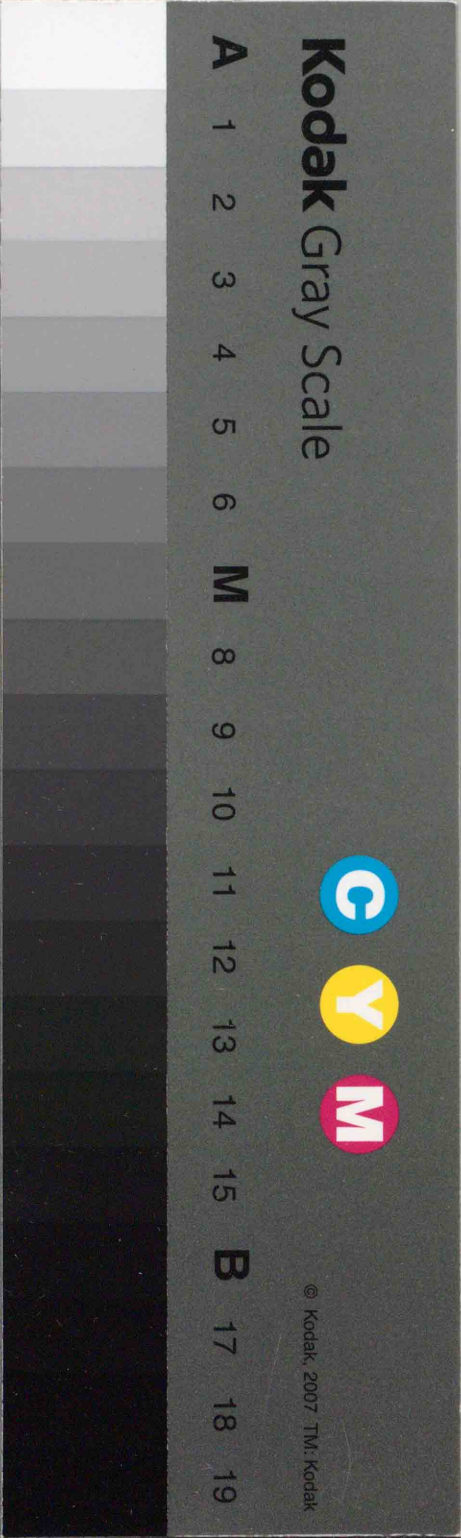
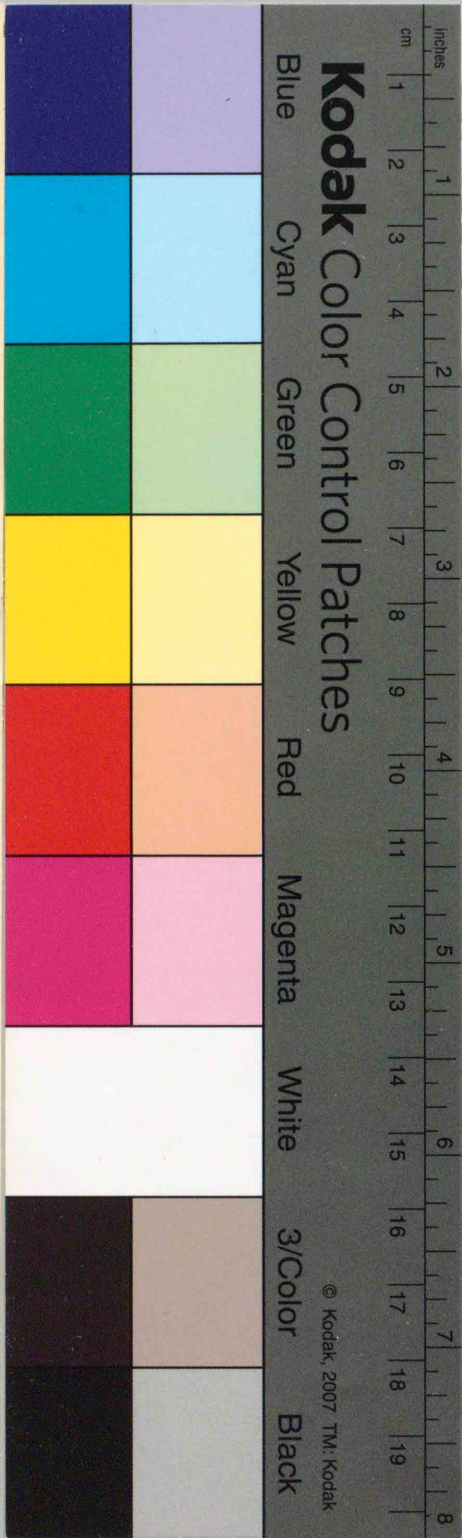


40335

教科書文庫

4
421
41-1937
01304 49504



Y0  
1

廣島文理科大学教授  
理學博士正木修著

# 中學校物理

[乙表準據]

14.2.0-  
東京大学図書  
物理学部

広島大学図書  
0130449504



東京圖書房 神田

庫  
7  
04



中中圖書館

教科書文庫

4

421

41-1937

0130449504

文 部 省 檢 定 濟

昭和十二年二月十八日 中學校物理科用

廣島文理科大学教授  
理學博士正木修著

# 中 學 校 物 理

[乙 表 準 據]

広島大学図書

0130449504



広島大学図書

0130449504



東京 圖 山 房 神 田



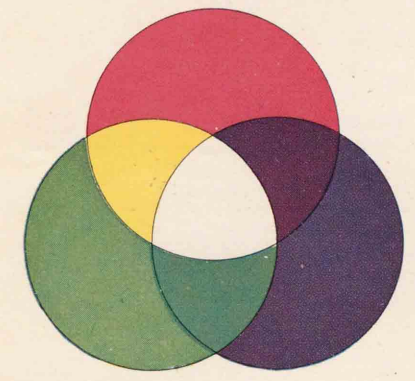
東京美術学校  
印刷部印刷部  
昭和二十二年二月二十日

東京美術学校  
印刷部印刷部

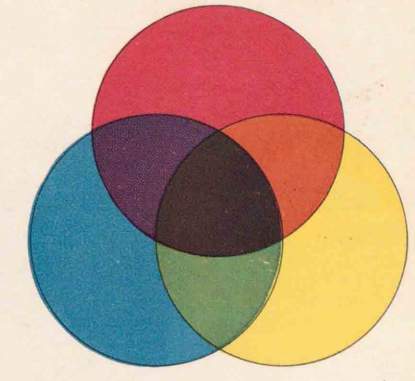
# 印刷の原理

(第 三 章)

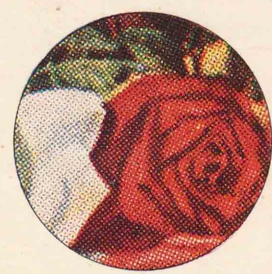
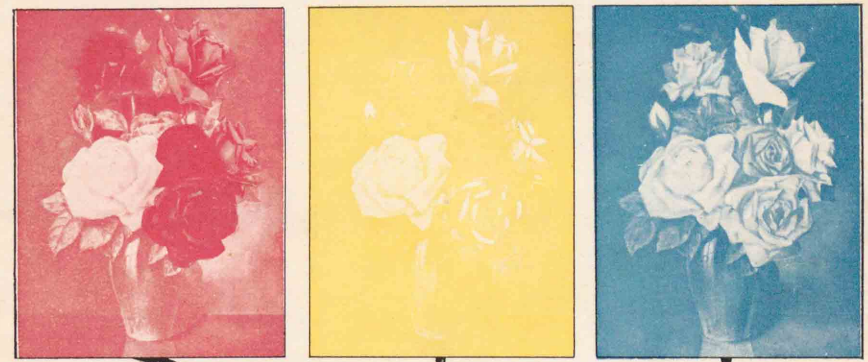
色光の混合



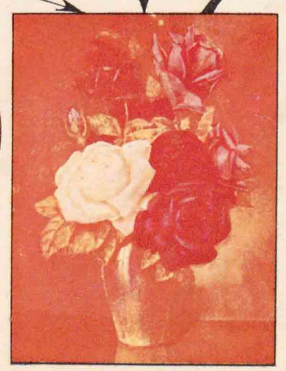
繪具の混合



三色版の原理

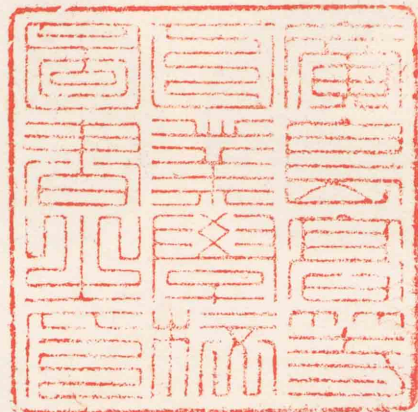


印刷面の一部を拡大したもの



仕上り





## 序 言

本書は新制理科教授要目乙表に準據して中學校の第二學年から第四學年に到る物理學教科課程のために編纂したものである。本書の編纂に當り特に留意した點は次の諸點である。

1. 生徒の生活に密接な關係を保たしめると共に必要な原理をしつかりと把握せしめるやうに努め、多少でも疑義を残すやうな説明を避け、できるだけ無理のない説明をなした。

2. 小學校理科課程及び中學校一般理科との連絡に特に留意した。例へば、質量の定義なども月並に物質の量といふやうな曖昧な字句を避け、小學校に於て既に得てゐる目方の概念を活かしてこれに當て、且つこれを物質の一性質として取扱つた如きがそれである。

3. 新教材の提出に先だち既往に於て生徒の既に有する知識を纏めるため、豫備問題を各節の始めに掲げた。質問は簡單であるがなるべくこれを擴充・敷衍して、十分既得知識を整理した上で新教材に入るやうにした。

4. 生徒の理化學に對する興味を誘發し、更に



創造・発見に導くに最も必要且つ有効なのは科學の歴史である。よつて本書では特に史傳を纏めて各篇の終に相當詳しく掲げることにした。

5. 他學科特に化學及び數學と連絡を圖るため、教材の配例に随分思ひきつた改革を加へた。即ち、光學の教材には三角函數の概念がないと不徹底であるから、これは電氣の後に廻し、三年の終り頃になるやうにした。然し電流の化學作用には化學當量やイオン化傾向の概念が必要であるから、この部分だけ切離してエネルギーの章で授けることにした。またX線及び光の分散に關することは波動現象として一括して取扱つた方がよいと思ふから波動論の所に入れた。

6. 仕事とエネルギーの概念は物理學の教科全般に亘り最も必要且つ基本的のものであるから、その概念だけは最初から入れることにした。このために物理現象全般に亘り一貫した統一を保つことができた。

7. 光學器械・電氣機械及び原動機の簡單なものを加へた。これは應用物理としてではなく、物理學の原理が如何なる實用價值を有するかの大體を知ることが、本文の理解を助け且つ無味乾燥

に流れることから防ぐのに役立つので、その意味に於て加へたのである。然し授業時間の都合上應用理科に廻してもよいと思ふ。

以上相當廣い範圍に亘つて新しい試みが加へてあるから、實地教授者の經驗によつて不備の點を發見されたならば、助言を惜まれないことを切望する。

昭和十一年十二月

著 者 識 す



## 目次

### 第一篇 物理学の基礎概念 [1~11]

- (1)物理学 (2)物質 (3)単位 (4)密度・比重 (5)運動・速さ  
(6)力 (7)慣性 (8)重力 (9)張力・圧力 (10)作用と反作用  
(11)仕事とエネルギー

史傳 1. 度量衡時計……………10—11

### 第二篇 物質の性質 [12~29]

第一章 物質の組織……………12

- (12)分子・分子力 (13)物質の三態

第二章 固体の性質……………14

- (14)弾性 (15)フックの定律

第三章 液体の性質……………15

- (16)液体の自由表面 (17)パスカルの原理 (18)水压机  
(19)液体内の圧力 (20)連通器 (21)液体の浮力  
(22)物体の浮沈 (23)比重の測定 (24)表面張力  
(25)毛管現象 (26)サイフォン

第四章 気体の性質……………24

- (27)気体の圧力 (28)ボイルの定律 (29)壓力計

第五章 ポンプ……………27

- (30)空気ポンプ (31)水ポンプ

史傳 2. 物質の性質……………28—29

### 第三篇 熱 [30~46]

第一章 熱量……………30

- (32)熱量・熱容量 (33)比熱とその測定法

第二章 膨脹……………32

- (34)線膨脹 (35)體膨脹 (36)水の膨脹 (37)気体の膨脹  
(38)ボイル=シャルルの定律

第三章 状態の變化……………36

- (39)融解と凝固 (40)溶解 (41)寒剤 (42)氣化 (43)飽和  
(44)沸騰 (45)氣化熱の應用

第四章 大気中の水蒸気……………43

- (46)大気の乾濕 (47)濕度計 (48)大気中の水蒸気と人生と  
の關係

史傳 3. 熱……………46—47

### 第四篇 磁氣と電氣 [47~86]

第一章 磁氣……………47

- (49)磁氣 (50)磁極の相互作用 (51)磁氣感應 (52)磁場と  
磁力線 (53)地磁氣 (54)羅針盤

第二章 電流……………52

- (55)電流 (56)電流の強さ (57)電壓・電氣容量 (58)電池

第三章 電氣抵抗……………57

- (59)電氣抵抗 (60)オームの定律 (61)抵抗の連結



(62)電池の抵抗 (63)電池の連結	
<b>第四章 電流の熱作用</b> .....	62
(64)電流の熱作用 (65)電熱器 (66)白熱燈 (67)弧燈	
(68)電力	
<b>第五章 電流の磁氣作用</b> .....	66
(69)電流の磁氣作用 (70)電磁力 (71)電流計 (72)電磁石	
(73)電鈴 (74)電信機	
<b>第六章 感應電流</b> .....	72
(75)感應電流 (76)レンツの定律 (77)フレミングの右手の規則 (78)相互感應 (79)自己感應 (80)感應コイル (81)交流と直流 (82)發電機と電動機 (83)變壓器 (84)電力の輸送	
(85)積算電力計 (86)電話機	
<b>第七章 真空放電</b> .....	83
(87)真空放電 (88)陰極線と電子	
<b>史傳 4. 磁氣電氣</b> .....	86—87
<b>第五篇 光</b> [87—105]	
<b>第一章 光度と照度</b> .....	87
(89)光源 (90)平行光線發散光線收斂光線 (91)影 (92)照度	
(93)光度	
<b>第二章 光の反射</b> .....	92
(94)反射の定律 (95)凹面鏡 (96)物體の像の描き方	
(97)凸面鏡	
<b>第三章 光の屈折</b> .....	95

(98)屈折の定律 (99)全反射 (100)プリズム (101)凸レンズ	
(102)凹レンズ (103)レンズによる物體の像	
<b>第四章 レンズの利用</b> .....	102
(104)眼と眼鏡 (105)顯微鏡 (106)望遠鏡	
<b>史傳 5. 光</b> .....	104—105
<b>第六篇 力及び運動</b> [106—140]	
<b>第一章 力の釣合</b> .....	106
(107)力の三要素 (108)二力の釣合 (109)力の合成及び分解 (110)三力の釣合 (111)斜面 (112)楔 (113)力の能率	
(114)平行力の合力 (115)重心 (116)偶力 (117)槌子	
(118)秤 (119)輪軸 (120)物體の坐り (121)浮體の釣合	
<b>第二章 仕事の原理</b> .....	118
(122)仕事の原理 (123)滑車 (124)螺旋	
<b>第三章 運動</b> .....	121
(125)運動 (126)速度の合成と分解 (127)加速度 (128)運動の定律 (129)重力の加速度 (130)落體の運動 (131)拋物體 (132)運動量 (133)圓運動 (134)廻轉體の運動量	
(135)萬有引力	
<b>第四章 摩擦と抵抗</b> .....	133
(136)摩擦 (137)流體の抵抗 (138)舵 (139)推進機	
(140)流體の壓力 (141)流線 (142)飛行機	
<b>史傳 6. 力運動</b> .....	140—141



## 第七篇 エネルギーの變遷 [141~157]

第一章 エネルギーの不滅律	141
(143)仕事及びエネルギーの單位 (144)運動のエネルギー	
(145)位置のエネルギー (146)エネルギーの不滅律	
第二章 原動機	144
(147)原動機 (148)工率 (149)有効率 (150)水力機	
(151)熱機關の種類	
第三章 機械的エネルギーと熱エネルギー	149
(152)熱の仕事當量 (153)熱の本性 (154)氣體の液化	
(155)空氣の液化	
第四章 電氣エネルギーと化學的エネルギー	153
(156)電氣分解 (157)フラーデーの定律 (158)電氣鍍金電氣	
精鍊 (159)電池の分極作用 (160)蓄電池	
史傳 7. エネルギー	156—157

## 第八篇 波 動 [158~194]

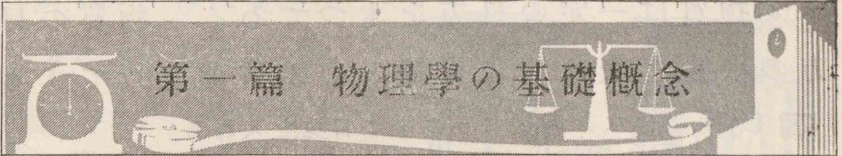
第一章 振動と波動	158
(161)振子 (162)彈性傳動 (163)時計 (164)波動	
(165)共振 (166)地震波	
第二章 音 波	163
(167)音波の傳播 (168)音波の干涉 (169)定在波	
(170)弦の振動 (171)空氣柱の振動 (172)樂器の音階	
第三章 電磁波	169

(173)電氣振動 (174)電氣共振 (175)電磁波 (176)無線	
電信 (177)無線電話	
第四章 光 波	176
(178)光の分散 (179)光の波長 (180)分光器 (181)スペク	
トルの種類 (182)不可視光線 (183)キルヒホッフの定律	
(184)太陽のスペクトル (185)虹 (186)物體の色 (187)光	
の色と繪具の色 (188)螢光と燐光 (189)光波の干涉	
(190)偏光 (191)複屈折 (192)光電池	
史傳 8. 音波電波光波	188—189
第五章 X線 原子の構造	190
(193)X線 (194)X線の本性 (195)放射能 (196)電磁波の	
種々相 (197)原子の構造	
史傳 9. 眞空管・X線原子の構造	

## 圖 版

色光の混合繪具の混合,三色版の原理	口繪
地磁氣の三要素	50—51
眞空放電とネオンサイン	84—85
スペクトル	178—179
赤外線寫眞,太陽燈と紫外線療法	180—181





第一篇 物理學の基礎概念

1. 物理學 我々は一般理科で自然界に於ける様々の現象を觀察した。そしてこれ等の現象は獨立に起つてゐるのではなく、お互に連絡があつて直接間接我々の生活に關係のあることを知つた。更に進んでこれ等の現象を詳しく研究するには、類似の現象を分類してそれ等を支配してゐる定律を發見しなければならぬ。物理學はこれ等の現象の中、物體の性質、運動、熱、音、光、電氣、磁氣などに關する現象を研究する學問である。

2. 物質 自然界は無數の物體から組立てられてゐる。これ等の物體は一種又は數種の物質から出來てゐる。例へば、コップは硝子といふ一種の物質から出來てゐる物體であるが、鋸は鐵と木との二種の物質から出來てゐる物體である。

物質には次の二つの重要な性質がある。

(1) 物質は限られた場所即ち體積をもつてゐる。即ち二物體は同時に一つの場所を占有することはできない。この性質を物質の不可入性といふ。



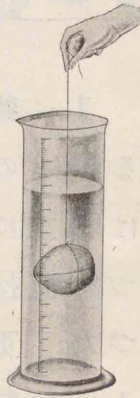
(2)物質は一定の目方をもつてゐる。物質の目方の多少を表はすに質量といふ言葉を以てする。

問 1. コップに水を満してその中に石塊を入れると水のこぼれるのは何故か。

問 2. 空気の存在はどうして知ることができるか。

問 3. 物質に目方があるのはどうして知れるか。

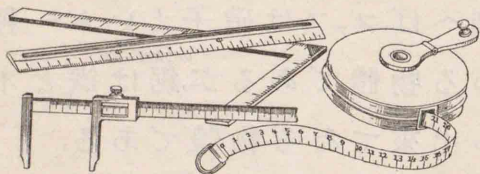
実験 右圖のやうな装置で固体の體積を測れ。



第1圖：體積の測定。

3. 單位 自然界の現象を詳しく研究するには、長さ・體積・質量・時間その他種類の量を測定しなければならぬ。或量を測るには、これと同種の特定量即ち單位と比較してその何倍であるかを定めればよい。

長さの單位は米(m)を標準に採る。1米は佛國にある國際度量衡局の米原器の二標線間の距離である。尙補助單位として



第2圖：種々の度器(左よりメートル差・曲尺・カリパー・巻尺)。

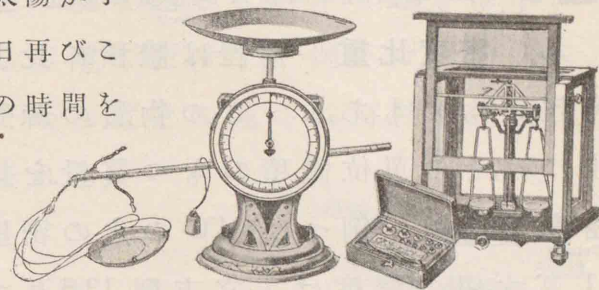
粉(dm)・糶(cm)・耗(mm)等を用ひる。

質量の單位は

1 (kg)を標準に採る。

1 庇は國際度量衡局の庇原器の質量である。他に瓦(g)・醵(mg)・醵(1000kg)等の補助單位がある。4°Cの純水1立の質量は殆ど1庇である。

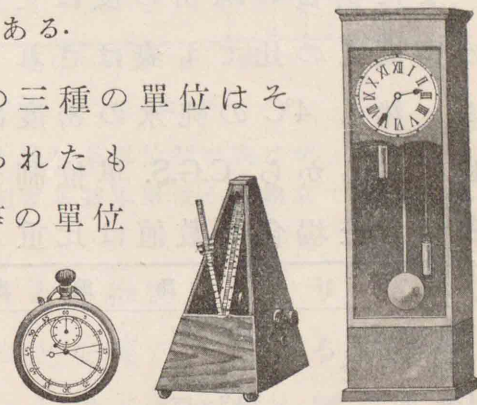
時の單位は太陽が子午線に入り、翌日再びこれに入るまでの時間を一年間平均して得た平均太陽日を標準とする。これに



第3圖：種々の衡器(左より桿秤・上皿自動秤・天秤)。

も時・分・秒の補助單位がある。

長さ・質量及び時の三種の單位はそれぞれ獨立に定められたもので、他の量はこれ等の單位を組合せた單位で測られる。この三つの單位を基本單位といひ、これ等か



第4圖：種々の時計(左よりストップウォッチ・メトロノーム・柱時計)。

ら組立てられた單位を誘導單位といふ。例へば面積や體積の單位には長さの單位から誘導された平方米(m<sup>2</sup>)・平方糶(cm<sup>2</sup>)・立方米(m<sup>3</sup>)・立方糶(立)・立方糶(cc)等を用ひる。

糶・瓦・秒の三基本單位及びその誘導單位を總稱してC.G.S.單位制といふ。

問 1. 1立をC.G.S.單位制で表はせ。



問 2. C.G.S. 單位制で面積及び體積の單位を示せ.

4. 密度・比重 物體は體積に比して重いものも軽いものもある. この物質の疎密の度を表はすには, その單位體積のもつ質量を以てし, これを**密度**といふ. 例へば 4°C の水の密度は 1 立方糎 1 瓦, 水銀の密度は 1 立方糎 13.6 瓦である.

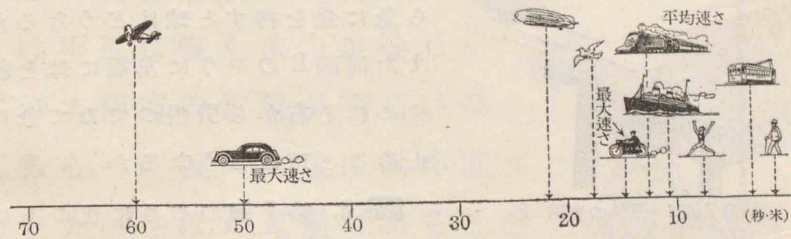
また物質の疎密の度はその密度と 4°C の純水の密度との比でも表はされる. これを**比重**といふ. 然し 4°C の純水の密度は 1 立方糎につき 1 瓦であるから, C.G.S. 單位制を以て物質の密度を表はした場合の數値は比重となる.

比 重 表					
イリデウム	22.4	銅	8.9	グリセリン	1.26
白金	21.4	鐵	7.8	海水	1.03
金	19.3	亞鉛	7.1	氷	0.92
タングステン	18.7	アルミニウム	2.7	アルコール	0.8
水銀	13.6	硝子	3.6~2.5	エーテル	0.72
鉛	11.3	クロロホルム	1.50	木	0.4~1.1
銀	10.5	二硫化炭素	1.27	コルク	0.24

問 或物質  $M$  瓦の體積が  $V$  立方糎であるとき, この物質の比重を求めよ.

5. 運動速さ 物體が或ものを標準にして位置を變へることを**運動**といふ. 進行中の汽車は地面に對しては運動してゐるが, 車中の人に對しては静止してゐる.

運動の遲速の度を**速さ**といふ. 速さは單位時間に通過する距離で表はす. 例へば, 5秒間に 100 米進んだならばその速さは毎秒 20 米或は 20 秒米と表はされる.



第5圖: 速さの比較.

問 1. 毎時 54 秒の速さを C. G. S. 單位制で表はせ.

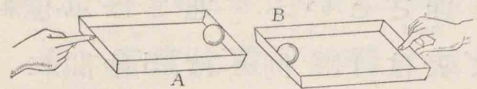
問 2. 速さの單位は如何なる基本單位から組立てられてゐるか.

6. 力 静止してゐる物體はひとりでは運動を始めない. 氷の上を轉がつてゐる球は殆ど邪魔するものがないから, どこまでも同じ速さで進んで行く. 運動してゐる物體を手で止めようとすると手に壓迫を受ける.

物體の静止及び運動の状態を變へる原因を**力**といふ. 即ち運動體の速さ・方向などを變へるには力を加へなければならぬ.

7. 慣性 物體に力が加はらない間は, 静止してゐるものはいつまでも静止し, 運動してゐるものはいつまでも同じ速さで同じ方向に進んで行

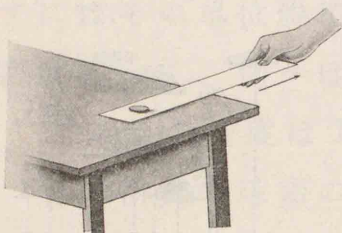




第6圖：慣性の實驗(1).

く。物體のこの性質を**慣性**といふ。  
Inertia

問1. 第6圖Aのやう



第7圖：慣性の實驗(2).

に金屬球を盆の右端に載せて左から急に盆を押すと球はどうなるか。また同圖Bのやうに左端に球を載せ、これを右から引張つてゐて急に止めると球はどうなるか。

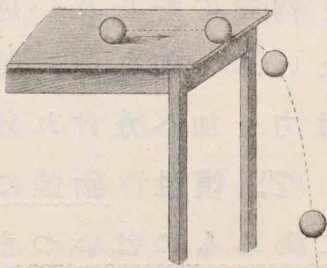
問2. 第7圖のやうに机の上

に銅貨を載せた紙を置き、紙を急に引張るとどうなるか。

物體に慣性があるのは質量があるためで、慣性の大きさは質量に比例する。従つて物體に慣性があるといふことと質量を有するといふことは同一の現象である。

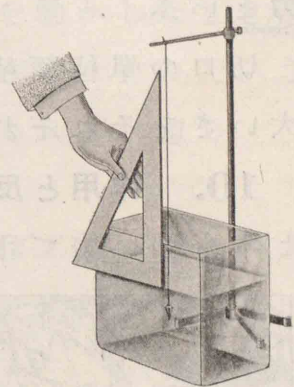
8. **重力** 机の上を轉がつてゐる球が机の端を越すと下に落ちる。即ち水平に運動してゐたものが急に下向きの運動に變る。これは球を下

に引く力が作用してゐるからである。地球は地上の物體に對し常に引力を加へてゐる。この力を**重力**といふ。  
Gravity  
物體に働く重力をその物の**重さ**又は**重量**といふ。地球



第8圖：落體。

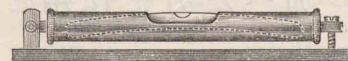
上同一の場所では物體の重量はその質量に比例する。天秤で物體の質量が測れるのはこのためである。即ち、天秤の一方の皿に分銅を載せ他方の皿に物體を載せて釣合ふときは、兩皿に働く重力が等しく従つて兩方の質量が等しいのである。P瓦の質量に働く重力の大きさは**P瓦重**であると稱へる。



第9圖：鉛直線と水平面。

重力の働く方向を**鉛直線**といひ、これに垂直な平面を**水平面**といふ。  
Vertical line  
Horizontal plane

**水準器**は水平を検する器で、少しく曲つた硝子管に小氣泡を残してアルコール又はエーテル等を満したものである。これを面上に靜置して氣泡の位置を見れば面が水平であるか否かがわかる。



第10圖：水準器。

9. **張力・壓力** 綱引をするとき、兩軍の力が等しいと綱は動かない。このとき綱のどの部分に



第11圖：綱引(張力の例)と棒押(壓力の例)。



も互に引張り合ふ力が働いてゐる。かやうな力を張力Tensionといふ。また棒押をするとき、棒の各部には互に押合ふ力が働いてゐる。かやうな力を壓力Pressureといふ。

切口の単位面積に働いてゐる張力又は壓力の大きさをそれぞれ張力の強さ・壓力の強さといふ。

10. 作用と反作用 生えてゐる立木を押すと、木も強い力で手を押返す。また船に乗つてゐ



第12圖：作用と反作用(1).

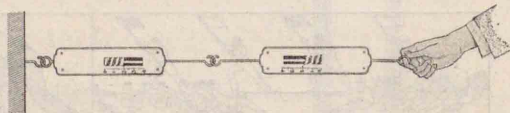
て岸の樹木を引張ると船も岸に引寄せられる。かやうに甲が乙に力を加へれば、乙も甲に力を作用する。このとき一方の加へた力を作用Actionといひ、他方の力を反作用Reactionといふ。

一般に作用と反作用とは、大きさが等しく方向は反対である。

これを反作用の定律Law of reactionといふ。

【實驗】 ゼンマイ

秤二個を向ひ合せ、一端を鈎かぎて組合せ、一端を手に懸け、他端を手で



第13圖：作用と反作用(2).

引張りつゝ、兩方の目盛を比較せよ。

11. 仕事とエネルギー 重い石を高い所に上げるには大きな勞力が要る。一般に、物體に力を作用させてその方向に物體を動かしたとき、仕事Workをしたといふ。仕事の大きさ( $W$ )は、力の大きさ( $f$ )と動いた距離( $s$ )との積で測られる。即ち

$$W = fs$$

1 疋の物體を手で支へるには1 疋の重さの力を要する。これを1 米だけ上に動かしたときの仕事を1 疋・米といふ。

我々が仕事をするには食物を攝らねばならぬ。また汽車を動かすには石炭を焚かねばならぬ。仕事をなし得る原因をエネルギーEnergyといふ。エネルギーを多くもつてゐるもの程、澤山の仕事をなし得る。また仕事をなした物體はその仕事に相當したエネルギーを失ふ。速く運動してゐる物體は他の物に衝突してこれを動かしたり熱したりする。即ち運動してゐる物體はエネルギーを有する。また汽車を動かすのは石炭の燃焼による熱であり、電車を動かすのは電氣である。物體を摩擦すると熱を出したり、電氣が起つたりする。熱や電氣もエネルギーの一態である。一般理科



で學んだやうに、太陽から來るエネルギーは地上の生物の成育を助け、海水を蒸發して雲となし、雨を降らし、四季の氣候の變化を起させる。太古に成育した生物は石炭となつて我々に熱を供給する。川の流れは發電機を廻轉して人類活動の原動力となる。かやうにエネルギーは種々に形を變へ、運動のエネルギーとなり、熱や電氣のエネルギーに變じ、或は化學的のエネルギーに轉ずる。自然の現象は皆このエネルギーの變遷に伴つて起る。エネルギーはそのまゝの形で或は形を變へて物體から物體に移り、その際仕事をする。然し宇宙のエネルギーの總量は永久に不變のものである。

飛んでゐる流星は空氣を熱し、自らも熱のために蒸發して消える。熱以外のエネルギーは容易に熱エネルギーに變じ、また熱エネルギーは高温度のものから低温度のものに移つて温度の差をなくする。かやうに、エネルギーは自然のまゝに放置すると段々仕事のできない状態になる。

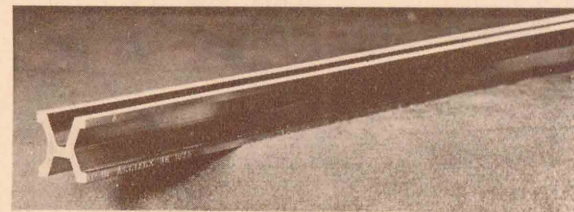
物體を急に動かさうとするとき空氣の抵抗や接觸面の摩擦などが邪魔をするやうに、自然界はエネルギーの急激な變化に對して抵抗する傾向



### 度量衡・時計

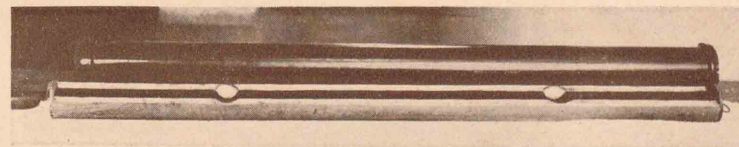
今から五千年程前既にバビロン人は物指や分銅をもつてゐた。また時刻を計るにも日時計や水時計を用ひた。日時計は眞直に立てた棒の影の方向から時刻を割出し、水時計は水を盛つた器の下端に設けた細い口から滴り落ちる水の量で時間を測るものである。最初は1年を12個月、1月を30日としてゐた。今でも平面角を360°に分割するのはこれから來てゐる。然し長い年月の間に段々喰ひ違ひが生じて來たので度々訂正が行はれ、遂に今日の制度になつた。

重力による時計が始めて出來たのは11世紀頃で、今日の振り時計は1656年オランダ人ハイゲンス(Huygens, 1629-1695)



メートル原器

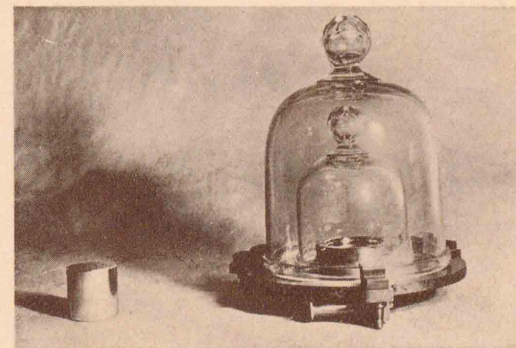
によつて始めて始めて作られた。



メートル原器の容器

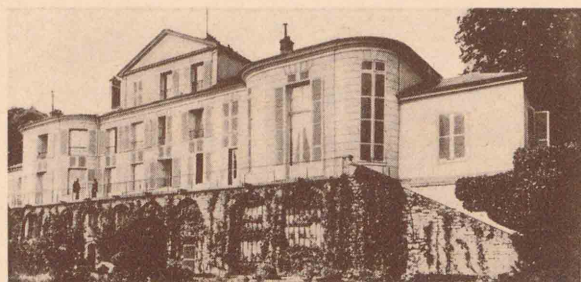
現今のメートル制は今から130年程前フランスで始めて制定されたものである。1米は地球子午線の4000萬分の1の長さを探り、1疋は4°Cに於ける純粹の水1立の質量に基いたものである。

世界各國間の交通が開



キログラム原器とその容器

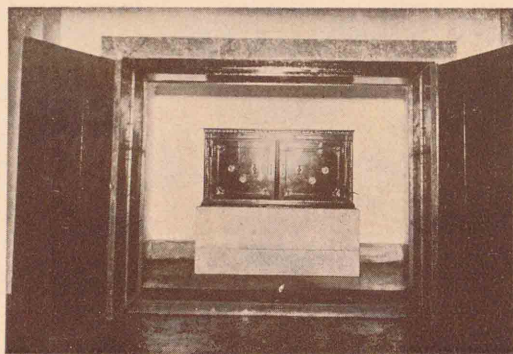




國際度量衡中央局

けた今日では、商工業上の取引や學術の研究上、世界に共通で正確且つ不變な長さや質量の標準を立てる必要に迫られたので、1875年各國から委員が集つて國際度量衡條約が結ばれ、フランスのメートル制を國際的に採用することになり、多數のメートル及びキログラム原器が調製された。その中の一個を國際原器としてパリの郊外にある國際度量衡中央局に保管されることになつた。

我が國も1885年この條約に加盟してメートル及びキログラム原器各三個の交附を受けた。その中一組を大日本帝國原器として商工省中央度量衡檢定所に保管されてゐる。



大日本帝國原器格納庫

原器は大體白金9, イリヂウム1の割合から出來て居り、外に少量の夾雜物を含んでゐる。

がある。この抵抗に逆つて變化させようとする<sup>さから</sup>と、大きな仕事を要する。

☐ 太陽から地球上に輻射された熱エネルギーが地上で變遷して行く徑路を述べよ。



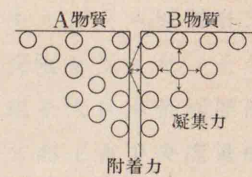


## 第二篇 物質の性質

### 第一章 物質の組織

12. 分子・分子力 物質はそのもの本來の性質を具へた最小の微粒子である**分子**が集つて出來てゐる。分子は極めて小さいもので、一滴の水とその中にある分子との大いさの比は、地球に對する林檎位の割合である。

分子が寄合つて物體を作つてゐることのできるのは、分子間に互に相引く力が作用してゐるため、この力を**分子力**といふ。同種の分子間の分子力を**凝集力**といひ、異種の分子間の分子力を**附着力**といふ。棒を引張つても容易に切れないのは凝集力によるので、ペン先にインキがつき、黑板に白墨がつくのは附着力によるのである。



第14圖：分子力(附着力と凝集力)。

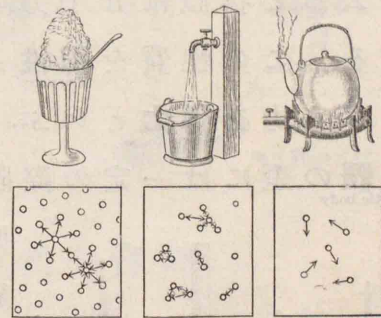
分子はまた常に運動してゐる。少量の揮發油を床にこぼしてもよく匂



第15圖：附着力の例。

ひ、少しの食鹽を水に入れても直ちに全體が鹹しほくなるのはこのためである。

13. 物質の三態 分子の集合状態によつて物質は三態に區別される。**固體**は分子が規則正しく配列して居り、各分子は周圍の分子から平等の分子力を受けてゐて配列がくづれ難いため一定の體積と形を保つてゐるものである。**液體**は分子の配列は規則正しくはないが、密集してゐるから各分子は近くの分子から不規則な力を受けて居り、そのため一定の體積は保つてゐるが形がくづれ易く、容器に従つて形を變へる。**氣體**は分子間の距離が固體や液體に比べて大きいから、分子力が殆ど作用して居らず、各分子は非常な速さで自由な運動をしてゐる。そのため形も體積も器によつて變化し、常に容器に充滿する。



第16圖：固體・液體・氣體の分子組織の比較。

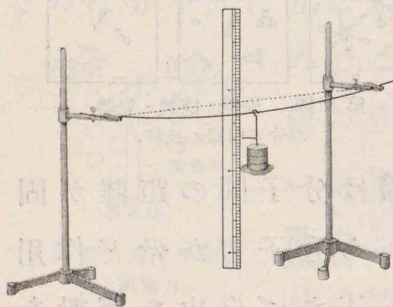


### 第二章 固体の性質

#### 14. 弾性

**豫備問題** ゴムは幾ら引張つてもいつも元に戻るか。

固体に力を加へるとその加へ方によつて固体は撓められたり、捩れたり、壓縮されたり、或は引延ばされたりする。これ等の變化を歪ひずみ **歪** Strain といふ。力を去ると物体は分子力のために原形に戻らうとする。この性質を弾性 Elasticity といふ。原形に復しようとする力を弾力 Elastic force といふ。弾性をもつ物体即ち弾性體 Elastic body の歪には一定の界限があつて、これを超すと



第17圖：弾性の實驗

との關係を驗べよ。

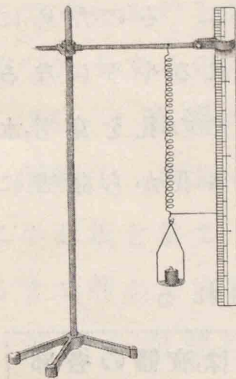
#### 15. フックの定律

弾性の界限内では弾性體の受ける歪は加へられた力に比例する。

原形に復さない。この界限を弾性の界限 Limit of elasticity といふ。ゼンマイ・ゴムなどはこの界限が大きい。

**實驗** 棒の兩端を固定し、中央に分銅を吊したときの撓みの大いさと分銅の重さ

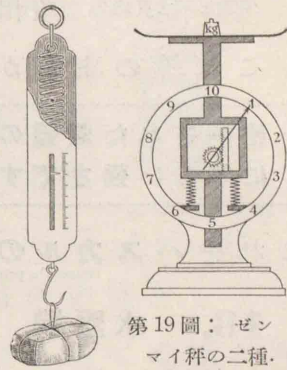
これをフックの定律 Hook's law といふ。



第18圖：フックの定律を示す實驗。

**問** 左圖のやうな装置で20瓦の分銅をゼンマイに吊したときの伸びが6厘あつた。また質量のわからない物体を吊したときの伸びが15厘あつた。この質量は幾許か。

ゼンマイ秤 Spring balance はゼンマイを用ひフックの定律を應用して物体の重量を測るもので、種々の構造のものがある。



第19圖：ゼンマイ秤の二種。

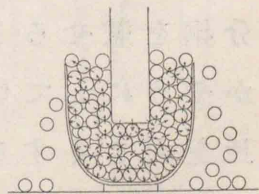
### 第三章 液体の性質

16. 液体の自由表面 液体を器に入れると液体の各部は固体と異なつて運動が自由であるから、地球の中心に最も近い所に移動するため、器に接してゐない表面即ち自由表面 Free surface は水平になる。

#### 17. パスカルの原理

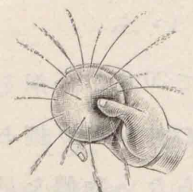
**豫備問題** 血液が体内を循環するのは如何なる働きによるか。

**實驗** (1) 器に滑かな球を入れ、上から太い棒で下に押し、右圖に示したやうに力は接觸面を経て球から球へ



第20圖：パスカルの原理を示す實驗 (1)。





第21圖：パスカルの原理を示す実験(2).

とすべての方向に傳はる. そのために縁の方の球は押し出されるやうになる.

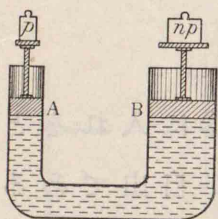
【實驗】(2) ゴム毬に多くの孔を穿ち、水を満して壓潰すと、水は各孔から諸方に噴出する.

これ等の事實から次のことが知れる.

密閉された液體の一部に加へた壓力は液體の各部に等しい強さで、すべての方向に傳へられる.

これをパスカルの原理といふ.  
Pascal's principle

18. 水壓機 互に連絡し、一方の切口が1平方糎、他方の切口が $n$ 平方糎である二圓筒の中に

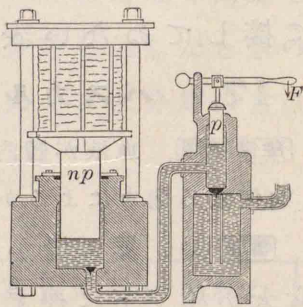


第22圖：水壓機の説明圖.

水を満し、A活塞の上に $p$ 瓦の分銅を載せるとパスカルの原理によつてB活塞の1平方糎毎に $p$ 瓦重の壓力が働く. 従つてBには全體で

$np$ 瓦重の壓力が働くから、Bの上に $np$ 瓦の分銅を載せると丁度釣合ふかやうにして切口の面積の比を大きくすると大きな力を出すことができる.

水壓機はこの理を應用したも  
Hydraulic press

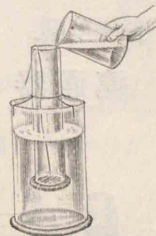


第23圖：水壓機.

ので、重いものを揚げたり、紙や綿などを壓縮し、或は油を搾つたりするのに用ひる.

### 19. 液體内の壓力

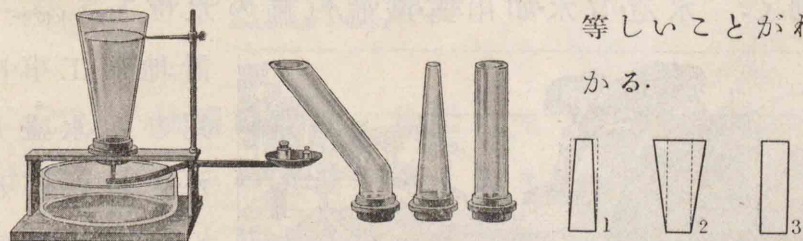
【實驗】(1) 兩端の開いた硝子圓筒の下端に平板を當て、水中に押込み、板の落ちるまで靜かに圓筒の中に水を注げ.



第24圖：液體内の壓力.

液體の内部にあるものは上層の液の重さで壓されてゐる. この壓力はパスカルの原理によつてすべての方向に等しい強さを有する. 今、液の密度を $1$ 立方糎につき $d$ 瓦とすると、深さ $h$ 糎の所での液の内部の壓力の強さはその單位面積の上にある液の重さ $hd$ 瓦重に等しい.

第25圖のやうな装置で種々の形をした器の底面が受ける壓力を驗べると、その底面積さへ等しければ壓力は等しいことがわかる.



第25圖：底壓實驗(左)と底壓説明圖(右).

1) 液體の表面は大氣の壓力を受けてゐるから、嚴密にいふと、液體内部の壓力はその深さに相當した液重の壓の外に大氣の壓力を加へねばならぬが普通はこれを除外して考へてよい.

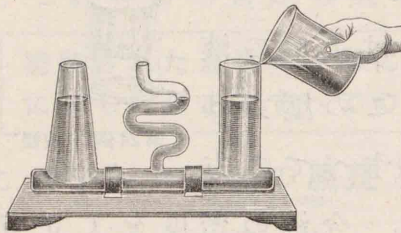


液体内部の圧力の強さは深さと液の密度とに比例し、同一水平面上の圧力は常に等しい。

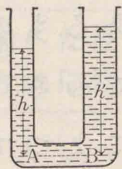
### 20. 連通器

豫備問題 噴水の水はどうして上るか。

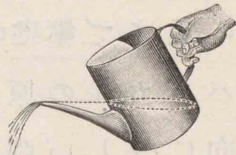
連通器と稱し、互に下の方で連絡してある液體容器に水を注



第26圖：連通器。

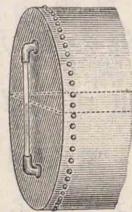


第27圖：連通器の説明圖。

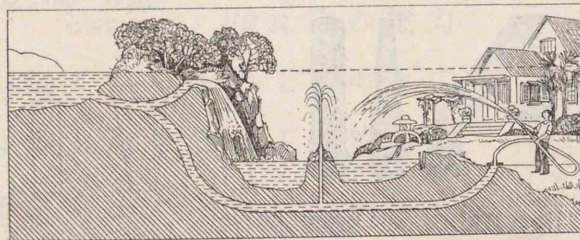


第28圖：如雨露。

ぐと、各口の自由表面は同一水平面内にある。若し高さに違ひがあるときは、連通部の同一水平面上の壓が等しくないから、液は静止しないで等しくなるまで動く。水道・噴水・如雨露・鐵瓶・汽罐の水位



第29圖：汽罐の水位計。

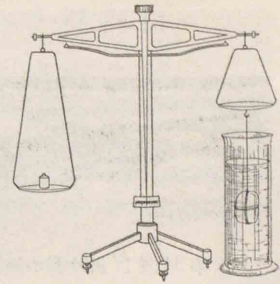


第30圖：連通器の應用。

### 21. 液體の浮力

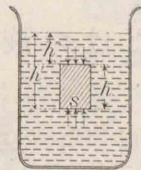
實驗 固體を天秤の皿に吊して目方を測り、次に同じ

固體を刻度圓筒の水中に吊して目方を測る。このときの目方の變化と、この物體と同體積の水の重さとの關係を驗べよ。



第31圖：液體の浮力。

切口の面積  $s$  平方糎、高さ  $h$  糎の圓壙を比重  $d$  なる液體の中に入れると、液が圓壙の下面(深さ  $h'$  糎)を壓上げる力は  $sh'd$  瓦重で、上面(深さ  $h''$  糎)から壓下げる力は  $sh''d$  瓦重である。従つて圓壙の壓上げられる力は



第32圖：浮力の説明圖。

$$sh'd - sh''d = shd \text{ (瓦重)}$$

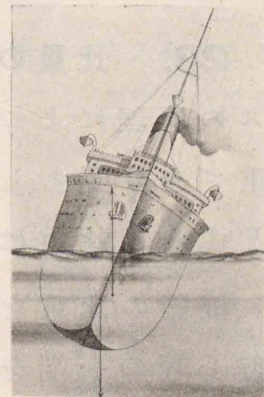
で、これは圓壙と同體積の液の重さに等しい。

液體中にある物體は、同體積の液體の重さに等しい浮力を受ける。

これをアルキメデスの原理といふ。

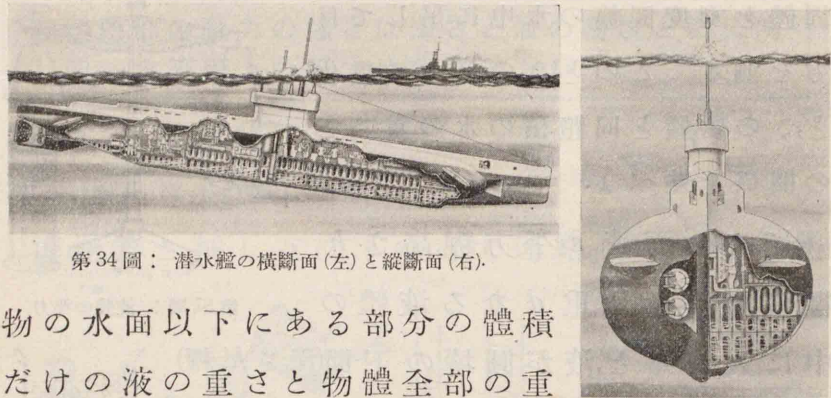
Archimedes' principle

22. 物體の浮沈 物體の受ける浮力がその重量よりも大きいときは浮上り、小さいときは沈む。両者が等しいときは液中のどこにでも止まる。また物體が水上に浮かんでゐるときは、その



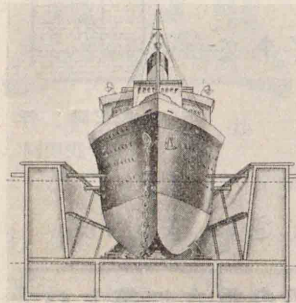
第33圖：浮力と重力。





第34圖：潜水艦の横断面(左)と縦断面(右).

物の水面以下にある部分の體積だけの液の重さと物體全部の重さが等しい。



第35圖：浮船渠.

潜水艦や浮船渠は水槽に水を入れたり、壓縮空氣でこの水を排出したりして浮沈を行ふ。

問 比重 0.92 の氷が比重 1.03 の海水中に浮かんでゐるとき、その露出部分と液中にある部分との體積の

比を求めよ。

23. 比重の測定 固體の比重はアルキメデスの原理によつて測定する。物體の空氣中での重さをW瓦とし、水中で測つたときの重さをW'瓦とすると、比重は  $\frac{W}{W-W'}$  となる。

液體の比重を測るに普通用ひる浮秤(比重計)は、硝子管の一端を膨らまして水銀又は靨彈を入れ、管に目盛したものである。これを比重を測るべ

き液中に入れると液の比重が小さければ深く沈み、大きければ浮上るから、液面の目盛を讀めば直ちに比重が分る。比重瓶は一定の容積の瓶で、液を入れな



第37圖：比重瓶.

また液體の比重はU字管の一方の管に測るべき液體を入れ、他方にこれと混合しない比重の知れた液を入れて、その境界面より各液の自由表面までの高さを測れば、その比から比重が求められる。

問 1. 目方が空氣中で70瓦の固體は水中では何程あるか。但しこの固體の比重は1.4である。

問 2. U字管の一方に二硫化炭素他方に食鹽水を入れたとき、兩液の境界面からの高さの比が5:6となつた。食鹽水の比重は何程か。但し二硫化炭素の比重は1.27とする。

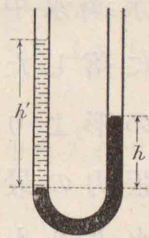
24. 表面張力

實驗(1) 小さい漏斗の先に石鹼膜の球を作り、漏斗の細い足に蠟燭の焰を近づけて見よ(第39圖)。

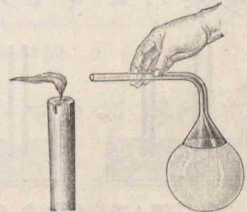
實驗(2) 針金をU字形に曲げ、これ



第36圖：浮秤.

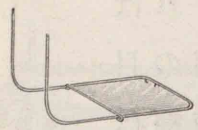


第38圖：連通器による比重の測定.



第39圖：表面張力(1).

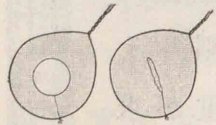




第40圖：表面張力(2).

によく滑る針金の橋をかけたものに石鹼膜を張ると橋はどう動くか(第40圖).

【實驗】(3) 針金枠に絲の環をつけて石鹼膜を張り、その環の中を熱した針で突いて見よ(第41圖).



第41圖：表面張力(3).

液體の表面にはその面を收縮させようとする力が作用してゐる.

この力を**表面張力**といふ. Surface tension 水銀滴、蓮の葉の上の水、水中に浮遊させた油の滴、熱した金屬板の上に落した水滴などが皆球状をなすのは球面が他の形より最も表面積が小さいからである. 表面張力の最も強いのは水銀で、石油・アルコール等は水よりも小さい.

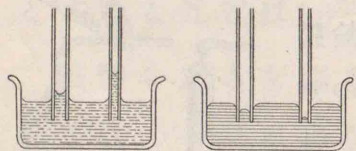
【問】1. 針をピンセットで静かに水の上に置くと浮いてゐるのは何故か.

【問】2. さばき筆を水で濡すと、すぼむのは何故か.



第42圖：表面張力(4).

25. **毛管現象** 硝子と水との附着力は水の凝集力よりも大きいから、硝子管を水中に立てると管内の自由表面は凹形となり、また表面張力で管内の水面は引上げられて外部より昇る. 硝子と水



第43圖：毛管現象(左、硝子と水、右、硝子と水銀).

銀との附着力は水銀の凝集力よりも小さいから、硝子管を水銀中に立てると管内の自由表面は凸形となり、また表面張力で管内の水銀面は引下げられる. この現象を**毛管現象**といふ.

Capillary phenomena

【實驗】 硝子で種々の太さの毛細管を作り、赤インキの中に立て、管の太さと液面の高さとの關係を觀察せよ.

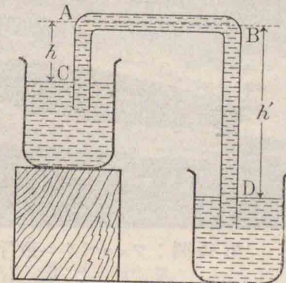
毛管現象による管の内外の液面の高さの差は管の半径に逆比例する.

【問】1. 布についた蠟を取るには、これに吸取紙を載せて上から燒鏝を當てればよい. 何故か.

【問】2. 乾いた手拭を風呂桶の縁にかけ、一端を湯の中に入れて置くと間もなく全部が濡るのは何故か.

【問】3. しぼれた植物に水をかけると間もなく生氣をもつて來るのは何故か.

26. **サイフォン** 高い所と低い所にある水槽を水を満した曲管で連絡すると、水は高い方から低い方に移る. かやうな曲管は**サイフォン**といひ、一種



第44圖：サイフォン.

の連通器とも見られるが、また次のやうに考へてもよい.

第44圖で管内の點Aの壓力は大氣の壓力よりCAの



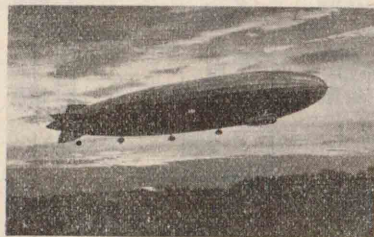
水柱の壓力だけ小さく、B點では大氣の壓力より BD の水柱の壓力だけ小さい。従つて B 點は A 點よりも壓力が小さいから管内の水は A から B の方向に流れる。

### 第四章 氣體の性質

#### 27. 氣體の壓力

**豫備問題** 氣體の分子は液體や固體の場合と異なる状態にあるか。

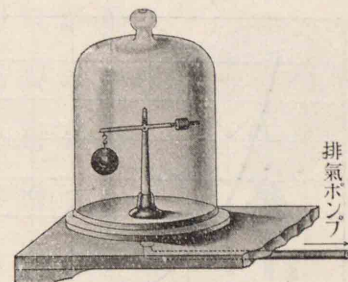
氣體分子間の分子力は弱く、各分子は非常な速さで飛び廻つてゐるから、器の壁に衝突して壓を生ずる。液體に於けるパスカルの原理はやはり氣體の場合にも適用され氣體内の壓力の強さはいづれの方角にも同一で器壁には常に直角に働く。



第45圖：ツェッペリン飛行船。

アルキメデスの原理も液體の場合と同じく氣體にも適用される。輕氣球飛行船は大氣の浮力を利用したもので、氣囊又は氣槽に空氣よりも輕い水素やヘリウム等を満したものである。飛行船には推進機及び舵を具へて自由に航空できるやうになつてゐる。

**問** 中空の金屬球を空氣中で分銅と釣合せ、これを硝子鐘の中に入れて空氣を抜けば、これ等はやはり釣合つてゐるか。

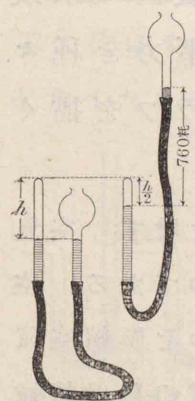


第46圖：空氣の浮力を示す實驗。

#### 28. ボイルの定律

氣體は液體に比べて分子と分子との距離が遠く、

周圍から壓力を加へれば容易に體積を減ずる。



第47圖：ボイルの定律を示す實驗。

左圖のやうに一端を封じた硝子管と漏斗管とを肉厚ゴム管で連絡し、これに水銀を入れて兩方の高さを等しからしめるときは、封管内の空氣の壓力は大氣の壓力に等しい。今、漏斗管を高く吊上げて兩水銀面の高さの差が水銀氣壓計の高さに等しくなると、封管内の空氣の壓力は2氣壓となる。

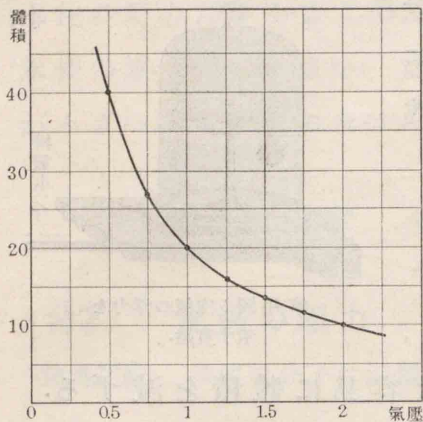
このとき封管内の空氣の體積を驗べると前の半分になつてゐる。

氣體に壓力を加へると體積が減少する。

一定の溫度に於て一定量の氣體の體積はその壓力に逆比例する。

これをボイルの定律といふ。  
Boyle's law





第48圖：氣體の壓力と體積の關係グラフ。

今、壓力  $P$ 、體積  $V$  の氣體の壓力を  $P'$  に變へたときの體積を  $V'$  とすると、ボイルの定律によつて次の關係がある。

$$V:V' = P':P$$

即ち  $PV = P'V' = \text{一定}$

第47圖の裝置で水銀の高さ即ち壓力を種々に變へて、その度毎の體積を讀んでグラフを描くと第48圖のやうになる。

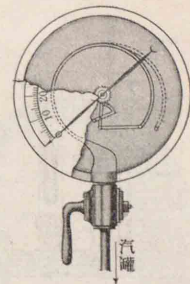
空氣を壓縮すれば上述の理によつて壓を増す。空氣銃、自動車タイヤ等はこれを利用したものである。空氣を壓縮して數十乃至數百氣壓としたものを壓縮空氣といつて、鑛山に於ける岩石の穿孔、魚形水雷の發射、機械の掃除、郵便物の氣送、潜水艦内の空氣補充、制動機、硝子の刻印等に用ひられる。

問 1. 壓力 760 耗のとき 50 立方糎ある氣體を、壓力 152 耗にするとき幾何の體積となるか。

問 2. 100 氣壓で 50 立入の空氣ポンプ(壓縮氣體容器)から空氣を毎分 1 立づつ使用すると何時間もつか。

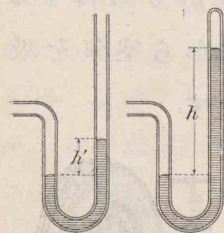
29. 壓力計 容器内の氣體の壓力を測定する器具を壓力計といふ。  
Pressure gauge

金屬壓力計の主要部は、切口が扁平な楕圓形をした薄い金屬製の中空管を圓形に曲げて一端を封じたもので、管内の氣體の壓力が増すと圓形の管は眞直ぐに伸びようとするから、その一端に取付けた指針が動かされる。



第49圖：金屬壓力計。

開管壓力計は U 字形の硝子管に水銀を入れ、一端を容器に連絡するもので、兩水銀面の高さの差に大氣の壓力を加へたものが容器内の壓力である。



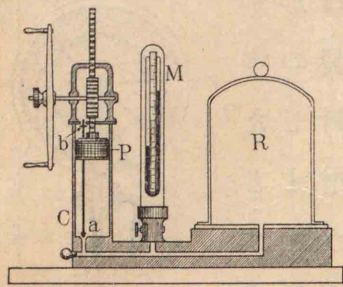
第50圖：開管壓力計(左)と閉管壓力計(右)。

閉管壓力計は U 字形の硝子管の一端を封じたもので、これに二種ある。一つは閉管内に空氣の残らぬやうに水銀を滿したもので眞空に近い小さな壓力を測るに適し、他の一つは少量の空氣を管内に残したものでボイルの定律を應用して數氣壓の壓力を測るに適するものである。

### 第五章 ポンプ

30. 空氣ポンプ 排氣ポンプ 排氣ポンプは容器中の空氣を抜去るもので、第51圖に示したものはその最も簡單なものである。圓筒 C の底部と活塞 P とに瓣 a・b があり、活塞を上下すると a・b が交互に開閉して



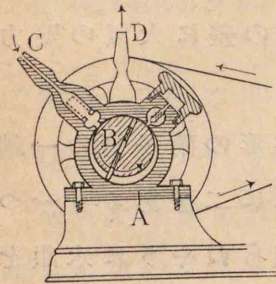


第51圖：實驗用排氣ポンプ。

排氣鐘 R 内の空気を抜去ることが出来る。M は閉管壓力計である。

**書験** 膀胱袋に空気を少しく入れて排氣鐘内に入れて鐘内の空気を抜いて見よ。

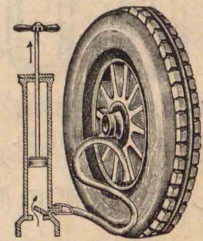
**廻轉式ポンプ**は圓筒室 A の上部に密接した廻轉圓筒 B があり、これに出入自由な二組の發條瓣が附いてゐる。B 圓筒を電動機で廻轉すると發條瓣は常に A の内壁を押しながら廻轉するから、廻轉毎に C の方から空気を吸込んで D の方に押出す。



第52圖：廻轉ポンプ。

**壓縮ポンプ** 壓縮 Compressing pump

ポンプは排氣ポンプの圓筒の瓣を反對の向きにつけたもので、活塞を上下すると容器内に空気が壓込まれる。



第53圖：タイヤ用壓縮ポンプ。

**30. 水ポンプ**

**豫備問題** 假りに水銀晴雨計の水銀の代りに水を用ひるとすれば、水は何程の高さまで昇るか。

**水ポンプ**には吸上ポンプと押上ポンプの二種がある。

**吸上ポンプ**は排氣ポンプの圓筒と類似の構造をもつてゐる(第54圖)。

**問** 吸上ポンプでは10米以上の深さの井戸から水を吸上げ



物質の性質

物質が原子から出来てゐるといふ考は既にギリシヤ時代のデモクリトス (Democritus, 紀元前 460-370) などももつてゐた。その正確な概念を作つたのはイギリス人ダルトン (Dalton, 1766-1844) である。更にその不備な點を補つて始めて分子の考を導いたのはイタリー人のアボガドロ (Avogadro, 1776-1856) である。



ダルトン

力學の基礎を立てたのはギリシヤのアルキメデス (Archimedes, 紀元前 287-212 頃) である。槌子や連通器・浮體などの理を數學的に取扱ひ、比重や重心の正しい概念を掴み得て、所謂アルキメデスの原理を發見した。或時國王から王冠が純金で出来てゐるか、金銀の合金で出来てゐるかを検査することを命ぜられたが、偶、入浴中に身體を



アボガドロ

湯に沈めるとそれだけ湯が溢れ

出る事實に基いた王冠の試験法を思ひつき、喜びの餘り裸のまま家に飛び歸つて直ちに實驗を始めたといふ話は有名であるが、その眞偽の程は不明である。アルキメデスは又數學者でもあつて、圓の面積や圓周率を計算した。



アルキメデス

底面積の等しい器の底が受ける壓力は





パスカル

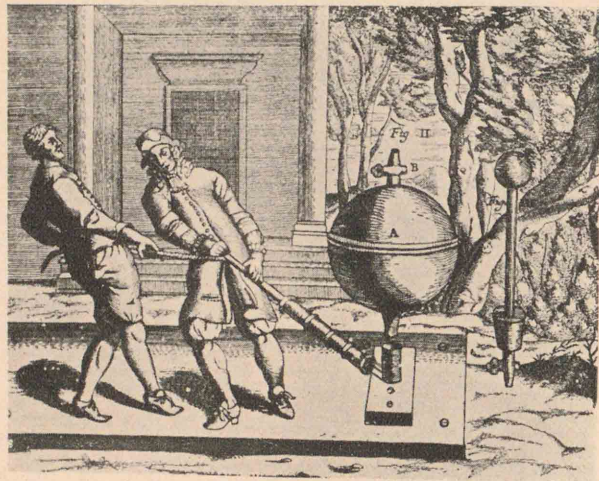


ギェリッケ

深さが同じであれば器の形によらないことに気付いたのはオランダ人のステビン (Stevin, 1548-1620 頃) であるが、それを完全に証明したのはフランス人パスカル (Pascal, 1623-1662) である。また

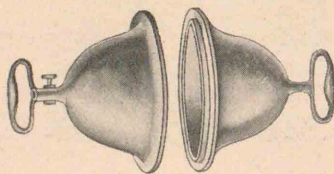
彼は液体内部の圧力の傳播を研究して所謂パスカルの原理を発見した。

大氣の壓力に關する學術はイタリア人のトリチェリー (Torricelli, 1608-1647) とギェリッケ (Guericke, 1602-1686) によつて大いに發展した。トリチェリーは水銀晴雨計を作つて大氣壓を證明し、ギェリッケは真空ポンプを作つて種々の真空實驗を行つた。



ギェリッケの真空實驗

始めは酒樽に水を満し、呑口に眞鍮製のポンプを取付けて水を抜去ることによつて真空を作らうとしたが、十分でなかつたので後には大きな金屬球の中の空



マグデブルグの半球

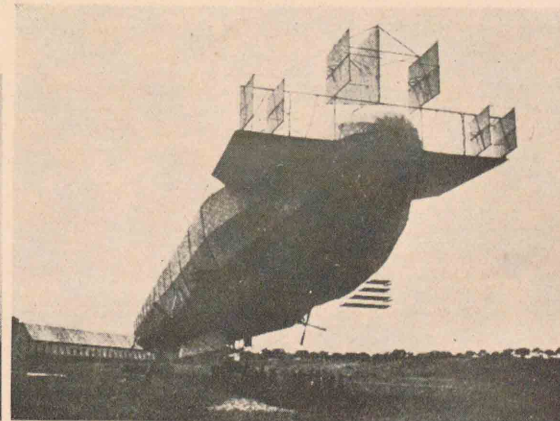


マグデブルグ半球の實驗の光景

氣を直接真空ポンプで抜去ることに成功した。ギェリッケは國王や國會議員の面前で有名なマグデブルグの半球の實驗を行つて人々を驚かした。マグデブルグの半球は前頁の圖に示したやうな直徑30 釐許の金屬製半球二個を磨り合せたものである。この實驗ではこれを重ね合せて、中の空氣を抜去つたも



シャール



最初のツェッペリン飛行船





ボイル

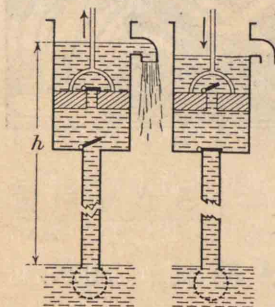
のを両方から馬8頭づつで引張つて始めて引離すことができた。

軽気球は1783年にフランス人モンゴルフィヤ(Montgolfier)が直径10米許りの大きな紙囊に熱した空気を入れて揚げたのが始めである。同年パリでシャル(Charles, 1746-1823)が始めて水素を満した軽気球を飛ばした。

飛行船を始めて作つたのはフランス人ジファールであるが、最も実用的なものは1900年に始めて作られたドイツのツェッペリン伯(Graf Zeppelin)の飛行船である。

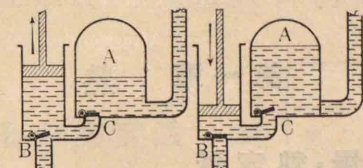
氣體の壓力と體積との關係を始めて數量的に發見したのは1662年イギリス人ボイル(Boyle, 1627-1691)であるが、1676年にフランス人マリオート(Mariotto, 1620-1684)も獨立にこれを發見した。従つてこの法則をボイルの定律とも亦マリオットの定律とも呼んでゐる。

ることはできない。何故か。



第54圖：吸上ポンプ。

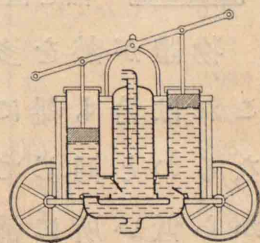
押上ポンプは活塞を上げるとき水が圓筒内に入り、活塞を下げる



第55圖：押上ポンプ。

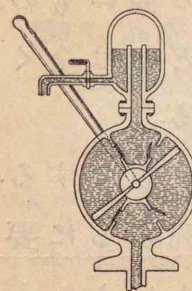
き側管から水が押し上げられる。これ

に第55圖のAのやうな空氣室がある  
と、この中に水が入込んでその中の空  
氣を壓縮し、これが膨脹しようとする  
力で水を連續的に噴出させる。消火



第56圖：消火用ポンプ。

用ポンプは二個の押上  
ポンプを組合せてこれ  
に一個の大きな空氣室を附したものであ  
る。



第57圖：ウイング  
ポンプ。

ウイングポンプは家庭用の水ポンプで、把  
手Wing pumpを左右に動かすと二つの吸上口の瓣が

交互に開閉し、同時に空氣室の二つの入口  
の瓣が交互に開閉して水を押し出すもので、作用は消火用  
ポンプと等しい。





第三篇 熱

第一章 熱量

32. 熱量・熱容量

【豫備問題】 熱と温度とはどう違ふか。

物体が熱を多く吸収するとその温度が昇る。これは恰も器に水を入れ、ば水面が次第に高くなるのと同じである。そして水が水面の高い所から低い所に流れるやうに、熱も温度の高いものから低いものに移る。然し熱は水などとは全く異なるもので、一種のエネルギーである。

熱の多少を表はすに**熱量**なる言葉を以てする。  
Quantity of heat  
 熱量の単位は1瓦の水の温度を1°C高めるに要する熱量を以てし、これを1**カロリー**といふ。1カロリーの千倍を**キログラムカロリー**といふ。従つて  $m$  瓦の水の温度を  $t$ °C 高めるには  $mt$  カロリーの熱が要る。

水面を1糎高めるに必要な水の量はその容器によつて異なると同じやうに、物体の温度を1°C 高めるに必要な熱量も物体によつて異なる。或

物体の温度を1°C 高めるに要する熱量をその**熱容量**といふ。同種の物質では熱容量はその質量に比例するが、物質が違へば質量が同じでも熱容量は異なる。

比熱表

水	1.000
アルコール	0.550
氷	0.50
アルミニウム	0.22
鐵	0.11
銅	0.093
銀	0.056
錫	0.053
水銀	0.033
鉛	0.032
白金	0.031

33. 比熱とその測定法 或物質の1瓦を温度1°C 高めるに要するカロリー数をその物質の**比熱**といふ。或物質の比熱とその質量との積はその物質の熱容量に等しい。

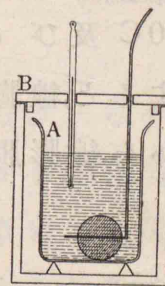
問1. 比熱  $c$ 、質量  $m$  の物質の温度を  $t$ °C 高めるに必要な熱量如何。

今比熱  $c$  なる物質の  $m$  瓦を  $t$ °C に温め、 $t_0$ °C の水  $m'$  瓦中に投じて暫くした後、両者とも温度が  $t_0$ °C になつたとすると、この物質の失つた熱量と水の得た熱量とは等しいから、

$$mc(t-t_0) = m'(t_0-t')$$

$$\therefore c = \frac{m'(t_0-t')}{m(t-t_0)}$$

となる。かやうにして比熱を測定する方法を**混合法**といふ。この測定を行ふには右圖に示すやうに熱容量の



第58圖：カロリーメーター。



小さい金属容器Aに水を入れ、これを熱の放散し  
 難い箱Bの中に入れたものを用ひる。かやうな  
 器を**カロリメーター**といふ。  
Calorimeter

問2. 銅塊 150 瓦を 100°C に熱し、200 瓦の水に投ずると水の  
 温度は何度昇るか。

## 第二章 膨 脹

### 34. 線膨脹

豫備問題 物體に熱を加へたとき起る種々の現象を述べよ。

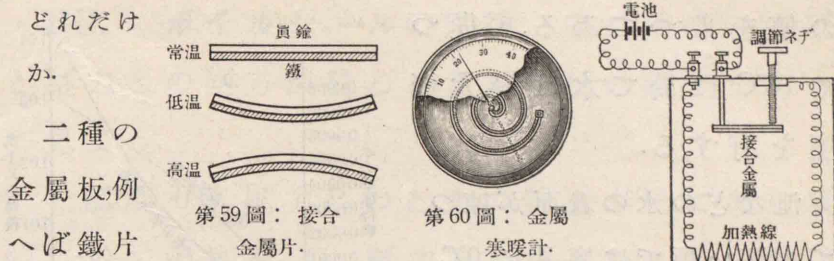
固体の温度が變るとその長  
 さや體積が變化する。温度が  
 昇るとき長さの増加するのを  
**線膨脹**といふ。温度 1°C に對  
Linear expansion  
 する線膨脹の大きさと 0°C の  
 ときの長さとの比を**線膨脹係  
Coefficient of linear**  
**數**といふ。今  $l_0, l_t$  をそれぞれ  
 0°C 及び  $t^\circ\text{C}$  のときの長さ  
 すると、線膨脹は  $(l_t - l_0)/t$  である  
 から、線膨脹係數  $a$  は次のやうになる。

線膨脹係數表	
石英硝子	0.000005
インバー鋼*	0.000001
白金	0.000089
硝子	0.000007~9
鐵	0.000012
銅	0.000017
眞 鍮	0.000019
アルミニウム	0.000023
鉛	0.000029
亞 鉛	0.000029

\*鋼 64%, ニッケル 36%

$$a = \frac{l_t - l_0}{l_0 t}; \quad l_t = l_0(1 + at)$$

問 20°C のとき目盛の正しい鐵製の物指で、30°C のとき或物體  
 の長さを測つたところが 25 厘あつた。この物體の眞の長さは



どれだけ  
 か。  
 二種の  
 金属板、例  
 へば鐵片  
 と眞鍮片とを重ねて接合したものは  
 温度が變化するとその彎曲の度を變へる。これは孵卵  
 器などの恒温装置や金属寒暖計などに利用される。

35. 體膨脹 物體の温度が上昇するに従つ  
 てその體積を増すのを**體膨脹**といふ。温度 1°C  
Volume expansion  
 に對する體膨脹と元の體積との比を**體膨脹係數**  
Coefficient of volume expansion  
 といふ。今  $V_0, V_t$  をそれぞれ 0°C 及び  $t^\circ\text{C}$  のと  
 きの體積とし、 $\beta$  を體膨脹係數とすれば

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}; \quad V_t = V_0(1 + \beta t)$$

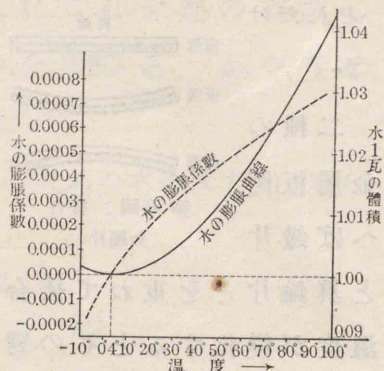
となる。體膨脹係數は線膨脹係數の約三倍であ  
 る。液體の體膨脹係數は固体のものよりも大き  
 い。

36. 水の膨脹 物體の體膨脹係數は一般に  
 温度によつて同じではないが、特に水は不規則な  
 膨脹をする。純水を 0°C から次第に温めて行く  
 と 4°C までは收縮し、4°C からは膨脹する。即ち  
 4°C までは體膨脹が負であるが、それ以上では正



の値をもつてゐる。従つて 4°C に於て水は最大密度を有する。

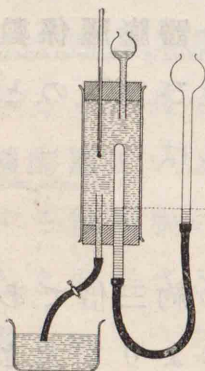
池などの水の表面が凍つても深い所では容易に 0°C にならず、魚などの棲息し得るのはこのためである。



第 62 圖：水の體膨脹係數と體積變化の關係グラフ。

### 37. 氣體の膨脹

**豫備問題** 軟くなつたゴム毬を温めるとどんなになるか。



第 63 圖：シャルルの定律を示す實驗。

氣體の體膨脹は固體や液體に比べて著しく大きく、その體膨脹係數は氣體の種類に關係しない。一般に氣體の膨脹は次の定律に従ふ。

氣體の體積は一定壓力では溫度が 1°C 昇る毎に 0°C のときの體積の 1/273 ずつ膨脹する。

これをシャルルの定律といふ。

今 0°C のときの體積を  $V_0$  とし、 $t$ °C のときの體積を  $V_t$  とすると

$$V_t = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} t \right)$$

となる。

**38. ボイル=シャルルの定律** 次に氣體の溫度と壓力との兩方が變るとききの體積の變化を考へて見よう。

今溫度 0°C、壓力  $P_0$  のときの體積が  $V_0$  である氣體に於て溫度を  $t$ °C、壓力を  $P_t$  にしたときの體積  $V_t$  を求めるに、先づ壓力を變へないで溫度だけ變つたときの體積  $V'$  を求めると、シャルルの定律から、

$$V' = V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} t \right)$$

となる。次に  $V'$  の氣體をそのまま、溫度  $t$ °C に保つて壓力だけを  $P_t$  に變へるとボイルの定律から、

$$V_t = V' \frac{P_0}{P_t} = \frac{P_0}{P_t} V_0 \left( 1 + \frac{1}{273} t \right)$$

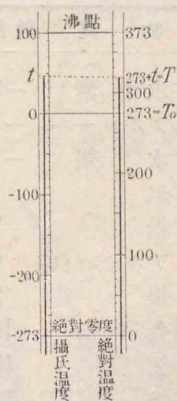
或は 
$$\frac{P_t V_t}{273 + t} = \frac{P_0 V_0}{273} = \text{一定}$$

となる。この式で表はされた關係をボイル=シャルルの定律といふ。

Boyle-Charles' law

今、攝氏寒暖計の目盛の仕方を變へて零度を氷點下 273° に取り、氷點を 273°、従つて沸點を 373° とすると、 $t$ °C は  $(273+t)^\circ$  となる。かやうに表はした溫度を絶対溫度といひ、その零度を絶対零度といふ。

前式の溫度 0°C、 $t$ °C をそれぞれ絶対溫度



第 64 圖：攝氏目盛と絶対溫度。



$T_0, T$ で表はすと、ボイル=シャルルの定律は次のやうに簡単になる。

$$\frac{P_t V_t}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \text{一定}$$

問 標準状態(温度  $0^\circ\text{C}$ , 壓力 760 托)のとき10立ある氣體は温度  $15^\circ\text{C}$ , 壓力 780 托のとき幾何の體積を有するか。

### 第三章 状態の變化

39. 融解と凝固 固体を熱して或一定の温度になると融解し始め、全部が液体になるまでその温度は變らない。この一定の温度をその物質の融解點Melting pointといふ。また液体を冷して或温度になると凝固し始め、全部が固体になるまでその温度は變らない。この温度をその物質の凝固點Solidifying pointといふ。

物質	融解點	融解熱
水素	$-259^\circ\text{C}$	(カロリー)
アルコール	-114	
水銀	-39	3
氷	0	79.8
鉛	327	5.4
アルミニウム	660	77
銀	960	22
金	1063	
銅	1083	43
鐵	1200~1600	
白金	1771	27
タングステン	3400	

ふ。一般に融解點と凝固點とは等しい。物質が融解するためには熱を吸収しなければならぬ。その1瓦を融解するに必要な熱量は物質によつて定まつて居る。これをその物質の融解熱Heat of fusionといふ。また1瓦の物質が凝固するときには融解熱に等しい

だけの熱を放出する。これを凝固熱Heat of solidificationといふ。

問1. 降り積つた雪が大氣の温度が  $0^\circ\text{C}$  以上になつても急には解けきらないのは何故か。

問2. 温度  $20^\circ\text{C}$  の水300瓦に  $0^\circ\text{C}$  の氷30瓦を入れると全體の温度は何度になるか。

氷や硫黄のやうな結晶體にははつきりした融解點があるが、硝子や封蠟のやうな非結晶體は融解の際、飴狀になつて融解點がはつきりしない。

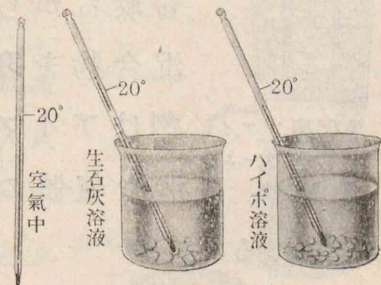
物質が凝固する際、體積の小さくなるものと大きくなるものがある。金・銀・銅などでは小さくなり、氷・鐵などでは大きくなる。凝固の際、體積の増す金属は鑄物を造るに適する。

問3. 鐵瓶は鑄型で作るが、銅の藥罐は型で打出して作る。何故か。

問4. 冬期、水道管や植木鉢が破裂することがある。何故か。

40. 溶解 固体・液体・氣體などを水・アルコール・エーテル等の液体に入れると全體一樣な液体が得られることがある。

この現象を溶解Dissolutionといふ。物質が溶解する際、熱を吸収するものと放出するものがある。この熱を溶解熱Heat of dissolutionといふ。硫酸や生石



第65圖：溶解熱

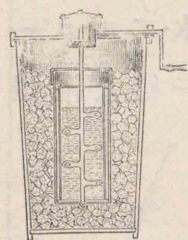


灰を水に溶かすと熱を放出して温度が昇るが、食鹽やチオ硫酸ソーダ(俗にハイポといふ)を水に溶かすと熱を吸収するから温度が降る。物質の凝固點は他の物質を溶かしてゐると純粹の場合よりも降る。

- 問1. 食鹽水を冷して0°Cにするも凍らないのは何故か。
- 問2. 白鐵は鉛と錫の等量からなる合金である。その融解點が鉛や錫の融解點よりも低いのは何故か。

41. 寒劑 水と食鹽を2:1の割合に混ぜると氷は段々融けて食鹽水となり、同時に温度が-22°C位に冷える。これは食鹽が氷の表面に

寒劑の表		
硝酸アムモニウムと水	(1:1)	-15°C
氷と食鹽	(2:1)	-22
雪と鹽化カルシウム	(7:4)	-51



第66圖：アイスクリーム製造機。

用される。

實驗 食鹽と氷で寒劑を作り、その中に

益融ける。このとき必要な氷の融解熱と食鹽の溶解熱とを混合物自身から取るから温度が降る。このやうな混合物を寒劑といふ。寒劑はアイスクリームの製造や氣體の液化などに利

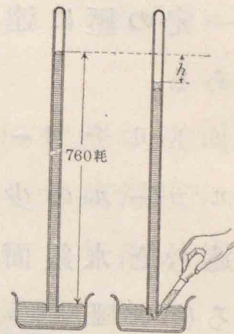


第67圖：寒劑の實驗。

水を入れた試験管を挿入して凍るや否やを驗せ。

42. 氣化 液體が氣體に變ずるのを氣化といふ。反對に氣體が液體に變ずるのを液化又は凝結といふ。

冬でも夏でも水を器に入れて放置すると段々氣化するために水は少くなる。一般に液體を空氣中に放置すると温度に關係なく表面から氣化するもので、これを蒸發といふ。

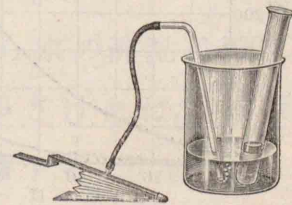


第68圖：氣化。

液體が氣化するには熱を吸収することが必要で、反對に液化するときには熱を放出する。一般に或温度に於ける液體1瓦を同温度の蒸氣に氣化するに必要な熱量をその温度の氣化熱といふ。

- 問1. アルコールやエーテルを皮膚につけると冷たく感ずるのは何故か。
- 問2. 湯に入つて十分に身體を拭かないで出て來ると風を引き易いのは何故か。

實驗 少量のエーテルを入れた小さいビーカーに、少量の水を入れた試験管を挿入し、そのエーテル中に空氣を吹送つて蒸發させると水はどうなるか。

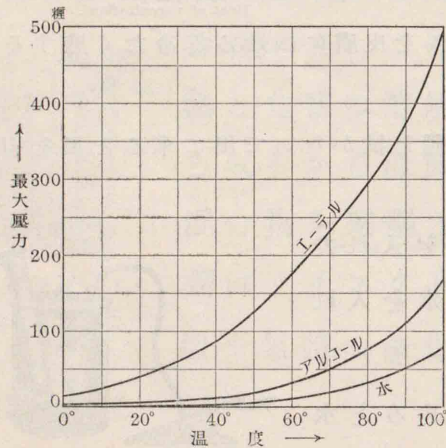


第69圖：氣化熱の實驗。



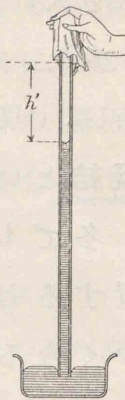
43. 飽和 液體の入つてゐる瓶の栓を固くして置けば液は減らない。これは蒸發した氣體が瓶の上部を満して一定の壓に達すると蒸發が止むからである。

トリチリーの眞空を作り、その中にアルコールの少量を硝子管で下から送り込むと水銀面は降つて一定の高さで止る(第68圖参照)。このとき湯で濡らした布で管の上部を温めると水銀面は更に降る。この際、管内のアルコール蒸氣は水銀面の降下に相當しただけの壓力をもつてゐる。この壓力をその溫度に於ける**最大壓力** Maximum tension といひ、溫度が變れば最大壓力も變る。



第71圖：溫度と最大壓力との關係グラフ。

各溫度に對する數種の物質の最大壓力を測定してグラフを描くと、左圖のやうになる。最大壓力をもつた蒸氣を**飽和蒸氣** Saturated vapour といひ、最大壓力に達しない蒸氣を**不飽和** Unsaturated

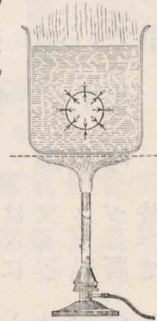


第70圖：最大壓力。

蒸氣 vapour といふ。液體はその蒸氣が飽和に達するまでは蒸發を止めない。

- 問 1. 風があると涼しく感じまた物がよく乾く。何故か。
- 問 2. 汽車の黒い煙は容易に消えないが、寒いときの白い煙は直ぐに消える。何故か。

44. 沸騰 常溫では蒸發によつて液の表面から氣化するだけであるが、液を熱して或溫度になると液の内部からも氣化が行はれて氣泡が盛んに出て來るやうになる。これを**沸騰** Boiling といふ。蒸氣の最大壓力が外壓(大氣の壓力と液の重さによる壓力との和)より小さい間は氣泡が出來ても押潰されてしまふが、これが外壓よりも大きくなれば氣泡は膨脹して上昇するやうになる。故に沸騰の始まる溫度は最大壓力が外壓に等しくなつたときである。

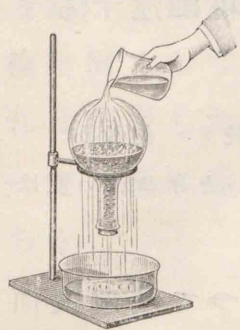


第72圖：沸騰の原理。

外壓が1氣壓のとき、液の沸騰し始める溫度をその液の**沸點** Boiling point といふ。第71圖で水は100°Cに於て最大壓力が1氣壓になるから、水の沸點は100°Cである。外壓が1氣壓よりも小さければ、液體はその沸點よりも低い溫度で沸騰する。

實驗 丸底フラスコに水を1/3程入れ、これを沸騰さ





第73圖：低壓沸騰の實驗。

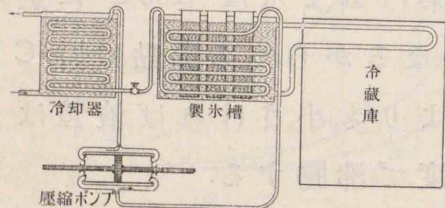
せて後ゴム栓で密閉し、水で冷すと再び盛んに沸騰する。

高温度に熱すると分解する虞のある液體を蒸溜するには、ポンプで空気を抜去つて低壓で行へばよい。砂糖・煉乳などの製造にはこの低壓蒸溜法が行はれる。

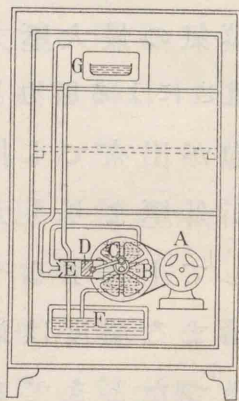
液體を熱して沸騰を始めると、それ以上幾ら熱を加へても温度は昇らない。これは加へた熱が皆氣化熱として用ひられるからである。

### 45. 氣化熱の應用

**冷蔵庫** 壓縮機で循環管内の亞硫酸ガス又はアムモニア-ガスを壓縮して凝結器に送り、冷却して液化させる。この液化したものを冷蔵庫内の蛇管に送り込んで氣化させると周囲から氣化熱を奪ふから庫内が冷される。



第75圖：製氷機と冷蔵庫。

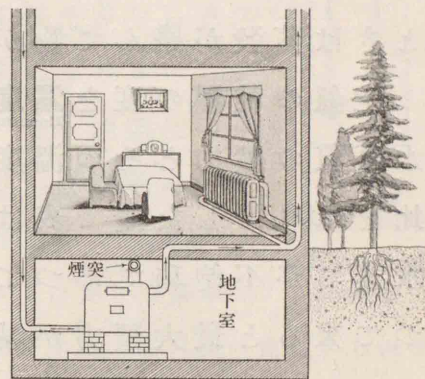


第74圖：電氣冷蔵庫 (A.電動機, B.ハズミ車, C.空氣冷却器, D.活塞, E.壓縮機, F.液體亞硫酸ガス容器, G.液體亞硫酸ガスの蒸發皿)。

氣化したガスは再び壓縮機に戻される。

**製氷機** 循環管内にアムモニア-ガスを入れ、

壓縮ポンプで壓縮し、これを冷却器に送つて冷水で冷して液化させる。液化したアムモニアを鹽水を盛つた槽中の蛇管に送る。この管は壓縮ポンプの吸込口に連絡してあるから壓力が低く、液狀アムモニアは氣化して周囲から熱を奪ふ。そのために鹽水の温度が降る。この中に清水を入れた箱を置けば氷が出来る。またこの鹽水をポンプで冷蔵庫に送つて食料品などの貯藏に供する。



第76圖：蒸氣暖房。

**蒸氣暖房** これは逆に蒸氣を液化させるとき放出する氣化熱によつて室を温めるものである。蒸氣罐内に出來た水蒸氣を管で各室に送り、輻射器の中で液化させて室内の空氣を温めるのである。

## 第四章 大氣中の水蒸氣

### 46. 大氣の乾濕

**豫備問題** 雲・雨・雪はどうして出来るか。

河や海から太陽熱のために水分が絶えず蒸發するから、大氣中には常に水蒸氣が含まれてゐる。夏は温度が高いから最大壓力も大きく水蒸氣が

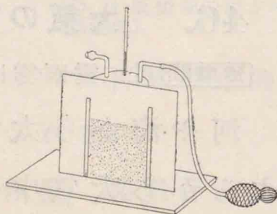


多い。冬は温度が低いから最大壓力も小さく水蒸氣は少い。然し空氣が乾いてゐるか濕つてゐるかはこの水蒸氣の多少によらないで、空氣中の水蒸氣が飽和蒸氣に近いか遠いかによる。若し飽和に近いれば蒸發は少いが、甚だしく不飽和のときは蒸發が盛んで物がよく乾く。

空氣の乾濕の度を**濕度**といつて、空氣中にある水蒸氣の壓力とその温度に對する最大壓力との比を100倍した値で表はす。或温度で空氣中の水蒸氣が不飽和であつても、大氣の温度が段々降つて來ると最大壓力が減少するから、遂に或温度で飽和状態に達し、更に冷えると水蒸氣の一部は凝結して地面や物體の表面に露を結ぶ。かやうに始めて露を結ぶ温度を**露點**といふ。

47. **濕度計** 大氣の濕度を測るものを**濕度計**といふ。これには種々あるが次に主なものを掲げる。

**露點濕度計** 一面が金屬鏡になつてゐる容器内にエーテルを少量入れ、これに空氣を吹込むとエーテルが蒸發して温度が降り、露點に達すると鏡面が曇るから、その温度に對する最大



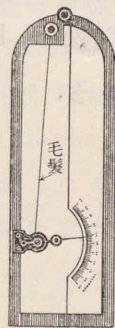
第77圖：露點濕度計。

壓力から濕度を知ることができる。

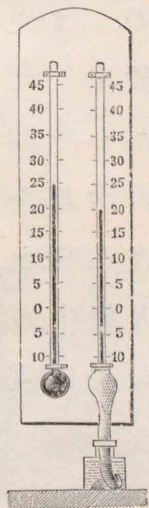
**乾濕球濕度計** 二本の寒暖計を並べて、一方の球部を濡れた布で包んで置くと、空氣の乾いてゐるときは蒸發が盛んであるから、濕布で包んだ寒暖計の示す温度は幾分低い。

兩寒暖計の示す温度差から表によつて濕度が求められる。

**毛髮濕度計** これは濕度の多少によつて毛髮が伸び縮みする性質を應用したものである。



第79圖：毛髮濕度計。



第78圖：乾濕球濕度計。

問1. 温度20°Cのときの露點が15°Cであつたとする。第71圖の曲線から濕度を計算せよ。

問2. 室内をストーブや火鉢で温めるとき、湯を沸騰させて置くことが必要である。何故か。

48. **大氣中の水蒸氣と人生との關係** 大氣の濕度が小さいと咽喉などの粘膜が乾いて冒され易く、また濕度があまり大きいと皮膚の氣孔からの蒸發が少なくなつて蒸し暑く感ずる。我々に最もよい濕度は60~70%である。

夏は最大壓力が大きいから水の蒸發も盛んである。然し太陽の輻射熱で地上から水が蒸發するときは熱を吸収して地面の過熱されるのを防



ぐ。また上昇した水蒸気が雲になるときは熱を放出して空気を温め、空気中の水蒸気や雲は地表から空間に向つて輻射される熱を吸収して地球の冷却を防ぐ。若し地上に水がなかつたならば、晝と夜とで温度の差が甚だしくなる。かやうに大気中の水蒸気は温度を調節して氣候を緩和し、人生に貢献するところが頗る多いのである。



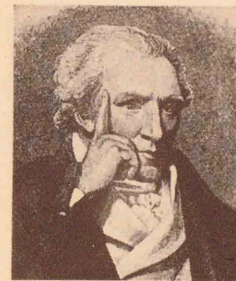
## 熱

有史以前から摩擦によつて火を作ることには知られてゐたが、その本性については近世になるまで知られなかつた。

ドイツ人スタール(Stahl, 1660-1734)が熱素(フロヂストーン)なる一種の物質を假定してこれを多く有するものほど可燃性が強いとした。然しフランス人ラバゼー(Lavoisier, 1743-1794)によつて燃焼の際物質の質量が増加すること、イギリス人プリーストレー(Priestley, 1733-1804)によつて燃焼が酸化作用であることなどが発見されるに及んで熱素が質量を有するものでないことがわかつた。またフランス人ブラック(Black, 1728-1799)によつて比



ブラック



ルムフォード

熱や氷の沸騰、氷の融解の際に於ける潜熱が発見されるに及んで段々熱に関する考が明かになつて來た。

熱が物質でなく一種の運動であつて、仕事によつて熱は幾らでも發生し得ることを證明したのはアメリカ人ルムフォード伯(Graf Rumford, 1753-1814)である。彼は大砲の穴を穿つとき著しい熱の發生することを見て種々の實驗をな

した結果遂に熱の物質説を打破つた。又熱が摩擦によつて起された分子の振動であることを結論したのはイギリスのデビー(Davy, 1778-1829)である。

寒暖計を最初に作つたのはイタリアのガリレオ(Galileo 1564-1642)であつて、一端を球状に膨らました硝子管を水中に倒に立て、少し球部を温めて水を幾分管内に昇らせ、その水面の高さ



デビー





セルシウス

で温度を測つた。然しこれは氣壓の影響を受けることが大きいため正確ではなかつた。今日用ひるやうなアルコール寒暖計や水銀寒暖計を作つたのはドイツ人ファーレンハイト (Fahrenheit, 1686-1736) である。彼は始め硝子工であつた。最初寒暖計の定點には寒劑や嚴冬に於ける雪や氷の温度、牛や鹿の體温などを取つて居たが、フランスの導物理學者アモントン (Amontons, 1663-1705) が水の沸點が一定であることを發見するに及んで彼はこれを寒暖計の一定點に採り、 $212^{\circ}$  とした。他の定點には氷と水の混合物の温度を  $32^{\circ}$  に採つた。オランダの天文學者セルシウス (Celsius, 1709-1744) は沸點を  $0^{\circ}$ 、氷點を  $100^{\circ}$  としたが後に他の人によつて目盛を倒にされたものを今日の攝氏の寒暖計と呼んでゐる。

一定の壓力の下で温度の變化に伴ふ氣體の膨脹に關し、近似的關係を得たのは上記のアモントンであるが、今日知られてゐる定律はフランス人シャル (Charles, 1746-1823) によつて始めて發見された。然し彼はその結果を公表しなかつたので、同國人のゲールサック (Gay-Lussac, 1778-1850) が再び獨立にこれを發見した。従つてこの定律をシャルの定律とも、ゲールサックの定律ともいふ。



ゲールサック

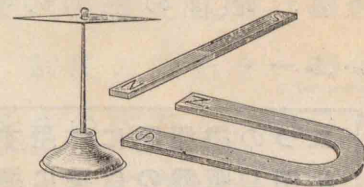
第四篇 磁氣と電氣

第一章 磁氣

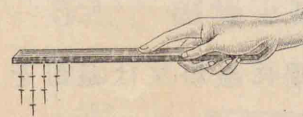
49. 磁氣

〔豫備問題〕 磁石にはどんな性質があるか。

磁石には鐵を吸付ける性質がある。この性質を磁性と稱し、磁性を有する物體は磁氣と稱するものをもつてゐる。磁氣も物質ではなくエネルギーの一種である。磁性はこの磁氣の作用に外ならない。磁鐵礦は天然に産する磁石であるが、人工的に作つた磁石にはその形によつて磁針・棒磁石・馬蹄形磁石等がある。



第80圖：種々の磁石。



第81圖：磁石の極を示す實驗。

〔實驗〕 棒磁石を水平に支へて、その各部にできるだけ多くの鐵釘を引付けさせ、どの部分が最も

多く吊し得るかを驗せ。

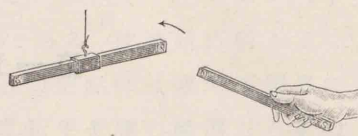
磁石には兩極の近くに最もよく鐵を引く所がある。これを磁石の極といふ。磁針の中央を針



で支へるか又は糸で吊して運動を自由ならしめると兩極は略南北を指す。北を指す極を**北極(N極)**といひ、他の極を**南極(S極)**といふ。

### 50. 磁極の相互作用

**實驗** 棒磁石を吊し、そのN極に他の棒磁石のN極或はS極を近づけて見よ。



第82圖：磁極の相互作用。

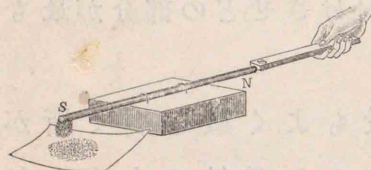
二つの磁石の異種の極は互に引合ひ、同種の極は斥け合ふ。この力を**磁力**といふ。この兩極の磁力の強さは磁石の有する磁氣の量の多少で、異なる。磁極の磁力の強さを略して**磁極の強さ**といふ。

二つの磁極間に作用する磁力は各極の強さの積に比例し、距離の自乗に逆比例する。

これを**クーロンの定律**といふ。

### 51. 磁氣感應

**實驗** (1) 軟鐵棒を水平に保ち、一端に鐵粉又は磁針を近づけ、他端に棒磁石のN極又はS極を近づけてみよ。

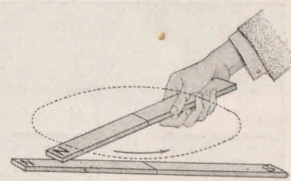


第83圖：磁氣感應。

**實驗** (2) 細い鋼鐵棒を横たへて、これを磁石の一端で同じ方向に數回摩つた後、鋼鐵棒の磁性を驗べよ。同じ

ことを軟鐵棒で試みよ。

磁石が鐵片を引付けるのは、極に近い鐵片の端に異種の極が遠い端に同種の極が出来、クーロンの定律によつて異種の極の引力が同種の極の斥力より大きいからである。この現象を**磁氣感應**といふ。

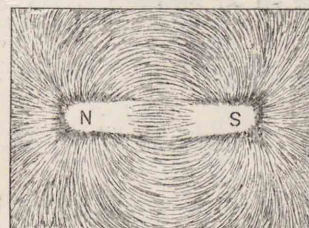


第84圖：感應による磁石の製作。

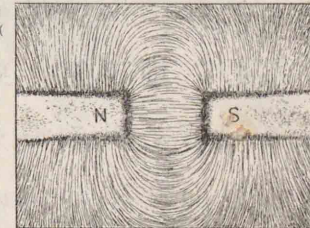
感應によつて磁石になり得るものを**磁性體**といふ。鐵のほか、ニッケル・コバルト等も磁性體である。感應によつて軟鐵に生じた磁氣は磁石を取去ると直ぐに消えるが、鋼鐵に生じた磁氣は磁石を取去つた後までも残る。軟鐵の磁石を**一時の磁石**といひ、鋼鐵の磁石を**永久の磁石**といふ。人工的の磁石はこの原理を應用して作つたものである。

### 52. 磁場と磁力線

**實驗** 机上に棒磁石を置き、その上に厚紙を載せて、上から篩で鐵粉を撒き、厚紙を軽く叩くと鐵粉はどうなるか。

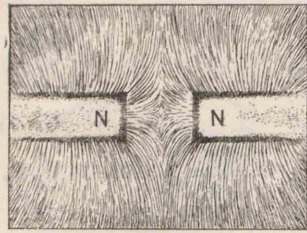


第85圖：棒磁石による磁力線。

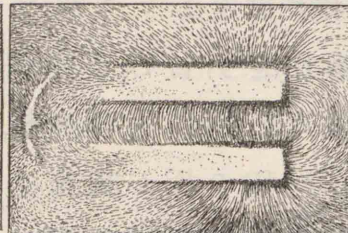


第86圖：異種の極間の磁力線。





第87圖：同種の極間の磁力線。



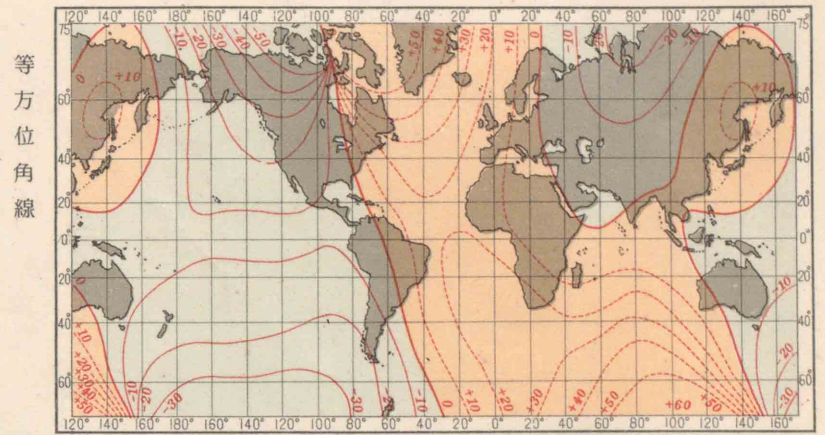
第88圖：馬蹄形磁石による磁力線。

また二本の棒磁石の異種の極を互に向ひ合せて同じ實驗を行へ。次に同種の極を向ひ合せて同様に試みよ。

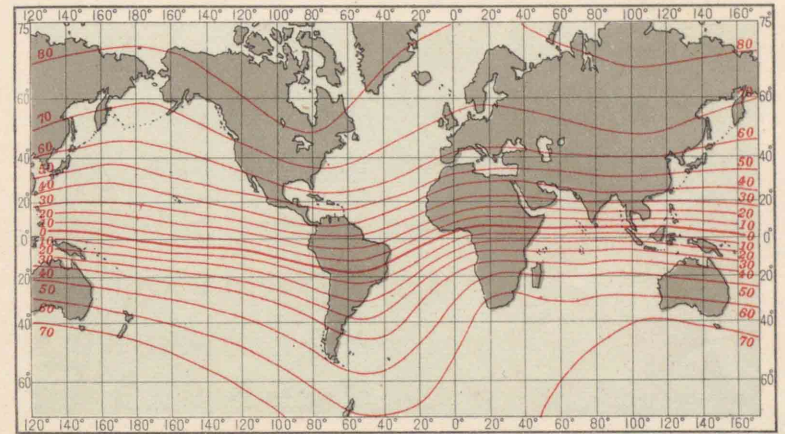
磁性體に磁氣感應を生じ得る場所を**磁場**といふ。一つの磁石は常にその周圍に**磁場**を作る。磁針を磁場に置くと一定の方向を向く。そのN極の指す方向を磁場の方向といふ。磁場にある鐵粉は感應によつて磁場の方向に向き變へられ、列り合つて多くの曲線をつくる。この曲線を**磁力線**といふ。磁力線は常にN極から出てS極に向ふ。その曲線の各部は磁場の方向を示す。極の近くでは磁力線は密集し、磁極から遠い所では疎である。磁力線が密集してゐる所は**磁場が強い**といひ、疎な所は**磁場が弱い**といふ。

53. **地磁氣** 磁針を針の上に支へて水平面内で廻轉し得るやうにして放置すると、その極の指す方向は子午線の方角に一致しない。磁針の南北極の指す方向と子午線の間角を**方位角**といふ。

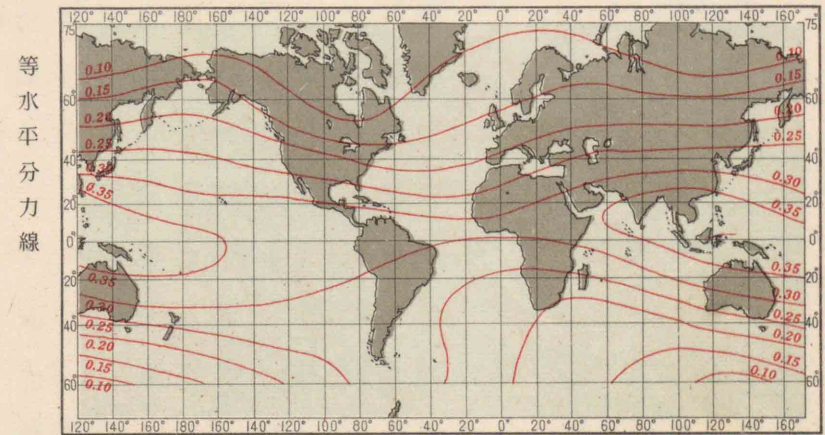
地磁氣の三要素



等方位角線



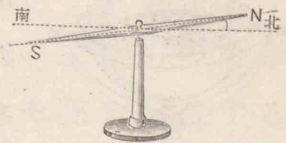
等伏角線



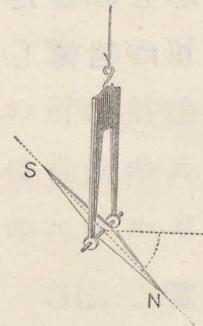
等水平分力線



いふ。磁針の中央に孔をあけ、  
水平に固定した針に通して鉛  
直面内で自由に廻轉し得るや



第89圖：方位角。



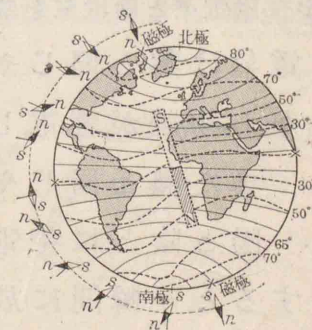
第90圖：伏角。

うにして放置す  
ると磁針のN極は水平の方向に對  
して傾く。この間の角を**伏角**とい  
ふ。これ等のことから地球は大き  
な一つの磁石の作用をしてゐるこ  
とがわかる。その磁極は地理學上  
の極と一致しないが、接近してゐる。

地球の北極の近くには地磁氣の何れの極があるか。

水平の方向に測つた地球の磁場の強さを**水平**  
Horizontal

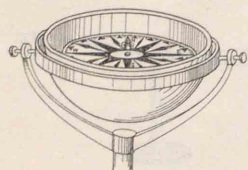
分力といふ。方位角・伏角・水  
Intensity  
平分力の三つは地上の磁場  
の性質を決定するものであ  
るから、これを**地磁氣の三要**  
Three elements of terrestrial  
**素**といふ。これ等は場所  
magnetism  
によつて異なるのみならず、時  
によつて異なり、また急激の  
變化を起すこともある。



第91圖：地球の磁場。

54. **羅針盤** 船舶の航海に必要な方位を測  
る**羅針盤**は磁石を應用したものである。その要  
Compass





第92圖：羅針盤。

部は表面に方位を記し、裏面に磁針を張付けた一つの軽い圓盤で、その中央を針頭で支へてある。これを常に水平に保たしめるために、互に直角な水平の方向の軸の周りに廻轉し得る二重枠で支へてある。

問 磁気と電気と類似した點はないか。

## 第二章 電 流

### 55. 電 流

〔豫備問題〕 ① 電気はどうしたら起るか。

- ② 電気は物質かエネルギーか。  
 ③ 陽電気と陰電気を導體で連絡するとどうなるか。

電気は熱と同じやうにエネルギーの一種であるから、物體が帯電したからとて質量の變化はない。また熱と同じやうに物體から物體に傳導する。陽と陰とに帯電した二つの物體を針金で連絡すると一瞬間に放電して電流の移動は止む。然し起電機のやうに絶えず電気が起される兩極を導線で連絡すると、電気は絶えず導線を傳はつて移動する。かやうに電気の繼續して移動するのを**電流**といひ、陽電気の移動する方向を電流の

Electric current

方向とする。

電流は種々の作用をする。その主なものを挙げると、(1)針金に電流を通すと光や熱を發生する、(2)電流の通つてゐる導體の周圍には磁場を作る、(3)酸や鹽類を溶かした水溶液に電流を通すと極の所に氣體や金屬を析出する等であつて、これ等は電流のエネルギーが光や熱・磁気または化學的のエネルギーに變ずるために起る現象である。

56. 電流の強さ 電流の強さは導線の切口を1秒間に通過する電氣の量による。電流の強さを測るには**アンペア**といふ單位を用ひる。これは硝酸銀の溶液から毎秒0.001118 瓦の銀を析出する電流の強さである。電流の強さは**電流計**で測る。

Ampere

Galvanometer

1 アンペアの電流が流れてゐる通路の切口を1秒間に通過する電氣の量を1**クローン**といつて電氣量の單位として用ひる。

Coulomb

### 57. 電壓・電氣容量

〔豫備問題〕 熱が一點から他の點の方に傳はるのは何に基因するか。

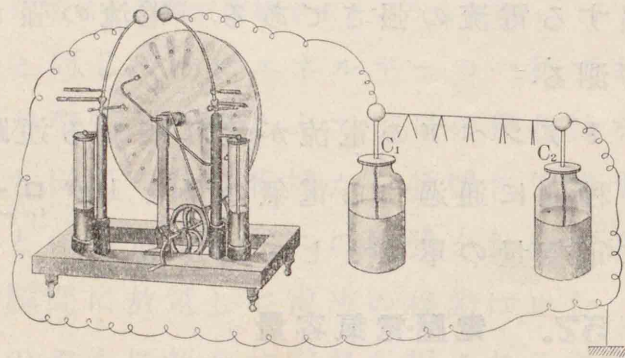
水の入つた二つの容器を管で連絡するとき、水は必ずしも水量の多い方から少い方へ流れるの



でなくて、水位の高い方から低い方へ流れる。また熱が傳導する場合も熱量の多少によるのではなくて温度の高い方から低い方へ流れる。二つの導體の間に電流が流れるときも、必ずしも電氣を多量にもつてゐる方から少い方へ流れるとは限らない。帶電體にも水位や温度に相當した**電位** Electric potential といふものがあつて、電流は常に電位の高い方から低い方へ流れるのである。二つとも陽に帶電した導體の間でも電位の差があれば電流が流れる。電位の差を**電壓** Potential difference といふ。一般に導體に電流を通じさせる原因を**電動力** Electro-motive force といひ、兩端の電壓で表はされる。普通に用ひられる電壓の單位を**ボルト** Volt といふ。

二つの導體の電位を同じだけ高めるに要す

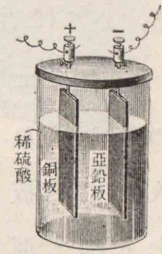
る電氣量は一般に同じでない。この場合二つの導體の**電氣容量** Electric capacity が異なるといふ。同一の物體では電氣量の多い程電位は高い。



第93圖：電位差の實驗。

電位差を測定する器具を**電壓計**又は**ボルト=メーター** Voltmeter といふ。電位の標準として普通地球の電位を零にとる。

58. **電池** 稀硫酸中に銅板と亜鉛板とを浸して、これを導線で連絡すると導線中に銅板から亜鉛板へ向ふ電流が起る。かやうな方法で化學的エネルギーを電流のエネルギーに變へる装置を**電池** Electric cell といふ。その電位の高い方を**陽極** Positive pole、低い方を**陰極** Negative pole といふ。



第94圖：ボルタの電池。

電池の兩極を導體で連絡して電流が流れるやうにすることを**回路** (又は**輪道**) を閉ぢるといひ、これを斷つて電流が流れないやうにすることを**回路を開く** といふ。回路を開いたときの兩極の電位差を**電池の電動力** といふ。

上のやうに稀硫酸中に亜鉛板と銅板とを對立させた電池を**ボルタの電池** といひ、その電動力は約1ボルトである。然しこの電池を暫く使用すると、段々陽極が水素で覆はれて次第に電流が弱くなる。この現象を電池の**分極** Polarization といふ。

**實用の電池** ではこの分極作用がないやうにしなければならぬ。そのためには酸化劑を用ひて



水素を酸化するか、陽極の近くに陽極と同種の金屬の溶液を置いてその金屬が析出するやうにする。次に主なる實用電池の數種を掲げる。

(a) **ダニエル電池** Daniel cell

これは器の中に素焼の筒を入れ、その外側には硫酸銅の溶液を入れて銅板を立て、内側には稀硫酸の溶液を入れて亜鉛板を立てたもので、銅板が陽極、亜鉛板が陰極となる。陽極には銅が附着するから分極は起らない。電動力は約1.1ボルトである。

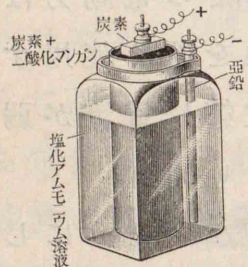


第96圖：重クロム酸電池。

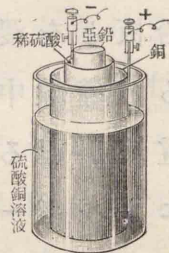
(b) **重クロム酸電池** Bichromate cell

これは重クロム酸カリを含む稀硫酸中に陽極の炭素板と陰極の亜鉛板とを對立させたものである。陽極に析出する水素は重クロム酸カリのために酸化されて分極は防がれる。電動力は約2.0ボルトである。

(c) **ルクランシ電池** Leclanche cell



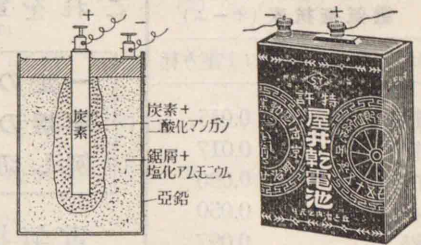
第97圖：ルクランシ電池。は1.5ボルトで短時間づつ使用すると



第95圖：ダニエル電池。

きは割合に長く保つ。

(d) **乾電池** これはルクランシ電池の應用であつて、外函を亜鉛板で作る、その中に周圍を二酸化マンガ



第98圖：乾電池の構造(左)と外觀(右)。

た炭素棒を挿込み、これと外函との間に鹽化アンモニウムの溶液に浸した鋸屑などを詰めたものである。

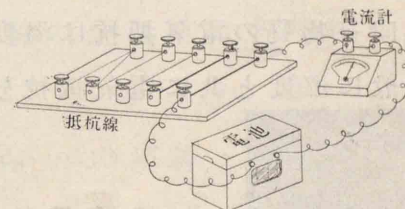
### 第三章 電氣抵抗

#### 59. 電氣抵抗

**實驗** (a) 等しい長さで太さの異なる鐵線の兩端に等しい電壓を加へたとき、これを通る電流を電流計で比較せよ。

(b) 等しい長さで太さの同じ鐵線と洋銀線とに等しい電壓を加へて見よ。

(c) 等しい太さで長さの異なる導線に等しい電壓を加へて見よ。



第99圖：電氣抵抗の實驗。

導線の兩端に加へられる電壓が一定でも、導線の種類、また同じ種類でも太さ及び長さが異なれば電流の強さは異なる。これは一般に導線が電流の通過に對して逆ふ性質をもつてゐるため、



電気抵抗表 (オーム)	
15°C, 長さ1米, 切口1平方糎	
銀	0.015
銅	0.017
白金	0.090
タングステン	0.050
鉄	0.097
洋銀	約0.3
水銀	0.94
ニクロム	約1.0
炭素	50.
硝子	約 $8 \times 10^{12}$
エボナイト	約 $4 \times 10^{21}$

これを**電気抵抗**といふ。  
Electric resistance

一定の温度に於て同一物質の導線の電気抵抗は、長さに正比例し、切口の面積に逆比例する。

電気抵抗の単位を**オーム**といふ。これは 0°C に於て切口の面積 1 平方糎, 長さ 106.3 糎の水銀の電気抵抗に等しい。

問1. 内径 2 糎, 長さ 25 糎の硝子管に

満された水銀の電気抵抗はどれだけか。

問2. 或針金を二倍の長さに引延ばせば電気抵抗はどう變るか。

同一物質の電気抵抗は温度によつて變る。金屬では一般に温度と共に電気抵抗を増すが、炭素などは却て減少する。

### 60. オームの定律

實驗 同一の導線の兩端に電池 1 個, 2 個, 3 個をそれぞれ結んだときの電流の強さを比較せよ。

導線を流れる電流の強さは、その兩端の電壓に正比例し、導線の電気抵抗に逆比例する。

これを**オームの定律**といふ。

Ohm's law

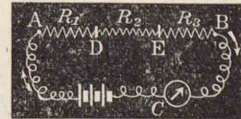
今、電流の強さを  $C$  アンペア, 電壓を  $E$  ボルト, 電

気抵抗を  $R$  オームとすると次の關係がある。<sup>1)</sup>

$$C = \frac{E}{R} \quad \text{或は} \quad E = CR$$

問 10 燭光のタングステン電球に 100 ボルトの電壓を加へたとき 0.125 アンペアの電流が流れる。今、110 ボルトの電壓を加へると何程の電流が流れるか。

61. 抵抗の連結 電気抵抗  $R_1, R_2, R_3, \dots$  の導線を端から端へと一行に連結することを**直列連結**又は**行連結**といふ。全抵抗を



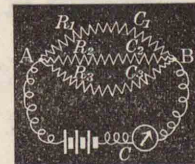
第 100 圖：抵抗の行連結。

$R$  とするとオームの定律から次の關係が得られる。<sup>2)</sup>

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

即ち、直列に連結した導線の全抵抗は各導線の抵抗の和に等しい。

次に電気抵抗  $R_1, R_2, R_3, \dots$  の導線の兩端を共通の二點にそれぞれ連結することを**並列連結**又は**列連結**といふ。各線を流れる電流を  $C_1, C_2,$



第 101 圖：抵抗の列連結。

1) この式はまた電気抵抗  $R$  オームの針金に  $C$  アンペアの電流を通ずるに  $CR$  ボルトの電壓を要することを示す。

2) 各導線の兩端の電壓をそれぞれ  $E_1, E_2, E_3, \dots$  とし、全體の電壓を  $E$ , 電流を  $C$  とすると,  $E_1 = CR_1, E_2 = CR_2, E_3 = CR_3, \dots$  であるから,

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots = C(R_1 + R_2 + R_3 + \dots)$$

また  $E = CR$  であるから,  $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$  となる。



$C_3, \dots$  とし、全體の電流を  $C$  とすれば、

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

となり、各導線の兩端の電壓は同じであるから、全抵抗を  $R$  とするとオームの定律より次の關係が得られる。

$$C = \frac{E}{R}, \quad C_1 = \frac{E}{R_1}, \quad C_2 = \frac{E}{R_2}, \quad C_3 = \frac{E}{R_3}, \quad \dots$$

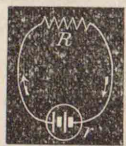
故に  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

即ち、並列に連結した導線の全抵抗の逆数は、各線の抵抗の逆数の和に等しい。そして各導線を通れる電流の強さはその抵抗に逆比例する。

問1. 長さ25厘、切口の半径1耗の白金線の抵抗は幾らか。

問2. 抵抗がそれぞれ1, 2, 3オームなる針金三本を種々に連結して幾通りの全抵抗が得られるか。またその値を計算せよ。

62. 電池の抵抗 電池の兩極を導線で連結して回路を閉ぢるとき、導線を通れる電流と同じ強さの電流が電池の内部でも陰極から陽極の方へ向つて流れてゐる。この電流に對して電池も抵抗を有するもので、これを内抵抗といふ。これ



第102圖：電池の抵抗。

に對し外部導線の抵抗を外抵抗といふ。

今、内抵抗を  $r$ 、外抵抗を  $R$ 、電池の電動力を  $E$  とすると、外部導線に  $C$  アンペアの電流を通すには  $CR$  の電動力が必要

である。また電池の内部に  $C$  アンペアの電流を通すには  $Cr$  の電動力が必要である。電池の電動力はこの兩電動力の和に等しいから、次の關係が得られる。

$$E = CR + Cr \quad \text{故に} \quad C = \frac{E}{R+r}$$

即ち、電池の回路を閉ぢたときの電流の強さは、その電動力を全抵抗で割つたものに等しい。

問1. 回路を閉ぢてゐるときの電池の兩極の電壓は開いてゐるときよりも小さいのは何故か。

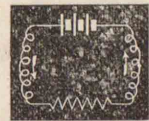
問2. 電動力2.1ボルトの電池を5オームの針金で連結したとき、0.4アンペアの電流が流れた。内抵抗如何。

63. 電池の連結 電動力  $E$ 、内抵抗  $r$  の電池  $n$  個を直列に連結すると、全電動力は  $nE$  となるが、内抵抗は  $nr$  となる。従つて、抵抗  $R$  の針金で回路を閉ぢるときの電流は、

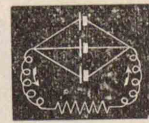
$$C = \frac{nE}{R+nr}$$

となる。

また同じ電池を並列に連結すると電動力に變化はないが、内抵抗は  $\frac{r}{n}$  となる。従つて電流の強さは次のやうになる。



第103圖：電池の行連結。



第104圖：電池の列連結。



$$C = \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r}$$

一般に強い電流を得るためには外抵抗が大きいときは直列に内抵抗の大きいときには並列に連絡するのが有利である。

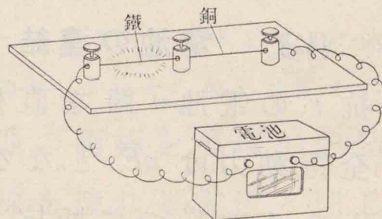
**問** 電動力 2 ボルト、内抵抗 0.5 オームの電池三個を行連結及び列連結にしたときの電流を比較せよ。

## 第四章 電流の熱作用

### 64. 電流の熱作用

**準備問題** 家庭に於て電流から熱や光を得る器具を挙げよ。

**実験** 鐵線と銅線、或はニクロム線と洋銀線とを直列に連結して電流を通したときの現象を観察せよ。



第105圖：電流の熱作用。

抵抗の大きい導體に電流が通るとき熱や光を生ずる。電流が割合に弱いときは赤熱されるが電流が強くなると白熱になる。これは電流のエネルギーが光や熱のエネルギーに變るために起る現象である。

電流によつて生ずる熱量は、電流の強さの二乗と導線の抵抗と電流を通じた時間とに正比例する。

これを**ジュールの定律**といひ、このとき發生する熱を**ジュール熱**といふ。

1 アンペアの電流を抵抗 1 オームの導線に 1 秒間通したとき 0.24 カロリーの熱を生ずる。従つて  $C$  アンペアの電流を  $t$  秒間、 $R$  オームの導線に通すときは、

$$H = 0.24 CRt \text{ (カロリー)}$$

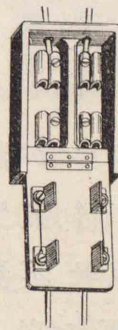
の熱を生ずる。導線の兩端の電壓を  $E$  ボルトとすると、オームの定律から、 $E = CR$  であるから、

$$H = 0.24 CEt \text{ (カロリー)}$$

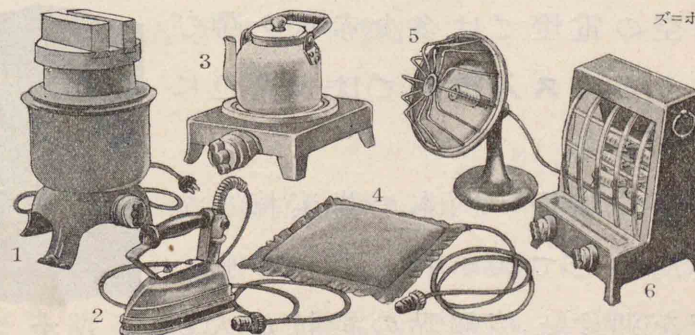
とも表はされる。

**フューズ**は鉛と錫との合金で融解點が低く、電流の強さが或限度を超えると融けて回路を斷つやうになつてゐる安全装置である。

### 65. 電熱器 電気ストーブ・電気七



第106圖：フューズボックス。



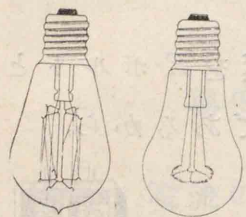
第107圖：種々の電熱器 (1. 電気氈, 2. 電気アイロン, 3. 電気七輪, 4. 電気座蒲團, 5, 6. 電気ストーブ)。



輪・電気アイロン等の電熱器は電流の熱作用を實用化したもので、抵抗の大きい割合に融け難いニクロム線を目的に應じてそれぞれ適当な耐火性絶縁物に填込んで作ったものである。

66. 白熱燈 Incandescent lamp

白熱燈は硝子球内にタングステンの細い線を封じ込んだもので、酸化を防ぐた

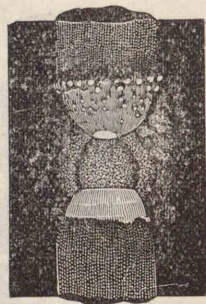


第108圖：白熱電球。

めに内部が真空にしてある。これに電流を通ずるとタングステン線の温度は 2200°C 位になつて白熱される。電流を強くしてこれ以上の温度にすると、タングス

テンが蒸發して壽命が短くなる。然し 1/2 乃至 3/4 氣壓の窒素やアルゴンの氣體を封入して置くと蒸發が少なくなつて、タングステン線の温度を更に高くすることができる。従つて真空の電燈では多少赤味を帯びてゐるが、ガス入電球では晝光色に近くなる。

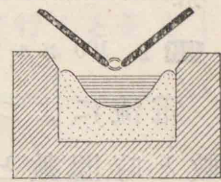
67. 弧燈 二本の炭素棒を先づ接觸させて50ボルト以上の強い電流を通すと、接觸點の抵抗が大きいから赤熱される。このとき炭素



+

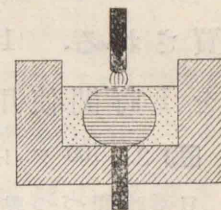
第109圖：弧燈。

棒を少し引離すと熱せられた空氣を通して電流が流れ、その抵抗が大きいために強い白色の光を出す。この装置を弧燈といふ。弧燈では陽極の炭素棒の先端が最も温度が高く 3500°C 位になる。幻燈や探照燈の光源によく用ひる。



第110圖：電氣爐(1)。

電氣爐は耐火煉瓦の箱の中に弧燈を装置してその熱作用を利用するもので、化學工業に多く用ひられる。



第111圖：電氣爐(2)。

68. 電力 電流の強さ C と

電壓 E との積を電力といふ。1 ボルトの電壓で、1 アンペアの電流が流れるときを電力の單位にとつて、これを 1 ワットといひ、その 1000 倍を 1 キロワットといふ。従つて E ボルトで C アンペアの電流が流れるときのワット數は

$$W = EC \text{ (ワット)}$$

になる。

電流によつて單位時間に出す熱量は、ジュールの定律から知れるやうに電力に比例するから、電燈などの明るさはワット數で定まる。普通タングステン電球では 1 燭光につき 1.2 ワットの電力を要



するが、ガス入電球では0.5乃至1ワットで足りる。

問 1. 100ボルト、20ワット電球には幾アンペアの電流が流れるか。

問 2. 100ボルト、100ワット電球の抵抗は幾オームか。

電流によつて或時間内に発生する熱量はワット数と時間数との積に比例する。従つて使用される電気エネルギーは**キロワット時** Kilowatt hour を単位にして賣買される。1キロワット時とは1キロワットの電力を1時間使用したときの電気エネルギーである。

問 3. 100ワット電球二個と20ワット電球五個を使用する家が毎日5時間づつ點燈するとすれば、30日間には幾キロワット時になるか。

問 4. 毎日2キロワットの電気ストーブを3時間づつ、500ワットの電気七輪二個を2時間づつ使用し、20ワットの電球二個を8時間づつ、60ワットの電球を2時間づつ點するとき、1日の電気料幾何か。但し電気料は1キロワット時につき電熱用には4錢、電燈用には13錢の割合とする。

### 第五章 電流の磁気作用

#### 69. 電流の磁気作用

實驗 磁針の上に電流の通じてゐる針金をもつて行くとき磁針のN極がどちらにふれるかを見よ。また電流の方向を變へて試みよ。

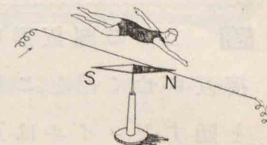
電流の流れてゐる針金は附近に磁場を作る。

實驗の結果によると、電流の方向とこれによつて磁針の動かされる方向との間に次の関係がある。

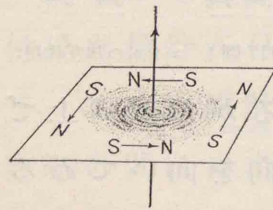
磁針に腹を向けて電流に沿うて泳いで行くと假定すると、N極は左手の方向に動く。

これを**アンペアの定律** Ampere's law といふ。

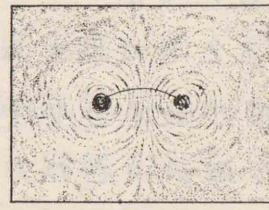
導線を貫いた厚紙の上に鐵粉を撒いて電流を通ずると、鐵粉は針金を中心とする同心圓上に配列する。即ち、電流の作る磁場は電流を中心とする圓周の方向を向く。また厚紙に圓形の導線



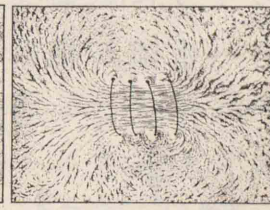
第112圖：アンペアの定律



第113圖：直線電流による磁場



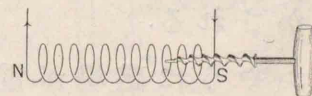
第114圖：環狀電流による磁場



第115圖：コイルによる磁場

貫いて電流を通ずると、第114圖のやうな磁場を作る。次に圓筒に導線を巻きつけて得た**コイル** Coil で實驗すると、一つの棒磁石のやうな磁場を作る。

アンペアの定律によれば、直線電流の場合には電流の方向にネヂを捻ぢ込むとする



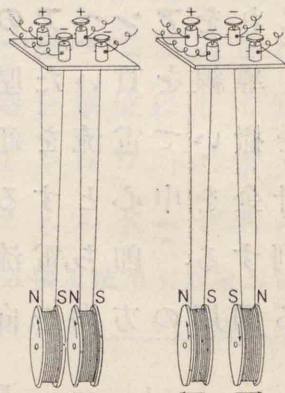
第116圖：ネヂとコイル



と、ネヂを廻す方向が磁場の方向になり、コイルの場合にはネヂを電流の方向に廻すとネヂの進む方向がN極となる。

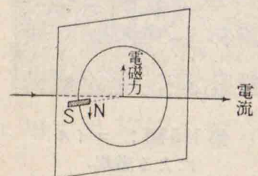
コイルによつて生ずる磁場の強さは電流の強さとその巻數とに比例する。

問 二つの圓板形に巻いたコイルを接近させて吊し、これに同方向の電流を通すとコイルは互に引合ひ、反対方向の電流を通すとコイルは互に斥け合ふのは何故か。



第117圖：コイルの相互作用。

70. 電磁力 第118圖のやうに、紙面を貫いて前方へ電流が流れるときは圓

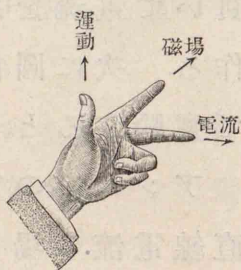


第118圖：電磁力の説明圖。

形の磁場を生ずるから、紙面上でN極が中心の方向を向いてゐる磁石ではN極が矢の方向に動かされる。若し磁石が動き得ないで針金が動き得るやうになつて居れば、針金は反作用で點線で示した矢の方向へ動かされる。

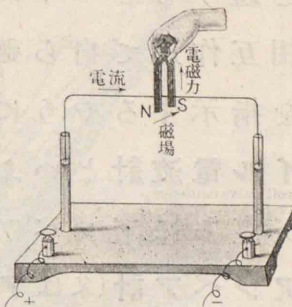
かやうに磁場が電流に及ぼす力を電磁力といふ。

Electromagnetic force



第119圖：フレミングの左手の規則。

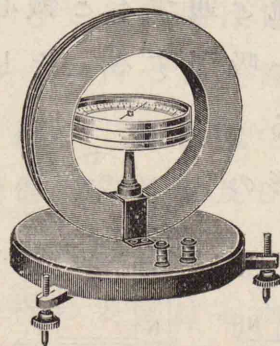
左手の拇指・食指・中指を互に直角に開いて、食指を磁場の方向、中指を電流の方向に向けると、電流は拇指の方向の力を受ける。



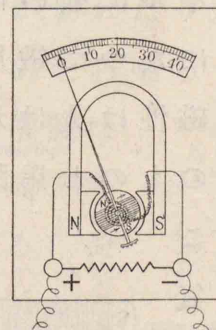
第120圖：電磁力の實驗。

これをフレミングの左手の規則といふ。  
Fleming's left hand rule

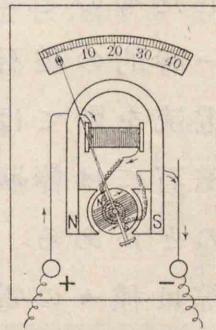
71. 電流計 電流計は電流の強さを測る装置で、これに二種ある。一つは固定されたコイルの中央に自由に廻轉し得る磁針を支へたもので、コイルに電流を通ずると磁針はふれてこれに取付けた指針が目盛板上を動くやうに作られてある。これを磁針電流計といふ。他の一つは永久磁石の間に自由に廻轉し得るコイルを置き、これに指針を附したものである。このコイルに電流



第121圖：磁針電流計。



第122圖：アンペア計。



第123圖：ボルト計。



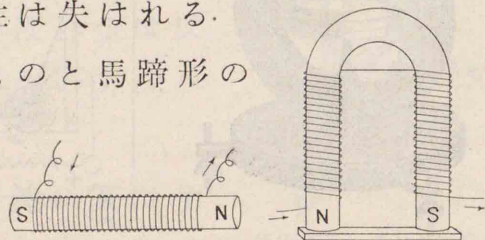
を通ずるとコイルは磁性を現はし、永久磁石との相互作用で自ら廻轉して、通過する電流の大きさを指示するやうに作られてある。これを**可動コイル電流計**といふ(第122圖)。この指針の指す目盛が直ちにアンペア數を現はすやうにしたものを**アンペア計**(又は**アンメーター**)といふ。

**ボルト計**は二點間の電位差をボルトで指示するやうにしたもので、原理はアンペア計と同じであるが、大きな抵抗が入れてあるから、ボルト計を挿入したために起る電位の變化は極めて小である(第123圖)。

アンペア計は回路に直列に入れる必要があるが、ボルト計は回路の二點間の電位差を測るものであるから、その部分に並列に入れる。

**72. 電磁石** 電磁石はコイルに軟鐵棒を挿入したもので、コイルに強い電流を通ずると鐵心は一時的の磁石になつて、鐵片を吸引する。そして電流を斷てば磁性は失はれる。

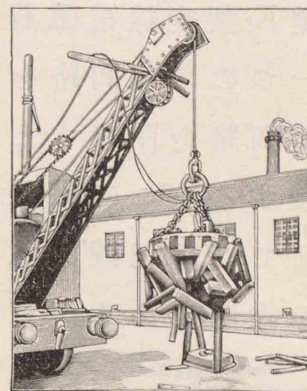
電磁石には棒状のものと馬蹄形のものとがある。これ等は種々の電氣器械に利用され、ま



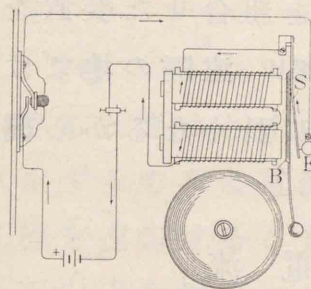
第124圖：電磁石の二種。

た起重機に取付けて鐵材の積降しなどに用ひられる。

**73. 電鈴** 電鈴は第126圖のやうな構造で、電磁石の前にバネSに取付けた軟鐵片Bがあつて、バネの一部がネヂEに接觸してゐる。電磁石のコイル、バネ、ネヂ、押釦。



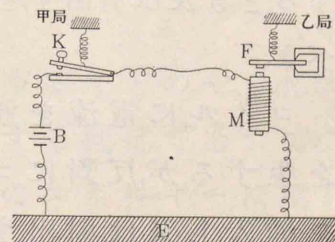
第125圖：電磁石の應用。



第126圖：電鈴の構造。

電池が一つの電流回路になつてゐて、釦を押すと回路が閉ざされて軟鐵片は電磁石に引かれる。このときバネはネヂから離れて回路が開かれるから、軟鐵片は元の位置に戻つて再び回路は閉ざされる。従つて釦を押してゐる間は電流が切れたり通じたりするから、バネにつけた鎚で鈴を打鳴らす。

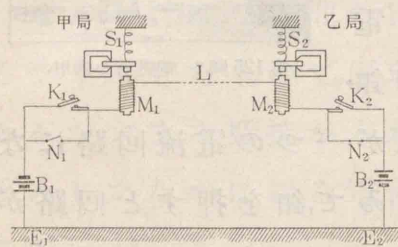
**74. 電信機** 電信機は**發信機** **受信機**及び二局を連絡する**架空線**からなる。受信機の要部は電磁石Mとこれに接近した軟鐵片Fで、電



第127圖：單信式電信機。



鍵K・架空線電磁石のコイル,地面E及び電池Bで一つの電流回路を形作つてあるから,電鍵によつて回路を閉ざすと軟鐵片は引付けられて撃音を發する. この撃音の間の長短時間を種々に組合せて音信記號を送受する. 以上は單信式電信機の説明であるが,實際使用されてゐるのは複信式



第128圖: 複信式電信機.

と稱し左圖に示すやうに各局で發信機と受信機とを組合せた装置を用ひる. 遠隔の地では電流が弱くなるから繼電器を附して作用を強くする.

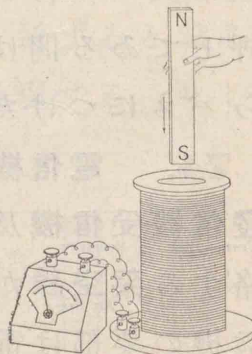
Relay

### 第六章 感應電流

#### 75. 感應電流

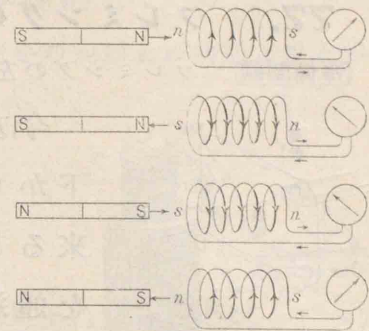
**實驗** コイルと電流計をつなぎ,コイルに棒磁石のN極或はS極を挿入するとき及び引出すときの作用を調べよ.

コイルに電流を通ずると磁場を生ずるが,反對にコイルに磁石を挿入し又は引出すときはコイ



第129圖: 感應電流.

ルに電流が起る. 即ちコイルのある場所の磁場の強さが變化するとき電流を生ずる. この現象を電磁感應といひ,生じた電流を感應電流といふ.



第130圖: 感應電流の方向.

感應電流の強さはコイルの卷數の多い程,また磁場の變化の急激な程大きい.

**76. レンツの定律** コイルに或磁極を近づけるときは,コイルのこれに近い端に同種の極を生ずるやうな電流が流れて斥力を起し,反對に磁極を遠去けるときは,これに近く異種の極を生じて引力を起す.

コイルに起る感應電流の方向は,新しく生じたコイルの磁場によつて元の磁石の運動を妨害しようとするやうな方向に流れる.

これを**レンツの定律**といふ.

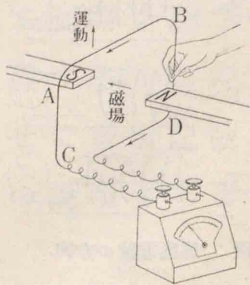
Lenz's law

上の現象は運動に對する摩擦などのやうに,エネルギーの急激な變化に對する抵抗であつて,これに逆つてなす仕事が電流のエネルギーに變化するものである.



### 77. フレミングの右手の規則

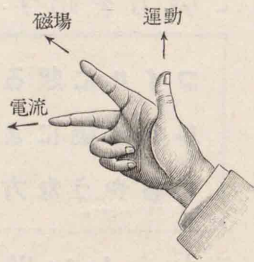
豫備問題 フレミングの左手の規則を述べよ。



第131圖：フレミングの右手の規則を示す實驗。

今、左圖のやうな矩形の回路を下から磁石の兩極の間にもつて來るとすれば、邊 AB が磁極の間を通過する際、回路内を貫く磁力線の數が増加するから、これを妨げるやうな反對の向きの磁力線を生ずる DBAC 方向の電流が回路内に生じて、磁石の兩極間の磁力線を打消さうとする（レンツの定律）。矩形の下の邊 CD が磁極の間を上の方へ通過するときは、回路を貫く磁力線が反對に減少するから、回路内に BDCA 方向の電流を生じて磁力線を増加させるやうになる。

かやうに回路の一部をなす導線が磁場を横切るときは、これに感應電流を生ずる。そしてその方向は次の規則に従ふ。



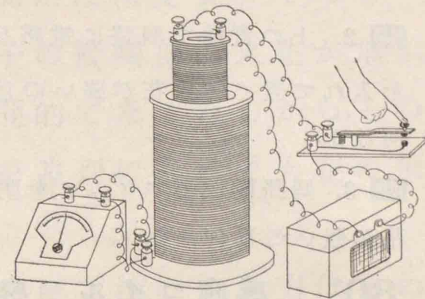
第132圖：フレミングの右手の規則。

右手の拇指・中指・食指を互に直角に伸ばして、拇指を運動の方向に、食指を磁場の方向に向けると、中指の方向に感應電流が起る。

これをフレミングの右手の規則といふ。  
Fleming's right hand rule

問 フレミングの右手の規則と左手の規則との共通な點と相異してゐる點を述べよ。

78. 相互感應 感應電流の實驗で磁石の代りに電流の流れつゝあるコイルを用ひても同様である。このとき電流の流れてゐるコイルを挿入したり引出したりする代りに電流回路を開閉しても同様である。即ち二つのコイルを置いて一方のコイルの回路を閉ざせば、他方に元の電流と反對方向の電流を生じ、回路を開けば同方向の電流を生ずる。これを相互感應といふ。  
Mutual induction



第133圖：相互感應。

79. 自己感應 上の相互感應の場合のコイル二つの代りに一つのコイルを用ひてその回路を開閉する際も、感應電流を生ずる。この現象を自己感應といふ。  
Self induction その結果、回路を閉ざすときは反對方向の電動力を生ずるために、電流は直ぐにオームの定律で與へられる値に達せず徐々に増加する。また回路を開くときは同方向の電動力を生ずるために火花が出る。



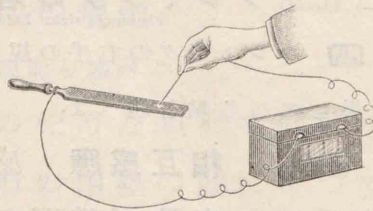
問 1. 電池の一極を鏡に連結し

他の極に結んだ導線で鏡を磨ると火花が出るのは何故か(右圖).

問 2. 上の實驗で回路に電磁石

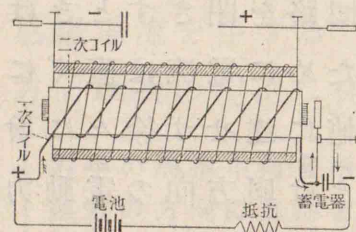
を入れて置くと火花が強いのは何故か.

問 3. 回路開閉器(スイッチ)を閉ぢるときよりも開くときに火花が強いのは何故か.



第 134 圖：自己感應による火花.

80. 感應コイル 感應コイルは電磁感應を利用して大きな電動力を起す装置で、その主要部は軟鐵心に稍太い導線を絶縁して巻いた一次コイルと、その外側に細い導線を數萬乃至數十萬回巻いた二次コイルである。そして軟鐵心に近く電鈴の場合のやうなバネ装置の梃子があつて電流を斷續させる。一次コイルの回路がこれによつて開閉される度毎に感應によつて二次コイルに大きな電動力が誘起され、空氣を通して火花が飛ぶ。一次コイルの回路が閉ざされるときは、電



第 135 圖：感應コイル.

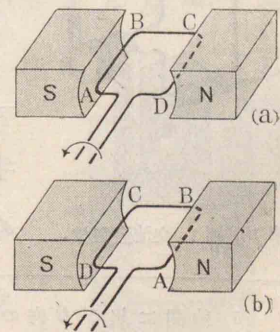
流は自己感應のために急に増加することができないから二次コイルの感應電流も小さいが、回路が開かれるときは瞬間的であ

るから感應電流も大きい。従つて二次コイルの感應電流は主として一次回路の開かれるときの感應電流であるから方向がほぼ定まつてゐる。また一次回路の斷續梃子の接觸部に火花が飛ぶと電流の切れるのが瞬間的でなくなるから、その接觸部の兩端に蓄電器を並列に入れて火花の飛ばないやうにしてある。

二次コイルに生じた感應電流の電動力はその火花間隙の距離で知れる。

81. 交流と直流 今、第 136 圖に示すやうに磁極の間に矩形のコイルを廻轉させると、コイル面が磁場に直角のときは針金 AB, CD の運動方向は磁場の方向であるから、感應電流は起らないが、コイルの面が磁場と平行で圖の(a)のやうになつたときは、 $\overrightarrow{ABCD}$  向きの感應電流が起る(フレミングの右手の規則)。180° 廻轉して圖

の(b)のやうになると  $\overrightarrow{DCBA}$  向きの電流が起る。この電流を取出すやうにすると半廻轉毎に方向の變る電流が得られる。かやうに週期的に方向の變る電流を交流(A.C.)といふ。そし



第 136 圖：交流發電機の原理.

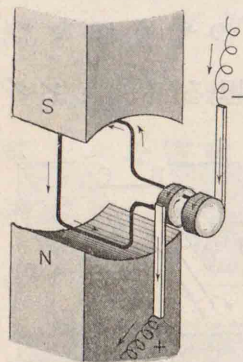


て同じ状態に戻る週期的變化を**周波** (サイクル) Cycle <sup>1)</sup> といひ、その1秒間の數を**周波數** Frequency といふ。普通電燈などには50或は60サイクルの交流が用ひられてゐる。

交流に對して方向の一定してゐる電流を**直流** Direct current (D.C.) といふ。

☐ 交流でつけた電燈の下で白い細い棒を速く動かすと縞になつて見えるのは何故か。

**82. 發電機と電動機** 實際の**交流發電機** Alternator では、先づ直流で電磁石を働かせ、軟鐵心の周りに絶縁導線を幾重にも巻いた**發電子** Armature をその極の間で廻轉させる。この發電子の軸に金屬環を二つ取付け、コイルの兩端がこれにそれぞれ連絡してある。



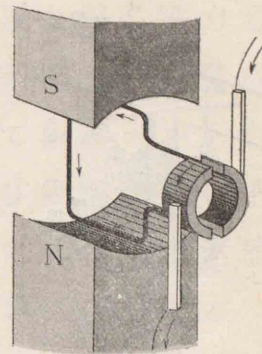
第137圖：交流發電機。

そしてこの金屬環に金屬刷毛を接觸して置いて發生した電流を取出す。

接觸金屬環を二つ置かないで一つの金屬環を二つの半圓に切半してその切れ目を絶縁體で填め、コイルの兩端をそれぞれの半

1) 1秒間に起る方向の變化する數を**交番數** Number of alternation といひ、周波數の2倍に等しい。即ち50サイクルの交流の交番數は100である。

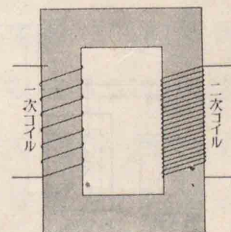
圓環に連絡し、二つの金屬刷毛を別々にこれ等に接觸するやうにすれば、刷毛からは常に同方向の電流が得られる。**直流發電機** Dynamo はかやうにして作つたものである。



第138圖：直流發電機。

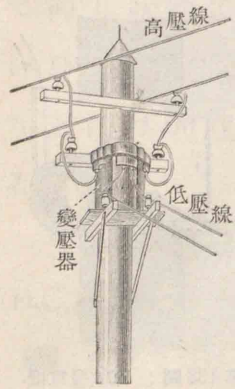
發電機の發電子に外から電流を與へると、電磁力によつて廻轉を起す。**電動機** (モーター) Motor はこの原理によつて作つたものである。電動機では發電機の發電子に相當するものを**電動子** Armature といふ。電動機は發電機とは反對に電氣的エネルギーを機械的のエネルギーに變ずるものとして廣く用ひられる。

**83. 變壓器** 直流の電動力は感應コイルによつて大きくされるが、やはり感應電流を利用して交流の電壓を昇降させる装置を**變壓器** Transformer といふ。變壓器の主要部は軟鐵心に一次コイル及び二次コイルを巻いたもので、一次コイルに交流を送れば二次コイルには相互感應によつて同じ周波數の交流を生じ、その電壓はほぼその巻數に比例するから、それぞれのコイルの巻數の比を適當にして置けば、所要の



第139圖：變壓器の理。





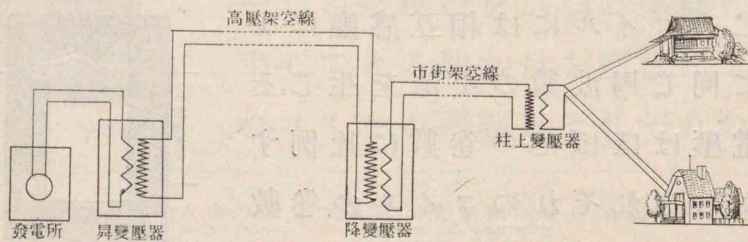
第140圖：變壓器

電壓に上げることも下げることもできる。然し二次コイルの巻数を一次コイルの  $n$  倍にすれば電圧は  $n$  倍になるが、電流の強さは  $\frac{1}{n}$  になる。

何故なれば電力は電流の強さと電圧との積で與へられ、且つ電氣エネルギー

ギアが増加されることはないから電圧が  $n$  倍となれば電流は  $\frac{1}{n}$  に減少しなければならぬからである。

84. 電力の輸送 市中に於て電燈や動力に使つてゐる交流は普通 100 乃至 200 ボルトであるが、發電所に於て火力または水力によつて起される交流は數千ボルトの電壓を有する。電流を遠隔の地に送るときは導線の抵抗のために電流の一部は熱となつて散逸する。これを防ぐには導線を太くしなければならぬが、不經濟であるから



第141圖：電力輸送の圖

電壓を高くし電流を小さくして送り、同じ電力で途中の消耗を少なくする(ジュールの定律)。故に發電機から出た電流は變壓器によつて數萬ボルトの電流として遠隔の地に輸送し、再び變壓所で數千ボルトに下げて市中に送り、電柱につけた變壓器で更に 100 ボルト位に下げて各戸に供給する。

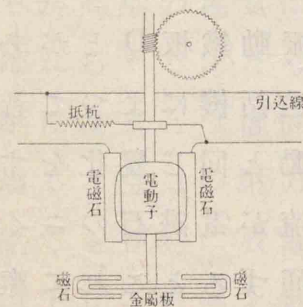
問 實用には直流より交流を多く用ひる理由如何。

85. 積算電力計 Kilowatt hour meter

は供給された電力と使用時間との積即ち電氣エネルギーを測る装置であつて、その原理は一つの小電動機と同じである。電動機の電磁石は使用電流と直列に連絡し、電動子は大きな抵抗と共に並列に連絡してあるから、電磁石を流れる電流は使用電流に比例し、電動子を流れる電流は電圧に比例する。従つてその廻轉の速さは電力に比例する。電動子には永久磁石の間に廻轉する圓板が連結されてゐて、圓板の廻轉と共に圓板に生じた感應電流のため、その廻轉の速さが制禦されるやうになつてゐる。電動子の廻轉した總數は電力と時間の相乗積に比例するから、この廻轉



第142圖：積算電力計



第143圖：積算電力計の構造

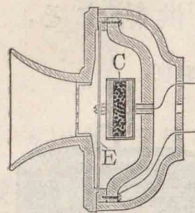
子には永久磁石の間に廻轉する圓板が連結されてゐて、圓板の廻轉と共に圓板に生じた感應電流のため、その廻轉の速さが制禦されるやうになつてゐる。電動子の廻轉した總數は電力と時間の相乗積に比例するから、この廻轉



數を指針で讀むやうになつてゐる。

**86. 電話機** 電話機は音のエネルギーを電氣エネルギーに變へて遠方に送る装置である。

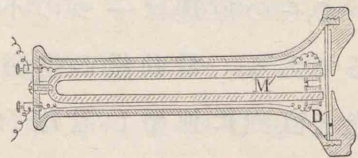
送話機は炭素粒を入れた函Cとこれに接續してゐる振動板Eとからなる。これに電池を直列に



第144圖：送話機。

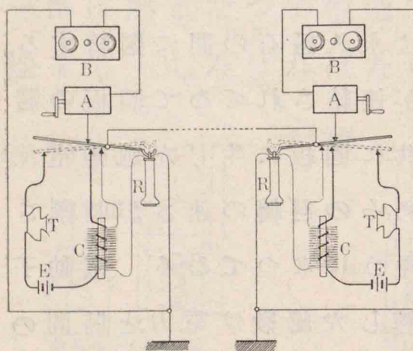
つなぐと、炭素はその接觸の良否によつて著しく電氣抵抗を變化するものであるから、振動板に向つて話をすると音聲の振動と共に振動板が振動して炭素粒の抵抗が變化す

るから、電流に強弱が出来る。この電流を一度變壓器によつて電壓を高くして遠方の受話機に送る。



第145圖：受話機。

受話機には永久磁石Mの先に小さい電磁石をつけたものと、これに近づけた振動鐵板Dとがある。



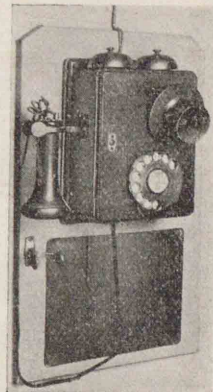
第146圖：實際の電話機の連絡。

送話機によつて音の振動と同じ變化をする電流が電磁石のコイルに通ずると、これに應じて鐵板が振動するか

らこゝに音聲が再生される。

實際には各電話機に送話機T・受話機R・電池E・呼鈴B及び手働電動機Aが附いてゐて、受話機をかけたまゝ手働電動機を廻すと呼鈴が鳴る。次に双方受話機をはづすと通話ができる(第146圖参照)。

新しい装置では、加入者毎に電池と電動機を具へるやうにしないで、交換局から電流を供給してゐるから、受話機をはづすと同時に相手方の呼鈴が鳴らされる。



第147圖：自動式電話機。

### 第七章 眞空放電

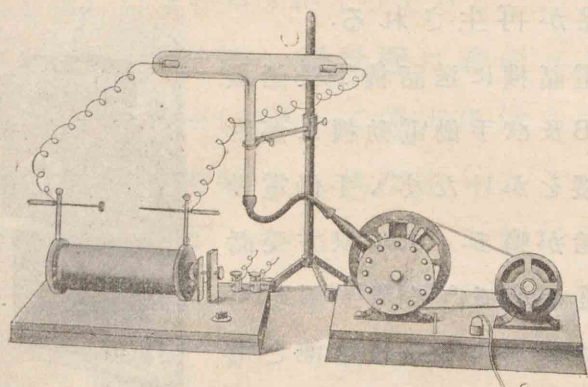
#### 87. 眞空放電

豫備問題 ① 空氣は電氣の良導體か不良導體か。

② 雷はどういふ原因によつて起るか。

空氣は電壓の低い電流に對しては不導體であるが、高壓の電氣になると空氣を通して放電が行はれるやうになる。例へば 30000 ボルト位の電壓になると、1 厘位の空氣層を通して火花放電が起る。空氣の壓力が小さくなると、もつと低い電壓でも容易に放電が起る。兩端に電極を有する硝子管の兩極を感應コイルの兩極に連結して漸次管内の空氣を抜いて行くと、先づ始めは赤紫色





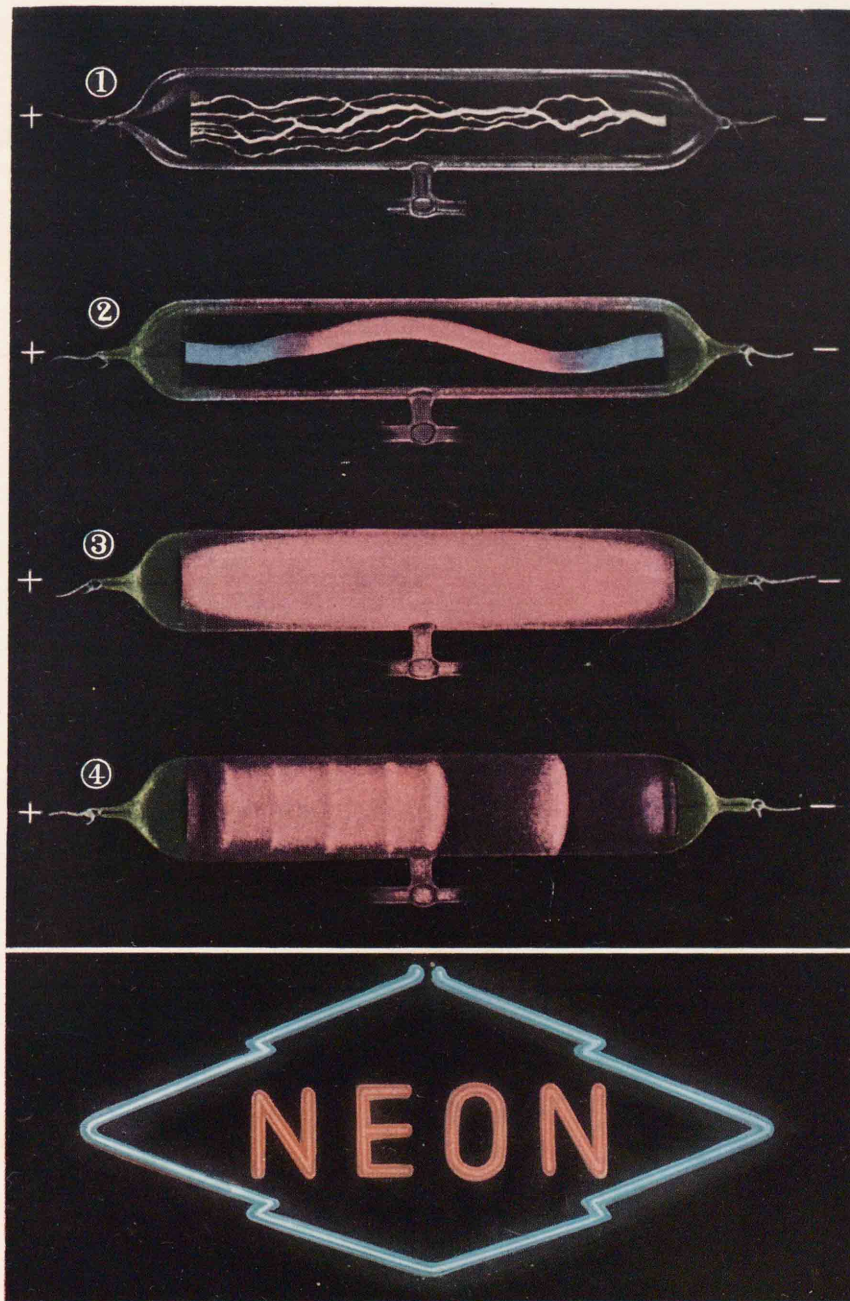
第148圖：真空放電の装置

の紐状の光  
が出来、更に  
空気を抜い  
て行くと管  
全體が赤紫  
色に光り、次  
に壓力が1  
耗以下にな

ると鱗片状に切れた光を生じ、壓力が減ると共にその層が粗く数が少くなる。この程度の壓力の真空放電管を**ガイスレル管**といふ。ガイスレル管内に空氣の代りに水素とかヘリウムその他の氣體を入れると、それぞれその物質に特有な色の光を出す。更に空気を抜いて1/1000耗以下になると管内は暗くなり、陰極に向き合つた管壁が黄綠色の螢光を放つ。この程度の壓力の真空放電管を**クルック管**といふ。

ネオン=ガスの入つたガイスレル管は強い赤色の光を放ち、ネオンと少量の水銀を封じたガイスレル管は青色の美しい光を放つから、これ等を**ネオン=サイン**と稱して廣告等に廣く用ひられる。

88. 陰極線と電子 特殊な形をしたクルック

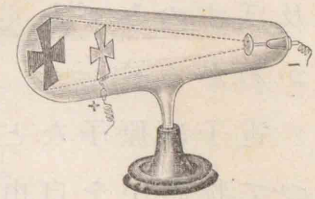


上圖 真空放電 ①1氣壓(760耗) ②1/4氣壓(190耗) ③1/30氣壓(38耗)  
④1/1000氣壓(0.76耗) 下圖 ネオン=サイン



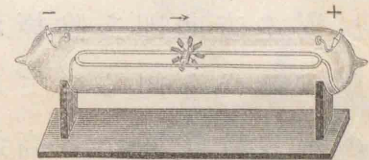
ス管を用ひて次のやうな實驗ができる。

(1)クルックス管の陽極を十字形のアルミニウム板で作ると陽極の後の管壁にはその蔭が出来る。

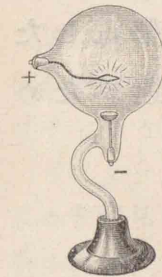


第149圖：陰極線の發光作用。

(2)クルックス管の陰陽兩極の間に廻轉移動の自由な雲母の小さい車を置くと、陽極の方に廻轉して行く。



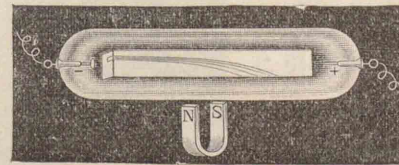
第150圖：陰極線の壓力。



第151圖：陰極線の熱作用

(3)陽極を薄い白金の板で作ると赤熱される。

(4)陰極の前に小さい隙間と、やゝ斜にした螢光板とを入れて置くと直線狀の螢光を生ずる。このとき管の外から磁石を近づけると光は曲げられる。



第152圖：陰極線に對する磁場の作用。

これ等の現象からクルックス管の陰極から一種の輻射線が出る事が想像される。これを

陰極線といふ。この輻射線は上の(4)の實驗から陰電氣をもつた帶電微粒子の流れであることがわかる。この微粒子を電子Electronといふ。なほ上の實驗から陰極線は、物體に當ると螢光を發し、壓力を



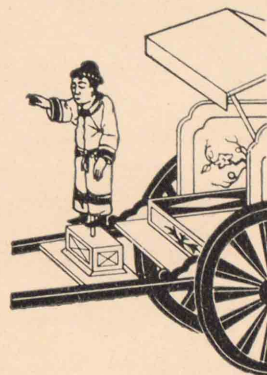
及ぼすのみでなく、強い熱作用をもつてゐることがわかる。

電子は原子などよりずっと小さい微粒子であつて、物體中を自由に高速度で運動し得る。導體中に電流の流れるのもこの電子が電流の方向と反對の方向即ち陰極から陽極の方へ高速度で運動するから起るのである。火花放電や真空放電の現象は陰極から高速度で飛出した電子が氣體の分子や原子に衝突して、これを陰陽に帯電した微粒子即ち**イオン**<sup>Ion</sup>にしてそれが電気を運ぶために起る現象である。



## 磁気・電気

紀元數世紀前ギリシヤ人はマグネシヤといふ所から出る磁鐵鏝が鐵を吸引することを知つてゐた。支那でもその頃、吊した磁針が南北を指すことや指南車といふものがあつて方向を指示したことが書物に見える。指南車の原理は明かでないが恐らく磁石を用ひたものであらう。また秦の時代(紀元前246-207)には既に航海に羅針盤を用ひてゐたが、西洋でこれが航海に用ひられるやうになつたのは15世紀の終り頃である。



指南車

方位角の存在は早くから知られてゐたが、これが地球上の場所によつて異なることはコロンバス(Columbus)によつて發見された。

イタリー人コポルタ(Co-Porta, 1600年頃)は鋼を磁石で磁化させることを發見した。また彼は磁極には互に引き合ふ友極と互に斥け合ふ敵極とがあることを述べてゐる。この現象を學術的に研究したのはイギリス人ギルベルト(Gilbert, 1540-1603)である。又ギルベルトが地球を一つの大きな磁石と考へたことは正當であつたが、天體が互に引合ふのもこの磁氣作用のためであると考へたのは誤であつた。



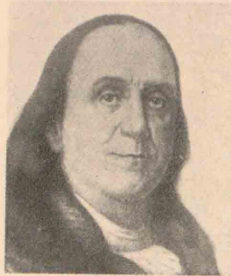
ギルベルト

磁場の概念を磁力線に基いて説明したのはイギリスのフラデー(Faraday, 1791-1867)である。琥珀を摩擦すると軽いものを引つけるやうになることはギリシヤ時代から知られてゐた。ギルベルトは琥珀に限らず、多くの物體は摩擦によつて同様の性質を帯びることを發見した。ギエリックは1663年始めて摩擦發電機を作つた。これは硫黄製の球を廻轉させ、これを手で摩擦して電気を起す装置である。





今日のやうな摩擦発電機は18世紀の中頃に出来た。



フランクリン

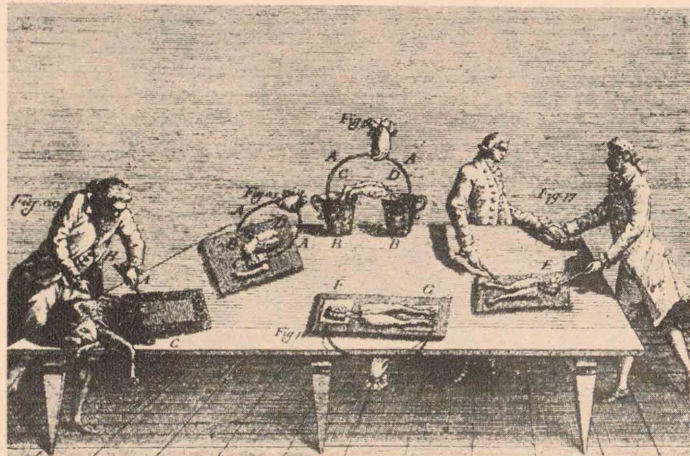
フランス人デュフェー(Du Fay, 1692-1739)は樹脂に起る電気と硝子に起る電気は性質が違つてゐることに氣付き、電気を二種の流體の作用と考へた。活版徒弟から大政治家となり、物理學者となつたフランクリン(Franklin, 1706-1790)はこれに對して一流體説を出した。そしてその

量によつて正負帯電體が出来ると考へた。彼が雷雨中に風を揚げて雷光が電気の作用であることを證明したのは有名な話である。

フランス人クーロン(Coulomb, 1736-1806)は實驗的に正負電気の引力が兩電気量の相乗積に比例することを發見した。イタリーの解剖學者ガルバニ(Galvani, 1737-1798)は蛙の足を金屬板上に載せ、金屬板と蛙の神經を針金で連絡すると痙攣を起すのを見て所謂ガルバニの電流を



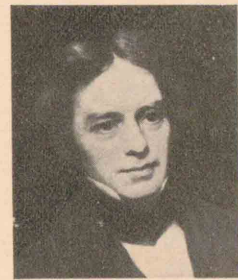
ガルバニ



ガルバニの實驗



ボルタ



ファラデー



オーム

發見した。

イタリー人ボルタ(Volta, 1745-1827)は二種の金屬を溶液中に對立させると、電流が生ずることを發見した。これが電池の最初であつて、その後多數の人々によつて電流の種々な作用が盛んに研究されるに到つた。イギリス人ファラデーは鐵心コイルを作つて、感應電流



アンペア



エヂソン

を發見し、ドイツ人オーム(Ohm, 1787-1854)は針金の抵抗を研究してオームの定律を立て、デビーは1820年弧燈を發明し、アメリカのエヂソン(Edison, 1847-1931)は炭素線條を用ひた白熱燈を作り出し、デンマーク

人エルステッド(Oersted, 1777-1851)は電流の磁氣作用を發見し、フランス人アンペア(Ampère, 1775-1836)は電流の相互作用を研究し、同方向の電流は互に引合ひ、反対方向の電流は互に斥け合ふことに氣付き、遂にアンペアの定律を纏め上げた。

電磁機械によつて信號を送受する方法はドイツのガウス(Gauss)及びウェーベル(Weber)の二人



モルス





ベル

によつて始めて行はれたが、實用的の電信機を始めて作つて通信に一大革命を齎したのはアメリカ人モルス(Morse, 1791-1872)である。

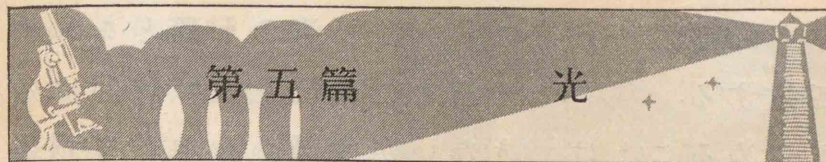
電話機はドイツ人ライス(Reis, 1834-1874)が1861年に始めて作つたが、まだ實用的のものにはならなかつた。1876年アメリカ人ベル(Bell, 1847-1922)が始めて實用的の電話機を製作し、殊にその受話機は今日でもなほ使用されてゐる。

ファラデーは電氣感應の發見に續いて發電機や電動機を計畫したが實用的のものにならなかつた。その後ドイツ人シーメンス(Siemens)、イギリス人ワイルド(Wilde)その他の人々の研究が綜合されて遂に完全なものが出來た。

1879年ドイツベルリンの勸業博覽會に始めて電氣鐵道が出品された。また1891年にはドイツネッカ川の水力タービンによつて、直流電流を起し、175軒隔たつたフランクフルト=アンマイン市まで電力を輸送することに成功した。



ベルの電話機



## 第一章 光度と照度

### 89. 光線

**豫備問題** ① 暗室で物が見えないのは何故か。

② 太陽と月とでは光の出し方に違ひがあるか。

③ 光はどんな途をとつて進むか。

④ 花火が見えてから暫くして音の聞えるのは何故か。

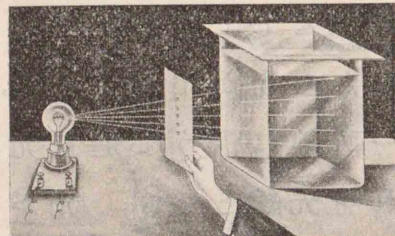
太陽や電燈のやうに自ら光を出してゐるものを**發光體**といふ。光もエネルギーの一種であるから、發光體は絶えずエネルギーを輻射してゐる。自らは光を出さないが、他から受けた光を反射して始めてその位置や形が認められるものを**暗體**といふ。物體には光を透過する**透明體**と透過しない**不透明體**とある。發光體でも暗體でも光を出してゐるときはこれを**光源**として取扱ふ。

組織一様な物質中で一點から光が出るときは、各方向に直線的に進む。一直線に沿うて進む光の一部分を考へるときこれを**光線**といふ。光が眞空中を進む速さは極めて大で、毎秒 300000 軒即

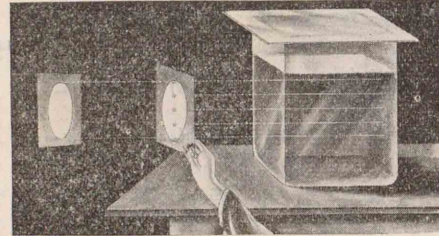


ち  $3 \times 10^{10}$  糶で、氣體の中を進む速さも殆どこれに匹敵する。従つて地上の二點間を進む時間は殆ど認めることはできないが、太陽から地球に到達するには8分20秒かゝり、他の恒星からは一番近いものでも四年近くかゝる。宇宙はそれ程廣大であるから、星の距離を比較するには光が一年間に進む距離即ち  $9.5 \times 10^{17}$  糶を單位にとつてこれを1光年といふ。  
Light year

90. 平行光線・發散光線・收斂光線 光源が近い所にあると、それから出る各光線は傘の骨のやうに光源を中心として廣がつて行くが、光源が非常に遠い所にあると、この廣がりひろがりが小さくなつて認められない。黒い紙に小さい孔を數個あけて弧燈或は線條の密集した電球の光を通すと或角をなして廣がつて行く光線の一群が得られる。然しこれで太陽の光を通すと各光線は平行してゐる。前者のやうな光線の集りを發散光線といふ。  
Divergent rays

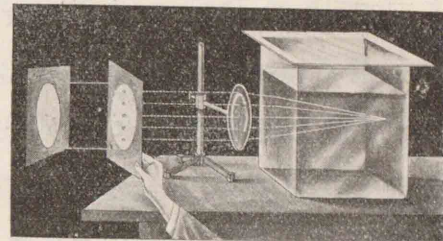


第153圖：發散光線



第154圖：平行光線

ひ、後者を平行光線Parallel raysといふ。平行光線や發散光線はレンズや凹面鏡を用ひて一點に集合して行く收斂光線Convergent raysにすることができ、收斂光線の集まる點を光源の像點Image pointといふ。



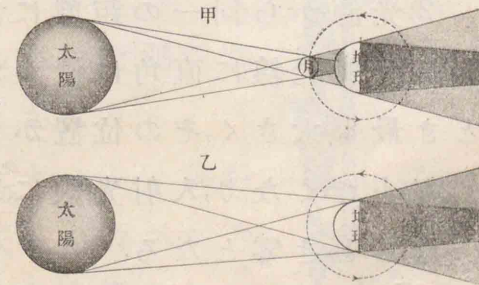
第155圖：收斂光線

### 91. 影

- 【豫備問題】① 繁つた木の間を漏れる日光は地上にどんな影を映するか。  
 ② 電柱の影は濃い、電線の影の薄いのは何故か。

光の進む途を不透明體で遮ると影Shadowが出来る。光源が點と看做し得る程小さいときは影の輪郭は鮮銳であるが、光源が大きいと光の全く來ない本影Umbraと一部分來る半影Penumbraとが出来る。

月が太陽と地球の間に來て地球表面に影を投ずるとき日食Solar eclipsが起る。このとき月の本影に入つた部分では皆既食、半影に入つた部分では部分食部分食や金環食金環食が起る。



第156圖：日食(甲)と月食(乙)

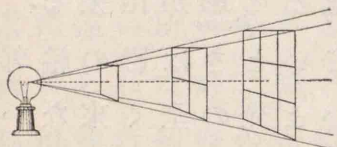
1) 太陽の中央部だけが月に蔽はれて周縁が輝いて見える。



また月と太陽との間に地球が入つて、月の表面に地球の本影が投ずると**月食**が起る。月が地球の本影中に入つてしまうと皆既食になり、一部分が本影にかゝると部分食を生ずる。

問 日食は新月のとき、月食は満月のとき起るのは何故か。

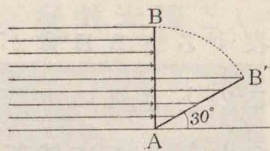
92. 照度 不透明體が光を受けたとき、その明るさはその単位面積が受ける光のエネルギーの量で測り、これをその面の**照度**又は**照明**といふ。光線は直線に沿うて進む結果、光源からの距離が1:2:3...の比に應じ表面積がそれぞれ1:4:9...なる面が受ける光のエネルギーの總量は同一であるから、



第157圖：照度と距離との關係。

(1) 或一つの面の照度は光源からの距離の自乗に逆比例する。

(2) 光源から同一の距離に於ける照度はその表面が入射光線に直角に置かれたとき最も大きく、その位置から傾く程小さくなり、入射光線に平行になるとき零となる。

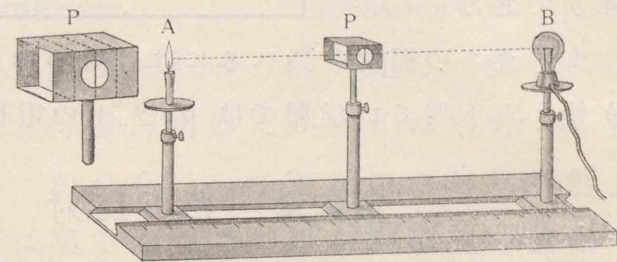


第158圖：入射角と照度との關係。

93. 光度 光源の光の強さを比較するには光源からの単位距離に於て入射光線に對して直

角にある面の照度を以てする。これを光源の**光度**といふ。光度を測る装置を**光度計**といふ。

光度計には種々あるが、**ジョリーの光度計**は二つのパラフィン板の間に錫箔を挟んだものを比較すべき兩光源の間に入れてみる。これを側面から見て、兩パラフィン板の明るさが等しくなるやうに兩光源の距離を調節する。このときのパラフィン板から兩光源までの距離をそれぞれ  $r_1, r_2$  とし、その光度をそれぞれ  $I_1, I_2$  とすれば

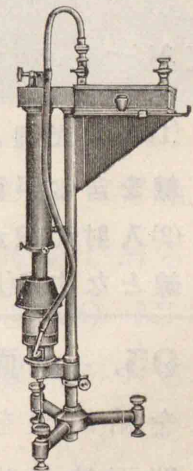


第159圖：ジョリーの光度計 (Pは光度計)。

$$\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2} \quad \text{従つて} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

の關係が成立つから距離を測つて光度を測定することができる。

光度の單位を**燭光**といふ。我が國では國際的に規定されたペンテーン燈の光度の1/10を1燭光として採用してゐる。



第160圖：ペンテーン燈。



1 燭光の光源から 1 米を隔てた光線に直角な面の照度を**米燭**(ルクス)といひ、照度の単位とする。  
Candle meter Lux

我々の日常生活に  
 適当な照度は右表の  
 通りである。

書齋の机上、臺所の流し臺	50~100ルクス
居間・應接間・食堂・浴室	20~50 //
寢室・物置・廊下	10~30 //

1 ルクスの照度を與へるには普通の和室では 1 坪當り約 1 ワット、明るい洋間では 0.6 ワットの電燈を要する。

## 第二章 光の反射

### 94. 反射の定律

**豫備問題** ① 光の反射は如何なる定律に従ふか。

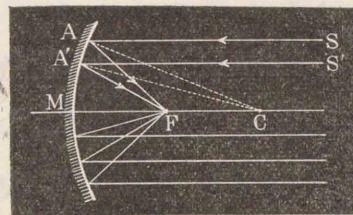
② 光の反射を應用した器械を擧げよ。

滑かな物體の面に光が入射するとき、光は一部反射する。このとき光は次の定律に従ふ。

- (1) 入射光線と反射光線とは入射した點に立てた垂線を含む平面内にあつて垂線の兩側にある。
- (2) 入射光線が垂線となす角(入射角)と反射光線が垂線となす角(反射角)とは相等しい。

### 95. 凹面鏡

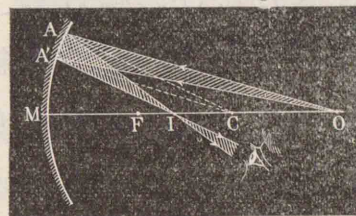
凹面鏡の球心 O と鏡の中心 M とを結ぶ線を**凹面鏡の軸**といひ、M を**鏡心**といふ。  
Axis of concave mirror Center of mirror  
 今、凹面鏡が球面の僅かな一部分から出來てあるとし、第 161 圖の S の如き點から光が鏡軸に平行



第 161 圖：凹面鏡の焦點。

に A 點に入射したとすると、A 點に立てた垂線は AC であるから、反射の定律によつて反射光は  $\angle SAC = \angle CAF$

を満足するやうな AF の方向へ進む。然るに三角形 ACF は二等邊三角形だから F は殆ど MC の中點になる。かやうにして鏡軸に平行に入射した光は皆 F に集るから、この點を凹面鏡の**焦點**といふ。そして  $MF = \frac{r}{2}$  (r は球面の半徑) の長さを**焦點距離**といひ、f で表はす。



第 162 圖：凹面鏡の共軛點。

光源が軸上の O 點にあるとき、O から A 點に入射した光線は、入射角が軸に平行な光線の場合よりも小さいから、反射した後 C と F の間の點 I で軸と交はる。他の點に入射した光線も同様であるから O 點の像は I に出來る。このとき MO, MI の距離をそれぞれ a, b とすれば、次の關係がある。

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f}$$

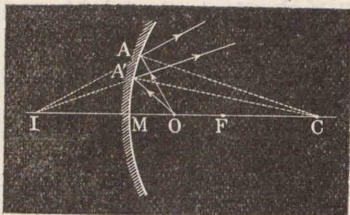
逆に I 點に光源があると、O 點がその像點にな



る。I 及び O 点を共軛点といふ。

Conjugate points

光源 O が M と F との間であれば、反射光は發散



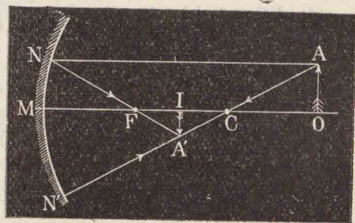
第 163 圖：凹面鏡による虚像。

る像を實像といふ。

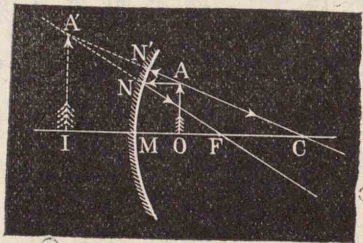
Real image

96. 物体の像の描き方 今、凹面鏡の球心より外に AO の如き物体があるとす。凹面鏡の軸上の点 O の像は軸上に結び、軸外の点 A の像はやはり A, C を結ぶ線上に結ぶ。また A 点から軸に平行に來て N 点に入射した光線は NF の方向に反射するから、A 点から出た光は反射の後に NF, AC の交点 A' に收斂して像を作る。従つて物体 AO は倒立した小さい實像を AI の位置に作る。また物体が焦点より鏡に近い

光線となつて鏡の背後の I に光源があるやうに見えるから、これを虚像といひ、これに對して前のやうな收斂光線によつて出来る像を實像といふ。



第 164 圖：凹面鏡による實像の作圖。



第 165 圖：凹面鏡による虚像の作圖。

物体が焦点より鏡に近い

点にあると同じやうな作圖によつて鏡の後に實物よりも大きい正立した虚像を作る。

問 1. 物体が凹面鏡の球心と焦点との間にあるときの像を作圖せよ。

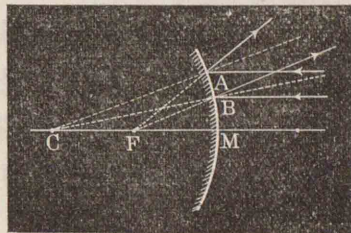
問 2. 物体の大きいさと像の大きいさとの比は鏡心からのそれぞれの距離の比に等しいことを證せ。

問 3. 半径 60 厘の凹面鏡の前方 120 厘の所にある長さ 5 厘の物体の像の位置と大きいさ如何。

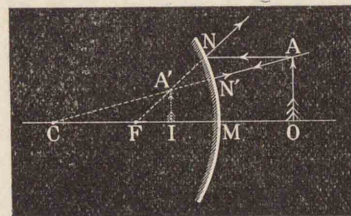
97. 凸面鏡 凸面鏡

Convex mirror

の軸に平行に入射した光は、球心 C と鏡の中心 M との中点 F から發散した光線のやうに反射する。凸



第 166 圖：凸面鏡の焦点。



第 167 圖：凸面鏡による物体の像の作圖。

面鏡による物体の像も凹面鏡の場合と類似の方法で求めると常に鏡の後に實物より小さい正立した虚像が得られる。

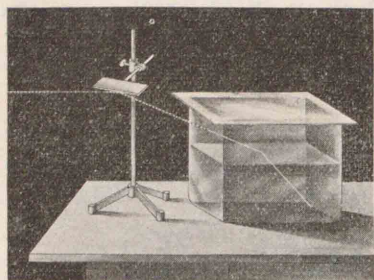
第三章 光の屈折

98. 屈折の定律

豫備問題 ① 水中の物体が浅く見えるのは何故か。

② 水中に挿込んだ棒が水面の所で折れて見えるのは何故か。





第168圖：屈折の實驗。

光が甲物質から乙物質へ入射するとき、その境界面に於て光の一部は反射するが、一部は方向を變へて乙物質中に進む。この現象を光の**屈折**といふ。

Refraction

光の屈折は次の定律に従ふ。

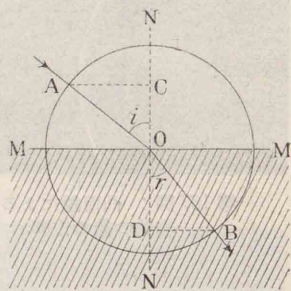
- (1)入射光線と屈折光線とは入射點に立てた垂線を含む平面内にあつて垂線の兩側にある。
- (2)入射角( $i$ )の正弦と屈折角( $r$ )の正弦の比は入射角の大小に關らず二物質によつて特有な**常數**である。

即ち  $\frac{\sin i}{\sin r} = \text{一定} = n$

この  $n$  を乙物質の甲物質に對する**屈折率**といふ。

Index of refraction

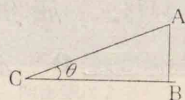
屈折率は光の色によつて異なるが、次頁の表に種々の物質の空氣に對する黄色光についての屈折率を掲げる。



第169圖：屈折の定律。

1) 或角( $\theta$ )の正弦とはこの角を一角とする直角三角形 ABC を作る時、 $\theta$ の對邊 AB と斜邊 AC との比をいひ、これを  $\sin \theta$  で表はす。即ち

$\sin \theta = \frac{AB}{AC}$

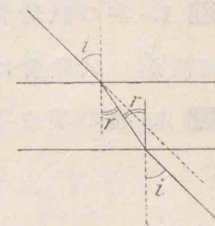


乙物質の甲物質に對する屈折率が、1より大きいとき乙物質は甲物質よりも**密**であるといひ、1より小さいときは**疎**であるといふ。

屈折率表 (黄色光によるもの)	
水	1.334
アルコール	1.362
二硫化炭素	1.631
硝子	1.5~1.7
金剛石	2.47

光が水中より空氣中に出るときは  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{1.334} = \frac{3}{4}$  であるから、屈折光線と垂線とのなす角は入射光線と垂線とのなす角よりも大きい。従つて空氣中にある兩面が平行な物質の層を通過した光は入射光線と平行になる。

氣體中でも光が密度の異なる物質の間を通過するときは屈折する。地表の空氣は上層ほど稀薄であるから、大氣中の光の途は一般に曲げられる。

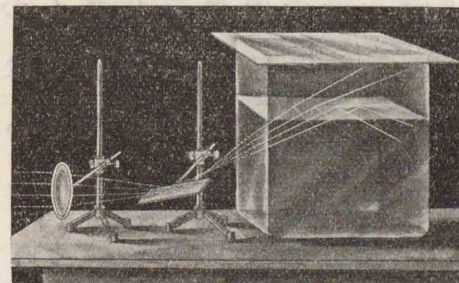


第170圖：兩面が平行な物質の層による光の屈折。

問1. 太陽が地平線に没する見掛けの時刻は實際の時刻よりも遅れてゐる。何故か。

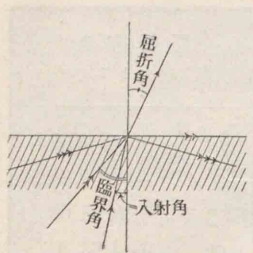
問2. 星の見掛けの位置は實際の位置よりも高い。何故か。

99. 全反射 光を密なる物質の方から疎なる物質との境界面に向つて種々の角で入射させると、屈折角は常に入射角よ



第171圖：全反射の實驗。





第172圖：全反射と臨界角。

りも大きい。従つて屈折角が90°になつても入射角はまだ90°に達しない。このときの入射角を臨界角Critical angleといひ、それより大きな角で入射した光は全部反射の定律によつて元の物質中に反射する。

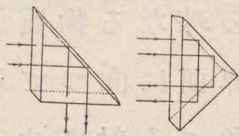
この現象を全反射Total reflectionといふ。空氣に對する水の臨界角は約49°で、硝子では42°内外である。

問1. 空の試験管を水中に押込むと表面が光つて見えるのは何故か。試験管に水を満したらどうなるか。

問2. 蓮の葉や芋の葉を水中に入れると光つて見えるのは何故か。

100. プリズム 切口が三角形をなした柱形の透明體をプリズムPrismといふ。その切口が正三角形のものや、二等邊三角形・直角三角形のものなどが普通に用ひられる。

硝子製の直角プリズムの一つの面に直角に光を入射させると、他の面では入射角が45°となつて、硝子の臨界角よりも大きいから全反射して、右圖に示すやうに光の進む方向が變へられる。このときは光の強さが減ずることな



第173圖：直角プリズムの用ひ方。

く、像は平面鏡に於けるやうに左右又は上下が逆になるから、望遠鏡などで倒立した像を正立像にするに應用される。

### 101. 凸レンズ

豫備問題 ① レンズにはどんな種類があるか。

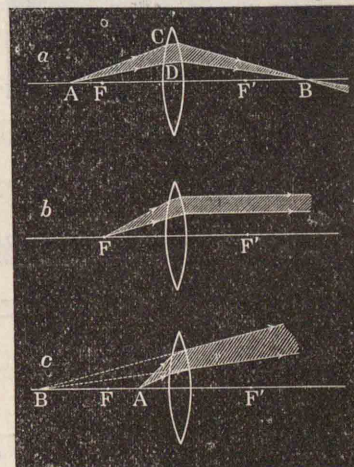
② 凸レンズと凹レンズの作用はどう違ふか。

軸に平行な光源を凸レンズに入射させると透過した光は焦點に集まる。光源が軸上の一<sup>点</sup>Aにあると、それから出た光は凸レンズを通過した後焦點よりも遠い軸上の一<sup>点</sup>Bに集る。即ち、BはAの實像である。焦點距離をf、レンズからA及びBまでの距離をそれぞれa、bとすると、これ等の間には次の關係がある。

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

逆にBに光源があると、Aに實像が出来る。かやうなA、Bの如き點をレンズの共軛點Conjugate pointsといふ(第174圖a)。

光源が焦點にあると透過光線は軸に平行な光線となる(第174圖b)。



第174圖：凸レンズの作用。

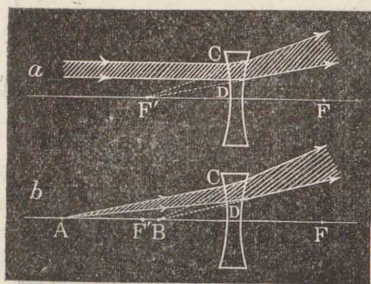


光源が焦点よりレンズに近い点Aにあると、光はレンズを透過した後一点に集らないで、恰もAと同じ側のFよりも遠い軸上の点Bから出た如き発散光線となる。このときBはAの虚像になる(第174図c)。

問1. 焦点距離20種のレンズから60種離れた軸上の点に光源がある。像の位置は如何。

問2. 上と同じレンズで光源が10種の所にあるときは如何。

102. 凸レンズ 軸に平行な光線が凹レンズに入射すると、透過光線は恰も入射光線側の焦点



第175図：凹レンズの作用。

から出た光のやうに発散される(第175図a)。また光源が軸上の一点Aにあるときも透過光線は恰も光源と同じ側の軸上の点B

から出たやうな発散光線となる。即ちBはAの虚像である(第175図b)。  
凹レンズに於ける物体と像との位置の関係は凸レンズの場合の式に於てbとfとを負にすればよい。

即ち 
$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = -\frac{1}{f}$$

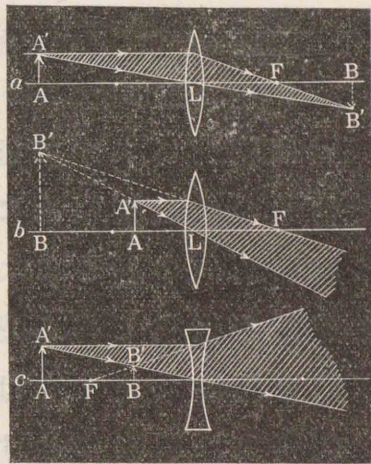
実験 燭火を凸レンズ及び凹レンズの軸上の種々の

点に置いて、生ずる像の位置を調べよ。

問 凹レンズで平行光線を作ることができるか。

103. レンズによる物体の像 光源が凸レン

ズの軸上にあるときは像点も軸上にあるが、光源が軸上にないときは光源とレンズの中心を結ぶ線上に像を結ぶ。右圖でA'点から軸に平行に入射した光は屈折後Fを通り、レンズの中心に向つた入射光は方向を變へないからB'の如き点がA'の像となる。



第176図：凸レンズによる物体の像(a,b)と凹レンズによる物体の像(c)。

よつて焦点より遠い所にある物体AA'は反対側に倒立した實像BB'を作り(第176図a)、焦点より内側にある物体は同じ側に正立した虚像を生ずる(第176図b)。凹レンズの場合も同様に物体と同じ側に常に物体よりも小さな正立した虚像を作る(第176図c)。

問1. 物体と像との大きさの比はレンズからのそれぞれの距離の比になることを證明せよ。

問2. 燭火と衝立を十分に離して置いて、レンズを動かして像を作ると明瞭な像の出来る位置が二つある。何故か。



### 第四章 レンズの應用

#### 104. 眼と眼鏡

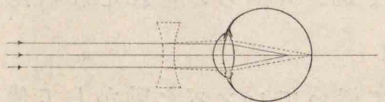
豫備問題 ① 眼の構造を述べよ.

② レンズを應用した器械を挙げよ.

眼は調節によつて近距離の物體から遠方までの物體の像を網膜上に作る事ができる. これは調節筋肉の働きによつて主として水晶體の焦點距離を變化し得るためである. 健全な眼では調節を行はないときは,無限の遠距離の物體の像が網膜上に明瞭に生ずる. また近距離は調節によつて15糎位まで見ることが出来る. 細かい物體を遠くに置いて見ると調節作用は少くてすむが,像が小さいから神經が疲勞する. またあまり近くに置いて見ると像は大きくなるが,調節作用のために疲れる. 眼にたいした疲勞を與へない



第177圖: 正視眼.

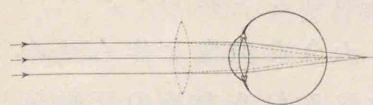


第178圖: 近視眼.

程度の調節で細かい物體を明瞭に見ることのできる距離を**明視距離**といひ,健全な眼では約25糎である.

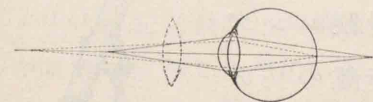
近視眼では水晶體の焦

點距離が小さ過ぎて遠方の物體の像が網膜の前方に生ずるから,凹レンズの眼鏡を用ひて遠方の物體の像を網膜上に作るやうにする.



第179圖: 遠視眼.

遠視眼では水晶體の焦點距離が大き過ぎて遠方の物體の像が網膜の後方に生ずるから,凸レンズの眼鏡を用ひて遠方の物體の像も網膜上に作るやうにする.



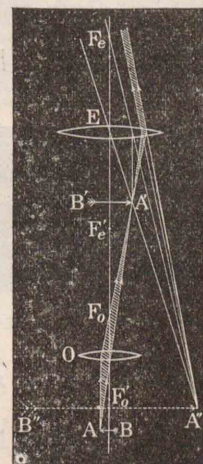
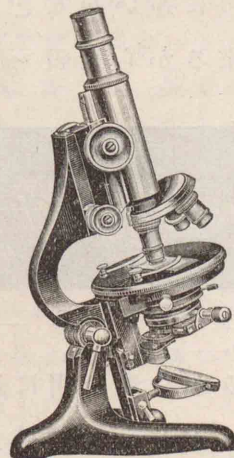
第180圖: 老眼.

老眼は調節作用が衰へて,遠方を見るにはたいした差支はないが近い所が見えなくなつたのであるから,やはり凸レンズの眼鏡を用ひて近くの物體の虚像を實物より遠い所に作つて見る.

#### 105. 顯微鏡

顯微鏡はレンズの適當な組合せによつて微小な物體の擴大した像を見るもので,その要部は**對物レンズ**と**對眼レンズ**から成る.

對物レンズは焦點距



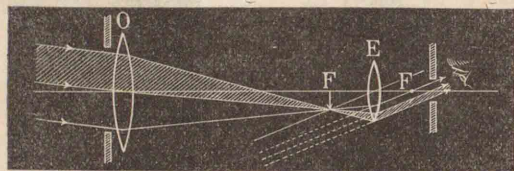
第181圖: 顯微鏡とその説明圖.



離の極めて短い凸レンズで、その焦點の外側にこれに接近して物體を置くと擴大された實像が對眼レンズの焦點の近くに出來る。對眼レンズは一個の蟲眼鏡の作用をするもので、その位置を適當に調節して對物レンズによる實像を更に擴大して下方に大きな虚像を作らせる。可檢物を載せる臺の下には光を取入れるための反射鏡と可檢物を強く照らすための集光レンズとがある。

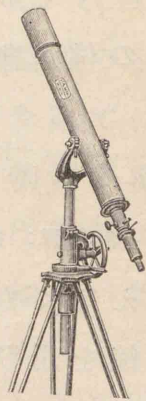
**106. 望遠鏡** 望遠鏡は遠方の物體を擴大して見る器械で、やはり對物レンズと對眼レンズとから成る。對眼レンズは顯微鏡の場合と違つて焦點距離の長い凸レンズである。

天體望遠鏡では對物レンズ對眼レンズが共に凸レンズで、その兩焦點の位置が重なつてゐる。無限に遠い星などの實像が焦點の位置に出來るから、對眼レンズを透



第183圖：天體望遠鏡の原理。

して見ると、やはり無限に遠い所に擴大された虚像が得られる。天體望遠鏡は筒が長く、また像が倒立してゐるから、地上用には不便である。正立像を作る望遠鏡にはガリレオ望遠鏡やプリズム双眼鏡などがある。



第182圖：天體望遠鏡。



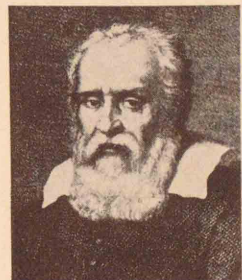
光

古代ギリシヤでは眼が物體の存在を認識し得るのは眼から或放射線が出てその物體を探るためであると考へられてゐた。アリストテレス (Aristoteles, 紀元前384-322) は、若し視覚が眼から出る放射線によるものであれば暗黒の場所でも物體の存在が知れる筈であるとの考から、視覚の原因は物體にあるものとした。なほ光の傳播には音の場合の空氣のやうな或種の媒質の必要を認めた。然し彼は光の速度は無限に大きなものと考へてゐた。ユークリッド (Euklid, 紀元前330-225頃) は光の直進すること



アリストテレス

や反射の定律を知つてゐた。ヘロン (Heron, 紀元前100年頃) は光が進むときは最短距離の途を進むことを證明した。屈折の定律を實驗的に確立したのはオランダのスネリウス (Snellius, 1591-1626) である。



ガリレオ

ガリレオ (Galileo, 1564-1642) は光の速度が無限に大きいといふ考に疑を抱き、音波の速度を測ると類似の方法で光の速度を實際測定しようと企てたが、これは失敗に歸した。光の速度を比較的正確に出したのはデンマークの天文學

者レーメル (Römer, 1644-1710) で、天文觀測の方法によつて約  $3 \times 10^{10}$  秒糧といふ値を始めて得た。

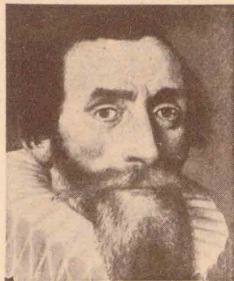
近世光學の基礎を作つたのはケプレル (Kepler, 1571-1630) である。彼は全反射の法則や照度が光源からの距離の自乗に逆比例することを證明した。



レーメル

レンズ様のものは太古から存在し、太陽の光を集めて火を點じたり、蟲眼鏡として使用され

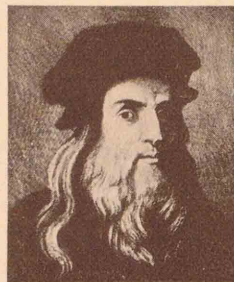




ケプレル

てゐた。レンズが實用的價值をもつやうになつたのは13世紀の終にイタリーでこれを眼鏡として用ひたのが始めである。

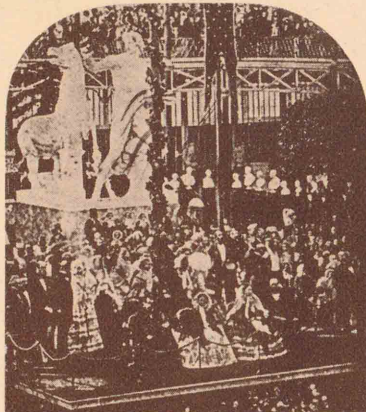
顕微鏡の發見は不明であるが、恐らく1590年頃オランダの硝子磨きヤンセン(Jansen)の發見であるといはれてゐる。望遠鏡はそれより15年程後オランダの眼鏡師リップルシ(Lippershey)の發見と稱せられてゐる。ガリレオは接眼レンズとして凸レンズの代りに凹レンズを用ひた正立像を得る望遠鏡を組立て、天文學上幾多の重要な發見をなした。



レオナルドダビンチ

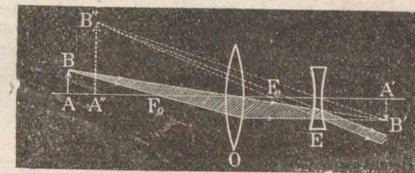
1500年頃イタリーのレオナルドダビンチ(Leonard da Vinci, 1452-1519)はレンズなしの針孔寫眞機を始めて作り、その約100年後イタリーで始めてレンズをつけた寫眞機が作られた。

然しこれ等は何れも肉眼で像を見てゐたに過ぎない。寫眞はフランス人ニエプス(Niépce, 1765-1833)の發見にかゝるもので、後ダクエール(Daguerre, 1789-1851)が1822年ニエプスの方法を改良して沃化銀を塗布した乾板を用ひて像を保存する方法を考案した。所謂ダクエロタイプと稱するもので、これは左右の反轉してゐる像しか得られなかつた。今日のやうな陽畫に變へる方法は1853年イギリス人タルボット(Talbot, 1800-1877)の發見する所である。



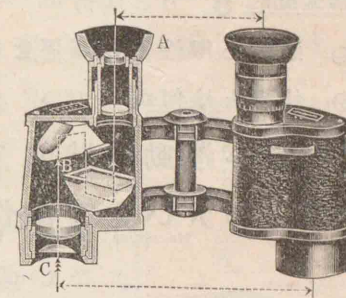
ダクエロタイプの寫眞

ガリレオ望遠鏡では對物レンズによる遠方の物體の像を、その焦點の近くに作る前に凹レンズの對眼レンズを通して光を發散光線となして、正立した擴大された虚像を物體と同じ側に作るやうにしてある。これは小形の双眼鏡に多く用ひられる。



第184圖：ガリレオ望遠鏡。

プリズム双眼鏡では對物レンズ對眼レンズは共に凸レンズであるが、その間に二個の直角プリズムを互に直角な向きに入れ、光を四回全反射させて一つのプリズムでは像の上下を、他のプリズムでは像の左右を逆轉させて正立した像を得、且つ筒の長さを短縮して携帯に便利にしたものである。



第185圖：プリズム双眼鏡。





第六篇 力及び運動

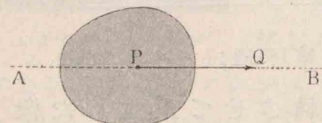
第一章 力の釣合

107. 力の三要素

【豫備問題】 ① 力とは何か。

- ② 運動と慣性との関係を述べよ。
- ③ 仕事とは何か。

物体が運動の状態を變へる有様は、これに加はつた力の **大きさ・方向・作用点** の三つで定まるから、

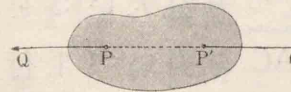


第186圖：力の三要素。

この三つを **力の三要素** (Three elements of force) といふ。普通力を表はすには作用点 P から力の方向 AB にその大きさを表はす長さの

線 PQ を引いてその先に矢をつける。作用点を通つて力の方向に引いた線を **作用線** (Line of action) といふ。どんな大きな力が作用しても體積や形が變化しないやうな假想的物体を **剛體** (Rigid body) といふ。石や金屬は普通剛體と看做し得る。剛體では力の作用点を作用線上のどこに移しても同じ効果を生ずる。

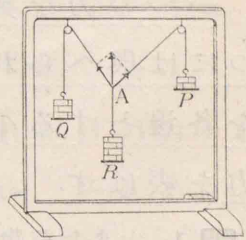
108. 二力の釣合 剛體に於ては二つの等し



第187圖：二力の釣合。

い力が同一作用線上で反對の方向に働いても、剛體はその状態を變へない。このとき二力は **釣合つてゐるといふ**。

109. 力の合成及び分解 一つの物体を同一直線上でない二つの違つた方向から引張ると、物体はその二力の何れの方向にも動かないで、これ等と異なつた方向に動く。即ち、この物体にはこの運動の方向に働く一つの力が作用したのとその効果が等しい。



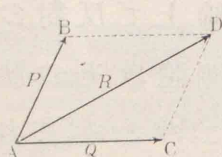
第188圖：二力の合成の實驗。

【實驗】 三本の糸を一點 A で結付けて、その一本には R の錘をつけ、他の二本の糸にはそれぞれ滑車を通して P, Q の錘を吊して放すと、A 點は動いて一定の場所に来て靜止する。A 點に働く二力 P, Q を表はす直線で平行四邊形を描き、その A を通る對角線と第三力 R とが如何なる關係にあるかを驗べよ。

剛體に働く數力と等しい効果をもつ一つの力をその數力の **合力** (Resultant force) といひ、始めの數力を後の一つの力の **分力** (Component force) といふ。合力を求めることを **力の合成** (Composition of forces) といひ、分力を求めることを **力の分解** (Decomposition of force) といふ。

二力 P, Q の合力を求めるには、一點 A から P, Q





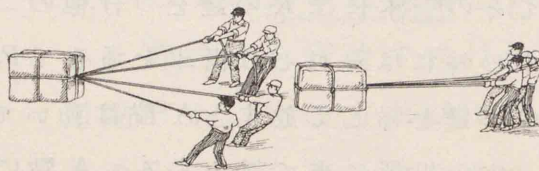
第189圖：力の中斜法。

二力に平行に且つ力の大きさを表はす直線 AB, AC を引いて平行四邊形を作る。このときその對角線 AD は二力 P, Q の合力となる。

この方法で合力を求めることを力の中斜法 Parallelogram of forces といふ。三つ以上の力の合力を求めるには、先づその中の二つの合力を求め、次にこれと第三力との合力を求め、順次他の力に及ぼす。

一つの力を與へられた二つの方向の分力に分つには、與へられた力を對角線として、二つの方向を各邊とする平行四邊形を描けば、その各邊は分力を表はす。

問 1. 大きな荷物に多くの綱をつけて、數人でこれを引張るとき、なるべく



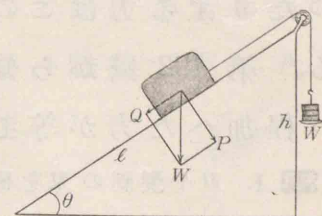
第190圖：力の中斜法の應用。

皆密集して引張るのと離れて引張るのとどちらがよく動くか。

問 2. 舟に二本の綱をつけて、兩岸から川上に曳き上げるとき、綱を長くした方がよいか短い方がよいか。

110. 三力の釣合 三力 A, B, C が一つの物體の一點に作用するとき、三力中の二力例へば A, B の合力が第三力 C と大きさが等しく方向が反對ならば、物體には力が作用せぬのと等しい。

111. 斜面 長さが l、一端の高さが h で水平と  $\theta$  の傾きをした斜面上に重さ W の物體を置くと、これに働く重力 W は斜面に垂直な力 P



第191圖：斜面の理。

と斜面に平行な力 Q とに分れる。分力 P は斜面への壓力となつて物體を動かす働きはないが、分力 Q のために物體は斜面に沿うて降る。この分力の大きさは

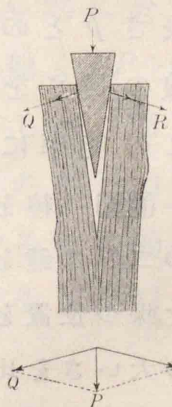
$$Q = W \times \frac{h}{l} = W \sin \theta$$

で、斜面上に物體を支へるにはこれだけの力を斜面に沿うて上向に働かせればよい。それより大きな力を作用させれば物體は押し上げられる。

問 1. 斜面の角を小さくする程力を利益するのは何故か。

問 2. 車を曳いて急な坂道を上るとき、真直上るよりも左右にうねりながら上る方が樂である。何故か。

112. 楔 くさび Wedge は切口が頂角の小さい二等邊三角形をなした剛體で、刀、斧等はこの應用である。底面に直角に加へた力は双面に直角な二つの分力となる。物を切つたり割



第192圖：楔とその理。



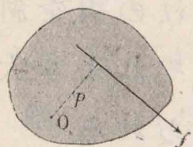
つたりする力はこの双面に直角な力のためである。第 192 圖から知れるやうに、楔の頂角が小さい程加へた力が等しくても物を割る力は大きい。

- 問 1. 刀や髮剃の刃を研ぐのは何のためか。
- 問 2. 釘や針などの作用を楔の原理から説明せよ。

### 113. 力の能率

- 豫備問題 ① 椅子を倒すにはどこを持つてすると容易か。
- ② 扉の把手が蝶番と反対の端についてゐるのは何故か。

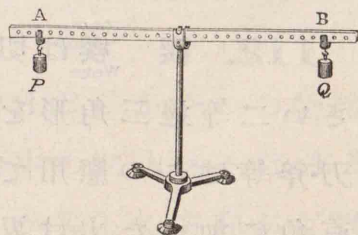
剛體の一點を支へて他の點に力を作用させると剛體は廻轉する。このとき力は同じでも支點からなるべく遠い點に作用させた方が効果が大きい。



第 193 圖：力の能率。

剛體に働く力の大きさ  $f$  と支點  $O$  から力の作用線に下した垂線の長さ  $l$  との積を、 $O$  點の周りの力の能率 **Moment of force** といひ、垂線の長さを **臂** ひき Arm といふ。剛體を廻轉させる働きはこの能率に比例する。

實驗 棒を中央で支へ、任意の二點に錘をつけて棒が水平を保つ位置を求め、左右の能率の大きさを比較せよ。



第 194 圖：力の能率の實驗。

力の能率には右廻りの

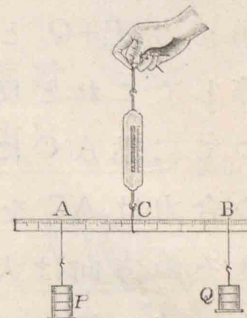
ものと左廻りのものとがあつて、兩方が若し等しければ剛體は動かない。棒を一點  $O$  で支へ、 $A, B$  二點に力  $P, Q$  を作用するとき、

$$P \cdot OA = Q \cdot OB$$

の関係があれば棒は動かない。

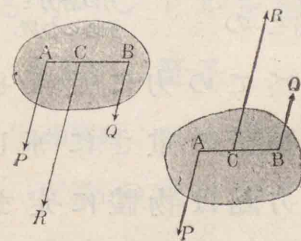
### 114. 平行力の合力

實驗 棒の中央をゼンマイ秤で吊し、支點の左右の能率が等しくなるやうにしてゼンマイ秤の目盛を験べよ。



第 195 圖：平行力の合成の實驗。

剛體に二つの平行な力  $P, Q$  が作用するとき、その合力は中斜法では求められぬ。然し二力の作用線の間隔を  $P, Q$  の逆比に分つやうな點  $C$  に



第 196 圖：平行力の合力 (左、同方向の場合、右、反対方向の場合)。

二力と反対の方向に  $(P+Q)$  の力を作用すれば釣合ふ。即ち、 $P, Q$  二力は  $C$  點に於て二力と同方向に働く  $(P+Q)$  の力と効果が等しい。即ち、剛體に働く二つの平行力の

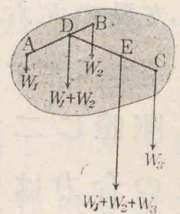
合力は作用點を二力の逆比に内分する點に働き、大きさは二力の和に等しく方向は二力と平行である (第 196 圖左)。

上の實驗で  $A, B$  に働く二力  $P, Q$  と  $C$  點に於て

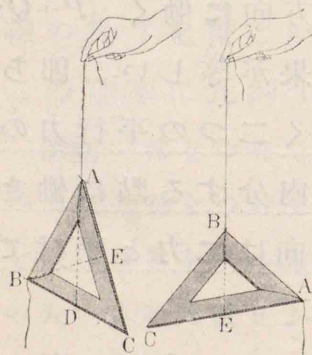


これと反対方向に働く  $(P+Q)$  の力は釣合ふから、  
 A 點に働く力  $P$  と C 點に於てこれと反対方向に  
 働く力  $(P+Q)$  との合力は、B 點に於て  $Q$  と大いさ  
 等しくこれと反対の方向に働く力に等しい。よ  
 つて二點 A, C に働く平行で反対方向の二力  $P, R$   
 の合力は、AC を二力の逆比に外分する點 B に働  
 き、その方向は大きい方の力と同じく大いさは二  
 力の差に等しい (第 196 圖右)。

115. 重心 物體を形作る各部  
 分に働く重力  $W_1, W_2, W_3, \dots$  は何れも  
 鉛直方向の平行力である。その平  
 行力の合力を求めるには先づ  $W_1,$   
 $W_2$  の合力を求め、その合力と  $W_3$  との  
 合力を求め、順次これを他のすべての力に及ぼせ  
 ばよい。この合力の大いさは物體の重さに等し



第 197 圖：平行  
 力の合力と  
 重心の位置。



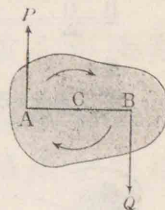
第 198 圖：重心を求める方法。

く、その着力點は物體に定ま  
 った點で、これをその物體の  
**重心** といふ。物體を糸で吊  
 すと、重心は糸の延長線上に  
 來て釣合ふ。故に物體の重  
 心を求めるには、その物體を  
 異なる二點で別々に吊し、そ

Center of gravity

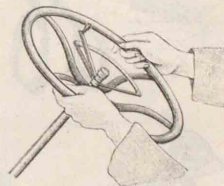
の糸の延長線の交點を求めればよい。

問 組織一樣な圓板・球・圓錐・立方體・三角板の  
 重心はそれぞれ何處にあるか。



第 199 圖：偶力。

116. 偶力 剛體に働く方向反対  
 な等しい大いさの平行二力の合力は  
 一般の平行力の合力を求める方  
 法では求められぬ。この場合、物  
 體は二力の着力點間の中點 C を  
 軸として廻轉する。かやうな二  
 力を **偶力** といふ。そして力の大



第 200 圖：偶力の應用。

いさと兩作用線との距離 AB との積  $P \times AB$  を  
 偶力の能率といふ。錐をもむ力、ネヂ廻しに加へ  
 る力、ハンドルを廻す力等は皆偶力である。

117. 槌子

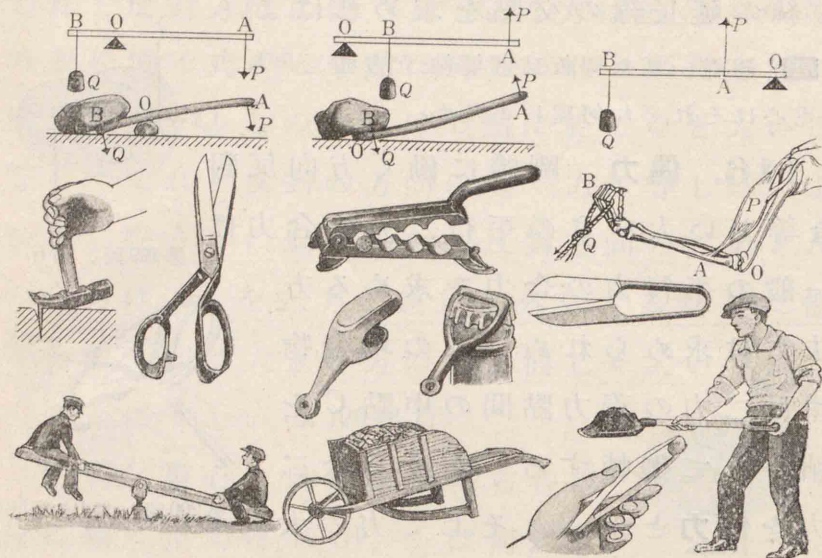
豫備問題 種々の鉤を擧げてその作用を述べよ。

支點の周りにそれぞれ反対の方向に廻轉させ  
 ようとする二力を物體に働かすとき、二力の能率  
 が等しければ釣合つて物體は廻轉しない。

槌子 <sup>たわ</sup> は支點を有する一本の撓み難い棒に二力  
 がそれぞれ異なつた長さの臂を以て作用するも  
 ので、小さい力で重い物を動かしたり、運動を擴大  
 して緻密な仕事をなす場合に應用される。釘拔・

Lever

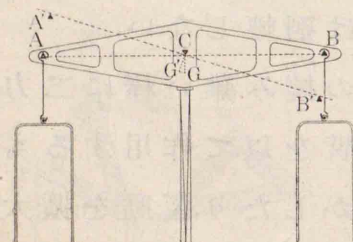




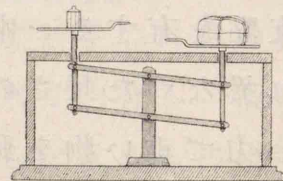
第201圖：槌子の三種類とその應用例。

鉗・ピンセット等は皆槌子の應用である。

118. 秤 天秤は軽くて丈夫な金属かさの桿の中央に鋼鐵又は瑪瑙めいろうの小さい楔を下向につけ、これを瑪瑙板の上に載せて支點となし、桿の兩端に等しい重さの皿を吊したもので、一方の皿に測るべきものを載せ、他方の皿の分銅を加減して釣合は



第202圖：天秤の感度。



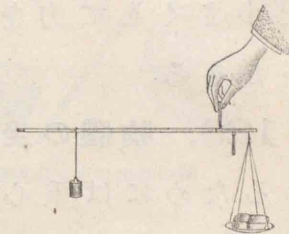
第203圖：上皿天秤。

せる。桿が水平になつたときは左右の廻轉の能率が等しく従つ

て兩方の質量も等しい。

天秤は桿の長さが長くて軽く、且つ重心が支點の眞下にあつてこれに近い程鋭敏である。

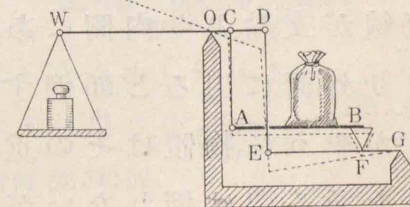
桿秤は棒状の桿の一端に近い點に吊緒をつけて支點となし、その端に懸けた皿に測るべき物を載せ他方に一定質量の分銅を吊し、その臂の長さを加減して左右の力の能率が等しくなつた位置の目盛を讀んで質量を測るものである。



第204圖：桿秤。

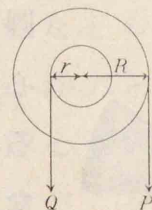
問 桿秤の目盛の零點は支點より少し離れた所にあるのは何故か。

臺秤は槌子を三個組合せ、重い物體を測るやうにしたものである。

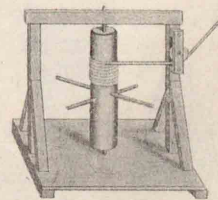


第205圖：臺秤。

119. 輪軸 輪軸は車とその軸、或は半徑の異なる二つの車が共有の軸に固着してあるもので、その半徑をそれぞれ  $R, r$  とし、兩車の周邊に働く力をそれぞれ  $P, Q$



第206圖：輪軸の力。



第207圖：輪軸の應用(I)。

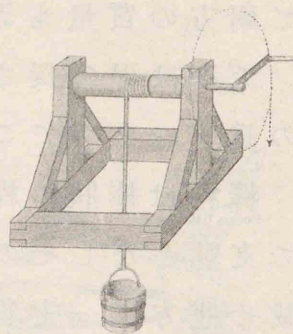


とすると、力が釣合つてゐるときは、

$$P \times R = Q \times r$$

$$P = Q \times \frac{r}{R}$$

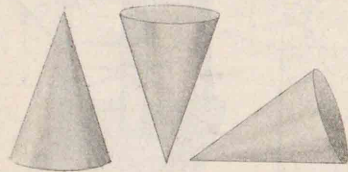
の関係が成立つから、半径の比を小さくして力を利することができる。



第208圖：輪軸の應用(2)。

120. 物體の坐り 臺の上に物體が靜止してゐるためには、重心を通る鉛直線が底面内を通過することが必要である。若し物體を底面の一端で支へつゝ、少しく傾けて放すとき、重心を通る鉛直線が支點より内側にある間は元に戻るが、これより外側に出ると顛倒する。

かやうに、物體はその重心を通る鉛直線が底面内を通る間は倒れないが、その坐りには安定な場合も不安定な場合もある。圓錐體を底面を下にして立たせるときは容易に倒れない。このとき

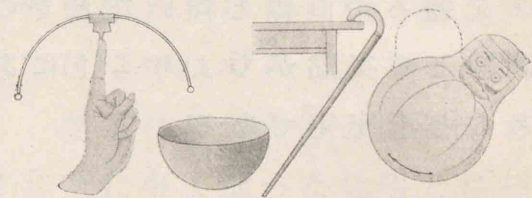


第209圖：圓錐體の坐り(左より安定・不安定・中性)。

圓錐體を少しく傾けると重心の位置は少しく高くなる。かやうな坐りを**安定な坐り**といふ。圓錐體の尖端を下にして立たせる

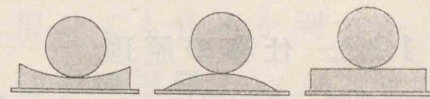
ときは、少しく傾けると重心の位置は下る。かやうな坐りを**不安定の坐り**といふ。また圓錐體の側面を下に置くときは轉がしても重心の高さは變らない。この坐りを**中性の坐り**といふ。

物體の坐りは底面が廣く重心の位置が低く且つ重量の大なるもの程安定である。



第210圖：物體の安定な坐りの例。

曲柄のステッキを机の端に懸けたときは重心



第211圖：種々の面上に於ける球の坐り。

が支點よりも下にある。このとき少しく傾けると支點の周りの重力の能率のために元に戻る(第210圖)。

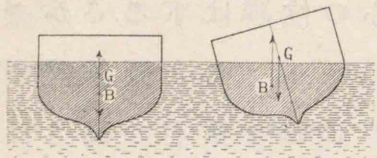
問 1. 達磨が倒れない理由如何(第210圖)。

問 2. 彌次郎兵衛を説明せよ(第210圖)。

問 3. 球が平面・凸面・凹面の上にあるときの坐りを説明せよ(第211圖)。

121. 浮體の釣合 船などの浮體が水上に靜止してゐるときは、重力と浮力とは相等しく且つ重心 G を通る鉛直線は**浮心**(排除された液體の元の位置に於ける重心) B を通る。今、船が少しく傾くと、その重力と浮力とで偶力を生じて船を廻轉しよ





第212圖：浮體の釣合

うとする。その廻轉方向によつて安定な場合と不安定な場合とがある。一般に船が正立したときのGを通る鉛直線と傾いたときの浮心Bを通る鉛直線との交點がGよりも上にあると安定で、下にあると不安定である。

### 第二章 仕事の原理

#### 122. 仕事の原理

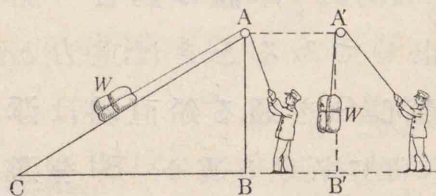
**豫備問題** 物理学でいふ仕事の定義を述べよ。

梃子や斜面または輪軸のやうな簡単な要素と原理による機械を**単一機械** simple machine といふ。単一機械を用ひて力を利することはできるが、仕事を利することはできない。

第213圖に於て、重さWの物體を斜面に沿うて引上げるに要する力は  $W \times \frac{AB}{AC}$  であつて、この物體をCからAまで引上げるためになす仕事は

$$W \times \frac{AB}{AC} \times AC = W \times AB$$

である。また鉛直にB'



第213圖：斜面を用ひた仕事。

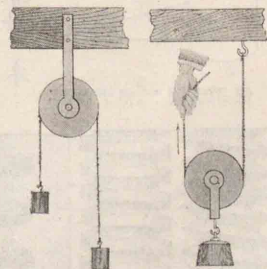
からA'まで引上げるには  $W \times A'B'$  の仕事が必要であるから、斜面を用ひても又鉛直の場合でも仕事に得失はない。

第206圖に於ける輪軸に於ても物體を  $2\pi r$  引上げるには綱を  $2\pi R$  引張らねばならぬ。従つて物體になされた仕事は  $2\pi rQ$  であるが、加へた仕事は  $2\pi RP$  である。然るに  $P=Q \times \frac{r}{R}$  の関係があるから、物體のなされた仕事と加へた仕事とは相等的しい。

上述のやうに、機械を用ひても仕事を利することはできない。これを**仕事の原理**といふ。実際には摩擦や空氣の抵抗のために仕事には多少の損失がある。このことはエネルギーが不滅であることの一例で、どんな機械を用ひてもエネルギーの増加は起らない。

**123. 滑車** 滑車 Pulley は梃子の理を應用して、運動の方向を變へたり力を利するためのもので、軸の位置が固定された**定滑車** Fixed pulley と、固定されない**動滑車** Movable pulley とがある。

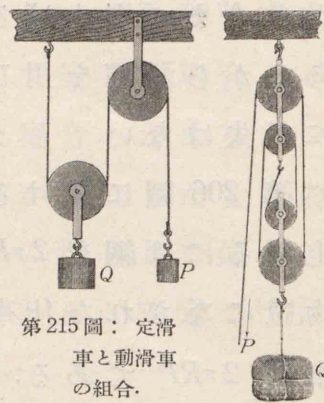
一個の定滑車では軸が支點となり、重さと綱を引く力とが等しいときに



第214圖：定滑車(左)と動滑車(右)。



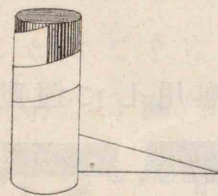
釣合ふ。従つて力に利益はないが方向を變へる便宜がある。一個の動滑車では軸に物體を懸け、車に通した綱の一方を支點として他方に力を加へて物體の重さを支へるのであるから、力は重さの 1/2 となる。力を大いに利するためには普通定滑車と動滑車



第215圖：定滑車と動滑車の組合。

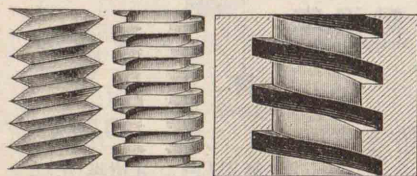
とを數個組合せて使用する。右圖のやうに定滑車と動滑車各二個を組合せた装置では、物體を1米上げるためにはすべての綱を1米づつ短くせねばならぬ。即ち全體では4米綱を引張らねばならぬ。然し仕事の原理によつてこれに要する力Pは重さQの 1/4 で足りる。

124. 螺旋 **螺旋**(ネヂ)は斜面の理を應用したものである。



第216圖：ネヂの形。

圓柱に直角三角形の紙を巻きつけ、その斜邊に沿うて凸形を作つたものが**雄ネヂ**で、圓筒の内側に同形の溝を作つたものが**雌ネヂ**である。



第217圖：雄ネヂ。

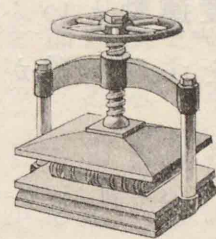
第218圖：雌ネヂ。

ネヂの一つの山から次の山までの距離を圓柱の軸の方向に測つた長さを**歩み**といふ。ネヂを一廻轉すればネヂは歩み一つだ

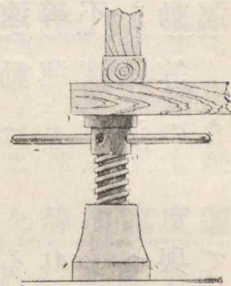
け進むから、加へる力は小さくても大きな力を生ずる。

種々の壓搾機や家屋を押上げるジャッキなどはネヂの應用である。

今、ネヂの歩みを  $h$  とし、 $P$ なる力を長さ  $2a$  の柄の兩端に加



第219圖：壓搾機。



第220圖：ジャッキ。

へるとき、機械によつて物體に加はる力を  $Q$  とすると、仕事の原理から次の關係がある。

$$4\pi aP = Qh ; \frac{Q}{P} = \frac{4\pi a}{h}$$

即ち、歩みを小さく臂の長さを大きくする程、力を利することができる。

第三章 運 動

125. 運動

豫備問題 ① 物理學でいふ運動とは何か。

- ② 運動の状態を變へる原因は何か。
- ③ 速さとは何か。

物體が運動するとき、等しい速さで動くとしても直線に沿うて動くときもあれば、また曲線に沿うて動くときもある。運動の速さに方向を併せ



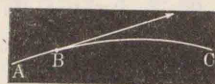
て考へるとき、これを**速度** Velocity といふ。

一般に、方向も速さも變らない運動を**等速度運動** Motion of uniform velocity といひ、方向と速さの中一つ又は兩方とも變る運動を**不等速度運動** Motion of variable velocity といふ。

等速度運動をする物體が  $t$  秒間に  $s$  程進むときの速度  $v$  は

$$s = vt ; v = \frac{s}{t}$$

で與へられる。不等速度運動ではこの式から平均の速度しか出ない。不等速度運動に於て、或瞬間の速度とは、その瞬間に於ける運動の状態をそのまゝ續けると假定したとき、單位時間に進む距離をいふ。左圖のやうに物體が ABC の如き曲線に沿うて進むとき B 點の速度を表はすには、B 點に於てこの曲線に切線を引いて長さを速さの大きさにし、その先に矢をつける。



第 221 圖：或瞬間に於ける速度。

**126. 速度の合成と分解** 船が 1 秒間に A から B まで動き、甲板上を歩いてゐる人が同じ 1 秒間に A から C まで動いたとすると、この人は海面に對しては 1 秒間に AB, AC を二邊とする平行四邊形の對角線 AD だけ運動する。即ち、一つの物體が二つの別々の速度で運動したときの全速度

は、この二つの速度を表はす直線を二邊とする平行四邊形の對角線で表はされる。

**127. 加速度** 不等速度運動に於て單位時間に生ずる速度の變化を**加速度** Acceleration といふ。加速度も大いさと方向とをもつてゐる。不等速度運動にも加速度が常に一定してゐる運動と、加速度も絶えず變化する運動とがある。前者を**等加速度運動** Motion of uniform acceleration といふ。等加速度運動に於て始めの速度を  $v_0$ 、 $t$  秒後の速度を  $v$  とすると、加速度  $a$  は次の式で與へられる。

$$a = \frac{v - v_0}{t} ; v = v_0 + at \dots\dots\dots(1)$$

このときの平均の速度は  $\frac{v + v_0}{2}$  であるから  $t$  秒間に通過した距離  $s$  は次のやうになる。

$$s = \frac{v + v_0}{2} t = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \dots\dots\dots(2)$$

公式(1)と(2)とから  $t$  を消去すると、次の關係が得られる。

$$v^2 = v_0^2 + 2as \dots\dots\dots(3)$$

$v_0$  と  $a, s, v$  の中の一つが與へられると(1)(2)(3)式から他の二つは求められる。

加速度の單位は時間の單位と速度の單位とを併記して表はす。例へば毎秒 20 秒程又は 20 秒・秒。



糶といへば、1秒につき速度が20秒糶増加することを意味する。

問 1. 最初静止してゐた物體が毎秒5秒糶の加速度運動を始めると、10秒間の速度及び10秒間に進んだ距離は如何。

問 2. 最初20秒糶の速度で運動してゐた物體が10秒後に100秒糶の速度を得たとすると、加速度は如何。

問 3. 始め5秒米の速度で運動してゐた物體が或加速度を得てから3秒間に60糶動いたとすると、最後の速度は如何。

## 128. 運動の定律

豫備問題 ① 慣性とは何か。

② 作用と反作用を説明せよ。

物體の運動と力との間にはニュートンの運動の三定律が成立つてゐる。

**第一定律** 前に學んだ慣性の定律をいふ(第7節參照)。即ち、

外力が作用しない間は静止せる物體は永久に静止し、運動せる物體は永久に等速度運動を繼續する。

**第二定律** これは實驗の結果から物體に力が作用したときの效果を示したものである。即ち、

外力の作用を受けるときは、物體はその方向に力の大きさに正比例し、物體の質量に逆比例する加速度を受ける。

**第三定律** これは既に學んだ作用・反作用の定律である(第10節參照)。

第二定律は物體に對する力の效果を示すものであるが、同時に力を定義するものとも見られる。即ち、質量  $m$  瓦の物體に力  $f$  が作用して受けた加速度を  $a$  とすると、次の關係がある。

$$a \propto \frac{f}{m} ; f \propto ma$$

今、C.G.S. 單位を用ひて1瓦の物體に働いて毎秒1秒糶の加速度を得る力を力の單位に採つて、これを1 **ダイン** Dyne といふ。さうすると、 $m$  瓦の物體に働いて  $a$  秒糶の加速度を與へる力は  $ma$  **ダイン** である。このとき上の式は次の形となる。

$$f = ma$$

かやうに表はした力の單位を**力の絶対單位** Absolute unit of force といふ。これに對して前に述べた力の單位即ち重力に基いて1瓦重の力とか、1庇重の力とかいふやうに表はす表はし方を**力の重力單位** Gravitational unit of force といふ。

**129. 重力の加速度** 地上の物體はすべて重力の作用を受けてゐるから、空中で物體を放すと加速度を得て段々速度を増して落下する。この加速度は地球上同一の場所では質量の大きさに





第222圖：真空中の落體。

関係なく一定である。これを普通  $g$  で表はす。空氣中で紙と石とを落とすと石は速く落ちるが紙は速く落ちないのは空氣の抵抗があるため、真空中ならば同時に落ちる。 $g$  の大いさは地球上の高さや緯度によつて多少違ふ。即ち、赤道や高山では小さく、極地は大きい。我が國では凡そ 980 秒<sup>2</sup> 厘である。

運動の第二定律から 1 瓦の重さは 980 ダインの力に相當し、 $m$  瓦の物體に働く重力は  $mg$  ダインである。

問1. 銅貨大の紙片と銅貨とを紙を上にして重ねて落とすと同時に落ちるのは何故か。

問2. 赤道に於ける  $g$  は 978.0 秒<sup>2</sup> 厘で、極地に於ては 983.2 秒<sup>2</sup> 厘である。極地と赤道とで 20 瓦の物體に働く重力に幾ダインの差があるか。

130. 落體の運動 鉛直の方向に物體を静止の状態から落下させるとき、 $t$  秒後に於ける速度を  $v$ 、落下した距離を  $s$  とすると、運動の方程式から次の關係が成立つ。

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

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

$v^2 = 2gs \dots\dots\dots(3)$

また鉛直の方向に初速度  $v_0$  で投下するか、投上げるときは次のやうになる。

$v = v_0 \pm gt \dots\dots\dots(4)$

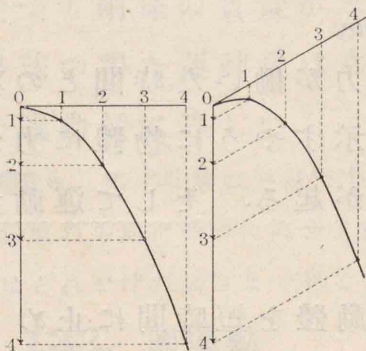
$s = v_0 t \pm \frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots(5)$

$v^2 - v_0^2 = \pm 2gs \dots\dots\dots(6)$

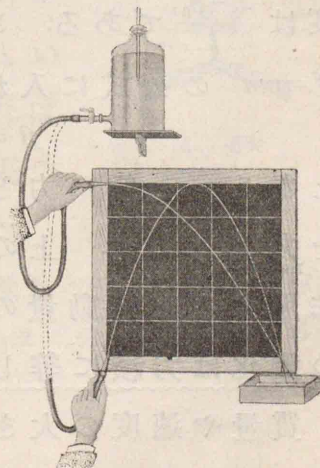
正の符號は投下した場合に、負の符號は投上げた場合にそれぞれ採用する。

問 橋上から石を落下した所が 1 秒後に水面に達した。橋の水面からの高さは何程か。

131. 拋物體 物體を水平の方向に或速度で投げたとき、重力の作用がなければ水平の方向に等速度運動をなすべきである。然し鉛直の方向に働く重力の作用によつて  $t$  秒後には前述の(2)式



第223圖：拋物線。



第224圖：拋物線の實驗。



に従つて  $\frac{1}{2}gt^2$  だけ下方に落ちる。そして水平には  $s=vt$  だけ進む結果、第 223 圖左のやうな曲線を描く。

物體を斜上に投げた場合も同様に、初速度の方向へ  $t$  秒間に  $s=vt$  だけ進む筈であるが、実際はそれよりも  $\frac{1}{2}gt^2$  だけ下方の位置にある。その結果、第 223 圖右のやうな曲線を描く。

問 高さ 44.1 米の塔上から水平速度 10 秒米で水平に投げた物體は前方幾米の地に落ちるか。

**132. 運動量** 質量  $m$  の物體が運動してゐるとき、或瞬間の速度  $v$  とその質量との積  $mv$  を **運動量** Momentum といふ。物體に  $f$  なる力が  $t$  秒間働いて速度が  $v_0$  から  $v$  まで變つたとすると、その平均加速度は  $\frac{v-v_0}{t}$  である。これを運動の第二定律を示す  $f=ma$  の公式に入れると、

$$ft = mv - mv_0$$

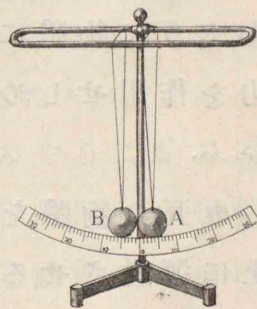
となる。一般に力とその力が働いた時間との積を **力積** Impulse といふ。上の式が示すやうに、物體に力が作用すると運動量の變化が起る。そして 運動量の變化は力積に等しい。

質量や速度の大きい運動體を短時間に止めるには大きな力を要する。打撃や衝突の場合に大

きい力の現はれるのはそのためである。

- 問 1. 野球のミットは何の用をするか。又球を受けるとき手を引くのは何故か。
- 問 2. コップは石の上に落ちると壊れるが、畳の上ならば壊れない。何故か。
- 問 3. 杭などを打込むのに大きな槌を用ひるのは何故か。
- 問 4. 車や客車を支へてゐるバネは何の用をするか。
- 問 5. 質量 30 瓦の彈丸が  $1/15$  秒間に銃身を通過して 500 秒米の速度を得たとすると、火薬の力は幾許か。

二つの象牙球を吊し、A 球を或高さまで一方に引離して放すとき、B 球はこれと衝突してほぼ同じ高さまで昇る。この衝突の際、兩球の間に作用する力は作用・反作用の定律で等しく、またその力の作用してゐる時間も等しいから、兩球の受ける力積は相等しい。従つて兩球の質量が等しければ、B 球の得た運動量は A 球の失つた運動量に等しい。



第 225 圖：衝突の實驗。

- 問 6. 第 225 圖の裝置で、B 球の質量を A 球の 2 倍にし、A 球を鉛直の方向に測つた高さ 8 厘になるまで引上げて放すと B 球はどれだけの高さまで昇るか。

### 133. 圓運動

豫備問題 ① ニュートンの運動の三定律を述べよ。



② 石に糸をつけて圓運動をさせると手はどんな感じを受けるか。

物體が圓周上を同じ速さで廻轉するとき、速さは一定であるが方向が絶えず變るから速度は常に同一でない。即ち**圓運動**をなすにはやはり力の作用がなければならぬ。圓運動に於て物體は圓周に沿うて速さの變化はないから、物體に働く力は半徑の方向に作用する。例へば石に糸をつけて一端を持つて圓運動をさせると、糸に張力が作用する。即ち手は石を引き石は手を引く。かやうに物體に圓運動をさせるには中心に向ふ力を作用せしめねばならぬ。この力を**求心力**といふ。

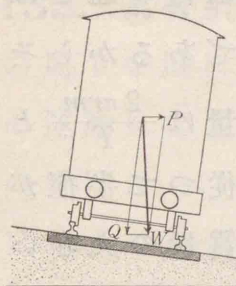
$m$  瓦の物體を  $v$  秒・厘の速さで半徑  $r$  厘の圓周上に運動させるには

$$f = \frac{mv^2}{r} \text{ (ダイン)}$$

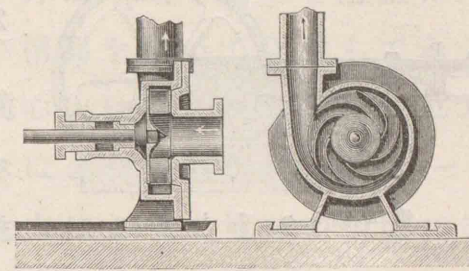
の求心力が必要である。

石に糸をつけて圓運動をさせるとき、速さを段々に増すと張力が次第に増加して遂に糸は切れる。このとき石は慣性によつて圓の切線の方向に等速度運動をなすやうになる。

汽車のレールやランニングのコースの曲り角は外側



第226圖：レールのカーブを走る汽車に働く力。



第227圖：渦巻ポンプ。

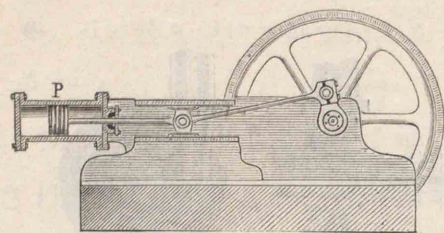
を高く斜面にしてある。このとき重力を斜面に直角な力と水平の方向の力に分けて考えると、その水平分力が求心力になる。

水を汲上げる渦巻ポンプ、砂糖精製の際に結晶から糖蜜を分離する糖蜜分離器、洗濯物を乾かすに用ひる廻轉乾燥器等は何れも求心力の理を應用したものである。

**134. 廻轉體の運動量** 獨樂のやうに軸の周りに廻轉する物體の各部は皆同じ時間で一廻轉する圓運動をしてゐる。この圓運動の求心力は分子間の凝集力から來る。廻轉が急であると分子力が堪へられないで物體に歪を生ずる。地球の形がやゝ扁平な球狀をなしてゐる理由の一つはこのためである。蒸氣機關の調速器はこの歪を利用して瓣を開閉するやうにしたものである。

廻轉體に於て一廻轉するに要する時間を  $T$ 、中心から  $r$  厘の距離にある部分の質量を  $m$  瓦とす

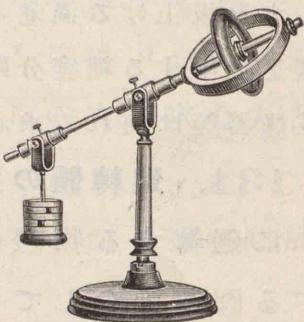




第228圖：ハズミ車

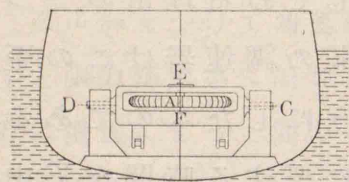
ると、廻轉の速さは  $\frac{2\pi r}{T}$  であるからその運動量は  $\frac{2\pi r m}{T}$  となる。従つて半径が大きく質量の大きい廻轉體は運動量が大きいため、急に止めたり急に速度を増したり又は廻轉軸の方向を變へることが困難である。ハズミ車はこの性質を利用して廻轉の速さを同等にするものである。

廻轉體がその大きな運動量のため軸の方向を一定に保つやうにした器械にジャイロスコープがある。これは鉛直軸と水平軸とで支へた獨樂で、その軸は任意の方向をとることができる。これ



第229圖：ジャイロスコープ

が大きな速さで廻轉してゐるときは支持臺をどのやうに動かしても獨樂の軸の方向は變らない。この性質があるので、ジャイロスコープは船舶の安定装置やジャイロコンパスに應用される。



第230圖：船舶用ジャイロスコープ

135. 萬有引力 月は地球の周りを、遊星は太陽の周りを圓に近い楕圓を描いて運動してゐる。この運動に必要な求心力はどこから供給されるかの疑問がニュートンによつて解かれた。ニュートンは地上の物體が重力によつて地球の中心に向つて引かれるのと同種の力が天體間にも作用してゐて、これが求心力を與へるものと考へ、この力を萬有引力と名付けた。そして天體運動の觀測を基にして次の定律を立てた。

宇宙間に存在する二物體はその質量の積に正比例し距離の自乗に逆比例する力で互に相引く。

これを萬有引力の定律といふ。

問 物體が落下するとき地球も物體に引かれる筈であるが認められない。その理由を説明せよ。

#### 第四章 摩擦と抵抗

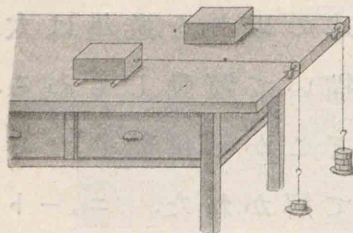
#### 136. 摩擦

豫備問題 ① 吊した鐘は動かし易いが地上に置くと動かし難いのは何故か。

② ボートのオールを水平にして動かすと軽く鉛直にして動かすと重いのは何故か。

實驗 (1) 机の上に直方體の物體を置き、机の端に取付





第231圖：摩擦の實驗。

けた滑車を通して分銅を吊し、物體が動き出すときの目方を驗べよ。また接觸面を種々に變へて試みよ。

粗雑な面の上にある物體を面の上で動かさうとしても力が小さい間は動かない。これは接觸面の間に摩擦力が作用してゐるためである。力の小さいとき動かないのは摩擦力と引く力とが反對の方向に等しい大きさで働いて釣合つてゐるためである。然し引く力が或大きさになると物體は動き始める。即ち摩擦力は引く力と共に段々増すが最大の限度がある。このときの摩擦力を**最大摩擦力** Maximum friction といふ。上の實驗から知れるやうに、摩擦に關して次の定律がある。

二物體間の最大摩擦力は接觸面の全壓力に比例し、その面の大小には關係しない。

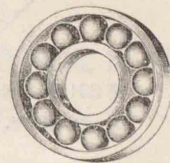
物體が滑り動いてゐるときも摩擦力は働いてゐる。机上で動いてゐる物體が終には靜止するのはそのためである。この摩擦を**運動摩擦力** Kinetic friction といふ。これは最大摩擦よりも小さい。

摩擦の生ずるのは、面が粗雑で兩物體の接觸面

の凹凸が互にかみ合ふためである(第233圖參照)。

【實驗】(2) 上記の實驗に於て物體の下に鉛筆を二本置いて實驗せよ。

物體が轉がり動くときの摩擦を**廻轉摩擦** Rolling friction といひ、これに對して前の滑り動くときの摩擦を**滑り摩擦** Sliding friction といふ。

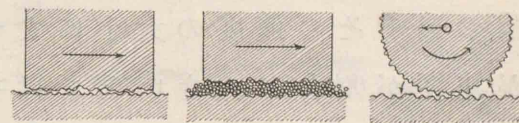


第232圖：ボール=ベアリング。

一般に前者は後者に比して非常に小さい。物を運搬するに車を用ひ、また車の軸にボール=ベアリングを用ひるのは滑り摩擦を廻轉摩擦にするためである。

【問】1. 重い物を動かすにコロを用ひるのは何故か。

接觸面の摩擦を減ずるために用ひる黒鉛や油などを**滑劑** Lubricant といふ。



第233圖：摩擦と滑劑。

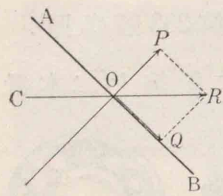
逆に摩擦を利用する場合も少くない。調車は摩擦を利用して廻轉を他に傳へるものである。ブレーキは摩擦によつて運轉を止めるものである。

【問】2. 地面に摩擦がないときも歩行できるか。

【問】3. 摩擦がないと打つけた釘はどうなるか。

137. 流體の抵抗 水や空氣のやうな流體中





第234圖：風の原理。

に流れに直角に板を置くと、流體の衝突によつて板に壓力を及ぼす。左圖に於て、風が CO の方向に吹いてゐる空氣中に板が AB の方向を向いてゐるとき、風は AB に垂直な風壓 OP を板に及ぼし、これが糸の張力と釣合ふとき板は靜止する。

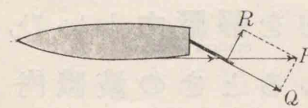
上と反對に靜止してゐる流體中に板をその面と直角の方向に動かすときも、板は流體分子と衝突するために大きな壓力を受ける。これ等の壓力を流體の **抵抗** (Resistance) といふ。この抵抗の大いさは物體の形やその速度の大小によつて一様ではないが、速度が割合に大きいときは次のやうである。即ち、流體の抵抗の大いさは運動の方向に直角な物體の斷面積と速度の自乗との積に比例する。

塵埃や雨滴などが空中を落ちるときは、速度が増すと共に抵抗が増して遂に抵抗とその微粒子に働く重力が釣合ふやうになれば、そのときの速度で等速度運動を繼續する。物體が細くなる程質量の割合に表面積が大きくなるから、落下による速度があまり大きくなるに中につつ釣合に達する。故に雨滴は細かいもの程小さな速度で等速度運動をして落ちて來る。更に極めて細かい

水滴や塵埃になると空中に浮遊することになる。

**問** 雪は細かい水滴や氷片から成るが容易に落ちて來ないのは何故か。

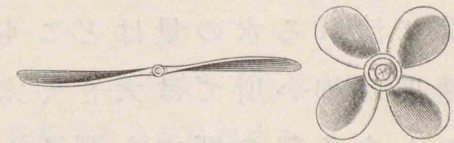
**138. 舵** 船舶や航空機の舵は流體の抵抗を利用して船の進行方向を變へるものである。船の進行方向



第235圖：船の舵。

に對し舵を左の方に傾けると水の抵抗は舵と直角の方向に R の力を及ぼし船尾はその方に押されるから、船首は左の方向に進むやうになる。

**139. 推進機** 推進機(プロペラ)は流體の抵抗を利用して船や航空機を前進させるものである。その構造は面を少しく斜に振ぢた翼を廻轉軸に數枚取付けたもので、ネヂの一部とも見られる。これを廻轉すると流體を後方に押しやりその反作用によつて自體は前方に進められる。



第236圖：プロペラ。

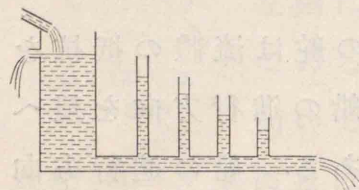
**問** 扇風機的作用を述べよ。

**140. 流體の壓力**

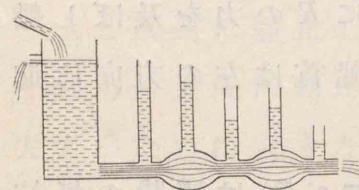
**豫備問題** 靜止してゐる液體内部の壓力如何。



液体内の壓力は液體が靜止してゐるときはその深さによるが、液體が流れてゐるときはその速度によつて違ふ。液體が靜止してゐるとき



第237圖：動 壓 力



第238圖：速度と動壓力の關係

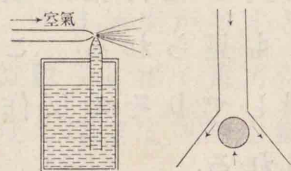
内の壓力を靜壓力といひ、流れてゐるときはその速度によつて違ふ。液體が靜止してゐるときは液体内の壓力を靜壓力といひ、流れてゐるときは液体内の壓力を動壓力といふ。今、太い所と細い所のある管を水の入つた容器の側面に取付けて水を流れ出させると、切口を單位時間に流れる水の量はどこも同じであるから、水の速度は細い所では大きく太い所では小さい。このとき各部の壓力を測ると細い所程壓力は小さい。即ち、液體の動壓力はその速度が大きい程小さい。

靜壓力  
Statical pressure

動壓力  
Dynamical pressure

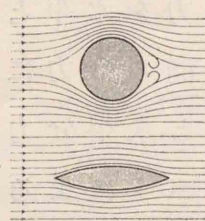
問1. 吸入器や霧吹の理を述べよ。

問2. 硝子漏斗を倒にして内側にピンボンの球を支へて管口から強く吹くと球は押上げられる。何故か。



第239圖：霧吹、第240圖：動壓力の實驗

141. 流線 液体内に曲線を引いてその上の各點に於ける切線がその點の速度の方向と一致



第241圖：流線

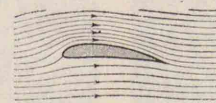
するやうにしたものを流線といふ。Stream line

第238圖に於て管が細くて流れの速い所は流線が密集してゐるが、管が太くて流れの遅い所は流線は疎である。即ち、流體の動壓力は流線が密なる所程小さく、疎なる所程大きい。

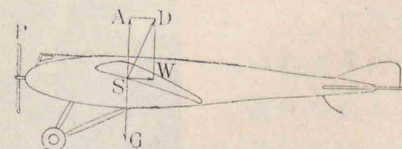
丸い物體や四角な物體を流體中に置くと、側面の所は流線が密集し、前面は疎になるから、前面の壓力が側面の壓力よりも大きい。靜止してゐる流体内を物體が運動するときも同様で、魚の胴のやうな形にすると割合に流線の疎密ができないから、抵抗が少い。

問 板を水の中で板面に直角な方向に動かすと抵抗が大きい。が板面の方向に動かすのは容易であるのは何故か。

142. 飛行機 飛行機の翼は第242圖に示したやうな切斷面をもつてゐて、空氣中を前進すると流線が翼の上部で密に下部で疎になるから、空氣の動壓力は翼の上よりも下の方が大きい。従つて翼は第



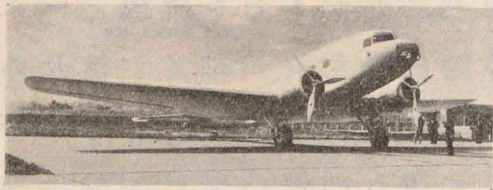
第242圖：飛行機の翼と流線



第243圖：飛行機の原理

243圖のSDの方向の壓力を受ける。





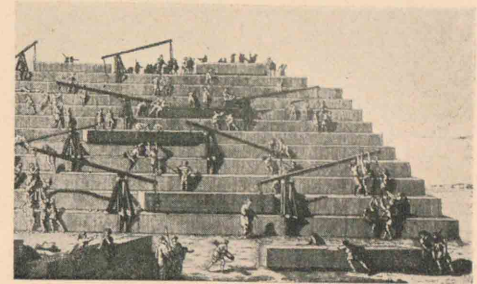
第244圖：旅客飛行機(我が國内臺連絡飛行用)

この壓力を水平と鉛直方向の分力に分けると、水平分力はプロペラによる前進力と釣合ひ、鉛直分力は重力に釣合ふ。速度が大きくなると、飛行機の受ける壓力が大きくなつて上昇する。機の後尾には水平と鉛直の舵が取付けてあつて、機體の昇降と方向轉換とを司る。



### 力・運動

力や運動に関する幼稚な知識は既にエジプトやギリシヤ時代の人々も持つてゐて、力の平衡を應用した槌子や天秤などが實際に使はれてゐた。物理學なるものを始めて學問的の形に整へたのはギリシヤの哲學者アリストテレスである。彼は舵釘・拔車・秤などの研究をなし、槌子の原理を發見した。その後中世紀に到るまで、物理學は大した發達をせずアリストテレスの考に支配されてゐた。

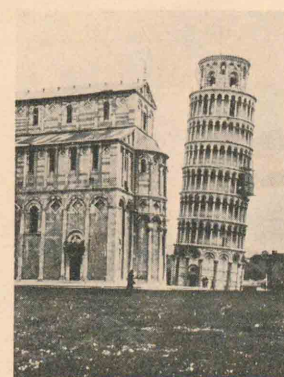


ピラミットの建設

近世力學の祖はレオナルドダビンチであつて、輪軸や滑車を槌子の原理から説明した。また慣性の原理にも着目してゐたが、これを完成したのはガリレオである。なほアリストテレスの物體の落ちる速さは重さに比例するといふ考は、中世紀頃まで一般に信じられてゐたが、この考を打破したのもガリレオである。ガリレオは斜塔で有名なイタリアのピサの町で生れ、この斜塔の上から質量の異なる物體を同時に



吊洋燈を見てゐるガリレオ



ピサの斜塔

落下させても殆ど同時に地上に達することを實驗して人々を驚かした。また彼は寺院で吊洋燈の振れてゐるのを見て、當時の唯一の時計であつ





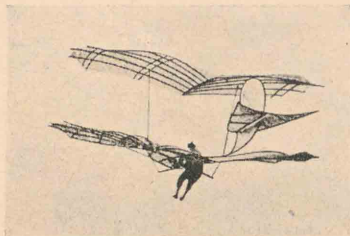
コペルニカス



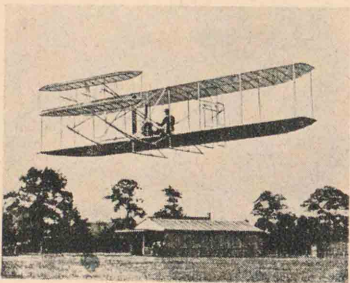
ニュートン

た脈搏でその週期を測つた所が、振幅に拘らず週期の等しいことを発見した。また斜面上の運動を研究して加速度運動の法則を明かにし、自己の製作にかかる望遠鏡で月の表面に山や谷及び噴火口のあること、木星に四つの衛星のあること、銀河が無数の遊星からなること、太陽の黒点の運動等を発見し、地動説を確認した。地動説はコペルニカス (Copernicus, 1473-1543) が始めて唱導した所であるが、当時の人人はこの説を異端なりとして排斥してゐた。ガリレオもそのため教會から種々の迫害を受けた。コペルニカスは地球は太陽の周りに圓形軌道を描くと考へたが、ケプレルは地球は太陽をその焦點にもつた楕圓軌道を運行してゐることを證明した。この天體運動の根本原理を發見したのはニュートン (Newton, 1642-1727) である。彼は學生時代から思索に耽り、月が地球の周りを運動するのは地球が地上の物體を引く重力と同じ原因によるものと想像し、後年萬有引力の大法則を發見した。

飛行機はドイツ人リリエントール (Lilienthal) が 1890 年頃手動操縦による飛行機を作つたのが始めて、氏はそのために遂に最初の犠牲となつた。發動機をつけた飛行機は 20 世紀の始めにアメリカ人ライト兄弟が作つて自ら飛んだ複葉飛行機が最初である。



リリエントールの飛行機



ライト式複葉飛行機

## 第七篇 エネルギーの變遷

### 第一章 エネルギーの不滅律

#### 143. 仕事及びエネルギーの單位

【豫備問題】① 物理學でいふ仕事とは何か。

- ② エネルギーとは何か。エネルギーの種々の形を挙げよ。
- ③ エネルギーの變遷する例を挙げよ。

運動してゐる物體は仕事をすることができる。即ち運動してゐる物體は運動のエネルギーを有する。仕事の單位には物體を單位の力で單位の距離だけ動かすに要する仕事を探る。即ち、仕事の重力單位には 1 瓦・糎、1 瓦・米などを用ひ、絶對單位には 1 ダイーン・糎を用ひる。1 ダイーン・糎を 1 エルグといひ、1 エルグの  $10^7$  倍を 1 ジュールといふ。

エネルギーはこれを有する物體のなし得る仕事の量で測るから、その單位は仕事の單位と同じものを用ひる。

問 1 瓦・米は幾ジュールに相當するか。

144. 運動のエネルギー 今、質量  $m$  瓦、速度  $v$  秒・糎の運動體が  $f$  ダイーンの力を受け始めてから



距離  $s$  程だけ進んで静止したとすると、運動の關係式から

$$v^2 = 2as ; \quad f = ma$$

であるから、運動體が静止するまでに外力に逆つてなす仕事  $W$  は

$$W = fs = \frac{1}{2}mv^2$$

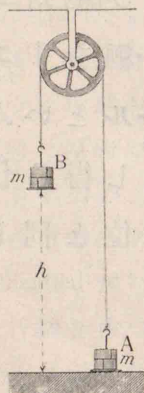
となる。一般に、質量  $m$  瓦、速度  $v$  秒程の運動體の有する運動のエネルギーは  $\frac{1}{2}mv^2$  エルグである。

Kinetic energy

145. 位置のエネルギー 高い所にある物體は地に落ちて地上の物體と衝突して仕事をなすことができる。山から出た水は水車を動かし或は發電機を廻轉して電氣を起すことができる。一般に高所にある物體は静止してゐても仕事をなす能力があるから、エネルギーをもつてゐる。かやうなエネルギーを位置のエネルギーといふ。

Potential energy

滑車を通して同じ質量  $m$  瓦の物體が  $B$  は地上から  $h$  程の所に懸り、 $A$  は地上にあるとすると、別に他から力を加へなくとも  $B$  は自らが地上まで下る間に  $A$  に働いてゐる重力  $mg$  に逆



第245圖：位置のエネルギー。

つて  $A$  を  $h$  程の高さまで上げることができる。従つて一般に、地上  $h$  程の高さにある  $m$  瓦の物體は  $mgh$  エルグの位置のエネルギーを有する。

弓の弦を引いて放せば矢は飛び、時計のゼンマイを巻けば針は動く。一般に歪を受けてゐる弾性體も位置のエネルギーを有する。

運動のエネルギーと位置のエネルギーとを併せて機械的エネルギーといふ。

Mechanical energy

146. エネルギーの不滅律  $h$  程の高さにある  $m$  瓦の物體は  $mgh$  エルグの位置のエネルギーを有するが、段々落ちて來てその位置が低くなると共に速度を得る。そして地上に達するときの速度は運動の關係式から  $v = \sqrt{2gh}$  である。従つて地面に達したときの運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{m}{2}(2gh) = mgh$$

となつて、失つた位置のエネルギーに等しい。

滑車に懸けた同じ質量の物體  $B$  が  $h$  程下れば  $A$  は  $h$  程だけ上る。即ち、 $B$  が仕事をしてエネルギーを失へば  $A$  は同量のエネルギーを得る。

エネルギーが形を變へ、或は二物體間にエネルギーの受渡しがあつても、その總和は不變である。



これを**エネルギーの不滅律**といふ。

Law of conservation of energy

摩擦によつて機械的エネルギーは熱のエネルギーとなり、電池によつて化學的エネルギーを電氣的エネルギーに變へるやうに、エネルギーはその状態を變へても總量は一定不變である。

## 第二章 原 動 機

147. **原動機** 水車・蒸氣機關・ガス機關のやうに、自然界からの種々のエネルギーを供給して仕事をさせる機械を**原動機**といふ。

Prime mover

148. **工率** 同量の仕事をするにも小さい機械では長くかゝるが、大きい機械では早くできる。機械が單位時間になす仕事の量をその機械の**工率**といふ。工率の單位は、重力單位では毎秒1瓦・糎、毎秒1 呎・米等を用ひ、絶對單位では毎秒1エルグが用ひられる。工業上に用ひる**馬力**は毎秒76 呎・米の工率をいふ。また毎秒1ジュールの工率を1**ワット**といひ、その1000倍を1**キロワット**といふ。1馬力は746ワットに相當する。

149. **有效率** 原動機に或量のエネルギーを供給しても、その全部を仕事に變へることはできない。摩擦やその他の抵抗のために、供給したエ

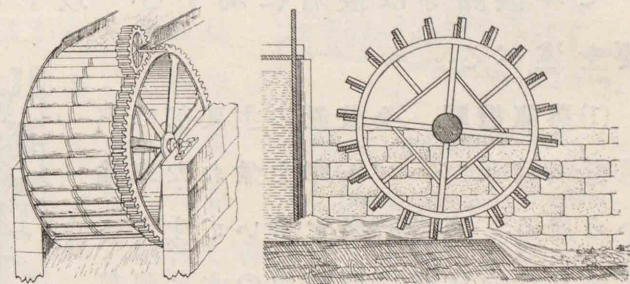
ネルギーの一部は利用のできない熱とかその他の態となつて消費される。機械が一定時間になすことのできる仕事の量と同時間内に供給したエネルギーの量との比をその機械の**有效率**といふ。

Efficiency

150. **水力機** 水車は水の機械的エネルギーを動力に利用す

Water wheel

るもので、圖の左は主として位置のエネルギーを利用し、右は運動のエ

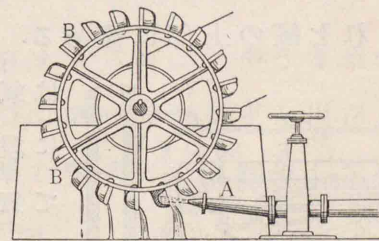


第246圖：水車の二種。

ネルギーを利用するものである。

**ペルトン水車**は高速度の水を筒先から椀形をした水車の羽根に吹

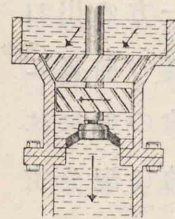
Pelton's wheel



第247圖：ペルトン水車。

付けて車を廻轉させるものである。

**水タービン**は大仕掛の動力用に用ひられる。これは水を渦卷型に配列した固定翼の間を通して反對向の渦卷型の廻轉翼に衝突させてこれを廻轉させるものであ



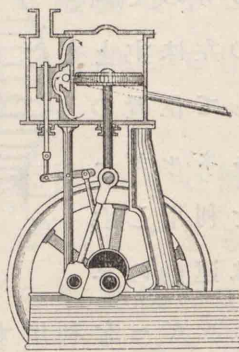
第248圖：水タービン。



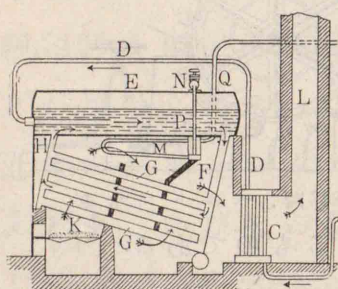
る。水力発電所などに用ひられる。

**151. 熱機関の種類** 熱エネルギーを利用する熱機関には液体を蒸發させて、その蒸氣の壓力を利用する**外燃機関**と、ガソリン・重油等の爆發を利用する**内燃機関**とがある。蒸氣機関・蒸氣タービン等は前者に屬し、ガス機関・ガソリン發動機・ディーゼル機関等は後者に屬する。以下これ等の概要を述べる。

**(1) 蒸氣機関** 全装置の主要部は汽罐・竈・氣筒及びハズミ車を兼ねた車輪から成る。竈で石炭を焚いて生ずる熱せられた氣體で汽罐内の水を強熱して、十數氣壓の過熱蒸氣を生じさせこれを罐の上部に溜める。この蒸氣



第249圖：蒸氣機関。

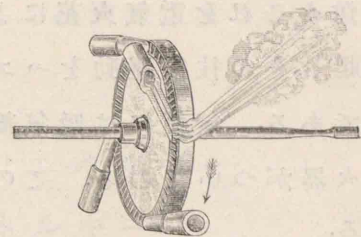


第250圖：水管式汽罐(K. 爐, F.G.H. 水を循環せしめて熱する管, D. 給水管, N. 蒸氣を出す弁, E. 汽罐, M. 過熱器, P. 蒸氣を過熱器に送る管, Q. 過熱蒸氣を機関に送る管, L. 煙突, C. 給水加熱器)。

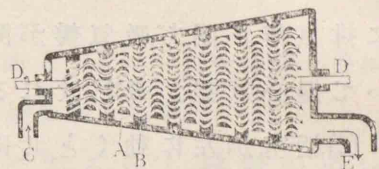
は氣筒の側部に設けた配分室から二つに分れて氣筒内に入る。配分室には滑り瓣があつて交互に一方の出口を塞ぐから、蒸氣は活塞の前後に交互に噴出する。車輪の軸には離心板があつて、自動的に配分室内の滑り瓣を動かすやうになつてゐる。

**(2) 蒸氣タービン** 蒸氣機

關は活塞の運動が同一方向の往復運動であるため、車の一廻轉毎に二度づつ活塞は靜止しなければならぬから機械に激動を與へ、且つエネルギーの浪費がある。蒸氣タービンにはかやうな缺點がないので近年著しく發達した。蒸氣タービンは多數の彎曲した羽根を備へた車が軸に取付けられて廻轉し得るやうになつてゐる。汽罐からの高壓水蒸氣を適當な形の管でこの羽根に吹付けて車を廻轉させる(第251圖)。

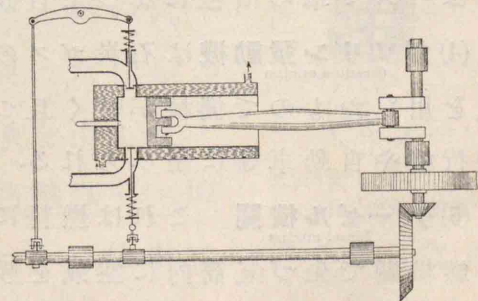


第251圖：蒸氣タービン。



第252圖：實用蒸氣タービン(C. 過熱蒸氣入口, A. 廻轉翼, B. 固定翼, E. 凝結器に通ずる口, D. 廻轉軸)。

實際に使用されてゐる蒸氣タービンはかやうな車が同一軸上に多數取付けてあつて、第一の羽根車を出た蒸氣が更に第二の羽根車に衝擊し、順次これを繰返して蒸氣の有するエネルギーをできるだけ多く利用するやうになつてゐる。



第253圖：ガス機関(内燃機関)。

**(3) ガス機関** これは石炭ガスと空氣との混合氣體を氣筒内



に送り、これを電気火花によつて爆發させて活塞の運動を起し、その往復運動をハズミ車の廻轉運動に變へるものである。氣筒には吸氣瓣・排氣瓣及び電気火花による點火器がついてゐる。この動作は次の四階段に分けられる。

(1) 活塞 P が右に動くと共に排氣瓣が閉ぢ、吸氣瓣が開いて混合氣體が吸込まれる。

(2) 活塞が左に動くと共に兩方の瓣が閉ぢて混合氣體が壓縮される。

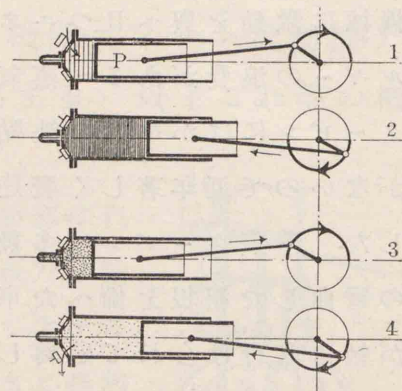
(3) 電気火花が飛んで氣體は爆發し、活塞に大きな衝撃を與へてこれを右に押す。

(4) 活塞が左に動き排氣瓣が開いてガスが排除され、始めの状態に復する。

活塞の運動は上の(3)の衝撃によつて與へられ、他の運動はハズミ車の慣性によつて自動的に行はれる。

(4) **ガソリン發動機** Gasoline engine は石炭ガスの代りにガソリンの蒸氣を用ひたもので、機械が軽く且つ有效率が大きいので飛行機や自動車等に用ひられる。

(5) **ディーゼル機關** Diesel engine これは燃料に安價な重油を用ひた内燃機關で、先づ氣筒内に空氣を吸入し、これを壓縮して熱した所へ重油を吹込み、爆發・膨脹させるものである。



第254圖：内燃機關の四階段 (1. 吸氣, 2. 壓縮, 3. 爆發, 4. 排氣)

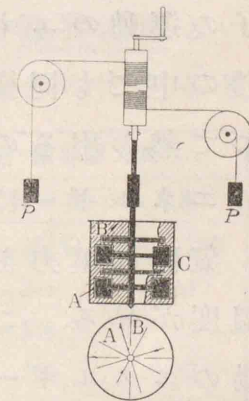
ディーゼル機關は有效率が大きく經濟的であるから大きな船舶などに用ひられる。

### 第三章 機械的エネルギーと熱エネルギー

#### 152. 熱の仕事當量

**豫備問題** 熱エネルギーが機械的エネルギーに變る例と機械的エネルギーが熱エネルギーに變る例とを挙げよ。

熱もエネルギーの一態であるから、熱量の單位と仕事の單位との間には一定の關係がなければならぬ。英人ジュールは第255圖のやうに熱量計 C の中に羽根車 A を装置し、その廻轉軸に巻いた絲に滑車を通して錘 P を下げ、錘の降下によつて羽根車を廻轉させ、水を攪拌して熱を發生せしめ、水の質量とその溫度の上昇とから發生熱量を知り、一方錘の降下距離と質量とから與へた仕事の量を求めて次の關係を出した。



第255圖：ジュールの仕事當量測定の実験。

即ち、 $1 \text{ カロリーの熱量は } 4.2 \times 10^7 \text{ エルグ}$ 、即ち  $4.2 \text{ ジュールの仕事に相當する}$ 。この値を**熱の仕事當量**といふ。

Mechanical equivalent of heat



仕事は悉く熱に變へることができるが、反對に熱はその一部(15~35%)しか仕事に變へることができない。

**153. 熱の本性** 容器中の氣體は器の内壁に壓力を及ぼす。器の蓋を取ると内部の氣體は直ちに大氣中に廣がる。また二種の氣體を一つの容器中に入れると直ちに混和する。これ等の現象から氣體分子は大きな速度で直線運動をなし、分子同志或は器壁との衝突によつて方向を變化するものと想像される。氣體の溫度を高くすると壓力が増すのは、分子運動の速度が増して、器壁との衝突が激しくなるからである。即ち熱は分子の運動のエネルギーに外ならない。液體や固體の中でも同様である。物體の衝突や摩擦によつて熱の出るのは機械的エネルギーが分子運動のエネルギーに代るためである。

氣體に壓力を加へてこれを壓縮すると氣體の溫度が昇る。これは外からなした仕事は分子運動のエネルギーになるためである。逆に氣體が膨脹するときには外からの壓力に對して仕事をすることになるから、エネルギーを失つて溫度が降る。太陽の輻射熱のために地上で熱せられた空

氣が上昇すると大氣の上層では壓が小さいため膨脹して溫度が降り、その中に含まれてゐる水蒸氣は凝結して水滴や氷片となる。これ等が粒が小さいため大氣中に浮遊してゐるのが雲である。

**問1.** 石炭ガスが少しでも管から漏れると、室内中臭くなるのは何故か。

**問2.** 冷たい空氣中に水蒸氣を出すと一度白い煙となり又直ちに消えるのは何故か。

**154. 氣體の液化** 飽和蒸氣を冷却するか大きな壓力を加へるかすると、蒸氣の一部は液體となる。これを**液化**といふ。然し各氣體に特有な或溫度以上ではどんなに壓力を加へても液化しない。かやうな溫度をその氣體の**臨界溫度**といひ、氣體を臨界溫度で液化させることのできる最小の壓力を**臨界壓力**といふ。

水蒸氣は壓縮すれば通常の溫度でも液化するのはその臨界溫度が高いからである。酸素・窒素・水素・ヘリウムなどは如何に壓力を加へて

臨界溫度・臨界壓力表

物質	臨界溫度	臨界壓力
ヘリウム	-268°C	2 <sup>気壓</sup>
水素	-241	14
窒素	-146	33
空氣	-140	39
酸素	-118	50
炭酸ガス	31	73
アムモニア	130	115
水蒸氣	374	218

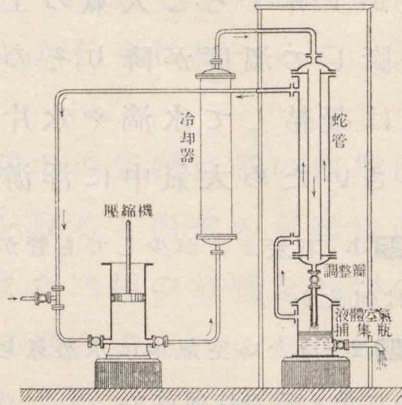


も常温では液化しないのはそれ等の臨界温度が低いからである。

155. 空氣の液化

空氣を強く壓縮して冷水や寒劑で先づ冷して置いて、次にこれを小さい孔から噴出させると急激な膨脹のために外壓に對して仕事をやるから著しく温度が下つて、遂に液化する。

液體空氣はやゝ青味を帯びた透明な液體で、大氣中で盛んに沸騰するから、魔法瓶に蓄へる。液體空氣は液體酸素と液體窒素の混合物であるが、窒素の沸點の方が低いので窒素が速く蒸發して逃げて後に液體酸素が残る。



第256圖：空氣液化機 (壓縮機で空氣を200~250氣壓に壓縮し、冷却器に送つて冷却させる。次にこれを蛇管の先端から1氣壓の大氣中に噴出させると約-35°Cになる。蛇管が二重になつてみてこの冷却した空氣を外側の蛇管を通して壓縮機に吸込む。この際續いて送られて來る壓縮空氣を冷却するから、次に噴出する空氣は更に低温度になる。この操作が繰返されると遂には噴出する空氣が液化するやうになる)。

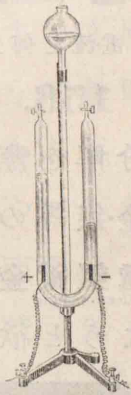
液體空氣は液體酸素と液體窒素の混合物であるが、窒素の沸點の方が低いので窒素が速く蒸發して逃げて後に液體酸素が残る。

第四章 電氣エネルギーと化學的エネルギー

156. 電氣分解

- 豫備問題 ① 陽イオン及び陰イオンとは何か(化學)。  
 ② イオン化傾向を説明せよ(化學)。  
 ③ 水を電氣分解すると何が出来るか(化學)。

稀硫酸を盛つた容器に二枚の白金板を陰陽兩極として電流を通ずると、硫酸は分解して硫酸イオン  $[SO_4]^{-}$  と水素イオン  $[H]^{+}$  とに分れ、水素イオンは陰極に引かれて水素を析出し、硫酸イオンは陽極に引かれて水の中の水素と化合して再び硫酸となり、陽極から酸素を析出する。かやうに電流によつて起る物質の分解を電氣分解 (Electrolysis) 又は電解といひ、電解を受ける物質を電解質 (Electrolyte) といふ。



第257圖：水の電氣分解。

157. フラデーの定律 電氣分解に關して次の定律がある。

- (1) 電極に析出される物質の量は電解質溶液を通過した電氣の總量即ち電流の強さと時間との相乗積に比例する。  
 (2) 一定の電氣量で析出される諸物質の量はその化學當量 ( $\frac{\text{原子量}}{\text{原子價}}$ ) に比例する。



これを**ファラデーの定律**といふ。この定律を利用して電流の強さを比較することができる。銀鹽の溶液を電氣分解するとき、1アンペアの電流は1秒間に0.001118瓦の銀を析出する。

化學當量  $E$  なる物質に  $t$  秒間、 $C$  アンペアの電流を通ずるとき析出される物質の量  $m$  は

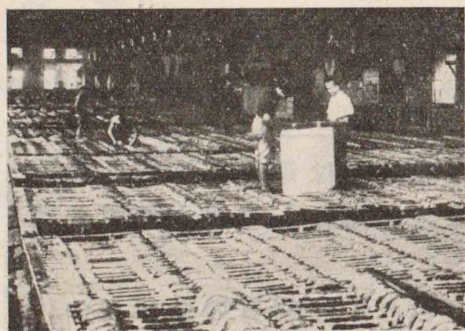
$$m = 0.001118 \times \frac{ECt}{107.9} \text{ (瓦)}$$

である。

**問** 硫酸銅の溶液から1瓦の銅を析出するには1アンペアの電流を何分間通すればよいか。

**158. 電氣鍍金・電氣精鍊** 電氣分解を應用して金屬器具の表面に金・銀等の薄膜を被覆せしめるのを

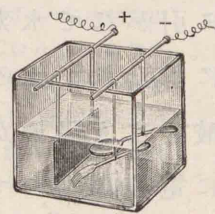
**電氣鍍金**といふ。それには鍍金し  
Electroplating



第259圖：電氣精鍊。

ようとする金屬器具を陰極とし、被覆せんとする金屬を陽極とし、その金屬の鹽類を電解質として電氣分解を行ふ。

**電氣精鍊**は電氣  
Electro-metallurgy  
鍍金の方法によつて金屬を精鍊する



第258圖：電氣鍍金。

ものである。例へば銅の精鍊には硫酸銅の溶液中で粗銅を陽極とし純銅を陰極として電氣分解を行ふと、純銅は陰極に析出し不純物は電解槽の器底に沈積する。

### 159. 電池と分極作用

**豫備問題** ① ボルタの電池を説明せよ。

② 電池の分極作用を述べよ。

③ 水素銅・亜鉛の中どれが一番イオン化傾向が大で、どれが一番小さいか。

稀硫酸の溶液に銅板と亜鉛板とを浸すとき兩板の間に電位差が生ずることは次のやうに説明される。亜鉛はイオン化傾向が大きいから容易に液中に溶解して陽イオンとなる。従つて亜鉛板は陰電氣を得て電位が降る。生じた亜鉛イオンは稀硫酸の硫酸イオンと化合して硫酸亜鉛を作るから、水素イオンが餘分になる。この水素イオンは銅板に附着してこれに正電氣を與へるから、銅板の電位は昇る。銅も多少のイオン化傾向をもつてゐるが、亜鉛に比べて小さいから認められない。かやうにして銅板と亜鉛板との間に電位差が起る。

銅板に水素が附着するとその大きなイオン化



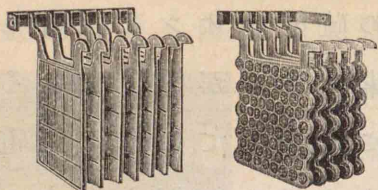
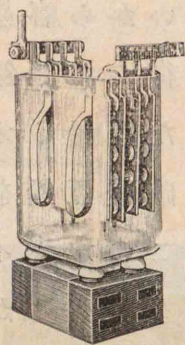
傾向のために陽イオンとなつて再び溶液中に溶け込む。そのために銅板の電位を下げ、反対方向の電動力を生ずる。これが分極作用である。

固 分極作用を防ぐにはどうすればよいか。

160. 蓄電池 普通の電池は化学的エネルギーを電気エネルギーに変へるものであるから、永く使用するとエネルギーを失ひ、その作用を消滅する。分極作用を利用して電流を化学的エネルギーに変へて蓄へ、再び電流のエネルギーに変へて使用するものを蓄電池又は二次電池といふ。

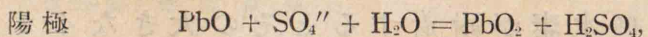
Accumulator Secondary battery

普通の蓄電池は比重 1.21 の稀硫酸中に陰極の鉛板と陽極の過酸化鉛板とを對立させたものである。これを作るには先づ多くの孔をあけた鉛板に酸化鉛を填めて



第260圖：蓄電池とその極板。

陽極より陰極に向つて十分永く電流を通じ、次の反應によつて陽極を過酸化鉛に陰極を鉛に変化させるのである。



### エネルギー

ルムフォードは仕事によつて限りなく熱が発生されることを発見したが熱と仕事の間にある一定の數的關係のあることを始めて證明したのは1842年ドイツのマイヤー(R. Mayer, 1814-1878)が最初である。これと獨立にイギリス人ジュール(Joule, 1818-1889)も同じ關係を見出して實驗的に熱の仕事當量を決定した。

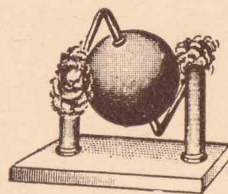


ヘルムホルツ



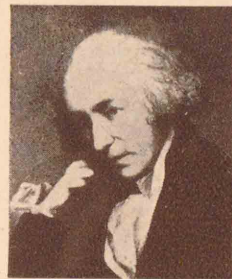
ジュール

ドイツ人ヘルムホルツ(Helmholtz, 1821-1894)は現象が種々起つてもその總エネルギーは不變であるといふ根本原理を見つけた。

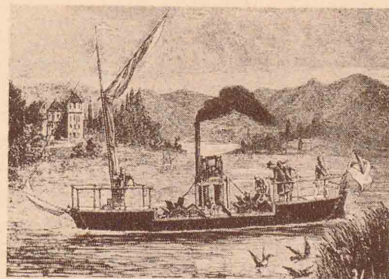


エオリパイル

蒸氣機關の濫觴はエジプトのヘロンが作ったエオリパイルと稱する玩具にあるが、活塞を利用した蒸氣機關はニューコメン(Newcomen, 1667-1729)が始めて作った。然しこれは活栓の開閉を手動によらねばならず、又蒸氣によつて動かされた活塞を元の位置に戻すに一々水で冷却する等の不便があつた。これを實用的なものに改良したのはイギリス人ワット(Watt, 1736-1819)である。蒸氣船はイギリスのシンギントン(Synington)が1801年頃スコットランドのクライド運河にダンダ



ワット



シンギントンの蒸氣船

トランドのクライド運河にダンダ

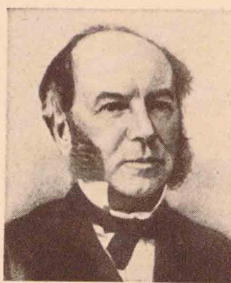


ス號(Dundas)を走らしたのが最初で續いて 1807 年フルトン (Fulton, 1765-1815) がアメリカのハドソン河にクラームント號(Clermont)を走らした。蒸氣機關車は 1817 年にステブンソン(Stephenson, 1781-1848)が始めて作り, 1830 年リバープールとマンチェスターの間に始めて汽車を通じた。内燃機關はフランス人レノア (Lenoir) によつて 1860 年始めて作られた。



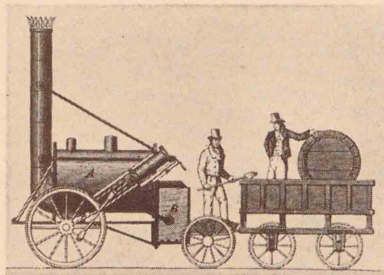
ステブンソン

氣體の液化に始めて成功したのはフラデーである。曲つた硝子管



アンドリウス

の一端にガスを發生する藥品を入れて熱し, 他の端を寒劑中に冷して  $H_2S, SO_2, C_2H_2,$

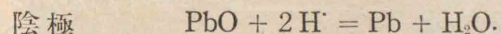


ステブンソンの最初の機關車

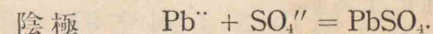
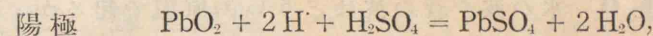
$NH_3, Cl_2$  等の液化を行つた。水素・酸素・窒素等の永久ガスの液化はイギリス人アンドリウス (Andrews, 1813-1885) が臨界點の存在を發見したのに端緒を得, ビクター, カイユター等の人々によつて實際に成功した。

フラデーは電氣分解の研究をなし, 所謂フラデーの定律を發見して工業界に貢獻する所極めて大であつた。

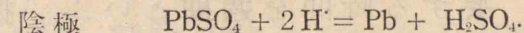
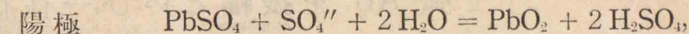
電池の分極作用に着眼したのはドイツのリッター (Ritter, 1776-1810) である。これに刺戟されてフランスのプランテ (Planté, 1834-1889) が始めて鉛製の蓄電池を作つた。



かやうにして出來た蓄電池は約 2 ボルトの電動力を有するから, 回路を閉ぢると電流が得られる。これを**放電**といふ。永く放電を行ふと, 次に示す反應によつて兩極とも硫酸鉛に變化して電位差はなくなる。

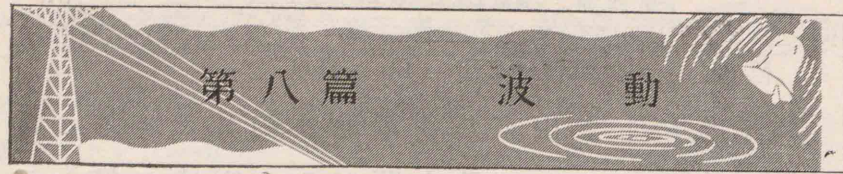


このとき再び外部から反對方向の電流を通ずると次の作用によつて兩極の物質を再生させることができる。これを**充電**といふ。



このやうにして反覆使用することができるばかりでなく, 内抵抗が小さいから強い電流を得るに適する。





# 第八篇 波動

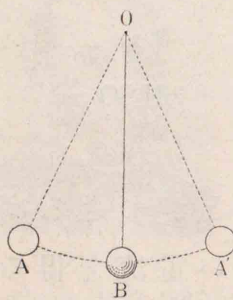
## 第一章 振動と波動

### 161. 振子

**豫備問題 ①** 水の波や音の波はどういふ原因で起るか。

**②** 波動が傳はるのは何によるか。

糸で錘を吊して振らせると錘は静止點を中心にして左右に圓弧 (ABA') を描いて振動する。か



第261圖：振子。

やうな装置を**振子**といふ。そして弧 AB を**振幅**といひ、一往復に要する時間を**週期**といふ。振子の長さに較べて振幅の小さいときは週期  $T$  は次の式で表はされる。

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

$l$  は糸の長さ、 $g$  はその場所の重力の加速度である。即ち振子の週期は振幅の小さい間は重力の加速度の平方根に逆比例し、振子の長さの平方根に比例し、錘の質量や振幅の大小には関係しない。

これを**振子の等時性**といふ。  
Ischronism of pendulum

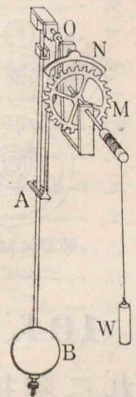
上の式を逆に應用し、振子の週期を測つてその場所の重力の加速度を測定することができる。

**問 1.** 振子に於ては位置のエネルギーと運動のエネルギーとはどんな關係にあるか。

**問 2.** 東京に於て 1 秒の週期をもつ振子の長さを計算せよ。但し  $g$  の値を 979.8 とする。

**162. 弾性振動** ゼンマイの一端を固定して他端に錘を附し、この錘を少し引下げて放すときは静止の位置の上下に於て等時性の振動をする。細長いバネの一端を固定し、他端を少し曲げて放してもやはり同様である。かやうな振動を**弾性振動**といふ。  
Elastic vibration

**163. 時計** 時計には振子を應用した柱時計と弾性振動を應用した懐中時計などがある。前者は振子の運動によつて齒車に掛つてゐる齒止を左右に動かす、齒車は巻かれたゼンマイのために常に戻らうとしてゐるから、齒止が齒車の齒を離れる瞬間に一齒ずつ送られるやうになつてゐる。齒車の一つづつの齒は鋸の齒のやうに一方に傾斜が出来てゐて、齒車の解けようとする力はまた



第262圖：柱時計(B. 振子, N. 齒止, M. 齒車, W. 錘)



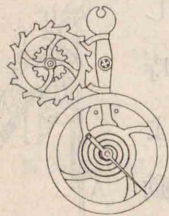
齒止の運動を助けて振子の運動を繼續させる。そして空氣の抵抗や軸に於ける摩擦のために振子の運動の衰へようとするのを、バネの有する位置のエネルギーで防いでゐる。

振子は夏冬でその長さが變つて週期に影響を及ぼすから錘の下についてゐるネヂで重心の位置が變へられるやうになつてゐる。また右圖のやうに膨脹係數の異なつた二種の金屬、例へば亞鉛と鐵とを接合して鐵による延びを亞鉛の棒で吊上げ、重心の位置を同じ高さに保つやうにした



第263圖：補正振子(乙、亞鉛、E、鐵)。

補正振子もある。  
Compensated pendulum



第264圖：テンプ。

懷中時計では振子の代りにテンプを利用する。テンプは一端を固定した渦狀のバネの他端を小さいハズミ車の軸に取りつけたもので、やはり等時性の振動をする。

164. 波動 彈性體の一端に起つた振動はこれに隣接した部分の振動を誘發して、彈性體の各部が順次同じ振動を繰返すやうになる。その結果彈性體内に**波動**が生ずる。波動を傳播する物質を**媒質**といふ。媒質の各部が波動の進行する

Wave motion

Medium

方向に振動する

ときこれを**縦波**  
Longitudinal wave

といひ、直角の方

向に振動すると

き、これを**横波**と  
Transversal wave

いふ。媒質内で

振動の同じ過程

にある點を**同位**  
Equal

**相**の點といひ、最

も近い同位相の

二點間の距離を

**波長**といふ。  
Wave length

波長を  $\lambda$ 、振動

數を  $n$ 、週期を  $T$ 、

波の進む速度を

$v$  とすると、媒質

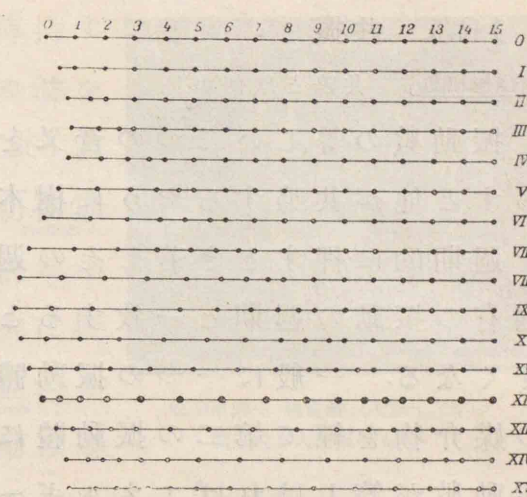
の各點が一振動

を完了する間に

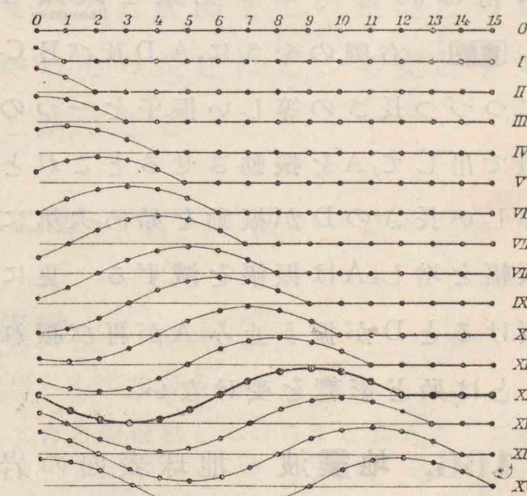
波は一波長づつ

前進するから、これ等の間に次の關係がある。

$$v = n\lambda = \frac{\lambda}{T} \quad ; \quad \lambda = vT$$



第265圖：縦波。



第266圖：横波。

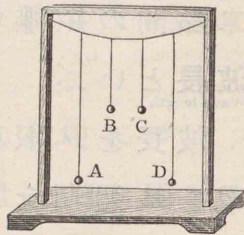


## 165. 共振

**豫備問題** 共鳴とは何か。

振動数の等しい二つの音叉を列べて一方を鳴らすと他が共鳴するやうに、樹木やブランコなどを週期的に押すとき、若しその週期がそのものの固有の振動の週期と一致すると振動が次第に大きくなる。一般に一つの振動體の振動が何等かの媒介物を経て第二の振動體に傳はるとき、その振動数が等しければエネルギーの受渡しが容易に行はれる。この現象を**共振**といふ。

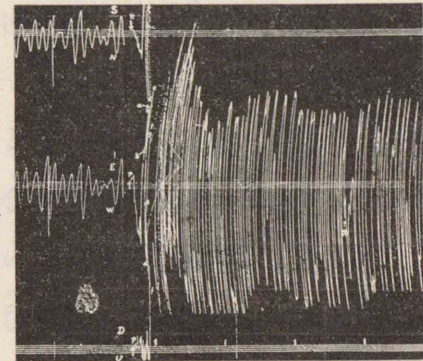
**實驗** 右圖のやうに、A、D及びB、C二つづつ長さの等しい振子をつ一つの紐で吊して、Aを振動させるとこれと等しい長さのDが振動を始め、次第に振幅を増し、Aは振幅を減ずる。更に続けるとDが振り止み、Aが再び振れ出す。そしてBとCとは殆ど影響を受けない。



第267圖：振子の共振

**166. 地震波** 地球表面の岩石も弾性體であるから、振動をなして波動を傳へる。地殻の内部の一點に崩壊や地層の陥没或は火山内部の活動が起ると、その點を震源として弾性波を四方に傳へる。地震波には縦波と横波とがあつて、それぞ

れ違つた速度で傳播する。地震計にこの波を記録させると第268圖に示すやうに、最初**初期微動**と稱する振幅の小さい振動が來て、次に振幅の大きな**主要動**が來る。この初期微動は縦波で、主要動は横波である。初期微動の長さは縦波と横波との速度の差と震源までの距離との相乗積に比例するから、その長さによつて震源までの距離を知ることができる。



第268圖：地震波（大正十二年の關東地方大地震のもの）。

## 第二章 音波

## 167. 音波の傳播

**豫備問題** ① 音は如何にして生ずるか。

② 樂器が音を出してゐる際、振動してゐることはどうして知れるか。

③ 音の強弱と調子は何によつて定まるか。

發音體が振動するとこれに接した空氣は交互に或は押され或は引かれるから、空氣に疎なる部分と密なる部分とが出来、これが發音體を中心と



して諸方に傳播する。従つて音波は空氣中に生じた縦波である。然し水や鐵などの液體・固體も發音體によつて生じた疎密波を傳へることができから、音の媒質は空氣に限らない。

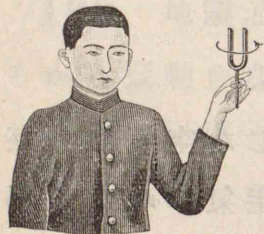
音波の傳播速度表	
媒質	音波の速度(0°Cに於て)
空氣	331秒・米
水	1435
銅	4700~5200
硝子	5000~5300

音波の速度は媒質の溫度によつて異なる。0°Cの空氣中では 331 秒・米で、溫度が 1°C 昇る毎に 0.6 秒・米づつ増す。

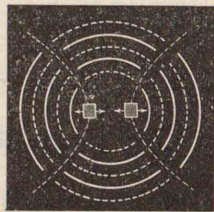
問 1. 發音體から音波が空氣中に傳はるときのエネルギーの變化を述べよ。

問 2. 電光を見てから 4 秒後に雷鳴が聞えた。空氣の溫度を平均 20°Cとして雷までの距離を求めよ。

168. 音波の干渉 音叉を鳴らして耳の近くで廻轉すると一廻轉の間に四回聞えない所がある。振動によつて音叉の兩枝が内方に動いたときは外側に疎なる部分、内側に密なる部分が出来



第 269 圖：音叉の唸りの實驗。



第 270 圖：音波の干渉。

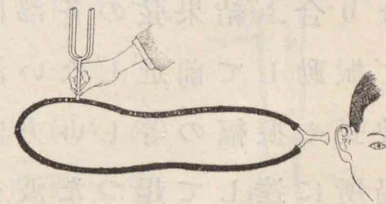
る。音叉の兩枝が外方に動いたときは反對になる。従つて内側から出た音波と外側から出

た音波とが交錯する方向では疎密部が重なり合つて音が打消される。一般に媒質の一部が二つの音波を同時に受けるとき、一方の波の密部と他方の密部とが重なれば合成波の振幅は増して音は強くなるが、一方の波の密部と他方の疎部とが重なれば合成波の振幅は減じて音が弱くなる。

この現象を波動の干渉といふ。

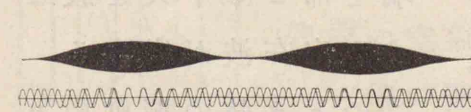
Interference

實驗 三又の管の二つの口に長い一本のゴム管の兩端を嵌め、一方の口に耳をあて、鳴らした音叉をゴム管の上に滑らせて行くと、音が聞えなくなつたり聞えたりする。



第 271 圖：唸りの實驗。

振動數の僅かに違つた二つの音叉を同時に鳴



第 272 圖：唸り。

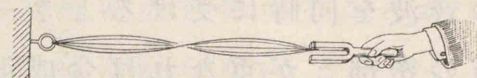
らすと左圖に示すやうに振幅の大きくなる所と小さくなる所

とが交互に出来て、そのために唸りを生ずる。これは波長が少し異なるために、一度密部と密部、疎部と疎部が重なり合つて後、少しづつ喰違ひを生じて遂に一波長だけの差が出来ると再び密部と密部が重なる。従つて 1 秒間に起る唸りの回數



は二音の振動数の差に等しい。

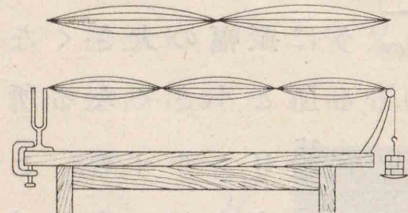
169. 定在波 弦の一端を固定し、他端に音又をつけてこれを鳴らすと、弦に生じた



第273圖：定在波。

波は固定點に達した後反射して来る。このとき、音又を引張つて弦に適當の張力を與へると、前進波と反射波とが重なり合ふ結果、弦の各部はそれぞれ異なつた振幅で振動して前進しない波形が出来る。かやうに波長や振幅の等しい方向反對の波が媒質の同一場所に達して起つた波を定在波といふ。そして振幅の最大の點を腹部、靜止點を節といふ。

170. 弦の振動 弦を張つて中央を弾くと兩端を節とし中央を腹とする定在波が出来る。



第274圖：弦の振動。

このとき弦の振動数  $n$  は弦の長さ  $l$  に逆比例し、張力  $T$  の平方根に比例し、單位の長さの弦の

質量  $m$  の平方根に逆比例する。

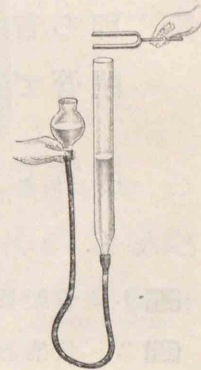
$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}$$

従つて弦の質量・張力・長さを適當に加減すれば、種種の調子の違つた音が出る。このやうに全長を一區として生ずる振動を原音といふ。全長の

Fundamental tone

$1/2, 1/3, 1/4, \dots$  の點を支へて弾くと全長を  $2, 3, 4, \dots$  區とする定在波が出来る。このとき弦の振動数は原音の  $2, 3, 4, \dots$  倍となる。か

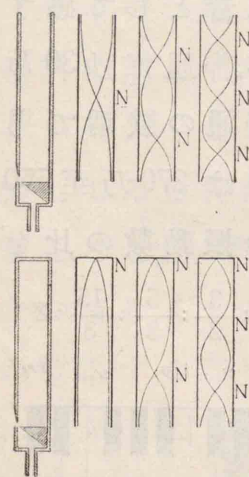
やうな音を倍音といふ。樂器の出す音は原音に種々の倍音を伴つて特有の音色を添へる。



第275圖：空氣柱の振動。

171. 空氣柱の振動 水面の高さを調節し得るやうにした硝子管の口の所に、鳴りつゝある音又を近づけて硝子管の水

面の高さを加減すると、或高さで管内の空氣が鳴出す。



第276圖：開管(上)及び閉管(下)内の空氣柱の振動。

一端の閉ぢた閉管或は兩端とも開いてゐる開管の開いた端の空氣に振動を起させると管内の空氣に疎密波の定在波が出来る。閉ぢた端は常に節となり、開いた端は常に節となる。左圖では管内の振動を分り易くするために



波形で表はしてある。

定在波は節と節の距離が 1/4 波長に等しいから管の長さを  $l$  とすると閉管では波長  $4l$  の原音を出し、倍音は  $\frac{4}{3}l, \frac{4}{5}l$  の波長を有する。開管では原音の波長が  $2l$ 、倍音の波長が  $l, \frac{2}{3}l$  等になる。即ち、音の速度を  $v$  とすると、原音の振動数は

閉管では  $n_1 = \frac{v}{4l}$

開管では  $n_2 = \frac{v}{2l}$

となる。

問1. 管楽器の側面の孔は何のためにあるか。

問2. 弦楽器の柱は何の役目をなすか。

172. 楽器の音階 我々の耳に音として感ずる振動は多少人によつて異なるが、普通毎秒30乃至3000の振動数のものである。普通の談話で男子の聲は毎秒90乃至140、女子の聲は270乃至550の振動数を有する。音楽では下の振動数の比をもつた音を排列して

$1 : \frac{9}{8} : \frac{5}{4} : \frac{4}{3} : \frac{3}{2} : \frac{5}{3} : \frac{15}{8} : 2$

音階を作る。

ド レ ミ ファ ソ ラ シ ド

振動数が二倍になるとこれを1オクターブといふ。最も大

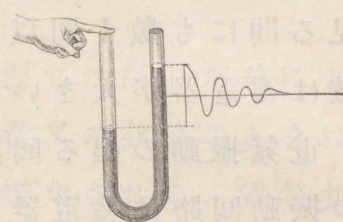


第277圖：ピアノの鍵盤。

きいピアノなどでは7オクターブまでの音を出し得る。

第三章 電 磁 波

173. 電氣振動 U字形の管に水を入れて一方を指で押さへ、他方に更に水を入れて水位の差を作つて指を放すと、水柱は上下に振動す

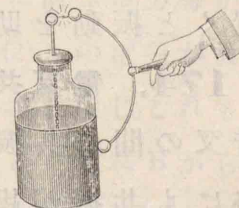


第278圖：液柱の振動。

る。これと同様に電位の違ふ二つの導體を導線で連絡すると電氣の振動が起る。これを電氣振動といふ。

ライデン瓶を充電して放電又の一端を外側の錫箔に接し、一端を瓶の先端の球に近づけると火花が飛ぶ。

この一つの火花を廻轉してゐる鏡に反射させて寫眞をとると第280圖のやうな縞になつてゐる。これは陰陽兩電氣が放電する際に一度で中和状態



第279圖：ライデン瓶の放電。

にならずに行き過ぎて反對の電位



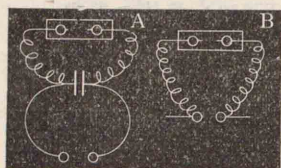
第280圖：電氣火花の廻轉鏡による寫眞。



を生じて再び放電が起り、順次にこれを繰返すからである。

電氣振動の週期は極めて短く、1秒の數十萬乃至數百萬分の一であるから、我々が一つの火花と見る間にも數十回以上の振動をしてゐる。振動數は蓄電器が大きい程少い。

電氣振動の起る回路を**振動回路**といふ。普通の振動回路は蓄電器と火花間隙とを連絡したも

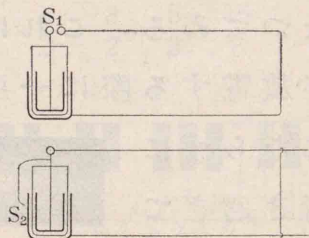


第281圖：振動回路。

ので、蓄電器の兩端を感應コイルの兩極に連絡する(第281圖A)。左圖Bのやうな火花間隙だけでも振動數の大きな電氣振動が起る。かやうな回路の電氣振動は直ちに衰へるが、振動回路に適當な自己感應コイルを入れて置くと振動を助けて盛んにする働きがある。

**174. 電氣共振** 同じ振動數の二つの振子や音叉の間に共振が起るやうに、二つの同調電氣回路にも共振が起る。この現象を**電氣共振**といふ。

**【實驗】** コの字形の針金の一端をライデン瓶の外箔に連絡し、他端を火花間隙 $S_1$ を残してライデ

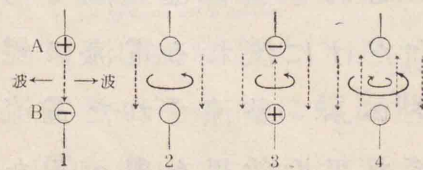


第282圖：電氣共振。

ン瓶の先端に近づける。別に同じ大いさのライデン瓶の内外箔を同形の針金に連絡し、別に細い針金を瓶の先端に結び、一端を外箔に近づけて火花間隙 $S_2$ を作る。第一の回路に電氣振動を起させると、第二の回路にも電氣振動が起り、間隙 $S_2$ に火花が飛ぶ。

**175. 電磁波** 振子の共振では吊した絲によつてエネルギーが傳へられ、音叉の共鳴のときは音波によつてエネルギーが媒介される。電氣共振の場合も何かエネルギーを媒介するものがなければならぬ。一つの振動回路に電氣の振動が起ると、一種の波が生じて、それによつて他方の振動回路に電氣振動を誘發する。この波を**電磁波**又は略して**電波**といふ。

かやうな波の起るのは次のやうに考へられる。(1) Aが陽に、Bが陰に充電されるとAからBに向ふ電力線が出來、その電場が周圍に廣がつて行く。(2)この電氣が放電するとその周圍に實線の矢の向の磁場を生じ、これも周圍に廣がる。(3)反對方向に充電されると更にBから



第283圖：電波の生成(點線の矢は電場の方向、實線の矢は磁場の方向)。

Aに向ふ電力線が出來る。(4)前と反對方向の放電により周圍に前と反對方向の磁場を生ずる。

かやうに電氣振動

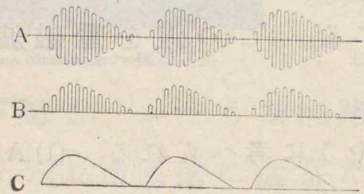


の起る周囲には絶えず方向の變化する電場と磁場が交互に發生傳播する。これが電磁波で、その電場と磁場の方向は常に直角をなしてゐる。

電磁波の速度は光波の速度と等しく  $3 \times 10^{10}$  秒<sup>-1</sup> 程である。1864年マクスウエルはこの事實に基いて光波も一種の電磁波で、その波長が短いために性質が相違してゐるといふ説を出した。これを**光の電磁波説**といふ。

176. 無線電信

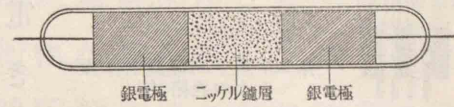
無線電信は電波の送受によつて通信をなすものである。送信機は火花間隙の



第284圖：無線電信の電波。

の両端を一は**架空線**に連絡し、他は**地絡**し、感應コイルや變壓器で火花を飛ばして電氣振動を起させるものである。送話機から出る電波は第284圖Aに示すやうな波形振動で、周波數があまり大きいので電話の受信機に通じても振動板は動かない。これを適當な装置で同圖Bに示すやうに一方向だけに流れる電流に變へる。これを**整流作用**といふ。整流された電流は受話機に同圖Cのやうな平均効果を與へるから、1秒間の火花の數を音の振動數位にして置け

ば音として感ずる。電波の來たことを檢知する装置を**檢波器**といふ。受信機は送信機の火花間隙の代りに受話機と檢波器を振動回路に入れたものである。



第285圖：コヒラー。

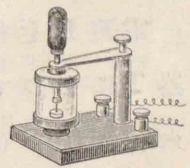
檢波器には種々ある。

**コヒラー**は最も舊式の

もので、二本の金屬棒の間に金屬の鍍層を入れたものである。これに電波を受けると鍍層が接着して抵抗を減じ、これを叩くと抵抗が元に歸る性質がある。これには整流作用はないから電池と電鈴を行に連絡して電波の

到來を檢知する。**鑛石檢波器**は金屬の針

を鑛石の面に接觸させるか、又は二種の鑛石の一方を尖らせて他の面に接觸させたものである。これを振動回路に入れると一方向の電流に對しては抵抗が小さく、逆



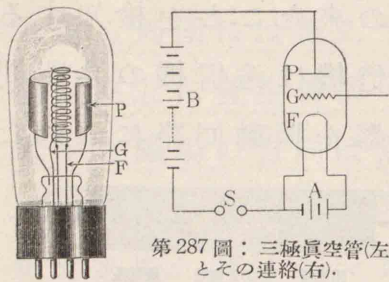
第286圖：鑛石檢波器。

の方向の電流に對しては抵抗が大きいため整流作用が行はれる。普通これに用ひられる鑛石は黃鐵鑛・斑銅鑛・紅亞鉛鑛・カーボランダム・方鉛鑛等である。

**眞空管檢波器**は眞空管内にフィラメント(F)と稱する白熱纖維條とプレート(P)と稱する金屬板を對立させ、その間に螺旋狀又は網狀の金屬線グリッド(G)を置いたものである。FをA電池からの電流で白熱し、PをB電池の陽極に、Fをその陰極に連

つねる。



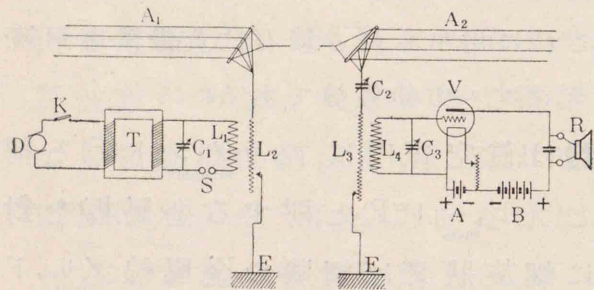


第287圖：三極真空管(左)とその連絡(右).

絡すると、Fから多数の電子が放出されてPに向つて進む。若しGの電位がFよりも高いときは電子はPに達して、

BAFPの回路に電流が通るが、Gの電位が低いと電子ははね返されてPに達しないから電流は通らない。従つてGとFとの二極を振動回路に入れると整流作用が起る。第288圖に實用に供されてゐる無線電信の連絡を示す。

電鍵Kを押すと発電機Dから交流が流れ、これが變壓器Tによつて電圧を高められて蓄電器C<sub>1</sub>に蓄へられる。火花間隙Sは金属板を数枚接近させたもので、これを通して放電が起ると回路に電氣振動が起る。この振動がコイルL<sub>1</sub>からL<sub>2</sub>に共振して電波が架空線から輻射する。



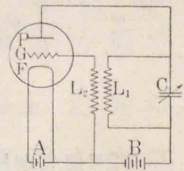
第288圖：無線電信連絡圖(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, アンテナ, K, 電鍵, T, 變壓器, C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, 蓄電器, D, 發電機, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub>, コイル, A, B, 電池, R, 受話機, V, 真空管, E, 地絡).

電波が受信機のコイルL<sub>3</sub>に到達するところに共振した電氣振動をL<sub>4</sub>に起して、真空管のグリッドの電位を變化さ

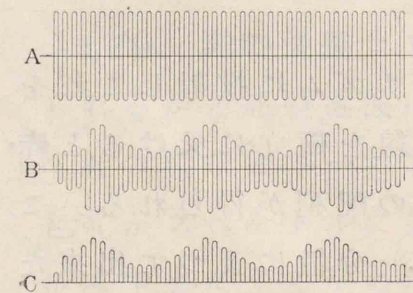
せる。真空管の整流作用によつて脈搏的電流が受話機に送られて音を出すから、電鍵を押してゐる時間の長短によつてこれに應じた電信記號を送ることができる。

177. 無線電話 無線電信に用ひるやうな火花による振動電流は振幅が暫時にして減少する減衰振動である。無線電話にはこれに適當の電氣エネルギーを供給して振幅の一定した振動即ち非減衰振動とすることが必要である。それにはやはり三極真空管が用ひられる。

右圖に示すやうにPBF回路に蓄電器Cと自己感應コイルL<sub>1</sub>を入れるとプレート電流が振動的になる。この振動がL<sub>2</sub>に共振してグリッドの電位を週期的に變化させ、プレート電流の振動を更に助けるやうになつて非減衰振動が起る。グリッドは丁度ゼンマイの力で時計の齒止が振子の運動を永續させるのと同様の働きをする。



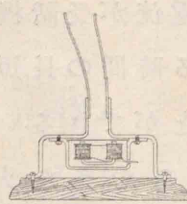
第289圖：真空管發振裝置.



第290圖：非減衰振動の電波.

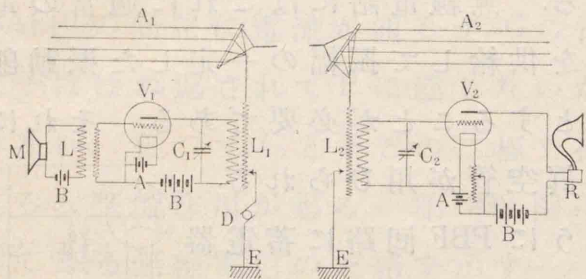
かやうにして生じた左圖Aのやうな非減衰振動に送話機によつて音波を織込むと同圖Bのやうな振動となり、受話





第291圖：擴聲器  
の下部。

装置の檢波器で整流されると同圖Cのやうな形になつて、受話機又は擴聲器で音聲が再生される。擴聲器は一種の受話機に喇叭を取付けて音聲を擴大するものである。左



第292圖：無線電話連絡圖 (A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、アンテナ、A、B、電池、L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub>、コイル、D、發電機、E、地絡、V<sub>1</sub>、V<sub>2</sub>、真空管、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、蓄電器、R、擴聲器)。

圖は實際に行はれてゐる無線電話装置の接續の一例を示したものである。

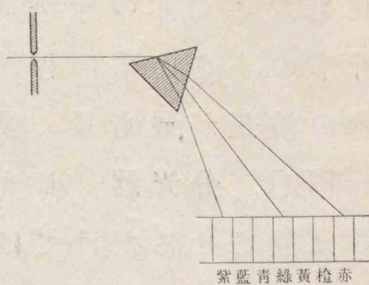
### 第四章 光 波

#### 178. 光の分散

**豫備問題** 虹はどんな色から成るか。またどういふときに来るか。

日光を細隙を通してプリズムに投射し、これを透過・屈折して出て来た光線を衝立に受けると **赤** (Red) **橙** **黄** **緑** **青** **藍** **紫** 等の色の配列が得られる。この現象を **光の分散** (Dispersion of light) といふ。分散によつて出来た色の配列を **スペクトル** (spectrum) といふ。

スペクトルの中の或一つの色の光を取出して今一度プリズムに投射させても最早スペクトルに分れない。かやうな光を **單色光** (單光) といふ。



第293圖：光の分散。

混合した光を **複色光** (複光) (Composite light) といふ。

プリズムによつて分散した七色を今一度同じやうなプリズムを反對の向きに置いて透過させると再び白色の光が得られる。即ち白色光はこれ等の七色の光の複色光である。電燈や蠟燭の光も同様である。然し白色の光は常にこの七色の光から得られるとは限らない。スペクトルの中、赤と青味がかつた緑、橙と青、黄と藍、緑がかつた黄と紫等の二つの色の光を合せても白色光が得られる。かやうな二色を互に **餘色** (Complementary colour) といふ。

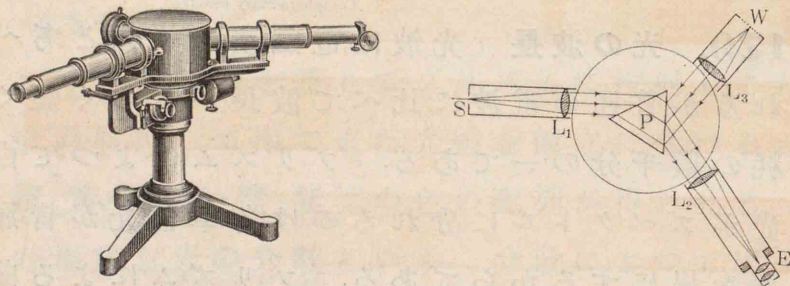
**179. 光の波長** 光波は電磁波の一種と考へられるが、普通の電波に比べて波長が著しく短く、1 兆の數千分の一である。プリズムによつて白色光がスペクトルに分れるのは各單色光が皆屈折率を異にするからである。プリズムによる曲り方の大小から知れるやうに屈折率は紫の光が



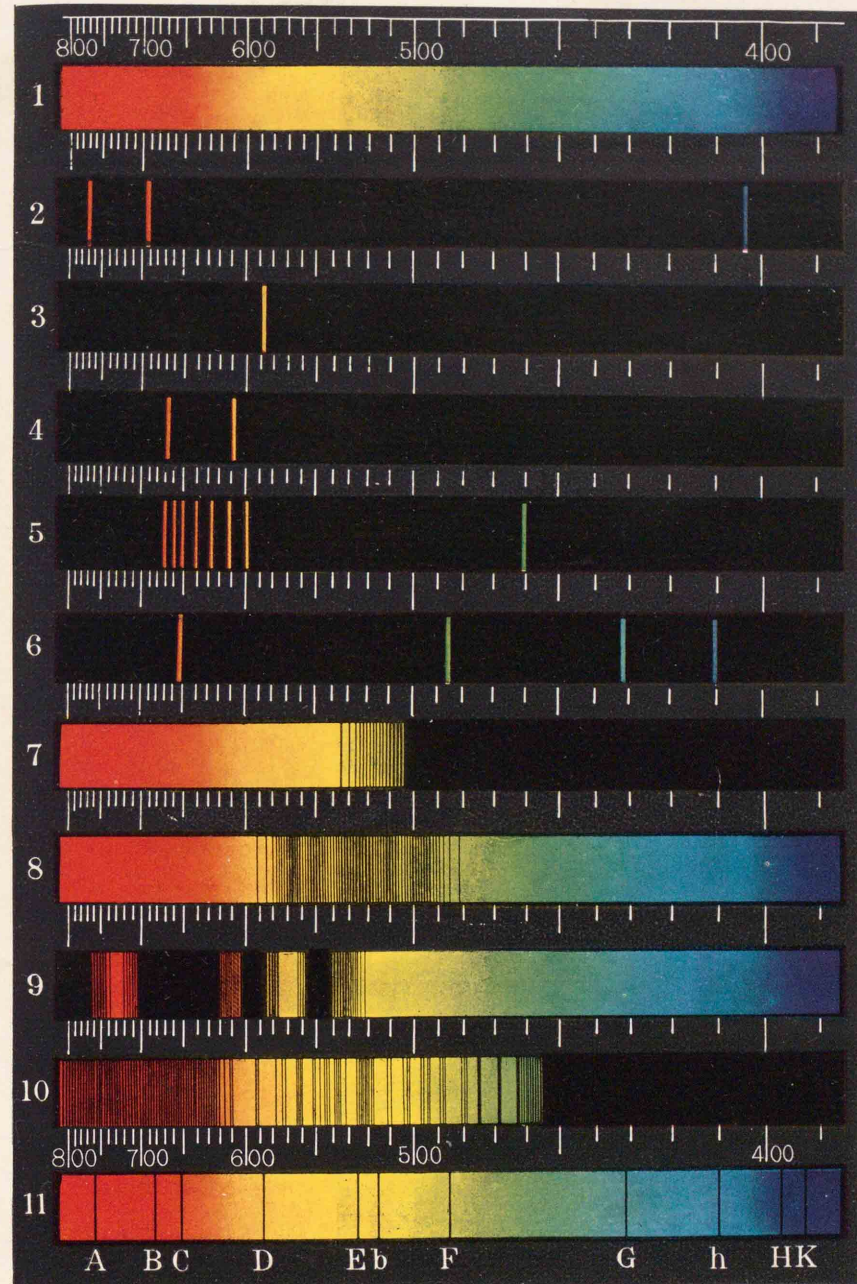
最も大きく、赤の光が最も小さい。また一般に屈折率の小さいもの程波長が長い。即ち単色光中赤の波長が最も長く紫の波長が最も短い。

180. 分光器 日光を單にプリズムに投射して分散させるだけでは各單色光が多少重なり合つてゐる。純粹の單色光から成るスペクトルを得る装置を**分光器**といふ。その主要部は先端に細隙を有し他端に凸レンズを嵌めて平行光線を得る**コリメーター**と稱するものと、 $60^\circ$ の角をもつプリズムと1個の望遠鏡とからなる。細隙の前に光源を置くと望遠鏡の對物レンズによつて細隙の像が各單色光によりそれぞれ違つた位置に出来るから、對眼レンズを覗くと純粹のスペクトルが見られる。

分光器の或物には、今一つの圓筒があつてその一端に波長を目盛した硝子板が嵌つてゐる。これを光で照ら



第294圖：分光器とその説明圖 (S.細隙,  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ , レンズ, P.プリズム, E.對眼レンズ, W.波長目盛).



(1) 連続スペクトル (2)–(6) 順に カリウム・ナトリウム・リチウム・ストロンチウム・水素の發散スペクトル (7)–(10) 順に 重クロム酸カリ・過マンガン酸カリ・コバルト硝子・二酸化窒素の吸収スペクトル (11) 太陽のスペクトル



すとその光はプリズムの後面で反射してスペクトルと同じ位置に目盛の像が出来るから、各単色光の波長を直ちに知ることができる。

**181. スペクトルの種類** 電燈や燭火を分光器で見ると連続した七色の光の配列が見える。かやうなスペクトルを**連続スペクトル** Continuous spectrum といふ。白熱された固体や液体から出る光は一般に連続スペクトルで、燭火が連続スペクトルを出すのは焰中に白熱された炭素の細粒があるからである。

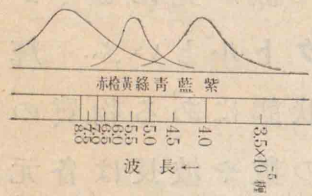
ブンゼン燈の無色焰に食鹽を含ませると黄色の光を出し、水素やネオンを封じたガイスレル管からは赤色の光が出る。これ等の光を分光器にかけると一本乃至數本の輝いた線が見える。かやうなスペクトルを**輝線スペクトル** Line spectrum といふ。輝線スペクトルは一般に氣體の状態にある物質の原子から發するので、その輝線の數や波長は各元素によつて定まつてゐる。それ故、輝線スペクトルの位置を驗べて發光物質の何であるかを知ることができる。これを**スペクトル分析** Spectral analysis といふ。

光源と分光器の間に色素その他の物質があると連続スペクトルの一部が吸収されて黒線や黒帯が現はれる。かやうなスペクトルを**吸収スペ** Absorption spectrum



クトルといふ。

182. 不可視光線 日光をプリズムで分散させると、我々の眼には赤から紫までの光しか見えない。然しスペクトルの赤より外側の方即ち赤より波長の長い方に鋭敏な寒暖計を置くと温度が幾分昇るから、この邊にも一種の輻射線があることが知れる。これを**赤外線**といひ、熱作用が強いから**熱線**ともいふ。太陽や赤熱された物體から出る輻射熱はこの線的作用である。また日光スペクトルを寫眞乾板に当てると紫の外側の方即ち紫より波長の短い方まで感ずる。これを**紫外線**といひ、化學作用が強いから**化學線**ともいふ。



第295圖：可視光線・赤外線・紫外線の強さ。

紫外線は物質に吸収され易い。太陽から来る光には多くの紫外線が含まれてゐるが、大部分は大氣に吸収されて一部が地上に来る。石英製の真空管に水銀を入れて放電させると紫外線に富んだ光が得られる。これを水銀燈又は太陽燈といひ、殺菌作用が強いから紫外線療法に用ひる。赤外線・紫外線は眼に見えないから、**不可視光線**といひ、これに對し普通の光を**可視光線**といふ。



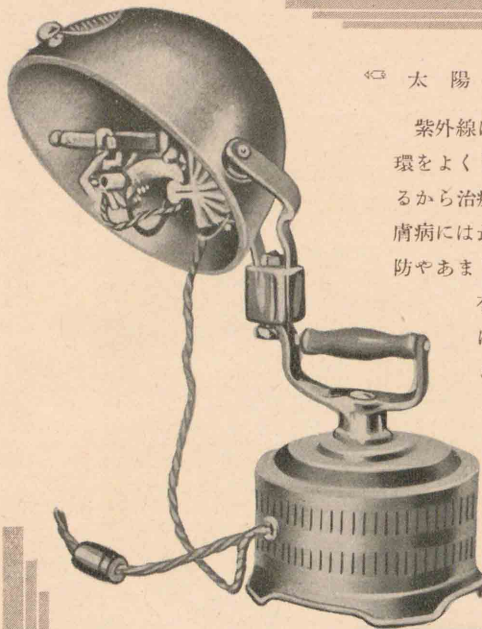
普通の光線で撮った寫眞



赤外線で撮った寫眞

- 空氣中に浮游する塵埃や水滴及び空氣の分子などの微粒子は、日光の中の青や紫などの波長の短い光を散亂させるが、赤や赤外線などの波長の長い光は通過させる。寫眞機に赤外線を通す濾光板を取付け、或色素で薄く染めた赤外線乾板を用ひて寫眞を撮ると、霞んだ遠方の景色なども明瞭に撮れる。青空は暗くうつり、緑の植物は赤外線をよく反射するから白くうつる。雲の寫眞を撮つたり、飛行機で遠方の地形を撮影するに利用される。





太陽燈

紫外線は微菌を殺したり血液の循環をよくしその他種々の刺戟を與へるから治療上によく用ひられる。皮膚病には最も効果が多い。結核の豫防やあまり重症でない結核患者にも有効であるが、重症患者には刺戟が強過ぎて害があることがある。その他一般の呼吸器病に有効である。室内に紫外線を多く探入されるやうにすると感冒にかゝらない。冬期感冒患者の多い一原因は太陽に紫外線が少いからである。

紫外線にはかやうな治療的效果が多いので近時紫外線をよく出す電燈が作られたり、普通窓硝子は紫外線を吸収するので特別紫外線をよく透過する硝子が作られてゐる。高山などに日光療養所が建てられるのもこのためである。

紫外線療法



問 寫真に赤や黄は黒く、青や紫は白く寫るのは何故か。

183. キルヒホッフの定律 弧燈を點じてその像を凸レンズで分光器の細隙の上に作つて置き、細隙と凸レンズの間に食鹽を含ませたブンゼン燈の焰を置いてスペクトルを驗べると、ナトリウムの輝線に相當した位置に黒線が現はれる。このとき弧燈を消すとその位置にナトリウムの黄色線が現はれる。これは比較的溫度の低いナトリウムの蒸氣が、溫度の高い弧燈の光からその輝線スペクトルに相當する黄色光を吸収するためである。この現象をスペクトル線の逆變といふ。

Reversal of spectral line

氣體は高溫度に於て自ら輻射すると同じ色の光を吸収する。

これをキルヒホッフの定律といふ。

Kirchhoff's law

184. 太陽のスペクトル 太陽のスペクトルをプリズムに投射するだけでは連続した色の配列だけしか見られないが、分光器で精密に驗べるとその中に多數の黒線が見出される。この線をフラウンホーヘル線といひ、その主なものは位置によつてA, B, C, D, E, F, G, H等の名が與へられてゐる。太陽のスペクトルにフラウンホーヘル線の現はれるのはスペクトル線の逆變のためであ

Fraunhofer lines

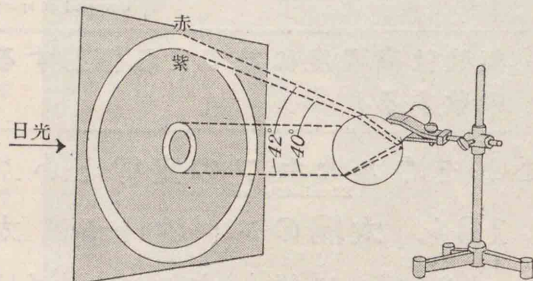


Fraunhofer lines			
線	波長 (nm)	色	物質
A	$7.594 \times 10^{-3}$	暗赤	O
B	6.867 //	赤	O
C	6.563 //	赤	H
D	5.893 //	黄	Na
E	5.270 //	緑	Fe, Na
F	4.862 //	青	H
G	4.308 //	紫	Fe
H	3.969 //	暗紫	Ca

る。即ち太陽の本體は 6000°C 位の白熱體であるから、連続スペクトルを出してゐるが、その周圍には比較的溫度の低い種々の元素の蒸氣が存在してゐるため、それ等の物質の出すべき波長の光を吸収するからである。この線の波長から太陽を圍繞してゐる物質を知ることができる。

### 185. 虹

**實驗** 環状の隙間を作つた衝立から日光を直角に導き入れて、この環よりやゝ大きな直徑



第296圖：虹の實驗。

を有する丸底フラスコに水を満したものに投射させると、屈折・反射した光は隙間と同心の着色した環を描く。

虹は大氣中に浮遊してゐる無数の水滴のために日光が分散されて起る現象である。球形をなした水滴に日光が種々の入射角で入射して水滴内で、一回又は二回反射して水滴外に屈折して出

て行くとき、一般には光は發散光となるが、屈折光が入射光に對して最も大きな角をなすやうな方向には發散光とならないで殆ど平行に進むから強く感ぜられる。この角は光の色によつて違ふ。即ち

一回反射の場合

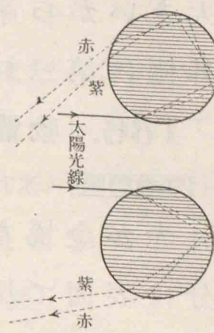
- { 赤 42° 24'
- 紫 40° 32'

二回反射の場合

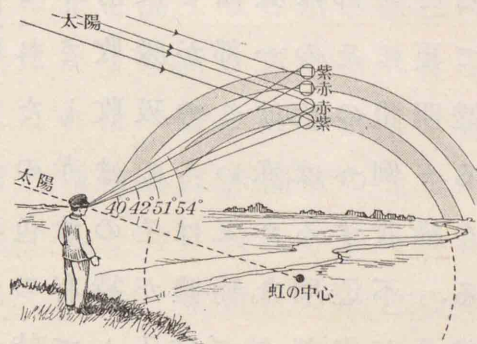
- { 赤 50° 25'
- 紫 53° 46'

となる。太陽を背にして立つと、太陽

と眼を結ぶ直線を軸とし 42° 24' の角度をなした圓錐面上の水滴からは赤色の光が強く感ぜられ、40° 32' の方向の水滴からは紫色の光が強く感ぜられる。その間の方向にある水滴からは他の色の光が強く感ぜられるから、スペクトルと同じ様な色の配列をした色環が出来る。水滴内の一回の反射によつて出来た虹を**第一虹**、二回の反射によつて出来た虹を**第二虹**といひ、第二虹は角度が



第297圖：水滴による光の屈折。



第298圖：虹の生成。



大きいから第一虹の外側に出来、第一虹では赤が外側に、第二虹では赤が内側になる。

### 186. 物體の色

**豫備問題** 氷は透明であるのに雪の白いのは何故か。

光が金属などの磨いた表面に当たるとその大部分は表面で反射される。一般に光澤の強いものでは表面反射が大きい。普通の物體に光を当たると一部は表面で反射するが、一部は内部に入つて更にその一部が吸収され残りの光が通過する。透明體の色はこの吸収した光の色によつて定まる。例へば、赤いものは赤の光以外のすべての光を吸収するか又はその餘色の青緑の光を吸収する。不透明な物體が特有の色を呈するのは光の幾分が内部まで侵入して特別の色光だけが吸収され、残りの光が内部組織の面で反射されて表面から出て来るためである。例へば、赤色以外の光をすべて吸収すれば赤く見え、少しも吸収がなければ白く見え、全部が吸収されれば黒く見える。

**問 1.** 蠟燭の光で白い紙と黄色い紙との見分けが付き難いのは何故か。

**問 2.** 寫真暗室の赤色光の下で青や緑はどんな色に見えるか。

**問 3.** 硫酸銅は青い結晶であるが粉末にすると白く見えるのは何故か。

**187. 光の色と繪具の色** 互に餘色をなす二種の色光を混ざると白色光が得られるが、赤・緑・藍の三色光を適當の割合にして一個所に集めてもやはり白色光が得られる。またその割合を種種に變へると任意の色光が得られるから、これ等の三色を**光の三原色**といふ(口繪參照)。

Three colours of light

繪具の混合によつて得られる色は光の場合と異なる。即ち黄と青の光を混ざると殆ど餘色に近いから、白っぽい光になるが、黄と青の繪具を混ざると綠色になる。これは一般に黄の繪具は青・藍紫の光を吸収し、青色の繪具は赤・橙・黄の光を吸収するので、二つを混ざると共に吸収されない緑だけを反射するからである。赤・黄・青の三色の繪具を適當の割合に混ざると任意の色が得られるからこれ等を**繪具の三原色**といふ(口繪參照)。

Three primary colours of pigments

**三色版**は寫真機に紫・緑・赤の濾光板(フィルター)をかけて着色物を分解撮影してそれぞれ黄・赤・青の陰畫を得る。これから黄・赤・青の三種の版をつくり、それぞれの色の印刷インキで一枚の紙に印刷すると原畫と同様な繪が得られる(口繪參照)。

**188. 螢光と燐光** 暗室内で石油や赤インキに太陽の光線を当てると、光の當つた部分は石油では紫に、



赤インキでは緑色に見える。これを**螢光**といふ。

Fluorescence

カルシウム・バリウム・ストロンチウム等の硫化物を日光に暫時曝して暗室に持つて来ると、それぞれ美しい光を出す。これを**燐光**といふ。螢光や燐光の現象を起すのは紫外線が最も著しい。

Phosphorescence

螢光現象は或波長の光を物質分子が吸収して直ちに波長の違つた光として輻射する現象である。燐光は物質が光のエネルギーを吸収して暫時これを蓄へて後波長の違つた光を出す現象である。

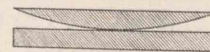
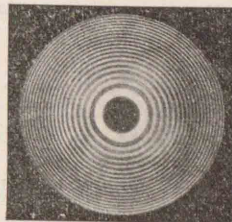
**189. 光波の干渉** 光波も音波と同じやうな波動の一種であるから、干渉の現象が起る。

**〔実験〕**(1) 二枚の平らな硝子板の一端に錫箔を挟んで重ね合せて楔形とし、これをナトリウム焰の光で照して見ると明暗の縞が見える。

空気その他の透明物質の極めて薄い層に光が當つて反射するとき、表面と裏面とで反射した光波の山と山が重なれば光は強められるが、山と谷が重なれば打消されて暗くなる。空気の薄層の厚さが上の実験のやうに楔形になつてゐると兩反射光の**道のり**の差が波長の整数倍になつてゐるやうな厚さの所では明るく、その中間では暗いから縞になつて見える。この現象は光の波長にも關係する。即ち赤色の光で照らすと縞は疎であ

るが、紫色の光で照らすと密である。

平面硝子板の上に曲率半徑の大きい凸レンズを重ねたものをナトリウム焰の光で照らすと同心圓形の干渉縞が見える。これは平面硝子板と凸レンズとの間の空気層の同じ厚さの所が、切點を中心とした



第299圖：ニュートン環(上)とニュートン板(下)。

圓になるからである。これを**ニュートン環**といふ。Newton rings 白色の光でこれを照らすと環は虹のやうに色づいて見える。これは干渉の結果或色の光が消されてその餘色を現はすため、色によつて環の半徑が違ふから虹のやうに見えるのである。

**〔実験〕**(2) 熱湯に鹽素酸カリを十分澤山溶かして靜かに放置すると、冷えるに従つて鹽素酸カリの薄い板狀の結晶が出来る。窓の側でこの結晶片を見るとどんなに見えるか。

**〔問〕** 石鹼球や水面に浮かんだ油の薄膜が着色して見えるのは何故か。

**190. 偏光** 光波が電波と同様なものであるとすると、横波でなければならぬ。このことは次の現象によつて證明される。結晶軸に平行に切つた電氣石の薄板二

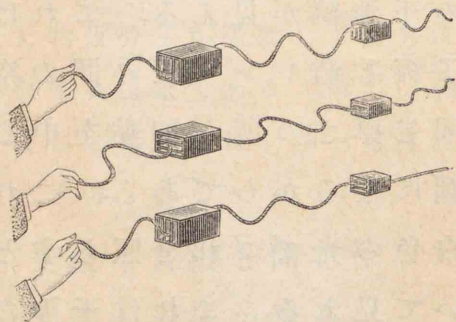


第300圖：電氣石挾。



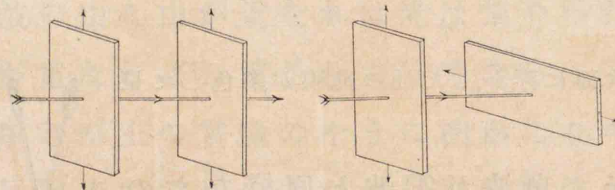
枚を重ねて空の光を見るとき、兩板の結晶軸が平行になつたときは電氣石の本來の色である黄綠色に見えるが、一方の板を廻轉すると段々暗くなつて兩結晶軸が直交したときは全く暗黒になる。

**實驗** 二つの格子を貫いて水平に張つた綱の一端を持つてこれにコイル形の波動を與へると、第一の格子は一平面内に振動する波形だけを通し、第二格子は第一格子と平行ならば影響はないが、直角の方向にあるときは波形を全く消してしまふ。



第301圖：偏光に於ける波の偏りを示す實驗。

光波の振動はその進行方向に對して直角な面内にあるが一方向には限られてゐない。電氣石



第302圖：電氣石の結晶軸を平行にする。

は結晶軸に平行な振動方向の光だけを通して直角な振動

方向の光を通さないから、軸が直角になつてゐるときは光は通らない。振動の方向が一方向だけ

第303圖：電氣石の結晶軸を直角にする。



### 音波・電波・光波

紀元前500年、既にピタゴラスは音響の研究をなし、同じ張力を持ち長さが簡単な比をなした絃が調和することを見出した。これは自然現象に對する法則を實驗から求めた最初のものである。アリストテレスは音は發音體の振動が空氣によつて傳へられ、山彦は音の反射によるものと考へた。然し高い音ほど速度が大きいといふ彼の考は誤つて居り、後ガリレオの弟子ガッセンヂ(Gassendi, 1592-1655)によつて訂正された。音の高低が振動數によることは1600年頃ガリレオによつて見出された。ドイツのヘルムホルツ(Helmholz, 1755-1827)は唸りや共鳴など音響學上幾多の研究をなして近世音響學の基礎を作つた。



アメリカのヘンリー(Henry, 1799-1878)はライデン瓶の放電が振動性のものであることを發見した。これが無線



ヘルツ

電信の發見の端緒になつた。ドイツのヘルツ(Hertz, 1857-1894)はライデン瓶又はコイルを通して放電の際火花から電磁波が出ることを發見し、又この波は光波と同じやうに反射・屈折・干涉等の現象を呈することを見出した。ヘルツは始め檢波器としてガイスレル管を用ひたが、後フランスのブランリー及びロッヂなどの人々によつて發見されたコヒラーを使用した。

1897年イタリーのマルコニー(Marconi, 1874-

)は電信機の架空線を省略して電波を以て通信することに成功した。米人ド・フォレスト(de Forest)が三極真空管を發見するに及んで、無線電信は非常な進歩をなした。それはリーベン(Lieben)、スラビー(Slaby)、アラゴ(Arago)、ブラウン(Braun)などの人々の功績顯著なものがある。



マルコニー

光の色に關する古來の知識は極め



て幼稚で、又正確なものではなかつた。アリストテレスは物體の色は白と黒との種々の組合せで出来、又虹は雨滴がそれぞれ特殊の色を反射するために起ると考へてゐた。ニュートンが太陽の光をプリズムで受けると七色に分れることやニュートン環の色は虹の色と等しいことを発見するに及んで、光の色に對する概念が明瞭になつた。



キルヒホッフ



フラウンホーヘル

太陽スペクトル中に黒線のあることはイギリスのウラストン (Wollaston, 1766-1828) によつて見出されたが、これを知らず獨立にドイツのフラウンホーヘル (Fraunhofer, 1787-1826, バヴァリヤの産) によつて発見された。物質の輝線スペクトルもフラウンホーヘルによつて見出された。ドイツのキルヒホッフ (Kirchhoff, 1824-1887) やブンゼン (Bunsen, 1811-1899) は黒線の位置から太陽中にある物質を推定した。赤外線はイギリスでハーシェル (Herschel, 1738-1822, ドイツの産) によつて発見され、紫外線はドイツのリッター (Ritter, 1776-1810) 及びウラストンによつて発見された。

光の本性についてはニュートンは微粒子放射説をオランダのハイゲンス (Huygens, 1629-1695) は波動説を立て兩説相對峙してゐた。然しイギリスのヤング (Young, 1773-1829) によつて干渉の原理が明かにされ、デンマークのバルトリウス (Bartholius, 1625-1692) によつて方解石の複屈折が発見されるに及んで波動説が専ら行はれるやうになつた。フラデーは一つの偏光を電磁石の間を通すと振動方向が變化することを見出し、電氣と光との間に密接の關係のあることがわかつた。イギリスのマクスウェル (Maxwell, 1831-1879) はフラデーの實驗に基き理論的に光の本性が電波と同じく電磁波であるといふ説を出した。



ハイゲンス

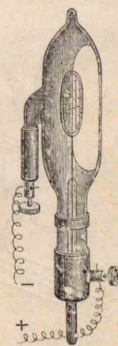


マクスウェル

太陽スペクトル中に黒線のあることはイギリスのウラストン (Wollaston, 1766-1828) によつて見出されたが、これを知らず獨立にドイツのフラウンホー

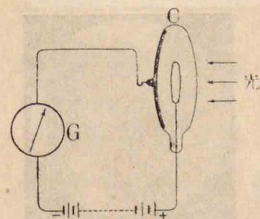
に限られた光を偏光といふ。  
Polarized light

191. 複屈折 方解石を通して文字を見ると二重になつて見える。これは光が方解石を透過するとき二つに分けられ、それぞれ違つた方向に屈折して行くためである。この光を一枚の電氣石を廻轉しながら通して見ると、或位置で一方だけが明瞭に見え、他の方は見えなくなる。この位置から更に90°廻轉すると反對に前に見えなかつた文字が明瞭になる。これによつて光が方解石の結晶を通ると互に直角な方向に振動する二つの偏光に分けられることが分る。この現象を複屈折といふ。  
Double refraction



第304圖：光電池。

192. 光電池 金屬の表面に波長の短い光や紫外線などが投射すると、表面から電子が放出される。この現象を應用して光のエネルギーを電氣的エネルギーに變へるものを光電池といふ。光電池は真空硝子球内の



第305圖：光電池の連絡。

の半面にカリウム・セシウム等の金屬膜を付けて陰極とし、中央にニッケル・アルミニウム等の網を置いて陽極としたものである。これを電流計と電池とに結んで回路を作り、光を陽極側の方から金屬面に當てると電子が逸出



して陽極に引かれて電流を通すやうになる。この電流の強さは投射光の強さに比例するから光の強弱が測定出来る。この性能のために光電池は光度計・寫眞電送・發聲活動寫眞等に利用される。

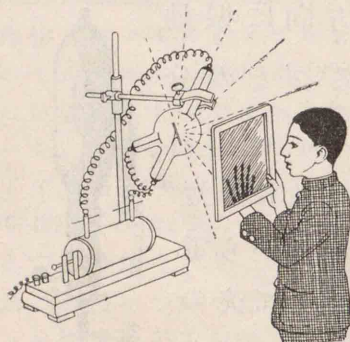
### 第五章 X線 原子の構造

#### 193. X線

豫備問題 ① クルックス管とは何か。

② 陰極線はどうしたら出るか。またその本性は何か。

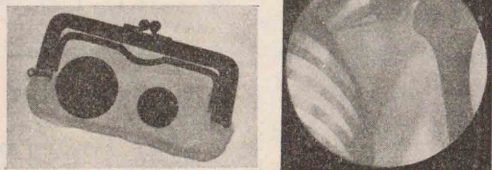
クルックス管内で陰極線が物體に衝突すると、そこから眼に見えない一種の放射線が出る。これを



第306圖：X線の發生。ニウムの凹形陰極板から陰極線が發射され、タングステンや白金などの金屬で出來た

對陰極板に衝突して、そこからX線を出す。近年多く用ひられるクーリッジ管球では陰極が螺旋狀に巻いたタングステン織

す。近年多く用ひられるクーリッジ管球では陰極が螺旋狀に巻いたタングステン織



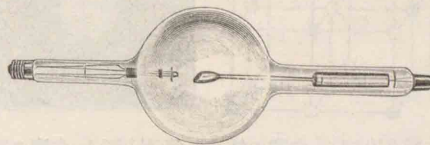
第307圖：X線寫眞(左、莖口、右、肩の骨)。

X線又はレントゲン線といふ。

左圖は普通のX線管球を使用してゐる所である。アルミ

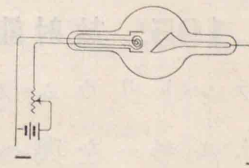
條から出來て居て、これを電池からの電流で熱すると電子が放出されて對陰極板に衝突してX線を出す。

X線を白金シアン化バリウムを塗つた板に當てると綠色の螢光を放つ。X線は



第308圖：クーリッジ管球。

寫眞乾板によく感じ、また氣體に當てるとその分子を電離してイオンにする。光に不透明な皮・筋肉などをよく透過するから、人體内部の診療に用ひられ、また種々の治療的效果もあるので醫學上重要である。



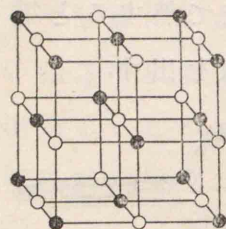
第309圖：クーリッジ管球の連絡圖。

實驗 驗電器の箔を開いて置いてこれにX線を當てるとどんな現象が起るか。

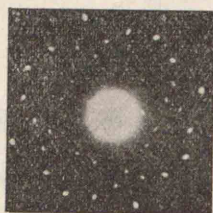
174. X線の本性 X線は陰極線と違つて磁場の間を通つても方向を變へないことから、帶電した微粒子の流れでないことが知れる。X線の本性はラウエがX線の干涉を發見するに及んで、電磁波の一種であることがわかつた。

結晶體內では原子が規則正しく配列して種々の面を作つてゐるから、結晶板にX線を投射するとそれ等の面で反射し、干涉を起して規則正しい方向に曲げられる。





第310圖：食鹽の結晶内に於ける原子の配列。



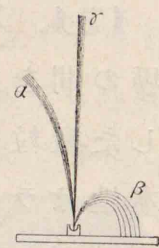
第311圖：食鹽のラウエ斑點。

従つて細い X 線を結晶を通して寫眞乾板の上に投ずると多くの斑點が現はれる。この斑點をラウエの斑點といふ。その位置から X 線の波

長を計算するとほぼ  $10^8$  程度であることがわかつた。

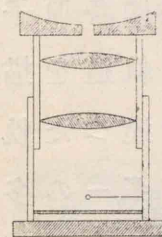
195. 放射能 X 線が発見されて間もなく、ウラン・トリウム・ラヂウム等の物質は別に電氣的エネルギーを與へなくとも自然に X 線や陰極線に似た輻射線を發する性能があることが認められた。この性能を放射能といひ、その性能のある物質を放射能物質といふ。

放射能物質から出る輻射線に磁場を働かせると三種の線に分れる。これをそれぞれ  $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$  線といふ。 $\beta$  線は陰極線と同じ方向に曲げられるから、電子の流れであることが知れる。その速度は陰極線に於けるよりも速い。 $\gamma$  線は磁場によつて曲げられないから、X 線と同じやうな電磁波であつて、その波長は X 線よりも更に短い。 $\alpha$  線は  $\beta$  線と反對の方向に曲げ



第312圖：ラヂウム放射線。

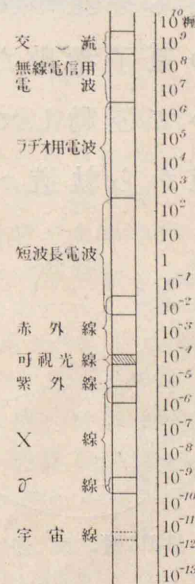
られるから陽電氣をもつた粒子の流れであることがわかる。これは陽に帶電したヘリウム原子である。物質を透過する力は  $\gamma$  線が最も強く  $\beta$  線・ $\alpha$  線がこれに次ぐ。何れも寫眞作用や電離作用がある。醫療上の効果は X 線などよりも更に強いから醫學上に尊重される。



第313圖：燦爛鏡。

燦爛鏡は筒の一端に硫化亜鉛を塗つた板とその前に放射能物質をつけた針とを具へ、 $\alpha$  線の衝突による硫化亜鉛の螢光を一端の蟲眼鏡によつて覗くものである。

196. 電磁波の種々相 電波・光波・X 線・ $\gamma$  線等は何れも電磁波である。電磁波はその波長の相違するだけでかやうに違つた性質をもつやうになる。今日では尙宇宙線と稱して  $\gamma$  線より更に波長の短い電



第314圖：種々の電磁波。

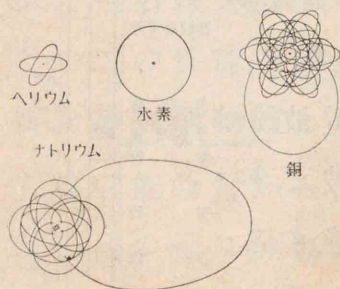
磁波の存在することがわかつた。これ等の電磁波を波長の順に列べると第 314 圖のやうになる。

197. 原子の構造 熱線から X 線までの電磁波は何れも原子や分子から出るものである。こ



れによつて原子の構造は極めて複雑なものであることがわかる。元素の週期律により原子を原子量の小さいものから順次に列べたときの番数を**原子番数**といふ。原子番数の大きい原子ほど構造が複雑である。

原子には陽電氣をもつた核があり、その周圍に恰も惑星が太陽の周りを運行するやうに各原子の原子番数だけの電子が圓軌道や楕圓軌道を描いて運動してゐる。各電子はまた種々違つた軌道から軌道へと轉じ得るもので、エネルギーの多い軌道から少い軌道へ轉ずればそのエネルギーの差だけが電磁波として輻射される。そのエネルギーの多少によつて或は光となり、X線となる。また或輻射線を吸収すると電子はエネルギーの少い軌道から多い軌道に移る。スペクトルの吸収線などはこのとき生ずる現象である。原子が數個集つて出來た分子内でも原子がこれと類似の運動をしてゐて、赤外線の輻射や吸収が行はれる。



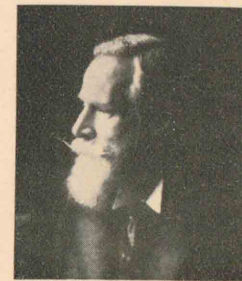
第315圖：原子模型。

— (終) —

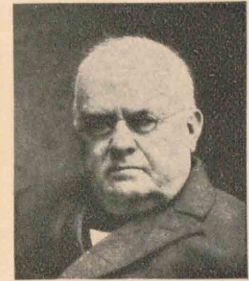


### 眞空管・X線・原子の構造

1860年ドイツのボンの硝子工ガイSSLER(Geissler, 1814-1879)が卓越せる技術を以てガイSSLER管を作つて以來、イギリス人クルックス(Crookes, 1832-1919)その他の學者によつて眞空管の放電現象が盛んに研究された。1870年にはドイツのヒットルフ(Hittorf, 1824-1914)が陰極線を発見し、1895年にはドイツのレントゲン(Röntgen, 1845-1923)によつて近世物理学の劃期的大発見であるX線が見出された。皮や紙を透して螢光板に骨や金属の影の映ることは當時の人の驚異的であつた。1896年フランスのベックレル(Bequerel, 1852-1908)はウランからX線と類似の放射線が出ることを発見し、同じくフランスのキュリー夫妻(P. Curie, 1859-1906, M. S. Curie, 1867-1934)がウランよりも百萬倍も放射能の強いラヂウムを発見して以來物質の原子は不可分のものではなく崩壊して他の原子に變化し得るものであることが明らかになつた。



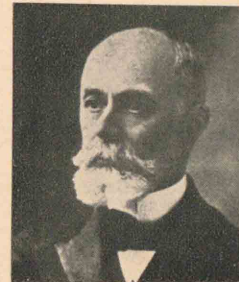
クルックス



ヒットルフ



レントゲン



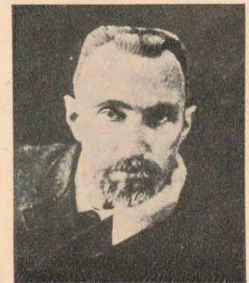
ベックレル

フランスのキュリー夫妻(P. Curie, 1859-1906, M. S. Curie, 1867-1934)がウランよりも百萬倍も放射能の強いラヂウムを発見して以來物質の原子は不可分のものではなく崩壊して他の原子に變化し得るものであることが明らかになつた。

イギリス人ラサフォード(Rutherford, 1871-)はラヂウムから $\alpha, \beta, \gamma$ の三種の放射線が出ることや $\beta$ 線は陰極線と同性質のものであることを発見した。これに續いて同國の



キュリー夫人



キュリー

チェー・デー・トムソン(J. J. Thomson, 1874-1940)は電子を発見した。これによつて原子の内部構造が明らかになつた。





トムソン



ラサフォード

Thomson, 1856- )によつて電子が発見された。然しX線や $\gamma$ 線の本性については永らく不明であつたが偶、ドイツのラウエ(Laue, 1879- )がX線を結晶に當て、これを寫眞に撮ると多くの斑點が現はれることを見出した。これは結晶内に配列した原子のための干渉作用によるものであることが明らかになつて、X線も $\gamma$ 線も光と同じく電磁波の一種なることが知られるに到つた。それ以來學者の研究は専ら原子の構造の方に向けられ、最近にはジョリオ夫妻(夫人はキュリー令嬢)によつてラヂウム放射線を他の物質にあてて人工的に放射能物質が作られるやうになつた。また原子の構造とスペクトル線の配置との間に重大な関係があることが明らかになつた。一方ドイツのプランク(Planck, 1858- )は物質が原子から成るやうに、エネルギーも任意の微量に限りなく分



ラウエ



プランク



ボーア

割されるものではなく限界の微量があることを假定した。これ即ち量子説である。デンマークのボーア(Bohr, 1885- )が水素原子の核の周りを廻る電子に安定な多くの軌道を考へ、量子説に基いて原子が輝線スペクトルを發生する機能を巧みに説明して以來、原子の構造に關する學問が急激に發達した。

## 練習問題

### 【物 性】

1. 重量と質量との區別を説明せよ。
2. 天秤・ゼンマイ秤は重量を測るものか質量を測るものか。
3. 急須の口に穴のあるのは何故か。また硯の水入れに穴の二つあるのは何故か。
4. 鉋の刃を引込めるのに臺の端を叩くのは何故か。
5. 水を含んだ毛筆を振ると水分がとれ、また毛がばらばらになるのは何故か。
6. 二つの鐵片を接合するのに赤熱にして打ち合せるのは何故か。
7. 氷塊が淡水から海水に流れ入るとき、水面上に現はれた部分の體積はどう變るか。
8. 水中の物體を上げるとき、水面の所で急に重くなるのは何故か。
9. 水を満したコップに硝子板で蓋をして倒にしても水がこぼれないのは何故か。
10. 味噌漉の網にパラフィンを塗ると水を少量入れても漏らないのは何故か。
11. 比重 8.3 なる眞鍮塊 100 瓦の體積を計算せよ。
12. 銅(比重 8.9) 500 瓦と金(比重 19.3) 750 瓦とより出來てゐる合金の比重を求む。
13. 比重 4.8 なる固體 147 瓦を比重 0.8 なる液體中に投ずるとき、固體が排除する液體の體積及び重量を求む。
14. 長さ 10 繩のゼンマイに 20 瓦の物體を吊したるに 12 繩に延びた。若し或物體を吊して長さが 15 繩であつたとすれば、吊した物體の重さは何程か。
15. 各邊の長さが 1 米なる立方體の箱に水を満すと、底面及び側面



に働く壓力は如何。

16. 水壓機に於て兩圓筒の活塞の直徑をそれぞれ 0.75 糎及び 20 糎なりとし、小圓筒の活塞上に 150 疋の力を加へるときは、大圓筒の活塞上に幾疋の力を生ずるか。
17. 水を入れた器の水中に絲の一端を手に持ち、他端に結付けた物體を懸垂すると、懸垂の前後に於て器の底面に及ぼす壓力の變化は如何であるか。
18. 一つの容器に入れた水銀・水・油(密度 0.9)の深さがそれぞれ 2 糎、3 糎、1.5 糎であるとき、各容器の底面 1 平方糎に對する底壓力は幾瓦なるか。
19. 深さ 9780 米の海底に於ける海水による壓力の強さは 1 平方糎毎に幾疋であるか。
20. 連通管の一方に或液を入れ他方に水銀を入れて、二液の靜止したとき、二液の境界面より兩液面までの高さは、水銀 0.175 米、他の液 0.28 米であるといふ。この液の水銀及び水に對する比重を求む。
21. 比重 2.5、重量 10 疋の物體を絲で吊し、これを體積の半分だけ水中に浸すとき、絲の張力は何程か。
22. 體積 45 立方糎の鐵塊の重さを水中で秤るときは、幾瓦あるか。又 390 瓦の鐵塊を海水中で測るときは幾何であるか。但し鐵の比重を 7.8、海水の比重を 1.03 とする。
23. 固體が水中の浅い所にあるときと深い所にあるときとに於てその受ける浮力に差違があるか。
24. 天秤の一方の皿に水を入れたビーカーを載せ、他方の皿に分銅を載せてこれと釣合はせ次に水より重い固體を絲で吊下げながらビーカーの水中に入れ、(a)固體の一部分が入つたとき、(b)固體全部が入つたとき、(c)固體がビーカーの底について絲が弛んだとき、それぞれこれと釣合はせるためには分銅を何程増減すればよいか。
25. 水を盛つた直立圓筒形の器内に物體を入れるとき、物體が浮かんで、水は器から溢れ出ないとすれば、この物體を器に入れたことに

よつて生ずる底面の水壓の増加は底面に一樣で、その強さはこの物體の重さを底面積で除したものであることを證明せよ。

26. 木製の柄を附けた金槌の空氣中に於ける重量は 232 瓦で、水中に於ける重量は 127 瓦である。鐵の比重を 8、木の比重を 0.4 としてその各の重量を求めよ。
27. ゼンマイの上端を支へてその下端に比重 2.5 なる 500 瓦の物體を懸けると、ゼンマイの長さが 10 糎延びた。このまゝ物體を水中に入れるとゼンマイの長さは幾ら變るか。
28. 水銀上に浮かんだ鐵塊上にこれを没するまで水を注ぐと、鐵塊の水銀中に没する部分と水中にある部分との體積の比は如何。但し比重は鐵を 7.8、水銀を 13.6 とする。
29. 純良な牛乳の比重は 1.03 であるといふ。今或牛乳に細長い直圓柱を入れたところが高さ 12.0 糎だけ沈み、次にこれを水中に入れたところが 12.2 糎沈んだといふ。この牛乳の純否を定めよ。
30. 比重 0.25、重量 1 疋ある物體を水中に押し沈めるためには、これに幾疋の力を加ふべきか。
31. 直徑 24 糎の圓筒内に深さ 30 糎だけ水を入れたものに 15 糎立方の氷を浮かべたとき、底に及ぼす壓力の強さの増加を求めよ。但し氷の比重を 0.92 とする。
32. 比重 0.5 の木片 720 瓦に比重 8.5 の眞鍮塊を結付け、全體が比重 0.8 なる液中の隨所に止まるやうにするには、眞鍮の體積を何程にすべきか。
33. 重さ 54.0 瓦の浮標があつて、その體積の  $\frac{2}{3}$  は水面上に浮出てる。これを全部水中に沈めるには、水中で測つた重さ幾瓦の錘を附加すべきか。
34. 比重壘に水を満したときの重さは 250 瓦、その中に重さ 50 瓦の硝子粉を入れ、溢れた外部の水を拭つて秤つたときの重さは 285 瓦である。この硝子粉の比重を求む。
35. 空氣中での重さ 5.5 瓦なる或物體に分銅を附し、この全體を比



- 重 1.05 の食鹽水中に入れて秤るときは 28 瓦あるといふ。この物体の比重を求めよ。但し分銅のみの食鹽水中の重さは 30 瓦である。
36. 水には溶解するが酒精には溶解しない或固体の空气中に於ける重量は 364 瓦で酒精中に於ける重量は 210 瓦であるといふ。この酒精の比重を 0.85 として、その固体の比重を計算せよ。
37. 空气中で重さ 47 瓦の固体を水中で秤つたとき 35 瓦となり、他の液体中で秤つたとき 38 瓦となつた。この固体の比重を問ふ。
38. 或固体を水に浮かべたところがその全体の  $\frac{1}{5}$  を水面上に現はし、又或液体に浮かべたところが全容積の  $\frac{1}{6}$  を現はしたといふ。この液体の比重を求めよ。
39. 150 瓦の銅片を水中で秤るとき 130.6 瓦、油中で秤るとき 133.1 瓦である。この油の比重如何。
40. 比重 3.21、重量 50.35 瓦の硝子球を海水中で秤つたところが 34.28 瓦あつた。海水の比重を問ふ。
41. 或室内の温度は變らずに氣壓が 770 耗より 760 耗に減じたとする、室内の空氣の何分の一が室外に出たか。
42. 切口が一樣で兩端の開いた硝子管を水銀槽中に沈め、上端より 10 糎だけ出して上端を密閉し、更に上端より 58 糎だけ引上げたときの管内の水銀柱の高さを求めよ。
43. 兩端の開いた細い硝子管 ABCD を水平に横たへ、BC の部分に水銀を満してその長さを 30 糎とし、AB の長さを 8 糎とする。今 A 端を閉ちこれを上にして管を水平面に對し 30 度傾けると、AB の部分に閉ち込められた空氣柱の長さは幾許となるか。但しこのときの大氣の壓力を 75 糎とする。
44. 長さ 20 糎の試験管を倒にして水底に沈めたところが、水は管口より 2 糎の所まで浸入したといふ。水の深さは何程であつたか。但しそのときの氣壓は 76 糎、又水銀の密度は 13.6 である。
45. 海底にある氣泡が上昇して水面に達したとき、その體積が 5 倍になつたといふ。海の深さを求む。但し海水の比重を 1.03 とする。

46. 輕氣球の氣囊に水素を満して半徑 5 米の氣囊とするときは幾疋の重さを揚げ得るか。但し氣囊の重さは 1 平方米につき 250 瓦、空氣 1 立の重さは 1.3 瓦、水素の空氣に對する比重は  $\frac{1}{13}$  とする。
47. 太さが一樣で下端の閉ぢた硝子管を直立し、上端より 3 糎の所まで水銀を満した後、上部の空氣を漏らすことなく、この管を水銀槽中に倒立したところが、水銀柱の長さは 67.5 糎となり、空氣柱の長さは 30 糎となつた。大氣の壓力は幾糎か。
48. トリチュリーの真空中に少量の空氣が入り、その空氣が 1000 倍に膨脹をしたとすれば、水銀柱の高さに幾許の相違を生ずるか。但しそのときの氣壓は 760 耗である。

## 【熱】

- 熱せられたものを靜止した空氣中に置くよりも、同温度の空氣の流動せる所に置く方が速く冷えるのは何故か。
- 熱い湯の中で身體を動かすと熱く感じ、水の中で身體を動かすと冷たく感ずるは何故か。
- 壘の栓の抜け難いとき、壘の首部を温めるのは何故か。
- 或容積の水銀の温度を  $1^{\circ}\text{C}$  上昇せざるに必要な熱量と、同容積の水の温度を  $1^{\circ}\text{C}$  昇すに必要な熱量とを比較せよ。
- 同じ室内にある水と水銀とに手を挿入するとき、何れがより冷たく感ずるか。
- 氷は空の箱に入れて置くよりも、鋸屑の中に入れて置く方が融解し難いのは何故か。
- 室内では金屬の方が木片よりも冷たく、日向では金屬の方が温かく感ずるのは何故か。
- 物を冷やすのに、 $0^{\circ}\text{C}$  の氷と  $0^{\circ}\text{C}$  の水とでは何れが有利か。
- 扇風器の風でも涼しく感ずるのは何故か。
- 濡らした手を空氣中に舉げて微風の方向を知ることができるのは何故か。



11. 室内を温めると空気が乾燥するのは何故か。
12. 口を窄めて手を吹くと涼しく感じ、口を開けて息をかけると温かく感ずるのは何故か。
13. 冬、汽車の窓硝子が曇るのは何故か、またその曇りは内側か外側か、また汽車が隧道に入つたとき出来る窓硝子の曇りは如何。
14. 船が氷山に近づくととき屢、濃霧に襲はれるのは何故か。
15. 暖流と寒流との相合する地方に霧が多く、山の中腹などで冷たい氣流と暖かい氣流とが合すると雲を生ずるのは何故か。
16. 氣象の方でいふ不連続線とは氣壓・溫度・風向などの全く異なつた地方の境界線である。この不連続線に沿うた地方に雨の多いのは何故か。
17. 低溫度を得る方法を挙げよ。
18. 攝氏と華氏とで同じ度数で表はされる溫度があるか。
19.  $18^{\circ}\text{C}$  は華氏の何度に相當するか。
20. 煙突の原理を説明し、且つその高さと效用との關係を述べよ。
21. 金盥に湯を入れて金屬板上に放置すれば湯の溫度は漸次に下降する。湯の熱の失はれる原因を列記せよ。
22.  $0^{\circ}\text{C}$  に於て長さ 100 米の銅線は  $200^{\circ}\text{C}$  に於て幾米あるか。但し銅の線膨脹係數は 0.000017 である。
23.  $0^{\circ}\text{C}$  で正しい洋銀の物指がある。  $25^{\circ}\text{C}$  のとき、鐵棒の長さをこの物指で測つたところが 1 米あつたといふ。  $0^{\circ}\text{C}$  に於けるこの鐵棒の眞の長さは幾何か。但し鐵の線膨脹係數は 0.000012, 洋銀の線膨脹係數は 0.000018 とする。
24. 溫度  $16^{\circ}\text{C}$  のとき鐵製の物指を用ひて或物體の長さを測り 53.72 糎を得た。この物指は  $0^{\circ}\text{C}$  のとき正しいものとすれば、  $16^{\circ}\text{C}$  のときの眞の長さは何程か。但し鐵の線膨脹係數は 0.000012 である。
25. 溫度  $28^{\circ}\text{C}$  の室内に於て晴雨計を以て氣壓を測定したところが水銀柱の高さで 766.7 糎あつたといふ。この測定に用ひた物指は  $0^{\circ}\text{C}$  に於て正しい眞鍮製のものであつたとすると、室内の氣壓は 1 平方

- 糎につき幾瓦に當るか。但し  $28^{\circ}\text{C}$  に於ける水銀の比重は 13.567 で、眞鍮の線膨脹係數は 0.000019 である。
26. 眞鍮(線膨脹係數 0.000019) で製した 1 立入の器は溫度  $40^{\circ}\text{C}$  の上昇につき何程の誤差を生ずるか。
27. 鐵の  $0^{\circ}\text{C}$  に於ける比重が 7.82 なるときは、  $200^{\circ}\text{C}$  に於ける比重は何程か。但し鐵の線膨脹係數は 0.0000123 である。
28. 硝子壘に水を満し、細い硝子管を貫いた栓をして水を少しく管部まで昇らせて置き、急に壘を温湯中に浸せば管中の水面は先づ少しく降り、やがて上昇する。その理由を説明せよ。
29. 水上に浮かぶ固體がある。溫度が一様に昇つたとき及び大氣の壓力が増大したときに、この固體の浮かび方は如何に變化すべきか。但しこの固體の膨脹係數は水の膨脹係數より小さいとする。
30.  $0^{\circ}\text{C}$  に於て容量が 25 立方糎の硝子壘に水銀を満し、これを  $100^{\circ}\text{C}$  に熱するとき溢れ出る水銀の體積を求む。但し硝子の線膨脹係數は 0.000008, 水銀の體膨脹係數は 0.00018 である。
31. 或硝子塊の目方は空氣中では 90 瓦で、  $0^{\circ}\text{C}$  及び  $100^{\circ}\text{C}$  の或液中ではそれぞれ 50 瓦及び 53 瓦であるといふ。硝子の體膨脹係數を 0.00003 とすれば、この液の膨脹係數は何程か。
32. 水銀は  $0^{\circ}\text{C}$  に於て 13.59 の比重を有し、線膨脹係數は 0.00006 である。  $100^{\circ}\text{C}$  のとき 200 立方糎の重量は何程か。
33. 或氣體の 36.1 瓦があつて、溫度  $25^{\circ}\text{C}$ 、壓力 3 氣壓のときの體積が 10 立である。  $0^{\circ}\text{C}$ 、1 氣壓のときこの氣體の密度は幾何か。
34. 容量 25 立の自動車のタイヤの中に  $15^{\circ}\text{C}$  の空氣を詰め込んだとき壓力が 3 氣壓に達したといふ。この空氣の質量を求めよ。但し  $0^{\circ}\text{C}$ 、1 氣壓のとき 1 立の空氣の質量は 1.29 瓦である。
35. 深さ 20 米の池底より水面に浮かび出る一つの氣泡がある。池底の溫度が  $4^{\circ}\text{C}$  で、水面の溫度が  $20^{\circ}\text{C}$  であるとき、氣泡の體積は如何に變化するか。
36. 氣壓 76 糎、氣温  $25^{\circ}\text{C}$  のとき大氣中より 1000 立方糎の空氣を取り、



これを温度 $10^{\circ}\text{C}$ の池水中で水面下408種の深さに沈めたとすれば、その体積は如何になるか。

37. 比熱0.11の物質150瓦を $80^{\circ}\text{C}$ から $230^{\circ}\text{C}$ までに熱するには幾何の熱量を要するか。

38. アルミニウム60瓦を $10^{\circ}\text{C}$ から $100^{\circ}\text{C}$ に昇すに要する熱量は幾カロリーであるか。

39.  $60^{\circ}\text{C}$ に熱した銅塊200瓦を $10^{\circ}\text{C}$ の水150瓦中に入れたところが、水の温度が $15.5^{\circ}\text{C}$ になったといふ。銅の比熱は何程か。

40.  $80^{\circ}\text{C}$ の眞鍮塊100瓦を氷塊中に穿つた孔の中に入れたところが、氷9瓦を融解したといふ。眞鍮の比熱は何程か。

41.  $80^{\circ}\text{C}$ の銅(比熱0.095)20瓦を $10^{\circ}\text{C}$ の水100瓦中に入れたとき、温度は幾度となるか。

42.  $90^{\circ}\text{C}$ に熱した銀塊150瓦を $20^{\circ}\text{C}$ の水に入れて $30^{\circ}\text{C}$ の温度にしようとする。幾瓦の水を要するか。

43. 温度 $60^{\circ}\text{C}$ の水330瓦を質量100瓦の銅器中に入れたところが、その温度が $59.1^{\circ}\text{C}$ になった。この器の初めの温度は幾度であつたか。但し銅の比熱を0.09とし、熱は空気中に失はれないものとする。

44.  $0^{\circ}\text{C}$ の氷30瓦を $100^{\circ}\text{C}$ の水50瓦中に入れ、平均の温度が $32.5^{\circ}\text{C}$ になつたとして、氷の融解熱を求めよ。

45.  $40^{\circ}\text{C}$ の熱湯100瓦を入れた器に $0^{\circ}\text{C}$ の氷若干を溶かして $37^{\circ}\text{C}$ の水を得た。氷の質量を求めよ。

46.  $40^{\circ}\text{C}$ の水100瓦に $0^{\circ}\text{C}$ の氷を入れて $0^{\circ}\text{C}$ の水となすには幾瓦の氷を要するか。

47.  $100^{\circ}\text{C}$ の水蒸気10瓦を $20^{\circ}\text{C}$ の水100瓦中に送入すれば最後の温度は幾度となるか。

48.  $0^{\circ}\text{C}$ の氷、 $50^{\circ}\text{C}$ の水、 $100^{\circ}\text{C}$ の水蒸気を重量の比10:9:1に混するときはその結果如何。

49.  $30^{\circ}\text{C}$ の空気を冷却したところ、 $10^{\circ}\text{C}$ に於て露を生じた。最初の空気の湿度如何。

50. 次の如き状態にある二種の空気は何れが多量の水蒸気を含有するか。又濕布の乾く難易は如何。

(イ) 温度 $30^{\circ}\text{C}$ で湿度10の場合、

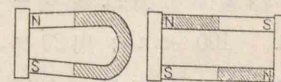
(ロ) 温度 $0^{\circ}\text{C}$ で湿度70の場合、

但し水蒸気の最大壓力は下表の通りである。

温度( $^{\circ}\text{C}$ )	$0^{\circ}$	$10^{\circ}$	$20^{\circ}$	$30^{\circ}$
最大壓力 〔水銀柱の高さ(托)〕	4.6	9.2	17.5	31.7

### 【磁氣及び電氣】

1. 磁石を保存するには圖のやうに馬蹄形磁石ならば兩脚端に一個の軟鐵片を渡して置き、棒磁石ならば二本を反對の向き



に平行に並べてその兩端に軟鐵片を渡して置く。何故か。

2. 磁氣と電氣の類似した點と相違した點を挙げよ。

3. 電池によつて起る電流と起電機によつて起る電流とはどう違ふか。

4. 電池の極の陰陽を判別する方法如何。

5. 一つの導線に電流が流れてゐるか否か、また流れてゐるときはその方向を知る方法如何。

6. 電燈の織條の切れて短絡してゐるものが却つて明るいのは何故か。

7. 長い間使用した電燈の暗いのは何故か。

8. 電壓200ボルトの間に100ボルト用の大小二個の電球を直列に連絡すると、燭光の大きい電球が割合に暗いのは何故か。

9. 與へられた針金を三倍に引延ばすときは電氣抵抗はどう變るか。

10. 同じ物質から成る甲乙二條の針金がある。甲は長さ1米、直徑



- 0.8 耗、乙は長さ 2 米、直径 1.2 耗である。その電気抵抗の比を求めよ。
11. 同質で長さが相等しく、抵抗がそれぞれ 4 オーム、9 オームの導線がある。前者の直径が 1 耗ならば後者の直径は何程か。
12. 切口の圓形な銅線がある。その直径が 0.9 耗、長さが 20 米なるときは電気抵抗は幾オームか。但し断面積 1 平方耗、長さ 1 米の銅線の電気抵抗を 0.0159 オームとする。
13. 電流を抵抗 17 オーム、23 オーム、33 オームの三導線に分岐し、分岐の両端の電位差を 100 ボルトとした。全電流及び各導線の電流は何程となるか。
14. 100 ボルトの電圧で 0.4 アンペアの電流を通ずる電球がある。その電気抵抗は幾オームか。
15. 100 ボルト用 20 ワット電球の電気抵抗は何程か。
16. 直径 5 耗、長さ 1000 米の銅線に 20 アンペアの電流を送れば幾ボルトの電圧を損するか。但し断面積 1 平方耗、長さ 1 米の銅線の電気抵抗を 0.017 オームとする。
17. 0.6 アンペアの電流を途中で抵抗 20 オーム及び 100 オームの二本の導線に分けて通ずるときは、各導線を通ずる電流は幾アンペアとなるか。
18. 抵抗 2 オームと 3 オームの二本の針金を連ね、その両端を電動力 1.1 ボルト、内抵抗 1 オームなる電池の兩極に結ぶとき、各の針金及び電池を流れる電流の強さ如何。
19. 電動力 1.5 ボルト、内抵抗 0.5 オームの電池三個を行に繋ぎ、兩端を抵抗 2 オームと 3 オームと 6 オームの三本の針金を列に繋いだもので連結するとき、各針金を流れる電流の強さは何程か。
20. 外抵抗 16 オームの導線に 0.5 アンペアの電流を通ずるには電動力 1.8 ボルト、内抵抗 1.6 オームの電池幾個を用ひればよいか。
21. 硫酸銅の電気分解を行つたところが、5 時間で 2.952 瓦の銅が析出したといふ。その電流の強さは幾何か。但し銅の電気化学當量

- を 0.000329 とする。
22. 電位差 100 ボルト、電流の強さ 0.5 アンペアの電流で 1 分間に發する熱量は如何。
23. 抵抗 1 オーム、2 オーム、3 オームの針金を行に連ねて電流を通ずれば發生する熱量の比は如何。又列に連ねたときは如何。
24. 抵抗 625 オームなる針金を 1440 瓦の水の中に浸し、この針金に電流を 25 分間通したところが水の温度が  $5^{\circ}\text{C}$  上昇したといふ。通じた電流の強さ幾何か。
25. 1 キロワットの電熱装置を用ひて温度  $20^{\circ}\text{C}$  の水 2 立を沸騰せしめるに幾分間かゝるか。但し發生する熱の 50% だけが利用されるものとする。
26. 電圧 100 ボルトで 32 燭光の電球を 120 ボルトの回路に接続するときの結果如何。
27. 10 燭光の炭素線電燈は 100 ボルトの電圧で 0.56 アンペアの電流を要する。その炭素線の抵抗及び點燈に要する工率は各、何程であるか。
28. 或電燈の織條の兩端の差が 100 ボルトで、これを通ずる電流の強さが 0.5 アンペアのときに完全に發光する。今、電位差が常に 150 ボルトなる二點間にこの電燈を入れて完全に發光せしめるには幾オームの抵抗を加ふべきか。
29. 10 米の落差を以て毎秒 200 立の割合で流下しつゝある水の有するエネルギーの半分を電気エネルギーに變へ得たとすれば、10 燭光の電燈幾個を點じ得るか。但し 10 燭光の電燈一個について 12.5 ワットの電力を要するものとする。
30. 電流のエネルギーが熱エネルギー、化學的エネルギー及び機械的エネルギーに變換する實例及びその逆の實例各、一つづつを挙げよ。
31. 地磁氣が地表を流れる電流に基因するものとするれば、電流の方向は如何になるべきか。



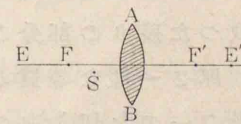
32. 電信に繼電器を用ひれば電信設備の費用を軽減し得る理由を述べよ。

## 【光】

- 波の立つてゐる水面に樹木などの影の映るとき縦の幹は見えるが横の枝などの見えぬのは何故か。
- 晝間窓硝子を通して外から内側はあまりよく見えないが、内側から外がよく見えるのは何故か。
- 磨硝子に油などを塗ると殆ど透明になるのは何故か。
- すべての方向に一樣な強さで光を放つ電燈がある。その下に表面の水平な机を置けば、電燈の眞下に於ける机面上の明るさと、電燈を通る鉛直線と $60^\circ$ の角をなす方向に於ける机面上の明るさとの比は如何。
- 一個の燭火が50糎の距離にある一點を照らす光の強さは、この點から2米の距離にある16燭光の電燈一個と3米の距離にある18燭光の電燈一個とを同時に點じたものと相等しい。この燭火は幾燭光か。
- 互に直角に置いた二個の鏡の間に一つの物體を置くと、その像は幾個出来るか。
- 水中に電燈を點じて空気中からこれを覗くも眼の位置によつて見えない所がある。如何なる所か。
- 水中から地平線はどんなに見えるか。
- 對岸に直立した樹木が池の水面に映るのを見るに、若し水際より16米離れて立つときはその水際に樹木の頂を見るといふ。水面より11の眼の高さ2米で、人と木との距離30米であるときは、木の高さは水面より幾米か。
- 焦點距離30糎の凹面鏡がある。自己の眼の正立像を明視の距離(25糎)に見るには如何なる位置に鏡を置くべきか。
- 曲率半径12糎の凹面鏡の前に一物體があつて、その像の大いさ

は物體の大いさの二倍である。鏡心より物體及び像に至るまでの距離如何。

- 半徑10糎の凸面鏡の前方150糎の所に置いた長さ27糎の物體の像の位置及び大いさは何程か。
- 空氣中に於ける水滴に入射した光がそれより射出しようとするとき、全反射をなすことがあるか。
- 凸レンズを光源から段々遠ざけて一定の位置に置いた衝立の上に像を作らせるとき、實像の出来るレンズの位置が二つある。何故か。
- 凹面鏡の半徑と等しい焦點距離をもつた凸レンズを、凹面鏡からその直徑だけ隔て、兩軸を一致させて立て、軸に平行な光線をレンズに向つて投射させると、反射後の光線はどんな方向を取るか。
- 焦點距離40糎の凸レンズの前方45糎の所に長さ30糎の物體を軸に垂直に立てたときの像の長さは幾何か。
- 凸レンズの軸上でレンズと焦點との中間の一點より發する光及びレンズの他側よりこの點に向つて進行して來る光の集るべき點の位置を求めよ。
- 或凸レンズの前方30糎の所に物體を置くときは、レンズの後方60糎の所に像を生ずる。物體を20糎遠ざけると像の動く距離は幾糎であるか。
- 右圖の $EE'$ は凸レンズ $AB$ の軸、 $F, F'$ はその焦點とする。點 $S$ に置いた光點より眼(點と看做す) $E'$ に入る光線を描け。
- 9糎平方の畫を9.3米の距離にある壁面に2.7米平方に寫すには如何なるレンズを何處に置けばよいか。
- 壁から150糎の距離に燭火を置き、一個の凸レンズを燭火より壁の方に遠ざけたところが初め壁上に鮮明な燭火の像を生じ、それより更に90糎遠ざけたところが再び鮮明な像を生じたといふ。このレンズの焦點距離は何程か。又初めの鮮明な像は實物の何倍で





あつたか。

22. 凸レンズの前方  $a$  厘の所に光点  $L$  を置き、レンズの後方  $b$  厘の所に半径  $R$  ( $R < b$ ) の凹面鏡を軸が一致するやうに置いたとき、 $L$  より發する光線がレンズを通過して凹面鏡で反射した後再びレンズを通過して元の光点  $L$  に集るためには、如何なる焦点距離の凸レンズを用ひればよいか。

23. 焦点距離 30 厘の薄い凸レンズを具へた寫眞機で縮尺 1:25000 の地圖を縮尺 1:15000 のものとなるやうに撮影しようとする。地圖と乾板との距離及びレンズと乾板との距離をそれぞれ何程とすればよいか。

### 【力・運動・エネルギー】

1. 分力より合力が小さい場合があるか。
2. 高い木が風で折れ易いのは何故か。
3. 棒振ちをするとき太い端を握つたものの方が有利であるのは何故か。
4. 綱渡りをする者が傘や長い棒を手に持つのは何故か。
5. 定滑車を通して物體を支へるとき、真下に綱を引張るときと斜に引張るときと力に相違があるか。
6. 厚さ一樣な等質の圓板からその半径を直径とする内接圓を切り取つた残りの部分の重心はどこにあるか。
7. 厚さ一樣な等質の正方形からその對角線で作られる四つの三角形の一つを切り取つた残りの部分の重心を求めよ。
8. 將棊の駒を軽く投げるときは真直立つこともあるが、強く投げると立たないのは何故か。
9. 4 疋の力をこれと  $60^\circ$  及び  $30^\circ$  をなす二力に分解せよ。
10. 絲の上端を固定して下端に 2 疋の物體を吊し、これに水平の方向に力を加へて絲の方向を鉛直線と  $30^\circ$  の傾きに保たしめやうとする。幾何の力を要するか。

11. 河の岸に沿うて上る曳船がある。船首に附けた一本の綱を岸上より斜に上流に引き、同時に岸上より竿で船首を押す。若し綱及び竿の方向が水流とそれぞれ  $30^\circ$  及び  $90^\circ$  の角をなすときは、綱の張力と竿で押す力との比は如何。

12. 長さ 2 米の棒に或重さの物體を懸け、二人でその両端を荷つて分擔する重さの割合を 2:3 のやうにするには、棒の何處に物體を掛ければよいか。

13. 重量 20 疋と 6 疋との二個の物體を長さ 3 米の棒の両端に懸垂して棒を水平に保たせるには支點を何處に置くべきか。但し棒の重量は 4 疋で、その重心は中點にあるものとする。

14. 地上に横たはる一本の丸太棒がある。その一端のみを少しく持ち揚げるに 72 疋の力を要し、他端のみを少しく持ち揚げるに 120 疋の力を要するといふ。この丸太棒の重さは幾何か。

15. 身長の等しい三人で長さ 8 米の鐵管を運ぶに、一人はその一端を擔ぎ、他の二人はこれに取附けた横木の端を擔がうとする。この場合三人の肩に及ぼす重さを相等しからしめるために、横木を取附けるべき位置は如何。但し横木の重さはこれを加算せざるものとする。

16. 一端の半径が 3 厘、他端の半径が 4 厘の棒で二人の人が棒振ちをなしたが勝負がつかなくなつたといふ。この二人の振ちる力の比を問ふ。

17. 二輪と軸を有する輪軸があつてその半径はそれぞれ 9 厘、6 厘、3 厘である。今軸に卷いた綱に 20 疋の錘を吊し輪には軸と反對の方向に綱を巻き、小輪に 4 疋の錘を吊すときは、大輪に何程の重さを吊すときにこの輪軸は釣合ふか。

18. 長さとお高さの比が 2:1 なる斜面に重さ 50 疋の物體がある。

(イ) これを斜面を押す力。

(ロ) これを斜面上に斜面に沿うて支へる力。

(ハ) これを水平に支へる力。



を求む。

19. 静止した物体が動き出して4秒後に続く次の3秒間に66米だけを移動したといふ。若しこの物体の運動が等加速度運動であつたとすれば、その加速度の大きさは幾何か。
20. 毎秒18米の速度で進行してゐる列車があつて、毎秒2米づつ速度を減ずるときは静止するまでに要する時間及びそれまでに通過した距離は如何。
21. 作用と反作用とが等しく方向相反するに拘らず、二人の綱引に勝負の決する理由如何。又摩擦のない水平面上では如何。
22. 静止する80瓦の物体に1分間作用して120秒米の速度を與へる力は幾ダインか。
23. 質量15匁の電車が毎秒5米の速さで進行しつつあるとき、これを4秒間に停止させるには幾匁の力を加ふべきか。
24. 人が機械によらずに地面より跳上り得る理由を説明し、且つその跳躍に對して重力及び人體の質量が如何に關係するかを論ぜよ。
25. 5瓦の物体に980ダインの力が鉛直に上方に作用すれば、その物体の加速度は如何。
26. 質量10瓦の物体を糸に吊したものがあつた。物体が次の各の場合にあるとき、糸の受ける力は如何。
- (イ) 静止せるとき。
- (ロ) 毎秒10匁の等速度で昇りつつあるとき。
- (ハ) 毎秒10匁の等速度で降りつつあるとき。
- (ニ) 毎秒10秒匁の等加速度で昇りつつあるとき。
- (ホ) 毎秒10秒匁の等加速度で降りつつあるとき。
27. 高さ122.5米の所から物体を落下させるとき、地上に達するまでの時間及び地に達したときの速度を計算せよ。
28. 比重9の物体を水面より落したところが3秒で底に達したといふ。水の深さを求む。
29. 石を100秒米の速度を以て眞下に投げるときは、幾秒の後に

- 149秒米の速度を得るか。又その間に落下する距離は幾何か。
30. 塔の上から石を水平に投げたところが2秒後に塔の立つてゐる地面に達した。この塔の高さは幾米か。
31. 地上500米の高度を保ちつつ、毎秒40米の速さで飛行する飛行機から物体を毎秒10米の初速度を以て眞下に投下するとき、何秒後に地面に達するか。又その位置は如何。但し地面は水平なりとし、この物体に及ぼす空氣の抵抗は無視し得るものとする。
32. 地上19.6米の高さに於て一つの小さい物体を水平の方向に7.0秒米の速度で投げたとき、その物体の地面に達するまでの通路の曲線を方眼紙上に百分の一の縮圖で示せ。但し地球の重力による加速度は980秒秒匁とする。
33. 水平と $30^\circ$ の角度をなす斜面上で球を轉すときは、3秒後に何程の距離を經過するか。
34. 質量150瓦の静止せる物体に30ダインの力が5分間作用したときの終速度及び力のなした仕事並びに工率を計算せよ。
35. 高さ8米の瀧がある。その流下する水量が毎秒14立方メートルであるとき、その工率は何程か。但し1馬力は毎秒75匁米とする。
36. 弓を引くとき、引き始めてから最後に矢が的中して静止するまでの間のエネルギーの變遷する模様を説明せよ。
37. 質量250瓦、長さ20匁、幅10匁、厚さ5匁の直方體の木片を机上に三様の坐り方で置いたときの位置のエネルギーを比較せよ。
38. 100瓦の物体を初速50秒米で鉛直に投げ上げてから32秒を經過したときに於ける運動のエネルギー及び位置のエネルギーを計算せよ。
39. 重量3.9匁の銃より10.5瓦の弾丸を780秒米の速度で打出すとき、銃の後退する速度は幾秒米か。又銃と弾丸との運動のエネルギーの比は各、幾許か。
40. 6匁の弾丸が毎秒80米の速度で土壁に當り、深さ1米の孔を穿つて壁中に止つたといふ。土壁の抵抗力は如何。



41. 或蒸氣機關に1分間に2500疋カロリーの熱量を供給する。今、この熱量の1/10が仕事に變るものとすれば、この機關の工率は幾馬力か。

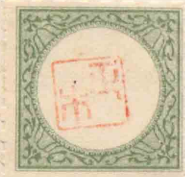
### 【振動・波動・電磁波】

1. 時計が氣候の變化によつて進み後れを生ずる譯は如何。又、これを補正する方法如何。
2. 音叉を鳴らして扉にあてると音が大きくなるが壁にあても大きくならぬのは何故か。
3. 琴の調子はどこで調整されるか。
4. 音波と光波とが類似する點及び相違する點を述べよ。
5. 光波と電波とX線とが類似する點と異なる點を挙げよ。
6. 光が波動であることはどうして知れるか。
7. 石鹼球の色彩が、球を膨らます程度によつて變るのは何故か。
8. 振動數毎秒256回で進行する速度毎秒340米なる波の長さは幾米であるか。
9. 50厘の波長の波動を生ずる物體の振動數を求めよ。但し波動の速度を毎秒340米とする。
10. 振動數が毎秒200回の音の空氣中の波長は空氣の溫度が $10^{\circ}\text{C}$ だけ昇れば如何なる變化を受けるか。
11. 振動數の差が $\alpha$ 秒に一回なる二つの音波が同時に耳に達するときに如何なる現象を生ずるか。
12. 與へられた音叉の振動數を測定する實驗法を述べ、且つこれに附隨する理由を説明せよ。
13. 長さ17厘の開管と閉管とがある。その中の空氣柱の振動數を求む。
14. 物質を強熱氣化して發光させ、その際發するスペクトルから物質を鑑識することのできるのは何故か。
15. 庭木に水を打つと緑の色彩が鮮かになるのは何故か。

16. 水は通常無色透明であるが、河の水は青味を帯び、瀧の水は白色を呈するのは何故か。
17. 無線電信に用ひる電波と無線電話に用ひる電波とにはどんな相違があるか。
18. 光波に於ては波長・振動數・色彩の三者がどういふ關係にあるか。



昭和11年12月21日 印刷  
昭和11年12月24日 發行  
昭和12年2月10日 訂正再版印刷  
昭和12年2月13日 訂正再版發行



中 學 校 物 理  
定價 金壹圓拾參錢

著 者 正 木 修

發 行 者 合資會社 富 山 房  
東京市神田區神保町1丁目3番地

代 表 者 坂 本 嘉 治 馬

印 刷 所 川 口 印 刷 所  
東京市芝區西芝浦3丁目2番地

---

發 行 所 合 資 會 社 富 山 房  
東京市神田區神保町一丁目三番地  
電話神田二一七一番~二一七八番  
振替口座東京五〇一番



中國銀行  
總行設在上海  
分行遍設各埠

中國銀行  
總行設在上海

總行設在上海

分行遍設各埠

資本總額

實收資本

中國銀行

總行設在上海  
分行遍設各埠  
資本總額

3/5





広島大学図書

0130449504



教  
4  
01