十二萬弗者，可將功率傳遞於極長之距離以外。例如在美國加利福尼亞省之西拉尼瓦達山 (Sierra Nevada Mountains)，水電動力廠中所發之電功率，可以傳遞至 250 哩外之洛杉琪兒 (Los Angeles)。欲瞭解電之傳遞，何以需如是高之電壓始為經濟，當回憶所傳遞之功率，係視電壓與電流強度之乘積而定。然則若可使電壓升高，電流即可減低，其事頗顯。但較小之電流，即可使傳遞時之損失減少；因損失乃由電流之熱效應而來，而熱量依電流之平方而變，吾人固早已見之矣。

銅索三條或六條，其直徑約各為 $\frac{3}{4}$ 吋，懸於高出地面約 75 呎之鋼塔上如圖 399 所示者，並非不常見之物，而此諸銅線，有 40,000 瓩之電能正在其上通過，

亦非不常知之事，美國全境，水電動力廠正在發展，例如在耐亞嘎拉(Niagara)，有一發電之動力廠，將電壓

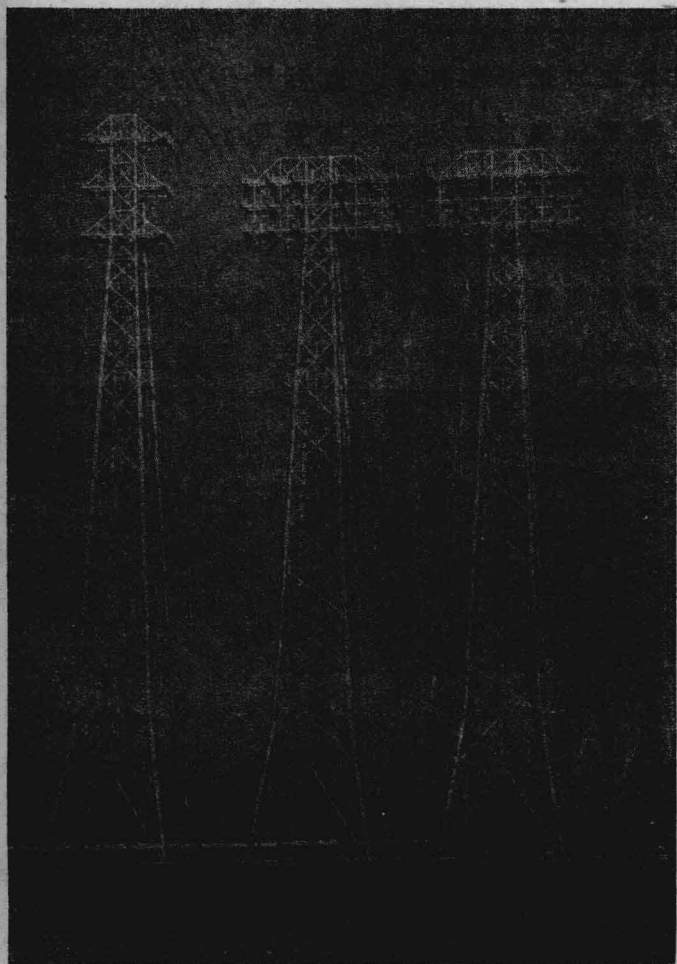


圖 399 南加利福尼亞之高電壓長途傳遞線。

昇高至六萬弗，而將在瀑布下可得之巨大之能，傳遞其一部分至於羅徹斯特 (Rochester) 乃敘拉古 (Syracuse) 諸城。適在城區以外，有變壓所 (substation) 若干，其地之電壓降至約 2000 弗，然後分配於工廠，以及供給點燈及曳重之用。在電流實際上入於屋內以前，電壓再降低至 220 弗或 110 弗。

在發電所則裝有昇壓器 (step-up transformer)，此器接受電壓自 2300 弗至 11000 弗之電能，而將其電壓昇至 50000 弗至 220000 弗，再送於傳遞線上。在此過程

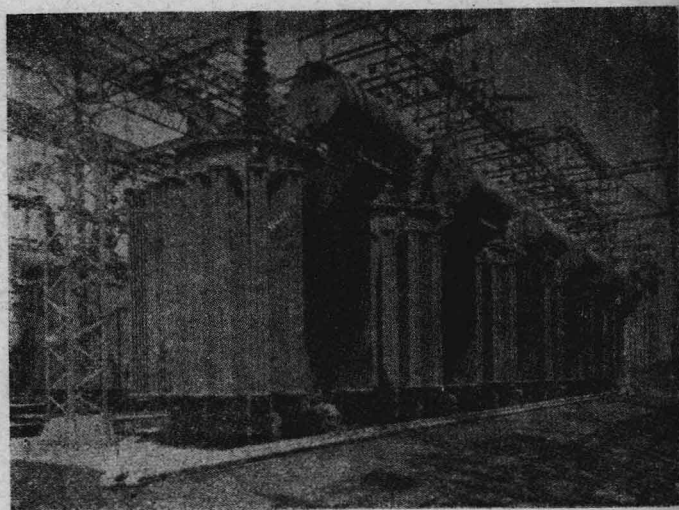


圖 400 近世戶外變壓器。

鐵盒內之油，用水冷卻，其表面凹凸不平，目的在增加空氣冷卻之面積。

中，變壓器並未增加功率，因電功率須視電流與電壓之乘積而定也。電壓或可增為10倍；但同時則電流變為不及十分之一，故功率恆有損而無益，在極巨之變壓器中，其用以絕緣之油，常用水冷却之，而對於高電壓之設備，則戶外式(out-of-doors type)之變壓器與開關(圖400)，遠較戶內式為多。

377. 渦流。變壓器之心，已見其乃由軟鐵或柔鋼之片，鑄成適宜之形式，然後合於一處而成。在誘導圈中，其心係用軟鐵之線，捆為一束而成。若將發電機之發電子，或電動機之電動子，加以考察，則見鐵製鼓體，係由軟鋼之薄片，層疊於一處而成，各片皆鑄成盤狀，在其邊緣之周圍，開凹槽若干(圖401)，然後集之於稱為“蛛狀殼(spider)”之架上，而貫之於軸。片與片間，以及繞於其上之線與線間，常塗以蟲膠片(shellac)，使其互相絕緣，且可減少所謂渦流(eddy current)，又稱佛科電流(Foucault current)。

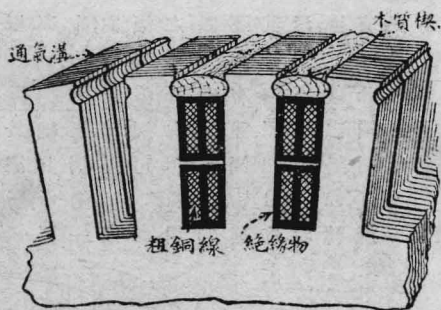


圖 401 發電子之層疊鐵心。

前此研究發電機之際，已見任何導體橫截磁力線時，誘導電動力即有沿導體輸送電流之傾向。在發電機中，用以運送此電流者為銅線，但此等銅線係繞於鐵心之上者，而此心既屬鐵製，則其本身亦為導體，故當其旋轉於磁場中時，其中亦有誘導電動力發生。此誘導電動力即將送一

電流經過鐵心之某部分，此即所謂渦流是也。渦流一起，鐵心立即發熱，而發電子之運動因以遲緩，功率遂受損失，欲儘量減少此等電流，須使鐵心各層間之絕緣體，橫截渦流所欲流動之方向。

378. 渦流之滯留效用。欲明渦流有遲延磁場中導體運動之傾向，可以厚銅片製成之擺，安設於強大之電磁石之兩極間而察之(圖 402)。若磁石未經激勵，則銅擺可以左右擺動，與其他任何之擺無二；但當開通電磁石內之電流時，銅擺即不能經磁場以擺動，因而立受遏制。若此銅擺，易以縱剖平行之切口一排之相似之擺，即見渦流之滯留效應，大為減少。銅擺中所生之渦流，有遲延其運動之傾向，宛與擺在濃厚之糖漿中擺動時相仿。

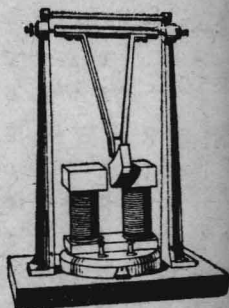


圖 402 銅擺為渦流所滯留。

此效應極有利於停止達孫發爾電流計(參閱第 309 節)中動圈之搖擺。動圈之銅線，常繞於輕銅架或鋁架之上，而此金屬架中之渦流，即可遏制其擺動。此種電流計稱之為“立止 (dead-beat)”式。在第 330 節中，所見瓦時計之圓盤能自制其旋轉者，亦因利用此同一原理之故也。

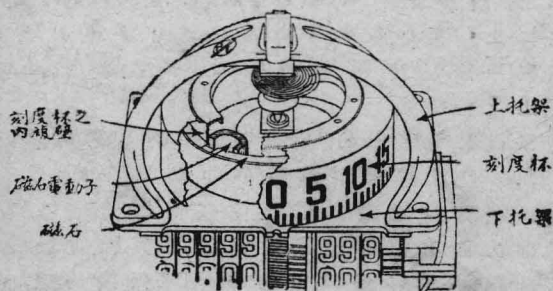


圖 403 汽車速度計，其匣已卸去。旋轉之磁石，使刻度杯中生一渦流，因而當速度增加時，可扭之以轉。

在某種速度計中(圖 403),可見有一磁石,置於鉛質鼓形輪之內,此輪用細密之方法,裝於軸,且有渦狀細發條固定其位置。當其內部之磁石旋轉時,即在鼓體中誘起渦流,而曳之以轉過一角,此角之大小即視速率而定。

問答題與計算題

1. 在直流電路中,何以不能採用變壓器?
2. 鳴鈴變壓器(圖 396)之一次圈中之電流,自 A 流向 B 者,在某一瞬間方在增加,問 (a) 二次圈中之電流究在增加,抑在減少? (b) 在彼一瞬間其方向為何?
3. 欲用變壓器將 1100 弗之電壓,降至 220 弗,則其一次圈與二次圈之捲數之比,必須為何數?
4. 有一變壓器,其一次圈有 1000 捲,二次圈有 50 捲,而一次圈中之電流為 20 安,問二次圈中之電流約為若干安?
5. 圖 398 中所示之實驗,所需銲接二釘之熱,何由而生? 銅線 S , 何以並不與釘頭同時溶化?
6. 一變壓器之一次圈有 10,000 捲,二次圈有 500 捲,一次電流為 10 安,而一次電壓為 2000 弗,假定變壓器中無能之損失,試求二次圈中之電流及電壓。
7. 一傳遞線之耗阻為 5 歐,當有 5000 瓦之功率,在 (a) 5000 弗之電壓下,由此線傳遞時,試計算線上功率之損失, (b) 如電壓為 50,000 弗時,則功率之損失為何?(提示:線虧 (line loss) = I^2R (瓦).)
8. 美國全國各發電所目下所發之電流,其大部分(約為百分之九十五)為交流,何故如此?

第二十三章 提要

誘導電流祇於穿過電路之磁力線正在變動時,始得存在。

誘導電流之方向,為反抗使此電流發生之運動者。此

即楞次定律是也。

自誘為電路之一種性質，在使其磁場反抗電流之有任何變化。

電話受話器中有永久磁石之二極，此磁石時強時弱，但其二極之性不倒。

微音器內藏炭粒，因膜之振動而所受壓力時起變動，故其耗阻亦變動不定。

在變壓器中，

$$\frac{\text{一次圈上之電壓}}{\text{二次圈上之電壓}} = \frac{\text{一次圈之捲數}}{\text{二次圈之捲數}}$$

長途傳遞電能時，用高電壓與低電流量，則線虧可以減少。

變壓器及發電機與電動機之鐵心，係層疊薄鋼片而成，以免因渦流而生之損失。

問 答 題

1. 大誘導圈之二次圈之兩端，觸之殊為危險，何故？
1. 電路之自誘，在電流穩定之時，始終不顯，何故？
3. 誘導圈上須用斷續器，變壓器上則不用，何故？
4. 誘導圈如何可以用之為昇壓器？
5. 變壓器中所用之油，其“通感強度(dielectric strength)”須細加測驗，何故？
6. 變壓器之鐵套，往往有綑欄，何故？
7. 在高電壓傳遞線上可用之電壓，因何而有限制？
8. 用於長途傳遞之海底電線，有時不用銅而用鋁製，何故？
9. 高電壓傳遞線上所用之絕緣體，為懸吊式(suspension type)，其優點何在？
10. 用高電壓電線，傳遞功率至長距離外，常將電線架於鋼塔上，塔高於地者75呎或在75呎以上，電力公司更須購入100呎寬之路，以建塔架線，所以須此警備區域者，何故？

11. “Machines telephone switching”(機器通話)一語何解?若有機會,試至用此系統之電話局一參觀之。

實 用 題

1. 裝配汽車點火器。 覓得汽車點火器之主要部分,例如電花栓,發火節時器,以及電花圈,按圖 388 所示連接之,然後裝置電花栓,使其在節時器旋轉之時,發出連續之火花。

2. 關於電話總局之報告。 參觀電話總局,請求詳細說明該局所採用之系統,關於該局所用使兩用戶得以通話之法,作一簡單報告。

3 比較鳴鈴變壓器與乾電瓶之費用。 先求變壓器之代價,以及使用時之所費,包括“利息與折舊 (interest and depreciation)”在內。再求用乾電瓶以鳴門鈴之所費,何者較廉?

4. 製一小變壓器。 良好之說明,可於亞當 (John D. Adams) 所著“關於 110 弗交流之實驗 (*Experiments with 110-volts alternating current*)”一書中得之,此書爲紐約第四街 250 號民衆科學印刷公司 (Popular Science Publishing Company, 250 Fourth Avenue, New York City) 所出版。

第二十四章

交流

何故用交流——總阻——交流功率——容量——交流機——
多相電路——交流電動機——旋轉磁場——鼠籠旋轉子
——整流器。

379. 何故用交流。 就發熱與發光之目的而論，交流與直流同可使人滿意，然電鍍及精鍊金屬，則交流即不可用，因欲使金屬沉積，必需專向一方流動之電流也。若電動機須以交流運轉之，則通常所用者皆屬特種之電動機，其構造與平常之直流電動機大不相同，用交流之實在利益，為傳遞之經濟，已由利用變壓器而達此目的矣。

交流電路之若干性質

380. 總阻。 若測量鳴鈴變壓器一次圈之耗阻，則或可求得其值為 13 歐；當吾人以此變壓器置於 110 弗之交流電線上時，或將預期有 $\frac{110}{13}$ 即 8.5 安之電流通過，但以交流安計 (a-c. ammeter) 測之，將見實際上祇有 0.05 安之電流，流經一次圈，然則除耗阻以外，顯見尚有他種阻力，方在阻止交流之流過，此種阻

止交流之阻力，**稱**為**總阻**(impedance)。在此例中，總阻為 $\frac{110}{0.05} = 2200$ 歐。由此可見在 110 弗直流電線上或將迅速燒毀之線圈，在 110 弗交流電線上，幾未用電流

設有一燈，與線圈串聯，圈有可除去之鐵心，如圖 404 所示。

除去鐵心，而命直流通過線圈與燈，即見燈之發光頗明。若以鐵心插入線圈之內，則見燈之照亮如故，絲毫未退。今若除去鐵心，而將線圈與燈連於交流電源，其電壓同於前所用之直流者，則燈之發光即暗；而鐵心若再插入線圈之內，則燈光之變暗愈顯。

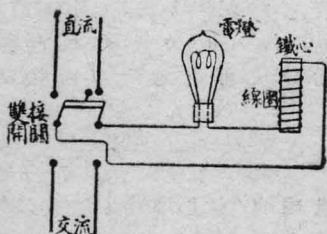


圖 404 與自誘量串聯於直流及交流電路之燈。

交流之此種停塞現象，係由線圈之自誘量(inductance)而來，蓋在電流變化之際，即有反電動力，或稱**反電壓**(back voltage)藉之以生也。

381. 交流電路中之功率。 在直流電路中，以瓦數表示之功率，等於弗數與安數之乘積，此事早已知之矣。在無自誘作用之交流電路中，例如平常熾熱燈之電路，此一規則亦可適用。但在自誘電路(inductive circuit)中，例如鳴鈴變壓器之一次圈，即見由瓦計測得之功率，小於弗與瓦相乘之積。此真功率對於貌似

功率 (弗與安之乘積) 之比, 稱為功率因數 (power factor).

交流功率(瓦) = 弗 × 安 × 功率因數.

例如, 以瓦計測前節所述變壓器, 應預期所示者為 110×0.05 即 5.5 瓦; 但瓦計實在所示者祇為 4 瓦. 是以此變壓器一次圈之功率因數為

$$\frac{\text{真功率}}{\text{貌似功率}} = \frac{4 \text{ 瓦}}{5.5 \text{ 弗安}} = 73\%.$$

若一電路中祇含耗阻, 則其功率因數為百分之 100; 但在自誘電路中, 功率因數即較百分之 100 為小. 電路中之自誘量愈大, 功率因數即愈小. 在實際上, 商用電路之有電燈及電動機者, 其功率因數之平均值約為百分之 85.

382. 交流電路中

之蓄電器. 在電話機中, 係用交流以鳴鈴, 且有一蓄電器串聯於鈴 (圖 405), 以放交流之通過, 而阻止談話所用直之流入.

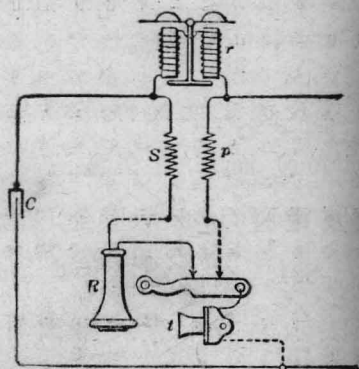


圖 405 用普通電池之桌上電話機, 其線路之連接圖. C 為蓄電器.

若以熾熱燈與蓄電器 (圖 406) 串聯於直流電路, 則燈不發光, 因電路在蓄電器之諸板間, 開而不合也. 但將此同一之電路, 連於交流電線上時, 縱使電路在蓄電器之諸板間, 開而未合, 燈亦發光.

蓄電器在交流電路中，電雖未嘗流經其間，然確在器中屢出屢入，此即蓄電器之作用。電燈之發光，亦

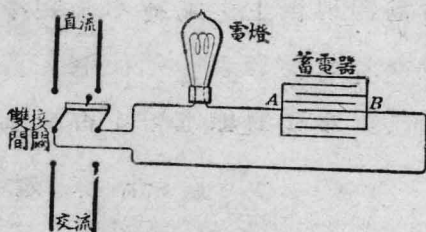


圖 406 與蓄電器串聯於直流及交流電路之電燈。

電之此種前後之激盪，有以致之。若減小蓄電器之體積，則燈光不復可察，因蓄電器之電容器 (capacity) 不足以使其發光也。

蓄電器喻以導管中有膜之箱，如圖 407 所示，則其在交流電路中之作用，即可想像得之。此箱用橡皮膜 D 隔為二室，如 C 與 C，而二室皆由導管連於唧筒 P。此往復唧筒之排水也，當活塞移上時，先使流於一方向，然後於活塞下移時，使水循他方向流動。若斯則因水之前後激盪，而膜乃受機械的壓力 (mechanical stress)。

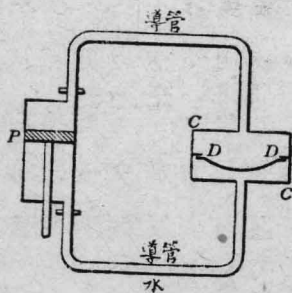


圖 407 交流電路上蓄電器之機械的比喻。

唧筒可擬之為交流發電機，箱之二室相當於蓄電器之二組導板，而膜則可比蓄電器之通感體 (dielectric)。

當交流在電路中循一方向而行時，蓄電器之一組導板，即帶陽電，而他組則帶陰電。當電流反向之時，

蓄電器導板上之電荷亦易。在平常電燈電路中，每秒中如是改變者 120 次，故電在蓄電器中出入流動頗速，蓄電器在無線電報中占極重要之地位。

計 算 題

1. 有一變壓器，其一次圈之耗阻為 260 歐，問其在 115 弗之直流電線上所取之電流為何？
2. 前題之變壓器，在 115 弗之交流線上吸收 0.0575 安之電流，問其總阻為何？
3. 前題之變壓器，連於瓦計之時，知其所納功率為 4.5 瓦，問激勵變壓器之電流之功率因數為何？
4. 有一變壓器，其功率因數為百分之 60，自 110 弗之交流電線，收納 7.5 瓦之功率，問其所納電流為何？
5. 一線圈之功率因數為百分之 75 而其總阻為 45 歐，問此圈在 230 弗之交流線上，所消費之功率為何？

交流發電機與電動機

383. 交流機。 在第 344 節中，已見線圈在磁場中旋轉之時，其上之電流每間半週，方向變換一次。即在雙極機中，每週交換二次是也。在直流機中，此交流即用整流子改正其方向。在稱為交流機之交流發電機中，發電子中誘起之電流，經滑環而出(圖 360)，滑環或稱採電環(collecting ring)。

交流機之場磁石，通常皆為電磁石，而用來自稱為勵磁機(exciter)之直流以勵之。

因在任何發電機中,最重要者不過發電子線圈及場磁石之相對運動,故製造大交流機,常用定發電子 (stationary armature) 及旋轉磁場(revolving field),如

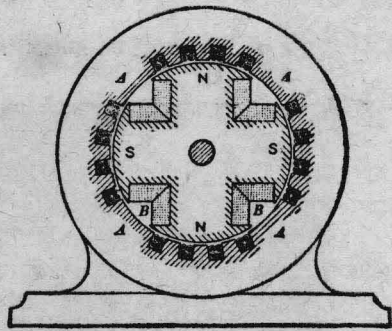


圖 408 旋轉磁場與定發電子之圖式。

圖 408 所示之突出之四極 N, S, N, S, 旋轉時即掠發電子之導線而過, 諸線皆嵌於固定圓架 A 之內壁四周之凹槽中。激勵場線圈之直流, 經擦於二絕緣金屬環之二刷而入。交流直接由固定發電子上所繞之線,

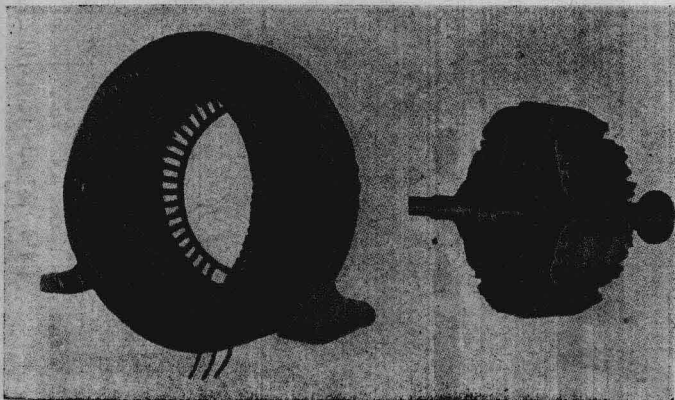


圖 409 交流機之固定發電圈及其架, 右側爲其旋轉磁場(八極)。

經電纜 (cable) 而入交換機。固定發電子較優於旋轉發電子之處；在於電流既在不動之導體內發生，則其

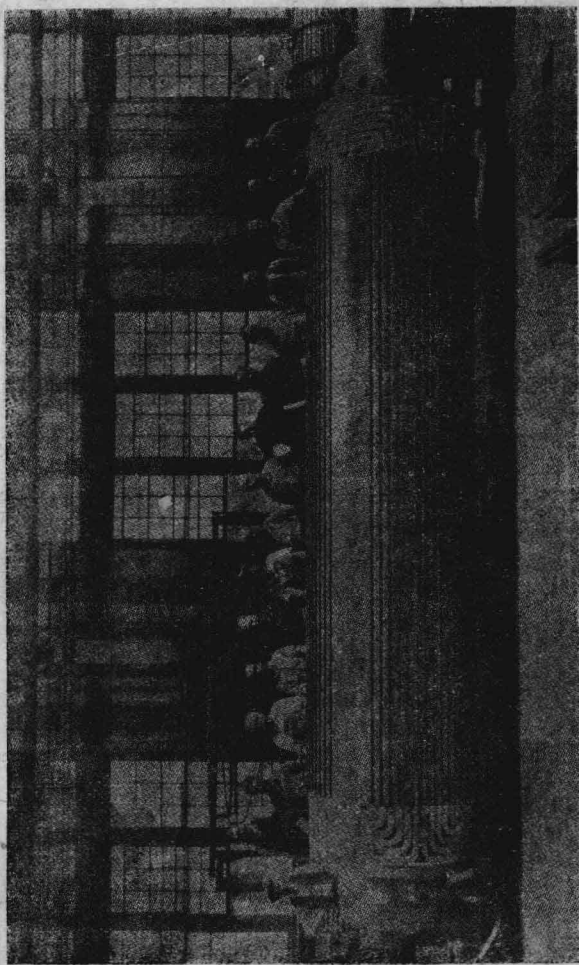


圖 410 高速度交流機所用之旋轉四極磁場，預備直接連於蒸汽沖輪者。

發送於外路也，即無需任何滑移之接觸物。高電壓所需之絕緣體，亦易於構造。圖 409 所示者，即係商用交流機之旋轉磁場及固定發電子。其用蒸汽沖輪運轉者，有數種祇有二極或四極，其旋轉速率高至每分鐘 3600 次。

384. 交流之循環與相。使導體移動而過磁石之 N

極時，誘導電動力係向一方；當其移動而過 S 極時，誘導電動力即取反對之方向。此可用圖

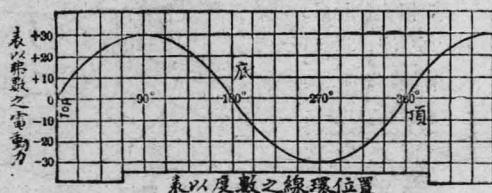


圖 411 交流電動力之曲線。

411 中之曲線表

示之，最佳。導線在雙極機中運動，完全經過一週之時，或在多極機中，自北極經過南極而至其次之北極時，曲線上即生一波，是謂一循環。

在實際上，通常用以點燈之交流，其週率 (frequency) 為每秒 60 循環；而用以傳遞功率者，則通常為每秒 25 循環。

一完全之波，即一循環，謂之 360 電機度 (electrical degree)，相當於雙極發電機中完全一週。一循環中任何點或任何地位，稱之為某相 (phase)。例如在轉畢半循環時，即謂其相

為 180 度，而當轉畢四分之一循環時，相為 90 度。二交流之流於支電路中者，可有不同之相，如圖 412 中所示

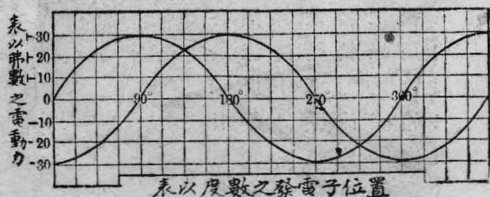


圖 412 二交流之曲線，其相之差為 90°。

者即是，其中一曲線代表一支之電流，而他曲線代表他支之電流。在此所舉之例中，即謂一電流較他電流滯 (lag) 後 90 度。

由實驗，知在有自誘量之電路中，交流常較使其發生之交流電壓，遲緩一定之時刻故交流較其電壓為滯後。

385. 單相與多相電路。若將發電機之定發電子之所有線圈串聯，而旋轉其磁場，如圖 413 所示，則可發生一單相 (single phase) 交流，其週率可由旋轉子每秒之轉數乘以極之偶數而決定之。欲利用此電流於任何目的，例如電

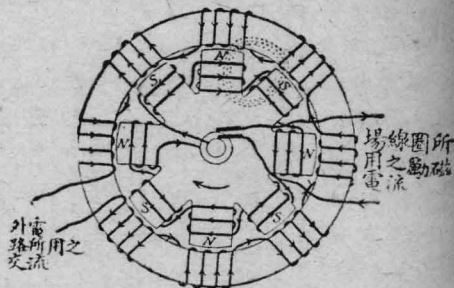


圖 413 單相交流機之旋轉磁場(八極)及其定發電子。

燈，祇須截此發電子於任何適宜之點，而將其兩端直接連於總線可矣。有一事須加注意者，即在單相機中，發電子上線圈之數，同於場磁石上之極數是也。

對於磁場之每一極，裝配多於一之線圈，則大可節省地位，故有二相 (two-phase) 與三相 (three-phase) 機之製，其中發電子上即有二組或三組之線圈。在三相機中，其三組之發電線圈，各可分別用以供給電流於三不同電路，如圖 414 所示者然。三相交流機乃今日最通用之一式也。

三電路中之電流，其相之差為 120 度 (圖 415)。

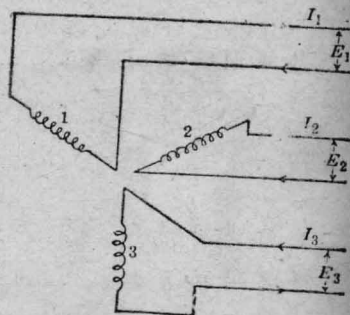


圖 414 三相交流機及其六總線之圖式。

由此圖可見在任何一瞬間；三電流之總和為零。

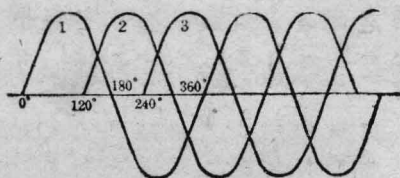


圖 415 三相系統中交流之曲線。

電機工程師已發明兩種方法，將任何種類之器械，連於三相電路，俾可祇用三總線，以代六總線(line wire)，如是則導線可以節省。此二法為星形連法(star-connection, 又稱 Y-connection), 如圖 412 (I) 所示, 及三角連法(delta-connection) 如圖 416 (II) 所示。大多數之交流機，其線圈皆用星形連法；而交流電動機有時用星形連法，有時用三角連法。

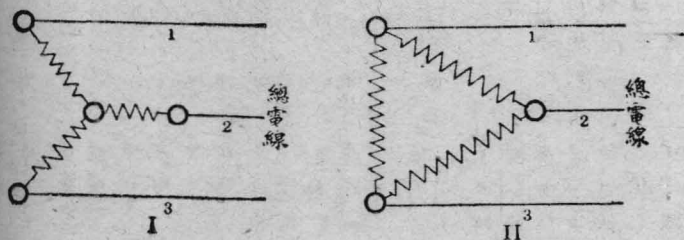


圖 416 三相系統之(I)星形連法, (II)三角連法。

386. 交流機之用途。 旋轉發電子式之交流機，大概祇用於小電燈廠。旋轉磁場式之大交流機，通常皆裝於(直接連於)轉動引擎或水車之同軸上。容量甚大之交流機，連於蒸汽臥輪者，其用今已甚廣。此種交流機之體積，比較可以狹小，因其速率頗高也。且其旋轉磁場亦祇有少數之極(有時僅有二極)，而發電

子之鐵心及場極之間,空氣間隙頗寬.圖 417 所示者,爲一五萬瓩之交流機,裝於蒸汽沖輪之軸上,用高電

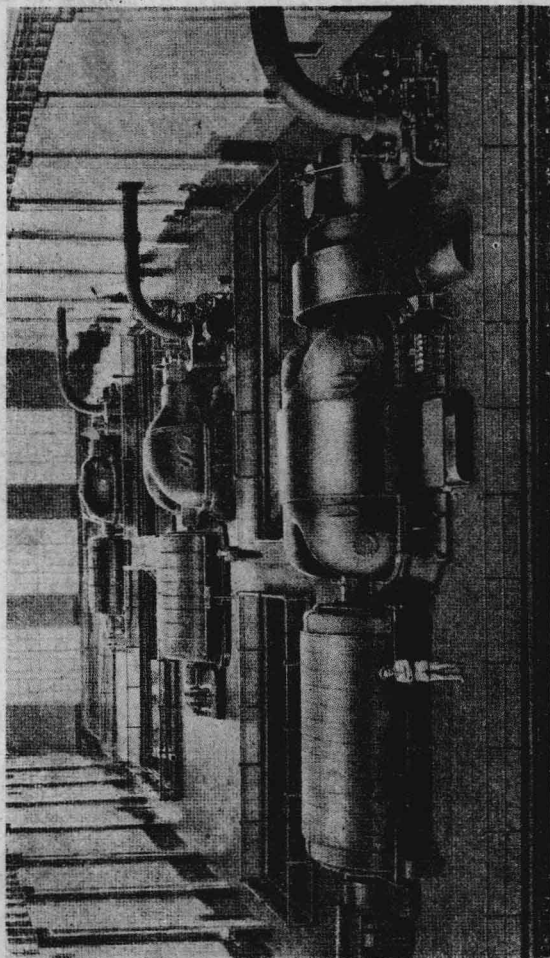


圖 417 美國意大利諾普魏基千地方之三蒸汽臥輪發電機,其電容量爲 50,000 瓩, 35,000 瓩, 及 25,000 瓩. 蒸汽臥輪左右,直接連於左側之交流機.

壓傳遞電能，普通皆用三線三相系統。

387. 交流電動機。交流發電機可用為電動機而運轉之，祇須先使其旋轉，至其速率恰與供給電流於該機之交流機相同時，乃使其與所給電流之往復相應，即可。此種機械稱為諧和電動機 (synchronous motor)。因其不能自行發動，故不便於通常之用。在配電所中，可用以運轉直流發電機。

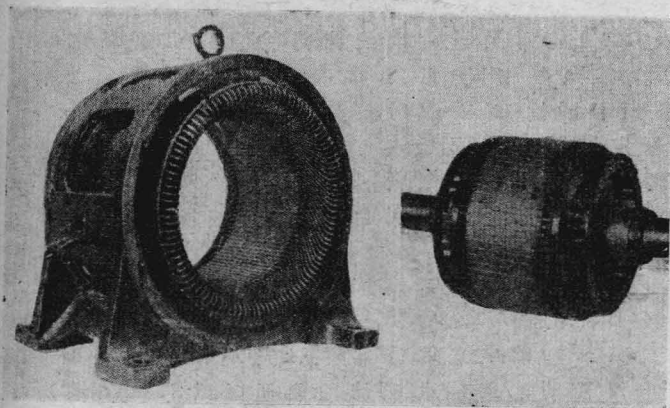


圖 418 誘導電動機：固定子在左而旋轉子在右。

尋常之順捲電動機，將其構造按一定方法加以改造，即可使其既能運轉於直流電路，又能運轉於交流電流。此種電動機稱為整流子電動機 (commutator motor)，或稱單相順捲電動機 (single-phase series motor)，近方流行，以供用交流之電車之用。又有製成極小之

形式，裝於電扇及真空掃除器上者，其名牌之上，皆註明“交流或直流”字樣。

交流電動機之最常用者，為誘導電動機 (induction motor)。此種電動機之特色，為固定之線圈，即固定子，(stator) (圖 419) 可生一旋轉磁場 (rotating field)，而電動機之旋轉部分，即旋轉子，則製成所謂鼠籠 (squirrel cage) 之式。此二者今將依次討論之。

388. 旋轉磁場。欲使旋轉磁場發生，須假定已有二交流，其週率相同，但其“相”則有 90° 之差 (圖 419)，並假定將此二交流，通入二組線圈，圈繞於圓鐵環內向內突出之極上，如圖 420 所示。

當第一線中之電流為極大時，由圖 419 之曲線，可見在第二線中之電流為零。A 與 A_1 兩極，均受磁化，而 B 與 B_1 兩極，則未受磁化。磁流即從 N 而至 S，如矢線所示。在

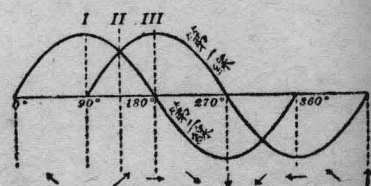


圖 419 曲線示二交流，其相之差為 90° ，矢線示磁場之方向。

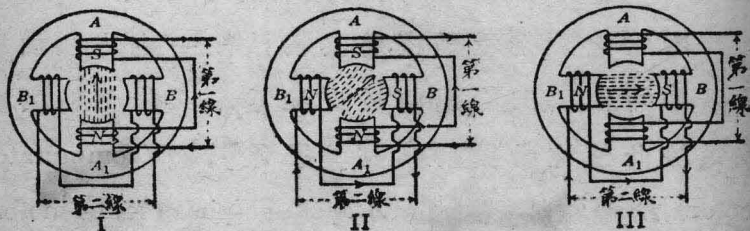


圖 420 相隔 90° 之二交流所生之旋轉磁場。

八分之一循環(45度)以後，第一線上之電流，降至第二線上電流所昇至之同值，四極今皆依同等程度而受磁化，而磁流之方向遂如 II 圖之矢所示。再經八分之一循環(45度)後，第一線上之電流已降至零，而第二線上之電流則昇至極大，此即謂 A 及 A_1 二極，不受磁化，而 B 及 B_1 二極皆受磁化至極大之度，從而磁流自 N 至 S ，如 III 圖中之矢所示。若此作用，在交流變化以單一循環之際，刻刻繼續不斷，即見表示磁場之矢，亦轉畢一週，旋轉磁場由此而生，且可使磁石隨此磁場而同轉。於是可得一小小之二相交流電動機焉。

圖 421 所示者，為一活動模型，可以指示二相交流系統(在右側)及三相交流系統(在左側)所生之旋轉磁場。圖 418 所示者，乃實用電動機固定子架之構造。

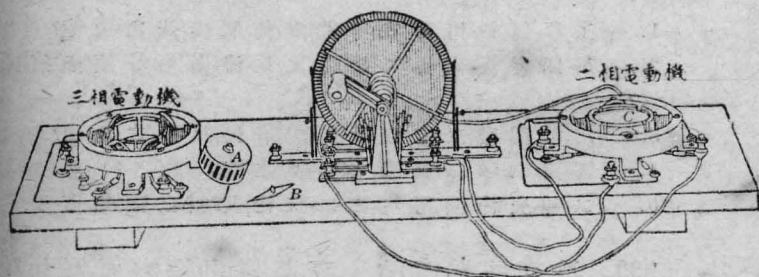


圖 421 指示二相(右)及三相(左)交流所生旋轉磁場之活動模型。

389. 誘導電動機之旋轉子。旋轉磁石，當然可代以電磁石，勵之以來自機外電源之直流。然商用交流電動機之旋轉子，甚為簡單，其構造為一鐵心，甚相似於鼓形電動子之鐵心，四週之凹槽中，嵌以粗銅條，銅條兩端，皆連於粗大沉重之二銅環，此稱鼠籠旋轉子(squirrel-cage rotor)(圖 418)。

以旋轉子置於旋轉磁場時，兩側之導體及橫於兩端之環，其作用同於密閉之導線環，即使旋轉子絕不與外面任何電路通連，其中亦有大電流誘起，此大誘導電流，使鐵

心成爲磁石，而作用於此磁石之磁場，即曳之以旋轉。

旋轉子之旋轉，永不能與磁場同速。果如此者，將不能橫截磁力線，即無電流誘起，因而無可用之功率，使旋轉子反抗其負荷以運轉。

鼠籠旋轉子形式既簡，構造又堅，祇須常保其冷而不熱即可。冷卻之法，係用扇葉鼓風，使空氣通流於鐵心四週。全機裝竣之後，堅固小巧，且極簡便，雖愚人亦可明其用法。因此之故，誘導電動機在工場及工廠之中，甚至在電車頭上，推行甚廣也。欲使誘導電動機有良好之發動特性 (starting characteristic) 例如低電流與高扭力矩，則用捲式旋轉子並加入外阻即可。

問 答 題

1. 工程師如何可在發電處節制交流之週率？
2. 用四極機欲得 60 循環之電流，則每分鐘必須旋轉幾週？
3. 用 25 循環之交流以點燈，有何反對之理由？
4. 畫圖以示二交流有 45 度之“相”差。
5. 二相交流機所生之二交流，其相之差爲若干？

390. 改交流爲直流 在某種用途方面，例如使蓄電池充電，絕對必需單向電流 (unidirectional current)。用電動發電機 (即連於交流電動機之直流發動機) 改交流爲直流之法，在需要巨大功率之處用之。但用於使汽車蓄電池充電，則真空管整流器 (vacuum-tube rectifier, 又名鎢絲整流器, tungar rectifier) 遠較上述者爲便利。惟此種整流器 (圖 422) 雖可供給單向電流。

確不能供給絕對穩定之電流。

此器之構造，為一真空泡，內有鎢質燈絲 F ，為交流熱至熾熱，又有一炭極 A ，穿泡頂而入，泡之本身，充以低壓之惰性氣體。鎢絲連於一變壓器之二次圈，熱至熾熱時，即可放射電子（陰電），而此變壓器亦為整流器之一部分。此燈絲對於其近傍之陽極而言，若為陰極，則泡內稀薄之氣體，即經電離（ionized）而成為導體。燈絲又連於交流電線之一端，而炭極 A 則連於他端。在炭極為陽極而燈絲為陰極之半循環中，電流通過燈泡，因電子有電離之作用也。在其他半循環中，當炭極為陰極時，氣體不復為導體，因電子不能自燈絲逸出之故。如是則電流每間半循環，即自炭極流至燈絲而經過此滑辦。於是在此燈泡之電路中，可得一脈動電流，可供使蓄電池充電之用。

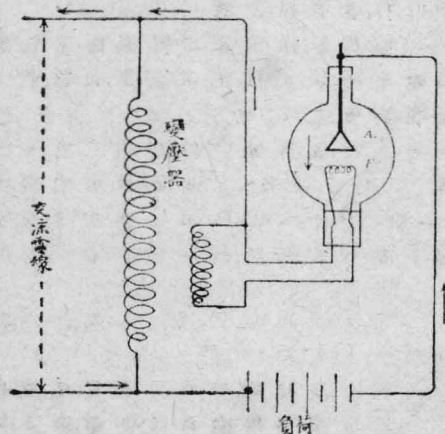


圖 422 真空管整流器之原理。

電線之一端，而炭極 A 則連於他端。在炭極為陽極而燈絲為陰極之半循環中，電流通過燈泡，因電子有電離之作用也。在其他半循環中，當炭極為陰極時，氣體不復為導體，因電子不能自燈絲逸出之故。如是則電流每間半循環，即自炭極流至燈絲而經過此滑辦。於是在此燈泡之電路中，可得一脈動電流，可供使蓄電池充電之用。

問 答 題

1. 在交流電路中，不能用普通之直流安計，何故？
2. 使大交流機之發電子固定，而旋轉其磁場，有何利益可得？
3. 何種交流機係與往復蒸汽引擎同時並用？何故？
4. 二交流機用以供給電流於同電路時，有何困難？

5. 誘導電動機較之需刷毛之電動機，有何優越之處？
6. 試舉交流可以變成直流之三法。
7. 在洛杉琪兒(Los Angel)之某屋，其電燈所用之電，係由住於山中之水電廠而來。(a)說明燈所用之能，係自太陽而來。(b)追溯能之變形，自電燈以至太陽。

第二十四章 提要

$$\text{總阻} = \frac{\text{交流電壓}}{\text{交流電流}}$$

交流功率 = 弗 × 安 × 功率因數。

功率因數通常恆小於一。

無電流經蓄電器，但確有電在其中流出流入。故交流電路中多用蓄電器。

在交流發電機中，通常運動者為磁場(旋轉磁場)。

場線圈係用來自外電源之直流以勵之。

滑環用以引導勵磁電流入於場線圈。

在交流機中：

週率 = 每秒旋轉數 × 極之偶數。

諧和電動機之構造與交流機同。

交流順捲電動機之構造，與直流順捲電動機甚相似，且同此一機，往往可兼用於交流及直流電線。

誘導電動機有一固定子，可發生一旋轉磁場，有一旋轉子，其中有電流因固定子中電流之磁力作用而誘起。

實用題

製電解整流器(electrolytic rectifier)。有一種簡單之整流器，係用四玻璃瓶製成，各瓶中含有磷酸銨(ammonium phosphate)之溶液，鉛條一，及鋁條一。參閱亞當(Adams)著110弗交流之實驗(*Experiments with 110-Volt Alternating current*, Modern Publishing Company)。

第二十五章

音 波

音從何來——傳音者何——音之速度——水波——速度，波長，以及週率——縱波——音波——音強及距離——定向之音——求音之方向——反射音——室內之音。

391. 音從何來！當鐘鳴之時，吾人見鐘為錘或鐘舌所擊而聞其所發之音。若於鐘適受擊以後，以鉛筆觸鐘之緣，即可察知製鐘之金屬，方在來往疾動，當六弦琴之弦索，以指挑之之時，即發出一可聞之聲，而同時可見挑動之弦，似較其在靜止之時為粗，吾人斷定此弦正在前後振動 (vibrating)。以錘擊音叉 (tuning fork) 而置之於耳傍，亦聞一聲，若以此音叉觸唇，即覺其方在振動。

欲使音叉之振動，可以察見，祇須以絲線懸木髓球或輕玻璃泡，觸於叉上如圖 423 所示。玻璃泡一着於叉，立即跳盪甚劇。如用小弧燈將玻璃泡跳動之影，射於幕上，則此實驗更有意味。

顯示音叉之振動之另一法，係在音叉之一臂上，附以尖形之硬紙，今試使此音叉振動，而於叉

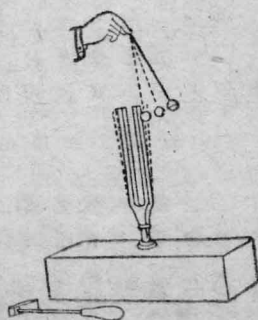


圖 423 音叉振動之狀況。

下置一用煙薰過之玻璃片，曳之以行(圖 424)，則紙尖即在玻璃片上劃一波形之跡。

以白紙襯於玻璃片後，此跡即明晰可見，若用幻燈(lantern)投射之於幕上，更佳。

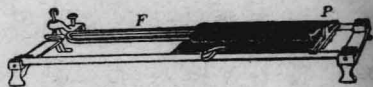


圖 424 振動之音叉，在煙薰之玻璃片上所劃之跡。

不問何時，聞音(sound)而探其源(source)，必見有某物體已起運動，或為某物之墜落，或係鐘之受擊，或以吹口笛，或有人大呼；又有某物體常在振動，而音之感覺，即由此而生。

392. 傳音者何？環於四圍，隨處皆有之空氣，即為平常傳音於人耳之物，欲明乎此，可試行下之實驗。

試取一鬧鐘，置於優良之真空唧筒接受器下之氈墊上，如圖 425 所示。唧筒盤上，宜置厚約 6 耗之橡皮一塊，因橡皮不能傳音也。此時無須用蠟以密封其口，今若使鬧鐘之鈴，間歇發聲，然後抽出空氣，即覺鈴聲漸低。但當再將空氣放入時，鈴聲又與前同高矣。苟吾人果能得一完全之真空，且果無些微之音，由唧筒之架傳出者，則鈴聲之毫不可聞，似屬可能。

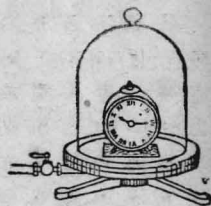


圖 425 真空不能傳音。

就電燈泡而論，即知熱與光皆能於真空中傳播，但由此實驗，則見音確不能於真空中傳播。

除空氣以外，其他氣體亦能傳音，而固體及液體

之傳音，猶較氣體為佳，此皆可以證明者。例如一人浸其耳於水面之下，而他人相離不遠談處取二石相擊，則擊石之聲，在水中聞之，甚為清晰。又如以耳貼於鋼軌之上，可聞遠處火車行動之聲，此亦習知之事。巨聲如大砲開放或火山爆發，則貼耳於地，在數百哩外亦能聞之。

欲顯示液體之傳音，可持音叉之柄，插入一大木塞之孔中。若使音叉振動，則其聲聞之頗難；但若手執此叉，而使木塞止於玻璃杯中之水面，杯置於共鳴箱(resonating box)上(圖 426)，則其音聞之頗明。所聞之音，似由箱而來。由此實驗，可知音叉之振動，經木塞及水而傳於室內之空氣。

欲顯示固體之傳音，可執長木棒一根，抵其一端於門，而以方在振動之音叉，攔於他端之上；音叉之音，似由門而來。此處之木棒，即用作傳音之媒介，而將音叉之振動，傳之於門。

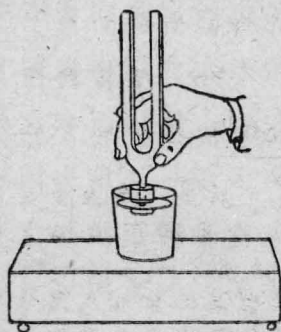


圖 426 音叉之聲，由水傳至箱。

故可作結論曰，固體，液體，以及氣體，皆可用以傳音。

393. 音行之遲速如何？ 在尋常之室內，音自其源入於人耳，恆不覺其須經任何可察之時間；然在廣所之中，或在戶外，則常聞有回聲(echo)，由此可知音之行至反射表面(reflecting surface)而回也，確須經過

若干時間。在雷雨之際，常先見電閃之光，而後得聲雷聲隆隆。放電以發閃光之處愈遠，則見電光與聞雷聲，其間所隔之時間愈長。遠處之汽笛，必先見其中有蒸汽先出，而後始聞其長嘯之聲，此事人盡知之無疑也。故音行確較光行緩甚。

測定音行遲速如何之一法，係以大砲置於遠處之山上開放之，而測定見砲之火光與聞砲之爆聲其間經過之時間。發在一七三八年時，有法國科學家某某數人，曾以兩砲架於相離約17哩之二山，先自此山觀察由他山而來之光及音，然後再自他山觀察此山所去者，以便消去因風而生之誤差。彼等所得之結果，就當時所用儀器之不適當而論，殊可謂為與真值相去無幾。嗣後決定音在空氣中之速度之實驗，又有若干次，從而知音在空氣中之速度，當溫度為 $0^{\circ}C$ ，而氣壓為76厘時，為每秒1087呎（即337呎）。音在水中之速度，約為空氣中速度之4.5倍；而在鋼鐵中之速度，較之在空氣中達16倍以上。音在空氣中之速度，又求得其每當溫度昇高攝氏一度時，每秒約增加2呎（即0.6呎）。在實用方面，僅須記得音行於空氣中，在 $0^{\circ}C$ （即 $32^{\circ}F$ ）時，每秒約1090呎，或在 $20^{\circ}C$ （ $68^{\circ}F$ ）時，每秒

1130 呎已足。

計 算 題

(假定光行於平常之距離,其所經之時間略去不計。)

1. 在某日之溫度為 $25^{\circ}C$., 問此日音在空氣中之速度, 以每秒若干呎表之, 應為若干? 若溫度為 $77^{\circ}F$., 則為若干?
2. 一人距教堂半哩, 聞教堂之鐘, 每隔半分而鳴一次, 問鐘舌擊鐘聲, 相接二次之間隔為何?
3. 一汽笛之蒸汽, 見後 2.6 秒, 始聞笛聲, 聞汽笛之距離如何? 假定溫度為 $15^{\circ}C$..
4. 在炎熱之夏季, 某日溫度為 $30^{\circ}C$ 雷雨發生, 電閃見後 6 秒, 始聞雷聲, 聞電閃之處, 其遠若何?
5. 一錶按離開 2 哩之處所來之午報校正, 其時之溫度為 $72^{\circ}F$., 問時刻之誤差為何?
6. 由某一實驗, 知音行水中, 當 $14^{\circ}C$ 時, 每秒 4814 呎, 問音在此溫度行於水中, 其速若干倍於空氣之中?
7. 一炮在快艇上開放, 其自岸上懸崖而來之回聲, 在 6 秒內聞之, 彼時溫度為 $62^{\circ}F$., 問快艇之離懸崖, 其遠如何?
8. 一鋼軌受擊, 擊聲經鋼軌而來, 在 0.2 秒中即聞之, 其後再經 2.8 秒, 又在空氣中聞之, 假定彼時之溫度為 $20^{\circ}C$., 問擊軌之處有若干呎之距離? 音在鋼軌中之速度為何?
9. 伍爾吾斯大廈 (Woolworth Building) 高 750 呎, 一人在其巔落下一石, 其時溫度為 $68^{\circ}F$., 問此人落石以後幾何時, 始聞石擊人行道之聲? (所經時間包括石落與音回所共需之時間。)
10. 兩氣球相隔 4000 呎, 在湖上同高之處, 若在一氣球上開砲, 則在他氣球上經 6 秒而聞回聲, 問兩氣球之高度為何?

394. 音之感覺。吾人之所謂“音”，雖知其僅為一種方被傳播之運動，然其經過氣體，液體，以及固體之傳播情況，已在加以考究矣。音之為音也，平常若不思及耳可聞之，實覺其難於想像。是以地球上極遠之處，人或獸均從未到過者，其地之瀑布究能發音與否之問題，固嘗聞之也。由此顯見所謂“音”者，厥有二事，一為振動 (vibration)，一即振動擊於鼓膜 (tympanum 或 ear-drum) (圖 427) 時所生之感覺。耳及腦中所發生者如何，則以留作生理學及心理學之研究為宜。在物理學中，祇考究空氣或其他傳音媒質 (medium) 中之

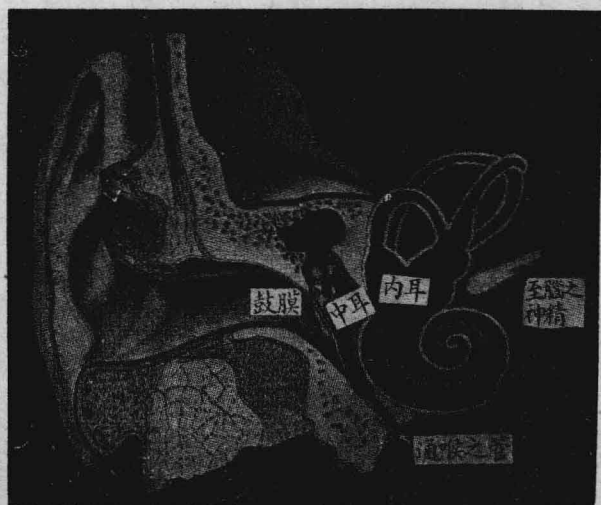


圖 427 人耳之縱剖面。

振動，而吾人之所謂“音”者，亦即指此而言。依此見解，則瀑布所發之音，有耳聞之與無耳聞之實相同。

395. 音係一種波動。耳之聞音也，顯無實質之物（即可權之物）自音源入耳；非然者，電鈴覆於玻璃鐘之下，其音將何由透玻璃而出耶？由此一事，更觀他事，確可斷定所傳播者，僅為一種振動，此種運動，稱之為波動（wave motion）。

396. 水波。因音波平常不可目見，故將以水波之研究始。當石落於平靜之池中時，即有騷動發生，蔓延於水面而成若干圓形，皆以石擊於水之處為其心。水為石所激而下降側沖，成一圓形之脊，此脊擴張為較大之圓，而第二圓脊又繼之以生，再行擴張，連綿不絕。其結果，水之全表面立即蒙有一串圓形之陵（crest）間以圓形之谷（trough），皆自騷動中心而遠去。

此等水波，可用以木為邊，以玻璃板為底之不漏水淺盆，投射之於天花板上。盆之裝置，在使可以自下射光於其上（圖428）。灌水入盆，深約四分之一吋，而逸過盆底之光，則使其射

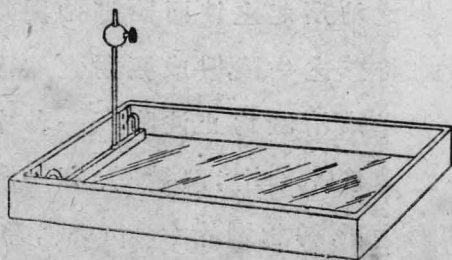


圖 428 自下照耀而投射水波於天花板之器械。

於天花板上，當水中有波發生之時，與波頭(wave front)相應之影，即可在天花板上見之。

停滯之水波，其表面可以圖 429 中所示曲之線

代表之。靜止點 A, B, C, D 等等，稱之為節 (node)；介於兩節之

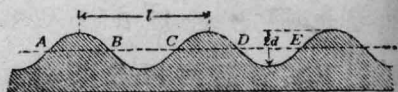


圖 429 水波之縱剖面。

間之空間，稱之為腹(loop)。兩節間之水，條起條伏，當其起時，即聳為陵，當其伏時，即陷為谷。一陵與一谷，合而成一波，例如自 A 至 C ，或自 B 至 D ，即為一波。波長 l ，係自一波之任何點，至鄰波之對應點，沿水平方向而量得者。對應之點，稱為同相(phase)之點。波動之振幅(amplitude) d ，則為自谷底至陵巔之豎垂距離之半。

397. 速度、波長，以及週率間之關係。 就投石入平靜之池所起之波而論，則知圓形之波，愈放愈大時，任何特殊之一陵，似成輻射之狀而向外移動，直至達於池岸或消滅為止。波陵在一秒中所行之距離，稱為波之速度(velocity, 略號 v)。在一秒中經過某定點之波陵之數，稱為週率(frequency, 略號 n)。一波之波長，速度，以及週率間之關係，略加思索，即知其必為

速度 = 週率 \times 波長,

或 $v = nl$.

有一事當憶之勿忘，即行過水面者，僅為波之形，而非水之質點本身也。是以若取軟木塞一枚，或玩具船一只，使其浮於正有水波經過表面之池，則見軟木塞或船，當一波經過其下時，僅上下掀動而已，固未嘗隨波而去也。

398. 橫波與縱波。說明波動，有一簡易之法，即用橡皮管一根，長約 20 呎，以其一端縛於壁間之鈎上。若將未



圖 430 在橡皮管上之橫波。

縛之一端執於手中，則由疾抖此管，即可送一波沿管前進（圖 430）。若一單獨之波谷，沿管而至固定之一端，則反射而回，即成波陵；同樣，單獨之陵沿管而前，其返也必成爲波谷。

就水波及橡皮管或繩索上之波而論，則水或橡皮管之質點，皆起上下之振動，而此騷動之遠移，則循水平之方向。此種波稱爲橫波 (transverse wave)。

此外尚有第二種之波動，發生於有彈性而可壓縮之物質，例如氣體及彈簧之中。取一彈簧線圈，代表傳播此種之波所經之物質，即可研究其性質。

圖 431 代表一彈簧，其各捲頗大，而其一端懸於天花板之鈎上。今若壓縮近於下端之數捲，則此數捲即微向上動，而壓縮適在其上方之數捲；而此數捲相繼將更在其上之數捲，壓緊於一處。若斯即有一脈動 (pulse)，或波，沿彈簧

而上。

其次將彈簧之下端急向下曳，使其近傍之數捲，暫時分離，斯時相鄰之數捲，亦必先後相繼分離，直至騷動達於頂而止，如是即見在彈簧之一端或引或推，此引與推之運動，立可傳至彈簧之他端。

此種之波，其傳播物質之質點前後移動，與波之進行方向相同者，稱為壓縮波 (compression wave)，或縱波 (longitudinal wave)。

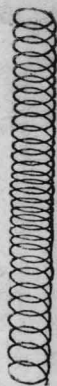


圖 431 在直
垂彈簧中
之縱波。

399. 固體中之縱波。可以傳播

縱波者，不僅彈簧而已，即如氣體甚至固體如鋼，亦能。

設取鋼棒一，夾其中部，而以灑有松香末之布直擦之，即可生一清朗之鳴聲。欲示此棒之已生縱波，可以索懸小牙球，而將球貼於棒之一端，當棒方振動之際，球即跳盪甚烈，如圖 432 所示。

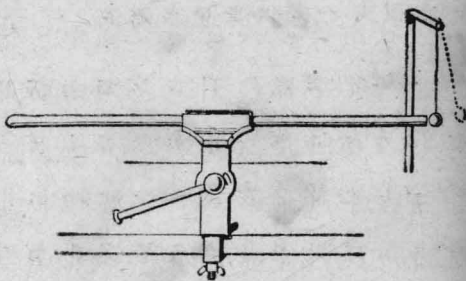


圖 432 球為棒中之縱波所激，而起振動。

在縱波中，各個質體雖僅在極短之距離內運動，然推曳之動作，可以傳及長距離以外，說明此一事實

之機械，如圖 433 所示者即是。

此器含有硬如玻璃之鋼球若干個，懸為一列，而相鄰兩球適相接觸。今若將第一球向外側拉開，然後放手，任其飛回，衝擊其餘諸球之隊伍，則首受其擊之球，確似未嘗運動，其次各球亦然。在實際上，此列之球，除在對側之末一球，躍起與第一球落下所經之距離相同外，其餘各球，皆似未受此一擊之影響。因鋼極富於彈性，故第一球所受之衝擊，即依次自此球授與彼球，直至達於末一球而止。此猶諸童排成一列，推第一童，則以循序傳至末一童，而末一童遂受推而躍出。

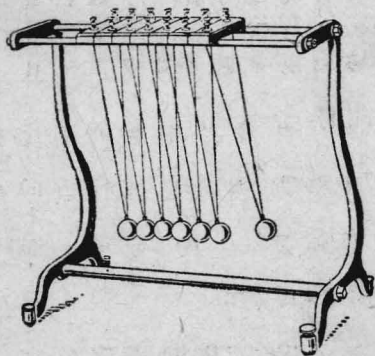


圖 433 說明音自此質體行至彼質體之器具。

400. 音波。吾人以爲音波中之空氣，係循波之進行方向而來往振動者；即音波乃橫波，即壓縮波，係由錯綜相間之密部(condensation)與疎部(rarefaction)所合成者是也。正因投石入池，發生水波，成爲時在擴張之同心圓，而向外四散，故思及鐘鳴之際，必送出無數球形之波(spherical wave)也。此等波係由疎密相間之球形空氣層所成，向各方進行，遍及全空間。

行於傳話筒(speaking tube)中之音波，欲以圖書

傳其形，可幻想
圖 431 中之螺旋
彈簧之模型，
易以空氣之柱，
此柱之一端，有
一音叉，方使空

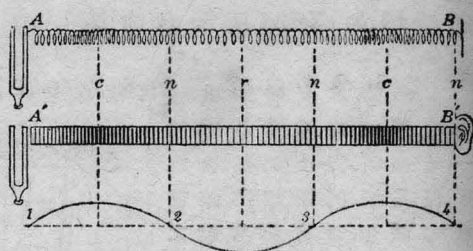


圖 434 說明音波可用曲線表之之圖。

氣柱起微小之脈動，而柱之他端則有一耳，接受此脈動(圖 434)。

相接之空氣之密部與疎部，在 $A'B'$ 中以 c 及 r 表之。騷動自音叉移於耳中，但在任何點之空氣介於叉及耳之間者，祇微有往來之振動而已。圖 434 中之曲線，爲此等音波之圖表，其中 1-2, 3-4, 等波陵，代表密部，而 2-3, 等波谷，則表疎部。波之振幅，對應於空氣之各質點，自其原位置來往移動之距離。一音波包括完全之一陵與一谷，卽一密部與一疎部。在任何二鄰波之對應二點間之距離，稱爲波長。

因音波之速度，波長，以及週率間之關係，與水波同，故音波之長，計算頗易。

例如，有一音叉，方在振動，每秒 256 次，而音在 20°C . 之速度爲每秒 1127 呎，則波長卽爲 1127 呎除以 256，卽約 4.4 呎。

音波之廣播於空曠之空氣中也,如欲想像其形,可幻想有無數之螺旋形彈簧,自音源處之公共中心輻射而出,方在同時感受一種衝動,即得之矣。

計 算 題

(除特別聲明外,溫度假定為 0°C .)

1. 四弦提琴 (violin, 亦譯梵啞林) 之弦每秒振動 545 次, 問所生之音波, 其波長為何?
2. 最低之鋼琴聲 (piano note), 其波長為 40.7 呎, 問其週率為何?
3. 最高音 (soprano voice) 中之高 C, 若其週率為每秒振動 1024 次, 則其波長為何?
4. 自音叉出發之一音波, 經過某定所需之時間, 為 0.0025 秒: 問 (a) 此音叉每秒所生之波為若干? (b) 其波長為何?
5. 一四弦提琴之弦, 於 15°C . 時送出送 1 呎之音波, 求其振動週率。
6. 一汽笛所發之音波, 各長 8 呎, 而空氣之溫度為 30°C , 問其每秒中所發之波為數幾何?
7. 若某風琴管 (organ pipe) 在 20°C . 時之音調 (pitch) 為每秒振動 521 次, 問此風琴管在 10°C . 時之音調 (即週率) 為何?
8. 一音叉每秒振動 1024 次, 而其所發音波之長為 32 呎, (a) 求音之間度, (b) 求攝氏表上之溫度。

401. 音強. 電鈴鳴時, 其聲處處可聞, 此事須常憶毋忘; 且由此可知音波係向各方散射如圖 435 所示, 各波至音源之距離增加時, 其中之能, 所散布之表

面亦大，故音強(intensity 或 loudness of sound)即減小。

例如離開 10 呎之

鈴，其音之高，僅為

此鈴離開 5 呎時

之四分之一；若離

開 15 呎，則其音之



圖 435 音波自鈴向各方散射。

高，僅為離開 5 呎時之九分之一。此因各波之能，在離

源 15 呎之處，必須分與九倍於離源 5 呎之質點也。概

言之，音強依其至音源之距離之平方而反變。此定律

祇在空曠之空氣中始確。

乘飛機而上昇或登山至高處，空氣即不如地面

之密，故其傳音之功用亦遜，因此在上空傳音頗難。概

言之，音強又與傳音媒質之密度有關。

402. 傳話筒及擴音器。用於連絡房屋或船舶中各室之傳話筒 (speaking tube)，目的在阻止音波之向各方散布，因而在遠處所聞之音，減少其原有之強度。在此種傳話筒中，應避免尖銳之彎曲，因彎曲過甚則生摩擦作用，且將吸收一部分之能也。

在擴音器(megaphone)中，來自口之音波，為此器之諸壁所阻，不能向各方散布。語音之能，因此而大部分皆向一方散射。

403. 求音之方向。傾耳靜聽之人，縱蔽其雙目，

亦常能辨出音之來自何方，惟音之逕自其前方，上方，或後方來者，有時極易誤此為彼耳。蓋就此三種情形而論，音自其源而來，達於其左右兩耳，係在同時，而自其他各方所來之音，因音源至兩耳之路徑，長短不同，故其達於兩耳也，亦略有遲早之別；是以音向之感覺，假定其係由音波激動遠近兩鼓膜，後先所隔之時間而來，似頗合理。

若以等長之兩管，各連於一耳，又若以針括兩管之較遠一端，括一管之時刻，較早於括他管者數百分之一秒，則雖雙目遮蔽之人，傾耳靜聽時，亦覺其似僅聞一括之聲，且完全決定其方向，係在頭之相當於早括之一側。

在世界大戰中，曾利用此等事實，以尋出潛水艇之所在地。長 10 呎或 12 呎之丁字形管橫臂之兩端，伸出橡皮球各一，置臂於船底，即可作為遠離之兩耳。從一球通一傳話筒於探聽者之右耳，而其他一球，亦用同法連於此人之左耳（圖 436）。當有音來自水中時，即將丁字臂按豎垂之軸而迴轉，直至水底之音，由探聽者聞之，似逕自其前方來而止。於是與丁字臂垂直之線，即指示潛艇在左右 1 度或 2 度內之方向。

在大海鮑之船首近傍，用同樣之裝置，可使航海者決定船尾推進機激水之音，自洋底反射後，似由何方向而來。由簡單之計算，包括船身長在內，即可知水之深淺，於是當船將駛近淺水時，無庸以測錘測水矣（圖 437）。

在大戰之中，又曾用同樣方法索得大砲所在之地位，

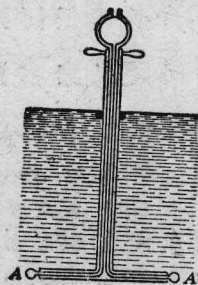


圖 436 探測水底音向所用之器具。

惟此法係用微小之電“耳”(electrical ear), 分布於戰線之後, 各耳相隔半哩, 砲聲達於此“耳”至達於彼“耳”之間隔, 由一靈敏之電流計, 記於一移動之軟片上, 此法稱為音距法 (sound ranging).

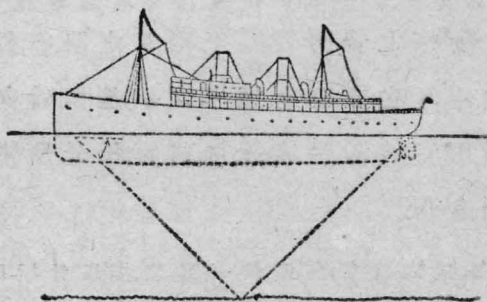


圖 437 由於決定船尾推進機所發音之方向, 以求水深之法。

404. 音之反射. 音波撞及另一物體如建築物, 懸崖, 或多林之山腹時, 即行折回, 或謂為反射 (reflected), 正與任何彈性物體, 例如橡皮球之投於磚牆而躍回同, 又與水波之衝於石堤而反激同, 折回之音波, 稱為回聲 (echo). 若欲使回聲與原音有別, 則反射表面當在 20 或 25 碼以外, 距離愈遠, 反射波未達於耳以前之時間愈長, 因而回聲愈覺清楚, 如有平行之牆壁, 例如在峽谷之中, 或有遠近不動之物體, 則回聲頻繁, 即同一之音, 聞之次數是也, 例如雷聲之隆隆, 半由音之繼續反射於相接諸山而來。

下列之實驗, 可證音波與光波 (light wave) 相同, 亦能反

射於曲面。若使兩大拋物面鏡(parabolic mirror)相對而立，如圖438所示，則在一鏡主焦點(principal focus)處之汽笛所發之音，可反射越室，而由感音燄(sensitive flame)在他鏡之焦點檢之。此係長而細之煤氣火燄，可用抽長至一點之尖口玻璃管為燈頭以得之。音波可使此種火燄萎縮與“高張”，尤以音調高者為然。

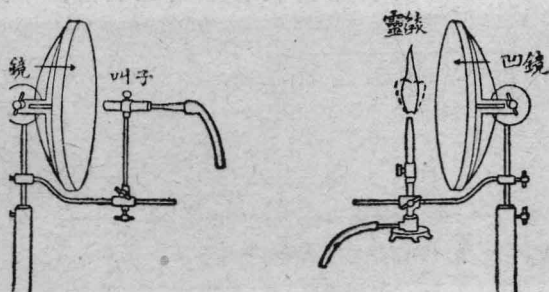


圖 438 自汽笛而出之音波，為凹鏡兩度反射，而以靈燄檢之。

在有拱形(arched)承塵之建築中，例如有圓形屋頂之美國華盛頓國會議事室，或倫敦聖保羅堂之耳語室(whispering gallery)，可聞室中極遠處之耳語，因音由承塵反射而集中於傾聽者之耳也。

405. 室內之音。 廳與堂有極不適用為演講之所者，因置身其中，幾不可聞講者之語音故耳。此種傳音缺點(acoustical defects)，在已建之舊演講所中，宜改正之，在計劃之新演講所中，宜避免之，兩者皆為重要之事也。

有時在室內一部分易於聽聞，在他部分則難，此種弊病，常因發言者之語音，自牆壁或承塵之特別部分，一度或數度反射而生，此種反射，可生一緊隨於原音後之回聲，以擾亂聽者之感覺。研究此種情形，常就所討論之演講廳，製一縱剖面之小模型，而將經過此型之音波，實地攝得其影，如圖 439 所示。於是將吸收音波之物質，例如厚幕或毛毯，遮於可厭之回聲所自來之表面，以矯正其弊。



圖 439 戲院模型之縱剖面，表示音波向左移動。b 圖中之音波，較之 a 圖中後一秒之若干分之一。

主要之困難，乃由所謂餘韻 (reverberation) 而來。當一平正之樂聲或字音發於室中時，放出之音波，即自牆壁、地板以及承塵向前後反射，頗不整齊，終至全室一律充滿其音。此音係在逐漸消滅，因各波每經一度之反射，其音能 (sound energy) 即被吸收一部分之故。是以開放之窗，即有吸收一切達於其處之音之作用，因其聽諸音透出，而絕無反射作用也。當此之際，新能方自音源流入室中，而一般之音強，增加極速，乃至一切之吸收，適與自音源之流注相等之一點。今若音源驟然斷絕，則本已在室之音，即開始消滅；然其音仍能在可察之時間內聞之，有時可歷三秒或四秒之久。音源斷絕以後可聞之久暫，即用以測定室中餘韻之多寡。若餘韻太少，則室中即似沉寂而不能激動聽衆。反之，若餘韻太多，則發言者所發三字或四字之音，當第五字正在

出口之際，猶繞耳未絕，遂致混雜而聽不分明矣。大多數之大會堂或石壁教堂，皆有此弊，故於舉行儀式之時，常有吟詠之習慣，即按單調以發聲，俾使任何一瞬間方入耳際之各字音，適於聽聞。

數年以前，薩平 (Sabine) 氏曾在哈佛大學作一精細之實驗，證明小室之內，必須恰有幾達一秒之餘韻，始宜於奏鋼琴之樂。薩氏非但發見覆毛毯於牆壁或承壁之上，或用能吸音之家具，簾帷，及裝置，以改正過度餘韻之法，且又思得建築新式演講廳之計劃，俾可由於選擇適當之材料以作牆壁及承塵，而使其恰有合宜之餘韻。薩氏甚至創製一種特別之人造石，即瓦，其所吸之音，幾倍於尋常之石，用以建石壁教堂，傳音方面即可獲美滿結果云。

第二十五章 提要

凡音皆來自方在運動之某物體。

音在物理學上言之，為一種振動的運動，可在空氣或他種氣體，液體，以及固體中傳播，但不能在真空中傳播。

音波係由一串交互之密部與疎部而成。

音在空氣中之速度，在 0°C . 時約為每秒 1090 呎，每昇 1°C . 一度，約增 2 秒呎。

波長 = 自波陵至波陵之距離(或自密部至密部)。

週率 = 一秒間經過某定點之波數。

速度 = 週率 \times 波長。

音強在空曠之處依音源距離之平方而反變。

問答題與計算題

1. 說明(a)爆竹爆發時，(b)風吹電話線時，(c)鼓掌時發生之音波之起源。
2. 重按鋼琴之鍵，琴弦所發之音波，是否較之輕按琴鍵時為長？說明其理。
3. 用砲，按停表 (stop-watch)，以及溫度計各一，即可

決定一湖之寬，其法如何？計算之法如何？

4. 電閃之後，即有雷聲，何故？

5. 雷聲何以“隆隆”不止。

6. 人以兩手張於耳後，即能助彼聽得輕弱之音，何故？

7. 兩人方各自立於離一汽笛 1200 呎與 2000 呎之處，試比較二人所聞之音強。

8. 音之調雖高低不同，其進行之速率則無二，試舉理由一端以堅其信。

(提示：試一思自遠處所聞軍樂隊之音樂。)

9. 古諺有云，

‘電光閃後，若待口唱一，二，三，始聞雷聲，則暴雨烈雨，必在遠處，決無危險。’據此而論，則雷發之處，當遠在若干路以外，始保安寧？

10. 如圖 440 所示之汽軍喇叭，說明其發音之理。

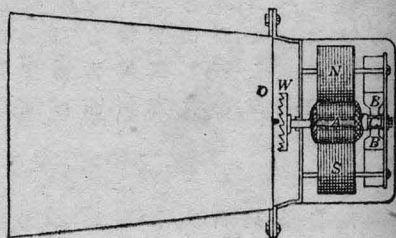


圖 440 用電動機發聲之汽車喇叭之普通形式。

實用題

測定音之速度。用一玩具之砲及按停錶重行第 393 節中所述之實驗。距離可自大尺度之地圖得之。溫度亦須記錄。

第二十六章

樂 音

樂音——音強,音調,及音色——共鳴器——倍音——音波之攝影——唸——音階——絃樂——管樂——膜樂——留聲機。

406. 樂音與噪音. 音有人皆認其爲噪音(noise)

者,例如門之砰然閉闔聲,或貨車行於石子上之磷磷聲即是;但其他之音,例如自鋼琴之弦而來者,則衆皆立認其爲樂音(musical sound, or tone),此二種音之區別,由於比較圖

441 所示二曲線而說明之,最爲妥當,圖中之

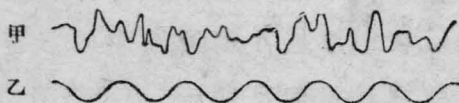


圖 441 代表(甲)噪音及(乙)樂音之曲線。

甲爲噪音之曲線,而乙係樂音之曲線。

由此二曲線,將見噪音所成之曲線,雜亂無章,而樂音所成者,則整齊合度,後者聞之,適情悅耳,前者徒使人心厭神煩而已。

407. 樂音之三特徵. 凡樂音必具音強(intensity 或 loudness),音調(pitch),以及音色(quality, 或 timbre,

或 colour) 三特徵;而此三特徵,各與音波之某種物理的性質有關.音強視振幅而定,音調視波之週率而定,而音色則視振動之狀態而定.

408. 音強. 吾人早已見及,音強大概因耳至音源之距離增加而消滅,又因空氣密度之減小而減少.而樂音之強度,對於一定之耳,在距音源一定長短之處,則視波之振幅而定.是以鋼琴之弦或音叉,重擊時所發之音,較輕擊之時為洪大.

409. 音調. 通常所謂樂聲之高低,係指其音調而言.自鋼琴鍵盤之一端起,順次相繼而按其鍵,則所發弦聲之不同,皆能辨認其所不同者係在音調之有高低.執一厚紙片觸於疾轉之輪齒,即可顯示所發之聲之音調,係視每秒之振動數而定;即視振動週率而定也.

此可用測音器(siren)表示之,甚為明顯,此器為一金屬圓盤(圖 442),其緣四週有孔,孔與孔之距離相等,可用某種急旋之器械轉動之.若使空氣流由

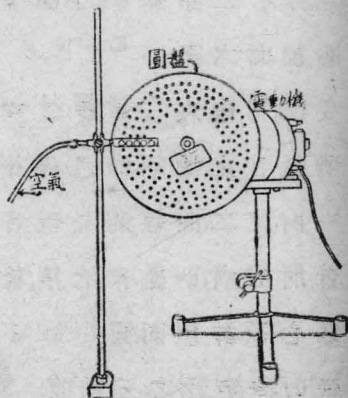


圖 442 音調依旋轉速度而變。

一管吹向外列之孔，則陣陣相繼，齊整有度之風，即發生一種樂音。輪之速度增加時，音即升高；即其音調升高是也。

以空氣流之噴口，移向半數之孔之一列時，即覺發音較低，若以噴口移向諸孔距離無定之一列，則所生者即為噪音。

測定樂音振動週率之一法，即係用此種旋轉圓盤。假定此盤有孔48個，連於每分旋轉1800次之電動機上。因圓盤每秒旋轉30週，故每秒間之吹風即有 30×48 即1440陣。所發之音，其週率將為每秒振動1440次，此音實頗尖銳。標準甲種音叉，每秒振動之數，僅為435次耳。

410. 可聞之限度。 最低之音人耳可辨其為樂音者，其週率約為每秒振動29次。若音之週率，超出某數以上，則人耳即絕不能聞。此可聞之上限 (upper limit of audibility)，因人而異，自每秒18000次以至每秒22,000次。年齡愈增，則聽覺愈損，老人不能聞高調之音，即其一證。

411. 音色。 樂音之第三特徵為音色。不同之樂器所發之音，或不同之語聲與歌聲，雖同調同強，而仍能辨別之者，端賴此音色耳。縱為同種之樂器，亦可發異色之聲。例如提琴之價值有相差極遠者，即因二者所發之音其色不同之故。在電話中可辨友人之語氣，亦藉此音色之力也。

科學家赫爾姆霍斯 (Hermann von Helmholtz, 圖

443) 氏,最先發見此稱爲音色之樂音中微妙之差別。赫氏研究音色之時,曾利用共鳴器。此器因受所欲研究之聲之感應而起振動。

412. 感應振動。

欲命一擺振動,祇須在適當之時刻,相繼輕推之,使每推一次,能助其振動而不生阻礙,即可,

此事之易爲,人人皆由經驗所習知者也。反之,若僅任意推動,則收效殊鮮。同理,若音波或其他輕微之衝動傳及或加於一物體時,適與此物體之自然振動週率 (natural frequency of vibration) 相應,即可使之發生強烈振動。此種現象稱爲共鳴 (resonance) 或感應振動 (sympathetic vibration)。

欲顯然證明此現象,可將鋼琴之高音脚板 (loud pedal) 踏下,使壓琴器 (damper) 自弦舉起,乃對琴唱一清越之音,吟聲既寂,其音即由琴弦重行發出,與原音絲毫不爽,殊足驚奇。

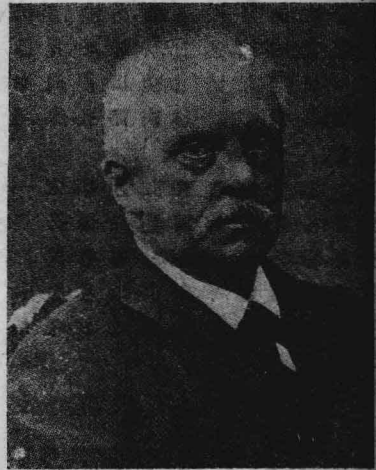


圖 443 赫曼達赫爾姆霍斯 (1821-1894), 德國生物學家,曾在力學,音學及光學方面有重要之發見。

說明感應振動之另一法，係將同音調之二音叉，裝於共鳴箱上，使其相離數呎，如圖 444 所示。今若以軟木槌猛擊一音叉，然後以手疾止其振動，則他一音叉即相繼發聲，雖廣室中亦能聞之。第二音叉之振動，亦可用第 391 節中所述之方法以見之。其所以能振動者，即因受第一音叉所發音波之影響之故。若以滑動子 (slider) 置於一音叉之一臂上，以變其調，則兩叉之音，其調即微有不同，而兩叉不復能互相感應矣。

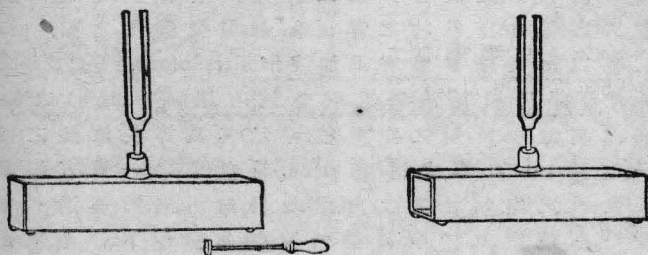


圖 444 同調音叉之感應振動。

由此實驗，顯知兩音叉必須按完全相同之率而振動，始能起感應振動。某種家具以及玻璃器皿，各自有其一定之振動率 (rate of vibration)，使其特殊之音發聲時，即能起感應振動。使此感應振動發生者，即此微弱之衝擊，依一定之間隔屢次重複而累積之效應也。

413. 共鳴器。 方在振動之物體，其所發之音波，可使其近傍之另一物體亦起振動，祇須二者有相同之振動率。此二物體，於此時謂之為正在**共鳴** (in reso-

nance). 在上述之實驗中,各音叉立於木箱之上,此箱一端開口,且其製作係使箱內空氣柱之振動率,同於音叉所自有者.此種空氣柱,稱爲共鳴器(resonator).感受振動之影響者,實爲此共鳴器而並非音叉自身也.

欲示共鳴現象,可使 A 管(圖 445) 在水瓶 B 中昇降,而同時手持音叉,近於管口之上將見 A 管移至一定之位置時,音叉之音合空氣柱之音而加強,似發最洪之聲。

音之由共鳴器而有此加強作用(reinforcement, 或 intensification)者,係因原音波與反射音波有同調(unison)之故.例如,在此實驗中所用之空氣柱,可示其長等於波長之四分之一.觀圖 446,此事立悟,圖中 ac 爲音叉之一臂,方振動於正在共鳴之空氣柱之上方.當此臂向下運動經過其中央位置時,即使空氣柱中發生一密部,此密部下行至底而復回至管口時,適當音叉向上運動經過其中央位置之際,此

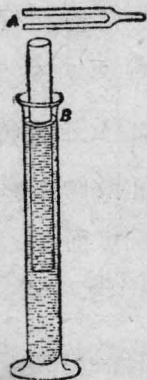


圖 445 音叉之音,由空氣柱之作用而加強。

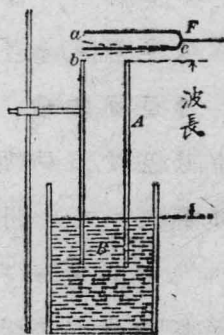


圖 446 說明空氣柱之共鳴。

折回之密部即可使音叉之振動加強，因在音叉之半振動時間內，音之行程爲空氣柱長之兩倍，故在四分一振動之時間內，音之行程適等於空氣柱之長，是以方在振動之空氣柱，爲波長之四分之一。更作同樣之實驗，可知共鳴之空氣柱，其長爲波長四分之一之 3, 5, 7, 或任何奇數倍。

414. 強制振動。 音叉受擊之時，必須持近耳旁，始聞其音；但若以其底座，緊抵於桌面，則其音即大強。若以另一音叉其音調不同者，重行此實驗，則見其音亦能加強。顯見桌面可使任何音叉之音加強，而空氣柱則僅能使一單獨之音加強。

音叉之振動，經底坐而傳於桌面，遂強制後者亦起同週率之振動。桌面之大表面，使多量之空氣發生振動，故可送一極強之音波入耳。鋼琴及其他弦樂上之音板 (sounding board)，其作用極與此實驗中之桌面相同。此種振動稱爲**強制振動** (forced vibration)，因不聞音叉或弦索之週率爲何，常可使之發生也。

415. 本音與倍音。 當鋼琴之弦全體作整個之振動時，其所發之音，稱爲此弦之**本音** (fundamental note)，此本音即爲此弦所能發之最低之音。其調視弦之長度，張力，粗細以及質地而定。當弦全體作整

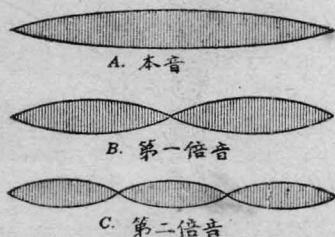


圖 447 一弦發其本音及其第一與第二倍音。

個之振動時，同時亦可作分段之振動；例如此弦一似分爲二段而振動然。此種副振動(secondary vibration)所發者爲倍音(overtone)，其週率二倍於本音，而爲本音之第八音(octave)，此倍音即稱爲第一倍音(first overtone)。仿此，一弦可作整個之振動，而同時又可作一似分爲三段之振動；此時弦所發者，爲其本音及其第二倍音(second overtone)，如圖 447 所示。較高之倍音，或“諸音(harmonics)”，亦能與本音同時並發。

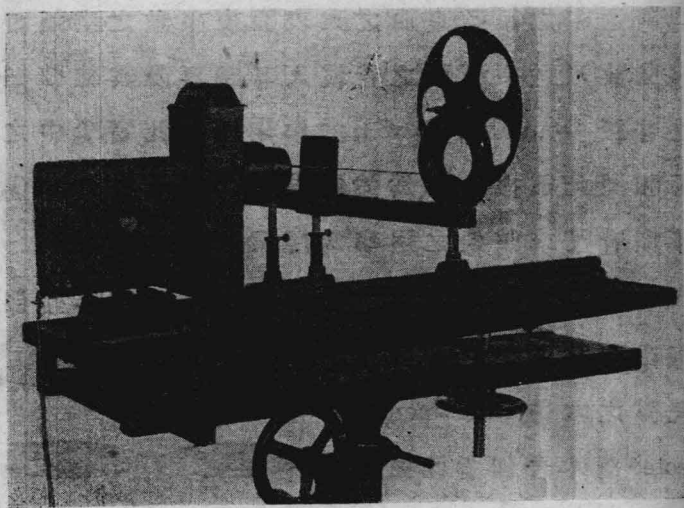


圖 448 投射絃索所發音波之器械。

張弦於映畫器(projecting lantern)之聚光透鏡(condensing lens)之前，如圖 448 所示，則此等振動，即可見之。相近於弦之

中點，插一金屬片，片上有一直隙，映射之透鏡，係用凸透鏡五枚，置於圓盤之周圍，若彈弦之中部，而旋轉物鏡(objective)圓盤，即可在幕上見一整齊之波狀線(表示本音者)；但若彈弦之近端之處，即見小波(表示倍音者)疊合於本音波之上(圖 449)。

416. 赫爾姆霍

斯之實驗。赫爾姆

霍斯曾證明音色祇

須用與本音混合之倍音數，以及倍音中之最顯著者，即可決定之。赫氏為證明此事之故，曾製就球形共鳴器

多種(圖 450)，各有一大口 A，又有一小口 B，可配合

於耳內。此種形式之共鳴器，其特點在於僅對一音調

之振動易起感應，故可用以析

音。由於次第執此等共鳴器近

其耳，赫氏即能細辨正在發聲

之任何樂音之成分，而判斷其

相對之強度。於是赫氏顛倒此

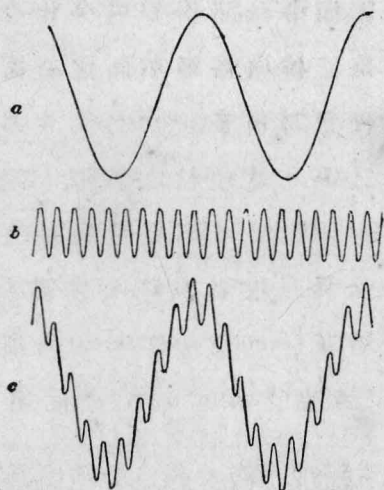


圖 449 曲線(a)表示本音，(b)表示高調倍音，(c)表示本音與倍音重疊。

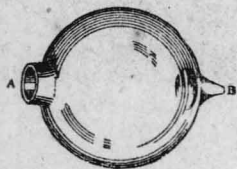


圖 450 赫爾姆霍斯共鳴器。

手續，而令此諸倍音成分相合，以重發原音。是以赫氏不但能仿造各種不同之樂器之音色，且能仿造各種母音之音色。

417. 耿尼格之舞燄。 證明任何單音之音色，係視音波之形狀而定之另一方法，為法人耿尼格 (Koenig) 所發明。此法稱為舞燄 (manometric flame) 法，其優點在於可使此現象為人所見。

舞燄之器械，如圖 451 所示。其主要之部分為一小匣，由極薄之橡皮或牛之大腸膜 (goldbeater's skin) 所製之彈性膜，隔成兩室。一側之腔，連一漏斗管，而在他側之腔，則開有二孔，一係煤氣之入口，而他孔則連以細小之噴口，煤氣

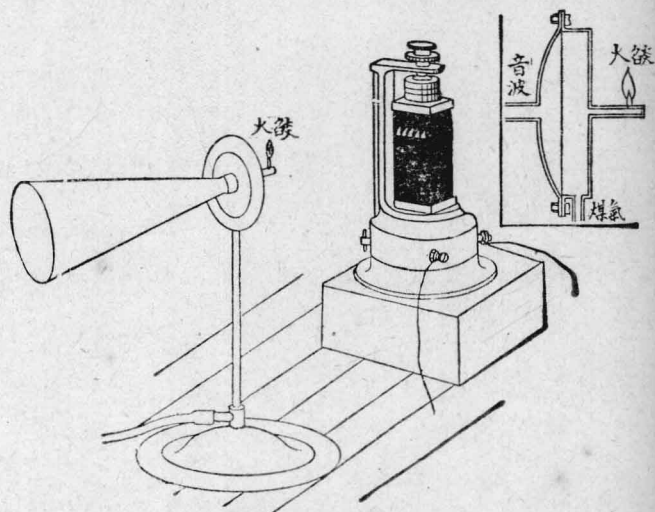


圖 451 用舞燄析音。

即在此口燃成微小之火燄，在彈性膜一側之空氣，發生振動時，他側之煤氣，其壓力亦起變化，因而火燄即作昇降之舞動。

茲請將此器配置，而在尙未有音發於漏斗管前之時，將鏡轉動，則見鏡內所現之火燄，並無高低之狀，其形如圖 452 之 *a*。次今一風琴管在送音口前發聲，然後再將各母音之聲，按同調同強送入漏斗管中，則所見鏡中之燄帶，形各不同，如圖 452 之 *b*, *c*, 及 *d*。

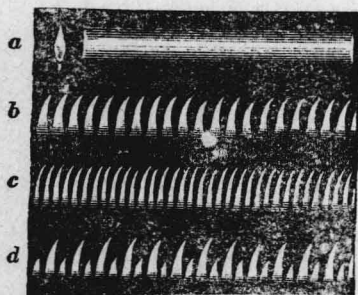


圖 452 舞燄所表示之振動形狀。

舞燄可用以研究音之振動，其週率高至幾不能聞其聲音。

418. 音波之攝影。 特登密勒 (Dayton C. Miller) 教授，曾發明一極靈敏之器械，可按攝影之法記錄音波，並將此器加以改良，可用以映音波於幕上。此小小之器械，密勒氏稱之為攝波器 (phonodeik)，構造異常精緻。圖 453 所示者，即為密勒攝波器在移動之軟片上所攝之音波。

近時已另製一種攝波器，其構造較密勒氏所計劃者為簡單。一小鐵音叉 *F*，連於膜片 *D* 之中心，其兩臂擺於一永久磁石兩極之尖端上，有一極細之鐵絲 *S*，隔於音叉及

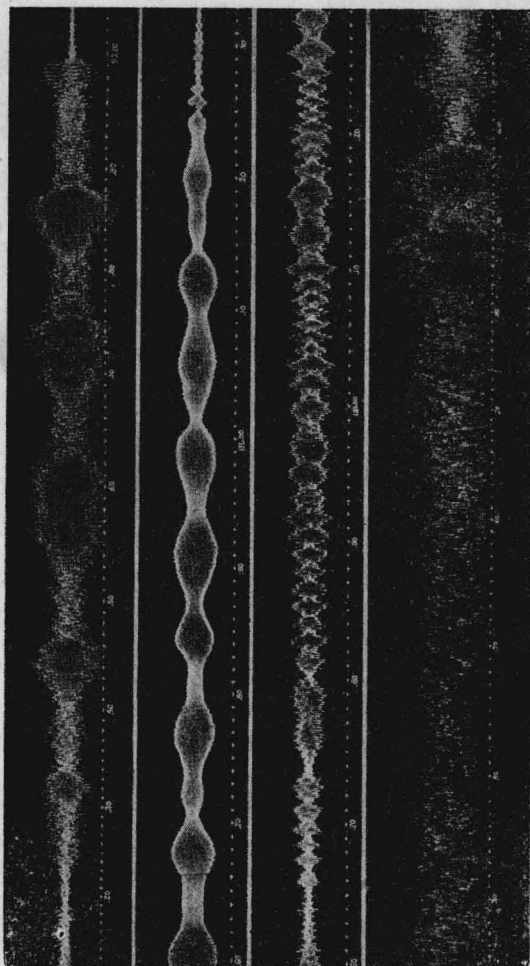


圖 453 特登密勒所攝音波之照相，所攝者為希臘名劇中六音曲之一節：第一行為次中音；第二行為最高音；第三行為上低音及最高音；第四行為六音齊發之狀。

磁石 PP 之間，一小鏡連於此鐵絲之上(圖 454)，當膜片振動時，音叉之臂即將鐵絲在磁石兩極上微微轉動，於是小鏡亦起振動，小鏡之此種振動，可使一光線上下晃動，將此光線射於方依直立之軸疾轉之鏡上，即可在幕上得一曲線，以表音波之特色。

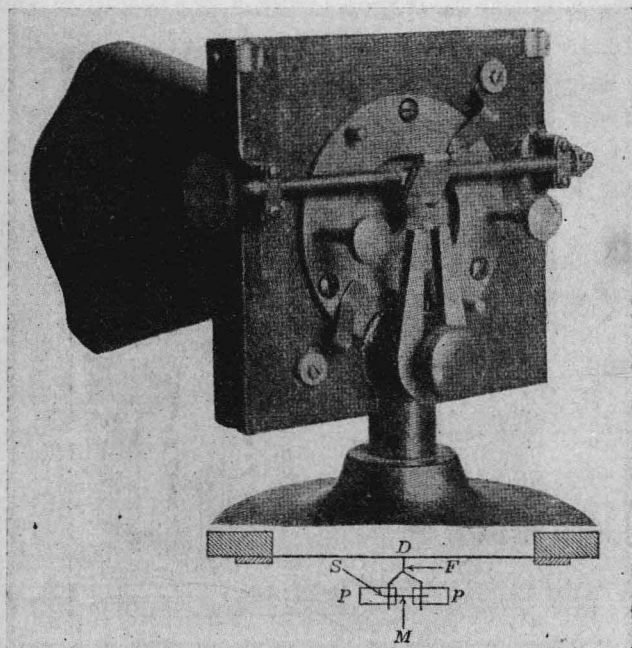


圖 454 簡單之攝波器，用以映射音波者，附構造原理圖。

計 算 題

(若不另行陳述，常假定溫度為 $0^{\circ}C$.)

1. 一音叉持於長 6.5 吋之空氣柱上時，其音加強，問其波長為何？
2. 一汽笛之共鳴空氣柱，長 1.5 吋，試求其音之振動週率？

3. 一歌唱者所發之音，波長 2.6 呎，問可使其音加強之空氣柱，最短應長若干？

4. 若一音叉之週率為 512，而溫度為 20°C ，則空氣柱之長應為若干，始可得最大之共鳴？

5. 一音叉在 15°C 時，可在長 50 吋之空氣柱中引起共鳴，求其週率。

6. 一音叉持於長 10 吋之空氣柱上時，其音加強，其次之加強位置，發現於空氣柱長 30 吋之時，假定音之速度，照室內溫度計，為每秒 345 呎，試計算此音叉之週率。

7. 若有一音叉，每秒振動 435 次，可用長 7.8 吋之空氣柱，使其音加強，試計算音之速度。

8. 若以第 7 題中所述之音叉，持近二氧化碳氣圓柱之上方，而音在此氣體中之速度，為每秒 846 呎，問共鳴二氧化碳氣柱之長度，應為若干？

419. 音之干涉。研究共鳴器之時，已見二音波可

連合而互相加強。要知二音波亦可使其結合而互相毀滅。即在一定情形之下，二音可結而變為沉靜。此即稱為唵 (beats)

之現象之原因也。

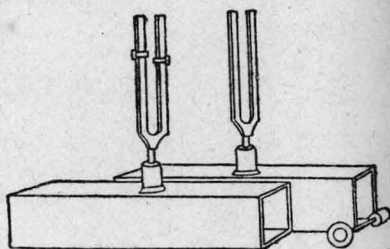


圖 455 週率微有不同之二音叉，可生唵。

若以裝於共鳴匣上之二音叉，其音調相同者，並置於一側，而軟木槌相繼擊二叉，即聞一平滑之音。但若以滑動子套於一音叉之臂上以變其音調，而重擊兩音叉(圖 455)，

即聞一顫動或脈動之音，此種顫動之音，即稱為唸。唸之發生，即因音之干涉與加強，交互爲之之故也。

若鋼琴或風琴上相鄰之二鍵，同時並按，即聞唸聲，尤以兩鍵在音階之低音部爲然。

唸可用以調整二弦或二音叉之音，使其同調。將弦或音叉調整至無唸可聞之時，音調遂同。

420. 唸之釋理。 欲說明二音波如何可連合而不發聲，命圖 456 中之 A，代表一音波，B 代表另一音波，其週期與 A 全同，

惟相則相反，即適在第一波之半波長後

是也。若兩種衝動，將

發生如是之二波，傳

於空氣，則空氣中即不受騷動之影響（曲線 C）。此一

現象，即爲音波之干涉（interference）。

若同週期之兩波又兼同相，即彼此合拍，例如圖 457 中之 A 與 B，則

兩波互相加強，而發一振幅加倍之音，如圖 457 中末一曲線 C 所示者

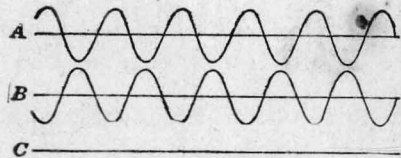


圖 456 反相同週期之二波 A 與 B，可生干涉現象 C。

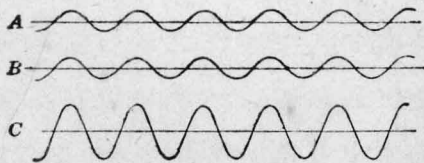


圖 457 合拍之兩波 A 與 B，可生加強現象 C。

然此即音波之加強也。

最後，若週期微有不同之兩波（圖 458 中之 A 與 B）互相疊合，則在某一瞬間發生加強作用，片刻之後又起干涉作用（曲線 C 所表者即是）。

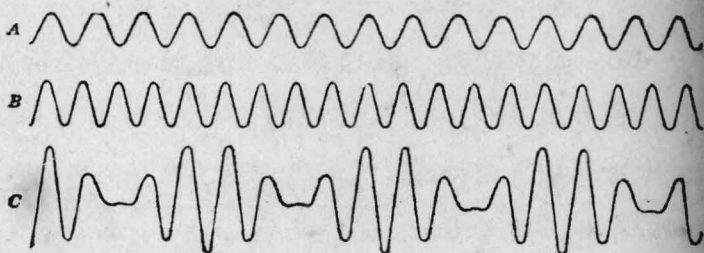


圖 458 A 及 B 二曲線，其週期微有不同；合成曲線 C 表示相繼之加強與干涉，即相繼之唵是也。

若兩波每秒之振動數，一為 255 次，一為 256 次，則顯知每秒中有一次之加強與一次之干涉，即有一次之唵是也。概言之，每秒中之唵數，等於兩波週率之差

421. 不調和與唵。 由實驗知不調和 (discord) 不過為唵之問題而已。若每秒有六次或更多之唵，則結果即令人生不快之感；若唵數每秒約有三十次，即可發生最惡劣之不調和。但當振數之相差多至七十之時，如中音階 (middle scale) 之 C 與 E 然，則又可得調和 (harmonious) 之效應。若二樂音其倍音頗強者，欲使其

調和，則根本宜使其任何二倍音間，不可發生使人感不快之唸數。奏鐘樂之時，不同時齊擊諸鐘而次第擊之者，即此故也。

422. 階階。 前此所已研究者，爲空氣中單列之波之行爲，以及單樂音之傳播情形；今將一考各樂音間之基本關係，易言之，將一索音樂之科學的基礎。

當吾人意在比較二樂音時，吾人先考其音調，即週率。同週率之諸音，稱之爲有同調 (in unison)。當二音週率之比如 1 比 2，則二音之關係或間隔稱爲一均 (octave, 亦譯八音)。例如週率爲 512 之音，較週率爲 256 之音高一均 (或謂高八音)；而週率爲 128 之音，則較週率爲 256 者低一均 (或謂低八音)。

人耳所認爲調和之音，已知其僅爲週率可與簡單整數 1, 2, 3, 4, 5, 以及 6 之中，任何二數成比例之各對之音，更爲奇特者，人之兩耳，對於週率之比爲 4 : 5 : 6 之三音，認其爲互相調和已歷數百年之久。此種結合，稱爲長三和音 (major triad)。此外由並無簡單週率比之特徵之音，連續疾發而成之任何結合，皆生不調和之感。

所謂長音階 (major scale) 者，爲前後聯絡之音所

組成,其關係爲第一,第三,以及第五音合成長三和音;第四,第六,以及第八音(即第一音之第八音,或謂高於第一音一均之音)亦能合成長三和音;而第五音,第七音,以及第九音(即第二音之第八音)亦能合成長三和音.此種組合之法,示於下表,所載音階中之各音,均以樂譜中所用字母代表之.

一均之各音關係表

C (do)	D (re)	E (mi)	F (fa)	G (sol)	A (la)	B (si)	c (do)	d (re)
4		5		6			(8)	
			4		5		6	
	(3)			4		5		6
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$

鋼琴鍵盤上一均之各音,其排列之法如圖 459 所示.白鍵相當於一均之各音,黑鍵則爲中間鍵(intermediate note),係供合成其他音階之用.

任何週率即振動數,可選用於一均之第一音,其次諸音,即可照表求其振數而定之.在實際上,通常用爲起點之此等音調,不止一種.所謂國際音調(interna-

tional pitch) 者,定 435 爲中部 A 音 (middle A) (高音譜上第二空格之音) 之振數,以此爲準,則中部 C 音 (middle C) (高音譜上之下 C (lower C)) 之振數當爲 258.6. 在物理實驗室中之 C 音叉,其振數通常爲 256, 以便計算。

樂 器

423. 鋼琴. 鋼琴爲人皆熟知之樂器,至少曾見其鍵盤,盤上通常有鍵 88 個,開其蓋,可見長短粗細各不同之鋼弦 88 組(圖 459),鍵各連以包有毛氈之槌一,按鍵則撥動木槌以擊一弦,而發有一定音調之音,又可注意者,低調之音,由長而粗之弦發出,而高調之音,則由短而細之弦發出,調整鋼琴之人,常用音調鍵 (wrench) 旋轉鋼弦一端之柱,使弦放鬆或張緊,此事當有見之者。

若於桌上綑一鋼絲,而使其振動,則覺其音與鋼琴相比,甚爲微弱,此因鋼琴有一音板,直接裝於弦下之故,弦之振動,由弦馬 (bridge) 傳於此大而且薄之板,使其亦起振動,於是此板使多量之空氣振動,遠過於鋼弦獨自之影響所能及,而發較高之音。

424. 振弦之定律. 弦之音調卽週率,因弦之緊張

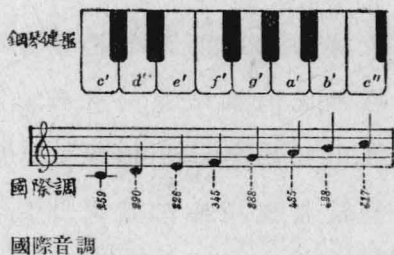
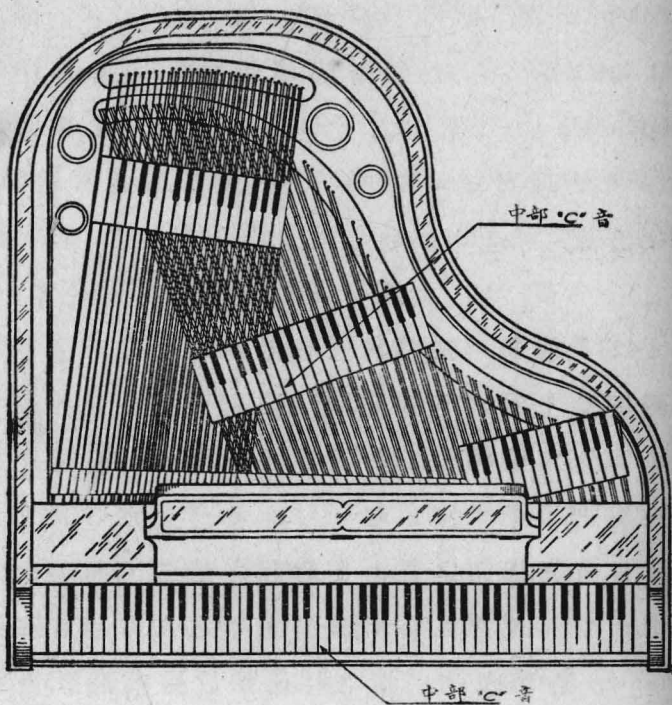


圖 459 大鋼琴之鍵盤及絃。其下所示者，為奏起自中部“C音”之八音所用之一部分。

而昇高,可用音計(sonometer)證明之,此器不過一金屬線,張於長木匣上而已(圖460)。若加於一線上之拉力,恰為加於他線上者之四倍,則第一線之音,即覺其為第二弦之第八音。若將可動之弦馬,或琴柱(fret)墊於線下,即可使音調昇高。線愈短則調愈高,最後可示同長且受同一張力之線,粗者所發之音較低。

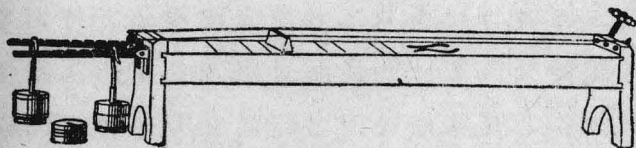


圖 460 用以證明振弦定律之音計。

由精細之此種實驗,證明下之定律:

(1) 振動週率依方在振動之弦之長而反變是以置可動之弦馬於鋼線之中央,則其音調即可昇高一均。

(2) 振動週率依張力之平方根而正變是以若有4磅之力拉緊一弦而生每秒100次之振動,則欲使其音調昇高一均,即使振動數為每秒200次,則所需之拉力為16磅。

(3) 振動週率依弦之單位長重量之平方根而反變鋼琴上發低音之弦,所以繞有鋼絲以達必要之重量者,即此故也。

425. 其他弦樂. 提琴(violin), 洋琵琶(mandolin)

以及六弦琴(guitar),皆有一組之弦,可調整之以合某種音調,又有木質之身,使弦音加強,此等樂器與鋼琴相異之處,在於僅有少數之弦,以及弦之發生振動,不由槌擊,而由弓摩或甲撥,按各弦於不同之點,即變動其長度,因而可發多數之音,摩弦或撥弦之特別地位與狀態,即可決定倍音,從而可定音色,用此法奏提琴,則其所發之音,非惟音調之範圍廣大,即音色之變化亦多也。

426. 管樂. 最簡單之管弦,爲風琴管(organ pipe).有時此管頂上開口,稱爲開管(open pipe),如圖 461 所示者即是;有時管頂封閉,稱爲閉管(closed pipe).

若取一開管吹之,則空氣流激動管口之薄邊,使起振動,管之作用,猶如一共鳴器,此種開管所能發之最低音,其波長爲管長之二倍,此音稱爲開管之本音,若以手封閉管口,使成一閉管,則將見其所發最低之音,較低一均,即其波長爲管長之四倍,此稱閉管之本音。

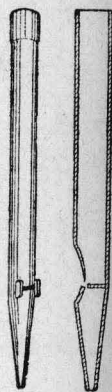


圖 461 風琴管,外觀及剖面。

然則普遍言之,開管之長度,爲其本音波長之半,而閉管之長度,爲其本音長度之四分之一。

第 413 節中之實驗所用之共鳴管，可見其為一倒植之閉管，近音叉之一端，相當於風琴管之唇。

笛 (flute)，簫 (clarinet)，喇叭 (cornet) 以及活動喇叭 (trombone)，亦係管樂，笛與簫中之空氣柱，係用孔截斷之。開放管側之一孔，同於在此孔將管截斷。喇叭及其他數種樂器中之空氣柱，可用如圖 462 所示之活塞 *a*，*b*，及 *c*，按一定之量改變其長度。在活動喇叭中，空氣柱之長，可由滑動管之一部分，使其忽進忽退而變化之。又可猛力吹之，使生倍音而變其調。

在喇叭式之管樂中，空氣之振動，係由吹者振動所致。

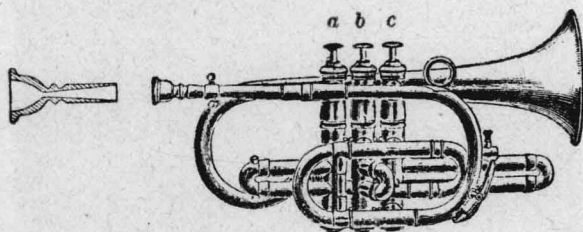


圖 462 喇叭及其吹口。

問答題與計算題

(除另行陳述外，假定溫度為 0°C .)

1. 一風琴管長 3 呎，(a)當其開口之時，其所發之音之波長為何？(b)當其閉口之時，波長為何？

2. 一閉口風琴管長 60 厘米，問可發較高第八音之開管，其長爲何？
3. 一測音器有孔 50 個。欲使其發週率爲 435 之音，必須使其每分鐘轉幾次？
4. 一開口風琴管長 18 吋，問在溫度爲 15°C . 之時，每秒所生之振動有幾次？
5. 一汽笛之閉管，須長若干厘米，始能發中部 C 音（國際音調）？中部 C 音之週率，爲每秒振動 258.6 次。

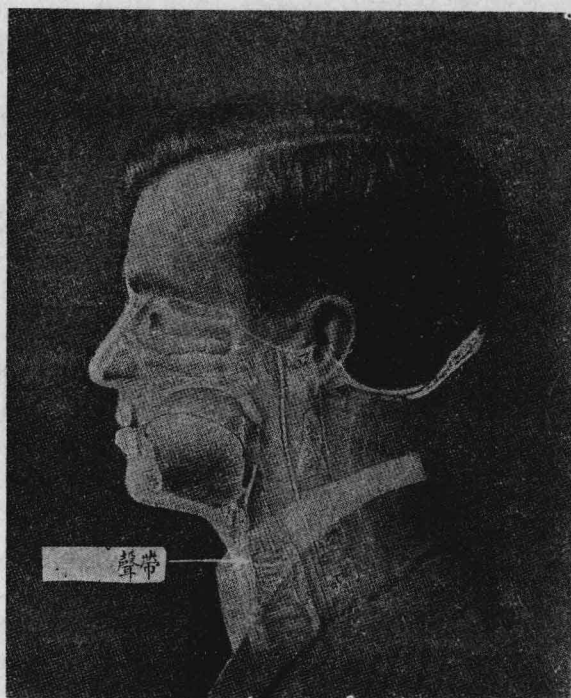


圖 463 用 X 光線畫出鼻腔，口腔，以及喉腔之頭，氣管中之聲帶亦可見之

6. 高於中部 C 發二均之音，試求其週率及波長。
7. 一弦之本音其週率為 256，問其第四倍音為何？
8. 一六弦琴之弦，長 18 吋，每秒可振動 256 次，問在同一張力之下，絃長若干，則每秒可振動 384 次？
9. 當 413 節中所述之空氣柱有一定長度時，則音叉之音即可加強，試說明何以此空氣柱，不必為音叉之波長四分之一。
10. 二開口風琴管，一長 20 吋，一長 31 吋，問在溫度為 20°C. 時，使此二管同時發音，每秒之唸數為何？

427. 振膜. 此種樂器之一例為鼓。另有一種為一切樂器中最奇異者，即人之聲官是也。其發音由於二膜之振動，此二膜各居於喉之一側，稱為聲帶(vocal cords)，此外更輔以舌與唇之振動。由於變動聲帶上肌肉之張力，即可變動所發各音之調；由於變動口之形狀，舌與齒之地位，即可使倍音起種種變化，因此音色亦隨之而異矣。(圖 463)

428. 留聲機. 留聲機(phonograph)為著名之使音再生之機器。人向送音口(mouthpiece)發言時，音波即使膜起振動；此振動復使一可以上下移動之細金屬針尖，或寶石針尖，在硬蠟盤上劃出深淺各異之螺旋溝(圖

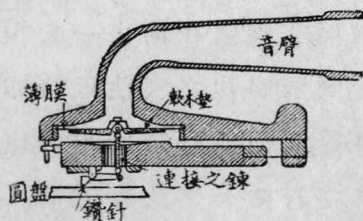


圖 464 愛迭生之鑽石唱頭。

464). 此溝之底,爲一波狀之線,代表音波之密部與疎部.

欲使此音再生,可用圓頭小針一枚,附着於膜上,而許其在圓盤旋轉之時,循蠟上之溝以行,因溝之深淺不同,針乃上下顛動,因而使膜起振動,以使原音再生.

另有一種留聲機(圖 465),其針尖作橫動以代上



圖 465 盤式留聲機及其膜與針之剖面圖。

下運動,而膜則直立。圖 466 所示者,爲改良生音器之剖面,其構造在消去一切振動之爲膜片自身所特有者。關於唱片之製法,近時亦加改良。先將各音送入收音器,例如播音時所用者,使有一脈動電流發生,再用真空管擴大之。此電流於是按磁力作用,運轉一記音之針,使在軟蠟之上劃出波狀之迹。此留於軟蠟之上

迹，乃用電鍍法印於銅版之上，更用數噸之大力，將此銅版上之迹，壓於商用唱片(斯時唱片猶熱)

留聲機不能重發完全之子音，各字多半因其母音而辨知，因母音強而清也。蓋母音大概為明定之樂音，可生有規則

之振動；子音則僅為發出母音之前後，由口所生之噪音而已。

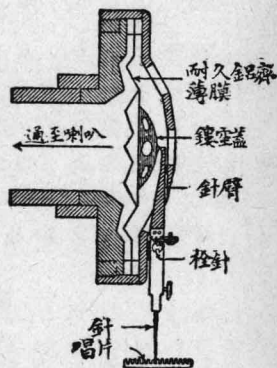


圖 466 改良之留聲機唱頭。

第二十六章 提要

樂音之三特徵者，音強，音調以及音色是也。

音強(即高低)視振幅而定。

音調視週率而定。

音色視波形而定，即視倍音之數及其中最顯著者而定。

本音為發音體作整個振動時所發最低之音，當物體作分段之振動時，發出倍音，比較簡單之倍音，稱為諧音。

絃之音調——(1)於絃長減短時升高。

(2)於張力增加時升高。

(3)在細而輕之絃上較高。

共鳴為物體受外來之衝動，其週期適與物體自有之自然週期相同時，所起相應之振動。

音之由共鳴器而加強，係因原波與反射波連合之故。

開管之長 = $\frac{1}{2}$ 本音之波長。

閉管之長 = $\frac{1}{4}$ 本音之波長。

每秒中之唸數，等於兩波週率間之差數。

調和音程 (harmonious musical interval) 相當於簡單之週率比，一均之比為 1 比 2。

長三和音由週率比為 4 : 5 : 6 之三音所組成。

長音階由三組長三和音所成。

問 答 題

1. 試舉求音叉音調之三種方法。
2. 鋼琴之絃，有以銅絲繞於其上者，何故？
3. 留聲機之旋轉速率增加時，則唱片所發之音樂，將聞其有何變動？說明其理。
4. 一人欲效他人之口音，頗為困難，何故？
5. 共鳴與強制振動，其間之差別為何？六絃琴之“箱(box),”其作用可以說明共鳴抑可說明強制振動？
6. 一風琴管在夏日與在冬日，覺其音調有何差別？風琴管長度之稍有伸縮，可以略而不計。
7. 樂師用提琴，笛，活動喇叭，以及喇叭奏樂，欲將音調自低變高，其法如何？
8. 汽車迎面而來，愈近則其喇叭之音調愈高，何故？當汽車自身傍經過時，喇叭音調是否突變？
9. 一人有二風琴管，完全相同，此人自一管之一端鋸去少許，今使此二管同時發聲，則所聞者為何，試說明之。
10. 鋼琴之絃，其音之調(週率)(a)當張力加倍時，受何影響？(b)若長度加倍則如何？(c)若重量加倍則如何？
11. 當鋼琴之“高音腳板”壓下時，壓琴器即自琴離離開，若在中部 C 絃受擊時將板踏下，則除為槌所擊之絃外，尚有數弦亦起振動，問(a)此諸絃所發之音，其調較中部 C 音為高，抑較低？(b)此諸絃何以亦起振動？

實 用 題

1. 測驗汝歌聲之波長。用相仿於圖 461 所示者之器具，調整空氣柱之長度，使汝所能歌唱之最低及最高二音，可以加強，決定各音之波長。
2. 測驗可聞之上限。用弓形鋸 (hack-saw) 將直徑 $\frac{3}{8}$ 吋之鋼條，鋸成數段，長自 1 吋至 4 吋。以線懸此諸段，使成水平。若順次擊此諸段，自最長以至最短，則可聞音之限度，即能在此中求得之。
3. 研究樂器。試與軍樂隊或音樂隊合作，考察各種樂器，注意共鳴柱之長度，以及每種樂器所用節制音調之方法，將每種樂器所發諸音之範圍，以鋼琴鍵盤為標準，作其圖線。
4. 鋼琴及自動奏琴機之機構。考察諸絃，研究其粗細，長短，以及張力對於音調之關係。鋼琴之調整方法如何？作圖以示鍵之動作，鍵盤，以及各均。黑鍵有何用處？踏板之作用為何？溫和音階 (even-tempered scale) 為何？試求自動奏琴機 (player piano) 中之空氣壓力，如何可以節制鍵之動作。

第二十七章

照明：燈與反射器

照明——反平方定律——標準燭與燭光——本生光度計——吹燭——正反射之定律——平面鏡——凹鏡——凸鏡像之作圖法——像之大小——鏡之公式。

429. 照明之問題。 作工與游息，不得不有賴於燈光者甚多，故對於照明 (illumination)，宜有所知。最主要者，當然為先有充足之光，庶可明察各物。但由實驗，知雖有充足之光，而物體之位置與形狀，或有未能明辨之時；蓋諸燈或未能有各處合宜之地位，以投射人所習見之影。其次則為須有適當之燈光，使物體之色彩，與在日光中所呈者相同，此亦一困難之問題也。最後，雙目尚須加以保護，以避強大之新式電燈與煤氣燈之閃耀，蓋燈光太烈，極易使人眼花也。此照明之問題，除此物理學方面之數點外，尚有其代價之經濟問題焉。

日光之有療病效能，知之已歷數百年，而近代之實驗，似顯示所謂紫外線 (ultra-violet ray) 之最短波 (此波以過短之故，為人目所不能察)，尤有作用，既可

刺激動物，兼可刺激植物。

430. 光依直線進行 凡人皆知不能望見轉角彼側之景物，此因光在平常之環境下，恆依直線進行故也。

設在暗室之中，立一屏與一燈，如圖 467 所示，其間隔以刺有針孔之不透明 (opaque) 之屏，即見一倒立之燈絲之影。由此可見光循直線穿過針孔。簡單之“針孔”暗箱 (pinhole camera)，有時係據此原理製成。

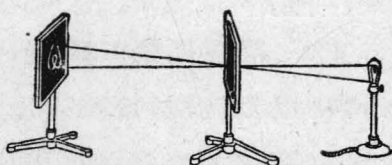


圖 467 光穿針孔而依直線進行。

測量家之精測角度，有賴下之事實，即於來自遠處物體之光線，乃循直線而達於觀察者之儀器是也。

此事實之另一結果，為不透明物體阻止光之通過時，即生一影 (shadow)。然此影之邊緣，僅在光源極小之時，始能將光明與黑暗之部分，分清界限。例如弧燈所投射之影，其輪廓即較煤氣火燄或紗罩煤氣燈 (Welsbach) 所投射者為明確。地球所投射之影亦有此種情形，如圖 468 所示。區域

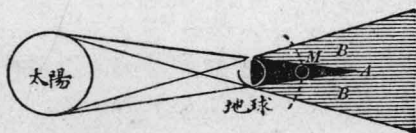


圖 468 地球投影於月 M，而成全蝕。

A 係在全黑之中，稱爲全影(umbra)，而在兩側之區域 BB ，則光之濃淡調勻，自全黑以至全明。此區域稱爲半影(penumbra)。當月球 M 適逢全體在全影之內時，即成全蝕(total eclipse)。當月球一部分在半影內時，即成部分蝕(partial eclipse)。

431. 明度反平方定律。 執書近燈，則覺其明，移書遠離，燈光仍舊，則覺其暗，此事盡人皆知，固無庸細述者也。易言之，光源之距離增加，則明度(intensity of illumination)減小，明度者，即落於單位面積上之光之量也。

以金屬薄片製成之圓筒，其上刺有小孔 P 者(圖 469)，套於燈上，俾可視光源如一點。於是在離孔一呎之處立一硬紙屏 A ，其上有一正方形之孔，每邊長一吋。在離孔二尺之處，再立一屏 B 。穿過 A 屏上一吋方孔之光線，顯見其在 B 屏上散射於二吋之正方形內；即散射於 4 方吋之上是也。今若移動 B 屏，使其離 P 點三尺，則經過 A 屏上一吋方孔之光線，散布於三吋之正方形內；即散布於 9 方吋之上是也。此等正方之面積，增加如距離之平方數，但落於各全面積上之光，其量仍舊。故每方吋上之量，依距離之平方數而減少。

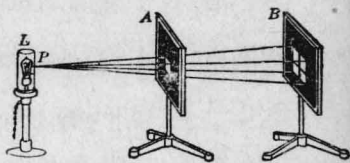


圖 469 明度依距離之平方而減小。

明度(同於音強且依同理)依光源距離之平方而反變。

此定律係假定光源小至足以視爲一點，而照明之表面，則置於垂直於光線之地位。

432. 燈之光度. 計算一定面積上所受光量之際，非惟必須顧及至光源之距離，且須一考燈之本身之光度(luminous intensity)。例如室中照以新式電燈或煤氣燈，遠較點石油燈爲明亮。因現在市上所售之燈，不同之式樣甚多，故應有測定其光度之某種方法，實屬非常重要。欲爲此事，必須有一標準燈(standard lamp)，以及某種比較燈光之儀器。此器吾人稱之爲光度計(photometer)。

433. 標準燈. 關於標準燈，雖有多種計劃，然皆不能使人滿意。最古之標準燈(此燈在計算方面仍用之，惟在實用方面，則罕有用之者)，爲英國標準燭(standard candle)，係用鯨腦油(sperm)照一定之造法製成者。自此燭發出之水平光線，其照明能力(illuminating power)稱爲一燭光(candle power)。

現在美國所用一燭光之值，係由一組標準熾熱燈所決定者，此組標準燈，保存於華盛頓標準局內。此種光度單位，稱爲國際燭光(international candle)，已爲英國與法國所承認。在德國之法定光度單位，稱爲赫

(Hefner), 等於 0.9 國際燭光。

試驗煤氣時, 雖所謂標準燭之光度, 或有相差至百分之五者, 然在習慣上仍用鯨油燭。至於更精密之工作, 則今多採用哈考脫戊烷燈 (Harcourt pentane lamp)。此燈燃燒空氣與戊烷之混合物而發光, 其光度為十燭光。

平常之開口煤氣火燄, 每小時消費煤氣 5 立方呎以上, 而所發燭光則自 15 至 25。在麻省 (Massachusetts) 煤氣之法定標準, 為在每小時消費 5 立方呎之燈內, 應發 15 燭光。紗罩煤氣燈每小時消費煤氣約 3 立方呎, 能發 50 燭光至 100 燭光。

434. 本生光度計。 本生光度計 (Bunsen photometer) 者, 比較已知之燈所發之光線, 與標準燈所發水平光線之照明能力之儀器也。此種“油點” (grease spot) 光度計 (圖 470), 為德國大化學家羅白脫本生 (Robert Bunsen) 所發明。其主要部分為一白紙之屏, 中心有一半透明 (translucent) 之點, 可使光自由透過。屏置於所

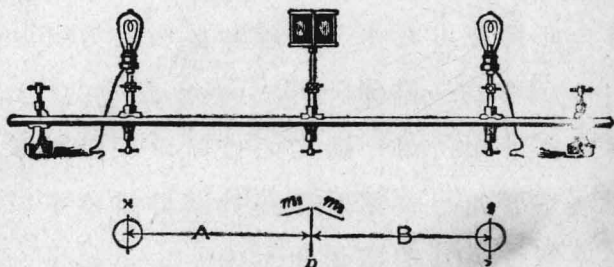


圖 470 本生光度計, 用以比較 X 燈與標準燈 S。

欲比較之兩燈間，使其一面爲一燈所照，而他面爲他燈所照。若屏之一面，所受之光較他面爲多，則此面似頗明亮，其中心有一較暗之點；而他面則較暗，其中心有一較明之點。若兩面所受之光相等，則點即消滅，至少由兩面觀之，明暗相同。此有油點之屏藏於一匣之內（圖 471），此匣在 A 及 B 二面開口，正對所欲比較之二燈。目在匣前 E 處窺之。二鏡 m_1 與 m_2 置於屏之各側，如

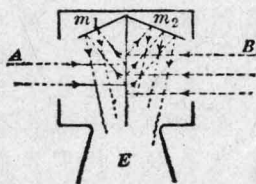


圖 471 本生光度計之匣，內藏有油點之屏。

圖中所示者然，俾可同時望見屏之二面。

435. 本生光度計之用途 此光度計必須在暗室中用之，或置之於不漏光之匣中亦可。所欲測驗之燈 X ，置於架之一端，而標準燈 S 則置於他端（圖 470）。於是移動紙屏，直至得一兩面同明之位置而止，乃測定 A 與 B 二距離。

若 A 與 B 二距離相等，顯見二燈之燭光相同。若二距離不等，則離屏較遠之燈，其燭光較大更有進者，因光度按距離之平方而減少，且因屏之兩面受光相同，故得方程式：

$$\frac{X\text{之燭光}}{A^2} = \frac{S\text{之燭光}}{B^2}.$$

例若有一燈其燭光爲 X ，離屏 100 釐，另有一燈其燭光爲 16，離屏 80 釐，此時屏之二面明度相等，

$$\frac{X}{(100)^2} = \frac{16}{(80)^2}$$

則

$$X = 25 \text{ 燭光.}$$

436. 光之分布. 燈之發光，無各方一致者。例如平常之石油燈，其燈頭及貯油器，即將自燈燄下射之光遮斷；若燈燄潤而薄，則其潤面所發之光，即較發自薄邊者爲多。同樣，熾熱燈向各方所發之光，其強度亦因燈絲之形狀而異。

因熾熱燈易使其轉至任何位置(圖 472)，故不難用本生光度計，測定其在種種不同位置之燭光。若在水平面上數方向內測其燭光，而將測得之結果求一平均數，則所得之結果稱爲此燈之平均水平燭光 (mean horizontal candle power)。由此種測驗，知在水平面內各方向之燭光，相差並不甚巨。

若使欲測之燈，在豎平面內傾斜成種種不同角度，則結果將見正對燈底之燭光甚小。此等試驗之結果，以極坐標圖(圖 473 A)表示之最佳。在此圖中，曲線指示光在豎平面上不同方向內之強度，此曲線離同心圓中心之遠近，即隨

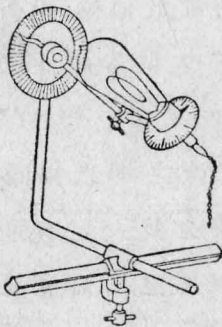


圖 472 測燈之光度時，使燈傾斜之器具。

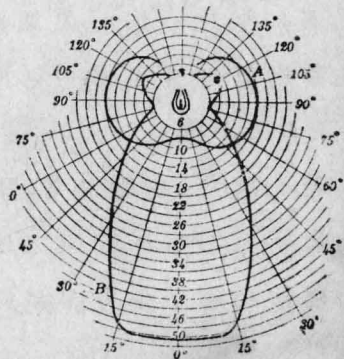


圖 473 光度曲線(A)屬於無罩熾熱燈者，(B)屬於同一之燈有反射器者。

光度之大小而異，例如正對燈泡底(0°)之燭光略小於8，而在水平方向內(90°)者則為16。

欲使燈光盡量逕向下方投射時，可用燈罩 (shade) 或某種反射器 (reflector)。圖 473 B 所示者，即為燈泡上加以某種燈罩時，光在豎平面內分布之情況，由此曲線，將見水平強度減少至6燭光，而向下之光度則增至50燭光以上。此種燈罩，因所望光之分布情況之不同，而製為種種不同之形式，居室之中，工場之內，燭光有效與否之問題，即能用此而據科學方法解決矣。

437. 明度之計量。 適已見及光源強度之單位為國際燭光，此種標準燭發光以照離燭一呎而與光線成直角之表面，其明度稱為一呎燭 (foot candle)。* 此即明度之單位也，以式示之，顯係

$$\text{明度(呎燭數)} = \frac{\text{燭光(數)}}{\text{距離之平方(呎)}^2}$$

例如，有一16燭光之燭，照於離燭一呎之表面，其明度即為16呎燭。又若此燈為一32燭光之燈，而物體在離開4呎之處，則明度即為 $\frac{32}{(4)^2} = 2$ 呎燭。

在此二例中，皆假定僅有一光源，且假定受光之表面，垂直於光線。實際上此種情形幾永不可遇，故計算任何已知表面上明度之問題甚為艱難。

圖 474 所示者為一極簡單之儀器，稱為呎燭計 (foot-

*譯者按每平方呎上受光之呎燭數，稱為若干“留明”(lumen)。

candle meter), 可用以直接測定任何處所之明度。此器之最主要部分爲一屏, 其上有半透明之小點一列, 此諸點皆爲屏下一端之小電燭所照。爲確定此燈常保其同一光度起見, 有一可調整之變量耗阻器, 串聯於電池, 且有一靈敏之弗計, 可以指示加於燈之電壓。使用此計時, 祇須

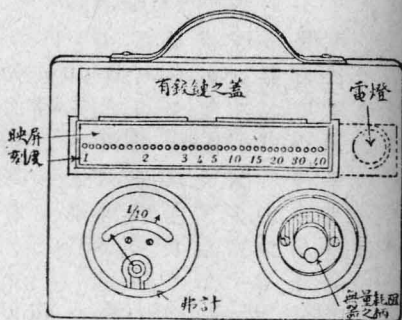


圖 474 直接測量明度之呎燭計。

調整變量耗阻器, 直至弗計指示電燈方得所需之電壓而止; 於是在屏上選定一點, 幾似消滅者, 卽似與白屏表面同明者; 最後讀出明度尺上正在此點下方之呎燭數。例如圖 475 所示之屏卽指示 7 呎燭。

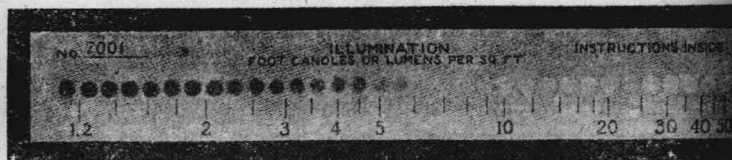


圖 475 呎燭計之受光屏。

438. 需要若干明度乎? 欲得“合宜之光以見”, 所需明度之量, 視各種情形而大有不同(圖 476)。例如畫圖室, 舞台, 以及商店, 約需 4 呎燭; 而教堂, 住宅, 以及公共迴廊, 或祇須有 1 呎燭已足。光之對於作事, 過猶不足。極亮(每方吋在 5 呎燭以上者)之光源顯露於外, 爲目疾之通因。欲除此弊, 電燈泡當用毛玻璃, 且應多

用小光度之燈散布於各處，或遮以能擴散光線之罩，或隱藏之使其全不可見，就最後之一種方法論，係藉

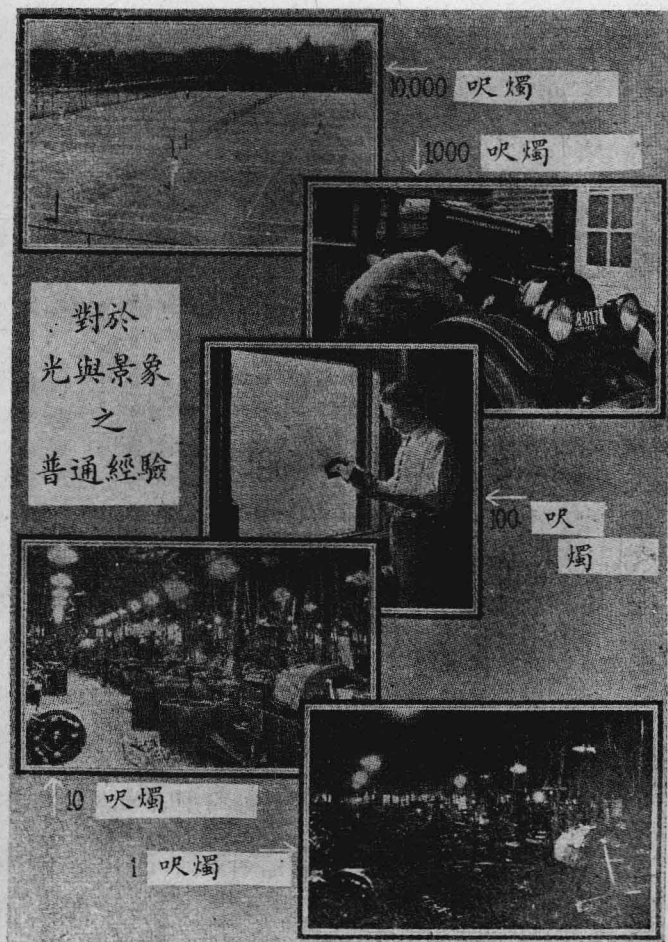


圖 476 工作與遊戲所需之明度(呎燭數)。

自承塵及牆壁反射之光以照明，此種簡接照明之法，固可得最佳之光，尤以在公共建築中之大堂上爲然；但因所費較其他各法爲昂，遂皆視之爲奢侈。

問答題與計算題

1. 在一深6吋之針孔暗箱之背，有一正方玻璃底板，每邊4吋。問離針孔10呎之牆，在此玻璃底板上能見其若干面積？

2. 一4燭光之燈，離一屏120吋，問16燭光之燈，須離開若何遠，始能照屏以相等之明度？

3. 6呎遠之電燈光，與8呎遠之32燭光之光，照得同一之明度，試求電燈之燭光。

4. 有一燈，欲測定其燭光，乃以赫夫納耳 (Hefner) 標準燈(0.90燭光)，置於本生光度計上離油點50吋之處，而將此欲測之燈，置於離屏150吋之處，兩燈照屏之明度適等。問此燈有若干燭光？

5. 一燈有80燭光，照於離開5呎之表面，問此表面上之明度其呎燭數爲何？

6. 若讀書所需適當之明度，約爲3呎燭，則一60燭光之燈，可置於離本書若干遠之處？

7. 比較離燈塔1哩，2哩，以及3哩處之明度。

8. 離一1000燭光之弧燈50碼之表面，其上之明度爲何？在此題中之明度，是否合於人行道上所需0.04呎燭之最小明度？

9. 有二燈，其燭光彼此各爲25與100，相隔16呎。問在兩燈間之何處，明度相等？

10. 在燈光下晒相片，若相片離一50燭光之燈2呎時，所需露光時間爲10秒，則相片離一100燭光之燈3呎時，需時若干秒？

11. 若第436節中所述有特種燈罩之燈，欲懸之於閣

書桌之上方，則應離桌面若干遠？（參閱圖 473 B 之分布曲線）。

12. 有一 25 瓦之 B 種鎢絲燈，其發光耗電之率，為每燭光 1.1 瓦，問離此燈 3 呎之處，得明度若干呎燭？

13. 有一 50 瓦之丁種鎢絲燈，約能發 70 燭光，又有一紗罩煤氣燈，每小時用煤氣 3 立方呎者，約能發 100 燭光。今在某城用此二燈，其地之電價每呎時洋 1 角，煤氣價每 1000 立方呎洋 1 元，試以每燈各發 1 燭光時 (candle power hour, 即 1 小時中常發 1 燭光，義與呎時同) 為準，而比較使用各燈之所費。

439. 反射器，正反射與亂反射。吾人四週之物

體，大多數皆得藉其所反射入目之光以見，此固早已知之者也。大多數之物體，其表面皆粗糙，故投於其上之光，向各方反射，亂而不齊，如圖 477 所示。此種光之反射，即光之折回，稱為擴散的

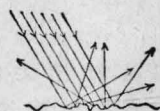


圖 477 自不整齊之表面所發之擴散的反射。

反射 (diffused reflection)。例如光之投於紙上或未經油漆之木上者，即向四方作亂反射。然光若射至細加琢磨，極為光滑之金屬平面之上，則反射之光入於人目，似覺其直接來自遠處之物體，並非由反射表面而來。此稱正反射 (regular reflection)，如圖

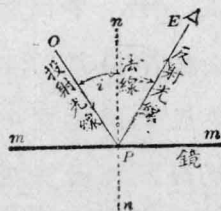


圖 478 自光滑表面所發之正反射。

478 所示者即是，圖中 mm 爲反射表面或鏡， OP 線指示落於鏡上之光之方向，而 PE 線則指示反射入目之光之方向。

440. 反射之定律。 當光穿過一小孔而來時，其光流 (stream of light) 稱爲光束 (beam)，極細之光柱稱爲光線 (ray)* 當一束之光來自遠如太陽之光源時，組成此光束之光線，皆相平行，故稱之爲平行光束。

在圖 478 中，命 OP 爲斜投於鏡 mm 上之平行光束之方向，而 PE 爲反射光束之方向。若在 P 點作一稱爲法線 (normal) 之線 nn ，垂直於鏡面，則夾於法線與投射光束方向線 OP 間之角 i ，稱爲投射角 (angle of incidence)；而夾於法線與反射光束方向線 PE 間之角 r ，稱爲反射角 (angle of reflection)。

由精細之實驗，已知——

I. 投射光線，法線，以及反射光線皆在同一平面上。

II. 投射角與反射角相等。

441. 平面鏡中之像。 人立於平面鏡前，則見其自己之像及其週圍之物體，一若皆在鏡後然，此乃衆所習知者也。今於圖 479 中，可見來自一物體

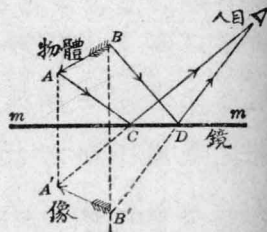


圖 479 平面鏡中之像。

*“光線”之較爲準確之定義，將見於次章之 460 節。

任何點 A 之光，爲鏡所反射而入於目時，似由鏡後一點 A' 而來。同樣，光自一羣之點（物體 AB ）而來者，似由鏡後一羣相仿之點（像 $A'B'$ ）而來。此一羣之點，光似來自其處者，稱爲物體之像（image）。自物體任何點，至其像之對應點之連線 AA' ，垂直於鏡面 mm ，而爲其所平分。

普遍言之，平面鏡中之像，與物體同大，且與物體對立在鏡之前後，距鏡面相等。

此種之像，實甚肖真形，故魔術家往往利用琢磨極佳而不可見之鏡，以引起人之惑視（illusion），然因鏡中之影，左右顛倒，故魔術家永不令有字之紙或鐘面，得於鏡中望見之。

442. 平面鏡之用途。家用之鏡，優良者係用玻璃板背敷銀質一薄層而成。光之自玻璃表面反射者，僅爲一小部分；其餘之大部分，皆自金屬之裏面反射。公共之室中，有時以巨大之玻璃板鏡，嵌於牆壁之上，使人起寬敞之感。

在科學儀器中，旋轉之部分上往往附一極小之鏡，例如電流計中之動圈即是。此種小鏡，其使反射光束轉

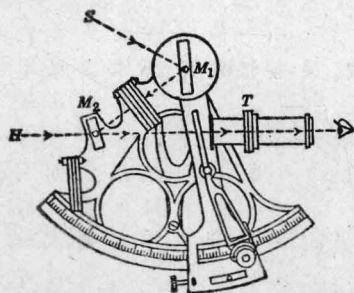


圖 480 測量及航海所用測量角度之六分儀。

過之角度，二倍於鏡所自轉者。試證明之。

航海家用以測太陽高度(altitude)之六分儀(sextant, 如圖480), 其上有一轉鏡 M_1 , 爲此器之主要部分。另有一平面鏡 M_2 , 連於架上, 此鏡僅有一半塗銀; 其不塗銀之一半, 可以透光。一望遠鏡 T 連於架上者, 正對一半塗銀之鏡。圓上所刻之分度, 可以直接表示所測角之度數。決定太陽在地平以上之高度時, 轉動 M_1 鏡, 直至見太陽之像, 由 M_1 與 M_2 中二次反射, 而與自定鏡 M_2 之不塗銀部分, 直接望見地平之像相合而止。

問答題與計算題

1. 用相似於圖468之圖, 表示日蝕時太陽, 地球以及月球之相關位置。
2. 一電燈以長4呎之橫臂連於一竿。若此竿之粗細上下一致, 則其在地上之影, 最潤之部分爲何? 說明其理。
3. 大小如門之鏡, 琢磨甚精者, 往往誤爲通入他室之門口者, 何故?
4. 若一光線投射於平面鏡上時, 光線與鏡面所成之角爲 25° , 則投射光線與反射光線間之角爲何?
5. 若將第4題中之鏡面轉過 1° , 使投射光線與鏡面所成之角爲 26° , 則反射光線轉過若干度?
6. 假定投射角等於反射角, 試用幾何之理, 證明物體與其像, 離平面鏡之反射表面等遠。
7. 一婦人身長5呎6吋, 立於一直立之平面鏡前, 離鏡4呎之處而見其全身之像。問用以達此目的之鏡, 最長者須長若干? 試作一圖以證明之。
8. 置二鏡使其互成直角, 而以一物體置於此二鏡之前, 問可見若干之像? 試作一圖以示像之位置。
9. 平行之二鏡, 可生無窮多之像, 皆在經過物體之直線上, 試作圖以示此事實。
10. 在鏡中望見之鐘, 似指8點24分, 問實際之時刻

爲何？

11. 一長方形平面鏡，直立於桌上，其一邊長 5 吋，抵於桌面。在鏡前 3 呎之處置一燭，正對離鏡之一端 2 吋之點。試按比例尺作一圖，以示桌上爲反射光所照之面積。

443. 曲面鏡。 曲面鏡常成球面形；即此鏡乃球表面之一部分是也。若爲外表面之一部分，則稱爲凸鏡 (convex mirror)；若爲內表面之一部分，即稱之爲凹鏡 (concave mirror)。曲面鏡係其一部分之球，其中心稱爲曲率中心 (center of curvature)，圖 481 中之 C 點即是。連結鏡之中點 M 與曲率中心 C 之線 CM ，稱爲主軸 (principal axis)。其他任

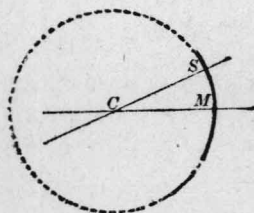


圖 481 曲面鏡之中心。

何直線之經過曲率中心者，例如 CS ，稱爲副軸 (secondary axis)。任何之軸，將見其皆垂直於反射表面。

444. 主焦點。

當平行於凹鏡主軸之光束，投射於鏡面之時，爲鏡所反射之光線，皆通過或極近於單

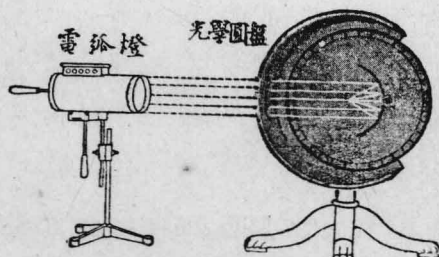


圖 482 凹鏡收斂平行光線。

獨之一點(圖 482)。此點稱爲凹鏡之主焦點 (principal focus)。此點之定義,又可述之如下,即主焦點者,凡平行於凹鏡主軸而近於主軸之光線,經反射後相遇之一點也。自主焦點至鏡面之距離,稱爲鏡之焦點距離 (focal length),而等於其曲率半徑 (radius of curvature) 之半。

凡平行於球面凹鏡主軸之光線,反射之後,並不恰遇於同一之點。光線之不能正確收斂於一點,稱爲球面收差 (spherical aberration)。祇用球之一小部分爲鏡面時,此缺點不甚顯大。鏡之球面收差,如圖 483 所示,圖中可見祇有中央之光線,反射後經過焦點 F ,而投射於鏡邊近傍之光線,顯見其必反射於 F 之右。

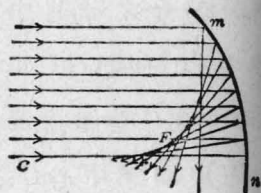


圖 483 球面凹鏡中之收差。

弧燈之發散光線,有時必須使其盡行反射於一方向內,例如探海燈然。以弧燈置於球面凹鏡之主焦點,粗可達此目的;蓋斯時光線所取之路徑,因

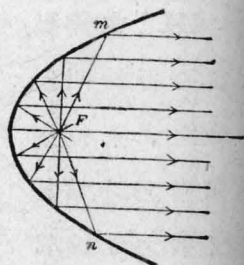


圖 484 拋物面鏡。

同於前，然其方向則相反矣。惟通常用拋物面鏡(parabolic mirror, 圖 484) 以除球面收差之缺點。

445. 凹鏡之用處。檢察鏡 (ophthalmoscope) 即係一凹鏡，其中央有一小孔。醫生用此器具，可將燈光反射入於病

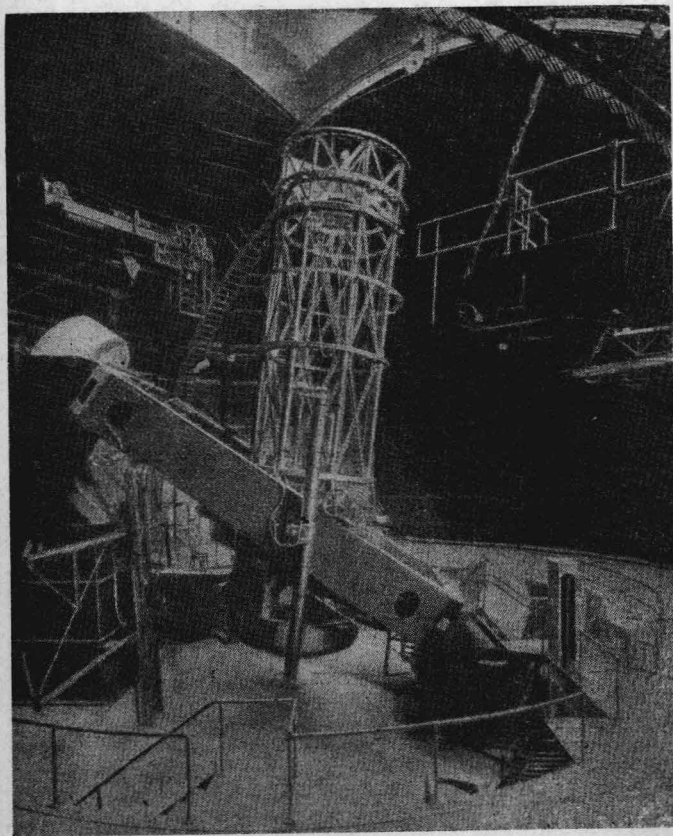


圖 485 加利福尼亞，帕薩第那城，威爾遜山天文臺之反射望遠鏡，其凹面鏡之直徑為100吋。

者之目,鼻,及喉,而在同時可由小孔中窺察所照之腔。

有一種望遠鏡 (telescope), 稱為反射望遠鏡 (reflecting telescope) 者 (圖 485), 係由一長管其一端裝一凹鏡而成, 此鏡中即生一遠處物體之像, 管之唯一用處, 為在其開口一端之近傍, 支持一目鏡 (eye-piece) 即廓大鏡 (manifying glass), 所現之象, 由此鏡窺之, 即於考察。

在複望遠鏡 (compound microscope) 中, 係將來自窗外之光, 或燈光, 用凹鏡集中於所欲考察之物體之上。

凹鏡在探海燈 (search light) 及頭燈 (head light) 中, 為用亦廣。

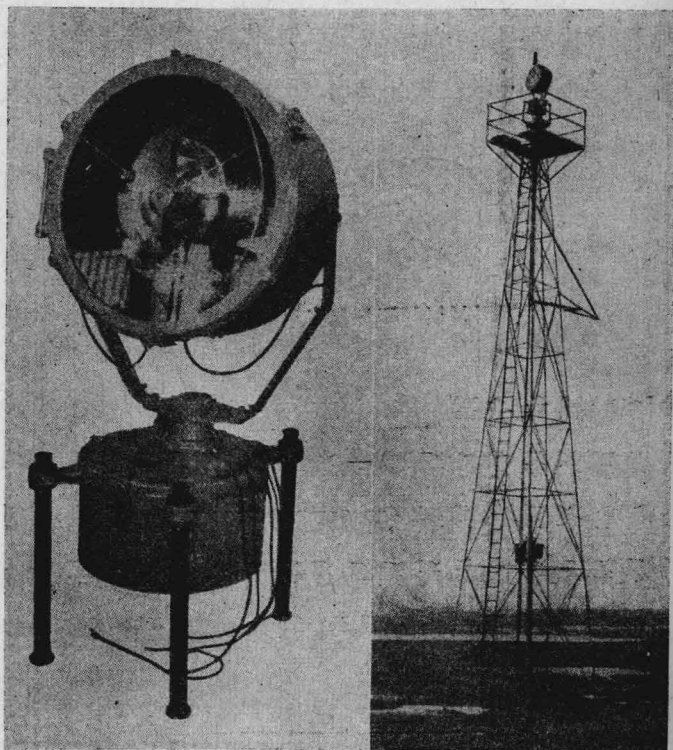


圖 486 空路轉動探望燈, 左端為24英寸之空路燈, 右端為燈塔,

446. 凸鏡. 當一束之光,平行於凸鏡之主軸者,投射於鏡面(圖 487)時,爲鏡面所反射之光線,似由鏡後一點 F 而來.此點介於曲率中心 C 及鏡面之中央,稱爲虛焦點 (virtual focus),因光線並非實際通過此點,不過望之似由此點發出而已.就凹鏡而論,光線確皆通過焦點 F ;此可以下述事實證明之,即焦點距離頗短之大凹鏡,集中太陽之輻射能多,以致紙或木片若置於 F 點,即能着火自燃.此種焦點方爲實焦點 (real focus) 也.

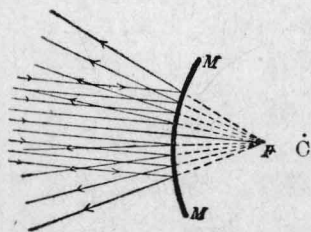


圖 487 凸鏡與虛焦點.

凸鏡前任何物體之像,現於鏡後,似係直立但較原物體爲小.因此之故,汽車遮風板 (wind-shields) 之旁,往往裝一小凸鏡,使駕車者能望見車後有何物追隨.

447. 像之作圖法. 曲面鏡所生之像,欲研究其大小與位置,可作精密之圖,以示光線之途徑,即能知其詳情.

假定圖 488 中之 mn 爲一凸鏡,而 AB 爲一物體.試作垂

直於鏡面之光線 AC 。
此光線在 P 點反射，將直接循原方向而回，再作平行於主軸之光線 AD 。此光線經反射後，似由 F (焦點) 而去，於是 A 之像點 A' ，必為二反射光線之交點。 B' 之位置，亦可用同法得之。

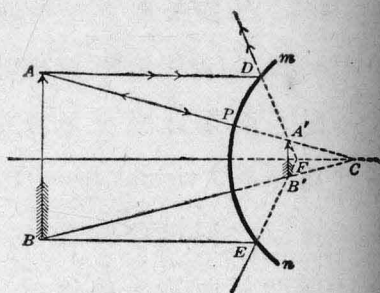


圖 488 物體 AB 在凸鏡 mn 前所成之像之作圖法。

由此圖可見凸

鏡中之像，常似在鏡後，而較實物為小。此像直立，而較實物離鏡為近，且常係虛像。是以磨光之球體中，能現人面之虛像，且常正立而較小。

假定 mn (圖 489) 為一凹鏡，其曲率中心為 C 。設 AB 為一物體，置於曲率中心以外。欲決定像之位置，可求自 A 發出二光線之迹。設 AP 為此種光線之一，經過 C 點者，則此光線將依垂直方向投射於鏡，而沿 PC 線直接反射以回。又設自 A 發出之他一光線為 AD ，平行於軸，則經反射以後，即將通過焦點 F 。二反射光線之交點 A' ，即為 A 之像。仿此可決定 B 之像 B' 之地位；故矢 AB 之像為矢 $A'B'$ 。

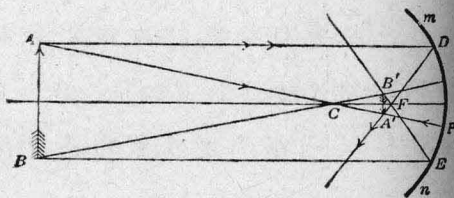
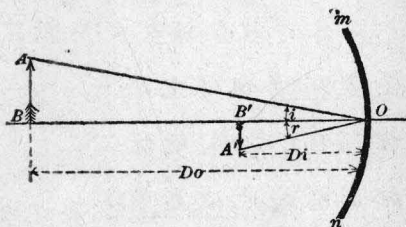


圖 489 物體 AB 在凹鏡 mn 中之實像 $A'B'$ 之作圖法。

當物體在曲率中心以外時，將見其像係倒立者，且在鏡之前面，因自 A 發出之光線，確皆經過 A' ，故所成者係實像。

448. 實像之大小. 今試作光線 AO 及其反射光線 OA' (圖 490). 由反射定律，投射角 i 等於反射角 r . 故直角三角形 AOB 與 $A'O'B'$ 相似，而其對應邊成比例，即



$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{BO} = \frac{Di}{Do}$$

圖 490 物體 AB 之大小，對於實像 $A'B'$ 大小之比，等於 Do 對於 Di 之比。

像之大小對於物體大小之比，同於像至鏡之距離對於物體至鏡之距離之比。

449. 共軛焦點. 在圖 489 中，已見當 A 為物體之一點時，像點在 A' 。但若 A' 為物點時，像點必在 A ；蓋光線將依相反之方向，而取同一之路徑。例如一燈若置於 AB 處，則一倒立而較小之像，將現於置於 $A'B'$ 處之屏上；又若此燈置於 $A'B'$ 處，即有倒立而較大之像，現於置於 AB 處之屏上(圖 489)。

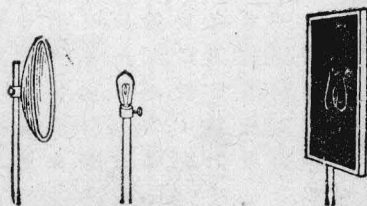


圖 491 凹鏡之共軛焦點。

兩點所在之位置，

若能使發自此點之光線，集中於他點，則此二點稱為共軛焦點 (conjugate foci)。例如圖 491 之燈與屏，即在如是之二點，故係共軛焦點。

450. 凹鏡中之虛像。適已見及當物體在曲率中心以外時，其像係在主焦點 F 與曲率中心 C 之間，又當物體在 F 與 C 之間時，其像係在 C 之外。就此二種情形而論，所成者皆為實像。故當物體在主焦點 F 以外時，鏡所造成之像常為實像。

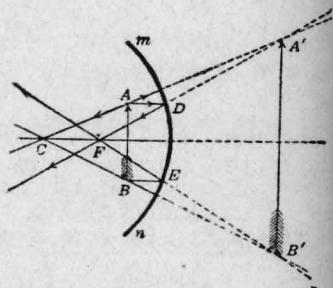


圖 492 物體 AB 在凹鏡 mn 中所成虛像 $A'B'$ 之作圖。

然當物體置於主焦

點以內時，即在 F 與鏡之間，如圖 492 所示，則像即在鏡後，直立，放大，且為虛像。

此以幾何方法示之，可如前求自 A 點發出之二光線之迹，其一平行於軸，反射後經過 F 點，又一垂直於鏡面，反射後循原路而回，經過 C 點。此二光線反射後皆向外發散，必須向後延長，始能求得交點 A' 。 A' 係 A 之虛像，因自 A 而發之光線，實際上並不經過 A' 。

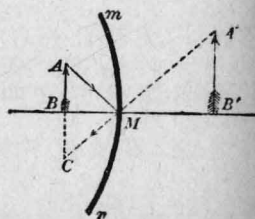


圖 493 物體 AB 及其虛像 $A'B'$ 之大小。

451. 虛像之大小。因凡

自 A 發出之光線(圖 493), 反射後似由 A' 而來, 故自 A 至鏡之中央 M 點之光線, 反射後將取 $A'MC$ 之方向. 投射角既與反射角相等, 則 $\angle AMB = \angle BMC$ 角.

但 $\angle A'MB'$ 與 $\angle BMC$ 爲對頂角而相等, 故

$$\angle AMB = \angle A'MB' \text{ 角.}$$

是以直角三角形 AMB 相似於直角三角形 $A'MB'$, 而有

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'M}{BM}$$

故就此情形而論, 像之大小對於實物大小之比, 亦等於像之距離對於物體距體之比, 與前相同.

452. 鏡之公式. 由實驗知

$$\frac{1}{\text{實物距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}},$$

$$\text{或 } \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}.$$

由此方程式, 可得實物至鏡之距離, 像至鏡之距離, 以及焦點距離三者間有用之關係. 此三量中若有二量已知, 即可計算第三量.

此方程式, 可以證明其兼合於凹鏡及凸鏡. 實物距離 D_o , 常取爲正數. D_i 之值算得爲正數時, 像係實像, 爲負數時, 即得虛像. 焦點距離 f 對於凹鏡爲正數, 對於凸鏡爲負數.

在次章之中, 將見此同一方程式亦適用於透鏡.

問答題與計算題

1. 一物體置於離一凹鏡 15 吋之處, 此鏡之曲率半

徑為 12 吋，問像離鏡面若干遠？此像係實像，抑係虛像，正立抑係倒立？

2. 若第 1 題中之物體長 3 吋，問像之長為若干？

3. 一燭置於離一凹鏡 10 吋之處，若其火燭之像成於離鏡 30 吋處之屏上，頗為明晰，則曲率半徑為何？

4. 一凹鏡之焦點距離為 10 吋，欲使一物體之像現於離此鏡 18 吋之處，則此物體必須置於何處？

5. 一凹鏡之曲率半徑為 12 吋，執一鉛筆置於鏡前 10 吋之處，試比較此鉛筆與其像之大小。

6. 一矢長 1 吋，置於離一凹鏡 4 吋之處，此鏡之曲率半徑為 12 吋，試求像之位置，長度，以及性質。

7. 一燈離一凹鏡 12 吋，有一實像離鏡 8 吋，若將此燈移動，使離鏡更遠 4 吋，則其像將於何處得之？

8. 當平行光線落於 (a) 凸鏡之上時，(b) 落於凹鏡之上時，試作二圖以反射光束之形狀。

9. 若一凹鏡之曲率半徑為 12 吋，則必須置一熾熱燈於何處，始可使燈光自鏡面反射後，近於依平行線而發出？

10. 一凹鏡之焦點距離為 2 呎，一人必須立於離鏡若干遠之處，始能望見鏡中有其顏面之像，正立而二倍於本來之大小？

11. 試就凹鏡補足下表之空白：

物體之位置	像之位置	實像抑虛像	像係放大抑縮小者	像係倒立抑正立者
在 F^* 之內				
在 F 點				
介於 F 與 C^* 之間		●		
在 C 點				
在 C 之外				

* F = 主焦點。 C = 曲率中心。

第二十七章 提要

明度依光源距離之平方而反變。

燈之照屏以相等之明度者，其燭光正比例於燈至屏之距離之平方。(即燈愈遠，其燭光愈大。)

單位明度，即呎燭者，為自離開一呎之一燭光之燈所得之明度。

$$\text{明度(呎燭數)} = \frac{\text{燭光}}{\text{距離之平方(呎)}^2}$$

就正反射而論：

- I. 投射光線，法線，以及反射光線，皆在同一平面內。
- II. 反射角 = 投射角。

平面鏡：像常在鏡後，正立，為虛像，與實物同大，與實物距離等遠。

曲面鏡(或凹或凸)之主焦點——

定為平行於鏡軸之光線之收斂點。

其位置在鏡與曲率中心之中央。

凹鏡：

若物體在焦點以外，其像亦在焦點以外，而與中心則在物體與其像之間，像係倒立，且為實像。

若物體在焦點以內，則其像在鏡後，正立而為虛像。

凸鏡：

像常在鏡後，正立且為虛像。

鏡之公式(兼合於凹鏡及凸鏡)：

$$\frac{1}{\text{實物距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

實物距離常所取為正數。

像之距離——實像之距離為正數，虛像之距離為負數。

焦點距離——對於凹鏡為正數，對於凸鏡為負數。

大小之定則(兼合於凹鏡及凸鏡)：

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體之長度}} = \frac{\text{像(離鏡)之距離}}{\text{物體(離鏡)之距離}}$$

問 答 題

1. (a)完全透明之物體,能見之否?(b)完全反射之表面,能見之否?各述其理之所在。

2. 當電燈之光自一片紅玻璃反射時,可見二像,一紅一白,試解釋此事實。

3. 如何可將鉛筆之端,置於玻璃板鏡之上,而決定板之厚薄?

4. 16 燭光與 16 呎燭之差別為何?

5. 適當之明度,係自 2 呎燭至 10 呎燭。(a)何種用途以較小之明度為宜?(b)何時須用較大之明度?

6. 電燈之像,可用(a)平面鏡投射於屏否?(b)可用凹鏡否?(c)可用凸鏡否?

7. 縫衣匠如何排列二鏡,使顧客能自見其定製衣服之背,試作一圖以示之。

8. 拋物線與圓弧二種曲線,有何差別?

9. 拋物面鏡之作用,不同於球面凹鏡者為何?

10. 一人望鏡中,見其自己容顏之像,倒立而甚小。問此人所對者為何種之鏡?

11. 一人向上伸其一指,置於一曲面鏡前,見其像倒立。問(a)此人所見者為實像抑虛像?(b)此鏡係凸鏡抑係凹鏡?

12. 一發光點自極遠之處,沿一凹鏡之軸,向鏡面移動,試述其像之位置及性質之變化。

13. 在汽車上用凸鏡以反射路旁之景,其特別之優點為何?

實 用 題

1. 明度之測定。試用呎燭計測定汝家中書桌上,膳桌上,以及起坐間中桌上之明度。將所得之結果,與光學工程師所定者作一比較。(參閱呎燭計所附之說明書。)

2. 六分儀。若能借得一六分儀，則由觀察午刻太陽高度以決一地緯度之法，試學習之。用六分儀及三角函數表，即能計算池沼之寬，飛機之高，以及其他難於直接測量之距離。

3. 汽車燈頭。在汝所居之處，何種電燈，為法定用於頭燈者？決定頭燈曲面鏡之焦點（圖494）。由實驗以求置燈絲於焦點以前之效應，作圖以示此效應之理由。

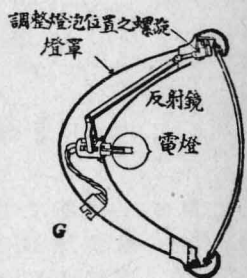


圖 494 有拋物面鏡之汽車頭燈。

第二十八章

透鏡與光學器械

屈折——屈折之定律——光之速率——波頭——屈折之解釋——屈折率表以速率之比——全反射——三稜鏡——透鏡——透鏡方程式——大小之定則——透鏡之缺點。
 照相器——目——目之缺點——映畫器——活動影戲——有聲活動影戲——光學瓶——廓大鏡——顯微鏡——望遠鏡——正像望遠鏡——觀劇鏡——三稜雙眼鏡。

453. 光學器械。人目為有名之光學儀器中最奇之一種，但人目往往有缺點，必須加以改正，始能明視；或云加以幫助，較為確當，蓋有病之眼，鮮能用眼鏡治愈之也，即為健康之眼，亦有其視物之限度，有多種光學儀器，已經發明，可助人目以視過遠之物，或過小而為尋常目力所不能察見之物。最後尚有多種器械，例如照相器，大幻燈器(stereopticon)，以及活動影戲機，可使人見遠離實際所在之處或久隔實際發生之時之景物。凡此種種發明之具，能使人明視，遠視，以及在不同之時刻得見以前之事物者，皆稱為光學器械(optical instrument)。

所有此種器械，可見其中皆有透鏡(lens)，且有

兼用三稜鏡 (prism) 者。但欲了解光學器械之作用，吾人必須先研究光穿透鏡及稜鏡而過之通路；即須先研究光之屈折 (refraction) 是也。

屈 折

454. 水中之屈折。 當一棒斜植於水中時，可見此棒似齊水面而折為二段，其在水中之一部分，似向上屈 (圖 495)。水槽之底，望之常似較其實實際上離水面

為近。魚游水中，望之似較實際上所在之處為高，故若欲用魚叉刺之，須以魚像之下方為

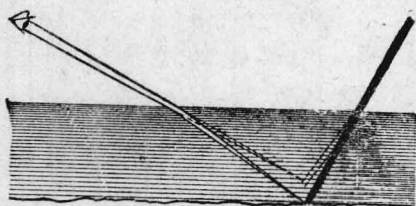


圖 495 一部分在水中之棒，似斷為二段。

的。凡此種種現象，皆由光自水中入空氣時，生屈折作用而來。吾人曾謂光之進行，係循直線，但此一性質，僅在單獨之物質中為然。普遍言之，光自一物質通入密度不同之他物質時，即在分界之表面屈折。

455. 屈折之定律。 欲測定光束自水通入空氣之中，屈折若干度，可實行下述實驗。

取一板，使其直立於水槽中，板上附木條二，用大扁頭釘 (thumb-tack, 便於用拇指壓入者) 連於 O 點 (圖 496)。若以水

充槽，然後沿 AO 線下望，即見在水面下之部分 OBC 似向上屈。若將露於水面以外之部分 AO 折轉，直至全線 $AOBC$ 似成直線而止，即可得一模型，以示光行於水及空氣中之路徑。今可將板由水中取出，而在板上作水線及 AM 與 CN 二垂線。

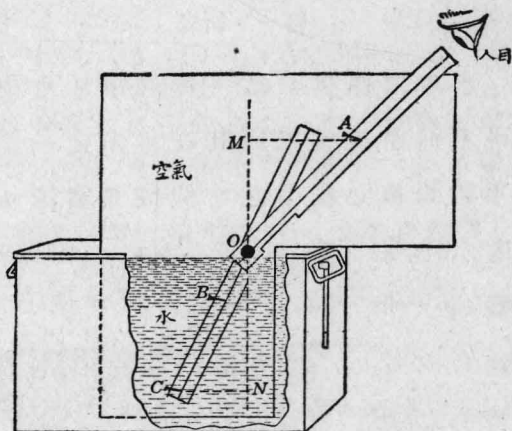


圖 496 光束斜離水面之際即行屈折。

由此實驗，可見光束由水中經過而入於空氣時，離開垂線而屈折。

光束循 BO 之方向 (圖 497) 自空氣通入水中時，亦可知其係依 OA 之方向而屈折，即光束自空氣通入水中時，係向垂線而屈折是也。此時 BO 線代表投射光線 (incident ray)，而 OA 線則代表屈折光線 (refracted ray)，介於投射光線與法線間之角 COB ，

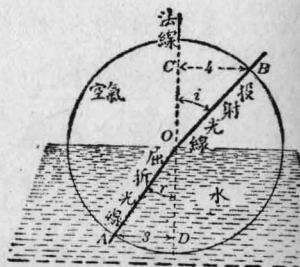


圖 497 光由空氣斜行入水之屈折。

亦稱投射角(angle of incident),而夾於屈折光線及法線間之角 AOD ,則稱屈折角(angle of refraction).

456. 屈折率. 欲顯示投射角與屈折角間之關係,可在投射光線及屈折光線上,截取相等之距離如 $AO=BO$,而作兩垂線 AD 與 BC 至法線,吾人將察知不問投射角之大小如何, BC 線常較 AD 為大,且為 AD 之定倍數.例如就圖 497 所示者而論, BC 或長 4 吋,而 AD 或長 3 吋;於是 BC/AD 之比即為 $\frac{4}{3}$,或 1.33. 此比稱爲屈折率(index of refraction). 由實驗,知此比對於同一物質,不問投射角之如何,常相同.

此比又可表以投射角與屈折角之“正弦(sine)”. 正弦乃三角學中之名詞,用以表示直角三角形中,銳角之對邊對於斜邊之比者;是以投射角 i 之正弦為 BC/BO ,而屈折角 r 之正弦為 AD/AO . 因由作圖知 $AO=BO$,故

$$\frac{\angle i \text{ 之 正 弦 }}{\angle r \text{ 之 正 弦 }} = \frac{BC/BO}{AD/AO} = \frac{BC}{AD} = \text{屈折率}$$

457. 光經玻璃之屈折. 吾

人又可顯示光束自空氣通入玻璃時,亦呈屈折現象.

取半圓形之玻璃一塊,附於光盤(optical disk)之上,如圖 498 所示.將見射於其上之光線,一部分為玻璃所反射,一若射於鏡上然,而另一部分則當其透過玻璃時向垂線屈折.又將見投射角等於反射角,但大於

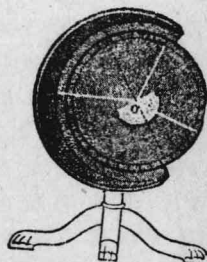


圖 498 光線一部分為玻璃所反射,一部分經玻璃而屈折.

屈折角。自盤上所見投射光線與屈折光線之端點，至法線之垂直距離，可測之以計算對於玻璃與空氣之屈折率。

平常之冕玻璃(crown glass)，使光線所起之屈折，小於鉛玻璃(hint glass)，即其屈折率較小是也。鉛玻璃之密度較大，其對於空氣之屈折率約為 1.7；而冕玻璃對於空氣之屈折率約為 1.5。

普遍言之，光自一物質斜行而入於他物質時，例如自空氣入玻璃，自金剛鑽至空氣，常起曲折，甚或自真空至空氣，或自此一空氣層至密度不同之他一空氣層亦然。例如火爐上部近傍之各物，望之似發閃光，又似在跳躍者，即因通過方在上昇之熱空氣柱之光，起屈折之故也。普遍言之，當光斜入密度較大之物質，必向垂直線而屈折。

458. 日光之屈折。有一有趣味之光之屈折現象，發生於地球週圍之大氣層中。空氣在地球表面以上，僅擴張至數哩，且愈遠愈稀薄；以外即為空無所有之空間。故當日光之光線，例如圖 499 中之 SO ，斜穿空氣而來時，自彼層以至此層，漸向垂直法線接近而屈折；其結果則目在 O 處，不能見太陽之在其真實地位，祇見太陽之光，似沿 OS' 之方向而來。因此之

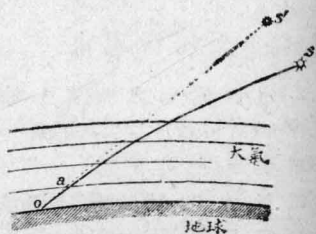


圖 499 光經地球上之大氣而屈折。

山天文臺，重行決定光之速率。圖 501 所示者，即係邁氏實驗中隱含之原理。邁氏測定八角轉鏡旋轉之適當速率，使其轉過八分之一時，光適行至遠處一鏡而折回。邁氏求得光在真空中之速率為每秒 299,769 杆。

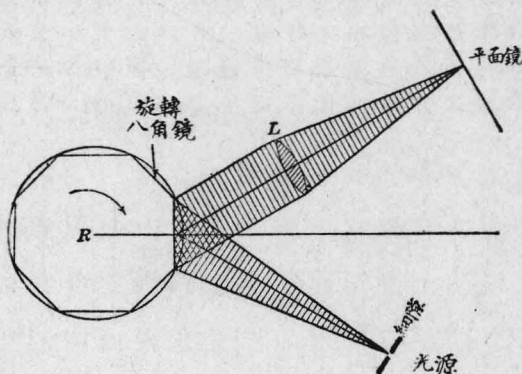


圖 501 邁克爾孫測定光速之法。

此速率既如是巨大，無怪古時之實驗家不能決定之。在地球上人所能窮其目力望見之遠處，光實祇須 0.001 秒即可達。光行於空氣之中，較在真空中稍緩。在較密之物質中，例如水與玻璃，則光行更緩。

460. 光波。 光之傳播於空間，亦想像其係藉一串之波，正與想像音之自其源傳播於空氣中，係藉一串之波相同。當光自源點發出時，各波之球形波陵，即波頭 (wave front)，向各方依等速度而散布，而其進行方向既屬輻射之狀，自與波頭成直角。如圖 502 (a) 所示者，即係方在擴張之此種波列，圖中曲線示波頭，而

矢線則指波頭各小部分進行之方向。此等進行方向線，即前章所謂光線是也。一束之光線稱為光束 (beam)。在“平行光束”(圖 502 (b)) 中，波頭皆為平面，而光線皆為平行線。

用透鏡或曲面鏡，可使光線向稱為焦點之一

點收斂。在此情形之下，波頭為凹球面，愈近於焦點愈縮，如圖 502 (c) 所示。

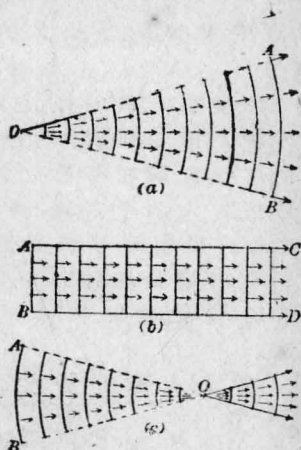


圖 502 波頭。

461. 光起屈折之故。當光束自空氣通入水中時，其速率即有變化，欲顯示光束如何因此變化而起屈折，命圖 503 中之平行線，代表依矢之方向進行之波頭。當波頭之邊 B 一入水中，立即開始緩進，而其一部分 A 仍在空氣之中，進行時與前同速，因此波頭之方向，遂變成 CD 之位置，而光束即

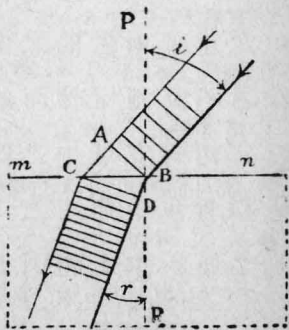


圖 503 屈折之原因。

取近於垂直線 PR 之方向以起屈折。

此現象可以一隊之兵，自平滑之硬田行入高低不齊之已耕之田中，所發生之情狀以喻之。兵士在高低不平之田中，進行自較在平滑之田中為緩。今在 B 處之兵，既較 A 處之兵先入不平之地，則當 A 處之兵行畢距離 AC 之際， B 處之兵已前行較短之距離 AD 。其結果，若 B 不能急行，且若 A 不減其進行之速，則全隊即自其原位置，移入相近於垂線 PE 之位置。

當光束垂直於水面而通入水中時，即不起屈折。光之入水，不論其係垂直於水面或斜交於水面，光速之變化當然相同；但屈折之現象，僅起於光在斜行入水之時。

462. 光速與屈折率。 由圖 503，將見光自空氣通入水中時，其所起屈折之度，須視 AC 與 BD 兩距離間之關係而定；即須視光在空氣中之速率，及其在水中之速率兩者間之關係而定是也。在水中光行之速，雖屬不易測定，然而終獲成功。光在水中之速率，已證明其約為空氣中之四分之三。此即謂光在空氣中之速率，為水中速率之 1.33 倍是也。此數與得自水與空氣之屈折率者相同。普遍言之，

$$\text{屈折率} = \frac{\text{在空氣中之速率}}{\text{在其他物質中之速率}}$$

此可證明之如下：

由第 456 節，知 $\text{屈折率} = \frac{\sin i}{\sin r}$ 。

但 i 等於 ABC 角 (圖 503)，而 $\sin ABC = AC/BC$ ；又 r 等於 BCD 角，而 $\sin BCD = BD/BC$ 。

故 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{AC/BC}{BD/BC} = \frac{AC}{BD} = \frac{\text{空氣中之光速}}{\text{水中之光速}} = \text{屈折率}$ 。

463. 全反射. 在第 454 節中，已見光束自水或玻璃斜行而入空氣時，屈折之光線係與垂直線遠離者。例如在圖 504 中，自水面下 o 點依 oa 之方向而發之光，即循 aa' 之方向而起屈折；光線 ob 沿 bb' 而屈折，而光線 oc 則沿 cc' 而屈折。在水中之投射角逐漸增大，終必達於光線 od ，此光線沿 dd'

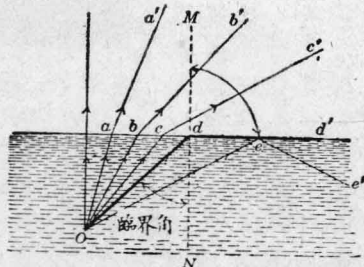


圖 504 光在水中之全反射與臨界角。

而起屈折，適掠水面而過。在光線 od 及法線 NM 間所成之角，稱為臨界角 (critical angle)。就水與空氣而言，此角約為 49° 。若投射角大於此角，例如光線 oe ，則光線即全然不能離水外出，祇能全部在 e 處作反射，而取 ee' 之方向，猶如落於磨光之金屬表面然。

臨界角者，光在較密之媒質中如欲出外，其投射

角切不可超過之角度也。

欲以實例證明全反射(total reflection)之現象,可取盛水之玻缸,中置羹匙,持近於目之上方,而向上望水面,羹匙一部分在水中成之極亮之像,將由全反射而見之。

若有圖 505 所示之器具,則各屈折光線以及反射光線,兼及完全反射之一部分光線,其不同之路徑,皆極易研究之。

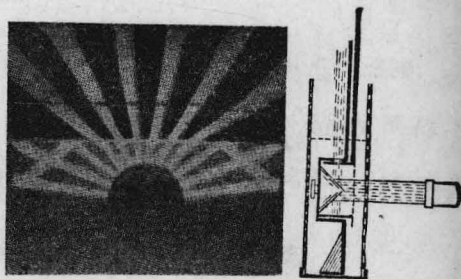


圖 505 光在水中之屈折及全反射,以及所用器具之剖面。

464. 三稜鏡。

在光學器械中,往往需要極完全之反射器,爲達此

目的之故,乃用各面磨光之直角三稜鏡 (right-angle prism), 設有光線 AB , 投射於此種三稜鏡之一面 XZ , 而與 XZ 成直角(圖 506), 則此光線即不受屈折之影響,而直穿玻璃以達 YZ 面上之一點 B , 在 B 處與法線 mn 成 45° 之角, 但冕玻璃之臨界角約爲 42° ; 故光線 AB 不能自玻璃出現, 祇能完全循 BC 之方向而反射。於是又垂直投射於 XY 面上, 出現於鏡外, 一無屈折, 其結果爲光線折轉 90° , 宛如 YZ 處有一平面鏡然。

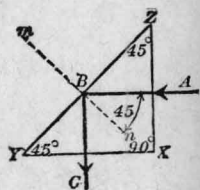


圖 506 光在直角三稜鏡中之全反射。

465. 因兩面平行之玻璃板而起之屈折。當光線(圖 507 中之 AB) 通過兩面平行之玻璃板, 例如明淨之玻窗時, 即在 B 處向法線 BN 而起屈折, 又在 C 處離法線 CM 而起

屈折。其結果為光線 CD 與光線 AB 互相平行。因此之故，當吾人由玻璃板望任何物體時，見其地位微有移動，但其他則均仍舊觀。玻璃板極薄之時，此種地位之變易過微，不足以引起注意耳。

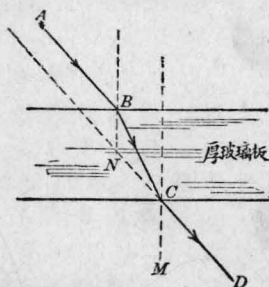


圖 507 光透過玻璃板之路徑。

466. 由三稜鏡而起之

屈折。如圖 508 所示，當光

線 XY 入三稜鏡 ABC 之一面時，即循 YZ 之方向而起屈折；在透出鏡外時，又依 ZW 之方向而屈折，是以光線 XO 即由其原路折至 $X'W$ 。其進行方向之全變化，以 XOX' 角計其量，而稱此

角為偏角 (angle of deviation)。

任何物質之有二反射平面互相斜傾者，皆係三稜鏡。A

角稱為三稜鏡之屈折角

(refracting angle)。

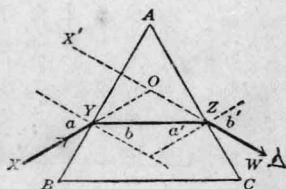


圖 508 由三稜鏡而起之光之屈折。

光線通過三稜鏡之路徑，可由作圖而得，如圖 497，先在 Y 處作圖，又在 Z 處作之，所當記憶者，光束常向三稜鏡較闊之部分而屈折。

問答題與計算題

(學者須用一小量角器)

1. 用圖說明池水何以似較實際為淺。
2. 若光線自空氣通入玻璃中之投射角為 68° ，而屈折角為 36° ，試由作圖以求屈折率。
3. 某種液體之屈折率為 1.63，光自空氣入其中，投射角為 45° 。由作圖求液體中之屈折角。

4. 玻璃槽中之水，如何可用水平光束，及一可以調整，使其傾斜成任何角度之小平面鏡(圖 509)，求其臨界角。

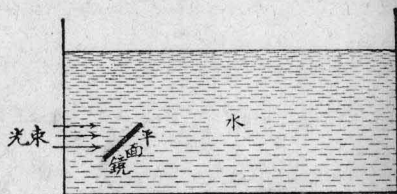


圖 509 在水中使光反射。

5. 若冕玻璃之屈折率為 1.5，試由作圖求其臨界角。

6. 若水晶之臨界角為 40° ，試由作圖求其屈折率。
7. 若水之屈折率為 1.33，則光在水中之速率為何？
8. 由實驗知光自空氣通入水中時，其屈折之度，較之自空氣中按相等之投射角，通入二硫化炭時為小。問光在二硫化炭中之速率，較在水中為大抑小？

9. 一三種鏡之三角為 20° ， 70° ，及 90° 。一光線正射於 90° 及 70° 二角間之面而入。此鏡之玻璃，其臨界角為 42° 。證明光線須在鏡內經二度反射以後，始離鏡而出。

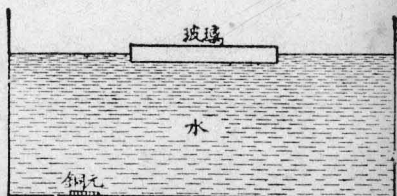


圖 510 光經水與玻璃而屈折。

10. 一銅幣在水

槽之底(圖 510), 持一厚玻璃板, 平覆於水面上, 而由玻璃望之, 試用圖表示光經水, 玻璃, 以及空氣而入目之近似路徑。水之屈折率為 1.3, 而玻璃之屈折率為 1.5。

透 鏡

467. 收斂透

鏡與發散透鏡。

透鏡(lens)者, 有磨光之球面之玻璃或其他透明物質也。通過兩球面中

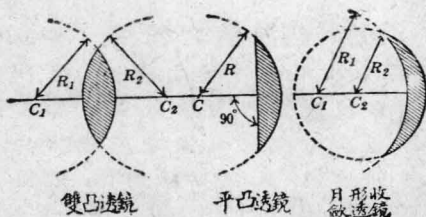


圖 511 收斂(薄邊)透鏡。

心 C_1 及 C_2 (圖 511) 之線, 稱為透鏡之立軸。

透鏡分為兩類, 一類為收斂透鏡(converging lens), 又稱“薄邊(thin-edged)”透鏡, 如圖 511 所示者是; 一類為發散透鏡(diverging lens), 又稱“厚邊(thick-edged)”透鏡, 如圖 512 所示者是。收斂透鏡之邊, 較其中心為薄, 此類之普通形式, 為雙凸透鏡(double convex lens)。

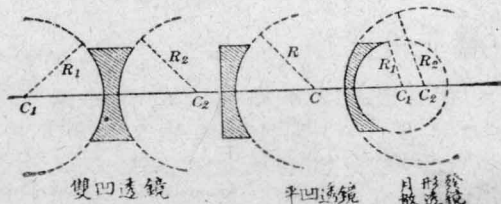


圖 512 發散(厚邊)透鏡。

發散透鏡之邊較中心爲厚，雙凹透鏡 (double concave lens) 爲此類中最普通之透鏡。當光線通過透鏡時，常向透鏡較厚之部分而屈折，正與在三稜鏡中同，此應牢憶勿忘。

468. 凸透鏡之作用。 若取雙凸透鏡一面，持向太陽 (或其他平行光線之光源)，使日光沿其主軸而來，則見光線穿鏡而屈折，幾收斂於一點。若持紙片置於此處，即有一雖小而極亮之日像，成於紙上，且紙片迅即燒焦。此點亦稱焦點，透鏡愈厚，則離鏡愈近。

此處可用光盤以顯凸透鏡對於平行光線之作用，如圖 513 所示。

平行於凸透鏡主軸之光線，收斂於其處之一點，稱爲凸透鏡之主焦點 (principal focus)。簡單之透鏡 (即雙凸透鏡)，其兩側各有一主焦點，且此二點離透鏡等遠。自透鏡至任一主焦點之距離，稱爲透鏡之焦點距離 (focal length)。

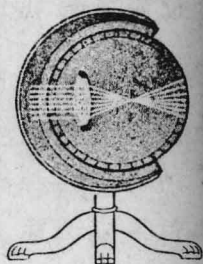


圖 513 用光盤以顯收斂透鏡之作用。

因投射光線與其對應之屈折光線，可以顛倒相通，從而知置光源於主焦點，必將送其光線經過透鏡，使成平行線而射出。

平常之雙凸透鏡，其兩球面之曲率相同，而用屈折率約爲 1.5 之玻璃製成者，其焦點距離等於曲率半徑，若一面爲平面，則其焦點距離爲曲率半徑之兩倍。

469. 凸透鏡使波頭發生之變化。 在第 462 節

中,早已知光行於玻璃中,較之在空氣中為緩。自太陽

或遠處物體而來之光
波,投射於透鏡時幾為
平面之波。圖 514 中所
作橫越光束之線,即示
方在前進之波,其次第

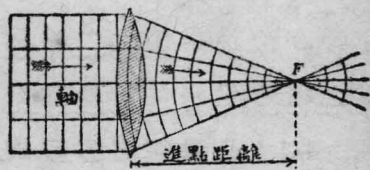


圖 514 收斂透鏡對於平面波頭之作用。

之位置及形狀。此等波之中央部分,於經過透鏡之際,將見其較外面之部分為遲緩。故光波於離透鏡而出之時,其波頭成凹面之狀。因光波前行之方向,係與波頭成直角,故光皆引至焦點;但經過焦點之後,諸波之波頭又成凸面矣。

470. 透鏡之造像。

若置一發光之物體,例如電燈,近於一凸透鏡,惟在其主焦點以外,則自物體發出之光線,

將引至透鏡彼側之焦點,而燈像可見之於置於此點之屏上,頗為明晰(圖 515)。所成之像,將見其係倒立者,且較物體為大。若將物體(即燈)與像(即屏)之地位交

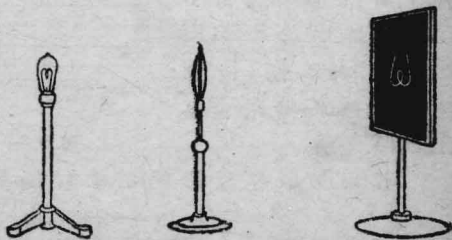


圖 515 以凸透鏡在屏上生一實像。

換(或將透鏡移近於屏,使物體距離與像之距離,彼此交換,結果亦等),即得透鏡之另一位置,以造一清晰之倒像,但

此像較物體為小，若將屏移動，使離燈更遠，則又可求得透鏡之二位置，使明晰之像成於屏上。

在透鏡對側之二點，其所處之地位，若能使在一點之物體，生一像於他點，則此二點稱為共軛焦點。

471. 凸透鏡之方程式。物體及其由透鏡所成之像，其相對之位置，可由透鏡之焦點距離決定之物體至透鏡之距離，其像至鏡之距離，以及焦點距離，此三者間之關係（當透鏡甚薄時），可由為曲面鏡（第452節）而立之同一方程式得之如下：

$$\frac{1}{\text{物體距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

或
$$\frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}$$

472. 透鏡方程式之討論。若物體離透鏡甚遠，以致自物體任何點射至透鏡各處之光線，幾相平行，則像即成於 F 點；蓋 D_o 既係極大，則 $\frac{1}{D_o}$ 即近於零；因此得 $D_i = f$ 也（圖 516）。

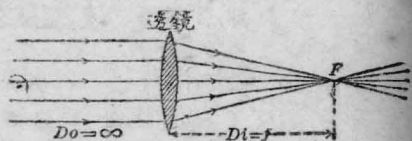


圖 516 遠處物體之像在 F 。

若使物體移近透鏡，則像即遠離透鏡。當 $D_o = 2f$ 時，亦必

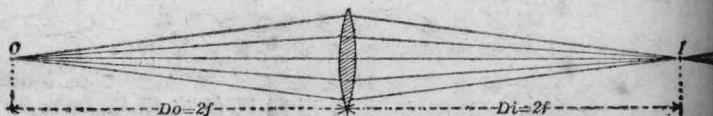


圖 517 像與物體離鏡同遠。試比較像與物體之大小。

$D_i = 2f$, 如圖 517 所示者是也。

若使物體更向透鏡接近, 則像即更自透鏡遠離, 直至物體在主焦點 F 處時, 像之距離即變為無窮大, 而自透鏡射出之光線, 遂相平行(圖 518)。

若將物體更向透鏡移近, 至於焦點以內, 則在彼側之光線即行發散, 一似由透鏡後之焦點 I 而來者(圖 519)。在此時公式中之 D_i 為負數, 負數之意, 即謂像在透鏡之後, 即與物體在透鏡之同側是也。

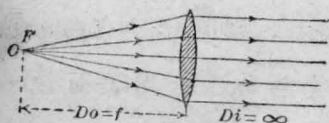


圖 518 物體在 F , 光線平行。

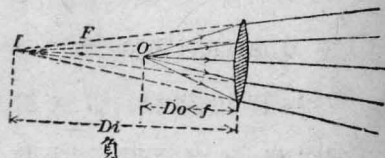


圖 519 物體在 F 內, 成虛像。

473. 透鏡所造之像之作圖法。透鏡所造之像, 以幾何方法作其圖, 可指明其大小與地位。作圖之法, 與用於球面鏡者(第 447 節)相同。若描繪自物體任何點發出之二光線而求其交點, 即得像之對應點之位置。例如在圖 520 中, 自 A 發出之光線平行於主軸者, 經透鏡而屈折之後, 必通過主焦點 F 。自 A 發出之另一光線, 經過透鏡中心者, 其方向不偏。此二光線相交之點 A' 即為 A 點之像。於是相似三角形, 立見

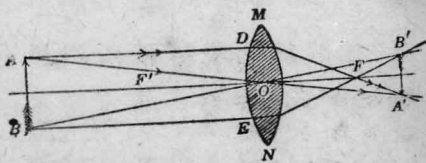


圖 520 物體及其實像之大小。

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體長度}} = \frac{\text{像至透鏡之距離}}{\text{物體至透鏡之距離}}$$

像長對於物長之比, 稱為線廓大率(linear magnification)。

在圖 520 中, 物體 AB 係在凸透鏡之主焦點以外, 而其像 $A'B'$ 為倒立之實像, 且在此情形之下, 較小於物體。

在圖 521 中，物體 AB 介於主焦點 F 與透鏡之間，其像 $A'B'$ 係正立之虛像，較物體為大，且祇能由透鏡中窺見之，實像可以投射於屏上，虛像則不能。

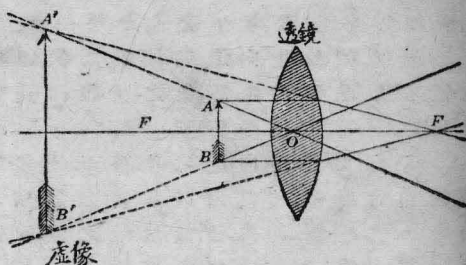


圖 521 物體 AB 及其虛像之大小。

474. 凹透鏡中之像。 當一束平行於主軸之光線經過凹透鏡時，即成為發散之光線而自透鏡出現，且似來自稱為虛焦點之一點。

凹透鏡之此種發散作用，可用光盤證明之，如圖 522 所示。

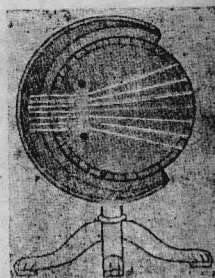


圖 522 用光盤以顯發散透鏡之作用。

欲解釋此現象，祇須幻想有一串之平面波，方射於凹透鏡上。因凹透鏡之中心較邊緣為薄，故波之中部為透鏡所延緩之時間，較其四邊為少，於是離透鏡而出之波頭，遂為凸球面，而成一發散之光錐，宛似來自虛焦點者然。

圖 523 所示者，為作凹透鏡中之像及定其位置之幾何方法，將見此像宛然如與物體同在透鏡之一側，且係正立之虛

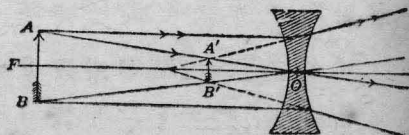


圖 523 凹透鏡所造虛像之作圖法。

像較物體爲小。透鏡方程式應用於凹透鏡時，焦點距離常視之爲負數；故凹透鏡往往稱之爲負透鏡 (minus (-) lens)，而凸透鏡則稱之爲正透鏡 (positive (+) lens)。

475. 透鏡造像之缺點。 第 520 圖之作法中，係假定凡自物體一點而來之光線，確由透鏡使其屈折至一點。但就事實而察之，則投射於透鏡外緣之光線，其屈折之度，較大於落在透鏡中部者，故其所至之焦點，較近於透鏡。此現象稱爲**球面收差**。

此事證之頗易，祇須用平常映畫器 (參閱第 481 節) 之收斂透鏡，造一電燈之像於遠處之屏上即可。所造之像，將見其模糊不清。但若將透鏡遮蔽，僅露其中部，則像即輪廓顯明。試將透鏡遮蔽，僅露一環形之帶，離中心等遠者，而觀其效應。用此環狀之帶時，透鏡應如何移動，始能得分明之像？

球面收差之結果，使所成之像模糊不清，且改變其形狀。若用**光圈** (diaphragm, 或 stop) 將外圍之光線遮斷，像即較爲清晰；但同時其光明則減退。

透鏡之此種幾何理論，其全部祇適用於極薄之透鏡，且限於光之經過透鏡時，可假定其方向不與透鏡之軸斜成大角。在實用方面，幾常用複合之透鏡以代簡單之透鏡，其複合之目的，在於使一透鏡之缺點，可爲他透鏡之缺點所補償。

問答題與計算題

1. 在何種情況之下，雙凸透鏡可生(a)實像？(b)虛像？(c)倒像？
2. 一凸透鏡其焦點距離為16吋，當物體置於離此透鏡10呎，50吋，以及10吋之處時，其各次所成之像之地位與性質如何，試一求之。
3. 一燈置於離一透鏡60吋之處，在透鏡他側離開20吋處之屏上，成一清楚之像，求此透鏡之焦點距離。
4. 一雙凸透鏡用作讀書鏡(reading glass)，其焦點距離為15吋，而持之離書10吋，問像至鏡之距離為何？
5. 第4題中所成之像，其長對於物體長度之比為何？
6. 若由雙凸透鏡所成之像，與物體同大，試用透鏡方程式，證明像至鏡之距離，為焦點距離之二倍。
7. 雙凸透鏡所造之虛像，常較實物為大，試用光線之圖解釋此一事實。
8. 一雙凸透鏡，其焦點距離為8吋。一物體置於離此透鏡6吋之處。問(a)像離透鏡若干遠？(b)此像與物體比較，大小若何？(c)像係正立者，抑係倒立者？為實像抑為虛像？
9. 一物體離一透鏡30吋，而其像則離鏡3吋，且與物體在透鏡之同側，此透鏡係凸透鏡抑為凹透鏡？其焦點距離為何？
10. 用一焦點距離為10吋之雙凸透鏡，試求一電筒(flash-light)燈泡之地位，可使(a)生一實像大如燈泡之二倍者，(b)生一虛像大如燈泡之二倍者。
11. 若有一光源在(a)雙凸透鏡之主焦點，(b)主焦點與透鏡之間，試用圖表示光束經過透鏡後之形狀。
12. 一電燈離一屏4呎，若將一透鏡置於離燈1呎之處，可造此燈之像於屏上，則透鏡之他一位置，亦可使屏上現一燈像者，在於何處？比較此二像之高度？

13. 一燈置於離牆 90 吋之處，在燈與牆之間，有一凸透鏡，其所在之地位，可使牆上現一燈像，3 倍於燈，問此透鏡之焦點距離爲何？

光學器械

476. 照相機。 照相機(photographic camera)不過一不漏光之箱(圖 524)，其一端有一收斂透鏡，裝配合宜，可使箱外之人物風景，成一像於他端之“感光”硬片(“sensitized” plate)，或軟片(film)之上。此感光片係

由銀化合物敷於玻璃片或假象牙片(軟片)上而成。光之通過透鏡，准歷一定之時間，其久暫由千分之一秒以至數分，須視透鏡之大小，所欲照相之物體之明度，以及感光片之“感光率”(speed)而定。感光

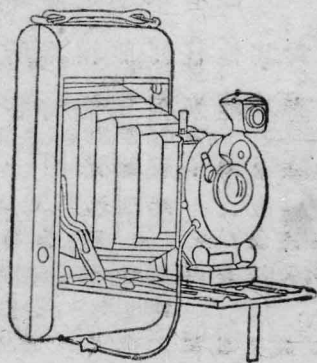


圖 524 摺疊袖珍照相機。

片上之像初不能見，須浸之於稱爲顯像液(developer)之化學藥品混合物中，始現。

欲限制簡單透鏡之球面收差，常在透鏡之前遮一光圈，以限制光束之大小，光圈收小時，所生之像極爲明晰，但露光必須較久。以消色透鏡(achromatic lens)

兩枚,前後正對,中間隔以光圈,即可用以攝取疾動物體清晰之快相 (snap shot). 感光片之地位,必須為物體所占地位之共軛焦點,像生於其上始能清晰,故照相器上常附有可伸縮之“韃 (bellows)”,以便就距離不同之物體而“對光 (focus)”。

477. 眼. 人類之眼(圖 525),本為一小照相器,前有透鏡,後有感光軟片。

眼有卓越之優點,為其他任何照相器所萬不能及,因其能將各種畫像,不絕攝於同一軟片之上,同時立用一種尚未探悉之神經中

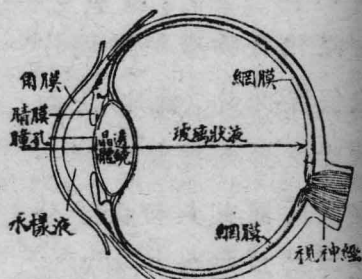


圖 525 人眼之剖面。

之化學的或電的方法,以“顯其像”,且幾於同時立將結果由“私設之電線(private wire)”,即視神經(optical nerve)傳達於“總部(headquarter)”,即腦。

眼之構造,如圖 525 所示. 外層有一角質之膜稱為角膜 (cornea), 其中包含一種水狀之液體,稱為水樣液 (aqueous humor). 又有一可以收放之光圈,稱為睛簾 (iris, 又稱虹彩), 以及一晶體透鏡 (crystalline

lens)。此透鏡之屈折率，略較其前之水樣液，以及其後之同樣液體稱為**玻璃體** (vitreous humor) 者為大。再後即為神經層，稱為**網膜** (retina)，其作用如感光片。

有當注意者，眼之收斂能力，其大部分不在晶體透鏡中，係來自角膜之前面。人在水底潛泳時，見物不清者，即因此故也。眼中之水樣液與眼外之水，極相近似，以致光射於角膜，屈折甚微，或竟無之；而晶體自身，無充足之能力，使光集於網膜上清晰之焦點。

478. **目光之校準**。若使一物體移近照相器，則感光片與透鏡間之距離必須增加，否則必須以較凸之透鏡，即焦點距離較短者，易原透鏡，始能得分明之像。此二方法，皆屬可行，而眼則擇其第二種，其使自身適應於遠近不同之物體也，不由於移動網膜，惟由於變更晶體透鏡之焦點距離。當眼之肌肉舒張之時，其透鏡之形狀，常能使極遠之物體，其光線明集於網膜之上。當欲注視近處物體時，晶體透鏡週圍之環狀肌肉，即收縮而使透鏡之凸度增加，俾可在網膜上生一清楚像。眼之對於遠近不同之物體，其透鏡所具此種校準目光之能力，稱為**調節** (accommodation)。人常謂物體持於離眼約 10 吋 (25 釐) 之處，視之最明。此不過謂人之可使物體生一鮮明之像於網膜上，物體離眼最近約為 10 吋而已。因最短之距離，可生最大之像，故於欲細察一物時，恆不自覺而持物近眼約 10 吋也。

479. **眼之缺點**。在近視眼 (short-sighted eye) 中，遠處物體之像，係成於網膜之前 (在圖 526 中之 A 處)。此或由於晶體透鏡太凸之故，或由眼球 (eyeball) 之成卵形所致。近視之人，必須移物近於其目，始能明視

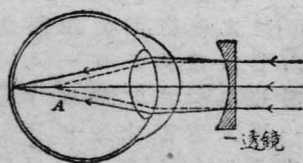


圖 526 近視眼。

之。欲校正近視者之目光，須用凹透鏡製成之眼鏡。

在遠視眼(far-sighted eye)中，相距不甚近之物體，其像係成於網膜之後(在圖 527 之 B 處。)此因晶體透鏡太扁，或眼球之長度太短之故。遠視之人欲視物清晰，必須置物於遠處。校正遠視眼之目光，可用凸透鏡。老年之人，其眼之透鏡失其調節能力，故須用一種雙焦點鏡(bifocal lens)，此鏡係由兩部分所成，上半可用以視遠處之物，而下半可用以讀書閱報。

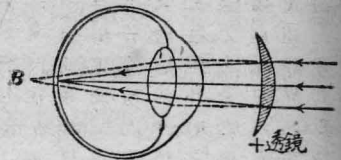


圖 527 遠視眼。

尚有一種眼之缺點，稱為散光(astigmatism)。當眼之透鏡或角膜無真正之球面時，即生此弊。其結果則一點大光，例如星辰，視之猶如一短而明之線。圖 528 中所示之線，目有散光缺點之人視之，似非一律清晰。其在一方向內者，望之黑白分明，而與此方向成直角者，即見其模糊難辨。此缺點可用圓柱形(cylindrical)透鏡補救之。

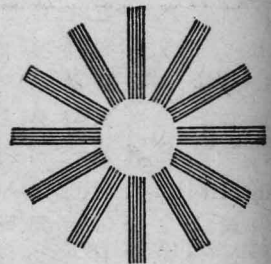


圖 528 驗散光用之線。

480. 外觀上之距離及大小。物體外觀上之大小，係視成於網膜上之像之大小而定，因此須由視角(visual angle)而定。

自圖 529，顯見物體愈近於眼，則視角愈增。例如遙望鐵路之軌道，則見距離愈遠，兩軌愈似相近。離開 100 碼之人，其像僅為此同一人在 10 碼遠處所生之像之十分之一。吾人實際上並不因較大之像與較大之視角，而定其為較大之人，蓋由經驗得知，



圖 529 視角。

於估量物體之大小時，須計及已知之距離也。

遠處之物體，於山頭晴朗之空氣中望之，見其往往似較實際上之距離為近，此因吾人見之，較平時清晰，可以明辨其界限故耳。此情此景，往往令人揣想此諸物體較其原狀為小。反之，明月近於地平時，較之高懸天空時為大，蓋月近地平，可與其他大小已知之物體比較也。吾人之得知估計物體之真大小與真距離，實僅由豐富之經驗而來。

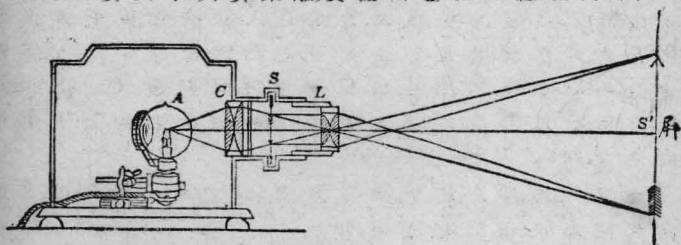


圖 530 映畫器。

481. 映畫器。

映畫器 (projecting lantern, 或稱 stereopticon) 用以投射明照之物體或畫片之像於屏上，其主要部分為一強大之光源，例如電燈 A (圖 530)，二收斂透鏡 C ，使光線收斂而通過滑片

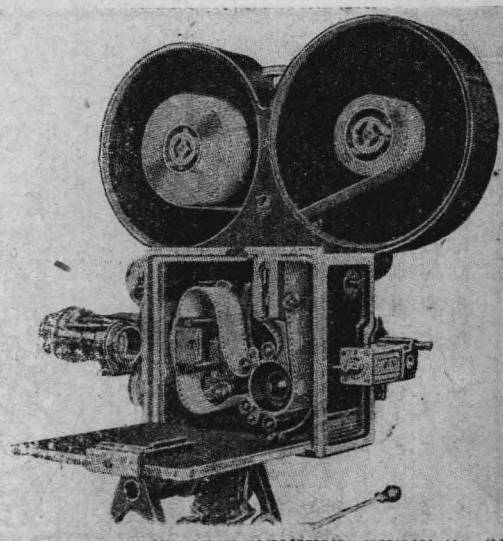


圖 531 活動影戲用照相機。

(slide) 即透明之畫片, S , 以及燈前之複透鏡即物鏡 (objective), L , 使畫片之實像成於屏 S' 上。有須注意者, 映畫器與照相器, 除物體與像二者之位置互易以外, 無大差別。因屏之離燈常甚遠, 故滑片 S 僅在略遠於物鏡 L 主焦點之處。光源宜強而小, 此事十分重要。因此之故, 通常咸用電弧燈, 或燈絲捲裹極密之白熱電燈。有時在鏡後加一金屬凹鏡, 以增滑片之明度。

482. 活動影戲。活動影戲用照相器 (motion-picture camera) (圖 531) 於長而且狹之軟片上攝取連續之畫像。此照相器係用拐臂運轉之, 使其快門 (shutter) 每秒開閉約十六次。當快門關閉之時, 軟片稍向前移, 但於快門開放之際, 則靜留不動。影片上各畫 (圖 532) 約高 $\frac{3}{4}$ 吋, 寬約 1 吋。軟片分捲 (reel) 製成, 每捲約長 1000 呎, 且因通過透鏡之軟片, 每秒約為 1 呎, 故全捲軟片約有畫片 16,000 張。若在照相器所能照取之區域中, 各物方在動作, 則此種連續之畫片, 各與其前畫微有不同。由此一串之底片 (negative, 又稱陰片), 可印成任意捲數之陽片 (positive), 以供放映之用。用一種特製之映片機 (圖 534), 可按攝取時之同一速率, 將此一串之陽片映射屏上。由一畫引起之感覺, 留至第二畫出現時始滅, 故不覺兩畫之間有何頓挫。是以吾人所見者, 實非活動之影, 乃相繼疾現之靜止之畫也。

483. 有聲活動影戲。開映有聲活動影戲之一法, 係將標準活動影戲放映機及留聲機, 合為一機而使用之, 即以唱機影片合用式 (vitaphone, 俗稱維太

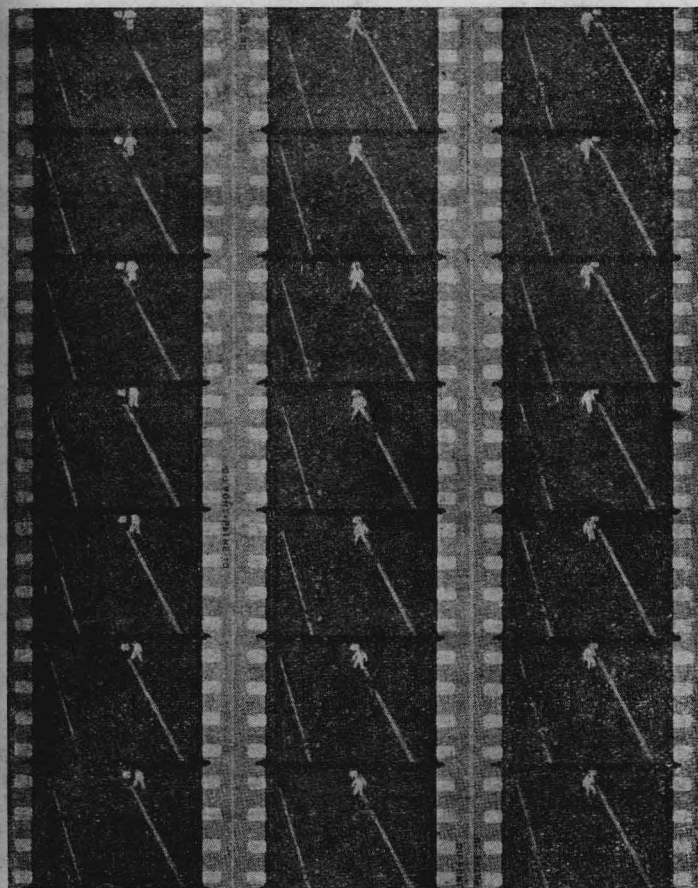


圖 532 活動影片之一節，為比賽足球之情形，注意此穿白色運動衣之球員，此三條各有圖七，約共長15吋，全捲長1000呎，因每秒曳過影戲機之透鏡前之軟片1呎，故此21圖經過目前，需時約一秒又四分之一，每圖映出之際，靜止不動；於是軟片急跳向前，更換次圖，其時燈光暫滅。

風)聞者是也。兩機由同一電動機運轉之,使留聲機轉盤上之唱片,其所發之音,適與影片上映出之動作相應。留聲機之唱針之振動,爲一磁場內之小線圈所接去,因而發生一電流,其週率對應於所發之音。於是將此電流擴大,而用以鼓動喇叭。

另一方法,即所謂片上發音式者 (movietone 或 photophone, 俗稱慕維通或富托風),聲音之跡,係留於影片本身之上。在圖 533

中,即見軟片沿片有聲跡一條,介於畫片及扣鏈齒孔 (sprocket hole) 之間。欲將此痕跡重化爲聲音,可用密集燈絲之電燈,送一強光透過軟片,而至位於映片機 (圖 534) 上之光電瓶 (photo-electric cell, 將於下節中述之)。音跡上之

黑暗部分,其深淺之度比例於原來之音,而可使光電瓶中,生一脈動電流,此電流經擴大之後,初用以鼓動喇叭而發音。

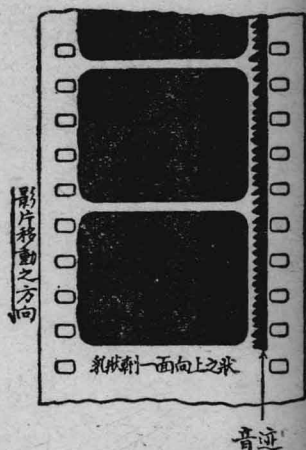


圖 533 活動影片之節,其右有音跡一條。

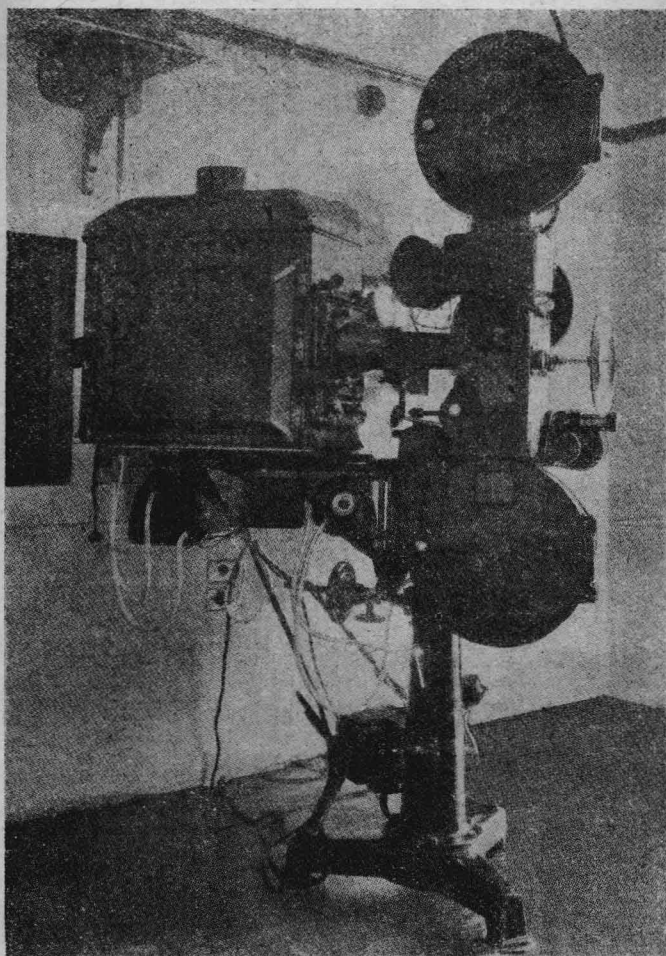


圖 534 有聲活動影戲映片機，光電瓶係在平常映片機構之上，而在上捲片箱(reel box)之下。

484. 光電瓶. 此器之構造如圖 535, 係一真空球, 其中心有一金屬線環, 用作陽極 A . 球之玻璃內壁, 其上又敷有金屬鉀一層, 作為陰極 C 之用. 當光落於鉀上時, 鉀即放射電子, 電子即行至陽極. 此電子流即構成一電流, 流動於電池之電路中, 可由電流計知之. 在此圖中, 仍依平常之慣例, 用矢鏃

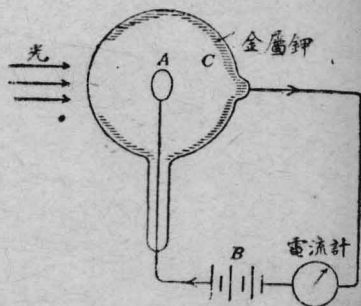


圖 535 光電瓶.

示其方向. 此電流之強度, 正比例於光之強度. 此電流當然甚為微弱, 但可擴大, 此法當於第 525 節中解釋之. 是以光電瓶乃一種極靈敏之器械, 乃一種“電眼”(electric eye)也. 近數年中, 光電瓶在商業上有聲活動影片以及電傳影像 (television) 方面, 極為重要.

實用電傳影像系統之要素, 如圖 536 所示. 在播影處所, 有一強大之光束, 掃過所欲傳播之景象. 一光電瓶即生一電流, 其變化對應於景象連續各部分明暗之變化. 此等變化用真空管擴大之, 而由電線或無線電傳播至遠處之收影站. 在收影站再將其擴大, 而通之於氖虹管 (neon tube) 中. 此管即行發光, 其各瞬間之明暗, 對應於發生此電流之景象一部分之明暗. 觀察者由一過目入覽之光圈 (scanning

aperture) 窺之,此光圈之轉動,與播影處節制光束之對應光圈,同時並發.全景過目入覽之過程,以及顯露氖虹管連續各部分之過程,所占時間不過一瞬,完全在視覺之遺像(persistence of vision)之限度以內.因此觀察者之眼與腦,覺所見者乃全景.*

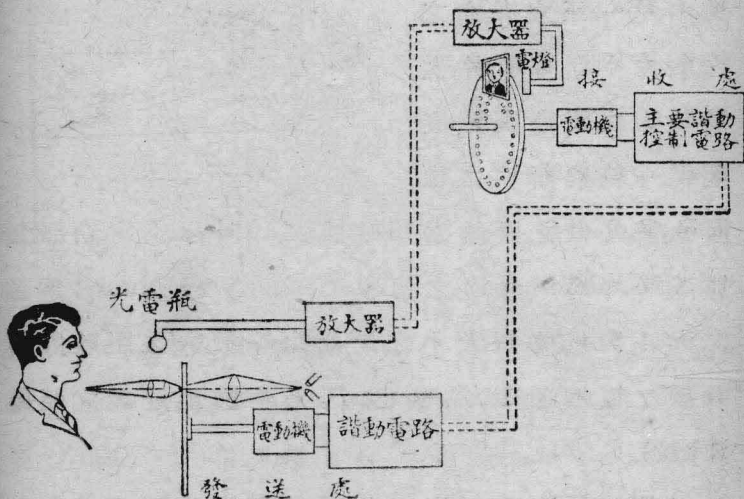


圖 536 電傳影像時所用之主要部分。

485. 簡單顯微鏡,即廓大鏡. 在第 478 節中,已謂明視距離(distance of most distinct vision)約為 10 吋.若將物體置於 10 吋以外之處,則網膜上所生之像即較小,而不能細察物體之各部.若將物體置於 10 吋以內之處,則網膜上所生之像,即模糊不清.

* 參看 John Mills 著 Through Electrical Eyes, 該書由拜爾電報實驗室(Bell Telephone Laboratories)出版。

以目近於一雙凸透鏡，往往稱為廓大鏡(magnifying glass)者，而將所欲考察之物體，置於透鏡彼側，離鏡略近於主焦點之處，即見一正立廓大之像，如圖 537 所示者。然將物體之距離調整，直至得一輪廓鮮明之像

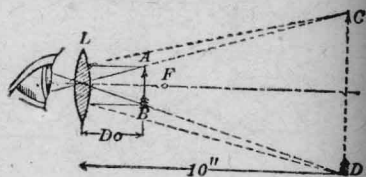


圖 537 廓大鏡。

而止；於是像之距離為 10 吋或在 10 吋以上，單顯微鏡 (simple microscope) 之倍率 (magnifying power)；為像之大小對於物體大小之比，此比等於像之距離除以物體之距離，即 $10/D$ 。是也， D 。乃物體至透鏡之距離 (吋數)。

是以持廓大鏡窺一物體，欲鏡離物體 1 吋而能明視其像，則鏡之倍率當為 10。

486. 複顯微鏡。極小之物體，可用複顯微鏡 (compound microscope) 使之得見。複顯微鏡係由兩透鏡或透鏡系置於一管之兩端而成。物體 AB ，置於適在較小之透鏡 L 之主焦點以外之處， L 稱為物鏡 (objective)，可造成一放大之實像 CD (圖 538)。此實像然後由目鏡 (eyepiece) E 窺察之，目鏡之作用，猶如一

廓大鏡,可生一更大之虛像於 $C'D'$,離目10吋或10吋以上。

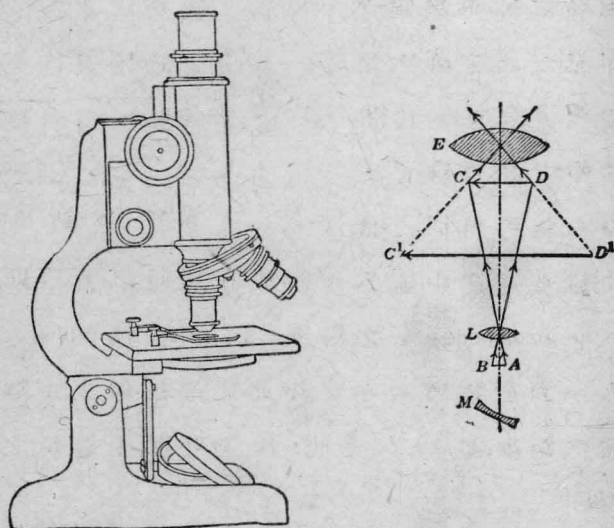


圖 538 複顯微鏡,及其光學方面之各部分。

CD 像廓大之倍數,為其至透鏡 L 之距離,大於透鏡 L 之焦點距離之倍數, CD 至 L 之距離,通常約為 150 耗;因此之故,若此透鏡之焦點距離為 5 耗,則 CD 像即為物體 AB 之 30 倍,若目鏡更將其像廓大 10 倍,則此複顯微鏡之倍率,即為 10×30 , 即 300 倍,考察微小物體,有時須用倍率高達 2500 之複顯微鏡。

關於動植物之組織與生活,關於最小之生物,以及關於疾病之原因,有許多可貴之發見,皆賴顯微鏡而得,吾人之受其惠賜實深也。

487. 望遠鏡。望遠鏡(telescope)能助吾人以見極遠之物體,此等物體若不用望遠鏡窺之,即莫由細辨其各部,較爲簡單之一種,稱爲天文望遠鏡 (astronomical telescope)者(圖 539),係由大物鏡與目鏡二透鏡或二透鏡系所成。倒像 im , 爲物鏡所造者,較小於

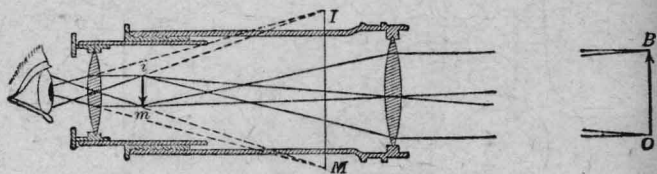


圖 539 天文望遠鏡。

物體 OB ; 但其像既引至極近於觀測者之處,即能由目鏡窺察之,目鏡之作用亦爲一廓大鏡。此二透鏡裝於可以伸縮之管上,俾可於欲察近處之物體時,將目鏡拉出,使離物鏡較遠,因廓大鏡即目鏡不再使像顛倒,故觀測者見物倒立,猶如在顯微鏡中然。

巨大之屈折望遠鏡(refracting telescope),例如加利福尼亞赫密爾頓山李克(Lick)天文台之望遠鏡,或威斯康辛基尼華湖葉耳克斯(Yerkes)天文台之望遠鏡,有極大之物鏡,直徑 40 吋,裝於長 63 呎之筒上。物鏡之直徑大,即可收集多量之光,斂之爲一束之光線,盡送入觀測者瞳孔以內。天文望遠鏡之倍率,可以證明其等於物鏡之焦點距離,除以目鏡之焦點距離。故欲得高大之倍率,物鏡必須有深長之焦點距離。

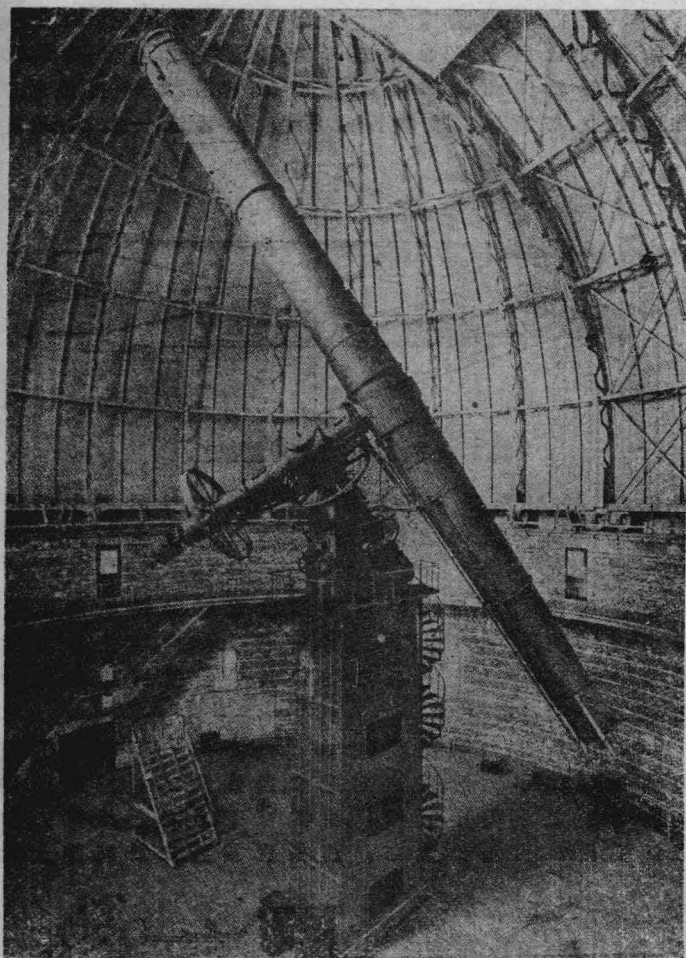


圖 540 在威斯康辛基尼華湖濱之葉耳克斯天文臺之望遠鏡，為西半球最大之屈折望遠鏡，其物鏡為一消色透鏡，直徑為40吋，裝於長63呎之筒上，此筒及平衡錘之重量共21噸，係用鐘機移動之，地板全部，可以昇降，以調節觀測者之地位。

488. 正像望遠鏡，或小望遠鏡。此器械如圖 541 所示，除於物鏡及目鏡之間，加一第三收斂透鏡或透鏡系外，與天文望遠鏡相同。此第三透鏡轉倒 im_1 像，另成一實像 im_2 ；然後此正立之像 im_2 ，再為目鏡所擴大，而成一放大，正立

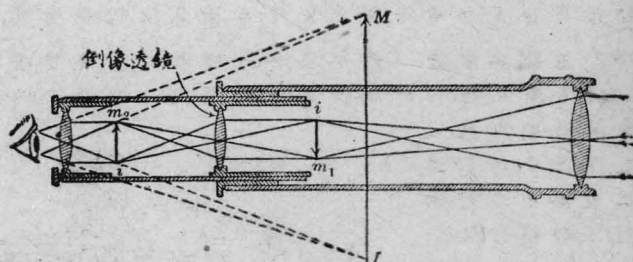


圖 541 正像望遠鏡，或小望遠鏡。

之虛像 IM 。在平常之小望遠鏡 (spyglass) 中，目鏡係由兩透鏡合成，其作用與單一之廓大鏡同。轉倒透鏡之加入，使望遠鏡之筒增長甚多。

此種望遠鏡，可用以描準來福槍之射擊遠距離。測量家所用之“經緯儀 (transit)”及“水平儀 (level)”，其上亦有望遠鏡，鏡筒中橫隔一十字形之髮絲，張於物鏡所造遠處物體之像之平面上。

489. 觀劇鏡。觀劇鏡 (opera glass) 亦為一種望遠鏡 (圖 542)，其目鏡係發散透鏡，即凹透鏡。因目鏡之焦點距離，幾與觀察者眼之焦點距離相同，故其實際上之效用，為抵消眼之透鏡。因此可視物鏡之造像，係直接造之於網膜上者。

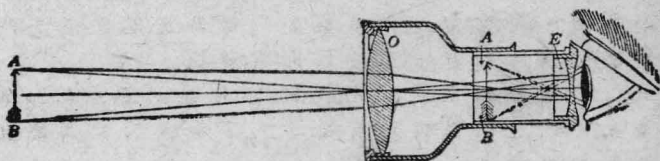


圖 542 觀劇鏡之剖面。

觀劇鏡之視界 (field of view) 甚小,是以通常僅使其將物體廓大至三倍或四倍,但此鏡所占地位既少,又能生正立之像,亦有其優點之所在。二透鏡間之距離,等於二透鏡焦點距離之差。伽利略曾根據此計劃製成一望遠鏡,其倍率約為 30,伽氏有若干非常重要之發見,皆藉此望遠鏡而成。

490. 三稜雙眼鏡。近年來有一種器械,稱為雙眼鏡 (binocular) 者,漸見通行。此器既具小望遠鏡之廣濶之視界,而同時又有觀劇鏡之小巧之便。其小巧之處,在於使光線往復經過二反射三稜鏡之間,如圖 543 所示。此種裝置之法,可使物鏡之焦點距離,三倍於同長之地。上望遠鏡,故其倍率亦相應而增加。



圖 543 三稜雙眼鏡。

更有進者,此兩個三稜鏡之反射作用,毋須使用平常地上望遠鏡之正像透鏡,即可得一正立之像;因一次雙反射,正其首足,再經一次雙反射,並左右而互易,於是完全恢復其原來之地位。

問答題與計算題

1. 當一照相器向離開 100 碼之一汽車對光時,感光片離透鏡 8 吋。問當此汽車離開 10 呎時,透鏡與感光片間之距離,必須移動若干?應移近抑當移遠?
2. 一攝影師用一 12 吋透鏡 (即焦點距離 = 12''), 欲攝取身長 6 呎,立於離鏡 10 呎處一人之全身相片。問感光片必須置於離鏡若干呎之處?
3. 第二題中所用之感光片,其長必須為何?

4. 有一活動影戲映片機，其物鏡之焦點距離為6吋，而銀幕之遠為60呎，問影片與透鏡間之距離為何？
5. (a)活動影戲之銀幕上，當映片機之快門關閉，光束切斷時，是否真正黑暗？(b)“視覺之遺象”一語何解？
6. 一雙凸透鏡，其焦點距離長2吋，持於一布片上方 $1\frac{2}{3}$ 吋之處。(a)所成者為何種之像？(b)像之位置在何處？(c)放大若干倍？
7. 一讀書鏡之焦點距離為6吋，欲使書上字跡放大4倍，則須持鏡於書之上方何處？
8. 在一複顯微鏡中，物鏡 L (圖538)之焦點距離為一吋，而物體 AB 離鏡1.1吋，問 CD 像離物鏡若干遠？此物體放大若干倍？若目鏡將此像再放大20倍，則此顯微鏡之倍率為何？
9. 若一活動影片之寬為1吋，而映於銀幕上之畫寬10吋，則光照軟片及銀幕之相對明度為何？
10. 利用虛像之方程式，證明望遠鏡之目鏡，其焦點距離大者，倍率小於焦點距離短者。
11. 一活動影戲映片機，位於銀幕中心水平線上方之洋台上。(a)比較銀幕上畫之上部與下部之寬，說明其理。(b)在此種情況之下，畫之對光頗難，何故？
12. 在活動影戲中，有時見方在前行之四輪馬車之輪，似向後轉，有時又似停止不動，試說明其所以然之故。

第二十八章 提要

屈折之發生，係在光自一透明之物質，斜入他透明之物質之時。

當光斜入於密度較大之物時，向垂線而屈折。

$$\text{屈折率} = \frac{\text{投射角之正弦}}{\text{屈折角之正弦}}$$

$$= \frac{\text{光在空氣中之速率}}{\text{光在其他物質中之速率}}$$

光之速率 = 每秒 186,000 哩,

= 每秒 3×10^{10} 裡。

臨界角爲光線自較密之媒質透出時,其投射角不可超過之角度。

三稜鏡使光向較厚之一邊屈折。

凸透鏡(即薄邊透鏡)使光向內收斂。

凹透鏡(即厚邊透鏡)使光向外發散。

主焦點爲平行於軸之光線收斂集中之點。

透鏡公式兼合於收斂透鏡與發散透鏡:

$$\frac{1}{\text{物體距離}} + \frac{1}{\text{像之距離}} = \frac{1}{\text{焦點距離}}$$

對於凸透鏡,焦點距離爲正數。

對於凹透鏡,焦點距離爲負數。

對於實像,透鏡在像與物體之間,像之距離爲正。

對於虛像,物體與像在鏡之同側,像之距離爲負。

大小之定則兼適於收斂透鏡及發散透鏡:

$$\frac{\text{像之長度}}{\text{物體之長度}} = \frac{\text{像之距離}}{\text{物體之距離}}$$

在光電瓶中,光落於鉀之陰極,即有電子放出,電流與光之強度成正比例。

問 答 題

1. 游魚欲望見夕陽,須向何方?
2. 用圖說明大氣之屈折如何增加晝長。
3. 藏於圓柱形玻璃缸中之水葉,視之宛似放大,何故?
4. 日光透過充水之玻璃瓶,有時能燃瓶底之紙片或乾燥之樹葉,試說明其理。
5. 微凹與微凸之眼鏡,汝將如何辨別之?
6. 就曲面鏡與透鏡而論,實像常倒,此語確否?
7. 小攝影箱之透鏡,其焦點固定,何以此種透鏡不加調整,亦可攝取遠近物體之相片?

8. 在照相器之光圈上,有 $f/8$ 之記號,作何解?
9. 大角透鏡(wide-angle lens)與長焦點透鏡(long-focus lens),有何差別?
10. 照相器軟片上之像,是(a)實抑虛?(b)放大抑縮小?(c)正立抑係倒立?
11. 像在眼之網膜上是(a)實抑虛?(b)放大或縮小?(c)直立或倒立?
12. 人在明亮之日光中驟然入室,覺其內部非常黑暗,何故?
13. 眼鏡有時用兩組透鏡(雙焦點鏡)製成.此種透鏡有何優點,又有何缺點?
14. 讀書,習字,或縫衣,光線從左肩來,最佳,何故?
15. 收斂透鏡在映畫器中有何作用?
16. 若映畫器在屏上所造之像太小,則映畫器須如何移動,始能增加像之大小?
17. (a)反射望遠鏡與屈折望遠鏡之區別為何?(b)此二器械,各有何種利弊?
18. 望遠鏡之目鏡所成之像,往往較望遠鏡筒為大,如何得見像之全體?

實 用 題

1. 潛望鏡. 潛望鏡(periscope)之一種,其主要部分如圖 544 所示. 試說明各部分之作用. 製一簡單之潛望鏡,以說明其所據之原理.

2. 測距器(range finder) 一察此器如何能使觀測者迅速決定物體之距離.(參閱弗雷氏物理學概論.) (Ferry—General Physics. John Wiley and Sons 出版.)

3. 望遠鏡. 考察望遠鏡之

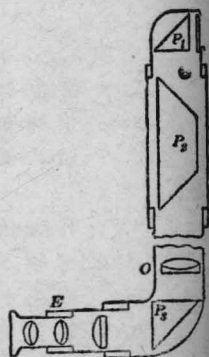


圖 544 潛望鏡之主要部分.

透鏡，求各透鏡之焦點距離，而算出此望遠鏡之倍率，試由望遠鏡中窺得之牆磚直列數，及在鏡之附近所見之直列數，建議一決定望遠鏡倍率之方法而試之。

4. 製一 10 吋之反射遠望鏡。詳細之製法，載於 Porter and Others—Amateur Telescope Making (Scientific American Publishing Company)。

第二十九章

光帶與色

三稜鏡光帶——消色透鏡——分光器——光帶之種類——光帶分析術——弗氏黑線——光之波長——物體之色——薄膜之色——赤外線與紫外線——電磁說。

491. 用三稜鏡析光。若令一束日光(或一束電弧

燈發來之光)穿過細隙而入暗室,並置一三稜鏡於其路徑中(圖 545),則此光束即起屈折。若置一白色之屏於屈折光線之路徑中,即生一色帶(band of colors)。在此帶中,計有赤(red),橙(orange),黃(yellow),綠(green),青(blue),藍(indigo)以及紫(violet)七色,諸色彼此皆漸相調和。

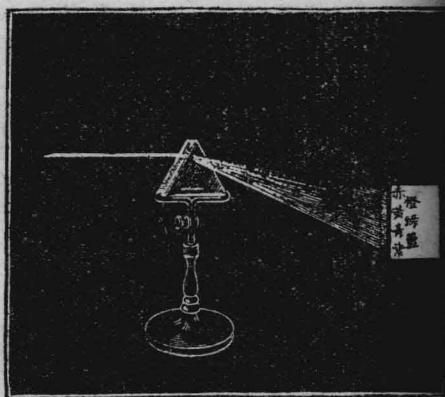


圖 545 日光為三稜鏡所分散而成光帶。

若用一凸透鏡(焦點距離約 12 吋者),使細隙之像生於屏上,而將三稜鏡置於屏之同側,且離透鏡較近於屏,即可得一較清晰之像。吾人將屏移動,使光再落於其上,但自透鏡至屏之路徑,須仍與前同長。今所得之光帶(spectrum),將為若干有色之細隙之像所成,而諸像亦彼此相併合。

牛頓爵士，曾因此雖屬簡單然實著名之實驗，證明平常之白光，係由色光混合而成。由赤色漸漸變成紫色之色帶，稱為光帶。白光分解其成分而為各種色光之此種現象，稱為光之分散 (dispersion)。屈折最少之光，人目辨其呈赤色，而屈折最甚者，則認其呈紫色。光之物理的性質，決定屈折度 (refrangibility) 之此種差別者，為波長，將於以後證明之。

牛頓欲證明三稜鏡自身，不能生此不同之色光，祇能分解早在光束中各種之光，乃以第二三稜鏡置於此光帶之中，使落於鏡上者祇為紫光，彼察得紫光又起屈折，但顏色則不再發生變化。牛氏又發見當一切分散之色光，用收斂透鏡集之於一處時，結果仍得白光。

492. 消色透鏡。當日光通過平常用獨塊玻璃製成之雙凸透鏡時，光線即起屈折而收斂於稱為焦點之一點。但光線亦起分散現象，正與在三稜鏡中同，而赤色光線之焦點 (圖 546 中之 R)，

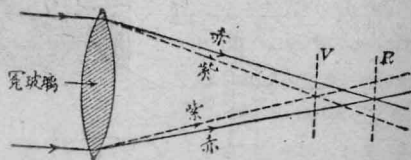


圖 546 由凸透鏡而起之分散。

離鏡較紫色光線之焦點 V 為遠。由此種單透鏡，平常白光所照之物體，不能得其輪廓鮮明之像，因像之明

暗部分之一切界線，皆有色彩故也。

此種缺點稱為透鏡之色收差 (chromatic aberration)，補救之法，係使冕玻璃製成之透鏡，與鉛玻璃製成者互相密合，

如圖 547 所示。

由於精密計劃

此二透鏡之凹

凸之度，可造成

一消色透鏡，使光通過此鏡時，起必要之屈折，而又無可察之分散現象。



圖 547 消色收斂透鏡。

493. 分光器。在三稜鏡所生之光帶中，不同之色互相疊合其一部分，此可用分光器 (spectroscope)

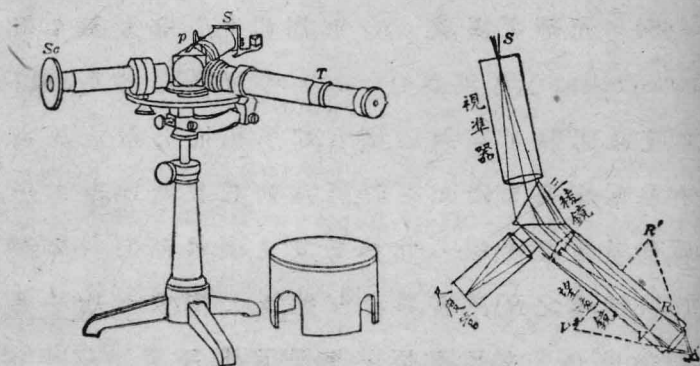


圖 548 本生分光器，附圖式。

除之。分光器中，有主要部分四（圖 548）：一，視準器（collimator），其一端有一細隙，而他端有一凸透鏡；二，三稜鏡，普通為鉛玻璃所製；三，望遠鏡，其中有一物鏡及一目鏡；四，尺度管（scale tube），其一端有一玻璃尺度，而他端有一透鏡。視準器中之細隙，係在透鏡之主焦點處，故自細隙發散之光，由透鏡使成平行光線，始達三稜鏡。既至三稜鏡中，即起屈折而分散，各色之光，皆成平行光束而依其自己之方向前進。色光入於望遠鏡，即成一界限分明之光帶之像。尺度管之加入，係用以決定光帶各部分之地位者，其裝於器上之位置，在使透過尺度上之光，由三稜鏡之第二面反射，而與光帶平行以入望遠鏡。

494. 光帶之種類。 日光之光帶，一稱太陽光帶（solar spectrum），常現為虹（rainbow），可見之於夏日雷雨之後。此因日光經過雨滴，即起屈折而分散之故也。用分光器細究太陽光帶時，可察知其並非連續之色帶，而有黑暗之縱線多條，貫於其上。因最初將此等黑線加以精細之研究者，為青年德國光學家弗朗和弗爾（Fraunhofer），故此諸線以弗氏黑線名。

凡白色之光源，非盡能發生此等黑線者。例如電

弧燈，鎢絲熾熱燈，平常之煤氣火燄，其中含有許多熾熱之炭之微粒（即煤灰）者，皆發連續光帶，實則一切熾熱之固體，莫不如此。

熾熱之蒸汽或氣體，其光帶與前大不相同。此種光帶稱為輝線光帶（bright-line spectrum），足以表現所用物質之特性（參閱圖549之光帶圖表）。

若以鉑線或石棉，蘸普通之食鹽溶液（即氯化鈉），而置之於本生燈之火燄中燃之，即得一明亮之黃色火燄。若用分光器考察此火燄，即見光帶中黃色部分所在之處，有一光輝之黃線。此黃光即自熾熱之鈉蒸氣發來者。

若以鉑線蘸氯化鋰（lithium chloride）之溶液，而重行此實驗，即得一紅色之火燄，此燄在分光器中生二輝線，一黃一赤。氯化鈣（calcium chloride）亦生二線，一綠一赤。（其中尙見有黃線一條，此係雜有鈉所致。）

495. 光帶分析術。 在氣體狀態中之各種物質，用分光器考察其光帶時，可見各原質各自有其特有之輝線光帶。此光帶式甚簡單，例如鈉燄之光帶僅有輝線一條；或極繁複，例如鐵之蒸氣，其所生之光帶即有輝線數百條。因一物質之極少量，即可顯出其特有之光帶輝線，例如就鈉而論，不及一尅（milligram）之一百萬分之一，即可檢查之，故得一極精細之分析物質之方法。最初用此光帶分析術（spectrum analysis）

者，爲本生時在一八五九年。

496. 吸收光帶. 克希荷夫 (Kirchhoff) 氏在海德堡任物理學教授時，曾與本生連合用分光器作此等研究，克氏曾察得，當彼以含有普通食鹽之黃色酒精火燄，置分光器之細隙前，而容日光穿隙以過時，見鈉線格外黑暗而清晰，適與彼所預期之格外光明相反，顯見日光之一部分，爲黃色之鈉燄所吸收，而鈉燄本身在平時所發之特別部分，亦已移去，克希荷夫斷定普遍言之，方在發光之氣體，恆自熱光源之光線，吸收該氣體自身所發出之一種光線。

用圖 550 所示之器具，即可證明克希荷夫之定律。光源爲方在發光之電弧燈之陽炭極，其光線透過一圓柱形之透鏡而成平行，以石棉板兩條，浸透鹽水，置於本生燈上

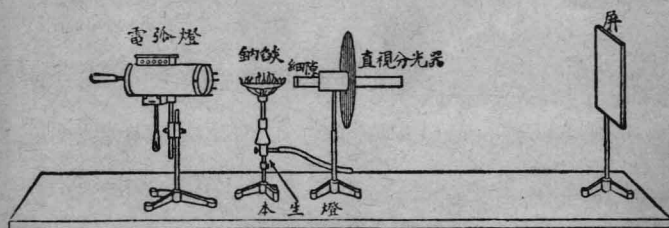


圖 550 白光經過鈉燄，光帶中之鈉線即被吸收。

熱之。自電弧發來之光，直接通過鈉燄而入一“直視 (direct vision)”分光器，此器即使光分散於屏上。

先於屏上生一連續光帶，於是將鈉燄置於適當之位置，即見光帶之黃色部分有一黑線。

然則欲使黑暗之吸收線出現，顯見起吸收作用之蒸氣，必須較光源爲冷。

497. 弗氏黑線之意義。 在第 494 節中，曾謂太陽光帶含有多數之黑線，克希荷夫斷定此等黑線之發生，係因正在發光之太陽，其週圍之大氣中，含有許多物質其自身可發同地位之輝線者所致。太陽之心，其溫度非常之高，且發出一連續光帶，但此心之週圍，包有氣體一層，此氣層溫度較低，且將其自身所能發之光線吸收以去。克氏以此爲據，斷定如鐵，鎂，銅，鋅，以及鎳等金屬，皆成蒸氣狀態存在於太陽之大氣中。克氏再深加研究之後，發見地球上已知之一切原質，其輝線光帶，與一定之弗氏黑線地位相應者，幾及全體，因而斷定地球上已發見之一切原質，幾全存在於太陽之大氣中。在克希荷夫時代，尙有其他一定之弗氏黑線，不與地球上已知原質之光帶相應。此等新原質之一，即氦 (helium)，已於克氏以後在地球上發見，其他各原質，或將待時而出現也。太陽光帶中之黑線，尙未有輝線與之相合者，幾全數必屬於已知之原質，且在太陽上與此等原質所發其他輝線相合。此等奇特之輝線，必須物質在某種狀態之下始發出，在實驗室

中，無法使物質入於此種狀態也。

498. 光之性質。吾人已謂光以一種波動視之，即光與熱二者，皆屬輻射能是也。但此說並未常為公認之理論。在十七世紀時，荷蘭大物理學家海互史 (Huygens)，固曾創波動之說，甚為完全；但其英國之敵牛頓爵士，仍力持陳舊之微塵說 (corpuscular theory)，按此說謂光係極小之微粒即微塵所構成，以巨大之速度自光體射出。牛頓為當時之大科學家，聲望甚著，遂使其不幸之微塵說，控制科學思想者歷一百餘年；其後至十九世紀初葉，英國之湯姆斯楊 (Thomas Young) 與法國之弗勒斯納耳 (Fresnel)，始由實驗暫時以波動說置於堅固之基礎之上。近年量子 (quantum) 說興，又推翻其一部分矣。

499. 不同之色由於不同之波長。不同色之光，其波長今可直接測定，且可顯示赤光之波最長，而紫光之波最短。故在三稜鏡中日光分散時，屈折最少者為最長之波 (赤色)，而屈折最多者為最短之波 (紫色)。下表所載者，為若干顏色之近似波長。

光之波長

赤光	0.000068 浬	綠光	0.000052 浬
橙光	0.000063 浬	青光	0.000046 浬

黃光……………0.000059 檉

紫光……………0.000040 檉

500. 物體之色 任何物體之色，須視(1)照於其上之光及(2)其所反射或傳播至目之光而定。

赤色紗線一束，執而置於光帶赤色之一端中，即呈赤色。但當置於光帶青色一端之中時，即見其幾現黑色。仿此，純青色之紗線一束，在光帶各部中皆似呈黑色，惟在青色之處，現其本來之色。

在另一奇異之實驗中，吾人用鈉燄所發之光，照於顏色鮮明之毛絲或紙花上。此光祇含一組有特殊波長之波。毛絲之反射此等有特殊波長之光波者，視之呈黃色，而其不反射此等光波者，望之似現黑色。

若斯則一片之紙，在日光中視之呈白色者，乃因其反射各種波長之光波，多寡相等之故。而一幅之布在日光中視之呈紅色者，乃因其祇反射可發紅光之長波之故。兩事皆彰彰明甚。若白紙僅受紅光之波，即似呈紅色。又若紅布所受諸波之中，並無紅光在內，則望之似黑。質言之，不透明之物體，其色視其所反射之光之波長而定。庫拍休易特水銀蒸氣燈，為效率極高之電燈；但此燈不能用於必須辨別色彩之處，因其不能發紅光之波也。

為三稜鏡所分散以成光帶之光，其路徑中若隔以紅玻璃一片，則光帶祇有紅色之一部分得見。由此可知除紅光外，其餘一切波長皆被吸收。同樣，綠色之玻璃，將聽綠色

之光透過，但光帶之其餘各部分，則大為減少，若將紅玻璃與綠玻璃，二者同置於光路之中，則光帶幾消滅。

故知透明物體之色，視其所許透過之光之波長而定，平常之紅玻璃，例如攝影家之紅燈上所用者，祇使紅光得自由透過，其餘之黃光，綠光，青光，以及對於感光片上所用化學藥品有特殊影響之紫光等，幾全為其所吸收。

501. 混合之色及混合之顏料。 除白光外，尚有其他種之色，無一定之波長，使數種波長混合，亦可得生同於單一波長所發生之色感。

今試將一部分為赤而一部分為綠之盤(圖 551)，疾轉之使其對於目之效應，與二色宛如同時入目時相同。此方在旋轉之盤，望之呈黃色，極與光帶之黃色相同。由於混合赤與青二色，可得紫紅色(purple)，此色為光帶中所無。由於混合黑色與赤色，黑色與橙色，或黑色與黃色，可得深淺不同之各種棕色(brown)。

光帶中之諸色，稱為純色(pure color)，而其餘各色，則稱為複色(compound color)。若黃光適與合度之青色相混，即可發生白光。此種

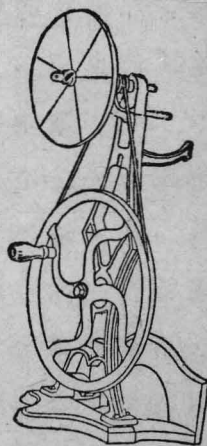


圖 551 牛頓之色盤及手搖旋轉器。

之色稱爲餘色 (complementary color)。

然在混合之顏料 (pigment) 中,所得結果異於此

試取黃色粉筆及青色粉筆各一枚,研之成末。若將此二種粉末混於一處,約各占成分之半,則所得之混合物,其色爲明綠 (bright green)。

由此可知黃色與青色光線混合時雖可發生白光,而黃色與青色之顏料相混合,則發生綠色。此因黃色顏料,自白光中吸收或扣除黃光及綠光以外之一切諸光,而青色顏料,則自白色中扣除青色及綠色以外之一切諸色;故未爲兩種顏料所吸收者,僅爲綠色。易言之,混合顏料時,混合物之色,乃未爲各成分所吸收之色也。

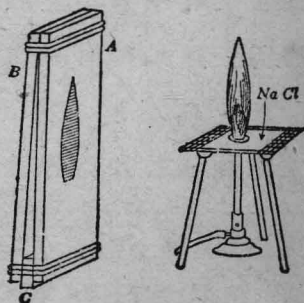
502. 家庭有色活動影戲。欲製有色活動影戲,須用極快之照相透鏡 (例如 $f/1.9$), 且須在透鏡之前,遮一濾色鏡 (color filter)。此濾色鏡係由各別之三直條所成,一赤,一綠,一青。照相器中穿以特製之軟片,但其用法,則完全與攝取平常之黑白影片相同,唯一之限制,僅係必須在直照之明亮日光中,攝取各畫片而已。然軟片須在工廠中用特殊之方法以顯其像,再送回用此軟片之人,以備映射已顯像之軟片,本身並無

色彩欲映射此軟片，僅須在映片機上，裝置與照相机器上所用濾色鏡完全相同之複製品即可。因此等濾色鏡，吸收多量之光，故祇能映射小影片（現在所達之尺寸為 $16\frac{1}{2} \times 22$ 吋），且須映於特製之鋁幕上（圖 552）。

製造有色影片之此種方法，其祕密之處，在於特製之軟片。其表面上舖有微小之圓柱形透鏡，隆起而直列，每吋之中約有 559 枚。此等微小之透鏡，完全將軟片上感光劑反面之表面遮蓋。在攝取各畫時，凸起之一面向照相机之透鏡，而感光劑則背向透鏡。浮起於軟片上之小透鏡，其所司之職，係引導光線落於每一微小之面積上，而使其結成清楚之三像，即於感光藥膜，與濾色鏡上三面積對應。如此則分布於透鏡之三色，即結像於每一微小圓柱形透鏡之後，成爲平行之三直條，因微小之圓柱形透鏡，平行於濾色鏡上之三條故也。此等不可見之軟片上感光小面積，即合成全相片之像。

503. 薄膜之色。 自透明之薄膜例如肥皂泡膜反射之光，其所生之鮮明色彩，可作光之波動說之最有力之一證。

試取二玻璃板 A 與 B，用橡皮帶縛於一處，如圖 553 所示，縛法使板之一端，由吸水紙 C 隔開。若手持此玻璃板置於鈉燄之後，即見反射之黃色火燄之像，其中有水平之細而暗之線一排。



欲解釋此效應，可作一

圖 553 鈉光波之干涉。

放大之圖，表示玻璃板及其間之楔形空氣。在圖 554 中，命 AB 與 BC 爲二玻璃板，而命黃色之鈉光，方自右來，成一串之橫波，此可表以波狀之曲線。吾人知此光之一部分透過玻璃之各面，而一部分則在各面反射。但今所欲研究者，僅係在兩板之內表面 AB 與 BC ，有何現象發生。命實線 DE ，代表在 AB 表面上 D 點反射之光，而命虛線 $D'E$ 代表在 BC 表面上 D' 處反射之光。若自 D 至 D' 之距離，適可使一反射波，其相較他一波遲緩半振動，則兩

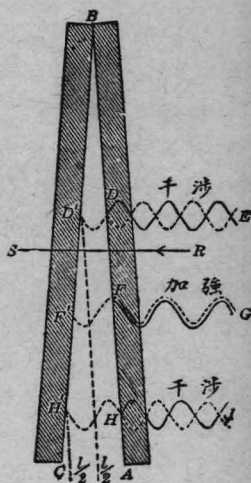


圖 554 明線與暗線形成之說明。

波即彼此干涉，而互相中和。在此點即有暗線發生。但在另一點 F 處，兩板間之距離，可使在 F 反射之波，合於在 F 處反射之波而令加強*。在此處即見有明亮之黃線。若吾人選擇任何二連續暗線，即知在一線處

*在高等光學書中，可證明光波在反射表面，其相發生變化，以致明亮之黃線，現於吾人預期將生暗線之處，而暗線則現於預期將生明線之處。

之二板間之來往路徑，適較在他線處之來往路徑，長一波長。由此可得一計算波長之方法。

例如楔形空氣之長度，假定為 100 耗，吸水紙之厚為 0.03 耗，而用鈉光所得之二暗線間之距離，為 1 耗。因楔之寬，在距離 100 耗內增加 0.03 耗，故在距離 1 耗內增加 0.0003 耗，而在相鄰二黑線間，來往路徑之增加為 0.0006 耗。此數與鈉光之波長頗近。

504. 日光由干涉而分解。 試取金屬環一枚，浸之

於肥皂溶液中，然後取出而置之於架，使皂膜直立，膜中之水分，向下流至環之底部，而膜遂成楔形。乃命一束日光，或來自映畫器之光，落於此肥皂膜上，而反射至一白色之屏。更取一凸透鏡依適宜之法配置，如圖 555 所示，使可生一清晰之皂膜 F 之像於屏。吾人可見屏上有種種顏色之橫帶一列。

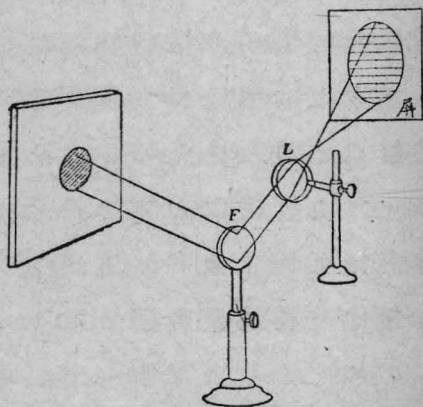


圖 555 白光在肥皂膜中所起之干涉現象。

白色之太陽光，係由不同之色光組成，因而含有不同之波長。紅波之干涉，發生於一點，而黃波之干涉，則起不同之一點。在紅波發生干涉之處，遺留其餘色，為一種淡青綠色 (bluish-green)；而在黃波受干涉之

處，則生黃色之餘色，即青色是也。如是即得一系列之色帶，其色盡為光帶各色之餘色。

光波在極薄之膜中起干涉，可生多種美麗之色彩。水面上之油膜，金屬表面及威尼司玻璃杯 (Venetian glass) 上之氧化物薄膜，以及孔雀之毛羽，其色彩皆自光波之干涉而來。

505 赤外線與紫外線 用靈敏之吸收熱之器械，即能知太陽非惟時在送出感動視神經之光波，且常在送出其他較長之波，此等波雖目不能察之，然可生強烈之熱效應。此種長波稱為赤外線 (infra-red ray) (圖556)。由於攝取太陽光帶之相片，又得知太陽正在發出另一種光線，其波過短，不能見之，但能感動乾片。此種短波稱為紫外線 (ultra-violet ray)。



圖 556 各種長度之波之分配。

506 光之電磁說 法刺第氏曾起一念，以為彼之“力線”，能傳播電與磁以經空間，此事吾人已知之矣。數年以後，麥克斯惠爾 (Maxwell) 取法氏此說發展

之，而立之於算學的基礎之上。此理論最後爲一年青之德人名赫支(Hertz)者所證實，時在一八八八年。赫氏之實驗，證明電波確實存在，且與光同速，惟電波有時長至數呎而已。此種電磁波 (electromagnetic wave)，亦能反射與屈折，一如光波。故吾人感覺光波確爲電波。此一概念及能常住之概念，爲十九世紀中物理學上最著名之二大建樹。

507. 光之性質如何？三十年以前，科學家咸滿意於光之波動說，因觀測所得之效應，似可由此以得使人滿意之解釋也。彼等既立此說，當然須假定空間充滿一種傳波之媒質；此種媒質，彼等稱之爲能媒 (ether)。更有進者，尚須假定此能媒非惟瀰漫於星辰之間，且充塞乎分子之隙。然能媒究係何物，則此問仍懸而未答。有簡單之實驗的事實多端，例如迴折 (diffraction)* 及干涉現象，似捨假定光爲某種波動而外，非以他種理論爲根據，所可了解者也。

在最近三十年間，理論物理學之範圍內有非常之活動。此種活動之結果之一，即爲相對論 (theory of relativity)，此說已使許多科學家，對於如能媒之此等

*迴折係指光在轉角之處，起極微之屈折而言。

媒質之存在，發生疑問，另一結果則爲量子論 (quantum theory)，此說係以下之概念爲根據，即輻射能之發送，係成不連續之狀態，由此概念，現有之簡單波動說，必須根本加以更改，關於光電瓶已有若干實驗方面之事實，用改良之微塵說解釋之，較用波動說爲簡，然在目前，初學物理學者，自以認能媒說爲有效之假定爲最妥，不過須牢憶關於光之性質之問題，並不藉此而獲得解決也。

第二十九章 提要

白光爲無數長短不同之波所混合而成之光。

色之不同，對應於波長之不同，赤波較紫波爲長。

可見之光帶，其波長之範圍約自 0.000068 浬 (赤)，至 0.000040 浬 (紫)。

短波在三稜鏡及透鏡中，屈折較甚於長波。

連續光帶係由熾熱之固體造成。

輝線光帶係由熾熱之氣體造成。

黑線光帶係由熾熱之固體，照經較冷之吸收氣體層而成。

物體之色視達於眼中之波長而定。

薄膜之色，係自某種波長因干涉以消滅而來。

問 答 題

1. 煙火之放出各種色光，其因何在？
2. 由月光可得何種弗氏黑線？
3. 一清潔之鉑線，持之置於青色之本生燄中，而由分光器中觀測之，問見有何種光帶造成？

4. 白,灰及黑,名之爲“色”,適當否?說明其理。
5. 在攝影時何故用“濾色鏡”?
6. 在照相暗室中所用者,僅爲通過紅玻璃窗之光,說明其理。
7. (a)何謂“日光燈 (daylight lamp)”?(b)因何目的而用之?
8. 晚間室中有紅色之燈影,似覺愉快,何故?
9. 青色之衣服,在煤油燈光下視之,則呈墨綠色 (greenish-black),何故?
10. 映射彩色活動影戲之一法,係利用一種軟片,一面着赤色,而他面着綠色,其他各色,如何可由此軟片現於幕上?
11. 光帶上任何一色,其餘色常爲複色,而非純色,試解釋其所以然之故?
12. 測量光波之長度時,爲便利起見,有時用一種“安格司脫羅姆 (Angstrom)單位”,其值爲一耗之千萬分之一,試用“安格司脫羅姆單位”計算可見光帶之上限與下限。

實 用 題

1. 彩色印刷。試用顯大鏡考察一彩印明信片,查明平常之黑白濃淡影印板如何製成,及三色濃淡影印板 (three-color half-tone) 如何製成,考察圖 557 所示之彩印畫,此畫即說明三色印刷術中各步手續。
2. 色盲。用霍爾姆格倫氏測驗羊毛 (Holmgren's Test Wools), 驗自己及友人有無色盲 (color blindness) 之病,將威斯脫考脫彩色滑片 (Westcott Color Slides), 映射於屏上,以驗同班學友有無色盲病,查明關於此項缺點之原因之近世理論爲何,此缺點對於何種職業確有重大之妨礙?

第三十章

無線電報及無線電話

蓄電器之振盪放電—電諧振—電波。

無線電報—無線電波與光波—配諧電路—天線與地線—環狀天線—接收機中之電流—晶體檢波器。真空管—真空管中各部分—真空管之作用—柵極之作用—回授接收機—接收機中之振盪—振盪器—放大。

無線電話—廣播機械—接收機械—種種之改良—優等喇叭。

電 諧 振

508. 來頓瓶之放電成振盪之狀。在一八四二年，約瑟夫亨利(Joseph Henry)發見，當來頓瓶由圍繞一鋼針之線圈以放電時，鋼針即受磁化。亨利所見者尚不止此，且見瓶之充電，雖依同法，而針之一端，時而爲北極，時而爲南極，亨氏引以爲異。彼假定放電之電流，常在前後顛倒，假定此等振盪，逐漸消滅，並假定鋼針受磁化之方向，有關於上一次可察之振盪所欲取之方向，以說明此一事實，此種振盪電可用圖 558 表示之。

數年以後，英國大物理學家兼大電工程師，開爾文爵士 (Lord Kelvin)，依算學方法證明來頓瓶之放電，必成振盪之狀。最

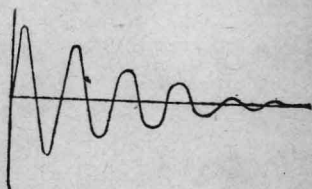


圖 558 振盪放電之曲線。

後於一八五九年，斐特森 (Feddersen) 竟得用疾轉之鏡，攝取電火花之相片。由此實驗，可以計算一次振盪之時間，此時間非常之短，各不相同，自一秒之千分之一以至一秒之千萬分之一。

509. 電諧振。 在研究音波時，吾人早已見及，二物體其振動週率相同者，有共起振動之傾向，而振動物體之此種性質，稱為諧振 (resonance, 在音學中謂之共鳴，就一般物性而論，宜稱為諧振)。

今試以橡皮管張於兩柱之上，而用等長之線，懸二重物 x 與 y 於橡皮管上，如圖 559 所示。若使一擺 y 擺動，則他擺 x 立即開始擺動，而第一擺漸漸停止，其能流入他擺。此現象之發生，僅在兩擺之長度相同，因而其週率亦相同之時。質言之，能之傳遞必需諧振。

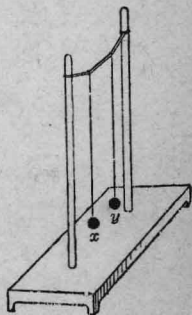


圖 559 二擺之諧振。

今由蓄電器放電而生之振盪電流，其週率視蓄電器之容量，

以及電流激盪所經電路之耗阻與誘導量 (inductance) 而定。故若二來頓瓶之電路，其容量，誘導量，以及耗阻皆相同者，即有同一之週率，而一電路可以影響他電路。

設有二來頓瓶 A 與 B (圖 560)，大小相同，瓶之厚薄亦相同。 A 瓶之上，連一粗銅線之長方形電路，其一端接觸瓶之外層，而他端則與瓶之銅球相離，中隔一小電花隙。 B 瓶連於相仿之電路，惟長方形之一邊 CD ，可以前後滑移，且無電花隙。最後用錫箔一條，將 B 瓶之內層連於外層，而於 X 處切開之。

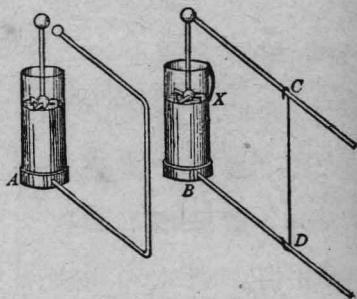


圖 560 二電路間之諧振。

若置此二電路於相隔一呎之處，並使其互相平行，而用誘導圈將電花送過 A 瓶之隙，即見滑線 CD 有一位置，可使小電花出現於 B 瓶上錫箔條之 X 隙。當滑線稍離此位置，不問向外或向內， X 處之電花立即消滅。

近世無線電之傳播與接收，其一切方法皆有賴於此一現象，此現象即稱為電諧振 (electric resonance)。當二電路成配諧 (in tune) 之時，縱其間毫無連絡，能亦可自一電路傳至他電路，而使電花在第二電路中發生。欲為此現象求一解釋，應注意當來頓瓶一度放

電之際，在連接蓄電器內外層之電路中，有一交流發生。此電流有極高之週率，遠超於平常60循環之家用電燈電流，蓋每秒中有數千次乃至數百萬次之顛倒，奚止六十。此種電流，又有不同於吾人早已習知之交流之處，即每一激盪，其勢殺於前一次是也。是以發生一種減幅振盪電流(damped oscillatory current)，如圖558所示者然。

510. 使電波發生。無論何時，苟有一週率極高之電流，不問其爲一如來頓瓶放電所生之減幅交流，抑係某種特式發電機，按極高之速率轉動而生之穩定交流，即有在圍繞發電機械之空間中，使波發生之效應。此種波將能自一來頓瓶傳至他來頓瓶，其情狀頗同於前述兩擺之實驗中橡皮管之所爲。赫支氏 (Heinrich Rudolf Hertz) (圖561) 於一八



圖 561 赫支 (1857-1894)，發見麥克斯惠爾所預示之電磁波。

八八年，始將此波加以檢探而測定之，故有時稱之爲赫支波 (Hertzian wave)，惟稱之爲無線電波 (radio wave)，較爲普通。

若以天線 (antenna) 與地線 (ground) (圖 562) 代來頓瓶，則同強度之電流，可以發出強甚之波。此處天線與地線之作用，一如巨大蓄電器之二導板，而空氣則爲兩板間之通感體。慣例又用線圈爲誘導量，以代單線。

無線電報

511. 無線電廣播與無線電報。

在過去數年之中，廣播 (broadcasting) 事業之發展，已使無線電收音機成爲一件家具，其普通一如留聲機。當聞人談

及無線電時，自然先思及由某種喇叭發出之演講或音樂。然須憶及在未有此等廣播事業以前，曾用無線電報 (radio telegraphy) 以傳遞消息，越大洋而達海舶者歷時多年。至今用之者仍多，在無線電收音機中，時或聞一陣營營之聲或唧唧之聲，按電碼拼成字句，習於此道者聞之，自能辨其爲何種消息。故在吾人可望領悟音樂及言語之如何播送與接收以前，必須對於無線電報，有清澈之了解。

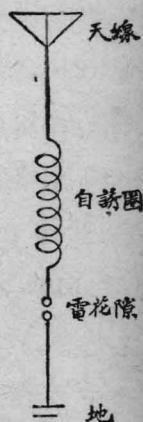


圖 562 天線與地線，作用如蓄電器。

最初之各種無線電報發送機 (transmitting set), 皆用一誘導圈及一電花隙, 以發生交流, 此交流當然有減幅之性。其後發見連續之交流, 尤宜於發生無線電波。然以欲用相仿於動力廠中所用之發電機, 以發充分高週率交流, 甚感困難, 故此種傳信之法, 遂受限制, 而不能在商業方面有廣大之應用。

在前十年間, 已發見可用特製之真空管 (vacuum tube), 以發有合意之任何週率之連續交流。此等真空管, 其作用甚使人滿意而極有效率, 故已疾取傳播無線電之其他一切機件而代之, 其作用之原理, 將於第 525 節中加以說明。

512. 無線電波與光波。 無線電波之進行, 與光同速, 即每秒行 300,000,000 呎是也。無線電波與光波, 在實際上為同一之波, 惟前者之週率遠較後者為低而已。下之簡單公式, 可以適用於光波及音波者, 亦可適用於無線電波:

$$\text{速度} = \text{週率} \times \text{波長}$$

或

$$\text{波長} = \frac{\text{速度}}{\text{週率}}$$

例若, 吾人用一交流每秒有百萬次循環 (1000 啓羅週波 (kilocycles)) 者, 以生無線電波, 則此等波之波長即為 300 呎。此波長較之光波, 可謂非常巨大, 蓋光波視其色而異, 亦不過自 0.00007 呎至 0.00004 呎也。

513. 配諧接收電路. 在用二來頓瓶之實驗中, 第二瓶及其電路與電花隙, 其作用猶如檢探無線電波是否在場之裝置. 此法當然極為簡陋, 而永不能採作商用, 因使用此器之範圍, 僅及數呎也. 近世無線電接收器之主要部分, 為一配諧電路 (tuned circuit), 一天線或環狀天線 (loop antenna), 一檢波器 (detector), 以及一受話器.

配諧電路僅由一誘導量及一串聯之電容量所成. 此等電路之電諧振, 視誘導量及電容量之乘積而定, 故此電路可由變動此二量之任一量, 以配諧之.

在來頓瓶之實驗中, 誘導量即係單圈之線, 而電容量可由瓶得之. 第二瓶之電路, 係由沿二粗銅線移動滑線, 以配諧之. 蓋滑線移動, 則附於瓶之線環, 其大小即有變動, 因而變動電路之誘導量, 若斯則電諧振亦起變化矣. 火花之發現, 僅在此電路與他一瓶之電路成配諧之時.

近世實用方面, 係用固定之誘導量, 由不止一捲之線圈所成, 而由變動電容量以配諧電路. 因此必須用一種可變蓄電器 (variable condenser), 以代來頓瓶.

近代之可變空氣蓄電器，其構造如圖 563 所示。一組導片固定不動，另一組其排列之法，在使可以轉動於定片之間，而不與定片相觸。此二組導片，其作用猶如來頓瓶之內外二層錫箔，而諸片間之空氣，則代玻璃而為通感體。其容量隨兩組導片互相連鎖之量而變動。

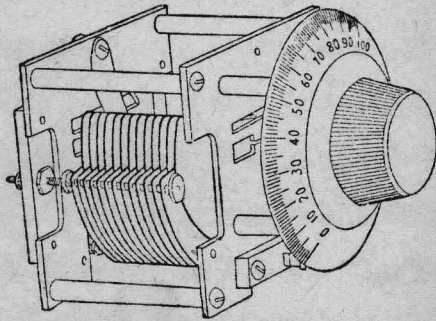


圖 563 可變蓄電器，有固定片一組，及可轉動之片一組。

514. 天線與地線。 天線與地線，亦屬必需，惟非絕對必要之具而已。此處之天線與地線，其作用與在發送機中同，亦如一大蓄電器之二導板。此二線以線圈連之。此線圈復相繼而有空氣心變壓器之一次圈之作用，在配諧電路中之線圈，即係此變壓器之二次圈（圖 564）。此變壓器必

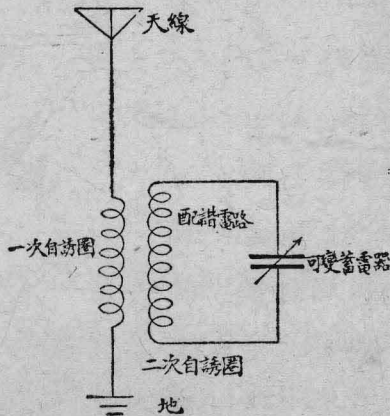


圖 564 天線電路及配諧二次電路。

須用空氣爲心,以代電燈用變壓器中所用之鐵;蓋鐵之磁性,欲其方向顛倒,不能有充分之速,以與無線電之電路中,所用非常高週率之交流相呼應也。天線電路可由變動線圈之捲數,因而變動誘導量以配諧之;惟此項調節裝置,往往省去。

515. 環狀天線。 無線電接收機,有於計劃之初,擬不用天線即可運用之者。就此種接收機而論,配諧電路中之線圈,係放大而成所謂一環(loop),此環係由數捲之線,繞於一大架之上而成,環之大小,自直徑一呎乃至四呎(圖565)。當旋轉線環,使其邊緣指向無線電發送機,而又調整蓄電器,使電路成配諧之時,環中即有一交流發生。若使環面向發送機,環中即無電

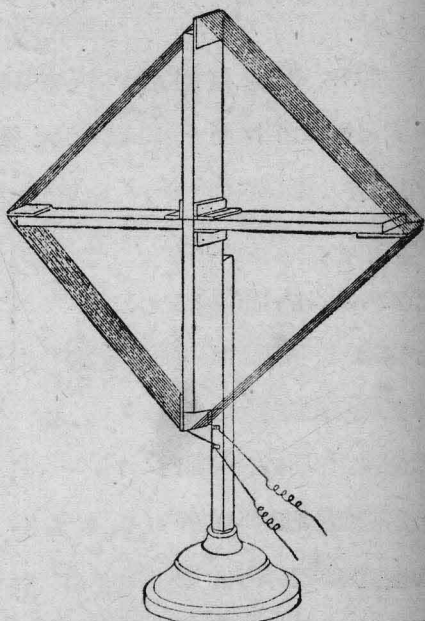


圖 565 標裝環狀天線。

流誘起，縱使電路成配諧亦然。由此即能決定，無線電波係從何方射來，而無線電羅盤 (radio compass) 即以此爲根據。在線環中誘起之電流，殊不若用大天線所得者之強大，因而此種接收器，祇可當發送器，係在附近之處，或有一種放大之裝置，可用以增加誘導電流之強度時用之。

516. 接收機中之電流。在任何無線電接收機中，不問此機有無天線，或是否用環狀天線，入機之無線電波，其效應在於引起配諧電路中之交流。其次所需者，即爲決定何時有此等電流發現之某種方法。

在用二來頓瓶之實驗中，電流之出現，係由電花指明。因誘導電流通常極爲微弱，又因所欲生之電火花縱小，亦需不少之能，故此檢查無線電波之方法，不足應用於長距離之接收。因欲生可聞之音，祇需極少之能，故在配諧電路中誘起之能，其量已足使電話聽話器之薄膜發生振動。然電話聽話器不能直接串聯於配諧電路；蓋電流之振盪過疾，遂致薄膜之惰性，阻止其隨電流而振動。不特此也，即使薄膜振動而發聲，其音調之高，亦在人類可聞之範圍以外。

用誘導圈傳播無線電時，蓄電器每放電一次，相

當於誘導圈上斷續器振動一次，且其放電，係由一系列高週率減幅振盪所成，此事固已見及矣。雖各個振盪之發生，週率甚高，然各列振盪之相繼而起，其率較低，自每秒數百次以至每秒千次，相當於此率之音，全在人類聽覺範圍以內，且其率之低，足使受話器之膜，按此週率而振動。因此之故，若在電路中加一裝置，可使薄膜爲每列之波振動一次，以代爲每一單個之振盪振動一次，則問題即可解決矣。

517. 晶體檢波器. 晶體檢波器(crystal detector)

卽爲此種裝置。此器係由數種物質例如矽或方鉛礦之任一種之小晶體所成，其一端埋於軟金屬中，而他端則爲一金屬

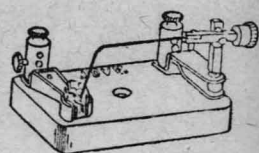


圖 566 晶體檢波器

針尖所觸(圖 566)。此器准許電流通過，循一方向較循他方向爲易，故爲適用於微弱電流之整流器。其連結於電路之法，如圖 567 所示。在配諧電路中所生每列之振盪，皆爲此晶體所整理；而整理之電流，使固定蓄電器充電，此蓄電器復相繼放電以經聽話器之膜，每有一列振盪發生，卽放電一次(圖 568)。薄膜因此而按成音週率(audible frequency, 亦稱低週率)起振動。當欲

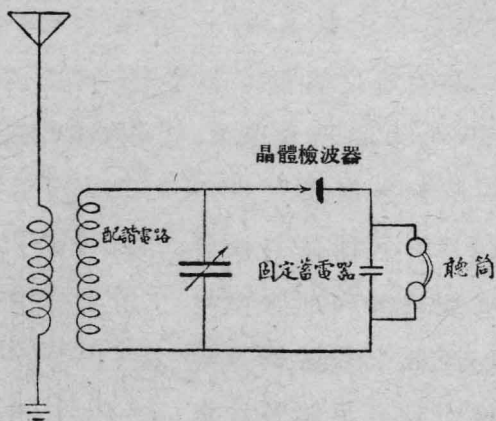


圖 567 無線電接收機中之晶體檢波器。

發送信息之時，發送處之電鑰，經或長或短之時間而下按，以成國際電碼 (international code) 之點與劃，此種信號，收音者聞之，為一串或長或短之營營聲，即能辨其為何字母焉。

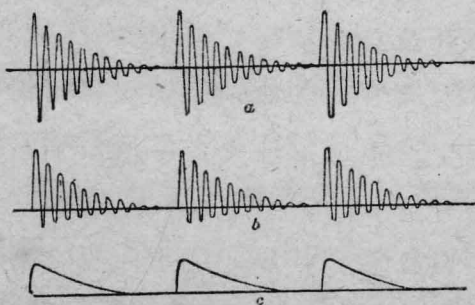


圖 568 減幅電流為檢波器所整理，a. 減幅振盪電流；b. 減幅振盪電流一部分為檢波器所整理；c. 使聽話器發聲之結果所得之電流。

真空管

518. 真空管之各部. 真空管一稱三極球(thermionic valve), 其發明與改良, 已將無線電之接收與傳播加以革新. 接收用之真空管, 其外觀為吾人所習見. 此管係一小玻璃泡, 其內部常塗以銀, 且有一底, 底上有接觸長脚四枚. 在泡內封有用鎢及鈦之齊製成之燈絲 (filament) (圖 569). 燈絲之兩端, 連於底上之二粗脚. 在燈絲之週圍, 有一金屬線之網狀屏, 稱為柵極(grid). 此柵極與燈絲絕緣, 而連於較細之一脚. 在燈絲及柵極之週圍, 又有一金屬筒, 與二者皆絕緣, 而與管底之他一細脚相連. 此筒稱為屏極(plate). 泡中空氣抽出, 抽至吾人所能獲得之最完全之真空.

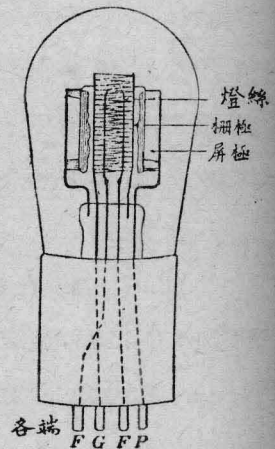


圖 569 三極真空管, 內有燈絲, 柵極, 以及屏極.

519. 真空管之作用. 使用此管之時, 燈絲之兩端連於電流之源, 此源稱為“甲”電池 (“A” battery); (圖 570). 此電流加熱於燈絲, 使呈明亮之赤色. 組成

燈絲之分子,受熱而起激烈之騷動,而電子即自此等分子擺脫,其中有若干電子,實際上完全被驅逐至燈絲以外,而廣集於其四週。

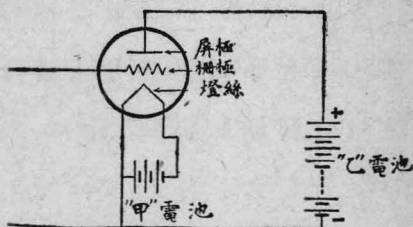


圖 570 真空管及“甲”電池與“乙”電池。

屏極之脚,連於電勢為二十弗或二十弗以上之電池之陽極,而此電池之陰極,則連於燈絲之二端之一。此電池稱為“乙”電池 (“B” battery), 其效應在使屏極帶陽電,由燈絲放射之電子,既帶陰電,乃為帶陽電之屏極所吸引,而經過柵極之網眼以達其上。此等電子繼續前行,經過電池而回至燈絲之上。因電子沿導體之運動,構成一電流,故在“屏路” (plate circuit) 中有此種電流存在。

520. 柵極之作用 柵極之用途,即在於控制此電子之流,其情況與滑瓣控制導管中之水流相仿。若使柵極帶電,其電勢對於燈絲為負,則柵極即有斥拒由燈絲射來之負電子之傾向,迫使彼等留於燈絲之

附近,而不能穿過柵極以至屏極.因此屏路中之電流即行停止.若使柵極帶陽電,則柵極即能幫助電子經過柵極以至屏極,而屏電流即行增加.柵極電勢與屏電流間之關係,如圖 571 所示.

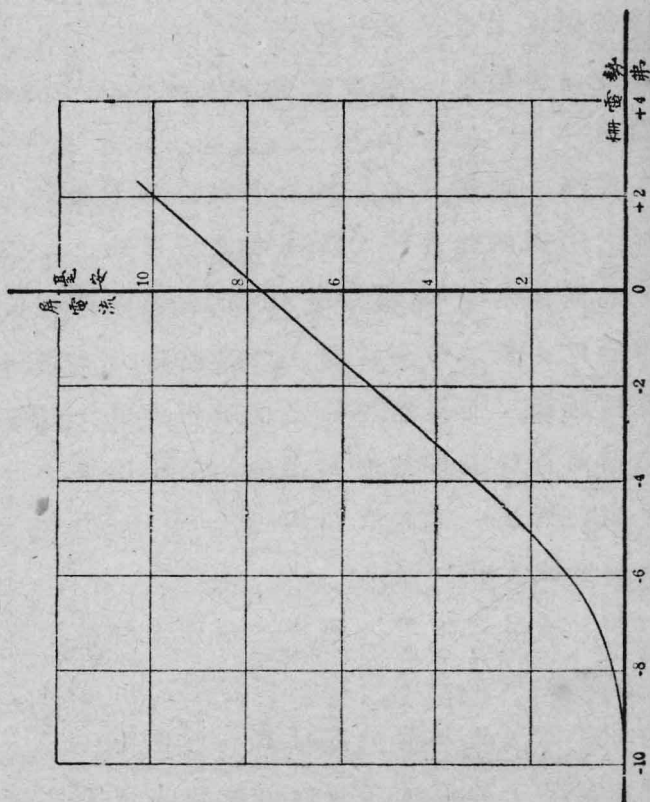


圖 571 表示屏電流與柵電勢間關係之曲線。

521. 真空管檢波器，燈絲所射出之電子，雖大多數經過柵極而至屏極，然其一部分在柵極帶陽電之時，為柵極所吸引。欲用真空管為檢波器時，吾人即利用此一點。圖 572 所示者，即為以真空管代接收電路中之檢波器時，所用連結之法，須注意天線，地線，以及配諧電路之連接法，與晶體接收器仍相同。然配諧蓄電器之一側，不連於檢波器，而連於一固定小蓄電

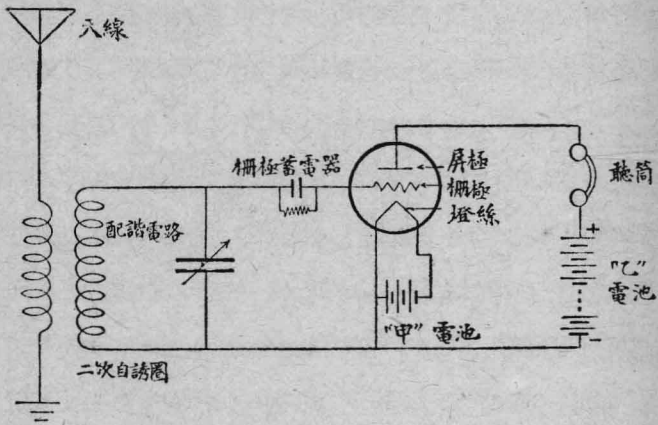


圖 572 簡單接收機，有一真空管檢波器。

器，稱之為柵極蓄電器 (grid condenser)。此柵極蓄電器有一極高之耗阻為其分路，此耗阻稱為柵漏 (grid leak)，通常為二百萬或三百萬歐。柵極蓄電器之他一端，連於真空管之柵極，而配諧蓄電器之他一極，則連

於燈絲。

當無線電波觸及接收機之天線時，即使配諧電路中發生一交流，此電流由誘導作用，通過柵極蓄電器，而使真空管內之柵極，更迭帶陽電與陰電。在每一循環之正半週中，柵極吸引由燈絲發出之電子之一部分，此等電子欲自柵極逸去，其唯一方法為取道於柵漏，但柵漏之耗阻既如是之高，則在正半循環中積聚之電子，勢不能於其次之負半循環中漏去，其結果則為當配諧電路中有交流之際，柵極使自己帶陰電，若方在接收一串之減幅波列，則柵極於每列初入之際，自帶陰電，此陰電荷須至每列之後半，即當振盪微弱之際，以及在各列間之歇止時期，始能漏去。因柵極上之陰電荷，使屏電流減少，故聽話器中之膜，對於每一波列運動一次，正與晶體檢波器之所為同。

522. 晶體檢波器與真空管檢波器之比較。 是故真空管可用之為檢波器，且遠較晶體檢波器為靈敏而可靠，後者須時加調整，殊屬不便也。雖使用真空管，必需電池，似覺繁瑣，然在今日，真空管幾成為專用之品矣。

真空管檢波器之靈敏度 (sensitivity)，所以較大

於晶體檢波器者，即因其有滑瓣作用之故，實際上使聽話器發聲之能，係來自“乙”電池，而天線所收納之能傳至配諧電路者，僅用以控制屏路中能之流動而已。天線所收得之極少量之能，即可控制屏路中遠過於此之能；頗與一人司開關，即可控制耐亞嘎拉水電廠之數千馬力相彷彿。

523. 回授接收機。用所謂回授(regeneration)之法，可使真空管之靈敏度，再行增加。因在屏路中可獲得之功率，遠較在柵路中所得者為大，故可將此屏功率之一部分，回授於柵路中。欲達此目的，可串聯一線圈於真空管之屏極，而使此線圈在一適當之地位，俾可在配諧電路中誘起一電流(圖 573)。此屏路線圈通常稱為回授圈(tickler)。此種接收機之作用如下。當入機之信號，使配諧電路中生一振盪電流時，此電流經柵極而起作用，使屏電流按同狀增減。屏路中振盪能之一部分，經回授圈回授於配諧電路，而配諧電路中之能即增加，如是則其影響屏路中電流之能力，較前更大。屏路中之能，因此復相繼增加，而由回授圈回授於配諧電路之能更多。故此項程序，有交相屯積之性，而將回授圈與配諧電路線圈之交連(coupling)，細

加調整,即可使聽話器中所聞信號之強度,大為增加。

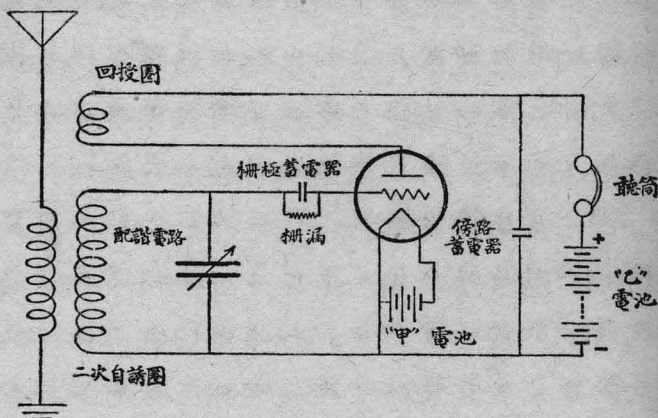


圖 573 有回授圈之接收機。

圖 573 中所示之傍路蓄電器 (by-pass condenser), 其為用也, 在使由屏極經過回授圈之高週率振盪能, 取得道於此, 回至燈絲, 不致為聽話器及“乙”電池所阻。不用回授圈, 而配諧真空管之屏路, 一如柵路, 亦可發生回授作用。

524. 接收器中之振盪。 在簡單之 (非回授式) 真空管接收機中, 配諧電路中為入機之信號所誘起之電流, 其強度當然為配諧電路之耗阻所限。在回授接收機中, 此同一信號, 即可產生較強之電流。故以回授作用加諸接收機, 相當於減少配諧電路之耗阻。當吾人增進回授圈與二次圈間之交連時, 吾人即減少配諧電路之有效耗阻; 而此交連若充分使之增進, 則

有效耗阻 (effective resistance) 或可減至零。就此情形而言，在配諧電路中發生之電流，即將繼續流動，無有已時，因此電流無當止之理由也，此種情形稱為振盪 (oscillation)。當收音機之靈敏度，增加至適當限度以外時，吾人所聞長嘯式怒號之聲，大半因此振盪所致。

525. 真空管振盪器。 在接收器中，顯然無需振盪；然振盪固為真空管最重要之一用途之基礎也。當接收器振盪之時，當然合於電路所配諧之週率。此週率可調整之，使有任何合意之值，祇須變動配諧電路之誘導量或電容量即得。故振盪器 (oscillator) 能發出可調整之高週率交流，此交流正係發生無線電波之所需，吾人已見之矣。在接收電路中可獲得之能，其量當然微小；但此少量之能，已足產生可聞於遠離數哩之處之波焉。當需要大量之能時，可用較大之真空管，或連合大真空管若干具於一處。真空管之能使用功率多至每管 100 瓦者，今方在製造。此等真空管，與接收用之真空管無少異，惟有用水冷却之屏極，及其所需屏極電壓，高至 2000 弗而已。大多數之無線電報站，以及所有廣播電台，現在皆採用真空管振盪器。

526. 放大。 吾人有時欲增加交流中之能量，而

不變其週率或波形。此即所謂放大 (amplification) 是也。放大不僅用於無線電接收機中，且用於廣播方面，用於長途電話，用於公共演講之喇叭，用於“以電灌音 (electrically recorded)”之唱片之製造，以及其他各方面。真空管可按合宜之法連結，使有放大器之作用。若參閱圖 571 所示之真空管之特性曲線 (characteristic curve)，即見曲線之一大部分，幾成直線。若變動柵極之電勢，自 -5 弗至 0 弗，則屏電流即自 2 安變至 7.7 安。在此範圍以內，柵極電勢一有漲落，不問多少，屏電流即起相應之增減，使此漲落之狀再現；且屏功率遠較柵功率為大，與以前所論者同。因此可用一串之真空管，以放大微弱之交流，幾可放大至任何合意之程度。單管放大器之適用於前述任何目的者，其連結之法，如圖 574 所示。圖中將見有一“丙”電池 (“C” battery)，

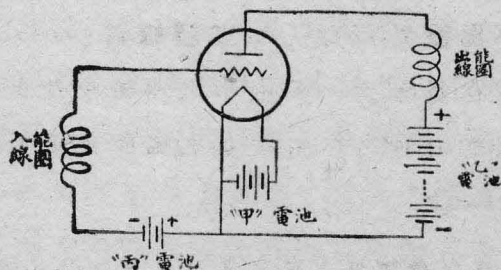


圖 574 真空管用作放大器。

係在“甲”與“乙”二電池以外加用者。此電池之用途，在於固定柵電勢，使達特性曲線之直線部分上某一點。當交流經入能線圈 (input coil) 回授於柵極時，柵極電勢即在此固定點左右漲落；而此漲落之狀，即由屏電流之相應增減，而恰令再現放大之能，然後再經出能線圈 (output coil) 輸出，以供達任何所欲達之目的之用。

無線電話

以前所論者，係限於無線電報之傳遞與接收。然自廣播事業勃興以來，言語與音樂之播送及接收，已屬十分重要，故無線電傳聲之器械，其詳細之論述，雖在本書範圍之外，而其所採用之方法，仍宜略有說明也。

527. 廣播機械。 廣播所必需之機械，可分為二類，一係振盪器，而他一則為調幅器 (modulator)。振盪器之用途，為發生一高週率之連續交流，此交流即以正欲播送之音之作用控制之，或謂使其受調幅作用 (modulated)。

真空管振盪器之原理，早已述及。此器大概須用大管數具。有此數管，即可使配諧電路中生一大力之交流，各廣

播電台，皆指定一定之週率，令其必須按此週率播送。此等週率，在美國由中央無線電委員會採擇，務使鄰近兩電台間，儘量減少干涉；而其值自每秒 550 啓羅週波起至每秒 1500 啓羅週波止。

在敘述調幅器之作用以前，宜略溫平常電話之作用。音波擊送話器之膜，而使其發生振動。膜之運動，使一小匣中所含之炭粒，其上之壓力起變化，因而炭粒對於電流通過之耗阻亦起變化。送經炭粒之電流，因此而時增時減，其增減之度，與空氣中疎密波之狀況相同。例若執一方發中音部 C 音之音叉，置於送話器之前，即可生一波動電流，其週率為每秒 256 循環。此波動電流，即可用以使受話器之膜振動，而送出相似於擊動送話器者之音波。就較為複雜之音例如言語而論，電流之波動，遠較此為複雜；但此等波動，仍可使受話器之膜，再生送話器之膜之運動，因而再發擊動送話器之音。

528. 音之播送法。 廣播電台之播音室中所發之音，為傳話器(microphone)所收納。傳話器作用之原理，全與電話送話器同，惟其外貌相異而已(圖 575)。音對於傳話器之作用，發生一波動電流，此電流將謂之為聲流(voice current)。此聲流先用一串真空管放大器放大之，然後為調幅器所用，以控制振盪器所生電流之強度。調幅器為一複雜之電路，有強力真空管數具。聲流之變率，一與振盪器所發之週率相較，即見其甚低；故聲流之單一波動，相當於振盪器中電流之無數循環。當聲流增加時，調幅器即使振盪器中電流增

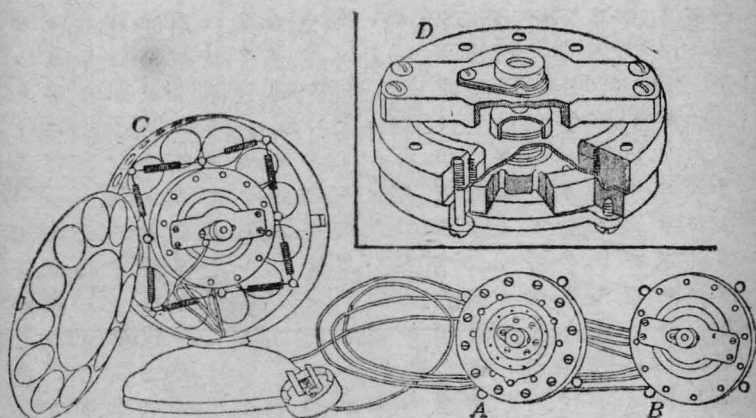


圖 575 炭粒式傳話器，膜爲金屬架A及B所夾，而張緊於其間，膜之兩側，各有可變耗阻箱一具，如D所示，欲免膜之受室內地板或鄰近其他物體振動之影響，故用彈簧數條，懸此架使其凌空，如C所示。

加；當聲流減少時，調幅器即使振盪器中電流減少，振盪器中電流之週率，並未爲調幅器所變，所變者僅其強度而已。振盪器所生之“主流 (carrier current)”，受聲流之作用所發之調幅作用，欲領悟其情況，請參閱圖 576，將更覺明白。已受調幅作用之交流，放之入天線系，此交流即在天線系中產生無線電波，自發送電台向各方散布。

529. 廣播電波之接收法。任何接收器之適於接收無線電波者，均可用以接收無線電話，經過調幅

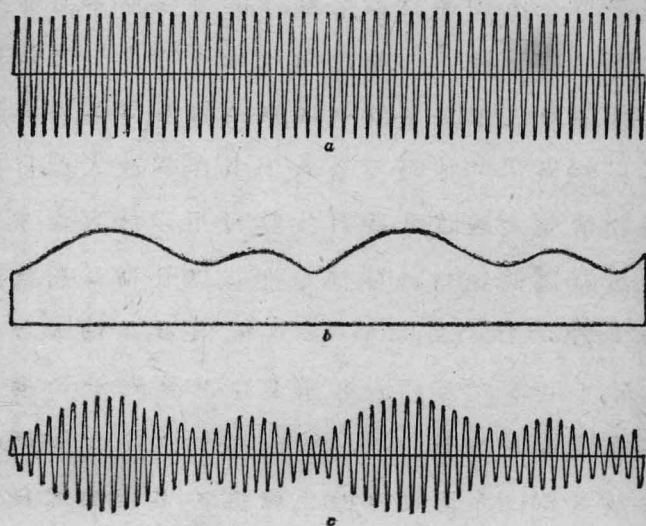


圖 576 高週率主流之調幅情況：*a*，未經調幅之電流；*b*，聲流；
c，已受聲流調幅作用之主流。

之主波 (carrier wave)，擊於接收天線，而使已受調幅作用之高週率交流，發生於接收器之配諧電路中，祇須後者配諧至主波之同一週率即可因各播音台確按不同之週率播送，故吾人可隨意選聽所欲聽之特別節目，欲達此目的，祇須調整可變蓄電器，以配諧接收器，使與所欲接收之播音台之週率相同即可。

配諧電路中之振盪電流，為檢波器之作用所改正，而生一聲流，與發源於播音室之傳話器中者相同。

此聲流於是激動聽話器之膜，俾其再生原來之各音。

530. 收音機. 近時所用收聽廣播節目之接收機，大都遠較已述之單管接收機爲複雜。除真空管檢波器以外，尚用其他真空管若干具，作爲放大器，以增加所收信號之強度。此等真空管，可用以放大尚未送入檢波器之信號，就此種情形而言，諸管稱爲射電週率放大器 (radio-frequency amplifier 亦稱高週率放大器)；又可用以放大檢波器所產生之聲流，此時稱之爲成音週率放大器 (audio-frequency amplifier 亦稱低週率放大器)。近世收音機之製造者，其目的皆在使所造之機，靈敏善感，有選擇性，易於使用，且能再發由播音台傳來之音，儘量不失其真。因大多數之聽衆，不願用受話器，而喜用喇叭，故優良之收音機，又須給以充分之能力，使喇叭之發聲滿意。凡此種種需要，可由適當採用兩種放大之法而得之。

531. 射電週率放大. 前已究及，射電週率放大，係用以增加無線電波在天線中所生調幅交流之強度者。其效應爲增加接收器之靈敏度 (sensitivity)，即其收納來自長途之波之能力是也。諸放大管係藉空氣心變壓器而得交連。此等變壓器之二次圈，各須用

一蓄電器配諧之，因不配諧之電路，對於高週率電流之總阻甚大，故用不配諧之放大器，所得將甚微小，多用配諧電路，尙有下之利益，即可增加配諧之精確（即選擇性），且可使接收器摒除所欲接收之一波以外所有各種週率之波是也。如是則幾按同一週率播音之二電臺間之干涉，即可消去。在最初之各式收音機中，每有一配諧電路，即在調節列盤（control panel）上別置一盤以調整之。近時之慣例，則將所有配諧蓄電器，裝於同一軸上，或用齒輪連接之，使祇用一配諧盤已足。

前此早已指出，由於配諧真空管之屏路，同於柵路，亦可發生回授作用，此即用一串之高週率放大級時，所生主要之現象。一定量之回授作用，乃屬必需；但在一級放大以上或二級放大以上之接收器中，回授作用甚強，致在接收器中發生振盪，除非有某種裝置制止之始無。阻止振盪最簡單之方法，係在配諧電路中，再加一耗阻，使回授作用，不減少其有效耗阻至零。另法係將一小蓄電器，加於電路中，以與回授作用抵消。凡“平差”接收機（“neutrodyne” receiver），皆用此法以中和回授作用。

532. 成音週率放大。 高週率電流，已爲射電週率放大器所放大以後，即爲檢波器所整理，而變之爲聲流。此聲流之力，已足鼓動聽話器之膜；但如欲用喇叭，必須再行放大，因聲流之起伏，係按成音週率，故此

種放大即以“成音放大”名。欲達此目的，可在檢波器電路中，以一鐵心變壓器之一次圈，易聽話器即得。此變壓器之二次圈，成爲真空管放大器之入能線圈，一如前所述者然(圖574)。放大管之出能，或用以鼓動聽話器，或用以控制第二級之成音放大。檢波器所生原來之聲流，可用此法放大，至鼓動喇叭之程度。

533. 失真。 無線電廣播事業方興之際，能發最宏亮之音之接收機，一致譽爲最佳。然在今日，於宏亮之外，尚須求其發音正確。此目的之得達，祇可由於精細計劃播送及接收二者之設備，俾可免除複雜交流之失真。廣播電臺已盡力改良，其所發之波，今已差堪免於失真。在接收機中，成音週率放大級，最易犯失真之弊。鐵心變壓器，有對於聲流之特殊週率起諧振之傾向，故放大此等週率，較其他爲甚。接收機其成音變壓器不良者，或將使鋼琴之樂音，變爲細小之聲，或將最高音變成中音。由於適宜之設計，此等傾向，幾可完全消去。在成音放大系中之最後一管，負荷過度，亦常爲失真之一因。蓋此時信號既已爲射電週率級及第一成音級所放大，往往變爲甚強，以致使末一級中平常接收管之柵極，其電勢變動至特性曲線直線部分

之範圍以外，此項困難，可用“強力管”(power tube)* 除去之。

534. 優等喇叭。 即使最佳之無線電收音機，若與設計不良之喇叭合用，亦不能發優美之音。最初之各式喇叭；不過一大型聽話器，連以相仿於舊式留聲機所用之號角(horn)而已。號角有加強某種週率之音波，而壓制他種週率之音波之傾向，其結果則所發之音，與播音室中原來所發者大不相同。在最近數年之內，已有種種喇叭出現，其再生之音，遠較以前各種近於原音。

錐式喇叭 (cone speaker) 或為此中最普通之一種(圖 577)。在此種喇叭中，聽話器之膜，易以硬紙製成之大平圓錐。圓錐之面積頗大，無須用號角，足以鼓起強有力之音波。

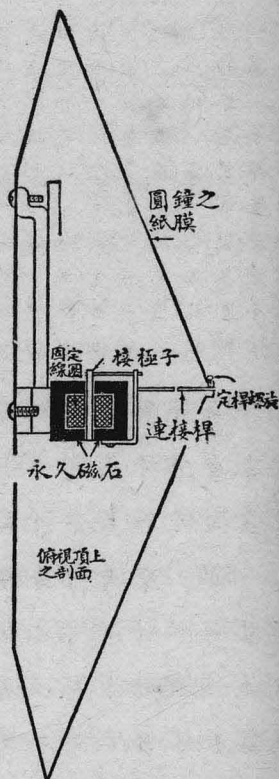


圖 577 錐式喇叭。

*無線電強力管，為特製之真空管，其所用電功率，遠較平常真空管為多。平常真空管須用 1.25 瓦，而強力管須用 5 瓦或 5 瓦以上。

所謂動電喇叭(dynamic loudspeaker)者，係利用直接作用於線圈之強力電磁石製成，如圖 578 所示。當電流通過動圈時，圈即為電磁石所吸引，此磁石有一特殊形狀之架，可使中央極及其接近之架兩者之間，有一強磁場發生。動圈係由少數之線捲所成，直接緊附於圓錐之尖頂，自放大管而來之電流，先引入一降壓器，然後由此降壓器通入動圈。據稱此輕圈及小圓錐，重量異常微小，易按較高之週率而振動。

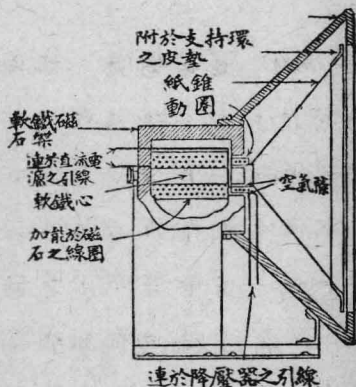


圖 578 動電喇叭之剖面。

高等無線電收音機之運用優良之喇叭者，其所生之音色，現在殊可使人滿意。有訓練之音樂師聞之，或似欠佳，然至少可與留聲機媲美也。

535. 交流收音機。交流收音機可連於屋內電燈電路中以運用之，其構造除有一整流器，一濾波器以及一變壓器用以使 60 循環之電流適於無線電之需要者外，與平常之電池收音機相仿，整流器與濾波器使交流改變為十分純粹之直流，以供屏路及柵路之用。變壓器將交流電壓自 110 弗減至 2 弗，以供真空管燈絲之用。大多數之交流收音機，常發頗為明顯之

60 循環營營聲。此項缺點，已由採用有特殊燈絲之真空管而使其減少，若設計改良，或可全行除去也。交流收音機較電池收音機為緊密而堅固，且對於非專門家之無線電聽衆，較為適用，因其不易失常態也。

536. 無線電方在進步。無線電播送與接收之發展，方興未艾，且其範圍早已擴大，以致在本書中不能詳述其一切。然基本原理，則自赫支氏之時代以來，仍未改變也。吾人所已試述者，僅爲此等基本原理，以及真空管(圖 579)作用之解釋而已。



圖 579 無線電管，大型及小型。此婦人右手所持者爲 UV-199 式，而立於地上者，爲一 100-KW 之水冷管。

問答題與計算題

1. 無線電波能見之否？能聞之否？
2. 在接收機中，何故需要檢波器？

3. (a)天線與引入線之連結處，何以必須銲合？(b)何以煤氣管不能用作地線？
4. 作一圖以示某種避雷器(lightning arrester)之用於無線電引入線(lead-in wire)上者，何以保險絲不可用作避雷器？
5. 環狀天線之弊何在？
6. 在播音台之音波，變為無線電波而發射，而在接收機中復將其變為原來之音波，其過程中之主要各步為何？
7. (a) 200 呎之無線電波，其週率與最高之可聞之音(每秒振數 20,000)相較，結果如何？(b)無線電波何以不能直接聞之？
8. 波長 360 呎之無線電波，與之相應之週率，有若干啓羅週波？
9. 用於真空管上之“甲”，“乙”二種電池，各司何事？
10. 若將“乙”電池連於“甲”電池應置之處，則對於真空管有何影響？
11. “甲”電池之情狀，將如何測驗之？“乙”電池用何法測驗之？
12. 在無線電收音機中，有時須用變壓器，何故？
13. (a)“天電(static)”一語何解？(b)其或然之原因為何？
14. 收音機中普通所用之成音放大，限制其級數者為何？
15. 成音週率放大及射電週率放大，其相對之利益為何？
16. 關於用射電週率放大法之主要困難為何？
17. 優良之聽話器，其特性為何？
18. 在何種情形之下，一收音機與鄰近之另一收音機互相干涉？
19. “有線射電(wired wireless)”如何增加長途電話線

之輸送容量？

20. 真空管如何可在長途電話之電路中，用作繼電器以增加電線上電衝動之強度？

第三十章 提要

蓄電器之放電經過耗阻微小之電路者，成振盪狀。

二電路配諧而有同一週率者，稱為成諧振。

無線電波長度(呎數) = $\frac{\text{速度}(300,000,000 \text{ 呎/秒})}{\text{週率}(\text{循環/秒})}$ 。

晶體檢波器與真空管檢波器有整流器之作用，後者又可用作振盪器與放大器。

發無線電報時，電波由天線送出，傳遍空間，而為另一天線連於檢波器及聽話器者所接收。

三極真空管為一抽去空氣之管，內含三種要素：一為燈絲，熱時放出電子；一為屏極，常帶陽電，電子向之而流；一為柵極，連於接收電路，而在燈絲及屏極兩者之間，能節制電子之流動。

回授電路可由連一第三誘導量，即回授圈於屏極至聽話器之電路中，且置之於其他二誘導量鄰近之處而成。此圈對於二次圈發生誘導作用，而使屏路中之電流大為增加。

放大之目的，可由插入昇壓器之一次圈於屏路中以代聽話器，而將二次圈連至稱為放大器之第二真空管之柵路而達。此種成音放大之法，可用第二變壓器及第二放大管而再加一級。

合宜之變壓器與真空管，可用以放大未達檢波器之無線電流；此法稱為射電放大。

成音(可聞)週率包括自每秒15次起至每秒15,000次止之各種週率，而射電週率之範圍，則自每秒約15,000循環起，乃至每秒數百萬循環。

播送無線電話時，週率極高之不減幅連續振盪，其強度受發送機之變量耗阻之調幅作用。

實 用 題

1. 無線電報發送機及接收機。製造一低功率之發報機與收報機，練習國際電碼，且與友人合作，互相收發電碼之消息，須避免對於鄰近之無線電收音機發生干涉。
2. 無線電話收音機。考察某種商用收音機之構造，作該機之大圖，詳細註明各部分，且決定每一真空管之用處，向無線電材料行購買各零件，自造一收音機。
3. 無線電用“乙”電池。覓一廢棄之乾電池，拆開之，計其電瓶之數而察其相聯之法，解剖電瓶之一，考察其各部分。

第三十一章

陰極線與X線 放射性

電花電壓——半真空內之放電——陰極線及其特性與本質——X線。

放射性——鐳——鐳之輻射——蛻變——鐳之用途——能之變化。

通過氣體之放電

537. 電花電壓。使電花在二球頭間躍過所需之電壓，視數種要因而定。此數者，即球頭之大小，其相隔之距離，及大氣壓力是也。使電花在二尖頭間躍過，所需電壓較之在二圓球間為少。例如相隔1厘米之二尖頭間，所需之電花電壓 (sparking voltage) 約為8,400 弗，而相隔1厘米之二圓球，其直徑為1厘米者，所需之電壓約為27,000 弗。二尖頭間之電花電壓，幾與相隔之距離成正變，甚至此係用以測量極高電壓之一法。

欲表示大氣壓力之效應，可以長2呎或3呎之玻璃管，與一誘導圈相連，如圖580所示者然。此管之側又有一管與抽氣唧筒相通。當誘導圈先通以電時，放電現象發生於誘導圈之兩端 x 與 y 之

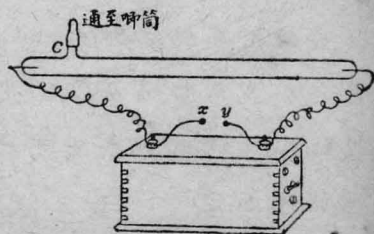


圖 580 在半真空內之放電。

間，而 x 與 y 僅相離數耗；但當管中空氣抽去之時，電花即由長玻璃管中通過，而不再越過短隙 xy ，由此可知壓力減小時，電花電壓即行降低。

538. 半真空內之放電。 由於減少兩尖端之大氣壓力，可使放電通過較易，直至抽氣之程度達於某定點而止，自此以後，又較困難，至抽氣程度，達於今日可達之最高點時，欲使電花通過真空管，幾屬不可能。

當抽氣程度愈趨愈高時，此種真空管之外觀，其變化極有趣味，最初之電花為閃爍搖曳之細線；但當壓力漸減時，放電之線漸形粗大，直至充塞全管而放穩定之光為止。

真空之程度更高，即有不耀目天鵝絨狀之光



圖 581 蓋斯勒管，供研究氣體例如氫之光帶之用。

覆於陰極之表面，而管之大部分，充滿所謂陽極柱 (positive column)，此柱成層狀而發燦爛之光，且直達陽極。所謂蓋斯勒管 (Geissler tube) (圖 581)，即此種真空管之小者，常製成奇特之形狀，而用作玩具。自蓋斯勒管發出之光，其色視管中所有之氣體及所用者為何種氣體而定。

539. 陰極線。 抽去管內之空氣，其程度高至壓

力約等於水銀柱 0.01 耗時，陽極光即非常暗淡，而陰極四週之黑暗部分，則為放電所普及。有一種不可見之輻射，自陰極流出，幾與陰極之表面成直角，而與管中陽極之位置無關係。自陰極發出之此種輻射，稱為陰極線 (cathode ray)，其自顯之道，有下之數端：第一，此線觸及管壁之處發生黃綠色之螢光 (fluorescence)；第二，可以集中於一焦點而發強熱；第三，其路徑中插入金屬板，則在管之一端螢光中即現極顯明之影。

一真空管，其配合如圖 582，可顯示陰極線之熱效應。當誘導圈放電經過此管自頂至底時，陰極線即集結於一鉑片上，而鉑片變為赤熱。

另有一種真空管，其配合之狀如圖 583，可顯示管之一端，有一鋁製十字所成之影。



圖 582 陰極線之熱效應。

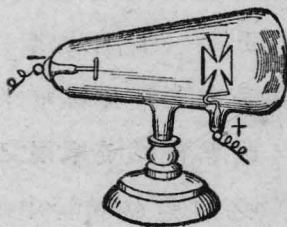


圖 583 由陰極線所成之影。

540. 陰極線為何物？真空管之製成圖 584 之形狀者，其所發之陰極線，通過一鋁屏 m 上之細隙 s 而成狹帶，且射於稍向此帶偏斜之螢光屏 f 之上。當以強磁石 M 移近管之一側時，即可察見陰極線偏向。其所偏之方向，與假定此輻射線係由陰粒子組成時，所預料之方向

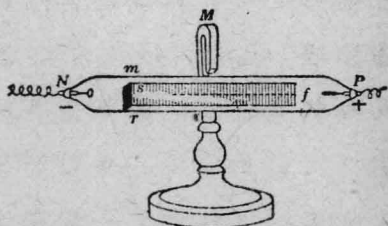


圖 584 陰極線因磁石而起之曲折。

相同。由此及其他實驗，吾人可信陰極線乃由陰極表面按極高之速率而射出之電子流。

英國物理學家湯姆孫(J. J. Thomson)氏，曾由關於陰極線之種種實驗，估得此等電子，其質量約為氫原子質量之一千八百分之一，而其運動之速率，則自光速之十分之一至三分之一。每一微粒，假定其所帶之陰電荷，等於電解時氫離子之電荷。

541. 近來對於陰極線之實驗。奇異電器公司研究所 (Research Laboratories of the General Electric Company) 之柯立奇(W. D. Coolidge)博士，近來曾發明一種新式陰極線管，如圖 585 所示。在此管中，自熱陰

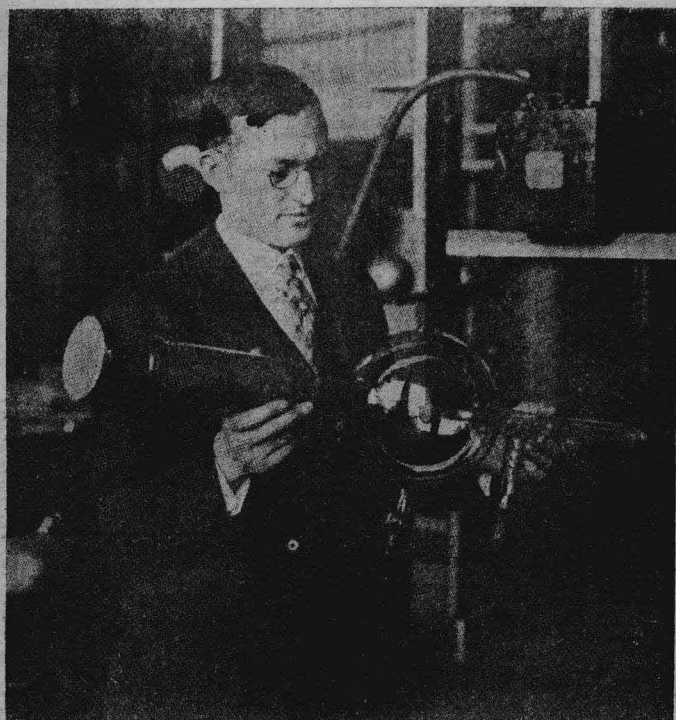


圖 585 柯立奇博士在其近來之實驗中所用之陰極線管，陰極線係由管之左端透過金屬窗而射出。

極發出之電子，集中於一管狀之陽極。當以 350,000 弗之電壓，加於陰極與陽極之間時，此等電子即經過此管而撞擊其底，底為極薄之鎳片，其厚度僅有萬分之五吋。大多數之電子，皆透過此金屬窗而入於空氣之中。在暗室內可見電子之發射，伸展至離管底 2 呎

外,以礦石置於此諸線之路徑中,即發燦爛之熾光與螢光.當此線觸及皮膚時,皮膚受灼,其創頗鉅.此等陰極線管中所需之真空,程度極高,爲欲達此高度真空計,故於泡上連一傍管(side tube),其中貯有木炭,而將此傍管浸於液體空氣之中.木炭受冷,即將殘餘之空氣,迅速吸收之.

542. X線. 鑾琴 (Wilhelm Konrad Roentgen)

(圖 586)氏因用真空管作實驗,而於一八九五年發見另外一種輻射線,稱之爲X線.當陰極線撞於如圖 587 所示之鉑盾上時,X線即自此盾送出.此等線對於乾片之影響,頗與日光相似;但其線可透過平常之光所不能透過之物質多種,例如木,厚紙板,以及人體皆是,此性



圖 586 鑾琴 (1845-1923). 德國物理學家,發見不可見之新輻射線,以X線聞.

質與陰極線同.此線之不同於陰極線,可由不爲磁石

迫使偏向之事實顯示之。

以乾片置於平常之乾片夾(plate holder)中,其兩面掩以硬橡皮或厚紙板,覆一手於其上,而使之露於X線中時,即攝得一陰影畫,與現於螢光屏上者同(圖588),此種照相之造成,係因各種物質對於X線之可透性(penetrability),不相同之故。

用誘導圈使X線管發出X線,而置一螢光屏(fluorescent screen)於泡前,即可證明X線之作用。若室內黑暗,而以手插入管與屏之間,則易為X線所透過之皮肉,其影淡而輪廓不清,而X線不易透過之骨,其影甚濃。牙科醫生於診察齒根膿瘡所在處時,即須借重齒之此種放射線照相。

陰極線落於任何

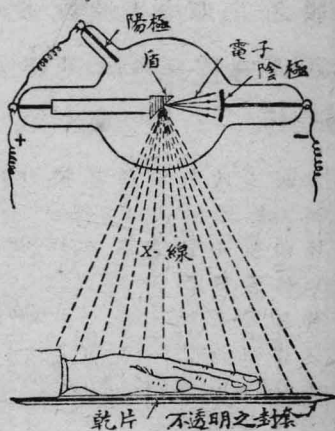


圖 587 X線管,用以攝取手之放射線照相(radiograph)。



圖 588 手之放射線照相。

固體之上，即有X線發生於此固體而向外射出。今知此線亦為能媒波，正與光波相同，惟波長遠較光波為短而已。

減少管內氣體之壓力，而增加透過電極之電壓，即可增加X線透射力或“硬度”(hardness)。柯立奇X線管(圖589)即係儘量抽去空氣者。其所用陰極，係螺旋形之鎢絲，以來自12弗蓄電池

之補助電流熱之，以得必需之電子。鎢絲之四週圍以鉗管，供集中電子流於假陰極(anticathode)上之用，假陰極亦由鎢絲

製成。調整陰極之溫度，逕可精密節制X線之強度。因所得X線之硬度，比例於電子之速度，故此性質可由改變所加電壓以節制之。

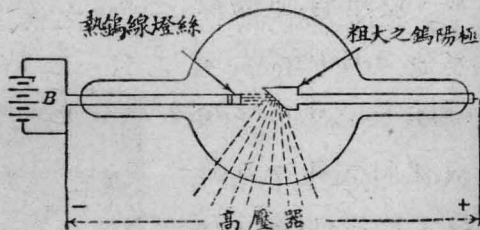


圖 589 柯立奇式X線管。

543. 用X線以研究晶體。於一九一三年，威廉布刺格(William Bragg)及其子取食鹽(NaCl)之晶體(此晶體屬於立方晶系)細加研究，而斷定鈉(Na)之原子與氯(Cl)之原子連合成等軸結晶質(regular crystalline structure) (圖590)。由於食鹽

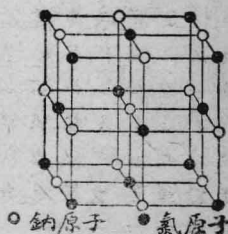


圖 590 食鹽之結晶。

結晶之密度及原子之質量，威廉氏父子二人能計算每單位體積之原子數，然後算出二原子間之距離，約為 2.814×10^{-8} 厘米。威廉氏父子得此智識以後，即用食鹽之晶體代迴折格* (diffraction grating)，以測種種 X 線之波長。用此法測得之 X 線之波長，其範圍自 0.1×10^{-8} 厘米至 12×10^{-8} 厘米。科學家已用 X 線分光照相器 (spectrograph)，將其他晶體之構造細加研究。

莫司雷 (Henry G. J. Moseley) (圖 591) 約在同時用此同一之儀器，以研究某一定原質用作 X 線管中之盾時，所發 X 線之性質。莫氏察得各種金屬之 X 線光帶，係由少數一定波長之分明之線所成。彼又發見下之重要事實，當彼以原子量較高之次一原子易每一原子時，諸線之波長依一定之規則



圖 591 亨利莫司雷 (1887-1915)，英國物理學家，決定諸金屬之 X 線光帶，而建立原子數之基礎。

*在金屬或玻璃上劃極細之平行線而製成之迴折格，於分光術中用之已久。

遞減。質言之，莫氏曾將諸原質按一定次序排列，使各原質之光帶線，當原質增其原子量時，須遞向波長減少之方向移動。此種以原子之X線光帶為根據之排列方法，知其大概與根據原子量排成之一列相合。在此新列中，若吾人定氫為一，則指明原質位置之數，即稱為原質之原子數 (atomic number)。此種原子數，又可見其對應於繞原子核之電子數，兼與核之陽電荷相對應。

放 射 性

544. 放射性。 法人亨律倍格勒爾(Henri Becquerel)，於一八九六年發見有相似於X線者，自瀝青鈾礦 (pitchblende) 以及他含鈾原質之礦石放射而出。倍格勒爾察知若以黑紙包裹之乾片，置於此等礦石之一之近傍，則介於其間之銅元或其他堅密之物體，即能留其影於乾片上。此現象稱為放射性 (radioactivity)。

545. 鐳之獲得。 法人居禮及居禮夫人 (Mme. Marie Sklodowska Curie) (圖592) ——亦在巴黎——立即繼此而發見與鈾為鄰而為所知最重原質之鈾 (thorium)，亦具同一之性質。然夫婦二人，因察知在奧

國某處所產之瀝青鈾礦，其放射性較等重之純鈾或純釷為強，而大為驚異。由是顯見此種特殊之瀝青鈾礦，必含有他種物質，其放射性較鈾或釷均強。居禮夫人經長期之辛苦工作以後，竟得自許多噸之瀝青鈾礦，析出極少量之此種新物質，尚屬純淨，此物質確可斷定其



圖 592 居禮夫人(1867-1934)，索蓬納(Sorbonne)大學之物理學教授。圖係夫人在其巴黎實驗室中正在工作之狀。

為未知之原質，居禮夫人稱之為鐳(radium)。鐳之放射性，一百萬倍於其最初所由發現之瀝青鈾礦之重量相等者，而其活動能力四百萬倍於純粹之鈾。

今日世界中所產之鐳，其大部分係得自非洲剛果(Congo)河流域之某種礦石，須有此種礦石 500 噸，以及提煉所需之化學藥品 500 噸，始可提出一克之鐳，加熱用之煤與溶解沖洗用之水尚不在內；此外且須專門技師參與其役，工程甚為浩大，故鐳之價值，每

克達金洋六萬五千元,殊不足怪也。

平常所售及所用之鐳,並非純粹之金屬,係與溴化合而成鹽,其外觀與普通食鹽十分相似。此鹽之含有鐳1克者,其重量約為1.7克。

546. 自鐳放射而出之三種線。 若取鐳鹽少許,

置於鉛塊之凹處,即可用磁場使三種線分開(圖593)。

一稱 α 線 (α -ray), 其透射力甚弱,且知其為帶陽電之微粒,

即氦原子是也。一稱 β 線

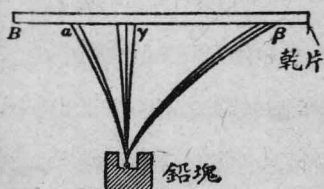


圖 593 用磁場分開鐳之輻射線。

(β -ray), 其透射力較強; 此線實際上不過為電子流,

全然與真空管中所察見之陰極線相似。一稱 γ 線

(γ -ray), 不受磁場之影響; 此線非他, 僅為非常短之X

線耳。最初注意所及之鐳之照相能力, 即由此 γ 線即

X線而來。

547. 鐳之用途。 鐳所放出之輻射線, 異常活動,

藉此輻射線可以攝取相片, 全與用X線相同。鐳線對

於有生命之物質, 有甚強之作用, 而此種作用, 已引起

鐳線利於療治種種疾病之希望; 誠如此望, 於治療某

數種毒瘤以及相仿之贅疣時, 鐳似極有益也。此異常

昂貴之鐳，時在發出鐳射氣 (radium emanation)，絡繹不絕；而普通所用以療病者，即係此鐳射氣，並非鐳之本體。每日將此射氣自鐳鹽抽出，收集於極細之玻璃管中，然後將此等細管，插於贅瘤近傍之肉內。其療治力係由下之事實得來，即鐳線之毀壞有病之組織，較之毀壞健全之組織為速也。

有數種放射性原質，雜有他物者，已用以製造發光油漆 (luminescent paint)。此等原質與硫化鋅混合，則硫化鋅一與鐳之微粒相觸，即能自發螢光。發光油漆可使鐘錶之面，在黑暗之中發光；而塗有此種發光油漆之小鈕，可藉以在夜間覓得電燈開關或門柄之位置。

548. 鐳之能。鐳及鐳鹽最著名之性質之一，為繼續生熱，且其溫度，通常較其四週各物高出三度至五度。由精細之實驗，知一克之鐳，每小時放出之熱量為 100 卡。鐳之放熱，其率雖低，然於一克之鐳未經完全蛻變 (disintegrate)* 以前，繼續甚久，在其綿長之一生中可發之熱，全量約為一克之煤燃燒時可發者

* (譯註) 關於原子之蛻變，原著者竟未述及，茲就密爾根蓋爾實用物理學，摘譯一節以補之。

之三十萬倍。

此等事實，自工商業所需之能之見地觀之，實不重要，因鐳既稀少而價又昂貴也。然由此顯見在一切物質以及煤之原子內，蘊藏之勢能，遠較現在可得之平常之燃燒熱為大，故苟知如何使其自由之法，則其重要必將駕一切而上之。

549. 原子之蛻變。 放射性物質之不絕射出微粒，無論其原因為何，可斷言其決非由普通化學反應所致。蓋當居禮夫人發見鈾之放射性時，曾證明各種放射性物質之放射性，其強弱僅與該物質存在量成正比，而與其所由來之化合物之性質無關係，且與一切物理上及化學上之情況，皆無關係。極低之冷，極高之熱，對之絕無影響。故放射性實屬放射性物質原子之性質，其不可變易，正與其重量之不可變易同。現已審知放射性物質之原子，漸次變成較為簡單之原子。各原質中，以鐳、鈾之原子為最重。不知何故，此等物質常變為不安定之態，而射出其質量之一部分。射出之質量，即係 α 微粒。分裂後所餘之原子，即成為新物質，其化學上之性質，與原來之原子不同。此新原子仍不安定，再分裂為他種原子。此種過程繼續進行，至原

子之狀態安定而止。當原子分裂之際，有許多電子，離其質量而去；是即 β 線也。

由此點察之，一般已公認鐳不過為鈾原子蛻變之一階。鈾之原子量為 238.2，鐳為 226；氦為 4.00。可見鈾若失去三氦原子，即成為鐳。鐳之蛻變，更進四次，皆已研究得之。預料其第五次，或其末次之蛻變，當成為鉛。自 238.2 減去 8×4.00 ，即得 206.2，與鉛之原子量 207.2，相去頗近也。用相同之方法，已求得原子量為 232.4 之釷原子之蛻變至第六階，但其終局為何，尚不可知。

問 答 題

1. 設想電花之發生能媒波一列，有何證據？
2. 陰極線為帶陰電之微粒而非能媒波，有何實驗上之證據取信於人？
3. 放射性如何異於尋常之化學作用？
4. 對於鐳之實驗，何以危險？
5. 放射性物質之活動能力，如何可以測驗之？
6. 試舉不可見之輻射四種，而各述其一種用處。

第三十一章 提要

陰極線乃帶有陰電之微粒稱為電子之流，自陰極之表面射出。

X 線發生於陰極線撞擊固體即屏之處。此線能透過玻璃而使乾片受其影響。其透射各種物質之能力，約與各物質之密度成反變。此線與波長極短之紫外光相同。

放射性物質於同時射出三種線：

- (1) α 線，此線為帶陽電之氦原子；
- (2) β 線，此線係帶陰電之電子；
- (3) γ 線，此乃非常短之X線。

鐳能放熱，雖緩而持久。

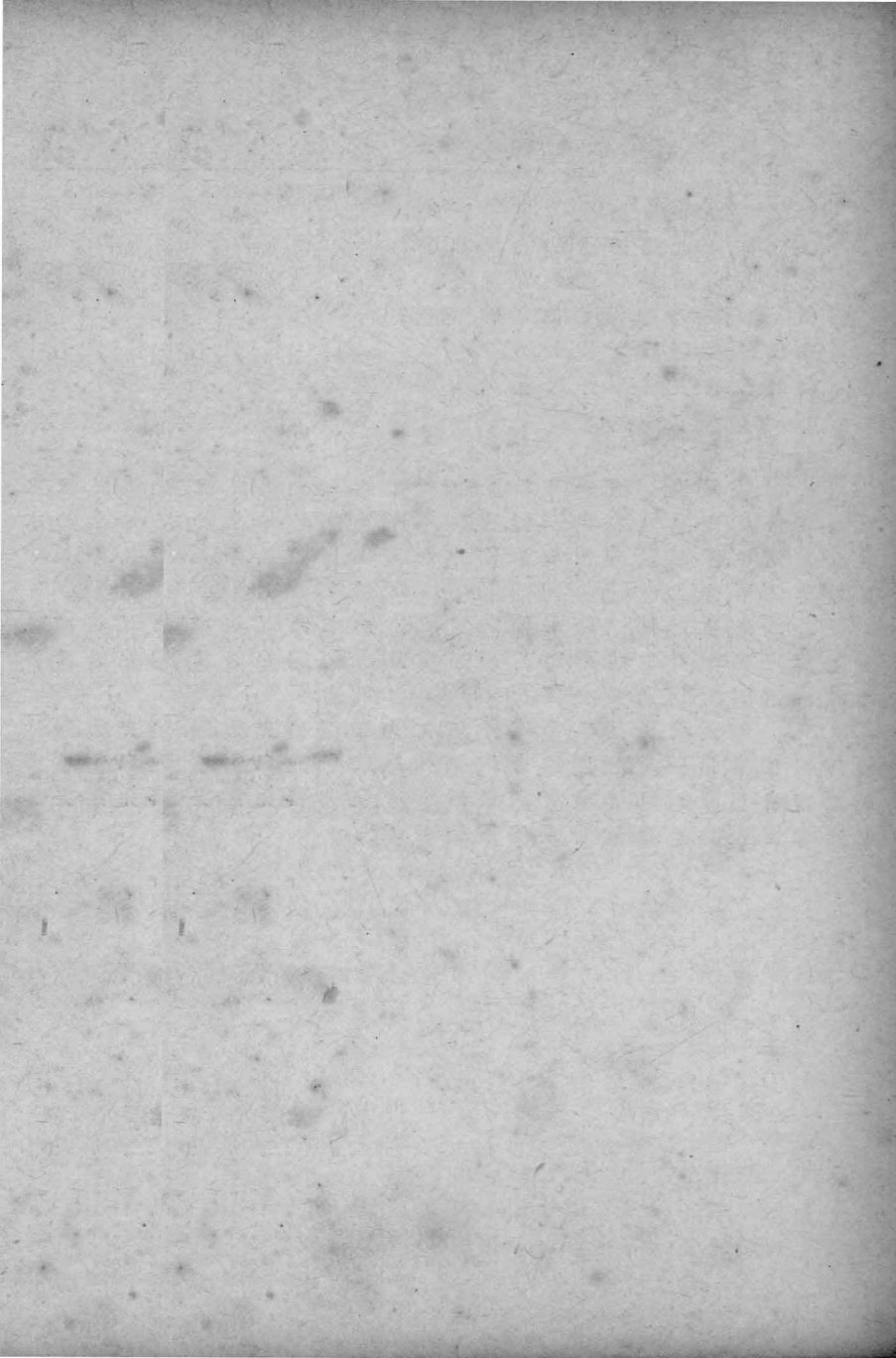
放射性物質之原子，可漸次變為較簡單之原子。

實 用 題

1. **放射性。** 裹一乾片於黑紙之中，取一煤氣燈之紗罩，置於乾片感光膜之一側，將紗罩壓扁，然後封之於不透光之匣中，歷一星期後，取出乾片而顯其像，將見片上留有紗罩之影。

2. **X線器械。** 若學校之實驗室內未備X線器械，則通常可得之於醫院中，醫生或牙醫，或有X線之設備，彼將向汝說明乾片及螢光鏡(fluoroscope)之用途。

3. **氖氣廣告燈。** 考察氖氣之光帶而與光帶圖比較，以何色最為顯著？考察路旁街頭用玻璃管充以氖氣製成之廣告燈，比較此等玻璃管與蓋斯勒管，使其發光之高壓電流如何獲得？此種廣告電燈有何優點？



附 錄

度 量 衡 表

長 度

12 吋 = 1 呎 (ft.)

3 呎 = 1 碼 (yd.)

$5\frac{1}{2}$ 碼 = 1 杆 (rod)

40 杆 = 1 浪 (furlong)

8 浪 = 1 法定哩 (5280 呎)

體 積

1728 立方吋 = 1 立方呎

27 立方呎 = 1 立方碼

144 立方吋 = 1 板呎 (board foot)

128 立方呎 = 1 堆 (cord)

常 衡

16 兩 = 1 磅

2000 磅 = 1 短噸

2240 磅 = 1 長噸

弧 度

60 秒 = 1 分

60 分 = 1 度

90 度 = 1 象限

4 象限 = 1 週

液 量

- 4 汲 (gill) = 1 呷 (pint)
 2 呷 = 1 夸 (quart)
 4 夸 = 1 加侖 (gallon)
 $31\frac{1}{2}$ 加侖 = 1 罈 (barrel)
 2 罈 = 1 桶 (hogshead)

時 間

- 60 秒 = 1 分
 60 分 = 1 小時
 24 小時 = 1 日
 365 日 = 1 年

萬 國 通 制

在此制中,基本單位爲米 (meter, 米突, 公尺), 乃長度單位也。容量之單位升 (liter, 公升), 與重量之單位克 (gram, 格蘭姆, 公分), 皆由此基本單位推得。其他一切單位, 皆係此三者以十遞乘之倍數, 及以十遞分之小數。在一切實用方面, 一立方分 (decimeter, 公寸) 等於一升, 而 1 升之水重 1 斤 (kilogram, 公斤)。

長 度 單 位	容 量 單 位	重 量 單 位
耗 (公釐) = 0.001 呎	耗 (公撮) = 0.001 呷	耗 (公絲) = 0.001 克
厘 (公分) = 0.01 呎	厘 (公勺) = 0.01 呷	厘 (公毫) = 0.01 克
分 (公寸) = 0.1 呎	分 (公合) = 0.1 呷	分 (公釐) = 0.1 克
呎 (公尺) = 1 呎	呷 (公升) = 1 呷	克 (公分) = 1 克
寸 (公丈) = 10 呎	寸 (公斗) = 10 呷	寸 (公錢) = 10 克
尺 (公引) = 100 呎	尺 (公石) = 100 呷	尺 (公兩) = 100 克
杆 (公里) = 1000 呎	杆 (公乘) = 1000 呷	杆 (公斤) = 1000 克

1 斤 = 1 立方厘。1 立方厘之水重 1 克。

重要之等值式

$$1 \text{ 呎} = 39.37 \text{ 吋} \quad (1 \text{ 吋} = 2.54 \text{ 釐})$$

$$1 \text{ 呎} = 2.2 \text{ 磅略} \quad (1 \text{ 磅} = 453.6 \text{ 克})$$

$$1 \text{ 呎} = 1.06 \text{ 夸} \quad (\text{liquid quart})$$

$$1 \text{ 立方呎之水} = 62.4 \text{ 磅}$$

$$1 \text{ 氣壓} = \text{每方吋 } 14.7 \text{ 磅}$$

$$= \text{水銀柱 } 76 \text{ 釐} \quad (30 \text{ 吋})$$

$$= \text{水柱 } 1034 \text{ 釐} \quad (34 \text{ 呎})$$

$$1 \text{ 英國熱單位} = 252 \text{ 卡}$$

$$= 778 \text{ 呎磅}$$

$$1 \text{ 馬力} = \text{每分 } 33000 \text{ 呎磅}$$

$$= \text{每秒 } 550 \text{ 呎磅}$$

$$= 746 \text{ 瓦} = \frac{3}{4} \text{ 瓩略。}$$

市用制與萬國通制比較表

(譯者附)

$$1 \text{ 市尺} = \frac{1}{3} \text{ 公尺} \quad (1 \text{ 公尺} = 3 \text{ 市尺})$$

$$1 \text{ 市斤} = \frac{1}{2} \text{ 公斤} \quad (1 \text{ 公斤} = 2 \text{ 市斤})$$

$$1 \text{ 市升} = 1 \text{ 公升}$$

計算用之簡便規律

$$\text{三角形之面積} = \frac{\text{底} \times \text{高}}{2}$$

$$\text{圓周} = \pi \times \text{直徑} = 2\pi \times \text{半徑}$$

$$\text{圓面積} = \pi \times \text{半徑}^2 = \frac{\pi}{4} \times \text{直徑}^2 = 0.785D^2$$

$$\text{球之體積} = \frac{4\pi \times \text{半徑}^3}{3} = \frac{\pi}{6} \times \text{直徑}^3 = 0.524D^3$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{球} \\ \text{圆柱} \end{array} \right\} \text{之體積} = \text{底面積} \times \text{高}$$

$$\pi = 3\frac{1}{7} = 3.14$$

軟銅線之耗阻表

B&S標 單號數	直徑之毫數 d	面積之圓毫數 d ²	在20°C或68°F 時每1000呎之 歐數	B&S標 單號數	直徑之毫數 d	面積之圓毫數 d ²	在20°C或68°F 時每1000呎之 歐數
1	289.30	83,694	0.1237	21	28.462	810.10	12.78
2	257.63	66,373	0.1560	22	25.347	642.40	16.12
3	229.42	52,634	0.1967	23	22.571	509.45	20.32
4	204.31	41,742	0.2480	24	20.100	404.01	25.63
5	181.94	33,102	0.3128	25	17.900	320.40	32.31
6	162.02	26,250	0.3944	26	15.940	254.10	40.75
7	144.28	20,816	0.4973	27	14.195	201.50	51.38
8	129.49	16,509	0.6271	28	12.641	159.79	64.79
9	114.43	13,094	0.7908	29	11.257	126.72	81.70
10	101.89	10,381	0.9972	30	10.025	100.50	103.0
11	90.742	8,234.0	1.257	31	8.928	79.70	129.9
12	80.808	6,529.9	1.586	32	7.950	63.21	163.8
13	71.961	5,178.4	1.999	33	7.080	50.13	206.6
14	64.084	4,106.8	2.521	34	6.305	39.75	260.5
15	57.068	3,256.7	3.179	35	5.615	31.52	328.4
16	50.820	2,582.9	4.009	36	5.000	25.00	414.2
17	45.257	2,048.2	5.055	37	4.453	19.82	522.2
18	40.303	1,624.3	6.374	38	3.965	15.72	658.6
19	35.890	1,288.1	8.038	39	3.531	12.47	830.4
20	31.961	1,021.5	10.14	40	3.145	9.89	1,047.

在此表中，將見每加三號，相當於耗阻加倍。例如13號線之耗阻，約大於10號線二倍。

在種種壓力下水之沸點

絕對壓力 磅數/方吋	華氏溫度	攝氏溫度	絕對壓力 磅數/方吋	華氏溫度	攝氏溫度
1	102°	39°	20	228°	109°
3	142°	61°	25	240°	116°
6	170°	77°	30	250°	121°
10	193°	90°	40	267°	131°
14.7	212°	100°	50	281°	138°

相對濕度百分數表

乾球溫度 計華氏度數	乾濕球兩溫度計之差數												
	5.0°	6.0°	7.0°	8.0°	9.0°	10.0°	11.0°	12.0°	13.0°	14.0°	15.0°	16.0°	17.0°
60°	73	68	63	58	53	48	44	39	34	30	26	22	18
61°	73	68	63	58	54	49	44	40	35	32	27	23	19
62°	74	69	64	59	54	50	45	41	37	32	28	24	20
63°	74	69	64	60	55	50	46	42	37	33	29	25	21
64°	74	70	65	60	56	51	47	43	38	34	30	26	22
65°	75	70	66	61	56	52	48	44	39	35	31	27	24
66°	75	71	66	61	57	53	48	44	40	36	32	29	25
67°	75	71	66	62	58	53	49	45	41	37	33	30	26
68°	76	71	67	62	58	54	50	46	42	38	34	31	27
69°	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	32	28
70°	77	72	68	64	59	55	51	48	44	40	36	33	29
71°	77	72	68	64	60	56	52	48	45	41	37	33	30
72°	77	73	69	65	61	57	53	49	45	42	38	34	31
73°	78	73	69	65	61	57	53	50	46	42	39	35	32
74°	78	74	70	66	62	58	54	50	47	43	40	36	33

此表係爲迅速強迫通風而計算。

復習問答題與計算題

第一章

1. 於一九二八年時，有一飛機自羅馬飛至巴西，行程 4600 哩，經過 48 小時，問平均速率 (a) 用每小時若干哩表之爲何？(b) 用每小時若干杆表之爲何？

2. 百米賽跑之記錄爲 10.4 秒，問同速之百碼賽跑所需時間爲何？

3. 一水槽長 45 呎，寬 30 呎，其中所貯之水深 20 呎，問以體積 3 呎之石塊投入槽中以後，水深當爲若干？

4. 試求 (a) 一 10 克銅砝碼之體積；(b) 一 10 磅銅砝碼之體積。

5. 1 呎之水，必須加入若干立方呎之濃硫酸，始可使所得之稀硫酸，其密度爲每立方呎 1.3 克？

6. 一鋼球之直徑為1呎,若其密度為每立方呎488磅,試求此球之重量。

7. 有一金屬管,重10.1斤。管長10呎,其外直徑為13呎,而其內直徑為5呎。求此金屬之密度,此係何種金屬?

第二章

1. 畫(a)一槓桿可用以舉重較速於力點之移動者;
(b)一槓桿其機械利率為1.5者。

2. 有一8磅之力,由手加於一掃帚柄之A處(圖594),又有一12磅之力,由手加於掃帚柄之B處,A與B相距16吋,問掃帚觸地板之處,抵抗力之大小為何?此三力皆視為平行者。

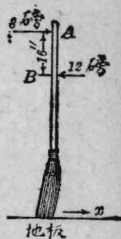


圖 594 掃帚。

3. 有一長16呎之樑,重180磅,關於A與B二支點上,A離樑端3呎,而B離樑端4呎。一木匠執離A最近之一端,欲舉此樑離開A點,必須用力幾何?

4. 有二人運送一200磅之負荷,懸於一長10呎之桿上,A能較B多負擔40磅,問懸掛之點離A若干遠?

5. 一等臂槓桿長16吋,其各端懸一10磅之砝碼,當槓桿成水平之時,各力矩為80,使此槓桿在其支點上旋轉,則此二力矩皆漸次減少其值,用圖表示此槓桿當(a)各力矩為零時之位置;(b)各力矩為40時之位置。

6. 已有二滑車,各含輪二,試繪圖表示可用此一滑車舉重之二法,何種排列可使汝用較少之力,舉等重之物?

7. 一向下之力80磅,加於長6呎之棒之一端,欲舉起在棒他端之負荷500磅。若棒之粗細均勻,而重量為20

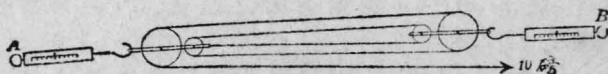


圖 595 用彈簧秤以測A與B。

磅，則支點必須在離負荷若干遠之處？

8. 以 10 磅之力，拉繩之不束之一端（圖 595），試求 A 與 B 二彈簧秤上所示度數之差。

9. 有一負重之運貨車（圖 596），若其重心在地面以上 35 吋，則當其被驅上一傾斜 45° 之山坡時，將顛覆否？兩側車輪之距離為 56 吋，按比例尺作圖，證明汝之答語。

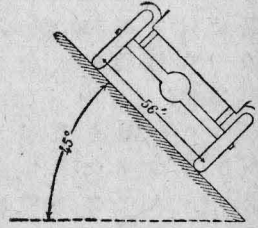


圖 596 斜坡上之運貨車。

第 三 章

1. 欲用軸轆舉一 600 磅之石，必須有 84 磅之力，加於其 14 吋拐臂上。問搖動拐臂之人，於拐臂旋轉一週之際，所作之功為若干？若將拐臂加長，則此人於拐臂旋轉一週之間，所作之功減少否？說明其理。

2. 繪出數種機械，其效率幾為 100% 者，而一一說明其功之損失在於何處。

3. 當一汽車方在按每小時 30 哩之速率，疾行於平坦之路上時，所用之馬力為何？假定所有摩擦力合計 150 磅。

4. 當一車方在傾斜之軌道上被曳而起時，繩索上之張力為 120 磅；但當其下行於此軌道上時，繩上之張力祇變為 90 磅。問 (a) 使此車止於此斜面上，所需之力為何？(b) 摩擦力為若干磅？

5. 一木材重 1200 磅，長 66 呎，在冰凍之地上曳之，若平均摩擦係數為 0.35，則曳經 $\frac{1}{2}$ 分鐘，所需之馬力為何？

6. 有一重 1000 磅之鋼樑，用三輪複滑車二具合成之滑輪系，使之升起 40 呎。繪一滑輪系，可使此樑升起而所用之力磅數最少者。若效率為 52%，則牽曳繩索之起重引擎，其所作之功為何？

7. 以圖 37 中所示之單滑輪系，舉起石灰一罐，試利用力，功，功率，以及能等諸名詞討論之。

8. 以起重機舉起一汽車之一輪離地，機所支持之重量，估計之為 720 磅。欲舉高 2 吋，須將機柄連按 18 次，機柄每按一次經過 6 吋。若加於柄之力為 20 磅，問此起重機之效率為何？

9. 一救火員重 160 磅，在 12 秒內奔上一 30 呎之梯，問其作功之率，(a) 以每秒若干呎磅計之為何？(b) 以馬力計之為何？若人之馬力，通常估計約為 0.1，則汝之第二答案合理否？

10. 有一勻稱之門，重 60 磅，高 80 吋，寬 30 吋，其對角線量得約長 86 吋，若將其一角舉起，直至此門立於其另一角上成平衡而止，則變門之位置，(a) 自 A 至 C 與 (b) 自 B 至 C ，如圖 597 所示，所作之功為何？(提示：門之重心已升起。)

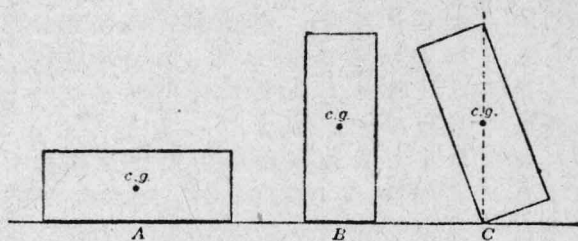


圖 597 使門傾側時所作之功。

第四章

1. 一長方水槽長 12 呎，濶 10 呎，問水壓於一側之全力，(a) 當槽中盛水深 2 呎時為何？(b) 當槽中水深倍於此數時為何？

2. 一童子體重 140 磅，其全身表面積約為 16.5 方呎。若此童子潛入淡水中深 8 呎之處，問其全身所受水之全力為何？

3. 於一九二七年,有一潛水者身穿鐵甲,深入鹹水中 360 呎,問加於此人身上之水壓力,以每方吋若干磅計之爲何?

4. 一木質圓柱浮標 (spar buoy, 圖 598), 其截面積爲 0.33 方呎,重 366 磅,此浮標用鍊縛於淡水湖底之水泥塊上,直立於水中,其在水面下之部分爲 24 呎,問鍊上之張力爲何?

5. 某物體之體積爲 1 立方呎,使之沉入一比重爲 1.25 之液體中,然後放之,若此物體在空氣中重 80 磅,則在液體中浮起抑沉下?說明計算之法。

6. 鋁一片與一鐵製砝碼,在天秤兩盤中成平衡,(a)若以此天秤及鋁鐵二物同浸於水中,則結果爲何?(b)若將此器械置於玻璃鐘內,而將空氣抽去,則結果爲何?

7. (a)一金屬之密度爲每立方呎 165 磅,問其比重爲何?(b)使此金屬沉入比重爲 1.03 之鹹水中時,其每立方呎之重量爲何?

8. 某金屬 45 立方呎,在水中權之,若其重量爲 330 克,則其比重爲何?

9. 有甲乙二種液體,甲之比重爲 0.8,而乙之比重爲 1.2,試求由甲種液體 24 克,與乙種液體 42 克所成混合液體之比重。

10. 某種木材 100 立方呎,其比重爲 0.75,浮於某種液體之中,其體積之十分之六,在水面以下,問此液體之比重爲何?

11. 花崗石一塊,長 2 呎,寬 2 呎,而厚爲 1 呎(比重爲 3),用雙輪複滑車二具舉之,若此石在水中之摩擦力爲 54 磅,則須以何方曳繩向下,始可將此花崗石在水中舉起?

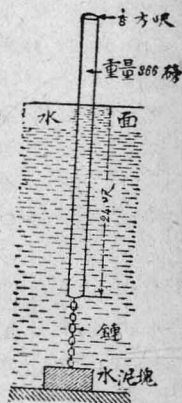


圖 598 錘標。

第五章

1. 電燈泡墮地而碎,有時謂之爲爆裂,“爆裂”一語用於此處是否得當,試一評之。

2. 華盛頓紀念碑高 550 呎,苟有一氣壓計自地面取至碑頂,則其所示之度數,有顯著之差別否?試算出確定之數字。

3. 當汝呼吸之時,空氣推入肺中抑係拉入肺中?說明空氣入肺之過程。

4. 壓上唧筒較優於吸上唧筒之處爲何?若有一井,其水平面在唧筒以下 50 呎,可用壓上唧筒抽出井中之水否?

5. 居屋給水自行設備時,常將水槽置於樓面以上,庶可不問唧筒之是否正在工作,而得固定之水頭,另有一種計劃,結果與此相同者,係利用置於地下室中之密不洩氣之鋼製水槽,問後法如何可得“水頭”?

6. 一鐘沉入水中,須沉至水面下何處,始可使閉於鐘內之空氣,其密度三倍於平時?

7. 一氣球胎,其容量爲 2 立方呎,須以一氣壓之空氣若干充之,始可達每方吋 45 磅之壓力?假定當壓力計所示度數,開始爲零時,球胎中含有一氣壓之空氣 2 立方呎。

8. 於一九一九年,有一英國飛行船,其容氣量爲 2,000,000 立方呎,曾第一次飛渡大西洋。(a)比較其氣袋中充滿氫時及充滿氦時所排空氣之重量。(b)比較此二種氣體充滿時之重量。(c)說明何以氫之“上昇力”較大於氦。

9 有一玻璃管,其腔細而且勻,下端封閉,中含長 8 吋之空氣柱,柱上有水銀一



圖 599 倒立含有空氣之玻璃管。

節，長 12 呎(圖 599)。若倒立此管，則空氣柱之長度將為若干？假定氣壓計所示度數為 76 呎。

第 六 章

1. 救火龍頭與城市蓄水池之水面，其高度必須相差幾何，始可在龍頭之口得每方吋 50 磅之壓力？

2. 有一 50 加侖之櫃，中含一氣壓之空氣，由導管通至自來水源，其壓力為每方吋 60 磅(壓力計所示者)。問有若干加侖之水，將流入櫃中？

3. 有一水沖輪其效率為 65 %，用於水降 20 呎之壩下。若每秒流經此沖輪之水，為 200 立方呎，則其所發之馬力為若干？

4. 耐亞嘎拉河中流過之水，在瀑布以上者，平均每秒 1,500,000 加侖(一加侖之水約重 8 磅)，而瀑布之水降約為 164 呎。

(a) 問此瀑布所有之馬力為何？

(b) 於一九二九年，瀑布近處之動力廠，所利用之馬力為 1,400,000。問此數占耐亞嘎拉瀑布可用功率總數之百分之幾？

第 七 章

1. 人體含有“減震組織”(shock absorber)甚多，以保護身體不受驟然震動之害。此等組織，其中有若干位於何處？當人自高處躍下而兩足著地時，彎膝可以減少震動，何故？

2. 試舉作用於下列各物上應力之種類：鋼琴之弦，引擎中之拐臂軸，煙囪，桌腳，皮帶，唧筒之活塞，以及衣服上縛牢鈕扣之線。

3. 彈簧秤上自零至 4 磅標誌處之實在距離，是否二倍於自零至 2 磅處之距離？試述應用於此例之定律。

4. 有一含氫氣之橡皮小氣球，置於空氣唧筒之接

受器下，而將氣球周圍之空氣抽去。試就氣球內氫分子及氣球四周空氣分子之效應，而說明其結果。

5. 一含氫氣之橡皮小氣球，浸於水中。說明發生於氣球內之壓力變更及分子作用。

6. 墨水及鉛筆之石墨著於紙上時，說明其作用之差別。

7. 將手巾搭於洗手盆之邊上，一端浸於水中，其較長之部分懸於盆外，則盆中之水，即由手巾流出，何故？

第八章

1. 二力各為 12 磅，作用於某定點。問(a)其合力之最大值與最小值為何？(b)二力交成何角，可得 12 磅之合力？

2. 一車其負重時之重量為 4800 磅，以纜曳之上一過山鐵路。若路軌每伸長 10 呎，升高 1 呎，試用力之分解原理求纜上之張力。

3. (a)當列車方在疾駛時，決定雨點在車窗上所行路徑之二速度為何？(b)此路徑何以永不恰成水平？(c)當此路徑與窗底成角 45° 時，比較二速度之大小。

4. 欲將一桶吊起，有時用穿於一環之二鍊，套於桶底之鈎上，如圖 600 所示者然。今圖中兩鍊間之角若為 120° ，

而桶內有鹽 200 磅，則將桶吊起時，各鍊上之張力為何？若將二鍊縮短，則(a)對於各鍊上張力之影響為何？(b)對於直鍊上張力之影響為何？(c)二鈎之一，處於桶底之水平力受何影響？

5. 一童子曳一負重之橇前行，其手在橇之水平面以上 3 呎處。當彼用 4 呎長之繩時，所費曳橇之力，是否必須較用 6 呎長之繩時為大？用二圖

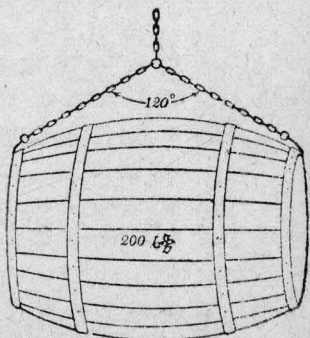


圖 600 以二鍊吊起一桶。

及簡短之說明證明汝之答案。

6. 一飛機自高 2000 呎之處，下降至 200 呎處，其所取路徑幾成直線，當其方降之際，地上之影移動 800 碼，求此飛機在下降中所經之實在距離。假定太陽係在當頂。

7. 圖 601 中之 $A, B,$ 及 $C,$ 順次成角 $45^\circ,$ 且代表一拐臂柄之三位置。若以 12 磅之水平力加於 $A,$ 適能使拐臂轉動，則以如何大小之水平力加於 $B,$ 即可使之轉動？當柄在 C 時，何以不能用水平力使其旋轉？

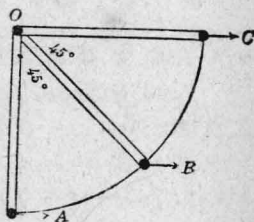


圖 601 拐臂柄之三位置。

第 九 章

1. 一汽車方按每小時 15 哩之速率前行時，駕車者按加速機而使其車加速 2 秒秒呎，問在 11 秒之末，此車之速率為每小時若干哩？

2. 由實地試驗，知 10 節之列車按每小時 60 哩之速率前行時，可用空氣制動機在 700 呎之距離內使之停止。問此機使列車減速若干秒秒呎？

3. 一打樁機之重錘先落下 5 呎，後落下 15 呎，問其第二次擊樁時，移動之速率較之第一次擊樁時大若干？

4. 一電車頭自靜止發動，在 30 秒之內，可達每小時 60 哩之速率。(a) 求其加速之秒秒呎數。(b) 在離出發點若干呎之處，獲得其終速度？

5. 一來福槍彈向上直射，若其速率為每秒 2000 呎，則其上昇之時間有若干秒？其升起之高度為若干哩？(空氣之抵抗不計，否則所得結果將大為減少。)

6. 自每小時前行 30 哩之列車之後月台，離地 9 呎之處，墜下一包裹。問此包裹在未達地面以前，沿鐵軌前行若干遠？

7. 航空母艦雷克新登號(Lexinton), 其甲板上近艦首之處, 有一長 50 呎之軌道, 飛機可自此軌離艦起飛, 每小時速率 50 哩, 問 (a) 當在軌道上時, 飛機之平均加速度爲何? (b) 若艦每小時行 30 哩, 則飛機當離軌道時之實速爲何?

第十章

1. 下列諸事, 如何各可證明惰性:
 (a) 以錘抄煤, (b) 投擲棒球, (c) 急奔而遠跳, (d) 拍去毯上之灰塵?
2. 3 磅之力, 使重 16 磅之物體所得之加速度爲何?
3. 一人方立於赤道之上, (a) 此人因地球繞軸旋轉而移動之速率爲何? 地球之直徑約爲 8000 哩, 以每小時若干哩表答數.
 (b) 若地球旋轉之速, 大至一日之長僅爲一小時又半, 則在赤道之人即無重量, 說明其理.
4. 有一 10 克之鋼球, 止於長 100 呎之光板上, 板之一端昇高 5 呎.
 (a) 平行於板而作用於球之力爲何?
 (b) 當球在板上滾下時, 其加速度爲何?
5. 試舉本書中所未曾提及之三例, 說明可供某種實用之反作用力.
6. 一物體重 49 克, 由靜而動, 每秒加速 20 秒².
 (a) 使此物體得此加速度之力爲何(克數)?
 (b) 此物體在動後 10 秒之末, 其速度爲何?

第十一章

1. 一物體自由落下經 4 秒鐘, 當其着地之一瞬間, 其所有之能爲 1280 呎磅, 此物體之質量爲何?
2. 一棒球重 0.33 磅, 向上直投, 速度每秒 96 呎, 在昇起 2 秒之末, 其動能爲何?
3. 一童子重 100 磅, 開始在冰上滑走, 速率每秒 20 呎, (a) 問其初用之能爲何? (b) 若因摩擦作用而生之阻力爲

40 磅,則彼滑走若干遠而停止?

4. 已知一鎗彈之重量及其槍口速度,並知鎗膛之長度及火藥之平均力,如何可以計算鎗彈之“出口能”?試述二種算法。(出口能爲鎗彈離來福鎗口一瞬間之動能。)

5. 自來所發見之隕石(即流星),最大者約重 36 噸,其着地時之速率,揣想之約爲每秒 10 哩,問其動能以呎噸計之爲何?(答數祇須有效數字三位,其後加零可矣。)

6. 有一 1 磅之球在 2 秒內落於地上,跳回 50 呎之距離,問此球失去之機械能爲若干?所失之能變爲何物?

7. 一人用滑輪系將一 400 磅之石塊,舉高 12 呎時,其所曳下之繩長 48 呎,所用之力爲 150 磅。

(a) 此人所作之功爲若干?

(b) 給與石塊之勢能爲若干?

(c) 此滑輪系之效率爲何?

8. 一 40 克之質量,方在按每秒 10 呎之速度移動,若以 100 克之力反抗之,則在若干秒內可使其停止?

第 十 二 章

1. 浴水之溫度爲 40°C . 時,手入其中似覺其冷抑覺其熱?說明計算之法及理由。

2. 氮之溫度至 15°K . 時即變成固體狀態,此溫度在攝氏表上與華氏表上爲若干度?

3. 當火藥爆發時,試舉其發生壓力之二理由。

4. 一鋼卷尺長 50 呎,在 20°C . 時準確無誤。(a) 在 -10°C . 時其長爲何?(鋼之線膨脹係數約爲 0.000013 每度 C .) (b) 用此卷尺在 -10°C . 時量某定線,其外觀之長度較其真長爲短抑長?

5. 一玩具氣球之體積,在 17°C . 時爲 1200 立方呎,假定壓力無變化,試求其體積變成 1250 立方呎時之攝氏溫度。

6. 一中空之壓煮器,其蓋密閉,其時器內空氣之溫

度爲 20°C . 若連於此器之壓力計, 在一氣壓時所示之度數爲零, 則當空氣熱至 200°C . 時, 其所示之度數爲何?

第十三章

1. 舉出優良之隔熱體材料三種, 而各述其繫乎不良導熱率之用途.

2. “熱空氣上昇而冷空氣進以代之”一語, 試評判之.

3. 以輻射器煖室時, 熱之傳播三法, 各有何用?

4. 以細眼鐵紗一塊, 置於本生燈上方約三吋之處, 而將煤氣開通. 若在紗之上方或下方點火, 火燄終不穿過紗眼, 說明其理. 試在百科全書中查閱礦工所用之達威安全燈 (Davy's lamp) (圖 602).

5. 二水槽 A 與 B (圖 603) 中, 彼此充以 4°C . 與 0°C . 之水, 其時二水槽間之 C 與 C' 二活栓, 皆關閉不通.

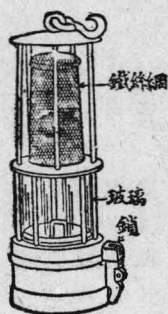


圖 602 達威安全燈.

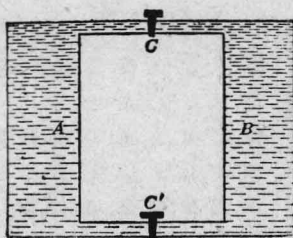


圖 603 有二活栓 C 與 C' 之二水槽.

(a) 若將此二活栓同時開放, 則水將流向何方? 說明其故.

(b) 若在 A 中之水, 其初溫度爲 50°C . , 而 B 中之水之初溫度爲 90°C . , 則循環之方向爲何? 說明其理.

6. 用分子說解釋:

- (a) 鐵棒中熱之傳導。
(b) 輻射計之作用(圖 209)。

第十四章

1. 鋅能溶解於水銀中。試說出一方法，可用以精煉水銀，除淨其中所含之鋅。
2. 鉛之熔解熱為 5.6 一語何解？熔解一磅之冰所需之熱，14 倍於熔解一磅之鉛所需者，確否？說明其理。
3. (a) 若等重之鉛與鋅，皆熱至 100°C ，而分別投之入二器，器中盛等量之水，溫度為 10°C ，則在何器中水之溫度上昇較高？說明其理。
(b) 若將上述程序顛倒，即水之原溫度為 100°C ，而二金屬塊之溫度為 10°C ，則結果將如何？說明之。
4. 在何種情形之下，用蒸汽暖室所得之結果，較用熱空氣或熱水所得者為佳？說明其理。
5. 若欲使水蒸發迅速，以增加室內之溫度，則催促其程序可用之三法為何？
6. 管理火爐之火夫，若有鐵球一枚，水一桶，溫度計一具，以及秤數桿，即可查驗爐柵上各點火之溫度。問其進行之方法為何？
7. 在西伯利亞之若干地方，溫度約在華氏零度下 60 度，其地穿着冰鞋不能立足於冰上，說明其故。
8. 大雪將降之前，往往覺空氣之溫度升高，說明其理。
9. 在 10°C 之水，欲以蒸汽吹入其中，使溫度昇至 40°C ，每缸之水，需蒸汽若干？
10. 溫度在零下 16°C 之冰 50 克，欲使其變為 120°C 之蒸汽，求所需之熱之總量。(假定冰與蒸汽之比熱為 0.5)。
11. 一火爐燃燒酒精 150 克，在 10 分鐘內，將 0°C 之冰 4500 克變成 100°C 之水。若酒精之燃燒熱(heat of combustion)為每克 7400 卡，則所生之熱用及者為百分之幾？

12. 以 100°C . 之蒸汽, 加熱於重 35 斤之鐵管, 自 20°C . 至 100°C ., 須用蒸汽若干克?(假定鐵之比熱為 0.1.)

第十五章

1. 試述指明熱係能之一種之三事。
2. 火車頭汽鍋之下列各部分, 各有何用: 爐柵, 火管, 驗水計, 安全瓣, 蒸汽壓力計, 節氣瓣?
3. 火車頭方按固定速率疾行時, 欲決定其實馬力, 必須先知何等事實? 舉出可用以演算之公式。
4. 試將蒸汽沖輪之主要原理, 與往復引擎之主要原理相比, 何種引擎運轉之速率較高? 何故?
5. 一動力廠之汽鍋與蒸汽沖輪之合成效率為 22%, 所發之馬力為 5000, 若此動力廠每日開機 9 小時, 則煤之每日消費量為何? 一磅之煤可發 14,000 英國熱單位之熱。
6. 燃料油每加侖約可供給 150,000 英國熱單位之熱, 若有一狄塞耳引擎 (Diesel engine) 每小時消費此油 30 加侖, 則其所發之馬力為何? 假定此引擎之效率為 24%。
7. 一負重之雪車, 以 12 匹之力曳之行於冰上, 在此雪車曳經 100 呎之距離後, 若由摩擦作用而生之熱一無損失, 則在 0°C . 冰熔解者若干克?
8. 自 16 吋口徑之砲射出之鋼彈, 約重一噸, 若彈鋼板時之速度為每秒 5000 呎, 則砲彈之溫度升高若干? 定能之百分之二十用於使彈發熱。(鋼之比熱為 0.12.)

第十六章

1. 試舉磁性物質三種及非磁性物質三種之名。
2. 棒磁石加熱至高溫度, 即失去其磁性, 說明之。
3. 磁石引鐵, 同時鐵亦引磁石, 此時如何可以證之? 其作用如何解釋之?

4. 用棒磁石擦鋼片，使之磁化，磁石何以不失其磁性？
5. 世界上多數地方之測量家，必須改正其羅盤所示之度數，何故？
6. 一小棒磁石平置於軟木塞上，浮之於水盆中，此事如在北半球爲之，軟木塞有忝向盆之北側之傾向否？表明所持意見之理由。
7. 剪刀常照同一掛法懸於同一鈎上，日久變成磁化，何故？

第十七章

1. 試舉製造無線電收音機時，普通所用絕緣物質之名稱數種。
2. 摩擦玻璃棒使其帶電時所用之能，變爲何物？
3. 工場之空氣中充滿易燃之細塵者，有時起不可思議之火，運轉機器之皮帶能使此火發生否？說明其理。
4. 如何可用玻璃棒一根，絲巾一塊，以及驗電器一具，查驗棉線之導電率？
5. 以梳理髮，有時有火星跳至手指，此現象往往發生於寒冷之室內，何故？梳上有陽電荷或陰電荷否？
6. 自飛機播下帶電之沙，可以消霧，此事已由數次成功之實驗證明，汝能說明沙上電荷之作用否？
7. 若將自來水筆之管，在羊毛衣袖上摩擦，然後移近驗電器之球頭，此器已帶有陽電在前，則兩箔將張開更大抑落下？用電子說解釋之。
8. 繪二圖，表示用二絲線平懸之鐵棒，如何可由誘導作用暫時(a)使受磁化，(b)使其帶電？就此二種情形而論，鐵棒中各有何現象，或在發生？

第十八章

1. 若加於電車上之電壓爲 550 弗，而流經車廂發

熱器(car heater)之電流爲5安,則此發熱器之耗阻爲何?

2. 在某電路中之電流,欲保其不變,若當電壓爲50弗時,15歐之耗阻可供給合宜之電流,則當電壓落至40弗時,所需之耗阻爲何?

3. 試舉影響電線耗阻之四要因。

4. 某電線之耗阻爲12歐,求同質料之電線,(a)其長加倍者;(b)長度相同惟截面積加倍者;(c)長度相等惟直徑加倍者之耗阻。

5. 鎳鉻鋼(nichrome)爲比阻約6倍於銅之齊,問B. & S. 標準(B. & S. gauge) 18號之鎳鉻鋼線100呎,其耗阻爲何?(參閱附錄中之銅線表。)

6. 長途電話用之電纜,通常由1212雙之19號銅線所成,(a)自紐約至舊金山(2800哩)之單線,其耗阻爲何?(b)有此長度之電纜,其耗阻爲何?

第十九章

1. 弧燈六盞,各需電流9安,各有15歐之耗阻,串聯於耗阻爲5歐之電線上,求全耗阻及使燈在此電路中所需之電壓。

2. 一6安之電流,供給並聯之熾熱燈12盞,燈之耗阻各爲230歐。(a)此電路之電壓爲何?(b)諸燈之合阻爲何?

3. 一並聯電路由2歐,4歐,5歐,以及10歐之四支路所成,有150弗之電動力加於其上。(a)各支路中流過之電流爲何?(b)經過合成電路之總電流爲何?

4. 一電路有二支路,其上各自有4安與6安之電流流過,若第一支路之耗阻爲4歐,則(a)第二支路之耗阻爲何?(b)二支路之合阻爲何?

5. 如何可用4歐,8歐,以及12歐之線圈各一,連於一處,使其合阻爲11歐?繪圖示之。

6. 揣想一乾電瓶在中段鋸開,而顯出其圓截面,繪出此圖,註明其各部分。

7. 欲自 6 電瓶得極大之電流，流過 1 歐之外阻，則應串聯抑或並聯？假定各瓶有電動力 1.6 弗及 1.2 歐之內阻。說明算法。

8. 設有電燈若干，共需電流 12 安，離發電機 500 呎，且若線降 (line drop) 必不可超過 2.6 弗，則須用若何粗細之銅線？

9. 有二乾電瓶，各有 1.5 弗之電動力及 0.2 歐之內阻，串聯之以送電流經過並聯之 4 歐及 6 歐線圈各一。求 (a) 此二線圈之合阻，(b) 電池中流出之電流，(c) 各線圈中之電流。

第二十章

1. 何以電磁石較永久磁石通用？試舉電磁石在不能用永久磁石之處之二種用途，說明其故。

2. 一電磁石係以串聯之二乾電瓶運用之。若用電瓶四個，則磁石之強度加倍否？說明其理。

3. 一電鈴有 10 歐之耗阻，需電流 0.2 安以鳴之。電路之其餘部分有 0.1 歐之耗阻，電力為 1.5 弗而內阻為 0.05 歐之乾電瓶一具，足以鳴此鈴否？說明算法。

4. 一鐵鑄之物，欲先鍍以銅，然後塗以鎳。若每次所用之電流為 10 安，則欲使各金屬有 8 噸堆積於其上，其留於鍍槽中之時間，各須若干？(1 噸 = 28.35 克。)

5. (a) 充電之蓄電瓶，有何相同於簡單賈法尼電瓶 (Galvanic cell) 之處？(b) 蓄電瓶中果蓄有電否？(c) 欲使蓄電瓶之耗阻微小，其構造當如何？

6. 有一 12 瓶之蓄電池，其電動力為 24 弗，而內阻為 0.06 歐。若用 20 安之電流使之充電，則必須加於其上之電壓為何？

7. 熾熱燈 20 盞，各需 112 弗之電流 0.4 安，用蓄電池使其發光。問需電動力各為 2 弗，而內阻各為 0.004 歐之蓄電瓶若干？

第二十一章

1. 500 瓦之電烘器一具及 40 瓦之電燈五盞，在 115 弗之電路上使用 2 小時，若電費每瓦時爲金洋 9 分，試求所需電流之代價。

2. 一內阻可以不計之 6 弗蓄電池，與並聯之 3 歐線圈及 5 歐線圈各一相連，此二線圈所用之功率爲何？

3. 一弧燈連於 45 弗之電路上，有 9 安之電流經過其中，問在 3 小時內此燈所發之熱若干？

4. 註明 110 弗之 50 瓦電燈，若有一線圈串聯於其上，以保其電流不變，即可用於 220 弗之電路，此線圈之耗阻應爲何？

5. 若能一無損失，則自一瓦時可得熱若干卡？

6. 以 20 歐之發熱線圈，連於 110 弗之電路上，加熱於 240 克之水，使自 20°C 熱至沸點，若熱無損失，則須經若干時間？

7. 熾熱燈六十盞，放光時各有耗阻 220 歐，並聯於 110 弗電路之上，使此諸燈發光之發電機，若於傳遞電能時有 750 瓦之損失，則其瓦容量爲何？

8. 以 50 歐之耗阻橫連於 50 弗之電線，或以 100 歐之耗阻橫連於 100 弗之電線，使電車中溫暖，何者所發之熱較多？

9. 若電能之價每瓦時爲金洋 1 角，試比較於 55 弗電路上，及 110 弗電路上，使用 55 歐之電熱器每小時之費用。

10. 近來製造之軍用探照燈，用 25 瓦之電能時，可發 300,000,000 燭光。(a) 此燈自 110 弗電線取用之電流爲何？(b) 其效率以每燭光若干瓦計之爲何？

11. 一 50 瓦之電燈泡，置於 10°C 之水 400 克中時，使水在 8 分鐘內熱至 18°C ，此燈泡用爲發熱器，其效率爲何？

第 二 十 二 章

1. 直流發電機之下列諸部分,各述其用途:發電子,場線圈,電刷,整流子。
2. (a)直流發電機之勵磁電流及(b)交流發電機之勵磁電流,通常如何得之?
3. 用簡略之圖,說明順捲發電機及分捲發電機之差別。
4. 畫一簡單電燈電路圖,指明發電機,總線,若干電燈,一安計,以及一弗計之地位,安計及弗計所置之地位,須使其可示總電流及極電壓之度數,發電機之各部,不必詳細畫出。
5. 以1200馬力之引擎運轉之發電機,假定其效率為80%,則其所發之電流,可供給各需110弗之電流0.4安之電燈若干盞?
6. 一瀑布高25呎,每分鐘流過其上之水為550立方呎,若水車與發電機之合成效率為75%,則可自此瀑布獲得若干瓩?
7. 一電動機,其電動子之耗阻為0.3歐,流過之電流為15安,而外來電壓為110弗,求其中之反電動力。
8. 有半馬力之電動機一具,自110弗之電線收納電流4安,問其效率為何?
9. 若電價每瓩時金洋6分,則第8題中所述之電動機,運轉一星期(48小時),其費用為何?

第 二 十 三 章

1. 電磁誘導作用與靜電誘導作用,有何相同之處?有何不同之處?
2. 下列數物,利用電磁誘導作用者為何:安計,變壓器,發電機,聽話器,電鈴?
3. 電可生磁,而磁可生電,試再舉關於電之可逆作用之其他二例。

4. 說明電話送話器及聽話器之作用,用圖表示各器之內部。

5. 一變壓器用以減低家用電燈電路之電壓,自550弗至110弗。當諸燈方在取用9安之電流時,流經此變壓器一次圈中之電流爲何?

6. 一變壓器連於550弗之電線,其一次圈中有電流5安流過。若此變壓器之效率爲95%,則其二次圈上有若干電燈方在放光?假定各燈需110弗之電壓及0.4安之電流。

第二十五章

1. 一燈船備有水底鈴及霧號 (foghorn)。某船之船長,在聽話器(圖604)中,聞水底信號4秒以後,始聞號角之聲。假定音在空氣中每秒行1100呎,而在水中每秒行4800呎,試計算船長與燈船之距離。

2. 一善射者於開鎗4秒以後,聞鎗彈中之聲。若鎗彈之平均速度爲每秒1600呎,而空氣之溫度爲 22°C 。則此人立於離的若干遠之處?

3. 一峽谷寬5500呎,有直立之峭壁二。若有一人在此峽谷中開鎗,而聞自各壁來之二回聲,相隔6秒,則此人離較近之壁若干遠?

4. 一鈴其週率爲每秒振動150次,在水中鳴之,音在水中進行之速率,爲每秒4800呎。求此鈴所生之波長。

5. 一鈴在相距 $\frac{1}{4}$ 哩處所發之音,高於在相距一哩處所發者若干倍?

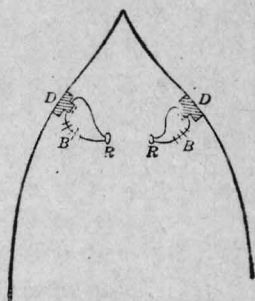


圖 604 附於船側之海底電話。

第 二 十 六 章

1. 人耳可聞之最低音,其週率約爲振動 30 次,而最高音之週率約爲 20,000 次,計算此二音之波長。
2. 一音叉每秒振動 256 次,以長 4 呎之氫管使其發音加強,求音在氫中之速度。
3. 某工廠之汽笛爲高 14 吋之閉管,(a)此笛所發之音波長若干?(b)當溫度爲 20°C . 時,一秒內有若干音波達耳?
4. 某提琴之絃所發之音,試述(a)改變其強度之一法;(b)改變其高低之二法;(c)改變其音色之一法。
5. 飛機引擎二具方按微有不同之速率運轉時,推進器之音有脈動效應,說明其故。
6. 開口風琴管須長若干,始可使其本音發爲中部 4 音(國際音調)?

第 二 十 七 章

1. 一紙片長 $3\frac{1}{2}$ 吋,寬 $2\frac{1}{2}$ 吋,平持於桌面以上一呎之處,在紙片以上 3 呎處之燈,射於桌上之紙影,其面積爲何?假定燈光係集中於一點者。
2. 一人注視離開 8 呎之小水池,見離彼 28 呎之街燈之映影,若彼之眼在水面以上 5 呎,則燈高若干?
3. 一平面鏡與地板斜交成 45° 之角,人立鏡前,其像望之似成水平,說明其故。
4. 離開 4 呎之電燈二盞,或離開 6 呎之同樣電燈 4 盞,可由何者得較佳之明度以供閱讀之用?
5. 四呎燭乃閱讀用之充分明度,如欲一可發 45 燭光之 50 瓦電燈,得此明度,則應置書於離燈若干遠之處?
6. 若自遠處物體例如太陽發來之光,落於凹鏡之上,則像成於何處?
7. 一凹鏡之焦點距離爲 8 呎,欲得一物體放大 4 倍之實像,此物體當置於何處?

8. 若一凹鏡之曲率半徑為 12 吋，離鏡 4 吋之處有一燭，求燭像之位置。

第二十八章

1. 繪一大圖，表示光線斜射而過下列各物時，所取近似之路徑：

(a) 有平行面之厚玻璃，

(b) 有 60° 角之三稜鏡，

(c) 實質之玻璃球。

2. 水之屈折率約為 1.33 而玻璃之屈折率約為 1.5 此二物質，何者之中，光行較速？說明其故。

3. 一測量家以其器械自 A 向 B 瞄準 (圖 605)，而察得因日光照於其視線近傍之塗漆旗竿，以致方向有誤。問其瞄準之點偏向何方？何故？



圖 605 一測量家將其器械 A 向目標 B 瞄準。

4. 繪一圖表示凸透鏡之主焦點處置一弧燈時，來自此鏡之光束。再畫一圖，表示弧光移向離鏡稍遠之一點時，自鏡發出之光束。

5. 有一焦點距離為 9 吋之雙凸透鏡，須將物體置於離鏡若干遠之處，庶可得 (a) 與物體同高之實像，(b) 高為物體三倍之實像？

6. 一熾熱燈懸離桌面 5 呎，燈與桌間插入一透鏡，在桌上造成一 4 倍於燈之像。(a) 所用者為何種透鏡？(b) 透鏡離燈若干遠？(c) 透鏡之焦點距離為何？

7. 一廓大鏡其焦點距離為 3 呎，持之於離一物體 2.7 呎之處，(a) 像將成於何處？(b) 擴大至若干倍？

8. 何種事實,使吾人斷定成於眼內網膜上之像,係倒立者?若此果確,何以各物在吾人看來,似皆正立?

9. 近視之人,其晶體透鏡係太厚抑係太薄?其焦點距離太長抑太短?可用凸透鏡或凹透鏡改正之否?

10. 某照相器之軟片,離透鏡 8 吋時,可以攝取遠處山景分明之影,若一人離此照相器 8 呎,欲照一相,則軟片離透鏡之遠近,必須有何變更?

11. 已有一短焦點透鏡及長焦點透鏡,如何可用以製(a)一望遠鏡,(b)一複顯微鏡?

12. 利用實或虛,正或倒,放大,縮小,或同大小等語,以敘述(a)照相器軟片上所成之像,(b)由讀書鏡所成之像,(c)由平面鏡所成之像。

第二十九章

1. 試述波之短於紫光波者之用途數種。

2. 自錄弧燈發出之光照於人手時,手呈特殊之色,說明其故。(參閱第 500 節。)

3. 各種不同之色光,經過三稜鏡時,是否依不同之角度而屈折?比較對於赤光之屈折率及對於青光之屈折率,比較紅光與青光在玻璃中之速度。

4. 有一廣告牌,以互為補色而深淺不同之數種赤光與青光照之,此等色光,能自明自滅,或分前後,或在同時,閃耀於牌上。(a)當牌上赤色各字單為赤光所照,單為青光所照,為赤光與青光所共照時,有何效應?(b)牌上青色各字,單為赤光所照,單為青光所照,為青赤二種光所同照時,有何效應?(c)牌上白地單為赤光或單為青光所照,或為青赤二光所同照時,生何效應?

第三十章

1. 無線電波與光波,就速度,週率,以及波長而論,有何差別?

2. 無線電波與音波,在速度,波長,以及週率方面,各有何不同之點?

3. 以聽話器連於天線與地線之間而成之接收器械,可用以收聽無線電信息否?何故?

4. 自燈絲流至屏極之電子流,所受(a)使柵極帶陽電與(b)使柵極帶陰電之影響如何?

第三十一章

1. 依波長之次序,自最長至最短,排列下述各波: γ 線,赤光,青光,熱波,紫外線,無線電波.

2. γ 線爲極短之波,相似而較短於紫外光線,此有何種實驗上之證據,取信於人?

3. 鉀瓶如何能使照相可由電線或射電傳遞?

最新實用物理學

西文索引

A

	PAGE		PAGE
"A" battery, "甲"電池 ...	690	ampere turns, 安捲 ...	433
absolute temperature, 絕對溫度 ...	261	amplification, 放大 ...	698
absolute zero, 絕對零度 ...	281	amplitude, 振幅 ...	548
abstract number, 抽象之數 ...	87	André Marie Ampere, 安培	364, 393
achromatic lens, 消色透鏡 ...	639	aneroid barometer, 無液氣壓計 ...	120
a-c. ammeter, 交流安計 ...	524	angle of deviation, 偏角 ...	629
acceleration, 加速度 ...	202	angle of incidence, 投射角	602, 621
accommodation, 調節 ...	641	angle of reflection, 反射角 ...	602
acetylene, 乙炔 ...	140	angle of refraction, 屈折角 ...	621
acoustical defects, 傳音缺點 ...	557	anode, 陽極 ...	441
active material, 作用物質 ...	448	antenna, 天線 ...	682
adhesion, 附着 ...	173	anticathode, 假陰極 ...	719
air-bound, 氣塞 ...	305	aqua ammonia, 礮精水 ...	175
air brakes, 空氣制動機 ...	134	aqueous humor, 水樣液 ...	640
air compressor, 空氣壓縮器 ...	133	α ray, α 線 ...	723
air-cooled engine, 空氣冷卻引擎 ...	193	Archimedes, 阿幾默得 ...	92
air pump, 抽氣唧筒 ...	172	arched, 拱形 ...	557
airship, 飛艇 ...	130	Aristotle, 阿里士多德 ...	210
air vent, 自動小氣門 ...	306	armature, 發電子 ...	476, 487, 489
Alessandro Volta, 弗打 ...	289	artesian well, 自流井 ...	159
Alexander Graham Bell, 亞力山大格刺漢柏爾 ...	508	artificially aged, 成熟 ...	363
alloy, 合金 ...	68	artificial magnet, 人造磁石 ...	351
alternate disks, 交替圓板 ...	66	aspirator, 吸氣器 ...	297
alternating current, 交流	461, 477	astigmatism, 散光 ...	642
alternating-current generator, 交流發電機 ...	478	astronomical telescope, 天文望遠鏡 ...	652
alternator, 交流機 ...	478	atmosphere, 氣壓 ...	119
altimeter, 測高計 ...	123, 142	atom, 原子 ...	374
altitude, 高度 ...	604	atomic number, 原子數 ...	721
ammeter, 安計 ...	399	atomizer, 噴霧器 ...	156
ammonia, 礮精 ...	169	audible frequency, 成音週率	688
ammonium phosphate, 磷酸銨	540	audio-frequency amplifier, 成音週率放大器 ...	203
ampere, 安 ...	393, 446	automatic lamp, 自動弧燈 ...	466
ampere hour, 安時 ...	448	automatic stoker, 自動添煤器	323
		automobile jack, 汽車起重器 ...	75

B

	PAGE		PAGE
back electromotive force, 反 電動力	491	boil, 沸騰	297
back voltage, 反電壓	525	boiler, 汽鍋	300
baking soda, 焙用碱	454	boiling point, 沸點	298
balance wheel, 擺輪	256	bolt, 螺釘	54
Balbit metal, 巴壁金	68	Bourdon spring gauge, 鮑唐氏 彈簧壓力計	138
B. and S gauge, 白沙尺度	406	brake shoe, 制動機包頭	67
band of colors, 色帶	660	brake test, 制動之試驗	159, 497
barograph, 自錄氣壓計	121	β ray, β 線	723
barometer, 氣壓計	120	bread mixer, 麵包混製器	75
battery, 電池	417	breaking strength, 折斷強度	160, 166
"B" battery "乙" 電池	691	bridge, 弦馬	579
beam, 光束	602, 625	bright green, 明綠	670
beats, 唵	574	bright-line spectrum, 輝線光 帶	664
bellows, 韃	640	British thermal unit, 英國熱 單位	265
Bell receiver, 柏爾受話器	508	broadcasting, 廣播	682
bell-ringing transformer, 鳴 鈴變壓器	512	brown, 棕	669
bending, 曲撓	161	Brown, 白朗	406
Benjamin Franklin, 彭家明弗 蘭克林	383	Brownian movement, 勃郎運 動	171
binding post, 縛柱	388	bucket, 戽斗	348
binocular, 雙眼鏡	655	Bunsen photometer, 本生光度 計	594
biplane, 雙翼機	192	Bureau of Standards, 標準局	160
bipolar generator, 雙極發電機	482	burning glass, 聚火鏡	280
blade, 葉版	329	burns out, 燒滅	68
black, 盤車	39	buzzer, 蜂音器	513
blower, 通風器	126	by-pass condenser, 傍路電器	696
blow cut, 爆斷	457	Byed 皮由特	240
blue, 青	660		
bluish-green, 淡青綠色	673		

C

cable, 電纜	530	capacity in ampere hours, 容 量之安時	449
caisson, 沉櫃	134	capillary tube, 毛細管	173
calcium chloride, 氯化鈣	664	capillarity, 毛細管現象	173
calcium carbide, 二碳化 鈣	469	capstan, 拔錨機	39
calorimeter, 熱量計	318	carbon dioxide, 二氧化碳	125
cam 轉輪	52	carbureter, 揮發器	33
cambered wing, 眉形翼	195	carrier current, 主流	701
computing scale, 磅稱	45	carrier wave, 主波	702
can buoy, 浮標	106	cartridge fuse, 筒式保險絲	456
candle power, 燈光	593	cast iron, 鑄鐵	291
candle power hour, 燭光 時	601	cathode, 陰極	441
capacity, 電容器	527	cathode ray, 陰極線	714
		caustic soda, 苛性鈉	439

	PAGE		PAGE
"C" battery, "丙"電池...	698	composition of forces, 力之合成	182
center of curvature, 曲率中心	605, 606	compound color, 複色	669
center of gravity, 重心	33	compound engine, 複合引擎	327
centigrade thermometer, 攝氏溫度計	249	compound microscope, 複望遠鏡	608, 650
central-battery system, 中央電池式	511	compound wound, 複捲	483
centrifugal pump, 離心唧筒	126	compression pump, 壓氣唧筒	136
centrifugal tendency, 離心之傾向	221	compression stroke, 壓縮衝程	337
centrifuge, 離心分析器	221	compression wave, 壓縮波	550
centripetal force, 向心力	220	concave mirror, 凹鏡	605
check valve, 阻止瓣	337	concrete number, 具體之數	95
characteristic curve, 特性曲線	698	condensation, 密部	551
charge, 充電	102	condenser, 凝集器	110
charging, 充電	446	condenser, 凝縮器	302
charge with electricity, 光電	368	condenser, 凝汽器	302
charging by induction, 由誘導而使帶電	376	condenser, 蓄電器	378
Charles, 查理	261	condensing engine, 凝汽引擎	326
chromatic aberration, 色收差	662	condensing lens, 聚光透鏡	568
circuit breaker, 電路自斷器	456, 457	conductance, 形導	414
circular mil, 圓毫	403	conductor, 導體	369
clarinet, 簫	583	conduction, 傳導	272
claw hammer, 鷹爪錘	30	cone clutch, 錐狀接合子	66
clinical thermometer, 體溫計	250	cone speaker, 錐式喇叭	706
closed manometer, 閉管壓力計	137	conjugate foci, 共軛焦點	612
closed pipe, 閉管	582	Conowingo, 康諾永哥	151
clutch, 接合子	343, 466	consistent units, 相合之單位	206
coefficient of linear expansion, 線膨脹係數	255	controller, 制御器	496
coffee percolator, 電濾咖啡器	455	control panel, 調節列盤	704
cohesion, 凝聚	173	convection, 對流	272
coke, 骨炭	465	converging lens, 收斂透鏡	631
cold-storage, 冰庫	308	convex lens, 凸透鏡	466
collar, 軸鉗	325	convex mirror, 凸鏡	605
collecting ring, 採電環	528	cooling coil, 蛇管	310
collimator, 視準器	663	Cooper-Hewitt, 庫拍休易特(弧燈)	467
Colonel Lindbergh, 林白大佐	340	core type, 鐵心式	514
color blindness, 色盲	677	cornea, 角膜	640
color filter, 濾色鏡	670	cornet, 喇叭	583
Colorado, 考羅雷杜	128	corpuscular theory, 微塵說	667
commutating pole, 交換極	491	cotter pin, 楔門	74
commutator, 整流子	478	coulomb, 庫	446
commutator motor, 整流子電動機	535	Coulomb, 庫隆	393
compass, 羅盤	351, 369	coupling, 交連	695
compensate, 補償	366	crank case, 拐臂匣	336
complementary color, 餘色	670	crater, 火坑	466
component force, 分力	182	Creek, 克利克	150
		critical angle, 臨界角	627
		cross bar, 橫桿	256
		crown glass, 冕玻璃	622
		crude petroleum, 粗石油	302

	PAGE
cubical expansion, 體膨脹 ...	256
curved grating, 彎曲格子 ...	345
crystal detector, 晶體檢波器 ...	688
crystalline, lens, 晶體透鏡 ...	640

	PAGE
cycle, 循環 ...	339
cylinder, condensation, 汽筒 凝汽作用 ...	326
cylindrical, 圓柱形 ...	642

D

damped oscillatory current, 減幅振盪電流 ...	681
damper, 風門 ...	284
dampier, 壓琴器 ...	564
Dayton C. Miller, 特登密勒 ...	571
daylight lamp, 日光燈 ...	677
dead-beat, 立止 ...	520
delta-connection, 三角連法 ...	533
delineation, 方位角 ...	353
denatured alcohol, 變性酒精 ...	303
denver, 鄧佛 ...	128, 145
deposit, 沉積 ...	443
detector, 檢波器 ...	684
developer, 顯像液 ...	639
dew point, 露點 ...	312
diaphragm, 鐵膜 ...	509
diaphragm, 或 stop, 光閘 ...	637
Diesel (engine), 狄塞爾 (引擎) ...	341
dielectric, 通感體 ...	379, 527
dielectric strength, 通感強度 ...	522
difference in level, 水平差 ...	388
differential, 差動輪 ...	343
differential pulley, 差動滑輪 ...	56
diffraction, 迴折 ...	675
diffraction grating, 迴折格 ...	720
diffused reflection, 擴散的反 射 ...	601
diffusion, 擴散 ...	168
diffusion pump, 擴散唧筒 ...	112
digester, 密煮器 ...	300
dimensions, 直線向度 ...	6
dip, 伏角 ...	354
direct current, 直流 ...	478
direct current circuit, 直流電 路 ...	461

direct-current generator, 直 流發電機 ...	479
direct-vision, 直視 ...	665
discharge, 放電 ...	102, 381
discharging, 放電 ...	446
discord, 不調和 ...	576
disintegrate, 蛻變 ...	724
disk type, 盤式 ...	148
dispersion, 分散 ...	661
disposable lift, 浮力 ...	132
distance of most distinct vision, 明視距離 ...	649
distillation, 蒸溜 ...	301
distributor, 分配器 ...	506
diverging lens, 發散透鏡 ...	631
divers, 潛水者 ...	134
door opener, 開門器 ...	513
double concave lens, 雙凹透鏡 ...	632
double convex lens, 雙凸透鏡 ...	631
draft, 氣流 ...	274
drinking fountain, 飲料貯藏器 ...	142
drip valve, 滴水滑瓣 ...	146
driven disks, 傳動圓板 ...	66
driven machine, 推動機器 ...	61
driving disks, 轉動圓 ...	66
driving electromotive force, 外來電動力 ...	491
driving shaft, 轉動軸 ...	348
driving machine, 原動機器 ...	60
drum, 鼓狀汽筒 ...	322
drum, 鼓形輪 ...	330
dry cell, 乾電瓶 ...	288, 420
dynamic loudspeaker, 動電喇 叭 ...	707
dyne, 達 ...	224

E

earpiece, 耳片 ...	509
eccentric, 偏心輪 ...	325
echo, 回聲 ...	556, 543
economizer, 聚熱機 ...	274
eddy current, 渦流 ...	461, 519

effective resistance, 有效耗阻 ...	697
efficiency of the machine, 機 械之效率 ...	71
effort, 發動力 ...	21
elasticity, 彈性 ...	165

	PAGE
elastic limit, 彈性降度	166
electric, 電的	368
electrical degree, 電機度	531
electrical ear, 電耳... ..	556
electrically recorded, 以電灌 音	698
electrical resistance, 電耗 阻	381, 394
electrical safety valve, 電安 全瓣	456
electric charge, 電荷	368
electric circuit, 電路	390, 391
electric damping, 電滯	461
electric eye, 電眼	648
electric flatiron, 電熨斗	455
electric furnace, 大電爐	247
electricity in motion, 動電	387
electric motor, 電動機	487
electric oven, 小電爐	247
electric power house, 發電 處	501
electric radiator, 電射熱器	455
electric resonance, 電諧振	680
electric towels, 電拭器	312
electric wave, 電波	506
electrified, 帶電	368
electro-chemical equivalent, 電化當量	445
electrolysis, 電解	442
electrolyte, 電解質	390, 441
electrolytic copper, 電解銅	445
electrolytic rectifier, 電解整 流器	540
electro-magnet, 電磁石	432
electromagnetic inertia, 電磁 惰性	507

	PAGE
electromagnetic wave, 電磁波	675
electromotive force, 電動力	391, 395
electron, 電子	375
electrophorus, 起電盤	382
electroplating, 電鍍	442
electroplating vat, 電鍍槽	443
electroscope, 驗電器	271
electrostatics, 靜電	387
electrotype plate, 電鑄版	444
element, 原質	374
enamel-covered wire, 珐瑯包 線	513
energy, 能	235
equilibrant, 平衡力	181
equipotential, 等勢	401
erg, 厄	239
ethyl glycol 碳 pretone, 酸銨 之氨水溶液	317
evaporator, 蒸發器	310
even-tempered scale, 溫和音 階	589
Ewing, 伊溫	364
exciter, 勵磁機	528
exhaust manifold, 排氣室	337
exhaust port, 排氣門	336
exhaust stroke, 排氣衝程	330
exhaust valve, 排氣瓣	337
expansion joint, 伸縮關節 膨脹衝程或工作衝程	269
expansion pipes, 膨脹導管	339
explosive mixture, 爆發劑	332
external circuit, 外路	391
eye-ball, 眼球	641
eye-bolt, 眼螺釘	74
eyepiece, 目鏡	608, 650

F

Fahrenheit, 華氏	349, 270
far-sighted eye, 遠視眼	642
farm tractor, 農用曳引車	333
fatigue, 疲勞	177
faucet, 龍頭	78, 146
Feddersen, 斐特森	679
feeder, 饋電線	495
field of view, 視界	655
field of communication, 交換 磁場	362
field rheostat, 磁場變阻器	493, 501

filament, 燈絲	690
film, 軟片	639
fire tube boiler, 火管式汽鍋	321
first overtone, 第一倍音	568
fixed pulley, 定滑輪	39
flash-light, 電筒	638
Flatiron Building, 熨斗屋	146
Fleming, 佛勒明	475
flint glass, 鉛玻璃	622
floating drydock, 浮塢	94
fluid, 流質	115

	PAGE
fluorescence, 螢光	714
fluorescent screen, 螢光屏 ...	718
fluoroscope, 螢光鏡	727
flute, 笛	583
focal length, 焦點距離	606, 632
focus, 對光	640
Fancault current, 佛科電 流	519
foot candle meter, 呎燭計 ...	589
food candle, 呎燭	597
force, 力	398
forced draft, 強壓通風	323
force diagram, 力之圖解	183
forced vibration, 強制振動 ...	567
force of suction, 吸力	112
Fortin, 福丁	120

	PAGE
four-stroke engine, 四衝引 擊	335
fractional distillation, 分溜 ...	302
freeze, 凍結	88, 270
freezing point, 冰點	249, 290
freezing point, 凝固點	290
frequency, 週率	548, 531
Fresnel, 弗勒斯納耳	667
fret, 琴柱	581
friction clutch, 摩擦接合子 ...	66
frost, 霜	314
fuel value, 燃燒價	346
fulcrum, 支點	19
fundamental note, 本音	567
furnace, 熔爐	274
fuse, 保險絲	476

G

Galileo, 伽利略	116
galvanometer, 電流計	437
gas equation, 氣體方程式	265
gasmeter, 氣量計	143, 460
gasoline, 汽油	302, 333
gauge, 尺度	406
Geissler tube, 蓋勒斯管	713
general principle, 一般之原 理	398
generator, 發電機	476
George Simon Ohm, 歐姆	394
Gilbert, 吉爾伯特	355
guitar, 六弦琴	582
gland, 白蓋	146
goldbeater's skin, 大腸膜	570
gold leaf, 金箔	372

Good, 哥特	143
Good conductor, 良導體	370
Graf Zeppelin, 哥拉夫齊泊林	130
gram, 克	8
gram calorie, 克卡	286
granulated sugar, 粒狀糖	299
graphite, 石墨	444
green, 綠	660
greenish-black, 墨綠色	677
grease spot, 油點	594
grid, 柵極	690
grid condenser, 柵極蓄電器 ...	693
grid leak, 柵漏	693
ground, 地線	682
guide vane, 旋轉導翼	151
gyroscope, 旋迴器	233

H

hack-saw, 弓形鋸	583
hand wheel, 手輪	39
Harcourt pentune lamp 哈考 脫戊烷燈	594
hardness, 硬度	719
harmonics, 諧音	568
harmonious, 調和	576
harmonious musical interval, 調和音程	588
head light, 頭燈	608
head of water, 水頭	82
headquarter, 總部	640

heat conductivity, 導熱率	278
heat insulator, 隔熱體	278
heat of fusion of ice, 冰之熔 解熱	293
heat of vaporization, 蒸發熱 ...	303
heat value, 熱值	318
Hefner, 赫	594
Heike Kamerlingh Onnes, 赫 克卡墨林登納	406
Heinrich Rudolf Hertz, 赫支 ...	681
helium, 氦	132, 666
Helmholtz, 赫爾莫爾茲	243

	PAGE		PAGE
Henri Becquerel, 亨律倍格勒爾	721	Hook's law, 虎克定律	164
Henry G. J. Moseley, 莫司盧	720	horse power, 馬力	59
Hermann von Helmholtz, 赫爾姆霍斯	563	horse, power hour, 馬力時	460
Hertz 赫支	675	hot boxes, 車廂發熱	68
Hertzian wave, 赫支波	682	hot-water system of heating house, 熱水暖室法	274
high-tension coil, 高壓線圈	514	H-type, H 式	515
high-vacuum rectifier, 高度真空整流器	113	Humphry Davy, 亨吉雷達威	465
hoisting derrick, 動臂起重機	43	Huygens, 海互史	667
Holmgren's test wool, 霍爾姆格倫氏測驗羊毛	677	hydraulic head, 水壓高度	388
		hydraulic jack, 水壓起重機	88
		hydraulic press, 水壓機	87
		hydrometer, 比重計	100

I

ice house, 冰房	283	聯	412
iceless refrigerator, 無冰冷藏器	309	imput (work), 入功	48
ice tank, 冰櫃	308	imput coil, 入能線圈	699
illuminating power, 照明能力	593	in resonance, 正在共鳴	565
illumination, 照明	590	in series, 串聯	410
illusion, 感視	603	insulator, 絕緣體	369
image, 像	603	intension, 伸張作用	161
impedance, 總阻	525	intensity, 強度	395
impulse, 動勢	241	intensity 或 loudness of sound, 音強	554, 561
inclined plane, 斜面	49	intensity of illumination, 明度	592
incompression, 壓縮作用	161	interest and depreciation, 利息與折舊	523
incondescence, 熾熱	463	interference, 干涉	575
incubator thermometer, 孵卵溫度計	250	intermediate note, 中間鍵	578
index of refraction, 屈折率	621	intermitent circuit, 間歇電路	420
indicated horse power, 實馬力	327	internal circuit, 內路	391
indigo, 藍	660	internal-combustion engine, 內燃引擎	333
indirect heating, 簡接暖室法	305	international candle, 國際燭光	593
induced magnet, 誘導磁石	360	international code, 國際電碼	689
inductance, 誘導	507	international pitch, 國際音調	578
inductance, 自誘量	525	inter-pole, 中間極	491
inductance, 誘導量	680	interrupter, 電流斷續器	505
induction coil, 誘導圈	380, 504	in tune, 配譜	680
induction motor, 誘導電動機	536	in unison, 同調	577
inductive circuit, 自誘電路	525	ionized, 電離	539
inertia, 惰性	219	isobars, 等壓線	123
infra-red ray, 赤外線	674	isogonic lines, 等方位線	358
inlet valve, 進氣瓣	337		
in parallel 或 in multiple, 並			

J

	PAGE		PAGE
jack screw, 起重螺旋	73	joint resistance, 合阻	413
jaket, 護套	334	Joseph Henry, 約瑟夫亨利	433, 678
James Watt, 詹姆斯瓦特	58, 320	joule, 朱	239, 460
J. J. Thomson, 湯姆孫	715	Joule, 朱耳	344
John Tyndall, 約翰丁達爾	248	Jupiter, 木星	623

K

Kelvin scale, 開氏計	261	kinetic energy, 動能	237
Kerchhoff, 克希荷夫	665	kinetic theory of gas, 氣體運	
kerosene, 煤油	302	動說	171
kerosene engine, 煤油引擎	341	knocks, 互相衝突	68
kilogram calorie, 尅卡	286	knot, 海里	200
kilowatt hour, 瓩時	460	Koenig, 耿尼格	570

L

lactometer, 驗乳器	101	line of magnetic force, 磁力	
lag screw, 螺旋套	74	線	359
Langmuir, 郎滿	112	lines of action, 作用線	187
latent heat, 潛熱	293	lines of equal declination, 等	
lawn mower, 刈草機	188	方位線	354
law of Charles, 查理定律	262	line wire, 總線	533
law of the conservation of		liquids seek their own level,	
energy, 能常住定律	243	液體自得其平	85
law of universal gravitation,		liquid type, 液體式	366
萬有引力定律	229	lithium chloride, 氯化鋰	664
laws of attraction and re-		local-battery system, 局部電	
pulsion, 引斥定律	356	池式	511
leading edge, 翼首	195	local weight, 本地重量	231
lead-in wire, 引入線	709	lock nut, 鎖釘帽	74
leakage flux, 磁漏	431	lodestone, 吸鐵石	350
leg, 股	515	long-focus lens, 長焦點透鏡	658
lens, 透鏡	618	longitudinal wave, 縱波	550
Lenz's law, 楞次定律	503	loop, 腹	548
level, 水平儀	654	loop, 環	686
leveling, 瞄準	75	loop antenna, 環狀天線	684
Leyden, 勒登	266	looping the loop, 筋斗飛行	234
Leyden jar, 來頓瓶	379	Lord Kelvin, 開爾文爵士	244, 260, 679
lift or suction pump, 吸上唧		Los Angeles, 羅斯安理兒	131, 145
筒	125	loud pedal, 高音腳板	564
lightning arrester, 避電器	385	lower C, 下 C	579
lightning rod, 避電針	383	low-tension coil, 低壓線圈	514
light wave, 光波	556	lubricant, 滑潤劑	68
linear magnification, 線廓大		lubrication, 滑潤作用	67
率	635	lumen, 留明	597
line loses, 線虧	511	luminous intensity, 光度	593
line of force, 力線	359	luminescent paint, 發光油漆	724

M

	PAGE		PAGE
Machine telephones switch- ing, 機器通話	523	mereury-arc, 錄弧(燈)	467
main shaft, 總軸	66	metallic arc lamp, 金屬弧燭	467
Magdeburg, 麥德堡	110	metallic thermometer, 金屬溫 度計	254
Magdeburg hemispheres, 麥 德堡半球	116	metallic tungsten, 金屬鎢	463
magnetic circuit, 磁鐵路	512	method of mixture, 混合法	287
magnetic flux, 磁流	359	methyl chloride, 氯甲烷	310
magnetic Pole of the North, 北磁極	356	Michael Farady, 米歇爾法刺第	358
magnetic Pole of the South, 南磁極	356	Michelson, 邁克爾孫	623
magnetic screen, 磁屏	362	micrometer screw, 測微螺旋	54, 164
magnetite arc lamp, 磁鐵礦 弧燈	467	microphone, 微音器	509
magnetized by induction, 誘 導作用而磁化	360	microphone, 傳話器	700
magnets, 磁石發電機	361, 476	middle A, 中部 A 音	579
magnifying glass 廓大鏡	650	middle C, 中部 C 音	579
magnifying power, 倍率	650	middle scale, 中音階	576
mains, 總管	145	mil, 毫	408
major scale, 長音階	577	mil foot, 毫呎	403
major trial, 長三和音	577	miles per-hour, 小時里	202
make-and-brake ignition, 斷 續點火器	508	millivoltmeter, 毫計	475
mandolin, 洋琵琶	581	minus lens, 負透鏡	637
manganin, 錳鎳鋼	394	Mme. Marie Sklodowska Curie, 居禮及居禮夫人	192, 721
manifying glass, 廓大鏡	608	modulated, 受調幅作用	699
manometric flame, 舞燄	570	modulator, 調幅器	699
Mariotte, 馬律奧脫	136	molecule, 分子	168, 374
mass, 質量	230	molybdenium, 鉬	469
Maxwell, 麥克斯惠爾	674	monoplane, 單翼機	192
mean affective pressure, 平均 有效壓力	327	mother liquor, 原漿	221
mean horizontal candle power, 平均水平燭光	596	motion-picture camera, 活動 影戲用照相機	644
mechanical advantage, 機械 利率	25	motor generator, 電動發電機	501
mechanical stress, 機械的應力	527	mouth-piece, 送音口	585
mechanics, 力學	163	movable pulley, 動滑輪	40
medicine dropper, 滴藥管	142	movietone, 或 photophone, 片上發音式	646
medium, 媒質	546	moving coil, 可動之線圈	437
megaphone, 擴音器	554	muffler, 減聲器	337
melting point, 熔解點	290	multiple-dish clutch, 複式圓 板接合子	66
		multipolar generator, 多極發 電機	483
		Munich, 莫尼區	124
		musical sound, or tone, 樂音	561
		muzzle energy, 嗽口能	241

N

	PAGE		PAGE
natural frequency of vibration, 自然振動週率	564	node, 節	548
natural magnet, 天然磁石	351	noise, 噪音	561
nature abhors a vacuum, 自然忌真空	116	noncondensing engine, 不凝汽引擎	325
negative, 底片	644	non-conductor, 非導體	369
negative electricity, 陰電	271	non-crystalline, 非晶體	290
negative electrode, 陰極	390	normal, 法線	602
neon tube, 氖氬管	648	north-seeking pole, 指北極	352
neutral, 中和	388	nozzle, 噴汽口	330
neutrodyne receiver, 平差接收機	704	nozzle type, 噴口式	333
Niagara Fall, 尼阿嘎拉瀑布	150, 236	nucleus, 核	375
		nutration, 章動	148

O

objective, 物鏡	589, 644, 650	optical instrument, 光學器械	618
octave, 第八音	568	optical nerve, 視神經	640
octave, 均	577	orange, 橙	660
Oersted, 厄斯特德	429	organ pipe, 風琴管	553, 582
ohm, 歐	394	oscillation, 振盪	697
Ohm's law, 歐姆定律	397	oscillator, 振盪器	697
Onnes, 奧涅斯	266	oscillatory, 震盪的	381
opaque, 不透明	591	Otto von Guericke, 奧吐達古立克	110
opaque to heat, 不透熱	281	out-of-doors type, 戶外式	519
open circuit, 開電路	420	output (work), 出功	48
open pipe, 開管	582	out put, 出能	455
open tube manometer, 開管壓力計	137	output coil, 出能線圈	699
opera glass, 觀劇鏡	654	overshot, 上擊	149
ophthalmoscope, 檢察鏡	607	overtone, 倍音	568
optical disk, 光盤	621		

P

paddle wheel, 翼輪	344	periscope, 潛望鏡	658
parabolic mirror, 拋物面鏡	557	permalloy, 透磁齊	362, 437
partial eclipse, 部分蝕	592	permanent magnet, 永久磁石	360
parabolic mirror, 拋物面鏡	607	permeability, 透磁性	361
partial vacuum, 部分真空	110	perpetual-motion machine, 永動機	246
Pascal's law, 巴斯恰氏定律	87	persistence of vision, 視覺之遺像	649
passing, 輪匝	330	phase, 相	531, 548
passage, 通路	322	phonodeik, 攝波器	751
peak, 高峯	448	phonograph, 留聲機	585
Pelton, 拍爾吞	149	photo-electric cell, 光電瓶	646
penetrability, 可透性	218	photographic camera, 照相機	639
penumbra, 半影	592		
perfect vacuum, 完全真空	110		

	PAGE
photometer, 光度計	593
piano note, 鋼琴聲... ..	553
pigment, 顏料... ..	670
pinhole camera, 針孔暗箱	591
pint, 派	7
pitch, 旋距	53
pitch, 音調	561
pitchblende, 瀝清鈾礦	721
plate, 屏極	690
plate circuit, 屏路	691
Plato, 柏拉圖	3
player piano, 自動奏琴機	584
plug fuse, 栓式保險絲	456
plumb line, 錘線	34
pneumatic dispatch tube, 空氣輸送管	113
point of application, 作用點	179
polarization, 極化	422
poles of the magnets, 磁極	352
pontoon, 平底舟	107
positive, 陽片	644
positive column, 陽極柱	713
positive electricity, 陽電	271, 390
positive lens, 正透鏡	637
potential energy, 勢能	236
power, 功率	58
power factor, 功率因數	526

	PAGE
power tube, 強力管	706
precipitation, 降霜量	315
pressure coefficient, 壓力係數	264
pressure cooker, 密煮器	300
pressure cooker, 壓煮物器	348
pressure sleeve, 壓力筒	144
primary cell, 原電池	420
primary coil, 一次圈	504
primary terminals, 一次極	513
priming, 開機	412
principal axis, 主軸	605
principal focus, 主焦點 557, 606, 632	632
principle of work, 功之原理	46
prism, 三稜鏡	619
private wire, 私設之電線	640
producer gas, 發生爐煤氣	333
projecting lantern 或 stereopticon, 映畫器	568, 643
Prony brake, 摩擦制動機	59
proof plane, 驗電板	373
propeller, 推進機	54
pulsating, 脈動	479
pulse, 脈動	549
pure color, 純色	669
purple, 紫紅色	669
push, 推力	395

Q

quadruple-expansion engine 四次膨脹引擎	327
quality, 或 timbre, 或 color, 音色	561

quantum, 量子... ..	667
quantum theory, 量子論	676
quart, 夸	285

R

race, 空轉	495
radial form, 輻射式	339
radial type, 輻射式... ..	193
radiation, 輻射	272
radiator, 射熱器	273
radioactivity, 放射性	721
radio compass, 無線電羅盤	687
radio-frequency amplifier, 射電週率放大器	703
radiometer, 軸射計... ..	281
radio telegraphy, 無線電報	682
radio tube, 無線電真空管	113
radium, 鐳	722

radium emanation, 鐳射氣	724
radius of curvature, 曲率半徑	222
rainbow, 虹	663
range finder, 測距器	658
rarefaction, 疎部... ..	551
rate of expansion, 膨脹率	255
rate of vibration, 振動率	565
ray, 光線	602
reading glass, 讀書鏡	638
real focus, 實焦點	609
recording thermometer, 自錄溫度計	254

	PAGE
recording watt-hourmeter, 自錄瓦時計(電表)	460
red, 赤	660
reduction gear, 減速齒輪	330
reel, 捲	644
reel box, 捲片箱	647
reinforced concrete, 鋼筋混凝土	177
reinforcement, 或 intensification, 加強作用	566
reflected, 反射	556
reflecting surface, 反射表面	543
reflecting telescope, 反射望遠鏡	608
reflector, 反射器	597
refracted ray, 屈折光線	620
refracting angle, 屈折角	629
refracting telescope, 屈折望遠鏡	652
refraction, 屈折	619
refrangibility, 屈折度	661
refrigerating coil, 消熱蛇管	310
refrigerating plant, 消熱機	493
regeneration, 回授	695
regular crystalline structure, 等軸結晶質	719
regular reflection, 正反射	601
relative humidity, 相對濕度	313
reluctance, 抗磁性	362
reverberation, 餘韻	558
residual magnetism, 餘磁性	432, 500

	PAGE
resiliency, 彈力	135
resistance, 抵抗力	21
resistance, 抵抗	398
resistance box, 耗阻箱	402
resistance to a vacuum, 對於真空之抵抗	116
resistivity, 阻率	403
resonance, 諧振	679
resonance, 共鳴	564
resonating box, 共鳴箱	543
resonator, 共鳴器	566
result, 結果	398
resultant, 合力	180
retardation, 減速度	203
retina, 網膜	641
return flue, 迴氣管	272
reversible machine, 兩用之機器	487
revolving field, 旋轉磁場	529
rheostat, 變阻器	493
right-angle prism, 直角三稜鏡	628
riveting hammers, 打帽鎚	134
Robert Boyle, 羅伯脫波義耳	135
Robert Bunsen, 羅伯脫本生	594
Robert Mayer, 羅伯特梅葉耳	243
rock drill, 石鑽	134
Roemer, 勒麥耳	623
rotating field, 旋轉磁場	536
rotating pump, 旋轉唧筒	112
γ ray, γ 線	723
Ruhmkorff coil, 藍姆考夫圈	505

S

Saint Louis, 聖路易	146
sal ammoniac, 氯化銨	430
Samuel F. B. Morse, 薩繆爾模斯	435
sand blast, 沙吹	134
saturated, 飽和	365
scale tube, 尺度管	663
scanning aperture, 光圈	648
Scotch boiler, 蘇格蘭式汽鍋	327
seaplane, 海上飛行機	192
searchlight, 探海燈	470, 608
secondary axis, 副軸	605
secondary coil, 二次圈	504
secondary terminals, 二次極	513
secondary vibration, 副振動	568
second overtone, 第二倍音	568
segment, 裂片	480

self-induction, 自誘	507
sensitive flame, 感音燄	557
sensitivity, 靈敏度	694, 703
sensitized plate, 感光硬片	639
series wound, 順捲	483
sextant, 六分儀	604
shade, 燈罩	597
shadow, 影	591
Sharper, 沙伯	406
shear, 軋剪	162
sheave, 轆轤	39
shell, 外套	321
shellac, 蟲膠片	519
Shenandoah, 昇南渡號	132
shock absorber, 平震器	178
short circuited, 短路	381, 423
short-sighted eye, 近視眼	641

	PAGE		PAGE
shunt, 分路	438	spectroscopy, 分光術	345
shunt, wound, 分捲	483	spectrum, 光帶	660
shunted moving coil galvanometer, 分路動圈電流計	438	spectrum analysis, 光帶分析術	664
shutters, 導葉	150	speed, 感光率	639
shutter, 快門	644	speed counter, 計速器	55
side tube, 傍管	717	speedometer, 速度計	201
silicon steel, 矽鋼	362	sperm, 鯨腦油	363, 593
silk-covered, 絲包	504	spherical aberration, 球面收差	606
silver and potassium cyanide, 氰化銀鉀	443	spherical wave, 球形之波	551
silver coulometer, 銀庫計	446	split ring, 裂環	478
simmering, 水滾	297	spray carburetor, 噴霧揮發器	333
simple microscope, 單顯微鏡	650	spray type, 噴霧式	333
sine, 正弦	621	sprocket hole, 扣鏈齒孔	646
single-disk clutch, 單式圓板接合子	66	spyglass, 小望遠鏡	654
single phase, 單相	532	squirrel cage, 鼠籠	536
single-phase series motor, 單相順捲電動機	535	squirrel-cage rotor, 鼠籠旋轉子	537
siphon, 虹吸	127	stability, 穩定	35
siren, 測音器	562	standard candle, 標準燭	593
Sir Isaac Newton, 牛頓爵士	218	standard life preserver, 標準救生器	107
skidding, 溜動	65	standard pressure, 標準壓力	299
skids, 溜動	220	standard weight, 標準重量	231
slide, 滑片	644	star connection, 星形連法	533
slider, 滑動子	556	starter, 發動機	501
slide valve, 移動滑瓣	324	starting box, 發動箱	493
sliding friction, 滑動摩擦力	67	starting characteristic, 發動特性	538
slip ring, 滑環	499	starting friction, 發動摩擦力	67
snap shot, 快相	640	starting motor, 發動電動機	501
socket, 燈座	456	starting resistance, 發動耗阻	492
soda water, 蘇打水	175	starting torque, 發動扭力矩	494
solar spectrum, 太陽光帶	663	static, 天電	709
sonometer, 音計	581	stationary armature, 定發電子	528
soprans voice, 最高音	553	stator, 固定子	536
sound, 聞音	542	steady, 穩定	480
sound board, 音板	567	steam chest, 汽室	324
sound energy, 音能	558	steam turbine, 蒸汽風輪	329
sounder, 音響器	433	steel sheath, 鋼鞘	437
sound ranging, 音距法	556	steering wheel, 舵輪	39
source, 源	542	step-down transformer, 降壓器	515
south-seeking pole, 指南極	352	step it down, 降之	514
sparkling voltage, 電化電壓	712	step-up transformer, 昇壓器	518
sparkling plug, 電花栓	506	stereopticon, 大幻燈器	618
speaking tube, 傳話筒	551, 554	stop watch, 按停錶	75, 559
specific-gravity flask, 比重罇	99	storage battery, 鉛板蓄電池	102
specific heat, 比熱	287		
specific resistance, 比阻	403		
spectrograph, 分光照相器	720		
spectroscope, 分光器	662		

	PAGE
straid, 應力變形	163
stream of light, 光流	602
stress, 應力	161
stroke, 衝程	326
submarine boat, 潛水艇	95
submarine telegraphy, 海底電報	437
substation, 變壓所	518
suction stroke, 吸氣衝程	337
sugar centrifuge, 離心析糖器	221
sulfur dioxide, 二氧化硫	310
superconductivity, 超逾導電性	406

	PAGE
super-heater coils, 蛇管過熱器	322
supersaturated, 過度飽和	311
surface tension, 表面張力	172
suspension type, 懸吊式	522
Susquehanna (River), 塞司奎哈那	151
switch, 開關	396
switch-board, 交換機	501
sympathetic vibration, 感應振動	564
synchronous motor, 諧和電動機	535

T

tail race, 尾閘	150
telephone exchange, 電話總局	449
telephone transmitter, 電話送話器	510
telescope, 望遠鏡	608, 652
television, 電傳影像	648
terminal 電極	388
terrella, 小地球	355
Thales, 泰勒斯	368
Thomson form, 湯姆森式	461
theory of magnetism, 磁性之理論	364
theory of relativity, 相對論	675
thermionic valve, 三極球	690
thermoelectric detector of radiant heat, 輻射熱之熱電檢熱器	282
thermometer, 溫度計	249
thermostat, 整溫器	255
thick-edged, 厚邊	631
thin-edged, 薄邊	631
third rail, 第三軌	395
thistle tube, 漏斗管	115, 168
Thomas A. Edison, 湯麥司愛迪生	450
Thomas Newcomen, 湯麥斯牛考孟	319
Thomas Young, 湯姆斯楊	667
thorium, 鈾	721
three-color half-tone, 三色濃淡影印板	677
three-phase, 三相	532
thumb rule, 拇指定則	430
thumb-tack, 大扁頭釘	619

tickler, 回授圈	695
timer, 計時調節器	339
tip-cart, 貨車	44
toaster, 電烘器	247
Toepler-Holz electric machine, 都伯勒霍爾士起電機	382
to follow its nose, 向前直射	157
torque, 扭率	164
Torricelli, 托里拆利	116
total eclipse, 全蝕	592
total reflection, 全反射	628
track, 軌道	495
traction, 曳引阻力	64
traction work, 牽引工作	451
trajectory, 真空的軌道	215
transformer, 變壓器	512
transfer port, 送氣門	336
transit, 經緯儀	654
translucent, 半透明	594
transmission, 傳動機	348
transmitting set, 發送機	683
transparent to heat, 透熱	280
transverse wave, 橫波	549
trap, 試車界	201
triple-expansion engine, 三次膨脹引擎	326
trolley line, 電車線	495
trolley pole, 接電桿	496
trumpet, 活動喇叭	583
trough, 谷	547
tuned circuit, 配諧電路	684
tungar rectifier, 鎢絲整流器	538
tuning fork, 音叉	541
tunnels, 隧道	134
turbine, 推風輪	150

	PAGE		PAGE
twisting, 扭轉	161	two-stroke engine, 二衝引擎	336
two-phase, 二相	532	tympanum 或 ear-drum, 鼓膜	546
two-pole, 二極	481	type metal, 活字金屬	444

U

ultra-violet ray, 紫外線	468, 590, 674	uniformly accelerated motion, 等加速運動	207
umbra, 全影	592	uniform motion, 等速運動	207
unbalanced forced, 不平衡之力	223	unison, 同調	566
under feed stoker, 下撥添煤器	323	upper dead center, 靜點	336
undershot, 下擊	149	upper limit of audibility, 可聞之上限	563
unidirectional current, 單向電流	538		

V

vacuum clearing, 真空清除法	112	velocity, 速度	548
vacuum-feed system, 真空供給組織	143	Venetian glass, 威尼司玻璃杯	674
vacuum pan, 真空罐	299	vibrating, 前後振動	541
vacuum pump, 真空唧筒	109	vibration, 振動	546
vacuum tube, 真空管	683	violin, 提琴	581
vacuum-tube rectifier, 真空管整流器	538	virtual focus, 虛焦點	609
vapor pressure, 蒸氣壓力	298	vitaphone, 唱機影片合用式	644
variable condenser, 變量蓄電器	380	vitreous humor, 玻璃體	641
variable condenser, 可變蓄電器	684	voice current, 聲流	700
		volt, 弗	395
		voltage, 電壓	395
		voltage drop, 電壓降	424
		voltmeter, 弗計	400

W

Wallis, 華利斯	153	Wheatstone bridge, 威斯頓橋	401
Walter Johnson, 華脫強笙	240	wheel and axle, 繞輪軸	38
water equivalent, 水當量	289	whispering gallery, 耳語室	557
watt, 瓦	458	wide-angle lens, 大角透鏡	658
wattmeter, 瓦計	459	Wilhelm Konrad Roentgen, 鑾琴	717
watt second, 瓦秒	460	William Bragg, 威廉布刺	719
wave motion, 波動	547	Wimshurst (electric machine), 格威姆孝斯脫起電機	383
W-D. Coolidge, 柯立奇	715	wind-shields, 汽車遮風板	609
wedge, 楔	52	wind tunnel, 風筒	155
weight, 重量	230	wing nut, 翅釘帽	24
Welsbach, 紗罩煤氣燈	591	wired wireless, 有線射電	709
Welsbach lamp, 威爾斯巴克煤氣燈	470	Woods' metal, 武德合金	291
Westcott color slides, 威斯脫考脫色彩滑片	677	wood screw, 木螺旋	54

	PAGE		PAGE
Woolworth, 武爾沃史	213	Wright wrightwined engine,	
worm condenser, 螺旋凝縮器	302	來特旋風引擎	340
worm gear, 螺旋齒軸	55	Wright whirlwind motor, 雷	
wrench, 音調鍵	579	脫旋風發動機	192
Wright, 雷脫	191		

X Y Z

X-ray tube, X 光管	506	yellow, 黃	660
Y-connection 卽 star connection, 星形連法	533	Zeppelin, 齊泊林	130