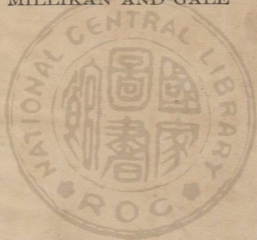


密爾根 蓋爾

# 實用物理學

PRACTICAL PHYSICS

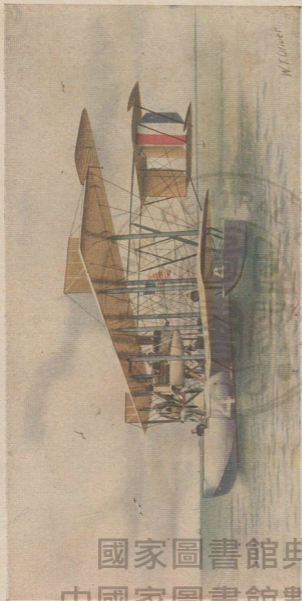
MILLIKAN AND GALE



1928

上海商務印書館出版

國立中央圖書館  
NATIONAL CENTRAL LIBRARY  
CHINA



NC-4 號 飛機

歷史上有名之海軍用柯蒂斯第四號 (Navy-Curtiss No. 4) 飛機，通稱爲 NC-4，於 1919 年五月，最初完成大西洋橫斷之飛行，由波多 (Long Island) 之洛洛威 (Rockaway) 至英格蘭之普里摩斯 (Plymouth)，全程計 4513 哩，全程中共停止五次，翼面闊 126 呎，載人約重 14 噸。全程中駕駛者爲美國海軍大尉李德 (Albert Cushing Read)，途中自紐芬蘭至亞速爾 (Azores) 之間，每隔 70 哩，即有一驅逐艦，共布有 20 艇，因此段爲全程中之最長距離，計 1380 哩故也。

國立中央圖書館

NATIONAL CENTRAL LIBRARY

CHINA

國家圖書館典藏  
由國家圖書館數位

6901 330  
J112 8437  
(二)

56

### 序

此書原名 Practical Physics, 爲美國芝加哥大學物理教授密爾根 (Robert Andrews Millikan)及蓋爾 (Henry Gordon Gale) 兩人所編,於1920年發行,實即 First Course in Physics 之改版。當其未改版以前,已風行全美,幾於無一美國中學不用此書。民國二年由屠坤華君譯爲漢文,商務印書館出版,名之曰漢譯密爾根蓋爾物理學。迄今十載,重印十餘版,其對於我國之需要程度,亦不難想見。唯是十年以來,科學之進步,無日或已,即就我國而論,日常生活受物理學之影響者在在皆是,前此編入教科書中尙覺費解者,今則已成常識,而今日之所必需者,更爲前此所未嘗想見。外國通例,除少數之古書外,一切書籍每隔三五年必加以一度訂正,三數改後,即與初版判然不同。通常書籍尙且如此,遑論教科用書,其所以如此之不憚煩者,亦不過欲與時共進而已;本書即其一例,並書名亦易去,又其甚者耳。舊譯之本,頗多未妥之處,即無新版,亦非大加更正不可,今原書既已大改舊觀,舊譯之本當然可以完全捨去,故取新版從頭又譯一過,一切名詞,

039223

(南京)

無論其爲固有名詞或學名，皆改用今日慣用者，以便應用。書末更附以索引及譯名對照表各一，以便檢索。全書校正，皆經于樹樟君始終其事，並以致謝。

一三，一，一〇

譯者識



## 原 序

本書前此數版之主要目的，在使學生對於其本身所生存之物理界中之事實，自行思考其究爲如何及爲何而已，故書中所論皆限於普通中學生日常生活所接觸之事項，簡言之，即一種實際上之日用物理學，可助通常之中學生適應其環境，及正常解釋其本身所得之經驗。

輓近生活狀況之變化，大有一日千里之概，任何教科書，欲謀與之共進，皆非隨時修改不可，譬如在十年前，內燃機關不特在工業界所占之位置，不及蒸汽機關之重要，在今日居然侵入日常生活之範圍中，雖發電機電動機等，亦望塵莫及，故本書對於汽車一節特別加以詳細說明，爲向來各種初等教科書所未曾有。

又征服空中之希望，歷數世紀之失敗，始克成功，不特在實用方面，爲二十世紀中最有深意之進步，並可挑起全世界人類之注意及興趣，雖婦孺亦莫不知之，本書對於其原理方法，盡力講述，不憚其煩，只求其不礙於初等物理學所要求之簡明之條件而已，故即用之於高級

中學之二年級，亦甚適當。

更有進者，此次歐洲大戰，不特使物理學呈空前之大發展，並指示吾國青年及工業界之指導者，對於物理學，有更進一步研究之之必要。因軍事上關係，著者對於此種發展及此種新要求，關係至為密切，故編纂此書時，皆加以相當之考量，而尤注重於平和方面之發展。

本書插入全頁之圖，雖為本書極重要之一部分，然對於教授課程時，並不必要。此種插頁，其數較前此各版約增一倍以上，目的在添加人類及歷史的興趣，并使學生對於各類問題能作更進一步之研究。故此種插頁，實可視為本課程中一種極有價值之附屬品。

本書之順序及處理方法，與前此各版大有不同，因將多數用此書之教員之助言加以斟酌，始成現狀，而尤以問題中之改正為最著。

書中各節有可以略去而又無礙於全體者，仍如前此各版，用六號字體排印。教室中所行之實驗，雖亦用同一六號字體，但與此種可省之各節，顯然各別，不難立辨。此種大都不外物理應用之敘述而已。

下略。

密爾根  
蓋爾 序於 芝加哥大學

# 目次

✓ 第一章 計量	1
基本單位，密度	
第二章 液體之壓力	13
自由表面下之液體壓力， <u>巴斯加</u> 之定律， <u>阿基米得</u> 之原理	
第三章 空氣之壓力	29
氣壓現象，空氣之壓縮性與膨脹性，空氣之應用	
✓ 第四章 分子運動	55
氣體運動說，液體之分子運動，固體之分子運動	
✗ 第五章 力及運動	63
力之定義及計量，力之成分及其分解，重力，落體， <u>牛頓</u> 之運動定律	
第六章 分子力	100
固體之分子力，彈性，液體之分子力，微管現象，固體及液體之吸收氣體	
✓ 第七章 功及機械能	117
功之定義及其計量，滑輪所耗及其所成之功，功及槓桿，功之原理，功率及能	

- 第八章 溫度測定法及膨脹係數——144  
 溫度測定法。膨脹係數。液體及固體之膨脹。  
 膨脹之應用
- 第九章 功及熱能——163  
 摩擦。效率。熱之功當量。比熱
- 第十章 狀態變化——180  
 熔解。蒸發及氣化之性質。濕學。沸騰。人工  
 冷卻。工業的應用
- 第十一章 熱之傳播——225  
 傳導。對流。輻射。房屋之生熱及通風
- 第十二章 磁——237  
 磁石之一般性質。地磁
- 第十三章 靜電——250  
 帶電之一般事實。電荷在導體上之分布。電勢  
 及電容
- 第十四章 動電——270  
 電流之檢查。電流之化學的效應。電解。電流之  
 磁效應。阻之性質。電流之計量。電鈴及電報。  
 抵抗及電動力。一次電瓶。二次電瓶。電流之  
 熱效應
- 第十五章 誘導電流——321  
 發電機及電動機之原理。發電機。誘導圈及變  
 壓器之原理
- 第十六章 音之性質及其傳播——353



音之速度及性質。反射,加強,干涉	
第十七章 樂音之性質	372
樂階。振弦。原音及倍音。吹樂	
第十八章 光之性質及傳播	394
光之進行。光之性質	
第十九章 造像	417
透鏡之造像。平面鏡中之像。光學器械	
第二十章 色之現象	444
色及波長。景	
第二十一章 不可見之輻射	460
熱體之輻射。電之輻射。陰極線及樂琴線。放射 射性	
附錄: 補充問題	482
索引	501
英漢譯名對照表	515

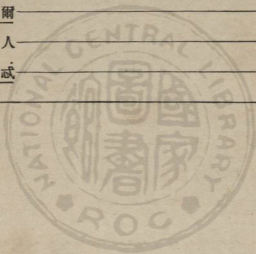
物理學家之肖像及物理界最近成功諸事物之插圖

1.	<u>刻替斯</u> 水上飛機, NC.4 (彩圖)	———	首頁
2.	<u>阿基米得</u>	———	22
3.	<u>潛水艇</u> 詳圖	———	23
4.	<u>葛利克</u>	———	34
5.	<u>汞擴散</u> 空氣唧筒	———	35
6.	<u>英國</u> 飛行船 R-34 着陸之景	———	48
7.	<u>美國</u> 陸軍觀測氣球	———	49
8.	<u>伽利略</u>	———	80
9.	<u>砲擊</u>	———	81
10.	<u>牛頓</u>	———	92
11.	<u>析乳器</u>	———	93
12.	<u>麥克斯惠爾</u>	———	112
13.	<u>赫支</u>	———	112
14.	<u>氣體面罩</u>	———	113
15.	<u>朱爾</u>	———	138
16.	<u>瓦特</u>	———	138

17.	<u>洛刻特</u> 機關車及 <u>味錦馬勒特</u> 機關車	139
18.	<u>克爾文</u>	150
19.	<u>克勒芒</u> 及 <u>利外阿坦</u>	151
20.	<u>美國</u> 無畏艦通過 <u>巴拿馬</u> 間之狀	172
21.	<u>維克斯維密</u> 飛機	173
22.	裝甲戰車	214
23.	自由發動機	215
24.	汽車要部斷面圖	218
25.	揮發器及點火裝置	219
26.	<u>吉爾伯特</u>	248
27.	旋迴羅盤	249
28.	<u>佛蘭克林</u>	256
29.	<u>佛蘭克林</u> 之風箏實驗	257
30.	<u>弗打</u>	266
31.	近世之高壓線塔	267
32.	<u>厄斯特德</u>	272
33.	<u>亨利</u>	272
34.	電磁石	273
35.	<u>安培</u>	284
36.	最大之轉動子	285
37.	<u>模斯</u>	288

38.	<u>模斯電報</u>	289
39.	<u>歐姆</u>	296
40.	<u>電熨斗及熔金</u>	297
41.	<u>法刺對</u>	322
42.	<u>誘導電動機</u>	323
43.	<u>柏爾</u>	350
44.	<u>愛迪生</u>	350
45.	<u>馬可尼</u>	350
46.	<u>俄維爾來特</u>	350
47.	<u>來特飛機</u>	351
48.	<u>語音之音波</u>	382
49.	<u>大戰末之音距記錄</u>	383
50.	<u>邁克爾孫</u>	396
51.	<u>累力爵士</u>	396
52.	<u>羅蘭德即霍布金司</u>	396
53.	<u>克魯克斯</u>	396
54.	<u>人體胸部之X線攝影圖</u>	397
55.	<u>海亘史</u>	402
56.	<u>葉耳歧茲觀測所之大望遠鏡</u>	403
57.	<u>影片之一節</u>	426
58.	<u>音波之相片</u>	427

59.	三色印刷	450
60.	航空用之無線電話	468
61.	彈穿石鹼液泡之影片	469
62.	<u>湯姆孫</u>	474
63.	擴大器及受話擴大之裝置圖	475
64.	<u>樂琴</u>	480
65.	<u>柏克勒爾</u>	480
66.	<u>居禮夫人</u>	480
67.	<u>刺德福忒</u>	480
68.	X線景	481



# 實用物理學

## 第一章 計量

### 基本單位

#### 1. 緒言

常遇常見之事物，其知識之一部，入於吾人範圍者，爲時甚早。石之墜，氣球之升，火息則沸止，電話以電流而傳，吾人均於日常生活上不知不覺中習知之。物理學之目的，即更進而求此所遭遇事實之“如何”及“爲何” (How and Why)，且示人以未見未聞之事物。

自然現象之精確知識，多以精確之計量 (Measurement) 而得。計量之基礎爲長，質量，時間三種，凡百計量，皆可歸原於此。故物理學上第一問題，即在明此單位；全物理界之一切知識，皆由此等單位表而出之。

#### 2. 標準長度之沿革

文明各國均有計長單位，而其命名之義，殆皆與英之呎 (足) 相仿，可知此單位之始，實緣足長。在英國設立

單位“碼”(此或爲英王亨利第一之肘長用作單位)以後,以此爲標準,定其三分之一爲呎,觀此起源,足不同大,各國各異其單位量者,理所當然。

### 3. 各種長單位之關係

一國之中,常用單位,亦復種種,如“吋”(Inch),“手”(Hand),“呎”(Foot),“尋”(Fathom),“杆”(Rod),“哩”(Mile)。其起源或由人體各部而定,或以種種他長爲衡,其後乃結合其關係,多爲冗繁倍數,呎爲12吋,碼爲3呎,杆爲5 $\frac{1}{2}$ 碼,哩爲1760碼。

### 4. 長面積體積質量種種單位之關係

長(Length)之單位,對於面積(Area) 容量(Volume),質量(Mass) 單位,關係更爲複雜。例如一平方杆爲272 $\frac{1}{4}$ 平方呎,一夸(Quart)爲57 $\frac{3}{4}$ 立方吋,而一桶(Barrel)爲31 $\frac{1}{2}$ 加侖(Gallon)。更如質量單位之磅,既非指定一立方吋或一立方呎之水,亦非做他種尋常物質而言,乃以形量極不便之鉛圓柱之質量爲準則。此柱現存英京倫敦。

### 5. 十進制原始

法國革命時代,度量權衡,甚爲分歧,各處各立標準,時起糾紛。法國國會鑒乎此,乃舉定委員立合理之法制。

現今十進制(Metric system),即其結果也。十進制在法始於一七九三年,其他多數文明國除英,美外俱採用之。即在英,美科學方面,實際上皆已通用。此次大戰結果,益速其採用。

## 6. 標準尺

十進制長之單位爲米(公尺,米突,邁當),係一鉑銥棒(Platinum-iridium)上所刻二平行線間在 $0^{\circ}\text{C}$ 之距離。原器現貯巴黎之色佛爾(Sèvres)地方的國際度量衡局。此兩刻線間之距離,約合39.37吋,適等於我國營造尺之3.1496。其外形見圖 1。創此制者,權一時遺失,乃取巴



圖 1. 標準尺

黎子午線,自地球之赤道至北極,分爲一千萬分,取其一分爲米之準則,以備仿造。後世實測,知前之測法不無可疑,故不復以地球上象限(即圓四分之一)之命分數爲米;而以上述鉑銥棒上刻畫之距離爲準(適等我國營造尺



之 3.1496).

### 7. 容量之十進制標準

十進制容量之標準單位，名曰升(Liter, 公升, 立特), 爲每邊等於一呎之十分之一(約爲4吋)之立方體積, 等於1,000 立方呎, 等於1.057 夸, 故升與夸大約相等。

### 8. 質量之十進制標準

爾時法國度量委員, 欲建立長之單位與質量之單位之關係, 爰令法國學士院之委員會 (Committee of the French Academy) 製一鉑圓柱, 其重量與一升水於密度最大時( $4^{\circ}\text{C}$  或  $39^{\circ}\text{F}$ ) 之重量適等。此圓柱體與標準呎, 現皆貯於色佛爾, 爲今十進制質量之標準, 名之曰標準鉅 (Standard kilogram), 等於2. 磅, 其千分之一, 爲質量之基本單位, 名之曰克 (Gram, 公分, 克蘭姆)。實用上, 一克之量, 可視爲一立方呎水之質量。

### 9. 其他之十進單位

呎, 升, 克三單位, 其關係皆十進倍數或約數, 是以長度, 體積, 質量各種單位, 與各次高級, 皆以一定之公倍關連之, 且爲最簡式之公倍, 卽十進法是也。至其命名, 悉與呎相同, 皆以十進。

秆(公尺) dekameter = 10 积	粉(公寸) decimeter = $\frac{1}{10}$ 积
秬(公引) hectometer = 100 积	厘(公分) centimeter = $\frac{1}{100}$ 积
秆(公里) kilometer = 1000 积	耗(公釐) millimeter = $\frac{1}{1000}$ 积

料,秬等爲吾國舊譯,括弧中者爲部頒名稱,原文之義,則公倍取於希臘語頭 deka (十), hecto (百), kilo (千);公約取於拉丁語頭 deci (十分之一), centi (百分之一), mili (千分之一)。

以上單位中其最通用者皆有一定之減寫如次:

积(m.)	耗(mm.)	克(g.)
秆(km.)	秬(l.)	耗(kg.)
厘(cm.)	立方厘(cc.)	厘(mg.)

### 10. 英國度量與十進制單位比較

下列之表,係英國常用度量與十進制單位之比較:

一吋 (in.) = 2.54 厘	一 厘 = .3937 吋
一呎 (ft.) = 30.48 厘	一 呎 = 1.094 碼 = 39.37 吋
一哩 (mi.) = 1,609 秆	一 秆 = .6214 哩
一格令 = 64.8 毫	一 克 = 15.44 格令
一溫司 = 28.35 克	一 克 = .0353 溫司
一磅 = .4536 耗	一 耗 = 2.204 磅

上列關係中, 1 吋 = 2.54 厘, 1 呎 = 39.37 吋, 1 耗 = 2.2 磅, 1 秆 = .62 哩, 當記憶之, 其他部分之關係, 示如圖 2。

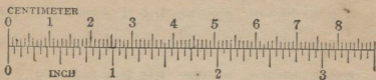


圖 2. 厘與吋之比較

茲將中法等式列表於後以資參考。

	營造尺		漕平兩
一杆	= 3149.68	一瓦	= 27.288
一箱	= 414.968	一題	= 2.7288
一料	= 31.4968	一灶	= .27288
一枳	= 3.14968	一克	= .02729
一粉	= .314968	一魁	= .00273
一裡	= .031497	一厘	= .00027
一耗	= .003150	一釐	= .00003

### 11. 時間之標準單位

文明各國俱用秒(Seconds)為時間之標準單位,即自午至午時間之 $\frac{1}{86400}$ .

### 12. 三基本單位

面積體積二者之度量,俱可化為長之度量,因面積為二長相乘之積,體積為三長相乘之積,故面積體積之單位,為誘導單位(Derived units),由一基本,即長之單位而得者也,不獨面積體積如此,任測何量,不論其為汽鍋壓

力,火車速度,電燈電量,磁石磁量,及其他種種測量,俱可化之爲長,質量與時間之測量。故厘,克,秒三者作爲三基本單位 (Fundamental units)。無論何量,以厘,克,秒計者,簡稱曰表以 C. G. S. (Centimeter-Gram-Second) 系單位。

### 13. 長之計量法。

測長之法,不過將其長與貯於國際度量衡局中尺之長作比較而已。欲求便捷,故仿標準尺,製出無數之尺,以普遍全球,即吾人常用之尺也。一尺間更分成 10, 100 或 1000 等分,製時必慎使各等分無差異。至其用法,人盡知之,可不待贅。

### 14. 質量計量法。

測質量法,與前相同,即將其物之質量與標準鈎之質量相比而已。爲便利計,更仿此標準鈎,製出無數同質物體,令其質量適爲此標準鈎質量之  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{10}$ ,  $\frac{1}{100}$ ,  $\frac{1}{1000}$  等數,成爲一系,即所謂一組砝碼 (A set of weights) 是也。

藉此種砝碼組,可以求得未知物體之質量。即先將物體置於天平 A 盤 (圖 3),用鉛子或紙片衡於彼盤。衡定之後,將物體取出,而以若干砝碼代之,直至指針回歸 O 處。於是盤內標準砝碼之和適等該物體之質量。此種衡法,最爲準確,亦名替代法 (Method of substitution)。若秤器精

級，衡時祇須將未知體置於天平一盤，而以砝碼加入第二盤內，求其指針歸回  $O$  點之時，所需之砝碼之重量，此實通常衡法，然其準確自有制限，即  $C$  鋒稜所支之處適在盤之二

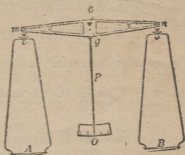


圖 3. 簡單天平

支點  $m$  與  $n$  之正中，方可準確無差。至於替代法，則與鋒稜位置無關。

物體之質量，如上述決定者，恆視為其物所含物質之數量。

### 問題

1. 萬國運動會之 200 呎賽跑，與鄉間競走之 220 碼相當，其距離孰長？且長幾何？
2. 法國之 75 耗炮其口徑合若干吋？
3. 廿世紀從紐約到芝加哥 (967 哩) 須 20 時間，其平均速度每時合若干哩？
4. 十進制比英制之優長處何在？試列舉之，究覺有其他不便否？
5. 有箱一，其長、深、寬皆表以呎，如何始能知其容積為若干呎？如為呎，又將如何求其加侖之數？
6. 試求 6 杆合若干耗？又 4 哩合若干吋？二者孰難孰易？
7. 某飛行船從紐芬蘭直飛至愛爾蘭，(1890 哩) 費 15 時 57 分，一時間飛若干哩，合若干杆？
8. 有箱一，長 0.5 呎，寬 20 呎，深 100 耗，其容積若干？

密度  $D$ ,  $\frac{g}{cc}$ ,  $\frac{lb}{ft^3}$

15. 密度之定義

鉛,木,鐵,土各異質,照前法衡之,雖體積相同,而質量大殊,於是有“密度”(Density)一語以表單位體積物質之質量.

以英制言之,則立方呎爲體積單位,磅爲質量單位,一立方呎水重 62.4 磅,故按英制,水之密度每立方呎爲 62.4 磅.

若依 C. G. S. 系,則以立方厘米爲體積之單位,以克爲質量之單位,故按此系,則水之密度每立方厘米爲一克;因一克之重,適等一立方厘米水之質量,通常若不特別註明,僅言密度者,皆指 C. G. S. 系單位而言,即爲物體一立方厘米之克數質量,例如生鐵一塊,寬 3 厘米,長 8 厘米,厚 1 厘米,重 177.6 克,是其全塊爲 24 立方厘米,而其 1 立方厘米質量當爲

$\frac{177.6}{24} = 7.4$  克,即其密度,尋常物質之密度,例如下表:

各固體之密度

克立方厘米(每立方厘米中之克數)

鉛	2.58	鉛	11.3
黃銅	8.5	鐵	8.9
銅	8.9	橡樹	.8
橡木皮	.24	松樹	.5
玻璃	2.6	鉑	21.4

金	19.3	銀	10.5
鑄鐵	7.4	錫	7.3
鉛	19.6	銻	7.1

## 各液體之密度

克立方厘米(每立方厘米中克數)

酒精	.79	鹽酸	1.29
二氧化碳	12.9	銻	13.6
甘油	1.26	汽油	.75

## 16. 質量體積密度之關係.

物體之質量,既為其所含之克數,而其體積又為其所占之立方厘米數,是則 1 cc. 所有之質量,必等於體積除總質量之數,固自明甚,故 100 cc. 之鐵設為 740 克,則鐵之密度必等於  $740 \div 100 = 7.4$ , 即 1 cc. 為 7.4 克. 試以方程式表之: 設  $M$  為物體之質量, 即其總克數;  $V$  為其體積, 即其總立方厘米數;  $D$  為其密度, 即 1 立方厘米中之克數; 則得

$$D = \frac{M}{V}. \quad \text{密度} = \frac{\text{物作質量 (即總克數)}}{\text{作積 (即立方厘米數)}}$$

此式不過以代數式述密度之定義而已.

## 17. 密度與比重之分別.

某物體之重與其同體積之水之重之比,謂之比重

① 現在“重量”與“質量”兩名詞可以互用,重量與質量雖數字相同,實則大異,此義詳第 73 節,重非質量,實則力耳.

(Specific gravity). 如鐵片之重較水重 7.4 倍, 則鐵之比重即為 7.4. 然按 C. G. S. 系單位, 水之密度為 1 cc. 中之克數, 通為 1. 在此系中, 鐵之密度亦為 7.4. 故在 C. G. S. 系, 密度與比重之數字, 恰彼此相同.<sup>x</sup>

物體之比重, 既係同體積之物體與水之比, 故無論用何種單位制, 比重恆同. 至於密度, 乃為每單位體積之質量, 故因所用之單位各異其值. 例如英制, 鐵之密度每立方呎為 462 ( $7.4 \times 62.4$ ) 磅, 因水每立方呎重 62.4 磅, 而鐵較其同體積之水重 7.4 倍故也.<sup>①</sup>

### 問題<sup>②</sup>

1. 1 磅之牛乳重 1082 g., 其密度及比重為何?
2. 有紗球, 壓其體積至原形之  $\frac{1}{4}$  時, 對於質量, 容積, 密度生何影響?
3. 有木條為  $30 \times 20 \times 500$  cm., 質量 150 kg., 其密度為何?
4. 君自思能帶一拍克 (Peck) 之金塊還家否? (一拍克約等 8 磅, 參照前表, 第 10 頁.)
5. 一磅之酒精之質量為何?
6. 黃銅塊一, 重 34g., 其容積有若干 cc.?
7. 各邊 2 m. 之鉛塊, 其重合若干十進噸 (Metric ton) (1 十進噸等於 1000 kg. = 2200 lb.)?
8. 有鉛重 45.5 kg., 試求其容積之磅數.

① 測長, 質量, 密度之實習, 當與此節相隨, 參照著者所著實驗教程中之 1, 2, 3 三實驗.

② 本節及其他各種習問題均詳後附錄.



9. 1 kg. 之酒精注入圓筒器內，深為 8 cm.，試求圓筒之斷面面積。
10. 鉛條之直徑為 1 cm.，重為 1 kg.，試求其長。



第二章 液體之壓力  $P. \frac{g}{cm^2}$  $\frac{lb}{ft^2}$ 

## 自由表面下之液體壓力

## 18. 液體表面下之力

將舉一物，必用力使其向上，為吾人經驗所習知；並由此經驗，得知所舉物愈大，則所需之力亦愈大。表此力之數字，與表其所舉物之質量之數字必相等，名曰力之重力計量 (The weight measure of a force)。無論為推為拉，其所用力，若與支 1 克質量時所需之力相等者，即稱為 1 克之力。



圖 4. 液體壓力計量器

若欲詳究液面下力之性質，可取一壓力計，如圖 4 所示：設以指輕按其漏斗管 A 口所張之橡皮薄膜，則見 T 管內之墨水滴 B 向前移動，去指則滴仍返原處；增指之壓力，則滴前行益遠，故察墨水滴運動之遠近，可以測膜上壓力之大小。今以 A 端按入液面之下，次第至 2 釐，4 釐，8 釐等深，觀 B 滴之運動，可知壓力隨深度而增。

於實驗室中仔細測量，即可知力之增加與深度為正比。

今設此 A 膜 (圖 4) 降至水面下 10 釐，將墨水滴所在之處記出，再將膜橫向，使膜面成垂直，如圖中 a，而膜之中心適在

10 厘米處；易言之，平均深度正合 10 厘米時，此墨水滴亦一仍其舊。

又將膜面轉向上方，如圖中  $b$ ，檢液下 10 厘米深處之向下壓力，墨水滴之位置仍如前不變。

由此得一結論，即液體在一定深度之向上向下向旁之壓力皆相等。

### 19. 力之大小

如圖 5 所示之器，若充滿液體，則其向底之壓力，等於底面所支全液柱之重，當不待言。今設其力為  $F$  克，底面積為  $A$  平方厘米，深為  $h$  厘米，密度為  $d$  克/立方厘米，即得下式：

$$F = Ahd$$



圖 5。

(1)

然由前節試驗，得知在同一深度之任何方向所受之壓力皆相等，故得一般定律如下：

液體對任何方向之面所施之壓力，皆等於其面之面積與平均深度及其密度三者之相乘積。

此處所謂之平均深度，係指自由水平面與所論面積之中心間之垂直距離而言。

### 20. 液體中之壓力

以上所述者，皆就液體施於某面上之總壓力 (Total

pressure) 而言,通常將其面分爲若干平方呎,只究其各平方呎面積上所受之力,尤覺便利;物理學上之“壓力”(Pressure)即專指單位面積上所受之力而言,故壓力乃作用於表面上之力之強度 (Intensity of force),決不與其全面積相關,是以欲求液體之壓力,須依 19 節  $F = Ahd$ , 及壓力之定義,今令  $p$  表單位面積上之力,則得:

$$p = \frac{F}{A} = hd. \quad (2)$$

(故在密度之等於  $d$  之液體表面下,  $h$  呎深處之面上所受之壓力,爲每平方呎  $hd$  克)

(如高之單位用呎,密度之單位用每立方呎之磅數,則  $hd$  所示之壓力爲每平方呎上之磅數,以 144 除之,即得每平方吋上之磅數.)

### 21. 連通器內液體之平面

注水於壺,壺頸之水與壺腹之水齊平,此爲日常所習見之現象,將水傾入連通器 (Communicating vessel) 內,如圖 6 所示,則各器中之水面,同在一平面上,今就圖 7 而論:由前 18



圖 6. 連通器內之水平面

節之實驗，得知  $c$  點之壓力，等於液之密度乘深度  $cg$ ； $o$  點之壓力，方向與  $c$  點之壓力相反，大小則相等，因器中液體並無左右移動之傾向故也。

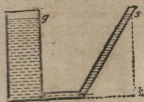


圖 7. 水成同一水平面之理

由此可知  $o$  點之壓力，當爲其密度之  $ks$  倍。

如自  $s$  處傾水入器內，使  $ks$  加深，則  $o$  點所受由右向左之壓力，大於  $c$  點所受由左向右之壓力，故管內液體，當被推向左方而起流動，直至兩管液面同高爲止。

由上述連通管之實驗，可知液體表面下之壓力，僅與其深度相關，而與器之形狀大小無涉。

### 問題三

1. 海底測量，常用一種壓力計沉入水中求之。今假設上述之壓力爲  $1.3\text{kg./cm}^2$ 。其深爲何？(海水密度等於  $1.026$ )
2. 燈用石油重於水  $0.8$  倍 (水每立方呎重  $62.4$  磅)。今以之貯於油池，其深爲  $30$  呎。試求其底面上每平方呎及每平方吋之壓力。
3. 紐約之某屋高  $780$  呎。須若干壓力方可使水達其頂？試以  $\text{lb./in}^2$  計之。
4. 有一  $50$  呎平方游泳池其深爲  $5$  呎。試求其底上所受之力，及其側面所受之力。
5. 假設圖 8 之 (1) 及 (2) 中之  $AB$  面積相同，各自  $D$  注入之，使兩器內  $AB$  面上之水，其高相等，其時 (2) 之  $AB$  面上所受力如何？試與 (1) 較；又所得之答數，試用一

厚紙塊以代  $AB$ ，而自  $D$  注水至厚紙下落為止，以證明之。

6. 圖 10 (1) 所示器之底面為  $200 \text{ cm}^2$ ，水深  $100 \text{ cm}$ ，問底面所受之全壓力幾何？
7. 假設圖 10 (1) 所示之器，其重較所貯之水為輕，問舉此器與水所需之力，較諸水所施於底面之力，孰大孰小？試說明之。

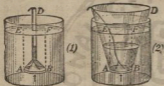


圖 8. 靜水異象



圖 9. 蓄水池

8. 鯨魚被鯨槍所擊時，恆直下 400 尋 (2400 呎) 以下，假設鯨體之面積為 1000 平方呎，則其身所受之全壓力幾何？
9. 船底水線下 7m. 處有一 5 種平方之孔，須力幾何方可以板掩之？
10. 三十年前蓄水池之式恆為直立之圓筒，今日皆為如圖 9 之式，其利益何在？

## 巴斯加之定律

### 22. 液體之傳遞壓力

自由液體內之壓力，祇與液體之深度及密度有關。由此事實，可得一結論。此結論為法國著名科學家，算學家，哲學家之巴斯加 (Pascal) (1623) 所首立。

試以圖 10 (1) 之器，貯水至平面  $ab$ 。為便利計，設其上部斷面積為 1 平方厘米。因水之密度為 1，故凡平面  $a$  以下  $h$  厘米深處之內部表面之任何平方厘米上所受之壓力，皆為  $h$  克。今更以 1 克之水（即 1 立方厘米之水）傾入管中，

則前在水平面以下  $h$  厘米深處者，今加深為  $(h+1)$  厘米。故水加於其上之新壓力必為  $(h+1)$  克；即，若於表面  $ab$  1 平方厘米上加 1 克之力，液體對於容器內部每平方厘米，亦各因之加 1 克之力。然則於表面  $ab$  所加之壓力，不論為水重，或為負重之活塞，如圖 10

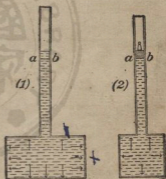


圖 10. 巴斯加定律之證明

可得巴斯加之結論 (Pascal's conclusion) 曰：施於限界液體之任何部分之壓力，立即達於容器內之各面，不稍減小。

### 23. 利用液體傳遞以增壓力。

巴斯加，由上述之原理，謂可使小力變成無限之大

力如圖 11, 設圓筒  $ab$  之面積爲一平方呎, 圓筒  $AB$  之面積爲 1000 平方呎, 則以一疋之力加於  $ab$ , 可以由液傳遞, 致令表面  $AB$  每平方呎, 皆受一疋之力, 是加一疋之力於  $ab$ , 即可使活潑  $AB$  所受之

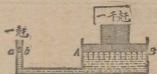


圖 11. 利用液體傳遞以增壓力

上壓總力等於 1000 疋也。巴斯加之言曰：“滿水之器，可爲機械上之一新原理，亦即增加力量至任何大程度之新機械，用此法可以一人力舉任意之重。”

## 24. 水壓機

上節結論，可證諸水壓機 (Hydraulic press)。水壓機者，生大壓力之機也。通常用以壓榨紙或棉花，或以壓鐵板之孔，驗鐵條之力，以及榨油、壓形、鑄印等；鐵工廠中常製大壓力之水壓機，以代蒸汽錘，其壓力常逾 10000 噸以上。

機之斷面如圖 12, 小活潑  $p$  提上時，水由  $c$  桶經瓣  $v$  以入活潑室，當  $p$  向下運

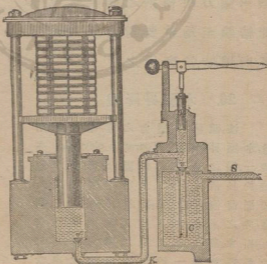


圖 12. 水壓機



動時， $v$  閉而  $v'$  開， $p$  活塞所加壓力，通過  $K$  管，傳至大水箱，作用於  $P$ 。 $P$  所受之力，較諸  $p$  處所加之力，視兩處之面積為衡，即  $P$  上所受之力與作用於  $p$  之力之比，等於  $P$  之面積與  $p$  之面積之比。

## 25. 力距之乘積恆不變

圖 11 中須注意者，即  $AB$  之力，較  $ab$  之力縱大 1000 倍，然活塞  $AB$  於某時間內推上之距離，則為活塞  $ab$  推下距離之  $\frac{1}{1000}$ ；因  $ab$  推下一桶時，祇有一立方呎之水擠入大箱，而此所增之一立方呎，祇可將大箱之水面增高  $\frac{1}{1000}$  呎。故水壓機兩端力距相乘之積，其值恆等。此結論至為重要，對於以後研究各機械時，當應用之。

## 26. 水壓升降機

液體傳達壓力之理，尋常應用者，水壓升降機 (Hydraulic elevator) 亦其一。機之最簡式如圖 13 所示， $A$  籠裝於長活塞  $P$  之上端，活塞則出入於圓筒槽  $C$  之內，槽之深等於  $A$  籠應昇之高。水入  $C$  槽，恆由自來水管  $m$  而來。萬一水道內之壓力不足，可於房頂特備一貯水器，以供其用。當司機人提起  $cc$  繩時， $v$  隨之而開，使  $m$  與  $C$  交通，機即上升。當

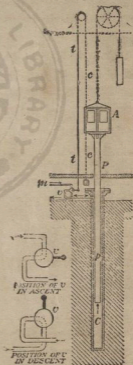


圖 13. 水壓升降機 (一)

ce 提落時， $v$  中之孔因而轉向，放  $o$  內之水出溝，機隨降落。

欲求升降捷速，則用滑車，使活塞之運動，間接傳與提籠，如圖 14 之裝置。活塞  $P$  之運動上升 1 呎，可令籠之平衡錘  $D$  下落 2 呎。因活塞上升 1 呎時，定滑車  $P$  牽過之繩，必足使  $a$  與  $b$  二繩，皆各伸 1 呎，見圖自明。同理平衡錘下落 2 呎，籠即上升 4 呎，故籠之運動，較活塞速 4 倍，距離亦長 4 倍。法國巴黎伊符高塔 (Eiffel tower) 之升降機，即以此法製之。每分鐘時舉 50 人昇高 400 呎，全長共 420 呎云。活塞之位置多為橫式。近代之升降機皆改用電力。

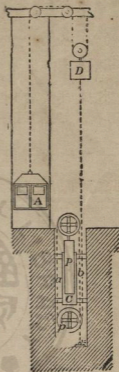


圖 14. 水壓升降機(二)

## 27. 自來水

如圖 15 所示，為自來水 (City water supply) 由遠地引入城市之法。水道始由  $a$  湖通過  $r$  路， $b$  河，

$H$  山之各下層，以入水池  $e$ 。自此水池，經唧筒  $p$ ，壓入貯水管  $P$ ，更自此分佈各處。如全部皆守靜水之律，則  $e$  內

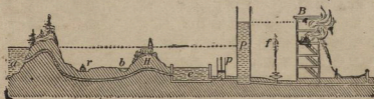


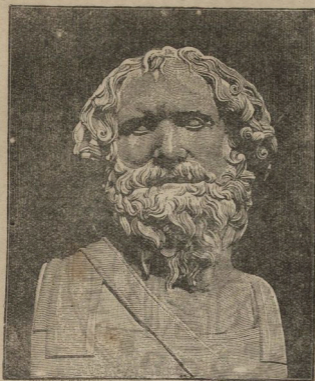
圖 15. 以湖為源之自來水

之水，勢必與  $a$  同高， $B$  屋各管之水，必與貯水管  $P$  所容之水齊平，然水在途中流動不已，不能不受總管之摩擦作用，故  $e$  內之水恆低於  $a$ ， $B$  內之水亦低於  $P$ 。實際上噴水泉因受管內及空氣之摩擦作用，不能達於理論上應達之高，如圖中狀況。

故噴水  $f$ ，因空氣阻力及水管之摩擦力，不及理論之高，如圖所示。

### 問題

1. 充水之瓶，自栓上一擊，可使爆裂，假設瓶之全面積為 200 平方吋，栓之橫斷面面積為 1 平方吋，自栓上加 10 磅之打擊時，內部所受之力為何？
2. 君所居之市，由何法以得水，水管內之壓力如何？
3. 總管內之水壓設為每平方吋 70 磅，則貯水管之水高若何？
4. 水壓機之二活塞斷面面積為 3 平方吋及 90 平方吋，小活塞上加以 75 磅之壓力，則大活塞上可支重幾何？
5. 水壓機之活塞之直徑為 2 吋與 20 吋，於小活塞上加 50 磅之重時，大活塞上所生之力為何？
6. 總管內之水壓為每平方吋 80 磅；設用圖 13 之昇降機，活塞之直徑為 10 吋；如不計摩擦，則此機可舉之重量為何？又如有 30% 之損失，當歸之於摩擦，其可舉之重為何？
7. 有管一為 5 mm. 平方，長為 200 cm.，插入一箱之頂，其箱之邊為 20 cm.，然後充之以水，問底上所受之全力為何？頂上為何？

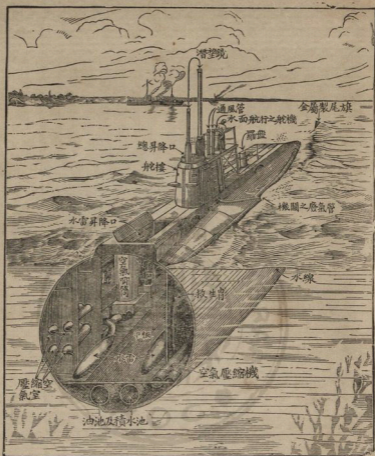


## 阿基米得

(Archimedes 287-212 B.C.)

(奈浦爾博物館內所藏之半身像)

阿基米得爲上古有名之幾何學家；居於雪雪來 (Sicily) 之敘拉古 (Syracuse) 城；首先測定  $\pi$  之值，及圓之面積；發見槓桿，浮力諸定律，即有名豪語“界我以立足之地，我將運轉全球”之主人翁也；當羅馬 圍攻敘拉古 時，彼曾發明種種防守之具以却敵；城破時適在沙盤中作幾何圖形，爲一羅馬 士卒所害，受戮時猶向其敵人呼曰“勿得毀壞我所作之圓”



潛航艇詳圖

潛水艇 (Submarine) 爲最近海上發明品之一，然亦不過爲物理學上最古之阿基米得原理之一簡單應用而已。欲艇沉下時，須引水入積水池 (Ballast tank) 中，使全體與所載之全重，幾與其所排去之水相等，艇即將次沒入水中。如在進行時，即可利用水平舵 (Horizontal rudder)，使全體沉下，若在水下亦可利用水平舵使之上浮，以便用潛望鏡 (Periscope) 窺察海面上情形。此種工作僅須數秒鐘之時間，即可完成。如因充電或其他必欲出水面時，可將壓縮空氣 (Compressed air) 鼓入積水池內，將池中之水排出艇外，艇即浮出水面。水上航行用笛塞爾油機關 (Diesel oil engine)。水面下航行則用蓄電池 (Battery) 及電動機 (Electric motor)。

## 阿基米得之原理

## 28. 液體中物體之減輕。

前之實驗，已明示凡物在液體內，其底面必受一向上之壓力，如船、木塊，及一切輕浮物體，其平衡時，上壓力必等於其物體之重，即不能漂浮之物，置諸水中，其重量亦必減去一部分，故水中舉石，較易於空氣之中，又人在浴桶內，以手指輕按桶底，即可支持其身體之重，亦同此理，古時希臘哲學家阿基米得（參觀插圖）即因此發見物體在液體內減輕之定律。

敘拉古 (Syracuse) 國皇亥厄洛 (Hiero)，曾定製一金冠，疑工匠雜以銀，命阿基米得辨其真偽，然不破金冠，何從辨別，此老哲學家初亦苦其不易解決，後於浴身時，偶覺其身量減輕，於是悟及凡物之在液體中，必失其重，而此所失之重，必等於其所擠開同體積液體之重，乃奔出街衢，大聲疾呼曰：“我知之矣我知之矣 (Eureka! Eureka!)”

## 29. 阿基米得原理之理論證明。

阿基米得或因具有明晰之頭腦，故不待理論上之證明，即信其所得之結論為真，然吾人即欲證之，法亦甚易，如以木塊  $abcd$  沈於水中（圖 16），其底面上所受之上壓力，等於  $obce$  水柱之重，而木上面所被之下壓力，等於  $oadc$

水柱之重，由此可知，上壓力與下壓力之差，必等於  $abcd$  水柱之重，故氏之原理亦可曰：

凡液體施於物體之浮力  
(Buoyant force)，適等於該物排開液體之重。

不拘液體之性質為何，以及物體在液體表面下之距離為何，其結果恆同。若物體之重過於排開液體之重，則沈。因迫之使下者，為物體之重，其量大；浮之使上者，為液體之重，其量小故也。如物體之重，小於其所排開同積液體之重，則因液體所施之上壓力，大於物體之重，故即上昇，迨物體浮至水面時，其上面所受液體之下壓力，成爲零，故物仍繼續上昇，直至其底面所被之上壓力，等於本體之重而後止。此上壓力恆等其所排開液體之重；即  $mbcn$  水柱之重（圖 17）。故：

凡浮體必排開與其重量相等之液體。

凡浮於液體表面上之物體，必失其全重量，故上述結果，已完全包含於阿基米得原理 (The Principle of

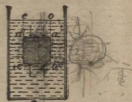


圖 16. 沈於液體中之物體所受之浮力等於其所排去之液重之證明



圖 17. 浮體所受之浮力與其排去之液重相等之證明

Archimedes) 之內。

### 30. 重固體之比重

比重之定義，爲其物之重與同積水重之比(第17節)，而沈於水中之物，不論其形狀若何，必排其同容積之水。

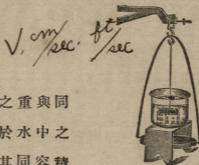


圖 18. 水中物體之重量測定法

故，
$$\text{物體比重} = \frac{\text{物重}}{\text{所排水重}}$$

應用阿基米得原理，故得

$$\text{物體比重} = \frac{\text{物重}}{\text{物體在水中所失之重}}$$

圖 18 示秤水中物體之普通方法。

### 31. 輕於水之固體之比重

如物體太輕，不能自沈於水，仍可懸鐵錘於物體下，而迫之入水，以測其同容積之水重量。今假設  $W_1$  爲錘在水，物在空氣中時之重量(圖 19)； $W_2$  爲物及錘皆在水中時之重量。則  $W_1 - W_2$  爲水對於物體

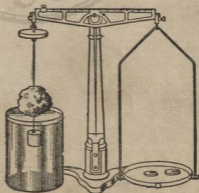


圖 19. 輕固體之比重測定法



之浮力，即等於其所排去之水之重。

### 32. 用比重計測定液體比重法

商業上通用之比重計 (Hydrometer)，用以測酒、乳酸、糖水等者，其形如圖 20。幹上刻有若干度數，使各種液體之比重皆可由此等度數直接讀出。其應用之原理，即浮體必沉至所排之水與己等重為止。如其幹愈細，則此器之感覺亦愈靈敏。其故何在？

### 33. 利用減輕以測定液體之比重法

任取一適當之固體，初權之於空氣中，繼權之於水中，再權之於欲測比重之液體內。由阿基米得原理，物體在被測比重之液體內所失去之重量，等於所排去之液重；在水中失去之重量，亦等於其排去之水重。求此二者之比，不啻以水之重除同容積之液重。故得測定液體比重之方法如下：

以任一固體在液體內失去之重量，除以該物體在水中失去之重量，即得該液體之比重。

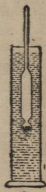


圖 20. 定重比重計

## 問題

1. 用一盛水之器及一比水爲重之物，置於天平之一端，如圖 21 之  $a$ ，其他一端則置砝碼若干，使成平衡。然後將物體移入水內，如  $b$  之位置，天平仍能保持平衡否？試先言其結果，然後再以實驗證之。
2. 物沉於水，其所失去之重，究與物體之重量相關，抑與其容積相關？試說明之。
3. 磚沉於水面下 1 呎時，失去重量 1 磅，問沉至水面下 3 呎時如何？
4. 船自河航入海面時，應較在河面時浮起，抑更形沉下？
5. 養魚器中之魚，完全靜止不動，休息於器之中，其重心，其比重爲何？試說明之。
6. 比重計上最大之度數，應在桿之下端，抑在其上端？試說明之。
7. 某人重 150 磅，恰能浮於水上，其容積爲何？
8. 較水爲重之固體，如其形狀極不規則，當用何法以求其比重？試詳述之。
9. 某物體於水中權之失去重量 25 克，於油中失去重量 23 克，於酒精內失去 20 克，試求油及酒精之比重。
10. 一鉛球於空氣中重 330 克，於水中重 315 克，於硫酸中重 303 克，試求球之容積，及鉛、酸之比重。
11. 如有一石蠟塊在空氣中重 178 克，一錘在水中重 30 克，兩物同時沉於水中時權之，爲 8 克，求蠟之比重。
12. 每邊 10 吋之立方鐵重 7500 克，在密度 .82 之酒精中權之，重當幾何？
13. 如木塊之比重爲 .5，浮於水中，其水上之部分爲幾

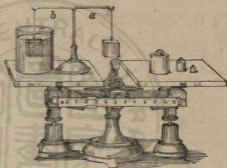


圖 21.

體積之幾分之幾?如比重爲 .6, 9, 又爲其體積之幾分之幾?試說明一般浮體在水中之部分爲其體積之幾分之幾。

14. 有長方形之冰山, 高出水面 100 呎, 其水下之部分爲若干?(假定冰之密度爲海水之 .9.)

15. 有舟長 30 呎, 寬 15 呎, 置象於其上, 則下沈 4 吋, 此象重若干?

16. 一立方呎之石, 在水中重 110 磅, 試求其比重。

17. 鋼重於鉛三倍, 以此二質製成同體積之物, 沉於水中, 其所減輕之重量之比爲若干?

18. 橡木之比重爲每立方呎 .25 克, 將一立方呎之橡木壓入水內, 需力幾何?

19. 有木一塊, 長 15 呎, 寬 10 呎, 厚 4 呎, 投之水中, 則浮出水面 1 呎, 試求木之重量及其比重。

20. 牛乳之比重爲 1.032, 如去其酪之一部分, 或加以水, 於比重上有所影響?若兩方面同時行之, 能否絕不影響於其比重?

21. 有砂巖 (Sandstone) 一塊, 其比重爲 2.6, 權於水中, 重 480 克, 試求其在空氣中之重量。  
設 W 為砂巖在空氣中之重量  
 W - 480 為砂巖在水中減輕之重量

22. 石之比重約爲 2.5, 有童子能舉重 120 磅, 其在池中能舉若干重之石達於水面?

23. 近世軍艦之殼, 幾純用鋼製成, 其壁厚自 6 吋至 18 吋, 試說明其何以能浮起之理。

精 = 水 = 1

$$\text{比重} = \frac{W}{W + 80} = 2.6$$

$$W = 2.6W - 2.6 \times 480$$

$$.6W = 2.6 \times 480$$

$$\therefore W = 780g$$

## 第三章 空氣之壓力

### 氣壓現象

#### 34. 空氣之重

就尋常觀察而言,空氣之存在,甚難察覺,外觀上似

覺並無重量,物之運行其中者,

又似並未受其絲毫之妨礙,然

取已衡過之空球(如圖 22),用唧

筒迫令空氣入內,然後秤之,必

較重於前,反之,如用抽氣機將

球內之空氣抽出,必轉較輕於

前。(對於空氣有重量一事,尚可

由次述之實驗證明,即用電燈

泡一個,先於天秤上權之,然後用吹管於泡上開一小孔,

再權之,前後之輕重必不同,)是知空氣可裝入,可取出,可

衡,可處理,與液體固體無異。

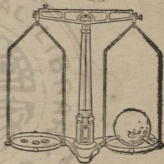


圖 22. 空氣有重量之證明

論物之輕恆比諸空氣,然空氣雖輕,苟慎密測之,每

12 立方呎亦重 1 磅,即廣廈一間,所容空氣,已非常人之

力所能舉,如其室為 60 呎長,30 呎寬,15 呎高,其空氣之重

過 1 噸,空氣在冰點及標準氣壓時,每立方呎重 .001293

克,亦即每斤重1.293克,故空氣之重爲水之 $1/773$ 倍。

### 35. 空氣能於壓力之證明

空氣既有重,故知凡物體在空氣中時,其各方面皆受空氣之壓力(Pressure in air),與在液體中時無異,今以下法證之如次:

試取橡皮膜,蒙玻璃瓶口上(如圖23),自下抽出空氣,則膜受空氣壓力,逐漸下凹,終至不能更堪上部空氣之壓力而破裂。



圖 23. 膠膜因受空氣之重量而緊張



圖 24. 鐵罐因受大氣壓力而破裂

再試取錫罐,半貯清水而沸之,則水汽上騰迫出空氣,若當水沸時,緊塞罐口,置盤內而澆以冷水,則內部水汽凝縮,罐受外面空氣之重壓,必致破裂(圖24)。

### 36. 真空管內液體上昇之原因

將長管下部浸入水中,而自上部抽出空氣,水即自下上昇,此可以草管吸荷蘭水事證之,古羅馬人希臘人解之曰:“自然忌真空(Nature abhors a vacuum),”至伽利略

(Galileo) 時，說猶風行至 1640 年，多斯加納公爵 (Duke of Tuscany) 於 佛羅稜薩 (Florence) 附近掘一深井，查知無論用何種唧筒吸水，均不能高過水面 32 呎，質諸宿儒 伽利畧，伽利畧 則答之曰：“自然之忌真空，亦只不過 32 呎以內之範圍而已。”當時 伽利畧 亦未始不疑此現象由於空氣之壓力，蓋彼在先已證出空氣具有重量；後復思得一良法以試驗之，謂之曰“真空之力 (Power of a vacuum)”。試驗未成，即卒於 1642 年；然猶授意於其弟子 托里坵利 (Torricelli)，令其繼續研究之。

### 37. 托里坵利之實驗

托里坵利 以爲水可昇至 32 呎，則水銀較水重 13 倍，應昇水之  $\frac{1}{13}$ ，後於 1643 年，完成下述著名之實驗：

取 4 呎以上之長管，固封一端，滿貯水銀，如圖 25 (1)，用拇指閉其口，倒置之，使其下端沉入水銀杯內，如圖 25 (2)。然後移去拇指，則管內上部之水銀必下降，上端空間成爲真空，而水銀之高，恰爲 32 呎之  $\frac{1}{13}$ ，即較杯內之水銀表面約高 29 吋與 50 吋之間。



圖 25. 托里坵利之實驗

托里坵利由此實驗得一結論曰：空筒內液體之上升，實由於液體表面所受之大氣壓力 (Atmospheric pressure)，決非如習俗所信以為真空有何種神秘吸力之作用也。

### 38. 更進一步之決定試驗

若排去杯中水銀表面上之空氣，管內水銀立時降下，此一事實更足以證明前節之結論，毫無可疑之餘也。

欲作此實驗，可取杯、管置於抽氣唧筒之平臺上，如圖 26。以管由橡皮栓穿入玻璃鐘內，抽機一動，管內水銀即下降，抽愈久，則水銀下降愈低，漸與杯中之水銀表面接近，然因尋常唧筒所能造成之真空，其程度遠不及玻璃管上部之真空，故管內外之水銀實際決不能齊平。放氣入鐘，管內水銀立即上升至前此之高為止。



圖 26. 水銀表面所受之氣壓若減小氣壓計內之水銀面即降低

### 39. 大氣壓力之總量

由托里坵利之實驗，可以推知大氣壓力之強度；因此壓力須與一定長之水銀柱，方能平衡。圖 27 中，同一水平面  $a$  上所受之壓力，應一律相同，故  $c$  處之水銀面所受之大氣壓力，當與  $a$  處所受之水銀柱之壓力相等，但  $a$  處所受

之下壓力等於  $hd$ ,  $h$  表由  $a$  點至管內水銀表面之高,  $d$  表水銀之密度。在海面實測時,  $h$  之平均值為 76 糎,  $d$  為每立方糎 13.6 克, 故在管內  $a$  處之向下壓力, 每平方糎為  $13.6 \times 76$  克, 即 1033.6 克, 是以作用於  $c$  上之大氣壓力, 每平方糎亦必為 1033.6 克, 略計之, 即每平方糎上為 1 尅, 每平方吋表面上所受之大氣壓力則約等於 15 磅。



圖 27. 空氣柱與水銀柱之平衡

#### 40. 巴斯加之實驗

巴斯加 (Pascal) 更由他法實驗支持抽空管中水銀柱之力, 果係空氣之重否。彼以液體中之壓力, 愈近表面則愈減, 推及自海面至山巔, 大氣壓力亦必遞減。巴黎 鄰近乏高山, 不得已攜 托里坵利 器械登一高塔之頂試之, 柱果稍降。乃函請其內兄 拍里耳 (Perrier), 於其所居鄰近之 圓頂 高山 (Puy de Dôme) 大規模試驗之, 不久得其覆書, 謂升高至 1000 呎, 管內水銀果下降 8 糎, 驚羨交加云云。此為 1648



年之事實，距托里坼利發見以後僅五年耳。

近世地學家，無不以氣壓計之昇降，定其昇降之高低，大約每上昇12呎，則水銀下降1耗。

#### 41. 氣壓計(晴雨表)

近世氣壓計(Barometer)不過一托里坼利管耳，如圖28。測氣壓計之分度，即精細測定水銀柱之高低，然水銀柱之高，亦視地而異，如距海面不甚高，則其變動總不出73至76.5釐，所以然者，實以大氣中時有動搖，影響於地球之表面，亦猶池水因潮流或波動之關係，致池底壓力亦隨之而生大小之差別故也。

氣壓計雖不可以直接預報天時，然壓力極低或水銀柱驟降，風雨恆隨至，預報雖不極確，然於數小時前，得藉此逆料天氣之變遷，使各方面氣象分台於每數小時電報各地氣壓計之昇降於中



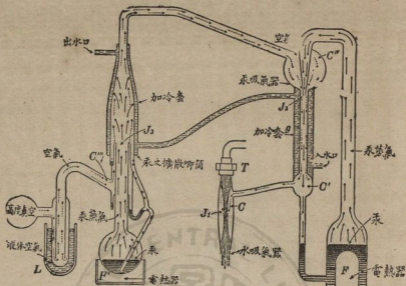
圖 28. 傅丁  
氣壓計



### 葛利克

(Otto von Guericke 1602-1686)

德之天文學及物理學者，復精於事務；爲馬德堡之市長。1650年發明空氣唧筒，開：氣體液體完成之實驗甚多。發見靜電反撥原理。現今科學上有名馬德堡半球(Magdeburg hemispheres) 用四馬亦不能分開者，即其所製。



汞擴散空氣唧筒

最近最進步之空氣唧筒，為水銀擴散空氣唧筒 (Mercury-diffusion air pump)，如上圖所示。其效率千倍於僅恃機械力之空氣唧筒，如葛利克所發明者。其原理如下：——

從水管  $T$  流來之水，自  $J_1$  下注，將  $C$  室內之空氣，挾以俱出； $C'$  內之氣壓，因之降至水銀柱 10—15 耗。次由電熱爐  $F'$  煮沸之水銀，自  $J_2$  口注下，將  $C''$  室內之空氣挾以俱出，使此室內之氣壓，低至水銀柱 0.1 耗。更由電熱爐  $F'$  蒸發而出之水銀蒸氣，自  $J_3$  口噴出，將  $C'''$  室內之空氣分子，挾以俱出。最後用液體空氣槽，將水銀蒸氣凝縮，否則即難免不有一部分之水銀蒸氣，復由  $C'''$  竄入高度之真空中。如斯而得之高度真空，其氣壓低至水銀柱 1 億分之 1 耗。此種空氣唧筒，現用之以抽三極球 (Audion)、高度真空整流器 (High-vacuum rectifier)，皆為商業上極有價值之品。最初發明此種形式之空氣唧筒者，為葛利克之同鄉，即德國夫賴堡 (Freiburg) 之給德 (Gaede) 教授。其後各出心材改良之者，則有一般電公司 (General Electric Company) 之耶繆耳 (Irving Langmuir)；紐約西方電公司 (Western Electric Company) 之巴克累 (O. E. Buckley)；芝加哥微克托耳電公司 (Victor Electric Company) 之克洛福德 (W. W. Crawford)；至於本圖所示之構造，則為匹茲堡 (Pittsburgh) 魏斯亨好斯研究所 (Westinghouse Research Laboratory) 之士刺德博士 (Dr. J. E. Shrader)

所改良者。

央氣象台而比較之，可定氣潮 (Atmospheric eddies) 之方向，風雨之進行等狀況，即一二日後之氣候，亦可預報之。

#### 42. 最初之氣壓計

托里拆利曾製一器械，其構造與圖 28 不甚懸殊，用以窺測大氣壓力。然最初動人耳目者，實創於 1650 年德國馬德堡 (Magdebur) 之葛利克 (Otto von Guericke) (見插圖)。彼立水柱，直達屋頂，浮木偶於上。天晴時，偶即出現於屋頂，天雨則退藏不見。鄰居怪之，乃謂其與鬼竄聯盟。

#### 43. 無液氣壓計

水銀氣壓計不便攜帶，故地理學者、測量學者，另用一器，名曰無液氣壓計 (Aneroid barometer)。器之要部，為一密閉圓筒，頂為一金屬薄膜，應大氣壓力之增減而起伸屈，用極精微之槓桿裝置，將此伸屈之動作擴大之。槓桿之端有一指針，直指一轉動之圓筒面上之度數，其數與水銀氣壓計上之度數相

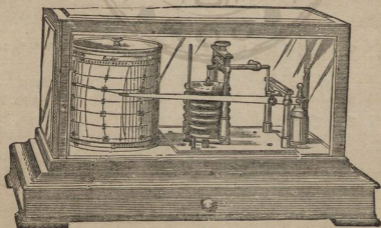


圖 29. 無液氣壓計

當此器之感度 (Sensibility) 極其靈敏，如由棹移至地面之微小距離，所生之氣壓之差別，亦可察見。

美國氣象局所用之自記無液氣壓計 (Self-recording aneroid barometer, barograph) (如圖 29)，其形稍殊，用數個密閉空盒重疊而成，故其感度尤為靈敏，壓力變化，則以墨水自記於左方筒上，器內裝有時計，每一禮拜轉動一匝，飛機上用以記錄高度之裝置，與此略有不同。

### 問題

1. 圖 30 所示之空氣墨水瓶中之墨水，何以不向外溢？
2. 充水於杯，置紙於口而倒之，如圖 31，則水不流出，試說明其故，紙之作用何在？



圖 30.



圖 31.

3. 如有微量之空氣在於氣壓計水銀柱之頂時，對於分度有何影響，其故何在？
4. 設有兩管，其一粗如人之腰，其他細如人之指，則大氣壓力在此兩管內支持之水銀柱是否等高？試說明之。
5. 氣壓計何以用水銀而不用水？試舉三理由以說明之。
6. 試計算  $50 \times 100$  呎之屋頂上之大氣壓力，而以噸表之，屋頂何以不下陷？
7. 試將教室大小用尺量出，然後計算室中空氣之重，而以磅表之。

空氣密度 =  $0.001293 \text{ g/cm}^3$

8. 馬德堡半球(圖 32)爲葛利克氏所發明,時爲馬德堡之市長,球以地得名,接合二半球,排去中間空氣,則球難分開,其故何在?

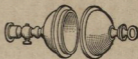


圖 32. 馬德堡半球

9. 葛利克氏初製之半球,今存於柏林博物館內,徑 22 吋,其所著實驗書之封面上繪有一圖,二半球之兩端,各有四馬力分此球,此即當時實驗於德皇斐迪南第三(Ferdinand III)前之實景,假令球內空氣排除淨盡時,實際當用若干磅力方可分開?(試求半徑 11 吋之球上之大氣壓力。)

## 空氣之壓縮性與膨脹性

### 44. 液體之不可壓縮性

總觀上述,液體底部所呈之狀況,與大氣底部所呈之狀況,殆極相似,今更就其不同點述之,如注水於同內徑之長圓筒中,水爲二呎時,其高度必倍於一呎,爲十呎時,則高十倍,由此可知最下層之水,不因上層之重而縮減體積至可度量之程度。

卽更用較此甚大之壓力試驗之,亦終無顯然之效應,如於一立方呎水上,施以三百萬克之大壓力,其體積仍不過減至 0.90 立方呎,故謂水與他液體,實際上,均不示壓縮性 (Compressibility),設事實不如是,則海面下之

壓力，必不能以表面密度與深度相乘之積計之矣。

海底炸彈足以毀潛水艇者，因水之不可壓縮也。設此彈爆發於距艇 100 呎之範圍內，其深度又足以使爆發力不致因水面上之膨脹而消失，則其效力仍不稍減。

#### 45. 空氣之壓縮性

我人如更研究空氣壓力之事實，則知與上述水之狀況，大異其趣。將氣體之體積壓縮至其原有體積之二分之一，五分之一，乃至十分之一，亦屬易事。此為吾人日常於吹氣於膠皮輪周圍之氣帶，或空氣枕墊等物時，所習見不以為怪者。又空氣之膨脹性 (Expansibility) (即取去壓力欲恢復其固有容積之傾向)，可於橡皮球或足球等反跳時，或膠皮輪穿孔時證明之。

不特氣枕氣墊內之空氣，有恢復固有容積之性，即吾人室內之空氣，果失去其現所受之壓力，必亦膨脹。

試取玻璃杯一個，以膠皮膜密封其口，使不洩氣。置諸抽氣唧筒之接受器上，唧筒動作後，杯內之氣立即膨脹，足使膠皮膜大脹，甚或至於破裂，如圖 33。



圖 33.



圖 34.

空氣之壓縮性實驗

再取二瓶，裝置如圖 34，將一瓶口嚴密塞緊，其一則可自由通氣，不加栓塞，同置於抽氣唧筒之接受器內，排去空氣，則 A 瓶之水，由管越入 B 瓶，迨空氣放入，水即復歸原處，試解其理。

#### 46. 空器不為大氣壓碎之理由

由上實驗，則知空器之壁，因負大氣之重，雖受大力亦不破裂者，因器內空氣外壓之力實等於器外空氣內壓之力，圖 24 實驗中，器內之空氣被水汽逐出，迨至水汽遇冷凝縮，內氣外壓之力甚小，故外氣內壓之力即將罐形壓壞，至如圖 33 之實驗，則因外氣之壓力，被抽氣唧筒排除，故膠皮受內氣外壓之力而破裂。

#### 47. 波義耳定律

在密閉器內之氣體，其壓力之變遷與容積之變遷之精確關係，首先研究之者為愛爾蘭人波義耳 (Boyle 1627-1691)。如在實驗室內行波義耳之實驗時，須略微加以更正，精密測之始可，現僅將其當日所以發見此重要定律之方法，敘述於下：——

以水銀注入曲玻璃管，使其在閉端 AC 與開端 BD 等高為止，如圖 35，此時 AC 內之定量空氣為一氣壓，假設其壓力為  $P_1$ ，AC 之長為  $V_1$ 。於是更加水銀於開端，使開管內之水銀表面，高出於閉管內之水銀表面之徑數，恰等於氣壓計所表之徑數為止，如此，則閉管內所容之空氣之壓力，適為二氣壓，以



$P_2$ 表之,更測此時之新體積 $A_1C(=V_2)$ ,  
即足以察知後者為前者之中。

由是可知氣體所受之壓力  
加倍,體積即減半.壓力加三倍,體  
積即減至三分之一.故得一定律  
曰:一定量之空氣在一定溫度時,  
對器壁所生之壓力,與其所占之  
容積為反比.以式表之,即

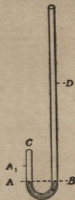


圖 35. 波義耳定律之實驗

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ 或 } P_1 V_1 = P_2 V_2. \quad (1)$$

此即波義耳之定律(Boyle's law),換言之:二倍三倍  
四倍其壓力,即二倍三倍四倍其密度,因質量未改,而體  
積則為前者之二分之之一,三分之一,四分之一故也.故  
又可曰氣體之壓力,與其密度為正比.以式表之如下:—

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{D_1}{D_2}. \quad (2)$$

#### 48. 地面大氣之廣延及其情狀

由空氣壓縮性與膨脹性之事實,可知其與海水不  
同.由低升高,氣必逐漸稀少.懸氣壓計於勃郎山 (Mont  
Blanc) 頂,其水銀柱高為<sup>38</sup>裡,為海面之氣壓計之半.由  
波義耳定律,知其密度亦為海面之一半。

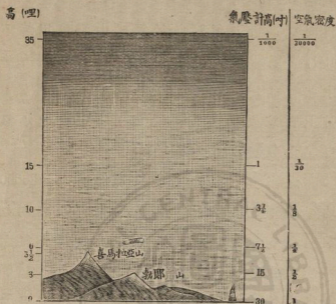


圖 36. 空氣之廣延及其特性

英國飛行家格雷瑟(Glaisher)氏與科克斯衛爾(Coxwell)氏於 1862 年上昇至 7 哩餘之高度,此外更無他人超出其上,其氣壓計之高,亦只 7 吋,氣溫則爲  $-60^{\circ}\text{F}$ . 二人因之四肢不靈,格雷瑟且失其知覺,科克斯衛爾僅能以齒咬繩,開氣球活瓣(Valve)使之下降. 1901 年七月三十一日,法人柏孫(M. Berson)升至 7 哩高 (35420 呎),而未遇險,以其備有人工貯藏之氧也. 1920 年二月二十七日,美陸軍飛行家士仂德(Major R. W. Schroeder)升至 33000

呎,其時氣溫為  $-6^{\circ}\text{F}$ 。

裝自記溫度計及氣壓計於氣球中,而護以落下傘(Parachute),使氣球裂後不致因急落受損,用此方法檢查大氣中狀況,已達 35080 呎之高(21.8 哩),此記錄係 1911 年十二月七日 意大利巴費亞(Pavia) 所送上之小氣球所得,由自記之氣壓計算出者也。

在 35 哩之高度,空氣密度約只為海面之  $1/30000$ ,太陽落於地平線下之後,計算其光色全失之時間,則知在 45 哩高處,猶有空氣反射日光,過此以上,稀薄大氣之廣延究達何處,莫得而知,自各方面估計,當在 100 至 500 哩之間,此數係自流星始現之高度,北極光之高度,及月蝕時地影掩月以前之暗影而測知也。

### 問 題

1. 海底測量達最深者為 6 哩,求此深處之壓力,以平方吋之噸數表之。(海水比重=1.026)如以石子自船擲下,能達其底否?試說明之。
2. 自潛水衣界上之氣泡達水面時,有何容積之變遷?
3. 依據膠皮膜在抽氣唧筒內於抽氣時立即破裂之理,說明登高山者常感苦痛及耳鼻出血之苦,潛水過深者亦常如此,其故何在?
4. 盡力吹氣入如圖 37 之瓶中,當口離瓶時,有何影響?
5. 充水於瓶或以圓筒倒立於水皿中,如圖 38,水不外流,其故何在?

6. 如以膠皮曲管插入圓筒下端，自O處(圖38)吹氣入內，氣即上昇於筒頂。此法常用以收集氣體。試說明氣體以何力上昇，氣上昇時水因何下降。



圖 37.

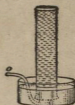


圖 38.

7. 由插口取汽水，必去瓶蓋，始可使其適當流出，其故何在？
8. 倒置滿水之瓶，水即斷續下落，而不一直流下，何故？
9. 將在標準壓力下之100立方呎之氫，壓入一容量為5立方呎之鐵桶內，氣之壓力為何？試以每平方吋上之磅數表之。
10. 有膠皮輪，其容積為1500立方吋，其內所容之空氣之壓力為每平方吋90磅，問輪內之空氣密度為何？如膠皮裂時，膨脹至何容積？
11. 在常態之下，1克之空氣約占800立方呎，如在勃耶山頂(高15781呎)，則1克之容積為何？知頂上之氣壓恰為海面者之半。
12. 空氣平均密度在海面上為0.0012，在勃耶山上為何？又山頂以下之大氣為地球大氣之幾分之幾？
13. 如格雷瑟及科克斯衛爾升高至氣壓計只18吋時，須呼吸幾次，始能使其吸入之空氣分量與海面上呼吸一次所得者相同？
14. 1立方呎之空氣在地面重0.00129克。若一直往上皆為此密度，則大氣將至何高？

### 空氣之應用

#### 49. 虹吸

試以水充滿皮管或玻管，裝置如圖 39，即見水由  $A$  器流入  $B$  器。將  $B$  器提高，使其水面高過  $A$  器水面，水即返流入  $A$ 。如是二器謂之虹吸(Siphon)。如欲自不能傾覆之器內將其液體移入他器，或欲除去液體之上層而不擾及其下層時，用此器實為最便。商業上有種種流水裝置皆應用此理。

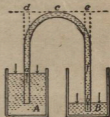


圖 39. 虹吸

虹吸運用之理，可自圖得之。 $acb$  管既充滿以水，若令一端之壓力大過一端，則壓力大者必向小者流去。今  $a$  處之上壓力，等於空氣之壓力減去由  $ad$  水柱而生之下壓力； $b$  處之上壓力，等於大氣壓力減去  $bc$  水柱之下壓力。兩者相較， $a$  處之壓力比  $b$  處所多者為  $fb$  水柱所生之壓力。如兩器內之水平面等高，虹吸即不起作用。因此時  $fb$  已等於 0，故管之兩端受相反等大之力。如灣曲處  $c$  之高與  $A$  面之差過 34 呎，水亦不流，因此時管頂上成真空，大氣壓力已不足使水昇至較管中之水面猶高之處故也。

虹吸在真空內能否流動？

## 50. 斷續虹吸

圖 40 所示為斷續虹吸(Intermittent siphon)。設其先為空器，則應充水至何平面，方可使  $o$  處有水流出現？



圖 40. 斷續虹吸

又其水面須降至何處始不再流?

### 51. 抽氣唧筒

抽氣唧筒(Air pump)爲德國馬德堡市長葛利克於1650年所創造。數年以前之伽利略、托里壻利以及巴斯加諸人發見之大氣情狀，葛利克絕不之知，苦心孤詣，獨力所創，故其榮譽亦甚大。最簡者如圖41所示，當活塞(Piston)上提時，接受器(Receiver)內之空氣膨脹，沖開A瓣(Valve)，入於圓筒B內。當活塞推下時，壓迫空氣使A瓣閉而C瓣開，活塞往復，每次皆可將接受器內之空氣若干抽出器外。

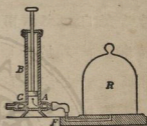


圖 41. 簡單之抽氣唧筒

抽氣唧筒之C瓣多有裝在活塞上者。

### 52. 壓氣唧筒

壓氣唧筒(Compression pump)爲壓氣使入他容器內之器具。將圖41內之接受器取去，而另以一器接於C處，即成壓氣唧筒。圖42

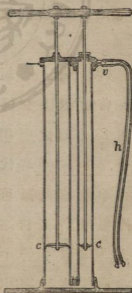


圖 42. 汽車用壓氣筒

所示，為平常汽車用以壓氣入膠皮輪胎之壓氣唧筒。 $c$ 、 $c'$  為杯狀瓣(Cup valve)，即革製之盤，稍大於筒徑，着於鬆活塞之上。

當活塞下降時， $c$  固張於壁，逼空氣通過  $c'$  瓣與  $v$  瓣。當其提上時， $c'$  即固張，使小筒內之空氣由  $v$  逸出，同時空氣自  $c$  充滿兩筒。 $\nabla$  之作用，在防止管內空氣復由  $h$  處逆流入於小筒。兩筒式之唧筒壓力特大者，因  $c'$  上昇時所壓之空氣已於  $c$  下降時經過一度之壓縮故也。

壓縮空氣之應用甚廣，如空氣鑽(Air drill)(採礦用)、空氣制動機(Air brake)、空氣發動機(Air motor)等。故自工業見地言，壓氣唧筒較抽氣唧筒尤為重要。

### 53. 吸上唧筒

普通吸上唧筒(Lift pump)

如圖 43。此器之應用，至遲亦當在亞理斯多德時代，即紀元前四百年。細察此圖，可知實一簡單抽氣唧筒。最初之抽提，不過排去  $b$  瓣以下管中之空氣。若較水面  $W$  高出 34 呎以上，雖極密之唧筒亦不能將水吸至  $S$

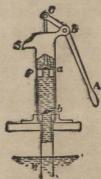


圖 43. 吸上唧筒

處。其故何在？然因機械之製作不完全，實際上限度不能達 34 呎，僅至 28 呎即止。試令學生用圖 43 之唧筒就井取水，而分析唧筒之作用，何以初抽時，每注以少許之水於唧筒之上部，即所謂“初充(Priming),”足以助水迅速上昇。其故安在？

### 54. 壓上唧筒

圖 44 所示為壓上唧筒 (Force pump) 之構造。是器用於將水送至高過唧筒所在之位置。試令學生就圖 44 分析其運動。

活塞  $P$  上提時，水即不能流入  $HS$  管內。欲其流不斷，須加一空氣室 (Air chamber) 於  $a$  瓣 (圖 44) 與出口之間。當活塞下降，水即擁入空氣室，而將室內之空氣壓迫，水被壓出之直接原因，即此壓縮空氣之反作用。反作用為連續性，故流出之水亦不斷。

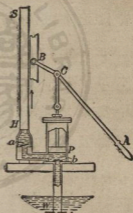


圖 44. 壓上唧筒

### 55. 浮沈子

法國大哲學者笛卡兒 (Descartes 1596-1650) 發明



一器曰浮沈子 (Cartesian diver), 示壓力傳達之理, 即阿基米得原理, 同時又足表氣體之壓縮性。法用玻璃製一人體形之空殼, 如圖 45 之 (1), 下部開小孔, 內貯水氣各半, 使之適能上浮。器外之口有橡皮膜蒙於其上, 以力壓膜, 可使內置之人形隨意昇降, 試說明之。如人形之殼不易得, 則用小瓶或試驗管代之亦可, 如圖 45 之 (2)。

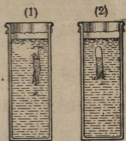


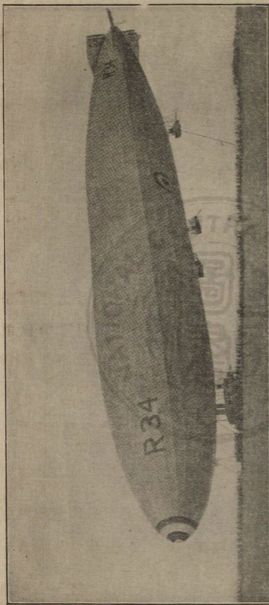
圖 45. 浮沈子

近世潛艇(見第 23 頁對面)不過一大形之浮沈子耳, 在水面上以油機或汽機鼓行, 在水面下以電動機鼓行。室中空氣之量, 則以壓水出入調節之, 其潛水作用, 則以推進器及水平舵司之。

## 16. 氣球

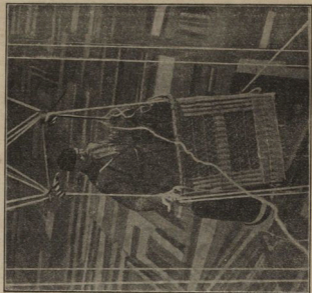
阿基米得之原理, 於第 29 節(第 23 頁)證明時, 言其可用於氣體。故凡在空氣中之物體, 亦必受一種浮力作用。力之大小適等於物體所排開同體積空氣之重。如物體較輕於其所排開之空氣, 則必上昇。

氣球(Balloon)乃一大絲囊(參看插圖), 塗以膠皮, 囊內貯以氫(Hydrogen)或煤氣(Illuminating gas), 氫每立方呎重 0.09 尅。煤氣每立方呎重 0.75 尅。尋常空氣每立方呎重 1.20 尅。故每立方呎氫之浮力為  $1.20 - 0.09 = 1.11$ , 煤氣之浮力為  $1.02 - 0.75 = 0.45$ 。故氫之浮力較煤氣大兩倍有餘。



英國飛行船 R-34 着陸之景

圖為 R-34 號，1919 年 6 月 6 日撥於頭島之密里地方，時方第一次橫渡大西洋着陸之際。此為歷史上最長距離之飛行，自蘇格蘭至紐約凡 3200 海里，費時為 4 日半，即 108 時間。因氣候不良，其路線實經為 6300 海里，返蘇格蘭費 75 時間。此船特點為長 672 呎；高 90 呎；直徑 79 呎；機關 5 個，每個約有 250—275 之馬力（每分鐘轉數為 1600）；共計有 1250—1375 之馬力；牛之大器腺所成氣袋 19 個；容量 2000000 立方呎；每機有 12 筒；推進器之速為機轉之 1/4，骨為鋁之合金（Duralumin=85%Al）；全重 59 噸，其中 16 噸（4900 加侖）為汽油，可昇至 14000 呎。



美國陸軍觀測氣球

美國陸軍觀測氣球，通常稱之曰風箏氣球；長 90 呎，徑 29 呎，容積 37000 立方呎，自繩所可以自由昇高，觀測所得，以電話傳於地面。右圖為美國氣球局長乘於氣球吊籃中，地點則在法國之前線聖豪，1918 年 6 月所攝。籃之旁有落下傘；他倉卒遇敵時，觀測者得以賴之逃去。

氣球之充氣也，初時並不充滿，蓋漸次上升，外氣之壓力漸減，內部氣體漸次膨脹，緊張氣囊之壁，若其初滿充，稍高即裂。故初時不必充滿，俟其上昇後，外壓一減，氣體膨脹，則容量自增。欲擬昇至水銀柱為 7 哩之高處時，其最初只須充四分之一氣體即足。

落下傘 (Parachute) 之形如大傘 (圖 46) 使飛行者可以安全降下。因其與空氣接觸之面積頗大，故張開後，降下甚緩。頂上有孔，使氣從孔逸出，傘因得保持其直立之狀況，不致傾斜。



圖 46. 落下傘

## 57. 氦氣球

大戰結果最驚人者為氦氣球 (Helium balloon) 之發達。氦為不燃氣體；密度約為氫之二倍，約有氫之浮力之 .92 倍。此本稀有氣體；大戰以前，無人曾收集至 100 立方呎者。戰前價格每立方呎值美金 1700 圓。戰後每 1 立方呎之值，僅為美金十分，其產出於得撒斯 (Texas) 及俄克拉何馬 (Oklahoma) 之氣井者，可運 147000 立方氦往法國。聞其設計為每月可產出 50000 立方呎云。

此氣體對於火患極為安全，故其產出，實於飛行氣球開一新紀元。(見插圖。)

## 58. 潛水鐘

潛水鐘 (Diving bell) 如圖 47 所示，乃一空壁鐘形之重體，以其本身之重量下沉。昔時工匠乘鐘下沉，所藉以呼吸者，僅鐘內原有之密閉空氣，水之入鐘，因為空氣壓

縮,不過定高.近世所用者,則異於是.其要如圖 48,用一唧筒  $h$ ,由水面將空氣壓入  $a$  管,直通於鐘室裏面.此法不特可使新鮮空氣繼續不斷,且壓鐘內之水下降,使與鐘底齊平.實際有水泡自鐘底上昇,珠連不絕,如圖 48 所示,即水下建築之狀況.



圖 47. 潛水鐘

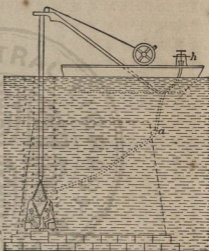


圖 48. 用潛水鐘築橋柱

鐘內空氣之壓力,必為鐘內水面所在處之水面所受之壓力,即圖 47 中  $AC$  深度之壓力.故深 34 呎,則為二氣壓.潛水鐘用以建築橋樑基礎,及掘鑿水底等工.所謂沉櫃(Caisson)者,即固定之巨大潛水鐘也,多用以建築橋基,匠由分房而入,門皆密閉.其鼓入空氣之法,約如圖 48.

### 59. 潛水衣

近世之海底工事，除極笨重者而外，大都用潛水衣(Diving suit)(如圖49)以代潛水鐘之用。衣以膠皮製成，上冠以金屬之帽，有時衣上附有一管，與水面上之空氣相通，由上面將空氣通自此管壓入，以備呼吸，然後再由衣上之V瓣逸出水中。然通常之潛水衣，則與水面上完全不相接連，於背上負一桶，內貯40氣壓之空氣。空氣可自此桶中，徐徐逸入潛水衣內，然後經V瓣逸出水中；其緩急程度，一任潛水者之意，可以隨時增減。如其欲上昇時，僅須令多量之空氣，充滿其衣內，身即上浮。

不論用何種潛水器具，潛水者必受其所處之深度之壓力。故潛水者罕有在水面下60呎以上者，安全深度之極限，通常為80呎。美國潛水艇F-4號於1915年沉沒於檀香山時，克力雷(Chief Gunner's Mate Frank Crilley)曾潛水至304呎以往研究之。

潛水者於昇降時，皆覺耳內及眼上苦痛，然於靜止時則不覺之。蓋因空氣滲入體內，須有相當之時間，始能使身體內外所受之壓力達於平衡故也。



圖 49. 潛水衣

### 60. 氣量計

由煤氣廠流來之煤氣，經過圖50之P管與o及o<sub>1</sub>兩孔，而入於氣量計(Gas meter)內之B及B<sub>1</sub>兩室。氣體之壓力即在此處作用於d、d<sub>1</sub>壁上。A及A<sub>1</sub>內原貯之氣體，為此壓力所迫，即由o'及o'<sub>1</sub>之兩孔逸出，通過P<sub>1</sub>管以入於煤氣燈或煤氣爐。d壁受壓力作用，漸次向右移動，直至不能更移為止。此時d之運動，由槓桿

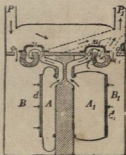


圖 50. 氣量計

裝置傳於滑瓣  $u$ ，使其滑往左端，將  $o'$  孔閉住， $B$  室與  $P$  管之交通因而斷絕。同時  $o$  孔因之而開， $P$  管內之煤氣經過  $o$  孔流入  $A$  之室內。迴轉四分之一之後， $u_1$  滑往右端， $A_1$  與  $P$  室交通， $B_1$  與  $P_1$  室交通。如裝置時能使  $u$  與  $u_1$  共同動作，則  $P_1$  管內之氣壓，僅有些微之變動。 $B$  及  $B_1$  之左右移動，用時計之裝置以記錄之。盤上所現之數字，表經過氣量計之氣體之立方呎數。

### 問題

1. 有一貯水池深 8 呎，距地面有相當之高，除其頂面而外，周圍皆密閉。今欲將池內之水全體取去，其唯一之法，只有用一屈撓之管取之。(a) 用此管時當以何法為最便？并須如何始能令其開始動作？(b) 如欲令池內之水完全流出，管之長當為若干？
2. 燈用石油之比重為 0.8，在常壓之下，應用虹吸，可以達若干呎之高？
3. 用玻璃瓶一個，內盛水至  $\frac{1}{3}$ 。瓶口加栓，栓內插入兩管，一曲一直。然後將瓶倒置，將直管之下端插入一盛水之杯內，如圖 51，此器為一變形之虹吸。如其管頗長，則瓶內之噴水必繼續至杯內水盡而後止。試說明之。
4. 試畫一抽上時之吸上唧筒之圖。吸管內水何以能被吸上？將活塞壓下時，又有何現象？
5. 試畫一活塞正當壓下時之壓上吸筒，并有氣室者。將活塞提上時，當有何現象？
6. 如抽氣唧筒之受器與筒同大，活塞一往復時，可將空氣抽去幾分之幾？往復三次後，尚餘幾分之幾？往復五次後又如何？
- ✓7. 如抽氣唧筒之筒，僅為容器之三分之一之大小，活

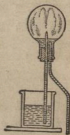


圖 51.

每次餘  $\frac{2}{3}$

塞往復五次後，所餘之空氣等於原有之幾分之幾？外面之氣壓若為 76 厘時，此時容器內之氣壓計之水銀柱長當為若干？

8. 即令機械之製作完全無缺，理論上能否用唧筒將容器內之空氣，盡行抽去？

9. 用大氣壓力之關係，說明氣球何以能上升之理。

√10. 在浮沉子之實驗中，可以發見若干種關於液體及氣體之定律？

11. 現時有許多大棧，常用空氣輸送管(Pneumatic dispatch tube)以傳送小包。管之一端為一抽氣唧筒，他端

為一壓氣唧筒。管中有一與管密接之車，沿管內滑動。假定此車之橫斷面積為 50 平方厘米，設將車之一端之空氣，抽去一半，車之他端之空氣密度，壓至原有之二倍，求推進此車之力。

12. 氣球所能昇到之高度，如何決定？須在何種情形之下，氣球始可下降？試用阿基米得之原理以說明之。

√13. 潛水鐘(見圖 47)沉至一處，其鐘內之水面，在外面之水表面之 1033 厘米之下，問此時鐘內之空氣容積，為其原有之容積之幾分之幾？(每平方厘米上受 1033 克之壓力 = 1 氣壓。)

14. 潛水衣背面所備之桶，如其容積為 2 立方呎，內容之空氣為 40 氣壓，如在水面下 34 呎之深處，將桶內之空氣放出，可以膨脹至若干之容積？

√15. 設有一潛水艇，其橫水池在尚未盛水時重 1800 噸，而其全體積之十分之一浮在水面之上，須注若干容積之水於其池內，始能使其恰可沉下？

管平均時壓力  
= 14.7 磅  
P = 34 x 12 x 62.4 / 123  
= 4.7 lb

p = 1033.6 cm  
p = 76 x 1.36  
1033.6 x 1.5 x 50 x 2 x 1033.6 - 50 x 2 x 1033.6

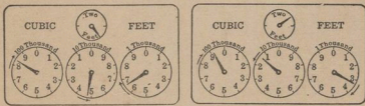


圖 52. 氣量計之盤面



16. (a) 圖 52 左端之氣量計之指針, 表示 84600 立方呎之氣體, 右端所表示者為使用一個月後之數, 如每 1000 立方呎之價為 8 角, 問此月用去若干元之燃氣? (b) 試作一圖面示 649200 立方呎。



## 第四章 分子運動

## 氣體運動說

## 61. 物質之分子組織。

兩種氣體可以並入一器之中，糖質可以溶於水內，如斯兩物質明明同時共占一空間，為自然界中最簡單之現象。欲說明此類現象，近世皆假定一切物質，莫不由極細之微粒組成，名之曰分子 (Molecule)。分子之間，有空隙存在，故一種氣體入於已充滿他種氣體之器內時，其分子即散布於他種氣體分子之間。用極精之顯微鏡，亦不能窺見分子，則其細微可知。空氣一立方厘米內所含之分子數為  $27 \times 10^{18}$ 。須用一千分子並列排成一條，始能於最精之顯微鏡中察見之。

## 62. 氣體內分子運動之證據。

由數種極簡單之觀察，可以得一結論，即氣體雖在靜室中亦運動不已，且極迅速。如攜少量綠氣 (Chlorine) 或鹵精 (Ammonia) 等有極強之刺戟性之氣體入於室內，不久全室之內任何部分皆可察覺之。是氣體之分子，已遍布全室，刺戟感官之明證也。再由化學實驗，用兩球形容器，一貯輕氣 (Hydrogen)，一貯二氧化碳 (Carbon dioxide)，

連接如圖 53。如將其間之活栓放開，俟數時之後，加以化學分析，即知兩器之內，俱含有此兩種氣體，且混合之分量，彼此亦為同一之比例。此實驗之結果，驟聞之下，頗覺令人發生驚奇之感，因二氧化碳之重，為輕氣之 22 倍故也。如是顯然違背重力定律之氣體混合現象，名曰擴散 (Diffusion)。

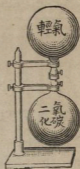


圖 53. 氣體之擴散

由氣味之傳達，氣體之擴散等簡單事實，可以證明氣體分子並非靜止，其運動且繼續不已。

### 63. 分子運動及氣體之無限膨脹性。

氣體所具之各種性質之中，當以無限膨脹性最為注目，此種性質之存在，可由用抽氣唧筒得高度真空之一事證之。筒內之空氣無論已抽去若干，其殘餘之部分，立即脹膨充滿全器。此種現象，唯有分子運動足以說明之。抽氣唧筒活塞之上昇，無論如何迅速，氣體恆立即隨之，由此可知氣體分子所具之速度，其值必甚大。

### 64. 分子運動及氣體壓力。

氣體對容器之壁，何以有此大壓力乎？尋常室中空

氣對於牆壁之壓力，每平方吋約爲15磅；汽車輪胎每平方吋壓力至100磅；汽鍋之汽壓力，每方吋至240磅。雖受此巨大之壓力，然氣體分子間之距離，較各分子之直徑猶大。何則？因凝汽爲水，則體積縮爲原有體積之 $1/1600$ ；空氣液化，則縮爲原有體積之 $1/800$ 故也。

欲說明上述之事項，只須一顧分子運動，其理即得。如有水管之水射於牆壁，牆壁即連續受力之作用。無數之分子對容器繼續衝撞時，其狀況與水射牆壁相同，故壁亦當受外推之壓力。以此即可說明內容氣體之器，不爲外力所壓潰之理。例如直徑6.5吋之肥皂液泡在常壓之下，約受1噸之壓力而不潰裂。

#### 65. 波義耳定律之說明

由前章已明在溫度不變時，氣體之密度加倍，壓力亦加倍；密度三倍，壓力亦爲三倍，此即波義耳定律之說明也。由分子運動觀之，此固預期之事實。氣體所施於某面之壓力，既爲無數分子捷速運動所施之撞擊，則同一空間，分子之數加倍，即密度加倍，分子每一秒鐘撞擊之數亦必加倍，即壓力亦加倍也。故用此處之氣體分子運動說，解釋波義耳定律，極爲簡明。

#### 66. 柏藍運動及分子運動

輓近得一驚人之直接方法以證明氣體分子之運動。如有一極細之油點，浮游於完全靜止之空氣中，必跳動不已，一若有生命者然，決不靜止。此種運動，名曰柏藍運動 (Brownian movement)，至 1913 年始證明此種運動之原因，由於油點受其周圍飛來之氣體分子之撞擊而成。同時各方向撞擊之力不等，故油點忽左忽右，跳躍不已。吾人見油點之動作，即可知氣體分子自身亦如是動作；特分子所具者更速而猛耳。

### 67. 分子之速度

既知標準狀態下一立方呎空氣之重，與其對於每方呎之器壁所施之壓力（即 1033 克），則可求得其分子必具有若何之速度，始能與器壁衝突生此壓力。計算結果，空氣之分子速度 (Molecular velocity) 每秒為 445 呎；氫為 1700 呎（即 1 哩），尋常礮彈每秒之速度罕過 800 呎（2500 呎）者。氣體分子運動既如此之速，故抽氣唧筒中活塞上昇時，空氣立充其器。又無論何種氣體，一入容器之內，立即瀰漫器中各部，亦即此理。各種氣體無時不充滿容器也。

### 68. 氣體透過孔壁之擴散

下列實驗為上述各見解最有力之證明：

取未上釉之生瓷杯一個，塞以橡皮，中貫玻璃管，如圖 54，將

玻璃管之下端插入一杯有色之水中，另用一貯滿輕氣之玻璃罩覆於生瓷杯外；或祇將通常之玻璃罩，置於如圖所示位置亦可，另由下端用橡皮管送入煤氣；則見色水中氣泡不息，可知生瓷杯內之氣壓，增大甚速，然後撤去玻璃鐘，使其外面無氣，水即上升入管，可知杯內之壓力減少亦速。

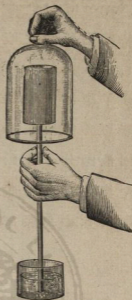


圖 54. 氫透過孔壁之擴散

其故可說明如次：氫分子之速度四倍於空氣分子，使杯外每立方厘米氫分子之數與杯內每立方厘米空氣分子之數相等，則空氣分子撞擊於壁內一次，氫分子必撞擊於壁外四次，故於一定時間內，氫分子由孔隙透入杯內之數，較空氣分子由孔隙透出杯外之數，必多四倍，故杯內之壓力增大，當撤去玻璃鐘時，杯內之氫復透過孔隙外出，其速度較由杯外透入之空氣為速，故杯內之壓力減少。

## 液體分子之運動

### 69. 液體分子之運動及蒸發

液體之分子亦如氣體分子之運動不已，於習常蒸

發 (Evaporation) 之事實，即可得一明證。

器內所貯之液體，若不加蓋，其分子恆散失於空間。時間一到，器即全乾，不復更有液體存於其中矣。若非液體分子連續運動，則器內液體之分子何由散失於空間，即無以說明。假使分子有此運動，則蒸發即成當然之結果；因液體分子運動在擁擠衝突之際，偶有運動速度大過平均速度者，即脫離鄰近分子之引力，而飛入空間。吾人深信表面蒸發現象，實由此機構而成。

### 70. 分子運動及液體之擴散

氣體分子運行之確據為擴散現象，擴散現象液體亦有之。

取藍石蕊少許，碎而溶之於水，注入長瓶，而加以少許之酒精水。取所餘之液加硝酸 1-2 cc.，使轉為紅色。然後用漏斗管將此酸性液注入長瓶之底（如圖 55）。數分間紅藍之界甚顯。數小時後，雖瓶靜止不動，而紅色則已在上，可知酸之分子已上升。



圖 55. 液體之擴散

以此，液體分子亦必有獨立之運動能力。氣體分子運動說實皆可應用於液體，即柏藍運動亦可自液體觀得之；特因其過小，非高度顯微

鏡不足以現之耳。

## 固體之分子運動

### 71. 分子運動及固體之擴散

以鉛片置於金片之上，經若干時後，金即透入於鉛內，此輒近所證實者也。固體之擴散，於常溫之下，唯此二金屬有之。然在高溫（例如  $500^{\circ}\text{C}$ ）之下，則所有一切金屬皆具此特性且其擴散程度，亦頗可觀。

然則固體中有分子運動之明證，亦不亞於液體中矣。

### 72. 物質三態

一切物質之分子運動，皆甚迅速，已於前述之矣，然在三態之分子，其所有之運動，仍各有不同。在固體者，其分子以極大之速度往返於定點附近，常為其隣居分子之引力所曳，即為凝聚力所持；故自同一物體之他分子觀之，殆在體中同一位置。間有例外，如金屬之擴散，則分子已越出此制限以外矣。在液體者，其分子雖亦緊接而立，有如固體，然可在互相之間滑移無阻，故無一定之位置。此說可以液體隨器成形證之。在氣體者，分子相距較遠，由 1 立方呎水轉為汽須 1660 立方呎之空間之事，即



足證之。又因氣體之無限膨脹，可知其分子間直無凝聚之力。

### 問題 9

1. 有小罅隙之器具，以貯 2 氣壓之氫，其低至 1 氣壓所需時間，較之用空氣實驗時約速四倍，其理由為何？
2. ✓ 以每平方吋上 80 磅之壓力，壓入空氣於汽車之膠皮胎，胎內空氣之密度為何？(1 氣壓 = 14.7 磅/平方吋)。
3. 1 呎之空氣之壓力為 76 釐，今如壓縮之，使其體積成為 400 立方釐，其時器壁之壓力為何？
4. ✓ 於氣壓 250 耗時，某開口之器所貯空氣為 250 克。今氣壓為 740 耗，在同一溫度內，此器所容之空氣，其重若干？
5. ✓ 潛水者潛至 304 呎時，其所受之壓力為何？更試求其衣內空氣之密度。(假設表面空氣之密度為 .00128 克/立方呎，而溫度不變；並假定表面之壓力為 30 吋。)
6. 自上述潛水衣內逸出之空氣，其氣泡達表面時，體積增大幾倍？
7. 鹽重於水，何以混鹽於水，鹽不盡沉於水底？

304 呎 = 水柱之高

$$\frac{30 \times 136}{12}$$

## 第五章 力及運動

$F$  力  $g$  lb, dyne  
 $S$ , 距離  $cm$ ,  $ft$   
 $a$ ,  $cm/sec^2$   $ft/sec^2$

### 力之定義及計量

#### 73. 一克之質量與一克之重量之不同

伸手托 1 克之質量，即覺受有一種曳手向下之力。如此物為 50,000 克而不為一克，則此曳手之力已大至使手不復能支持之矣。此力之來源，吾人假設之為地球對於手中物體所施之引力。故下一克之力之定義曰：地球對於地表一克質量所作用之引力曰一克之力。

然習俗不察，併力與質量之觀念為一，同用此“克”之一字，以表兩義；既以表物質之某定量，復以表地球對此定量物質之引力。實則兩者之義，截然不同。物體內含有之物質之某定量，不論在宇宙之任何位置，其值恆一定不變，然地球對此定量之引力，則視其與地表之距離如何，而有不同；距地表愈遠者，其引力亦愈小。故吾人果用單獨之“克”以示質量，而用“克之力”(Gram of force)以示地球對一克質量之物質之引力，即可免去混淆之弊。

#### 74. 力之計量法

欲精密比較地球對於種類不同之物質之引力，吾人常得一種不確觀念，如前章所述，欲得精密之結果，唯

有用螺旋彈簧之伸縮之長短以比較之之一法，例如一克質量所受之地球引力，足以曳某彈簧至定距離  $ab$  (如圖 56)；2 克質量所受地球之引力，足以牽同一彈簧至更遠之距離  $ac$ ；3 克則更增為  $ad$ ；以下準此類推，故欲定一彈簧秤(圖 57)之刻度，使其計量各種引力，而不問其引力

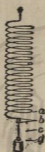


圖 56. 力之計量法

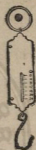


圖 57. 彈簧秤

之由來時，可於指針之後面置一平面板，於其上刻若干直線，使與地球對於各種質量所作用之引力相應如某人用力伸此彈簧，致指針適與二克質量所受地球引力所示之處相一致即知其人已施二克之力，如其伸長後指針所示之度，適與三克質量受地球引力時指針所示之處相一致，即知其人已施三克之力，餘類推，故彈簧秤，實為一測力之器。

### 75. 克之力數因地而異

用彈簧秤，最易由實驗證明上述之事項，即距地面

愈高，引力愈減；登高山而實驗，則由一定質量所示之伸長，小於地面，不獨此也，又如攜彈簧秤至同一海平面之各方試驗，亦見其伸長之度不一，因地而異，例如美之芝加哥較歐之巴黎少千分之一，而赤道較兩極少千分之五。推原其理，一因地球旋轉，一因地球非真球體，而為橢圓形體；由赤道至兩極，實乃漸近地心故也。由此觀之，質量一克之重，並非力之絕對不變之單位可知，嚴格言之，則力之一克為在緯度45度之海平面上之質量一克之重。

## 力之成分及其分解

### 76. 力之圖解

力之全義含大小 (Magnitude)，方向 (Direction)，作用點 (Point of application) 三者，一方面因長，方向，起點為直線之三種特性，故用直線可以表力。譬如欲表 8 磅之力，向東作用於 A 點，則由 A 向右繪一直線，含 8 單位之長（如圖 58）。如是，此直線之長，即表力之大小；線之方向，即表力之方向；線之起點，即表力作用之點。



圖 58. 單力之圖表

### 77. 在同一線上作用之二力之合力

二力之合力(Resultant)云者,即二力同時作用於某物體上所生之結果,與此單獨之合力作用於此物體上所生之結果相同。

取二彈簧秤懸於一小環之上,向同方向曳之,假設其一所示為10克,一為5克,另以第三彈簧秤懸於同一之點,而自其反向曳之,當全體平衡時,此第三者之上所示當正為15克,故二平行力之合力,作用於同一方向者,等於二平行力之和。

準此,方向相反之二力,作用於同一點時,其合力等於二力之差,以大力之方向為方向。

### 78. 平衡力

前述實驗,第三彈簧秤所示之15克,並非5克與10克之合力,乃與其合力方向相反大小相等之力,此力稱曰平衡力(Equilibrant),平衡力者,制止一力或數力作用所生之運動之傾向之單力也,此力與合力方向相反,大小相等,且同作用於一點。

### 79. 非平行力之合力(共作力)

有物體於A點用10磅力引之向東, (如圖59以AC線表之); 又有10磅力同時引之向北(以AB線表之), 則物體之運動, 恰如AC與AB間之某單力作用所生之效果。

設物體同時受相等之二力作用,自對稱察之,物必循  $AC$



圖 59. 互成直角之二力之合力方向

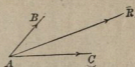


圖 60. 合力近於較大力

與  $AB$  間之中線,即  $AR$  線而行,此線即表  $AC$  與  $AB$  合力之方向及其作用點。

若二力不相等,如圖 60,則合力必偏近大力,下之實驗,可示二力及其合力之關係:

試取二彈簧秤,懸於黑板頂端  $B, C$  二釘之上,用一線連結秤之二鈎,繫  $W$  於其中間,支持  $W$  之力,並非  $E$  或  $F$  之自身,而為其合力,此合力適等於  $W$ , 而其方向則相反,今就黑板於兩線後作  $OA, OD$  兩直線(圖 61), 於此兩線上分出  $Oa, Ob$ , 令其內所含之長之單位數,適等於  $E, F$  兩秤上所示之力之單位數,自  $O$  垂直引  $OR$ , 使其長恰足表支持重量所需之力,如是之  $OR$ , 即  $E, F$  之合力,以  $Oa, Ob$  為兩邊,作一平行四邊形,則已作之  $OR$  必適為其對角線。

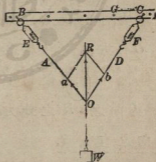


圖 61. 平行四邊形定律之實驗的證明

由是可知由圖解求兩共作力 (Concurrent forces) 之合力,不外下列三層: (1) 作線以表此兩共作力, (2) 以此為

兩邊,作平行四邊形,(3)自其作用點作對角線,此對角線即表示力之作用點,方向及合力之大小。

### 80. 分力

力作用於物,而物體不能在力之作用方向自由運動時,則力之全效不僅耗於所生之運動。今假設水平道上有車,以  $OR$  (圖 62) 方向之力作用之。 $OR$  對於此車,有二種作用:一則推車前行,一則壓車抵軌。此二效果,可以單獨之二力,一依  $OA$  方向,一依  $OB$  方向作用而成。依  $OA$  方向所施之單力,可使軌上之車發生運動,恰如  $OR$  所生者,謂為在  $OA$  方向之  $OR$  之分力 (Component)。同理,依  $OB$  方向所施之單力,可使軌上受壓力,適同  $OR$  所生者,謂為在  $OB$  方向之  $OR$  之分力。約言之,某方向之分力,即力在此方向之有效值。

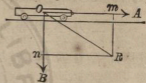


圖 62. 分力

### 81. 某方向分力之大小

由前述分力之義,一力依  $OA$  方向,一力依  $OB$  方向,作用於火車所生之效果,既適等於  $OR$  之作用,則可以  $OR$  為對角線作一平行四邊形;二力之大小,即以各邊表

之。蓋由 79 節，假若一力作用於物體所生效果，恰與二力同時作用者相同，則此單力當以二力為邊作成平行四邊形之對角線表之。逆而求之，假若二力共同作用之效果，適等於一力之效果，則此二力亦當以此一單力為對角線而成之平行四邊形之各邊表之。故得一定則如下：  
欲求在某方向之力之分力，先作一直線表此力，然後即以此線為對角線作一矩形，使各邊與所求分力之方向，或為平行，或為垂直。平行方向之線長，即所求分力之大小。故圖 62 之  $Om$  線表在  $OA$  方向之  $OR$  之分力； $On$  線表在  $OB$  方向之  $OR$  之分力。

有一童子以 10 磅之力於  $OR$  (圖 63) 之方向曳一撬。則使撬向前進行之力，當以  $Om$  表之，其值不為 10 磅而為 9.3 磅。他一分力舉撬向上者，則以  $On$  表之。

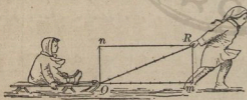


圖 63. 曳撬之水平分力

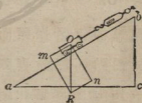


圖 64. 斜面上重力之平行分力

今欲試驗前節所述，可如圖 64，以車置於斜面。斜面之高  $bc$  等於其長  $ab$  之半，此時作用於車之力，為車之重，方向則向下。今以  $OR$  線表此力，按照前節之法，作平行四邊形，則  $Om$  為使車下向之力；而  $On$  為作用於斜面之壓力。三角形  $ROm$  與三角



形  $abc$  爲相似形(因  $\angle mOR = \angle abc$ ,  $\angle RmO = \angle acb$ , 而  $\angle ORm = \angle bac$ ), 故

$$\frac{Om}{OR} = \frac{bc}{ab};$$

$bc$  既爲  $ab$  之半, 則  $Om$  亦爲  $OR$  之半, 即阻此車滑下之力, 爲車重之半, 欲求實驗證明, 可以彈簧秤測定車重, 置之於圖上之位置, 即可見彈簧秤所示, 適爲車重之半。

求制止物體於斜面之力, 可由  $\frac{Om}{OR} = \frac{bc}{ab}$  方程式得一定則, 即斜面上舉物所需之力與物體重量之比, 爲斜面之高與其長之比。

## 82. 使擺運動之重力之有效分力

設移一擺 (Pendulum) 離其靜止位置(如圖 65), 則擺球所受之力即爲球重, 而力之方向爲垂直, 試以  $OR$  線表之, 此力在球運動於自由方向之分力爲  $On$ , 其與此方向成直角之分力爲  $Om$ . 然第二分力  $Om$  之作用, 不過曳繩使緊張, 因而施壓力於懸點而已, 故實際上惟第一分力  $On$  使球運動, 細察此圖, 可知球愈移開, 則此分力亦愈增大, 當球恰在懸點之直下, 則此生運動之分力爲零, 故球必適在懸點之直下, 其擺方可永成靜止。

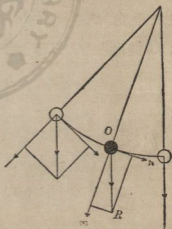


圖 65. 擺變位後之所受之力

## 問題 10

1. 某汽船速度為每時 12 哩，航行於水流每時 3 哩之河中，其順流而下與逆流而上時，每時能行若干哩？
2. 汽船向南行每時 15 哩，風吹之向東每時 12 哩，此船之實際進行如何？且以圖示其路徑。
3. 小船避風下錨於河中，風以 3000 磅之力吹之向東，潮以 4000 磅之力使之向北，此二者之平衡力，即曳船之力，之大小及其方向為何？
4. 畫一輻重 20 磅，以繩懸之，繩之兩脚成  $120^\circ$  之角度，此繩之兩部分上之張力為何？
5. 桶重 200 磅（如圖 66）。如有人在與搭板平行之方向

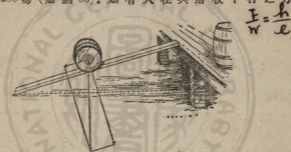


圖 66. 阻止桶由斜面轉落所需之力

- 加力，使桶靜止不動，設板長 9 呎，月台高 3 呎，須力幾何？
6. 有冰塊重 200 磅，置於長 12 呎高 3 呎之斜面上，依力之分解法及比例法求使冰滑下之分力，欲此冰不滑下，須力幾何？壓此斜面之分力為何？
  7. 繩長 20 呎，支其兩端，身重 120 磅之人立其中央，繩因下降 1 呎，試以圖示此繩之張力？
  8. 氣球之繫繩與地面成  $60^\circ$  角，假設氣球之上昇力為 1000 磅，試求繩之張力及風力？
  9. 汽船曳運河小船平行航行，二船間距 50 呎，設繩長為 130 呎，繩端之力為 1300 磅，求此力之在與船平行方向之分力。

10. 圖 67 中之  $on$  表風箏所受之重力,  $om$  表童子曳線端之力, 則  $oR$  所表之力, 有何名稱?

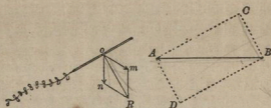


圖 67. 作用於風箏之力

11. 如圖 67, 設  $AB$  爲風之方向, 其作用點爲  $o$  點, 問風箏受圖中各力作用而成平衡時,  $oR$  及  $AB$  在  $oR$  方向之分力之間, 有何關係?
12. 風力增則風箏愈高, 其故何在?
13. 圖 68 之飛機, 以何力支之?(此時只有風壓  $AB$  之分

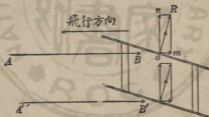


圖 68. 飛行中作用於飛機之力

力  $oR$  垂直於機翼, 由此即可推出支飛機之力。)(見卷首及 173 頁, 349 頁, 350 頁對面插圖。)

## 重 力

### 83. 牛頓之萬有引力定律

欲說明地球所以能引物體向其中心, 同時又欲說

明月及其他行星各在其軌道上環繞於地球或太陽周圍之現象，牛頓(參觀第92頁對面插圖)乃首創萬有引力定律(Law of universal gravitation)，其律曰：宇宙間物體皆互相吸引，引力與兩物體之距離之自乘爲反比。易言之，兩物體間之距離增二倍，則引力減爲四分之一；距離增三，四，五倍，則引力減至九，十六，二十五分之一；餘類推。

其律又曰：設二物體距離不變，則其相引之力與其質量之相乘積爲正比。例如地球對於3立方呎之水之引力，須三倍於1立方呎之水之引力，即爲3克之力。更就天文學上之事實言，設地之質量爲現今之2倍，而直徑不變，則其對於3立方呎之水之引力，將爲現今之2倍，即爲6克之力(一物體之質量乘以3，其他一質量乘以2，即與以 $3 \times 2$ ，或6，乘其引力相同)。略言之，牛頓之萬有引力定律可曰：宇宙間各物體皆互相吸引，其引力與質量之相乘積爲正比，與質量間之距離之自乘爲反比。

相距1呎之兩質量各爲1克時，互相吸引之力爲 $1/15,000,000,000$ 克。地球與太陽之質量之值甚巨，雖相距93,000,000哩，仍有4,000,000,000,000,000噸之力。地球上重100磅之物，在太陽上則重2700磅。地球上之自由落下之物體，其第一秒落下16呎，在太陽上則爲其27倍，即432呎。月球上之重，不過爲地球上之 $\frac{1}{6}$ ，故跳高較在地

球上可高六倍，而落下時之速度，亦只為地球上之 $1/6$ 。

#### 84. 因與地球表面之距離不同而生之重力之變化

設有一球形之物體，密度均一，其對於外界物體之引力，恰與其全體質量匯集於中心時相同。地球由表面至中心約為4000哩，由牛頓之定律，知若有物體離地面4000哩之高，則該物體之重量，祇為在地面時之四分之一。

由此推之，物體離地如為數呎，或達數哩，其所減之重，為數實甚有限，蓋以數呎數哩與4000哩相較，實至微細故也。徵諸事實，在海平面上重1000克之質量，攜至4哩高之山上衡之，僅減為998克。

#### 85. 重心

據萬有引力定律，可知地面物體之各微粒，莫不受地球之引力作用。而各微粒所受之各小引力之和，必等於地球對於此全體之總引力，即物體之重明甚。且可於物體之內，求得一定點，在此點以與重力相等而鉛直向上方之單一力作用之，則不論物體位置如何，均能穩定。此點即物體之重心(Center of gravity)。此力既足以支持物體全重，則必與物體內各一粒所受各重力之合力相

等，而方向與之相反，故可曰物體之重心，即各部分引力之合力之作用點，亦即假想物體全重所匯集之點，故論物體所受之地球引力時，不必計其多數之小引力，可以視為一單力  $F$  (如圖 69)，等於物體之重，而作用於其重心  $G$ 。由是可知凡物體因受地球引力之影響，皆有使其重心務降至極低之位置之傾向。



圖 69. 不規則物體之重心

### 86. 用實驗求重心之法

由上定義，可知求扁平體(如圖 70)之重心之直接方法，在求其體之平衡點。

試以形狀不規則之鉸片，平頂於鉛筆尖或釘尖上，而於此片之平衡支點，鑿一小孔，以針穿之。穿後，橫執其針，將見鉸片無論轉至任何位置，皆可靜止。

更有他法以求薄片體之重心，即鑿一小孔於片邊，以針穿而支之如  $b$  (圖 70)，針端繫一錘於片面上，繪  $bn$  線，經  $b$ ，與錘線平行，且適在其後，照前法支鉸片於  $a$  點，更作  $am$  線。

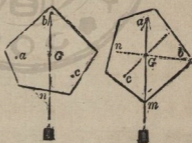


圖 70. 重心之位置

因地球之引力可視為作用於重心之單一力，故懸

垂之物體(如鋒片)只限於重心適在支點下時,方得靜止(見85節),故此重心當為  $am$  線中之一點,同理,亦必為  $bn$  線中之一點,但兩線之共通者,只其交點  $G$ ,故由兩支點所得兩垂直線之交點,即可定物體之重心。

### 87. 穩平衡

將一物體之位置略為轉動之後,即有仍返其原位置之傾向之狀態為穩平衡(Stable equilibrium),若擺,若椅,若以其側面靜止之立方體,若以其底面立於棹上之圓錐體,若浮於靜水上之船,皆穩平衡之例。

總之,物體之重心因轉動而升高其位置者,皆為穩平衡,如圖 71,  $A, B, C, D$  諸物體,即皆為穩平衡,欲推倒其

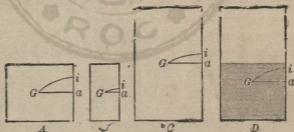


圖 71. 各種穩度

中之任何一物體,其重心  $G$  皆必因之升高  $ai$ . 設各物體俱為等重,則  $ai$  愈大者,其平衡亦愈穩。

大臂橋(Cantilever bridge)之建築,即本於此理,如在

魁北克(Quebec)之聖羅梭斯河(St. Lawrence River)上之橋



圖 72. 魁北克橋

(圖 72), 其兩臂兩方皆等長, 或會於中央, 或以承中央橋拱, 使其重心恆在橋柱。

立於平面之物體成穩平衡之條件如下, 即由其重心所引之垂綫, 須落在基底(Base)之內。基底云者, 將物體與平面接觸之各點連結而成之多邊形也。如圖 73 之  $ABC$  即基底, 若由其平衡位置稍為轉動, 重心必沿  $OG$  半徑所成之弧昇高, 故為穩平衡。設通過重心之垂綫, 落於基底外, 如圖 74 所示, 其體必倒傾。

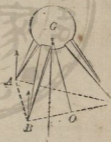


圖 73. 穩平衡物體

物體支於一點而平衡如擺錘者, 其穩平衡之條件, 須其支點在重心之上而後可。例如天平之桿, 設其重心  $g$  不在  $o$  之下, (見圖 3), 則桿不能恢復其水平位置, 以成平衡。(至於天平盤, 則因其並非固着於桿上者, 故毋庸論。)

### 88. 中立平衡及不穩平衡

中立平衡 (Neutral equilibrium) 者, 即物體稍被轉動



之後，既不傾向其原有之位置，亦不再進；即隨處可安之狀態。如光滑面上之球，依邊而臥之圓錐體，循固定軸之周圍可以自由轉動之輪，以及其他支於重心之物體，皆中立平衡之例。要之物體為中立之平衡時，雖略加以轉動，既不能使其重心昇高，亦不能使其降低。

不穩平衡 (Unstable equilibrium) 者，即物體稍受移動，立即離其原位置之狀態也。如倒立之圓錐體，直立之卵，皆不穩平衡之例。稍稍轉動，其重心即降低，故繼續下向，直至可能之最低位置而後止。故不穩平衡之條件，係將物體支於一點，而其支點必在重心之下。

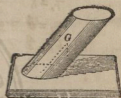


圖 74. 不穩平衡物體

### 問題

1. 圖 75 所示之玩具名不倒翁，何以不能橫臥，而必起立？其重心昇高否？
2. 裙籠 (Hoop) 之重心何在？方箱之重心何在？空箱與實箱何者安定乎？試言其故。
3. 天平橫臂之重心對於  $c$  刃之位置，必如何而後可？(圖 3, 第 8 頁。)其故何在？ $c$  與  $g$  相合時，可以權物否？其故何在？
4. 壓艙物 (Ballast) 之目的何在？
5. 磚之最穩位置為何？最不穩之位置為何？其故何在？



圖 75. 不倒翁

6. 擺靜止時爲何種之平衡?其故何在?  
 7. 風箏之尾,其用安在?  
 8. 在亞伯丁(Aberdeen)地方,執秤以購糖,可比在加爾各答(Calcutta)所得者多否?用彈簧秤時如何?試說明之。

9. 如身之質量增 4 倍,地球之質量增 3 倍,而半徑如舊,身重將如何?  
 $F = K \frac{m_1 m_2}{d^2}$   
 $F_1 = K \frac{12 m_1 m_2}{d_0^2} = F / F_1 = 1/12$
10. 地球引物體之力在地面上爲 100 克,試求同物體在 4000 哩以上時之引力,又 1000 哩以上時何如? 3 哩以上時何如?(地球半徑假設爲 4000 哩.)  
 $F_1 = K \frac{m_1 m_2}{d_1^2}$   
 $F_2 = K \frac{m_1 m_2}{d_2^2}$   
 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$   
 $\frac{100}{8} = \frac{d_2^2}{4000^2} \therefore F_1 = \frac{1}{4} F_2$   
 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{4000^2}{5000^2} \therefore F_1 = \frac{16}{25} F_2$   
 $F_1 = \frac{16}{25} \times 100$   
 $F_1 = 64$  克

### 89. 伽利略之試驗

吾人生活上對於落體(Falling body)雖多經驗,但設問,石塊與鉛片由同一高地同時落下,是否同時達地?抑有先後?此種關於重力數量之問題,多數人即不能確答。發此問而答此問者爲伽利略,時爲 1590 年,近世物理學即以此實驗爲其出發點。

尋常觀測,輕體如羽毛者,其落必緩;重體如鐵,其落必速,在伽利略時代以前,學校教授教人以“落下速度與體重爲正比。”伽利略因不滿足於書上知識,乃自起實驗,登 180 呎高之比薩歪塔(圖 76),當比薩大學教授與學生之前,自塔頂使各種大小及各種物質之球體落下以試之,達地乃同時;又明示物輕如紙,假其團束愈緊,則下

落之速度與重體之速度亦愈相仿；因此推想各種物體，不論輕重，如無空氣之抵抗力，其落下速度必皆相同。



圖 76. 比薩歪塔，伽利略曾在此塔上作數種落體之實驗

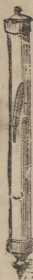
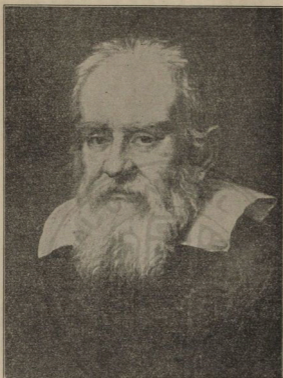


圖 77. 羽毛及銅元在真空中同時落下

輕體落下速度之所以遲緩者，空氣之抵抗實為其一大原因。以羽毛與銅元置於抽氣管內試之（圖 77），當管倒轉時，如管內氣體抽出愈多，則羽毛與銅元亦幾於同時落下。惟抽氣唧筒之出現乃在伽利略氏 60 年以後。

## 90. 伽利略結論之精確證明

伽利略氏之結論，尚可以別法證之。此法亦係伽利略自己所用。



伽利略

(Galileo 1564—1642)

意大利大物理學者，天文學者，數學者；實驗科學之鼻祖；比薩(Pisa)貴族之子；幼習醫，後棄而習數學及科學；任比薩及巴士亞(Padua)之數學教授；發見落體定律及擺之定律；力學之創造者；始製溫度計；最初用望遠鏡作天文上之觀測；發見木星之衛星及太陽上之黑斑。變世物理學以伽利略爲其始。



### 砲擊

此圖爲美國第三十五海岸砲兵隊之砲手，用法國340 厘米大砲或擊德軍時之景，時爲 1913 年 11 月 26 日，曾命中  
二軍團之本部，相距 30 杆

以鐵球及木球自斜面(圖 78)轉下,則見二球同下。(如在同一溝軌之內,則兩球當有同一直徑,不在溝內,則與大小無涉。)此實驗與前不同之處,在空氣之抵抗力影響甚小,因球之落下速度甚小故也。果欲再將各種由平面摩擦而起之影

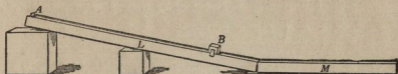


圖 78. 一秒,二秒,三秒等時間落下所得之速度及經過之路程

響減去,則當如伽利略所用之方法,以等長之線懸此球,線長以 2 呎爲至小限,乃使各球擺動作相等之弧,球所通過之位置漸漸向下,正如在斜面上時之狀況(圖 65),故此實驗,不過前此之斜面略加改良而已,由此即可見落下速度,即週期皆相等。

依伽利略及其後百年牛頓之試驗,可得一結論曰:  
一切物體在真空中自由落下時,其每秒間所得之速度,  
皆相等。

### 91. 落下時間與距離之關係

既明不受空氣之抵抗力時一切物體皆以等速落下,則可更進而求其時間與距離之關係。球之落下既速,直接計量有所不能。唯依伽利略所用之方法,觀察斜面上之球體轉下,以究物體之下落。

試取板長 17 呎或 18 呎,支如圖 78,令其一端約高於他端 1 呎。將木塊 B 置於距 A 球出發點正 16 呎之處。於節度計(Metronome),即報秒之時計之擊第一聲時,使球出發。球與木

塊相擊之聲，當與節度計之第五聲相合，果其未合，則變更斜面之傾斜度以正之，使其相合。（此糾正之法，教師當於學生前自爲之。）既正以後，再發此球，留意其在第一秒之末時適行 1 呎，第二秒之末時行 4 呎，第三秒之末時行 9 呎，正在第四秒之末時與 16 呎之  $B$  相撞，更精確之法，即更以  $B$  置於 9, 4, 1 呎處，測其撞擊是否與節度計之聲相符。

由此可得一結論：自由落下若干秒後，物體之行程等於其第一秒所經過之行程與秒數之平方之相乘積，故如命  $D$  爲第一秒所經之距離， $S$  爲總距離， $t$  爲秒數，則  $S = Dt^2$ 。

## 92. 落下時間與速度之關係。

前節既述各秒之行程，今更求各秒之速度。

如前圖 78 所示，斜面以下，再接一有溝之板  $M$ 。板必稍斜，以減其摩擦所生之力，使球能以均一速度進行。令球在斜面上距離等於  $D$  之處，即前試驗中第一秒間所經之距離開始運動。如此，則第二秒之始正至斜面之底。至此以後，當脫重力關係，以第一秒終之速度，沿下之板面進行。如木塊正置於距斜面底  $2D$  之處，則節度計之第三聲當正與球之撞擊相合，即正爲出發後二秒；故一秒間得速度  $2D$ 。如球出發之處爲距斜面底  $4D$  之處，則到斜面底須二秒，其再下一秒，當進  $4D$ ；即二秒間得速度  $4D$ 。在三秒時，則得速度  $6D$ ，餘可類推。

由此實驗可知：第一，每秒所增之速度相等；第二，所增之量，數目上爲第一秒所經距離之二倍。如此之運動，其速度以一定率按時遞加，曰等加速度運動 (Uniformly

accelerated motion).

等加速度運動每秒所增之速度, 曰加速度 (Acceleration). 加速度之值, 數目上等於第一秒所經距離之二倍.

### 93. 落下定律之公式

合前二節所述, 得表如次: (表中之  $D$  表等加速運動第一秒所經之距離.)

秒數 ( $t$ )	每秒終之速度 ( $v$ )	每秒間速度之增加 ( $a$ )	總距 ( $S$ )
1	$2D$	$2D$	$1D$
2	$4D$	$2D$	$4D$
3	$6D$	$2D$	$9D$
4	$8D$	$2D$	$16D$
...	.....	.....	.....
$t$	$2tD$	$2D$	$t^2D$

前第92節謂  $D$  等於加速度  $a$  之半, 今以  $\frac{1}{2}a$  代入表內末行之  $D$ , 即得

$$v = at, \quad (1)$$

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

此公式不過以代數式表試驗所得之事實耳, 其理由則如次:—



因等加速運動之加速度  $a$  爲每秒間增加之每秒若干糎之速度，故一物體自靜止出發時， $t$  秒終之速度應爲  $v=at$ ，此卽第一式也。

至於第二式，只須知經過之距離常等於平均速度與經過之時間之相乘積，卽可求得。自由落下之初速爲 0，終速爲  $at$ ，其平均速度爲  $(0+at) \div 2 = \frac{1}{2} at$ 。故

$$S = \frac{1}{2} at^2.$$

此卽第二式也。

以上爲等加速運動之基本公式，然便利上有時欲由總距離  $S$  直接求其終速  $v$ ，或自  $v$  以求  $S$ ，此時可將由(1)所得  $t$  之值，代入(2)，卽以  $v/a$  代  $t$ ，卽得

$$v = \sqrt{2aS}. \quad (3)$$

#### 94. 自由落下物體之加速度

設將前實驗所用之斜面增高，則見結果亦同；所異者，加速度之值稍大耳。如竟成直立，則此物體卽成自由落下之物體(圖79)。第一秒時之行程爲 490 糎，約 16.68 呎。故加速度若以糎表之，當爲

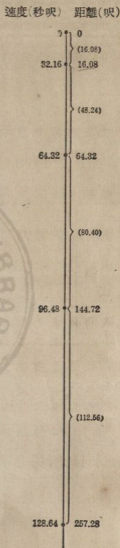


圖 79. 自由落體

980; 以呎表之, 當爲 32.16, 如此自由落下之加速度曰重力之加速度 (Acceleration of gravity), 恆以  $g$  代之。

對於自由落下物體, 前節之三公式當變爲

$$v = gt, \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{2}gt^2, \quad (5)$$

$$v = \sqrt{2gS}. \quad (6)$$

更示此公式之用法如次:—

設有物體自 200 呎或 20,000 呎之高度落下, 當以何速度達於地面? 由 (6) 式得

$$v = \sqrt{2 \times 980 \times 20,000} = 6261 \text{ 秒綱}$$

### 95. 物體上拋之高度

欲知垂直上拋之物所能達之高  $S$ , 當知拋上之時間等於以每秒之減少之速度除其初速, 即  $t = v/g$ ; 而其所能達之高爲此數與平均速度  $\frac{v+0}{2}$  之乘積; 即

$$S = \frac{v^2}{2g}, \quad \text{或} \quad v = \sqrt{2gS}. \quad (7)$$

因 (7) 與 (6) 式相同, 故知在真空中拋上物體達某高度所需之速度, 適等於自同一高度自由落下時所得之速度。

### 96. 拋射體之路徑

假設有一物體沿  $ab$  線之方向拋出 (如圖 89), 使無重力及空氣之抵抗等影響, 則此物體當沿  $ab$  線進行, 於各秒之末達於 1, 2, 3, …… 諸點。然因重力之故, 所投之物, 乃在其點之直下 16.08 呎, 64.32 呎, 144.72 呎之處, 當如點線所示之徑, 爲一拋物線 (Parabola)。加以空氣之抵抗, 所能達之高度及最遠之距

態，皆因之略減，故實際拋射體 (Projectile) 所經之路徑，當如圖中之曲線。

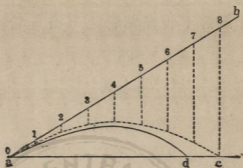


圖 80. 拋射體之路徑

### 97. 飛機

前述之穩度之原理以及關於力之分解等項關係，當以近世之飛機 (Airplane) 爲其明證。飛機者自空氣之

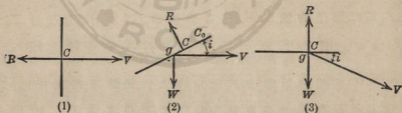


圖 91. 作用於滑走體上之力

抵抗與滑走體 (Glider) 之性質而得者也。設有  $A$  面積之平面，在靜止空氣中以垂直於面上之方向之速度  $V$  進行 (圖 91 (1))，則空氣之抵抗力  $R$ ，由實驗上得下列方程式

$$R = KA^2V^2, \quad (8)$$

$R$  爲抵抗力,其單位用尅,  $A$  爲面積,其單位用方呎,  $V$  爲速度,其單位爲秒呎,  $K$  爲常數,其值等於 0.08. 故一汽車每小時進行 40 哩(每秒 18 呎)時,空氣對於 0.5 平方呎之風遮所呈之抵抗力當爲  $0.08 \times 0.5 \times (18)^2 = 13$  尅.

假設其運動方向與面作一小角度  $i$  ( $0^\circ$  與  $10^\circ$  間)(圖 81(2)),則抵抗力  $R$  之實驗式如次:

$$R = kAV^2i, \quad (9)$$

$R, A, V$  所表皆如上所述,  $i$  爲角,其單位用度,  $k$  爲一常數,其值約等於 0.005.

$i$  角常曰入射角 (Angle of incidence); 入射角減小,則壓力中心 (Center of pressure)  $C$  即向前移. 入射角減至極限之小時,  $C$  即達其極限之位置  $C_0$  (圖 81(2)).

平面之物體如紙片等落下時,其作用之力有二;一爲垂直之重力  $W$ ,作用於紙之重心,一爲空氣之抵抗力  $R$ ,垂直於平面,作用於壓力中心  $C$ . 若此平面之進行無轉動及加速度,易言之,即爲滑走時,則此二力之方向必相反而作用於一點. 以此可知凡滑走之面,必爲水平,且以  $V$  速度作  $i$  角而進行(圖 81(3)),其方程式如次:

$$R = W = 0.005 V^2 A i. \quad (10)$$

因此平面必爲水平,又因可使重心與壓力中心合而爲一之入射角亦僅有一種,故知  $W$  任爲何值,  $i$  之值

皆必相等，而  $V$  則與  $W$  之平方根為正比(參照(10)式)。

上述之理論可以紙製之滑體示之。試以紙對中縱摺，更取其上半再對摺兩次，使成原闊  $1/4$ 。乃以膠粘之於下半。此時全紙之重心當在摺脊後新闊  $1/16$  處。以此摺脊向前發出，紙即滑走。紙厚則速亦大。如以較薄之一邊向前，則立即旋轉，自以較重一邊向前進行。製如圖 82，則橫向之穩度亦增。(參觀 350 頁對面插圖)。

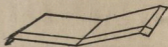


圖 82. 安穩滑片

飛行機之發動機停止時，機當按(10)式所表之定律飛遊達地。如其推進器以水平力  $Q$  向前牽，翼面與此力成  $i$  角，則  $W$  及  $R$  之平衡立破。但此兩者之合力等於  $Q$ ，而方向與之相反；故新平衡系由  $R$ ,  $W$ ,  $Q$  三力而成，如圖 83。此機以  $V$  之速度向水平方向前進。如  $i$  或  $Q$  增大，則機益上昇；如  $i$  或  $Q$  減小，機即下降。

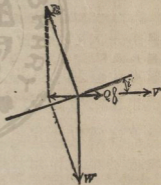


圖 83. 飛行中作用於飛機力

### 98. 擺之定律

擺之第一定律已於前第 90 節述之，即

(1) 往返於小弧上之等長之擺，其週期(Period)與擺

之物質及重量無關。

使第 90 節之兩擺中之一擺往返於 5 種之弧上,其他一擺則往返於 25 種之弧上,如此,即可得第二定律如下:—

(2) 擺在短弧上往返之週期,與振幅(Amplitude)無關。

試用兩擺使其長等於上述之擺之  $1/4$ ,  $1/9$ , 與上述之擺同時實驗之,即可見長者往返一次時,短者已往返 2, 3 次矣。於是更得第三律。

(3) 擺之週期與長之平方根爲正比。

$g$  之精確之數值,不能由直接方法以求之。然上述之擺之定律(Laws of pendulum),實一決定  $g$  最精確之方法。只須測定擺長,及兩度通過中點之時間,代入  $t = 2\pi \sqrt{l/g}$  式內,即可求得高度精確之  $g$  之數值。公式出來,非初等計算所能詳,然此式則當用以作 94 節中  $g$  值之訂正。

## 問 題

1. 如一物體自靜止出發,以 10 每秒每秒呎之等加速度進行, 5 秒之終,其速度爲何?又此 5 秒間其平均速度爲何?其進行之行程又爲何?
2. 一物體由靜止出發,以等加速度進行, 5 秒後得每秒 60 呎之速度,試求其加速度,第一秒之內所行之距離若干?第五秒內所行之距離若干?
3. 一物體以等加速運動進行,第一秒時共行 6 呎,試求第四秒之終,其速度爲若干?
4. 以每秒 80 呎之速度,橫擲一球,滑行冰面,因冰面之摩擦,每秒之間減去每秒 2 呎之速度,問球可轉至

$$t = 1 \text{ sec} \quad s = 6 \text{ ft}$$

$$v_4 = 2$$

$$s = \frac{1}{2} a t^2 \quad a = \frac{2s}{t^2} = \frac{2 \times 6}{1^2} = 12 \text{ ft/sec}^2 = 12 \text{ ft}^2/\text{sec}^2$$

$$v_4 = a t = 12 \times 4 = 48 \text{ ft/sec}$$

何處?可轉至何時?

5.  $v_0 = 0, v_t = 2400 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$   
 $s = 2 \text{ ft}$   
 (a)  $v = \frac{v_0 + v_t}{2}$   
 $\frac{0 + 2400}{2} = 1200 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$
5. 一彈自有 2 呎長之鎗筒之鎗射出, 得每秒 2400 呎速度。試求 (a) 彈在鎗筒內之平均速度, (b) 彈通過鎗筒之時間, (c) 彈在筒內之加速度。
6. 以每秒 160 呎之速度拋一球使垂直向上, 球在空氣中之時間幾何? ( $g = 32$  每秒每秒呎)
7.  $t = \frac{s}{v} = \frac{2}{1200} = \frac{1}{600} \text{ sec}$
8. 一球擲上, 在空氣中經時 6 秒始達地面, 球離手時之速度爲何? 能至何高?
9.  $v = \frac{2s}{t} = \frac{2 \times 2}{\frac{1}{600}} = 2400 \frac{\text{ft}}{\text{sec}}$
10. 一球自高 780 呎之樓落下, 達地須幾秒? 達地時速度爲何?
11. 由一飛機擲下之炸彈, 經 10 秒始達地, 機之高爲何?
12. 一彈自愛斐爾高塔 (Eiffel tower) 落下, 塔爲 335 呎, 其達地時速度爲何?
13. 一球滾於斜面上, 其加速度爲 20 每秒每秒呎。如板長 7 呎, 達板底時其速度爲何?
14. 如某人在地球上能躍上 3 呎, 而月球上之引力不過等於地球上之  $\frac{1}{6}$ , 問此人在月球上能躍高幾何?
15. 火車每小時行 60 哩, 加制動機後, 20 秒間車已停止, 問每秒之加速度爲若干每秒呎? 又加制動機後, 車共行若干距離?
16. 自由落下物體於前半秒所落之距離爲何?
17. 欲拋一物體使達 555 呎高, 須以何速度擲上? 由拋出以至復落於地, 共須時若干?
18. 圖 84 所示爲一時鐘之擺, 與鐘之擒縱輪 (Escapement),  $D$  爲擒縱輪, 因錘之重或彈簧

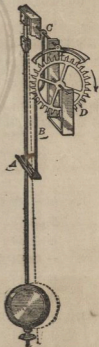


圖 84.

之力轉動如圖中之矢之方向，由輪上之齒傳來之輕微牽引力，使擺不停，試說明擺之長短何以能節制鐘之運速？

19.  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$
- 20.
17. 飛機於飛行時，以何力支之？何謂滑走？
18. 每秒振動一次之擺，在紐約為 99.3 吋或 39.1 吋長，然在赤道下之秒擺，則為 39 吋長，在兩極為 39.2 吋長。試說明之。
- ✓19. 週期為 3 秒，2 秒， $\frac{1}{2}$  秒， $\frac{1}{3}$  秒之擺，各長若干？
- ✓20. 某人自懸岩牽繩下達 500 呎，如將此人看成一擺，問其週期當為若干？

## 牛頓之運動定律

### 99. 第一律(慣性)

進行之火車將停止時，車內之人則向前傾；靜止之車將出發時，車內之人則向後傾，此吾人日常所經歷者。即運動之物體，常有保持其運動之傾向；靜止之物體，常有保持其靜止之傾向。

又置木塊於冰上，自其一端擊之，使其滑走，則其所能達之距離，遠過於在通常之柏油塗過之路面上，無人謂柏油與木塊間之摩擦力大於冰與木塊間之摩擦力，然而果使全無摩擦力，則此物體果能停止否？

天體之行星即與吾人以確答，蓋其繞日而旋於太空中，吾人不能發見其些微遲緩故也。

車輪之泥，水磨之水，當車或磨轉動時，皆沿切線方



向外轉，吾人涉行於曲線之道路上，身須向內傾，始能免向外倒，可知運動之惰性，不僅欲保持其量之大小，且欲保持其方向。（參觀旋廻羅盤，見第249頁對面插圖。）

牛頓由此種觀測着眼，遂於1680年立說如下，謂為運動第一律 (First law of motion)，其言曰：

物體保存其靜止，或沿一直線上作等速運動，非受外力其態不變。

此性質為萬物所同具，即欲使靜止者運動，使運動者停止，或易其方向，或變其遲速之時，皆有抵抗，此種性質，稱曰惰性 (Inertia)。

### 100. 離心力

行星之不墜入太陽之內，完全由於此種惰性使然。他如以線繫一石而搖轉之，即覺石有曳手之力，直至石離線飛去為止，此力之作用，亦由於惰性；而石飛去之時，必沿切線方向以去，亦出於惰性。又如在一軸之周圍轉動不已之液體，離軸惟恐其不遠（如圖85）；機械之飛輪

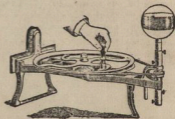


圖 85. 離心力

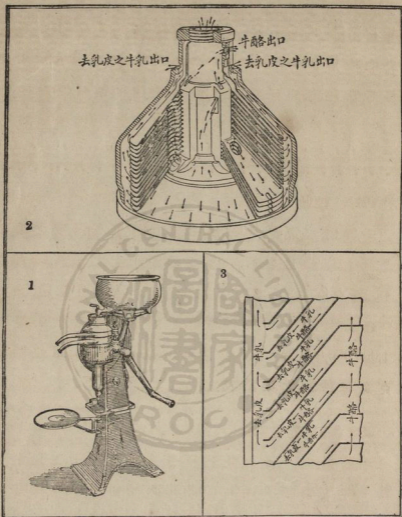
(Flywheel) 有時竟致破裂；地球赤道之直徑，大於兩極之



牛頓

(Sir Isaac Newton 1642-1727)

英之數學者及物理學者，“哲學者之王子”；劍橋大學 (Cambridge University) 之數學教授；重力定律之創設者；發見二項定理；發明微分積分法；立定運動之三定律，為近世機械科學之基礎；發見光學上若干重要事項；1687年出版之最著名之格物原理 (Principia) 之著者



### 析乳器(!)

此圖爲析乳器(Cream Separator)之構造，牛乳自中央鐵盆內之鐵板頂上之孔注入(見2)。此盆及板，每分鐘約轉動6000至8000回。乳之重部如水，糖等，受離心力作用，向外飛去，遇板之下面(見3)，即折而向下，以出盆外。其輕部即如酪，則向內昇上，達於板之上面(見3)，沿板面上昇，流入中央附近之數個小孔之內

距離；析乳器 (Cream separator) 內較輕之乳酪集於器之中央，而較重之牛乳，則散於器之外緣 (參觀插圖)；凡此等等，皆惰性有以使然者也。由此種務欲遠離轉動中心 (Center of rotation) 而去之傾向所表現之惰性稱曰離心力 (Centrifugal force)。

### 101. 動量。

一物體之運動之數量，可以其質量及速度之乘積表之。稱之曰動量 (Momentum)。例如 10 克之子彈，以每秒 50,000 呎之速度飛出時，其動量即為 500,000 單位；又如 1000 呎之木筏以 1000 每秒呎之速度流下時，其動量即為 1,000,000,000 單位。動量之單位，概用 C. G. S. 單位制，即以克及每秒呎之乘積表之。

### 102. 第二定律。

因質量為 2 克之物體所受之地球引力，二倍於質量為 1 克之物體，又因如任此兩物體自由落下，則每秒之速度彼此皆相同，故此兩力使此兩物體所生之動量之比，適與此兩力自身之比相等。凡作用之力勝過惰性時，此律均能適用。故若在水平道路上，不必計算摩擦之影響時，用 3000 磅之力曳一汽車，與用 1500 磅之力曳之，但使其速度加倍，則其作用彼此相同。因此關係，故得

牛頓之第二定律 (Second law), 其言曰:動量之變化率與作用之力爲正比, 而其變化起於力所作用之方向。

### 103. 第三定律

人自船內躍至岸上, 則船即受一向後推之力; 子彈由礮射出, 礮身即向後退; 一檯球如與他球相撞, 即失其速度, 換言之, 即撞者向退後, 而被撞者則代之前進, 此類效應, 可由下之實驗數量的決定之:—

設  $A, B$  爲同質同大之鋼球, 今將  $A$  球移至  $C$  之位置, 然後令其落下以擊  $B$  球, 衝突後,  $A$  球所存之速度, 實際上完全消失, 而  $B$  球則可昇至  $D$  處, 與  $C$  處之高相等, 由是可知  $B$  球所得之速度, 與衝突前  $A$  球之速度, 約相等, 若此兩球爲完全之彈性體製成, 則此兩速度必完全相等, 更可由實驗求得  $B$  球之動量與  $A$  球所餘之動量之和, 等於衝突前  $A$  球所有之動量, 故知  $B$  球新生之動量, 與  $A$  球所失之動量相等, 由第二定律, 知動量之變化, 與作用之力爲正比, 故此實驗可證明  $A$  推  $B$  之力, 恰等於  $B$  推  $A$  之力。

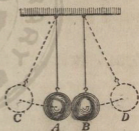


圖 86. 第三定律

牛頓第三定律 (Third law) 之要旨, 謂人自船中躍至岸上時, 人之質量與其速度之相乘積, 等於船之質量與船之速度之相乘積; 礮彈由礮射出時, 子彈之質量與其速度之相乘積, 等於礮身之質量與其速度之相乘積, 此

主張曾由種種方面之實驗證明其為正確。

牛頓之第三定律,其言曰:對於一切之作用,皆必有大小相等方向相反之反作用。

因力之測定法由於動量之變化率而決,故上之敘述,又可換言之如下:如有一物體得一動量,則同時必有他物體得一大小相等方向相反之動量。

欲使一物體運動,同時必以一大小相等方向相反之動量與他物體,此事不易察見,例如以礮尾靠於地面,然後將礮彈向上射出,即只見礮彈之運動;此時所謂他物體,當為地球,其動量亦須與礮彈之動量相等,然因地球之質量過大,故其速度之值極小。

#### 104. 達

作用於 1 克之力,既因地而異,故為科學上便利起見,用第二定律作為力之新單位之定義之基礎,此種單位稱曰絕對單位(Absolute unit),或曰 C. G. S. 單位,以其係由長,質量,時間之基本單位誘導而成故也。因之,此種單位,即與重力完全無關係,單位之名,則定曰達(Dyne) (達因之略),即作用於任何質量上,於 1 秒間使其得單位動量之力,稱曰達;或作用於 1 克之質量上, 1 秒間使其速度生每秒 1 厘米之變化,如是之力,稱曰達。

#### 105. 一克之力等於 980 達

一克之力,為地球對於質量 1 克之引力,因此力可使 1 克之質量,於 1 秒之間,增加每秒 980 厘米之速度,即得 980 單位

$$m_0(v - v_1) = f$$

之動量，又因達爲使 1 克之質量於 1 秒內得單位動量之力，故 1 克之力，與 980 達之力相等甚明。由是可知，達實爲力之極小單位，約與地球對於 1 立方耗之水之引力相等。

### 103. 第二定律之代數的敘述。

設以  $F$  之力於  $t$  時間內作用於質量  $m$  克之物體上，而使其速度增加  $v$  每秒。因  $t$  秒內此物體所得之全動量爲  $mv$ ，故每秒所得之動量爲  $\frac{mv}{t}$ ；又因 1 達之力等於 1 秒間所生之動量，故

$$F = \frac{mv}{t} \quad (8)$$

又因  $\frac{v}{t}$  係每秒所增之速度，即爲加速度  $a$ ，故式 (8) 可寫作

$$F = ma \quad (9)$$

此不過將力之大小，由動量變化率測定之之敘述，用方程式表出之而已。如有一機關牽引一 2,000,000 鈞之質量之火車，經 30 秒後，車即得有 60 每秒之速度，則其牽引之力，等於  $2,000,000,000 \times 60 / 30 = 4,000,000,000$  達。欲將此力化爲克數，須以 980 除之；如欲化爲鈞，則須更以 1000 除之。故機關牽引車之力，等於  $4,000,000,000 / 980,000 = 4081$  鈞。

### 問題

1. 錘與柄離，則恒以柄之下端撞於石上，柄即固着於錘上。其原理爲何？
2. 如圖 87 所示之車  $C$ ，何以不落下？何以能由  $B$  達  $D$ ？
3. 飛輪何以能使各種機械之轉動，更形穩定？
4. 將一名片置於手指之上，更於名片上加一銅圓，然

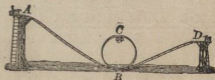


圖 87. 代輪迴戲

後將名片驟然抽去，則銅圓仍在手指之上，其原理為何？

5. 人在進行甚急之車上，向車尾走去較向車頭走去時，略覺容易否？試言其故。
6. 用細線懸一重物，而於重物之下，亦繫同樣之細線，然後用力曳此下端之細線，如曳之甚驟，則下線斷；如曳之甚緩，則上線斷。試說明之。
7. 同一物體，在兩極地方與在赤道地方權之，當以何處所權者為重？試舉二理由以說明之。
8. 如圖 88 之  $A, B, C$  三車，皆以每時間 60 哩之速度進行時，則  $A$  對  $B$  之速度為何？ $A$  對  $C$  之速度為何？



圖 88.

9. 由進行中之車頂，令一物體自由落下，此物體着於車上之地板處，是否正與其出發之點相對？
10. 何以軌道轉灣之處，必加以護軌之鐵條？
11. 假使地球停止自轉，赤道上之物體之重較此刻之重量為輕為重，其故安在？
12. 第三定律與撒水車有何係屬？
13. 現今使衣服乾燥之法，係將其置於周圍有孔之圓筒內，急速轉動之。試言其故。
14. 試說明反作用推進海船及飛機之理。
15. 如自一高塔之頂，令一球向水平方向拋出，同時又使一球於同一瞬間自同一出發點自由落下。此兩球孰先着地？（當注意力所生之加速度，起於力之作用方向，且與力之大小為正比，至於物體之為靜止為運動，皆與之無涉。參照第二定律。）試如圖 89 所示之方法，自行實驗之。

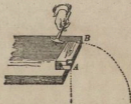


圖 89. 牛頓第二定律



16. 一子彈自鎗向水平方向射出，鎗在高 19.6 呎之塔上，子彈之速為 300 呎。問其着地之點距塔基若干遠？但空氣之抵抗可以略去不計。
17. 自動汲水機 (Hydraulic ram) (如圖 90) 為慣性定律之一實證。在  $P$  池中之水因之可以昇入地面較  $P$  為

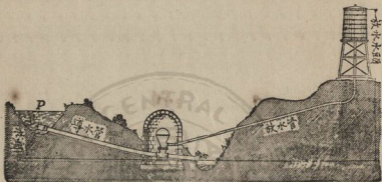


圖 90. 自動汲水機

高之水塔中，中途插入一裝置如圖 91。其  $V$  瓣之周圍流出之水，非達一定之速度， $V$  瓣決不關閉。試說明其作用。

18. 如有兩人，同立於結冰之池面上(完全無摩擦力作用)之中央點，須如何始能離開？如僅有一人，能離開否？

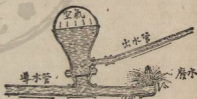


圖 91.

19. 子彈重 10 克，自 5 呎之砲射出，其速度為每秒 400 呎。問砲身後退之速度若干？
20. 馬以 500 磅之力曳車，問車以若干力曳馬？車輪之轉動何以在馬蹄向後滑動之前？
21. 落下之物體擊地面之力，何以較其重力為大？

22. 以 1 達之力與 1 克之質量, 3 秒鐘後, 此質量得若干速度?
23. 以 100 達之力, 作用於質量 20 克之物體上, 須若干時始得每秒 40 厘米之速度?
24. 以 1 達之力, 作用於 1 克之質量 1 秒鐘, 問一秒之末, 此質量共行距離若干?



## 第六章 分子力<sup>①</sup>

### 固體之分子力 彈性

#### 107. 韌性

固體分子間以強力結合，可於自然其上之簡單事實證之。固體不特不能如氣體之無限膨脹，即欲離其分子亦必須莫大之力。鑄鐵之棍直徑1 吋者，須載重至7.8 噸，始可截為兩段。

下列各數，為使斷面積等於1 平方吋之各種金屬線截為兩段時所須之斤數，通常稱之曰金屬線之韌性 (Tenacity)。

鉛, 2,6	鉑, 43	鐵, 77
銀, 37	銅, 57	鋼, 91

#### 108. 彈性

吾人更進而觀察所加之力不足斷物時所起之現象，以研究各種物質之分子力(Molecular force)。

取第 26 號之洋琴鋼絲，懸挂室頂，下端緊纏枳桿之一端

① 教授本章之前，須使生徒在實驗室內由簡單之變形，求出虎克定律。見著者所作之實驗教程中之實驗 13。

(如圖 92)。置支點  $c$  於桿端凹口，離桿與絲相連處約 5 厘米，桿

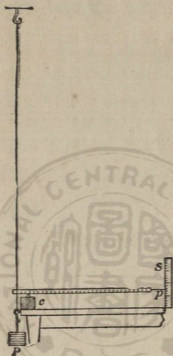


圖 92. 鋼絲之彈性

之他端插一縫針，其針鋒直指鏡面尺度  $S$ 。先於  $P$  盤加足重量，使鋼絲伸張；讀出  $P$  鋒所指  $S$  尺之度數，然後遞次加入三克或四克之重量於盤內，每次察讀指針所指之度數，後更遞次撤去重量，隨讀度數，如是行至最後之一次時，即可見針鋒復歸舊位。

觀此試驗，可知將懸於鋼絲之重錘撤去，則鋼絲即有恢復其原長之性質。一切固體，皆具此性，惟多寡不同，謂之曰彈性(Elasticity)。

### 109. 完全彈性之限度

如使圖 92 所示之鋼絲端所加之重量增至極大，則除去其重量後，針鋒即不能復返原處。故知鋼之完全彈性 (Perfect elasticity) 有一定之限度 (Limit)；一逾其限，則即失此性。各種物質對於牽引可以完全復原之限度，因物質之種類而有不同。

### 110. 虎克定律

第 108 節圖 92 之試驗，如繼續加重，在觀測誤差極限以內，知其每次之伸長皆相等，更由精密之測驗，可得一結果，即同一之力所得之伸長皆相等；且各種物質在未超過完全彈性限度以內，亦僅限於在此限度以內，皆同具此性。此定律謂之虎克定律 (Hooke's law)。從英人虎克 (1635-1703) 得名，其律曰：在完全彈性限度以內，無論何種彈性變形，不拘其為扭轉，為曲撓，為伸長，皆與所加之力為正比。通常所用之彈簧秤(圖 57)，即虎克定律之應用。

### 111. 凝聚及附着

由前之試驗，可知至少在同種類之固體分子之間，有彼此相引之力。即異物質之分子間，亦有類此之引力存在，如木上所着之膠，異常堅牢；他如鐵上所鍍之鎳，磚上所着之灰泥，皆其例證。

同種分子間結合之力，曰凝聚力 (Cohesive force)；異種分子間結合之力曰附着力 (Adhesive force)。故膠之着於木上爲附着力，木之自身之結合，則由於凝聚力。又如粉筆之着於黑板上，爲附着力；粉筆自身之分子結合之力，則爲凝聚力。

### 112. 由凝聚而生之固體之性質

物體之不同，有由於物理的性質不同使然；而多數之性質之不同，則由於分子間之凝聚力有大小之差別。故可將物體就其硬性 (Hardness)，脆性 (Brittleness)，延性 (Ductility)，展性 (Malleability)，韌性 (Tenacity)，彈性等爲之分類。韌性及彈性已詳解於上述數節，惟前四者，則義理頗易混淆，今更述於次。

兩物質之相對硬性 (Relative hardness)，即以此二物相擦，視何者着痕何者依然如故以定之。如金剛石爲一切物質之最硬者，以其可以刻痕於他物，而他物無一可傷之故也。

兩物質之相對脆性 (Relative brittleness)，則以錘同擊此兩物，試其孰易碎，孰不易碎而定之。例如冰及玻璃皆極脆之物，鉛、銅則否。

兩物質之相對延性 (Relative ductility)，以孰能延成

更細之線定之。鉑爲各物質中之延性最大者，可延爲直徑 .00003 吋之線。玻璃當熱時，延性亦大，故熱玻璃於本生焰(Bunsen flame)上，延長之可至細不可察之線。

兩物質之相對展性(Relative malleability)，以孰能被錘擊成較薄之層定之。金爲各物質中之展性最大者，其薄可至  $1/300000$  吋。

### 問 題

1. 應用虎克定律，以 20 磅之權碼，作一 32 磅之彈簧秤分度，將如何作法？
2. 鐵或鋼之淬斷者，可令其自熱而錘擊之，即可鍛接(Weld)；金箔則於冷時鍛接，如裝金齒卽此例。試說明鍛接現象(Welding)。
3. 斷木可用膠接合，膠之作用爲何？
4. 製彈簧時，用鋼勝於用銅，其故何在？
5. 某線須以某重方可引斷，如兩線並懸，問須若干重方能引斷？如其直徑爲兩倍時，則又何如？

## 液體分子力 微管現象

### 113. 液體內分子力存在之證明

由液體易於改變其形狀觀之，似覺其分子間並無彼此相互作用之力。然由下之簡單實驗，卽知其不然。

試用火漆將線粘於玻璃板上，懸之於天秤之一臂上，如圖 93，使其平衡。另以一水盆置於其下，與玻璃板稍下，使與盆

內之水面相接觸。既接觸以後，欲使玻璃復與水分離，必須加若干之砝碼於天秤之他端始可。因玻璃板之下面附有水層，故知所加之力，並非用於使玻璃板與水分開，實乃用於使水之分子互相分開。其他一切液體，皆可照此法實驗。如所用之液體為水銀，則玻璃板不為水銀所潤濕，由是可知水銀之凝聚力，當較水銀與玻璃間之附着力為大。

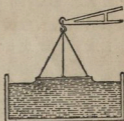


圖 93. 水之凝聚力

#### 114. 自由液體所成之形狀

液體各部之分子，既皆有彼此相引之力作用，故當液體自由成其本來之形狀時，即當其只受分子間之凝聚力作用之時，其分子必愈集愈密，總期達於最小之表面積為止；蓋因其表面上之各分子，受內部分子之引力作用，不得不向內部運動，即向其重心運動，其運動直至全體成為極緊密之形狀始行停止。由幾何學，知體積一定，而表面積最小之圖形，當為球形。由是可得一結論，即若能使液體之一部分，完全與重力或其他一切外力脫離關係，則此部分之液體必立成一完全之球形。此結論可由下述之實驗證明之：

加酒精於水，使其濃度正可使一滴之機械油在此溶液內能自由浮沈。然後用移液管 (Pipette) 取油一大滴送入液中，則油在水內成一球形，如圖 94。(非自上下視，則器壁宜平，不



然，器壁圓曲，水面亦不得不曲，其作用如一透鏡，球形之滴，亦將視若圓矣。）



圖 94. 不受重力作用之油滴

液體通常之所以不為球形者，因重力之影響大於凝聚力故也。水滴愈小，易言之，即其作用之重力之量愈小，愈近球形，即其明證。又如棹面上之水銀點，空氣中之雨點，以及浮游之小液體點等，亦皆為球形。

### 115. 液膜收縮：表面張力

液體恆欲成極小面積，故液膜收縮(Contractility)，亦可以此說明。

試以肥皂水用管吹成半徑等於 2 吋或 3 吋之泡，吹氣暫停，球即縮小，終乃縮入管內，不可復見。所以然者，因液體恆有欲成最小表面積之傾向使然。至此種傾向，則由於分子彼此相引而來，設以此管之他端置於燭邊，則焰必偏斜，因收縮後，泡內空氣被迫出管外故也。

再試以細線之圈，繫於鐵環，如圖 95，浸入肥皂液內，使鐵



圖 95.



圖 96.

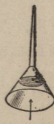


圖 97.

肥皂液之收縮

環上張薄膜一層；然後用燒熱之鐵線刺破細線中之膜，線即立成圓形，如圖 96。蓋線外之液體求其至小面積，故線內不得不成至大之面積；周邊一定，而面積最大之圖形為圓，故線成一完全圓形。

再試於漏斗之口作一肥皂液薄膜，則此膜收縮後，可令漏斗內之液體昇上細管，顯然與其重力相抗，如圖 97。

液體恆欲成爲最小之表面積之傾向，即液體表面恆具彈性膜作用之傾向，曰表面張力 (Surface tension)。



圖 98. 緩成之滴所經之數種階級

圖 98 所示，即表此膜之彈性，爲一緩緩落下之滴，中途所經之各階級；係以活動攝影法攝得者也。

### 116. 微管內液體之昇降

前於第二章證明液體在連通器內，水面齊平，然依下法試驗，則知若在細徑管內時，則不然。

取細管數枝，其徑自 2 耗順次減至 1 耗，排列如圖 99。

傾水於管下之器，則管內之水面必高過器內之水面。最細之管內，其水面最高。如以水銀代水，則現象適反，各管之水

銀面皆低，以細管為最低(如圖 100 (1))。其低降之狀，以 U 管試之，尤易觀察，如圖 100 (2)。

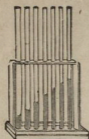


圖 99. 微管內液體之上昇

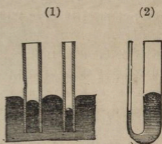


圖 100. 微管內水銀之降下

由此試驗，可得下列定律。

1. 液能沾濡微管者則上升，不能沾濡者則下降。
2. 上升下降之度，皆與管之直徑為反比。

凡上升之液，液面必下凹；下降之液，液面必上凸。

### 117. 微管內液面彎曲之原因。

以上所述，皆可以凝聚力及附着力說明之。然於說明之前，吾人須注意兩事：其一，靜止液體之表面，譬如池沼之面，其方向與合力成垂直，即與作用於其上之重力成垂直；其二，作用於小滴之液體之重力，與凝聚力較，可略去不論（見 114 節）。

試由此設想一在  $o$  點近傍，即水與管壁相連接之處，之極小水滴（圖 101）。因水量極小，故可將其重力略去

不論，器壁之附着力，必沿  $oE$  方向吸引  $o$  處之水滴。液體之凝聚力，則沿  $oF$  方向吸引此同一水滴。由第五章之平行四邊形定律，知兩者之合力為  $oR$ 。若  $oE$ 、 $oF$  之合力在垂直面  $om$  之左（圖 102），則因液面恆與此合力之方向成垂直，液體即上昇，如水在玻璃管內時之狀況。

如凝聚力較附着力為強，即  $oF$ （圖 103）大於  $oE$ ，則合力  $oR$  在  $om$  之右，液必下降。

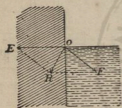


圖 101.

近壁液體上昇之條件

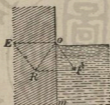


圖 102.

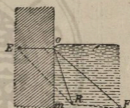


圖 103.

近壁液體下降之條件

故液體沿壁或昇或降，恆視液體對於器壁之附着力較本液之凝聚力之大小而定。水銀不能沾濡玻璃器壁，故凝聚力較大，可知其必降下。驗諸事實，果然如是。水可濡管，故附着力甚大，可知其必昇上。觀諸事實，亦如是。

故液體沿壁面下降者，其在管內之液面必凸；沿壁面上昇者，其在管內之液面必凹。

### 118. 微管內液體昇降之說明

上述之彎曲既成，凹面  $ao'b$  (圖 104) 即因表面張力作用有伸成爲  $ao'b$  平面之傾向，第面未張平，而邊上附着力復迫之使上，可見管內液體，勢必繼續昇上，直至所昇上之液柱，即  $amnb$  (圖 105) 之重量，與  $ao'b$  面欲伸直之張力，恰相平衡乃止。在細管內之液體之升高較在粗管內尤甚，因細管內之液柱體積較輕故也。

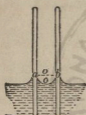


圖 101.

液體在微管內昇上所成之凹月面

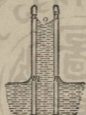


圖 105.

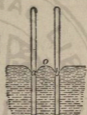


圖 106.

液體在微管內降下所成之凸月面

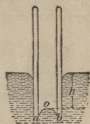


圖 107.

又水銀之凸面  $ao'b$  (如圖 106) 之下降，亦須至外部  $h$  深之水銀柱 (圖 107) 施於  $o$  點上之壓力，與  $ao'b$  面張平之力相抵消而止。

### 119. 日常生活上之微管現象

微管現象 (Capillary phenomena)，在自然界及日常生活上皆甚重要，燈心之吸油；手巾一部分入水，全部即可浸濕；糖塊一角浸水，全塊皆潤；吸水紙之吸收墨水；凡此種種，皆與吾人自圖 99 所觀察之微管現象爲同一現象。

## 120. 微物之飄浮於水面上

以細針輕置於水面，針雖較水約重 8 倍，仍能飄浮。若此針已受磁化，可另用一強磁石引此飄浮之磁針，使取任何之方向。

此種現象，似屬背理，然細察之，則見針邊之水面降下，如圖 108 所示，故其說明極易，針之密度雖大，終不敵凹面欲伸直為平面之力，故針不沈下。若針已沾濕，則水面并不在針下而在針上，致液面伸直之力，反牽針入水，不復上舉之矣。物之質量若不過大，凡能使水面降下少許



圖 108. 浮針之橫斷面



圖 109. 昆蟲行於水面

者，皆可飄浮於水面。極純潔之物，水雖能緣之昇上，然若有極薄之油層，即為目力所不覺察者，亦足使液面略為降下，物體因得浮於水面。例如水蟲之游行於水面即此理也（圖 109）。不然者，依阿基米得定律，排開之液，若不與其體等重，即將沉而不浮矣。

## 問 題

1. 鋼筆尖，駝毛刷，燈心，海綿等之微管現象，其作用為

- 何?
2. 衣上之洋燭污漬，可置吸墨紙於上，而以熱熨斗在紙上熨去，其故何在？試加說明。
  - √3. 將玻璃尖片在木生焰上燒之至成紅色時，邊角自圓，其故何在？
  - √4. 鉛筆之心，係將石墨之粉末，用水壓機之大壓力壓成，問壓力何以能使粉末成為合體？試說明之。
  5. 取火柴二，浮於水上，使其相距約 1 吋，更取熱鋼絲觸火柴間之水面，兩火柴即自相離開，此現象所示之表面張力，與溫度之關係為何？
  - √6. 試更以蘸有酒精之線觸水面試之，說明酒精與水之表面張力為何種關係。
  7. 試以樟腦着於牙籤上，放之於大盆中靜水面上，試說明其運動。
  - √8. 製造子彈之方法，係注熱鉛於高塔上之篩內，而於塔底之水中收集之，其形何以能成球形？
  9. 用微管之引力何以可達灌溉之目的？
  10. 築碎石路，以大塊置於最下，以小石敷其上，以更細之石敷於路面，然後用蒸汽滾子壓合，此法何以使路面常乾？
  11. 已入土中之水，由何力可以復返？將土掘鬆時有何差異？

## 固體及液體之吸收氣體

### 121. 固體吸收氣體

試取礮精水加熱，將其蒸氣送入大試管，以代管內原來充滿之水銀，如圖 110。後以木炭約 1 吋長，徑與管相仿者，燒紅後投入水銀中，冷後送入管下，使其自行浮上，管內水銀即上昇，如圖 111。其故何在？



麥克斯惠爾

(James Clerk-Maxwell 1831-1804)

最大之數理物理學者之一；在於蘇格蘭之愛丁堡；爲亞伯汀地方之馬里夏大學自然哲學教授(1856)；爲倫敦之王家大學之物理學及天文學教授(1860)；又爲劍橋大學之實驗物理學教授(1871-1879)；對於氣體運動說及熱之機械說之發展，爲功業最著之一人；光之電磁說之作者，此說成立近世一切電學光學理

論之基礎(見 470 頁)



赫支

(Heinrich Rudolph Hertz 1857-18'4)

德國最著名之物理學者之一人，雖早死於三十七歲，然其貢獻於物理學者，業已不少，發見麥克斯惠爾預言之電磁波，爲實驗的發見作一新紀元。無線電報不外此種發見，即赫支波(見466頁)之一應用而已。又紫外線能使帶負電之物體放電，亦赫支發見之一





### 氣體面罩

歐戰中，德人利用若干種較空氣爲重之毒氣，因風送至聯軍，或貯之於炸彈內，使其炸裂。當此種氣體面罩未發明之前，塹壕中若爲此類毒氣所充滿，必受大損害。木炭對於吸收氣體之力甚強，而尤以在特種液體內浸過者爲尤甚。將此種木炭，貯於罐內，罐納入袋，與面罩相連。使兵士所吸入之空氣，皆通過其內，然後始入肺中，即可防禦毒氣，其結果甚卓著，上圖所示，爲美國兵士用此種面罩之狀況

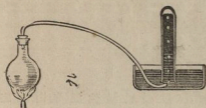


圖.110. 使管內充滿酒精

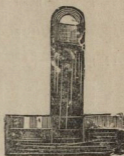


圖 111. 炭吸收酒精

吸收氣體之性質，以多孔性之物質為最。如椰子壳炭，桃木炭，等是。即謂各種固體之表面，皆有一薄層之氣體附着於其上亦可。而多孔物之善於吸收氣體者，以其所具之表面積為廣故耳。

同一物質，其吸引氣體分子之力，視各種氣體分子而異。如木炭可吸收其本身體積90倍大之酒精，35倍大之二氧化碳，1.7倍大之氫，是其證也。木炭常用以解臭，即因其可以吸收多數之氣體；大戰中更利用此種性質以製氣體面罩（Gas mask，參觀插圖）。若以海綿狀鉑（Spongy platinum）懸於木醇之上，即可燒紅，因鉑中吸有氧及酒精之蒸氣故也。酒

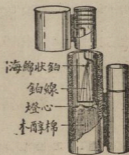


圖 112. 鉑醇點火器

精蒸氣與氧在鉑中混合，氧化進行漸速，遂至發熱，鉑醇點火器 (Platinum-alcohol cigar lighter) 即由此理製成 (圖 112)。

## 122. 液體吸收氣體

杯中貯冷水徐徐加熱，杯壁必現無數氣泡，由液底上昇以達液面。此泡非汽泡，實乃空氣泡。何以知之？第一，此泡出現時溫度遠在沸點之下；第二，此泡上昇時，即入上面較冷之水層，亦不凝結故也。

由此實驗可知二事：第一，水內常溶解有空氣甚多；第二，水之溫度增高，其容空氣之量即減少。魚能生活，可為一重要之證。因魚須得氧始能生活，而所需之氧則由溶解於水中之空氣取之。

水對於各種氣體所能吸收之分量，因氣體之種類不同，而有多少之別。例如在攝氏 0 度及氣壓 76 厘時，1 立方厘之水，可吸收 1050 立方厘之鹵精，或吸收 1.8 立方厘之二氧化碳，或吸收 0.04 立方厘之氧。市上所售之鹵精水，即鹵精之水溶液也。

下列之實驗，為示水之吸收鹵精之方法。

如圖 113 之裝置，用一  $F$  瓶及與之相通之  $b$  管，另自  $a$  管將鹵精送入  $F$  瓶中，經由  $b$  管而出。然後將  $a$  管之活栓關閉，將  $b$  管插入下端之  $G$  瓶內。 $G$  瓶之內盛有水，於水內加石蕊

(Litmus) 液若干, 更加一兩滴之酸於其內, 水即略呈紅色。鹵精被水吸收後, 水即漸次由  $b$  管昇上, 昇至  $F$  時, 即一變而成甚急速之噴出, 直至  $F$  瓶幾全被水充滿而止。同時水之顏色亦由紅變青, 因石蕊受鹵精之作用故也。

由實驗結果, 得知固體或液體之吸收各種氣體, 其分量隨溫度而異, 溫度愈高, 其量愈

減。此種結果, 可由分子運動說料其必然。何則? 因分子運動之速度愈增, 則保持各分子之附着力愈形困難故也。

### 123. 壓力對於吸收之影響

通常稱為蘇打水 (Soda water) 者, 即含有多量二氧化碳之水。其吸收方法, 係用大壓力使水與二氧化碳相接觸。故壓力一去, 氣體立即自溶液中逸出。蘇打水中有無數之氣泡激烈噴出, 即此故也。由此實驗, 可知二氧化碳在高壓之下, 其被水吸收之分量, 較在低壓時為多。由精密之實驗, 可以測出吸收量與壓力為正比。故如在 10 氣壓時, 使二氧化碳與水相接觸, 則其被吸收之分量, 當等於在 1 氣壓時之十倍。此定律通常稱之為亨利氏定律 (Henry's law)。

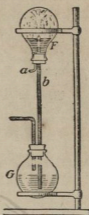
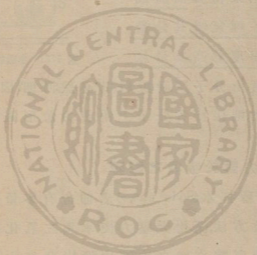


圖 113. 水吸收鹵精

## 問題

1. 養魚器內之水,久不更換,魚即死去,其故何在?
2. 試說明酒精水加熱後,酒精立即散逸之故。
3. 如第113圖之實驗,水自 $b$ 管昇至 $F$ 內,立即噴出甚速,其故安在?



厚中  
子  
方

## 第七章 功及機械能

## 功之定義及其計量

Work g-cm ft-  
erg (joules)  
Power g-cm  
sec.  
P.E. or K.E. erg.

## 124. 功之定義

一力作用於物體，使之運動，則謂之作功 (Work)，或施功於其物體之上。功之大小，則以作用之力與物體被其移動之距離之乘積計量之。譬如將 1 克之重，沿垂直方向舉高 1 厘米，則作用之力為 1 克，物體移動之距離為 1 厘米。故謂此力所完成之功為 1 克厘米 (Gram centimeter)。如 1 克之力將物體舉高 2 厘米，則所成之功為 2 克厘米；如 3 克之力將物體舉高 3 厘米，則其所成之功即為 9 克厘米；餘類推。一般設以  $W$  表所成之功， $F$  表作用之力， $s$  表作用點移動之距離，則功之定義可以下式表之：

$$W = F \times s. \quad (1)$$

一力作用於物體，不能使其運動者，科學意義上不得謂之為功。例如柱支大廈，不能謂之作功；又如人以力曳石，如石不動，亦未嘗作功。若就通俗之見解言之，則以手支持重物，或作其他之事致生疲勞之感時，皆謂之作功。但在物理學上，此“功”之一字，非表其所施之努力，乃表其所成就之效應，如上列之方程式 (1) 所示。

## 125. 功之單位

十進制中表功之單位，普通有兩種，一爲克，一爲尅 (Kilogram meter)，即謂 1 克爲以 1 克之力作用於物體，使其作用點移動 1 尅之功；1 尅爲 1 尅之力作用於物體，使其作用點移動 1 尅之功。有時且有用克 (Gram meter) 爲單位者。

在英制，力之單位爲磅，故功之單位爲呎 (Foot pound)，即謂 1 呎爲以 1 磅之力作用於物體，使其作用點移動 1 呎之功。故若欲將 1 磅重之物，舉高 1 呎，所需之功當爲 1 呎磅。

在絕對單位，力之單位爲達，故功之單位爲達，通常稱之曰厄 (Erg)，即以 1 達之力作用於物體，使其作用點移動 1 達之功。如將 1 研之水，自地面舉至高 1 呎之桌面上，所須之功，當爲  $1000 \times 980 \times 100 = 98,000,000$  厄。由此可知厄當爲功之極小單位。故通常用厄之 10,000,000 倍以作單位，稱之曰朱 (Joule)。從英國物理學家朱爾 (1818-1889) 得名。故將 1 研之水，舉高 1 呎之功，當爲 9.8 朱。

## 問題

1. 曳一重 120 磅之箱，須 40 磅之力，將此箱曳至 2 碼之遠，須功若干？又若將此箱舉高 2 碼，須功若干？
2. 木工以 5 磅之力刨 4 呎長之木，其所作之功若干？
3. 華盛頓山高 6300 呎，重 150 磅之人登至此山之頂，共作功若干？

4. 一馬運煤 1 十進噸至高 30 呎之山頂，試用瓦積之單位表其所作之功。(1 十進噸=1000 瓦)
- ✓5. 某市有人口 20,000，每人每日平均用水 20 呎，若此水係用機械汲至 75 呎之高，問此機械每日所作之功爲若干？

## 滑輪所耗及所成之功

### 126. 單定滑輪.

試用一彈簧秤  $S$ ，掛於線上，使曳一重量等於  $R$  之物體，令其曳力超過地球引力，致令  $R$  向上緩緩昇上，如圖 114。如  $R$  爲 100 克，則彈簧秤上所示之數，亦當爲 100 克。

由此實驗，可知用單定滑輪 (Single fixed pulley) 時，作用之力，即欲用以生運動之力  $E$ ，與阻止運動之抵抗力  $R$  相等。

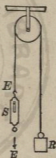


圖 114. 單定滑輪

又因繩之長既一定不變，故  $E$  之作用點  $A$  所經過之距離  $s$ ，恆等於  $R$  所昇上之距離  $s'$ 。故吾人如細察全運動系， $A$  處所加入之功爲  $E \times s$ ， $R$  處所完成之功爲  $R \times s'$ ，則因  $R = E$ ， $s = s'$ ，得

$$E \times s = R \times s'; \quad (2)$$

即用單定滑輪作用力  $E$  (即發動力) 所成之功，與抵抗力  $R$  所成之功相等，即在  $A$  處施於機械之功，與在  $R$  處機



械所完成之功相等。

### 127. 單動滑輪。

其次假定地球對於質量  $R$  之引力，被單動滑輪所勝過，如圖 115 所示，此處  $R$  代表滑輪及其下所懸之重量之和。因  $R$  之一部分為繩  $C$  支住，一部分為繩  $B$  支住，故作用於點  $A$ ，使此滑輪停止不動或使其徐徐上昇之力，苟無摩擦力作用，必等於  $R$  之半。試讀彈簧秤上之刻度，必確指此數。

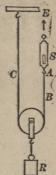


圖 115. 單動滑輪

由此實驗，可知應用單動滑輪(Single movable pulley)時，所施之發動力  $E$ ，等於抵抗力  $R$  之半。

再研究發動力  $E$  將重量  $R$  提高距離  $s'$  時所成之功，即知欲將  $R$  提高 1 吋， $A$  必向上運動 2 吋；蓋因  $R$  昇上 1 吋，繩  $B$  與繩  $C$  皆須各短 1 吋故也。又因  $R=2E$ ， $s' = \frac{1}{2}s$ ，故得

$$E \times s = R \times s';$$

即用單動滑輪時，發動力  $E$  對於機械所施之功，與機械對於抵抗力  $R$  所完成之功相等。

### 128. 複滑輪。

試用圖 116 所示之複滑輪，無論為(1)，(2)中之何種，以提重量  $R$ ，使之上昇。因重量  $R$  係為六條繩所支住，故若加力於  $A$

處,使  $R$  靜止不動或徐徐上昇,如無摩擦作用,其所需之力,必等於  $\frac{1}{2}R$ 。

此試驗所呈之摩擦作用甚大,然若將其徐徐提上,測其所需之力為若干;然後又將其徐徐曳下,測其所需之力又為若干;由此兩數求其平均值,以作此時之發動力  $E$ ,即可將摩擦作用之

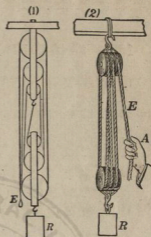


圖 116. 複滑輪

影響略去,用此法實驗,其結果與上述完全相同。故若命  $n$  為複滑輪 (Combination of pulleys) 上分支重量之繩數,則其定律可以下式表之:

$$E = \frac{R}{n} \quad (3)$$

但若研究發動力  $E$  欲將重量  $R$  提高  $s'$  吋之距離所作之功,即知欲使  $R$  昇上 1 吋,各繩均須縮短 1 吋,故  $A$  點總須運動  $n$  吋;即  $s' = \frac{s}{n}$ 。故若將摩擦略去,即得

$$E \times s = R \times s';$$

即發動之力  $E$ ,雖僅為抵抗力  $R$  之  $\frac{1}{n}$ ,然其對於機械所

施之功，仍與機械對於抵抗力  $R$  所完成之功相等。

### 129. 機械利率

由上述實驗，可知有時用小力  $E$ ，即可勝過極大之抵抗力  $R$ 。抵抗力  $R$  對發動力  $E$  之比(略去摩擦不計)，稱曰機械之機械利率 (Mechanical advantage)。故單定滑輪之機械利率為 1；單動滑輪之機械利率為 2；圖 116 之複滑輪之機械利率為 6；餘類推。

若發動之力不作用於  $E$  而作用於  $R$ ，則圖 116 之複滑輪之機械利率當為  $\frac{1}{6}$ ；因須以 6 磅之力作用於  $R$ ，始能將  $E$  處之 1 磅提上故也。然此時  $E$  處之抵抗力之運動，較  $R$  處發動力之運動速六倍，而其進行之距離，亦為  $R$  之六倍。由是可知吾人可以犧牲速度以得力，或可犧牲力以得速度；無論如何，有一得必有一失。是以前第 20 頁，圖 13 所示之水壓升降機，其懸籠之移動，祇能與活塞之移動同一速度；但若如圖 14，其運動即速四倍。故若兩者所載之重量相同，後者作用於活塞上之力，必等於前者之四倍。換言之，即後者之直徑必為前者之二倍。

### 問 題

1. 單定滑輪之機械利率雖僅等於 1，然而升旗，汲水等多用之，其故安在？

2. 如圖 14 之水壓昇降機所載之重量為 20000 磅，其活  
塞上當以何力作用之？如 水壓為每平方吋 70 磅，則  
活 塞 之 面 積 將 為 何 ？
3. 試 繪 出 一 種 複 滑 輪，可 用 50 磅 之 力 以 支 持 200 磅 之  
重 量。
4. 試 繪 出 一 種 複 滑 輪，可 用 50 磅 之 力 以 支 持 250 磅 之  
重 量，此 種 裝 置 之 機 械 利 率 為 若 干 ？
5. 設 有 兩 人 共 用 一 種 複 滑 輪；每 人 以 50 磅 之 力 曳 之，欲  
提 起 300 重 之 物 體，假 使 並 無 摩 擦 力 作 用，則 此 兩 人  
須 曳 繩 若 干 呎，始 能 使 重 量 昇 高 20 呎？

## 功及槓桿

### 130. 槓桿定律

槓桿 (Lever) 為一剛體之棒，可在一點之周圍自由  
轉動，此一點稱曰支點 (Fulcrum)，如圖 117 之 1 是。

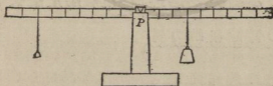


圖 117. 單槓桿

先取一米突尺，令其平衡如圖 117 之狀況。然後於離支點  
15 釐處懸一物，其重為 300 克。更於支點之他一側，尋求一點，使  
重 100 克之物懸於其上，恰能與 300 克成平衡。此點必在離支點  
45 釐之處。由是可知  $300 \times 15$  與  $100 \times 45$  之積相等。

次更尋求一點，使懸 150 克之物於其上，恰能與 300 克之重

成平衡，此點必在距支點 30 厘米之處，故  $300 \times 15$  與  $150 \times 30$  之積仍相等。

不論所懸之重量如何，及其離支點之距離如何，發動力  $E$  與其距支點之距

離  $l$  之乘積，必恆等於抵

抗力  $R$  與其距支點之距

離  $l'$  之乘積(圖 118)。如  $l$

及  $l'$  為自支點至力之作

用線之垂直距離，則通常稱曰槓桿之臂 (Lever arm)，或

力臂 (Arm of force)。力與臂之相乘積，稱曰力矩 (Moment

of force)。故上述之槓桿實驗，可以概括成爲下之定律：

發動力矩等於抵抗力矩。若以代數式表之，即爲

$$El = Rl' \quad (4)$$

由是可知槓桿之機械利率，即  $R/E$ ，等於  $l/l'$ ；即等於以抵抗力臂除發動力臂。

### 131. 槓桿之普遍定律。

如有數個平行力，同時作用於一槓桿上之數點，如圖 119 及圖 120。此時平衡之條件知爲

$$200 \times 30 = 100 \times 20 + 100 \times 40$$

及  $300 \times 20 + 50 \times 40 = 100 \times 15 + 200 \times 32.5$ ;

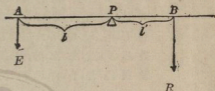


圖 118. 槓桿定律，即  $El = Rl'$

即欲使槓桿向一方轉動之各力矩之和,等於欲使槓桿向反對方向轉動之各力矩之和.

如更於圖 119 及圖 120 之  $P$  點,用一彈簧秤以支持

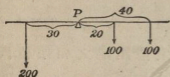


圖 119.

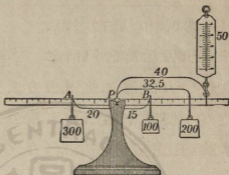


圖 120.

數力作用於一槓桿上之平衡條件

此槓桿,則彈簧秤所示之力,除米突尺自身之重量外,其一為  $200+100+100=400$ , 其一為  $300+100+200-50=550$ ; 即作用於槓桿上之同一方向之各力之和,等於反對方向作用之各力之和.

此兩定律可以結合之如下:如將彈簧秤上所表現之力看成使用於槓桿上之其他各力之平衡力,則數個平行力之合力等於各力之代數和,其作用點則在使各力矩之代數和為零之一點.

### 132. 偶力.

如圖 121 所示之狀況,為平行力不能有單一之合

力之例。如是大小相等方向相反之兩力，作用於槓桿上之不同之兩點，謂之曰偶力(Couple)。偶力只能以使槓桿起反向轉動之

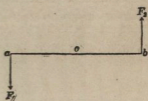


圖 121. 偶力

他一偶力抵消之。此等偶力之力矩為  $F_1 \times oa + F_2 \times ob = F_1 \times ab$ ；即其中之一力與兩力間之全距離之相乘積。汽車舵輪上作用之力，即偶力之實例。

### 133. 槓桿所費及其所完成之功。

由前述可知一槓桿成平衡狀態時——即靜止不動，或作等速運動時——

發動力  $E$  與抵抗力  $R$  間之關係，可以力矩方程式表示之，即  $El = Rl'$ 。今更做前滑輪之例，試假想發動

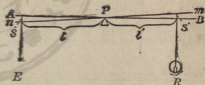


圖 122. 力矩方程式  $El = Rl'$  與  $Es = Rs'$  同等之證明

力  $E$  將重量  $R$  提出一小距離  $s'$ 。欲達此目的，須令  $E$  之作用點  $A$ ，移動  $s$  之距離(如圖 122)。由相似三角形  $APn$  及  $BPm$ ，可知  $l/l'$  等於  $s/s'$  故式(4)，即表槓桿定律之式可以改書為  $E/R = l'/l$ ，又可改為

$$\frac{E}{R} = \frac{s'}{s}, \text{ 或 } Es = Rs'.$$

式中之  $E_s$  表發動力  $E$  所作之功,  $R_s'$  表對於抵抗力  $R$  所作之功. 由此實驗, 可知力矩定律即槓桿定律, 以語表之當如下: 用槓桿以作功時, 發動力  $E$  對於槓桿所費之功, 等於槓桿對於抵抗力所作之功.

### 134. 槓桿之三種.

前節所述之定律, 雖為普遍定律, 對於任何形狀之槓桿, 皆可適用, 然習慣上則分之為三種如下:

1. 第一種槓桿, 其支點  $P$  在發動力  $E$  與抵抗力  $R$  之間 (如圖 123). 此種槓桿之機械利率大於 1 或小

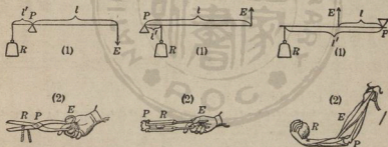


圖 123. 第一種槓桿

圖 124. 第二種槓桿

圖 125. 第三種槓桿

於 1, 視發動力之臂  $l$  或大於抵抗力之臂  $l'$ , 或小於  $l'$  而決.

2. 第二種槓桿, 其抵抗力  $R$  在發動力  $E$  與支點  $P$  之間 (如圖 124). 此種槓桿之發動力臂, 即  $E$  與  $P$  之距離, 勢必大於抵抗力臂, 即大於  $R$  與  $P$  之距離. 故第二種



槓桿之機械利率恆大於 1.

3. 第三種槓桿,其發動力  $E$  在抵抗力  $R$  與支點  $P$  之間(如圖 125).此種槓桿之機械利率小於 1 甚明,即此類槓桿常用之於犧牲力以得速之目的.

### 問 題

1. 下列各物爲何種槓桿?

- (1)一輪車;(2)盤秤(外國糧食店用以稱物者);  
(3)鐵鉗;(4)糖鋏;(5)拔釘錘;(6)腳筒之柄.

2. 試說明圖 126 所示之

秤桿之原理.如於距支點  $O$  長 20 厘米之距離之鈞上,懸重 10 斤之物時,可將秤錘  $P$  置於與支點  $O$  相距 40 厘米之處,即可成平衡.問  $P$  之重爲若干?

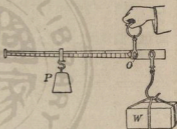


圖 126. 秤

3. 如已知本身之重量,用一蹠板戲所用之板及一尺棒,欲求他人之重量.其法爲何?
4. 用一鐵挺轉倒重物,作第一種槓桿用時,須如何裝置?作第二種槓桿用時,又須如何?
5. 鐵匠所用之剪,柄長而口短,裁縫所用者恰反是,其故安在?
6. 試用力矩說明下舉各問題:  
(a) 閉門時以手着力於門上之把手處則易,以手着力於門軸近處則難,其故安在?  
(b) 用長柄之獨輪車運重物,較用短柄之獨輪車時爲易,其故安在?  
(b) 長柄之鏟,其鏟面必較短柄者爲小,其故安在?

√7. 兩童共用一桿抬重 60 磅之物，如物所懸之處距一童為 4 呎，距他一童為 6 呎，各人所支之重為若干？（試以一人為支點，他一人所使之力為發動力，所抬之物為抵抗力，解之。）

√8. 一桿長 10 呎，上載一重 100 磅之物，在一端之人以 30 磅之力支住，在他一端之人以 70 磅之力支住此桿時，其物當置於桿上何處？

9. 欲將鋼琴足下已破之輪取去時，須將鋼琴之一端舉高，計須力 240 磅，如用一 6 呎長之鋼棒，作第二種槓桿，須如何始能以 40 磅之力即可將鋼琴之一端舉起，試繪圖說明之。

√10. 以棒擗重物，物距肩之距離愈遠，則肩所受之壓力愈大，其故安在？

√11. 設有一安全瓣及重載，如圖 127。如  $ab$  為  $1\frac{1}{2}$  吋， $bc$  為  $10\frac{1}{2}$  吋，瓣之面積為  $\frac{1}{2}$  平方吋，球之重量為 4 磅，瓣之每平方吋上須受若干實效蒸汽壓力方能被推開？

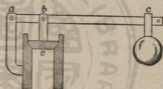


圖 127.

12. 設有水壓機，其活塞及圓筒之直徑為 3 吋及 30 吋，活塞之棒連於槓桿上與支點相距 2 呎之處，槓桿全長為 12 呎（見圖 12，第 19 頁）。欲使此機生出 5000 磅之力時，須以何力作用於槓桿之端？

√13. 設有童子三人作跷板戲，三人同坐於板上，其位置如次： $A$  重 75 磅，在支點右方 4 呎之處； $B$  重 100 磅，在支點右方 7 呎之處； $C$  重  $x$  磅，在支點左方 7 呎之處。如另以一人在支點右方 12 呎之處，以 25 磅之力上推，即成平衡，求  $C$  童之重。

### 功之原理

## 135. 功之原理之敘述

由滑輪之研究,可得一結論如下:用此類之機械時,其發動力所作之功,與對於抵抗所作之功恆相等,第其摩擦作用,可以完全略去,而其運動則須等速,俾免將力之一部分,用於勝過惰性故也。由槓桿之研究,亦可得同一之結論。又據第二章水壓機之研究,可知此定律亦完全適用,因小活塞上作用之力與其所進行之距離之乘積,等於大活塞上作用之力乘其進行之距離故也。更就一切機械作同類之實驗,即可證明下述之定律為一絕對普遍之定律:無論何種機械,若其摩擦作用可以略去,則施於機械上之功,恆與機械所作之功相等。

此種重要之普遍定律,稱曰“功之原理”(Principle of work),為1687年牛頓所創設,實物理學史上最重要之原理之一也。應用此原理,即可將作用於一切機械上之力與此力所勝過之力間之關係求出,不過須限於摩擦作用可以略去不計,而其運動又須極遲緩而已。只須使(或設想)機械之一端發生若干之變位,而測其他端與此相應之變位即可。後者之變位與前者之變位之比,即為發動力與抵抗力之比。

## 136. 輪軸

今用功之原理,以求圖 128 所示之輪軸(Wheel and axle)之定律。當輪轉動一周時,繩上  $A$  點降下之距離,等於輪之圓周。同時抵抗物  $R$  昇上之距離,等於軸之圓周。

故方程式  $E_s = R_s'$  變為  $E \times 2\pi R_w = R \times 2\pi r_a$ , 式中  $R_w$  係表輪之半徑,  $r_a$  表軸之半徑。上式又可改書之如下:

$$\frac{R}{E} = \frac{R_w}{r_a}; \quad (5)$$

即軸提上之重與輪上作用之力之比,等於輪半徑與軸

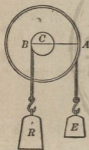


圖 128. 輪軸



圖 129. 拔錨機

半徑之比,或輪軸之機械利率,等於以軸半徑除輪半徑。

圖 129 所示之拔錨機 (Capstan), 為一種特別樣式之輪軸,其輪之半徑為柄長,軸則為其盤筒。

### 137. 應用於斜面之功原理。

使一物體由一斜面(Inclined plane)之底昇至其頂,如物體之重為  $R$ , 則對於重力  $R$  所作之功,等於  $R$  與斜

面之高  $h$  之乘積明甚(圖 130). 但發動力  $E$  當  $R$  由底被曳至頂之時,其所作之功等於  $E$  乘  $l$ . 故功之原理示

$$El = Rh,$$

或

$$\frac{R}{E} = \frac{l}{h} \quad (6)$$

即斜面的機械利率,或被舉之重對於平行於斜面之發動力之比,等於斜面之長與其高之比,此結論與第五章第 70 頁所得結論完全相同.

### 138. 螺旋

螺旋 (Screw, 圖 131) 爲斜面與槓桿聯合而成之器械,其定律由功之原理不難求得. 所施於槓桿一端之力將其作用點轉動一周之間,在螺旋上之重量  $R$  所昇上之距離恰等於螺旋上所刻之相鄰兩螺線間之距離. 此距離  $d$  稱曰螺旋之旋距(Pitch). 故若命  $l$  爲臂長,則功之原理示

$$E \times 2\pi l = Rd; \quad (7)$$

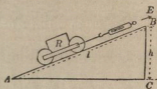


圖 130. 斜面

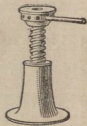


圖 131. 螺旋起重機

即螺旋之機械利率，或載重與用力之比，等於臂端所繪之圓周與兩螺線間之距離之比，實際此種裝置中之摩擦作用甚大，故所需之力，必較(7)式所表者為大，上述之

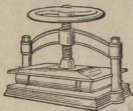


圖 132. 壓紙機



圖 133. 螺旋鉗

螺旋起重機(Jackscrew)每用以舉建築物等類之重物，他如壓紙機(Letter press, 圖 132), 螺旋鉗(Vise, 圖 133)等皆普通形式之螺旋也。

### 139. 連動齒輪

機械利率最高之機械為連動齒輪(Train of gear wheels), 其形狀如圖第134。試由功原理，即  $Ee = Rs'$ ，證明此種裝置之機械利率，即  $\frac{R}{E}$ ，等於

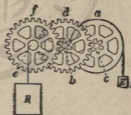


圖 134. 連動齒輪

$$\frac{a \text{ 之 圓 周 }}{e \text{ 之 圓 周 }} \times \frac{d \text{ 之 齒 數 }}{c \text{ 之 齒 數 }} \times \frac{f \text{ 之 齒 數 }}{b \text{ 之 齒 數 }} \quad (8)$$

### 140. 螺旋齒輪

機械利率最高之機械除連動齒輪而外，尚有螺旋齒輪

(Worm gear), 如圖 135, 如命  $l$  爲拐臂  $C$  之長,  $n$  爲齒輪  $W$  之全齒數,  $r$  爲軸之半徑, 試證明此種裝置之機械利率如下:

$$\frac{2\pi ln}{2\pi r} = n \frac{l}{r}. \quad (9)$$

此種裝置常用以使第一物體減其速度, 而非增加其作用之力者。觀圖可知拐臂之柄, 須轉  $n$  次後, 齒輪始轉一週。日用之運貨汽車, 其車後之軸, 常用此種裝置。

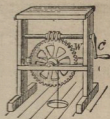


圖 135. 螺旋齒輪

### 141. 差動滑輪

如圖 136 所示, 爲差動滑輪 (Differential pulley), 用一連續不斷之鏈, 跨於定滑輪  $A$  上, 由  $A$  而下, 穿過動滑輪  $C$ , 再引上跨過定滑輪  $B$ 。  $A, B$  兩定滑輪固接成爲一體, 惟半徑則彼此略有不同, 各滑輪之緣上, 皆有突出之物, 使鏈恰可嵌入其中, 不致滑動。試如圖中 (2) 所示, 於  $E$  處將鏈曳下, 至上面之定滑輪轉動一周爲止, 則鏈昇上之距離, 當等於  $A$  之圓周, 而一端降下之距離, 則等於  $B$  之圓周, 故定滑輪與下面動滑輪間之鏈之距離所縮短之量, 等於  $A, B$  兩圓周之差。因而  $C$  下所懸之重量  $R$  昇上之高, 等於  $A, B$  兩圓周之差之半。故此種裝置之機械利率, 等於以  $A, B$  兩圓周之差之半, 除  $A$  圓周所得之商。

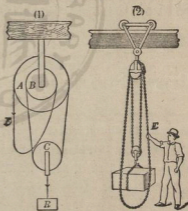


圖 136. 差動滑輪

問 題

1. 設有一銀櫃，重 5000 磅，今欲以 250 磅之力，將此櫃舉至 5 尺高之地，如所利用者為斜面，則至短之斜面當為若干？
2. 有 300 磅之桶一個，沿一斜板滾入門限之內，如板長 12 呎，門限高 3 呎，所施之力與板平行，問須力若干？
3. 用 80 呎之力於輪軸之輪上，以支持軸上之 150 呎之物，如輪之直徑為 3 呎，則軸之直徑當為若干？
4. 如船上之拔錨機之直徑等於 12 吋，柄長 6 呎，如以四人推柄，拔起重 2000 磅之錨時，各人所出之力為何？

5. 如圖 137 所示之複槓桿，設  $AC=6$  呎， $BC=1$  呎， $DF=4$  呎， $FG=8$  吋， $HJ=5$  呎， $IJ=2$  呎，而  $R$  處之重量為 2000 磅，問以何力作用於  $E$  處，始足以支持之？

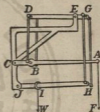


圖 137. 複槓桿

6. 如圖 138 所示之乾草秤，為一種複槓桿，其支點為  $F$ ， $F'$ ， $F''$ ， $F'''$  等，如  $F_o$  及  $F'o'$  之長為 6 吋， $FE$  及  $F'E$  為 5 呎， $F''n$  為 1 呎， $F'''m$  為 6 呎， $rF'''$  為 2 吋， $F'''S$  為 20 吋，如秤臺上有一噸重之物，則  $W$  處須以何力，始能支持之？

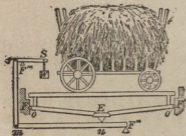


圖 138. 乾草秤

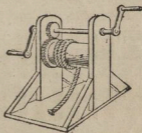


圖 139. 捲上機

7. 如圖 139 所示之捲上機，其拐臂長 2 呎，柱之直徑為

$$\frac{E}{R} = \frac{S}{5/4} \quad \frac{2 \times 4}{3 \times 2 \times 2 \times 2} = \frac{1}{6}$$



8 吋，大齒輪上之齒數為 60 個，小齒輪上之齒數為 20 個，問此種裝置之機械利率為若干？

8. 如圖 140 所示之起重機，其拐臂之長為  $1\frac{1}{2}$  呎，連動齒輪 A, B, C, D 各有齒數為 12, 48, 12, 60，捲鏈之軸之半徑為 10 呎，此器之機械利率為若干？

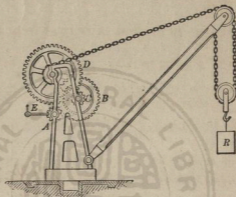


圖 140. 起重機

9. 如圖 135 所示之螺旋齒輪之輪上之齒數為 30，拐臂之長為 25 呎，軸之半徑為 3 呎，問此種裝置之機械利率當為若干？
10. 如螺旋起重機之螺旋，每一吋內有螺線 20 條，所用之槓桿之臂長  $3\frac{1}{2}$  吋，則其機械利率當為若干？（但用 3.1416 計算。）
11. 壓紙機之螺旋，每一吋之內有螺線 5 條，輪之直徑為 12 吋，如無摩擦力作用，以 20 磅之力施於輪上使其旋轉，則其所生之壓力當為若干？
12. 有螺旋起重機 8 個，各個之旋距等於  $\frac{1}{4}$  吋，桿長 18 吋，同時欲將重 100,000 磅之建築物舉起，如無摩擦力作用，各桿之末端須用力若干？又如有 75% 之力用於摩擦時，又當如何？
13. 如用一機械，其機械利率為  $\frac{1}{4}$  時，所得者究為何物？

試舉家用中之物二三種，其機械利率皆小於1。

## 功率及能

### 142. 功率之定義

如一重物被舉高若干距離，即受有一定量之功，此功與所費時間之長短無涉，故時間與測功並無關係，但尋常對於作功之率亦與功量同其重要，此種作功之率，名曰功率 (Power)，如命  $P$  表功率， $W$  表所成之功， $t$  表所需之時間，則

$$P = \frac{W}{t} \cdot \begin{array}{l} \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{sec}} \\ \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{sec}} \\ \frac{\text{erg}}{\text{sec}} \end{array} \quad (10)$$

### 143. 馬力

發明蒸汽機關之瓦特 (Watt) (1736-1819)，以為尋常之馬，每分鐘可作 33,000 呎磅之功，即每秒鐘可作 550 呎磅之功。用十進制則等於每秒 76.05 呎磅。數雖過巨，然沿用至今，凡英文流行之國，莫不用之以作功率之單位，稱曰馬力 (Horse power)，以  $H.P.$  表之。蒸汽機關之功率，概以馬力計量。通常鐵路上之機關車之馬力，約在 500 與 1000 之間。最大之固定蒸汽機關，或輪船上所裝設之機關，其馬力有至 5000 或 20,000 者。尋常之馬，僅有  $\frac{1}{2}$  馬力，人之功

$$1 \text{ H.P.} = 550 \frac{\text{ft} \cdot \text{lb}}{\text{sec}}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{sec}}$$

$$1 \text{ kilo-Watt} = 1,000 \frac{\text{joule}}{\text{sec}}$$

$$1 \text{ H.P.} = 746 \text{ Watt.}$$

率則約為  $\frac{1}{4}$  馬力。

#### 144. 瓦

十進制上用厄為功之絕對單位，與之相應之功率單位，則當為每秒若干厄。因其為量至微，故通常取每秒 10,000,000 瓦為實用上之單位即每秒一朱（見第 125 節，第 118 頁）。此種單位，稱為瓦 (Watt)，從瓦特之名也。發電機及電動機等之功率，概以瓦 (Kilowatt) 計量，瓦即 1000 瓦；不特此也，即近世之蒸汽機關，漸次亦多改用瓦，以計量其功率，而廢去前此之馬力。一馬力等於 746 瓦，或約等於  $\frac{3}{4}$  瓦。又一瓦約等於每秒 102 瓦 積。

#### 145. 能之定義

一物體之能 (Energy)，即其能作功之能力。一般無生物之所以具有能，因其前此曾受有若干之功。如圖 141，將一瓦之重由第一位置提高 1 呎後，懸於繩端之  $H$  鈎上，繩跨過一無摩擦之滑輪  $p$  後，於其他端再繫一瓦重之  $B$ 。如將  $A$  由  $i$  之位置提昇至  $z$  之位置，須費 1 瓦 積 (100,000 克厘，即 98,000,000 厄) 之功。但既昇至  $z$  之位置之後， $A$  自

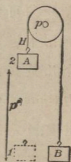
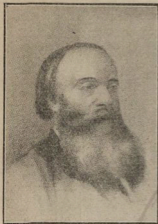


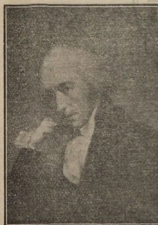
圖 141. 勢能



## 朱 爾

(James Prescott Joule) (1818-1889)

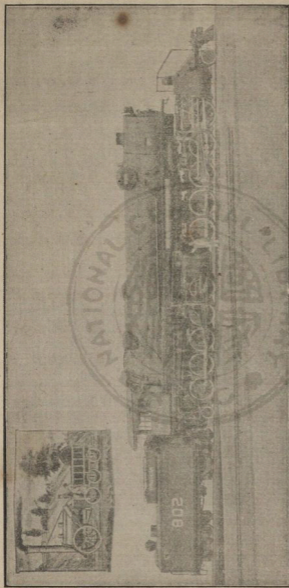
英之物理學家，生於曼徹斯特；爲創立能常住學說最著名之人；習化學於道爾頓，深得其趣；父爲曼徹斯特之酒商，富有資產，爲之特設一實驗室於其家中；大多數之實驗皆於其內或酒廠內成之；發見電流之熱之定律；與克爾文協力研出氣體之熱學性質，爲研究中創一新紀元；對於磁學亦有重要之貢獻；用實驗證明各態之能爲同一之物之第一人



## 瓦 特

(James Watt) (1736-1819)

蘇格蘭人，格拉斯哥大學之機械匠，公認爲蒸汽機關之發明者；在其前雖已有粗略之蒸汽機關，然近世之蒸汽機關之主要部分，則由其所創成。晚近新工業之紀元，實以瓦特爲起點



### 洛刻特機關車及味錦馬勒特機關車

上圖爲斯蒂芬孫(Stephenson)首造之機關車(即洛刻特(Rocket))與近世最大之機關車(即味錦馬勒特(Virginian Mallet))之大小對照之圖。洛刻特係於1829年十月行駛於曼徹斯特及利物浦之間,重44噸,因掛一可容三十人之車,以每秒25哩至30哩之速度進行,獲得500磅之獎金。味錦馬勒特爲紐約斯刺温塔狄(Schenectady)地方

之美國機關車公司所造,開行於味錦鐵路上,重450噸,其牽引力爲176,600磅,馬力約爲5100

身即具有一種作功之可能性，爲前此所未曾有者；蓋因如用微力， $A$  即自行落下以返  $I$  之位置，同時即將他端  $I$  妊重之  $B$  提高  $I$  呎，換言之，即能對  $B$  作功，而其所作之功之量適與前此所受者相等。

### 146. 勢能及動能

物體不特因被舉高，而有作功之可能性，即具有相當之速度時，亦示有此性；例如雖將機力停止，然飛輪仍可運轉片時，又如鎗向上射出後，因得甚大之速度，故可抗重力上昇若干距離，故在運動狀態之一切物體，皆有反抗重力上昇，或使當之者開始運動，或勝過種種抵抗力之能力，因此，可將物體具有之能，分爲兩種，一種由於其所占之優勝地勢而來者，曰“勢能”(Potential energy)；一種由其運動而來者，曰“動能”(Kinetic energy)。舉高之重物，捲繞或伸直之彈簧，張曲之弓等類物體之能，皆屬於勢能，——簡括言之，即勢能爲地勢之能，而動能則爲運動之能。

### 147. 勢能及動能之變遷

觀擺之振動，或於彈簧下懸一錘，使其上下振動，即足以察知施於其上之能，在勢能與動能之間往返變遷不已，當擺之球在圓弧之底靜止不動時，並無何種之能，

因其一方面既在最低之位置，一方面又無少許之速度故也。設將球移至圖 142 之  $A$  處，所須之功之克厘數，等於球重之克數乘距離  $AD$  之厘數；即於球上儲有此數之勢能。當球由  $A$  落下至  $C$  點時，所有之勢能，全體變為動能。若無磨擦力作用，則此項動能可使球昇

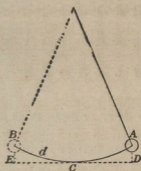


圖 142. 勢能及動能之變遷

至  $B$  處， $BE$  與  $AD$  相等，由是可知球在  $C$  處之動能，其量適等於在  $A$  處之勢能。故凡在弧之兩極端，擺之能皆全為勢能；在弧之中點，則全為動能。在此兩者之間，一部分為勢能，一部分為動能，不過其全體之總和，則仍等於原有之勢能而已。

#### 148. 無磨擦作用之機械之定律

由前述之機械定律所得之結論，為發動力所作之功，恆與抵抗力所作之功相等，但此結論之中，實含有極重要之兩種假定：其一係假定磨擦作用可以略去不計；其二係假定其或為等速運動，或為極遲緩之運動，故所作之功不致費於變更其速度。換言之，即假定發動力所作之功，全部用於舉起重物，或壓縮彈簧，——即儲而為

勢能。如無第二之假定，則由一極簡單之實驗，即足以證明前此所得之結論，非加以相當之修正不可。例如用一彈簧秤提起 500 克重物時，若行之過驟，並非徐徐提上，則秤上讀出之數，當大於 500 克，——如提起之速度極大，則讀出之數甚或有至數千克者。其原因由於發動力不僅須勝過抵抗物體之重力 500 克，且須勝過其惰性，因須昇與速度故也。昇物體以速度，即勝過其惰性之功，恒作動能現出；勝過重力之功，恒作勢能現出。故無論機械所生出之運動為快為慢，若無磨擦力作用，則一切機械之普遍定律，可以述之如下：發動力所作之功，等於受物體所儲之勢能與動能之和。在抵抗重力之機械，一物體恒以靜止始以靜止終，俾其由此種處置而得動能為零。故在此種機械，所作之功，恒等於所舉之重乘所舉之高，與運動之遲速無涉。當其使物體開始運動時所昇與之動能，於其停止時，全部皆成為勢能。

#### 149. 勢能之計量

將物體舉高作功，如舉木柱打樁之時，其勢能之計量等於將物體舉高時所費之功。故若命高為  $h$  呎，物體之重為  $M$  克，則

$$\text{勢能} = Mh \text{ 克呎。} \quad (11)$$



做此，如高為  $h$  呎，質量為  $M$  磅，則

$$\text{勢能} = Mh \text{ 呎磅.}$$

### 150. 動能之計量.

因地球對於  $M$  克質量之引力為  $Mg$  達，若不用克糧而用厄為單位以表勢能，則

$$\text{勢能} = Mgh \text{ 厄.} \quad (12)$$

因質量落下  $h$  之距離後，其全能皆變為動能，故當此質量達於木樁上時所有之動能，亦必為  $Mgh$  厄。

若不用物體落下之距離  $h$ ，而用其達於木樁上之一瞬間所有之速度，以表此動能，則只須將前方程式 (6) (第 85 頁)，即  $h = \frac{v^2}{2g}$ ，代入上式，則得

$$\text{動能} = \frac{1}{2} Mv^2 \text{ 厄.} \quad (13)$$

因物體之運動狀況如何，與此並無關係，故上式為運動物體之動能之普通式，用質量及速度表出，而其單位則為厄。

如有重 100 克之砲彈一枚，以每秒 10,000 糧之速度射出時，則其

$$\text{動能} = \frac{1}{2} \times 100 \times (10,000)^2 = 5,000,000,000 \text{ 厄.}$$

$$\text{因 1 克糧等於 980 厄，故此砲彈之動能爲 } \frac{5,000,000,000}{980} =$$

5,102,000 克糧，或 51.02 鈎枳。

由此可知欲使砲彈得每秒 100 枳之速度，則當其在砲身內時，火藥加於彈上之功，須為 51.02 鈎枳。

$$\text{一般若以克表 } M, \text{ 以每秒糧表 } v, \text{ 則動能} = \frac{Mv^2}{2 \times 980} \text{ 克糧;}$$

$$\text{若以磅表 } M, \text{ 以每秒呎表 } v, \text{ 則動能} = \frac{Mv^2}{2 \times 32.16} \text{ 呎磅.}$$

## 問題

1. 一段炸藥可作多量之功，當其未爆發以前，其能為勢能抑為動能？
2. 洗刷鑄鐵之器，磨粗玻璃面，於玻璃器上彫刻花草，掃除石造房屋之牆壁時，多用吹砂方法，試述明其作用。
3. 將重500磅之打木樁重錘舉起30呎，須功幾何？舉上後所儲之勢能若干？放落時可作若干之功？如此錘落下時將木樁打入地內 $1/2$ 吋，問作用於木樁上之力之平均數為若干？
4. 一人重198磅，由樓梯昇至華盛頓紀念塔（高500呎）之頂，費時10分。問此人所作之功率為若干馬力？
5. 耕田之車曳一鋤而行，其速度為每時 $2\frac{1}{2}$ 哩，其平均牽引力為1500磅。問此車作功之平均馬力為若干？
6. 一河流中有瀑布一處，高22呎，每秒注下之水為450立方呎，由此可得每秒若干呎磅之功？其馬力為若干？
7. 用10馬力之機關，將水汲昇60呎高，一時間之內可汲上若干加侖（一加侖為8磅）？
8. 飛機用400馬力之發動機，以每秒80哩之速度飛行。其推進器將空氣推向後退之力為若干磅？
9. 如鎗彈之力恰能穿過一板，則將速度加一倍時，恰能穿過若干板？
10. 一鋼球自1呎之高處落下，墜入鬆泥內2呎深處。如自4呎之高處落下時，可墜入泥內若干呎？
11. 將摩擦略去不計，於每長100呎昇高5呎之斜面上曳一重100磅之車，需力若干？除求答數外，並須說明解法之理由，及何以知其無誤。

## 第八章 溫度測定法及膨脹係數

### 溫度測定法

#### 151. 溫度之意義

日常習慣，以手與物體接觸而覺其熱，即謂其溫度高；覺其冷，即謂其溫度低。故“溫度”(Temperature)一語，即表明物體冷熱之狀態。

#### 152. 溫度之計量

在伽利略以前，並無人用特製之器具，以測物體之溫度，僅賴觸覺，以辨別其冷熱而已，但觸覺有時並不可恃，譬如曾在熱水中浸過若干時之手，驟入溫水，即覺其冷；曾在冷水中浸過若干時之手，驟入此同一之溫水中，即覺其熱，又如急走之人，入室即覺其暖；靜坐之人，則覺其涼。

因此種種困難，乃引起近世機械的方法，而有所謂溫度計 (Thermometer) 之製，以作精確之測定。一切物體，受熱莫不膨脹，溫度計之原理，即本乎此。

#### 153. 伽利略之溫度計

伽利略於1592年在意大利巴土亞 (Padua) 大學地

方，初製溫度計，彼既明乎固體，液體，氣體之因熱而膨脹之事實，又知氣體之膨脹，較液體，固體尤甚，故選用氣體，以作膨脹之材料，其所製成之器如圖 143。

試用內容空氣之瓶一個，如圖 143 之 *B*，使其與水之壓力計 *m* 相通，若以燈火近此瓶下，或即以手握瓶底，管內之水，即自 *m* 處立即降下。可知瓶內空氣因溫度增高，壓力亦從而增大，若將冰塊或少許之醋，置於瓶底以冷之，則水即由 *m* 處上昇。

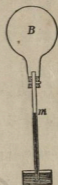


圖 143. 空氣因熱而膨脹

#### 154. 分子運動說中之溫度之意義

前第 64 節，曾述及氣體之壓力，由於氣體分子與器壁衝突而來，全體分子之數既不因受少許之熱而有增減，故不得不將壓力增加之原因歸之於業已存在之諸分子之速度之增大，自分子運動說言之，一定數之氣體分子，所生之壓力，由於此等分子與器壁衝突之動能而定，溫度升高，即分子之平均動能增大；溫度降下，即分子之平均動能減少，故用氣體運動說解釋氣體因溫度升高而起膨脹之現象，至為簡明。

#### 155. 百度水銀溫度計之構造

迨至 1700 年，始發明水銀溫度計 (Mercury thermome-

ter). 因其便於使用,故實用上多限於此種。

欲明溫度昇降一度 (Degree) 之意義,須先明水銀溫度計之構造及其分度之法。

試取內徑極細而又均一之厚壁玻璃管一支,將其一端吹成球形,如所欲測之最高溫度為 100 度,則於比 100 度略高之溫度時,將水銀裝入管內及球中,然後在火焰中將管口封閉,管內水銀經冷卻後,即自行收縮,自管頂降下,上部即成真空。

其次取將熔之雪或冰,圍於球部周圍,如圖 144。此



圖 144. 定冰點法

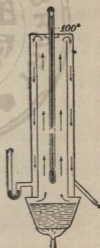


圖 145. 定沸點法

時水銀面所在之處,刻一線記作  $0^{\circ}$ ,再將管與球部全體插入由沸水發出之氣壓為 76 種之水蒸氣中,如圖 145。

此時水銀面所昇上之處，又刻一線記作  $100^{\circ}$  將此兩線間之管上部分，分作 100 等分，各刻一線，並於  $100^{\circ}$  以上  $0^{\circ}$  以下之部分，亦刻同一距離之線。

溫度變化一度之義，即能使管內水銀面沿管外所刻之線昇降一格之溫度變化；亦即球內水銀所生之膨脹，恰為由熔冰之溫度昇至 76 厘米壓力下之沸水溫度時之膨脹之  $1/100$ 。依此方法分度之溫度計，謂之百度溫度計 (Centigrade thermometer)。

百度溫度計，多用於學術界上，惟通行十進制之國，即日常亦多用之。此種溫度計，係瑞典烏布薩拉 (Upsala) 地方之攝爾修 (Celsius) 於 1742 年所創，故又名之曰攝氏溫度計 (Celsius thermometer)。

由分子運動說論之，液體溫度增加之意義，亦如氣體，為其分子之平均動能之增加；溫度減少之意義，亦即其分子之平均動能減少。

### 156. 華氏溫度計

英美兩國日常所用之溫度計刻度法，與百度溫度計不同，其冰澌之溫度不為  $0^{\circ}$  而為  $32^{\circ}$ ；沸水之溫度，不為  $100^{\circ}$  而為  $212^{\circ}$  此兩點之間，共分為 180 等分，此種分度法之零度，係等量之鹵砂 (Ammonium chloride) 與雪屑調

和時之溫度。當 1714 年華倫海 (Fahrenheit) 製成此計時，其所以擇定此點爲其零度者，因彼時在實驗室中，以爲不能求得較此更低之溫度故也。

### 157. 攝華兩計之比較

由華氏分度法與百度計分度法，可知百度計上之  $100^\circ$ ，與華氏計上之  $180^\circ$ ，所示之溫度差，彼此相同(圖 146)，故攝氏之 5 度，與華氏之 9 度相等。圖 147 之 C 表攝氏

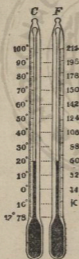


圖 146. 百度計與華氏計

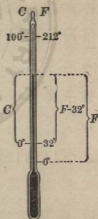


圖 147. 攝氏分度與華氏分度之比較

計上之度數，F表華氏計上之度數。因攝氏計上五度所占之地位，等於華氏計上九度所占之地位，故

低 39 成為固體

$$\frac{C}{F-32} = \frac{5}{9}$$

高

其理顯而易見，由此公式，將一計上之刻度，化爲他一計上之刻度，其事甚易。

試取一例，求將  $20^{\circ}\text{C}$ . 化爲華氏度數，則

$$\frac{20}{F-32} = \frac{5}{9}, F = 68^{\circ}.$$

### 158. 水銀溫度計之限界

水銀至  $-39^{\circ}\text{C}$ . 時，即凝爲固體，故較此更低之溫度，通常多用酒精溫度計 (Alcohol thermometer) 測之，因酒精須至  $-130^{\circ}\text{C}$ . 時始能凝固故也。又水銀之沸點 (Boiling point) 爲  $360^{\circ}\text{C}$ .，故水銀溫度計不能測極高之溫度。欲同時可測極高極低之溫度——即欲測一切之溫度——當用氣體溫度計 (Gas thermometer)。

### 159. 標準氫溫度計

近世之氣體溫度計 (圖 148)，其製法已與昔日伽利略所製者 (圖 143)，大異其趣。其測定溫度方法，不由於在不變壓力下之氣體容積之膨脹，而由於不變容積之氣體分子，對於器壁所生之壓力之增加。巴黎國際度量衡局之標準氫溫度計 (Standard hydrogen thermometer)，其刻度及用法，大要如下：



先將  $B$  球內充滿氫，使  $a$  管內水銀上部之空間，裝成爲完全真空。然後用燻冰圍繞  $B$  球四周(如圖 144)，再將  $a$  管提上或降下，使  $b$  管內之水銀面，恰在定點  $c$  處。因  $D$  以上之空間爲真空，故  $B$  球內之氫對於水銀面  $c$  所施之壓力，恰足以支持水銀柱  $ED$ 。於  $a$  管後面，立一金屬板，將此時之  $D$  點刻一記號。然後將  $B$  球放入水蒸汽槽中，如圖 145。  $B$  內氣體因壓力增加，立將  $c$  處之水銀面壓下， $D$  處之水銀面壓上，但若將  $a$  管舉高，仍可使  $b$  管內之水銀面，返其原處  $c$ ，如此  $c$  處水銀面上所增加之壓力，恰足以支持所增長之水銀柱，即  $EF$ 。當  $B$  內氣體全被熱至水蒸汽之溫度後，須在精確較準  $a$  管，使  $b$  之水銀面務在其原處  $c$ ，然後在  $a$  管後之金屬板上將  $F$  點所在之處刻一記號。如此而得之  $D$  即  $0^{\circ}\text{C}$ ， $F$  即  $100^{\circ}\text{C}$ 。此兩點間之垂直距離，分作 100 等分， $0^{\circ}\text{C}$  以下， $100^{\circ}\text{C}$  以上，亦刻同樣之度。由此得溫度之定義曰，溫度使  $B$  內氣體之壓力，生此種兩刻度之間之距離者，爲溫度一度之變化。兩刻度間之距離，爲  $ED$  距離之  $1/273$ 。

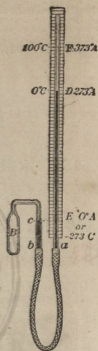
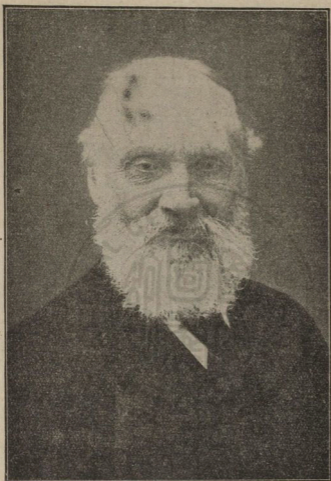


圖 148. 標準氣體溫度計

換言之，百度計上一度之變化，爲使密閉器內之氫，變其  $0^{\circ}\text{C}$  時之壓力之  $1/273$  之溫度。

### 160. 絕對溫度

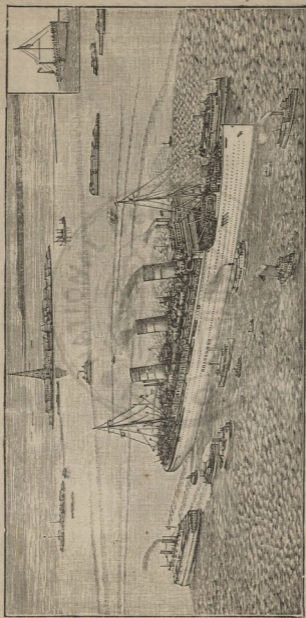
由前節所述，氫降下  $1^{\circ}\text{C}$ ，即將其  $0^{\circ}\text{C}$  時之壓力減



### 克爾文

(Sir William Thomson, Lord Kelvin) (1824—1907)

十九世紀最有名之物理學家；生於愛爾蘭之伯爾發斯特 (Belfast) 地方；爲蘇格蘭格拉斯哥大學 (Glasgow University) 教授者五十餘年；以研究熱學及電學著名；溫度之絕對熱力學單位之創始者；熱力學第二定律之首創者；電流計，鏡電流計以及其他種種重要電學器械之發明者



### 克勒芒船及利外阿坦船

此圖為福爾敦 (Robert Fulton) 最初造成之汽船克勒芒 (The Clermont) 與世界第一大船外利阿坦 (Leviathan) 之比較。克勒芒船長 150 呎，寬 13 呎，排水量約為 100 噸；於 1807 年八月，往返於紐約與奧爾巴尼 (Albany) 之間，平均速度為每時 5 哩。外利阿坦為美國在歐戰中用以輸送軍艦之船，可載兵 10,000 人以上，而船員尚不在其內；船長 950 呎，寬 100 呎，最大排水量為 58,000 噸；裝有四臥輪，總馬力數為 90,000，運轉推進器四具，試航時之速度為每時 25.8 哩 (Knots)

少  $1/273$ ，若使其降至  $0^{\circ}\text{C}$ 。下  $273^{\circ}$ ，則其壓力當減為零，但由分子運動說論之，當為氫分子停止一切運動之溫度。此溫度名曰絕對零度 (Absolute zero)，由此點起算之溫度，名曰絕對溫度 (Absolute temperature)，今若以  $A$  表絕對溫度，則  $0^{\circ}\text{C} = 273^{\circ}\text{A}$ ， $100^{\circ}\text{C} = 373^{\circ}\text{A}$ ， $15^{\circ}\text{C} = 288^{\circ}\text{A}$ ，餘做此。通常習慣，以  $t$  表百度計，以  $T$  表絕對溫度計，故

$$T = t + 273. \quad (1)$$

### 161. 氣體溫度計與水銀溫度計之比較

國際委員會既選定前 159 節所述之氫溫度計為標準器，則前 155 節所述之水銀溫度計分度法，除  $0^{\circ}$  及  $100^{\circ}$  兩點與氣體溫度計一致（因此兩點，同為兩種刻度法之出發點，當然一致）而外，其餘各點是否仍相一致，實屬一重要問題。歷經詳細較量，雖非完全一致，但在常溫之範圍內，所差甚微。 $0^{\circ}$  與  $100^{\circ}$  之間，其差皆在  $2^{\circ}$  以下，唯至  $300^{\circ}\text{C}$ ，其差竟達  $4^{\circ}$ 。（實際上，即在水銀沸點，即  $360^{\circ}\text{C}$ ，以上之溫度，亦恆用水銀溫度計以測之，惟須將氮充於管內，利用氮之壓力，以防止其沸騰。）

由是可知，對於通常用途，即水銀溫度計，亦甚精確，並無選用特別標準器之必要。但若用之於學術上，則須先與氫溫度計相比較，而製成一訂正表，方可使用。酒精溫度計之誤差，較之水銀溫度計為尤甚。

### 162. 低溫度

絕對零度之溫度，從未實現，惟輒近進步，漸次接近之而已。在四十年前所能測得之最低溫度為  $-110^{\circ}\text{C}$ ，係法刺對 (Faraday) 於 1845 年，使醚與固體二氧化碳之

混合物，在真空中蒸發時所得之溫度，至1880年，始將空氣液化，而由氣體溫度計測得其溫度為 $-190^{\circ}\text{C}$ 。如今液體空氣在與空氣唧筒相通之空間內蒸發，用唧筒時將其蒸氣排出，則其溫度可降至 $-220^{\circ}\text{C}$ 。最近氫亦可液化，其溫度為 $-243^{\circ}\text{C}$ 。凡此類之溫度，皆用氫溫度計測得。調厄 (Dewar) 於1900年使液體之氫在與空氣唧筒相通之空間內蒸發，而用唧筒隨時將其蒸氣排出，即得 $-260^{\circ}\text{C}$ 之溫度，其後卡麥林奧涅斯 (Kamerlingh Onnes) 於1911年完成液化氦，而達 $-271.3^{\circ}\text{C}$ 之溫度，在絕對零度上僅 $1.7^{\circ}$ 而已(見217節)。

### 問題

1. 試言 $0^{\circ}\text{C}$ 及 $100^{\circ}\text{C}$ 之定義， $1^{\circ}\text{C}$ 及 $1^{\circ}\text{F}$ 爲何意？
2. 由氣體之研究，可斷定有一溫度，達此溫度後，分子即完全停止其運動，物體內即不含熱量，試將何以得此結論之理由說明。
3. 平常室內溫度爲 $68^{\circ}\text{F}$ ，爲攝氏若干度？
4. 平常人體之體溫爲 $98.6^{\circ}\text{F}$ ，爲攝氏若干度？
5. 與 $0^{\circ}\text{F}$ 相當之攝氏度數爲若干？
6. 水銀凝結之溫度爲 $-40^{\circ}\text{F}$ ，爲攝氏若干度？
7. 液體空氣之溫度爲 $-190^{\circ}\text{C}$ ，爲華氏若干度？
8. 由蒸發液體氫所能達之最低溫度爲 $-271.3^{\circ}\text{C}$ ，爲華氏若干度？
9. 絕對零度爲華氏若干度？
10. 醫生所用之體溫計，其下端爲一圓柱形，與通常之溫度計作球形者不同，其故安在？

11. 將溫度計放入熱水內，先須降下少許，然後始行升高，其故安在？
12.  $0^{\circ}$  與  $100^{\circ}$  之刻度間之距離，雖下端之球同一大小，亦隨其幹之粗細而有短有長，其故安在？
13. 絕對零度之溫度，具何意義？
14. 如將液體空氣放入空氣唧筒之受器內，抽出其空氣，則溫度更行下降，試言其故。
15. 設有兩溫度計，其下端之球皆為等大，如一計之管之孔直徑為他計之二倍，求此兩計上所刻之  $0^{\circ}\text{C}$ . 與  $100^{\circ}\text{C}$ . 兩記號間之距離之比。

## 膨脹係數

### 163. 查理及給呂薩克定律

如 159 節所述，使氣體之容積不變而升高其溫度，以觀察其壓力之增加，即可得膨脹之壓力係數 (Pressure coefficient of expansion)，其定義如下：凡每升高一度所得增加之壓力，對於  $0^{\circ}\text{C}$ . 之壓力之比，名曰膨脹之壓力係數。1787 年法人查理 (Charles) 就各種氣體首行實測，遂發見一切氣體之膨脹之壓力係數皆相同，即通常所稱之查理定律 (Charle's law) 是也。

反之，如使氣體之壓力不變而升高其溫度，以觀察其容積之增加，即可得膨脹之容積係數 (Volume coefficient of expansion)，其定義如下：每升高一度所得增加之容積，對於  $0^{\circ}\text{C}$ . 時氣體之全容積之比，名之曰膨脹之容

積係數，1802年法人給呂薩克首就各種氣體實測，遂發見一切氣體之膨脹之容積係數皆相同，且與壓力係數相同，即 $1/273$ ，即通常所稱之給呂薩克定律 (Gay-Lussac's law) 是也。

由絕對溫度之定義及查理定律，可知同一容積之一切氣體，其壓力皆與絕對溫度為比例；即

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

由給呂薩克定律可知在常壓下之一切氣體，容積與絕對溫度為比例；即

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (3)$$

如壓力，溫度，容積皆可變動，則得

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (4)$$

六量中如有五量為已知數，其餘一量即可由此式求出。

① 如學生尙不明白，可用一譬喻，設有二人賽跑，其速度如相等，則其距離與時間當為正比例，即  $\frac{D_1}{D_2} = \frac{t_1}{t_2}$ ；但如其時間雖相同，而速度有異，則  $\frac{D_1}{D_2} = \frac{s_1}{s_2}$ 。最後更設想一人之速度既為他一人之倍，而其所跑之時間又為他一人之倍，如此，其所經過之距離，當然為他一人之4倍，即時間與速度同時皆變時，當為  $\frac{D_1}{D_2} = \frac{t_1 s_1}{t_2 s_2}$ 。

如容積不變，即  $V_1 = V_2$ ，則方程式(4)化成(2)，即前述之查理定律；如壓力不變，即  $P_1 = P_2$ ，則方程式(4)化成(3)，即前述之給呂薩克定律；若溫度不變，即  $T_1 = T_2$ ，則方程式(4)化成即  $P_1 V_1 = P_2 V_2$ ，即前述之波義耳定律。如所求者為密度之比而非容積之比，則只須將  $\frac{D_2}{D_1}$  代去(3)，(4)

兩式中之  $\frac{V_1}{V_2}$  即得。

### 問 題

1. 前圖 30 (第 36 頁) 所示之空氣墨水瓶，置於日中，何以墨水有時自行溢出？
2.  $0^\circ\text{C}$ . 之氣體，在同一壓力之下，欲使其容積增加一倍，須將其溫度升高若干？
- √ 3. 有一定量之氣體，在  $30^\circ\text{C}$ . 時，其容積為 20 立方呎，如其壓力不變而欲使其容積成為 300 立方呎，問其溫度當為若干？
4. 如在  $10^\circ\text{C}$ . 時，腳踏車輪胎內之空氣壓力為二氣壓，即等於 152 呎之水銀柱，問溫度升至  $53^\circ\text{C}$ . 時，胎內之氣壓當為若干？
- √ 5. 如有 15 立方呎之空氣，其壓力自 76 呎變為 40 呎，溫度不變，則其容積當如何？(參閱波義耳定律，第 39 頁。)若此空氣之溫度自  $15^\circ\text{C}$ . 變為  $100^\circ\text{C}$ .，而壓力不變，其容積又當若何？
- √ 6. 在半張之氣球內，空氣所占之容積為 10,000 呎，溫度為  $15^\circ\text{C}$ .，氣壓計之高為 75 呎，若此氣球昇至勃耶山頂，氣壓為 37 呎，溫度為  $-10^\circ\text{C}$ . 時，其容積當為若干？

國立中央圖書館

NATIONAL CENTRAL LIBRARY  
CHINA



## 液體及固體之膨脹

## 164. 液體之膨脹

液體之膨脹與氣體不同之處如下：

- (1) 液體之膨脹係數，其值遠小於氣體之膨脹係數。
- (2) 種類不同之液體，其膨脹程度各不相同；例如酒精之膨脹係數在  $0^{\circ}$  與  $10^{\circ}\text{C}$ . 間時為 0.0011；醚則為 0.0015；石油則為 0.0009；水銀則為 0.000181。

(3) 同一之液體，因溫度不同，其膨脹係數亦異；即其膨脹至不規則。故如在  $0^{\circ}$  與  $60^{\circ}\text{C}$ . 間測出之酒精膨脹係數，當為 0.0013，與在  $0^{\circ}$  與  $10^{\circ}\text{C}$ . 間求出之 0.0011 不同。

但水銀之膨脹率比較上在相當廣範圍內，其值幾不變化，水銀溫度計測出之溫度，與氣體溫度計測出者，頗能一致，即緣此理。

## 165. 測定液體膨脹係數法

通常所用測定液體膨脹係數之最簡便方法，係將液體盛入一已知容積之球形容器，器上有已知孔徑之微管，如圖 149。然後使溫度昇高一定度數，觀察管內

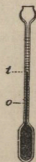


圖 149. 研究液體膨脹之球形容器

液面升高若干。不過同時須計及球形容器亦有相當之膨脹，但若製成容器之物質之膨脹係數為已知，則此計算亦屬易事。

### 166. 水之最大密度

如用前法將水盛入球形容器內試之，則管內液面降至最低之位置時，為  $4^{\circ}\text{C}$ 。溫度由此更降，水即顯出一種特徵，即溫度降低，容積增加。

由此可知水在  $4^{\circ}\text{C}$  時，其密度為最大。

### 167. 冬日湖凍

由前可知冬日較大體積之水所以致凍之故，表面之一層先冷而凝縮，因此較其下層為重，故即沉下，而較溫之水乃由下昇上以代之，如是昇沉交替，進行不已，直至全體之水俱達  $4^{\circ}\text{C}$  之溫度為止，以後表面再冷，轉較其下層為輕，故不復沉下，即留於其表面，直至結冰，故在表面未結冰以前，水之全體即其最下一層之溫度，亦必冷至  $4^{\circ}\text{C}$ 。深水較淺水不易凍結；須有較長之時間，及較烈之氣候，始能結冰，即屬此理。更由前述可知昇沉交替之作用，至  $4^{\circ}\text{C}$  即止，故實際上一切未結冰之水，雖在嚴寒，其溫度皆為  $4^{\circ}\text{C}$ 。僅與冰相接近之一部分，其溫度有在  $4^{\circ}\text{C}$  以下者，此事實對於維持水族生活，至為重要。

## 168. 固體之膨脹

固體物質因溫度升高而起膨脹之證明，可自各方面觀察之。火車軌道之啣接處，必留少許空隙，以備夏日不致因膨脹而失其正常之位置。車輪所包之鐵圈，製造時須較其所套之輪略小，將鐵圈燒熱，使其脹大至能套於輪上為止，既套上以後，使其冷卻，遂因收縮而以大力嵌於輪上。在講堂內作膨脹之實驗，其法如下：

用一金屬球  $B$ ，使其冷時恰能穿過環  $R$ ，在本生燈上燒熱，即脹大不能穿過環內；但若將環燒熱，或將球冷卻後，即易通過（見圖 150）。



圖 150. 固體之膨脹

如氣體、液體之膨脹，由於分子運動之平均動能之增加，則由此實驗，對於固體亦可得一相似之解釋。簡言之，不問物質之為固體、液體、氣體，其溫度皆可由其分子擾動之平均動能決定之。

## 169. 固體之線膨脹係數

通常測膨脹固體之一邊之長之增加，較諸測其體積之增加為便。溫度每升高一度所增之長，與其總長之比，稱為固體之線膨脹係數 (Linear coefficient of expansion)。故若令  $l_1$  表一棒在  $t_1^\circ$  時之長， $l_2$  表其在  $t_2^\circ$  時之長，以  $k$

表線膨脹係數,則可用下列之方程式作其定義:

$$k = \frac{\frac{l_2 - l_1}{l_2 - t_1}}{l_1} = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

通常各種物質之線膨脹係數如下表:

鋁	.000023	金	.000014	銀	.000019
黃銅	.000019	鐵	.000012	銅	.000013
鋼	.000017	鉛	.000029	錫	.000023
玻璃	.000009	鉑	.000009	銻	.000030

## 膨脹之應用

### 170. 抵償擺

因長擺之振動較短擺遲緩,故鐘錶所用之擺錘,在夏日因膨脹結果,令時針進行過遲;在冬日因收縮結果,令時針進行過速,故精密之時計,皆須用抵償擺 (Compensated pendulum),其構造使擺錘與支點間之距離,不因溫度而變,其法用兩種不同之物質造成兩組之棒,以懸擺錘:其一組因膨脹結果,使錘昇上;他一組因膨脹結果,使錘降下,兩者恰足

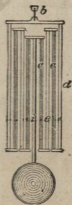


圖 151. 抵償擺

相償。此種擺如圖 151。鐵棒  $b, d, e, i$  等使錘降下，銅棒  $c$  則使錘昇上。欲得完全之抵償擺，只須使鐵棒之全長對於銅棒之全長之比，等於其膨脹係數之反比即可。

### 171. 抵償擺輪

精確之錶所用之擺輪 (Balance wheel)，亦金屬之不等膨脹之一應用。溫度昇高，一方面輪之半徑增大，一方面節制輪之彈簧之彈力減小。兩種結果皆足以使表之進行遲緩。欲矯正之，須將轉動部分之物質，牽近輪心。故用膨脹係數不等之金屬作  $bc$  弧，以膨脹係數較小者作輪之裏面，如圖中所示之黑色部分。當溫度昇高時，弧之自由一端被曳向中心，足以抵償遲緩效應。



圖 152. 抵償擺輪

此理又可由圖 153 所示之複棒證明。棒由兩片金屬釘合而成，一黃銅，一鐵。若將棒緣置於本生燈上燒之，使兩片金屬

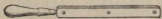


圖 153.



圖 154.

金屬之不等膨脹

皆受同量之熱，則棒即生高曲，成爲圖 154 所示之形狀，其膨脹較盛之金屬，即黃銅，在曲線之外緣。如將此曲棒埋入雪內或冰內，使其冷卻，則又向反對之一方彎曲。

通常之恆溫器(Thermostat, 圖 155)

即由此種複棒而成,其構造如下,如室內過冷,則棒端與  $a$  接觸,使電路閉合,通入熱空氣;又室內過熱,棒端即與  $b$  接觸,使電路切斷,即不通風。

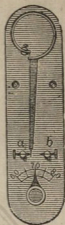


圖 155. 恆溫器

### 問題

- 湖底之水,何以常較湖面之水寒冷?有若干處高山中之湖水,其湖底之水溫,終年恆為  $4^{\circ}\text{C}$ ., 而湖面之水溫,則由  $0^{\circ}\text{C}$ . 至溫暖之間,變動不定,其故安在?
- 用水銀作溫度計比用水佳,試舉其優點三種。
- 厚玻璃器中若注入熱水,較薄玻璃器易損,其故安在?
- 通常多用水銀柱作抵償擺,如圖 156. 試說明其理由。
- 懸布魯克林橋 (Brooklyn Bridge) 之鋼纜,長一哩以上. 由冬日之氣溫  $-2^{\circ}\text{C}$ ., 以至夏日之氣溫  $30^{\circ}\text{C}$ ., 每一哩之長約變動若干呎?
- 設有測量技師用鋼卷尺 (Steel tape), 在  $20^{\circ}\text{C}$ . 時恰長 100 呎, 問  $0^{\circ}\text{C}$ . 時此尺共短去若干?
- 設有一玻璃瓶,由其上之刻度,知其於  $15^{\circ}\text{C}$ . 時可容 1000 立方呎. 假定玻璃之體膨脹係數為 .000025, 問  $40^{\circ}\text{C}$ . 時,此瓶可容若干立方呎?

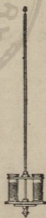


圖 156. 水銀抵償擺

8. 時計式溫度計(Dial thermometer)亦由一稜棒造成(圖157), 其外緣爲鐵, 內緣爲黃銅, 中央柱  $c$  上纏有一細線  $t$ . 試述其作用.

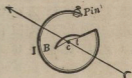


圖 157. 時計式溫度計

9. 有時將熱水注在玻璃瓶頸, 卽易將瓶栓拔去, 試言其故.
10. 設有一金屬棒, 長 230 呎, 溫度由  $0^{\circ}\text{C}$ . 昇至  $100^{\circ}\text{C}$ . 時, 膨脹 2.75 呎, 求線膨脹係數. *0.00012*
11. 極長之汽管, 因須受溫度變化, 故有用“膨脹結合”(Expansion joints)之必要. 其法用黃銅環(Collar)套於兩管接合處上面, 而以填料填合, 使其緊接. 如  $\frac{1}{2}$  鐵管, 每長 200 呎加上述之結合一個, 溫度之變化範圍在  $-30^{\circ}\text{C}$ . 與  $125^{\circ}\text{C}$ . 之間, 問兩管接合處最少須留若干餘隙?
12. 由 159 頁之方程式 5, 可以用每一度每一單位長所增加之長, 作線膨脹係數之定義, 試證明之.

## 第九章 功及熱能

## 摩擦

## 172. 摩擦虛耗功

前第七章所述之各種實驗，皆曾鄭重申言其摩擦 (Friction) 作用可以略去不計，此一條件果能滿足，則凡百實驗之結果，皆可以下言概括之：作用力所成之功，恒與貯蓄之動勢兩能之和相等。

假使有摩擦存在，此律即不確，因此時作用力所成之功，恒大於所貯之動勢能總和故也。例如在一平面桌上牽動木塊，及其停止，木塊並未得速度，是並未蓄有動能。不特如是，因既未將其舉高，又未使其生彈性的變形，是並無勢能。故由此靜止後之木塊，不能得些微之功，與由未動前之木塊不能得功相同。由此可知牽動木塊時所作之功，完全消耗於與摩擦作用對抗，故為虛耗之功 (Wasted work)。由經驗而知，凡消耗於摩擦之功，永不可復得。此功果耗於何所？今且暫置。今先述摩擦所依存之事項數種，及由實驗所得之摩擦定律如次。

## 173. 摩擦係數

命  $F$  表與平面平行之力，以此力作用於物體上，即



足以維持其均一運動;  $F'$  表此物體對於平面之壓力。速度若不過大,  $F/F'$  之比, 因接觸面之性質而定, 與面積及速度無涉。此  $F/F'$  之值, 稱為各物質之摩擦係數 (Coefficient of friction)。如圖 158,  $F$

為 300 克,  $F'$  為 800 克, 則摩擦係數為  $300/800 = .375$ 。鐵與

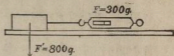


圖 158.  $F$  與  $F'$  之比為摩擦係數

鐵間之摩擦係數為 .2; 橡木與橡木間為 .4。

### 174. 滾動摩擦

滑動摩擦之主因, 由於微小之突起交相參錯使然。故圓體在平面上滾動 (Roll) 時, 其摩擦較滑動時為小; 例如鐵輪在鐵軌上滾動時其摩擦係數低至 .002, 約等於鐵與鐵間之滑



圖 159. 軸承之摩擦

(1) 普通軸承 (2) 球軸承

動摩擦之  $1/100$ 。是則用一磅之引力可曳動 50 磅之車。然尋常車輪, 不能全無滑動摩擦, 蓋輪雖沿軌道進行, 而其輪軸自始至終皆在軸頸 (Journal) 上同一之  $c$  點滑動, 如圖 159(1)。軸頸通常蒙有一層黃銅或其他之合金, 故其係數亦低。

軸頸之滑動摩擦, 幾全變為滾動摩擦之一例, 為球軸承 (Ball bearing, 圖 159(2))。腳踏車之踏板 (Pedal) 所用之球軸承, 如圖 160。其自由軸之齒輪 (Free wheel ratchet), 如圖 161。  $a, b$  等為掣鉤 (Pawl), 可使後輪繼續轉動, 而踏板及鏈輪 (Chain wheel)  $W$  停止不動。又有滾子軸承 (Roller bearing), 如圖 162。機械上常用油

類塗抹，目的在減少摩擦，以防軸承之易損。

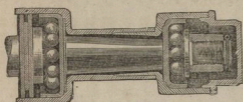


圖 160. 腳踏車之踏板

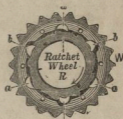


圖 161. 自由輪之棘齒輪

### 175. 流體之摩擦

凡固體在流體中運動，如彈之飛於空中，船之行於水上，其所受之抵抗，與固體之摩擦相同，並非全與速度無關。速度小時，摩擦與速度之平方為正比；速度大時，其增加之率更遠過於此。快車之費用極鉅，即屬此理。蓋慢行時，空氣阻力不過全抵抗之一小部分，而急行時則一變而為其主要之抵抗故也。汽船急駛時所受之抵抗，其增加率與速度之立方為比例。故白星航線 (White Star Line) 之塞德立克 (Cedric) 船載重 3,800 噸，速度 17 海里，祇用 1,400 馬力。而邱那德航線 (Cunard Line) 之摩里達尼亞 (Mauretania) 船載重祇 32,500 噸，速度為 25 海里，則需用 7,000 馬力。

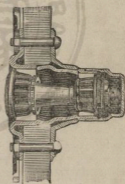


圖 162. 汽車前輪之滾子軸承

### 問題

1. 機械上減摩擦法，試舉三例。
2. 摩擦於日常生活上，何處為其便利，何處為不便？如

無摩擦，吾等可以無礙否？

3. 河中心之水流，較兩岸近端為速，其故何在？
4. 載重雖已發動，而車前之馬，猶須用力曳之，其故安在？
5. 重車於出發時，常布沙於軌上，其故安在？
6. 用起重螺旋起屋時，其摩擦之便利究在何處？不便處又在何處？
7. 設有光滑木塊大小為  $10 \times 8 \times 3$  立方吋，以一定之初速度使其滑於冰上，試就下列三者比較其能滑進之距離：(1) 如以  $10 \times 8$  之面，與冰接觸；(2) 如以  $10 \times 3$  之面，與冰接觸；(3) 如以  $8 \times 3$  之面，與冰接觸。
8. 200 磅之黃銅塊，在一放平黃銅板上滑動，須以 25 磅之力，方可保持其等速運動，黃銅與黃銅間之摩擦係數為何？
9. 木塊與桌面間之摩擦係數為 .3，今欲使 500 磅之木塊在桌面上作等速運動，須力幾何？

## 效率

### 176. 效率之定義

唯理想上之機械，始無摩擦，故實際上作用力對於一切機械所作之功，恒超過儲蓄之能，其超過之數，適為對抗摩擦所作之功，對抗摩擦所作之功，為永久消耗不可復得之功，而貯蓄之能，則可使其復轉而為功，故稱之為有用之功 (Useful work)，機械上大抵皆力求有用之功為所施之功之大部分，有用之功，對於作用力所成之總功之比，曰機械之效率 (Efficiency)。

$$\text{效率} = \frac{\text{完成之有用之功}}{\text{消費之總功}} \quad (1)$$

設用圖116之滑輪，欲將  $R$  處所加之  $240$  克重，緩緩提起，須加  $50$  克重於  $E$  處， $E$  經過一繩之距離時， $50$  克重所成之功為  $50 \times 1$  克槓，其所完成之有用功，等於  $240 \times \frac{1}{6}$  克槓，故其效率等於  $\frac{240 \times \frac{1}{6}}{50 \times 1} = \frac{4}{5} = 80\%$ 。

### 177. 單簡機械之效率

單簡槓桿之摩擦甚小，可略而不算，故其效率近乎  $100\%$ 。斜面應用於機械時，摩擦亦小，其效率恆在  $90\%$  至  $100\%$  間。複合滑輪（圖116）效力甚小，約為  $40\%$  至  $60\%$ 。起重螺旋之摩擦甚大，雖其機械利率甚巨，但其效率有時僅至  $25\%$ 。圖136之差動滑輪，其機械利率雖大，效率亦甚小。圖134之聯動齒輪，或腳踏車之鏈聯齒輪，其效力皆大，可將其所得之能之  $90\%$  至  $100\%$ ，變為有用之功。

### 178. 上擊水車之效率

上擊水車 (Overshot water wheel, 圖163) 完全利用  $S$  處水之勢能。因水車之輪，受齒槽內水之重力作用，始起轉動。每秒對於車輪所作之功，等於水重與每秒流落距離之乘積，以此數除其每秒所成之功，即水車之效率。此類水車，多見於山間，因水量雖不多，然其落距甚大，故其有用之功，亦自不小。

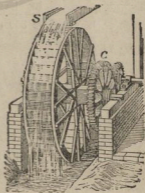


圖 163. 上擊水車

其效率最大者，常為 80% 至 90%。至其損失，不獨關於軸承及齒輪（見 C）等之摩擦，並因有一部之水，由軸緣濺出，或並未流進槽內所致。此種損失，仍可看作摩擦損失，因水與地面衝突後，能即變為內部摩擦而消失故也。

### 179. 下擊水車之效率

舊式水車為下擊水車 (Undershot water wheel)，如圖 164，多用於平坦水多之鄉。其所利用者，僅由 A 溝流出之水之動能。水開上之勢能變為有用之功罕有過 25% 至 30% 者。近世加以改良，有許多形式，其效率皆甚大。例如拍爾吞水車 (Pelton wheel，圖 165)，自 1880 年以後，凡有自來水之城鎮，多利用之以作小

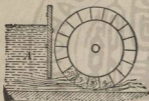


圖 164. 下擊水車

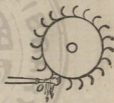


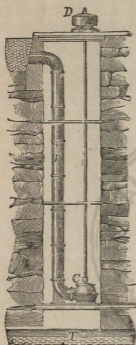
圖 165. 拍爾吞水車

原動力，其效率約為 83%。水由 O 口射擊車輪所附之杯狀槽，如圖所示。在美國加利福尼亞地方常用直徑 94 吋之拍爾吞水車，水流速度為每秒 350 呎（每時為若干哩？），其水口直徑為 6 吋，水頭約為 1900 呎。

### 180. 水臥輪之效率

1833 年，法國首創水臥輪 (Water turbine)。晚近用途愈廣，各種水車未有能及之者。外有包匣，全體裝在輪井 (Turbine pit) 底之水內，能在水平面內轉動。圖 166 為耐亞嘎拉 (Niagara) 地方所製之水臥輪。C 為外匣，水自供水口 P 處流入。圖 167，(1)，為外匣及內裝臥輪；(2)，為內箱，具有若干固定不動之導葉 G，使水與輪葉衝擊時作最適當之角度；(3)，為臥輪；(4)，為內箱及輪之

橫斷面，示水由導葉沖輪之狀，廢水由輪葉落下，以入放水渠  $T$  (圖 166)。 $P$  桿為節制水量之器，可隨意轉動，以增減  $G$  間之門 (圖 167, (2))，每秒施於臥輪上之能，為流水量與輪井高之相



一 166. 已裝置  
之臥輪

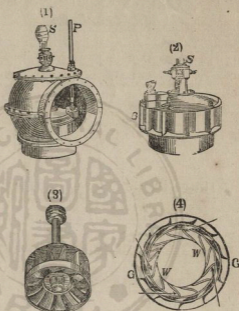


圖 167. 臥輪 (1)外箱 (2)內箱  
(3)旋轉部分 (4)斷面

乘積，效率甚大，有時可達 90%。現時最大之臥輪為割澤散動力公司 (Puget Sound Power Co.)，其水頭為 400 尺，可發 2,500 馬力之動力。

### 問 題

1. 起重螺旋之效率低於槓桿，其故何在？
2. 某機械以 12 磅之力進行 5 呎，始能將重 25 磅之物體舉高 2 呎，其效率為何？

3. 用複滑輪將重750磅之物體舉高50呎。設其效率為60%，加於滑輪上之功為若干？
4. 壓上唧筒以1馬力每分鐘可將4立方呎之水舉至100呎之高，其效率為何？
5. 如複滑輪須用100磅之力舉重300磅，且須移6呎方得1呎，其效率為何？
6. 前題之效率設為65%，則滑輪之力須幾何？
7. 耐亞嘎拉輪井，深為136呎，平均馬力為5000，效率為85%，問每輪每分放水之量為何？

## 熱之功當量<sup>①</sup>

### 181. 消耗之功究成何物？

凡各種傳功之方法，皆將作用於機械上之功之一部分，消耗於摩擦。此項消耗之功，究成何物？當然不能不問。下舉極淺近之事實，足以答此：兩棒相擦甚急，隨即生熱；錐鑽有時熱至不可執持；火柴經摩擦即燃；鉛條被鐵錘擊後，亦即變熱。由第八章之解釋，得知昇高物體之溫度，不外增加其分子之平均速度，亦即增加其平均動能。然則上舉諸事實，不外示吾人所消耗之機械能，概變為分子運動之能而已。此說唱於美國之湯卜遜 (Benjamin Thompson) 及藍福德伯爵 (Count Ramford)，蓋因彼見鑽

① 須先授混合定律之實驗，然後再授此章始便，且須與比熱，熱當量實驗同時授之。詳著者之實驗書中18, 19, 20諸節。

1 cal = 427 gm  
克卡

礮孔時，不絕發出熱量，遂悟及此，時為1798年。後經英國物理學大家朱爾 (Joule, 參閱138頁對面插圖)，自1842年至1870年，作各種精密實驗，其說始定。欲明此實驗，當先知熱量之計量法。

### 182. 熱之單位：卡及英國熱單位

使一克水增高溫度  $1^{\circ}\text{C}$ . 之熱量，稱為1卡 (Calorie);  
使一磅之水增高溫度  $1^{\circ}\text{F}$ . 之熱量，稱為1英國熱單位 (British thermal unit; B. T. U.). (1英國熱單位等於252卡.)  
故如100克之水，溫度增高  $4^{\circ}\text{C}$ ., 即水得400卡之熱; 100克水，溫度減低  $10^{\circ}\text{C}$ ., 即水失去1000卡之熱。如欲測鉛彈擊靶時所生之熱量，使鉛彈入一定量之水中，由其增高之溫度即可測之。水量之克數，與溫度增高之度數相乘，即水所得之熱量之卡數。

然熱果何物，上之定義未詳也。十九世紀以前，物理學者，均以熱為無色無重之流體，入則物溫，出則物冷。以此說解釋在火燄中，或與其他熱體相近之物體，莫不變熱之現象，固覺適當，然對於摩擦打擊亦可生熱之現象，即無以解釋之。若用蓋福德之見解，此兩類現象，皆同一容易說明；蓋冷熱兩物體相接時，只須想及熱者必將其分子之能之一部分，分與冷者之分子，正如彈子戲中兩

778 ft. lb. = 1 B. T. U.  
英熱單位



球相衝時，運動較速者必將其動能之一部分，分與運動較緩者然。

### 183. 朱爾之摩擦生熱試驗

朱爾以為摩擦所生之熱，苟純為熱體分子所受之機械能，則失一定之機械能時，必生等量之熱，無論其為木與木間之摩擦，或為鐵與鐵間之摩擦，以及為震為壓，此理皆真。欲驗其確否，朱爾乃使各種機械能變熱，而測其熱量。

朱爾之第一試驗為翼輪(Paddle wheel)，藉重錘落下之力，旋轉於水中(圖 168)。重力對於重錘所作之功，等於重錘落下距離  $d$ ，與其重量  $W$  之乘積。若其落下緩慢，且為等速運動，則此項之功悉用於對付水對於翼輪運動之抵抗，即全耗於水之渦流(Eddy current)。朱爾於其多數試驗之中，取最確之結果三次，求其平均，知須有 427 克枳之功，始可使一克之水增高一度。此數更經近時實驗，公認為正確之值，稱之為熱之機械當量(Mechanical equivalent of heat)。其後朱爾復以水銀代水，得值為 425 克枳。此兩種結果相差之數，較之預期中認為觀察上必不可免之誤差為小。其後又設法求出鐵與鐵所生之熱，其結果為 425 克枳。

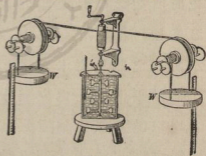
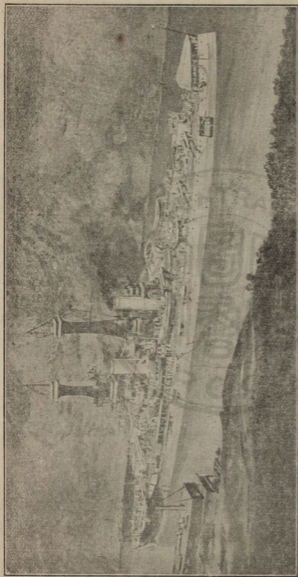


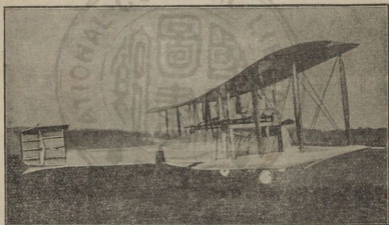
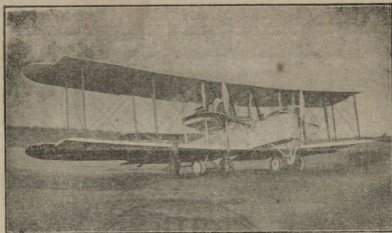
圖 168. 朱爾之熱當量  
之最初試驗



### 美國無畏艦通過巴拿馬馬間之狀

上圖為最新田納西式 (Tennessee type) 之超無畏艦 (Superdreadnaught)，為現今世界第一之大戰艦，排水量 32,500噸，動力 33,000 馬力，速度約 21 哩。水上要部裝甲厚 14 吋，主炮塔 (Main turrets) 裝甲厚 18 吋，載有 14 吋徑大砲 12 尊，射彈重 1400 磅，有效命中距離為 10-12 哩，水手約 1000 人，士官 100 餘人，14 吋徑大砲之一彈所有之能，與小鎗 60,000 支一齊射出時之此相等。近世無畏艦之值，為美金 22,000,000 元。而現在最大之無畏艦為超無畏艦

田納西號，係用電力運轉



### 維克斯維密飛機

上圖爲維克斯維密飛機 (Vickers-Vimy airplane), 1919 年六月完成第一次橫斷大西洋中途不停之飛行, 自紐芬蘭之聖約翰出發, 至愛爾蘭之克里夫頓 (Clifden), 共行 1800 哩, 爲歷史上有名之最遠飛行, 歷時 15 時 57 分, 經歷濃霧雨雪, 平均速度每時 118.5 哩, 取得倫敦每日新聞 (Daily Mail) 十五年來之懸賞金 50,000 元美金。機用 360 馬力之洛爾斯壘斯發動機 (Rolls-Royce motor) 二架, 攜帶 865 加侖之汽油。由奧爾科克上校 (Capt. John Alcock) 指導, 布朗上尉 (Lieut. Arthur W. Brown) 司機。翼面寬 67 呎, 長 42 呎 8 吋。

## 184. 衝突生熱

最初精密測定物體因衝突而發生之熱，與其消失之動能間之關係者，爲法人希耳因 (Hirn)。其法用鋼體圓柱，由一定之高落下，擊一鉛球，即將此鉛球投入小量之水中測水所增之溫度，以求發生之熱量。由多數試驗，取其平均，亦得每生一卡之熱，須有 425 克積之能。

## 185. 氣體由壓縮而生熱

朱爾常用別法以測熱與功之關係。其法爲：將氣體壓縮，即以壓縮所用之功，與所發之熱量相較。

乘腳踏車者，無不知打氣入膠皮輪胎時，唧筒漸熱。其熱之一部分，雖因活塞與壁相擦而生，然其主因，則緣活塞下降，將運動傳於分子，分子速度因而增加。此與用球棒擊球時，棒之速度傳至球上而成球之速度恰相同。如將球棒執定不動，拋球觸之，球必以一定之速度反躍而去。如揮棒以迎球，則其反躍速度，必大過於前。故運動之分子，與下降中之活塞相衝突，其躍回之速度，亦當大過於其與固定之器壁衝突之時。實際上氣體分子速度，因壓縮作用，增加甚大，0°C. 之氣體，壓縮爲原體積之半時，可使溫度增至 87°C。

上述之效應，可用點火筒 (Fire syringe) 驗之 (圖 169)。滴二滴

化碳數點於小塊棉花上，放入  $A$  管底部，即取出；將  $B$  活塞插入，驟然壓下，所生之熱，足燃此氣而發火光。如第一次壓下無效時，可將活塞提出，再裝復壓。

朱爾 測壓縮發生之熱時，係將一小壓縮唧筒，置於一定量之水中，往復 300 次，觀水所增之溫度。其結果得 444 克呖，為一卡之機械當量。但此實驗，殊不易得確準之結果。



圖 169. 點火筒

### 186. 朱爾實驗之意義

朱爾 更用其他三種電學方法，測定熱與功之關係。據其發表之結果，平均一卡之機械當量為 426.4 克呖。但朱爾之實驗價值，不在其測算之精確，而在示人以苟消耗一定量之功，不論其消耗方法如何，必生同量之熱。

熱之功當量以羅蘭德(參觀 000 頁插圖)(1848—1901) 1880 年所測為最精，其結果為 427 克呖 ( $4.19 \times 10^7$  厄)。一般作 42,000,000 厄。英國熱單位之機械當量，則為 788 呎磅。

### 187. 能常住

論至此，吾人可以述一般機械之定律，並有摩擦作

用者，亦包括在內，即作用力所成之功，等於貯蓄之動勢二能之和，加發生之熱之機械當量。

換言之，如對於機械用去若干之能，必有等量之能顯出，或為熱，或為有用之功。所謂有用之功，或為舉至高處之物質所有之勢能，如汲至貯水槽內之水；或為運動物質所有之動能，如由投石器投出之石；或為因位置移動而得之勢能，如彈簧之彎曲；或為經化學分析後之原子所有之勢能，如化合物之電解。而所謂消耗之功，恆現於分子運動之增加，即熱之增加。此概括原理，是曰能常住原理 (Principle of conservation of energy)。換言之，能可轉移，而不可創，亦不可滅。

### 188. 永久運動

歷古以來，有若干人，窮年研究，冀發明一種機械，可以由此得無窮之功，而無須加等量之功於其上，即所謂恆動機 (Perpetual-motion machines) 是也。能常住原理，可斷定此種器械為不可能。因只限於無熱發生，即無摩擦之損失，時，方能使機械所生之功，適與加諸機械上者相等，然決不能超過之也。實際上因摩擦消耗之功，既不能免，由能常住原理，可知機械既不能為無窮有用之功，亦不能作永久運動，不論機械始受之動勢二能若何其大，

必有一部分消耗於摩擦，迨至摩擦所消耗之功等於最初所受之能時，機械必立即停止。

能常住原理在今日已為公認之定律，而為物理界之柱石矣。

### 189. 動力廠之能變形

無論何種動力廠 (Power plant)，例如耐亞亞拉動力廠中之能之轉移，大抵如下：能之最初為勢能，貯於瀑布之頂；入臥輪而為轉輪之動能；由臥輪轉動發電機，即由動能轉為電流之能；此電流經電路可遠至百里外以轉電車及其他電動機。由能常住原理言之，重力作用於水，使其自瀑布之頂，落入臥輪槽之功，適等於各電動機之功，加各線及軸承上所發生之熱，及水中所起之渦流。

吾人更思瀑布頂上之水，究由何處得如是之勢能。海洋之面，因受日熱，蒸發不已，水分子所受之熱，足以使其得相當之動能，脫離周圍分子之引力，昇出液面，成為蒸氣，上昇之蒸氣為風吹散，佈遍大陸，降為雨雪，故瀑布頂上之水之勢能，不過由太陽發出之熱能之變形而已。果用此法將吾人所設計之各種能源，一一加以分析，其結果無一非出於太陽之熱。例如石炭所貯之能，由於植物生長之碳與氧分解而來，而分解作用，仍由於日光。

地球受太陽之能，源源不絕，其率約為 342,000,000,000,000 馬力，即每一住民所得者約為二十五萬馬力。更由別方面可以推知由太陽輻射而出之能，為量至鉅，地球所受者，不過為其  $1/2,000,000,000$  而已；動植物及昇高之水所貯之能，又不過為地球所受之  $1/1000$ 。地球上人類所能應用之能實際上不啻逾此限也。

### 問題

1. 試說明瀑布之能，爲日熱之變形。
2. 試將向上射出彈丸之能分析之。
3. 隕石 (Meteorite) 爲在空間運動之小冷體，入地球大氣界則發光，其故何在？
4. 耐亞嘎拉之瀑布高160呎，瀑布底之水溫度較頂上高若干？
5. 10磅之水自 $0^{\circ}\text{C}$ . 熱至 $100^{\circ}\text{C}$ .，需若干英國熱單位之熱？
6.  $2\frac{1}{2}$ 加侖(=20磅)之水，自 $68^{\circ}\text{F}$ . 熱至 $212^{\circ}\text{F}$ .，如入水之熱能皆爲有用之功，可將10噸之煤舉高若干？

## 比熱

### 190. 比熱之定義

用各種物質實驗，可知將一克物質之溫度升高一度所需之熱能，因物質而異。

取鉛彈100克，裝入第一試管；取鐵絲碎屑100克，裝入第二試管；取鉛絲100克，裝入第三試管，並置沸水桶中，毋使水入，約十或十五分鐘，另取小杯三，各盛100克水，其溫度與室中溫度等，將熱彈傾入第一杯內，加以旋攪，然後細察所增之溫度，再將各質依法輪試，則見鉛所增之溫度爲鐵二倍，鐵所增之溫度爲鉛三倍，此三質既涼至同一溫度，可知鉛放出之熱，較鉛質必多六倍，即每1克之鉛，溫度降下 $1^{\circ}\text{C}$ . 時，所放出之熱，等於每一克之鉛溫度降下 $1^{\circ}\text{C}$ . 時所放出之熱之卡數之6倍。

各物質其一克質量之溫度升降 $1^{\circ}\text{C}$ . 所收入或放出之熱量之卡數，稱爲其物質之比熱 (Specific heat).



由此定義與卡之定義,可知水之比熱爲 1.

### 191. 測定比熱之混合法

前述實驗,即爲測定比熱之一精確方法;按能常住原理,冷熱二體相混合時,能即由一物體移入他一物體,此時一物體所得之熱,必恰等於他一物體所失之熱。

此法爲決定物體比熱之通常方法,稱爲混合法 (Method of mixture).

試取實例,如 190 節之實驗,設彈丸之初溫爲  $95^{\circ}\text{C}$ ., 水之初溫爲  $19.7^{\circ}\text{C}$ ., 混合後彈與水之溫度同爲  $22^{\circ}\text{C}$ ., 因 100 克水之溫度升高  $22 - 19.7 = 2.3^{\circ}$ , 可知水得之熱爲 230 卡, 又因彈丸之溫度降下  $95 - 22 = 73^{\circ}$ , 可知彈丸 100 克降低一度時放出之熱爲  $230/73 = 3.15$  卡, 故鉛之比熱爲  $3.15/100 = .0315$ , 即一克之鉛, 溫度降下一度時所放出之熱之卡數。

更可用代數的方法求之: 設  $x$  爲鉛之比熱, 則彈丸所放出之熱之卡數, 爲質量, 比熱, 溫度之變化三者之相乘積, 即爲  $100 \times x \times (95 - 22)$ ; 由同理, 水所得之數當爲  $100 \times 1 \times (22 - 19.7)$ . 故

$$100(95 - 22)x = 100(22 - 19.7),$$

或

$$x = .0315.$$

由實驗依此法測得普通物質之比熱如次:

#### 比熱表

鉛	.218	鐵	.113
黃銅	.094	鉛	.0315

水 1

1/2 25

銅	.095	水銀	.0333
玻璃	.2	鉑	.032
金	.0316	銀	.0568
冰	.504	鋅	.0935

酒精 .0647 鋼 .117

## 問題

1. 一桶之溫水傾入雪堆,所溶之雪比一杯之沸水所能溶者尤多,二者之熱量孰大?
2. 將一坩之熱水盛入暖足壺內,勝於上表所列之其他各質,其故何在?
3. 水之比熱大於各液體各固體,試用此說明海中島嶼所受之寒暑變遷不如內地之甚。
4. 將鐵熨斗自  $20^{\circ}\text{C}$ . 熱至  $130^{\circ}\text{C}$ ., 熨斗重 3 斤,需熱若干卡?
5. 6 磅之鐵熨斗,自  $75^{\circ}\text{F}$ . 熱至  $255^{\circ}\text{F}$ . 時,需若干英國熱單位?
6.  $95^{\circ}\text{C}$ . 之水銀 100 克與  $15^{\circ}\text{C}$ . 之水 100 克相和,其結果為  $17.6^{\circ}\text{C}$ ., 水銀之比熱為何?
7.  $80^{\circ}\text{C}$ . 之水 200 克與  $10^{\circ}\text{C}$ . 之水 100 克,混合後之溫度為何?(若命  $x$  代最後之溫度,則冷水所得之熱當為  $100(x-10)$  卡,而熱水所失之熱當為  $200(80-x)$  卡.)
8.  $100^{\circ}\text{C}$ . 之鉛 400 克置於  $20^{\circ}\text{C}$ . 之水 500 克中,其結局之溫度為何?
9. 將 8 磅之水盛入重 2.5 磅之銅壺內,欲將此水及壺自  $70^{\circ}\text{F}$ . 熱至  $212^{\circ}\text{F}$ ., 需若干英國熱單位之熱?如需用 4.3 立方呎之煤氣,且每立方呎之煤氣,可生 625 英國熱單位之熱,試求此器之效率。
10. 鋼彈以每秒 1000 呎 (=3048 呎) 之速度射中不可入之鋼的,假定所生之全熱悉用以熱彈,則其溫度之增加為何?

ant.

## 第十章 狀態變化

### 熔解<sup>①</sup>

#### 192. 熔解熱.

冬季嚴寒之日，溫度低於  $0^{\circ}\text{C}$ . 時，自戶外取雪少許入屋內，以溫度計插入，則見管內水銀漸次升高以至於  $0^{\circ}\text{C}$ .，同時雪漸溶化 (Melt)，管中水銀停止，不復上昇，如將雪攪動不已，則直至全體完全溶盡，水銀皆決不上昇，雪已溶盡後，水銀又復上昇。

$0^{\circ}\text{C}$ . 之冰與  $0^{\circ}\text{C}$ . 之水，溫度既等，則由上之實驗，可知冰熔為水時所受之熱能，並不增加其分子間之平均動能，所耗之能，乃在分離冰之結晶分子，使其結合狀態成為稀疏，即為液態，換言之，即最初存在火焰中之分子動能，移入溶化之固體內，即變形為分子之勢能，以對抗分子相互之引力，而分離之。

不論何種物質，凡使其每 1 克質量溶解成為同一溫度之液體，所需之熱量之卡數，謂之各物質之熔解熱 (Heat of fusion).

① 教授此章之前，須先使學生實驗通過熔解點之冷卻曲線，更繼之以冰之溶解熱之測定，例如著者之實驗書中 12, 22 之諸實驗。

## 193. 冰之熔解熱之數值。

以火燄熔解一定量之雪，所需之時間，適為此燄使同量之雪液之溫度增高  $1^{\circ}\text{C}$ 。時所需時間之 80 倍。由是可以推知熔解 1 克之冰或雪，需 80 卡之熱量。此數值若用混合物法測之更確。設將 131 克之冰塊投入  $40^{\circ}\text{C}$ 。之水 500 克內，如冰熔盡時，混合物之溫度為  $15^{\circ}\text{C}$ 。由水放出之熱量為  $500 \times (40 - 15) = 12,500$  卡。然此冰塊於  $0^{\circ}\text{C}$ 。熔解後，由  $0^{\circ}\text{C}$ 。熱至  $15^{\circ}\text{C}$ 。須吸收  $131 \times 15 = 1965$  卡之熱量。由 12,500 減 1965，所餘之 10,535 卡，必用之於熔解此 131 克之冰。故熔解一克之冰所需之熱，應為  $\frac{10,535}{131} = 80.4$  克。

用代數式表之，設  $x$  為冰之熔解熱，則

$$131x + 1965 = 12500; \text{ 即 } x = 80.4.$$

據最精密之測定，冰之熔解熱為 80.0 卡。

## 194. 熔解時能之變遷。

熱能入於物體，使固態變為液態後，能亦不復為熱形，存於液內，即不為熱能而為分子間之勢能；即消失之熱乃現為狀態變化 (Change of state) 所成之功，亦即其物體變動分子之排列方法後，其分子所得之勢能，與能常住原理所主張者完全一致。

### 195. 水凝固時放出之熱

取鹽與雪少許入盛水之杯內，使此混合液之溫度，降至  $-10^{\circ}\text{C}$ . 或  $-12^{\circ}\text{C}$ . 於試管內，貯溫度計與清水，插入此冷液中，如能使溫度計不稍動搖，則管內水之溫度可降至  $0^{\circ}\text{C}$ . 以下之 4 度或 5 度，甚或至於 10 度，亦不凝結，但如溫度計略一震動，或投小冰一片入於管頸，水立即結為冰，同時溫度計亦升至  $0^{\circ}\text{C}$ . 以後即保持此度，直至全體之水皆凝結為止。

由上述之試驗，可知凝結作用顯然為一種散熱程序 (Heat-evolving process)。但此結果可由能常住原理預期而得；因  $0^{\circ}\text{C}$ . 一克之冰需吸收 80 卡之熱，方能轉為  $0^{\circ}\text{C}$ . 之水，故水復為冰時，此熱量自當再行現出。

### 196. 熔解及凝結時能之轉移之利用。

圖 170 所示，為一冰箱 (Refrigerator) 之構造。欲防止外面熱侵入箱內，故用兩重壁，冰則貯於箱頂，上部空氣受冷，密度增大，即行下降，成為氣流，其方向如圖中之箭頭。每 1 克之冰熔解時，須吸收 80 卡之熱，即取給於箱內空氣或貯於箱內之食物，如水不熔，冰箱即無所為用。



圖 170. 冰箱

水凝結時發出之熱，亦常應用於實際，如將一水桶

置於菜倉內，即可防止菜凍，因菜凍時之溫度較  $0^{\circ}\text{C}$ . 略低，倉內有水，溫度降下時，水當最先凝結為冰，此時所發出之熱，可使倉內溫度不至如倉外溫度之低。

湖濱之溫度下降，不如內地之甚，其一部分之原因，即由於有多量之水凝結成冰發出相當之熱量。

### 197. 晶體之熔解點。

設以冰塊投入沸水，立即取出拭淨，其溫度較諸未投沸水之冰，絲毫未增。故冰之熔解點 (Melting point)，實為一定不變之溫度，不論加熱如何迅速，苟仍不變其為冰，即決不能使其溫度升高，不獨冰如是，凡一切結晶體，於此點皆相同，各種晶體各有其特殊之熔解點，茲將最普通之數種物質之熔解點列舉於下：

水銀	$-39^{\circ}\text{C}$ .	硫	$114^{\circ}\text{C}$ .	銀	$954^{\circ}\text{C}$ .
冰	$0^{\circ}\text{C}$ .	錫	$233^{\circ}\text{C}$ .	銅	$1100^{\circ}\text{C}$ .
安息油	$7^{\circ}\text{C}$ .	鉛	$330^{\circ}\text{C}$ .	鑄鐵	$1200^{\circ}\text{C}$ .
醋酸	$17^{\circ}\text{C}$ .	鋅	$433^{\circ}\text{C}$ .	鉑	$1775^{\circ}\text{C}$ .
地臘	$54^{\circ}\text{C}$ .	鋁	$650^{\circ}\text{C}$ .	鉍	$1950^{\circ}\text{C}$ .

綜上各種試驗，關於熔解點之問題，可得下列之二定律：

1. 凝固之溫度與熔解之溫度同；
2. 自一部分之物質開始熔解或凝固，以至其全部

熔解或凝固完結爲止，其間之溫度決不稍變。

### 198. 無結晶性物質之熔解。

以玻璃棒一端置於本生燈上，觀其熔解，即知其豈非由固體驟變液體，僅逐漸變軟而已。若燈焰猛烈，而玻璃棒並不過大，可使熔解後之玻璃，成爲一滴，由棒端滴落。

若於熔解進行時，測玻璃棒之溫度，即可知其溫度漸次升高，與結晶體大異其趨。如蜂蠟，火漆，樹膠，樹脂，醇，炭，及其他一切無定形物質 (Amorphous substance)，莫不皆然。此種物質，並無一定不移之熔解點。因其自固體熔解成爲液體，或自液體凝結成爲固體時，皆須經過粘度 (Viscosity) 之各種階級故也。玻璃等皆因有此特性，方可化爲軟質，然後始能入於模內，成爲各種花紋形狀。

### 199. 凝固時體積之變化。

觀察冰塊漂浮於水面，或瓶內之水因結冰而使瓶生破裂，即知水當凝結時，其體積漲大。實測結果，1 立方呎之水，凝結成冰，則爲 1.09 立方呎；即其凝結時所起之膨脹爲原體積十二分之一以上。揆諸固體分子當較液體分子密集之說，則因凝結而生膨脹之現象，似覺可奇。然一方面當水凝結時，其分子均成爲晶體，各晶體之間，有相當之空隙，故固體分子，雖較前爲密，而由固體分子

合成之集團，所佔之體積，則較前爲大。

大多數之結晶體，當凝固時，皆起收縮，當熔解時，皆生膨脹。水，錫，鉍，鑄鐵及少數含有錫，鉍之齊 (Alloy)，皆爲重要之例外。鑄形之稜角之所以能異常鮮明，專賴物質凝結時體積增大或不甚減小之性質。如其收縮，則模內之物質，即不能保持其原形；金銀幣須用錘擊，而不用模鑄，亦即此故。鑄製活字，亦必用凝結時起膨脹之物質，方可得筆畫清楚之字體。通常鑄活字所用之金屬，爲能滿足此條件之鉛，錫，銅之齊。

## 200. 水凝結時所生之膨脹之影響。

假使水凝結時不似其他物質生體積上之膨脹，則地球上即非全體，亦將有多數之生物，不能生存。何則？因嚴冬時湖中之水，將隨凝結隨即沈下，河海必將全體變爲冰體故也。

水凝結時所生之膨脹力甚大。鋼製之桶如盛滿水，置於冬夜之冷地，亦可爆裂。又滲入山崖堅石內之水，因凝結膨脹，成爲崩裂巖石之一主因。

## 201. 壓力可使因凝結而膨脹之物質之熔解點降低。

在物質表面上作用之外壓力，有防阻物體膨脹之



傾向，故在因凝固而起膨脹之物質表面上加增壓力，可預期其必阻礙凝固。故在二氣壓下使水凝結之溫度，當較在一氣壓下時為低。由精密實驗，已將此推論證明。據其結果，壓力每增加一氣壓，則水之冰點即降下  $.0075^{\circ}\text{C}$ 。其值雖微，然其存在，可以下之實驗證明之。

取冰兩塊，在熱水內壓合，然後取出，兩冰已合而為一。雖熱水之溫度遠較冰點為高，而冰猶能凝合，其理如下：

蓋兩冰相緊結之點，因壓力大，致將其冰點降至  $0^{\circ}\text{C}$  以下，故其表面一層熔解成水，但此水層之溫度，亦稍在  $0^{\circ}\text{C}$  以下。今若取去壓力，表面之水隨即凝固，因其溫度在通常一氣壓之冰點以下故也。更可用下述之同類現象證之：

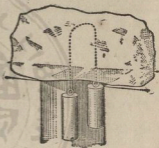


圖 171. 復冰

取金屬線一條，兩端各懸一重物，約重 6 鈞至 10 鈞，橫掛於冰塊上，如圖 171。不半小時，金屬線即透過冰塊，由下端墜落，而線上之冰仍完好如初。蓋線下之冰，因壓力增加熔而成水，金屬線即由此水層沉下，漸次下降，水上之壓力漸減，故又復結為冰。

地質學者以為冰河 (Glacier) 之流下，其一部分之原因，即在增加壓力可使冰熔，壓力一去，又復凝結為冰。此種程序稱曰復冰 (Regelation)。

壓力可使因凝固而膨脹之物質，降低其熔解點；使

因凝固而收縮之物質，昇高其熔解點。

## 問 題

1. 水銀之熔解熱為2.8，此言之意義為何？
2. 冰箱內因有冰而不熱，試說明其理。
3. 使任意之冰熔解為水，所需之熱，較之使熔成之水昇高 $1^{\circ}\text{C}$ . 或 $1^{\circ}\text{F}$ . 所需之熱多若干倍？使1磅之冰熔而為水，須若干英國熱單位之熱？熔解1磅之冰，須幾呎磅之功？
4. 如冰之熔解熱，不為80卡而為40卡，對於夏日冰箱用冰之量有何影響？
5. 某冰箱內之冰，每一小時熔解5磅，由箱壁傳來之熱，每小時為若干英國熱單位？
6. 以100卡之熱，加於 $0^{\circ}\text{C}$ . 之冰20克之上，生何現象？
7. 如有 $40^{\circ}\text{C}$ . 之水200克，須加冰幾何，方可使水之溫度降下 $10^{\circ}\text{C}$ .？
8. 如有 $50^{\circ}\text{C}$ . 之水500克，須加冰幾何，方可使其水之溫度降至 $10^{\circ}\text{C}$ .？
9. 雪當熔化時，可團成雪球，但如其溫度遠在 $0^{\circ}\text{C}$ . 以下，則不然，其故何在？

## 蒸發及氣化之性質

## 202. 蒸發及溫度。

如昇高溫度，果為增加分子運動之速度，則在一定時間內，能得必需之速度，由體內逸出以入於液面上之空間之分子數，必隨溫度之昇高而增加。易言之，即蒸發 (Evaporation) 進行之速度，高溫時必大於低溫日常之觀

察皆足以此說爲確。如濕布在熱熨斗之下立即乾燥，而在冷熨斗之下則不然；如日光所照及之道路易乾，在背陰之處則難；欲使潮濕之物速乾，則置之爐旁烘之，皆其實例。

### 203. 固體之蒸發——昇華。

固體之分子亦有在蒸氣狀態中者，與液體之分子同。例如冰、雪等，雖在  $0^{\circ}\text{C}$ . 以下，亦能蒸發。此固日常所見之現象。冬日濕衣冰結以後，亦可乾燥。樟腦之氣雖隔數尺以外亦可嗅知，更足以證明之。又可用下列之實驗，將固體之蒸發化爲目力能見之現象。

取碘之結晶少許，置於玻璃皿中，持至木生燈上，微熱之，碘雖未嘗化爲液體，然有紫色之碘氣自結晶表面升起。

大多數物質，於高溫度時，皆不經液態而化爲氣態，此種固體蒸發之現象曰昇華 (Sublimation)。

### 204. 飽和蒸氣。

若將液體盛入開口容器內，則由蒸發作用由液體逸出之分子數，並無限制，因分子自液體逸出，即爲空氣之氣流挾以他往故也。杯中之水，可以乾至無餘，此固日常經驗所習知者，即其一例。

但若使液體在圖 172 所示之密閉器中蒸發，則其分子不能逸出空間  $S$  以外，故時間愈長，自液體逸出於空間中之分子數亦必繼續增加不已；易辭言之，即  $S$  空間內之氣體密度漸次增大，然亦有一定之限制，其限制因液體之性質及溫度而定，既達此極限密度以後，氣體分子每秒間返入液體內之數，恰與自液體逸出之分子數相等，此時之蒸氣，曰飽和蒸氣 (Saturated vapour)。



圖 172. 飽和蒸氣

如將容器  $S$  之空間增大，使其內之氣體密度暫時減小，則每秒間由液體逸出之分子數，復多於由氣體返入液體之分子數，直至密度依然達於原值為止。

如將氣體壓縮，使其密度增大，則每秒間由氣體返入液體之分子數，較由液體內逸出者為多，氣體密度，立即降至飽和值為止，由此可知，液體之飽和蒸氣之密度，由溫度而定，與容積無涉。

### 205. 飽和蒸氣之壓力。

氣體分子因與容器之壁衝突，故對於器壁，生相當之壓力作用，在密閉容器內之蒸氣，亦復如是，然在一定溫度之器壁內，蒸氣之飽和密度有一定之值，換言之，即

每 1 立方厘米中所含之分子數為一定數。故在任一溫度之下，飽和蒸氣僅有一密度，亦即僅有一壓力。此壓力稱為在某一溫度之飽和蒸氣之壓力。

試取托里埃利管兩隻，裝置如圖 173。用一彎曲小吸管 (Curved pipette)，取醚一小滴，由第一管之底送入，醚當立昇至管頂，其一部分即在水銀柱上面之真空中蒸發。水銀面受此蒸氣之壓力，即行降下。由其下降之厘米數，當然可以測出蒸氣之壓力。由此實驗，可見水銀面之下降異常迅速，只須一轉瞬間，即達其最低之點，不復再降。由此可知達飽和狀態所須之時間極短。

由此實驗可以測出飽和之醚蒸氣，在室內溫度，其壓力為 40 厘米。

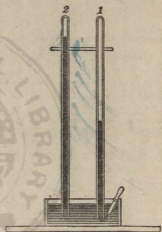


圖 173. 飽和蒸氣之壓力

執本生燈使其火焰迅速通過圖 173 之管上水銀面所在處，水銀柱即驟然降下。由此可知管 1 內之蒸氣壓力驟然增大。

由此實驗，可知飽和蒸氣之壓力與密度，皆隨溫度而增。與理論上之預期恰相一致。蓋升高液體之溫度，不外增加其分子之平均速度，亦即增加每秒間能達於邊

出液面之速度之分子之數故也。至於因溫度增加而生之壓力及密度之增加，究若何迅速，可自下表得之：

飽和水蒸氣之常數表

本表所示為  $t^{\circ}\text{C}$ . 時，飽和水蒸氣之密度  $D$  及壓力  $P$ ，壓力之單位用水銀柱長之耗數：

t	P	D	t	P	D	t	P	D
-10°	2.2	.0000023	4°	6.1	.0000064	18°	15.3	.0000162
-9°	2.3	.0000025	5°	6.5	.0000068	19°	16.3	.0000162
-8°	2.5	.0000027	6°	7.0	.0000073	20°	17.4	.0000172
-7°	2.7	.0000029	7°	7.5	.0000077	21°	18.5	.0000182
-6°	2.9	.0000032	8°	8.0	.0000082	22°	19.6	.0000193
-5°	3.2	.0000034	9°	8.5	.0000087	23°	20.9	.0000204
-4°	3.4	.0000037	10°	9.1	.0000093	24°	22.2	.0000216
-3°	3.7	.0000040	11°	9.8	.0000100	25°	23.5	.0000229
-2°	3.9	.0000042	12°	10.4	.0000106	26°	25.0	.0000242
-1°	4.2	.0000045	13°	11.1	.0000112	27°	26.5	.0000256
0°	4.6	.0000049	14°	11.9	.0000120	28°	28.1	.0000270
1°	4.9	.0000052	15°	12.7	.0000128	30°	31.5	.0000301
2°	5.3	.0000056	16°	13.5	.0000135	35°	41.8	.0000393
3°	5.7	.0000060	17°	14.4	.0000144	40°	54.9	.0000509

### 206. 空氣對於蒸發之影響。

由前節實驗，得知若將醚一滴，送入托里坵利管底，水銀面即驟降至其最低之地位，足以表明在真空內只須瞬息即達飽和狀態。一方面由氣體或蒸氣分子具有之極大速度亦可預期其有此結果。

試將空氣送入圖173之二管內，使管內水銀柱長為45釐至55釐之間，將其柱長精細測出，欲觀空氣對於蒸發將生若何影響，可將醚一滴，送入管底，將見水銀柱之降下狀況，與前大不相同，並不立即達其最低點，其初落下雖速，其後即漸緩，

繼續至數時間之久，如令其繼續一日之久，而此一日之間溫度未嘗或變，則其最後水銀面降低所表示之酸蒸氣之壓力，即與前述不含空氣之管所示者，完全相同。

由此實驗，可得一顯著之結論，即液體在充滿空氣之空間內蒸發之量，與在真空中蒸發之量相等，空氣除將蒸發之速度減小而外，別無影響。

### 207. 空氣使蒸發速度變遲之說明。

空氣使蒸發速度變遲之理，可由分子運動說解釋之。在真空器內，蒸發之分子，自液面逸出後，立即直達器頂，毫無阻礙。器內若有空氣，則飛出之分子，逸出液面未遠（恐未及至 .00001 厘之遠），即與空氣之分子衝突，須經無數衝突，方能達於器頂，故與液面最接近之空間，達於飽和狀態雖甚速，而器頂則須較久之時間，始能達同一之飽和狀態也。

### 問題

1. 試說明焦油臘(譯樟腦)球 (Naphthaline moth ball) 在室內溫度時蒸發之現象。
2. 有風之日所晒之濕衣較無風之日易乾，其故何在？
3. 如氣壓計之管，當裝水銀時尙未乾，則其水銀柱之高，與乾管是否相等？
4. 設有一密閉室，其容積為  $18 \times 20 \times 4$  立方呎，問在  $20^{\circ}\text{C}$ . 時，可蒸發若干克之水？(見第 191 頁之表。)
5. 在  $15^{\circ}\text{C}$ . 時，含有濕氣之氣壓計，所示之水銀柱高之

誤差爲何?

6. 葛利克之氣壓計內,如含有水蒸氣,則其在  $20^{\circ}\text{C}$ . 時,所示之刻度誤差當爲若干?

## 濕學,即空氣中濕度之研究<sup>①</sup>

### 208. 空氣中水蒸氣之凝結.

假使蒸發之速度,不因空氣而變遲,則吾人將永居於水氣飽和之大氣中,蓋由地面上河海大洋蒸發而出之水蒸氣,立使地球上各地方皆成飽和狀態故也.在此種狀態之下,濕衣永不能乾,百物皆當潮潤,縱令不至完全難堪,亦必不爽適.

因上述實驗之理由,得知海洋蒸發之速度甚遲,故雖與海洋極接近之大氣中之蒸氣,亦恆未達飽和狀態.然溫度降下,所需之飽和量亦隨之而減,故未達飽和之地方,因溫度降下不已,大氣每立方裡中所含之水蒸氣,終必達一定量,即適與飽和之量相等.如溫度更由此繼續下降不已,則水蒸氣必開始凝結爲露,爲雲,爲霧,爲雨,各依其降冷之情形及地位而別.

### 209. 露,霜之構成.

<sup>①</sup>教授此節之前,須先課以實驗各露點,溫度等之測定.參觀著者之實驗書中之實驗 10.



如空氣中水蒸氣之凝結在於夜間，日熱既已減退以後，則其冷卻之原因，純由於地球之輻射。地面上之物體如草木土石及種種固體之溫度下降，較大氣溫度之下降為速，則與此種冷體接近之空氣層，當隨物體而冷，因之其溫度漸次降下，至所含濕氣已達飽和狀態之時，即成為露 (Dew)，凝結於冷體之上。夏日冰瓶外之水珠，即其例證。如其凝結時之溫度在冰點以下之時，即成為霜 (Frost)。草上及玻璃窗上，皆可見之。

### 210. 霧之構成。

如夜間散熱過甚，不獨接觸草木之空氣中之蒸氣達於飽和狀態，即與地面隣接之空氣全體之溫度亦降至飽和狀態之溫度以下，故濕氣不獨在地面上之冷體上凝結，並在浮遊於大氣中之微塵周圍，亦起凝結，遂成為霧 (Fog)。

### 211. 雲，雨，霰，雹，及雪之構成。

如大氣之溫度下降不在地表面，而在與地面距離若干尺以上，例如有熱空氣流驟入冷境，設此時溫度低過熱氣流中所含濕氣已成飽和狀態之時，則所餘之濕氣，即在浮塵周圍凝而為雲 (Cloud)。若溫度甚低，足以使多量濕氣脫離大氣而出，則凝結之小點逐漸加大，即降

相對濕度 =  $\frac{\text{露點時飽和水蒸氣}}{\text{本日溫度時飽和水蒸氣}}$

210000  
100000  
= 50%

而爲雨 (Rain), 如雨未達地面以前, 即遇冷凍結則成爲霰 (Sleet), 如開始凝結時之溫度已在冰點以下, 則結爲雪花 (Snowflakes), 如遇暴風, 空氣之狂流, 挾此凝結之水蒸氣輾轉於雨雪之間, 然後降下, 即成爲雹 (Hailstones).

### 212. 露點.

大氣中水蒸氣開始凝結所必需之最低溫度曰露點 (Dew point), 可用下法求之. 用可容 200 立方吋或 300 立方吋之光亮容器一個, 盛水至半滿, 略加碎冰, 以溫度計在內攪勻, 俟容器光亮之面上略呈濕氣層時, 溫度計上所示之溫度即露點. 如在冬季, 因露點恆在冰點以下,

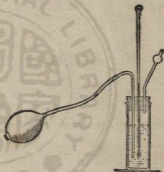


圖 174. 檢定露點之裝置

故須加鹽於冰水中, 方能使濕氣層出現. 又吹空氣進入盛醚之容器中, 亦可實驗 (圖 174).

### 213. 大氣之濕度.

由露點及 205 節所舉之表 (第 191 頁), 則通常所謂之大氣之相對濕度 (Relative humidity) 或飽和度 (Degree of saturation) 皆甚易明. 空氣每立方吋中, 實含之水氣量, 與

假定此空氣如爲完全飽和狀態所應含有之水氣量之比，稱爲相對濕度，此數當然適與空氣現在含有之水氣之壓力，與假定此空氣如爲完全飽和時所應含有之水氣之壓力之比相等，茲舉一例以示求溼度之方法。

假如室內溫度爲  $25^{\circ}\text{C}$ ，而由上法檢出之露點爲  $15^{\circ}\text{C}$ ，是時空氣實在含有之水氣已在  $15^{\circ}\text{C}$  達飽和之狀態，檢表中  $P$  行下飽和水氣之壓力在  $15^{\circ}\text{C}$  時爲 12.7 托，此爲實驗時空氣中水氣之壓力，更觀表下  $25^{\circ}\text{C}$  時之飽和空氣應含水氣之壓力，爲 23.5 托，由此可知實驗時空氣所含有之水氣，爲其所可含之  $12.7/23.5$  即 .54，故稱此空氣爲 54% 之飽和，亦即其相對濕度爲 54%。

#### 214. 濕度測定之實用的價值。

由濕度之測定，可預知風雨來臨之象，各地氣象台恆用此法觀測天候，培養植物之溫室，亦用之以測空氣是否過燥，醫院，會所，乃至個人私宅，亦屬必需，俾得保持衛生之濕度，最宜衛生之濕度，約爲 50—60%。

濕度太低，使人不爽，且覺寒冷，結局致使燃料浪費 10—25%。平常暖室，用水汽或用熱水法熱至  $72^{\circ}\text{F}$  者，據衛生專家概算，其濕度約爲 30%。至於用熱空氣法者，甚且低至 25%。此種濕度較諸沙漠地方尙覺不如，如室內之濕度高，則由人體發出之汗，不致因蒸發過急而受寒冷之效應，且若維持較低之溫度，必可使人起爽適之感。

### 215. 蒸發之減熱效應。

取淺底杯三個，一盛水，一盛醇，一盛醚，皆令半滿。此三種液體原貯之器，皆置於室中甚久，其溫度已與室溫相等。令三人用溫度計測其溫度。先察計未入液體前之溫度，次察既入後之溫度，可知在淺底杯內之液體，其溫度較室內空氣溫度略低，兩者之差，以醚為最大，水為最小。

由此試驗可知在蒸發進行中之液體，其溫度較隣近諸物為低，蒸發進行最速者，其溫度亦最低。

在熱帶乾燥地帶，不易得冰，飲料水常置於未上釉之生瓷器 (Unglazed earthenware) 或布袋內，水由此種多孔性容器外面緩緩蒸發，可保持飲料水至相當之低溫。

更有一法亦可試驗。如取上述液體各數滴次第加諸圖 143 之玻璃球上，細察管內之水上昇之程度；又或將上述液體各數滴，滴在手背上，而察其蒸發之速度，其次序為醚居首，醇次之，水又次之。

健全之人，每 24 小時內蒸發之汗量約 1 派 (Pint = .568 呎)，而勞動劇烈之人，在此時間內之汗量，則為 1 加侖 (= 8 派)。

### 216. 蒸發減熱之說明。

蒸發減熱可以分子運動說解釋之。按分子運動說，蒸發即液體分子之一部分所得之速度遠出其平均速度之上，因而飛出液外。液體內既繼續不絕失去運動最

速之分子，則其剩餘液內之分子之平均速度，當然不得不繼續減小，即不外使液體之溫度下降不已。

不寧惟是，所減去之熱量，可預期其恆與液體所失去之分子數為正比。前舉之三種物質中，醚之減熱最速，因其蒸發最速故也。

### 217. 因蒸發而致凝結。

液體在真空內蒸發，較在空氣中為速，已於第 206 節中詳述之。故若將液體置於空氣唧筒之受器內，迅速抽去空氣，即可預期其溫度，較同一液體在空氣內蒸發時尤低。用下述試驗，可實證此言。

試以醚盛入淺玻璃皿中，另用薄玻璃片一塊，上置水（以冰水為尤佳）一滴，而以盛醚之淺皿置於此水滴之上。將此全體裝入空氣唧筒之受器內，迅速排去其空氣。不數分鐘，即可見皿與玻璃片凝結連為一氣。

1911 年，來丁之奧涅斯 (Kamerlingh Onnes) 教授曾用此法使液體氮蒸發，因得達其最低溫度，即  $-271.3^{\circ}\text{C}$ . ( $-456.3^{\circ}\text{F}$ )，在絕對零度上尚不足  $2^{\circ}\text{C}$ .

### 218. 氣流對於蒸發之效應。

取四溫度計，其一球乾燥，其一濕以水，其一濕以醇，其一濕以醚，以風扇速煽之。細察各溫度計，將見潤溼之各溫度計受扇而冷，惟乾者毫無效應。

扇風何以能助蒸發,其理由如次.與液面密接之飽和蒸氣層,爲風吹去後,代之者皆爲未曾飽和之氣層,故蒸發作用又可進行.更由此乾球之溫度計,可知風扇之生涼,僅限於能促進蒸發作用者而已.如爲乾燥物體,其溫度若爲室內溫度,則雖受氣流所吹拂,亦決不稍減其溫度.

### 219. 乾濕球濕度計.

乾濕球濕度計 (Wet- and dry-bulb hygrometer), 如圖 175, 爲應用蒸發減熱原理之器. 此器由兩溫度計組織而成, 其一爲乾球, 其一外包濕布, 使球常濕. 布之下端浸入水槽內, 使之恆濕. 如空氣未曾飽和, 則濕球之面部必蒸發不已. 故濕球所示之溫度, 常較乾球者爲低. 此兩溫度計所示之差, 由蒸發之遲速而定. 蒸發之遲速, 又由大氣之相對濕度而定. 故若大氣已達飽和, 則濕球表面並無蒸發, 此時兩球當呈同一之溫度. 以此器之度數, 與露點濕度計 (圖 174) 比較, 即可將此二計之示度作成

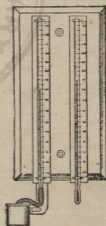


圖 175. 乾濕球溫度計

一表，由兩溫度計所示之度數，立可決定相對濕度與露點。此器甚便，故其用途因之亦廣。然當使用之前，必須使空氣流動於溼球旁，示度乃準確可靠。在科學的工作上，此種手續，皆須嚴重行之。

### 220. 面積增大對於蒸發之效應。

以小試管盛水少許，插入盛醚之杯內，如圖 176。用吸氣器 (Aspirator) 將空氣迅速送入醚中，數分間後，試管內之水即結為冰。如試管之壁甚薄，而醚杯之器壁甚厚，則實驗尤易成就。其故何在？



圖 176. 蒸發醚使水結冰

氣泡穿過醚中，其效應在增大蒸發之面積。蓋前此僅在液表面之醚分子能遁出液外，今則液面下之醚分子，亦可遁入氣空泡，故可促進蒸發之速度。

### 221. 對於蒸發能生效應之因子。

上述之各結果，可綜括之如下：即蒸發進行之遲速，由(1)蒸發液體之性質；(2)蒸發液體之溫度；(3)在蒸發面上空間之飽和度；(4)蒸發面上存在之空氣或其他氣體之密度；(5)蒸發面上空氣流動之遲速；(6)液體曝露面積之大小而定。

## 問題

1. 冬日由室外進入溫室內時，眼鏡即為細微水珠所蔽，其故何在？
2. 露亦下降否？
3. 冰山周圍常有霧繞之，其故何在？*易飽和*
4. 寒冬溫室中，冰水之杯外，並不常有露聚集於其上，其故何在？
- √5. 設有一室中之露點為 $8^{\circ}\text{C}$ ，如其空氣之溫度為 $10^{\circ}\text{C}$ ，時，其相對濕度為何？ $20^{\circ}\text{C}$ 時為何？ $30^{\circ}\text{C}$ 時為何？(參照第191頁之表。)
6. 設有一室，容積為 $5 \times 5 \times 3$ 立方呎，如其相對濕度為60%，溫度為 $20^{\circ}\text{C}$ ，求所含之水重若干。(見第191頁之表。)
- √7. 用玻璃杯及尙未上釉之生瓷器杯各一個，盛同溫同量之水，數分間後，兩杯之溫度相差甚巨，孰熱孰冷？其故何在？其溫度之差在乾燥空氣中，與在潮濕空氣中孰大？
8. 用細頸之開口瓶盛醴，其所示之溫度，不若用廣口之淺皿盛同量之醴時為低，其故何在？
9. 夏季潮濕之日，覺悶熱難堪，其故何在？
10. 晨霧多散於午前，其故何在？
- √11. 由火車上氣管噴出之雲狀物為何物？是否即蒸汽？
- √12. 冬日常須增加水蒸氣以維持適當之相對濕度，夏日則不必，其故何在？
13. 下列各例，對於蒸發所生之效應，究係何原因？
  - (1) 濕巾展開則易乾。
  - (2) 風日晒衣易乾。
  - (3) 寒日衣不易乾。
  - (4) 潮濕之日衣乾甚緩。

試就各項事實說明之。



沸騰<sup>①</sup>

## 222. 蒸發熱之定義。

由第四章分子運動所行之試驗，可以導出一結論，即無論何種液體之自由表面處之分子，其速度時有增至足以脫出分子引力界外，而入於液體上面之空間，成爲自由之氣體分子者，並液體分子中，僅有速度最大者，方可如此逸出液外，故所餘之分子之平均動能，因失去較大之速度之分子，遂逐漸減少不已，結果蒸發中之液體之溫度逐漸下降，直至由外面熱源所受之熱適等於所失之熱量時，始行停止。故蒸發常須耗去液內之熱能。凡造成一克之蒸氣所需之熱量之加數，稱爲其液體之蒸發熱 (Heat of vaporization)。

## 223. 液化之熱。

液體分子自液面昇起之時，須反抗液體引之向下之引力，因此，凡上昇之分子，其動能之一部，即轉而爲使分子分離之勢能，正如拋上之球，其動能轉爲使球與地球分離之勢能。當球下降時又恢復其前此所失去之動

①教授本節時，須同時課以酒精沸點直接測定法及蒸氣壓力法，並須繼以溫度計定點之實驗，及沸點隨壓力而變之實驗。參閱著者之實驗書中之實驗 23 及 24。

能,與此同理,蒸氣分子再入液內時,亦必恢復其前此逸出液面時所失去之動能,由此吾人可以預期每1克之蒸氣凝結為液體時,必發出與蒸發時所取得之熱相等之加數。蒸汽溫室法即本此理而成,故由鍋爐中使水變為蒸氣而失去之熱能,在輻射器 (Radiator) 中因使蒸氣凝結為水,又復現出。

### 224. 蒸發之計量。

欲精密測定  $100^{\circ}\text{C}$ . 水1克蒸發時所需之熱量或凝結時所發出之熱量,可迅速將蒸汽導入圖177之器中,其器預貯水500克,兩三分鐘後,觀測其最始最後之溫度及水量,設其重量增加16.5克,溫度由  $10^{\circ}\text{C}$ . 昇至  $30^{\circ}\text{C}$ ., 即知其凝結之蒸汽為16.5克,進入水內之熱量為  $500 \times (30 - 10)$  或 10,000 卡。如命1克之蒸汽凝結時放出之熱為  $x$  卡,則由蒸汽移入水內之總熱量當為  $16.5x$  卡。凝結之初,為  $100^{\circ}\text{C}$ . 之水繼乃降至  $30^{\circ}\text{C}$ . 在此程序中,所放出之熱為  $16.5 \times (100 - 30) = 1155$  卡,水所得之熱量當與蒸汽所失之熱量相等,故得

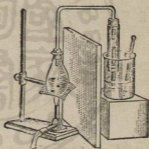


圖 177. 水之蒸發熱

$$10,000 = 16.5x + 1155, \quad \text{即 } x = 536.$$

即通常測定蒸發熱時皆用此法,而其值則公認為

## 225. 沸度之定義。

用火熱液體，將見有一定限之溫度，一達其限，火雖加烈，溫度亦不復再昇。在此溫度中，器內有氣泡發生，由底上騰，愈昇愈大，此溫度謂之沸度 (Boiling temperature)。

除此而外，尚有沸點 (Boiling point) 更精確之定義。氣泡之能發於液內，實緣泡中之蒸氣壓力，至少亦必與液面上之大氣壓力相等；否則泡必立潰。故沸點即液體之飽和蒸氣壓力適等於液面所受壓力時之溫度。

## 226. 沸點因壓力而變遷。

飽和蒸氣壓力隨溫度而異，因沸點為飽和蒸氣壓力等於外間壓力時之溫度，故沸點必因外壓不同而有變化。

取球形玻璃瓶，半滿以水而沸之。數分鐘後，瓶間空氣悉為水蒸汽驅出，即以木栓塞緊其口，撤去燈火，倒置之，如圖 178。是時溫度必降至沸點以下，但若淋以冷水，瓶水可使復沸。因冷水使蒸汽液化，瓶內壓力減少，故雖在  $100^{\circ}\text{C}$ . 以下，亦起沸騰。迨至蒸汽增多，復其原來壓力，沸騰亦即停止。此法可反復重行而不復加熱。



圖 178. 減小壓力  
使沸點降下

在厄瓜多爾 (Ecuador) 之

基多(Quito)城,水之沸點爲  $90^{\circ}\text{C}$ .; 在勃郎山(Mt. Blanc)頂, 爲  $84^{\circ}\text{C}$ .; 在派克高峯(Pikes Peak), 爲  $89^{\circ}\text{C}$ . 反之,火車車頭之蒸氣壓力爲 250 磅,故其水之沸點爲  $208^{\circ}\text{C}$ .

具有安全活瓣(Safety valve) (圖 179, C) 之密閉汽罐 (Closed boiler), 通常稱爲密

煮器 (Digester), 常作高山處煮

烹之用。溫度稍高於  $100^{\circ}\text{C}$ . 時,

澱粉之裂散,較在  $100^{\circ}\text{C}$ . 時爲

速。密煮器之大者,常用之以取

骨中之膠,或由骨屑中提取油

質。食菜之冷裝法之最後殺菌,

即置罐於此器中而熱之。此器名蒸汽壓力製罐機(Steam pressure canner)。

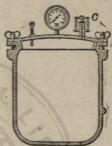


圖 179. 家庭用之  
密煮器

### 227. 蒸發與沸騰.

蒸發祇爲自由液面分子之氣化,沸騰則爲液面及液間之分子同時皆起氣化,此二者之差異也。液體當至沸點時,較之沸點以下,氣化甚急者,實因氣泡發生,而蒸發之面積加增極大故也。溫度不能過沸點以上者,以其面積因氣泡而增大,使蒸發所失之熱量適等於所得之熱量故也。

## 228. 蒸溜.

以靛油染料 (Aniline dye) 少許加於  $B$  (圖 180) 內溶液中而煮沸之。液體之蒸氣由管  $T$  通過，管外圍以短套 (Jacket)  $J$ ，使冷水環流其中，管中之蒸氣，即凝為液體，集於接收器  $P$  內，可見其不復有靛油之色。

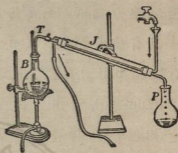


圖 180. 蒸溜

由此可知由溶液發出之蒸氣中並未含有其

溶解之物質。製酒精之時，所需要者，為  $P$  內之淨液；製糖之時，所需要者為殘留於  $B$  內之固體。製糖時欲防其因熱而焦，故須於低溫下蒸發之。其法用一空氣唧筒將鍋內氣體抽去一部，如此，溶液在比較低溫之下，即可沸騰。

## 229. 分溜.

設溶液內所含之兩種物質，均易揮發 (Volatile)，如醇與水之混合物，則由液體發出之蒸氣必同時含有此兩種物質。不過沸點較低者，即蒸氣壓力較大者，必占大數。若  $B$  (圖 180) 內之溶液係為 50% 之醇，及 50% 之水，則蒸發凝結之後，由  $P$  內所得者，酒精當居其大部分。照此方法，迭演數次，所得之醇，當愈加純粹，此種方法，謂之分溜 (Fractional distillation)。混合液之沸點居於醇與水之沸

點之間，含水愈多，沸點愈高。

汽油(Gasoline)及燈油(Kerosene)皆自粗油(Crude oil)析出，各級之汽油皆可以分溜法分別之。

### 問 題

1. 每高 960 呎，沸點即降下  $1^{\circ}\text{C}$ 。今在海拔 5000 呎之丹佛(Denver)頂上，其沸點為若干度？
2. 自海水中當用何法以得清水？
3. 水沸以後，火力大小與將雞卵煮硬之遲速有關係否？
- ✓ 4. 由蒸汽暖爐之輻射器內流出之水，有時與送入之蒸汽同一溫度，然室內却因之得暖，其故何在？
5. 水被煮時，其溫度尙未達沸點之前，已有若干細泡自器底發出，其故何在？此現象與沸騰有何區別？
- ✓ 6. 水在深器內被煮時，其發出之氣泡之體積，隨昇隨大，試舉二理由以說明之。
7. 由蒸汽所受之火傷，甚於由同溫度之熱水，其故何在？
8. 將一定量之水，轉為蒸汽，所需之熱，為將同量之水增高  $1^{\circ}\text{C}$  之若干倍？
- ✓ 9. 設在蒸汽暖爐內有十磅之蒸汽凝而為水，可以放出若干英國熱單位之熱？
- ✓ 10. 設有一蒸汽暖爐，每小時內可將  $100^{\circ}\text{C}$  之蒸氣 2 呎凝結為水，由管流出時已成  $90^{\circ}\text{C}$ 。其供於室中之熱量為若干卡？
- ✓ 11.  $100^{\circ}\text{C}$  之蒸汽 30 克凝而為水，復降至  $20^{\circ}\text{C}$ ，其所發出之熱為若干卡？此蒸汽可使若干克之水自  $10^{\circ}\text{C}$  昇至  $20^{\circ}\text{C}$ ？

### 人工冷卻

### 230. 溶解冷卻法.

試用一小玻璃杯，內盛常溫之水，加以食鹽少許，用溫度計攪之，即見溫度降下數度，如將等重量之硝酸礬 (Ammonium nitrate) 與  $15^{\circ}\text{C}$ . 之水相混合，則其溫度將減低至  $-10^{\circ}\text{C}$ . 若當投入硝酸礬時，水之溫度約為  $0^{\circ}\text{C}$ . 而以半貯冰水之試管攪之，則管內之水立結為冰。

由此試驗可知固體溶化，不論其為溶解，或為熔解，皆須費相當之熱能，試以溶解與蒸發相較，其理自明。液體分子，恆有由液面飛入空間之傾向，在鹽之表面之分子，亦因其自有之速度常欲飛去，其所以不能脫出者，實因晶體內與之鄰接之他分子對之有引力作用，引力大，故足以阻其飛去，但若將鹽投入水內，則水分子對於鹽分子之引力，足以助鹽分子自有之速度使之脫離其鄰近之分子之引力。當鹽分子由其晶體飛散之時，有二力作用於其上，一為水分子之引力，助長其速度，一為殘餘之鹽分子引力，減衰此速度，如後者之效應大於前者，則由晶體逸出之分子之平均速度，勢必減小，而溶液之溫度因之冷卻，反之，設水分子引力大過溶體分子之引力，則其分子平均速度因之而增，故其結果，溶液之溫度升高，如氫氧鉀 (Caustic potash) 或硫酸等之溶解即其實例。

### 231. 溶液之冰點.

試以鹽一分與水十分之溶液，盛入試管，將試管插入水、冰、鹽三者混合而成之“寒劑”(Freezing mixture)內。當管內溶液結冰時，管內溫度計所示不為零度，而在零度以下數度。其所結之冰，與鹽液之蒸氣相似，並不含鹽。由此事實，則鹽液之冰點，較純粹之水為低之理，即可解明。蓋降低物體之溫度，使達冰點，不外減少其分子之平均速度，致使液體之凝集力牽合分子而成晶體。鹽液凝結時，水之凝集力不得不勝過鹽分子之引力及其分子運動，故運動必更減小，即溫度之下降，必較冰點尤低，方可結晶。由此更可預期，溶液內所含有之鹽量愈大，冰點之降下當愈低。證以事實，信然。鹽水最低之度為 $22^{\circ}\text{C}$ 。或 $-7.6\text{F}$ ，是即飽和溶液(Saturated solution)之冰點也。

### 232. 寒劑。

設投冰雪入水，冰雪熔化，同時水之溫度降為純粹水之冰點。同樣，投冰入鹽水使之熔化，則使鹽水之溫度，降至溶液之冰點。其點可在零下一度，二度，或二十二度，視溶液之濃淡而異。故無論將冰加於淨水或鹽水，其熔化之分量，必足以使全體降至此液之冰點，且熔化每1克之冰，需耗80加之熱。鹽與冰混合，可以起寒者，實因鹽液之冰點低於純粹水之冰點故也。



最適當之混合法，爲雪，或細刨之冰三分，與鹽一分。若鹽化鈣 (Calcium chloride) 三分與雪二分混合，其溫度可以降至  $-55^{\circ}\text{C}$ ., 足以使水銀凝爲固體。

### 問 題

1. 鹽水結冰時，冰內並未含有鹽質。然則結冰對於鹽液之濃度究有何效應？
2. 不甚飽和之鹽溶液，其冰點爲  $-5^{\circ}\text{C}$ ., 置於  $-10^{\circ}\text{C}$ . 之室中，可以全凍否？
3. 冬日路傍人行之道上，爲冰布滿時，常撒鹽於其上，其故何在？
4. 海水之凍難於湖水，試舉兩理由以說明之。
5. 將硫酸注入水內則生熱，注入冰內則寒，其故何在？
6. 有種液體，在低溫度時雖不能溶解固體物質，然在高溫即能溶解，其故何在？
7. 冰淇淋 (Ice cream) 器內之鹽與冰結合而爲鹽水 (Brine) 時，每克之冰約須幾加之熱方能溶之？其熱由何而來？如鹽水之冰點與冰淇淋之冰點相同，冰淇淋可以凍結否？

### 工業的應用

#### 233. 現代之蒸汽機關。

以上所述，關於能之變形，只就機械能之轉爲熱能者而言。但在各種熱機關 (Heat engine)，則皆由熱能轉爲機械能。其轉換之次序，與上之所述者恰相反。欲明其轉換之方法，當細究較近各種熱機關。蒸汽機關 (Steam

engine) 之發明者爲瓦特 (James Watt). 當其成此發明之時 (1768), 乃格拉斯哥大學之一機械工人。

此機運轉之法, 可就圖 181 之理想機械圖說明之。以火  $F$  燒汽罐 (Boiler)  $B$  而生蒸汽。蒸汽經管  $S$  入汽室 (Steam chest)  $V$ , 更經通路  $N$  而入圓筒 (Cylinder)  $C$ , 以其壓力推活塞 (Piston)  $P$  向左。試觀圖中, 當連桿 (Driving rod)  $R$  推向左時, 偏心桿 (Eccentric rod)  $R'$  即節制滑瓣

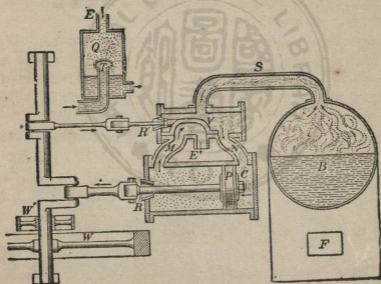


圖 181. 理想蒸汽機圖

(Valve)  $V$  推向右方。當滑瓣達極右端時,  $N$  閉而  $M$  開, 使蒸汽之壓力自左向右。推活塞達圓筒  $C$  之右端, 同時將右端滿貯之廢汽, 由排汽管 (Exhaust pipe)  $E$  逐出。如此

循環不已。當桿  $R$  關閉  $M$  與  $N$  時，適為活塞往返於圓筒兩端之頃刻間。軸上連一重飛輪 (Fly-wheel)  $W$ 。輪之惰性極大，足以維持轉動之速度一律平均。如用皮帶套於軸上之滑輪 (Pulley)  $W'$  之上，即可隨意傳其運動於他機。汽罐中之蒸汽為高壓高溫 (第 226 節)，當其在圓筒內作用以推活塞時，溫度即行降下。故蒸汽機關係將熱能轉為機械能以完成有用之功之機械。

### 234. 凝汽機關及不凝汽機關。

大多數之靜置機關 (Stationary engine) 之排汽管  $E$ ，概皆連於凝汽器 (Condenser)。其器之構造為一房 (Chamber)  $Q$ ，中有冷水噴射口  $T$ ，更用一空氣唧筒，使房內成半真空 (Partial vacuum)。最精機械之  $Q$  中之壓力不過為水銀柱 3 吋乃至 5 吋，即每平方寸上其壓力不過一磅而已。故凝汽器可將活塞之通於空氣中之反壓力減少自 15 磅至 1 磅，故活塞他端之有效壓力可以增加。

### 235. 偏心輪。

事實上滑桿  $R$  非若圖 181 所示。其傳動另用偏心輪 (Eccentric)。輪為一圓盤  $K$  (圖 182)，固著於軸  $A$  上，但其中心不

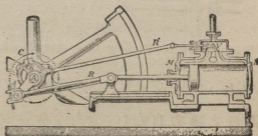


圖 182. 偏心輪

與軸之中心相一致，盤  $K$  旋轉於圈  $C$  之內，使偏心桿生一往一返之行動，推滑瓣  $V$ ，使於適當之時間交互的開閉  $M$  與  $N$ 。

### 236. 汽罐。

當機關作功時，汽罐內之蒸汽，消洩甚速，火車每小時約耗水 3 噸至 6 噸之多，故著火之面必須甚大，管式汽罐 (Tubular boiler) 係在汽罐內之水中間裝入若干金屬管，使火燄通過管

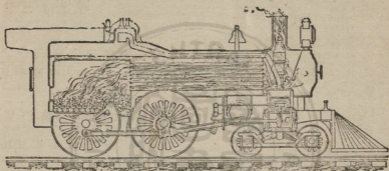


圖 183. 機關車(車頭)

內，其爐與罐之裝置詳見圖 183 之機關車。(舊式與最近之機關車，見第 139 頁對面之插圖。)

### 237. 通風。

欲火焰通過汽罐之細管  $B$ ，必須有強有力之通風 (Draft)，在機關車則使廢汽自筒  $C$  經吹口 Blower  $F$  以入煙筒 (Smoke-stack)  $E$ ，經吹口  $F$  之急氣流，由煙箱 (Smoke box)  $D$  中攜去一部分之空氣，使  $D$  成爲半真空，故有極強之空氣流由爐底經管  $B$  流來以補充之，尋常火車用之機關車每小時需炭約  $1/4$  噸乃至 1 噸。

靜置機關之通風則得自高立之煙筒，因促氣出爐之壓力，等於煙筒內外單位断面之氣柱重之差，故煙筒愈高，壓力愈大，大動力廠之煙筒皆極高，即基於此理。

## 238. 節汽器.

圖184所示之器，爲瓦特所發明，極其巧妙，能自動的節制靜置機關之速度，名曰節汽器 (Governor)。如機之轉動太速，則重球  $B$  分離高起，使活瓣半閉，以節制流入汽筒內之汽量。

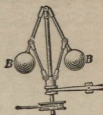


圖 184. 節汽器

## 239. 複式機關.

僅具有一個汽筒之機關，當其放氣出管之時，蒸汽之全力，並未盡用，若用複式機關 (Compound engine) (圖 311) 將半耗之汽導入面積較大之第二汽筒，即可免去此種無益之浪費。近世最大效率之機關，均有汽筒三個或四個之多，因其筒數而名之曰三次或四次膨脹機關 (Triple or quadruple expansion engine)。

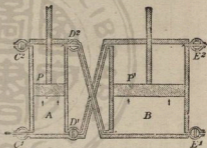


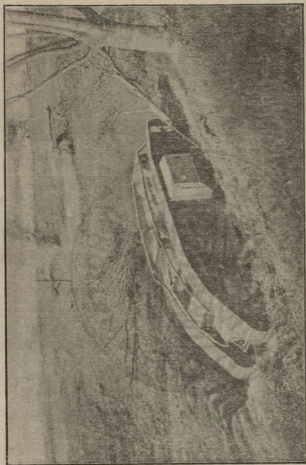
圖 185. 交叉複機關筒

圖185所示爲交叉複機關 (Cross-compound engine)

中之相鄰兩汽筒間之關係，由自動之方法，使  $C^1$ ,  $D^2$ ,  $E^2$  等活瓣同時自閉，一如偏心輪之原理，以放汽筒內之蒸汽入小筒  $A$ ，同時在本筒彼端之半經用過之汽，經  $D^2$  以入於  $B$ 。  $B$  之他端再用一度後之汽，由  $E^2$  而出。  $P$ ,  $P'$  活塞上昇至極處時，  $C^1$ ,  $D^2$ ,  $E^2$  等活瓣皆同時自閉，同時  $C^2$ ,  $D^1$ ,  $E^1$  等自開，活塞運動因之而返其向，此諸活塞均固著於同一軸上。

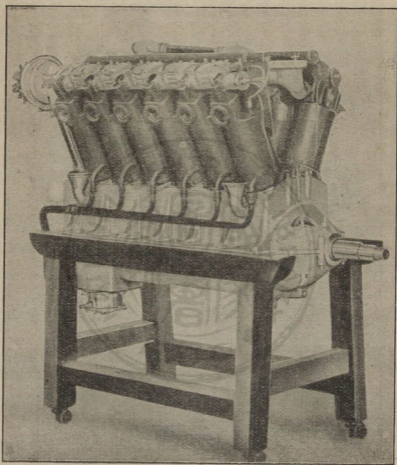
## 240. 汽機關之效率.

一定量之機械能，可以全變爲熱能，前已知之例如



### 裝甲戰車

裝甲戰車(Tank)亦曰陸上軍艦(Land battleship),爲防禦機關鎗之武器,兩旁具有鋼製之環鏈二,車體即沿鏈前進,其小者可裝機關鎗,進行之速可及馬蹄,其大者能裝三吋之砲,可行極險惡之路,越溝濠走荆棘如平地,雖盈尺之木亦能折斷而通過之,如圖所示



### 自由發動機

此 400 馬力之自由發動機 (Liberty motor)，用於擲彈之飛機上，爲美國對於歐洲大戰供獻之一。該機具十二圓筒，係水冷式，每分鐘能轉 1700 次，機體重 8.6 磅，每一馬力約重二磅，第一次橫渡大西洋之 NO.4 號，即裝此式之機三個

由摩擦作用以停止動體，即可得此變化，若反其變化之方向，即若使熱能變為機械能時，則異於是，當燃燒時，祇有一小部分之熱，可變為功，例如蒸汽機關之熱，必有一部分隨同廢汽出至空間，或凝縮器內，耗費之大，不難知之，即理想機械，由燃燒之熱所變成之功，亦鮮有過 23% 者，實用上之四次膨脹機關，由燃燒之熱所變成之機械功決無在 17% 以上者，尋常火車上之機關車所利用之功，至多不能逾 8%。熱機關之效率，為有用之熱或變為功之熱，與所發生之總熱之比，故極精之蒸汽機關之效率，只為理想蒸汽機關之  $17/23$  或 75%。普通火車用之機關車之效率只為理想界限之  $6/23$  或 26% 而已。

### 241. 內燃機關之原理.

以鐵線或銅線二條穿入軟木塞內，使其端  $s$  相接近，相隔約  $1/32$  吋即可（圖 186）。以噴霧器 (Atomizer) 吹入汽油 (Gasoline) 或本品 (Benzine) 少許於瓶中（其量可自試知之）。塞其栓，由誘導圈 (Induction coil) 引取絕緣之二強電流線與  $a, b$  相接， $s$  處即發電花，如混合物不太多亦不太少，即發生極猛烈之爆發，瓶栓將被擲上，及於屋頂。（必須用圓而且厚之瓶，且須包以鐵絲網，以免危險。）

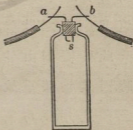


圖 186. 汽油及空氣之混合物可起爆發

近二十年來人生日用中，氣體機關 (Gas engine) 之



重要，與蒸汽機關等。(參看第214, 215, 218頁之對面。)此種機關之運轉，全賴筒內氣體與空氣混合，按時爆發。

此類機關之完全一循環運動，可分四段，如圖 187

所示。設想重飛輪  $W$

已在運轉中。第一段

中活塞  $P$  向下(見 1),

則活瓣  $E$  開，而混合

之氣體由  $E$  進入筒

內。及至活塞向上(見

2), 活瓣  $E$  隨閉，而氣

體與空氣之混合物

被壓於筒間上端之小部分於是電火花燃之，經爆發

後，以極大之爆發力推活塞下降(見 3)推回之始(見 4), 廢

氣瓣  $D$  開，及活塞向上，即將爆發後之氣體排出筒外，是

又返其原有之狀態，更演其二度循環。

此種機關由外部所得之能，實在第三段之氣體爆

發時。因飛輪甚重，故可將第三段所得之能貯蓄以備其

餘三段之用，並可使機關以均等之速度運轉。

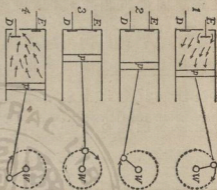


圖 187. 氣體機關之原理

氣體機關之效率，常高至 25%，約為最佳之蒸汽機關之二倍。且無煙，體積小，可以立即運轉，其利益甚多。然一方面其所用之燃料(Fuel)(煤氣或汽油)費用比較甚大。大多數之汽車

(Automobile)皆用汽油機關(Gasoline engine),以機關與燃料均輕,故甚為重要。

此輕而有效之機關發明以後,人類方得征服太空,因飛機飛艇上皆須用此種機關作其動力故也。

## 242. 汽車.

第 218 頁對面之圖示汽車 (Automobile) 要部機械之相互關係。機關之圓筒外皆有冷水套,套內有水循環。機關內所生之熱,由對流作用,被水傳至輻射器內,更由旋轉扇(Revolving fan)(10)以散諸空氣之中。氣體機關若無去熱方法,圓筒內之活塞必因高溫度之故,遂致緊塞筒內,不能移動。機關之動力由接合子(Clutch)(11),傳動機(Transmission) (12),及差動齒輪(Differential gearing)而傳於後軸(Rear axle)。

## 243. 接合子及傳動機.

氣體機關之動力,既由圓筒內之連續爆發而來,故其開始運動時,不能若蒸汽機關之負重,故開機時,必先使之得有相當之速度,而後用摩擦接合子(Friction clutch) (11) 漸次將動力傳至後軸,否則機必停止不動。機關軸(The shaft of the engine)之後端有一飛輪,在椎形之接合子上,其裏面亦為椎形,在此近傍有一接合板(Clutch plate)為一重圓片,固着於傳動機上,其周圍之傾斜度恰與飛輪之裏面相吻合,面上覆以皮,借彈簧及摩擦力與飛輪之裏面相緊接,不至滑脫,駛車者壓其足下之槓桿,接合子即離開,若為板狀之接合子,則由兩組之板所合成,一則與軸同轉,一則與傳動機同轉。

氣體機關一分間所作之功,為其一爆發所成之功與一

分間內爆發之次數之相乘積，故必急轉時方能展其全力。登山之時，車之速度雖小，而機關轉動之速度則甚大。因欲滿足此種要求，故用傳動機 (12)，使轉動軸 (Driving shaft) 旋轉之數，少於拐臂軸 (Crank shaft) (4) 旋轉之數。傳動機為多數齒輪組合而成，如圖 188 所示。(1) 為輪中立 (Neutral) 時之位置，1 與 2 恒相接連。用移輪槓桿 (Gear-shift lever) (14)，則 3 與 5 可滑走於方軸 (Square shaft) 上。未移槓桿之前，須將接合子放鬆，使發動機之力不能達於轉動軸。當傳動機之輪與副軸 (Counter-shaft) 之輪相接連時，二輪之速度幾相同，必須注意，以免其傾軋。圖 188 (2)，為低速之連結。若欲其為中速，可再將接合子離開使成中立，使 3 與 4 相連 (圖 188 (3))，然後將接合子扣緊即得。如欲其為高速，(圖 188 (4))，可使 3 經過中立狀態與 1 相連；此為轉動軸與拐臂軸兩者直接連結成爲一氣，故二者之旋轉數相同。又若欲其爲反向運轉 (圖 188 (5))，可使一第八之齒輪，由下面昇上將 5 與 7 同時扣住。既加入此一輪於 5 與 7 之間，自能使運動軸之轉動方向改爲反對方向。

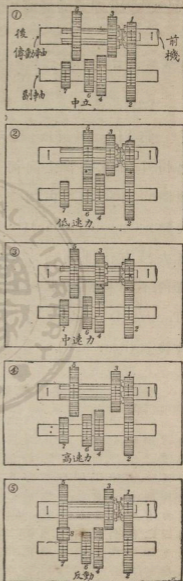
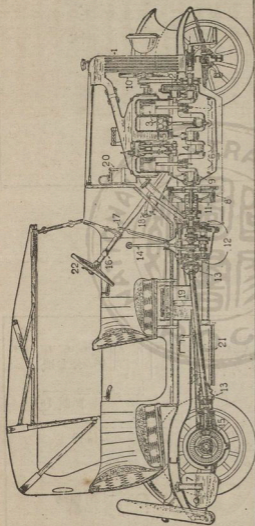
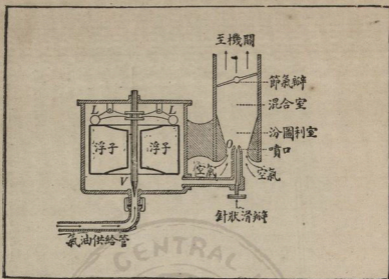


圖 188. 汽車之傳動機

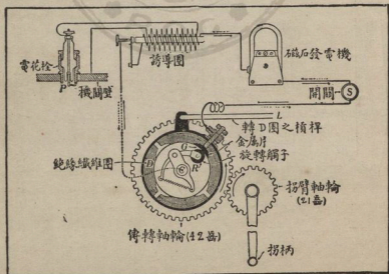


汽 車 要 部 斷 面 圖

- 1, 驅動器; 2, 節時齒輪; 3, 活塞; 4, 拐臂軸; 5, 齒棒, 及推進棒; 6, 油槽; 7, 汽油槽; 8, 飛輪; 9, 主後軸承; 10, 冷卻扇; 11, 接合子; 12, 傳動機; 13 萬能節; 14, 推輪槓桿; 15, 主推進輪及小齒輪; 16, 電阻開器; 17, 緊急控制槓桿; 18, 蓄電池; 19, 腳踏控制槓桿; 20, 真空給電式; 21, 鐵套; 22, 舵輪



揮發器



點火裝置

## 244. 差動輪.

汽車之運轉係施動力於其後軸，故其軸必為兩部分，而以一差動輪 (Differential) 插入其間，然後可使車體改變其方向時，外側之輪速而內側之輪緩。試觀第 218 頁對面之圖及圖 189，可知轉動輪 (Driving pinion) 與轉動軸相接，以轉動主斜輪 (Main bevel gear)  $B$ ，而差動輪  $1, 2$  則固接於  $B$  上。左軸直接與  $3$  相連，由  $1, 2$  間接與  $B$  相連。當車直走時，兩後輪同速。故當  $3, 4$  及主斜輪以同速轉動時，小齒輪  $1, 2$  與之同轉。此時之  $1, 2$  並未在其軸承上轉動。當車體改變其方向時， $3$  與  $4$  兩輪所轉之速度不同，小齒輪  $1$  及  $2$  不僅與主斜齒輪同轉，並各在其軸承上沿反對之方向轉動。

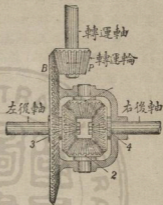


圖 189. 差動輪

## 245. 揮發器.

揮發器 (Carburetor) 為使汽油，煤油，等由液體化為氣體更參和適量之空氣使其成完全燃燒之裝置。其簡單之原理如第 219 頁對面之上圖所示。汽油由供給管 (Supply pipe)，經過活瓣  $V$ ，流入浮室 (Float chamber)。由槓桿  $L$  之作用，汽油達一定之水準時，浮子 (Float) 即將瓣門  $V$  塞閉。汽油由浮室進入噴口 (Spray nozzle)  $O$ 。當活瓣於圖 187 之第一段運動時，即下降時，將空氣自外吸入汾圖利 (Venturi) 室內，一方面汽油由  $O$  口噴入，在混合室 (Mixing chamber) 中與空氣混合，經節氣瓣 (Throttle) 而入氣缸，成為強烈之爆發劑 (Highly explosive mixture)。

## 246. 點火器.

第219頁對面之下圖爲高壓磁石發電機(High-tension magneto)之點火器(Ignition)之原理,汽車常用之。 $R$ 爲滾動接觸器(Rolling contact),裝於傳轉軸(Cam shaft)上,以拐臂軸(Crank-shaft)之半速在靜止之絕緣纖維輪內旋轉。當開關器(Switch  $S$ )閉合時,  $R$ 正由金屬片(Metal segment)  $G$ 處通過,即有電流由磁石發電機(Magneto)經滾動接觸器流至中軸(Central shaft)  $C$ ,更經由車體之鐵架(Iron work)及誘導圈(Induction coil)之一次圈(Primary coil)復至發電機。當接觸器與金屬片  $G$ 接觸時,誘導圈即發生一電花(Spark)於電花栓(Spark plug)之  $P$ 點,使內面之爆發劑著火。因拐臂每旋轉兩次,活塞僅得一次動力,故必使拐臂每轉動兩次之間,接觸器只能轉動一次,故須如圖所示,使拐臂與傳轉軸之速度爲2與1之比。

爆發劑之燃燒時間雖可計量,然而甚短,故爆發劑燃燒後,爲時甚短,其爆發力即行消滅,故在高速時,點火之時間,對於活塞之位置,須使較早於低速時,火花之早遲,以火花槓桿(Spark lever)  $L$  節制之。因片  $G$  係連結於可動之纖維輪上,牽動纖維輪即可使  $G$  變其位置。

圖中所示爲單缸之機關(One-cylinder engine),如爲四缸,則須再加三金屬片於圖中空白處所示,並須再加誘導圈及電花栓各三個始可。

## 247. 蒸汽臥輪.

蒸汽臥輪(Steam turbine)由熱機關之最近發展而成,其原理與通常之風車相似,輪之圓周上裝有多數之葉片,排作輻狀,所異者,不過不用空氣,而以大速度之蒸汽向葉板噴出而已,蒸汽與風力不同,皆係直接由汽口吹入,

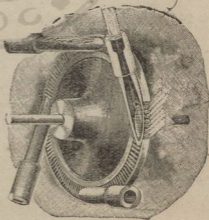


圖 190. 蒸汽臥輪之原理

且汽口對葉板恒作最大效率之角度(圖 190)。蒸汽經一層葉板,其能並未盡耗,故實際上,使之經過連貫之多層(圖 191)。凡相隔一層之諸層,皆固着於旋轉軸上,其他介於其間之各層

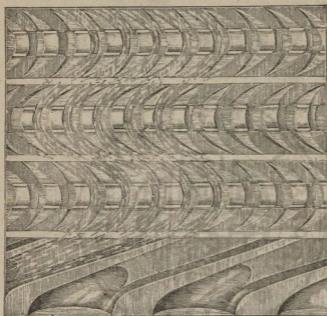


圖 191. 刻替斯臥輪之蒸汽通路

則以極利便之角度,固定於機之外套上,以作引導蒸汽入於次層之用。蒸汽由此方法交換的經固定層以入旋轉層,直至能盡為止。層數恆有多至十六列者。

臥輪,因其能力甚大,故需用之推廣甚速。臥輪較諸往復蒸汽機關便利之處甚多:第一,運行毫無震動,故基礎不必甚堅,可以省費;第二,所占地面較之同一動力之蒸汽機關尚不及其十分之一,而其效率則與最精之往復機關(Reciprocating engine)等。洋海船隻,每小時具有 40 哩之大速度,皆藉此機之力也。最大之船為貝稜加里亞(Berengaria)號,長 919 呎,廣 98 呎,高



(自龍首至第九層甲板) 100 呎, 載重 57,000 噸, 速率  $22\frac{1}{2}$  海里, 用臥輪四個運轉, 共有 61,000 馬力, 最大之機具有 50,000 葉板, 有 22,000 馬力, 美國船舶局 (United States Shipping Board) 於 1919 年六月 24 日, 曾發表一種計畫, 製造戰艦二隻, 較普通之艦大而且速, 其長為 1000 尺, 其馬力為 110,000, 其速率為 30 海里。(見第 151 頁之對面。)

### 248. 製冰。

繞近冰廠之製冰, 所需之低溫大半得自液體碓精 (Liquid ammonia) 之迅速蒸發。碓精在常溫時為氣體, 然可以單加壓力使其液化。在  $80^{\circ}F.$  時, 每平方吋上須 155 磅, 即約為 10 氣壓, 即可變為液體。圖 192 所示為製冰廠之要部, 普通用蒸汽機關

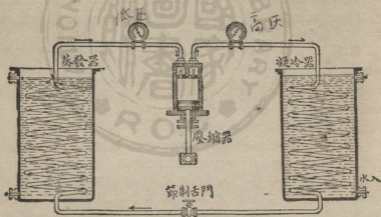


圖 192. 製冰之壓縮裝置

運動壓縮器 (Compressor)。此器於 155 磅壓力之下送碓精氣入右邊之凝縮器 (Condenser) 中, 使成液體。由凝縮所發生之熱, 為凝縮蛇管 (Condenser coil) 外周流不息之水挾與俱去, 液化後之碓精, 經由節制瓣 (Regulating valve)  $V$  緩緩進入蒸發蛇管 (Coil of evaporator)。自此蛇管內用唧筒迅速將碓精蒸氣抽去, 使蛇

管內壓力不逾 34 磅。試自圖中觀之，可知同此唧筒，自蒸發蛇管內吸出礮精後，即將其壓入凝縮蛇管內。蓋唧筒上所裝設之節制瓣，一方面使其為吸入唧筒，一方面又使其為壓縮唧筒故也。蛇管內之礮精因壓力減小，遂迅速蒸發，使蛇管之溫度降至  $5^{\circ}\text{F}$ . 左右。管外之鹽水之溫度因此降至  $16^{\circ}\text{F}$ . 或  $18^{\circ}\text{F}$ . 此種低溫之鹽水，周流於水罐之周圍，故罐內之水被冷而成冰。在  $5^{\circ}\text{F}$ . 時，礮精之蒸發熱為 314 加。

數千尺長之鹽水管，水平裝置之，覆之以水，以製室內滑冰場 (Skating rinks)。

### 249. 冷藏。

人造之冷室及冷藏庫，其方法與製冰之法完全相似。其鹽水亦如前法使其冷卻，然後用唧筒吸入屋內之蛇管即成。有時用二氧化碳 (Carbon dioxide) 以代礮精，但其原理則無更改。有時不用鹽水，以一風扇直接將空氣吹至礮精或二氧化碳之蒸發管上，亦可使室內冷卻。戲場飯店等之冷室裝置，概用此法。

### 問題

1. 氣體機關如何呼之為內燃機關 (Internal-combustion engine)?
2. 汽油機關必有飛輪，其故何在？四轉式 (Four-cycle type) 之單缸機關更非用之不可，何故？
3. 機關車之氣缸中之溫度與其出口時之溫度有何不同？試說明之。
4. 機關車之推進輪 (Drive wheel) 上有一極重之鐵塊，正對轉軸 (Drive shaft) 所着之一點，有何必要？
5. 機關車上汽罐中之水雖至  $100^{\circ}\text{C}$ . 亦不沸騰，試言其故。
6. 若將液化氧置於開口之皿中，其溫度決不能昇至  $-182^{\circ}\text{C}$ . 以上，其故何在？試舉一法可使其溫度高於

-182°C. 又舉一法,使其溫度更降至 -182°C. 以下.

7. 1 磅煤中有 14,000 英國熱單位之熱,每磅之能為幾呎磅?此一磅之煤所有之能可將若干磅之鐵舉至 150 呎之高?
8. 火車用之機關車之平均效率約為 6%. 每時若耗去一噸之煤,可得若干馬力?(參照上題.)
9. 汽油每磅有 18,000 英國熱單位之熱,今氣體機關之效率為 25%. 問 100 磅之汽油能作有用之功幾何?
10. 1000 馬力之火車頭,每時行 25 哩時,以其全馬力能牽引重量幾何?



24.  
25.

## 第十一章 熱之傳播

## 傳導

## 250. 固體之傳導.

以金屬短棒之一端置入火中,不久,手持之一端亦熱至不可復執,但以木棒或玻璃棒之一端入火時,他端並不至於如是之熱。

由此試驗,可知非金屬物體對於熱之傳導(Conduction)性質,較之金屬為弱,不寧唯是,即金屬之中,亦因其種類不同,而有強弱之別。

取銅線,鐵線,洋白銅線,各一條,長50釐,徑3耗,絞合其一端,如圖193。置其絞合之端於木生燈上,炙熱三四分鐘後,用一火柴沿各線由冷端向熱端移近,至火柴被熱着火而止,將見銅為熱之良導體(Good conductor)而洋白銅為不良導體(Bad conductor)。

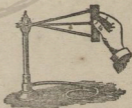


圖 193. 各種金屬之熱之傳導率各不相同

茲將日常習見之物質,按其熱傳導率(Heat conductivity)

之次序列之如下,至測定其次序所用之原理,與上之方法並無大異,為便利計,定銀為100,則得

銀	100	錫	15	水銀	1.5
銅	74	鐵	12	冰	.21
鉛	48	鎘	8.5	玻璃	.15
黃銅	27	洋白銅	6.3	硬膠	.04

### 251. 液體及氣體之傳導.

設管內，滿貯冰水，投入小冰一塊，用一玻璃棒將冰塊按往，使其沈至管底，以本生燈熱其上部，如圖 194，則見上部雖已沸騰，而冰仍不溶解，可見水非良導物體，若用下述之方法



圖 194. 水爲不傳導體



圖 195. 水上燒礙  
不影響於溫度計

試之，當更明確：如將空氣溫度計之球部，按入滿水之漏斗內，使球部在水面下數釐處，如圖 195。再取釐少許浮於水面燃之，雖空氣溫度計爲檢查溫度變化最敏銳之器，亦不能顯出少許之變易。

由精密觀測，得知水之傳導率僅爲銀之  $1/1200$ 。氣體之傳導率更少，其平均數尙不及水之  $1/25$ 。

## 252. 傳導及觸覺。

嚴冬時雖金屬與木類溫度相等，然以手觸金屬，則覺其冷較木類為甚，此固人人所知，反之，若以此二物置於酷夏烈日之下，握木不覺熱，觸鐵則難受矣。由此現象，可知鐵較木更為良導體，冬日由手取熱甚速，夏日以熱與手亦甚速。總之導體愈良，則較手熱時，觸之愈覺其熱；較手冷時，觸之愈覺其冷。故冷室內觸油布較氈為冷，因油布為良導體，而氈則非良導體也。麻布於冬季覺冷於毛織物亦屬此理。

## 253. 非導體之空氣。

毛織等物可為暖衣，因其為極不良之導體，故可保持身體內部之熱，使其不易逸出體外，其主要原因，則由於此等物質具有無數之孔隙，內含空氣，而氣體為非導體 (Non-conductor)，故能具此作用。新降之雪，可保全植物，即此理。嚴冬酷寒，農夫常為其果木葡萄憂，蓋非地面有積雪，實無法以防禦之也。

## 254. 安全燈。

試將細鐵絲製成之網 (Wire gauze)，置於本生燈口，用火柴自網上燃之，則見火在網上，如圖 196 (1)，網下並

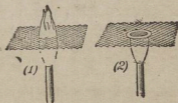


圖 196. 火焰不能通過鐵絲網

不著火，但若最初用火柴自網下燃之，則火即在網下，不出網上，如圖 196(2)。

其理可說明如下：因鐵網為良導體，將燄中之熱，移去甚速，致在網之他一面之氣體溫度，不能達於發火之溫度，故成此現象。開礦用之安全燈 (Safety lamp) 即於燈之四周，圍以金屬絲網，雖礦坑內充滿可燃氣體，亦不致使網外着火。

### 問題

1. 圖 197 所示為無火竈 (Fireless cooker), 試就圖說明之。
2. 火夫何以夏日着絨衣取涼, 冬日何以又能以之防寒?
3. 將冰淇淋 (Ice cream) 裝入紙袋內時, 其溶化並不甚速, 其故何在?
4. 冰箱中之冰, 如裹以毛布, 於冰有何影響? 於箱有何影響?
5. 以紙緊裹於鐵棒上, 持入火中燒之, 暫時, 紙並不焦, 如裹於木上燒之, 立即成焦, 其故何在?
6. 手觸爐之麵包烘盤, 較觸麵包更為燙手, 然二者之溫度固相等, 其故何在? 作題
7. 霜夜往往用紙將植物裹住, 以作保護, 其故何在?

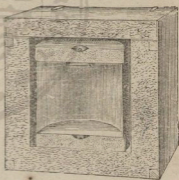


圖 197. 無火竈

8. 嚴冬寒冷，以濕指或舌觸鐵立即結冰，觸木則否，是爲何故？
9. 冬季衣服能否以熱供給人類？何以能使吾人覺暖？
10. 製冰淇淋之器，其外桶用厚木，內部則爲薄鐵罐，其故何在？

## 對流

### 255. 液體之對流

由前第 251 節之實驗，可知液體之傳導性甚小，但因在特種情形之下，其傳熱有時且較固體更良。如將圖 194 所示之實驗內之冰，置之頂部，移火至底，冰之熔解甚速。由此可知由管底傳熱向上，較之由上部傳熱向下爲易。其傳導之機構作用，可自下之實驗明之：

如用圓底瓶（圖 198）半滿以水，加入洋紅（Magenta）數粒，熱其瓶底，則見紅自火燄近處上昇，沿瓶側降下。不久全水俱紅。可知用熱，可以使之完全混合。



圖 198. 對流

此現象可說明之如次：因近火之水熱而膨脹，其密度較四旁之水爲小，故爲較冷且密之水迫而上昇，冷水即由側面流下，以代

其位。此種傳熱法，只可見於流體。其與傳導不同處，在於



傳熱者並非由一分子移至他一分子，乃係具有相當大質量之熱流體，由一點移至他點。此種熱之移動，謂之對流(Convection)。

### 256. 風與海流。

風爲大氣中之對流，因太陽之熱，傳至地面不能均一所致。水濱之住民恒習於海風與陸風。水之比熱較陸地爲大，故日間陸地較海易熱，故地面上之空氣膨脹後爲海面上之冷空氣所迫，自地升起，冷氣即由海面流來補之，此即日間所吹之海風，每至黃昏時，風力最烈，入夜則地面較海易冷，風向即因之而反。此種海風之影響，不能超出距海濱二十五哩之外。

海流之原因，半由於海之受熱不均，半由於風之方向，總之風與海流，皆因大陸形勢而異，惟於大洋闊面，始可豫定其方向耳。

## 輻射

### 257. 傳熱之第三法。

更有一種傳熱之現象，非傳導與對流所能說明者。譬之對火而坐，因空氣實向火流，而非向外，故所覺之熱，決非由對流而來，又因空氣之傳導性甚小，即略有所傳，

亦必爲向火流去之冷氣所抵消，故又決非由傳導而來。由此以觀，熱在空間內之傳播，於此兩者以外，必更有道。

試更思由太陽傳來之熱，益足知有第三種傳熱方法之存在。傳導與對流，均藉物質，始生作用。太陽與地球之間，依吾人所知，並無尋常物質存在，否則地球在空間中之旋轉將日愈減遲。熱之由此處傳至彼處之第三種方法，是曰輻射(Radiation)。火爐之熱，所以能達人體，太陽之熱所以能至地球，皆由此法。

### 258. 輻射之性質。

輻射之性質，於第二十一章當再詳論。於此僅將傳導、對流及輻射三者不同之處，略舉如下：

第一。傳導與對流作用皆甚緩慢，而輻射之傳播，則如光之速，即每秒可行186,000哩。熱之輻射速度與光速相等之結論，實由於觀測日蝕推得。即當光隱時，熱亦同時與地面隔斷，故知兩者之速度相等。

第二。輻射之熱恒依直線進行，傳導及對流之熱，則行環線。如於熱源及物體之間用一屏風隔住，即可遮斷輻射，以保護物體，由此可證明輻射依直線進行。

第三。輻射熱所通過之媒質，可以不使其受熱。雖在夏季，空氣之上部仍冷；太陽熱線經重玻璃窗可使室

內溫暖，而玻璃仍冷，皆足以證明此說，

### 259. 雙壁瓶及保溫瓶.

雕阿 (Dewar) 欲保持極冷之液體，例如液化空氣 (Liquefied air)，其沸點為  $-190^{\circ}\text{C}$ . ( $=310^{\circ}\text{F}$ .)，乃發明雙壁瓶 (Double-walled vessel) 以盛之，壁間為真空，外壁之內面，及內壁之外面，皆以銀被之，熱之侵入壁內之原因，不外傳導對流輻射三種，壁間之真空，足以防第一第二之原因，而銀則足以防止輻射。日用之保溫瓶 (Thermos bottle) 亦稱熱水瓶，其內部實一圓筒狀之雙壁瓶，熱既難於傳入器內，亦難於傳出器外，故用以保持冷物或熱物均可，內瓶更附以木塞及一堅固之金屬瓶蓋，以保護之，無論冷熱之物體於入其中，數小時內其溫度不過生數度之差而已。

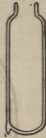


圖 199. 保溫瓶中之  
雙壁玻璃瓶

## 房屋之生熱及通風

### 260. 通風之原理.

室內生熱及通風 (Ventilation) 要由對流而成。

欲明通風原理，可燃一燭置諸盤內，盛水少許(圖 200)。如用燈罩一個套於其上，使罩底深入水內，不久，燭即漸滅。蓋因助燃之氧用盡，而如是裝置，又無法可使新氣補其闕故也。設將燈罩提高，使罩底出水少許，燭火當大燃如初。試言其故？若以金類板片或厚紙片插入罩內，分為兩道，如圖 200，雖罩底入水，而焰仍可歷久不滅。如以易燃之紙硝化鉀液浸後曬乾之喫水紙置於罩上，由放出之煙，即足以查知空氣流動之方向。如罩甚大，須用二燭方可見燭之明滅，蓋所熱面積過小，氣流仍可沿罩旁下降故也。

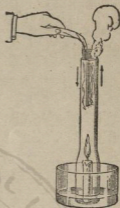


圖 200. 空氣中之對流

### 261. 房屋之通風。

由估計得知，欲保持安全之室內通風，每人每小時必須有 2,000 立方呎之新鮮空氣始可 (每一煤氣燈所燃耗之養氣適等於四人之所需)，空氣速度每秒須行三呎，人方覺其運動；照此速度計算，每人所需之通風口面積須 20 或 30 方呎，其所進入之新鮮空氣方可足用。至於供給此種大量之新鮮空氣之方法，當視室內生熱之法如何而後可定。

如用火爐 (Stove) 或壁爐 (Fireplace)，則無須另開通風。濁氣隨煙由煙窗而出，新鮮空氣可由門窗牆壁之孔隙而入，以補其闕。

## 262. 熱空氣煖室法.

凡用熱空氣煖室法(Hot-air heating)之室內,須有氣道(Air duct)使新空氣流入,如圖 201 之裝置(參照冷空氣入口),由外面流入之冷空氣經過環路,經過火箱(Fire box)外之外鐵套,然後傳入室內,如箭頭所示,既入室內,即有一部分自門窗洩出,其餘之部分與外來冷氣混合後,復入冷氣門(Cold-air register)以備再熱,當初燒時,如欲火勢熾旺,則開開門(Damper)C,使煙直入煙窗,及至火足,開門關閉,使爐內熱氣及煙由點線箭頭之方向流出,大部分之熱氣,傳至鐵套,更由此鐵套,將熱傳至空氣,此受熱之空氣流入室內,因而生煖。

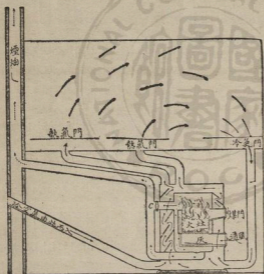


圖 201. 熱空氣煖室法

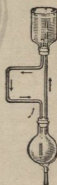


圖 202. 熱水煖室之理

## 263. 熱水煖室法.

熱水煖室(Hot-water heating)之原理,如圖 202. 上瓶盛着色之水,加熱於下瓶,則上瓶中着色之水,當照箭頭所示之方向流行。

同一原理又可利用於熱氣管 (Gas heating coil), 如圖 203 所示。火焰中之熱經過銅管傳至管內之水而生對流, 如箭頭所示。當熱水自罐頂取去後, 冷水即由罐底流入, 不與上層之熱水相混, 不寧惟是, 此原理更可應用於汽車之機關, 作退熱之用, 使其不致過熱。此時之熱, 自機械傳入水內, 水經由射熱管, 隨流隨放出其熱。

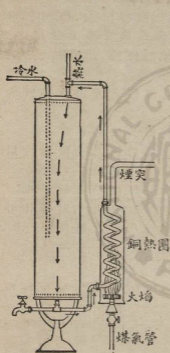


圖 203. 熱氣管

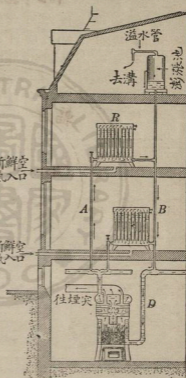


圖 204. 熱水暖室法

熱水暖室法之全體裝置, 如圖 204。經火爐燒熱之水, 直昇入管 A 以達射熱器 (Radiator) R, 復經管 B 回入竈底。管 A 內之水柱較 B 管內之水柱為熱, 故亦較輕, 因此可以循環往復不已。

又此法, 除去膨脹池 (Expansion tank), 而以水牛充熱水罐,

即可變為蒸汽煨室法(Steam-heating plant)。

### 問題

1. <sup>a, 燃燒不完全 b,</sup>發火於爐,當爐道冷且濕時,爐乃冒煙,其故何在?
2. 雙層壁中充以鋸屑,較之僅有空氣時猶不易傳熱,其故何在? 防止空氣對流傳熱
3. 熱水煨室法之回水管,常裝於汽罐之底部,而熱水管常在上部,其故何在?
4. 有爐條之爐與不用爐條者,對於熱之效率孰為優? 有爐條其故何在?
5. 用壁爐煨室時,在三種熱之傳播之方法中,以何者為主要? 輻射
6. 冬日搓手取熱,夏日揮扇取涼,其故何在?
7. 開熱室及冷室間之門,置一燭於門之上部,則火焰偏向何方? 偏向冷室
8. 包裹極緊之物較粗鬆之物易於傳熱,其故何在?
9. 如每月用煤2噸,自煙管流出之熱為 $1/3$ ,則每日可利用之熱為幾卡?(假設1克煤所生之熱為6,000卡)。

第十二章 磁<sup>①</sup>

## 磁石之一般性質

## 264. 磁石

鐵礦之一種曰磁鐵礦(Magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ))者,能吸引鋼鐵細屑,此事實數百年前已爲人知,此種礦物,最初發見於德沙利(Thessaly)之瑪革尼西亞(Magnesia)省,故名 Magnetite. 凡具有此種引力性質之礦片,稱爲自然磁石(Natural magnet).

取鋼一塊,用自然磁石磨之,即可得人造磁石(Artificial magnet),亦自古已知,至若懸掛之磁石可指南北方向之一事實,直至十二世紀始爲人所發見,因其此性,天然磁石始得其指南石(Lodestone)之名,各種磁鐵,不問其爲天然與人造,因此遂應用之以決定方向,於1190年歐洲始有羅盤(Compass),係由中國輸入(參閱第249頁對面插圖旋迴羅盤).

現今之磁石多用鋼條製成,其法係用一磁石沿同一方向在鋼條上摩擦若干次,或以電流通過鋼條之周

① 在教授此章之前或同時須課以磁場及磁石之分子性之實驗,參照著者實驗書中之實驗25及26.



圖,其詳細見後,圖 205 爲棒磁石(Bar magnet),圖 206 爲蹄形磁石

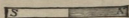


圖 205. 棒磁石



圖 206. 蹄形磁石

形磁石 (Horse-shoe magnet). 此種蹄形磁石最爲普通而又最便於舉重。

如以磁石入鐵屑,則見屑粘磁棒,兩端最多,近中漸少(圖 207). 棒之兩端近傍爲引力最強之處,名之曰磁石之極 (Pole of magnet). 將一磁石懸住,任其自由旋轉,其指北方之

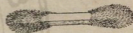


圖 207. 棒磁石吸引鐵屑

一端 N 稱爲指北極 (North-seeking pole), 或略稱北極 (North pole), 其指南方之一端 S 稱爲指南極 (South-seeking pole), 或略稱南極 (South pole). 羅盤指針 (Compass needle) 所指之方向,謂之磁子午線 (Magnetic meridian).

### 265. 磁力定律.

由上述鐵屑之試驗,兩極之作用間並無差異,實則不然,如用兩磁石,即可見之. 將兩者之中任取其一懸之,如圖 208. 如以兩 N 極接近,則互相斥,同樣,以兩 S 極相

接近,亦然,但若以一磁石之  $N$  極與他一磁石之  $S$  極接近,則互相引.由此實驗得一般定律曰:同極相斥,異極相引.

兩極在空氣中互相作用之力,等於極強 (Pole strength) 之乘積以距離之平方除之所得之商.

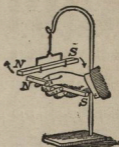


圖 208. 磁石之相引及相斥

完全同樣之兩磁極,彼此距離一吋,相互作用之斥力等於一達時,此種磁極,稱為單位磁極 (Unit pole).

266. 磁性物質.

$$F = \frac{gg'}{d^2} \quad \text{where } g = g' = 1 \text{ dimes}$$

鋼鐵等物質,磁性(Magnetic property)獨著.鎳與鈷惟強磁石稍能吸引.至若鋇,銻及少數物質,則不特不呈吸引性質,轉被斥退,不過其力亦甚微弱而已.近世發明由完全不具磁性之數種物質,造成一種齊 (Alloy),可以得極強之磁性.例如銅 65%, 錳 27%, 鋁 8% 混合而成之齊,具有極強之磁性.此種齊稱為惠斯勒齊 (Heusler alloy).然在實用上,則惟鐵與鋼為惟一之磁性物質 (Magnetic materials).

267. 磁誘導.

以棒磁石之一端，吸一小鐵釘，釘即成爲磁石，其下又可吸第二釘，以至第三，第四皆可次第連接，如圖 209。但如用力由磁棒將第一小釘分開，則各小釘皆立脫落。可知鐵釘須與磁棒附着時，方有磁性，離之即無。無論何種軟鐵片，皆可以使其與永久磁石 (Permanent magnet) 接觸，即變成暫時磁石 (Temporary magnet)。且不必實在

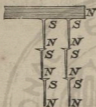


圖 209. 由接觸而生之磁誘導



圖 210. 不由接觸而生之磁誘導

附着，即在永久磁石之近傍，亦可成磁石。如以鐵釘持近磁極之一端，則其他端亦可吸取鐵屑，如圖 210，即其明證。雖有玻璃片銅片以及鐵以外之他種物質，介在  $S$  與  $N$  之間，對於  $S'$  端所吸住之鐵屑數並不生變化。由此可知磁石之磁力可透過非磁性之物質。然若一旦將永久磁石取去，大多數之鐵屑，亦隨即落下。

凡僅因隣近有磁石存在而生之磁，不問其與原有之磁石接觸與否，通謂之誘導磁 (Induced magnetism)。如就圖 210 所誘導之鐵釘，用一羅盤針 (Compass needle) 檢

之，則見與磁棒相隔較遠之  $S'$  端，與磁棒之  $S$  極為同極；與磁棒相隔較近之  $N$  端，與磁棒之  $S$  極為異極。此即誘導磁之一般定律也。

由上述之磁誘導可以說明磁石能吸引未曾磁化 (Unmagnetized) 之鐵片之理。因當鐵片接近磁石時，先受誘導作用，亦具磁性，故其與原有之磁石接近之一端成爲與原有磁極異性之極，其較遠之一端成爲同性之極。因異性之極與原有磁極相隔之距離，較同性者爲近，故引力勝過斥力，鐵片乃被吸至原有之磁極上。磁誘導又可說明圖 207 所示之鐵屑被吸之現象。因各鐵屑與磁石接近後，受誘導作用，化爲暫時磁石；其與原有磁石接近之端成爲異極，他端成爲同極，其尾部之所以成爲叢狀者，實由其外端自由之極彼此互相斥逐所致。

### 268. 保磁性及透磁性。

軟鐵受磁誘導作用，可立成爲甚強之暫時磁石，但若一旦將原有之磁石移開，立即全失磁性，反之，硬鋼之誘導不如軟鐵遠甚，然一旦受誘導以後，雖取去磁石，仍能保持磁性之大部分。此種阻礙磁化及保留磁化之性，曰保磁性 (Retentivity)。鋼鐵較鑄鐵之磁性大，而鋼鐵愈堅硬者，其保磁性亦愈大。

凡受永久磁石之誘導作用，成爲強磁性之物質無論其保磁性之大小何如，皆稱之爲具有高度之透磁性 (Permeability)，例如鐵則較鎳之透磁性爲高。

### 269. 磁力線。

若能將小磁石之極  $N, S$  分開，使  $N$  極單獨存在，則將此單獨之  $N$  極接近磁棒之  $N$  極時，必沿一曲線之路，如圖 211，而行至  $S$  極。其所以能沿一曲線運動之理，實因此獨立之  $N$  極同時既受磁棒  $N$  極之斥力，又受其  $S$  極之引力所致。此兩極作用之兩力關係，視其與兩極所隔之距離之遠近而定。

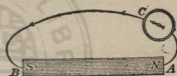


圖 211. 磁石所生之力線

欲確定此理，可用一磁化之縫針，穿插軟木塞，漂浮水盤內，更用一磁棒置於盤底或盤上，如圖 212。此針可視爲與一單獨之磁極相似，因其他一端之磁極，與磁棒相隔之距離既較遠，故其所受之力亦必甚小。木塞在水面即沿曲線由  $N$  運動至  $S$ 。



圖 212. 在磁石近傍之獨立磁極運動之方向

凡獨立之  $N$  極從  $N$  至  $S$  所經過之路線，謂之力線 (Line of force)。欲尋出磁石近傍任何一點之力線之方

向,最簡便之方法,係用一羅針,置於所求之點,此時羅針之方向必為沿一獨立磁極所欲運動之方向,即經過此點之力線(見圖 211, C).

### 270. 力場.

磁石周圍,凡為磁力所及之空間,謂之力場(Field of force).若欲知磁力場內力線佈置形狀,最便之方法,即置紙於磁石下,而篩鐵屑於紙上.鐵屑受誘導作用而成暫時磁石,各沿其力線方向排列,一如磁針然.圖 213 示磁

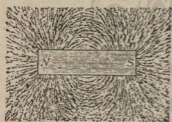


圖 213. 磁石附近之鐵屑排列狀況

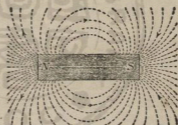


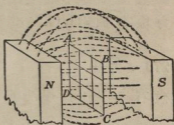
圖 214. 棒磁石之磁場理想圖

棒週圍之鐵屑形狀.圖 214 乃一理想圖,表示力線由  $N$  極出發經由曲線通路以達  $S$  極之狀況.習慣上想像此種力線皆由  $S$  極經過磁石內部復回  $N$  極.即各曲線莫不成為閉曲線 (Closed curve). 法刺對 (Faraday) 首創此說,對於說明磁學上各種現象頗得其助.

單位強度之磁場 (Magnetic field) 即單位磁極在場

內受 1 達之力作用時之磁場。習慣上多用圖示法，即在磁場內作一平面  $ABCD$

(圖 215)，使與力線之方向成垂直。在此平面上每一平方厘米中作一力線，如是之磁場謂之單位磁場。如在圖 215 之  $N$  與  $S$  之間，



置一單位磁極  $N$ ，而此單位磁極受 1000 達之力被推向  $S$  極。則磁場之強度當為 1000 單位，當於每一平方厘米內作 1000 力線表之。

圖 215. 磁場強弱以每平方厘米中所含之力線數表之

1000 單位，當於每一平方厘米內作 1000 力線表之。

### 271. 磁之分子性質。

用一試驗管，內充鐵屑，更用一磁石自管之一端至他端沿同一方向摩擦若干次，全管隨即成一磁石。但若將管略微振盪，磁性即失。如以磁化後之縫針入火燒至紅熱，亦即全失其磁性。即不用火燒熱，僅用錘擊之，又或絞或扭之後，其能吸之鐵屑之量亦銳減，即其磁極之強度，亦因之而減。

由此可知物體之磁性，與其分子之佈置狀況，大有關係。因磁石之分子，一受激烈之振盪，其磁性即減弱故也。又如將磁針折斷，則各段皆成一完全磁石。斷處現為

兩新極，原有 S 極之一段，其新極為 N 極；原有 N 極之一段，其新極為 S 極。如是

折而又折，以至無窮，而

效果仍同，如圖 216。由

此可知磁石分子，必自

成一小磁石，平行排立，各以異端相接。

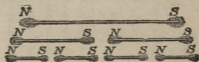


圖 216. 磁石折斷後之結果

若以未受磁化之硬鋼一片，置於磁石之中央，用力錘擊之，或燒紅後置於其中央以俟其冷，鋼即磁化。由此可知全鋼雖未經磁化，而其各分子則本為磁石。故磁化 (Magnetization) 作用，不過使其分子排列成一整齊之行，各異極互相啣接而已，正與試管中之鐵屑成為特殊之排列狀況同。

### 272. 磁之理論。

未經磁化以前之鋼條，其各分子雖皆各為一小磁石，但其排列狀況，錯亂萬般，如圖 217，以致全條之異同



圖 217. 未磁化之鐵棒之分子排列

各極之作用，恰相抵消。若移近磁石，則其分子受外磁力作用，旋轉其排列狀況，如圖 218。僅中央之各分子之相



反之極互相抵銷，由此可知加熱與打擊可使磁石減少

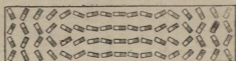


圖 218. 磁化後鐵棒之分子排列

其磁性者，實因其分子被震後，排列狀況，由整而亂所致。然若將鋼條置於兩極之間，然後加熱，或打擊之時，即能助外界之磁力，使鋼條內之分子之排列，由錯雜而整齊，故足以助磁化之作用。軟鐵之透磁性較硬鋼為大者，不過其分子易於改變方向而已。鋼之分子既已排列成行後，即不易錯亂，故其保磁性較軟鐵為高。

### 273. 飽和。

更有一事足以證明前節所述，即鋼鐵等質之磁化程度，各有一定之界限，既達此限後，無論用若何強大之

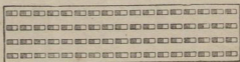


圖 219. 飽和磁石分子之排列

磁化力，亦不能使其更進一步，此界限大約即在各分子之軸盡成平行之時，如圖 219 所示，既達此限，謂之飽和

$$\text{庫} = \text{安} \times \text{妙}$$

(Saturation),因磁化已達其所能達之極限故也。

## 地磁

### 274. 地球之磁性.

由磁針恒指南北之事實,可以推知地球自身亦必爲一大磁石.其  $S$  極在地理的北極 (Geographic north pole) 近傍,其  $N$  極在地理的南極 (Geographic south pole) 近傍.蓋地球之極與懸掛之磁針之極必互相反;便利上既定磁石指地球北極之極名爲  $N$  極,故地球自身之北極,必爲  $S$  極也.在地理的北極近傍之地磁極係於 1831 年 洛斯 (Sir James Ross) 所測定者,在 加拿大之布剔亞腓力士 (Boothia Felix) 地方,即北緯  $70^{\circ}30'$ , 西經  $95^{\circ}$  處.其後於 1905 年,更經 亞夢德森 上校 (Captain Amundsen) (即地理的南極之發見者, 1912 年) 測定其點,較前所測定者略西,爲北緯  $70^{\circ}5'$ , 西經  $96^{\circ}46'$ , 或係地球之磁極漸次移動所致.

### 275. 方位角.

往昔用羅盤者,已知磁針非指正北.當 哥倫布 首次往 美洲 時,始發見羅針方向,因地而異,當時同行者莫不爲之震驚.磁針變易其方向之主要原因,即在磁極與地

球兩極並非完全一致，他如附近之鐵鑛，對於磁針有時亦生局部的影響。磁針與正南北線之偏差度數，謂之方位角 (Declination)。在地表面上將方位角相等之各點連結而成之線，謂之等方位線 (Isogonic lines)。

### 276. 伏角。

取一未經磁化之縫針  $a$  (圖 220)，穿過軟木塞，再穿一針  $b$ ，與針  $a$  成直角。務使兩針互相緊接。再以針  $c$  釘於適當處，使  $a$  指東西方向時，全部恰平衡於軸  $b$  上。然後以強磁石之  $N$  極輕磨針  $a$  一端，而以同磁石之  $S$  極磨其彼端。磨法皆自中央出發達於端為止。後再將支架移轉，使針  $a$  指南北方向，即見  $N$  極下俯，而與水平線成一角度，其角度在  $60^\circ$  與  $70^\circ$  之間。



圖 220. 示伏角之裝置

由此試驗，可知地球磁線於此緯度與地面成一大角。地球與磁線方向所成之角曰伏角 (Dip or inclination)。其角在華盛頓為  $71^\circ 5'$ ；在芝加哥為  $72^\circ 50'$ ；若在磁極處，當然等於  $90^\circ$ ；若在磁赤道 (Magnetic equator) 處，則為  $0^\circ$ 。磁赤道為一不規則之曲線，即在地球赤道近傍。

### 277. 地球之誘導作用。

地球之作用正如一磁石，更可以下法證之。

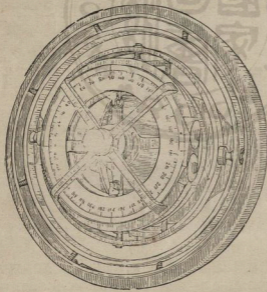
取一鋼棒或三足棒持定之，使與地球磁線平行(即將向



### 吉爾伯特

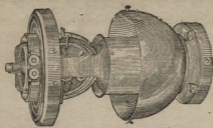
(William Gilbert) (1540-1613)

英國之醫生兼物理學家；知實驗觀測之價值之英國第一人；始由精確之實驗發見羅盤針之指南北與他之天體無關，實因地球自身為一大磁石所致；始造電(Electricity)之一字；始發見若干種物質可由摩擦而生電；著破天荒之書命名為“磁石，等”(De Magnete etc.)，於 1600 年出版於倫敦



### 旋迴羅盤

航海羅盤之正確解釋雖始於吉爾伯特，而羅盤針本體則出自中國，於紀元前 1300 年輸入歐洲；直至近世航海者莫不以此為唯一之憑依。今者有所謂旋迴羅盤 (Sperry Gyrocompass) 者出，遠超乎磁石羅盤之上，軍艦多用之，潛艇更不能須刻離，蓋軍艦與潛艇均用鐵壳製成，磁石羅盤在鐵壳中全失其作用故也。旋迴羅盤之構造為一重輪由誘導電動機之力以每分 8600 轉之速度在一水平軸周圍旋轉。因其惰性，斯輪有保持其旋轉平面之傾向。然地球之旋轉則使之離其旋轉平面，直至羅盤軸與地球軸移至同一平面而止。故此二動力恒似旋迴羅盤軸與地球軸



在同一平面之中，航海者即因之而察方向

北之一端傾下，約成  $70^\circ$  或  $75^\circ$ ），用錘擊之數次後，即見棒成磁石，較高之一端成爲  $S$  極，與地球北極相同，而較低之一端則成爲  $N$  極。若將棒之方向顛轉，再用錘擊之，則其磁極亦反其方向。如將棒置於東西方向擊之，則失其磁性，蓋其兩端均受磁針之吸引故也。軟鐵之保磁性較鋼爲小，故此試驗以軟鐵棒爲之，較用鋼棒，當更覺滿意。

### 問 題

1. 試繪圖以示下二者之力線：(1)兩棒之異極間，(2)同極間。
2. 試設法作一試驗，使鐵之吸磁石正如磁石之吸鐵。
3. 用磁石驗針之已否磁化，何以必先見其相斥而後始能確知其磁化？
4. 將釘頭置於磁石之北極近傍，試繪此釘與磁石之圖，並由北極畫一閉線通過此釘，以表示力線。
5. 試用磁誘導作用作基礎，說明磁石吸軟鐵之程序。
6. 蹄形磁石之兩極間，若加一軟鐵片，則磁性之經久較未加鐵片爲佳，試由誘導作用說明之（見圖 218）。
7. 第 276 節實驗所用之針，於未磁化之前，必東西置之，使其平衡，其故何在？
8. 置普通磁針於地球之磁極上，當顯何作用？置測伏角之磁針於此點，又當顯何作用？
9. 以磁針之南極接近蒸汽輻射器 (Steam radiator) 之上端，則受斥力作用，然則蒸汽輻射器上端必爲一  $S$  磁極可知，究係何故？
10. 試舉二事，證明地球爲一磁石。
11. 設有一磁極，其極強爲 80 單位，與另一 30 單位強之同極之間，相距 20 釐，其間作用之力爲若干？

## 第十三章 靜電

### 帶電之一般事實

#### 278. 摩擦起電。

取一硬橡皮 (Ebonite) 棍或火漆 (Sealing wax) 棒,用法蘭絨或貓皮摩擦數次後,持至乾木髓球 (Pith ball) 或紙屑近傍,則皆飛附於其上,此種引力現象,於冬日用膠皮梳 (Rubber comb) 梳髮時,亦常見之,此類事實,紀元前 600 年即已知之,該時希臘人泰利斯 (Thales) 謂以絲絹擦琥珀,即能吸取輕物,其後直至 1600 年,近世電磁學之鼻祖依利薩伯女王 (Queen Elizabeth) 之御醫,吉爾伯特始發見不僅絲絹擦琥珀如此,其他物質,如絲絹與玻璃,火漆與絨布硬橡皮與貓皮等相擦莫不皆然。

吉爾伯特 (見第 248 頁對面插圖) 名此效應曰帶電 (Electrification), 係由希臘字 Electron 得來,其意即琥珀 (Amber) 也,凡物如琥珀之類,由摩擦而生吸取輕物之現象,謂之帶電,或曰充電 (Charged with electricity). 然此並未論及電 (Electricity) 自身之性質,所謂充電之物體,不過謂物體具吸引輕物體之狀態,如曾受擦過之琥珀或火漆而已,吾人至今尚不能確知電之性質,然支配其作用

之定律，則已熟知之，以下各節即此等定律。

### 279. 陽電及陰電。

取一木髓球用絲線懸之，如圖221所示，以絹絲擦過之玻璃棒觸之，該球即受有作用，與玻璃棒相斥甚烈，其次更以貓皮或法蘭絨擦過之火漆棒或膠皮棒近之，則爲狀恰相反，不特不受斥力作用，且轉受引力作用。同樣，若先用火漆棒接觸木髓球，則對於火漆棒即生斥力作用，而對於玻璃棒則生引力作用。又若用兩木髓球實驗，如兩球皆係與玻璃棒接觸過者，則彼此相斥；如其一係與膠皮棒接觸，其他係與玻璃棒接觸過者，則彼此相引。



圖 221. 木髓球檢電器

由此可知用絹絲擦過之玻璃棒上所生之電，與用法蘭絨擦過之火漆棒上所生之電，性質相反；帶電體之受引力作用於此者，必受斥力作用於彼。故知帶電現象共有互相反對之兩種，對於此兩種吾人名其一曰陽電 (Positive electricity)，名其他曰陰電 (Negative electricity)。即帶陽電之物體對於其他帶電體所生之作用，與曾經用絹絲擦過之玻璃棒相同，帶陰電之物體對於其他帶電體所生之作用，與曾經用法蘭絨擦過之火漆棒相同。更可換言之如下：同類之電彼此相斥，異類之電，彼此相引。至



其引力斥力之大小，則與相隔之距離之平方爲反比，與萬有引力及磁力相同。

### 280. 電量之測定。

以引力及斥力之作用作爲根據，即可下電量(Quantity of electricity)之定義，並可測定之。凡帶電之小物體與帶有同量電之他物體相距一裡，而其間作用之斥力或引力適爲一達，此時此物體所帶之電量，卽爲單位電量。故欲測定某帶電體所帶之電量之單位數，卽以一帶有單位電量之物體，置於一定之距離處，然後測定其間作用之力爲若干。譬如有一帶電體與帶有單位電量之物體相距十裡，其間作用之斥力爲一達，則此體必具有100單位之電量，卽若將其距離改爲一裡時，其作用於帶有單位電量之小物體上之斥力，必爲100達(見279節)。

### 281. 導體及非導體。

圖222之E爲驗電器(Electroscope)。其裝置爲一絕緣之金屬棒r下懸金箔兩片a, b, 裝於玻璃瓶E內，俾其不受氣流影響。用金屬線一條，將驗電器與金屬球B相接。取帶電之硬橡皮棍摩擦球B，金箔立即分開。由此可知球B所得之電，已由金屬線傳至金箔。箔受同類之電，按前節定律，當彼此相斥，故爾分開。

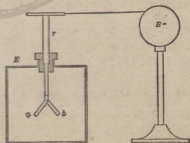


圖 222. 傳導

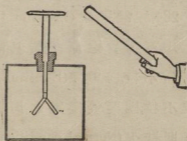
如將B, E間之金屬線除去，而代以絲線或木棒，照前實驗，金箔絕不分開。若以溼線接連，則當B受電時，箔亦徐徐分開，足見溼線亦能緩緩傳電。

由上實驗，可知電由金屬線之一點移至他點，爲事甚易；在乾線與木上，全不通過；在溼線上雖能通過然亦極遲，故物質可依其由此點傳電至他點之能力，分爲二類，一曰導體 (Conductor)，一曰非導體 (Non-conductor) 或曰絕緣體 (Insulator)。金屬，鹽液，酸液，皆爲導體；至於玻璃，瓷，橡皮，雲母，樹脂，木料，絹絲，石油脂 (Vaseline)，松節油 (Turpentine)，石蠟等，皆爲非導體；油類通常皆用作絕緣體。雖然，導體與非導體二者之間，並無明確之界限，非導體之中，亦略能傳導，而導體中傳導性質之強弱，亦大不相同。

磁與電大異，其主要不同處，傳導即其一端。磁極僅能在鋼鐵中存在；電則不然，凡絕緣之導體，均能傳受。只須互相接觸，電即可由此物體傳至他物體；而磁極則固定於一處，雖與其他之物體接觸，苟非此種物體自身亦係磁石，可以完全不受影響。

### 282. 靜電誘導。

取硬橡皮棍摩擦之，使起電，然後漸漸接近金箔驗電器之球 (圖 223)，棍雖距器尙尺許，而箔即張開。



由此可知，帶電體只須在任一導體之隣近，其

圖 223. 誘導

影響即足使此導體帶電。此種帶電現象，曰靜電誘導 (Electrostatic induction)。

移去帶電之棍，金箔亦即刻完全合併。足見此種帶電，實由於隣近有帶電體存在而顯之暫時現象。

### 283. 由誘導而生之電之性質。

用帶電之棍，力擦金屬球  $A$  (圖 224)，使球帶多量之電。另備若干個木髓球或碎紙片  $a, b, c$ ，裝於絕緣之金屬體  $B$  之上。以球  $A$  近之， $a, c$  皆張開，而  $b$  則否。足見因有  $A$  之存在， $B$  之兩端皆已帶電，其中央則否。且前此用以摩擦球  $A$  使其帶電之棍，對於  $c$  發生斥力，對於  $a$  則發生引力作用。

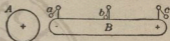


圖 224. 誘導電之性質

由是可知，導體接近帶電體時，其遠端所誘得之電，與引起誘導之帶電體同性；而近端所誘得之電，則與之異性。

### 284. 電子說 (Electron theory).

凡百物質之原子，皆具陰陽兩種電，以作其成分。陰電形如小粒，曰電子 (Electron)，其質量為氫原子之  $1/1845$ 。此種小粒，團聚於陽電之周圍，以陽電為其核 (Nucleus)。凡在正則狀況 (Normal condition) 之原子，其各電子所有之陰電之總和，恰等於其核之陽電，故全體不呈帶電之現

象。若在導體，電子時時脫離其原屬之原子範圍，進入於他原子範圍內，故無論何時，凡導體之中均有某數之陰電子存在，而同時當然即不能不有同數之原子，因失去電子而帶陽電者存在。故此種導體，若就其全體而言，並不呈陽電或陰電之現象。然苟以帶陽電之物體近此導體，則陰電子受引力作用，被引至近端，而遺其不能自由運動具有陽電之原子於其原位置。又若以帶陰電之物體近此導體，則其陰電子受斥力作用，被斥至遠端，而遺其不能自由移動之陽原子於其近端。若將帶電體取去，則此陰電子因受陽原子之引力作用，復返其原有之位置。故導體復呈中和之象。此最近對於由誘導而生電之解釋也。

一個電子所有之電荷 (Charge)，曰電元 (Elementary electrical charge)。其值近已精確測得，第280節所規定之單位中，每一單位有 20,950,000 個電元。即每一單位之電荷，皆含有此數之電原子。

### 285. 由誘導作用而帶電。

試取二金屬球，或鍍金或包錫之二蛋狀殼  $A, B$ ，以絲線懸挂之，並使之相接觸，如圖 225。以帶有陽電之物體  $O$  近之，則  $A, B$  即刻呈帶電之現象；即，設以帶陽電之木髓球執近  $A$ ，則受斥力作用，執近  $B$ ，則受引力作用。當  $A, B$  二球相接觸之時，若將  $C$  移去，則此分離之兩電荷，復結和而為一， $A$  與  $B$  即

停止其帶電之現象，然使  $C$  不移動，而將  $A, B$  分開，則  $A$  仍保留其陽電， $B$  仍保留其陰電。欲證此事，可以帶電之棍，置於其近傍，視其所呈之引力或斥力而定之。或用帶電之驗電器檢之亦可；即驗電器之金箔若在  $A$  之近傍垂下，則在  $B$  之近傍必更張開。

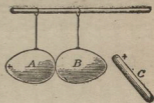


圖 225. 因誘導而得之陽電及陰電

由此可知，若將一導體，當其尚在一帶電體影響之下時，折為二段，則可得二個永久帶電體；遠者所具之電與引起誘導之帶電體同性，近者所具之電與引起誘導之帶電體異性。因受  $C$  上之陽電之影響，故  $A$  上之陰電子被引至  $B$ ，於是使  $A$  為陽，使  $B$  為陰。

設以帶電之棍  $C$  (圖 226) 接近  $B$ ，同時以指觸  $B$  之  $a$  處，隨後先移去手指，次移去棍  $C$ ；若以帶陰電之木髓球近  $B$ ，必受斥力作用。可知  $B$  帶有陰電。在此實驗中，實驗者之身體，與前一實驗之蛋  $A$  相當；移去  $B$  上之手指，與前一實驗分開  $A, B$  二蛋相當。如將此實驗略為變通，以指觸  $B$  之  $b$  點，再以木髓球近  $B$  試之，結果  $B$  仍為陰電，適與以指觸  $a$  之結果相同。

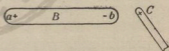
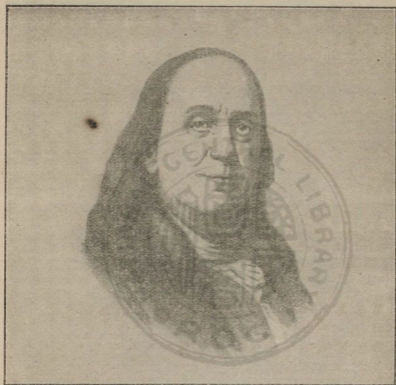


圖 226. 由誘導所生之電其符號與原有之電相反

由此可知，不論觸  $B$  體之何處，其所餘留之電，恒與引起誘導之物體上所帶之電異性。蓋有  $C$  在，則  $B$  上之



## 佛 蘭 克 林

(Benjamin Franklin) (1706-1790)

美國有名之政治家，哲學家，科學家；生於波士頓，一貧人之第十六子；以印刷出版為職業；其研究電學僅出於娛樂，而非其正業；最初證明來丁瓶之內外兩層錫箔所帶之電，種類相反；最初定立陽電及陰電之名詞；當雷雨時，放一風箏於空中，並使風箏線之絕緣之下端，發生電花，因此證明閃電之電，與摩擦之電相同；發明避雷針；唱一流體說 (One-fluid theory)，謂一切物體皆含有一定量之電液，陽電乃電液過多之表示，陰電乃電液過少之表示

國立中央圖書館

NATIONAL CENTRAL LIBRARY  
CHINA



### 佛蘭克林之風箏實驗

1752年六月，佛蘭克林始作電花與閃電相同之證明。其風箏用絲帕製成，以防爲雨濕損，風箏線之下端，與一絲帶同繫於一鑰上。彼以手執其絕緣之絲帶，以防線上或鑰上所生之電經由其身體逸出地面。彼立於一避雨之地下，以防絲帶被雨濕透。於是手指節近鑰，即得電花，恰與得自靜電起電機者相同。彼又以之連結於來丁瓶之上，使其充電，則感劇烈之振動，更用之作其他一切實驗，與由起電機所得之電完全相同。此項實驗甚險，故無經驗者不可輕試。

陰電子永爲  $C$  之陽電引力所束縛，無論若何，弗能脫去故也。又手指觸  $B$  時無論觸於何處， $C$  上之陽電，均能引指上之電子以入  $B$ 。 $B$  上之所以終爲陰電者，實由於此。同理，如  $C$  爲陰電，則  $C$  將斥電子出  $B$  以入手指，而  $B$  上只餘陽電。

### 286. 由誘導作用使驗電器帶電。

持蠟皮擦過之硬橡皮棒，以近驗電器之球，如圖 223，箔隨分開。（試繪一驗電器，並繪帶陰電之膠皮棒接近驗電器時之形狀，以  $+$   $-$  兩符號表明球上及箔上帶電之情形。）當棒在球之附近時，以指觸球，箔即垂下。（試繪圖如前以說明之。）若先移指，次移棒，箔又自行張開。（試以圖表出最後球與箔之帶電情形。）

驗電器已由誘導作用而帶電，因硬橡皮棒上爲陰電，故驗電器上必爲陽電，如更以此帶陰電之硬橡皮棒漸近驗電器，以試此結果，則當見棒與球漸次接近時，金箔亦即漸次垂下。然由此何以能證出驗電器上之電之爲陽電？又若以其他中性之空手近球，箔即稍張，其故又何在？試說明之。

### 287. 陽電與陰電恆同時存在，其量亦恆相等。

試將硬橡皮棒迅速通過木生燈火，消盡其所有之電，用繫有一絲線之法蘭絨帽套之，如圖 227。使絨帽在棒周圍，迅



速扭繞數次，將此兩者同時持近驗電器，並不現些微影響，如將帽揭去，分別試之，則可試得帽上顯陽電，棒上顯陰電。



圖 227. 陽電與陰電之量恆相等

因兩者並持，則不生影響，可

知陰陽兩電，其量相等。前此關於電之誘導作用時，曾云帶電現象，係將陰陽兩電分開而成。此兩種電在物體中，其量恆相等。由此實驗，更足以證明之矣。

### 問題

1. 如將木髓球或其他輕體，置於二平板之間（圖 228），一板連於地球，其他連於起電機之一球上，則此輕體必跳躍於二板之間，直至機停而後止，其故何在？
2. 只有一金箔驗電器，一玻璃棒，一絲布，將何以檢查他種帶電中所帶之電為陰為陽？
3. 試用一玻璃棒，使金箔驗電器帶電，以熱紙摩擦衣服，然後執近此帶電之驗電器上，如箔之張開角度增加，則紙上之電為陽抑為陰？如箔之張開角度縮小，則紙上之電又係何種？
4. 設有一帶陽電之絕緣球，欲使其他之兩球，一帶陰電，一帶陽電，且不傷第一球上之電，當用何法？
5. 如將帶陽電之玻璃棒持近驗電器之球，然後以指觸球，球上之陰電何故不能移去？
6. 用誘導作用使驗電器帶電時，為何先移手指而後撤去引起誘導之帶電體？



圖 228.

7. 用絲絹擦手中黃銅棒而棒不呈電象，設用橡皮裹棒，然後用絹擦之，即顯電象，其故何在？
8. 試詳述電現象磁現象不同之各點。
9. 將帶電之棒持近絲線所懸之木髓球，則球先被棒吸而後被斥，其故何在？

## 電荷在導體上之分布

### 288. 電僅存於導體之外表面。

取深錫杯一(圖 229)，置於絕緣架上，以硬橡皮棒或發電機使杯帶最強之電，以絲所懸之金屬光球，先觸杯之外面，然後持近驗電器之球部，則現甚強之電，如以之觸杯之內面，則全無帶電之影響。



圖 229. 電僅存於表面之證

由此試驗，足見電之分布  
(Distribution)全在導體之外表

面，此結論又可自思考上推知之，因組合成電之小電量，互以斥力相加，故在導體中愈趨愈遠，直至達於距離最遠之點而止。

### 289. 表面曲率最大之處其電量亦最密。

帶電體上各部分之電量，既因相互之斥力關係，有達其

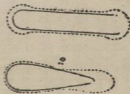


圖 230. 長形物上之電量分布

最遠距離之傾向，故凡長形導體，如圖 230 (1)，不拘帶陽電或帶陰電，其兩端之電，必較中央為強。

欲證明之，可用驗電板 (Proof plane — 金屬圓板，如銅元，附有絕緣之柄者) 一觸此帶電體之一端，再移至驗電器之球部，記明金箔張開之角度。復以驗電板觸其中央，再移至金箔，則見金箔張開之角度較小。用此法以試梨形尖體上帶電之分布 (圖 230 (2))，則見尖端所帶之電，較鈍端為密。表面上單位面積上所有之電量，曰帶電之密度 (Density of electrification)。

### 290. 尖端之放電效應。

由上試驗，可知尖端愈銳，電集愈密。具有一極銳部分之導體，其作用可驗之如下：

試取一銳針，插於絕緣金屬滑體上。體上懸紙片，或木髓球，如圖 224。用起電機或帶電棒，使此導體帶電，迨至停止起電機時，則球或紙片等，即刻落下，表示導體業已將其所帶之電，完全失去。然若將針取去，再實驗一次，則紙片等之落下，即甚遲緩。可知紙片等落下之速，實由於導體上銳尖處之效應。

由此實驗，可知尖端之電密度 (Electrical density) 甚大，致使電荷溢出至空氣中。蓋尖端處極強之電荷，強迫附近之空氣分子，失其電子，於是此失去電子之分子，皆帶陽電。此等流離之自由電子，復與其他之中性分子結合，使之帶陰電。此兩組之帶電之分子 (名曰離子 (Ions) 中，一組為尖端所引，一組為尖端所斥。被引者與導體接觸。

兩者之電荷互相中和，故導體上之電，遂因之完全失去。

尖端之效應，又可以下法說明之：先使金箔驗電器帶電，然後以手握縫針，距球數寸，箔即迅速垂下；蓋此時縫針由誘導作用，亦呈帶電現象，此時針上因誘導而得之電，與球上之電，種類正相反，而針上之電放至球上，故相中和。倘以紙條一束，繫於絕緣導體，而使之帶極強之電，則紙條，因其上之電彼此相斥，故向各方伸開。但若以縫針近之，紙頓下落如初（圖 231），因其針上之電，業已中和故也，其理恰與上同。



圖 231. 尖端之放電效應

### 291. 電輪.



圖 232. 電輪



圖 233. 電風

取電輪 (Electric whirl) (圖 232) 置針尖上，使之平衡，並連接於起電機之球。起電機發動時，電輪即沿箭頭方向，迅速轉動。

蓋與尖端接近之空氣，已起電離作用，與尖端異性之一組離子，被引至尖端上而放去其電荷。其他一組之離子，則為尖端所斥。然斥力為相互之作用，尖端以是力斥離子，同時離子亦以是力斥尖端，離子被斥向前進，尖

端被斥向後旋，此電輪旋轉之原因也。當離子前進時，附近之空氣被其推動，所謂“電風”(Electric wind)者，即由是而生。如用手或燭焰置於尖端近傍，如圖 233，即可覺察之。

## 292. 閃電及避雷針。

1752 年，佛蘭克林 (Franklin) (見第 256 頁對面插圖) 於雷雨時，將歷史上有名之風箏，施放於空中(見第 257 頁對面插圖)。風箏頂上有一尖銳鐵絲。迨風箏麻線盡溼，其下端即有電花 (Spark) 發生於所懸之輪上。於是始知雷電交作時，雲中所含之電，與通常之電相同；可用尖端引下，其理恰與第 290 節之實驗相同。故知閃電非他，不過極大之電花而已。佛蘭克林 由此實驗，遂發明避雷針 (Lightning rod)。避雷針所以能消雲中之電，而保全屋宇，實由於帶電之雲，行近屋頂時，此針因誘導作用而帶異性之電，此誘導而生之電，由尖端逃脫甚速，如前節所述，故與雲之電互相中和。

此更可用下述實驗證之：將金屬板  $C$  (圖 234) 懸於金屬球  $E$  之上方，將起電機之二球連接於  $C$  與  $E$ 。當起電機轉動時，隨見  $C$  與  $E$  間，有電花發生。設將尖端  $P$  與  $E$

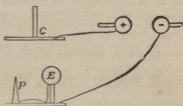


圖 234. 避雷針之作用

相連，即無電花；即尖端之作用，可以保護 $E$ ，使其不受放電之害，雖距離 $CP$ 大於 $CE$ ，其功效仍如故。

避雷針之下端，當深埋溼土地中，因乾土非良導體故也。由此觀之，避雷針之保存屋宇，並非導電入地，實保屋宇之附近，不生劇烈之電荷而已。

電光之長，有時達1哩以上。雷(Thunder)為急烈放電所經過之熱空氣膨脹之聲。雷聲之殷殷不絕，則由於雲及山陵等之反射(Reflection)作用。<sup>①</sup>

## 電勢及電容

### 293. 勢差。

電之有勢(Potential)，猶水之有壓力。譬如池 $A$ 中之水，經由導管 $R$ 流至池 $B$ (圖235)，則知 $a$ 處壓力必較 $b$

處大，且知流動之直接原因，即由於此種壓力之差。同理，若用導線(Conducting wire)連兩體 $A$ ， $B$ (圖236)，如有陽電由 $A$ 移至

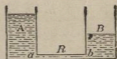


圖 235. 靜水壓力

$B$ (即電子由 $B$ 移至 $A$ )，則謂 $A$ 之電勢高於 $B$ ，且將電流

① 此節之後，當繼以靜電實驗，參照著者之實驗書中之實驗27。