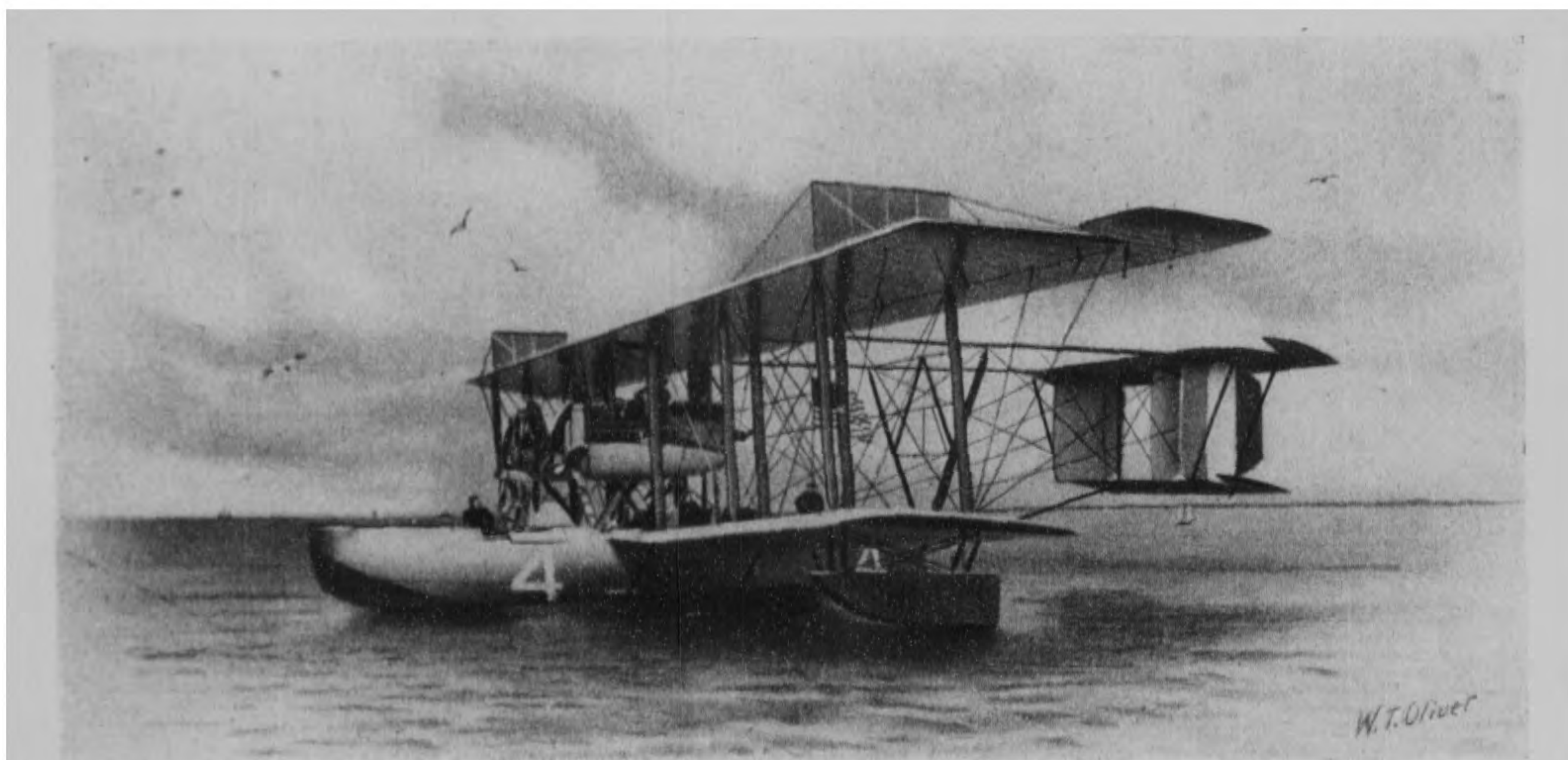


30714

(17)

功在勤勞



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,通稱為 NC-4, 於 1919 年五月,最初完成大西洋橫斷之飛行,由浪島 (Long Island) 之洛喀威 (Rockaway) 至英格蘭之普里維斯 (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。 全程中駕駛者為美國海軍大尉李德 (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, 因此段為全程中之最長距離, 計 1380 哩故也

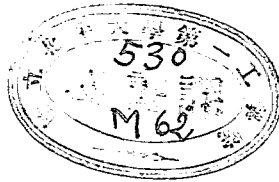
密爾根 蓋爾

實用物理學

PRACTICAL PHYSICS

MILLIKAN AND GALE

劉嘉石遺存
修前身
答



1924

上海商務印書館出版

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, 卽就我國而論, 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, 卽與初版判然不同. 通常書籍尙且如此, 遑論教科用書. 其所以如此之不憚煩者, 亦不過欲與時共盡而已. 本書卽其一例, 並書名亦易去, 又其甚者耳. 舊譯之本, 頗多未妥之處, 卽無新版, 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,

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，卽一種實際上之日用物理學，可助通常之中學生適應其環境，及正當解釋其本身所得之經驗。

輒近生活狀況之變化，大有一日千里之慨，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，故卽用之於高級

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。圓之性質。電流之計量。電鈴及電報。 抵抗及電動力。一次電池。二次電池。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	414
色及波長。景	
第二十一章 不可見之輻射	460
熱能之輻射。電之輻射。陰極線及 <u>樂琴線</u> 。放射性	
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.	潛水艇詳圖	———	23
4.	<u>葛利克</u>	———	34
5.	汞擴散空氣唧筒	———	35
6.	英國飛行船 R-34 着陸之景	———	43
7.	美國陸軍觀測氣球	———	49
8.	<u>伽利略</u>	———	80
9.	砲臺	———	81
10.	<u>牛頓</u>	———	92
11.	析乳器	———	93
12.	<u>麥克斯惠爾</u>	———	112
13.	<u>赫支</u>	———	112
14.	氣體面罩	———	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>美國無畏艦</u> 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>電炭斗及熔金</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>海耳史</u>	402
56.	<u>萊耳歧茲觀測所之大學遠鏡</u>	403 ²
57.	<u>影片之一節</u>	426
58.	<u>音波之相片</u>	427

MG
C4
35

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，殆皆與英尺（Foot）相仿，可知此單位之始，實緣足長。在英國設立



3 1774 1286 7

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)各單位,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

十進制長之單位爲尺(公分,米突,邁當),係一鉑銥棒(Platinum-iridium)上所刻二平行線間在 0°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,懼一時遺失,乃取巴

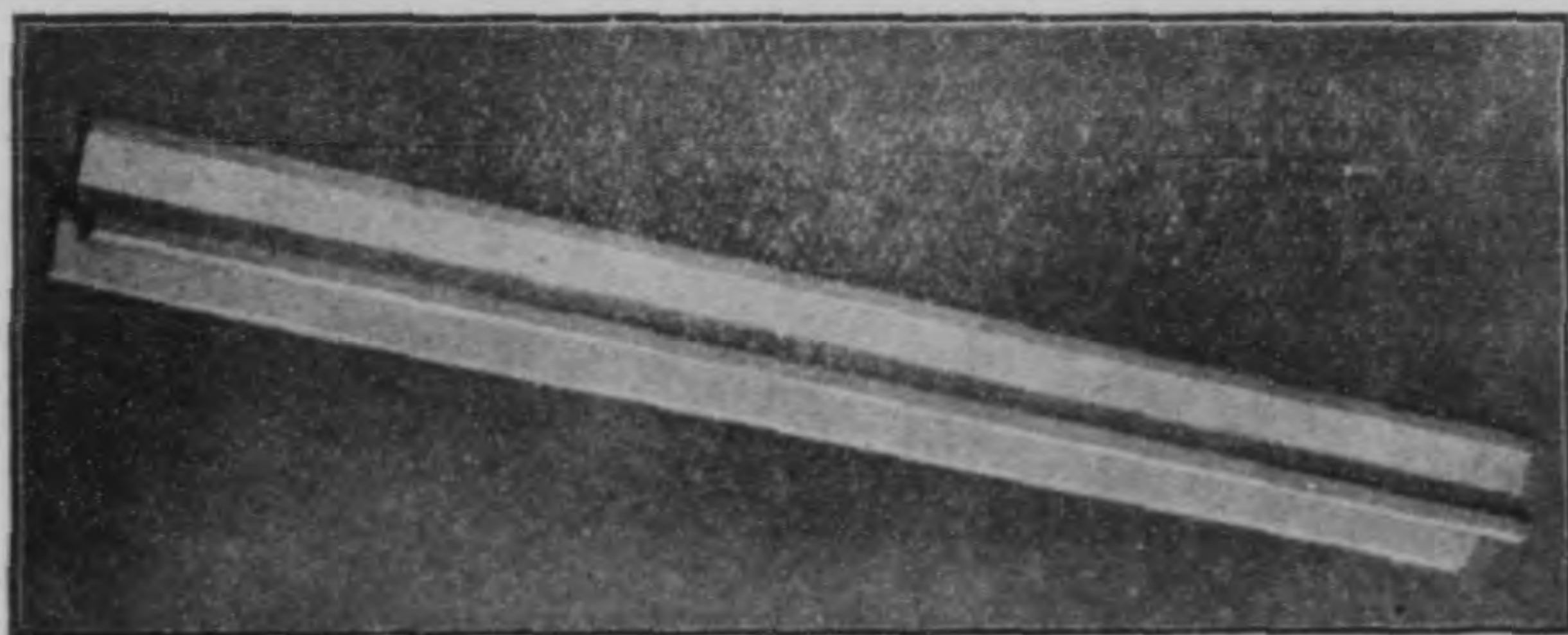


圖1. 標準尺

黎子午線,自地球之赤道至北極,分爲一千萬分,取其一分爲尺之準則,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)之命分數爲尺;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

十進制容量標準單位，名曰罇(Liter, 公升, 立特), 爲每邊等於一呎十分之一(約爲 4 吋)之立方體積, 等於 1,000 立方呎, 等於 1.057 夸, 故罇與夸大約相等。

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, 其重量與一罇水於密度最大時 (4°C 或 39°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, 名之曰標準尅 (Standard kilogram), 等於 2.2 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, 罇, 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, 皆以一定之公倍關係連之, 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。

呎(公尺) dekameter = 10呎	吋(公寸) decimeter = $\frac{1}{10}$ 呎
箱(公引) hectometer = 100呎	釐(公分) centimeter = $\frac{1}{100}$ 呎
杆(公里) kilometer = 1000呎	毫(公釐) millimeter = $\frac{1}{1000}$ 呎

呎,箱等爲吾國舊譯,括弧中者爲部類名稱。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), milli (千分之一)。

以上單位中其最通用者皆有一定之減寫如次:

呎(m.)	毫(mm.)	克(g.)
杆(km.)	吋(l.)	尅(kg.)
釐(cm.)	立方釐(cc.)	毫(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 釐	一釐	= .6937 吋
一呎(ft.)	= 30.48 釐	一呎	= 1.094 碼 = 39.37 吋
一哩(mi.)	= 1,609 杆	一杆	= .6214 哩
一磅	= 64.8 釐	一克	= 15.44 格令
一担司	= 28.35 克	一克	= .0353 担司
一磅	= .4536 釐	一釐	= 2.204 磅

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



圖 2. 厘米與吋之比較

茲將中法等式列表於後以資參考。

	營造尺		溜平兩
一杆	= 3149.68	一担	= 27.288
一箱	= 414.968	一兩	= 2.7288
一料	= 31.4968	一錢	= .27288
一積	= 3.14968	一克	= .02729
一鈔	= .314968	一毫	= .00273
一厘	= .031497	一厘	= .001027
一毫	= .003150	一毫	= .00003

11. 時間之標準單位

文明各國俱用秒(Sec mds)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,不論其為汽錫壓

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,故釐,克,秒三者作爲三基本單位 (Fundamental units), 無論何量,以釐,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紵之長作比較而已。欲求便捷,故仿標準紵,製出無數之紵,以普遍全球,即吾人常用之紵也。一紵即更分成 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砵之質量相比而已。爲便利計,更仿此標準砵,製出無數同質物體,令其質量適爲此標準砵質量之 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ 等數,成爲一系,即所謂一組法碼 (A set of weights) 是也。

藉此種法碼組,可以求得未知物體之質量,即先將其體置於天平左盤,用鉛子或紙片衡於右盤,衡定之後,將其物體取出,而以若干(圖 3)法碼代之,直至指針歸回 0 處,於是盤內標準砵碼之和,適等該體質量,此種衡法,最爲確準,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。

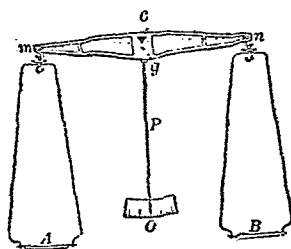


圖3. 簡單天平

物體之質量，如上所述決定者，恆視為其物所含物質之數量。

問題

1. 萬國運動會之500呎賽跑，與普通競走之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 (987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，究竟有其他不便否？
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呎合若干呎？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德門 (1800哩) 費15時57分，一時間速若干哩，合若干呎？
8. 有箱一，長0.5呎，寬20呎，深100呎，其容積若干？

密 度

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，則立方呎為體積單位，磅為質量單位。一立方呎水重 62.4 磅，故按英制，水之密度每立方呎為 62.4 磅。

若依 C. G. S. 系，則以立方厘米為體積之單位，以克為質量之單位，故按此系，則水之密度每立方厘米為一克；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，即為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，是其全塊為 24 立方厘米，而其 1 立方厘米質量，當為 $\frac{177.6}{24} = 7.4$ 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	錫	8.9
銅	8.9	橡樹	.8
橡木皮	.24	松樹	.5
砂	2.6	鈉	21.4

金	19.3	銀	10.5
鎳鐵	7.4	錫	7.3
鎢	19.6	鋅	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
二硫化碳	12.9	錄	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

$$D = \frac{M}{V}. \quad (1)$$

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.

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 (7.4×62.4) 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.^①

問 題^②

1. 1 磅之牛乳重 1032 g., 其密度及比重為何?
2. 有砂礫, 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) 之金塊回家否? 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., 試求其容積之噸數.

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冊錄.

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

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，爲吾人經驗所習知；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)。無論爲推爲拉，其所用之力，若與支 1 克質量時所需之力相等者，即稱爲1 克之力。

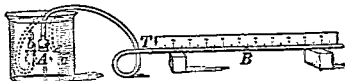


圖 4. 液體壓力計量器

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，則滴前行愈遠，故察墨水滴運動之遠近，可以測膜上壓力之大小。今以 A 端接入液面之下，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爲正比。

今設此 A 處(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，而膜之中心道在

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 厘米深度之向下壓力，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：



圖 5。

$$F = Ahd. \quad (1)$$

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糎，只究其各平方糎面積上所受之力，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 糎深處之面上所受之壓力，爲每平方糎 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

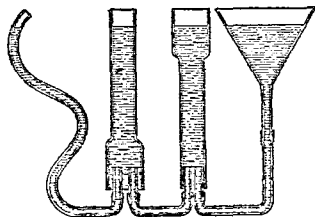


圖 6. 連通器內之水平面

節之實驗,得知 c 點之壓力,等於液之密度乘深度 ch ; 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。

由此可知 o 點之壓力,當爲其密度之 ks 倍。

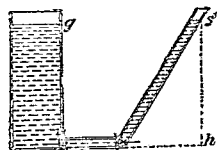


圖 7. 水成同一水平面之理

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

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 1.3kg./cm^2 。其深如何? (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 lb./in^2 計之。
4. 有一 50 平方呎游泳池其深爲 5 呎,試求其底面上所受之力,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 注水入之,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 cm^2 ，水深 100 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。

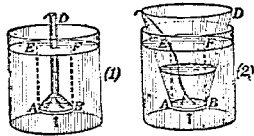


圖 8. 靜水與泉

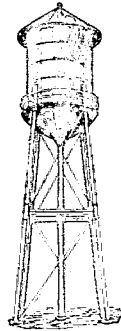


圖 9. 蓄水池

8. 鯨魚被鯨槍所擊時，徑直下 40 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，須力幾何方可以板堵之？
10. 三十年前蓄水池之式徑為直立之圓筒，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 ab 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 (2)，或由他故，結果恆同。由是，

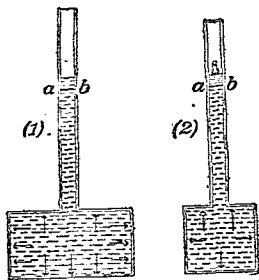


圖 10. 巴斯加定律之證明

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 之面積爲一平方糎，圓筒 AB 之面積爲 1000 平方糎，則以一尅之力加於 ab ，可以由液傳遞，致令表面 AB 每平方糎，皆受一尅之力。是加一尅之力於 ab ，即可使活塞 ab 所受之

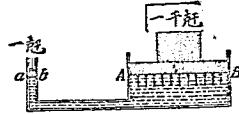


圖 11. 利用液體傳遞以增壓力

上壓總力等於 1000 尅也。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，取鐵條之力，以及榨油，壓形，鉛印等。鐵工廠中常製大壓力之水壓機，以代蒸汽機。其壓力常達 10000 噸以上。

機之断面如圖 12。小活塞 p 提上時，水由 c 桶經 d 以入活瓣室。當 p 向下運

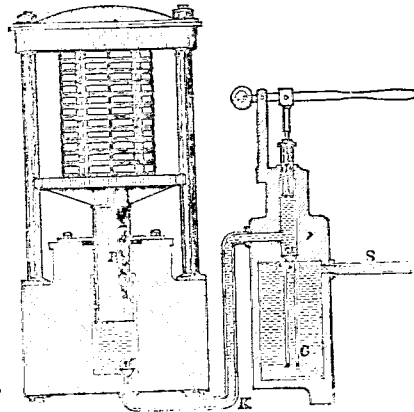


圖 12. 水壓機

動時， v 閉而 v' 開， p 活塞所加壓力，通過 α 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

讀上節須注意者，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 推下一種時，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. 水壓昇降機

液體傳遞壓力之理，尋常應用者，水壓昇降機 (Hydraulic elevator) 亦其一例之最簡式如圖 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，為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 夾通，機即上升。當

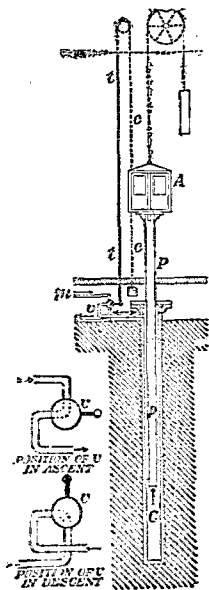


圖 13. 水壓昇降機 (一)

cc 提落時， v 中之孔因而轉向，故 c 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，升高 400 呎，全長共 4.0 呎云。活塞之位置多為橫式。近代之昇降機皆改用電力。

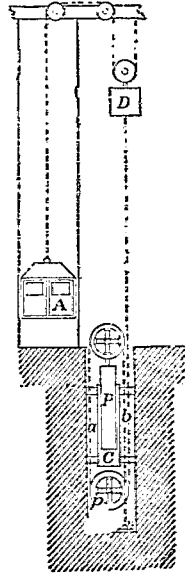


圖 14. 水壓昇降機 (二)

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

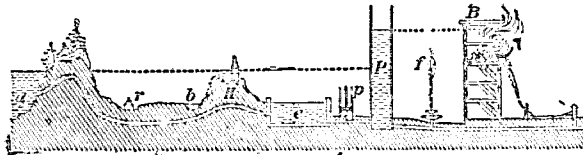


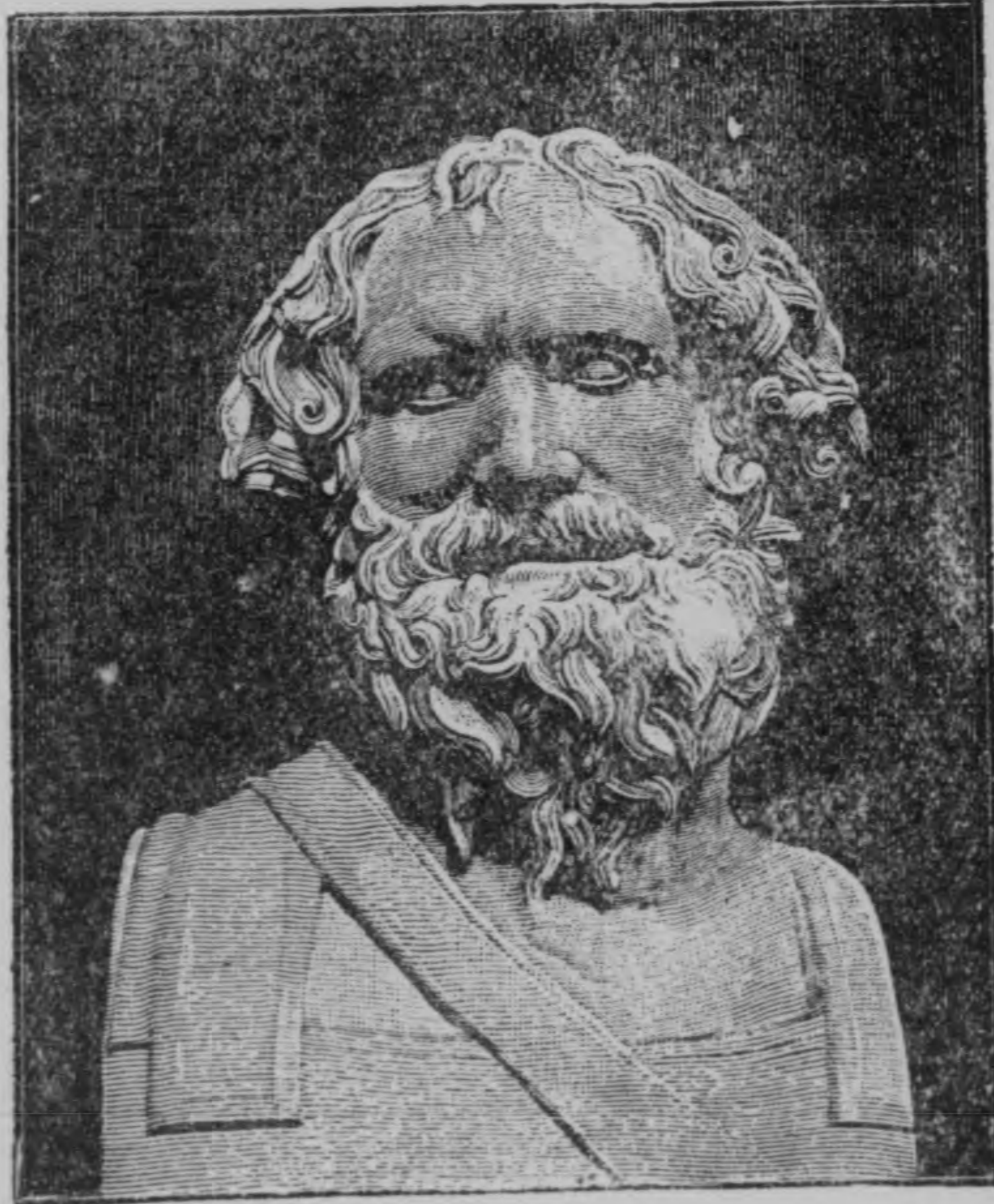
圖 15. 以湖為源之自來水

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 60 平方吋，小活塞上加 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 21 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 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 30% 之損失，當歸之於摩擦，其可舉之重為何？
7. 有管一管 5 mm. 平方，長為 200 cm.，插入一箱之瓦，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？

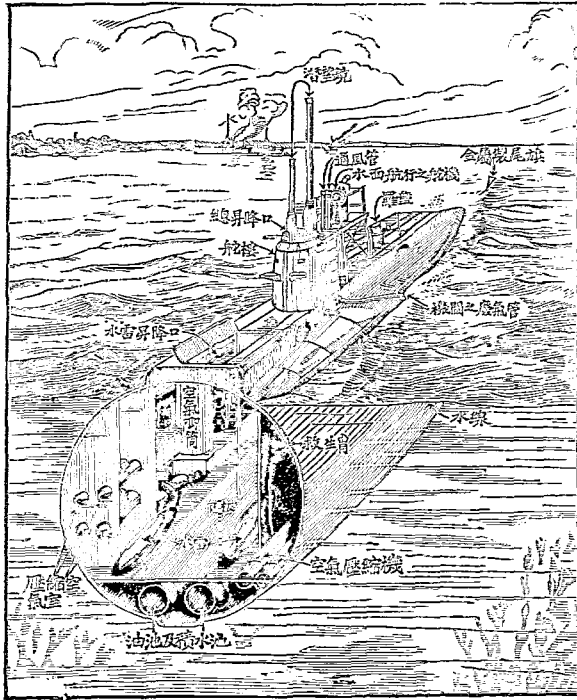


阿基米得

(Archimedes 287-212 B.C.)

(奈浦爾博物館內所藏之半身像)

阿基米得為上古有名之幾何學家；居於西西里(Sicily)之撒拉哥(Syracuse)城；首先測定 π 之值，及圓之面積；發見槓杆，浮力諸定律，即有名豪語“昇我以立足之地，我運將轉全球”之主人翁也；當羅馬圍攻撒拉哥時，他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，為一羅馬士卒所害，受戮時猶向其敵人呼曰“勿得毀壞我所作之圓”



潛艇詳圖

潛水艇 (Submarine) 為最近海上發明品之一，然亦不過為物理學上最古之亞幾歐德原理之一簡單應用而已。欲使沉下時，須引水入積水池 (Ballast tank) 中，使全艇與所載之全重，適與其所排去之水相等，艇即漸次沒入水中。如在進行時，即可利用水平舵 (Horizontal rudder)，使全艇沉下，若在水下亦可利用水平舵使之上浮，以便用潛望鏡 (Periscope) 觀察海面上情形。此種工作僅須數秒鐘之時間，即可完成。如因充電或其他必須出水面時，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。水上航行用雷塞爾油機關 (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.

敘拉占(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 $m'b'n$ 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體之證明



圖 17. 浮體所受之浮力與其排去之液體相等之證明

Archimedes) 之內。

30. 重固體之比重

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

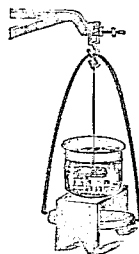


圖 18. 水中物體之重量測定法

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. 輕於水之物體之比重

如物體太輕，不能自洗於水，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 為錘在水物在空氣中時之重量(圖 19)； W_2 為物及錘皆在水中時之重量，則 $W_1 - W_2$ 為水對於物體

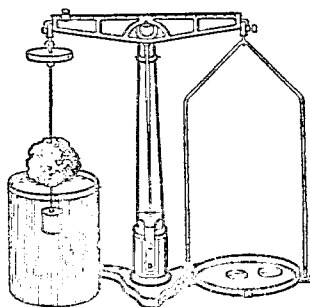


圖 19. 輕於水之物體之比重測定法

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。

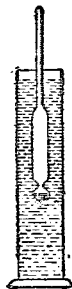


圖 20. 定重比重計

問題

- 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。
- 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。
- 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？
- 船自河航入海面時，應該在河面時浮起，抑更形沉下？
- 養魚器中之魚，完全靜止不動，依息於器之中心，其比重爲何？試說明之。
- 比重計上最大之度數，應在桿之下端，抑在其上端？試說明之。
- 某人重 150 磅，恰能浮於水上。其容積爲何？
- 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。
- 某物體於水中稱之失去重量 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。
- 一鎊球於空氣中重 330 克，於水中重 315 克，於硫酸中重 303 克。試求球之容積，及鎊，酸之比重。
- 如有一石煙塊在空氣中重 178 克，一鎊在水中重 39 克。兩物同時沉於水中時稱之，爲 8 克。求鎊之比重。
- 每邊 10 吋之立方鐵重 7500 克。在密度 .82 之酒精中稱之，重當爲何？
- 細木塊之比重爲 .5，浮於水中，其水上之部分爲其

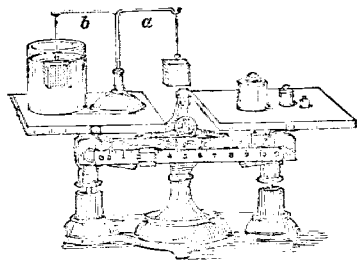


圖 21。

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. 銅重於鉛三倍。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,於比重上有何影響?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,置於水中,重480克。試求其在空氣中之重量。
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,幾純用銅製成。其壁厚自6吋至18吋。試說明其何以能浮起之理。

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

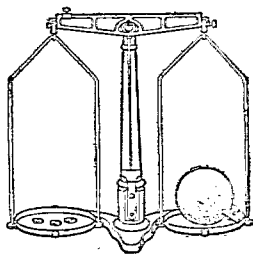


圖 22. 空氣有重量之證明

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。

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,亦即每磅重 1.293 克,故空氣之重爲水之 $1/773$ 倍。

35. 空氣能施壓力之證明

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:

試取極皮膜,蒙玻璃口上(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。

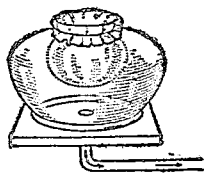


圖 23. 膠膜因受空氣之重量而緊張

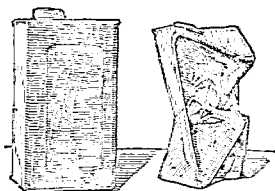


圖 24. 鐵罐因受大氣壓力而破裂

再試取錫罐,半時滯水而滯之,則水汽上騰迫出空氣。若當水滯時,緊塞罐口,置盤內而澆以冷水,則內部水汽凝結,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 托里拆利 (Torricelli)，令其繼續研究之。

37. 托里拆利之實驗

托里拆利 以為水可昇至 32 呎，則水銀較水重 13 倍，應昇水之 $1/13$ ，後於 1643 年，完成下述著名之實驗：

取 4 呎以上之長管，同封一端，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，上端空間成為真空，而水銀之高，恰為 32 呎之 $1/13$ ，即較杯內之水銀表面約高 29 吋與 0 吋之間。

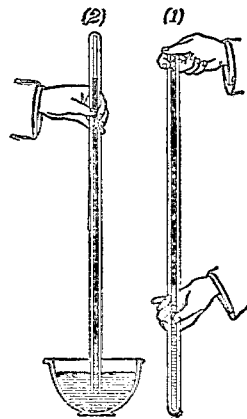


圖 25. 托里拆利之實驗

托里拆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，毫無可疑之餘地。

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，管內水銀立即上昇至此之高為止。

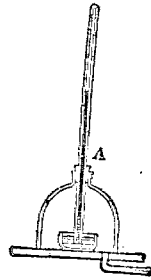


圖 26. 水銀表面所受之氣壓若減小，則管內之水銀面即降低

39. 大氣壓力之總量

由托里拆利之實驗，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 釐, d 為每立方釐 13.6 克, 故在管內 a 處之向下壓力, 每平方釐為 13.6×76 克, 即 1033.6 克. 是以作用於 c 上之大氣壓力, 每平方釐亦必為 1033.6 克, 略計之, 即每平方釐上為 1 尅, 每平方吋表面上所受之大氣壓力則約等於 15 磅.

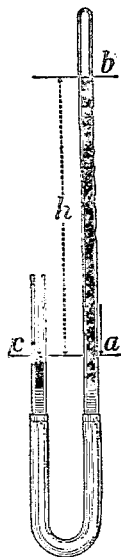


圖 27. 空氣柱與水銀柱之平衡

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, 推及自海面至山嶺, 大氣壓力亦必遞減. 巴黎 鄰近乏高山, 不得已攜 托里拆利 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, 謂昇高至 1000 呎, 管內水銀果下降 8 釐, 驚羨交加云云. 此為 1648

年之事實，距托里坵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)不過一托里坵利管耳，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



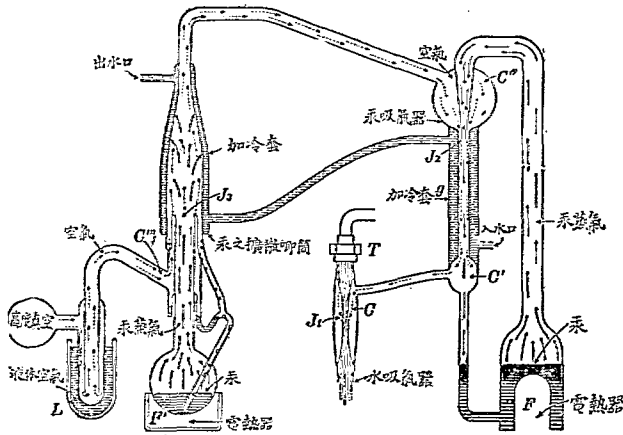
圖 28. 托里坵利管
氣壓計



葛利克

(Otto von Guericke 1602-1666)

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。關於氣態液態完成試驗甚多。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。其效率千倍於維持機械力之空氣唧筒，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，即德國夫里堡 (Freiburg) 之格魯 (Gaele) 教授。其後各出心材改良之者，則有一般電公司 (General Electric Company) 之伊靈耳 (Irving Langmuir)；紐約西方電公司 (Western Electric Company) 之巴克星 (O. E. Buckley)；芝加哥電托耳電公司 (Victor Electric Company) 之克淮利德 (W. W. Crawford)；至於本圖所示之構造，則為匹茲堡 (Pittsburgh) 西屋研究實驗室 (Westinghouse Research Laboratory) 之士德 (Dr. J. E. Shroder) 所改良者。

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，乃謂其與鬼竈聯盟。

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

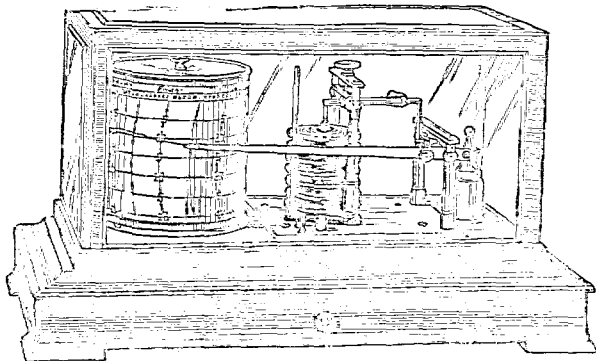


圖 29. 無液氣壓計

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?

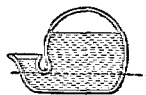


圖 30.

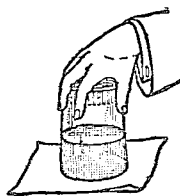


圖 31.

3. 如有最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, 其一粗如人之腿, 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 50×100 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。

8. 馬堡半球圖 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,則球雖分開,其故何在?

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.)



圖 32. 馬堡半球

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.

即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 .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四分之一，五分之一，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，甚至於破裂，如圖 33。

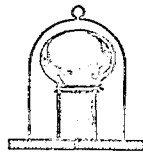


圖 33.

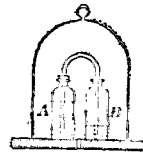


圖 34.

空氣之膨脹性實驗

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。35 節試驗中，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隨形壓壞。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，使其在兩端 AC 與閉端 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 。於是更加水銀於閉端，使閉管內之水銀表面高出於開管內之水銀表面之程度，恰等於氣壓計所表之程度為止。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 $A_1 C (=V_2)$ ，
即足以察知後者為前者之半。

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

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

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 38 呎，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。

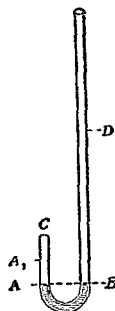


圖 35. 波義耳定律之實驗

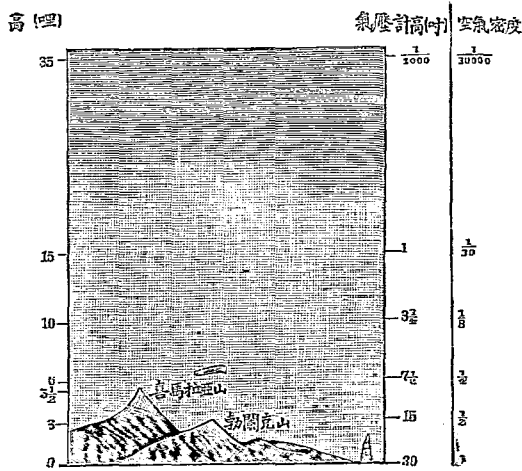


圖 36. 空氣之廣延及其特性

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,氣溫則為 -60°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,美陸軍飛行家士仍德(Major R. W. Schroeder)升至 33000

呎,其時氣溫爲 -6°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,空氣密度約只爲海面之 $1/30000$ 。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. 游處測量達最深者爲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. 自潛水衣鼻上之氣泡達水面時,有何容積之變遷?
3. 依橡膠皮膚在抽氣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○處(圖 38)吹氣入內，氣即上升於筒頂。此法常用以收集氣體。試說明氣體以何力上升，氣上升時水因何下降？



圖 37.

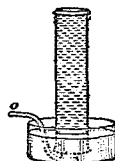


圖 38.

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，不一直流下，其故何在？
9. 將 100 立方呎之氫，壓入一容量為 5 立方呎之鋼桶內，氫之壓力為何？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 立方吋。如在勃耶山頂（高 15781 呎），則 1 克之容積為何？但頂上之氣壓恰為海面之半。
12. 空氣平均密度在海面上為 .0012，在勃耶山上則為何？又山頂以下之大氣為地球大氣之幾分之幾？
13. 如格爾瑟及科克斯爾升高至氣壓計只 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 立方吋之空氣在地面重 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 。如是二器間之虹吸(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。

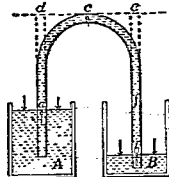


圖 39. 虹吸

虹吸運用之理，可自圖得之。 arb 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 be 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。如彎曲處 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，則應先充水至何平面，方可使 o 處有水流出？

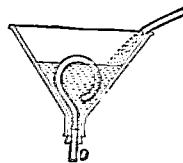


圖 40. 斷續虹吸

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、托里坭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R內之空氣若干抽出器外。

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

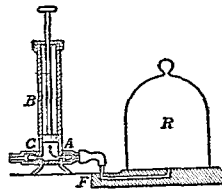


圖 41. 簡單之空氣唧筒

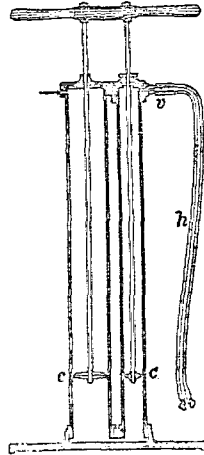


圖 42. 汽車用壓氣筒

所示，為平常汽車用以壓氣入膠皮輪胎之壓氣唧筒。 c 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。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) (探礦用)、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

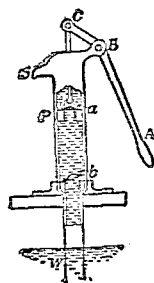


圖 43. 吸上唧筒

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。

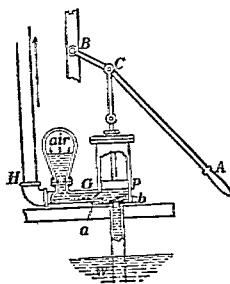


圖 44. 壓上唧筒

55. 浮沈子

法國大哲學者笛卡兒 (Descartes 1596—1650) 發明

一器曰浮沉子(Cartesian diver), 示壓力傳達之理, 即阿基米德原理, 同時又是表氣體之壓縮性。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)。

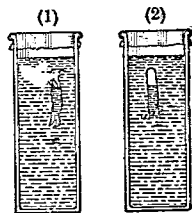


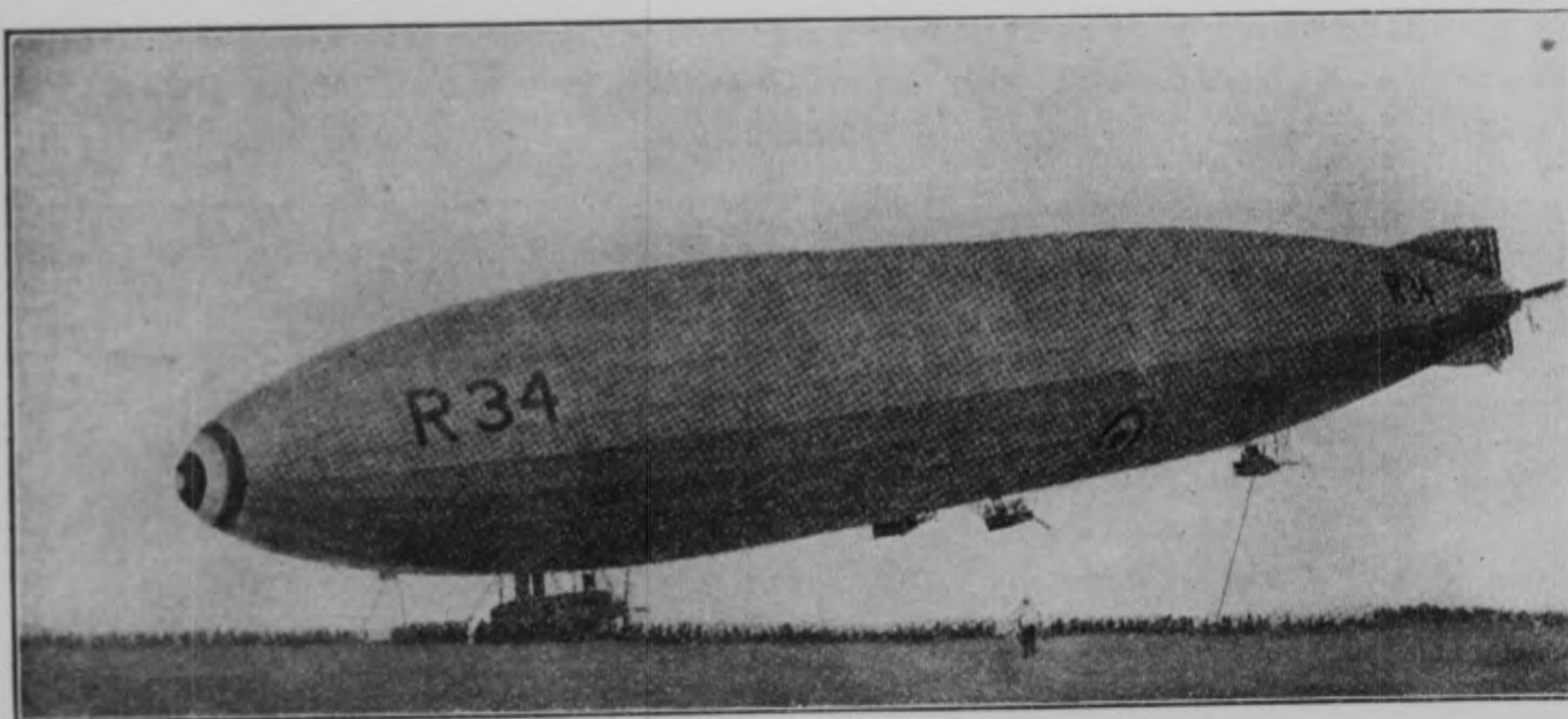
圖 45. 浮沉子

近世潛艇(見 23 頁對面)不過一大形之浮沉子耳。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。

56. 氣球

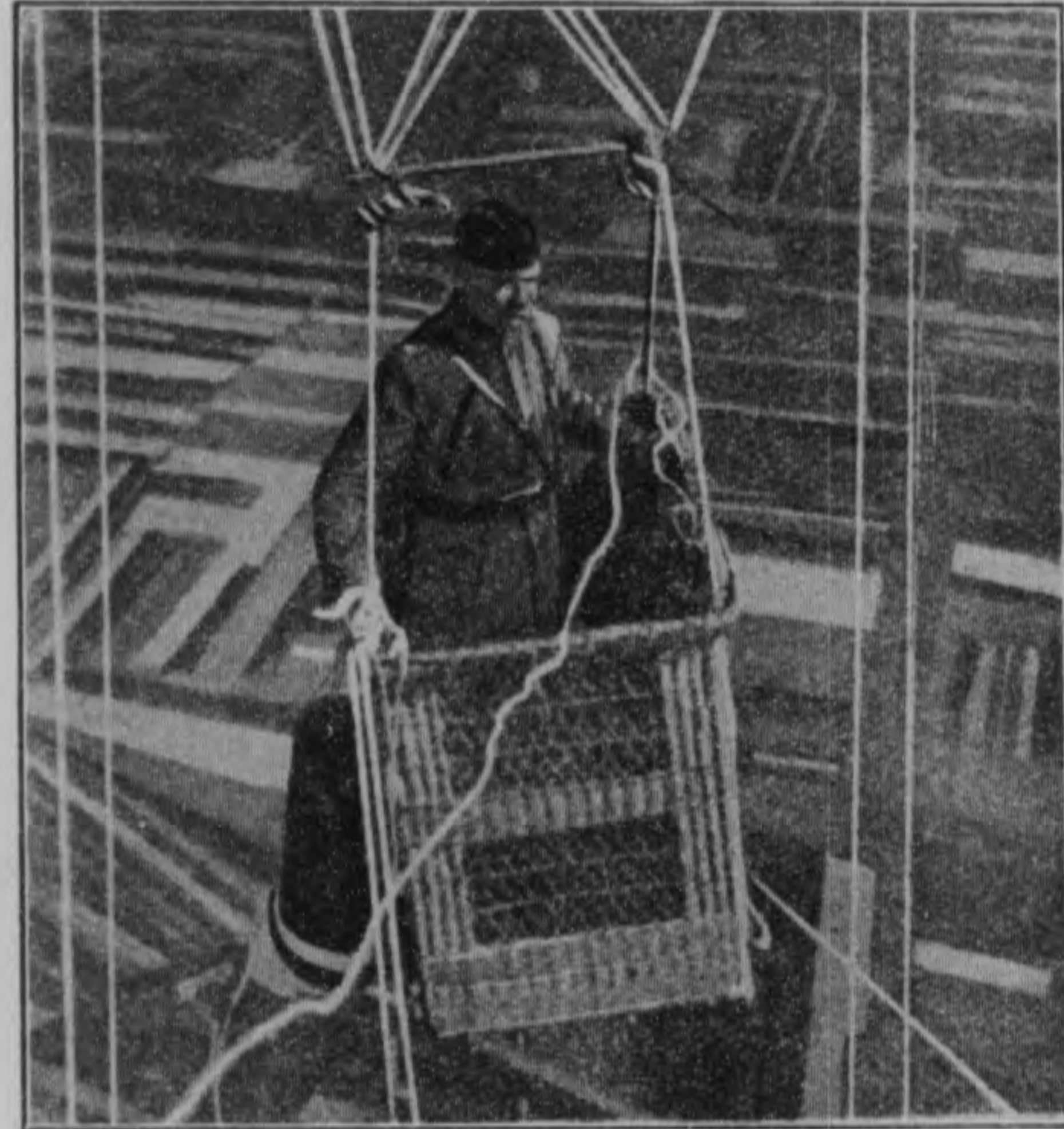
阿基米德之原理, 首於 29 節(23 頁)說明時, 曾其可用於氣體, 故凡在空氣中之物體, 亦感受一種浮力作用。力之大小等於物體所排開同積空氣之重, 如物體較輕於其所排開之空氣, 則必上昇。

氣球(Balloon)乃一大球囊(參閱插圖), 蓋以膠皮, 器內貯以氫(Hydrogen)或煤氣(Illuminating gas)。氫每立方呎重 .09 磅, 煤氣每立方呎重為 .75 磅, 而尋常空氣每立方呎重 1.20 磅, 故每立方呎氫之浮力為 $1.20 - .09 = 1.11$, 煤氣之浮力為 $1.20 - .75 = .45$, 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 日攝於環島之密涅俄拉地方，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（每分旋轉數為 1600）；共計有 1250-1375 之馬力；牛之大腸膜所成氣袋 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=95%Al）；全重 59 大噸，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。自錨所可以自由昇高，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塹壕，1918 年 6 月所攝。籃之旁有落下傘；備倉卒遇敵時，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，緊張氣囊之膜，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 程之高處時，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。

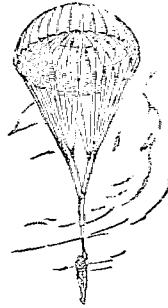


圖 46. 落下傘

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 立方呎往法國，聞其設計為每月可產出 50000 立方呎云。

此氣體對於火忌極為安全，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，乃一堅壁鐘形之重體，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。

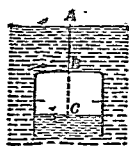


圖 47. 潛水鐘

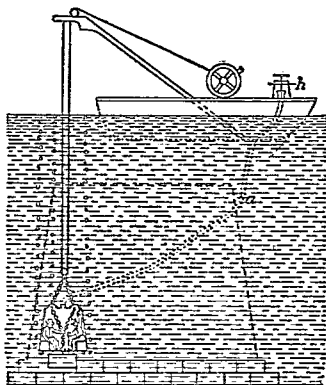


圖 48. 用潛水鐘築橋柱

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，上冠以金屬之罩。有時衣上附有一管，與水面上之空氣相通，由上面將空氣自此管壓入，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，內貯以氣壓之空氣。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。蓋因空氣浸入體內，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

由燃氣廢流來之燃氣，經過圖 50 之 P 管與 o_1 兩孔，而入於氣量計 (Gas meter) 內之 B 及 B_1 兩室。氣體之壓力即在此處作用於 d, d_1 壁上。 A 及 A_1 內原貯之氣體，為此壓力所迫，即由 o' 及 o'_1 之兩孔逸出，通過 P_1 管以入於燃氣燈或燃氣爐。 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，由橫桿

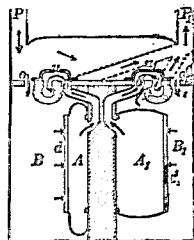


圖 50. 氣量計

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，表經過氣量計之氣值之立方呎數。

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，只有用一屬撈之管取之。(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 $1/3$ 。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。吸管內水何以能殺吸上？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，僅為受器之三分之一之大小，活

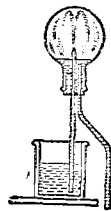


圖 51.

- 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 釐時，此時容器內之氣壓計之水銀柱長當為若干？
- 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？
 - 用大氣壓力之關係，說明氣球何以能上升之理。
 - 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？
 - 現時有許多大機，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 平方釐，設將車之一端之空氣，抽去一半，車之他一端之空氣密度，壓至原有之二倍，求推進此車之力。
 - 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。
 - 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 釐之下，問此時鐘內之空氣容積，為其原有之容積之幾分之幾？(每平方釐上受 1033 克之壓力 = 1 氣壓。)
 - 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？
 - 設有一潛水艇，其積水池在未盛水時重 1800 磅，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，始能使其倍可沉下？

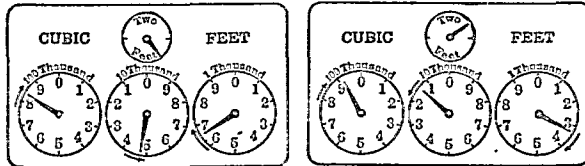


圖 52. 氣壓計之儀面

16. (a) 圖 52 左端之氣量計之指針, 表示 84600 立方呎之氣量, 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煤氣? (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 27×10^{19} ，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，如搗少量之氯 (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，一貯氫 (Hydrogen)，一貯二氧化碳 (Carbon dioxide)，運

接如圖 53,如將其間之活栓放開,數小時之後,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,為氫之 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)。

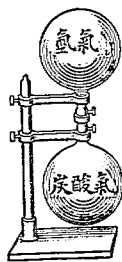


圖 53. 氣體之擴散

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,立即膨脹充滿全器。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,氣體恒立即隨之,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. 柏查運動及分子運動

軌近得一驚人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 19 3 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）。尋常砲彈每秒之速度罕過 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，需具橡皮，中貫玻璃管，如圖 54。將

玻璃管之下端插入一杯有色之水中，另用一貯滿氫氣之玻璃罩罩於生氫杯外；或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，可知生氫杯內之氣壓增大甚速。然後撤去玻璃罩，使其外面無氣，水即上升入管。可知杯內之壓力減少亦速。

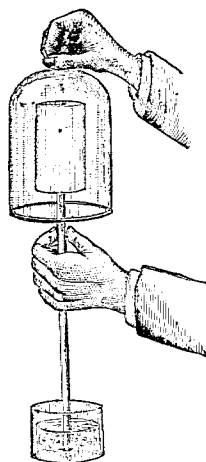


圖 54. 氫透過孔壁之擴散

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，氫分子由孔隙滲入杯內之數，較空氣分子由孔隙滲出杯外之數，必多四倍，故杯內之壓力增大。當撤去玻璃罩時，杯內之氫復透過孔隙外出，其速度較由杯外滲入之空氣為速，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,取所餘之液加磷酸 1-2 cc., 使轉為紅色,然後用漏斗管將此酸性液注入長瓶之處(如圖 55), 數分間紅藍之界甚顯,數小時後,雖瓶歸止不動,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行能力。氣體分子運動說實皆可應用於液體,即柏登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，此較近所證實者也。固體之擴散，於常溫之下，唯此二金屬有之。然在高溫（例如 500°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行之明證，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

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鞋，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 釐時，某開口之器所貯空氣為 250 克，今氣壓為 740 釐，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/平方釐，而溫度不變；並假定表面之壓力為 30 吋。)
6. 自上逆潛水衣內逸出之空氣，其氣泡達表面時，極積增大多倍？
7. 鹽重於水，何以混鹽於水，鹽不致沉於水底？

第五章 力及運動

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。如此物爲 5,0000 克而不爲一克，則此曳手之力已大至使手不復能支持之矣。此力之來源，吾人假設之爲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，併力與質量之觀念爲一，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，即隨地面

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。

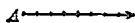


圖 58. 單力之圖表

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

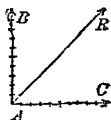


圖 59. 互成直角之二力之合力方向

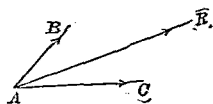


圖 60. 合力近於較大之力

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,用一線連結秤之二鉤,繫 W 於其中間。支持 W 之力,並非 E 或 F 之自負,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。

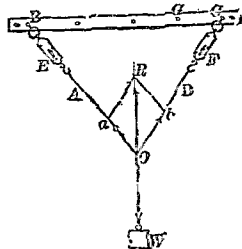


圖 61. 平行四邊形定律之實驗的證明

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

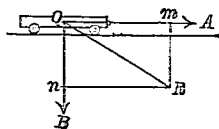


圖 62. 分力

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。

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。

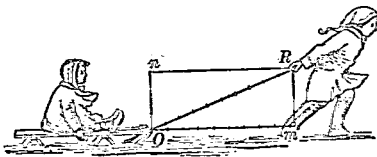


圖 63. 與撬之水平分力

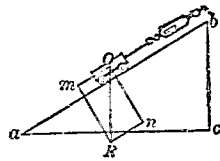


圖 64. 斜面上重力之平行分力

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 為使車向下之力；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。

求制止物墮於斜面之力, 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墮重量之比, 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。

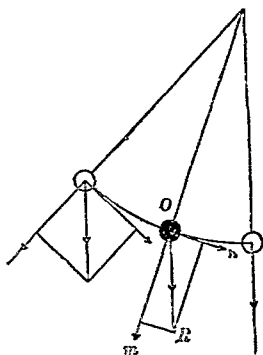


圖 65. 擺球位後之所受之力

問 題

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. 畫一繩重 20 磅，以繩懸之，繩之兩脚成 120° 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

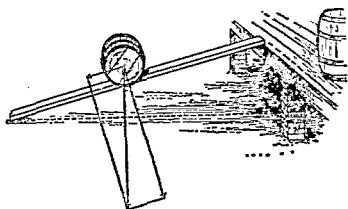


圖 66. 阻止桶由斜面轉落所需之力

- 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？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 尺，試以圖示此繩之張力？
 8. 氣球之繫繩與地面成 60° 角，假設氣球之上升力為 1000 磅，試求繩之張力及風力？
 9. 汽船與運河小船平行航行，二船同距 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 om 表風箏所受之重力, om 表童子與線端之力, 則 oR 所表之力, 有何名稱?

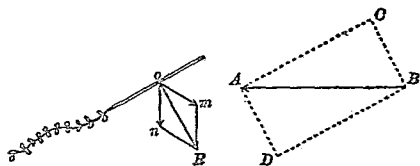


圖 67. 作用於風箏之力

11. 如圖 67, 設 AB 為風之方向, 其作用點為 o 點, 同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

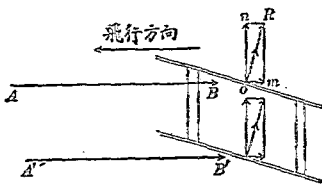


圖 68. 飛行中作用於飛機之力

力 oR 垂直於翼面, 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為反比，易言之，兩物體間之距離增二倍，則引力減為四分之一；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為正比。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，即為3克之力，更就天文學上之事實言，設地之質量為現今之2倍，而直徑不變，則其對於3立方呎之水之引力，將為現今之2倍，即為6克之力（一物體之質量乘以3，其他一質量乘以2，即與以 3×2 ，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為正比，與質量間之距離之自乘為反比。

相距1呎之兩質量各為1克時，互相吸引之力為 $1/15,000,000,000$ 克。地球與太陽之質量之值甚巨，雖相距93,000,000哩，仍有4,000,000,000,000,000,000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，在太陽上則為其27倍，即432呎。月球上之重，不過為地球上之 $\frac{1}{6}$ ，故跳高較在地

球上可高六倍,而落下時之速度,亦只爲地球上之 $1/6$ 。

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爲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,祇爲在地面時之四分之一。

由此推之,物體離地如爲數呎,或達數哩,其所減之重,爲數實甚有限,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,擡至4哩高之山上衡之,僅減爲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。

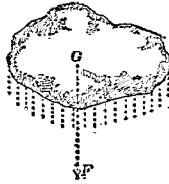


圖 69. 不規則物體之重心

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。

試以形狀不規則之鋅片，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，將見鋅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)，針端繫一繩於片面上，給 bn 線，經 b ，與繩線平行，且適在其後。照前法支鋅片於 a 點，更作 am 線。

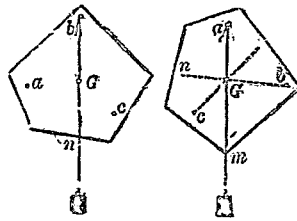


圖 70. 重心之位置

因地球之引力可視為作用於重心之單一力，故懸

垂之物體(如鋅片)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

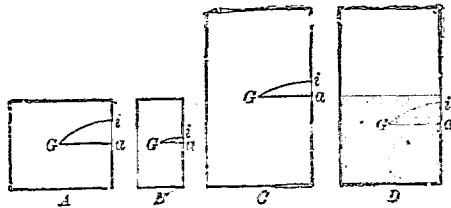


圖 71. 各種穩態

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

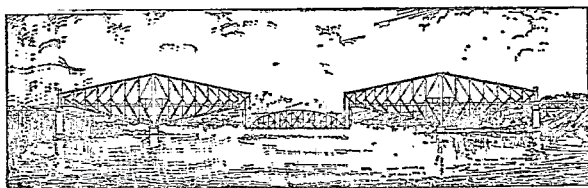


圖 72. 魁北克橋

(圖 72), 其兩臂兩方皆等長, 或會於中央, 或以承中央橋樑, 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線, 須落在基底(Base)之內。

基底云者, 將物體與平面接觸之各點連綫而成之多邊形也。如圖 73 之 $A B C$ 卽基底。若由其平衡位置稍爲轉動, 重心必沿 OG 半徑所成之弧昇高, 故爲穩平衡。設通過重心之垂線, 落於基底外, 如圖 74 所示, 其體必倒傾。

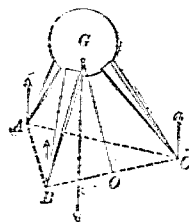


圖 73. 穩平衡物體

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 c 之下, (見圖 3), 則桿不能恢復其水平位置, 以成平衡。(至於天平錘, 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, 卽物體稍被轉動

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。

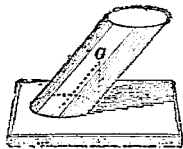


圖 74. 不穩平衡物體

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. 番籠 (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，可以橫物否？其故何在？
4. 壓輪物 (Ballast) 之目的何在？
5. 砲之最穩位置為何？最不穩之位置為何？其故何在？



圖 75. 不倒翁

6. 搥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?
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。)

落 體

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,假其圍束愈緊,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。

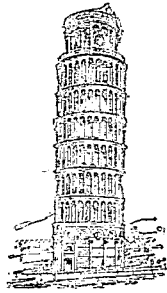


圖 76. 比薩聖塔,伽利略曾在此塔上作各種落體之實驗

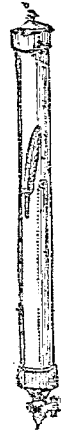
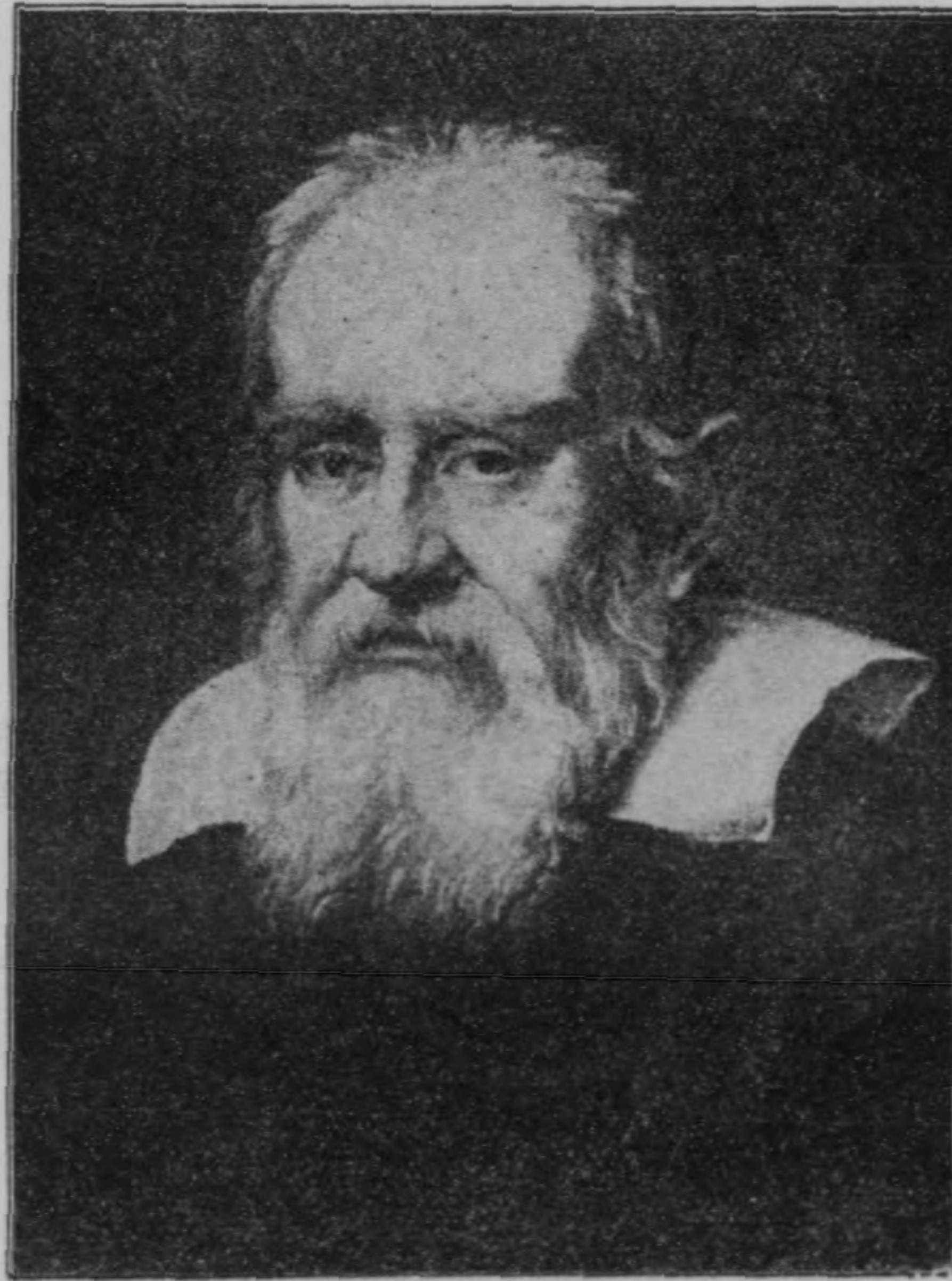


圖 77. 羽毛及銅元在真空中同時落下

但落體下速度之所以遲緩者,空氣之抵抗力實為其一大原因。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,則羽毛與銅元亦趨於同時落下。借抽氣唧筒之出現乃在伽利略氏 60 年以後。

90. 伽利略論之精確證明

伽利略氏之結論,尙可以別法證之,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。近世物理學以伽利略為其始



砲擊

此圖爲美國第三十五海岸砲兵隊之砲手，用法國 340 種大砲攻擊德軍時之景，時爲 1918 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

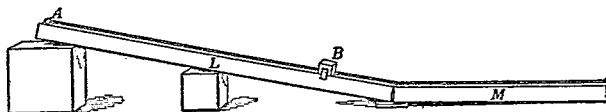


圖 78. 一秒,二秒,三秒等時間落下所得之速度及經過之路程

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),即報秒之時計之聲第一聲時,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，留意其過第 1 呎時適爲第一秒，第二秒時適爲 4 呎；第三秒時爲 9 呎；與 16 呎之 B 相撞時正爲第四秒，更精確之法，即更以 B 置於 9, 4, 1 呎處，測其撞擊是否與時鐘之聲相符？

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，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，再接一有滑之板 M ，板必稍斜，以減其磨擦所生之力，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處。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處 $2D$ 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，爲距斜面處 $4D$ 之處，則到斜面處須二秒，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種之速度，故一物體自靜止出發時， t 秒終之速度應爲 $v=at$ 。此即第一式也。

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，即可求得。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

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

此即第二式也。

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)，即以 v/a 代 t ，即得

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

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，則此物體即成自由落下之物體(圖79)，第一秒時之行程爲 490 種，約 16.08 呎。故加速度若以種表之，當爲

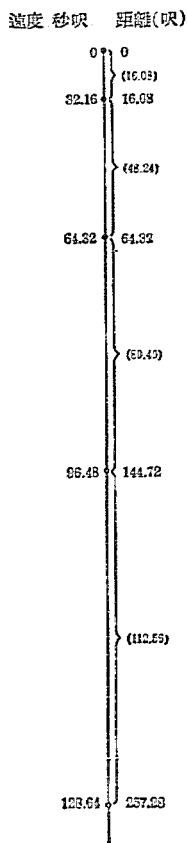


圖 79. 自由落體

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

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

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

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

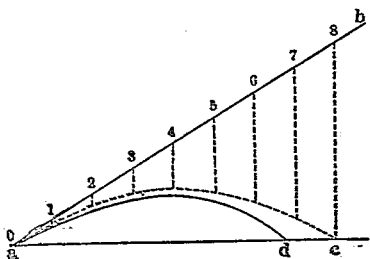


圖 80. 拋射體之路程

97. 飛機

前述之穩性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

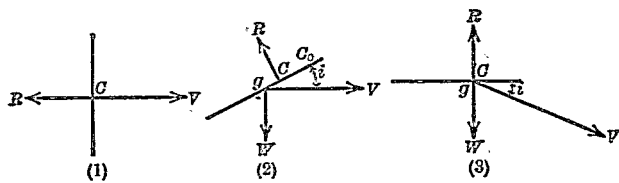


圖 81. 作用於滑走體上之力

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 81(I)),則空氣之抵抗力 R ,由實驗上得下列方程式

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

R 爲抵抗力,其單位用尅; A 爲面積,其單位用呎; 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 $.08 \times .5 \times (18)^2 = 13$ 尅.

假設其運動方向與面作一小角度 i (0° 與 10° 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 .005.

i 角常曰射角(Angle of incidence); 射角減小,則壓力中心 (Center of pressure) C 即向前移,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無加速度,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:

$$R = W = .005V^2Ai. \quad (10)$$

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

皆必相等，而 V 則與 H 之平方根為正比(參照(10)式)。

上述之理論可以紙製之滑槽示之。試以紙對中摺，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。(參閱 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 H 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 ， H ， 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。

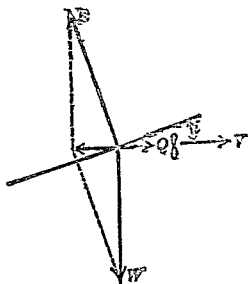


圖 83. 飛行中作用於飛機力

93. 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 釐之弧上,其他一擺則往返於 25 釐之弧上,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。

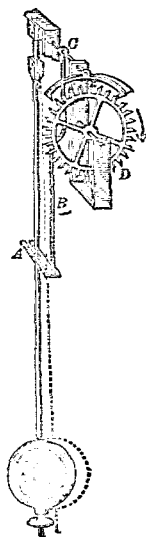
(3) 擺之週期與長之平方根爲正比。

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 $t = \pi \sqrt{l/g}$ 式內,即可求得高度精確之 g 之數值。公式由來,非初等計算所能詳,然此式則當用作 94 節中 g 值之訂正。

問 題

1. 如一物體自靜止出發,以 10 每分每分呎之等加速度進行。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,滾動一球,沿行冰面。因冰面之摩擦,每秒之速度減去每秒 2 呎之速度。問球可滾至

- 何處?可轉至何時?
- 一彈自有 2 呎長之鉛筒之鉛射出,得每秒 2400 呎之速度。試求 (a) 彈在鉛筒內之平均速度, (b) 彈通過鉛筒之時間, (c) 彈在筒內之加速度。
 - 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)
 - 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?
 - 一球自高 787 呎之樓落下,達地須幾秒?達地時速度爲何?
 - 由一飛機擲下之炸彈,經 10 秒始達地。機之高爲何?
 - 一彈自愛斐爾高塔 (Eiffel tower) 落下,塔爲 335 呎,其達地時速度爲何?
 - 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?
 - 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 $1/6$, 問此人在月球上能躍高幾何?
 - 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?
 - 自由落下物隨於前半秒所落之距離爲何?
 - 欲拋一物能使達 555 呎高,須以何速度擲上?由拋出以至復落於地,共須時若干?
 - 圖 84 所示爲一時鐘之擺,與鐘之擒縱輪 (Escapement) D 爲擒縱輪,兩鐘之重或彈簧



□ 84.

之力轉動如圖中之矢之方向。由轆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週速？

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，在紐約爲 99.3 週或 39.1 吋長，然在赤道下之秒擺，則爲 39 吋長，在兩極爲 39.2 吋長。試說明之。
19. 週期爲 3 秒，2 秒， $1/2$ 秒， $1/3$ 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，問其週期當爲若干？

牛頓之運動定律

99. 第一定律(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。(參觀旋轉羅盤，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. 遠心力

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(如例85)；機械之飛輪 (Flywheel) 有時竟致破裂地球赤道之直徑，大於兩極之

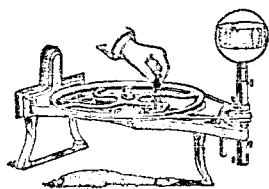


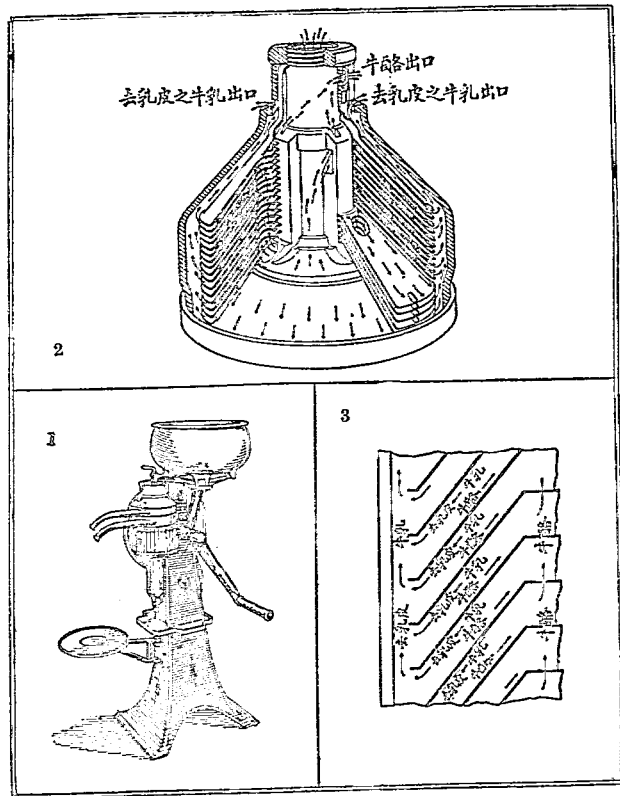
圖 85. 遠心力



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(1)

此圖為析乳器 (Cream Separator) 之構造，牛乳自中央盤內之圓板頂上之孔注入 (見 2)，此盤及板，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，沿板之下面 (見 3)，即折而向下，以出盆外。其輕部即如脂，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⁷)：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遠心力 (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，不必計算摩擦力之影響時，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; 一檣球如與他球相撞, 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, 均相等, 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 球所失之動量之和, 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。

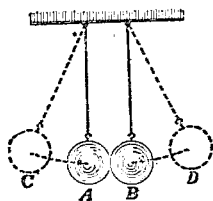


圖 85. 第三定律

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爲正確。

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,當爲地球,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,既因地面異,故爲科學上便利起見,用第二定律作爲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,爲地球對於質量 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

之動量，又因這為使 1 克之質量於 1 秒內得單位動量之力，故 1 克之力，與 981 達之力相等甚明。由是可知，達實為力之極小單位，約與地球對於立 1 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 每秒種。因 t 秒內此物體所得之全動量為 mv ，故每秒所得之動量為 $\frac{mv}{t}$ ；又因 1 達之力等於 1 秒間所生之動量，故

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

及因 $\frac{v}{t}$ 係每秒所增之速度，即為加速度 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 磅之質量之火車，經 30 秒後，車即得有 60 每秒種之速度，則其牽引之力，等於 $2,000,000,000 \times 60 / 30 = 4,000,000,000$ 達。欲將此力化為克敏，須以 980 除之；如欲化為磅，則須更以 1000 除之。故機關牽引車之力，等於 $4,000,000,000 / 980,000 = 4081$ 磅。

問 題

1. 鐘與柄離，則恒以柄之下端撞於石上，柄即固着於鐘上。其原理為何？
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

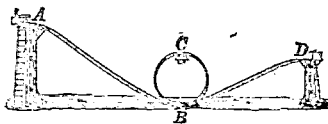


圖 87. 代輪迴線

後將名片驟然抽去，則銅圓仍在手指之上。其原理為何？

6. 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？

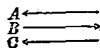


圖 88.

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. 何以軌道轉彎之處，必加以穩軌之鐵條？
11. 假使地球停止自轉，赤道上之物體之重量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，且起於力之作用方向，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。

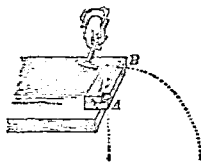


圖 89. 牛頓第二定律

16. 一子彈自鎗向水平方向射出，鎗在高 10.6 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) 為倍性定律之一實證。在 P 池中之水，因之可以昇入地面較 P 為

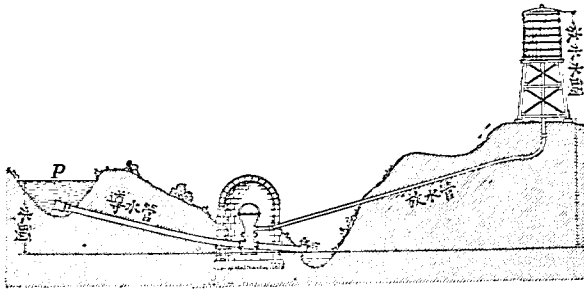


圖 90. 自動汲水機

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 瓣決不閉閉。試說明其作用。

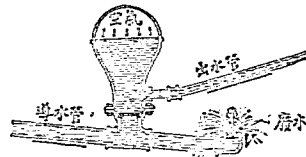


圖 91.

18. 如有兩人，同立於結冰之池面上，完全無摩擦方作用之中央點，須如何始能離開？如僅有一人，能離開否？
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？車停之動何以在馬蹄向後滑動之前？
21. 落下之物撞擊地面之力，何以較重力為大？

-
22. 以 1 達之力曳 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, 同一秒之末, 此物質共行距離若干?

第六章 分子力^①

固體之分子力 彈性

107. 韌性

固體分子間以強力結合，可於自然界上之簡單事實證之。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	銅, 43	鐵, 77
銀, 37	錫, 57	鋼, 91

103. 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，懸掛室頂，下端繫圓錐桿之一端

① 教授本章之前，須使生徒在實驗室內由簡單之變形，求胡克定律，見作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。

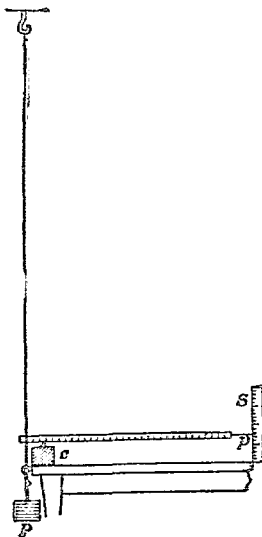


圖 92. 鋼絲之彈性

之他端插一磁針，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，然後逐次加入三克或四克之重量於盤內，每次察讀針指所指之度數，後更逐次撤去重量，同觀度數。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 (1651-1703) 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；他如鐵上所覆之錄磚上所着之灰泥，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，鉛鋼則否。

兩物質之相對延性 (Relative ductility)，以孰能延成

更細之線定之鉛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. 鐵或鋼之碎斷者,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,膠之作用為何?
4. 製彈簧時,用鋼勝於用鋁,其故何在?
5. 某線須以某重方可引斷,如兩線並懸,則須若干重方能引斷?如其直徑爲兩倍時,則又可知?

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。

試用火漆將玻璃管於玻璃板上,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,與玻璃板密下,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離，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。

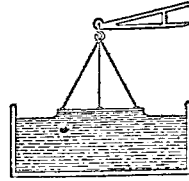


圖 93. 水之凝聚力

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：

加細網於水，使其很端正可使一筒之機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灼邊，則焰必傾斜，因收縮後，泡內空氣被迫出管外故也。

再試以如德之圖，鑿於鐵板，如圖 95，浸入肥皂液內，使鐵

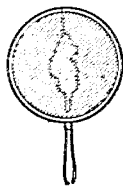


圖 95.

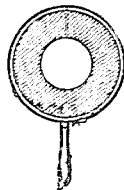


圖 96.

肥皂液之收縮

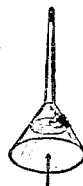


圖 97.

覆上張薄膜一層；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。

液體恆欲成為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)。

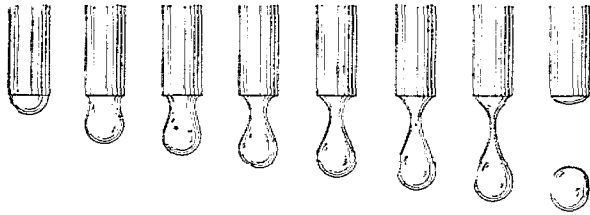


圖 98. 緩成之滴所經之各種階級

圖98所示，即表此膜之彈性，為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毫米次減至1毫米，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，以細管爲最低(如圖 100 (1))。其低降之狀，以 U 管試之，尤易觀察，如圖 100 (2)。



圖 99. 微管內液面之上升

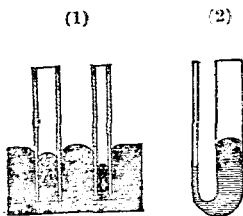


圖 100. 微管內水銀之降下

由此試驗，可得下列定律。

1. 液能沾濡微管者則上昇，不能沾濡者則下降。
2. 上昇下降之度，皆與管之直徑爲反比。

凡上昇之液，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 101），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。

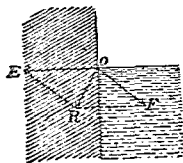


圖 101.

近壁液體上昇之條件

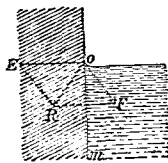


圖 102.

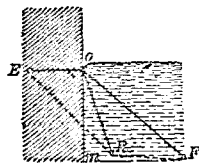


圖 103.

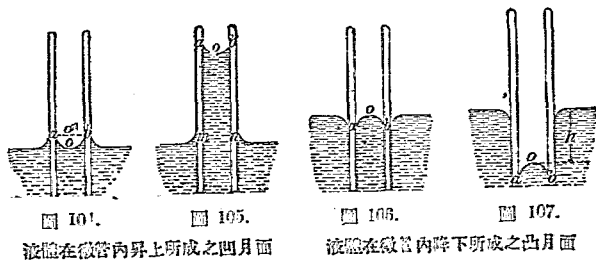
近壁液體下降之條件

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 acb (圖 104) 即因表面張力作用有伸成爲 $a'b$ 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 $amvcb$ (圖 105) 之重量，與 acb 面欲伸直之張力，恰相平衡乃止。在細管內之液體之昇高較在粗管內尤甚，因細管內之液柱體積較輕故也。



又水銀之凸面 acb (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 acb 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，牆角一角浸水，全塊皆潤，吸水紙之吸收墨水，凡此種種，皆與吾人自圖 104 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. 針筆尖，睫毛刷，煙心，海綿等之微管現象，其作用何

- 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. 將玻璃尖片在本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爲合體?試說明之。
 5. 取火柴二,浮於水上,使其相距約 1 吋,更取熱銅絲觸火柴間之水面,兩火柴卽自相離開,此現象所示之表面張力,與溫度之關係爲何?
 6. 試更以蘸有酒精之繅綢水面試之,說明酒精與水之表面張力爲何種關係。
 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,以大塊置於基下,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,由何方可以復返?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

試取硝糖水加熱,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,管內水銀卽上昇,如圖 111。其故何在?



麥克斯惠爾

(James Clerk-Maxwell 1831-1894)

7

最大之數理物理學者之一；生於蘇格蘭之愛丁堡；為亞伯汀地方之馬里夏大學自然哲學教授(1856)；為倫敦之王家大學之物理學及天文學教授(1860)；又為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，為功業最著之一人；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 1857-1894)

德國最著名之物理學者之一人，雖早死於三十七歲，然其供獻於物理學者，業已不少，發見麥克斯惠爾預言之電磁波，為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，塹壕中若爲此種毒氣所充滿，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

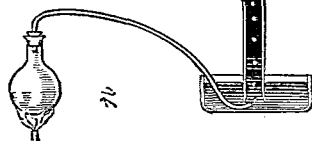


圖 110. 使管內充滿酒精

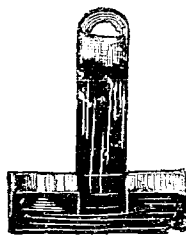


圖 111. 炭吸收酒精

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

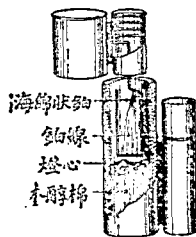


圖 112. 酒精點火器

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 厘米時，1 立方厘米之水，可吸收 1050 立方厘米之酒精，或吸收 1.8 立方厘米之二氧化碳，或吸收 0.04 立方厘米之氧。市上所售之酒精水，即酒精之水溶液也。

下列之實驗，為示水之吸收酒精之方法。

如圖 113 之裝置，用一 F 瓶及與之相通之 b 管。另自 a 管將酒精送入 F 瓶中，經由 b 管而出。然後將 a 管之活栓閉開，將 b 管插入下瓶之 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。酒精殺水吸收後, 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, 因石蕊受酒精之作用故也。

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。

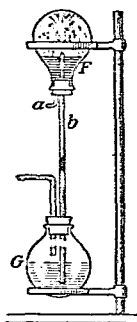


圖 113. 水吸收酒精

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)。

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?

第七章 功及機械能

功之定義及其計量

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,一爲克種,一爲尅種 (Kilogram meter), 即謂 1 克種爲以 1 克之力作用於物體,使其作用點移動 1 種之功; 1 尅種爲 1 尅之力作用於物體,使其作用點移動 1 種之功。有時且有用克種 (Gram meter) 爲單位者。

在英制,力之單位爲磅,故功之單位爲呎磅 (Foot pound), 即謂 1 呎磅爲以 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,故功之單位爲達種,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 種之功。如將 1 新之水,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 (1818-1889) 得名。故將 1 新之水,舉高 1 呎之功,當爲 9.8 朱。

問 題

1. 與一重 120 磅之箱,須 40 磅之力,將此箱舉至 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 磅之力削 4 呎長之木,其所作之功若干?
3. 華氏山高 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，試用瓦特之單位表其所作之功 (1 十進噸=1000 磅)
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，問此機每日所作之功爲若干？

滑輪所耗及其所成之功

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，所加入之功即 $E \times s$ ，與在 R 處所完成之功即 $R \times s'$ ，則因 $R=E$ ， $s=s'$ ，得

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

即用單定滑輪時，作用力 E (即發動力) 所成之功，與抵抗力所成之功相等，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，荷無摩擦力作用，必等於 R 之半。試觀彈簧秤上之刻度，必確指此數。

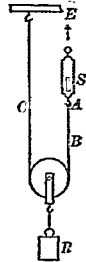


圖 115. 單動滑輪

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 上昇 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 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;由此兩數求出其平均值,以作此時之發動力 E ,即可將摩擦作用之

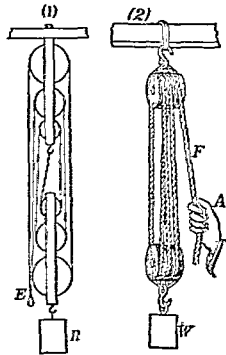


圖 116. 複滑輪

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 上昇 1 吋,各繩均須縮短 1 吋,故 A 點總須運動 n 吋;即 $s' = \frac{n}{1}$ 。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 所完全之功相等。

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

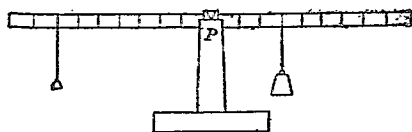
1. 單定滑輪之機械利率雖僅等於 1, 然而升機, 汲水等多用之, 其故安在?

2. 如圖 14 之水壓升降機所載之重量為 2000 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. 試給出一種複滑輪,可用 50 磅之力以支持 200 磅之重量。
4. 試給出一種複滑輪,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,假使並無摩擦方作用,則此兩人須曳繩若干呎,始能使重量升高 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 P 是。



□ 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 厘米處懸一物,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 厘米之處,由是可知 300×15 與 100×45 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 磅之處,故 300×15 與 150×30 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

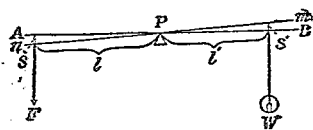


圖 118. 槓桿定律,即 $El = Rl'$

及 l' 為自支點至力之作

用線之垂直距離,通常稱曰槓桿之臂 (Lever arm), 或曰力臂 (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

$$El = l'R. \quad (4)$$

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, 此時平衡之條件當爲

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

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

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 之槓桿，用一彈簧秤以支持

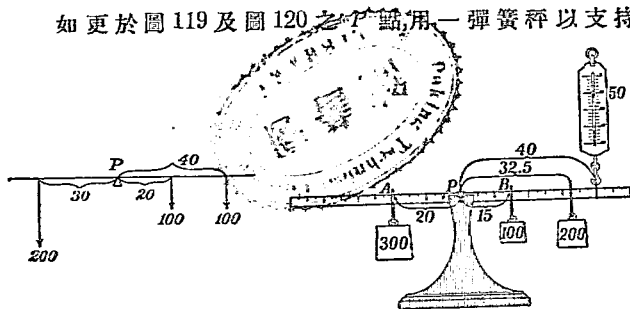


圖 119.

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而外，其一為 $200 + 100 = 400$ ，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

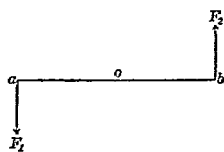


圖 121. 偶力

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(4)式，即表槓桿定律之式，可以改書為 $E/R = s'/s$ ，又可改爲

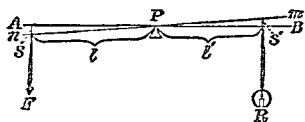


圖 122. 力矩方程式 $El = Rl'$ 與 $Es = Rs'$ 同等之證明

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

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. 槓桿之三類

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或大於 1 或小

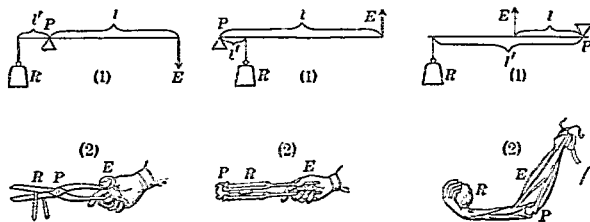


圖 123. 第一種槓桿 圖 124. 第二種槓桿 圖 125. 第三種槓桿

於 1, 視發動力之臂 l 或大於抵抗之臂 l' , 或等於 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

- 下列各物為何種槓桿?
(1)一輪車;(2)盤秤外國糧食店用以稱物者);
(3)鐵錘;(4)糖鉸;(5)拔釘錘;(6)唧筒之柄。
- 試說明圖 126 所示之秤桿之原理。如於距支點 O 長 20 釐之距離之鈞上,懸重 10 鈞之物時,可將秤錘 P 置於與支點 O 相距 40 釐之處,即可成平衡。問 P 之重為若干?
- 如已知本身之重量,用一鐵板或所用之板及一尺棒,欲求他人之重量,其法為何?
- 用一鐵錘擄倒重物,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?
- 鐵匠所用之剪,柄長而口短,鐵錘所用者恰反是,其故安在?
- 試用方矩說明下舉各問題:
(a)開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為易,其故安在?
(c)長柄之錘,其錘面必較短柄者為小,其故安在?

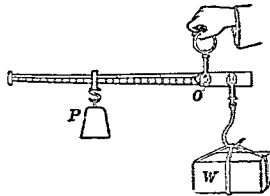


圖 126. 秤

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，問各人所支之重若干？
(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 呎長之鋼琴，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. 以棒肩重物，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 磅時，瓣上平

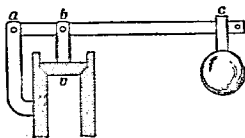


圖 127

- 實效蒸汽壓力，方能將此瓣推開？
12. 設有水壓機，其活塞及圓筒之直徑為 3 吋及 30 吋，活塞之桿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，作蹺板戲，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。如另以一人在支上右方 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.當輪轉動一周繩上之 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 $Es = Rs'$ 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

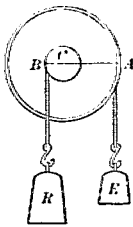


圖 128. 輪軸

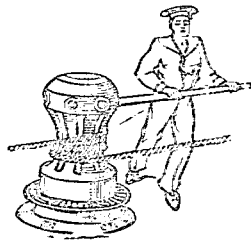


圖 129. 拔錨機

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 W , 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。

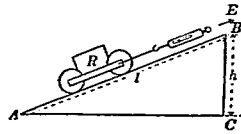


圖 130. 斜面

133. 螺旋

螺旋 (Screw, 圖 131) 為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 為臂長,則功之原理示

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

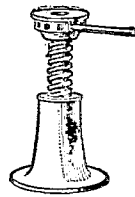


圖 131. 螺旋起重機

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

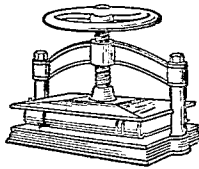


圖 132. 壓紙機

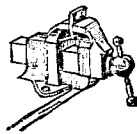


圖 133. 螺旋鉗

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 134, 試由功原理, 即 $Eh = Rr'$, 證明此種裝置之機械利率, 即 $\frac{R}{E}$, 等於

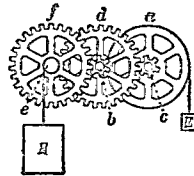


圖 134. 連動齒輪

$$\frac{a\text{之圓周}}{e\text{之圓周}} \times \frac{d\text{之齒數}}{c\text{之齒數}} \times \frac{f\text{之齒數}}{b\text{之齒數}} \quad (8)$$

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:

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

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。

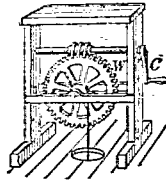


圖 135. 螺旋齒輪

141. 差動滑輪

如圖 136 所示, 爲差動滑輪 (Differential pulley), 用一連續不斷之繩, 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。各滑輪之繩上, 皆有突出之物, 使繩恰可嵌入其中, 不致滑動。試如圖中 2) 所示, 於 B 處將繩與下, 至上面之定滑輪轉動一周爲止, 則繩昇上之距離, 當等於 A 之圓周, 而一繩降下之距離, 則等於 B 之圓周, 故定滑輪與下面動滑輪同之繩之距離所縮短之量, 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。

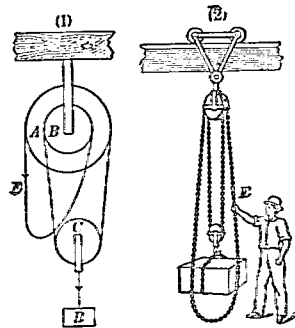


圖 136. 差動滑輪

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?

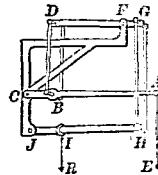


圖 137. 複槓桿

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_0 及 F'_0 之長為 6 吋, FE 及 $F'E$ 為 5 呎, F''_0 為 1 呎, F'''_0 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?

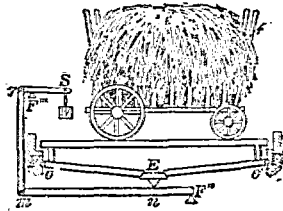


圖 138. 乾草秤

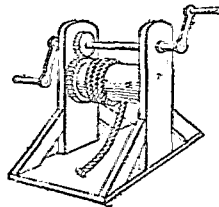


圖 139. 捲上機

7. 如圖 139 所示之捲上機,其柄臂長 2 呎,柱之直徑為

- 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, 捲鏈之輪之半徑為 10 呎,此器之機械利率為若干?

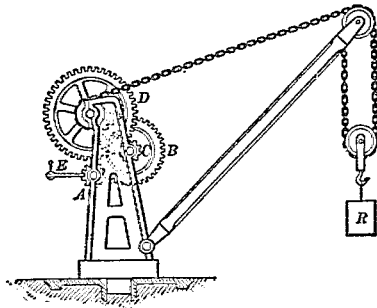


圖 140. 起重機

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, 每一吋內有螺絲 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, 每一吋之內有螺絲 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 $1\frac{1}{4}$ 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 $1/4$ 吋, 所得者究為何物?

試舉家用中之物二三種，其機械效率皆小於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

$$P = \frac{W}{t}. \quad (10)$$

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

率則約為 $\frac{1}{2}$ 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。

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 鉤上，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 1 之位置提昇至 2 之位置，須費 1 瓦呎 (100,000 克呎，即 98,000,000 厄) 之功，但既昇至 2 之位置之後， A 自

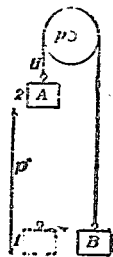
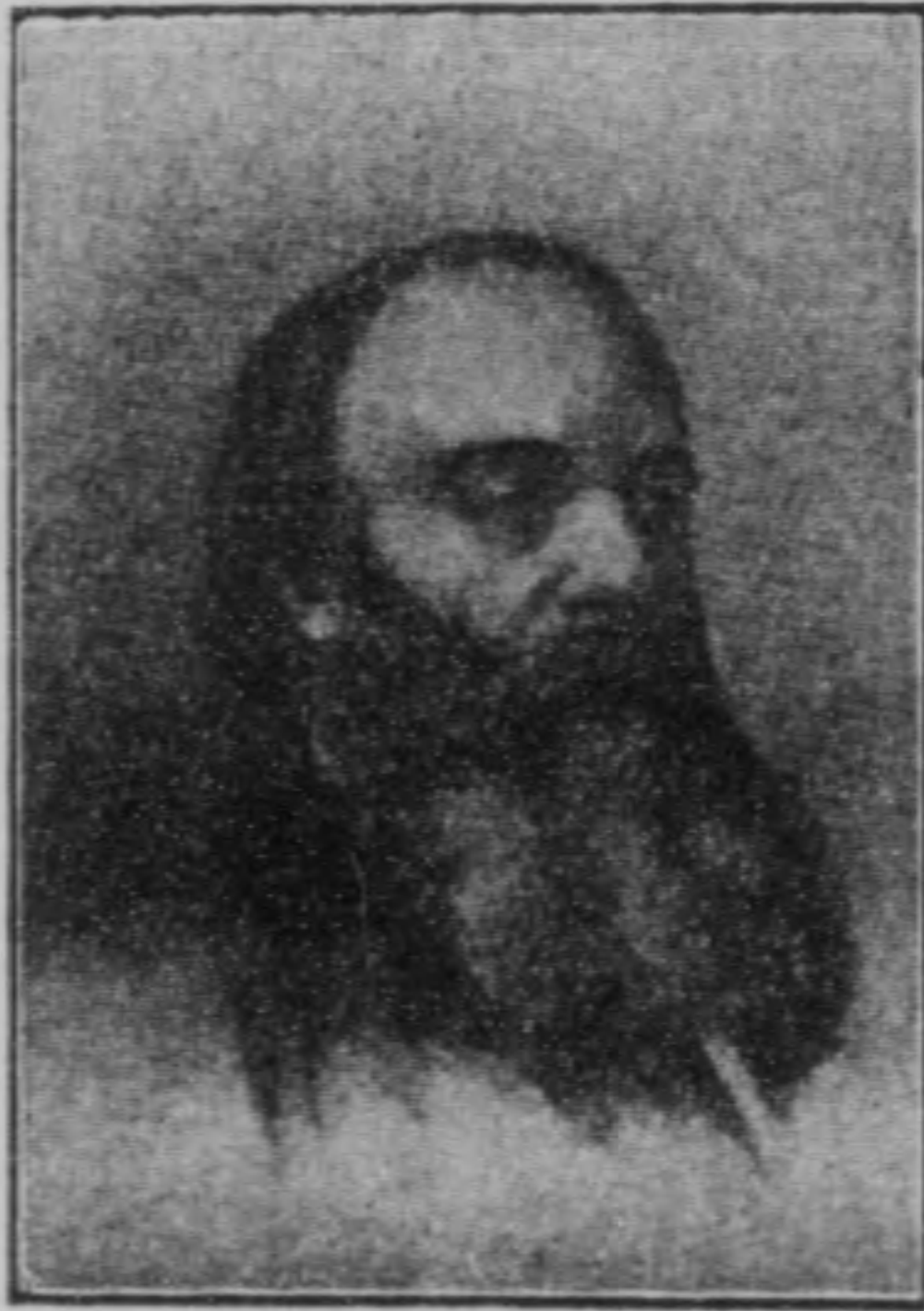


圖 141. 功



朱 爾

(James Prescott Joule) (1818-1889)

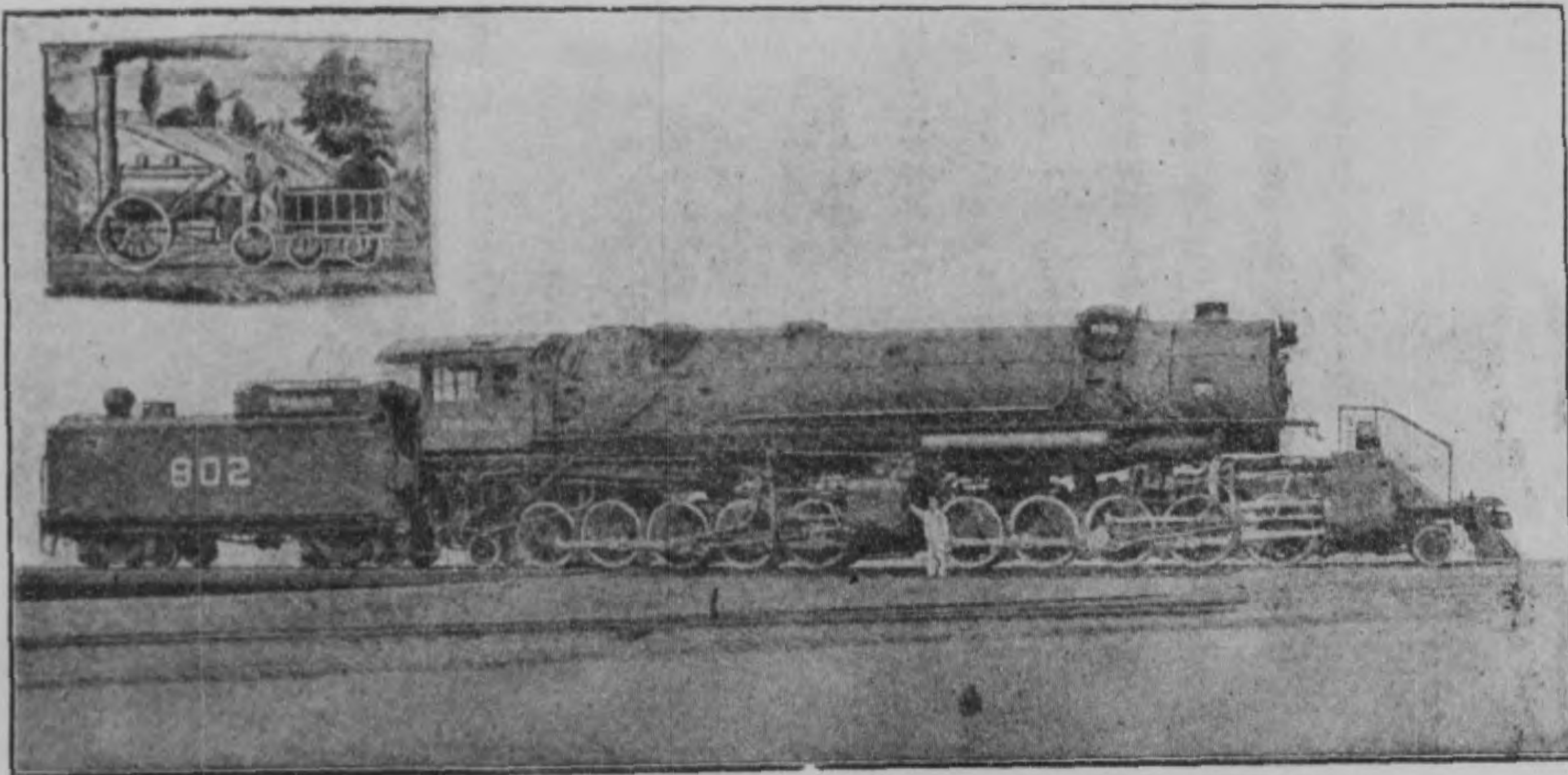
英之物理學家，生於曼徹斯特；爲創立能常住學說最著名之人；習化學於道爾頓，深得其趣；父爲曼徹斯特之酒商，富有資產，爲之特設一實驗室於其家中；大多數之實驗皆於其內或酒廠內成之；發見電流之熱之定律；與克爾文協力研出氣體之熱學性質，爲研究中創一新紀元；對於磁學亦有重要之貢獻；用實驗證明各態之能爲同一之物之第一人



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。執近新工業之紀元，實以瓦爲起點



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 4 $\frac{1}{2}$ 噸,因掛一可容三十人之車,以每秒 26 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克涅塔狄(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；蓋如用微力， A 即自行落下以返 I 之位置，同時即將他端 B 提高 I 尺，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

例擺之振動，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，所須之功之克裡數，等於球重之克數乘距離 AD 之裡數；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

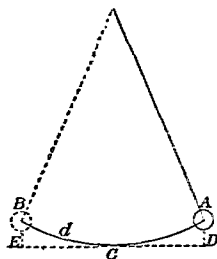


圖 142. 勢能及動能之變遷

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,且須勝過其慣性,因須昇與速度故也。昇物體以速度,即勝過其慣性之功,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 種,物體之重為 M 克,則

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

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，若不用克種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，故當此質量達於木椿上時所有之動能，亦必為 Mgh 厄。

若不用物體落下之距離 h ，而用其達於木椿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 種之速度射出時，則其

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

因 1 克種等於 989 厄，故此砲彈之動能為 $\frac{5,000,000,000}{989} =$

5,102,000 克種，或 51.02 莊奴。

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

一般若以克表 M ，以每秒種表 v ，則動能 = $\frac{Mv^2}{2 \times 989}$ 克種；

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

問 題

1. 一段炸藥可作多量之功,當其未爆發以前,其能為勢能抑或動能?
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,試說明其作用。
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 $1\frac{1}{2}$ 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81哩之速度飛行,其推進器將空氣推向後退之力為若干磅?
9. 如鉛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,墜入黏泥內2吋深處。如自4呎之高處落下時,可墜入泥內若干吋?
11. 將摩擦略去不計,於每長100呎,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,若將冰塊或少許之鹽,置於瓶底以冷之,則水即由 m 處上昇。

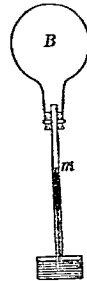


圖 143. 空氣因熱而膨脹

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。

其次取將溶之雪或冰,圍於球部周圍,如圖 144. 此



圖 144. 定冰點法

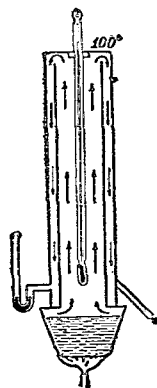


圖 145. 定沸點法

時水銀面所在之處,刻一線記作 0°,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° 將此兩線間之管上部分，分作 100 等分，各刻一線，並於 100° 以上 0° 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，恰為由溶冰之溫度昇至 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，其冰溶之溫度不為 0° 而為 32° ；沸水之溫度，不為 100° 而為 212° 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° ，與華氏計上之 180° ，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

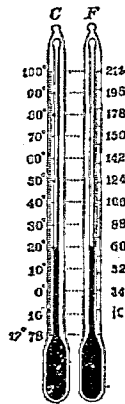


圖 146. 百度計與華氏計

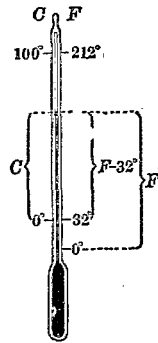


圖 147. 攝氏分度與華氏分度之比較

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

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

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°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°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°C . 時始能凝固故也。又水銀之沸點 (Boiling point) 爲 360°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，成爲完全真空。然後用棉水圍繞 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 內氣體飽全被熱至水蒸汽之溫度後，須精確調整 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°C ， F 即 100°C 。此兩點間之垂直距離，分作 100 等分， 0°C 以下， 100°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 $1/273$ 。

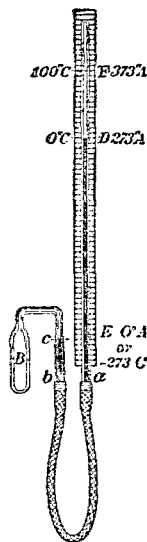
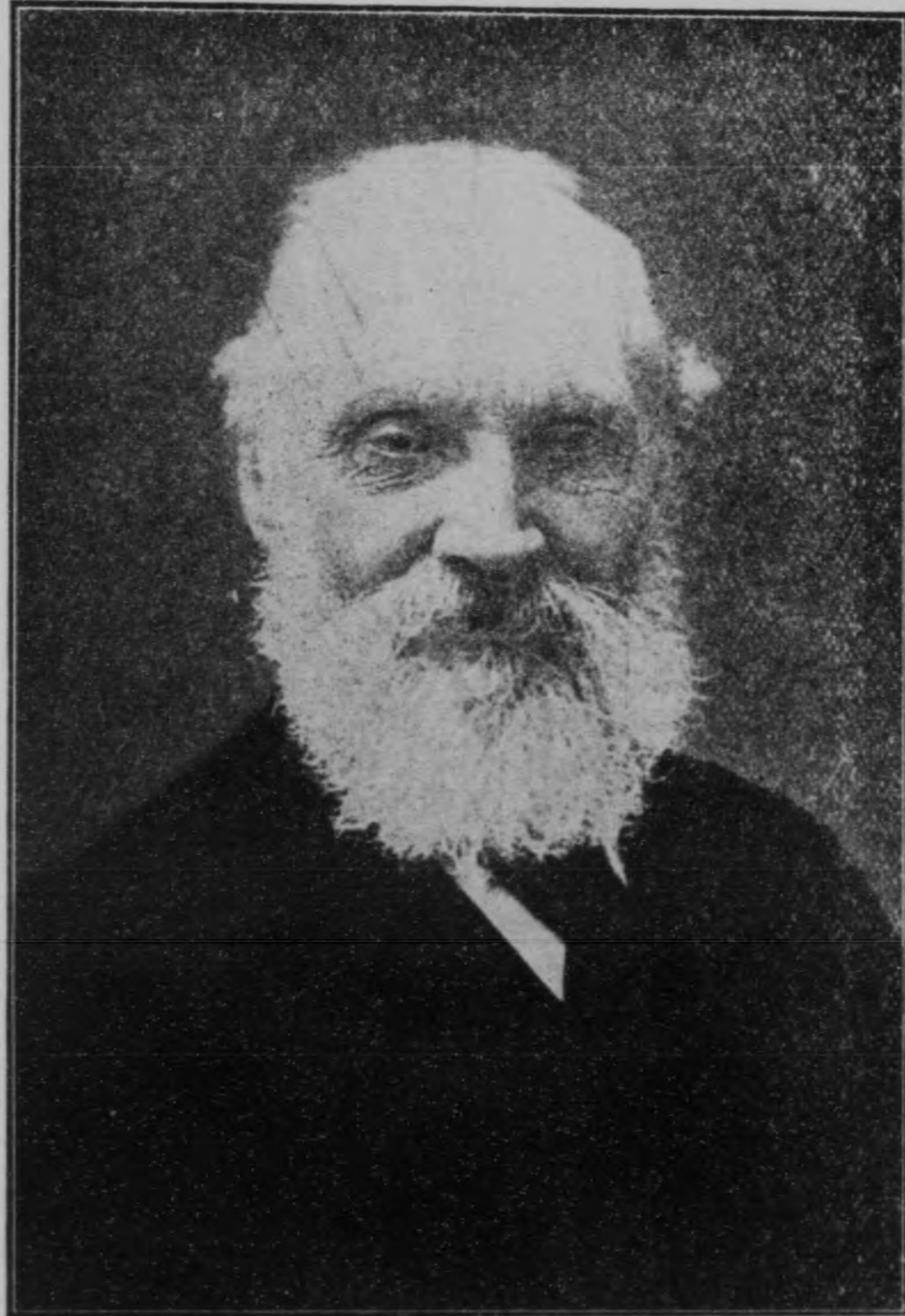


圖 148. 標準氣體溫度計

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

160. 絕對溫度

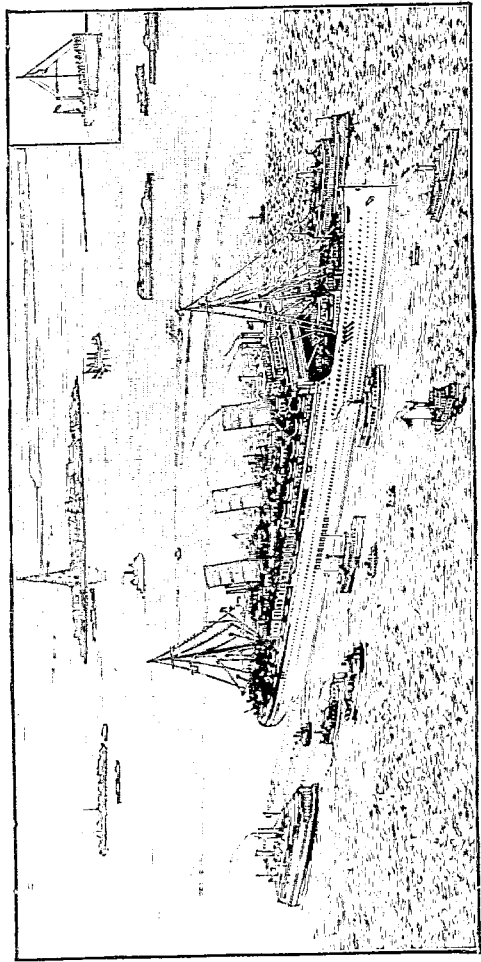
由前節所述，氫降下 1°C ，即將其 0°C 時之壓力減



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) 與世界第一大維外利阿坦 (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需之船，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°C . 下 273° , 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 $0^{\circ}\text{C}. = 273^{\circ}\text{A}.$, $100^{\circ}\text{C}. = 373^{\circ}\text{A}.$, $15^{\circ}\text{C}. = 288^{\circ}\text{A}.$, 餘倣此通常習慣, 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° 及 100° 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° 與 10° 之間, 其差皆在 2° 以下, 唯至 $300^{\circ}\text{C}.$, 其差竟達 4° . (實際上, 即在水銀沸點, 即 $360^{\circ}\text{C}.$, 以上之溫度, 亦僅用水銀溫度計以測之, 惟須將鏡充於管內, 利用氫之壓力, 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, 惟最近進步, 漸次接近之而已. 在四十年前所能測得之最低溫度為 $-110^{\circ}\text{C}.$, 係法拉第 (Faraday) 於 1845 年, 使薩與固體 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°C 。如令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°C 。最近氫亦可液化，其溫度為 -243°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°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°C 之溫度，在絕對零度上僅 1.7° 而已(見217節)。

問 題

1. 試言 0°C 及 100°C 之定義。 1°C 及 1°F 為何意?
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. 平常室內溫度為 68°F ，為攝氏若干度?
4. 平常人體之體溫為 98.6°F ，為攝氏若干度?
5. 與 0°F 相當之攝氏溫度為若干?
6. 水銀凝結之溫度為 -40°F ，為攝氏若干度?
7. 液體空氣之溫度為 -190°C ，為華氏若干度?
8. 由蒸發液體氫所能達之最低溫度為 -271.3°C ，為攝氏若干度?
9. 絕對零度為華氏若干度?
10. 醫生所用之體溫計，其下端為一圓柱形，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° 與 100° 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°C .與 100°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°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°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^①

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

六量中如有五量為已知數,其餘一量即可由此式求出.

①如學生尚不明白,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 $\frac{D_1}{D_2} = \frac{v_1}{v_2}$.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 $\frac{D_1}{D_2} = \frac{4t_1}{4t_2}$.

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°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°C .時,其容積為20立方呎,如其壓力不變而欲使其容積成為30立方呎,問其溫度當為若干?
4. 如在 10°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 50°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30頁.)若此空氣之溫度自 15°C .變為 100°C .,而壓力不變,其容積又當若何?
6. 在半呎之氣球內,空氣所占之容積為10,000呎,溫度為 15°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°C .時,其容積當為若干?

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:

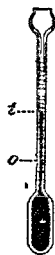
- (1) 液體之膨脹係數,其值遠小於氣體之膨脹係數.
- (2) 種類不同之液體,其膨脹程度各不相同;例如酒精之膨脹係數在 0° 與 10°C . 間時為 0.0011; 醚則為 0.0015; 石油則為 0.0009; 水銀則為 0.000181 .

(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° 與 60°C . 間測出之酒精膨脹係數,當為 0.0013, 與在 0° 與 10°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. 然後使溫度升高一定度數,觀察管內



□ 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°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°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°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°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°C 即止，故實際上一切未結冰之水，雖在嚴寒，其溫度皆為 4°C 。僅與冰相接近之一部分，其溫度有在 4°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。火車軌道之唧接處，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）。

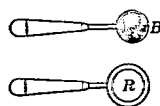


圖 150. 固體之膨脹

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° 時之長， l_2 表其在 t_2° 時之長，以 α

表線膨脹係數,則可用下列之方程式作其定義:

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

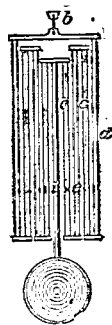
通常各種物質之線膨脹係數如下表:

鋁	.000028	金	.000014	銀	.000018
黃銅	.000019	鐵	.000012	鋼	.000013
銅	.000017	鉛	.000029	錫	.000023
玻璃	.000009	鎢	.000009	鋅	.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;他組因膨脹結果,使錘降下,兩者恰足



□ 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。

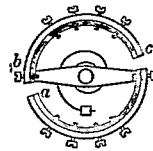


圖 152. 抵償擺輪

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。若將棒端置於本生燈上燒之，使兩片金屬

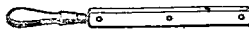


圖 153.



圖 154.

金屬之不等膨脹

皆受同量之熱，則棒即生高曲，成為圖 154 所示之形狀，其膨脹較速之金屬，即黃銅，在曲線之外緣。如將此曲棒置入冷水中，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。

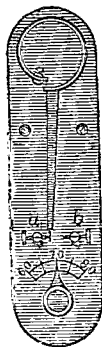


圖 155. 恆溫器

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°C ., 而湖面之水溫,則由 0°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?
- 通常多用水銀柱作溫度計,如圖 156。試說明其理由。
- 照布魯克林橋 (Brooklyn Bridge) 之鋼繩,長一哩以上。由冬日之氣溫 -2°C ., 以至夏日之氣溫 3°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°C .. 時恰長 100 呎, 問 0°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°C .. 時可容 100 立方吋。假定玻璃之體膨脹係數為 .000025, 問 40°C .. 時,此瓶可容若干立方吋?



圖 156. 水銀溫度計

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 上繞有一細線 t , 試述其作用。

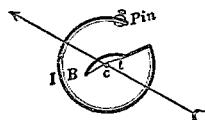


圖 157. 時計式溫度計

9. 有時將熱水注在玻璃瓶頸, 即易將瓶栓拔去, 試言其故。
10. 設有一金屬棒, 長 230 釐, 溫度由 0°C . 昇至 100°C . 時, 膨脹 2.75 釐, 求線膨脹係數。
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, 如爲鐵管, 每長 200 呎加上述之結合一個, 溫度之變化範圍在 -30°C . 與 125°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

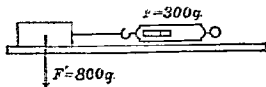
前第七章所述之各種實驗,皆曾鄭重申言其摩擦 (Friction) 作用可以略去不計,此一條件果能滿足,則凡百實驗之結果,皆可以下言概括之:作用力所成之功,恒與貯蓄之動勢兩能之和相等。

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

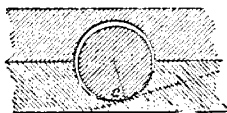
圖 158. F 與 F' 之比為摩擦係數

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

(1)



(2)

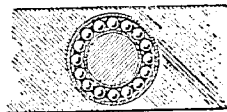


圖 159. 軸承之摩擦

(1) 普通軸承 (2) 球軸承

動摩擦之 $1/100$ ，是則用一磅之引力可與動 50 磅之車，然尋常車輪，不能全無滑動摩擦，蓋輪與沿軌道進行，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 161，其自由輪之齒輪 (Free wheel ratchet)，如圖 161'， a, b 等為掣齒 (Pawl)，可使後輪繼續轉動，而踏板及鏈輪 (Chain wheel) 若停止不動，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。

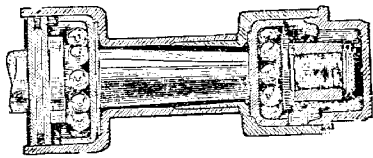


圖 160. 腳踏車之踏板

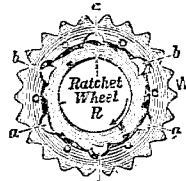


圖 161. 自由輪之棘齒輪

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。而耶那德航線 (Cunard Line) 之摩里達尼亞 (Mauretania) 船載重 32,500 噸，速度為 25 海里，則需用 7,000 馬力。

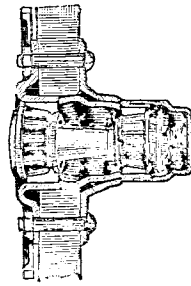


圖 162. 汽車前輪之滾子軸承

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，較兩岸近碼頭為速，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？不傾處又在何處？
 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 1×8 之面，與冰接觸；(2) 如以 10×3 之面，與冰接觸；(3) 如以 8×3 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)。

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

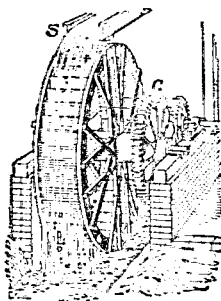
設用圖116之滑輪，欲將 B 處所加之240克重，緩緩提起，須加50克重於 A 處， B 經過一裡之距離時，50克重所成之功為 50×1 克裡，其所完成之有用功，等於 $24 \times 1/6$ 克裡，故其效率等於 $\frac{240 \times \frac{1}{6}}{50 \times 1} = \frac{4}{5} = 80\%$ 。

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134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. 上環水車之效率

上環水車(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。



□ 163. 上環水車

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，由軸線濺出，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。水剛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

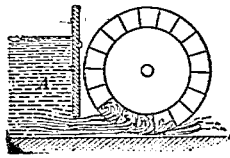


圖 164. 下擊水車

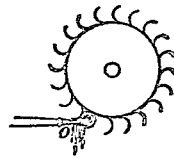


圖 165. 拍爾吞水車

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，全置裝在輪井（Turbine pit）底之水內，能在水平面內轉動。圖166為耐亞哩拉（Niagara）地方所裝之水臥輪。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,示水由導葉冲輪之狀,發水由輪葉落下,以入放水渠
 T(圖166)。P桿爲節制水量之器,可隨意轉動,以增減G間之相
 門(圖167,(2))。每秒施於臥輪上之能,爲流水量與輪井高之相

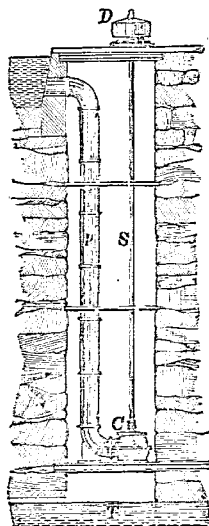


圖 166. 已裝置
 之臥輪

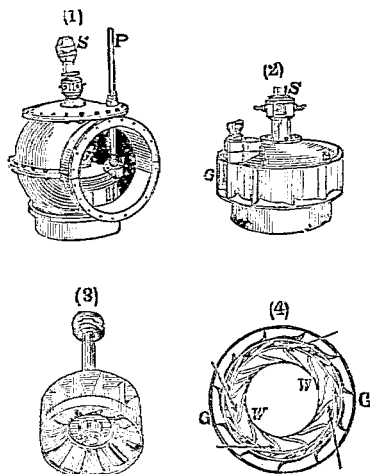


圖 167. 臥輪 (1)外箱 (2)內箱
 (3)旋動部分 (4)斷面

乘積,效率甚大,有時可達90%。現時最大之臥輪爲割澤散動力公司(Puget Sound Power Co.),其水頭爲101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. 某螺旋以12磅之力進行5呎,始能將重25磅之物
 擡舉高2呎,其效率爲何?

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. 前區之效率設為65%，則滑輪之力須幾何？
7. 耐亞 囉拉 輪井，深為136呎，平均馬力為500，效率為85%，問每輪每分放水之量為何？

熱之功當量^①

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) 及蓋福德伯爵 (Count Rumford)，蓋因彼見鑽

^① 須先授混合定律之實驗，然後再授此章始領，且須與此說，並當量實驗同時授之。詳著者之實驗書中18, 19, 20諸節。

曝孔時，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°C . 之熱量，稱為1卡 (Calorie)；
使一磅之水增高溫度 1°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°C .，即水得400卡之熱；100克水，溫度減低 10°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。若用藍福德之見解，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

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。

朱爾之第一試驗為風輪(Paddle wheel)，藉 W 重錘落下之力，旋轉於水中(圖 168)。電力對於重錘所作之功，等於重錘落下距離 h ，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風輪運動之抵抗，即全耗於水之渦流(Eddy current)。朱爾於其多敬試驗之中，取最確之結果三次，求其平均，知須有427克積之水，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，得之為熱之機械當量(Mechanical equivalent of heat)。其後朱爾復以水銀代水，得值為425克積。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克積。

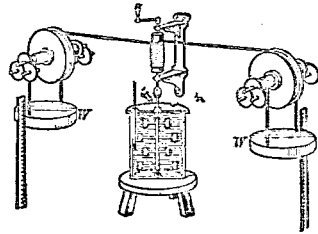
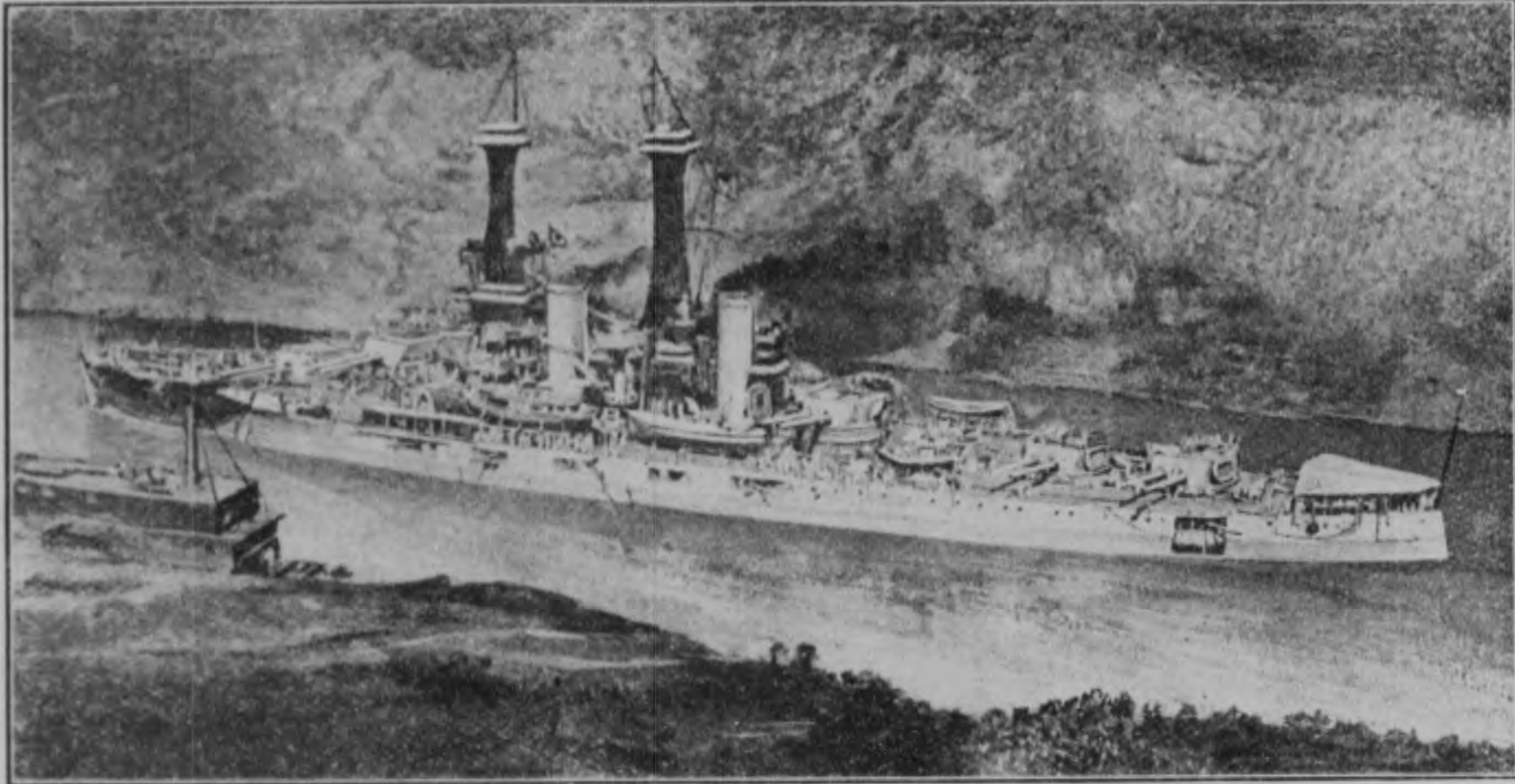


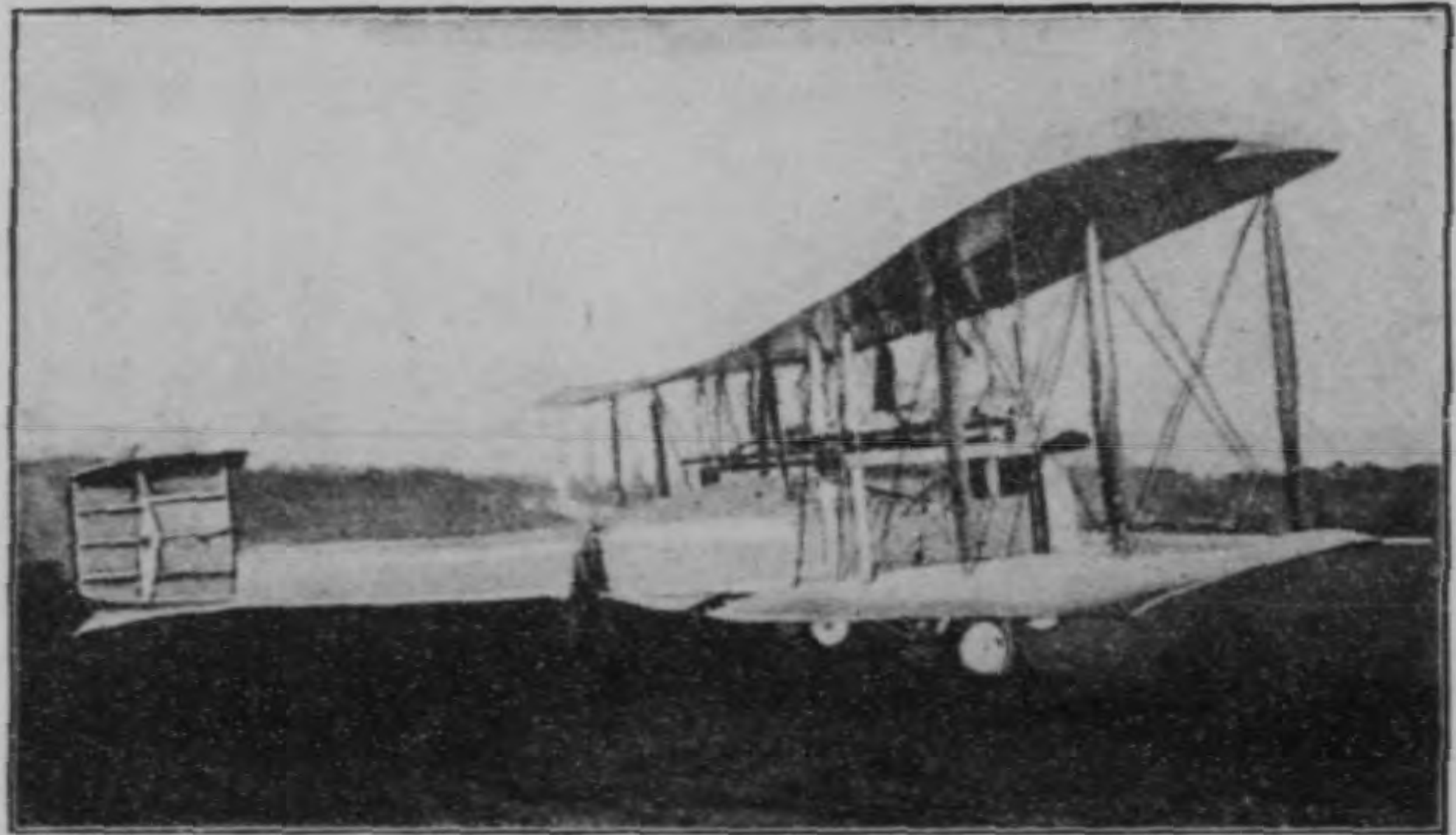
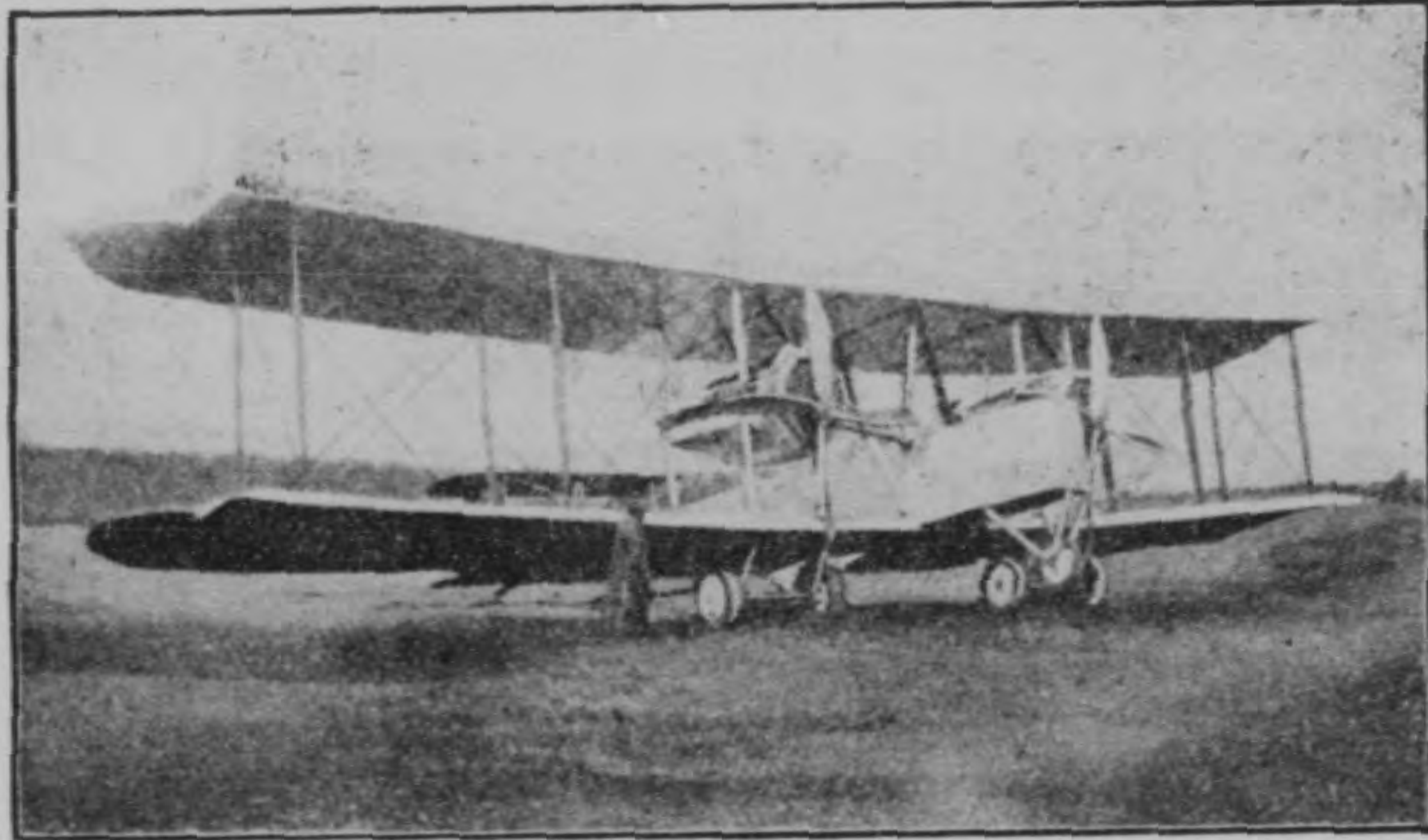
圖 168. 朱爾之熱當量之最初試驗



美國無畏艦通過巴拿馬間之狀

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 吋徑大炮 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 吋徑大炮之一彈所有之能，與小鎗 60,000 支一齊射出時之能相等。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, 至愛爾蘭之克立夫頓 (Clifden), 共行 1890 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 馬力之洛爾斯魯斯發動機 (Rolls-Royce motor) 二架, 攜帶 865 加侖之汽油。由維爾科克上校 (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)。其法用銅體圓柱，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 克呾之能。

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彈而去。如揮棒以迎球，則其反彈速度，必大過於前。故運動之分子，與下降中之活塞相衝突，其彈回之速度，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，圖二七

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 (4.19×10^7 厄)。一般作 42,000,000 厄。英國熱單位之機械當量，則為 788 呖磅。

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)，例如耐亞夏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，佈道大陸，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 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 1/1,000。地球上人類所能應用之能實際上不能逾此限也。

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°C .熱至 100°C .,需若干英國熱單位之熱?
6. $2\frac{1}{2}$ 加侖(=20磅)之水,自 68°F .熱至 212°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;取鋁絲100克,裝入第三試管,並置於水桶中,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。將鉛彈傾入第一杯內,加以攪拌,然後細察所增之溫度,再將各質依法嘗試,則見鉛所增之溫度爲鐵二倍,鐵所增之溫度爲鋁三倍。此三質既涼至同一溫度,可知鉛放出之熱,較鋁質必多六倍,即每1克之鉛,溫度降下 1°C .時,所放出之熱,等於每一克之鋁溫度降下 1°C .時所放出之熱之卡數之6倍。

各物質其一克質量之溫度昇降 1°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°C ,水之初溫爲 19.7°C ,混合後彈與水之溫度同爲 22°C 。因 100 克水之溫度升高 $22^{\circ}-19.7^{\circ}=2.3^{\circ}$,可知水得之熱爲 230 卡。又因彈丸之溫度降下 $95^{\circ}-22^{\circ}=73^{\circ}$,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

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

$$\text{或} \quad x = .0315.$$

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	錫	.0315

銅	.095	水銀	.0333
玻璃	.2	鉛	.032
金	.0316	鋁	.0568
冰	.504	鋅	.0935

問 題

1. 一桶之溫水傾入雪堆,所熔之雪比一杯之沸水所能熔者尤多,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 30°C . 熱至 130°C ., 熨斗重 3 斤,需熱若干卡?
5. 6 磅之鐵熨斗,自 75°F . 熱至 255°F . 時,需若干英國熱單位?
6. 95°C . 之水銀 100 克與 15°C . 之水 100 克相和,其結果為 17.6°C ., 水銀之比熱為何?
7. 80°C . 之水 100 克與 10°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°C . 之鋁 400 克置於 20°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°F . 熱至 212°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,試求此壺之效率。
10. 子彈以每秒 1000 呎 ($=3048$ 呎) 之速度射中不可入之目標,假定所生之全熱悉用以熱彈,則其溫度之增加為何?

第十章 狀態變化

熔解^①

192. 熔解熱.

冬季嚴寒之日，溫度低於 0°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°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°C . 之冰與 0°C . 之水，溫度既等，則由上之實驗，可知冰溶為水時所受之熱能，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凝固點之冷卻曲線，更繼之以冰之熔解熱之測定，例如著者之實驗書中 12, 22 之諸實驗。

93. 冰之熔解熱之數值.

以火燄熔解一定量之雪,所需之時間,適爲此燄使同量之雪液之溫度增高 1°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°C . 之水 500 克內,如冰熔盡時,混合物之溫度爲 15°C . 由水放出之熱量爲 $500 \times (40 - 15) = 12,500$ 卡.然此冰塊於 0°C . 熔解後,由 0°C . 熱至 15°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,應爲 $\frac{10,535}{131} = 80.4$ 卡.

用代數式表之,設 x 爲冰之熔解熱,則

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

據最精密之測定,冰之熔解熱爲 80.0 卡.

194. 熔解時能之變遷.

熱能入於物體,使固態變爲液態後,能亦不復爲熱形,存於液內.即不爲熱能而爲分子間之勢能;即消失之熱乃現爲狀態變化 (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°C . 或 -12°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°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，同時溫度計亦昇至 0°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°C . 一克之冰需吸收 80 卡之熱，方能轉為 0°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。如冰不熔，冰箱即無所為用。

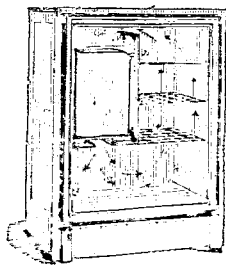


圖 170. 冰箱

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°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°C .	硫	114°C .	銀	954°C .
冰	0°C .	錫	233°C .	銅	1100°C .
安息油	7°C .	鎘	330°C .	銻	1206°C .
醋酸	17°C .	鋅	438°C .	鉍	1775°C .
地氫	54°C .	鉛	650°C .	銻	1950°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

熔解或凝固完結為止，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，即知其並非由固體驟變液體，僅逐漸變軟而已。若燈焰益烈，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，銻，鉍，鑄鐵及少數含有銻，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；金銀幣須用錘鑿，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，銻，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。銅製之桶如盛滿水，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。雖冰之溫度遠較冰點為高，而冰猶能凝合，其理如下：

蓋兩冰相緊密之點，因壓力大，致將其冰點降至 0°C 以下，故其表面一層溶解成水，但此水層之溫度，亦稍在 0°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：

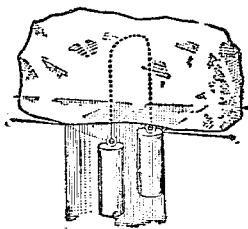


圖 171. 復冰

取金屬線一條，兩端各懸一重物約重 6 斤至 10 斤，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，因壓力增加溶而成水，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,升高其熔解點。

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, 較之使熔成之水升高 1°C . 或 1°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°C . 之冰 20 克之上, 生何現象?
7. 如有 4°C . 之水 200 克, 須加冰幾何, 方可使水之溫度降下 10°C .?
8. 如有 50°C . 之水 500 克, 須加冰幾何, 方可使其水之溫度降至 10°C .?
9. 雪當融化時, 可圓成雪球, 但如其溫度遠在 0°C . 以下, 則不然, 其故何在?

蒸發及氣化之性質

202. 蒸發及溫度。

如升高溫度, 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, 必隨溫度之升高而增加, 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°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，持至本生燈上，微熱之，碘雖未曾化爲液體，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，因分子自液體逸出卽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，卽其一例。

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)。

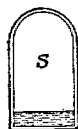


圖 172. 飽和蒸氣

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爲一定數。故在任一溫度之下，飽和蒸氣僅有一密度，亦即僅有一壓力。此壓力稱爲在某一溫度之飽和蒸氣之壓力。

試取托里拆利管兩隻，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，隨管立昇至管頂，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。由其下降之程度，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，其壓力爲 40 厘米。

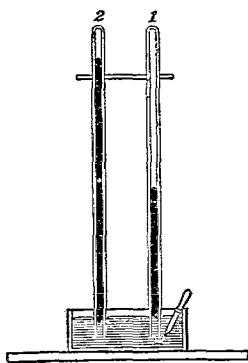


圖 173. 飽和蒸氣之壓力

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。蓋昇高液體之溫度，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毫米：

t	P	D	t	P	D	t	P	D
-10°	2.2	.000023	4°	6.1	.000064	18°	15.3	.000162
-9°	2.3	.000025	5°	6.5	.000068	19°	16.3	.000162
-8°	2.5	.000027	6°	7.0	.000073	20°	17.4	.000172
-7°	2.7	.000029	7°	7.5	.000077	21°	18.5	.000182
-6°	2.9	.000032	8°	8.0	.000082	22°	19.6	.000193
-5°	3.2	.000034	9°	8.5	.000087	23°	20.9	.000204
-4°	3.4	.000037	10°	9.1	.000093	24°	22.2	.000216
-3°	3.7	.000040	11°	9.8	.000100	25°	23.5	.000229
-2°	3.9	.000042	12°	10.4	.000106	26°	25.0	.000242
-1°	4.2	.000045	13°	11.1	.000112	27°	26.5	.000256
0°	4.6	.000049	14°	11.9	.000120	28°	28.1	.000270
1°	4.9	.000052	15°	12.7	.000128	30°	31.5	.000301
2°	5.3	.000056	16°	13.5	.000135	35°	41.8	.000333
3°	5.7	.000060	17°	14.4	.000144	40°	54.9	.000399

206. 空氣對於蒸發之影響。

由前節實驗，得知若將醃一滴，送入托里坭利管底，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，可將醃一滴，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，其初降下雖速，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 厘米之遠），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. 試試明魚油團(樟腦)球(Naphthaline moth ball)在室內溫度時蒸發之現象。
2. 有風之日所曬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，同在 20°C . 時，可蒸發若干克之水？(見第 191 頁之表。)
5. 在 15°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°C . 時,所示之刻度誤差當爲若干?

濕學,即空氣中濕度之研究^①

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.在這種狀態之下,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.

^① 教授此節之前,須先保以實驗各點,溫度等之測定.參閱若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、靄、雹及雪之構成。

如大氣之溫度下降不在地表，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

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，

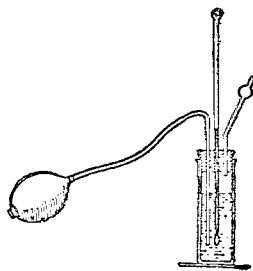


圖 174. 檢定露點之裝置

故須加鹽於冰水中，方能使濕氣層出現。又吹空氣進入盛鹽之容器中，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°C ，而由上法檢出之露點爲 15°C ，是時空氣實在含有之水氣已在 15°C 飽和之狀態。檢表中 P 行下飽和水氣之壓力在 15°C 時爲 12.7 托。此爲實驗時空氣中水氣之壓力，更觀表下 25°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，亦即其相對溼度爲 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°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尚覺不如，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.今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.細察管內之水上升之程度;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 磅),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。

試以盛水之淺玻璃皿中，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。將此全皿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°C . (-456.3°F)，在絕對零度上尚不足 2°C .

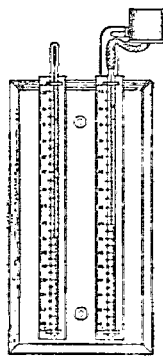
218. 氣流對於蒸發之效應。

取四溫度計，其一線乾燥，其一濕以水，其一濕以醇，其一濕以鹽，以風扇吹之。須穿各溫度計，將見調溫之各溫度計受風而冷，惟乾者毫無效也。

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. 乾濕球溫度計.

乾濕球溫度計 (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

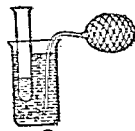


□ 175. 乾濕球溫度計

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。

2.0. 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?



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。

圖 176. 蒸發因使水結冰

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?
 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°C ,如其空氣之溫度為 10°C ,時,其相對濕度為何? 20°C ,時為何? 30°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°C ,求所含之水重若干。(見第191頁之表.)
 7. 用玻璃杯及尚未上釉之生瓷器杯各一個,盛同量同量之水,攪分同後,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. 用細頸之開口瓶盛水,其所示之溫度,不若用廣口之淺皿盛同量之水時為低,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. 冬日當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) 風日曬衣易乾,
 - (3) 陰日衣不易乾,
 - (4) 潮濕之日衣乾甚慢
- 試就各項事實說明之

沸騰^①

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,須同時講以酒精沸點直接測定法及蒸氣壓力法,並須講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。蒸汽温室法,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°C . 水 1 克蒸發時所需之熱量或凝結時所發出之熱量,可迅速將蒸氣導入圖 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°C . 升至 30°C ., 即知其凝結之蒸氣為 16.5 克,進入水內之熱量為 $500 \times (30 - 10)$ 或 10,000 卡。如令 1 克之蒸氣凝結時放出之熱為 x 卡,則由蒸氣移入水內之總熱量當為 $16.5x$ 卡。凝結之初,為 100°C . 之水,繼乃降至 30°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氣所失之熱量相等,故得

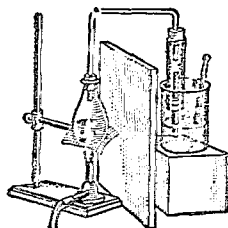


圖 177. 水之蒸發熱

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

即通常測定蒸發熱時皆用此法,而其值則公認為 536.

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,瓶內空氣悉為水蒸氣驅出,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,但若添以冷水,瓶水可使復沸.因冷水使蒸氣液化,瓶內壓力減少,故雖在 100°C . 以下,亦起沸騰.迨至蒸氣增多,復其原來壓力,沸騰亦即停止.此法可反復進行而不復加熱.

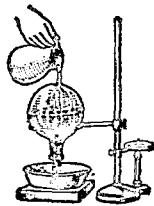


圖 178. 減小壓力
使沸點降下

在厄瓜多爾 (Ecuador)之

基多 (Quito) 城, 水之沸點為 90°C .; 在 勃郎山 (Mt. Blanc) 頂, 為 84°C .; 在 派克高峯 (Pikes Peak), 為 89°C . 反之, 火車車頭之蒸氣壓力為 250 磅, 故其水之沸點為 208°C .

具有安全活瓣 (Safety valve) (圖 179, G) 之密閉汽罐 (Closed boiler), 通常稱為密煮器 (Digester), 常作高山處煮烹之用。溫度稍高於 100°C . 時, 澱粉之裂散, 較在 100°C . 時為速。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).

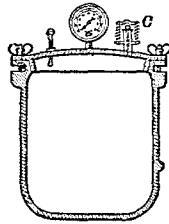


圖 179. 家庭用之密煮器

227. 蒸發與沸騰.

蒸發祇為自由液面分子之氣化, 沸騰則為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。

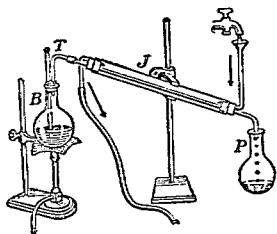


圖 180. 蒸溜

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 L (圖 80) 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°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熟之遲速有關係否？
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. 水發煮時，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. 水在深器內發煮時，其發出之氣泡之體積，隨器圍大，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°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°C 之蒸汽 2 磅凝結為水，由管流出時已成 90°C 。其供於室中之熱量為若干卡？
11. 100°C 之蒸汽 30 克凝而為水，復降至 20°C ，其所發出之熱為若干卡？此蒸汽可使若干克之水自 10°C 昇至 20°C ？

人工冷却

230. 溶解冷却法.

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。如將等重量之硝酸銨 (Ammonium nitrate) 與 15°C . 之水相混合，則其溫度將減低至 -10°C . 若當投入硝酸銨時，水之溫度約為 0°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却。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°C 。或 -7.6°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°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溫度究有何效應？
2. 不甚飽和之鹽溶液，其冰點爲 -5°C ，置於 -10°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？

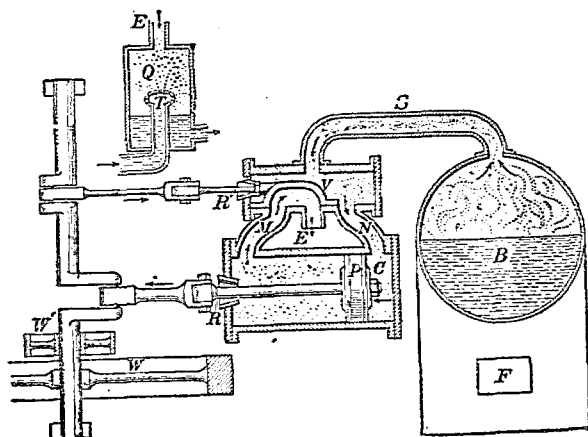
工業的應用

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) 之發明者為瓦特 (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) L' 即節制滑瓣



□ 181. 理想蒸汽機圖

(Valve) I 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, 同時將右端滯貯之廢汽, 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)，為一圓盤 K (圖 182)，固着於軸 A 上，但其中心不

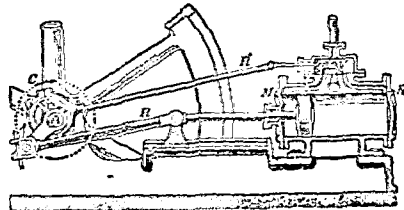


圖 182. 偏心輪

與軸之中心相一致。盤 *K* 旋轉於圓 *C* 之內，使偏心桿生一往一返之行動，推滑瓣 *I*，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

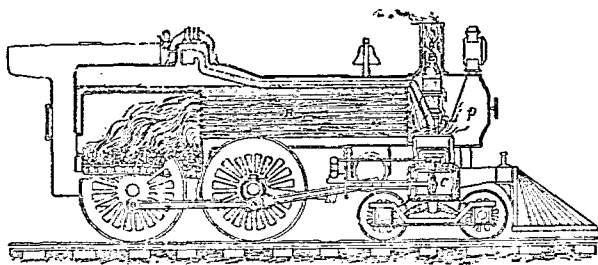


圖 183. 機關車(車頭)

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。

欲火燄通過汽罐之細管 *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。因低氣出爐之壓力，等於煙筒內外早位斷面之氣柱重之益。故煙筒愈高，壓力愈大。大動力處之煙筒皆極高，即基於此理。

228. 節汽器.

圖 184 所示之器，為瓦特所發明，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。

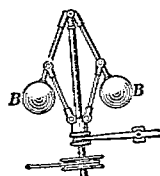


圖 184. 節汽器

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)。

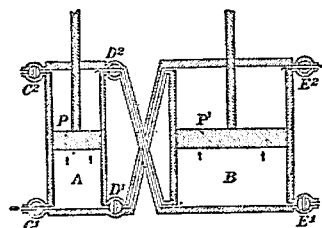


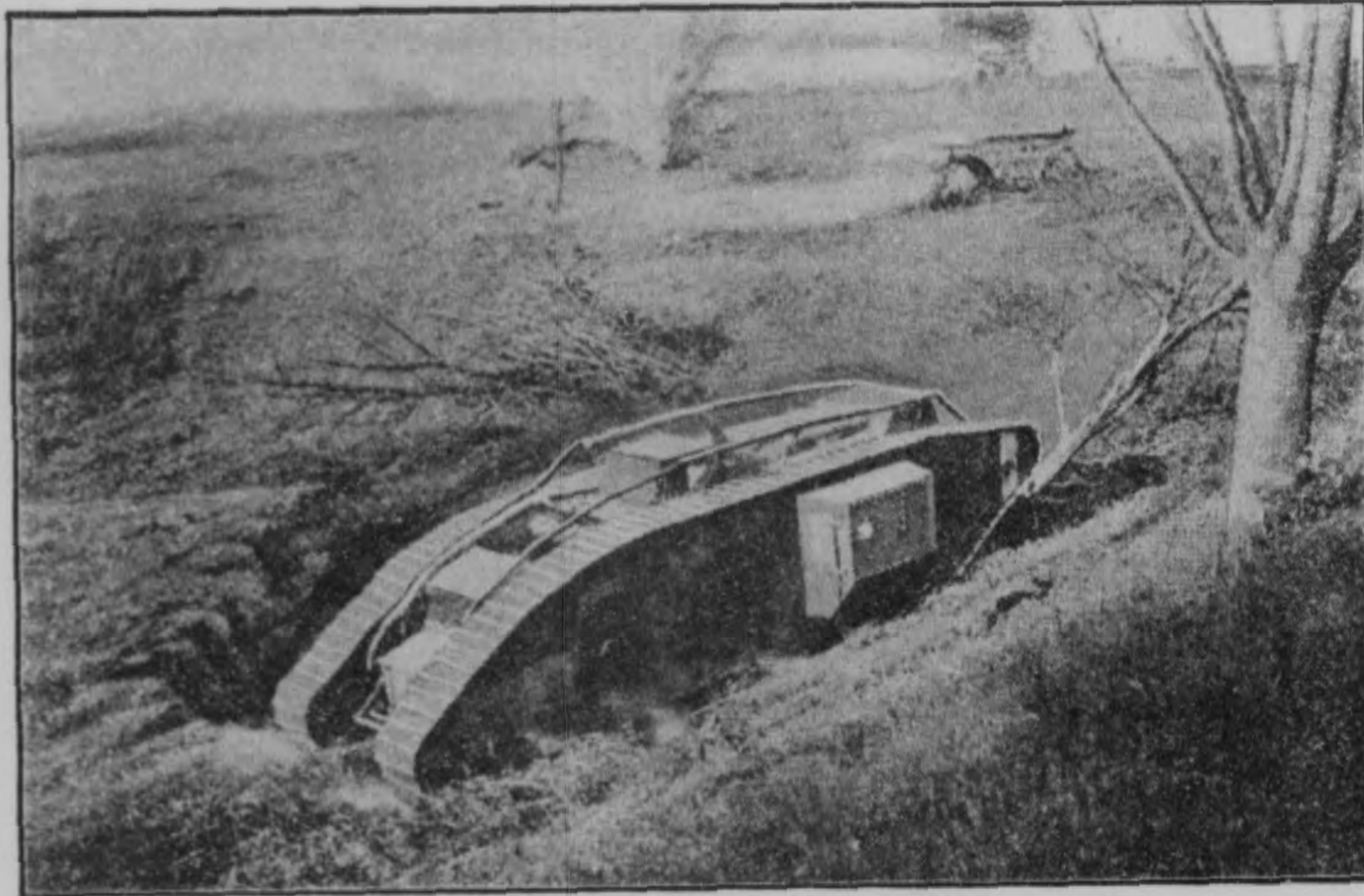
圖 185. 交叉複式機關

圖 185 所示為交叉複式機關 (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 ，同時在水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' 活瓣上昇至極處時， 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，活瓣運動回之而返其向，此諸活瓣均固着於同一軸上。

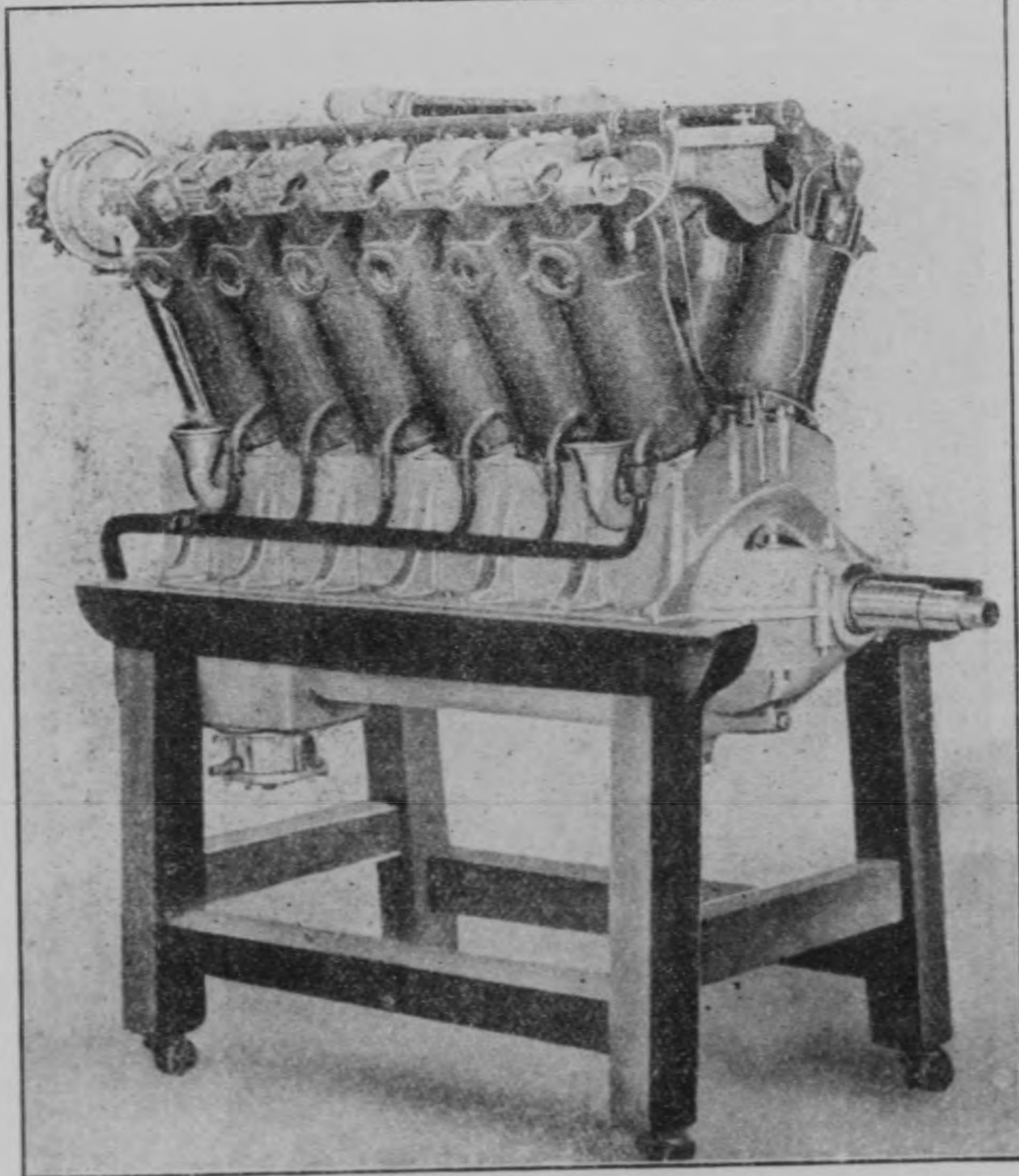
240. 汽機關之效率.

一定量之機械能，可以全變為熱能，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。兩旁具有鋼製之環鍊二,車體卽沿鍊前進。其小者可裝機關鎗,進行之速可及馬隊。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 86 磅, 每一馬力約重二磅, 第一次橫渡大西洋之 NC-4 號, 卽裝此式之機三個

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 * 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，* 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。

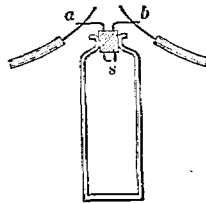


圖 186. 汽油及空氣之混合物可起爆發

近二十年來人生日用中，氣體機關 (Gas engine)

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 II 已在運轉中。第一段中活塞 P 向下(見 1)，則活塞 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

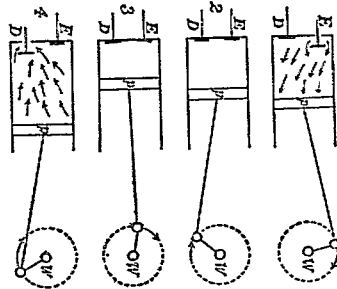


圖 187. 氣體機關之原理

被壓於筒間上端之小部分於是以電火花燃之，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。

氣體機關之效率，常高至 25%，約為最佳之蒸汽機關之二倍。且其體積小，可以立即運轉，其利益甚多。為一方面其所用之燃料(Fuel)從氣或汽油)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,既由圓筒內之連環爆發而來,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,為其一起發所成之功與一

分間內爆發之次數之相乘積，故必急轉時之方能展其全登，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)之旋轉之數，傳動機為多級齒輪組合而成，如圖 188 所示。(1) 為中立(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 可沿走於方軸(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接連，故其為一氣，故二者之旋轉數相同。又若欲其為反向運轉(圖 188 (5))，可使一第八之齒輪，由下面昇上將 5 與 7 同時扣住，既加入此一齒於 5 與 7 之間，自能使運動軸之轉動方向改為反對方向。

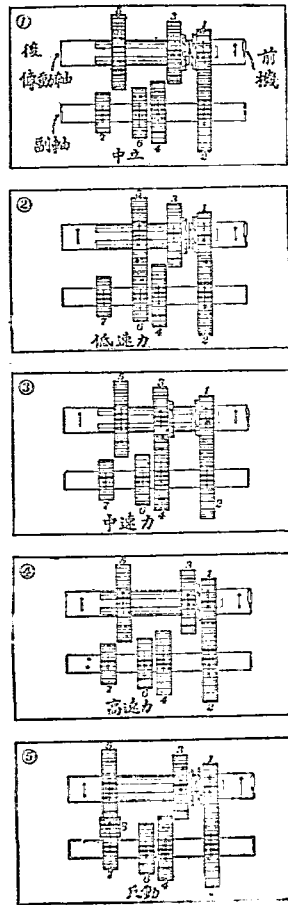
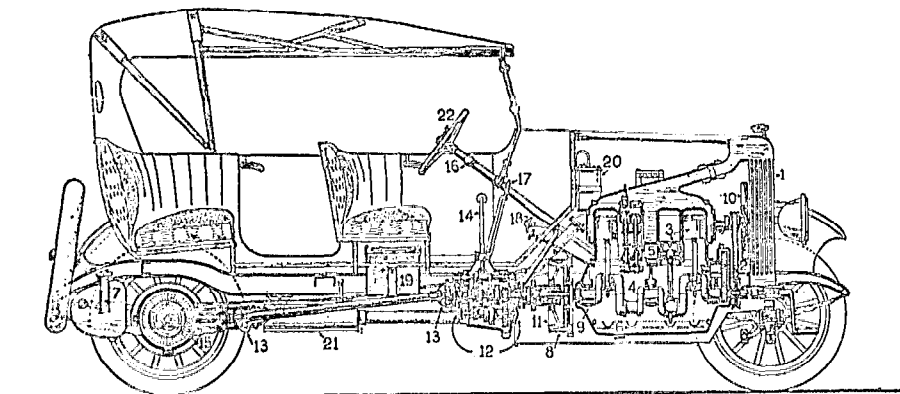
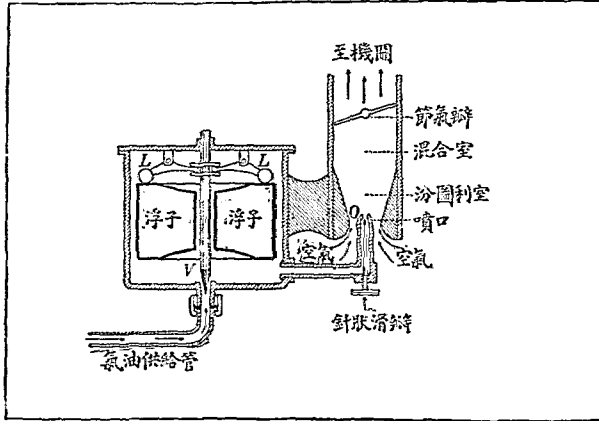


圖 188. 汽車之傳動機

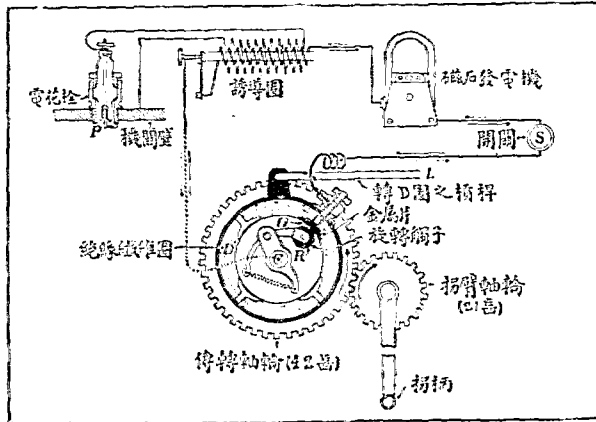


汽車要部斷面圖

1, 噴射器; 2, 節時齒輪; 3, 活塞; 4, 拐臂軸; 5, 錐桿, 及推進桿; 6, 油槽; 7, 汽油槽; 8, 飛輪; 9, 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, 電門開器; 17, 危急控制槓桿; 18, 腳踏控制槓桿; 19, 蓄電池; 20, 真空給電式; 21, 護套; 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，可知導動輪 (Driving pinion) 與導動軸相接，以導動主斜齒 (Main bevel gear) B ，而差動輪 $1, 2$ 則間接於 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 $3, 4$ 及主斜齒以同速轉動時，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 不啻與主斜齒輪同轉，並各在其軸承上沿反對之方向轉動。

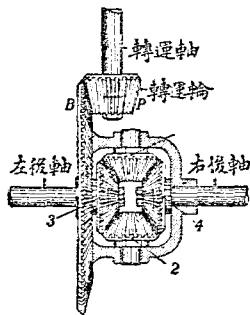


圖 189. 差動輪

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 F ，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) 即將活瓣 F 塞閉。汽油由浮室進入噴嘴 (Spray nozzle) O 。當活瓣於圖187之第一段運動時，即下降時，將空氣自外吸入邊圖利 (Venturi) 室內，一方面汽油由 O 口吸入，在混合室 (Mixing chamber) 中與空氣混合，經節氣閥 (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,使內面之燭發劑著火,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)由輪機之最近發展而成。其原理與通常之風車相似,輪之圓周上裝有多數之葉片,排作筒狀,所與者,不過不用空氣,而以大速度之蒸汽向葉片噴出而已。蒸汽與風力不同,皆係直接由汽口吹入,

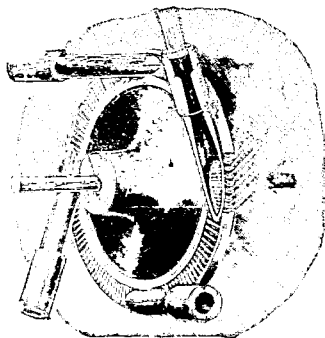


圖 199. 蒸汽臥輪之原理

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,

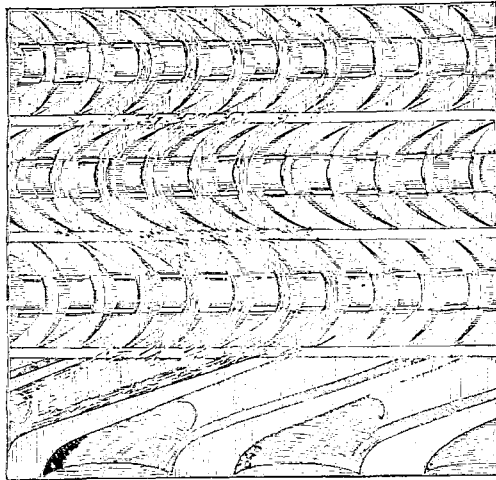


圖 191. 刻普斯臥輪之蒸汽通路

則以極便利之角度,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。層數恒有多至十六列者。

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,運行時無震動,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。淨海船隻,每小時具有 40 哩之大速度,皆藉此機之力也。最大之船為貝梭加里亞(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, 用風筒四個運轉, 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。

最近冰廠之製冰, 所需之低溫大半得自液體酒精 (Liquid ammonia) 之迅速蒸發。酒精在常溫時為氣體, 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。普通用蒸汽機開

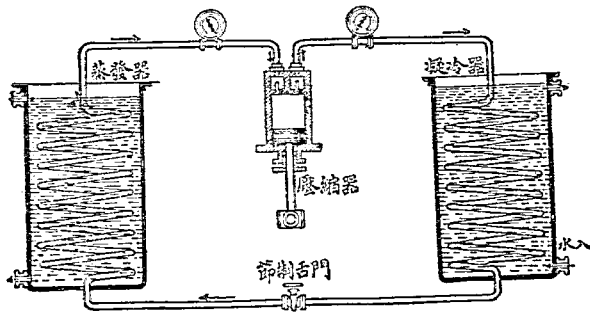


圖 192. 製冰之壓縮裝置

運動壓縮器 (Compressor)。此器於 155 磅壓力之下送酒精氣入右邊之凝結器 (Condenser) 中, 使成液體。由凝結器所發生之熱, 為凝結器管 (Condenser coil) 外周流不息之水挾與俱去, 液化後之酒精, 經由調節閥 (Regulating valve) 下緩緩進入蒸發器管 (Coil of evaporator)。自此管內用唧筒迅速將酒精蒸氣抽去, 使能

管內壓力不逾34磅。試自圖中觀之，可知同此唧筒，自蒸發蛇管內吸出酒精後，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。蛇管內之酒精因壓力減小，遂迅速蒸發，使蛇管之溫度降至5°F.左右。管外之鹽水之溫度因此降至16°F.或18°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°F.時，酒精之蒸發熱為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) 以代酒精，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酒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. 氣缸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. 機關車上汽缸中之水雖至100°C.亦不沸騰，試言其故。
6. 若將液化氣置於開口之皿中，其溫度決不能昇至-182°C.以上，其故何在?試舉一法可使其溫度高於

-18°C. 又舉一法,使其溫度更降至 -18°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。今氣缸機關之效率為 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?

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. 置其絞合之端於本生燈上,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).

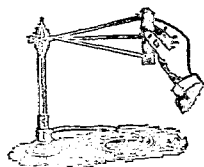


圖 193. 各種金屬之熱之傳導率各不相同

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
鋁	48	鉛	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住,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

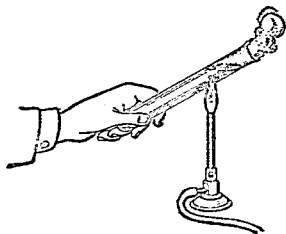


圖 194. 水為不傳導體

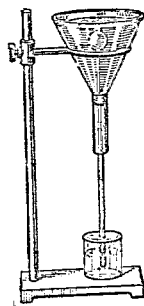


圖 195. 水上燒凝
不影響於溫度計

試之,當更明確:如將空氣溫度計之球部,接入滿水之漏斗內,使球部在水面下微低處,如圖 195. 再取極少許浮於水面凝之,則空氣溫度計為檢查溫度變化最敏銳之器,亦不能顯出少許之變異.

由精密觀測得知水之傳導率僅為銀之 $1/1200$. 氣體之傳導率更少,其平均數尚不及水之 $1/25$.

252. 傳導及觸覺。

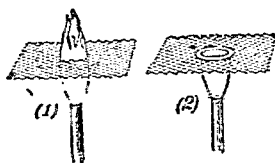
嚴冬時雖金屬與木類溫度相等，然以手觸金屬，則覺其冷較木類為甚，此固人人所知，反之，若以此二物置於酷夏烈日之下，握木不覺熱，觸鐵則難受矣。由此現象，可知鐵較木更為良導體，冬日由手取熱甚速，夏日以熱與手亦甚速。總之導體愈良，則較手熱時，觸之愈覺其熱；較手冷時，觸之愈覺其冷。故冷室內觸油布較氈為冷，因油布為良導體，而氈則非良導體也。麻布於冬季覺冷於毛織物亦屬此理。

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 (Bunsen burner) 口，用火柴自網上點之，則見火在網上，如圖 196 (1)，網下並



□ 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 190(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 所示為無火爐 (Fireless cooker)，試就圖說明之。
2. 火夫何以夏日著絨衣取涼，冬日何以又能以之防寒？
3. 將冰淇淋 (Ice cream) 裝入紙袋內時，其融化並不甚速，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，暫時紙並不為，如裹於木上視之，立即成灰，其故何在？
6. 手帕爐之包紙與盤，較陶包更為燙手，然二者之溫度則相等，其故何在？
7. 霜夜往往用紙將植物裹住，以作保護，其故何在？

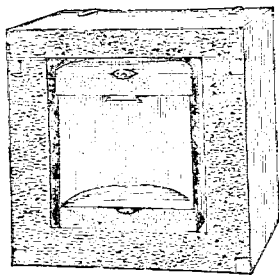


圖 197. 無火爐

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)微粒,熱其瓶底,則見紅自火源近處上昇,沿瓶側降下。不久全水俱紅,可知用熱,可以使之完全混合。

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

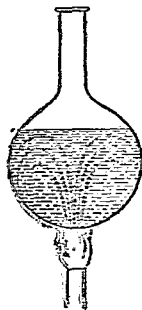


圖 198. 對流

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，始起作用，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，則行環流，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 (D-war) 欲保持極冷之液體，例如液化空氣 (Liquefied air)，其沸點為 -190°C . ($=310^{\circ}\text{F}$.)，乃發明雙壁瓶 (Double-walled vessel) 以盛之。壁間為真空。外

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)。如用罩罩一個套於其上，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，而燭仍可歷久不滅。如以易燃之紙硝化鉀液浸後晒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。

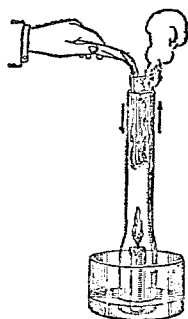


圖 200. 空氣中之對流

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 方吋，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。

26. 熱空氣暖室法.

凡用熱空氣暖室法(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,則開關門(Damper)C,使煙直入煙窗.及至火足,開門關閉,使煙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,因而生暖.

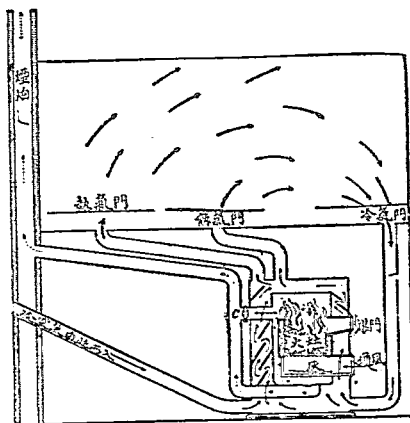


圖 201. 熱空氣暖室法

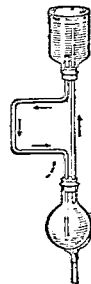


圖 202. 熱水暖室之理

263. 熱水暖室法.

熱水暖室(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。

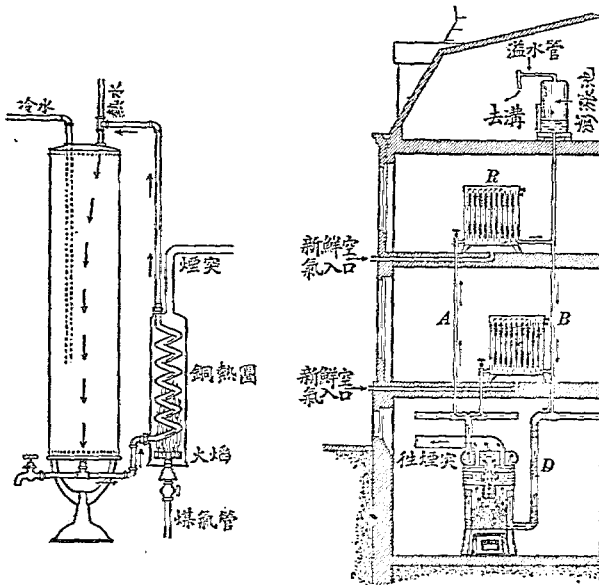


圖 203. 熱氣管

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 回入爐底。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), 而以水平充熱水罐,

即可變爲蒸汽爐室法(Steam-heating plant)。

問 題

1. 發火於爐,當爐道冷且濕時,爐乃冒煙,其故何在?
2. 雙層壁中充以鋁屑,較之僅有空氣時,較不易傳熱,其故何在?
3. 熱水爐室法之回水管,常裝於汽櫃之底部,而熱水管常在上部,其故何在?
4. 有爐條之爐與不用爐條者,對於熱之效率孰爲經濟?其故何在?
5. 用壁爐爐室時,在三種熱之傳播之方法中,以何者爲主要?
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?
8. 包裹極緊之物較鬆鬆之物易於傳熱,其故何在?
9. 如每月用煤 2 缸,自煙管流出之熱爲 $1/3$, 則每日可利用之熱爲幾卡? (假設 1 克煤所生之熱爲 9,000 卡)。

第十二章 磁^①

磁石之一般性質

264. 磁石。

鐵礦之一種曰磁鐵礦(Magnetite (Fe_3O_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,因具此性,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 在教本書章之前或同時須保以磁場及磁石之分子性之實驗,參照若者實驗書中之實驗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。

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。

鋼鐵等物質,磁性 (Magnetic property) 獨著。鎳與鈷惟強磁石稍能吸引。至若錳,錒及少數物質,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. 磁弱學。

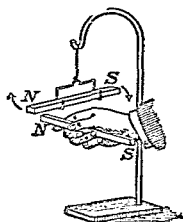


圖 208. 磁石之相引及相斥

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

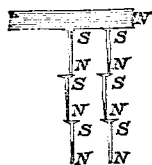


圖 209. 由接觸而生之磁誘導

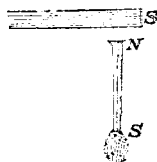


圖 210. 不由接觸而生之磁誘導

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。

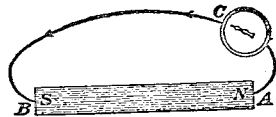
268. 保磁性及透磁性。

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。



□ 211. 磁石所生之力線

欲確定此理，可用一磁化之磁針，穿插軟木塞，漂浮水盆內，更用一磁棒置於盆底或盆上，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 。



□ 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

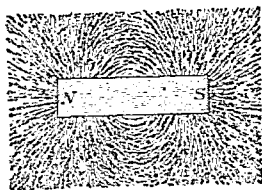


圖 213. 磁石附近之鐵屑排列狀況

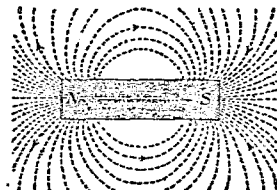


圖 214. 棒磁石之磁場理想圖

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

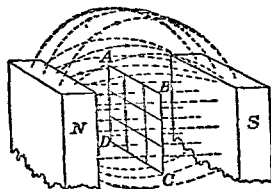


圖 215. 磁場磁弱以每平方厘米中所含之力線數表之

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。

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

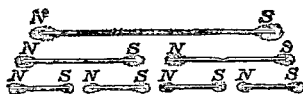


圖 216. 磁石折斷後之結果

成一小磁石,平行排立,各以異端相接。

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

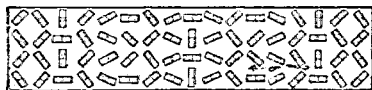


圖 217. 未磁化之鋼條之分子排列

各種之作用,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

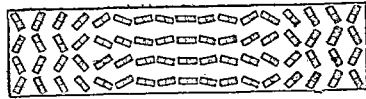


圖 218. 磁化後鐵棒之分子排列

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序,各有一定之界限,既達此限後,無論用若何強大之

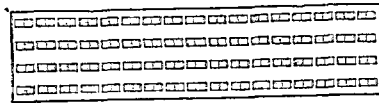


圖 219. 飽和磁石分子之排列

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

(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° 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，他如附近之鐵鏡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。

取一未經磁化之磁針 a (圖 220)，穿過軟木塞，再穿一針 b ，與針 a 成直角，務使兩針互相密接，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° 與 70° 之間。

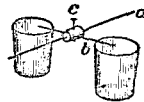


圖 220. 示伏角之裝置

由此試驗，可知地球磁線於此緯度與地面成一角度，地球與磁線方向所成之角曰伏角 (Dip 或 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° ；若在磁赤道 (Magnetic equator) 處，則為 0° 。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。

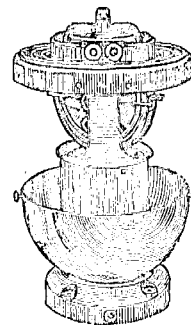
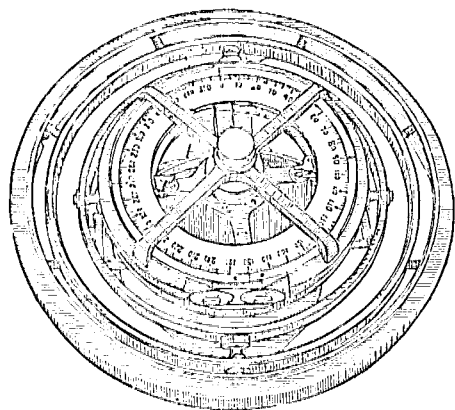
取一圓形磁石，足端特定之，使與地球磁線平行(即時向



吉爾伯特

(William Gilbert) (1540-1618)

英國之醫生兼物理學家；知實驗與測之價值之發明第一人；始由特論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；著彼天能之書名稱為“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創始於哥爾伯特，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，潛艇更不能頃刻離，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。因其慣性，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。故此二偶力恒使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° 或 75° ），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。軟鐵之保磁性較弱爲小，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. 用磁石吸針之已否磁化，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 呎，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。其次更以蠟皮或法蘭絨擦過之火漆棒或膠皮棒近之，則為狀恰相反，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。又若係兩木髓球實驗，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。

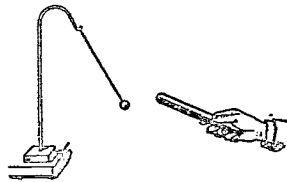


圖 221. 木髓球檢電器

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日陽電 (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

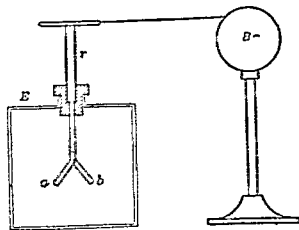
其引力斥力之大小，則與相隔之距離之平方為反比，與萬有引力及磁力相同。

280. 電量之測定.

以引力及斥力之作用作為根據，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程，而其間作用之斥力或引力適為一達，此時此物體所帶之電量，即為單位電量，故欲測定某帶電體所帶之電量之單位數，即以一帶有一單位電量之物體，置於一定之距離處，然後測定其間作用之力為若干。譬如有一帶電體與帶有單位電量之物體相距十程，其間作用之斥力為一達，則此體必具有100單位之電量，即若將其距離改為一程時，其作用於帶有單位電量之小物體上之斥力，必為100達(見279節)。

281. 導體及非導體.

圖222之E為驗電器(Electroscope)，其裝置為一絕緣之金屬棒r下懸金箔兩片a, b, 裝於玻璃瓶E內，俾其不受氣流影響。用金屬絲一條，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，已由金屬絲傳至金箔。箔受同類之電，按前節定律，當彼此相斥，故行分開。



□ 222. 傳導

如將B, E同之金屬絲除去，而代以絲線或木棒，照前實驗，金箔絕不分开。若以濕線拾起，則當B受電時，箔亦徐徐分開。是見濕線亦能緩緩傳電。

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,傳導卽其一端,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,電卽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,而箔卽張開。

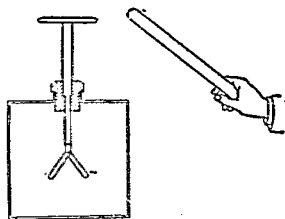


圖 223. 靜電

由此可知,帶電體只須在任一導體之隣近,其

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 ，裝於絕緣之金屬筒 B 之上。以球 A 近之， a ， c 皆張開，而 b 則否。足見固有 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。

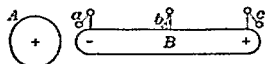


圖 224. 誘導電之性質

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，圍聚於陽電之周圍，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，或鍍金或包鉛之二蛋狀殼A, B，以絲線懸掛之，並使之相接觸，如圖225。以帶有陽電之物體C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，則此分體之兩電荷，復皆和而為一，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。

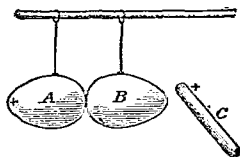


圖 225. 因誘導而得之陽電及陰電

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，圖後先移去手指，次移去棍 C 。若以帶陰電之水體球近 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，再以水體球近 B 試之，結果 B 仍為陰電，迥異以指觸 a 之結果相同。

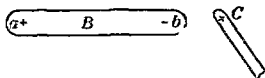


圖 226. 由誘導所生之電其符號與原有之電相反

由此可知，不論觸 B 體之何處，其所保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，一貴人之第十六子；以印刷出版為職業；其研究電學僅出於娛樂，而非其正業；最初證明來丁頓之內外兩層綫筒所帶之電，種類相反；最初定立陽電及陰電之名詞；嘗雷雨時，放一風箏於空中，並使風箏線上之繩結之下端，繫生電花，因此證明閃電之電，與摩擦之電相同；發明油壓針；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



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。其風箏用綉綉製成，以防為雨濕損，風箏特之下端，與一鐵帶同繫於一綫上。彼以手執其綉綉之線帶，以防綉上或綉上所生之電氣由其身體逸出地面。彼立於一道雨之地下，以防綉帶被雨濕透。於是以指節近之，即得電花，恰與得自靜電起電機者相同。彼又以之連結於萊丁瓶之上，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，故無輕試者不可輕試。

陰電子永為 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 上之所以終為陰電者，實由於此。同理，如 C 為陰電，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，箔匣分開。(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，因硬橡皮棒上為陰電，故驗電器上必為陽電。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為陽電？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本生燈火，消盡其所有之電。用器有一絲絹之法蘭絨帽套之，如圖 227。俟絨帽在棒周圍，迅

速扭轉數次，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。

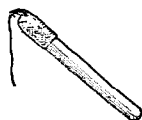


圖 227. 陽電與陰電之量恆相等

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. 如將木圓球或其他圓球，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，則此圓球必跳躍於二板之間，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，以絲紙摩擦衣服，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. 設有一帶陽電之粗線球，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，然後以指觸球上之陰電何故不能移去？
6. 用驗電器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，設用橡皮套棒，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。

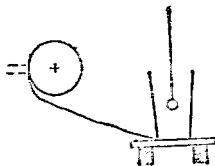


圖 229. 電僅存於表面之證

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，有遠其

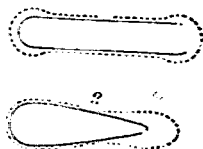


圖 230. 長形物上之電量分布

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) 一金屬圓板，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：

試取一銀針，插於絕緣金屬器皿上。置上蠟紙片，或木圓球，如圖 231。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,紙條下落如初(圖 231),因其針上之電,業已中和故也,其理恰與上同。

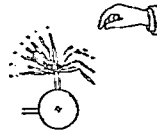


圖 231. 尖端之放電效應

291. 電輪。

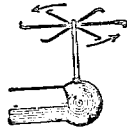


圖 232. 電輪

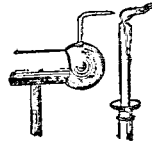


圖 233. 電風

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,迅速旋轉。

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) 發生於所懸之鎗上。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,即見 C 與 E 間,有電花發生。設將尖端 P 與 E

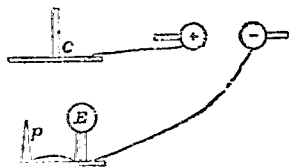


圖 234. 避雷針之作用

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) 爲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。^①

電勢及電容

292. 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 ，

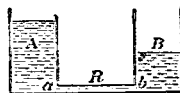


圖 235. 靜水壓力

B (圖 236)，如有陽電由 A 移至 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，參照前者之實驗書中之實驗 27。

之來由歸之於勢差^①(Difference of potential).故電之由高電壓(Electrical pressure)或高電勢(Electrical potential),流入低電壓或低電勢,亦如水之由高水壓流入低水壓然。

又 A, B 中之一池(圖 235),如無外界之水繼續流入,則 a, b 間之壓力,不久必相等,同理,如 A, B (圖 236) 二體無電供給,其電勢不久亦必

致相等。易言之,用導線連結

為一器之導體,若其各點之

電皆為靜止狀態,則其各點皆為同一之電勢。此結果亦

可由電荷在導體中之可動性(Mobility)說明之。

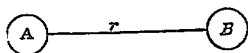


圖 236. 電壓

若一方面繼續加水於 A , 一方面繼續由 B 將水抽去(圖 235), 則 a 處壓力必恆高於 b , A 間之水必永流不息。同理, 若將 A (圖 236) 連接於起電機上, 而將 B 與地面連結, 則 A, B 間亦必恆有電勢差存在, r 間之電流亦必永流不息。平常電勢差之記號, 均以 P.D. 代之。即 Potential Difference 之略字。

294. 電勢測定法。

① 德國克林以為在導體中移動者為陽電, 陰電則與原子同結, 不能分離。故現今一般為便利計, 皆將陽電在導體中移動之方向, 認為電荷移動之方向。最近電子論發展以後, + 電荷與 - 電荷之電勢, 與舊完全反轉, 然對於此種假定, 則並無人欲推翻之也。

測兩物體之勢差之最簡便方法，即將一物體連結於驗電器之球上，將其他之一物體，連於驗電器之導電箱^① (Conducting case) 上，由金箔張開之角度，即可測定其電勢差。表電勢差之單位曰弗 (Volt)，其定義於第334節當再詳之。茲只言其量約等於浸在稀硫酸中之銅片與鋅片間之電壓，或約等於通常所用之乾電瓶之炭極與鋅極間之電壓之 $2/3$ 。

地球全體為良導體，故其電壓各地皆同，故可用作測定電勢之標準。欲求某物體對於地球之電勢，法以該物體連於驗電器之球，而以金屬線將驗電器之外壁連結於地面上。如驗電器上之刻度係弗數，則讀其所示之度數，即可知物體與地球間之勢差。此種刻度之驗電器曰靜電電壓計 (Electrostatic voltmeter)，為最簡而又最精確之器。故在實驗室及電力廠之用途日廣。自 $1/1000$ 弗

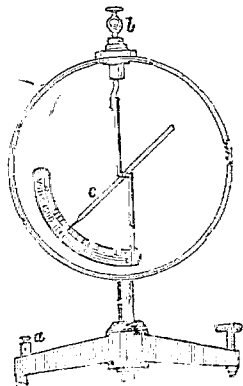


圖 237. 靜電電壓計

① 如此箱為玻璃，其內外兩面須鍍以鉛箔，且將此鉛箔連於箱之底座，其目的在使箱內之電勢永與地面之電勢相等。

之小勢差以至 200,000 弗之大勢差,皆可用此器計量。圖 237 所示,即其最簡式之一。外箱用金屬製成,其與地球相連之部分為 a ,欲測其電勢之物體則連於球 b ,球與輕鋁葉 (Aluminium vane) c 間為金屬的接觸 (Metallic contact),以代金箔之用。

不用電壓計而欲測最大電勢差之簡便方法,為測定兩物體間之電花長 (Spark length)。電勢與電花長,約為正比,如電極較兩極間之距離為大,則每 1 裡之電花之長,約表 30,000 弗之勢差。

295. 蓄電器。

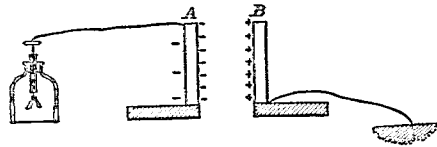


圖 238. 蓄電器之原理

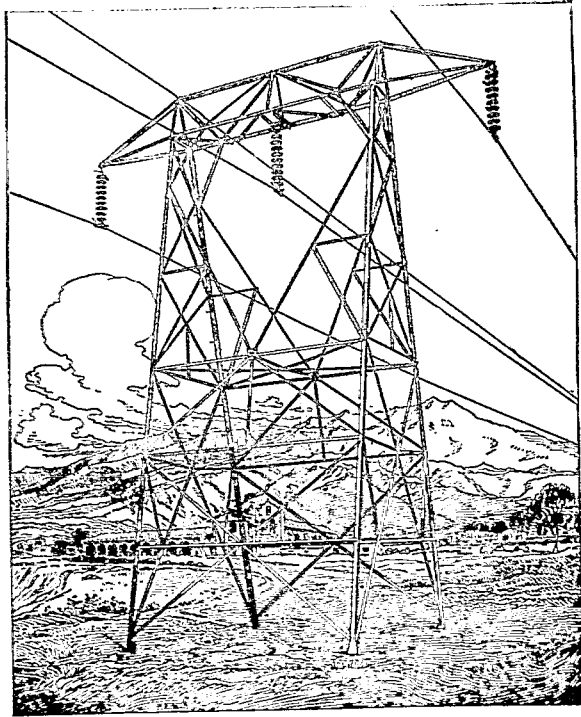
將一金屬板 A ,裝於絕緣板上,使 A 與一驗電器相連,如圖 238。再將另一板 B ,如前法裝於絕緣板上,用一導線使其與地相連,使 A 帶陰電,並記明金箔張開之角度。推 B 近 A ,箔隨降電,可知 A 之電量雖未變動,而 A 之電勢,因 B 在其近傍,遂形減小,試用驗電板更加陰電於 A ,以增金箔之角度,結果所增加之電,須較倍於前此 A 上所帶之電,金箔張開之角度,方能如初,即電勢方復原也。



弗打

(Count Alessandro Volta) (1745-1827)

意大利之物理學大家，任科摩 (Como) 及巴費亞 (Pavia) 教授；發明驗電器，起電盤，蓄電器，及弗打電堆(即電瓶之一種)；最初測定不同種物質接觸時所起之電勢差；同對於科學上之貢獻，為拿破崙列入勳爵；電勢差之實用單位“弗”即由之得名



近世之高壓線塔 (南加利福尼亞愛迪生公司)

此線輸送 150,000 呎之高壓交流。電由四個 17,500 瓩之發電機發出，以稍帶水車八個運轉，水頭為 1000 呎，發生之馬力為 100,000。用九層包裹之絕緣器以阻各電線，故印在門天，其內面亦在瓷瓶，足以防止大量之損失。各線相距 16 呎

由此可知，有其他與地面相通之導體在 A 近傍之時， A 之電容 (Electrical capacity) 即為之大增。故物體之電容，以其遠於一定之電勢所需之電量量之，其理顯而易明。 B 在 A 之近傍，因受誘導作用而帶電，其電與 A 異號。其與 A 同號之電，為 A 所斥，由導線以入於地，介於 A, B 間之反對電荷之引力，將 A 上之電引至與 B 最接近之處，故 A 上較遠之部分上之電，被其移去不少，因之 A 上須容多數之電，始能使 A 之電勢達其初值，即 A 傳電至驗電器之傾向，始能如前。凡如此種 A 上之電謂為被 B 上之反對電所羈束。

如此裝置，以一非導體介於二導體之間者，曰蓄電器 (Condenser)。若二導板相距甚近，且一與地相連，則全部之電容，較之單獨之板，可增至數千倍。

293. 來丁瓶。

蓄電器之最簡單者，為一大口玻璃瓶，瓶之內外各貼錫箔一層 (圖 293)，內層錫箔由一鏈連於球部，外層錫箔則連於地。此器於 1788 年始用於荷蘭之來丁 (Leyden) 地方，故名之曰

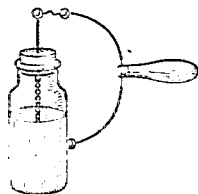


圖 293. 來丁瓶

來丁瓶 (Leyden jar).

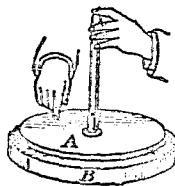
使來丁瓶帶電之法，即用手握外層錫箔，而令其球部接觸起電機之一端。設此端為陰電之端，電子即由球入瓶，擴布於其內箔。同時斥逐瓶之外部上之同性電子，使之退至地球，故瓶外成為陽電。此時若以放電叉 (Discharging rod) 連結內外兩層，如圖 239，則見有甚強之電花通過。電花之由來，係電子自一層突至十層所致。若將此瓶置於玻璃板上，使外層絕緣，用指觸球，即絕無影響，又以指觸其外部，亦不放電。惟將內外層用放電叉連結，始起激烈之電花。

由此可知，欲使瓶之一面單獨放電，為不可能之事，因兩面之電，互相羈束，不能分離故也。若欲得完全之放電，非將內外層結連為一不可。

來丁瓶及他種蓄電器於實際上頗有用。電話、電報、無線電、靜電機械、誘導圈等莫不用之。

297. 起電盤。

起電盤 (Electrophorus) 為起電之機，一切靜電起電機之原理，皆可以此表明之。凡靜電機起電之始，皆由誘導作用，而非由摩擦。B (圖 240) 為硬膠皮板，以蠟皮或法國軟漆厚之，使帶陰電。將其絕緣柄之金屬板 A 置於 B 上，以指觸板，先移手指，次提絕緣柄舉 A 離 B，若天氣乾燥，必有電花由 A 發出，長可四分之一吋有餘。如該電氣試驗，即至於每擊，由 A 發出之電花，亦並不減小。



□ 240. 起電盤

如以驗電器檢查板 A 上之電，即知其為陽電，可知 A 上之電，實由誘導而生，並非與 B 接觸而得，因 B 上之電，本為陰電故也，蓋 A 在 B 上，除數點以外，實未嘗與 B 直接接觸，其間實有一層絕緣空氣隔住。 L 既為非導體，則其上之電，必不能由此數點通過，其作用只能將陰電子遠斥至於金屬板 A 之頂部，使其下端成為陽電而已。以手指觸 A ，則電子當逸於地球，故移指而舉 A ，即得甚強之陽電，市售之靜電發電機，實為一連續之起電盤，其發電皆由誘導作用，決無由摩擦作用者。

問 題

1. 如將帶電之萊丁瓶，置於銅片上，何以僅接觸其一方面之錫箔，不能使其放電？
2. 實心之球，較空心之球，能容較多之電量否？
3. 若將萊丁瓶之外層，使其絕緣，即不能使瓶帶電，其故何在？
4. 設有一火漆棒，及法蘭絨，欲使一絕緣體帶陽電，共有兩種方法，其法為何？
5. 試作圖表示起電盤之蓋之帶電情形。
6. 假設高塔上之電為極強之陽電，試以圖示高塔正當電擊前之景狀。
7. 當帶陰電之盤，經過一備有連電針之屋上時，則針上向盤放出陽電，試說明之。

第十四章 動電^①

電流之檢查

298. 電動則生磁效應。

置針於玻璃管中，管外繞以金屬線之圈(Coil)，管端置一磁針，俟磁針靜止後，以帶有強電之來丁瓶經圈上放電，如圖 241，則由磁針之轉動，可知磁針之上發生磁性，如圖 241 之所示。若使瓶上帶反對符號之電，則所呈之磁性亦反。

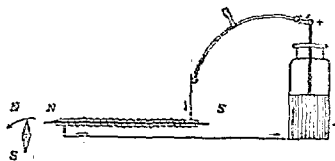


圖 241. 由靜電發生之電流所生之磁效應

由此可知電與磁之間有一確定之關係，唯其關係尚未確知，所知者，僅為磁力之發現，常在電荷移動之時，一旦靜止，即不生若何效應。

欲明靜電不生磁力，可取一帶電體使其接近羅盤針，即可見其吸引磁針兩端之力，完全一樣。若於磁針傾斜以後，於兩者之間，隔以鉛，鋅，銅或黃銅等之薄片，即可將電之作用遮斷，磁針因之復歸南北方向。此種遮斷電力作用之物，名曰電遮罩(Electric screen)。

若用一磁棒使羅盤針傾斜，復以遮壁隔之，則見金類之遮

① 教授此章之前或同時須課以簡單電流之實驗及電流之磁效應之實驗，參照前者實驗書中之實驗 28, 29, 30。

壁，絲毫不能隔絕磁力。

故靜電不生磁效應，共有兩事實可證：一即吸引磁針兩端之力相等，一即遮壁可隔斷電之作用，而不能隔斷磁力。

運動中之電荷，謂之電流(Electric current)，其存在，普通由其所生之磁力以察之。近世則以電流為電子之流(參看第293節)。

299. 電瓶。

當萊丁瓶放電時，由導線經過之電量甚少。電流繼續之時間，僅為一秒間之一小分數。若使導線間電流不絕，磁力當更增大。1786年，意大利解剖家賈法尼(Galvani)在波倫亞(Bologna)大學偶然由化學之方法，得繼續不絕之電流，惜其發見，無人能知其究竟。直至1800年，弗打(Volta)(見第266頁對面插圖)始發明一種裝置，後人名其裝置曰弗打電瓶(Voltaic cell)，或曰賈法尼電瓶(Galvanic cell)。單簡者，將銅條與鋅條浸入稀硫酸中即得(圖242)。



圖 242. 簡單電瓶

將電瓶之兩端(Terminal)連接於圖241之線圈之兩端。因內玻璃管中，裝一赤管磁化之針，磁分直後，針即磁化，且較前為強。又若以電瓶兩端連接

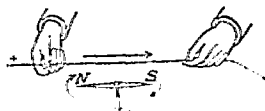


圖 243. 厄斯威德之實驗

之線，持至磁針之上，如圖 243，針即偏斜。

由是可知，接連電瓶兩端之線，其上必有電流通過。此實驗係 1820 年丹麥物理家厄斯特德(Oersted)(見對面插圖)所作，其時尚在電流對於磁針生偏斜現象之發見以前，此為電與磁間之關係之最初線索，故當時即已引起不少之驚異云。

300. 電瓶之片上皆有電荷。

如以一導線連結電瓶之鋅銅兩片，即有電流由導線通過，可知電瓶未經連接以前，其兩端已經荷電，可以證明之如下：

取一金屬板 A (圖 244)，下塗樹膠，上具絕緣柄，置於與驗電器相連接之板 B 上。以電瓶之銅片連 A ，鋅片連 B ，如圖 244。然後取去導線，提 A 離 B 。二片 A, B 間既被樹膠薄膜隔住，陰電與陽電由彼此相引之結果，皆被囿於二切面 A, B 上；及 A 提起，始得自由， B 上之電之一部分，存入驗電器內，箱蓋張開。如將法蘭絨或蠟皮擦過之硬橡皮棍，近此驗電器，箱蓋之張開角度當更大，足見瓦法尼電瓶之鋅片，實已帶有陰電。^①以銅片連 B ，鋅片

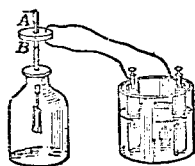


圖 244. 電瓶極板上之電荷

① 如金箱張開之角度大小，不便於觀察，則用五個或十個電瓶連成一電池(Battery)以作實驗如所用之 A, B 兩板之半徑為 3 吋或 4 吋，瓶口又極其平滑，則只須用電瓶一個即足。



厄斯特德

(Hans Christian Oersted) (1777-1851)

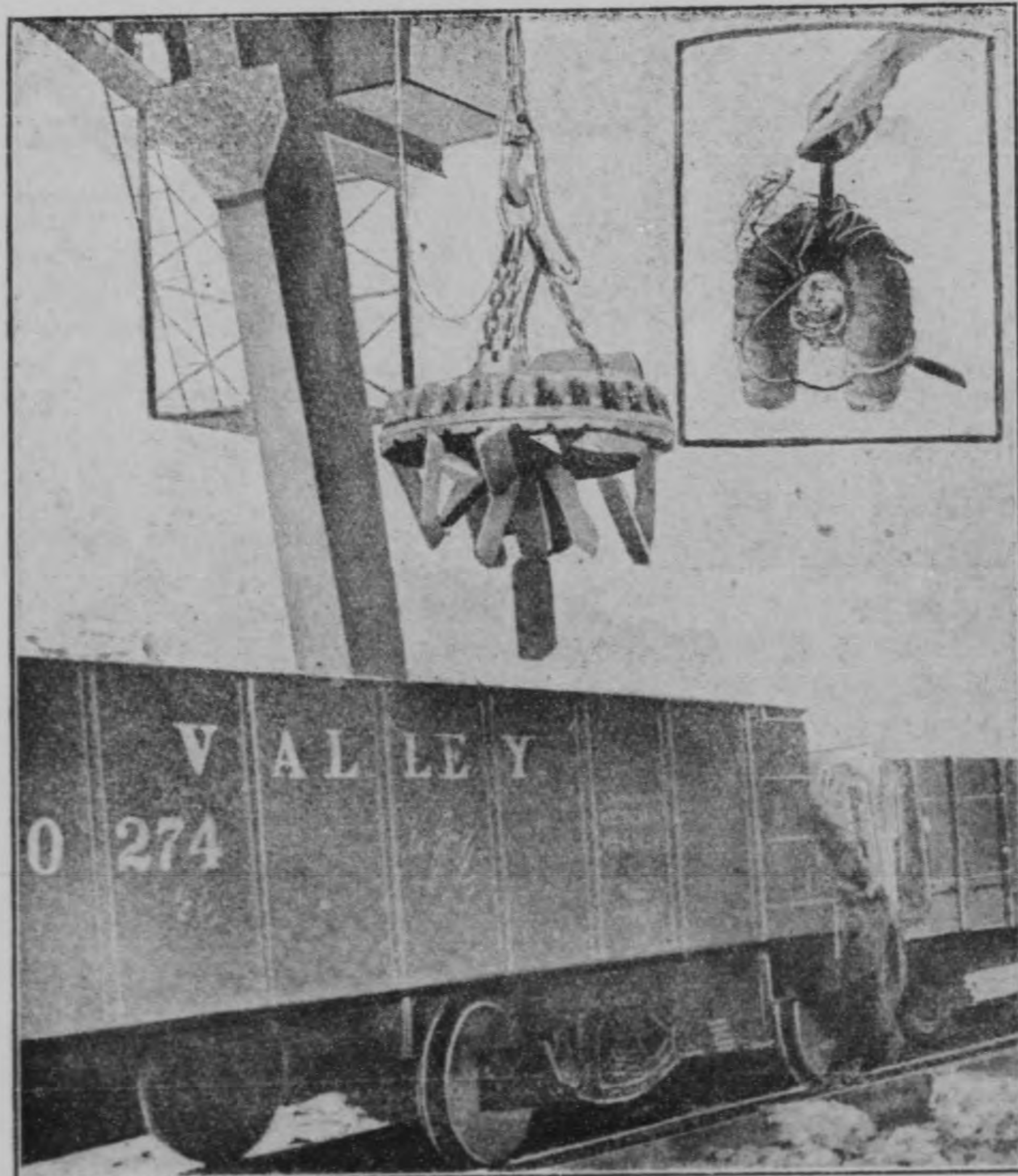
丹麥人，哥本哈根 (Copenhagen) 大學教授；電磁關係之發見者。其在 1820 年所作之有名實驗，促進研究者之興趣，遂成今日電工學之進步



亨利

(Joseph Henry) (1797-1878)

生於紐約之奧爾巴尼 (Albany)；任奧爾巴尼學院及普林斯頓大學 (Princeton College) 之物理學及數學教授；發明電磁石 (1828)，使針受磁化如第 270 頁所述，由此遂發見電花之振動性質 (1842)；最初作自誘 (Self-induction) 之實驗 (1832)；任斯密孫研究所 (Smithsonian Institution) 第一次幹事；為氣象局 (Weather Bureau) 之創設者



電 磁 石

本圖右角頂上所示者，為最初之電磁石，為亨利於 1828 年在普赫斯吞所造。於 U 形鐵棒之兩臂上，裹金屬線若干重，線之周圍包絹條以作絕緣。正圖為近代之大磁石起重機，其自身重 8720 磅，直徑為 5 呎 2 吋，可舉單平鐵片 70,000 磅，共有 118,000 安捲 (ampere turns)，電流為 84 安，電壓為 220 弗。全圓由若干個薄銅片造成，用石棉 (asbestos) 帶纏裹各捲以作絕緣。圖為一電磁石正在裝塊鐵 (pig iron) 於貨車中之狀況，每舉一次平均可裝 4000 磅

道 A , 則見箔爲陽電。

故電瓶之兩端荷有陰陽兩電,恰如起電機之兩端之作用。銅恆爲 $+$,鋅恆爲 $-$ 。究其起電之源,實爲電瓶內所起之化學作用。如兩端之間,接以導體,則有電流通過,與起電機完全相同。習慣上謂電流自 $+$ 流至 $-$ (見第293節),即自銅片流至鋅片。

301. 電瓶與靜電機之比較

設不用圖244之兩板 A, B 以作蓄電器 (Condenser), 僅以電瓶之一端觸金箔驗電器之球,則箔並不張開;但若以靜電機之一球觸之,箔即張開甚大,或竟至破裂。按諸第294節,可由箔之張開角度以測定電勢,故由此實驗可知電瓶極端由化學作用所生之電勢差甚小,遠不及起電機之兩端,所生之電勢差之大。實際上,電瓶之兩端間之電勢差不過一弗,而起電機之兩球間之電勢差,有時竟至200,000弗。

然若將起電機之球,連結於圖243之導線,讓機使動,則由導線所送之電流甚微,不足使針蒙其影響;一方面電瓶在同一環境之下,能生大影響於磁針,故電瓶之兩端間之電勢差雖小,而每秒間通過導線內之電量,則較起電機爲多。蓋因電瓶之化學作用,能使兩端上再行

充電，立即恢復其原有之小電勢差，其速度與兩板間之放電之速度相同；而靜電起電機於每次球端放電之後，欲使其電勢差恢復原狀，需時較長。

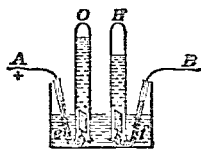
問題

1. 電須在何種條件下，始可發生磁效應？
2. 導線中有電流通過否，將如何驗之？
3. 由電瓶發生之電流，與由靜電機發生之電流，有何不同之處？
4. 試舉三例，表示磁與電相似，更舉二例表示其相異。

電流之化學的效應：電解^①

302. 電解。

以鉛棒二，浸入於稀硫酸中，自電池(Battery)之兩端，導電流於此兩棒，電壓約為10弗，則見電流由電池進入溶液內之一極，發生氧氣(Oxygen)，此極曰陽極(Anode)，他極即電流由溶液流出之極，發生氫氣，是曰陰極(Cathode)。兩極所發生之氣體，皆可如□245之方法，用試驗管收集之。



□ 245. 水之電解

據當世物理學者及化學者間最流行之說，謂硫酸加水，成為稀硫酸時，硫酸， H_2SO_4 ，之分子被分為三部分，

^① 授此節時須同時或稍續授以電解及蓄電池原理之實驗。參看習者實驗書中之實驗35。

是曰離子 (Ions)。二個氫離子各有一陽電，而 SO_4 離子則有二倍之陰電，如圖 246。此現象曰電離 (Dissociation)，溶液之全體則為中性，蓋其含有之陰電與陽電之數恰相等；故不呈帶電之現象。

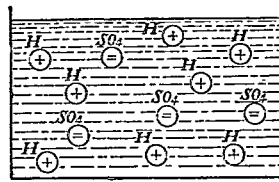


圖 246. 硫酸分子電離於水中

用電池通電，電場成立後，氫離子即赴陰極，失其電荷，聚而為氫分子 (圖 245)；一方面 SO_4 之陰離子則赴陽極，失其電荷，作用於水，復成為 H_2SO_4 ，而遊離氧元素。

若確測此兩種氣體之容量，當見氫適為氧之二倍。此水由氫二氧一而成之一證也。

308. 電鍍。

使此溶液不為硫酸，而為硫酸銅，則其結果亦正同，不過前此之氫離子，現則易為純銅離子，附於陰極而已。

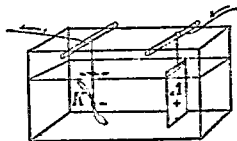


圖 247. 簡單之電鍍槽

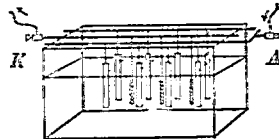


圖 248. 電鍍槽

此即電鍍之原理也。工業的製法，電流進入之一極，即陽極板 (Positive plate)，恆用所欲鍍之金屬爲之，蓋液中之 $S O_4$ 或其他之陰離子等，溶解此極板以入液內甚速，使液中濃度，不因他一極之沈積 (Deposit) 而生變化，故其效應僅在使金屬質自此極移至他極而已。圖 247 所示，爲鍍銀槽 (Silver-plating bath)，A 爲純銀之陽極，欲鍍之匙 K 爲陰極，實際上欲鍍之物皆懸於中央之極棒上，物之兩側則以懸掛之陽極環繞之，如圖 248 所示。用此方法鍍成之物，當更爲平整美觀。銀鍍液 10 呎中，含腈化鉀 (Potassium cyanide, KCN) 500 克，及腈化銀 (AgCN) 250 克。

304. 電鑄。

普通之電鑄 (Electrotyping)，係排板以後，用蠟或膠鑄成一模，以石墨 (Graphite) 塗於其上，使其成爲導體，然後懸於鍍銅槽中，以作陰極，其陽極爲純銅，溶液爲硫酸銅液，待其沈積之銅，厚如名片，然後取出，去其蠟或膠，而以活字金屬 (Type-metal) 作其底，使銅層堅硬，由此法所鑄成之版，可印十數萬而不毀，近世銷行甚廣之書，莫不由此法印刷而成。

305. 電流及電量之法定單位。

1831 年法蘭斯 (Faraday) (見第一頁對面插圖) 發見

在一定時間內，一定之電流由溶液沈積之質量恆為一定，而與含有此元素之溶液之性質無涉。例如一安之電流，即一單位電流，在一時間內恆沈積 4.025 克之銀；其電解質 (Electrolyte) 不論為硝酸銀或氯化銀或其他之銀化合物，結果皆完全相同。同理，1 安之電流在一時間內可沈積 1.181 克之銅，1.203 克之鋅，法刺對更發見沈積之金屬量只與時間及電流之乘積相關，易言之，即與通過電瓶之電量相關。此事實為法定 (Legal) 電流及電量定義之根本。

電量之單位曰庫 (Coulomb)，為沈積 .001118 克之銀之電量。

電流之單位曰安 (Ampere)，為一時間內沈積 .001118 克之銀之電流。

問 題

- 30 分鐘沈積 11.84 克之銅之電流之強度為若干？
- 自硝酸銀溶液中用 1 安之電流欲沈積 1 克之銀，須時幾何？
- 上題之電，如通入鋅鹽之溶液中，在同一時間內可沈積若干之鋅？
- 在銀杯上面，欲利用電流鍍金線一條，其法為何？
- 將電池之兩極浸入稀酸之小溶液中，由其發生氫鹽之量，何以知某為陽極某為陰極？
- 第 305 節定義之庫大於靜電單位 (第 283 節) 者若干？

萬倍。在電流 1 安之電燈絲之某點上，一秒間通過之電子數共若干(參照第 284 節)?

電流之磁效應； 圈之性質

§06. 電流周圍之磁場形狀.

使連接電瓶兩極之導線直立如圖 249，而以羅針求其周圍之磁場形狀，則見磁力線悉為同心圓，且在與導線垂直之平面中，而以線為其共同之中心。更進求之，若反電流之方

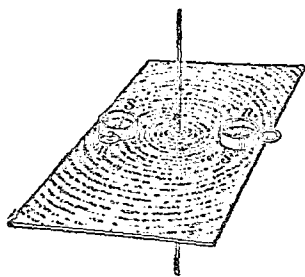


圖 249.

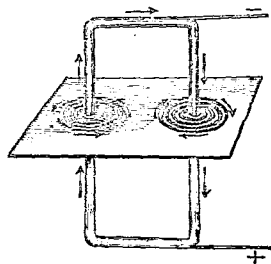


圖 250.

電流周圍之磁場

向，則磁針亦反其方向。如電流甚強，設為 40 安，則可以銀屑置於紙片上，而以導線貫之，其場形如圖 249。如電流不甚強，則當用圖 250 之法驗之。

電流之方向與磁力線之方向(即磁場之方向)之關係，可以下法決定之，是為安培定則(Ampere's rule):

如以右手握導線，
 指指電流方向，如圖 251，
 則導線周圍之磁力線方
 向與各指所指之方向相
 同。

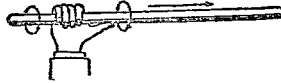


圖 251. 右手定則

307. 有電流通過之導線圈與磁片同等。

試將一導線曲成一單圈，另用一線懸之，將其兩端浸入水銀杯內，如圖 252。然後用乾電池三、四個送電入此導線，則見此圈之磁力線發出之一了，按照右手定則（參看第 303 節及圖 253）徐轉向北，如以棒磁石近此圈，則無論自何點觀察

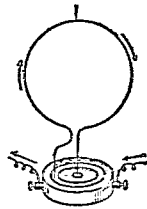


圖 252. 圈與磁片相當

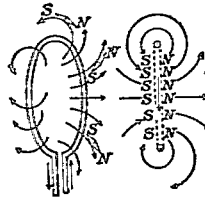


圖 253. 片之北極為磁力線由圈出外之一面，南極為其由外進圈之一面

之，皆見其性質與一磁石之圓片，即以此圈線為界之磁片，完全相同，其轉向北方之一面為 N 極，其他一面為 S 極。

由此實驗，可以指出凡有電流通過之圈，在磁場內當取若何之位置。因連結磁石兩極之直線，恆與其在之磁場之力線平行，則連結此圈之兩極之直線，亦必與

磁場之力線平行，即圈之平面恆與磁場垂直（見圖 254），易言之，即凡可以自由旋轉之圈，當其中有電流通過，而又懸在磁場中時，必自擇一位置使其所包含之磁場力線為最多數。

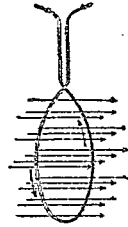


圖 254. 磁場中通電之圈所取之位置

308. 有電流通過之螺線與棒磁石同等。

試取一導線屈之成螺線 (Helix)，使電流通過之，持至磁針近旁，如圖 255。無論由何點觀察之，皆可見螺線之作用與一棒磁石完全相同，即其一端對於磁針之 N 極呈引力，他端則呈斥力。



圖 255. 螺線之磁效應

單圈之作用既與一平圓磁片同等，則此結果誠意中事。蓋多數圈層疊相堆，即成連串之螺線 (Helix)，其結果與將多數平圓磁石排列成行，使其一之 N 極附着於其次之 S 極時，所生之結果正同。中央之 N 極與 S 極莫不相接，故除二極端以外，螺線內部各點

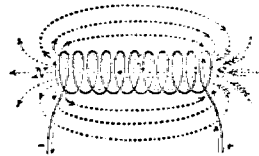


圖 256. 螺線之磁場

之作用彼此互相抵消。於是得一磁場，其形狀如圖 256。箭頭所表之方向為 N 極所指之方向。

第 306 節之右手定則，足以定螺線之何端為 N 極，何端為 S 極；即磁力線由螺線之何端出外，何端入內。為便利計，更可將右手定則略加變通如次：以右手握圈，令食

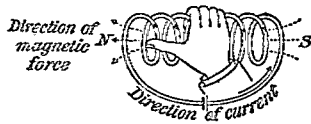


圖 257. 螺線之磁極定律

指正向電流在導線內通過之方向，則姆指所指之方向，即為螺線之 N 極(圖 257)。設知其極而不知電流之方向，亦可依此以求之如下：以右手執圈，姆指正向磁力線之方向(即正向螺線之 N 極)，則食指所指之方向，即線內電流之方向。

309. 電磁石。

將軟鐵心(Core)一條插入通電流之螺線內(圖 258)，則見其磁極較前更強。因軟鐵心受螺線磁場之誘導作用而磁化，與在永久磁石之磁場內時完全相同，故周圍新磁場之強度為軟鐵心之磁場與原之磁場兩者之總合。若切斷電流，軟鐵心立失其磁性之大部分。假若電流之方向顛倒，軟鐵心之磁極固之亦與前正相反。如是具有一軟

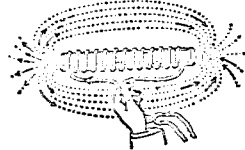


圖 258. 電磁石

鐵心之圖曰電磁石 (Electromagnet)。

若一電磁石之全部磁力線，皆保持於鐵內，不致如圖 258 散失於空間時，其強度當大增。故電磁石通常皆用馬蹄鐵形，而以銜鐵 (Armature) *A* (圖 259) 保之。經此鐵片，乃成一磁力線之完全通路，如圖 260。此種磁石之磁

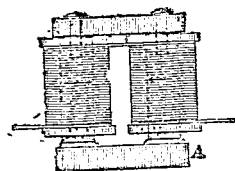


圖 259. 蹄形電磁石

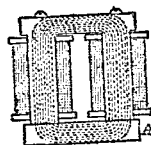


圖 260. 電磁石之磁路

極強度，完全由其周圍所纏之安捲 (Ampere turn) 數而定。所謂“安捲”即纏繞磁石周圍之導線圈數，與每圈內所通過之電流之安數之乘積。例如有 1/100 安之電流通過周圍 1000 捲導線之軟鐵心，所成之電磁石，與一安之電流通過周圍 10 捲導線之軟鐵心所成之電磁石，其強度完全相等。(參照第 273 頁對面之磁力起重機。)

問 題

1. 試詳述直流電車線周圍空間之磁力狀況。
2. 如電流自北向南，以磁針置其上，則磁針當偏向何方？
某人立於南北向電車線 (Trolley line) 下，且其所持

- 針之北極向東偏轉。線上之電流方向爲何？
4. 一線圈平置桌上，通過其內之電流爲順時針方向。圈之中心若有一磁石之 N 極，應向上或向下移動否？
 5. 自 U 形電磁石之兩端向下望去時，通過其兩圈周圍之電流方向，是否相同？其 N 極周圍之電流方向爲順時針方向抑爲逆時針方向？

電流之計量

310. 電流計.

電流之強弱，通常皆自其所生之磁效應測定之。如將一導線盤爲圓形如圖 261，由右手定則，知圈心磁場

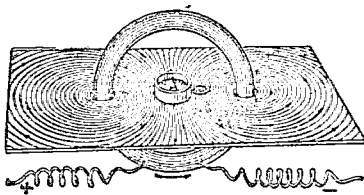
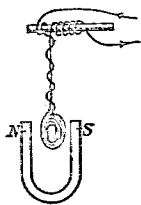


圖 261. 圓形圈周圍之磁場

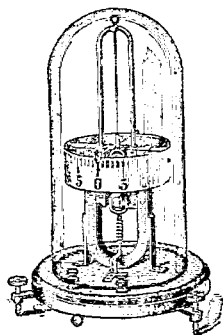
之形狀如圖所示。若將此圈置於南北平面中，以一羅針置於其中心，然後使電流通過圈內，則磁針即偏向東西方向。此偏斜之角度，即可用以測電流之強弱。用一導線繞成一半徑等於 10 釐之圈三匝，置於南北方向之平面上，使圈之中心之小羅針在華盛頓地方生 45° 偏斜時之

電流，與電流之單位，即 1 安 (Ampere) 大約相同。而法定之單位，則由於電流之化學效應而定，已詳於第 305 節。

一切測定電流之器械，其要部不外兩種：一種用一小磁針，使其在固定電圈中央，可以自由轉動，如圖 261；一種用一可動之圈，懸於固定磁石之兩極間，如圖 262。電流通過時，用活動磁針者，針對於固定圈，即起偏斜；用活



□ 262. 懸圈電流計



□ 263. 桌上用電流計

動電圈者，圈對於固定磁石，亦生偏斜。如此種角度係直接刻成與之相當之安數，則曰安計 (Ammeter)；否則僅曰電流計 (Galvanometer) (圖 263)。

311. 商用安計.

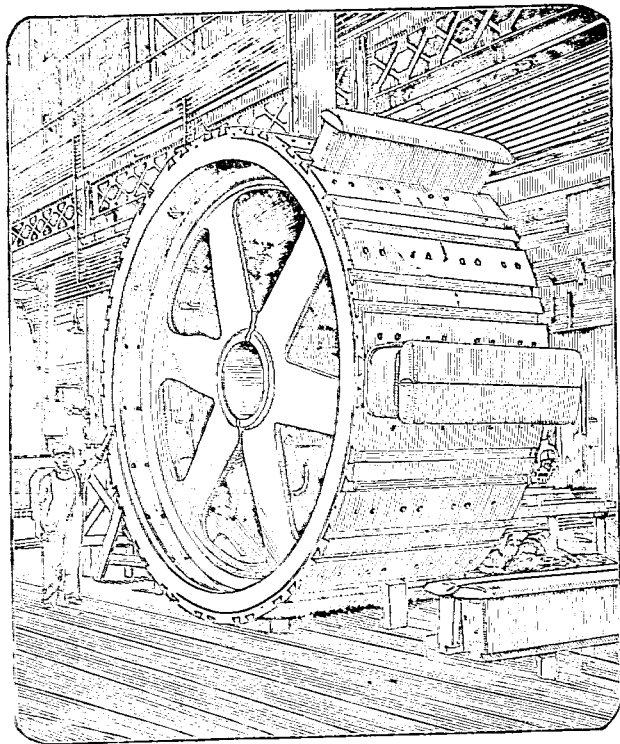
□ 264 所示，為最常見之商用安計。圈 C 支於寶石



安培

(André Marie Ampère) (1775-1836)

法國之物理學家及數學家；其父在 1793 年為斯頓閣上之“樞柱”之一；任巴黎工藝學校 (Polytechnic School) 教授，後任法國西大學 (College of France) 教授；於 1820 年，即在安斯威德之發現後不久，首先作電磁學上之實驗；於 1823 年發表其關於電流之磁效應之大報告；最初作導線內電流之方向與其周圍磁場方向間之關係之定律。電流之實用單位，“安”，即從安培得名。



最大之轉動子

圖中所示為新式最大發電機製作中之狀況，其原理則出於電與磁間之關係，而發見此關係者則為安培。圖中有轉動電磁石兩個裝於轉動子(Rotor)上，在固定子(Stator)內部以每分鐘一哩半之大速度轉動，當電壓為 12,000 弗時，可以發生 2700 安之電流。此為新西里拉爾布製成之三個 32,500 瓩發電機中之一

軸承上，以蝸形彈簧 p 之力，使在零點之位置。電流通過時，若無彈簧，則此圈將轉 120° ，即其 N 極當轉至與磁石之 S 極相對為止（見圖 264）。此零點所以如此選定者，蓋欲其刻度彼此可以近乎相等。此導體 i 名曰分路 (Shunt)，使由 B 點流入電流之大部分，皆由此導體內經過，僅有極小之一部分流入圈 C 。此種分路之導線，除欲換用其他之分路時外，通常皆裝於器內。

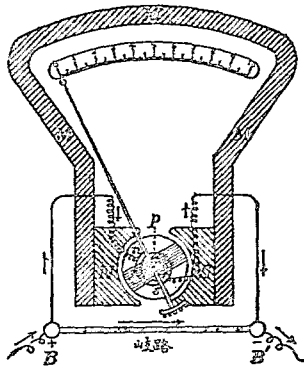


圖 264. 商用安計

問 題

1. 由化學的方法測定電流之強度時，係根據何種原理？由磁石的方法測定時，又係根據何種原理？
2. 通過電線各部分之電流強弱相等與否，將何以驗之？
3. 由商用安計之圖，試說明懸圈式 (Suspended-coil type) 或迪孫曼爾式 (d'Arsonval type) 電流計之原理。
4. 當分安計之刻度時，使指針起一定之偏斜角度之電流，在 50 分之時間內，共沈積 1.2 克之銀，其電流究竟為若干？
5. 將一磁針，如圖 231，置於南北方向之平面圖之中

心,如因圓內有電流通過而起之偏斜角度不甚大,例如在 20° 或 25° 以下,則偏斜角之大小與電流為正比;如其偏斜角度大至 60° 或 70° ,則角度之增,較電流之增為遲,其故何在?試說明之。

電鈴及電報

312. 電鈴.

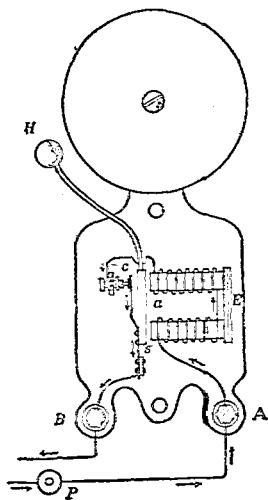


圖 265. 電鈴

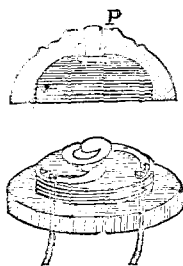


圖 266. 電鈴之斷面

電鈴(圖 265)乃電磁石之簡單應用之一,將鈕(Button) P 壓下時(圖 165 與 263),電池之電路(Electric circuit)即閉合(Closed),電流由 A 流入,經電磁石及接觸處 c 而由 B 出,電路既通,電磁石 E 即吸引銜鐵 a ,因此迫使接觸處 c 分開, c 開而電流

斷，電磁石 E 因亦頓失其磁性，銜鐵即由其支簧 s 之彈性，撥復原位，與 c 又復相接觸。 c 處既復接觸，電流又通。如是使 c 之接觸點，自動的斷續不已。繼 H 應之，遂作一往一復之迅速振動，以擊鈴作聲。

313. 電報。

電報亦電磁石簡單應用之一，其原理如圖 267 所示，啓由北京電局發電，將鑰 (K) 閉合，電流即通過導線而入上

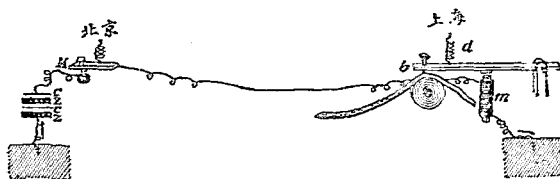


圖 267. 電報之原理

海電局之電磁石 m ，更由地中反歸北京。當鑰 K 閉合時，磁石 m 牽銜鐵 b 使下，及將鑰 K 放開，銜鐵始為彈簧 d 撥返其原位。用一時計裝置 (Clockwork device)，令紙帶 c 沿銜鐵 b 處之筆尖下，以等速運動擦過，則鑰 K 閉合時短，紙上即現一點，閉合時長，紙上即成爲一橫。模斯電碼 (Morse alphabet)，即電報字，悉爲此種點與橫標合而成，故由北京可以隨意發信至上海。近世電報已不用紙帶記錄，而代以耳。兩響之間，相隔甚短，與一點相當；相隔甚長，即與一橫相當。

首創商用電報者爲模斯 (S. F. B. Morse) (見第 288 頁對面插圖)。其電線設於巴爾的摩 (Baltimore) 與華盛頓 之間。開辦於 1844 年 5 月 24 日，所通之語，至今尚著名，爲“上帝所成者果爲何物！ (What hath God wrought!)”

314. 繼電器及音響器。

距離愈遠，導線之抵抗愈大，故經過電磁石之電流甚弱，因之電磁石之衝鐵，必極輕薄，始能與電流作用相應。此種器檢內所用之電磁石，為數千捲之細線，即安掙（第309節），所成。

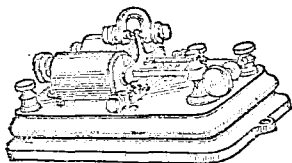


圖 268. 繼電器

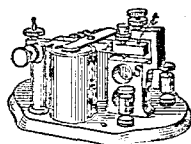


圖 269. 音響器

然此種衝鐵之響聲猶甚低微，司報人不易辨聽，故每局必有一局部電路（Local circuit），由一局部電池及另一較重之電磁石組成，名為音響器（Sounder），幹線（Main line）間之電磁石則謂之繼電器（Relay）（見圖268及第289頁對面之插圖）。音響器有一重衝鐵（圖269, A）；裝置法使電路開合時，衝鐵為電磁石所牽引而下，與台S相擊，作一響，及電流截斷，被簧推上，復與台S相擊，又作一響。司報者由此兩響相距時間之長短，即知遠來之信號為一點或為一橫。幹線中之弱電流，其作用僅在開閉各局部電池之電路，以動作其音響器（見第289頁對面插圖）而已。音響器之電磁石，與繼電器之電磁石不同處，既在其等線為較少之數百捲之粗線，且電流亦較大而已。

315. 電報全系之計畫。

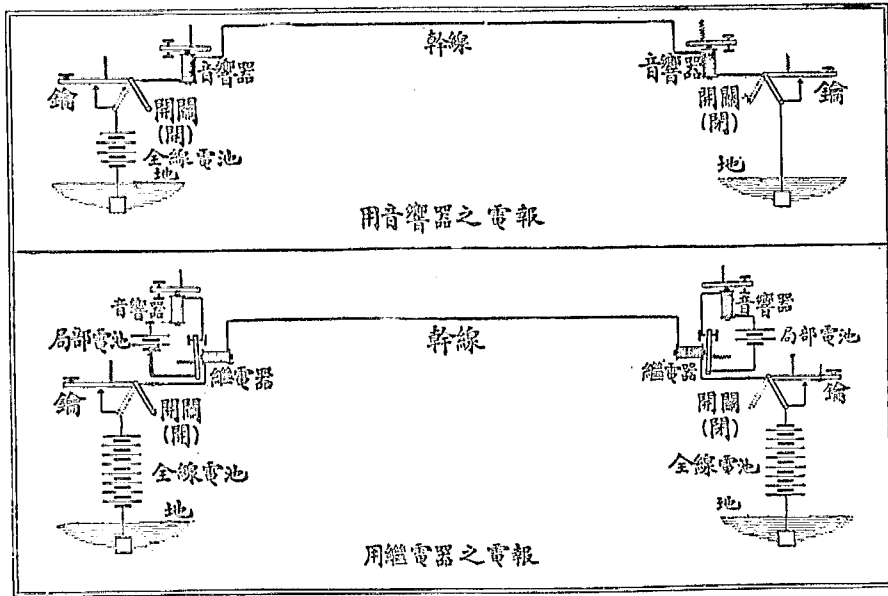
第289頁對面之圖，為各地電報系之組織法。如北京之司報生，欲送消息至上海，必先開其開關（Switch），（此開關連藉於電線，不發信時即何開合。）然後運用已備，節制彼此兩處之音響器之響聲。若北京之開關開合，而上海鳴時，則上海之司報生，即由此同一線上，發出回信。事實上，路遠如北京至上海發信時，決非僅由一條單線從海峽電線（Transoceanic cable）不在此例。信道先由北京送至天津，再由第二線送至濟南，復由第三線送至上海，其傳遞法與由幹電路傳至音響



模斯

(Samuel F. B. Morse) (1791-1872)

電磁石記錄電報機及點畫電碼即模斯電碼之發明者；生於馬薩諸塞 (Massachusetts) 之查爾斯敦 (Charlestown)；於 1810 年畢業於耶魯 (Yale) 大學；於 1832 年發明商用電報，與貧困奮鬥十二年始完成其發明而公布之。其第一次之公開展覽於 1832 年舉行於紐約大學，其信號經由 1700 呎長之銅線送出，得議會 30,000 元美金之協助，始於 1844 年架設第一次之商用電報線於華盛頓與巴爾的摩 (Baltimore) 之間



器電路時無異。假使將天津之音響器電路延長而至濟南，且假使不用音響器而以繼電器（此處名中繼器 (Repeater)）代之，不用局部電池而以幹線電池代之，其音響器電路，即變為中繼器電路，如是，北京之信即可越過天津而自動的直達濟南。

問 題

1. 試繪一圖示電鈴之作用。
2. 試繪一圖示兩相近之電報站之電報裝置，且兩站只各有一器。
3. 試繪一圖示繼電器及音響器在電報線中之作用。何以須用繼電器？

抵抗及電動力

316. 電抵抗^①

試用20呎長之第30號銅線為導線，將電瓶連接於低抗 (Low-resistance) 之電流計，或教室用之教桌上安計 (Lecture-table ammeter)。將其偏斜角度測出。然後將銅線換為等長之第30號白銅線，再注意其偏斜之角度，即可見其遠小於前。

由是可知，雖用同一電壓之電瓶，同一形狀之導線，然經過銅線之電流大，經過白銅線之電流小。故謂白銅對於電流所呈之抵抗 (Resistance) 較銅所呈之抵抗大。準此，一切物質對於傳導電流，皆各有其特性。銀為既知

① 此段當於實驗歐姆定律或抵抗之比較或內抗之測定等之後或同時讀之。參看前者之實驗書中之實驗32, 33, 34。

各物質中之最良導體，遂用爲比較各物質之抵抗之標準。一物質之線之抵抗，與其同樣之銀線之抵抗之比，稱曰此物質之比抗 (Specific resistance)，尋常物質中，與銀相比之比抗如次：

銀	1.00	軟鐵	6.00	白銅	18.10
銅	1.11	鉛	7.20	水銀	63.10
鋁	1.87	硬銅	13.50	鎳鉻銅	66.60

一切導體之抵抗，與長爲正比，與斷面積或其直徑之自乘爲反比。

抵抗之單位曰歐 (Ohm)，從歐姆 (Georg Ohm) (見第296頁對面插圖) 得名。長9.35呎之第30號銅線，或長6.2吋之第30號白銅線，俱約有1歐之抵抗。歐之法定定義爲在溫度0°C，斷面積1平方耗，長106.3釐之水銀柱所呈之抵抗。

317. 抵抗與溫度。

取低抗電流計，用10呎長之第30號鐵線包石棉條連接於一電池。用本生燈燒此鐵線，一面細察電流計，則見溫度愈增，電流愈小。

由此試驗，可知鐵之抵抗，與溫度共增。凡金屬莫不準此定律。惟液體導體與之相反，即溫度增高，抵抗愈減。

碳及其他少數之固體，亦呈此性。舊時之熾熱電燈所用之碳絲，當熱時其抵抗僅為冷時之半。

318. 電動力及其計量^①

電瓶或其他發電機之兩極間，當其未用導線連結以前，所有之勢差，即發電機所能供給之全電壓，名曰電動力 (Electromotive force)，通常略寫作 E. M. F. 發電機之 E. M. F. 之定義，為發電機所能發生之電壓之能力，此電壓，如第 294 節所述，可將其一端連結於驗電器之導電箱，他端連結於驗電器之球上，由驗電器所呈之偏斜角度測定之。實際上用一切靜電電壓計 (Electrostatic voltmeter) 以求勢差，皆準此法。

普通式之勢差計與電流計(圖 263) 相似，特其圈為極細之線，且捲數甚多，故經過圈內之電流甚微。將欲測勢差之兩點，與圈之兩端相接觸，則圈內通過之電流，與此圈之兩極端之勢差為正比。欲明其理，可先自水類推之。如將二水池 C, D (圖 270) 間之連管中央之栓 K 閉住，用重力 H 使水輪運動，輪必旋轉不已，直至水面 C, D 所起之差之壓力，與 H 之重相等，始行停止。當電瓶之兩極

^① 欲知此節之前或同時須認以電動力之實驗。參照前者實驗書中之實驗 31。

尚未連接以前，亦猶此理，由化學作用，如圖 271，兩極端各發生陰陽電荷，即於其間發生勢差，直至電瓶內部所生之反電壓，足使化學作用停止而後已，至於電動力之

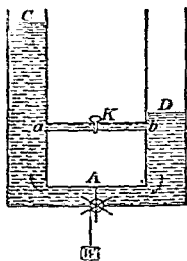


圖 270. 電瓶之靜水比較

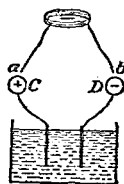


圖 271. 電瓶兩極
間電勢差之測量

位置，則在化學作用所由生之酸，與金屬板相接觸之處，

假使將栓 K (圖 270) 轉開，則水面 C, D 之差隨減輪又轉動以回復之，設管 b 之運水量，小於輪之移水由 D 至 C 之量，則栓 K 雖開，水面 C, D 之差並不減小，故經過 a, b 之水流，可視為栓 K 關閉時之水壓差之計量。

同理，以任何導體之兩端 a, b ，連電瓶 (圖 271) 之兩極 C, D ，則電瓶即經由此導體放電，故其電勢差因之下降，然設電瓶

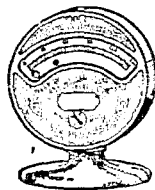


圖 272. 教桌上用之弗計

內部之化學作用,使兩極 C, D 發生勢差之速度,較導線放電為速,則 C, D 間之勢差,並不因連接導體而降下。此時通過導體內之電流,即其中央指針所示之偏斜角度,可用作電瓶所生之電壓之計量,亦即未通電流以前,兩極間所有之勢差之計量。

普通之弗計(圖 272),除其具有高抵抗不致使兩極間之勢差減小外,與安計完全相同。

319. 商用弗計。

圖 273 所示,為普通商用弗計之構造,其與安計(圖 264)不同之處,在未用分路,並有一高抗(High-resistance)圈 R ,與可動圈(Moving coil) C 成順結(In series)。弗計之抵抗,約在數千歐以上,所通過之電流極微。

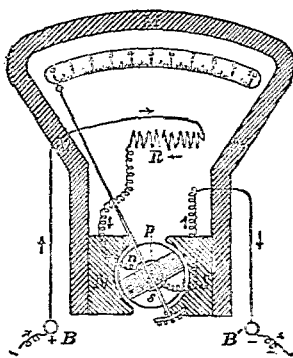


圖 273. 商用弗計之原理

320. 電瓶之電動力。

任取一式之弗計,連於電瓶之兩極,如圖 242。圖 242

更兩極間之距離，及其沒於液中之極板之面積之多寡，則見指針轉動之角度，與極板之形狀，大小，距離，毫不相關，但極板之性質若異，則指針之偏斜角亦隨之而殊，譬如銅與鋅在稀硫酸中之電動力為 1 弗，碳與鋅之電動力至少為 1.5 弗，炭與銅之電動力遠小於 1 弗，同樣，如將所沒之溶液性質變更，則弗計上指針所示之偏斜角度亦隨之而變。

由是可知，電瓶之電動力僅由組成電瓶材料之性質而定，與極板之大小，形狀，距離並無關係。

321. 電勢沿電流通過之導體遞降。

不特開離之電路中之電瓶之兩極，有勢差存在，即

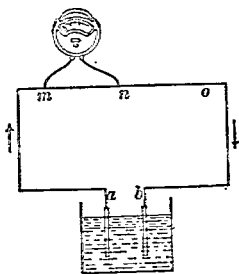


圖 274. 電路上任意兩點 m 與 n 接電壓計以測電勢之方法

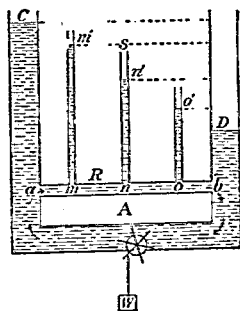


圖 275. 電路之電勢下降之靜水比喻

① 欲作此實驗，或下述之其他數種實驗，須有一直立式之教桌用弗計（圖 272），及一同軸之安計。但如若有實驗室中所述之手製高抗及低抗電流計，亦足敷用，只須令學生觀其指針所示之角度而已。

有電流通過之導體上之任意二點，亦復有之。譬如圖 274 之電路中， a 點之勢，較 m 點高，而 m 點之勢，又較 n 點高，恰如圖 275 之水路， a 點之水壓，大於 m ，而 m 點之水壓，又大於 n 。 m 與 n (圖 275) 間之水壓之下降，以 $n's$ 之水頭 (Water head) 測之，欲測 m 與 n (圖 274) 間電勢之下降，則以弗計之極端，觸此兩點，如圖所示，如計中之電流量極小，則與兩點 m, n 接觸時，不致使其間之勢差減小，故其所示之度數，即 m, n 間之勢差。易言之，如通過弗計之電流，與點 m, n 間原有之導體中通過之電流相較小至可以忽略之時，則其所示之度數，即 m, n 間之勢差。

322. 歐姆定律。

1826 年，歐姆發表其所發見之定律曰：凡各電瓶或聯立電瓶所供給之電流，恆與其電路之電動力為正比，而與路之全抵抗為反比。如命 I 為電流之安數， E 為電動力之弗數， R 為電路之抵抗之歐數，則歐姆定律 (Ohm's law) 為

$$I = \frac{E}{R}; \text{ 即, 電流} = \frac{\text{電動力}}{\text{抵抗}}. \quad (1)$$

若用於電路中之任何一部分時，歐姆定律為

$$I = \frac{P.D.}{R}; \text{即, 電流} = \frac{\text{勢差}}{\text{抵抗}}. \quad (2)$$

此處之 $P.D.$ 爲電路上任何兩點間之勢差之弗數, R 爲連接此兩點間之導體之抵抗之歐數, 此爲物理學中緊要定律之一。

上述歐姆定律兩則, 可以一式括之, 即

$$\text{安} = \frac{\text{弗}}{\text{歐}}. \quad (3)$$

323. 電瓶之內抗。

將一筒旱電瓶之銜銅兩極片, 接連於一安計上, 然後增加兩極片間之距離, 則見指針所示之偏斜角度漸次減小, 又或將此兩片浸於液內之面積減小, 亦見其電流減小。

由第 320 節, 知電瓶之電動力, 與兩片浸於水內之面積及其距離無關, 故由歐姆定律, 知電流之此項變動, 必由於電路中之全抵抗有所改變, 然組成此路之外部導線, 既未更動, 故可斷言瓶內之溶液, 對於電流之通過, 亦必如其外部之導線, 呈相當之抵抗, 此種電瓶內部所呈之抵抗, 與兩極間之距離爲正比, 與所浸之面積爲反比, 設以 R_e 表外抗 (External resistance), R_i 表內抗 (Internal resistance), 應用歐姆定律於全電路, 則爲



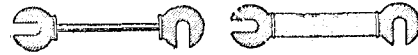
歐姆

(Georg Simon Ohm) (1787-1854)

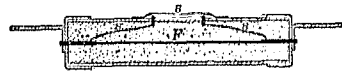
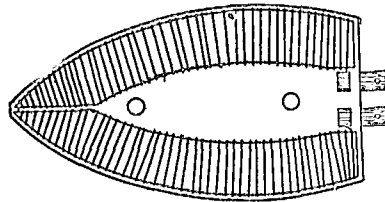
德國物理學家，物理學上最有名之歐姆定律之發見者。生於埃爾朗根 (Erlangen) 亦即學於此。1826 年在科隆 (Cologne) 中學教授數學時，發表其對於歐姆定律之實驗的證明之著名論文。當其發時，任慕尼克 (Munich) 大學之實驗物理學教授。實用之抵抗單位“歐，”即從歐姆得名。



電熨斗



線
條
銅線極與帶金之連結



包裝式熔金

電熨斗及熔金

電流之熱效應之應用，爲電爐 (Electric stove)，烘爐 (Toaster)，熔合鐵器，發水器 (Water heater) 及熨斗 (Laundry iron) 等。電熨斗 (Electric iron) 之發熱元素，通常爲鎳鉻齊 (Nickel-chromium 或 Nichrome) 條，纏繞於雲母片上。通常電熨斗所需之電約爲 600 瓦，即與 25 瓦之電燈 24 個所需之電力相當。熔金 (Fuse)，如上圖所示，有連接式 (Link type) 與包裝式 (Inclosed type) 兩種，用爲電路之一部分，遇有短路 (short circuit) 或其他之原因，有過量之電流通過時，可以防止之，使電燈，電動機，電話等，不致受其損害。熔金被熔而斷時，欲防其紅熱之熔金逸散，則用包裝式，如 F 熔斷，則電流即溶化 S，因此令包裝之紙片成爲黑色。由此焦黑之色即可查知包內之熔金已斷

$$I = \frac{E}{R_0 + R_i} \quad (4)$$

故如某電瓶之內抗為 2 歐，電動力為 1 弗，以 9.35 呎長之第 30 號銅線連其二極，則線中之電流為

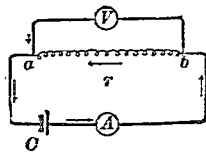
$$\frac{1}{1+2} = .33 \text{ 安。}$$

324. 內抗之計量。

求電瓶之內抗究與何種導線若干長之抵抗同等，最簡捷方法，即將瓶之兩極先連結於一安計，或其抵抗可以略去不計之電流計^①，然後以極長之白銅線，接入電路，使其足以將電流計上之度數減為前數之半，於是此電瓶之內抗，即與白銅線之抵抗同等，試言其故，若安計與弗計同時皆可用時，則更有一簡便方法，即將安計直接與電瓶連結，以其所示之電流，除弗計所示之電動力，即得，蓋此時公式(4)之 R_0 ，為值甚小，可以略去不計，故 $R = \frac{E}{I}$ ，即內抗之歐數。

325. 用安計弗計法測定抵抗。

尋常測一導線或一般導體之抵抗，其最簡便方法，係將導體連結於電瓶之電路，如圖 276. 插入安計 A，以測電流；插



□ 276. 用安計弗計測抵抗法

① 教室用之桌上安計最相宜，參閱第 294 頁之註。

入弗計 V ，以測導線 r 之兩端 a, b 間之勢差。如此，則導線 r 之抵抗之歐數，可自安計與弗計所示之數計算之。由定律 $I = \frac{P.D.}{R}$ ，即可知 $R = \frac{P.D.}{I}$ 。如弗計所示之勢差為 .4 弗，安計所示之電流為 .5 安，則導線 r 之抵抗為 $\frac{.4}{.5} = .8$ 歐。^①

326. 平結及順結導體之全抵抗。

如圖 277 所連結之抵抗，令同一電流次第由第一線流入第二線，再由第二線流入第三線之法，謂之順結 (In series)。此若干個之導體之全抵抗，即其各導體之抵抗之總和。故圖中 a 與 b 間之全抵抗為 10 歐。

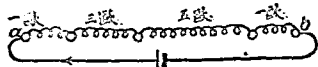


圖 277. 順結

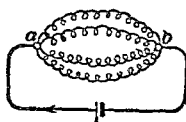


圖 278. 平結

設有 n 個相似導體，平行排列，如圖 278，謂之平結 (In parallel)。其兩點 a 與 b 間之全抵抗，為每一抵抗之 $\frac{1}{n}$ 。蓋兩點 a, b 間之勢差，若為一定，則四導體所導之電

① 參閱若者實驗書中關於威士頓橋法 (Wheatstone's Bridge Method) 之所述。

流,必爲一導體之四倍,而 n 導體所導之電流,必爲一導體之 n 倍。因抵抗與電流爲反比,故全抵抗爲一導體之抵抗之 $1/n$ 。

327. 分路。

平接兩導線,則此線即謂爲彼線之分路 (Shunt)。如圖 279, 導體 X 即爲橫越抵抗 R 之分路。在此情形之下, R 與 X 中所通過之電流,與二者之抵抗爲反比。設 X 爲 1 歐, R 爲 10 歐,則通過 R 中之電流,必爲通過 X 中之電流之 $1/10$, 或爲由 a 至 b 之全電流之 $1/11$ 。易言之,因 X 傳導電流

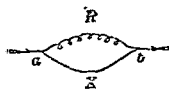


圖 279. 分路

之能力,即形導 (Conductance), 10 倍於 R , 故通過 X 中之電流,亦 10 倍於 R ; 即全電流之 $10/11$, 皆由此分路通過。安計(圖 264)上所用之分路,其抵抗極微。

問 題

1. 電瓶之電動力,與極板之形狀及其遠近無關,將何以證明之?
2. 何以知電瓶之內抗,因極板之加大而減小?又因極板之接近而減小?
3. 若欲用一電流計測定一開路 (Open circuit) 電瓶之兩極間之勢差,何以必須用高抗電流計?
4. 電報之電線用鐵,電車之電線用銅,其故何在?

5. 設有一弗計,其抵抗爲200歐,橫越兩極端A, B之間所加之分路之抵抗爲1歐,則全流之幾分之幾,可由弗計內通過?
6. 設有一電路,其抵抗爲19歐,兩極端間之勢差爲3弗,如在同一電路上,有抵抗爲3歐之線,其兩端間之勢差爲若干?
7. 某白銅線之抵抗爲1歐,今有其長相等而徑倍之之別一白銅線,其抵抗爲何?
8. 兩點間之勢差爲2弗,設以12歐抵抗之線連結之,其間之電流爲何?
9. 設有一導線,其抵抗爲100歐,通過此線中之電流爲3安,此線之兩端之勢差爲何?
10. 將弗計連結於熾熱電燈之熾熱絲(Incandescent filament)之兩端,知其爲110弗,將安計與電燈順結,知其爲.5安,此燈之熾熱絲之抵抗爲何?
11. 設有一蓄電池,其電動力爲2弗,通過.05歐抵抗之電流計中之電流爲20安,電瓶之內抗爲何?
12. 設有一蓄電池,電動力爲10弗,外抗爲4歐時,所得之電流爲1.25安,其內抗爲何?
13. 第20號之線之直徑約3倍於第30號之線,今第30號線長1呎,其抵抗爲6歐,長4呎之第20號同質之線之抵抗爲何?
14. 設有導線三條,其抵抗各爲15歐,平結之,使3安之電流通過其中,此電流之電動力爲若干?

一次電瓶

328. 單筒電瓶之作用。

細察上述之單筒電瓶,即將鋅板與銅板浸入稀硫酸中所成之電瓶,當其兩極未用導線連結以前,只見鋅板上緩緩發生氣泡,而銅板則無之,若一旦以金屬導線聯絡之,銅板上

即發生無數氣泡(圖 280), 同時導線中亦有電流通過。此種氣泡純爲氫。欲防鋅板上發生此種氣泡, 當用純粹之鋅板, 或加一薄層水銀於其上, 使成鋅銀膏 (Zinc amalgam)。至於銅板上之氣泡, 不能用此法防止。恆與電路中之電流同時發生。若使電流通過導線中之時過久, 則見鋅板漸次消蝕, 雖有鋅銀膏層蔽於其上, 亦不能免。銅板則無變化。

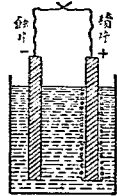


圖 280. 電瓶內之化學作用

由此可知, 單節電瓶內之電流, 與鋅板之消蝕, 及銅板上之氫泡, 同時發生。一切電瓶, 不論何式, 皆有與此相類之作用。即有一板消蝕, 他板則沈積有一種元素。由第 300 節之實驗, 知消蝕之鋅板帶陰電, 故用一導線將其兩極連結時, 陰電子即自鋅板經導線流至銅板。由此可知 外路(External circuit)之電流方向係自不消蝕之板流至消蝕之板。

329. 局部作用及鍍齊法。

將不純粹之鋅板浸入稀硫酸內, 板面之所以發生氣泡, 實因鋅與雜質(如碳及鐵屑等)之間, 成一細小之電路, 如圖 281 所示。鋅之質若純粹, 則此種局部電流 (Local current) 即不能發生, 故無氣泡出現。鍍



圖 281. 局部作用

齊法(Amalgamation)之所以能防此局部作用(Local action)者,因水銀能溶鋅而不能溶鐵以及其他諸雜質故也。鋅銹齊為一同性(Homogeneous)物質,佈滿全面,將其他雜質蓋住,當電瓶為開路(Open circuit)時,欲保鋅板不被消蝕之最要法,即使其成為銹齊,通電流時,鋅板無論如何必被消蝕,故銹齊法只能防其消蝕於開路中而已。

330. 單簡電瓶之作用之理論。

單簡電瓶,只須將不同種類之兩種金屬,同時浸入酸液或鹽液內即成,為簡便計,先就鋅銅二板浸入稀鹽酸液內而成之電瓶研究其作用。鹽酸之化學式為 HCl, 即酸之每一分子,含氫一原子與氯一原子。由前第302節電解所述,此酸液起電離作用,分解成為陰陽兩種離子(圖 282)。

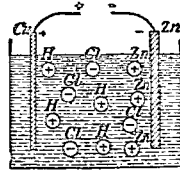


圖 282. 水中之鹽酸分子之電離

若將鋅板插入此種液內,則鋅為酸所消蝕,其原子遂被牽入液內。凡金屬溶解於酸中,不知何故,其原子恆帶有少許之陽電以入液內,與此相當之陰電,自必殘留於鋅板之上,恰與用繡擦玻璃棍,棍帶陽電,同時即有與之相當之陰電殘留於繡上之例相同,此即第300節中所述之電瓶與驗電器之實驗,其鋅片上具有陰電之理由。

帶有陽電之鋅離子進入溶液內,使鋅板近傍之液,亦帶陽電,故氫離子受其斥力作用,離鋅板而出,及達於銅,即有若若干之氫離子,將其所帶之電儲之於銅板,復變為氫,自集而成氣泡,此即第300節中之實驗,電瓶內銅版帶有陽電之理由。

如鋅銅二板之外,未用導體連通,則帶陽電之鋅離子

進入液內，不久即停。因鋅板不久即積有極強之陰電，其引回帶有陽電之鋅離子之力，與酸之引其入液之力相等。銅板之接收氫離子之陽電，亦從此停止。因其已得大量之陽電，其驅斥氫離子使離已之力，與帶有陽電之鋅離子之驅斥氫離子之力亦正相等故也。此即單筒電瓶當在開路時起化學作用之理由。斯時之鋅板與銅板間之電勢差，只能達於一定之限度，名之曰電瓶之電動力。

若鋅板與銅板之間，用一導線連結，電流隨即由銅流至鋅，兩板具失其電荷。因此，酸液更引鋅板上之鋅以入於液，銅板更引其附近之氫以出於液。線連而不斷，此變化亦進行不已。導線中之電流繼續直至鋅板完全消蝕，或氫離子盡出液而後止。易言之，即直至鋅與酸兩者之中有一用盡而後止。

331. 極化作用。

取單筒電瓶，用二三呎長之第30號白銅線接於安計，則見指針所示之角度，漸次減小。然若將銅板揩乾，或除盡其上附着之氫泡，則指針復歸其原位。

由此試驗，可知電流之衰弱，實由於附着於銅板上之氫泡，由電瓶發生之電流之此種衰弱現象，曰電瓶之極化(Polarization)。

332. 極化之原因。

氫泡附着於陽極板上，能使電流減弱之原因有二：其一，氫本非導體，集附於銅板，即減小極板之實效面積(Effective area)，因而增大電瓶之內抗；其二，氫泡附着於銅板上，足以使電瓶之電動力降低，因銅板既為氫泡蔽

滿，即無異變成一塊氫板，依第 320 節所述，將組成電瓶之質料改動，電動力亦即因之而變故也，事實上當呈極化現象時，電動力既相當降低，內抗又復增加，可依下法實驗之：

將電瓶之極板從新磨洗過，然後連緒於弗計之兩端，細察指針所示之角度，然後橫越電瓶兩端，架一粗線，使成短路，約半分鐘，移去粗線，計上所示之電動力，立即較前為低，待板上氫泡漸消，電動力亦漸還原，但欲完全還原，非將銅板完全洗刷乾淨不可。

電瓶式樣繁多，其差異之點，大半在防止氫泡之發生，或既生之後而除去之方法，各有不同，茲將其最普通者，約舉於下。

333. 丹聶爾電瓶。

丹聶爾電瓶 (Daniell cell) 之構造，為將鋅板浸入硫酸鋅 ($ZnSO_4$) 液中，將銅板浸入硫酸銅 ($CuSO_4$) 液中，此兩種液體之間，用一未上釉之瓷杯隔之，如圖 283 所示，或利用其重力不同亦可。

此電瓶以其無發生氫泡之機會，故無極化之虞，硫酸鋅 ($ZnSO_4$) 液內含有帶陽電之 Zn 離子，與帶陰電之 SO_4 離子，硫

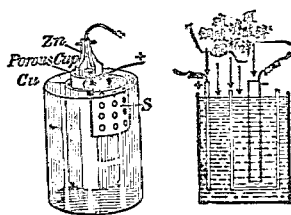


圖 283. 丹聶爾電瓶

① 裝設之法，將硫酸銅之飽和溶液盛入瓶內，令滿，又將水盛入未上釉之生瓷杯內令滿，然後加硫酸鋅一把於其內。

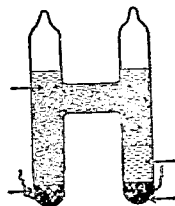
酸銅 (Cu SO_4) 液內含有帶陽電之 Cu 離子，與帶陰電之 SO_4 離子，與第 330 節所述鹽酸液內含有帶陽電之氫離子與帶陰電之氯離子相同。其鋅板之鋅，溶於硫酸鋅液，與第 330 節所述之單筒電瓶之鋅之溶於鹽酸液之狀況，毫無差別。因此遂令鋅板之近旁之溶液，帶相當之陽電。在兩板間之陽離子，受其影響，即由鋅運動至銅，而其陰離子 SO_4 則沿反對方向進行，以至鋅；因 Zn 與 SO_4 兩種離子皆能通過此多孔之杯 (Porous pot) 故也。銅板近旁之陽離子，既由銅之原子而成，則在銅板附近，由溶液內殺驅斥而出之物質，必為銅質，而非若單筒電瓶之為氫氣。沉積於銅板上之物質，與木質相同，則電瓶之電動力及其抵抗，皆絕不因此沉積物而起變更。故無極化現象。

丹垂爾電瓶能保持一定之電動力 (1.08 弗)，是為其最大之優點。惟內抗甚大 (由 1 至 6 歐)，是以不能得大電流，至多僅能達一安。然所得電流，雖歷長時間亦不變，直至硫酸銅中之銅完全沉積而後已。若欲保持液間恆具銅離子，可另將硫酸銅之結晶置於圖 283 電瓶之室 S 內，或重力電瓶 (Gravity cell) 之底部。如遇硫酸銅液偶有稀薄，則結晶之硫酸銅，立溶以補之。

丹垂爾電瓶，亦名閉路電瓶 (Closed circuit cell)，因當不用之時，亦須閉合其電路。此時所用之抵抗，約為三十或四十歐。如任其開放，則硫酸銅液必透過多孔杯之壁而擴散於其內部，遂成土色之銅或氧化銅，沉積於鋅板之上。即杯中之細孔，亦有純銅沉積於內。此二者具足以破壞電瓶。若其電路閉合，則因受電力作用，銅離子必向銅板進行，故無此弊。

334. 衛斯吞標準電瓶弗。

衛斯吞標準電瓶 (Weston normal cell) 之陽極為糊狀硫酸亞銻 (Mercurous sulphate) 中之水



□ 284. 標準電瓶

銀,陰極為飽和硫酸鎘(Cadmium sulphate)液中之鎘銻齊(Cadmium amalgam) (圖 284),既易製成,而又耐久,電動力恆為一定,決不稍變,故國際會議用為測定一切電動力及勢差之標準。

在 20°C. 時此電瓶之電動力為 1.0183 弗,故弗之法
定之定義為衛斯吞電瓶之電壓之 1/1.0183。

335. 勒克蘭社電瓶

勒克蘭社電瓶 (Leclanché cell) (圖 285), 係將鋅條浸入氯化銨(Ammonium chloride) (NH_4Cl) 溶液 (150 克溶於 1 呷水中), 將碳條置於多孔瓶中, 杯中滿貯二氧化錳(MnO_2) 與碳粉, 此瓶之作用與單筒電瓶同, 其鋅溶解於液內, 即有氫泡發生於陽極板, 即碳條上, 但在此處逐漸為二氧化錳所蝕, 此種化學作用甚為遲緩, 故當電瓶中通過大電流時, 不能完全免去極化作用, 但在開路稍息一時, 又可漸次復原, 勒克蘭社電瓶之電動力約為 1.5 弗, 其最初之內抗不及一歐, 故若用於供給片刻之電流, 可達一安至三安。

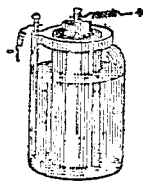
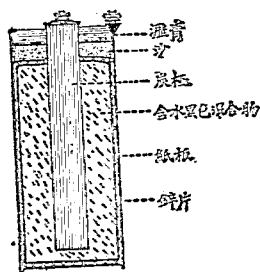


圖 285. 勒克蘭社電瓶

此瓶之絕大特點在其所用之鋅條，即當電路開放時，亦絕不受氯化碲之作用，故裝置之後，即任其電路開放，亦可歷久不壞。與丹聶爾電瓶大不相同。勒克蘭社電瓶多用以供給片刻之電流，如門鈴 (Doorbell) 之類。一經裝成，可用數年。除須時加清水，以防蒸發，及時加氯化碲，以保液中之陽離子 NH_4 及陰離子 Cl 之外，毋須注意他事。

336. 乾電瓶。

乾電瓶 (Dry cell) 為勒克蘭社電瓶之變形，並非真乾。其中所含之混合物，實際上為潤濕之糊狀物。平常乾電瓶內，約含水 100 克，鋅板成為圓筒狀，內貯潤溼之黑色混合物，碳板即插入其中。混合物為氧化錳，氯化碲，氯化鋅，合以焦炭 (Petroleum coke) 粉，及少量之石墨等。氯化碲作用於鋅，因生電流，與勒克蘭社電瓶相似。二氧化錳在防止其由氫而生之極化作用，氯化鋅在防止其由碲而生之極化作用，石墨減



□ 286. 乾電瓶

其內抗，在平常之新電瓶，其內抗可小於 $1/20$ 歐。因其內抗小，故在暫時短路中，其電流可至30安以上。因其便於使用，故每年之製造，可以百萬計。一廠一日之出品，有達30,000個者。

337. 電瓶之連結法。

連結電瓶之法，共有兩種：一為順結 (In series)，一為平結 (In parallel)。順結者，以第一瓶之鋅，連結第二瓶之銅，第二瓶之鋅，又連結於第三瓶之銅。如此順次聯絡，最後以第一瓶之銅，與第末瓶之鋅，連結於外抗之兩端(圖287)。其電動力為各單瓶之電動力之總和。內抗亦為各單瓶之內抗之總和。故外抗若甚小，則用此連結法，不能增大電流，因其全電動力之增加，與內抗同一比率故也。但如外抗甚大，則其電流較之單一電瓶之所發出者，增加甚大。至其增加之程度若何，可由歐姆定律求之。設順結之瓶數為 n ，各瓶之電動力為 E ，則



圖 287. 電瓶之順結

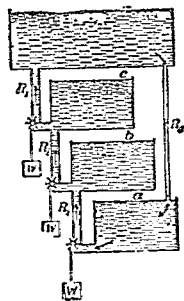


圖 288. 順結電瓶之
亦比

此電路之全電動力為 nE 。故如命 R_0 為一電瓶之外抗， R_i 為一電瓶之內抗，則由歐姆定律，得

$$I = \frac{nE}{R_0 + nR_i}$$

如有 n 個電瓶為平結，即將各電瓶之銅連為一處，又將各電瓶之鋅連為一處，如圖289。

此種結合而成之電動力，只與單一電瓶之電動力相同，內抗則為單瓶之 $1/n$ ，因此種連結之效果，無異將極板之面積增大 n 倍故也，由此種結合而成之電流，可由下式決之：

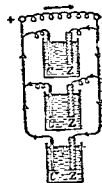


圖 289. 電瓶之平結

$$I = \frac{E}{R_0 + \frac{R_i}{n}}$$

如所用者為一粗銅線，則其 R_0 之值甚小，所通過之電流較單瓶大 n 倍。圖 288, 290 為水之比喻圖，表順結之電動力，何以為各電動力之和，又平結之電動力，何以不能較單瓶之電

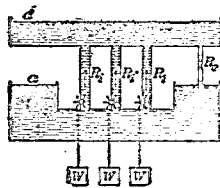


圖 290. 平結電瓶之水比喻

動力爲大，由此比喻，知關於電瓶之連結，可用下述之定則支配之： R_0 大於 R_1 之電瓶，當順結； R_1 大於 R_2 之電瓶當平結。

問 題

1. 設有一乾電瓶之電動力爲 1.5 弗，用插抗極小可以毋庸計算之安計測之，其電流爲 30 安，其內抗爲何？
2. 門鈴用勒克爾社電瓶，勝於用丹遜爾電瓶，其故何在？
3. 繪三線順結，及三電瓶順結之圖，如各線之插抗爲 .1 歐，此全線之插抗爲何？每瓶之插抗爲 .1 歐，則此順結之內抗爲何？
4. 繪三線及三電瓶平結之圖，如各線之插抗爲 6 歐，三者相結時之插抗爲何？每電瓶有 6 歐之內抗，則全阻之插抗爲何？
5. 試由 \square 288 及 290，討論第 337 節末所述之定則之亦比喻。
6. 如重力式之丹遜爾電瓶之內抗爲 4 歐，電動力爲 1.08 弗，今以 40 個電瓶順結，自插抗爲 500 歐之電線上可得電流幾何？如爲平結，在同一電路中流通之電流，又爲若干？如僅用一個電瓶，在同一電路中流通之電流又爲若干？
7. 平結 40 個電瓶，使其總電流通過插抗等於 .1 歐之安計，電流爲何？如爲順結，通過此安計之電流爲何？如僅用一個電瓶，通過此安計之電流又爲何？
8. 小電瓶欲實際上與同式之大電瓶得同一電流，須如何而後可？
9. 電瓶之電動力爲 1.5 弗，內抗爲 2 歐，今欲使外抗 40 歐之導線上，至少須通過 1 安之電流，需用電瓶若干個？
10. 測電流之電流計，其插抗愈小者愈佳，其故何在？

11. 普通第 9 號之電報線，每哩約有 20 歐之抵抗，每個丹垂爾電瓶之電動力為 1 弗，內抗為 4 歐，今將此種電瓶 100 個，用順結法連結，並用此種電報線 100 哩送電，兩端之繼電器各有 150 歐之抵抗，所得之電流為若干？
12. 前區之繼電器，其電圈如各有導線 10,000 捲，其使電磁石磁化有實效之安培數為幾何？
13. 上區之電報線中，設其音響器之電抗各為 3 歐，以 500 捲置於繼電器之處，則其磁化鐵心之有效安培數為若干？何以繼電器之電磁石之抵抗甚強？

二次電瓶

338. 鉛蓄電池。

取八吋長六吋寬之鉛片兩塊，用螺釘旋緊於半吋厚之絕緣體上，如圖 291，浸於硫酸一分及水十分之液中，用順結之二蓄電瓶 (Storage cell) 或三乾電瓶送電流 C 入內，將一安培計 A ，或低抗電流計插入於此電路中，電流通過，即有氣泡發生於陰極，即電流由溶液出外之一板，此時陽極漸變為棕黃色，安計所示之刻度，同時減退甚速，其棕色之層，係鉛與氧之化合物，名為二氧化鉛 (Lead peroxide, PbO_2)，乃游離而出之氧，作用於鉛板而成，與水之電解同理 (第 302 節)。若開鉗 K_1 ，將電瓶由電路中除去，然後再開鉗 K_2 而使一電鈴 B 插入以替代之，鈴立即作響，而安計 A 上所示之電流方向，恰與原電流相反，最初之電流在此電瓶內貯蓄積之能，因用於電鈴作響，其次消費，故安計上所示之電流，因亦隨之而減退。

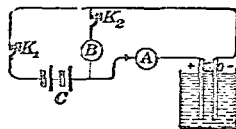


圖 291. 蓄電池之原理

上之試驗爲蓄電池(Storage battery)之原理,嚴格言之,則其所蓄者非電,而爲化學能(Chemical energy)。

此兩鉛板最初本爲完全相同,因受電流作用,遂變爲兩種不同之板。一爲鉛板,一爲二氧化鉛,易言之,此二板已變爲普通之電瓶,蓋凡在電解質溶液中之不同種類物質之金屬板,皆可成爲一次電瓶(Primary cell)故也,此瓶之二氧化鉛,與尋常電瓶之銅板相當,而鉛板則與尋常電瓶中之鋅板相當,所生電流與使此瓶帶電之原有之電流方向正相反,即其電動力之傾向,在推回使之帶電之電動力。安計上所示之刻度之低降,即由於此,及原電流移去,則其作用正如一次電瓶;其發生電流,直至二氧化鉛之薄層完全溶盡爲止,商業上所用之蓄電瓶

(圖 292),與此處所述之蓄電瓶,其緊要之異點,即前者之作用物質(Active material),非如此處所述僅由一次使之帶電所能造成者也。作用物質在陽極爲二氧化鉛,在陰極爲多孔性之海綿狀鉛,壓入板上之間隙而成,如圖 292。鉛蓄電瓶之電動

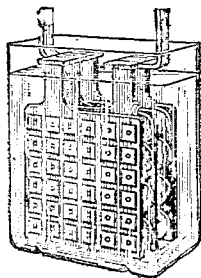


圖 292. 鉛板蓄電瓶

力,約爲 2 弗,因各板間之距離,彼此甚近,且可隨意增大

其面積故內抗甚小,故可供給較大之電流。

鉛蓄電瓶之尋常效率,約為75%,即僅為原受之電能之3/4。

339. 鎳鐵蓄電池.

愛迪生(Thomas A. Edison) (參看第 頁之對面插圖) 大成鎳鐵苛性鉀蓄電瓶 (Nickel-iron caustic-potash storage cell). 其電解質為21%之苛性鉀,溶於水中. 陰極為鐵屑,貯於多孔之平方匣內. 陽極為氧化鎳,貯於有孔之圓筒中. 如電容相等, 愛迪生電瓶之重,只為鉛蓄電瓶之半,且大可省機械的浪費. 此電瓶之電動力,約為1.2弗. 其效率則略低於鉛電瓶. 近世更有以苛性鈉代苛性鉀而用之者。

問 題

1. 使一蓄電池帶電,可以謂為使電流通入電瓶內否? “蓄”之意義云何?
2. 二氧化鉛及氧化鎳板皆曰陽板 (Positive plate), 與使之帶電之電流,有何關係?

電流之熱效應

340. 電流通過電線所生之熱.

將順結之乾電瓶二個或三個連於1/4吋長,或較此更短

之第40號鐵線,或白銅線,線即熾熱,或至熔化。

由此實驗,可知電流通過電線,電能轉為熱能通過電流於已知其勢差之兩點間,其電能之消耗,可分為數種;例如使蓄電瓶帶電,即消耗於起化學之分解;通電流入電動機,即消耗於機械之功;又如本試驗所示,完全消耗於使導線發熱,若絕無化學作用,或機械的耗費,則電能將盡耗於發熱。(關於熱效應之利用,參看第297頁對面之插圖。)

341. 電流之能關係。

由前第九章所述,知水臥輪所耗之能,等於通過之水量,與落水之水面差之乘積;即功率為兩水面間之水落差,與水流強度之乘積。與此同理,電流通過一導體內,其功率亦等於導體間之電勢之落差,與電流強度之乘積。

如勢差為弗數,電流為安數,功率為瓦數,則

$$\text{弗} \times \text{安} = \text{瓦}$$

電能常以瓦時(Kilowatt hour)量之。

瓦時為在一時間內消耗1000瓦之能率。

342. 熾熱燈。

尋常之熾熱燈(圖 293) 係使電流通過鎢絲 (Tungsten filament), 使其熾熱而成。

鎢絲在空氣中, 數秒間即變為灰燼, 故密閉於高度真空之玻璃泡 (Bulb) 中。用時, 此線漸漸蒸發, 顯黑層於泡之內面。導入線有兩條, 一封入於底部 *A*, 一則封入於其邊 *P*。此



圖 293. 鎢絲真空燈

二者即成為電極, 乃電流出入電燈之路徑, 又封入泡壁內之線 *u, w* 之

膨脹係數必與玻璃同, 以防因熱生隙而漏空氣。

將多數之熾熱燈裝置於一處時, 恆用平結, 使其兩端之勢差, 常在 100 弗以上。其耗能之量, 每一燭力, 平均約 1.25 瓦。碳絲之熾熱燈, 今已全廢, 而用鎢絲代之。鎢絲熾熱時之溫度, 較碳絲為高, 其效力亦幾三倍之。

電燈用戶恆依耗時(第 341 節)付價。例如在 100 弗之電壓下, 有 $1/4$ 安之電流通過之燈, 其所用之能, 為 25 瓦。如有此種之燈兩罩, 點用四時, 則所耗之能為 $2 \times 4 \times 25 = 200$ 瓦時 = 200 瓦時。此數即由自錄瓦時計 (Recording watt-hour meter), 即俗稱之電表(圖 321), 記錄而出。

如將泡內充以氮, 即可得一種效率極高之鎢絲燈。將極長之鎢絲曲作極細小之螺旋狀, 以減小熱之輻射。

由前第 207 節所述，知若有氣體存在，即是防礙蒸發作用。故在為氮充滿之泡內，鎢絲之熱度可以較僅在真空中時為高，只須增加少量電流，燭光(Candle power)即可大增。且因氣體之對流作用，可使因受蒸發而生之黑層，成於泡之頂部，光度不致受其妨害。大形氮燈泡，每燭光只消費 .6 瓦之電能。

343. 弧燈。

如將兩碳棍插入一強電路之間，使其互相接觸，則其接觸之處，即變為紅熱(Red-hot)。然後將兩棍分離，使其相距約為 1/4 吋，因其間生有發熱蒸氣，故電流仍能繼續通過。此兩極間之發熱蒸氣層，名曰電弧(Electric arc)，其形狀如圖 204。碳棍之接觸處成一坑(Crater)，其底極成一凸出。碳棒之消耗率，每時約一吋，兩極所耗較陰極約逾二倍。光之大部分，由於陽極之坑。其溫度約為 3500°C，為人造之最熱溫度。凡已知之一切物質，入此電弧中，無不立即汽化。



圖 204. 弧燈

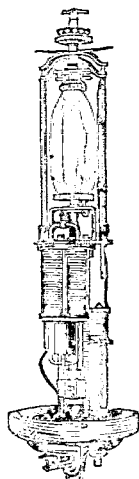


圖 205. 直流用弧燈之構造

尋常弧燈需電流10安,勢差約為50弗,如是之燈,可生500^①燭光。故其電能之耗率,每一燭光,約1瓦。弧燈所生之光,由於插抗所發生之熱而來,與實際上之燃燒並無關係。但在空氣中之開弧(Open arc),因強熱之碳與氧化合甚速,故短時間內,棒既耗盡。欲去此弊,常用閉弧(Inclosed arc)(圖295);弧燈發光片刻後,泡內之氧即已耗盡,熱棒之周圍,只餘二氧化碳及氮。用此法一碳棒可歷130時間至150時間之久。閉弧較開弧為長,故其兩尖端之勢差亦較大,約為80弗。其餘之勢差,則為燈之抵抗圈(Resistance coil)耗去。

近世發明之離弧(Flaming arc),於碳棒中另置一心棒(Core),其主要成分為碳及氟化鈣(Fluoride of calcium)。有時其效率竟至每燭光僅.27瓦。其光為黃色,遼弱之力甚強。

344. 弧燈之自動送電法。

弧燈之兩碳極,既漸耗漸短,故如無自動送電方法(Automatic feeding device),使碳端間恒保持其一定之距離,勢必漸次離遠,不能發生弧光。圖296所示,為此種裝置法之要部之一。若無電流通過燈內,則碳棒因受電力作用,使其尖端緊着於 e 處。及電流通入,電磁石 m 與 m' ,即牽上 U 形鐵片,使 e 處,發生弧光。碳棒漸耗,弧光漸長,因之抵抗增而電流減,電磁石牽引鐵片之力亦弱,故在上之碳棒降下,電流又強。準此,在上之碳棒時時自磨擦接合子(Friction clutch)下降,故用此裝置,可使弧光恆保

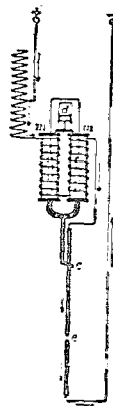


圖 296. 弧光燈之自動送電法

^① 此處係指“平均球面燭光” Mean spherical candle power 而言。若就照明最強烈之方向而言,可達1000乃至1200燭光。

持一定之長，使碟下降之重力，與牽之向上之磁力，恰成平衡。 d 爲制動齒 (Dashpot)，含一定活塞 (Stationary piston)，令磁石牽引力不致發動極驟，碟棒端間之 e 處，亦不致因此分離過遠。

345. 庫拍休易特錄燈。

庫拍休易特錄燈 (Cooper-hewitt mercury lamp) 與弧燈不同之處，在其熾熱之物體並非固體，而爲水銀之蒸氣長柱，其外形爲一真空玻璃管，長約三四呎許，頂部之陽極爲一鐵板，底部之陰極爲少量之水銀。在一定之強勢差之時，兩極間即成

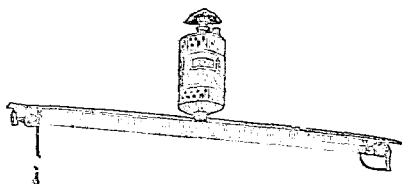


圖 297. 庫拍休易特錄燈

一水銀蒸氣之長弧，弧發甚強之光，然乏紅光。光中之化學線 (Actinic ray) 甚強，故於照相上有特殊之價值。燈之效率，每燭力祇需 .6 瓦。此燈常用以殺菌 (Sterilization)，用水晶管製成，蓋以其光皆紫外線 (Ultra-violet rays)，僅對於水晶管方能透過之故也。

問 題

1. 何謂 104 弗之電燈？如該燈之兩極間之勢差爲 500 弗，將如何？電車線所送之電流，通常爲 500 弗，於此種電路上，欲用 100 弗之燈，將如何裝置之？
2. 屋內電燈常標明爲 25 瓦，所通之電流爲 $1/4$ 安，但乾電池在電路上恆生 30 安以上之電流，乾電池可以供電燈之用否？

3. 50 弗之碳絲燈，通過 1 安電流時，所得之燭光，等於 100 弗之碳絲燈通過 $1/2$ 安之電流時之燭光。試說明其故。
4. 如有一蓄電池，其電動力為 2 弗，所供給之電流為 5 安，其所消費之能率之瓦數為何？
5. 圖 298 所示，為電燈 L 之一種連結法，使其在兩點 a, b 中之任一點，皆可隨意開關。試說明其作用。

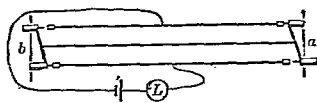


圖 298. 兩處開關法

6. 將 100 弗之燈若干個，連於一電路上，每燈約通過 $1/4$ 安之電流，此電路之全功率，不過 600 瓦，可裝燈幾何？
7. 在 104 弗之電路上，通過 3.5 安之電流於電熨斗內，共 6 時間，設電流每瓦時須洋 9 分，共須費若干？
8. 烤麵包之器，若電壓為 110 弗，需電流 5 安，3 分鐘間可烤麵包兩塊，此器變電能為熱能之功率為若干馬力？如每瓦時需費 8 分，烤麵包十二塊所須之值為何？
9. 電燈之抵抗為 20 歐，所需電流為 .8 安，今有 4000 瓦之發電機，可點燈若干？
10. 如鎢絲泡中之一線圈變為短路，對於通過電燈內之電流量有何影響？又對於鎢絲之明暗如何？
11. 第 4 題之電瓶須若干個方等於 1 馬力？(參看第 144 節。)
12. 1 卡等於 42,000,000 厄。1 瓦 (每秒 10,000,000 厄) 於 1 秒間生 .24 卡。故令兩點間之勢差為 V 弗，電流為 I 安， t 秒中所生之熱為 H 卡，則

$$H = I \times V \times t \times .24.$$

第 8 題之烤麵包器，一分間所生之熱為若干卡？

13. 自第 12 題之方程式, 試證明

$$H = I^2 R \times t \times 24.$$

14. 以 20 歐之抵抗圈沈於水中, 通過 5 安之電流, 使 600 克之水, 自 15°C. 熱至 100°C., 須幾分鐘?
15. 用蓄電瓶比用丹遜爾電瓶可得較強之電流. 其故何在?
16. 汽車上所裝之燈, 如為 6 弗, 須用鉛板蓄電瓶幾個? 平結欵? 抑順結欵?
17. 小弧光燈須 5 安之電流, 兩極間須 45 弗之勢差. 今欲裝置之於 110 弗之電路上, 須順結若干抵抗於其間?

第十五章 誘導電流

發電機及電動機之原理

346. 磁石誘起之電流.

取第 22 號銅線，繞成四五百捲之圈 C (圖 299)，其徑約二吋半。將此圈接於電流計 (圖 263)；或將第 20 號銅線之 20 捲之圈，以第 40 號之銅線懸於箱內，作為更簡單之指示器，以與圈 C 連接 (圖 299)。試將圈 C 驟然套於一磁極強大之蹄形磁石之 N 極上，電流計之指針 p 即生轉動，表明有暫時電流 (Momentary current) 由圈內通過。若持此圈任其置於磁石之上，固定不動，則指針又復歸其原位，而成靜止。又如將此圈由磁極驟然取去，指針又生轉動，但其轉動之方向，恰與前次相反。可知此時圈內所起之電流方向，亦與前相反。



圖 299. 磁石誘導之電流

由是可知，使一導體在磁場內運動即可在此導體內誘起一種電流，名曰誘導電流 (Induced current)。若將導體靜置場內，即無此種效應。此現象為科學史上最重要問題之一，首發見之者，為法刺錫，時為 1831 年。近世電學上之工業發展，多基於此。

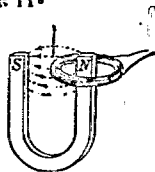
347. 誘導電流之方向。楞次定律。

欲知誘導電流之方向，可將勢差甚小之電瓶，接於兩端 A, B (圖 299)。假定電流由 A 端流入，注意觀察其指針轉動時所向之方向。由此可以查知當圓 C 驟然套上 N 極時圓中所起之電流方向。當電流經過圓 C 之時，如應用右手定則，即可查知圓 C 之兩面，孰為 N 極，孰為 S 極。由此可知，設圓通過磁石之 N 極，則當其向下運動時，圓中之誘導電流使圓之下面成為 N 極；當其向上運動時，圓中之誘導電流使圓之下面成為 S 極。前者，磁石之 N 極與圓之 N 極間，發生斥力作用，其傾向在阻止此圓由 a 移向 b 之運動；同時磁石之 N 極與圓之 S 極間，發生引力作用，其傾向在阻止此圓由 b 移向 c 之運動。後者，兩 N 極間之斥力作用，在阻止此圓由 b 向 a 之向上運動。總之所有運動，皆必受一反抗之力。

由上述之實驗，及其他類似實驗，可得下列定律曰：
磁場與導體間相對運動，則生誘導電流，其電流之方向，係生一磁場以反抗此運動。是為楞次定律 (Lenz's law)。
 此律由能常住原理可以預知。蓋電流既具有能，則此種誘導電流，必須由機械之功或其他之能之消耗而得。

348. 誘導電動力之必不可少之條件。

如圖 300 所示，將圓套於磁石上，令其與磁場平行，即與 NS 線平行，作前後之運動，圓內並不見有電流發生。



由此可知，圓內由誘導而生之電動力，只限於其運動能使圓

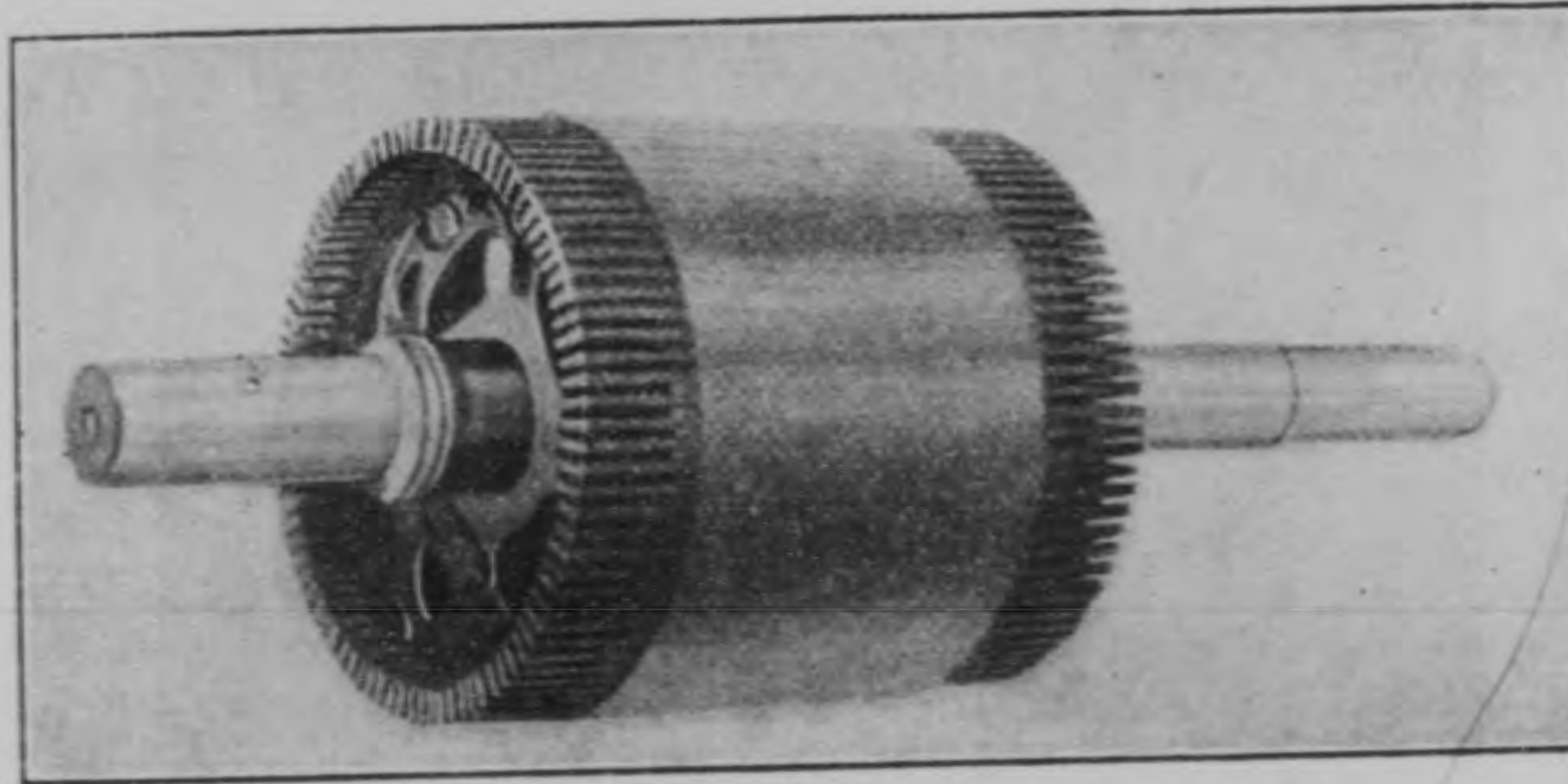
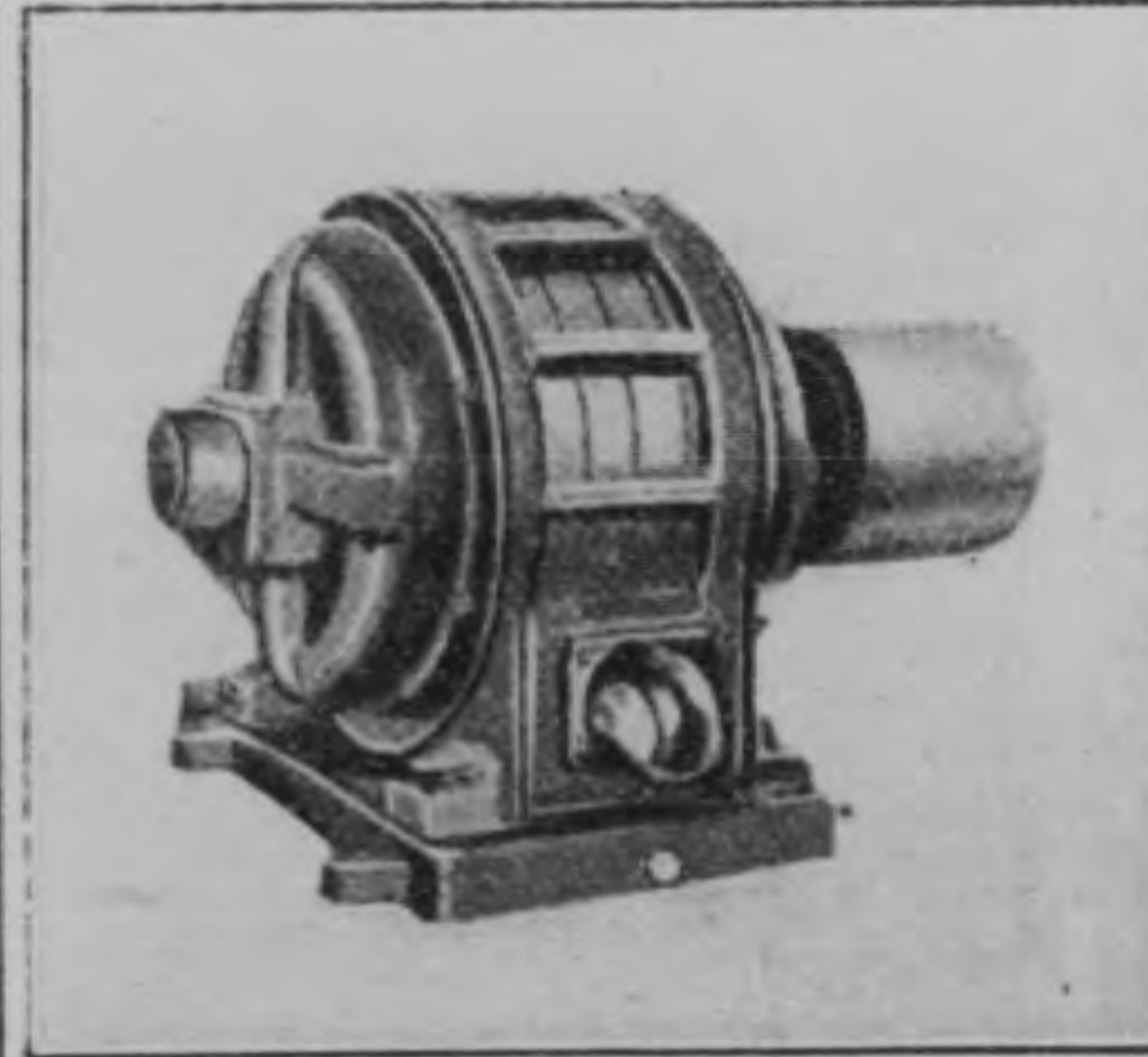
圖 300. 誘導電流只限於導體橫過磁力線時方能發生



法 刺 對

(Michael Faraday) (1791-1867)

英國最有名之物理學家及化學家；實驗家中之天才；爲一貧苦鐵匠之子；十三歲被送至倫敦，與一訂書工人爲徒，如是者九年；1813年入皇家研究所 (Royal Institution) 中之德斐 (Sir Humphry Davy) 實驗所；1825年昇該實驗所長；1831年發見電磁誘導；造成最初之發電機；1833年發見電解定律，現皆稱爲法刺對定律；實用電容單位之“法”，即從法刺對得名



誘導電動機

法刺對所發見之誘導原則，其最近之應用爲人所習知者，即誘導電動機 (Induction motor)，不問其機之大小，應用之途皆極普遍。圖中所示爲鼠籠式 (Squirrel-cage-form)，其固定子 (Stator，即固定之部分) 與轉動子 (Rotor 即轉動之部分) 之間，並無導體爲之連結。固定子繞於層疊鐵心 (Laminated core) 上，與發電機之固定子相同，轉動子則由銅棒組成，其銅棒則嵌於溝層鐵心 (Slotted laminated core) 之內，兩端各有一銅環，棒之兩端即各連於一環上。故各銅棒皆互成平行，將交流送入固定子上之捲線內，即發生一磁場，在固定子鐵環周圍轉動不已。其結果與有一組之磁極在轉動子周圍作機械的轉動時，完全同等。各磁力線既橫截轉動子之銅棒而過，即在銅棒內發生相當之電動力，因此使轉動子上之銅部中有電流通過。轉動磁場復與轉動子內電流所生之磁場作用，結果使轉動子自身隨轉動磁場之後，轉動不已。

內所^{*}包含之磁力線總數發生變化時,始能有之,更概括言之,即無論何種導體中,由誘導而生之電動力,僅限於此導體之運動,能橫截磁力線而過時,始能成立。^①

第一說法,實含在第二說法之內,因凡貫通圈內之磁力線總數有變動時,必有數磁力線或自圈內向外,或自圈外向內,橫截圈面而過故也。

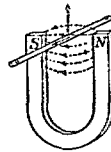


圖 301. 直導體割磁
力線時由感應而生電
動力

349. 電動機之原理.

試將垂直導線 ab 固着於水平線 gh 之上,將 gh 支於一環,或其他之金屬物體上,如圖 302 之狀,使 ab 以 gh 為軸,可以在其周圍自由振動,將 ab 下端浸入水銀槽內,而自乾電池將電流由上向下送入導線內,設置一磁石放在圖中所示之位置,則線立即依箭頭 f 所示之方向移動,即在與磁力線成直角之方向移動,設將電流之方向改變,則作用於導線之力亦變

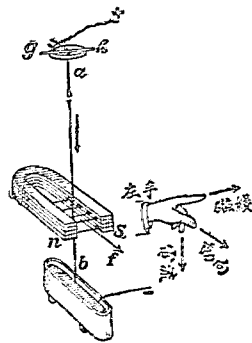


圖 302. 電動機之原理

① 如有極強之電磁石可用,即不必如圖(301)用圈,而用一直棒以作實驗(圖 301)。於棒之兩端,以導線連於電流計上。當此直條順磁力線方向運動時,電流計之指針不生變動,但當其橫過磁力線運動時,指針立即移動。

其方向。

由是可知，有電流通過之導線，在磁場中所起之運動之方向，在與磁場之方向及電流之方向兩者同時皆成直角，是為電動機之原理。

350. 電動機及發電機之定則。

茲有一簡便法則，以決定線 ab (圖 302) 之向前或向

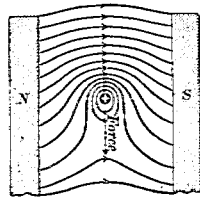
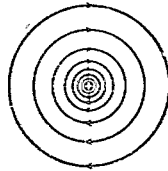
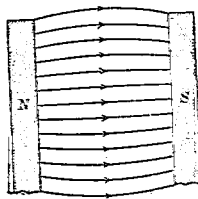


圖 303. 磁石之磁場 圖 304. 電流之磁場 圖 305. 磁石及電流之磁場

後運動，如圖 303 所示，為只有一磁石時之磁場；如圖 304 所示，為只有一電流時之磁場；如圖 305 所示，則為有電流通過之導線，在磁石兩極間，之合成磁場 (Resultant field)；若合成磁場之強在導線上者為二場之和，在導線下者，為二場之差，法刺對以為力線之作用，如緊張之膠

① 圖 304 中之導體上，其有一 \odot 記號者，為一箭尾，表示電流之方向係由紙面向紙後流者，如用 \ominus 之符號，則為一箭頭，即表示由紙後向紙面進行之方向。

皮帶，故圖 305 之導線有被推向下之勢。力線之作用，不問其果否如是，而電動機之定則 (The motor rule) 則可括之如下：

在磁場內之電流，對於磁場力線與電流之力線相加作用之一邊，有欲離去之之傾向。

發電機之定則 (The dynamo rule) 甚易，依電動機之定則及楞次定律，即可推得。即當導線在磁場內運動時，所生之誘導電流之方向，為反對導線運動之方向。即誘導電流所起之方向，其目的在增加其所向運動之一邊之磁力線。

351. 誘導電動力之強度。

誘導電動力 (Induced electromotive force) 之強度，僅與導體每秒橫截而過之力線之數有關係。若導體為圈，即僅與貫通圈內之力線數之變化率有關係。至於通過電流之強度，則可由歐姆定律求之，即等於以電路之抵抗除誘導電動力所得之商。如知導體橫截磁場而過之速度，及其磁場之強度，即可推知導體每秒內橫截而過之力線數。如第 270 節所述之簡便方法，單位力場每 1 平方厘米內含有 1 力線，1000 單位之力場每 1 平方厘米內含有 1000 力線，餘倣此。故設有一導體，其橫截而過之力線

數,每秒為 10,000,000,則其誘導之電動力必為 1 弗。^①前第 346 節之實驗,不用單捲之導線而用 500 捲之圈之理由,在使發生誘導電流之導體橫截而過之磁力線,由 1 條變為 500 條,因而在同一抵抗之下,可得 500 倍強之誘導電動力,亦即可得 500 倍強之電流。

352. 轉動圈內之誘導電流。

試取第 28 號銅線,繞成捲數有四五百道之圓,圓徑之小,以其能在蹄形磁石之兩極間自由轉動為度。將圈與電流計相連,如第 346 節之狀況。先令此圈在圖 306(1)所示之位置,然後沿順時針方向(由上視下),使其迅速轉動 180° ,即見電流計之指針移動甚大。又使其沿逆時針方向轉動 180° ,以歸其原點,則見指針移動之方向亦相反。

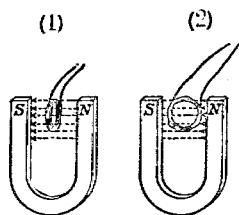


圖 306. 圈在磁場中轉動時誘起之電流之方向

此種裝置即發電機之雛形。當其作前半段之轉動時(參看圖 306(2)),圈之右邊之導線橫截力線之方向,與其左邊之導線橫截力線之方向相反,是以電流生於圈之右邊者向下,左邊者向上(見發電機定則)。可知在圈內通過之二電流,為同一方向。當圈在如圖 306(2)之地

① 此可以為弗之科學的定義。

位時，力線之被橫截甚速，故誘起之電流最強。及圈轉至或轉出如圖 306 (1) 之地位時，圈邊適與力線平行，並無力線被其橫截，故無誘導電流發生。當圈作後半段之轉動 180° 時，其兩邊所橫截之力線與前同，惟所截之方向相反，故後半轉所發生之電流與前半轉所發生者方向相反。^①

問 題

1. 閉圈(Closed coil)內之力線數，不由橫截方法，能增減之否？試說明之。
2. 在何種條件之下，磁石可以發生電流？
3. 欲生 10 弗之電壓，每秒須橫截力線幾何？
4. 圈在地磁場內，在垂直軸周圍轉動時，圈內即生交流。當電流變換方向時，圈之位置在何處？
5. 試述楞次定律，且示其如何可以與能常住原理相一致。
6. 如將一線圈自上方套於一磁石之 S 極，此時發生之誘導電流方向，自極上向下視之，為順時針方向抑為逆時針方向？
7. 設有一船，其棹由鐵製成，向東行駛。在鐵棹內由地球磁場所生之誘導電流之方向為何？若用一導線將棹頭與其底連結，並不見有電流發生，其故何在？
8. 設有一垂直導線，其中通過之電流方向係自上而下。此線受地球磁場作用，將向何方運動？

^① 教授者對於此點須作一實驗以明誘導之原理。參照著者實驗書中之實驗 36。

發電機

353. 單簡交流發電機.

工業上最單簡之發電機,係由一導線圈在強電磁石之兩極間連續轉動而成(圖 307).

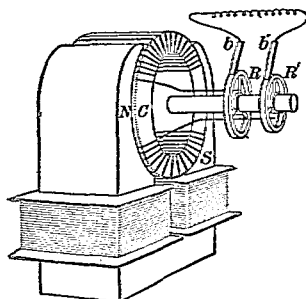


圖 307. 鼓捲發電機

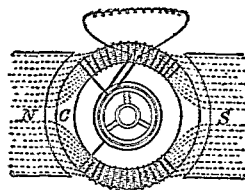


圖 308. 鼓捲發電機之旁視圖

欲使磁場成爲極強,即將導線圈捲於鐵心 C 之周圍,如此,即可增大介在 N 與 S 之間之磁力線,因有鐵心, N 與 S 之中間即成爲鐵道 (Iron path), 以代空氣道 (Air path), 其形狀如圖 308.

轉動部分,係由誘導圈與此鐵心組成,謂之發電機 (Armature). 圈之一端連結於絕緣之金屬環 R , 此環固定於發電機之軸上,與軸同轉;其他端則連結於別一環 R' 上. b 與 b' 爲金屬線刷毛 (Brush), 成爲外路 (External

circuit) 之極點,永與二環相接觸。

當圈轉動時,電路內卽有電流通過。圈每次通過圖 308 之位置,卽導體與力線平行之位置時,圈內之電流卽反其方向;因每逢通過此位置時,前此向上運動者,到

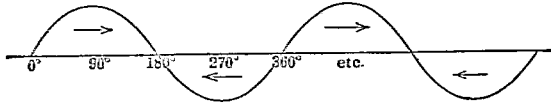


圖 309. 交流電動力之曲線

此卽向下運動,而前此向下運動者,到此卽開始向上運動故也。由此位置更進行 90° 時,圈內之電流卽成爲極大;因此時圈之兩邊,皆橫截力線最速故也。此事實可用電動力曲線表明之(圖 309)。

354. 多極交流機。

多數工業上須有每秒反正 120 次以上之交流,方爲滿意。然用圖 307 與圖 308 之兩極發電機,斷不能達此目的。故工業交流機(Alternator),皆有多數之極,其各 N 與 S 極,交互相間,圍列於圓周上,如圖 310。勵磁(to excite)極用直流。□中之點線,表通過磁心之磁力線方向;可見經過 N 極下之圓,所帶之誘導電

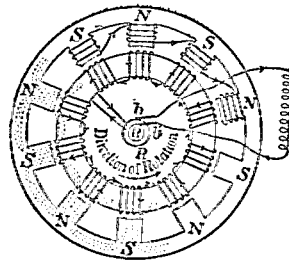


圖 310. 交流發電機

流，適與經過 S 極下者所帶之誘導電流，方向相反，然因發電子之圓之捻繞方向，每相隣之兩極，皆必相反，故各極之誘導效應，在此圓內，全係相加，故於每瞬間，均成單一電流，沿圓中箭頭所示之方向，通過全電路中。圓每次經過 N 與 S 極之中夾時，電流皆反轉其方向，其每秒內交換之次數，等於極數與每秒之轉動數之相乘積，此種發電機之 N 與 S 等磁石，恆以別一電源之直流激勵之，圖 311 為轉動磁場及固定發電子之

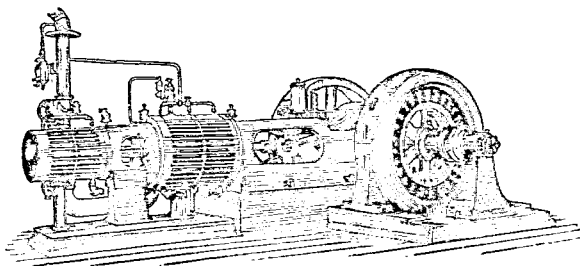


圖 311. 交流發電機外形

交流發電機，與一串形複合機關 (Tandem compound engine) 直接連結之圓，現今已有容量為 5000 瓩之交流機 (約 7000 馬力) 製成，以每分 3600 轉之非常高速運轉，但不常之交流機其速度皆較此小，而容量則較此更大 (參看第 285 頁對面之插圖)。

355. 整流子之原理。

用整流子 (Commutator) 可使發電子上之交流通至外部電路中時，變為同一方向之電流，圖 312 為整流子之最簡者，由一金屬環而成，環分為兩半，如圖中之 a, c ，彼此絕緣，轉動圈之一端固結於此半環，他端則固結於其他之半環，二刷 b, b' 之位置，使其一離此半環，即附着

於彼半環,且此一瞬間恰為電流變向之時故電流常由同一之刷流出外部之電路.用圖中所示之圈及整流子

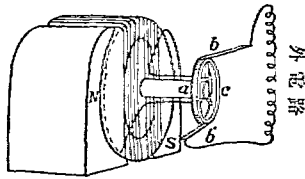


圖 312. 簡單整流子

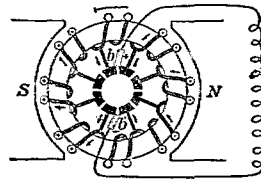


圖 313. 二極直流發電機及其環狀發電子

引至外部電路之電流,雖恆為同一方向,然其性質為脈動的(Pulsating),而非穩定如一,因發電子每轉一周,電流必昇至極大,復降為 0 者二次故也.工業用之直流發電

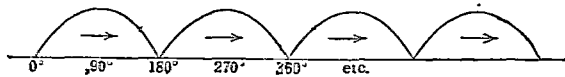


圖 314. 整流電動力曲線

機,因欲避去此弊故其整流子不僅分為兩半環,常分為多數之小段,每段與發電子中之一圈連結,如圖 313 所示.如用兩半環之整流子,則其結果示如圖 314.

356. 鼓形發電子直流發電機.

圖 315 為鼓形發電子二極直流發電機 (Two-pole direct-current dynamo of drum-armature type). 在某一瞬間,由誘導而生之電流在發電子之左半邊者,其方向皆同.符號 ⊕ 為符足表

明電流之方向，離讀者遠去，發
 電子之頂上及底部之兩線，以
 其運動平行於磁力線，故無誘
 導電動力發生。在電動子之右
 邊者，其誘導電流之方向皆與
 前相反，即正向讀者而來，因此
 處之導體，皆向上運動故也。符
 號 ⊙ 表向讀者而來之箭頭。細
 察圖 315 之 1, 1', 2, 2', 3, 3', 等

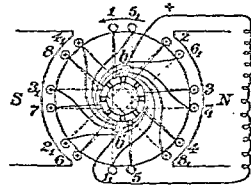


圖 315. 鼓形發電子直流通電機

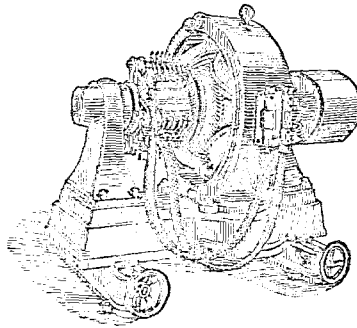


圖 316. 四極直流通電機

線(即繞表鼓背之連若線)，可見圍繞鼓體，恰使各半圓之
 電流俱向同一刷而流。由此刷引出，經過外部電路而歸刷
 以。不論其旋轉如何迅速，此
 關係皆成立；每四圈轉至電
 流變向時，即由此刷換過他
 刷，成爲他半鼓中電路之一
 部，而通過其中之電流方向
 均與前相反。圖 316 爲近世四
 極發電機 (Four-pole generator)
 之模樣；圖 317 爲鼓形發電子。圖 326 (第 343 頁) 表發電子之抽

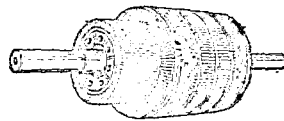


圖 317. 鼓式發電子

法,每圈始於整流子之一段,而終於其相隣之一段。

357. 發電機之燈路。

圖318所示,爲直流用熾熱電燈之電路,各燈皆平結於幹線(Main)之間,其勵磁方法,一部分由於少數之順結圈,凡進入各燈之電流,皆由其中通過;一部分由於用細線捲成若干捲之分路圈(Shunt coil) (圖318)。用此種順結及分路之混合捲法,可使其對於鐵圈極大之負荷,亦能維持幹線間之勢差,使其恆定不變。此種發電機曰複捲發電機(Compound wound dynamo),以示其與順捲發電機(Series wound dynamo)不同,例如廢去分路圈。

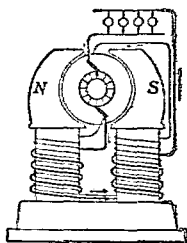


圖 318. 複捲發電機

凡自動發電機(Self-exciting machine)停止以後,其鐵心皆有餘磁(Residual magnetism)留下。故當其再行開動時,初生極弱之誘導電流,次卽以此電流增強磁場,電流亦卽隨之而增,其作用直至達於磁化之極限始止。

358. 電動機。

電動機之構造,其要部與發電機無異。圖313可用以助電動機作用之分解。設電流由外部電源流入,先過場磁圈,然後自 b' 處流入電動子(Armature)。卽在此點分而爲二路:一路沿一方向通過左半環中之諸導體,一路沿反對方向通過右半環中之諸導體。由電動機定則可知左邊導體受場磁石作用,被迫而向上,右邊導體被迫

而向下。於是電動子開始轉動。若電流入 b' 出 b ，流動不息，則此種轉動，亦永不停止，因圈每次由 b 或 b' 經過時，圈內之電流皆反轉其方向，故作用於其上之力之方向，亦隨之而變，故左半之力，恆迫之向上，右半之力，恆迫之向下。電流愈強，則使電動子轉動之力亦愈大。

如電動子為鼓式(圖 315)，大旨亦無甚差異，試沿其捲法察之，凡由 b' 流入之電流，必沿一定之方向通過左半邊之各導體，又沿反對之方向通過右半邊之各導體。由盤流子之作用，可以保持此狀，使其不變。誘導電動機 (Induction motor) 之圖說，詳見第 323 頁之對面。

電動機為變電能為機械能之裝置，發電機為變蒸汽機關，水車，或其他來源之機械能為電能之裝置。

359. 街市電車 之電動機。

街市電車 Electric street car，幾乎皆用直流串接電動機 (Direct-current series-wound motor) 裝置於車下，以備恰適於車輪。圖 319 示電車之四極電動機，上面之兩極磁石，可與恰適同時，與上如圖中所示之狀，以備恰適。其電流恆取給於複捲發電機，使電車輪 (Trolley

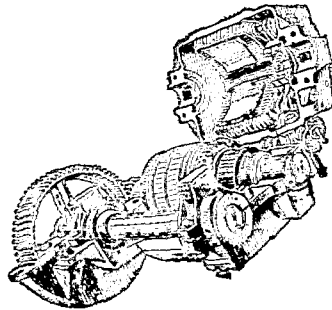


圖 319. 電車之電動機上部磁石切開

車輪 (Trolley

wire) 或第三軌 (Third rail) 與軌道 (Track) 間, 僅有 500 弗之勢差。軌道即用作電流回歸之路。車在電路內, 皆為平結, 如圖 320。

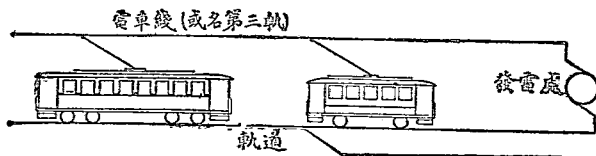


圖 320. 電車之電道

有數種電車不用直流而用交流者, 其電動機之要部, 與直流無極電動機無異, 因此稱機械之場磁石中之電流, 轉換方向時, 電動子內之電流亦同時轉向, 可知不論電流之為直流或交流, 電動子恒沿同一方向轉動。他式之交流電動機, 皆不適於滿載時之開始運動。

30. 電動機之反電動力。

由外面電源送電流入電動子, 其轉動於磁場內之狀況, 適與用蒸汽機關使一發電機轉動時之狀況相同。故由此轉動而生誘導電動力; 易言之, 即電動機轉動時, 有發電機之作用寓於其中。由楞次定律, 或由發電機與電動機之定則推之, 由發電機作用而生之誘導電動力之方向, 必與外界使電流通入電動機內之電勢差之方向相反。電動機轉動愈速, 其橫截力線亦愈速, 而此反電動力 (Back E. M. F.) 之量亦愈大。若電動機不作功, 則其轉動之速度必漸增, 直至反電動力將其電流減至適足

勝過摩擦而後止。故電動機轉動愈速經過電動子之電流愈小，因此項電流，純由施於刷毛上之勢差（如為電車即等於 500 弗），與反電動力兩者之差而來故也。當電動機初動時，其反電動力為零，故 500 弗之電壓若盡施於刷，則其通過電流之大，足以燒毀電動子。因欲防此弊，故於各電動機上，均備有起動箱 (Starting box)，由若干抵抗圈構成，與電動機為順接。初動時，將其插入，待電動機速度漸增，反電動力漸大時，始逐漸將其由電路中除去。電車常用發電機兩個，初轉時為順結，使其各為其他一機之起動抵抗 (Starting resistance)。迨其速度既增，則易為平結。

331. 自錄瓦時計。

定電燈用費之裝置，即為此自錄瓦時計 (Recording watt-hour meter) (圖 321)。其要部為一無鐵之電動機，故通過電動子內之電流，與轉線間之勢差為正比通過場

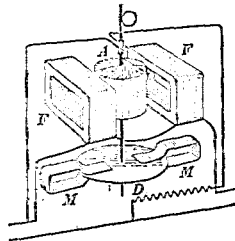


圖 321. 瓦時計之內部

① 教授此處時，須配以發電機或電動機之實驗，例如著者實驗書中之實驗 37。

磁石 F 內之電流,即為室內所使用之電流,故 A, F 間之作用力 (即使 A 生轉動之力), 與安數及弗數之乘積為正比,即與用去之瓦數為正比。 A 之下端固着一鋁製圓盤 D, D 之上下裝有強磁石 M, M 。 D 在 M 之磁極間轉動時,其上即有誘導電流發生,因此誘導電流與磁極間之作用,發生一種磁礙 (Magnetic drag), 使 A 之轉動極遲,故記錄器上之指針進行之速度,與用去之瓦數成正比,而其全體之轉動,則與消費之全能,即瓦時數,為正比。

問 題

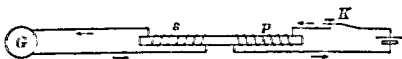
1. 發電機之場磁石之功用為何?木炭於鐵圓心何為捨木而用鐵?
2. 發電機轉動速度之加增,對於發電機之電壓,有何關係?其故何在?又發電機之導線圈之捲數增加,對於發電機之電壓,有何影響?其故何在?又場磁石之強度增加,對於發電機之電壓,有何影響?其故何在?
3. 設有一導線,其橫截方線之數,每秒為 100,000,000,在導線內誘起之電動力為 1 弗,今有一發電機之發電機,共有 50 個導線圈,每圈之捲數為 5,每分鐘轉動 600 周,每一導線每作一次轉動時,共橫截 2,000,000 條力線兩次,其所生之電動力為何?
4. 發電機之整流子之功用為何?電動機上之整流子之用意安在?
5. 試說明發電機之構造之方法。
6. 如何能使發電機中之交流在外部電路中變為同一方向之電流?試說明之。
7. 原捲電動機可用於直流,亦可用於交流,其故何在?

8. 如將電流自圖 313 之 K 送入,使其自 L 流出,則其轉動之方向為何?
9. 使發電機之發電子轉動時,在閉合之電路與在開放之電路,兩者所須之功孰大?其故何在?
10. 單一之發電機,可供 110 弗之電燈 10,000 盞之用,如燈皆平沽,每盞須 5 安之電流,則此發電機所供給之電流之全量為何?機之能力以瓦計之為何?以馬力計之為何?
11. 用 12,000 瓦之發電機,供給前第 10 題之電燈,可以供給若干盞?
12. 發電機之電路上,有 1000 盞時,其運轉之功須二倍於只有 500 盞時,其故何在?

誘導圈及變壓器之原理

362. 變動磁場強度所誘起之電流

試用第 28 號銅線,在鐵心之一端捲繞 500 道,如圖 322,而連結於有一電流計 G 之電路,復於鐵心他端,捲繞 500 道以上之線圈,而連結於有兩乾電池之電路,當開 K 閉合時,電流計



□ 322. 由鐵心之去磁及磁化所生電流之誘導

之指針即生轉動,表示有暫時之電流,沿一定之方向通過 G 內,當 K 開改時,計上指針亦生等量而方向相反之轉動,表示有方向相反之電流通過。

以上所實驗者,即誘導圈 (Induction coil) 與變壓器 (Transformer) 之原理,連接電源之圈 P ,曰一次圈 (Primary

coil), 發生誘導電流之圈, 曰二次圈 (Secondary coil), 若使 s 內部發生力線 (即使 s 內部之空間受磁化), 則有誘導電流通過 s 之內, 又若除去 s 內部之磁, 依第 348 節之定律, 即貫通圈內之磁力線總數有變化時, 圈內生誘導電流, 亦有誘導電流通過 s 之內, 磁力線可以視為恆成一種閉合之環狀曲線 (Closed loop) (見第 281 頁, 圖 258), 當去磁 (Demagnetization) 時, 環即與圈軸相合, 成爲一條複線 (Double line), 當磁化時, 複線中之一線, 復行跳出, 橫截此圈形導體, 因即誘起電流於圈內。

363. 誘導電流之方向。

前曾述及楞次定律並不違背能常住原理, 故由楞次定律, 可豫知前節所述之實驗中之誘導電流之方向, 觀察電流計指針之轉動方向, 即可證明豫期之確否, 試設想先將一次電路接合 (Make), 使其鐵心磁化, 由楞次定律, 可知二次電路內所生之誘導電流方向, 係反對一次電流所生之變化; 即其所起之方向, 目的在使其鐵心受磁化之方向, 與受一次電流之磁化方向相反, 其意即二次圈內所生之誘導電流, 環繞鐵心之方向, 必與一次電流環繞鐵心之方向相反, 故由是可知當接合一次電路時, 二次圈內所生之誘導電流方向, 與一次圈內之電

流方向相反。

如將一次圈之電流截斷(Break),所成磁場,自然消滅,故由楞次定律,可知二次圈內所起之誘導電流,必與去磁之程序相反;即其對於鐵心之作用,在使其所受之磁化,與一次圈內原來之電流使其磁化之方向相同。故當截斷一次電路時,二次圈內所生之誘導電流,與一次圈內之電流方向相同。

334. 二次圈內之電動力。

設將圖 322 二次圈 s 之捲數 560 解放一半,然後試之,則見指針之轉動角度,亦為前此之半。因電路中之抵抗既未變化,可知二次圈內之電動力,與其導線之圈數為正比。此結果亦可由第 351 節推得。故欲由二次圈得極高之電動力時,只須將細線捲成多數之圈而用之即可。

355. 自感。

圖 322 之實驗,如圈 s 為圈 p 之一部分,則由增減其鐵心之磁力而生之誘導電動力,當然與上述相者同。換言之,即當電流在一圈內部初生之一瞬間,其所生之磁場即誘起一種電流,與此初生之電流方向相反,以反抗其初生;當電流在一圈內部停止之一瞬間,其磁場之

消滅，即誘起一種電流，與此停止之電流方向相同，以反抗其停止。故電流在圈內之作用，一若有惰性者然，無論欲其發生或停止，皆必呈反抗。此種與惰性相似之效應，曰自誘 (Self-induction)。

以數乾電池插入多捲之圈之電路內，於其中一點，以裸銅線相觸，即成閉合電路。以指持此裸線，將電路突然截斷，即覺身體振動，示由自誘電動力發生之電流，由身體經過。如電路中無此圈，電流將加強多倍，然以手截斷之，不覺振動。

336. 誘導圈。

誘導圈 (Induction coil) (圖 323) 之普通構造，為軟鐵心 C ，係將軟鐵線捆作一束而成；一次圈 p ，捲於鐵心之周圍，捲數約為 200，經過 d 之尖端之接觸點，而與電池

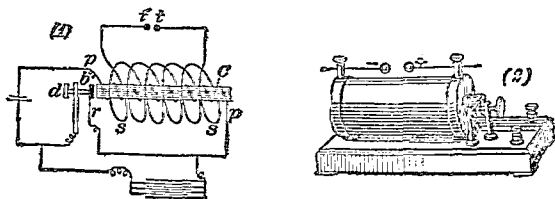


圖 323. 誘導圈

相連，係用粗銅線(例如第 16 號)製成；二次圈 s ，環繞一次圈之周圍，如圖所示，其捲數約在 30,000 至 1,000,000 之間，係用第 36 號銅線製成，其兩端為 t 與 u 鈕，或他種自

動裝置，以司開關一次電路。(參看第219頁對面之下圖。)

用手指將錘 b 拉開，使其與接觸處分離，然後放開之，令其接觸，又驟然使其分離，則可察知惟有截斷之一瞬間， t 與 t' 之間始發電花，接合時則絕無之。蓋當一次電路接合時，磁場之成立甚緩，故其磁力線橫截二次圈 s 而過亦甚緩。當截斷一次電路之一瞬間，接觸點之分離甚速，於極短之時間，可使一次圈之電流忽然為零，其時間之短，不出 .00001 秒。易言之，即於此甚短之時間內，可使所有之力線離圈而去。故當截斷之一瞬間，力線橫截圈 s 而過之速度，殆 10,000 倍於接合之一瞬間，故電動力亦 10,000 倍於接合時。使用上，對於一次圈電路在 b 處之斷線，通常用一電磁石及彈簧 r 自動的司之。其作用與電鈴相同，可令學生自己分析此一部分之作用。圖中之蓄電器，為二組之板交叉而成，各連於電花間隙 (Spark gap) 之一邊之 r, d 兩點之間，蓄電器並非誘導圈之要部，不過用以增加 t, t' 間之電花之長而已。其理由如次：當電路在點 b 截斷時，一次圈之隋性 (即自誘)，將使之發生一電花，自 d 至 b ；如果有此種電花發生，電流即經此電花或弧，繼續流過，直至其兩端相離至一定之長距離而後止。故電流之消滅，為漸次的，而非驟然的。故無高電動力發生。然如將蓄電器插入，則當 b 方離 d 時，電流即流入蓄電器，昇錘以時間使之得以自由離開，不致成弧，既為驟然之截斷，故可得一直電動力。 t 與 t' 間之電花之發生，既僅限於截斷時，故必恆為同一之方向。發生 24 吋長之電花 (約 500,000 弗) 之誘導圈，亦極平常。二次圈上之導線之長，普通曾在數百哩以上。

357. 扇疊鐵心；佛科電流。

誘導圈之鐵心，常用軟鐵線一束造成，各鐵線之間，塗以樹膠，令其互相絕緣 (見 324)。若為一實心鐵塊 (見 325)，則不論一次圈 p 中之電流，或生或滅，因一次圈磁場之變化，遂令導體鐵心 C 中，生一誘導電流，恰與二次圈 s 內所生之誘導電流之理相同。故此種電流之方向，與二次圈內之誘導電流方

向相同，如圖中箭頭所示。此種電流曰渦流 (Eddy current) 亦曰佛科電流 (Foucault current)，其惟一效應，在使鐵心生熱；徒使有

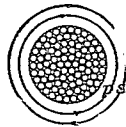


圖 324. 絕緣鐵線之圓心

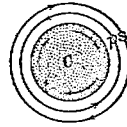


圖 325. 實體圓心之渦流

用之能，虛耗於無用之地。若吾人能除去此種虛耗，即可將磁能變為熱能，全部皆變為二次圓中之電流。故鐵心皆用膠塗鐵絲製成，其方向與圓軸平行，即與誘導電流之方向成垂直。故誘導電動力，缺乏閉合電路以發生電流（圖 324）。與此同理，發電機之發電子，及電動機之電動子之鐵心，均不用實體，而用若干層之鐵片製成，各片相重，如圖 326，並夾以氧化物層 (Film of oxide) 於各片之間，使其互相絕緣。此種鐵心，謂之層疊鐵心 (Laminated core)。可知凡屬此種層疊鐵心，其各層間之空隙或溝隙 (Slot) 之方向，必與誘導電動力之方向成直角，即與鐵心上之導磁成垂直。

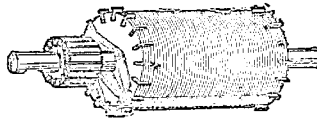


圖 326. 片狀圓心之發電子或電動子及其轉流器只示一繞

366. 變壓器。

工業用之變壓器 (Transformer)，即誘導圈之變形，所異者，其鐵心 R (圖 3.7)，不為直體而為環狀或其他形狀，使全體磁力線皆由鐵中連屬通過，不致如誘導圈之磁

力線被迫而出於空氣中，不寧唯是，且通過一次圈 A 之電流，非間斷之直流，而為交流，將此交流送入 A 內，不啻先使鐵心受一定方向之磁化，然後使其

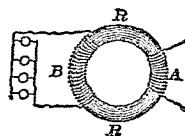


圖 327. 變壓器

去磁，然後使其受反對方向之磁化，以此類推，故其結果，使二次圈 B 中，亦因誘導作用發生交流。

339. 變壓器之用途

變壓器之作用，在使交流由一種電壓變為別一種適於使用之電壓，例如交流電燈發電機所發出之電動

力，平常約為 1100 弗，或 2200 弗，以此電壓通入住宅，極其危險。故如圖 328，將變壓器連接於幹線，如此，則通入屋內以接電燈之電流，並非直接

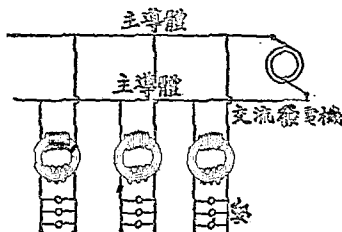


圖 328. 交流電線及變壓器

由發電機而來，乃由變壓器發生之誘導電流，室中電燈之電壓，更可用小變壓器使之變小，以適用於電鈴。

370. 一次電路與二次電路之電壓

捲於變壓器上之線，如一次之捲數甚少，而二次之捲數甚多，則此變壓器，謂之昇壓器 (Step-up transformer)。因此種變壓器之二次電路之極端之勢差，高於一次電路之極端所受之勢差故也，電燈上所用之變壓器，大概皆降壓器 (Step-down transformer)；即一次電路極端所受之電壓高(約2200弗)，而二次電路之極端所誘起之電壓低(約110弗)，如是之變壓器，其一次圈之捲數約為二次圈之捲數之二十倍，概括言之，即一次圈與二次圈之極端電壓之比等於兩者之導線之捲數之比。

371. 變壓器之效率。

完全變壓器之效率當為一；即送入一次圈之電力或瓦數(即極端電壓之弗數與通過電流之安數之乘積)適等於由二次圈引出之電力或瓦數(即極端所生之電壓與誘導電流之強之乘積)。實際上之變壓器，後者恆為前者之97%以上；即因變壓而消失之能，約為3%以下。所失之能成為變壓器所生之熱。在大形之變壓器中，將多量之能，由一電路傳至與之完全獨立之別一電路，無聲無動，又幾至毫無損失，真不可不謂為近世工業界中之最奇現象也。

372. 商用變壓器。

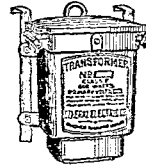
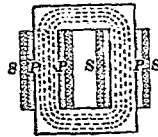
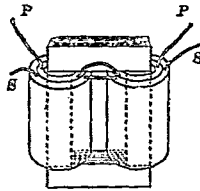


圖 329. 變壓器之鐵心 圖 330. 變壓器之断面, 圖 331. 變壓器之外箱
表磁場之形狀

圖329為通常電燈用變壓器。鐵心用薄片重疊製成，每片厚約半耗。圖330表此器之截面，點線表通過鐵心中之閉合磁線。P及S表一次圈及二次圈。圖331乃裝置變壓器之匣；在交流電燈之電線柱上，常常見之（圖332）。

373. 功率電送法。

發電機所發之電能之產生率，既等於所生之電動力與電流之相乘積。故由一處將一定量之瓦數，送至他處時，設所送者為10000瓦，既可成為100弗之電壓及100安之電流，亦可成為1000弗之電壓及10安之電流。由發電處將電流送至用電處，就此兩種不同情形論之，其所耗之能，大不相同。遵

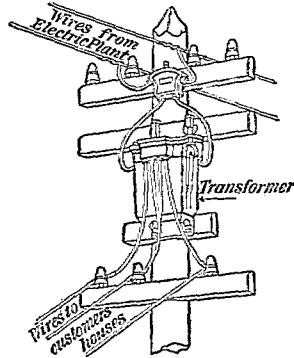


圖 332. 電線柱上之變壓器

$$\text{瓦} = \text{安} \times \text{弗};$$

$$\text{但 倘 歐 姆 定 律,} \quad \text{弗} = \text{安} \times \text{歐},$$

故

$$\text{瓦} = \text{安}^2 \times \text{歐} = I^2 R.$$

故若命 R 為導線之抵抗(通常名之曰線抗 Line resistance), I 為通過之電流, 則其間所發之熱, 必與 $I^2 R$ 為正比。故在 10 安 1000 弗時所耗去之電能, 僅為 100 安及 100 弗時之 $1/100$ 。在長距離之送電 (Long-distance transmission), 因其線抗甚大, 故以用最高之電壓為極重要之任務。

因使整流子各段之互相絕緣甚難, 故對於 1200 或 1500 弗以上之高電壓, 直不能用直流發電機。然在交流機, 因其無整流子, 故其絕緣不如此之難。在耐亞噶拉瀑布, 坎拿大方面之 10,000 馬力之交流發電機, 能直接得出 12,000 弗, 此為發電機所能得之最高電壓。凡用此種高壓時, 須於收電之一端, 用一降壓器, 將其變低, 使其成為平安便利之電壓 (自 50 至 500 弗), 而後以供使用。

由上事實, 可知長距離送電, 以交流為最宜。美國加利福尼亞之大克里克發電所 (The Big Creek Plant), 以 150,000 弗之電壓, 傳電至 241 哩之遠 (參看第 267 頁之對面)。又加利福尼亞之南塞拉動力公司 (The Southern Sierras Power Company), 經過沙漠送電至 830 哩之遠。現正計劃橫貫加利福尼亞全州, 以 220,000 弗之電壓送電至 1100 哩之遠。凡此種種, 於動力廠中, 宜用一

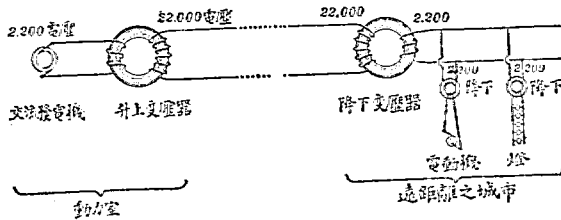


圖 333. 高電壓長距離之送電線

昇壓器, 將發電機發出之電送至導線; 於收接處, 宜用一降壓器, 將送來之電, 傳至所供之電動機或電燈 (圖 333)。耐亞噶拉瀑布之發電機, 在美國一邊者, 可發出 2300 弗之電壓, 欲將其

遂至相距 20 哩遠之布法羅 (Buffalo) 地方，遂將此電壓昇上至 22,000 弗，在布法羅地方又將此電壓變下，至合宜之電壓，以供市中之電車，電燈，及工場等項使用。其在坎拿大一邊之發電機，可發出 12,000 弗之電壓，因作長途輸送，遂昇上之至 22,000 40,000 及 60,000 弗(見第 169 頁，圖 166) 種種。

374. 鎢絲整流器.

如將金屬絲熾熱，即有陰電子自絲內逸出，如更將此絲之電勢降低，使其對於其附近之陽極，成為 25 弗之陰電勢，則在絲之周圍之任何氣體，其分子皆為此電子流所撞而呈離化現象 (Ionization) (即分為帶陽電與帶陰電之兩部分)，因成導體，利用此事實，可造成一種交流之鎢絲整流器 (Tungar rectifier)。在圖 334 之玻璃泡內，充以 3 至 8 種壓力之氬 (Argon)。陽極為石墨或鎢質之小圓錐，陰極為鎢絲之螺狀圈。當用此整流器時，錐與絲交互為陰極與陽極。當錐為陽極，絲為陰極時，電子自絲逸出，被加速過空間，以達於錐，因此使氬呈離化現象，離化後之氬，隨將電流自錐攝至絲。當錐為陰極，絲為陽極時，電子不能自絲內逸出，氣體自不能成為導體，因圖 335 即能明此器之原理。

整流器與交流線連結之處為 C 及 D 。變壓器 T 之一次回 P 中之交流，使 S 內生誘導電流以熾絲 F 。因此電流之作用， A 與 F 交互為陽極與陰極。當 F 成為陰極時，電子逸出而使氣體離化，電流得以通過。當 F 為陽極時，電子被送回熱內。

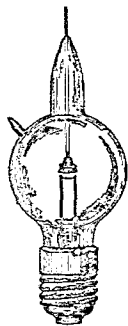


圖 334. 鎢絲整流器

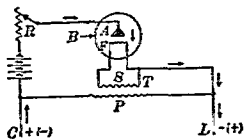


圖 335. 鎢絲整流器之原理

不能使氣體離化，故無電流通過。由此可得一恆向一定方向脈動之電流 (Unidirectional pulsating current) 通過蓄電池或其他物體。此種整流器，常用於小規模蓄電池之充電。

375. 碳粒微音器之原理。

取乾電池一個，安計一個，及碳棒兩條，順接之 (圖 336)。輕壓此兩棒，注意安計上之刻度。漸次將壓力加強後，又漸次減輕，以考察之。則見壓力增電流亦增，壓力減電流亦減。

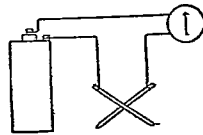


圖 336. 碳粒送話器之原理

碳之抵抗，因壓力不同，而有大小之別。利用此種特殊性質，可以造成一種送話器 (Transmitter)。第近世送話器，其構造已不用直棒而用碳粒 (Granular carbon)，粗鬆置之，使成為多數之鬆接觸 (Loose contact) (圖 339)。此類送話器，名曰碳粒微音器 (Carbon microphone)。

376. 電話之原理。

電話 (Telephone) 為美國芝加哥之格雷 (Elisha Gray) 與華盛頓之柏爾 (Alexander Graham Bell) (見對面插圖) 於 1875 年所發明。其最簡單之局部電池式 (Local battery system)，如圖 337。

由電池 B (圖 337) 送來之電流，先使之經過隔膜 E 背後之碳粒室 C ，由此通過送話器之背 D ，再經過誘導

圈之一次電路 p 而回歸於電池。

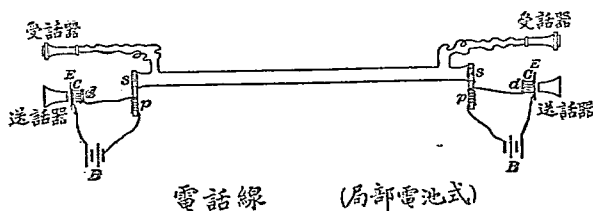


圖 337.

如在微音器前發一音響，發音體所生之振動，由空氣以傳至膜，使膜作前後之振動。一次電流所通過之碳粒，有多數之接觸點間之壓力因此振動遂起變化，電流之抵抗亦隨之而異。當膜向碳粒前進時， p 內通過之電流大；膜由碳粒後退時， p 內之電流小。一次電流之強弱變化，使誘導圈之軟鐵心之磁力亦因之而變。二次圈 s 內因此發生誘導電流。此電流通過導線以達他端之受話器。用一昇壓器，將電壓升高，使其足以通過長途導線之高抗。

繞近受話器如圖 338。其構造為具有永久磁性之 U 形鋼片一個，其兩極前有一軟鐵片，繞與此 U 形磁石相觸，以細線圈捲於磁石之兩極上，使其捲繞方向彼此相反，且互相順結，以與外線相連結。 G 為耳片 (Earpiece)， B 為膜， A 為 U 形磁石， B 為圈；圈具有捲數極多之細線，

輓近發明家肖像



柏爾

(Alexander Graham Bell)

華盛頓人，電話之發明者



愛迪生

(Thomas A. Edison)

紐折爾西 (New Jersey) 之奧倫治

(Orange) 人，發明留聲機，電燈等



馬可尼

(Guglielmo Marconi)

意大利人，商用無線電報之發明者



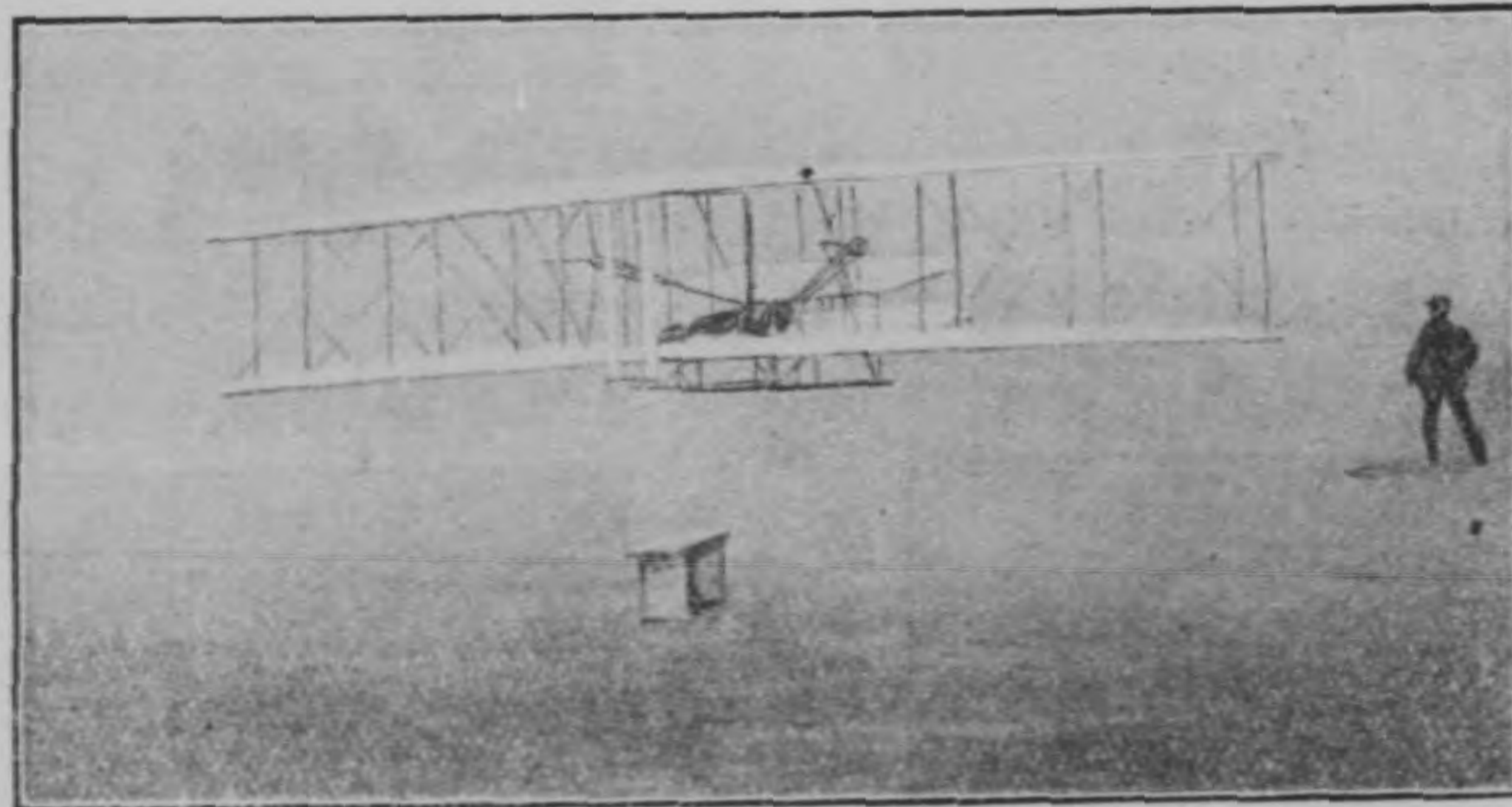
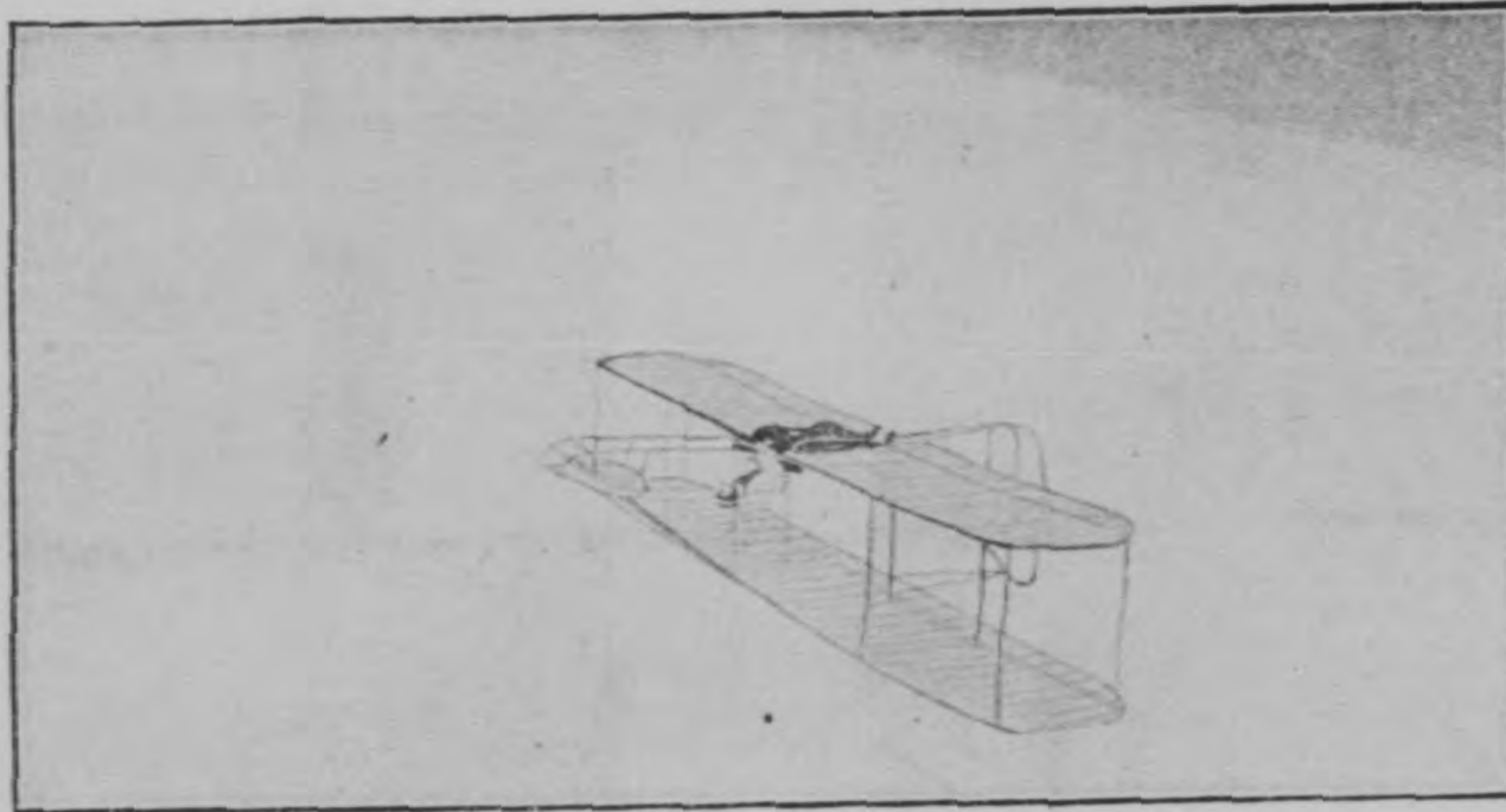
俄維爾，來特

(Orville Wright)

俄亥俄 (Ohio) 之載通 (Dayton) 人，

與其弟威柏 (Wilbur Wright) 共同

發明飛機



來特飛機

二十世紀之長足進步中最覺重要者，厥為空中之征服。歷數世紀之失敗，至來特昆仲 (Wright brothers) 始闡明重於空氣之飛機 (Heavier-than-air machine) 所以能安全飛行之原理；斜飛其翼 (Wing)，應用其補助翼舵 (Aileron) (附在翼上者) 以及機尾之舵 (Rudder)，以保持其穩性 (Stability)。上圖為最初之滑翔機 (glider) (威柏來特 (Wilbur Wright) 乘於其上)。來特用此機習成滑走飛行 (gliding flight) 之術，共行千次上之滑走飛行，其距離有長至 600 呎者。其後不久始有利連塔爾 (Lilienthal) 最初證明滑走飛行之原理，更經芝加哥之沙紐特 (Chanute) 於 1895-1897 年始將此證明完成。下圖為歷史上最成功之強力飛行 (Power flight)，機上為俄維爾來特 (Orville Wright)，威柏來特於機初離軌道時傍機急走。此種飛行於 1903 年十二月十七日之晨，曾演 4 次，其中之最長者歷時 59 分，逆 20 哩之風進行 852 呎之距離。

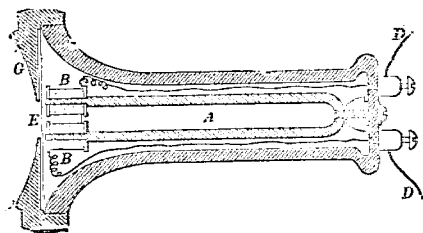


圖 338. 新式受話器

且有一軟鐵心，當由二次圈 * (圖 337) 流來之急速交流經過受話器時，磁石之極，交互的或強或弱，與送話器上所受音波之強弱，恰相吻合。磁極吸受話器膜之強弱之變更，使其送出一種音波，恰與送話器膜上所受者相同。

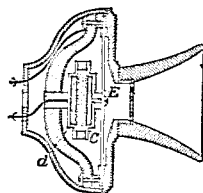


圖 339. 長途用送話器之橫斷面

遠隔之人，以電話交談，恍若同席，電波自舊金山達紐約，不過 1/15 秒。圖 339 為長距離送話機之斷面，電流所經過之磁粒，以炭塊圍繞之。

問 題

1. 試作誘導圈之圖，且說明其用。
2. 誘導圈之電花起於電路之接合時，抑起於裁斷時？其故何在？
3. 試說明誘導圈何以能生此種之大電動力。
4. 發電子或電動子不用共軸圓筒 (Coaxial cylinder) 而

- 用層疊圓片如圖 326, 其故何在?
5. 設幹線之勢差為 1100 弗, 在變壓器之二次圈上, 欲點 110 弗之燈, 一次圈與二次圈之捲數之關係為何?
 6. 試舉機械的摩擦之二用途及二害處, 又舉電抵抗之二用途及二害處。
 7. 某變壓器, 能將 2200 弗之電壓降為 110 弗, 試繪變壓器之圖, 並說明其捲法, 作一次圈及二次圈, 並注明其捲數, 如屋內所用之電流為 40 安, 則一次圈中之電流為何?
 8. 鎢絲整流器何以能整交流?
 9. 今用兩種導線傳同一之功率於遠地, 一線之電壓為 100 弗, 他一線為 10,000 弗, 如兩線中所耗之熱相同, 則其兩橫斷面之比為何? (功率 = $I E$, 所耗之熱與 $I^2 R$ 為正比。)
 10. 自紐約通電話至舊金山, 其音波究傳至若干遠? 由電話線上通過者, 究為何物?

第十六章^① 音之性質及其傳播

音之速度及性質

377. 音源。

於方鳴之音叉(Tuning fork)之一臂上接一尖形筆(Stylus),曳之使行於用煙燻過之玻璃片上,即可得一波狀曲線,如圖 340;以懸掛之輕球近此音叉,即受猛烈之衝激,離叉遠去,聞音(Sound)



圖 340. 振動音叉之跡

察源(Source),必見有某物之墜落,或衝突,或爆發;易言之,必有某物體之猛烈運動,由此種常見之事實,可得一結論曰:音生於物質之運動。

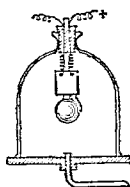
378. 傳音之媒質。

空氣為普通傳音入耳之媒質(Medium);然印度人知伏耳於地,能聞遠方之音;童子皆知在水中以石相擊其音甚高,置音叉(圖 340)之基部於水盤中,則見水亦能傳音,由此種種,可知氣體,如空氣,對於傳音之效應,並不

① 按此章時,同時須認以音在空氣中之速度,音叉之振動率,波長之測定等項之實驗。參看前者之實驗中之實驗 38,39,40 等。

在液體、固體以上，然音之傳播 (Transmission of sound) 果必有賴於物質乎？茲論之如次：

用二細彈簧穿過膠皮塞，懸一電鈴於空氣唧筒之接受器內，如圖 341。抽出接受器內之空氣，則聞鈴聲漸低，驟將空氣放入，其聲即刻增高。



愈近真空，音亦愈微，由是可知，真空不能傳音，更知音之傳播專賴尋常之物質存在。音之異乎熱與光者，即在於此，蓋熱與光之來自太陽者，必經過真空故也。

圖 341. 真空不能傳音

379. 傳播速度。

1738 年法國科學會之會員首測音之速度 (Speed of Sound)。會員分配為二組，相離 3 哩之遙，各觀察其他一方所發燄之光及音之間隔時間，風之影響，由彼此相測而平均之，即可消去。1832 年第二次之委員會又重行實驗一次，其距離為 18.6 呎，約為 11.5 哩，測得 0°C 。時音之速度為每秒 331.2 呎；今則公認為每秒 331.3 呎。音在水中之速度為每秒 1400 呎，在鐵中為每秒 5100 呎。

音之傳播於空氣中，其速度與溫度並增，溫度每昇

上 1°C ., 音之速度約增 60 呎, 故在 20°C . 時, 其速度約為每秒 343.3 呎, 即 0°C . 時之速度為每秒 1087 呎, 20°C . 時為每秒 1126 呎.

380. 傳遞之機構.

爆竹 (Firecracker) 炸裂時, 火藥驟成氣體, 其體積較火藥甚大, 故空氣由爆裂之中心點被迫四散; 即, 在中心之空氣之各質點, 忽得極大之速度向外飛去, 以推動鄰層之空氣, 鄰層之空氣復向外推, 如此依次推動不已, 始於中心, 直達於無限距離, 運動雖能及遠, 然各個質點之遷移則甚近, 此理可於彈性體之運動說明之. 當運動之彈性體與同質之靜止物體衝突時, 運動之物體, 不過僅將其運動傳於靜止者之上, 使靜止者運動, 而自己轉歸於靜止而已.

取鋼球六個或八個, 用線懸掛之, 如圖 342. 先將諸球另置一旁, 僅餘互相隣接之兩球, 將其中之一球拉開, 然後放下, 以擊其他之一球; 則第一球, 當與第二球衝突時, 立即失其運動, 同時第二球自行躍起; 其所躍昇之高度, 適與

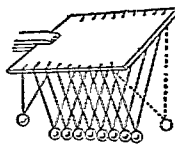


圖 342. 表音波由一質點傳至他質點

④ 分子因熱而增加其運動速度, 外飛之速度中, 實含有此種速度, 今為簡便起見, 不計分子自身之運動速度, 而假定其為靜止不動.

第一球所由落下之高相等，次將諸球一同懸掛之，使成一列。將其邊端之一球提上若干距離，然後放手任其落下，以擊其次之一球；如此則諸球方受動作於其前者，即刻盡授之於其後者；諸球依次受授之運動，實際上係同時的，故各自停止，直至末球，始能自行躍起；其所躍起之速度適與最初之一球落下時之速度相等。

上述之實驗，為空氣質點運動之妙喻。空氣由爆竹之炸裂，或音叉之振動而得運動，即刻傳其所得之運動於各方之隣近空氣層。此隣近之空氣層復往前傳遞之，以至甚遠之距離，但其各個質點所經之距離則極小。此種運動，藉空氣質點之傳播，觸於耳鼓，遂生吾人所謂音 (Sound) 之感覺。

381. 波列；波長。

前節所述者，不過由爆發中心點傳出之單一脈動 (Pulse)。今再取一在空氣中作連續振動之物體，如圖 343

之叉臂 (Prong) 論之。叉臂每向右運動一次，即送出一每秒行 1100 呎之振動 (Vibration)，其狀

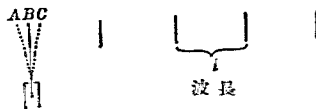


圖 343. 音叉所送出之波列距離相等

恰如前節所述。故如叉臂之振動為均一的，則可於空氣中得間隔 (Interval) 相等之一列連續脈動。設此臂每秒作 110 次之完全振動，則當第一秒之終，其第一次送出

之脈動已達 1100 呎之遙。於是有 110 脈動以同一之間隔分布於此點與叉臂之間；即，互相隣接之二脈動相離 10 呎。又設其每秒之振動為 220 次，則其相隣之兩脈動間之距離，必為 5 呎，餘類推。此種波列 (Train of waves) 中相隣之兩脈動間之距離曰波長 (Wave length)。

382. 速度、波長、及每秒中之振數之關係。

設 n 為音源每秒所發出之振動次數， l 為波長， v 為音在媒質內傳播之速度。由前試驗得三者之關係如下：

$$l = \frac{v}{n}, \text{ 或 } v = nl; \quad (1)$$

即波長等於以每秒之振數除其速度，或速度等於每秒之振數與波長之乘積。

383. 密部與隙部。

以上所述，為簡單易明計，乃假定波列為若干之極薄而能彼此分離之脈動，且以等距離分布於靜止之空氣中。然事實上，叉臂 B (圖 343) 前之空氣不但於此特別之一瞬間內被推而前，乃於叉臂自 A 至 C 之全時間內，即半個振動之全時間內，皆被推向前。於此全時間之內，

向前之運動以次授受於其前面之空氣層，愈進，則離又臂愈遠，逮又臂至 C 時，由 C 至半波長之點 c (圖 344) 間

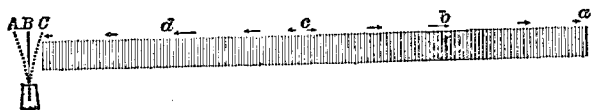


圖 344. 由疎部與密部組成之一完全音波中空氣質點之運動

之空氣蜂擁而前，成爲壓縮狀態，是曰密部(Condensation)，當又臂自 C 回 A 時，其後方成爲真空，於是隣層之空氣突入以補充之，隣層後之諸隣層，亦相繼而前，故臂既達 A，則 a, c (圖 344) 間之空氣皆復向回運動，密度減小，是曰疎部(Rarefaction)，在此時間內，其前進之運動已向右進行半波長，而占據 c 與 a (圖 344) 間之地位，故當又臂之一完全振動終了時，由臂至一波長之間之空氣，可分爲二層，一爲 a, c 間之密部，一爲 c, B 間之疎部，圖 344 之箭頭，表示全波中各段空氣質點運動之方向，及其大小。

當 n 次振動之終，第一振動已達距音叉 n 波長之處，其間諸波各含一密部及一疎部，故音波(Sound wave)可謂爲由空氣之密部與疎部，順次



圖 345. 音波

相隨組合而成者，其形狀如圖 345。

故由此可以下波長之精確定義如次：波長為相隣之最密兩點(b 與 f ，圖 345)或最疎兩點(d 與 h)間之距離。

384. 水波比喻。

音波之有疎密，猶水波(Water wave)之有陵(Crest)谷(Trough)，圖 346 所示之水波，之相隣兩陵間之距離 bf ，或在同一情形，即在同相(Phase)之兩點間之距離，如 dh ， ae ， cg 或 mi 皆



圖 346. 水波之波長

可用之以表波長。波陵(即圖中影線所示部分，高出於自然水面上者)適與音波之密部(即高出於天然密度之空氣之部分)相當。波谷(點線所示之部分)適與音波之疏部(即低於天然密度之空氣之部分)相當。然有一點不可以水喻者，即水波中質體之運動方向垂直於波之傳播方向，音波中質體之運動方向與波之傳播方向在同一直線內，如第 383 節之所述，故水波曰橫波(Transverse wave)，空氣中之音波曰縱波(Longitudinal wave)。

385. 樂音與噪音之區別。

如圖 347，以金屬玻璃紙為圓筒，筒上有徑約 1/4 吋之孔

48個，各個之距離相等。以電動機或手轉之，以口徑 $1/8$ 吋之管送空氣於盤面，則生一種異常明晰之樂音(Musical sound)。後移管嘴對第二列之距離無定之48孔吹之，樂音之性質即失。

由此試驗，可知樂音與噪音(Noise)之別。音源發出之音波或振動，具有絕對規律之間隔者為樂音。故惟有波長之音方可謂為樂音。

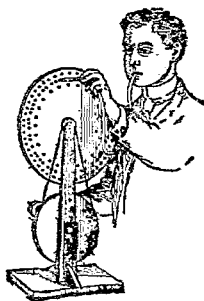


圖 347. 有規則之振動，
樂音之條件

386. 音調。

試用前節所述等速度轉動之器具，先送空氣於外一列，即正對相鄰極有規律之孔；然後驟移之使對內一列之孔，此列之孔，其排列亦有規律，然為數較少。將見內一列所發之音，較外一列為低。再將管嘴準對任一列，使盤之轉動速度由慢而快，則其所發之音調(Pitch)亦漸變高。

故樂音之調，視其每秒刺激聽覺之振動數而定。若音發自一振體(Vibrating body)，則其調視此振體之振率(Rate of vibrations)而定。

387. 多普勒效應。

有特別快車經過時，其車中發出之笛聲，在一地面靜止之觀測者聞之，頓現高低之變化。當其來也，愈近愈高；當其去

也，愈遠愈低，其理由如下：

由鐘發出之脈動，恆隔相等之時間，始發出一次。當車來時，此種脈動傳至耳膜，其相隣兩脈動間之時間，較之實際發出時之時間為短，因其間此車已接近觀測者若干距離故也。當車去時，耳中所聞兩脈動間之時間，較之實際發出時之時間為長，因其間此車已離去觀測者若干距離故也。故其來也漸高，其去也漸低。此種因一物體之來去而生之音調高低之變化現象，曰多普勒效應 (Doppler effect)。

338. 音強。

音強 (Loudness 或 intensity, of sound) 由其達於耳膜之能率 (Rate of energy) 而定，故可用其與音源相隔之距離及振幅 (Amplitude) 之大小決定之。

設有一音波向各方皆相等的自由傳播而去。試就與音源距離 50 呎及 10 呎之兩球面想之，以同一之能量，分布於此兩球面上，則在後者所分布之面積必為前者所分布之面積之四倍，故在此種理想之狀況下，音強與其距音源之距離之平方為反比。但若限於在圓筒內傳播，則其能係由一層傳至他層；其分布之面積均彼此相等，故雖傳至遠距離，音強亦不減小。傳話筒 (Speaking tube) 及補聽器 (Megaphone) 之功效，皆由此說明。

問 題

1. 電光見後 $5\frac{1}{2}$ 秒始聞雷聲。如空氣之溫度為 20°C ，電光之速為何？

2. 鐘擊後,其音之消滅甚速,何故?
3. 張手於耳背,能助聽覺,何故?
4. 試說明耳筒(Car trumpet)之理。
5. 音叉之振數為 256。溫度 20°C . 時,其音波之長為何?
6. 奏樂所之音樂,雖遠遶方而衆音不亂,其音調之相對速度當如何解釋之?
7. 音調與波長有何關係?同題 6 之事實何以證此?
8. 如增琴弦之振幅,影響於波之振幅者為何?影響於波長者為何?影響於音調者為何?影響於音強者為何?

反射, 加強, 干涉。

389. 回音。

音波與牆壁相遇而生反射(Reflection),可於尋常之回音(Echo)見之。雷鳴之殷殷不絕,亦原於其繼續反射於距觀測者距離不等之雲層或其他各種平面之故。

尋常緊閉之室內,牆壁之相隔甚近,回音達於耳時,耳中之原音尚未消滅,故回音與原音相合,不惟無干涉(Interference)而反相幫助。在室內聽語,較之在空場中為易者,即此故也。連續音之來,其相距時間不及 $1/10$ 秒時,則耳不能分別其為連續,但音於 $1/10$ 秒時間可行 113 呎,故牆壁相距不及 50 呎者,不能有回音。過大之屋足以起回音者,常懸以簾布等物遮斷音波,使其成為不規則的反射,以防其發生回音。

390. 音之焦點。

懸時計於凹鏡(Concave mirror)之焦點(Focus),因鏡面反射,鏡前可得極明晰之音線(Sound beam),設將時計及鏡,皆支於同一物體之上,使其向各方之觀測者旋轉,則時計之聲僅在鏡前之觀測者方可得而聞之,在其側者即不得聞,如以第二凹鏡置於此線路,如圖348,則音復集於焦點。置耳於此,可以聞之,或置漏斗於此點,以膠皮管與耳連接,則時計之聲,雖隔百尺亦可得而聞之。耳語室(Whispering gallery)者,即具有音之焦點(Sound foci)之室也。如羅馬之聖彼得堂或倫敦之聖保羅堂,凡距其圓壁數尺之任何相對之兩點皆與此種音焦點相近,於此端低語,彼端聞之甚晰,若在他點,即於二點之間,亦絕不聞聲。美國華盛頓之國會講事室(Capitol),鹹湖城(Salt Lake City)之摩門教堂(Mormon Tabernacle)之圓頂,皆以此著名。

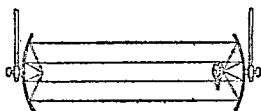


圖 348. 音之焦點

391. 共振。

直接之音波與反射之音波相合,使音加強(Reinforcement),謂之共振(Resonance).

設以每秒振動512次之音叉,持近直徑約1吋之管口,其裝置如圖349。將器A提上提下,可以隨意定準管內水面。將見管內水面由頂部降下至一定之點,即得音之加強。

若以其他音調不同之音叉照此實驗,則見音叉之調愈低,管內水

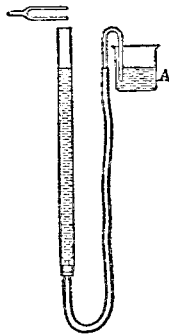


圖 349. 共振

面亦必愈低，方獲加強。即音叉所發之音波愈長，所需共振之空氣柱 (Air column) 亦愈長。

由此可得一結論曰：音之波長與使音加強之空氣柱之長，有一定之關係。

392. 最適於共振之閉管之長為波長之四分之一。

如以音叉之振動，除其音之速度，以求波長，則見最適於共振之空氣柱之長，約為波長之四分之一。因須有此長度，方能令反射波折回叉口時，適當音叉發送直接波之一瞬間，故能相合。當叉臂振動初由 A (圖 350) 處降下時，送密部入管內；若欲此運動折回管口時適與叉臂直接發出之音波相合，則其折回時必為叉臂離 C 之時而後可。易言之，即當音叉每作一半振動時，其脈動必入管底而復折回，即其往返之全程必為波長之半，故管長必為波之長四分之一。



圖 350. 閉管之共振長為波長之 $1/4$

由上之分析，可知反射波折回管口，適當叉之第二次由 C 返歸時，亦可生共振；即其共振不在半振動之末，而在一振動半之末也，此時由叉至水面之往返總距離，

必為 $1\frac{1}{2}$ 波長；即管內之水面，較前須更深半波長。故此時之管長為波長之四分之三。

試照以上所述作一實驗，則當管內水面更降下半波長之時，果有共振發生，一如預期。惟因音波通過管內距離較遠，耗能較多，故音較前為微。又設管長為 $5/4$, $7/4$ 或波長之四分之一之任何奇數倍，皆有共振發生。

393. 最適於共振之開管之長為波長之半。

以第 392 節所用之音叉置於開管 (8 吋至 10 吋長) 前面。管上套以緊密紙筒 (圖 351)，可以隨意進出，調整管長。將見此開管於一定長時，即起共振，與閉管所發之音強相當。但其長必為前之二倍。其他適於共振之管長，為其 2, 3, ... 等倍。



圖 351. 開管之共振長為波長之 $1/2$

由是可知，使開管起共振之最短之管長，為波長之半；且凡為半波長之倍數，亦得共振。

適於共振之開管之長，為閉管之二倍。由此事實，可以證明密部之空氣達開管之端時，即被反射成為疎部；即圖 350 之管之下端如為開口，則密部一至此端即突然膨脹。由此膨脹結果，故正於此一瞬間開始由管中折回之新脈動之各分子運動方向，向下而不向上；即各分子皆向音波之反對方向進行，恰與疎部之情形相合（參

看圖 344). 若欲與叉臂之運動相合, 則當音叉之臂恰於第二次自 A 向下時, 即一完全振動後, 分子之向下運動須反至管口. 由此可知開管之長為波長之 $1/2$.

394. 共振器.

設前之實驗不用音叉而用由遠源而來之波列, 則由同樣之分析, 可知當閉管之長為 $1/4$ 波長之任何奇數倍時, 或當開管之長為半波長之任何倍數時, 由管底反射之波, 必使方來之波加強. 故凡各種之空氣室 (Air chamber) 皆可視為各具有一定波長之波列之共振器 (Resonator). 以螺殼對耳, 恆聞奇異之音調, 微弱音波為通常之耳所不能聞者, 得螺殼之助, 即能聞之, 皆此故也. 形狀不規則之空氣室, 與何種波長相應, 雖難測定, 然其能加強何種波長, 則由實驗上決定之亦不甚難. 音叉下面附着之共振器, 即為一種空氣室, 其大小與音叉之調恰能相應.

395. 強制振動: 音板.

手持音叉而擊之, 既近處可聞, 若以音叉底處緊靠桌面, 音隨加強. 試更執音叉不同之另一音叉以插此桌, 其音亦能加強. 由此實驗, 可知桌面可以使任何音調之音叉加強; 而具有一定長短之空氣柱, 則既能使一特別之音加強.

以上兩者之相應，其原因大不相同。以叉置桌上，其振動由基部以達桌面，強迫桌面本已之週期而起振動。此振動之桌面所占之表面積甚大，故可使多量之空氣振動，送更強之波於耳；反之，如只一音叉，其狹小之臂即不能將多量之能傳至空氣中矣。凡如桌面之振動，謂之強制振動 (Forced vibration)，蓋不論音叉之週期為何，皆可使之發音也。鋼琴，弦琴，等器之音板 (Sounding board)，其作用與此實驗中之桌面同，樂器中之各種音調皆能使之生強制振動而加強其音。

393. 唵。

兩音波既可互相結合而加強，當亦可互相干涉而消滅。易言之，即於適當狀態之下，二音互相結合變為無音。

試取等調之二音叉，相對而立，如圖 352。以橡皮軟塞插於棒之一端為錘，擊之，則二音必融和而為一。後以蠟塊或小銀附着於任一音叉之一臂上，則該音叉實量加增，其每秒之振數必稍減。再使此二叉齊鳴，則此二叉之加強與消滅，交互為之，故此時所生之音，不復如前之平滑，而忽高忽低，脈動不已。此種脈動曰唵 (Beats) 之現象。

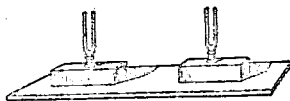


圖 352. 唵之裝置

其交互的相加強與相消滅之理，可於下述之。設二音叉每秒之振動，一為 256 次（見圖 353 之虛線 AC ），一為 255 次（見圖 353 之實

線 $A'C'$ ）。設當某秒之始，二叉同時發出密部，入於聽者之耳，則此兩密部互相結合，其效應自當加倍（見

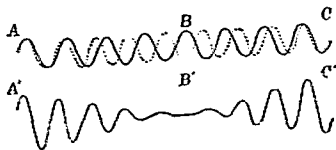


圖 353. 聽

圖 353, A')。因每秒一叉之振數比他叉適多一次，故於所云一秒之終，二叉必復如同生密部，互增其效應（見 C' ）。然當此一秒之中，二叉之振動方向相反（見 B ），此叉發疎部時，彼叉適發密部；設二者之動能相等，則一叉所發之疎部（即空氣質點之向後運動），與彼叉所發之密部（即空氣質點之向前運動），互相中和，終歸於無音（見 B' ）。由此可知，每秒中之聽數，為二叉振數之差。

欲證此結論，可增加聲強或以更重之鐘加於加重之叉，則其每秒中所生之聽數隨之而增；設其重量，則每秒中所生之聽數隨之而減。

調聲(Tuning)鋼琴之調時，每使雙簧或三簧連而為一，以消滅其聽。

397. 因反射而起之音波之干涉。

試取徑約 1 吋之薄軟木塞，固着於長由 1 至 2 呎之銅棒或玻璃棒之一端，緊持其中央，如圖 354。再取玻璃管一，長約 1 呎以上，直徑由 1 至 1½ 吋，套於薄塞之上，用膠布纏擦棒之彼端，則發尖銳之強音。



圖 354. 音波之干涉

此音之來，係因膠布擦棒面使棒生縱振動 (Longitudinal vibration)，於是兩端附近之空氣，交互的發生疎部與密部。當音發出時，將見管內之橫木層起強烈之振動。若不顯振動之效果，可將玻璃管移前移後，即可現出。細察管內橫木層之振動，並非均一，然恆按一定間隔，有靜止之 n_1, n_2, n_3 ，諸點。各點之間，皆為強烈運動之處。

此靜止之點，即棒端前進之波與管端折回之波相干涉而中和之處。此種靜點曰節 (Node)。相鄰兩節間之部分曰腹 (Loop)，或曰對節 (Antinode)。相鄰兩節間之距離為半波長；蓋當第一波頭 (Wave front) a_1 (圖 355) 前進至管端時，即刻開始反射，折回向 R 進行，是時第二波

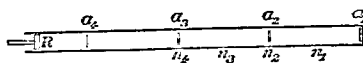


圖 355. 音節間之距離為半波長

頭 a_2 適在 a_1 之左側相離一波長之處，故兩波必相遇於其中點 n_1 ，即恰為距管端半波長之處也。此兩波頭前之

相等而相反之粒子運動，互相消滅，而成中和，故點 n_1 不動而為節。又當反射之波頭 a_1 與進行之波頭 a_2 相遇於 n_1 時，第三波頭 a_3 適在 n_1 之左側，相距一波長之處。當第一波頭 a_1 繼續向 R 進行時，必與 a_3 相遇於 n_2 ，離 n_1 恰為半波長，而成第二節。與此同理，而得第三節 n_3 ，及其以下諸節。故二節之距離恆等於波列中之波長之半。

以上所論，係假定方向相反之兩波，可以交相穿過，絕不因有此波之存在而使彼波受其影響。此種方向相反之兩種運動，在由彈性微粒組成之媒質中穿過之狀況，可以第380節之球列實驗說明之。

試將球列一端之球提起 2 吋，將他端之球提起 4 吋，然後使二球同時墜落。此方向相反之兩運動，通過球列，絕無變形，此端之大動顯於彼端，彼端之小動顯於此端。

茲有一更完美之比喻，以明圖 354 管內之狀態。用 2 呎或



圖 356. 繩之試驗；實線表原波，虛線表反波

3 呎長之繩，振其一端，如圖 356。原波與反波之列，上下此繩，互相通過，互相中和，以成節與腹。二節 c, e 為原波與反波使繩變向之所，其距離則為手所送之波長之半。

問題

1. 試說明吹氣於空瓶口所發之音，其音之高低，可加水於瓶以增減之，試說明之。
2. 空瓶，大杯，空罐置於耳上，則聞雜聲，試說明之。
3. 某管又生共振於長 1 呎之閉管內，又另一音又生

共振於長1呎之閉管內，試各求其每秒之振數。(音速為每秒1120呎。)

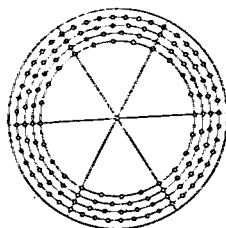
4. 放鎗之人於 $5\frac{1}{2}$ 秒後聞其回音，其反射之距離為何？(其時空氣之溫度為 20°C .)
5. 一音叉之共振之最短空氣柱為32釐，如音之速度為每秒340呎，音叉之振數為何？
6. 轉音叉之平邊置於空氣柱上，則得強共振，將叉移置於空氣柱上則否，試說明之。
7. 噓之現象為何？其現象如何發生？其理由安在？
8. 一音叉振數為每秒427，可與之共振之閉管之最短空氣柱之長為何？(溫度 $=20^{\circ}\text{C}$.)
9. 一音叉之振數為每秒500，可使圖349之空氣柱與之共振，第一次之水深為某釐，第二次為更下34釐。試求音之速度。
10. 開管與閉管之音調相等時，則開管之長須倍於閉管。試證明之。

第十七章 樂音之性質

樂階

398. 樂音音程之物理的基礎。

取直徑約 11 吋或 12 吋之木盤或金屬盤，在其邊上繪四同心圓，於各圓周上作四列之等距離之孔，由內而外，各列之孔數為 24, 30, 36, 及 48 (圖 357)。孔徑約 $\frac{1}{4}$ 吋，各列相距約 $\frac{1}{2}$ 吋，將此盤(通稱曰測音器 (Siren)) 置於轉台上，以等速度轉動之。另取橡皮管一，照第 385 節之法，將管口依次送對各列之孔，吹送空氣，即得 do , mi , sol , do' 四種樂音。如轉動速度加增，音調亦隨之增高，而其順序 (Sequence) 則不變。



□ 357. 發生 do , mi , sol , do' 之測音器

由此試驗可知 do , mi , sol , do' 各種音節中其各音振數之比為 24, 30, 36, 48, 即 4, 5, 6, 8; 且其順序與音之絕對振數無關。

一音與其第八音 (Octave) 同時並發，可得一種最調和之結合。此種特性，在未明振數之比以前，人已知之。由前試驗知此二音為最簡單之比，即 24:48，即 1:2。其次最調和之兩音程 (Interval) 為 do , sol 。實際上亦知其為最簡單之比，即 24:36，即 2:3。當二音 sol 與 do' 同發時，其振數之

比爲36:48, 卽3:4. 可知用此三簡比 1:2, 2:3, 3:4, 可生 *do, sol, do'* 三音. 其次最調和之音程爲 *do, mi*, 其振數比爲24:30, 卽4:5. 由此可知, 調和之音程與簡單之振數比相應.

399. 長全音階.

如上所述, 三音 *do, mi, sol* 之振數比爲4, 5, 6. 當其同時並發時, 卽相調和, 而成悅耳之音. 此種和音, 於人類音樂發達上, 早經採用, 今謂之長三和音 (Major chord). 所謂長全音階 (Major diatonic scale), 卽由此長三和音組織而成, 其法如下: 表中之 1 表第一長和音, 2 表第二長和音, 3 表第三長和音.

音.....	<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>	<i>re</i>
字.....	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C'</i>	<i>D'</i>
相對之振數.....	24	27	30	32	36	40	45	48	54
		1		1		1		2	2
						2		2	2
						3		3	3

長三和音共三種, *do-mi-sol* 之和音曰主和音 (Tonic), *so-si-re* 之和音曰屬和音 (Dominant), *fa-a-do* 之和音曰下屬和音 (Subdominant). 此三種音於各種樂器中皆常遇之.

實驗室內用作標準之中部 *C* (Middle *C*) 音叉之振

數為 256。如以此作標準，則物理學上之音階 (Physical scale) 中之 A 之振數即為 $426\frac{2}{3}$ 。所謂國際調(International pitch) 之 A ，其振數則為 435，而美洲音樂同盟會調(American Federation of musicians' pitch) 之 A ，則為 440。

400. 不平調停之音階。

如以 G 為 do 而如前製成一音階，則在此新音階內，上列之音每八音中只有六音可用，須另加二鍵 (Key) (參看下表)，始能完成。同理，欲就各鍵而各為之製一近世之音階，則每八音之間約共須插入五十音調，始足敷用。但實際上則將每八音之間，分為十二相等之音程，以鋼琴上之 8 白鍵及 5 黑鍵表之，所謂不平調停之音階 (Even-tempered scale)，與其他理想音階或長全音階之異點，示之如次：

音.....	C	D	E	F	G	A	B	G'	D'	E'	F'	G'
長全音階...	256	288	320	$341\frac{1}{3}$	384	$426\frac{2}{3}$	480	512	576	640	682.2	768
G 之長全音階.....					384	432	480	512	576	640	720	768
□ 類	256	287.4	322.7	341.7	383.8	430.7	483.5	512	574.8	645.4	693.4	767.6

振弦^①

① 按本節時須作振弦定律之實驗。參看若者實驗書中之實驗 41。

401. 振弦定律.

張二鋼琴 (Piano) 之弦 (String) 於裝有滑輪之木箱上或木架上,使其成爲音計 (Sonometer) (圖 358),利用唸之現象,加減

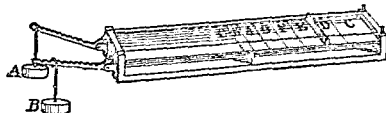


圖 358. 音計

砝碼 A, B 之重量,使其適能令兩弦發出同一之音,然後將柱 (Bridge) D 插入一弦之中央,分彈此二弦,則可知其音程如 do 與 do' ,後再將柱移至一處,使一弦之長爲他一弦之 $2/3$,復彈之,則見其音程如 do 與 sol 。

由第 398 節可知 do' 之每秒振數爲 do 之二倍,而 sol 祇爲其 $3/2$,又因本節之實驗,知與 do' 相當之弦長,爲 do 之一半,與 sol 相當之弦長,爲 do 之 $2/3$,故可得一結論:如其他之情形皆相同,則弦之振數與其長爲反比。

再張二弦使發同音 (Unison),然後增加 A 之砝碼,使其重量爲 B 重之四倍,則 A 所發之音恰爲 B 所發之音之第八音。

由此試驗,可知等長相似弦之振數與張力之平方根爲正比。

弦樂,如鋼琴等,其所以能有各種音調實由於各弦之長,張力,及單位長之質量各不相同。

402. 振弦之節與腹.

試取長 1 呎之弦，其一端繫緊於每秒振數約在 100 上下之音叉之一臂上，弦之他端懸一砵碼，如圖緊定，然後使音叉

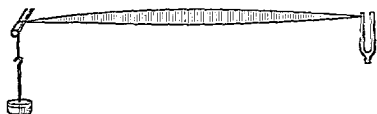


圖 359. 整個振動之弦

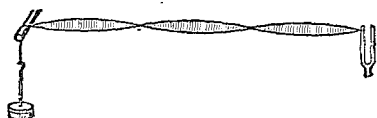


圖 360. 分作三段振動之弦

振動，最妙，用電之振動；如不能，則用胡弓 (Violin bow) 或用軟木槌 (Mallet) 擊之亦可。譬如弦之張力與 9, 4, 1 等數為正比，則或全弦作整個之振動如圖 359，或分為 2 段或 3 段振動如圖 360。

此種效應，由於音叉發出之原波與反射而還之波彼此互相干涉而成，與第 397 節之解釋同。然若就振弦對於周圍空氣所生之效應而言，即假定將各節點固定於一處，使其成為真正數個部分振動時，亦與實際毫無差異，其證明詳下節。

原音及倍音

403. 原音及倍音。

如前節所言果無錯誤，則弦中央有節時，其每秒傳於空氣中之脈動數，必二倍於全弦作整個之振動時，茲證之如下：

試以指彈弦(圖 358)之中點，細察其所發之音。後以指彈弦之中點，而彈此點與弦端之中點，則其音即為原音之第八音。再抑琴弦全長 $1/3$ 處彈之，所發之音當為 sol' 。由第 360 節可知 sol' 之振數為 do' 之 $3/2$ ，故弦分作三段振動時，所發之振數，即為全長所發之振數之三倍。

當弦全體作整個之振動時，其音最低，是為弦之原音(Fundamental)，亦曰第一分音(First partial)。弦分為二段振動時，其音為原音之第八音，謂之第一倍音(First overtone)，亦曰第二分音(Second partial)；分為三段振動時，所發之音之振數恰為原音之三倍，即 sol' 音，謂之第二倍音(Second overtone)，亦曰第三分音(Third partial)；分為四段振動時，發第三倍音(Third overtone)，又為第一倍音之第八音。凡弦絲之倍音亦稱為諧音(Harmonics)。諧音對於原音之振動比(Vibration ratio)為 2,3,4,5,6,7, 等數。^①

404. 原音與倍音同時發生。

① 最好彈後即刻使指離弦。

② 許多樂器，如笛等，所發之音甚高，其振數未必為原音之整數倍，此種音每曰倍音，但不能謂之為諧音。諧音只限於原音之整數倍始能用之。弦所發之音皆為諧音。

前此之諸實驗，皆於彈弦時以指抑定其中之一點，遂發出倍音。

今不抑弦之中點而彈其長 $1/4$ 之點，則最清晰者為其原音。若於此時輕觸弦之中點，則其音並不立即停止，惟所聞之音較原音為高而為其第八音。由此可知於全段作整個振動之外，尚有分為二段之振動，與全段之振動疊合，同時振動（圖 361）。故



圖 361. 一弦同時發原音及第一倍音

當手指觸其中點時，整個之振動，雖然消滅，此種分作二段之振動，則依然如故。設於實驗之開始不彈其 $1/4$ 之點而彈其中點，然後觸其中點，音即立行停止。由此可知，若彈弦之中點，原音之外，並無第一倍音同時並發。今再彈弦之 $1/4$ 處，細察其合發之音，將見原音與其第一倍音同時並發，清晰可辨。又如彈弦之 $1/6$ 處，而觸其 $1/3$ 處，必發第二倍音。凡熟習音樂者，不待觸去原音，即能將同時並發之倍音分辨而出。

由此試驗，可知隨意彈弦，其所發之音，為一原音與數倍音組合而成。其倍音之為何，視其所彈之點及彈法而定。

405. 音色。

先彈音計之弦之中點，後彈其距離之一點，所發之二音其音調與音強固相等，然仍有差異之點，甚易識別。此差別曰音色 (Quality)。由前節之實驗，可知此差異之點，由於與原音疊合之倍音種類不同之故。

今將俱全之 C 音又與 C' 音又同時共鳴，所發之合音，恰

如豐富圓滿之 C 音 (Rich and full C). 及用手令 C' 停止, 即變爲空蕩之 C 音 (Hollow C).

鋼琴, 提琴 (Violin) 喇叭 (Cornet), 三器雖同時發等調等強之音, 然無論何人, 均能分別之。由前節之實驗, 可知此三器所發之音, 其相同者僅爲原音而已, 至其倍音, 則各不同, 故判然各別。換言之, 音之特性, 即吾人所謂之音色, 完全由於存在之倍音數, 及其強弱而定, 設原音強, 倍音少且弱, 則音恆柔和; 如彈音計之中點, 或輕吹閉風琴管 (Closed organ pipe) 或用軟木槌擊音叉皆是也。凡有較強於第一乃至第五之倍音存在, 皆能使其音圓滿豐富。鋼琴之普通音調, 即屬此例。其前五倍音中, 雖不必全體存在, 至少亦必有一部分佔優勝之地位。若倍音高過第六, 則發尖銳之金屬音。此種音於重擊音叉, 或用堅硬物體彈弦時, 可得聞之。凡鋼琴弦之槌, 恆用毛氈包裹者, 即欲避去此弊也。

406. 舞燄分析音調法。

考察音調之複雜性質, 其簡單而又美觀之方法曰舞燄 (Manometric flame). 其裝置如次: 木塊 B (圖 362) 中有一室, 氣體由管 C, D 經此室以達火燄 F ; 木塊 A 內亦有一室, 以彈性薄膜如橡皮或紙等與第一室相隔, 以管 E

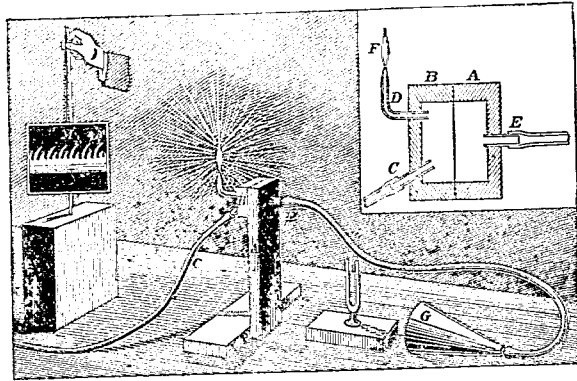


圖 362. 鐘錶分析音調法

及傳聲筒 (Trumpet) *G*, 與音源相通; 更有一轉鏡 (Rotating mirror) *M*, 以觀察火鏡。若在傳聲筒口發一音調, 則由薄膜之振動, 可令由 *B* 通至火鏡之氣體之壓力亦生振動, 故當密部達於薄膜時, 火鏡增高; 疎部達於薄膜時, 火鏡減低。火鏡一高一低之運動, 如由轉鏡中觀之, 即依時間之

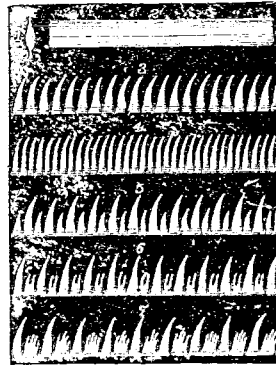


圖 363. 鐘錶所表之振動形狀

間隔而成高低並列之像，如圖 363。若無轉鏡，則用通常之反射鏡，沿垂直軸左右轉動之，亦可顯出圓滿之結果。

當傳聲筒前未發音時，令鏡轉動，則鏡 1 (圖 363) 並無升降之狀，而像成爲直帶狀如 2。其次於 *G* 前鳴 *C* 音又或發別種單音調，則鏡中所顯之像如 3。後再鳴 *C'* 音又以代 *C*，則像如 4。餘像之密爲前此之倍，因與膜接觸之振數二倍於前故也。後將 *C* 與 *C'* 二音又之共振箱之開端並置 *G* 前，則轉鏡中所顯之餘像如 5。若向傳聲筒口用 *Bb* 調唱母音之 *o* 字，則鏡中所顯之像亦如 5。可知此音爲原音及其第一倍音兩種組合而成之一複雜音。

通常之音多爲複雜者，用舞鏡分析之，其所示之像，不若 3, 4 之簡單，皆如 5, 6, 7 等由單音組合而成。圖中之 6，爲按 (*"* 調唱母音之 *e* 字時之像；7 爲按 (*C'* 調唱母音之 *o* 字時之像，第 382 頁對面之美麗照像，爲密勒 (D. C. Miller) 教授所攝，以示語音之異常複雜。

407. 赫爾姆霍斯之實驗。

試將鋼琴之高音踏板 (Loud pedal) 踏下，對弦則誦 *oo*, *ā*, *uh*, *ē* 諸音，則此諸音必被此樂器吸入，重複發出，全無差訛，其效應極爲奇怪。

赫爾姆霍斯 (Helmholtz) 將此試驗更加改良，證明音色完全可由與原音融和之倍音數，及其中最優越者爲何種倍音之兩事而定；最初製出共振器多種，如圖 364，各與一定之音調相應，次第執器近耳，以聽樂音，即可察

出音調中所含有之成分，與其所有之倍音，又各種倍音之相對強度，亦可辨析而出。然後令此諸成分相合，即可復得原來之音。其法係同時擊響兩個或兩個以上之音叉，其振數比為 1,2,3,4,5,6,7，即能得此結果。赫爾姆霍斯用此法不特能仿造各種樂器之音色，且可以發出各母音之音。

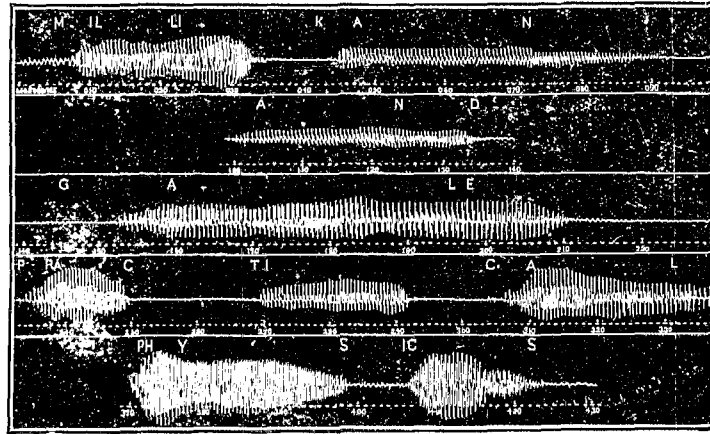


圖 364. 赫爾姆霍斯之共振器

403. 感應振動。

取具有共振箱之等調音叉二個，使其共振器之兩端相對而立。以軟錘重擊一叉，使之作猛烈之振動，即刻以手握住叉臂，使音停止，則見其他之音叉鳴聲甚烈，充滿全室。又試取小錢一枚，粘於此第二音叉之臂，再照前實驗一次，則當第一音叉所發之音停止時，第二音叉並無些微之音。

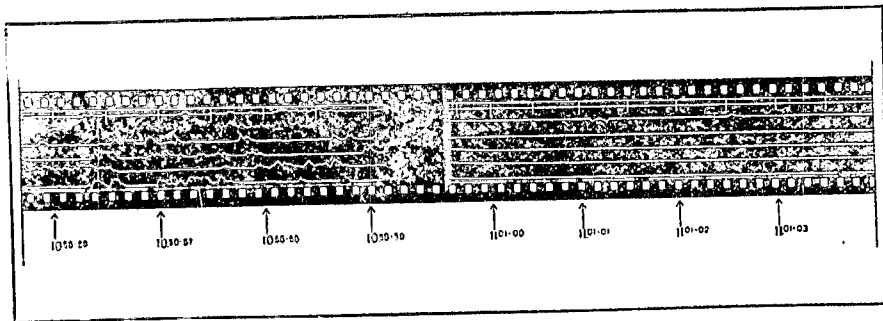
此實驗可為感應振動 (Sympathetic vibration) 之現象之一例證，又可表示其發生時所必須之條件。設有能發樂音之二物，其振動周期適相等。當鳴其一時，其脈動由空氣之傳導達於第二物體。第二物體受此種脈動之周期，與其本身之周期同。單一脈動，力雖甚小，但空氣之脈動，既接踵而至，多數相合，效應頗大。與此同理，試取一擺，以極弱之力擊之使起振動。若其周期與擺自身之周期恰相同，則可使擺之振幅漸次增大。反之，如二發音體



語音之音波

此圖為與語音之相當之音波，為密勒 (D. C. Miller) 教授所攝得者。其聲為密勒教授之男聲，調為通常之 150 至 180，由抑揚而不

同。音波使膜振動，將此振動傳至甚小之鏡中，然後反射於活動之照相用乾片上而成



大戰末之音距記錄

此記錄為美國音距局 (American Sound Ranging Service) 所製。其法發明於大戰中，用以定音波之中心而求敵砲所在之地位。分佈檢音器 (Sound detector) 自三處至七處，各相距哩許，用電力與中央站相連，於此處各記其敵聲所到之時間。由中央站記錄時間之差(口申示六記錄)求得在相距十哩之敵聲，其誤差不在 50 呎以上。用此法所發見之敵以百數。上圖表示在 10 時 58 分 59 秒，有劇烈之敵聲。在 11 時 1 分休戰以後，敵聲幾全息。

之振動周期稍有差別，則當此兩體作反對方向之運動時，其前一振動之效應必為後一振動所抵消，而成中和。

撤去鋼琴之壓琴器 (Damper)，唱音調不等之兩音，則弦中能發與此同調之音者，即應之而鳴，如所唱之音，與琴絃所發之音，稍有不同，即不復應。

409. 倍音所發之感應振動。

欲使物體發生感應振動，其音調不必與發音體完全相同，祇須與其倍音中之一相應即可。

試將鋼琴 C 弦之壓琴器提起，使 C_1 弦發音，然後放下 C_1 之壓琴器抑止其音，則可得聞 C 之音，此時因 C_1 之第一倍音恰與 C 音同調，故可使之發生感應振動。若當 C_1 鳴時，提開 G 弦之壓琴器，則此調必被 C_1 之第二倍音激發。若當 C_1 鳴時，提起 E 弦之壓琴器，則及 C_1 停止時，所聞之音非 E 而為 E 之第八音，即 E' 。此因 C_1 之倍音與 E 之振動不能相應，惟 C_1 之第四倍音之振數為 C_1 之五倍，恰與 E' 之振數相應，為 E 第一倍音，故 E 弦所起之振動，實為分作兩段之振動，而非整個之振動。

410. 調和及不調和之物理的意義。

取徑約一時，長約呎有半之玻璃管兩條，垂直支地，如圖 385。另取徑 1/4 吋之玻璃管兩條，抽成尖嘴（使管中受全氣壓時，嘴上放出之火能長可一時），插入前二管中，約



圖 385. 不調和音之發生

離底三、四吋，將氣轉下，使管發音。今不問餘與發音有何關係，請先注意此二音是否為完全同音，或與之極相近，每秒之中，祇有數唸存在。今以紙筒 S 加於管之上端，稍增管長，則唸數驟增，直至相連不可分析，而成軋轢相擦極不調和 (Discord) 之音。

由此可知，不調和之音，不過唸之一種現象而已。設振數相差不過五、六，即每秒之唸數不過五、六次，則音尚不致過於使人發生不快之感。過此以上，振數之差漸增，即每秒之唸數漸增，音亦漸惡；迨至三十，即成為最惡劣之不調和。二調 B, C' 之差，每秒之唸數為三十二，故其並發時：即使人發生此種最不調和之感。若兩音振數相差至七十，如 C 與 E 之差，其結果又可使人發生快感，而成調和。更進言之，兩種音調之能調和，其主要之點，不惟其兩音間不發生使人感不快之唸數，即其倍音亦須無唸始可。故 C 與 B 每秒之振數差雖大，仍極不調和。其不調和之原因，實由於 B 與 C' (即 C 之第一倍音) 不能調和故也。

更有數種樂器，極不和協，鐘即其一例。即同時只令其發 do, sol, d' 三音，亦為不和。蓋此器異乎管弦，其倍音不能成為諧音，即非原音之整數倍，故倍音與倍音之間，或倍音與原音之間，皆可生唸。當奏樂時，不同時擊鐘，而繼續擊之者，即此故也。

問 題

1. 製鋼琴者，可用三種方法，以得各種不同之音調，其法為何？
2. 赫雷讓霍斯用共振器所證明者為何？
3. 當鋼琴之中鍵 C 被擊下時，將高一音階之 G 鍵拉下， C 之音停止後，尚可得聞 G 音，試說明之。
4. 欲使提琴上之 G_1 弦發 C 音時，將用手指按在弦上何處？
5. 一弦長於他弦二倍，且以四倍之張力張之，此兩弦之振數比為何？
6. 某弦可發 G 音，其第四倍音為何？
7. 如中鍵之 C ，為每秒 300 振動，則 F 及 A 之振數為何？
8. C 之第四倍音為何？第五倍音為何？
9. 普通鋼琴有七音階，二音節，最低者為 A_1 ，最高者為 C''' ，如最低之振數為 27，最高之振數為何？
10. 試求鋼琴之最低音及最高音之波長。（假定音之速度為每秒 1130 呎。）
11. 用胡弓拉提琴之弦時，胡弓與弦接觸之點，為其一端之七分之一之一點，較之用中點為優，其故何在？
12. 以 $C=264$ 為基礎，試製一全音階。

吹 樂

411. 閉管之原音。

將緊密之橡皮塞插入一玻璃管 a (圖 336)。管長八吋或十吋，徑約 $\frac{3}{4}$ 吋。推動橡皮塞，直至與管口所放之 C 音又起共振為止，如第 391 節。此時之長約六，七吋。) 然後撤去音

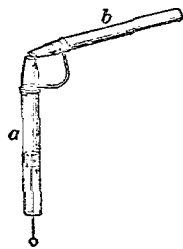


圖 336. 吹管所發之樂音

又，以扁平如圖^①之管 b 之一端橫接此管之口，吹送空氣，即發出極強之音，與音叉所發之調相同。

凡由管所能發出之音，即其作共振器時所能感應之音。由第 392 節，知音叉之波長為管長之四倍時，最適於發生共振，可知對閉管口橫吹空氣時，所發之音之波長，必適為管長之四倍，此音曰管之原音(Fundamental of the pipe)，為此管所能發出之最低音。

412. 開管之原音。

由第 393 節，知開管所發最低音調之波長，適為管長之二倍。故以適宜之法吹開管時，其所發之音之波長，必為管長之二倍。故同此一管，先閉其底端吹之，次開其底端吹之，則後者必為前者之第八音。

試用指閉住管 a (圖 386) 之底端吹之，然後移去手指再吹一次，則見後者適為前者之第八音。

故知開管原音之波長為管長之二倍。

413. 管之倍音。

第 392 節曾述任何長短之閉管，必有若干種之長

① 如無如圖 386 之裝置，可取普通之玻璃管一段，推動橡皮塞於管中，至適當之位置，用唇橫於管口吹之亦可。

度，各與某一音叉之振動相應，且此若干種之長度，與該音叉之波長之比，爲 $1/4, 3/4, 5/4$ 等；易言之，即定長之閉管，可與以 $1, 3, 5, 7, \dots$ ，爲振數比之各音相應。與此同理，由第 393 節，可知與某一音叉相應之開管，其管長與該音叉之波長之比，爲 $1/2, 2/2, 3/2, 4/2$ 等；易言之，即定長之開管，可與以 $1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ，爲振數比之各音相應。由此可知：開管與閉管當皆能發高於原音之音（即倍音）；開管之第一倍音之振數，當爲原音振動數之二倍（即若原音爲 do ，則第一倍音當爲 do' ）；第二倍音之振數當爲原音振數之三倍（即當爲 sol' ）；第三倍音之振數當爲原音振數之四倍（即當爲 do'' ）；第四倍音之振數當爲原音振數之五倍（即當爲 mi'' ）；餘類推。設爲閉管，則其第一倍音之振數當爲原音振數之三倍（即當爲 sol' ）；第二倍音之振數當爲原音振數之五倍（即當爲 mi'' ）；餘類推。換言之，開管當能發奇偶倍數之各種諧音，閉管當祇能發奇數之諧音，而不能發偶數之諧音。

用圖 395 之管，開其底端吹之，使發原音，更強吹之，隨變爲 do' 音。如再加力吹之，則變爲 sol' 音。復加力吹之，或可更變爲 do'' 音。奇數倍及偶數倍之諧音皆生於開管，正如上文之預期。若閉其底端，則其第一倍音將爲 sol' 其次爲 mi'' ，亦恰如上文之預期。

414. 管之發音之機構.

試橫對閉管之口吹之,可發生樂音,是蓋因氣流在口邊作往復之振動,其周期可由管之自然共振(Natural resonance)完全決定.設氣流 a (圖 367) 先達管之內側,唇(Lip),則氣體之密部,沿管直下.當其由管之下端,反射後,返至管口時,逐氣流外出.由是得一疎部,沿管直下.當其由底部返至管口時,復引氣流入內,由是可得等間隔之規則氣流,充於室內,其周期以氣流之反射的脈動節制之,亦即以管之自然共振之周期節制之.

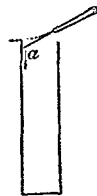


圖 367. 振動之氣流

若吹勢更猛,因管壁之摩擦,致管口驟生絕大壓力,於是反射波未返管口之先,氣流已被迫於管外.此時若非強度合宜,使氣流出管之周期,適與倍音相應,即無音可發.若在此情形之下,由管底上昇之反射脈動,必以適宜之周期,達於管口,使氣流之振動,恰與倍音之周期相合,故欲發特別之倍音,必須有特別強度之氣流.

茲更有一法,以討論此事實.即設想以空氣充滿此管,直至其中之壓力足以逐氣流於口外,成爲放氣之周期.然後使空氣復充滿管中,成爲充氣之周期.如此循環不已,其周期由管長及吹勢節制之,恰如上述.

若在開管，其理與閉管同，特底端之密部反射後變為疎部，使自然周期增高一倍而已，蓋因管長為波長之 $1/2$ ，不為波長之 $1/4$ 故也（參照第393節）。

415. 振動氣流樂器.

振動氣流樂器 (Vibrating air-jet instrument) 如風琴管，洋笛 (Flute)，高音笛 (Fife)，小笛 (Piccolo) 及叫子 (Whistle) 等，其發音要部之機構，皆如圖367之管，凡此類樂器，皆令氣流作用於氣室之管口，由氣室他端反射而回之脈動，使氣流成往復振動，最初入室，其次出室。如是而生間隔相等之規則氣流，按時振動空氣，以達聞者之耳，適與第385節之轉盤無異。氣室之遠端有閉者亦有開者，於笛則開，於叫子則閉，於風琴管則或開或閉。圖368所示，為二種風琴管之斷面，氣流由 S 處入，受 O 處所發反射波之壓力，橫過口唇 L 而作往復之振動。管風琴 (Pipe organ) 備有若干風琴管，管各發一種音調，笛類則或吹其倍音，或開管孔，即可使之發出不同之音調。故開管孔之作用，無異於所開之處將管長截斷，故可發不同之音。洋笛與小笛雖為奏樂所之要器，然其倍音皆不豐富。



圖 368. 風琴管

416. 振簧樂器.

振簧樂器 (Vibrating reed instrument) 用一振動之簧 (Reed) 或舌 (Tongue) 以代振動之氣流，以一定之時間則開吹氣所從入之口。大凡直笛 (Clarinet)，高直笛 (Oboe)，低直笛 (Bassoon) 等，其

舌皆裝置於管之上部(見圖369之1),閉閉管口,容納吹入空氣之理論,適與風琴管內氣流出入之理論相同,此種樂器之舌,其爲柔軟,故其振動周期,大部分爲反射波動所節制,小部分爲簧及吹者之唇所節制。

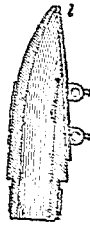


圖 369. 笛口, 舌
可閉閉於管上

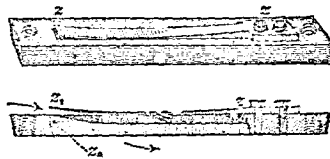


圖 370. 口風琴, 手風琴, 等之振舌

其他簧樂,如口風琴(Mouth organ),普通簧琴(Reed organ),及手風琴(Accordion)等類,則全賴舌之彈性,約束氣流(見 α_1 圖370),此類樂器,並不需氣室,圖370之前頭,表示舌在 α_1, α_2 間振動時,被其所阻之空氣流之方向。

更有一種簧樂,如大風琴中之簧管(Reed pipe)圖371,其振動周期半爲簧之彈性所節制,半爲反射波所節制;換言之,即簧之天然周期,多少總受反射應動之周期之束縛,故於相當之範圍內,欲校準此種樂器,祇須改變簧 l 之長,至於管長則不必變更;即只須將金屬總 r 上牽下即可。



圖 371. 簧風琴管

417. 振唇樂器。

振唇樂器(Vibrating lip instrument)如號筒(Bugle)喇叭(Cornet)等,用吹者之唇以代簧,其振

動之周期，恆為反射歸來之脈動周期所束縛，與風琴管及直笛等相同，喇叭管長為一定，管甚狹小，故其奏也多用倍音。圖 372 之喇叭及普通之號角 (Horn) 均指作用於活瓣 a, b, c ，以變化管長，故此類樂器，因管長之變化，可發多組之原

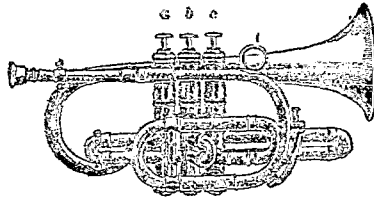


圖 372. 喇叭

音與倍音，在活動喇叭 (Trombone)，其調之高低，全賴所吹之倍音種類及推移其 U 形部分，以變化其管長。

418. 留聲機。

最初所發明之留聲機 (Phonograph)，音波集於圓錐筒內，而通至金屬薄片 C (圖 373)，片上即得音波之振動形狀，與電話機之膜甚相似。片 C 之下，附有尖針 (Stylus) D 。此振動之形狀，即由 D 壓印於蠟筒 M 之上。當針第二次在蠟筒之溝內滑走時，蠟筒上之此所受之振動之迹，即復顯於 C 片之上。此即收聲機 (Dictaphone) 及放聲機 (Ediphone) 之原理，商業上用以代述記生 (Stenographer) 打字生聞其音，可以錄出其文字。



圖 373.

近世最普通之留聲機 (如 Gramophone 等)，其針 D 不在蠟盤上刻成溝形，而在一塗有油脂之鋅板上作前後往復之振動 (見圖 374)，以錄酸 (Chromic acid)

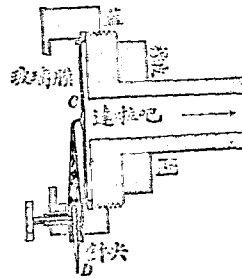


圖 374. 製唱片之圖

磨化其針迹，然後用電鍍法作銅模，自此銅模再印於硬膠上，即可得多數之留聲唱片 (Phonograph record)。當針再循片上之溝進行時，即傳其原來之波動於 C 上。談話之聲，以及音樂歌曲，皆可用此法使之再現，且其音強，音調，音色，皆與原有者相同，絲毫不爽。此器為愛迭生 (見第 349 頁之對面之插圖) 各種發明中之一。愛迭生之高低盤 (Hill-and-dale disk) 及其所用鑽石針 (Diamond-tip)，其形狀如圖 375。

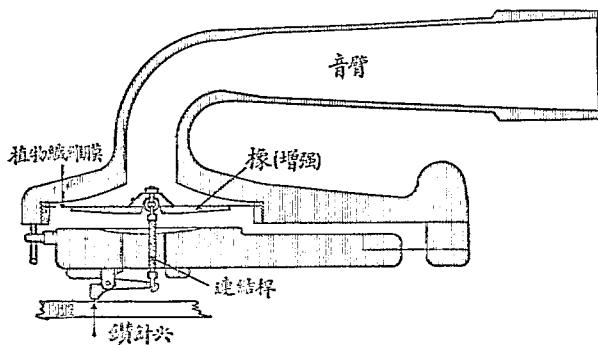


圖 375. 愛迭生之鑽石頭音器

問 題

1. 樂音之傳播如波動然，以何物證明之？
2. 音波為縱波，何以知之？
3. 留聲機轉動愈速，則音即愈高，其故何在？
4. 可以發全音階中八音之風琴管，其相對的長度為何？
5. 風琴管之音調，夏日與冬日相同否？何以有差？
6. 樂器如喇叭，其空氣柱之長一定不變，而能發多數音，即不同之音，如 C, G, C', E', G' (C 不常用)，試說明之。
7. 開管之音色，異於閉管，其故何在？

8. 音在氫中,其速度四倍於在空氣中。如用氫吹 C 管,其發出之音調為何?
9. 用圖 374 之機製留聲唱片。如音強加增,片上有何影響?又如音調低下八音,又有何影響?

第十八章 光之性質及傳播

光之進行

419. 光之速度。

1675 年以前，以為由光源至觀測者之間，光之進行，可以立時傳達。後有丹麥之青年天文學家勒麥耳(Olaus Römer) 最初於此年作下述之觀測。先求當地球在 E (圖 376) 時，木星(Jupiter)之一衛星 M 進入木星陰影(Shadow)之時刻；並由此種衛星蝕(Eclipse)間之平均時間，預定六

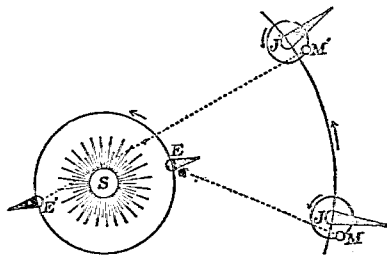


圖 376. 勒麥耳光速之測定

個月後地球在 E' 時再蝕之時刻。至時測之，實際上遲去 16 分 36 秒 (996 秒)。於是彼決定此 996 秒之遲延，為光通過地球軌道所須之時間。地球軌道約為 180,000,000 哩。近今光速最精確之測定，皆在實驗室中之邁克爾森

(Michelson) 在芝加哥大學所測定者為每秒 299,860 紆, 已為普通所公認, 但只須牢記其為 300,000 紆, 或 186,000 哩, 已極精確, 以此速度於一秒間, 可繞地球七周又半, 然以之與最近恆星間之距離相較, 則其數甚微, 如半人馬之 α 星 (Alpha Centauri) 達於地球之光, 為其 4.4 年前所發出者, 設有人立於北極星 (Pole star) 上, 用極強之望遠鏡, 使其足以觀察地球上之事物, 則非至 1918 年一月, 不能得見 1863 年葛的斯堡 (Gettysburg) 之戰爭。

法國之佛科 (Foucault), 美國之邁克爾孫 均各直接測得光在水中之速度, 知其僅為空氣中之四分之三, 在透明固體及透明液體中之光速, 皆較在空氣中為小, 其證詳後。

420. 光之反射^①

試令日光自小孔通入暗室, 由空氣中浮塵之閃爍, 可見光線之直線路徑, 令光射於鏡面, 則其方向驟變, 如圖 377。如持鏡面使與射來之光成垂直, 光即直向來處反射而回, 如將鏡面轉動 45° , 則反射之光即轉動 90° 。

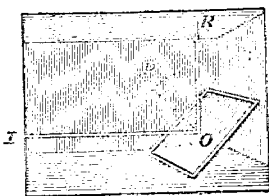


圖 377. 光之反射定律

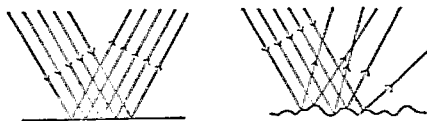
① 未投木節之前或照投之後, 須認以精確之反射定律實驗。② 照著者實驗書中之實驗 42。

由此實驗,可知入射光線 (Incident beam) 與鏡面之法線 (Normal) 間之角 $\angle IOP$, 等於反射光線 (Reflected beam) 與鏡面之法線間之角 $\angle POR$. 前者, 即角 $\angle IOP$, 謂之入射角 (Angle of incidence); 後者, 即角 $\angle POR$, 謂之反射角 (Angle of reflection), 反射角等於入射角.

421. 光之擴散.

由平滑之平面反射之光, 已如前述. 若令光投射於粗糙之面, 如毛白紙之類, 即不復有反射光線. 然同時全室皆為之增加光明, 前此暗不可見之物, 今皆明白顯露.

粗糙之面可視為由極不規則之無數反射面集合而成. 光線射於其上時, 即向各方向作亂反射 (Scattering). 如令光線交互的射至黑布與白紙之上, 則此效應當更顯明; 射於布上者, 則為布所吸收, 射於紙上者, 則向各方作亂反射, 或成擴散的反射 (Diffused reflection). 光之亮度



□ 378. 規則反射與不規則反射

(Illumination), 足以供縫紉白色物質之用者, 對於縫紉黑色物質則太弱. 光滑反射面與粗糙反射面不同之處, 放大之, 如圖 378. 分居室之通氣坑 (Air shaft) 皆塗白色, 其



邁克爾孫(芝加哥)

(A. A. Michelson)

以完成異常精密之光學實驗著名。爲
美國之科學家得諾貝爾賞金(Nobel
prize)之第一人



累力爵士(英國)

(Lord Rayleigh)

以發見氬著名，又長於電，音之精確
測定及深遠之理論上之研究



羅蘭德即霍布金司

(Henry A. Rowland, Johns Hopkins)

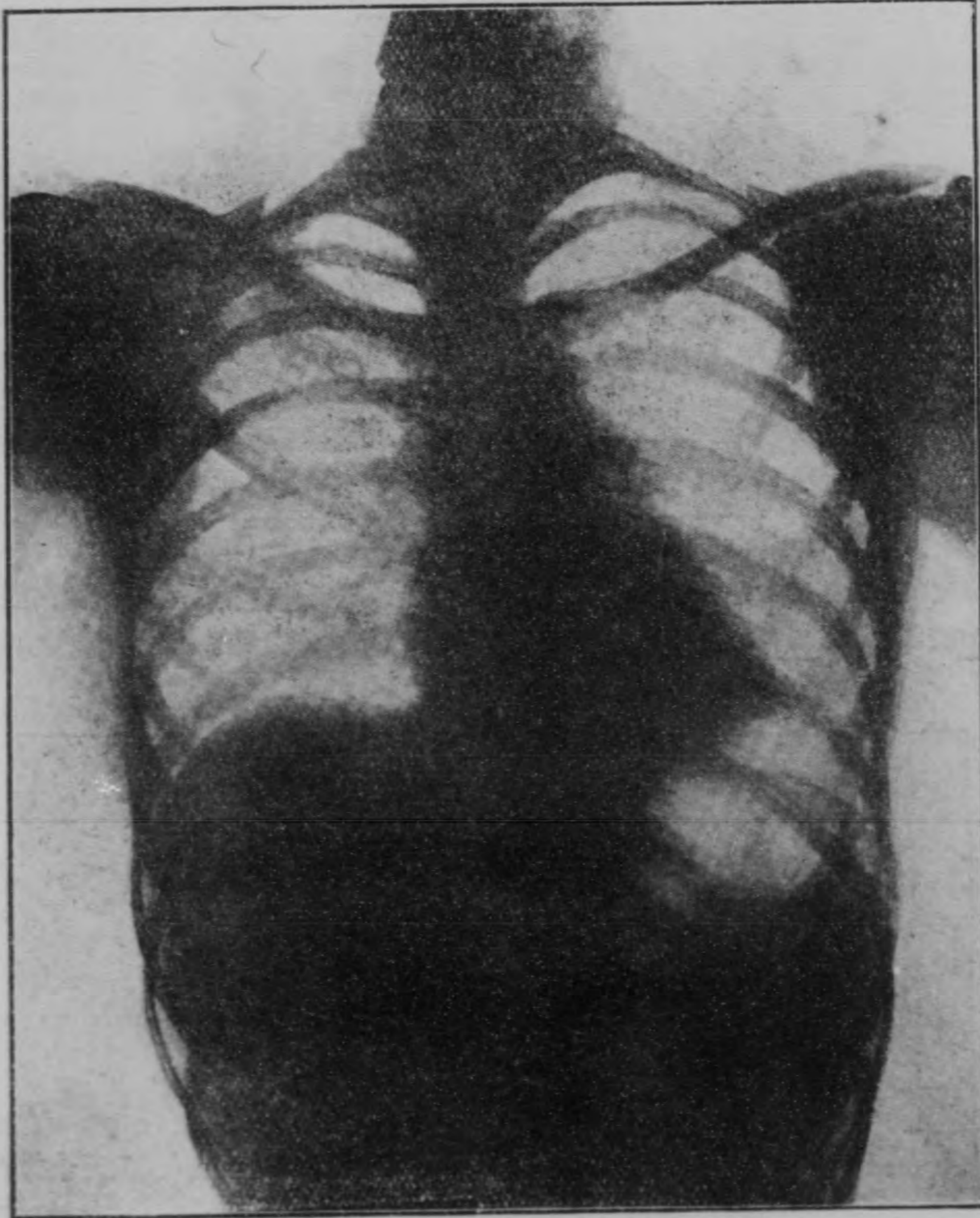
以發明凹格子 (Concave grating) 及
熱學電學上之新紀元的研究著名



克魯克斯(倫敦)

(Sir William Crookes)

以首先(1875)研究及解釋陰極線
(第 472, 478 頁)著名



人體胸部之X線攝影圖

此圖爲人體胸部及心臟上部之圖。心臟頂部顯於肋之右方，心底則張於左，與心頂相對

目的在使入室之日光得最大之擴散,否則室內即異常黑暗。

422. 非光體之可見性

物體之中,如太陽與火燄等,皆自能發光(即自現其形),如書籍,棹椅等,非有他種光體(Luminous body)存在則不可得而見之。此種非光體(Non-luminous body)或擴散體,在光體近傍,所以能得而見之之理,可由前節所述之實驗證明之。因光線射至物體之擴散面時,各小部分皆反射其所受之光於不同之方向,正與發光體之各點皆向各方射出光線之狀況相同。故無論觀測者之目在於何方,皆可見此擴散體之外形,亦正與發光體相同。反之,若光由平滑反射面送入目中時,光線進行之形狀既未被反射所擾亂,故無論光源為自光體與非光體,皆只能見光源之形狀而不能見反射面之形狀。發光體以外之一切物體,凡可以得而見之者,皆由於擴散之光。完全之黑體(Black body),雖不能透光入目,然亦可分別其形體者,實由於背景之光有以區別之也。故凡能見之物,皆可視為能發光線送入吾人目中之物,即皆可視為自光體也。

423. 屈折

引狹小光線射於前面光滑後面白色之厚玻璃片上(圖 379), 則見光線分為兩部, 一部分反射, 一部分通過, 如在玻璃面內畫垂線 OP , 則見通過部分係折近此垂線 OP 。又在空氣內畫垂線 $O'P'$, 則當此通過之部分再出空氣時, 即折而與 $O'P'$ 遠離, 更使入射線以種種角度射於此反射面上, 則見入射角愈大, 屈折 (Refraction) 愈大, 如入射線適在法線上, 則完全無屈折, 若玻璃之上下二面平行, 則兩面所生之屈折其量全同, 故最後屈折而出之光線, 必與入射之光線平行。

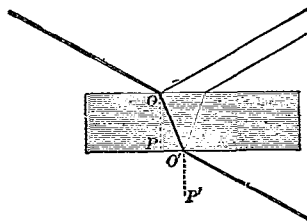


圖 379. 介於平行面間之媒質中之光線進路

再用其他種種之物質, 作同樣之實驗, 可得普遍定律, 曰: 凡光由一媒質斜入他媒質, 若速度減小, 則屈折後與垂直法線接近, 若速度加大, 則屈折後與垂直法線遠離, 法線方向係由第一媒質引入第二媒質內。

424. 全反射; 臨界角。

光線由密度較大之媒質, 如水射入密度較小之媒質, 如空氣之內時, 其所起之屈折恆與垂直線遠離(見 IA , ImB , 等, 圖 380)。若將水面下之入射角度漸漸增大, 則終

① 凡作反射與屈折等實驗, 若欲其明顯而又簡單, 可用如哈特爾光版 (Hartl Optical Disk) 之玻璃片, 光線經過此片之路徑皆可察出。

必達於一點，其屈折線與表面恰成平行（見 IaC ，圖 380），其理甚明，設令投射水面之入射角更爲增大如 I_0P' ，則光線 I_0 將起何現象，實爲極有興味之一問題，因 nC 既恰與水面接觸而過，則即斷言光線 I_0 不能出於水外，亦非無理。下之實驗，即其實證。

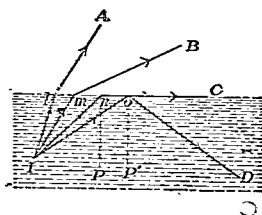


圖 380. 由水面下之光源 I 發出之光與水及空氣之界面作各種不同之入射角

取三稜鏡一個，使其前面光滑背面塗白色，置之於狹小之太陽光線路中，如圖 381。如入射角 IOP 甚小，則光線在 O 點即分而爲二，一反射，一通過；前者達於 S' ，後者達於 S （所現之色今且暫置勿論）。試依圖中箭頭所示之方向，漸將此稜鏡轉動，終必達於一點，在此點通過之光線完全消失，同時 S' 點之光亮異常加增。因通過之光線 OS 既已全失，光之全部必皆在 O 點反射；此時之入射角 IOP 名曰臨界角（Critical angle）。冕玻璃（Crown glass）之臨界角爲 42.5° ，水爲 48.5° ，金剛石爲 23.7° 。一切物質之臨界角之定義，可述之如下：當光線由某物質入空氣之屈折角爲 90° 時，光線在該物質中之入射角，即爲該物質之臨界角。

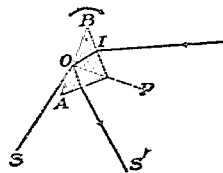


圖 381. 在直角三稜鏡之 AB 面上光之通過及反射

由是可知，凡在一媒質內進行之光線，當其因入他

一媒質而加增其速度時，如入射角大於臨界角，則起全反射 (Total reflection) 之現象。

問題

1. 圖 382 影內之 $acdb$ 部分為全影 (Umbra), aec 及 bdf 為半影 (Penumbra)。問何種光源不能生此種半影?
2. 太陽大於地球若干倍。試作一圖以明地球之全影及半影。
3. 月能否使全地球上各處同時皆得見太陽之全蝕 (Total eclipse)?
4. 天狼星 (Sirius) 距地球約為 25,000,000,000 哩，為極明亮之星。設其突然滅失，則其光尚能照及吾人歷若干時之久?
5. 白船之室較同檢之黑船之室為亮，其故何在?
6. 試於鏡面用白綉書一“白”字，持入暗室之太陽光線進行之途中，令反射光線映照牆壁，則見壁上現一黑色之“白”字。試說明之。
7. 試比較白紙之反射與鏡面之反射。在遠處觀望時，何者易見?並說明其理由。
8. 試用多數平面鏡作一裝置，以視高塔以外之事物。此即最簡單之潛望鏡 (Periscope)。
9. 試繪圖以表示 (a) 普通鏡之光線狀態; (b) 斜向普通玻璃窗之光線狀態。
10. 試說明不因遠鏡 (Anti-glare lens) (圖 383) 對於光中之光之效即

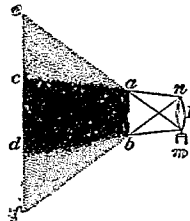


圖 382. 光源甚廣之影

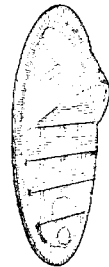


圖 383. 汽車燈用之不因遠鏡

11. 月球周圍並無大氣存在，可自星體通過月球背面時，無論其為最初出現，或最初沒入之一瞬間，其速度皆不增減之一事察知之。若月球周圍亦如地球有大氣存在，則星光隱現時，於其速度有何關係？
12. 試置一銅元於器底，令器壁恰將銅元遮住(圖 384)，然後注水入器內，銅元立可復見，試言其故。

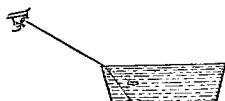


圖 384.

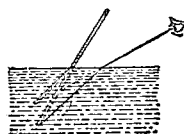


圖 385.

13. 將直棒插入水內，宛如被水面折為兩段，如圖 385。試說明之。
14. 試將稜鏡置於圖 386 之位置，則成為最完全之反射器(Reflector)，其反射較尋常平面鏡為愈，其故何在？

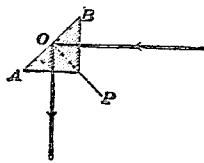


圖 386.

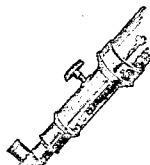


圖 387. 斜目鏡

15. 斜目鏡(Diagonal eyepiece)中含有冕玻璃製之直角稜鏡(圖 387)一個。天文望遠鏡(Astronomical telescope)常用之以調高緯度之天體，試說明之。
16. 透過玻璃面斜視玻璃後面之直線，其形若何，如圖 388。試說明之。
17. 由地球表面反射至月球之光，較之由月球反射至地球者大十六倍。新月(New moon)時，圓鏡者可以得見月



圖 388.

之暗黑部分，試將此時由太陽以達觀測者之眼中之光線路徑，用圖繪出。又下弦之月(Third-quarter moon)之暗黑部分，吾人不能見之，其故何在？

光之性質

425. 光之微塵說。

以上各節所論之光之性質，皆可用一假說以說明之：即假定光為一種極微小之粒子所構成，稱之為微塵(Corpuscle)。此種微塵以每秒 300,000 呎之大速度自光體射出。如用此種假定，則光沿直線進行及沿直線反射諸事，皆為必然之結果。又對於屈折現象，亦可以用此假說為之說明，不過略為複雜而已。此說於 1800 年以前頗為世人所共認，名之曰微塵說(Corpuscular theory)。

426. 光之波動說。

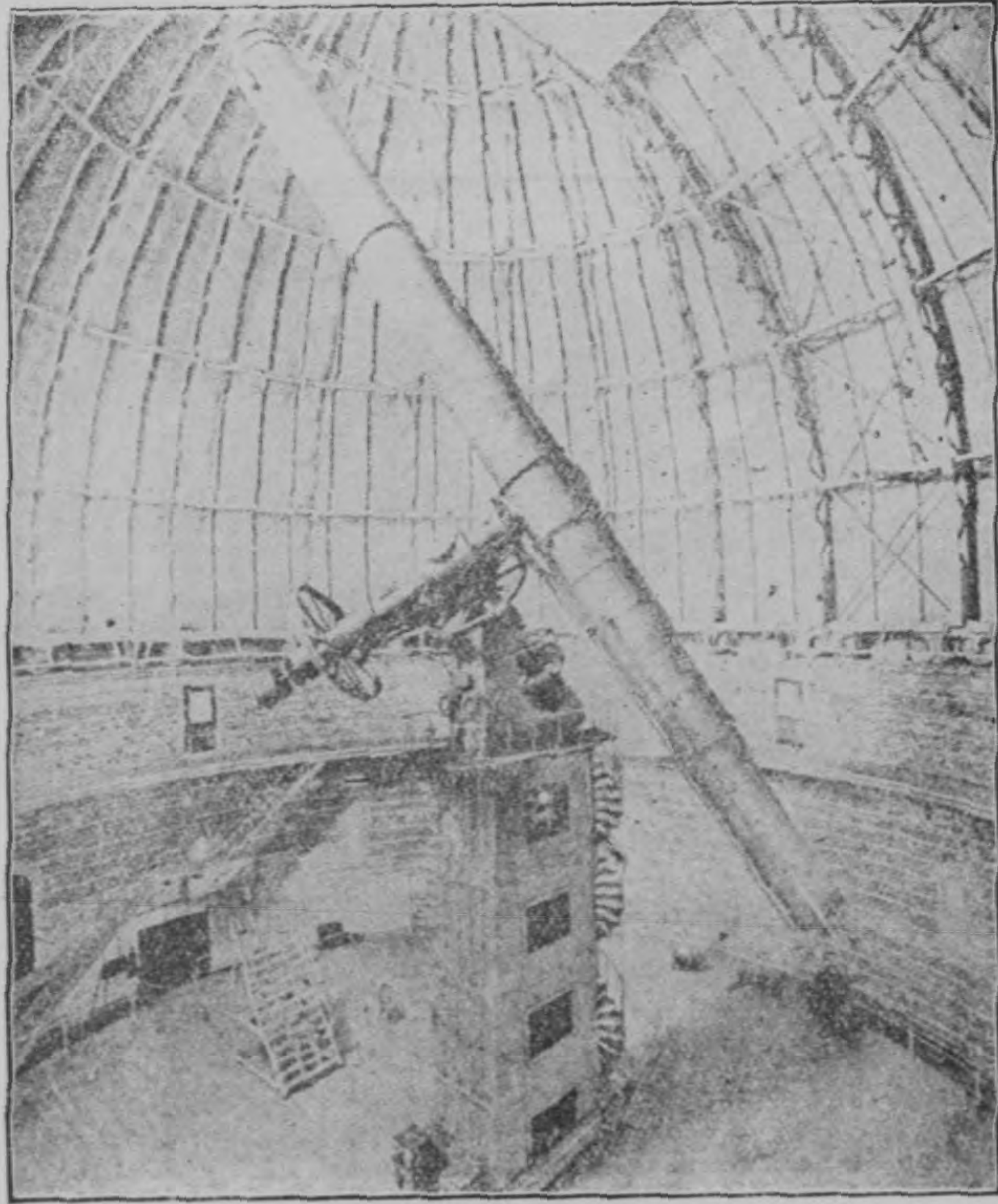
與微塵說對敵之學說，為和蘭之物理學家海耳史(Huygens) (1629—1695) 所創之理論，以為光與音同，亦為一種形狀之波動(A form of wave motion)。當此說最初提出之時，即遇有二難點，其一，光之所以異於音者，以其不特對於用唧筒抽成之真空可以通行，即在天體空間內亦毫無阻礙。天體空間之真空程度，當遠出乎人造之真空。設光為波動，則必為一種媒質之波動。此種媒質，充



海 耳 史

(Christian Huygens) (1629—1695)

和國之大物理學家，數學家，兼天文學家；發見土星之環；改良望遠鏡；發明擺鐘(1656)；發展光之波動說；1690年發見光之極化現象。(極屈折之事實確為1669年伊拉斯莫斯巴托林 (Erasmus Bartholinus) 所發見，然至海耳史始知極屈折光線之極化，並由光波說作極化之說明。)



葉耳歧茲觀測所之大望遠鏡(芝加哥大學)

此為世界之大屋折望遠鏡，其物鏡為一紅色差透鏡(見第 475 節)，直徑 40 吋，置於長 63 呎之筒內，全器之重約 21 噸。天體因地球旋轉而移動，故將此鏡連接於一巨鐘之上以隨天體運行，鐘之速度以調節器調節之，調節器之原理與圖 184 之原理同。藉電動機之力，望遠鏡所指之方向可以任意定之。方向既定，然後與鐘連接，於是鏡所指天上之點可延長至任何時間而不移動。鏡之全座可以上下自由，以便觀測

滿一切空間，而又不防礙天體之運動。海耳史假定有此種媒質存在，名之曰能媒 (Ether)。

其二，波動說對於光之直線進行，似不能說明。尋常習見之波，如音波，水波，以及其他各式之波，遇角則屈，極易遠之而過，光則似不如是。因有此數難點，故當時之大學者，皆不承認波動說，而維持其微塵說。牛頓亦其一也。近百年來，始將此種困難除去，加以光之新現象，發見日多，有非波動說不能得滿足之說明者。此類性質中之最要者，當於次章述之。

427. 光之干涉。

取二玻璃板，寬約半吋，長約四吋或五吋，使之相重。用薄紙隔開一端，如圖 389。用力夾緊其他之一端，使楔形之空氣層存於其間。以石鹼或吸水紙一小塊浸於食鹽（氯化鎂）水溶液中，然後置之於本生燄上，使之與火燄相觸，如圖所示。因圖內有鎂，燄即變為亮黃色。試觀玻璃面上燄之反射光，即見有黃黑相同之細線，排列於上。

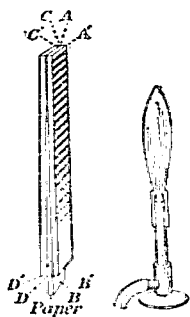


圖 389. 光波之干涉

由波動說可得下之說明：由燄之各點發出之光波，既達於玻璃片之各表面如 $A'B'$, AI , CD , $C'D'$

(圖 389) 等之上，均有一部分反射，一部分透過，今只取檢

形空氣之二面，即 AB , CD ，所生之反射而研究之。設圖 390 表此二面之放大斷面。設實波線 (Wavy line) as 表由表面 AB 之 a 點反射至眼之光波，設虛波線 ir 表由表面 CD 之 i 點反射至眼之光波。同理，圖上各條實波線皆表由表面 AB 各處反射入眼之光波，各虛波線皆表由表面 CD 各處反射入眼之光波。在第 396 節音波生聽之實驗中，由兩音叉發出之音波，起互相干涉之現象；即與兩波相當之空氣質點之運動方向，彼此互相反對時，即寂然無音，光亦猶是。由 AB 與

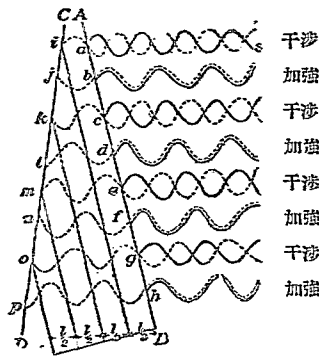


圖 390. 由光波之干涉所生之明帶與暗帶之解釋

CD 發出之兩種光波 (Light wave)，亦可互相干涉；即與兩波相應之媒質之運動方向，彼此相反時，即成暗黑。上述實驗中所見之暗帶 (Dark band)，即由兩空氣面反射之光波互相中和或互相消滅所致。其明帶 (Light band) 則由兩光波互相加強而得，故其亮度加強一倍。第二黑帶 c 之位置，由於由 c 至 k 而復返 (見圖 390) 之距離較由 a 至 i 而復返之距離多一波長，以下各帶，皆可由此

類推光之干涉現象，式樣不一，然用波動說，皆立可得滿足之解釋。若用微塵說，則非加多數無理之假設不可。故現在微塵說已被廢棄，一般物理學者，皆承認光為一種之波動。

428. 能媒。

欲承認波動說，則不能不依海亘史之想像，承認太空之中有一種媒質，名曰能媒 (Ether)，瀰漫於其間，以傳光波。此種媒質，與一切普通之物質不同。蓋無論任何物質，果存於天體空間，則行星及其他天體之運動，必因之遲緩。然自天文學者精確計算天體之運動以來，數百年中，未嘗見其遲易少許。故傳達光波之媒質之密度必較最輕之氣體猶小至無限。又因欲解釋透明體之透光，故不能不假設其中亦有能媒存在，故能媒不獨瀰漫太空，即各分子間之空間，亦莫不有其存在。

429. 黃色光之波長。

光之波動雖與音相似，然光波之異於音波者，有數要點。第一，波動說之為正確，由於前節之實驗，而細察前節之實驗，則知光波之波長，較之普通之音波，極為微小。此實驗中所用之黃色光之波長，只為 .00006 呎(約 $1/40,000$ 吋)。

欲求發光之微粒每秒之振數，可知音學中方法，以波長除其速度即得。因光之速度為每秒 33,000,000,000 呎，波長為 .00006 呎，故發射黃光之微粒之振數，為每秒 500,000,000,000

次。

430. 波動說對於屈折之說明。

以玻璃筒盛水令滿，自上端沿垂直方向俯視之。將此時眼中所見瓶底所在之處，用手指在瓶側標出，如圖 391。無論水之深淺如何，手指所標之處距瓶底恆為水深四分之一之一定點。

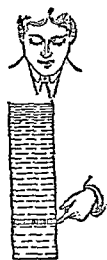


圖 391. 水底之昇高

今由波動說以解釋之。因光在水中進行之速度，較在空氣中進行之速度為小，遂成此結果。試設想光波由水面下之一點 P (圖 392) 發出，以等速度傳布於各方。當波頭 (Wave front) 觸及表面之一點 b 之一瞬間，波形必為一球形，以 P 為其中

心。假令 ao 為此球面之斷面。假使波入空氣後速度並不改變，則當仍以 P 為中心，片時後當與點線 co, d 相合，且 $a'o, bd$ 諸線之長皆當相等。然若在空氣內之速

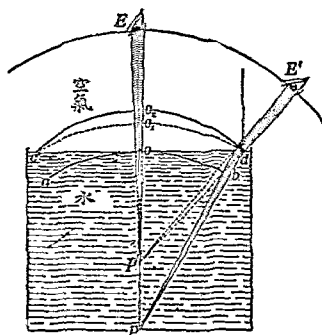


圖 392. 自水底發出空氣內之光波

度較在水內爲大，則當 a 與 b 處之波達 c 與 d 時， o 處之波不在 o_1 而在 o_2 。故其波狀爲粗線 co_2d ，而非點線 co_1d 。波 co_2d 較波 aob 更爲彎曲，故其中心點不在 P 而在其上之一點 P' 。易言之，即波形因由水面出至空氣驟然漲高，故當此波達於觀測者之眼 E 時，不覺其波源在 P ，而覺其在 P' ，因入眼之光，實以 P' 爲中心，而非以 P 爲中心故也。由是得一結論曰：設光在水內進行之速度較在空氣內爲緩，則凡水面以下之物體，視之應較實際爲近。此結論與實驗之事實恰相一致。

更有進者，設觀測者之眼不在 E 而在 E' ，則達於眼內之光，即沿折線 PdE' 進行，故由作圖法，知一光線斜向進入速度較大之媒質內時，其屈折光線恆離垂線遠去。故如進入速度較小之媒質內時， P 點之位置，當較實際更覺沉下。因此時進入速度較小之媒質內之波形，不特不漲高，且轉變平，故其曲度中心 (Center of curvature)，即外觀上光源所在之一點，當在 P 之下，故屈折光線恆向垂線接近，如第 423 節之結果。

431. 空氣中之光速與水中之光速之比。

第 430 節之長瓶試驗，不特可用以表示光在空氣中之速度較在水中爲大，且爲求此兩速度之比之一簡

便方法，故圖 392 中，表示光波在水中行 $ac (=oo_1)$ 之距離時，在空氣中所行之距離為 oo_2 。故 $\frac{oo_2}{oo_1}$ 即空氣中之光速與水中之光速之比。

弧 co_2d 及 co_1d 之曲度，以其半徑之逆數量之；即

$$\frac{co_2d \text{ 之曲度}}{co_1d \text{ 之曲度}} = \frac{\left(\frac{1}{dP'}\right)}{\left(\frac{1}{dP}\right)} = \frac{dP}{dP'} \quad (1)$$

在一般之實驗中，弧之值皆極小，故其由直線 cod 漲出之距離，與其曲度為正比；即

① 試畫一 45° 之角(圖 393(1))，其弧所包含之角為 45° ，切線 t, t' 所包含之角，亦為 45° 。

試以三倍於此半徑之長為半徑，再畫一弧與此弧等長(圖 393(2))，因半徑長三倍，故該弧所包之角，及其兩切線所成之角，均為 15° 。由此

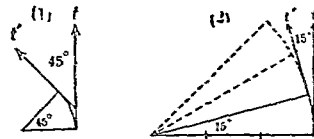


圖 393.

可知，弧之半徑大三倍時，弧之曲度(即方向之變更)小三分之一。即定長之弧之曲度，與其半徑為反比。一般言之，即弧之曲度，以其半徑之逆數量之。

② ac (圖 394) 為直徑兩段之比例中項(Mean proportional)。故 $ao \times od = oc^2$ 。弧之值甚小時，實際上 od 與 $2r$ 相等，故 $ao = \frac{oc^2}{2r}$ ，或

$ao = \frac{oc^2}{2} \times \frac{1}{r}$ 。故 ao 與 $\frac{1}{r}$ 成正比。故同一弦

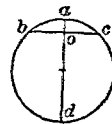


圖 394.

上之兩小弧，其高出於弦之距離，與其曲度成正比。

$$\frac{c_{02}d \text{ 之曲度}}{c_{01}d \text{ 之曲度}} = \left(\frac{c_{02}}{c_{01}} \right) = \frac{\text{空氣中之速度}}{\text{水中之速度}}. \quad (2)$$

自(1)與(2),可得

$$\frac{\text{空氣中之速度}}{\text{水中之速度}} = \frac{dP}{dP'}. \quad (3)$$

但如前述用長瓶實驗時,垂直下視水筒,則 $\frac{dP}{dP'} = \frac{oP}{oP'}$, 故

$$\frac{\text{空氣中之速度}}{\text{水中之速度}} = \frac{oP}{oP'} = \frac{\text{實際之深}}{\text{外觀之深}}.$$

但由實驗結果得知瓶底昇上約 $\frac{1}{4}$, 即 $\frac{oP}{oP'} = \frac{4}{3}$. 故可得一結論,即光在水中進行之速度,為空氣中之 $\frac{3}{4}$ 倍。

由此間接方法測出之光速之比,與佛科及邁克爾孫(見第396頁對面插圖)由直接方法(第419節)測得者,恰相符合,波動說由此得一確實之證明。

432. 屈折率。

光在空氣中進行之速度,與在他種媒質中進行之速度之比,名曰該媒質之屈折率(Index of refraction),前節所用求水之屈折率之實驗法,對於其他各種透明媒質,

不論液體固體,皆可適用。尋常物質之屈折率列之如次:

水.....	1.33	冕玻璃.....	1.53
醇.....	1.36	鉛玻璃.....	1.67
松脂油.....	1.47	金剛石.....	2.47

④ 若欲表明此法之精確,簡單,完美,教授者可用下法作一實驗:

此實驗中所用之鉛筆,須擇其銳利者,於紙上作一小黑點如 P 。置一玻璃板(圖 395 (1))於紙上,使粘於玻璃邊上之紙片(Label)之邊,與點相重(若用稜鏡如圖 395 (2),則使頂點 P 與此黑點相重)。連玻璃之底邊 ef 及其他諸邊。緊壓之於棹上,

令其當實驗時,決不由其最初所在之位,置尺一於紙上之傾斜地位 ed (勿觸玻璃)。緊閉一目,以一目從玻璃中觀 P 點,使尺之一邊與眼中所見玻璃中之 P 點在一直線 ed 上。用尖鉛筆畫線 cd , 但切勿

使尺觸動玻璃。依同理,在右邊又畫線 ab , 使其與中心相隔之距離,與左邊之 ed 與中心相隔之距離相等。然後將玻璃移去,完成此圖,如圖 395 所示。

P' 即 P 之外觀上之位置。由所讀之教科書中,當知光之速度在空氣中與在玻璃中之比為 AP/AP' 。試精確量其距離,使 0.1 毫米以上之數,皆計算在內。求屈折率之值至小數下兩位為止。如此實驗兩次,或三次,然後比較其結果。

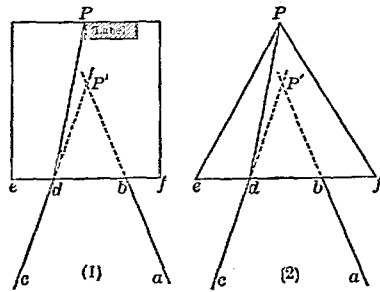


圖 395. 屈折率

433. 光波爲橫波。

由以上各節所述,已知光波與音波之別有二;即光波爲能媒內之振動,波長甚短;音波爲尋常物質內之振動,波長甚長。此外尚有根本上不同之點,爲海亘史(見第402頁對面)於1690年首先發見,即音波爲媒質微點之縱振動(Longitudinal vibration),而光波爲媒質微點之橫振動(Transverse vibration)是也。縱振動爲在波之進行方向線上所作之往復振動;橫振動,如第359頁圖346之水波,爲在波之進行方向線上所作之直角方向之振動。

如欲知此二種波狀之所以不同,可設想一種繩上所起之橫波,令其次第通過兩格子,如圖396。如兩格子上之孔隙,與手之振動之平面平行,如圖396(1),波

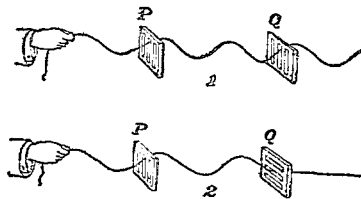


圖 396. 橫波透隙

之通過甚易,設第一格子P之隙與振動方向平行,第二格子Q之隙與振動方向成直角,如圖396(2),波雖容易通過P,然至Q即完全靜止,如圖所示。換言之,即P,Q二格子只能通過與其孔隙平行之振動。

若爲縱波,如音波,將見無論格子之位置如何,其通

過均毫無差別，因微點之運動為往復的，與二格子之隙之任何轉向，皆無關係故也。

電氣石 (Tourmaline) 之晶體，對於光波之情狀，適與兩格子隙對於繩上所生之波之情狀相同。

試取電氣石一塊 a (圖 397)，持至屏間小孔之前，使日光由此孔通過，以達鄰壁，如無日光，祇須置晶體於眼與光源之間，將見光線通過電氣石片為事至易，祇不過亮度稍弱而已。再取第二晶片 b ，置於第一晶片之同一直線上。若兩晶片之結晶軸彼此平行 (圖 398)，光仍

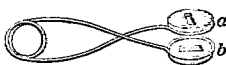


圖 397. 電氣石狹

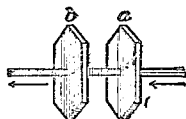


圖 398. 光線通過電氣石晶體

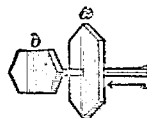


圖 399. 光線為橫交之電氣石所遮

可以通過。若將其一晶片在狹內轉動 90° (圖 399)，光即隔斷，由此可知，如電氣石一類之晶體，只能通過在一定方向振動之光波。

據此實驗可以斷定光為橫波而非縱波。又可用以解釋光之極化 (Polarization of light)。設二軸 a 與 b 橫交，則祇能通過 a 而不能通過 b 之光線，謂之極化光線 (Polarized beam)。由光之極化現象，可以證明光為橫波。

434. 明亮之強度.

試於暗室內取四燭緊接排之於 B 處,使其照及一不透明體 O ,因此生一陰影於白屏 C 上(圖 400),復立一燭於 A ,使 O 另生一影於同一屏上.因由 A 所發之光,可以照及 B 光所生之影,由 B 所發之光,亦可照及 A 光所生之影,故知此兩光之強度 (Intensity) 相等,即 A 與 B 照屏之亮度 (Illumination) 相等,則其所成之兩影,即成完全同樣之黑暗.試移 A, B 位置,使其能滿足此項條件,然後再測出由 B 至 C ,及由 A 至 C 之距離.若此五燭之餘大小相等,則見 B 處之四燭與 O 相隔之距離,必為 A 處之一燭與 O 相隔之距離之二倍.故 B 處每燭照於屏上之亮度,祇為 A 處一燭之四分之一.

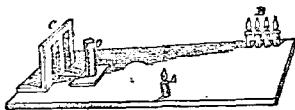


圖 400. 蓋斐德之光度計

由上實驗,可以直接證明明亮之強度 (Intensity of illumination), 與光源距離之平方為反比.

至於理論的證明,可由圖 401 一觀即得.若 LB 二倍

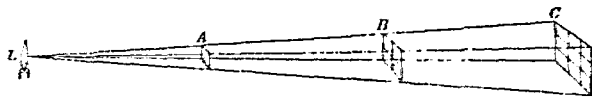


圖 401. 逆平方定律之證明

於 LA, LC 三倍於 LA , 則光照於 B 上之面積,為照於 A 上之四倍,照於 C 上之面積,為照於 A 上之九倍,故光在 B 處之強度,為在 A 處之四分之一,在 C 處之強度,為在 A 處之九分之一,其理甚明.

上述之由實驗比較兩光源之強度之方法，爲藍斐德 (Count Rumford) 所創，故此裝置名曰藍斐德光度計 (Rumford photometer)。

435. 燭光。

上述實驗，可用以比較光源發光力 (Light-emitting power) 之強弱，例如用一煤氣燈代 B 處之四燭，假使此兩光源照在屏上之亮度相等，而 BC 與 AC 之距離不變，即成 2 與 1 之比，則可知距此煤氣燈二呎處所得之亮，適與距一燭一呎處所得之亮相等，即煤氣燈之發光力，與四燭之發光力相等，故任何兩光源對於一屏，若發同等之亮度，則其燭光 (Candle power) 即與屏及光源間之距離之平方爲正比。

習慣上表光源之強度，恆用燭光。一燭光爲直徑 $7/8$ 吋之鯨油燭 (Sperm candle) 每小時燃去 120 格令 (Grain) (7.776 克) 時所發之光。尋常煤氣燈每小時燃燒 5 立方呎之煤氣時，其燭光約爲 16 至 25，因氣體之優劣而有不同。

一標準燭對於 1 呎之距離所生之明亮之強度，各爲一呎燭 (Foot-candle)，故 100 燭光之燈，對於 1 呎遠處所生之明亮之強度，爲 100 呎燭；對於 2 呎遠處爲 25 呎燭；5

呎遠處爲 4 呎燭；10 呎遠處爲 1 呎燭。

436. 本生光度計。

試取不透明白紙一張，中滴一油點，或溶解之蠟點，令其成半透明 (Translucent)。持紙近窗前，背窗之面，油點較其周圍略爲明亮；對窗之面，油點較周圍略爲黑暗。由此可知，由亮度較大之面觀之，油點似暗；由亮度較小之面觀之，油點似明。設兩面之亮度相等，則無論由任何一面觀之，油點之明暗皆必相等。今將此紙持入暗室內，

置於二煤氣燈或電燈或其他相等之兩光源之間，如其與此兩光源間之距離一近一遠，則由近光之一邊觀之，油點略暗。次將此紙移向他

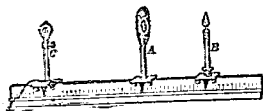


圖 402. 本生光度計

一光源，則油點漸次由暗而明。故兩光源之間，必有一適當位置，若將油點之紙，置於此特殊之位置上，則無論自紙之任何一面觀之，其油點或完全消失，或成爲同一之狀況。此即兩光源之亮度彼此相等之位置。故欲求未知之光源之燭光，祇須置一燭於其一面，置未知之光源於他一面，如圖 402。移油點 A 至亮度相等之處，則所求之燭光 C，等於以距離 BA 之平方，除距離 CA 之平方所得之商。

此種裝置，謂之本生光度計 (Bunsen's photometer)。

問 題

1. 試區別燭光，光之強度，明亮之強度等之異同。
2. 2 呎遠之亮度，須用幾燭，方可與 30 呎遠之 1 燭光之亮度相等？
3. 500 燭光之燈，置於距離街之暗處 50 呎之所，若使 100 燭光之燈與之亮度相等，須置之於若干距離之處？

4. 2 燭光之燈，在 1 呎之遠，其亮度可以讀書。用 32 燭光之燈，須置若干遠，方可得同等之亮度？若距書 8 呎遠，欲得同等之亮度，所須之燈之燭光爲若干？
5. 將本生光度計置於一弧燈及一 32 燭光之熾熱燈之間，如其距熾熱燈 10 呎，距弧燈 36 呎時，兩面之亮度相等。弧燈之燭光爲若干？
6. 設有兩光源，一爲 5 燭光，一爲 30 燭光，相距 2 呎。須將本生光度計置於其間之何處，方能使油點兩方之亮度相等？
7. 如太陽與地球之距離，不爲現今之距離，而爲月與地球之距離。日光當增強若干？月距地 240,000 哩，日距地 93,000,000 哩。
8. 若煤氣燈距藍德光度計之屏 300 釐之影，與一標準燭光距屏 50 釐之影，同一強度，煤氣燈之燭光爲若干？
9. 光線自水入鉛玻璃時，其屈折對於在玻璃內所作之法線，爲離遠抑爲接近？
10. 光線自空氣斜向射入二硫化碳 (Carbon bisulphide)，其屈折角較諸以同一入射角自空氣射入水內時之屈折角爲大。在二硫化碳中之光速度，較水中爲大歟？抑較之爲小歟？
11. 設光線在空氣中之速度爲每秒 186,000 哩。其在水中，鉛玻璃中，金剛石中，之速度爲何？(參照第 410 頁屈折率表。)

第十九章 造像

透鏡之造像

437. 凸透鏡之焦點距離。

置凸透鏡 (Convex lens) 於通入暗室之日光進路中(日光通過之路途,可用灰壓或煙以顯出之。),則見光線均集於一點 F ,如圖 403。

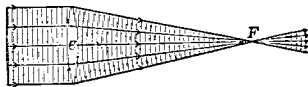


圖 403. 凸透鏡之主焦點 F 及其焦點距離 CF

由太陽或其他遠距離物體發出之光,當其達於透鏡 (Lens) 時,其光波並無彎曲,名之曰平面波 (Plane wave) (見圖 403)。光在玻璃中進行之速度小,在空氣中進行之速度大,故通過透鏡時,中央部分之光線之速度,較周圍部分之速度為遲,故光波出鏡後,不復為平面波,而為凹面波 (Concave wave)。最終集於一點 F ,是曰焦點 (Focus)。

今更有一法,以解釋此現象,即設想凡遠透鏡之光線,皆依第 423 節之定律而生屈折,因此通過 F 點。

透鏡之中點 C ,名曰光心 (Optical center),通過光心而垂直於鏡面之線,曰主軸 (Principal axis)。

平行於主軸之光線(入射之平面波)所聚集之焦點,

曰主焦點 (Principal focus).

自透鏡中點至主焦點之距離 CF , 曰透鏡之焦點距離 (Focal length), 通常用 f 表之。

自稍異之方向, 如由遠處屋頂及其底部發來之平面波(平行光線)莫不各有其焦點, 如 F', F'' 等, 含 F', F'' 等焦點之平面 $F'F'F''$ (圖 404)

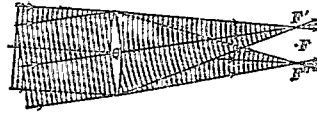


圖 404. 凸透鏡之焦平面

曰透鏡之焦平面 (Focal plane).

因弧之曲度由半徑之逆數而定(見第 408 頁之脚註), 故透鏡使入射平面波所成之曲度, 爲 $\frac{1}{f}$. 且無論入射波之曲度如何, 其受透鏡之屈折作用而改變之量, 恆爲 $\frac{1}{f}$.

試由遠處房屋之像至透鏡中點之距離, 精確測定凸透鏡之焦點距離。

439. 共軛焦點.



圖 439. 共軛焦點

如將一光點 (Point source of light) 置於 F 處 (圖 405),

則光線通過透鏡後，必復取其原路，即光波復成爲平面波，或光線復成爲平行線。若光點與鏡面間之距離爲 D_0 ，大於 f (圖 405)，則與透鏡接觸之光波之曲度爲 $\frac{1}{D_0}$ (因弧之曲度爲半徑之逆數)，較前之曲度 $\frac{1}{f}$ 爲小，即波面較前爲平。然透鏡可使光源在 F 之波之曲面變爲平面，故來自 P 點之波面，因其較前爲平，故通過透鏡後當變爲凹；即通過透鏡之光線，皆集於一點，如 P' 。又如置光源於 P' ，光線必集於 P 。如此 P, P' 二點，互爲其他之像，名曰共軛焦點 (Conjugate foci)。

439. 共軛焦點之公式 二次焦點。

因圖 405 內通過透鏡之波之曲度，與其遠透鏡時之曲度方向相反，故其曲度之和，即 $\frac{1}{D_0} + \frac{1}{D_i}$ ，表透鏡變易入射波之曲度之能力。又由第 437 節，知其值爲 $\frac{1}{f}$ ，故

$$\frac{1}{D_0} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}; \quad (1)$$

即透鏡之共軛焦點之逆數之和，等於焦點距離之逆數。如 $D_0 = D_i$ 則此方程式示 D_0 及 D_i 皆等於 $2f$ 。

二共軛焦點 S, S' ，與透鏡間之距離，彼此恰相等，名曰二次焦點 (Secondary foci)，其與透鏡間之距離，爲焦點距離之二倍。

440. 物體之像

以燭或電燈置於主焦點 F 及二次焦點 S 之間之 PQ 處 (圖 406), 立一屏於 $P'Q'$, 則見其上有倒立放大之像 (Image)。



圖 406. 透鏡之實像之造成

此像之所以造成,可說明之如下:凡自 P 發來而與透鏡相接觸之光線,皆集於 P' 點。像 P' 之位置,必在 PC 之直線中;因光線所出入之透鏡之小部分,可視為平行面(見第 423 節),故通過中心 C 之光線,可視為與原來之方向平行,故像 $P'Q'$,恆在自 P 及 Q 引至中心 C 之兩直線之間。如已知焦點距離 f , 及物體之距離 D_o , 則像之距離 D_i , 即不難自公式 (1) 求得之。

像之位置更可由作圖法求出,其法如下:自 P 到透鏡之光線所成之錐體內,其與主軸平行之光線,由第 437 節觀之,必須通過主焦點 F' 。此線與線 PC 交叉之點,即像 P' 之位置(圖 407)。依同理, Q 之像為 Q' 。

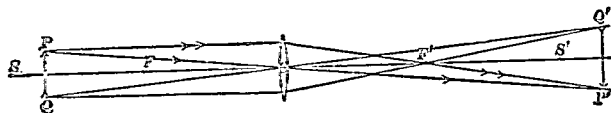


圖 407. 作圖求像之光線法

441. 像之大小.

因像與物體恆在此兩相交之直線 PP', QQ' 間, 故由相似三角形 $PCQ, P'Q'Q'$ 可知 $\frac{PQ}{P'Q'} = \frac{D_o}{D_i}$;

即
$$\frac{\text{物體之長}}{\text{像長}} = \frac{\text{物體與透鏡之距離}}{\text{像與透鏡之距離}}. \quad (2)$$

由圖 407, 或公式 (1) 與 (2), 可知

(1) 物體在 S 時, 像在 S' , 且物體與像大小相等.

(2) 物體自 S 向外移甚遠, 則像自 S' 移至 F' , 且漸次減小.

(3) 物體自 S 移至 F , 則像向右移甚遠, 且漸次增大.

(4) 物體在 F , 則透過之波皆成平面波(即由透鏡透出之光線皆成平行), 故無實像 (Real image) 可成.

442. 虛像.

由前所述, 知物體在 F 時, 通過透鏡之光波皆成爲平面波. 如體物在 F 之內, 更近透鏡, 則通過透鏡之波之曲度雖減, 然仍爲凸面. 若在 E 處視之, 則光波一若自 P' 處而來者然(圖 408). 實際上

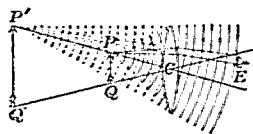


圖 408. 凸透鏡所成之虛像

並無光源在 P' ，故此種像，名曰虛像 (Virtual image)。虛像不能用屏現出，唯可用目視之。

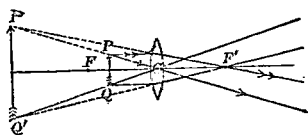


圖 409. 求凸透鏡虛像之光線法

虛像之作圖法，與實像之作圖法(第 440 節)相似，此種虛像皆較實物增大，且皆直立(圖 408, 409)。

443. 凹透鏡之像。

當平面波達於凹透鏡 (Concave lens) 時，其中央部分所受透鏡延滯作用之程度小於其邊際之部分(圖 410)，故通過透鏡之波，為發散波 (Divergent wave)。平面波通過透鏡後，一若自一點 F 發出者然，此點 F 即透鏡之主焦點 (Principal focus)。自 P 及 Q (圖 411) 通過透鏡之波之中心，即 P 及 Q 之像 P' 及 Q' ，必在二線 PC 及 QC 之上，其理與凸透鏡同；且波之曲度，因經透鏡



圖 410. 凹透鏡之虛焦點

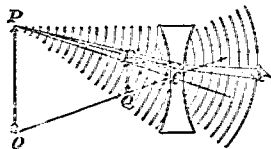


圖 411. 凹透鏡之像

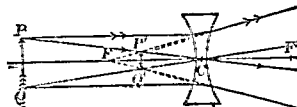


圖 412. 求凹透鏡之像之光線法

而增大，故 P', Q' 之位置，必較 P, Q 更與透鏡接近。圖 411 卽示此透鏡所造成之像，此種像恆爲虛像，直立，且較實物爲小。圖 412 爲其作圖求法。

平面鏡中之像

444. 平面鏡或曲面鏡中之點之像。

置目於 E (圖 413)，以觀平面鏡 (Plane mirror) mn ，則鏡前之鉛筆尖 P ，一若由鏡後之一點 P' 發出者然。由實驗，可以求出 P' 對於鏡面及對於 P 之相對位置；然由理論上亦可求出之，其法如次：設想光波發源於一點 P (圖 413) 而傳播於各方。命 ao_b 表光波達於反射面 mn 之一瞬間之斷面。如無

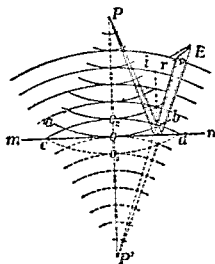
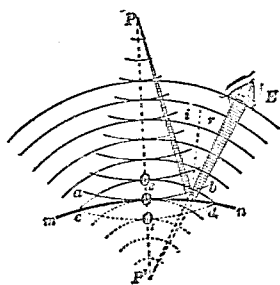


圖 413. 由平面反射而回之波

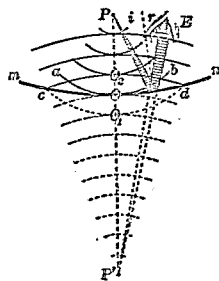
反射面，則片時後波必至點線 oo_1d 之位置。然因光波至 mn 而起反射，且因此反射而回之波之速度等於原波之進行速度，故於該片時之後，反射波所達之位置，如命之爲 oo_2d ，則 oo_2 必等於 oo_1 。波 oo_2d 之中心爲 P' 。此 P' 在 mn 之後方，其與 mn 間之距離，恰等於 P 與 mn 間之距離，蓋 oo_1d 與 oo_2d 爲等圓之弧，且有公共之弦 cd 故也。同

理, P' 必在由 P 點向 m_n 所引之垂線上, 於是反射波 co_2d 之一部分進入 E 處觀測者之眼中時, 一若此種光線不發源於 P 而發源於 P' 者然, 因實際進入眼中之光, 並非以 P 為中心而以 P' 為中心故也。故 P' 為 P 之像, 故平面鏡上方之一點之像, 在由此點向鏡面所引之垂線上, 且像在鏡後與鏡面相隔之距離等於此一點在鏡前與鏡面相隔之距離。

以同樣之作圖法應用於曲面鏡, 則得(圖 414, 415) 曲面鏡或平面鏡上方之一點之像, 必在由此點向鏡面所引之垂線上; 如為凸鏡, 則像與鏡面間之距離較此點與



□ 414. 由凸面反射而回之光波



□ 415. 由凹面反射而回之光波

鏡面間之距離為近; 如為凹鏡, 若像在鏡後 (即虛像), 則像與鏡面間之距離較此點與鏡面間之距離為遠。

445. 平面鏡內物像之作圖法。

物體在平面鏡內所造之像(圖 416),可由上述之定律以定其各點之位置,而畫出之;即由各點引垂線至反射面,再延長之至鏡背,使與前面等長。

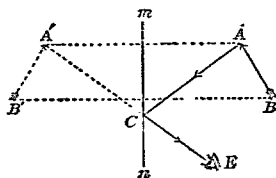


圖 416. 平面鏡內物像之作圖法

命 E 為觀察者之眼之位置,由物體上一點 A

發來之光線,將取若何路徑,以達於 E ,可由下法求出之。先由此點之像 A' 引直線至眼,得 $A'E$ 。此 $A'E$ 與鏡面之交點為 C 。連結兩點 A, C 。於是 ACE 即光線所取之路徑。

試在玻璃窗前立一燭火(圖 417),令燭火與玻璃片間之距離適等於玻璃片後所置清水瓶與玻璃片間之距離,且令此兩物體均在對於玻璃片所引之同一垂線上,則由外觀之,此燭似在瓶內燃燒,此實驗可用以解釋種種習見之幻術;如物懸半空,無身之人頭,舞台之寬窄,其最後之一種,係令觀者由斜方圍透明玻璃板以觀演劇之人,玻璃板之邊,為深布所圍,使旁而用極強之光所照之物體之像現於舞台之上,故觀者由台下觀之,儼然若在演劇人之中。

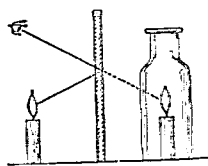


圖 417. 平面鏡內像之位置

446. 曲面鏡之焦點距離為其曲度半徑之半。

凸鏡(Convex mirror)對於射於其上之平面波所生

之效應，如圖 418。在某一瞬間，應達於 co_1d 之波，因凸鏡

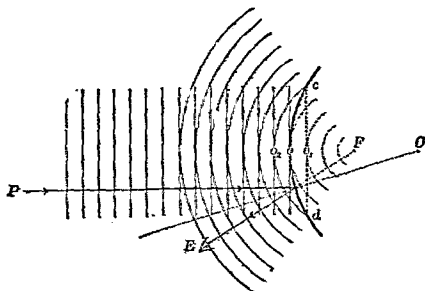


圖 418. 由凸鏡反射而回之平面波

而變為 co_2d ，此處 $oo_1 = oo_2$ ，故達於眼 E 之波，似皆自中心 F 發出，此中心 F ，曰鏡之焦點。

若弧 cod 甚小，則鏡面之曲度即由 o_1o (參看第 408 頁之註) 決定之，當亦無甚誤差；換言之，即用曲線 cod 與直線 co_1d 之距離決定之。 o_1o 既等於 oo_2 ，則 $o_1o_2 = 2o_1o$ ，即反射波之曲度 $\frac{1}{f}$ 等於鏡面曲度之二倍，或 $\frac{1}{f} = 2 \times \frac{1}{R}$ ；故 $f = \frac{R}{2}$ 。換言之，即鏡之焦點距離等於其半徑之半。

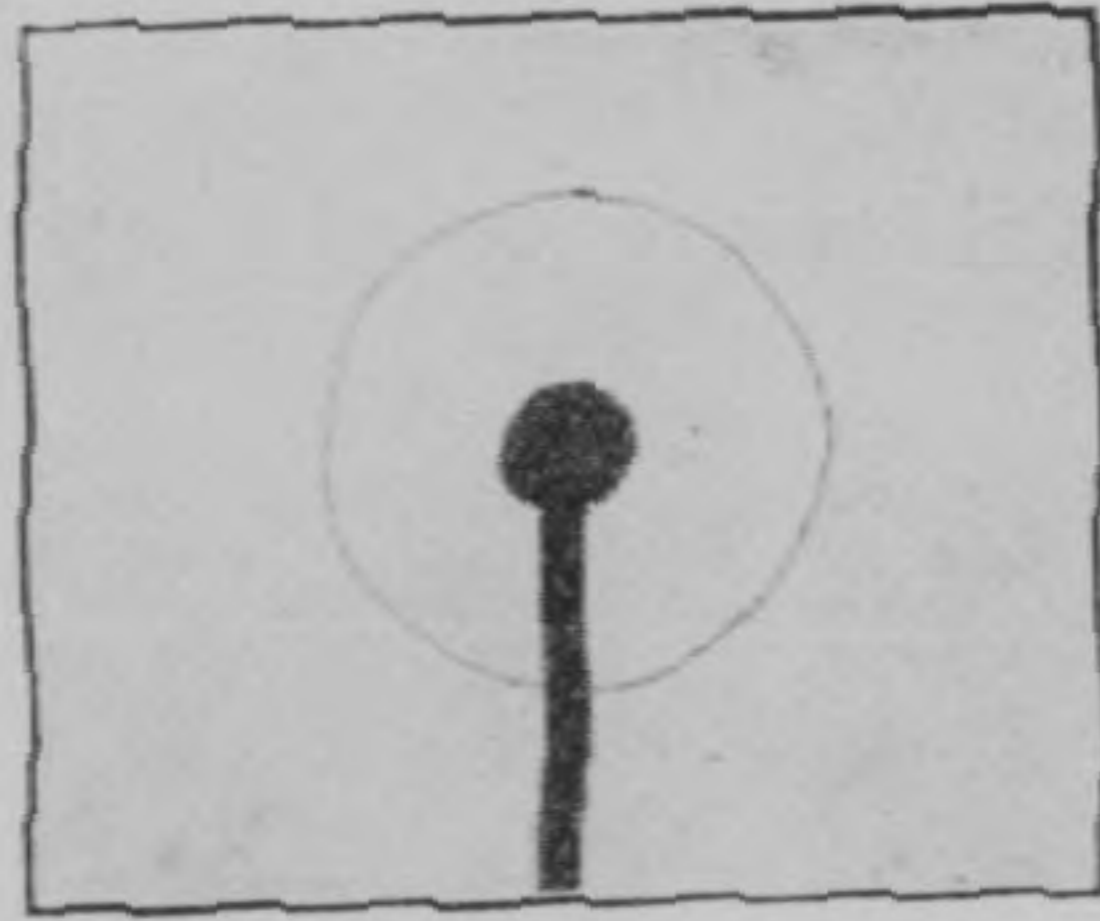
427. 凸鏡中物體所生之像。

凸鏡恆造成虛像於鏡之後面，較實物為小，而直立，此為吾人所習見之事實，其理可由圖 419 證明之。一點 P 之像，必在鏡之垂線上，與平面鏡(第 444 節)同，但較焦

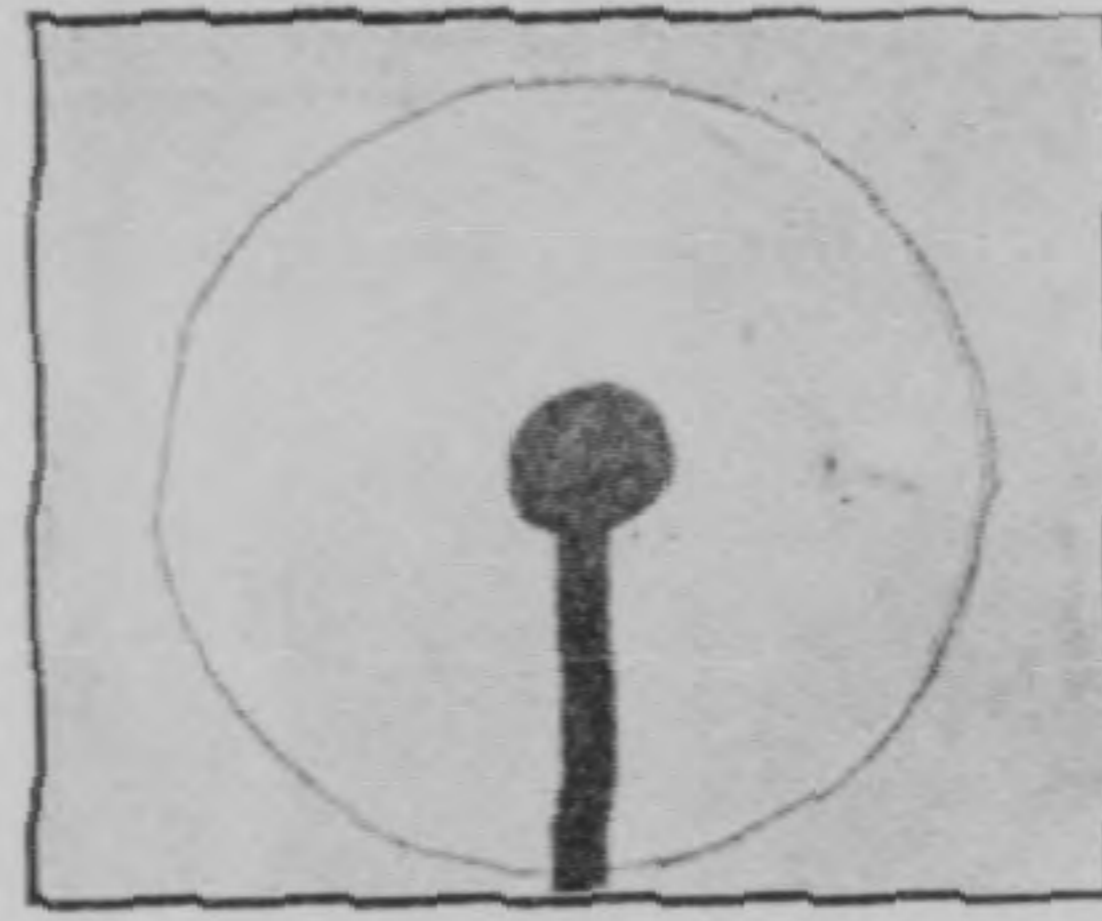


影片之一節，圖為培克爾 (Paker) 陸軍總長回首與珀醒
(Pershing) 將軍交談時之狀況

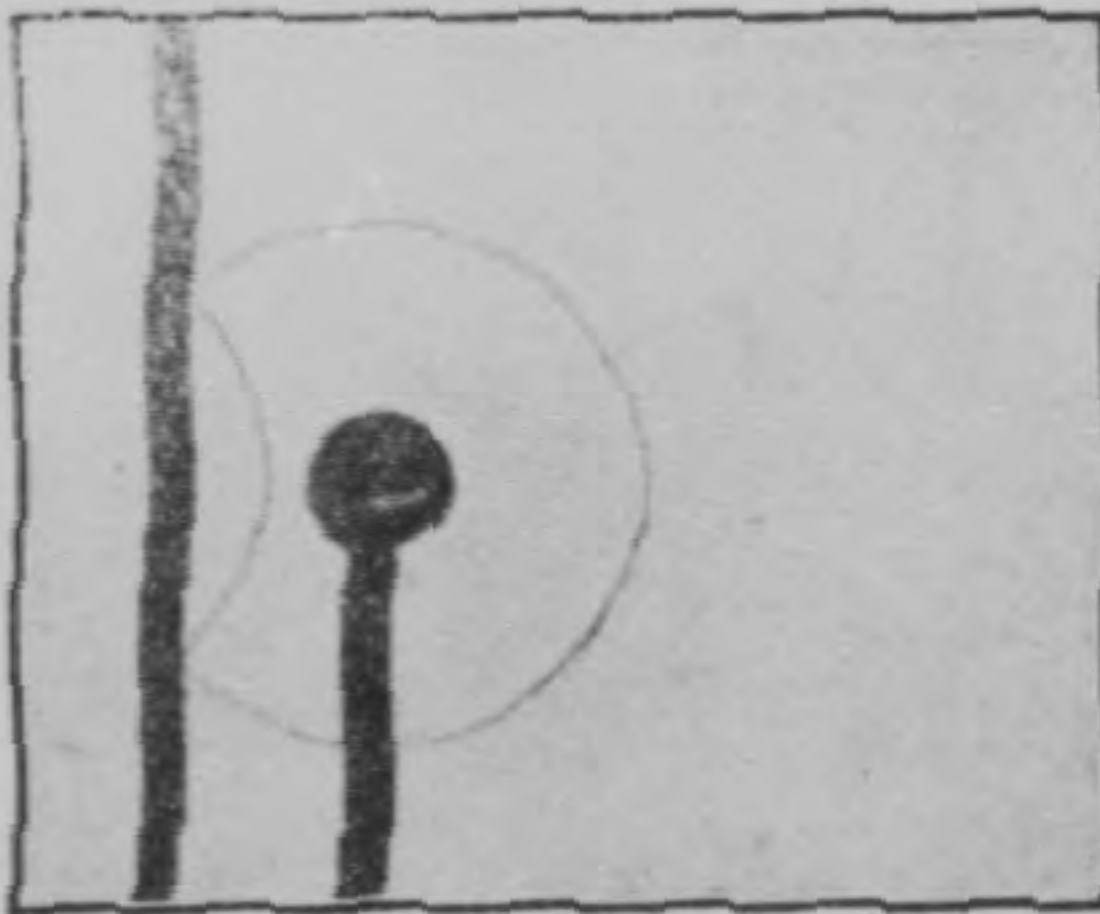
活動影戲用照相器(Moving-picture camera)於軟片(Film)上撮取連續快相(Snapshot)若干張，其速度通常為每秒 16 次。軟片通過透鏡之運動為跳躍的(jerky movement)，當開閉器(Shutter)開放之一瞬間，軟片靜止不動，當開閉器關閉時，軟片又繼續前進。此種影片皆高 $\frac{3}{4}$ 吋，寬 1 吋。因每秒通過透鏡前之軟片之長為 1 呎，故普通之影片長 1000 呎者，實含有 16,000 張相片。由撮得之陰片(negative)更印成陽片(Positive)以備映畫器(Projection apparatus)之用。活動影戲之光學的幻覺(Optical illusion)由於眼之一種特性名曰視覺之遺像(Persistence of vision)而成。欲明此理，可用一火炬，迅速轉之使成一圓周。在眼中即覺此火光似繪成一光弧，因雖將物體在眼內網膜(Retina)所生之像移去後少許時間之內，吾人猶覺見之。此持續之時間，約為一秒之一小分數，其長短則因人而異。所謂活動影戲，其實並未嘗活動，不過每秒中有 16 枚光明耀目之畫片，陸續映於幕上；於前畫已開始移動，後畫尚未固定之時間內，幕上實為完全黑暗。影片之跳躍的動作，即於此幕上全黑之時間內進行，因此後畫遂得繼前畫之位置，以備映出。視覺之遺像作用，使眼不特不能察出此黑暗時間，並後畫映出後，尚覺依然有前畫存在，故能使此前後兩片，融合無痕。依次現出之片，各各略有不同，故能現出活動之效應。



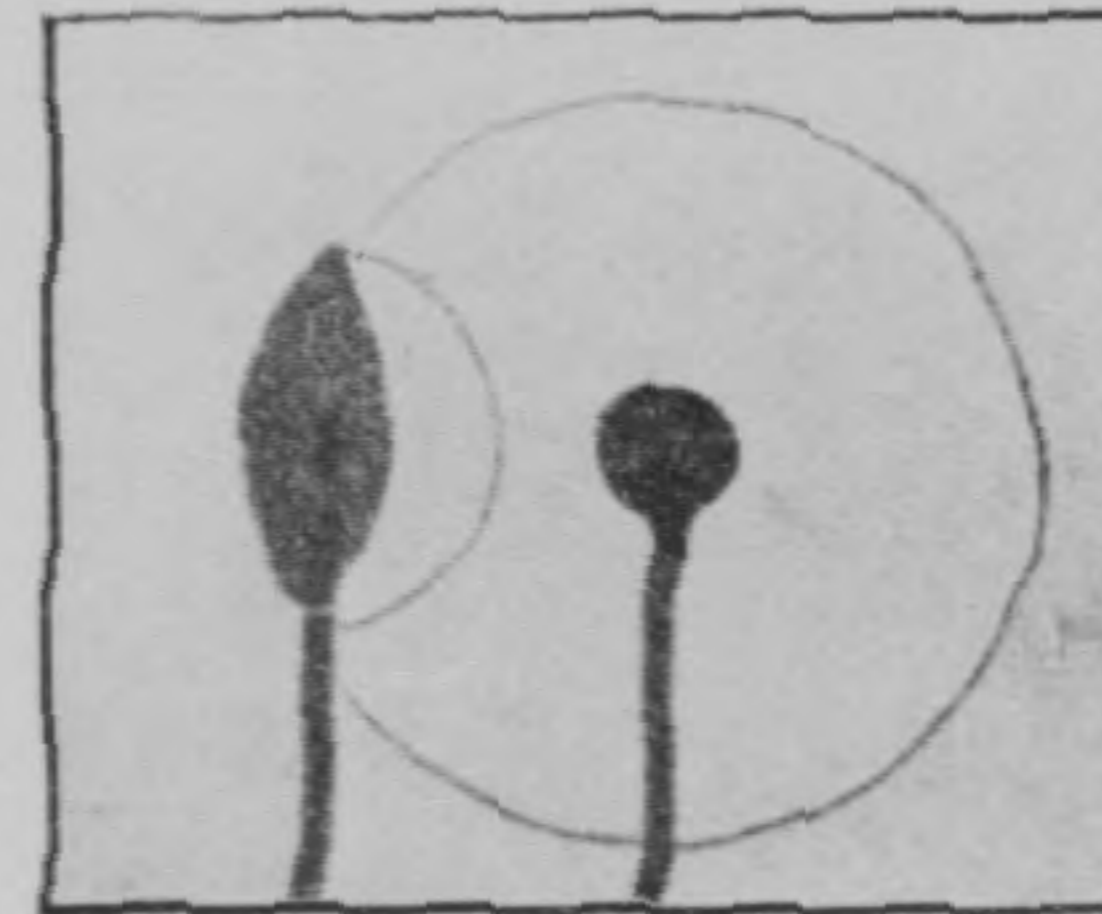
1



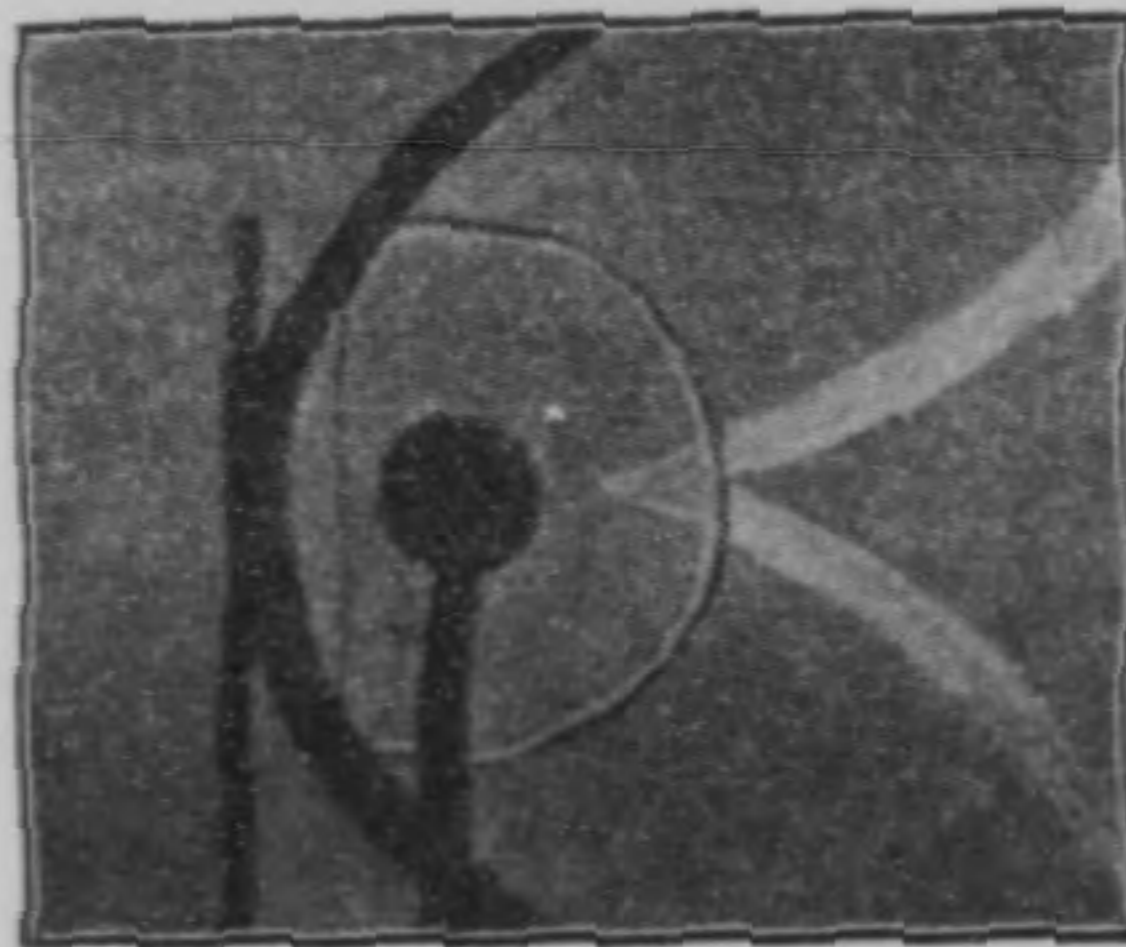
2



3



4



5



6

音波之相片，音源為在黑板中心後面之電花

1. 球面波。 2. 同波在 .00007 秒以後之狀況。 3. 由平面反射而回之波，其曲度並不變化。 4. 由凸面反射而回之波，其曲度增大。 5. 音源在一 SO_2 透鏡之焦點上。圖中第一種為原波，在最右之一方；第二種為反射波，其曲率較原波增大；第三種為透過之平面波。 6. 音源在一凹鏡之焦點；反射波成為平面波。此相片係英地安納 (Indiana) 大學教授福力 (A. L. Foley) 及蘇得 (Wilmer H. Souder) 所照

點更近於鏡，因假使此點 P 自一近鏡之位置(此時其像恰在鏡背)向外移至無窮遠時，其像僅由鏡背反行而至焦點 F 。故像恆在鏡與 F 之間，因物體 PQ 所生之像 $P'Q'$ ，恆在二收斂

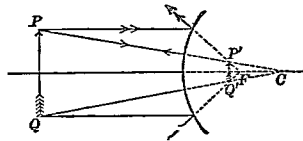


圖 419.

線 (Converging lines) PC, QC 之間，故恆較實物 PQ 為小。其位置及大小，可用光線法 (Ray method) (圖 419) 以決定之；一如凹透鏡然，事實上，凸鏡與凹透鏡之光學性質 (Optical property) 完全相同。蓋此兩種器械，皆使入射波之曲度增加 $\frac{1}{f}$ 故也。

448. 凹鏡中之像。

試取凹鏡 (Concave mirror) 所造之像詳細研究之，一如研究凸透鏡造成之像時然，其結果亦得出完全與前相同之一

列之像：物體在鏡與主焦點之間，則像為直立放大之虛像；物體在焦點，則反射波為平面波，即由各點發出之光線皆彼此平行；物體在主焦點及曲度中心之間，則像為放大倒立之實像 (圖 420, 421)；物體在距離 $R (=2C)$ 處，則像亦在距離 R 處，與實物同大而倒立；物體自 R 移至無窮遠，則像自

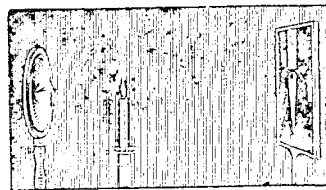


圖 420. 凹鏡所造樹光之實像

C 移至 F , 且僅爲縮小倒立之實像. 求焦點距離之最簡方法, 爲求遠方物體所成之像在於何點.

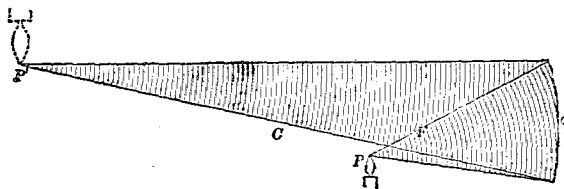


圖 421. 凹鏡造實像之法

由此可知, 凹鏡之光學的性質, 與凸透鏡恰相同, 因其作用皆在減小光波之曲度故也. 凸透鏡之公式及作圖法, 皆可應用於此 (見圖 422).

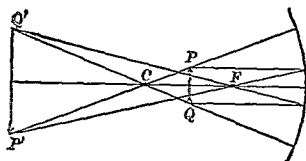


圖 422. 求凹鏡所成實像之光線法

449. 透鏡及球面鏡提要^①

1. 實像, 倒立; 虛像, 直立.
求各像之長, 可用公式

$$\frac{L_o}{L_i} = \frac{D_o}{D_i}$$

^① 讀完此節後須認以凹鏡及透鏡等造像之實驗, 參閱若者實驗書中之實驗 45, 46.

式中之 L_o 及 L_i 各表物體及像之長, D_o 及 D_i 表物體及像各與鏡面相隔之距離。

2. 凸透鏡與凹鏡有同一之光學性質(其作用皆在減小波之曲度)。
 - a. 若物體在主焦點距離以外,恒成實像,且
 - (1)如物體在主焦點及二倍焦點距離之間,像恒龐大;
 - (2)如物體在二倍焦點距離以外,像恒縮小。
 - b. 若物體在主焦點距離以內,恒成龐大之虛像。
3. 凹透鏡及凸鏡有同一之光學的性質(其作用在增大波之曲度)。
 - 不論物體之位置如何,恒成縮小之虛像。

$$4. \quad \frac{1}{D_o} + \frac{1}{D_i} = \frac{1}{f}. \quad (\text{第 439 節})$$

如注意下列諸點,則此公式,無論對於何處,皆可應用:

- a. D_o 恒取正值。
- b. D_i 之值,在實像為正,在虛像為負。
- c. f 之值,在收斂系(即凸透鏡及凹鏡)為正,在發散系(即凹透鏡及凸鏡)為負。

問 題

1. 由作圖造像法,證明若直立之鏡,不及身長之半,則不能照見全身,更決定身與鏡之距離,是否與此有關係。
2. 一人面鏡直立,鏡較其身甚高,今使鏡向其身傾斜,至與水平面成 45° 時,其人尙能見其全身,其像之位置為何。
3. 設有一樹,距透鏡 200 呎,若透鏡之焦點距離為 4 吋,像高 1 吋,則樹高若干?設想其像在焦平面內。

4. 設透鏡之焦點距離為 9 吋,則前座之樹在焦平面內造成之像,應長若干?
5. 實像與虛像之別何在?
6. 凸透鏡所造成之像,何時為實?何時為虛?何時為放大?何時為縮小?何時為直立?何時為倒立?
7. 如照像箱已調準,能照遠處之風景,今欲改照近處之物體,須如何變動其暗箱之長度?更詳細說明何以必須如此調準。
8. 設有一焦點距離 4 吋之收斂透鏡,如光線在此鏡前 20 吋之一點發散,其焦點當為何點?
9. 物體長 2 吋,置於收斂透鏡前 10 吋處,在透鏡他方之距鏡 40 吋處成像,試求焦點距離及像長。
10. 物在凸透鏡前 15 吋之處,透鏡之焦點距離為 12 吋,像之性質,大小,若何?距透鏡若干吋?
11. 凸鏡映出之像,何以鼻大而耳小?
12. 凸鏡能造倒像否?試言其故。

光學器械

450. 照相器。

用紙片穿一小孔,即可得燭燄之倒像(圖 423),雖像形不明瞭,然界限甚清晰。設將孔後之屏移去,而以照相用乾片(Photographic plate)代之,即成一針孔照相器(Pinhole camera)。如露光之時間充足,即可得良好之相片,試增大孔之口徑,

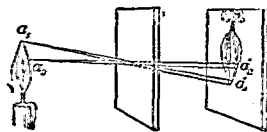


圖 423. 小孔所造之像

使像加明,其界限即變模糊。蓋 a_1a_1' , a_2a_2' 等之光線,成爲圓錐體,其底 a_1' , a_2' 相重,致使清晰之界限變爲混淆也。

但若置一透鏡於孔中,則雖增大孔之口徑,以增光強,而像並不模糊(圖 424)。若置感光片(Sensitive plate)於

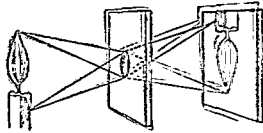


圖 424. 照像器之原理

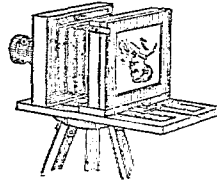


圖 425. 照相機

屏上,即成爲照相機(Photographic camera)之裝置(圖 425)。但針孔照相機之片,可任意置於何點;若用透鏡,則片與所欲照之物體,必在透鏡之共軛焦點而後可。

於暗室之孔前,置一透鏡,其焦點距離爲 f 呎,以半透明(Semitransparent)屏(如製圖用透寫紙置於焦平面上,則對面之景象,即現於紙上。

451. 映畫器

映畫器(Projecting lantern)之要部,與照相機無甚差異,不過其物體與像二者之位置互易而已。在照像器,物體距鏡甚遠,其縮小之倒立像,成於較透鏡焦點距離稍遠之乾片上;在映畫器,物體 P (圖 426)與透鏡 L' 間之距

離較焦點距離略遠，其龐大之倒立像，成於遠處所立之屏 S 上。此二器之光學的部分，皆為一凸透鏡，或為與凸透鏡同等之複透鏡 (Combination of lenses)。

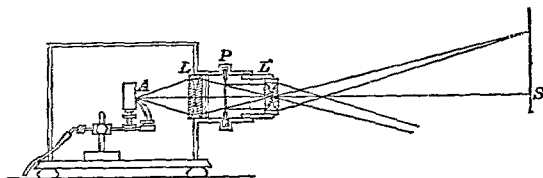


圖 426. 映畫器

物體 P 普通為透明畫片，以極強之光 A 照之，而造像於屏上，像大於物體之倍數，為 L' 至 S 之距離大於 L' 至 P 之距離之倍數。所用之光 A ，為熾熱電燈或弧燈。活動影戲之映畫器，係用一長條陽片，在聚光透鏡 L 及投射透鏡 L' 之間迅速行動（見第 426 頁之對面）。

以上所述，為映畫器之要部，若欲使畫片得力所能及之極強之光亮，必用一聚光透鏡 L 以聚集光線，使其通過片上透明部分，直射至屏上。

欲明此器之原理，可導日光反射入室，使其射至映畫器中之畫片上，以透鏡置於片前較焦點稍遠之處，則見對面牆上，現出鮮明之畫。

452. 眼.

眼 (Eye) 之要部，為一照相機，中有角膜 (Cornea) C (圖

427), 水液 (Aqueous humor) l , 及晶體透鏡 (Crystalline lens) $o.o$ 之作用如透鏡, 使倒像 $P'Q'$ 成於網膜 (Retina) 之上. 網膜爲張於眼球內之視神經 (Optic nerve).

將照相器
之乾片移遠移
近, 即得距離不
同各物之像. 若

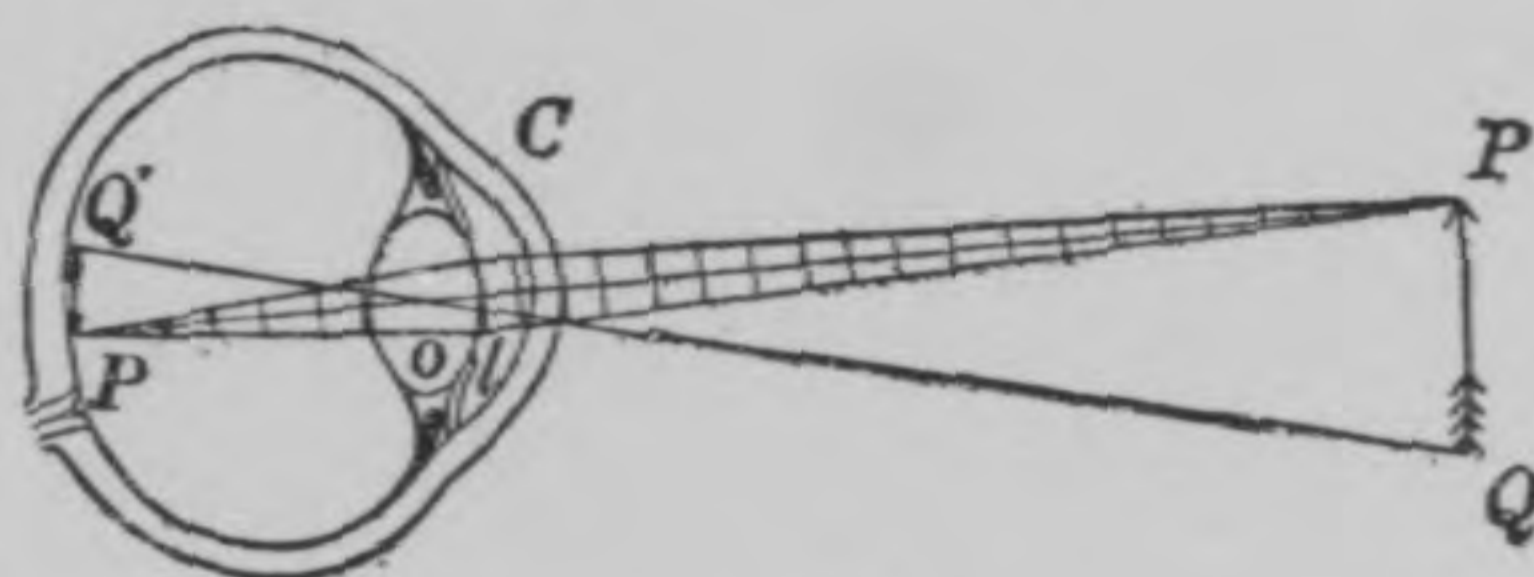


圖 427. 眼

在眼球, 網膜與透鏡之距離一定不變, 故對於不同遠近之物體, 惟有變更透鏡之焦點距離, 方能使其所造之像, 恆在網膜之上. 故當正則之眼 (Normal eye) 完全舒張時, 其透鏡之曲度, 恰能將平面光波收集於其網膜上, 使遠處物體, 可以明視. 當注視近處物體時, 透鏡周圍之肌肉收縮, 以增加透鏡之凸度, 物體之像因亦落於網膜之上. 距眼最近至 8 吋或 10 吋處之物體, 皆可明視. 透鏡之調節 (Accommodation) 程度, 因人而異.

虹彩 (Iris) (圖 428, (1), (2)) 即眼之有色部分, 爲一薄膜,

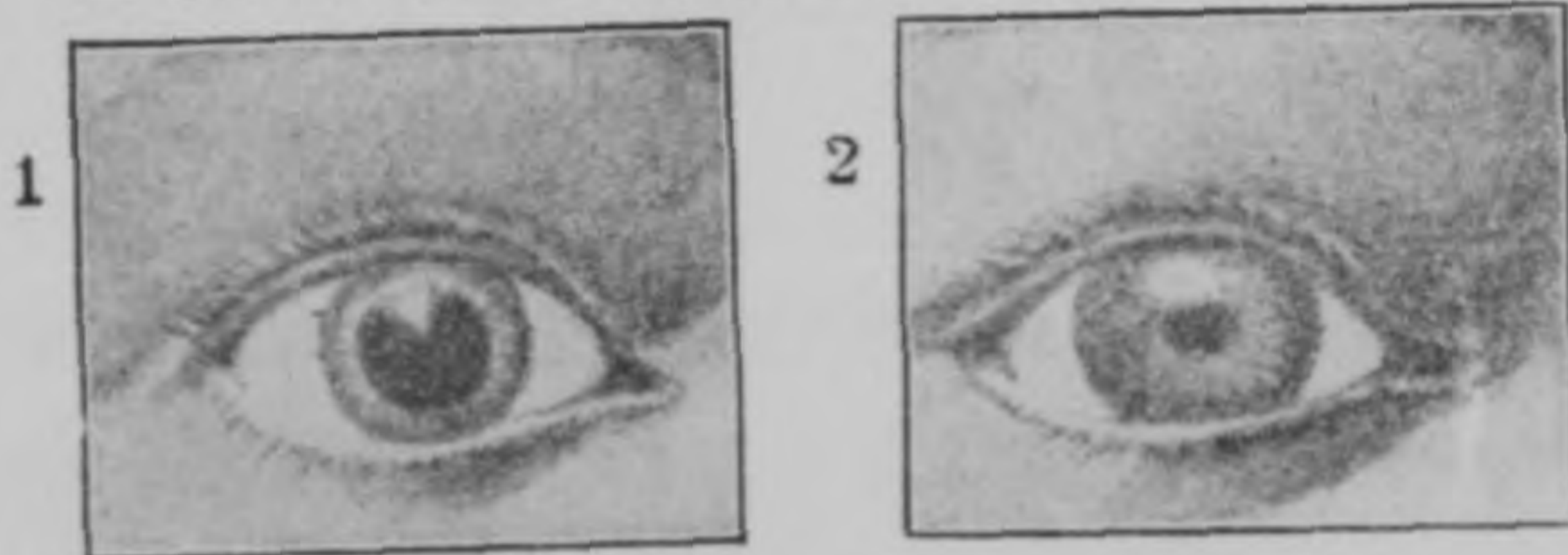


圖 428. 光弱則瞳孔張, 光強則瞳孔縮

其作用在節制入眼之光線之分量。

453. 近視及遠視。

正則之眼，當其透鏡在弛張且靜止時，平行光線恆集於網膜上(圖 429 (1))；在近視眼 (Nearsighted eye) 平行光線集於網膜之前(圖 429 (2))；在遠視眼 (Farsighted eye) 光線未集成焦點，即達網膜(圖 429 (3))。

近視者唯能明察近物，其常因為網膜距透鏡太遠，故用一發散透鏡，以補其缺，使遠處物體發來之光，恰如自近處發來者然；即其作用，在銷去眼球之收斂效應之一部分(圖 429 (2))。

遠視者，當透鏡弛張時，雖物已甚遠，尚不能明察之，其常因為透鏡距網膜太近，近處物體發出之光線之焦點 f 成於網膜之後，透鏡之調節，全歸無效。故用一收斂透鏡，即可補其缺點，因其作用，可以助眼之收

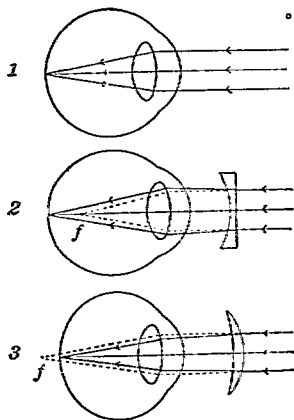


圖 429. 視覺之缺點

斂效應故也(圖 429 (3)). 老年人之眼之透鏡失其調節力, 當其注視近處物體時, 不能使其透鏡更凸, 故其眼雖為正則之眼, 亦須用遠視眼所用之眼鏡以補助之。

454. 物體之外觀上的大小。

物體之外觀上的大小, 由於眼內透鏡在網膜上所造之像之大小而定。即由視角 (Visual angle) pCq (圖 430) 之大小而定。物體愈近眼, 視角亦愈大 (見 PQ)。故設一

人, 立於 100 呎遠之處, 對於觀測者之網膜所造之像之大小, 實僅為此同一之人在 10 呎遠之處所造之像之十分之一。然吾人並不因像之

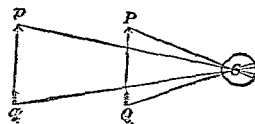


圖 430. 視角

大小判別物體之大小者, 因由日常經驗, 得知必須將已知之距離加入計算之內, 方能估量物體之大小故也。如在嬰孩, 尚無距離之觀念, 則必以為距離 10 呎之人較距離 100 呎之人大十倍, 殆無疑義。

455. 明視距離。

欲細察某物, 則移之近眼前, 令其在網膜上造成之像增大。然像之由此增大, 有一定之限制; 蓋如將物移至距常人眼不及十吋之處, 則因入射波曲度過巨, 非用

力加厚眼之透鏡,不能使像之焦點集於網膜上,即不能在網膜上造成輪廓鮮明之像。故常人之眼,欲明視物體,須將物體置於距眼約十吋之處,是曰明視距離(Distance of most distinct vision)。

此種明視距離之長短,雖隨人而異,然為求各種光學器械之倍率(Magnifying power)起見,須擇一定之標準距離以作比較。通常所選用之距離為10吋或25釐。

456. 凸透鏡之倍率。

如置一凸透鏡切近眼前,雖將物體置於距眼25釐之內視之,仍不模糊,因光未至眼之先,其波之曲度已被透鏡矯正故也。

欲利用透鏡為一顯大鏡(Magnifying glass),則移眼至鏡最近之處,以期可以收斂最大之光線錐(Cone of rays),然後再將物體移至焦點距離處,於是通過透鏡之波,即變為平面。此平面波可絕不

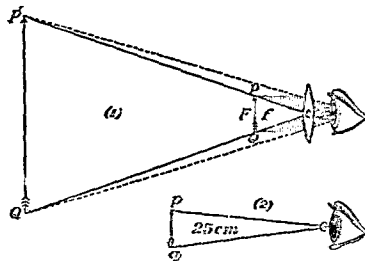


圖 451. 透鏡之倍率

費力以收斂於網膜之上,此時之視角爲 PeQ (圖 431,(1)); 蓋因射出之波既爲平面,則自 P 及 Q 發出經過眼之中心之光線,必與 Pe, Qe 平行,如無透鏡且如物體距眼爲 25 糎,則其視角必成爲小角 peq (圖 431,(2)). 故簡單透鏡之倍率,實由於用此透鏡即可將物體移近於眼,而又無損於明視由此可得一種使網膜上之像廓大之視角,透鏡之焦點距離愈短,物體愈可移近,視角因之愈大,故倍率亦愈增。

二角 PeQ 及 peq 之比,約爲 $\frac{25}{f}$. 此處之 f , 爲透鏡焦點距離之糎數,透鏡或顯微鏡 (Microscope) 之倍率,爲用鏡觀察其像所張之實際角度,與將物體置於 25 糎遠處不用鏡之幫助直接觀測而得之視角之比.故單透鏡之倍率爲 $\frac{25}{f}$. 如透鏡之焦點距離爲 2.5 糎,則其主焦點上物體所生之像,較實物大十倍.若透鏡之焦點距離爲 1 糎,則其倍率爲 25. 餘類推。

457. 天文望遠鏡之倍率.

天文望遠鏡 (Astronomical telescope) 之 物鏡 (Objective), 又名



□ 452. 望遠鏡之物鏡之倍率爲 $\frac{25}{f}$.

前鏡(Forward lens),能使遠處物體 PQ 之像 $P'Q'$ 生於其主焦點。此像可用單獨眼力,由距像 25 釐處,直接觀之(圖 432),物鏡之焦點距離,普通大於 25 釐(第 408 頁之對面,葉耳歧莖之大望遠鏡之焦點距離,約為 2000 釐),故視角 $P'EQ'$ 只由物鏡廓大。其廓大之數為 $\frac{F}{25}$ 。即與其焦點距離為正比。

實際上並不用單獨眼力直接觀測,更用一廓大鏡,名曰目鏡(Eye piece), (圖 433),使像恰生於此目鏡之焦點,以觀測之。

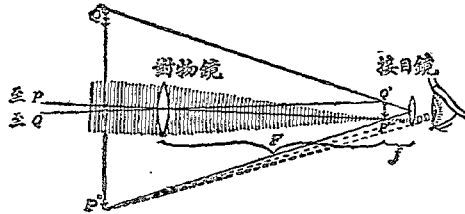


圖 433. 望遠鏡之倍率為 $\frac{F}{f}$

由第 456 節,知廓大鏡可增視角至 $\frac{25}{f}$ 倍 (f 為目鏡之焦點距離),故合用以上二透鏡時之總倍率,為 $\frac{F}{25} \times \frac{25}{f} = \frac{F}{f}$;即天文望遠鏡之倍率,等於以目鏡之焦點距離除物鏡之焦點距離所得之商。由此可知,欲得極大之倍率,須用極大焦點距離之物鏡,與極小焦點距離之目鏡。葉耳歧莖所測所之大望遠鏡,其焦點距離約為 62 呎,口徑為 40 吋,此巨大口徑之透鏡,能收集多量光線,故用以觀察天體,異常明晰。

目鏡之焦點距離多為 $\frac{1}{4}$ 吋,故葉耳歧莖天文望遠鏡若用 $\frac{1}{4}$ 吋之目鏡,其倍率為 2976。

458. 複顯微鏡之倍率。

① 角 $P_0Q_0 =$ 角 $P'Q'$, 設想此短線 $Q'P''$ 為弧,且角 $Q'EP''$, Q_0P'' 與其半徑為反比即與 F 及 25 為反比。

· 複顯微鏡 (Compound microscope) 之前透鏡或物鏡, 造成實像於目鏡之焦點, 與天文望遠鏡相同。由物鏡造成之像 $P'Q'$ (圖 434) 大於物體 PQ 之倍數, 爲物鏡與像之距離 v 大於物鏡與物體之距離 u 之倍數 (見第 441 節)。因目鏡將像放大 $\frac{25}{f}$ 倍, 故複顯微鏡之總倍率爲 $\frac{v}{u} \frac{25}{f}$ 。普通 v 爲鏡筒之長 L , u 爲物鏡之焦點距離 F , 故複顯微鏡之倍率爲 $\frac{25L}{Ff}$ 。

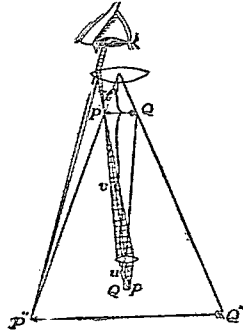


圖 434. 複顯微鏡

由此關係, 可知欲得複顯微鏡之極高度之倍率, 須令目鏡與物鏡之焦點距離減至極短, 鏡筒增至極長。例如有一複顯微鏡, 其目鏡與物鏡之焦點距離均爲 6 呎, 鏡筒長 15 呎, 則其倍率爲 $\frac{25 \times 15}{6 \times 6} = 104.2$ 。倍率常有達 2500 或 3000 者。過此即不可能, 因像撥至如是過大之面積, 即太模糊不可辨矣。

459. 觀劇鏡。

地上望遠鏡 (Terrestrial telescope) 必含有數個透鏡, 粗笨不適用, 故恆以觀劇鏡 (Opera glass) (圖 435) 代之。此器之物鏡與望遠鏡同。目鏡爲一凹透鏡, 其焦點距離與觀劇者之眼之焦點

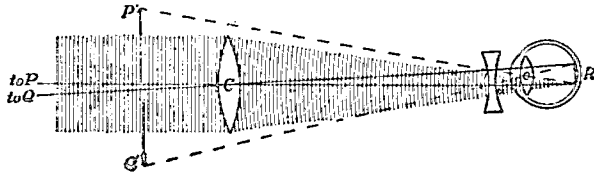


圖 435. 觀劇鏡

距離同。故目鏡之效應，恰與眼之效應相抵消。結果，物鏡直接造像於眼之網膜上。物鏡之焦點距離 OR 較眼之焦點距離 cR 甚長，故物鏡在網膜上所造之像大於眼在網膜上所造之像之倍數，恰為物鏡之焦點距離 OR 大於眼之焦點距離 cR 之倍數。又因眼之焦點距離與目鏡之焦點距離相同，故觀劇鏡之倍率，為其物鏡與目鏡之焦點距離之比，亦如天文望遠鏡然。物鏡在網膜上所造之像，與眼自身在網膜上所造之像，同為倒像，故由觀劇鏡所視得之像，亦顯直立之態。

460. 實體鏡。雙眼鏡。

雙眼視物，在左右兩網膜上所成之像，略有不同，因左右兩眼，各在一側，故其視物之角度，略有差異。准其有此種差異，故用兩眼觀察而得之物體或風景之像，方有深度可言，即使人發生立體的感覺。若閉一眼，則不知是。實體鏡 (Stereoscope) 即在相片上顯出此種雙眼視覺 (Binocular vision) 之器械。由略隔少許距離之兩處，向同一物體照取其相片各一張，將此兩相片裝於 A, B (圖 436) 兩處，用雙眼同時由稜鏡透鏡 m 與 n 觀察。此二透鏡俱於有稜鏡之作用，故將二像重疊之於 C 處；又因其有放大透鏡之作用，故同時將像放大。故其結果，觀察者只見一畫。但此時所起之感覺與尋常照片有不同之點，即其像非平坦如紙，而有深有淺，一若親視其物者然。

觀劇鏡之僅於地上望遠鏡者，因地上望遠鏡僅以單筒構造而成，觀劇鏡則有雙筒，眼各一筒，故兼有能發生雙眼視覺之長處。

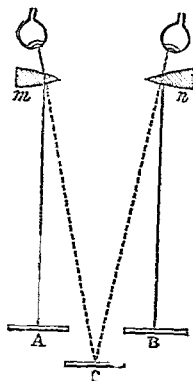


圖 436. 實體鏡之原理

461. 柴斯雙眼鏡。

觀劇鏡之大缺點，在其視界 (Field of view) 過小。地上望遠鏡視界雖大，然嫌其太長。最近有名柴斯雙眼鏡 (Zeiss binocular) (圖 437) 者，將觀劇鏡之輕便，與地上望遠鏡之視界廣大，兩者兼而有之。其輕便由於使光線經稜鏡作往復之全反射，如圖所示。且因此反射，倒像亦正。故目鏡所造之實像，成為直立。

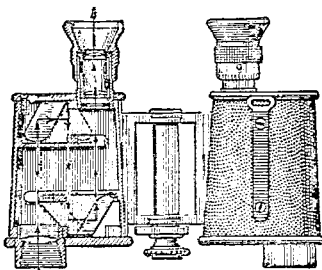


圖 437. 柴斯雙眼鏡

此器實一天文望遠鏡，像因反射而直立，管長而光在稜鏡間往復而縮短。

此外更有一特色，即柴斯雙眼鏡之兩物鏡之距離，較兩眼之距離為大，故由鏡觀得之實體景象，較之僅用目力或用尋常觀劇鏡觀察時所得之實體感覺，更為明顯。^①

462. 潛望鏡.

潛望鏡 (Periscope) 為一種兩重接合之望遠鏡，光在其中作兩次全反射，一在其頂，一在其底。此種透鏡之倍率，可使像之直徑為原物之直徑之 $1\frac{1}{2}$ 倍。由潛水艇內，觀測敵艦，當以其現出實際上與潛水艇相去之距離為便。對於此項要求，以用此種倍率為最善。潛望鏡與雙眼鏡不同，不用雙筒觀察，故無實體之效應。

463. 拋物面鏡.

① 授完此章後，須接授透鏡之倍率之實驗，及顯微鏡望遠鏡之構造等，參閱著者實驗書中之實驗 47, 48, 49。

光線射出時，欲使其形狀較之用球面鏡更近於圓筒狀，則用拋物面鏡 (Parabolic reflector)。如汽車用頭燈 (Automobile headlight) (圖 438, (1) 及 (2))，即其例也。光源常置於焦點以內少許，使其反射光線，可以略為擴散。探海燈 (Searchlight) 亦應用此類原理，但其光源 (通常用極強之弧燈) 須更與焦點接近。斯拍立 (Sperry) 之 60 吋探海燈，為世界最強之燈，其所發之燭光，約為日光之 $\frac{2}{3}$ 。即百哩之外，亦能明照及之。

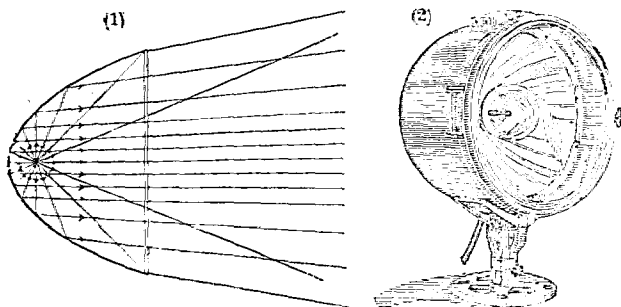


圖 438. 拋物面鏡

問題

1. 人之瞳孔在暗室之中則張大，在日光之下則縮小，何故？照相者於陰天照行動之物時，須將鏡光片張大，何故？
2. 設照相人欲用一六吋片，照取某人全身之相，其照相器離其所立之處，應較照半身相時，更遠抑更近？其故何在？
3. 有一童子，身高 3 呎，立於照相器前 15 呎之處，透鏡之焦點距離為 18 吋，透鏡距乾片之距離為何？其相片之長為若干？
4. 若用紫氬燈照相片，相片與燈光相距 8 吋時，其通

- 當露光之時間爲20秒,今用同一之乾片,及同一之光源,距離16吋時所須之時間爲何?
5. 以8燭光之電燈晒印距離6吋處之相片,其適當之露光時間爲20秒,今若換用32燭光之電燈,在相距12吋處晒印時,須時間幾秒?
 6. 執書距眼一呎,則在網膜上造成之書之像,較對面街上房屋所成之像爲大,而人不言書大於房屋者何故?
 7. 何種透鏡可用以糾正近視?何種可用以糾正遠視?試繪圖以說明之。
 8. 簡單廓大鏡所用之透鏡爲 $\frac{1}{4}$ 吋,其倍率爲何?
 9. 先使物體之像造成於顯微鏡之焦點,而後增長其鏡筒,若欲使物像再集於焦點,須將物體移近抑將其移遠?
 10. 望遠鏡中之像如何造成?試說明之。
 11. 網膜上之像直立或抑倒立?

第二十章 色之現象

色及波長

461. 各色之波長.

試在尋常玻璃杯口，造成一石鹼液膜 (Soap film)。杯與液均須清潔。使日光或映畫器發出之光通過紅玻璃 A 後，落於石鹼液膜 F 之上，更由此反射至白色屏 S (圖 439)。取焦點距離為 6 吋至 12 吋之凸透鏡 L ，置於此反射光線通路中，使屏 S 上恰將膜像現出，即使膜與屏兩者對於透鏡，恰在共軛焦點之位上。由楔形膜之前後兩面發出之光線互相干涉之結果，使屏上現出紅黑相同之帶 (Band) 狀之像，與第 427 節同。若

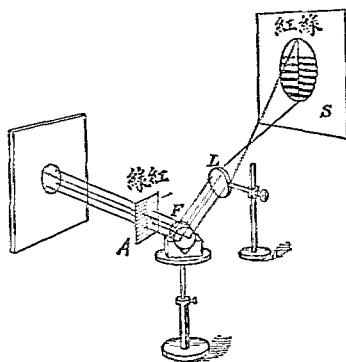


圖 439 石鹼液膜色帶之投射

更用紅玻璃及綠玻璃各一片相並而立，如圖中之 A ，然後使光通過，則見有二種色帶 (Colored band) 並現於屏上；一種為紅與黑相同，他一種為綠與黑相同。但綠色一邊之黑帶，較紅色一邊之黑帶為窄。事實上，綠玻璃所遮之一邊之七條黑帶之長，與紅玻璃所遮之一邊之六條黑帶之長相等。

① 此種實驗可在室中之行，只須隔紅綠二色玻璃，觀察石鹼液膜即得，但紅綠二玻璃之位，須適宜調置，俾反射入眼之光，恰成白色。

前圖 390 會明示相隣兩黑帶間之距離，與膜厚增加半波長相當。故由紅色一邊之黑條較稀於綠色一邊之黑條之事實，即可斷言紅色光之波長大於綠色光之波長。景 (Spectrum) 中各色光中央部分之波長，大約如次：

紅 .000068 浬	綠 .000052 浬
黃 .000058 浬	藍 .000046 浬
紫 .000042 浬	

如將紅綠二色之玻璃撤去，則見有一列顯明之色帶現於屏上，顏色各異，此因波長不相等之各種色光，生干涉之色帶於屏上不同之各點故也。帶之上邊(如在倒立之像則為下邊)為淡紅 (Redish)，下邊為淡青 (Bluish)，其理由於第 473 節再說明之。

465. 白色光之構成性

使日光通過細隙 (Slit) 照及稜鏡上，如圖 441，即見入稜鏡之白色光線，分散為紅 (Red)，黃 (Yellow)，綠 (Green)，青 (Blue)，紫 (Violet)，諸色，雖各與其鄰色略相混，然其程度極微。此種着色之帶，名曰景 (Spectrum)。

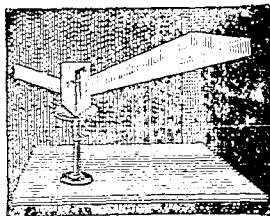


圖 440. 由稜鏡分解之白色光

由此實驗，可知白色光為景中由紅至紫各色之混合光。

466. 白色光中物體之色。

試取紅玻璃一片，插入前節實驗之各色光通路之中，則景中各色之光，除紅色光而外，皆完全消滅。可知紅色以外各色光之波長，皆被紅玻璃吸收。若用綠玻璃照前插入實驗，則景中除綠色部分依然甚強而外，其餘各色，皆極微弱。可知綠玻璃對於綠色之波長之吸收效應小，對於紅青兩色之波長之吸收效應大。試將紅綠二玻璃重疊插入光之通路中實驗之，則景中各色，幾完全消滅。蓋紅玻璃吸收各色，獨留紅色，而紅色又為綠玻璃所吸收故也。

由此可知，在日光中物體所呈之色，由其不能吸收之波長決定之。故呈白色之物體，對於各種波長，皆一律使之擴散或反射，以達於眼，彼其吸收之分量，並無多寡之別，質是之故，由物體達於眼之光之組織，與日光無異。若物體在日光中呈紅色，必其吸收白色光之紅色波長之分量，較吸收他種色光之分量為少。同理，物體之呈黃色，或綠色，或青色等，係由於該物體吸收白色光中之此等部分，較其他各部分特少，故入眼之光波，呈與此相當之色。

467. 色光中物體之色。

取在日光中呈白色之物體，置於景中紅色之一端，則呈紅色，置於景中青色之一端，則呈青色。由此實驗，可以證明前節之理；即凡呈白色之物體，對於景中各色，皆同等的使之作擴散的反射。

次以紅紗一束，置於景中青色之一端，所呈之色，為與青色相近；置於景中紅色之一端，即呈極暗之紅色。同理，若將青

紗置於景中,除在青色部分而外,幾皆呈黑色,惟青色部分,始呈其本色。

此類現象,完全由於紅紗對於紅光之波長,特別能使之作擴散的反射,而對於其他諸波長,則吸收其大部分,故若置之於景中之青色一端,因無紅光投射其上,故送入眼中之色之量甚微。

將石棉或棉球浸於食鹽之飽和溶液中,將鹽液之大部分榨去,注純酒精於其上,燻之,其火光幾為純黃色,於暗室中將此光射於六色之景片上,則片上呈自然之色者,僅有黃色一色而已。

468. 複色。

由前節實驗,尚不能鑑定白光以外之各色光俱有一定之波長,因用數種不等波長之光混合時,其所生於眼中之效應,與單一波長所生之效應相同。此說可用牛頓之色板(Newton's color disk) (圖 441) 證之,其裝置為使各種不同之色轉動其轉動之速度,在使各色之光,幾與同時達於眼中之效應相同,設板之一半為紅,一半為綠,則轉動時呈黃色,

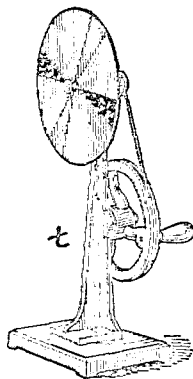


圖 441. 牛頓之色板

適與景中之黃色相等。如用同一方法，使綠紫兩色混合，則其結果為亮青色 (Light blue)。由此種方法所成之色，與景中之色之差別，目雖不能辨之，然二者之組織實絕不相同。景中之色，祇有單一之波長，而混合之色，則由數種波長相合而成。故景中之色，名為純色 (Pure color)，其他名為複色 (Compound color)。欲辨一物體所呈之色為純為複，只有由稜鏡觀察之之一法。如為複色，則各色必經稜鏡而分離，各色自顯一像。如為純色，則通過稜鏡後之像，與無稜鏡時同。

用上法以造複色，可造成多數景中所缺之色。如紅青相合，可成紫紅 (Purple) 或紅紫 (Crimson)；黑與紅或橙 (Orange) 或黃相合，可成各種棕色 (Brown)；灰青色 (Lavender) 可以三分白一分青製之；淡紫色 (Lilac) 可以十五分白四分紅一分青製之；橄欖色 (Olive) 可以一分黑二分綠一分紅製之。

469. 餘色。

因白色光為由紅至紫各色結合而成，則自其中提出任意一色或數色，其餘必為有色之光。

欲驗此說，可令日光經過加爾。稜鏡 P 及透鏡 L 以達於屏 S 之上，如圖 442 之裝置。於是在 RV 處造成一景 RV ，即和

隙。之共軛位置。若屏在稜鏡面 ab 之共軛位置，則屏上必顯純白色。試以紙片遮住 R ，即將光中之紅色部分除去，則屏上之光點，即成綠青色 (Greenish blue)。此為由白色光中取去紅色後所餘之稜色，故曰紅色之餘色 (Complementary color)。任何二色混合後能成白色者，皆可謂之為餘色。

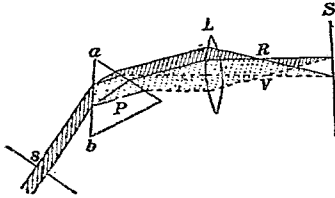


圖 442. 景中各色相合復為白色

設將紙片自青色一邊，即 V 處，插入，即將光中之紫色部分除去時，屏上之點，即成為淡黃 (Yellowish)。再將紙片移下，使其將光中之紫色及青色全部及綠色之一部分除去時，屏上之點即成為深紅 (Deep red)。

次以鉛筆直立於 R 與 V 之間，以遮斷景之中部，即將光中之黃綠兩色部分除去，則其所餘之紅，青，紫，三色合為亮紫紅色 (Brilliant purple)。凡屏上所現各種色，皆為所遮斷之色之餘色。

470. 網膜之疲勞。

試用目注視一亮色板，如紅色板之中點，約二三十秒鐘以後，轉視白牆，或白紙上之一點，約數秒鐘，則覺前此注視之亮色板之像，現於白牆之上。但其色則為前此所視者之餘色。

此等現象，可由“網膜之疲勞” (Retinal fatigue) 說明之。白色之表面，雖發出各種色光以達於眼，然因視神經對於前此所注視之色，已經疲勞，由白面發來之此等色，不復能與視神經相應，故所生於視覺之色，為由白色光

內減去此色之色，即為原色之餘色。用此法以研究景中各色，知下列各色互為餘色。

紅	橙	黃	紫	綠
青綠	綠青	青	綠黃	紫紅

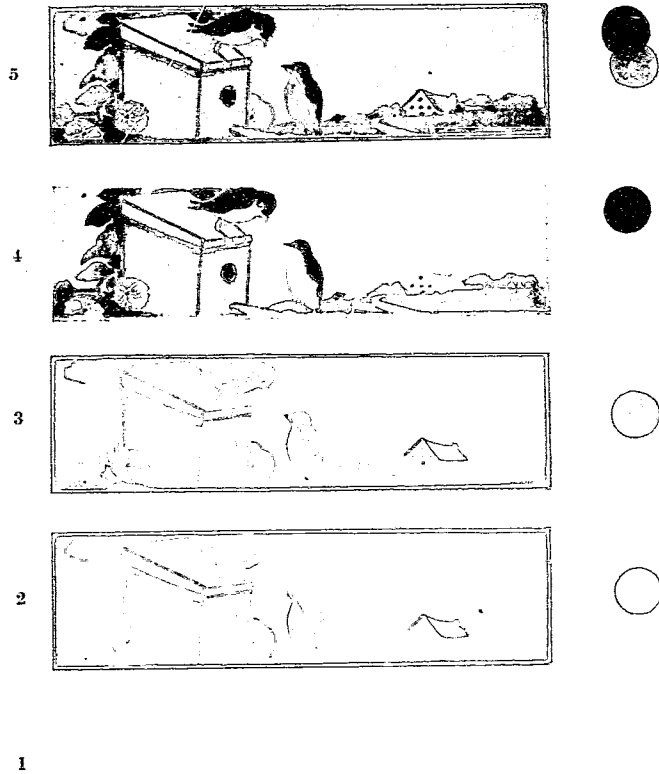
471. 顏料之色。

如將黃色光加入適當之青色光，即成白色光，以其互為餘色也。今若將黃、青兩種顏料 (Pigment) 混合，則成綠色。此由於黃色顏料能吸收青、紫二色，而青色顏料能吸收紅、黃二色，故祇餘綠色。

故顏料混合時，各由白色光內吸收某色，而其混合物所呈之色，即其各成分所不能吸收之色。故顏料混和，與第468節所述之色光混和，程序全然不同，結果亦大異。

472. 三色印刷。

凡色皆可以紅、綠、青紫三種色適當的塗於色板(圖441)上得之。故此三色曰三原色 (Three primary colors)。所謂原顏料 (Primary pigments) 者，即此三原色之餘色，其名為孔雀青 (Peacock blue)，紅紫 (Crimson)，及亮黃 (Light yellow)。此三原色混合時，成為白色。此三原顏料混合時，則成為黑色，因白色光中之各成分之色，皆為之吸收淨盡故也。三色印刷 (Three color printing) 即混合此三原顏料於白



三色印刷

1, 黃色印刷 (版係用青紫色油板製成); 2, 紅紫色印刷 (版係用綠色油板製成);
 3, 黃色上覆紅紫色; 4, 青色印刷 (版係用紅色油板製成); 5, 黃色, 紅紫色, 及青
 色三種合成(為最後之結果)。右方之圓點, 表各次印刷所用之印油之色。注意 5 中
 之各種不同之色, 皆由黃色, 紅紫色, 青色三種混合而成者

色背景上，即白紙上，其法如次：用三種原色之濾板(Filter)濾過之色光，對一着色物體，照取三色相片，濾板則用骨膠(Gelatin)製成。由此三枚着色之相片，照常法製成濃淡網板(Halftone block)，更用與各濾板為餘色之印刷色油(Printing ink)，將各網板重疊印成一幅即成。對面插畫所示，即其全程序。如用一倍率相當之廓大鏡，詳細檢視各種不同色之部分，尤饒興趣。

473. 薄膜之色。

由餘色之研究，可以解釋第 464 節所述楔形之水所生之色帶何以上紅下青之理如下：上端之較短之青色波，因受干涉而消滅，故祇餘紅色；下端之膜較厚，較長之紅色波因生干涉，故祇餘青色。事實上入射光中之各波長，各發生一組色帶，各組互相重疊，始生此合成之色帶。若膜過厚，即成完全重疊，故反射光中之色，非目力所能得而辨之。

若膜為等厚而非楔形，觀察者對膜之視角又不變，則其色亦必均勻。若視角稍變，則光線通過之膜之厚，亦必改變，以達觀者，故色亦變。凡石鹼液泡，薄油膜，螺鈿，以及種種透光之體，顯虹彩麗色者，皆可以此說明。

474. 色行差。

以上所述，皆假定由一光源發透鏡之光波，皆聚於同一焦點。然青色光通過稜鏡後，其屈折程度既較紅色光為甚，則其通過透鏡所集之焦點 v (圖 443)，必較紅色光所集之焦點 r 為近，而中間各色光所集之焦點，亦必在 v 與 r 之間，故單透鏡所成之像，恆現着色之邊。

試用透鏡接受太陽光線，而以一紙片置於其焦點之處 (圖 443)。如將紙片稍稍移進透鏡焦點之內，則見光點周圍有一紅邊，因紅線屈折最少，故在其周圍。如將紙片移出焦點之外，將見光點周圍，成為青邊，因光通過焦點之後，屈折較易之光線，當在其四周故也。



圖 443. 透鏡之色行差

由透鏡所生之此種分散(Dispersion)現象，曰色行差 (Chromatic aberration)。

475. 無色差透鏡。

單透鏡有色行差，故其用途大受妨害。欲免此弊，須將冕玻璃(Crown glass)之凸透鏡，與鉛玻璃(Flint glass)之凹透鏡，合為一透鏡(圖 444)而用之。光線通過前者，即起屈折及分散；其分散與後者



圖 444. 無色差透鏡

所起之分散恰相抵消，只餘屈折。此種透鏡曰無色差透鏡 (Achromatic lenses)，爲多倫德 (John Dollond) 於 1758 年在倫敦 最初製成。凡精良之望遠鏡及顯微鏡，莫不用之。

問 題

1. 不透明體之色，由何而定？透明體之色，由何而定？綠玻璃塊在紅光中，當現何色？並說明其理由。
2. 何謂之“白”？何謂之“黑”？冰塊透明而雪不透明，且成白色者，何故？
3. 隔青色玻璃視物，即白色之物體亦呈青色，何故？
4. 隔青色玻璃視黃色之物體，當呈何色？(假定黃色爲純色)。
5. 設有一煤氣燈，與日光比較，其色爲黃。此燈之景中，以何種波長爲最弱？
6. 暗青色 (Dark blue) 在燭光中則呈黑色，其故何在？
7. 有種青色與綠色在燭光中不能分別，試說明之。
8. 青色光在玻璃中進行之速度，較紅色光爲遲抑爲速？何以知之？

景

476. 虹。

自然界中有一種極爲美觀之景爲吾人所熟知者，即通常所謂之虹 (Rainbow)。

取一玻璃球瓶 F (□ 445)，徑約 $1\frac{1}{2}$ 吋至 2 吋，滿盛以水。引日光由紙屏 AB 之小孔入室。將此玻璃球瓶置於光線通過之路中，即有虹 (Rainbow) 之小影，成於屏孔之周，紫邊在內，紅

邊在外，由 C 處進入瓶內之光，受屈折而起分散；及至 D 而起全反射；至 E 復起屈折與分散，而出於空氣中。兩次屈折，紫色皆較紅色之程度為大，故其反射時，距入射線方向，較紅色光為近，如瓶得為完全球盤，則入射線 OC ，與反射之紅線 BE 所成之角，為 42° ；入射線與反射之紫線 EV 所成之角，為 40° 。

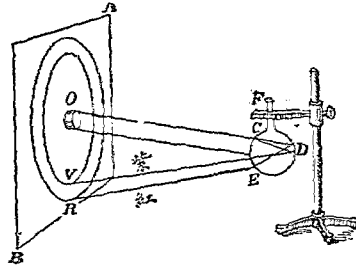


圖 445. 人造虹

天空所顯之虹，與上述實驗所成者相同，係由空中小雨點之屈折及反射而成。如觀者背太陽而立於 E ，則來自兩點之光線，與由人至太陽之直線成 42° 者（圖 446），

必為紅色光；來自兩點與眼成 40° 者，必為紫色光。日光之下，露點中之色，隨頭之旋動而變。

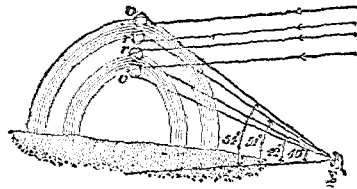


圖 446. 一次虹及二次虹

由是可知，光自水點至眼之方向，與自太陽至眼之直線成一定角度之水點，必在以太陽與眼之連線為中心之圓周上。是以吾人所見之弧，紫色在內，紅色在外，更有第二之虹，內紅而外

紫,與前述之虹同一中心,曰二次虹 (Secondary rainbow). 前者曰一次虹 (Primary rainbow). 二次虹因光線受二次內部反射與二次屈折而成,如圖 446 所示。

477. 連續景。

置本生燈於細隙 (圖 447) 後,使發白色火燄。由稜鏡 P 觀此細隙,則見其景為一連續光帶。若開底部之管,導入空氣,而以鉛絲入燄燒之,則此白燄之鏡,亦呈一連續景 (Continuous spectrum)。

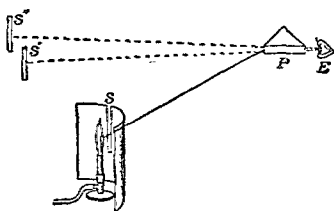


圖 447. 觀察景之裝置

一切熾熱之固體及液體,皆發生此種之景,自紅之極端至紫之極端之各種波長,莫不含有之。燄之連續景則由於燄中浮游之熾熱固體炭素而來。燄中有此種固體存在,可由置一物體於其內即有煙燻 (Soot) 一層沈積於物體之上之事實證明之。

478. 輝線景。

試取鉛絲或石棉浸入食鹽(氯化鈉)液內,而後持至燄內

① 欲作關於景之實驗,最好須備一廉價之玻璃板稜鏡 (Plate-glass prism), 如若者實驗室中之實驗 50 所述,當較映射鏡景 (Lino spectrum), 更為適足。

燒之。但須使鉑絲位置之高下不致顯其自身之景。則見有一黃色之細隙之像，恰占前述之景中黃色部分。可見鈉線之光，非由多數波長集合而成，只為與此黃色相應之一定波長。此光為熾熱鈉蒸氣所發，與前述由熾熱固體發出者不同。

另取鉑絲一段，浸入氯化鋰(Lithium chloride)液內，而後持至鏡內燒之，則見隙像有二，如 s, s' (圖 447)，一黃一紅。如以氯化鈣(Calcium chloride)入鏡試之，則一隙像見於線中，一隙像見於缸中。如以氯化鎂(Strontium chloride)試之，則得一青一紅之像。(上述各種實驗中，或均不免有鈉之黃像現出，因各種鹽類中，皆不免含有鈉之不純物故也。)

各色之細隙像，曰各種物質之特性景線 (Spectral lines)。由上之實驗，可知熾熱之蒸氣及氣體，皆呈輝線景 (Bright-line spectrum)，與熾熱固體及液體所生之連續景不同。自蒸氣之景線，以分析各物質之方法，曰景析術 (Spectrum analysis)。本生始用之於 1859 年。

479. 日景。

試先使日光通過細隙 S (圖 448)，隙廣不可過 $\frac{1}{5}$ 耗，再使之通過稜鏡 P ，然後使之照於屏 S' 上，如圖 448。移動稜鏡位置，使白光線能由鏡之一面反射至屏。固前景之中部占據之處。然後在稜鏡與細隙之間，插入一透鏡 L ，前後移動之，直至細隙之像成於屏上，即使隙 S 與屏 S' 適在透鏡之共軛焦點上。最後使稜鏡復歸原位，則見屏上之景，係

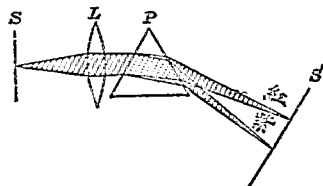


圖 448. 日景之景線

由隙之色像，以次排列而成。此種景，名曰純景 (Pure spectrum)，以別於圖 44 所示之景。圖 44 未用透鏡集合各色光線於一定之點，故各色多相重疊。如細隙與屏恰在透鏡之共軛焦點，隙又甚細，則於景上可見有若干條暗線 (Dark line) 橫於其上。

此線為英人武拉斯吞 (Wollaston) 於 1802 年首先發見，而最初研究之者，實為德人夫牢因和斐 (Fraunhofer)，於 1814 年計算之，且繪出七百餘黑線之圖，因名此線曰夫牢因和斐線 (Fraunhofer lines)。日景 (Solar spectrum) 中既有此種暗線存在，則可知日景中必缺少與此種暗線相當之波長。即使並非完全缺乏，亦必較其隣近者為弱。但由上法實驗，所能測出之明晰之暗線數，至多不能過五、六條。

480. 夫牢因和斐線之說明。

依第 479 節所述之法，造成日景，將金屬鈉微小塊置於酒精飽和後之石棉塊上。再將此石棉置於細隙之左邊，或細隙與透鏡之間，令其燃燒。即見景內黃色部分，顯一暗帶。其位置適在鈉鏡自身所生之輝線之處。當未將鈉投入鏡內時，設其焦點離合甚當，致黃色間顯一暗線，則當鈉燃燒時，此暗線愈變黑暗。足見日景中之黃色部分之暗線，必由於日光曾在某處通過鈉之蒸氣層所致。

由此實驗，可立說明夫牢因和斐線之理由。太陽熱核所發之白光，實含有各種波長。當經過太陽與地球周圍之大氣層時，有數種波長被蒸氣吸收，遂致衰弱。因無

論何種氣體或蒸氣皆能吸收一定之波長，此波長即當其本身熾熱時所放散之波長也。此種現象，恰與音叉唯有對於其自身所能發之振動，始能與之共振，或吸收之之理相同。日景中之黃色部分所現之暗線，既與熾熱鈉蒸氣所發之輝黃線，或白色光通過鈉蒸氣時所發之暗線，同一位置，可知太陽周圍之大氣中，必含有鈉蒸氣。用此方法，將各種物質之景線之位置，與日景上暗線之位置，互相比較，即可得知地球上存在之物質，多數亦存在於太陽上。德國物理學者克希荷夫 (Kirchhoff) 發見鐵之四百六十條輝線，為其所知者，莫不一一皆與日景上之暗線相符。圖 449 之中央，為日景之相片，兩邊為鐵景上與之相應之輝線。由圖可知輝線與暗線，完全一致。

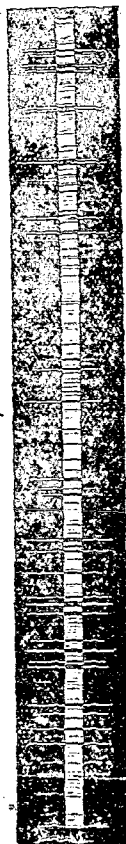


圖 449. 太陽景與鐵景之比較

481. 多普勒原理之光波應用。

多普勒之效應(見 387 節), 前已詳論; 即運動之發音體, 行近觀察者時, 其效應使所發出之音調之波長, 略微減短, 遠離觀察者時, 使其波長略微增長。與此同理, 當天體行近地球時, 其所發波長, 必較地面同一光源所發之相當波長略短, 故在星光所成之景上, 各線必略移向紫色之一端。如背地球而行之星, 則其景中各線, 必略移向紅色之一端。由移動之方向, 及其數量, 可以測知各星體對於太陽系之運動速度, 及其為向太陽系運動而來, 更有數星, 以此速度離太陽系運動而去。全太陽系在空間運行之速度, 每秒約為 12 哩, 即以此速度運行, 設地球直向最接近之星體而去, 至少亦須 70,000 年後, 地球方能至其近傍。

問 題

1. 由第 445 頁之表, 試計算每 1 吋中有若干紅色光及若干紫色光之波數。
2. 假設虹現於晨, 當現於空中何方?
3. 吾人何以信太陽內含有鈾質?
4. 月光應發何種之景(月之周圍並無大氣存在)?
5. 設有數種鹽類之混合物, 用一本生燈, 稜鏡, 及一細隙, 當如何決定其中有無鈾質存在?
6. 試繪一圖, 示細隙, 稜鏡, 水生燈, 須如何裝置, 始能使其發生純景?
7. 如何方能指出紅色光及藍色光之波長不同? 又如何方能決定其何者較長?

第二十一章 不可見之輻射

熱體之輻射

482. 景之不可見部分.

如用乾片照取景之相片,則見感光之效應,遠至最短之可見紫線(Violet-ray)以外,即所謂紫外線(Ultra violet ray),已在芝加哥大學之賴厄孫(Ryerson)物理實驗室用相片照出,并測出其最短之波長直至 .0000273 釐,其值僅為最短之紫色光之波長之 $\frac{1}{15}$.

紅之極端之可見線 (Visible ray) 之最長之波長為 .00008 釐,用極精之檢熱器 (Thermoscope) 可以檢出可見景以外,尚有所謂紅外線 (Infra-red rays) 者存在,最初研究之者為魯本茲(Rubens)及柏林之嬰貝葉(von Baeyer),其時為1912年,當時察得波長最長至 .03 釐,較最長之可見線長400倍.

此種紅外線之存在,可用輻射計 (Radiometer) (圖450) 驗之,輻射計為尼古爾斯(Nichols)在達特馬斯(Dartmouth)完成之器械,最普通之形式,為一半真空之玻璃泡,中有鎢製小輪,具四的葉,各葉一面塗黑,一面磨光,將此器置於日光或燈光前,恰葉即生轉動,其方向恒令塗黑之一面與輻射之源遠離,而磨光之一面吸

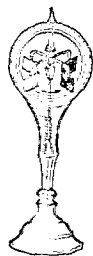


圖 450. 克魯克斯之輻射計

收能媒之波，較磨光一面為多，因亦較熱，故與輪葉塗黑之面接觸之熱空氣對於輪葉之壓力，較與磨光之面接觸之冷空氣對於輪葉之壓力為大，故生轉動。

更有一種較簡之裝置，用以研究此長熱波者，為 1912 年普蘭斯登 (Princeton) 之特洛布立治 (Trowbridge) 所製。用一膠皮帶 AC (圖 451)，寬 1 耗，緊張於玻璃片 $FGHI$ 之上，使其長為未緊張前之長之二倍。於帶之中點 B ，置一最細之玻璃棒 ED 。棒端載一小鏡 E ，約 2 平方耗。當景照於膠皮帶之 AB 部分時，該部分之長因受熱而膨脹，遂使 ED 轉動，自 E 反射至牆上之光點，因亦移動其位置，其移動之量與 AB 所受之熱為正比。

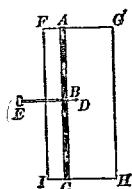


圖 451. 簡單檢熱器

將上述之輻射計或檢熱器置於景中紅色一端之外面，即見其所照之熱能，較大於可見之景中之任何部分。試更以紅熱 (Red-hot) 之鐵球，及上述兩種檢器之一，置於大鏡之共軛焦點 (圖 452)，即可檢出此不可見之熱線 (Heat ray) 反射後復

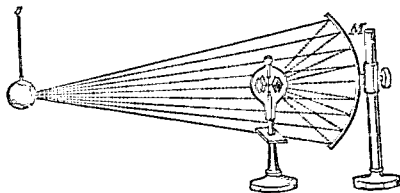


圖 452. 紅外線之反射

集合於焦點，與光線相同。試以盛水之瓶，置於熱源及檢熱器之間，則見光線雖能通過水，而紅外線則幾完全被其吸收。如用二硫化碳 (Carbon bisulphide) 以代水，則紅外線即完全通過。雖加鏡於二硫化碳之內，使其變為不透明體，紅外線之通過仍如故。

483. 輻射及溫度.

將物體置於最良之真空中,周圍環以冷體,如液化空氣,則見其溫度之減低,絕無間斷,故無論何種物體,雖在常溫之下,亦以能媒波之狀輻射其能,繼續不絕.在普通溫度時,此種能媒波之波長,較長於光波之波長遠甚.溫度增高,此種長波之發出亦隨之而增多,但較短之波亦繼續增加於其間.直至 525°C .左右,始現可見之波,即暗紅色之波.自此溫度以上,因較短之波漸多,顏色亦漸改變,始而橙色,繼而黃色,最終在 800°C .與 1200°C .之間即變為白色.換言之,無論何種物體,在 525°C .附近時為“紅熱 (Red-hot)”,在 800°C .與 1200°C .之間為“白熱 (White-hot)”.

鎢線在 1000°C .雖已成白熱,然其在 1400°C .所發出之光較在 1000°C .時發出者多三十六倍.故當溫度增高時,能媒波之全輻射 (Total radiation) 之增加率若何之速可想而知.熱體之輻射線可分為三種,即熱線 (Heat ray), 光線 (Light ray), 及化學線 (Chemical ray 或 Actinic ray) 是也.然此種分類之法實不正確,蓋能媒波被物質吸收後,莫不發生熱效應,即分子運動,故凡能媒波皆為熱波.故輻射熱 (Radiant heat),即各種波長之能媒波之輻射能 (Radiant energy).

464. 輻射及吸收。

各種物質開始放散一定波長之波時，其溫度雖大略相同，然在一定溫度之下，其能之總放散率 (Rate of emission)，則由輻射表面 (Radiating surface) 性質之不同，大有差別。由實驗所得，知善於吸收能媒之輻射之表面，為良輻射體 (Good radiator)。由此可以推知良反射面，如磨光之金屬面，為不良輻射體 (Poor radiator)。

取 5 平方釐或 10 平方釐之白鐵片二，一以其一面磨光，一以其一面塗黑烟。將此二片垂直置之，使其相距約 10 釐，並使一片塗黑之一面，正對他片磨光之一面。又用蠟於二片之外面，各粘小球一枚於其上。然後以燒熱之金屬板或金屬球 (圖 453) 置於二片之間，則塗黑之一片之背後之蠟必先熔化，球亦先落。由是可知塗黑之一面之吸收熱能，較磨光之一面

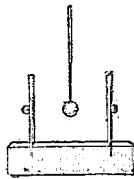


圖 453. 良反射體為不良吸收體

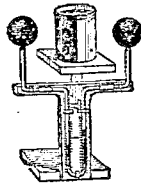


圖 454. 良吸收體為良輻射體

為甚。試更取塗黑之玻璃球二，以一 U 形管連接之，如圖 454。管中盛以着色之水。以白鐵罐一，一邊塗黑，一邊磨光，中盛沸水，置於二球之間。由 U 形管中之水之運動，可知罐之兩面，雖為同一之溫度，然其塗黑之一邊之放散熱，較磨光之一邊為速。

問題

1. 大氣對於太陽發出之多數輻射線，皆為透明體，然其上部則較下部甚冷，其故何在？
2. 設人對火爐而坐，其所受之熱於傳導、對流、輻射三者之中，以由何而來者為最多？
3. 日初出時及日將沒時，光線由太陽射入人目，較午時所通過之空氣間之距離為遠，此兩時之太陽之色，或紅或黃，問大氣所吸收之光線當以何種為最多？
4. 玻璃對於各種可見波皆為透明體，然不使最長之紅外線透過，試由此說明溫室(Hot bed)之理。
5. 白熾二燈，在夏日以何者為涼？
6. 盛熱水於磨光之金屬容器內，及已生鏽之金屬容器內，何者先冷？
7. 鐵白熱時與其紅熱時何者所發之紅色光線為最多？
8. 液化空氣瓶及熱水瓶，皆用雙層玻璃為壁，其間為真空，如將玻璃間鍍銀，則其對於保持液化空氣之時間，當較未鍍銀時延長至數倍之久，其故何在？壁間須排去空氣，又係何故？

電之輻射

495. 來丁瓶放電為振動的之證明。

由第 408 節之實驗，可知兩音叉之自然週期若彼此相等，則由一音叉發出之音波，可以使第二音叉起振動。下節所述，即電現象中與此相類之例。

今將來丁瓶 A (圖 455) 之內外層錫箔用一環狀 (Loop) 導

線 $cdef$ 連接之，環上之橫搭 de 可以隨意移動，以增減環之長度。另用錫箔一條，由內層錫箔鋪出瓶外，至距外層約 1 厘米之處 C 。再用一與此相似之瓶 B ，將其內外層錫箔用一相似之一定長度之環狀導線連接於兩球 n, n' 上，使二瓶相對並立，且使兩環狀導線

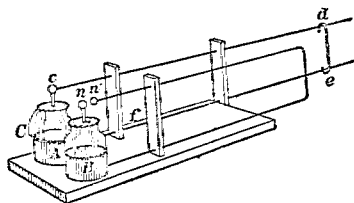


圖 455. 共振之電振動

互相平行。次用靜電機或誘導圈使瓶 B 連續的充電及放電。移動橫搭 de 之位置，使兩環之面積相等，則每當 B 經 n, n' 放電時，他一瓶上之 C 處，亦有電花通過。若移動 de ，使兩環之面積不等， C 處即無此項電花現出。

由此實驗，足以察知兩電路亦如兩音叉，可以調和之使之共振。有一音叉之週期稍變，他一音叉之共振即停止。電亦如是，兩電路之調和破壞時，其共振亦即停止。

按共振現象之發生，必

兩者固有之週期相等。

故由此實驗可以證明

來丁瓶之放電必為振

動的現象。自急轉之鏡

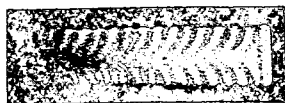


圖 456. 電花之振動

觀察電花，可見其為十個乃至三十個之閃光 (Flash) 組合而成。圖 456 所示即此種電花之相片。

放電現象雖為振動的然其一完全之放電，歷時亦

不過 $\frac{1}{10,000,000}$ 秒而已。此種時間既極短，而其電花之光明又極強，故利用此兩種事實，可得所謂瞬時電花照相術 (Instantaneous electric-spark photography)。第 469 頁之對面插圖，表一彈丸穿過石鹼液泡之狀況，影片之轉動係連續的而非間斷的，如通常之活動影片然，其所用之閃光速度，約為每秒 5000 次；時間既如是之短，故相片之輪廓皆甚鮮明。

485. 電波。

第 485 節之實驗，不特可以證明萊丁瓶之放電，確為振動的現象，且足以指示此種電振動，在其周圍之媒質內，發生擾亂或某種波形。此種波行至鄰近之電路內，其作用正如實驗音叉時，由第一音叉發出之振動空氣，作用於第二音叉，使之共振時之狀況。究竟此種波為空氣內之波如音波，或為能媒內之波如光波，可由計算其傳播之速度而決定之。最先測定此速度者，為德人赫支 (Heinrich Hertz) (見第 112 頁之對面插圖)。彼於 1889 年，試得其速度與光之速度相等，即為每秒 300,000 軒，由此結果，可知電振動可使能媒內發生波動，此種波謂之赫支波 (Hertzian wave)，泛稱之曰電波 (Electric wave)。

瞬時照相所用之振動電花發出之波，波長甚大，即

約爲 $\frac{300,000,000}{10,000,000} = 30$ 呎。因光之速度爲每秒 300,000,000 呎，每秒之振數爲 10,000,000，由第 332 節之所述，波長恆等於以每秒之振數除其速度，故得 30 呎。若減小瓶體及電路之長，波長亦隨之而減，設用直徑不及一耗之兩球，以代蓄電器之錫箔，可將波長減短至 .3 呎，僅爲最長之熱波之十倍而已。

487. 粉末檢波器。

第 485 節之實驗，係用一電路中之電花間隙 (Spark gap) C，檢定電波之存在，所用之電路，與發出振動之電路，幾完全相似，但用此方法，只可檢察數呎內之電波。對於數百哩以外傳來之電磁波 (Electromagnetic wave)，最初用作檢查之器者，實爲粉末檢波器 (Coherer)，其原理可由下述之實驗說明之：

取長數呎，徑約六、七耗之玻璃管，用銅或鐵之細屑充滿其中，於兩端各插入銅線一條，兩銅線深入粉內相距約 1 耗。此兩銅線按饋絲法，與一丹遜雷電瓶，及一達孫發雷電流計連結，因此種電路之粉末，對於電流之抵抗甚大，故通過此電路之電流，爲量至微。試在數呎外，轉動一靜電起電機，則當起電機之兩球間有電花飛過時，電流計上之針，即顯甚強之偏向，此蓋因電波傳至管內之銅屑，使之互相凝聚，故管中之抵抗減低，祇爲前此之一小分數而已。若以錫管尖端輕叩玻璃管，則管中之銅屑，因受振動，遂又分離，抵抗亦復其舊態，又可更行實驗。

488. 無線電報。

前節實驗，爲無線電報 (Wireless telegraphy) 之方法。自 1896 年馬可尼 (Marconi) (見第 350 頁對面) 應用無線電於商業以後，十年間皆用之。現今馬可尼式 (Marconi system) 無線電報之要部如次：發信器 (Transmitter) 爲一尋常之誘導圈，或變壓器 T_1 (圖 457, (1))，通過其一次圈內之電流，來自一交流器 A 。變壓

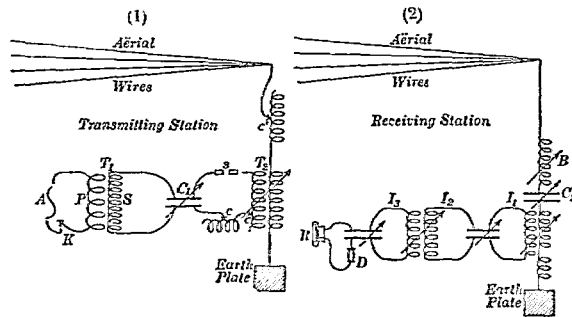
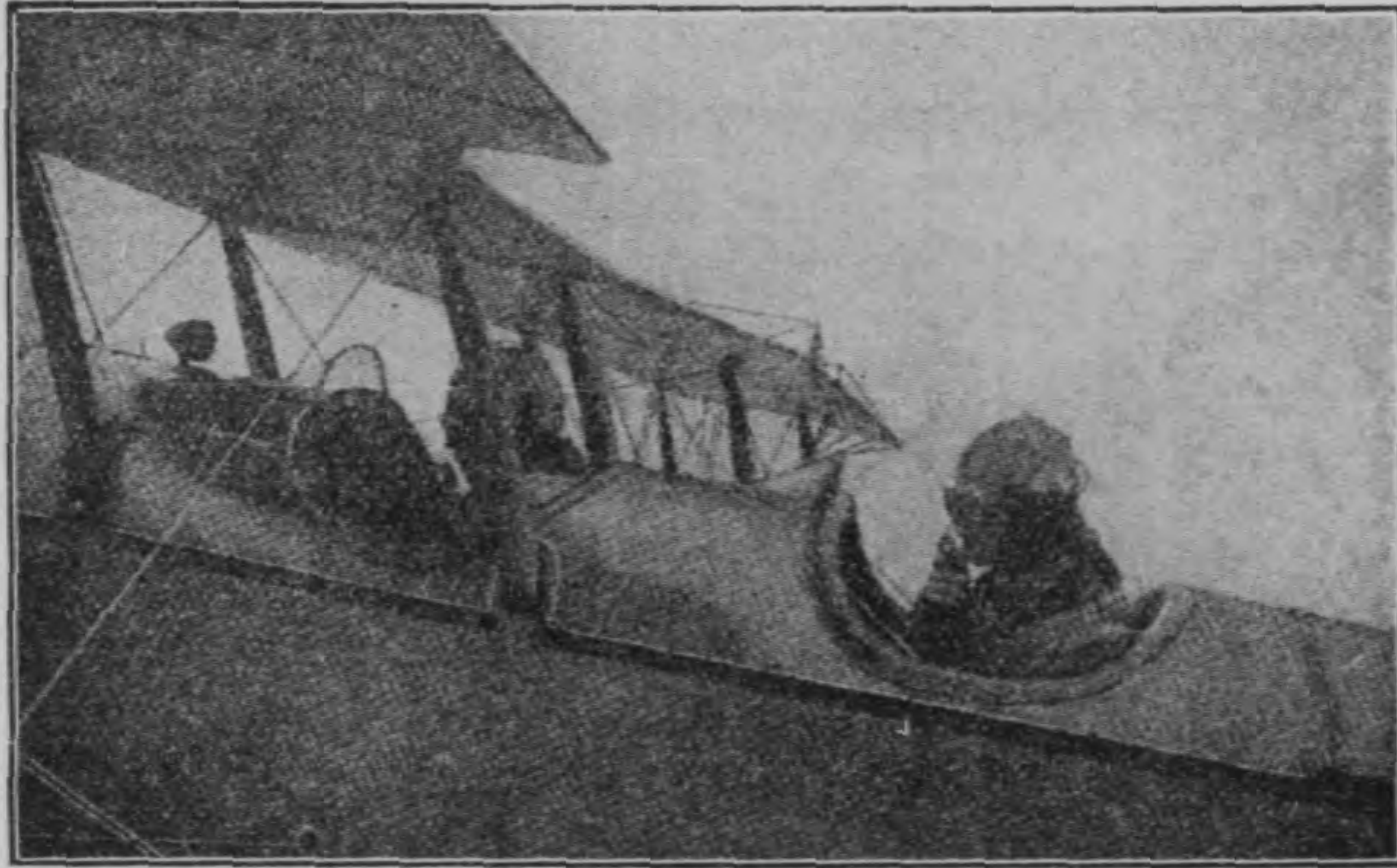


圖 457. 無線電報之發信局及收信局
(1)發信局；(2)收信局

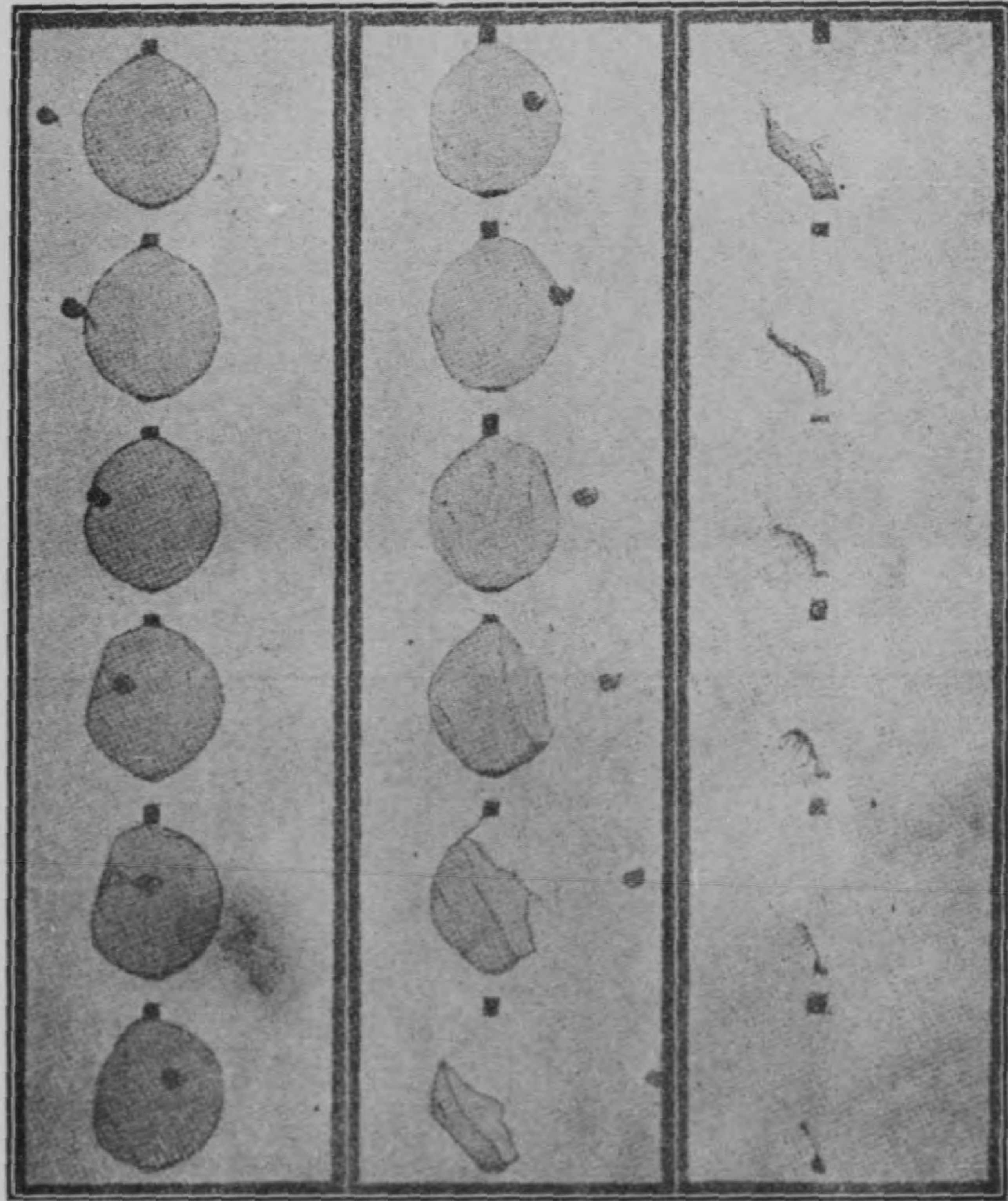
器之二次圈 S ，遂其電流於蓄電器 C_1 ，增高其電勢，直至足以發生電花放電於間隙 s 爲止。 C_1 之放電爲振動的(第 485 節)，其周數約爲每秒 1,000,000。然可由司機者滑動開器 c 以節制之。恰如圖 455 所示。蓄電器電路中之振動，可以引起天線 (Aerial-wire) 之振動。滑動開器 c' 至適宜位置，天線即起而與之共振。^②

② 圖中所給之斜箭，橫過蓄電器上者，表示蓄電器之電容，可以任意調整，俾起共振。同樣，橫過兩誘導電路，如變壓器 T_2 之一次圈與二次圈之上者，示此兩電路互相作用之程度，亦可任意變更，例如使一圓插進他圓之內若干距離，或抽出若干距離。



航空用之無線電話

自陸地或司令機，以無線電話命令機隊，使作種種複雜作戰計畫之裝置，亦大戰中甚可注目之一種新發展。上圖為司機者與觀測者，用特別裝置以避機聲擾亂，彼此對話時之狀況。下圖為威爾遜總統以無線電話與機上談話之狀況



彈穿石鹼液泡之影片

彈丸通過之路，甚易求出。由圖可知石鹼液泡之破裂不在彈丸初入時而在彈丸出泡時

(此影片係托爾波特 (F. A. Talbot) 所照)

s 處每發出一電花，即生一波列 (Wave train) (圖 458)，以光之速度離天線而去，經由能媒以達於收信局 (Receiving station)。當鑰閉合時，每秒之內 s 處發出之電花數，約為 300 乃至 1000 之多，故每秒有 300 乃至 1000 之波列，順次由天線通過。

由此天線送出之電波，誘導收信局之天線 (圖 457(2))，使之生相似之振動。收信局雖在數千哩外，只須調整其蓄電器 C 及誘導圈 B ，即可使之共振，此振動又誘導蓄電器之電路 L_1, L_2, L_3 等，使其生恰相似之振動，皆與收信局之天線共振。 L_3 內之檢波器 (Detector) D ，只為一方鉛礦 (Galena) 之晶體，與受話器 R 相結，此晶體與第 374 節之鎢絲整流器相似，只能使一定之方向之電流通過，^① 果使無此性質，即不能用聽話器 (Telephone) 以作檢波器，因其振數高至百萬以上故也。固有此性質，故當一電花振動之中，即有一斯續電流 (Intermittent current)，沿一定之方向通過，振動停止後，電流亦即停止。直至其次之電花到來，始再通電流。送至收信局之天線之此種斷續波，每秒約為 300 乃至 1000。

故在收信局之司機生，當鑰 K 按下時，可聞一連續同調之樂音。鑰之運用，與平常電報機相同，將此種有規則之電波，分為波列之羣 (Group of wave train)，使由收信器 (圖 459) 所聞之音，與平常電報之點及橫 (Dot and dash) 相當。

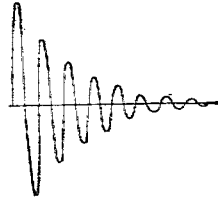


圖 458. 由振動放電發生之一波列

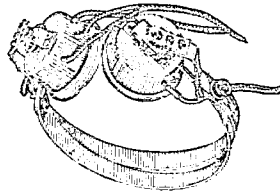


圖 459. 美國海軍用之無線電報接收器

① 礦石檢波器 (Crystal detector) 在無線電報及無線電話 (見第 468, 475 頁對面) 上，多不及三相球檢波器 (Audion detector)。

近時多沿水平方向，懸掛天線，不若前此所用之垂直方向，目的在使直接送信受信之範圍廣大；因由第485節所述，知發信導線與收信導線互相平行時所得之結果為最佳故也。

所以用三調和電路 (Three tuned circuit) L_1, L_2, L_3 者，因此種調和電路 (Tuned circuit)，不收別種週期之波故也。若在無選擇之受信 (Nonselective receiving)，則將此種電路略去，而以檢波器及受話器直接接於蓄電器 C_2 。受話器之阻抗甚高，故與蓄電器之振動不相干涉。

499. 光之電磁說。

電磁之輻射如前諸節所述，不獨速度與光相同，並能反射，屈折，極化。質言之，實具有光波之全性質；所不同者，只其波長較大而已。故近世物理學，視光為一種電磁現象。即光波為原子之帶電部分之振動。遠溯 1864 年英國之有名物理學家兼數學家麥克斯惠爾 (見第 112 頁之對面)，已明言由電之擾動，應能發生能媒波。後至 1888 年，赫支始由實驗證明其說。故麥克斯惠爾及赫支兩人，實為創立近世光之電磁說 (Electromagnetic theory of light) 之人。

陰極線及樂琴線

490. 半真空內之電花。

設 a, b (圖 460) 為兩導圓或圓電筒之兩端； e, f 為兩電極。

密封於 60 吋或 80 吋長之玻璃管中； g 爲橡皮管，連接空氣唧筒，用以排去管內之空氣。

於排氣之前，先使誘導圈動作，因 ab 較 ef 爲短，故有電花發生於 a, b 之間。於是將管內空氣迅速抽去，當管內氣壓減低至水銀柱數裡時，則見放電捨去較

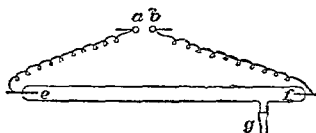


圖 460. 半真空中之放電

短之 ab ，而發生於較長之 ef 。由是可知通過半真空 (Partial vacuum) 中放電，較通過尋常壓力之空氣中爲易。

當電花最初通過 e, f 之時，爲紅紫光 (Crimson light)，如一長帶，以後陸續排出空氣，帶即隨之擴散，直至紅光充滿全管爲止。通常所謂該斯勒管 (Geissler tube)，實即上述之半真空管，不過特別製成奇異形狀，或外部圍以着色液之套，使生奇異色彩效應而已。

491. 陰極線

設將上節所述之管內空氣，排至其氣壓達於水銀柱 .001 耗時，放電情形，即大不相同。管內殘餘氣體內之光，完全消滅，同時由陰極(即與誘導圈或靜電起電機之陰極相連之管之一端)發射一種不可見之輻射，名曰陰極線 (Cathode ray)。此種輻射線之著名，第一，因照及管壁內或管內所盛之其他物質，即發螢光效應；第二，因能發生極強烈之熱效應；第三，因能投射極顯明之陰影。

設陰極為一凹面板，如圖461所示，於陰極所在之球心置一鉛箔，則輻射線必聚成焦點於鉛箔上之小部分，使之成為白熱。可知此線不問其種類為何，總之必作直線進行，且垂直於陰極之表面，此種關係，又可用通常球形器，如圖463所示者，證之。如以A作陰極B作陽極，則管中央之鉛片，必生一鮮明之陰影於A之對壁上。可知陰極線與通常之電花不同，不通過於管內兩極之間，而由陰極表面沿直線方向射出。

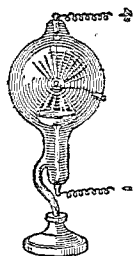


圖 461. 陰極線之熱效應

492. 陰極線之性質。

自1875年，陰極線始為學者所研究。自是年至1898年，對於此線之性質議論紛紜。有謂其為由陰極表面射出之高速之陰電粒子流者，有謂其為能媒內一種波動，即一種不可見光線者。由下述之實驗，可證明第一說為確。

在真空管NP（圖462）內，置一塗有硫化鋅之屏P，使陰極線照之，即現螢光。m為雲母片，中有細隙。凡射至雲母片上之陰極線，皆被吸收。惟通過細隙者，能通過全管。其線雖不可見，然其所通過之路程，可由其與屏接觸時所生之螢光察之。如以磁石M近之，如圖中所示之位置，則見陰極線偏向。其所偏之方向，與假

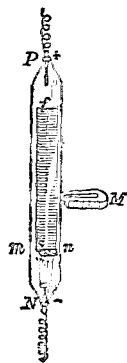


圖 462. 陰極線因磁石而起之偏向

定此輻射線係由陰粒子組成時，所預期之方向相符；因由第 298 節，知運動中之電荷，成爲電流，又由第 350 節，知磁場中之電流，依電動機定則所示之方向而生運動故也。由他方面言之，磁場對於光線及其他各種能媒波之方向，皆不生影響。

1895 年，英國之湯姆孫 (J. J. Thomson) (見第 474 頁之對面插圖) 證明電荷亦可使陰極線偏向。如假定其爲由陰粒子集合而成，此亦爲預期之事實。當柏朗 (Perrin) 在巴黎證明陰極線傳其陰電荷於所接觸之物體上以後，反對此種投射粒子說 (Projected-particle theory) 之意見始完全消歸烏有。至於此種粒子之質量，與其速度，則可由其在磁場與電場內所呈之偏向性 (Deflectibility) 算出之。

陰極線在今日皆認爲由陰極表面射出之電子流，其速度則爲每秒 100,000 哩之高速。

493. X 線

1895 年，羅琴 (Röntgen) (見第 480 頁對面) 最初發見陰極線無論射及管壁何處，或與管內之任何物體接觸，皆能發出別一種類之不可見輻射線，今謂之曰 X 線 (X ray) 或 羅琴線 (Röntgen ray)。尋常 X 線管 (圖 463) 之中央，有一厚鉛板 P ，作陰極線之射的，由陰極發出之陰極線與陰極之表面 C 成垂直，而 C 爲一凹面，故陰極線均集而

成一焦點，此焦點即在鎢板之表面。X線即由此一點發出，向各方輻射。射的 P 有時用極厚之鎢板製成。

欲證明此說之真，可觀察作用中之X線管。可知含鉛板之平面，將管分為兩半球(圖463)。與X線源相對之半球，發淡綠色螢光，而其他半球，因與光線隔絕，較為黑暗。以陰極燈器(Fluoroscope)(即硫化鋅屏)，沿管移動，可知使管成為可見之物之輻射線實自 P 而來。

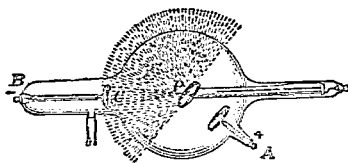
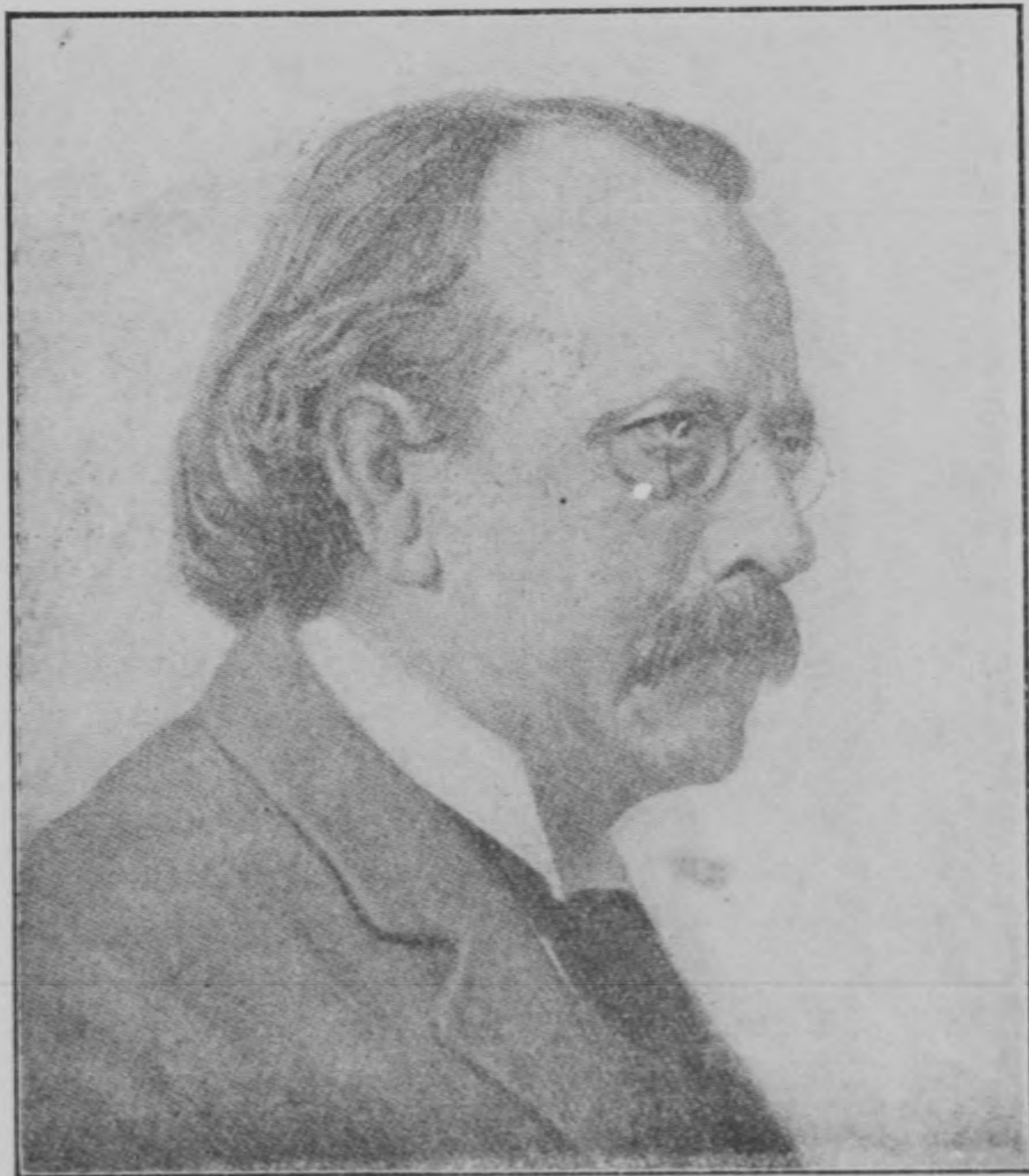


圖 463. X線泡

494. X線之性質。

X線之發生螢光，及其不若光之可以反射，屈折，極化，雖與陰極線相似，然有數要點，與陰極線絕不相同。第一，X線能透過多數物質，為陰極線所不能；如X線能透過玻璃球，而陰極線則不能。其次，X線不受磁石或靜電之影響而起偏向，亦未帶有任何種之電荷。故X線，與陰極線不同，並非由陰粒子流所構成。

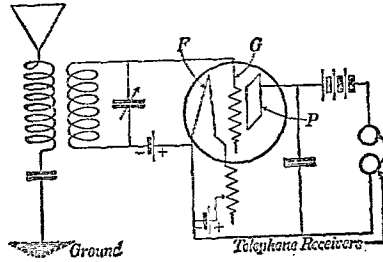
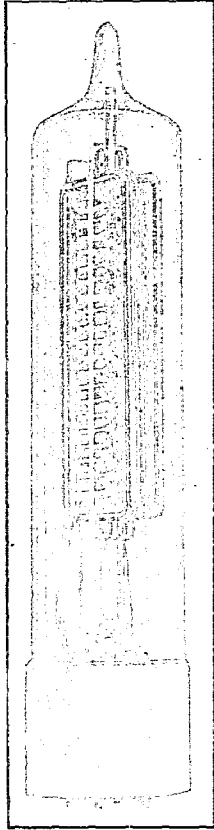
近世已證明X線為一種極短之波，與光波雖相似，然較光波為短，且其波長亦不一律。以吾人所能製之極平滑之鏡，與之比較，尚覺粗糙不堪，致使其呈亂反射之現象，則其波長之短可知。利用結晶體(例如雲母石)表面



湯姆孫

(Sir Joseph Thomson) (1856-)

發展“電子物理學”之偉大人物；生於英國之曼徹斯特；就學於康橋大學；自 1884 起即任劍橋大學之喀文坎講座之實驗物理學教授；著作甚多，其中之最主要者為“氣體之電傳導” (1903)；實驗上及理論上之最近著作家，倡明電與物質之關係；二十世紀物理學之代表者



擴大器及受話擴大之裝置圖

湯姆孫所研究之電子論異常發達以來，其影響已達於工業上，試述其最要之一例如下：1914年七月德福斯特 (De Forest) 之三極球 (Audion) 發展為繼話器及擴話器，西方電燈公司之研究者以此插入紐約舊金山間之電話中，可得種種之實驗證明；如能使紐約，波士敦 (Boston) 之人，得聞舊金山海濱波濤之聲，1915年夏，該研究者復作電話之實驗，由阿靈吞 (Arlington) 無線電報站之天線送出談話，不用導線而能繞地球之半，可及於巴黎及火奴魯魯 (Honolulu) 之收報站，其音之強，雖在華盛頓傳話者之聲音，亦可聞之。左圖所示為管之一部(原大)，此科學的大事業即用此物完成。上圖示熱離子擴大器 (Thermionic amplifier)之簡單連結法，取入之弱音使網格(grid)G之勢起變化，因此生同樣之變化於電子流中，即由熱絲(Filament) F向板(Plate) P之電流因及於擴大所需之電流。用此法可將能擴大至 10,000,000,000,000 倍

上之分子之極有規律之排列,使X線以適當之角度投射於其上,則可得一種反射,名曰干涉反射 (Interference reflection) (參照第481頁X線景),由普通X線管所得之X線甚短,每吋中可含250,000,000,由此可知其振率為每秒3,000,000,000,000,000。

495. X線可化氣體為導電體。

X線有一可注意之性質,與陰極線相同;即當其照及帶電體時,使帶電體漸失其電荷是也。

欲證此性質之存在,可將X線泡置於距金箔驗電器約5呎乃至10呎之距離,即立見金箔垂下。

此蓋X線將氣體原子內之電子搖落,使氣體充滿帶陰電之粒子,及帶陽電之粒子;帶陰電之各個粒子,於分離時,成爲一電子,帶陽電之各個粒子,爲取去一個電子後之原子。故無論何種之帶電體,在氣體內,莫不引近與其自身反對之電荷,而成放電。

496. X線相片。

X線之最顯著之特性,爲能通過多數不透光之物體,如木板,皮,肉等。故以手置於照像用乾片之上,曝露於X線中,則手中之密部即骨部之陰影,現於乾片之上。第

397 頁對面之插圖，即示人類之胸部之 X 線相片 (X-ray picture).

放射性

497. 放射性之發見。

1896 年，柏克勒爾 (Bequerel) (見第 490 頁對面之插圖) 在巴黎實行下述之實驗，以不透光黑紙，包裹照像用乾片，置銅圓一枚於紙上，復於紙之上方懸鈾 (Uranium) 少許，置於暗室。數日之後，用照相法洗出，則見有銅圓之影，現於片上，與用 X 線照出之相片相似。由此得一結論，曰鈾有一種性質，放出一種輻射線，能通過不透明體，及使照相乾片感光，如 X 線然；即名此線曰鈾線 (Uranium ray)，並察知此線如與其他之帶電物體接觸時，亦可使之放電，與 X 線無異。且知凡鈾之化合物，皆能發射此種輻射線。

498. 鐳。

柏克勒爾發見數月後，巴黎之居禮夫人 (Madame Curie) (見第 480 頁之對面) 取已知之各種元素，一一加以研究，察其是否尚有別種物質，亦具有與鈾相似之特性。得知釷 (Thorium)，即製造煤氣燈用紗罩之要素，及其化

合物，皆能發與此同樣之效應，自此發見之後，凡由此等物質發出之輻射線，皆稱爲柏克勒爾線 (Bequerel ray)；凡發柏克勒爾線之物質，皆謂之放射性物質 (Radioactive substance)。

當作此研究時，居禮夫人得知含多數氧化鈾之瀝青 (Pitchblende)，即用之以提取鈾者，亦能使驗電器放電，且較純粹之鈾，更速四倍，故推知瀝青內之放射性物質，決不止鈾，必更含有其他未知之元素，其放射柏克勒爾線之性質，較鈾與鈾皆強。經長時間之困難實驗，由數噸之瀝青內提得數厘之新物質，此新物質使驗電器放電之速度，約爲鈾或鈾之百萬倍。居禮夫人名此新元素曰鐳 (Radium)。

499. 柏克勒爾線之性質。

此種由放射性物質自然發出之輻射線，雖能使照像乾片感光，能發生螢光效應，能使帶電體放電等等性質皆與X線相似，而實非X線，因電場或磁場，皆足使其偏向，又此等線皆能傳電於其所接觸之物體故也。此種性質，足證放射性物質自其本體射出帶電粒子。

1899年刺德福或 (Rutherford) (見第480頁對面插圖) 證明柏克勒爾線爲一種複雜體，共具有三種輻射線，名

曰 α 線 (α -ray), β 線 (β -ray), γ 線 (γ -ray). β 線與陰極線完全相同, 即為以每秒自 60,000 哩至 180,000 哩之速度射出之電子流. α 線與此不同之處, 在其透射力 (Penetrating power) 甚小, 其化氣體為電導體之力甚大, 其在磁場及電場內所受之偏向甚小, 且其偏向之方向, 適與 β 線反對. 刺德福忒於 1903 年, 發見偏向相反之事實, 因此決定 α 線為帶陽電之粒子. 由其偏向之量, 測知其質量為氫原子質量之四倍, 即為電子質量之 7060 倍, 且其速度約為每秒 20,000 哩. 刺德福忒及波爾特武德 (Boltwood) 集合 α 粒子, 成為相當之分量, 以決定其為帶陽電之氦原子.

由 β 粒子與 α 粒子大小之不同, 可以知 β 粒子之透射力較 α 粒子為大, 及 α 粒子搖落氣體分子中之電子使之成導體之力較 β 粒子為大之理. 厚 .005 吋之鋁箔, 能將 α 線完全隔斷. 而對於 β 及 γ 線之透過, 則毫無障礙.

γ 線之透射力, 較 β 線更大, 且絲毫不受磁場及電場之影響而起偏向, 實為能媒中之一種有規則之波, 如 X 線然, 僅較 X 線略短而已. 此線通常認為 β 線之粒子與周圍物質衝突時發生.

500. 克魯克斯管電花器。

克魯克斯(Crookes)(見第396頁之對面)於1903年製成一器,可以直接觀察由鐳陸續放射而出之粒子之速度甚大,名之曰驗電花器(Spinthariscopes)。器內置微量之鐳 R (圖464)於硫化鋅屏 S 上約一耗,用透鏡自上觀察屏 S ,可以廓大之至10倍乃至20倍,屏上所現微弱之光,若單用目力窺之,祇見一片;如用此透鏡窺之,實為數千條之閃光,其現象恰如屏為彈雨所擊者然,每一衝擊,即現一閃光,恰如以鋼片擊火石 i 生之火花。此實驗,頗為美觀,且足以確證鎊以極大之速度射出粒子,其電花之來源,係 α 粒子與硫化鋅衝突而成,與 β 粒子無關。鎊之化合物與硫化鋅混合,可常發光,塗於飛行艇上機械之盤面,羅盤,時計,砲準,等之上,雖在夜間,亦可得而見之。

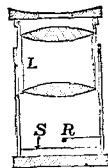


圖 464. 克魯克斯驗電花器

501. 放射性質之蛻變。

放射性質之發射粒子,絡繹不絕,無論其為何種原因,可斷言其決非由於普通之化學反應,蓋當居禮夫人發見鈾之放射性時,曾證明各種放射性質之性之強弱,只與放射性質所存在之量為正比,而與其所由來之化合物之性質無關,且也,放射性與所有之物理的及化學的情形,均無關係,極低之冷,極高之熱,對之皆不生些微效應,故放射性實為放射物質原子之性質,其不能改變,猶如其重量之不能改變,然現已審知放射性質之原子,漸次變成較為簡單之原子,各元素中,以鈾,鈾

子原子爲最重。不知何故，此等物質常變爲不安定之態，而射出其質量之一部分。射出之質量，即爲 α 粒子。爆發後剩餘之原子，成爲新物質，其化學的性質，與原來之原之異。此新原子仍不安定，復爆裂爲他種原子。此種程序，繼續進行，直至原子之狀態安定而後已。於此原子爆裂中，有許多電子，離其質量而去；是成爲 β 線。

由此點觀察之，一般已公認鐳不過爲鈾原子蛻變 (Disintegration) 之一階。鈾之原子量爲 238.2；鐳爲 226；氦爲 4.00。可知鈾若失去三氦原子，即成爲鐳。鐳之蛻變，更進四次，皆已研究得出。預測其第五次，或其末次之蛻變，當成爲鉛。如自 238.2 減去 8×4.00 ，即得 206.2，與鉛之原子量，207.2 相去甚近。用相同之方法，已求得釷原子 (原子量爲 232.4) 之蛻變至第六階。但其終局爲何，尚不可知。

502. 元素之原子內所蓄積之能。

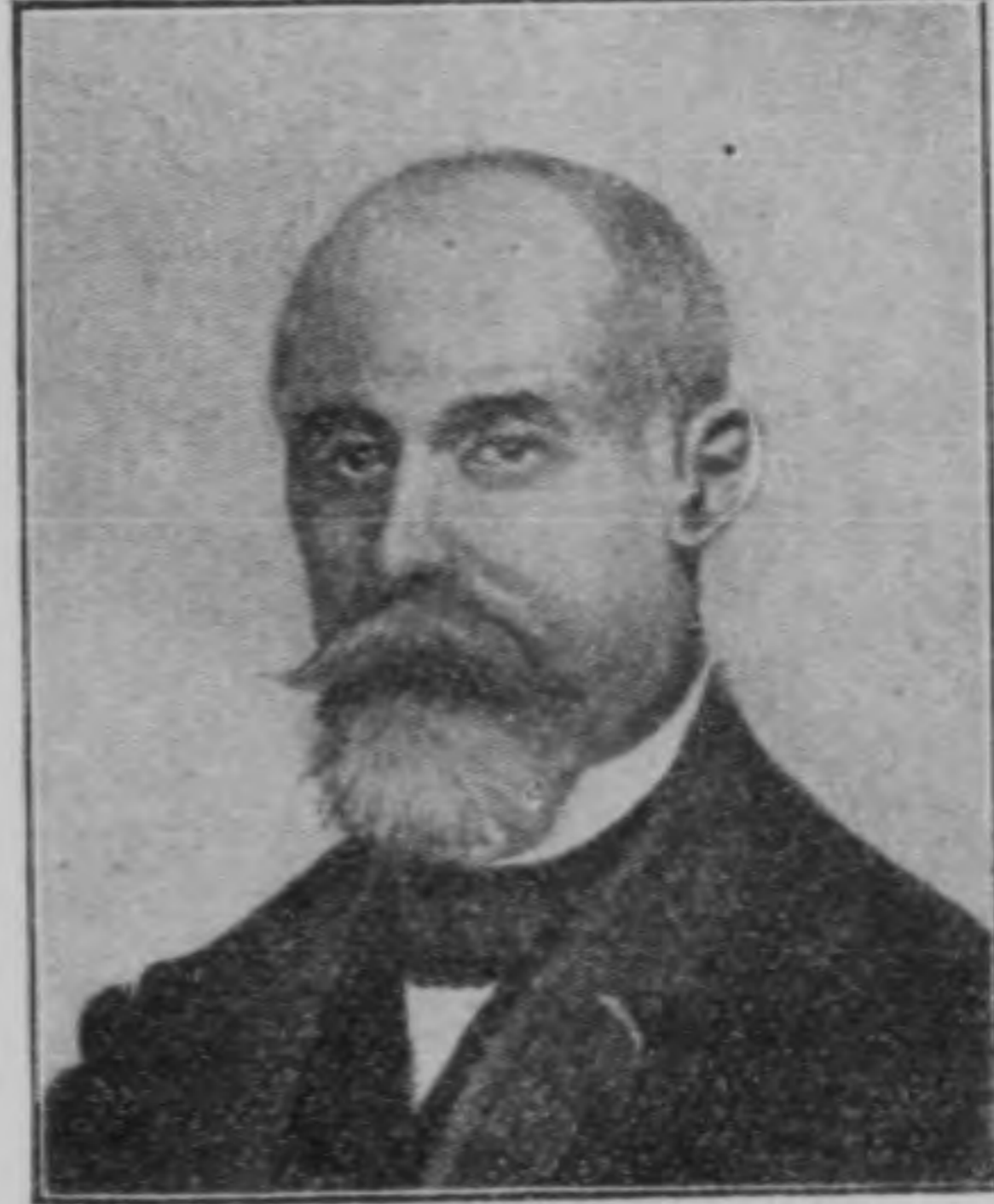
1903 年，法人居禮與拉波德 (Labord) 完成一新紀元之大發見。即每 1 克之鐳，每 1 小時，放出 100 卡之熱。據近世確算，當爲 118 卡。蛻變中之鐳原子，既陸續射出粒子，使其全體之內部不絕爆發，溫度當然上昇。由此事實着想，則上述之結果，當亦在預期中。由此每 1 時間內發熱確數之計算，可以估計 1 克之鐳蛻變時所生之熱能。其



樂琴

(William Conrad Röntgen)

X 線之發見者



柏克勒爾

(Antoine Henri Becquerel)

放射性之發見者



居禮夫人

(Madame Curie)

鐳之發見者

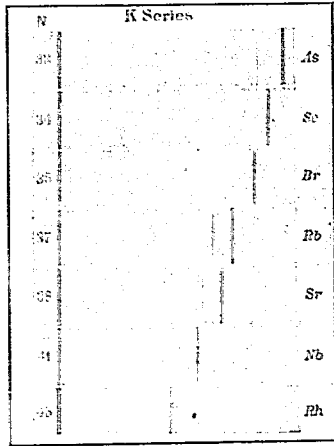


刺德福忒

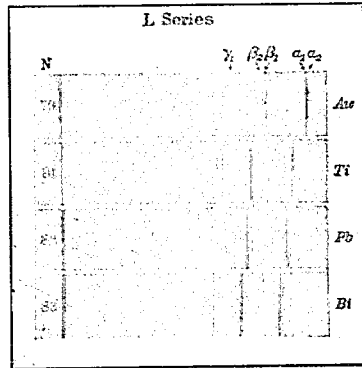
(E. Rutherford)

放射蛻變之發見者

K 列



L 列



X 線景, 網格班照

上圖為 1913 年英人摩塞力 (Moseley) 在刺達福武實驗室 (Rutherford's laboratory) 中之大發現。摩塞力為有智之青年，於二十八歲時死於大戰中；最初研究各種物質所射出之 X 放射之各波長或振數間之關係，因此發見各種物質之 X 線景 (X-ray Spectra) 皆甚相似，但由其至重之元素發出之振數，成為一定之振數如圖中所示，並發見此振數為算術級數，始於最輕之區，經九十二等級而至最重之鉍。由此可以決定自然界中只有九十二種元素，以極簡單之方法互相關聯，各元素或皆由氫以某種方法構造而成，亦未可知。

值約爲二十萬萬卡,約爲燃燒 1 克之炭所放之熱量之三十萬倍,更由此以推知各種元素之原子,未必無如此之大量之能,儲蓄其中,成爲其電子之轉動之能,此後物理界上,最有趣之問題卽,人類能否支配此種亞原子之能 (Subatomic energy),以供應用?自今觀察之,欲達此境,或非所能,但近百年間,由物理學之研究而成之進步,亦同爲前人所未嘗料及,由物理學上既往之成就,及現在之經營,以及將來對於世界所能盡之供獻觀之,孰又能漠然於其價值與其魔力乎?

問 題

1. 檢驗電波必用整流結晶體,或三極球,限結於受話器,其故何在?
2. 將少量之錳持近一驗電器時,器卽放電,試說明之。
3. X 線之最短波長約爲 .00010001 釐。綠色光之波長,較此長若干倍?

附錄

補充問題

第一章

1. 新鉛筆一枝,長 7 吋,長若干磅?
2. 紐約之某建築物,由其基礎至頂,高 278.3 呎,高若干呎?
3. NC-1 號飛機之翼廣 126 呎,廣若干呎?
4. 16 磅之彈,重若干呎?
5. 試述密度甚大之鉛之應用三種,及密度甚小之松木塞之應用二種。
6. 某瓶可盛 2520 克之甘油 (Glycerin), 其容積為若干呎?(參閱第 10 頁之密度表。)

第二章

1. 一直立之管,高 100 呎,滿盛以水,試求其底部每一平方呎之壓力之磅數,及每一平方吋之壓力之磅數。
2. 在海深一哩處捕魚至網中,此處每一平方吋之壓力為若干磅?(海水比重 = 1.026.)
3. 第一層樓自來水龍頭之水壓力為每平方吋 80 磅,第二層樓為 68 磅,此兩龍頭之水面差為若干呎?
4. 某水口之閘門寬 60 呎,水深 20 呎,試求水壓閘之總力,設此水為一大湖而非一小池,則此閘門有更堅固之必要否?
5. 圖 465 之器具名曰水櫃 (Hydrostatic bellows), 設其底 C 為 24 平方吋,管中

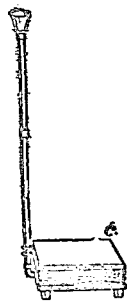


圖 465. 水櫃

之水比C面高5呎,此板能負重若干?

6. 某水壓機之小活塞之直徑為1吋,若施10磅之力於其上,可生10,000磅之力,此機之大活塞之直徑為若干?

7. 圖466為一浮塢(Floating dock),當室c中滿以水時,塢

即下沉至水線A處,船即能駛至塢中,當船安置妥當後,即用唧筒將水吸去,直至水線至B而止,於是工人可以任意工作而無障礙,若各室c均高10呎寬10呎,則須若干長,方能托重50,000噸?

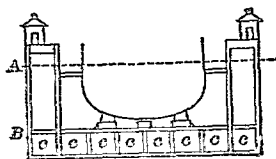


圖 466. 塢浮

8. 設支持浮橋之船

各在水線處長100呎寬75呎,當重100噸之火車行經其上時,此橋下沉若干?

9. 比重6.8之物體,沒其容積之半於某液體中,此液體之比重為若干?

10. 有水一塊,高10吋,沈6吋於水中,求水之比重。

11. 設此水沈7吋於油中,此油之比重為何?

12. 某刻度玻璃筒盛水190立方呎,重40克之卵沈於筒底使水升高至225立方呎,試求卵之密度。

第三章

1. 試說明空氣進入肺中之程序,及檸檬水在草桿內上昇之程序,

2. 於濕皮圓片之中央綴線一條,而緊壓之於平滑石塊上,如圖467。當牽濕皮上之線時,有時將石一重提起,然則石係拉上乎,抑係推上乎?試說明之。

3. 試作一托里拆利氣壓計圖於紙上,並註明其各部之名稱。

4. 平均人體之面積為15平方呎,人體上之大氣的全壓力為若干?何以人



圖 467.

並不覺有此種壓力?

5. 設水銀氣壓計之高顯 2 吋之變更, 葛利克 之水銀壓計中之木偶昇降若干?

6. 試述 波義耳 定律。設有氣壓計於此, 其柱高 760 耗, 以 3 立方呎之空氣吹入之, 其柱下降為 570 耗, 試求空氣所佔之容積。

7. 設有某氣體, 其容積為 1000 立方呎, 其所受之壓力等於 80 吋高之水銀, 若溫度不變, 須用壓力若干, 方能使其容積縮成 600 立方呎?

8. 任何蒸汽鍋或銅質水罐之壓力試驗, 皆用水而不用空氣, 何故?

9. 設潛水鐘在水面時其中之空氣之密度為 .0013, 壓力為 76 耗, 若沈至水下 1033 耗時, 其中之空氣之密度為何? 鐘內氣壓計所示之度數為何?

10. 某浸水者浸至水下 100 呎, 其所受之壓力為何? 其衣內空氣之密度為何? (設在水面時衣內空氣之密度為 .0012, 氣壓為 75 耗, 且假定溫度不變。)

11. 浮沈子之實驗中包含若干液體及氣體之定律?

12. 巴斯加 由實驗證明虹吸之彎曲處若高過水面 34 呎, 水即不能經過於其中; 然若將管傾斜使其彎曲處距水面不及 34 呎水即能經過。試解釋之。

13. 設置吸上唧筒於氣壓計示 71 耗之山旁, 能吸水至若干高?

14. 某氣球之容量為 87,000 立方呎, 其中之氣體之舉高功率為每 1000 立方呎 644 磅, 氣球及其上所載之人及物之總重量為 1300 磅, 試求該氣球之舉高功率。

第四章

1. 一密閉器內之氣體之壓力, 與其容積成反比, 何故?

2. 蔗糖酸銅一塊於水瓶中, 蔗糖酸銅之分子較重於水之分子, 然亦溶化而趨緩上昇, 試說明之。

第五章

1. 某飛機在靜止之空氣中之速度爲每時120哩。設有風以每時60哩之速度吹向東方，試求該飛機之頭向東，向西，向南，向北時之飛行速度及方向。
2. 試繪一圖表示兩力，由同一之點，一以30磅向東南，一以40磅向西南，其合力及其合力之近似方向爲何？
3. 兩共作力，各爲50磅，其作用之角度爲60°。試繪圖以表其合力。
4. 某童子，重100磅，坐於鞦韆上，以40磅之水平力支之，恰成平衡。試求鞦韆兩索中各索之張力。
5. 以支衣柱四條，列作一正方形，以繩用60磅之力繞於柱外，各柱移向此正方形之中央之力爲何？
6. 一人重150磅，立於長100呎之緊繩之繩中央，若此人將繩之中點墮下1呎，該繩之兩部分之張力爲何？
7. 某差役拉重200磅之貨車登山，每行5呎即昇高1呎。若不計其摩擦，此役須用力幾何？
8. 重100磅之桶，靜置於長8呎高3呎之傾斜板上。試由分解及比例之方法求桶壓板之力。
9. 某傾斜面之長10倍於其高，若欲使50磅之球靜止於其上，須用力幾何？
10. 某夫役有力75磅，使載重350磅之貨車至距地面3呎之處，若略去摩擦，則傾斜面須若干長？
11. 若將紙扇繫於汽車上可無風而飛揚乎？試說明之。
12. 立於獨木舟之上，何以不穩？
13. 匠師等之尖端於指上，成爲不穩平衡。若插二刀於其上如圖488，則成爲穩平衡，何故？
14. 上山者俯，何故？
15. 某童子衣褲盪石下水，屢



圖 488.

時 3 秒,石達水面時之速度爲何?橋高出水面若干?

16. 一物體沿某傾斜面滑下,並無摩擦,第一秒內滑行 40 呎,設傾斜面長 500 呎,高 40.8 呎,則 g 之值爲何? (由傾斜面滑下時之加速度乃平行於傾斜面之 g 之分力.)

17. 於池畔拋球直上,歷時 10 秒球擊水面,球昇高若干? 其初速度爲何?

18. 某電車以等加速度及每時 10 哩之速度由靜止而前進,共行 15 秒之久,其加速度爲何,並行若干遠?

19. 某擲炸彈之飛機在靜空氣內之飛行速度爲每時 60 哩,且高出地面 1600 呎,擲炸彈時,須在射的之前若干遠?

20. 某鎗重 5 磅,其彈重 1 呎,以每秒 1000 呎之速度射出之,鎗之倒退速度爲何?

21. 某汽船重 20,000,000 託,以 2,000 託之力曳之,若略去水之摩擦,四分鐘後船之速度爲何? (化質量爲克,化力爲達,並記清 $F = \frac{mv}{t}$.)

22. 有一列車,重 200,000 託,用機關車曳之,5 秒鐘後,其速度爲 2 哩,機關車之引力爲若干託?

第六章

1. 設鋼線之張度(即張力之強度)與橫斷面積 1 吋之鐵線之張度相同,鋼線之橫斷面積爲何?

2. 設一線之張度較其同質之他線之張度大五倍,則其直徑較他線之直徑大若干倍?

3. 設有磅秤於此,當其未載重之前記其指針所指之處,於是加 10 克之重於其上,再記其指針所指之處,若於此兩記號之間均分作十等分,則每一分能代表一克之重乎?何故?

4. 某線較同質之他線粗二倍,則此線較他線能多載重若干倍?

5. 3 磅之力,能將長 1 呎直徑 .1 吋之線伸長 1 託,若將長四呎直徑 .2 吋之線伸長 5 託,須用力若干?

6. 水之類流,不爲連續之線狀,而裂作斷脈,其故安在?

7. 試舉四事以說明微管引力。
8. 加水於花時,只將花盆置諸淺水盆內即可。試說明之。
9. 浸油之新鋼筆頭不易着墨,何故?油紙上不易着墨,何故?
10. 燈心能吸油,水亦能吸水銀乎?
11. 液體中,有能昇入微管者,有反被其壓下者,何故?
12. 在直徑.1耗之管中,水能昇高32釐;在直徑.01耗之管中,水能昇高幾何?
13. 罐中煮水時,有泡自底上昇,此泡係空氣泡乎抑係蒸汽泡乎?何以知之?

第七章

1. 某婦人以真空掃器掃地罷,以平均半磅之力可掃長130呎,其所作之功為若干?
2. 試分標各種功,並考察此定義, $W=Fs$, 是否可以通用,及是否 $F \times s$ 可為各種功之代價。
3. 試解釋天秤中騎碼 (Rider) 之用(參看圖 32)。
4. 二人以長竿抬胡桃,二人以同樣之距離移近桃袋或移遠桃袋,有差異否?
5. 三馬以同樣之力拉車,車缸橫木 (Whippletree) 當製作何式?
6. 何故單力不能與偶力成平衡?
7. 設浮瓣 (Float valve) (圖 469) 之球之直徑為 10 釐,且由球中心至樞軸 S , 較由 S 至針 P 遠 2 倍,當球半沈於水中時,關閉此瓣 R 之力為何?球重可略不計。



圖 469. 自動浮瓣

8. 耶魯鎖 (Yale lock) (圖 470) 中之圓筒 F 在定圓筒 F' 內轉動,由臂 R 而發生作用,正匙推針 a', b', c', d', e' 上昇,使其上

端與 G 之上端恰齊。此種裝置中之機械的原理為何？

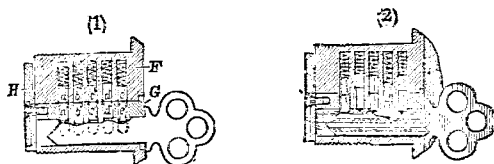


圖 470. 耶魯鎖
(1) 正繪 (2) 誤繪

9. 某橫桿長 3 呎。若置 300 磅之重於一端置 50 磅於他端而使之平衡，須置支點於何處？

10. 力不相等之二馬須繫作一羣。一馬可曳 300 磅，其他可曳 288 磅。車軛橫木上之軸針，當如何裝置，方能使二馬之曳力平均？

11. 差動軸上之繩為以相對方向繞於直徑不同之軸上。軸每作一轉，重量之昇上等於兩軸周綫之差之半。設曲柄之半徑為 2 呎，大軸之直徑為 6 吋，小軸之直徑為 4 吋，試求此裝置之機械利率。(參看第 134 頁之差動滑輪。)

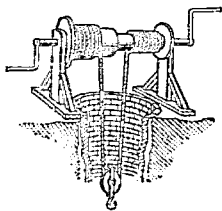


圖 471. 差動軸

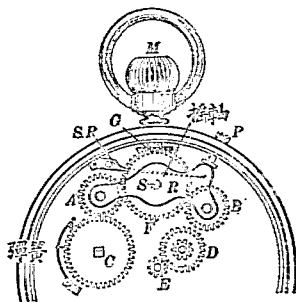


圖 472. 轉柄之機械裝置

12. 由圖 472 試說明鎖之接法及配位法。輪 R 支於 S ; C 連主法條; E 連指針; S, P 為一彈簧，當中立時，使 A 與 C

相接將 P 壓下，則 A 與 C 離而 B 與 D 接。此裝置包含若干力學原理？當 M 倒轉時，有何作用？

13. 重 150 磅之人於 10 秒內登梯 60 呎高，此人之馬力為何？何以計算之？

14. 在平均高度 50 呎處有一桶，可容水一千鎰 (Barrel)。設每鎰重 200 磅，則注水滿桶時，所作之功當為若干？若用 3 馬力之電動機注水至滿，當需若干時間？

15. 某機關由深 150 呎之礦穴中每秒可用唧筒吸水 10,000 呎，其馬力為何？(1 馬力 = 76 呎呎/秒。)

16. 有水動機於此，其貯水器之水面高出其水面 50 呎。此機每分鐘耗水 100 呎，若水之勢能盡變為功，機之馬力為若干？水之勢能等於將水復移回至貯水器之功。

17. 某鎗重 8.5 磅，射出重 0.4 呎之彈之速度為每秒 2600 呎，彈之動能為何？鎗之動能為何？鎗之後退之速度為何？

第八章

1. 室中之空氣，當由 -15°C . 熱至 20°C . 時，其溢出室外者當為其全部之幾分之幾？(-15°C . = 255°A .; 20°C . = 293°A .)

2. 某氣體之容積，當溫度為 20°C .，壓力為 76 釐時，為 500 立方釐，當溫度為 50°C .，壓力為 70 釐時，其容積為若干？

3. 某汽車之膠皮胎中之空氣，在溫度 20°C . 時，每方吋之壓力為 70 磅，在行駛時，胎中空氣之溫度增至 35°C . 胎中所增之壓力為何？

4. 若空氣在 0°C . 時之密度為 .001293，試求其在 1000°C . 之火爐內之密度。

5. 當氣壓計高 76 釐溫度為 0°C . 時，空氣之密度為 .001293，試求氣壓計高 73 釐溫度為 35°C . 時之空氣密度。試求氣壓計高 74 釐溫度為 -40°C . 時之空氣密度。

6. 有一蒸汽鐵管，在 0°C . 時其長為 60 呎，若 100°C . 之蒸汽經過之，其長為若干？

7. 有鐵軌長 30 呎，全年溫度之變更為 50°C . 其兩端之空隙須若干？

8. 抵償擺(圖 151) 中鐵桿 b, d, e, i 之全長爲 2 呎。若擺之周期不因溫度而變更, 則銅桿 c 等之全長須爲若干?
9. 兩金屬棒, 一爲鉛, 一爲銅。在 0°C . 時, 其長均爲 100 呎。在 30°C . 時, 其長相差若干?(參看第 159 頁之表。)

第九章

1. 摩擦有利有害? 試舉其利害各三。
2. 在厄瓦達 (Nevada) 之蘇特耳奧 隧道 (Sutro tunnel) 有一帕爾香 臥輪, 其發動係由於高出其水面 2100 呎之貯水器中之水。噴水口之直徑爲 $\frac{1}{2}$ 吋, 輪之直徑爲 3 呎, 可得 100 匹之馬力。若其效率爲 80%, 每秒耗水若干立方呎?
3. 臥輪每秒耗高 50 呎之水 200 立方呎。其效率爲 80%。其所生之馬力爲若干?
4. 有石一塊重 200 斤, 由高 100 呎處垂直落下。由衝擊所生之熱爲若干卡?
5. 每分鐘有隕石數千以甚大之速度落於太陽之上。由上題之計算試求太陽之一部分之熱。
6. 每時行 20 哩之汽車有動能 37,844 呎磅。車停時, 各圓筒所生之熱有若干英國熱單位?
7. 100°C . 之鉛 400 克置於 20°C . 之水 500 克中。卡計 (Calorimeter) 之水當量爲 40 克。試求結果溫度。(參看第 178 頁之表。)
8. 重 3 斤之銅球熱至溫度 100°C . 置之於 150°C . 之水中, 使水升高至 250°C . 求水爲若干克。
9. 60°C . 之水 100 克與 0°C . 之水銀 500 克混合。此混合物之溫度爲若干?
10. 有一塊重 10 克, 在火爐中燒至極熱時, 立刻置之於 10°C . 之水 10 克內, 水之溫度升高至 24°C . 此火爐之溫度爲何?
11. 設玻璃之比熱爲 $\frac{1}{2}$, 須若干克之冰水注於重 300 克之玻璃洗滌器中, 方能使之由 60°C . 降至 20°C .?
12. 體積溫度 20°C . 重 20 克之銀匙於溫度 70°C . 容積 150 立方呎之茶杯中, 茶之溫度降下若干?

13. 以同一之速度用鉛彈及銅彈打靶子,何者之溫度較高?

14. 設鉛之比熱為 .031, 卡之機械當量為 427 克卡。若重 1000 克之鉛球自高 100 呎處落下,且若由衝擊而生之熱盡為鉛所吸去,此球將升高攝氏若干度?

15. 某車重 60,000 磅,由 2 呎高之坡滾下,至下端即被制動機制止,由摩擦而生之熱有若干卡?

16. 汽車膠皮胎打氣唧筒之圓筒,用之則變熱,試說明其故。空氣當由膠皮胎活瓣噴出時即變涼,何故?

第十章

1. 冰與水混合後,其溫度為何?何以定其為凝結或為熔解?

2. 口含冰淇淋覺較冰水為冷,何故?

3. 設水如金之由凝結而收縮,冬日河海之水當起何種現象?

4. 等重之水與冰混合後,其結果為 0°C . 之水,水之溫度為何?

5. 100 磅 0°C . 之冰與 100 磅 0°C . 之水,以何者作減熱劑為最有效?何故?

6. 以 10 克 0°C . 之冰,與 200 克 25°C . 之水混合,其結果溫度為何?

7. 設 1 克 0°C . 之冰自高落下時,由衝擊而溶化,其高須若干?

8. 取乾燥空氣,以氣壓計 76 吋之壓力密閉於某容器內,取水一杯置入之,若空氣始終為 18°C ., 此密閉容器中之最後之壓力將為何?

9. 設面部有濕氣,在飽和之大氣中用扇扇之,亦覺冷否?

10. 如面上無濕氣,扇能使人覺冷乎?

11. 試說明冬日玻璃窗上之霜之形成。

12. 冬秋之交,晴明之夜間,露點低則有霜;陰雲之夜間

露點高則無霜，露多之時可阻溫度之低降，能說明其理否？

13. 當蒸溜酒精與水之混合物時，所得之結果永不能免酒精與水之混合物，何故？

14. 由 100°C . 之水蒸汽 30 克凝結為同溫度之水，有若干熱放出？

15. 某器中盛 0°C . 之水 300 克及 0°C . 之冰 130 克，若使 25 克之蒸汽凝結於其中，其結果溫度為何？

16. 將 1 克 0°C . 之水變為 100°C . 之蒸汽，需熱 636 卡，若水之沸點為 100°C .，須由此卡數中提用若干方能使此水完全蒸發？在某高原處，水之沸點為 90°C .，須用若干卡以蒸發之？(蒸汽之比熱 = 0.5.)

17. 水愈冷，其分子之運動愈遲，何故吾人可預期水在 90°C . 時所得之結果大於 536 卡？

18. 當火車頭上之蒸汽計示每方吋 250 磅時，蒸汽之溫度為 406°F . 試說明蒸汽如何生此大壓力？

19. 設蒸汽機關之圓筒中之平均壓力為每方吋 10 軛，活塞之面積為 427 平方吋。若活塞推進之長為 50 吋，其所作之功為若干？當此作用時，蒸汽失去若干卡之熱？

20. 某 600 馬力之火車頭之總效率為 6%。每燒最佳之無煙煤 1 克可生 8000 卡之熱，此機關每時耗煤若干軛？(1 馬力 = 746 瓦，1 卡/秒 = 4.2 瓦。)

第十一章

1. 由汽鍋至散熱器之導汽管皆覆以石棉，何故？石棉何故有益？

2. 夏日午後海岸附近常有海風，試說明其原因。

3. 窗中之通風係吹入抑係吸出？試說明之。

4. 何故裝置汽爐常在室中之外牆或窗等之冷部分？

5. 試說明由汽鍋下之火變為熱能以達於裝置汽爐之室中之程序。

第十二章

1. 若將一棒磁石置於軟木塞上而浮於水中，則將轉移而指南乎？何故？
2. 將測伏角用之針，於未磁化之先，置於無銅質之天秤上秤之。於磁化之後再秤之，將加重乎？
3. 執軟鐵近棒磁石之 N 極，則變為暫時磁石，近磁石之端為 N 極抑為 S 極？
4. 等方位線對於緯線與子午線，何者較為一致？
5. 將測伏角之磁針所指之方位相同之點連而為線曰等方位線，通常等方位線之傾向近乎南北，抑近乎東西？
6. 有 N 磁極於此，其極強為 6。距其 5 哩處有一極強為 1 之 S 極，其吸此 S 極之方為何？又有一極強為 9 之 S 極，其吸此 S 極之方為何？

第十三章

1. 由帶電之木髓球試驗某物體是否帶電，何故斥力較強於引力？
2. 使驗電器帶電後，以手近球（切勿觸之），箔即移近。何故？
3. 取小球兩個，使其一帶電 +16 單位，其一帶電 -4 單位，當其相距 4 哩時，其相引之力為何？
4. 設將上題之二球相隔，然後復其原色，其互相作用之力為何？此作用力為引力抑為斥力？
5. 設有某導體於此，當其他導體與之接近且連於地時，此某導體之電容較其孤立時為大，何故？
6. 置來丁瓶於玻璃板上，且投其內層錫箔以 10 單位之電，然後將球接於金箔驗電器，驗電器箔之展開角度，在外層錫箔未連地之前，與既連地之後相較，以孰為大？

第十四章

1. 以裸絲繞於裸鐵心之上以製電磁石絕無價值，何故？

2. 懸一導圈,使其面作東西之方向。通電流於線內,由東經上方而及西。若此圈可自由轉動,將顯何作用?
3. 透強電流於懸圈電流計之內,圈將指何方向?
4. 若地磁之原因由於地表面荷電隨地旋轉而生。就地球現有之磁極觀之,此電荷應為陽抑為陰?(此地磁最近之理論。)
5. 測電壓所用之電流計何以須有高電抗?
6. 何故電瓶之電動力等於當電開放時其兩端之勢差?(就第318節之水比喻以說明之。)
7. 以電抗不同之導線順結於電路之內,介於異線兩端間之勢差與線之電抗成正比。能由歐姆定律以證之否?
8. 第30號之銅線須若干長方與第30號之白銅線一級有同樣之電抗?(參看第290頁之比抗表。)
9. 第20號之線之直徑為.03196吋,第30號者為.010925吋。試比較第20號與第30號白銅線之同長之抵抗。
10. 第30號之銅線須若干長方與長20呎之第20號銅線有同樣之抵抗?
11. 第10號之白銅線須若干長方與長100呎之第30號銅線有同樣之抵抗?
12. 某電流計之抵抗為588歐,若欲電流之 $\frac{1}{50}$ 通過幹路之可動圈,分路之抵抗須若干?
13. 有線十段,每線之抵抗為5歐,平結之如圖278。連 a, b 於丹遜雷電瓶之兩端。設電瓶之電動力為1弗,抵抗為2歐,則通過電路之總電流為何?
14. 設丹遜雷電瓶之內抗為2歐,電動力為.108弗。經過無抵抗之安計之電流為何?經過抵抗2歐之銅線之電流為何?經過抵抗10歐之白銅線之電流為何?
15. 丹遜雷電瓶連於無抵抗之電流計,計上示某定角度。若撤第20號白銅線5呎於電路中,則角度減半。若第20號之白銅線每100呎有抵抗190.2歐,試求電瓶之抵抗之歐數。
16. 某圈,不知其抵抗,與甚長之第30號白銅線順結而連於丹遜雷電瓶。以高抗電流計連於線上相距10呎之二點,

其傾斜度恰與連於該圓之二端時相同，該圓之抵抗為何？(參看第 316 節。)

17. 電路中任何部分所消耗之功率，如何計算之？某磁熱電燈之電壓為 110 弗，電流為 .5 安，所需之馬力為何？

18. 某電銲鐵(Electric soldering iron)，若與 100 弗之電動力相接，則需電流 5 安，設每耗時值洋 12 分，問每日用 6 時共用 5 日值洋若干？

19. 某電動機，當電流為 16.5 安電壓為 110 弗時，有 2 馬力，試求該機之效率。(1 馬力 = 746 瓦)。

第十五章

1. 當電路開時，使甚靈敏之電流計圓往復旋動，則其時間甚長；但若偶一不慎使之通電，則不致往復而停止，其故何在？(此實驗甚易，牢記動圓可生誘導電流，應用楞次定律。)

2. 若楞次定律之反面亦能成立，則電動機既已轉動之後，可以永久使其自己轉動且作功，而成永動機，試證明之。

3. 設有順捲式之發電機以等速運動，若減小其外抗以增其電流，則於其場磁石之強當發生若何之效應？

4. 設有分捲式之發電機以等速運動，若減小其外抗，則於其場磁石之強當發生若何之效應？於電動力有若何之效應？

5. 於某磁熱電燈絲中，各燈皆在總線上平接；每多用一燈當然多減小外抗，試由問題 4 與 3 以說明複捲式發電機之能使總線間之勢差不變之理。

6. 電扇初動時所需之電流較其已以常速轉動時甚大，何故？

7. 設電動機兩端之電壓為 50 弗，又當其以最大速度轉動時其反電壓為 40 弗，若電動子之電耗為 10 歐，其中之電流為何？

8. 多極交流發電機之發電子上之兩隣圓所積成之力總係反向的，如何能使總中之電流同向？(見 319。)

9. 某多極交流發電機共有 20 極，每分鐘內共轉 240 次，

電流在電路中每秒交互若干次?

10. 圖 313, 315 中之電流, 在北極者流向觀者, 在南極者流背觀者, 試由發電機定律說明其故。

第十六章

1. 某鎗放射之彈以每秒 1200 呎之速度前進 6 秒後始聞其擊砲之音, 設空氣之溫度為 20°C , 試求的之距離。(以 $x=$ 的之距離。)

2. 某教堂鳴鐘, 距甲 $\frac{1}{2}$ 哩, 距乙 $\frac{1}{4}$ 哩, 若無音之反射, 則乙所聞之音當較甲所聞者高若干?

3. 以石投入深 200 呎之井中, 設溫度為 2°C , 須經過若干時間方能聞其擊水之聲?

4. 當圓錐入水時, 其音調之降低甚速, 何故?

5. 鐘舌擊鐘每兩秒一次, 此鐘當距吾人若干遠方能恰於鐘鐘時聞鐘聲?

6. 某鋼琴弦每秒振動 300 次, 其音調由門內傳至外門, 設內門之溫度為 20°C , 外門之溫度為 0°C , 此二處之波長相差若干釐?

7. 某甲乘火車每分鐘行一里, 聞其前方有鐘鳴, 設此鐘每秒振動 280 次, 音速為每秒 1120 呎, 則此人之耳鼓每秒內共受衝擊若干次? (耳鼓所受額外衝擊之數等於火車每秒所行距離內之波長數。) 對於音調有何效應? 設此人以此速度背鐘而行, 則其耳鼓每秒內共受衝擊若干次? 對於音調有何效應?

8. 以正音調之歌唱送入空桶口, 則發生高噪音, 試闡明之。

9. 廣大之空室中, 室時有回響, 人語則恒無之, 何故?

第十七章

1. 當音速為每秒 1152 呎時, 中部 C 之波長為何?

2. 當音速為每秒 1152 呎, 波長為 5.4 呎, 其音調為何?

3. 某線當其張力為 4 呎時，發 C 音。若使之發 G 音，其張力為何？
4. 長 50 呎之線每秒振動 400 次。當其長為 10 呎時，每秒振動若干次？若以 *do* 代第一調，當以何字代此調？
5. 兩線各長 6 呎，每秒振動 256 次。設其中之一線加長 1 吋，每秒內當聞若干音節？
6. 某弦，張以 10 磅之力而使之振動，發生 C 音。須以何力張之，則此弦方能發生 (a) E 音？ (b) G 音？
7. 以水注入深瓶，何故當瓶滿時音調升高？
8. 音之波長對於與此音共振之最短閉管與閉管之長之關係為何？試說明之。
9. 發 E 音之閉風琴管須若干長？(設音速為每秒 340 呎。)
10. 閉風琴管 G 之第一倍音為何？
11. 閉風琴管 C 之第一倍音為何？

第十八章

1. 設將圖 382 之器體移近遮壁 *ef*，則半影如何改變？
2. 月之直徑為 2000 哩，日之直徑為 863,000 哩，二者相距 93,000,000 哩之遙，月影之長為何？
3. 設由地心至月心之距離恰等於月影之長。若在地面上以片遮日，於任何時皆使日全蝕，此片須若干大？
4. 由紅玻璃中視電燈絲所反射之影，可見二影，一紅一白，何故？
5. 何謂臨界角？試繪圖以說明之。
6. 日入及日出時，其垂直直徑似較短於水平直徑，乃解大氣中之屈折所致。試說明之？
7. 魚在水中須視何方，方能見夕陽？(參看圖 473。)

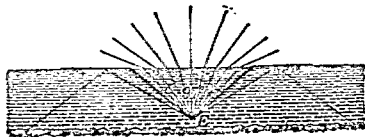


圖 473. 日在水中，外界之物皆現於仰之位置內

8. 圖 474 示稜鏡玻璃之橫斷面，裝置此種玻璃於窗上，則室中較裝置普通之玻璃為亮。試說明之。

9. 水與空氣，何者之中，光行較速？並說明其理。

10. 在水面上以觀水中之魚，所現之距離與實在之距離孰遠孰近？並作一光波圖以表明之。

11. 欲 4 燭光之燈照於遮壁上之亮度與距遮壁 3 呎之 16 燭光之燈所照者相等，其距遮壁須若干遠？

12. 有二平面，一距光 1 呎，一距光 2 呎，二者所受垂直方向之光之量相等，其面積之比為何？並述其所包含之定律。

13. 若需二尺燭之光，則距 32 燭光之燈須若干遠？



圖 474. 稜鏡玻璃

第十九章

1. 有物長 5 呎，距焦點距離 30 呎之凹鏡 50 呎。物像在哪處？其大小為何？

2. 試說明凹透鏡所成之物像？何故像永不能大於物？

3. 物距透鏡 10 呎，像距透鏡 3 呎，透鏡之焦點距離為何？

4. 設圖 3 中之物長 6 呎，像長若干？

5. 設日光由紙片中央之圓孔經過，以落於凸鏡上，如圖 475。試證明，當反射光線之直徑 rg 二倍於孔之直徑 np 時，由鏡至遮壁之距離 mo 等於鏡之焦點距離 of 。

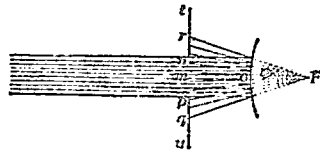


圖 475. 凸鏡焦點距離之測定

6. 若將玫瑰花 R 倒懸於極光明之箱中之板壁上，則由凹鏡 C 可成實像於玻璃杯 W 中如圖 476。目須在何處，方能見像？

7. 圖476之裝置中，玫瑰花距鏡頭若干遠？

8. 於凹鏡之前20吋處置一燭火，其像成於鏡前50吋處，試求鏡之半徑。

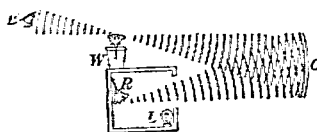


圖 476. 在曲面中心之物像

9. 威爾遜觀象台 (Mount Wilson Observatory) 中有一望遠鏡，以拋物線鏡作物鏡，該拋物線鏡之直徑為100吋，焦點距離為50呎，若用2吋之目鏡，其倍率為何？若用1吋之目鏡，其倍率為何？用多大直徑之鏡有何利益？

10. 某複顯微鏡之筒長8吋，物鏡之焦點距離為 $\frac{1}{2}$ 吋，目鏡之焦點距離為1吋，其倍率為何？

11. 設望遠鏡之物鏡之焦點距離為4吋，目鏡之焦點距離為1吋，此望遠鏡之倍率為何？

12. 以目視望遠鏡中，可見物像，望遠鏡如何成此像？試畫舉所知以對。

13. 某顯微鏡之倍率為100，筒長為8吋，目鏡之焦點距離為 $\frac{1}{2}$ 吋，物鏡之焦點距離為何？

第二十章

1. 設石鹼液膜上所顯之紅、綠、黃等光帶以次排列，介於黃光帶間之距離與介於紅光帶間者比較之如何？與介於綠光帶間者比較之如何？(參看第445頁之表。)

2. 紅色物體在綠色光之室中顯何色？

3. 石鹼液膜上之紅部分比綠部分較薄抑較厚？

4. 人之立於庫柏休易特水銀弧光燈下者，其面現何象，試說明之。

5. 景如何由稜鏡構成？試繪圖以說明之，並指明景中之紅、黃、綠、青之相對的位置。

6. 虹永不現於中午之時，何故？

7. 假爾稜鏡以觀白紙，則一透現紅色，其他透現青色，

而中央現白色，試說明中央何故無色。

8. 由熾熱氣體之分子運動可得微種波長，但由熾熱之固體凡能有之波長均可得之，能說明其理由否？

9. 在第480節之實驗中欲得夫字因和斐綿細隙須狹且隙與逕須在透鏡之共軛焦點，能說明其理由否？

第二十一章

1. 紫外波如何檢出？紅內波用何器具顯示？

2. 試說明太陽如何使地球熱。

3. 何為電共振？如何證明之？

4. 試述X線管之構造，用時其中之作用為何？試舉所知以對。

索引

(排列依畫數次序, 數字表頁數)

一畫
 一次虹, 455
 一次圓, 338
 一次電池, 300, 312
 一組砝碼, 7
 一種形狀之波動, 402
 α 線, 478
 β 線, 478
 γ 線, 478

二畫
 二次虹, 455
 二次圓, 339
 二次電池, 311
 二次焦點, 419
 二氧化錳, 311
 二氧化碳, 55, 223, 416, 461
 十進制, 3
 十進制, 11
 力, 63; 透射力, 478; 偶力, 126; 浮力, 24, 48; 真空之力, 31; 馬力, 137; 附着力, 103; 平衡力, 63; 合力, 65; 共作力, 66; 發光力, 414; 透心力, 92; 凝聚力, 61, 103; 克之力, 63
 力矩, 124
 力俘, 124
 力點, 243
 力線, 242

力之大小, 65
 力之方向, 65
 力之成分, 65
 力之分解, 65
 力之計量, 63
 力之強度, 15
 力之重力計量, 13
 力之絕對單位, 95
 力矩方程式, 126
 人造磁石, 237
 入射角, 396
 入射光線, 396
 X 線, 473
 X 線相片, 476

三畫
 三極球, 34, 469
 三極球檢波器, 469
 三原色, 450
 三色印刷, 450
 三調和電路, 470
 三次方顯微鏡, 214
 大臂管, 76
 大氣之溫度, 195
 小箭, 389
 上單水車, 107
 下單水車, 108
 下單和音, 373
 叉臂, 356
 干涉, 392
 干涉反射, 475
 土倫德, 41
 土倫德博士, 35

11 風琴, 390
 子午線, 3; 磁子午線, 238

四畫
 不調和, 384
 不良導體, 225
 不真顯射性, 463
 不閃透鏡, 400
 不穩平衡, 78
 不平調停之音階, 374
 孔雀青, 450
 天平, 7
 天線, 468
 天狼星, 490
 天文望遠鏡, 401, 437
 方軌, 218
 方位角, 248
 方錳礦, 469
 中立, 218
 中軸, 220
 中部 C, 373
 中樑器, 289
 中立平衡, 77
 內抗, 296
 內磁鐵圈, 223
 厄, 118
 厄瓜多爾, 294
 厄斯特德, 272
 夫寧四磁鐵, 457
 夫寧四磁鐵, 457
 分力, 68
 分子, 55
 分子力, 160

分布, 259
 分音: 第二分音, 377; 第三分音, 377
 分路, 299
 分路圈, 333
 分散, 452
 分溜, 206
 反射, 263, 362; 亂反射, 346; 全反射, 400; 干涉反射, 475; 擴散的反射, 346
 反射角, 366
 反射器, 401
 反射光線, 396
 反作用, 95
 反電動力, 335
 支點, 123
 比抗, 250
 比熱, 177
 比重, 10; 液體比重, 26; 固體比重, 25
 化學能, 312
 化學線, 462
 木星, 301
 木質球, 250
 油漆, 251
 火箱, 234
 火爐, 233
 火花積桿, 220
 水波, 350
 水波比喻, 359
 水車: 上層水車, 167; 下層水車, 168; 拍雷吞水車, 168
 水波, 433
 水頭, 295
 水缸, 482
 水平面, 16
 水牛皮, 23, 43

水臥輪, 168
 水壓機, 19
 水壓升降機, 20
 水銀溫度計, 145
 公丈, 5
 公分, 5
 公升, 4
 公引, 5
 公里, 5
 公釐, 5
 巴斯加, 18, 33
 巴斯加之定律, 17
 巴斯加之實驗, 33
 巴設亞, 42
 巴克累, 35
 牛頓, 92
 牛頓之色板, 445
 牛頓之運動定律, 91
 丹佛, 207
 丹聶爾電池, 304
 心棒, 317
 手風琴, 390
 日景, 457
 五世
 主軸, 417
 主和音, 373
 主斜輪, 219
 主焦點, 418; 透鏡之主焦點, 422
 卡, 171
 去磁, 339
 代價通銀, 96
 半影, 401
 半透明, 431
 半衰期, 212, 471
 半人馬之 α 星, 395
 功, 117; 消耗之功, 163; 有用之功, 166

功率, 137
 功之原理, 130
 功之單位, 118
 功之絕對單位, 118
 加侖, 2
 加強, 363
 加速度, 83; 等加速度 82; 動之加速度, 85
 凸鏡, 425
 凸透鏡, 417
 凹鏡, 363, 427
 凹透鏡, 422
 凹面波, 417
 外抗, 296
 外路, 301, 328
 四輪式, 223
 四次影像機關, 214
 平結, 298, 308
 平衡: 穩平衡, 76; 不穩平衡, 78
 平面波, 417
 平面鏡, 423
 平衡力, 60
 平均表面燭光, 317
 平行四邊形定律, 67, 69
 尼古爾斯, 460
 弗, 265
 弗打, 266, 271
 弗打電池, 271
 可見線, 461
 可動性, 264
 可動圈, 293
 布法器, 348
 永久運動, 175
 永久磁石, 210
 水晶, 215
 本生光度計, 415
 未曾變化, 241
 未上輪之生磁器, 197

正則之眼, 433
 正則狀況, 254
 北極, 238; 地理的北極
 247
 北極星, 395
 立特, 4
 立方體, 5
 白熱, 462
 白星航線, 165
 瓦, 138
 瓦特, 137, 138, 211
 目鏡, 438; 斜目鏡, 401,
 石墨, 276
 石棉, 114
 石油脂, 233
 石鹼液膜, 444
 甘油, 482
 六畫
 亥厄洛, 23
 交流機, 329
 交叉稜鏡, 214
 伏角, 248
 灰青色, 448
 冰河, 186
 冰點, 146
 冰箱, 182
 冰淇淋, 210, 225
 充電, 250
 光, 394; 紅紫光, 471; 因
 光, 465; 燭光, 316, 414
 光心, 417
 光線, 462; 極化光線, 412
 光點, 418
 光臨, 397; 非光臨, 397
 光波, 404
 光度計: 本生光度計, 415;
 雷德德光度計, 414
 光之速度, 394

光之極化, 412
 光之電磁說, 470
 光學性質, 427
 全蝕, 400
 全影, 400
 全反射, 400
 全輻射, 462
 共振, 363; 自然共振, 388
 共振器, 366
 共作力, 66
 共軸圓筒, 351
 共軛焦點, 419
 印刷色油, 451
 同性, 392
 同音, 375
 合力, 66
 合成磁場, 324
 吋, 2
 叫子, 389
 回音, 362
 地上望遠鏡, 439
 地理的北極, 247
 地理的南極, 247
 多孔杯, 305
 多普勒效應, 361
 多斯加納公爵, 31
 夸, 2
 安, 277
 安計, 284; 數桌上安計
 289
 安穩, 282
 安全燈, 228
 安全活瓣, 245
 安培定則, 278
 尖形筆, 353
 柴, 118
 柴爾, 118, 136
 收縮, 106; 液膜收縮, 106
 收信局, 469

收斂線, 427
 收聲機, 391
 托里斯利, 31
 托里斯利器械, 33
 托里斯利之實驗, 31
 曲線: 閉曲線, 243; 閉合
 之環狀曲線, 339
 曲度中心, 407
 有用之功, 166
 米突, 3
 百度溫度計, 147
 耳筒, 362
 耳語室, 363
 自語, 341
 自來水, 21
 自然共振, 388
 自然現象, 1
 自然磁石, 237
 自由落體, 84
 自由軸之齒輪, 164
 自動汲水機, 98
 自動送電法, 317
 自計溫度計, 42
 自錄式時計, 315, 336
 自動發電機, 333
 自記無液紅壓計, 36
 色: 音色, 378; 純色, 448
 色帶, 444
 色行差, 472
 色佛爾, 3
 七畫
 串形複合稜鏡, 330
 亨利第一, 2
 亨利定率, 115
 低抗, 289
 低直筒, 389
 低溫度, 151
 俯斜, 395

佛科電流, 343
 佛蘭克林, 262, 256
 佛羅稜壽, 31
 作用: 局部作用, 302
 作用點, 65
 作用物質, 312
 伽利略, 39, 80
 伽利略之試驗, 79
 延性, 103; 相對延性, 103
 克, 4, 63
 克軟, 118
 克輻, 117
 克之力, 63
 克崗姆, 4
 克力雷, 51
 克立方種, 9
 克希荷夫, 457
 克魯克斯, 479
 冷氣門, 234
 往復機關, 221
 希耳因, 173
 呎, 2
 呎磅, 118
 呎燭, 414
 吹口, 213
 吹管, 29
 吹樂, 385
 吸收, 112
 吸氣器, 290
 吸上唧筒, 46
 谷, 359
 局部作用, 302
 局部電流, 301
 局部電路, 288
 局部電池式, 349
 坑, 316
 完全彈性, 102
 形導, 299
 通視眼, 434

沈積, 276
 沈澱, 50
 汾圖利, 219
 汽車, 217
 汽車用頭燈, 442
 汽油, 207, 215
 汽油機關, 217
 汽室, 211
 汽罐, 211; 管式汽罐, 213;
 密閉汽罐, 205
 投射粒子說, 473
 拋物面鏡, 442
 杆, 2
 氖, 136
 初充, 47
 真導盤, 225
 真輻射盤, 463
 貝稜加里亞, 221
 赤道: 磁赤道, 248

八畫

亞沙德森, 247
 亞理斯多德, 46
 亞原子之能, 481
 供給管, 219
 依利薩伯女王, 250
 刷毛, 328
 空氣: 液化空氣, 332; 壓
 榨空氣, 23
 空氣柱, 364
 空氣室, 47, 366
 空氣道, 328
 空氣鏡, 46
 空氣之重, 29
 空氣之稠延, 40
 空氣之壓縮性, 38
 空氣唧筒: 連續散空氣唧
 筒, 35
 空氣制動機, 46

空氣發動機, 46
 空氣輸送管, 53
 定則: 電動機之定則, 325;
 發電機之定則, 325; 安
 培定則, 278
 定律: 歐姆定律, 295; 槓
 桿定律, 124; 落下定
 律, 83; 萬有引力定律
 73; 楞次定律, 322; 運
 動第一定律, 91; 運動
 第二定律, 93; 運動第
 三定律, 94; 平行四邊
 形定律, 67, 69; 巴斯
 加定律, 18; 虎克定律
 102; 波義耳定律, 39;
 亨利定律, 115; 攝之
 定律, 88
 定活塞, 318
 閃燈之總照度係數, 158
 屈折, 398
 屈折率, 409
 居禮夫人, 476
 明帶, 404
 明視距離, 436
 明亮之強度, 413
 昇華, 188
 昇壓器, 345
 法線, 396
 法蘭對, 276, 322
 法國學士院委員會, 4
 波: 橫波, 359; 縱波, 359;
 赫支波, 466; 電磁波,
 467; 電波, 466; 發散
 波, 422; 音波, 358; 光
 波, 404; 平面波, 417;
 水波, 359
 波長, 357
 波阻, 369, 436
 波節, 404

波列, 357, 469
 波列之羣, 469
 波倫亞, 271
 波義耳, 39
 波義耳定律, 39
 波義耳實驗, 40
 波爾特武德, 478
 沸點, 146, 149, 204
 沸度, 204
 抵抗, 289; 起動抵抗, 336;
 比抗, 290; 外抗, 296;
 內抗, 296; 低抗, 289;
 高抗, 298; 線抗, 347
 抵抗圈, 317
 抵抗擺, 159
 抵價擺輪, 160
 拍克, 11
 拍顯, 473
 拍里耳, 33
 拍爾香水車, 168
 揚臂油, 218
 拉波德, 480
 抽氣唧筒, 45
 拋射壺, 85
 拔測機, 131
 物質, 55, 61; 彈性物質,
 239; 無定形物質, 184;
 放射性物質, 477; 作用
 物質, 312
 物質三態, 61
 物鏡, 437
 物理學上之音階, 374
 房, 212
 絮狀物, 46
 析乳器, 96
 松節油, 253
 來丁, 267
 來丁瓶, 267
 狀態變化, 181

放散率, 463
 放電叉, 268
 放聲機, 391
 放射性, 476
 放射性物質, 477
 武拉斯吞, 457
 直笛, 380
 直流發電機, 331
 直流源捲發電機, 334
 虎克, 102
 虎克定律, 102
 附着力, 103
 阿基米得, 22, 23
 阿基米得原理, 23
 爾, 195
 非光體, 397
 非導體, 227, 253
 金屬片, 220
 金屬的接觸, 266
 金屬之不等膨脹, 160
 長, 2; 電花長, 265
 長三和音, 373
 長全音階, 373
 長距離之送電, 347
 青, 445
 耶耶德抗線, 165

 九虛
 亮度, 393
 亮黃, 450
 亮青色, 448
 亮紫紅色, 449
 俄克拉何馬, 49
 銀拉吉, 23
 保潔性, 241
 保溫瓶, 292
 係數: 膨脹係數, 153; 膨
 脹之壓力係數, 153; 膨
 脹之容積係數, 153; 摩

擦係數, 164
 臥輪: 蒸汽臥輪, 220; 水
 臥輪, 168
 氙, 6
 南極, 238; 地理的南極,
 247
 制動壺, 318
 劍德磁式, 477
 前鏡, 437
 弧: 電弧, 316; 閉弧, 317;
 閉弧, 317; 餘弧, 317
 度, 146
 後軸, 217
 哈特爾光版, 398
 耐亞夏拉, 168
 透鏡器, 349
 價動機, 175
 活塞, 45, 211
 活瓣, 41
 活字金屬, 276
 活動喇叭, 391
 洋紅, 229
 洋魚, 389
 洋檸檬球, 192
 派, 197
 派克高翠, 205
 漆質, 247
 柏孫, 41
 柏爾, 349, 350
 柏藍, 58
 柏藍運動, 58
 柏克勒爾, 476, 480
 柏克勒爾線, 477
 相, 359
 相對溫度, 195
 相對延遲, 193
 相對濕性, 194
 相對電性, 193
 相對彈性, 193

指北極, 238
指南極, 237
查理, 153
氯化鈣, 317
映畫器, 431
玻璃板稜鏡, 455
秒, 6
秒積, 87
科克斯衛爾, 41
威斯吞橋法, 298
胡弓, 376
虹, 453; 一次虹, 455; 二次虹, 455
虹吸, 44; 斷續虹吸, 44
虹彩, 433
扇, 4
紅, 445
紅熱, 316, 461
紅紫, 448
紅紫光, 471
紅外線, 460
軒, 5
英國騎單位, 171
英國儲備局, 222
飛輪, 92, 212
飛機, 86
飛行船: 英國飛行船R-34, 49
計量, 1
音, 359; 噪音, 369; 樂音, 369; 管之原音, 366; 同音, 375; 主和音, 373; 屬和音, 373; 下屬和音, 373; 回音, 362; 長三和音, 373; 倍音, 377; 原音, 377; 第一倍音, 377; 第二分音, 377; 第二倍音, 377; 第三分音, 377; 第三倍音, 377

音叉, 353
音波, 358
音色, 378
音板, 367
音程, 372
音計, 375
音強, 331
音階: 不平調和之音階, 374; 長全音階, 373; 物理學上之音階, 374
音線, 363
音調, 367
音響器, 288
音之速度, 354
音之焦點, 363
音之傳播, 354
重心, 74
重量, 63
重力電瓶, 305
降壓器, 345
風: 電風, 232
風琴: 管風琴, 389; 手風琴, 391; 口風琴, 390
風琴管: 閉風琴管, 379

十畫

倍音, 377; 第一倍音, 377; 第二倍音, 377; 第三倍音, 377
倍率, 436
佩方, 126
波爾發動力公司, 169
那羅耳, 35
廷, 5; 橡樹廷, 4
范根, 118
原音, 377; 管之原音, 366
原理: 功之原理, 130; 阿基米德原理, 23; 能流律原理, 175

原顏料, 450
原, 277
庫柏休易特錄燈, 318
差動齒輪, 219
差動齒輪, 217
哩, 2
唧筒: 錶筒散空氣唧筒, 34; 抽氣唧筒, 45; 吸上唧筒, 46; 壓上唧筒, 47; 壓氣唧筒, 45
展性, 103; 相對展性, 104
射角, 87
射熱器, 235
連桿, 211
連續景, 455
連動齒輪, 133
通風, 232
通氣坑, 386
速度: 落體之速度, 82; 音之速度, 354; 光之速度, 394; 加速度, 83
浮力, 24, 48
浮子, 219
浮室, 219
浮沈子, 47
海頁皮, 492
海底電纜, 288
海綿狀鉛, 113
酒精溫度計, 149
泰利斯, 259
格令, 5, 414
格雷, 349
格魯瑟, 41
柴斯德眼鏡, 441
振動, 356; 橫振動, 411; 縱振動, 382; 強制振動, 397; 緩振動, 369, 411
振率, 369

振幅, 89, 361
 振盪, 360
 振數比, 377
 振盪樂器, 390
 振盪樂器, 389
 振盪氣流樂器, 389
 特洛布立治, 461
 時間, 1
 時計裝置, 287
 效率, 166
 氣球, 48; 氫氣球, 49; 美
 國陸軍標準氣球, 48;
 風箏氣球, 48
 氣道, 234
 氣湖, 35
 氣壓: 標準氣壓, 29
 氣壓計, 34; 無液氣壓計,
 34; 傅丁氣壓計, 34
 氣壓現象, 29
 氣壓計, 51
 氣體機筒, 215
 氣體面罩, 113
 氣體溫度計, 149
 氣阻之無限膨脹性, 56
 氣, 274
 氧化物層, 343
 氣, 49
 氫氣球, 49
 砲擊, 81
 留聲機, 391
 留聲唱片, 392
 秤, 128
 秤, 5
 秤, 5
 射表檢波器, 467
 耗, 5
 積, 3; 標準積, 3; 秒積, 87;
 磁積, 118; 克積, 118
 純色, 448

純景, 457
 脆性, 103; 相對脆性, 193
 能, 138; 輻射能, 462; 勢
 能, 139; 動動, 139; 化
 學能, 312; 亞原子之能,
 481
 能率, 361
 能線, 493, 495
 能當住原理, 75
 脈動, 356
 脈動的, 331
 起重機, 136
 起電盤, 268
 起動抵抗, 366
 針, 391; 鑽石針, 392; 羅
 盤針, 240; 羅盤指針
 238
 針孔照相機, 430
 閃光, 465
 馬力, 137
 馬可尼, 350, 468
 馬德堡, 35
 馬德堡半球, 37
 骨髓, 451
 真空: 半真空, 212, 471
 真空管, 30
 真空之力, 31
 高抗, 263
 高低盤, 392
 高直笛, 389
 高音笛, 389
 高音鋼板, 381
 高壓線塔, 267
 十一畫
 副的, 218
 偏向性, 473
 偏心率, 211
 偏心的, 212

勒麥耳, 394
 勒克崗社電瓶, 306
 動能, 139
 動量, 93
 動力廠, 176
 動之加速度, 85
 率: 振率, 380; 熱傳導率,
 225; 功率, 137; 風折率,
 409; 放散率, 403; 能率,
 361; 效率, 166; 機械利
 率, 122
 魁, 6
 魁, 5
 得撒斯, 49
 唸, 367
 圓, 270; 一次圓, 338; 二
 次圓, 339; 分路圓, 333;
 可動圓, 293; 抵抗圓,
 317; 誘導圓, 341
 國際調, 374
 帶, 444; 暗帶, 404; 明帶,
 404; 色帶, 444
 帶電, 250
 帶電之密度, 240
 麥克斯威爾, 112
 密度, 9; 電密度, 260; 帶
 電之密度, 260
 密部, 358
 密勒, 381
 密耳器, 295
 密閉汽缸, 205
 基多, 265
 基底, 77
 透明, 415
 透鏡, 417; 不因透鏡, 40;
 凸透鏡, 417; 凹透鏡,
 422; 無色差透鏡, 433;
 凸面透鏡, 433; 凹透鏡,
 432

透射力, 478
 透磁性, 242
 連通器, 15
 深紅, 449
 混合法, 178
 混合室, 219
 淡青, 445
 淡黃, 449
 淡紅, 445
 淡紫色, 448
 液化空氣, 232
 液體酒精, 222
 液膜收縮, 106
 液體之不可壓縮性, 37
 望遠鏡: 地上望遠鏡, 439;
 天文望遠鏡, 437
 探海燈, 442
 排氣管, 211
 接合, 359
 接合子, 217; 摩擦接合子,
 217, 317
 接合板, 217
 接受器, 45
 接調器: 滾動接調器, 220
 捲上機, 135
 推進器, 48
 推進輪, 223
 教桌上安計, 289
 包, 48
 包氧化銅, 208
 旋阻, 132
 旋轉扇, 217
 殺菌, 318
 玻璃承, 164
 移液管, 165
 秒鐘槓桿, 218
 砂砂, 147
 石磨, 55
 眼, 432; 透視眼, 434; 近

視眼, 434; 正則之眼,
 433
 粒子說: 投射粒子說, 473
 粗油, 207
 粘度, 184
 第一定律, 91
 第一倍音, 377
 第一種槓桿, 127
 第二分音, 377
 第二定律, 93
 第二倍音, 377
 第二種槓桿, 127
 第三軌, 334
 第三分音, 377
 第三定律, 94
 第三倍音, 377
 第三種槓桿, 128
 第八音, 372
 笛: 高直笛, 389; 高音笛,
 389
 笛卡兒, 47
 紙片, 410
 斜面, 69; 131
 斜目鏡, 401
 軟木槌, 376
 閉合, 286
 閉合之環狀曲線, 339
 閉缸, 317
 閉曲線, 243
 閉風琴管, 379
 閉路電機, 305
 雪花, 195
 陸, 359
 陰極, 274
 陰極線, 471
 陰影, 394
 陰電, 251
 鉅, 286
 鉗, 476

黃, 445

十二畫

乾片, 430
 乾電瓶, 307
 乾草秤, 135
 乾濕球溫度計, 199
 傅丁氣壓計, 34
 喇叭, 379, 390; 活動喇叭,
 391
 單位, 1
 單位磁極, 239
 單缸之機關, 229
 後冰, 186
 街市電車, 334
 強度, 413; 力之強度, 15;
 明亮之強度, 413
 強制振動, 367
 強烈之爆發劑, 219
 寒向, 239
 寒, 2
 威質, 353
 運動: 柏靈運動, 58; 永久
 運動, 175; 等加速運動,
 82
 週期, 88
 達程, 118
 達特馬司, 460
 達孫發彈式, 285
 散熱程序, 182
 愛迪生第三, 37
 乳音器, 372
 湯姆孫, 473, 474
 湯卜遜, 170
 湯流, 172, 343
 溫司, 5
 溫室, 464
 溫度, 144; 絕對溫度, 151;
 低溫度, 151

- 溫度計, 144; 百度溫度計, 147; 乾濕球溫度計, 199; 標準氣溫度計, 149; 酒精溫度計, 149; 氣體溫度計, 149; 攝氏溫度計, 147; 自記溫度計, 42; 華氏溫度計, 147
 斯拍立, 442
 景, 445, 453; 線景, 455; 日景, 457; 純景, 457; 連續景, 455; 腳線景, 456
 景線, 456
 景析術, 456
 晶體透鏡, 433
 冕玻璃, 399, 452
 晴雨表, 34
 替代法, 7
 提琴, 379
 揮發, 208
 揮發器, 219
 焦炭, 307
 焦點, 363, 417; 音之焦點, 363; 共軛焦點, 419; 主焦點, 418; 二次焦點, 419
 焦點距離, 418
 焦平面, 418
 焦油圓球, 192
 無火電, 228
 無線電報, 468
 無定形物質, 184
 無定氣壓計, 35
 無選擇受信, 470
 無色玻璃鏡, 453
 氫, 348
 青金石, 298
 極: 南極, 238; 北極, 238; 地理的南極, 247; 地理的北極, 247; 指南極, 238; 指北極, 238; 磁石之極, 238; 陰極, 274; 陽極, 274
 極化, 308; 光之極化, 412; 電瓶之極化, 303
 極化光線, 412
 極強, 239
 棕色, 448
 嘉斯勒齊, 239
 惰性, 91
 運動, 91; 等加速運動, 82
 i 動第一定律, 91
 運動第二定律, 63
 運動第三定律, 94
 琴: 鋼琴, 375; 提琴, 379; 簧琴, 390
 琥珀, 250
 硫化錳, 306
 硫酸亞錳, 305
 磁性, 103; 相對磁性, 103
 頑橡皮, 250
 磷酸, 69
 磷酸鹽, 278
 短套, 278
 視角, 435
 視界, 441
 視神經, 433
 發光力, 414
 發散波, 422
 發信器, 468
 發電子, 328
 發電機: 磁石發電機, 328; 磁石發電機, 220; 鼓形發電子二極直流發電機, 331; 順捲發電機, 333; 自原發電機, 323; 直流發電機, 331; 交流發電機, 328
 發電機之定則, 325
 發動機: 空氣發動機, 46
 疏部, 358
 紫, 445
 紫紅, 448
 紫線, 460
 紫外線, 318, 460
 絕緣體, 253
 絕對溫度, 151
 絕對零度, 151
 給德, 35
 給呂薩克, 154
 給呂薩克定律, 154
 等方位角, 248
 等加速度, 82
 等加速運動, 82
 稻, 5
 華舍海, 148
 華氏溫度計, 147
 虛像, 422
 虛耗之功, 163
 距離, 81; 焦點距離, 418; 明視距離, 436
 蝸蝸, 164
 靈, 104
 開弧, 317
 開路, 269, 302
 開關, 288
 開路, 356
 陽板, 413
 陽電, 251
 陽極, 274
 陽板板, 276
 順結, 293, 298
 順捲發電機, 333
 磁性, 100; 相對磁性, 103
 氣瓶, 367

十三畫

亂反射, 396
 庭, 6
 像, 420; 凸透鏡中之像, 417; 凸鏡中之像, 423; 凹透鏡中之像, 422; 凹鏡中之像, 427; 實像 421; 虛像, 422
 傳導, 225
 傳播, 354; 音之傳播, 354
 傳動機, 217
 傳話筒, 361
 傳轉軸, 220
 傳聲筒, 380
 勢, 263
 勢差, 264
 勢能, 139
 微塵, 402
 微塵說, 402
 微管現象, 104
 奧涅斯, 198
 塞德立克, 105
 聲線, 288
 圓筒, 211
 圓頂山, 33
 達, 95
 遠視眼, 494
 滑走, 87
 滑走阻, 85
 滑輪, 211
 滑輪, 119, 212; 單動滑輪, 120; 單定滑輪, 119; 複滑輪, 121
 滑冰履, 223
 瀝, 353
 瀝脫, 343
 紫氣, 48
 環接, 104

環接現象, 104
 煙筒, 213
 照相器, 430; 針孔照相器, 430
 照相術: 瞬時電火照相術, 466
 感度, 36
 感光片, 431
 感應振動, 382
 愛迪生, 313, 350
 愛斐爾塔, 21
 楞次定律, 322
 暗帶, 494
 暗線, 457
 普魯斯吞, 461
 度, 369
 氯化鈣, 456
 氯化鎂, 456
 氯化鋁, 456
 氯化碲, 306
 波形發電子二極直流發電機, 331
 結化銅, 276
 綠變, 489
 稜鏡: 玻璃板稜鏡, 455
 落體, 79; 自由落體, 84
 落體之速度, 82
 落下傘, 49
 落下定律, 83
 節, 369; 對節, 369; 調節, 431
 節汽器, 214
 節制器, 222
 節氣線, 219
 葛利克, 34
 葛的所望, 395
 萬有引力定律, 73
 靜電器, 361
 歐姆定律, 471

隙, 445
 隕石, 177
 賈法尼, 271
 賈法尼電瓶, 271
 號角, 391
 號筒, 390
 鉅鐵棒, 3
 鉅醇點火器, 114
 鉅, 476
 鉅線, 476
 鉅玻璃, 452
 剛門, 234
 雷, 263
 雹, 195
 電, 250; 充電, 250; 帶電, 250; 陰電, 251; 陽電, 251; 長距離之送電, 247
 電子, 254
 電子說, 254
 電元, 255
 電池, 272, 274; 蓄電池, 312
 電波, 466
 電花, 223, 262
 電花長, 266
 電花栓, 220
 電花間隙, 467
 電車: 街市電車, 334
 電車線, 334
 電氣石, 412
 電密度, 264
 電動力, 294; 誘導電動力, 325
 電動子, 333
 電動機, 333; 街市電車之電動機, 334; 直流順給電動機, 334; 誘導電動機, 334
 電動機之定則, 325

電熱爐, 36
 電解質, 277
 電滲壁, 270
 電磁波, 467
 電熨斗, 247
 電弧, 316
 電流, 271; 佛克電流, 343;
 局部電流, 341; 斷續電
 流, 469; 暫時電流, 321;
 渦流, 172; 誘導電流,
 321
 電流計, 284
 電容, 267
 電瓶: 一次電瓶, 300; 二
 次電瓶, 311; 丹遜爾電
 瓶, 304; 乾電瓶, 307;
 勒克蘭社電瓶, 306; 衛
 斯奇標電瓶, 305; 弗
 打電瓶, 271; 賈法尼電
 瓶, 271; 蓄電瓶, 311;
 重力電瓶, 305
 電瓶之極化, 303
 電荷, 255
 電量, 252
 電話, 349
 電膠, 274
 電勢, 264
 電勢差, 264
 電路, 280; 外路, 301; 三
 調和電路, 470; 局部電
 路, 268; 調和電路, 470;
 閉路, 260
 電綫: 海底電綫, 288
 電報, 287; 無線電報, 468
 電位, 261
 電阻, 264
 電阻計: 靜電電阻計, 265
 電阻, 275
 電鍍, 275

電風, 262
 電錫, 276
 飽和, 246
 飽和度, 195
 飽和溶液, 209
 飽和蒸氣, 189

十四畫

齊, 185
 銜鐵, 282
 膠大鏡, 436
 質像, 421
 質體積, 440
 質效面積, 303
 對流, 239
 遠心力, 92
 槓桿, 123; 火花槓桿, 220;
 移動槓桿, 218; 複槓桿,
 135; 第一種槓桿, 127;
 第二種槓桿, 127; 第三
 種槓桿, 128
 槓桿之臂, 124
 槓桿定律, 124
 滾動, 164
 滾動接觸器, 220
 滾子軸承, 164
 溶化, 184
 溶解熱, 180
 溶膠點, 183
 合金, 207
 德, 61
 瑪拿尼西亞, 237
 硝, 271
 磁, 237; 去磁, 339; 誘導
 磁, 240; 餘磁, 333
 磁化, 249; 未會磁化, 241
 磁石: 人造磁石, 247; 實
 時磁石, 249; 靜磁石,
 238; 永久磁石, 240; 自

然磁石, 237; 蹄形磁石,
 238
 磁石之極, 238
 磁石發電機, 220
 磁性, 239
 磁極, 238; 單位磁極, 239
 磁場, 243; 合成磁場, 324
 磁鐵, 337
 磁赤道, 248
 磁鐵礦, 237
 磁子午線, 238
 磁性物質, 239
 磁粒, 349
 磁粒收音器, 349
 蒸氣: 飽和蒸氣, 189
 蒸發, 59, 187
 蒸發熱, 202
 蒸發蛇管, 222
 蒸汽機, 19
 蒸汽臥輪, 220
 蒸汽機頭, 137, 210
 蒸汽級室法, 246
 蒸汽節水器, 249
 蒸汽壓力製冰機, 265
 管風琴, 389
 管之原音, 386
 管式汽爐, 213
 蓄電池, 312; 儲蓄電池,
 311; 線線蓄電池蓄電
 池, 313
 蓄電器, 267
 綫, 227
 綫膜, 433
 綫膜之疲勞, 449
 綫支, 406, 112
 綫支波, 406
 綫傳姆羅斯, 381
 靜止, 91
 礦粉, 349

十五畫

影:全影,400;半影,400
 導線,263
 導體,253
 導電箱,265
 彈性,101;完全彈性,102
 彈簧秤,64
 層疊磁心,343
 德沙利,237
 邁克爾孫,394,396
 溜平雨,6
 潛水衣,51
 潛水艇,23
 潛水值,49
 潛望鏡,400,441
 熱:比熱,177;熔解熱,180;自熱,462;紅熱,316;蒸發熱,202;輻射熱,462
 熱線,461
 熱水瓶,232
 熱水燈室,234
 熱氣管,235
 熱機頭,210
 熱傳導率,225
 熱之機械當量,172
 熱空氣燈室法,234
 谷本茲,469
 模斯,288
 模斯電碼,287
 擴放,359
 擴振助,411
 樂音,369
 樂階,372
 樂器:振盪樂器,390;振盪樂器,389;振盪氣流樂器,389
 標準紙,4

標準枳,3
 標準長度,1
 標準氣壓,29
 標準氣溫度計,149
 摩擦,163
 摩擦係數,164
 摩擦接合子,217,317
 摩里達尼亞,165
 膠皮梳,250
 暫時電流,321
 暫時磁石,240
 歐,290
 歐姆,290,296
 歐姆定律,295
 磅,5
 碼,2,5
 糧,5;克糧,117;克立方糧,9;達糧,118
 節度計,81
 線:天線,468;可見線,460;反射光線,396;化學線,462;夫牢固和嬰線,457;午線,3;光線,462;力線,242;X線,473;白星光線,165;波線,404;法線,306;耶那德渣線,165;幹線,288;導線,263;變容線,473;柏克勒爾線,477;極化光線,412;暗線,457;音線,363;景線,456;熱線,461;纖維線,390;海底電線,288;收銀線,427;紫線,460;紫外線,318;紅外線,460;紅線,339;陰極線,471;鎢線,315;閉路線,243;閉合之環狀曲線,339;電車線,334

純抗,347
 總景,455
 絛,445
 絛青色,449
 覆色,448
 覆線,330
 覆透鏡,432
 覆櫃樣,135
 覆滑輪,121
 覆式機關,214
 覆照微鏡,439
 覆捲發電機,333
 舞絛,379
 調和,383;不調和,384
 調和電路,470
 調節,493
 調整,368
 誘導:靜電誘導,254
 誘導圈,341
 誘導磁,240
 誘導電流,321
 誘導電動力,325
 倫勃,131
 質量,2,63
 錯葉,266
 錯譯序,301
 錯齊法,302
 錯散空氣唧筒,35
 值,394

十六畫

漚汽器,212
 趨聚力,103
 趨磁器,222
 趨磁磁管,222
 疇,6
 疇斯吞攝子電瓶,305
 噪音,369
 噴口,219

噴霧器, 215
 壁爐, 233
 避雷針, 262
 燃料, 216
 燈油, 207
 熾熱線, 30°
 濾液板, 451
 機關: 串形複合機關, 330;
 內燃機關, 223; 三次膨脹機關, 214; 單缸之機關, 220; 四次膨脹機關, 214; 交叉複機關, 214; 峇復機關, 221; 汽油機關, 217; 氣體機關, 215; 熱機關, 210; 蒸汽機關, 137, 211; 複式機關, 214; 靜置機關, 212
 機關軸, 217
 機械利率, 122
 糧, 448
 橄欖色, 448
 膨脹: 金屬之不等膨脹, 160
 膨脹池, 235
 膨脹性: 氣體之無限膨脹性, 56
 膨脹係數, 153; 固體之線膨脹係數, 158
 膨脹之容積係數, 153
 膨脹之壓力係數, 153
 捻經綫, 90
 整流子, 330
 整流器: 鉛線整流器, 348
 積水池, 23
 營造尺, 3, 6
 諧音, 377
 鄧斯德石, 238
 顯射, 331; 全顯射, 462
 顯射計, 460

輻射器, 203; 蒸汽輻射器, 249
 輻射能, 462
 輻射熱, 462
 輻射表面, 463
 靜水比喻, 292, 294
 靜置機關, 212
 靜電誘導, 254
 靜電電壓計, 265, 291
 藍油染料, 206
 羅阿, 152
 鋼琴, 375
 軒尼孫, 460
 餘色, 449
 餘磁, 363

十七畫

壓力, 15; 大氣壓力, 29, 32; 液體壓力, 13; 總壓力, 14; 下壓力, 23; 上壓力, 23
 壓力中心, 87
 壓紙機, 133
 壓琴器, 383
 壓縮性, 37; 空氣之壓縮性, 38; 液體之不可壓縮性, 37
 壓縮器, 222
 壓上唧筒, 47
 壓氣唧筒, 45
 壓榨空氣, 23
 適當, 3
 溼奇, 477
 溫度: 相對溫度, 195; 大氣之溫度, 195
 燭: 映燭, 414; 總計燭, 414
 燭光, 316, 414; 平均燭面燭光, 317
 擴散, 56, 59, 60, 61

擴散的反射, 396
 檢波器, 469; 三極檢波器, 469; 礦石檢波器, 469; 粉末檢波器, 467
 檢蒸器, 469
 環狀, 464
 瞬時電光照相術, 466
 螺柱, 132
 螺旋釘, 133
 螺旋齒輪, 133
 螺旋起重機, 133
 袋, 389
 袋管, 390
 袋琴, 390
 絞波, 359
 縱振動, 369, 411
 翼輪, 172
 踏板, 164
 有膜, 432
 霜, 194
 鍍銀槽, 276
 點及線, 369
 點火筒, 173
 點火器, 220

十八畫

雙眼鏡, 232
 雙眼鏡, 440; 柴斯雙眼鏡, 441
 雙眼視鏡, 440
 濾板, 451
 煙網, 455
 擺, 70; 攝儀擺, 159
 擺之定律, 88
 斷續電吸, 44
 斷續電流, 469
 鏡弧, 317
 藍石英, 60
 豐具業, 469

臨界角, 399
鏈輪, 164
鎢線, 315
鎳鐵青性鉀蓄電池, 313
鎳錳齊, 306
轉鏡, 380
轉軸, 223
轉動子, 285
轉動軸, 218
轉動輪, 219
轉動中心, 92
障子, 275
離化現象, 348
顏料, 450
無接觸, 349

十九畫

爆竹, 355
羅盤, 297
羅盤針, 240
羅盤指針, 238
鑽石檢波器, 469
磁平衡, 76
藤打水, 115
藍德德伯爵, 170
鏡: 凸鏡, 425; 凸透鏡, 417; 凹鏡, 427; 凹透鏡, 429; 平面鏡, 428; 天文望遠鏡, 401; 不圓透鏡,

400; 雙眼鏡, 440; 柴斯雙眼鏡, 441; 前鏡, 437; 玻璃板稜鏡, 455; 地上望遠鏡, 439; 廣人鏡, 436; 實體鏡, 440; 透鏡, 417; 拋物面鏡, 442; 晶體透鏡, 433; 無色差透鏡, 453; 潛望鏡, 400, 441; 物鏡, 437; 目鏡, 438; 斜目鏡, 401; 複顯微鏡, 439; 複透鏡, 432; 顯微鏡, 437; 觀劇鏡, 439; 轉鏡, 380

霧, 194

餛油燭, 414

二十畫

環圓式, 285
藍德德, 414
藍德德光度計, 414
繼電器, 288
殺, 295
戲海城, 363

二十一畫

屬和音, 373
攝爾修, 147
攝氏溫度計, 147
鉅, 477

鐵心: 層疊鐵心, 343

鐵架, 220

鐵道, 328

露, 194

露點, 195

二十二畫

彎曲小吸管, 190

聽話器, 469

二十三畫

樂琴, 473

樂琴線, 473

變壓器, 343

顯微鏡, 438; 複顯微鏡, 438

驗電器, 474

驗電板, 260

驗電器, 252

驗電花器, 479

二十五畫

鹽水, 210

鹽化鈣, 210

圓刺鏡, 439

鉤, 287

二十七畫

鑽石針, 392

英漢譯名對照表

A		
Aberration 星行差	Acceleration, tangential 切線加速度	Alcohol thermometer 酒精溫度計
Aberration, chromatic 色行差	Accommodation 調節	Alloy 齊
Aberration, spherical 球行差	Accommodation of eye 眼之調節	a-centauri 半人馬之 α 座
Absolute electrometer 絕對電勢計	Accordion 手風琴	a-ray α 線 [流]
Absolute humidity 絕對濕度 [動]	Accumulator 蓄力器	Alternating current 交流
Absolute motion 絕對運動	Achromatic lens 無色差透鏡	Alternator 交流機
Absolute temperature 絕對溫度	Achromatic prism 無色差稜鏡	Aluminium vane 鋁葉
Absolute unit 絕對單位	Acoustics 音學	Amalgamation 銀齊法
Absolute unit of force 力之絕對單位	Actinic ray 作用線 (化學線)	Amber 琥珀
Absolute zero 絕對零度	Action and reaction 作用及反作用	American Federation of musicians' pitch 美洲音樂同盟會調
Ab-orbing power 吸收力	Active material 旋光性物質, 放射性物質	Ammeter 安計
Absorption 吸收 [帶]	Adhesion 附著	Ammonia 氫糖
Absorption band 吸收之吸收	Adhesive force 附著力	Ammonium chloride 氯化銨 (硫砂)
Absorption of light waves 光波之吸收	Admittance 合導	Ammonium nitrate 硝酸銨
Absorption and radiation 吸收與輻射	Aërial wire 天線	Amorphous substance 無定形物質
Absorption spectrum 吸收光	Air brake 空氣制動機	Ampère 安培
Accelerated motion 加速運動	Air chamber 空氣室	Ampère's rule 安培定律
Acceleration 加速度	Air column 空氣柱	Ampere turn 安培
Acceleration, normal 法線加速度	Air drill 空氣鑽	Amplifier 擴大器
Acceleration of gravity 重力加速度	Air engine 空氣機	Ampitude 振幅
	Air motor 空氣發動機	Amundsen, Captain 亞沙德森上校
	Airplane 飛機	Aneroid barometer 無液氣壓計
	Air path 空氣道	Angle of incidence 入射角 [角]
	Air pump 空氣唧筒, 抽氣機	Angle of reflection 反射
	Air shaft 空氣坑	Aniline dye 靛油染料
	Airship 飛船	Anode 陽極
	Air thermometer 空氣溫度計	Antiglare lens 不閃透鏡

Antinode 對節	Balloon 氣球	Boyle 波義耳
Aqueous humor 水液	Bantilever bridge 大臂橋	Boyle's law 波義耳定律
Arc light 弧光, 弧燈	Baltimore 巴爾的摩爾	Break 截斷
Archimedes 阿基米得	Band 帶	Bridge 柱 (樂器用)
Archimedes, principle of 阿基米得原理	Barometer 氣壓計	Bright-line spectrum 輝線景
Area 面積	Bar magnet 棒磁石	Brilliant purple 亮紫紅色
Argon 氬	Bar of platinum-iridium 鉑鐵棒	Brine 鹽水
Armature 銜鐵, 發電子, 電動子	Barrel 樽	British thermal unit 英國熱單位
Arm of force 力臂	Base 基底	Brittleness 脆性
Artificial magnet 人造磁石	Bassoon 低音笛	Brooklyn Bridge 布魯克林橋
A set of weights 一組砝碼	Battery 電池	Brown 柏藍
Aspirator 吸氣器	Bearing 軸承	Brownian movement 布朗運動
Astronomical telescope 天文望遠鏡	Beats 陰	Brush 刷毛
Atmospheric eddy 氣渦	Becquerel 柏克勒爾	B. T. U. 英國熱單位
Atmospheric pressure 大氣壓力	Becquerel ray 柏克勒爾線	Buckley, D. E. 巴克累
Atom 原子	Bell, Alexander Graham 柏爾	Buffalo 布法羅
Atomizer 噴霧器	Bell, electric 電鈴	Bugle 號筒
Audion 三極管	Benjamin Thompson 湯卜遜	Bunsen burner 本生燈
Audion detector 三極管檢波器	Benzine 本晶	Bunsen's photometer 本生光度計
Automatic feeding device 自動送電法	Berson, M. 柏孫	Buoyant force 浮力
Automobile 汽車	Bicycle pedal 腳踏車之踏板	Button 釦
Automobile headlight 汽車用頭燈	Binoocular vision 雙眼視覺	C
B	Black body 黑體	Cadmium amalgam 鎘銀膏
Back E. M. F. 反電動力	Blanc, Mont 勃郎山	— sulphate 硫酸鎘
Bad conductor 不良導體	Blower 吹口	Caisson 沈箱
Bayer, von 豐貝萊	Blue 青	Calcium chloride 氯化鈣
Balance 天平	Bluish 淡青	Calorie 卡 (卡路里)
— wheel 齒輪	Boiler 汽爐	Calorimeter 卡計
Ballast tank 積水池	Boiling point 沸點	Camera 暗箱
Ball bearing 球軸承	Boiling temperature 沸度	Cam shaft 傳動軸
	Bologna 波倫亞	Candle-power 燭光
	Botwood 波爾特武德	Canner, steam-pressure 蒸汽壓力罐頭
	Boothia Felix 布別亞腓力士	

Capacity 容量	Charged with electricity 帶電, 充電	Coil of evaporator 蒸發蛇管
Capacity, electric 電容	Charles 查理	Cold-air register 冷氣門
Capillarity 微管現象	Charles, law of 查理定律	Cold storage 冷藏
Capitol 議事堂	Cigar lighter, platinum alcohol 鉑釀點火器	Collar 黃銅環
Capstan 拔筴機	Chemical energy 化學能	Colored band 色帶
Carbon bisulphide 二硫化碳	Chemical ray 化學線	Combination of lenses 複透鏡
Carbon dioxide 二氧化碳	Chlorine 氯	Combination of pulleys 複滑輪
Carbon microphone 碳粒收音器	Chromatic aberration 色行差	Committee of the French Academy 法國學士院委員會
Carbureter 揮發器	Chronic acid 鉻酸	Communicating vessel 連通器
Cartesian diver 浮沈子	City water supply 自來水	Commutator 整流子
Cathode 陰極	Clariuet 直笛	Compass 羅盤
Cathode ray 陰極線	Clockwork device 時計裝置	Compass needle 羅盤指針
Caustic potash 苛性鉀 (氫氧化鉀)	Closed 閉合	Compensated pendulum 抵償擺
Cedric 賽德立克	Closed boiler 密閉汽爐	Complementary color 餘色
Cell 電池	Closed circuit cell 閉路電池	Component of a force 分力
Celsius 攝爾修	Closed curve 閉曲線	Compound color 複色
Celsius' thermometer 攝氏溫度計	Closed loop 閉合之環狀曲線	Compound engine 複式機關
Center of curvature 曲度中心	Closed organ pipe 閉風琴管	Compound microscope 複顯微鏡
Center of gravity 重心	Clouds, formation of 雲之構成	Compound wound dynamo 複捲發電機
Center of pressure 壓力中心	Clutch 接合子	Compressed air 壓縮空氣
Center of rotation 轉動中心	Clutch plate 接合板	Compressibility 壓縮性
Centigrade thermometer 百度溫度計	Coaxial cylinder 共軸圓筒	Compression pump 壓氣機
Centimeter 釐	Coefficient of expansion of gases 氣體之膨脹係數	Compressor 壓縮器
Centimeter-Gram-Second unit C. G. S. 厘米克秒制	Coefficient of friction 摩擦係數	Concave lens 凹透鏡
Central shaft 中軸	Coherer 赫未檢波器	Concave mirror 凹鏡
Centrifugal force 離心力	Cohesion 凝聚	Concave wave 凹面波
Chain wheel 鏈輪	Cohesive force 凝聚力	Concurrent force 共作力
Chamber 房	Coil 圈	
Change of state 狀態變化		
Charge 電荷		
Charcoal, absorption by 木炭之吸收		

Condensation 密部
 Condensation of water vapour 水蒸氣之凝結
 Condenser 凝氣管, 蓄電器
 Condenser coil 凝縮蛇管
 Conductance 形導
 Conducting case 導電箱
 Conducting wire 導線
 Conduction 傳導
 Conductor 導體
 Conjugate foci 共軛焦點
 Conservation of energy 能常住
 Continuous spectrum 連續光
 Contractility 液膜收縮
 Convection 對流
 Converging lines 收斂線
 Convex lens 凸透鏡
 Convex mirror 凸鏡
 Cooling 涼, 冷卻
 Cooper-Hewitt mercury lamp 車拍休易特銀燈
 Core 心, 心棒
 Cornea 角膜
 Cornet 喇叭
 Corpuscle 微塵
 Corpuscular theory 微塵說
 Coulomb 庫隆, 庫
 Coulomb's law 庫隆定律
 Count Ramford 蓋福德伯爵
 Counter shaft 副柄
 Couple 偶力
 Coxwell 科克斯街爾
 Crane 起重機
 Crank shaft 拐臂軸
 Crater 坑
 Cream separator 析乳器
 Crest 陵

Crilley 克力雷
 Crimson 紅紫
 Crimson light 紅紫光
 Critical angle 臨界角
 Crookes 克魯克斯
 Cross-compound engine 交叉複機關
 Crown glass 冕玻璃
 Crude oil 粗油
 Crystal detector 礦石檢波器
 Crystalline lens 晶體透鏡
 Canard line 邱那德航線
 Cup valve 杯狀瓣
 Curie, madam 居禮夫人
 Currents, 電流; Eddy, 渦流; Foucault, 佛克電流; Induced, 誘導電流; Intermittent, 斷續電流; Local, 局部電流; Momentary, 暫時電流
 Curvature of a liquid surface 液面之彎曲
 Curved pipette 彎曲小吸管
 Cylinder 圓筒

D

Damper 閘門, 壓琴器
 Daniell cell 丹菲爾電池
 Dark band 暗帶
 Dark line 暗線
 d'Arsonval type 透標發筒式
 Dartmouth 達特馬司
 Dashpot 制動壺
 Davy safety lamp 達威安全燈
 Decimeter 分
 Declination 方位角

Deep red 深紅
 Deflectibility 偏向性
 Degree 度
 Degree of saturation 飽和度
 Dekameter 科
 D-magnetization 去磁
 Density 密度
 Density of electrification 帶電之密度
 Denver 丹佛
 Deposit 沈積
 Derived unit 誘導單位
 Descartes 笛卡兒
 Detector 檢波器
 Dew 露
 Dew point 露點
 Dewar 離阿
 Diagonal eyepiece 斜目鏡
 Dial thermometer 時計式溫度計
 Diamond tip 鑽石針
 Dictaphone 收發機
 Difference of potential 勢差
 Differential 差動輪
 Differential gearing 差動齒輪
 Diffused reflection 漫散的反射
 Diffusion 擴散
 Digester 密煮器
 Dip 伏角
 Dipping needle 伏角針
 Direct-current series-wound dynamo 直流通輪發電機
 Discharging rod 放電叉
 Discard 不調值
 Disintegration 離變
 Dispersion 分散

Dissociation 電離
 Dissolution 溶解
 Distance of most distinct vision 明視距離
 Distillation 蒸溜
 Distribution 分布
 Divergent wave 發散波
 Diving bell 潛水鐘
 Diving suit 潛水衣
 Dominant 屬和音
 Doorbell 門鈴 [應
 Doppler effect 多普勒效
 Dot and dash 點及線
 Double line 複線
 Double-walled vessel 雙壁瓶
 Draft 通風
 Drive shaft 轉軸
 Drive wheel 推進輪
 Driving pinion 轉動齒
 Driving rod 連桿
 Driving shaft 轉動軸
 Dry cell 乾電池
 Ductility 延性
 Dynamo rule 發電機之定則
 Dyne 達

E

Earpiece 耳片
 Ear trumpet 耳筒
 Ebonite 硬橡皮
 Eccentric 偏心輪
 Eccentric rod 偏心桿
 Echo 回音
 Eclipse 蝕
 Ecuador 厄瓜多爾
 Eddy current 渦流
 Ediphone 放音機
 Edison, Thomas A., 愛迪生
 Edison effect 愛迪生效應

Effect 效應
 Effective area 實效面積
 Effective force 實效力
 Effective current 實效電流
 Eiffel tower 愛斐爾塔
 Efficiency 效率
 Efflux 流出
 Effusion 噴出
 Elastic body 彈性體
 Elastic fatigue 彈性疲勞
 Elasticity 彈性
 Electrical capacity 電容
 Electrical density 電密度
 Electrical potential 電勢
 Electrical pressure 電壓
 Electric arc 電弧
 Electric balance 電秤
 Electric charge 電荷
 Electric circuit 電路
 Electric current 電流
 Electric displacement 電變位
 Electric force 電力
 Electric generator 發電機
 Electricity 電
 Electric machine 電機
 Electric motor 電動機
 Electric oscillation 電振動
 Electric potential 電勢
 Electric screen 電遮障
 Electric street car 街市電車
 Electric wave 電波
 Electric whirl 電輪
 Electric wind 電風
 Electrification 帶電
 Electrolysis 電解

Electrolyte 電解質
 Electromagnet 電磁石
 Electromagnetic theory of light 光之電磁說
 Electromagnetic wave 電磁波
 Electromotive force 電動力
 Electron 電子
 Electron theory 電子說
 Electrophorus 起電盤
 Electro-plating 電鍍
 Electro-scope 驗電器
 Electrostatic induction 靜電誘導
 Electrostatic voltmeter 靜電電壓計
 Electrotyping 電鑄
 Elementary electrical charge 電元
 Elizabeth 依利薩伯
 Emission 射出
 Emissive power 射出力
 E. M. F. 電動力
 Endless screw 無窮螺旋
 Endomose 滲入
 Energy 能
 Engine 機關
 English equivalent of metric units 十進制單位之英制當量
 Equilibrant 平衡力
 Equilibrium, 平衡; stable, 穩平衡; neutral, 中立平衡; unstable, 不穩平衡
 Escapement 擒縱輪
 Ether 能煤
 Evaporation 蒸發
 Even-tempered scale 不平均停之音階
 Exhaust pipe 排汽管

Glycerin 甘油	Heat-evolving process 散熱程序	Huygens 海耳史
Good conductor 良導體	Heat of fusion 熔解熱	Hydraulic elevator 水壓昇降機
Good radiator 良輻射體	Heat of vaporization 蒸發熱	Hydraulic press 水壓機
Governor 節汽器	Heat ray 熱線	Hydraulic ram 自動汲水機
Grain 格令	Hectometer 秬	Hydrogen 氫
Gram 克	Helium 氦	Hydrogen thermometer 氫溫度計
Gram centimeter 克厘米	Helium balloon 氦氣球	Hydrogen thermometer 氫溫度計
Gram meter 克米	Helmholtz 赫爾姆霍斯	Hydrometer 比重計
Gramophone 留聲機	Henry, Joseph 亨利	Hydrostatic bellows 水櫃
Granular carbon 碳粒	Henry's law 亨利定律	Hydrostatic paradox 靜水現象
Graphite 石墨	Hertz, Heinrich 赫支	Hygrometry 濕學
Gravitation 引力	Hertzian wave 赫支波	
Gravitation, law of universal 萬有引力定律	Heusler alloy 惠斯勒齊	I
Gravity cell 重力電池	Hiero 亥厄洛	Ice cream 冰淇淋
Gray, Elisabeth 格雷	Highly explosive mixture 強烈之爆發劑	Ignition 點火器
Green 綠	High resistance 高抗	Illuminating gas 煤氣
Greenish blue 綠青色	High-tension magneto 高壓磁石發電機	Illumination 亮度
Group of wave train 波列之羣	High-vacuum rectifier 高度真空整流器	Image 像
Guericke, Otto von 葛利克	Hill-and-dale disk 高低	Incaudescant filament 熾熱絲
Gyrocompass 迴旋羅盤	Hirn 希耳因	Incaudescant lamp 熾熱燈
H	Hollow C 空落之 C 音	Inch 吋
Hailstones 雹	Homogeneous 同性	Incident beam 入射光線
Half tone block 濃淡網板	Hooke 虎克	Inclination 伏角
Hardness 硬度	Hooke's law 虎克定律	Inclined plane 斜面
Harmonics 諧音	H. P. 馬力	Inclosed arc 閉弧
Harmony 調和	Horizontal rudder 水平舵	Index of refraction 屈折率
Hartl optical disk 哈特爾光版	Horn 號角	Induced current 誘導電流
Hay scales 乾草秤	Horse power 馬力	Induced electromotive force 誘導電動力
Headlight 頭燈(汽車用)	Horse-shoe magnet 蹄形磁石	Induced magnetism 誘導磁
Heat conductivity 熱傳導率	Hot-air heating 熱空氣暖室法	Induction 誘導
Heating effects of electric currents 電流之熱效應	Hot bed 溫室	
Heat engine 熱機	Hot-water heating 熱水暖室	
	Humidity 濕度	

Induction coil 誘導圈	Joule 朱	Lever 槓桿
Induction motor 誘導電 動機	Joule 朱爾	Lever arm 槓桿之臂
Inertia 惰性	Journal 軸頭	Leyden jar 萊丁瓶
Infra-red ray 紅外線	Jupiter 木星	Liberty mortar 自由電 動機
In parallel 平結	K	Lift pump 吸上唧筒
In series 順結	Kamerlingh Onnes 卡麥 林奧涅斯	Light band 明帶
Insect on water 昆蟲浮 在水面	Kerosene 燈油	Light blue 亮青色
Instantaneous electric- spark photography 瞬 時電光照相術	Key 鑰	Light-emitting power 發 光力
Insulator 絕緣體	Kilogram 鈞	Lightning 閃電
Intensity 強度	Kilometer 杆	Lightning rod 避雷針
Intensity of illumina- tion 明亮之強度	Kilowatt 瓦	Light ray 光線
Intensity of sound 音強	Kilowatt hour 瓦時	Light wave 光波
Interference 干涉	Kinetic energy 動能	Light yellow 亮黃
Interference reflection 干涉反射	Kirchhoff 克希荷夫	Lilac 淡紫色
Intermittent current 斷 續電流	L	Limit 限度
Intermittent siphon 斷 續虹吸	Label 紙片	Linear coefficient of ex- pansion 固體之線膨脹 係數
Internal combustion en- gine 內燃機關	Labord 拉波德	Line of force 力線
Internal resistance 內抗 調	Laminated core 層疊鐵 心	Line resistance 線抗
International pitch 國際 調	Lamp 燈	Line spectrum 線景
Interval 間隔, 音程	Lantern, projecting 映 畫器	Liquefied air 液化空氣
Ion 離子	Lavender 灰青色	Liquid ammonia 液態氨 精
Ionization 離化現象	Law of pendulum 擺之 定律	Liter 升
Iris 虹彩	Law of universal gravi- tation 萬有引力定律	Lithium chloride 氯化鋰
Iron path 鐵道	Lead peroxide 二氧化鉛	Litmus 石蕊
Iron work 鐵架	Leclanché cell 勒克蘭社 電池	Local action 局部作用
Isoclinic lines 等方位線	Lecture-table ammeter 教桌上安計	Local battery system 局 部電池式
I-ogonic lines 等方位 線	Legal 法定	Local circuit 局部電路
J	Length 長	Local current 局部電流
Jacket 短套	Lens 透鏡	Locomotive 機關車(車頭)
Jack-screw 螺絲起電機	Lenz's law 楞次定律	Lodestone 指南石
	Letter press 壓紙機	Long-distance trans- mission 長距離之送電
	Level of water 水平面	Longitudinal vibration 縱振動
		Longitudinal wave 縱波
		Loop 底, 環狀

Loose contact 鬆接觸	Matter 物質	Millimeter 耗
Loudness of sound 音強	Mauretania 摩里達尼亞	Mirror 鏡
Loud pedal 高音脚板	亞	Mixing chamber 混合室
Low-resistance 低抗	Maxwell 麥克斯惠爾	Mixture 混合
Luminous body 光體	Mean proportional 比例中項	Mobility 可動性
	Mean spherical candle power 平均球面燭光	Molecular constitution of matter 物質之分子組織
III	Measurement 計量	Molecular force 分子力
Machines	Mechanical advantage 機械利率	Molecular motion 分子運動
Magdeburg 馬德堡	Mechanical equivalent of heat 熱之機械當量	Molecular nature of magnetism 磁之分子性質
Magdeburg hemispheres 馬德堡半球	Medium 媒質	Molecular velocity 分子之速度
Magenta 洋紅	Megaphone 補聽器	Molecule 分子
Magnesia 瑪革尼西亞	Melting point 熔解點	Momentary current 暫時電流
Magnet 磁石	Mercurous sulphate 硫酸亞錒	Moment of force 力矩
Magnetic drag 磁礙	Metallic contact 金屬的接觸	Momentum 動量
Magnetic equator 磁赤道	Melt 溶化	Mormon Tabernacle 摩門教堂
Magnetic field 磁場	Melting point 熔解點	Morse alphabet 模斯密碼
Magnetic material 磁性物質	Mercury-diffusion air pump 銀擴散空氣唧筒	Motion 運動
Magnetic meridian 磁子午線	Mercury thermometer 水銀溫度計	Motor rule 電動機之定閱
Magnetic property 磁性	Metal segment 金屬片	Mouth organ 口風琴
Magnetism 磁	Meteorite 隕石	Moving coil 可動圈
Magnetite 磁鐵礦	Meter 尺	Moving picture 活動影片
Magnetization 磁化	Method of mixture 混合法	Mt. Blanc 勃郎山
Magneto 磁石發電機	Method of substitution 替代法	Musical sound 樂音
Magnifying glass 放大鏡	Metric system 十進制	
Magnifying power 倍率	Metric ton 十進噸	N
Main bevel gear 主斜輪	Metronome 節度計	Naphthaline moth ball 樟腦球, 洋樟圓球
Main line 幹線	Michelson 邁克爾孫	Natural magnet 自然磁石
Major choru 長三和音	Microphone 微音器	Natural resonance 自然共振
Major diatonic scale 長全音階	Microscope 顯微鏡	Nearsighted eye 近視眼
Make 接合	Middle C 中部C	
Malleability 展性	Mile 哩	
Mallet 鐵鎚	Miller, D. C. 密勒	
Manometric flame 舞焰		
Marconi 馬可尼		
Marconi system 馬可尼式		
Mass 質量		

Negative electricity 陰電	Open arc 開弧	Perfect elasticity 完全彈性
Nevada 尼瓦達	Open circuit 開路	Period 週期
New moon 新月	Opera glass 觀劇鏡	Periscope 潛望鏡
Newton's color disk 牛頓之色板	Optical center 光心	Permanent magnet 永久磁石
Neutral 中立	Optical instrument 光學器械	Permeability 透磁性
Neutral equilibrium 中立平衡	Optical property 光學性質	Perpetual-motion machine 恆動機
Niagara 耐亞加拉	Optic nerve 視神經	Perrin 拍朗
Nichols 尼古爾斯	Orange 橙	Perrier 拍里耳
Nickel-iron caustic-potash storage cell 鎳鐵蓄電池	Organ pipe 風琴管	Petroleum coke 焦炭
Node 節	Oscillatory discharge 振動的放電	Phase 相
Noise 噪音	Overshot water wheel 上擊水車	Phonograph 留聲機
Non-conductor 非導體	Overtone 倍音	Phonograph record 留聲唱片
Non-luminous body 非光體	Oxygen 氧	Photographic camera 照相器
Nonselective receiving 無選擇受信	P	Photographic plate 乾片
Normal 法線	Paddle wheel 翼輪	Photometer 光度計
Normal condition 正則狀況	Parabola 拋物線	Physical scale 物理學上之音階
Normal eye 正則之眼	Parabolic reflector 拋物面鏡	Piano 鋼琴
North pole 北極	Parachute 落下傘	Piccolo 小笛
North-seeking pole 指北極	Parallel connection 平行	Pigment 顏料
O	Parallelogram law 平行四邊形定律	Pikes Peak 派克高峯
Objective 物鏡	Partial vacuum 半真空	Pinhole camera 針孔照相器
Oboe 高直笛	Pascal 巴斯加	Pint 派
Octave 第八音	Pascal's law 巴斯加定律	Pipe organ 管風琴
Ocean currents 海流	Pavia 巴費亞	Pipette 移液管
Oersted 厄斯特德	Pawl 掣鉤	Pisa, tower of 比薩塔
Ohm 歐	P. D. 電勢差	Piston 活塞
Ohm, Georg 歐姆	Peacock blue 孔雀青	Pitch 音調, 旋距
Ohm's law 歐姆定律	Peck 拍克	Pitchblende 澀青鉛礦
Olive 橄欖色	Pedal 踏板	Pith ball 木髓球
One-cylinder engine 單缸機	Pelton wheel 拍爾香水車	Plane mirror 平面鏡
Omnes, Kamerlingh 奧涅斯	Pendulum 擺	Plane wave 平面波
	Penetrating power 透射力	Plate-glass prism 玻璃板稜鏡
	Penumbra 半影	Platinum-alcohol cigar lighter 鉑酒精火器

Pneumatic dispatch tube 空氣輸送管	Principia 格物原理	Radiating surface 輻射表面
Pneumatic inkstand 空氣墨水瓶	Principle of conservation of energy 能量守恒原理	Radiation 輻射
Point source of light 光點	Principle of work 功之原理	Radiator 輻射器, 射熱器
Point of application 作用點	Printing ink 印刷色油	Radioactive substance 放射性物質
Polarization 極化	Projected-particle theory 投射粒子說	Radioactivity 放射性
Polarization of light 光之極化	Projectile 拋射體	Radiometer 輻射計
Polarized beam 極化光線	Projectile, path of 拋射體之路徑	Radium 鐳
Pole star 北極星	Projecting lantern 映畫器	Rain 雨
Pole strength 極強	Prong 叉臂	Rainbow 虹
Poor radiator 不良輻射體	Proof plane 驗電板	Rarefaction 疎部
Porous pot 多孔杯	Pulley 滑輪	Ratchet wheel 棘齒輪
Positive electricity 陽電	Pulsating 脈動的	Rate of emission 放散率
Positive plate 陽極板	Pulse 脈動	Rate of energy 能率
Potassium cyanide 氰化鉀	Pump 唧筒	Rate of vibration 振率
Potential 勢	Pure color 純色	Rays 光線
Potential energy 勢能	Pure spectrum 純景	Real image 實像
Power 功率	Purple 紫紅	Rear axle 後軸
Power of vacuum 真空之力		Receiver 接受器
Power plant 動力廠		Receiving station 收信局
Pressure 壓力		Reciprocating engine 往復機關
Pressure coefficient of expansion 膨脹之壓力係數	Q	Recording watt-hour meter 自錄瓦時計
Pressure in air 空氣壓力	Quadruple expansion engine 四次膨脹機關	Rectifier 整流器
Primary cell 一次電池	Quality 音色	Red 紅
Primary coil 一次圈	Quantity of electricity 電量	Red-hot 紅熱
Primary pigment 原顏料	Quart 夸	Redish 淡紅
Primary rainbow 一次虹	Quebec Bridge 魁北克橋	Reed 簧
Princeton 普林斯頓	Queen Elizabeth 依利薩伯女王	Reed organ 簧琴
Principal axis 主軸	Quito 基多	Reed pipe 簧管
Principal focus 主焦點		Reinforcement 加強
	R	Reflected beam 反射光線
	Radiant energy 輻射能	Reflection 反射
	R-34, dirigible airship 英國 R-34 號飛行船	Reflector 反射器
	Radiant heat 輻射熱	Refraction 屈折
		Refrigerator 冰箱
		Regulation 復水
		Regulating valve 節制閥

Relative brittleness 相對脆性	Rowland 羅蘭德	Semitransparent 半透明
Relative ductility 相對延性	Rubber comb 膠皮梳	Sensibility 感度
Relative hardness 相對硬度	Rubens 魯本茲	Sensitive plate 感光片
Relative humidity 相對濕度	Rumford 藍斐德	Series connection 順結
Relative malleability 相對展性	Rumford photometer 藍斐德光度計	Series wound dynamo 順捲發電機
Relay 繼電器	Rutherford 刺德福忒	Sèvres 色佛雷
Repeater 中繼器	Ryerson 賴厄孫	Shadow 陰影
Residual magnetization 餘磁		Shaft of the engine 機關軸
Resistance 抵抗	S	Shift lever 移輪槓桿
Resistance coil 抵抗圈	Safety valve 安全活瓣	Shunt 分路
Resonance 共振	Salt Lake City 鹹湖城	Shunt coil 分路圈
Resonator 共振器	Saturated solution 飽和溶液	Silver-plating bath 鍍銀槽
Resultant 合力	Saturated vapor 飽和蒸氣	Singing flame 發音燭
Resultant field 合成磁場	Saturation 飽和	Single fixed pulley 單定滑輪
Retentivity 保磁性	Saturation of vapor 蒸氣之飽和	Single movable pulley 單動滑輪
Retina 網膜	Scales, musical 樂譜	Siphon 虹吸
Retinal fatigue 網膜之疲勞	Scattering 亂反射	Siren 測音器
Revolving fan 旋轉扇	Schroeder 士佛德	Sirius 天狼星
Rich and full C 豐富圓潤之C音	Screw 螺絲	Skating rink 溜冰場
Rider 騎碼	Sealing wax 火漆	Sleet 霰
Right-hand rule 右手定則	Searchlight 探照燈	Slit 隙
Rise of liquids 液體之上升	Second 秒	Slot 溝隙
Rod 杆	Secondary cell 二次電池	Smoke box 煙箱
Roll 滾動	Secondary coil 二次圈	Smoke-stack 煙筒
Roller bearing 滾子軸承	Secondary foci 二次焦點	Snowflakes 雪花
Rolling contact 滾動接觸器	Secondary rainbow 二次虹	Soap film 石鹼液膜
Römer, Olaus 勒麥耳	Second law of motion 運動第二定律	Solar spectrum 日景
Röntgen 羅琴	Second overtone 第二倍音	Sonometer 音計
Röntgen ray 羅琴線	Second partial 第二分音	Soot 煙塵
Russ 羅斯	Self-exciting machine 自勵發電機	Sound 音
Rotating mirror 轉鏡	Self-induction 自誘	Sound beam 音線
	Self-recording aneroid barometer (barograph) 自記無液氣壓計	Sounder 音響器
		Sound foci 音之焦點
		Sounding board 音板
		Sound wave 音波
		Source 源
		South pole 南極

South-seeking pole 指南極	Steam radiator 蒸汽輻射器	Telephone 電話, 聽話器
Spark 電花	Steam turbine 蒸汽臥輪	Telescope 望遠鏡
Spark gap 電花間隙	Steel tape 鋼卷尺	Temperature 溫度
Spark length 電花長	Steel yards 秤	Temporary magnet 暫時磁石
Spark lever 火花撥桿	Stenographer 速記生	Tenacity 韌性
Spark photography 電花照相術	Step-down transformer 降壓器	Terminal 端
Spark plug 電花栓	Step-up transformer 昇壓器	Terrestrial telescope 地上望遠鏡
Speaking tube 傳話筒	Stereoscope 實體鏡	Thales 泰利斯
Specific gravity 比重	Sterilization 殺菌	Thermometer 溫度計
Specific heat 比熱	Storage battery 蓄電池	Thermos bottle 保溫瓶, 熱水瓶
Specific resistance 比抗	Storage cell 蓄電池	Thermoscope 檢熱器
Spectral lines 景線	Stove 火爐	Thermostat 恆溫器
Spectrum 景	Strings 弦	Thessaly 德沙利
Spectrum analysis 景析	Strontium chloride 氯化銣	Third law of motion 運動第三定律
Speed of sound 音之速度	Stylus 尖形筆, 針	Third overtone 第三倍音
Sperm candle 鯨油燭	Subatomic energy 亞原子之能	Third partial 第三分音
Sperry 斯拍立	Subdominant 下屬和音	Third-quarter moon 下弦之月
Spinthariscopes 驗電花器	Sublimation 昇華	Third rail 第三軌
Spongy platinum 海綿狀鉑	Submarine 潛水艇	Thomson, J. J. 湯姆孫
Spray nozzle 噴口	Supply pipe 供給管	Thompson, Benjamin 湯卜遜
Square shaft 方軸	Surface tension 表面張力	Thorium 鈷
Stable equilibrium 穩平衡	Suspended-coil type 懸圈式	Three color printing 三色印刷
Standard hydrogen thermometer 標準氫溫度計	Suture tunnel 蘇特耳奧隧	Three primary colors 三原色
Standard kilogram 標準砵	Switch 開關	Three tuned circuit 三調和電路
Starting box 起動箱	Sympathetic electrical vibration 共振之電振動	Throttle 節氣桿
Starting resistance 起動抵抗	Sympathetic vibration of sound 音之感應振動	Thunder 雷
Stationary engine 靜置機	Syracuse 叙拉古	Tongue 舌
Steam 蒸汽		Tonic 主和音
Steam chest 汽室		Total eclipse 全蝕
Steam engine 蒸汽機		Torricelli 托里芬利
Steam heating plant 蒸汽室法		Total pressure 總壓力
Steam pressure canner 蒸汽壓力罐		Total radiation 全輻射
	T	
	Tandem compound engine 串形複合機	
	Telegraph 電報	

Total reflection 全反射
 Tourmaline 電氣石
 Tower 塔
 Train of gear wheels 連動齒輪
 Train of waves 波列
 Transformer 變壓器
 Translucent 半透明
 Transmission 傳動機
 Transmission of sound 音之傳播
 Transmitter 送話器, 發信器 [電線]
 Transoceanic cable 海底
 Transverse vibration 橫振動
 Transverse wave 橫波
 Triple or quadruple expansion engine 三次或四次膨脹機
 Trolley wire 電車線
 Trombone 活動喇叭
 Trough 谷
 Trowbr'dze 特洛布立治
 Trumpet 傳聲筒
 Tubular boiler 管式汽爐
 Tuned circuit 調和電路
 Tungar rectifier 鈾絲整流器
 Tungsten filament 鈾絲
 Tuning 調整
 Tuning fork 音叉
 Turbine 風輪
 Turbine pit 輪井
 Turpentine 松節油
 Two-pole direct-current dynamo of drum-armature type 鼓形發電機
 Type-metal 活字金屬

U

Ultra-violet ray 紫外線

Umbra 全影
 Undershot water wheel 下擊水車
 Unglazed earthenware 未上釉之生瓷器
 Unidirectional pulsating current 一定方向脈動之電流
 Uniformly accelerated motion 等加速運動
 Unison 同音
 Unit 單位
 United States Shipping Board 美國船舶局
 Unit pole 單位磁極
 Unmagnetized 未曾磁化
 Unstable equilibrium 不穩平衡
 Uranium 鈾
 Uranium ray 鈾線
 Useful work 有用之功

V

Vacuum 真空
 Valve 滑瓣
 Vapor 蒸氣
 Vaporization 蒸發
 Vaseline 石油脂
 Velocity 速度
 Ventilation 通風
 Venturi 汾圖利
 Vibrating air-jet instrument 振動氣流樂器
 Vibrating body 振體
 Vibrating lip instrument 振唇樂器
 Vibrating reed instrument 振簧樂器
 Vibration 振動
 Vibration number 振數
 Vibration ratio 振數比

Violet 紫
 Violet ray 紫線
 Violin 提琴
 Violin bow 胡弓
 Virtual image 虛像
 Viscosity 粘度
 Vise 螺旋鉗
 Visible ray 可見線
 Vision, most distinct 明視
 Visual angle 視角
 Volatile 揮發
 Volt 弗
 Volta 弗打
 Voltaic cell 弗打電池
 Voltmeter 弗計
 von Baeyer 豐貝葉
 Volume 容量
 Volume coefficient of expansion 膨脹之容積係數

W

Wasted work 虛耗之功
 Watch 錶
 Water head 水頭
 Water turbine 水臥輪
 Water wave 水波
 Water wheel 水車
 Watt 瓦
 Watt, James 瓦特
 Watt hour meter 瓦時計
 Wave front 波頭
 Wave length 波長
 Wave theory of light 光之波動說
 Wave train 波列
 Wavy line 波線
 Weighing by method of substitution 替代法

Weld 焊接	Wind instruments 吹樂	Yellow 黃
Weston normal cell 街 斯吞標準電瓶	Windlass 捲上機, 轉槓	Yellowish 淡黃
Wet and dry-bulb hy- grometer 乾濕球溫度 計	Wire gauze 線網	Yerkes telescope 葉耳致 茲望遠鏡
What hath God wrought! 上帝所成者 果爲何物	Wireless telegraphy 無 線電報	Z
Wheatstone's bridge method 威斯吞橋法	Wollaston 武拉斯吞	Zeiss binocular 柴斯雙 眼鏡
Wheel 輪	Work 功	Zinc amalgam 鋅銻膏
Whippetree 車軛橫木	Worm wheel 蠟旋齒輪	α
Whispering gallery 耳 語室	Wright 來特	α -ray α 線
Whistle 喇叭	X	β
White-hot 白熱	X ray X 線	β -ray β 線
White light 白色光	X-ray picture X 線相 片	γ
White Star Line 白星航 線	X-ray spectra X 線景	γ -ray γ 線
	Y	
	Yale lock 耶魯鎖	
	Yard 碼	

DER
URSPRUNG UND BEGRIFF
VON DER
RELATIVITÄTSTHEORIE

學藝彙刊

相對律之由來及其概念

周昌壽著 一册定價三角五分

此書共分三部(一)由數學的觀念敘述相對性原理之由來及其基礎原則(二)詳述相對性原理已成就之內容及其將來發展之傾向(三)列舉關於相對性原理之書名目錄以資讀者之參攷全書文字淺明關於數學上之理論皆僅述其演繹的方法而避去中途繁瑣的計算使讀者無枯燥煩重之感

愛因斯坦和相對性原理
五角半
從牛頓到愛因斯坦
二角
相對論淺釋
三角半
通俗相對論大意
二角

商務印書館發行

商 務 印 書 館 發 行

物 理 學 上 的

新 貢 獻

最近物理學概觀

鄭 貞 文 編

一 冊 一 元 二 角

用簡明的敘述，和新穎的思想，介紹物理學的最新進步，在我國出版界上，可推為空前的善本。

時、空、質、能、四者，為構成物理學的要素；此書即本着這四點立論，并網羅最新之相對論，放射論，量子論等；由舊而新，由淺而深，由近而遠，既易理解，更饒興趣。

物理學是自然科學和哲學的基礎。此書不但可采為學校教本，凡欲為文化的全人，都不可不讀。

從牛頓到愛因斯坦

美國 B. Harrow 原著
文元模譯

本書敘述從牛頓到愛因斯坦時代中間許多科學家對於宇宙觀念的變遷經過愛因斯坦的思想確比牛頓進一步但是牛頓的價值仍舊沒有減少古人說「莫爲之前雖美弗彰莫爲之後雖善弗傳」欲知科學界古今兩大偉人的思想梗概當先讀此書

一册定價二角

商務印書館發行

元(1299)

愛因斯坦和相對性原理

日本石原純著周昌壽鄭良文合譯
一册定價五角五分

愛因斯坦的理論非用高等數學本來不易說明本書避却數學用通俗的文字介紹相對論的梗概即不會研究過科學的人讀此亦可了解篇中述時空的相對性能煤和萬有引力等思想的變遷深入顯出尤其特色未附愛氏著作目錄以備參考

商務印書館發行

元(1297)

教育部審定

實科書用 物理學

陳槐編 一册 一元三角

本書分爲八編專供中等學校之用凡近世新學說搜入靡遺論理精密文詞明暢洵爲教科書中之善本

審定 批詞

該書敘述論理實驗簡要精審學者循此以驗諸實際獲益殊多應准審定作爲中學教科用書

◎商務印書館出版

元又.93)

Milikan and Gale's
Practical Physics
(Translated into Chinese)
Commercial Press, Limited
All rights reserved

中華民國十三年二月初版

（密爾根）
（蓋爾）實用物理學（一册）
（每册定價大洋貳元）
（外埠酌加運費匯費）

原著者 Milikan and Gale

譯者 周 昌 銜

發行者 商務印書館

印刷所 商務印書館

總發行所 商務印書館

分售處 商務印書館

此書有著作權翻印必究

北京天津保定奉天吉林龍江
濟南大連開封西安漢口
廣州汕頭香港梧州重慶
長沙常德衡州成都重慶
貴陽 昆明 蘭州 西寧 迪化
哈密 庫車 喀什 和田 吐魯
鄯善 哈密 庫車 喀什 和田 吐魯
鄯善 哈密 庫車 喀什 和田 吐魯
鄯善 哈密 庫車 喀什 和田 吐魯
鄯善 哈密 庫車 喀什 和田 吐魯

