

最新實用物理學

上 册

BLACK & DAVIS

NEW PRACTICAL PHYSICS

陳 嶽 生 譯

商務印書館發行

高級中學適用教本

最新實用物理學

上 冊

BLACK & DAVIS

NEW PRACTICAL PHYSICS

陳 嶽 生 譯

商務印書館發行

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，更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,及蒸汽	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	光譜與色	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

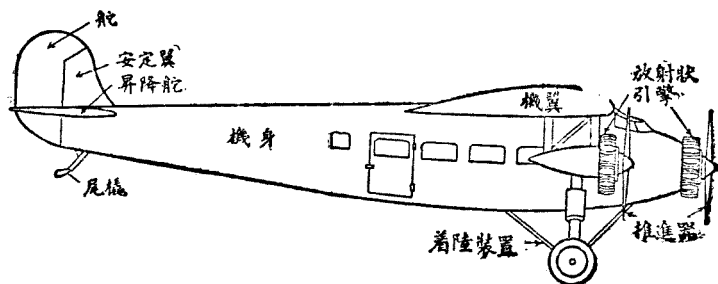


圖1 飛機之側面

學門中，當研究喇叭與滅聲器；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，一時之誤差，遠不如測量汽車軸承之直徑，所生百分之一時之誤差為重要。

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，呌，夸，加侖，以及噉，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。

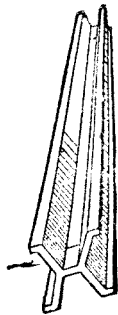


圖 2 國際米突棒。桁腹上所刻兩痕間之距離，即係一呎之長。

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 糎(公分)	= 10 耗(公厘)
	1 呎(公尺)	= 100 糎
	1 里(公里)	= 1000 呎
相等值	1 吋	= 2.54 糎(圖 3)
	1 呎	= 39.37 吋

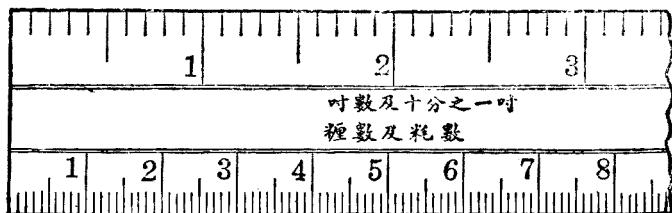


圖 3 英國制與米突制長度單位之比較。

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，面積往往用方糎計量，其單位亦為正方，每邊長一糎，一方吋約等於 6 方糎。如以 2.54×2.54 即 6.45 方糎為一方吋，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 ($A = \frac{1}{2} b \times h$)。圓之面積，等於半徑平方之 3.14 倍 ($A = \pi r^2$)。

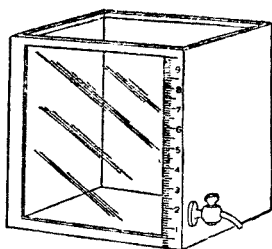


圖 4 一呷之箱，爲各邊長 10 釐之立方。

8. 體積或容量之單位。體積單位用之最廣者，爲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，單位爲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。呷 (liter) 爲各邊長 10 釐之立方之體積 (圖 4)。故一呷等於 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 呷 (公升) = 1000 立方釐

1 立方呎 (立方公尺) = 1000 呷

相等值

1 呷 = 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呎及量杯(圖5)。一茶匙之容量，約為立方呎，而一立方呎約有 20 滴。

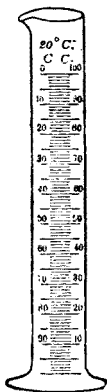


圖 5 有刻度之玻璃量杯。

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 吋,闊 30 吋,深 45 吋,問此器可容水若干呎?

9. 五加侖之汽油罐,可容若干呎?

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

9. 重量之單位.† 鈎 (kilogram, 公斤) 爲一特製鉑鈹圓柱之重量,此物與標準呎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呎之重,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,故等於一鈎千分之一之克 (gram, 公分),爲水一立方吋之重量.美國市上通行之五分銀幣,重係五克,而半圓銀幣之重爲 125 克,此事如記憶之,或有用處.

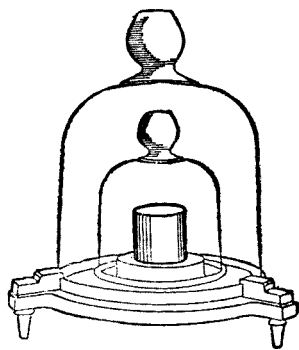


圖 6 標準鈎.

在美國常衡之一磅,法定爲鈎之 $\frac{1}{2.204622}$.

重量之單位

英國制

1 磅 = 16 盎司

†重量與質量之差別,將於 158 節述之.

	1 噸 = 2000 磅
米突制	1 克 = 1000 尅
	1 尅 = 1000 克
相等值	1 尅 = 2.20 磅

一立方呎之水重 62.4 磅

一立方厘之水重 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。

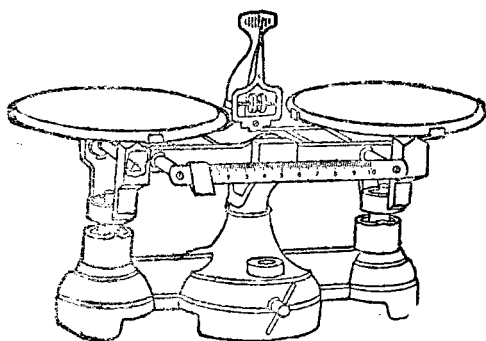


圖 8 裝有瑪瑙軸承之臺秤。

11. 時間之單位。凡文明諸國，皆用秒，分，小時為時間之單位。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。

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。

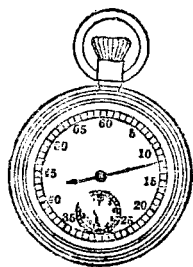


圖 9 按停錶，可以計量五分之一秒之時間。

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,問每鈺之價若干?
4. 美國鐵路章程,允許每一乘客攜帶行李150磅,試用鈺表示此數.
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,求汽油一呷重量之克數.
8. 一空牛乳瓶重720克,滿盛以水時,瓶重1670克,問此瓶可容若干呷?
9. 一刻度之玻璃量杯,內半徑長8吋,可容450克之水,杯上之刻度,係表立方吋數,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62.4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	鋅.....	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，則爲每立方糶 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 糶，闊 6 糶，厚 1.5 糶，而其重量爲 1050 克；於是知鋼之密度，爲每立方糶 $\frac{1050}{135}$ ，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 立方糶，以石投入時，水面升至 160 立方糶處，於是石之體積知爲 60 立方糶。

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

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

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 立方釐。

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 釐, 闊 8 釐, 厚 6 釐, 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 立方釐。問 (a) 此杯可容水銀若干釐? (b) 可容水銀若干磅?
5. 若干立方釐之軟木塞, 其重可與 100 立方釐之鉛相等。
6. 鉛製圓柱長 8 釐, 直徑為 4 釐。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 釐, 闊 20 釐, 重 1218 克, 而其密度為每立方釐 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) 有若干立方釐之水溢出杯外? (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)爲一種輕木,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,外觀似爲銀製,當沉入量杯中時,水面自460立方糵升至468立方糵,匙之重量爲76克。問此匙是否爲純銀製成?並述其理由。

18. 一室長8呎,闊6.2呎,高2.8呎,求(a)以廷數,(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廷,而直徑爲10糵,問中空之部分,其體積爲若干?

20. 油一滴已知其重量,滴於水面;散而爲圓形之薄膜,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,標準長度爲呎(39.37吋),標準廷(2.2磅)等於1000克。一立方糵之水重1克。一呎等於1000立方糵(約爲1.06夸)。

一物之密度,爲單位體積之重量。

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

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

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

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，有何一種用處？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 用 題

1. 標準時。汝所居地之鐘錶肆，如何求得標準時，以撥準其鐘與錶？
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，並詢問藝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. 為何用機械。就“機械”一詞之專門意義而言，則有多種常用之器具，均可謂為機械。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，則餌之安置較為妥當，而將捕得之魚挑起時，亦較速多多。最要者，為利用獸力，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。最簡之機械為槓桿無疑。軒輊板，臺秤之臂，汽船之推進桿，均為槓桿，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)。桿秤之支點，為堅利如刀鋒之突

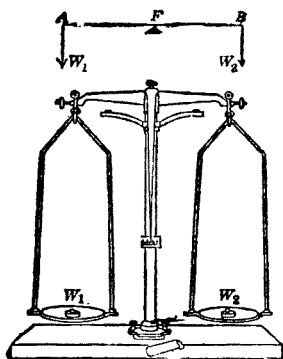


圖 10 等臂之槓桿與等重之砝碼。

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 釐，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 釐，即為 50 克砝碼與支點距離之半。

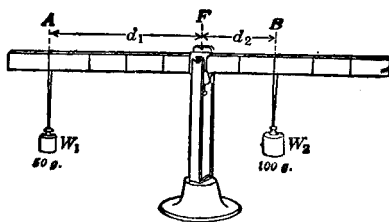


圖 11 槓與不等重之砝碼。

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

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

鐵撬，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

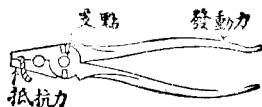


圖 12 夾鉗為以鉸釘為支點之槓桿。

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,

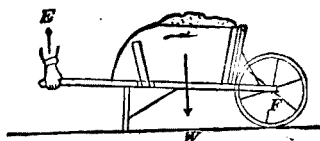


圖 13 小車爲支點在輪軸之槓桿。

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 F 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 E , 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

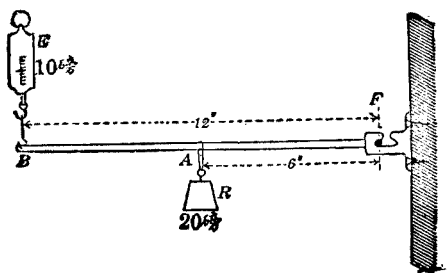


圖 14 支點下在一端之槓桿

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

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。

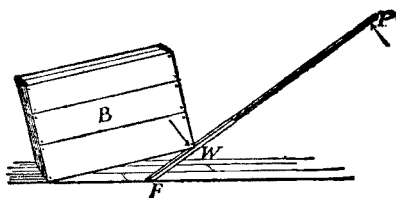


圖 15 用鐵撬舉物,以地為支點。

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。

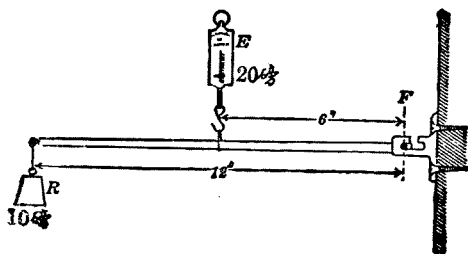


圖 17 砝碼在一端而支點在他端之槓桿。

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 15 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？

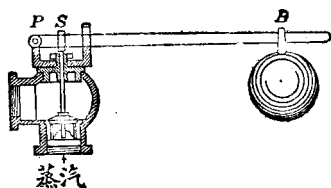


圖 18 蒸汽鍋上之簡式安全瓣。

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，往往以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。式中 CF , BF , 及 AF 之距離，均垂直於力之作用線。

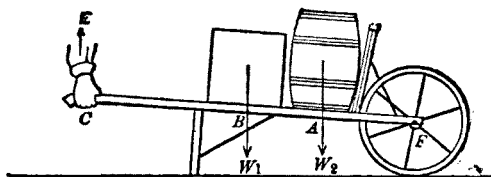


圖 19 負載兩重物之小車。

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，稱爲力矩。

例如，命 AF (圖 20) 爲一剛體之棒，可繞 F 點旋轉者。作用於 A 之力 B ，其力矩爲 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。

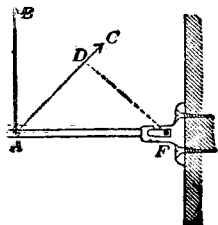


圖 20 力矩等於力乘其至支點之垂直距離。

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)，曾謂執鏟之左手爲支點，但此手亦必用力下推，正與他手之必向上挽，同屬十分明顯。其實亦可視右手爲不等臂槓桿之支點，而施發動力者爲左手。

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，可視爲支點，而以其他兩力爲抵抗力與發動力。

就以前所述各種槓桿而論，欲知支點所發之力爲何，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，例如軒輊板；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）

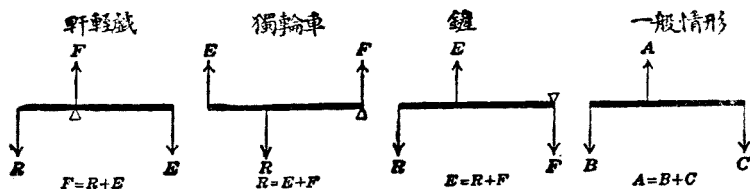


圖 21 施於槓桿支點之力。

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，再將數砝碼 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，

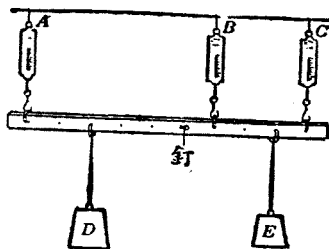


圖 22 平行力。

等於下引之諸力和，爲不變之事實。即不行此實驗，亦可預測此事必真；因若任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，於是視釘爲槓桿之支點，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：

(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。

此二原理甚爲重要，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 爲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 之力矩爲零，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。

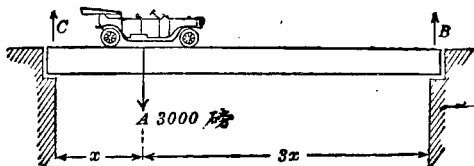


圖 23 停有汽車之橋。

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 $R = 480 \text{ 磅.}$

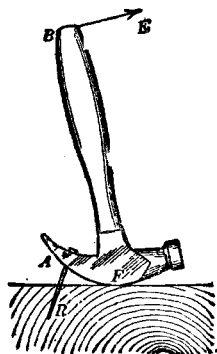


圖 24 鷹爪錘作用如曲槓桿之情形。

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，煤與鏟全重，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“鑷鉤”（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？

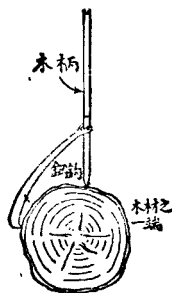


圖 25 鑷鉤。

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 B 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？

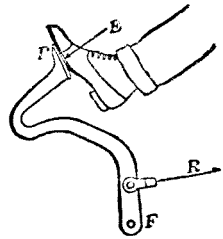


圖 26 汽車腳踏制動機，係曲槓桿。

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 3000 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

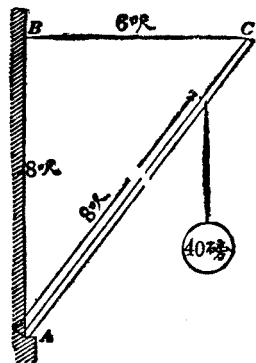


圖 27 桿與繫桿之繩，用以支持重物者。

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

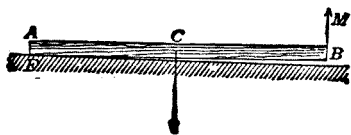


圖 28 人 M ，舉木材 AB 之一端。

力若干？試察擱於地上之他端 A ，則可視之爲支點。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。若物體爲有規則幾何圖形，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，係使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 ，即爲鋅片之重心。當懸鋅片於第三孔 C 時，錘線必經已得之重心。

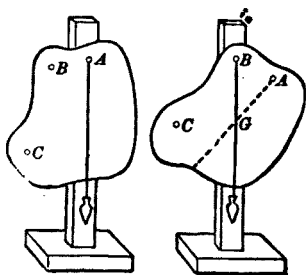


圖 29 用錘線求重心

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，係由極輕而堅硬之架，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。

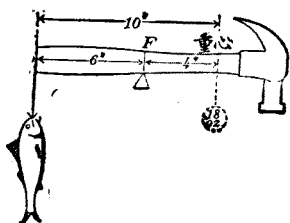


圖 30 使魚錘之重量相抵而平衡。

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？

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。

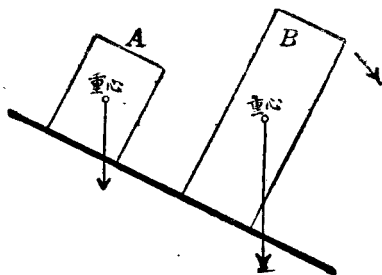


圖 31 穩定之物體與不穩定之
物體。

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，軌 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，闌灰離 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，而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

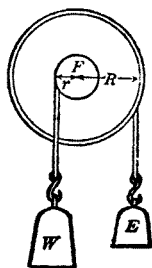


圖 32 輪軸。

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

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

$$\text{故} \quad W \times r = E \times R$$

$$\text{或} \quad \frac{W}{E} = \frac{R}{r}$$

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

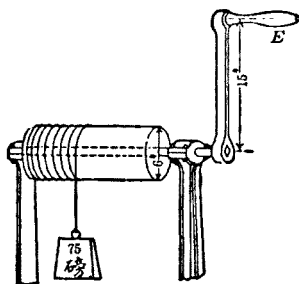


圖 33 絞盤之圖。

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.

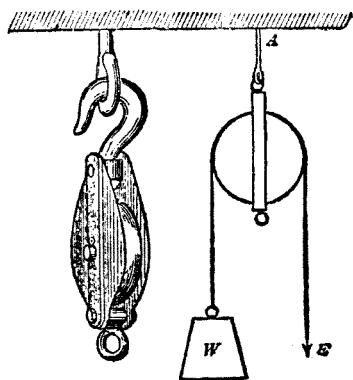


圖 34 定滑輪.

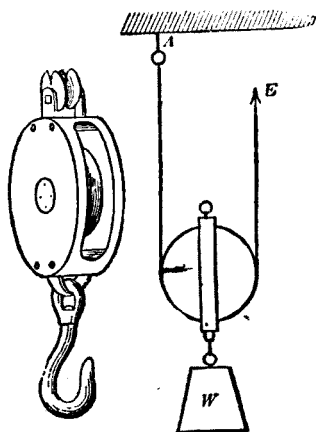


圖 35 動滑輪.

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

之定盤車，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

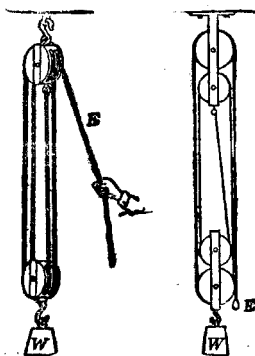


圖 36 兩具雙重盤車。

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

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?其機械利率爲何?

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

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, 則拐臂之適當長度爲何?

4. 上山路須用特製之制動輪, 問該輪應較常用者爲大抑爲小? 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?

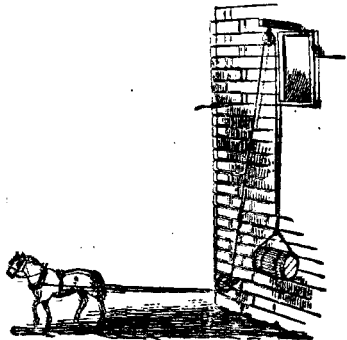


圖 37 簡單滑輪組。

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爲何?

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爲若干? 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, 可支持最大之重量爲何?

11. 一人可用 120 磅之力曳物, 試繪出一組滑輪, 使此人能以曳起有抵抗力 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100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10枚，而拐臂之半徑為18吋，問此種雙輪軸之機械利率為何？

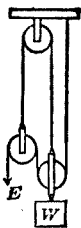


圖 38 單滑輪二，排成“西班牙式雙重盤車”。

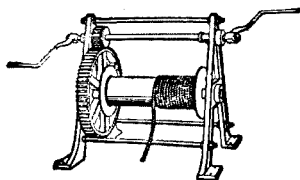


圖 39 動臂起重機乃雙輪軸

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，爲何區僂向前？
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。

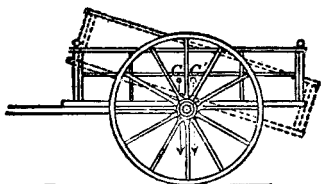


圖 40 使車身傾側，可移動重載之重心。

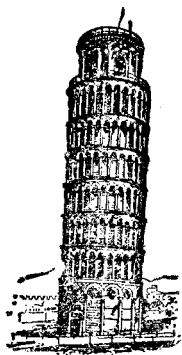


圖 41 意大利碧利之斜塔。

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。

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，說明此塔何以不倒之故。

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 題

1. 磅稱。在雜貨商店及肉鋪中常見之磅稱(weighing 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鏈之作用，定支點之地位，而量槓桿之臂在鍵上之力與鏈上之力相比，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.

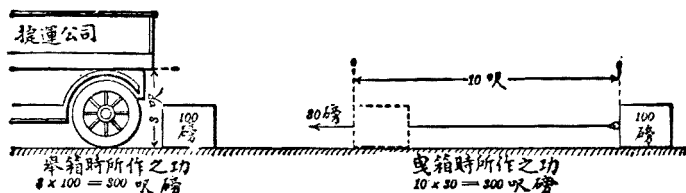


圖 42 作功之兩例。

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，實未做功。

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，

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

$$\text{或} \quad \frac{W}{E} = \frac{d}{D}$$

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

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

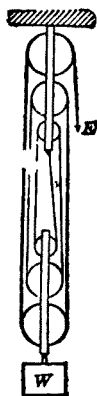


圖 43 兩具三重盤車。

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。爲便利計, 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, 爲輪之圓周, 即 $2\pi R$ 。故由功之原理

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

$$\text{或 } E \times R = W \times r,$$

此與視輪軸爲變相槓桿而得之方程式適同。

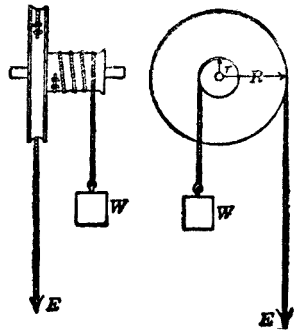


圖 44 用輪軸所作之功。

37. 斜面。過重之鑊與桶, 不易自地面舉入車中者, 常使之滾轉於斜擱之板而上行。此即所謂斜面 (inclined plane) 之例也。凡道路之面不成水平面者, 亦爲斜面之例。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。命重量即負荷爲一沉重之金屬圓柱, 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 $\frac{L}{H}$ 。

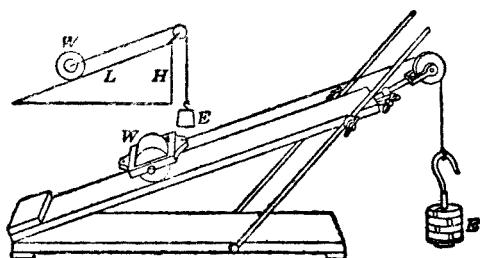


圖 45 用斜面所作之功。

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 呎吋, (b) 於舉高此箱 4 呎吋,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,以繩跨於桅端之定滑輪,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,升高 1 呎,欲於其上曳 200 磅之重量,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 呎即升高 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。

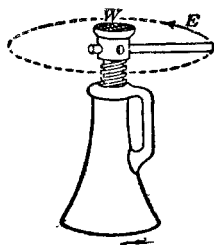


圖 46 建築師之起重螺旋機。

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, 為柄端旋經之圓周, 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

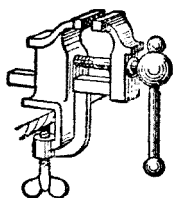


圖 47 機師之虎頭鉗。
螺旋係用槓桿轉動之。

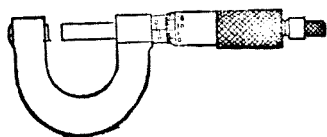


圖 48 測微螺旋，可量至一耗
之 0.001。

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。

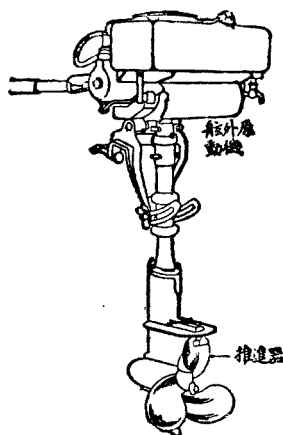


圖 49 三葉推進機,與舷面發動機。

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。

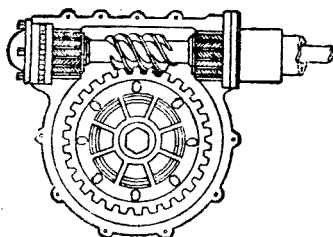


圖 50 用於運貨車後軸上之螺旋齒輪。

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)。此種滑輪係由三轆轤所成，二轆轤在上方之盤車中，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。在上方之盤車中之轆轤，其邊緣有突起之物，可以嵌入鍊之各環中，使鍊不致滑動。此種差動滑輪，有極大之機械利率。

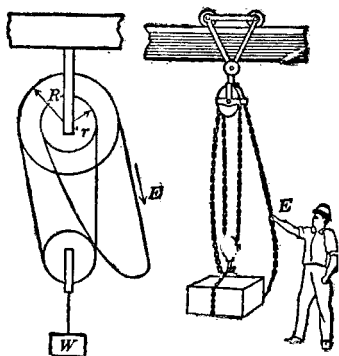


圖 51 差動滑輪。

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，足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

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

$$\text{機械利率} = \frac{W}{E} = \frac{2R}{R-r}$$

因兩定滑輪半徑之差 $(R-r)$ 甚小, 故機械利率甚大頗明。

差動滑輪尚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. 腳踏車之踏板在牛腰, 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，各爲自等於 $1\frac{1}{2}$ 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，即作 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，則所需功率之量，當爲一小時內完成此事所需者之 60 倍。“功率”一詞，即加有時間之概念。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.

$$\begin{aligned} \text{馬力 (H. P.)} &= \frac{\text{每分呎磅數}}{33,000} \\ &= \frac{\text{每秒呎磅數}}{550} \end{aligned}$$

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

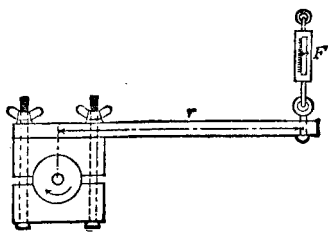


圖 52 用以測定功率之摩擦制動機。

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, 錨纜, 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, 則兩轆轤旋轉於同方向內; 就 (b) 之情形而言, 則皮帶交叉, 兩滑輪

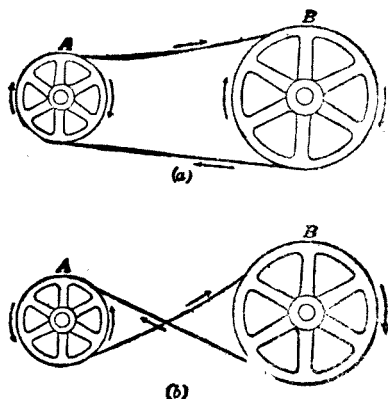


圖 53 用皮帶傳遞動力.

(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，以計其周之量。此兩端之速率，其比等於兩輪齒數之反比。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，可用鑿石鎚與鐵錘，或用蒸汽自動錘。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功率不計。
8. 一救火引擎，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?

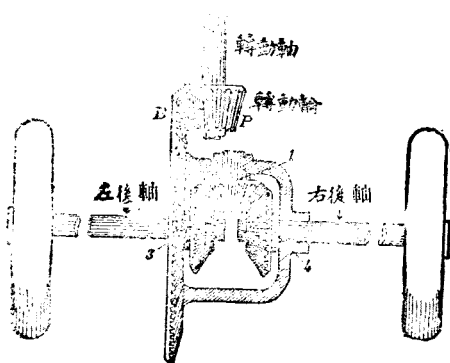


圖 54 汽車上之差動輪,可改變運動之方向,而使兩後輪不相連接。

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

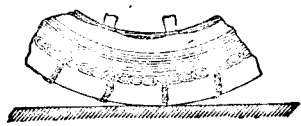


圖 55 汽車輪上之鍊,欲用以防止溜動者.

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.

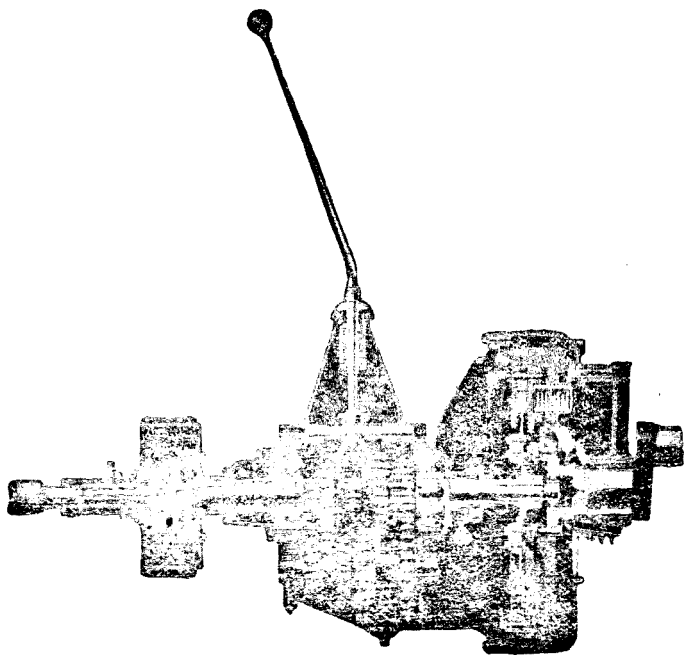


圖 56 汽車之萬能節,傳動齒輪,以及圓板接合子之剖面圖.

51. 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，轉動圓板即與傳動圓板與之俱轉。於是可見在兩種情形之下，功率之傳遞，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，故轉動圓板之旋轉，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。

52. 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，澀滯而不能動，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，差動輪需用濃厚如半固體之油類混合物，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，則殆與接觸而

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, 所用以移箱之力, 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. 有一蒸汽自動鏟，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,或功率單位以表之.

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

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

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。

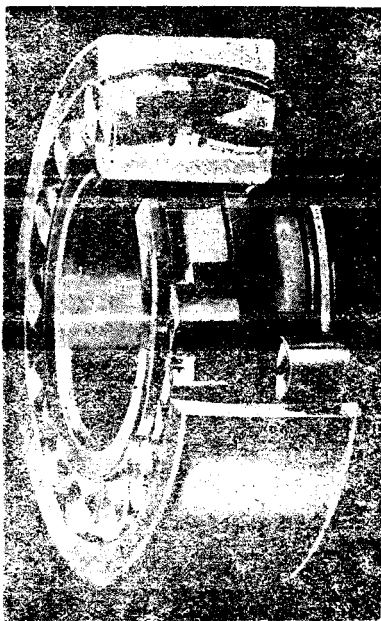


圖 58 滾子軸承，例如機關車及汽車上今所用者即是。

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，欲作此舉，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, 問摩擦力爲何?

5. 一 4 馬力之發動機, 連於唧筒之上, 唧筒之效率爲 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. 一蒸汽自動鏟在 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, 其百分數爲何?

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, 而發動力臂之半徑爲 2 呎, 如此螺旋之效率爲 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, 若滑輪組織之效率爲 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.

$$1 \text{ 馬力} = \text{每秒 } 550 \text{ 呎磅,}$$

$$= \text{每分 } 33,000 \text{ 呎磅.}$$

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

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

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

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

問 答 題

1. 在下列諸機器如：絞衣器，掃地器，冰酪凝結器，犁，磨，以及旋轉切肉器中，可求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)為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,為何可較在泥濘之路上或沙路上所曳者為重?(試一考滾動摩擦).

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

12. 圖 58 所示者,為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,頗以為苦.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”者為何?

實 用 題

1. 汽油船推進機之旋動. 試訪一汽油船主,一詢推機之旋距,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. 以汽車置於機衡柴草及煤炭之臺秤上,權其重量,求出此重量中,有若干為後輪所負,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,是否即為真正之利益?

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昇高此垂直距離時,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，而求其平均值，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)，橫攔於起重器之上，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。

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，克數或尅數以表示。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 $\left(\frac{\text{克}}{\text{呎}^2}\right)$ 。

60. 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，因本身沉重之故，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之乘積，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

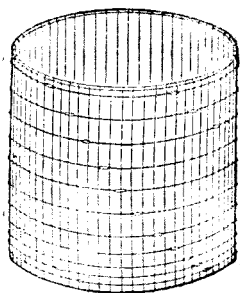


圖 59 以杉木等板製成之圓柱形水槽。

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

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。

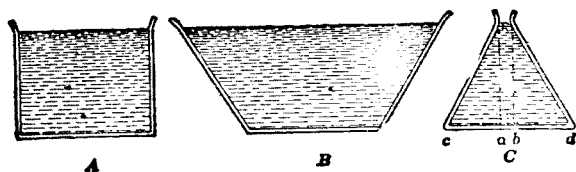


圖 60 盛水之器，其壁有不同之形狀。

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。且初或以爲自 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，片之中心即稍起彎曲如彈簧然，因此得藉齒棒與小齒輪之作用，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 ，頗爲便利。

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，與器之形狀一無關係。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

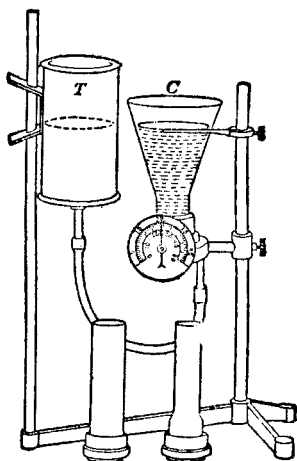


圖 61 底上之壓力，與器之形狀無關。(巴斯恰之瓶)

同時，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

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始相同時，玻璃板始墜下。

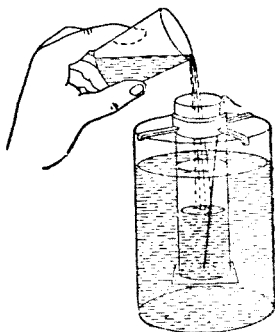


圖 62 水之上壓力同於下壓力。

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）爲何？
2. 在直立之管內，水深 40 呎，問在底面上之壓力（磅/吋²）爲何？

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吋，而口之直徑爲24吋。假定桶中盛水至25吋之深。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平方吋，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吋之處。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

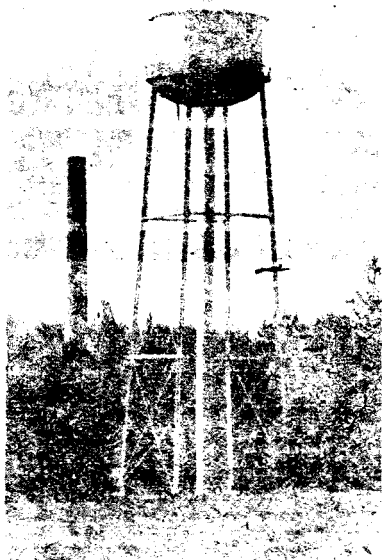


圖 63 梵薩學院之蓄水池。

之全力爲何?

11. 圖 63 示梵蘭學院之蓄水池,圓柱形之蓄水池,其直徑爲 22 呎,而高爲 11 呎,若水池之底高出地面 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。

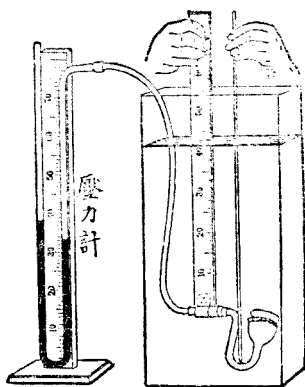


圖 64 壓力計指示液體內之壓力在各方向內均相等。

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面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。

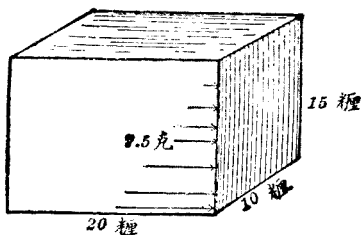


圖 65 水推向箱壁之力，等於面積乘平均壓力。

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

類之水與壺腹之水齊平，此似爲人所共察之現象。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。

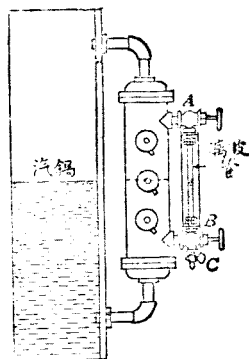


圖 66 裝於汽鍋上之量水計，可示鍋內之水平面。

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。

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. 有一錫製之立方箱，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。

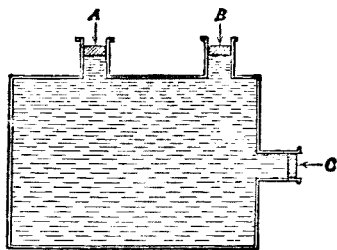


圖 67 密閉之箱，中盛以水，並裝設相等之活塞三具。

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

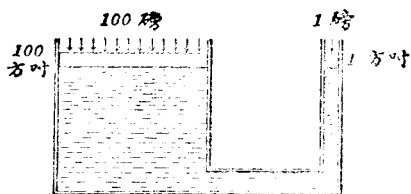


圖 69 施於活塞上之力,與其面積成正變。

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；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

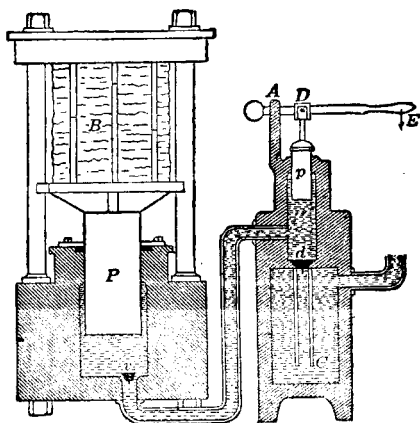


圖 70 水壓機之剖面圖。

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 所示者為水壓機之可用小模型，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 磅，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？

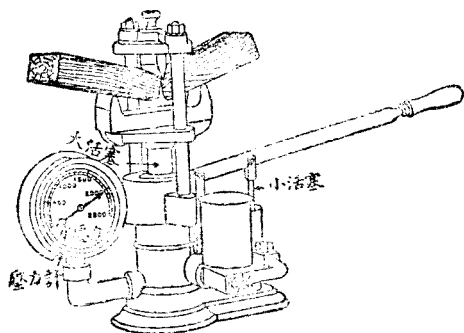


圖 71 水壓機之可用模型。



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。

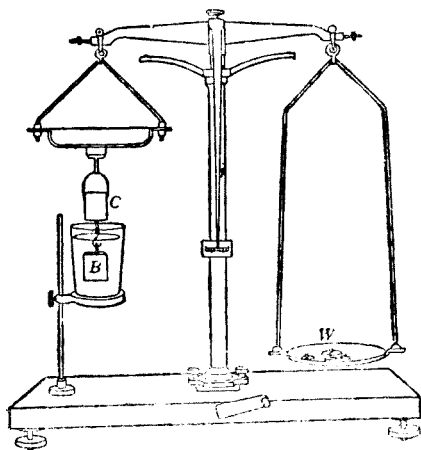


圖 73 液體之上舉效應等於所排開之液體之重量。

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 $10 \times 6 \times 4$ 厘米，而命其頂在水面下 5 厘米之處，命其底在水面下 15 厘米之處，於是在頂上之壓力，即每方厘米上所受下按之力，為 5 克，而在底上之壓力，即每方厘米上所受上推之力，為 15 克，因頂與底之面積均為 6×4 ，即 24 方厘米，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 $10 \times 6 \times 4 = 240$ 立方厘米，而此一體積之水，其重量為 240 克也。

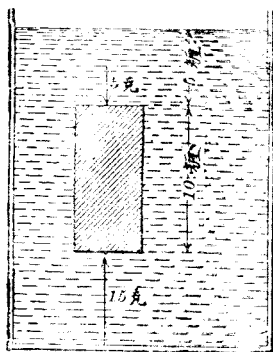


圖 74 浸於水中之長方塊，在其頂與底上作用之力。

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，使之平衡於臺秤之上，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。再於臺秤之旁置一桶，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，又見臺秤成平衡如前。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。

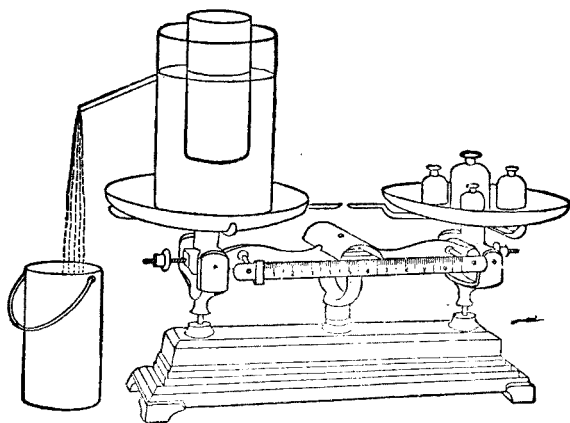


圖 75 浮體排開與其本身重量相等之液體。

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

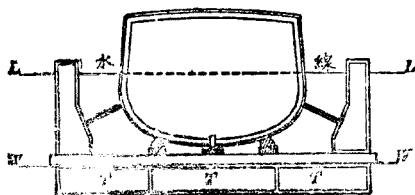


圖 76 浮塢之剖面圖。

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 FF 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。

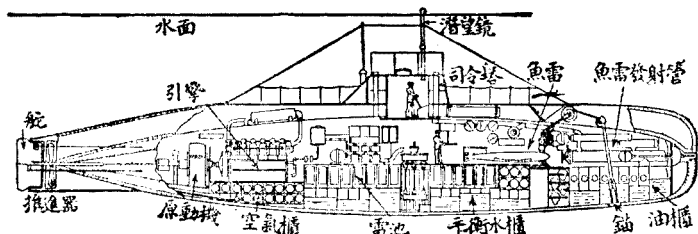


圖 77 潛水艇之浮與沉，係由變其排水量所致。

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. 一木塊其體積爲150立方呎，置於盛有水之器中，水之爲其所排而溢出者，有95立方呎，問此木塊之密度爲何？

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呎而寬爲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，問木箱之重量爲何？

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，稱爲該物質之**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
 密度(每立方厘之克數) = 比重(之數).

在英美制中,水之密度爲每立方呎62.4磅,因而有

密度(每立方呎之磅數) = 62.4 × 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,即爲

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

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,即爲等體積之水重.故銅之比重爲 $\frac{178}{20} = 8.9$.

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,於是以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,較先所權得者爲少,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

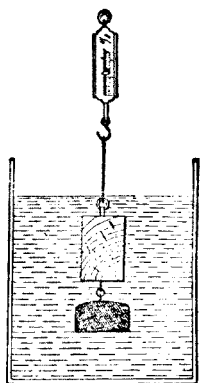


圖78 用錘使木塊沉入水中以決定其比重.

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，以備採用。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

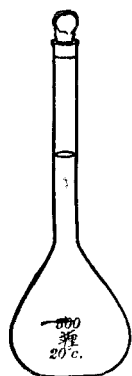


圖 79 比重罈。

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

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，球中裝有水銀或鉛彈，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。

觀察比重計之幹與液面相觸之處。在幹之內部，通常襯有刻度之紙，其上標明比重之數(或密度每立方厘米之克數)，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，其幹上表示水之數字 1.000，近於幹頂；一以測輕液體之比重，其幹上表示水之數字 1.000，近於幹底。

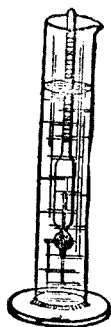


圖 80 比重計，用以測定液體之比重者。

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), 參至 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。

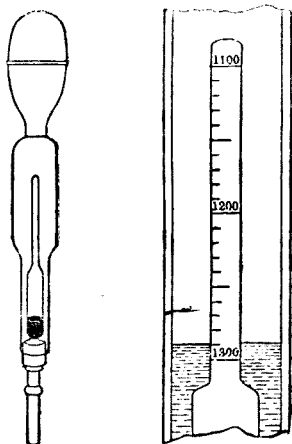


圖 81 吸上比重計, 用以檢驗蓄電池者。

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, 則製一尅之砝碼, 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 61.1 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立方糎之水重1克，故

密度(每立方糎之克數)=比重(之數)。

在英美制中，因1立方呎之水重62.4磅，故

密度(每立方呎之磅數)=62.4×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，遂得冠以彼名之原理。試擬一或係彼所採用之方法。
10. 魚腹中之氣鰾，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，僅有約一吋之誤差，當彼須測此線之地位時，須行何種參考？
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 用 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——由托里拆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;在工場中運轉鑽與銳,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,表示罇之重量增加(圖 82)。

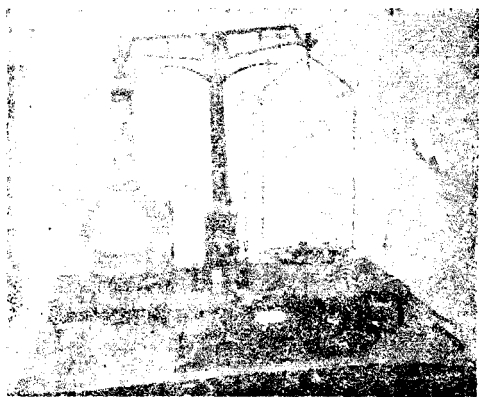


圖 82 充有空氣之罇,權之較重於空無所有之罇

由精細之實驗，知在尋常大氣情況下，一呎之空氣重約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，例如氮氣，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，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

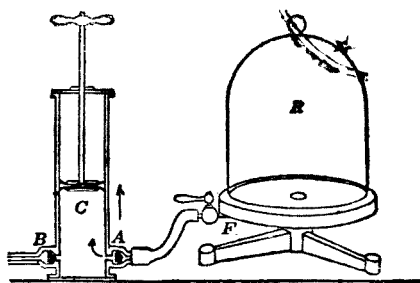


圖 83 簡單真空唧筒與接受器。

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次，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 B 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

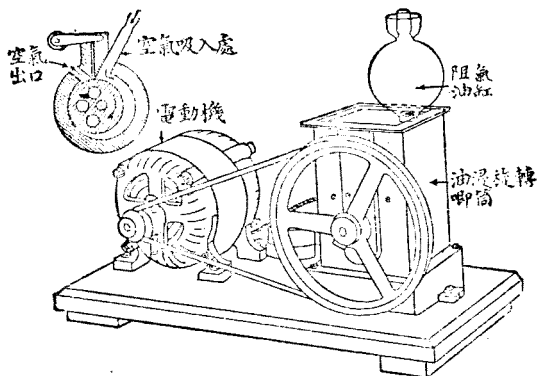


圖 84 高度真空旋轉唧筒，以電動機使之運轉。

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，其中僅含在常態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。水銀蒸汽經 F 而上升，折向下方並向外而抵於用水冷却之壁 W 。欲使成真空之器連接於 F ，而輔助之旋轉唧筒則連

之於 P 。空氣經過 S 時，與水銀蒸汽流相遇，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。水銀蒸汽即凝結而降落於底，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。

81. 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。

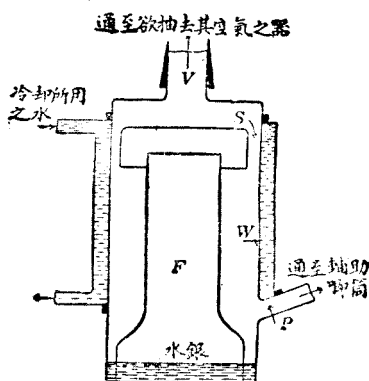


圖 85 耶滿氏 (Langmuir) 水銀唧筒。

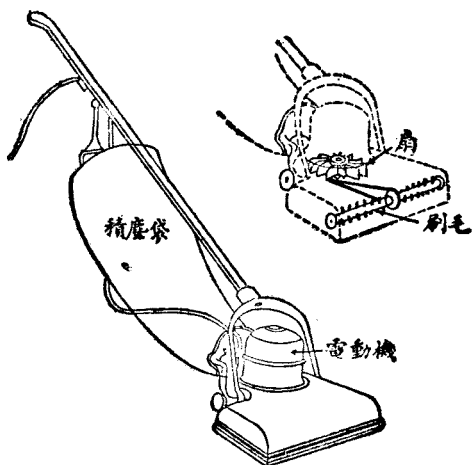


圖 86 連有掃帚之手攜真空清除器。

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端之橡皮管，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，此種唧筒運轉之原理，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 毫之萬萬分之一。

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)，發覺吸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。於一六四三年，托里拆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

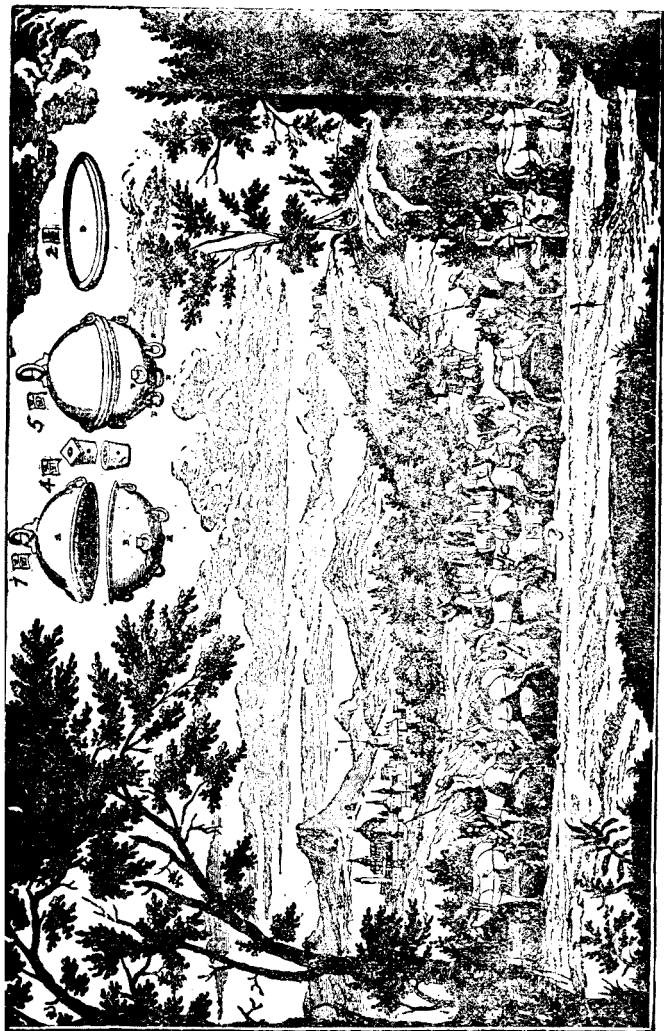


圖 88 奧吐道古立克氏，於一六五〇年當德皇之面，行麥德堅半球之實驗。

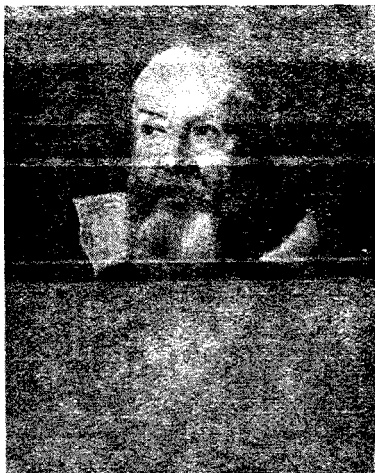


圖 89 伽利略伽利利氏 (Galileo Galilei) (1564-1642), 常稱之為“近代科學鼻祖”, 因彼為用實驗證明理論之第一人。

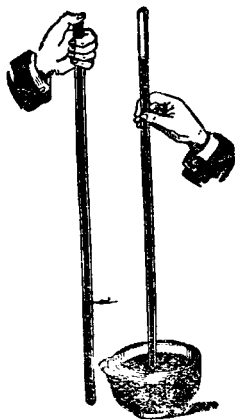


圖 90 托里拆利之實驗——用水銀柱與空氣之壓力相平衡

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, 頗為尖銳, 管中水銀面以上之空間, 除微量之水銀蒸汽外, 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, 液體之所以上昇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. 自托里坿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 厘米，故 a 處之壓力，等於高為 76 厘米而截面為 1 方厘米之水銀柱之重量。此即為 76 立方厘米之水銀之重；即 $76 \times 13.6 = 1034$ 克是也。

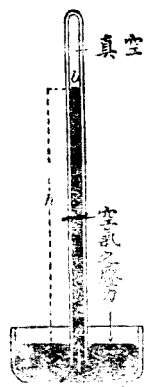


圖 91 用水銀柱
計量大氣壓力。

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）約為每方厘米 1 克，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。因此彼即攜一托里坿利管，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 厘，此事使彼二人均驚喜萬分焉。

87. 氣壓計。托里拆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”，而其主要之部分，係一盤狀之金屬圓盒，盒頂薄而有綑裝，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。

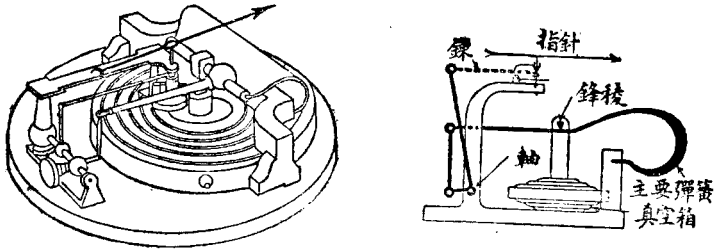


圖 93 無液氣壓計，及其構造之圖。

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，或在大气本身之有波動，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

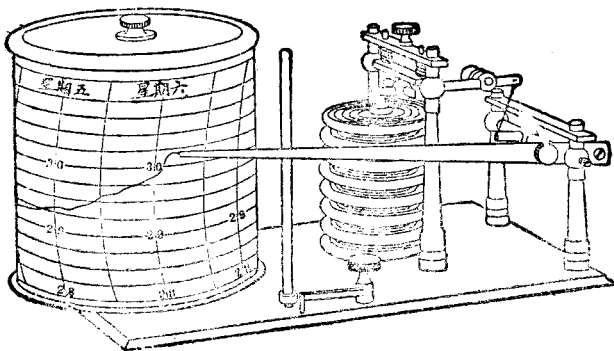


圖 94 自錄氣壓計 (barograph)。

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

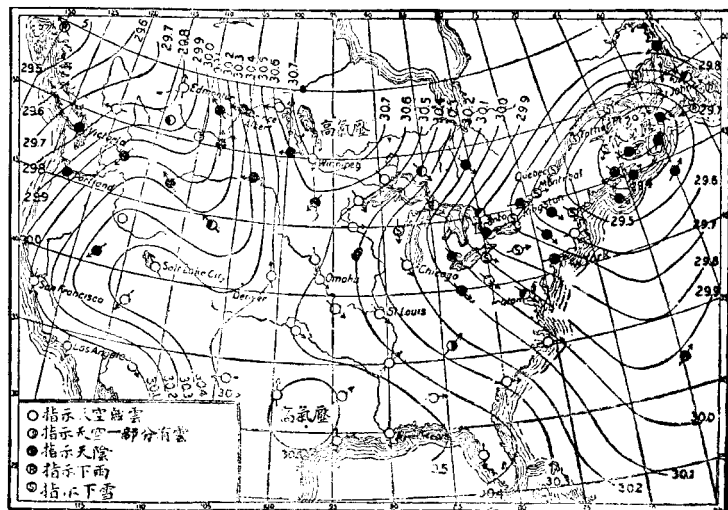


圖 95 美國之氣象圖,表示等壓線之所在。

相等，稱為等壓線(isobars)。各地風之方向，係用箭鏃表示，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，即見當彼上昇之時，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生差異？
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，問彼所受之壓力為若干氣壓？
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. 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。間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，間壓力之變動，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 upper 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，

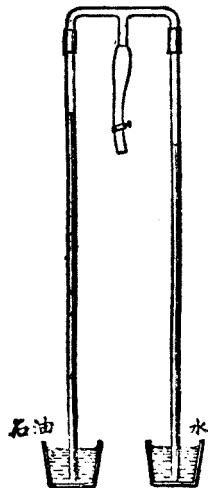


圖 96 用平衡水柱求比重。

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。

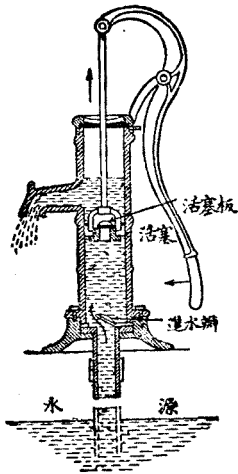


圖 97 吸上唧筒。

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。當將活塞抽起之時，其滑瓣閉而不開，因本身之重量，以及壓上力之故。在活塞與筒底間，設進水滑瓣不開，則成為部份真空。但井中水面上空氣之壓力，迫使水上升。

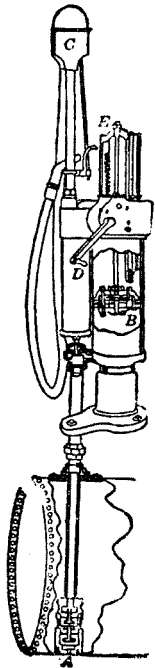


圖 98 汽油計量唧筒。

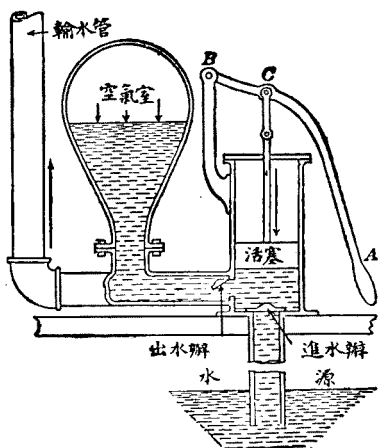


圖 99 有空氣室之壓上唧筒。

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“急燭”爐內之氣；並可用以使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

而水管與第二沿瓣，均在圓筒之底。將活塞提起，圓筒即充水；壓之使再下降，即迫水由第二導管流出。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。

因水之被迫上昇，祇在活塞下降之時，故水流噴射而出亦時斷時續。欲減少因是而發生之軋轢

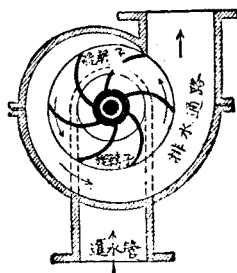


圖 100 離心唧筒之縱剖面。

之壓力，由蒸汽風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。凡瓶與桶之不易傾側者，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力，故如彎處 B 在水平面 AA' 以上逾 34 呎時，虹吸即不起作用。

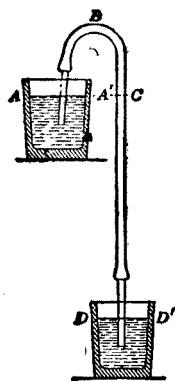


圖 101 虹吸。

在工程方面，往往大規模利用虹吸，例如在動力廠中，用以凝結蒸汽之水，往往取自海洋，升高 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？（假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砝碼，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。

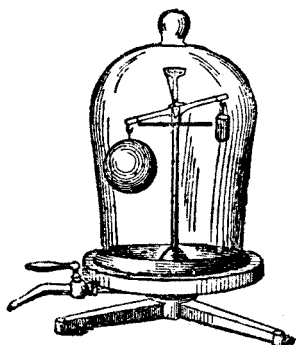


圖 102 空氣之浮力視所排空氣之體積而定。

大多數物體與其所排空氣相比較，皆甚重，故因空氣之浮力而失去之重量，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。

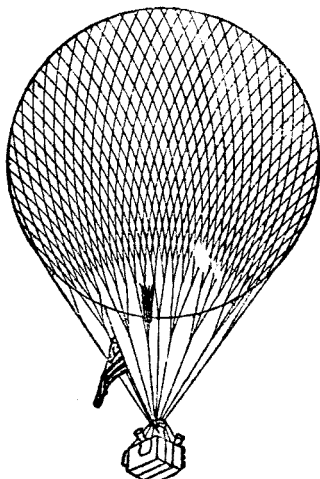


圖 103 美國陸軍用球形氣球。

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)爲可以駕駛之氣球，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。齊柏林(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柏林號(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，用纜索懸於纏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。

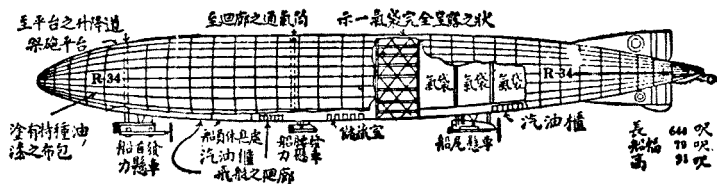


圖 104 剛體式(即齊柏林式)之可駛飛艇。

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



圖 105 擊留於施辛之羅斯安琪兒號 (Los Angeles). 此飛艇內充氦氣。

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，與氣囊中氣體之重量之差。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，發生於 (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？（假定氣球於上昇時，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

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,亦可用爲空氣壓縮器 (air compressor), 將空氣自太空壓入密封之筒. 在筒中可得之壓力,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.

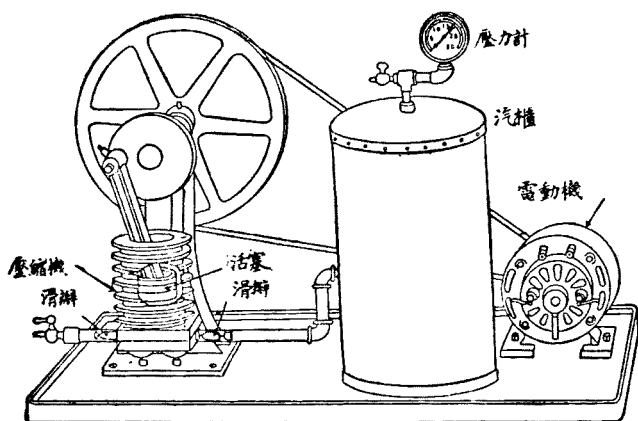


圖 106 由電動機運轉之空氣壓縮器。

用蒸汽引擎或用電動機以運轉之巨大空氣壓縮器,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,放出時可急爆火力猛烈之

爐，或儲之於銅筒中，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銅塞者 (圖 107)，充以空氣，則以手按塞，易推之使下。將手放開，則銅塞幾彈回原處。荷銅塞

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；如用鎚敲擊鋼塞之一端，其結果猶如全管為實質之木柱，蓋液體殆不可壓縮也。

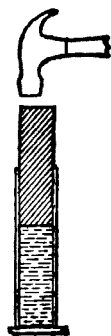


圖 107 水幾不可壓縮。

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。

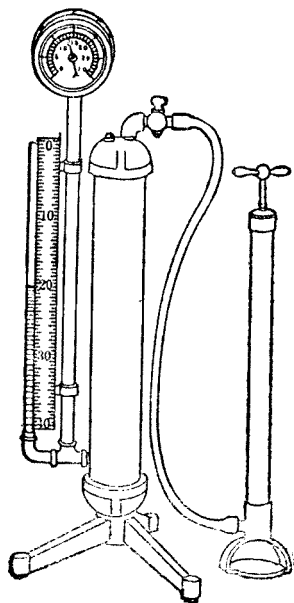


圖 108 測量空氣壓縮性之器械。

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）。因管體大小一律，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，且可以記號表之如下式：

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

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

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，即使充以水銀亦覺笨重不堪，故須用一種閉管壓力計 (closed mano-

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

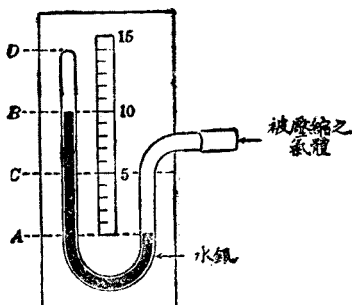


圖 110 測量壓縮氣體壓力之閉管壓力計。

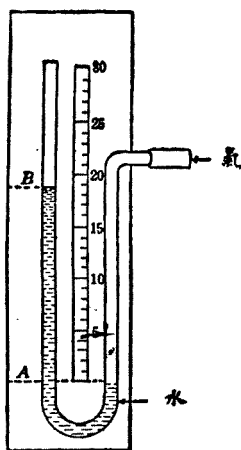


圖 109 測量氣體壓力之開管壓力計。

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。

鮑唐氏彈簧壓力計，爲一銅管所成，管之截面爲橢圓，曲屈幾爲完全之環，其一端封閉，如圖111所示。管之較扁兩面，即爲環之內外面。管之開口一端，連於導管，受壓力之流質，即由此導管而來。

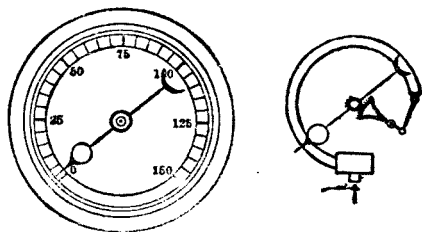


圖 111 鮑唐氏壓力計。

管之密閉一端，可自由運動。當壓力增加時，銅管勢將向外直伸，因而移動由槓桿相連之指針。此種壓力計上之刻度，可直接指示每方吋上之磅數。通常所示者，爲超過大氣壓力之數。

欲測小於一氣壓之壓力時，例如測蒸汽引擎凝結器(231節)中之真空，用尋常之氣壓計即不便，因須將管底之水銀杯，全部露於欲測其壓力之空氣中也。是以此種壓力計之構造，須使欲測之低壓力，可於水銀管之頂端測之。斯時水銀柱之高度，即指示微小壓力與大氣壓力之差。真空愈高，此種壓力計所示度數亦愈大。例如工程師常言及26吋或28吋真空，其意即謂壓力與30吋標準氣壓，相差達水銀柱26吋或28吋是也。近時在蒸汽風輪凝結器中所得最高之真空，有自29至29.5吋者。因此種水銀氣壓計，在引擎室中用之不便，故採用鮑唐氏壓力計，其刻度亦表吋數，與所易之水銀壓力計同。

問答題與計算題

(在此諸題中,假定溫度不變。)

1. $P_1V_1=P_2V_2$,爲何乃波義耳定律極不完全之表示?
2. 圖108中之空氣柱,當絕對壓力爲每方吋20磅時,若見其高爲18呎,則須用若干壓力,可使柱高減至13呎?
3. 壓力每方吋15磅之空氣一百立方呎,壓縮之成爲36立方呎,問彼時之壓力爲何?
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,問體積之變遷爲何?
5. 一筒之體積爲2立方呎,充以壓縮空氣,至絕對壓力爲每方吋3000磅而止,問迫入此筒之空氣,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. 一藏氣圓筒高4呎,其內部之截面爲0.2方呎,筒中所藏之乙炔(俗名電石氣 acetylene),以壓力計測其壓力爲每方吋1785磅,問自此筒可取出若干體積之氣體,其壓力爲一氣壓?(即每方吋15磅)
8. 一汽車胎含有空氣1.1立方呎,以壓力計測其壓力爲每方吋50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立方呎之筒中,再壓入250立方呎,問現在筒內之壓力爲何?(假定一氣壓爲水銀柱高76呎。)
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,壓力計上所示度數爲零,問當活塞降入筒內3吋時,壓力計上所示度數爲何?(假定不洩氣,且不發熱。)

12. 一玻璃管，其腔之粗細通體一律，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？（假定大氣壓力=76吋之水銀柱。）(b) 管內與管外水銀面之差為何？

13. 制動機之活塞，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%。

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處”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？

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。

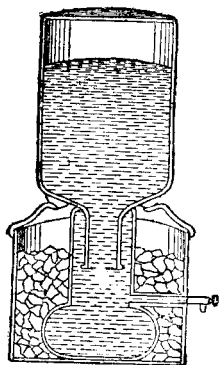


圖 112 飲料貯藏器。

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?在航行之前,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)在航程中駕駛之,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

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，爲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，而不用蒸汽，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？

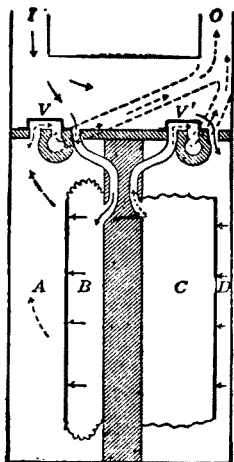


圖 113 氣量計之構造圖。

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，其正則肺容量爲何？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

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。

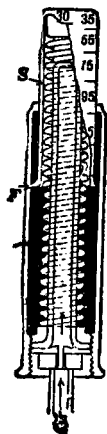


圖 114 汽車胎上所用之壓力計量器

第 六 章

正在運動之液體與氣體

自來水廠，放水管，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

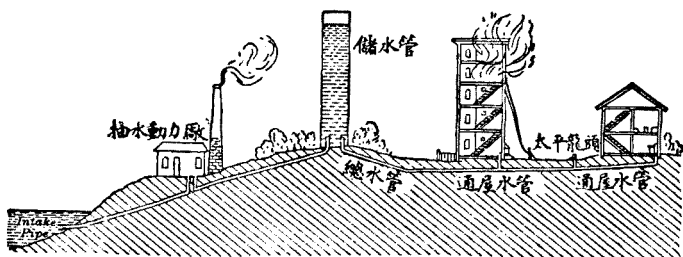


圖 115 自來水組織之剖面。

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，以巨大之導管稱為總管(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

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,此外則爲貯水池,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), 與面盆浴缸近傍之放水管或龍頭 (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:其一爲襯圈磨損,又一卽柄之鬆弛是也。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。

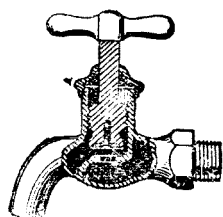


圖 116 普通放水管之剖面。

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。爲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), 卽在中斷滑瓣關閉時,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爲慢,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

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。

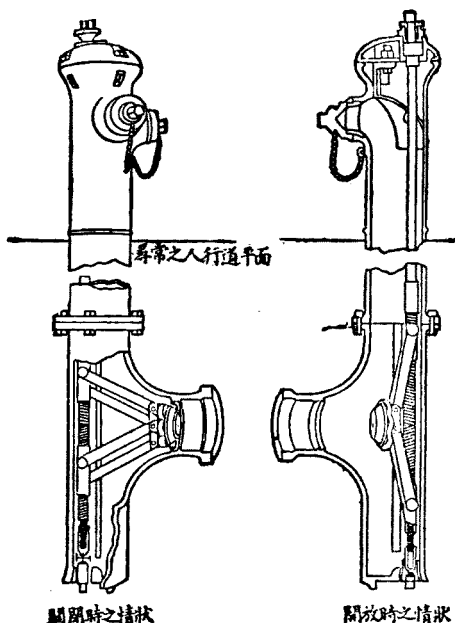


圖 117 救火起水筒之剖面，示其中斷滑瓣 (cut off valve) 開闔之情形。

下述之實驗，表示同一事項，惟規模較小而已。於圖 118，蓄水池 E 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 E 、 C 、 D 以及 E 內之水平面相同；此時

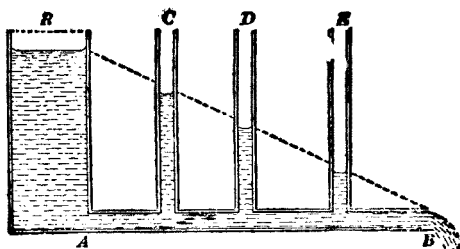


圖 118 壓力因導管中之摩擦而低落。

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 R 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

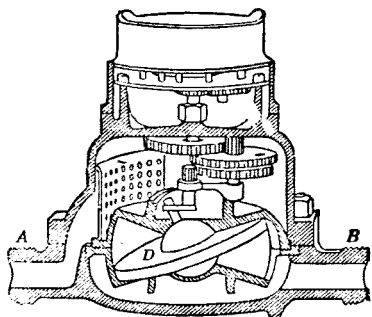


圖 119 盤式水表，揭去其一面。

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。

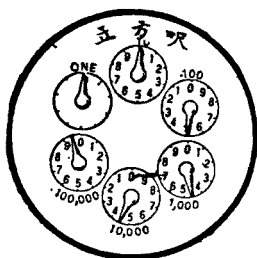


圖 120 水表之針面，所示度數為 94,450 立方呎。

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，惟其功率之量，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”

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

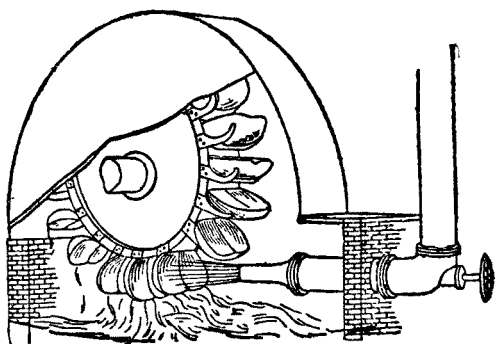
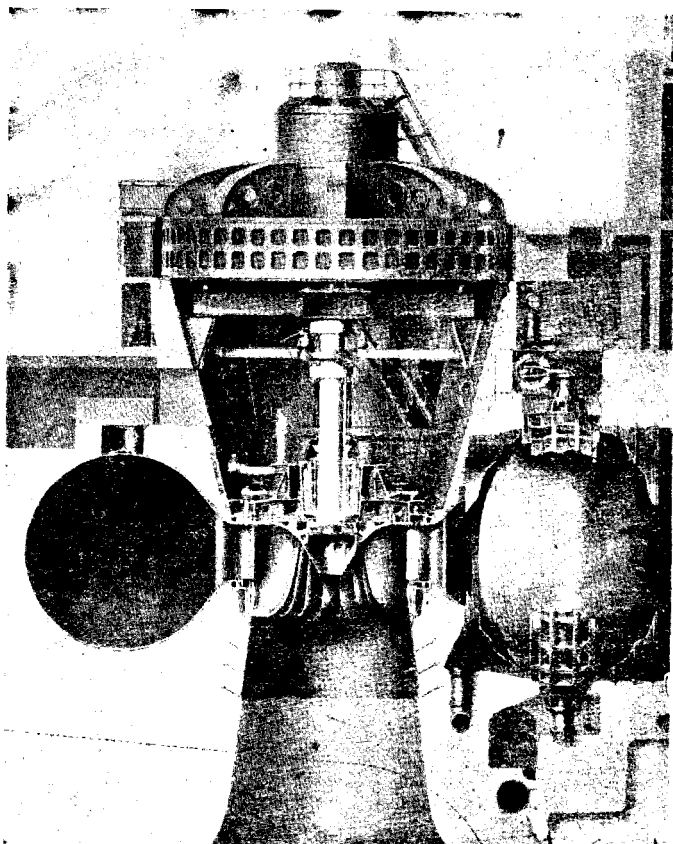


圖 121 在水頭甚高時所用之拍爾吞水車。

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



■ 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（Onowingo）設計之一部份，此臥輪按 81.8 r.p.m. 之速率，在 89 呎之尋常水頭下運轉。

上常連一直垂之軸，可將功率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

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，即內受之功約爲5800馬力是也。因其外放之功率爲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，可決定瀑布所發功率之量。
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%。問此臥輪所發之功率爲何？
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。如發動機之效率爲75%，則其馬力爲何？
8. 某村之水，來自一池，池之位置；約與村同一水平

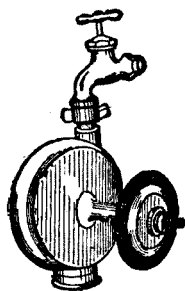


圖 123 連於龍頭上之水動機

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,若效率爲 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。

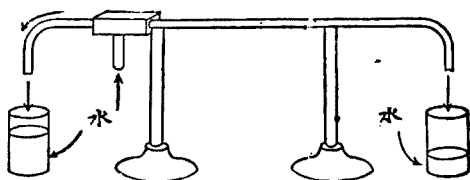
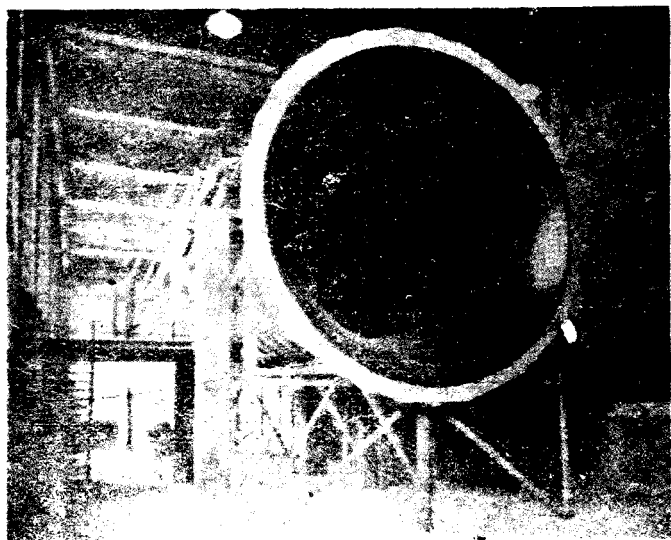


圖 124 水自短管流出,較自長管流出爲速。

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

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。



■ 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。

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)。

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

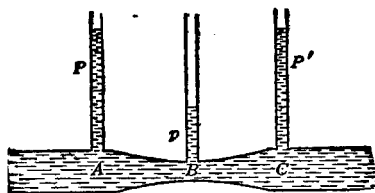


圖 126 B 處之壓力較小於 A 或 C 處之壓力，而速率則較大。

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

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

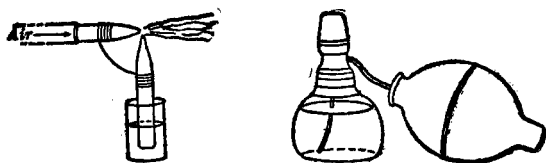


圖 127 尋常之噴霧器及玻璃模型。

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,成為霧沫。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。

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

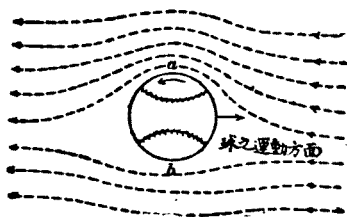


圖 128 表示棒球何故上彎之圖。在 a 處之壓力，較在 b 處者為小。

128 中之圖解。此圖所示者，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。

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。

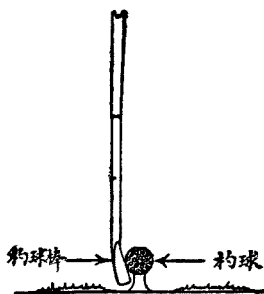


圖 129 哥爾夫球飛行之路徑為何？

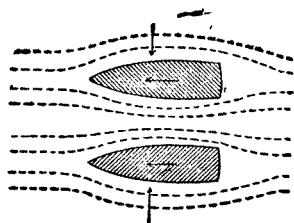


圖 130 兩船相擠於一處之故。

第六章 提要

水之所以流經導管者，因有高變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。

水功率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。

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) 此能何以未能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, 汝將假定其所發之功率相同否? 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. 水動機之功率與效率。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)。

第七章

材料之彈性與強度 表面張力

不鋼之各種應力——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——勃耶運動——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，對於公衆實屬非常重要，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

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，或正在將功率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——受伸張作用(in tension)，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——受壓縮作用 (in compression)，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，藉以傳遞功率於各種機器者，均須抵抗扭轉(twisting)。

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.鉸釘之用處,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

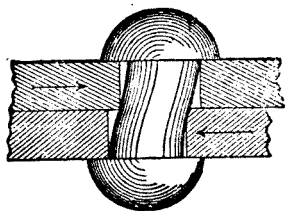


圖 131 鐵板對於鉸釘之剪軋作用。

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.每當運貨車或列車經過橋面時,橋之橫桁,無有充分堅硬

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，於正在傳遞功率之時，即稍扭轉。其他數種應力，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

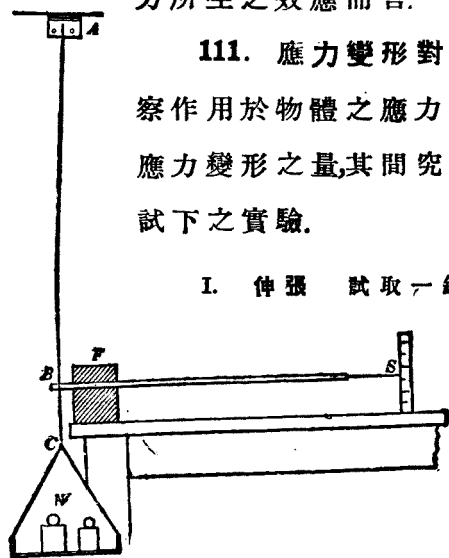


圖 132 用不同之負荷伸長一線。

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

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鋒稜之上，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，其左端則夾之於輪轂中。置於盤中之砝碼，施扭轉之力於桿上，而所生扭轉

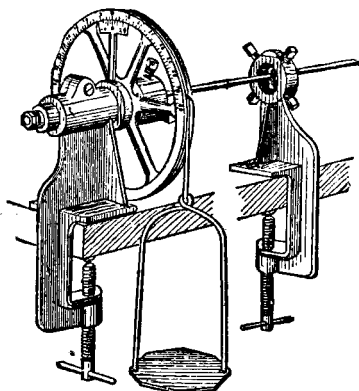


圖 133 扭轉金屬桿之器械。

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，特稱之為轉矩 (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。

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

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。

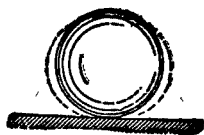


圖 134 鋼球之彈性,使之在撞擊他物時略呈扁狀。

凡氣體,皆為彈性完全之物質。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變形矣。對於他種應力,

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，使物體呈永久變形之最小力，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，中途永不呈永久之變形。

問答題與計算題

1. 紐約城中有所謂熨斗屋 (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？

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

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，再由長頸之漏斗管(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。

116. 氣體之擴散。 物質分子之逐漸混和,在氣體爲尤甚。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瓶,即見氣泡自玻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,而撤去玻瓶,立見水在玻管中徐徐上昇;此即表示杯內之氣體,正在透壁而出。

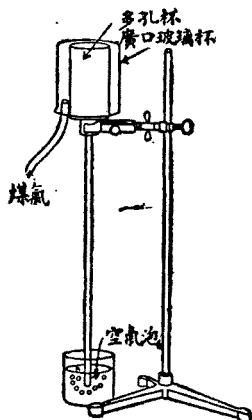


圖 135 輕氣透過多孔杯之擴散。

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——而迅即擴散成爲齊一之混合物。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,將氫氣自天然氣中

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。

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).

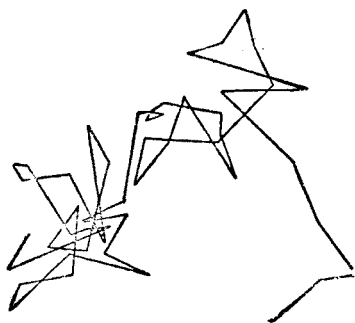


圖 136 浮游之微粒,因勃郎運動而經之路線。

問 答 題

應用氣體運動說,解釋下列各事:

- (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

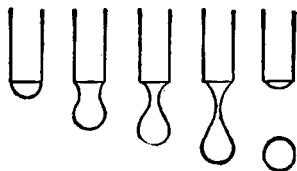


圖 137 水滴之成因。

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，甚至輕微之平底鋁製濾茶器，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

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。

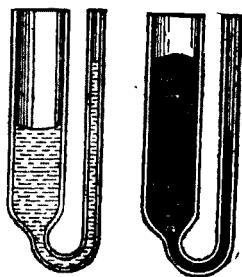


圖 138 水與水銀在毛細管中所呈之現象。

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。

(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。

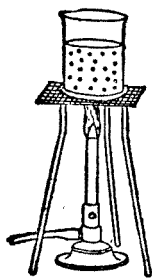


圖 139 水中之空氣泡。

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

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

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. 說明手巾之作用。
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。

彈性限度為使物體呈永久變形之最小應力。

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。

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，其意何解？
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。(毛細管作用之兩例)。
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 用 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，卽爲此種裝置之一。連於門上之狀況，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

閉時不發巨聲。

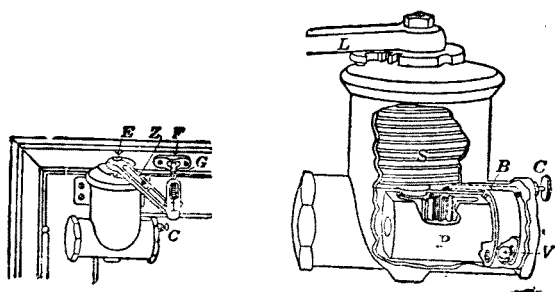


圖 140 自動閉門彈簧。

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 吋之細而燥之懸泥, 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?

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

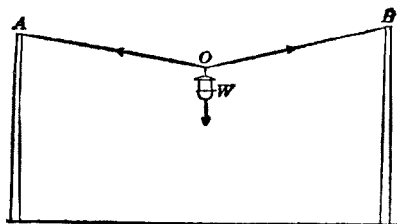


圖 141 三力作用於O點。

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

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，故稱為此二力之合力 (resultant)。

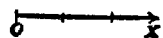


圖 142 向東作用之 30 磅之力。

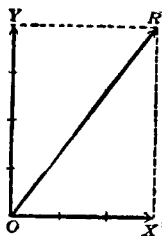


圖 143 互成直角之二力 OX 與 OY ，其合力為 OR 。

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 ，懸之於黑板頂嵌線中之釘上，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

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 OR ，顯為 OX 及 OY 之合力。因若量 OR ，而由所定力之比例尺，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。

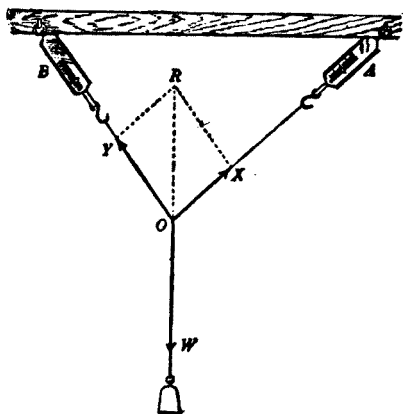


圖 144 證明力之平行四邊形之原理之實驗。

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，

自 180° 漸減至 0° 時，合力 OR 即漸增。

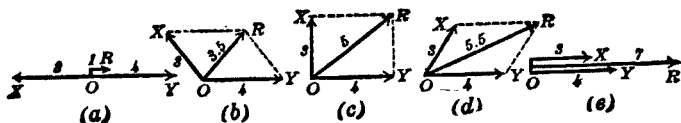


圖 145 交角不同之二力，合力 R 之大小，視 X 力與 Y 力之交角而定。

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，可自關於直角三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. 證明力之合成之例。假定有一起重機臂 AB ，連於壁上，

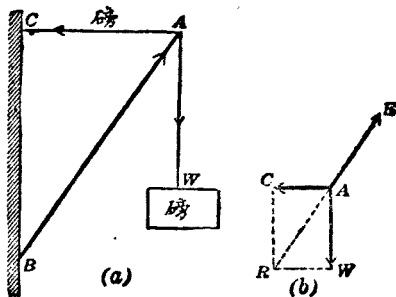


圖 146 三力作用於起重機臂外端 A 。

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

$$AE = 2500 \text{ 磅.}$$

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.

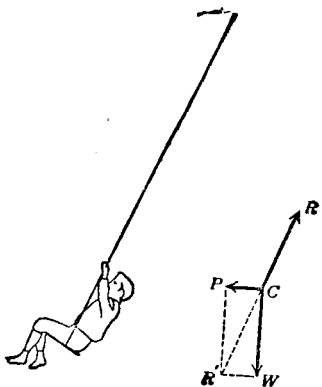


圖 147 作鞦韆戲之小兒, 有三力作用於其身上.

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

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。

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？

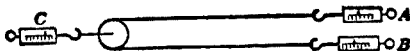


圖 148 三平行力。

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。若將鐵絲紮緊，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？

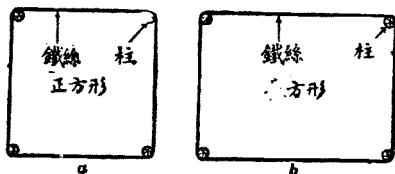


圖 149 作用於柱上之力。

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

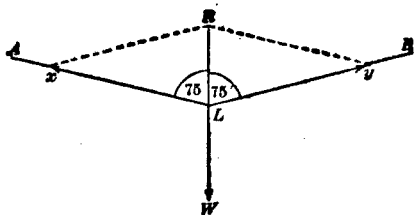


圖 150 作用於街燈上三力之圖解。

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

於外間 BC 索上之張力爲何?

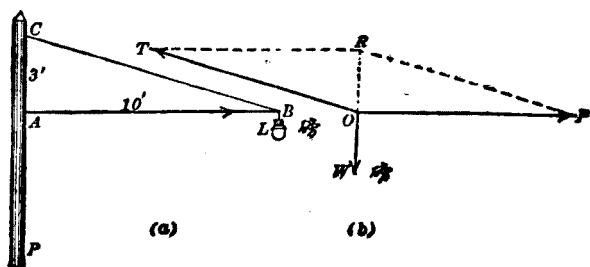


圖 151 三力作用於懸於托架上之街燈。

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 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

與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

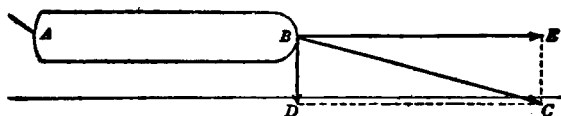


圖 152 作用於運貨船上之力 BC ，其有效分力為 BE 。

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，或屋頂之桁構時，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。然物體縱大，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。

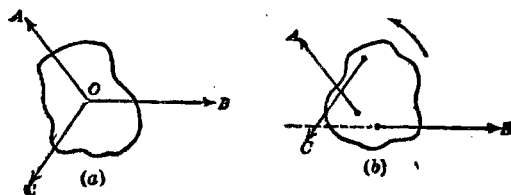


圖 153 靜止(a)及旋轉(b)之條件。

解實用問題時之另一困難，爲不易揣想作用於任何已知物體之一切諸力（抵拒或牽曳之力）。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。其一應爲物體自身之簡圖，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。

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，試分解之爲二力，使其一爲 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，則繩上之張力爲何？若角度增大，則張力將受若何之影響？

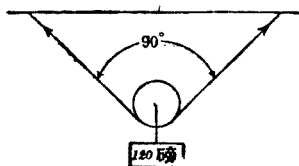


圖 154 繩上之張力爲何？

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) 此力之有效分力爲何？(b) 若柄與地面，斜成 45 度之角，則有效分力爲何？

6. 一 V 形之水落，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爲何？

7. 已知有10磅之一力,向北作用。試將此力分解為二力,交成直角,而其一為他二之倍。

8. 有一砵之砵碼一枚,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?

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?

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?

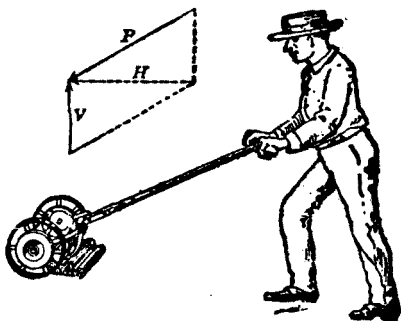


圖 155 某人前推之有效分力。

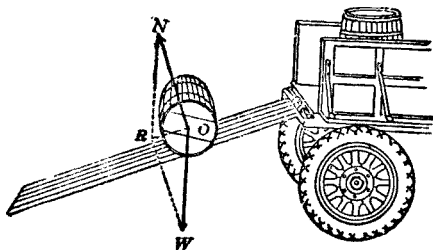


圖 156 作用於滑材上之罐上之諸力。

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。

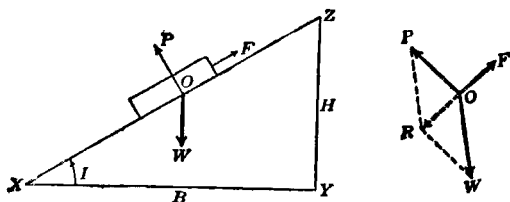


圖 157 摩擦適足以保持重物於斜面之上。

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 表示斜面直向車身之壓力，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，壓力乃車重之一部份，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

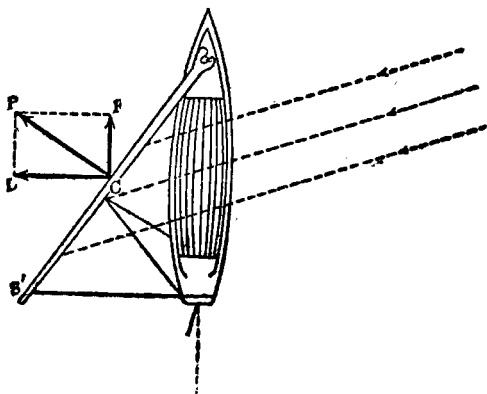


圖 158 逆風行舟之情形. CF 力為 CP 之有效分力.

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。

推進機係用輕而功率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。

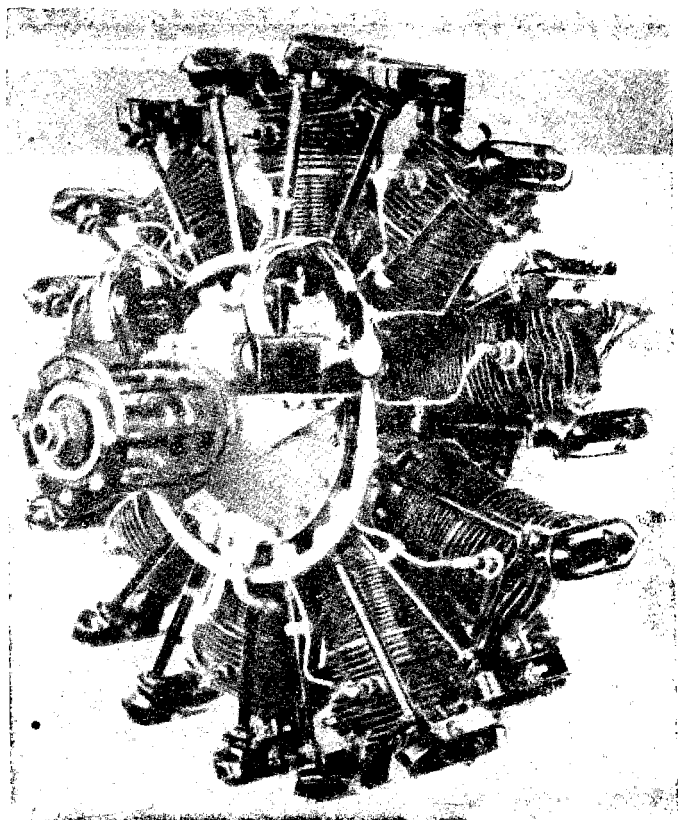


圖 159 在飛機上廣用之雷脫旋風發動機。此機有200馬力,具汽缸九隻,乃輻射式(radial type)之空氣冷却引擎(air-cooled engine)。

136. 支持飛機者為何! 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，惟此則由飛機本身行經空氣所致，

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

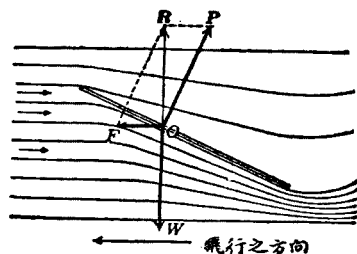


圖 160 作用於飛機翼之諸力。

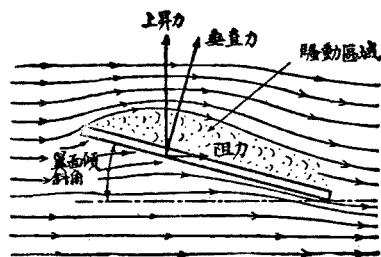


圖 161 運動之平面之圖解。

之速率增加，則前推之力 OP 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，則此所謂眉形翼 (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。

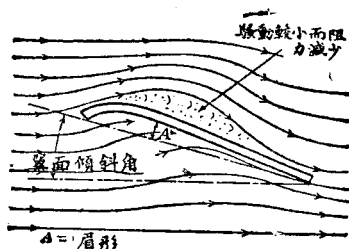


圖 162 眉形翼之圖解。

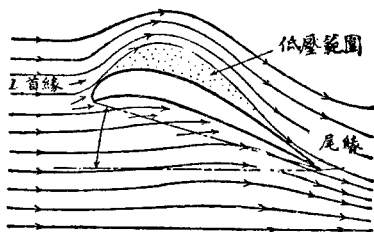


圖 163 飛機翼週圍空氣狀況之圖解。

計 算 題

1. 圖 164 示一簡單之起重機。當重量 W 為一噸而

BAC 角為 45° 之時，求 BC 上之張力及支柱 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，則有幾分力為何？

3. 一熨斗在熨衣板上滑行之時，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，其一端支於壁中之剷形上，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 8 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

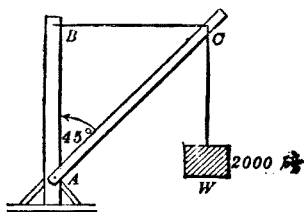


圖 152 簡單起重機。

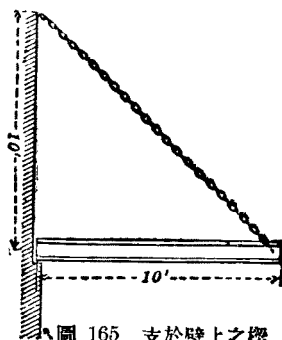


圖 165 支於壁上之樑。

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) 使窗抵於窗上之力為何？

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。——

方向以矢鏃指示之。

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，何故？
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,宜用較爲堅固者?

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?作用於卷尺之力爲何?

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
海舶	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), 或每秒之糵數或呎數 (糵/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運動會中, 一萬米賽跑記錄為 30 分又 18.8 秒. 問以每秒之呎數所表之速度為何? 以每秒之哩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

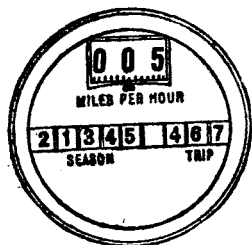


圖 166 汽車速度計, 指示速度及車行之哩數。

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), 小時呎, 秒呎, 以及秒裡——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

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

$$v = at. \quad (I)$$

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, 或厘 / 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 $v^2 = 2as$ (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.

於是 $s = \frac{v^2}{2a} = \frac{44^2}{2 \times 2.2} = 440$ 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 哩之速度逆行時,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/秒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,其得數如下:

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,以研究落下物體之定律.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，即以為落下體之速度，視其重量而定是也。但伽利略則堅持凡物體若不為空氣所礙，則在同一時間內，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，乃登碧利 (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，同置於長玻璃管中（圖 167），而抽出管中之空氣，則

於急速將管倒轉之時，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。

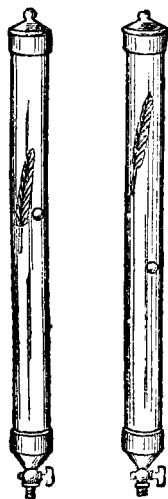


圖 167 羽毛與錢幣在真空管中一同落下：

擺之用為調整鐘之運動之具，衆所熟知。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 為擺長之厘米數， g 為重力加速度之每秒若干秒厘米之數，而 π 則為 3.14。

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 以表重力加速度。

是以就自由落下物體之自靜止出發者而論，即有

$$v = gt,$$

$$s = \frac{1}{2}gt^2,$$

$$v^2 = 2gs.$$

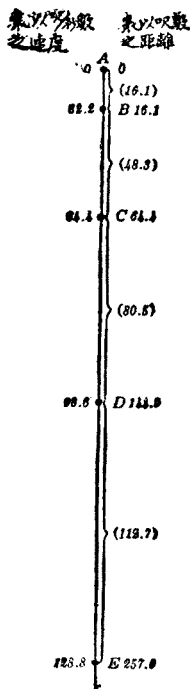


圖 16E 自由落下之球。

在圖 16E 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。

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	全時間之平均速度	落下之全距離	末秒內落下之距離
	呎/秒	呎/秒	呎	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)已經之距離爲何?
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，或由戰艦上之大砲所發之拋射體，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。

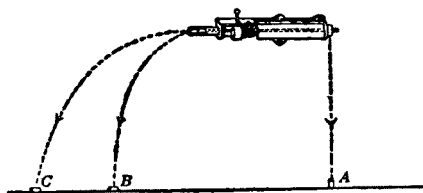


圖 169 A 球與拋射而出之 B 球或 C 球，在同時着地。

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。

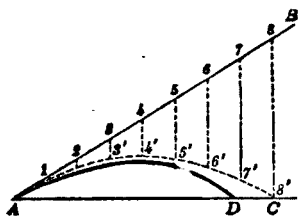


圖 170 拋射體之路徑。

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

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 60 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,苟此車係以每小時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,在底部較在近放水管之處為小,試說明其故。

實 用 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。

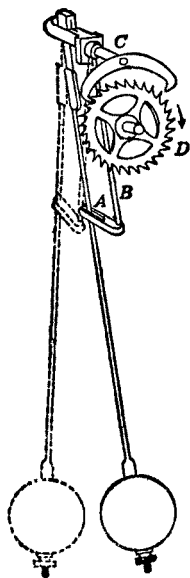


圖 171 鐘之擒縱輪與擺。

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。

情性定律，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——情性。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。

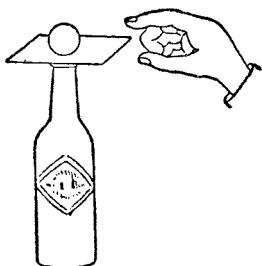


圖 173 情性保球不動。

由此觀之，顯見物體在靜止之時，常有保持其靜止之傾向。此種物性稱爲情性(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，亦稱慣性。

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。荷路面過滑，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，以抵球之慣性。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。此因牛乳之慣性，較大於牛酪

之情性，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，故能使牛乳成高速度旋渦。

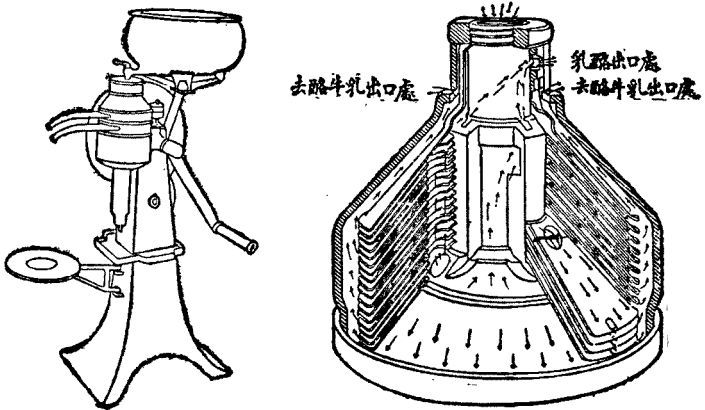


圖 174 析乳器及其旋轉圓板之圖。

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疾轉之多孔籃，皆是。

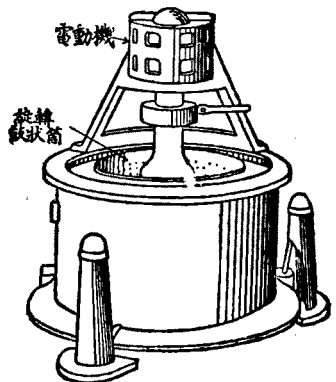


圖 175 離心析糖器 (sugar centrifuge)，用以自糖晶析出糖漿。

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。

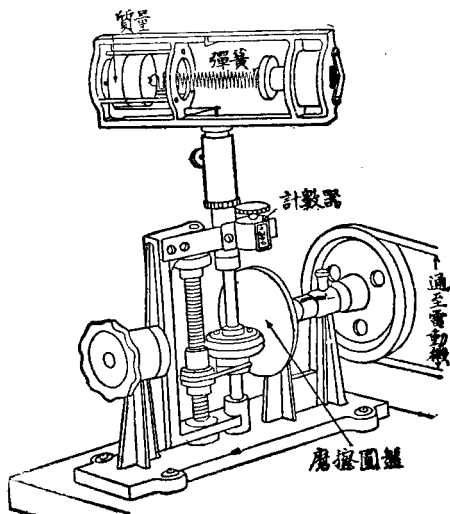


圖 176 計量向心力之器械。

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. 滑冰者如何利用慣性？
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。問此事與慣性有何關係？

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？試述汝之答語之理由。

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，但此外尙有其他諸力，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，以斤，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，其定義可謂之為一克之重之 $1/980$ ，* 其重約等於一尪。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 之數值為 32；若二者均以秒秒厘表之，則 g 之數值為 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)

- 40 磅之力加於重 200 磅之物體之加速度為何？
- 1 克之力在重 490 克之物體上所生之加速度為何？
- 若 90 克之力使某物體得 480 秒秒厘之加速度，則使此物體得每秒 1000 秒厘之加速度之力為何？
- 欲使 1 磅之質量得每秒 32 秒呎之加速度，所需之力為何？
- 一達之力，在重 1 克之物體上，所生之加速度為何？(注意：此題之答數，常視之為達之定義。)
- 從前題用確切之字句，述達之定義。
- 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. 一氈之力，見其在某物體上所生之加速度每秒 9.8 秒²。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。試比較二者所得之終速度。

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，衆皆知其為地球也。

於是所謂第一事實者即此：在自然界中每有一



圖 177 重 7200 磅之三十齡之象，在此拔河之戲中為輪帶牽引車所敗。

力，必有二物體與之相關，一為發力者，一為受力者。

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為因果。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。

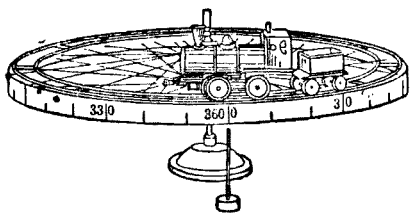


圖 178 軌道推引擎向前。

最後所欲述者，當任何物體正在為地球所引而

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

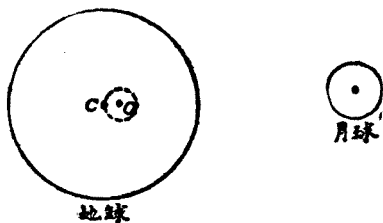


圖 179 月與地球，皆繞 O 點而旋轉。

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，足以發生如許大力也。

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。由彈簧稱上所讀得之度數，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 $980 F = ma,$

亦可得 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

$$\text{力(達數)} = \text{質量(克數)} \times \text{加速度(厘/秒}^2\text{)}.$$

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，一舟為他舟所追，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，則其重量將為何？

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, 苟地球一旦停止旋轉者, 則華盛頓紀念碑所受之影響爲何?

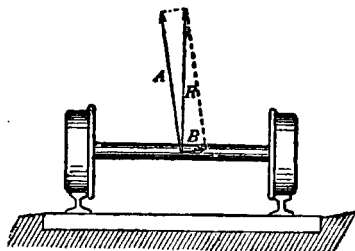


圖 180 在曲徑上隆起之鐵軌。

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 B 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 用 題

1. 陀螺與旋迴器 (gyroscope). 旋轉之陀螺, 直立不倒, 其故何在? 取舊腳踏車之輪, 於其胎中灌以沙, 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.

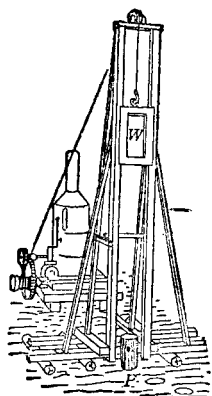


圖 181 打樁機將木材
春入地中。

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.

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. 又如鐘或錶中之發條, 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). 例如昇高之打樁機重錘, 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, 視錘之重量及其昇起之高度而定. 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 爲物體曾經昇起之直垂距離. 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. 一缸之砵碼置於高 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. 動能。 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，尚能使
機器運轉若
干時，是以因
其運動之故

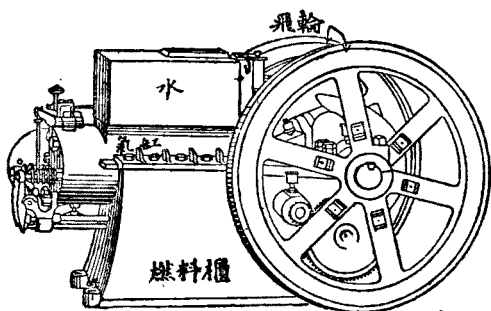


圖 182 氣體引擎上之飛輪，在運動之時有動能。

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。

是即
$$V^2 = 2as, \text{ 或 } as = \frac{V^2}{2}.$$

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.),
尅 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,故若一番表示 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

$$F = 840 \text{ 磅.}$$

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

$$V^2 = 2gs = 2 \times 32 \times 20$$

一式計算得之。

故

$$\begin{aligned} K. E. &= \frac{1500 \times 2 \times 32 \times 20}{2 \times 32} \\ &= 30,000 \text{ 呎磅.} \end{aligned}$$

*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 F ，則有

$$F \times 1.5 = 30000 \text{ 呎磅}$$

$$F = 20000 \text{ 磅。}$$

問答題與計算題

1. 一16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吋大砲，射出之彈重1400磅，且據謂有65,600呎噸之“砲口能” (muzzle energy)。問砲彈離砲口時之速度為何？
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秒後可使球得每秒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. 一力作用於運動之物體，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？

$$V = \text{每小時 15 哩} = 22 \text{ 呎/秒}$$

$$F \times 7 = \frac{12 \times 22}{32}$$

$$F = 1.18 \text{ 噸。}$$

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。

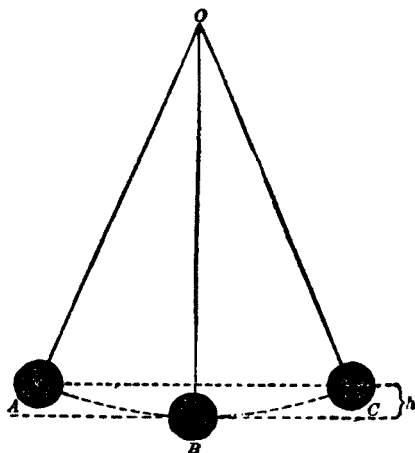


圖 183 擺內能之變形。在 A 與 C 處為勢能；在 B 處為動能。

仿此，打樁機之錘在其最高位置所有之能，皆為勢能。當錘擊樁之時，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，為德人羅伯特梅葉耳 (Robert Mayer)，惟語氣尚不明晰，其後赫爾莫爾茲 (Helmholtze) 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,其一部份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, 又為著名之電工程師, 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，時其動能與勢能爲何？

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，祇可變其形或導其流而已。

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，其動能似有利用之可能性否？
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 用 題

永動機. 在百科全書中查閱永動機 (perpeual-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。太陽光線愈近垂直，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——例如電鍔器，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) 則用以精鍊金屬。

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。

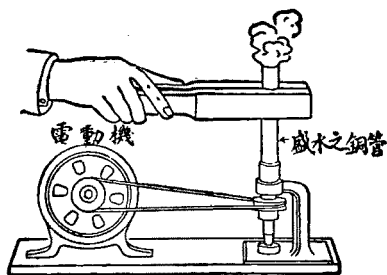


圖 185 對旋轉金屬管之摩擦作用，可使管內之水沸騰。

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

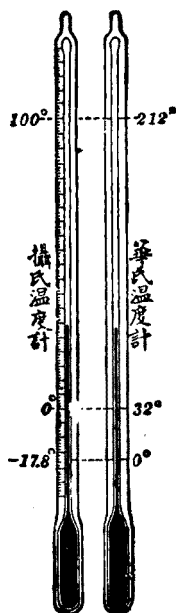


圖 186 攝氏與華氏兩種溫度計之分度法。

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，旋入蒸汽暖室器旁之溫度計，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, 此計之水銀體, 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?

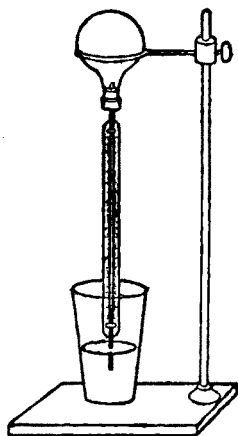


圖 188 伽利略氏之空氣溫度計。

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)為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，在何溫度適為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° ，得數即為相當之攝氏計上之度數。此法為何有效？

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，即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

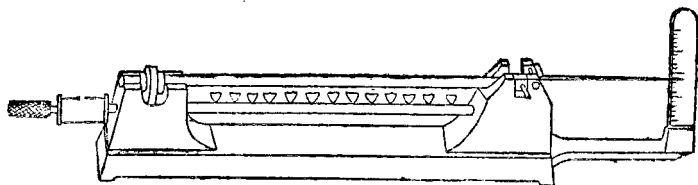


圖 189 金屬棒膨脹與收縮時所發之力。

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,使棒之此端攔於架上罅隙之左側,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,於是以另一鋼針穿於孔中,調整螺旋,使棒端攔於罅隙之右側,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 $0^{\circ}\text{C}.$, 則在 $100^{\circ}\text{C}.$ 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

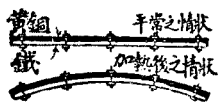


圖 190 加熱於複金屬棒所得之效果。

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。

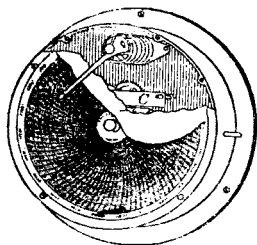


圖 191 自錄溫度計圖之旋轉，由於鐘機筆之移動，由於圈狀之複棒。

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

$$\begin{aligned} \text{膨脹之長} &= 0.000010 \times 33 \times 50 \\ &= 0.0165 \text{ 呎} = 0.198 \text{ 吋。} \end{aligned}$$

膨脹之長 = 膨脹係數 × 長度 × 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：

鋅	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	線鋼(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

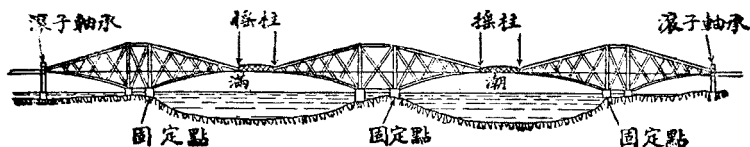


圖 192 蘇格蘭之福司海峽大橋。

位，約共 6 呎。又如在蒸汽動力廠內，長導管上常裝有滑動

之接筭，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。

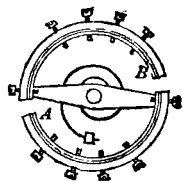


圖 193 錶之抵償擺輪。

177. 固體之體膨脹。金屬棒受熱之時，非惟在長度方面膨脹，即在闊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，輸送蒸汽自一屋至他屋，兩屋相距 180 呎。若此導管置於溫度為 20°C 之處，則當 100°C 之蒸汽通過該導管時，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. 一鉑絲與一銻條，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立方呿，然而同體積之鋼塊，則祇膨脹3立方呿，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，然近其冰點時則相異。

設取高玻璃瓶，充以碎冰幾滿，如圖195，而置之於側，稍壓片時，則面上之水，其溫度變為 0° ，而冰為 0° ，而瓶底之

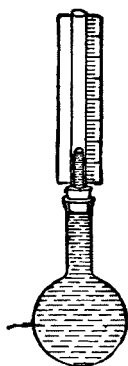


圖 194 液體之膨脹。

水，其溫度約為 4°C 。（即 39.2°F 。）。因最重之液體當沉於底，故由此而知在 4°C 之水，較密於在 0° 之水。

由極精確之實驗，知水在 4°C 時，其密度最大。當 4°C 之水，或加熱或冷卻，均

膨脹而減輕，如圖 195 之曲線所示。

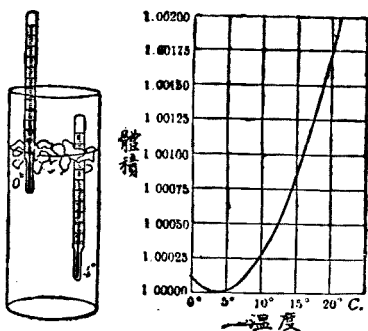


圖 195 水在 4°C 之最大密度。

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。

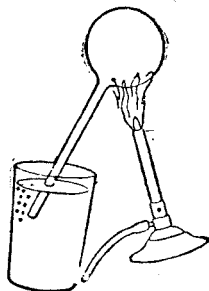


圖 196 氣體受熱時膨脹。

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

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 . 之蒸汽中,則氣體即行膨脹,而吾人可再量其長度。此長 AB' ,將見其約為 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。

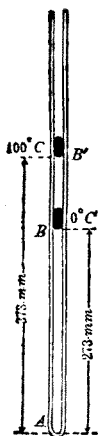


圖 197 氣體在固定壓力下之膨脹。

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° ，量得之溫度稱為

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 $160^{\circ}C. = 373^{\circ}K.$ 。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。

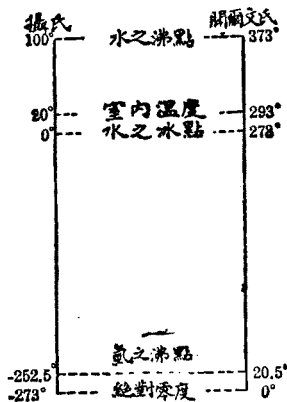


圖 198 攝氏計與克氏計。

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，此定律稱爲查理定律 (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，甚爲簡明，式中 V_1 與 V_2 ，表同壓力下，在不同之絕對溫度 T_1 與 T_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，其積即變爲二倍。

例如，假定吾人有若干量之氣體，當溫度爲 $15^\circ C$ 時，佔據 320 立方厘米，問在 $0^\circ C$. 時，其所占之體積爲何？

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，如量得氣體當溫度爲 $20^\circ C$. 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)? 假定氣球施於氣體之壓力, 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? 假定櫃蓋能自動上昇, 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 $0^{\circ}F$. 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 $0^{\circ}C$. 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,將空氣壓入其其輪胎,壓至每平方吋 70 磅(絕對值)之壓力,其時空氣之溫度爲 $17^{\circ}C$. 在炎熱之某日,此車經行駛以後,胎內空氣之溫度升至 $57^{\circ}C$. 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 立方標, 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.

$$\begin{aligned} \text{因有} \quad \frac{P_1 V_1}{273 + t_1} &= \frac{P_2 V_2}{273 + t_2} \\ \frac{740 \times 1200}{273 + 15} &= \frac{760 \times V_2}{273 + 0} \end{aligned}$$

$$\text{解之} \quad V_2 = \frac{740 \times 273 \times 1200}{760 \times 288} = 1110 \text{ 立方標.}$$

185. 低溫度與高溫度. 開爾文爵士以及其他

科學家之探究，皆以爲如絕對零度之意義，乃宇宙中可有之最低溫度，則溫度 -273°C . (較爲精確之值係 -273.2°C .) 確爲真正之絕對零度。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°C . 之溫度；而用液體輕氣，則可得 -258°C . 之低溫度。勒登 (Leyden) 之 奧涅斯 (Onnes)，曾求得液體之沸點爲 -268.6°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°C . 時熔解，白金在 1755°C . 時熔解，而鎢則須至 3000°C . 始熔解。極高之溫度，常用電弧得之，可達 3700°C . 據推測，太陽之溫度或可高至 6000°C ., 而若干恆星之溫度，或可至 50000°C . 云。

186. 熱爲何物之理論。 以熱爲物質分子迅速振動，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，成爲輻射熱焉。

當溫度約爲 $550^{\circ}C$. 時，鐵變爲“赤熱，”而在 $1300^{\circ}C$. 時，則變成“白熱”。吾人又可幻想，鐵於尚未發赤之前，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，皆爲輻射能之形。此種輻射能以每秒 187000 哩之巨大速度進行。此即謂輻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 糵時,其體積為 400 立方糵.問在溫度 327°C ., 壓力 150 糵時,其體積將為何?(b)一定量之空氣,在溫度 27°C . 壓力 75 糵時,其體積為 400 立方吋.問在溫度 327°C . 時,壓力 150 糵下,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 糵.求其在標準狀況下,即溫度 0°C ., 壓力 760 糵時之體積.
5. 五立方呎之氮,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 糵,而溫度為 17°C .; 在山巔則氣壓計所示度數僅及 40 糵,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:
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$T (\text{開氏計}) = t (\text{攝氏計}) + 273.$$

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？

實用題

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。

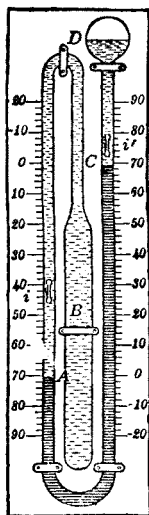


圖 199 最高(右)最低(左)溫度計。

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，故熱之保藏，乃國家經濟問題。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，於壁爐中不生火時，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。

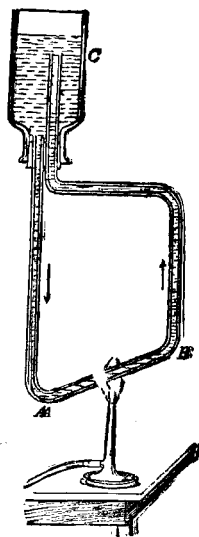


圖 200 水之對流。

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

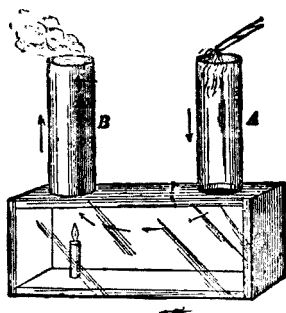


圖 201 空氣之對流。

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。

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

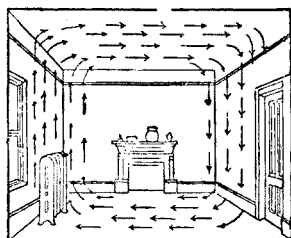


圖 202 室內空氣之對流。

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。 廚房下汽鍋中熱水，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

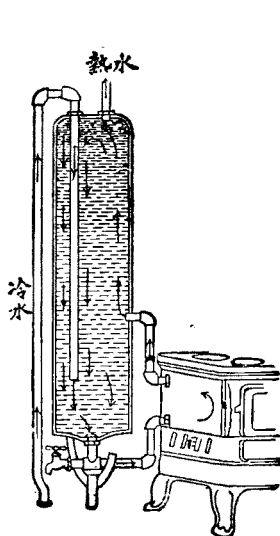


圖 203 廚下熱水之汽鍋。

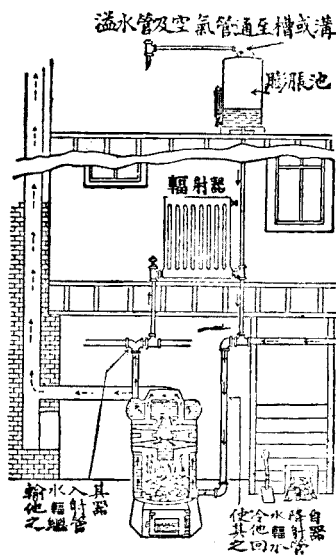


圖 204 熱水暖室法。

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。人於室內之冷空氣，其一部分即自門窗逸去；其餘則由迴氣管返至爐底。

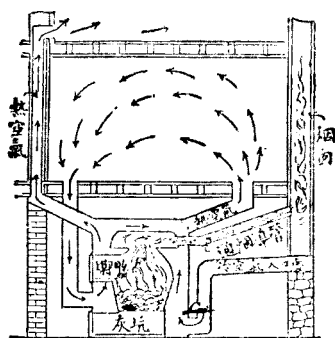


圖 205 熱空氣爐及其迴氣管。

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，再經過蒸汽管使之溫暖，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。

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,間空氣經過此二口,其運動之方向爲何?試說明之。

4. 在熱水暖室之裝置中,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,即由所謂傳導與輻射之二種方法是也。

盡人皆知銀匙浸入熱茶之中時,其柄即熱,若以鐵火棒之一端放於火中,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.

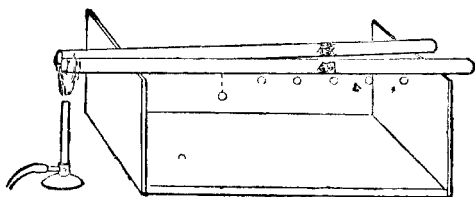


圖 206 銅與鐵之相關導熱率。

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. 液體與氣體傳

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

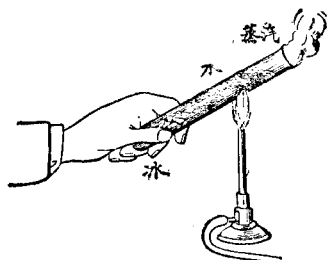


圖 207 水爲極優良之隔熱體,故冰與沸水,可同在一試驗管之中。

20. 所示。雖管端之水熱至沸騰，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。

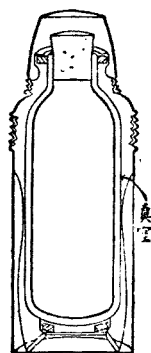


圖 208 真空瓶，即保溫瓶之剖面。

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

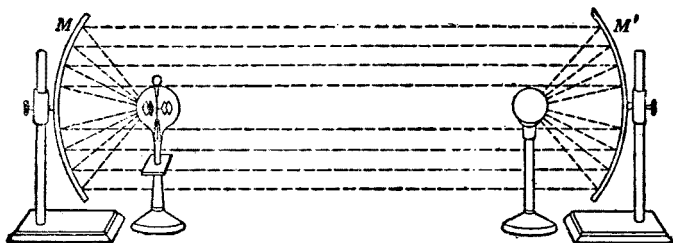


圖 210 輻射熱為凹鏡所反射。

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，皆為良好射熱器，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，其作用猶如捕熱之窠，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，往往裹以木屑，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，即現爲熱。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水上爲速？說明其理。
5. 在冬日以舌尖觸鐵籬，頗爲危險，如觸木籬，則又不然，何故？
6. 試舉三種金屬之名稱，皆爲熱之良導體，並各舉其因導熱率頗高之用途。
7. 禦裘於身，毛在內較之毛在外爲暖，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 用 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，或質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熔爐之一切“風門(damper)”，並說明其作用。

第十四章

冰,水,及蒸汽

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——蒸汽暖室——濕度——霧,雨,及雪——製冰及冷藏

198. 熱之計量法. 設有人購煤一噸,則此人以錢易得者為何耶?吾人或答以:得2000磅之物質,其中或有60磅之水,240磅為灰,而其餘則大半為炭與輕氣,然此人所欲知而真可引起其趣味者,並非物質之種類,而為彼所購得之熱量.因熱非物質,僅為能之一種形式,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,均為如可表示使一磅之水之溫度升高華氏一度所需之熱者.此熱單位稱為“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，溫度增加約5度，使鋅或銅增加溫度約10度，使銀或錫增加溫度約20度，而可使鉛或水銀，增加溫度約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.

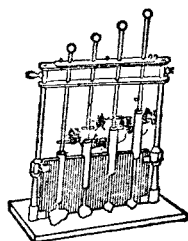


圖 211 金屬之比熱, 各各不同. 鐵之比熱, 較鉛之比熱爲大.

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 ，然後疾注於溫度 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

$$\begin{aligned} \text{放出之熱} &= \text{吸收之熱} \\ 323(100-18.2)x &= 100(18.2-10)1 \end{aligned}$$

$$\text{因而得} \quad x = 0.033 \text{ 卡。}$$

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	銻	0.094
冰	0.50	銅	0.093
空氣	0.24	銀	0.056
鉛	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°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°F ., 而熱至 80°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°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°C . 或 32°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°C ., 或 32°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, 則當近於熔解點時, 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

鎊	$3000^{\circ}C.$	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 $1400^{\circ}C.$	焦油腦	$80^{\circ}C.$
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至.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。

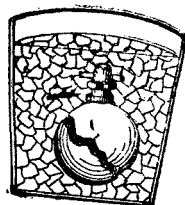


圖 212 正在結冰之水，所發膨脹之力，可使鐵球碎裂。

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。

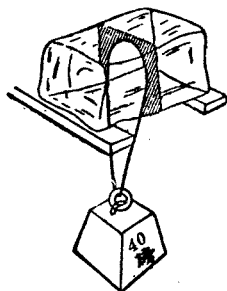


圖 213 金屬線截冰塊而過。

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,所成水層即復結爲冰矣。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,溫度爲 0°C ., 置之於室內,而室內其他各物之溫度皆爲 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,則水即凝結爲冰;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。此熱量稱爲冰之熔解熱(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,可應用前所用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 升至 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

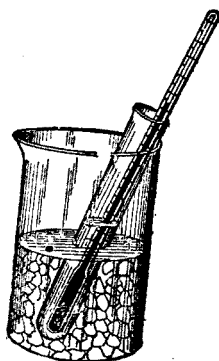


圖 214 結冰之水放熱。

入冰塊一枚,則水立時結爲冰;同時溫度驟昇至 0°C . 保持不變,直至全體之水皆凝結爲止.凝固時放出之潛熱,卽爲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,卽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,卽可使溫度之降於 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,僅爲頂上

有冰之箱而已(圖 215),此冰卽用以使食物常冷者.冰傍之空氣受冷,卽因密度增大而下降,吸收食物或箱壁之熱後,再行上昇,如圖中矢鏃所示.空氣之冷却,幾全因冰之熔解吸收其熱所致.故冰箱中之冰絕不熔解(苟有如是之冰箱者),則冰箱卽毫無用處.更有進者,以纖維

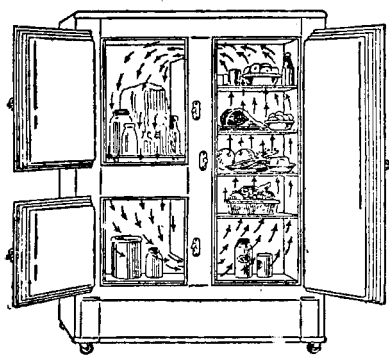


圖 215 冰箱內空氣之循環。

質之物覆於冰上,固爲省冰之良法,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,則亦爲不經濟.故使冰箱經濟合用,有二要素;第一,須設法使食物之熱,儘量爲冰所吸收;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，並使其溫度升至 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，使其溫度升至 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),中

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,溶於水中之空氣,先成爲小氣泡而上昇至水面。於是蒸汽泡成於水底;但此等汽泡上昇,遇上層較冷之水,即潰裂而消失,遂發生嚙嚙之聲,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)。蒸汽在長頸瓶中,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。

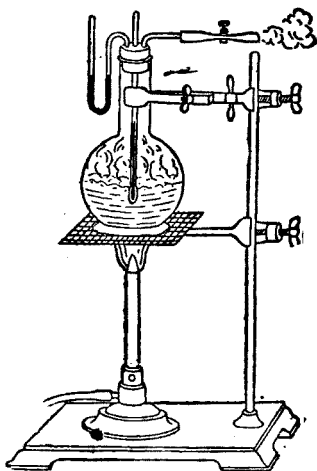


圖 216 在玻璃瓶中的沸水。

故沸騰之過程,即在於液體中有蒸汽泡發生,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.蒸汽泡之能存於液內,祇在泡中蒸汽之向外壓力,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.故汽泡若成,則泡內之壓力必隨溫度之不同而異其大小.此即稱為液體之蒸汽壓力(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汽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,此蓋瓶頂之蒸汽凝縮,遂使液面所受壓力大為減低所致也.

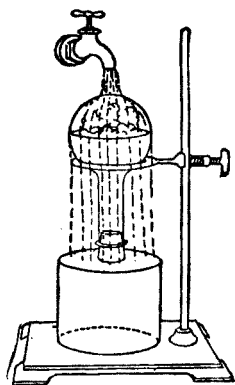


圖 217 在龍頭下之沸水

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,則蒸汽泡之發生亦較易;若壓力增加,則汽泡之成,亦較為困難也。無論如何,汽泡之發生,祇在溫度之高,足使汽泡於既成之後,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 $100^{\circ}C.$ 時,水之蒸汽壓力,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厘,則水之沸點即升高 $0.37^{\circ}C.$

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 $0^{\circ}C.$ 者所施之壓力,在此壓力之下,水沸之溫度由定義即為 $100^{\circ}C.$

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 $70^{\circ}C.$,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—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 。

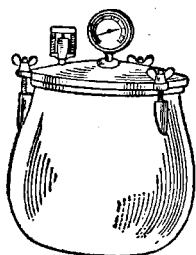


圖 218 家庭用密煮器。

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汽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; 即其蒸汽壓力為一氣壓, 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)

銻.....	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,其器可使水蒸汽經一冷管,而復歸於液體之狀態(圖 219)。水蒸汽成爲液體之此種變化,稱爲

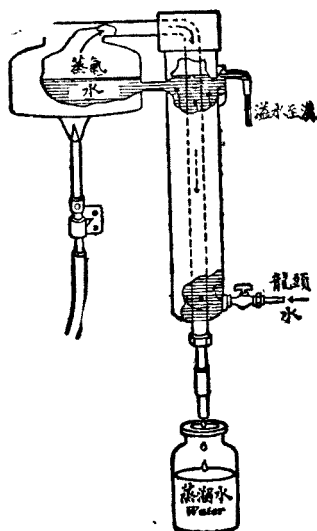


圖 219 由蒸溜取純水。

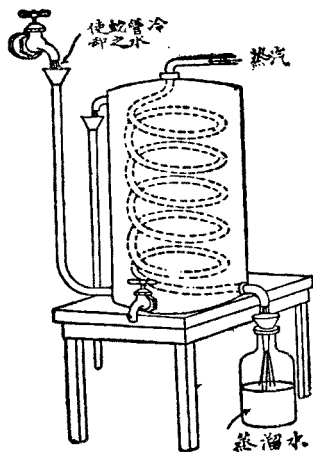


圖 220 螺旋凝縮器有廣大之冷卻表面。

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，再使其蒸汽凝縮。

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，其蒸汽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 99°C . 時沸騰，則大氣壓力為何？
2. 某日氣壓計之度數表示 77.2 釐，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 釐) 之差，試求該鎮高度之略值。

4. 自附錄中所載之數值,試描一水之蒸汽壓力曲線,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,係供蒸汽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(denatured 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,可使蒸汽洩去,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),或蒸汽之潛熱,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汽所需之熱。

214. 欲得一克之水蒸汽需若干熱量? 使溫度 $100^{\circ}C.$ 之水1克,變成 $110^{\circ}C.$ 之蒸汽,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，溫度爲 5°C ，而以充足之乾燥水蒸汽，溫度爲 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 克之蒸汽，已凝縮爲水，然則 1 克之水蒸汽凝縮成 100°C 。之水時，其放出之熱量爲若干卡乎。

命

 $x =$ 蒸發熱。

則

 $400(35.2-5) =$ 冷水所吸收之熱， $20x =$ 水蒸汽凝縮時放出之熱，

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，知水之蒸發熱約爲 540 卡。易言之，即使任何量之水變成水蒸汽，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，使一磅之水溫度爲 212°F 。者，變成 212°F 。之水蒸汽，需熱 540×1.8 即 972 B. t. u.

215. 水蒸汽煖室法。 水之蒸發熱，遠較其在任何實際溫度範圍內，冷卻時所放出者爲多，煖室多用水蒸汽者，即此故也。水蒸汽發生於汽鍋中，每水一磅，當其受熱而蒸發時，吸收約 1000 B. t. u. 之熱。水蒸汽以管通至需熱之處，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,皆置於有覆壁之大銅鍋內,以水蒸汽通過覆壁之間而煮之。在煉糖廠中,盛糖漿於桶,桶內有螺旋形之管,通水蒸汽於管而使其凝縮,糖漿由是而煎乾。行此二法時,溫度之高下,可隨意調節而使之固定不變,祇須使新來之水蒸汽經過一調節滑瓣,滑瓣之作用,在於使新鮮水蒸汽入瓣之速度,適足以保持正在凝縮之水蒸汽,壓力固定不變。

工廠,辦公室,旅社,校舍,以及其他巨屋大廈,通常咸用水蒸汽取煖,而水蒸汽則來自地下室之汽鍋。有時使水蒸汽在各室之射熱器中凝縮;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,解為簡接煖室法 (indirect heating), 如圖 221 所示。

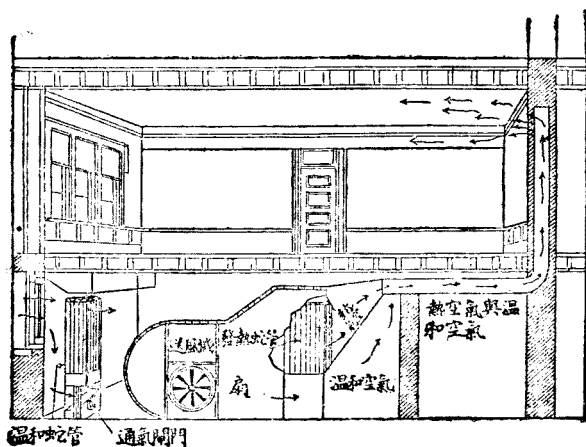


圖 221 簡接煖室圖。

用射熱器時,往往發生氣塞 (air-bound) 之弊因在不用的時,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，於是冷卻頗速，遂阻塞水蒸汽不令入內矣。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。當熱水蒸汽達木棒時，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。

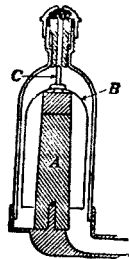


圖 222 射熱器上之自動氣門。

計 算 題

1. 溫度在 100°C . 之水 40 克，欲化之為蒸汽，需熱若干卡？
2. 2 呎之水，欲自 15°C . 熱至 100°C ., 且變為蒸汽，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 . 之水蒸汽 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 . 之水蒸汽，需熱幾何？
6. 溫度在 10°C . 之水 500 克，通以 100°C . 之水蒸汽使其溫度昇至 40°C ., 問需水蒸汽若干？
7. 在某射熱器中，溫度在 110°C . 之水蒸汽 1.5 呎，在一小時內凝縮成水，而水離射熱器時，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 . 問可發生水蒸汽若干克？
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 . 之水蒸汽，通入池中，使水之溫度自 68°F . 昇至 68°F . 價需水蒸汽若干磅？

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 $212^{\circ}F.$ 之水蒸汽,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,手皆覺冷焉。

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。

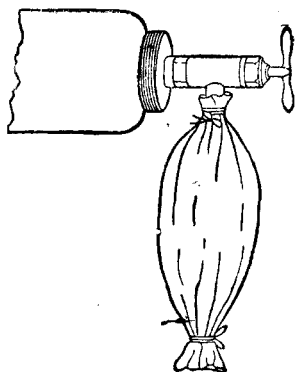


圖 223 液體二氧化碳沸騰與凝固。

219. 製冰與冷藏。在製冰及冷藏之裝置中(圖 224)，先將氣體碇精用唧筒壓縮之，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，如使碇精經過淋以流水之管，此熱即可除去。液化後之碇精，於是導管入於冰櫃 (ice tank) 或冷庫 (cold-

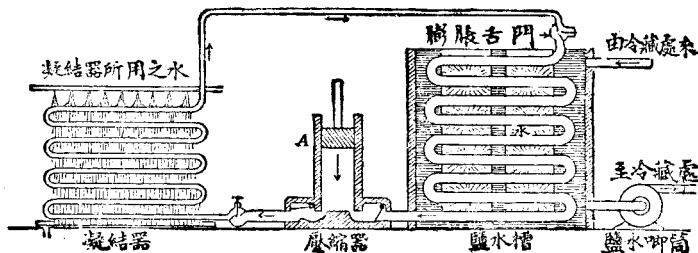


圖 224 製冰之裝置

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,以保持碇精在赴滑瓣之中途,仍呈液體之狀態.在他方面言之,則一過滑瓣,壓力即甚小,故碇精即迅速蒸發.蒸發之時,冷庫中之熱量遂爲其所吸收.此時之碇精,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.碇精固可用之再三,但動力必須不絕供給於壓縮器.

家用之

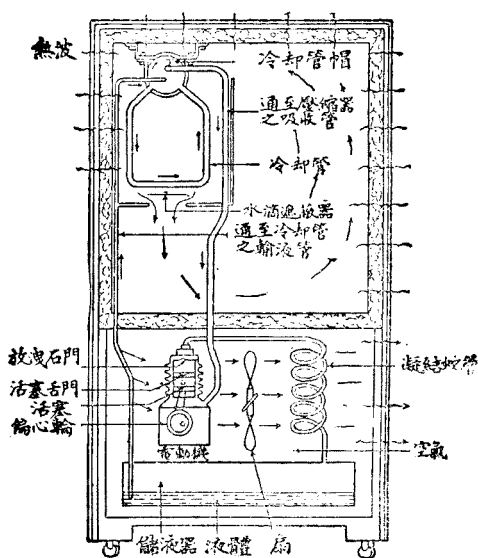


圖 225 家用電冰箱。

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(水/火)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，例如氬，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：欲吸收水蒸汽，可在接受器中置濃礮酸一碟)。
4. 在熱帶地方，居民欲使其飲水冷卻，常盛之以多孔之瓶，而置於陰暗而有氣流通之處，試說明之。
5. 試一憶水分子之活動力，而說明(a)飽和蒸汽之情狀，及(b)由蒸發而冷卻時之情狀。

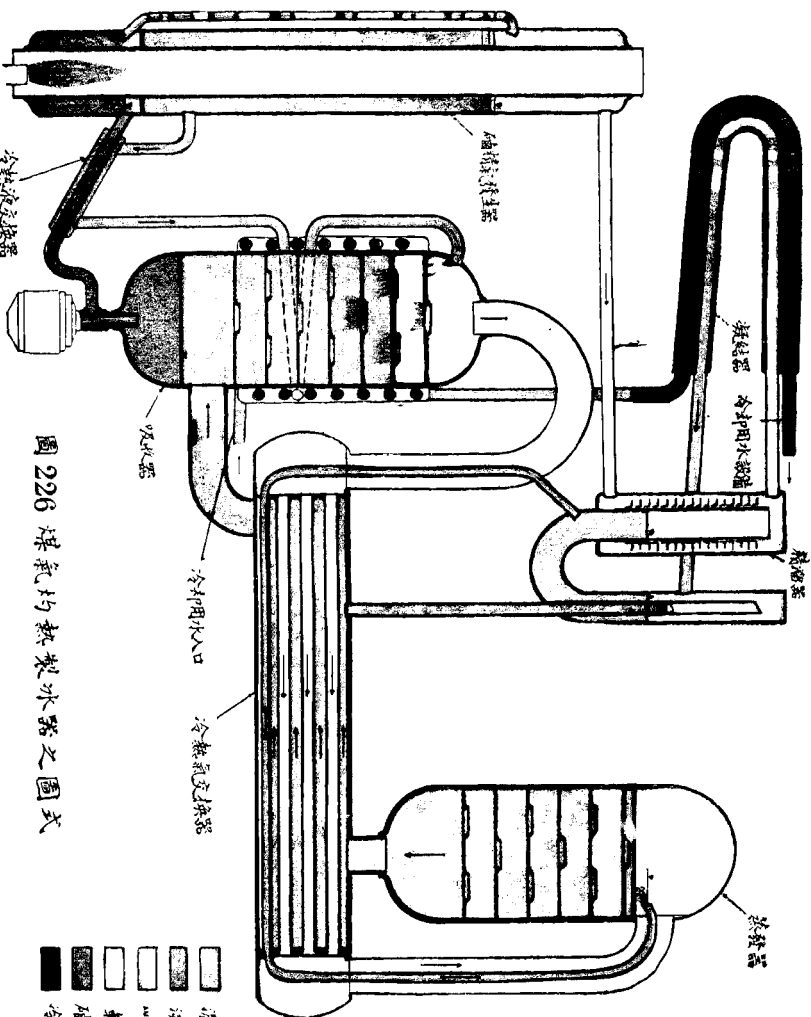







圖 226 煤氣的熱製冰器之圖式

-  濃液
-  液液
-  AMMONIA GAS
-  輕氣
- 冷卻用水
-  煤氣與輕氣

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汽之量如下:

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,仍能吸收更多之水汽;但如冷卻,則必須放出其所含水蒸汽之一部份.

在擦洗或游泳之後,常覺髮乾遲緩,蓋濕髮近傍之所

有空氣，殆已迅為潮氣所飽和矣。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。

若置露於磨光之銀板匣中，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）。發生此現象時之露之溫度，稱為露點 (dew point)。

露點者，空氣中之水
蒸汽開始凝縮時之溫度
也。若使空氣冷至露點以下，則其水蒸汽之一部份凝縮，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

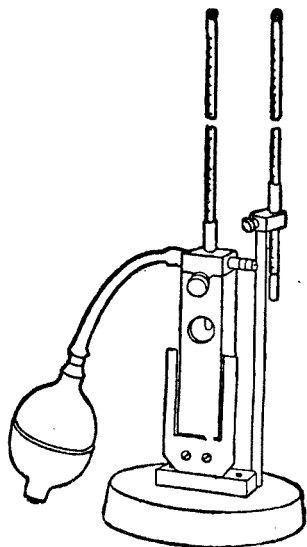


圖 227 露點測定器。

之水蒸汽量，與同溫度達於飽和時可含之量耳。此二

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汽,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。

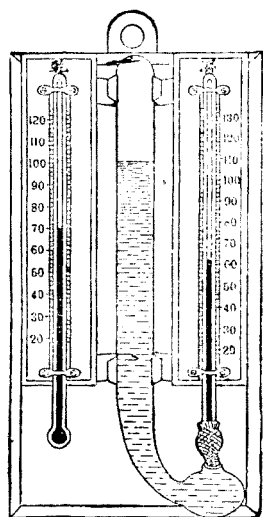


圖 228 乾濕球溫度計,可用以求空氣之濕度。

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. 此因波士頓地近海濱,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，大地輻射其白晝所吸收之熱。草與葉因輻射其熱頗暢，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，因輻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,於是復變爲蒸汽。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,然仍與熱蒸汽一同上昇。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)。

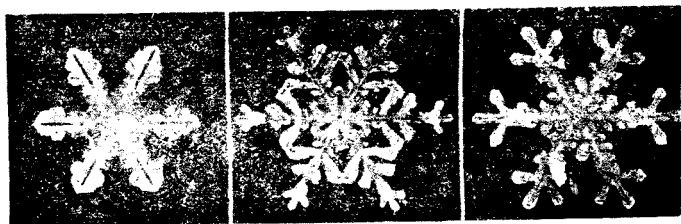


圖 229 雪之結晶,亦角形而具種種不同之狀。

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. 衣服爲北風所吹，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) 冰在燠而且濕之室內“發蒸汽”。
7. 長10呎，寬6呎，高3呎之室中，若氣溫爲 20°C ，則欲使空氣飽和，需水若干磅？
8. 若第7題中所述之室內，其空氣之相對濕度爲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 。

熔解熱 = 在熔解之際所吸收之熱,

= 在凝固時發出之熱。

水之熔解熱,爲 80 卡。

物質之沸點,爲其蒸汽壓力適逢一氣壓時之溫度。

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,爲 540 卡。

蒸溜者,使液體沸騰,然後使其蒸汽凝縮之過程也。

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 = $\frac{\text{空氣中實際所含之潮氣}}{\text{在同溫度之飽和空氣所含之潮氣}}$

蒸發爲一種冷卻之程序。

問 答 題

1. 在冬季,汽車之射熱器中如用碳酸銨之氨水溶液 (ethylene glycol 或 prestone), 較用變性酒精,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 . 之蒸汽時,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 用 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°F . 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. 須注意水蒸汽自保險滑瓣逸去後, 即難於揭開鍋蓋, 何故?

4. 水蒸汽煨室裝置. 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? 水蒸汽之分布, 用一導管或二導管? 各室之通風如何?