

1274
1274

適用標準課程
初中物理參考書

上册

編者 張開圻
 郁樹鏡

校者 華襄治
 華汝成

上海中華書局印行

MG
G634.7
56

初中物理參考書編例

1. 本書依中華書局出版的初中物理學編輯,其目次均依原書的順序,以便檢閱,專供教師和學生參考時應用。
2. 本書每章分本章教學要旨、教材參考、實驗指導、問題解答、本章內容提要、參考書籍六項。
3. 參考教材都根據編者平日的經驗而編輯,對於初學者應當注意的要點,亦同時指出。遇有重要算式的部分,并舉例題和解法,使學者易於領悟,除原書已有材料外,有甚多的補充教材,足供應用。
4. 實驗材料根據教育部新訂的項目為標準,其內容務求用具簡單,實驗簡易,結果正確為宗旨。
5. 問題解答就原書所有的問題,加以詳細解答。
6. 每章內容提要,用表解整列,便於溫習。
7. 本書編印時或有謬誤之處,深望海內教者,隨時指正。



3 1773 6276 5

新課程標準適用

初中物理參考書上冊目次

第一章 緒論

1.物質的三態.....1	4.質量和重量.....6
2.物理學應用的單位.....2	5.密度和比重.....7
3.重量和力.....5	

第二章 水

1.液體傳遞壓力的性質..14	6.比重的測定.....20
2.液體內部的壓力.....15	7.分子和分子力.....23
3.水平面和連通器.....16	8.表面張力.....26
4.液體的浮力.....17	9.毛細管現象.....26
5.物體的浮沉.....19	

第三章 空氣

1.氣體的比重和壓力.....33	關係.....36
2.大氣的壓力.....34	6.氣球和浮力.....37
3.大氣壓力的測定.....35	7.壓力計和虹吸.....39
4.氣壓計和其應用.....35	8.水唧筒.....41
5.氣體的體積和壓力的	9.空氣唧筒和壓縮唧筒.....42

第四章 建築材料

1.彈性.....48	3.材料的強弱.....49
2.應力和極限強度.....48	

第五章 運動和力

1.運動和慣性.....52	10.平行力.....60
2.速度.....53	11.物體的平衡.....62
3.加速度.....53	12.萬有引力.....62
4.力.....55	13.重心和穩度.....63
5.力的合成.....56	14.重力加速度和自由墜體.....64
6.力的分解.....57	15.拋射體和擺的振動.....66
7.力的反作用.....57	16.空氣和水的阻力.....67
8.向心力和離心力.....58	17.飛機.....69
9.力矩和轉動.....59	

第六章 簡單機械

1.秤和槓桿.....81	6.斜面螺旋和劈.....85
2.機械利益和三種槓桿.....83	7.能量.....87
3.滑輪和輪軸.....84	8.摩擦和機械效率.....88
4.工作和工率.....84	9.齒輪和鐘錶.....89
5.工作原理.....85	10.風車和水車.....90

第七章 熱和熱的傳遞

1.熱的來源.....97	3.熱的對流.....99
2.熱的傳導.....98	4.熱的輻射.....99

第八章 溫度和脹縮

1.溫度和溫度計.....103	3.液體的膨脹.....106
2.固體的膨脹.....105	4.氣體的膨脹.....106

第九章 熱量和三態變化

1.熱量和比熱.....112	3.熔解和凝固.....113
2.比熱的測定.....112	4.汽化和蒸發.....114

5.飽和蒸汽.....	115	8.大氣中水蒸汽的變化.....	117
6.沸騰.....	115	9.熱和工作.....	117
7.大氣的溼度.....	116		

第十章 樂音和樂器

1.水波和波動.....	123	6.音的共振.....	126
2.音波.....	123	7.音程和音階.....	127
3.音波的速度.....	123	8.弦樂.....	127
4.音波的反射和折射.....	125	9.管樂和板樂.....	128
5.樂音的三要素.....	125	10.留聲機.....	123

新課程標準適用

初中物理參考書上冊

第一章 緒論

本章教學要旨

1. 就物性以得物質的概念,并由物質的特性以辨別物質的三態。 2. 認識物理學上應用的單位,和十進制的便利。 3. 由推引的作用以得力的初步概念。 4. 說明密度和比重的定義,并為推出單位的例證。

教材參考

1. 物質的三態

物性 凡構成物體的物質,所有種種的性質,稱為物性 (Properties of matter)。各種物質共有的性質,稱為通性 (General properties)。例如物體均有長、寬、厚的量度,即佔有空間 (Space),是為物質的填充性 (Extension);兩個物體不能同時佔有同一的空間,即物質的不可入性 (Impenetrability);其他如物質的質量 (Mass)、重量 (Weight, 1.3) 及慣性 (Inertia, 5.1),和其所附的能量 (Energy, 6.7)等,均為物質重要的通性。由物性的一種,即可得物質的概念。

物質的三態 物質除有通性外,一類的物質尚有幾種特性 (Special properties)。就每類物質的特性可分物體為

[註] (1.3)即第一章第三節,以後類推。

固體、液體、氣體的狀態，稱為物質的三態(Three states of matter)。物態的變化(9.3和9.4)通常隨溫度(8.1)而發生，氣體的溫度降低外，同時增加壓力，亦可變成液體。

物理學 物理學(Physics)為自然科學(Natural science)的一門，係研究物性、運動和熱、音、光、磁、電等項的現象，即解釋無生機物體的現象(Phenomena)的科學。

2. 物理學應用的單位

十進制的起源 度量衡的制度各國都不一致，即一國內亦甚紛歧，時起糾紛。法國革命後，由國會舉定一委員會，確定合理的制度，於1793年創造十進制(Decimal system)，或稱米制(Metric system)，經世界各國所採用。我國於民國四年起定此制為公制，十七年國民政府定為標準制，並按此制簡單的比率，確定市用制，以求全國度量衡的統一。

長度的單位 法國的委員會以通過巴黎的子午線自地球的北極至赤道間的距離，分成一千萬分，取其一分的長度定為1米(Meter)，製成鉑銻(Platinum-Iridium)合金棒的標準米尺(教本第3頁的圖)。由後世重測的結果，知地球上象限的長度不能恰合10,000,000米，約為10,000,856米，故不再以地球為標準，就以合金棒的溝底所刻二橫線間在0°C. 時的距離為標準，所製成的米尺稱為原器(Prototype)，現藏巴黎附近的國際度量衡局。

單位(Unit) 即同類量中所定的標準量。1米即長度的標準單位，再用十進的倍數和約數得長度的各單位如下：

對於米的 關係	英名	縮寫	譯名	公制 譯名	舊譯
1000 米	= Kilometer	= Km.	= 千米	= 公里	= 浬
100 米	= Hectometer	= Hm.	= 佰米	= 公引	= 稍
10 米	= Dekameter	= Dm.	= 什米	= 公丈	= 稍
1 米	= Meter	= m.	= 米	= 公尺	= 呎
0.1 米	= Decimeter	= dm.	= 分米	= 公寸	= 粉
0.01 米	= Centimeter	= cm.	= 釐米	= 公分	= 厘
0.001 米	= Millimeter	= mm.	= 毫米	= 公釐	= 耗

面積的單位爲平方米 (Sq. m.)、平方釐米 (Sq. cm.) 等，體積的單位爲立方米 (Cu. m.)、立方釐米 (c.c.) 等。1000 立方釐米爲 1 升 (l.) 或 1 公升 (Liter)。

質量的單位 物體內含有物質的量稱爲質量。法國度量委員要確定長度的單位和質量的單位有關係，故定製一鉛圓柱體，恰和 1 升的水在密度最大時 (4°C) 的質量相等 (1 升即每邊 1 分米的立方體的體積)。此柱體的質量稱爲 仟克 (教本第 4 頁的圖)，爲質量的標準單位。其他質量的十進單位如下：

對於克的 關係	英名	縮寫	譯名	公制 譯名	舊譯
1000 克	= Kilogram	= Kg.	= 仟克	= 公斤	= 鈞
100 克	= Hectogram	= Hg.	= 佰克	= 公兩	= 兩
10 克	= Dekagram	= Dg.	= 什克	= 公錢	= 鈔
1 克	= Gram	= g.	= 克	= 公分	= 克
0.1 克	= Decigram	= dg.	= 分克	= 公釐	= 毫
0.01 克	= Centigram	= cg.	= 釐克	= 公毫	= 厘

0.001 克 = Milligram = mg. = 毫克 = 公絲 = 趙

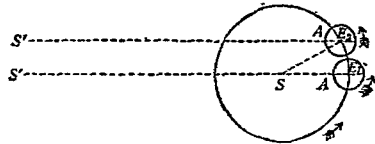
市用制的度量衡

1 市尺 = $\frac{1}{3}$ 米, 1500 市尺 = 1 里, 6000 平方市尺 = 1 畝,

1 市斤 = $\frac{1}{2}$ 斤克 = 500 克, 1 市斤 = 16 市兩,

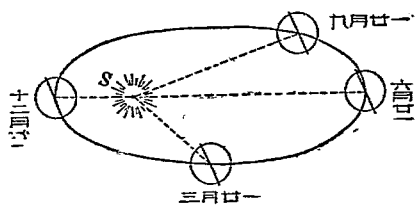
1 市升 = 1 公升, 其餘的單位均依十進的倍數和約數。

時間的單位 時間的標準通常都以地球一週轉所需的時間而確定。地球的週轉如對於一個恆星而轉動, 則地面上某處子午線的觀測者望見天頂上的一個恆星, 即稱為南中後算起, 至此恆星再達南中時所歷的時間(即地球對此恆星一週轉所需的時間), 稱為 1 恆星日 (Siderial day), 天文上用作標準的時間。吾人日常的生活和太陽有密切的關係, 所以物理學上時間的標準就依太陽而定。凡某處子午線的觀察者, 見太陽兩次繼續達南中所歷的時間(即今日午刻到明日午刻的時間), 稱為 1 太陽日 (Solar day)。太陽日比恆星日稍長, 其理由如附圖。S 為太陽, S' 為恆星, 設地球在 E_1 的位置時, 假定 A 處子午線的觀察者同時在太陽和恆星間連接的一直線上, 則地球經週轉而達 E_2 的位置時, 因恆星距離極遠, S' A 的方向線在兩次的位置幾成平行, 故 A 處對恆星雖已達南中, 但對近距離的太陽, 應再轉過 E_2SE_1



太陽日和恆星日的比較

的角度方達南中，故太陽日比恆星日所長的時間，即地球轉過此角度的時間。地球繞太陽運行的公轉軌道非如上圖的圓形，實際為以太陽為焦點的橢圓形，如下圖。地球公轉的速度以距太陽愈近而愈大，故上述的 $\angle SE_1$ 角的大小每日不同，而一年中太陽日的長短即不等，不能任取一日為時間的標準。物理學



地球運行的軌道

上取一年中太陽日的平均數定為一日，稱為平均太陽日 (Mean solar day)，為標準的時間。

1 平均太陽日 = 86,400 秒，

1 太陽年 = 365.2422 平均太陽日，

1 恆星日 = 平均太陽日的 23 時 56 分 4.09 秒。

C. G. S. 單位 長度、質量和時間的三個單位稱為基本單位 (Fundamental units)。若用釐米、克、秒為基本單位的系統，稱為 C. G. S. 單位。由 C. G. S. 單位推出的各種量的單位，為 C. G. S. 制單位。

3. 重量和力

重量為物質的一種通性，因物質受地球吸引的重力 (Gravity) 而發生。凡推引一切物體的作用統稱為力 (Force)，這是力的初步概念。力有三要素，即大小、方向和着力點，與直線的性質相同，故一直線可表示一力的作用。直線的單

位長度代表力的大小，應有預定的標度比數(Scale number)，例如直線上每 1 釐米的長度表示 10 單位的力，10 就是標度比數。依作圖的大小，可任意採用一標度比數，但在一個問題中所採用的應相同。凡作圖以說明力的作用爲力的圖示(Graphical representation of forces)。力的通用單位爲克，1 克的力就是在緯度 45° 的海平面上，作用於 1 克質量上的重力，稱爲重力單位(Gravitational unit)，若由 C. G. S. 制推出的單位，稱爲絕對單位(Absolute unit 見 5.4)。

兩力的作用彼此相向時稱爲壓力(Pressure)，凡受壓力的物體如和作用線垂直的方向被割斷時，有接觸而相向運動的趨勢。兩力的作用彼此相背時，稱爲張力(Tension)。凡受張力的物體被割斷時，斷去的兩部分就互相分離而運動。壓力的強度(Intensity)爲單位面積上所受的力，簡稱壓力。故 30 平方釐米的面積上受有 90 克的全壓力時，則面上的壓力爲 $90/30=3$ 克/釐米²，可得壓力的算式爲

$$P = \frac{F}{A}, \text{ 即 (壓力) = } \frac{\text{(全壓力)}}{\text{(全面積)}} \text{ 克/釐米}^2$$

4. 質量和重量

質量和重量的區別 物質的質量和重量所用的單位雖同，但質量不隨地位而改變，重量就因各處重力的大小而不等。地球爲橢圓形體，兩極間直徑爲 7899.6 英里，赤道的直徑爲 7926.6 英里，故地面上定量物質的重量，因由赤道趨兩極，和地心的距離漸近，所受的重力漸大，逐漸增加。物質的重量在地球表面上最大，若登高山則重量漸減，亦因和地心距離漸大的緣故(5.12)，又因地球繞南北軸而

自轉赤道處物體的離心力最大(5.8),故其重量較兩極處約減小 $\frac{1}{2890}$ 。可知 1 克的質量和 1 克的重量,意義上完全不同。

質量的測定 因同一地點的兩質量相同的物體,所受的重力相等,故其重量均相同。在同一地點的物體,其重量和質量成正比,故由重量的比較即可推測兩物體質量的大小,通用的儀器就是天平(Balance,教本第 8 頁的圖)。除重量的比較法外,由兩物體慣性的比較亦可推測其質量的大小(5.1 和 5.4),因物體的慣性亦和其質量成正比的緣故。

5. 密度和比重

密度 物質的單位體積內所含的質量,稱為該物質的密度(Density)。若物體內各部分物質的分配都均勻,則其體積和質量已知,就可算出其密度(教本第 9 頁),表示各部分都有定量的質量;若體積內分配的質量不均勻,則求出的密度為一平均值。固體和液體內質量的分配,通常都均勻,其密度的數值,見教本第 10 頁的表。

水的密度 淨水的密度,其數值最大時的溫度為 3.98°C,其數值為 0.999973 克/釐米³。通常取溫度 4°C 時的密度為 1,為其略數,若依此確定其他溫度時,水的密度如下表:

溫度	密度	體積	溫度	密度	體積
0°C.	0.99987	1.00013	2°C.	0.99997	1.00003
1°C.	0.99993	1.00007	3°C.	0.99999	1.00001

4°C.	1.00000	1.00000	40°C.	0.99224	1.00782
5°C.	0.99999	1.00001	50°C.	0.98807	1.01207
10°C.	0.99973	1.00027	60°C.	0.98324	1.01705
15°C.	0.99913	1.00087	70°C.	0.97781	1.02270
20°C.	0.99823	1.00177	80°C.	0.97133	1.02899
25°C.	0.99707	1.00294	90°C.	0.96534	1.03590
30°C.	0.99567	1.00435	100°C.	0.95838	1.04343

比重 凡物質的重量和同體積 4°C. 水的重量相比, 稱為該物質的比重(Specific gravity), 就是該物質比水重若干倍。因物質的重量和其質量成正比, 故某物質的比重可用式表明為:

$$\begin{aligned} \text{(物質的比重)} &= \frac{\text{(物質的重量)}}{\text{(4°C. 同體積的水重)}} = \frac{\text{(物質單位體積的重量)}}{\text{(4°C. 單位體積的水重)}} \\ &= \frac{\text{(物質單位體積的質量)}}{\text{(4°C. 單位體積的水的質量)}} = \frac{\text{(物質的密度)}}{\text{(4°C. 水的密度)}} \end{aligned}$$

上式中用 C. G. S. 單位時, 4°C. 水的密度為 1, 故物質的比重常和其密度的數值相等。

實驗指導

實驗 1. 長度的測定

目的 測定圓板的圓周和直徑, 並求 π 的數值。

用具 圓規, 米尺, 紙板, 剪刀。

方法 I. 圓周的測定 用圓規在硬紙板上作一圓, 剪下圓紙板一塊。用細長的紙條緊捲於圓板的周圍, 在紙條重疊處以鉛筆作



圓規

一記號,然後將紙條置米尺上,測定圓周的長度。

II. 直徑的測定 平放圓板,將米尺的刻度邊放在板上,恰通過圓的中心,記錄直徑的長度。

記錄和計算

實驗次數	圓周(釐米)	直徑(釐米)
1		
2		
平均值		

$$\pi = \frac{\text{圓周}}{\text{直徑}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\pi \text{ 的正確值} = 3.1416$$

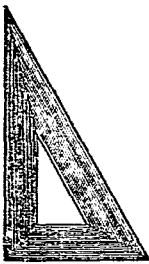
$$\text{誤差} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{誤差的百分比} = \frac{\text{誤差}}{\text{正確值}} \times 100 = \underline{\hspace{2cm}}\%$$

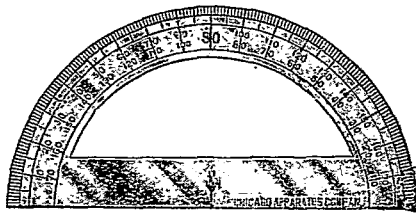
實驗 2. 三角板和量角規的用法

目的 求直角三角形各邊的關係和長方形的面積。

用具 米尺,三角板,量角規。



三角板



量角規

方法 I. 直角三角形各邊長度的測定 作一直角三角形,依量角規使三角形的一銳角為 60° 。量三角形各邊的長度。

II. 長方形各邊長度的測定 用兩塊三角板,作兩根平行線,並用量角規作成一長方形,測定其高度和底邊的長度。

記錄和計算

實驗次數	三 角 形			長 方 形	
	勾(釐米)	股(釐米)	弦(釐米)	高度(釐米)	底邊(釐米)
1					
2					
平均 值					

I. 直角三角形各邊的關係 弦的實測長度 = ____ 釐米
 $(\text{弦})^2 = (\text{勾})^2 + (\text{股})^2$ 由公式算出弦的長度 = ____ 釐米
 誤差 = ____, 誤差的百分比 = ____ %

II. 長方的面積 = 高度 \times 底邊

\therefore 面積 = ____ 平方釐米

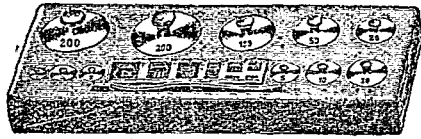
實驗 3. 體積和質量的測定

目的 求鉛和銅的密度。

用具 天平和砝碼,量筒,玻璃杯,鉛塊,銅塊。

方法 將鉛塊或銅塊放在天平的左盤(教本第 8 頁的圖),將砝碼放在右盤,測定其質量,然後取量筒盛水(教本第 9 頁的圖),記水面處的體積數,將鉛塊或銅塊放入,

再記水面處的體積數，由其排去的水量即可求其體積。



一組砝碼

記錄和計算

鉛的質量 = ____ 克, 銅的質量 = ____ 克。

物質	原水面(立方釐米)	終水面(立方釐米)	物體的體積
鉛	C.C.	C.C.	C.C.
銅	C.C.	C.C.	C.C.

$$d = \frac{m}{v}$$

∴ 鉛的密度 = ____ 克/釐米³

銅的密度 = ____ 克/釐米³

問題解答

[第 5 頁] 問題 1. 單位即同類量中的標準量。基本單位即長度、質量和時間的三個單位。C. G. S. 單位即取釐米、克、秒為基本單位的系統。

問題 2. 十進制的便利為：(1) 倍數和約數都以十進，簡單而易計算；(2) 長度和質量的單位有簡單的關係；(3) 世界上各國多已採用，成為統一的制度。

問題 3. 面積和體積的 C. G. S. 單位為平方釐米和立方釐米。

問題 4. 十克水的體積等於十立方釐米。

[第 7 頁] 問題 1. 壓力 = $\frac{500 \text{ 克}}{20 \text{ 釐米}^2} = 25 \text{ 克/釐米}^2$ 。

問題 2. 桌面上所受的全壓力都相同,但豎放時的壓力比平放時的為大。

[第10頁]問題 1. 密度的單位從 C. G. S. 單位推出的。

問題 2. 玻璃的密度 = $\frac{10 \text{ 克}}{3.9 \text{ 釐米}^3} = 2.56 \text{ 克/釐米}^3$

問題 3. $m=vd$, $\therefore m=30 \text{ 釐米}^3 \times 13.6 \text{ 克/釐米}^3 = 408 \text{ 克}$ 。

問題 4. 銅的體積 = $\frac{500 \text{ 克}}{8.95 \text{ 克/釐米}^3} = 56 \text{ 釐米}^3$

銅入滿水的杯中,因排去同體積的水量,故溢出的水為 56 立方釐米。

本章內容提要

- | | | |
|----|---|--------------------------------|
| 物性 | { | 通性 — 填充性,不可入性等。 |
| | | 特性 — 因特性而分物質的三態。 |
| 單位 | { | 單位 — 同類量中所定的標準量。 |
| | | 長度的標準單位 — 米。 |
| | | 質量的標準單位 — 仟克。 |
| | | 時間的標準單位 — 平均太陽日。 |
| | | 基本單位 — 長度,質量,時間的三個單位。 |
| | | 推出單位 — 面積,體積,密度等。 |
| 力 | { | C. G. S. 單位 — 用釐米,克,秒為基本單位的系統。 |
| | | 重量 — 物質受地球吸引的重力。 |
| | | 力 — 推引的作用。 |
| | | 力的重力單位 — 克。 |
| | | 力的絕對單位 — 見第五章。 |
| | | 壓力 — 彼此相向的兩力,其強度為單位面積上的力。 |
| | | 張力 — 彼此相背的兩力。 |

質量 { 質量——物體內含有物質的量和重量有區別。
質量的比較——用重量的比較法,或慣性的比較法。
密度——單位體積的質量,比重即物質的密度和4°C. 水的密度相比。

參 考 書 籍

科學單位 張濟翔著 商務印書館出版
中國度量衡法規 實業部

第二章 水

本章教學要旨

1. 液體傳遞壓力的性質和其內部壓力的計算。 2. 城市中自來水等的原理。 3. 物體在液體中所受的浮力和阿基米得原理。 4. 比重的測定法。 5. 分子說的大意和常見的分子現象。

教材參考

1. 液體傳遞壓力的性質

巴斯噶原理 瓶中滿盛液體如醬油等類，若瓶塞甚緊，不易拔出時，可在瓶底上覆一溼布，用手在布上輕拍幾次，瓶塞自然漸漸鬆出，表示瓶內液體有力將瓶塞外推，這個力就是瓶底所受的力，由液體以傳到瓶塞的。又以燒瓶一個，滿盛以水，將軟木塞或橡皮塞緊塞瓶口，若用鎚擊瓶塞，則玻璃的全部破裂而成均勻的粉屑，宛似將各部同時擊碎一樣，且滲出的水，都和原器壁成垂直的方向。可知密閉器內的液體，一部受到壓力，可以由液體傳遞到各部分，而強度不變，并和器壁成垂直。這個傳遞壓力的定律稱爲巴斯噶原理(Pascal's principle)。

壓力概念的需要 討論固體受兩力而達平衡 (Equilibrium) 時，兩力的大小必相等而方向相反 (1.3)，但水壓機(教本第13頁的圖)的兩方活塞上所受的力雖不等，祇要壓力相等時亦能平衡，例如左方活塞上加10克的力(如教本第13頁的圖)，就能支持右方活塞上30克的重物，兩方

的力雖不等,但左方活塞上的壓力為 $10/2=5$ 克/釐米²,而右方的壓力為 $30/6$,亦等於 5 克/釐米²,故壓力都相等。可知討論液體時,壓力的概念更爲重要。依巴斯噶原理得水壓機的算式爲:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2} \quad \text{或每一活塞面上的壓力} = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

2. 液體內部的壓力

液體內部壓力的定律 液體內任何一點或任何一水平面上的壓力,各方向都相等,并和離表面的深度成正比。

設液的表面下 h 深度處的水平面,面積爲 A ,液體的密度爲 d ,此面上所受的力爲 F ,就是以此面爲底面所成液柱的重量。因液柱的體積爲 Ah ,故 $F=Ah d$ 。

設 P 爲壓力,則 $P = \frac{F}{A} = hd$ 。

例題 一立方體的箱子每邊長 4 釐米,滿盛以水,求底面和側面所受的壓力和全壓力。

解 (1) 底面上的壓力 $=hd=4$ 釐米 $\times 1$ 克/釐米³ $=4$ 克/釐米²

底面和側面的面積 $=4 \times 4 = 16$ 釐米²

$\therefore F=PA=4$ 克/釐米² $\times 16$ 釐米² $=64$ 克

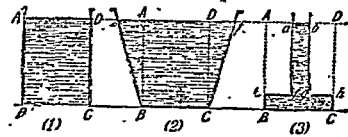
(2) 側面上各部分所受的壓力隨深度而增加,故要求側面上的壓力,祇可求一平均值,可先得平均深度爲 $\frac{h+0}{2}$

故 $P = \frac{h}{2} d = \frac{4 \text{ 釐米}}{2} \times 1 \text{ 克/釐米}^3 = 2$ 克/釐米²

側面上所受的全壓力 $= 2$ 克/釐米² $\times 16$ 釐米² $= 32$ 克

靜水異象 液體內任何面上所受的壓力和深度成

正比,而和容器的形狀無關係,如圖中三個玻璃容器的形狀不同,但底面積 BC 都相等,如注水入三容器中,達同深度時,底面上所受的全壓力都相等,即 $ABCD$ 水柱的重量。圖中(1)的容



靜水異象

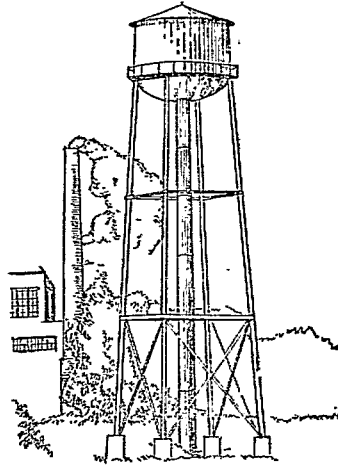
器底面上所受的全壓力和 $ABCD$ 水柱的重量相等,極易明瞭;(2)(3)兩容器底面上的全壓力各比容器內實際的水重為小或為大,但底面上各部分的壓力都相等,且特垂直方向水柱的深度,故全壓力和實際的水重無關,均相當於以底面作圓柱體的水重。這種現象初視甚難決定其全壓力的大小,然底面相同,全壓力必相同,常稱之為靜水異象 (Hydrostatic paradox)。

3. 水平面和連通器

水平面 液體和空氣的接觸面稱為自由表面 (Free surface)。液體能自由滑動,各部分都受重力的作用,故其表面和重力的方向成直角而保持一水平面。海洋的水面,面積較大,各部分成為和重力方向垂直的球面。容器內的水面若嚴格的說,當然亦為多少彎曲的球面的一部分,但因其面積較小,彎曲度極微,通常認為一平面,亦無不可。水準器即檢驗水平的器具,其管中封入的液體為極易流動的,通常都用酒精或醚。水準器內液體愈易流動,則其靈敏度 (Sensibility) 愈大。

自來水 自來水 (Water supply) 的裝置是利用連通器

的原理,其作用如教本上第17頁的圖,通常的貯水塔由地面至塔頂,並非全體為一大圓柱體,祇將一圓筒用架子支在高處(見附圖)。筒底通一長管,連至唧筒,則外方送入筒內的水量雖少,但於短時間就可達到相當的高度,所以由筒底通至外方的水管內,水壓力極大,若用長圓筒為貯水塔,則由唧筒輸入的水量應多,方能得相當的壓力,作用不便。可知



自來水的貯水塔

貯水塔的作用不僅貯水,並利用其高位置的水量,而高層樓上亦能得水。

井水、泉水和噴泉 地中的地層有種種的構造,或為砂質,或為小石,或為黏土。地中的水對砂和小石雖能通過,但遇黏土時則不能通過,積聚於地中。若在地上掘成垂直的坑道,達水的通路或積聚處,則四周水源的壓力要保持同一水平面的緣故,就滲漏成井水或自然而成的泉水。若水源地位比掘處的地平面為高,則水由地中噴出,成為噴泉。所以井水、泉水和噴泉都是連通器的原理。

4. 液體的浮力

阿基米得的原理 希臘 (Greek) 敘拉古 (Syracuse) 國王 海愛洛 (Hiero) 曾定製一金冠,疑工匠將銀攙入。當時阿基米德 (Archimedes) 爲一著名的哲學家,國王即命彼辨別此冠的真偽,但不許損冠分毫。阿氏受命後苦難解決,忽於浴身時偶覺其身體在水中的重量減輕,因悟及各種物體在液體中的重量必減輕,所減的重量等於被物體排開的同體積的液重,就是阿基米得的原理 (Archimede's principle)。這個原理可由實驗或理論來證明,參閱教本(2.4)。阿氏發明這個原理後,就可解決國王的問題,所以非常快樂,由浴室內奔到街中,大聲疾呼道:“我知道了!” “我知道了!”

用這個原理,阿氏究竟何以能辨別金冠的真偽,應加以說明,並由例題就可明瞭,因這個原理可用公式來表示,得

$$W - W' = B = Vd$$

(減輕的重量) = [浮力] = [物體同體積的液重]

(在同一地點,物質的質量和重量,通常都認爲一致,所以質量和重量都可認爲 Vd)。

由上式水的密度爲 1,故在水中時 $W - W' = V$, 即

水中減輕的重量 = 物體的體積

金冠爲一不規則的形體,其體積不能由尺來測定,所以阿氏覺到困難,但現依其原理,則各種不規則物體的體積,就可由水中減輕的重量,而得精密的確定。體積既知道,則由金冠在空氣中的重量,就可推求其密度。如密度的數值恰爲 19.3, 即純金的密度,則金冠必爲純金所製,如數值

不合，則真僞甚可辨別。

例題 有金銀的合金一塊，在空氣中計重979克，在水中重890克。求金銀的成分(金的密度=19.3 銀的密度=10.5)。

$$\text{解 合金的密度} = \frac{979}{979-890} = \frac{979}{89} = 11$$

設 X =金的重量， y =銀的重量，又假定金銀混合後的體積等於金銀原體積的和，則得

$$\frac{x}{19.3} + \frac{y}{10.5} = \frac{979}{11} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$x + y = 979 \quad \dots\dots\dots(2)$$

解以上兩式，得 $x=97$ 克， $y=882$ 克

$$(1) \text{式亦可直接寫成 } \frac{x}{19.3} + \frac{y}{10.5} = 979 - 890 = 89$$

阿氏為上古最有名的數理家，首定 π 的數值和圓的面積，在物理學上發明槓桿、浮力等重要定律。當羅馬圍攻敘拉古時，他曾發明種種防守的兵器，卻退敵人。城破時正在沙盤內作幾何圓形，為羅馬兵所害，受戮時猶向敵人大呼：“勿得毀我的圓！”

5. 物體的浮沈

物體浮沈的情形 依阿基米得的原理，可確定物體在液體內浮沈的情形如下：

物體的重量 > 排開同體積的液重時，則物體沈下。

物體的重量 = 排開同體積的液重時，則物體靜止。

物體的重量 < 排開同體積的液重時，則物體浮上。

浮體的定律 舟船等物體能浮在水面，由阿氏的原理得推出浮體的原理如下式：

物體的重量 = 浮力 = 排開液體的重量

潛水艇 潛水艇 (Submarine) 爲近代發明的戰器,但亦爲最古的阿基米得原理的簡單應用。當使艇沈下時,引水入水槽(Ballast tank)中,至全艇的重量和所排開的水重相等,艇就隱浮而達潛航狀態(教本21頁的圖),進行時可利用水平舵使全體沈下。在水下亦可利用水平舵使艇上浮,以使用潛望鏡(Periscope)窺察海面上的情形。如欲使全艇出水面時,可將壓縮空氣(Compressed air)放入水槽將水逼出,艇就浮上。水上航行時用內燃機關(9.9)作原動機,水下航行時用蓄電池的電流通到電動機(見下冊電學)而運動。水面下航行的速度較水上爲慢,艇中人員的呼吸利用漸漸放出的壓縮空氣。

例題 有木一塊,長15釐米,寬10釐米,厚4釐米,浮在水中,浮出水面1釐米。求木的重量和密度。

解 木塊浸在水中的體積 = $15 \times 10 \times 3 = 450$ 釐米³

故木塊的重量 = 排開的水重 = 450 釐米³ $\times 1$ 克/釐米³ = 450 克

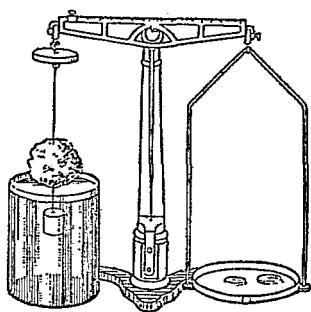
$$\text{木塊的密度} = \frac{450}{15 \times 10 \times 4} = 0.75$$

6. 比重的測定

重固體的比重 固體如比水爲重,則由阿基米得的原理得

$$\text{比重} = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad \text{即} \quad [\text{比重}] = \frac{[\text{物體的重量}]}{[\text{在水中減輕的重量}]}$$

輕固體的比重 固體如比水爲輕,不能沈於水中,可在固體下加一重錘(如附圖),以測定輕固體在水中減輕



輕固體比重的測定

的重量。

設 W = 輕固體在空氣中的重量

W_1 = 錘在水中的重量
+ 固體在空氣中的重量

W_2 = 錘和固體同在水中的重量

則 $W_1 - W_2$ = 固體在水中減輕的重量 = 輕固體的體積

$$\therefore \text{比重} = \frac{W}{W_1 - W_2}$$

例題 設石蠟塊在空氣中的重量為 178 克，錘在水中的重量為 30 克，兩物同在水中的重量為 8 克。求蠟的比重。

$$\text{解 比重} = \frac{178}{178 + 30 - 8} = \frac{178}{200} = 0.89$$

液體的比重 液體的比重可用比重瓶 (Specific bottle) 和浮秤 (Hydrometer) 以測定 (教本 23-24 頁) 外，通常亦用減輕的方法如下：

設 W = 固體在空氣中的重量， V = 固體的體積，

W_1 = 固體在液體中的重量， d_1 = 液體的密度，

W_2 = 固體在水中的重量， d_2 = 水的密度。

$$\text{則 } W - W_1 = Vd_1 \dots\dots\dots(1) \quad W - W_2 = Vd_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\therefore \text{液體的比重} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{W - W_1}{W - W_2}$$

$$\text{即 [液體的比重]} = \frac{[\text{固體在液體中減輕的重量}]}{[\text{固體在水中減輕的重量}]}$$

例題 一鉛球在空氣中重 330 克,在水中重 315 克,在硫酸中重 303 克。求球的體積和鉛、酸的比重。

解 球的體積 $= 330 - 315 = 15$ 釐米³

$$\text{鉛的比重} = \frac{330}{15} = 22$$

$$\text{酸的比重} = \frac{330 - 303}{330 - 315} = \frac{27}{15} = 1.8$$

浮秤的刻度 浮秤上的刻度除直接刻出比重的數值外,通常管上另有一種刻度爲婆美度 (Baum's degree) 或脫華特度 (Twaddell degree) 等。

(1) 婆美度 婆美度的記號爲 B'e, 有輕重兩種的浮秤, 輕重表示浮秤用於輕或重於水的液體, 重的一種所刻的 0° 和比重 1.000 相當, 66° 和 1.842 相當; 輕的一種所刻的 0°, 相當於 10% 食鹽溶液的比重, 60° 和比重 0.745 相當, 重婆美度和比重的關係, 有下列的公式換算:

比重 $= \frac{m}{m-d}$, 式中 d 爲婆美度數, m 的數值有數種:

m=145 (美國通用), m=144 (荷蘭用的舊刻度)

m=146.78 (新刻度或稱裴勒 (Gerlach) 刻度)

(2) 脫華特度 脫華特度數和比重的關係如下式:

$$S = \frac{5T + 1000}{1000}, \quad S = \text{比重}, \quad T = \text{脫華特度數}$$

故比重爲 1 時, 脫華特爲 0°, 此種刻度的浮秤, 祇常用於比水重的液體。

婆美度與比重的關係表(輕於水的液體)

比重	B'e	比重	B'e
0.60	103.33°	0.70	70.00°

0.80	45.00°	1.00	10.00°
0.90	25.56°		

浮秤刻度換算表(重於水的液體)

比重	B'e	T	比重	B'e	T
1.00	0.00°	0°	1.50	48.33°	100°
1.10	13.18°	20°	1.60	54.38°	120°
1.20	24.17°	40°	1.70	59.71°	140°
1.30	33.46°	60°	1.75	62.14°	150°
1.40	41.43°	80°	1.80	64.44°	160°

2. 分子和分子力

分子說 對於物質的構造,常人以為物質是整個的一塊,但依近代學者的研究,由理論和實驗證明物質為極小的質點所構成。這個質點稱為分子(Molecule),由分子集合而成物質的學說,稱為分子說(Molecular theory)。物質中所含分子的數目極多,分子間有相當的空隙,故物質的構造為非連續性的。各種物質的分子,大小不等,小粉的分子最大。若將一滴的水放大至地球的大小,則分子的大小,約和地面上足球的大小一樣,四萬萬個分子如列成一直線,則長度不過 2.5 釐米,但四萬萬個同胞若繞地球的周圍排列起來,可繞地球五週,故分子的微小。從這個譬喻可以想像得到,分子假定為球體,其平均直徑的最大值為 2×10^{-8} 釐米,分子間距離的平均數約為 7.6×10^{-8} 釐米,故分子間的空隙尚較分子為大。分子當作不規則的運動,依分子間隙的大小和其運動的速度,亦為固體、液體、氣體的

三態的判別點(教本第24頁的圖)。分子間吸引的作用稱爲分子力(Molecular force)，同類分子間的引力稱爲內聚力(Cohesion)，異類分子間的引力稱爲附着力(Adhesion)(教本第25頁的圖)。

原子說和原子構造的大意 一個分子尙可分析得較小的物質，稱爲原子(Atom)。原子的概念在古代希臘的學者已有理想的假定，原語即不可再分的意義，但無實驗的證明，祇是玄想。至19世紀台爾頓(Dalton)由化學上實驗的證明，就爲原子說(Atomic theory)的起源，原子亦假定爲球體，在分子內運動不息，依近代電學的進步知原子尙非爲最小的物質，原子尙有構造，一個原子的中央部分有一原子核(Nucleus)，核外有帶負電的自由電子(Free electron)，爲極輕的物質，較氫原子的質量尙輕約1800倍。這種電子繞原子核的周圍，依一定的軌道而常運行，和行星繞太陽運行的情形相像。原子核中係帶正電的質子(Proton)和帶負電的電子所集成，各原子核中質子的數目常超過電子的數目，其差數恰和軌道上自由電子的數目相等，這個差數稱爲原子序數(Atomic number)，每一種原子都各有一定的序數。氫原子的構造最簡單，核中含1個質子，核外有1個自由電子，其原子序數爲1；次爲氦(Helium)原子，核中含4個質子，2個電子，核外有2個自由電子，故其原子序數爲2。各種原子依此類推，至最複雜的鈾(Uranium)原子，其原子序數爲92，原子量爲238，其核內含有238個質子，146個電子，軌道上有92個自由電子。可知原子的種類雖

不同，但都是質子和電子組織而成的，原子量(Atomic weight)的大小依原子核中質子的數目而定，原子序數表示核外軌道上電子的總數，原子量和原子序數的差數，即核中的電子數，由原子自然的蛻變和人工的破壞，知一切原子核亦可認為由氫核和氦核組織而成，氦核的組織甚堅牢，凡各原子量以4除得的數為氦核數，若有餘數即氫核數，例如氮(Nitrogen)的原子量為14，核中即含有三個氦核和二個氫核。

同位素 一切原子核既由若干質子而成，則原子量當為整數，但通常的原子量卻不能恰為整數，實一重要的疑問，據阿斯頓(Aston)的研究，知各元素多由若干異原子量的同位素(Isotope)混合而成，故真正的原子量本為整數，但實測的原子量則為同位素混合的結果，致不能恰成整數，例如鋰(Lithium)的同位素有原子量為7的，有為6的，而混合的結果則為6.94。鋰原子量為7的核內有7個質子，4個電子，軌道上有3個電子；原子量為6的核內有6個質子，3個電子，軌道上的電子亦為3個。故同位素為原子量不同而原子序數相同的元素。

中子和**正子** 依近兩年內的研究，核中的問題極複雜，除質子和電子外，英人却特維克(Chadwick)發現中子(Neutron)為核中第三種獨立的微粒，不現電性，美人安杜生(Anderson)又發現帶正電的電子，質量和電量都和電子相同，但所帶的電不同，稱為正子(Positron)，為核中第四種基本微粒的存在，故原子構造的研究，勢將另起爐灶，愈

為複雜了!

8. 表面張力

表面張力 液體的表面張力 (Surface tension) 所用的單位為達因/釐米 (達因為力的絕對單位, 見 5.4), 和通常張力的單位不同, 係取面上單位長度所受的力而定。表面張力的大小和液體的溫度有關係, 溫度降低 1°C . 所增加的張力, 稱為張力的溫度係數 (Temperature coefficient), 設 S_0 表 0°C . 時的表面張力, S_t 為 $t^{\circ}\text{C}$. 時的張力, a 為溫度係數, 則

$$S_t = S_0 - at$$

幾種液體的表面張力 (達因/釐米)

液體	S_0	a	液體	S_0	a
酒精	25.3	0.087	水銀	441.3	0.379
醚	19.3	0.115	水	75.8	0.152

9. 毛細管現象

毛細管的定律 毛細管 (Capillary tube) 在同一液體內, 其內外液面相差的高度和其斷面的直徑成反比。這個關係稱為久伯的定律 (Jurin's law)。毛細管現象 (Capillary phenomena) 對於植物的吸收水分, 土壤的耕種等甚為重要。

例題 設直徑 1.5 毫米的毛細管中, 水的上昇高度為 15 毫米, 若在直徑 1 毫米的毛細管中, 水應升高若干毫米?

解 設 h = 高度, 則 $\frac{h}{1.5} = \frac{1.5}{1}$, $\therefore h = 22.5$ 毫米

實驗指導

實驗 1. 液體內部的壓力

目的 測定液體內部的壓力和深度關係。

用具 水缸或水箱,玻璃長圓筒(直徑各部都均勻),銅片,線,玻璃杯,橡皮圈,(全副用具和教本第14頁的附圖一樣但規模較大)天平和砝碼,米尺。

方法 測量玻璃長圓筒的內直徑數次,得一平均值,算出底面積為 Δ 。將長線繫銅片,作圓筒的底,圓筒的周圍套一橡皮圈,使圈恰在水面的地位,以確定圓筒直立水中時下沉的深度。用圓筒壓銅片入水內,筒外用架子支持而直立水中。取大玻璃杯盛水,在天平上得其重量為 W_1 克,然後將杯中的水注入圓筒內,至筒底的銅片沈下為止,再測杯子和餘水的重量為 W_2 克,則 $W_1 - W_2$ 克為玻璃筒內水柱的重量,水柱施於銅片上方的壓力為 $W_1 - W_2 / \Delta$,和水施於銅片下部的上壓力相等。由橡皮圈的位置量出圓筒底離水面的深度,依同樣的方法在石油內再試一次。

記錄和計算

平均值

圓筒的內直徑 = ____ 釐米 ____ 釐米 ____ 釐米 ____ 釐米

圓筒的底面積 = ____ 釐米²

水				石 油					
深度 (釐米)	W_1 (克)	W_2 (克)	壓力	深度 壓力	深度 (釐米)	W_1 (克)	W_2 (克)	壓力	深度 壓力
平均值					平均值				

實驗 2. 阿基米得的原理

目的 證明阿基米得的原理,並求有規則形固體的比重。

用具 天平和砝碼,銅圓柱體,米尺,玻璃杯,線。

方法 I. 證明阿基米得的原理 測定圓柱體的體積,圓柱體在空氣中和水中的重量,證明

$$[\text{減輕的重量}] = [\text{浮力}] = [\text{物體同體積的水重}]$$

II. 計算圓柱體的比重

$$\text{比重} = \frac{\text{圓柱體在空氣中的重量}}{\text{圓柱體在水中減輕的重量}}$$

記錄和計算

圓柱體的直徑(D) = _____, _____, _____	平均值
圓柱體的高度(H) = _____, _____, _____	
圓柱體在空氣中的重量(W) = _____	
圓柱體在水中的重量(W') = _____	

$$\text{圓柱體的體積} = H \times \pi \frac{D^2}{4} = \text{_____ 釐米}^3$$

$$\therefore (1) \text{排開的水重} = \text{浮力} = \text{_____ 克}$$

$$(2) W - W' = \text{_____ 克}$$

$$(1) \text{和}(2) \text{的誤差} = \text{_____}$$

$$\text{銅的比重} = \frac{W}{W - W'} = \text{_____}$$

問題解答

[第 13 頁] 問題 因 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$, $A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$

$$\therefore \frac{F_1}{F_2} = \frac{D_1^3}{D_2^3} \quad \text{現 } \frac{D_1}{D_2} = \frac{1}{4}$$

$$\therefore \frac{300}{F_2} = \frac{D_1^3}{(4D_1)^3} = \frac{1}{64}, \quad \therefore F_2 = 4800 \text{ 克}$$

[第 15 頁] 問題 1. 池底所受的壓力 $=hd = 200 \text{ 釐米} \times 1 \text{ 克/釐米}^3$
 $= 200 \text{ 克/釐米}^2$

池底全面積所受的全壓力 $=Ahd = 50 \text{ 釐米}^2 \times 200 \text{ 克/釐米}^2$
 $= 10,000 \text{ 克}$

問題 2. 管底所受的壓力 $= 100 \text{ 釐米} \times 13.6 \text{ 克/釐米}^3$
 $= 1360 \text{ 克/釐米}^2$

[第 19 頁] 問題 1. 物體在液體中減輕的重量和其重量無關係,因減重的理由是由於浮力而發生,而浮力的大小,依物體的體積而定,體積愈大則減輕的重量亦愈大。

問題 2. 設 $W =$ 石塊在空氣中的重量

$$(1) 2.6 = \frac{W}{W - 120} \quad \therefore 2.6W - 312 = W$$

$$\text{或 } 1.6W = 312 \quad \therefore W = 195 \text{ 克}$$

$$(2) \text{ 浮力} = \text{減輕的重量} = 195 - 120 = 75 \text{ 克}$$

[第 22 頁] 問題 1. 魚類能在水中自由浮沈,就是阿基米得的原理。因魚類體內具有魚鰾,為一充有空氣的氣囊,欲下沈時,口內含水由唇的壓力壓縮其魚鰾中的空氣,使全體的重量較排開的水重為大,故漸漸下沈。如上浮時則吐去含水,除去魚鰾所受的壓力,使鰾內空氣膨脹,魚身的重量較排開的水重為小,即漸漸浮上。

問題 2. (1) 排開的水重 $= 20 \times 10 \times 7 \times 1 = 1400 \text{ 克}$

(2) 設 $W =$ 木箱的重量, 則由浮體的定律得

$$1000 + W = 1400, \quad \therefore W = 400 \text{ 克}$$

[第 24 頁] 問題 1. (1) 體積 $= 250 - 150 = 100$ 釐米³

$$(2) \text{ 比重} = \frac{250}{100} = 2.5$$

$$\text{問題 2. 硫酸的比重} = \frac{180}{100} = 1.8$$

[第 25 頁] 問題 瓷器破壞後不易接合, 因甚難達到分子力作用的範圍的緣故。玻璃和水的附着力大於水分子間的內聚力, 故浸入水中能濕。水銀的內聚力極大, 故玻璃浸入水銀中即不濕。

[第 27 頁] 問題 1. 球形在定體積的各種形狀中, 表面的面積為最小。定量的雨滴和荷葉上的水滴, 因其表面張力有縮至液面為最小面積的作用, 故都成球形。

問題 2. 兩根火柴桿間加入酒精一滴後, 因水和酒精混合液的表面張力比純水的為小, 故兩桿外純水較大的力就拉桿向兩旁分開。

問題 3. 毛筆出水後, 水膜的表面張力作用的結果, 使毛聚成一束, 以減小水面的面積, 但浸在水中時則因附着力的作用, 故毛向四方散開。

[第 29 頁] 問題 1. 吸水紙紙質孔鬆, 毛巾的組織有粗細條, 都有毛細管的性質, 故都能吸水。

問題 2. 燈蕊吸油, 毛筆蘸墨水, 樹木內纖維質將水分由根部傳至各部分, 都是通常的毛細管現象。

本章內容提要

- 液體的壓力 { 液體有傳遞壓力的性質 —— 巴斯噶原理(水壓機)。
 液體內部的壓力 —— 液體內部任一水平面上,各方的壓力都相等,和液體的深度和密度成正比,和容器的形狀無關係。
 壓力的作用 —— 液面保持一水平面,自來水,井水,泉水,噴泉都是連通器保持同一水平面的原理。
- 液體的浮力 { 浮力 —— 物體在液體內所受上壓力和下壓力的差數。
阿基米得原理 —— 減輕的重量 = 物體同體積的液重。
 物體的浮沈 —— 浮體的重量 = 排開液體的重量。
 (潛水艇的浮沈,船艦的排水量)
- 比重的測定 { 固體的比重 —— 用阿基米得原理的水中減輕法。
 液體的比重 { 比重瓶。
 浮秤 —— 刻度有比重數,Be度等,分輕重兩種。
 減輕法(用一固體來測定)。
- 物質的構造 { 分子說 { 分子 —— 球體的微粒,常運動不息。
 分子間隙 —— 分子間有空隙,物質是非連續的。
 分子力 { 內聚力 —— 同類分子間的引力。
 附着力 —— 異類分子間的引力。
 原子說 { 原子 —— 含於分子內的微粒。
 自由電子 —— 繞原子核運行。
 原子核 —— 質子和電子所集成。

液體的 { 表面張力 —— 液面上有收縮面積至最小的分子力。
分子力 { 毛細管現象 —— 表面張力和分子力的作用。

參 考 書 籍

- | | |
|--------|------|
| 潛水艇 | 徐應昶編 |
| 原子論 | 李書華著 |
| 原子構造概論 | 陸志鴻譯 |
| 電子論淺說 | 陳章譯 |

第三章 空氣

本章教學要旨

1. 討論氣體的壓力和浮力。
2. 氣壓計和其應用。
3. 氣體的體積和壓力的關係。
4. 氣球和飛艇的原理。
5. 利用氣體壓力的器械。

教材參考

1. 氣體的比重和壓力

空氣的存在和重量 地球的表面上有空氣的存在，液體和固體內亦有多少空隙容納少量的空氣。空氣有重量，首由伽利略(Galileo)於1632年由實驗來證明，現由精密的測定，知空氣在1氣壓的標準狀態時，每升計重1.293克，為水重的773.4分之一。各種氣體都有重量，其比重常以空氣為標準。

氣體運動說 關於氣體的壓力和液體的性質不同，取一部分氣體而放在一容器內，其壓力可和外方廣大的氣體相等。白努里(Daniel Bernoulli)於1739年創立氣體運動說(Kinetic theory of gases)，以解釋氣體的現象，後經十九世紀初原子說的成立，復於中葉時經馬克斯惠爾(Maxwell)和克洛雪(Clausius)等闡明理論上的基礎後，氣體運動說遂成物理學中重要的一門。依這個學說，氣體的分子運動迅速，就有擴散現象，器壁受其撞擊即生壓力的作用。壓力的大小依每秒鐘分子撞擊的次數而定。溫度增加，分子的速度亦增加，器壁所受的壓力亦增大。壓力的方向常和器壁

垂直。器壁受氣體的壓力，和牆壁上拍球，壁上所受的力一樣。等體積的氣體，在壓力和溫度相等時，所含分子的數目相等（亞伐蓋特魯 Avogadro 定律），1 摩爾 (Mole)（即 22.4 升時的分子量）的氣體在標準狀態時含有 6.06×10^{23} 個分子，或 1 立方釐米含有 27×10^{18} 個分子。幾種氣體的分子速度在 0°C . 時如下表：

氫	1840 米/秒	氧	461 米/秒
氮	493 米/秒	二氧化碳	392 米/秒
空氣	445 米/秒	氫	1310 米/秒

2. 大氣的壓力

研究氣壓的起源 將一長管的下部浸入水中，自上部吸去管內的空氣，水即上昇。這種現象的解釋，在古代的羅馬人和希臘人都以為“自然忌真空”(Nature abhors a vacuum)，並無其他理由，至伽利略的時代仍沿用此說。至 1640 年多斯加納公爵 (Duke of Tuscany) 於佛羅來斯 (Florence) 附近掘一深井，知無論用何種唧筒吸水，水的上昇高度不能超過 32 英尺，就求伽利略解釋，伽氏祇能回答“自然忌真空亦不過 32 英尺以內的範圍罷了！”伽氏的答案雖勉強，但以後已疑到這個現象由於空氣的壓力，因彼已證明空氣有重量，故即開始研究這個問題。不幸試驗尚未成功而卒於 1642 年，死前曾授意於其弟子托里忒利 (Torricelli)，囑其繼續研究，結果得確定為空氣壓力的現象，并測定大氣壓力的大小。

氣壓的平衡 大氣的範圍甚廣，其壓力甚大。吾人身

體的內部亦有氣壓的作用，體的內外壓力恰成平衡，故不覺有壓力。若減小一方面的氣壓，則失去平衡，氣壓的現象可以顯見（教本第 32—33 頁的實驗）。故乘氣球驟然昇至甚高處時，耳膜破裂，鼻孔出血，都是氣壓失去平衡的結果。

3. 大氣壓力的測定

托里拆利的實驗 托里拆利推想水向真空上昇可達 32 英尺，那壓水銀比水重 13.6 倍，水銀向真空上昇的高度當為水的 13.6 分之一。後於 1643 年完成其實驗（教本第 34 頁的實驗），確定水銀柱 76 釐米的壓力為大氣的標準氣壓。這個標準氣壓等於 76×13.6 或 1033.6 克/釐米²，稱為大氣的 1 氣壓 (Atmosphere)。托氏完成實驗後其結論為：真空內液體的上昇實由於液體表面所受氣壓的作用，以支持液柱的重量，決非習俗上認真空有神秘的吸力作用。巴斯噶更將托氏的結論加以試驗，巴氏以為托里拆利管的試驗如理由真確，則液面外氣壓減小時，管內液柱應降低，曾帶儀器自平地到高塔上觀察而果合其說。巴氏因巴黎附近無高山，乃托住於法國南部高山附近的親戚潑利耳 (Perrier) 作大規模的實驗，不久得其覆書，知昇高 1000 米時管內水銀柱果下降 8 釐米，甚為驚奇云。這個實驗上的證明為 1648 年，和托氏的成功相距僅五年。

4. 氣壓計和其應用

最初的氣壓計 托里拆利管可測大氣的氣壓稱為氣壓計 (Barometer)。最初的氣壓計實於 1650 年為德國物

理家，馬德堡 (Magdeburg) 地方的市長葛利克 (Guericke, 1602—1686) 所首創。葛氏曾立一水柱管直達屋頂，柱上浮一木偶，天晴時木偶出現於屋頂，天雨則退藏不見，鄰居很奇怪，稱彼和鬼魔聯盟云。葛氏對於氣壓的著名實驗，見教本33頁的附註。

氣壓和風雨 氣壓計對於氣象上天氣的預報，有相當的功用。地面上空氣的溫度各處不同，就是一個地方的溫度亦時有高低。溫度高的地方空氣輕而氣壓低，溫度低的地方空氣重而氣壓高，氣壓低的空氣上昇而氣壓高的空氣就由下層補充其位置，空氣因起流動而為風的成因，風的速度隨兩處氣壓的相差而定。一個地方氣壓的忽高忽低都互相更迭的，通常高氣壓或低氣壓的區域甚大，常有直徑為500至1000英里的範圍。在低氣壓的區域內常有風雨，在高氣壓的區域內天氣常晴朗。氣壓的變化和季節有密切的關係，若比較各地的氣壓，將氣壓相同的地點作一通過各點的曲線稱為等壓線 (Isobaric line)，由等壓線可知世界各處氣壓分布的狀況，並可預測天氣的變化。因地球的自轉，水陸分布的狀況，大氣溫度的變化等，等壓線就成不規則的曲線。亞洲大陸的冬季為最高氣壓的中心，夏季則為低氣壓的中心。一個地方的氣象除氣壓外尚須受地形和其他的原因所支配，不能完全專恃氣壓計而決定，故氣壓計雖稱為晴雨計，實不過天氣預告上應用的一種主要儀器罷了！

5. 氣體的體積和壓力的關係

氣體的壓縮性和膨脹性 液體受壓力極難壓縮，如用甚大的壓力來試驗，亦無顯明的效應，例如 1 立方釐米的水，施以三百萬克的大壓力，其體積不過減至 0.90 立方釐米。因液體不可壓縮，故液體的壓力等於深度和密度相乘之積，否則下層和上層的密度不一致，就不能照此計算。氣體的特性就和液體不同，有顯明的壓縮性 (Compressibility)，例如足球的球囊內和車輪的橡皮輪胎內，可用壓力將多量的空氣壓縮其中。但球囊或輪胎破裂時，此壓縮空氣有恢復固有體積的特性，凡密閉的氣體所受外方壓力較小時，有擴張其體積的特性，稱為氣體的膨脹性 (Expansibility)。

波義耳定律 關於氣體壓縮和膨脹時，其體積和壓力的關係約於 1662 年為英人波義耳 (Robert Boyle) 所確定，就是波義耳定律，其陳述和用分子說來說明其理由，見教本 38—39 頁。法國的麥利哇 (Edme Mariotte) 亦由獨立的研究，約於 1676 年發表和波義耳所得的同樣結果，故法國方面常稱這個定律為麥利哇定律。波義耳定律在通常的壓力範圍內甚為合用，若在高壓力時則有差誤。阿麥加 (Amagat) 考察空氣由 1 氣壓增加到 78 氣壓時， PV 乘積就逐漸減小，非為常數，自此氣壓再增加到 3000 氣壓時， PV 乘積就逐漸增加。

6. 氣球和浮力

大氣的浮力 空氣的重量每升約為 1.2 克。依阿基米得的原理，地面上一切物體，每 1 升的體積，就受約 1.2 克的

浮力，故其重量必減輕，而浮力的大小亦等於排開同體積空氣的重量。

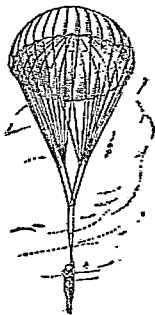
氣球和飛艇 氣球就是利用空氣的浮力而上昇，古時已有種種的發明和實驗，至 1783 年六月法人夢得哥非厄 (Montgolfier) 兄弟兩人，曾製一大紙囊，內盛熱氣而上昇空中。同時有洛波脫 (Robert) 兄弟兩人，得物理學家查理 (Charles) 的幫助，用綢造成一球，內盛氫氣，於同年八月在五萬人的羣衆前，將球昇騰上空，這是氫氣球的起源，卻還無人搭載上去。同年九月夢得哥非厄 在國王面前放一氣球，球下繫一吊籃，預備乘人，但是誰也不敢上去，他就捉了羊、雞、鴨等綁在籃內，上昇後降下時甚爲安全。又隔兩月，皮拉特爾得洛齊 (Pilâtre de Rozier) 方乘氣球經過巴黎 的大部分，在空中歷時 25 分鐘。同年十二月洛波脫 和查理 乘着他們的氣球上昇，備有活門 (Valve)、氣壓計、砂囊等，而氣球的設備，差不多都有了。以後氣球經逐漸改良而乘氣球經過的路程亦漸加長。如將氣球繫定在一處的稱爲風箏氣球 (Kite balloon)。至 19 世紀的末年內燃機關 (教本 136 頁) 發明後，就應用到氣球上面，以運轉推進器 (5.16)，並用舵的作用 (5.16) 而成飛船或稱飛艇 (Airship)，行動就較氣球自由，故飛船亦爲氣球的一種，可稱爲飛行氣球 (Dirigible balloon)。最著名的飛船爲 1900 年德國徐柏林 (Zeppelin) 所發明的，係用金屬或木材造成骨架，上糊軟布，作爲外殼，內容氣球十七個，推進器甚大，裝在吊船的前方，舵有兩個，一司方向，一司昇降。這個飛船的內部幾如巨廈精室，憑空航

行，後幾經改良至歐洲大戰時，貢獻不少的功績。歐戰的結果，氦氣(Helium)的出產量增多，可代氫氣。氦氣為不燃性氣體，在火患上更為安全，英美各國都仿效而造出甚多的飛船。

氣球的上昇力 氫氣每立方米重 0.09 仟克，氦氣每立方米重 0.18 仟克，煤氣(Illuminating gas)每立方米重 0.75 仟克，都較空氣為輕。設氣球和吊籃等總重為 W ，排開空氣的重量為 R ，氣球的上昇力(Lifting power)為 L ，則

$$L = R - W$$

氣球的充氣和落下傘 氣球上昇後球外空氣的壓力漸減，氣囊應漸次膨脹(波義耳定律)，故初時充氣不必充滿，上昇後自然緊張氣囊的壁。例如擬昇至水銀柱為 7 釐米壓力的高處，最初只須充 $1/4$ 的氣體即足，若初充氣時太多，則升高後氣囊有破裂的危險。在氣球上遇敵時，觀察者可乘落下傘(Parachute)跳下，此傘因和空氣的接觸面積頗大，故張開後降下甚緩，頂上有孔使下方空氣從孔中逸出，傘得保持直立的狀況，不致傾斜而安全降下。現飛機上亦應用落下傘，以防危險時可逃避。



落下傘

7. 壓力計和虹吸

虹吸的作用 用虹吸(Siphon)的裝置可使容器內的液體，不必因容器的傾斜，可移於他器，或將容器內輕重的

兩種液體，當靜止分開時，移去上方的一種液體而不致混亂。其作用如教本第42頁的圖。設 P_a 為 a 端的上壓力， P_b 為 b 端的上壓力， B 為大氣壓力的水銀柱高度，則吸液體的作用得由下面的說明：

設液體的密度為 d ，則

$$P_a = B - \frac{ad \text{高度} \times d}{13.6}, \quad P_b = B - \frac{be \text{高度} \times d}{13.6}$$

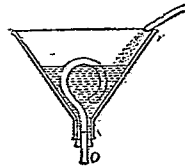
$$\because ad < be, \quad \therefore P_a > P_b$$

管的兩端壓力既不等，故生虹吸的作用。

(1) 若吸水時大氣壓力為 76 釐米的水銀柱， ad 的水柱長 1033.6 釐米，則 $P_a = 76 - \frac{1033.6}{13.6} = 0$ ，就不生虹吸作用，可知自容器內吸水所用的短管，其長度有一定，要在 1033.6 釐米的限度內，否則不能生虹吸作用。

(2) 兩容器的液面若在同一平面時，則虹吸的作用亦停止，例如吸水時 ad 的水柱 = be 的水柱，則 $P_a = P_b$ ，故不生虹吸的作用。可知兩容器內如液面有高低則液體可由虹吸的作用由高液面流至低液面的容器。

斷續虹吸 斷續虹吸 (Intermittent siphon) 係一容器內放一彎管而成 (如附圖)。水面未達管頂時水即停在器內，若高出頂面，則管內的虹吸作用將水流出。洗臉盆和浴盆等去污水時亦可利用這種裝置，如附圖在盆下置一彎管稱為防臭彎



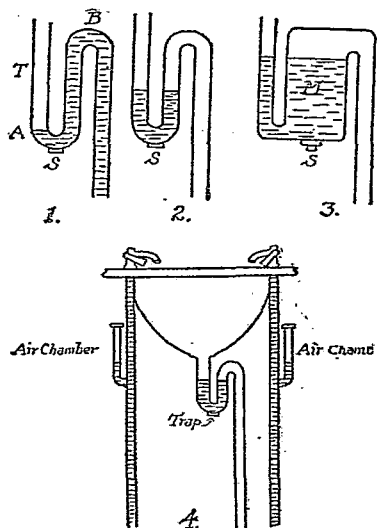
斷續虹吸

(Trap)，此管為 U 字形，S 部分的右面為虹吸管，圖中 (1) T

管內的水因大氣的壓力使水面降至A處,待B處的虹吸作用停止時,一部分水就流回如(2)和(3)的位置,這段水可阻止陰溝的濁氣通至室內。(3)的M部分,的管較其他部分為大,為近代的裝置,當虹吸停止時,這種管內回入的水量較深,阻止濁氣通入的作用更顯著。S為螺旋帽,旋在防臭彎的底部,鬆去後可清除彎內的積垢。圖中(4)為洗臉盆的截面,盆底和防臭彎連接處的塞頭若拔去則水就流出。在通入盆內自來水管的側面附一小管,充滿空氣,稱為氣室(Air chamber),當水管關閉時,管中水流本突然停止,因壓縮氣室內的空氣,停止可緩和,而免去驟然停止時所發的聲音。

8. 水唧筒

水唧筒 Water pump) 通常有吸上唧筒(Lift pump)和壓上唧筒(Force pump)兩種,吸上唧筒在紀元前400年的亞里斯多德(Aristotle)時代,已見應用。這唧筒初抽時,活塞上最好先注入少許的水,足以助水迅速上昇,這種作



洗臉盆的虹吸裝置

用稱為初充 (Priming), 其理由因活塞的活門上有水阻隔, 上提時筒內空氣可完成密閉的形態, 壓力減小, 使筒底導管內水上升較速; 否則活門上的空氣有漏入筒內之弊, 筒內壓力和外方相差不大, 則水上升的作用較慢。

9. 空氣唧筒和壓縮唧筒

空氣唧筒抽氣的程度 空氣唧筒 (Air pump) 係德國葛利克在 1650 年所創造, 容器內空氣抽去的程度得依波義耳定律推算如下:

設 R 為容器和導管的體積 (參閱教本 45 頁的圖), G 為活塞上下的圓筒的體積, P 為容器內空氣的壓力, P_1 為活塞上下一次, 容器內空氣逸去一部分後的壓力, 則

$$P_1(R+G)=PR, \quad \text{故 } P_1=P\frac{R}{R+G}$$

設 P_2 為活塞第二次上下後容器內空氣的壓力, 則

$$P_2(R+G)=P_1R \quad \text{故 } P_2=P_1\frac{R}{R+G}$$

$$\text{或 } P_2=P\left(\frac{R}{R+G}\right)^2$$

依此類推, 設 P_n 為活塞上下 n 次後容器內空氣的壓力, 則

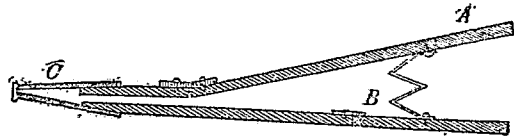
$$P_n=P\left(\frac{R}{R+G}\right)^n$$

可知由空氣唧筒將容器內空氣抽去, 可漸近真空, 而非絕對可得完全的真空。

壓縮唧筒 普通風筒的作用就是利用壓縮唧筒的原理, 有單式和複式的兩種:

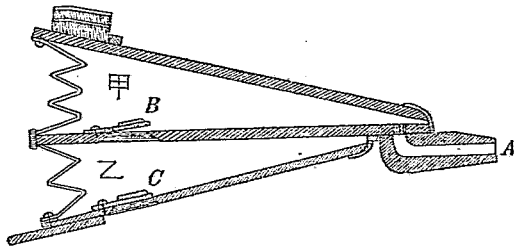
(1) 單式風筒 用革囊聯繫二板, 一端有口, 板端有把

柄(如附圖),
一板下有活
門 B。舉 A 柄
向上時活門
向內開放,空
氣流入。將柄壓下時活門關閉,囊內所蓄的空氣,就由 C 口噴出。



單式風筒

(2)複式風筒 欲使風筒內氣流噴出無間斷,可用複式風筒,其構造如附圖。革囊分上下兩部,上部的空氣由蓋上所置的重量壓縮從 A 口吹



複式風筒

出。B 和 C 為兩個活門,都向內開放,舉下板時,下部空氣推開 B 活門而入上部,下板降下時 B 閉而 C 開,空氣由外方輸入,下板上下動作時, A 口得連續的氣流。

實驗指導

實驗 1. 氣體的壓力和肺壓力

目的 確定氣體的壓力和體積的關係,並求觀察者的肺壓力。

用具 玻璃彎管(教本第 38 頁的圖),壓力計(教本 42 頁的圖),氣壓計(簡單的如教本第 34 頁的裝置),

米尺,水銀。

方法 I. 壓力和體積的關係 將彎管直立,管後置一米尺,再在開管臂注入水銀,察開管和閉管兩臂上水銀柱高度的差數,并記閉管內氣體的長度,由氣壓計讀出當時的大氣壓力,并由氣壓和水銀柱高度的差數,算出密閉氣體的壓力。再注入水銀少許,復記氣體的長度和壓力,實驗數次後,計算壓力和體積的關係。

II. 肺壓力 依教本第42頁的實驗,考察觀察者的肺壓力。

記錄和計算

$P =$ 大氣壓力 $=$ _____ 釐米的水銀柱

閉管端離桌面的高度	閉管臂中水銀的高度	開管臂中水銀的高度	體積(以長度計)	兩臂中水銀柱的差數	壓力
a	b	c	a-b	c-b	$P+(c-b)$
			V_1		P_1
			V_2		P_2
			V_3		P_3
			V_4		P_4

$$V_2/V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_3/V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$V_4/V_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_2/P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_3/P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$P_4/P_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{誤差} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{誤差} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{誤差} = \underline{\hspace{2cm}}$$

觀察者的肺壓力 $= P + AB$ 釐米的水銀柱

$=$ _____ 釐米的水銀柱

$=$ _____ 克/平方釐米

$=$ _____ 氣壓

實驗 2. 空氣壓力的利用

目的 觀察虹吸,水唧筒,抽氣機,打氣機的作用。

用具 玻璃杯,橡皮管,或玻璃彎管,吸上唧筒,抽氣機,打氣機。

方法 將各機械的作用詳細觀察,隨時作簡單的圖,表示其構造和作用。

問題解答

[第 33 頁] 問題 1. 因筆套外空氣的壓力支持其重量,故附着於口唇上而不下墜。

問題 2. 牛乳罐單開一孔時外方空氣的壓力支持牛乳,不易流入;若多開一孔,則空氣易流入,使乳罐非密閉而牛乳就易流出。

問題 3. 竹筆管的上端用指捫時,下端所得的水,因上方為密閉的空氣,故不流出。引管出水時若將手指放開,水滴上下兩方的空氣壓力都相等,水滴因自身的重量而流下。

[第 35 頁] 問題 1. 設 h = 水柱的長度, d = 水的密度, h' = 水銀柱的長度, d' = 水銀的密度,則

$$P = 1 \text{ 氣壓} = hd = h'd'$$

$$\therefore h = \frac{h'd'}{d} = 76 \times 13.6 = 1033.6 \text{ 釐米}$$

問題 2. 玻璃管直徑的大小和水銀柱的高度無關係,因大氣壓力常支持單位斷面積的水銀柱,故柱的高度不因面積的大小而改變,但管徑過細成一毛細管時,則因水銀的表面張力使液面降下,故水銀柱的高度比真實的為低而不正確。

[第 39 頁] 問題 1. 設 V 為變成的體積,依波義耳定律,

PV=常數, 故 $1200V=1000 \times 200$

$$\therefore V = \frac{1000}{6} = 166\frac{2}{3} \text{ 立方釐米}$$

問題 2. (a) $4 \times 1 = 10 \times P$

$$\therefore P = 0.4 \text{ 氣壓} = 76 \times \frac{4}{10} \text{ 釐米} = 30.4 \text{ 釐米}$$

$$(b) \frac{P_1}{P_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad \therefore \frac{1}{0.4} = \frac{0.00129}{x}$$

$$\therefore x = 0.000516 \text{ 克/立方釐米}$$

[第 42 頁] 問題 虹吸為利用氣壓的一種器具,若在真空內當然不能發生作用。

本章內容提要

氣體的比重——各種氣體的比重常以空氣為標準。

氣體的壓力——由分子運動說來解釋。

大氣的壓力 { 氣壓的測定——托里拆利的實驗(氣壓計)。
氣壓和風雨——低氣壓的區域內常有風雨。

氣體的特性 { 壓縮性和膨脹性。
波義耳定律——體積和壓力的關係。

大氣的浮力 { 浮力——阿基米得原理。
氣球 { 風箏氣球——繫定一處的。
飛行氣球——用推進器和舵的飛船。

利用氣壓的裝置 { 壓力計和虹吸。
水唧筒——吸上唧筒,壓上唧筒,消防唧筒。
空氣唧筒和壓縮唧筒。

參考書籍

風

鄒盛文編

中華書局出版

氣象學	竺可楨著
航空論	黃璧編
飛機	周昌壽著

第四章 建築材料

本章教學要旨

1. 固體的特性。 2. 材料的強弱。

教材參考

1. 彈性

彈性和其他性質 彈性(Elasticity)為固體特性的一種,亦即分子力的表現。固體的外力除去,在彈性限度內能恢復原狀的性質,是為彈性。彈性限度甚小的物質如冰、玻璃等,受外力後即易擊碎的性質,稱為脆性(Friability)。物質的彈性限度已超過,能成永久變形的性質,稱為黏性(Plasticity)。能延長成更細的線的性質,稱為延性(Ductility),鉛為物質中延性最大的,可延長成直徑0.00003英寸的線,玻璃棒在火燄上熔解,拉開時延性亦甚大。物質被錘擊成極薄層的性質稱為展性(Malleability),金為展性最大的物質,可展薄至1/300000英寸。

虎克定律 虎克定律(Hooke's law)可用式表示為:

$$\frac{\text{變形}}{\text{應力}} = \text{常數} = \text{彈性係數或彈性率(Modulus of elasticity)}$$

2. 應力和極限強度

抗張強度表示的特性 各屬金屬受張應力而截為兩段時,其難易的性質稱為韌性(Tenacity)。

抗壓強度表示的特性 固體的一種特性稱為硬度(Hardness),有兩種意義:在工程方面常用硬的鋼球壓試驗的材料,而確定壓力和球形刻痕面積的比率,稱為硬率

(Index of hardness), 和抗壓強度的意義相近;在礦物學方面的硬性為二物相擦成痕的比較,并取十種物質為各種物質硬性的比較時所用的標準,如下表的次序,例如有一物質和表中第 3 種相擦能使第 3 種表面有刻痕,而不能使第 4 種生痕迹,則其硬性即為 3—4,介乎 3 和 4 的硬性中間。

- | | | |
|--------|--------|---------|
| 1. 滑石 | 5. 磷灰石 | 9. 剛玉石 |
| 2. 石膏 | 6. 長石 | 10. 金剛石 |
| 3. 方解石 | 7. 石英 | |
| 4. 螢石 | 8. 黃玉石 | |

3. 材料的強弱

材料強弱學 材料強弱學 (Strength of materials) 即由實驗得建築材料的物理常數,為彈性固體的力學,古時建築簡單,至近代則巨大建築應有適宜的材料,古人由經驗知石較強於木,但未有數量的表示,至 1638 年意大利格利始驗定梁的強弱,1678 年虎克創彈性定律,1830 年以後因鋪設鐵路而有鐵橋的建築,英法德諸國遂鼓勵學者研究生鐵和熟鐵的物理性質,而材料強弱學方完備。致本中關於國產純水泥的強度表採自中央大學工學院材料試驗室的記載,不過略示其大概,國產材料的試驗,有待於專門的學者,近年來國人亦頗注意,各大學有專門試驗的設備,以後建築上當可多得優良的國產材料。

實 驗 指 導

彈性

材料的 { 張應力——抗張強度(破斷時最大張力) } 極限強度。
強弱 { 壓縮應力——抗壓強度(破斷時最大壓力) }

參 考 書 籍

- | | |
|-------|------|
| 石灰和水泥 | 徐應昶編 |
| 房屋 | 薛次莘著 |
| 三和土 | 馮 雄著 |
| 材料強弱學 | 徐守楨編 |

第五章 運動和力

本章教學要旨

1. 明瞭運動三定律為力學的基礎。
2. 由物質的慣性比較其質量的大小。
3. 熟習等加速運動的重要公式。
4. 力的合成和分解的應用。
5. 分辨移動的原因為力，轉動的原因為力矩。
6. 注意力矩的定義和物體受力矩時轉動的方向。
7. 物體平衡的條件和其穩度。
8. 萬有引力定律和自由落體的運動。
9. 輪船的推進器和舵的作用。
10. 飛機的浮揚力。

教材參考

1. 運動和慣性

空間內兩種主要的運動 物體的運動在空間內不論如何複雜，可分析為兩種主要的運動：

(1) 移動 凡物體運動時，體內各質點的運動都依同一方向而互相平行的，稱為移動 (Translation)。移動的方向如循直線的稱為直線運動 (Rectilinear motion)，如成曲線的稱為曲線運動 (Curvilinear motion)。

(2) 轉動 凡一物體繞一軸線 (Axis) 而旋轉，體內各質點都以軸線通過點為中心，繞成同心諸圓周的，稱為轉動 (Rotation)。

慣性和質量 慣性 (Inertia) 為物質通性的一種，和物質的質量成正比，故一物體的慣性和一標準物體的慣性相比較，就可確定其質量的比率，這種質量的比較法和重

量毫無關係，是牛頓 (Newton) 創出的物質新概念。物質慣性的大小，由外力改變其靜止或運動的狀態時所呈阻力的大小而定。慣性定律包含力的定義和物性的兩種意義，即力為改變物體狀態時的作用，可使物體由靜止而運動，或由運動而靜止，或運動時有速度的變化。這個定律通常亦稱為牛頓的運動第一定律，和其他兩定律(5.4和5.7)稱為運動三定律 (Three Laws of motion)，為力學的基礎。力學 (Mechanics) 即物理學中分門的學問，專研究物體的各種運動和運動的原因。

2. 速度

速度和距離的概念 速度 (Velocity) 和距離的概念根本不同，速度為某處距離的改變率，率即指時間而言，即表示某處通過時速的變化為每秒若干距離，此變化非指過此處後一秒能經此若干距離。這個概念，應分別清楚，不可將速度和距離混作一種名詞，對於初學者應特別提示，以堅其概念。至等速度運動時因速度不變，故速度的數值恰和每秒所經的距離相等，不過是一種特例，而速度和距離的概念仍根本不同。

3. 加速度

加速度 凡速度的數值隨時刻改變而方向不變的，為直線運動的加速度 (Acceleration)；凡速度的數值可不變而方向隨時刻而改變的(5.8)，為曲線運動的加速度。曲線運動時速度的數值和方向都隨時刻而改變時，則情形較為複雜，加速度為速度的改變率，速度的單位既含有時間

的單位，故加速度的單位在 C. G. S. 制為釐米/秒²，即每秒內有速度每秒釐米的變化。這個單位對於初學者應認識其記載的意義。

等加速度運動 一直線上加速度都為等值的運動，稱為等加速度運動 (Uniformly accelerated motion)。這運動的三個重要公式係伽利略所推出，如物體由靜止而運動，則三個公式為：

$$V=at \dots\dots\dots (1)$$

$$S=\frac{1}{2}at^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$V^2=2aS \dots\dots\dots (3)$$

上列三式見教本 57 頁，若由某時刻算起，其初速度已為 V_0 ，則完全的公式應為

$$V=V_0 \pm at \dots\dots\dots (1)$$

$$S=V_0t \pm \frac{1}{2}at^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$V^2=V_0^2 \pm 2aS \dots\dots\dots (3)$$

式中 + 號為速度增加時應用，- 號為負加速度，即速度在 t 秒內漸減時應用。

[例題 1.] 一物體自斜坡滑下，有等加速度 10 釐米/秒²。(a) 如由靜止起動歷 5 秒後，速度應為若干？(b) 滑下的距離為若干？

[解] (a) $V=at \quad \therefore V=10 \text{ 釐米/秒}^2 \times 5 \text{ 秒} = 50 \text{ 釐米/秒}$

(b) $S=\frac{1}{2}at^2 \quad \therefore S=\frac{1}{2} \times 10 \text{ 釐米/秒}^2 \times (5 \text{ 秒})^2 = 125 \text{ 釐米}$

或用 $V^2=2aS \quad \therefore S=\frac{v^2}{2a} = \frac{(50 \text{ 釐米/秒})^2}{2 \times 10 \text{ 釐米/秒}^2} = 125 \text{ 釐米}$

[例題 2.] 當列車的速度為 2667 釐米/秒時，欲在 21 秒內使

列車停止。(a) 求其平均加速度。(b) 停止時歷經若干距離。

[解] (a) 平均加速度即假定停止時為等加速度,其意義當為減速,故應用 $V=V_0-at$ 公式。

現 $V_0=2667$ 釐米/秒, 終速 $V=0$, $t=21$ 秒,故

$$0=2667 \text{ 釐米/秒} - a \times 21 \text{ 秒},$$

$$\therefore a = \frac{2667}{21} \text{ 釐米/秒}^2 = 127 \text{ 釐米/秒}^2$$

(b) 因 $V^2=V_0^2-2aS$, $\therefore 0=(2667)^2-2 \times 127S$

$$\text{故 } S = \frac{(2667)^2}{2 \times 127} = 28000 \text{ 釐米} = 280 \text{ 米}$$

4. 力

力的絕對單位 運動定律亦稱為第二定律,可量度力的大小,其單位為達因(Dyne),簡寫為達。這個單位和重力無關係,祇要使質量 1 克的物體,得 1 釐米/秒² 的加速度,就為 1 達,故稱為力的絕對單位 (Absolute unit)。m 克的物體受 F 達的力得 a 釐米/秒² 的加速度,其關係為

$$F=ma$$

力的絕對單位為隨處不變的單位,和力的重力單位相較,當然為一標準單位。1 克的力=980 達的力。慣性定律實為這個定律的特例,因物體如不受外力,就不生加速度,速度不變,則其動量 (mV) 亦不變,故得以等速向一直線而運動。

正力和突力 一力施於物體時,作用的時間如較長而可測量的,則所施的力稱為正力(Steady force);若作用的時間甚短而難於測得的,則所施的力稱為突力(Impulsive force),突力雖不能計算,但由下式:

$$F=ma=\frac{mV}{t}, \quad \text{或} \quad Ft=mV$$

將 Ft 的乘積合爲一量稱爲衝量 (Impulse)。這個量雖不能直接測定，但上式的右方動量 mV 可測得，因爲等式而衝量亦可確定。

〔例題〕 一球計重 150 克，以 2400 釐米/秒 的速度而運動，一運動家以手接球，使在 0.1 秒內停止，求 (a) 球的動量，(b) 停球時的衝量，(c) 運動家施於球上的力。

〔解〕 (a) 動量 $=mV=150 \times 2400=360,000$ C. G. S. 單位。

(b) 動量的改變 = 衝量 = 360,000 C. G. S. 單位。

(c) $F=\frac{mV}{t}=\frac{360,000}{0.1}=3,600,000$ 達

5. 力的合成

力的合成 數力同時施於一物體上，取同一的着力點時，這數力稱爲會聚力 (Concurrent forces)。凡一單獨的力可代表數力的作用的稱爲合力 (Resultant force)。兩個成角度的會聚力作用於一物體時，其合力的求法通常用平行四邊形法 (Parallelogram method)，見教本 60 頁的手續。這種求合力的方法稱爲力的合成 (Composition of forces)。平行四邊形法於作圖時，每一直線的標度比數應先確定，則用尺量得對角線 (Diagonal) 的長度，就可推出合力的大小。合力對於任何一力所趨的方向可用量角規測定。平行四邊形法除幾何的作圖直接量出合力的大小外，若用三角學的公式亦可計算，但初步的求法，祇用作圖，使明瞭力的合成的意義，即爲滿足。

6. 力的分解

力的分解 力的分解 (Resolution of forces) 爲力的合成的倒法。凡一力對於某方向成一角度，其對於某方向所生有效的作用，稱爲某方向的分力 (Component force)。依平行四邊形法一力可分解爲對於兩個方向的一對分力，即以此力爲平行四邊形的對角線，依兩個確定的方向，完成一平行四邊形，其每邊的長度，代表每一方向的分力。通常的分解法，對於問題的說明都就一定的參考平面，將一力分解爲：和平面垂直的分力，稱爲垂直分力；和平面平行的分力，稱爲平行分力。故一力作用於一物體時，其垂直分力和平行分力都互相垂直，兩分力中對於物體的運動，都可就運動的方向，取任何一分力說明該方向運動時的有效力 (Effective force)，或作用力對於該方向發生有效作用的大小。

2. 力的反作用

反作用定律 反作用定律亦稱運動的第三定律。慣性定律和運動定律說明一力施於單體的作用，并討論這個單體的靜動狀態。反作用定律是說明雙體間相互的作用而不討論其靜動的狀態。這個概念應特別分清，否則初學者討論一個問題時，三個定律的應用錯誤，常使結論亦錯誤。反作用定律的意義有二：一爲甲體施於乙體的作用力和乙體對於甲體的反作用力，相等而相反；一爲甲乙兩物體的作用和反作用的動量相等而方向相反，例如人自船上向岸跳去時的動量和船的反動量相等而相反，鎗彈

由鎗管射出時有動量而同時鎗身就有後退的動量。

[例題] 由50千克的砲身發射1千克的砲彈,出口速度為960米/秒。求砲身後退的速度。

[解] 設 m_1 和 m_2 為砲彈和砲身的各質量, V_1 和 V_2 為彈和砲身運動的速度,則依反作用定律得:

$$m_1 V_1 = -m_2 V_2$$

式中一號表示方向相反,故

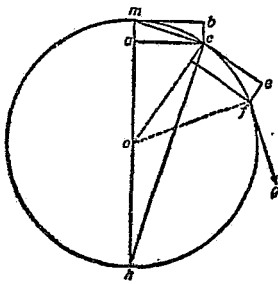
$$1\text{千克} \times 960\text{米/秒} = -50\text{千克} \times V_2$$

$$\therefore V_2 = -\frac{960}{50}\text{米/秒} = -19.2\text{米/秒}$$

3. 向心力和離心力

向心加速度和向心力 物體運動時如不受外力,則

因慣性必依一直線而運動。若欲將運動的途徑彎曲,必施一力方可就範,這時速度的數值雖可不變,但其方向改變對於曲線的圓心方向,就生速度的變化而得向心加速度 (Centripetal acceleration)。(速度為有向量,數值雖不變而方向改變時,其量亦改變),這個加速度的算式可推出如下:



向心加速度

如附圖設 m 克的物體自 m 處以等速 V 依圓心 O 而作圓運動,在甚短時間 t 秒內動至 c 點。在這短時間內若不受外力,則物體必因慣性依 mb 直線而運動。作 $mbea$ 的小長方形得 ca 為直角三角形 mch 中和弦 mc 垂直的直線。由

幾何學,半圓內所含的直角三角形中,

$$\overline{mc}^2 = \overline{ma} \times \overline{mh}$$

現 $\widehat{mc} = \overline{mc} = Vt$; $\overline{ma} = \frac{1}{2}at^2$, a 即向心加速度;

$\overline{mh} = 2r$, r 即圓弧的半徑。

$$\text{故 } V^2 t^2 = \frac{1}{2} at^2 \times 2r$$

$$\therefore a = \frac{V^2}{r}$$

$$[\text{向心加速度}] = \frac{[\text{曲線上一點的速度}]^2}{[\text{曲線的曲度半徑}]}$$

依牛頓的第二定律加速度的發生由於力的作用,這
個發生向心加速度的力稱為向心力 (Centripetal force)。

$$\text{因: } F = ma$$

$$\text{故 } F(\text{達}) = \frac{m(\text{克})v^2(\text{釐米/秒})^2}{r(\text{釐米})}$$

離心力 向心力的反作用為離心力 (Centrifugal force), 其數值亦由上式計算。火車轉灣時外軌較內軌為高就利用重力的水平分力 (見教本 65 頁的圖) 做向心力, 同時就有離心力的作用, 若無這個向心力, 則火車不能依軌道轉灣, 必因慣性依和軌道曲處的正切方向循一直線而進行, 結果就有出軌的危險。

9. 力矩和轉動

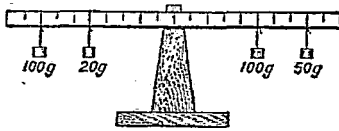
力矩 設 F 為施於轉動體的力, d 為力的作用線和軸的垂直距離, L 為力矩 (Moment of force), 則由力矩的定義得:

$$L = Fd \quad [\text{力矩}] = [\text{力}] \times [\text{力臂}]$$

力矩施於物體時如物體轉動的方向和時針運動的

方向相反 \odot ，則所施的力矩通常定為正值；如順時針動時 \ominus ，則所施的力矩取為負值。轉動體上每一力矩各有繞軸而生單獨的作用，即轉動體不動時，每一力矩仍有使物體發生轉動趨向的意義。轉動體受數力矩而不動時，其順時針動和逆時針動兩方向力矩的總和必相等。

〔例題〕一米尺的中心支於架上，左方40釐米處放100克



力矩

(如附圖)，25釐米處放20克，右方25釐米處放100克，40釐米處放50克，尺何以不生轉動

〔解〕 $100 \times 40 + 20 \times 25 =$ 正

力矩，使尺作逆時針動 \odot ；

$50 \times 40 + 100 \times 25 =$ 負力矩，使尺作順時針動 \ominus 。因正力矩的和 $= 4000 + 500 = 4500$ ，而負力矩的和 $= 2000 + 2500 = 4500$ ，故兩方力矩的和恰相等，轉動的趨向恰相反，尺就不生轉動。

力矩的原理 將例題兩方力矩列成代數式時，得

$$+100 \times 40 + 20 \times 25 - 100 \times 25 - 50 \times 40 = 0$$

上式稱力矩的代數和 (Algebraic sum) 為零。

凡物體上所受力矩的代數和為零，或逆時針動力矩的和，等於順時針動力矩的和，則物體不生轉動，是為力矩的原理 (Principle of moments)。

10. 平行力

平行力合力的求法 物體上受有數個平行力時，其合力的求法有二條件：

第一條件 合力的大小即數個平行力的代數和。

第二條件 合力的着力點依繞一軸線將合力所生的力矩等於各平行力所生力矩的代數和而確定。

【例題】一輕棒的長度為 2 米，兩端各懸重 10 仟克和 15 仟克，求合力的大小和着力點。

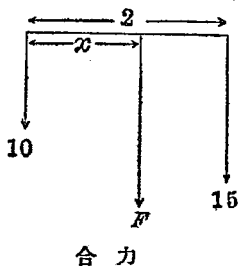
【解】(a) 合力的大小 = $10 + 15 = 25$ 仟克

(b) 取 10 仟克端為軸， x 為合力和軸的距離， F 為合力，則

$$Fx = 10 \times 0 + 15 \times 2$$

$$\text{或 } 25x = 30, \therefore x = \frac{6}{5} = 1.2 \text{ 米}$$

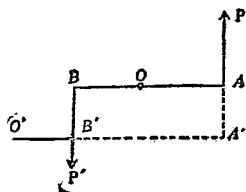
故合力的着力點離 10 仟克 1.2 米，離 15 仟克為 0.8 米。



力偶矩 方向相反，大小相等的二平行力，稱為力偶

(Couple)，如附圖的 P, P' 二力間的距離稱為力偶臂(Arm of the couple)，

如圖中的 AB 。力偶的作用使物體作純粹的轉動，合力為零，不能使物體生移動。力偶的力矩稱為力偶矩(Moment of the couple)，其大小為：



力偶

$$[\text{力偶矩}] = [\text{任何一力}] \times [\text{力偶臂}]$$

$$\text{或 } L = P \cdot AB$$

如圖若取 AB 間 O 點為軸，則力偶矩 = $P \cdot OA + P \cdot OB$

$$\therefore L = P(OA + OB) = P \cdot AB,$$

又設其軸在 O' 點，則 $L = P \cdot O'A' - P \cdot O'B' = P \cdot AB$ ，故

力偶矩和軸的位置無關，常等於任何一力和力偶臂的乘積。物體受一力偶而轉動，若欲停止，應在反對方向另加一力偶，使兩力偶矩恰相等，遂不生轉動。

11. 物體的平衡

平衡和物體平衡的條件 平衡 (Equilibrium) 即靜止或運動時不生速度變化的狀態。物體的運動既有移動和轉動，故其平衡的條件有二：

第一條件 移動無變化——物體上所受各力的合力為零。

第二條件 轉動無變化——各力對於取定的任何一軸線所生力矩的代數和應為零。

12. 萬有引力

萬有引力定律 設 m 和 m' 為兩物體的質量， d 為質量中心點（見13節）間的距離，牛頓根據天文家觀測宇宙內星體的運動所得的結果，遂確定物體間有引力的作用而得萬有引力定律 (Law of universal gravitation)。若 F 為引力，則由下式可表示定律的全義：

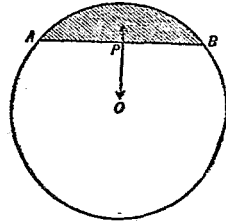
$$F = G \frac{mm'}{d^2}$$

式中 G 為引力常數 (Gravitational constant)，即兩質量各為1克的物體，相隔1釐米時的引力。這個常數由近代的測量得 $G = \frac{1}{15,000,000,000}$ 克。 G 的常數確定後，則任何兩質量的物體在相當距離間的引力，就可由上式算出。地面上物體間當然亦有引力，但因每一物體受地球的引力甚

大,故物體間的引力不能覺察。

重量的定律 重力為引力的一種,依引力定律得物體的重量定律 (Law of weight) 為:

物體在地面上的重量和離地心距離的平方成反比。
物體的重量在地球的表面上為最大。若假定物體自表面放入地下,和地心漸近,則重量漸減,至地心時物體無重量。因物體設在地球內 P 點的地位 (如附圖),則 AB 面上的部分有吸引物體向上的力,故其重量為地心引力和此部分引力相差的結果,故漸近地心,重量漸減,若至地心 O 時則各方向的引力都相等,合力為零,而物體遂無重量。



物體的重量

13. 重心和穩度

重心和穩度 密度均勻的幾何形體,其重心 (Center of gravity) 必在幾何的中心。不論實體或空體,其重心的位置都相同,例如圓板和圓環的重心都在圓的中心。三角板的重心在由頂角至對邊中點間的中線上,距頂點三分之二處。其他如長方形,正方形,平行四邊形等的重心都在形體的中點。物體的穩度 (Stability) 為其安定的程度,可依重心的位置和底面的面積而定。凡不易推倒的物體,其重心的位置必低,物體的底面面積應大,如於傾推時由重心作一和地面的鉛直線,若此線仍在底面內,則重心上重力所生的力矩,可使物體轉動,以恢復其原位置;若此線出底面

的外方時，則力矩的結果，使物體轉動而傾倒。重心是假想物體全重量所匯集的一點，即物體內各質點上所受重力的合力的着力點。物體雖為各質點所組成，質量分佈於各部分，但亦得假定全質量匯集於一點，以受地球的吸引。凡質量匯集的一點稱為質心 (Center of mass)，其位置和重心相同，但意義不同。物體的質心既能代表一物體的全質量故研究便利，牛頓引力定律中對於物體的質量即認為集中於體中的一點上。

14. 重力加速度和自由落體

重力加速度 伽利略推出等加速度運動的公式後，由實驗證明地面上落下的物體為習見的等加速度運動。這個重力加速度 (Acceleration of Gravity) 在一處的範圍之內有一定的數值，常以 g 字代表，其通用的數值為 980 釐米/秒²。

設 W 為物體的重量， m 為質量， g 為重力加速度，則依第二定律得：

$$W = mg$$

m 為克， g 為釐米/秒² 的單位時， W 的單位為達，故 W 如為 1 克的重力單位，則等於 980 達。第二定律中力的單位的表示如下式：

$$F(\text{達}) = m(\text{克}) \times a(\text{釐米/秒}^2)$$

$$F(\text{克}) = \frac{m(\text{克}) \times a(\text{釐米/秒}^2)}{980}$$

自由落體的公式 自由落體 (Free falling body) 既為等加速度運動，故依從等加速度運動的公式，不過重力加

速度 g 有一定的數值,以代普通的加速度 a 罷了,其式如下:

$$V = gt \dots \dots \dots (1)$$

$$S = \frac{1}{2}gt^2 \dots \dots \dots (2)$$

$$V^2 = 2gS \dots \dots \dots (3)$$

若為拋射運動,則有初速度 V_0 ,而完全的公式應為:

$$V = V_0 \pm gt \dots \dots \dots (1)$$

$$S = V_0 t \pm \frac{1}{2}gt^2 \dots \dots \dots (2)$$

$$V^2 = V_0^2 \pm 2gS \dots \dots \dots (3)$$

式中用 + 號時為以初速度 V_0 作向下拋射 (Downward projection), 一號為以初速度 V_0 作向上拋射 (Upward projection), 向上拋射時速度漸減,至終速度為零時,即繼續為自由落體運動,這兩種運動有兩要點:

(1) 上拋時間 = 下降時間。

(2) 上拋的初速 = 自由落體落下的終速。

【例題】將一石塊用初速為 800 釐米/秒垂直的向上拋射,設空氣的抵抗不計時,則 (a) 石塊達最高處時應歷若干秒? (b) 石塊投上至落至原處共歷若干秒? (c) 石塊所能達到的高度為若干? ($g=980$)

【解】(a) 用 $V = V_0 - gt$, 得 $0 = 800 - 980t$

$$\therefore t = \frac{800}{980} = 0.82 \text{ 秒}$$

(b) 共歷的時間 = $2t = 2 \times 0.82 = 1.64$ 秒

(c) $V^2 = V_0^2 - 2gS$, $0 = (800)^2 - 2 \times 980S$

$$\therefore S = \frac{640000}{1960} = 326 \text{ 釐米}$$

15. 拋射體和擺的運動

拋射體的運動 拋射體(Projectile)的運動為和地平面成傾斜的角度,以作斜向拋射的運動,其運動的途徑成一拋物線(Parabola),其作用實為兩種運動合成的結果。因物體以速度 V 向 AB 方向投射時(教本75頁的圖),如空氣的阻力不計,地球無引力,則必成 AB 方向的等速度運動,其1秒、2秒、3秒等所經的距離,如圖中1、2、3、4等表示,但實際上在 AC 水平面垂直的方向,時時受重力的吸引,使物體自由墜落,作等加速度運動,故1秒、2秒、3秒等物體的位置,受重力的影響而達 $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ 等點,因成拋物線。 $1'$ 的距離為 $g/2$, $2'$ 的距離為 $4g/2$, $3'$ 的距離為 $9g/2$,和自由落體距離的算法一樣。用一定的速度將拋射體和地平面成 45° 而投射時,拋射體所達的水平距離為最大值,其他角度則較小,可由理論證明(見大學物理教本),故砲彈的射出和擲鐵餅、擲標鎗、跳遠等運動,欲達最大的距離,祇要使拋射體射出時,和地面取 45° 的方向。因實際上空氣有阻力,故運動所達的路徑不為 AC 而為實線 AD 。

單擺和秒擺 單擺(Simple pendulum)為理論上的擺,係一甚小的質點,用重量不計的細線懸在定點而成。普通物體的振動如鐘擺等實為複擺(Compound pendulum)。由單擺的原理就可推及複擺,複擺較為複雜,故初學者應先明單擺的定律。凡單擺的擺錘沿 ACB 弧(教本76頁的圖)作一次的運動,稱為單振動(Single vibration),二次來往的運動,即兩個單振動,稱為全振動(Complete vibration)。 AC 弧或

BC 弧，即由擺的平衡位置達 A 或 B 的最大變位，稱為擺的振幅(Amplitude)。一全振動所需的時間稱為擺的週期(Period)。擺的週期為 T ，擺長為 l ，重力加速度為 g ，則單擺的定律為：

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

上式的證明見大學物理教本，若單振動的時間為 t ，則 $T = 2t$ ，故亦可寫作

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

若單振動的時間恰為 1 秒或單擺的週期為 2 秒的擺稱為秒擺(Seconds pendulum)。秒擺的長度可由上式算出，因 $t = 1$ 秒， $g = 980$ 釐米/秒²，則

$$l = \frac{t^2 g}{4\pi^2} = 99.3 \text{ 釐米。}$$

擺的應用有二，即(1)用其等時性(Isochronism)，可節制時鐘內齒輪的轉動。這個性質雖由伽利略發見，但實用於時鐘內為荷蘭物理學家惠根司(Huyghens)在 1656 年所成功；(2)又因單擺定律中含有重力加速度，故一地方的重力加速度，可由已知的擺長和週期而測定，為重力加速度測定的一種方法。

16. 空氣和水的阻力

氣體的阻力定律 物體在氣體中運動時受氣體的反作用力，稱為阻力(Resistance)。設 R 為阻力的仟克數， A 為物體和運動方向成直角的橫截面積，單位用平方米， V 為速度，其單位為每秒米，則由實驗得普通速度範圍內的阻力定律為：

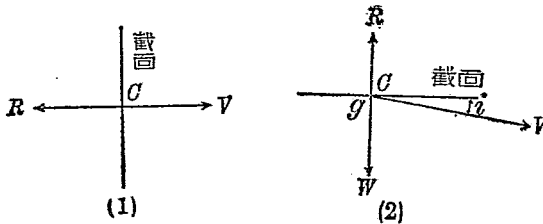
$$R=KAV^2 \dots\dots\dots(1)$$

式中 K 為常數,如氣體為空氣,則這個常數 $=0.08$

【例題】一汽車的速度為每秒 18 米,問空氣對於 0.5 平方米的風遮所呈的阻力為若干?

【解】 $R=KAV^2=0.08 \times 0.5 \times (18)^2=13$ 斤克。

設物體運動的方向和其面成小角度 i (0° 和 10° 間), 這個角度稱為入射角(Angle of incidence) (見附圖), 則阻力 R' 為



空氣的阻力

$$R'=K'A V^2 i \dots\dots\dots(2)$$

式中 R' , A , V 的單位均和(1)式相同, i 的單位用角度數, K' 亦為常數,在空氣內的實測數值為 0.005。

液體的阻力定律 液體的阻力和其密度亦有關係。設 d 為密度,則其阻力為:

$$R=CAV^2 d$$

式中 C 為常數。

螺旋推進器 手工中有竹蜻蜓玩具的製造,係利用斜面的竹片在空氣中轉動而上昇。螺旋推進器 (Screw

propeller) 的構造和竹蜻蜓相同,爲迴轉的傾斜面,在和進行方向成直角的平面內,由發動機使其急速旋轉,故和夏天的電風扇葉鼓動空氣的情形相同。螺旋推進器的金屬板每一旋轉,又和螺旋的作用相同,四周圍繞的空氣相當於陰螺旋,而轉動的板因其面傾斜的緣故,可於傾斜的方向推水或空氣,而有推水或空氣的向後分力(教本第77頁的圖),由空氣或水的阻力所呈的反作用,使飛機或輪船前進。螺旋推進器的金屬板每旋轉一次前進的情形相當於陽螺旋前進一螺距(Pitch即螺旋線條間的距離)的距離。

舵的作用 舵(Rudder)爲一平板放在船的後部,通常的舵面垂直的稱爲垂直舵,利用水的阻力作用可改變船的方向,故又可稱爲方向舵。船首右轉彎時,司舵者將舵面向右偏,左轉彎時則左偏,以得阻力的作用(教本78頁的圖)。飛艇和飛機所用的舵有兩種,一爲通常的垂直舵,司方向的改變,和船後的舵相同;一爲水平舵,舵面水平,和方向舵垂直,當舵面朝上則機首上昇,朝下則降,故水平舵又稱昇降舵(見教本第79頁的圖),都是利用空氣的阻力。

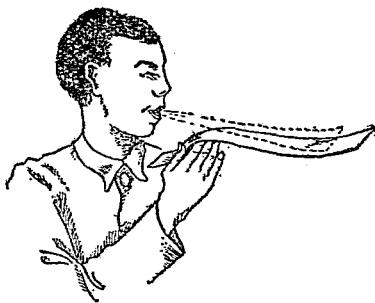
17. 飛機

飛機的沿革 飛機(Airplane)爲比空氣重的器具,和飛艇不同,飛機究竟起源於何時已無查考,最早的記錄要推英人凱來(Sir George Cayley),在1809年和1810年間的雜誌中,曾詳記其實驗所用的滑翔機(Glider)。這種機無發動機,

僅用翼和舵，照鳥類飛行的方法來實現空中重體的飛行，以後雖經許多人的研究，但進步卻少。至1890年法人阿德勒 (Clément Ader) 造成一架和鳥一樣的飛機，用汽機運轉推進器而飛行。1896年美人朗來 (Langley) 的飛機方有充分的設備，可以在平靜的天氣作數小時的平穩飛行。後至1903年美國賴脫兄弟 (Wright brothers, Oville and Wilbur) 所造的飛機為由地面用機械力飛起的最初創例，以後屢經改良，都有顯著的進步。至1908年賴脫奧惠爾因飛行墜落而喪命，賴脫奧惠爾卻在法國用自製的飛機實驗若干次，可在空中飛行兩小時，由此證明用比空氣重的機械在空中飛行，確屬可能，故賴脫兄弟對於飛機的成功，貢獻較多，且均重要。飛機在歐洲大戰時，軍用上的地位異常重要。

飛機的浮揚力 飛機的前進賴推進器的作用，至機體雖較空氣為重，但能支持在空中而不會下墜，則全恃其翼面上的作用，故翼為飛機最重要的部分。翼面為曲面，下凹上凸，當飛行時支持面和水平面約成 8° 的入射角(或稱飛行角)。英美多用雙翼機 (Biplane)，德法則多用單翼機 (Monoplane)。翼面下的凹處因空氣的壓力而生浮揚力，以支持其重量。浮揚力的發生有兩個原因： $1/4$ 的浮揚力為風壓作用，和風箏停在空中的情形一樣，翼面和風箏面相同(教本62頁的圖)； $3/4$ 的浮揚力的發生則利用另一種原理。由實驗知道氣流的速度增加，其壓力亦就減小，這個現象在力學上稱為婆諾里效應 (Bernoulli's effect)，可由附圖的簡單試驗來說明。試將紙片上面的空氣用口吹動，

則紙片上方的空氣因流動而壓力減小,下方空氣的壓力較大,遂托紙片而向上浮揚,若繼續吹動,則紙片可久停上方的空中。飛機的翼面因上凸下凹的緣故,氣流由機首而入,至翼首分成兩部,應同時達



紙片的浮揚

其翼尾,上方的速度比下方為大,故翼面上就成低壓的部分(教本80頁的圖),下方的壓力較大,就可支持機體。

實驗指導

實驗 1. 力的合成

目的 求兩個成角度的力的合力。

用具 彈簧秤兩個,重錘線。

方法 依教本60頁的平行四邊形法和圖,求兩力的合力,將重錘 W 變換重量,實驗兩次。

記錄和計算

彈簧秤A 的記數	彈簧秤B 的記數	OX 的長	OY 的長	OR 的長	R (合力)	W	誤差

實驗 2. 力矩

目的 證明物體平衡時力矩的原理

用具 用繩將米尺懸掛成水平的位置,或如教本66頁的裝置。砝碼 W_1 和 W_2 。

方法 將 W_1 和 W_2 每次用確定的數量,在尺上移動,至尺水平時確定每一砝碼和轉動軸間的力臂各為 d_1 和 d_2 。

記錄和計算

次 數	W_1	W_2	$W_1 d_1$	$W_2 d_2$
(1)				
(2)				

$$(1) \frac{W_1}{W_2} = \text{---}, \quad \frac{d_2}{d_1} = \text{---}, \quad \text{誤差} = \text{---},$$

$$(2) \frac{W_1}{W_2} = \text{---}, \quad \frac{d_2}{d_1} = \text{---}, \quad \text{誤差} = \text{---}.$$

問題解答

[第53頁] 問題 1. 車中的人有靜止的慣性,當車初開時,足雖隨車前進,但人身要保持靜止,故必向後倒。當車驟然停止時,人體有向前運動的慣性,故必向前仆。

問題 2. 賽跑的人有向前運動的慣性,故不能驟停,需用力勝過這慣性方能停止。

問題 3. 由慣性定律可知力為改變物體靜止或運動狀態的作用,或力為勝過物體的慣性的作用。

[第55頁] 問題 1. $S = vt$, $\therefore t = \frac{S}{v}$

故 $t = \frac{1500 \text{米}}{15 \text{米/秒}} = 100 \text{秒}$

問題 2. $30 \text{米/秒} = x \text{千米/分}$

$$x = 30 \times \frac{\text{米}}{\text{秒}} \times \frac{\text{分}}{\text{仟米}} = 30 \times \frac{1}{\frac{1000}{\frac{1}{60} \text{分}}} \text{仟米}$$

$$\therefore x = \frac{30 \times 60}{1000} = \frac{1800}{1000} = 1.8, \quad \therefore 30 \text{米/秒} = 1.8 \text{仟米/分.}$$

【第 57 頁】問題 1. (a) $V=at$, $V=0.4 \text{米/秒}^2 \times 10 \text{秒} = 4 \text{米/秒}$

$$(b) S = \frac{1}{2} at^2, \quad S = \frac{1}{2} \times 0.4 \text{米/秒}^2 \times 100 \text{秒}^2 = 20 \text{米}$$

$$\text{或 } V^2 = 2aS, \quad \therefore S = \frac{(4)^2 (\text{米/秒})^2}{2 \times 0.4 \text{米/秒}^2} = \frac{16 \text{米}}{0.8} = 20 \text{米}$$

問題 2. (a) 平均速度 = $\frac{300 \text{釐米}}{20 \text{秒}} = 15 \text{釐米/秒}$

$$(b) S = \frac{1}{2} at^2, \quad \therefore a = \frac{2S}{t^2} = \frac{2 \times 300 \text{釐米}}{(20)^2 (\text{秒})^2} = 1.5 \text{釐米/秒}^2$$

【第 59 頁】問題 1. (a) $F = \frac{mV}{t}$,

$$100 \text{達} = \frac{10 \text{克} \times 50 \text{釐米/秒}}{t}, \quad \therefore t = \frac{500}{100} = 5 \text{秒}$$

$$(b) V^2 = 2aS, \quad V=at$$

$$\therefore (50)^2 = 2 \times \frac{50}{5} \times S, \quad S = \frac{2500}{20} = 125 \text{釐米}$$

$$\text{或 } S = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times \frac{50}{5} \times 25 = \frac{250}{2} = 125 \text{釐米}$$

問題 2. (a) $F=ma$, $100=10 \times a$, $\therefore a=10 \text{釐米/秒}^2$

$$(b) S = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 5^2 = \frac{250}{2} = 125 \text{釐米}$$

問題 3. 以錘敲釘,在短時間內作用,突力較大,故釘易入木內。若僅用錘壓釘,作用的時間長而所用的力較小,則不易釘入。

問題 4. 由高處跳下如以足趾先着地,則着地的作用時間較長而力的作用較小,故震動較小。

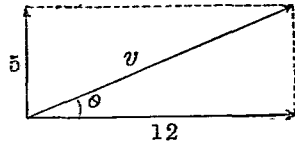
【第 61 頁】問題 1. (a) 合力 = $10+6=16$ 仟克

$$(b) \text{合力} = 10 - 6 = 4 \text{ 仟克} \quad (c) R^2 = 10^2 + 6^2,$$

$$\therefore R = \sqrt{100 + 36} = 11.7 \text{ 仟克}$$

問題 2. 依題意作附圖,

設 V 為實際進行的速度,
 θ 為其進行路徑,則由量角規
 得



(a) 船的進行路徑 $\theta =$ 東向偏北 $22^\circ 37'$

$$(b) V^2 = (12)^2 + (5)^2, \therefore V = \sqrt{144 + 25} = \sqrt{169} = 13 \text{ 仟米/小時}$$

[第 62 頁] 問題 1. 因所用的力祇要和物體的重力平行於斜面的分力(教本 63 頁的圖)相等而方向相反,就可將物體推上(斜面上摩擦不計),物體重力的分力在斜面上常比其重量為小,故用力雖小,但能將重物由斜面推至高處而能省力。

問題 2. 如教本 62 頁的風箏圖,風力強則和風箏面垂直的分力 DA ,比 OR (即曳線力 Om 和風箏重力 On 的合力)為大,故風箏可昇高。

[第 64 頁] 問題 1. 人陷於泥中要向上動出,但泥的反作用使人向下,故每愈陷愈深。

問題 2. 繩上的張力即等於 1000 仟克,因作用和反作用相等而相反,如一隊拉繩時,他隊可假定為固定,則繩上各點的張力為 1000 仟克,當易明瞭。

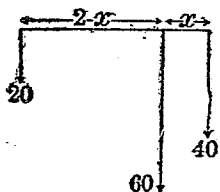
[第 66 頁] 問題 1. 潮濕衣服置於周圍有孔的圓桶中,迅速轉動時,水滴脫離衣服,因慣性向孔外和圓桶外層正切的方向流出,故衣服就乾燥。

問題 2.
$$F = \frac{mV^2}{r},$$

$$\therefore F = \frac{100 \times (50)^2}{20} = \frac{100 \times 2500}{20} = 12500 \text{ 達}$$

〔第 67 頁〕問題 來復槍(Rifle)長筒內的螺旋紋,使子彈於未出筒口時沿螺旋紋而旋轉。因轉動體有保持轉動軸方向的性質,故子彈由筒口射出時,不但前進,且依前進方向轉動而保持其直線方向。

〔第 69 頁〕問題 1. 大人所支的重量 = $60 - 20 = 40$ 千克



設桿的重量不計, x 為 60 千克和大人的距離(如附圖),則 $2-x$ 為 60 千克和小孩的距離。如依 60 千克的着力點為軸(軸的取法或依大人支點,或小孩支點都可以,但答案時應說明取何點為軸),而取力

矩時,則得:

$$40x = 20(2-x), \quad 40x = 40 - 20x,$$

$$60x = 40, \quad \therefore x = \frac{2}{3} \text{ 米}$$

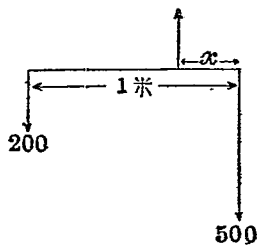
問題 2. 需用反轉向的另一力偶矩,方可制止物體的轉動。

〔第 70 頁〕問題 設 x 為線和 500 克間的距離,如依懸線的着力點為軸,則

$$500x = 200(100 - x)$$

$$500x = 20,000 - 200x,$$

$$700x = 20,000, \quad \therefore x = 28 \frac{4}{7} \text{ 釐米}$$



〔第 71 頁〕問題 由萬有引力定律,得

$$\frac{100}{x} = \frac{(2 \times 6367)^2}{(6367)^2}, \quad \therefore x = 100 \times \frac{1}{4} = 25 \text{克}$$

〔第73頁〕問題1. 人上山時,因山坡傾斜,由人的重心作一鉛直線,易出底面外,故身體須向前俯以配好其重心,下山時身體須向後仰,亦同此理。

問題2. 老人的背易彎曲,用拐杖可增加其底面的面積而穩度可大。

問題3. 貓、狗等的重心較低,底面積甚大,故不易跌倒。

問題4. 欲使小刀站立在手指上,應使其重心的鉛直線恰在刀和手指的接觸點,但是一種不穩平衡,要使刀易於站立,祇要在刀柄的兩旁附兩片物件,配正重心,和教本72頁的鉛筆站立的圖一樣。

問題5. 不倒翁的構造,其下部較重,重心G(教本73頁的圖)的位置極低,當推倒時,G雖升高,但由G所作的鉛直線GW依B為軸,生一力矩以恢復原狀,故推而不倒。

〔第74頁〕問題 (a) $S = \frac{1}{2}gt^2$,

$$\therefore t = \sqrt{\frac{2S}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 6000}{980}} = 12.42 \text{秒}$$

(b) $V = gt$, $\therefore V = 980 \times 12.42 = 12172$ 釐米/秒

〔第76頁〕問題1. 因物體離火車時有向前的水平運動,同時於垂直的方向有自由落體的運動,故兩種運動的結果合併而成曲線。這個曲線為拋物線。

問題2. 擺錘應轉下使擺長增加而週期變大,振動次數就減少,可使時鐘走慢些。

〔第78頁〕問題1. 因空氣的阻力,故雨滴落下的重力和

阻力相差,所得的合力較小,加速度亦小,落下時就變慢。

問題 2. 因減小面積可減小阻力的緣故,故船首較船身為扁狹。

本章內容提要

- 運動 {
 - 運動——運動和靜止依標準體而定。
 - 兩種主要運動 {
 - 移動 {
 - 直線運動。
 - 曲線運動。
 - 轉動。
-
- 運動三定律 {
 - 第一定律——慣性定律(力的定義)。
 - 第二定律——運動定律(力的絕對單位)。
$$F=ma=\frac{mV}{t}$$
 - 第三定律——反作用定律。
-
- 速度 {
 - 速度——單位為釐米/秒。
 - 等速度—— $V=\frac{S}{t}$ (等速運動的公式)。
 - 平均速度——變速運動時平均的速度。
-
- 等加速度運動 {
 - 加速度—— $a=\frac{V}{t}$ 單位為釐米/秒²。
 - 等加速度——每秒鐘所生速度的變化都相同的。
 - 等加速度運動的公式:
$$V=at\cdots\cdots(1), \quad S=\frac{1}{2}at^2, \quad V^2=2aS\cdots\cdots(3)$$
-
- 力的合成和分解 {
 - 會聚力的合力 {
 - 直線上的兩力——合力為兩力的代數和,異向兩力的合力,取大力的方向。
 - 成角度的兩力——平行四邊形法。
 - 一力依平面的分解的分力 {
 - 垂直分力
 - 平行分力
 ——平行四邊形法。

- 向心力和離心力 { 向心加速度——曲線運動改變方向的加速度，

$$a = \frac{v^2}{r}$$
 向心力和離心力—— $F = \frac{mv^2}{r}$
- 力矩和轉動 { 力矩—— $(L = Fd)$ { 正力矩——逆時針動的轉動。
 負力矩——順時針動的轉動。
 轉動軸——物體轉動時，體內各質點繞軸而動。
 力矩的原理——物體上所受力矩的代數和為零，則不生轉動。
- 平行力 { 合力的求法——依移動和轉動的兩個條件。
 力偶——方向相反，大小相等的二力。
 力偶矩——生純轉動 $L = P \cdot AB$ 。
- 物體的平衡 { 平衡——移動和轉動無變化。
 平衡條件 { (1) 合力為零。
 (2) 力矩的代數和為零。
- 萬有引力 { 萬有引力定律—— $F = G \frac{mm'}{d^2}$ 。
 重量的定律 { 物體的重量和地心距離的平方成反比。
 物體的重量在地球表面上為最大。
- 重心和穩度 { 重心——全重量假定匯集的一點。
 穩度——物體安定的程度。
 平衡的狀態 { 穩定平衡。
 不穩定平衡。
 隨遇平衡。

引力和運動 { 重力加速度 — $g=980$ 釐米/秒²。
 自由墜體 — 習見的等加速度運動,其公式
 爲: $V=gt$...(1), $S=\frac{1}{2}gt^2$...(2), $V^2=2gS$...(3)
 拋射體 — 斜向拋射和自由落體的兩種運
 動合成的結果。
 擺的振動 { 擺的定律: $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
 擺的應用 { 等時性。
 g 的測定。

阻力 { 空氣的阻力:
 (1) 物體的截面和運動方向垂直時, $R=0.08AV^2$ 。
 (2) 物體的截面和運動方向成 i 角時, $R'=0.005AV^2i$ 。
 水的阻力: $R=CAV^2d$
 阻力的利用 — 推進器,舵,飛機。

飛機的主要部分 { 沿革 — 美國賴脫兄弟集其大成。
 推進器 — 迴轉的傾斜面,推空氣向後,空氣阻力的
 反作用,使飛機前進。
 翼 { 雙翼機。
 單翼機。
 翼面上的浮揚力 { 風壓作用 — 風箏的原理。
婆諾里效應 — 翼面上氣流的速度比
 面下爲大,面上生低壓的部分,面下的
 壓力大,就支持機體。
 舵 { 垂直舵(方向舵) — 司飛機的方向。
 水平舵(昇降舵) — 司飛機的昇降。

參 考 書 籍

物性、力、運動

鄭貞文編

飛機

周昌壽著

第六章 簡單機械

本章教學要旨

1. 說明秤的構造和原理。
2. 述槓桿、滑輪、輪軸、斜面、螺旋、劈等六種簡單機械的原理。
3. 工作和能量的意義。
4. 齒輪和鐘錶的構造。

教材參考

1. 秤和槓桿

天平 天平 (Balance) 為兩臂等長的槓桿 (Lever), 最精確天平的構造應如下表:

優良天平的條件	製 法
1. 當天平的兩端載同重量時, 其槓應水平。	兩盤的重量應相等, 槓的兩臂應相等。
2. 天平應靈敏。	將槓的兩臂加長, 兩方重量稍有差異, 槓即有顯見的傾斜。
3. 天平應為穩定平衡。	槓和兩盤的公重心應近刃口支點的下方。

兩臂不等的天平用法 設天平的兩臂 AF 和 BF 不等 (教本 85 頁的圖), 欲得物體的實重 (True weight) 時, 可先將物體置在左盤, 其實重為 W , 在右盤加砝碼 P 克, 恰成水平; 再將物體置在右盤, 左盤加砝碼 Q 克而成水平。由力矩原理就可求出實重 W 。

因 $W \times AF = P \times BF \dots\dots\dots (1)$

又 $W \times BF = Q \times AF \dots\dots\dots (2)$

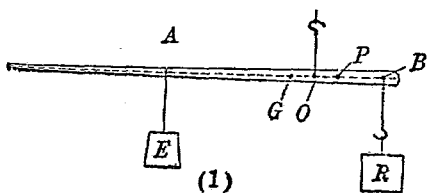
$\therefore W = P \frac{BF}{AF} = P \frac{Q}{W}$

$\therefore W^2 = PQ$ 或 $W = \sqrt{PQ}$

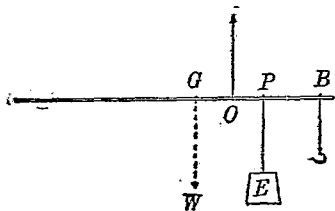
秤的刻度法 我國對於秤的刻度向從實驗而來,但由力矩的原理可說明其刻度法如下:

設 G 為秤桿和繩鈎的公重心 (如附圖), W 為其重量,則由力矩的原理當圖中(1)秤桿水平時得

$E \times OA + W \times OG = R \times OB \dots\dots\dots (1)$



式中 E 為錘的重量, R 為物重. 根據(1)式當可刻度,但實際上尙可將上式化成簡式而得迅速的刻法,其法如下:



(2)

設將 E 錘放在支點 O 的右方,即物重的一方,如圖中(2)的情形,於桿水平時記出 E 的着力點 P ,

秤的刻斤法

則

$E \times OP = W \times OG \dots\dots\dots (2)$

將(2)式代入(1)式得

$E \times OA + E \times OP = R \times OB,$

或 $E(OA+OP)=R \times OB$, $\therefore E \times AP=R \times OB$ (圖1)

$\therefore AP=\frac{R}{E} \times OB$, 此式中 A 點可在秤上移動。

若 $AP=OB$, 則稱物時 $R=E$;

$AP=2OB$, 則稱物時 $R=2E$;

$AP=3OB$, 則稱物時 $R=3E$; 餘類推。

故穿繩的支點和 E 錘的重已知, P 點亦已確定, 則秤上可得真確的刻度。P 點即所刻斤數的起點, 在秤上的繩旁可見到銅點的記號, 依上法的測定在桿上可用銅點來表示斤數, 由 E 錘移動到平衡的情形, 即可讀出其斤數。這許多銅點俗稱為星。

2. 機械利益和三種槓桿

三種槓桿的作用 由機械利益 (Mechanical advantage) 可知第一種槓桿的支點因可任意移動而得省力、改向、和省時間的便利。第二種槓桿的重點在支點和力點的中間, 祇可得省力的作用。第三種槓桿的力點在中間, 祇可得省時間的作用。凡應用機械的目的為省力或省時間, 但兩種目的不能同時兼備, 省力的機械就不能省時間, 省時間就不能省力。

槓桿為阿基米得所發明, 彼曾作豪語云: “空中如能給予一支點, 則可用一槓桿以舉動地球。” 槓桿的臂如成直線的為直槓桿 (Straight lever), 彎曲的為彎槓桿 (Bent lever), 第一種槓桿的器械如天平、秤、剪刀、鐵鉗等, 第二種槓桿如藥鋪的割草刀、獨輪車、榨蔗汁器、化學室內的壓軟木塞器等, 第三種槓桿如取糖鉞、人手取物、網魚、寫字等。

3. 滑輪和輪軸

滑輪 滑輪(Pulley)分定滑輪(Fixed pulley)和動滑輪(Movable pulley)兩種。由兩種的合併可組成一組的複滑輪。滑輪上主力和阻力的關係，教本上所算得的機械利益，係假定滑輪和繩間無摩擦，動滑輪和阻力相較，重量甚輕，略而不計。實際上所得的機械利益，其數值和理論上有差異。

輪軸 輪軸(Wheel and axle)常用為汲井水時的器械。滑輪和輪軸我國早已應用。

4. 工作和工率

工作 工作(Work)的單位得列表如下，以便記憶：

絕 對 單 位	重 力 單 位	實 用 單 位
爾格(erg)	仟克-米(Kg.-m.)	焦耳(joule)
即1達的力使	克-釐米(g.-cm.)	即1千萬爾格的工作
物體移動1釐米的工作	克-米(g.-m.)	或1焦耳=10 ⁷ 爾格

工率 工率(Power)的單位首由英人瓦特(Watt, 1736—1819)所定。瓦特即發明蒸汽機關的，對於工率，以為普通的一匹馬每分鐘可成 33,000 英尺一磅的工作，或每秒鐘可成550英尺一磅的工作，遂定這個工作數量為工率的單位，稱為1馬力(Horse power, 英文縮寫為 H. P.)。馬力為英制的單位，現工程界尚有採用的。實際的馬力的工率約為3/4馬力。近代機械的工率單位實用上常用瓦特(Watt)，簡寫為瓦。1瓦即每秒成1焦耳的工作。1000瓦稱為仟瓦

(Kilowatt, 縮寫為 Kw.)。

1 馬力 = 746 瓦 = 76.05 仟克一米/秒。

設 W 為 t 秒內所成的工作, F 為力, S 為距離, 則工率 P 為:

$$P = \frac{W}{t}, \quad \text{而 } W = FS, \quad \therefore P = \frac{FS}{t}$$

但 $\frac{S}{t} = V =$ 機械的速度, 故 $P = FV$ 。

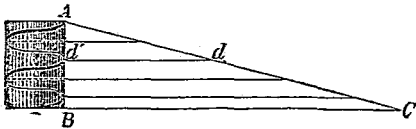
故 [工率] = $\frac{[\text{工作}]}{[\text{時間}]}$, 或 [工率] = [力] \times [速度]

5. 工作原理

工作原理 工作原理(Principle of work)係牛頓於 1637 年所創定, 為物理學史上一個重要的原理, 即施於機械上的工作, 常和機械所完成的工作相等。根據這個原理可以將一切機械上的主力和阻力的關係求出。這個原理對於機械的摩擦假定極小略而不計, 而機械的運動極慢。若摩擦計入時, 則施於機械上的工作等於機械所完成的工作和阻力摩擦所做的工作的總和, 阻力摩擦所做的工作常變為熱量, 不能得機械的作用, 常稱為消耗的工作(Wasted work), 而完成的工作為有用的工作(Useful work)。

6. 斜面螺旋和劈

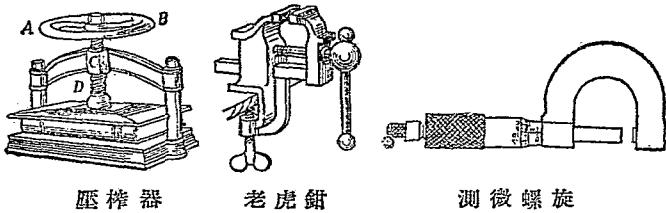
螺旋和斜面的關係 將三角形紙繞於鉛筆上即成



螺旋。(附圖) 設鉛筆的橫截面的半徑為 r , 以此紙的 AB 邊和筆的圓柱體相

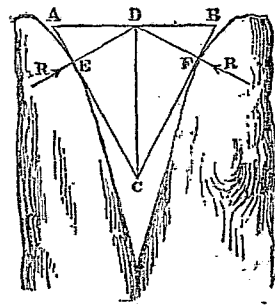
螺旋和斜面

接,此 AB 線稱為母線。將紙卷上時,若 dd' 恰等於柱體的圓周 $2\pi r$, 則卷後, d 必和 d' 在母線上的同一點。 Ad' 為螺旋 (Screw) 相鄰兩線的距離,即為螺距 (Pitch), 亦即相當於斜面的高度,故螺旋為斜面的變形。若沿圓柱上的螺旋線,鑿成三角或四角形的小槽,則得兩種的雄螺旋。再在中空的圓桶中,鑿成適合於雄螺旋的小槽,就成雌螺旋。雄螺旋對於雌螺旋一迴轉時,其軸進入的距離為一螺距。螺旋的應用甚廣,如螺旋壓榨器,工場內的老虎鉗 (Vise), 時鐘,儀器



內的螺旋釘,天平,水平裝置應用的螺旋脚,測微螺旋 (Micrometer screw) 可測極微距離至 0.001 毫米。

劈 (Wedge) 為兩個斜面合成的機械。設劈的兩斜邊相對稱,擊入木材的主力為 E' , 木材對於斜邊上的阻力為 R , 又設 E' 的作用由 D 至 C (如附圖), 木材由中點向兩方分開 E, F 的距離, 則



$$R \text{ 的工作} = R \times DE + R \times DF$$

劈

$$E' \text{ 的工作} = E' \times DC$$

由工作原理, R 的工作 = E' 的工作

$$\therefore E' \times DC = R \times DE + R \times DF, \quad \text{因 } DE = DF,$$

$$\therefore E' \times DC = R \times 2DE, \quad \text{或 } \frac{R}{E'} = \frac{CD}{2DE}$$

因三角形 DEC 和 ADC 為相似形,故

$$\frac{DC}{DE} = \frac{AC}{AD}$$

$$\therefore \frac{R}{E'} = \frac{AC}{2AD} = \frac{AC}{AB} = \frac{\text{和 } R \text{ 垂直的斜邊}}{\text{和 } E' \text{ 垂直的底邊}}$$

故劈的頂角 C 愈小,斜邊的長度較底邊愈長,主力較阻力愈小,而機械利益就愈大。

2. 能量

機械能量 凡能顯示成工作的物體就稱該物體附有能量 (Energy)。故能量為能成工作的容量,物體因位置、運動、溫度、帶電等情形,就有各種形式的能量,物理學即專門研究物質和能量的科學。物體因位置而發生的能量,如瀑布、彈簧等所具有的,稱為位能 (Potential energy);因運動而有的能量,如射出的鎗彈所具有的,稱為動能 (Kinetic energy)。位能和動能總稱為機械能量 (Mechanical energy)。

能量不滅的原理 能量不滅 (Conservation of energy) 的原理約於 1847 年由德人海爾荷茲 (Helmholtz, 1821—1894) 的著述發表後,物理學方面受重大的影響。其後經焦耳、凱爾文 (Kelvin) 等的研究而成不易的原理,即能量的形式雖可互相變換,但不能創生,亦不能消滅。於 1775 年時法國的科學學士院 (French academy of sciences) 早已宣告對於機械

的永久運動 (Perpetual motion) 的問題停止討論,而確信能量不能自然產生。近年來學者對於研究原子構造的時候,覺得這個原理不能適用,但物理學中的基本定律還是根據這個原理,仍很重要。

8. 摩擦和機械效率

滑動摩擦的定律 兩物體的表面相接觸滑動時所呈的阻力,稱為滑動摩擦 (Sliding friction)。摩擦的性質由法國砲兵隊官長摩林 (A. T. Morin, 1795—1880) 的研究而成摩擦的定律。這個定律可分述為四點:

- (1) 兩物體間的摩擦和接觸面上的垂直壓力成正比。如一物體置在桌面時,則其垂直壓力即物體的重量。
- (2) 摩擦的大小和接觸面面積的大小無關。
- (3) 各種面的摩擦視面的性質而不同。
- (4) 在通常的滑動時,面上的摩擦和速度的大小無關係。

滑動摩擦分靜摩擦 (Static friction) 和動摩擦 (Kinetic friction) 兩種。靜摩擦又稱起動摩擦 (Starting friction), 為物體起動前最大阻力的極限, 稱為最大摩擦 (Maximum friction)。動摩擦常較靜摩擦為小。摩擦係數 (Coefficient of friction) 為摩擦和壓力的比率, 有一定的數值, 亦分靜摩擦係數和動摩擦係數兩種。動摩擦係數如下表:

面的性質	摩擦係數
黃銅在鑄鐵上	0.15
滾鐵在鑄鐵上	0.25

煨鐵在煨鐵上	0.14
鐵在冰上(滑冰)	0.032—0.16
橡木在橡木上(纖維平行時)	0.48
橡木在橡木上(纖維交錯時)	0.32
皮革在橡木上	0.27—0.38

[例題] 人身的重量為 70 仟克,冰的摩擦係數為 0.032, 則滑冰時冰的摩擦為若干?

[解] $\mu = \frac{F}{W}$, $\therefore F = \mu W = 0.032 \times 70 = 2.24$ 仟克。

滾動摩擦 (Rolling friction)較滑動摩擦為小,茲將各種路面和橡皮輪間的滾動摩擦係數列表如下:

土瀝青路面.....0.010	硬泥土路面.....0.025
木塊路面.....0.012	軟砂石路面.....0.038
混凝土路面.....0.014	粗泥土路面.....0.050
滑磚石路面.....0.015	通常的沙路.....0.075
粗磚石路面.....0.020	3 英寸深的沙路...0.150

上表中輪邊如為鐵製的,則係數的數值當更小。

9. 齒輪和鐘錶

齒輪 連動齒輪(Train of gear wheels)為機械利益最大的機械,其(1)每輪或軸的周圍排列着齒的大小都相同,并隔相等的距離;(2)在一組連動齒輪中,各輪的齒的大小和距離亦相同;(3)每輪或軸上的齒數,和其圓周成正比,或和其半徑成正比。

設有連動齒輪如教本 97 頁的裝置,左輪和中輪的齒數都為 N 個,中輪和右輪軸上的齒數都為 n 個,左輪的軸

和右輪邊上都無齒，其半徑各為 r 和 r' 。繞左軸的周圍懸阻力 R ，右輪的邊上加主力 E 。則右輪迴轉一周，中輪轉過 n/N 次，又中輪轉 1 次，左輪亦轉 n/N 次，故右輪轉 1 次，左輪就轉過 $\frac{n}{N} \times \frac{n}{N}$ 次。右輪轉 1 次，主力 E 經 $2\pi r'$ 的距離，阻力 R 所經的距離祇為 $\left(\frac{n}{N}\right)^2 \times 2\pi r$ ，由工作原理得

$$E \times 2\pi r' = R \times \left(\frac{n}{N}\right)^2 \times 2\pi r$$

$$\text{故 機械利益} = \frac{R}{E} = \frac{N^2 r'}{n^2 r}$$

若依圖的左方起推求，則左輪轉 1 次，中輪轉 $\frac{N}{n}$ 次，右輪就要轉 $\left(\frac{N}{n}\right)^2$ 次。由工作原理所得的結果仍同，即：

$$R \times 2\pi r = E \times \left(\frac{N}{n}\right)^2 \times 2\pi r'$$

$$\text{或 } \frac{R}{E} = \frac{N^2 r'}{n^2 r}$$

鐘錶的構造就是利用連動齒輪，故可節制時針分針轉動的速度，其轉動的情形如教本 98 頁的圖和說明。

10. 風車和水車

水車 上擊水車 (Overshot water wheel) 利用山間瀑布的位能以得工率，其工率等於每秒流下的水重 \times 水的高度，效率 (Efficiency) 最大。下擊水車 (Undershot water wheel) 多用於平坦水多的鄉間，通常利用流水的動能，為舊式的水車。近代的下擊水車有許多改良的形式，效率都很大，例如拍爾吞 (Pelton) 式自 1880 年以後，凡有自來水的城鎮，多利用作小原動力，其效率約為 83%。水輪機 (Water turbine) 俗

稱透平，係 1833 年法國所首創，晚近用途愈廣，各種水車都不及其優良，其效率可達 90%。

實驗指導

實驗 1. 秤的製造

目的 製一通用的秤，並明其原理。

用具 木條、鐵鈎、鐵錘（或任何重量的物體）、繩、鐵

方法 將木條的一端鑽孔，懸一鐵鈎，再穿一孔繫一繩紐。稱錘的重量，依本章參考教材的秤的刻度法，定出斤數的起點，然後確定桿上應刻的斤數。

實驗 2. 滑輪

目的 試驗定滑輪、動滑輪和複滑輪的裝置。

用具 定滑輪、動滑輪和複滑輪、滑繩、砝碼。

方法 研究定滑輪和動滑輪的機械利益，並由工作原理推出主力和阻力的關係，配裝一機械利益為 5 的複滑輪，并作圖以說明他。

實驗 3. 摩擦

目的 測木塊和木板的摩擦係數。

用具 寬厚不等的長方形木塊、木板、繩、定滑輪盤和砝碼（或用細鉛子或小石塊亦可）。

方法 依教本 95 頁的裝置測定靜摩擦係數。試驗時應保持接觸面的清潔，不可用手去接觸而得油污，否則面的摩擦要改變。

記錄和計算

摩擦面	木塊的重量 W	最大摩擦 (砝碼和盤的重量) F	摩擦係數 F/W
木塊面積大的一面			
木塊面積小的一面			

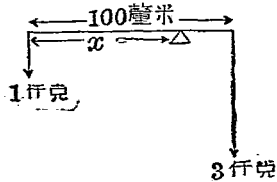
問題解答

[第 86 頁] 問題 1. 設 x = 支點和 1 仟克的距離,

$$\text{則 } 1 \times x = 3(100 - x),$$

$$x = 300 - 3x, \quad 4x = 300,$$

$$\therefore x = 75 \text{ 釐米}$$



問題 2. 秤錘上若加一小鐵

環,則秤上所見的斤數,比實重為小,

因此錘應移近支點方可平衡的緣故。若物體的重量愈大,則錘向支點移進的距離亦大,故稱重的物體,差數大而影響甚大。

[第 87 頁] 問題 1. 人手持筷以夾食物為第三種槓桿,以達省時間的目的。筷的下端夾食物處為重點,拇指和食指持筷處為支點,中指和無名指持筷處為力點。

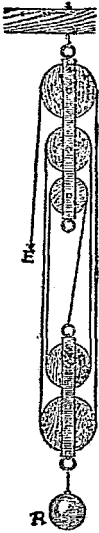
問題 2. (a) $30 \text{ 仟克} \times 30 \text{ 釐米} = R \times 5 \text{ 釐米}$

$$\therefore R = \frac{900}{5} = 180 \text{ 仟克}$$

$$(b) \text{ 機械利益} = \frac{R}{E} = \frac{180}{30} = 6$$

問題 3. 裁縫用的剪刀,目的在省時間,槓桿的阻力臂應長,故口長柄短。鐵匠用的剪刀,目的在省力,槓桿的主力臂應長,故口短柄長。

[第 89 頁] 問題 (a) 複滑輪的裝置如附圖,用三個定滑輪和兩個動滑輪而成。



$$(b) \text{ 機械利益} = \frac{300}{60} = 5$$

[第 90 頁] 問題 1. (a) 工作 = 50 仟克 \times 3 米
= 150 仟克-米

$$(b) \text{ 工率} = \frac{150}{4} = 37.5 \text{ 仟克-米/秒}$$

$$1 \text{ 馬力} = 76.05 \text{ 仟克-米/秒}$$

$$\therefore \text{工率} = \frac{37.5}{76.05} = 0.49 \text{ 馬力}$$

$$\text{或工率} = 746 \times 0.49 = 365.54 \text{ 瓦}$$

問題 2. 工作和力矩雖都為力和距離的乘積,但工作的力和距離方向相同,而力矩的力和離軸的距離常互相垂直。

[第 93 頁] 問題 (a) 設 l = 斜面的長度,則

$$40 \text{ 仟克} \times l = 100 \text{ 仟克} \times 1.28 \text{ 釐米},$$

$$\therefore l = \frac{12800}{40} = 320 \text{ 釐米}$$

$$(b) \text{ 工作} = 40 \text{ 仟克} \times 3.2 \text{ 米} = 128 \text{ 仟克-米}$$

$$\text{或} = 100 \text{ 仟克} \times 1.28 \text{ 米} = 128 \text{ 仟克-米}$$

[第 94 頁] 問題 1. (a) 位能 = 40 仟克 \times 1 米 = 40 仟克-米

(b) 設 R = 地的平均阻力,則打木樁時的動能,就等於舉高的位能,而成 $R \times 0.25$ 仟克-米的工作。

$$\therefore 40 = R \times 0.25, \quad R = 160 \text{ 仟克}$$

$$\text{問題 2. 動能} = \frac{1}{2} mV^2$$

$$\text{故動能} = \frac{1}{2} \times 10 \times (60000)^2 = 18,000,000,000 \text{ 爾格}$$

$$= \frac{18,000,000,000}{980 \times 100 \times 1000} = 183.7 \text{ 千克一米}$$

問題 3. 鎗彈出鎗口時有動能,向上升高時動能漸減少,變成位能,在昇高的途徑中同時有動能和位能。若空氣的阻力不計,則當其達最高處時,動能完全變成位能。下降時位能漸小而一部分變成動能,達地時全為動能,和地衝擊而變成熱的能量。

[第 97 頁] 問題 1. 冰上摩擦極小,故人行走時易於滑跌。

問題 2. 設 F 為機關車列車的力,等於最大摩擦。

$$\therefore F = \mu W = 0.009 \times 1000 \text{ 千克} = 9 \text{ 千克}$$

問題 3. 設 S_1 為主力所經的距離, S_2 為阻力所經的距離,則

$$\text{機械效率} = \frac{300 \times S_2}{100 \times S_1} \times 100 = 300 \frac{S_2}{S_1}$$

S_2 和 S_1 如確定,即可算出其效率的百分數。

[第 98 頁] 問題 鎂錶用久後需擦油係減小齒輪間的摩擦而運行自如。

[第 102 頁] 問題 設 x = 水輪機每秒所成的工作, 1 升水重 1 千克,

$$\therefore 0.85 = \frac{x}{121800 \text{ 千克} \times 41.55 \text{ 米}}$$

$$x = 5060790 \times 0.85 = 4301671.5 \text{ 千克一米}$$

本章內容提要

第一種槓桿 { 天平 —— 兩臂等長的槓桿。
秤 —— 秤的刻度法。

簡單機械	槓桿	第二種槓桿 —— 重點在力點支點間的槓桿。
		第三種槓桿 —— 力點在重點支點間的槓桿。
		滑輪 —— 定滑輪,動滑輪,複滑輪。
	輪軸 —— 常用為汲井水的裝置,起錨機是利用其原理。	
	斜面 —— 和水平面成傾斜角的平面。	
	螺旋 —— 斜面的變形。	
	劈 —— 刀,斧等類。	
工作	單位	絕對單位 —— 爾格。
		重力單位 —— 仟克一米。
		實用單位 —— 焦耳 (1 焦耳 = 10 ⁷ 爾格)。
	工率的單位	英制 —— 馬力。 米制 —— 瓦特 (1 瓦特 = $\frac{1 \text{ 焦耳}}{1 \text{ 秒}}$)。
	工作原理 —— 施於機械上的工作 = 機械所完成的工作。	
機械能量	位能 —— 位能 = mgh 爾格。	
	動能 —— 動能 = $\frac{1}{2} mV^2$ 爾格。	
	能量不滅的原理 —— 能量的形式可變換,而不能創生或消滅。	
機械和摩擦	機械利益 —— 阻力和主力的相比,可確定機械為省力或省時間。	
	機械效率 —— 機械效率 = $\frac{\text{完成的有用工作}}{\text{主力的總合作}} \times 100$ 。	

摩擦 {

- 滑動摩擦 {
 - 摩擦定律 — $F = \mu W$ 。
 - 靜摩擦(起動摩擦)。
 - 動摩擦。
- 滾動摩擦 — 球軸承的利用。

齒輪和鐘錶——鐘錶的時針分針的速度,由連動齒輪的齒數來節制。

利用自然界 {

- 風車 — 利用風力。
- 水車 {
 - 上擊水車 — 利用瀑布的位能。
 - 下擊水車 — 利用流水的動能。
 - 水輪機 — 效率很大的水車。

第七章 熱和熱的傳遞

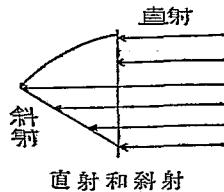
本章教學要旨

1. 熱的來源和其性質
2. 熱的傳遞方法

教材參考

1. 熱的來源

四季的變遷 地球繞太陽而公轉，且繞地軸自西向東而自轉，地軸和軌道常傾斜。當地球在軌道上運行，至3月21日為春分，這時太陽光直射赤道，晝夜平分。（參考緒論第2節時間項的圖）。從這點繼續運行軌道的四分之一周，至6月21日，北極傾向軌道的內方，太陽光直射赤道以北，是為北半球的夏至。由此再運行四分之一周，至9月21日，太陽又直射赤道，晝夜平分，是為北半球的秋分。更由此運行四分之一周，南極傾向軌道的內方，太陽光直射赤道以南，是為北半球的冬至，即12月21日。故地球上春、夏、秋、冬四季的變遷，因地軸常有一定的方向，和軌道傾斜，故太陽光直射的地方無一定，而生寒暖的區別。凡一定的面積受太陽光的熱能，如面積轉至和太陽光傾斜的位置（如附圖），則所受的熱量減少，故太陽光直射和斜射時，地面即呈寒暖的變遷。南半球的四季和北半球相反。



太陽 太陽為最大的熱源，通常還不能直接利用。由近代學者的研究，推測在熱帶地方，日間八小時內平均1

平方英里所受太陽的熱量，恰和 7400 噸煤的熱量相等，射在非洲的撒哈拉(Sahara)沙漠上的熱量，一年間較地球上掘出的煤所發的熱量，大 1800 倍。最近已有人研究直接利用太陽熱量的方法，使太陽的熱將水蒸發為水蒸汽而運行機械，已有相當的成功，但通常還不能普及。

地球 地球的內部亦很熱，學者正研究直接利用的方法，但由地殼掘到很深的地方，酷熱不能忍受，尚無相當的效果。

煤 煤為燃料的一種，係古代的植物受太陽的熱，蓄在細胞裏面，壓在地殼中，經過化學變化，就成今日的煤。

摩擦 摩擦生熱，因摩擦的工作變成熱量，為能量形式的變換。

2. 熱的傳導

物質的傳導 取兩平行面所包的物質，兩面的溫度各為 t_1 和 t_2 ，其距離為 l ，每面的面積為 A 。設 t_2 比 t_1 為高，則在 T 時間內傳導的熱量 H ，和溫度差數、傳導的面積、傳導的時間成正比，和面積的距離成反比，列式如下：

$$H = K \frac{AT(t_2 - t_1)}{l}$$

式中 K 為常數，稱為熱的傳導率 (Thermal conductivity)。若用銀的傳導率的數值為標準，而比較其他物質傳導的難易，得列其順序如下表：

銀 100.0	鋅 19.0	鉛 8.4	軟木塞 0.07
銅 73.6	錫 14.5	玻璃 2.0	空氣 0.05
金 53.2	鐵 11.9	鋁 1.8	酒精 0.04

鋁 31.0	銅 11.6	水銀 1.5	氫氣 0.029
黃銅 23.1	鉛 8.5	水 0.11	碳酸氣 0.003

由上表的比較可知金屬易傳熱，銀爲最良的導體 (Conductor)，液體不易傳導熱量，氣體更難，故液體和氣體稱爲非導體 (Non-conductor)。

安全燈 安全燈 (Safety lamp) 係英國化學家台維 (Sir Humphry Davy) 於 1815 年所創製。煤礦內有一種沼氣 (Marsh gas) 和空氣混合時，遇火即爆炸，如用安全燈就可避免，且見燈內有氣體爆炸時，就可知道所居的地位很危險。新式安全燈爲馬東 (J. B. Marsaut) 所發明，和台維所製的形式和原理，大部份都相同。

3. 熱的對流

貿易風和逆貿易風 空氣受太陽的熱，對流 (Convection) 不絕，赤道近傍處受熱最甚，下層空氣上昇，同時南北緯度區域的下層的冷空氣向赤道流動而成貿易風 (Trade wind)。由赤道上昇的空氣，漸冷而向南北緯度的區域流動，因成逆貿易風 (Anti-trade wind)。如地球靜止，則貿易風的方向應自正北或正南吹向赤道，但因地球自轉就相對運動的關係，北貿易風常爲東北風而南貿易風常爲東南風。逆貿易風的方向和貿易風的方向相反。

潮流 海水因風的關係和溫度的相差，就生潮流。地理上有暖流和寒流兩種，即水的對流現象。暖流經過的區域，氣候溫和而寒流經過的區域則氣候寒冷。

4. 熱的輻射

輻射和吸收 凡易輻射(Radiation)的物質亦為吸收熱的優良的物質,故高溫度的物質放熱時,同時仍吸收外方輻射而來的熱,不過其量不同,至物質的輻射和吸收率相等時,其溫度和周圍的物質相同。

問題解答

【第104頁】 問題1 冬天手冷時兩手相搓,由摩擦的工作,變成熱量,就可稍暖。

問題2 植物受太陽光而生長,蘊藏熱的能量,故由木柴等所得的熱能,是由太陽間接而來的。

【第106頁】 問題1 紙條裹於金屬棒上,放入火焰內,因熱易為金屬傳導,故短時間內紙條不能達到其燃燒點而起燃燒。

問題2 棉花內細孔極多,中藏空氣,因空氣為非導體,故冬天着棉衣,可保體溫而熱不外散。夏天用棉花包裹冰塊,外方的熱不易傳入,可防冰的融解。

問題3 夏天烈日下,金屬的溫度較高,由金屬的傳導而手覺熱;木料為不良導體故不易覺其熱。冬天金屬的溫度較低,手觸金屬,則手上的熱由金屬傳導而覺其冷,木料不易傳導,故不覺其甚冷。

問題4 寒帶的房屋窗上,都用二層玻璃的緣故,因玻璃的傳導率甚小而玻璃間所含的空氣又為非導體,使室內的熱不易傳出,可保持室內的溫度。

【第108頁】 問題1 冰箱內的冰塊應放在上層,使下層的熱空氣上昇,上層的冷空氣下降,以成對流的現象,而箱內的

溫度可降低。

問題 2. 木屑本為熱的不良導體,如置在雙層牆壁中以代空氣,可免去對流的傳遞,故更不易傳熱。

問題 3. 燭焰近壁下的通風口應向屋內移動,氣窗旁應向外移動。因屋內熱空氣上昇由氣窗逸出,而由壁下的通風口,外方空氣向屋內充入的緣故。冬天屋的內外的溫度相差較大,對流的速度亦大,故火焰移動的現象更為顯著。

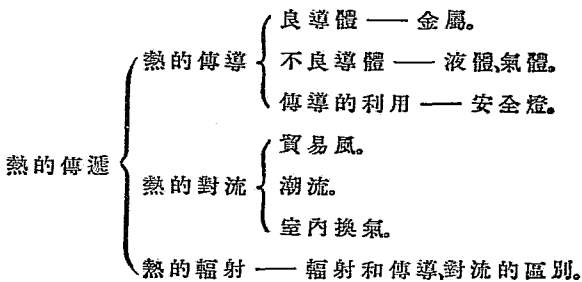
[第 110 頁] 問題 1. 白色的衣服可將輻射熱反射而黑色的衣服易吸收多量的熱,故夏季用白色衣服而冬季宜用黑色的衣服。

問題 2. 夏天雖用傘遮太陽,但四周物體輻射的熱仍可傳遞,故仍覺比室內為熱。

問題 3. 開水壺的底部粗糙,可於煮水時容易吸熱,本身磨光,則易反射輻射的熱。

本章內容提要

熱的來源 —— 太陽燃料、電、摩擦。



參考書籍

自然地理學

張資平著

氣象學

竺可楨著

第八章 溫度和脹縮

本章教學要旨

1. 溫度計的製法和種類。
2. 固體、液體、氣體的膨脹。
3. 氣體的定律。

教材參考

1. 溫度和溫度計

溫度計 1592 年伽利略利用空氣隨溫度而膨脹，首創溫度計 (Thermometer)，並於 1613 年計畫刻度的方法。至 1643 年可丑 (Kircher) 方利用水銀隨溫度的膨脹而成水銀溫度計。1724 年德人華氏 (Fahrenheit, 1686—1736) 始創華氏溫度計的刻度，為第一個正確溫度計。1734 年羅摩 (Rcaumur) 定羅氏溫度計，至 1742 年瑞典攝氏 (Celsius) 創百度溫度計，為科學上通用的溫度計。

溫度計有兩個定點 (Fixed points)，即水的冰點 (Freezing point) 和沸點 (Boiling point)。華氏的零度係取等量的鹵砂 (NH_4Cl) 和雪屑調和的溫度為準則，在這個溫度計上，水的冰點為 32°F ，沸點為 212°F ，故冰點和沸點間的距離，刻成 180 個等分。攝氏溫度計以水的冰點和沸點間刻成 100 個等分。設 C 表示攝氏的一個溫度數， F 為華氏的相當度數，則兩種度數的關係為：

$$\frac{C}{100} = \frac{F-32}{180}$$

$$\text{故 } C = \frac{5}{9}(F-32), \quad \text{或 } F = \frac{9}{5}C + 32$$

水銀溫度計的限度 水銀的冰點為 -38.8°C ，沸點為

356°C,故水銀溫度計的應用,祇以其冰點和沸點間溫度的範圍為限度。但於水銀柱上如密充壓縮的氮氣,則高溫度的限度可達 500°C;若再以石英(Quartz)代玻璃球,則可測至 700°C。欲測 -38.8°C 以下的低溫度,可採用酒精溫度計,因酒精至 -130°C 方凝固,而低溫度時酒精的膨脹尚均勻,故可適用。如欲測極高、極低的溫度當用氣體溫度計和各種高溫度溫度計。

水銀的優點 科學上常用的溫度計,多用水銀。水銀的優點約如下所述:

- (1) 水銀製備時可易得純粹的液體。
- (2) 水銀不沾溼玻璃,或附着於玻璃上。
- (3) 水銀的膨脹率和玻璃的膨脹率有差異,溫度的改變易於讀出。
- (4) 水銀柱的體積的大小和溫度成正比,或其膨脹極均勻。
- (5) 在通常溫度的範圍內,水銀不凝固亦不沸騰,應用便利。

(6) 水銀和水及其他溶液相比,升高一定的溫度範圍,所需的熱量較少,故易將欲測物質的溫度記出。

(7) 水銀為不透明體,故在極狹的細管內亦易見到。

優良溫度計的要點

- (1) 溫度計應便於攜帶。
- (2) 溫度計應耐用。
- (3) 溫度計測同溫度時,每次應常得同溫度的記數。

(4) 溫度計應對於用者,可得刻度改正的試驗而測定刻度的誤值。

(5) 溫度計應稍小,庶與物體接觸而測定溫度時,不致吸熱太多,使物體的原溫度發生影響。

2. 固體的膨脹

固體的膨脹 固體的膨脹(Expansion)不論其內部空虛或充實,其線膨脹 (Linear expansion) 和容積膨脹 (Cubic expansion) 都相同。體脹係數 (Coefficient) 約為線脹係數的 3 倍,因

$$V_t = V_0(1+bt) \dots\dots (1) \quad l_t = l_0(1+at) \dots\dots (2)$$

(2) 式立方,得 $l_t^3 = l_0^3(1+at)^3 = l_0^3(1+3at+3a^2t^2+a^3t^3)$,

式中 $l_t^3 = V_t$, $l_0^3 = V_0$, a 的數值(教本 114 頁的線脹係數表) 甚小,故 $3a^2t^2 + a^3t^3$ 兩項可略而不計,得作

$$V_t = V_0(1+3at) \dots\dots (3)$$

由(3)式和(1)比較,則 $b=3a$ 。

補償擺的原理 補償擺 (Compensated pendulum) 是利用兩種線膨脹不同的金屬棒,補償擺長的伸縮,使擺長不變的一種擺。所用兩種金屬棒的總長度其比率和其線脹係數成反比,可證明如下:

$$\begin{aligned} \text{設 } l_1 &= \text{鐵棒的總長,} & l_2 &= \text{鉈棒的總長,} \\ a_1 &= \text{鐵的線脹係數,} & a_2 &= \text{鉈的線脹係數.} \end{aligned}$$

因擺長不變故昇高 t 度時,兩種金屬棒向下和向上增加的長度應相等而重心的位置可不變,故

$$l_1 a_1 t = l_2 a_2 t$$

$$\therefore \frac{l_1}{l_2} = \frac{a_2^2}{a_1^2}$$

3. 液體的膨脹

液體的體脹係數 液體的膨脹很不規則，例如酒精在 $0^\circ-60^\circ$ 間的體脹係數當為 0.0013，在 $0^\circ-10^\circ$ 間求出的係數為 0.0011。水銀的體脹係數為 0.000182，在普通的溫度範圍內，其值幾無變化，故水銀溫度計較用別種液體的溫度計為正確。

水的膨脹 在水的各種特性中，對於膨脹的性質較為奇特。通常熱水的密度較冷水為小，但其範圍在 0°C . 和 3.98°C . 間則不確， 3.98°C . 以下的冷水亦漸膨脹，其膨脹係數無一定。 4°C . 以上的體積和 4°C . 的體積，其關係由下列的實驗式可計算，即

$$V_t = V_4 \left(1 + \frac{(t - 4)^\circ}{144000} \right)$$

式中 V_t 為定量的水在 $t^\circ\text{C}$. 的體積， V_4 即同質量的水在 4°C . 的體積。

4. 氣體的膨脹

給呂薩克定律 在 1802 年法人給呂薩克 (Gay-Lussac) 首就各種氣體的膨脹，由實驗知 一切氣體在定壓力下，其膨脹的體脹係數都相同，均約為 $1/273$ 。由絕對溫度 (Absolute temperature) 和攝氏溫度的關係，得

$$\frac{V^t}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \text{或} \quad \frac{V_t}{V_0} = \frac{273+t}{273}$$

V_t 為 $t^\circ\text{C}$. 時的體積， V_0 為 0°C . 時的體積，見教本 118 頁，上式即表示定壓力下一定質量氣體的體積和其絕對溫

度成正比。這個關係，稱為給呂薩克定律。

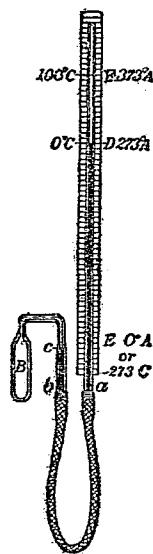
查理定律：於1787年法人查理(Charles)由實驗知道一切氣體在定體積下，其膨脹的壓力係數(Pressure coefficient)都相同，亦為 $1/273$ 。設 P_t 為 $t^\circ\text{C}$ 的壓力， P_0 為 0°C 的壓力，則

$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right), \text{ 或}$$

$$\frac{P_t}{P_0} = \frac{T}{T_0}, \text{ 或 } \frac{P_t}{P_0} = \frac{273+t}{273}$$

即定體積內一定質量氣體的體積和其絕對溫度成正比。這個關係，稱為查理定律。

絕對零度 絕對溫度計因應用給呂薩克定律或查理定律，有定壓溫度計(Constant pressure thermometer)和定積溫度計(Constant volume thermometer，如附圖)兩種，為科學上的標準溫度計。絕對零度(Absolute zero)為極低的溫度，由近代實驗的進步所得的低溫度，漸和零度相近。法拉第(Faraday)於1845年，使醚和固體二氧化碳的混合物，在空中蒸發時，得低溫度為 -110°C 。至1880年始將空氣液化，其溫度為 -190°C 。氫液化時的溫度為 -243°C 。賽瓦(Dewar)於1900年使液體的氫在和空氣唧筒連通的空間內蒸發，并用唧筒隨時將蒸汽抽出，得 -260°C 的低溫度。其後卡麥林奧涅斯(Kamerlingh



定積溫度計

Ounes) 於1911年完成氦的液化而達 -271.3°C .和絕對零度祇差 1.7° .近代基生 (Keesom) 由低壓力下液化氦的蒸發得最低的記錄在絕對零度上 0.71° .以後的實驗不用液態氣體的蒸發,而用低溫度磁性體的消磁作用(Demagnetisation),至1933年祈屋克 (Giauque) 和麥克度 (Mac Dougal) 所得的低溫度已達絕對零度上 0.25° ,數值更接近(見美國 Physical Review雜誌)。

實驗指導

實驗 溫度計上兩定點的試驗

目的 檢查溫度計上冰點和沸點是否真確

用具 攝氏溫度計,融解的冰塊,水蒸汽發生器(教本111頁的圖),酒精燈。

方法 將溫度計放在有冰塊的冰水內,待水銀柱降至最低的固定點時,觀察是否在 0°C .的一點,如有誤差當即記出,如固定點在 0°C .以上,則誤差值記一號, 0°C .下的誤差值記十號,以後用這個溫度計時,就可由讀出的度數加誤差而得實數.再將溫度計放至水蒸汽內,讀出誤差值.十一號記法和 0° 的上下時相同。

記錄

第一個溫度計的冰點誤差值 = __, 沸點的誤差 = __,

第二個溫度計的冰點誤差值 = __, 沸點的誤差 = __.

實驗者的體溫:

第一個溫度計 = __, 第二個溫度計 = __.

改正數 = __, 改正數 = __.

問題解答

〔第 112 頁〕 問題 1. (a) $C = \frac{5}{9}(F - 32) = \frac{5}{9}(68 - 32) = 20^\circ\text{C}$.

$$(b) C = \frac{5}{9}(98.6 - 32) = \frac{5}{9} \times 66.6 = 37^\circ\text{C}.$$

問題 2. 攝氏和華氏度數相同的溫度為 -40° , 證明如下:

$$\text{設 } F = C, \text{ 則 } C = \frac{5}{9}(F - 32) = \frac{5}{9}(C - 32) = \frac{5}{9}C - \frac{5}{9} \times 32$$

$$9C = 5C - 160, \quad 4C = -160, \quad \therefore C = -40^\circ$$

$$\text{或 } F = \frac{9}{5}C + 32 = \frac{9}{5}F + 32, \quad 5F = 9F + 160$$

$$\therefore F = -40^\circ$$

問題 3. 體溫計用後不能用沸水洗滌, 因受熱後玻璃球突然膨脹, 不能立即恢復原體積, 再用時就有誤差。

問題 4. 水銀凝結時的溫度為 -39°C , 酒精為 -130°C , 欲測冰點下 40°C 以下的溫度, 宜用酒精溫度計。

〔第 115 頁〕 問題 1. (a) 玻璃瓶塞不易拔出時, 可將瓶口的周圍加熱, 瓶塞就可拔出; (b) 木輪上要繫一緊鐵圈, 可將鐵圈燒熱後, 放在輪的周圍, 冷縮後就緊貼輪邊。

問題 2. 玻璃球受熱亦稍膨脹, 故水銀先降下少許, 而後上昇。

問題 3. 玻璃杯破裂的原因, 為各部分膨脹不均勻所致。厚玻璃杯注入熱水時, 各部分的溫度比薄玻璃杯難於短時間內相同, 膨脹自不均勻而易起破裂。

問題 4. 設 l = 夏天的長度, l' = 冬天的長度, 則鐵軌間應留的空隙為

$$l - l' = l \alpha (t_h - t_c) = 9000 \times 0.00001 \times (35 + 15) = 0.45 \text{ 釐米}$$

問題 5. $V_t = V_0(1+bt)$, $b=3a$

故 $V_t = 100(1+0.000017 \times 3 \times 100) = 100+0.51 = 100.51$ 立方釐米

[第 117 頁] 問題 1. 水的最大密度為 4°C ，故水面上溫度降至 4°C 時，下方比 4°C 高溫的水即上昇，所含的熱量可放至空氣中而其溫度下降。若水的最大密度為 0°C ，則表面上雖達 4°C ，並不下降，冷至 0°C ，而結冰，下方高溫度的水不能上昇，故空氣中所得的熱量較少，氣候當稍涼。

問題 2. 油類的溫度愈低，密度愈大，故由下面凍起；水的密度則不規則，應由面上凍起。

[第 118 頁] 問題 1. $\frac{V_t}{V_0} = \frac{T}{T_0}$, $\frac{\frac{1}{2}V_0}{V_0} = \frac{273+t}{273+20}$

$$\frac{1}{2} = \frac{273+t}{293}, \quad 546+2t=293,$$

$$2t = -253, \quad \therefore t = -126.5^\circ\text{C}.$$

問題 2. $\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2}$,

$$\frac{750 \times 1000}{760 \times V} = \frac{273+20}{273}, \quad \therefore V = 919.5 \text{ 立方釐米}$$

本章內容提要

溫度計	{	溫度 —— 冷熱的程度。	{	華氏溫度計 —— 家庭內應用。	{	定壓溫度計(給呂薩克
		攝氏溫度計 —— 科學上應用。		定律)。		
		絕對溫度計(標準溫度計)		定積溫度計(查理定律)。		
		各種高溫度計。				

膨脹	固體的膨脹	{ 線脹係數(a).
		{ 體脹係數(b) $b=3a$.
	液體的膨脹	— 水銀最均勻,水有奇特的膨脹。
氣體的膨脹	{	膨脹的體積係數 — 一切氣體都為 $1/273$.
		膨脹的壓力係數 — 一切氣體都為 $1/273$.
氣體的膨脹定律	{	給呂薩克定律, $P = \text{常數}$, $\frac{V_t}{V_0} = \frac{T}{T_0}$
		查理定律 — $V = \text{常數}$, $\frac{P_t}{P_0} = \frac{T}{T_0}$
		氣體的普通定律 — $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$

參 考 書 籍

溫度計與高熱計 謝籠澤著

第九章 熱量和三態變化

本章教學要旨

1. 熱量和比熱的測定。 2. 熔解熱和汽化熱。 3. 飽和蒸汽和大氣的濕度。 4. 大氣內水汽的變化。 5. 熱和工作的關係。 6. 蒸汽機關和內燃機關。

教材參考

1. 熱量和比熱

熱容量和比熱 任何質量的物質升高或降低 1°C . 時所需或所放的熱量, 稱爲該物質的熱容量 (Thermal capacity). 物質的熱容量和同質量水的熱容量相比, 爲該物質的比熱 (Specific heat), 列式如下:

$$\text{比熱} = \frac{\text{物質的熱容量}}{\text{同質量水的熱容量}} = \frac{\text{單位質量物質的熱容量}}{\text{單位質量水的熱容量}} \\ = \frac{\text{1克的物質升高 } 1^{\circ}\text{C. 的熱量所需的卡數}}{1 \text{ 卡}}$$

∴ 比熱 = 1 克的物質升高 1°C . 或降低 1°C . 所需或所放熱量的卡數。 (卡, Calorie 爲熱量的單位)

設 $H = m$ 克物質由溫度 t_1 昇到 t_2 所需的熱量, 則

$$\text{物質的熱容量} = \frac{H}{(t_2 - t_1)}$$

$$S = \text{比熱} = \frac{H}{m(t_2 - t_1)}$$

$$\text{故 } H = ms(t_2 - t_1), \quad \text{熱容量} = ms.$$

2. 比熱的測定

混合法 混合法 (Method of mixture) 爲測定比熱的通用方法, 實測時盛水的容器, 稱爲量熱計 (Calorimeter), 通常

爲銅杯。當高溫度的物質和冷水混合時，水要吸熱，但量熱計亦要吸熱，量熱計的熱容量，或稱水等值(Water equivalent)，即量熱計升高 1°C 的熱量和若干克水所需熱量相當的數值。混合法完全的公式如下：

設 m_s = 測定物質的質量， S = 測定物質的比熱， t_s = 物質的溫度， $m_c s_c$ = 量熱計的熱容量， m_w = 水的質量， t_w = 水的溫度， t = 混合後的終溫度，則

$$m_s s (t_s - t) = (m_w + m_c s_c) (t - t_w)$$

[物質放出的熱量] = [水吸收的熱量] + [量熱計吸收的熱量]

$$\therefore S = \frac{(m_w + m_c s_c) (t - t_w)}{m_s (t_s - t)}$$

3. 熔解和凝固

熔解和凝固 固體受熱的能量變成分子間的位能，分子間距離既增大，就變成液體。由固體變成液體的現象，稱爲熔解(Fusion)。如液體變固體時，則分子能量變成熱能而放出，即成凝固(Solidification)的現象。故由分子說可說明熔解和凝固的現象如下：

(1) **熔點 (Melting point)** 和凝固點爲同一的溫度。熔解或凝固未完成時，這個溫度固定而不改變，因熱和分子能量變換時，物體吸熱或放熱，祇爲分子間距離改變時的能量，故物體的溫度不升高或不降低。

(2) **熔解熱 (Heat of fusion)** 和凝固熱常相等。

(3) 非結晶體的物質熔解時，須經過粘度 (Viscosity) 的各種階級，故無一定的熔點。

凝固時體積的變化 普通物質當凝固時，其體積常

縮小，由固體分子較液體分子密集的理由，易於解釋。但水、錫、鉍、鑄鐵和少數含有錫、鉍的合金(Alloy)都是例外，凝固時，體積反膨脹，這是因為分子集成晶體，各晶體間有相當的空隙，每一分子羣的集合，當然較液體為密，但各團分子集合所佔的體積，反為擴大。

溶液的凝固點 溶液的凝固點常低於 0°C ，例如食鹽水飽和溶液的凝固點在 -22°C 。其理由因降低物體的溫度，使達凝固點，就是減少其分子的平均速度，致使液體的內聚力牽合而成固體。食鹽水凝固時，水的內聚力，不得不勝過鹽分子的引力和其分子運動，故分子動能要減少，溫度必更下降，而凝固點必低。冬天痰盂內的水中如放些木屑，則達 0°C ，還不結冰。各種鹽類混合的溶液能得低溫度的，稱為冷劑(Freezing mixture)，舉例如下：

混 合 物	質 量 的 成 分	所 得 的 溫 度
冰、食鹽	3 比 1	-22°C 。
硝酸氨、水	2 比 3	-14°C 。
硫酸鈉、鹽酸	5 比 8	-17°C 。
氯化鈣、冰或雪	3 比 2	-55°C 。

4. 汽化和蒸發

蒸發的遲速 液體的蒸發率(Rate of evaporation)由下列的情形而定：

(1)蒸發液體的性質，(2)液的溫度，(3)在蒸發面上空氣內已有蒸汽(Vapor)量的多少，(4)蒸發面上存在的空氣或

其他氣體的密度,(5)蒸發面上氣體流動的速度,(6)液體曝露空中面積的大小。

蒸發的減熱效應 按分子運動的理論,蒸發為液體中一部分的分子速度較全體的平均速度為大,故飛出液面外,液體的繼續蒸發,就失去運動最速的分子,其剩餘分子的平均速度就繼續減小而溫度降低,液體蒸發愈快,失去的分子數愈多,而溫度降低率亦愈大,故水、酒精、醚滴於手上,則手上感覺醚的蒸發時較為寒冷,酒精次之,水又次之;又夏天揮扇,使汗液蒸發率加增,亦能感覺涼爽。

5. 飽和蒸汽

飽和蒸汽的密度和壓力 在密閉器內,液體分子由液面逸出的數目,和蒸汽分子回入液內的數目恰相等時,液面上的蒸汽稱為飽和蒸汽(Saturated vapor)。如將液面上空間的體積突然增大,使蒸汽的密度暫時減小,則每秒內由液體逸出的分子數,復多於由汽體回入液內的分子數,但結果仍可達飽和狀態,而飽和蒸汽密度的數值,仍和空間體積未增大時相同。又設將空間的體積突然減小,使蒸汽分子回入液內的數目,較液體逸出的為多,但結果亦達飽和而飽和蒸汽密度的數值仍和以前相同。故液體的飽和蒸汽密度由溫度而定,和密閉空間容積的大小無關係。飽和蒸汽壓力和其密度成正比。依分子說,蒸汽壓力即分子和器壁的衝撞,故溫度愈高,分子的平均速度愈大而壓力亦愈大。

6. 沸騰

沸點和氣壓的關係 根據來蓋諾(Regnault)的實驗,所得的下表,可顯示水的沸點隨壓力而改變。

氣壓(毫米)	680.00	690.00	700.00	710.00	720.00	730.00
沸點(°C.)	96.91	97.32	97.71	98.11	98.49	98.88
氣壓	740.00	750.00	760.00	770.00	780.00	
沸點	99.25	99.63	100.00	100.37	100.73	

汽化熱和凝結熱 液體沸騰(Boiling)時亦依分子說可解釋下列要點:

(1)沸點(Boiling point)和凝結點為相同的溫度。在汽化(Vaporization)或凝結(Condensation)時,物質所吸收或放出的熱量,均為熱能和分子能量的變換,故沸點或凝結點為一定的溫度。

(2)汽化熱和凝結熱常相等。

2. 大氣的溼度

溼度 大氣的相對溼度(Relative humidity)的定義如教本 131 頁的說明,舉例如下:

[例題] 室內溫度為 25°C,露點(Dew point)為 15°C,求大氣的溼度。

[解] 依教本 127 頁的飽和水蒸汽壓力表,查出 25°C. 和 15°C. 的飽和蒸汽壓力,各為 23.5 毫米和 12.7 毫米,故

$$\text{溼度} = \frac{12.7}{23.5} \times 100 = 54\%$$

露點 15°C 時的飽和蒸汽壓力,為 25°C 的不飽和蒸汽壓力的數值,若將室溫自 25°C 降至 15°C,則這個壓力的數

值恰為 15°C 時飽和蒸汽壓力，故高溫度的不飽和蒸汽，其壓力的數值恰為低溫度時的飽和蒸汽，而低溫度的飽和蒸汽若增加溫度，就成不飽和蒸汽。

8. 大氣中水蒸汽的變化

露霜霧雪等現象 熱空氣內所含的水蒸汽，如溫度驟降，就由不飽和狀態而達飽和，開始凝結，成大氣中各種的變化，見教本 132 頁的說明。

9. 熱和工作

熱為能量 19 世紀以前的物學理者，以為熱為無色無重量的流體，認熱為物質。至 1798 年湯姆生 (Thomson, 1753—1814) 用鈍鑽穿砲管時所發的熱量和工作的時間成正比，遂唱熱為能量的一種，可由機械的能量變換而成。英國化學家台維 (Davy) 將兩片 0°C 以下的冰塊摩擦而冰溶解，證明湯姆生的見解。後經美國大物理家焦耳自 1842 年至 1870 年作各種精密的實驗，對於熱和工作的關係，完全確定。依近代精密的實驗，測定發生 1 單位熱量所需的工作常為定值，稱為熱功量 (Mechanical equivalent of heat)。

設 $W =$ 發生熱量 H 的工作， J 為熱功量，

$$\text{則 } J = \frac{W}{H}, \quad \text{或 } W = JH$$

$$J = 4.19 \times 10^7 \text{ 爾格/卡} = 427 \text{ 克-米/卡}$$

蒸汽機關 (Steam engine) 和內燃機關 (Internal Combustion engine) 為熱能變成機械工作的利用。

實驗指導

實驗 1. 熱量

目的 求熱水和冷水混合後的溫度。

用具 量熱計,玻璃杯,酒精燈,溫度計,天平和砝碼。

方法 測定量熱計的質量為 m_0 克,加冷水後稱得的為 W 克,測其溫度為 t_1 度,測玻璃杯中熱水的溫度為 t_2 ,注入量熱計,用玻棒攪拌,得混合後的溫度為 t ,再測定總質量為 W' 克。

記錄和計算

量熱計(銅製)的比熱 = 0.095

量熱計的質量(m_0) = ___ 克,

量熱計 + 冷水(W) = ___ 克,

冷水的質量($W - m_0$) = ___ 克,

冷水的溫度(t_1) = ___ °C.

量熱計 + 冷水 + 熱水(W') = ___ 克

∴ 熱水的質量($W' - W$) = ___ 克

熱水的溫度(t_2) = ___ °C.

混合後的溫度(t) = ___ °C.

算出的溫度(*) = ___ °C.

誤 差 = ___

*算式為 $(W' - W)(t_2 - t) = [m_0 \times 0.095 + (W - m_0)](t - t_1)$

算出 t 值

實驗 2. 溼度

目的 求室內的大氣溼度。

用具 露點測定器(教本 131 的圖),溫度計,麩。

方法 記錄室內的溫度,用露點測定器將打氣球吹

隨增加蒸發率，記錄光亮面上薄霧剛起時的溫度。停止打氣，再測薄霧消滅時的溫度。將兩次溫度數求一平均值，就是露點。由教本 127 頁的表，查出飽和壓力而算出大氣的溼度。

記錄和計算

薄霧發現時的溫度 = ____ °C.

薄霧消滅時的溫度 = ____ °C.

故 露 點 = ____ °C.

室內溫度 = ____ °C.

室內溫度時的飽和壓力 = ____ 毫米

露點的飽和壓力 = ____ 毫米

∴ 大氣的溼度 = ____

問題解答

[第 121 頁] 問題 1. 甲杯的熱量 = $100 \times 20 = 2000$ 卡，乙杯的熱量 = $250 \times 8 = 2000$ 卡，故兩杯的水含熱相同。

問題 2. 溫度表示熱的程度，熱量為能量的一種。

[第 122 頁] 問題 1. 凡比熱大的物質，使其升高或降低溫度甚難。因熱容量大，故吸熱和放熱的量亦大。水的比熱最大，故有調劑氣候的利益。凡近海濱的區域，就是利用這個理由。

問題 2. 設容器的熱量不計， t 為最後溫度，則

$$50 \times .093 \times (400 - t) = 300(t - 10)$$

$$1860 - 4.65t = 300t - 3000,$$

$$304.65t = 4860,$$

$$\therefore t = 15.95^\circ\text{C 弱}.$$

問題 3. 因水的比熱最大,日間陸地溫度高於海水,夜間則陸地的溫度易低,故風的方向恰相反。

[第 124 頁] 問題 1. 雪後每熔 1 克冰需 80 卡的熔解熱,故空氣中的熱量漸減,而覺寒冷。

問題 2. 清水結冰時,可放出凝固熱,以保護蔬菜,使其水分在 0°C . 以上,而不凍壞。

問題 3. L_f = 冰的熔解熱,則

$$100 \times L_f + 100 \times 20 = 500(40 - 20)$$

$$100L_f = 8000$$

$$\therefore L_f = 80 \text{ 卡}$$

問題 4. 0°C . 冰得熔解熱即變 0°C . 的水, 0°C . 的水放出凝固熱,即變 0°C . 的冰。

[第 126 頁] 問題 1. 吾人揮扇,助汗液蒸發,故覺涼快。

問題 2. 口內呼出的水氣,溫度較高,在冬天,低溫度的空氣內,飽和而凝結成水滴,故能看見。

[第 128 頁] 問題 20°C . 時的飽和蒸汽壓力 = 17.4 毫米故真正氣壓 = $740 + 17.4 = 757.4$ 毫米

[第 130 頁] 問題 1. 蒸發為通常溫度液面上的汽化,沸騰為液體全部分的汽化現象。

問題 2. 高山上水的沸騰點降低,食物不能達高溫度,故不易煮熟。

問題 3. 水蒸汽凝結時有多量的凝結熱發出,較水的發熱更大,故燙傷更要利害。

問題 4. 最後溫度為 89.8°C . 則可用下式去求。

$$20 \times L + 20(100 - 39.8) = 400(39.8 - 10)$$

$$20L + 2000 - 796 = 15920 - 4000$$

$$\therefore L = 535.8 \text{ 卡}$$

[第 132 頁] 問題 1. 夏天驟雨以前,空中溼氣甚多,使汗液蒸發的速度減小,故覺熱悶;迨雨後溼汽凝結,氣溫降低,故反覺涼爽。

$$\text{問題 2. 溼度} = \frac{9.1}{17.4} \times 100 = 52.3\%$$

[第 133 頁] 問題 1. 霜是空氣中水蒸汽和固體接觸處發生,並非由天上降下,故霜降的名詞不妥。

問題 2. 春霧示溼度大,故易下雨,夏霧則溼度大,阻止汗液的蒸發,故覺熱。

問題 3. 晨霧近午則消,因大氣中溫度漸高,使低溫度飽和蒸汽變成高溫度的不飽和蒸汽的緣故。

[第 137 頁] 問題 1. 因爆發動作時有熱發出,可使流通的冷水吸收。

$$\text{問題 2. } W = \text{工作} = mh$$

$$H = mst$$

$$\text{因 } W = JH$$

$$\text{故 } mh = Jmst$$

$$t = \frac{45}{427 \times 1} = 0.1^\circ\text{C}.$$

本章內容提要

熱量和比熱 { 熱容量 —— 物質升高 1°C . 或降低 1°C . 所需或所放的熱量。
 比熱 —— 單位質量升高 1°C . 所需的卡數。
 熱量的算法 —— $H = ms(t_2 - t_1)$.
 比熱的測定 —— 混合法。

- 熔解 { 熔點——固體變成液體時一定的溫度。
 { 熔解熱——1克固體變成1克液體所需的熱量。
- 汽化 { 蒸發——液面上的汽化,蒸發率依各種因子而定。
 { 飽和蒸汽——密度和溫度有關係,和液面上密閉空間無關係。
 { 沸點——液體的飽和蒸汽等於液面壓力時的溫度,沸點隨液面上壓力而改變。
 { 汽化熱——1克液體變成同溫度的氣體所需的熱量。
- 大氣中的水汽 { 溼度——用露點測定器求出。
 { 水蒸汽的變化——露,霜,霧,雲,雨,雪,雹等成因。
- 熱和工作 { 功量—— $J = \frac{W}{H}$ 。
 { 熱機關 { 蒸汽機關。
 { 內燃機關。

參 考 書 籍

- 雲、雨、風 鄧貞文、劉友惠編
 汽機發達小史 孔祥鵝著
 內燃機關 劉振華著
 汽車 胡嘉詔著

第十章 樂音和樂器

本章教學要旨

1. 音波的性質和傳播。 2. 音波的反射和折射。 3. 樂音的三要素,和樂器的原理。

教材參考

1. 水波和波動

波動的基本性質 波動(Wave motion)為物質傳遞能量的一種,其基本性質為:(1)介質(Medium)的各部分漸次受振動,依靜止的位置,先後起週期性的變位,(2)介質內波形的進行,依變位質點將能量傳遞於鄰近的質點,而質點非隨波而前進,(3)波形的改變,對於能量傳遞的速度為等速運動,(4)介質內質點運動時有動能,變位時有位能,常時變換,此種能量由振動的發源點而來,依次傳遞。

2. 音波

音波 音波的起源由於物體的迅速振動,此種波動為縱波(Longitudinal Wave),質點的振動方向和波的進行方向在同直線上。音波傳遞時,介質內各點,亦先後起週期性的運動,需要相當的時間,故有一定的等速度,此速度依介質的性質和情形而定。音波需一連續性而富有彈性和質量的介質,方能傳遞,故在真空內不能傳音。可見音波不但為物質振動所發生,且賴物質以傳遞能量。液體較氣體容易傳音,而固體更易。

3. 音波的速度

音波的速度 音波的速度在1871年司東 (Storö) 利用砲聲的先見烟而後聞音的方法,在空氣內定出。於1862至1866年間,法國萊蓋諾 (Regnault) 做多次的實驗確定空氣、水和氣體內音的速度。牛頓於1686年由理論上曾推出計算音速的公式,爲:

$$v = \sqrt{\frac{e}{d}} \quad \text{即 (音速)} = \sqrt{\frac{\text{(介質的彈性係數)}}{\text{(介質的密度)}}}$$

此式用於氣體時,氣體的體積彈性係數,恰和其壓力的數值相等。設 P 爲壓力,則

$$v = \sqrt{\frac{P}{d}}$$

式中 P 單位爲達/釐米², d 爲克/釐米³, 則 v 爲釐米/秒。

至1816年拉不拉氏 (Laplace) 改正牛頓的公式,而定在空氣內的速度爲

$$v = \sqrt{\frac{1.41P}{d}}$$

此公式和實測的結果頗相近,近時公認的音速,在空氣內 0°C 時爲331.3米/秒。

各種物質內音的速度表 (單位爲米/秒,溫度爲 0°C)

空氣	332	銅	4975
氫	1268	鉛	1420
二氧化碳	261	玻璃	4860
水	1435	松木	3300
海水	1454	胡桃木	4800
水銀	1484	橡皮	5000

音的速度和溫度的關係 空氣內溫度每升高 1°C ,

則音速增加 0.6 米/秒。設音在 0°C 時的速度 $=331.3$, $V_t =$ 在 t 度時的速度, 則空氣內音速和溫度的關係為下式:

$$V_t = 331.3 + 0.6t \text{ 米/秒}$$

4. 音波的反射和折射

回聲的發生和避免 普通室內牆壁的相隔甚近, 回聲達於耳時, 耳中的基音尚未消滅, 故回聲和基音相合而聲增強。兩音達耳的時間相隔不及 $\frac{1}{10}$ 秒時, 則耳不能分別為兩音。因音於 $\frac{1}{10}$ 秒, 可行 33.13 米 ($S = Vt$), 故牆壁相距不及 16.5 米許不能有回聲。過大的講堂常起回聲, 可在四壁掛軟絨布簾等吸收音波而不起反射。關於建築上使室內合乎講演或奏樂, 對於音的反射應有特殊的計劃。各種物質一平方米面積吸收音波的能力, 依開放的 1 平方米的窗面為標準, 稱為吸收係數, 其相比的數值如下:

開窗	1.000	人	.44
硬松	.061	木襪	.003
粗地氈	.20		

5. 樂音的三要素

音強 音強視發音體的振輻的大小而定, 併和音源距離的平方成反比。設 E 為每秒由音源發出的能量, 向四方成球面而傳遞, r_1 和 r_2 各為離音源的距離, I_1 和 I_2 各為球面的單位面積上所受的能量, 即音的強度 (Loudness)。因球面的表面積為 $4\pi r^2$, 故 $E = 4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2$,

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

音調 音調 (Pitch) 以發音體每秒的振數而定。若發音體運動，例如火車經過時發出的汽笛聲，則地面靜止的人必覺音調的不同，來時愈近愈高，去時愈遠愈低，這種現象稱為聾普勒效應 (Doppler effect)。因為音的波動常隔相等的時間發出一次，故當火車來時，此種波動傳到耳膜相隔的時間，比實際發出的時間為短；當火車去時，耳中所得兩波動的間隔，比實際發出的為長，而來時的音調漸高，去時就漸低。

音色 音色 (Quality) 依基音 (Fundamental tone) 外，同時發生泛音 (Overtone) 的數目和強弱而定。例如日常聞熟人的聲音，不必見其人，即可辨別，是音色的特性。各種樂器泛音的振數和基音振數的關係，見第 8 節。

6. 音的共振

閉管的共振 閉管 (Closed pipe) 內空氣柱發生第一次的共振 (1st Resonance) 或最適宜的共振，管長應為波長的 $\frac{1}{4}$ ，其理由見教本 149 頁，依此類推。第二次的共振時，管長應為波長的 $\frac{3}{4}$ ，第三次為 $\frac{5}{4}$ ，第四次為 $\frac{7}{4}$ 。但管過長後的共振，其聲音比第一次的共振為弱。

開管的共振 開管 (Open pipe) 內波的密部自管口達管底時，突然向外膨脹，向管上反射的為疎部，恰和音叉由 a 至 b 自 b 回 a (教本 149 頁的圖，底為開管) 時，a 下的疎部相合，故音波在管內來往的距離，適當於音叉發出一個波長，可知開管的第一次共振，管長為波長的 $\frac{1}{2}$ 。依

此類推,凡管長為半波長的倍數,亦共振。

7. 音程和音階

平均調停的音階 音樂上的長全音階若依一音為首音,而得其他各音的調諧振數後,則取別一音為首音時,就不得調和的音程(Interval)。例如以C為首音,振數取256而製一長全音階,若另以G為首音,而製一音階,則原定的八音中,只有六音可用(參看下表),若以其他音為首音,則亦不能全用,故實際上將八音間分為12相等的音程,以鋼琴上的8白鍵和5黑鍵表示,稱為平均調停的音階, (Even-tempered Scale) 見下表:

音

C D E F G A B C' D' E' F' G'

長全音階

256 288 320 341 $\frac{1}{3}$ 384 426 $\frac{2}{3}$ 480 512 576 640 682.2 768

G的長全音階

384 432 480 512 576 640 720 768

調和音階

C

↑

256 287.4 322.7 341.7 383.8 430.7 483.5 512 574.8 645.4 683.4 767.6

8. 弦樂

弦的定律 設T為張力, L為長度, m為單位長度的質量, n為振數,則得

$$n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

弦的泛音 設 n 爲弦的基音,則其泛音的振數爲 $2n, 3n, 4n, \dots$ 。因弦的長度 L 不變, N 爲弦上振動的段數 (即一腹兩節的部分), 則每部分的長度爲 $\frac{L}{N}$, 故波長 $l = \frac{2L}{N}$ 。

$$n = \frac{V}{l} \text{ (教本 10.3) } \quad \therefore n = \frac{VN}{2L}$$

因 V 和 l 均爲常數, 故 N 的數目爲 $1, 2, 3, \dots$ 時則振數爲 $1, 2, 3, \dots$ 。可知弦能發奇偶倍數的泛音。

9. 管樂及板樂

管的泛音 閉管口空氣的振動大故成爲腹 (Loop) (見教本 153 頁圖), 管底爲節 (Node), 發基音 n 時, 管長爲 $\frac{1}{4}$ 波長, 其泛音的振數當爲 $3n, 5n, 7n, \dots$ 。開管的兩端都爲振動最大處, 故均爲腹, 管長爲 $\frac{1}{2}$ 波長, 其泛音的振數當爲 $2n, 3n, 4n, \dots$ 。故開管能發奇偶倍數的泛音, 而閉管祇能發奇數的泛音, 不能發偶數的泛音。

10. 留聲機

留聲機的起源 留聲機的起源始於 1857 年, 司各脫 (Scott) 所製的記音器, 只能記音於烟煤上, 並不能將基音放出。愛迪生 (Thomas A. Edison) 試驗電話機的受話器時, 於 1876 年, 發明留聲機。相隔不久, 有貝爾 (Bell 即電話發明家) 等將記聲筒上的錫箔, 用蠟筒代替, 稱爲格臘富風 (Graphophone), 1886 年得美政府的專利權。愛氏亦因繼續研究, 於 1886 年亦改用蠟筒, 屢經改良。至 1887 年, 美人 斐利納 (Berliner) 又創圓片記聲片, 即現時的唱片, 比記聲筒便利, 不但堅固, 且所占地位較小, 複製時手術較簡單。斐氏稱

爲格臘摩風(Gramophone)。現市上發售的留聲機，均爲圓片記聲片。留聲機構造可分爲三部：

(1)旋動部 旋動部由齒輪法條和調速器而成，亦有用電動機以代法條的。

(2)發聲部 發聲部俗稱機頭，爲扁圓體，內裝振動發聲的薄膜，膜上附一彎桿，桿端裝發聲用的針頭。針頭有鈍有尖，鈍針係玻璃或剛玉所製，尖針概屬鋼製。薄膜有用銅皮製的，有用玻璃製的，最好的爲雲母所製，富有彈性。

(3)記聲片 記聲片形圓，片上所記的聲音，呈細凹紋，此等凹紋，稱爲音槽。音槽分兩種：一種爲扭曲的渦狀細紋的，稱爲鋼針唱片；一種爲深淺各異的渦狀點線的，稱爲鑽針唱片。

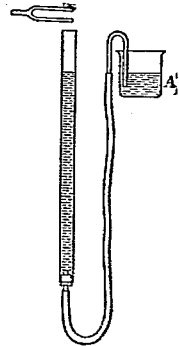
實驗指導

音的共振

目的 求音的速度。

用具 玻璃筒，軟棒，玻璃杯，橡皮管，音叉（振數約爲512），溫度計。

方法 如附圖的裝置，在筒外套一橡皮圈，可以移動，以記錄筒內的水面。筒內水的上下用虹吸的作用節制。配定筒內液面上空氣柱的長度，以得音叉在筒口發音時，所得第一次的共振。由空氣柱的長度，算出波長 ($L = \frac{1}{4} \lambda$)。記音叉的振數即得 $V = n\lambda = 4Ln$ 。



音速的測定

記錄和計算

空氣柱的長度(L)=____, ____ , 平均值 = ____

音叉的振數 (n) = ____

∴ 音的速度 = ____ 米/秒

室內溫度 = ____ °C.

算出的速度 = ____ 米/秒

問題解答

[第 140 頁] 問題 麥浪是一種縱波, 上面的波形, 類似橫波。

[第 143 頁] 問題 鐵軌傳音較空氣為速, 故由鐵軌和空氣傳來的音, 間隔而成二音。

[第 144 頁] 問題 1. $V=331.3+0.6 \times 35=352.3$ 米/秒

雷鳴的距離 $=352.3 \times 5=1761.5$ 米

問題 2. $V=331.3+0.6 \times 18=342.1$ 米/秒

$V=n\lambda$, $\therefore \lambda=\frac{34210}{256}=133.6$ 釐米

[第 145 頁] 問題 1. 音速在通常 20°C. 的溫度 $=343.3$ 米/秒

$S=Vt=343.3 \times \frac{6}{2}=1029.9$ 米

問題 2. 雷聲殷殷不絕由音在雲間屢次反射的結果。

[第 148 頁] 問題 1. 傳聲筒的作用, 使音的傳播沿一定的方向傳出, 強度不變, 故遠處亦可聞到。

問題 2. 因音源移動, 耳膜所受的振動數和實際的有差異, 就是多普勒效應(見 5 節音調的參考教材)

[第 151 頁] 問題 見參考教材 7 節的表。

[第 152 頁] 問題 1. 設 $x=9$ 仟克張力所發的音,

C 音的振數 = 256, 則由弦的定律,

$$\text{得 } \frac{256}{x} = \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{1}{3}, \therefore x = 768. \text{ 即 G' 音.}$$

問題 2. 上端用手指按弦即配定弦的長度, 因弦的振數和其長度成反比, 故可得不同的音。

[第 154 頁] 問題 1. 開管和閉管同長時, 開管基音的振數為閉管的 2 倍。因開管的長度 $L = \frac{1}{2}l$, 閉管的長度 $L = \frac{1}{4}l'$

$$V = n\lambda = n'l' \quad \therefore n \times 2L = n' \times 4L; \quad \therefore n = 2n'.$$

問題 2. 注水於長瓶中, 瓶內的水面漸升, 則所成音的波長漸小, 振數即漸大, 故音調即漸高。

[第 156 頁] 問題 因振數增加故音調變高。

本章內容提要

波動 和音波	{	橫波 —— 亦稱高低波, 如繩上的波, 光波和電磁波。
		縱波 —— 亦稱疏密波, 如音波。
		波長、波速和振數的關係 —— $V = n\lambda$
		音波的速度, 在空氣內 0°C , 時 = 331.3 米/秒
		在 $t^\circ\text{C}$. 時, $V = 331.3 + 0.6t$.
樂音	{	音波的反射 —— 回聲。
		音波的折射 —— 日夜聞遠處聲音的現象。
		樂音的要素 {
		音強 —— 發音體振幅的大小, 和音源的距離而定。
		音調 —— 發音體每秒的振數。
音色 —— 泛音的數目和強弱而定。		
音的共振。		
音程和音階。		

樂器	{	弦樂	{	弦的定律, $n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{m}}$
			}	弦的泛音——發奇偶數倍數的泛音。
	{	管樂	{	閉管——能發奇數的泛音。
			}	開管——能發奇偶倍數的泛音。
		板樂	——鑼鼓等樂器。	
		留聲機	——留聲機的構造分旋動部,發聲部,記聲片三部。	

參 考 書 籍

留聲機

江鐵著

增訂

數學詞典

倪德基 鄺祿琦 編
陳潤泉 增訂

布面精裝一冊 普通本定價二元五角
普及本定價二元

本書內容：(一)辭典，(二)英漢名詞對照，(三)數學用略字及符號，(四)定理及公式，(五)數學用諸表，(六)度量衡及貨幣表，(七)外國數學家事略，(八)本國數學家事略。辭典之部，原約二十五萬言，本年重加增訂，材料加多，共約三十萬言。舉凡算術、代數、幾何、解析幾何、微積分諸科之定義、定理、術語、公式及表，搜羅殆盡。較之他書之東麟西爪，缺而不全者，便利良多，洵為數學書中之寶鑑。足供中學校教員，專門學校學生及中學生參考之用。

中華書局出版

【一之書叢學科】

究研之學理物

Albert Einstein: An Introduction To The Physical Science

▼費 祥譯

一冊 四角

本書計分六章，第一章為經驗(Experiment)，述吾人在現象界中感覺所得到的物理知識；第二章為邏輯(Logic)，即就吾人已行之判斷，依推論而求真確新判斷的一種方法；第三章為物理學上之概念(Conception)，即就物理之各種現象，經思考而得到的新知識；第四章為因果律(Causality or Causation)，指繼續二現象，相繼發生之前因後果；第五章為假說(Hypothesis)，凡經驗上不能直接明知之事，以假定為推論之基礎；第六章詳述愛因斯坦(A. Einstein)之相對論(Theory of Relativity)，至為詳盡。編末附有理論物理學名著介紹及研究愛因斯坦相對論之參考書多種。本書提示研究物理學之途徑，極合現代青年之研究。

王維廉編

二冊 上冊 八角半
下冊 一元

全書分上下二冊，按照中學程度，選輯物理學重要算題約九百餘則，深淺有序，證解明晰；舉凡運動學、靜力學、動力學、物性學、光學、磁學、靜電學、動電學等材料，均包羅無遺，誠為研究物理學計算問題之良好參考書。

物理學計算問題解法

、物性學、光學、磁學、靜電學、動電學等材料，均包羅無遺，誠為研究物理學計算問題之良好參考書。

中華書局出版

物理化學詞典

布面精裝一冊

普通本定價一元八角
普及本定價一元五角

本書蒐集現今中等教育自然科理化教材之全部知識，凡物性、力、熱、音、光、磁電等學。化學及其應用諸項目，物理與化學共通之事項，靡不記述詳明。至物理學計算公式，化學方程及各項應用製法，亦極詳備。全部條目一千六百數十餘，約十餘萬言，插圖約二百幅，解釋簡易，說理明澈，且逐圖附說，期閱者確實理解而獲實用之益。附錄述化學計算之大概，示以實驗式、原子價、分子量等測定法，及方程式解法之例，助進理化學者之研究心。書後附載理化學上重要之關係表計三十餘種，以備檢閱，而資應用；洵為中等學校教師及學生最良之參考書，而在專修理化學者得之，尤多裨益。

編纂者

陳英才 符鼎升
楊立奎 陳映璜
彭世芳 王烈

中華書局發行

中華百科辭典

舒新城主編

〔民國廿四年重訂〕

布面精裝一冊
普通本定價八元
普及本定價五元

本書以增進青年基本常識為目的，採分科編辦法，主編者根據其十餘年來從事中等教育及服務社會之經驗，從各方面估量青年及一般社會應具之常識，釐訂綱目，再請各科專家參訂之，然後分門編撰。全書約二百萬言，一萬餘條，凡關於政治、社會、教育、經濟、文學、藝術、數學、哲學、理化、博物等科之術語，以及社會上之流行名詞，無不盡量搜羅，詳慎選擇。換言之，本書雖為辭典之體式，實兼具常識教科書之功用。附錄十餘種：有中國歷代紀年表、世界大事表、中國縣名表、商埠表，及度量衡、各國幣制、世界各國國名及都城表等，篇末並有人名、地名索引、中西名詞對照表。參考檢查，均極便利。此次重訂，又增補二千餘條，取材至最近為止，列為續編，並將全部目錄，列於書前，以便檢查，尤為難得。中等學生及一般青年手此一書，勝勝普通書籍數百種。

中華書局發行

37

(1/25)

標商冊註



50