

高級中學學生用

高中物理學

編著者 傅 溥

世界書局印行

編輯大意

1. 本書係遵照教育部頒行之高中課程暫行標準編纂而成，計全書講授時間約需一百小時，足敷一年之用。

2. 本書教材之選擇與排列，係編者根據多年實地教授之經驗，以爲取捨，其目的務求減輕學生之負擔，而對於物理學重要之原理、定律，復包羅無遺。

3. 本書全用普通之文言敘述，務求懇切平易，俾免去學者推解文意之煩勞，或致誤會文意而陷於謬誤。

4. 本書程度係供高中之用，對於學者之程度當假定有初中畢業之學力，故有數處學語之解釋在後，而引用反在前者，卽此之故。

5. 本書所插入問題，均係計算題，或須加以思索而後始能解答者，其背誦書文之問題，概未列入。

6. 量子論及相對性原理，對於高中學生，似嫌過於艱深，然以其在物理學上之位置，極關重要，故本書亦扼要略述，俾學者得窺見近世物理學進展之程度。

7. 學語與人名之譯名，我國極不統一，本書所採用者均

係最通行者，其由編者試譯之學語極居少數，茲為學者閱讀他書，或參考英美原本起見，特附中英學語及人名對照表於卷末，以便查考。

8. 本書倉卒付印，遺誤之處，在所不免，海內明達，如荷賜教，當竭誠歡迎也。

民國二十年一月十三日編者識於南京。

MG
9634.7
61

目 次

緒 論

1 物理學	1	7 時間之單位	5
2 物理學之方法	2	8 絕對單位	6
3 假說與理論	2	9 密度	7
4 單位	3	10 比重	8
5 長度之單位	3	11 比例	8
6 質量之單位	5		

第一篇 物性

第一章 分子的現象

12 物質三態	13	18 滲透	20
13 物質之組成	13	19 溶解	21
14 物質之通性	14	20 吸收	22
15 分子力	17	21 表面張力	23
16 分子運動	18	22 毛管現象	24
17 擴散	19		

第二章 固體之性質

23 彈性	26	24 福克之定律	28
-------------	----	----------------	----



3 1773 5592 6

25 彈性率.....29	27 硬度.....31
26 剛度.....30	28 延展性.....32

第三章 液體之性質

29 液體之壓力.....33	34 亞幾默德之原理.....40
30 壓力之傳達.....34	35 浮體.....41
31 液體之自由表面.....36	36 浮體之平衡.....43
32 由重力所生之壓力 36	37 比重之測定.....44
33 連通管.....38	

第四章 氣體之性質

38 氣體.....49	43 壓力計.....56
39 大氣之壓力.....50	44 虹吸.....57
40 托力雪利之實驗.....51	45 唧筒.....59
41 氣壓計.....53	46 空氣唧筒.....61
42 波以耳之定律.....55	47 水銀抽氣機.....63

第二篇 力學

第一章 力之平衡

48 力之平衡.....69	53 偶力.....78
49 力之合成及分解.....71	54 重心.....79
50 作用於剛體之力.....73	55 數種形狀簡單物體 之重心.....89
51 平行力之合成.....74	56 物體之平衡.....84
52 力之能率.....77	

第二章 運動之定律

57 運動.....87	58 速率及速度.....88
--------------	-----------------

59 加速度.....89	62 運動第二律及運動量.....91
60 運動第一律及力之定義.....89	63 力之單位.....93
61 質量.....90	64 運動第三律.....93

第三章 物體之運動

65 等加速度直線運動 96	70 圓運動.....101
66 落體運動.....97	71 萬有引力.....104
67 斜面上之運動.....98	72 單弦運動.....105
68 阿第屋之器械.....99	73 擺之運動.....106
69 拋射體之運動.....99	74 迴轉運動.....107

第四章 對於運動之抵抗

75 摩擦.....110	77 空氣之抵抗.....113
76 水之抵抗.....112	78 飛艇與飛機.....114

第五章 簡單機械

79 槓桿.....116	83 斜面.....125
80 天秤.....118	84 尖劈.....125
81 輪軸.....122	85 螺旋.....126
82 滑車.....122	

第六章 工作與能力

86 工作.....129	90 外力較抵抗力為大之工作.....132
87 工作之單位.....130	91 工作與機械.....133
88 反抗抵抗之工作.....131	92 工率.....135
89 反抗慣性抵抗之工作.....131	93 能力.....135

94 能力之量	136	95 能力之變遷	137
---------	-----	----------	-----

第三篇 熱學

第一章 溫度及熱

96 溫度及熱	141	99 熱量之單位	144
97 寒暖計	142	100 比熱	145
98 最高及最低寒暑表	143		

第二章 熱之傳播

101 熱之傳播	149	103 對流	150
102 傳導	194	104 輻射	151

第三章 膨脹

105 線膨脹	153	109 水之密度	157
106 補整擺	154	110 氣體之膨脹	157
107 體膨脹係數	155	111 絕對溫度	159
108 液體之膨脹	155	112 氣體之定律	159

第四章 融解與凝固

113 融解與凝固	162	115 壓力與融解點之關係	165
114 因凝固而生之體積變化	164	116 寒劑	166

第五章 蒸發與液化

117 蒸發與液化	168	120 蒸溜	171
118 飽和蒸氣	169	121 氣化熱	171
120 沸騰	170	122 液化	173

123 濕度	174	125 濕度計	177
124 露點	175		

第六章 熱與能力

126 熱能力	179	129 蒸汽機關	182
127 熱之工作當量	179	130 蒸汽冲輪	183
128 熱之本性	181	131 內燃機關	184

第四編 音學

第一章 波動

132 波動	187	135 波之組合	191
133 橫波	188	136 定常波	192
134 縱波	189		

第二章 音波

137 音波	193	140 音波之干涉	196
138 音波之速度	194	141 音之升沈	197
139 音波之反射及屈折	196		

第三章 音響

142 音響	199	145 測音器	202
143 樂音之三要素	199	146 振動記錄法	203
144 音之調和	200		

第四章 發音體之振動

147 絃之振動	204	149 板之振動	208
148 棒之振動	206	150 鐘之振動	209

151 發音體之振動能力 210	152 多帕勒之原理 210
------------------	----------------------

第五章 共鳴

153 共鳴 211	156 孔德之實驗 215
154 風琴管 212	157 人之聲音 217
155 音之速度之測定 .. 214	158 留聲機 217

第五篇 光學

第一章 光之直進

159 光 219	162 照度 223
160 光之直進 220	163 光度 225
161 影 222	

第二章 光之反射

164 反射之定律 227	169 凹面鏡像之位置 .. 233
165 平面鏡 228	170 物體之像 236
166 複像 229	171 凸面鏡 237
167 亂反射 230	172 球面收差 239
168 凹面鏡 231	

第三章 光之屈折

173 屈折之定律 241	179 三稜鏡 250
174 屈折線之作圖法 .. 244	180 透鏡 252
175 屈折光線之逆進 .. 245	181 凸透鏡 253
176 全反射 245	182 透鏡之公式 253
177 屈折像 247	183 物體之像 253
178 大氣中之屈折 248	184 凹透鏡 257

185 透鏡之球面收差 …258 |

第四章 視覺

186 眼……………260 | 189 眼鏡之度數……………264
 187 光角與視角……………262 | 190 惑視 ………………265
 188 明視距離近眼遠眼 263 |

第五章 光學器械

191 單顯微鏡……………266 | 194 電影 ………………268
 192 照相器 ………………267 | 195 望遠鏡 ………………269
 193 幻燈 ………………268 | 196 顯微鏡 ………………271

第六章 光之分散與輻射線

197 光之分散……………272 | 205 物體之色……………285
 198 原色與餘色……………274 | 206 顏料之混合……………286
 199 透鏡之色收差 ……274 | 207 天然色照相……………287
 200 虹……………276 | 208 輻射熱 ………………288
 201 分光器 ………………280 | 209 輻射能與吸收能 ……289
 202 光帶之種類……………281 | 210 太陽之輻射……………289
 203 黑線之說明……………283 | 211 螢光及磷光……………291
 204 光帶各部之作用 ……284 |

第七章 光波

212 光之本性……………293 | 217 牛頓環 ………………301
 213 光之速度……………294 | 218 光之迴折……………302
 214 光波之反射……………297 | 219 偏光 ………………304
 215 光波之屈折……………298 | 220 光與能力 ………………306
 216 光之干涉……………300 |

第六篇 磁氣電氣學

第一章 磁石

221 磁石及磁氣.....309	227 磁場313
222 磁極309	228 磁力線314
223 磁氣量310	229 分子磁石說.....315
224 庫倫之定律.....311	230 地球磁氣.....317
225 磁氣之感應.....311	231 羅盤318
226 磁性體313	

第二章 靜電

232 帶電320	236 庫倫之定律.....323
233 電氣之種類.....321	237 電氣之分布.....324
234 電氣之傳導.....322	238 電子說325
235 電量322	

第三章 電氣感應

239 電場326	242 起電機330
240 感應327	243 空中電氣332
241 起電盤329	244 避雷針333

第四章 電位

245 電位 334	247 電氣容量336
246 電位之單位.....335	248 蓄電器337

第五章 電流及電池

249 電流 339	250 接觸電氣.....340
------------------	------------------

251 弗打電池.....341	254 本生電池.....343
252 電池之分極.....342	355 路克蘭電池.....344
253 但尼爾電池.....342	256 重銻酸鉀電池.....344

第六章 電氣抵抗

257 歐姆之定律.....354	260 電池之抵抗.....349
258 電氣抵抗.....346	261 電池之連結.....350
259 全抵抗.....347	262 費笛司頓之電橋.....352

第七章 電流之熱作用

263 朱爾之定律.....354	266 電熱器.....356
264 電流之工率.....355	267 熱電流.....357
265 電燈.....355	

第八章 電流之化學作用

268 電氣分解.....360	272 電鑄術.....366
269 發刺德之定律.....361	273 電氣冶金術.....366
270 電離說.....363	274 蓄電池.....366
271 電鍍術.....365	

第九章 電流之磁氣作用

275 電流之磁氣作用.....368	279 弗打計.....373
276 導線圈.....369	280 電磁石.....373
277 正切電流計.....371	281 電鈴.....374
278 安培計.....372	282 電報機.....374

第十章 感應電流

283 感應電流.....376	284 倫慈之定律.....377
------------------	-------------------

285 自己感應	378	290 交流發電機	383
286 感應電流之動電力	379	291 電動機	381
287 感應圈	379	292 變壓器	385
288 電話機	380	293 電力輸送	387
289 直流發電機	382		

第十一章 電氣振動與電波

294 電磁波	387	297 無線電報	391
295 黑路茲之實驗	388	298 無線電話	393
296 檢波器	389		

第十二章 真空放電與放射能

299 放電	395	302 放射能	401
300 真空管內之放電	396	303 原子之蛻變	403
301 X 線	398		

第十三章 電氣與能力

304 帶電體之能力	405	氣之能力	408
305 放電與能力	407	307 電流之能力	409
306 摩擦電氣及感應電			

第十四章 量子論與原子之構造

308 自然之不連續	409	311 原子之構造	413
309 量子說	410	312 波耳之輕氣原子模	
310 光電效果	411	型	413

第十五章 相對性原理

313 以脫之難題	414	314 時刻之決定	416
-----------------	-----	-----------------	-----

315 相對性原理.....417	319 時空之變形與重力 421
316 時空之相對性419	320 對於一般相對性原
317 時空四元世界 420	理之實驗的證明 422
318 等價原理421	

附 錄

中英學語對照表1-21	人名中譯對照表.....1-2
-------------------	-----------------

高中物理學

緒論

1. 物理學 凡占有一定空間,由吾人感覺而認知其存在,如石塊,水滴,木片等者;謂之物體,構成種種物體之實質,總稱之為物質,散在於吾人周圍之物體集團,謂之物質界,徵之於吾人日常經驗,物質界常與時俱變,而非靜止不動者;例如地球之迴轉,月之運行,雷電之生起,風雲之變幻,薪炭之燃燒,動植物之生長等是,此等變化謂之現象,物質界及與其相伴之現象,總稱之為自然,研究自然之學問,謂之自然科學。

往昔物理學研究範圍,為自然全體,因其範圍太廣,包羅極多,不得不更事分科,而將有生活之有機界現象,歸之於生物學,關於物質組成之現象,委之於化學以研究之,其外天文學,地文學,又各自成科,故現今物理學所研究者,僅為物質與能力而已,其內容大別之:則為力學,物性,音學,熱學,光學,電磁氣學等科。

吾人研究物理學之目的,一在滿足吾人對於自然現象之智慾,藉以啓發人智;一在應用之,以增進吾人日常生活



之便利前者成爲純正學問，以探求真理；後者則專事應用今日號稱爲文明利器，如輪船，火車，電車，汽車，電報，電話，電燈，飛機等等，無一不爲物理學研究之賜物。

2. 物理學之方法 吾人獲得物理學之知識，其原因有三，一爲過去及現在學者研究之結果，二爲吾人思考及推理之結果，三則由吾人觀察與實驗所得之經驗，故吾人從事於物理學研究時，除廣覽各種書籍藉以獲得大體之知識外，更須由第二第三之方法以探討研究之。惟行此方法時當以遵守下述之順序爲便。

第一；須由實驗以確定與所研究現象有關之要素及原因，即物理量，謂之定性的研究，第二；測定與所研究現象有關之種種的物理量，而發見其間存在之關係，謂之定量的研究，第三；發見簡單表示所測定物理量間關係之實驗式，第四；將研究之現象與其他同樣現象相比較，而發見普存於此諸現象之普遍的關係，此普遍的關係，謂之定律，吾人之努力，即在使多數之現象，歸着於少數簡單之定律。

3 假說與理論 吾人非僅由定性的與定量的研究，以明物理現象之真相，及知此現象與他現象之關係，即爲滿足，當更進而求知此現象發生之理由，如此；爲說明現象發生之理由起見，吾人腦裏所設之假像，謂之假說，物理學中，通常皆以假說爲前提，藉數學之助將計算之結果，徵之

於實驗而驗其正否。故假說不僅能滿足吾人之理性，且可進而作新實驗之方針。苟實驗事實與假說有矛盾時，則不可不棄去此假說而從事於建立其他新說。

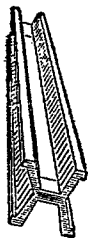
假說至足以說明多數現象，且由此出發之結果，徵之於實驗而無矛盾時，則謂之理論。如光之波動論，電子論等是。

原來吾人研究現象時，係藉感覺之助，由觀察與實驗以行之。故其所知者，僅為現象表現於吾人之某部分，決不能得知其現象真相之全體。隨之現今所謂理論云者，亦決非永遠之真理，不過為吾人用之以統一吾人所已知現象之假定綱目而已。

4. 單位 如前所述，行定量的研究時，必須測定與其現象相伴之長度，時間，等諸物理量始可。而行此測定時，又必須以某量為標準，而求其所欲測之物理量含有此標準量之倍數。此被取之標準，謂之單位。故單位之選擇，必須與所測定之物理量同一種類。然實際上亦無各種物理量均須獨立制定單位之必要。因若將長度與質量，時間，三種單位定後，則其他單位，均可由此組合而成。例如定長度之單位為尺後，則可導得面積之單位平方尺，體積之單位立方尺是。此三種單位謂之基本單位。由基本單位組合而成之單位，謂之誘導單位。

5. 長度之單位 長度之單位，各國不同。物理學上通

用者，為萬國同盟度量衡局所制定之米突法。米突法之基礎單位為米突，其長係取自通過巴黎天文臺之子午線由北極至赤道之長之千萬分之一。而以白金製成如圖之棒以為標準。後來學術進步，發見當時行子午線測定時略有差誤；兼之地球經長久年月之後，復有漸次冷縮之虞；故學者



圖一

者集議之結果，皆主張棄却此地球之標準，而逕以原器規定之長度為一米突。

原器之棒，係以白金90分鈹10分之合金製成。其形狀如圖一所示，有抵抗甚大不易屈撓之斷面。所謂一米突之長，即在不屈撓而致變更長度之中層上所刻二線間之距離，依近

世之測定，子午線四分之一之長，實等於10000220米突。茲將米突法之各種單位及其略字，詳記於下

對於米突之關係	英名	略字	通用記號	我國譯名
1000 米突	Kilometer	Km	千米	公里
100 米突	Hectometer	Hm	百米	公引
10 米突	Dekameter	Dm	十米	公丈
1 米突	meter	m	米	公尺
$\frac{1}{10}$ 米突	Decimeter	dm	分米	公寸
$\frac{1}{100}$ 米突	Centimeter	cm	厘米	公分
$\frac{1}{1000}$ 米突	millimeter	mm	毫米	公厘

6. 質量之單位 質量之單位,亦各國不同。物理學上所通用者爲尪。一尪之重量爲攝氏四度時一立方癩蒸溜水之重量。其原器亦保管於萬國同盟度量衡局。係用白金90分銀10分之合金鑄成之圓柱形分銅。一尪之千分之一爲克。因尪爲量過大,故通常單位多以克表之。茲將此系之各種單位及其略字,詳記於下。

對於克之關係	英名	略字	通用記號	我國譯名
1000 克	Kilogram	== Kg	== 尪	== 公斤
100 克	Hectogram	== Hg	== 尪	== 公兩
10 克	Dekagram	== Dg	== 尪	== 公錢
1 克	gram	== g	== 克	== 公分
$\frac{1}{10}$ 克	Decigram	== dg	== 尪	== 公厘
$\frac{1}{100}$ 克	Centigram	== cg	== 尪	== 公毫
$\frac{1}{1000}$ 克	Milligram	== mg	== 尪	== 公忽

7 時間之單位 時間之標準,通常皆取地球一週轉所需之時間以定之。因恆星離地球甚遠,由地球望見恆星之方向,與地球之公轉,可視爲無關。故某恆星進至觀測者之子午線內,即所謂南中後,再回至南中之時間,等於地球一週轉之時間其長一定。此時間謂之恆星日。

因吾人日常之生活與太陽有密切之關係,故時間之標準,亦依太陽而定,較爲便利。其太陽之中心二次繼續南中

時之時間，謂之太陽日。太陽日較之恆星日稍長，今說明其理由如下。如圖二， S 為太陽之位置，地球在 E_1 之位置時，假

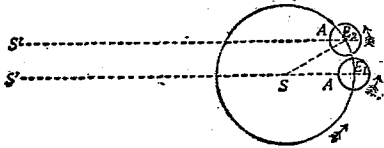


圖 二

定太陽 S 及某恆星 S' 同時進入觀測者之子午線 E_1A ，迨地球一週轉後，進至 E_2 之位置時，

原子午線處於 E_1A 平行之 E_2A 之位置，在無限遠之 S' ，雖屬南中；但在近距離之太陽，非俟地球再轉 E_2SE_1 之角度（約一度），不能再行南中。故太陽日較之恆星日，實長一地球週轉此角度所需之時間。地球之軌道，為以太陽為焦點之橢圓，地球公轉之速度，以距太陽愈近而愈大。故上述之 E_2SE_1 角之大小，每日不同，因之太陽日之長度，一年中亦時有長短。事實上不能取為標準。物理學上所用之標準，係將太陽日一年間之長短平均所得之時間，謂之平均太陽日。其 86400 分之一，謂之一秒。而恆星日一日之長度，約等於平均太陽日之 23 時 56 分 4.09 秒。

8. 絕對單位 如上所述，長度、質量及時間，三種單位。定後，則其他一切物理量之單位，可以組合而得之。凡由此三種基本單位組合而成之單位，謂之絕對單位。以厘、克、及秒，為基礎而得之誘導單位，謂之C. G. S. 制單位。故 C. G. S. 制單位，為一種絕對單位。英制用呎、磅、及秒，為基本單位之

絕對單位謂之 F. P. S. 制單位。例如面積及體積之 C. G. S. 制 及 F. P. S. 制 單位，各為 呎²，呎³，及 呎²，呎³，等是。

9. **密度** 比較體積相同之水與水銀，或鐵與金時；可知其所含之質量，有多少之差異。此質量差異所由生之理由，由於物質聚集時，因其種類之不同，其質量緻密之度亦隨之而異之故。此物質質量緻密之度，謂之密度。密度之大小，由單位體積內之質量多少以測之。故體積 V 質量 M 之物體，其密度 d 可依下式而決定。

$$d = \frac{M}{V} \quad \therefore M = dV$$

例如測得一立方呎之水重為 62.4 磅，故水之密度於 F. P. S. 制 為 62.4。又一立方呎之水重為 一克，故水之密度於 C. G. S. 制 則為 1。物理學中所舉密度，如無特別聲明時，皆指 C. G. S. 制 之密度而言。茲將數種重要物質之密度列表於下。

白金	21.5	黃銅	8.5	人體	1.07	硫酸	18.5
金	19.3	鐵	7.8	冰	0.918	硝酸	1.59
鉛	11.3	錫	7.3	松	0.5	鹽酸	1.27
銀	10.5	鋅	7.1	杉	0.4	海水	1.026
銅	8.9	玻璃	2.6	軟木	0.24	酒精	0.79
鎳	8.9	鋁	2.58	水銀	13.596	揮發油	0.75

10. 比重 通常所謂木片較之鉛塊爲輕，土砂較之羽毛爲重者，蓋就其同體積之重量相比較而言，物質之密度，既以單位體積內所含質量之多少以測之，而重量與質量又成正比例，故取同體積之種種物體而比較其重量時，則密度愈大而愈重甚明，爲比較同體積種種物質之重量起見，通常皆取水爲標準而測定其比重，即以某物質之重量，與其同體積攝氏四度之水重之比，謂之該物質之比重。

物質之密度，既由單位體積內之質量多少以測之，故其結果，須並用體積及質量之二單位以表之，其值由二單位之不同而異，比重則不然，因其爲同體積內之重量之比，其值爲不名數，故不因體積及質量之單位不同而異。

在 C.G.S. 制所測得各物質密度之數值，與其物質比重之數值，完全一致，故上列之各物質之密度表，亦卽爲各該物質之比重表。

11. 比例 行定量的研究時，當測定與所研究現象有關之種種物理量而確定其關係，既如前述，茲特舉常用之二三例以說明之。

例 1. 如以等速度作直線運動時，則其經過之距離隨時間之久長而增加；時間愈久，則距離亦愈長；時間增二倍，則距離亦增二倍；時間增三倍，則距離亦增三倍。凡如此類相關聯之二量 A, B, 若 B 增加二倍、三倍以至 n 倍時，A 亦隨之增加二倍、三倍

以至 n 倍;則 A 對於 B,謂之成正比例,或簡稱比例.

設相當於 A, B 之任意二數值為 a, b , 則表此成正比例之關係,用下記之符號.

$$a \propto b$$

因 a, b 之比為一定常數,故成正比例之關係,有時亦可以下式表之.

$$\frac{a}{b} = k \quad \therefore a = kb$$

上式中之 k , 為與 a, b 之數值無關之常數,謂之比例常數.

例 2. 如行一定距離之路程,則速度愈快,所需之時間愈少;速度加一倍,則時間減一半;速度減一半,則時間加一倍.凡如此類相關聯之二量 A, B, 若將其一量 B 增加 n 倍時,則其他量 A 減少成 $\frac{1}{n}$;則 A 對於 B,謂之成反比例.設相當於 A, B 之任意二數值為 a, b , 則表此成反比例之關係,用下記之符號.

$$a \propto \frac{1}{b} \quad \text{或} \quad a = \frac{k}{b}$$

$$\therefore ab = k \quad (k \text{ 為常數}).$$

若二量 A, B 之任意二數值 a, b 間有

$$a = kb^2 \quad \text{或} \quad a = kb^3$$

之關係時,則 A 謂之與 B 之平方成正比例,或 A 與 B 之立方成正比例.例如半徑 r 之圓之面積為 πr^2 , 球之體積為

$\frac{4}{3}\pi r^3$; 故圓之面積與其半徑之平方成正比例, 球之體積與其半徑之立方成正比例是。

又 a, b 滿足 $a=k\sqrt{b}$, $a=\frac{k}{b^2}$, 或 $ab^n=k$ 等之關係時; 則各謂之 A 與 B 之平方根成正比例, A 與 B 之平方成反比例, 及 A 與 B 之 n 次方成反比例。

若 A 與 B, C 二量有關, B 一定則 A 與 C 成正比例; C 一定則 A 與 B 成正比例時; 其 A 謂之與 B, C 之積成正比例。設 a, b, c 各為相當於 A, B, C 之數值, 其關係可以下式表示之。

$$a \propto bc \quad \text{或} \quad a = kbc \quad (k \text{ 爲常數})$$

例如底邊 b 高 h 之三角形之面積為 $\frac{1}{2}bh$, 故三角形之面積與其底邊及高之積成正比例是。

若 A 與 B, C 二量之積成正比例, 與 D 量之平方成反比例; 而其相當之數值各為 a, b, c, d 時, 則其關係可表之如下式:

$$a \propto \frac{bc}{d^2} \quad \text{或} \quad a = k \frac{bc}{d^2}$$

問 題

1. 設以 10 糧立方之銅塊, 製成銅球時, 求球之半徑為幾糧。
2. 設以上題之銅塊製成直徑 2 耗之銅線時, 求此銅線之長度。

3. 球之體積與其半徑之立方成正比例,設治半徑各為 3, 4, 5 糲之鉛球鑄成一球,時求此球之半徑.

4. 三角形之面積與其高及底之相乘積成正比例,設此時之比例常數為 1,則其面積之單位,應如何定之.

5. 求直徑 2 耗長 1 米之白金線之質量為若干.

6. 以立方寸為體積之單位,兩為質量之單位時,則水之密度如何.

7. 使體積 100 立方寸之冰化為水時,則其體積應為若干立方寸.

第一篇 物性

第一章 分子的現象

12. 物質三態 物質之狀態,雖屬千差萬別;然大別之可分爲固體,液體,氣體三種。如金,銀,木,石等有一定之體積及形狀者,謂之固體。如油,水等雖有一定之體積,而形狀則隨容器而異者,謂之液體。如空氣,輕氣等既無一定之形狀,復無一定之體積,能充滿於任何容器之內者,謂之氣體。氣體與液體,皆易於流動,故總稱之爲流體。

水在平常溫度時雖爲液體,然熱之則成爲水蒸氣,冷之則凝結成冰,此種變化,不僅惟水爲然,即其他固體如銅,鐵等,熱之皆能融解而成液體,再熱之亦能蒸發而成氣體,可知雖同屬一物質,如變更其溫度或壓力時,可使之成爲三態中之任一態,此種變化,謂之物質三態之變化。

13. 物質之組成 當細分某物質時,於不失其物質特性之範圍內,是否能無限細分,爲不能直接解決之問題,但爲說明多數之物理的與化學的現象起見,則以假定物質

之組織，非爲一樣的連續體，當繼續細分時，終必分得一不可再分之微粒，較爲便利，此微粒謂之分子。分子之學說，謂之分子說。由分子說，凡屬同種物質之分子，其質量，容積，性質與形狀皆完全相同。換言之，即凡物質皆由其物質特有之分子集合而成。1801年，道爾頓更進而假定分子復由與分子性質全異之一種或數種之微粒子集合而成，此種微粒，謂之原子。例如養氣之分子，由二個養氣原子集合而成；水之分子，由二個輕氣原子一個養氣原子結合而成。是此說謂之原子說。依原子說，凡屬同種之原子，其質量，容積，性質與形狀亦皆完全相同。

近世基於電氣學之研究，知物質之原子，更由陽電子之核與迴轉於其周圍稱爲電子之帶陰電之多數微粒子集合而成。此說謂之電子說。

14. 物質之通性 凡存在於自然界之所有物體，皆具有共通之性質，茲分述之於下。

I. 廣延 凡物體皆占有一定之空間，即隨之有一定之廣延，此廣延爲物體存在所不可缺之基本性質，吾人如離此廣延，即無由認識其物體之存在。

II. 不可入性 不可入性爲二物體不能同時占有同一空間之謂，吾人得由觸感以認識物體者，即恃物體具有此種性質之故。

通常之固體、液體具有此種性質，徵之於吾人日常之經驗，固甚明顯。但物體能於空氣中占有任意之位置，一見似與不可入性有相矛盾處。其實不然，因當物體變更其位置時，同時其處之空氣即被排擠他去，決非二物體能同時同占一處也。

III. 有孔性 存在於宇宙間之物體，無論其外表任何緻密，然徵之於實驗，其組織間依然存有無數之細隙。例如以 50 容積之酒精與 54 容積之水相混合，則所得之混合液為 100 容積，而非 104 容積是。此事一見雖似與不可入性相矛盾，但如承認物體內部存有細隙之後，則自易了解。

又當固體或氣體溶解於液體時，其溶液之容積無甚顯著的變化者，亦即物體內部存有細孔之證明。

美人培根氏曾企圖將水壓縮而施壓力於內中密閉有水之鉛球上，其結果水成微細之露狀而逸出球外，又意大利之福羅倫司大學，亦曾以銀球及鍍金甚厚之銀球作同樣之實驗，其結果皆與培根所得者相同。其他如輕氣能為鉀所吸收，碳酸氣能透過薄橡皮膜，赤熱之白金板能任輕氣之自由通過等，皆為物體有孔之好例。

IV. 被壓性 凡存在於自然界之物體，皆能由外部作用之壓力以減少其容積，此種性質謂之物體之被壓

性。三態之物體中，以固體最難壓縮，液體次之，氣體則最易壓縮。

通常以外力作用於物體而變更其形狀或容積時，物體即生一種恢復其舊狀之力，謂之物體之彈力。發生彈力之性質，謂之彈性。

V. 可分性 凡物體皆能由機械的方法，或溶解蒸發等自然力之作用而細分之，謂之物體之可分性。通常物體溶解於液體時，其溶媒各部分之溶質分配均勻者，即溶質細分之證明。又香氣之發散，由於發香體之細小部分飛散於空氣中之結果；置麝香於室中經長久時期之發香而其重量仍不少減，可見物體細分程度之細微。

VI. 物質不滅 燃點蠟燭或油燈時，其蠟與油即漸次消滅；又燃薪於竈焚炭於鉢時，最後僅剩小部分之殘灰；此等現象，為吾人熟知之事實。由此事實，似覺物質有由燃燒之作用而漸次消滅之傾向。反之，於製造硫酸時，每燃燒硫黃一尙約可得硫酸三尙之事實，又似物質因燃燒而有增加之趨勢。究之物質因化學的變化而漸次消滅乎？或漸次增加乎？成爲一問題。欲解決此問題，可入磷於底部墊有石棉之燒瓶中而密封其口，先以天秤測定其重量，然後加熱於置磷之瓶部，則磷即行燃燒而盛發白煙充滿於瓶中。待火熄瓶冷後，再用天秤秤之，

則其重量毫無增減。由此可知物質雖因化學之變化而異其性質至其重量，實無所增減。前述之蠟、油、薪、炭等之減少，硫黃燃燒後重量之增加者，實因其燃燒時，與四周空氣中之氧氣起化合作用，成爲二氧化的炭氣而散逸，或變爲二氧化硫後再經其他化學作用成爲硫酸故也。此宇宙間之物質，有一定之總量，不因任何變化而致稍有增減之事實，謂之物質不滅之定律。

15. 分子力 徵之於物質之有孔性及可分性等事實，可知物質之分子，並非密着的相集合者，其間仍存有間隙。其組織有如無數星球集合而成天河之觀。如此組織物質之分子其間既容有間隙，而物體猶能保持一定之形狀或體積者，實因分子與分子之間，有一種引力互相牽引之故。此力謂之分子力。分子力甚爲微小，僅能作用於較一耗之百萬分之一爲小之距離內，稍遠則失其效力。例如一經折斷之鐵棒，雖湊合之任加如何壓力均不能使之接合者，即因普通力量不能壓使分子至起分子力作用之距離以內之故。

分子力可分爲二種，一爲同種類分子間之引力，謂之凝聚力；一爲異種類分子間之引力，謂之附着力。例如扯長物體時，常感覺一種抵抗者，即爲凝聚力之結果；以鉛筆寫字於紙上或鍍金於金屬面上，則爲附着力之結果是。又插玻

璃棒於水中而抽出之，則棒上附有水滴者；蓋因玻璃與水之附着力，大於水之凝聚力之故。若插玻璃棒於水銀中而抽出之，則棒上並無水銀附着者；蓋因水銀之凝聚力，較之玻璃與水銀之附着力為大之故。

16. 分子運動 由上節所述，組成物質之分子既以引力互相吸引，而其間仍容有間隙不致互相密接者，其原因蓋基於分子不絕的激烈運動，即因分子之運動，致物體各分子生互相隔離之傾向；同時又因分子引力生互相接近之傾向，因之物體得以保持其一定之形態。

固體之所以有一定之形狀及體積者，因其分子間之凝聚力甚大，其分子不過各於一定之區域內作四方之往復振動而已。液體之所以有一定之體積而無一定之形狀者，因其凝聚力較之固體為小，其分子易於滑動故也。冰融為水時，其體積稍為減少；水化為水蒸氣時，其體積約增至千六百倍。故水蒸氣之分子間之距離較之冰及水時至為遠大。不僅水蒸氣分子間之距離為然，通常氣體分子間之距離均甚大，故其凝聚力亦至為薄弱，其各個分子皆能自由作直線運動；苟非衝突於器壁或其他分子時，決不變更其運動方向，故氣體得以任意充滿於容器之內也。

物體分子之運動，因溫度愈高而愈烈，如加熱於固體時，則因其溫度之上升，同時分子之振動亦漸次激烈，終至脫

（溫度因件）
（高溫度時）

離自身之振動區域而潛入於其他之分子間，開始滑動而呈融解之現象。如再加熱於融解液時，則分子運動益為激烈，分子中速度之特大者，竟至脫離凝聚力之羈絆而逸出液外，呈所謂蒸發之現象。

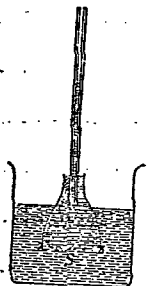
17. 擴散 使二種不同之液體或氣體相接觸時，則二種液體或氣體經過相當時間後，即互相侵入而至完全混合，此種現象謂之擴散。例如盛水於玻璃筒中而於其上靜注酒精時，則初時二者之境界，判然分明；待後則漸次模糊，終至完全混合。是又於筒底穿孔以管連於炭酸氣之發生器以送入一部分之炭酸氣後，如以燭火懸入之，則因養氣缺乏之故，竟至熄滅。若經時稍久，則不致熄滅，蓋因擴散作用，其下層之炭酸氣已與上層之空氣互相混和故也。

擴散之遲速，由二液體或二氣體之性質而異。通常液體較氣體為遲，特於油與水時，其擴散作用極其遲緩。日常譬事物之不相和諧，謂之如油水之不相融者，即此之故。至氣體之擴散，則以質量愈輕者而愈著。如以管連結密閉之輕氣筒與空氣筒時，則二者可於瞬時間即行混合。

擴散之現象，易以凝聚力甚小而分子之振動甚烈之理以說明之。例如於甲乙二液體接觸面之近傍，甲液體之某分子因其速度甚大之故，飛入於乙液體；同時乙液體之分子，亦飛入於甲液體。此種動作，繼續不絕，經若干時後，二液

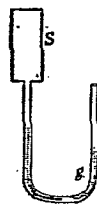
體自然漸次混合，在氣體之分子，其運動完全自由，故二氣體相接觸時，初時雖尚有多少境界，瞬時之後，即行完全混合。

18. 滲透 如圖三所示，張橡皮薄膜或膀胱膜 S 於下端開口之瓶底，於其內盛着色之酒精，嵌一插有玻璃管之軟木塞於瓶口而直置之於水中，則酒精即行透過薄膜而出至水中，水亦透過薄膜而進至瓶內，因其透入之水較透出之酒精為多，故着色之酒精，即漸次上昇而至於細管之中。



圖三

又如圖四所示，以盛有少量之水之 U 形管 g 之一端，與充滿煤氣之生瓷瓶 S 相連結，則空氣透過瓶壁而進至瓶內，煤氣透過瓶壁而出至瓶外，因空氣進至於瓶內較之煤氣出至於瓶外為遲，故水即行漸次由左管上昇。



圖四

如上所述，以有孔性之物質為界之二液體或二氣體能透過此為界之物質而互相滲入之現象，謂之滲透。白糖、食鹽等結晶體之溶液，雖能透過薄膜而呈滲透之現象；而如糊精、蛋白質、膠質等非結晶體之溶液則無之。故以糖與膠之混合液盛入於上述之張有薄膜之瓶內，則糖液即行滲

出於瓶外，而膠則殘存於瓶內，二者得以分離之。故如遇有服亞砒酸等結晶體之毒而致死之疑案，可將死者胃中之內容物取出少許，置入於張有滲透膜之瓶內，則僅亞砒酸能與其他非結晶體分離而滲出膜外，容易驗知其有無砒毒。此法謂之滲透分析，為工業上所常用者。

滲透之現象與擴散相同，亦可以凝聚力甚小而分子之振動甚烈之理以說明之。

19. 溶解 以杯盛水而投入少量之食鹽，則食鹽即行與水相混合，以致自力不能分辨。以白糖投入水中亦然。此種現象，謂之溶解。由溶解作用所得之液體，謂之溶液。被溶解之物質，謂之溶質。溶解溶質之液體，謂之溶媒。單位容積內所含溶質之質量，謂之溶液之濃度。例如溶解有白糖或食鹽之水，即為溶液；其水為溶媒，白糖或食鹽為溶質。是溶解之現象，亦可以擴散與滲透之同理以說明之。

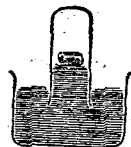
於一定溫度之下，能溶解於一定容積之液體中之氣體或固體之量，有一定限度。即一定溶液於一定溫度之下所具之濃度有一定之限制。此限度謂之其溫度之溶解度。溶解度因溶質與溶媒之不同而有差異。其溶媒於一定溫度之下溶解所能溶之溶質之溶液，謂之飽和溶液。

固體之溶解度通常皆依溫度之上昇而增加，故使某溫度之飽和溶液冷卻時，則固體之一部分常結晶而析出，然

有時亦有不析出而強含之者，此時之溶液，謂之過飽和液

二種不同之液體互相混合之現象，亦謂之溶解，例如注酒精於水中而攪拌之，則酒精即行溶解於水中，是反之，水亦可謂之溶解於酒精中，如是；凡作二液之混合液時，甲液固可謂之溶解於乙液，同樣乙液亦可謂之溶解於甲液，隨之甲乙二液俱可謂之溶質，而通常所謂溶質，皆指其量較少之液體而言，能混合之二種液體，不似固體有一定限度可以任意之比以混合之。

20. 吸收 如圖五所示，以試驗管充滿水銀而倒立於水銀槽中，導亞摩尼亞氣升入其中而使水銀下降，再由管口送入一小木炭，則木炭浮於水銀面上而將亞摩尼亞氣吸收殆盡，水銀仍復上昇。



圖五

又以細管插入密閉有亞摩尼亞氣之燒瓶中，而將管口倒浸於水中，則因亞摩尼亞氣極易為水吸收，即經由細管而溶解於水中，隨之燒瓶內之壓力減少，水即由管之他端激烈噴出，此固體或液體吸收氣體之現象，謂之吸收，吸收作用不外氣體與液體或氣體與固體間所起擴散現象之特種情形，可以分子說與前同樣以說明之，通常雨水含有碳酸氣及水面近處多少含有空氣者，職是之故。

液體吸收氣體之量，與壓力之大小成正比例，而與溫度

之高低成反比例。拔汽水、啤酒等之栓時，則盛發氣泡者；即因壓力減少後其所溶解碳酸氣之一部分因而逸出之故。又徐徐加熱於盛水之玻璃杯時，亦有氣泡上昇者；因水之溫度上昇，致其中所溶解空氣之一部分，即行逸出之故。故欲除去溶液中所溶解之空氣，或其他氣體時，加熱使該液體至沸騰即可。

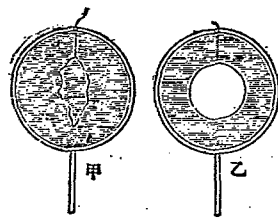
又灰及吸水紙等甚能吸取液體，亦屬吸收作用之一種。其原因則屬於毛管現象，容後述之。

21 表面張力 如圖六所示，以脂肪塗於針上使不沾水而載之浮於水面之吸水紙上，則暫時間紙雖下沈而針仍能浮於水面。若細察其浮起之情形，則水面恰似張有一層橡皮之薄膜。此膜有自行收縮之傾向，故針得以不致下沈。此種現象，經研究之結果，不僅惟水為然。凡所有液體，均多少具有同樣之性質，謂之表面張力。吾人日常目見之水蟲能匍匐於水面；及蚊類可靜立於水上者，即皆藉此表面張力之故。



圖六

又以銅線彎成如圖七甲所示之輪狀，浸入於濃厚肥皂液中而取出之，則其上張有一薄層之肥皂膜。如靜置一滯有肥皂水之



圖七

絲線圈於其上，而以燒熱銅線衝破絲線圈內之肥皂膜，則膜破後絲線圈外之肥皂膜，即因表面張力致張成圓形如圖七之乙方所示。蓋因圓為周邊一定之各種平面形中面積之最大者，絲線圈外之肥皂膜因張力之故，欲收縮至極小，遂不得不使絲線圈之面積擴張至極大故也。

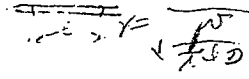
液體因表面張力之故，在一定環境之下，有使其表面收縮成最小之性質。球為體積一定之各種形狀中面積之最小者，故落下之雨滴，皆成球形。以玻璃棒之一端插入於酒精燈之焰中而赤熱之，亦凝縮成球形。其他如草上之露珠，荷上之水珠，桌上之水銀珠等，皆成球形者，亦皆因表面張力之故也。

表面張力之強弱，因液體種類之不同而異。就中以水銀為最大，水、油、酒精，以脫等以次遞減。如以油滴於水面，則因油面之收縮力較弱於水，水面因收縮而牽引油之周圍，故油即行散佈於水之全面。

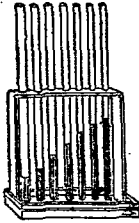
投樟腦之小片於水面，則激烈運動者，因樟腦之形狀，無一定規則，其四周之溶解於水者，有遲速之差異，而溶解有樟腦之水之表面張力，較之純水為弱，故樟腦周圍各部所受之張力，各不相同，因而起運動之現象。

22. 毛管現象 如圖八所示，以粗細不同之細玻璃管多枝，立於能濡濕玻璃之液體，例如水中，則水即上昇於管

水表面張力 $2\pi rS = \pi r^2 h D g$
 $\therefore S = \frac{r h D g}{2}$



水銀 $S = \frac{r h D g}{2}$



內，其面呈凹形管愈細而上昇之度亦愈高。又將此諸管立於不能濡濕玻璃之液體，例如水銀中，則管內之水銀面，反較管外為低，其面呈凸形管愈細而下降之度亦愈低。此種現象，謂之毛管現象。毛管現象，依實測之

結果，得下述之定律。

管之內外液面高度之差，與管之半徑成反比例。

上述之定律，謂之久倫之定律。

毛管現象，因液體之凝聚力與液體及管壁之附着力之大小不同而生。因水與玻璃之附着力較水之凝聚力為大，故水即行上昇於管壁上。此管壁上之水與管內之水面連成一表面，由其張力作用，收縮至極小面積因而將管內之水引高，故其面呈凹形。又

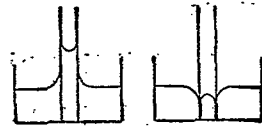
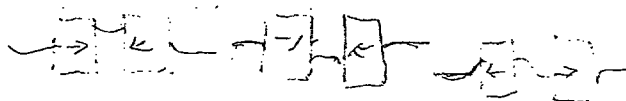


圖 九

張力之大小有一定，故其引上之水量亦為一定。因之管愈小時，其上昇之水面亦愈高。反之，水銀之凝聚力較水銀與玻璃之附着力為大，水銀不能沿管壁而上昇，致其下面與管壁相連之部分，與水銀面連成一表面，因張力作用而收縮，使水銀面下降而呈凸形。此張力之大小，亦有一定，故降下之水銀量亦一定。所以管愈小而水銀面降下之度亦愈低。



$$\text{彈性} = \frac{\text{应力}}{\text{变形}}$$

毛管現象之實例甚多，如燈蕊之吸油，毛筆之含墨，吸水紙之吸墨水等，皆其適例。

問 題

1. 茶壺之蓋上，必開小孔，何故？如塞阻此孔時，則水即難由壺嘴流出，何故？
2. 取二鉛片以小刀削之，將其被削之面捻合之，則即行附着，何故？
3. 貼郵票時，如不濡濕之，則粘不着，貼後待乾，即行附着，何故？
4. 折斷之玻璃管，雖緊壓之亦不能密着，如赤熱其兩端而融合之，則即行密着，何故？
5. 加熱於盛水之容器，則器壁常生氣泡，何故？
6. 設直徑 1.8 耗之毛細管中水之上昇高度為 15 耗，求水能昇高至 45 耗時，其管之直徑應為幾耗。

第二章 固體之性質

23. 彈性 以外力作用於固定之物體時，則物體常變更其形狀，或體積，而發生一種與外力方向相反之抵抗力，如除去其外力，則即行恢復原形，例如引長橡皮條，屈撓竹片，扭轉銅線，以唧筒壓縮空氣等事，俱足以實驗而證明之。此種受有外力作用即行變更其形狀與體積，而除去其外

力即行恢復原形之性質，謂之彈性。具彈性之物體，謂之彈性體。因外力而變更之形狀與體積，謂之變形。已變形之彈性體恢復其原狀之力，謂之彈力。

以外力作用於物體時，其所生之變形，可分二種：一為變更形狀而不變更體積之變形，一為不變其形狀僅變其體積之變形。對於形狀變更之彈性，謂之形狀之彈性。對於體積變更之彈性，謂之體積之彈性。通常引長、壓縮或屈撓、扭轉固體時所起之變形，皆為形狀而兼體積之變形，其情形至為複雜。

又以外力作用於物體，如其所生之變形不甚大時，則除去外力後，物體仍可恢復其原形。如其變形超過一定限度時，則雖除去外力，亦不能恢復物體之原狀。此除去外力後彈性體能恢復原狀之變形最大限度，謂之彈性限度。通常金屬之彈性限度甚小，而竹片、橡皮等之彈性限度則甚大。以力作用於彈性體，超過其彈性限度而與以變形時，則生所謂永久變形。其形狀變後，能永久保持而不變。貨幣之花紋，與金屬器皿上之凸出花紋等，即係利用此種性質製成者。又彈性之限度甚小，受外力之作用後，雖生稍許之變形亦行破壞之性質，謂之脆性。玻璃、蒼鉛等，其適例也。再彈性之限度甚小，雖超過後亦不致破壞而生永久之變形者，謂之粘性。鉛、金、銀、銅、蠟等，其適例也。

又以力作用於物體，使其變更形狀或體積時；若力之作用時間甚短則除去此外力後，雖物體能即行恢復原狀，若力之作用時間過長，則雖除去其外力，而物質亦不能恢復其原形，此種現象，謂之彈性之疲勞。例如以手彎曲竹片，則放手後，片即伸直；若以繩繫之使成弓形，置之數日，則雖去繩，片亦不能成正直是。

24. 福克之定律 由英人福克研究之結果，得知於彈性限度內作用之外力，與其變形之關係如下。

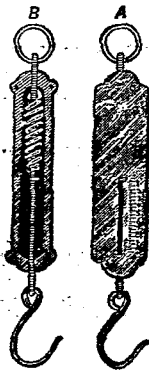
彈性限度內物體所生之變形，與其作用之外力成正比例

上述之定律，謂之 *Hookes Law 福克定律* 即 福克之定律。

$$\frac{\text{外力}}{\text{變形}} = \text{常數} = e - \text{彈性}$$

上式中之 e ，為不關於變形與外力之大小如何，各種物體特有之常數，謂之該物體之彈性率。吾人由此彈性率之大小，即可推知其物體之富於彈性與否，但不可不注意者，即彈性率與彈性限度，完全為二物，不可混淆之。例如鋼鐵之彈性率大，而其彈性限度小；反之，橡皮之彈性率小，而其彈性限度大是。

由福克定律，物體之變形與其作用之外力成正比例，故以鋼鐵線彎作螺旋形，固定其一端而於他端懸垂分銅時，則螺旋即行延長；若分銅之重量增加二倍，則其延長亦增



加二倍，吾人利用此種性質，如將其延長預為劃分格數，即可用之以測定物體之重量。是謂彈簧秤。

25. 彈性率 彈性體所受之變形，因外力作用方法之不同而有差異，茲將數種變形與外力之關係之最重要者，述之於下。

I. 伸長 固定長為 L ，斷面為 s 之

金屬線，而於其下端懸一重 W 之錘時：設

圖一 * 金屬線之伸長為 l ，則 $\frac{W}{s}$ 為單位面積上所受之作用力，而 $\frac{l}{L}$ 為單位長度所生之伸長，由福克定律，其 $\frac{l}{L}$ 與 $\frac{W}{s}$ 成正比例，故得下式。

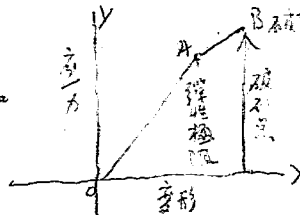
$$* \frac{W}{s} \propto \frac{l}{L} \quad \therefore W = E \cdot \frac{ls}{L}$$

上式中之 E ，為各種金屬線特有之常數，謂之伸長之彈性率，或稱楊格之彈性率。於上式，設 $L=l$ ， $s=1$ 時則 $W=E$ 。故楊格之彈性率，在不過過金屬線彈性限度之範圍內，等於伸長斷面一平方耗之金屬線至二倍長時所需之力。

II. 屈撓 支持寬為 a ，厚為 b ，長為 l 之棒之兩端於臺上，而於其中點懸一重為 W 之錘時：設其中點下墜之距離為 s ，則由理論上及實驗上之結果， s 之值如下

式。

$$* \frac{\frac{W}{s}}{l/b} = \frac{WZ}{s^2} \text{ dynes/cm}^2$$



$$s = \frac{1}{4E} \cdot \frac{l^3}{ab^3} \cdot W$$

上式中之 E 爲楊格彈性率。由上式， s 與厚之三乘成反比例，故寬度雖小，如厚度加大時，則棒之屈撓仍小。舉凡建築工程及鐵橋等之橫樑，皆豎置板狀之材料者，即此之故。

III. 扭轉 以能率 μ 之動力，扭轉長 l ，半徑 r 之金屬線時，設金屬線扭轉之角度爲 φ ，則計算上之結果，其 φ 之值如下式。

$$\varphi = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{l}{r^3} \cdot \mu \quad \mu = \frac{2}{\pi} \frac{W}{r^2}$$

上式中之 n ，爲各種金屬線特有之常數，謂之扭轉之彈性率。

26. 剛度 以張力作用於金屬線或棒之兩端，而使之截斷時，其金屬線及棒所呈之抵抗，謂之對於其伸長之剛度或單稱剛度。剛度之大小，通常皆以截斷斷面爲一平方耗之金屬線所需之莊重量以測定之。茲將數種金屬之剛度列表於下。

鋼鐵	80	白金	30
鐵	60	銀	29
白銅	60	鋅	13
銅	40	鉛	2

金屬線之剛度，與其長度無關，如斷面之形狀一定時，與其斷面之面積成正比例。若金屬線或棒之斷面面積一定，則其斷面為圓形時之剛度，較之斷面為矩形時之剛度為大。又若棒之長度及其質量一定，則成圓筒狀時之剛度較之成圓柱狀時之剛度為大。而成圓筒狀時，設其外圓半徑與內圓半徑之比，等於 11:5 時，則其剛度之值為最大。鳥類之骨，及禾本科植物之幹等，皆作圓筒狀者，即在以一定之質量，而生甚大之抵抗之故。

27. 硬度 物體抵抗外物，不因其摩擦而致發生傷痕之性質，謂之硬性。硬性之大小，謂之硬度。硬度之大小，通常皆以二物體相摩擦而比較之。即使他物表面受傷痕，物體之硬度，可定為較被他物致傷痕之物體硬度為大。是摩斯氏為比較物體之硬度起見，特選擇下列十種礦物，依其硬度之順序，排列如下，謂之摩斯之硬度表。

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

物理學者雅不欲由物體之硬度，與他物體之硬度相比較，以定硬度之大小，而擬定一絕對的測定硬度之方法。此種計劃，雖自古代即曾施行種種之實驗，但尚無為普遍採用之善法。黑魯滋氏雖基於物體之彈性，曾下一硬度之完

全定義，因其理論之結果，與實測之結果不相一致，故其方法亦未至普遍採用之程度。

28. 延展性 以外力作用於物體，超過其彈性限度，而該物體尚不致破壞，得壓展之使成薄片之性質，謂之展性；或引長之使成細線之性質，謂之延性。金、銀、錫等，為富有展性者；通常可鎚之成箔以用之。就中以金之展性為最富，可展成厚僅百萬分之一之薄箔。白金、銀、鐵、銅等，為富有延性者；就中以白金之延性為最富，可引之成直徑僅十萬分之三吋之細線。

玻璃、水晶等物質熔融之後，亦可引長之成為細線。水晶依此法抽得之細線，其直徑可較 2.5×10^{-5} 厘米為小。

問 題

1. 彈簧秤為測量物體重量之器械乎？抑為測量物體質量之器械乎？試說明之。
2. 於彈簧秤之下端懸重物五斤，設其彈簧伸長二厘米；則欲使彈簧伸長八厘米時，問須懸重物若干斤。
3. 弓、鐘之發條及氣槍等，皆為利用彈性之裝置，試說明之。

第三章 液體之性質

29. 液體之壓力 液體雖有體積之彈性，但其分子間

之凝聚力甚小，而無形狀之彈性，故其各部分極易滑動，受重力之作用而生流向下方之傾向。故盛液體入容器內而防止其流出時，則液體作用於容器之內壁而生壓力。此壓力之大小，與液體之深度成比例。故如圖一一所示，於容器之側壁穿若干小孔時，則水即行迸出。孔愈低，水之迸出亦愈遠。

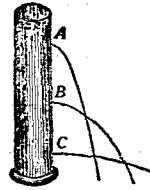


圖 一 一

因液體各部分極易滑動之結果，關於液體之壓力，得下述之事實。

靜止之液體，壓於容器之內壁，或作用於液體內部物體表面之壓力，其方向與器壁或物面成垂直。

此種事實用圖一一所示之裝置，由其側壁小孔迸出之水柱與側壁垂直之結果，可以實驗之。

於試驗管之側壁或底部之任意部分，穿一小孔而置入水中，則水即由此孔流入於管內。可知液體之壓力，非僅及於容器之壁面，或沈於液中之物面；即其液體內部之各點，亦皆存在。

所謂液體內部某點 p 之壓力云者，係想像一通過其點之單位面積之面，而液體作用於此面之力之謂也。如變更通過此面之方向時，因壓力常與其作用之面成垂直，故壓力之方向亦因之而變更。可知液體內部一點之壓力，應如



圖 一 二

圖一二所示,作用於所有之各方向。

30. 壓力之傳達 以筒盛豆而用活塞由上壓下時,則被壓之豆,即行擠入其下面之豆與豆間,不但其下面之豆被擠,即其前後左右之豆亦皆被擠,可知所加之壓力,被豆傳達至筒底與側壁之各部,若加壓力於易於滑動之液體,則由實驗結果,得下述之事實,

加壓力於容器內所盛液體之一部分時,則液體即行將此壓力,不變其大小傳之於其各部分,其方向與液體之表面均成直角。

上述之原理,謂之巴斯開之原理。

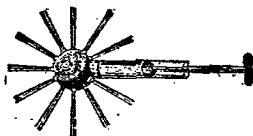


圖 一 三

應用巴斯開原理,可以小力生成

大力,如圖一四所示,以管連結大小不同之三圓筒之下底

而盛水入內;於小筒之活塞上施以力 P ,使與大筒之活塞上重物 W 相平衡,設大小二活塞之面積各為 a , b ,則由巴斯開原理,其兩活塞上壓力之強度 $\frac{W}{a}$ 及 $\frac{P}{b}$ 相等,故

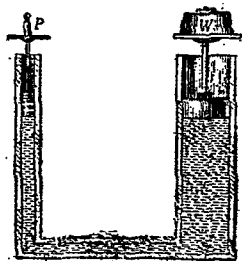


圖 一 四

$$\frac{W}{a} = \frac{P}{b} \quad \therefore W = \frac{a}{b} P$$

即面積 a 較 b 為大時，則能以小力 P 生成與 W 相等之大力。

水壓機 即為應用此種原理所成之壓榨器械。其構造如圖一五所示由一管連通具有活塞之大小二圓筒而成以槓桿 omn 舉起小活塞 A 時，

則瓣 V_2 閉而 V_1 開，使水吸入筒內。再壓活塞 A 向下移時，則 V_1 閉而 V_2 開，送水入於大圓筒中，發生大壓力，使圓柱 B 上昇。因之置於圓柱臺上之物體，即被壓榨。設作用於

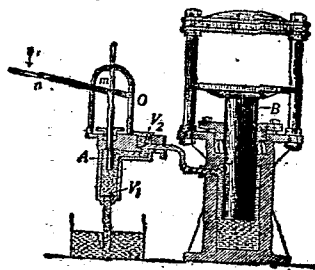


圖 一 五

n 點之手力為 F ，由槓桿之理，於 m 點作用於活塞 A 上之力為 $\frac{om}{on} \cdot F$ 。故設 A, B 之斷面各為 b, a ， B 上之壓力為 W ，則

$$\text{壓力之強度} = \frac{om}{on} \cdot \frac{F}{b} = \frac{W}{a}$$

$$\therefore W = \frac{a}{b} \cdot \frac{om}{on} \cdot F$$

當水壓機之圓筒內壓力增加時，則水往往滲過圓柱與圓筒之間隙而透出。為防止此弊起見，通常皆用如圖一六所示之韃皮輪 R 嵌於圓柱與圓筒之間；則壓力增加時，其進入輪內之水即壓輪向外擠，使輪與圓柱筒之壁相密接，則水不致於透出。此韃皮輪為英人白拿馬氏所設計，故上

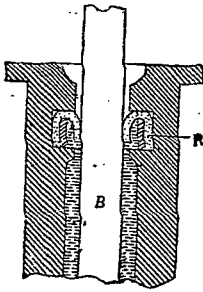


圖 一 六

述之水壓機，通常皆稱之爲白拿馬水壓機。

31. 液體之自由表面 液體上部與大氣或其他氣體相接觸之表面，通常謂之液體之自由表面。因液體能自由滑動，故其自由表面常與作用於其面之外力方向相垂直。例如液體僅受

重力之作用時，其表面即成與沿直線垂直之水平面，如海洋之水面，其面積過於遼闊時，則成爲處處與重力方向垂直之球面。即容器內之小部分液面如以嚴格論之，亦爲多少彎曲之球面一部分。因其面積甚小，彎曲之度極微，故通常皆視爲平面，亦無妨礙。

檢查平面之是否爲水平之器具，謂之水準器。其構造如圖一七所示，由密封酒精或以脫於彎曲成弧形之玻璃管內，而留一小氣泡而成。管下連一平板臺，檢查時載平板臺於被檢查物體之面上。若其面成水平，則氣泡居中央之位置，若其面稍行傾斜，則氣泡偏移於管之一端。故可以辨別其面之爲水平與否。

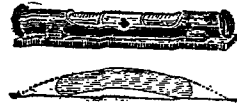
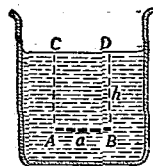


圖 一 七

32. 由重力所生之壓力 如後章所說明，凡地面上之物體，其表面皆受有大氣之壓力，故容器內之液體，其表面

上亦受有大氣之壓力，由巴斯開原理，此壓力復由液體均等的傳達於其內部之各點，又液體除受有此種壓力外，由其自身之體重，亦順次層層相壓，故可知受有重力作用之液體，其內部所受之壓力，與其深度成正比例，在深度相同之水平面上，其各點所受之壓力亦必相等。

設距液面 h 厘米深處，有一面積 s 平方厘米之水之薄層 A B，則此薄層上所受之壓力，等於其面上液柱之重量。因此液柱之體積為 sh 立方厘米，設液體之比重為 d ，則液柱之重量為 shd 克。以面積 s 除此重量時，即為其單位面積上所受之壓力。設壓力為 p 則



圖一八

$$p = \frac{shd}{s} = hd$$

設作用於液面之氣壓強度為 p_0 ，則液內 A B 面上所受之壓力 p ，為因液重所生之壓力 hd 與由巴斯開原理傳達於液體內部各點之大氣壓力 p_0 之和，故

$$p = p_0 + hd$$

液體內部某點之壓力，非僅能向下方起作用，即上方亦能生效力，茲實驗之如下。如圖一九所示，以線懸一圓而且輕之金屬板，使蓋於玻璃圓筒之下端而沈入水中，則板能附着於筒口而不致下墜。若注水於圓筒內，使內外水面略齊時，則板即行下降。可知液體內部非僅有向下之壓力，亦



且有向上之壓力。此向上之壓力與向下之壓力，其大小相等，均為其上面液柱之重量。

盛液體於容器內時，其容器底面所受之全壓力，謂之底壓。由上所述，液體內部任意一點所受壓力之強度，由其點位置之深度而定。故

設器底之面積為 s ，器底距液面之深度為 h ，液體之比重為 d 時，則器底全體所受之壓力為 shd 。此壓力等於底面 s 高 h 之水柱之重量。可知底壓之大小，僅與其底之面積及液之深度有關，與器之形狀無涉。如圖二〇所示，取形狀不同而底之面積相等之三器，順次載之於圓板臺上而注水入內，可驗得如其水之深度相等，則影響於圓板上之壓力亦相等。

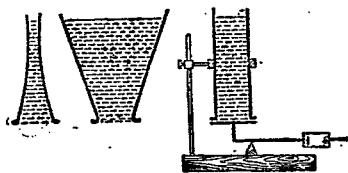


圖 二 〇

33. 連通管 如圖二一所示，注水於具有種種形狀之支管 A, B, C 之器內，則靜止後各支管之液面，同在一水平面上。設支管 A 之水面，較其他之支管為高或低時，則液體

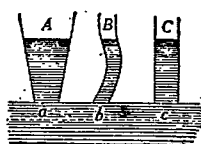
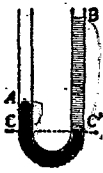


圖 二 一

內同一水平面 abc 上 a 點之壓力，較其他 b, c 各點為大或小，液體因之起運動作用，而非靜止矣。

又如圖二二所示，取彎曲之 U 形管一



枝於其兩邊各盛入水與水銀，或水與油等不相溶之液體，則兩管液面之高度不相一致，俟其靜止後，通過其二液面相接之表面 C' ，引水平面 CC' 時，則 C, C' 上所受之壓力應相等，而

此相等之壓力，實各等於其單位面積所受液體之重量，設 h, h' 為由 CC' 至兩液面之高度， d, d' 為兩液體之密度，則二壓力各等於 $hd, h'd'$ 之重量，故

$$hd = h'd' \quad \text{或} \quad h : h' = d' : d$$

即 二液之境界面至二液面之高度，與其二液體之密度成反比例。

以上所論者，僅為壓力之強度而不及管口斷面之大小，但此定律，則無論管之形狀如何，皆屬真確。

井、噴水、自來水等，即為利用液體受重力之作用靜止而成水平面者。因地中之地層種種不同，或為砂質，或為小石，或為粘土，其地中之水，對砂與小石，雖能通過；但遇粘土時則不能通過，而積聚於地中。故吾人由地中水之通路或積水處，掘成垂直的坑道時，則成為通常之井。若水源地較該處為高，則水即由地中噴出，成為噴泉。自來水供給用水之情形，如圖二三所示：其水由水源地 a ，經隧道使通過道路 r 河床 b 高地 u 等之下面，而導之於貯水池 e ；再用唧筒壓之使上升至水槽內以增高其位置，然後由水槽經由埋

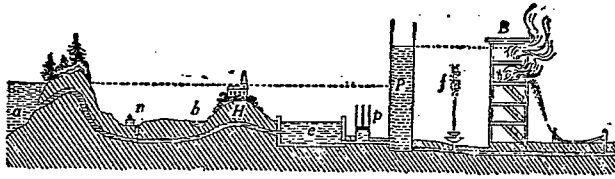


圖 二 三

於地中之鐵管，送之於全市以供使用。故雖在高層之建築物上，亦可能得給水之便利。

34. 亞幾默德之原理 如圖二四所示，沉四角磚 *areo* 於液中，使其一面成水平則作用於四角磚之前後左右四面之壓力，因其深度相等故大小亦等，成平衡之狀態，其作用於上下二面之壓力則不然，作用於上面之壓力，其大小等於液柱 *soa* 之重量；作用於下面之壓力，其大小等於液柱 *src* 之重量，其差恰等於與四角磚之體積相等之液

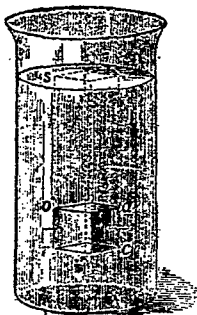
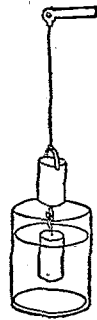


圖 二 四

重。因此壓力使四角磚向上方浮起，故四角磚之重量恰似減輕。此種壓使向上方浮起之力，謂之浮力。吾人能於水中移動甚大之石塊，及以指頭支持自身之體重者，職此之故。依實測之結果，不僅四角磚沉於液中能減輕與其同體積之液體之重量，凡沉於液中之任何物體，皆須減輕

與其體積所排除之液重，此原理謂之亞幾默德之原理。

實驗亞幾默德之原理，當以如圖二五所示之裝置為便利如圖：懸銅製之圓柱及中空與此圓柱同容積之空筒於天秤之一端，他端置分銅於秤皿而使兩端平衡，然後取杯水置於其下而使圓柱沈入水中，則可見秤桿即行傾斜，以示圓柱之一端重量減輕，若再注水入空



圖二五

筒中使滿，則秤桿復歸平衡，可知圓柱因沉入水中所失去之重量，恰等於其所排除之水重。

35. 浮體 以重 W 克之物體沉於液中時，設與物體同體積之液重（即浮力）為 P 克，則該物體在液中之重量為 $W - P$ 克，又設物體之體積為 V 立方極，物體及液體之比重各為 d_1, d_2 時，則 $W = Vd_1$ 克， $P = Vd_2$ 克，故物體在液中之重量 W' 為

$$W' = W - P = V(d_1 - d_2) \text{ 克.}$$

觀上式，可知物體在液體中之浮沈，當依下列條件而判定之。

- I. 物體之重量較液體之浮力為大，即 $W > P$ 或 $d_1 > d_2$ 時，則物體沈於器底。
- II. 物體之重量等於液體之浮力，即 $W = P$ 或 $d_1 = d_2$

時，則物體可於該液中任何處靜止。

III. 若物體之重量小於液體之浮力，即 $W < P$ 或 $d_1 < d_2$ 時；則物體即行浮出液面至該物體位於液中之部分所排去之液重（即浮力），與物體之重量相等時而靜止。船舶之浮於水面，其全體之重量與其所排去之水重相等，故得以較水為重之鋼鐵等建造船身，通常船舶之載重容量，皆以噸表之，此噸數即為其所能排除之水量，用立方呎表之而以35立方呎所除得之數值，因35立方呎海水之重量，約等於一噸（2240磅）故也。又冰之密度較水為小，故亦常浮於水面。

鵝卵雖沈於淡水中（ $d_1 > d_2$ ），然若加適量之食鹽於水中時，則亦可浮游於水中（ $d_1 = d_2$ ）。若再加過量之食鹽時，則竟可浮出於水面（ $d_1 < d_2$ ）。又游泳時充分吸入空氣而

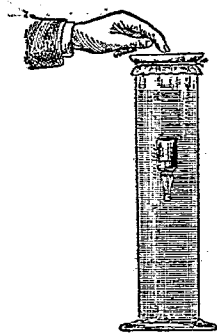


圖 二 六

使胸部膨大，則身體浮起；吐出空氣時，則身體下沈，為吾人日常所經驗之事實。蓋由身體體積之增減，與身體同體積之水重（即浮力），亦隨之增減；而因呼吸所起之體重變化，極為微小之故。浮沈子即為示明此理之有趣實驗裝置，其構造如圖二六所示，附錘於玻璃小瓶，使瓶內剩適量之空氣而倒浮

於圓形玻璃筒之水中，用橡皮薄膜密覆筒口，則以指按膜時，玻璃瓶即行下沉，去指則復上升，此理可由巴斯開之原理以說明之。因指之壓力傳於水中之各點後，瓶內之空氣即被壓縮，而與物體同體積之水重即浮力，隨之減少，故爾下沉；去指，則瓶內之空氣復行膨脹，浮力增加，因而浮上。

36. 浮體之平衡 沈物體於液體中，則物體受有與其同體積之液重之浮力，其浮力合力之着力點即浮心，與視物體為液體之重心相一致。如物體之重量較同體積之液重為小時，則浮於液面，於物重與所排去之液重相等之位置而靜止。此時浮力之着力點即浮心，雖與浮體所排去液體部分之重心相一致，而不必定與浮體自身之重心相一致。

又船舶浮於水面，其作用於重心 G 之重量，與作用於浮心 B 之浮力，如方向相反大小相等時，則能保持其平衡而靜止。如船體稍行傾側，則其所排除液體之形狀，亦隨之變化，設浮心移至如圖二七，中圖所示之位置 B' 點處，則其作用於重心 G 之向下重量，與作用於浮心 B' 之向上浮力，成一偶力而使船體恢復原來之位置，其經過浮心 B' 之垂直線與

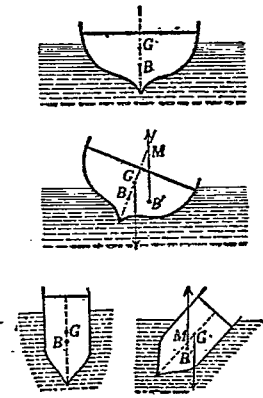


圖 二 七

B G 線之交點 M, 謂之傾心。通常凡傾心位於浮體重心之上時, 則浮體屬於安定平衡, 因由上述之偶力, 故可使浮體恢復其原來位置。又傾心位於浮體重心之下時, 則浮體屬於不安定平衡, 當浮體傾側時, 此偶力使其傾側之度加劇, 故終至於顛覆也。

37. 比重之測定 測定比重之方法有種種, 大別之可分為二類, 一為用亞幾默德原理之方法, 一為比較物體之重量與其同體積之水之重量之方法, 茲述其方法數種於下。

√ 第一類方法

I. 先測物體在空氣中之重量, 然後沈之於水中而測定其在水中之重量, 則由此二數值即可求得該物體之比重。因設測得物體在空氣中之重量為 W , 在水中之重量為 W' 時, 則與該物體同體積之水重為 $W - W'$, 其比重 S 可由下式求得之。

$$S = \frac{W}{W - W'}$$

此法以行之較水為重而不能溶於水中之物體為宜。

II. 設物體較水為輕時, 可附錘於其下而行上法之測定。因設物體在空氣中之重量為 W , 附錘而沈於水中之重量為 W' , 錘單獨在水中之重量為 W'' , 則該物體於水中之重量為 $W - W''$ 。故與物體同體積之水重為

$W - (W' - W'')$, 設比重為 S , 則

$$S = \frac{W}{W - (W' - W'')}$$

此法亦僅可行之於不能溶解於水中之固體若欲求液體之比重時, 則須行下法。

III. 以杯盛液體沉錘於其中而測定其重量, 次再沉錘於水中而測定其重量, 設錘在空氣中之重量為 W , 在液體中之重量為 W' , 在水中之重量為 W'' ; 則與錘同體積之液重為 $W - W'$, 與錘同體積之水重為 $W - W''$, 設液體之比重為 S , 則

$$S = \frac{W - W'}{W - W''}$$

IV. 若欲測定能溶解於水之固體之比重時, 則可先選擇一不能溶解該固體之液體, 由(1)法求得該固體對此液體之比重, 次由(2)法求得此液體之比重, 而將二比重之數值相乘, 即得該固體之比重, 設固體之重量為 W_1 , 而與此同體積之液體及水之重量各為 W_2, W_3 , 則固體之比重 S 為

$$S = \frac{W_1}{W_3} = \frac{W_1}{W_2} \times \frac{W_2}{W_3}$$

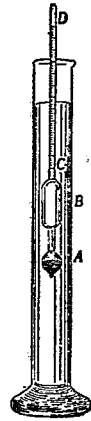
即固體之比重等於固體對於某液體之比重 $\frac{W_1}{W_2}$ 與其液體之比重 $\frac{W_2}{W_3}$ 之相乘積。

V. 工業上測定液體之比重時, 多用浮秤, 浮秤之構造如圖二八所示, 取一細長之玻璃管, 將其下部吹成一

中空之泡,泡內盛入水銀以爲錘,俾能直立於液體之中,因浮秤所排除之液重,等於該浮秤之重量,故液體之比重愈大,其沈下之部分愈少,如預於管壁照浮秤沉於種種已知比重液中之液面所示處刻成度數,則由此示度,即可測定其他種種液體之比重.

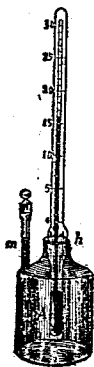
第二類方法

I. 作成正方形或平行六面體之物體,用尺量得其各邊之長度而求其體積,再用天秤測得其重量,由此即可求得其密度,亦即可求得其比重.



圖二八

II. 如測定液體之比重時,可用比重瓶,比重瓶如圖二九所示,爲一有細長之頸之小玻璃瓶,先拔去以寒暖



圖二九

計製成之栓 h 而注所欲測定比重之液體於瓶中,加栓時則過剩之液體,即由側壁之細口流出,此細口有一指標 m ,至液面齊 m 時,其瓶內液體之容量有一定之數值,故加栓後須再以紙捻吸去少量之液體,使其面與 m 相齊平.

測法,先求比重瓶之重量,次注水入內而求其全體之重量,再傾水而注入所欲測之液體而求其全體之重量,設瓶之重量爲 W ,液與瓶之重量爲 W' ,水與瓶之重量爲 W'' ; 則該液之

比重 S 爲

$$S = \frac{W' - W}{W'' - W}$$

金屬之細片或砂粒等微細物體之比重，亦可用比重瓶以測定之。如上法，設瓶盛滿水後之全重爲 W' ，次以所欲測定其比重之重量爲 W 之物體加入時，則與該物體同體積之水，即由瓶內溢出。待水溢出後再用天秤稱之，設其全體重量爲 W'' ，則

$$W + W' = \text{物重} + \text{瓶重} + \text{全容積之水重}$$

$$W'' = \text{物重} + \text{瓶重} + \text{全容積之水重} - \text{與物體同體積之水重}$$

$$\therefore W + W' - W'' = \text{與物體同體積之水重}$$

故其比重 S 可以下式表之

$$S = \frac{W}{W + W' - W''}$$

嚴密的討論時其取爲標準之水須在攝氏四度者，故以上各法測得之比重，對於溫度之高低，有加以修正之必要。然以其差誤甚小，故通常之實驗不必計較及之。

問 題

1. 墊板於糊泥之上而步行之，則足無沒入泥中之患。何故？
2. 充滿水銀於底面積爲10平方呎高20呎之容器內，求其器底所受之全壓力爲若干（但氣壓不計入之）。

3. 插長1.5米之細管於底面積為1000平方糎高40糎之桶蓋上而滿盛以水時,求桶底所受之全壓力幾何.

4. 說明海面成球狀之理.

5. 桶箍必置於桶之下部,何故?

6. 壓重100克之鐵塊使沈於水銀內,當需力幾何?

7. 有浮出於海面之冰山,求其下列之二種數值:(a)冰山位於海水面內外之比,(b)設冰山出於海面之體積為1000立方尺,求其全部之體積.

8. 入錘於中空而細長之圓筒內而使之直立於水中時,計沈入於水中之部分長6寸,若移之使直立於酒精中,問應沉下若干寸.

9. 比重0.8厚5糎之木塊浮於水面時,求其沈於水中之深度幾何,又設木塊之斷面為100平方糎,如於其上載一重10克之分銅時,則更應沈入水中幾許.

10. 有重35克之固體於水中稱之計重5克,於其他液體中稱之則重14克,求此固體及其他液體之比重.

11. 有重150克之物體,於酒精中稱之計重140克,求此物體之比重.

12. 充水於比重瓶中,計共重65克,次入重10克之固體於瓶中而拭去其溢出之水後,則共重73克,求此固體之比重.

13. 附錘於重 16 克之木塊使之沈入於水中稱之共重 6 克。次單獨將錘入水中稱之計重 30 克。求此木塊之比重。
14. 浮斷面面積一定之浮秤於水上時計沈入於水中之部分等於其長度之二分之一。又將此浮秤浮於其他液體時計沈入其長度三分之二。求此液體之比重。
15. 有比重瓶可容水 100 克或硫酸 180 克。求硫酸之比重。

第四章 氣體之性質

38. 氣體 因氣體無形狀之彈性，且其分子極易移動故上述關於液體移動性之壓力各性質，在氣體亦俱能適用。即

- I. 靜止氣體之壓力，常垂直作用於物體之表面。
- II. 加壓力於被密閉氣體之一部分，則此壓力能不變其強度而傳達之於四方。（巴斯開原理）。
- III. 作用於氣體內一點之壓力強度，於任何方向皆屬相等。
- IV. 受重力作用而靜止之氣體內之同一水平面上各點所受壓力之強度皆相等。其二任意不同點所受壓力強度之差，等於以該二點之垂直距離為高，單位面積為底之氣柱之重。

V. 氣體內之物體皆受有與其等體積之氣重之上壓力 (即浮力) (亞幾默德之原理)。

氣體之所以異於液體者，僅為無一定之體積，故如非密閉於器中，則必向四方擴散，例如如圖三〇所示，縛膀胱或薄橡皮球之口而置之於抽氣機之玻璃鐘內，抽去其四周之空氣，則球即行膨大，蓋因氣體有擴散性，球內之空氣隨球外壓力之減少而擴大故也。又圍繞地球之空氣，設非受有地心引力之牽引，

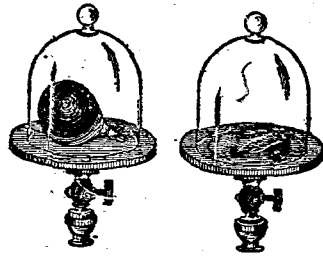


圖 三 〇

則盡將膨脹而遠離地面，當無復有空氣存在矣。

39. 大氣之壓力 空氣之密度極為稀薄，且其質量甚小，故驟視之，如無重量者然，但以天秤稱之，則知其有重量，

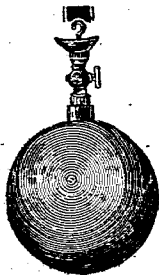


圖 三 一

亦與普通之物體相同，不過為重甚微而已。欲證明此事實，可取如圖三一所示之玻璃瓶，排除其內中之空氣而稱之，秤後復行放入空氣再稱之，則可知後者當較前者為重。此重量之差異，起因於空氣之重量甚明。依實驗之結果，空氣一呎（即一立方呎）之重約為 1.2 克。

空氣之有重量，既如上述，則圍繞地球之大氣重量，因積累之故，當愈近地面而愈大，凡地面之物體，均受有其壓力，此種壓力，謂之氣壓。

空氣與液體不同，因其易於壓縮，故大氣離地面愈高而愈稀薄，無顯然之表面，設將上層之空氣壓向下方，使與地面空氣具同一之密度時，則其厚度約為8700米，可知凡棲息於地面之各種生物，皆生活於此深度氣海之海底，其表面所受之壓力甚為強大，欲證明此種事實，



圖 三 二

可取如圖三二所示之二半球，合之而排除其內中之空氣，則因作用於球外之氣壓，不易將其扯開，如再行放入空氣時，則仍復甚易分離，可知氣壓之大。

如上所述，大氣作用於物體表面之壓力，既如此其大，而位於大氣中之物體不被其壓碎者，蓋因其作用於物體表面之壓力，面面均等，成為平衡狀態之故。又吾人身體上亦受有此種壓力，而亦不感覺之者，因吾人身體組織之內部，亦有氣體侵入，隨之內外之壓力相平均故也。乘輕氣球者，驟升至高處時，多感痛苦，有時竟至出血者，即緣內外壓力不平均之故。

40 托力雲利之實驗 大氣之壓力如此其大，既如上

述，究之物體單位面積上所受此種壓力之強度，其數值若何，當為吾人所急欲得知者。托力雪利為解決此問題起見，曾創一有名之實驗。如圖三三所示，取一長約一米之玻璃細管，閉其一端滿盛水銀而倒立於水銀槽內，則管內之水銀降下少許，至較槽內之水銀面約高76釐而止。其上部成真空，謂之托力雪利之真空。因同一水平面上各點所受之壓力，其強度皆相等，可知作用於管外水銀面之氣壓，與管內水銀柱之底部同一水平面上之壓力相等。故氣壓之強度，得以水銀柱之高度以表之。然氣壓之大小，常隨時隨地而異。故此水銀柱之高度，亦隨時隨處而變化。但其高度通常多為76釐。故物理學上即取此水銀柱之重量為氣壓之標準，謂之一氣壓。因水銀之比重為13.6，故一平方釐上所受一氣壓之重量，為 $76 \times 13.6 = 1034$ 克。即一氣壓對於一平方釐上之壓力，約為一廷，或對於一平方吋上約為15磅。



圖三三

液柱對於底面壓力之強弱，僅與液柱之垂直高度有關係。故托力雪利之實驗，雖任意傾側其玻璃管時，而水銀柱垂直之高度不變。又玻璃管之斷面面積甚大時，雖與水銀柱之高度無若何影響；但管口之直徑過小時，則因毛管現象之作用，水銀柱起下降之現象。故行此實驗時，所用之玻璃管口不可過小。

41. 氣壓計 測定氣壓大小之器械，謂之氣壓計，或稱晴雨計。氣壓計之種類甚多，普通所使用者，多為瞿廷氏之氣壓計。其原理係在變更托力雪利之實驗而成為較便利之形式。茲述其構造如下。如圖三四所示，將一端封閉充滿水銀之玻璃管倒立於底部附有鞣皮袋 B 之水銀槽中，因水銀柱隨氣壓之變化而昇降，故槽內之水銀面亦隨之有高低。但測定水銀柱之高度，當以槽中之水銀面為基準。為便於測定起見，故於水銀槽中固定一針 P，即以其尖端為水銀面之標

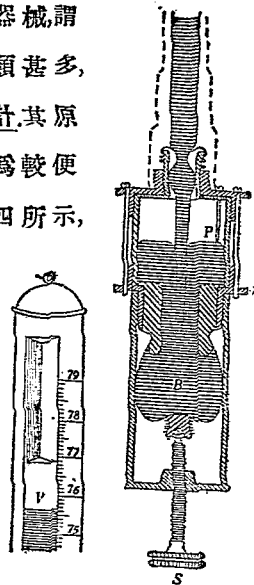
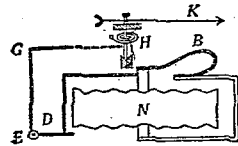
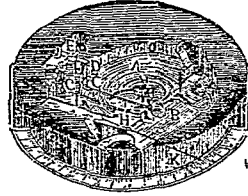


圖 三 四

準。當測定水銀柱之高度時，先由螺旋 S 使袋 B 上下，俾水銀面觸於針之尖端。管外覆有一圓筒，筒上附一以針之尖端為起點之尺度，藉便測定水銀柱之高度。故依上述方法，將氣壓計調整後，由其上所附之附尺 V，讀取水銀柱之高度後，即可得知當時之大氣壓力。

另有一種不用水銀之氣壓計，謂之空盒氣壓計者，係由金屬板之變形以測定氣壓之輕便器械。其內部之構造如圖三五所示，N 為彎成凸凹溝形之金屬薄板，此板張於粗

而且短之圓筒上，將筒中之空氣減稀後而加以密封者金屬板須彎成凸凹之溝形者，在使對於空氣壓力之微小變化，其表面亦能起伸縮作用之故。又板之中央，固定於支柱 A，柱上橫有槓桿 BC，其一端 B 固定於有彈性之彎曲金屬板上，而他端經 CD 連於可以迴轉之軸 EF 上，此外復有鎖鏈 G，一端連於固定於此軸之棒上，他端則捲於指針之軸 H 上。設氣壓發生變化時，圓板之表面隨之起昇降作用，致支柱 A 觸動槓桿而使 EF 軸迴轉，因此軸之迴轉，更由鎖鏈以轉動指針。吾人由此指針所轉角度之大小，即可推知氣壓變化之程度。



圖三五

氣壓之大小，因天候之不同而異。概言之，晴天之氣壓高，雨天之氣壓低。故由氣壓之高低，兼可推知天時之晴雨。此氣壓計之所以復有晴雨計之稱也。

氣壓計之用途，不僅在可豫知天候之變更，且可測定高山之高度。因空氣之密度，高低不同，距地面愈高而氣壓愈低，如能同時測定山巔山麓之氣壓，則山之高度，可立時算出。設山巔山麓之氣壓各為 a , b 櫃， t 為其平均溫度，則山

$$t \leq 100 + 0.0375(p - 760)$$

之高度 H 米,可依下式算出之.

$$H = 18430(1 + 0.004t) \log_{10} \frac{b}{a}$$

42. 波以耳之定律 氣體被壓榨時,其體積即因之減少.如其體積愈減少,則其氣體作用於器壁之壓力亦愈大.此種現象,為吾人日常所經驗者.依實驗之結果,凡密閉於器內一定量氣體之壓力,由其溫度與體積之不同而異.其壓力對於溫度之變化,容後於熱學編述之;此處所討論者,僅為於一定溫度之下之氣體壓力,與其體積之變化而已.

如圖三六所示,取附有通孔活栓之玻璃管 A,以橡皮管使與玻璃管 B 相連接.盛水銀於管中而開閉活栓,使密封一定量之空氣於 A 管內時,則其壓力等於外面氣壓與 A, B 管內水銀面高度之差之和或差之結果.故上下 B 管,測得其種種壓力與體積時,即可得知其二者間之關係.由實驗之結果,得一定律如下.

一定量之氣體於一定溫度之下,其壓力與體積互成反比例.

上述之定律,謂之波以耳之定律.設氣體任意之壓力為 P ,相當於此壓力之體積為 V ,則由上述定律,其關係如下式.

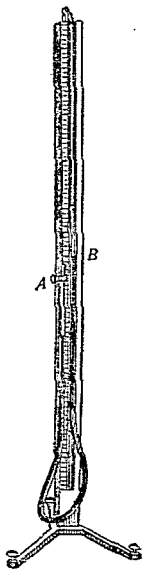


圖 三 六

$$P \propto \frac{1}{V}$$

$$\therefore PV = k \quad (k \text{ 爲常數})$$

換言之，即溫度一定時一定量之氣體體積與壓力之積一定不變。

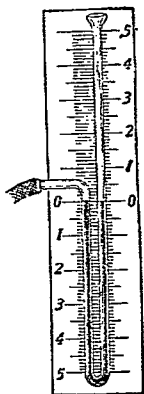
又設氣體之密度爲 d ，其全質量爲 m 則 $m = \nabla d$ 。故

$$P \cdot \frac{m}{d} = k \quad \therefore d = \left(\frac{m}{k}\right)P$$

上式中之 $\frac{m}{k}$ 爲一常數，故波以耳定律，又可改述之如下。

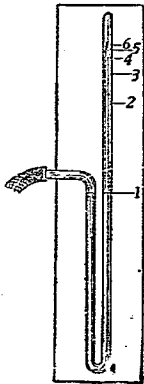
一定量之氣體於一定溫度之下，其密度與壓力互成比例。

43 壓力計 測定密閉於容器內氣體壓力之器械，謂之壓力計，如圖三七所示者，爲開管壓力計，由盛有水或水



圖三七

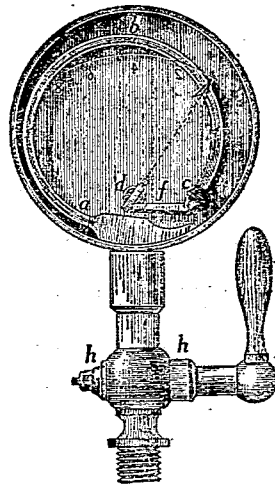
銀之兩端開口之 U 形管之一端連於厚橡皮管上，橡皮管之他端則連於所欲測定壓力之氣體容器上而成。因 U 形管兩枝管之液面成水平時，則其壓力與大氣之壓力相等；如壓力大於氣壓或小於氣壓時，則二枝管液面之高低不同，故吾人由其兩枝管旁邊所附之刻度，讀取其液面所示之度數，即可測知容器內氣體壓力之大小。開管壓力計僅可用之以測定壓力甚小之氣體壓力，如欲測定甚大之氣體壓力時，當用閉管壓



力計。

閉管壓力計之構造，如圖三八所示，為封閉 U 形管之一枝管管口，以液體密閉空氣於其中而成。此密閉之空氣被壓縮時，則由波以耳定律，其壓力亦隨之增加。故如於管側豫先刻成 1, 2, 3, …… 等氣壓之度數，則吾人由空氣體積所示於此尺度之度數，即可測得其時氣體之壓力。

圖三八 工業上通常用以測定蒸汽罐內之蒸汽壓力者，為金屬製之壓力計。如圖三九所示者，為一般使用之布當金屬壓力計。其要部為斷面成橢圓之內空金屬管 *b* 彎成圓形，閉塞此管之一端 *c* 使與指針相連絡，他端 *a* 則經過活栓 *h* 而與所欲測定壓力之容器相溝通。加壓力於管內時，則管之斷面橢圓欲膨大而成圓形，同時管亦伸直。其結果使 *c* 端向右移動，指針即隨之迴轉而示其壓力之大小。



44. 虹吸 虹吸 為利用大氣

圖 三 九

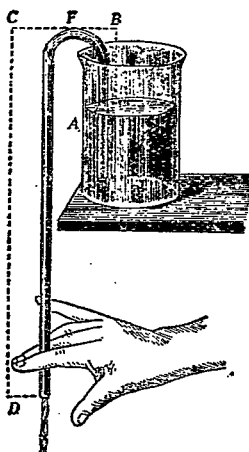


圖 四 ○

壓力之器械之一。其構造如圖四○所示，爲一具長短二脚之曲管，用之能不需傾側容器而使高處之液體能移至於低處。其法先充滿液體於管中，以指塞長脚之管口而插短脚於容器之液中，則放手後液體即源源由長脚管口流出不絕。考其理由：器中之液面 A 與長脚之最下點 D，同受大氣之壓力。又同一水平面上之液中二點，其所受之液體壓力相等。故設管之最高點 F 處有一層薄膜之阻隔，則此處由右向左之壓力，爲大氣壓力減去液柱 A B 之差，由左向右之壓力，爲大氣壓力減去液柱 C D 之差；然 CD 較 A B 爲大，因之 F 點之由右向左之壓力，較之由左向右之壓力爲大，故液體即由右向左移動，由長脚管口源源流出不絕。其 C D, A B 二液柱之差，雖與短脚之長短無關，然若短脚出於液面部份之高度達 10.34 米以上時，其 F 部分生成托力雪利之真空，液體即行停止流出。

如圖四一所示者，爲稱爲閨歌虹吸之裝置，由玻璃瓶內插入一小虹吸而成，此虹吸之短脚管口接近瓶之底部，長脚則貫穿瓶底之木栓而出至瓶外。注水於瓶內則水位於

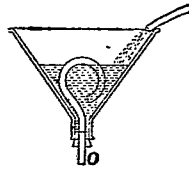


圖 四 一

管之內外,其高度相等;待至水面達到虹吸之最高點時,則水即由長脚之管口流出。如瓶內之水源源添注而其添注之量較流出之量為少時,則水流出至水位達於短脚之管口而止。其後虹吸之作用,即行停止。此添注之水量,貯積瓶內,待其水面達於虹吸之最高點時,則復行反覆上述之作用,故瓶內之水成間歇的而流出。

45. 唧筒 唧筒為利用大氣壓力,使水昇至高處之器械。有吸水筒與壓水筒二種。

I. 吸水筒 吸水筒為用以汲取井水河水等之器械。其構造之要部,為圓筒與密着於筒內能上下移動之活塞而成。圓筒之底部與活塞上,均具有僅能向上移動之活瓣。其活塞之上下,則由槓桿之作用以行之。將活塞壓下,使與圓筒之底部相接後,再行提上時,則活塞之下部,成為空虛,水即由氣壓之作用,頂開筒底之活瓣而上升於筒內。次壓活塞向下時,其筒底之活瓣被壓關閉,而筒內之水則頂開活塞上之活瓣而升至

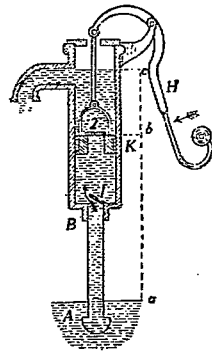


圖 四 二

活塞之上面待活塞再行提上時，則即由管口流出。如斯活塞於圓筒中上下不已，水即源源被其吸上，但吸水筒所能吸上之水之高度，不能超過10.34米以上，因如超過此限度時，筒內即成托力雪利之真空故也。

II. 壓水筒 壓水筒之構造與吸水筒相似，惟活塞不附於活塞上而附於導水之管底。此筒吸水入於圓筒內之作用，與吸水筒相同。惟壓下活塞使水沿導水管上昇，其所需之力較大而已。壓水筒能使水升至任何之高度，故鑛山排水及煤油汲取等操作時多用之。

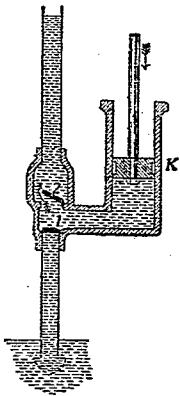


圖 四 三

壓水筒之作用，僅能於活塞下壓時使水間歇的由管口流出。若欲其繼續不斷的流出時，則須多設一空氣鐘以調節之。通常所用之消防唧筒即俗所謂水龍者，

即由二壓水筒及一空氣鐘相連而成。如圖四四所示，使槓桿上下移動時，則左右二唧筒交互動作，壓水使入於中央之空氣鐘內，鐘內之空氣被壓縮後，其壓力增加，因而壓水使不斷的由管口噴出。

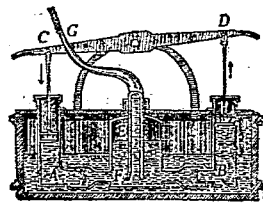


圖 四 四

46. 空氣唧筒 空氣唧筒亦分二種,其排出密閉器內之空氣者,為抽氣筒;而壓縮空氣使滲入於容器內者,則為壓氣筒,茲分別述之於下。

I. 抽氣筒 抽氣筒亦名抽氣機,其構造如圖四五所示,與吸水筒同其作用。S 為圓筒, K 為密着於筒內能上下移動之活塞, V, W 為僅能向上移動之活瓣, L 為導管, R 為玻璃鐘, T 為圓台,使活塞接近筒底而提上時,則筒內空虛,故鐘內之空氣即行排開圓筒底之活瓣而進入其內;次壓下活塞時,則筒內之空氣因被壓縮,其筒底之活瓣

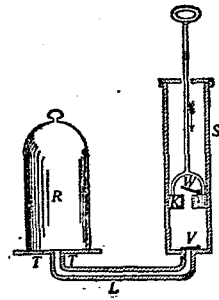


圖 四 五

被壓閉而活塞上之活瓣被壓開,因之空氣由筒內逸出於活塞之上面,如斯繼續使活塞上下移動時,則鐘內之空氣即逐漸抽出,設玻璃鐘及導管之容積為 V ,圓筒內活塞所能移動部分之容積為 v 時;則提上活塞後 V 容積之空氣,成爲 $V+v$ 容積,故設 P_0, P_1 各為提上活塞前後 R 鐘內之壓力,則由波以耳定律,

$$P_0 V = P_1 (V + v)$$

$$\therefore P_1 = P_0 \times \frac{V}{V + v}$$

同樣,設第二次提上活塞後鐘內之壓力為 P_2 ,則

$$P_2 = P_1 \times \frac{V}{V+v} = P_0 \times \left(\frac{V}{A+v} \right)^2$$

繼續上述之計算，設 n 次提上活塞後鐘內之壓力為 P_n ，則

$$P_n = P_0 \times \left(\frac{V}{V+v} \right)^n$$

上式中之 $\frac{V}{V+v}$ 小於 1，故使活塞上下移動之次數 n 增大時，則 P_n 可減至非常之小，但在實際上因基於下述之二理由，抽氣機排氣之作用如達到相當之壓力時即行停止，雖活塞仍行上下移動，而鐘內之空氣則不能再行進至於筒內。

1. 圓筒底部所附之活瓣，多少具有重量，故鐘內之空氣壓力減少至不能壓此活瓣向上時，則空氣即無由進入於筒內。

2. 壓下活塞時，其活塞之底面與圓筒之底面欲完全密着，為不可能之事實，其間多少存有間隙，故提上活塞時，被壓縮於此空隙之空氣，即行擴散於筒內，致筒內不能生成真空，故縱令活瓣 V 完全無重量，其鐘內之空氣，亦有不能壓活瓣使上之力。

II. 壓氣筒 將抽氣筒之活瓣，依反對方向安置之，則上下活塞時，空氣即繼續被壓縮而進入鐘內，此種氣筒謂之壓氣筒，通常是踏車輪及球類等所用之打氣筒，即為此種壓氣筒也。

壓縮空氣之應用甚廣，如鐵匠所用之風箱，郵件之傳送，潛水函內之排水，水雷之發射，穿孔機之運轉等，其著者也。如圖四六所示者為潛水作業時之情形。潛水者着不透氣之兜與橡皮服沉於水底，水上則運轉壓氣筒，由橡皮管

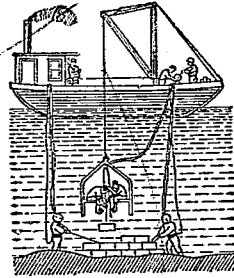


圖 四 六

輸送新鮮空氣於潛水服內，其陳舊之空氣，則由胸部之活瓣透出於水中。近世真珠之採取，沈沒船舶之撈起，及其他水中各種工作，皆藉此潛水作業以行之。

47. 水銀抽器機 如上所述，普通之抽氣機僅能使空氣之密度稀薄至相當程度，過此則失其效用。故欲得高度之真空時，通常皆用水銀抽氣機。水銀抽氣機之種類甚多，茲述其最普通者數種於下。

I. 蓋斯勒之抽氣機 蓋斯勒水銀抽氣機之原理，不外托力雪利真空之利用。如圖四七所示，於長約一米之玻璃管之上端，附一玻璃球 R，管之下端以厚橡皮管與水銀槽 S 相連接，其 A 之上部及與被排空

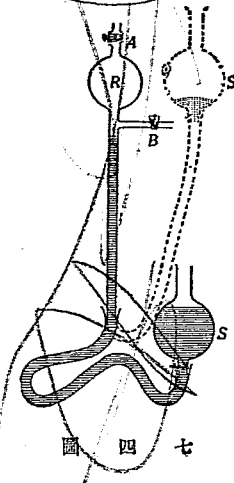


圖 四 七

氣之容器相連之側管,各具有活栓 A, B. 使用此抽氣機時,先開 A 栓而閉 B 栓,舉高水銀槽 S 以排除 R 內之空氣,同時充滿水銀於其內,次閉 A 栓移低水銀槽 S 時,則 R 球內生成托力雪利之真空,故開 B 栓時,則所欲排除之空氣即由容器進入於 R 球內,再閉 B 栓開 A 栓反覆上述之方法,則容器內之空氣,即逐漸被排除而容器內生成高度之真空.

II. 特帕勒之抽氣機 特帕勒抽氣機之原理,與蓋斯勒抽氣機同,因其較之蓋斯勒抽氣機可省去開閉活栓之煩勞,故頗稱便利,如圖四八所示,以側管 C 連接於

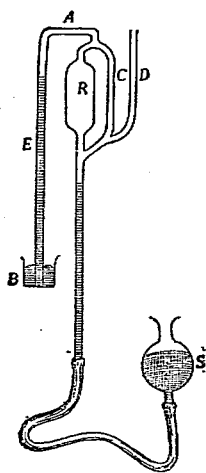


圖 四 八

玻璃球 R 之上下,而球之上端復與一長約一米許其管口沈入於水銀槽 B 內之玻璃管相連, D 為與被排空氣之容器相連之玻璃管,至其餘各部分則與蓋斯勒抽氣機完全相同,舉高水銀槽 S 時,則水銀先進入於 D 管之底部以絕 R 球與被排空氣容器之連絡,再舉高 S 時,則水銀充滿於 B 及 C 中,而由 E 管逐出空氣,送至 B 器使逸出於大氣中,次降低 S 時,則 E 管之上部及 R, C 中生

成托力雪利之真空,空氣即經由 C 管而被吸入於 R 之上部,此 C 管之作用,在免除多量之空氣潛行通過 R 底部之水銀而盛向其上部之真空內噴出,致振動水銀或有破損玻璃管壁之事,又 R, C 之上部之連接管彎曲成圓形者,亦為防止 C 管下部之水銀與空氣共同進入於 R 內時過於激烈,致衝突管壁之故。

III. 格德之抽氣機 格德抽氣機為近世流行且使用便利之器械,其構造如圖四九所示;G 為鑄鐵製之圓筒,其前面用厚玻璃作蓋以密閉之而於其內充滿水銀約達其高度三分之二;T 如其斷面所示,為一陶器製之三重圓筒,其支軸 A A' 可由手或電動機以迴轉之, R 為與被排空氣容器之連絡管, R' 為空氣之出入口,其內口與陶器圓筒之外部空隙相連通,陶器圓筒之內部分大小二室,小室之上部由連通管 R 與被排空氣之容器相

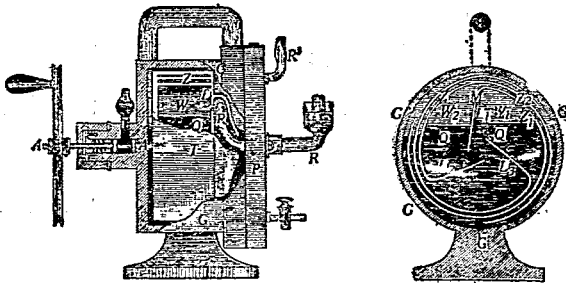


圖 四 九

連接大室則更由間壁 M 區分為 W_1, W_2, W_3 三室各室復各由小孔 L_1, L_2, L_3 與小室相交通。今依時鐘之指針反對方向迴轉圓筒時，則室 W_1 漸次增大其容積，同時經由小孔 L_1 由管 R 吸入應被排除之空氣，瞬時間 W_1 轉至 W_2 之位置，小孔 L_1 沈入於水銀中致 W_1 被水銀密閉，其中空氣因圓筒之迴轉而逐漸壓縮，遂被驅逐於圓筒之內。在圓筒繼續迴轉時，其各室均順次起同樣之作用，週而復始，以排除所欲排之空氣。但此種抽氣機如單獨運轉時，不能奏效，必須以補助抽氣機連接於其出口 R' 以抽出其所排出空氣始可。因如圖示之位置，室 W_3 轉至室 W_1 之位置時，欲其生成托力雪利之真空，其作用於圓筒外之水銀面之氣壓，至少需一極內外之故。

問 題

1. 設有重 500 克之輕氣球，其體積為 1500 呎，求此輕氣球所受之上壓力幾何。
2. 設傾斜晴雨計之玻璃管使對於水平成 30° 之角度時，其管內之水銀柱計長 150 釐，求此時之大氣壓力。
3. 以長 10 釐之試驗管管口向下，壓入於水銀中，如欲使管內之空氣體積減為一半時，求管口應沈於入水銀中幾許。
4. 設大氣之壓力為 76 釐，問如以水充入管中以行托

力雪利之實驗時,其水柱應高幾糎.

5. 於空氣中等重之木塊與鉛塊,究係何者較重.

6. 設由水底浮上之球形氣泡,其直徑擴大成二倍時,求水之深度幾許(但氣壓為76糎).

7. 設抽氣機之容積為3呎,圓筒之容積為0.3呎,鐘內之氣壓為76糎,求圓筒內活塞上下三次後內部之壓力為若干.

8. 以空氣封入橡皮球中,設大氣之壓力為76糎時,其體積為1.5呎,如以此球沈入於5米深之海水中,其體積應為若干,又沈入於5米深之海水中,其體積為若干.

9. 直立內中密封有水與壓力三氣壓之氣體之圓筒,而於其底部穿一小孔,使流出其所盛水之一部,因之空氣之體積變成 $\frac{100}{33}$ 倍,設外氣之壓力為一氣壓,求圓筒內餘水之高度幾何.

第二篇 力學

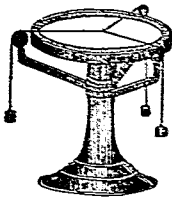
第一章 力之平衡

48. 力之平衡 以一力作用於靜止之物體，則物體必起運動。若同時以數力作用於一物體，則有時不起運動者。例如以兩手執線之兩端而扯之，則線緊張成直線而靜止。是此種現象下作用之力，謂之互爲平衡。或謂之物體在平衡之狀態。扯線緊張使其成平衡之狀態時，其作用之二力，大小相等而方向相反甚明。欲證明此事實，可用彈簧秤試之。懸分銅於秤之鈎上，則彈簧延長至一定位置而靜止。此時彈簧收縮之彈力，與其懸分銅之重量相等。可由秤上之尺度以知之。其二力同在一直線上而方向相反，固甚明瞭也。故置書籍於桌上，則桌面亦多少彎曲而生彈力，以與書籍之重量相平衡。不過其彎曲之度，至爲微小，吾人無由感覺之。凡力作用於其上，因之而生與其相平衡之力，謂之抵抗力。

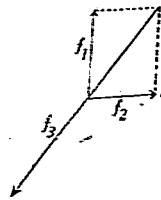
力之要素有三：一爲着力點，一爲方向，一爲大小。直線之

要素亦有三：一爲起點，一爲方向，一爲長短，故行力之研究時，以直線代之，甚爲便利，即以線之起點代力之着力點，線之方向表力之方向，線之長短表力之大小是。以下關於力之研究，均準此行之。

作用於一點之二力平衡條件，爲二力之大小相等方向相反，既如上述，則作用於一點之三力平衡條件如何，不可不進而研究之。研究此問題時，以用下述之裝置爲便，如圖

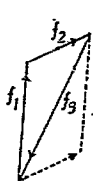


五○所示，取一刻有度數之圓盤，依水平固定於臺上，盤下立三桿，桿之上端各附一滑車，固定其一桿而使其餘二桿能繞圓盤旋轉，次以連結於一點之三線懸三不同重量之分銅，各繞一滑車而置之盤上，迴轉其二滑車之支桿至適當之位置，使三線之連結點位於圓盤之中心而靜止，則作用於連結點之三力，各等於三分銅之重量，其方向與三線之方向相一致。此三力之方向，得由圓盤上之度數以識別之。故以三線表此三力而繪之於紙上，即可得知三力成平衡之條件。由實驗之結果，如圖五一所示，其中任意一線 f_3 在以他二線 f_1, f_2 爲二邊之平行四邊形之對角線上，其方向相反大小與對角線相等。此種關係無論如何變更



圖五一

三分銅之重量及三力之方向，皆一定不變，可知三力平衡之條件，為三力中之任意一力在他二力所成平行四邊形之對角線上，其方向相反，大小則與對角線相等。

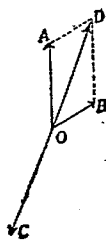


設以第三力沿對角線移動至等於其長之距離，第二力不變其方向移至第一力之他端時，則此三力作成以平行四邊形之二邊及其對角線為三邊之三角形，故三力平衡之條件，又可改述之如下。

三力成平衡時，其所與之三力，順次成爲三邊。

49. 力之合成及分解 由上所述設三力 OA, OB, OC 作用於一點而平衡時，則 OC 在以 OA, OB 爲二邊之平行四邊形之對角線 OD 上，其方向相反大小相等故 OC 與

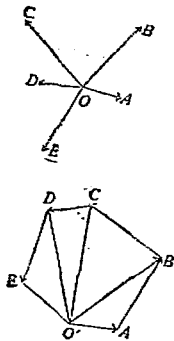
OA, OB 相平衡，同時亦與 OD 相平衡。可知 OA, OB 二力之作用，與 OD 相等。此 OD 謂之 OA, OB 之合力。反之， OA, OB 謂之 OD 之分力。以此二力爲平行四邊形之二邊以求合力之方法，謂之力之中斜法。又合力亦可以二力爲三角形之二邊，合力爲第



圖五三

三邊以表之，此種求合力之方法，謂之力之三角形法。

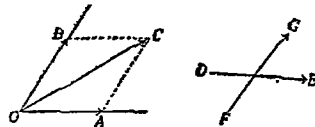
求三力以上之合力時，須先求其中二力之合力，次以此合力，再與第三力求其合力，順次求之，其最後所得之合力，



圖五四

即為諸力之合力。例如圖五四所示，欲求 OA, OB, OC, OD, OE 等合力時於圖之下面，先引 $O'A$ 平行於 OA ，且使 $O'A = OA$ ，再由 A 端引 AB 平行於 OB ，使 $AB = OB$ 時，則 $O'B$ 為 OA, OB 之合力。又再由 B 端引 BC 平行於 OC ，使 $BC = OC$ 時，則 $O'C$ 為 $O'B$ 與 OC 之合力。亦即 OA, OB, OC 之合力。依同法，以此合力與殘餘之二力依次求之，其最後所得之合力 $O'E$ ，即為 OA, OB, OC, OD, OE 五力之合力。此法謂之力之多角形法。

求作用於一點與某力之效果相同之二分力或二以上之分力時，謂之力之分解。分解作用於 O 點之力 OC 為二力時，可以 OC 為對角線，作成平行四邊形以求之。此平行四邊形之二邊，即表所求之二分力。若對所求之分力



圖五五

無若何條件時，則可得無數以 OC 為對角線之平行四邊形。二分力之組數，亦隨之無限。問題成為不定。若所求之分力與以一定之方向如 DE, FG 時，則問題解答，始能確定。即由 O, C 二點各引二線與所與之方向相平行作成平行四邊形時，其二邊 OA, OB 即為所求之分力。

分解一力成互相垂直之二分力，爲力之分解時所常遇者。設所分解之力爲 OC ，其互相垂直之方向爲 OX, OY ，則由 C 點向 OX, OY 各引垂線 CA, CB ，交 OX, OY 於 A, B 二點。此 OA, OB 二線，即爲所求之二分力。如以 θ 代角 $\angle COX$ ，則二分力之大小等於下式。

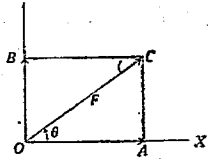


圖 五 六

$$OA = OC \cos \theta$$

$$OB = OC \sin \theta$$

50. 作用於剛體之力 無論以任何大之力作用於其上而毫不變更其形狀與體積之物體，謂之剛體。剛體爲理想上之物體，實際上宇宙間並無此種物體存在。然如金、石等通常所見之固體，如作用於其上之力不甚大時，其形狀與體積之變化極爲微小。故此類物體在作用力不甚大之範圍內，可視之爲剛體。其力之作用處之點謂之力之着力點。剛體上之着力點於力之方向之延長線上，雖任移至何處，其所生之效果皆同。

設有力 AA' 作用於剛體之一點 A ，另假設於力之延長線上任意一點 B 有方向相反大小與 AA' 相等之二力 BB', BB'' 互相作用，則此三力成平衡之狀態，與 AA' 之作用別無影響。

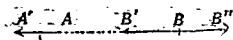
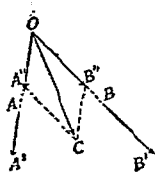


圖 五 七

然 AA' , BB'' 二力,其大小相等方向則相反,因係作用於剛體成平衡之狀態,故無作用,等於無此二力,成爲僅一力 BB' 作用於 B 點,可知 AA' 力作用於 A 點之效果,與 B 力作於 B 點相等。

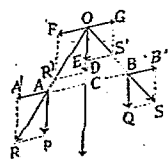
若作用於剛體之二點 A, B 之二力 AA', BB' 同在一平面內而不平行時,其合力之求法如下,先延長二力之方向,使會於 O 點,次移二力於此點,設其代表之直線爲 OA'', OB'' 則由力之中斜法作成平行四邊形時,其對角線 OC , 卽爲所求之合力。



圖五八

51. 平行力之合成 設二平行力 P 與 Q 作用於剛體之二點 A, B , 則雖延長二力之方向,亦不能求得其交點,故不能用上述之方法以求其合力,茲用別法求之如下。

如圖五九所示,設 P, Q 二力依同一方向作用於剛體 A, B 二點,次假定 AB 線上之 A, B 二點再有方向相反大小相等之二力 AA', BB' 作用於其上;因此二力適合於平衡之條件,故對於剛體並無若何之影響,換言之,卽所與二力之作用等於其二力與 AA', BB' 四力同時之作用,次求 P 與 AA' 之合力 AR , 及 Q 與 BB' 之合力 BS , 因此二力並不平行,故延長之卽行交



圖五九

於一點 O 。移 AR, BS 於 O 點。再分解為與 P (或 Q) 及 AB 平行之分力時。得 OD, OF 與 OE, OG 四力。然 OF, OG 各等於 AA', BB' 。為互為平衡之二力。故此二力可視為無作用。又 OD, OE 二力平行於 P (或 Q)。其大小各等於 P, Q 。故其和等於 $P+Q$ 。由此即得作用於 A, B 二點之二平行力 P, Q 之合力。其方向與 P 或 Q 相平行。其大小等於 $P+Q$ 之和。

設延長此合力交 AB 線於 C 點。則因二三角形 $OAC, OR'D$ 相似之關係。得

$$AC : OC = R'D : OD$$

同理 $BC : OC = S'E : OE$

因 $R'D$ 等於 $FO, S'E$ 等於 GO 。故 $R'D$ 與 $S'E$ 亦互相等。因之以第二方程式除第一方程式時。得下式之關係。

$$BC : AC = P : Q$$

即合力通過 AB 線上與 P, Q 二力成反比之內分點。

又設 P, Q 二力相平行而其方向則相反且大小不等時。則其合力又當依下法求之。

如圖六〇所示。設 P 作用於 A 點 Q 作用於 B 點時。可假定任意之力 F_1 依 BA 之方向作用於 A 點。及與 F_1 之大小相等方向相反之力 F_2 作用於 B 點。因此二力互為平衡。不發生若何影響。次求 P 與 F_1 之合力 R 及 Q 與 F_2 之合力 S

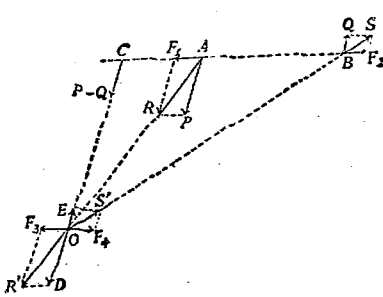


圖 六 ○

延長 R 與 S，使交於 O
點，移 R, S 之着力點於
O 而以 R', S' 表之，再將
R'S' 二力分解成與 P
或 Q 平行之分力 D, E
及與 AB 平行之分力

F_3, F_4 時，則 D 等於 F_3 ,

E 等於 Q，又 F_3 等於 F_1 , F_4 等於 F_2 ，故 F_3 與 F_4 其大小相等而方向相反，成爲平衡，不能顯其作用。因之欲求此所與二力之合力時，只須求得 D, E 二力之合力即可。然 D, E 二力同在一直線上而方向相反，故其合力之大小，等於二力之差；其方向與大力之方向相一致。

因三角形 COA 與 ARF₁ 即 DOR' 爲相似形，故

$$AC : CO = R'D : OD = F_3 : P$$

又三角形 COB 與 EOS' 爲相似形，故

$$CB : CO = ES' : EO = F_4 : Q$$

由上二式，得下式之關係，

$$\frac{AC}{CB} = \frac{F_3}{P} \times \frac{Q}{F_4}$$

然 F_3 等於 F_1 ，故

$$\frac{AC}{CB} = \frac{Q}{P}$$

即 C 點爲 BA 依 Q 與 P 之逆比之外分點。

以上所述者，爲二平行力合力之求法，若欲求多數平行力之合力時，可由上法先求其中二力之合力，次求此合力與第三力之合力，依次求之，其最後所得者，即爲諸平行力之合力。

52. 力之能率 使力作用於能自由迴轉於其軸之周圍之剛體時，其力使剛體迴轉之效果，不僅關於力之大小，而與力之作用線之方向亦有關係，如圖六一所示，穿孔 O

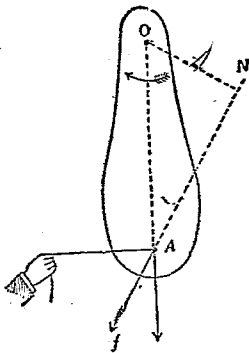


圖 六 一

於木板，插入一水平軸，而懸之於其軸外之一點 A ，繫繩而引之，則力之方向與 OA 成直角時，木板最易迴轉，迨力之方向漸次移近 OA 時，則板之迴轉亦漸變艱難，如力之方向通過 O 軸時，板竟不能稍行轉動，由此可知作用於剛體之力使其迴轉之效果，不僅關乎力之大小，亦且與其方向有關。

其作用於剛體之力 f 之大小，與由固定點 O 至其作用線之垂線 ON 之相乘積，謂之 f 力對於 O 點之能率，垂線之長 ON ，謂之能率之臂，因能率所表示者，爲力使物體迴轉於軸 O 之周圍之效果大小，故力之大小一定時，則臂愈大而迴轉之效果亦大，例如上圖所示，依水平引線時，其臂最

大，故板最易迴轉，依垂直引線時，則臂等於零而板即不能迴轉是。

如圖六二所示，取組織均勻之棒 $A B$ ，以軸支持其中點 C ，使其能於 C 點自由迴轉而懸二錘 P, Q 於軸之兩側之二點 A, B ；如棒成水平

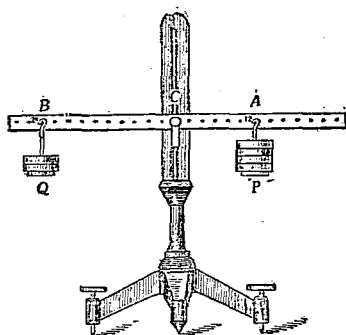


圖 六 二

而平衡時，則可知使棒向一方迴轉之能率 $P \times CA$ ，與使棒向反對方向迴轉之能率 $Q \times CB$ 相等。即棒之平衡之條件為

$$P \times CA = Q \times CB$$

$$\text{即 } P : Q = CB : CA$$

數力作用於一物體時，如使其向一方迴轉之能率之和，等於使其向反對方向迴轉之能率之和時，則該物體即行保持其平衡之狀態。

53. 偶力 二力平行作用於相反之方向而力之大小不同時，其合力之求法既如上述。設二力平行作用於相反之方向而大小相等時，則不能求得其結果之合力，而該物體起迴轉之運動，此作用之二力併稱之為偶力。偶力之實例甚多，批鑽、迴鍵時所用之力，皆屬之。

偶力作用於物體而使其迴轉時，其偶力之能率與軸之位置毫無關係，如圖六三所示，作用於剛體上之二點 A, B 之二力 P, P 或偶力時，設其軸在 O 點，則

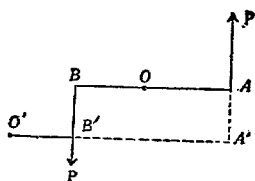


圖 六 三

$$\text{偶力之能率} = P \times OA + P \times OB = P \times AB$$

又設其軸在 O' 時，此時作用於 A 點之力 P 使剛體向左轉，作用於 B 點之力 P 使剛體向右轉，故

$$\text{偶力之能率} = P \times O'A' - P \times O'B' = \underline{P \times AB}$$

即偶力之能率與軸之位置無關，其值等於力與二力間垂直距離之積，此成偶力二力間之垂直距離，謂之偶力之臂。

54. 重心 凡物體皆由多數之質點集合而成，故地面之物體其構成物體之各質點，皆沿垂直方向受有地心引力之作用，此等引力之作用線，如延長之則交於地球之中心而非平行者，但在地面上相距一英里之二點，其垂直線相交之夾角僅為一分，故通常物體各質點所受之引力，視作平行亦無不可，如組合此等平行力而求其合力時，則其合力之作用線皆通過各物體固有之某定點，即諸平行力之中心，此定點謂之物體之重心。

如圖六四所示，物體內任意二點 A, B 之質量為 m_1, m_2

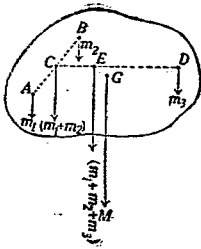


圖 六 四

時，則其重量各為 m_1, m_2 克重之平行力。故其合力為作用於 A B 線依 $m_2:m_1$ 之比之內分點 C 之重 m_1+m_2 克之力。又設物體內第三點 D 之質量為 m_3 時，則作用於三質點 m_1, m_2, m_3 三力之合力，為作用於 C 點之 m_1+m_2 克重與作用於 D 點之 m_3 克重之合力。故其着力點為 C D 線依 $m_3:m_1+m_2$ 之比之內分點 E，其重為 $m_1+m_2+m_3$ 克。順次反覆此方法以求作用於物體全體質點引力之合力時，則合力之大小，等於其物體全體之重量；其作用線通過物體對於地球之位置無關之一定點 G。此定點 G 即重心是也。故物體在平衡之狀態時，其全體重量可視為作用於其重心之一點上。如以線繫物體而懸之，則重心位於線之延長線上而物體靜止。因此時物體由線之張力與作用於重心之重力相平衡，其作用線不能不在一直線上故也。基於此理，故欲求得組織均勻之板狀物體之重心時，可以線懸之而記其線之方向於板面，次復於他點懸之再記其線之方向於板面，則此二線之交點 G，即為該板重心之位置。

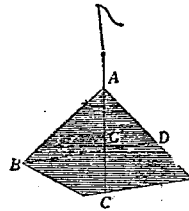


圖 六 五

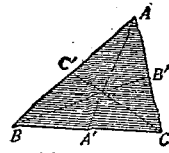
55. 數種形狀簡單物體之重心

不均、直棒三重心
 e_1, e_2 為重心
 $e_1 : e_2 = w_2 : w_1$
 —— 第二篇 第一章 ——

在組織均勻之物體其重心與其形狀之中心即與幾何學上之中心相一致，此時物體之重心，可由對稱之觀念以求得之。例如求得物體之二對稱線時其對稱線之交點，即為該物體重心之位置是。茲將數種形狀簡單之物體重心求法述之於下：

I. 直棒 直棒之重心，在棒之中央。因對於一端與其重心間之任意質點，在他端與重心間亦有與此點對稱之質點，其二質點重量之合力，均在重心上之一點故也。

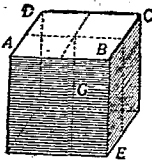
II. 三角板 求三角板之重心時，可設想其板為由與其底平行之多數小棒集合而成。因各棒之重心皆在其中心，故板之重心不能不在其中線 A A' 之上。同理，此重心亦不能不在其他二中線 B B', C C' 之上。故此三中線之交點 G，即為三角形 A B C 之重心。依幾何學定理，此點 G 與頂點之距離，等於其中線三分之二。



圖六六

用同種方法，可證明長方形，正方形，平行四邊形，圓等之重心，皆位於其形之中點。

III. 正立方體 求正立方體之重心時，亦可設想其為由多數薄正方形板集合而成。如圖 A B C D 各正方形板之重心皆在其中心，故全立方體之重心，在 A B C D

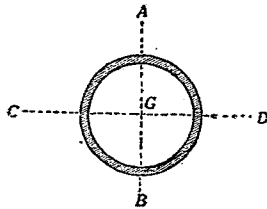


之中心，與此平行面之中心之連結線上，同理，此重心亦在其他二平行面之中心連結線上，此三線之交點（即正立方體之中心），即為所求之重心。

圖六七 用同種方法，可證明平行六面體，四面體球等之重心，亦皆位於其體之中心。

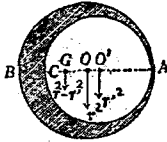
以上所求諸物體之重心，皆位於該物體之內部，然重心不限定必在物體之內部，亦有位於物體之外部者，茲舉其例二三於下。

IV. 輪 如圖六八所示，求輪之重心時，可先過輪之中心 G ，引縱線 AB 分輪為左右二部分，因此二部分對於 AB 在對稱之位置，故作用於二部分重力之合力，在直線 AB 上。同理，過 G 點再引其他直線 CD ，分輪為其他二部分時，其作用於二部分之重力合力，亦在直線 CD 上。故二線 AB, CD 之交點 G （即輪之中心），即為所求之重心。



圖六八

V. 蛾眉月形 如圖六九所示，以 O 為中心 r 為半徑之圓 AB ，與以 O' 為中心 r' 為半徑之圓 AC ，內切於 A 點時；則此二圓之中間部分，成為蛾眉狀之月形，此月



圖六九

形爲由 A B 圓內截取 A C 圓後所剩餘之部分，故作用於月形 A B C 重心之重力，與作用於圓 A C 重心（即 O'）之重力合力，不可不作用於此二形相合時所得之圓 A B 之重心（即 O）上，此作用於圓及月形之重力，均與其面積成正比例，而圓 A B 之面積與 r^2 成比例，圓 A C 之面積與 r'^2 成比例，月形 A B C 之面積與 $r^2 - r'^2$ 成比例，故設 G 爲此月形之重心，則作用於 G 之重力比例於 $r^2 - r'^2$ ，作用於 O' 之重力，比例於 r'^2 ，作用於 O 點之重力，因爲作用於 G 及 O' 之重力合力，故比例於 r^2 。因之 G O, O O' 間成立下式之關係。

$$\frac{OO'}{GO} = \frac{r^2 - r'^2}{r^2}$$

$$\therefore \frac{OO' + GO}{GO} = \frac{r^2 - r'^2 + r'^2}{r^2} = \frac{r^2}{r'^2}$$

即此月形之重心，在延長 O'O 分 O'O 成 $\frac{r^2}{r'^2}$ 之比之外分點上，如 B C 比之於 r 不甚大時，其 G 點與輪之重心同在月形外部之一點。

通常知物體之二部分 A B C 及 A D C 之重心 G_1, G_2 而求其全體之重心時，可使該物體之二部分全質量 M_1, M_2 各集中於其重心 G_1, G_2 而求其所得之二質點 M_1, M_2 之重心即可，又知物體 A B C D 之重心 G，及其一部分

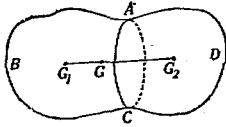


圖 七 ○

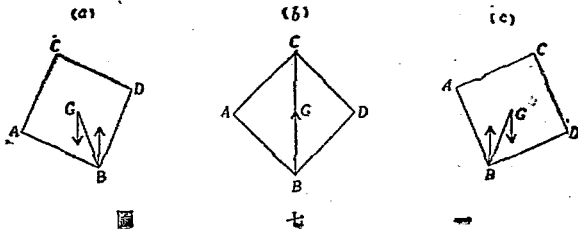
ABC 之重心 G_1 而求殘餘部分 ACD 之重心 G_2 時，設全體之質量為 M ，ABC 部分之質量為 M_1 ，則殘餘之質量為 $M - M_1$ ；而 G_1 點之質量 M_1 與 G 點之質量 $M - M_1$ 之重心為 G ，故得下式。

$$G_1 G \times M_1 = G G_2 \times (M - M_1)$$

$$\therefore G G_2 = \frac{M_1}{M - M_1} \times G G_1$$

56. 物體之平衡 凡地面之物體，皆於其重心受有向下之重力作用。故於其重心沿直的向上施一與其物體重量相等之力時，則該物體即能保持平衡而不致下墜。例如以線繫物體而懸之，則其重心位於線之延長線上，因線之張力與作用於重心之重力同在一直線上，而方向相反大小相等，故物體得以保持其平衡是。

又置物體 ABCD 於臺上時，物體由其重心向下方作用之重力，與臺之作用於物體之抗力相平衡，故行靜止。可知抗力之作用線，通過物體之重心甚明，今使物體依 B 點



圖

七

之周圍迴轉至如圖七一之(a)所示之位置而靜置之,則作用於重心 G 之重力,關於 B 點有向左迴轉之能率,物體因之即行恢復其原來之位置,又如迴轉至如同圖之 b 所示之位置,其重心 G 在通過 B 點之沿直線上時,則物體雖屬靜止,但若稍動之,即行傾側而倒於任何一邊,再如使重心 G 超過 B 點之沿直線如同圖之 c 所示時,則物體逕行顛覆,不能恢復其原來之位置。

通常物體由靜止之位置,雖稍行移動,仍能復歸原來之位置,謂之安定平衡,其因僅少之變位即行進至新占之位

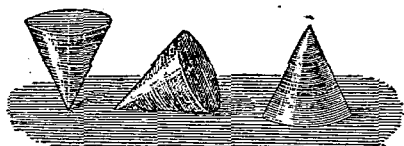


圖 七 二

置,而不能恢復原來之位置者,謂之不安定平衡,又如任何變位,均能靜止於新占

之位置者,謂之中立平衡,上例之物體支持於底面 A B 時,為安定平衡,而支持於稜上時,為不安定平衡,凡球狀物體均能靜止於任何處之位置,故屬中立平衡,又圓錐體正立時為安定平衡,倒立時為不安定平衡,橫置時為中立平衡。

物體之安定程度,謂之穩度,穩度之大小須視其物體基底之廣狹,與重心位置之高低,質量之大小而定,即基底愈廣,重心愈低,質量愈大者,其穩度亦愈大。

問 題

1. 以線懸 P 克重之錘而以他線連結於其線之一點上,設用 Q 克之力依水平作用於他線上以拽之.求懸線之張力及其對於沿直線之傾角.

2. 求互成傾角 θ 之二力 P, Q 之合力.

3. 作用於一點之三力 P, Q, R 互相平衡時,設 $\angle PR, \angle RQ, \angle PQ$ 間之角度各為 α, β, γ , 證明下式之關係.

$$\frac{P}{\sin \alpha} = \frac{Q}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \gamma}$$

4. 取組織均勻之銅線 ABC 於其中點 B 曲折之將其一端繫線而懸之,求證懸線之延長線必通過 B 點之三分之一處之點 H.

5. 有組織均勻之正方形板,設由其對角線圍成之四個三角形缺損其一時,求殘餘部分之重心.

6. 有組織均勻之圓板,由其內部截去一直徑等於圓板半徑之內切圓時,求其殘餘部分之重心.

7. 樵夫秤量木材之重量時,常以木材橫置地上,將其一端懸起少許測定其重量後,再對他端行同樣之測法,而將二次測得之重量相加,即為該木材之重量,此法確否? 試說明之.

8. 說明不倒翁不倒之理由.

9. 試研究將半球之球面置於水平面上時之平衡狀態若何.

10. 有四方柱直立於臺上，於其側面依水平推之，則着力點愈高時，柱亦愈易傾倒。試說明其理由。

第二章 運動之定律

57. 運動 甲點對於乙點變更其位置時，則甲點對於乙點謂之運動，否則謂之靜止。吾人觀念中之運動與靜止，原為相對的而非絕對的，其絕對的運動與靜止，實無法以知之。

通常所謂之運動與靜止，皆係對於地球而言。物理學所論現象中，其最簡單者，厥惟運動；又其他如關於熱光，電氣，磁氣等之多數現象，亦可使之歸着於某種運動。故研究運動之定律，實為物理學中之要事。

運動體因其經過道路之不同，故運動之種類可區分之如下。沿直線之方向運動者，謂之直線運動。沿圓或曲線運動者謂之圓運動或曲線運動。直線運動，其方向雖一定不

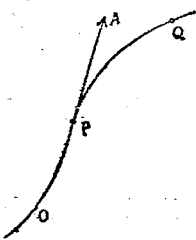


圖 七 三

變，而曲線運動，則其運動方向，時時變換。其運動之方向，可由運動體位於曲線上某點時，其點之切線以定之。如圖七三所示，沿道路 O P Q 運動之運動體在 P 點之位置時，其運動方向為 P A 是。

點或物體由運動而變更其位置時，其位置之變化，謂之變位。變位之大小，通常皆以其物體位置二點間之距離以測定之。例如一點沿任意之曲線進行，由 A 移至 B 時，其變位即為直線 AB 是。

58. 速率及速度 運動體位置之變化，常有遲速之差異。例如牛行緩，火車行速是。此運動體位置變換遲速之程度謂之速率。速率之大小，可以運動體單位時間內通過之路程計之。

於任意相等時間內通過相等路程之運動，即速率一定之運動，謂之等速運動。設等速運動體於 t 秒間通過之路程為 s 糎，則其速率 v 為每秒 $\frac{s}{t}$ 糎。即

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{或} \quad s = vt \quad \checkmark$$

運動體之速率與其方向合併而言時，則謂之速度。凡直線運動之速度大小，可由單位時間內之變位以測之。而其方向則由運動之方向以定之。若運動之途徑為曲線時，則曲線上各點所引之切線，即為該各點速度之方向。因速度為表運動遲速之名詞，故敘述時不可不將時間之單位與距離之單位同時並稱。例如云每秒 5 糎，每時十里或 5 秒糎等是。

設一點有 OA 之速度，同時復有 OB 之速度時，則其合速度等於以 OA, OB 為平行四邊形之二邊所得之對角

線 OC 如此求任意二速度所生之合速度，謂之速度之合成，反之由一速度分解為二速度時，謂之速度之分解，由平行四邊形之作圖法以求速度之合成或分解者，謂之速度之中斜法。

59. **加速度** 在不等速運動中，其速度常生增加或減少之變化，此速度之變化并時間而言時，謂之加速度，加速度之變化，可由單位時間內速度之增減以測定之，例如物體沿直線進行，其開始之速度為每秒 v 糎， t 秒後變為每秒 v' 糎時；則此物體於 t 秒間增加之速度為 $(v'-v)$ 糎，因之此物體之加速度，平均為每秒 $\frac{v'-v}{t}$ 糎，是此平均所得之加速度，謂之平均加速度。

加速度為速度變化遲速之程度，故敘述時不可不將速度之單位與時間之單位並稱，例如云對於一秒每秒 4 糎，或略之為每秒每秒 4 糎，及 4 秒秒糎等是。

60 **運動第一律及力之定義** 以磁石置近於鐵片，則鐵片即向磁石移動，此種使鐵片起運動之原因，由於磁石之作用，又物體由手中放出時，則生落下之運動，尋其原因，則為地球之作用，由此可知一般靜止之物體變為運動時，皆因受有外部之作用，如無外部之作用，則無論何時，靜止之物體終屬靜止。

再就運動之物體研究之，其速度之所以有變化者，亦為

受有外部作用之故。例如滾轉於地上之足球，其速度漸次遲緩，終至停止者，由於地面摩擦之故。若此摩擦能完全除去，則球無論何時，應以等速度繼續運動，即運動之物體，不受外部作用時，無論何時，應不變其速度，依直線等速進行。

此處所謂外部之作用，物理學上名之爲力，例如推之作用，引之作用，皆爲力。故力爲使靜止之物體起運動，運動之物體變速度之原因。換言之，即

凡物體不受外力之作用時，靜者恆靜，動者依直線等速進行。

上述之定律，爲關於運動之牛頓三定律之第一律。由此律規定，凡物體皆有保持其現在狀態之性質，即凡物體皆具有一種慣性，故此律亦稱之爲慣性律。

當吾人乘車時，車如驟開，則人向後倒；又驟停時，則人向前仆者，皆由於慣性之作用。又刀柄脫落時，如將刀豎立而使柄下擊，則刀即行嵌入於柄內者，亦不外慣性之利用。

慣性定律，由他方面觀之，亦可作爲力之定義，因力爲變更物體速度之作用之故。

不受外力作用之運動體，其經過等距離所需之時間，亦必相等。故此定律又與吾人以確定相等時間之方法，吾人能以地球自轉之時間爲時間之標準者，即此之故。

61. 質量 物體之質量云者，依通常定義，皆爲物體所

含有物質之量，其多少以物體之容積及密度之積以測之。然密度云者，依通常定義，復為物體單位容積內所含質量之謂。是以質量為質量之定義，對於質量之觀念，毫無要領。

質量之觀念，原起因於物體之慣性。如以手推同體積之鐵球與木球，則鐵球較難推動；以手止同體積之鐵球與木球，則鐵球亦較難停止。蓋由於球之質量各有多少，因之其慣性亦生大小之差故也。故由物體慣性之大小，可以比較物體質量之多寡。例如有二物體，各以一定之力 f 作用於其上一秒間時，如二物體之速度俱為 v ，則可知此二物體之質量相等。若甲物體之速度為 v ，乙物體之速度為 $n v$ 時，則甲物體之質量，為乙物體質量之 n 倍。

62. 運動第二律及運動量 運動體之質量與其速度之相乘積，謂之運動量。運動量之方向，即為速度之方向。吾人停止運動之物體時，其難易與運動體之質量及速度之大小成正比例者，即由運動量有大小之故。

作用於物體之力，其效果與力之大小及力之作用時間之長短亦有關係。例如以小力作用於物體，如其作用之時間甚久，則物體之速度亦能增大；又以大力作用於物體，則其作用時間雖短，而其所與於物體之速度則大是。此作用力之大小與作用時間之長短之相乘積，謂之力時積。

由第一定律，凡物體變更其運動狀態時，必有力之作用

存在。故可知凡有力之作用時，則物體之運動量必生變化。由實驗結果，得下述之定律。

運動量之變化，與其作用力及作用時間之相乘積（即力時積），成正比例，其方向與力之方向相一致。

上述之定律，為關於運動之牛頓三定律之第二律。闡明力之影響於物體之效果。由此效果，可與吾人以測定力之大小之方法。設以一定之力 f 依運動體運動之方向作用於質量 m 克速度 v 之運動體上 t 秒間後，其速度變為每秒 v' 極。則一秒間所生之運動量變化，為

$$\frac{mv' - mv}{t} = \frac{m(v' - v)}{t}$$

由運動第二定律，得

$$\frac{m(v' - v)}{t} \propto f$$

$$\text{即 } \frac{m(v' - v)}{t} = kf$$

上式中之 k 為比例常數，如力之單位取之適當，使 $k=1$ 時則

$$\frac{m(v' - v)}{t} = f$$

即運動量之變化，與其作用之外力相等。

又由 § 59, $\frac{v' - v}{t}$ 為物體所得之平均加速度 a ，故

$$f = ma$$

$$f = m \frac{v' - v}{t}$$

✓ 即運動體之質量與其加速度之相乘積，等於其作用之外力。

63. 力之單位 以作用於質量一克之物體上使其生一秒秒種之加速度之力爲力之單位，謂之達因，或以作用於質量一磅之物體上使其生一秒秒英尺之加速度之力爲力之單位，謂之磅度，此種單位，謂之力之絕對單位。

有時亦有以單位質量之重量爲力之單位者，如一克一磅，一斤等是，此種單位，謂之力之重力單位，其一克之重量，等於 980 達因。

64. 運動第三律 考力之作用，常存於二物體間，例如以手推物，其使力作用者爲手，受力作用者爲物，又以手引物，同時手亦被物引，總之所謂力者，不過由一方窺見二物體間作用之一面而已。

甲物及於乙物之作用，既名之爲作用，對此，乙物及於甲物之作用，謂之反作用，上述之手引物同時物亦引手之例，即作用與反作用之關係存於其間，徵之於吾人日常之經驗，其作用與反作用之關係如下。

✓ 作用與反作用，其大小當相等，其方向恰相反。

上述之定律，謂之反作用定律，爲關於運動之牛頓三定律之第三定律。

二物體互相作用，如吾人之着目點不偏重於一物體時，

其相互之作用，謂之應力。換言之，即應力為作用於二物體間之一對方向相反大小相等之力。故反作用定律，又可改述之如下。

凡力皆成應力。

由反作用定律，設二個以上物體連為一系不受外力作用時，其系內雖任起如何之相對運動，此系之運動量不生變化。因系內任意物體間所作用之力，其大小常相等而方向則相反；因之運動量在甲方增加時，在乙方恰須減少故也。設質量 m_1 及 m_2 之二物體，因相互之作用而起運動；經 t 秒時後，其速度各變為 v_1 及 v_2 時，由其運動量之總和為零，故得下式。

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = -\frac{m_2}{m_1}$$

即二物體之速度方向相反，其大小之比等於質量之反比。

上述之三運動定律，為大物理學者牛頓所發見，故亦謂之牛頓之定律，為力學及物理學之基礎，極為重要。

問 題

1. 有於靜水中每時行三里之小舟，依垂直之方向由廣三分之一里水流每時四里之河流此岸渡至彼岸，求其合速度幾何。又渡過河面之時間及其流下之距離若何。

2. 有速度每時二里之小舟,行於水流每時 $\sqrt{3}$ 里之流水中,如欲依與水流成垂直之方向進行時,求船首之方向應何指.

3. 設欲於最短時間內橫渡河岸時,問船之進行方向如何.

4. 由速度每時十八海里之軍艦發砲,欲擊中位於軍艦進行方向成直角之砲台,設砲彈對於軍艦之速度為每秒二百英尺,問砲身應取之方向若何,但 1 海里 = 6080 英尺.

5. 說明無風時由火車中望見車外之雨點皆成斜向之理.

6. 設有運動體,其初速度為 26 糎,經 8 秒時後變為 50 糎,求其加速度幾何.

7. 設有運動體,其初速度為 45 糎,經 5 秒時後變為 30 糎,求其加速度幾何.

8. 求作用於質量 5 克之物體於 10 秒時間使其得 2 秒米之速度之力為若干達因.

9. 設有 10 磅度之力作用於靜止之物體上,經二秒時間得 12 秒英尺之速度,求該物體之質量幾何.

10. 當吾人由高處跳下時,如以趾尖着地,則痛若減少,何故?

11. 玻璃杯落於石上則碎,落於毛氈上則不碎,何故?

12. 以 30 達因之力作用於能自由運動之物體,經 5 秒時後,求其所得之運動量幾何,又設物體之質量為 60 克,其所得之速度如何.

13. 有質量 20 克之彈丸,設以每秒 400 米之速度發射之間,鎗身所得之運動量幾何,又此彈設欲於 0.1 秒時間停止之,需力幾何.

14. 以繩繫質量之比為 1:100 之二舟而互相拽之,設小舟所得之速度為 3 秒米,求大舟所得之速度如何.

15. 有質量為 m_1, m_2 之二非彈性體,各以 v_1, v_2 之速度於一直線上依同方向進行,設二球衝突後合為一體時,其速度如何.

16. 水雷爆發於軍艦之側時,其一方為易破之海水,他方為堅牢之鋼板,而艦壁能遭破壞者,何故?

17. 以鎗彈射擊木板,其木板不起全體之運動而為彈所洞穿者,何故?

第三章 物體之運動

65. 等加速度直線運動 設有一點,以一定之加速度 a 由某點出發,沿直線運動,其初速度為 v_0 , 經 t 秒時後,其速度變為 v 時,由加速度之定義,

數制 $g = 3.2$ 呎

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

由上式得 $v = v_0 + at$

次設運動點於 t 秒間經過之距離為 s , 則 s 等於此點平均之速度 $\frac{1}{2}(v_0 + v)$ 與時間 t 之相乘積故

$$s = \frac{1}{2}(v_0 + v) \times t$$

由上式 $v = v_0 + at$

$$\therefore s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

再就上式消去 t 時, 則得距離與速度之關係, 即將

$$s = \frac{v_0 + v}{2} \times t \text{ 與 } a = \frac{v - v_0}{t} \text{ 二式相乘得}$$

$$2as = v^2 - v_0^2$$

$$\therefore v^2 = v_0^2 + 2as$$

於上式若加速度與初速度之方向相反, 則 a 為負數若物體係由靜止狀態開始運動時, 則 $v_0 = 0$.

66. 落體運動 由賈理熱實驗之結果知地面落體之加速度, 與質量之大小無關, 每秒皆約為 980 秒秒輻故落體運動, 實為等加速度運動之一種, 此落體之加速度, 物理學中通常皆以 g 表之, 設落體之初速度為 v_0 , t 秒後之速度為 v , 其降下距離為 s , 則由上節得下列之三公式.

$$v = v_0 + gt$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} gt^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2gs$$

由上三式得 $t = \frac{v - v_0}{g} = \sqrt{\frac{2(s - v_0 t)}{g}}$

上列三式中之 g 與 v_0 爲所與之常數。 v 與 s 則爲與 t 俱變之變數。

物體如係由靜止狀態墜落時則 $v_0 = 0$ 。如係依沿直線垂直的拋上時則 v_0 爲負數。

又物體如以初速度 v_0 垂直的拋上時則經過 $\frac{v_0}{g}$ 秒後，達於 $\frac{v_0^2}{2g}$ 之高度而停止。其後再行下落。

67. 斜面上之運動 因物體自由落下時之加速度 g 爲值甚大，其運動過於激烈，故實測其運動之情狀對落下公式 $v = gt$ ， $s = \frac{1}{2}gt^2$ 等加以討論時，極感不便。若使物體由斜面上降下則其加速度可隨意調節，有使運動之遲速適

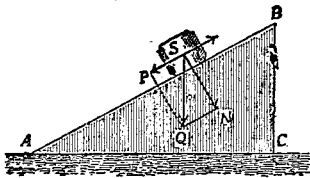


圖 七 四

宜之便利。如圖七四所示，置質量爲 m 之物體於成傾角 θ 之平滑斜面 AB 上，而將其重量 $SQ = mg$ 分解爲與斜面垂直之分力 SQ 沿斜面之分力 SP 。二力因 SQ 垂直於 AC ， SN 垂直於 AB ，故 $\angle QSN = \angle BAC = \theta$ ，故 $SN = mg \cos \theta$ ， $SP = mg \sin \theta$ 。其分力 SN 與抗力相平衡，分力 SP 則使物體沿斜面而下降。設 a 爲物體沿斜面下降之加速度，則由運動第二定律，

$$m \cdot a = mg \sin \theta$$

$$\therefore a = g \sin \theta$$

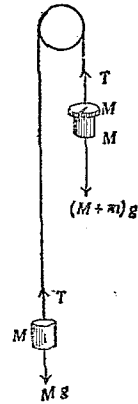
即斜面上之運動，爲 $g \sin \theta$ 之等加速度運動。而斜面之傾角 θ 愈小時，則 $\sin \theta$ 亦愈小，隨之 $g \sin \theta$ 亦愈小，故其運動遲緩，便於實測。

68. 阿第屋之器械 阿第屋之器械 爲使落下之加速度變小，俾對於落下運動便於研究之裝置。其構造之原理如圖七五所示，附線於能自由迴轉之滑車上，而於線之兩端各懸分銅，設線之兩端之分銅質量各爲 M, M ，則二分銅或互相平衡而靜止，或作等加速度運動。次載一質量 m 之小分銅 m 於一分銅 M 上，則因此過剩分銅之重量 mg 故，其質量 $2M+m$ 之分銅全體即起運動。因質量 $2M+m$ 之分銅運動由力 mg 而起，設分銅全體之運動加速度爲 a 時，則由運動第二定律，

$$(2M+m)a = mg$$

$$\therefore a = \frac{m}{2M+m}g$$

由上式可知如使 M 甚大 m 甚小時，則其加速度亦隨之而小，便於觀測。



圖七五

69. 拋射體之運動 設由 O 點依任意之方向 OA 以速度 v 拋射物體時，如無地心引力之作用，則第一秒時後，物體當在如圖七六所示 $OA' = v$ 之一點 A_1 之位置；第二秒時後，在 $OA_2 = 2v$ 之一點 A_2 之位置；第三秒第四秒時後，各

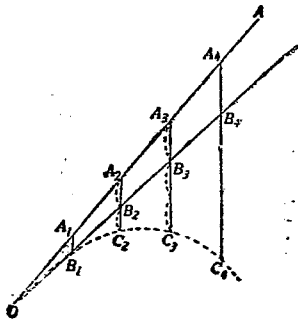


圖 七 六

第一秒時後物體所取之位置，為由 A_1 點之直下 $A_1 B_1 = \frac{1}{2}g$ 處之 B_1 點。連結 $O B_1$ 二點而延長之，設交 A_2, A_3, A_4 等點之沿直線於 B_2, B_3, B_4 等點時，則物體於第二秒第三秒第四秒等時後所取之位置，各在距 A_2, A_3, A_4 等點於 $A_2 C_2 = 2A_2 B_2, A_3 C_3 = 3A_3 B_3, A_4 C_4 = 4A_4 B_4$ 處之 C_2, C_3, C_4 等點。如連結此諸點時，即得拋射體所取之道路。此道路之形狀，通常稱之為拋物線。

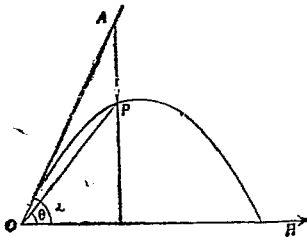


圖 七 七

達 A_3, A_4 之各點。

然按之實際，凡地面上物體均受有地心引力之作用，無論其物體之狀況如何，均依引力之方向於 t 秒後起 $\frac{1}{2}gt^2$ 之變位。故第一秒第二秒第三秒等時後，各依引力之方向生 $\frac{1}{2}g, \frac{1}{2}g \cdot 4, \frac{1}{2}g \cdot 9$ 等之變位。因之第

如圖七七所示，設以速度 v 由 O 點依與水平 OH 成傾角 α 之方向 OA 拋射物體，經 t 秒時後，達於 P 點而通過 P 點之沿直線交 OA 於 A 時，則其關係如下式。

$$OA = vt$$

$$AP = \frac{1}{2}gt^2$$

於三角形 OAP

$$\frac{OP}{\sin OAP} = \frac{OA}{\sin OPA} = \frac{AP}{\sin AOP}$$

置 $OP = R$, 則

$$\frac{R}{\cos \alpha} = \frac{vt}{\cos \theta} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{\sin(\alpha - \theta)}$$

由上式消去 t 時, 得

$$R = \frac{2v^2 \sin(\alpha - \theta) \cos \theta}{g \cos^2 \theta}$$

上式中之 v , α 及 g 為常數, θ , R 為變數即上式為拋射體所經軌道之曲線方程式。

於上式置 $\theta = 0$ 時, 則得拋射體落於水平線上 O H 處與 O 點之距離 R' , 即

$$R' = \frac{2v^2}{g} \sin \alpha \cos \alpha = \frac{v^2}{g} \sin 2\alpha$$

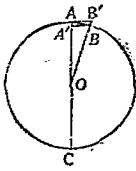
若欲求擊中水平線 O H 上距 O 點 R' 處之一點之拋射角時, 如能求出滿足上式之 α 即可, 此 α 之值, 於 0° 與 90° 之間, 有 α 與 $90^\circ - \alpha$ 之二值。

於 R' 之公式, $\sin 2\alpha$ 於 $\alpha = 45^\circ$ 時, 其值最大, 故依與水平成 45° 之角度拋射物體時, 其達於水平線上之距離為最遠。

70. 圓運動 一點以等速度運動於圓周上時, 因其方向不絕的變更, 可知必不絕的受有外力之作用, 例如以繩之一端繫一錘, 以手執他端而廻旋之使作圓運動時, 則手

不絕的感覺爲繩所牽引於此可知凡行圓運動之物體，必常伴有一向中心作用之力，謂之向心力。因此向心力之作用，使錘常向中心生一加速度，故錘之運動方向因以改變。

今依運動定律，計算向心力 F 之大小如下。設質量 m 之物體於半徑 r 之圓周上以速度 v 運動時，其某時間之位置爲 A ；經極短時間 t 後，其位置爲 B ，則 A, B 爲極相接近之二點，如圖七八所示，通過 A, B 二點各引半徑 OA, OB



交 A 點之切線 AB' 及由 B 所引平行於 AA' 之 BB' 線於 A', B' 二點。因 BB' 與 AA' 幾類平行，故 AA', BB' 可視作平行四邊形，然由 A 至 B 之運動，可視爲 AB' 與 AA' 二運

圖七八 動所合成。且此二運動，由於在 A 點物體所有之速度及其向中心之力而生。故 AB' 爲無向心力時 t 秒間物體所經之距離， AA' 爲由向心力使物體於 t 秒間運動之距離。設因向心力所生之加速度爲 a 時，則 A 點向圓心之加速度爲零。

$$\therefore AA' = \frac{1}{2}at^2$$

$$AB' = A'B = vt$$

由幾何學定理，

$$\frac{2}{A'B} = AA' \times A'C$$

因 A, B 二點極相接近， $A'C$ 可視作等於圓之半徑。

故 $(vt)^2 = \frac{1}{2}at^2 \times 2r$

即 $a = \frac{v^2}{r}$

∴ $F = ma = \frac{mv^2}{r}$

又若運動體一周 $2\pi r$ 所需之時間即週期為 T 時,則

$v = \frac{2\pi r}{T}$

故得 $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$

或 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a}}$

之關係,以 $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ 代入 $F = ma$ 時,得

$F = \frac{4\pi^2}{T^2} mr$

若繩之韌度不逮 $\frac{mv^2}{r}$ 之張力時,則繩中斷,而錘依慣性定律,向切線方向飛去,其情形與附着於車輪上之泥土,因輪急轉而飛去者正相同。

火車疾馳於彎曲之軌道上,其運動可視為圓運動之一部分,若不向路線之內側加以向心力時,必致有出軌之虞。欲除此患如將外側之軌道填高至適當程度即可,因如圖七九所示將作用於車體之重力 W 分解為水平分力 F 及

6.5 = 2.5 \times 10^{-10} \times 2 = 5.0 \times 10^{-10}

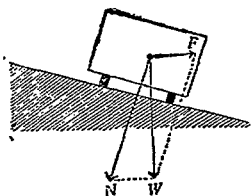


圖 七 九

與路面垂直分力 N 之二力時，則 N 與路面之反作用相平衡，而 F 成爲火車作圓運動所需之向心力故也。

如上所述，迴錘作圓運動時，在錘

固受有向心力之作用，同時在手亦

感覺一向外牽引之力，此引手向外之力，謂之遠心力。遠心力不過爲向心力所生之反作用，對手所起之慣性抵抗，而非實在作用於物體之力，至其大小，與向心力相等，而方向則相反。

71. 萬有引力 向心力顯著之實例，爲萬有引力。因月繞地球及地球繞日，循一定之軌道運行者，皆由其間互有引力以生起向心力之故也。其定律如下。

凡宇宙間任意之二物體，皆沿其物體之聯結線，以與其質量成正比例，與其距離之自乘成反比例之力，互相吸引。

設二物體之質量爲 m, m' ，其間距離爲 r ，二物體間之引力爲 F ，則依萬有引力之定律，其關係如下式。

$$F = k \frac{mm'}{r^2}$$

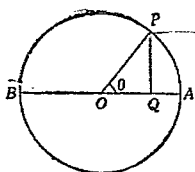
上式中之 k 爲比例常數，謂之萬有引力之常數。依實測結果，取克及釐爲質量及距離之單位時， k 之值爲 6.6578×10^{-8} 。故通常物體間相互作用之引力，極爲微小，吾人無由感覺之。

地面上之物體如無物支持之，則皆以一定之加速度而下墜，吾人以手支持物體時，必感覺一定之抵抗者，皆由於地球引力作用於物體之故。因地面物體之重量皆起因於此種引力，故此引力亦或謂之重力。由實驗結果，物體之重量不由物質之種類而異，其大小與質量之關係如下。

物體之重量，與其質量成正比例，與物質之種類無關。

由上述定律，吾人如用天秤測得物體之重量後，同時亦能比較其物體質量之多少。

72. 單弦運動 如圖八〇所示，設有一點 P 於圓周 APB 上作等速運動時，則由 P 點向任意之直徑 AB 上引



垂線 PQ 交 AB 於 Q 點時，其 Q 點隨 P 點之運動亦往復於 AB 線上，其速度以中央為最大，漸近兩端而漸小。如將 P 點之速度 v 加速度 a 分解成與 AB 平行

或垂直之分速度時，則平行於 AB 之分速度與分加速度等於 Q 點之速度 v' 及加速度 a' 。故

$$v' = v \sin \angle POQ = v \sin \theta = \frac{v}{r} \times PQ$$

$$a' = a \cos \theta = \frac{a}{r} \times CQ$$

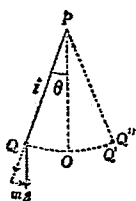
上式中之 r ，為圓之半徑。由此可知 Q 之速度，以通過中心時為最大，漸近兩端而漸小。又 Q 之加速度常傾向中心，其大小依其與中心之距離而增加。通常關於一點往復振

動於同一軌道上，其加速度之方向常傾向中心，其大小與距中心之距離成比例時之運動，謂之單弦運動。單弦運動軌道上兩端之距離，謂之振幅。往復一次所需之時間，謂之週期。因上述之單弦運動週期 T 等於圓運動之週期，故

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a}}$$

上式中之 a 為圓運動之加速度，其值等於單弦運動加速度 a' 之最大值，而 r 則等於單弦運動振幅之半長。

73. 擺之運動 以線繫錘懸之而將錘擲向一方時，則放手後錘即沿圓弧而往復振動。如圖八一所示，設錘由靜止之位置 O 擺至 Q 時；則由重力之作用錘復歸至 O 點。因作用於錘之力為重力及線之張力，若將重力依線及其垂直之方向分解時，則前者與線之張力相平衡，後者使錘復歸至靜止之位置。當錘由 Q 向 O 點運動時，其速度漸次增加，至 O 時其速度最大。由慣性作用，復沿圓弧 OQ' 而上昇。但重力常具使錘歸至 O 點之作用，故錘之速度復漸次減少，終至與 Q 點齊高之 Q' 點而靜止。其後再行下降。如斯往復振動不已。設錘之質量為 m ，則其與線成垂直之分力為 $mg \sin \theta$ 。若擺之振幅不甚大時，弧 QOQ' 可視作直線。此時



圖八一

$$\sin \theta = \frac{OQ}{PQ}$$

設擺長爲 l , 則

$$mg \sin \theta = mg \times \frac{OQ}{PQ} = \frac{mg}{l} \times OQ$$

又設錘因此分力之作用其運動之加速度爲 a 時, 則

$$a = \frac{g}{l} \times OQ$$

由此可知錘之加速度與距 O 點之距離成比例, 其方向常向此點進行, 故錘之運動成爲單弦運動, 又加速度 a 與 OQ 俱增, 設擺之最大振幅爲 $2s$, 則加速度之最大值爲 $\frac{gs}{l}$

因之單弦運動之週期 T 等於下式.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\text{半振幅}}{\text{最大加速度}}} = 2\pi \sqrt{\frac{s}{\frac{gs}{l}}} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

故得擺之運動定律如下.

擺之週期, 與擺長之平方根成正比例, 與其質量及振幅之大小無關.

如上所述定律之規定, 其週期一定不變者, 謂之等時性. 若將擺之週期及擺長之大小測定後, 則由上式, 可算出其地之 g 值. 又利用擺動之等時性, 可以調整時計之遲速.

74. 迴轉運動 陀螺車輪, 地球等迴轉運動之物體, 皆有一不起運動之直線, 謂之迴轉軸. 其他部分則皆圍繞此軸迴轉而行圓運動, 故其各部分每一迴轉所需之時間即週期皆相等. 設迴轉運動之週期爲 T , 則距軸 r 處之點之迴轉速度爲 $\frac{2\pi r}{T}$. 即其速度與距軸之距離成正比例.

設質量 m 半徑 r 之車輪，一秒間繞車軸 n 迴轉時，其運動量為

$$mv = m \times \frac{2\pi r}{T} = 2\pi n r m$$

由上式，可知車輪之質量與半徑愈大，其運動量亦愈大。蒸氣機關，內燃機關等之飛輪所以特大者；即在使其所生之運動量甚大，俾便抵抗外力，防止機關運轉之急變，而保持其平均迴轉。

迴轉運動體因慣性作用，常具有保持其迴轉軸方向之性質。故運動量甚大之迴轉體如使其迴轉軸變更方向時，則所起之抵抗亦必大。急速迴轉之足踏車與陀螺等不易倒傾者，即此之故。又砲管內製成螺旋狀之線條者，亦在使砲彈射出後，起迴轉運動而保持其一定之姿勢也。

問 題

1. 由橋上墮石於水中，設石離手後經二秒時達於水面。求橋之高度及石達水面時之速度。

2. 求以每秒 3.24 米之速度沿直的投下石塊時，4 秒後石塊之速度及其經過之距離若何。

3. 投石於深 15 米之井中，經 1 秒時後達於水面求石之初時速度。

4. 由高 100 米之氣球上，以每秒 5.4 米之速度投下石塊時，問須於幾秒時後始能達於地面。

5. 以二物體由空中隔 2 秒時分別墜下,求二物體相距 100 米時,須經過若干秒時.

6. 有甲乙二球,於甲球落下 5 秒時後,而以 80 秒米之速度將乙球沿直的投下,問經若干秒時後,甲球可追及乙球.

7. 求以 25 秒米之初速度沿直的拋向上方之物體能達於幾米之高度,又經幾秒時後,復歸至原處.

8. 有漸次上昇之氣球,於離地面 100 米處放落一石塊,經 5 秒時後,石塊始達於地上,求氣球上昇之速度.

9. 落石於井中,設經 2 秒時後,聞得石擊水面之響聲,求井深幾許,但音之速度為 330 秒米.

10. 由高 122.5 米之塔上,以 20 秒米之速度依水平拋射物體時,求物體於幾秒時後落於距塔麓幾米之前方.

11. 有飛機以 40 秒米之水平速度飛過頭頂,設以速度 600 秒米之彈丸擊之,求瞄準點之角度.

12. 於能懸一尅重之繩之一端,繫一重 200 克之物體而使之作半徑 50 厘米之圓運動時,求繩截斷時物體之速度幾何.

13. 以繩繫盛水之桶,於沿直面內迴轉之使作半徑 1 米之圓運動時,求桶達於最高點處水得不致流下之桶之最小速度.

14. 設地球之自轉停止後,則在赤道處爲重 1 尅之物體爲重幾克,但地球之半徑爲 6.4×10^8 , 赤道之 g 爲 978 秒秒輻.

15. 求地球自轉之速度等於現在速度之幾倍,則赤道處之物體始無重量.

16. 有每日遲緩 5 秒時之鐘錶,欲調整之,問須縮短其擺長幾何.

第四章 對於運動之抵抗

75. 摩擦 以線繫物體懸之空中而推之,則易於推動,以物體置之桌上而依水平推之,則用力非達一定限度後,物體決不移動,蓋因物體與桌面相接觸處有妨礙物體運動之力存在之故,此力通常稱之爲摩擦,摩擦之極限,謂之最大摩擦,最大摩擦之大小,不但由二接觸面之性質而異,且與其二接觸面間壓力之大小亦屬有關,由實驗結果,得一定律如下.

二物體間之最大摩擦,與其間壓力之大小成正比例,與接觸面之大小無關.

設二物體間之最大摩擦爲 F , 垂直作用於接觸面之全壓力爲 N , 則

$$F \propto N$$

$$\therefore F = \mu N$$

上式中之 μ ，爲因二物體之種類及表面之性質而異之比例常數，謂之靜止摩擦係數。至滑動中之運動摩擦，由實驗結果，其定律如下。

運動摩擦 F ，與二物體間之壓力 N 成正比例，與接觸面之大小及運動之速度無關。

$$\text{即 } F \propto N$$

$$\therefore F = kN$$

上式中之 k 爲由二物體之種類及表面之性質等特有之常數，謂之運動摩擦係數。又二物體之表面如係濕潤或塗有肥皂、油脂等滑劑時，則其間之摩擦顯著的減少。車軸、機械等常須塗油者，即此之故。

以桶或圓柱等物體，立於地上而依水平推之，其所需之力甚大。若使之橫臥地上而推之，則所費之力甚小。此爲吾人日常所經驗者，可知滾動摩擦較之於滑動摩擦爲小。由實驗結果，得定律如下。

滾動摩擦 M 與圓柱對於地面之壓力 N 成正比例。

$$\text{即 } M \propto N$$

$$\therefore M = \mu N$$

上式中之 μ ，爲二物體特有之常數，謂之滾動摩擦係數。滾動摩擦係數，較之於滑動摩擦係數甚爲微小。例如鑄鐵

與銹鐵之滑動摩擦係數為0.19,而滾動摩擦係數則為0.

006 是故通常搬運重物時,皆於其下面墊以木樁而推之又腳踏車之車軸與軸承之間,必置鋼珠者,皆在變更滑動摩擦為滾動摩擦以減輕勞力故也.

76 水之抵抗 於水中推動物體時,水受物體衝突,因而流動,其反作用之結果,物體亦受一定之抵抗,由實驗結果,關於水及一般流體之抵抗,其定律如下.

作用於物體之流體抵抗 f 與對於流體垂直衝突之面積 s 及物體速度 v 之自乘,流體密度 d 三者之相乘積成比例.

$$\text{即 } f = ksdv^2$$

上式中之 k , 為比例常數.

觀上式,可知運動體對於水之抵抗,其表面愈大時,抵抗亦大故推船前進易,使船橫動難.

利用水之抵抗之顯著實例,為船之推進器之構造如圖八二所示,由螺旋狀之金屬翼數個固着於軸上而成.此

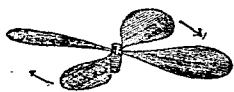


圖 八 二

器通常皆附之於船尾,用蒸汽機關以迴轉之,壓水使向後流,翼因受水之反作用抵抗,因而使船前進.

舵為變更船之進行方向之器械,亦位於船之尾部,若扳舵向左轉,則水流衝突舵面,因其壓力壓舵往右偏,船首因

即隨之向左轉。

77. 空氣之抵抗 凡物體於空氣中運動時,其所受空氣之抵抗與水中所受水之抵抗同,皆遵從上節之定律不過空氣之密度較水為小,因之其抵抗亦小而已。依林嚴塔氏之測定結果,設 s 表平方米, v 表秒米, f 表剎時, f 之值如下式。

$$f=0.13sv^2$$

觀上式,空氣之抵抗與其表面積成正比例。故將一頁紙片由高處墜下則隨風飄蕩,不即着地。如揉作一團時,因其所受空氣之抵抗較小,故急速下墜。

由地面高處落下輕重大小不同之種種物體時,其速度不必皆與賈理熱實驗之結果相同者;即因物體受有空氣之抵抗,其大小各不相同之故。如於真空中墜下羽毛及鉛球時,雖其輕重大小迥異,但其下墜之速度則相同。可知賈理熱實驗之結果,真確無誤。

現今飛行家由高空下墜時所用之落下傘即為利用空氣之抵抗,俾能從容落下而免卻危險之器具。如圖八三所示者,即為飛行士自高空張傘下降時之情形。

又由上節之定律,空氣之抵抗與運動

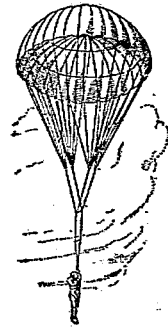


圖 八 三

體速度之自乘成正比例，故空氣之抵抗，因速度之增加而激增。如物體係由一定之作用力而起運動，則與此力方向相反之空氣抵抗，亦隨運動體速度之增加而驟增。終至與力之大小相等時，則與其作用力相平衡，而物體之加速度成爲零，因之物體變爲等速運動。此時物體之速度，謂之終速度。例如汽車，電車等雖不絕的受有力之作用，其速度皆爲一定。又輕氣球之上昇，雨雪等之下降，俱爲受有浮力及重力之作用，然皆依等速度運動者；因空氣之抵抗與速度俱增終至與其作用力相等而成平衡故也。

物體愈行細分，則其體積對於表面面積之比亦愈小，即物體愈小時，其表面所受空氣之抵抗，較之其體積之重量，相差愈微。如小之又小，則其由高墜下之終速度，必有成爲零時。例如構成雲霧之水滴，其半徑約爲0.01 耗，其落下之終速度約爲一秒漚，幾等於零。因此等之終速度，爲值甚小。故雲霧、塵埃、煤煙等微粒，得隨空氣之動搖，能浮游於空氣中而不下墜。

78. 飛艇與飛機 飛艇係裝置推進器於氣球上，因空氣之浮力浮於空中，由發動機使推進器迴轉，藉空氣之抵抗而使氣球依水平進行者，其下面懸有船形之坐具，艇上具二舵一垂直，用以司方向；一水平，用以司向上下移動之用。



圖 八 四

飛機則為不需空氣之浮力，而利用其抵抗，以飛行於空中之器具。其形似蜻艇。左右具二

翼。翼之前緣較後緣為高。兩翼之中間置有發動機，并有容飛行士之坐處。推進器裝置於頭部。其大者發動機與推進器可多至十餘具，分裝於兩翼及尾部。當發動機轉動推進

器時，機即滑走地上，其作用於兩翼下面之風壓，與速度同時增加，待速度達於一定程度後，其向上之分力



圖 八 五

至能支持機重時，機即離地面向空中飛揚。尾部亦有水平垂直二舵藉以司昇降及轉向之用。

問 題

1. 以繩繫物而拽之，則拽之愈力，必握之愈緊，何故？
2. 於水平之鐵板上載一重 2 剋之鐵塊而以 400 克

之力拽之，鐵板始行移動。如鐵板上所載之鐵塊為重 3 尅時，求須用幾克之力，始能拽之移動。

3. 載物體於水平之木板上而拽之，須用 500 克之力，始能使之移動。如於物體上再載一重 3 尅之分銅時，則須用 800 克之力始能使之移動。求其摩擦係數及物體之重量幾何。

4. 有馬力 70000 馬力，速度 25 海里（一海里等於 6080 時英尺）之巨大汽船，求其推進器壓水之力量。

第五章 簡單機械

79. 槓桿 能迴轉於某一定點 O 之周圍，而不易屈撓之棒，謂之槓桿。其定點，謂之支點。如圖八十七所示於槓桿之兩端 A, B 各懸重物 P, Q ，而槓桿與重物之全體，則由其

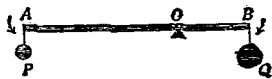


圖 八 六

支點 O 處，用一與其重力方向相反之力以支持之。茲為說明簡便起見，設槓桿之重量為零，則 P 之作用，在使槓桿於 O 點之周圍向左迴轉； Q 之作用，在使槓桿於 O 點之周圍向右迴轉。如 P, Q 二重量取之適當，令槓桿能於水平靜止時，則由實驗，可得下列之比例式。

$$P : Q = OB : OA$$

$$\text{即 } P \times OA = Q \times OB$$

OA, OB 之長,謂之槓桿之臂

觀上之方程式,如 OB : OA 之比愈小,則 P : Q 之比亦愈小.故由槓桿之作用,可使甚小之力與甚大之力相平衡

因槓桿之支點 O 與二着力點 A, B 之相互位置之不同,

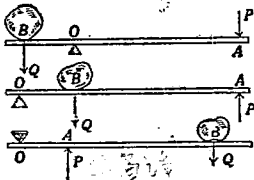


圖 八 七

故槓桿之種類可分三種,(a)支點 O 在 A, B 之間者,(b)抵抗 Q 之着力點 B 位於 O, A 之間者,(c)力 P 之着力點 A 位於 O, B 之間者.

上之三種槓桿,無論何種,其平

衡條件皆為二力 P, Q 對於支點 O 之能率相等.即須

$$P \times OA = Q \times OB$$

$$\therefore Q = \frac{OA}{OB} \times P$$

如圖八七所示,其(a)(b)二種槓桿,能使 $OA > OB$. 故 $P < Q$

(c) 種則 $OA < OB$, 故 $P > Q$.

間亦有槓桿之形狀不為直線,且作用力之方向亦不相同者,今舉鐵鋤為例以說明之.如圖八八所示,作用於鐵鋤 A 點之力為 F, C 為支點 W 為 B 點之抵抗力,設

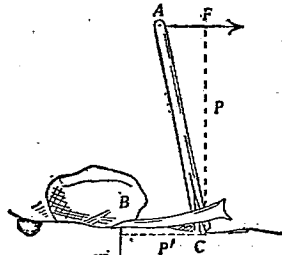


圖 八 八

C 至 F, W 二力方向之垂線,即桿臂為 P, P', 則

$$F = \frac{P'}{P} \times W$$

因 $P > P$

$\therefore F < W$

釘拔,剪子,桿秤等,皆依槓桿之理而成,屬於(a)種.軟木塞壓榨器屬於(b)種.鑷子,日本剪等,屬於(c)種.

80. 天秤 天秤為將物體之質量與質量之標準即分銅相比較而測定其質量多寡之器械.其構造如圖八九所示,由一以中心為支點之槓桿,兩端各懸一置分銅及重物之秤皿而成.如槓桿成水平時,則其所置之重物質量與分銅相等.

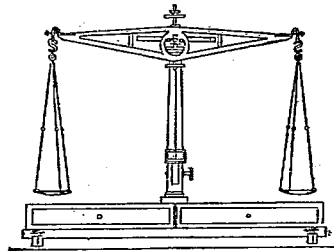


圖 八 九

如圖九〇所示, BCB' 為不易屈撓之金屬桿,謂之秤桿,於其中心固着一向下之刀刃,置之於固定台上之 C 點處以支持之.秤桿之兩端,各懸秤皿.用以置物體及分銅.其秤皿之懸點 B, B' 至秤桿之懸

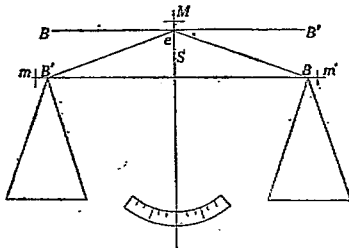


圖 九 〇

點 C 之水平距離,謂之桿長.通常桿長及秤皿之重量,皆製成相等.故秤皿不置物體及分銅時,秤桿及固着於秤桿各物全體之重心 S ,位於 C 點之下,秤桿成水平,指針

指下面刻度之正中，如秤桿不成水平，以致指針不指刻度之正中時，則可旋轉秤桿兩端所附之螺旋 m, m' 以調整之。

秤皿上所載物體，與分銅重量之差雖屬甚微，而指針所生之偏斜角度仍甚大，則其天秤方可謂之靈敏。茲將天秤靈敏之條件，論之於下。

如圖九一所示，其秤皿之懸點 A, B 與秤桿之懸點 C 所聯結之三角形為二等邊三角形，秤皿上不載重量時， A, B 之位置成水平。因之秤桿之重心 S 與 C 聯結之直線 CS 垂直於 AB 而平分其頂角 ACB 。

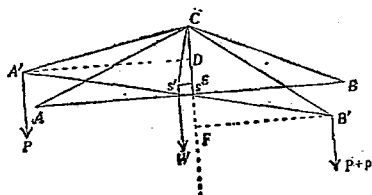


圖 九 一

設左皿所載重物與皿之重量全體為 P ，右皿所載重物與皿之重量全體為 $P+p$ ，則秤桿因過剩之重量 p ，致傾斜如圖所示，至秤桿於重心作用之重量 W 與 P 對於 C 點之能率之和等於 $P+p$ 對於 C 點之能率之位置而靜止。此時指針所示之偏斜角設為 β ，則 β 等於 $S'CS$ 角。今由 A', B' 與 S' 向直線 SC 各引垂線 $A'D, B'T$ 與 $S'E$ 時，於秤桿靜止時傾斜之位置，得下列之方程式。

$$P \cdot A'D + W \cdot S'E = (P+p) \cdot B'T$$

$$\text{令 } \angle CBA = \angle CAB = \alpha,$$

$$GA = CB = l, \quad CS = d \text{ 則}$$

$$S'E = CS' \sin S'CS = d \sin \beta$$

$$B'F = CB' \cos CB'F = l \cos(\alpha + \beta)$$

而 $A'D$ 垂直於 CS , CS' 垂直於 $A'B'$, 故 $\angle DA'B' = \angle S'CS = \beta$.

因之 $A'D = A'C \cos CA'D = l \cos(\alpha - \beta)$

將 $S'E$, $B'F$ 及 $A'D'$ 之值代入前式, 得

$$P l \cos(\alpha - \beta) + W \cdot d \sin \beta = (P + p) l \cos(\alpha + \beta)$$

由上式以求 $\tan \beta$ 時, 得

$$\tan \beta = \frac{p l \cos \alpha}{(2P + p) l \sin \alpha + W \cdot d} \dots\dots\dots$$

天秤之靈敏與否, 在對於一定過剩量 p 所生偏斜角之大小, 觀上式, 可知天秤之靈敏, 除此過剩量 p 之大小外, 與所測物體之重量亦屬有關, 即 β 隨 P 之增加而減少, 故天秤對於所測物體愈重時, 其靈敏度亦愈減。

設使三懸點 A, B, C 同在一直線上時; 則天秤之靈敏度, 與所測物體之輕重無關, 即於上式置 $\alpha = 0$ 時, 得

$$\tan \beta = \beta \frac{p \cdot l}{W \cdot d}$$

通常 β 為甚小之角度, 故視 $\tan \beta$ 與 β 相等, 亦無不可, 故得下式.

$$\beta = \frac{p \cdot l}{W \cdot d}$$

偏斜角對於單位過剩重量 (通常一毫) 之比, 謂之天秤

之感度天秤之靈敏與否，即以此測之。由上式，

$$\text{感度} = \frac{\beta}{p} = \frac{l}{W \cdot d}$$

如上式所示，欲使天秤之感度增大，必須遵守下列之條件

I. 使 W 甚小 在秤桿不易屈撓之範圍內，而使其重量甚小，故通常皆製桿成格子狀，藉以減除其無用之質量。

II. 使 l 甚大 於秤桿不易屈撓之範圍內，其桿愈長，則感度亦愈增。然隨桿之長度增加，天秤振動所需之時間亦行增加。行測定時需要長久之時間，實為不便。故通常皆依其他條件以增加感度。秤桿不可使之過長。

III. 使 d 甚小 重心 S 距懸點 C 愈近，則感度亦愈增。然其振動時間因之減少，亦有不便。故 d 亦必具適當之長度。如 $d=0$ 即重心與懸點一致時，天秤可由任意之過剩重量成 90° 之偏斜角而靜止。又設 d 為負數，即重心位於 C 上時，成為不安定平衡，皆不能用以測定物體之重量。通常為使 d 取適當之值起見，皆於 C 上附有螺旋 M （見九十圖），調節 M ，俾天秤之振動時間，得取適當之數值。

由感度公式所導出之條件外，尚有下列條件，亦為必要。

IV. 減少秤桿懸點之摩擦 爲適合此目的起見,其固着於秤桿之刀刃,皆用鋼鐵製成,其載刀刃之小槽亦係以鋼鐵或瑪瑙製成。

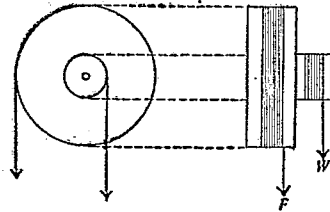


圖 九 二

81. 輪軸 輪軸之構造,爲半徑相異之二圓柱,固着於一軸上而成,如於卷於小圓柱上之繩之一端懸重物 W ,而於大圓柱上所卷之繩之一端施力 F 時,則以小力 F 可以舉起重物 W ,設大小二圓柱之半徑各爲 R, r 其 F, W 之關係如下式。

$$F \cdot R = W \cdot r$$

$$\therefore F = \frac{r}{R} \cdot W$$

如嚴密計算時,其圓柱之半徑 R, r , 更須各加上繩之半徑,始爲正確,通常所用以起重之絞盤,即不外輪軸之變形。

82. 滑車 滑車爲能廻轉於軸之周圍之圓板,其軸通過中心,沿板之周圍,鑿有小槽,以便卷繩之起重器械,其軸固定不動者,謂之定滑車,能自由轉動者,謂之動滑車。

定滑車僅爲變更力之方向之用如圖九三之(a)所示,其 F, W 互爲平衡時,依槓桿之理,可知

$$F = W$$

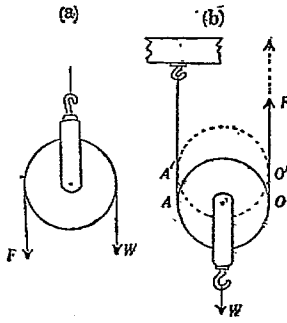


圖 九 三

又圖九三之(b)所示者,爲一個動滑車,其所懸之重物W,由上二邊之繩分任之,可知

$$F = \frac{1}{2}W$$

取數個定滑車與數個動滑車互相組合時,其組合之方法,可分爲下列之三種。

I. 一繩圍繞各滑車全體一週者 如圖九四所示, W之重量與各滑車所繞之繩之張力之和相平衡,此各繩之張力,皆與 F 等。設繩之他端係固着於上組滑車時,則其數應爲偶數,如係固着於下組滑車時,則其數應爲奇數。無論何時,如下組滑車所繞之繩爲 n 條時,則其張力之和爲 nF。

$$\therefore W = nF$$

$$\text{即 } F = \frac{W}{n}$$

如併下組滑車之重量 w 亦計入時,則

$$W + w = nF$$

$$\therefore F = \frac{W + w}{n}$$

II. 每繩之一端固定於上面

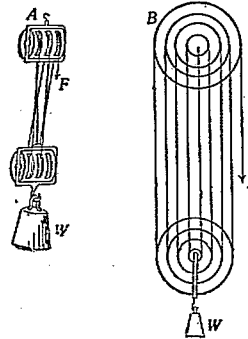


圖 九 四

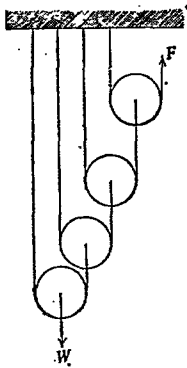


圖 九 五

之橫樑，他端各圍繞一滑車後，固着於其上面之滑車者。如圖九五所示， F 等於其滑車下面作用力之二分之一；此滑車之作用力，復等於其滑車下面作用力之二分之一；即 $2^2=4$ 分之一。一般如滑車之數為 n 個時， F 即等於其第 n 個滑車下面作用力之 2^n 分之一，即

$$F = \frac{W}{2^n}$$

如須將滑車之重量一併計入時，則稍為複雜，茲略之。

III. 每繩皆以一端繫於重物之上者。如圖九六所示，各繩之一端皆繫於懸重物之棒上。此種組合方法，顯係 II 種組合方法之倒置者。其最上滑車之作用力，實與 II 種組合滑車之作用力 W 相當。令

F' 代此作用力時，則

$$F' = 2^n F$$

而 $F' = W + F$

即 $W + F = 2^n F$

$$\therefore W = 2^n F - F = (2^n - 1) F$$

$$\therefore F = \frac{W}{2^n - 1}$$

如滑車之重量，亦須計入時，則亦

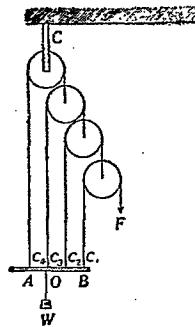


圖 九 六

甚複雜茲從略。

83. 斜面 對於水平面成傾斜角度之平面，謂之斜面。其與水平面所成之角度，謂之傾斜角。如圖九七所示，A C 為水平面，A B 為平滑之斜面。今置重量 W 之物體於其上時，則 W 可視為作用於其重心 O 之重力。將此重力分解為與斜面垂直之分力 N，及沿斜面之分力 P 時，則 N 與斜面之抵抗相平衡。僅須一與 P 之大小相等方向相反之力作用於物體上，物體即能支持於斜面上而不下墜。今於二直角三角形 W O P，A C B，因 $OW \perp AC$ ， $PW \perp AB$ ，故 $\angle OWP = \angle BAC$ 。故二三角形相似。因之

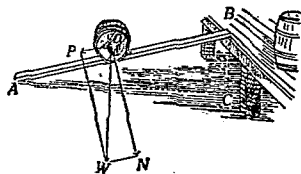


圖 九 七

上而不下墜。今於二直角三角形 W O P，A C B，因 $OW \perp AC$ ， $PW \perp AB$ ，故 $\angle OWP = \angle BAC$ 。故二三角形相似。因之

$$P : W = BC : AB$$

$$\therefore P = \frac{BC}{AB} \cdot W = W \sin A \quad (A \text{ 爲傾斜角})$$

上式中之 $\sin A$ 之值隨 A 角之大小而增減。故斜面之傾斜角愈小，則所需支持物體之力亦愈小。

如 P 力作用時係與斜面之底 A C 平行者，則依同理，可證明

$$P = \frac{BC}{AC} \cdot W = W \tan A$$

84. 尖劈 尖劈之斷面作 V 形，通常皆以金屬製成用以劈開物體者。劈薪用之斧，即其一例。又刀劍亦係尖劈之

一種，不過其稜角甚小耳。如圖九八之甲所示，使力 F 作用於尖劈 ABC 之背上時，則尖劈嵌入木中，木材對於尖劈所呈之抵抗 Q, R ，等於 F 作用於尖劈時對於其接觸面之垂直分力。於圖九八之乙圖， OP 為作用力 F ， OQ, OR 為 OP 對於尖劈面之垂直分力，則 $OR = OQ$ ， $OQPR$ 為菱形，其對角線 OP, QR 之交點 C ，平分 OP ，又尖劈之頂角 A ，等於 OQ, OR 所夾角之補角。即等於 $\angle OQP$ 角。而 $\angle OQC = \frac{1}{2} \angle OQP$ ，由圖

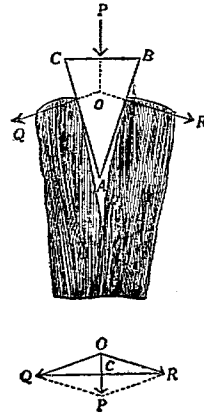


圖 九 八

$$\sin OQC = \frac{OC}{OQ}$$

$$\therefore OC = OQ \sin OQC$$

$$\therefore F = OP = 2OC = 2OQ \sin OQC$$

$$\therefore F = 2W \sin \frac{A}{2}$$

(W 為木材對於尖劈所呈之抵抗)

A 角愈小時，則對於一定度之 W 所需之力 F 亦小。通常將鈍刀磨之則行鋒利者，即因其刀口之角度變小之故。

85. 螺旋 螺旋可視為斜面之變形。如圖九九所示，將紙剪成三角形 ABC ，使其一邊沿圓柱之母線卷於圓柱上時，則斜邊 AC 即於圓柱上形成一螺旋形。如預使 d, d'

之長等於圓柱之
圓周時，則卷後 d
即位於 A 點之直
下。一般於 AC 上
取等於 A d 距離之任意二點，卷後此二點必同在一母線上。

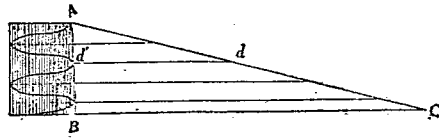
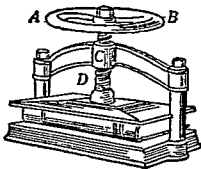


圖 九 九

今沿圓柱上之螺旋形，鑿成三角或四角之小槽，則得通常之雄螺旋。雄螺旋突起之部分，謂之螺條。依軸之方向所得條與條間之距離，謂之旋距。

於中空之圓筒中，鑿成適合於雄螺旋螺條之小槽，是為雌螺旋。雄螺旋對於雌螺旋一迴轉時，其軸之進入距離為一旋距，故旋距甚小時，可利用之以測量微薄之物體。

螺旋壓榨器為利用螺旋之器械，其構造如圖一〇〇所示，由螺旋與槓桿或輪軸組合而成。設作用於槓桿而使之迴轉之力為 F ，槓桿之長為 l ，雄螺旋之半徑為 r ，其旋距為 h ，則由能率之理，作用於雄螺旋周邊之力為 $\frac{Fl}{r}$ 。此力相



當於平行於斜面之底之力 P ，雄螺旋之周長 $2\pi r$ 相當於斜面之底邊 AC，旋距 h 相當於斜面之高度 BC。設壓榨物體之力為 R ，則由斜面之第二公

圖 一 〇 〇 式

$$P = \frac{BC}{AC} \cdot R = \frac{h}{2\pi r} \cdot R$$

$$\therefore R = \frac{Fl}{r} \times \frac{2\pi r}{h} = \frac{2\pi l}{h} \cdot F$$

通常 $\frac{l}{h}$ 之值甚大，故 R 比之 F ，其值亦甚大。

問 題

1. 於長 2 尺重 300 克組織均勻之槓桿兩端，各懸 200 克 500 克之重物。求槓桿成水平時支點之位置。
2. 有物體位於成傾斜角 θ 之斜面上，今以力與斜面成 φ 角之方向拽之。求所需之力幾何。
3. 設輪軸之軸與輪之直徑之比為 1 : 15 時，求須施力若干於輪上，始能將軸上所懸重 15 尅之物體舉起。
4. 有重 280 克之物體位於成傾斜角 30° 之平滑斜面上，問沿斜面須加力若干始能支持其物體不致下墜。
5. 拽車上山坡時，如由左右屈曲而行，則較之直進時甚為省力。何故？
6. 有壓榨器，設其旋距為 1 呎，柄長 60 呎，作用於柄之兩端之力為 5 尅時，求其壓榨之力幾何。
7. 有兩臂長度稍異之天秤，今以一物載於一方之皿 A 上，與他方之皿 B 上所載質量 P 克之分銅相平衡。又物體載於 B 上時，與 A 上所載 Q 克之分銅相平衡。求物體之質量幾何。

8. 有截面成直角三角形之尖劈，其長為10呎，高為1.5呎，設於底面垂直的施以4.5 尅之力時，求尖劈沿直的作用於物體上之力幾何。

第六章 工作與能力

86. 工作 物體受外力之作用而依其力之方向移動時，其移動之距離與作用力之相乘積，謂之工作，或簡稱之為工。如力之方向與變位之方向相一致時，謂之作工。如力之方向與物體移動之方向相反時，則謂之逆力被作工。通常對於作工之工，以+號表之，被作工之工，以-號表之。例如以手舉重物，其作工者為手之力，被作工者為地心引力；又以手推車前進，作工者為手之力，被作工者為地面之摩擦力是。

設以一力 f 作用於物體，使其着力點依力之方向移動 s 距離時，則其所作工作 W 之大小，可依下式決定之。

$$W = f \cdot s$$

以力作用於物體時，其所作工作可分為二種。一為反抗地面之摩擦力，而將物體依水平移動；或如由井汲水等類，反抗所有外部作用於物體之抵抗而使之移動之工作。一為如擲石或發射彈丸等類，其力作用於運動自由之物體上，克服其慣性而付與速度之工作。以上所分之二種工作，

其大小皆依工作之定義，由力 f 與移動距離 s 之相乘積以測之。

87. 工作之單位 因工作之大小，係以力及依力之方向所移動距離之相乘積以測之，故工作之單位，不可不以單位之力使物體移動單位之距離以定之。由所採用之力與距離之單位不同，因之工作之單位有下述各種。

I. C. G. S. 制單位 以一達因之力，使物體移動一釐之工作，謂之愛格，即

$$1 \text{ 愛格} = 1 \text{ 達因} \times 1 \text{ 釐}$$

一達因之力，約等於一釐之重，故一愛格之工作，約等於將一釐之重物，舉高一釐之工作。其值甚微，不適於實用。故通常皆以愛格之 10^7 倍之工作，為工作之單位，謂之朱爾，即

$$1 \text{ 朱爾} = 10^7 \text{ 愛格}$$

II. F. P. S. 制單位 以一磅度之力，使物體移動一英尺之工作，謂之呎磅度，即

$$1 \text{ 呎磅度} = 1 \text{ 磅度} \times 1 \text{ 呎}$$

上述之二種單位，皆為絕對單位，如用力之重力單位以定之，則得下之二種工作單位。

(1) 尅米 以一尅重之力，使物體移動一米之工作，謂之尅米，即

$$\text{一尅米} = \text{一尅重} \times \text{一米}$$

而一尅重 = 10^3 克重 = 980×10^3 達因

$$\text{又 一米} = 100 \text{ 釐}$$

$$\therefore \text{一尅米} = \text{一尅重} \times \text{一米} = 980 \times 10^3 \times 10^2$$

(達因·釐)

$$\therefore \text{一尅米} = 9.8 \times 10^7 \text{ (愛格)} = 9.8 \text{ (朱爾)}$$

(2) 呎磅 以一磅重之力,使物體移動一英尺之工作,謂之呎磅,即

$$\text{一呎磅} = \text{一磅重} \times \text{一呎} = 32 \text{ (磅度呎)} =$$

$$32 \text{ (呎磅度)}$$

88. 反抗抵抗之工作 反抗重力舉起物體,或反抗摩擦與空氣之抵抗等而將物體依水平移動,設其作用力 f , 較之妨礙運動之抵抗力 R 為大時,則物體成等加速度運動,其速度漸次增加,然遲緩的以一定速度舉起重物,或以一定速度移動物體時,其力 f 與抵抗力 R 可視為相等,故設物體之移動距離為 s , 則力 f 所作之工作 W 如下式.

$$W = f \cdot s = R \cdot s$$

由上式,可知計算外力 f 之工作時,其數值上得以抵抗力 R 以代 f . 惟應注意者,此種權宜,僅限於等速度運動之物體而已.

89. 反抗慣性抵抗之工作 置質量 m 之物體於平滑

之水平板上而推動之。若將板面之摩擦與空氣之抵抗等置之度外時，因作用於物體之重量 mg 之方向，與物體移動之方向成直角，故別無妨礙物體運動之外力存在。其手所感受之反作用力，實起因於物體之慣性抵抗 f' 。依反作用律，手之作用力 f ，與此慣性抵抗 f' ，其大小恰相等。設物體因手推動後，其所經之距離為 s ，則反抗慣性抵抗之工作 W 如下式。

$$W = f' \cdot s = f \cdot s \quad \because f' = f$$

設於距離 s 之終點，物體所得之速度為 v ，運動中之加速度為 a 時，則

$$v^2 = 2as, \quad a = \frac{f}{m}$$

$$\therefore v^2 = 2 \cdot \frac{f}{m} \cdot s$$

$$\therefore W = f \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$$

即以力 f 作用於自由運動之物體，依力之方向移動 s 距離之工作 $f \times s$ ，等於反抗慣性抵抗之工作。其值為物體之質量與速度平方相乘積之二分之一。

90. 外力較抵抗力為大之工作 如汽車、火車等，出發後其速度能漸次增加者，因前進之力，較地面之摩擦、空氣之抵抗等為大之故。又如拋向上方之物體，或由鎗砲射出之彈丸，能得上升之速度者，因其發動力較物體之重量為

大之故。此時作用於物體之外力所作工作，為反抗抵抗所作工作，與克服物體之慣性而與以速度之工作之和。設物體之質量為 m ，作用於物體之抵抗為 R ，作用力為 f ，依力之方向移動之距離為 s ， s 終點之速度為 v ，則作用於物體之合力為 $f - R$ 。由上節， $f - R$ 所作工作，等於 $\frac{1}{2}mv^2$

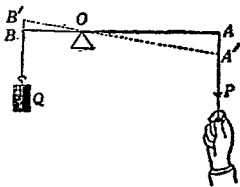
$$\therefore (f - R) \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore f \cdot s = R \cdot s + \frac{1}{2}mv^2$$

即作用於物體之外力 f ，較之作用於物體之抵抗 R 為大時，其工作 $f \cdot s$ ，等於反抗抵抗之工作 $R \cdot s$ ，及與物體以速度之工作 $\frac{1}{2}mv^2$ 之和。

91. 工作與機械 由前所述，使用槓桿，滑車，斜面等機械時，能以較小之力，舉起或推動較重物體。利益無量，然由工作方面觀之，其間實無所得失。

如圖一〇一所示，設於槓桿之一端 B 懸重物 Q ，而於他



端 A 施以力 P 時，則槓桿即行傾斜至如圖所示之位置而靜止。其 A 降至 A' ， B 升至 B' ，此時力 P 對於槓桿之工作為 $P \times AA'$ ，槓桿對於 Q 之工作為 $Q \times BB'$ 。然

圖 一 〇 一

$$AA' : BB' = OA : OB$$

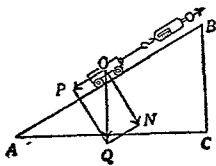
$$\text{又 } P \times OA = Q \times OB$$

$$\text{故 } P \times AA' = Q \times BB'$$

即力對於槓桿之工作，等於槓桿對於重物之工作，可知槓桿之利益，僅在變更力之大小，於工作方面，實無所謂得失。

次就滑車觀之，如圖九十四所示，在一個定滑車時，其 F 與 W 之大小相等，由力 F 引繩由左邊降下一尺時，則重物 W 由右邊上升一尺，其距離亦相等，故其上下時所作之工作相等。又在一個動滑車時，其 F 等於 W 之二分之一，由力 F 引繩向上升高一尺時，則下面之重物 W 上升其二分之一即五寸， F 與 W 所作之工作亦相等。可知滑車之利，亦僅在改變力之方向與大小，於工作無所得失。

再就沿無摩擦之斜面推上物體所作之工作，與垂直的舉起物體所作之工作比較之。設作用於物體之重力為 Q ，則與斜面平行而足以支持物體於斜面上之力為 $\frac{BC}{AB} \times Q$ 。故沿斜面推上物體所作之工作 W ，為



圖一〇二

$$W = \frac{BC}{AB} \times Q \times AB = BC \times Q$$

此工作之大小，恰等於物體依沿直的方向由 C 舉高至 B 處之工作。

由上述之種種簡單實例，可知機械之利益，僅在變更力之大小及方向，不能創生些許之工作，謂之工作之原理，但實驗上無論何種機械，皆多少具有摩擦力，因摩擦力之故，若不施以較大之力時，則不能得所需之力，即不施較大之工作於機械上，則不能得所需之工作。

92. 工率 以上所論者，僅為比較工作之大小，而不及其作工之時間，但實際上，於作一定之工作，其所需時間之長短，在經濟上實有甚大之差別，故比較機械於單位時間所作工作之大小，實為要事，此單位時間所作工作之量，謂之工率。

工率之絕對單位，為每秒一愛格或每秒一呎磅度等，其重力單位，則為每秒一呎磅或每秒一呎米等，在工業上通用之工率，則為馬力，馬力之大小，在英制為每秒 550 呎磅之工率，在德法等國則為每秒 75 呎米之工率，吾人通常泛稱之馬力，皆指英制而言。

此外在電氣工業中，又多有用瓦特為工率者，一瓦特之大小，等於每秒一朱爾，即為每秒 10^7 愛格之工率，又一馬力相當於 746 瓦特，其德法制之馬力，則相當於 736 瓦特。

93. 能力 飛行於空中之彈丸，觸於牆壁時，則貫穿之而出，聚集於高處之積水，導之於水車上，則使車廻轉，二者皆具有作工之要素，此種作工之要素，謂之能力，或簡稱之

曰能。如飛行之彈丸等，因物體之速度而有之能力，謂之運動能力。如高處之積水等，因其所處之位置而有之能力，謂之位置能力。運動能力與位置能力，合稱之為機械的能力。

94. 能力之量 某物體所具能力之大小，可以其所能作工之多少以測之。故工作之單位，兼可作能力之單位。

運動能力之大小，係以運動體至靜止時所能作工作之多少以測之。故設有質量 m 速度 v 之運動體，如以力 f 依其運動之反對方向作用於其上物體經過 s 之距離而停止時，則

$$0 = v^2 - 2as = v^2 - 2\frac{f}{m} \cdot s$$

故物體至靜止時所作工作，即物體具有之能力 E ，其值如下。

$$E = f \cdot s = \frac{1}{2}mv^2$$

即質量 m 克速度 v 秒之運動體所具之運動能力，為 $\frac{1}{2}mv^2$ 愛格

位置能力之大小，等於由其所處位置歸至標準處之位置時所能作工之量。故設有質量 m 克之物體，位於高出地面 h 呎之處，如以地面為標準，則其所具之位置能力為 mgh 愛格。因若利用滑車使此物體降落至地面時，則能將與此同質量之物體，逆重力舉高至 h 呎之高處，其所作工作為 mgh 愛格故也。

若物體由 h 之高處自由落下，則物體達於地面時，得

$$v^2 = 2gh$$

之速度。因之物體具

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

之運動能力。此運動能力若用適當之裝置，可使之作與此同值之工作。故可知其最初之位置能力為 mgh 。即高於地面 h 處處質量 m 克之物體，如以地面為標準，則其所具之位置能力為 mgh 愛格。

95. 能力之變遷 靜止於高出地面 h 處處質量 m 克之物體，其所具之位置能力，既如上述，為 mgh 愛格。若任該物體自由降落時，則因其高度之減低，而位置能力亦因之減少。但同時其運動能力，即行增加。反之，若以 v 速度拋向上方之物體，其運動能力雖漸次減少，但同時其位置能力，即漸次增加。其所增加或減少之量，依理論上之計算，大小恰等。可知能力之量，毫未增減，不過由運動能力變為位置能力，或由位置能力變為運動能力而已。

又如 §91 所論，設機械之摩擦能完全除去時，則作用於機械之工作，常等於機械之所作工。由此觀之，機械之用，在作能力授受之媒介，但按之實際，無論何種機械，均多少具有摩擦力。其施於機械之工作，常須大於機械所作之工作。觀此似乎能力因機械之授受而消失其一部分，其實不然。

吾人認爲消失之部分，不過一變而爲其他之能力熱而已矣。換言之，即機械之能力，一變而爲熱之能力是。

能力之種類，不僅如上所述，只機械及熱二種。此外復有與音光，電氣，磁氣等現象相伴而表現者，或亦有與化學的變化相伴而表現者。此等能力，因自然界所起之種種現象，不絕的由此態而變爲他態，或由一物體而移於他物體。依物理學者研究之結果，此能力由此態變爲他態，及由一物體移於他物體時，其能力之量，均屬一定，毫不能增加或消失任何部分。即宇宙間所存之能力，因自然界現象之遞變，雖可任意變態或移動，但其總量，自屬一定，毫無增減。此定律謂之能力不減之定律。

問 題

1. 有質量 m 克之物體，由高 h 處自由落下，試將重力所作工作以愛格及克糧表之。
2. 有質量 m 克之物體，沿傾斜角 θ 高 h 之斜面上降下，求重力所作之工作。
3. 以力 f 舉起質量 m 克之物體至 h 處之高處，求反抗重力所作之工作幾何。
4. 以力擊質量 50 克之木球而與以 50 秒米之速度時，求擊力所作工作爲幾粒米。
5. 有重 40 粒之小車，設以一力作用於其上，沿地面推。

動10米而與以2秒米之速度時,求所作工作幾何,但作用於車之摩擦力,等於車重之 $\frac{1}{100}$

6. 設以一定之力於 t 秒時間,將質量 m 克之物體舉高至 h 呎時,其所作工作幾何.

7. 有一蒸汽機關,能於一時間內將200噸之水提高至20英尺之高處,求其工率為幾馬力,但一噸等於2240磅.

8. 問以15馬力之機關,能於一時間內將幾噸之水提高至25英尺處.

9. 有火車頭能以每時30英里之速度牽引重量100噸之列車,求其工率為幾馬力,但作用於列車之抵抗為每噸15磅.

10. 試以尅米表質量100克速度400秒米之彈丸所有之運動能力.

11. 設有質量100克速度400秒米之彈丸,擊中牆壁陷入於50呎之深處,求作用於彈丸之平均抵抗為幾尅.

12. 設水車上下高度之差為50英尺,而一分間流下之水量為6000立方英尺,求水力之工率為幾馬力,但高處之水之速度為零,且水一立方英尺之重量為62.5磅.

13. 有質量50克速度300秒米之彈丸,貫穿木板後,其速度減為200秒米,求反抗木板之抵抗所作工作幾何,又設木板之厚為10呎,求板之平均抵抗為幾尅.

14. 有質量 1 尅之物體以 10 秒米之速度運動於粗糙之水平面上。迨進行 5 米後其速度減為 8 秒米。求物體所作之工作為幾尅米。又面之摩擦係數幾何。

15. 如無空氣之抵抗時。證明由地面拋向上方物體之運動能力及位置能力之總和為一定。

16 就阿第屋之器械。證明二物體運動中之能力總和為一定。

17. 有質量 20 克之物體。設以 3 秒米之速度拋向上方時能達於 32.9 呎之高處。求物體反抗空氣抵抗所作之工作。

第三篇 熱學

第一章 溫度及熱

96. 溫度及熱 任取一物體,使其冷卻或加熱後而以手觸之,則手隨其冷熱之程度,起寒冷,微溫,溫熱等感覺.可知物體之寒暖,有種種程度此種物體寒暖之程度,謂之溫度.

以溫度較高之物體 A,與溫度較低之物體 B 相接觸時;則 A 之溫度下降, B 之溫度上昇,終至於二物體之溫度相等而後止.吾人爲說明此溫度升降之現象起見;因設想有一種量稱爲熱者,曾經通過其接觸面由 A 而流入於 B.故可知一物體之溫度高低,由其所含有熱量之多少而異.

熱由高溫度之物體移於低溫度之物體.其情形恰與以管連通水位不同之二桶時,水由水位較高之桶內流入於水位較低之桶內相似.於流水之例,二桶內至水位相等水流停止後,其二桶內之水量不必相等.故可知因接觸成爲同溫度之二物體所含有熱量之多寡,亦不必等.例如 A, B

爲同種物質，A 之質量爲 B 之 n 倍時，則 A 之熱量亦爲 B 之 n 倍是。又如連通之二水桶，水由水量雖少而水位較高之桶內，能向水位較低之桶內流去。故二物體接觸時，熱亦可由熱量雖少溫度較高之物體，移於溫度較低之物體。要之熱之移動，全由溫度之高低而定，與熱量之多寡無關。

如上所述，溫度及熱量恰與水位及水量相似，但有一應注意之點，即水爲物質，而熱則非物質是。此事徵之於物體之重量不因其溫度之高低而異，至爲明瞭。

97. 寒暖計 物體溫度之高低，雖可由吾人之感覺以判定之，但此種方法，極不正確，不足置信，如欲測定物體之正確溫度時，通常皆利用熱之影響於物體之效果以判定之。由此種方法以測定溫度之器械謂之寒暖計。寒暖計之最普通者，爲利用水銀之膨脹製成之水銀寒暖計。其製法爲將玻璃細管之一端膨成球形，注入水銀後加熱以排除管內之空氣，然後密封管口而成。如以此計接觸於溫暖之物體，則水銀柱膨脹而上昇，接觸於寒冷之物體，則水銀柱收縮而下降。故由水銀柱之長短，得以比較其物體溫度之高低。通常使用之寒暖計上，皆定有冰點及沸點二標點。而於其間劃分若干格數。冰點之定法，插寒暑表於漸行融解之冰屑中，視水銀柱停留之頂點刻一劃，定爲冰點。沸點之定法，爲於一氣壓之下置寒暖計於沸騰之蒸氣中，視水銀

柱頂點所在之處，刻一劃，定為沸點。

冰點沸點二標點定後，至其間所分之度數，計有攝氏華氏列氏三種之不同。攝氏度數係以冰點為零度，沸點為百度，分其間為一百等分者。學術上及法國民間多用之。華氏度數係以冰點為三十二度，沸點為二百一十二度，分其間為一百八十等分者。我國及英美日等國多用之。列氏度數係以冰點為零度，沸點為八十度，分其間為八十等分者。瑞士及法國多用之。

今以 C, F, R 各表攝氏，華氏，列氏三種寒暖計對於某溫度之度數，則其間之關係如下式。

如圖一〇三所示，因

$$\sqrt{\frac{AB}{AD} = \frac{C}{100} = \frac{F-32}{180} = \frac{R}{80}}$$

$$\therefore \begin{cases} C = \frac{5}{9}(F-32) = \frac{5}{9}R \\ F = \frac{9}{5}C + 32 = \frac{9}{5}R + 32 \\ R = \frac{4}{9}C = \frac{4}{9}(F-32) \end{cases}$$



圖一〇三

因水銀在溫度 -39°C ，即行凝固，故水銀寒暖計不適合於測定低溫度之用。通常行低溫度之測定，多用着色之酒精寒暖計。

98. 最高及最低寒暖計 測定某時間內之最高及最

低溫度之寒暖計，謂之最高及最低寒暖計。最高寒暖計之構造，爲附鐵製之



圖 一 〇 四

指標於水銀寒暑表之管內，而依水平放置者。用時先以磁石吸引指標，使接觸於水銀柱之上端，因鐵與水銀不能附着，故水銀柱上昇時，指標即被推而上昇。水銀柱下降時，指標不能移動而遺留於原處。故經一定時後，讀其指標一端所指之度數，即可知該時間之最高溫度。最低寒暖計之構造，爲附玻璃製之指標於酒精寒暖計之內而成。用時先傾振寒暖計之玻璃管，使指標與酒精柱之頂點相接觸。則溫度下降時，其指標因酒精柱之表面張力，與酒精柱同時下降。溫度上昇時，酒精柱即遺留指標於原處而單獨上昇。故讀指標一端所指之度數，即可知其時間內之最低溫度。

驗體溫時所用之驗溫器，亦係最高寒暖計之一種。其盛水銀之玻璃泡上端，設有一狹隙。當溫度上昇時，則水銀因



圖 一 〇 五

脹膨而被推，通過此狹隙而進至管內。待溫度下降時，則水銀柱被切斷而遺留於管內，指示其曾達到之最高溫度。

99. 熱量之單位 熱量之多少，可由熱之影響於物體效果之大小以測定之，通常皆取使純粹之水一克變化其

溫度 1°C . 時所需之熱量為標準,謂之克卡路里,或單稱卡路里,有時亦有以卡路里之千倍為熱量之單位者,謂之廷卡路里,或謂之大卡路里.

如精密的敘述時,於種種溫度使水一克變化 1°C . 所需之熱量,並不相等,但其量相差甚微,故使水 m 克增高或減退 $t^{\circ}\text{C}$. 所需之熱量,作為 mt 卡路里計算,實無不可.

100. 比熱 使某物體之溫度上昇 1°C . 時所需之熱量,謂之該物體之熱容量,而物體於單位質量時之熱容量,則謂之比熱,物體之比熱,物理學中通常皆取克為質量之單位,卡路里為熱量之單位以表之.

盛氣體於一定容積之器內而熱之,則其壓力顯著的增加,故加熱於氣體時,如不欲變更其壓力,必須漸次膨大其體積,又使氣體上昇 1°C . 熱量之多寡,由加熱於其氣體時,其體積不變,或壓力不變而異其值,在體積不變時之比熱,謂之定積比熱;在壓力不變時之比熱,謂不定壓比熱,定壓比熱較之定積比熱,其值常大,二者之比在多數之氣體為 1.41 之值,再物質之比熱,亦多少由溫度之不同而異,然在不須極精密之計算時,可視為不變.

測定比熱之方法有種種,其最簡單者為混合法,茲述之於下,設所欲測定之物質為固體,則可取其物質之一定量,熱至某溫度而投入已知溫度及質量之水中,測定其水之

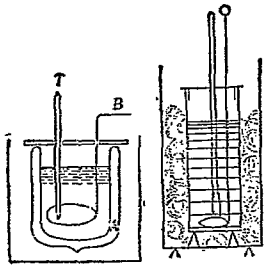


圖 一 〇 六

上昇溫度後，即可計算而得該物質之比熱，此盛水之容器，謂之水熱量計，其構造由薄銅片之圓筒，外包以綿布等而成。

設加熱於 m 克之物質至 t 度時，投入於溫度 t' 度質量 m' 克之水中，攪擾後二者之溫度俱為 T 度。而此物質之比熱設為 c ，則因其溫度由 t 降至 T ，故其所消失之熱量為 $cm(t-T)$ 卡路里。又水之溫度由 t' 升至 T ，故其所獲得之熱量為 $m'(T-t')$ 卡路里。又熱量計因其內容之水溫上昇，其一部分之溫度當亦由 t' 升至 T 。設此部分之質量為 M 克，其比熱為 C 時，則熱量計所獲得之熱量為 $MC(T-t')$ 卡路里。因物質所失之熱量，與水及熱量計所得之熱量相等。故

$$cm(t-T) = m'(T-t') + MC(T-t')$$

$$\therefore c = \frac{(T-t')(m' + MC)}{m(t-T)}$$

如預知 MC 時，則物質之比熱，可由上式以求得之。此 MC 謂之熱量計之水當量。至液體之比熱，亦可由此法以求得之。茲將各種重要物質之比熱，列表於下。

比 熱 表

固	體
鋁	0.22
玻璃	0.19
鐵	0.11
鎳	0.11
鋅	0.094
黃銅	0.093
銅	0.093
鉛	0.032
銀	0.056
錫	0.053
金	0.032
白金	0.032
冰	0.5

液	體
水	1.
酒精	0.58
以脫	0.54
硫酸	0.33
水銀	0.033

	氣 體	
	定壓	定積
輕氣	3.49	2.41
沼氣	0.49	0.47
水蒸氣	0.48	0.37
空氣	0.24	0.17
養氣	0.22	0.15

通常氣體液體之比熱較之固體為大，而液體中比熱之最大者為水，氣體中比熱之最大者為輕氣，凡比熱甚大之物質，使其溫度增高，必需多量之熱量，故其溫度之上昇遲，下降亦遲，海洋之氣候，所以冬溫夏涼者，即此之故。

問 題

1. 森林地方之氣候激變少,砂漠地方之氣候激變多何故?
2. 有質量50克之銀塊,求其由 15°C .熱至 95°C .所需之熱量.
3. 質量2.8 尙之煤油,其熱容量為1.204 尙卡路里求其比熱.
4. 將質量125克之鐵塊熱至 64°C .而投之於溫度 16°C 質量210 克之水中.設其混合物之溫度為 19°C .求鐵之比熱.
5. 求與水100 克同一熱容量之鐵之質量.
6. 將質量5 磅之鐵球,熱至某溫度而投入溫度 13°C .質量8 磅之水中.設其混合物之溫度為 48°C .求鐵之初時溫度.
7. 試比較密度之比為2:3,而比熱各為0.12 及0.09之二物質,其同體積之熱容量.
8. 求50克之鉛與100 克之錫之混合物之比熱.
9. 欲作成比熱為0.04 之鉛錫合金,求其分量配合之比.
10. 將120 克之銀塊熱至 85°C .而投之於溫度 $18^{\circ}.5\text{C}$.質量456 克之油中.設其混合物之溫度為 $21^{\circ}.5\text{C}$.求油之比熱.

11. 將 200 克之銅塊，熱至 100°C ，而投之於溫度 8°C ，質量 100 克之酒精中，設酒精之溫度上升至 $28^{\circ}.5\text{C}$ ，時，求酒精之比熱。

12. 因欲測定銀之比熱，而將質量 10.205 克之銀塊熱至 $101^{\circ}.9\text{C}$ ，後投入於溫度 $11^{\circ}.09\text{C}$ ，質量 81.34 克之水中，其混合物之溫度成爲 $11^{\circ}.71\text{C}$ ，設容器之熱容量爲 2.91 卡路里，求銀之比熱。

第二章 熱之傳播

101. 熱之傳播 將溫度不同之種種物體，同置於一室內時，則溫度較高之物體，失去熱量而冷卻，溫度較低之物體，受得熱量而溫度上昇，此種熱之移動作用，須待諸物體之溫度齊一後，始行停止，此種現象，爲由吾人日常之經驗所熟知者，如此，凡熱由一物體移於他物體之現象，謂之熱之傳播，熱之傳播，其方法有三，茲述之於下。

102. 傳導 以鐵箸之一端插入於火中，則箸之他端雖未直接受火，但熱可由箸身傳導而來，使其漸次變熱，此種現象，爲吾人日常所經驗者，此種熱由物體之一部分移於他部分之作用，謂之傳導，如前所述，以溫度不同之二物體互相接觸時，則熱由溫度較高之物體移於溫度較低之物體者，卽由傳導作用之故，熱之傳導於物體，其難易因物質

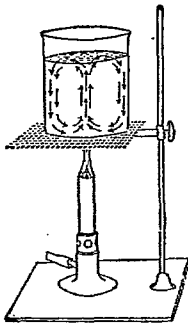
之不同而異，易於傳熱之物體，謂之良導體，不易傳熱之物體，謂之不良導體。通常金屬等物質為良導體，木材，綿絹，毛及液體，氣體等為不良導體。而導體中以銀為最良，銅次之，鐵又次之。不良導體中，則以氣體為最著。

以手觸於金屬，較之觸於同溫度之布或其他不良導體時，覺更寒冷者；因金屬能由手之接觸部分，將手之熱量迅速傳至於他部分，而手之熱量被其奪去一部分故也。又置銅絲網於煤氣管口，而以火燃燒煤氣時，則焰僅生於網之上部者；因銅網為良導體，一受熱量即導之於其他部分，使網之下面溫度不能昇至煤氣之燃燒點故也。再以銅絲網覆於煤氣燃燒之焰上，則焰僅存於網下者；亦同此理。通常煤坑中所用之安全燈，即藉此理製成，其構造如圖一〇七所示，燈之下部被以玻璃之圓筒，而於其上罩一圓筒形之銅絲網。若爆發性之氣體進入網內而發火時，其火焰不致延燒至網之外部，以燃着網外之可燃氣，故可免去爆發之患。

103. 對流 除金屬之融解液不計外，通常液體，皆為熱之不良導體，故由上方加熱於液體時，液體之全部，不易變熱。若由下方加熱時，則器底之液體先由傳導作用，受熱



圖一〇七



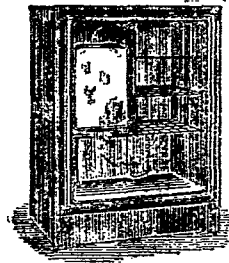
圖一〇八

膨脹，因之其密度減少，與上部寒冷之密度較大液體，漸次交換其位置，以致液體全部均被熱而達於一定之溫度。此種冷熱液體交換位置以傳播熱量之現象，謂之對流。

煙囪為使空氣起對流作用藉以繼續供給養氣於竈內以助燃燒之設備。此時

竈內被熱之空氣，膨脹後經煙囪向上部流出，其新鮮空氣，即由下部竈口流入，如斯循環不已，使竈內之薪炭，得以繼續燃燒。又洋燈之燈罩，其功用亦同此理，

冷藏庫亦為利用對流作用，以冷卻魚肉等物而防止其腐敗之裝置。如圖一〇九所示，置冰於庫之上方，則圍繞於冰之四周之空氣，冷縮而下降，下方之溫暖空氣，隨之上升，生成如矢所示之氣流，使冷藏庫內常充滿寒冷之空氣，放置於庫內之物品，得以不致腐敗。

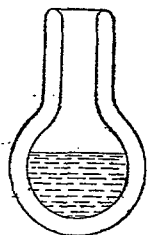


圖一〇九

104. 輻射 以手向火則手直接感受火之溫暖，又太陽與地球之間，既無空氣，且隔離非常寒冷之空間，而吾人仍能感覺夏日可畏冬日可愛者；因熱除由傳導對流二法以傳播其熱量外，更能由熱源四散射出。

此射出之熱量，吾人受之，因而起熱感之故。此種熱由熱源四散射出之現象，謂之輻射。輻射之作用，甚易證明。例如物體與熱源之間，更隔有他物時，則輻射之熱被中間之物體擋住；而其後方之物體，無由受熱。是又輻射之作用，不僅太陽、火焰等高溫度之熱源爲然，即通常溫度之物體，亦不時將其含有之熱量，向四方輻射。夜間戶外之物體概行變冷者，即此之故。

現今通用之保暖瓶，即爲應用熱之傳播之理，使熱不易外逸或進入之器具。其構造如圖一一〇所示，爲一有二重壁之真空玻璃瓶，於瓶壁之內面，鍍銀之薄層而成。置熱水或冷水於其中，則因二重壁之內部係屬真空，故熱不能由傳導或對流之作用外逸或進入。又由輻射作用以進出之熱量，其大部分復被銀面反射而回至原處。所能進出之熱量，爲量極微。故得長時間保持其冷熱程度而不變。



圖一一〇

問 題

1. 冬日山野之積雪，雖受日光之直射，仍能經長久時間而不融。若道路上污穢之雪堆，則不久即行融解者，何故？
2. 夏季懸簾於窗戶，則室內較爲涼爽，何故？
3. 冬季晴天之夜，寒氣特甚者，何故？

4. 以冰置近身傍,則感覺涼爽,何故?
5. 毛織物之衣服,較之綿織物者為暖,何故?
6. 聳嘴吹掌,則覺寒冷,開口呵氣,則掌覺溫暖,何故?
7. 火燒場之周圍,必有風生,何故?

第三章 膨脹

105. 線膨脹 如圖一一一所示,以尺許長之金屬棒,依水平置之,於兩端凸起之台上,固定其一端而置他端於尖貫麥稈之針上,然後加熱於棒,則棒即行膨脹,因摩擦作用,推針轉動於台上,麥稈亦因以迴轉,表示棒因遇熱膨脹而增加

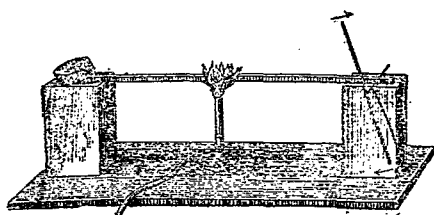


圖 一 一 一

其長度,此種隨棒身之方向增加之長度,謂之線膨脹,凡線狀物質,其溫度每上昇一度所增之長度,與原長之比,謂之其物質之線膨脹係數.

設一物體於零度及 t 度時之長度各為 l_0, l , 其線膨脹係數為 a , 則

$$a = \frac{l - l_0}{l_0 t} \quad \text{或} \quad l = l_0(1 + at)$$

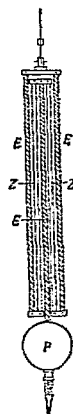
下表所列者,為數種重要物質之線膨脹係數,觀此表,可

知固體因溫度變化所起之伸縮甚小，但妨礙此伸縮之抵抗則大。例如驟注熱水於玻璃杯內，則其接觸熱水之部分，先行膨脹而起變形，玻璃遂致破損。又鐵路之軌道，其接縫處皆存有間隙者，即因防止夏日與冬夜溫度之變化，致鐵軌因膨脹而生彎曲之故。

線膨脹係數表

白金	0.000009	玻璃	自0.000004 至0.000012
銅	0.000017	磁器	0.000008
鐵	0.000012	水晶	0.0000007
鋅	0.000029	樑(橫)	0.000054
黃銅	0.000019	樑(縱)	0.000005

106 補整擺 由 §73 所述，凡鐘擺之週期，皆與其擺長之正方根成正比例，故其週期之長短，因寒暖季節之不同而稍有差異。為欲免去此種差異起見，通常皆用補整擺以代普通之鐘擺。補整擺之構造，如圖一一二所示，由數支鐵棒 E 及鋅棒 Z 連合而成（圖示者為三支鐵棒與二支鋅棒）。如溫度上升時，其擺由鐵棒 E 之膨脹而下降，鋅棒 Z 之膨脹而上升。設零度時外方鐵棒之長為 l_1 ，內方鐵棒之長為 l_2 ，鋅棒之長為 l_3 ，鐵



圖一一二

線之膨脹係數為 β , 鋅線之膨脹係數為 β' , 則 t 度時擺之下降長度, 為

$$l_1\beta t - l\beta' t + l_2\beta t = t\{(l_1+l_2)\beta - l\beta'\}$$

故調整棒長, 使滿足.

$$(l_1+l_2)\beta - l\beta' = 0$$

$$\text{即 } \frac{l_1+l_2}{l} = \frac{\beta'}{\beta}$$

之條件時, 則無論溫度之變化如何, 其擺之長度, 一定不變. 即過期之長短亦一定, 不致有遲速之差異.

107. 體膨脹係數 某物體之溫度每上昇一度所增之體積, 與其原體積之比, 謂之該物體之體膨脹係數. 設物體之體膨脹係數為 b , 其線膨脹係數為 a , 零度時之體積為 v_0 . 則溫度增加一度後之體積, 為

$$v_0(1+b) = v_0(1+a)^3 = v_0(1+3a+3a^2+a^3)$$

因固體之線膨脹係數 a , 其值甚微. 故 a^2 及 a^3 之值尤為微小, 可以省略之. 故得

$$b = 3a$$

即物體之體膨脹係數, 等於其線膨脹係數之三倍.

108. 液體之膨脹 液體無固有之形狀, 故其線膨脹係數無由測定. 僅須研究其體膨脹係數即已足. 測定液體體膨脹係數之方法有種種, 就中以下述方法為最簡便. 如圖一一三所示, 直立下端以細管相連之二玻璃管, 而注入所

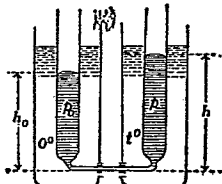


圖 一 一 三

欲測定之液體於其中待靜止後其一方之管以方將融解之冰屑圍繞之使其溫度下降至零度而他方之管則置之於 t 度之熱水內使其溫度上昇至 t 度然後扭開連結管上之活栓設 h_0 及 h 為 0° 及 t° 時之液體高度 ρ_0 及 ρ 為其二液之密度則因管之水平部分之一點左右所受之壓力其大小相等故

$$h\rho = h_0\rho_0$$

又設 V_0 及 V 為 0° 及 t° 時一定質量之液體體積則

$$V\rho = V_0\rho_0$$

$$\therefore \frac{V}{h} = \frac{V_0}{h_0}$$

再設液體之體膨脹係數為 b , 則

$$V = V_0(1 + bt)$$

$$\therefore \frac{1 + bt}{h} = \frac{1}{h_0}$$

$$\text{或 } b = \frac{h}{t} \left(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{h} \right) = \frac{h - h_0}{h_0 t}$$

由上式如測定得 h , h_0 後即可求得其液體之體膨脹係數茲將數種重要液體之體膨脹係數列表於下:

液體之膨脹係數表

以脫	0.00167	酒精	0.00122
水銀	0.00018	硫酸	0.00049

109. 水之密度 水與一般之液體不同,其對於膨脹之定律,成爲顯著的例外,例如加熱於零度之水時,水之體積隨溫度之上昇而反行減少,於四度時體積爲最小,而密度達於最大,其後則隨溫度之上昇而膨脹,故冬季湖沼之水,因上面接觸於寒冷之空氣而冷卻,其表面之水因之較重而下沈,下層之水隨之上升,生成對流之作用待全體之水漸次冷卻,其溫度降至四度時,則對流之作用停止,其表面之水雖更行冷卻,但其體積反行膨脹,密度較四度時之水爲小,故不復再行下降,如溫度降至零度時,則即行結冰冰之性質,亦與一般之固體異,溫度愈降,體積反愈增,故得浮於水面而不下沈,冰下之水,則常保持四度之溫度,故棲息於水底之魚介等動物,得以安全無事。

110. 氣體之膨脹 固體,液體因壓力之變化,影響於其體積之變化甚小,故研究膨脹時,其表面所受氣壓之大小,雖稍有差異,但因此差異所影響於其體積之變化,實可不必置念,氣體則不然,由波以耳定律,凡氣體之體積,因壓力之增減,起甚大之變化,故研究氣體之膨脹時,其壓力之影響,實不可不顧慮及之。

如上所述當加熱於氣體時，其體積及壓力同時變化，而壓力之變化，又復影響於體積。故研究氣體之膨脹時，對其壓力不可不保持一定之溫度。由實驗結果，如壓力一定時，關於氣體之膨脹，有下述之定律。

壓力一定時，各氣體體積之膨脹係數皆相等，其值為
 $0.00367 = \frac{1}{273}$ ，即

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

上述之定律，謂之查理之定律。

保持氣體之一定體積而加熱時，則其壓力當隨溫度之上升而增加，此時之壓力與溫度之關係，易由波以耳定律與查理定理以檢出之。設溫度為 0° ，壓力為 P_0 時，體積為 V_0 之氣體，保持其壓力 P_0 不變，而使其溫度上昇至 t° ；則氣體膨脹，其體積成為 $V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$ 。

再將此氣體保持其溫度 t° ，而壓縮使其體積變成最初之體積 V_0 ，設此時之壓力為 P_t ，則成為定溫度 t° 之氣體，由壓力 P_0 ，體積 V_t 之狀態，移於壓力 P_t ，體積 V_0 之狀態，由波以耳定律，

$$P_0 V_t = P_t V_0$$

$$\text{又 } V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

$$\therefore P_t = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

111. 絕對溫度 於表示查理定律之公式,

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

中,置 $t = -273^\circ\text{C}$. 時,則成爲 $V_t = V_0(1-1) = 0$. 即氣體之體積變爲零,與物質不滅之定律相抵觸,於理不合.但考之實際,所有氣體皆在未達到此低溫度之前,即行變爲液體或固體,脫出查理定律支配之範圍,決不至有二定律相矛盾之實現.然在理論上,如以 -273°C . 爲溫度之起點時,則計算上諸多便利.此種以 -273°C . 爲起點之溫度,謂之絕對溫度.設 $t^\circ\text{C}$. 之溫度,於絕對溫度所表之數度爲 T . 則

$$T = 273 + t$$

而攝氏之零度,爲絕對溫度之 273 度.如此溫度以 T_0 表之,故查理之定律,可改書之如下.

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right) = \frac{V_0 T}{T_0}$$

$$\therefore \frac{V_t}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

即壓力一定時氣體之體積與絕對溫度成正比例.

同理,亦可得

$$\frac{P_t}{T} = \frac{P_0}{T_0}$$

即體積一定時,氣體之壓力與絕對溫度成正比例.

112. 氣體之定律 由查理定理之公式

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

設氣體之溫度為 t 壓力為 p_0 時，其體積為 V_t 。今設不變此溫度 t ，而使其體積由 V_t 變為 V 時，隨之其壓力亦變為 p 。則由波以耳定律，

$$V_t : V = p : p_0$$

$$\therefore pV = p_0 V_t$$

將前式 V_t 之值代入於上式時，則得

$$pV = p_0 V_0 \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

或 $\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0}$ 此式之變換係由 $T = \frac{p_0 V_0}{p_0 V_0} \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$ 而來

上式所示之事實，通常謂之氣體之定律，其內容不外合併波以耳及查理定律而成。

表示氣體之密度體積等時，常有指明溫度及壓力之必要，故通常皆取溫度零度壓力一氣壓之狀態為標準狀態。在標準狀態時，體積為 V_0 之氣體，於溫度 t 度壓力 p 種時所有之體積， V 其值如下。

$$V = \frac{760V_0}{p} \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

又一定量氣體之密度與其體積成反比例，故在標準狀態時氣體之密度 d_0 ，與溫度 t 度，壓力 p 種時之密度 d 之關係如下式。

$$pd_0 = 760d \left(1 + \frac{1}{273} \cdot t \right)$$

問 題

1. 有鋅製之棒，設其長度在 0°C . 時為 128 釐求其在 20°C . 時之長度幾何。

2. 有黃銅製之棒，設其側面所刻二線間之距離於 10°C . 時為 90 釐。求在 90°C . 時之距離如何。

3. 有鋼鐵製之米突尺，其長度於 10°C . 量得為 99.981 釐。而在 40°C . 時量得者為 100.015 釐。求尺度之線膨脹係數及尺度恰長一米時之溫度。

4. 於溫度 0°C . 時，有長度正確之黃銅尺，於溫度 25°C . 時量得鐵線之長為 4.215 米。求鐵線之真長及 0°C . 時之長度。

5. 有溫度 0°C . 時其比重為 7.8 之鐵塊，求其於溫度 200°C . 時之比重如何。

6. 設溫度 0°C . 及 300°C . 時水銀之密度各為 13.596 及 12.875，求水銀之體膨脹係數。

7. 求於 100°C . 時，1000 立方釐之水銀為重幾何。

8. 有重 90 克之玻璃塊，沈於溫度 12°C . 之某液中，秤之計重 49.6 克。若加熱於液體，使其溫度昇至 97°C . 時，則重 51.9 克。求此液體之體膨脹係數。

9. 有溫度 0°C .之氣體設不變其壓力,求其體積減至一半時之溫度.
10. 有溫度 20°C .時體積為100立方糎之氣體,設不變其壓力而使其溫度昇至 50°C .時,求其體積幾何.
11. 標準狀態時空氣一坩之重量為1.293克,求一坩之空氣,於壓力72糎之下,其重恰為一克時之溫度若何.
12. 設溫度 17°C .壓力72.5糎之氣體體積為145立方糎,求溫度 7°C .壓力70糎時,此氣體之體積幾許.

第四章 融解與凝固

113. 融解與凝固 加熱於木材,皮毛紙布等物質時,則物質起化學的變化而分解,若加熱於金屬,玻璃冰,蠟等物質時,則物質即由固體一變而為液體,此種固體因加熱而成液體之現象,謂之融解.能融解之物質,其融解之狀態又因物質之種類而異.例如加熱於玻璃,蠟等非結晶體時;則該物質隨溫度之增加,由固體之狀態漸次變成半流動之粘體,由粘體而後變成液體,其間無一定判然之界限.然若加熱於多數之金屬及如冰等之結晶體時,則當物質達到一定之溫度後,即行直接由固體變成液體,在其繼續融解期間,雖任加如何高熱,亦不過促進其融解之速度,絕不能增加其融解液與固體之混合物之溫度,必須待固體全部

融解終了後，其溫度始能上昇，此種固體於融解時保持之一定溫度，謂之該物質之融解點。加熱於漸次融解之固體，其溫度僅止於融解點而不上昇者，因其所加之熱量，被固體變為液體時所消費之故。融解物質一克時所需之熱量，謂之該物質之融解熱，或謂之融解之潛熱。故融解固體時，非僅熱之使達到融解點即為已足，當更須供給其所需之融解熱，方能全體融解。

當融解液漸次失去其熱量而冷卻時，則復行凝結而成固體。此種現象，謂之凝固。漸次凝固之液體，如急速使之冷卻時，亦不過增加其凝固之速度。其融解液與固體混合物之溫度，並不下降，須待融解液全體凝固後，其溫度始能降至融解點以下。此融解液凝固時所保持之一定溫度，謂之凝固點。液體當凝固時，其所含之熱量雖被奪去，而溫度並不下降者，因凝固時須將前融解時所吸收之潛熱，放出罄盡故也。其凝固一克液體時所放出之熱量，謂之凝固熱。由實驗之結果，凝固點與融解點，及凝固熱與融解熱，其關係如下。

同一物質之凝固點等於其融解點，又凝固熱亦等於其融解熱。

茲將數種重要物質之融解點及融解熱列表於下。

融解點及融解熱表

物質	融解點	融解熱	物質	融解點	融解熱
白金	1800°C.	27卡路里	錫	230°C.	14卡路里
鐵	1200 1690	30	硫磺	115	9
金	1100	—	冰	0	80
銀	960	21	水銀	-39	2.8
食鹽	805	—	酒精	-112	—
鋅	412	28	液氮	-210	壓力9.4
鉛	330	6	液氧	-227	壓力0.9

有時將融解液靜行冷卻時，其溫度雖達於融解點以下，亦有不起凝固之作用者。此種現象謂之過融解。例如靜置曾經沸騰以除去所含空氣之熱水，注油於其面上，使不與空氣相接觸而冷卻時，則雖達 -10°C .以下，亦不結冰。此時若使水起激烈之震動，或投冰塊於其中，則其溫度驟行上昇至融解點 0°C .同時其一部分之水，即行結冰。

114. 因凝固而生之體積變化 通常固體於融解時，其體積概行膨脹；而液體於凝固時則概行收縮。故固體常沈於融解液之下面，惟冰則不然，常浮於水面而不下沈。可知冰為上述通性之例外，當融解時，體積收縮，凝固時，體積膨脹。由實驗之結果，一容積之水凝結成冰時，其體積約增加一成，故當其結冰時，其膨脹力甚為強大，冬季侵入岩石間

隙之雨水，因結冰常使岩石起崩裂之作用；及水缸因水結冰而致龜裂者，即此之故。

此外如鐵、錒、鉛、錫等金屬，亦與水相同，當凝固時，其體積膨脹，而其他金屬則否。此種因凝固而膨脹之金屬，均能適合於鑄造之用。因此等金屬熔融後，注入於鑄型，則凝固時，體積膨脹，使鑄型之纖細處，亦有金屬灌注，鑄出之鑄物與原型纖毫不爽。通常多以鐵鑄器物，鉛與錫之合金鑄印刷用之活字者，即此之故。

115. 壓力與融解點之關係：如上節所述，凡物質當融解時，俱伴有體積之變化，若加壓力於物質之上，以妨礙其體積變化時，則其融解點有無變化，當成爲一問題，由實驗結果，得知壓力與融解點之關係如下。

凡因融解而膨脹之物質，其融解點隨壓力之增加而亦增，又因融解而收縮之物質，其融解點隨壓力之增加而降低。

例如石蠟之融解點，於一氣壓時爲 $46^{\circ}3C$ ，而於100氣壓時昇至 $49^{\circ}9C$ ；冰之融解點，於一氣壓時爲 $0^{\circ}C$ ，而於一千氣壓時降至 $-7^{\circ}4C$ ，是。

取二冰塊合之而施以強壓，則即行合而爲一者；因冰之接觸部分，融解成水流出後，忽行結冰故也。此種現象謂之復冰，復冰之理如下，當強壓二冰塊時，其接觸部分之融解

點，因受壓力而降至 0°C . 以下，此時冰之溫度，或為 0°C . 或在 0°C . 以下，因接觸部分之壓力甚大，致其降下之融解點在冰之溫度以下，故接觸部分之冰，即行吸收其四周之冰之熱量而融解，此融解後之水之溫度，在 0°C . 以下，故由接觸部分流出，至僅受氣壓之壓力處時，其凝固點即昇至 0°C . 成過冷卻之狀態，故復行結冰。

集雪片而揉之，則結成雪團者，亦不外復冰之現象。然若天氣過於嚴寒，亦有不能搓雪成團之時，因其時之溫度太低，手之壓力不能使接觸部分之融解點，降至雪之溫度以下故也。

116. 寒劑 當固體融解成為液體時，必須吸收其融解所需之熱量，既如前述，又當固體溶解於其他液體時，亦常有吸收所謂溶解熱而發生寒冷之現象者，亦有二物質間起化學的變化或特殊之副作用而放出熱量者，例如下表。所載，當固體一克溶解於 18°C . 之水中，其溶解熱有正負之別是。

溶 解 熱 表

氫氧化鉀	+223.3 卡路里	氯化鉀	-59.7 卡路里
食鹽	-18.22 卡路里	氯化銀	-110 卡路里

如上表所載，其溶解熱為負之物質，如溶解於水中時，則

生成較低之溫度。此種低溫，通常皆利用之以作寒劑。寒劑中之最普通者，為冰之碎片與食鹽之混合物。因冰與食鹽互溶之結果，生成顯著的低溫。實驗室及製冰淇淋時多用之。

茲將數種寒劑混合之比例，及其所生之溫度，列表於下。

寒 劑 配 合 表

比			最 初	最 終
硝酸鈉	: 水	75 : 100	+13°.20	-5°.30
氯化鈣(結晶)	: 水	250 : 100	+10°.80	-12°.40
硝酸銻	: 水	60 : 100	+13°.60	-13°.60
食鹽	: 冰	33 : 100	0	-22°C.
氯化鈣(結晶)	: 冰	100 : 70	0	-54°.90
硝酸銻	: 冰	100 : 131	0	-17°.50
二養化炭(固狀)	: 以脫	- -		-77°C.

問 題

1. 定寒暖計之冰點時，皆用冰與水之混合物而不用冰。何故。
2. 求加熱於溫度 -5°C . 之冰 5 尅，使成 100°C . 之沸水時所需之熱量。
3. 將 0°C . 之冰投入於溫度 40°C . 之水 100 克內，使成

爲 0°C . 之水時,求需冰幾克.

4. 均勻加熱於溫度 0°C . 之冰 100 克於 4 分間完全融解,再經 5 分時達於 100°C .. 求冰之融解熱

5 將質量 100 克之銅球熱至 80°C . 而投入於冰塊之孔中,并於其上面覆以冰蓋,計共融去冰 9.2 克,求銅之比熱.

6. 將溫度 0°C . 之冰 100 克,投之於 15°C . 之水 240 克中,其結果如何,試計算之.

第五章 蒸發與液化

117. 蒸發與液化 液體變爲氣體之現象,謂之氣化,反之,氣體變爲液體之現象,謂之液化,或謂之凝結.

注水,酒精等液體於皿中而放置之,則液體漸行減少,終至完全消失者,因其液體不絕的由其表面氣化而去之故. 此種液體於其表面氣化而去之現象,謂之蒸發,由蒸發所生之氣體,謂之蒸氣,蒸氣作用之壓力,或稱之爲張力. 又酒精,揮發油,以脫等易於揮發之物質,謂之揮發性之液體.

固體之物質中,亦有由其表面發生少量之蒸氣,以蒸發者,此種現象,謂之昇華,例如嚴寒時放置於空氣中之冰塊,日見其細小是,其原因蓋由於冰塊於其表面直接變成水蒸氣之故,又碘及樟腦等物質,均爲昇華之好例.

118. 飽和蒸氣 盛少量之液體於玻璃瓶內而密閉其瓶口時，則液體漸次蒸發，其蒸氣之壓力，即漸次增加，但其壓力達於一定程度時，則蒸發之作用完全停止，此時瓶內之空氣，謂之被蒸氣飽和，其蒸氣則謂之飽和蒸氣，又此時之壓力，謂之蒸氣於其溫度之最大壓力，如注液體於真空中，則液體之蒸發，極其迅速，瞬時間即行達到其最大壓力，設直立一長約一米之玻璃管於水銀中，作成托力雪利之真空時，其水銀柱之高度為 l 糎，然後由管之下端送入以脫，則以脫潛過水銀，上升於真空之部分，其一部分變成飽和之蒸氣，水銀柱因之下降，此時水銀柱之高度設為 h 糎，則可知飽和蒸氣之壓力，等於水銀柱 $l-h$ 糎，若再加熱於管之上部，則液體之一部分，更行蒸發，增加壓力，保持其飽和狀態，反之，若使管之上部溫度降低而冷卻，則蒸氣之一部分，重行液化，減少其壓力，仍保持其飽和狀態，由此可知飽和蒸氣之壓力，因溫度之昇降而增加。✓

地面上江河湖海之積水，常不絕的蒸發於空氣之中，故空氣中常含有多少之水蒸氣，通常晴天時，其水蒸氣之壓力，較之其溫度之最大壓力為小，故水蒸氣即不絕由水面或濕潤之物體發生，以圖飽和空氣，然新鮮之乾燥空氣，因風或對流之作用，不絕的交換而來，使其表面之水蒸氣，不得達於飽和之程度，故蒸發之作用，亦繼續不絕。

119. 沸騰 加熱於液體而增高其溫度時，其蒸氣之最大壓力，亦隨之增加，故液面之蒸發，亦漸次旺盛，如液體達於某溫度後，仍繼續加熱時，則液體之內部，盛發氣泡而上騰，此種現象，謂之沸騰。於一定氣壓之下，液體沸騰期間之溫度，雖由容器之性質及液體之深度而異，但所發蒸氣之溫度，則一定不變，此溫度，謂之液體之沸騰點。沸騰點之高低，由作用於液面氣壓之強弱而異，其關係如下。

作用於液面氣壓之強度與沸騰點之關係，與其液體之蒸氣最大壓力與溫度之關係相等。

由上述之定律，如欲使液體沸騰時，只須採用下述二種方法之一即可。(1) 加熱於液體，使超過以氣壓為最大壓力之蒸氣溫度。(2) 不加熱於液體，而減少液面之氣壓，使較液體溫度所有之最大壓力為小。上述二方法中之第一法，為吾人日常之經驗所及者，茲將第二方法實驗之如下。

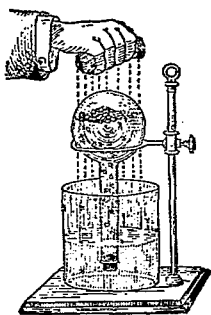


圖 一 一 四

如圖一一四所示，盛水於燒瓶中及半，加熱而使之沸騰，俟瓶內之空氣全為水蒸氣所驅逐後，即加栓於瓶口而去其火，次以燒瓶倒立，使瓶口之頸部浸入水中以防空氣之浸入，然後注下冷水於底部，則瓶內之蒸氣其一部分

凝結而成爲水，減少其壓力，瓶中之水，隨之重行沸騰。實驗室中所用之沸騰球，即應用此理，將球內空氣排除其一部分，使其內中之以脫，在人類體溫之溫度，能起沸騰現象者。

120. 蒸溜 因種種液體各有其固有之沸騰點，故加熱於二種以上液體之混合液時，則沸騰點較低之液體，先行蒸發而出，將此蒸氣導之而使冷卻，則所得者，即爲沸騰點較低之液體。次再加熱，導其蒸氣而使之冷卻，則得沸騰點次低之液體。如繼續行之，可使混合液之各成分，依次分開。此種方法，謂之蒸溜分析法，爲工業上所常用者。煤油等之精製，即以此法行之。又加熱於溶有固體之溶液而蒸溜之，則溶媒先行蒸發，可使之與溶質相分離。由海水中提取飲料水或食鹽時，即用此法。

121. 氣化熱 考液體由沸騰或蒸發而氣化時，亦與固體變於液體時同，需要一定之熱量。故雖不絕的供給熱量於沸騰之液體，其蒸氣之溫度，不能超過其沸騰點以上者；即因所加之熱量，被液體氣化時所消耗之故。又注酒精或以脫於皮膚上，則感覺寒冷；及水盂內之水溫，較之室內溫度爲低者；皆因當液體蒸發時，將其四周及自身之熱量吸收而去之故。通常使一克之液體變爲同溫度之蒸氣時所需熱量，謂之液體之氣化熱，或謂之氣化潛熱。反之，如壓縮蒸氣或冷卻之，使達於飽和狀態後，奪去其氣化時所吸收

之熱量，則蒸氣即行液化，換言之，即蒸氣將氣化時所吸收之氣化熱，於液化時再行放出，可知液化與氣化，其關係與凝固與融解完全相同。

氣化熱與氣化之溫度相伴而變化，由克力斐司之實測結果其 t 度時之水之氣化熱 L 如下式。

$$L = 596.73 - 0.601 t \text{ (卡路里)}$$

由上式，可知水之氣化熱隨溫度之上升而減少。

與液體相接觸之空間，如未為其蒸氣所飽和時，則液體即不絕的蒸發，同時吸收其周圍成自身之熱量，以為其蒸發熱而使之冷卻。當夏日炎熱時，如撒水於庭園，則感覺涼爽者；即因所撒之水，於蒸發時吸收其所需之氣化熱，地面之輻射熱隨之減少故也。又以扇扇風時，亦感覺涼爽者；其主因在促進汗之蒸發，因而吸收體溫為其氣化熱之故。如置盛水之試驗管於以脫中，而吹入空氣於以脫中使其盛行蒸發，則管內之水，因溫度之下降，竟可結冰。

製冰機為利用液體亞摩尼亞氣化時，吸收熱量而使水冷卻結冰之裝置。其原理如圖一一五所示，用壓氣筒 P 以壓縮亞摩尼亞蒸氣，送之於通過冷水之 C 管內，使之液化。次開有細孔之調節活塞 V ，則液體亞摩尼亞膨脹於蒸發管 E 內，盛行蒸發，而吸收多量之熱。此氣化後之亞摩尼亞，再導之於壓氣筒 P 以液化之。反復此種手續時，則包圍 E

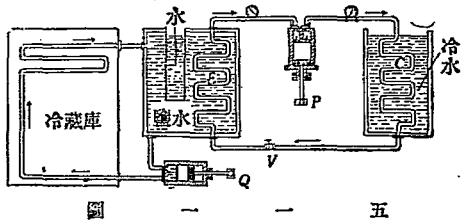


圖 一 五

管之鹽水，被冷
却至 -10°C 。以
下，故如圖所示，
置盛水之金屬
器於此鹽水中，

則水即行冷却而結冰。又依此法冷却之鹽水，如以唧筒 Q 壓之使循環於冷藏庫內，則庫內溫度下降，而使其所貯藏之物品，不致腐敗。

122. 液化 如前所述，由液體所生之蒸氣最大壓力，如溫度一定時，其值亦一定。若壓縮蒸氣使其壓力超過其溫度之最大壓力時，則蒸氣之一部分，即行液化。又蒸氣之最大壓力，隨溫度之下降而減少。故在某溫度未飽和之蒸氣，漸次使之冷却時，終可達到其最大壓力，此時如再過事冷却，則其一部分亦行液化。可知欲使蒸氣液化時，其方法有三。即 (1) 增加壓力，(2) 降低溫度，(3) 降低溫度同時並增加壓力。

碳酸氣，空氣，養氣，淡氣等氣體，如充分使其溫度降低時，亦能使之液化。又將其溫度降低至各氣體特定之一定溫度，而加以適當之壓力，亦可使之液化。如氣體溫度在此特定之溫度以上，則雖任加如何之壓力，亦不能使之液化。此加壓力於氣體能使其液化之最高溫度，謂之臨界溫度。於

臨界溫度，足以使氣體液化之最小壓力謂之臨界壓力。通常氣體之溫度，在臨界溫度以上時，謂之氣體。在臨界溫度以下時，則謂之蒸氣。昔時稱養氣，輕氣，淡氣等氣體為永久氣體，以為決不能使之液化者，因不知其臨界溫度非常之低，而專事以壓力使之液化之故。茲將數種氣體之臨界溫度及臨界壓力列表於下。

臨界溫度及臨界壓力表

物質	臨界溫度	臨界壓力	物質	臨界溫度	臨界壓力
氯	141°C.	83.9氣壓	氧	-118°.3C.	50.8氣壓
亞摩尼亞	131°	114	空氣	-140°	39
鹽酸氣	52°	86	氮	-146°	35
碳酸氣	32°	77	氫	-234°.5	20

123. 濕度 河海湖沼等處之水，無分日夜，不絕的蒸發。故大氣中常含有多少之水蒸氣。如其所含之水蒸氣，近於飽和狀態時；則其再能含容之水蒸氣，為量甚微。因之濡濕之衣物等類，其水分不能急速蒸發，致難於乾燥。此時之空氣謂之濕潤。反之，空氣中之水蒸氣距飽和之程度甚遠，能再含容多量之水蒸氣時，則水分之蒸發甚速。此時之空氣，謂之乾燥。由此可知空氣之乾濕；由其現在所含之水蒸氣以外，再能含容水蒸氣量之多寡而定。故空氣乾濕之度，關

係於其中現含水蒸氣之量,及其溫度之高低甚明.又有時空氣中所含水蒸氣之量雖相等,但如一方之溫度較他方為高,則其至飽和時所需水蒸氣之量亦多.故此方空氣之乾燥亦較甚.

為表示空氣之乾濕程度起見,通常皆用某體積空氣內現存水蒸氣之量 m 克,與於其溫度飽和時所能含水蒸氣之量 M 克之比以定之.謂之空氣之濕度.然某體積空氣內現存水蒸氣之量 m ,與其同體積之飽和蒸氣量 M 之比,等於其密度之比.而溫度一定時其密度之比,復等於其壓力之比.故設空氣中現存水蒸氣之壓力為 f ,飽和蒸氣之最大壓力為 F 時,則

$$\text{濕度} = \frac{m}{M} = \frac{f}{F} = \frac{\text{現存水蒸氣壓力}}{\text{飽和水蒸氣壓力}}$$

於上式,如 $m=M$ 時,空氣中含有飽和蒸氣,其濕度為 1.然按之實際,大氣中並無此種含容飽和蒸氣之事.故表示濕度之數值,常較 1 為小,不便實甚.是以通常皆以 100 乘上式之比以表之.例如濕度為 50 時,即表示空氣中現存水蒸氣之量,為飽和蒸氣之量之二分之一.是濕度之大小,關係於吾人之衛生甚大.例如濕度過大時,則易於發生感冒.濕度過小時,則過於乾燥,易生喉痛是.通常衛生上之最良濕度,為五十乃至六十之間.

124. 露點 大氣中之某部分,失去其熱量而漸次冷却

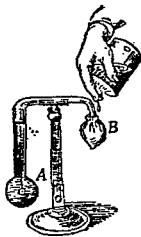
時，則其溫度即隨之增加。如其所含之水蒸氣達於飽和之狀態時，其時之溫度，謂之露點。當大氣之某部分降至露點以下時，則其所含之水蒸氣一部分，即行凝結而成細滴。霧之發生，即為由掩蔽山谷河海等處富有水蒸氣之暖空氣，與其他之寒冷空氣相混和，或移動至寒冷之陸地上，冷卻至露點以下，致其所含水蒸氣之一部分凝結而成細微之水滴，浮游於地面之現象。又富有水蒸氣之地上空氣，被熱變輕，由對流作用上騰後，因壓力減輕，膨脹而冷卻至露點以下時，則生成日常所見之雲。若其溫度再行下降，使構成雲之細滴愈益增大以致下降者，則為雨。雨於落下之途中，或遇嚴寒而結成冰滴者，是為霰。若成雲時之露點在零度以下，致凝結之水蒸氣成為無數之微細冰片，是為雪。雪雲之冰片增大而下降時，則為雪。

露為水蒸氣於夜間觸於因輻射而致寒冷之草木上凝結而成。若其時之露點在零度以下時，則水蒸氣即結成細冰而下墜於草木之上，是為霜。

當水蒸氣凝結而成雲、霧、雨、露、霜、雪等時，放出多量相當於氣化熱融解熱之熱量，以維持空氣之溫度。又所降之霜、雪，其鬆軟如綿，內含多量之空氣，為熱之不良導體，故能保護其所被覆之地面，不致為零度以下之寒氣所侵。可知大氣中之水蒸氣，實有防止空氣溫度劇變之功用。

125. 濕度計 測定濕度之方法甚多,茲將測定露點以定濕度之方法述之於下.因濕度為空氣中現存之水蒸氣壓力 f ,對於其溫度飽和蒸氣之壓力 F 之比,而以 100 乘得之數值.故若用寒暖計以測得空氣之溫度 t 時,則可由最大壓力表以求得對於此溫度 t 之最大壓力 F .次求 f 時,只須測定 t 度溫度時之露點即可.因空氣中現存之水蒸氣,為對於露點時之飽和蒸氣.故測定露點後,即可由表求得與此相當之飽和蒸氣之最大壓力 f .

I. 但尼爾之濕度計 此種濕度計為測定露點以定濕度之器械.其構造如圖一一六所示,由一曲玻璃管



圖一一六

連結 A, B 二球而成.球內盛有少許之以脫,經排除空氣後而加以密封者.故球及管內皆充滿相當於室內溫度之以脫飽和蒸氣. A 球內預先封入有測定以脫溫度之寒暖計.故僅須於支柱上另附一寒

暖計以測定室內之溫度即可.此時 A 球內部,充滿以脫之飽和蒸氣.故無蒸發現象,其內外寒暖計所示之度數,互相一致.

使用此計時,先以布包 B 球,移以脫之全部於 A 球後,然後滴以脫於布上.布上之以脫隨即蒸發而吸收其氣化熱.故 B 球因之而冷卻,致其內部之以脫蒸氣,一部分

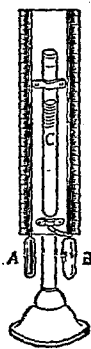
凝結成液體，減少其壓力，故 A 球之以脫開始蒸發，而使 A 球漸次冷卻待 A 球冷卻至一定程度，則空氣中之水蒸氣，即凝結於球之外側而成爲露。此時 A 球內之溫度，即所求之露點。

✓ II. 乾濕球濕度計 此種濕度計爲並置二寒暖計而以濕布包裹其一方之球部而成，當空氣之濕度甚大時，則水之蒸發少，濕度小時，則水之蒸發盛，故應濕度之大小，其二寒暖計之示度，亦各不同。

設空氣之溫度爲 t 度，濕布所包之寒暖計示度爲 t' 度，對於 t 度之最大壓力爲 F ，則現存於空氣中之水蒸氣壓力 f ，可依下列之實驗式算出之。

$$f = F - 0.5(t - t')$$

故測得二寒暑表之示度後，由表求得 F 之值，即可計算 f 及濕度 $\frac{f}{F} \times 100$ 之值。



圖一一七

問 題

1. 求使溫度 -5°C . 之冰 10 克變爲溫度 100°C . 之水蒸氣時，所需之熱量幾何。
2. 使溫度 100°C . 之水蒸氣 5 克通過於溫度 20°C . 之水 500 克中，求水之溫度變爲幾度。

3. 盛溫度 10°C .之水 1 尙於玻璃圓筒中,而注入溫度 100°C .之水蒸氣 16.4 克於其內使之凝結時,設水之最後溫度為 20°C .求水之氣化熱幾何.

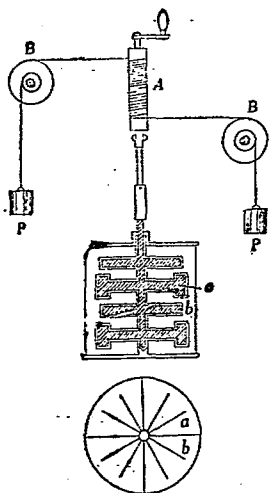
4. 欲使濡濕之衣服迅速乾燥,其方法若何.

5. 夏日驟雨之前,吾人感覺熱悶異常,迨雨後即行感覺涼爽,何故?

第六章 熱與能力

126. 熱與能力 如前所述,熱為一種可測定之量,但不能因其可以測定,即斷定其為一種物質,微之於熱可變為非物質之機械的工作,及由機械的工作亦可生熱之事實,即可瞭然.在前學者曾有倡導熱素學說者,其說謂凡物體內皆含有一種熱素,由其所含熱素之多少,而發生物體寒暖之區別.此種學說,雖足以說明熱之現象之一部分,但輻射及由摩擦或其他機械的工作生熱之現象,究非此說所能說明.故現今學者皆信熱為一種能力,實為熱力學發達之基礎.

127. 熱之工作當量 由實驗結果,當消費一定量之工作時,其所得之熱量為一定.反之,如消費一定量之熱量時,其所得工作之量,亦為一定.吾人對於相當於單位熱量之工作之量,謂之熱之工作當量.



一一八圖

熱之工作當量之最初研究者，爲英人朱爾氏。在朱氏研究熱之工作當量之種種實驗中，其結果之最良者，當推如圖一一八所示之裝置。如圖，以線之一端卷於 A 軸上，而他端繞於滑車 B 上，於滑車上另懸一分銅 P，由 P 之下降，使 B 迴轉，隨之 A 亦迴轉。其 A 之下端，復附有插入於熱量計內之翼車 a ，由此翼車之迴轉，使熱量計內所盛之水起攪拌作用。熱量表內另附有固定之壁 b ，當翼車穿過此壁之間隙而運動時，其抵抗甚大，故其迴轉不至十分激烈。

設左右二分銅之質量爲 m ，降下之高度爲 h ，且分銅靜降至最低點時，其運動能力毫無餘剩；則 $W=2mgh$ 愛格之機械能力，變而爲熱之能力，存於熱量計內。又設熱量計之水當量與其內部之水量之和爲 w ，溫度上昇之度數爲 $t^{\circ}C$ ，則發生之熱量 H 等於 wt 卡路里。故熱之工作當量 J 之值如下式：

$$J = \frac{W}{H} = \frac{2mgh}{wt}$$

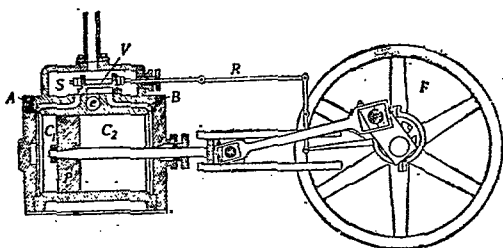
由朱爾及其他學者測定之結果，其 J 之值對於一克卡

路里，約為 4.2×10^7 愛格；或對於一尅卡路里，約為 429 尅米。然 10^7 愛格等於一朱爾，故一克卡路里相當於 4.2 朱爾。即使 429 尅米之機械工作悉數變為熱時，可生一尅卡路里之熱量。或一尅之物體落下 429 米時所有之運動能力悉數變為熱時，可使 1 尅水之溫度升高一度。

128. 熱之本性 如前所述，熱為能力之一種，其與機械能力互相變換時，對於量的方面，有一定之關係。故能力不滅之定律，自亦能適用於熱之能力。關於熱能力之本性問題，依研究之結果，皆認為物體分子之運動能力。故物體之分子振動愈烈時，其運動能力（即熱量）亦愈多，因其之溫度愈高。物體之因衝突而發生熱量者，即為運動能力之一部分，因衝突變而為目不能見之分子運動能力之故。又物質之氣化熱，亦為消耗於使液體分子反抗其分子引力而離開變為氣體之工作。同時即成為位置能力而貯藏於氣體之內部。其情形與地上之物體反抗地球引力拋向上方時之運動能力，成為位置能力而貯藏於系內相似。再氣體復行液化時，將氣化時所吸收之熱能力，再變為熱而放出。亦不外由其物質分子間之位置能力，再變為運動能力而已。其情形亦與高處之物體下降時，其位置能力變為運動能力相似。以活塞壓縮圓筒內之氣體時，則氣體即行發熱者，因氣體分子衝突於活塞上，活塞向分子前進，故分子

之反射速度較之投射速度為大隨之其運動能力亦較前為大故也。又被壓縮之氣體，反抗外壓，推使活塞上升，因膨脹而冷却者，因分子衝突於活塞上，為推動活塞故，因之其速度較前為小，隨之其運動能力亦較前為小故也。

129. 蒸汽機關 通常使熱能力變為機械能力以作工作之裝置，謂之熱機關。熱機關中之最普通者，厥惟蒸汽機關。其原理在加熱於盛水之汽鍋，使發生強壓之水蒸氣，因膨脹而作工者。至構造之主要部，則如圖一一九所示，由密



圖

九

接於圓筒 C_1 ， C_2 內而能移動之活塞 P ，蒸汽室滑瓣 V ，及蒸汽之排泄口。等

組合而成。如圖， S 由通路 A, B 與圓筒相連通；呈 U 字形之滑瓣 V 由棒 R 與飛輪 F 相連結，隨飛輪之迴轉，使圓筒與蒸汽室及排泄口適當的相連通。設滑瓣在圖示之位置時，則由汽鍋送來之高壓水蒸氣，通過 A 而入於活塞之左側 C_1 ，推動活塞使向右移；同時其右側 C_2 之水蒸氣，經 B 而由排泄口。排出至盛有冷水之凝結器中。當活塞向右移動時，同時其滑瓣向左移動於活塞達於圓筒之右端以前，與

前反對而使 C_2 與蒸汽室相連, C_1 與排泄口相連故活塞由進入於 C_2 之蒸汽, 復被推向左移, 如斯往復使活塞左右運動, 致使飛輪之車軸迴轉不息。

考蒸汽機關之作用, 由於高溫度之熱源即汽鍋所供給之熱量, 被水蒸氣吸收而輸入於圓筒內, 此水蒸氣推動活塞而作工時, 則即失去熱量而冷却, 被驅逐至低溫度凝結器內, 設水蒸氣由熱源吸收之熱量為 H_1 卡路里, 其附與凝結器之熱量為 H_2 卡路里則 $H_1 - H_2$ 卡路里為水蒸氣所失去之熱量, 即變成機械的工作者 (假定機關無摩擦, 且熱不至有由傳導輻射等作用而散失之事) 則

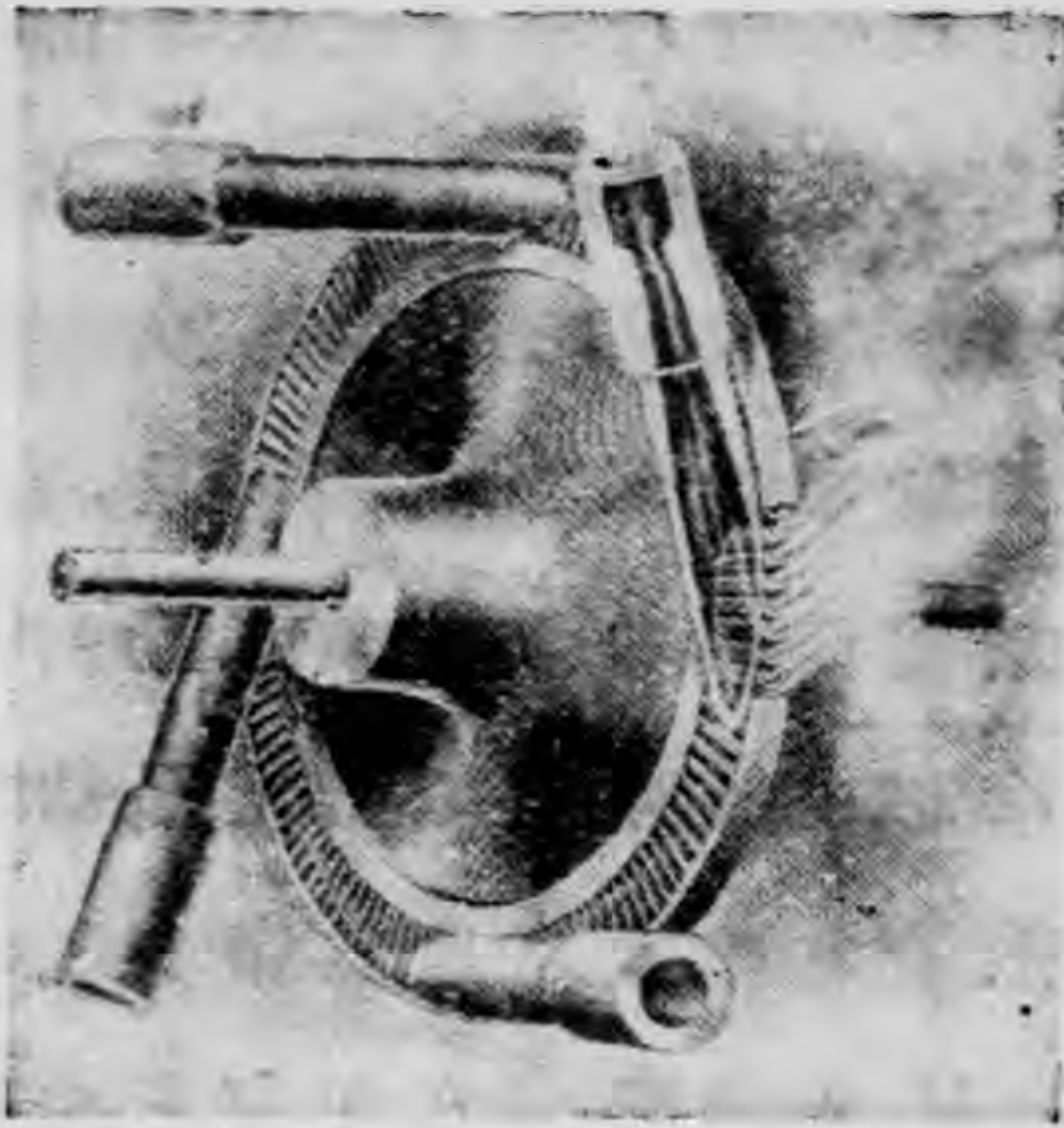
$$\frac{H_1 - H_2}{H_1}$$

為水蒸氣所供給之熱量變為工作之比率謂之蒸汽機關之効率, 由理論及實驗之結果, 如汽鍋之絕對溫度為 T_1 , 凝結器之溫度為 T_2 時, 其蒸汽機關之效率無超過

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

之事, 例如 $T_1 = 185^\circ\text{C} = 458$ (絕對溫度), $T_2 = 100^\circ\text{C} = 373$ (絕對溫度) 時, 則效率不能超過 $\frac{85}{458} = 18\%$ 是。

130. 蒸汽冲輪 蒸汽機關運轉時, 其飛輪雖向同一方向迴轉, 但活塞及附隨於活塞之各種器械, 均往復運動, 因每一往復時, 其運動方向均係突然變更, 非但使蒸汽能力之一部分消費於無益, 且有使機關之迴轉軸起振動之慮。

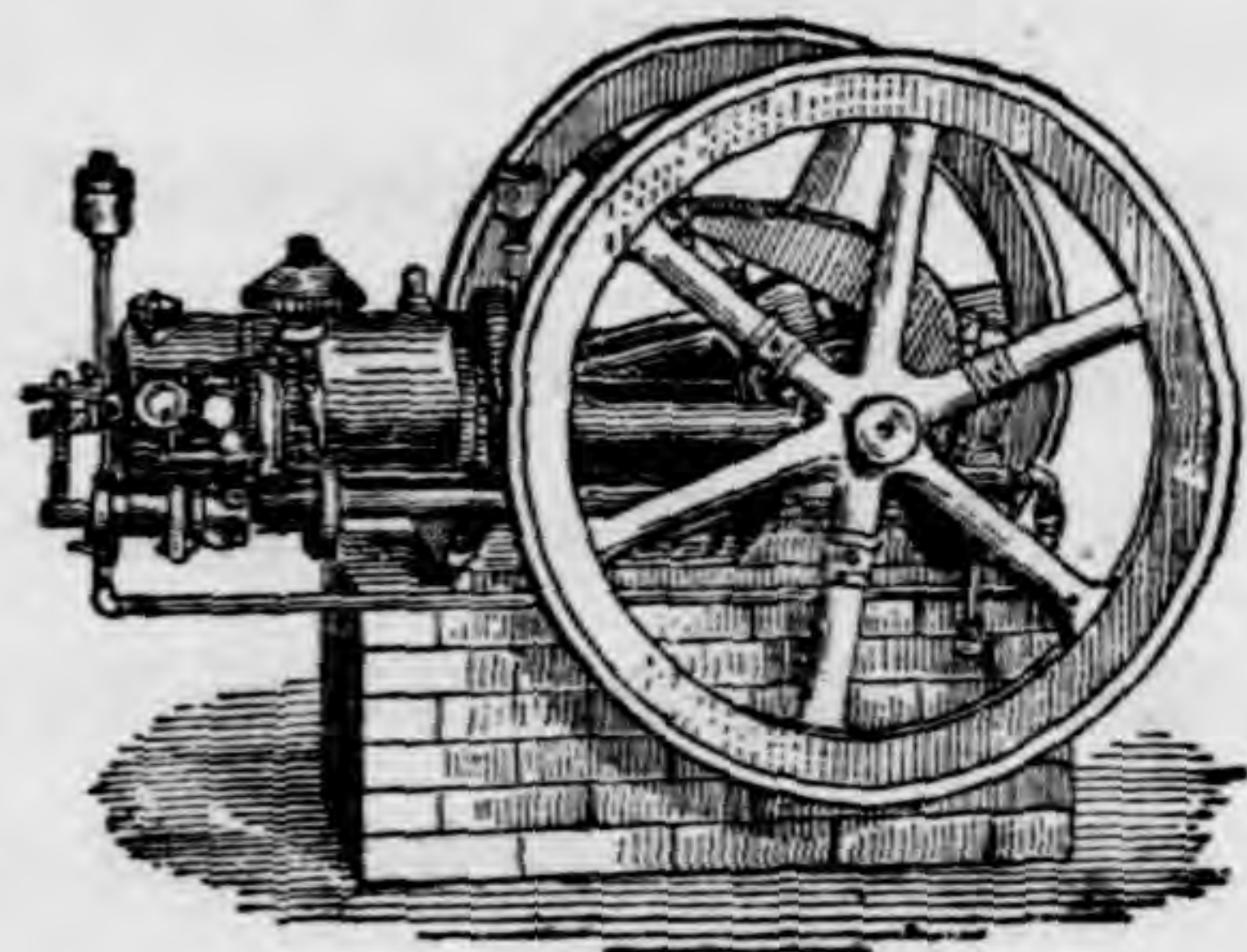


■ 一 二 〇

蒸汽冲輪則不然,其機關各部分均向同一方向而迴轉,故效率極大,且迴轉軸無振動之慮,至其原理,則與風車相似,如圖一二〇所示,裝彎曲之葉片於有迴轉軸之圓筒四周,使由管口噴出之高壓蒸汽,衝突於此葉片上,其圓筒即隨之迴轉不息。

蒸汽冲輪之大者,常具數十列並列之葉片數萬枚,其由管口噴出之蒸汽,衝突其第一列經逸出後,復衝突其第二列,因之冲輪之迴轉作用愈行增加,通常工率在一千啓羅瓦特以上時,蒸汽冲輪之效率,均較蒸汽機關之效率為大,且占地極小,故為一般工業家所愛用。

131. 內燃機關 此種機關,因其供給機關能力之燃料,燃燒於機關之內部,故稱之為內燃機關。有用煤氣或輕油等之別,因蒸汽機關,蒸汽冲輪等,其燃料須於機關之外部另

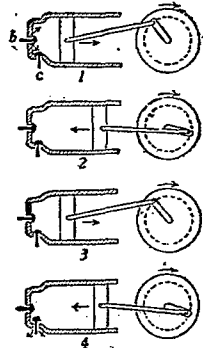


■ 一 二 一

行燃燒,以供給熱之能力,故其能力之一部分,不免散失於無形內燃機關則係由可燃氣體與空氣之混合物,爆發於圓筒內以供給能力者,其圓筒之自身,兼具燃燒爐之作用因之熱之損失較少。

如圖一二二所示者,為內燃機關之略圖,其上下兩端有瓣 b, c , 其 c 為圓筒內燃燒後氣體之出口,而 b 則為可燃氣體與空氣混合物之入口,茲將其因爆發而推動活塞之動作,分段述之如下。

(1) 先由飛輪之迴轉,使活塞向右移動時,其 c 瓣閉而 b 瓣開,可燃氣體與空氣之混合物即行進入筒內。(2) 活塞向左移動時, b, c 二瓣均閉,氣體被壓縮。(3) 活塞達於左端時,則由電流生火花而引火,使混合氣體爆發,由其壓力,



圖一二二

推活塞移向右方。(4) 活塞再往左移動時,則 b 瓣閉而 c 瓣開,燃燒後之殘氣,被驅逐而至於筒外,如斯不絕反復此四段動作,致其附屬之飛輪,即隨之迴轉不息。

因內燃機關所受之能力,僅在第三段混合氣體之爆發,故必須裝置甚大之飛輪,以增加其運動量而調節機關之運動。

現今汽車,飛機等所用之發動機,即係此種機關而用蒸

此則係買之單位為 3.7, 14 = 溫度之溫度 14 溫度
 為 cal = 1 克重之水溫度昇高 1 度之熱量

186

——高中物理學——

1 Cal = 4.27 gram. 1 B.T.U. = 252 Cal

發性之輕油以爲燃料者。

問 題

1. 設水銀由 5 米之高處落下所生之熱量全部吸收於其體內時,其溫度應上昇幾度。
2. 設鉛彈衝突於牆壁所生之熱量,能吸收其二分之一於體內時,求其溫度增加 30 度應具之速度幾何。
3. 地面上被熱上升之空氣,升至高層即行冷却,何故?
4. 世界上最大之瀑布,厥惟美洲之乃耶雅拉,其水位計高 160 英尺,每分鐘降下之水量計 700000 噸,設此降下之水之位置能力,全部變爲熱量時,其水降下後應增加溫度幾度。
5. 設 0° 度之冰塊由高處落下,衝突於地面所生之熱量,悉數聚集於其本體上,求落下時能使冰塊完全融解之高度幾何。

溫度升高—聲音之速度可增加60%。

第四篇 音學

第一章 波動

132. 波動 投小石於平靜之水面於落下處起上下之運動。此種運動，繼復傳之於其周圍各部分，生成圓形之波紋。此種波紋，雖向四方進行，但水面之各部分，實仍位於原來之位置，並未流動。此事觀浮於水上之樹葉，僅依上下運動，而不遷移其位置可知。

通常彈性體之物質，一部分起運動後，其隣接之各部分亦隨之漸起同樣之運動時，則可將其一定之波形，傳播於四周。此種運動，謂之波動。傳導波動之物質，謂之媒質。而起波動之振動部，則謂之波源。考波動為波源之振動能力，沿媒質傳播於四方之現象。吾人憑藉此種作用，始得發生光、音等感覺。

傳播於一媒質內之波動，如達於此媒質與他媒質之境界面時，則波之一部分，屈折而進入於第二媒質內。同時其他部分，即反射而回至於第一媒質。此到達於境界面之波

動謂之投射波。其進入於第二媒質之波，謂之屈折波。回至於第一媒質內之波，謂之反射波。吾人常見水波觸岸時反射而向反對之方向進行，即為反射波之好例。

133. 橫波 以長繩依直線橫置於地上，執其一端急速向上下振動時，則繩呈起伏之波形向前

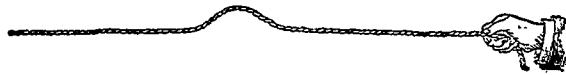


圖 一 二 三

進行。此波形之最高處謂之峯，波形之最低處謂之谷。如手之振動繼續不止時，則繩之各部分順次起同樣之振動。其

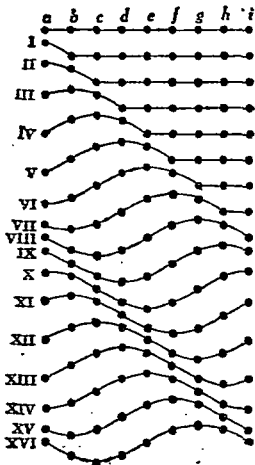


圖 一 二 四

峯與谷接踵依等速度向前進行。此種波之進行方向與其媒質各部分之振動方向成直角者，謂之橫波，或謂之高低波。

如圖一二四所示，設 a, b, c, \dots 等為在繩之等距離處之部分，其 a 端上下振動之週期為八秒。在此時間內如振動傳於距離 ai 時，則一秒之後， a 畢其振動之八分之一。同時波進行 ai 之八分之一。二秒後，振動畢其四分之一。同時

波進行 ai 之四分之一。如此順次進行，繩成 I, II, III, ……… 等各列所示之形狀。待八秒之後， a 畢其振動一次，復歸於原來之位置時，波則經過 ai 之距離。其繩之各部分之振動振幅，相當於波之峯與谷之高度之差，謂之波之振幅。一振動間波之進行距離 ai ，謂之波長。即波長等於一峯與次峯間之距離，如峯與峯，谷與谷，或 a 與 i 等常在振動相同階程之二點，謂之同一位相。

設振動之週期為 T ，波長為 λ ，波之傳播速度為 v 時則

$$\lambda = vT$$

又設一秒間振動之次數即振動數為 n 時，則

$$nT = 1$$

故 $\lambda = \frac{v}{n}$ 即 $v = n\lambda$

因速度為由媒質而定之常數，故在同種媒質之內時，其振動數愈大，則波長愈小。

134. 縱波 依水平懸置螺旋狀之金屬線，將其右端急向左按時，則被按之端，先行收縮而密集。由其彈性，壓迫其前部分，使之收縮而自

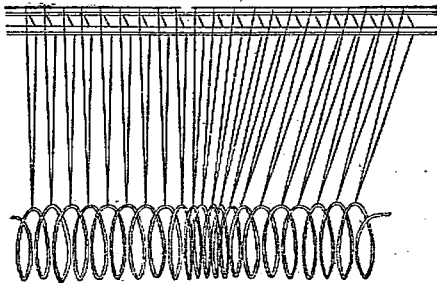


圖 一 二 五

行延長，以恢復舊狀。而此縮密之前部，復更壓縮其再前部分，密之狀態，依等速度沿螺線而前進。其情形恰與波峯沿繩前進相似。又執右端急向左引時，則螺旋被引而伸長，致其部分變疎。此疎之部分復引動其前方部分而自行恢復舊狀。因之此疎部亦次第向左移動。故當右端左右振動時，則密之狀態與疎之狀態，即交互沿螺線而前進。至其螺線之各部分，亦不過左右振動而已。

如圖一二六所示 a, b, c, \dots 等為位於等距離螺線上之各部分。其 a 端以八秒之週期左右振動。此振動沿螺線以等速度傳播之。設八秒之後，到達於 i 時，則此週期間 a 端之振動，與其傳播之狀態，當各如 I, II, III, …… 等列所示。此種媒質之各部分沿波之進行方向而振動，交互生成疎密之部分者，謂之縱波，或稱疎密波。此波一密部與其第二密部之距離，為其一振動間振動所傳之距離。

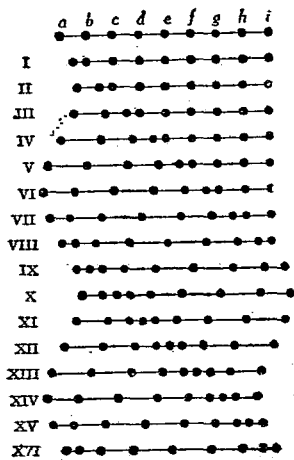


圖 一 二 六

亦即為其波長。縱波之波長，波之速度，振動週期及振動數之關係，與橫波全同。

135. 波之組合 如二不同系之波動,同時傳播於一媒質內時,其媒質之各點,對於各波成合成運動之結果,生成

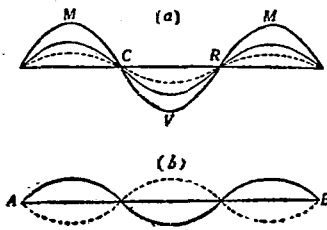


圖 一 二 七

一合波,例如如圖一二七之(a)所示,波長相等振幅相異之二波會合時,其峯與峯,谷與谷互相援助,因之其振幅增大,生成如實線所示之合波,若此曲線所示者,為縱波時,

則其密部與密部相助於C點,疎部與疎部相助於R點,又如(b)所示,設波長與振幅皆等之二系波於圖示之位置相會合時,則峯與谷,或密與疎相合而相消,此二波會合而互消之現象,謂之波之干涉.

於靜止之水面同時投下二小石時,則二系之波,由投下點傳播於四方之途中,互相會合而呈干涉之現象,如圖一

二八之左圖所示,由A, B二點同時以同一位相連續放出二波時,設以

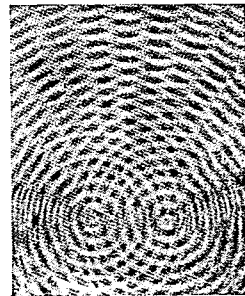
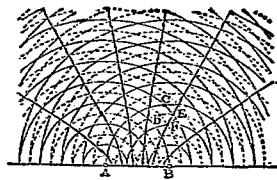


圖 一 二 八

實線表波之峯（或密），虛線表波之谷（或疎）。則於 C 點峯與峯相合成爲合波之峯。於 D 點谷與谷相合成爲合波之谷。又於 E 點峯與谷相合而相消。由圖所示之時間，經半週期後，其實線成爲虛線，虛線成爲實線。故雖 D 成爲峯，C 成爲谷，而 E 仍屬於靜止之狀態。即於其他任意時間，此二系之波，皆以反對之位相會合於 E 點。故此點常屬靜止。如此之點，謂之節點。圖中之放射線，即爲節點之軌跡。謂之節線。其右圖所示者，爲適當刺激水銀面之二點所得二系波之組合波之照片。其節點之分布，與左圖完全一致。

136. 定常波 又波長及振幅二者皆同之二系波，依反對之方向進行於一媒質之內，亦生成一種合波。如圖一二九所示，(a) 之實線爲向右進行之波，其虛線爲向左進行之波；(b) (c) 等之粗線，爲此二波各向左右進行 $\frac{\lambda}{4}$ ， $2\frac{\lambda}{4}$ 等時之合波。通覽全圖 n_1, n_2 等點組合之結果，常靜止成節點。合波即於節點間振動而不前進。此種僅振動於一定部分而不前進之波，謂之定常波。定常波

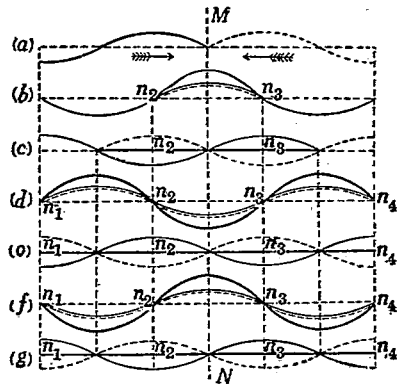


圖 一 二 九

相隣二節點間之部分，謂之腹節與節之距離，或腹與腹之距離，各等於原波波長之半。

問 題

1. 夏日南風送暖時，麥壠間常生所謂麥浪者，此時麥穗之運動如何？
2. 設某波之進行速度為 340 秒米，求波之振動數為 274 時之波長。

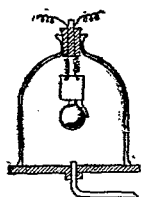
第二章 音波

137. 音波 以手指觸於發音之鐘或鼓上時，則感覺其振動極為激烈，迨因指之抵抗，使振動漸次減少，至指不復感覺振動後，則音亦即行停止。又彈緊張之線時，則線亦振動而發音，其振動之狀態，即目力亦能辨之，如線之振動振幅漸次減小，則音之強度亦漸次降低，由此可知音之生成，基於發音體之激烈振動甚明，此種振動復傳之於空氣，生成縱波，致使疎密之狀態，向四方發散，即所謂音波是也。此波動如達於吾人之耳內，即生所謂音之感覺。茲就鼓之音波傳播之模樣，說明如下。

當鼓皮被擊向外張時，與此相隣之空氣，被壓迫而變濃厚，此濃厚之空氣，因壓力之增加，更壓迫其外方空氣，故空氣之濃厚部分，漸次向外方進行。次鼓皮向內張時，其與此

相隣之空氣，復被吸引而變稀薄，壓力減少，因之其外方之空氣，向此處流動，其部分之空氣，又變稀薄，隨之此稀薄之狀態，復漸次向外方進行。故鼓皮向內外振動時，則空氣中之疎密波，以此部分為中心而傳播於四方。因此波之進行方向，與空氣之振動方向相一致，故為縱波。

發音體之周圍，如無空氣存在時，則發音體雖任何振動，亦無音波發生。如圖一三〇所示，懸電鈴於抽氣機之鐘內，



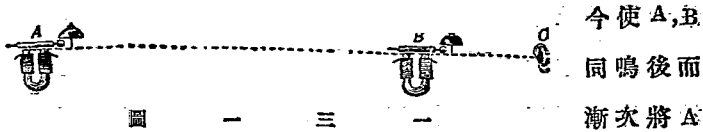
圖一三〇

通電流而使之鳴時，則聽之頗為明晰。若運動機柄，將鐘內之空氣逐漸排除，則鈴音即漸次降低，終至幾不能聞。如放入空氣，則鈴音再行響亮如初。可知音波之傳達，必須藉空氣為媒介。由研究之結果，音波傳達之媒

介，不僅空氣一種，即其他氣體或液體，固體等，亦均能傳導之。此傳音之媒介，謂之媒質。

138. 音波之速度 於遠方發砲時，則先見火光，後聞砲聲。又雷鳴時，先見電光，後聞雷聲。此等現象為吾人日常所經驗者。於此可知音之傳播，必須經過相當之時間。即音之進行，自有其一定之速度。測定音之速度之方法有種種。下述者為波沙氏之方法。

如圖一三一所示，A, B 為位於同一輪道之電鈴。如適當的斷續其電流時，則各經過一定之時間 t 秒後，同鳴一次。



移遠，則置耳於 A B 線上之觀測者，聽得由 A 發出之鈴音，漸次落於 B 鈴之音後，終至可與 B 鈴之第二音同時入耳。此時如測得 A, B 間之距離，而以時間 t 除之，則所得者，即為音之速度。

由實測之結果，於溫度零度壓力 76 種之空氣中之音之速度為每秒 331 米，其值與音之強弱及振動數之多寡無關，而因溫度之高低而異，其溫度 t 度時空氣中之音之速度 V_t ，可依下式求出之。

音之速度表

$$V_t = 331(1 + 0.0018t)$$

$$= 331 + 0.6t \text{ (秒米)}$$

即對於溫度上升一度時，其速度約增加 0.6 米，例如於上式中置 $t = 15^\circ$ 時，則音之速度約為 340 秒米是。故通常溫度時之音之速度約為 340 秒米。

通常媒質內之音之速度，因媒質之彈性與密度而異，其彈性大者，速度亦大，密度大者，則速度反小，其值如另表所示，以固體為

0° C. 秒米	
玻璃	5600
鐵	4900
水	1450
鉛	1300
輕氣	1230
空氣	331
碳酸氣	259

最大，液體及氣體次之。

139. 音波之反射及屈折 傳播於靜止水面之波動，觸於岸傍時，則反射而逆行。又賦與金屬螺線以振動，則其疎密之波紋，亦由他端反射而回轉。音波亦然，有反射之現象。例如立於廣大之壁前，或俯臨深遠之井上而發聲時，則經過少時間後，復得聞其原聲一次。此種現象，謂之回聲。回聲之發生，由於發出之音波觸於牆壁或水面後，經反射而再入於耳內之故。若其反射面甚近，則反射之音波立時傳來，與原音波相合而助其作用。室內談話，不聞回聲而較之野外更爲嘹亮者，卽此之故。

又吾人當游泳時，耳雖沈入水中而仍得聞陸上之聲音者，因投射於水面之音波，能傳達於水中故也。此音波投射於二媒質之境界面而傳達於第二媒質之現象，謂之音波之屈折。

140. 音波之干涉 當空氣中之一部分同時接受二音波時，如其二波之密部或疎部相重合，則合波之振幅大，其音強；如一方之密部與他方之疎部相重合，則合波之振幅小，其音弱。此種現象，謂之

音波之干涉。

實驗音波之干涉，通常皆用干涉管。干涉管之構

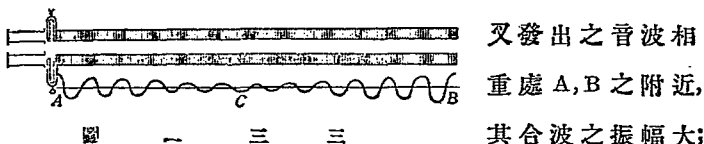


圖 一 三 二

造如圖一三二所示，由橡皮管連結二個U形管而成。如以管口B面向音叉之腳部，而以管口A插入耳內聽之，如管長之差等於波長之半之偶數倍時，則音強；等於波長之奇數倍時，則音弱。此理蓋由於一波動相隔半波長之偶數倍之二點，有同一位相；反之，相隔半波長之奇數倍之二點，有反對之位相故也。

141. 音之升沈 置近二個振動數略等之發音體而使之同時發音時，則因波長與振動數成反比之故，此二發音體發生波長殆相等之二組音波。此時因音波之干涉，致其音調不一律，有時強，有時弱。此種現象，謂之升沈。寺鐘之音，常沈浮不定者，即此之故。

如圖一三三所示者，為置近振動數殆相等之二音叉而使之同時發音，其二音波因干涉而生升沈之模樣。由二音



二波犬牙交錯處 C 之附近，其合波之振幅小。故二音叉所發音波，如單獨聽之，雖其音調一律，而同時聽之，則初時甚強，其後漸次減低，終至微細不能聞。過此又復漸增高。此種變化，反復不已。此音波消長之差，如過大時，則於短時間內，可生成數度消長之音，竟致升沈不能辨別。

設振動數為 m 及 n 之二發音體 A, B 所發音波互相干涉, 於一秒間生成 x 次升沈時, 則一次升沈所經之時間, 即音一度增強後至次度增強之時間為 $\frac{1}{x}$ 秒, 又 A 於一秒間送 m 個音波於耳內, B 於一秒間送 n 個音波於耳內, 故 $\frac{1}{x}$ 秒間 A, B 送入耳內之波數, 各為 $\frac{m}{x}$ 及 $\frac{n}{x}$, 若 $\frac{1}{x}$ 秒間由 A 送入於耳內之波數, 較由 B 送入於耳內之波數多一時, 則其間即生一次之升沈, 因得下式之關係.

$$\frac{m}{x} = \frac{n}{x} + 1$$

$$\text{或 } x = m - n$$

即發音體振動數之差, 等於一秒間所生升沈之次數, 例如振動數 274 與 277 之二音, 一秒間生三次之升沈是.

又同時靜聽振動數 m 及 n 之二音時, 不但能辨別此二音之本音, 且能聞得此二音振動數之差 $m - n$ 之第三音甚為明瞭, 此音謂之倍音.

問 題

1. 見電光後經 3 秒時始聞雷聲, 求雷聲之距離幾米.
2. 置耳於火車之鐵軌上, 另由一人於遠處打擊鐵軌時, 則此人前後共聞得響聲二次, 何故? 又設此二響聲相隔一秒時, 繼續進入於觀測者之耳內, 求鐵軌被擊處與觀測者之距離幾何.
3. 有振動數每秒 250 次之音波, 求其波長幾何.

4. 於雨天,陰天或夜間,響聲能傳聞於遠方者,何故?
5. 由遠方向牆壁發聲時,計經過 $\frac{1}{2}$ 秒時後,聞得其回聲,求壁之距離。
6. 於干涉管之實驗,欲以20糧之行差抵消二音,求用爲音源之音叉之振動數幾何。
7. 問以既知振動數之音叉與干涉管以測定音波速度之方法若何。

第三章 音響

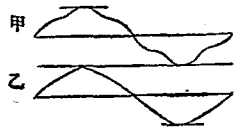
142. 音響 由物體之振動而生於空氣中之音波,傳之於四方,其一部分進入吾人之耳內,致振動鼓膜因而生所謂音響之感覺。音響之感覺,可分二種。如音叉,樂器等之音,其振動有一定之規律;使人聽之能起快感者,謂之樂音;又如砲聲或疾奔之車輪聲,其振動爲一時的或無規則的,使人聽之,起不快之感覺者,謂之噪音。

143. 樂音之三要素 凡各種樂音,皆具有三種顯著之特質,即強弱,高低,音色等是,茲分述之於下。

I. 音之強弱 音之強弱,由於音波振幅之大小而生,即振幅大者,其音強;振幅小者,其音弱。例如彈琴時;重彈之則絃振動之振幅大,其音強;輕彈之,則絃振動之振幅小,其音弱是。

II. 音之高低 音之高低,由於音波振動數之多少而生.因音波之波長與振動數成反比例.故亦可謂之音之高低,由於音波之短長而生.即振動數大或波長短之音波,其音高;振動數小波長長之音波,其音低.例如彈琴時,如緊張琴絃,則絃之振動數增而音亦高是.

III. 音色 雖強弱相同高低相等之二音,如其發音體不同時,則耳膜所起之感覺亦屬異樣.蓋因發音體各有其固有之音色也.此音色之差異,由於音波之波形相異而生.例如如圖一三四所示,甲乙為波長相同振幅相等之二音波形.雖其音之強弱,高低均等,但其波形稍有差異,故各賦與發音體以特種之音色.



圖一三四

144. 音之調和 打擊振動數相同之二音又,使其同時發音時,較之其一音又所發之音,僅能增強其音調.如打擊振動數相異之二音又而使之同時發音時,則由其振動數之比如何,有生愉快之感覺者,有生不愉快之感覺者.其生愉快感覺之二音,謂之調和.生不愉快之二音,謂之不調和.音之調和與否,全視其振動數之比如何而定.如二音之振動數之比,成簡單之整數比時,則其合波成有規則之波形,因之其音調和,使耳起愉快之感覺.例如使振動數之比為

1 : 2 之二音又同時發音時，則此二音甚為調和，聽之如同一音是。二音振動數之比，通常謂之音程。就中對於有 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4 等值之二音音程，如下表所示，更附有種種之名稱。

音	程	第八音	第五音	第四音	第三音
振動數之比		1 : 2	2 : 3	3 : 4	4 : 5
		短第三音	長第六音	短第六音	
		6 : 5	3 : 5	5 : 8	

茲將西樂自然長音階對於各音主音之音程唱名等列表於下。

音符	c	d	e	f	g	a	b	d'
音程	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
		$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$
唱名	do	re	mi	fa	sol	la	si	bo

觀上表，其相連二音振動數之比，僅為 $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$, $\frac{16}{15}$ 之三種。下表所揭者，為通常西樂所用各音之振動數。此數係由西曆 1885 年萬國會議所決定，取每秒 435 次為 a 音之振動數而由上表之關係計算而得者。

音符 c d e f g a b

振動數 251.0 293.6 326.3 348.0 391.5 435.0 489.4

145. 測音器 測音器為測定發音體之振動數之器械。其構造如圖一三五所示，於圓筒形 A 箱之蓋上，依圓周於等距離處排列多數之小孔；此蓋上覆有與沿直軸能同時

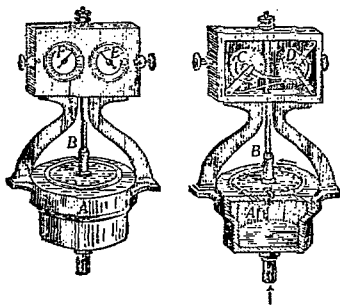


圖 一 三 五

自由迴轉之圓板，板上亦有同數之小孔排列於半徑相同之圓周上。此圓板之孔與下板之孔相對，而方向則稍行傾斜。故用風箱由下部壓送空氣使進入於圓筒內時，則空氣由筒蓋上之小孔迸出，衝突

於其上面之圓板小孔之側壁，故圓板即依矢之方向而迴轉。如圓板迴轉至二板之孔相重合時，則空氣流出於圓筒之上面，生成濃厚部；又兩板之孔相左時，則空氣氣流被板遮斷，而圓板上之空氣，猶依慣性進行，故即生成稀薄部。如此，凡板孔每開閉一次，即發送一疎密之波於四方。

設圓板上小孔之數為 m ，因圓板每迴轉相隣二孔間之距離時，其上下二孔即重合一次，使空氣流出，故圓板每一迴轉，空氣即流出 m 次，每次均送出一疎密波。若圓板一秒

間迴轉 n 次時，則一秒間可由測音器中送出 $m n$ 個疎密波。故調節下部送入之空氣以變更圓板之速度時，可使其發出種種高低不同之聲音。

當沿直軸與圓板共同迴轉時，因之撥轉齒輪 C，由 C 之迴轉，復使與此相連絡之指針 E 起運動。吾人如觀測此指針之運動，即可測得其迴轉之次數。因 C 每一迴轉時，其齒輪 D 僅轉一齒以移動指針 F。故 C 之迴轉次數，可於此指針觀出之。

用上述之裝置以測定發音體之振動數時，可先調節圓板之迴轉，使其所發之音與所欲測之音高低一致。設此時圓板迴轉之速度為每秒間 n 次時，則測音器所發音之振動數，即所測之音之振動數為 $m n$ 。如測音器之音與所測之音其振動數相近時，則生升沈之現象，此二音之振動數愈相接近，其升沈之數亦愈減少。故必須待升沈現象全滅後，始能讀取測音器之迴轉次數。

146. 振動記錄法 以燻有煤烟之紙片，卷於如圖一三六所示裝置之圓筒 E F 上而使附着於金屬棒 T 端之小針 A 之尖

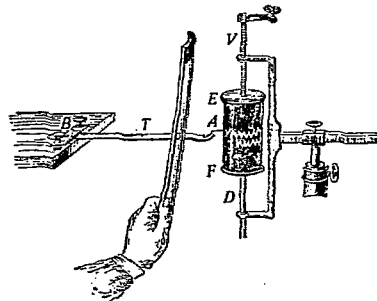


圖 一 三 六

端輕觸之，然後以胡弓摩擦金屬棒而使之起振動，同時并使圓筒迴轉，則針尖畫成白色之波線於紙上。此波形即該棒所發音波之形狀也。又圓筒由刻於軸上之雄螺旋及支軸台上之雌螺旋隨圓筒之迴轉起微小之上下運動。故所畫之波形，得旋繞於筒上而無重合之患。

問 題

1. 醫師所用之聽診管，其作用如何。試說明之。
2. 設有每秒振動數為 350 及 352 之二音同時進入於耳內時，聽覺生如何之現象。

第四章 發音體之振動

147. 絃之振動 實驗絃之振動時，以用一絃琴為便。一絃琴如圖一三七所示，張線或金屬線於長箱上，其絃之一端固定於釘上，他端則懸分銅以使其緊張如彈絃之中央時，則絃之全體成一區



圖 一 三 七

而振動，謂之原振動。其所發之音，謂之原音。次輕按絃之中點而彈其全長之 $\frac{1}{4}$ 之點時，則絃於中點處區分為二段而振動。其音較前為高。又輕按其全長 $\frac{1}{3}$ 之點而彈其 $\frac{1}{6}$ 之點時，則絃分三區而振動。其音愈高。如此，絃分二區以上振動

時之振動，謂之倍振動，其所發之音，謂之倍音。通常如絃分 n 區而振動時，則其振動次數即為原音之 n 倍。

當絃起倍振動時，其絃上各點常反復同一之振動，即所謂之定常振動。是其各區段之境界點，為定常振動之節，常屬靜止。而中央為腹，振動最大。

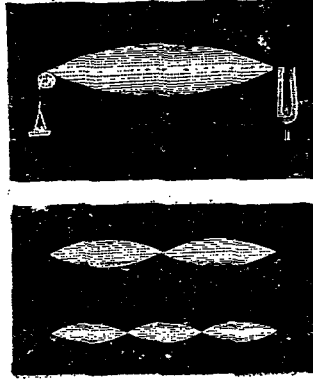


圖 一 三 八

如嚴密的討論時，則雖彈絃之中央部分，亦不僅起純粹之原振動，必伴有數個振幅甚小之倍振動。不僅絃之振動如此，凡發音體振動時皆於原振動之外，伴有其他振幅甚小之倍振動。此等振動，相合而生成波形稍為複雜之音波。發音體皆各有其特異之音色者，即因發音體各有其固有之倍音，致波形多少起變化故也。

依實驗之結果，關於絃之振動數，有下述之諸定律。

I. 絃之振動為等時性 即絃之週期與振動之振幅無關。換言之，即絃之振動數之多少，與其振動之振幅無關。例如使絃振動後而放置之，則其振幅雖漸次變小，而其音調（即振動數）不變。換言之，即音之強度降低，而其振動數並不減少是。

II. 絃之振動數 n 與其長 l 成反比例。

III. 絃之振動數 n 與其張力 T 之平方根成正比例。

IV. 絃之振動數 n 與其單位之長之質量 m 之平方根成反比例。

茲總括上述諸律，以公式表之如下。

$$n \propto \frac{1}{l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

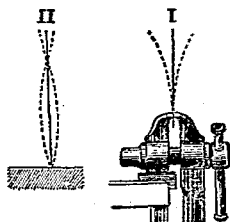
由理論及實驗之結果，上式之比例常數為 $\frac{1}{2}$ 。故

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

於上式，設張力 T 之單位為達因， l 之單位為釐， m 為絃長一釐之質量，則 n 為一秒間之振動數。又設絃之密度為 d ，其半徑為 r 釐時，因 $m = \pi r^2 d$ ，故

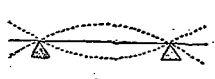
$$n = \frac{1}{2rl} \sqrt{\frac{T}{\pi d}}$$

148. 棒之振動 固定一端之棒之振動，其模樣如圖一三九所示。若擊棒之上端而使之振動，則如圖 I，其全體成一區而振動。若擊棒之下端之 $\frac{1}{3}$ 處，則如圖 II，分二區而振動。依法擊之，亦可分三區、四區……等而振動。

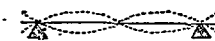


圖一三九

又橫置棒於二支柱上而擊之，其



振動之分區如圖一四〇所示,與直棒之振動相同。



由實驗之結果,關於同一物質之棒

圖一四〇之振動數,其定律如下。

- I. 棒之振動數 n 與棒之厚 b 成正比例。
- II. 棒之振動數 n 與棒長 l 之自乘成反比例。
- III. 棒之振動數 n 與棒之密度 d 之平方根成反比例。

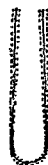
茲總括上述諸定律,以公式表之如下。

$$n \propto \frac{b}{l^2 \sqrt{d}}$$

$$\text{或 } n = k \cdot \frac{b}{l^2 \sqrt{\frac{1}{d}}}$$

上式中之 k , 為比例常數。

音叉之振動,與由二點支棒於水平之振動相似,如圖一四一所示,其兩端與中央附柄處生腹,而於下端近處生節一對,當振動時,其脚之兩端同時移近,或同時移遠,故兩脚間之空氣成濃厚部時,則兩側成稀薄部,又兩脚間成稀薄部時,則兩側成濃厚部,因之生成位相反對之二組音波,互相干涉,故於如圖(由上視音叉)一四二所示之曲線 MN , MN' 上,其音甚為微弱,如擊音叉使鳴,置之耳傍而從容廻轉之,可得知上述



圖一四一

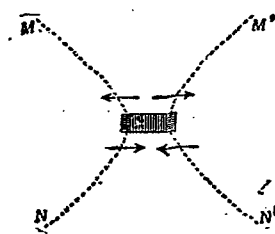


圖 一 四 二

之四處,其音顯然微弱。

以上所論者,僅爲絃與棒之橫振動。若固定金屬棒之中央以沾有少量松脂粉之革皮包之,而以手握革皮向其一端強擦時,則棒之各點,亦能沿棒起縱振動而發

極高之音。於此種振動,其棒之中央爲節而靜止,兩端爲腹而盛行伸縮。若中央僅一節點時,則其振動爲原振動。若有二以上之節點時,則其振動爲倍振動。縱振動之音,通常皆較橫振動爲高。

149. 板之振動 固定金屬板或玻璃板之一點,而以胡弓摩擦板邊之他點時,則板起複雜之振動,其面上有爲振動之腹而盛行振動處,亦有爲振動之節而靜止處。其靜止諸點相連而成之曲線,謂之節線。

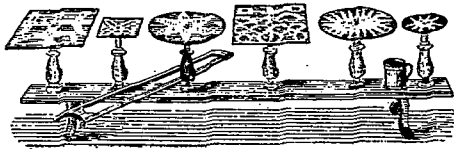


圖 一 四 三

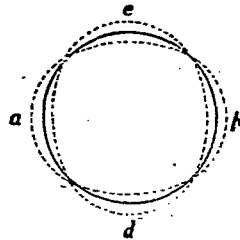
如圖一四三所示,取圓形或方形

之板依水平而固定其中央,撒細砂於其上,以指按板邊之一點而以胡弓擦其他點時,則板盛行振動,而砂即集於振動稍靜之處,以示節線之位置。

板之振動,與絃及棒等之振動相同,其節線兩側之部分,

常向反對方向運動。即一方往上時，他方則往下隨之。其一方使其上部之空氣成濃厚部時，他方上部之空氣則成稀薄部。此二部送來之音波，即因之互相干涉，顯著的減少其強度。若另取形狀適當之板一片，置近於行反對運動二部分中之一方上，以遮斷其發出之音波時，則可聞得其音甚強。

150. 鐘之振動 鐘振動時，生成四條或六條之縱節線。其近底處則生與此諸節線成直交之圓形節線。如以水盛入鐘內而使之振動，當可見其緣分數區而振動之模樣。又鐘之振動，亦於節線之兩側起反對運動。其一方生成濃厚部時，他方則生成稀薄部。故置耳於鐘之軸上，則因耳之位置在反對振動二部分之等距離處，由此諸部分發出之音波，互相干涉。因之耳所聞得之音，甚為微弱。此事可以實驗之而不難。



圖一四四

再鐘等複雜物體之原振動與倍振動之比，無 2, 3, 4 等之簡單關係。例如設鐘之原振動為 200，則其第一倍振動為 404。因之此倍振動與原振動之差音之振動數為 204。此差音與原振動之振動數相近。因之互相干涉，生成升沈之現象。寺鐘之聲，常生沈鬱不定之現象者，即此之故。又彈

鋼琴之一音而靜聽之，亦稍有升沈之現象者，其原因可依上述之理以說明之。

151. 發音體之振動能力。固定棒之下端而扳其上端使棒彎曲時，則手對棒不能不作一定之工作，因之能力即由手移於棒，成爲位置能力而貯蓄之。次放手時，則棒因彈力作用，開始運動，其所得之位置能力，漸次變爲運動能力。待棒歸至起初之位置時，其速度最大，所貯之位置能力悉數變爲運動能力，故由慣性作用，更向其反對方向而彎曲，其運動能力，復變爲位置能力。如此左右往復，其能力由位置能力變爲運動能力，復由運動能力變爲位置能力，輾轉變遷，無復已時。但棒每振動一次，對於其周圍之空氣均多少賦與以工作，因之其能力之一部分，即由棒而移於空氣，成爲與空氣波動相伴之運動能力，傳播之於四方。又一部分因棒之內部摩擦，變而爲熱，故棒每一振動，必失去其少許能力。經短時間後，將開始所得之能力，完全失去而復歸於靜止。此種能力之變遷，不僅惟棒爲然，即其他所有之發音體，亦莫不皆然。上述者不過舉棒爲例以說明之耳。

152. 多帕勒之原理 因發音體當振動時使其周圍之空氣生成疎密之波動，故距發音體一定距離處之觀測者，一秒間應有等於發音體之振動數 n 個之疎密波進入於耳內。若觀測者以某速度移近發音體時，則一秒時後，進至

某距離之前方較靜止時耳所接受之音波爲多，因之其音調增高。反之，如觀測者以某速度向發音體移遠時，其耳接受之音波較靜止時所接受者爲少，因之其音調降低。又觀測者靜止而發音體移動時，其所生之結果亦同。此原理謂之多帕勒之原理。例如火車抵站較之出發時，其汽笛之聲格外響亮者，卽此之故。

問 題

1. 有長 33 糎之絃，其全體質量計重 0.125 克，今欲使其振動數爲每秒 640 次，問應用以幾尅重之力以緊張始可。
2. 有組織均勻之金屬線，其長爲 213 糎，質量爲 4.79 克，設以 2.48 尅重之力緊張其 47 糎之長度時，求其所發之音之振動數幾何。
3. 有直徑爲 0.6 及 1.5 糎之同質同長之金屬線二條，設各以 400 及 1600 克重之張力以引之，求其振動數之比若何。
4. 彈琴，胡琴等樂器時，皆於絃之一端近處以彈之，何故？

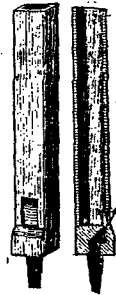
第五章 共鳴

153. 共鳴 並置振動數相同之二音叉而擊其一方使鳴，則瞬時後其他方之音叉亦開始振動。如以手按被擊之

音又使其停止振動時，則可聞得此音又之鳴聲甚晰。但如二音又之振動數不同時，則無此種現象發生。如此，凡受與自身之振動數相同之音波，感應之而亦發音之現象，謂之共鳴。通常之音又，皆附有台箱者，即在由其箱內空氣之共鳴而增強其所發之音之故。若音又由共鳴箱上取下而鳴之，則其音甚為低微，非置近耳傍，幾不能聞得之。又琴、月琴等樂器，亦必附有箱或盒者，其理皆與此同。再架空之電線，常得聞其鳴聲，而於電柱近傍，尤覺洪亮者，亦因柱與電線之振動起共鳴之故。凡如箱等之內空物體，其振動極為複雜，不僅止於一數。在某範圍內振動數之音，皆可與之起共鳴作用。吾人之耳能聽得種種之聲音者，即因耳之鼓膜，能與此等聲音起共鳴作用之故。耳之鼓膜能起共鳴作用振動數之範圍，一秒時約自十六次起，至三萬六千次止。其振動數每秒在十六次以下，或在三萬六千次以上之音，雖傳至吾人耳內，亦不能發生音之感覺。

154. 風琴管 風琴管之構造，如圖一四五所示。其由下端管口吹入之空氣，衝突於楔形之舌而流出時，起極複雜之振動。管中空氣，即與其中適合於自己振動之振動而共鳴，因之沿管長起定常之振動，而發生愉快之聲音。

風琴管之構造，有上端開放及密閉者二種。



圖一四五

其上端開放者，謂之開管。上端密閉者，謂之閉管。由實驗之證明，開管發音時，上下端成爲定常振動之腹，其部分之空氣盛行振動，中央爲節，其部分之空氣殆無振動。而閉管發音時，則其下端爲定常振動之腹，而上端爲節。

氣柱定常振動之節，雖無空氣運動，因其兩傍常以反對之位相運動，故節之部分之空氣，由兩側交互被緊張壓迫。空氣之密度與壓力隨之變化，於節爲大，反之，雖腹部之空氣振動最盛，因屬於全體之運動，其密度及壓力之變化最小。

風琴管之振動數與管長成反比例。即管愈長時，其音愈低。又風琴管如靜吹之，則發原音。如急吹之，則不發原音而發倍音，其音愈高。當管發倍音時，其節與腹之分布，當如圖一四六所示，其附 L 之記號處表腹，而附 N 之記號處表節。

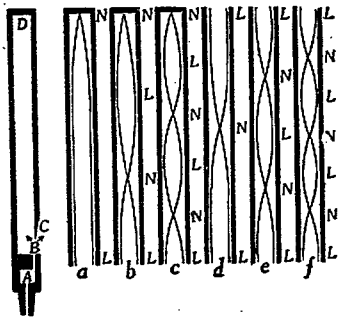
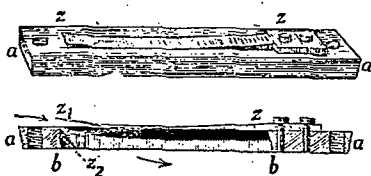


圖 一 四 六

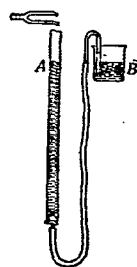
簫、笛等樂器之桿上，皆穿有多數之小孔者，在變更其氣柱之長短而使之發生種種不同之音之故。風琴、口琴等之鍵之構造，如圖一四七所示，由金屬薄片之舌 Z Z 置於孔 a a 上而成，因其孔較舌稍



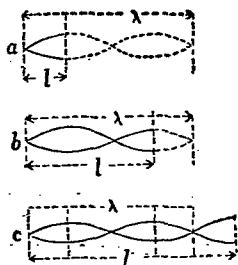
圖一四七

大，故送入空氣時，舌即起振動。同時孔亦開閉，以調節空氣之流通，用生音波。至其音調之高低，則因舌之厚薄與長短而異。

155. 音之速度之測定 如圖一四八所示，取一粗玻璃管 A ，以橡皮管使其與玻璃杯 B 相連，而注水入內，則移杯上下時，其 A 管內之水面，亦隨之上下。今取一音叉鳴之而置近管口，則音叉所生之疎密波，進入管內，於管中之水面反射後致直射波與反射波互相干涉，而生成定常波。其水面為節點。次上下 B 杯，變更 A 管之氣柱成種種長度，至氣柱之長度達於某一定之長度時，其管內之空氣柱，即與音叉之振動



圖一四八



圖一四九

起共鳴作用而發生洪亮之音響。在氣柱共鳴作用最強時，其定常波之腹，恰與管口相一致。若定常波之腹與節間，其間別無他節存在時（圖一四九之 a ），則其距離等於生成定常波之原波波長四分之一。故共鳴作用最強時，其氣柱之長，等於音

又所發音波波長之四分之一。設音叉之振動數為 n ，氣柱之長為 l ，波長為 λ ，音之速度為 v ，則得下式之關係。

$$\lambda = 4l \qquad v = n\lambda$$

$$\text{故 } v = 4ln \quad \text{或} \quad n = \frac{v}{4l}$$

若管底與管口間有一節時（如圖一四九之 b ）則 l 等於 $\frac{3\lambda}{4}$ 故

$$v = \frac{4}{3}nl \quad \text{或} \quad n = \frac{3v}{4l}$$

又若管底與管口間有二節時（圖一四九之 c ），則 l 等於 $\frac{5\lambda}{4}$ 故

$$v = \frac{4}{5}nl \quad \text{或} \quad n = \frac{5v}{4l}$$

若若得知音叉之振動數 n 後，再測得其起共鳴作用時氣柱之長 l 時，則可由上式求出音之速度 v 。若 v 為已知數，則由上式亦可求出音叉之振動數 n 。

156. 孔德之實驗 上述之實驗，經孔德稍行加以變更後，因之發見測定音波於種種物質中之速度之方法。茲述之於下。如圖一五〇所示，將一玻璃管依水平放置之，而以附着於棒之一端，其大小恰合管口之圓板，插入於管內少許。此棒之中央，另行固定於台上，而以沾有少量松脂粉之草



圖 一 五 〇

皮，或濡有酒精之布類，激烈摩擦棒之他端，使其發生縱振動時，則棒之中央被固定部分，為棒之定常振動之節，其兩端為腹，其管內之氣柱與棒之縱振動相伴，亦與上述之實驗相同，生成定常振動。若於管之他端適當處嵌入一活塞，使管內之空氣柱與棒之縱振動起共鳴作用時，則氣柱振動最烈。故預於管內撒布軟木細粉，則細粉亦盛行振動於定常波之腹部，生成美麗之橫條。吾人由此條紋，即可得知其振動之腹之位置。若測得其二腹間之距離，則二倍之即為該縱波之波長。由此即可求得棒中音波之速度。因氣柱隨棒之振動而振動，故氣柱振動之週期，與棒之週期相等。設此週期為 n ，二節間之距離為 l ，空氣中音波之速度為 v ，則

$$2l = \lambda = \frac{v}{n}$$

$$\text{故 } n = \frac{v}{2l}$$

因棒之兩端為定常振動之腹，故棒之全長 L 等於棒中音波波長 λ' 之半。設棒中音波之速度為 v' 則

$$2L = \lambda' = \frac{v'}{n}$$

$$\text{故 } v' = 2nL = \frac{vL}{l}$$

由上式若知 l, v, L 時，即可求出棒中音波之速度 v' 。故如以種種物質製成各棒以行此實驗時，即可測出此種種

物質中音波進行之速度。

157. 人之聲音 吾人之聲音,由張於喉頭上名為聲帶之二片薄膜起振動所發出。此膜由筋肉之作用,可任意變更其緊張之程度。凡膜之張力大時,其振動數亦大。張力小時,其振動數亦小。當吾人平常呼吸時,此膜伸弛。雖空氣之出入經過其間,但振動緩慢,不致發生聲音。若增加膜之張力,使其間隙狹小時,則空氣經過其間,膜即起激烈振動,因而發出聲音。又口腔內之空氣,能與膜之振動起共鳴作用。故變更口腔之形狀,或鼓動唇舌,即可生出種種之音色。

若張力相同,則膜薄而且短時,其振動數多。通常女子與小兒之聲音,皆較男子為高者,即因其聲帶薄而且短之故。

158. 留聲機 留聲機為美人愛迪生所發明,其原理在記入音之振動模樣於硬橡皮板上,由此板再使其發生與此相同之振動時,則因而發出與原音相同之聲音。現今通

常所使用之平板留聲機,其構造為於大喇叭管口之底部,附一薄雲母板;板之中央,固定

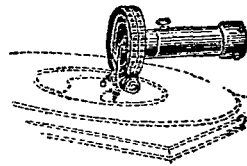


圖 一 五 一

一槓桿；槓桿之他端，更附一銅針而成，載針於能迴轉於沿直軸之周圍之蠟製圓板上，向喇叭口發聲時，同時使圓板依等速度迴轉；則聲之振動模樣，即深刻於圓板上。次取此刻有振動痕跡之蠟板，置之電鍍器中以鍍銅，作成與蠟板陰陽相反之銅模。如用此銅模壓於軟溫之硬橡皮圓板上，則板上即印有與蠟板振動波紋相同之痕跡，即為普通使用之唱片。置此唱片於原機之上迴轉唱片時，則針即沿振動之刻痕而進行，發出與前振動數相同之聲音。此音更由附屬於機上之共鳴器以擴大之，使其音調與原音相彷彿。

問 題

1. 塞開管之管口使鳴時，其音調較管口開時之音調為低，且其振動數僅為前之 $\frac{1}{2}$ ，何故？
2. 使長40釐之開管與音叉同時發聲時，一秒間適生升沈五次，求音叉之振動數幾何。

第五篇 光學

第一章 光之直進

159. 光 刺激吾人之視神經,使起一種感覺者,謂之光. 例如太陽之光,火之光等是.吾人之所以能見種種物體之形狀者,全賴其物體發出之光,或由其表面反射之光,進入於吾人之眼內之故.諸物體中如太陽,恆星,電燈等,能自行發光者,謂之發光體,或稱光源,如遊星,月,地上之諸物體等,不能自行發光,須藉發光體之光反射入於吾人之眼內,吾人始得見其物體之形狀者,謂之暗體.

如空氣,玻璃,水等,能任光自由通過,雖隔之亦能認識其後面之物體者,謂之透明體.如金屬,木材,石塊等,能遮斷光之進行,隔之則不能暗見其後面之物體者,謂之不透明體.又如白紙,白瓏玻,毛玻璃等,雖能任光通過,但隔之則不能窺見其後面物體之形狀者,謂之半透明體.透明體,半透明體,不透明體等,不過為一種便宜上之區分,其間實無顯然之界限.例如金為不透明體,但展之成極簿之箔時,則亦能

透過青綠色之光，又水，玻璃等，雖屬透明體，如重疊之甚厚時，則亦不能透視物體是。

考光能由恆星，太陽等發光體到達於地面，又電燈所發之光，能通過其周圍之真空部而出至於球外，故可知光之傳達不需通常之物質，一般不問物質之填充與否，凡能使光通過之者，皆謂之光之媒質，真空，空氣，玻璃，水等，皆光之媒質也。

160. 光之直進 光於組織均勻之媒質內，恆依直線而進行，謂之光之直進，此事觀於壁孔漏入之日光，及雲間洩下之日光，照於浮游於空氣中之微塵或水滴上成直線之進路，可以證明之，此依直線進行之光，謂之光線，由數處發來之光線雖於途中相遇，仍各依其進行之方向前進，而無



圖 一 五 二

互相侵擾之事，例如由恆星發出之光線，雖被其他恆星或太陽等所發之光線，縱橫交射，亦能達於吾人之眼簾，途中並未

蒙若何之損害是，此事實謂之光線獨立之原理。

如圖一五三所示，穿小孔於暗室之窗上，則於其對壁或屏上，生成窗外景物之倒像，此像之生成，即由於光線直進



圖 一 五 三

之故。蓋由窗外物體之任意一點發出於四方之光線中，其射於小孔之光線，即投一與孔形相似之斑點於屏上。其餘物體之各點，亦均投同樣之斑點於屏上相

當之位置。故此等斑點即相集而成物體之倒像。

又如圖一五四所示，置黑紙或錫箔於電燈或燭火 A B 之前，使與屏風相對立。然後以針穿小孔 H 於錫箔或黑紙上，則屏風上生成燭之倒像 ab。設再穿多數之小孔時，則對於各孔，每孔均生一燭之倒像。若此諸小孔互相隣接，則其像隨之互相重疊，終至失去像之形狀。如壁孔愈小時，則像之光度雖稍欠光明，但其輪廓則極清晰。如孔愈大時，則其像之光度雖較光明，但其輪廓則行模糊，終至於失去原形。考其理由，實因大孔可視作多數隣接之小孔相集合之故。

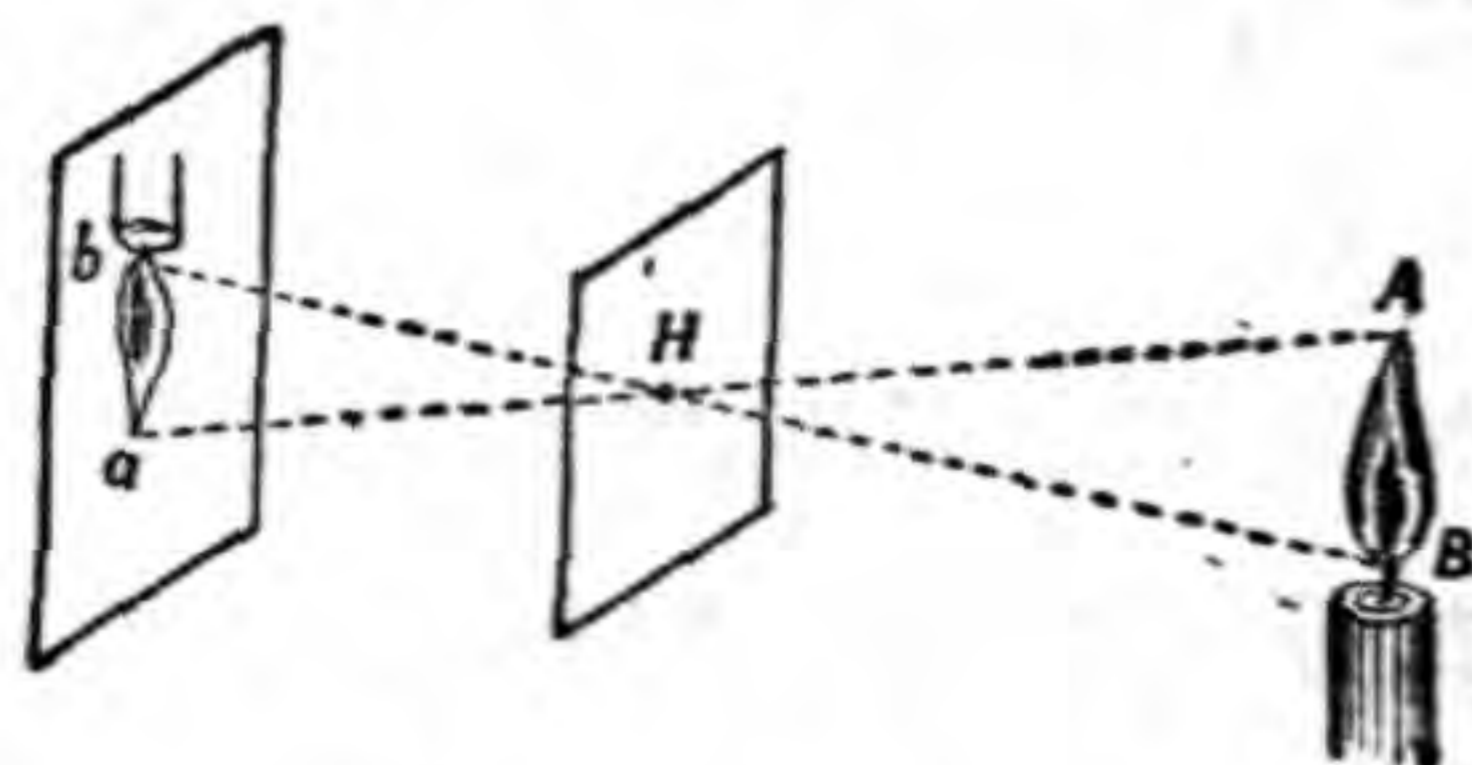


圖 一 五 四

由森林樹葉中漏下之日光，投射於地上時，常生成無數之圓形者，其理亦同，因無數樹葉間之隙，其作用均等於上述之小孔，其由太陽發來之光線，通過此等小孔後，因而投射太陽之像於地面之故。

161. 影 因光線皆依直線進行，故於發光體之前面，置一不透明體時，則其後面必有光線不能到達而呈黑暗之部分，此黑暗之部分，謂之影。設發光體之光源，僅為一點時，

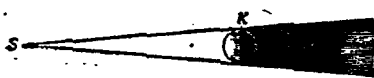


圖 一 五 五

則如圖一五五所示，其球 K 所生之暗影，為以光點 S 為頂點之包絡球 K 之

圓錐體中，居於 K 後之部分。若發光體之光源不為一點時，則影之現象，稍為複雜，如圖一五六所示，A B 為發光體，C D 為不透明體，其發光體之上部 A 所發出之光線，生影 F H 於屏風 E H 上；發光體之下部 B 所發出之光線，生影 E G 於屏風上，其屏風上 G H 或 F E 間之任意點，例如 P 點，雖受發光體下部 B n 所發之光，但不能接受其上部 A n 所發之光，又 E G, F H 之相重部分 F G，雖光體任何部分之光，亦不能接受，如此，雖受有光源一部分之光而

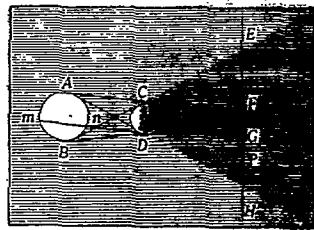
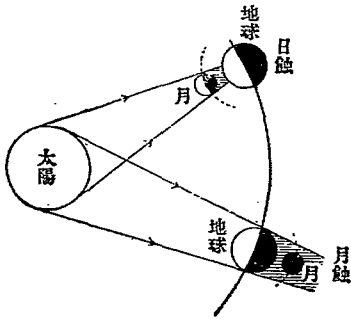


圖 一 五 六

不能承受其他部分之光處，謂之半影，其不能承受光源任何部分之光處，謂之本影。

日蝕為月球投射其影於地球表面之現象，因月較地球為小，且距太陽甚遠，故其投射於地球上之本影，僅限於其一小部分，凡地球之表面入於月之本影中之部分，皆完全



黑暗，不能窺見日光，此種日蝕，謂之皆既蝕。又地球之表面入於月之半影中之部分，僅受日光之一部分，致光色暗淡，此種日蝕，謂之部分蝕。若月球所投本影之圓錐頂點，不能到達於地面時，則於

圖 一 五 七

此頂點之直下部分，可以窺見太陽之周圍，而不能見其中央，致日光呈金環狀，此種日蝕，謂之金環蝕。又月蝕為地球投射其暗影於月面而生之現象，其理與日蝕同。

162. 照度 光之強度，由其距離光源之遠近不同，而有強弱之差異，其物體單位面積上所受光量之多少，謂之其照度。今以光源 S 為中心， r_1, r_2 為半徑，各畫二球面時，則此二球面所受光

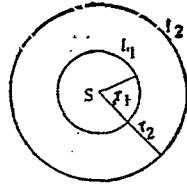


圖 一 五 八

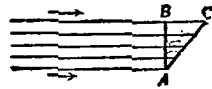
之總量彼此相等。設二球面上之單位面積所受光量即照度為 I_1 及 I_2 ，則得下式之關係。

$$4\pi r_1^2 I_1 = 4\pi r_2^2 I_2 = E$$

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

由上式，可知光之照度，與球之半徑之自乘成反比例。即與光線成直交之面之照度，與其距光源之距離之自乘成反比例。

又設光線不自一點發出，成平行而來時，則光線照於與其成直角之面之範圍，不因其面之距離遠近如何，均為一定。故與光線成直交之面所受光之照度，不因其距離之遠近而異。然物面與光線成斜交時，則因同等之光量，擴散於更廣之面積上，其照度隨之變小。例如如圖一五九所示，



圖一五九

AB 為與平行光線成直交之面， AC 為與平行光線成斜交之面，設此二面面積各為 S_1, S_2 ，其間之夾角為 θ ，則

$$S_1 = S_2 \cos \theta$$

故設此二面之照度各為 I_1 及 I_2 時，則

$$I_1 S_1 = I_2 S_2 = I_1 S_2 \cos \theta$$

$$\text{故 } \frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{\cos \theta} = \frac{AC}{AB}$$

即與光線成斜交之面，其所受照度，隨其傾斜角之大小而異。其傾斜角愈大時，而所受之照度反愈小。夏日之太陽

較冬日距天頂為近，故由太陽發來之光線，照於地面時，其傾斜角度，夏日較冬日為小，因之地面之照度，夏日較冬日為大，此實為冬夏異其寒暖之一重要原因。

又受光之面之明暗，固由其照度之大小而異，然亦與其面之性質有關，例如對於同一光源，雖位於同一距離之二白紙，其白色程度，亦有差異是。

163. 光度 由發光體種類之不同，故其所發出之光，亦有強弱之差異，其由光源依垂直方向，照射於單位距離處之單位面積上之光量，謂之其光之光度，光度與照度不同之處，為光度表光源之強弱，而照度則表單位面積上所受之光量，故二者截然不同，測定光度之器械，謂之光度計，光度計中之最簡者，首推本生光度計，其構造如圖一六〇所示，於應行比較之二光體 L, C 間，立一中央塗有少量之蠟或油之紙屏風，因屏風上塗蠟之部分易於透光，而不塗蠟之部分易於反光，故以屏風對光而由光源之同側觀之，則塗蠟之部分，較未塗蠟之部分為暗，若由光源之他側觀之，

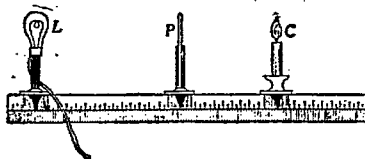


圖 一 六 〇

則塗蠟之部分，較未塗蠟之部分為明。今置光體 L, C 於屏風之兩側，移動屏風，使由任何側觀之，其蠟之明暗度均相等時，則此

方通過蠟部之光量，與彼方通過蠟部之光量應相等，即其部分所受兩光體之照度相等。設兩光體 L, C 之光度各為 A, B ，由屏風至 L 及 C 之距離各為 a, b ，則 $\frac{A}{a^2}$ 與 $\frac{B}{b^2}$ 為屏風上兩光體之照度，故

$$\frac{A}{a^2} = \frac{B}{b^2}$$

或 $\frac{A}{B} = \frac{a^2}{b^2}$

由上式，如測得光源至屏風之距離後，即可求得其光度之比。

光度之單位，通常所用者為英制之單位。其規定為鯨油所製之蠟燭，以每小時燃燒一百二十格能時所發之光為標準，謂之一燭光。電燈之所謂十燭光，五十燭光者，即指此種單位而言。通常所用之煤油燈，其光度約為五燭光。

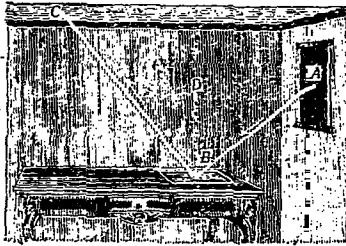
問 題

1. 有與日光成 45° 傾角之平面，求其所受日光之照度若何。
2. 日中電桿投射黑影於地面，而電線則否，何故？
3. 設置十六燭光之電燈於距書面二尺處時，其照度最適於讀書。求用五燭光之煤油燈以讀書時，應置於如何之位置。
4. 有相距六尺之八燭光與二燭光之二光源，求二光

源之連接線上照度相等之點之位置。

第二章 光之反射

164. 反射之定律 光線於組織均勻之媒質內，雖依直線而進行，但若達於密度不同之二媒質境界面時，則其一部分進入第二媒質內，而

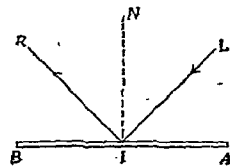


圖一六一

殘餘之部分，復折向第一媒質內而進行。前者謂之光之屈折，後者謂之光之反射。導日光於暗室中而以鏡面受之，則光線反射，

當如圖一六一所示，有一定之方向。

如圖一六二所示，設 LI 為達於鏡面之一點 I 之投射光線， IR 為其反射光線。則此 I 點，謂之投射點。由此點向鏡面所引之垂線 IN ，謂之法線。投射線，反射線各與法線所成之角 LIN 及 $NI R$ ，謂之投射角及反射角。依實驗之



圖一六二

結果，關於反射光線之方向，有下述之定律。

1. 投射光線與反射光線，在法線之兩側，且與法線同在一平面內

II. 投射角等於反射角.

上述之定律，謂之光之反射定律。反之，若光線沿反射光線而投射時，則沿前之投射光線而逆進，此事實謂之反射光線之逆行。

反射光線之強度，由其反射面物質之種類而異。如水，玻璃等透明體之表面，其反射之光，為量雖少，但經摩擦後之金屬面，則反光甚強。普通所用之玻璃鏡，皆於玻璃之裏面鑲有薄層之銀層者，即在利用銀面之反射較強之故。又由同一表面，其所反射之光之強度，視光線之投射角愈大而亦大。

165. 平面鏡 鏡之反射面成平面者，謂之平面鏡。如圖一六三所示，置光點 L 於平面鏡之前面時，則由 L 所發出

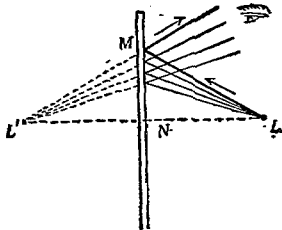


圖 一 六 三

投射於鏡面之無數光線中，任取其一光線 LM ，將其反射光線依反對方向延長之，設其與由光點向鏡面所引垂線之交點為 L' ，則於直角三角形 LMN

及 $L'MN$ ，其 MN 為公共之邊，

又由反射定律， $\angle LMN = \angle L'MN$ ，及 $\angle LNM = \angle L'NM = \angle R$ ，故二三角形完全相等。

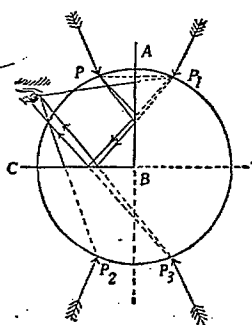
$$\therefore LN = NL'$$

即反對延長反射光線時，則延長線通過以鏡面為軸與光點 L 對稱之一定點 L' 。又如將其光點之所有光線之反射線，均逆反射之方向而延長之，則亦皆通過 L' 點。故以目承受此反射光線時，則感覺光點恰在 L' 處。此 L' 點，謂之光點 L 之像。因目無認識光線過去進路之能力，僅感覺光源在光線投射於目之方向處。此種光線，實際並非由其處發來，不過吾人之目，因其反射（或屈折）光線之作用，而認知其光點或物體宛在其處時，謂之虛像。即 L' 點為 L 點之虛像是。

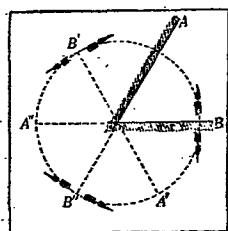
求光點 L 對於平面鏡之像時，只須由 L 向鏡面引垂線 LN ，使 $LN=NL'$ ，而求得 L' 即可。又求對於任意投射光線 LM 之反射光線時，只須連接 L',M 而延長之即可。

置物體於平面鏡之前面，則物體各點之像，即相集而成物體之原形，現於鏡後。其物像對於鏡面，與物體取對稱之位置甚明。

166. 複像 如圖一六四所示，取二平面鏡 AB, BC ，使其鏡面成直角相對立，而於其間置物體 P 時，則可見其所生之像有三。如以兩鏡面之交點 B 為中心， BP 為半徑畫圓，另由 P 點向鏡面 AB 引垂線時，則



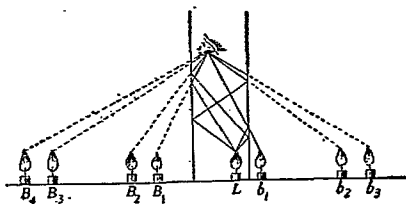
圖一六四



圖一六五

此垂線與圓周之交點 P_1 ，即為物體對於鏡面 AB 之像。同理，可知物體對於他鏡面之像 P_2 ，亦在此圓周上。如由 P_1 或 P_2 向鏡面之延長線引垂線時，則此垂線與圓周之交點 P_3 ，即為物體對於鏡面之第三像。其 P_1 及 P_2 之像，均僅由鏡面一次反射即行映入眼簾。而 P_3 之像，則如圖所示，由二次之反射始行進入眼中。通常凡由數次反射而生之像，可視作由像所生之像。謂之複像。複像之數，因鏡間之夾角而異。例如鏡間之夾角為 60° 時，則如圖一六五所示，共生五個之像是。

如圖一六六所示者，為置燭火 L 於對立之二平面鏡間而望鏡面時，其所生之無數複像。如圖，第一次像 B_1 及 b_1 ，由鏡面一次反射而生。第二次像 B_2 、 b_2 ，第三次像 B_3 、 b_3 ，各由二次反射，三次反射而生。其像距鏡面愈遠時，其光亦愈淡，終至於消滅而不能見。



圖一六六

167. 亂反射 平行光線投射於平滑如鏡面之物體表面時，則各投射光線皆遵循反射之定律而反射於一定方

向，故其物體不得由其他任何方向窺見之。例如置燭火於暗室中之鏡前而視鏡面時，若鏡面十分清潔，則難於認知其燭火之存在；若鏡面附有塵埃等微細物體，則甚易辨認。蓋因各塵埃之表面，成不規則之形狀，能使光線散亂於種種方向之故。吾人能由種種方向望見地上之物體者，即因其表面極不規則，反射投射光線於如圖一六七所示之種

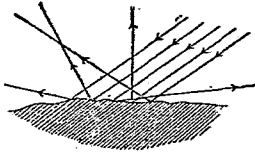


圖 一 六 七

種方向之故。此種現象，謂之亂反射。對於亂反射而言時，其遵循反射定律之反射，則謂之正反射。凡受亂反射作用而反射於種種方向之光線，謂之散光。日中不直受

日光之場所，亦頗為光明者，即由於地上物體及浮游於空氣中之塵埃等，使光線起亂反射作用之故。又日出前與日沒後，暫時間亦復感覺光明者，亦由於空氣中之星塵及雲等，散亂日光之故。再飛瀑，玻璃粉等皆呈白色者，莫不基於與此同樣之作用。

168. 凹面鏡 凡反射面成球面之鏡，謂之球面鏡。球面鏡之種類有二，其以球之內面為鏡之反射面者，謂之凹面鏡。以球之外面為鏡之反射面者，謂之凸面鏡。又鏡面之中心與球之中心之連結線，謂之鏡軸。

如圖一六八所示， MA 為凹面鏡之斷面， A 為鏡面之中

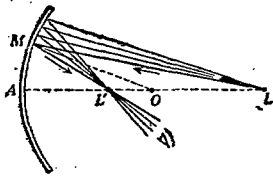


圖 一 六 八

心, O 爲球之中心, AO 爲鏡軸。設鏡軸上之光點 L , 其投射於鏡面之任意光線 LM , 經反射後與鏡軸交於 L' 點, 因通過投射點 M 之半徑 MO , 爲其點之垂線, 故由反

射定律,

$$\angle LMO = \angle L'MO$$

即 MO 爲三角形 LML' 之頂角平分線, 由幾何學定理,

$$ML : ML' = LO : L'O$$

如鏡面不甚廣大, 乘之投射點距離鏡心甚近時, 則可視作 $ML = AL$, $ML' = AL'$ 。故設由鏡心 A 至光點 L 及 L' 之距離 AL 及 AL' , 各等於 a , b ; 鏡之半徑 AO 等於 r 時, 則由上式,

$$a : b = a - r : r - b$$

$$\therefore br + ar = 2ab$$

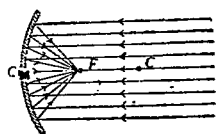
$$\therefore \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} \dots\dots\dots (A)$$

於上式, 在同一鏡面時, 其 r 之值爲一定, 故光點之位置即 a 之值已求得時, 則 b 之值亦即確定。但 b 之值與投射點 M 之位置無關, 可知由光點發出投射於鏡面之所有光線, 經反射後皆通過一定點 L' 。如以目承受此反射光線, 則感覺其光宛如由 L' 所發出, 即 L' 爲 L 之像是。又置紙片於

L' 之位置以承受反射光線時，則其上面即生成光點之像。因光線散亂於四方之故，此像得由紙片之任何方面以窺見之。

通常鏡面所成之像，可分二種。一種如上述之像 L' ，為光線實際集中於其處所生者，謂之實像。一種如平面鏡後方所生之像，光線實際並不由其處發出，僅由吾人之眼依光線直進之作用以認識之者，謂之虛像。實像能現於屏風之上，而虛像則否。

169. 凹面鏡像之位置 如圖一六八所示，設 L' 為光點時，則光線 $L'M$ 沿 ML 而逆行。可知 L 成為 L' 之像。又公式



(A) 關於 a, b 為對稱，如於式中置 a 以代 b 時，則 a 變為 b 。可知 L' 為光點，則 L 為其像。如此，凡二點中有取其

一點為光點時，則他點為像之性質如

L, L' 者，謂之共軛焦點。

當光點在鏡面之非常遠處時，即 $b = \infty$ ，故 $\frac{1}{b} = 0$ 。由公式(A)故得

$$a = \frac{r}{2}$$

即與軸平行之光線，投射於鏡面時，其反射光線集合於距鏡心 $\frac{r}{2}$ 處之 F 點。此 F 點謂之主焦點，或單稱焦點。其距離 OF ，謂之焦點距離。設焦點距離之長為 f 時，則由公式

(A), 得

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}; \quad 2f = r \dots \dots \dots (A')$$

今以光點移動於鏡軸上種種之位置時, 則其所生之像, 亦行移動, 其關係可由下式以求得之.

$$b = \frac{a}{a-f} \cdot f$$

如將種種之值代入於上式之 a 中, 則與此對應之 b 值如下.

$a = +\infty$	$b = f$
$a = 2f$	$b = 2f$
$a = f$	$b = \pm\infty$
$a = 0$	$b = 0$
$a = -\infty$	$b = f$

茲將所求得光點與像之距離 a, b 之關係, 再列表表示之如下.

a	(I) $+\infty$	(II) $2f$	f , f	(III) 0	(IV) $-\infty$
b	f	$2f$	$+\infty, -\infty$	0	f

I. 先置光點 L 於軸上之無限遠距離即 ∞ 處, 則成與軸平行之光線, 故投射於鏡面後, 其像 L' 與主焦點 F 相一致. 而光點 L 由 ∞ 漸近於球心 O 時, 同時其像 L' 亦由 F 向 O 移近, 致二點 L, L' 於 O 點相重合.

II. 次以光點 L

越 O 再向 F 進行時,

同時 L' 則向 O 點漸

次移遠待 L 達於焦

點 F 時, 則 L 去至 ∞ 之遠處, 即置光點 L 於焦點時, 則光線反射後與鏡軸相平行。

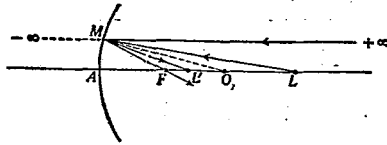


圖 一 七 〇

III. 設光點 L 再越 F 向鏡心 A 移近時, 則 $a < f$, 故 b 成爲負數, 其像如圖一七一所示, 生於鏡之後方, 成爲虛像。

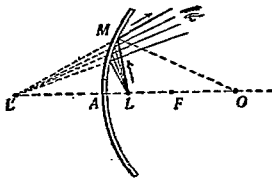


圖 一 七 一

如光點 L 僅越過 F 稍許時,

則 L 忽躍至 $-\infty$ 之處, 待 L 由

F 移近 A 時, 同時 L' 亦由 $-\infty$

處移近於 A , 二者於鏡面之 A

點相一致, 即光點距鏡甚近時,

A 點之附近部分, 與平面鏡同一作用。

如上所述, 吾人對於光點由 $+\infty$ 處漸次接近鏡面, 以至與鏡面相觸, 其光點處於種種位置所生各像之位置, 均曾加以討論, 似對於光點所生之像之位置, 均已討論詳盡, 其實不然, 因置光點於鏡之後方, 使其結像雖爲不可能之事實, 但如 (III) 之推論, 其 L, L' 尚有共軛焦點之性質, 故使應集中於 L' 點之光束, 投射於鏡面時, 則反射光線即集中於 L 點, 結成實像甚明, 可知 L, L' 於此時亦

仍有共軛焦點之性質。此 L' 點謂之虛光源。

IV. 虛光源 L' 由 $-\infty$ 移近於鏡面時，其像亦由焦點 F 移近於鏡面，二者於鏡面 A 點處相一致。

170. 物體之像 置物體於凹面鏡之前方，則其各點均可視作一小光源。如由上述之方法求得其鏡之焦點後，隨之即可求得其物體之像。因每點所發出之光線，經反射後，均會集於一點，故僅須求得該點所發出之任意二光線反射後之會合點則此點即為該光點之像。通常作圖時，此二任意光線：一取與鏡軸相平行者，一取通過球之中心者，至

為便利。如圖一七二所示，設 A 、 B 、 C 為物體，其由上端 A 發出光線中與鏡軸平行之光線 AM ，反射後通過焦點 F 。又通過

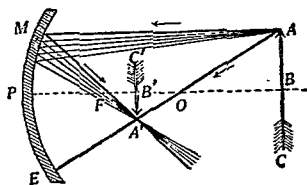


圖 一 七 二

球心 O 之光線，因與鏡面之垂線相一致，故反射後，仍循原路而回。設此二線之交點為 A' ，則 A' 即為 A 點之像。同樣 B 、 C 等點之像，各為 B' 、 C' ，故得一倒立之實像 $A'B'C'$ 。由此可知物體在球心之外時，其所生像為倒立之實像。位於球心與焦點之間，而較實物為小。其大小與實物之比，等於像與實物各至球心之距離之比，即 $\frac{OB'}{OB}$

若物體在 $A'B'C'$ 之位置時，則其像為 $A B C$ 。可知物體

在球心與焦點之間時，則生倒立之實像於球心之外方，其像較實物為大，像之大小與實物之比，亦等於其各距球心

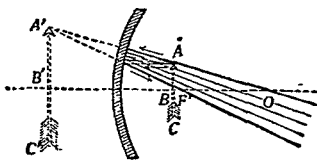


圖 一 七 三

距離之比，即 $\frac{OB}{OB'}$ 。

次如圖一七三所示，置物體於鏡之焦點以內時，則依同樣之作圖法，得一直立於

鏡後之虛像，其大小常較實物為大。

174 凸面鏡 如圖一七四所示，置光點 L 於凸面鏡鏡軸之上時，則投射於鏡面之光線，經反射後，宛如由一定點 L' 所發出，發散而生虛像。設如上節之規定，由鏡心 A 沿鏡軸向右方所測之距離為正時，則向左方所測之距

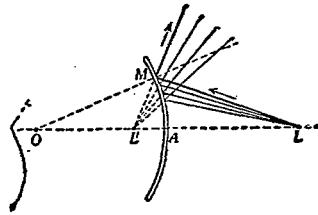


圖 一 七 四

離為負。故此時決定光點之像 L' 之公式，祇須於上節之公式 (A)，置半徑 r 為負即可。即

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{2}{r}$$

$$\therefore \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}; \quad 2f = r \dots \dots \dots (B)$$

平行光線如投射於凸面鏡時，則 $a = \infty$ 。故由 (B) 式，得 $b = -f$ 。即反射光線如圖一七五所示，發散而生虛主焦

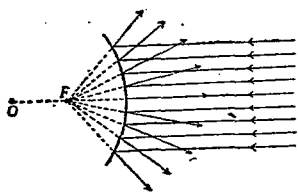


圖 一 七 五

點 F.

次置光點於鏡軸上之種種位置而討論其對應之像之位置時，由(B)式，得

$$b = -\frac{af}{a+f}$$

因上式之 a 常為正，及 f 為焦點距離之絕對值，故 b 常為負，即如圖一七五所示，凸面鏡所生之像，通常均屬虛像。如與種種之值於上式中之 a ，則 b 之對應值如下表。

	(I)	(II)	(III)	(IV)
a	$+\infty$	0	$-f$	$-2f$
b	$-f$	0	$+\infty$	$-2f$

I. 如圖一七六所示，設光點 L 在 ∞ 之遠處，則其光成為與鏡軸平行之光線而投射於鏡面，生成虛像於虛主

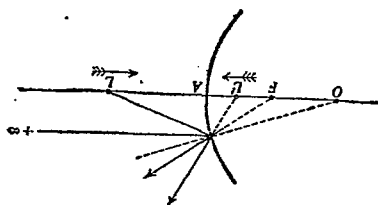


圖 一 七 六

焦點 F 。如光點漸次接近於鏡面時，同時其像 L' 亦接近鏡面，二者於鏡面之 A 點處相一致。凡光點置於凸面鏡之前方時，其所生之像，常屬虛像，而位於鏡面之後方。

II. 如圖一七七所示，由位於凸面鏡後方之一點 L ，投射其光束於鏡面時，則其反射光線集中於 L ，而生成

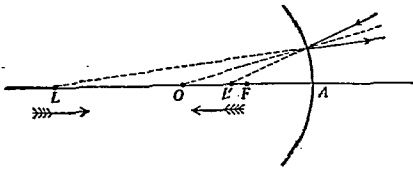


圖 一 七 七

實像。即由虛光源而得實像。如此，虛光點由鏡面漸次向 O 移近時，同時其像 L 即由鏡面漸次移遠，待

L' 與 F 相一致時，則 L 去至 ∞ 之遠處，其反射光線成爲與鏡軸平行之光線。

III. 次設虛光點 L' 由焦點 F 漸次移近球心 O 時，同時其像即如圖一七七所示，由 $-\infty$ 漸次向球心 O 移近。如達於 O 點時，則二者相一致。

IV. 最後設 L' 離球心向左方前進時，同時其像 L 由 O 向右方前進，如 L' 去至 $-\infty$ 處成平行光線而投射時，則其像 L 與焦點 F 相一致。

置物體於凸面鏡前面求其像時，其作圖方法，完全與求凹面鏡之像同。其所生之虛像，在鏡面之後方，直立而

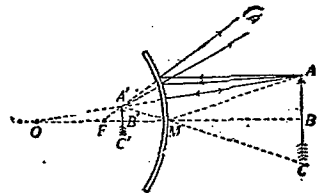


圖 一 七 八

較實物爲小。其大小與實物之比，則等於像與實物各距鏡面之距離之比，即等於 $\frac{B'M}{BM}$ 。

172. 球面收差 以上所論者，爲鏡面較鏡之半徑甚爲微小時，光線反射之現象。若鏡面較大時，則雖由一點發出

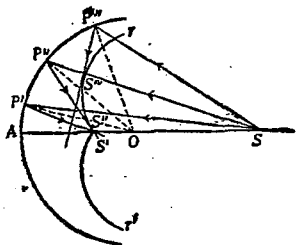


圖 一 七 九

之光線，迨經球面反射後，亦不能完全集於一點，此種現象，謂之球面收差。

如圖一七九所示， AP'' 為鏡面， O 為球心， S 為光源，則由 S 發出之光線中於鏡心 A 之近

傍 P' 處反射者，如前所述，集於鏡軸上之一點 S' 處，又於 P'' 之近傍所反射者，略集於 S'' 之一點，於 P''' 之近傍所反射者，略集於 S''' 之一點，故連結如圖一七九所示之鏡之斷面各部分反射後光線所集諸點時，即成 $S'r$ ， $S'r'$ 之曲線，此種曲線，謂之焦線，其焦線 $S'r$ ， $S'r'$ 迴轉於鏡軸之周圍所生之表面上各點，亦均具同樣之性質，故此表面較諸其他部分，更為光輝，此面謂之焦面，銅盆之邊緣受日光之照射常反射於其底面生成焦線之現象，為吾人日常所經驗者。

又平行之光線，設投射於球面時，反射後亦決不能集合於一點，如鏡面不成球面其斷面成拋物線時，則由拋射線之幾何學上性質，凡與其軸平行之光線，經反射後，皆精密的集於一點，此點謂之拋物線之焦點，反之，如置光點於此焦點時，則反射後，其光線即成平行而進行，雖達於遠方，亦不減其強度，故軍艦、砲台

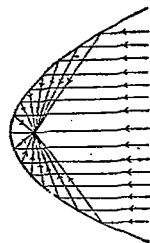


圖 一 八 〇

等所用以探照遠方之探照燈，即係使用此種反射鏡，而置光源於其焦點處者。

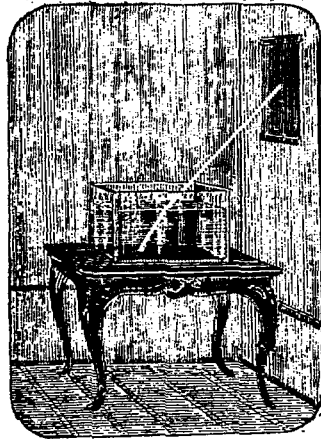
問 題

1. 當吾人對鏡時，設其鏡恰能照見吾人之全身，求鏡之長度。
2. 說明月照於微波之水面，其形延長之理由。
3. 置光點於半徑30 呎之凹面鏡前40 呎處，求其所生之像若何，又設置於鏡前10 呎處，其像如何。
4. 欲使半徑20 呎之凸面鏡前5 呎處生成物像，求物體應置於何處。
5. 置光點於球面鏡之前方15 呎處，而欲於鏡後10 呎處生成物像，求球面鏡之半徑幾何。
6. 置長1 呎之燭火於焦點距離30 呎之凹面鏡前36 呎處，求其所生像之位置及其長度。
7. 有距壁八英尺遠之燭火，今使其生成三倍長之實像於壁上，求應用焦點距離幾許之凹面鏡，且應置於何處。
8. 置長3 呎之物體於半徑24 呎之凸面鏡前方6 呎處，求其像生於何處，為長幾何。

第三章 光之屈折

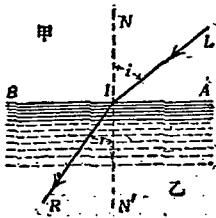
173. 屈折之定律：如前章所述，當光線進達於密度不

同之二媒質境界面時，則其一部分即向第一媒質內反射，同時殘餘部分則變更其方向屈折向第二媒質內而進行。此種現象，謂之光之屈折。如圖一八一所示，以赤色之水注入於四角之玻璃盆內，置之暗室中而引日光斜射於其表面時，則可見光線之一部分，變更其方向屈折



圖一八一

而進入水中。又如圖一八二所示，設 AB 為甲乙二媒質之境界面， LI 為投射光線， IR 為屈折光線。又於投射點 I 向境界面立法線 IN ，則其 $\angle LIN$ 角，謂之投射角， $\angle N'IR$ 角，謂之屈折角。由實驗結果，關於光之屈折現象，有定律如下。



圖一八二

(I) 投射光線與反射光線位於

法線之兩側，且與法線同在一平面內。

(II) 投射角之正弦與屈折角之正弦之比，為二媒質特有之常數與其投射角之大小無關。

上述之定律，謂之光線屈折之定律。

設投射角爲 i , 與此對應之屈折角爲 r , 則由上述定律, 得

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n$$

上式中之 n , 卽爲其大小與投射角無關之二媒質特有常數, 謂之由甲媒質進入於乙媒質之屈折率, 茲將數種重要物質之屈折率, 列表於下。

屈折率表

常溫·D 線

金剛石.....	2.49	冕號玻璃.....	1.53
火石玻璃.....	1.64	酒精.....	1.36
二硫化炭.....	1.63	水.....	1.33

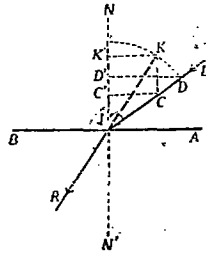
透過水晶, 方解石等結晶體而窺視物體時, 則如圖一八三所示, 通常皆見其有像二重, 其原因蓋由於光線進入於結晶體內, 經屈折後分而爲二線之故, 此種現象, 謂之複屈折, 此二屈折光線中, 其一線遵



圖 一 八

循通常之屈折定律者, 名之曰正常光線, 其他一線不遵從屈折之定律者, 則稱之爲異常光線。

174. 屈折線之作圖法 茲將既知其媒質之屈折率 n 後，就某投射光線以求其屈折光線之作圖法，述之於下。如圖一八四所示，設 AB 為境界面， LI 為投射光線， NI 為法線時，於投射點 I ，沿投射線之反對方向，取任意之長度 IC 為單位，次以 I 為圓心，以屈



圖一八四

折率 n 所表之長度 ID 為半徑作圓然後通過 C 點引 CK 線，使與法線相平行，待求得此線與圓周之交點 K 後，延長 KI 時，則 IR 線即為所求之屈折光線。因設投射角 LIN 為 i ，屈折角 RIN' 即 KIN 角為 r 時，則

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{DD'/ID}{KK'/IK} = \frac{DD'}{KK'} = \frac{DD'}{CC'}$$

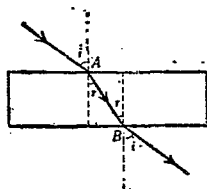
然二三角形 ICG' 及 IDD' 為相似形故

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{DD'}{CC'} = \frac{ID}{IC} = \frac{n}{1} = n$$

即屈折光線 IR ，合於屈折之定律。可知此作圖法之正確不誤。

如屈折率較 1 為大，則屈折甚強，其屈折線接近於投射點所引之法線。此時之乙媒質，較之於甲媒質，謂之密酒精之密度雖較水為小，然其屈折率則較水為大。故光學的密度，不必與普通之密度相一致。

175. 屈折光線之逆進 如圖一八五所示,設光線投射於透明之平行板上,於A·B點屈折後,再入於空氣中時;其屈折光線依原投射光線之方向平行而出如導日光於暗室中使投射於



圖一八五

厚玻璃上,當可實驗之,設A·B二點之投射角及屈折角各為*i*,*r*及*r'*,*i'*則依幾何學定理, $r'=r$.又屈折光線如上所述,與投射光線相平行,故*i'*=*i*.設A點上光由空氣進入玻璃板之屈折率為 ${}_a n_b$,B點上光由玻璃板再出至於空氣之屈折為 ${}_b n_a$ 則

$${}_a n_b = \frac{\sin i}{\sin r}; \quad {}_b n_a = \frac{\sin r'}{\sin i'}$$

$$\therefore {}_a n_b \cdot {}_b n_a = 1$$

$$\therefore {}_b n_a = \frac{1}{{}_a n_b}$$

即通常光線由甲媒質進入於乙媒質時之屈折率,等於光線由乙媒質進入於甲媒質之屈折率之逆數,例如水對於空氣之屈折率約為 $\frac{4}{3}$,故空氣對於水之屈折率為 $\frac{3}{4}$ 是,因 ${}_a n_b = \frac{1}{{}_b n_a}$,故沿屈折光線之反對方向而投射光線時,則光線沿其初之投射線而逆進,此種現象,謂之屈折光線之逆進.

176. 全反射 光線由粗媒質投射於密媒質,例如由空

氣投射於水及玻璃等時，則無論其投射角度如何，均有一部分之光線被其反射。同時殘餘之光線，即行屈折，設其投射角為 i ，屈折角為 r ，屈折率為 n 時，則

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n; \quad \sin r = \frac{\sin i}{n}$$

於上式，其屈折率 $n > 1$ ，故縱令投射角 i 增至 90 度，使 $\sin i$ 取最大之值 1 時，亦 $\frac{\sin i}{n} < 1$ ，因之其屈折角 r 當屬可能。

反之，設光由水、玻璃等密媒質投射於粗媒質如空氣等時，則其屈折率為前之逆數。故

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$$

$$\therefore \sin r = n \sin i$$

於上式，設 $n \sin i = 1$

$$\text{則 } \sin i = \frac{1}{n} \dots \dots \dots (a)$$

時，其屈折角 r 成 90 度，屈折光線即沿境界面而進行。如投射角 i 超過此值時，則成 $n \sin i > 1$ 。其與此對應之屈折角，不能存在。由實驗之結果，此時投射光線之全部，概行反射。二媒質之境界面，成為理想的鏡面。此種現象，謂之全反射。全反射開始時之投射角，即對於屈折角 90 度之投射角，謂之臨界角。臨界角之大小，可依 (a) 式以算出之。例如光由水中出至空氣中時，

$$\sin i = \frac{1}{\frac{4}{3}} = \frac{3}{4}$$

$$\therefore i = 48^{\circ}30'$$

是依同樣之計算，光由玻璃出於空氣中之臨界角為 $41^{\circ}30'$ ，由玻璃出於水中之臨界角為 $62^{\circ}44'$ 。

凡行全反射之投射光線，其全部概行反射，故反射光線

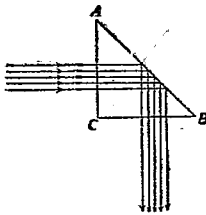


圖 一 八 六

之強度，毫不減少。故光學器械等於

變更光線之方向時，常利用此種作

用。如圖一八六所示，以光線垂直投

射於斷面成直角之二等邊三角形

玻璃柱之一面 AC 時，則光線以 45

度之投射角，投射於 AB 面，故 $(45^{\circ} >$

臨界角 $41^{\circ}30')$ 光線之全部，即依直角之方向而反射，其強度毫不減少。

177. 屈折像 吾人由上方觀看水中之物體時，所見水中物體之位置，常較其原來位置為高。例如澄清之河底，望之雖甚淺，而涉之則甚深。是此種現象，蓋由於光線之屈折作用而起。如圖一八七所示，設 L 為水中之光點，由此點垂直投射於境界面 AB 之光線 LN，雖不變更其方向沿直的向上方而進行，但投射點距離 N 點愈遠時，其屈折線與法線所成之角度亦愈大。若將此諸屈折光線依反對方向

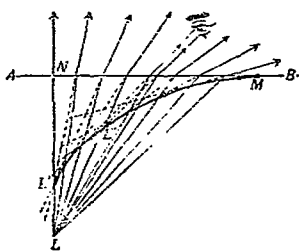


圖 一 八 七

延長之，則諸延長線悉為曲線 $L'I''M$ 之切線故以目承受此等屈折線時，則光點之虛像 L'' ，現於此曲線上，且如窺見之方向愈斜時，其像 L'' 愈沿曲線而上升，如圖一八八所示，沈棒之一段

於水中，則棒之各部因深度及對目之斜度各不相同，故順次呈浮起之現象，以致於出水面處成折斷之形狀。

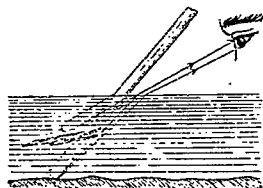


圖 一 八 八

178. 大氣中之屈折 光線由真空中進入於攝氏零度壓力一氣壓之空氣中時，其屈折率之值為 1.000294 。此數謂之空氣之絕對屈折率，此絕對屈折率，因其溫度與壓力之不同，即因其密度之不同而有差異，依實驗之結果，空氣之絕對屈折率 n ，與其密度 d 間有

$$\frac{n-1}{d} = \text{常數}$$

之關係，可知空氣之密度愈小時，其屈折率亦愈小。

圍繞於地球之大氣，其密度自上層進至於下層，隨進隨增，故其屈折率亦愈低愈大，如圖一八九所示，由天體 S 達於地面之光線進入於大氣中後，於各氣層順次與垂線相

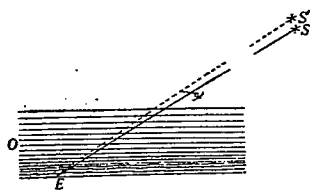


圖 一 八 九

接近而屈折。故吾人所見之天體，實際較其原有之位置高一 a 之角度。位於天頂之天體，其 $a=0$ 。天體愈近地平線時，其 a 之值愈大。當天體正經過地

平線時，其 $a=30'$ ，故日出時太陽雖尚未升至地平線上，及日沒時太陽雖已降至地平線下，而吾人均能暫時間望見之。

當天氣溫和，大氣靜穩之時，海面上常有島嶼、船舶等倒映於空中之事。此種現象，謂之蜃樓。蜃樓之起因，由於大氣中之屈折率愈高而愈小之故。例如如圖一九〇所示，由船舶發射於上方之光線，因屈折結果，順次與法線遠離，終至成爲全反射而進入於吾人之目中，故感覺空中生成倒像。又熱帶地方之沙漠中，亦常有如圖一九一所示，有如映於水面之倒影出現。其原因爲接近地面之空

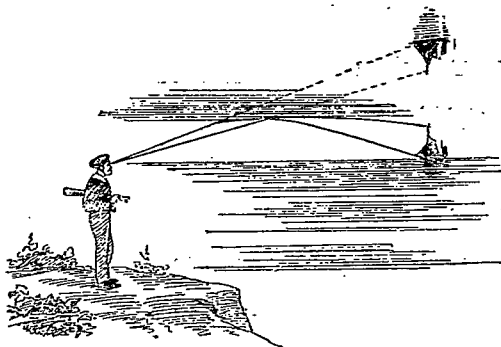


圖 一 九 〇

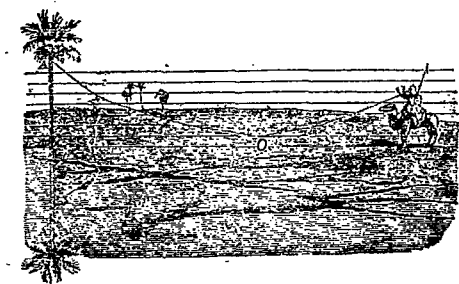


圖 一 九 一

方,因以生成屈折之像

隔炭火而觀看物體時,常覺物體呈動搖之象,其原因由於被熱而異其密度之空氣層,亂雜上昇,使光線屈折於種種方向之故。又秋夜納涼時,常見星光閃爍不定者,亦因上層之氣流變化甚烈,空氣層之分布紛亂,致光線屈折之方向時行變更之故。

179. 三稜鏡 透明體之成三角形柱狀者,謂之三稜鏡。其二面之夾角,謂之三稜鏡之角。二面之交線,謂之三稜鏡之稜。通常所用之三稜鏡,多以玻璃或水晶製作而成,其斷面常成正三角形。

如圖一九二所示,以光線LM投射於三稜鏡之一面AB上,則光線之一部分於

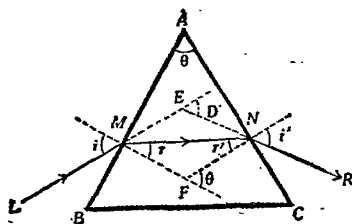


圖 一 九 二

氣,受劇熱之作用,減少其密度,因之愈高而密度愈大,故由樹木發出進入於下方之光線,遂致如圖所示,行全反射而達於上

M·N 點屈折之後，依 NR 方向而出至於空氣中，即投射光線 L M E 因通過三稜鏡後，致被屈折偏傾一 D 角而向 E N R 之方向進行，此 D 角謂之偏角，因此角為三角形 E M N 之外角，故

$$D = \angle EMN + \angle ENM = i - r + i' - r'$$

設三稜鏡之稜角 ϕ 甚小，且投射角 i 亦小時，則 r, r', i', i' 等角亦小，故此諸角之正弦，可各以弧度法所表其角之度數以代之，如三稜鏡之屈折率為 n ，則由屈折定律，得式如下。

$$i = nr; \quad i' = nr'$$

$$\therefore D = (n-1)(r+r')$$

設投射點 M·N 所引垂線之交點為 F，則因四角形 A M F N 之二角 M·N 各為直角，故 F 點之外角，等於三稜鏡之稜角 ϕ ，然 F 點之外角，更為三角形 M F N 之外角，故

$$\phi = r+r'$$

$$\therefore D = (n-1)\phi$$

由上式，如投射角及三稜鏡之稜角甚小時，偏角 D 之大小與投射角無關，其值隨三稜鏡之稜角或屈折率等而異，如稜角或屈折率甚大時，D 之值亦大。

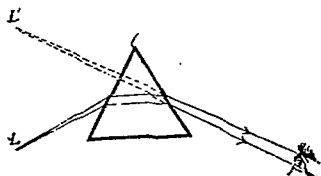
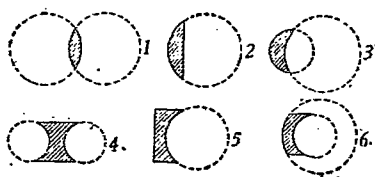


圖 一 九 三

隔三稜鏡而窺望物體時，

所見者為物體之倒立像。而像之輪廓，常附有多少色彩。其理由容後說明。

180. 透鏡 研磨玻璃或水晶等透明體使成如圖一九四所示之形狀，其兩面或俱為球面，或一面為球面而他面



為平面者，謂之透鏡。構成透鏡之圓球中心之連結線，謂之透鏡之軸。透鏡之軸位於透鏡內部之中點，謂之光心。通常對於中央

部分凸起之透鏡，謂之凸透鏡。中央部分凹陷之透鏡，謂之凹透鏡。其種類如圖一九四所示，共計六種。即

- | | |
|---------|---------|
| 1. 兩凸透鏡 | 4. 兩凹透鏡 |
| 2. 平凸透鏡 | 5. 平凹透鏡 |
| 3. 凸凹透鏡 | 6. 凹凸透鏡 |

如圖一九五所示，透鏡可視作屈折角相異之多數三稜鏡集合而成。即透鏡之中央為屈折角為零之三稜鏡即平行板，而距透鏡之緣愈近者，其屈折角亦愈大。故投射光線於透鏡時，則屈折光線愈近透

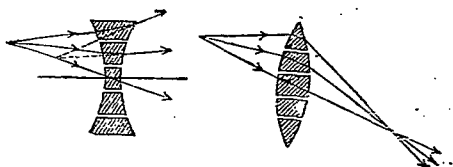
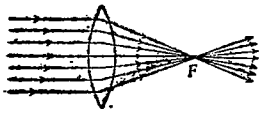


圖 一 九 五

鏡之緣，其偏角亦愈大。可知凸透鏡對於光線有收斂之作用。凹透鏡對於光線有發散之作用。故凸透鏡有時亦稱收斂透鏡，凹透鏡有時亦稱發散透鏡。

181. 凸透鏡 導平行日光於暗室中，使與凸透鏡之軸平行而投射時，則屈折後，其屈折光線，即聚集於透鏡之後



方一定點 F 處，結成實像。此點 F 謂之透鏡之主焦點，或單稱焦點。焦點與透鏡中心之距離，謂之焦點距離。

圖一九六

次置光點 P 於軸上之焦點外，而置屏風於他側之軸上以探索其所結之像時，可得知於一定點 Q 處，結成倒立之實像。反之，設 Q 為光點時，則屈折光線成逆進，其像即生於 P 點，即 P, Q 二點有如球面



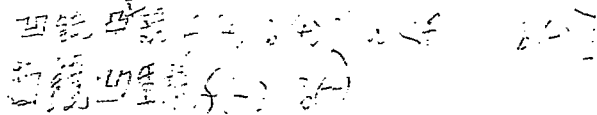
圖一九七

鏡之共軛焦點之性質。設光點 P 及像 Q 與透鏡中心之距離各為 a, b ，焦點距離為 f ，則由實驗之結果，其關係如下式。

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

182. 透鏡之公式 上節之公式，亦可由理論上計算以得之。茲述其方法如下。

如圖一九八所示， AB 為透鏡， P 為透鏡軸上之光點， P



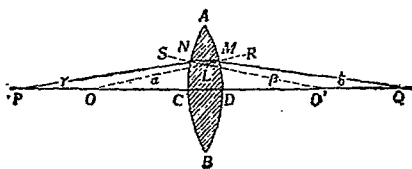


圖 一 九 八

N 爲由 P 點發出光線中之任意一線，此光線通過透鏡後，其方向爲 MQ。O, O' 爲

構成透鏡兩面之圓球球心，如連結 OM, O'N 二線時，則此二線各於 MN 二點垂直於透鏡之面，又

$$\begin{aligned} \angle SNP = i & & \angle MNO' = r \\ \angle RMQ = i' & & \angle NMO = r' \end{aligned}$$

設透鏡之屈折率爲 n ，由屈折定律，

$$\sin i = n \sin r \qquad \sin i' = n \sin r'$$

如 NC, MD 等比之於 PC, OC, DQ, DO' 等極爲微小時，則 i, r, i', r' 等亦極爲微小，故可用弧度以代其正弦，即

$$i = nr \qquad i' = nr'$$

$$\therefore i + i' = n(r + r') \dots\dots\dots(1)$$

又設 $\angle COL = \alpha, \angle DO'L = \beta, \angle CPN = r, \angle DQM = \delta$ 則

$$i = \beta + r \qquad i' = \alpha + \delta$$

$$\text{故 } i + i' = \alpha + \beta + r + \delta \dots\dots\dots(2)$$

又二三角形 NML 與 O O'L 之頂角相等，因其餘二角之和亦相等，故

$$r + r' = \alpha + \beta \dots\dots\dots(3)$$

由(1)(2)(3)式,得

$$n(r+r')=n(\alpha+\beta)=\alpha+\beta+r+\delta$$

$$\text{或 } r+\delta=(n-1)(\alpha+\beta)\dots\dots\dots(4)$$

因 NC 甚為微小,而視作以 O' 或 Q 為中心之圓之一部分,其 MD 亦同,故設透鏡兩面之半徑各為 R, R' 時,則

$$\alpha = \frac{MD}{R}, \quad \beta = \frac{NC}{R'}, \quad r = \frac{MD}{a}, \quad \delta = \frac{NC}{b}$$

將上式之值代入(4)式,得

$$\frac{MP}{a} + \frac{NC}{b} = (n-1) \left\{ \frac{MD}{R} + \frac{NC}{R'} \right\}$$

因 NC 與 MD 殆屬相等,故以 NC 或 MD 除上式之兩邊時,則得

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) \left\{ \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

於上式,其 a 之值一定時,則 b 之值亦一定,故由 P 發出之光線屈折後,皆通過 Q 點,即 Q 為 P 之像,置

$$(n-1) \left\{ \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right\} = \frac{1}{f}$$

時,則(5)式即成下列之形式.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

設 $a = \infty$ 時,則 $b = f$, 故 f 為平行光線投射於透鏡面上屈折後所集之點之距離,即透鏡之焦點距離是.

次置光點 P 於軸上焦點以內時,則投射於透鏡之光線

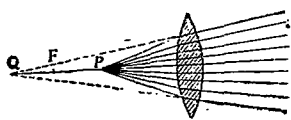


圖 一 九 九

屈折後如圖一九九所示，向外發散。然由透鏡之前方觀之，則宛如由軸上一點 Q 所發出。蓋因屈折光線依其反

對方向延長之，則皆聚集於此點之故。其理可由前述之同樣理論以證明之。設由 P 所發光線中之任意光線，通過透鏡後依其反對之方向延長之，其與透鏡軸之交點為 Q。透鏡中心至 P, Q 之距離各為 a, b ，則由前之論法，可得下式之關係。

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

183. 物體之像 光點如在軸外之位置，則由此發出之光線，通過透鏡後，屈折而集合於光點與透鏡光心之連結線上。因光點之像之位置，為光點發出光線中任意二線屈折後相會之點。故作圖時，僅須求得其任意二線屈折後之交點即可。此二線通常皆取其通過光心及與透鏡軸平行者，俾作圖時較為便利。因與透鏡軸平行之光線，通過透鏡後必經過焦點。又通過光心之光線，通過透鏡後不變其方向。故此二線通過透鏡後之方向及其會合點容易求得之。

如圖二〇〇所示，置物體 A B C 於透鏡之前方，則由物體之一點 A 發出光線中，其通過光心 O 及與透鏡軸平行者，屈折後之交點 A'，即為 A 之像。同樣可求得 B, C 等點之

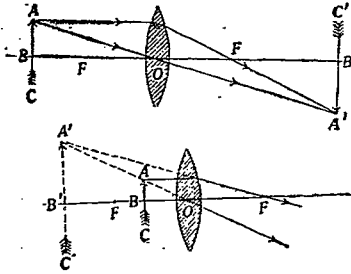


圖 二 〇 〇

之像為 B', C' 等。此諸點像，順次集合，即成為物體之像。由作圖法，可知物體位於焦點之外時，則生倒立之實像。位於焦點以內時，則生直立之虛像。其像之大小與實物之比，等於透

鏡之光心至像及實物之距離之比。

184. 凹透鏡 與凹透鏡之軸平行之光線，投射於透鏡，經屈折後雖向外方發散，然置目於透鏡之彼方觀之，則覺光線宛由其軸上一點 F 所發出。可知通過凹透鏡之光線，如依反對之方向延長之，則會合於一點。此點謂之凹透鏡之焦點。同樣，置光點於凹透鏡軸上之一點 P ，則由此發出之光線，通過透鏡後雖向四方而發散，然若依發散後之方向反對延長之，則亦會於近透鏡之軸上一點 Q 。

設由透鏡中心至 P, Q 之距離各為 a, b ，其焦點距離為 f ，則與光點位於凸透鏡之焦點內時相同，其關係如下式

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

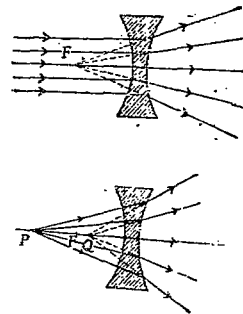


圖 二 〇 一

又光點不位於透鏡之軸上時，上式之關係亦能成立。

凹透鏡之光點與像之關係，與凸透鏡迥異。即光點在無限遠之距離時，生成虛像於其焦點處。待光點由無限遠距離漸次移近透鏡時，其虛像亦由焦點漸次移近於透鏡。雖光點移至焦點後，其虛像亦不去至無限遠處而位於透鏡與焦點之中央。如光點再行接近透鏡時，其虛像亦隨之接近透鏡。此種種關係，若就上式而推究之，則更易明瞭。

次置物體於透鏡之前方，隔透鏡而望其彼方之物體。其所見之像之模樣，可與凸透鏡時同一論法以討論之。即先由物體一點 A 發出之光線中，取一與軸平行之光線及一

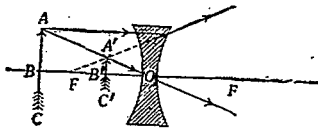


圖 二 〇 二

通過光心之光線，於其屈折後而求其交點。是，其與鏡軸平行之光線，通過透鏡後依反對之方向延長之，必通過焦點 F。而通過光心之光線，依原來之方向進行，不稍改變。故此二光線通過透鏡後之交點 A'，即為 A 點之像。同樣，如圖二〇二所示物體上 B、C 等點之像，各為 B'、C' 等。因之物體 ABC 之像，成為 A'B'C' 而現出。

凡凹透鏡所生之像，皆屬虛像。且常較實物為小。

185. 透鏡之球面收差 以上所論者，僅限於透鏡之曲度極小時，光線投射於透鏡中央之附近部分，則通過透鏡

後之光線，殆全行聚集於一點。然投射於透鏡表面全體之光線，經屈折後，不全行聚集於一點。其通過透鏡邊緣之光線，較之通過透鏡中央之光線所成焦點，常距透鏡較近。因之物體之像，其輪廓即欠鮮明。此種現象，謂之透鏡之球面收差。如欲免去透鏡之此種缺點時，通常皆置中穿小孔之不透明薄板於透鏡之前，僅用其投射於中央部分之光線即可。此時其輪廓雖較鮮明，但其像之亮度則甚為減少。

問 題

1. 試計算屈折率為 $\frac{3}{2}$ 半徑為 30 糎之平凸透鏡之焦點距離。
2. 設置物體於透鏡之前方 30 糎處時，則其像生於透鏡之後方 10 糎處。求透鏡之焦點距離幾何，及其透鏡為凸或為凹。
3. 置長 5 糎之物體於焦點距離 8 糎之透鏡前方 12 糎處，求像之生成處及其長度。
4. 設燭火與屏風之距離為 36 糎，今有一焦點距離 8 糎之凸透鏡，問此透鏡須置於何處，則屏風上始能生成實像。
5. 設置物體於凸透鏡前方 20 糎處，其所生之實像為物體之二倍長，求透鏡之焦點距離。
6. 設置一長 5 糎之物體於焦點距離 15 糎之凹透鏡

前方 10 厘米處，求其所生虛像之位置及其大小。

7. 設置物體於凹透鏡前方之 50 厘米處，其所生虛像之長等於實物之 $\frac{1}{5}$ ，求透鏡之焦點距離幾何。

第四章 視覺

186. 眼 眼為自然賦與吾人之光學器械，其構造雖不能謂之全無缺點，然亦不失其巧妙，茲將其構造說明之如下。

如圖二〇三所示，眼之全體為堅固之外皮，包成一暗室；其外被之一部分 A' ，為透明之球狀薄膜，突出於眼之前方，

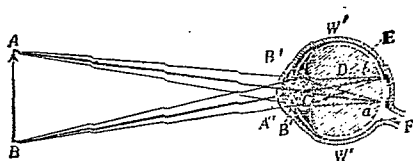


圖 二 〇 三

謂之角膜，又外被 W' ， W' 為白色不透明體，謂之白膜。通常之所謂青眼者，即指角膜；白眼者，即指白膜而言。

又 B' 為圓形之瞳孔，其孔之大小，由肌肉之作用，可以任意變更之，俾應光線之強弱，而調節進入於眼中之光量。C 為稱為水晶體之透明體，具凸透鏡之作用。再水晶體之後方，充滿玻璃狀之液體，謂之水樣液。F 為網膜，神經之末端，即散布於此膜上。

由外界發來之光線，先進入於瞳孔內，由水晶體屈折之

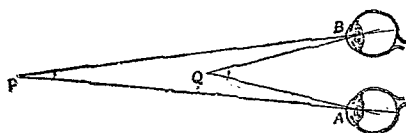
而結成物體之倒像，即映於網膜上，刺激視神經以起視覺。水晶體因筋肉之作用，其彎曲度多少可藉以調整之，故常應物體之遠近，使其像恰生於網膜之上面。

如上所述，眼底所生之物像，既係倒立，而吾人仍能認知其物體為直立者，其故為何？欲明此理，可以警鐘報警之譬以喻之。例如聞得鐘聲為二次時，判定火警屬西方，聞得鐘聲為三次時，判定火警在南方時，吾人之判定方位方法，完全由於一種約定，而非西方定與二次有關，南方定與三次有關也。吾人之認識物體，其理亦然。因吾人之認識物體，並非直接認識其眼中所生之像，而為由物體之像，刺激視神經使起一種感覺後，其視神經再將此感覺傳達於腦中，因而始行認知其物體。物體之像，經此視神經之傳達後，即已將其上下之位置移換，其作用與警鐘之因鐘聲次數而辨別方位相同。

又吾人常用兩眼以觀看物體，而所見者僅為一物而非二物，其理亦可以視神經輾轉傳達之作用以說明之。因物體之像，如係生於兩眼眼底之相當部分，則兩眼之視神經傳送同一之報告於腦中，故腦中僅得認知一物體之存在。若物體之像，生於兩眼之不相當部分，則腦中接受相異之報告，即感覺為二物，例如以兩眼注視一物體後，以手指擠壓一方之眼球，使其變更位置時，則像生於兩眼眼底之不

相當部分物體即現二重之形狀是。

187. 光角與視角 以兩眼觀看一點，其點與眼之連結線所成之夾角謂之光角。其點距眼近，則光角大；距眼遠，則光角小。吾人所以能判斷物體距離之遠近者，即因此光角



有大小之故。故如以一眼單獨觀看物體時，即難於辨別其物體之遠近。

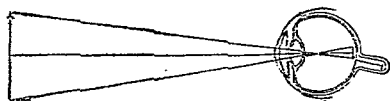


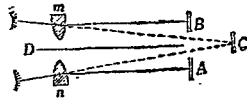
圖 二 〇 四

觀看有廣延之物體時，由其物之兩端引於一目之二線所夾之角度，謂之視角。視角之大小，雖與物體之大小有關，然亦因物體之遠近而異。例如雖同屬一物體，如其距離近，則視角大；距離遠，則視角小。是視角大時，則生於網膜上之像亦大；視角小時，則其像亦小。吾人通常能判定物體之大小者，即因此視角有大小之故。太陽與月球，其大小望之殆相等者，即因其實際之大小雖異，而其距離吾人之遠近不同，故對於吾人仍能作成相等之視角故也。

如上所述，吾人由兩眼之作用，得以認知物體之遠近，又雖同屬一物體，亦可區別其各部分之遠近。而通常之照片，為一目之作用以攝得者，故望之不能如實物之浮動有生

氣。然並置僅用左眼或右眼觀得同一物體之二圖，而仍以左眼觀左眼觀得之圖，右眼觀右眼觀得之圖時，則所見者，即儼如實物之真狀。

實體鏡即依上述之理由製成，其構造為剖分凸透鏡為二枚，使其邊緣相對而並置之，如圖二〇五所示，置右眼所見之圖於A處，左眼所見之圖於B處，則觀覽者透過透鏡n, m觀圖時；



僅能用右眼以觀A圖，左眼以觀B圖。故由A, B發出之二光線刺激視神經後，感覺之僅與單由C處所發出之光線同，因之即生與實物相同之視覺於C處。

188. 明視距離，近眼，遠眼 眼能由筋肉之作用以變更其水晶體之彎曲度，故不論物體距離之遠近如何，常可使其物像映於網膜之上，此種作用，謂之眼之調節。眼所能調節之範圍，雖由各眼而異，然健全之眼，對於自極遠方以至十五呎左右之近距離之物體，均能觀察之甚為明瞭，但如物體距眼愈近，則其觀察愈精，通常在不使眼生疲勞之範圍內，其物體最便於觀察之距離，約為二十五呎，此距離謂之明視距離。

近眼為眼底較深或水晶體彎曲度過大，致遠方物體之像，不能映於網膜上而生於其前方。又遠眼為眼底較淺或

水晶體過於扁平，致近距離物體之像，不能映於網膜上而生於其後方。二者均有缺憾，欲彌補此缺憾時，通常皆用眼鏡以助之。即置凸透鏡於遠視眼之前方時，則使進入眼中之光線，多少起收斂作用如其度數選之適當，當如圖二〇六所示，b 圖之遠眼變成 b' 圖之所示，其像恰映於網膜之上。同樣，置凹透鏡於近眼之前方，則光線多少起發散作用，能使

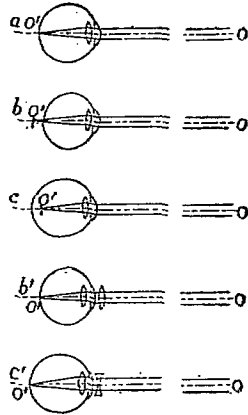


圖 二 〇 六

物體之像，亦恰映於網膜之上（參閱二〇六圖之 c, c' 二圖）。又圖二〇六之 a 所示者，為健全之眼，其物體之像，恰映於網膜之上。

老眼為調節作用衰退後，致水晶體彎曲之度不能充分增減，因之對於近距離之物體，觀之不能明瞭，故通常亦用凸透鏡以補救之。

189. 眼鏡之度數 眼鏡之度數，有新舊二式，舊式之度數，係以英寸表其透鏡之焦點距離之數而得者，例如十五度之眼鏡，即其透鏡之焦點距離為十五英寸是，故可知此式之眼鏡，其度數愈小，即其焦點距離愈小，隨之眼鏡之折光度愈強，新式之度數，則以透鏡之焦點距離一米為一度，

謂之一曲光度。又焦點距離 0.5 米之眼鏡為二曲光度。其二度以下之命名，均倣此。即二曲光度之眼鏡，其焦點距離為 $\frac{100}{2}$ 釐；三曲光度之眼鏡，其焦點距離為 $\frac{100}{3}$ 釐是。

通常醫院學校等檢查視力時，皆用視力表以行之。置此表於距離 20 英尺處，設被測者明視之最小文字為 20 號，則其人為正視。其視力書作 $\frac{20}{20}$ 。又若於同處，其明視之最小文字為 40 號，則其視力為 $\frac{20}{40}$ 。

190. 惑視 眼之判斷，常有不正確之處。例如如圖二〇七之甲所示，白紙上所畫之黑方形，與黑紙上所畫之白方形，其大小相等，而視之則黑者較白者為小。又乙圖之扇形，其大小亦相等。然視之常覺右邊較左邊為小。再丙圖之縱線，俱屬平行者，而望之則互相傾斜是。

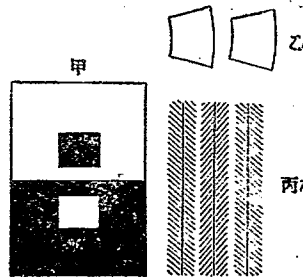


圖 二 〇 七

太陽及月球位於天頂時，較之位於地平線之附近時，望之覺甚微小。然實際測定此等視角之結果，其大小又復完全相等。其理因太陽與月球位於天頂時，係與其周圍之廣漠天空相比較，故望之甚小。猶之甚大之房屋，拆去其屋宇後而覺其地基甚小之理由相同。

問 題

1. 如 1 米 = 39.37 吋, 則 n 度之眼鏡, 其曲光度為幾度.
又 n 曲光度之眼鏡為幾度.

第五章 光學器械

191. 單顯微鏡 如欲明細的觀察物體時, 必須使眼接近於物體以增大其視角, 然後網膜上方能結成較大之物像. 但眼之調節作用, 有一定範圍. 如物體置近於此範圍以內時, 則網膜上之物像, 反不明晰. 單顯微鏡 為焦點距離甚小之凸透鏡, 用之可以增大吾人之視角. 即能將物體擴大之而便於觀察. 是如圖二〇八所示, 置物體 AB 於凸透鏡之焦點距離以內時, 則生成直立之虛像 $A'B'$, 其大小較實物為大. 如將物體或透鏡前後移動, 使像 $A'B'$ 位於眼之明視距離處而觀察之, 則較肉眼所見者, 當更明晰.

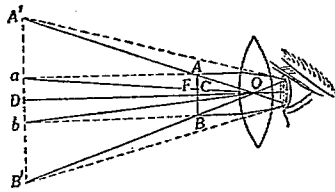


圖 二 〇 八

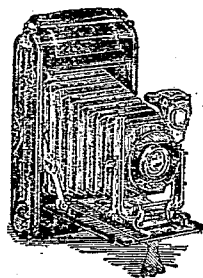
明視距離處所生虛像之大小, 與實物大小之比, 謂之單顯微鏡之倍率. 即

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OD}{OC}$$

是實際上因 AB 與焦點 F 極相接近, 故 OC 可視作透鏡

之焦點距離。故可知單顯微鏡之倍率，等於明視距離與焦點距離之比。即透鏡之焦點距離愈小時，則其倍率愈大。

192. 照相器 照相器為利用光線之化學作用，以印寫物像之器械。其主要部分為暗箱，及暗箱之前所裝凸透鏡與暗箱之後所裝毛玻璃等。因暗箱之側面，係用柔皮製成之蛇腹，故伸縮之可以調整透鏡與毛玻璃之距離。當攝影時，以透鏡向物體，伸縮蛇腹，使物體之實像映於毛玻璃上。次以蓋被覆透鏡，而於毛玻璃處換置塗有藥膜稱為乾片之玻璃片。再開蓋使物像映於片上若干時間，因此乾片為玻璃面上塗有含綠化銀，溴化銀等感光劑之藥膜者，故曝光後即應其映於膜上之像之明暗，致膜質內之藥劑起化學變化而生潛像。次於暗室中浸此乾片於現像液米吐爾，海特爾幾奴及鹹類等藥液中而行現像，則應藥膜上所起化學變化之強弱，膜上之銀鹽還原而生成濃淡與實物相反之畫影。更將此乾片取出而浸入於定像液次亞硫酸鈉之溶液中，則未起變化之銀鹽，概行溶去而殘留物體之反像於膜上，謂之陰畫。其後如置感光性之紙片於陰畫之下面，使之密着而曝於日光或燈光之下，重行上述之手續，則得濃淡與陰畫相反之陽畫，即為



圖二〇九

通常之照片。

193. 幻燈 如圖二
一〇所示者，為幻燈器
械之略圖。其箱之中央

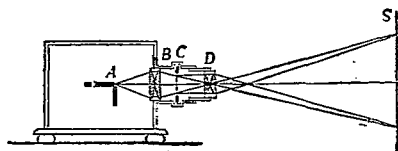


圖 二 一 〇

A 為強光源，B 為聚光之凸透鏡，C 為玻璃畫片，D 為映寫畫片之凸透鏡，由光源發出之光線，被凸透鏡 B 所收斂後，強照於玻璃畫片 C 上，故畫之實像，即因透鏡 D 而擴大，倒立於屏風 S 之上。其透鏡與玻璃畫片之距離，由螺旋之裝置，可以適當變更。故畫片上物體之像，能明晰的生於屏風之上。

194. 電影 吾人之視覺，甚為遲鈍，雖則刺激之光線已經消失之後，其網膜上所生之物像，亦能暫時間持續而不消滅。例如於夜間迴轉着火之線香時，則其火頭成輪形；又日中落下之雨點，望之成為雨線等是。依實驗結果，光線消失後之視覺殘存時間，約長 $\frac{1}{10}$ 秒，故在 $\frac{1}{10}$ 秒以內之運動體，如使其像依次映於網膜之上時；則物體起首之運動狀態尚殘留間，其次之運動狀態復行現於視覺，因之物體之運動狀態，即連續的表現於腦裏，使吾人感覺之，與物體實際運動之情形相同。

電影 即為應用上述原理，以幻燈現出物體連續運動之模樣者。其方法先將運動物體以每秒攝影十餘次之速度

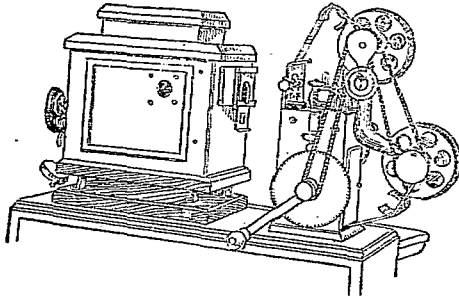


圖 二 一 一

連續的攝影,以製成透明之連續陽畫.將此畫置之幻燈器械中,以相同順序,相同速度,繼續映出之.則眼之網膜上,映受多

數之物體瞬間運動之連續像.因而感覺其像之運動,儼與真實物體之運動相同,無少差異.

195. 望遠鏡 望遠鏡為使遠方之物體移近而擴大之,俾便於觀察之裝置.其構造為於鉅大金屬圓筒之一端,嵌一凸透鏡A,謂之對物鏡;他端插一小圓筒,筒端固定一小凸透鏡B,謂之對眼鏡.此小筒可以自由移動,藉以調節A B間之距離.茲將望遠鏡能使遠方物體移近觀察之理由,略述於下.如

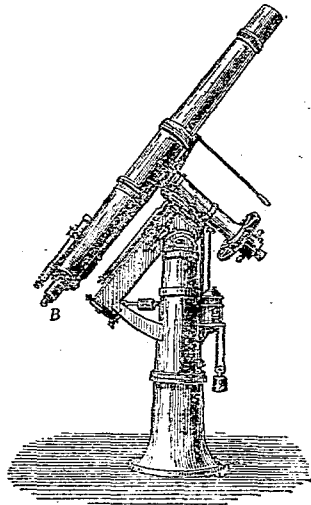


圖 二 一 二

圖二一三所示物體
 P Q 之像,因對物透
 鏡屈折之後,生於其
 主焦點之附近 P'Q'
 處,次適當移動對眼

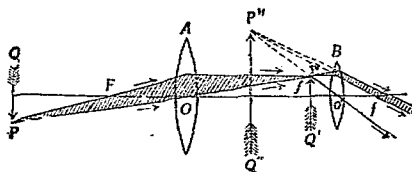


圖 二 一 三

鏡,使物體之像,位於其焦點內,則像因對眼鏡而擴大,成爲
 P''Q''之虛像,故由望遠鏡以觀望物體時,則物體 P Q 倒立
 而成 P''Q''.

望遠鏡所見物體之像之視角,與直接所見物體之視角
 之比,謂之望遠鏡之倍率,因物體之位置,通常皆在極遠處
 故物體之視角,可視作等於物體對於對物鏡中心之所含
 角度,即爲 Q O P 角,又眼與對眼鏡甚相接近,因之像之視
 角,可視作像對於對眼鏡中心所含角度,即爲 P'O'Q'角,故

$$\text{倍率} = \frac{\angle P'O'Q'}{\angle POQ}$$

然此等角度,均極微小,且 P'Q' 與 O O' 之交點,可視作與
 f 相合,故

$$\angle POQ = \angle P'O'Q' = \frac{P'Q'}{O'f}$$

$$\text{又 } \angle P'O'Q' = \frac{P'Q'}{O'f}$$

$$\text{因之 } \text{倍率} = \frac{P'Q'}{O'f} : \frac{P'Q'}{O'f} = \frac{O'f}{O'f}$$

因 O'f 與 O'f 殆等於對物鏡與對眼鏡之焦點距離,故望

遠鏡之倍率，等於對物鏡與對眼鏡之焦點距離之比。

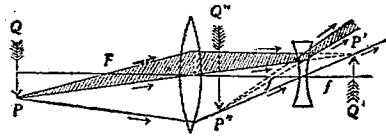


圖 二 一 四

賈理熱之望遠鏡

係用凹透鏡以作對眼鏡者，故所生之物像，能直立映現於眼簾。用之以觀覽風景，至為便利，如圖二一四所示，由物體發出之光線，通過對物鏡後，於結成實像 P'Q' 之前，須再通過對眼鏡，因被發散而生成直立之虛像 P''Q''。

雙眼鏡之構造，為並列一對賈理熱之望遠鏡而成，因其

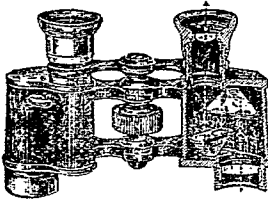


圖 二 一 五

圖筒甚短，故極便攜帶。又有一種筒中嵌入二個直角三稜鏡之望遠鏡者，因二直角三稜鏡之屈折稜，互成直角而對峙，由其反射之作用，因之可以減少圓筒之長度，故輕巧而便於攜帶。

196. 顯微鏡 顯微鏡為使極微細之物體，擴大之而便於觀察之裝置。其構造略與望遠鏡相似，但望遠鏡之對物鏡，其焦點距離甚長，而顯微鏡之對物鏡，其焦點距離則極短。又顯微鏡之對物鏡 A 與對眼鏡 B，其間之距離一定不變，而由螺旋之作用以使其全體移動，俾達於明視距離。放置物體 P Q 於對物鏡 A 之外方焦點附近處，則先由對物

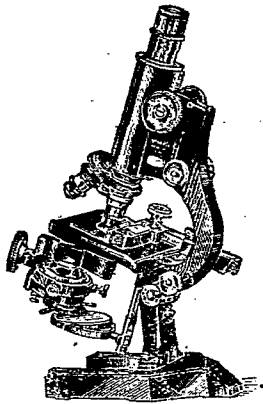


圖 二 一 六

鏡擴大而成實像 $P'Q'$ 。因此像 $P'Q'$ 由顯微鏡之構造，生於對眼鏡 B 之焦點內，故再由對眼鏡擴大之而成虛像 $P''Q''$ 。

顯微鏡之對物鏡，通常皆由二個或三個透鏡組合而成，用以增加其擴大之程度，併使物像鮮明，易於觀察。

物體由顯

微鏡所見之視角，與置於明視距離處肉眼所見之視角之比，謂之顯微鏡之倍率。通常所謂五百倍，七百倍者，皆指此比為五百倍，七百倍，而非其面積之比為五百倍，七百倍也。若求其面積之比時，則更須將此比之值自乘始可。

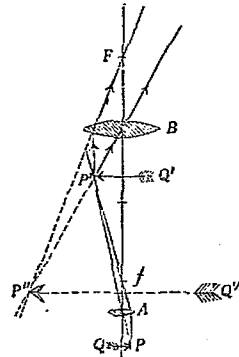


圖 二 一 七

第六章 光之分散與輻射線

197. 光之分散 導太陽之光線 S 於暗室中，使之通過三稜鏡 P 時，則光線屈折後，成為各種美麗之色彩，排列成帶狀而現於牆壁之上。依其色彩之最著者，列舉之約為赤，

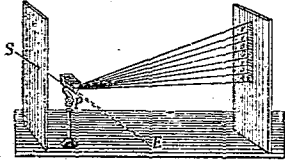


圖 二 一 八

橙,黃,綠,青,藍,紫等七色.此種光線分解為種種色光之現象,謂之光之分散.其色光之排列,謂之光帶.由光之分解現象,可知

日光原由無數屈折率相異之色光混合而成.茲將上述之七種色光對於水之屈折率,列表於下.

觀右表,可知赤光之屈折率最小,紫光之屈折率最大.故赤光所受之偏角亦小,因之位於光帶之下面.紫光所受之偏角最大,故位於光帶之上面.其餘諸色光之屈折率,介於此二種色光之間,故其所受之偏角,亦間於此二種色光之偏角間,因之屈折後其位置亦位於二

赤(A).....	1.329
橙(C).....	1.332
黃(D).....	1.334
綠(E).....	1.336
青(F).....	1.338
藍(G).....	1.341
紫(H).....	1.344

種色光間,用以連成帶狀.

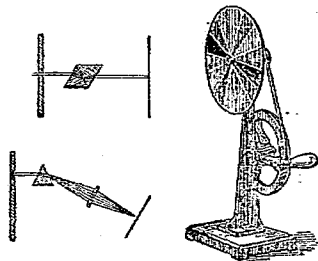


圖 二 一 九

如圖二一九所示,將一次通過三稜鏡後分散之各種色光,再使之通過於第二之三稜鏡,起反對之屈折,或將凸透鏡收集此通過三稜鏡

後分散而成之各色光時，則均能成爲白色之光。牛頓氏曾於圓板上劃分適當之七格，而各塗以上述之七種色彩，則迴轉此圓板時，其板面即呈白色。徵之於此諸種實驗，足以證明白光爲上述之七種色光混合而成。此圓板謂之牛頓之七色板。

198. 原色與餘色 於太陽光帶中，如將其赤光遮斷，而將其餘諸色光聚集之，則現青綠色，反之，如遮斷其青綠色光，而收集其殘餘色光時，則現赤色。又將青綠色光與赤色光相混合時，則變成白光。一般將二色混合而成白色時，其二色謂之互爲餘色，例如青與橙，藍與黃，紫與黃綠等，皆互爲餘色是。又赤綠紫三色，如適當混合之，能成白色或其他之任意色彩，故此三色，特稱之爲原色。

199. 透鏡之色收差 導種種色光混合之光如日光等，使通過凸透鏡 A B 而起屈折時，則因各種色光之屈折率不同，故其集合點之位置亦多少有差異，例如如圖二二〇所示，其屈折率甚大之紫色光，結焦點於距透鏡近處，屈折率甚小之赤色光，結焦點於距透鏡遠處，故置紙片於焦點內面附近，使承受屈折後之光線時，則像之周圍，即帶赤色。又置紙片於焦點外面之附近，則像

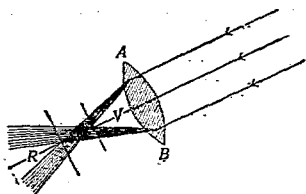


圖 二 二 〇

紙片於焦點外面之附近，則像

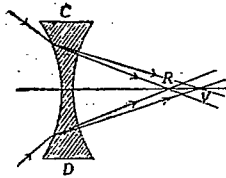


圖 二 二 一

之周圍，即帶紫色。
次使光線通過凹透鏡 C D 時，則如圖二二一所示，其屈折率甚大之紫色光，結焦點於透鏡遠處，屈折率甚小之赤色光結焦點於透鏡近處，故置紙片

於焦點內面附近，使承受屈折後之光線時，則像之周圍，反帶紫色。置紙片於焦點外面附近時，則像之周圍，即帶赤色。此種透鏡所成之像，其輪廓帶有色彩之現象，謂之透鏡之色收差。色收差之作用，能使物體之像欠缺明瞭。故精巧之光學器械，為防止此弊起見，通常皆用減色透鏡。

減色透鏡，由彎曲度適當之冕號玻璃之凸透鏡與火石玻璃之凹透鏡互相密着疊合而成。因火石玻璃之屈折率，較之冕號玻璃為大，故如將二透鏡之彎曲度選之適當，即可作成無色收差之透鏡。茲將減色透鏡之作用，述之於下。

如圖二二二所示，設白色光線 A B 投射於透鏡面上，則由凸透鏡之屈折，其中赤色光線，稍行屈折後向 B C₁ 之方向進行；紫色光線屈折較強，屈折後向 B C₂ 之方向進行。故如無凹透鏡時，則通過凸透鏡後之赤光與紫光，各向 C₁ D₁ 與 C₂ D₂ 之方向而分散。然與凸透鏡密合之凹透鏡，具

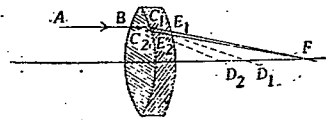


圖 二 二 二

有使此等色光屈折向其厚部進行之作用。因紫光較赤光屈折向厚部進行之作用更強，故屈折後赤光向 C_1E_1 之方向進行，紫光向 C_2E_2 之方向進行。若二透鏡之彎曲度能選之適當，則通過透鏡後之赤紫二種光線，可使之會於一點 F ，令其不起分散作用。通常望遠鏡、顯微鏡等所用之減色透鏡，僅為對於吾人感覺最強之橙綠二色而施以減色作用者，至製作各色完全消滅之透鏡，則為不可能之事實。

200. 虹 虹為日光射於浮游於空氣中之無數水滴上屈折而成之現象。吾人除能於天空中常見七色橋形外，尚可於瀑布近傍水沫飛騰處，得見七色之弧形。或背向太陽而噴水成霧時，亦能得見小規模之人工虹。

由太陽發來之平行光線，投射於水滴時，先由其表面起屈折，其一部分即進入於水滴之內，於水滴之內部，再行反射而出至於空氣之中。日光經此二次屈折，一次反射而出至水滴之外時，通常多行發散，因光之強度與其距離之自乘成反比例，故此光線在距離水滴甚遠之觀測者，無由得

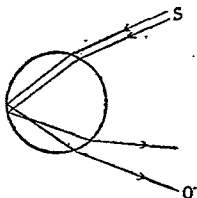


圖 二 二 三

見之。然投射於水滴某點之光線，經此屈折與反射出至於空氣後，可再行平行而進行。因平行之光線，雖進至於任何遠方，亦不稍減其強度。故此光線雖處於遠方之觀測者，亦能感受其強光。

由人工生虹之方法,可依下之實驗以行之。如圖二二四所示,由小孔 O 導日光於暗室內,使投射於滿盛以水之小玻璃球 C D E 上;則日光進入水球後,即起分散作用,於球之

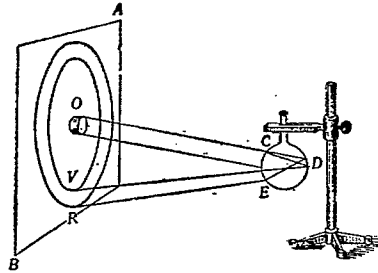


圖 二 二 四

內面再行反射屈折以出至球外,故壁上現出圓形之色環 V 及 R,其外側之色環 R 呈赤色,而內側之色環 V 呈紫色。

如圖二二五所示,假設日光為由一種單色光線而成時,則可於投射於水滴上之平行光線中,取其狹小之一束 A B, A' B' 而研究之。因 A B 之投射角 i 大於 A' B' 之投射角 i' ,故 A B 之屈折角 r 亦大於 A' B' 之屈折角 r' 。故由 B 點之位置如何,可使其屈折光線會合於水滴表面上之一點 F。此時二光線對於 F 與球心 O 之連結線,成等角而反射, F D 與 B F 及 B' F 與 D' F 皆對於 F O 而取對稱之位置。

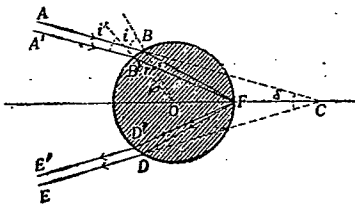


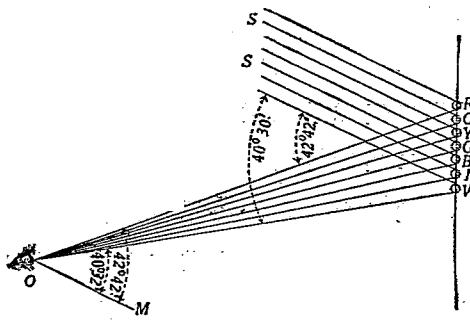
圖 二 二 五

故此等光線屈折而出至於空氣中時,再互成平行以 F O 為對稱軸而與 A B, A' B' 等取對稱之位置。因之在 D E 方向之觀測

者,雖與水滴相距甚遠,亦能感受強光。

此種特別投射角之數值,因各色光之種類而異,其赤光則為 $i=59^{\circ}3'9''$, $r=40^{\circ}30'$; 而紫光則為 $i=58^{\circ}46'$, $r=39^{\circ}31'$ 。又光線所受之偏角,其赤光為 $42^{\circ}42'$, 紫光為 $40^{\circ}32'$ 。

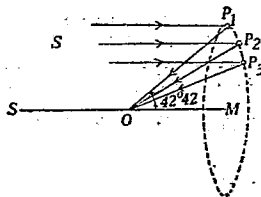
如圖二二六所示, O 為觀測者之位置, $S R, S V$ 為太陽



投射於水滴之光線, OM 為與 SR 平行之直線, 則與 OM 成 $42^{\circ}42'$ 角度方向之水滴 R , 由上述之理, 送強度之赤光於觀

圖 二 二 六

測者之目中, 而與 OM 成 $40^{\circ}32'$ 角度方向之水滴 V , 則送強度之紫光於觀測者之目中, 如圖二二七所示, 今以 OM 為



軸, 則位於迴轉 OR 或 OV 時所生圓錐上之水滴 P_1, P_2, P_3 等送入觀測者目中之光線, 皆有上述之偏角, 故皆屬強度赤光或紫光, 因之赤光成 $42^{\circ}42'$ 之角半徑之弧狀, 紫光成 $40^{\circ}32'$ 之角半徑之弧狀, 而現出於與太陽反對

圖 二 二 七

之方向,又橙,黃,綠,青等光線進入水滴屈折後成爲平行光線之方向,皆位於赤光與紫光之間,故各種色光即依光帶

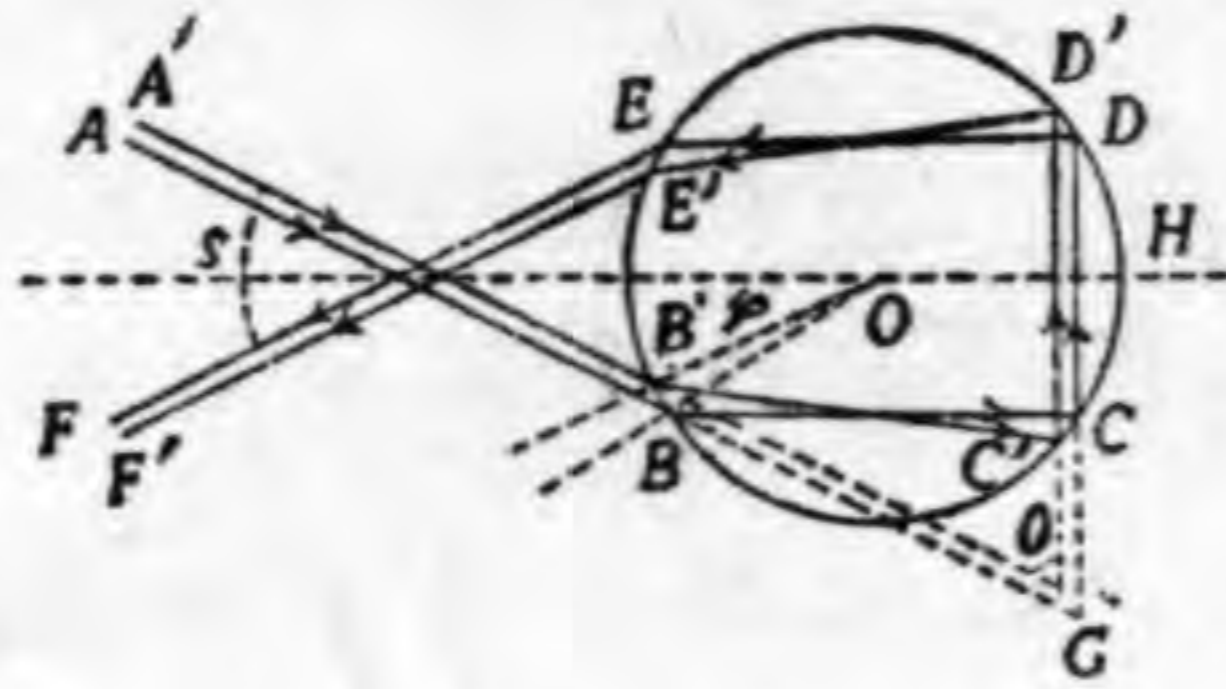


圖 二 二 八

之順序,排列而成美麗之弧狀色帶。

又由太陽發來之光線,如圖二二八所示,於水滴中連續反射二次,循 A B C D E F 之方

向而出至於空氣中時,亦能生成虹之現象,此虹謂之第二次虹,對此,故上述之虹,又名之爲第一次虹。

第二次虹之赤光,其 $i=71^{\circ}59'$, $r=45^{\circ}42'$, 偏角爲 $49^{\circ}46'$; 紫光爲 $i=71^{\circ}29'$, $r=44^{\circ}52'$, 偏角爲 $53^{\circ}46'$ 。故第二次虹之赤光成

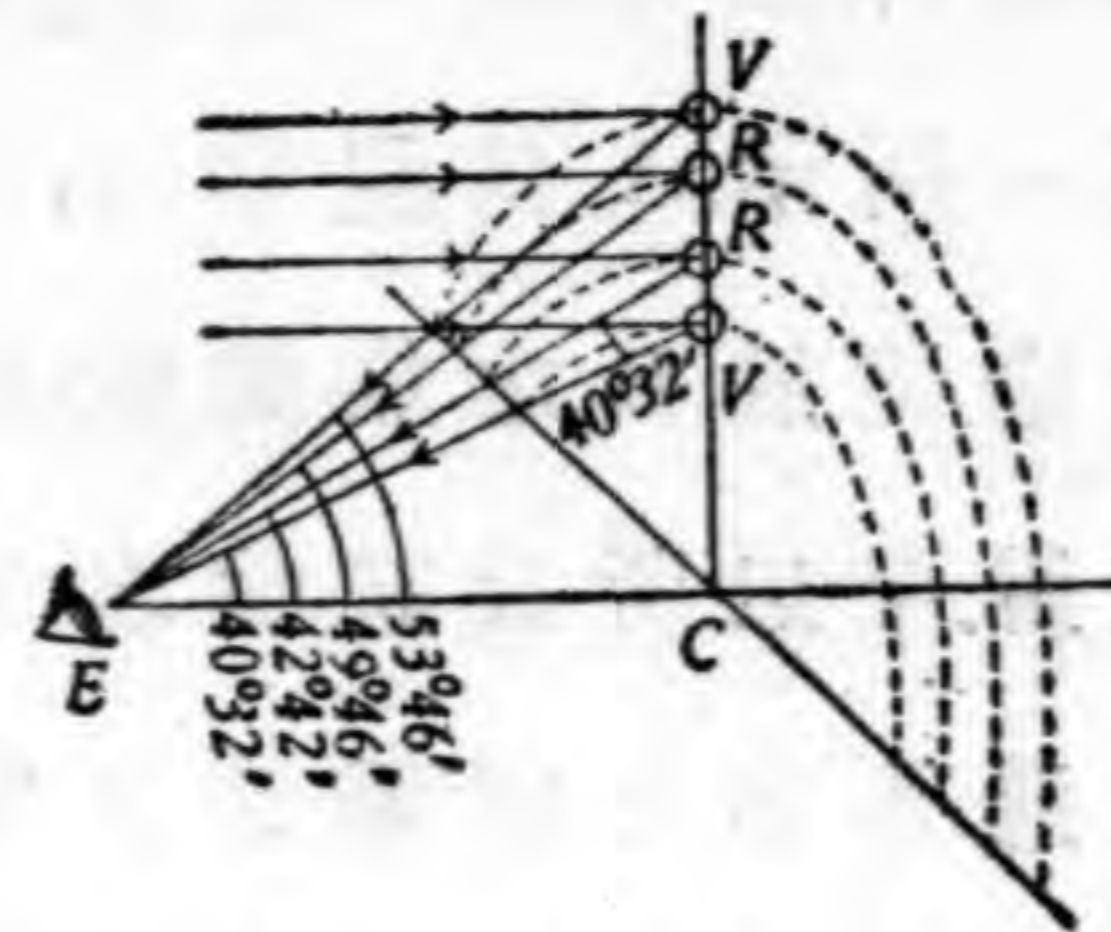


圖 二 二 九

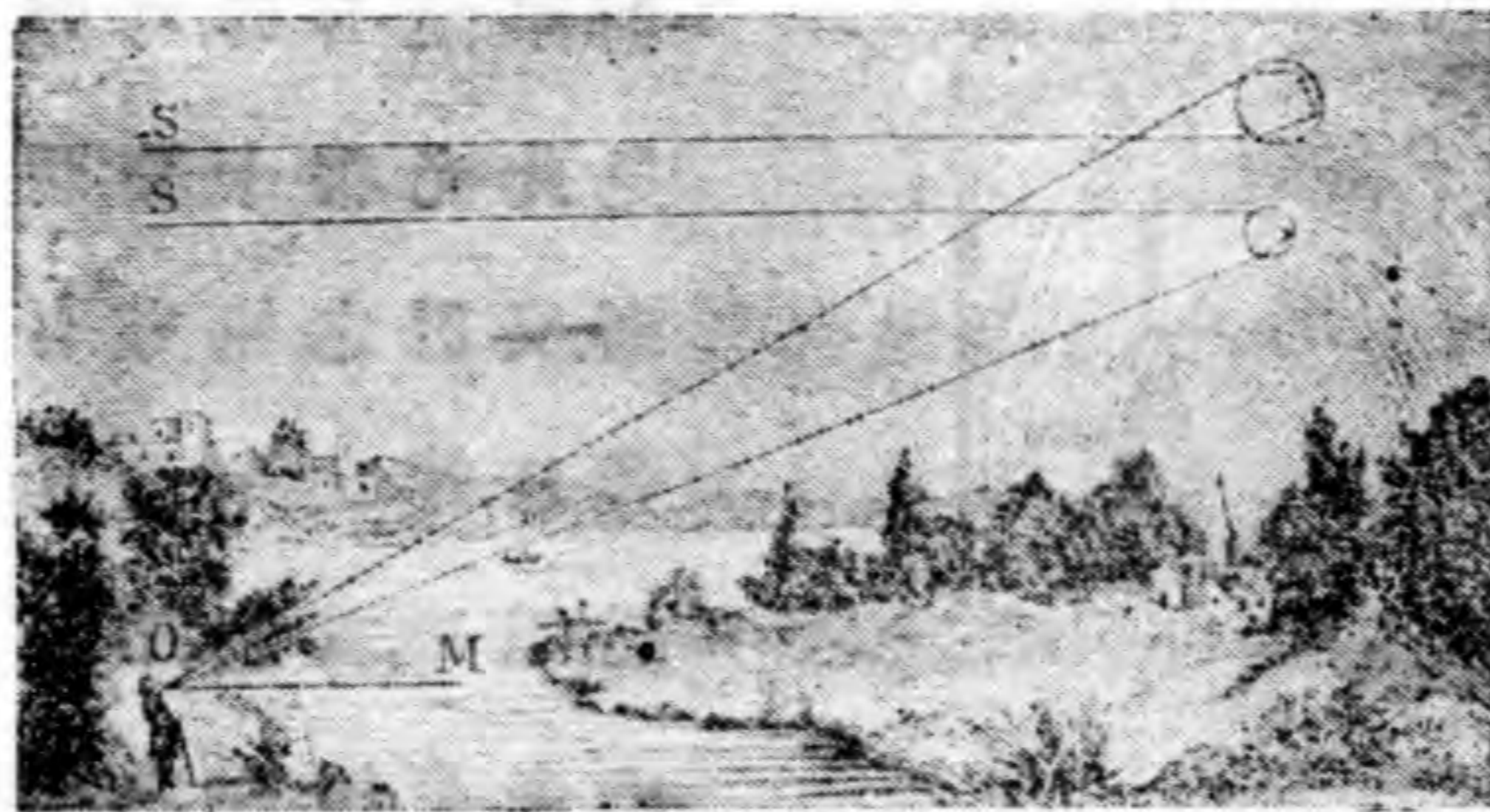


圖 二 三 〇

$49^{\circ}46'$ 之角半徑弧狀,而紫光成 $53^{\circ}46'$ 之角半徑弧狀其色彩之順序,恰與第一次虹之順序相反,凡光線

每經一次反射,其強度即多少因之減少。故第二次虹之色光強度,較之於第一次虹為弱。

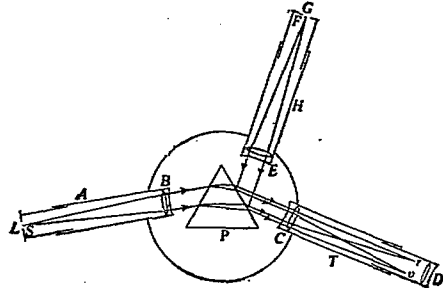


圖 二 三 一

究研各種光源之光帶時,通常皆用分光器以分析之。分光器之構造,如圖二三一所示。A 為視準器,其一端有細隙 S,他端具透鏡 B,而 S 恰位於 B 之焦點處;P 為三稜鏡,T 為觀測光帶用之望遠鏡。今以所欲試驗之光線照耀視準器之細隙 S 時,則由 S 進入之光線通過 B 後,成為平行而投射於三稜鏡 P,屈折分散後再通過望遠鏡 T 之對物鏡而生光帶於 r v 處。

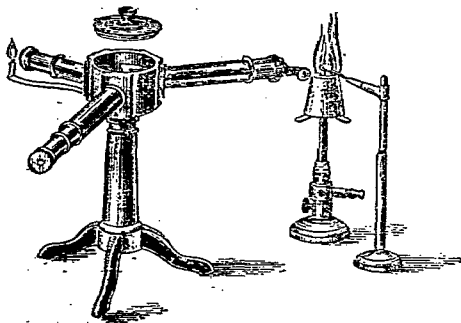


圖 二 三 二

故移動望遠鏡之對眼鏡 D 時,可望見此光帶十分明晰。又器之他方有管 H,管之一端具透鏡 E,其焦點 F 處嵌有透明之玻璃小尺度;置燈光

於 G 處以照耀此小尺度時，則進入之光線通過 E 而成平行，再投射於 P 面而反射入於望遠鏡之內，生成實像於 r v 處。故由對眼鏡中，同時得見尺度與光帶之實像，而判定何種光帶生於尺度之何處。

研究某種金屬鹽類所發生之光帶時，可置酒精燈或本生燈於視準器之前方 L 處，以白金線圈沾染其鹽類溶液少許而插入焰中，則由鹽類之蒸發，生成此種金屬之固有光帶，或直接置固體之金屬鹽類於火焰中以燃燒之，其所得之結果亦同。

202. 光帶之種類 如前所述，太陽之光線通過三稜鏡後，則分散而成美麗之七色光帶。然如將此光帶再精細加以觀察時，則更可發見其中有甚多之黑線，平行存於其間。因德人弗勞恩霍惑路對於此等黑線，有深刻之研究，曾將其中重要者附有 A, B, C, D, E, F, G, H 等名稱，故名此等黑線，謂之弗氏黑線。凡如此類其隨處存有黑線之光帶，謂之吸收光帶。

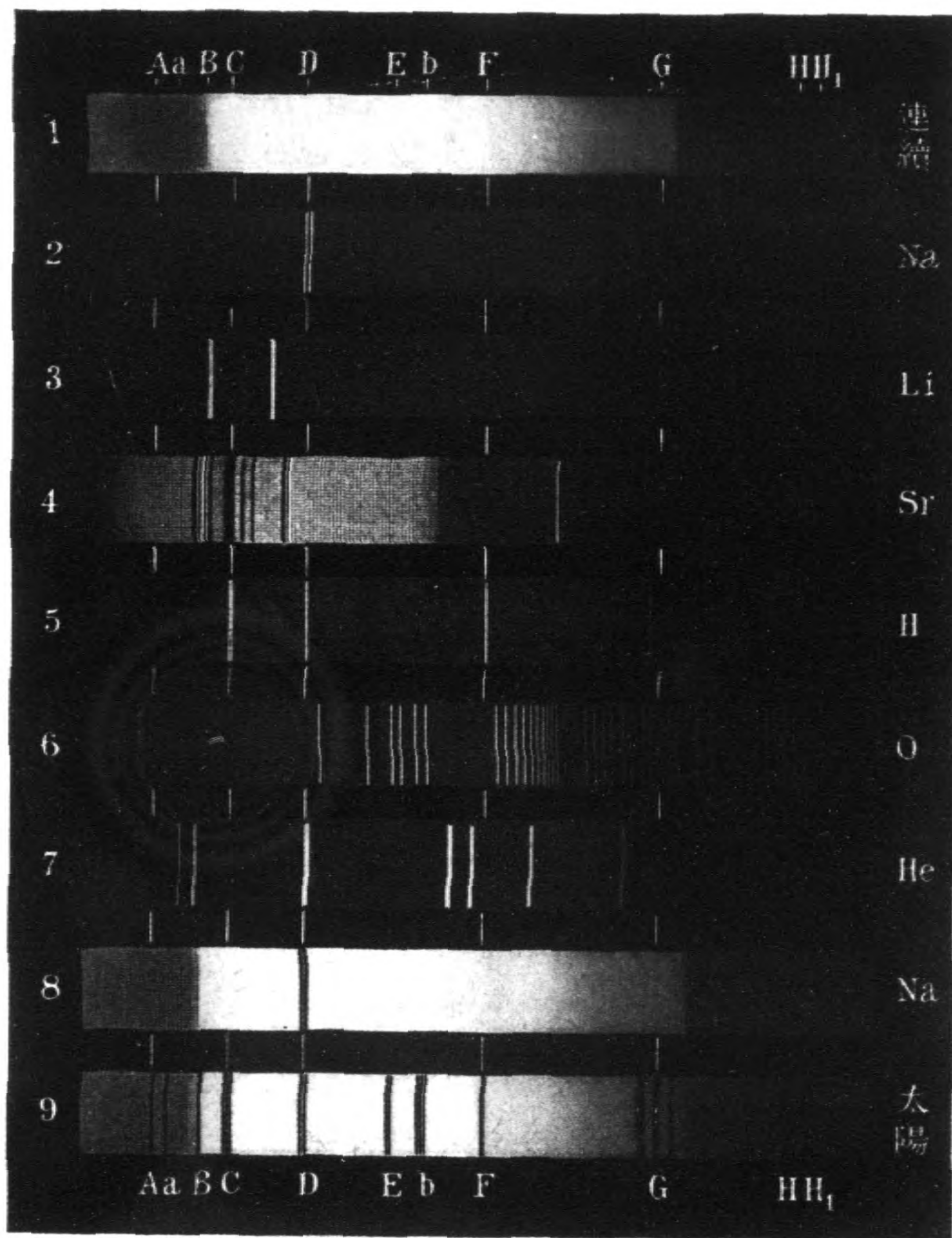
以固體或液體置於高溫度中而加強熱時，將其所發出之光線，由分光器之細隙中以觀察之，則可見其光帶之模樣雖與太陽之光帶無少差異，但其間並無一黑線存在。（附圖第一列）此種光帶，謂之連續光帶。

次置氣體於高溫度中而強熱之，將其所發光線照耀於

分光器之細隙時，則可見其光帶之大部分皆屬暗黑，僅於數處有光輝之線條出現而已。此種光帶，謂之輝線光帶。例如以食鹽置入於酒精燈焰中，則由食鹽發出之鈉蒸氣，因被高熱致使燈焰呈黃色，如以此焰照耀於分光器之細隙中，則其光帶中僅於黃色之位置，有光輝之黃線出現。（附圖第二列）又以錳、鎳等鹽類置於酒精燈之焰中而作同樣之實驗時，則生成如附圖第三列第四列等所示之輝線。其他如鈣、鎂等亦各有其鹽類特有之輝線。

凡在氣體狀態之種種原素之光帶，各有其原素特有之輝線。故如將其輝線之位置，依種種原素之蒸氣加以判定後，則反之可由其物質之蒸氣所生光帶之輝線位置，以決定其物質中所含之原素為何種。此種方法，謂之光帶分析術。光帶分析術之結果，極其精確。雖其所含之原素為量極少，但其光帶之輝線仍能出現，故仍得判別之。

因發光體為高溫度之固體或液體時，則生成連續光帶；為氣體時，則生成輝線光帶。故反之可由其光帶之種類，而判定其發光體之為固體、液體或氣體。例如彗星之尾所生光帶為輝線光帶，故可知其尾為高溫度之氣體。又星雲亦可由其光帶判定屬於氣體之狀態。太陽之光帶不屬於輝線光帶，故可推知其大部分為液體或固體，但太陽之光帶與液體固體之光帶，又稍有區別，因其中存有多數之黑線。



光 帶

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. 連續光帶 | 6. 氧之輝線光帶 |
| 2. 鈉之輝線光帶 | 7. 氦之輝線光帶 |
| 3. 鋰之輝線光帶 | 8. 鈉之吸收光帶 |
| 4. 錫之輝線光帶 | 9. 太陽光帶 |
| 5. 氫之輝線光帶 | |

至其原因，則容下節述之。

203. 黑線之說明 由研究種種原素所生光帶之結果，其輝線之位置，殆全與太陽光帶中之黑線某條相一致。例如鈉之蒸氣之輝線，與太陽光帶中之D線同在一位置是。由此可知黑線與原素間，當有密切之關係。

如圖二二三所示，置高溫度之固體例如弧燈於三稜鏡P前，則光線分散後，生成連續光帶SS於屏風上。若將比較的低溫度之含有食鹽之黃色酒精燈焰，置於弧燈與細隙之間，則於弧燈所生連續光帶中之黃色位置，現出一黑線D。如截斷電流以消滅弧燈燈光時，則此黑線變為輝線，而成為鈉之特有輝線光帶。再如通以電流時，則此輝線復變成黑線。又若以銦、鎢等以代食鹽時，亦能於此等輝線光帶之相當位置，生成黑線。如截斷電流時，則黑線亦復行變成輝線。其原因蓋由於比較的低溫度之鈉、銦、鎢等蒸氣，於

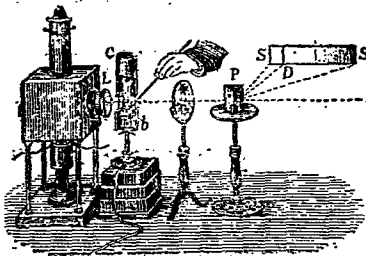


圖 二 三 三

弧燈所發之光線中，將與其所發之同種光線概行吸收之故。即由弧燈經由蒸氣而通過細隙之光線，其某部分因被吸收而致欠缺，故於光帶中，該欠缺光線之

位置，因成爲黑線而表現也。

由上述實驗，可以推想太陽爲高溫度之固體或液體，由其發出之光線，雖應屬於連續光帶，但因其周圍有種種比較的低溫度之原素蒸氣，吸收其由內部所發出光線之一部分，故其光帶中因之生成多數之黑線，故將太陽光帶中黑線之位置，與種種原素光帶之輝線位置相比較，即可以推知存在於太陽中原素之種類，例如太陽光帶中之黑線 D，與鈉之光帶之輝線相一致，因之可推知太陽中存有鈉之一種原素是。

又黑線 C 與 F，表示太陽中有輕氣 A 與 B，表示太陽中有養氣，吾人由此方法，可以推知諸天體中所存原素之種類無遺，依研究之結果，此等原素與地球上所有之原素無大差異。

204. 光帶各部之作用 於太陽光帶中，其能使吾人起最強之光感者，厥維黃色，由黃色順次進至於兩端赤色或紫色時，則漸近兩端其強度亦漸減，又置感溫敏銳之寒暖計於光帶中之各部分而檢驗其熱之作用時，則以紫色爲最小，於紫之外方，全無熱之作用存在，由紫漸次移至藍、青、綠、黃、橙、赤等色時，則愈進而熱之作用亦愈增，雖移至赤色之外方黑暗部分，其熱之作用亦甚大，如欲其熱之作用完全消滅時，則須移至距赤色相當之遠處部分始可，再用照

相之乾片而檢驗其各部分之化學作用時，則赤、橙等處，極為微弱待經黃、綠而移

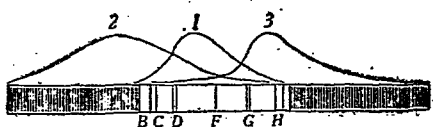


圖 二 三 四

向青、藍，則愈進而作用亦愈強，至紫色為最強，即於紫色之外方黑暗部分，亦能認識其作用之存在。如圖二三四所示，其 1, 2, 3 之曲線所表示者，為相當於光帶各部分之光之強度及光之熱作用化學作用之強弱。即曲線之高部，示其作用強；曲線之低部，示其作用弱。由此可知太陽光帶中，尚有吾人不能感覺之光線屈折而來，其由赤色以外屈折而來之光線，謂之赤外線。因此種光線富有熱之作用，故又名熱線。又由紫色以外屈折而來之光線，謂之紫外線。因此種光線富有化學作用，故又名化學線。照相用之暗室，其窗戶皆須嵌赤色之玻璃者，即在利用其僅能使化學作用極弱之赤光通過，而便於工作之故。吾人對於通常之光線與熱線化學線節，總稱之為輻射線。

205. 物體之色 以同種之光線照射於物體之上，而各物體所表現者，均係其各物特有之顏色者；因物體受到光線後，須將其一部分吸收，而將殘餘之部反射故也。例如赤布僅將太陽發來種種光線中之赤光反射，而將其餘之各種光線完全吸收，故呈赤色；青布僅將太陽發來種種光線

中之青光反射，而將其餘之各種光線吸收，故呈青色是。又白布能將種種之光線完全反射，故呈白色。黑布能將種種之光線完全吸收，故呈黑色。其黑布毫無反射之光，而吾人仍得認知其存在者，因其周圍之物體，能將光線反射而成反襯作用之故。故置黑布於暗室中而觀之，則因其周圍之物體，亦無光線反射，因之其布即無由得見。

如上所述物體之顏色，完全由於物體所受之光線不起均等之反射而生。但若其所受之光，如種類不同，則雖同為一種物體，其所現之顏色，亦因之而異。例如赤布除赤光以外，其餘各種色光，殆皆能吸收。故以日光照之，則現赤色。如於暗室中以入有食鹽之酒精燈焰照之，因此焰無赤光，故布即呈暗黑。又以白布置於暗室之赤色玻璃窗下望之，則呈赤色；於青色玻璃窗下望之，則呈青色者。因白布不拘光線之種類如何，均能起均等反射之故。再如使日光通過半透明體例如赤玻璃時，則成為赤色者，因赤玻璃僅能使赤光通過，而將其餘各種色光吸收之故。青玻璃之現青色者，亦為其僅能使青光通過，而將其他各種色光吸收之故。

206. 顏料之混合 顏料之混合，與色光之混合，完全不同。例如以互為餘色之黃藍二光適當混合之，則成為白光而將黃藍二色顏料混合之，則成為綠色是。因黃色顏料能反射光帶中之綠、黃、橙等光，而吸收其餘諸色光；藍色顏料

1.



2.



3.



4.



5.



三色版

1. 黃色印刷（絕不混入藍紫之色而製成者）
2. 朱色印刷（絕不混入綠色而製成者）
3. 朱黃 4. 藍色印刷（絕不混入紅色而製成者）
5. 黃、朱、藍套印（最後之成功）

右首所示之小圓，示顏料之色用以印刷套版者。
注意第 5 圖之色彩係套印黃、朱、藍三色所成。

能反射綠、藍、紫等光，而吸收其餘諸色光。故此二種顏料混合後，僅能反射其共同反射之綠光而呈綠色。由此理，如將赤、黃、青三色顏料適當混合之，則可得成種種之色彩。三色版即應用此理，重合印刷此三種顏色而成。

207. 天然色照相 影寫物體之形狀大小及明暗時，同時將其物體之色彩亦行顯出之方法，謂之天然色照相。天然色照相方法，至近年始稍行進步，然尙未臻充分發達之境域。其方法大別之約分加色法、減色法，及漂白法等三種。茲將其加色法中之色簾乾片法之原理，述之於下：

色簾乾片法之乾片，係以微細之澱粉或樹膠細粒，染成赤、綠、紫三色而混合之，塗於乾片之背面，使其分布均勻，且無重疊壓擠等事。其片之正面，則塗布全整色感光之乳劑。當攝影時，以澱粉面向鏡頭，藉作色簾以濾過由鏡頭進入之光線。設由物體發來之某種色光，經過鏡頭（即透鏡）後，達於澱粉薄層時，其與光色成補色之粒子，即將其色光吸收，而補色以外之細粒，則使其通過，進至於玻璃之裏面，作用於溴化銀上，其受有光之作用之溴化銀，由現像作用，還原成銀之細粒而呈黑色。次用酸性過錳酸鉀之溶液，將此還原後之銀粒，溶解而除去之。再使殘餘之溴化銀，感光後，現像使之還原而成爲黑色之銀粒時，則曾經透過色光之澱粉細粒，即行透明，而其他澱粉細粒，則爲黑色之銀粒。

所掩覆而不透明，故透視乾片而觀之，則該種色光之原色即表現於眼簾，因種種色光均能透過二種或三種澱粉依各種比例混合之細粒，其通過後之粒子，皆行透明，故其色調能融和而將原色顯出。

208. 輻射熱：由研究光帶所發現之熱線，其傳播方法與普通之光線相同，同遵守反射屈折等定律，又如熱學篇所述，由輻射作用以傳播之熱線，即輻射熱與由體溫所發射之熱線，亦皆能遵守同樣之定律，例如如圖二三五所示，對立二金屬製之拋物線鏡，置赤熱鐵球 S 於一方之鏡之焦點處，而置一塗有煤烟之寒暖計 T 於他鏡之焦點處，則寒暖計之示度，顯著的較其附近任何處

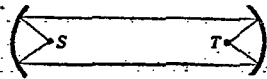


圖 二 三 五

為高，又如以黃磷代寒暖計時，則黃磷立即燃燒，可知由鐵球發出之輻射熱，投射於鏡面後，與普通之光線相同，反射而成平行，再由他鏡反射而使之集中於焦點，又輻射線亦能通過三稜鏡而起屈折之現象，因輻射熱由其物質之種類不同，而異其透明度，例如水、玻璃、明礬等，能將輻射熱吸收，而岩鹽則否是，故欲輻射熱起屈折現象時，當用岩鹽製之三稜鏡，始易於實驗。

水蒸氣對於普通之光線為透明，而對於輻射熱則為不透明，吾人常於雨天及潮濕天氣感覺溫暖者，即因水蒸氣

能吸收熱線而遮斷地熱之散放之故，又夏日高山之山頂及砂漠地方，日中甚覺炎熱而入夜即行寒冷者，亦因其處之空氣乾燥，所吸收日光直射之輻射熱為量較少，待入夜則地熱即行自由放散而逸去之故。

209. 輻射能與吸收能 於一定溫度之下，由種種物體之同一表面，同時所放出輻射線之量，謂之輻射能，輻射能之大小，由物體之種類及其表面之性質而異，又於一定溫度之下，由種種物體之同一表面，同時所吸收輻射線之量，謂之吸收能，吸收能之大小，亦由物體之種類及其表面之性質而異，由實驗結果，得知種種物體之吸收能，與其輻射能互成比例，故善能吸收熱線之物體，亦善能使熱量輻射或反射，其吸收能甚小之物體，對於熱之輻射亦頗不易，通常物體表面之為黑色者，因其易於吸收熱線，故亦易於輻射熱線，又白色表面及研磨後之金屬面，其吸收能小，故其輻射能亦小。

210. 太陽之輻射 由實測結果，得知由太陽到達於地球表面之全部輻射能力，對於與輻射線垂直之單位面積一平方釐上，一分間約為3卡路里，此數值謂之太陽之常數，今以此值以計算地球半球面一年間所受太陽輻射能力時，其值約等於下數：

$$3 \times 60 \times 24 \times 365.2 \times \pi R^2 = 2 \times 10^{24} \text{ 卡路里}$$

上式中之 $R=6.4 \times 10^8$ 厘米，為地球之半徑， πR^2 為與投射線垂直之地球最大斷面，依推算結果，此熱量實足以融解圍繞地球厚 50 米之冰層而有餘，如能貯藏之而隨時使用，則足以支持地球全表面一千年間之燃料。

投射於地球表面之太陽輻射線中，其一部分因通過大氣而被吸收，殘餘部分則行到達於地面，其被吸收之量可視緯度部分與熱線部分各不相同，由托拉伯迪實測之結果，太陽輻射能力一平方厘米每分 3 卡路里中，其約 45% 即 1.4 卡路里為光線能力，殘餘之 55% 即 1.6 卡路里為熱線，此光線中之 48% 部分，復於通過大氣時被散亂而成散光，殘餘之 52% 部分即 0.73 卡路里之光線，始實行到達於地面，又 1.6 卡路里之熱線，其 27% 因通過大氣而被吸收，殘餘之 73% 即 1.2 卡路里，則到達於地面，變而為熱。

投射於地球表面之太陽輻射能力，被地上種種物體所吸收，以生起種種現象，且變遷為種種能力，例如地面上各部分，因被熱不均之結果，致大氣中生成壓力之差異，而風以生，或藉之以推帆而行舟，或竟演成吹倒家屋，翻拔樹木等慘劇，又投射於河海湖沼等水面之太陽輻射能力變而為熱，以助水之蒸發，其大氣中之水蒸氣，復凝結而成雨滴，雪片以下降，成為所謂高處之水之位置能力，此雨雪當下落時，再變為運動能力，吾人日常所利用之水力，即不外此。

種能力之一部分。又植物由投射日光之能力，由空氣中吸收碳酸氣而分解之，放出養氣，同時以炭素為主成分而構成自體。故燃燒木材時所得之熱與光，亦不外太陽能力之再現。故植物之生成，如由能力之見地觀之，當係使太陽能力變為化學能力而貯藏之作用。又諸種動物以他種植物或食植物之他種動物為營養原料而生活，故其能力，亦不過植物能力之推移。隨之吾人心臟之鼓動，筋肉之運動等，其主宰之能力，亦莫不皆係仰給於太陽。煤油、煤炭等皆為曾經生存於地上動植物之遺體變化而成者，故其能力，亦不外昔時投射於地面之太陽輻射能力之蓄積者。可知地面上各種現象之原動力，悉為由距離甚遠之太陽所發射而來。其與太陽無關之能力，僅為鐳及潮之能力而已。

211. 螢光及磷光 當物體吸收光線或輻射線時，其能力皆變為熱以增加其溫度。但亦有吸收一定之輻射線而發光者。例如如圖二三六所示，盛煤油於玻璃瓶內，以凸透鏡聚集太陽或弧燈之光線而投射之，則可見其圓錐狀之光部，帶紫青色；又以葉綠素之酒精溶液承受日光時，則呈

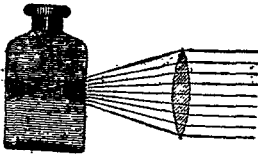


圖 二 三 六

血赤色；及金雞納霜之水溶液，有青色光輝等是。因螢石亦能呈此種現象，如以日光照之，則現綠紫色。故名此種現象，謂之螢光。發螢

光之物體，謂之螢光體。通常鈾之鹽類及蛻化白金鉾等，均富於螢光作用。由實驗結果，此使螢光體發螢光者，由於紫外線之作用。依司托庫司之研究，其螢光體所發螢光之屈折率，較之螢光體所吸收之輻射線之屈折率為大。

螢光體所發出之螢光，如使其刺激之投射線停止時，則亦即行消失。然亦有能於遮斷其刺激光線後，尚於少時間繼續發光之物體。例如以硫化鈣曝於日光中後而移置於暗室時，則暫時間亦能發出薄弱之青色光是。此種現象，謂之磷光。發磷光之物體，謂之磷光體。鈣、鋇、鐳等之硫化物，為顯著的磷光體。而金剛石、方解石及螢石等，則發薄弱之磷光。至濕空氣中黃磷所發青白光輝之現象，則為磷之氧化作用而非磷光。

問 題

1. 月光之光帶，與日光之光帶完全相同。何故？
2. 星雲之光帶，屬輝線光帶。星雲之狀態如何？
3. 於黑紙上寫字時，用朱則見，而用赤墨水則不見。何故？
4. 朝日映於露珠上，常現出虹之色彩。何故？
5. 日出與日沒時，日光經過之空氣層最厚，而此時太陽常呈赤色或黃色。何故？
6. 綢緞之色彩，於太陽光線中所見者，與於夜間燈光

之下所見者異其顏色，何故？

第七章 光波

212. 光之本性：光之一語，有二種意義。一為刺激吾人之視神經時，吾人所受之感覺，謂之主觀的光。一為與吾人以光感之外界原因，謂之客觀的光。關於客觀的光之本性，自古以來，有種種學說，其最著者，為放射及波動二說。放射說為牛頓所倡導，其說謂光為由發光體射出之一種稱為光素之輕微細粒，入於吾人眼中，以刺激網膜，因之吾人即生起光感，此說雖足以說明光之直進及反射等簡單現象，然用之以說明光之屈折之結果，則與實驗之結果相反。且光之干涉、迴折等複雜現象，竟無由以說明之。故不得不歸於敗亡。代放射說而興起，現今為一般學者所公認者，為諧恩士之波動說。此說謂有一種吾人五官所不能感覺之媒質，稱為以太者，彌漫於真空中及物體之原子或電子間，即宇宙間無處無之。而光即為構成發光體原子之電子，因振動而生起於其周圍以太內之一種波動，謂之光波。此光波刺激吾人之網膜，故吾人即隨之而起光感。其情形恰與發音體之振動，傳於周圍空氣中所發音波，刺激吾人之鼓膜而起音感相同。但發音體由音波之大小而生音調之高低，而發光體則由光波之長短用生光色之區別。

因光之速度，其值一定，與光色之種類及強弱無關。故光波之振動數 n 速度 v 及波長 λ 間，有下式之關係。

$$v = n\lambda$$

即光波之振動數愈大，其波長愈小。茲將日光光帶中各黑線之波長，列表於下。

波 長 表

赤(A)	0.0007600 糎	綠(E)	0.0005870 糎
赤(B)	0.0006867 糎	青(F)	0.0004861 糎
橙(G)	0.0006563 糎	藍(G)	0.0004300 糎
黃(D)	0.0005893 糎	紫(H)	0.0003909 糎

觀上表，凡光帶中其波長在 0.0004 糎與 0.00076 糎間之輻射線，為吾人所能目見之光線。其較波長 0.00076 糎為大者，則為赤外線。較波長 0.0004 糎為小者，則為紫外線。故可知所謂熱線、光線及化學線者，均係一種以脫之波動。不過由其振動數之多少或波長之短長，而生富於化學作用、熱作用或予吾人以光感等之差異而已。

213. 光之速度 光之速度，極其迅速，其經過通常地面上所能實驗距離所需之時間，極其短促，致吾人難於感覺而辨別之。故古時皆信光之傳播，不需時間。其後賈理熱雖曾着手於光之速度之測定，然亦未得若何結果。迨至 1676

年丹麥之天文學者路麥從事於觀測木星衛星之星蝕時，始偶然發見計算光之速度之方法，其後經物理學者之研究，曾另行發見多種方法以測定之，茲將傅珂之方法，述之於下。

如圖二三七所示，置強光源 S 於圓筒 C 之小孔前，使 S 之像因圓筒他端之透鏡，恰結成

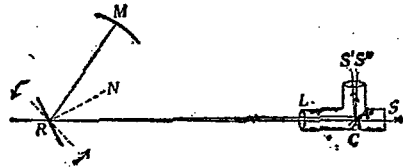


圖 二 三 七

於 R 處，其 R 為能迴轉於其軸之周圍之平面鏡，又 A 為位於透鏡與小孔間之玻璃板，與圓筒之軸成 45° 之傾角， M 為凹面鏡，其曲率中心亦位於 R 處，故由 R 向 M 投射之光線，經反射後必循原經之道途而折回，設 R 靜止時，則由 S 發出之光線通過 A 後，向 $A R$ 之方向進行，於 R 反射而投射於 M 時，則反射後仍循原經之途徑而歸於 $R A$ 之方向，此光線一部分雖通過玻璃板 A 向 $A S$ 方向進行，而其他部分則反射而向 $A S$ 之方向進行，結成光點之像於 S' 處，此 S' 之位置，如鏡面 R 係屬靜止時，則與其傾斜無若何關係，然若 R 以甚大速度依矢之方向而迴轉時，則光由 R 發出，於 M 反射後，再歸至 R 時，其鏡已多少迴轉，隨之由 R 反射之光線，稍偏向於上方，取 $R A' S''$ 之途徑而結光點之像於 S'' 處，設光線由 R 而出，於 M 反射後，再歸至 R 時，鏡之迴

轉角度為 θ ；則 RA 與 RA' 之夾角，等於 2θ ，因如圖二三八所示，設 RN, RN' 為鏡之法線之始終位置， i 為開始之投射角時，則

$$\angle MRN' = \angle N'RA' = i - \theta$$

$$\text{又 } \angle N'RA' = \theta + i - \angle ARA'$$

$$\therefore \angle ARA' = 2\theta$$

即當鏡面迴轉 θ 角度時，其反射光線即變更 2θ 角度之方向。故如鏡之迴轉速度一定時，其 θ 不變，隨之 SS'' 之距離亦一定。

設鏡面一秒間之迴轉數為 n ， SS'' 之距離為 s ，

$RA + AS'$ 之距離為 L ， RM 之距離為 l ，光線往復於 l 間所需之時間為 t ，則光之速度 v ，可由下式決定之。

$$v = \frac{2l}{t}$$

$$\text{又 } \tan 2\theta = \frac{s}{L}$$

$$\frac{\theta}{t} = 2\pi n$$

因 θ 之角度極小，可視角之正切與其角度相等，故

$$2\theta = 4\pi nt = \frac{s}{L}$$

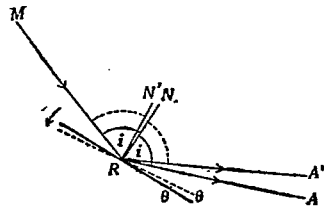


圖 二 三 八

或 $t = \frac{s}{4\pi nL}$

故 $v = \frac{2l}{t} = \frac{8\pi lnL}{s}$

由上式,如測定 s, n, l, L 之值後,即可求得光之速度 v 之值。傅珂由此種方法,曾求得光之速度為

$$v = 2.98 \times 10^{10} \text{ 秒極}$$

其後埋克爾遜將此方法加以種種改良後,測得光之速度為

$$v = 2.999853 \times 10^{10} \text{ 秒極}$$

於上述方法中,若置水,玻璃等透明體於 R, M 間而實驗之,則可測得光線於此等物質中之速度。

214. 光波之反射 光線為一種波動,由此出發,亦可以誘導而得其反射之定律,茲述之於下。置光點於均勻之媒質內時,則光波即沿以其點為中心之球面而波及於四方。此成球面之波形,謂之球面波。如圖二三九所示,設以光點 L 為中心,而波及於四方之球面波達於 A, E, D 之位置,與媒質之境界面 BC 接觸於 E 點時,則其波動行將反射。如 A, D 二點之波動各到達 B, C

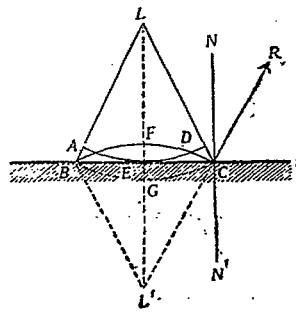


圖 二 三 九

二點時，則由 E 出發之反射波，應反射於等於 A B 或 D C 之距離而達於 F 點。此時如無境界面存在時，則波應到達於點線 B G C 所示之位置。然按之實驗，有此境界面之反射波，與無此境界面之前進波，其距境界面之距離應相等。即反射波面對於境界面與 B G C 取對稱之位置，成爲 B F C 而等於以與光源 L 對稱之點 L' 爲中心而波及於四方。故以目承受此反射波時，則感覺其光線恰如由 L' 點所發出。可知 L' 爲 L 之虛像，而 $LE = EL'$ 甚明。

又設投射波之進行方向 L C 爲投射線，反射波之進行方向即 L' C 之延長線 C R 爲反射線，N C N' 爲法線時，則 $\angle L C N$ 爲投射角， $\angle R C N$ 爲反射角。於二三角形 L E C 及 L' E C，其 C E 邊公共， $LE = L'E$ ， $\angle E = \angle R$ ，故二三角形完全相等。隨之 $\angle C L E = \angle C L' E$ 。然 N N' 線與 L L' 線互相平行，故 $\angle C L E = \angle L C N$ ， $\angle C L E = \angle N C R$ 。即投射角等於反射角。

215. 光波之屈折 當光波達於均勻媒質 a, b 之境界面 A B 時，其一部分即依反射定律，反射而向第一媒質內進行。同時其殘餘部分，即屈折而向第二媒質內進行。如圖二四〇所示，C D 爲投射之平面光波。設此光波於某時刻前進而達於 C' D' 之位置，則 D' 點之波，以對於媒質 a 特有之速度 v_a 進至 D'' 時，C' 點之波，以對於媒質 b 特有之速

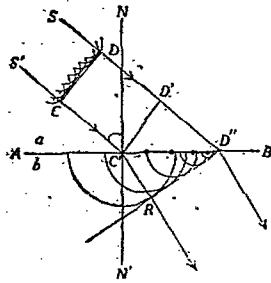


圖 二 四 〇

度 v_b 成爲以 $C'R$ 爲半徑之球面波。故設 D' 點之波達於 D'' 點所需之時間爲 t ，則

$$D'D'' = v_a \cdot t$$

$$C'R = v_b \cdot t$$

但境界面 $C'D''$ 上之諸點，隨於 C' 點之後，逐次放送屈折波。故屈

折波之波面，爲由 D'' 向中心 C' 之球面波所引之切線 $D''R$ 。

設投射波及屈折波之進行方向 $S'C'$ 及 $C'R$ 各爲投射線及屈折線時，則

$$\angle NCS' = \angle D'C'D'' = \alpha$$

爲投射角，而

$$\angle N'C'R = \angle C'D''R = \beta$$

爲屈折角，故得下式。

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{D'D''/C'D''}{C'R/C'D''} = \frac{D'D''}{C'R} = \frac{v_a}{v_b}$$

上式中之 $v_a v_b$ 爲媒質特有之常數，故投射角及屈折角之正弦之比，其值一定，即爲屈折之定律是。

又設 n_b 爲媒質 b 對於媒質 a 之屈折率，則

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_b = \frac{v_a}{v_b}$$

即二媒質之境界面之屈折率，等於其速度之比。

216. 光之干涉 音為一種波動，故二波相遇時，即起干涉現象，致音忽強忽弱沈鬱不定。光既亦為一種波動，則光與光合，亦應生起干涉現象，而成明暗相間之部分。此事按之於實際，固絲毫不爽。例如於暗室中吹肥皂水泡而以鈉燭等單色光照之，則見其表面生成多數之明暗條紋；而於光亮處觀之，則現美麗之色彩。是又墜落一滴之油於水面時，則油即行擴散而成薄膜，亦現與肥皂水泡同樣之色彩。因此等現象，常起於光線投射於透明之薄膜上，故稱之為薄膜之色。剝落之雲母薄層及厚玻璃龜裂處之空氣層等，亦常現出此種現象。又加熱於研磨後之金屬面時，亦常現色彩者，即因金屬面上因加熱而生成氧化物之薄層故也。

薄膜之色之現象，可以光之干涉之理以說明之，甚易明瞭。如圖二四一所示， P 為透明之薄膜， LA 為投射之單色光線，此光線， LA 之一部分屈折而向 AB 方向，於 B 點反射後，更於 C 點屈折而出至於空氣中，向 CD 方向進行。又

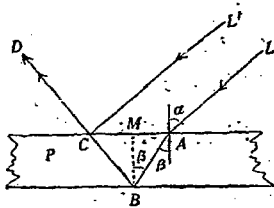
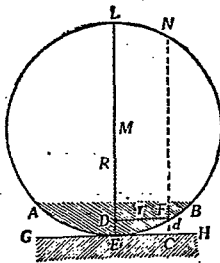


圖 二 四 一

與 LA 平行投射於 C 點之光線 $L'C$ ，反射後亦向 CD 方向進行。故此反射光線 CD ，與前之屈折光線 CD ，合而為一。故此二光線之行差 $LABC - L'C$ ，由含半波長 $\frac{1}{2}\lambda$ 之倍數為偶為

奇,相合而或強或弱,然此行差之值,因投射光線之投射角及薄膜之厚度而異,故以單色光照視薄膜時,則因膜上各處之位置不同,其投射角亦隨之而異,因之膜上各處之光線,或相合而益強;或相合而相消,用以生成明暗之條紋,若以白光照視膜面時,則因白光為由種種波長不同之單色光混合而成,此種單色光相合而相消時,他種單色光反相合而益強,因以現出種種美麗之色彩。

217. 牛頓環 如圖二四二所示,置半徑甚大之玻璃平

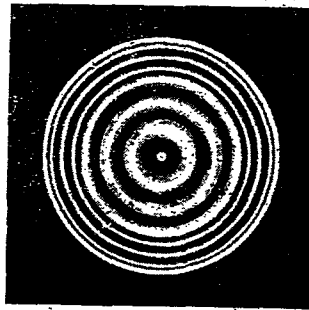


圖二四二

凸透鏡於玻璃平板GH之上,而以單色光照之,則生成多數以接觸點E為中心之明暗之同心環,如以白光照之,則生成多數之彩色環,此環謂之牛頓環,牛頓環生成之原因,亦因玻璃

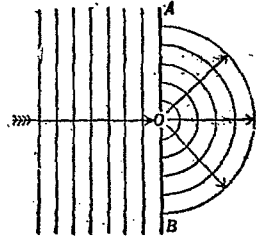
間所夾

空氣之薄層,具有薄膜之作用,而呈干涉現象之故,其由干涉而生之條紋,成以接觸點為中心之同心環者,因厚度相等之空氣層,各在以此點為中心之圓周上之故。



圖二四三

218. 光之迴折 置障礙物於水波進行之途中以遮斷其波之一部分時，則其波能迂廻而達於障礙物之後方。例如如圖二四四所示，依水平設置穿有小孔 O 之木板 AB 以遮斷由一方傳來之



圖二四四

平面水波時，則可見水波以小孔為波源而波及於板之裏面。音亦為空氣中之波動作用，激之於種種障礙物之裏面，能聞得音源所發聲音之事實。可知音波亦如水波，能迂廻以傳達於障礙物之後面。又光既如前述，與水波音波等同為一種波動，則如以屏風遮斷之，亦應迂廻而傳導之於其背後，不致有生成陰影之現象，方為正確。此種推論，一見似與光依直線進行，遇不透明體時，則生成陰影之事實相矛盾。其實不然，當諧恩士倡導波動說之開初，此事亦曾有人舉之以為有力之辯難。其後由研究結果，始知波動之迂廻於障礙物之後面與否，一視其波長與障礙物大小之關係如何。即障礙物之大小，比之於波長甚大時，則生成陰影，而障礙物之大小，比之於波長甚小時，則無陰影之現象。其波動即行迂廻而至於障礙物之後面。因音波之波長甚大，例如入聲之波長約自34呎至3.4米，故普通障礙物之大小，比之音波波長，其值不甚大。故音波能迂廻而到達於障礙物

之後面，然若遇障礙物較波長甚大時，則空氣波亦能生成音之陰影。例如火藥庫爆發時，位於山後之房屋，受害之事較少是。光波之波長在 0.00034 釐與 0.000076 釐之間，其值比之音波之波長極為微小，故普通障礙物與光波波長之比，其值甚大，因而於其後面生成光之陰影。然障礙物之大小比之光波波長不甚大時，則通過較光波波長不甚大之小孔或細隙而出之光波，亦能迂迴而到達於依光之直進結果所生之陰影處。此種現象，謂之光之迴折，光之廻折現象，如依下法行之，即可以實驗之。

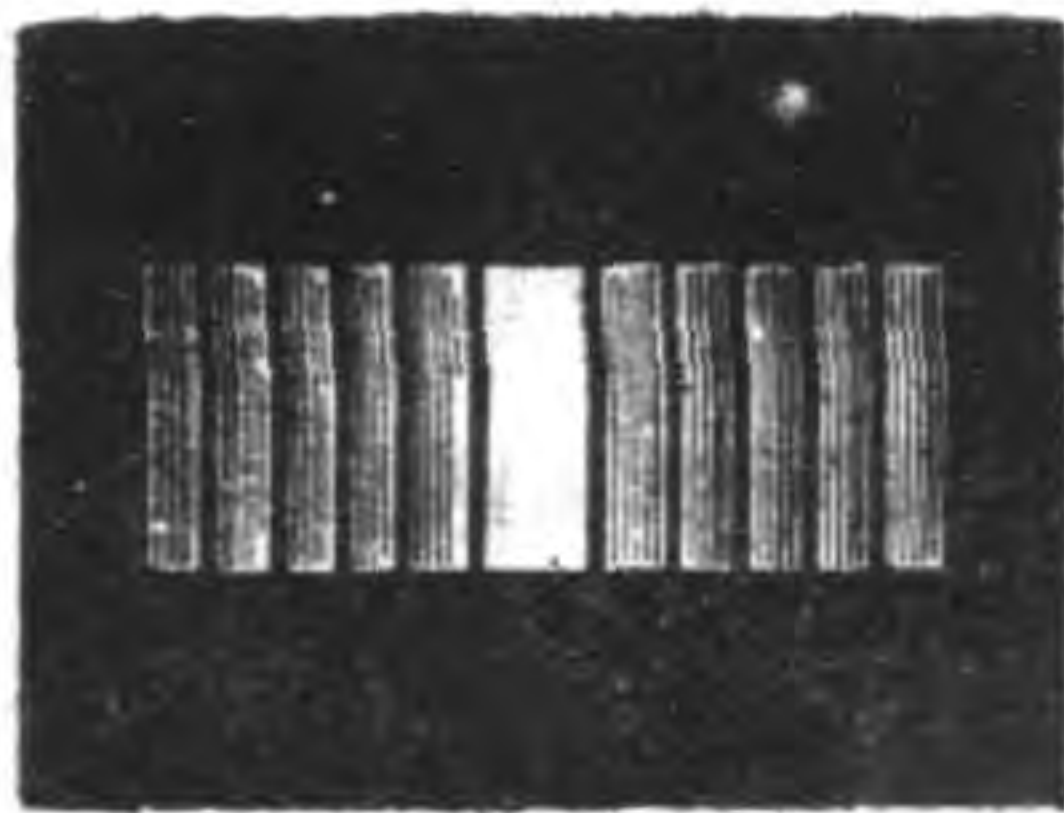


圖 二 四 五

並列二鉛筆作成細隙，則由此細隙以望鈉焰或透過赤色玻璃而望燈火時，則所見者當如圖二四五所示，中央部生成明線，其左右亦各生多數之明線，次透過細隙直接以望燈火時，則中央部生成白色之明線，左右生成具有光帶色彩之條紋。又如圖二四六所示，取名片同大之紙片二枚，於其中部截取小縫，取其一以掩蔽燈火，而置目於他紙之小縫前，穿過此小縫以觀看前方之小縫時，則上述之色條，即

亦各生多數之明線，次透過細隙直接以望燈火時，則中央部生成白色之明線，左右生成具有光帶色彩之條紋。又如圖二四六所示，取名片同大之紙片二枚，於其中部截取小縫，取其一以掩蔽燈火，而置目於他紙之小縫前，穿過此小縫以觀看前方之小縫時，則上述之色條，即

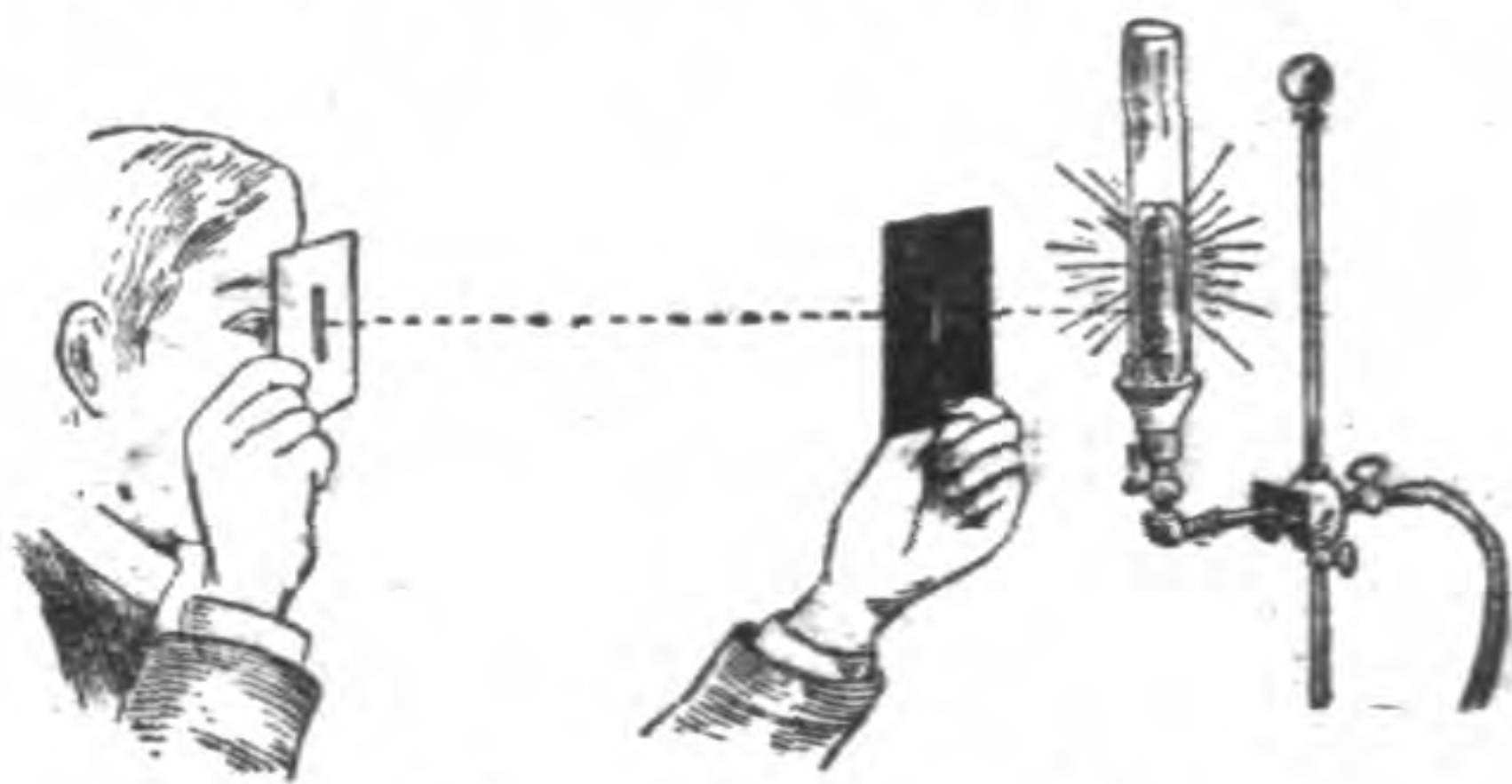


圖 二 四 六

可明瞭望見之。

219. 偏光 徵之於光之干涉及廻折之現象,光爲一種波動,顯屬無疑。然其波究爲縱波或爲橫波,則僅依據此等現象,尙未足以證明之。必有待於電氣石板之實驗,始能解決。

取稱爲電氣石之礦物與其結晶軸平行而截取之,作成二枚薄片,透過其一片以窺視明處,則僅見此礦石特有之一種青綠色光。然如重合二電氣石板,隔第二電氣石板以窺望其透過第一電氣石板之光時,則於二板之軸互相平行時,因板之厚度增加,其青綠色之濃度亦行增加。此外並無其他任何現象相附隨。但如將其一板漸次廻轉時,則其光之強度,即行漸次減少。至二軸成直交時,其光竟被完全遮斷,致視野全成黑暗。又如再行將其板繼續廻轉時,則光之強度,又復漸次增加。至兩軸再行平行時,視野亦即恢復以前之明度。由此實驗,可知通

過電氣石板後之光,與通常之光完全異其性質。因通過第一板之光,須視第二板之位置如

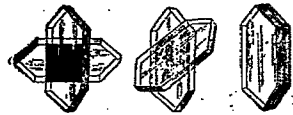


圖 二 四 七

何,或通過其一部分,或竟被其完全遮斷故也。因此種通過電氣石板後之光,與普通之光異其性質,故謂之偏光。

欲說明偏光之現象,必須假定光波爲一種橫波,始能成

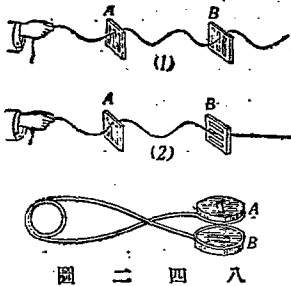


圖 二 四 八

立。因縱波對於包含波之進行方向之任意平面，均有同樣之關係，而偏光對於包含光線之平面，表示相異之性質之故。例如如圖二四八所示，固定二格子 A, B 而以繩穿之固定其繩之一端而執其他端向四方振動之，則可見僅與格子 A 平行振動之橫波，始能通過其格子。故第二格子 B 如與第一格子 A 平行時，則通過 A 後之橫波，亦能通過 B 而無阻礙。如格子 B 與格子 A 互成直角時，則橫波即行完全被其遮斷。

偏光之理，與上述之實驗完全相同。因光線為以脫之橫波，通常之光，其振動方向位於與波之進行方向成直角之平面內時，雖同樣向四方振動，但一旦投射於電氣石板後，則其振動方向，分解為與軸平行及直交之二種，其中與軸成直交之振動，為板所吸收，而與軸平行之振動，則通過之。而生所謂偏光。此一旦偏極後之偏光，如再投射於第二電氣石板時，則於兩板之軸平行時，對於第二電氣石板始能自由通過。如二軸成直交時，則通過第一電氣石板之偏光，復為第二電氣石板所吸收。其情形恰與繩之振動通過格子相彷彿。

220. 光與能力 光爲由發光體之分子振動所生之以脫波動，與發音體因振動而發送音波於四方之情形相同。當發音體振動時，對於其周圍之空氣，作一定之工作，因之其能力即由發音體移至於空氣，更由此部分之空氣移之於他部分之空氣，以致傳播於四方。光波之發送情形亦同。當發光體之分子起振動時，同時其能力即傳至於發光體四周之以脫，成爲波動之能力而發送於四方。因之其發光體之能力即漸次消滅，故如不更由外部供給其熱量時，則發光體即漸次冷卻，以至於不能發光。

以脫之波動傳播而進入於物質之中時，多少能援助其分子之振動。若物質分子振動之週期，與光波之週期相一致時，則由共鳴之理，物質分子之振動，顯著的加烈。隨之以脫波動之能力，其大部分即移至於物質之分子上。能通過其物質者，極爲少量，此即通常之光之吸收現象也。此種吸收之能力，增加分子之振動，藉以昇高其溫度，而生所謂熱之作用。

於前說明光帶之黑線時，曾述及氣體在比較的低溫時，其氣體有吸收其他高溫度物體所輻射光線之性質。此種事實，由上述之共鳴理由，容易說明之。即凡屬氣體分子，殆毫不受分子力之作用，振動極其自由，其週期一定不變。當氣體在低溫時，固以其固有之週期而振動，然其振幅甚小，

於目不生感覺。若加熱於氣體而升高其溫度時，其週期雖不變更，但振動則行加烈，其振幅增加，因即現出其固有之光。故可知氣體如受有與自身振動週期相等之光波，則能由共鳴作用而將以脫波動能力之大部分吸收之。此即太陽光帶中黑線生成之原因也。

金屬或其他固體分子起複雜之振動，能與種種週期之光波起共鳴作用，故有吸收種種色光之性質。若投射於物質之光波週期，顯著的與分子振動之週期相異，不起共鳴作用時，則光波殆不能變更分子振動之狀態。即以脫不能作工於分子，隨之以脫波動之能力，殆全不能移之於分子，成爲波動之能力，由以脫傳之於其他以脫。吾人之所謂透明體者，即爲其分子振動之週期，顯著的與光波之振動週期相異，成爲不能多事吸收波動能力之物質。水、玻璃等分子振動之週期，較目力所能見之光波振動週期爲長，雖善能使普通之光線通過，但週期比較的爲長之熱線，則易被其吸收。

以上所說明者，皆以光波之生成，由於分子之振動。但按之實際，此種振動，並非分子之全體振動，而爲構成分子之原子內之電子振動。因電子須待於後篇電氣學中方始詳述，故此處不得不假定爲分子之振動如上所述。

第六篇 磁氣電氣學

第一章 磁石

221. 磁石及磁氣 天然鐵石中有種名爲磁鐵礦之黑色物質，若將此物質置之於鐵粉中而取出之，則多數鐵粉，即行附着於其上面。又如以此鐵石縱擦於鋼鐵棒上，則鐵棒亦立時獲得吸引鐵片之性質，此種吸引鐵類之性質，謂之磁性。凡具磁性之物質，謂之磁石而使磁石帶磁性之原因，則謂之磁氣。

如磁鐵礦等天然具有磁性之磁石，謂之天然磁石如鋼鐵棒等由人爲方法而成之磁石，謂之人工磁石人工磁石因其形狀之不同，而有磁針，馬蹄磁石，棒磁石等名稱然此等名稱，僅爲其形狀上之區別，而非其所具磁性別有不同之處。

222. 磁程 以鐵粉撒布於天然磁石或棒磁石上時，則鐵粉當如圖二四九所示，蜷集於其兩端，表示其



圖二四九

磁力之原因，有似伏在於其兩端近點者。此點謂之磁石之極或簡稱磁極。其連結兩極之直線，則謂之磁軸。

以線繫天然磁石或棒磁石而依水平懸之或以針尖支持磁針使其能自由迴轉，則磁石之某端，常指北方而他端常指南方。其指北之極，謂之北極或稱正極。指南之極，謂之南極或稱負極。南北二極，通常各以 S, N 二字表之。

以磁石置近於其他能自由迴轉之磁石時，如其接近之二極相同，則可見二磁石即行互相排斥。如其二極互異時，則二磁石即行互相吸引。於此可知凡磁極間均有一種互相作用之力，此力謂之磁力。

徵之於地面磁針常略指南北之事實，可知地球自身亦為一鉅大之磁石。其地理學上之北極，則具磁氣之南極 S，而南極則具磁氣之北極 N。

223. 磁氣量 關於磁氣之本性如何，目下姑置不論。但既如上節所述，磁氣能表現出磁力之作用。故如能測定磁力之大小以定其磁氣分量之多少，亦可成為一種物理量而計算之。

取甚長之二棒磁石而接近其雙方之一極時，則位於他端之磁極，影響於此極之作用甚微。故僅認其相近二極始有作用，亦無不可。設測得甲乙二磁石之 N 極於一定距離處各與第三磁石之 N 極之斥力各為 f 及 f' 。若 $f = f'$ ，則可

知甲乙二磁石之 N 極，其磁氣量相等；若 $f = mf'$ ，則甲磁石 N 極之磁氣量，為乙磁石 N 極磁氣量之 m 倍。

224. 庫倫之定律 法入庫倫氏曾用稱為扭秤之精巧裝置，以測定磁極間作用磁力之結果，得定律如下。

作用於兩極間之磁力，與兩極之強度之相乘積成正比例，與其距離之自乘成反比例。

上述之定律，謂之庫倫之定律。依庫倫定律，設兩極之強度各為 m, m' ，其距離為 r ，作用之磁力為 f ，則

$$f \propto \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

$$f = k \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

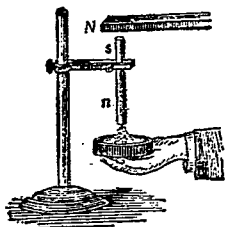
上式中之 k 為比例常數，如磁氣量之單位依下法以定之，則其值為 1。

磁氣量之單位：取強度相等之二極於空氣中相距一極處，其相互之作用力為一達因時之極之強度，為磁氣量之單位，是為磁氣量之絕對單位（單位極或極強）。

於上式， $r = 1$ 極， $f = 1$ 達因時， $m = m' = 1$ 。∴ $k = 1$ 。故由上述單位所表之磁氣量，如 m, m' 二磁極間之力為 f ，則

$$f = \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

225. 磁氣之感應 如圖二五〇所示沿直的夾持鐵棒而以磁極 N 接近其上端，則鐵棒亦即行成為磁石而能吸



圖二五〇

引鐵粉如以小磁針置近鐵棒之兩端而驗之，則其接近 N 極之端，生成異名之極 S；遠離 N 極之端，生成同名之極 N 此種鐵棒位於磁石之近傍而變成磁石之現象，謂之磁氣之感應鐵棒由感應而成磁石之現象，

謂之磁化。其使鐵棒起感應之磁力，謂之磁化力。

磁石吸引鐵片之理，可依磁氣之感應與庫倫之定律以說明之。即如置鐵片於磁極 N 之前面時，則由感應作用，鐵片所生異名之極 s，較之於同名之極 n 距磁極 N 為近，且兩極 n, s 之磁氣量相等，故作用於 s 極之引力，勝於作用於 n 極之斥力，因之鐵片即行被磁石所吸引。又鐵粉之所以能蝟集於磁石之兩極者，亦因個個鐵粉皆由感應作用以生成無數之小磁石，致其異名之極互相吸引之故。

用鍛鐵棒以行上述之實驗時，則磁極接近於棒之上端時，其棒之下端雖能吸引鐵粉，但若將磁極移遠，則鐵棒之磁性即行失去。此實驗如用鋼鐵棒行之，則其磁性雖不能如鍛鐵棒之顯著，然一旦由感應作用變成磁石後，則雖移去磁石亦無失去磁性之事。即鍛鐵棒由磁化力之作用獲得之磁氣，較之於鋼鐵棒所獲者為強，然磁化力消失後，則其磁氣之大部分亦即行消失。反之鋼鐵雖較難於獲得磁

氣，但一旦獲得後，亦難消失之。故鍛鐵之磁石，謂之一時磁石。鋼鐵之磁石，謂之永久磁石。

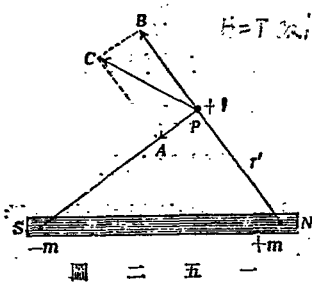
226. 磁性體 凡由磁化力之作用而現出磁性之物體，皆謂之磁性體。鐵、鎳、鈷等為自昔所知磁性體中之顯著者。如上所述，如使磁性體接近於稍強之磁極時，則由感應作用而行磁化，此磁性體即成為磁石而被其接近之磁極所吸引。根據此種實驗，如以種種物體置於極強之電磁石（容後述之）磁極之近傍而研究之，則可得知凡所有物體如非被磁極所吸引，即行被磁極所反撥。前者謂之常磁性體，後者謂之反磁性體。由實驗結果，

Fe Ni Co Mn Cr Si Ce Ti Pd Pt Cs Be Al K Na 等為常磁性體，而

Bi Hg Cu S W Ag Au Ar U Zn Sn Sb Cd Rd Pb 等為反磁性體。常磁性體中之鐵、鈷、鎳等，有傑出之磁性，其強度因磁化力之增加而激增，故謂之強磁性體。又反磁性體反撥於磁極之程度，極其微弱，雖蒼鉛為反磁性體中之傑出者，然亦非用極強之磁極，不易認知其作用。可知凡物質皆為磁性體，不過鐵、鎳、鈷及蒼鉛等之磁性較為傑出而已。

227. 磁場 置磁針於磁石之近傍時，則其磁極即行感受磁力之作用。此磁力作用之處，所謂之磁場。磁石之近傍，地球上之各處，及電流之周圍，皆磁場也。

因磁場內作用於磁極之磁力強弱，由其極之強弱而異。故比較磁力之大小時，對於磁極之強度，不可不固定之。為適合於此種目的起見，通常皆假想一有單位磁氣量之 N 極，即所謂單位正極以定磁場內之磁力。



如圖二五一所示， $N S$ 為極之強度為 m 之棒磁石，如置單位正極 $+1$ 於其磁場內之一點 P 時，則有 $\frac{m}{r^2} = PA$

達因之引力，與 $\frac{m}{r'^2} = PB$ 達因之斥力作用於其上此二力之

合力 PC 達因，即為 P 點上作用於單位正極之磁力。通常對於置單位正極於磁場內之一點時其作用之磁力，謂之該點磁場之強度其方向謂之該點磁場之方向。圖中之 PC ，即表示 P 點磁場之強度及其方向也。

228. 磁力線 如圖二五二所示，置磁石於厚紙下面而撒布少量鐵粉於紙上則鐵粉由感應作用，各成為小磁石。故輕敲厚紙時，則各鐵粉即因其振動而起運動，整列成如圖示之無數曲線。因此曲線上之鐵粉小磁石，皆依

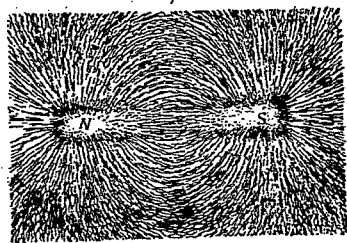


圖 二 五 二

其磁力方向而排列。故此小磁石之軸之延長線，即表示其磁力之方向。此方向與由其點引於曲線之切線方向，殆相一致。此曲線上各點所引之切線，如係表示其點之磁力方向時，則此曲線謂之磁力線。

磁石雖不能分離其正極或負極之一方，然假設僅取其正極而置之於磁石之近傍時，則正極受磁石之作用，沿磁力線由磁石之北極向南極移動。故磁力線之定義，又復可改述之如下。

磁力線為置於磁場之正極受磁力作用而運動之途徑。

因置於磁場之正極，常由北極向南極移動，故磁力線亦起於磁石之北極而終於南極。

如圖二五三所示，其甲為蹄形磁石之磁力線，乙為二同名極對置時之磁力線，丙為二異名極對置時之磁力線。

229. 分子磁石說 如折斷棒磁石為二段時，則其各段皆現磁石之性質，其所生南北二磁極，與磁石之磁極同一方向。次取其一段再折分為二段時，則各段亦現磁石之性質，其兩極亦與原磁石磁極之方向相同。如繼續此法以分割之，則雖任分至如何次數其分得之小片，亦皆能成為磁



圖二五三

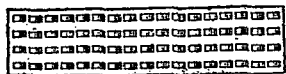


圖 二 五 四

石由此實驗結果，故可推想而知磁石為具有 N, S 二極之多數小磁石集合而成，即如圖二

五四所示，設磁石內部之各小磁石其反對之極互相對立時，則其二極互相作用，其磁力不致影響於外方；僅其兩端未曾抵消之自由磁極，併列而成磁極，故磁石之磁性，存於兩端而不現於中央。

威伯爾基於上述之事實，進而設想尚未磁化之鐵之分子亦為磁石，藉以說明種種之磁氣現象，謂之分子磁石說。依此說，凡未行磁化之鐵棒，其分子磁石之排列，極不規則，故其南北極於鐵棒之內部互相抵消，成為拘束磁氣，不能表現磁力於外部，但若置之於磁場內，依其長之方向而使磁化力



圖 二 五 五

作用於其上時，則分子磁石即行

依其方向而整列，於其兩端，表現未曾抵消之自由磁氣。

其後尤文更將此說加以修正後，則愈行適合於事實。即尚未磁化之鐵之分子磁石，非其排列之無規則，而由於磁極間之引力及斥力作用，致成如圖二五六所示之數個結

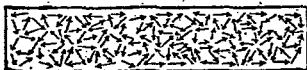


圖 二 五 六

成一組之狀態，此鐵棒如置入於磁場內，漸次增加其磁

場之強度時，則初時因磁化

力尙小，各分子磁石由相互磁力之作用，其傾向於磁化力之方向之度亦小。隨之鐵棒僅帶少量之磁氣。迨後因磁化力之強度漸次增加，分子磁石即反抗其相互作用而依磁化力之方向排列。故磁氣之量亦與磁場之強度俱增。待磁化力增至充分之強度，使所有分子磁石完全依其方向排列後，則雖再繼續增加磁化力之強度，其磁氣之量，當不能再行增加，謂之磁氣飽和。此事徵之於實驗結果，完全一致。故可知為一種有力之假說。



磁石之磁氣，不僅能表現於其兩端，即其兩端近傍之側面，亦能表現。故分子磁石愈近兩端時，由其磁氣斥力之結果，當如圖二五七所示，其方向稍失平行。

圖 二 五 七

230. 地球磁氣 因置於地球表面之磁針皆有略指南北之特性。可知地面之各部，皆屬磁場而地球實為一大磁石。如貫穿磁針之重心，裝一與磁針成直角之迴轉軸，依水平懸之而使之能上下左右自由迴轉時，則磁針之北極，於靜止後稍傾向於下方，與水平面成一定之角度。此角度謂之伏角。通常所見之磁針，其靜止時之位置，皆成水平者，因於製作時預使其重心位於支持點之外方，令其能靜

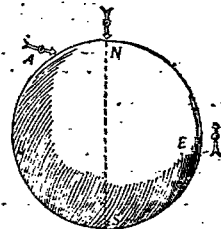
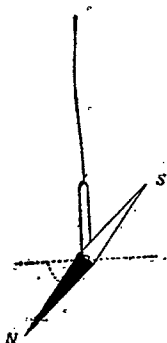


圖 二 五 八



圖二五九

止於支點之上而成水平故也。

伏角在赤道附近處爲零，其大小與緯度而俱增，在地球之兩極圈內，且有成直角之處，此處即地球之磁極也，因此磁極與地球之兩極不相一致，隨之磁針多不正指南北，其南北之方位，與磁針之方位之差，謂之偏角，偏角之大小，亦隨處而異。

又地球磁力之強度，亦隨處而異，其對於水平面之分力，謂之水平磁力，各地之伏角，偏角，及水平磁力，爲確定地球磁力之方向及大小所必需之要素，謂之地球磁力之三要素，此三要素之大小，常不絕的略有變化。

因地球磁力之三要素隨處而異，故實用上基於各地測定之結果，將三要素各各相等之地點，連結成曲線以表明之，謂之等磁線，等磁線常記入於地圖上面，以便航海及測地上之參考，其連結伏角，偏角，磁場之強度相等地點所成之曲線，各謂之等伏角線，等偏角線，等磁力線。

等於伏角 0 度之等伏角線，謂之地磁赤道，等於伏角 90 度之點，謂之地磁極，地磁赤道，略與地理學上之赤道相一致，而地磁極則在距離地極 10 度處之地點。

231. 羅盤 現今航海中最重要之器械，稱爲羅盤者，即爲應用磁針略指南北之性質，藉以辨別方位之裝置，爲我

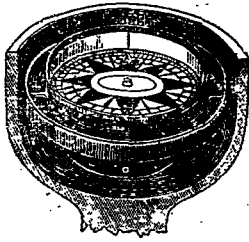


圖 二 六 〇

國最古之大發見，其構造之要部，如圖二六〇所示，於輕小圓盤之面上，劃分東西南北四方向後，更各細分之共成三十二格，盤之裏面，依南北之方向，置有磁針，此磁針以針尖支持之於圓盤之中心。

容此圓盤者，為三重之堅函，其外函固定於船身，中函內函則能自由迴轉於互成直角之水平軸之周圍，故船身雖任何動搖或變更方向時，其內函皆不受影響，仍行靜止，使圓盤之面，常保持水平，俾盤上所刻度數，常指一定之方向而不改移，又內函附有與船首方向一致之指標，由此指標所指圓盤上之方向，再與其地之偏角相加，即得正當之方向。

問 題

1. 將數支縫針附着於棒磁石之磁極時，則縫針之他端，即行張開，何故？
2. 以鋼鐵棒依南北方向放置後而激烈鈍擊之，則鐵棒即變成磁石，何故？
3. 工場中所用之鐵錐，常帶磁氣，何故？
4. 設有粗細均勻之鋼鐵線，於其磁化後以線繫其一點而懸之，求應繫於何點，鐵線始能成水平。

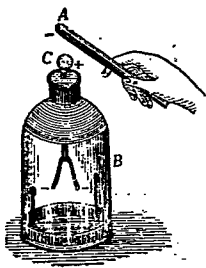
第二章 靜電

232. 帶電：以絹綢等絲質品擦過後之玻璃棒置近於輕微物體時，則可見輕微物體被其吸引。若將此棒置近於稱為電擺之燈芯小球近傍，則球亦被其吸引。然此球若一旦觸於玻璃棒後，則又即被排斥。又如用摩擦玻璃棒後之絹綢等絲質物體置近於此球時，則亦能起同樣之作用。此等現象，謂之帶電。其玻璃棒及絹綢等，謂之在於帶電之狀態，或謂之帶有電氣。再於此實驗，如用火漆棒以代玻璃棒，貓皮以代絹綢時，亦能呈同樣之現象。



圖二六一

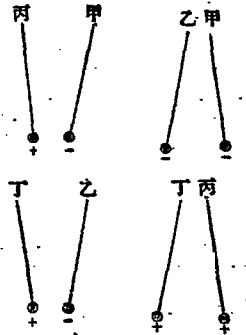
檢驗物體是否帶有電氣之最便利器械，厥惟金箔驗電器。金箔驗電器之構造，如圖二六二所示，由插於玻璃瓶中之金屬棒之上端，固定一金屬球或圓板，而於其下端懸垂二枚錫箔而成。若以帶電體置近於此金屬球傍或接觸之，



圖二六二

則金屬球與錫箔，同時感受電氣，因之二錫箔即互相反撥而張開。如以通常物體置近於其球頭時，則錫箔並無張開之事故。由此錫箔之張開與否，即能決定其球頭近傍之物體是否帶有電氣。又由錫箔張開度之大小，同時並可推知其帶電之多少。

233. 電氣之種類 以曾經擦摩玻璃棒之絹綢觸於甲乙二電擺後而將二電擺移近時，則擺之兩球互相排拒。又以被絹綢摩擦後之玻璃棒觸於其他之丙丁二電擺後而將二擺移近時，則擺之二球亦互相排拒。反之，如將甲球與丙球，或乙球與丁球同時移近時，則二球互相吸引。



圖二六三

又如移近甲球與丁球，乙球與丙球時，亦生同樣之結果。由此可知甲乙二球之帶電狀態，與丙丁二球之帶電狀態，異其性質，為區別此帶電狀態起見，稱玻璃棒所帶之電氣為陽電氣，絹綢等所帶之電氣為陰電氣。吾人對此陽電氣與陰電氣，有時亦謂之正電氣或負電氣。

將種種物質摩擦之而行上述之實驗時，其所得結果，均與上述之實驗相同。可知凡物體帶電之狀態，僅限於此陰陽二種。故由上述之事實，得電氣之定律如下。

同名之電氣，互相排拒，異名之電氣，互相吸引。

如前所述，以帶電體置近於電擺之近傍時，則電擺之小球，始則被帶電體所吸引，迨接觸後，即被其反撥。考其原因，由於接觸後小球獲得與帶電體同名電氣之故。又使金箔驗電器帶電而錫箔即行張開者，亦因其二錫箔所帶者為

同種電氣之故。

依實驗結果，如將下列二種物質互相摩擦之，則位於左方者，常帶陽電，位於右方者，常帶陰電。

毛 玻璃 紙 絹綢 橡皮 樹脂 琥珀 硫黃

234. 電氣之傳導 以手持玻璃或火漆之棒，使其一端觸於帶電之金屬上時，其金屬仍不失去帶電之狀態，然若以手執金屬棒之一端，而以其他端觸於此帶電體時，則帶電體上之電氣，即經由金屬棒與人體而移至地球上，帶電體之金屬，立時失去其帶電狀態，此能使金屬失去其帶電狀態之物質，謂之導體，其不能使金屬失去帶電狀態之物質，謂之不導體，金屬，人體，地球等，為導體，而空氣，火漆，玻璃，皮，毛等，則為不導體，又玻璃在通常情況之下，雖為不導體，然置之於濕潤之空氣中時，則因其表面凝結之無數水滴之故，亦成為半導體而能傳導電氣。

以手持金屬製之棒而以毛綢等物質擦之，則雖任憑如何摩擦，亦不現出帶電之現象者；因金屬為導體，其由摩擦所生之電氣，立時經由身體而移於地球之故，是以如附不導體之柄於金屬棒上而摩擦之，則金屬棒亦能呈帶電之狀態，此種為防止導體之電氣他移之不導體，特稱之為絕緣體。

235. 電量 為說明關於電氣之多數現象起見，當以假

定帶電之現象，由於帶電體帶有稱為電氣之一種物理量之多少較為便利，由上所述，此電氣其種類有二，而其性質相反，當此二種電氣等量的混合時，雖不現帶電之狀態，但若此種電氣較之於彼種電氣為多時，則現相當於其差之帶電現象，又電氣於導體中能自由移動，而於不導體中則否。

測量電氣量之多少時，通常皆用下法以決定之，即比較甲乙二帶電體之電氣量時，可取第三之帶電體丙以為標準，如甲與丙於某距離之作用力，等於乙與丙於此同距離之作用力時，則甲乙二帶電體之電量，謂之相等，若甲之作用力等於乙之作用力 n 倍時，則甲之電氣量，亦為乙之 n 倍。

由上所述，設取某電氣量為單位時，則比較之後，其他之電氣量皆可以數值表之，通常電氣之單位，定為二同名之等量電氣於相距一釐處之作用力為一達因時，其一方之電氣量，謂之靜電絕對單位。^(C.G.S. S.T.C.)靜電絕對單位，其值甚為微小，不適於實用，故通常皆取其 3×10^9 倍為實用時之單位，謂之一庫倫。

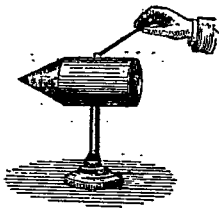
236. 庫倫之定律 庫倫用測定磁極間作用磁力之同樣方法，用扭秤以測定帶電體間作用電力之結果，得定律如下

作用於帶電二質點間之電力，與其二質點電量之積成正比，與其距離之自乘成反比例。

上述之定律謂之庫倫之定律。依庫倫定律設二質點之電量為 e, e' ，其距離為 r 厘米時，則其相互之作用力 f 達因之值如下式。

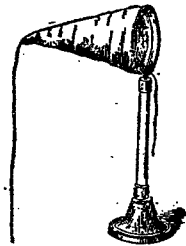
$$f = \frac{e \cdot e'}{r^2}$$

237. 電氣之分布：因電氣於導體內能自由移動，故附與電氣於導體時，則電氣即由互相排斥之作用，以期相隔甚遠，故結果致分布於導體之表面全體，以保持其平衡狀態。此種事實，徵之於吾人之實驗，毫無少誤。如圖二六



圖二六四

四所示，以驗電板觸於帶有電氣之金屬圓筒之內部，而置之於金箔驗電器上以驗之，可見其毫無電氣之表現。又使附有絕緣柱之圓錐形布袋帶電，而以驗電板驗之，亦可得知其電氣僅存於袋之外面，而不存於其內面。



圖二六五

如上述，靜電氣僅只分布於導體之表面。故如導體表面之形狀各處皆同時，則其內部無論中空與否，對於靜電氣皆具同等之作用。例如貼錫箔於木球上，亦能用之以代

金屬球是。

爲決定導體表面所分布電氣量之多少起見，可於單位面積之表面上設想一電氣量，謂之表面密

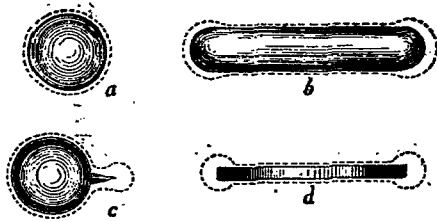


圖 二 六 六

度。表面密度，由實驗之結果，如帶電球係單獨存在時，則其各處皆屬相同，其狀態如圖二六六之 *a* 所示。又圖 *b*, *c*, *d* 所示者，各爲二端成球形之圓柱，及具一尖端之圓球與圓板等單獨存在時之表面密度。由此可知表面密度在表面扁平處爲小，而在尖端與彎曲處特大。

238. 電子說 由最近學說，凡構成物質之原子，皆由於帶陽電氣之微粒子與帶陰電氣之微粒子集合而成。前者謂之陽粒子，後者謂之電子。陽粒子之質量，其大小與輕氣原子之質量同格，爲構成原子之重要部分。電子之質量，則極爲微小，比之於輕氣原子之質量，僅及其千八百分之一。電子存在於原子內，有二種相異之狀態。其一以非常之高速度於原子內行一定之圓運動，謂之束縛電子。此等電子，設非因自然的破壞，不易出至於原子之外。至所謂自然的破壞云者，當如後所述，指鈾變爲鐳，鐳復變爲氣等現象之謂。其二稱爲自由電子，此種電子，由物理的及化學的手段，

能使與其所屬之原子分離，并可使其由甲物體移於乙物體。

如一原子中其陰陽二種電氣之量相等時，則其原子呈中性。若加一個或數個之電子於中性之原子時，則其原子呈陰性。反之，如中性原子失去一個或數個之電子時，則其原子呈陽性。

自由電子於導體中常不絕的離開原子而運動，於分子之間與原子或分子相衝突而呈反撥作用。其狀態正與氣體分子之運動相同。然在不導體中，則電子被原子或分子所拘束，其運動之範圍極小，不易逸出於分子之外。

中性物體帶陽電者，其意即指該物體會失卻若干電子；帶陰電者，則為曾經獲得若干電子之謂。例如摩擦玻璃與絹綢而使之發電時，其接觸面上電子之一部，即於摩擦時由玻璃遷移於絹綢。是又固體之導體，其電子受電力之作用，雖能由其一部分移動而至他部分，但陽粒子為構成物體之原子，雖受電力之作用，亦不能移動而變更其相互之位置。但導體為氣體或液體時，則陽粒子亦能起運動作用。如下章所述之電氣感應，即不外感受電力作用之導體電子運動之現象。

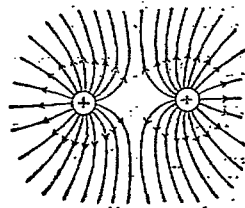
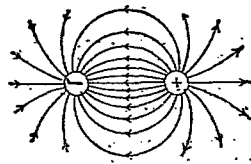
第三章 電氣感應

239. **電場** 凡帶電體周圍之電氣作用所及處，皆謂之**電場**。換言之，即電場為帶電體電力所及之範圍。如置單位陽電氣於電場之一點時，其作用之電力，謂之該點**電場之強度**。電力之方向，則謂之**電場之方向**。

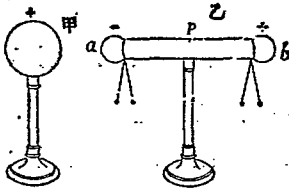
電場與磁場相同，其曲線上所引各點之切線方向，即為其各點之**電力方向**。而曲線則謂之**電力線**。又置少量之正電氣於電場之一點時，則正電氣受電力之作用，沿電力線而移動。故電力線之定義，又可改述之如下。

電力線為置於電場之正電氣受電力作用而運動之途徑。

圖二六七所示者，一為等量之正負二電氣相對時之電力線，一為等量之同名二電氣相對時之電力線。此等電力線，與磁氣之異名二極及同名二極相對時之磁力線完全同一形狀。



圖二六七



圖二六八

240. **感應** 置絕緣之導體乙於帶電體甲之近傍時，則乙體受甲體之電力作用，而生異名之電氣於甲之近端，同名之電氣於他

端此種事實，可以驗電板觸於導體之各部分而移其電氣於電擺，由電擺引斥之作用以知之。此種位於電場中導體帶電之現象，謂之電氣感應。其由感應作用所生電量之多少，則視帶電體與導體之距離如何而異。即距離愈遠時，其感應電氣亦愈減。如導體置於相當之遠處，則感應作用殆可全不發生。

又於上述之甲乙二導體之右側，更置一第三導體丙時，則丙亦多少感應之而帶電氣。今以導線連結乙與丙時，則乙丙成爲一導體，致乙之正電移於丙，丙之負電移於乙，分布成如圖二六九下方所示之狀況。此導線無論連結於乙與丙之何處，其電氣靜止後之分布狀況，皆完全相同。例如導線連結如實線或虛線所示時，其所得之結果均同是。此乙丙二導體一旦經導線連結後，則雖

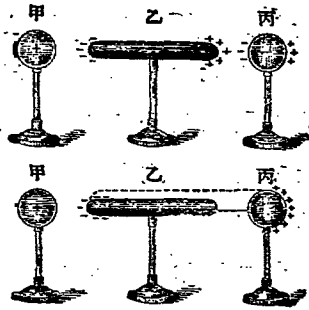


圖 二 六 九

除去其導線而乙體亦僅帶負電，丙體僅帶正電。此時雖將帶電體甲置遠之，其乙丙之電氣量不致因之而減少。吾人由此方法以附與電氣於導體時，謂之感應授電。

如上所述，凡負電氣運動，皆爲電子之運動。又正電氣之運動，亦非陽粒子之運動而爲依反對方向流動之電子選

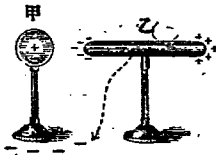


圖 二 七 〇

動。因地球為一大導體，故如圖二七〇所示，繫導體乙於地球以代丙時，則乙與地球成一導體，故設甲乙之距離較之甲與地表之距離甚小，則乙之正電氣流至於地球；又由甲之

感應生於地面之負電氣，集於乙體。故乙體之負電氣，較之未與地面連結以前，顯著的增加。此負電氣之量，由甲乙二導體愈相接近而愈增。故由感應授電欲得多量之電氣時，必須將導體與帶電體置之極近，且與地面相連結始可。

241. 起電盤 起電盤為利用感應授電之一種小起電器械，便於獲得少量電氣之用。其構造由填充火漆或硬橡皮板於金屬圓盤之內面，及一附有絕緣柄之金屬圓板而成。當起電時，先以貓皮摩擦盤面，則盤帶負電。次以金屬板蓋覆其上，則因金屬板與盤面實際上僅於數點相接觸，故由感應作用，生陽電於金屬板之下面，陰電於金屬板之上面。如以手指觸於此金屬板之上面，則其所帶之陰電盡行移於地中，同時由感應生於地面之陽電，移於金

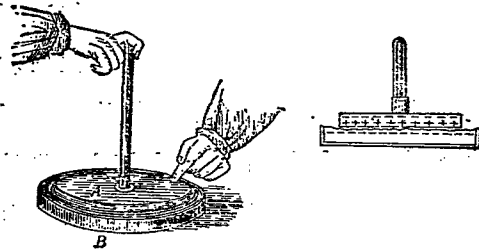
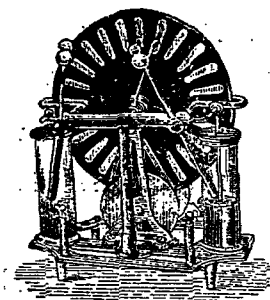


圖 二 七 一

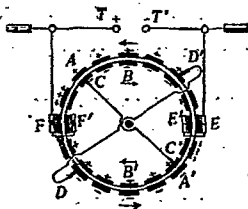
屬板上。因之金屬板上之陽電稍行增加。故去指而舉起金屬板時。則陽電即行分布於板之全體。以指近板。則生成小火花飛舞於其間。同時並發爆聲。或以驗電器驗之。亦容易辨別其所帶之電氣。又盤面之電氣不易消失。故反覆上述之手續。可使金屬板重覆帶電至任何次數。

242. 起電機 起電機亦為利用感應作用以獲得電氣之機械。於欲獲得連續之多量電氣時頗為便利。茲將其構造述之於下。如圖二七二所示。將於



等距離處貼有多數薄錫箔片之玻璃或硬橡皮圓板二枚。依前後之順序。同附着於一軸上。使錫箔之面皆向外方。而由轉車之裝置。能同時依反對之方向而迴轉。又兩板之前面。各置弓形金屬棒一支。此二棒互成直角而各與水平面成45度之傾角。棒之兩端。各附有金屬刷毛。與相隔180度之錫箔相連結。再兩板之左右二側。各有一對之金屬梳。與二板鄰近之錫箔相連結。因此梳由金屬棒與球頭即兩極相連通。故搖柄而迴轉圓板時。則所生之陰陽二電氣。各經由金屬棒而聚集於兩極。

起電機生起電氣之理由。茲依圖二七三說明之於下。如圖所示。以小圓代前方之圓板。大圓代後方之圓板。因空氣



圖二七三

中常帶有少量電氣，故起電機之錫箔，亦常帶有少量之電氣，設後板靜止而前板依矢之方向迴轉，此時假定其對於刷毛 C 之後板上錫箔 A 帶有陽電，則由感應作用，刷毛 C 即帶陰電，同時刷毛 C' 帶陽電，故前板

依矢之方向迴轉時，則經過 A 之錫箔，皆帶陰電，經過 A' 之錫箔，皆帶陽電，此帶陽電之錫箔，接近於梳 F, F' 時，則梳由感應作用，生起陰電於其端，而生起陽電於他端 T，其梳之尖端之陰電，因錫箔通過時與其陽電相中和，而剩餘陽電於極上，又帶陰電之錫箔接近於梳 E, E' 時，亦由同樣方法，生起陽電於其端而附與他端 T' 以陰電。

對於前板帶有陰電錫箔之後板刷毛，由感應作用亦帶陽電而他端帶陰電，故後板依反對之方向迴轉時，則帶陽電之錫箔，接近於梳 F, F' 而附與陽電於 T，帶陰電之錫箔，接近於梳 E, E' 而附與陰電於 T'，故前後二板依反對方向而迴轉時，則機械之作用，即生二倍之效果。

急速迴轉起電機之圓板而聚集多量電氣於兩極 T, T' 時，設其間之距離不甚大，則陰陽二電氣即發爆聲與火花而中和此種現象謂之火花放電。

火花放電時，如以厚紙置於兩極之間，則厚紙即被其穿

成小孔，謂之火花放電之機械的作用。落雷時摧折樹木及破壞房屋之種種的機械作用，固為吾人所熟知者。又電氣通過人體而放電時，則筋肉起痙攣作用，如電量過大，且有停止呼吸或卒倒等之所謂生理作用發生。

如帶電之導體，其一部分呈尖形時，則因此部分之電氣密度極大，致浮游於其近傍之細塵，受感應作用而被導體所吸引。造一旦接觸後，因承受其尖端之電氣，復行反撥。此種動作，不絕的進行，故尖端之電氣即隨之而漸次消失。此種現象謂之電氣之對流。故通常所用以聚集電氣之機械，務須避去尖形而用球形，藉以防止電氣之消失。

243. 空中電氣 考大氣中常帶有多量之電氣，其雨天所帶者為陰為陽，雖不一定，而晴天所帶者，則通常皆為陽電。

雲亦通常帶有電氣，若帶有多量異名電氣之二雲互相接近時，則其電氣能突破中間之空氣而放電，發生爆聲與強光，其聲即所謂雷鳴，火花則為電光。若帶有電氣之朵雲降近於地面，則地面亦由感應而生異名之電氣，往往通過中間之空氣而放電，生成所謂落雷之現象。因樹木多高出於地面，致由感應而生之電氣密集於其上，而處於與雲中電氣易於放電之狀態，故遭遇落雷之機會反多，吾人如遇雷雨時，若避之於樹木之下，則反為危險，不可不注意焉。

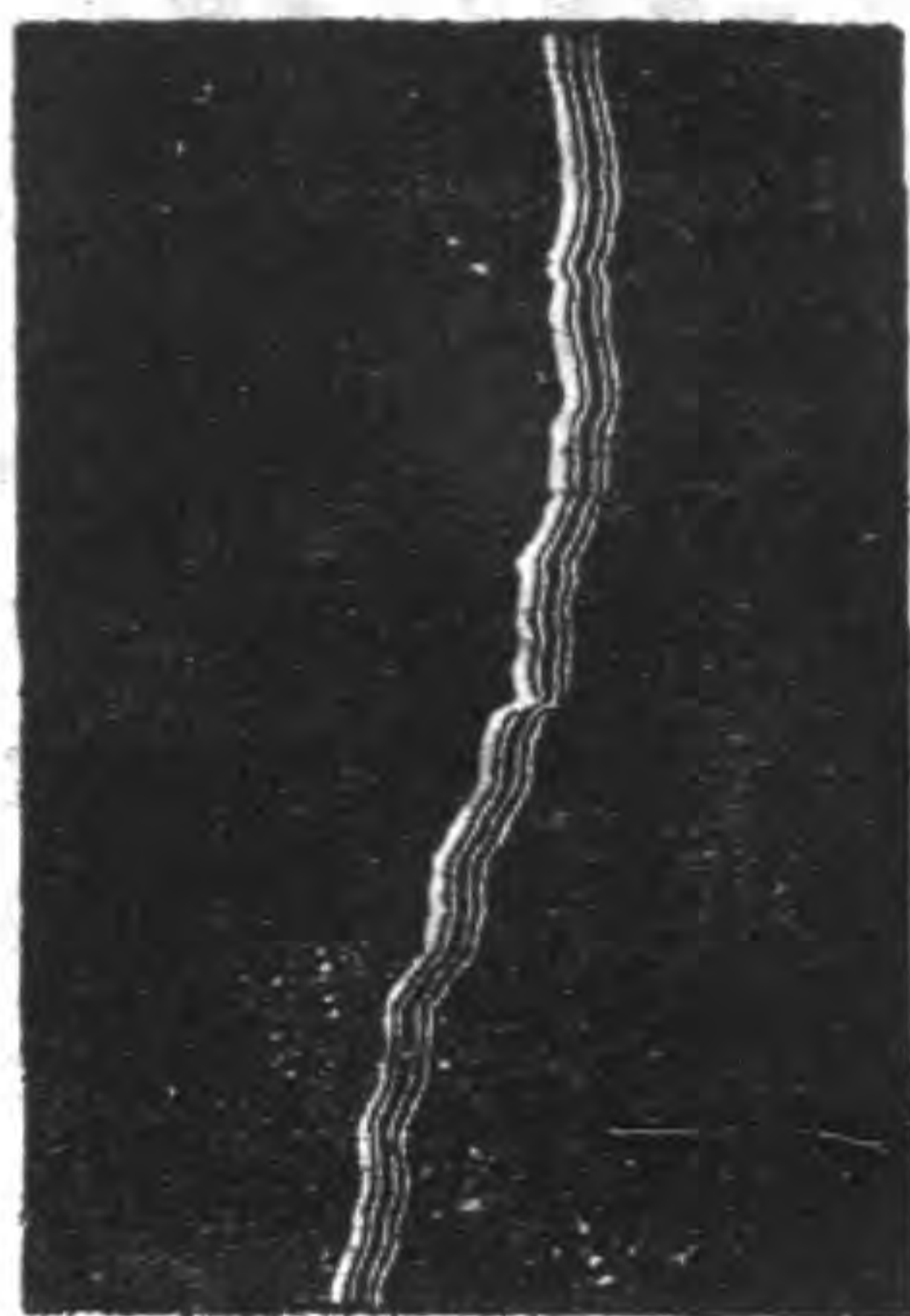


圖 二 七 四

又落雷現象發生於房屋附近時，則電氣常經由較空氣為佳之導體如屋頂，屋柱等以與地上之電氣相中和。故人如坐於室之中央，則比較的稍為安全。

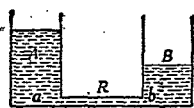
244. 避雷針 避雷針為一上端尖銳之長金屬棒，通常皆插之於屋頂或建築物之最高處，而於棒之下端連結數條之金屬線與埋於地中之金屬板相連。當落雷時，雲中之電氣導於金屬棒上，再由金屬線傳至地上以與地中之電氣相中和。故可防止家屋及人畜之受害。但如遇落雷過於激烈，則避雷針亦有失其效用時，如欲完全防止落雷之災害，必須用粗大之銅網以掩蔽家屋之大部分，而使網與地面相連結始可。因避雷針之用處，在於防止落雷之災害，而

非預防落雷之器械故也。

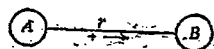
第四章 電位

245. 電位 盛水於器中，其水量愈多，則器中之水位亦愈高。又加熱於物體，其熱量愈多，則物體之溫度亦愈高。同樣，如附與電氣於導體，則電量愈多，其電氣集於導體之表面亦愈密。此導體帶電之狀態，通常皆用電位以表之。即某導體帶正電時，其電量愈多，則電位亦愈高。帶負電時，其電量愈多，則電位愈低。

一容器內水位之高低，雖由水之多少而定。若二容器內之水位高低，則不能單由水量之多寡以定之。例如如圖二



七五所示，盛同量之水於斷面面積不同之二器中，則斷面較狹器中之水位較之於斷面較廣器中之水位為高是。



圖二七五

故此時如欲決定二器內水位之高低，必須採用其他方法始可。例如以細管連通此二器之底時，則水必自水位較高之器中，向水位較低之器中流去。吾人由此水流之方向，即可判定其二器中水位之高低是。

比較溫度之高低方法亦同。其一物體溫度之高低，固由其熱量之多少而定。然若比較二物體溫度之高低時，則此

種方法亦不適用。然若使二物體相接觸，則熱當由溫度較高之物體移於溫度較低之物體。故由此熱之流動方向，即可判斷其二物體溫度之高低。

同樣，一導體電位之高低，固由其電量之多少而定。然若比較二導體電位之高低時，則亦不能僅恃電量之多少而決定之，必須應用比較二器內之水位，或二物體之溫度高低之同樣方法始可。即以導線連結二帶電之導體甲乙時，設其間毫無電氣流通，則兩導體之電位，謂之相等。若陽電由甲體移於乙體時，換言之，即電子由乙體移於甲體時，則甲體之電位，謂之高於乙體。若電流之方向與此相反，則甲體之電位，謂之低於乙體。由此可知正電量與電位之關係，恰與水量與水位之關係，或熱量

與溫度之關係完全相似。在導體二點間之電位如有差異，則電氣即因之流動。故導體上之電氣係

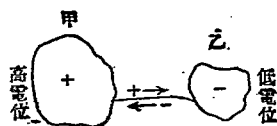


圖 二 七 六

屬靜止時，則其各部分之電位，亦當相同。此時之電位，謂之其導體之電位。二物體間之電位差，則謂之其物體間之電壓。

246. 電位之單位 水向下方流動時，其所能作工之量，可由上下二點間水位之差與其間流過水量之相乘積以定之。同樣，電氣由較高電位流於較低電位時，亦能作一定

1安培之電流導線中1秒間所通過之電量

$$Q = A t$$

333

—高中物理學—

量之工作其所作工作之量亦係由其二點間電位之差與其間流過電量之相乘積以定之故可知單位之電量流於二點間時其電流所能作工之量與此二點間電位之差成正比例隨之由此工作之多少即可以測定其二點間之電位差通常以一庫倫之陽電流於電位相異之二點間其電流所能作工之量為一朱爾時此二點間電位之差為電位之單位謂之一弗打。

實驗上如須比較導體電位之高低時當以用金箔驗電器為便即以導線連結導體與驗電器時則錫箔受帶電體之電氣而張開與導體成同一之電位因此錫箔之張開度與導體電位之高低成比例故由箔之開度大小即可推知其導體電位之高低凡測量電位高低之器械謂之電壓計或謂之電氣計。

247. 電氣容量 加同量之熱於物體時其物體溫度之上升程度當由其物質之種類及大小而異同樣附與同量之電氣於導體時其電位之上升程度亦由其導體之形狀及大小而異此使導體之電位升高一單位時所需之電量謂之該導體之電氣容量。

設與某導體以一庫倫之電氣致其電位增高一弗打時則此導體之容量謂之一發刺德今與Q庫倫之電氣於有C發刺德電氣容量之導體其電位因之升高V弗打時則

其間關係當如下式。

$$C = \frac{Q}{V}$$

或 $Q = VC$

因地球為一大導體，其容量非常之大，故任與多少電氣，其電位殆不稍變。故地球之電位，可視作永無變更者。因之為便利起見，通常皆以地球之電位為零而用作測量電位之原點。其理由與測量山岳之高度時，以海面為零而作測量之基點相同。

248. 蓄電器 於單獨之導體 A，其電位雖由其上之電量多少而定之。若其近傍另有一導體 B 時，則 A 之電位，當受 B 之電位之影響。例如以導線連結如圖二七七所示之導體 A 於驗電器上，由其錫箔之開度而記錄其電位。次以指觸絕緣之導體 B，使其電位成為零後置近於 A 時，則錫箔之開度，即行減少，表示導體 A 上之電位下降，而同時 B 之電位，則多少上昇。故再以指觸之，使其電位復為零時，則

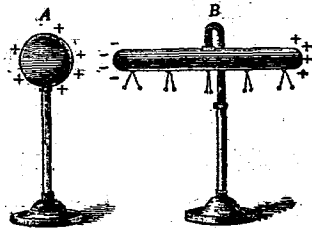
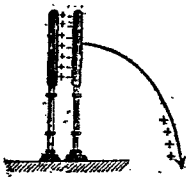


圖 二 七 七

錫箔之開度，愈行減少，表示 A 之電位益行下降。又 B 距 A 愈近時，則 A 之電位亦愈行下降。由此可知如欲保持 A 之原有電位，必須更附與其以多量之電氣。換言之，即 A 體之電氣容量，

因接近於電位爲零之 B 體而顯著的增加。反之，如附與 B 體以正電，昇高其電位後而置之於 A 體近傍，則驗電器之錫箔愈行張開，表示 A 之電位曾經上昇。B 距 A 愈近時，則 A 之電位亦愈昇，故非由 A 體取去某量之電氣後，其電位不能保持原有之數值，即此時 A 之電氣容量，反行減少。

蓄電器爲平行對立二枚面積甚廣之金屬板於極近距



離處以導線將其一板與地相連，使其電位爲零而使電氣積蓄於他板之裝置，此器依據上述之理由，故其電氣容量甚大，雖與以多量之電氣，其電位之上昇度亦

甚微小，故便於蓄積多量之電氣。

由實驗之結果，蓄電器之容量除與二板間之絕緣體有關係外，且遵守下述之定律：

如相對兩板間之絕緣體不變時，蓄電器之容量與其二板之面積成正比例而與二板間之距離成反比例。

：如二板間之絕緣體係屬玻璃時，其容量約等於其間爲空氣時之四倍，又其間爲硫黃時，其容量約等於爲空氣時之三倍。

：**萊頓瓶**爲蓄電器之一種，其構造爲於玻璃瓶內外二面之下部粘貼錫箔，而插一有球頭之金屬棒於蓋上，其棒之下端，懸垂銅鏈以與內面之錫箔相連接而成，如以導線連

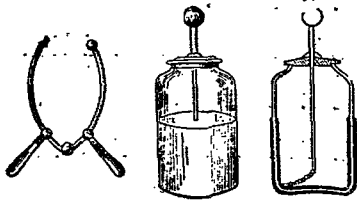


圖 二 七 九

結球頭於起電機之一極，而使外箔與地球相連接，然後廻轉起電機時，則多量之電氣，即行積蓄於內外箔間，其電位可達數千弗打之高，次以放電叉之

一端觸於外箔，而他端觸於球頭，使之放電時，則內外箔之陰陽電氣，即發強光與爆聲而中和，此光之持續時間極短，僅為一秒之數百萬分之一，故急速運動之物體，於此火花之下觀之，恰與靜止時相同。

粘貼錫箔於薄雲母片，或浸有石蠟之薄紙兩面時，亦成爲一種蓄電器，因此蓄電器二板間之距離極近，故其電氣容量

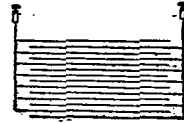


圖 二 八 〇

亦甚大，通常所用之石蠟蓄電器，即爲如圖二八〇所示，由數十枚之錫箔與石蠟紙分爲二組交互重疊而成。

第五章 電流及電池

249. 電流 以導線連結電位不同之甲乙二導體時，則揚電即由高電位之物體，移於低電位之物體上，於短時間內，至二導體之電位齊一後始行靜止，此種導體中所生之電氣流動，謂之電流。

上述之電流，其流動雖屬於一時的，然若將二導體連結於起電機之兩極而廻轉起電機時，則其所生之電氣集於導體後，皆向導線流去，成對流之現象而互相中和，此種作用於起電機廻轉期間內，不稍停止，故電流即不絕的經由導線而流動，其單位時間內流過導線斷面之電量，謂之電流之強度，而正電氣之流動方向，謂之電流之方向。

電流之單位，通常皆取一秒間流經導線之電氣為一庫倫時之強度以定之，謂之一安培。

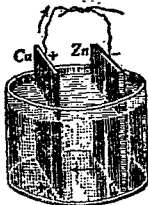
250. 接觸電氣 以絕緣之柄附着於二種不同之金屬上，使其金屬接觸後分離之而以驗電器驗之，則知其二種金屬上，多少帶有反對之電氣而生成電位之差異於其間，因此電位之差甚微，設非感覺極其敏銳之驗電器，無由感覺之，此種現象，謂之接觸電氣，接觸電氣之發生，由於接觸動電力作用於接觸面上之結果，此動電力之大小，可以其二金屬之電位差以測之。

接觸動電力由接觸二金屬之性質而定，與其形狀大小或接觸面之廣狹無關，又二金屬中之一方，無論其有無電位，而其二金屬間之電位差，常屬一定，例如順次連結鋅、鉛、錫、鐵等相異各金屬時，則先於鋅與鉛之間，由其性質生成一定之電位差，又無論鉛之電位如何，鉛、錫間亦由其性質，另生成其他一定之電位差，其錫、鐵之結果亦同，故兩端之

金屬鋅與鐵間之電位差，等於各相接二金屬間電位差之代數和。

次彎曲此等金屬之連接棒成一輪形，而使其兩端之金屬鋅與鐵相接觸，則諸金屬間之電位雖各異，然電流不流於金屬之輪道中，但如以酸類或鹽類溶液與此等金屬中之某一種相置換時，則溶液之內部，即起化學的變化，同時電流亦循環流於其輪道中，此種裝置謂之電池，為獲得電流最便利之裝置。

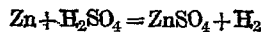
251. 弗打電池 *Volta's cell* 弗打電池之輪道，由銅、鋅、稀硫酸三者組合而成，其裝置之方法，為盛稀硫酸於玻璃器內，而對立



圖二八一

銅板與鋅板於其中，則銅帶陽電，鋅帶陰電，其間約生成一弗打之電位差，此銅板與鋅板，各謂之電池之極，而銅謂之陽極，鋅謂之陰極，如以導線連結此二板時，則電流即由

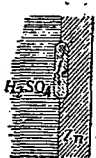
陽極經由導線而流於陰極，期使兩極之電位相等，同時硫酸亦與鋅起作用，生



之化學反應，成為硫酸鋅，其輕氣則由銅板面上發出，同時其鋅板獲得陰電，銅板獲得陽電，而電流即不絕的流於導線之中，此電池兩極未經連結時之電位差，依接觸電氣之定律，僅由兩極之金屬性質及溶液之品質等而定，與其極

之形狀大小或液之多少無關。此電位之差，謂之電池之動電力。
 \mathcal{E} (E. M. F.)

✓ 252. 電池之分極 純粹之鋅板與硫酸相接觸，雖不發生化學變化，但通常所用之鋅質，多不純粹，內中含有鐵質，故

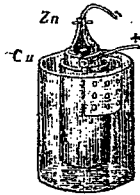


能與硫酸起作用。例如如圖二八二所示，於鋅之某處附着有鐵之小片時，則鋅、鐵、硫酸聯成一輪道，致電池於不使用時，此處亦生局部之電流，使鋅板消耗於無益。此種電流，謂之局部電流。為防

止此局部電流之發生起見，應選用純粹之鋅板，或塗水銀於鋅板之表面，藉以避免與硫酸相接觸即可。

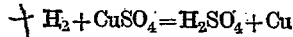
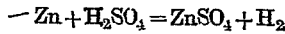
又弗打電池由化學作用所生之輕氣，其一部分即附着於銅板面上，此輕氣不但能妨礙電流之進行，且復生與電流相反之小動電力以減衰電池之作用。此種作用，謂之電池之分極。凡電池愈經使用，其分極作用亦愈甚，致電流漸次衰弱。如欲防止此分極作用，當如下述之諸種電池，用二種溶液，使其發生之輕氣別起化合作用即可。

253. ^{Daniel's cell} 但尼爾電池 但尼爾電池為盛硫酸銅之濃溶液於陶器或玻璃之器內，而於其中立一圓筒狀之銅板，又置一盛有稀硫酸之生瓷筒於其中，此筒中更立一塗有水銀之鋅棒而成。此電池之陽極為銅，陰極為鋅，其動電力約為一弗打。如以導線連結其兩極時，則鋅與硫酸起作用而生



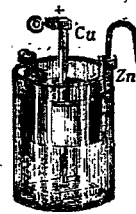
圖二八三

成硫酸鋅與輕氣，此輕氣通過生瓷筒，與其外面之硫酸銅起作用，成爲硫酸與銅，而銅即附着於其陽極之銅板上，其化學之反應如下式



因生瓷筒外面之硫酸銅，由上式之反應，變爲硫酸，故須豫置多量結晶之硫酸銅於其溶液中，以備補充之用。

因硫酸銅之溶液較稀硫酸爲重，故但尼爾電池亦可省去其生瓷筒而不用，即盛硫酸銅之溶液與硫酸銅之結晶於圓筒之下部而注入稀硫酸於其上面，置銅之陽極於下，鋅之陰極於上時，亦成爲一種電池，謂之重力電池，但尼爾電池之電流雖不甚強，然殆無分極作用，故其強度始終不變。



圖二八四

254. 本生電池

Bunsen's cell
本生電池

之裝置，爲立一圓筒狀之鋅板於盛有稀硫酸之器內，而置一盛有濃硝酸之生瓷筒於其中，筒中更立一炭素棒而成，此電池之陽極爲炭素棒，陰極爲鋅，動電力爲 1.9 弗打，其由硫酸與鋅之作用所生輕氣，復與生瓷筒中之硝酸起作用，由下式之反應

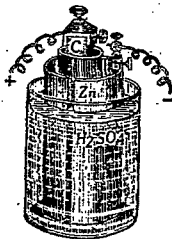
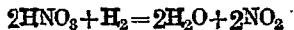
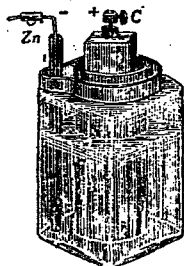


圖 八 五



生成二養化淡與水。此二養化淡之一部分，溶解於硝酸，而他部分則出至於空氣中。此種電池之電流雖甚強，但其分極作用亦顯著。

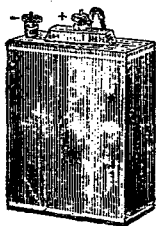
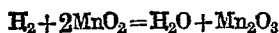
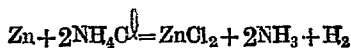
255. ^{Zelanché's cell.} 路克蘭電池 路克蘭電池之構造，為於本生電池中，用綠化銻之濃溶液以代稀硫酸，及炭粉與二養化錳之混合物以代硝酸而成。其陽極為炭素，陰極為鋅，動電力為 1.5 弗打。



圖二八六

此電池由綠化銻與鋅之作用，生成綠化鋅，亞摩尼亞，輕氣等，此輕氣與生瓷筒中之二養化錳復起作用，奪取其中之養

氣，化成合水故可消去分極之作用。其化學之反應如下式。

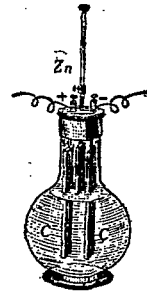


圖二八七

將此電池之綠化銻溶液浸於燈蕊，石膏等多孔質中以吸收之，則更便於攜帶。如此所製成之電池，謂之乾電池。

256. ^{richmans cell.} 重鉻酸鉀電池 重鉻酸鉀電池為於稀硫酸與重鉻酸鉀之混合液中，對立鋅板與炭板各數片而成。但通常

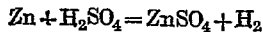
多置一枚之鋅板於正中，而配二枚之炭板於其兩側，此二枚炭板即為陽極，而其鋅板為陰極，其動電力約為 2 弗打，於需要強電流時用之最宜，此電池如不使用時，可將其中央之鋅板提高，以免去鋅之無益消耗，其化學之反應如下，即先由重鉻酸鉀與硫酸相作用，由下式之反應，



圖二八八



生成鉻明礬 $[\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2(\text{SO}_4)]$ 與水及養氣等，此發生機之養氣，復與由陰極之鋅與硫酸，依下式反應



所生之輕氣化合，成為水而免去分極之作用，然因液中有由化學反應生成之鉻明礬溶解於其中，致其動電力亦有漸次衰退之弊。

第六章 電氣抵抗

257. 歐姆之定律 歐姆由研究導線兩端之電位差與其流過電流強度之關係，發見下述之定律。

流過於導線中之電流強度，與其導線兩端之電位差成正比例。

上述之定律，謂之歐姆之定律，設導線兩端之電位差為

E 弗打, 電流之強度爲 C 安培時, 則由歐姆定律, 其 $\frac{E}{C}$ 之值一定不變如其比值以 R 代之, 則關係如下式。

$$\frac{E}{C} = R$$

$$\text{或 } E = RC$$

258. 電氣抵抗 保持二容器內之水位之差一定不變, 以種種粗細或長短不同之管連結之, 而比較一定時間內其中流過之水量時, 則其結果如下。如管之長度相同時則管愈粗, 其流過之水量亦愈多, 如管之粗細一定時, 則管愈短, 其流過之水量亦愈多。又以種種導體連結保有一定溫度之差之二物體時, 其一定時間內流過導體之熱量, 亦由導體之性質及其粗細長短之不同而異如同爲一物質之導線, 則其導線粗而且短者, 較之細而且長者所流過之熱量, 顯著的爲多。

同樣, 以種種導線連結保有一定電位差之電池兩極時, 由其導線之品質與粗細長短等之不同, 致流過導線之電流, 亦有強弱之差異。換言之, 即導線對於電流之抵抗, 各有不同也。如保持導線兩端之電位差 E 爲一定時, 則由前式, 其 R 大時, 則電流弱, R 小時, 則電流強。吾人由其流過電流之強弱, 即可以測知其導線抵抗之大小。抵抗之單位, 通常皆取導線兩端之電位差爲一弗打, 而其流過之電流爲一安培時之抵抗, 以定之。謂之一歐姆。一歐姆等於長 106.3 厘。

斷面積一平方釐之水銀柱於攝氏零度時所有之抵抗

由實驗結果,凡同屬一物質之導線,其抵抗與長度成正比,與斷面積成反比例,又溫度上昇時,其抵抗亦增加。

長為一釐斷面積為一平方釐之物質,當電流垂直的流過其斷面之抵抗,謂之該物質之比抵抗,此值通常皆以 ρ 表之,即長 l 釐斷面積 S 平方釐之抵抗 R 之值,等於下式

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

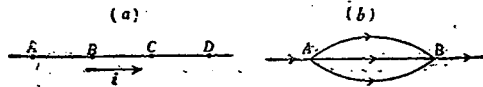
茲將長一米斷面積一平方釐之各種金屬導線於0°C 時所有之抵抗,列表於下。

抵 抗 表

蒼鉛	1.313歐姆	鉛	0.196歐姆	白金	0.0206歐姆
水銀	0.943歐姆	鎳	0.124歐姆	銅	0.0160歐姆
白銅	0.267歐姆	鐵	0.097歐姆	銀	0.0151歐姆

259. 全抵抗 連結多數抵抗不同之導線時,其方法可分為二種,一

為如圖二八



九之 a 所示,

圖 二 八 九

將各導線順次連結成行者,謂之行連結,為如同圖之 b 所示,將各導線並列成列者,謂之列連結。

依行連結時,其作用於各導線之電位差,雖各不相同,但

其特徵爲電流之強度各處一律，依列連結時，各導線電流之強度雖各不同，但其特徵爲各線兩端之電位差皆屬相等，茲將其全抵抗與各部分抵抗之關係，計算之如下。

I. 行連結 設各導線之抵抗爲 R_1, R_2, R_3 歐姆而 A, B, C, D 諸點之電位各爲 E_A, E_B, E_C, E_D ，弗打（見圖二八九之 a）流於導線之電流強度爲 C 安培時，則由歐姆之定律，其關係如下。

$$E_A - E_B = R_1 C$$

$$E_B - E_C = R_2 C$$

$$E_C - E_D = R_3 C$$

將上列三式邊邊相加，得

$$E_A - E_D = (R_1 + R_2 + R_3) C$$

設導線之全抵抗爲 R 歐姆，則

$$\frac{E_A - E_D}{C} = R = \underbrace{R_1 + R_2 + R_3}$$

即依行連結時導線之全抵抗，等於其各導線抵抗之和。

II. 列連結 設導線 A B 兩端之電位差爲 E 弗打，其流於各導線電流之強度爲 C_1, C_2, C_3 安培時，（見圖二八九之 b）則

$$E_A - E_B = E = R_1 C_1 = R_2 C_2 = R_3 C_3$$

即流於各導線電流之強度，與其導線之抵抗成反比

例設其全電流爲 C 安培，全抵抗爲 R 歐姆時，則

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\text{又 } \frac{E}{C} = R \quad \text{或} \quad \frac{1}{R} = \frac{C}{E}$$

$$\text{故 } \frac{1}{R} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

即依列連結時，導線全抵抗之逆數，等於各抵抗逆數之和，可知全導線之抵抗，較之於任何導線之抵抗爲小。

260. 電池之抵抗 電池亦爲一種導體，故當電流流於其內時，亦不免受有多少之抵抗。此種抵抗，謂之電池之內抵抗。對此，其連結電池兩極之導線抵抗，則謂之外抵抗。電池之內抵抗，由於液之品質，兩極之大小，及兩極間之距離而異。在同一電池時，其兩極浸於液中部分之面積愈大，則抵抗愈小。又兩極之距離愈大，則其抵抗亦大。通常所用電池之內抵抗，但尼爾電池爲由 2 歐姆至 5 歐姆左右，本生電池或乾電池則爲由 0.2 歐姆至 0.5 歐姆左右。

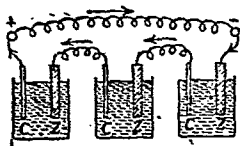
設以抵抗 r 歐姆之導線連結內抵抗 b 歐姆之電池兩極，其所生電流爲 C 安培時，則由電池之陽極經由導線流至陰極之動電力 e 爲 Cr 弗打，由陰極經由電池內部流至陽極之動電力 e' 爲 Cb 弗打，故電池全輪道之動電力等於 e 與 e' 之和，即等於電池輪道未閉時兩端之電位差 E 。

$$\text{故 } E = e + e' = C(r + b)$$

$$\text{或 } C = \frac{E}{r+b}$$

由上式,如預知電池之動電力及其內外抵抗時,即可以求得其電流之強度。又因 $E > Cr$, 故以導線連結電池之兩極時,其間之電位差較之於電池之動電力為小。

261. 電池之連結 取動電力 E 弗打之電池 n 個,順次將其一電池之陽極與他電池之陰極相連而用行連結時,



圖二九〇

則其全抵抗等於各電池內抵抗之 n 倍。又電池兩極之電位差即動電力,不拘其一極之電位如何,常屬一定。故將 n 個電池用行連結時之全動電力,等於各電池動電力之 n 倍。設此輪道中

電流之強度為 C 安培,外抵抗為 R 歐姆時,則

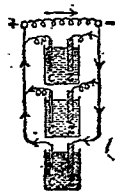
$$C = \frac{\text{全動電力}}{\text{全抵抗}} = \frac{nE}{R+nr} \dots\dots(1)$$

次取各電池之陽極與陽極陰極與陰極各連成一束而用列連結時,其全內抵抗等於各電池內抵抗之 $\frac{1}{n}$ 全動電力則與各電池之動電力無異。故得下式之關係。

$$C = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r} \dots\dots(2)$$

在內抵抗 r 較外抵抗 R 顯著的為小時而用行連結,則依 (1) 式,得

$$C = \frac{nE}{R}$$



圖二九一

又用列連結時依(2)式得

$$C = \frac{E}{R}$$

由此可知用內抵抗甚小之電池，而欲獲得強度之電流時必須依行連結以連連之。若電池之外抵抗甚大而用列連結時，則其電流與一個單獨電池之電流無異。

次設內抵抗 r 較之外抵抗 R 顯著的為大時而用行連結，則依(1)式得

$$C = \frac{E}{r}$$

又列連結時，依(2)式得

$$C = \frac{nE}{r}$$

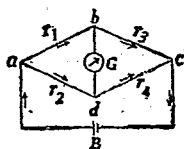
由此可知如電池之內抵抗較外抵抗為大時，而欲獲得強度之電流，必須依列連結以連結之。若依行連結時，則其電流與一個單獨電池之電流無異。

若將各由 p 個電池依行連結連成之電池組 q 組而用列連結時，則由上述之理，其各組之動電力為 pE 弗打，其內抵抗為 pr 歐姆。今將此電池組 q 組連結成列時，其動電力雖無增減，而內抵抗則減為 $\frac{1}{q}$ ，故得下式。

$$C = \frac{pE}{R + \frac{pr}{q}} = \frac{pqE}{qR + pr} = \frac{nE}{qR + pr}$$

上式中之 n , 表電池之總數 pg .

262 費笛司頓之電橋 如圖二九二所示, 將導線六支



與電流計 G 及電池 B 連結成橋之裝置, 謂之費笛司頓之電橋。如圖; 設其 a, b, c, d 諸點之電位為 A, B, C, D ; ab, ad, bc, d 間之抵抗各為 r_1, r_2, r_3, r_4 時, 則由此等

圖二九二

導線抵抗之關係, 如其 b, d 二點之電位

相等, 其電流計中必無電流通過, 故由歐姆定律, 得下式之關係。

$$\frac{A-B}{B-C} = \frac{r_1}{r_2}, \quad \frac{A-D}{D-C} = \frac{r_3}{r_4}$$

然 B 與 D , 其大小相等, 故由上式, 復得下式之關係。

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_3}{r_4} \quad \text{或} \quad r_1 r_4 = r_2 r_3$$

由此可知四導線之抵抗如能滿足上式之關係時, 則無電流通過於電流計中, 此時如預知四線中之三線抵抗, 則其餘一線之抵抗, 即可以求得之。此法實為測定導線抵抗之最良方法, 即將所欲測定其抵抗之導線, 與其四導線中之任意一線相置換, 例如置入於 cd 間保持 r_1, r_2 之比值一定而將 r_3 之抵抗種種變換, 使電流計中無電流通過時, 則由上式, 即可將其導線之抵抗計算而得之。

問 題

1. 16 燭光之鎢絲電燈,需要 100 弗打電位之電流 0.2 安培,求燈球內鎢絲之抵抗.

2. 如以抵抗為 25 歐姆之導線 10 米,連結電位差為 100 弗打之電源兩極,能生幾安培之電流,又對於導線每米之長度,其電位下降之程度若何.

3. 求長 100 米斷面積 0.5 平方耗之銅線於 0°C 時之抵抗.

4. 有銅塊延長之使成 120 尺之銅線時,其抵抗較之延長之使成 360 尺之銅線時若何.

5. 設 A, B 為同質等長之導線,其抵抗, A 為 4 歐姆, B 為 9 歐姆,求 A 之直徑為 1 耗時, B 之直徑幾何.

6. 有抵抗各為 1, 2, 3 歐姆之導線,如將其用列連結或行連結時,求其全抵抗幾何.

7. 將抵抗為 3 歐姆及 5 歐姆之導線依列連結而通以電流時,其抵抗在 3 歐姆之導線流過之電流為 2 安培,求他一導線之電流幾何.

8. 以 20 歐姆之導線完成動電力 2 弗打內抵抗 0.1 歐姆之電池輪道時,求其電流之強度及兩極之電位差幾何.

9. 以導線連結動電力 2 弗打之電池兩極時,獲得 5 安培之電流,而其兩極之電位差降至 1.8 弗打,求電池之

電熱 $H = 0.24 e^2 R t \left(\frac{1}{\text{卡}} \right)$

功 $1 \text{ 卡} = 4.18 \text{ 焦耳}$ 物理學

內抵抗 $J = e E t, \quad W = e E$

10. 以抵抗各為 2 歐姆, 與 3 歐姆之導線二支, 依列連結連結於動電力 2 弗打, 內抵抗 0.5 歐姆之電池兩極時, 求其各導線上流過之電流。

11. 有動電力 1.9 弗打, 內抵抗 0.3 歐姆之本生電池十個, 今以抵抗 5 歐姆之導線連結之而使之通電流, 求電池悉依行連結及悉依列連結, 與每二個用行連結之五組電池再依列連結時, 其電流之強度各若干。

12. 有內抵抗 0.8 歐姆之電池 20 個, 求以抵抗 (a) 20 歐姆 (b) 0.03 歐姆 (c) 4 歐姆之導線連結之, 如其通過之電流最強時電池之連結方法若何。

13. 取動電力 2 弗打, 內抵抗 0.3 歐姆之電池 3 個, 將其中二個依同方向其餘一個依反對方向行連結後, 而以抵抗 10 歐姆之導線連結之, 求其流過之電流強度若何。

第七章 電流之熱作用

263. 朱爾之定律 當電流流過於輪道中時, 其輪道之各部分, 多少發生熱量而增高其溫度, 考其原因, 知為電子受導體分子間之抵抗而強行流過之故, 其理由與推動案上陳列之物體時, 因物體與案面之摩擦, 致其接觸面多少發生熱量之情形相同, 朱爾經長久時間研究電流之強度

$$\text{馬力} \times \frac{1}{746} = t R c^2 = 1 \text{ 瓦特} = 0.24 \times t R c^2 \text{ 牛}$$

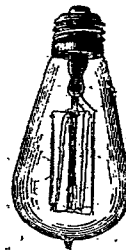
及導線之抵抗所生熱量間之關係，得下述之定律。

單位時間內輸道中某部分所生之熱量，與其部分之抵抗及電流強度自乘之相乘積成正比例。

上述之定律，謂之朱爾之定律。

264. 電流之工率 因使單位電氣通過於電位差為 E 之導線二點間時，其電流之所作工作為 E ，故如使 Q 量電氣通過於其間時，則所作工作為 $E Q$ 。設此電流之強度為 c ，其流過時間為 t 時，則 Q 等於 ct 。隨之其單位時間內電流之所作工作（即工率），等於 $E c$ ，又 E 等於 $R c$ ，故工率 $E c$ 等於 $R c^2$ 。通常皆以一安培之電流流過於電位差為一弗打之二點間一秒間所作之工作為工率之單位，謂之一瓦特。一瓦特相當於英制一馬力之 746 分之一。由上節所述之朱爾實驗，電流於單位時間內反抗導線之抵抗能作 $R c^2$ 之工作，故可知同量之能力，曾由電流移至於導線之分子，成為熱之能力而表現。

265. 電燈 電燈為利用電流生熱之作用，以獲得強光之裝置，有白熱燈與弧燈二種之別。如圖二九三所示者，為通常所用之白熱燈形狀，其構造由將纖細之鎢絲插入於真空之茄狀玻璃泡中而成。如通以電流時，則鎢絲因被強熱而發白光，因泡內係屬



圖二九三

真空，故鎢絲不致起氧化作用而有燒失之弊。通常所用 16 燭光之白熱燈，其鎢絲兩端之電位差如為 100 弗打時，則約需電流 0.2 安培，即需要每秒 20 瓦特之電流。

近今市上盛行之氣體填充電池，為將氬氣封入於鎢絲電燈泡內而成。較之普通之鎢絲燈泡，約可省電二分之一。

弧燈為使強電流通過於對立二炭素棒間，而使之發生強烈白光之裝置。用時先使其棒之兩端互相接觸，然後通以電流，再使棒之兩端稍行離開，則白色之火花即成弧形而飛躍於兩極間，故稱之為弧燈。此時炭素棒之兩端，因被熱至三千度內外，致炭素之一部分即由兩極起蒸發作用。又當電流通過時，同時炭素之一部分，亦由陽極飛至於陰極而附着之。故陽極之消耗較陰極為早。如圖二九四所示者，即為弧燈二炭素棒之模樣。



圖二九四

通常所謂弧燈之燭光，與普通之燭光不同，其光度僅等於普通燭光之四分之一。例如 2000 燭光之弧燈，實際上僅為 500 燭光是。

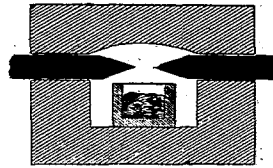
因電流通過於炭素棒間時，其兩極之炭素即漸次消失，故必須附屬一調整器，以保持其間之距離一定不變。

266. 電熱器 電熱器 為利用電流生熱之作用，藉以溫。

暖室內，或煮沸飲水，或烹調食品等之便利裝置，既無烟塵爐灰之污穢，復無引火熄燼等之煩難，可謂為家庭中理想的熱源。但其價值較普通之燃料為高，經濟上稍不合算，為其缺點。

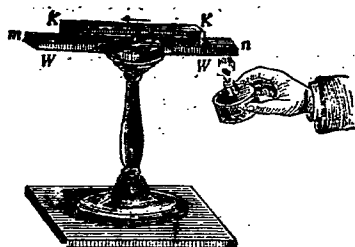
電熱器之發熱部分，為利用融解點甚高且不易氧化之鎳，鉻合金細線，卷於耐火性之物質上而成。故通以電流時，細線即行赤熱而發大熱，以供吾人之使用。電氣熨斗，電氣火爐，電氣烹飪器等，皆為應用電熱器之最普通器具。

電氣爐亦為利用電流生熱器中之一種，其構造如圖二九五所示，以粗炭素棒穿過對立之二石灰板而成，將被熱物體盛於坩堝之內置之爐中，通以電流，則炭素棒發弧光而盛行燃燒，坩堝因之直接的或間接的承受此多數之輻射熱，故其溫度即增高至數千度，而使其內中之物質起融解作用。



圖二九五

267. 熱電流 如前所述，知機械的能力，可變為熱；熱亦復可變為機械的能力。同樣，電流之能力，亦可變為熱；熱之能力復可變為電流。茲述之於下。取異質之二金屬棒 A, B, 彎曲之使成為圓形之輪道，則於其接縫之一處，由 A 流向 B 之動電力，與其他之接縫處依同方向流過動電力之和；



圖二九六

依弗打定律，其值等於零，故無電流流過於其間。然若加熱於二接縫處之一處，使其二接縫處之溫度相異時，則其二處之動電力，即生大小之差異，因之

電流即流過於其中。此種電流，謂之熱電流。如圖二九六所示，取蒼鉛板 $W W$ 與鎳板 $K K$ 接合成一框形，置磁針於框內而加熱於一方之接合部時，則磁針向一方偏傾，可認知其電流於被熱之部分，由蒼鉛向鎳流去。依據能力不滅之定律，此接觸部分所生之熱電流，當然為其部分所受之熱能力變化無疑。

由組合種種金屬棒而研究其熱電流方向之結果，排列有下記之所謂熱電列者之順序。

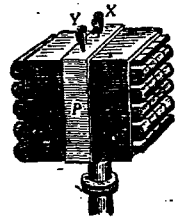
鎳 鐵 鋅 銀 金 鉛 水銀 銅 白金 蒼鉛

於熱電列中，任取二金屬作成輪道時，其熱電流皆於其接合部由下位之金屬向上位之金屬流去。其動電力之大小，則由金屬位列中之距離愈遠而愈大。故組合蒼鉛與鎳時，較組合其他任何金屬所得之熱電流為強。

通常對於能獲得熱電流之裝置，皆謂之熱電池。如圖二九六所示者，即為熱電池之一種。熱電池二接合部分之溫

度如相差不大時，則其動電力與其溫度之差異，成正比例而增加。銻與蒼鉛之熱電池，其動電力對於溫度相差一度時，約各增加 0.0001 弗打。

熱電池通常不能用之於由熱能力變為電流之用，而只用以測定其接合點之溫度差。如圖二九七所示者，為將多數之銻與蒼鉛合成之熱電池，絕緣後依行連結以連結之，而將其接合點相等露於上面。此種熱電池組謂之熱電堆。通常多用之以行輻射熱之測定。



圖二九七

又熱電池亦可利用之以測定火焰，火爐等高溫度，惟利用於此種目的之熱電池，必須組合白金及白金與銻之合金而成者始可。

問 題

1. 一啟羅瓦特之電氣能力，相當於幾卡路里。
2. 求 50 瓦特之電燈一分間所發生之熱量幾何。
3. 有 50 馬力之發電機，問能裝 50 瓦特之電燈幾個。
4. 某電燈公司電費之價目，為一啟羅瓦特取費一角八分。今有用戶裝有 10 燭光之電燈 4 個，設每夜各用 5 小時，求一月應納之電費若干。（但各燈需要 100 弗打之電流 0.35 安培）

第八章 電流之化學作用

268. 電氣分解 以白金板二枚浸於混有少量硫酸之

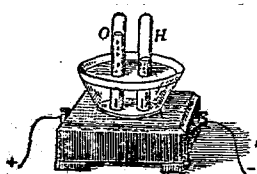


圖 二 九 八

水中爲兩極而通以電流時，則硫酸溶液之一部分，即起分解而生輕氣於陰極，養氣於陽極。此種現象謂之電氣分解。其能因電氣而分解之物質，謂之電解質。酸類、鹽

基類及鹽類之水溶液多屬之。

當電解質溶解於水中時，其某分子帶有陽電之部分，與帶有等量陰電之部分，即行分離而存在於溶液中。此等微粒子各謂之陽離子及陰離子。其分成離子而存在之狀態，謂之電離。即電離分子之一半，因電子不足，故成爲陽離子；其他一半，則因電子過剩，故成爲陰離子。此二種離子存於溶液中，不絕的運動而與其他之分子或離子相衝突。若將連結於電池兩極之白金板二枚浸入於此溶液中，則陽離子受電氣作用，向電位較低處移動；陰離子受電氣作用，向電位較高處移動，各至兩極之白金板上，與異種之電氣相中和。待至因離子移動致溶液中離子之數，行將減少時，則電解質復再行分解，生成新之離子以補其缺。又兩極因受反對之電氣，將減少其電量時，則電子立時流動於連結電

池之導線內以補其不足。如此正負二種電氣由離子之運動，運至反對之方向，故電流得以不絕的通過於電解質之溶液中。

硫酸之水溶液之所以呈電解現象者，因硫酸之一分子 H_2SO_4 ，於水溶液內電離而成帶陽電之輕氣離子 H^+ 二個，帶陰電之硫酸離子 SO_4^{--} 一個。迨通電流於浸此溶液中之二白金板後，則輕氣離子被陰極吸引而失去其電氣，成爲輕氣氣體而由陰極板逸出，又硫酸離子被陽極吸引而失去其電氣，與水起作用而奪取其中輕氣，復成爲硫酸溶解於水中，使養氣由陽極板遊離而出。

269. 發刺德之定律 發刺德由實驗以研究通過於電解質之電量與由此電流析出物質之量之關係，得二定律如下：

I. 由電流析出物質之量，與其通過電流之強度及通過時間之相乘積即電氣總量成正比例。

II 以同量之電氣析出之種種物質之量，與其物質之化學當量成正比例。

上述之定律，謂之發刺德之定律。上律中所謂物質之化學當量云者，爲以其物質之原子價除其原子量所得之商之謂。由第一律，可知於長時間內通以弱電流，或於短時間內通以強電流，如其電氣之總量相等時，則被其

析出之物質總量亦必相等。

✓ 以一庫倫之電量通過於電解質而析出之物質質量，謂之其物質之電氣當量。設通過於電解質之電流為 c 安培，電流之通過時間為 t 秒，被析出之物質為 m 克，其物質之電氣當量為 k 時，則由發刺德第一律，得下式之關係。

$$m = kct$$

上列之關係式，於測定電流之強度時常用之。

又由第二律，使等量之電流通過於種種之電解質而使其發生輕氣，養氣，綠氣，銀，……等時，則於輕氣發生一克之時間內，養氣能發生 8 克，綠氣能發生 35.5 克，銀能生成 103 克。今設某元素之原子量為 W ，其原子價為 n 時，則其化學當量為 $\frac{W}{n}$ 。故如輕氣之電氣當量為 0.00001038 克，則原子量為 W 之元素，其電氣當量 k ，為

$$k = 0.00001038 \times \frac{W}{n}$$

故可知由 Q 庫倫之電量所分解元素之量 m 為

$$m = 0.00001038 \times \frac{W}{n} \times Q = E \text{ 大 } K \frac{W}{n}$$

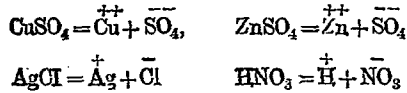
茲將種種元素之電氣當量列表於下。

電 氣 當 量 表

原 素	原子量	原子價	化學當量	電氣當量
輕 氣	1.0	1	1.01	0.0001038
養 氣	16.	2	8.	0.000828
淡 氣	14.04	3	4.68	0.0004843
綠 氣	35.45	1	35.45	0.0003671
銅(第一)	63.6	1	63.6	0.0006558
銅(第二)	63.6	2	31.8	0.0003279
鐵(第一)	56.	2	28.	0.0002900
鐵(第二)	56.	3	18.7	0.0001934
鋅	65.4	2	32.7	.00003367
銀	10.97	1	107.9	0.001118

270. 電離說 依電離說,凡電解質溶質之分子,皆由帶有等量之正負二種電氣而成。雖於電流未通過電解質之前,亦多少分解而帶正負之電氣,成爲離子之狀態而存在。此由分子分解所生之各對離子,其所有之正負電量,彼此相等。故溶液全體不呈帶電之現象。此種狀態下之溶液,謂之電氣解離,或謂之電離。茲將電解之實例數則,舉示之如下:





上式中之 $+$ $-$ 符號，表示其離子爲陽爲陰，符號之數，則表示其離子之原子價。今以連結電池兩極之金屬板置入於曾經電離之溶液內時，則金屬板一方之陽電，吸引帶陰電之離子；他方之陰電，吸引帶陽電之離子。故陰離子即向陽極移動，而陽離子向陰極移動，各集於其極處，與其異名之電氣相中和。此一經失去電氣之離子，即行附着於其極上，成爲所謂電氣分解之生成物。當溶液內之陰陽離子移至於兩極而中和時，雖離子之數稍稍減少，然溶液內即復起新電離作用，以補其離子之缺。故溶液全體，決不致有減少離子量之時。又各金屬板電氣之一部分，如與其溶液中傳來之電氣相中和時，則同名之電氣，即由電池兩極移來，以補金屬板上電氣之不足。故上述之離子運動，即不絕的重復進行，以繼續電氣分解之作用。

以上所說明者，爲關於電氣分解之大要。發刺德之二定律，亦可依此說以說明之。因電流通過於電解物中，係一種帶有陰陽電氣之離子運動。故通過電解物之電量如爲二倍時，則其附着於極上離子之量亦爲二倍。電量如爲三倍時，其離子之量亦爲三倍。此理至爲明顯。換言之，即集於極上離子之量，與通過電解物之電氣總量成正比例。斯即發

刺德之第一律也。

在輕氣，綠氣等帶單價離子之電氣量，彼此皆相等，故由同一電量所析出之物質，與其原子價成正比例，又如銅等帶複價離子之電氣量，與其原子價成正比例，故由等量電氣析出物質之量，等於以其原子價除得其原子量之商，即與其化學當量成正比例是，此即發刺德之第二律也。

271. 電鍍術 電鍍術為利用電氣分解作用，而使金、銀等物質被覆於其他金屬表面上之方法，其法以應鍍之金或銀連接於電池之陽極，被鍍之金屬於洗滌清潔後，連接於電池之陰極，而同時浸入於與應鍍金屬同種之金屬溶液內，則由電離作用所生之金屬離子，因電流之作用，集於陰極而附着於金屬表面，同時陽極之金屬，則溶解於溶液中，以補其金屬離子之不足。

茲將廣用之鍍金溶液數種之配合成分，詳記於下。

I. 鍍金液

水 1000 gr. 綠化金 10 gr. 硝化鉀 50 gr.

II. 鍍銀液

水 1000 gr. 硝酸銀 15 gr. 硝化鉀 25 gr.

III. 鍍銅液

硫酸銅之飽和溶液

IV. 鍍鎳液

水 1000 硫酸鎳銨 100

上表之分量，係指重量之比而言。

272. **電鑄術** 電鑄術 爲利用電氣分解作用以製作木版或金屬彫刻等之模型之方法，其法先以蠟或石膏填充於原型之面上，以得一陰陽與原型相反之模型。然後於模型之表面，塗以石墨之粉末而賦與其導電性。然後連接之於電鑄器之陰極，以行鑄銅手續。待銅層積聚至相當之厚度，將其剝脫之，則得與原型同樣之銅模。近世科學書中之插圖，即爲利用此法所得之電氣版印刷而成。

273. **電氣冶金術** 電氣冶金術 爲利用電氣分解之作用，以由礦山採掘之原礦提煉金屬之方法。即加熱於原礦或原礦之溶液，而通以電流時，則金屬即附着於陰極，而與其他雜質相分離。此法所得之金屬，至爲純粹。銅、鋁、鎂等之純粹金屬，即多用此法提煉而成。

274. **蓄電池** 蓄電池 爲利用電池之分極作用，藉以貯蓄電流之裝置。其構造如圖二九九所示。取有多數小孔排列成格子狀之鉛板二枚，塗以曾用硫酸調和之一養化鉛於其表

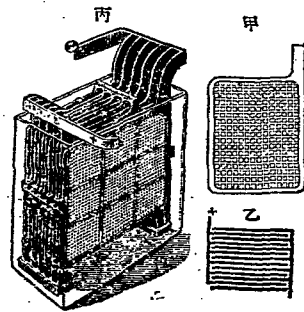
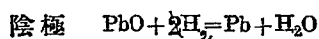
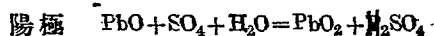
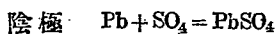
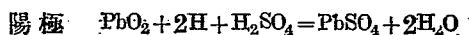


圖 二 九 九

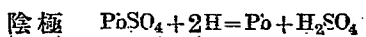
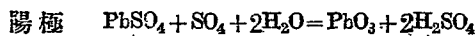
面而對立於盛有稀硫酸之器中。以此二鉛板為兩極，而通以強電流時，由硫酸之電解作用，養化其陽極之一養化鉛，使成為二養化鉛，而陰極之一養化鉛，即還原而成鉛之細末。此時之化學反應如下：



如電流通過愈多，則此作用愈增，其兩極間即生成由反對方向放送電流之電位差。待至二極之鉛板充分變化後，將電流截斷時，則二鉛板間之電位差，達於 2 弗打以上。其二養化鉛附着之鉛板，成為陽極，而其他一鉛板，則成為陰極。此種作用，謂之電池之充電，以導線連結充電後之電池兩極，則電流即由陽極經由導線而流於陰極。同時由硫酸之電解，兩極復漸次變為硫酸鉛而減少其電位差。此種作用，謂之電池之放電。此時之化學反應如下：



曾經放電之電池，如再通以強電流復行充電時，則陽極復生成二養化鉛，而陰極還原為鉛，恢復其起初之狀態。此時之化學反應如下：



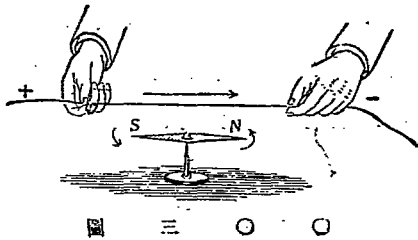
在電池之放電尙未充分前，如不時時加以充電，則電池之壽命難於長久。通常之充電，皆用發電機之電流以行之。又實際使用之蓄電池，皆如前圖之乙丙所示，由數對之鉛板依列連結法連結而成，俾增大電池之容量。此種電池之內抵抗甚小，故適於獲得強度電流之用。

問 題

1. 於硝酸銀 (AgNO_3) 之溶液中通以 2 安培之電流十分鐘時，求其析出之銀為幾克。
2. 由但尼爾電池於 30 分間計獲得電流 0.5 安培，求鋅之消耗量為幾克。
3. 通強度一定之電流於硫酸銅之溶液中，計析出銅 1.56 克，求電流之強度若何。

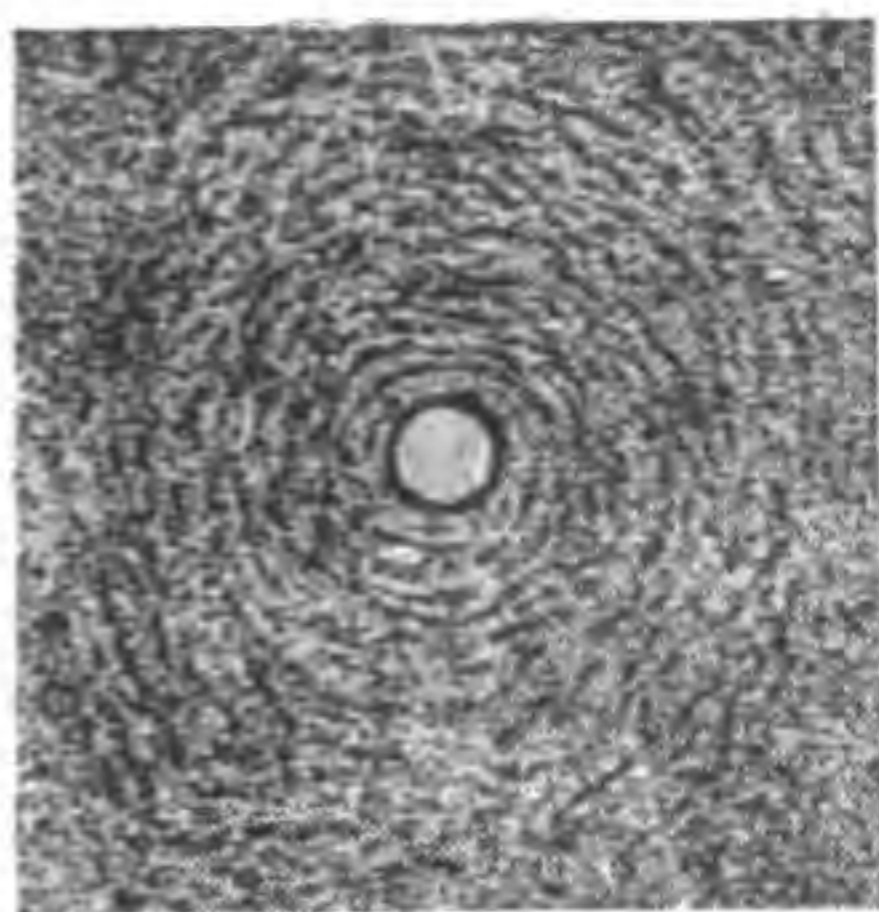
第九章 電流之磁氣作用

275. 電流之磁氣作用 如以連結於電池兩極之導線平行置於磁針之上時，則磁針因導線之電流作用，即行偏傾於一方。如變更電流之方向時，則磁針偏傾之方向，亦行變更。由此可知凡電流之經過處，必有磁氣



之作用存於其近傍。

又以導線沿直的貫穿水平之厚紙中心，撒鐵粉於紙上



而通強電流於導線時，則鐵粉受電流影響之磁力作用，各成爲小磁石。故輕敲厚紙時，則鐵粉即如圖三〇一所示，排列於以導線爲中心之同心圓上。

圖 三 〇 一

爲便於記憶電流方向與磁針偏傾方向之關係起見，安培氏特想出下述

之定律。

沿導線放置吾人之身體，使面向磁針。設電流由足方入，由頭方出時，則磁針之N極，通偏傾於觀測者之左方。

上述之定律，謂之安培之定律。

276 導線圈 捲導線成圓形而通以電流時，則導線周圍之磁力線，成如圖三〇二所示之形狀。其接近於導線之部分，受其處之電流作用最強。故其磁力線略成以其處導線爲中心之同心圓。離此愈遠，則其

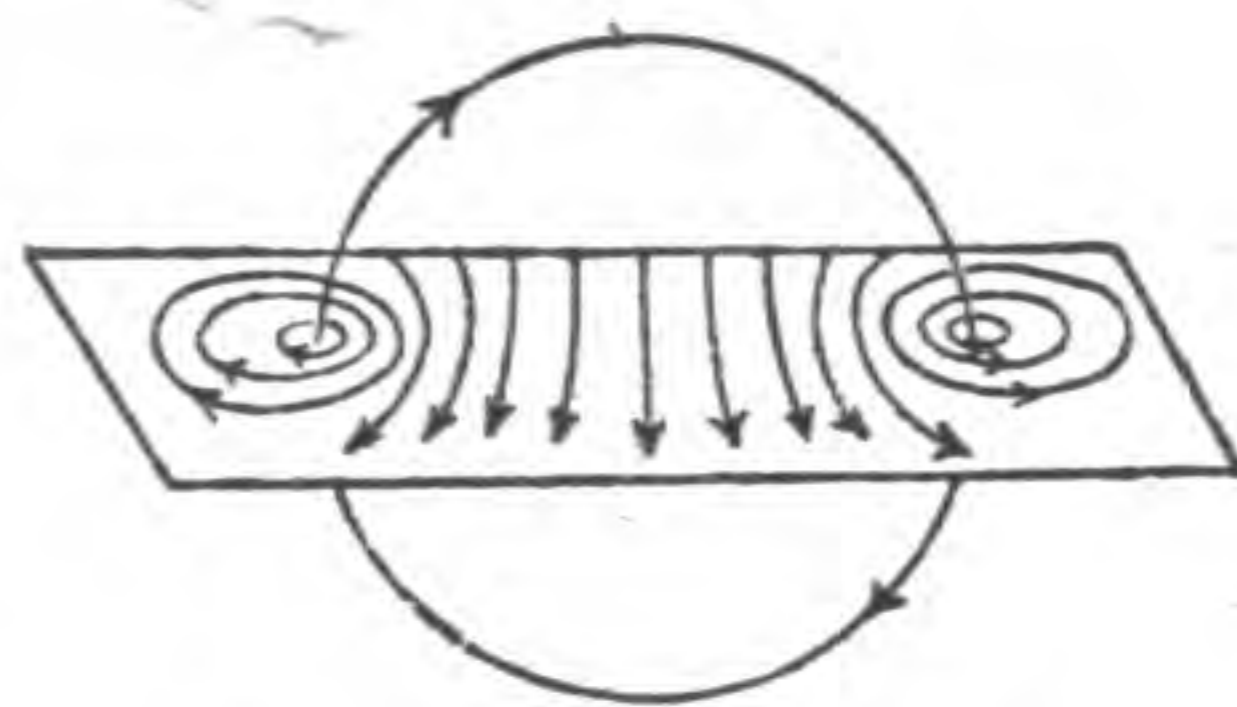
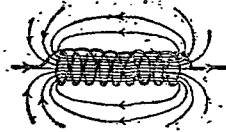


圖 三 〇 二

處之電流作用減少，而他處之電流作用增加。故磁力線因之呈如圖所示之形狀。又圓之平面上各點之磁力線方向，皆與其面成直角。

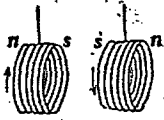
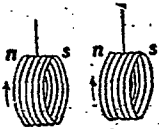
以絕緣之導線密捲於圓筒上，使成爲螺旋形而通以電流時，則螺旋形內部之磁力線，除兩端之近處外，餘皆略與螺旋之軸相平行，其螺旋形外部之



圖三〇三

磁力線，則與其同形磁石之磁力線相同，此捲成螺旋形之導線，謂之導線圈，或簡稱爲線圈，因電流經過線圈時之磁力線與磁石之磁力線完全相同，可知線圈之作用，與磁石

之作用完全相等，此種事實，可以磁針置近於線圈之近傍，實驗以證明之。

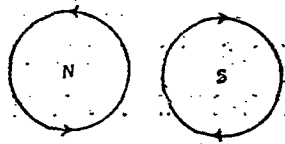


圖三〇四

如圖三〇四所示，取二線圈相對懸之而依同一方向通以電流時，則線圈成磁石之作用，於相對之端生成異名之極，致二線圈互相吸引，若依反對之方向各通以電流時，則相對之二端，生成同名之極，

因之二線圈即互相排斥，至其電流方向與線圈所生南北極之關係，則如圖三〇五所示，設線圈之極由外方觀之，則其電流必係依矢之方向流過。

又因直線可視作半徑爲無限大之圓之一部分，故依同方向通電流於互相平行之二導線時，則由上述之理，互相吸引。



圖三〇五

依反對方向通以電流時，則互相排斥。

277. 正切電流計 因電流所成磁場之強度，與電流之強度成正比例。故如測定電流所成磁場之強度後，即可推定其電流之強度。通常對於使用於此種目的之裝置，皆謂之電流計。電流計之最普通者，為正切電流計。其構造如圖三〇六所示，依水平置一附有長指針之小磁石於沿直

圓形線圈 R 之中心，迴轉線圈之面，使與磁針相一致時，則線圈之面，即與地球磁子午線之面相一致。故通電流於線圈時，則電流所成之磁場，與線圈之面成直角。因之磁針偏傾。其磁軸止於由電流所生磁力與地磁氣水平磁力

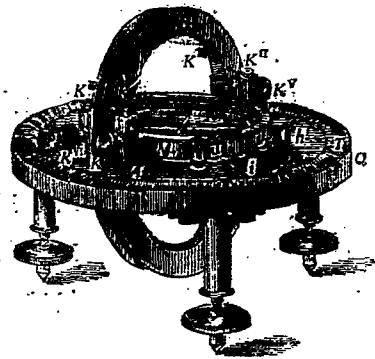


圖 三 〇

之合力所指方向。故吾人由托載磁針之圓盤面上所刻度數，即可得知其偏傾角度之大小。

設磁針之偏傾角度為 θ ，磁針各極之磁氣量為 m ，地磁力之水平磁力為 H ，電流所生磁力之強度為 F ，則因 F, H 俱為作用於單位磁極之力，故作用於磁針各極之力為 mF 與 mH ，又此二力係依垂直的方向相作用，故

注意 電流表——順接于輪道中
電壓表——並接于輪道中

$$\tan \theta = \frac{mF}{mH} = \frac{F}{H}$$

或 $F = H \tan \theta$

然 F 與電流 θ 成比例，設比例常數為 k ，則 $F = kC$ 。故

$$C = \frac{H}{k} \tan \theta$$

因上式中之 H, k 俱為常數，故由磁針偏傾角度之正切，即可以比較其電流之強弱。

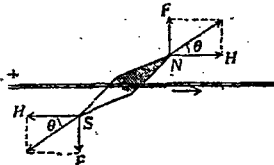


圖 三 〇 七

278. 安培計 使電流之強度化為實用單位之安培，而

便於檢查之電流計，謂之安培計。

如圖三〇八所示者，即係其一種。

至其構造，則如圖三〇九所示，由

粗導線捲成之線圈 C ，與能迴轉

於軸 P 之周圍之鍛鐵片 A 相合

而成。如通電流於線圈時，則鐵片

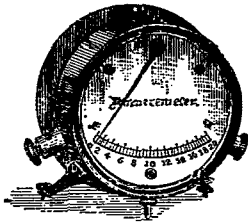


圖 三 〇 八

即成為磁石而被吸入於其中。

其電流愈強，則吸入愈深。因之

連結於鐵片之指針，亦偏傾愈

甚。故預通已知強度之電流而

刻定其度數時，則反之由指針

之示度，即可推得電流之強度

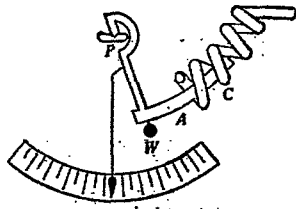
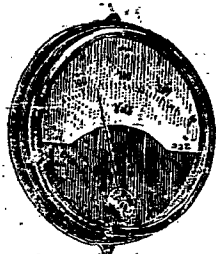


圖 三 〇 九

圖三〇九中之W爲附着於鐵片之鐘，其作用在使電流通時，俾使指針復能歸至刻度之零位。

279. 弗打計 通電流於電燈及其他一般需要電力之裝置，而將其兩端之電位差能依弗打表示之器械，謂之弗打計。其構造大體與安培計相同，所異者僅線圈之抵抗，比之安培計較大而已。

如圖三一〇所示，A C B爲電流通過之導線，設於其中二點例如 A, B 連結一抵抗甚大之電流計 G 時，因流於 G 中之電流極其微弱，故 G 雖與之連結，其流於 A C B 之電

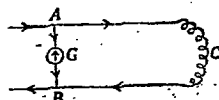


圖三一〇

流，可視作不變。設 A, B 二點間之電位差爲 V，電流計之抵抗爲 R，流於其中之電流爲 C，則由歐姆定律得

$$V = RC$$

之關係。其上式中之 R 爲已知數，故由電流計所指之度數，可計算出 RC



圖三一〇

之值即可求得 A, B 間之電位差。如電流計之表面不刻電流 C 之強度度數，

而刻相當於 RC 之度數時，則由電流計針指之偏傾角度，即可以直接讀知其電位之差。

280. 電磁石 如置鍛鐵棒於通有電流之線圈內時，則

鐵棒即由感應作用成爲磁石，而於其近傍生成甚強之磁場，此種裝置，謂之電磁石。

電磁石之線圈內如有電流通過時，則成爲強磁石，如電流被截斷時，則磁性復行消失，故其應用甚廣，電鈴，電報，電話等皆利用之。又通強電流於電磁石時，其吸引鐵質之力，亦甚強大，能利用之以舉起甚重之鐵器，造船廠中搬運鐵板，即利用此種裝置以爲之。

281. 電鈴：電鈴之構造如圖三一二所示，於電磁石 A

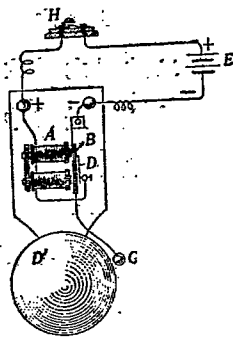


圖 三 一 二

之前方置鐵鐵片 B，其 B 之一端連結於固定台上之彈條 D，他端則附有一鎚 G。故按電鈴 H 而通以電流時，則電流由電池之一極，經由 H 及電磁石 A 入於彈條 D，更經過鐵鐵片 B 而歸至電池，此時鐵鐵片 B 即被電磁石 A 所吸引，因之附着於其

上之鎚 G，即擊鈴 D' 一次，同時其鐵鐵片即行與彈條相分離，使電流截斷，致電磁石失却其磁性，而鐵片復歸至原有之位置，因之電流復行流通，使鎚再擊鈴一次，故於按鈴時間內，此種動作即反復不息，因之鈴聲亦即繼續不斷。

282. 電報機：電報機亦爲應用電磁石之一種裝置，其

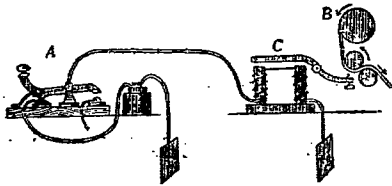


圖 三 一 三

主要部由發報機受報機與架空線三者而成。如圖三一三所示者其左方為發報機，右方為受報機。連結發報機與

受報機之導線，在理雖需二支，然其中一支通常皆以地球代之，故僅一支即已足。如圖所示，按捺發報機之槓桿時，則電流即由電池之極，經由槓桿導線，流入受報機中，由埋入地中之銅板，移於地中，再經由其另一埋入地中之銅板，而復歸於電池。當電流流過受報機之電磁石時，電磁石即將其上方之鍛鐵片吸引之，而此鍛鐵片移動時，附着於其他端之墨針，即接觸於由齒輪捲出之紙條面上，畫成線條。故按捺發報機之槓桿，使電流時斷時續，則受報機之鐵片，即應之而上下移動，畫成與電流通過時間久暫相當之長短線。吾人因即

利用此長短線以為符號，而於兩地互通消息。如圖三一四所示者，即為甲乙二局互相連絡。

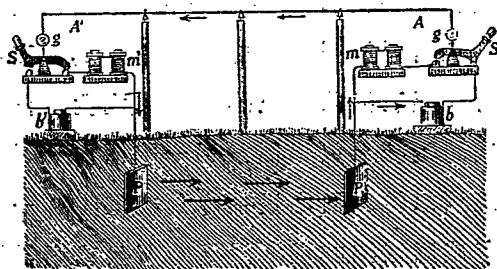


圖 四

四

之模樣。

第十章 感應電流

283 感應電流 吾人既知電流之附近必生有磁場之作用,反之,由磁場之作用,是否能生成電流,當為一疑問,1831年發刺得果發見此種事實之真確,與吾人以滿足之解決,實為其各種發見中之重大發見。

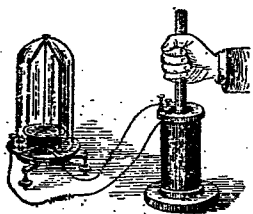


圖 三 一 五

如圖三一五所示,取一卷數甚多之線圈置於案上,使與電流計相連而以棒磁石之一極急速插入於其中,則可見電流計之指針,即行偏傾於一方,又將棒磁石之一極由線圈中急速的抽出時,則指針復向他方偏傾,表示凡棒磁石每一移動時,線圈內瞬間皆有電流發生,此種電流,謂之**感應電流**。

凡有電流通過之線圈,其作用與磁石完全相同,故以之替代磁石插入於上述之線圈,或由線圈拔出時,亦能生成感應電流,又置線圈於別一線圈內,使電流通過其間,時斷時續以當線圈之插抽時,於其電流每一斷續之間,亦均生有感應電流,其電流通過時所生感應電流之方向,與插入有電流通過之線圈時相同,又電流中斷時所生感應電流

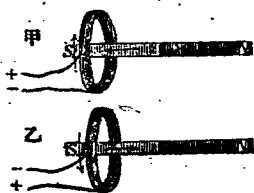
之方向，與抽出有電流通過之線圈時相同，此種感應電流生成之現象，謂之相互感應，其內中之線圈，謂之一次線圈，外方之線圈，謂之二次線圈，由精確之實驗結果，凡於線圈內生有磁力之變化時，不問其原因如何，線圈內必起動力而生成電流，待磁力之變化停止後，則電流亦即行停止。

284. 倫慈之定律 倫慈由研究磁石運動之方向與由磁石運動所生感應電流方向之關係，發見下述之定律。

磁石或線圈因運動而使線圈內所生之感應電流，其方向與妨礙此運動之電流方向相同。

上述之定律，謂之倫慈之定律。 *Lenz's Law*

如圖三一六所示，設電流依矢示之方向流通於線圈內



圖三一六

時，則線圈各呈磁石之作用，於甲圖，其右側為南極，左側為北極，於乙圖，其右側為北極，左側為南極，故以磁石之南極由右側插入於線圈內時，則由倫慈之定律，感應

電流之方向，須依妨礙磁石接近之電流方向而流通，因之感應電流之方向，須生南極於線圈之右側，生北極於線圈之左側，即電流依甲圖之方向而通過。

次將此插入之磁石向右側抽出時，則感應電流之方向，須依妨礙磁石移遠之電流方向而流通，因之感應電流之

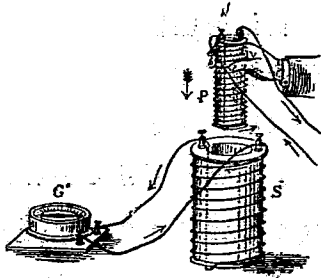
$$\text{磁化力} = \frac{2\pi NI}{107}$$

$$I = \text{安培}$$

$$N = \text{線圈匝數}$$

$$r = \text{線圈半徑}$$

方向，須生北極於線圈之右側，生南極於線圈之左側，即電流依乙圖之方向而通過，又如以磁石之北極插抽於線圈內時，其感應電流之方向，可依倫慈之定律，推知其與上述



圖三一七

之電流方向相反。

又如圖三一七所示，依矢示方向通電流於一次線圈 P，而插入於二次線圈 S 內時，則由感應作用，S 內生與 P 內電流方向相反之電流，反之，如將 P 由 S 中抽出時，

則 S 由感應所生之電流，與 P 之電流方向相同，又置一次線圈於二次線圈內而斷續其電流時，所生之結果亦同。

285. 自己感應 置一次線圈於二次線圈內而斷續一次線圈內之電流時，則其每一斷續之間，二次線圈內均生有感應電流者，蓋由於一次線圈內之電流時斷時續時，因之二次線圈內之磁力，即時生時滅，然當電流時斷時續時，即一次線圈內之磁力，亦時生時滅，故可知一次圈內，亦當有感應電流發生，其電流通過時之感應電流，與本電流之方向相反，隨之本電流即被其妨礙，致瞬時間不能達於充分之數值，待電流中斷時，其感應電流即與本電流之方向相同，致本電流於瞬時間，增加其強度，此種斷續一輪道內

之電流時，其輪道內生成感應電流之現象，謂之自己感應。通常電池之輪道於完成時不發生火花，而於切開時反行發生火花者，即由於自己感應之故。

286. 感應電流之動電力 由發刺得實驗之結果，因相互或自己感應所生之動電力，如線圈內磁力之變化愈激烈，則動電力亦愈大。例如線圈內之磁力，由某數於半秒時間內成爲零時之動電力，等於一秒時間內成爲零時動電力之二倍；又磁力於四分之一秒時間內成爲零時之動電力，等於一秒時間內成爲零時動電力之四倍。是又對於同樣之磁力變化，其動電力則與線圈之斷面面積及線圈之卷數成正比例。故欲增加自己或相互感應之動電力時，除使磁力之變化甚爲激烈外，更須以極細之導線，增加圈數，捲成甚大之線圈方可。

287. 感應圈 感應圈爲基於上述之原理，藉以獲得強大動電力之裝置。其主要部分爲鐵心 A，一次線圈 B，與二

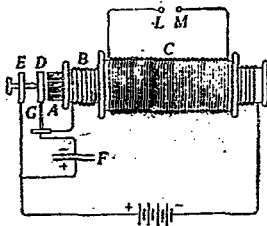


圖 三 一 八

次線圈 C 等連合而成。B 由絕緣後之粗導線捲繞而成，其中卷有小鍛鐵棒一束，即鐵心 A 是。C 由絕緣後之細導線捲至數千或數萬次而成。如圖三一八所示，繫電池於一次線圈時，則其輪道由鐵

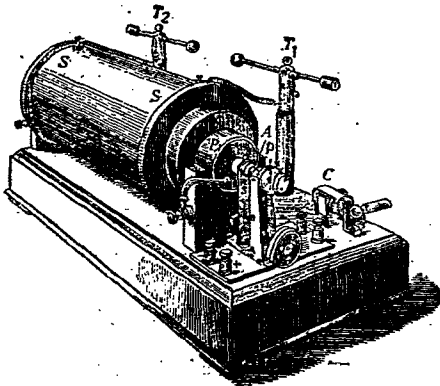


圖 三 一 九

蓄電器，藉以增加電量。故按電鈴完成一次線圈之輪道時，則電流即行斷續於 E, D 之間。隨之二次線圈中，即不絕的生成強大之動電力。且電流中斷時所生之動電力，與電流通過時所生之動力，其方向相反。故於電池輪道完成間，二次線圈中即生成方向不絕的交換之電流。如圖三一九所示者，即為通常所用之感應圈外形。於電池輪道完成時，其兩極間之火花，能達於數釐之長度。

288. 電話機 電話機為利用由磁力變化所生之感應電流，以傳達言語於遠方之裝置。其主要部可分為送話器與受話器二種。如圖三二〇所示者，為送話器之斷面。A 為薄

心 A 與附於彈條 G 上之鐵片 D，及銅棒 E 之作用，與電鈴相同，時斷時續。又二次線圈之導線兩端，各連結於稱為兩極之球頭上。再感應圈之臺底，復藏有石蠟

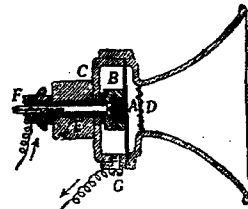


圖 三 二 〇

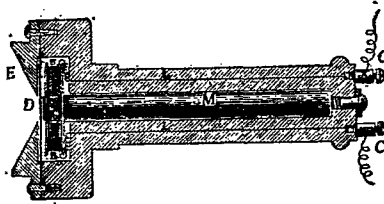


圖 三 二 一

鐵片，B 函內之細粒為無數之小炭素球，E 為炭素棒，其電流依矢之方向流入，經由 E 及炭素球而移於鐵片，最後

由 G 而出，如圖三二一所示者，為受話器之斷面，其構造由棒磁石 M 之一端，連結電磁石 B；此電磁石之前方，更置一薄鐵片 D 而成繫送話器與受話器於電池之輪道中，而向送話器發聲時，則鐵片即應聲而起振動，同時將其相當於聲之振動，傳之於炭素小球以變更其接觸部分之抵抗，使電流生成強弱之差異，此電流之變化，復行使受話器內電磁石之磁力，起強弱之變化，因以使其前面之鐵片應聲之振動而亦振動，此振動如以耳受之，即能彷彿如聞悉其人之語言。

至雙方實際通話時之情形，則如圖三二二所示，雙方均具送話器 M, M' 及受話器 T, T'，而使架空線，受話器，送話器，二次線圈 R, R' 及電池 B, B' 同位於一輪道中，故一方向送話器 M 發聲時，則炭素球之振動，即使此輪道中之電流，生成強弱之差

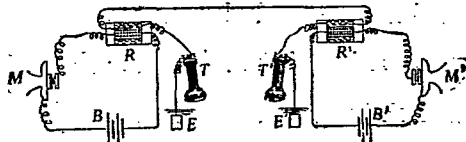


圖 三 二 二

異。因之二次線圈 R 中，即起感應之電流。此感應電流，經由他方之二次線圈 R' ，流入於受話器 T' 之電磁石線圈中，移動其前面之鐵片，因而傳達語言於對方。

289. 直流發電機 發電機 為利用感應作用，由機械的工作以獲得電流之裝置。其構造之原理，如圖三二三所示。S, N 為電磁石之兩極，其間成極強之磁場，謂之場磁石。於

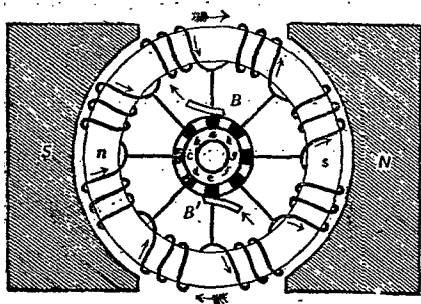


圖 三 二 三

此磁場內，有稱為發電機之鍛鐵製成之鐵輪。輪上卷有數個互相連接之線圈，其輪之中心，有與圖面成直角之迴轉軸。於發電機之軸之周圍，排列有與線圈同數

之銅片 a, b, c, \dots 等。此片由銅線與相隣二線圈之相連處相連接。又別有一對之金屬刷毛 B, B' ，夾持圓檣而與其直徑上相對之銅片 a, e 相接觸。今通電流於場磁石時，則由感應作用，生成磁極 n, s 於發電機之鐵輪左右，成爲一對半輪形之磁石。此鐵輪雖由外力以迴轉之，其磁極均止於 n, s 之位置，而線圈則順次通過於場磁石之前方。故如圖三二三所示，右半輪之線圈內，常生成同方向之動電力。因

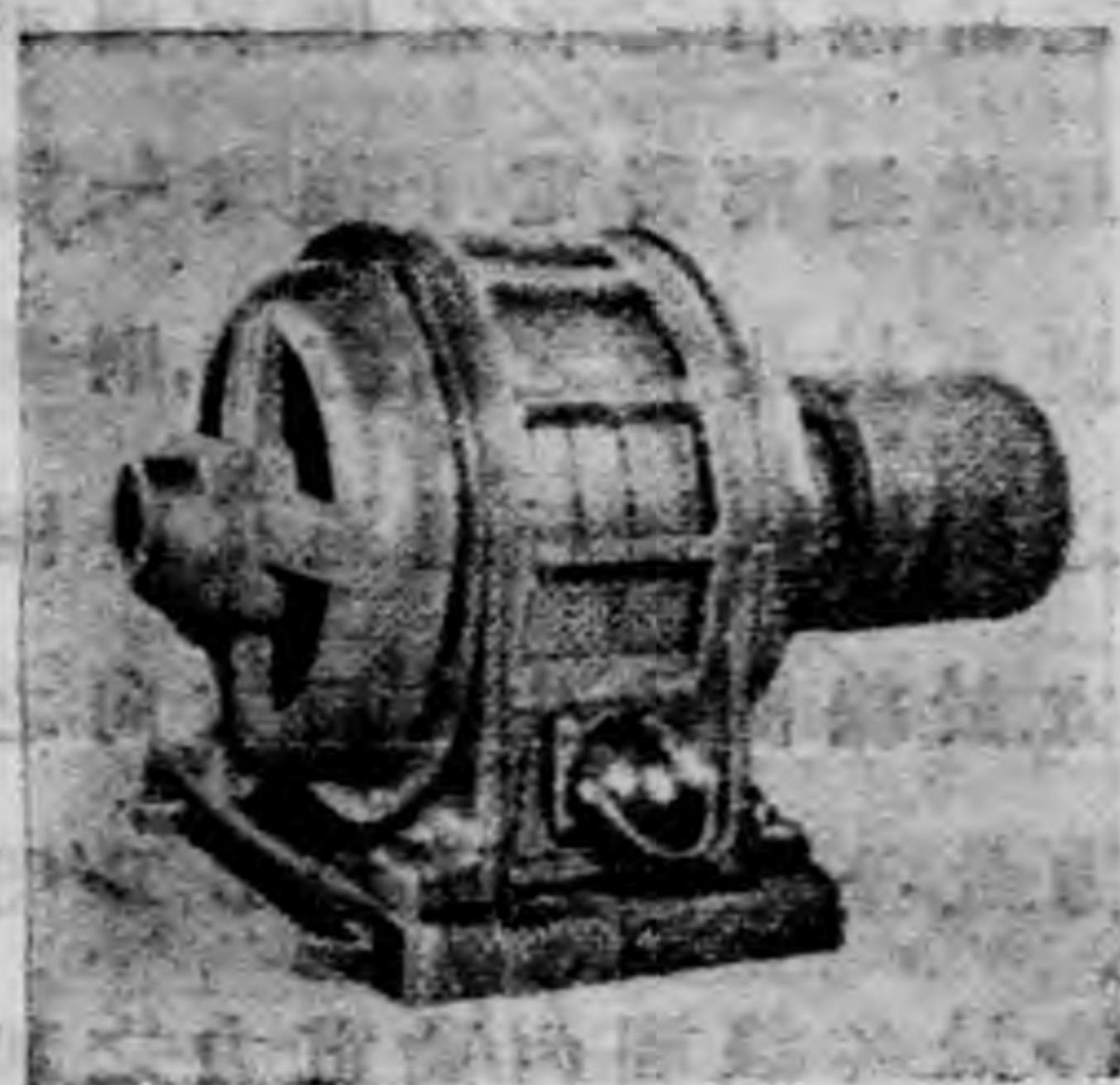


圖 三 二 四

之其兩端之刷毛 B, B' 間, 即生一等於各線圈內動電力之和之電壓。依同理, 左半輪之線圈內, 亦生方向與前相反之動電力。而於 B, B' 間生相同之電壓。故以一定之速度迴轉鐵輪時, 則兩刷毛間常生成一定之電壓。因之連

於刷毛之導線, 即發生電流。此電流之方向一定, 故謂之直流。隨之上述之發電機, 亦謂之直流發電機。通常發電機所發電流, 均以其一部分通過於其場磁石之線圈, 而他部分則以之供給燃燈及其他工業之用。

發電機內發電子所生之感應電流, 由倫慈定律, 在於停止發電子之迴轉運動。故推使發電子迴轉時, 必須藉甚大之外力, 供給此外力之機械。通常多以水車或熱機關以行之。

290. 交流發電機 凡以一定之週期變更其方向之電流, 謂之交流。發生交流電流之電機, 謂之交流發電機。其構造之原理, 如圖三二五所示。將直流發電機之發電子線圈捲法, 交互反對而行之, 依行連結之結果, 使其兩端固着於迴轉軸之二金屬輪而與刷毛 B, B' 相連接。又排列與線圈

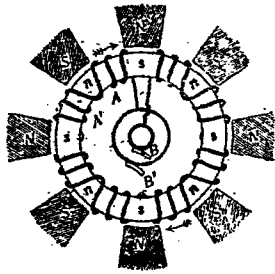


圖 三 二 五

同數之場磁石之南北極於圖示之位置，故迴轉發電機使其一線圈 A 通過於北極之前方時，則其相隣之線圈 A' 即行通過於南極之前方，於線圈內生成同方向之動電力，故全線圈之兩端 B, B' 間，即生等於各線圈內動電力之和之電壓。然線圈 A 通過北極之前方時，與通過南極之前方時，其所生感應電流之方向相反，故刷毛間之電壓，依線圈 A 由北極至南極，或由南極至北極，其每一轉換之間，均變更其方向。故連接於 B, B' 之導線所生電流，於發電機一迴轉時變更方向之次數，與場磁石磁極之數相等。

同數之場磁石之南北極於圖示之位置，故迴轉發電機使其一線圈 A 通過於北極之前方時，則其相隣之線圈 A' 即行通過於南極之前方，於線圈內生成同方向之動電力，故全線圈之兩端 B, B' 間，即生等於各線圈內動電力之和

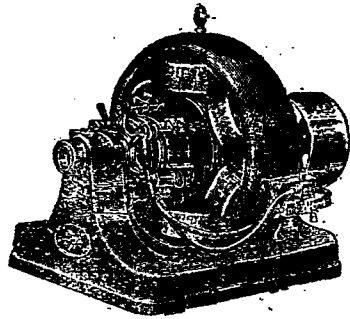


圖 三 二 六

291. 電動機 電動機 為利用電流藉以獲得機械的工作之裝置其構造之原理如圖三二七所示，與直流發電機之構造相同。其相當於發電機之部分，謂之電動子。今以刷毛 B, B' 連結於電池之兩極時，則電流由 a 處而入，左右分

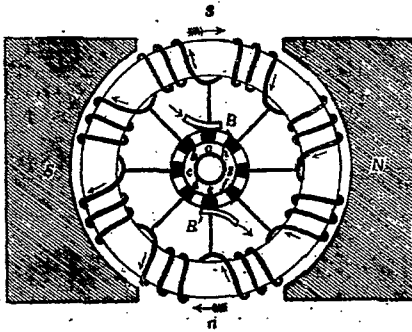


圖 三 二 七

歧，由 c 處而出。於上下二方，各生成半輪形之電磁石，其上方均為南極，而下方均為北極。故鐵輪依矢之方向而迴轉。同時其銅片 b, f, c, g 等順次代替 a, e 與刷毛相接觸，使上下方之磁極，依舊不變。故鐵輪因之即迴轉不止。

電動機通常多用之以為各種機械之原動力。其所需之電流，則由發電機以供給之。例如電氣鐵道之機關車，即為具備甚大電動機之車頭，由沿鐵道之銅線，受發電所供給之電流以牽引列車者。又電車亦由其台之下面所具之電動機以司運轉。其他各工廠或家庭所用之發動機，採用電動機者正復不少。

292. 變壓器 如利用相互感應之作用，可使高壓之電流，變為低壓；或低壓之電流，變為高壓。如圖三二八所示，取絕緣之粗銅線 P 卷於鍛鐵製之輪 C 上數次，另取絕緣之細銅線 S 卷於同輪上之另側數百次，而連結電流計 G 於 S ，電池 B 於 P 時，則鐵輪成為電磁石， S 感應之而生一定

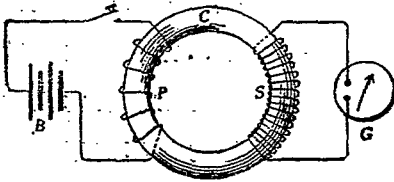


圖 三 二 八

之動電力於其內。此種動電力，較之電池之動電力為大。其比等於 P 與 S 卷數之比。但因 S 之抵抗甚大，故其電流

則甚弱。又中斷 P 之電流時，其 S 內復生一方向與前相反之電流。如交換電池與電流計之位置，則可測知 P 之感應電流之動電力，較電池內之動電力為小，而電流反強。以交流電流送於 S 內以代電池時，則較此電壓為低之強度交流電流，即生於 P 內。又以交流電流送於 S 內時，則較此電壓為高之微弱交流電流，生於 P 內。此種使電壓變換之裝置，謂之變壓器。變壓器中主電流通過之線圈，謂之一次圈。感應電流通過之線圈，謂之二次圈。設一次圈之卷數為 n_1 ，二次圈之卷數為 n_2 ，又其電壓各為 V_1 及 V_2 時，則其間之關係如下式。

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$V_2 = \frac{n_2}{n_1} V_1$$

即 n_2 較 n_1 為大時，則 V_2 較 V_1 為大。 n_2 較 n_1 為小時，則 V_2 亦較 V_1 為小。變壓器中，其升高電壓者，謂之昇壓器；降低電壓者，謂之降壓器。

293. 電力輸送 發電所內所生之電流，通常皆以導線送之於任意之場所，以供給燃燈及其他工業之用。此種電流之送達，謂之電力之輸送。於電力輸送之途中，其電氣能力之一部分，常因導線之抵抗，變成熱之能力而散逸，致其送達之電量，較所送之電量為小。如欲減少此散逸之熱量，雖有將導線製成極粗之方法，然經濟上自有一定之限制，故非使電流變小不可。因導線所輸送之電力，即電氣功率，等於電流之強度與電壓之相乘積。如使電壓增至充分之高度，即電流雖小，其所送之電量亦能相等。故發電所內通常皆起數千乃至數萬弗打之高壓電流，輸送於遠方後，再行用變壓器降為低壓之強電流，以供實用。此傳導高壓電流之導線，謂之高壓線。

近世工業上多喜用交流電流者，即因其電壓之變更容易而輸送便利之故。

第十一章 電氣振動與電波

294. 電磁波 以粗管連接水位相異之甲乙二器時，則水即由水位較高之器中，向水位較低之器中流去。雖至二器中之水面達於同一之高度，然因慣性作用，其水流並不立時停止，仍繼續向同一方向流去。因之水位較低器中之水面，一時反較水位較高器中之水面為高，故復行逆流如

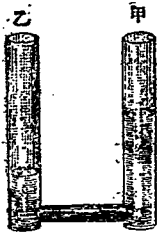


圖 三二九

是往復振動於二器之間若干次後始漸次歸於靜止若連接二器之管細而且長時則對於水流之抵抗甚大因之水位較高器中之水須遲緩的向水位較低之器中流去故二器中之水面達於同一之高度時即行靜止而無振動作用又以導線

連接電位相異之甲乙二導體時之情形亦同若導線之抵抗甚大則電流僅由高電位之導體向低電位之導體流去瞬時後至二導體之電位達於同一之電壓而止若導線之抵抗甚小時則電流先由甲體流於乙體復由乙體再行流於甲體往復數次之後始行停止又如二導體之電量與電流依週期而變化時則其四周媒質內之電力與磁力亦依週期而變化此種變化以一定之速度傳播之於四方其模樣恰與投小石於水面時之水波相同此種電力依波動而傳播者謂之電波又磁力依波動而傳播者亦謂之磁波電波與磁波總稱之為電磁波。

295. 黑路茲之實驗 1888年德人黑路茲氏曾用巧妙之裝置由實驗的證明電磁波之存在如圖三三〇所示以感應圈之兩極連結於二金屬棒 A, B 使棒其間放電藉以發送電磁波於

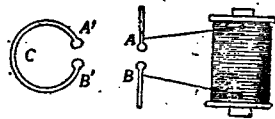


圖 三三〇

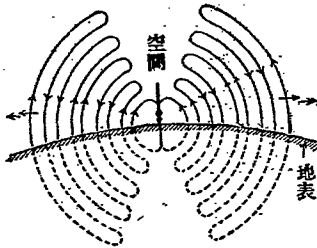


圖 三 三 一

四方，此種裝置謂之送波器。於送波器之前方置一中斷之金屬環C，而將環之位置依種種之距離以變更之，則C位於某點時，感受A、B間放電所發送之電磁波，亦能

生成感應電流於其中，而於A'、B'間發生微小之火花。吾人由此火花之發生，即可推知此金屬環曾受電磁波之波及。若金屬環之大小選之適當，使送波器所生之電氣振動週期，與金屬環所生之電氣振動週期相一致時，則A'、B'間即盛發火花，因之電磁波之波及，更易認識明確。因此種現象，恰與音波之共鳴現象相同，故謂之電氣共鳴。

黑路茲曾用此種裝置以實驗電磁波之反射、屈折、干涉、偏極等現象，知其遵從之定律，與光波之定律完全相同。黑路茲又測定電磁波進行於空氣中之速度，確定與光波之速度亦復相同。由此可知光波與電磁波，原屬相同所異者僅波長之長短，即振動數之大小不同而已。此以光為電磁波之一種之學說，謂之光之電磁氣說。為距今約四十餘年前英國著名物理學者馬克司威爾所唱導者，現今一般學者皆信奉之。

296. 檢波器 自卜蘭勒、羅吉二人發見輕微接觸之鐵

粉抵抗，因電磁波而銳減之事實後，更獲得較黑路茲共鳴器尤易感受電磁波之他種裝置。1896年意大利人馬可尼氏，即曾將此種性質利用之以收受無線電報

以鎳粉混少量之銀粉加水銀二三滴盛入於細玻璃管中，更以金屬板二枚輕壓其兩側時，則得一種檢受電磁波之裝置。此種裝置，謂之苛黑拿檢波器。以苛黑拿檢波器之兩極連結於電池，則檢波器成爲輪道之一部分。因粉之抵抗甚大，電流雖不得通過，然若有電磁波襲來時，則粉之抵



圖 三 三 二

抗銳減，電流即流通於電池之輪道中。若輕敲檢波器與粉以振動

時，則粉即行恢復其起初之狀態。妨礙輪道內之電流通過，故此種裝置，可用之以發見電波之波及與否。

其後發達之檢波器，復有礦石式與真空式二種。鑷石檢波器爲二種鑷石，例如紅鋅鑷與斑銅鑷相接觸時，則電流能流向一方而不能流向反對之方向。故送以交流電流時，僅其一半可以通過。此種作用，謂之整流作用。如圖三三三所示

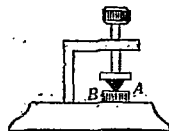


圖 三 三 三

者，即爲鑷石檢波器之構造。設A爲斑銅鑷，B爲紅鋅鑷時，則電流僅能由A方流於B方。今置此檢波器於振動輪道內以收受電波時，則電波亦受整流之作用。

真空球檢波器之構造，如圖

三三四所示，為將鎢之纖維 F，及對極 P 封入於真空球內以行整流作用者。今以纖維 F 之兩端連於電池 B，使之赤熱，且使 P 之電位高於 F 時，則由 P 流向 F 之電流，雖可通過，而反對方向之電流，則被阻止。其原

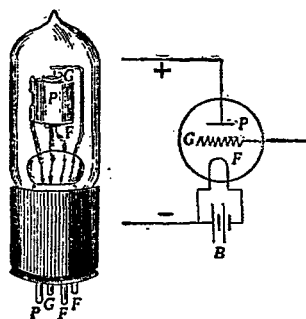
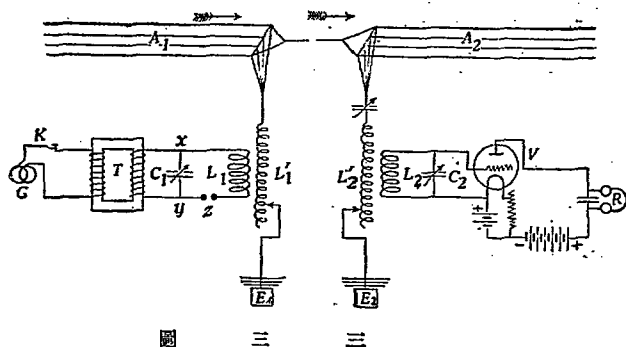


圖 三 三 四

因蓋由於被熱之纖維 F 迸發電子之故。設 F 為陰極，P 為陽極，則由 F 至 P 生成電子之流動。故 P, F 間即生電流。然如使 P, F 之極相反時，則電子無從流出，因之電流即被阻止。此種電流，謂之板電流。又 G 為稱爲柵極之銅線彈簧或網。其電位較 F 為高時，則板電流因之增加。較 F 為低時，則板電流因之減少。其變化極為銳敏。雖 G 之電位變化極其微小，而板電流之增減仍甚顯著。故連結 G 於振動輪道之一端以收受電波時，則 P, F 間之板電流，即起顯著的變化。

297. 無線電報 無線電報 為馬可尼氏所發明者，係利用電波作用之一種通信方法。如圖三三五所示，甲為發報裝置。如按電鍵 K 時，則由交流發電機 G 流出之交流電流，因變壓器 T 之作用，其電壓愈行升高，致使蓄電器 C₁ 之兩箔間生極大之電壓，終至於通過火花間隙 W 而行放電。此



時 C_1 與 L_1 成爲一振動輪道而起一定週期之振動。 L_1, L'_1 爲變壓器之一種，其 L'_1 之輪道週期等於 C_1, L_1 之振動輪道週期時，則 x 間每飛出一火花，即由共鳴作用， L'_1 亦生一電氣振動，因之電波即以光之速度，由天線 A_1 而波及於四方。

乙爲利用真空球檢波器之受報裝置。其 L'_2, L_2 爲變壓器。當天線 A_2 受有電波時，則由共鳴作用，生成電氣振動於 L'_2 。隨之 L_2, C_2 之輪道內，亦起電氣之振動。故真空球檢波器之柵極 G ，亦生電位之變化。因之受報機 R 之振動板，於發報局繼續發報間，即應之起振動而發響聲。今按發報裝置之電鍵 K 時，則隨發電機每一周波，其火花即行飛躍一次。故受報裝置之受話器鐵板，如下段之說明，依發電機周波數之二倍而振動與普通電報之發報方法相同。應電鍵被按

時間之長短，得以收受與其相應之聲音長短為符號而互通消息。

如圖三三六所示，設曲線(1)表示由交流電機所生之交流電流，則此電流因變壓器 T 而升高其電壓，生成火花放電於 z 間時，輪道 $L_1 C_1$ 即現如曲線(2)所示之電氣振動，此振動復由共鳴作用，生成如曲線(3)所示之振動電流於 L'_1 ，由此成為電流，更誘起振動於 L'_2 ，使生成如曲線(4)所示之振動電流，此

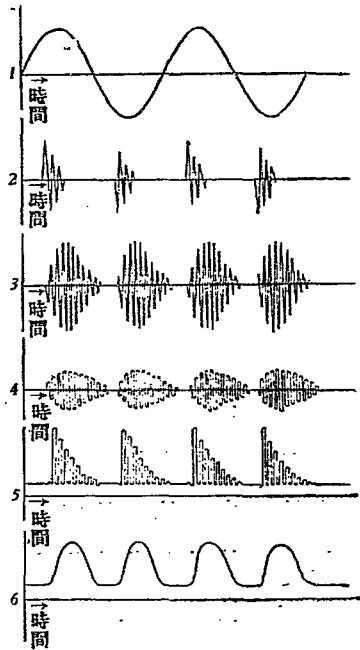


圖 三 三 六

振動電流復誘起同樣之振動於輪道 L_2, C_2 中，由真空球整流及擴大後，成如曲線(5)所示之形狀，然電氣振動之週期極小，受報器之振動不能一一全同，故其電流成如曲線(6)所示之形狀，其周波數等於發電機周波數之三倍。

298. 無線電話 真空球檢波器不但可作檢波之用，且可用之以變更直流電流成為電氣振動，又火花放電所生

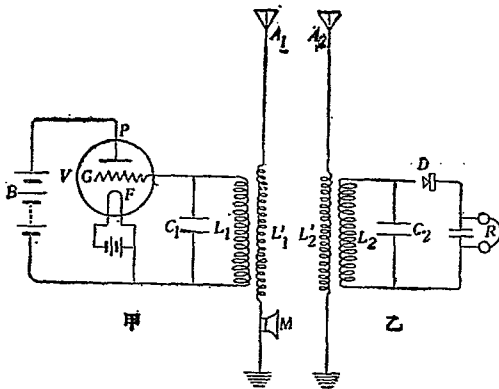


圖 三 三 七

電氣振動其
 振幅漸次減
 少，而由真空
 球所生電氣
 振動之振幅，
 則無減少之
 事，能連續的
 發生振幅一
 定之電波。如

圖三三七所示，其甲為利用真空球之無線電話之送話裝置。電池B之電流由真空球V之作用，生成振幅一定之電氣振動於輪道 $L_1 C_1$ 中。因之誘起同樣之電氣振動於 L'_1 ，而發送電波於四方。故將送話器接續於天線之下部而向之發聲時，則送話器之抵抗，應其振動板之振動而起變化。故電氣振動之振幅，亦應之而變化。隨之電波之強度，亦應之而變化。故如圖三三八之(1)所示之繼續電波，由送話器之作用變成爲點線所示之波形。

又圖三三七之乙所示者，爲受話之裝置。其點線所示之電波，誘起電氣振動於天線 A_2 。此振動更生曲線如圖三三八之(2)所示之整流後之振動於輪道 $L_2 C_2$ 中。故受話器R之振動板，即起相當於電波振幅變化之振動，成曲線如圖

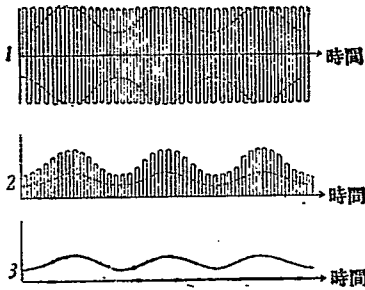


圖 三 三 八

三三八之(2)所示之點線，即生如圖三三八之(3)所示之曲線振動，而發出送話時同樣之聲音。

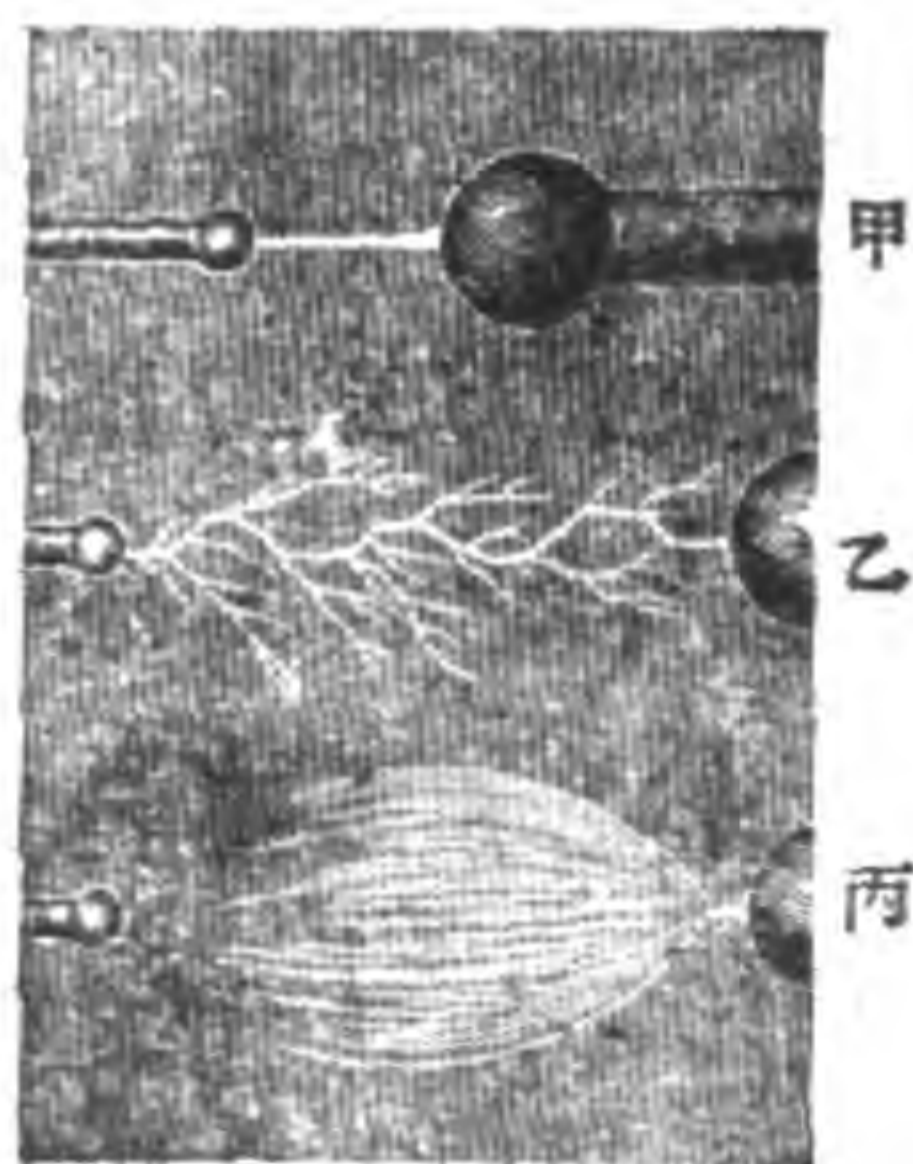
無線電話聞得之聲音甚微，但如利用真空

球檢波器以擴大之，則效力更為偉大。所謂擴大云者，係指擴大其電流變化而言。即並列各位於輪道中之真空球檢波器數個時，則由第一真空球擴大後之電流，增高電位而傳之於第二真空球之柵極，使其對極 P 上更起擴大之電流變化。如此依次傳遞，其聲音可擴至非常之響亮。故通話距離因之可延至非常之遠。如更利用喇叭管以起共鳴作用，則雖遠隔數千里之音樂，亦可聞於一室之內。或靜坐斗室中，仍可得聞數千里外之名人講演，或舞臺歌曲。即古代傳說之順風耳，亦不是過。此今日無線電放送之所以風靡於世界也。

第十二章 真空放電與放射能

299. 放電 因空氣及其他氣體，於常壓之下，皆為電氣之不導體，故通常皆視作絕緣體。然依種種方法，亦能賦與

氣體以導電性而使電氣通過之，其方法中之一種，即為使電氣之電位相異是。如前所述，對置二絕緣體於空氣中，使與起電機或感應圈之兩極相連，俾與以適當之電位差時，則火花即飛躍於二極間，成所謂火花放電之現象。此火花之形狀，依二極之形狀及其距離之遠近與電位相差之程度等而各不同。例如如圖三三九所示，其兩極成球形距離甚近且電位差極大時，則其火花成直線。若兩極間之距離甚遠，則如同圖之乙所示，其火花成樹枝狀。又設球之一方具一尖端時，則如同圖之丙所示，其火花成刷毛狀。火花放電時，對於兩極間電位差之某數值所能生起放電現象之最大距離，謂之放電距離。在通常空氣中生成長一種之直線火花所需之最小電位差，約為三萬弗打。

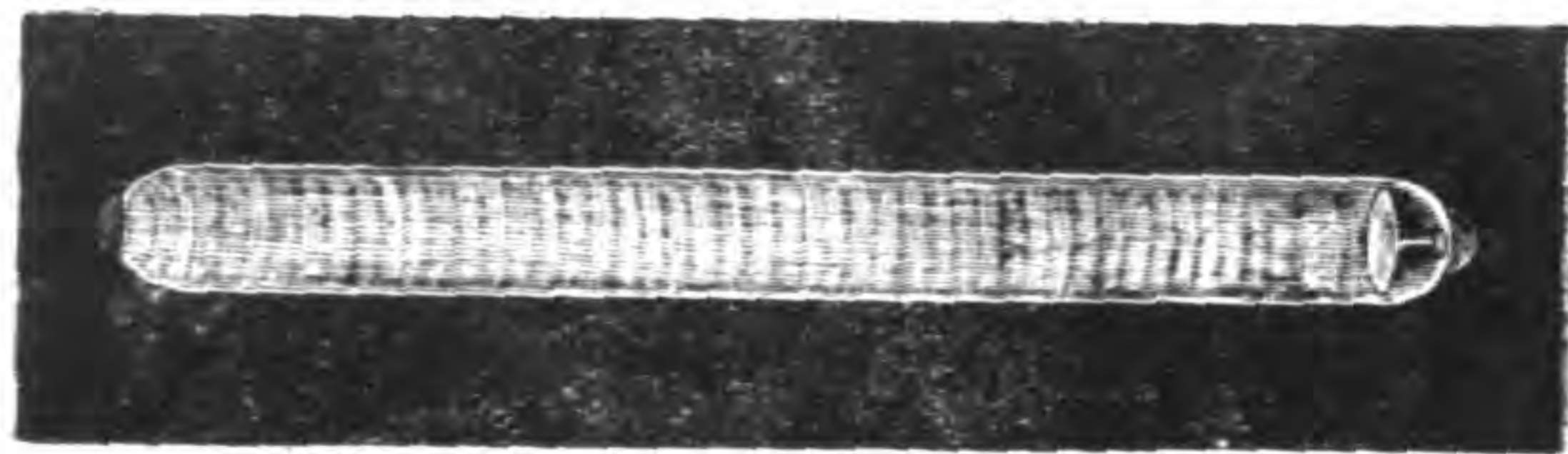


圖三三九

度等而各不同。例如如圖三三九所示，其兩極成球形距離甚近且電位差極大時，則其火花成直線。若兩極間之距離甚遠，則如同圖之乙所示，其火花成樹枝狀。又設球之一方具一尖端時，則如同圖之丙所示，其火花成刷毛狀。火花放電時，對於兩極間電位差之某數值所能生起放電

現象之最大距離，謂之放電距離。在通常空氣中生成長一種之直線火花所需之最小電位差，約為三萬弗打。

300. 真空管內之放電 置鉛或白金之兩極於細長之玻璃管內，抽去其中空氣而封入極少量之他種氣體之玻璃管，謂之蓋斯勒管。若繫此管之兩極於



圖三四〇

感應圈之兩極而使其放電時，則與空氣中之現象全異，不發火花，先於其陰極之周圍略現微光，於稍離陰極之近處，有一暗黑之部分，過此則光部與暗部相間，排列而成鱗狀。其光之顏色，則依其中氣體之性質而異，如以此光透過分光器而觀察之，則現其氣體特有之輝線光帶。

次將蓋斯勒管內之氣體抽出一部分，使之更為稀薄時，則鱗狀光即漸次增大其間隔，而減少其鱗數，終至於完全消滅，僅對於陰極之管壁發生美麗之磷光而已。由克奴克司研究之結果，此種現象，實由於陰極以可驚之速度，由其表面發射電子衝突於管壁，因之管壁盛發磷光。此種放射線，謂之陰極線。陰極線除上述之磷光作用外，尚有熱之效果及因磁場或電場彎曲其方向與機械的作用等性質。

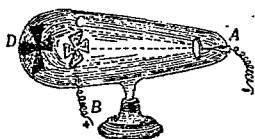


圖 三 四 一

因陰極線遵循直線之途徑而進行，故置一金屬板於其進行之途中，則其後必生成金屬板之陰影，如圖三四一所示，A 為真空管之陰極，B 為陽極，當高壓電流通過於其間時，則陰極線進行途中之障礙物 C 之陰影，即現於其後之玻璃壁上 D 處。

又陰極線亦能感受磁力之作用，如置磁石於其近傍時，則陰極線之途徑，即被其彎曲，行此實驗時，最好以塗有藥品能發螢光之鉛板斜置於管之軸上，且於陰極之前方，豫

留水平之細隙，則較為便利。因此時陰極線透過細隙而進行，其一部分衝突於螢光板上，故能依直行之途徑，成

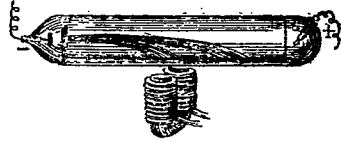


圖 三 四 二

為光輝之直線。若以強磁石或電磁石置於其近傍，則當如圖三四二所示，其直線之途徑，即行彎曲。又如磁石之極相反時，則其彎曲方向亦相反。此外陰極線之方向，亦能為電氣作用所彎曲。

再陰極線進行之途中，如遇有障礙物時，亦能作工作。例

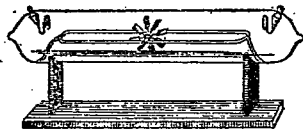


圖 三 四 三

如如圖三四三所示，置一以雲母片為翼之輕小風車於真空管內之玻璃軌道上以承受陰極線時，則風車即由陰極向陽

極滾去，恰與風車遇風時之情形相同。

301. X線 於極高度之真空管內而行放電時，則管壁僅現青綠色之微光。1895年樂琴氏於此種真空管內，曾發見一種性質特異之輻射線，謂之X線或稱樂琴線。X線雖不能由肉眼望見之，然能透過通常光線所不能透過之物質，但其透過度與物體之密度成反比例，故對於木片，紙類，布類，筋肉等物質，甚易透過；而對於鉛，白金，骨類等物質，則難於透過。

又X線之透過度，亦由其真空管之真空程度而異。若管之真空度甚低時，則其射出之X線之透過度亦弱，易為物體所吸收。若管之真空度甚高時，則其兩極間放電時需要甚大之電位差，故其射出之X線之透過度亦甚強。

X線之進行，雖與光線相同，依直線進行，然投射於通常之物體上，並不起反射及屈折等現象。又X線雖與陰極線異，不能受磁力或電力之作用，但有使空氣起電離之性質。例如空氣為電氣之不導體，而遇X線時，則即行電離，能稍行傳導電氣是。

X線雖不能由肉眼以感覺之，然遇塗有鍍化白金鉀或

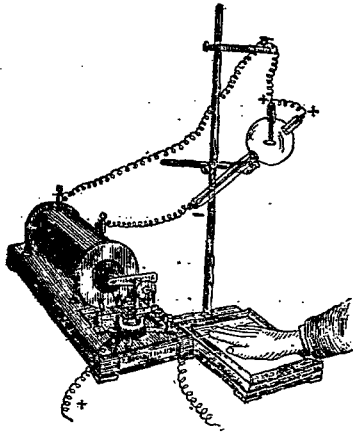


圖三四四

鍍化白金鉀之板時，則能使之盛發螢光。故置此板於真空管之前方，以手置於板後而由板前觀之，則可得見其映於板上之手影。因X線之透過骨質較之於透過筋肉為難，故板上骨影之部分，不發螢光，故可利用之以透過皮肉而認識骨骼之分布。又依同樣方法，可探知進入於體中之金屬如彈

丸等之位置，可知其在醫術上之應用甚為廣闊。

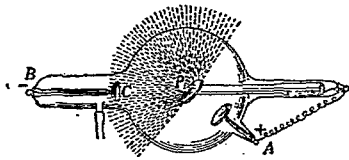
X線能作用於通常之照相乾片，故可利用之以攝製透



圖三四五

過皮肉之骨骼照片。照手骨之照片時，其法先置以黑紙包裹之乾片於放射X線之真空管下，以手置板上而使真空管發射X線時，則X線透過黑紙而作用於乾片，如圖三四五所示者即為使X線射影於手之模樣。

凡承當陰極線之部分，皆能發生X線。例如陰極線衝突於玻璃管壁時，則其被衝突之部分，非但發出螢光，同時亦能發射X線。若置難於融解之金屬例如白金於真空管內以承受陰極線時，則由其處即行盛發X線。如圖三四六所示者，即為通常所用之X線管。A為陽極，B為陰極，P為白金板，至陰極之前端須呈凹面形者，在使放電時由陰極面垂直射出之陰極線，恰能聚集於白金板上之故。故通以電流而使之放電時，則陰極線即激烈衝突於白金板上，因而盛行發射X線。



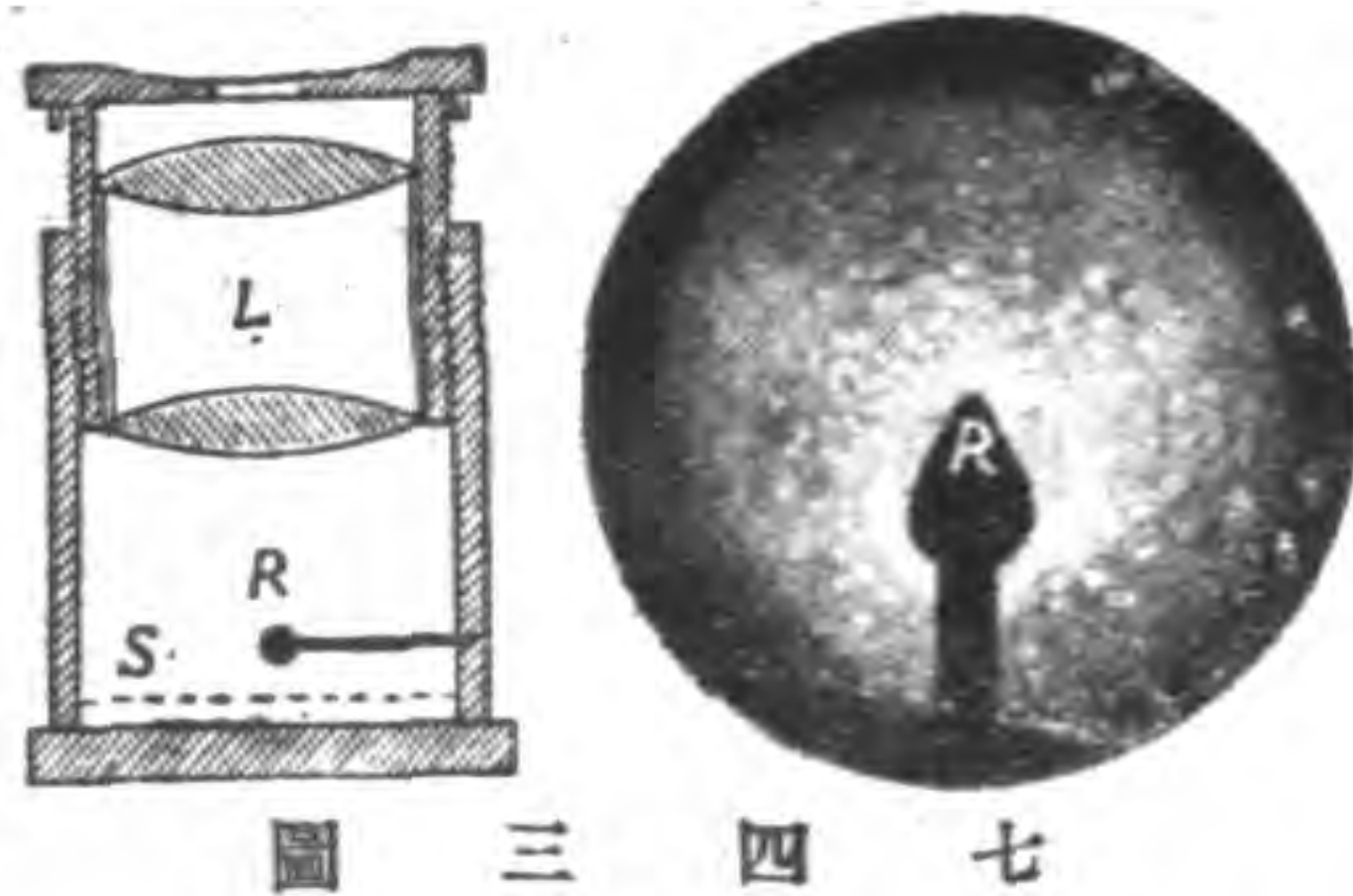
圖三四六

由最近研究之結果，得知 X 線亦為光波之一種，其速度殆與光波相彷彿，然其波長比光波為短，約為光波之五萬分之一。此種極短光波所由生之理由，不外陰極線即由陰極因強電力逐出之帶負電電子，以非常之速度進行，遇障礙物後因而急速停止之故。又 X 線投射於通常之物體時，不起反射，屈折等現象者，亦即由於波長極短之故。

302. 放射能 自釀琴氏發見 X 線後未及數月，柏闊勒氏復發見鈾及鈾之鹽類等亦能發射與 X 線類似之放射線之事實。此種發射放射線之性質，謂之放射能，具有放射能之物質，謂之放射物。放射物之種類甚多，不僅鈾之一種。例如其後修密特氏曾示明鈷之化合物，亦具有放射能之作用；及曲利夫人因研究瀝青鈾礦而發見放射能較鈾勝過千倍乃至百萬倍之釷及鐳之二原素是。

由鈾所發出之放射線，其作用雖較之 X 線為弱，然能透過金屬等之不透明體。其釷之放射能勝過純鈾之千倍，鐳之放射能勝過鈾之百萬倍。然通常所獲得之此二種物質，皆為其鹽類而非粹純之物質。由此二種物質所發出之放射線，如遇靖化白金鎖或硫化鋅時，均能使之盛發螢光，亦能作用於照相乾片及使氣體起電離作用。

為欲觀察鐳之發射放射線之情形起見，通常皆用燦爛鏡以行之。如圖三四七所示，貼一塗有硫化鋅之螢光板 S

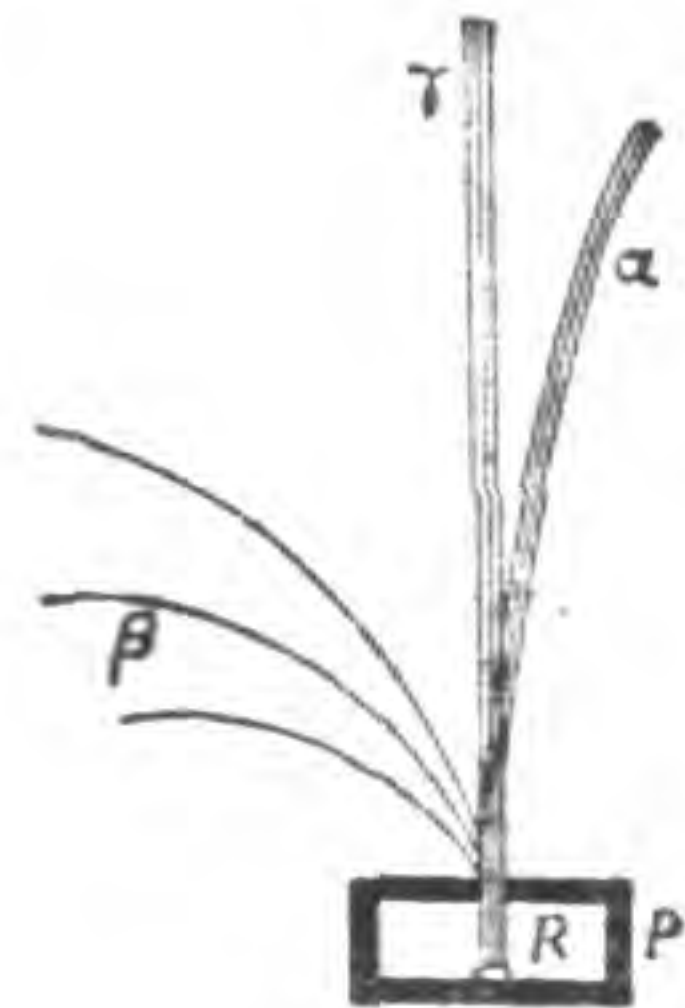


圖三四七

於圓筒之底部,其上置一粘有少量鐳鹽之針頭R,而於暗處透過單顯微鏡L以窺望其內部時則可見鐳鹽發出之放射線,衝突於硫化鋅

上,使之發生螢光;有似秋夜之無數小星,燦爛閃爍於天空之美觀。

放射物除能發射易被他物質吸收之放射線外,同時亦能發射透過度甚高之放射線,其易被他物質吸收之放射線,謂之 α 線,易透過他物質之放射線,謂之 β 線, β 線於透過數耗厚之鉛板後,猶能使



圖三四八

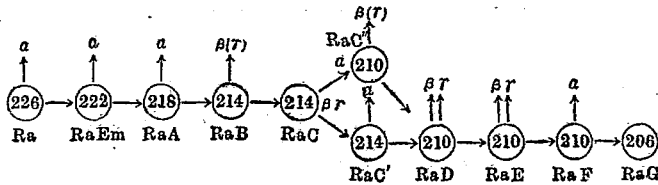
氣體起電離作用,可知其透過度之強,此外復能發射一種較上述二線更強之放射線,謂之 γ 線者,其透過度極強,竟可透過數釐厚之鉛板而逞其作用。

凡由放射物發出之放射線,均能透過對於普通光線之不透明體,且能作用於照相乾片及電離氣體等,其性質殆與X線相酷似,又 α 線 β 線均能受電力及磁力之作用,然其被此二種力所彎曲之途徑方向則相反,且此二種力影響於 α 線之作用,較之影響於 β 線之作用,顯著的為弱,至 γ 線則全不受電力磁力之作用。

由種種研究之結果，得知 α 線為帶正電氣之微粒子即帶正電氣之氦是， β 線為帶陰電氣之微粒子即電子與由真空管之陰極射出之微粒子同為一物。 β 粒子較之於 α 粒子甚為微小，其質量僅及 α 粒子之數千分之一。又 γ 線之性質，與 X 線至為近似，故現今學者，皆視同一物；即 γ 線亦為一種波長極短之光波也。

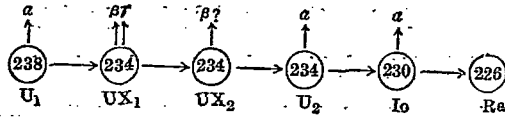
放射物之放射能，與溫度之高低毫無關係，且放射物不論為原素之狀態或化合物之狀態，其放射能之作用，皆完全相同。由此等事實觀之，可知放射能為放射原素特有之性質，故與此相伴之能力，當然存在於其原子之內部。

303. 原子之蛻變 由路脫福特及其他學者研究之結果，得知凡放射物不絕的發射放射線時，同時即自行變為他種之物質，例如鐳放出 α 粒子而成為鐳放素，此鐳放素更放出 α 粒子成為鐳 A，經下圖所示之譜系以蛻變是。圖內數字所表示者，為其物質之原子量。



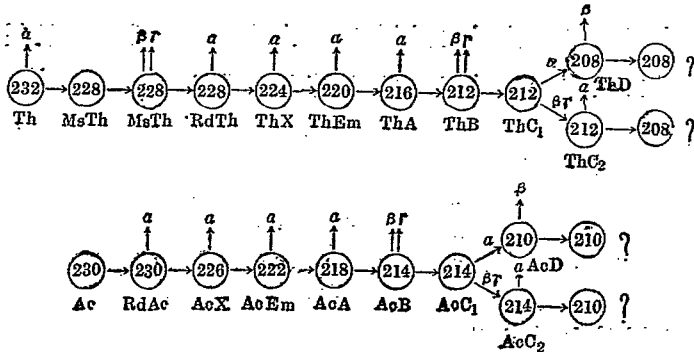
上圖為由鐳系系統所生種種物質之順序，謂之鐳系之蛻變系統。但此鐳之原素，亦為由蛻變極其遲緩之鈾原素

經四代之後而生成,其程序如下圖所示.



由上所述, α 粒子為帶電之氦原子故由鐳放出 α 粒子後,放射素之原子量等於由鐳之原子量 226 減去氦之原子量 4 之數 222. 同樣鐳 A 之原子量為 218, 凡每放出 α 粒子一次所生之新物質,其原子量均各減少 4. 由此推之,至最後之生成物 RaG 時,其 α 粒子曾經放出五次,故其原子量為由 Ra 之原子量 226, 減去 $4 \times 5 = 20$, 等於 206 然此值恰等於鉛之原子量,故可知 RaG 與鉛可視同一物.

以上所述者,為鐳系之蛻變系統,此外復有釷系及錒系之蛻變系統,茲記之於下.



於某時間內物質之放射能衰退之速率,與其時間所放

射放射物之量成正比例。然放射能與放射物之量亦成正比例。故放射能衰退之速率，與其物質之放射能成比例。設放射能為 I ，比例常數為 λ 時，則

$$\text{放射能衰退之速率} = \lambda I$$

上式中之 λ ，謂之衰退定數，或稱放射能定數。

測定放射能之定數時，通常皆用金箔驗電器。即使金箔驗電器帶電而張開其金箔，以放射物置近之，則放射線即行電離空氣，使空氣生成陰離子以中和金箔之電氣而減少其開度。故測定此金箔開度減少之速率時，則因此速率與放射能之強度 I 成比例，由此即可以求得其 λ 之值。因 λ 之值為各放射物特有之定數，故反之由此 λ 之值，亦可判定其放射物之種類。

第十三章 電氣與能力

304. 帶電體之能力 將杯水舉高，則較之置於地上時，其水位較高。故水之所有位置能力，即隨之而增。如水位增高三倍四倍時，則其位置能力亦成比例增多三倍四倍。又在同一高度之水位，其能力之大小與水量成比例。故可知位置能力之大小，與水量及水位之相乘積成比例。

設以水量相當於電量，水位相當於電位而研究之，則其結論亦與水之情形相同。即帶電體之能力與其電量及電

位之相乘積成正比例。例如電位不變而電量增加三倍四倍時，則其能力亦增加三倍四倍；又電量不變，其電位增高三倍四倍，其能力亦增加三倍四倍是。

今設帶電體所有之電量為 e ，電位為 V ，而計算其能力之量如下。假定帶電體與電位為零之地球相連時，則其電氣立即向地球流動。如當電氣流動時，其電位仍舊不變，則於電位之差為 V 之二點間，有 e 量之電氣流過於其間，其電氣所作工作當為 $V e$ 。然按之實際，凡電氣向地球流動時，隨之帶電體之電位即由 V 降至於零，故電流所作工作常較 $V e$ 為小。

分 e 為數值甚大之 n 等分而假定其各份順次流過時，則因各次所流之電量甚小，故其每份流過時電位，可視作不變。又帶電體之電位與其電氣量成比例，故電氣流過後各次帶電體之電位及其電氣所作工作，當如下表所示。

次數	電量	電位	工作
1	$\frac{e}{n}$	$V \frac{n}{n}$	$\frac{n}{n^2} V e$
2	$\frac{e}{n}$	$V \frac{n-1}{n}$	$\frac{n-1}{n^2} V e$
3	$\frac{e}{n}$	$V \frac{n-2}{n}$	$\frac{n-2}{n^2} V e$

$$\begin{array}{r}
 n-1 \quad \frac{e}{n} \quad \sqrt{\frac{n-(n-2)}{n}} \quad \frac{n-(n-2)}{n^2} Ve \\
 \frac{e}{n} \quad \sqrt{\frac{n-(n-1)}{n}} \quad \frac{n-(n-1)}{n} Ve
 \end{array}$$

由此得 e 電量流過時全體所作工作 W , 等於此各部分工作之和即

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{n^2} Ve \{n + (n-1) + \cdots + 2 + 1\} \\
 &= \frac{1}{n^2} Ve \times \frac{n(n+1)}{2} \\
 &= \frac{1}{2} Ve \left(1 + \frac{1}{n}\right)
 \end{aligned}$$

故 n 之值取至極大時, 則上式成爲

$$W = \frac{1}{2} Ve$$

即帶電體之電氣至全部流盡後, 其所作工作等於 $\frac{1}{2} Ve$; 換言之, 即帶電體所有之電氣能力爲 $\frac{1}{2} Ve$.

305. 放電與能力 以帶有等量正負電氣之二導體互相接近時, 則即行發生火花而放電, 其二導體之電氣, 即因之完全消失, 此時存於二物體間之能力, 驟視之儼如消失者然, 其實不然, 因其能力之大部分, 當放電時即變爲熱之能力及火花與音相伴之能力等而非消失故也, 落雷爲雲間之電氣與由感應生於地面之異種電氣所起之放電現象, 當落雷時, 其雲之電位極高, 且電量甚多, 故其能力亦甚

大，此多量之能力於最短之時間內驟化爲熱，光，音等種種能力，故其勢極猛，發生極大之爆聲及極強之光亮，且往往有摧折樹木，破壞屋宇，及傷害人畜等事。

306. 摩擦電氣及感應電氣之能力 以絲綢等物質摩擦玻璃棒，或以貓皮摩擦火漆棒時，則此等物體均行帶電，獲得新之電氣能力，此新之電氣能力，究何由而來乎？考其原因，蓋由於以絲綢或貓皮行摩擦時，吾人之手，即反抗其摩擦力而作多大之工作，因之其能力即由手而遷移於此等物體上，其一部分并成爲電氣之能力而表現故也。

又以貓皮摩擦起電盤而載金屬板於帶電之起電盤上，以手指觸板後舉板離盤時，則板亦帶有電氣，如將此電氣移至於他處，依上述之手續重覆行之，可使之重覆帶電至任何次數，積聚之且能成大量之電氣，此種能力，又何由來乎？是蓋由以板近盤時，由感應作用，生成異種電氣於盤之近方，同種之電氣於盤之遠方，其盤與板間異種電氣之引力，較之於距離稍大之同種電氣之斥力爲大，故板即由等於此二力之差之力，爲盤所吸引，次置板於盤上以指觸板後而將板舉起時，則僅剩異種電氣之引力作用於其間，如就同一之距離而言，其舉板時作用於板之力，常較置板時作用於板之力爲大，隨之舉板時對於電力之抵抗其手之所作工作，較之於置板時手之被作工作爲大，故相抵後，

手仍作有某量之工作。故其能力即由手而移於電氣之媒質，成爲電氣之能力而表現。如重覆此種手續時，其每次均有能力由手移於媒質，因之積聚之即可得大量之電氣能力。又迴轉起電機時，由感應作用，亦能得多量之電氣者；亦由於使起電機迴轉而作工作時，由手移來之能力，成爲電氣能力而表現之故。

307. 電流之能力 電流具有大量能力之實例甚多，例如白熱燈及弧燈因電流而發生多量之熱及光之能力；基於電氣分解之電鑄術，由電流以行甚大之化學工作；電動機因電流以行偉大之機械工作等是。考此等電流所有之大量能力，其來源可依其電流發生種類之不同，分別以言之。其由電池所生電流之能力，爲蓄於電池物質內之化學能力變化而成。又發電機所生電流之能力，則先由煤之燃燒所生熱之能力一部分變爲機械的能力後，由此機械的能力，使發電機迴轉，因而變成電流之能力。

第十四章 量子論與原子之構造

308. 自然之不連續 物質爲連續的乎？抑爲不連續的乎？此問題於西洋希臘時代，已爲學者所注意。迨至今日，由科學之進步，實驗之精密，得知非僅物質如此，即如電氣、光及其他諸種能力，亦莫不皆具有不連續性。因此等能

力，設非假定成爲粒子狀而存在時，實不足以說明實驗的事實。即分子、原子之存在，表示物質之不連續。電子之存在，要求電氣之不連續。量子論則更進而主張能力亦不連續，其授受於甲乙二物體間，亦有一定之最小限度。

由實驗之事實，最初表示不連續性者，厥惟化學的變化，隨之道爾頓之分子、原子說出，以物質爲個個分子之集合體爲基礎，於以築成分子運動說，隨之氣體之諸性質，及熱之本性，亦於以了解。繼之布蘭運動認識分子之實在，由氣體之擴散及粘性之係數，得知一克分子中之分子數爲 6.1×10^{23} 。更由輻射之定律及布蘭運動爲基礎，更進而計算原子之確數。又由放射能之發見， α 粒子 β 粒子等軌道之照片，或觀察此等粒子衝突於螢光體如硫化鋅等所生燦光之數目，可以得知其粒子之數目。又由電解現象之精密的測定，一離子所有之電氣量，其數值常一定，爲 $e = 4.774 \times 10^{-10}$ C. G. S. 靜電單位，此即電氣之數量，其電子所有之電氣量，亦與此相同。

309. 量子說 1901 年蒲蘭克由關於輻射之理論，因而倡導能力量子說。其說謂凡起輻射之物體內部，均有多數之電磁振動體，以發散振動數 ν 之電磁波。故其發散之能力，亦有數量。設其能力量子爲 E ，則 $E = h\nu$ 。此處之 h 爲蒲蘭克宇宙之常數，（其數值爲 $h = 6.5543 \times 10^{-27}$ 愛格/秒）

或謂之作用量子。當由外部吸收能力時，雖不必非不連續不可。而發散時，則必為不連續始行。即如非為 E , $2E$, $3E$, …… 等 E 之整數倍時，不能起發散作用。

310. 光電效果 繼上說而起者，有愛因斯坦之光量子假說。其主張為光之能力，亦有光量子存在，而非連續的單純波動。以鋅板帶陰電而曝露於光中時，則即行放電。又以不帶電之鋅板曝露於光中時，則板即帶陽電。此種現象，謂之光電效果。此現象於1888年雖由霞路瓦克司所發見，然由光量子假說出世後，始行被其說明。即由光量子獲得能力後之陰電子脫出時，則陰板中和，而中性板帶陽電是。

照片黑白之逆轉，亦為光電效果之作用。所謂逆轉云者，併合乾片上之潛像因溫度及經過時間之增加而消滅之現象即逆進；與由露出時間之增加而生濃淡相反之現象，



圖 三 四 九

即反轉而言。由關於乾片潛像之物理學說，知乾片上溴化銀之電子，能吸收光量子而由母體原子中脫出，因而生成潛像。

若光量子之作用時間過長，則電場強盛，其一度脫出之電子，復歸於母體，因而成爲濃淡反轉之物像，如圖三四九所示者，因太陽直射之光線過強，致日像成黑暗之圓形，與全未受光之部分相同。

關於螢光與磷光之司托庫司之定律，亦可由量子說以說明之。即由螢光體所發之螢光，其波長必較投射光之波長爲長。因設電子所獲得能力之量爲 $h\nu$ ，螢光之能力爲 $h\nu'$ 時，則發散之能力，必較獲得之能力爲小，即 $h\nu' < h\nu$ 。故螢光之振動數較少，即其波長較長。又如 α 線之波長雖短，而一經螢光體吸收後，再行發出之螢光則波長甚大，故能成爲吾人所能目見之光。

311. 原子之構造 由路脫福特之研究，得知凡屬原子，皆由帶陽電之原子核與迴轉於原子核周圍帶陰電之電子集合而成。此迴轉之陰電子之數目，隨原子之種類而不同。最少者爲一個，多者可至數十個。就中最簡單者，厥惟輕氣原子，其電子之數僅爲一個。氦次之，其電子之數爲二個。此構成一原子之電子，其數在五個以內時，則依等距離迴轉於同一軌道上，較爲安定。如在六個以上時，必分爲大小三軌道而運轉；如增至十七個以上時，更部分爲三條軌道而運轉，始爲安定。例如電子之數如爲十三時，則內部軌道上占三個，外部軌道上占十個。若電子之數爲十四時，則內

部占四個，外部占十個。故保有十三電子之原子，由內部軌道言之與保有三個電子之原子有共同之性質。由外部軌道言之，復與保有十四個電子之原子相似。此原素之週期律所由生之理由也。

原子之數，自輕氣起至鈾止，共計九十二個。如將此等原子依其原子量之順序排列之，其席次則輕氣為 1，氦為 2，…… 鈾為 92。此等號數謂之原子號數。原子號數，除表示原子之席次外，兼可表示其原子核外之電子數。

由最近之研究，知原子之陽核，亦決非單純者，於其周圍之極近處，有運行之電子羣存在。此陽電與電子羣全電量之差，即為陽核所有之電氣。如此此種圍繞於陽核周圍之電子羣，謂之內輪。至前述之電子羣，則謂之外輪。原素之物理的及化學的諸性質，其主因皆由於外輪電子之作用。因輕氣原子之陽核與電子俱為物質構成之基礎，故其他原素之陽核，皆可視為輕氣核與電子結合所成者。例如氦之原子量為 4，陽核之電量為 2，故氦之核可視為由 4 個輕氣核與 2 個電子相結合而成。

312. 波耳之輕氣原子模型 1913 年波耳氏曾應用路脫福特之原子模型與量子說，提出關於輕氣原子之新說，以說明輕氣光帶。即輕氣原子帶陽電之原子核周圍僅有一個電子運轉，其電子所有能力，等於量子 E 之整數倍時，

始能運轉之軌道，自有一定，電子運轉於此軌道上，雖屬於安定狀態，但於蓋斯勒管內以電力作用之，則輕氣原子即行電離而脫出電子，然此失去電子之原子，復能捕獲電子，謂之再合，此被捕獲之電子，復漸次移往於接近中心之軌道上，當電子由一軌道移於他軌道時，即呈發光之作用。柏路麥氏於此想像之下，將由實驗所得輕氣光帶之公式

$$\lambda_n = \beta \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad (n = 3, 4, \dots)$$

$$\text{但 } \beta = 3646 \times 10^{-8} \text{cm}$$

可由理論以求得之。由上式，其輕氣光帶之 $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ 之波長，可依 n 為 3, 4, 5 時以計算之。茲將其值記之於下。

$$H\alpha = 6562 \times 10^{-8} \text{cm}$$

$$H\beta = 4360 \times 10^{-8} \text{cm}$$

$$H\gamma = 4340 \times 10^{-8} \text{cm}$$

因之其光帶生成之理由，始行明瞭。

第十五章 相對性理原

313. 以脫之難題 於十七世紀由賈理熱、牛頓等所完成之力學，暫時間雖足以說明宇宙間之一切現象，然自最近之觀測方法漸臻精巧，思考復日進於敏銳以後，遂致發見二三不能遵從此種力學之自然現象，此等現象中，有光之現象，電磁氣之現象，及非常急速之運動等類，依光之波

動說，凡光皆由中間之媒質傳導而來，因真空中仍能有光線通過，故須另行假定一種以脫爲其媒質，又光波係屬以脫中之橫波，隨之可知以脫不可不有類似固體之性質，再由遊星之運動推之，而以脫復非爲稀薄之氣體不可，由此發生以脫抑屬靜止於空間或運動於空間之問題，依富來勒爾氏之推想，如以脫係絕對的靜止於空間，則因地球係運動於空間中，故不可不有對於以脫之關係速度，然此種關係速度，吾人終無由發見之，是以司托庫司復行推想以脫係與地球一致的運動，但徵之於光之行差之實驗，以脫又復非靜止的不可，故以脫抑係靜止的或運動的一問題，終成爲一不可解之暗謎。

又電磁氣之現象亦然，由馬克司威耳所想像之電磁波，既與光波同爲一種之以脫波動，則以脫所負之責任愈行重大，而吾人之對其懷疑亦愈深切，蓋爾文氏雖曾用以脫靜止說以說明電磁氣之現象，然無論作如何實驗，以脫之關係速度，均隱藏於神妙中而無由發見，故黑路茲氏反對之而唱以脫與地球同動之以脫運動說，以組織電氣力學，但依種種實驗之結果，均證明其不確實，隨之羅能慈氏復唱一電子論以代替之，此說所主張者，謂以脫係屬靜止的而其中之電子則不絕的運動，依此說，則凡精密之實驗，皆有以脫之關係速度，然由埋克爾遜及摩勒二氏精密實驗

之結果示明以脫之關係速度絕無其事羅能慈氏爲說明起見又復提出一羅能慈收縮之假定即置棒於運動之方向時則棒即行收縮其收縮之比例關係於物體之速度而與物體之種類無關但置棒於與運動之方向成直角時則不受任何之收縮然徵之於測知此收縮之各種實驗則皆終歸於失敗。

314. 時刻之決定 羅能慈之假定未免過事姑息不過如醫術上所謂之局部手術而已愛因斯坦氏更進而求其根本解決之方策因而注意及此病源之所在不存於電磁氣與光之諸現象而潛伏於根本的時間與空間之概念中凡自然現象之生起皆有時間與空間爲其背景時間之認識以現象之生起爲必要空間之測定以物理的對稱爲必要換言之即離開物理的現象決無非經驗的對象絕對時間與絕對空間之存在故時間之概念在某處觀察其任意週期之現象雖可由之以製作其本處固有之鐘錶然判定相異之甲乙二處二現象之生起是否爲同一時刻時則僅甲與乙各持其所持之鐘錶尙爲不足古代之力學係誠樸的信賴吾人之思維以爲吾人之思維不拘傳達之於遠近均無需任何之時間即以思維之傳播速度爲無限大因之牛頓之力學於以成立。

當比較二處現象之生起時刻關係時有比較各處任意

作成之鐘錶之必要。在以前學者之思想，認為將甲世界之鐘錶，雖持往於乙世界，其二者均能相一致。此方法中實隱含有鐘錶由一世界持往於他世界時，毫無變化之假定。但此假定未能貿然承認，故須交換信號於甲乙二處之間以決定之。於理論上方為正當。但此信號無論利用何物，其由甲地傳至乙地之所需時間，均不能度外視之。故不得不取信號由甲至乙復由乙至甲之平均時間以決定其相同時刻。然如不豫知此信號往復於二者間之進行法則，亦無由以決定之。因光之傳播，其任何方向之速度均屬相同，故此種信號舍光莫屬。

315. 相對性原理 愛因斯坦初唱相對性原理之學說時，為1905年。彼對時間視為各體系所固有之物時，為解決甲體系之時間與對此以 v 速度運動之乙體系時間，其間究有如何之關係存在。愛氏為解決此問題起見，特樹立下述之假定。

第一 關於一系之自然定律能應用之於對此系以等速度運動之他系。此假定謂之相對性之假定。

第二 光之速度於真空中對於任何觀測者皆一定不變。此假定謂之光速度不變之假定。

相對性假定之意義，在否定絕對之空間。換言之，即為以脫之否定。是因以脫不但為光及電磁氣之媒質，且與表示

絕對靜止之 α 體相結合,然徵之於實驗,無由認識其存在,故愛因斯坦即棄去此無用之贅物,解放空間,使恢復其自由,此空間位於吾人之四周,全為性質相等之空間,能生電磁力而以一定速度傳播之於四方,為其本來之性質,無另行假定物質的媒質填充於其間之必要,故此空間與彼空間,僅有相對的意義,即自我尊重之哲學,不能不由之而生。

自以脫被否定,絕對空間無由認識後,則時間亦與空間相等,應為相對的,即二觀測者相對的運動時,彼等所持之鐘錶,無論於任何處所,皆不能一致,反為時間本來之性質,故可知二處同一時刻之決定,亦當依信號傳遞方法之不同而有差異,其空間二點之同一時刻,不能絕對的確定,因之時間之絕對性,於以喪失,然傳遞信號之各種事象中,於自然現象中,吾人所認為最簡單者,莫過於光之現象,因之光速度不變之假定於以成立。

以脫與絕對空間既不能存在,然則光之速度,究係對於何物而言乎?其實光之速度無絕對的意義,由A觀測所得之速度,即為對於A觀測者之速度,由B觀測所得之速度,亦為對於B觀測者之速度,此由A觀測所得之結果,與由B觀測所得之結果,在理似應有差別;然愛因斯坦以為只須保持A與B之相對性時,則其所測得之光之速度,應無不同之理,即A、B間之關係如係對等的時,則兩者觀測

所得之光之速度，亦不可不相等，此即光速度不變之假定所由生之理由。

316. 時空之相對性 上述之假定昭示吾人以由靜止系變換其坐標於運動系時，用愛因斯坦羅能慈之變換式以代牛頓力學之賈理熱變換式之事實，此種關係，實與吾人以種種可驚之結論。

I. 空間之長度，雖為同時刻空間中二點間之距離，然此長度不能絕對的確定，由觀測者所處之地位而異。即運動體之長度，由靜止系觀之，當依其運動之方向而收縮是，此理論實與羅能慈之收縮完全相同，其收縮度依運動體之速度愈大而亦大，若運動體對於觀測者之速度增至與光之速度相等時，則其運動方向之長度，當減至成為零。

II. 空間長度之判斷既不相同，隨之時間長短之判斷，亦當有差異。即由靜止系觀測運動系之時間時，其運動系之時間為長，因之其鐘錶較為遲緩。

III. 物體慣性之質量，亦隨其速度之增加而俱增。如速度增至與光之速度相近時，則成為無限大。如以實驗上 β 粒子於種種速度所有之數值，與其理論上之數值相比較時，則誠屬一致。故此結論謂之已被證明，亦無不可。

VI. 速度合成之定律，亦不可不於別種形式之下，繼續保存。因二速度同一方向之和，應常較光之速度為小之故。即光之速度雖屬有限，但大於一切之速度。然於愛因斯坦之力學，如以光之速度視為無限大時，則依舊成為牛頓之力學。

V. 力因作用於物體而始生，其運動能力之增加與質量增加之比，常等於光速度之自乘。換言之，即物質與能力，皆為對於同一數量之別名。其一克之物質，等於 $C^2 = 9 \times 10^{20}$ 愛格之工作。此值謂之質量之能力當量。故如能如放射能同樣，使物質完全破壞時，則可得可驚之多量能力。隨之將來動力之源泉，應在於使物質之完全破壞。

317. 時空四元世界 1908年明可夫司克曾以時間與表空間要素之長度之尺度相等，而以垂直於表空間三軸之任何軸之軸以表之，因而設想一時空四元之直角坐標系。此想像的時空四元世界，謂之物理的世界，存在於物理世界中之點，謂之世界點，又表現象之線，謂之世界線。凡宇宙間之各種現象，如將其世界線引出後，則由過去以至未來，有如觀覽長卷之大自然畫卷，其表現於此世界之力學或電磁氣之現象，成為一種時空四元世界之幾何學，被整列成數學的極美麗之形式。當飛機於空中表演橫轉逆轉

等高等飛行術時，爲表示其經過之途徑起見，常使白煙噴出。此四元世界之世界線，即可設想爲恰與此殘剩於宇宙間之白煙相似。

318. 等價原理 愛因斯坦氏更將其相對性之假定，擴張之如下。

其系之物理的定律，能適用之於對於此系以加速度運動之他系。

吾人對於其此種假定，如進一步以思索之，可知其所主張者，爲重力場之現象與加速度運動之現象同爲一事。今取一箱而考察之，設此箱原無任何外力作用於其上，後因此箱之上方，忽得某力之作用以加速而運動；又設箱之外方有一石停止於其處，箱即於此石之上方，行等加速度之運動，其時處於箱中之觀測者，則見石依等加速度運動而墜落。無論石之爲大爲小，其墜落之加速度皆屬相等，與於地面上（即重力場）賈理熱之實驗完全相同。要之凡屬以等加速度運動之現象，與重力場之現象皆屬相同。此原理謂之等價原理。由此可知加速度與力，皆由觀測所處之地位如何而分，僅能相對的以認識之而已。

319. 時空之變形與重力 力之影響，成爲四元物理世界之變形而表現。明可夫司克之物理的世界，於力之作用時，成爲具有某種曲率之空間而表現。光之世界線，成爲曲

線而表現。吾人如於此種意義之下以研究重力場時，則各點皆有種種之曲率，成爲非歐幾里得之變形空間。其基於萬有引力之運動，實爲變形空間中之自由運動。凡物體皆遵從最小作用之定律，擇最小之途徑即測地線而運動。無力之作用時，物體之正直運動云者，即爲歐幾里得之空間之故。於此空間中，其連結二點之最短距離，即爲直線。

然地球周圍之空間，因重力故，致變形而有曲率，成爲非歐幾里得之空間。故於此空間中二點間之最短距離，已非直線而爲彎曲之曲線。月球即運轉於此彎曲之最短距離上者，其地面上之最短距離，則爲球面上測地線之大圓圓弧。

相對性原理之擴張，非僅主張各種運動之相對性，亦且主張僅恃由超越經驗之抽象的理論而發達之非歐幾里得幾何學，較之於約二千年前即被建成有如美麗殿堂之歐幾里得幾何學，由純理論上對於空間之本質，更深爲切合，而與自牛頓以來成爲疑問傳下之重力問題，以深切之解決。

320. 對於一般相對性原理之實驗的證明 一般相對性原理於1915年始行完成，其要求之結論有三。

如太陽之巨大質量物體，近傍之空間，因受重力之影響，其空間必生變形或具有某種曲率，因之運轉於此空間中

之遊星早已不遵循橢圓之軌道，雖繞太陽一周，亦決不能返至其最初之位置，其軌道成爲漸向外傾之橢圓。按之於天文學，其距日最近之水星近日點，於百年間約有四十三秒之移動，爲自古以來未能解決之暗謎，自一般相對性理論出後，始給與以理論的證明。

又空間因受太陽重力之影響而有曲率，故通過太陽近傍之光線途徑，不可不彎曲 1.75 秒而達於地面。1919 年英國天文學者愛丁敦氏曾攝得日蝕之皆既蝕照片，證明通過太陽表面之光線，平均約彎曲 1.8 秒，則愛因斯坦之豫言，因以證實，使世人不得不瞠目以感示驚異。

此外更有一豫言，即由太陽表面發來之光線，因受太陽重力之影響，其光帶線應向赤方變更其位置是。因此種事實於實驗上至爲困難，故尙未證實。

綜上所述，一般的相對性原理，能融合時空，使光，電磁氣，重力等相密接而統一之，更進而確定所有之物理現象，成爲非歐幾里得空間之幾何學的形象。

中英學語對照表

緒 論

物理學	Physics	思考	Thinking
空間	Space	推理	Reasoning
物體	Body	觀察	Observation
物質	Matter	實驗	Experiment
物質界	Material world	經驗	Experience
現象	Phenomena	定性的	Qualitative
自然	Nature	定量的	Quantitative
自然科學	Natural science	實驗式	Empirical equation
生物學	Biology	定律	Law
化學	Chemistry	假像	Image
天文學	Astronomy	假設	Hypothesis
地文學	Geophysics	理論	Theory
能力	Energy	波動論	Wave theory
力學	Dynamics	電子論	Electron theory
物性	Properties of matter	單位	Unit
音	Sound	基本單位	Funtamental unit
熱	Heat	誘導單位	Derived unit
光	Light	米突	Meter
電氣磁氣	Electricity and mag-	克	Gram
netiam		恆星日	Sidereal day

太陽日	Solar day	of units
平均太陽日	Mean solar day	密度 Density
秒	Second	比重 Specific gravity
絕對單位	Absolute units	正比例 Directly proportional
C. G. S. 制單位	C.G.S. System	比例常數 Constant of proportionality
of units		
F. P. S. 制單位	F.P.S. System	反比例 Inversely proportional

第一編 物性

第一章 分子的現象

固體	Solid	可分性	Divisibility
液體	Liquid	物質不滅之定律	Law of the conservation of matter
氣體	Gas	分子力	Molecular forces
流體	Fluid	凝聚力	Cohesion
物質三態	Three states of matter	附着力	Adhesion
分子	Molecule	擴散	Diffusion
分子說	Molecular theory	滲透	Osmose
原子	Atom	滲透分析	Osmotic analysis
原子說	Atomic theory	溶解	Dissolution
電子	Electron	溶液	Solution
廣延	Extension	溶質	Solute
不可入性	Impenetrability	溶媒	Solvent
有孔性	Porosity	濃度	Concentration
被壓性	Compressibility	溶解度	Solubility
彈力	Elastic force	飽和溶液	Saturated solution
彈性	Elasticity	過飽和液	Super-saturated sol-

uzion	毛管現象 Capillary phenomena
吸收 Absorption	
表面張力 Surface tension	久伯之定律 Jurin's law

第二章 固定之性質

彈性體 Elastic body	伸長之彈性率 Modulus of elongation
變形 Strain	
形狀之彈性 Elasticity of shape	楊格之彈性率 Young's modulus
體積之彈性 Volume elasticity	屈撓 Bending
彈性限度 Limit of elasticity	扭轉 Torsion
永久變形 Permanent strain	扭轉之彈性率 Torsion modulus
脆性 Brittle	
粘性 Plastic	剛度 Rigidity
彈性之疲勞 Elastic fatigue	硬性 Hardness
福克之定律 Hook's law	硬度 Hardness
彈性率 Modulus of elasticity	展性 Malleability
彈簧秤 Spring balance	延性 Ductility
伸長 Elongation	

第三章 液體之性質

壓力 Pressure	face of a liquid
巴斯開之原理 Pascal's principle	水準器 Level
水壓機 Hydraulic press	底壓 Bottom pressure
白拿馬水壓機 Brahma's hydraulic press	連通管 Communication tubes
液體之自由表面 Free sur-	噴泉 Artesian wells
	自來水 City water supply
	浮力 Buoyancy

亞幾默德之原理 Archimede's principle	傾心 Meta center
浮沈子 Cartesian diver	浮秤 Hydrometer
浮心 Centre of buoyancy	比重瓶 Specific gravity bottle.

第四章 氣體之性質

氣壓 Atmospheric pressure	間歇虹吸 Intermittent syphon
托力雪利之真空 Torricelli's vacuum	唧筒 Pump
氣壓計 Barometer	吸水筒 Suction pump
霍廷氏之氣壓計 Fortin's barometer	壓水筒 Force pump
空盒氣壓計 Aneroid barometer	活塞 Piston
波以耳之定律 Boyle's law	活瓣 Valve
壓力計 Manometer	消防唧筒 Fire pump
開管壓力計 Open manometer	抽氣筒 Air pump
閉管壓力計 Closed manometer	壓氣筒 Compression pump
布當壓力計 Bourdon's manometer	水銀抽氣機 Mercury pump
虹吸 Syphon	蓋斯勒之抽氣機 Geissler's pump
	特柏勒之抽氣機 Toepler's pump
	格德之抽氣機 Goede's pump

第二編 力學

第一章 力之平衡

平衡 Equilibrium	着力點 Point of application
抵抗 Resistance	方向 Direction

大小 Magnitude	剛體 Rigid body
合力 Resultant force	能率 Moment
分力 Component force	能率之臂 Arm of moment
力之中斜法 Parallelogram of forces	偶力 Couple
力之三角形法 Triangle of forces	偶力之臂 Arm of couple
力之多角形法 Polygon of forces	重心 Center of gravity
力之合成 Composition of forces	安定平衡 Stable equilibrium
力之分解 Decomposition of force	不安定平衡 Unstable equilibrium
	中立平衡 Neutral equilibrium
	穩度 Stability

第二章 運動之定律

運動 Motion	of velocities
靜止 Rest	加速度 Acceleration
直線運動 Rectilinear motion	平均加速度 Mean acceleration
圓運動 Circular motion	力 Force
曲線運動 Curved motion	慣性 Inertia
變位 Displace	慣性定律 Law of inertia
速率 Speed	質量 Mass
等速運動 Uniform motion	運動量 Momentum
速度 Velocity	力時積 Impulse
速度之合成 Composition of velocities	達因 Dyne
速度之分解 Decomposition of velocity	磅度 Poundal
速度之中斜法 Parallelogram	力之絕對單位 Absolute unit of f force
	力之重力單位 Gravitational

unit of force.	反作用定律 Law of reaction
作用 Action	應力 Stress
反作用 Reaction	運動之定律 Law of motion

第三章 物體之運動

落體 Falling body	tion constant
阿第屋之器械 Atwood's machine	重力 Gravity
拋射體 Projectile	單位運動 Simple harmonic motion
拋物線 Parabola	振幅 Amplitude
圓運動 Circular motion	週期 Period
向心力 Central force	擺 Pendulum
遠心力 Centrifugal force	等時性 Isochronism
萬有引力 Universal gravitation	迴轉運動 Rotation
萬有引力之常數 Gravita-	迴轉軸 Axis of rotation

第四章 對於運動之抵抗

摩擦 Friction	流動摩擦 Rolling friction
最大摩擦 Greatest friction	流動摩擦係數 Coefficient of rolling friction
靜止摩擦係數 Coefficient of static friction	終速度 Terminal velocity
運動摩擦 Kinetic friction	飛艇 Air ship
運動摩擦係數 Coefficient of kinetic friction	飛機 Aeroplane

第五章 簡單機械

槓桿 Lever	槓桿之臂 Arm of balance
支點 Fulcrum	天秤 Balance

秤桿	Beam of balance	尖劈	Wedge
靈敏	Sensitive	螺旋	Screw
感度	Sensibility	母線	Generating line
輪軸	Wheel and axle	雄螺旋	Male screw
滑車	Pully	螺條	Thread
定滑車	Fixed pully	旋距	Pitch
動滑車	Movable pully	雌螺旋	Female screw
斜面	Inclined plane	螺旋壓榨器	Screw press
傾斜角	Inclined angle		

第六章 工作與能力

工作	Work	馬力	Horse power
作工	Work done	瓦特	Watt
愛格	Erg	能力	Energy
朱爾	Joule	運動能力	Kinetic energy
呎磅度	Foot - poundal	位置能力	Potential energy
尅米	Kilogrammeter	熱能力	Heat energy
呎磅	Foot - pound	機械之能力	Mechanical energy
工作之原理	Principle of work	能力不滅之定律	Law of the conservation of energy
工率	Power		

第三編 熱學

第一章 溫度及熱

溫度	Temperature	冰點	Freezing point
寒暖計	Thermometer	沸點	Boiling point
水銀寒暖計	Mercury thermo- meter	攝氏	Celcius
		華氏	Fahrenheit

列氏 Réaumur	比熱 Specific heat
最高寒暖計 Maximum thermometer	定積比熱 Specific heat at constant volume
最低寒暖計 Minimum thermometer	定壓比熱 Specific heat at Constant pressure
驗溫器 Clinical thermometer	混合法 Method of mixture
卡路里 Calorie	水熱量計 Water calorimeter
熱容量 Thermal capacity	水當量 Water-equivalent

第二章 熱之傳播

熱之傳播 Transference of heat	對流 Convection
傳導 Conduction	冷藏庫 Cold storage room
良導體 Good conductor	輻射 Radiation
不良導體 Bad conductor	保暖瓶 Magic bottle

第三章 膨脹

膨脹 Expansion	體膨脹係數 Coefficient of voluminal expansion
線膨脹 Linear expansion	查理之定律 Charles' law
線膨脹係數 Coefficient of linear expansion	絕對溫度 Absolute temperature
補整擺 Compensation pendulum	氣體之定律 Gas law

第四章 融解與凝固

融解 Fusion	凝固點 Solidifying point
融解點 Melting point	凝固熱 Heat of solidification
融解熱 Heat of fusion	過融解 Superfusion
潛熱 Latent heat	復冰 Regelation
凝固 Solidification	溶解熱 Heat of solution

寒劑 Freezing mixture

第五章 蒸發與液化

氣化 Vaporization
 液化 Liquifaction
 凝結 Condensation
 蒸發 Evaporation
 蒸氣 Vapor
 張力 Tension
 揮發性之液體 Volatile liquid
 昇華 Sublimation
 飽和蒸氣 Saturated vapor
 沸騰 Ebullition or boilidg
 沸騰球 Boiling point
 蒸溜分析法 Fractional distillation
 氣化熱 Heat of vaporization
 臨界溫度 Critical temperature
 臨界壓力 Critical pressure

永久氣體 Permanent gas
 濕潤 Moistness
 乾燥 Dry
 濕度 Humidity
 露點 Dew point
 霧 Fog
 雲 Cloud
 雨 Rain
 霰 Sleet
 雪 Snow
 露 Dew
 霜 Hoarfrost
 溫度計 Hygrometer
 但尼爾濕度計 Daniell's hygrometer
 乾濕球濕度計 Dry and wet bulb hygrometer

第六章 熱與能力

熱之工作當量 Mechanical equivalent of heat
 熱機關 Heat engine
 蒸汽機關 Steam engine
 蒸汽機關之效率 Efficiency

of steam engine
 蒸汽冲輪 Steam turbine
 內燃機關 Internal combustion engine

第四編 音學

第一章 波動

波動	Wave motion	波長	Wave length
媒質	Medium	位相	Phase
波源	Wave source	縱波	Longitudinal wave
投射波	Incident wave	合波	Resultant wave
屈折波	Refracted wave	波之干涉	Interference of wave
反射波	Reflected wave	節點	Nodal point
峯	Crest	節線	Nodal line
谷	Trough	定常波	Stationary wave
橫波	Transverse wave	腹	Loop

第二章 音波

音波	Sound wave	音波之屈折	Refraction of sound wave
音	Sound	干涉管	Interference tube
音波之速度	Velocity of sound wave	升沈	Beat
回聲	Echo	音叉	Tuning fork

第三章 音響

音響	Sound	音色	Quality or Timbre
樂音	Musical sound	音之調和	Consonance
噪音	Noise	音程	Musical interval
音之強弱	Intensity	測音器	Syren
音之高低	Pitch		

第四章 發音體之振動

一絃琴 Sonometer	絃之振動 Vibration of string
原振動 Fundamental vibration	棒之振動 Vibration of rod
原音 Fundamental tone	板之振動 Vibration of plate
倍振動 Harmonics	鐘之振動 Vibration of bell
倍音 Overtone	多帕勒之原理 Doppler's principle
定常振動 Stationary vibration	

第五章 共鳴

共鳴 Resonance	孔德之實驗 Kundt's experiment
風琴管 Organ pipe	聲帶 Vocal chord
開管 Open pipe	留聲機 Phonograph
閉管 Closed pipe	

第五編 光學

第一章 光之直進

光 Light	光線獨立之原理 Independence of rays of light
發光體 Luminous body	影 Shadow
光源 Light source	半影 Penumbra
暗體 Non-luminous body	本影 Umbra
透明體 Transparent body	日蝕 Solar eclipse
不透明體 Opaque body	皆既蝕 Total eclipse
半透明體 Translucent body	部分蝕 Partial eclipse
光之媒質 Medium of light	金環蝕 Annular eclipse
光之直進 Rectilinear propagation of light	月蝕 Eclipses of moon
	照度 Intensity of illumination
光線 Ray of light	光度 Illumination power

光度計	Photometer	eter
本生光度計	Bunsen's photom-	燭光 · Candle power.

第二章 光之反射

反射之定律	Law of reflection	散光	Diffused light
光之屈折	Refraction of light	球面鏡	Spherical mirror
光之反射	Reflection of light	凹面鏡	Concave mirror
投射光線	Incident ray	凸面鏡	Convex mirror
反射光線	Reflected ray	鏡軸	Axis of mirror
投射點	Point of incidence	實像	Real image
法線	Normal line	共軛焦點	Conjugate foci
投射角	Angle of incidence	主焦點	Principal focus
反射角	Angle of reflection	焦點	Focus
反射光線之逆行	Reversal	焦點距離	Focal distance
of reflected ray		虛光源	Virtual light source
平面鏡	Plane mirror	物體之像	Image of body
像	Image	球面收差	Spherical aberration
虛像	Virtual image	焦線	Caustics
複像	Multiple images	焦面	Caustic surface
亂反射	Diffused reflection	拋物線之焦點	Focus of parabola
正反射	Regular reflection		

第三章 光之屈折

屈折光線	Refracted ray	正常光線	Ordinary ray
屈折角	Angle of refraction	異常光線	Extraordinary ray
屈折之定律	Law of refraction	光學的密	Optically dense
屈折率	Index of refraction	屈折光線之逆進	Reversal of refracted ray
複屈折	Double refraction		

全反射 Total refraction
 臨界角 Critical angle
 蜃樓 Mirage
 三稜鏡 Prism
 三稜鏡之角 Angle of prism
 三稜鏡之稜 Edge of prism
 偏角 Deviation
 透鏡 Lens
 透鏡之軸 Axis of lens

光心 Optical center
 凸透鏡 Convex lens
 凹透鏡 Concave lens
 收斂透鏡 Converging lens
 發散透鏡 Diverging lens
 透鏡之焦點 Focus of lens
 透鏡之球面收差 Spherical
 aberration of lens

第四章 視覺

眼 Eye
 角膜 Cornea
 白膜 Sclerotic
 水晶體 Crystalline lens
 水樣液 Aqueous
 網膜 Retina
 光角 Optical angle
 視角 Visual angle
 實體鏡 Stereoscope

眼之調節 Accommodation of
 eye
 明視距離 Distance of distinct
 vision
 近眼 Short sighted eye
 遠眼 Long sighted eye
 曲光度 Dioptrie
 惑視 Illusion

第五章 光學器械

單顯微鏡 Simple microscope
 倍率 Magnifying power
 照相機 Photographic camera
 現像液 Developer
 定像液 Fixing solution
 陰畫 Negative picture

陽畫 Positive picture
 幻燈 Magic lantern
 電影 Cinematograph
 望遠鏡 Telescope
 對物鏡 Objective lens
 對眼鏡 Eye piece

賈理熱之望遠鏡 · Galileo's telescope	雙眼鏡 · Opera-glass
	顯微鏡 · Microscope

第六章 光之分散與輻射線

光之分散 · Dispersion of light	赤外線 · Infra-red ray
光帶 · Spectrum	熱線 · Heat ray
牛頓之七色板 · Newton's seven colors disc	紫外線 · Ultra-violet ray
餘色 · Complementary colors	化學線 · Chemical or actinic ray
原色 · Primary colors	輻射線 · Radiant ray
透鏡之色收差 · Chromatic aberration of lens	天然色照相 · Natural colour photography
減色透鏡 · Achromatic lens	加色法 · Additive process
冕號玻璃 · Crown glass	減色法 · Subtractive process
火石玻璃 · Flint glass	漂白法 · Bleaching out process
虹 · Rainbow	色簾乾片法 · Screen plate process
第二次虹 · Secondary rainbow	輻射熱 · Radiant heat
第一次虹 · Primary rainbow	輻射能 · Radiating power
分光器 · Spectroscope	吸收能 · Absorbing power
弗氏黑線 · Fraunhofer's lines	太陽之常數 · Solar constant
光帶 · Spectrum	螢光 · Fluorescence
吸收光帶 · Absorption	螢光 · Fluorescing body
連續光帶 · Continuous spectrum	磷光 · Phosphorescence
輝線光帶 · Line spectrum	磷光體 · Phosphorescing body
光帶分析術 · Spectrum analysis	

第七章 光波

放射說 · Emission theory	光波 · Light wave
-----------------------	-----------------

光之速度 Velocity of light	光波之干涉 Interference of light-wave
傅珂之方法 Foucault's method	薄膜之色 Colours of thin plates
光波之反射 Reflection of light wave	牛頓環 Newton's ring
球面波 Spherical wave	光之迴折 Diffraction of light
光波之屈折 Refraction of light wave	電氣石 Tourmaline
	偏光 Polarised light

第六編 磁氣電氣學

第一章 磁石

磁性 Magnetic property	磁氣之感應 Induction of magnetism
磁石 Magnet	磁化 Magnetization
磁氣 Magnetism	磁化力 Magnetising force
天然磁石 Natural magnet	一時磁石 Temporary magnet
人工磁石 Artificial magnet	永久磁石 Permanent magnet
磁針 Magnetic needle	磁性體 Magnetic substance
馬蹄磁石 Horse-shoe magnet	常磁性體 Paramagnetic substance
棒磁石 Bar magnet	反磁性體 Diamagnetic substance
磁極 Magnetic pole	強磁性體 Ferromagnetic substance
北極 North pole	磁場 Magnetic field
南極 South pole	磁場之強度 Intensity of magnetic field
正極 Positive pole	磁場之方向 Direction of magnetic field
負極 Negative pole	
磁力 Magnetic force	
磁氣量 Quantity of magnetism	
扭秤 Torsion balance	
庫倫之定律 Coulomb's law	

netic field	水平分力	Horizontal component
磁力線 Magnetic line of force	等磁線	Isomagnetic line
分子磁石說 Molecular theory of magnet	等伏角線	Isoclinic line
拘束磁氣 Bound magnetism	等偏角線	Isogonic line
自由磁氣 Free magnetism	等磁力線	Isodynamic line
磁氣飽和 Magnetic saturation	地磁赤道	Magnetic equator
地球磁氣 Terrestrial magnetism	地磁極	Terrestrial magnetic pole
伏角 Dip or inclination	羅盤	Mariner's compass
偏角 Declination		

第二章 靜電

帶電 Electrify	絕緣體 Insulator
電擺 Electric pendulum	電量 Quantity of electricity
電氣 Electricity	庫倫 Coulomb
金箔驗電器 Gold leaf electroscope	庫倫之定律 Coulomb's law
陽電 Positive electricity	表面密度 Surface density
陰電 Negative electricity	陽粒子 Positive corpuscle
導體 Conductor	電子 Electron
不導體 Non-conductor	束縛電子 Bound electricity
	自由電子 Free electricity

第三章 電氣感應

電場 Electric field	etric field
電場之強度 Intensity of electric field	電力方向 Direction of electric force
電場之方向 Direction of electric field	電力線 Line of electric force

電氣感應 Induction of electricity	fluence-machine
感應授電 Electrification by induction	中和 Neutralization
起電盤 Electrophorus	火花放電 Spark discharge
起電機 Whimshurst's self-in-	電氣之對流 Electric convection
	雷鳴 Thunder
	避雷針 Lightning conductor

第四章 電位

電位 Electric potential	電氣容量 Electrical capacity
電壓 Electric pressure	發刺德 Farad
弗打 Volt	蓄電器 Condenser
電壓計 Voltmeter	來頓瓶 Leyden jar
電氣計 Electrometer	石蠟蓄電器 Paraffin condenser

第五章 電流及電池

電流 Electric current	陽極 Positive pole
電流之強度 Strength or intensity of current	陰極 Negative pole
電流之方向 Direction of current	動電力 Electromotive force
安培 Ampere	局部電流 Local current
接觸電氣 Contact electricity	電池之分極 Polarisation of cell
輪道 Circuit	但尼爾電池 Daniell's cell
電池 Cell	重力電池 Gravitation cell
弗打電池 Volta's cell	本生電池 Bunsen's cell
電池之極 Pole of cell	路克蘭電池 Leclanche's cell
	重鉻酸鉀電池 Bichromate cell

第六章 電氣抵抗

歐姆之定律	Ohm's law	列連結	Parallel connection
歐姆	Ohm	內抵抗	Internal resistance
電氣抵抗	Electrical resistance	外抵抗	External resistance
比抵抗	Specific resistance	費笛司頓之電橋	Wheats- tone bridge
全抵抗	Total resistance		
行連結	Series connection		

第七章 電流之熱作用

朱爾之定律	Joule's law	電氣爐	Electric furnace
瓦特	Watt	熱電流	Thermo-electricity
白熱燈	Incandescent lamp	熱電列	Thermo-electric series
弧燈	Arc lamp	熱電池	Thermo-element
調整器	Regulator	熱電堆	Thermo-pile

第八章 電流之化學作用

電氣分解	Electrolysis	電離說	Ionic theory
電解質	Electrolyte	電鍍術	Electro-plating
陽離子	Cation	電鑄術	Electro-typing
陰離子	Anion	電氣冶金術	Electro-metall- urgy
電離	Electrolytic dissociation	蓄電池	Accumulator
發刺德之定律	Faraday's law	充電	Charging
電氣當量	Electrochemical equi- valent	放電	Discharging

第九章 電流之磁氣作用

安培之定律	Ampere's law	正切電流計	Tangentgalvan- ometer
導線圈	Coil	安培計	Amperemeter or amme-
電流計	Galvanometer		

弗打計	Voltmeter	電報機	Telegraph
電磁石	Electromagnet	發報機	Transmitter
電鈴	Electric bell	受報機	Receiver
		架空線	Aerial line

第十章 感應電流

感應電流	Induced current	直流發電機	Direct current dynamo
相互感應	Mutual-induction	交流	Alternate current
一次線圈	Primary coil	交流發電機	Alternate current dynamo
二次線圈	Secondary coil	電動機	Motor
倫慈之定律	Lenz's law	電動子	Armature
自己感應	Self-induction	變動器	Transformer
感應圈	Induction	昇壓器	Step-up transformer
電話機	Telephone	降壓器	Step-down transformer
送話器	Transmitter	電力輸送	Transmission of electric power
受話器	Receiver	高壓線	High tension line
發電機	Dynamo		
場磁石	Field magnet		
發電子	Armature		
直流	Direct current		

第十一章 電氣振動與電波

電波	Electric wave	電氣振動與電波	netic theory of light
磁波	Magnetic wave	荷黑拿檢波器	Coherer
赫路茲之實驗	Experiment of Hertz	鑽石檢波器	Crystal detector
電氣共鳴	Electric resonance	整流作用	Rectifying action
光之電磁氣說	Electromagnetic theory of light	真空球檢波器	Vacuum valve detector

板電流 Plate current	無線電報 Wireless telegraphy
柵極 Grid	無線電話 Wireless telephony

第十二章 真空放電與放射能

放電距離 Distance of discharge	α 線 α -ray
蓋斯勒管 Geissler's tube	β 線 β -ray
陰極線 Cathode ray	γ 線 γ -ray
X 線 X-ray	原子之蛻變 Disintegration of atom
鑷琴線 Röntgen ray	衰退定數 Constant of decay
放射能 Radioactivity	放射能定數 Constant of radioactive transformation
放射物 Radio-active substance	
燦爛鏡 Spinharscope	

第十四章 量子論與原子之構造

量子論 Quantum theory	司托庫司之定律 Stoeke's law
分子運動說 Theory of molecular motion	原子之構造 Atomic construction
布蘭運動 Brownian movement	原子號數 Atomic number
作用量子 Quantum of action	內輪 Inner orbit
光量子假說 Light-quantum theory	外輪 Outer orbit
光電効果 Photo-electric effect	再合 Recombination

第十五章 相對性原理

以脫 Ether	絕對空間 Absolute space
羅能惹收縮 Lorentz's contraction	相對性原理 Principle of relativity
絕對時間 Absolute time	變換式 Transformation

能力當量	Energy equivalent	lence	
四元世界	Four dimensional	最小作用之定律	Law of
world		least action	
物理的世界	World	測地線	Geodesic line
世界點	World point	一般相對性原理	General
世界線	Worldline	principle of relativity	
等價原理	Principle of equiva-		

人名中譯對照表

Ampere	安培	Edison	愛迪生
Archimedes	亞幾默德	Einstein	愛因斯坦
Atwood	阿第屋	Euclid	歐幾里得
Bacon	培根	Ewing	尤開
Balmer	柏路麥	Faraday	發刺德
Bequerel	柏潤勒	Fortin	霍廷
Bohr	波耳	Foucault	傅珂
Bunsen	本生	Fresnel	富來勒爾
Boscha	波沙	Fraunhofer	弗勞恩洞惑路
Bourdon	布當	Galileo	賈理熱
Boyle	波以耳	Geissler	蓋斯勒
Brahma	白拿馬	Goede	格德
Branly	卜蘭勒	Griffiths	克力斐司
Charles	查理	Hall	霞路
Coulomb	庫倫	Herz	黑路茲
Crookes	克奴克司	Hook	福克
Curie	曲利	Huyghens	諧恩士
Dalton	道爾頓	Jolly	爵理
Daniell	但尼爾	Joule	朱爾
Doppler	多帕勒	Jurin	久伶
Eddington	愛丁敦	Kelvin	蓋爾文

Kundt	孔德	Planck	蒲蘭克
Leclanche	路克蘭	Römer	路麥
Lenz	倫慈	Röntgen	樂琴
Linienthal	林嚴塔	Rutherford	路脫福特
Lodge	羅吉	Schmidt	修密特
Lorenz	羅能慈	Stocks	司托庫司
Malconi	馬可尼	Toepler	特帕勒
Maxwell	馬克司威爾	Torricelli	托力雪利
Michelson	埋克爾遜	Trabert	托拉伯迪
Minkowski	明可夫司克	Volt	弗打
Mohs	摩斯	Watt	瓦特
Morley	摩勒	Weber	威伯爾
Newton	牛頓	Wheatstone	費笛司頓
Ohm	歐姆	Young	楊格
Pascal	巴斯開		

(一) 世界書局出版高中教科書目錄

史 歷		英 語			黨 義	國 文		科 目		
書 名		書 名			書 名	書 名		編 著 人		
高中創造本國史	陸東平著 高中本國史	余遜著 高中本國史	黃梁就明 高中英文作文修辭	黃梁就明 高中英文文法	黃梁就明 世界高中英文選	林漢達 高中英語標準讀本	郭伯棠 高中黨義	徐蔚南 高中中國文 <small>(甲種) 道林紙印</small>	徐蔚南 高中中國文 <small>(乙種) 新聞紙印</small>	編 著 人
二冊	二冊	二冊	一冊	二冊	三冊	三冊	三冊	三冊	三冊	冊 數
每冊 角	每冊九角五分	上册一元三角 下册 角	每冊 角	每冊 角	每冊 角	第一冊九角五分	第一二冊各九角 第三冊九角五分	第一冊一元六角 第二三冊各二元	第一冊一元二角 第二三冊各二元	價 目

中華民國二十二年七月六版

高級中學教科書 **高中物理學** (全二冊)

(每冊定價銀二元)

(外埠酌加郵費匯費)

編著者 傅 溥

出版者 世 界 書 局

印刷者 世 界 書 局
上海大連海路

發行所 上海四馬路 世界書局

版權所有 不准翻印

