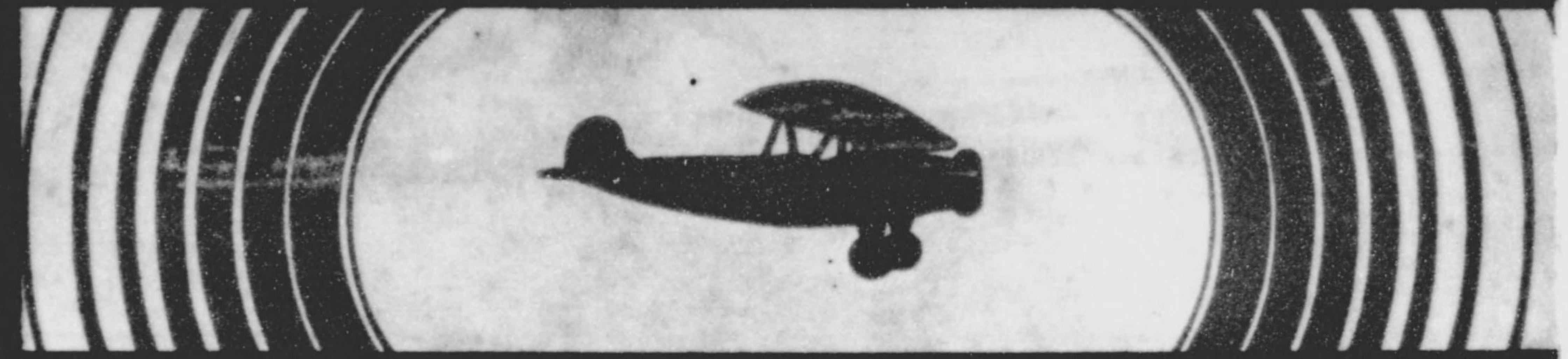
新制中学物理教科書

出射栄・著

目黒書店

昭和１０



理學博士

出射榮 著

新制中學物理教科書

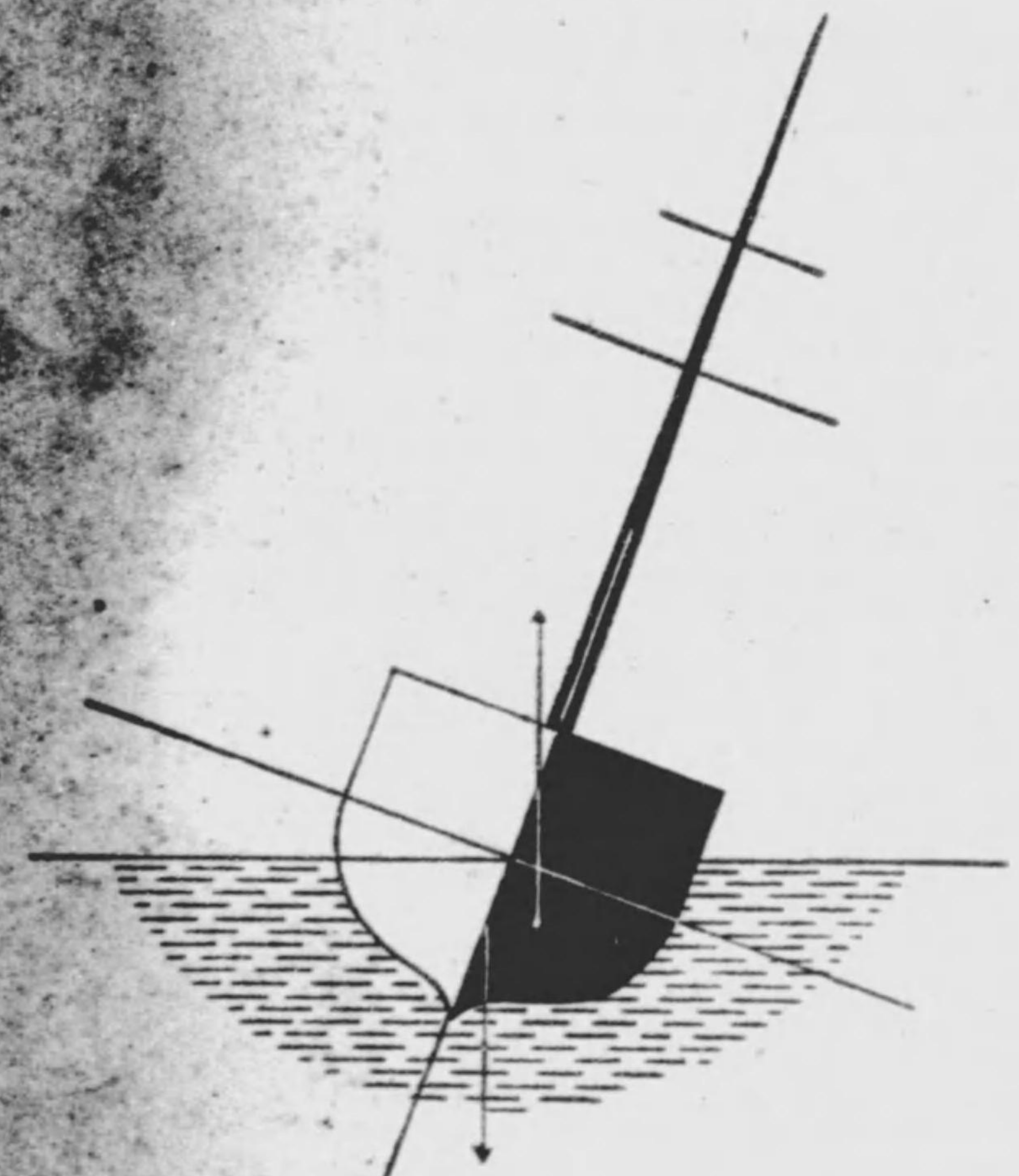
〔甲表準據〕

東京 目黑書店 神田

新制中學物理教科書

〔甲表準據〕

理學博士
出射 榮 著



東京 目黑書店 神田

序

中學校で教授すべき物理學の大綱と要旨とは文部省制定の教授要目に定められて居る. 然し,その細目に亙る教材の選擇や取扱に關しては,大體著者及び教授者の研究に委ねてある. 本書はこの趣旨に基き,教授要目の甲表に準據して中學校第三·四·五學年用の物理學教科書として編纂したものである. 今著者が留意した諸點をあげると,次のやうである.

1. 各教材に對する**各種の說明法**を比較研究し,其のうちで最も端的に,しかも適確且つ忠實に,現象の核心を表現し得るものを採用した. この際,說明の簡易を求むるの餘り,往々にして現象の眞相を歪曲し易い弊があるが,說明の簡易は嚴密さの低下であつて,決して眞相の歪曲であつてはならない. この點は著者の特に留意した所で,臨界現象·サイフォン·連通器·沸騰·感應コイル等の說明法は其の代表的のものと見られる.

2. **內容の類似せる教材**は,これらを比較對照することによつて,初めてその眞相を會得し得るものであるから,かゝる教材は成るべく一箇所に集め,或は見出しを同

一にし,以つて比較對照することに便した. 作用反作用と釣合ふ二力·連通器とサイフォン·熱作用の集中と磁氣作用の集中·導線及び電池の行連結と列連結·導線の運動と電流とに關する二つの法則·原子に起る諸變化の如きは其の例である.

3. 實驗·觀察の重要なるは勿論であるが,**推理の重要性**をも忘るべきではない. それ故,說明が餘り複雜にならざる限り,既に教授した基本的現象から推理し得る現象は,全く獨立した一現象として取扱はないで,その基本的現象より推理せしめ,之を確める手段として實驗を行ふといふやうな說明法を試みた. 例へば臨界現象を溫度の上昇と共に液體の密度は減じ,蒸氣の密度は增すといふ事實より導き,アルキメデスの原理を重力に基く壓力の法則から導き,コイル狀の電流の磁場を直線狀の電流の磁場から導き,表面張力や毛管現象を凝集力から導き,球面鏡を平面鏡の變形として導いた如きはその實例である. これらによつて所謂擴張の原理を會得せしめ,進んで發明·發見の素地を培養し得るものと信ずる.

4. **獨創力養成の必要**は云ふまでもないが,之が機會は勿論各種教材の取扱中に求むべきである. この見地から,その取扱ひに工夫をこらした教材も少くない. 電

鈴に於ける自働斷續裝置の考案·鉄粉によつて眼に見えない磁力線を見えるものにかへる工夫·コイル狀にすることによつて磁氣作用を集中する考案·感應コイルの二次コイルに高壓を生ぜしめる工夫等苟も新しき考へ方の含まれる教材については,之を既に出來上りたるものとして提出するを避け,成るべくそこに到達した思考の道程を示して,生徒の興味を喚起し,研究考案の方法を會得せしめ,且つその研究心を誘發するに努めた.

5. 一つの自然現象に對しては,しばしば之と全く**逆な現象**があるが,その一つの現象について考へる時は直にその逆の現象をも想起することの習慣をつけることは又獨創力養成のための有力な一方法である. このことはファラデーがかゝる考へ方によつて電磁感應の大發見をなしたことを考へても明かである. 又かやうな考へ方は數學に於ける逆定理,化學に於ける可逆變化とも多分の共通點を有するから,本書に於ても特にこの點に留意し,數學及び化學の教授と相俟つて生徒の頭腦を陶冶せんことを努めた.

6. 挿繪は現象の內容を理解せしめるに必要であるから,成るべく之を多くした. 然し,說明圖は稍もすれば,**自然と隔離した別種の世界**を形成し,生徒をして徒に此

の世界に彷徨せしめ易い．この弊は教師實驗並に生徒實驗によつて救はるべきは勿論であるが,尚著者は生徒の接する機會の最も多い教科書中に,說明圖と相並んで實際の寫眞を示すことの有効なるを信じ,成るべく多く此の種の實物寫眞を加へて生徒の眼を自然現象そのものに向けしめ,自然に問ひ自然に學ぶの學習態度を忘れざらしむるに努めた．

7. 全教材に亙り**嚴密さの程度**を檢討し,中學校に於て最も適當と思はれる程度をきめた．重力の強さgの値が地方や高さによつて異なることを無視したるが如き,初學年に於て水の密度に對する溫度の影響を無視したるが如き,或は眼に於ける結像の様子を一個の凸レンズに於ける結像の様子と全く同じと見做したるが如きは其の二三の實例である．然しながら,僅かの變化そのものが著しき影響を有する現象に對しては其の僅かの變化をも重要視することの必要を指摘するに努めたことは勿論である．

8. 本書は**數學的素養**のやゝ進みたる第三學年より使用するが故に,最初より簡單なる數式を導入し,漸次にこれが取扱ひに習熟せしむる様に工夫した．特に比例式に於ける比例常數の物理的意味を明確に理解せしむ

るために,本書の各所に見られるが如く,比例式と相並んで,現象の簡單なる表的表現を採用した．また各種の量の單位に關しても明確なる認識を得しむることに注意し,例へば密度の單位を $\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$ にて表はし,壓力の單位を $\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$ にて表はすが如き仕方をも採用した．

9. 一般に記述は簡明を旨として贅言を避けたるも,以上の諸目的を達するためには止むなく多くの言葉を必要とし,且つ一方に於ては多くの挿繪を加へたる結果自然本書の頁數を增した．然し之がために**教授時數の不足**を來すが如きことはないと信ずる．之れ僅に數行の本文を說明するにも,多大の時間を要するが如きことは本書に於ては之を見出し得ないからである．

本書は著者の經驗及び研究と教授者數氏の有益なる助言とを基礎とし,以上の諸注意を以つて編纂したが,尚不便·不備の點も少からぬであらう．これらは教授者諸賢の御忠言と尚著者將來の研究とによつて漸次に改善し,以つて完璧を期したいと思ふ．

昭和十年八月十日

出射　榮

生徒諸君に望む

小學校の理科や一般理科で力·熱·音·光·電氣等の大要を學んだ諸君は,更に進んで本書によつてそれらを一層深く學ぶのである. いふまでもなく**諸君の學ばんとする所のものは本書そのものでなくて本書の背後に控へて居る自然の現象である**. 然し,自然の現象は色々な形で現はれて居るから諸君が直に之に接するときは,唯其の複雜さに惑はされるのみである. それ故本書にはその間に秩序を立て,枝葉をすてゝ根幹をつかむの途を示してあるから諸君は**本書を手引として常に自然に問ひ自然に學ぶの態度を失はぬ樣にせねばならぬ**. 諸君にして此の態度に徹底せんか,自然現象を研究することが何となく面白くなり,自然現象に對する諸君の理解は日一日と其の確實さを增し,自ら獨創工夫の妙味をも會得するに到るであらう. 之に反し若し諸君にして本書に記載せる事項を暗記することのみに滿足せんか,諸君の學ぶ物理學は諸君の將來に何物をも寄與せぬであらう.

昭和十年八月十日

出射榮

目次

第一篇 緒論

§1. **物理學** 空には飛行機が飛び,陸には自動車が走る. ロンドンやベルリンで話す人の聲は電波にのつて,わが東京に居る人の耳にも達する. 變電所のスウィッチの開閉によつて,全市の電燈が一時に明滅する. 特殊の乾板を使ふと,雲にかくれて見えない富士山の寫眞も撮れる. これらは吾等の周圍に起る自然の現象で,千差萬別,誠に複雑ではあるが,其の間には自ら一定の關係があつて,

> 等しい事情の下には,
> 時と所とを問はず,等しい現象が起る.

これを**自然の法則**といふ.

物理學は自然現象のうち,運動・熱・音・光・電磁氣等に關する事柄を研究する學問で,吾々の五官による觀察・實驗を基礎とし,これに頭腦による推論を加へて,其の間に存する自然の法則を明かにし,更

に進んで,之を人生に利用するを目的とする.(圖1·1)

圖1·1　雛にして既に自然の法則（水は低きにつく）を知り巧に之を利用す

§2. 量の測定と單位

自然現象を研究するには,各種の量を測らねばならぬ. 量を測るとは其の量が,それと同種類で,しかも標準となる量を幾つ含むかを求めることで,その標準の量を**單位**(たんゐ),それを含む數を**數値**(すうち)といふ. 從つて長さ l の棒といへば l は數値と單位とを含み,長さ l 米の棒といへば l は數値を,米は單位を表はす.

長さの單位となる物尺(ものさし)の長さは**米原器**(圖2·1)と比較してきめる. 米原器は白金とイリヂュームとの合金の棒で,それの表面にある二標線AB間の長さを**1米**とし,其の$\frac{1}{100}$を**1糎**とする. 米原器は元々その長さが地球子午線の長さの四千萬分の一に等しい様に作つたものであるから,子午線の長さは四千萬米である.

圖2·1　米原器

時間の單位は太陽が南中して(眞南に來ること)から次に南中する迄の時間を一年間平均したもので,之を**1平均太陽日**又は單に**一日**といふ. 日の$\frac{1}{24}$を**1時**,時の$\frac{1}{60}$を**1分**,分の$\frac{1}{60}$を**1秒**といふ. 時間は時計で測る.(圖2·2)

圖2·2　英國グリニッチ天文台(經度零)の門にかゝる時計(世界の時の標準)

§3. 比例と反比例

物理學で取扱ふ量の種類は頗る多いが,これらは互に關聯して變化する. 其の變化のうち,最も簡單なのは比例及び反比例の關係である. 次に此の關係の表はし方について考へる. 例へば,

> 鉛筆の代金(A)は
> (1)鉛筆の品質によつて異なり,
> (2)またその本數(B)に比例する.

そして1本の價を k とすると,代金は次の式によつて求められる.

$$A=kB \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(式3·1)$$

この場合一本の價 k は品質によつて異なるから,これは上の(1)の關係を表はすものである. 一般に A なる量が B なる量に比例するときは,此の形

の式が成立し,k は A, B が變つても變らない. 故に k を**比例常數**といふ. 今 B が B_1, B_2 なるとき, A が夫々 A_1, A_2 であると,

$$\left.\begin{array}{l} A_1=kB_1 \\ A_2=kB_2 \end{array}\right\} \quad \therefore \quad \frac{A_1}{A_2}=\frac{B_1}{B_2} \text{ 或は } A_1:A_2=B_1:B_2 \cdots\cdots (\text{式}\ 3\cdot2)$$

の如き正比例の式が成立する.

5本の價40錢の鉛筆10本の代金はいくらになるかとの問題をとくに當り,式3·2の比例式によると,

$$40\text{錢}:A_2=5\text{本}:10\text{本} \quad \therefore \quad A_2=40\text{錢}\times\frac{10}{5}=80\text{錢}$$

として答80錢を得る. 今之を式3·1によつてとくと,

$$40\text{錢}=k\cdot5\text{本} \quad \therefore \quad k=\frac{40\text{錢}}{5\text{本}}=8\frac{\text{錢}}{\text{本}}$$

$$\therefore \quad A_2=8\frac{\text{錢}}{\text{本}}\times10\text{本}=80\text{錢}$$

として答80錢を得るのである. こゝに $k=8\frac{\text{錢}}{\text{本}}$ は1本の價が8錢であることを式に表はしたのに過ぎない.

又例へば,

一人前の會費(A)は {(1)無論全會費によつて異なり, (2)その會員數(B)に反比例する.

そして全會費を k とすると,

$$A=\frac{k}{B} \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{式}\ 3\cdot3)$$

である. 一般に A が B に反比例するときは,此の形の式が成立し,k は A, B が變つても變らない比例常數である. 今 B が B_1, B_2 なるとき, A が夫々 A_1, A_2 であると,

$$\left.\begin{array}{l} A_1=\dfrac{k}{B_1} \\ A_2=\dfrac{k}{B_2} \end{array}\right\} \quad \therefore \quad \frac{A_1}{A_2}=\frac{B_2}{B_1} \text{ 或は } A_1:A_2=B_2:B_1 \cdots\cdots (\text{式}\ 3\cdot4)$$

の如き反比例の式が成立する.

§4. 力

手を延ばして砲丸(圖4·1)を投(な)げる時は,手が砲丸に**力**を加へたといふ. 引張つたゴム紐(圖4·2)を離して小石を飛ばす時は紐が小石に力を加へたといひ, この力を**彈力**(だんりょく)といふ. 樹から離れた林檎が地球に向つて落ちる時には,地球が林檎に力を加へたと考へ,この力を**重力**といふ. 物體に働く重力を,それの**重さ**又は**重量**といふ.

圖4·1　砲丸投げ

圖4·2　ゴム鐵砲

§5. 重さと質量

❶鉄又は水の一塊(ひとかたまり)をとり,之

を細分すると,其の重さは體積に比例して減ずる. これは鉄や水を構成する實質があつて,その實質の各部に働く重力の總和がその重さであるから(圖5・1)である. そして,その實質の總和を**質量**といふ. かく考へると,同種の物體の質量は明かに其の重さに比例する. 吾々は之を擴張して次のやうにきめる.

> 物體の同種たると異種たるとを問はず,物體の**質量**(m)は其の**重さ**(W)に比例する.


圖5・1 各部に重力が働く

即ち, $m = kW$ ……………………………式(5.1)

質量の單位となる秤の分銅の質量は**瓩原器**(圖5・2)の質量と比較してきめてある. 瓩原器は白金とイリヂュームとの合金の分銅で,それの質量を**1瓩**,その $\frac{1}{1000}$ を**1瓦**といふ. 瓩原器は元々その質量が水の1000立方糎の質量に等しいやうに作つたものである. 從つて,


圖5・2 瓩原器

> **水の1立方糎の質量は1瓦である.**

❷**力の重力單位** 重さが質量に比例することを利用して,1瓦または1瓩の質量に働く重力を力の單位とし,これを**1瓦重**又は**1瓩重**の力といひ,これらを力の**重力單位**と稱する. 從つて,

圖5・3 質量と重さ

> **水の1立方糎の重さは1瓦重である.**(圖5・3)

又一般にいふと,

> **質量m瓦の物體の重さはm瓦重である.**

§6. 密度と比重

❶物體の重さは,其の體積が等しくても,一般に等しくない(例へば綿と鉄とのやうに). 之は,その質量が異なるからである. この事實を表はす一方法として單位體積中の質量をとり,これを**密度**といふ.

即ち, **密度** $=\frac{\text{質量}}{\text{體積}}$ $\quad d=\frac{m}{v}$ $\quad$ d: 密度 m: 質量 v: 體積 ……………………(式6・1)

例へば體積が0.2立方糎なる水銀の質量は2.72瓦であるから,水銀の密度dは,

$$d=\frac{2.72\text{瓦}}{0.2\text{立方糎}}=13.6\,\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$$

で,13.6は密度の數値,$\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$はその單位である. 又水の

1立方糎の質量は1瓦であるから,水の密度は1$\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$である. 之を水の密度は1立方糎について1瓦であるといつてもよい.

❷等體積の物體の重さの相違を表はす他の方法として,物體の重さ(W)を等體積の水の重さ(W_0)に比較した比をとり,之を其の物體の**比重**(S)といふ.

即ち, $S=\frac{W}{W_0}$　S：比重　W：物體の重さ　W_0：等體積の水の重さ ……………………(式6·2)

然るに,この物體及び水の質量·密度·體積·重さを夫々,m, m_0; d, d_0; v, v; W, W_0とすると,

$$\left.\begin{array}{ll}\text{物體について} & vd=m=kW \\ \text{水について} & vd_0=m_0=kW_0\end{array}\right\}\ \therefore\ \frac{d}{d_0}=\frac{W}{W_0}$$

であるから式6·2は次の様になる.

$S=\frac{d}{d_0}$　或は,　$d=d_0S$ ……………………(式6.3)

これ,物體の密度dと比重Sとの關係を示す式である. 若し,密度を$\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$なる單位で表はすと,$d_0=1\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$であるから,密度$d$の數値と比重$S$とは等しくなる. 從つて,

比重Sの物體の密度は$S\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$である.

【問】 次の云ひ方は何れが正しいか. (i)鐵は綿よりも重い. (ii)鐵の比重は綿の比重よりも大きい.

比重の表

白金	21.5	アルミニューム	2.7	水銀	13.59
金	19.3	硝子	2.5	海水	1.03
鉛	11.3	氷	0.92	アルコール	0.08
銅	8.9	松	0.6	空氣 (0°C,1氣壓)	0.0013
鐵	7.8	コルク	0.24		

❸**物理學的運算**　體積20立方糎の鉛の質量mを求めんに,之は式6·1 $m=dv$に於て,$d=11.3\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$, $v=20$立方糎の場合であるから,

$$m=11.3\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}\times 20\,\text{立方糎}$$

である. こゝで,數値間の計算を行つて $11.3\times 20=226$ とすると同時に,單位間の計算をも行つて $\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}\times\text{立方糎}=\text{瓦}$ とし,之を226に附記して,

$$m=11.3\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}\times 20\,\text{立方糎}=226\,\text{瓦}$$

を以つて答とする. かやうに,單位間の計算をも含む運算を**物理學的運算**といふ.

そこで,この様な運算によつて密度が$d\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$,體積が$v$立方糎の物體の質量を計算すると,$dv$瓦となるから,

> 密度 $d\ \dfrac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$, 體積 v 立方糎の物體の重さは dv 瓦重である.

§7. 基本單位と誘導單位

各種の量を測るには夫々の單位が要る. 然し,すべての量の單位を一々任意にきめることは煩はしい. 故に物理學では既に學んだ様に長さ·質量·時間の單位だけを任意にきめ,他は之から導くのである. 例へば,體積の單位に長さの單位の糎から導いた立方糎を用ひ,密度の單位に體積の單位と質量の單位とから導いた $\dfrac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$ を用ふるが如きである. 故に,

> 長さ·質量·時間の三つの單位を**基本單位**と稱し,これから導いた他量の單位を**誘導單位**と稱す.

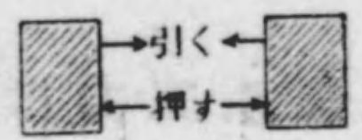
長さ·質量·時間の單位にも色々あるが,これらの單位として夫々糎(Centimeter),瓦(Gram),秒(Second)を用ひて組立てた單位を**CGS制**の單位といふ.

§8. 作用と反作用

海上で相手の舟を押すと自分の舟も押され,相手の舟を引くと自分の舟も引かれる. このやうに甲が乙を押し又は引くと,

必ず同時に乙が甲を押し又は引く. その押し又は引く力の一方を**作用**,他を**反作用**といふ. 實驗の結果によると,

> **作用と反作用**とは (1) 別々の**二物體**に, (2) **同時に**はたらき, (3) 且つ**等反**である.



作用と反作用


圖 8·1 作用と反作用

こゝに等反といふのは大きさ等しく,方向反對の意味である. つまり力といふのは二物體間に働く押し合ひ又は引き合ひの作用であつて,その一方を作用と稱し,他方を反作用といふのである.

【問】 圖8·1の様にして相手を押し倒さんとすると,却つて自分が倒されることのあるのは何故か.

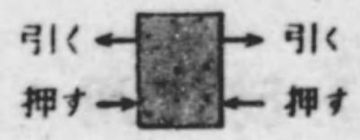
§9. 二力の釣合

ゴム紐に石を吊ると,石は重力に引かれ紐は少し延びて止まる. (圖9·1) 止つたとて重力が消失したとは考へられぬから,重力に反抗する彈力が生じて石に働く

圖 9·1 二力の釣合

と考へねばならぬ. 石を針金で吊る場合も同様である. かやうなとき,石に働く重力と彈力とが**釣合ふ**といふ. 一般に,

釣合ふ二力は (1)同一の**一物體**に, (2)**同時に**はたらき, (3)且つ**等反**である.



釣合ふ二力

【問】 釣合ふ二力と作用·反作用をなす二力との異同を問ふ.

§10. 壓力と張力

❶机上の書物(圖10·1)がN'の力で机面を押すと,机面は其の反作用としてN'と等反の力Nで書物を押し上げ,こゝでN'とNとが**押し合ふ**. 同様に柱の途中(圖10·2)の切口も,かやうな等反の力で押し合ふ. 一般に,

圖 10·1 押合ふ力と釣合ふ力

二物體又は一物體のある二部分が面に直角に等反の力で押し合ふ時 } 之を**壓力**といふ.

書物(圖10·1)がNの力で押し上げられるに拘らず,動かないのは,Nが書物に働く重力Wと釣合ふからである. (押し合ふのではない)

【問】 圖10·1 に於て机はN'で押されるのに動かないのは何故

か.

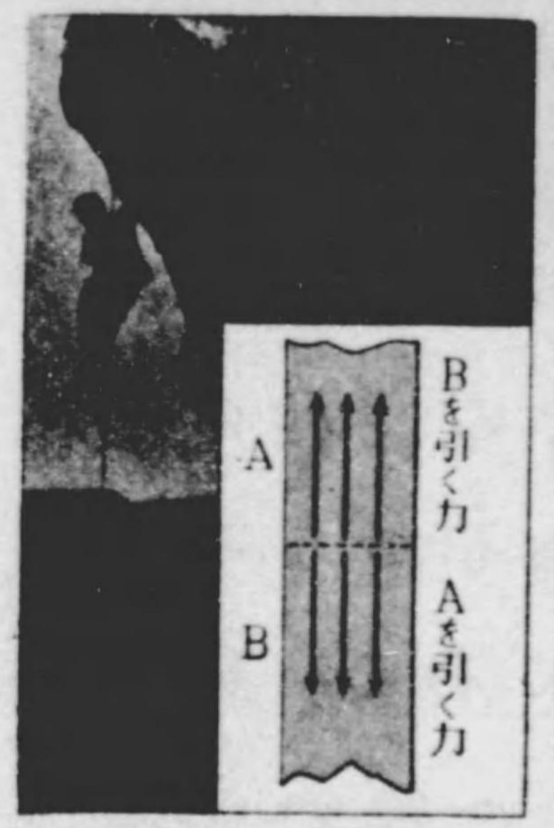


圖 10·3 張力を示す

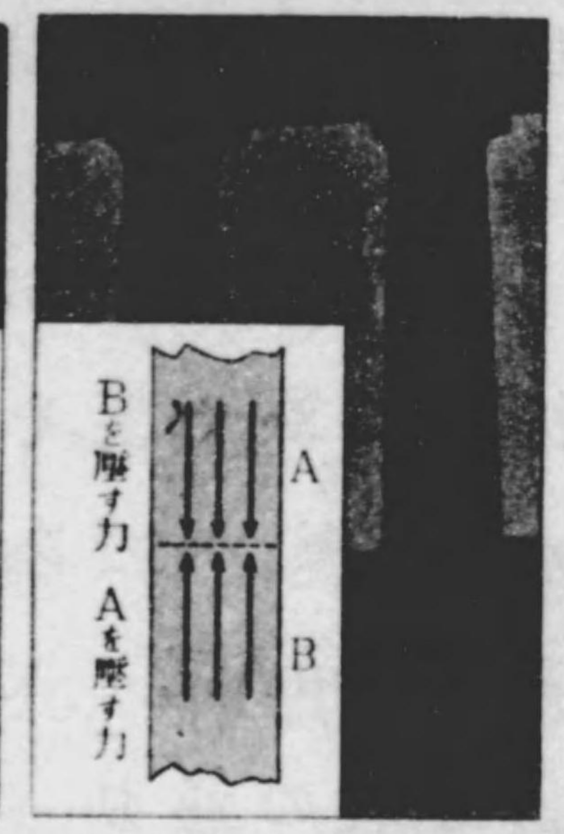


圖 10·2 壓力を示す

綱で物體を吊ると,綱の任意の切口(圖10·3)の兩側の部分は互に他を等反の力で**引き合ふ**. そこで一般に,

二物體又は一物體のある二部分が面に直角に等反の力で引き合ふ時 } 之を**張力**といふ.

❷壓力は多少の廣さがある面に働くから,その單位面積に働く分け前を考へ,之を**壓力の強さ**又は單に**壓力**といひ,全面積に働く壓力を**全壓力**といふ.

從つて重さ500瓦重,底面積10平方糎の分銅を机面におくと,壓力の強さpは,

$$p=\frac{500\text{瓦重}}{10\text{平方糎}}=50\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$$

で,50はその數値,$\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$ はその單位である. 之を壓力の強さは1平方糎につき50瓦重であるといつてもよい.

又先端の面積が0.02平方糎の針金を5瓦重の力で皮膚に

押しつけると,その壓力の强さは1平方糎につき 250瓦重となる.

一般に密度が $d\ \dfrac{瓦}{立方糎}$, 底面積が a 平方糎,高さが h 糎なる圓柱を机上におくと,その圓柱の體積は a平方糎 $\times h$糎 $= ah$ 立方糎 であるから,その質量は $d\ \dfrac{瓦}{立方糎} \times ah$ 立方糎 $= dah$ 瓦 である. 從つて机面の壓力の强さ p は次の通りである.

$$p = \frac{dah\,瓦重}{a\,平方糎} = dh\ \frac{瓦重}{平方糎}$$

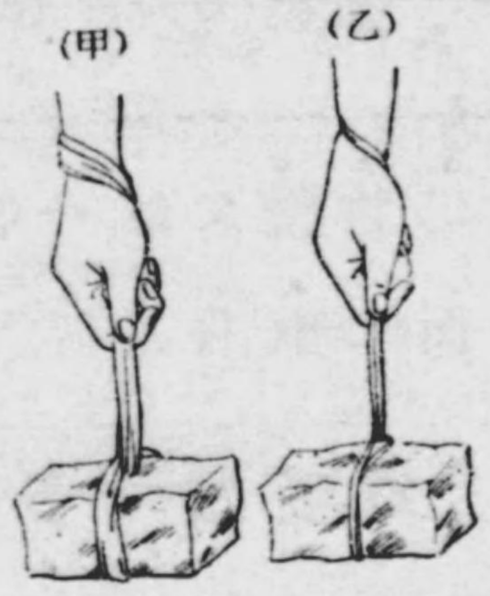


圖 10・4 石をさげる

張力の場合にも單位面積に働く張力を**張力の强さ**または單に**張力**といふ.


圖10・5 座蒲團の効果

【問1】 石をさげるに圖10・4の甲,乙何れを選ぶか. 理由を述べよ.

【問2】 座蒲團の効果を壓力の强さといふ見地から說明せんとす(圖10・5). 如何に說明するか.

【問3】 物を吊る絲が細いと切れ易い. 分り切つたことの樣であるが,どう說明するか.

第二篇 物 性

第一章 分 子

§11. 分子 圖11・1に於て雞や地面の樣に見えるものは,實は人や林檎の集團である. 之と同樣に,石・水・空氣の如き物體も一般に**分子**と稱する多くの微粒子の集團である. そして各分子は一定の質量を有し,之に一定の重力が働く. それらの總和が夫々物體の質量及び重さである.

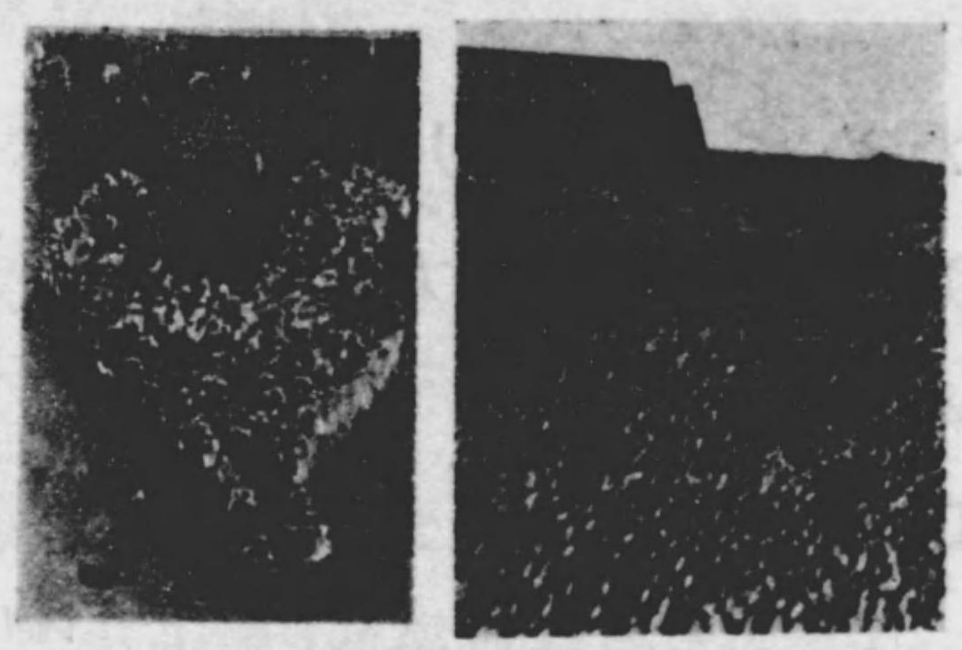


圖 11・1 分子を想像す

§12. 分子力 ❶ 各種の事實を綜合すると,

分子は (1)密接せるものでなくて,お互に**多少離れて居る**.
(2)全く靜止せずして,或る程度の**運動をして居る**.
(3)なほ分子は引力を以つて互に**引き合つて居る**.

分子間に働く引力を**分子力**と稱し,その大きさは分子の種類によつて異なり,分子間の距離の增


圖12・1 蜘蛛の巣にかゝる露の玉

圖12・2 木片を膠にて接着す

すと共に急に小さくなる．便宜のため同種の分子間の分子力を**凝集力**，異種の分子間の分子力を**附着力**といふ．水滴が球狀(圖12・1)になるのは凝集力のためで，膠が木片(圖12・2)を接着するは附着力のためである．

圖12・3 水を注ぐ


圖12・4 片口と醬油瓶

【問1】 手に水はつくが，水銀はつかぬのは何故か．

【問2】 圖12・3 甲，乙の相違は如何に說明するか．

【問3】 圖12・4 の如き片口と醬油瓶とに於て，口に殘つた醬油の滴はどこへたれて行くか．

❷物體の分子は分子力の大小によつて其の集合狀態を異にし，固體・液體・氣體の三つに分れる．

§13. 固體の性質 ❶固體の分子間の距離は極めて小さくて其の分子力は相當に強い．それがため，其の分子は多少振動しながらも一定の位置

と距離とを保つ．従つて固體全體が一定の形狀と體積とを保つ．

❷外力を加へて固體の形狀又は體積を變へると，元に戻さんとする**彈力**が現はれ，外力を去ると，この彈力のため舊狀に復し，同時にこの力も消滅する．形狀又は體積の變化をすべて**歪**といふ．歪が或る度をこすと，外力を去るも完全には舊狀に復しない(圖13・1)．かゝる境目を**彈性の限界**といふ．

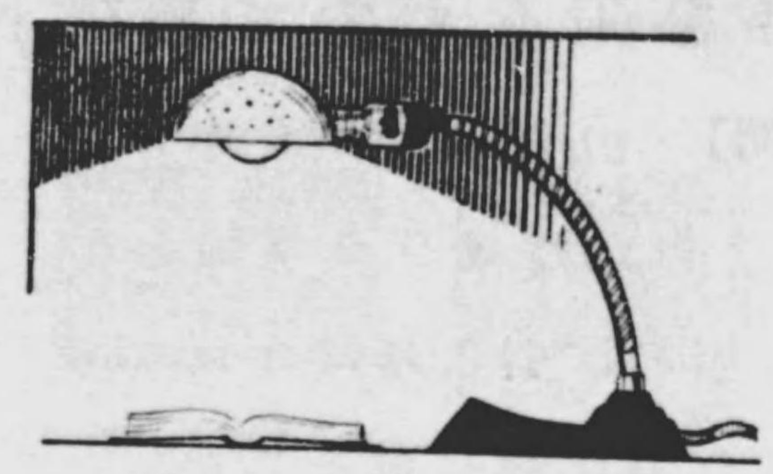


圖13・1 舊狀に復しない電氣スタンド

燒入した鋼は彈性の限界が大きいから時計のゼンマイや諸種のバネを作るに適する．貨幣の紋章を打ち出し，針金を曲げて金網を作るなどは彈性の限界以上に歪を與へるのである．

實驗の結果によると，

> 彈性の限界內では，
>
> 物體の歪(S)は (1)これを起す**外力**(F)に比例し，(2)その(種類・形狀)によつて異なる．

即ち， $S=kF$ ……(式13・1)

之を**フックの法則**といふ. kは上の(2)の關係を表はす比例常數である.

ゼンマイ秤は此の法則を應用して物體の重さ又は力の大きさを測るものである.(圖13-2)

【問】5瓦の分銅をかけて1糎だけ延びる螺線を2.5糎だけ引き延ばすに要する力は幾瓦重なるか.

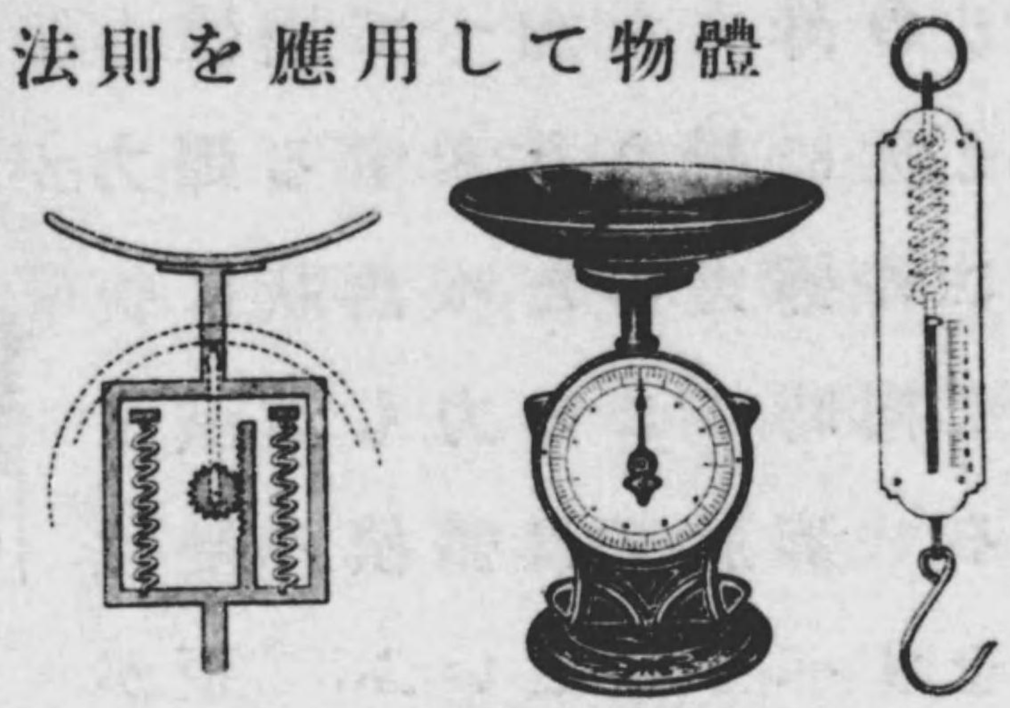


圖13-2 ゼンマイ秤

§14. 液體の性質

❶液體の分子間の距離は固體のより大きくて,その分子力は固體のより弱く,分子の平均距離を保つには十分であるが,其の位置を保つには不十分である. 従つて液體は壓縮し難いが流動し易い. 其の結果液體を保つには容器を要し,容器中の液體は器壁に接しない**自由表面**を作つて静止する. 自由表面は普通重力の方向に直角である.(圖14-1)

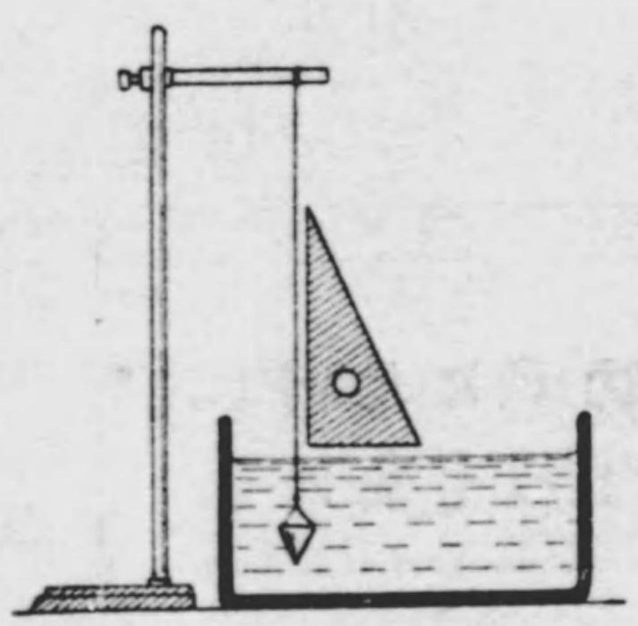


圖14-1 重力の方向と水面

❷自由表面が出來るのは,凝集力によつて一塊(ひとかたまり)となり,その

表面積を小さくせんとするためで,恰も表面にゴム膜の如きものがあつて,張力が働いて居る様に見える. かやうな張力を**表面張力**といひ,次の諸現象は皆之に基く.

(i)水と水銀とを別々の硝子器に入れると,液面が器壁に接する所で水では昇り,水銀では降る.(圖14-2) これ水は硝子を濡すから表面が凹形になり,水銀は硝子を濡さないから表面が凸形になり,その表面積を小さくせんとして角(かど)に丸味がつくのである. この現象は細い硝子管を水及び水銀中に浸すときに著しく,内外の液面の高さまでが違ふ. 高さの違ひは圖14-3の様にすれば良く分る. かゝる現象はすべての細隙に於ても見られ,一般にこれを**毛管現象**といふ. これを毛細管で研究した結果によると,

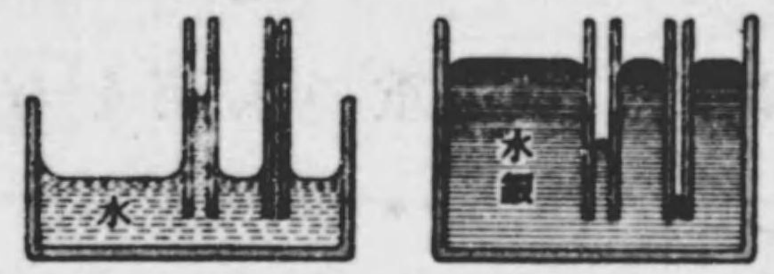


圖14-2 器壁に於ける表面張力の影響と毛管現象

圖14-3

高さの差は管の半徑に反比例する.

(ii)平たい樋から落ちる水が圓柱狀に近づき机上の水

圖 14・4 表面張力の影響


圖 14・5 糸の中の膜をつき破ると糸が圓形に張られる

銀滴や蓮の葉の上の水滴がほゞ球形をな(圖 14・4)すのは表面積を小さくせんとする結果である.

(iii)石鹸膜(圖 14・5)は輕くて二重の表面を有するから表面張力の作用が著しい.

【問1】 次の諸現象を説明せよ. (1)蓮の葉の上に水滴を落すと球形になるが紙上に落すと紙にしみ込む. (2)衣服についたパラフィンをとり去るには其の上に吸取紙をおき,上より燒コテをあてるとよい. (3)ペン先に油をつけるとインクの出方が惡くなる(圖 14・6).


圖 14・6


圖 14・7 羽毛に脂肪を塗る水鳥

【問2】 水鳥が羽毛に脂肪を塗るのは何故か(圖 14・7).

§15. 氣體の性質 氣體では分子間の距離が大きいため分子力は零で,分子は自由に飛動して,いくらでも擴がる. 從つて之を容器に密閉すると,隅々まで行き渡つて自由表面を作らず,器壁に衝突して之に壓力を加へ,器壁は其の反作用として

氣體に壓力を加へる. 次に固體・液體・氣體の特性を表示しておく.

狀 態	分子の運動狀態	形狀の變化の難易	體積の變化の難易	表 面
固 體		難	難	一定の形をとる
液 體		易	難	自由表面が有る
氣 體		易	易	自由表面が無い

第二章 壓力の傳達

§16. パスカルの原理 ❶煉(ねり)歯(は)磨(みがき)の袋の底を押すと,歯磨は口から出るが,又側方(圖16・1)にもふくれ出す. これと同様に,


圖 16・1 煉歯磨

> 密閉せる液體の表面に加へた壓力は,
> 其の内部のどこまでも傳はつて面を壓する.
>
> **傳はつた壓力**の (1)**方向**はすべて面に直角であり, (2)その**強さ**は元の強さに等しく, (3)從つて**全壓力**は面積に比例す. (圖 16・2)

之を**パスカルの原理**といふ. 此の原理の實用上重要な點は,自由に曲つた途に沿うて壓力を傳へ

得ることと,圖16·2(又次にも述べる通り)にも示す通り小さい力で大きな力に對抗し得ることとである.

❷圖16·2を圖16·3の如く變形し,面積S, sの括塞に夫々重さW, wの分銅をのせて釣合はせると,

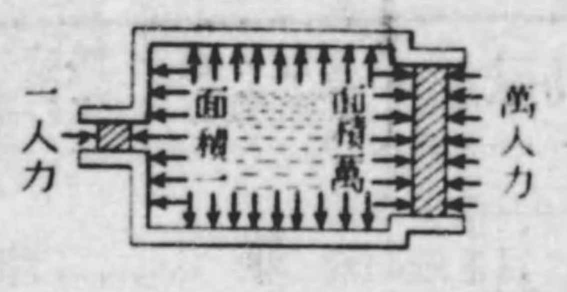


圖16·2 パスカルの原理
［一夫險に當れば萬夫も開くなし］

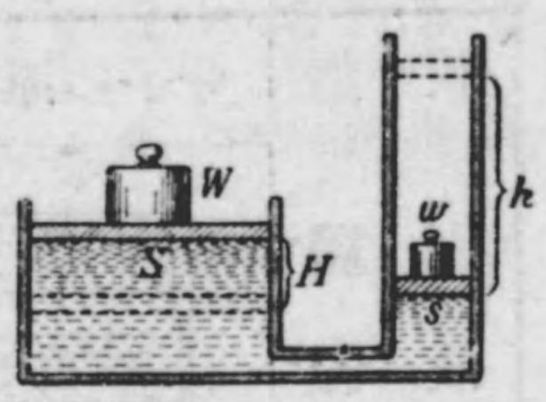


圖16·3 水壓器の原理

> 釣合ふ分銅の**重さ**は,括塞の**面積**に比例す.　$\dfrac{W}{w}=\dfrac{S}{s}$ …………(式16·1)

又この括塞が,夫々H,hだけ昇降すると,

> 括塞の昇降する**高さ**は,括塞の**面積**に反比例す.　$\dfrac{h}{H}=\dfrac{S}{s}$ …………(式16·2)

水壓器(圖16·4)は式16·1によつて大なる力を生ぜしめ,之によつて重いものを押し上げ,又は綿·紙などを壓搾(あつさく)するに用ふ.

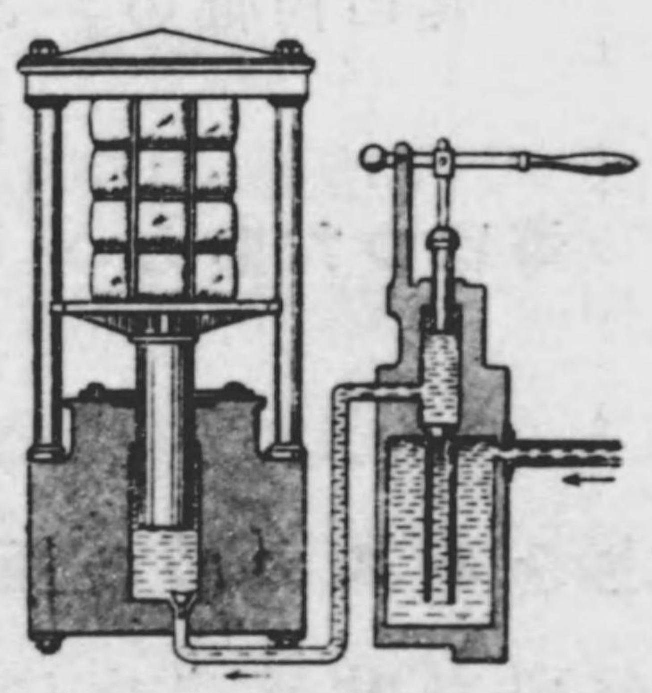


圖16·4　水　壓　器

齒科醫院や床屋で用ふる椅子には水壓器の太い圓柱の上に座席を

作つた式のものもある(圖16·5).此の時は水の代りに多く油を使ふ.

圖16·5 椅 子

❸パスカルの原理は分子が容易に移動することに基くから,分子の移動の容易な氣體に於ても成立する.瓦斯會社のタンクで瓦斯に加へた壓力が需要家の瓦斯口までも及ぶのは其の實例である.

【問】水壓器について居る瓣の作用を說明せよ.

第三章　液體內の壓力

§17. 液體內の壓力　❶重ねた書物の上のものが,下のものを押す樣に,液體の內部にも,その實質に働く重力(重さ)に基く壓力(圖17·1の實線の矢)があつて,これは底ほど強い.例へば密度$d\dfrac{瓦}{立方糎}$の液中,深さh糎の所A(圖17·2)の壓力の強さはAの上に立つ斷面積が單位なる圓柱形の液體Vの重さに等しく,之は$dh\dfrac{瓦重}{平方糎}$(第14頁)で表され,明かに深さに比例す

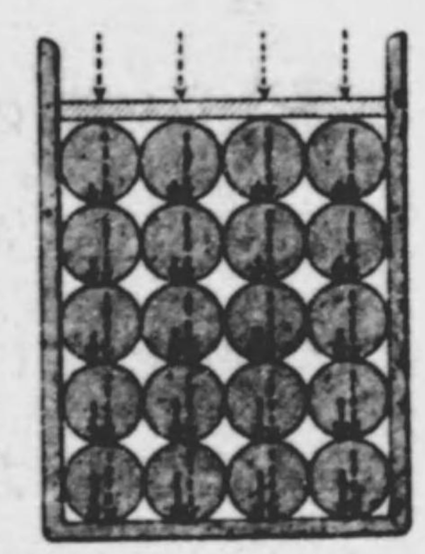


圖17·1 液體內の二種の壓力

圖17·2 重力に基く壓力を導く

る. 即ち,

> 液の**實質**に働く**重力**に基く壓力は,その**深さに比例する**.

このほか液體には其の表面に加はる壓力 $p_0\,\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$ (圖 17·1 の點線の矢) があつて,之は液體の內部に一樣に傳はる (パスカルの原理により). 即ち,

> 液の**表面**に働く**外壓**に基く壓力は,**どこでも一樣である**.

そして液體內の實際の壓力 $p\,\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$ は兩者の和であるから次の關係が成り立つ.

$$p=p_0+dh \cdots\cdots\cdots\cdots (\text{式 } 17{\cdot}1)$$

或は,

$$\left[\begin{matrix}\text{液體內}\\\text{の壓力}\end{matrix}\right]=\underbrace{\left[\begin{matrix}\text{表面に働く外}\\\text{壓に基く壓力}\end{matrix}\right]}_{\text{どこでも一樣}}+\underbrace{\left[\begin{matrix}\text{實質に働く重}\\\text{力に基く壓力}\end{matrix}\right]}_{\text{深さに比例す}}$$

次にA點の周圍に小球を考へると,此の小球內の液體は其の上に立つ液柱及び氣柱 (圖 17·3, 甲) のため上式による壓力を受ける. 此の壓力は球壁の各點に等しく傳はり,外の液はそれだけの壓力 (a) を受け (圖 17·3, 乙),內の液はそれの反作用 (a') を受ける. このほかに球內の液の重さに基く

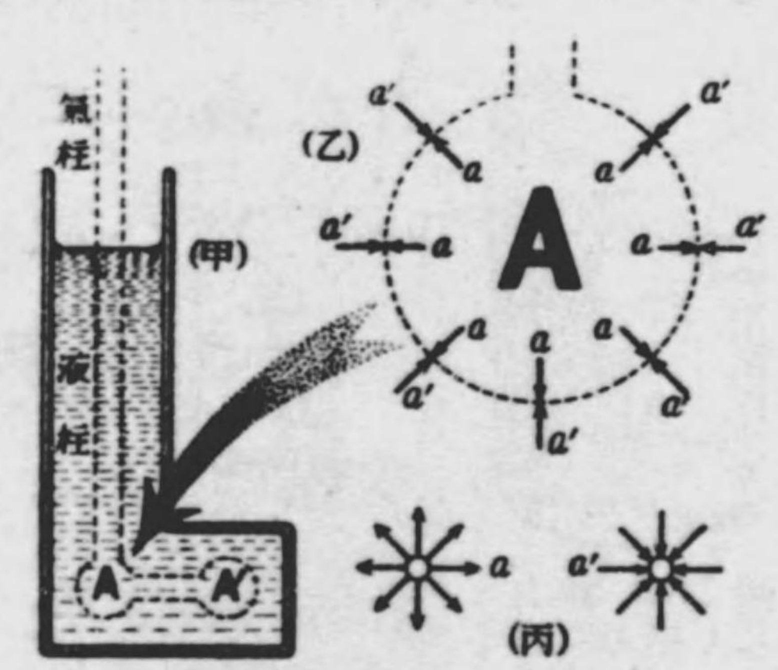


圖 17·3 壓力の法則を導く

壓力があるが,之れは,球が小さくて一點と見做し得るに到ると (圖 17·3, 丙),無視し得るから,一點の壓は各方向に向ひ,何れも相等しいことになる. 次にAと同一水平面內にあるA′に考へた小球とAの小球とを水平な液柱で連絡したと考へると,Aの壓力は其のまゝA′に及ぶから,A′の壓力はAの壓力に等しい. A′を器壁にとると,上に考へた壓力は器壁の壓力と見做してよい. 從つて式 17·1 は結局液體の內部或は器壁の壓力の强さを表はすもので,其の方向は器壁では之に直角であり,液內では各方向に向ひ,そこに假想する如何なる方向の面にも直角である.

❷**壓力の計算例** 水銀の表面の壓力の强さが $500\,\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$ なるとき,10糎の底にある面積0.5平方糎の面が受ける全壓力を計算してみよう.

式 17·1 に於て $p_0=500\,\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}$, $h=10$糎, $d=13.6\,\frac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$ の場合なる故,10糎の底に於ける壓力の强さ p は,

$$\begin{aligned}p&=500\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}+10\text{糎}\times13.6\frac{\text{瓦重}}{\text{立方糎}}\\&=500\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}+136\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}\\&=636\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}\end{aligned}$$

である. 從つて面積0.5平方糎の受ける全壓力 P は

$$P=636\frac{\text{瓦重}}{\text{平方糎}}\times0.5\text{平方糎}=318\text{瓦重}$$

である.

【問】 深さ2米の海底にある物體の單位面積が海水から受ける壓力を問ふ. 海水の比重は1.03とし,大氣の壓力は水銀柱の76糎に等しいとする.

§18. 連通器 圖18・1,甲に於て連通管の一部A_1A_2を凍らせて液を止め,その兩側の壓力をp_1, p_2とすると,

$$\left.\begin{array}{l} p_1=p_0+dh_1 \\ p_2=p_0+dh_2 \end{array}\right\} \quad \therefore\ p_2-p_1=d(h_2-h_1) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\text{式 } 18\cdot1)$$

であつて,p_2がp_1よりも,液面の高さの差に相當するだけ大きい. 故に氷をとかすと,液は高い方から低い方に流れる. この現象は掘抜井戸・噴水・瓶から水を注ぐときなどに起る. (圖18・1,乙,丙)

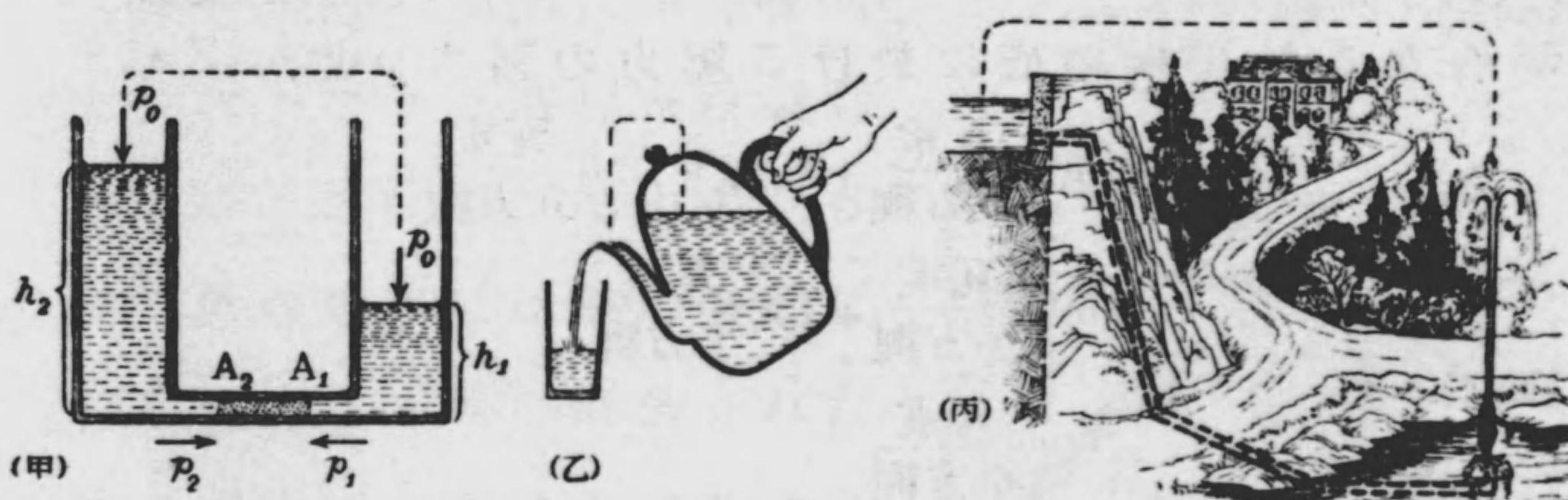


圖18・1 連通器とその應用

然し圖18・2,甲の樣にして一側の液面の壓力を

増すと,連通管中の液が凍つてゐなくても,液面はその高さを異にして止まる. 此の時低い液面の壓力(p_0')は高い液面の壓力(p_0'')よりも液面の高さの差に相當するだけ大きい. 圖18・2,乙,丙,丁,戊は甲の變形と見られる.

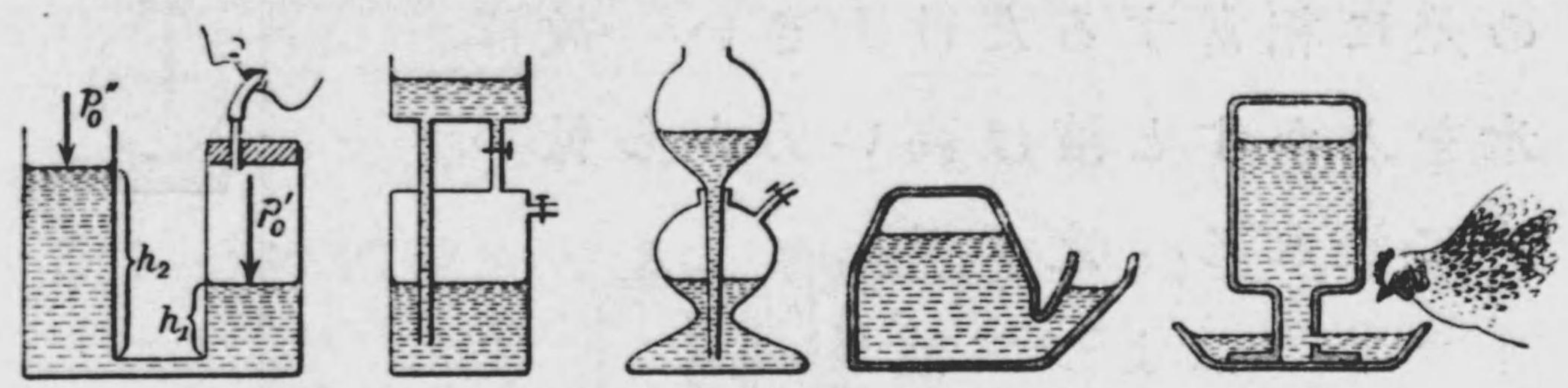


圖18・2 高さの異なる二つの液面

【問1】 A, B, C の連通器に夫々空氣(C°O, 1 氣壓)・水・水銀が入つて居り,何れも其の上部は眞空と見て其の高さの比を求めよ(圖18・3).

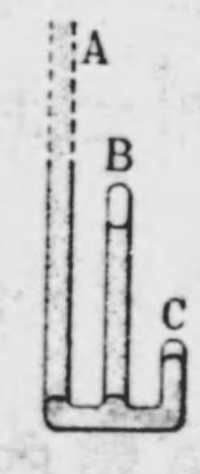


圖18・3

圖18・4

【問2】 一端を閉ぢた曲管に水を入れたら液面の高さの差20糎で釣合つた. 閉端內の空氣の壓力を求めよ. 但し開端の液面を押す氣壓は水銀柱の76糎に等しいとする(圖18・4).

【問3】 ゲージ管によつて汽罐內の水面の高さを知り得る理を問ふ(圖18・5).

圖18・5

§19. サイフォン 容器を傾けないで高所の液體を低所に移すに用ふる曲管をサイ(圖19・1)

フォンといふ．今曲管の一部のA_1A_2を凍らせて液を止め,其の兩側の壓力をp_1, p_2とすると,

$$\left.\begin{array}{l} p_1+dh_1=p_0 \\ p_2+dh_2=p_0\end{array}\right\} \quad \therefore\ p_2-p_1=d(h_1-h_2) \cdots\cdots (式19{\cdot}1)$$

であつて,p_2がp_1よりも液面の高さの差に相當するだけ大きい．故に氷をとかすと液は高い方から低い方に流れる．之れサイフォンによつて液を高所から低所に移し得る理由である．圖19·2はサイフォンの一應用である．

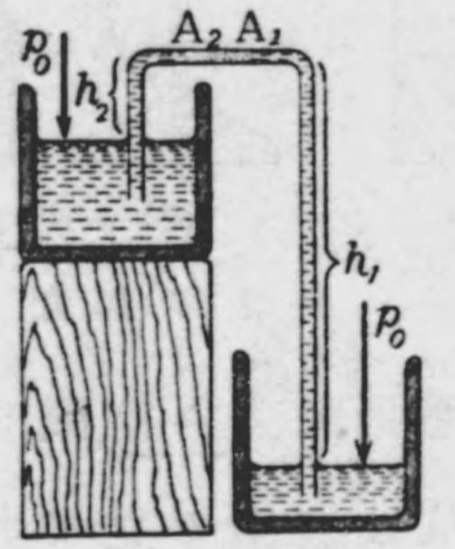


圖19·1 サイフォン


圖19·2 サイフォンの應用

第四章 氣體內の壓力

§20. 氣體內の壓力 液體の場合と同樣に,

$$\left[\begin{array}{c}氣體內\\の壓力\end{array}\right]=\underbrace{\left[\begin{array}{c}表面に働く外\\壓に基く壓力\end{array}\right]}_{どこでも一樣}+\underbrace{\left[\begin{array}{c}實質に働く重\\力に基く壓力\end{array}\right]}_{下ほど大きい} \cdots\cdots (式20{\cdot}1)$$

の關係がある．然し,氣體の密度は頗る小さいから,大氣(一般理科)の如く氣體の高さが著しく大きい時は別

として,普通の場合には重力に基く壓力は外壓に基く壓力に比較して極めて小さい．從つて,普通の場合,氣體內の壓力は外壓に基く壓力のみで,どこでも一樣であると考へてよい．卽ち,

氣體內の壓力＝表面に働く外壓に基く壓力

さて,此の場合に外壓(從つて氣體の壓力)をかへると,その體積が變る(一般理科)．實驗の結果によると,

質量と溫度とを一定に保つときは,
すべての氣體の**體積**(v)は,その**壓力**(p)に反比例する.

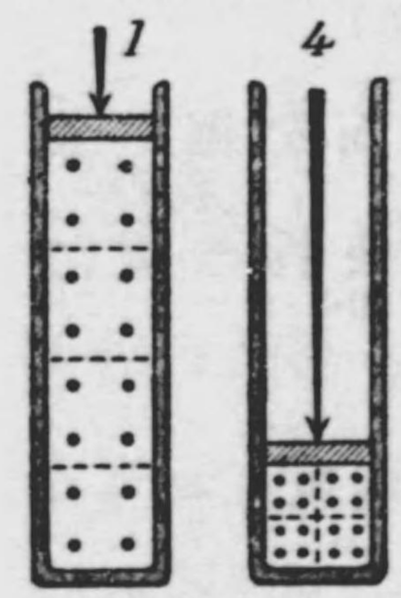


圖20·1 ボイルの法則を圖解す

卽ち, $v=k\dfrac{1}{p}$ 或は, $pv=k$ ……(式20·2)

これを**ボイルの法則**といふ．此の法則を圖解すると圖20·1の樣になるが,之からすぐに上の法則は次の樣に云ひかへ得ることが分る.

溫度を一定に保つときは,
すべての氣體の**密度**(d)は,その**壓力**(p)に比例する.

卽ち, $d=k'p$ ……(式20·3)

以上の法則は壓力の變化の範圍が非常に大きくなり,或は氣體が液化に近づくと近似的になる.

上述の如く氣體に外壓を加へると收縮し,去ると自ら膨脹する. 之は固體の彈性とは多少異なるけれども,之を氣體の彈性と見做し得る. 自動車のタイヤー・空氣枕等はその利用である. 尙また空氣の壓力を利用すると,魚形水雷を走らせ,絞鋲機の鎚や地面を掘る錐(圖 20・2)を働かし,車輪のブレーキを締め付け或は郵便物を氣送(圖 20・3))することが出來る.

圖 20・2　壓搾空氣で働く, 地面を掘る機械

圖 30・3　郵便物の氣送(手許にある圓筒に郵便物を入れ之を氣送管に入れ空氣の壓力で相手局まで送る)

【問】　密閉した器内の空氣の$\frac{1}{3}$をぬき出すと殘る空氣の壓力はどうなるか. 式 20・2 及び式 20・3 を用ひて答へよ.

§21. 混合氣體　空氣は酸素・窒素・炭酸瓦斯・水蒸氣などの混合物であるが,これらの混合氣體の各はそれのみがあるときと同樣に器壁に別々に壓力を加へる. 之を**分壓**といふ. そして,

全體の壓力は分壓の和に等しい.

これを**ダルトンの法則**といふ.

第五章　液體及び氣體の浮力

§22. アルキメデスの原理　直方體の一面を水平にして液中に入れると(圖 22・1, 甲),側面の壓力は互に釣合ふが,下面の壓力は上面の壓力よりも直方體が排除した液の重さだけ大きいから,此の差だけの力で直方體を上方に押し上げる筈である. 又任意の形の物體は之を多くの直方體の集合と見做し得るから,矢張り物體は其の排除した液の重さに等しい力で押し上げられる筈である. 同樣な推論は物體の一部のみが液中に入る場合(圖 22・1, 乙)にも適用される.

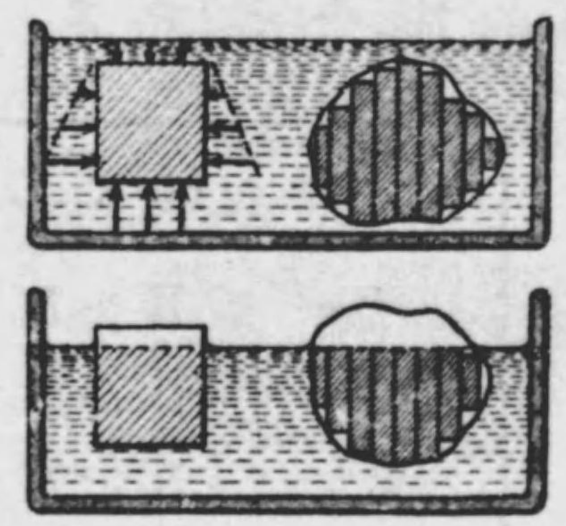


圖 22・1　アルキメデスの原理を推理す

以上の推論はみな實驗の結果と一致する. そして,液體が物體を押し上げる力をすべて**浮力**といふ. 故に,

浮力は物體の排除した液の重さに等しい.

之をアルキメデスの原理といふ.

§23. 物體の浮沈

物體が全部液中に入る時,

物體の體積を v, 物體の密度を d, 液體の密度を d_0 とすると,

浮力(↑) $B=d_0v$
重力(↓) $W=dv$ ……(式23·1)

であるが,重力 W と浮力 B との大小に關し,(第10頁參照)次の三つの場合がある.(圖23·1)

場合	働く力	密度	物體の浮沈
(1)	$W>B$	$d>d_0$	下に沈む
(2)	$W=B$	$d=d_0$	浮沈せず
(3)	$W<B$	$d<d_0$	上に浮ぶ

圖23·1

此の結果は淡水の底に食塩水を注ぎ込むとき底に沈んでゐた卵が次第に浮き上る實驗(圖23·2)で容易に示される.

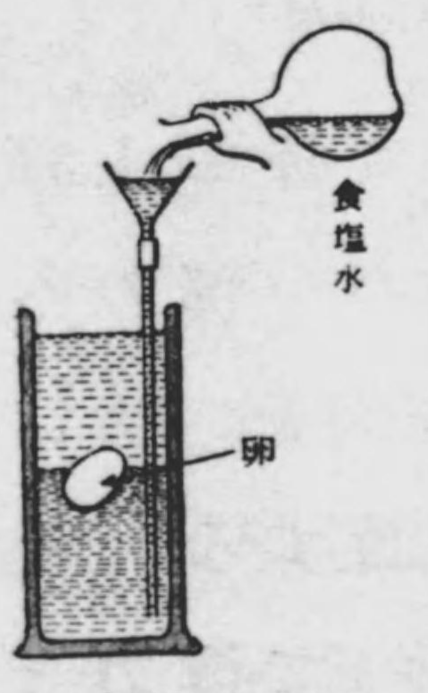


圖23·2 卵の浮沈を示す

さて(1)の場合,物體を水中に支へるには,

[物體の重さ]−[浮力]

或は,[物體の重さ]−[等體積の水の重さ]

だけの力を要し,之を物體の**水中の重さ**といふ.

故に物體の空氣中の重さと水中の重さとの差は等體積の水の重さに等しい. 故に,

$$\text{物體の比重}=\frac{\text{物體の重さ}}{\text{物體の重さ}-\text{物體の水中の重さ}} \quad \cdots\cdots(\text{式}23\cdot2)$$

によつて物體の比重を算出し得る.

(2)の場合,物體を液中に押し沈めるには,

[浮力]−[物體の重さ]

だけの力を要す. 此の力を加へない時は物體の一部が表面に浮び出て釣合ふ.(圖23·3)

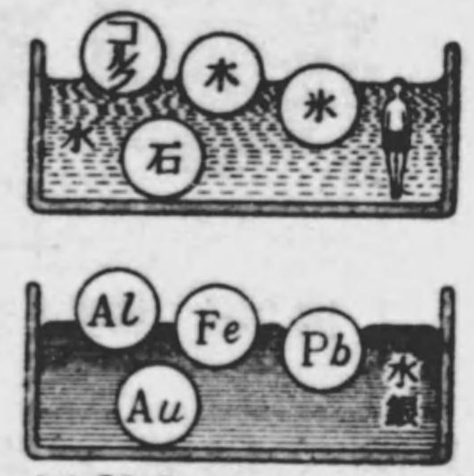


圖23·3 水や水銀に浮くものと沈むもの

軍艦の様に,内部を中空にして體積を増すと,浮力が増すから實質の密度は液の密度より大きくてもよく浮ぶ. 之と同じ理由で浮身(圖23·4)の際空氣を吸ひ込んで胸を張ると樂に浮び,氣嚢に空氣を入れる(圖23·5)と船にもなる.


圖23·4 空氣を吸ひ込むと浮身が樂に出來る


圖23·5 氣嚢で作つた臨時の舟

【問1】比重が

0.25 のコルク1050瓦と比重が 8.5 の銅3400瓦とを絲で結びつけ,之を水中に入れるとき浮ぶべきか沈むべきか.

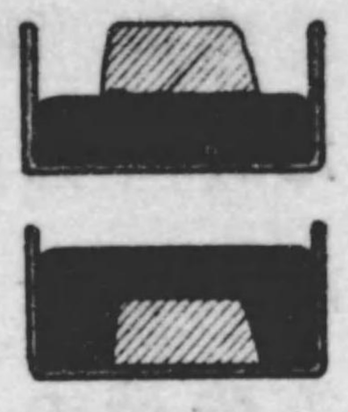


圖 23·6

【問2】 水銀にはぽかりと浮ぶコルクも之を器の底におしつけると浮ばない(圖23·6). 何故か.

§24. 氣體の浮力

圖24·1の如く硝子鐘に炭酸瓦斯を半ば充たし,硝子管の先に吹いたシャボン球を靜かに落すと,球は炭酸瓦斯と空氣との境目の所で一二回上下した後そこに止まる. 其の有樣は圖23·2に於て卵が淡水と食鹽水との境目に止まるのと全く同樣である.

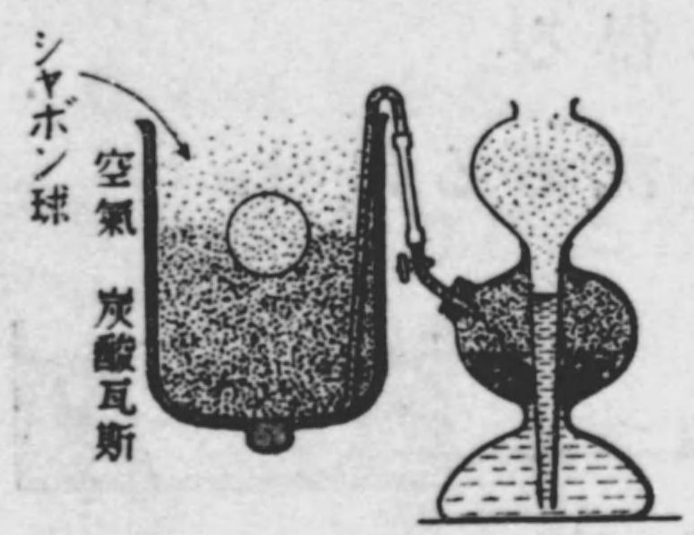


圖 24·1 氣體の浮力

一般に氣體中の(密度 d_0)物體も(密度 d, 體積 v)液體中の物體と同樣にその排除した氣體の重さに等しい浮力(d_0v)と自己の重さ(dv)とを受ける. 通常固體の密度(d)は氣

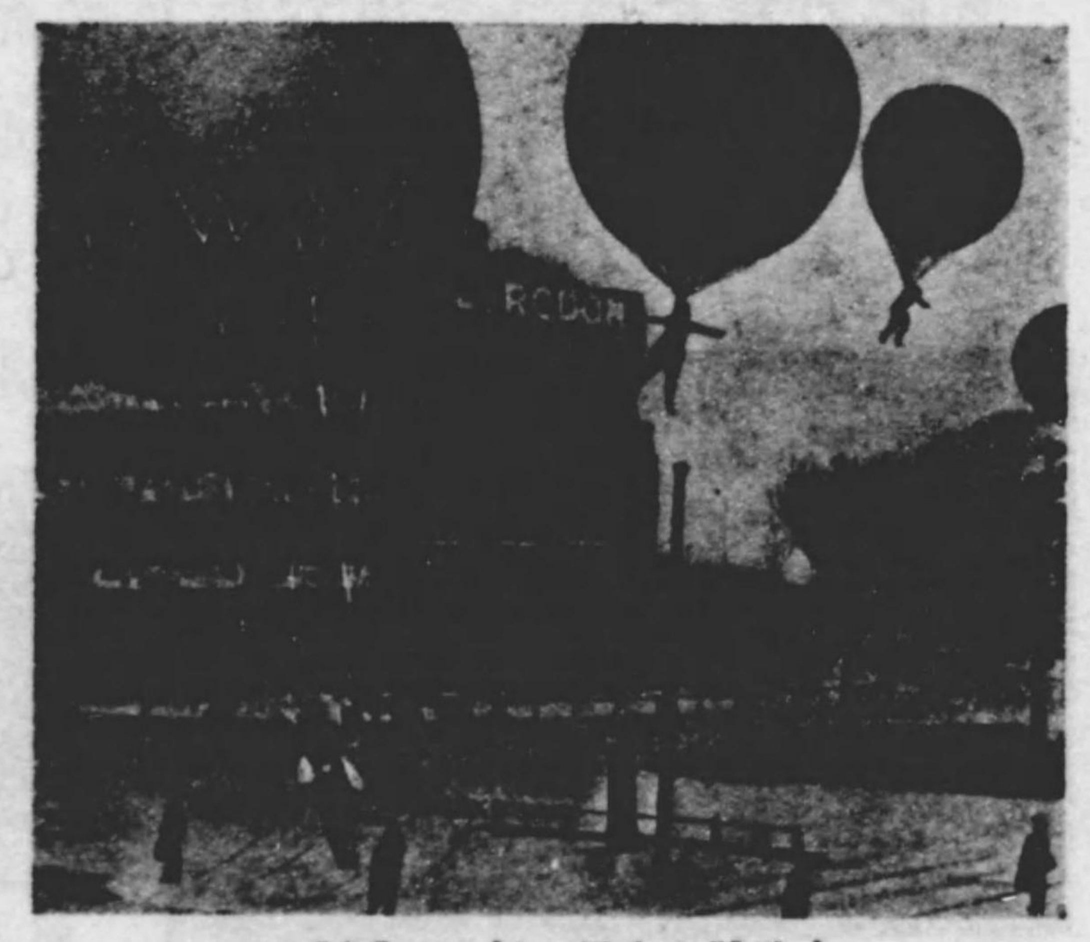


圖 24·2 空氣の浮力を體驗す

體の密度(d_0)に比較して著しく大きいから浮力の影響を無視してもよい. 然し密度の小さい水素の大氣嚢(圖24·2)などでは,水素の重さに其の下に吊る人や袋の重さを加へても尙空氣の浮力の方が大きいからよく上昇する.

【問1】 眞空中で重さの等しい空球と實球とは空氣中では何れが重いか.

【問2】 空氣中で重さの等しい金の冠と眞鍮の冠とは水中では何れが重いか.

第三篇　熱

第一章　熱膨脹

§25. 膨脹と收縮　圖 25·1 に示す實驗から分る通り,物體は固體·液體·氣體を問はず,すべて溫度の上昇と共に膨脹し,溫度の降下と共に收縮する. そして膨脹量は普通 0°C の長さ l_0 又は體積 v_0 を標準としてきめるが,實測によると,

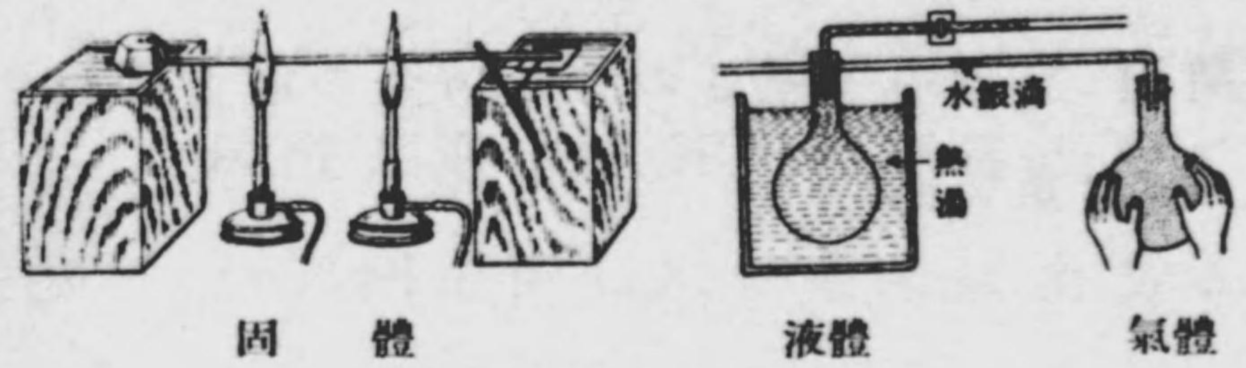


圖 25·1　物體の膨脹と收縮

膨脹量は (l' 又は v') $\left\{\begin{array}{l}\text{(1) 物質によつて異なり,}\\ \text{(2) } l_0 \text{ または } v_0 \text{ に比例し,}\\ \text{(3) 上昇溫度 } t \text{ に比例す.}\end{array}\right.$　$\therefore \left\{\begin{array}{l} l'=\alpha l_0 t\\ v'=\beta v_0 t\end{array}\right.$ …………(式 25·1)

こゝに α または β は 0°C で 1 ($l_0=1, v_0=1$) のものの溫度 1°C ($t=1$) の上昇に對する膨脹量に當るから,つまり1°Cについての膨脹の割合である. そしてこれらは物質の種類によつてそれぞれ異なるか

ら,上の(1)の關係を表はすもので,α を**線膨脹係數**, β を**體膨脹係數**といふ. そこで t°C に於ける長さ l 又は體積 v は次式で表される.

線膨脹　$l=l_0+l'=l_0+\alpha l_0 t=l_0(1+\alpha t)$

體膨脹　$v=v_0+v'=v_0+\beta v_0 t=v_0(1+\beta t)$ …………(式 25·2)

今 0°C に於て長さ 1420 粍のものが,溫度が 10°C だけ昇つたため 0.47 粍だけ延びたとすると,

$$\alpha=\frac{l'}{l_0 t}=\frac{0.47\text{粍}}{1420\text{粍}\times 10^\circ\mathrm{C}}=0.000033\left(\frac{1}{^\circ\mathrm{C}}\right)$$

となり,0.000033 は線膨脹係數の數値で,$\frac{1}{^\circ\mathrm{C}}$ はその單位である. 之を線膨脹係數が 1°C につき 0.000033 だといつてもよい.

以上は固體·液體·氣體に共通な關係であるが,次には固體·液體·氣體につきそれぞれ特殊な事情を述べる.

§26. 固體の膨脹　❶ 一般に固體の線膨脹係數は極めて小さい. (別表參照) 從つて大體から見れば,普通の場合には何れの溫度でも 1 米の物尺は 1 米と考へて差支ない. 然し膨脹量そのものが著しい影響を持つ現象を取扱ふ場合には,之

固體の線膨脹係數 (1°C について)	
亞　鉛	0.000029
眞　鍮	0.000019
銅	0.000017
鉄	0.000012
白　金	0.000009
硝　子	0.000009

を無視することは出來ない，次の事實も其の一例である．

> 固體の膨脹及び收縮の量は**頗る小さい**．
> 然し之を妨げる時働く力は**頗る大きい**．

故に温度の變化を受ける器物·建物·橋梁等に於ては,之に備ふる注意又は設備が必要である．(圖 26·1)

圖 26·1 膨脹に對する一設備

【問 1】 車輪の鐵環は之を熱して嵌め込むが，これは何故か．

【問 2】 硝子瓶の硝子の栓が固着してとれない時注意して外から少し温めると,とれる．何故か．

【問 3】 底の厚いコップに熱湯を注ぐとひゞがいる(圖 26·2)． 何故か．

圖 26·2

❷温度 $0°, t°_1, t°_2$ に於ける長さを夫々 l_0, l_1, l_2 とすると，

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= l_0(1+\alpha t_1) \\ l_2 &= l_0(1+\alpha t_2) \end{aligned}\right\} \quad \therefore \quad l_2 = l_1\left(\frac{1+\alpha t_2}{1+\alpha t_1}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式 } 26·1)$$

この式の割算を行ひ α の二乘以上を含む項をすてると，(これ等は極めて小さい)

$$l_2 = l_1\{1+\alpha(t_2-t_1)\} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式 } 26·2)$$

となる． l_1 から l_2 を求めるには式 26·1 及び式 26·2 の何れによるも差支ないが,式 26·2 の方が簡單である．

❸固體の體膨脹係數 β は,その線膨脹係數 α から導き得る． 今 0°C に於て稜の長さが l_0 なる立方體の温度が t_0°C になると,各稜の長さ l は，$l_0(1+\alpha t)$ となるから,その體積 v は $v=l^3=l_0^3(1+\alpha t)^3$ である． l_0^3 は 0°C に於ける體積 v_0 であるから，

$$v = v_0(1+\alpha t)^3$$
$$= v_0\{1+3(\alpha t)+3(\alpha t)^2+(\alpha t)^3\} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式 } 26·3)$$

となる． 今固體を鐵 ($\alpha=0·000012$),温度 t を 10°C とすると，

$$1=1$$
$$3(\alpha t) = 3\times 0.000012\times 10 \quad = 0.00036$$
$$3(\alpha t)^2 = 3\times(0.000012\times 10)^2 = 0.0000000432$$
$$(\alpha t)^3 = (0.000012\times 10)^3 \quad = 0.000000000001728$$

となり，$3(\alpha t)^2+(\alpha t)^3$ は $1+3\alpha t$ に比較して極めて小さく,之を省略しても差支ない． このことは圖 26·3 からも分る．

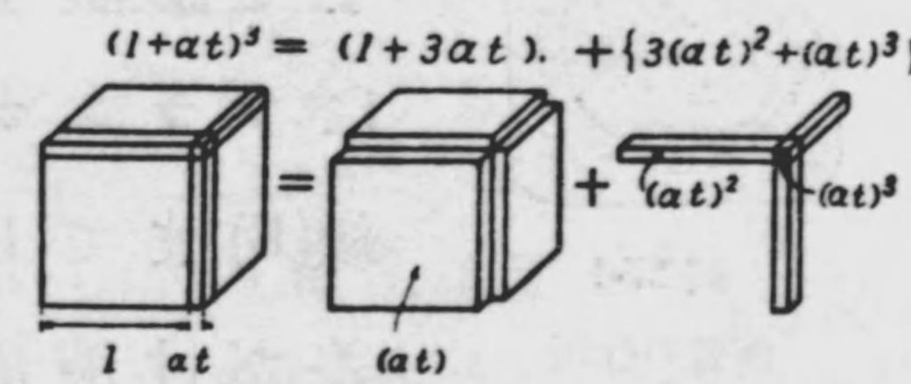


圖 26·3 $3(\alpha t)^2+(\alpha t)^3$ を省略し得ることを圖解す

從つて，

$$v = v_0(1+3\alpha t) \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式 } 26·4)$$

となる． 一方固體の體膨脹係數 β を用ふると，

$$v=v_0(1+\beta t)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(式 26・5)}$$

となるから,

$$\beta=3\alpha\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(式 26・6)}$$

であることが分る.

【問1】 30°C に於て長さ 150*cm* の鉄棒を 200°C に熱すると,いくらの長さになるか. 式 26・1 及び式 26・2 によつて計算して其の違ひを見よ. 鉄の線膨脹係數は 1°C について 0.000012 である.

【問2】 0°C に於て一邊の長さが 3*cm* なる眞鍮の立方體を 300°C に熱すると其の體積はいくらになるか. 但し眞鍮の線膨脹係數は 1°C につき 0.000019 とする.

§27. 液體の膨脹

❶ 液體の體膨脹係數は固體のよりもずつと大きい,(別表參照) 從つて液體をフラスコ(圖 27・1)に入れて熱すると,液體は點線(A)まで膨脹するのにフラスコは點線(B)までしか膨脹しないから其の差だけ液面が上昇する. 水銀寒暖計は之を利用したものに外ならぬ. そして,

液體の體膨脹係數 (1°C について)	
エーテル	0.0016
アルコール	0.0011
水銀	0.00018

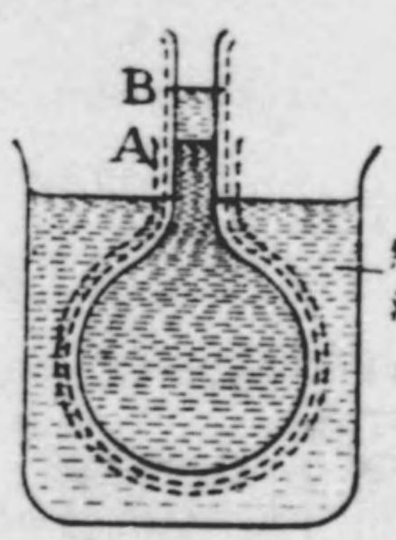


圖 27・1
液體の膨脹

液體の膨脹を妨げるとき働く力は頗る大きい.

故に若し液面の上昇を許さぬ樣に液體を密閉する時はフラスコを破壞する.

【問1】 サイダー瓶の上部に多少の空氣を殘してあるは何故か.

【問2】 液體の膨脹は固體の膨脹よりも大きいといひ得るか.

❷ 水の膨脹・收縮だけは全く例外で, 0°C より 4°C まで(圖27・2)は收縮し, 4C° を超すと始めて膨脹する. 從つて,

水の密度 (瓦/糎³)	
0°C	0.99987
2	0.99997
4	1.00000
6	0.99994
8	0.99988
10	0.99973
20	0.95823
50	0.98807
100	0.95838

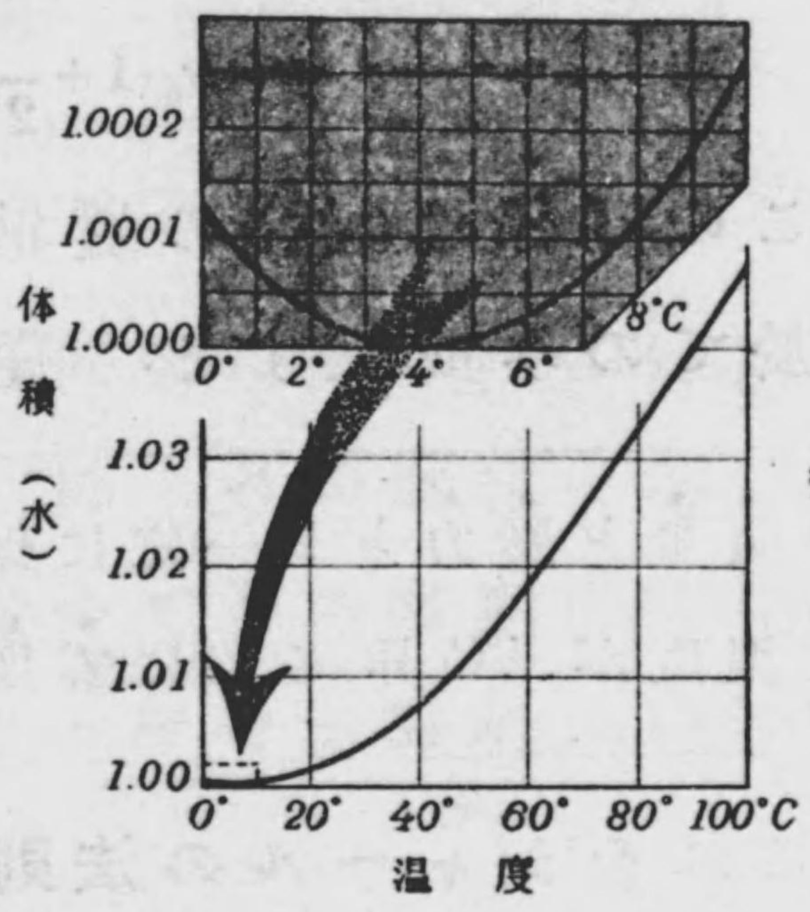


圖 27・2 水の體積が溫度によつて變る有樣を示す

水の密度は4°Cに於て最大である. (別表參照)

然し,この差は僅かであるから,水の密度は普通 $1\dfrac{\text{瓦}}{\text{立方糎}}$ と見て差支ない. 但し,水は僅かの密度の差によつても容易に對流を起すから,風呂水を熱するとき,或は冬の日に池の水が 0°C までも冷却する際などは勿論この差を無視することは出來ない.

§28. 氣體の膨脹　❶實驗の結果によると,

> 氣體の體膨脹係數は
> (1) 固體·液體のそれに比較して著しく大きく,
> (2) どの氣體でも,1°Cにつきほゞ$\frac{1}{273}$である.

即ち,　$v=v_0\left(1+\frac{1}{273}t\right)$ ……………………………(式28·1)

この關係は氣體の質量と壓力とが一定な場合に於てのみ成立する. 從つて,

> 質量と壓力とを一定に保つとき,總ての氣體の體積は,溫度が1°C昇る每に零度の體積のほゞ$\frac{1}{273}$づゝ增す.

これを**シャールの法則**といふ.

❷溫度0°,t_1,t_2に於ける體積を夫々v_0,v_1,v_2とすると,

$$\left.\begin{aligned} v_1&=v_0\left(1+\frac{1}{273}t_1\right)\\ v_2&=v_0\left(1+\frac{1}{273}t_2\right)\end{aligned}\right\}\quad \therefore\ v_2=v_1\left(\frac{1+\frac{1}{273}t_2}{1+\frac{1}{273}t_1}\right) \text{………(式28·2)}$$

この式に於て$\frac{1}{273}$は相當に大きいから,固體の場合と同樣に,それの二乘以上を含む項をすてゝ,

$$v_2=v_1\left\{1+\frac{1}{273}(t_2-t_1)\right\} \text{…………………(式28·3)}$$

とすると,相當に大きい誤差を生ずる. 故にv_1からv_2を求めるには必ず式28·2によらねばならぬ. これはつま

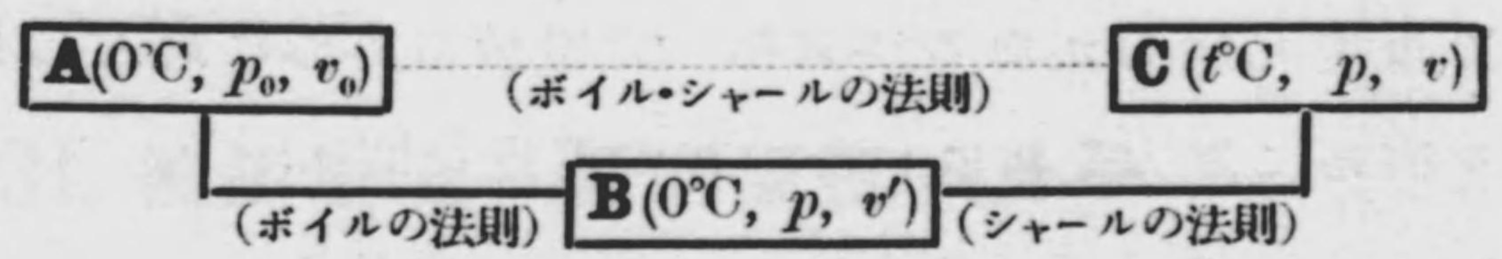
り, $v_1\to v_0\to v_2$の順序に計算することである.

【問】 30°Cに於て體積150 cm^3の空氣を200°Cに熱すると,いくらの體積になるか. 式28·2及び式28·3によつて計算し,その違ひを見よ. そして此結果を第40頁の問1の結果と比較せよ.

§29. ボイル·シャールの法則　既に學んだ通り,

質量一定の氣體につき $\left\{\begin{array}{l}\text{溫度一定の時は,ボイルの法則}\\ \text{壓力一定の時はシャールの法則}\end{array}\right\}$ がある.

質量一定の氣體につき} 溫度と壓力とが同時に變る時の法則は次の樣にして導き得る. 即ち**A**の**狀態**の氣體を第一にボイルの法則に從つて**B**の**狀態**に變化(即ち溫度を一定に保ちつゝ)し,つぎにシャールの法則に從つて**C**の**狀態**に變化(即ち壓力を一定に保ちつゝ)すると,



$p_0v_0=pv'$　　　　$v=v'\left(1+\frac{1}{273}t\right)$

$$\therefore\ pv=p_0v_0\left(1+\frac{1}{237}t\right) \text{…………………(式29·1)}$$

これは溫度と壓力とが同時に變る場合(A→C)の關係で,之を**ボイル·シャールの法則**といふ.

今式29·1に於て$v=v_0$とすると,

$$p=p_0\left(1+\frac{1}{273}t\right) \text{……………………(式29·2)}$$

となる. 之れ氣體の體積を一定に保ちつゝ溫度を變へる場合の壓力の變化を示すもので,之から次のことが分る.

> 氣體の溫度による膨脹を妨げるとき働く力は,
> 固體や液體の場合の樣に**大きいものではない**.

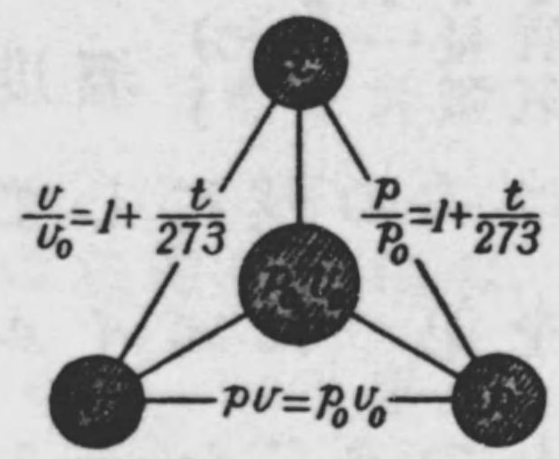


圖 29·1　p, v, t の關係

【問1】 一定質量の氣體のp, v, tの何れか一つを一定に保ち,他の二つを變化するときの關係をボイル·シャールの法則の特殊の場合として說明せよ (圖 29·1).

【問2】 溫度15°Cの一定質量の氣體の壓力をかへないで,其體積を2倍にするには溫度を何度にすべきか.

【問3】 溫度t_1,壓力p_1なる空氣を一定體積の容器に封入し其の溫度を高めて壓力をp_2にした. 其の溫度を問ふ.

【問4】 こゝで第41頁の問1をも一度考へて見よ.

§30. 絕對溫度

式 29·2 が如何なる低溫度までも成立するとすると, $t=-273$°C に於ては, $p=0$ となる. かゝる溫度を**絕對零度**,之を原點として測つた溫度を**絕對溫度**といふ. これをTで表はすと, $T=273+t$ であるから,式 29·1 は次の樣になる.

$$pv=\left(\frac{p_0v_0}{273}\right)T \quad \text{……（式30·1）}$$

質量の一定なる限り p_0v_0 は一定であるから,
(ボイルの法則により)

> 質量を一定に保つときは,
> 總ての氣體の**體積**は { (1)其の**壓力**に反比例し, (2)**絕對溫度**に正比例す.

かやうに一定質量の氣體の體積は壓力と溫度とによつて變る. 故に,

> 壓力: 1氣壓, 溫度: 0°C を氣體の**標準狀態**といふ.

以上の法則は壓力の變化の範圍が非常に大きくなり,或は氣體が液化に近づくと近似的になる.

§31. 熱膨脹及び絕對溫度の分子的意義

一般に,

> 物體を熱すると, { (1)分子の運動が盛になり, (2)分子の平均距離が增す.

(1)の結果,氣體の體積を一定に保つと,その壓力が增加する. 從つて −273°C に於て壓力が零となること

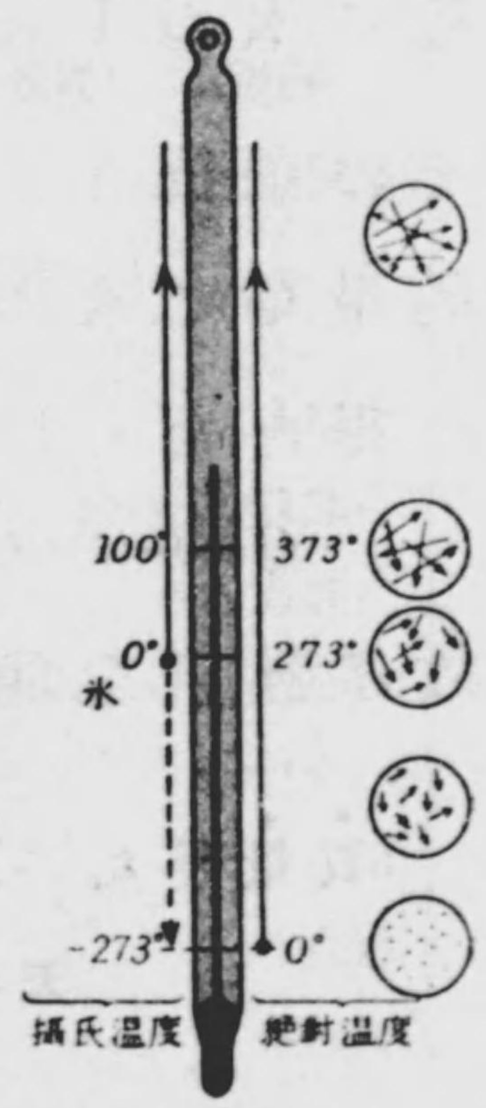


圖 31·1

は,此の溫度で分子が全く靜止することを意味し,(圖31·1)これ以下の溫度はあり得ないことが分る．これ-273°Cを絕對零度といふ所以である．

(2)の結果は物體の熱膨脹の現象となる．

第二章　熱　量

§32. 熱量の單位と測定　如何なる場合でも,

> 物體の溫度を昇降するには熱を加へ又は取去るを要し,その量は物質の種類·質量及び昇降溫度によつて異なる．

故に,水の(種類)1瓦の(質量)溫度を1°C(昇降溫度)變へるための熱量をその單位とし,之を**カロリー**といふ．從つて,ある熱量Qで水のm瓦の溫度をt_0°Cからt°Cまで昇降し得たならば,Qは$m(t-t_0)$カロリーである．即ち,

$Q=m(t-t_0)$　**熱量＝水の質量×昇降溫度**………(式32·1)

故に熱量を測らんとする場合には,

> 質量幾瓦の水の溫度を幾度だけ昇降し得るかを,
> **天秤と寒暖計**とを用ひて測る．

これを實行するには**熱量計**(圖32·1)を使ふ．例へば或る

物體を高溫度に熱し,之を質量m瓦,溫度t_0°Cの水を入れた熱量計中に落すと,その物體から出た熱は直に水に入りてその溫度を高め兩者が同一の溫度t°Cになつて止まる．この間に水に入つた熱量は$m(t-t_0)$(式32·1)カロリーであるから此の間に物體から出た熱量も亦$m(t-t_0)$カロリーである．

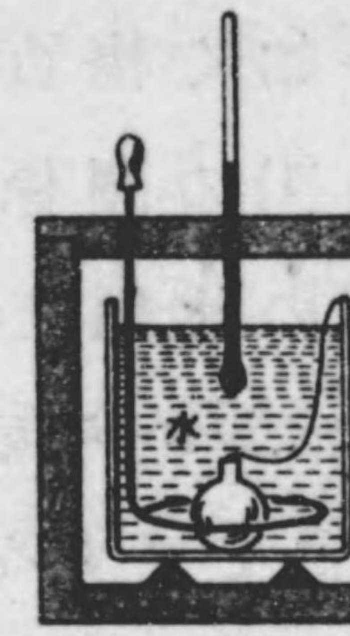


圖32·1　熱量計

§33. 比熱　❶等量の熱を加へても,物體が異なれば,其の溫度の上昇も等しくない．實驗の結果によると,

> 溫度の昇降につれて出入する**熱量**Qは,
> (1) その物體の**種類**によつて違ひ,
> (2) 昇降する**溫度**$(t-t_0)$に比例し,
> (3) その物質の**質量**(m)に比例する．

比熱 $\left(\frac{\text{カロリー}}{\text{瓦·°C}}\right)$	
水	1.00
アルコール	0.55
氷	0.50
アルミニューム	0.22
鉄	0.12
銅	0.093
銀	0.056
鉛	0.031

即ち,　$Q=hm(t-t_0)$………(式33·1)

さて,この式中の比例常數hはその物質の1瓦$(m=1)$の溫度を1°C$(t-t_0=1)$だけ昇降するに伴ふ熱量に當り,別

表の如く物質の種類によつて異なる. 故に之は上の(1)の關係を表はす所の比例常數で,之を其の物質の**比熱**といふ.

例へば,銅の5瓦の溫度を10°Cだけ高めるに4.65カロリーの熱を要するから,銅の比熱 h は,次の様になる.

$$h=\frac{Q}{m(t-t_0)}=\frac{4.65\text{カロリー}}{5\text{瓦}\times 10^\circ\text{C}}=0.093\left(\frac{\text{カロリー}}{\text{瓦}\cdot{}^\circ\text{C}}\right)$$

0.093は比熱の數値で,$\left(\frac{\text{カロリー}}{\text{瓦}\cdot{}^\circ\text{C}}\right)$はその單位であるが,之を銅の比熱は1瓦1°Cにつき0.093カロリーだともいふ.

又式33·1に於て hm なる積は其の物體の溫度を1°C $(t-t_0=1)$ だけ昇降するに伴ふ熱量に當り,之を其の物體の**熱容量**といふ. 故に,

$$Q=\underbrace{\underbrace{h\times m}_{\text{比熱}\times\text{質量}}\times(t-t_0)}_{\text{總熱量}}$$

$$\underbrace{\underbrace{\text{比熱}\times\text{質量}}_{\text{熱容量}}\times\ \text{溫度}}_{\text{總熱量}}$$

❷比熱の測定　今比熱 h,質量 m' の物體を高溫度 t' に熱し,之を質量 m 溫度 t_0 の水を入れた熱量計中に落し,兩者の溫度が t になつて平均したとすると,物體から出た熱量は $hm'(t'-t)$ (式33·1により) にして,水に入つた熱量は $m(t-t_0)$ (式32·1により) である. そして,此の二つの熱量は相等しいから,

$$hm'(t'-t)=m(t-t_0)\quad\therefore\quad h=\frac{m(t-t_0)}{m'(t'-t)}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(式33·2)}$$

となり,之から比熱を算出し得る.

【問1】攝氏80度の銅20瓦を攝氏10度の水100瓦中に入れると,溫度は何度となるか. 但し銅の比熱は1瓦1°Cにつき0.095とする.

【問2】溫度15°Cの水300瓦に60°Cの水100瓦を混じたら,25°Cの水になつた. 然らば容器其の他に逃げた熱量はいくらか.

第三章　狀態の變化

§34. 狀態の變化　一般に物體は溫度の變化によつて次の様な狀態の變化をする.

$$\text{固體}\quad\underbrace{\overbrace{\underset{\text{凝固}}{\overset{\text{融解}}{\rightleftarrows}}\quad\text{液體}\quad\underset{\text{液化}}{\overset{\text{氣化}}{\rightleftarrows}}}^{\text{加熱するとき}}}_{\text{冷却するとき}}\quad\text{氣體}$$

圖34·1　融解

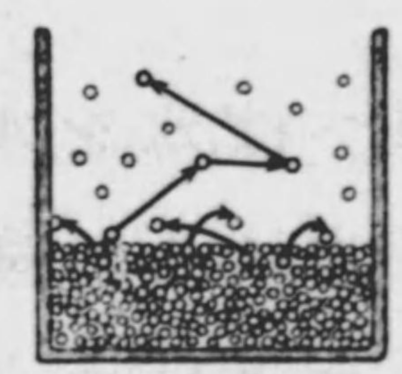


圖34·2　氣化

固體を熱すると,分子の振動が盛になつて,遂には釣合の位置に戻らずして分子の配列がくづれる. 之れ**融解**(圖34·1)である. 液體を更に熱すると,分子の運動が盛になり,分子のあるものは凝集力に逆つて自由表面の外に脫出する. 之れ**氣化**(圖34·2)である.

§35. 融解と凝固　❶固體を熱して或る溫度に

なると,融解し初め,それの續く間溫度は變化しない. 之れ加へた熱が悉く融解のために費されるやうに融解の速さが調節されるからである. 此の一定の溫度を**融解點**といふ. そして,

融解に要する熱量(Q)は	(1) 物質の**種類**によつて異なり,
	(2) 融解する**質量**(m)に比例する.

即ち,　$Q=qm$ ……………………………… (式35·1)

こゝに比例常數 q は關係(1)を表はし,其の固體の1瓦($m=1$)を同溫度の液體にするに要する熱量に當り,之を其の物質の**融解熱**といふ. 若し,

この必要な融解熱を供給しない時は,
固體は自己及び周圍から熱をとつて冷却する.

例へば,氷を水に入れると,氷がとけて水が冷える. 氷はその融解熱が1瓦につき80カロリーで頗る大きいから物を冷すには都合がよい.
(別表参照)

融解した液體を冷すと,遂には融解點に達し,更に冷すと液體はそれに堪へないで一部は凝固し始め,融解熱に等しい熱を放出し,それの續く間溫

度は變化しない. それ故融解點はこれを**凝固點**ともいふ.

物　質	融解點 (°C)	融解熱 (カロリー/瓦)
タングステン	3360	—
白金	1750	27
金	1063	16
銅	1084	43
銀	960	22
アルミニューム	657	77
鉛	327	5
氷	0	80
水銀	−39	3
酒精	−114	—

液體が凝固しつゝある時,逆に熱を加へて熱すると,固體が融解して液體を增し,遂には液體のみとなり,尙熱を加へると溫度が昇る. 又熱を去つて冷すと,液體が凝固して固體を增し遂には固體のみとなり,尙熱を去ると溫度が降る. 之から推して次のことが分る.

融解點(凝固點)に於てのみ固體と液體とが永く共存し,
他の溫度に於ては何れかの一方が他方に變つて行く.

❷ 固體中には融解點のはつきりしないものもある. 例へば,鉄や硝子などは融解して液狀になる前に飴のやうな狀態になるから,此の狀態の間に之を種々の形の器物に作り上げる.

❸ 融解·凝固には熱の吸收·放出の外に,體積の變

化をも伴ひ,凝固の際多くは收縮する. 然し,

> 氷は例外で,凝固の際約**1割**も膨脹する.

その結果,氷が凍ると密度が減じて水面に浮び,水道の鉛管內の水が凍ると,往々之を破損する.

【問1】 固體を熱して氷塊中に落し融解した氷の量を測れば,固體の比熱を算出し得る. 之がため測定すべき量は何々か.

【問2】 0℃の氷500瓦を30℃の水となすに要する熱量を計算せよ.

【問3】 融解熱の單位$\left(\frac{\text{カロリー}}{\text{瓦}}\right)$を比熱の單位に準じて說明せよ.(第48頁)

§36. 凝固點の降下と寒劑 ❶物質の凝固點は之に他物が混ずると一般に降るものである.

圖36-1 可融金で封じた消火栓が働く有樣を示す

海水から氷の出來る溫度は淡水(食塩を含まない氷)の凍る溫度よりも低く,**白鑞**の融解點は其の成分(鉛と錫)のよりも低い. **可融金**(鉛・蒼鉛・錫・カドミユームの合金)は100℃以下の融解點を有するから熱湯中でもよく融解し,自働消火栓や自働防火幕を封ずるなどに(圖36-1)用ひられる.

❷**寒劑** 淡水に多量の氷を入れると,氷がとけて融解熱をとり,淡水から氷の出來る溫度(0℃)まで溫度が降る(圖36-2,甲). これと同理で濃い食塩水から氷の出來る溫度は−20℃位の場合もあるから,かやうな食塩水中に氷を入れ,氷がとけるに從ひ食塩を補つて常にその濃度に保つと,−20℃位までも溫度が降る筈である(圖36-2,乙). 幸にも食塩が溶解するにも熱を吸收するから溫度の降下は一層容易である. 始めの食塩水は少くてもよいから,とけ合つてその濃い食塩水となる割合に(ざつと食塩1,氷3の割合)食塩と碎氷とを混ずると,−10℃位の低溫度は容易に得られる. かやうなものを**寒劑**といひ,アイスクリームの製造などに用ふ. 圖36.3の裝置では,寒劑を入れた圓筒aが廻轉すると,其の表面にクリームbが凍りつくやうになつて居る.

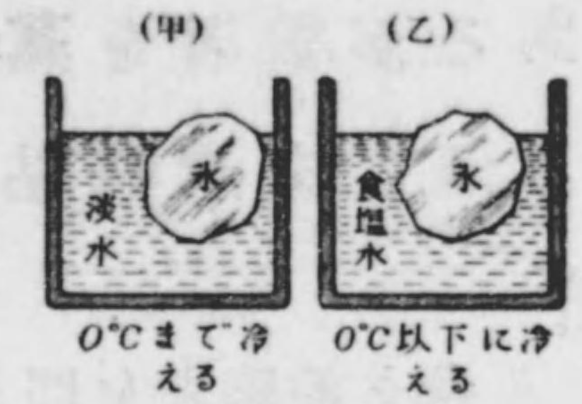


圖36-2 寒劑の理

圖36-3 アイスクリーム製造器

§37. 蒸發と沸騰 ❶液體は何れの溫度に於ても其の自由表面から氣化する. 所が液體を熱して或る溫度になると內部に氣泡を生じ,その氣泡の表面からも氣化する. 同じく**氣化**の現象では

あるが,前者を**蒸發**,後者を**沸騰**といふ. 沸騰の起る溫度を**沸騰點**といふ. そして,

蒸發と沸騰とを問はず氣化に要する熱量(Q)は
(1) 物質の**種類**によつて異なり,
(2) 氣化する**質量**(m)に比例する.

即ち,　$Q=qm$……………………………………(式37·1)

こゝに,比例常數 q は關係(1)を表はし,其の液體の1瓦($m=1$)を同溫度の氣體にするに要する熱量に當り,之を其の物質の**氣化熱**といふ. 若し,

この必要な氣化熱を供給しない時は,
液體は自己及び周圍から熱をとつて冷却する.

夏日庭前の撒水によつて涼味を感じ,液體アンモニアの蒸發によつて氷を作るなどはその實例である. ドライアイスは液體二酸化炭素をボンプから急に噴出蒸發させ,其の際の冷却によつて一部の液體二酸化炭素が粉末状に凝固したのを嚢に集め之を固めたものである.

❷ 氣化の際何れの液體も著しく膨脹する.

【問1】 ビーカーに蒸發の速いエーテルを入れ,之に空氣を吹き込んで,盛に蒸發させると,其下においた水が凍つてビーカーが机面に固着する. 此現象を説明せよ.

【問2】 熱い茶はその面をよく吹いて少しづゝ呑む. 何故か.

【問3】 1瓦の氷が溫度の上昇と共に熱を吸收する有樣は圖37·1で表はされる. 之を説明せよ.

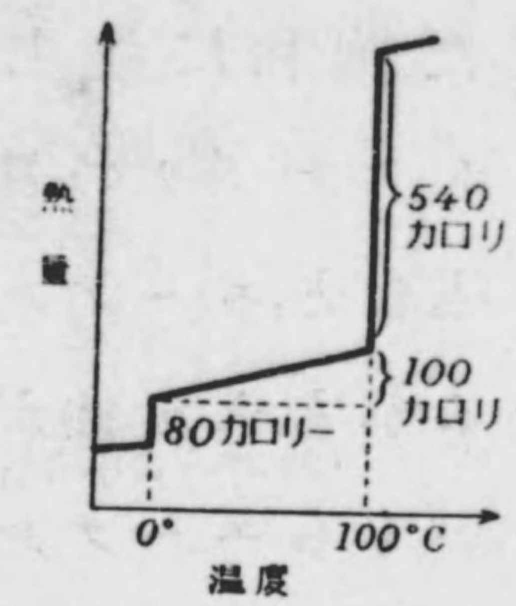


圖 37·1

§38. 蒸發

❶ 溫度が一定なとき,液上に出來る蒸氣を密閉すると,蒸氣の密度,從つて其の壓力が次第に増し,遂に或る値に達して止まる.(圖38·1) この場合の蒸氣を**飽和蒸氣**と稱し,その密度及び壓力を夫々**最大蒸氣密度**及び**最大蒸氣壓**といふ. そして,

圖 38·1

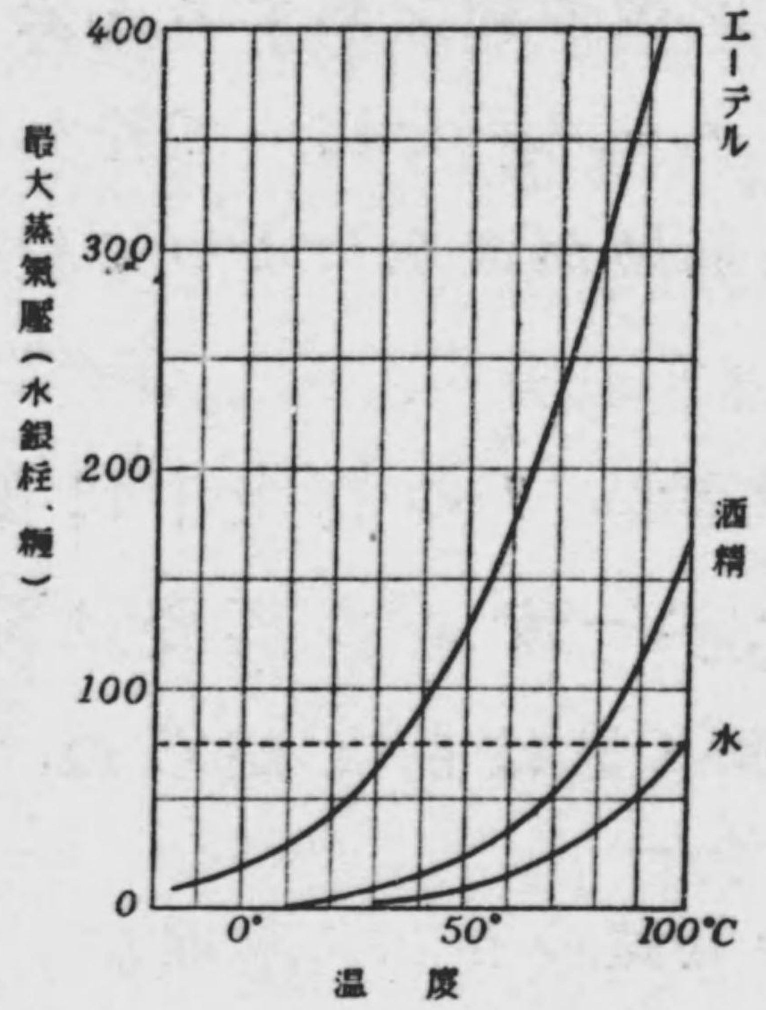


圖 38·2　最大蒸氣壓と溫度

最大蒸氣壓は
(1) 物質の**種類**によつて異なり,
(2) **溫度**の昇ると共に急に増す.(圖38·2)
最大蒸氣密度は**最大蒸氣壓**にほゞ比例する.

まだ飽和に達しない蒸氣を**不飽和蒸氣**といふ.

トリチェリの眞空中(圖38・3の左の管)にエーテルを少し送り込むと,エーテルは蒸發して,ある蒸氣壓を呈するから,水銀柱が降る(圖38・3の中の管). 然しある所まで降るといくらエーテルを送り込むもエーテルは水銀柱上にたまる(圖38・3の右の管)のみで蒸發せず,水銀柱は降らない. これまでの水銀柱の降下が最大蒸氣壓に當る. それでブンゼン燈で管を熱すると水銀柱は更に降り,上からエーテルを注いで管を冷すと水銀柱は昇る. これは蒸氣壓が溫度によつて變るのを示すものである.

圖38・3 蒸氣壓を測る

❷上の實驗でトリチェリの眞空中に豫め他の氣體が入つて居ると,エーテルの蒸發は前ほど速くないが,水銀柱の降下量は前と變らぬ. 一般に,

> 最大蒸氣壓は他の氣體の存在に無關係である.*

從つて或る氣體が他の蒸氣で飽和された時は,

> 全壓力＝氣體の壓力＋蒸氣の最大壓

*これは他人の存否に拘らず自分のやるだけのことはやるといつた傍若無人の態度に似て居る.

の關係があつてダルトンの法則(第31頁)が成立する. 圖38・4の實驗は此の關係によつて始めて說明される.

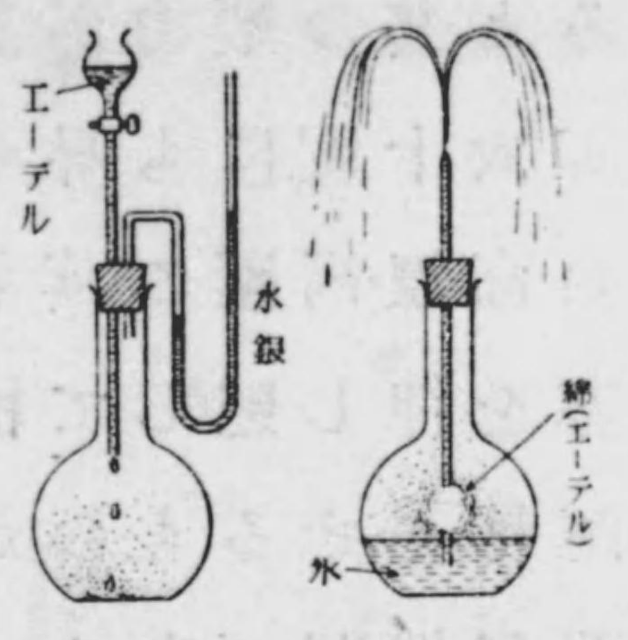


圖38・4

❸飽和狀態に遠い蒸氣はボイル・シャールの法則に從ふが,飽和狀態に近いもの程此の法則からの外れが大きい.

§39. 沸騰

❶圖39・1の裝置で水を熱する時,沸騰が起る少し前に口で強く吸ふと急に沸騰が始まり,沸騰が起つた後に口で強く吹くと沸騰が止まる.

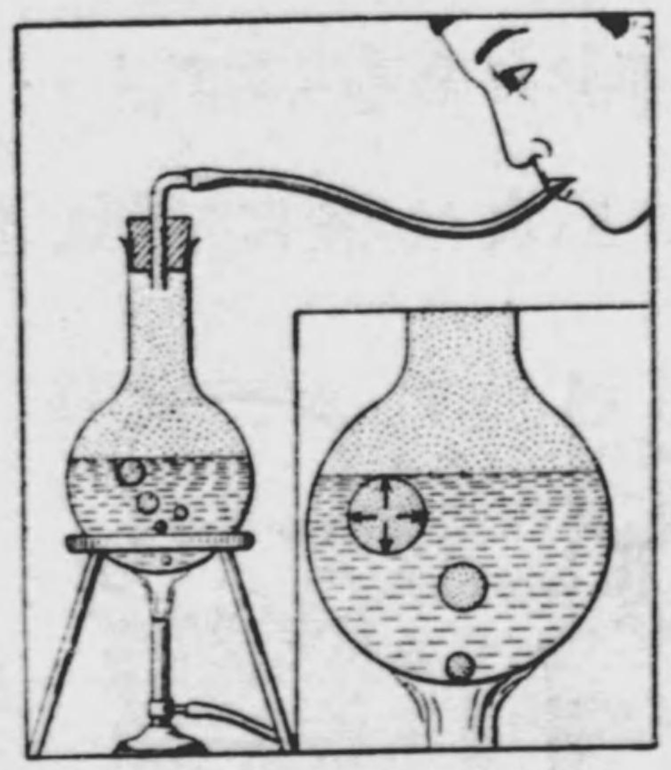


圖39・1 壓力と沸騰

沸騰中に蒸氣泡が受ける壓力は液面の壓力にほゞ等しく,蒸氣泡の壓力は液體の溫度に對する最大蒸氣壓であつて,兩者が等しいときに沸騰が起る. 故に前の實驗の如く,

> 沸騰點は (1)その液體の表面に加はる壓力によつて變り,
> (2)その壓力を最大蒸氣壓とする溫度に等しい.

從つて蒸氣罐の如く生ずる蒸氣を密閉して熱す

ると,其の壓力が數氣壓にもなり,其の沸騰點は百五六十度にも昇る. 此の高溫・高壓の蒸氣で括塞を押し廻して機械を運轉させるものが所謂蒸氣機關である.

物　質	沸騰點 (C°) (一氣壓)	氣化熱 (カロリー/瓦)
水　銀	375	68
水	100	539
酒　精	78	202
エーテル	35	84
アンモニア	−34	320

【問1】 水面の壓力が水銀柱の76糎及び50糎なるときの水の沸騰點はおよそ何度なるかを圖38・2より求めよ.

【問2】 氣化熱の單位$\left(\frac{\text{カロリー}}{\text{瓦}}\right)$を比熱の單位(第48頁)に準じて說明せよ.

❷ 沸騰中に,盛に熱を加へると,水は盛に蒸氣泡となつて氣化し,そのために費す熱量と加へられる熱量とが等しくなる樣に蒸氣泡の發生が調節される. この結果溫度が一定に保たれるのである. 故に,

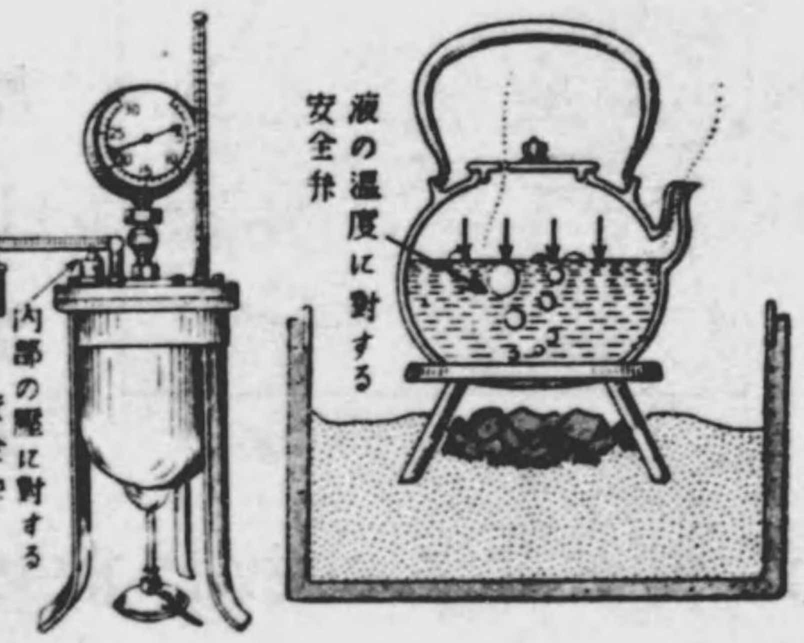


圖39・2 安全瓣

> **沸騰は液體及び蒸氣の溫度を,**
> **沸騰點以上に高めないための一種の安全瓣(圖39・2)である.**

§40. 液化

❶ 他の氣體を混じない不飽和蒸氣を壓縮して其の蒸氣密度を高め(圖40・1, 甲),或は之を冷却して最大蒸氣密度を低める(圖40・1, 乙)と,遂には飽和蒸氣となる. 更に之を壓縮又は冷却すると,蒸氣はそれに堪へないで(降參する),一部は液化し始め氣化熱に等しい熱を放出する. この時,その密度について吟味すると,

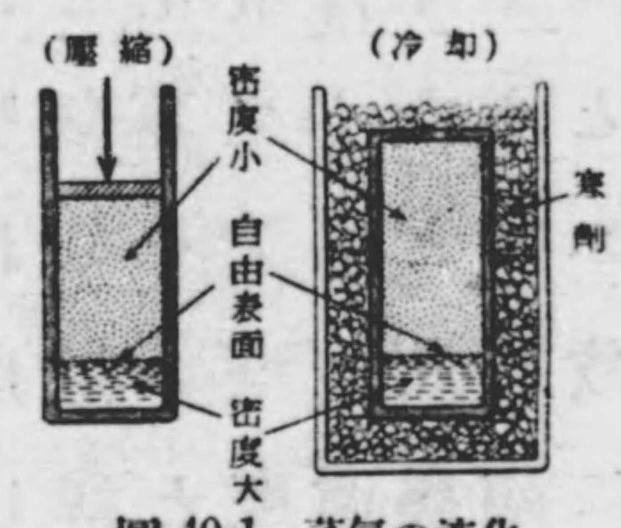


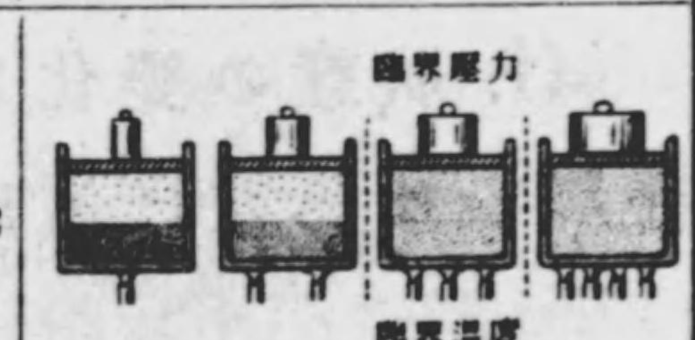
圖40・1 蒸氣の液化

> 出來た**液體**の**密度**は**蒸氣**の**密度**よりも大きく,
> 兩者の間に密度が急に異なる**自由表面**がある.

❷ 偖この液化の起る溫度が次第に高くなると,

> 共存する ｛ **液體の密度**は次第に**小さく**なり,
> 　　　　　 ｛ **蒸氣の密度**は次第に**大きく**なる.

これ溫度の上昇と共に液體は膨脹して密度を減じ,同時に蒸發が盛になつて蒸氣密度を增す(從つて蒸氣壓も增す)からである(圖40・2). そして或る溫度にな

壓力	次第に增す
圖40・2	
溫度	次第に高める

ると,兩者の密度が等しくなり,自由表面がなくなる．從つて此の溫度以上では液化といふこともなく,又蒸氣壓といふことも考へられない．故に此の際の溫度を特に**臨界溫度**と稱し,この溫度に於ける最大蒸氣壓を特に**臨界壓力**といふ．

物　質	臨界溫度 (°C)	臨界壓力 (氣壓)
水	374	218
酒　精	243	63
アンモニア	133	112
炭酸瓦斯	31	73
亞硫酸瓦斯	157	78
酸　素	−119	50
窒　素	−147	33
水　素	−240	13

❸ 臨界溫度が常溫より高い氣體(水蒸氣・アンモニア等)は單に壓縮するのみでも液化するが,臨界溫度の極めて低い氣體(空氣・水素等)は先づ之を臨界溫度以下に冷し然る後之を壓縮すると初めて液化する．

さて高壓の氣體が膨脹するときは自ら冷却するものであるから,かやうな膨脹を繰返すと,之を臨界溫度以下に冷却し得る．空氣・水素などは此の方法で液化される．

§41. 狀態の變化による熱の運搬　**❶氣化熱の利用**　加熱(圖 41・1,甲)又は減壓(圖 41・1,乙)による液體の蒸發(吸熱を伴ふ)と,冷却又は壓縮による蒸氣の液化(發熱を伴ふ)とを巧に利用すると,AからBに熱を移し得る．

(加熱又は減壓)
液體 ⇄ 氣體
(冷却又は壓縮)

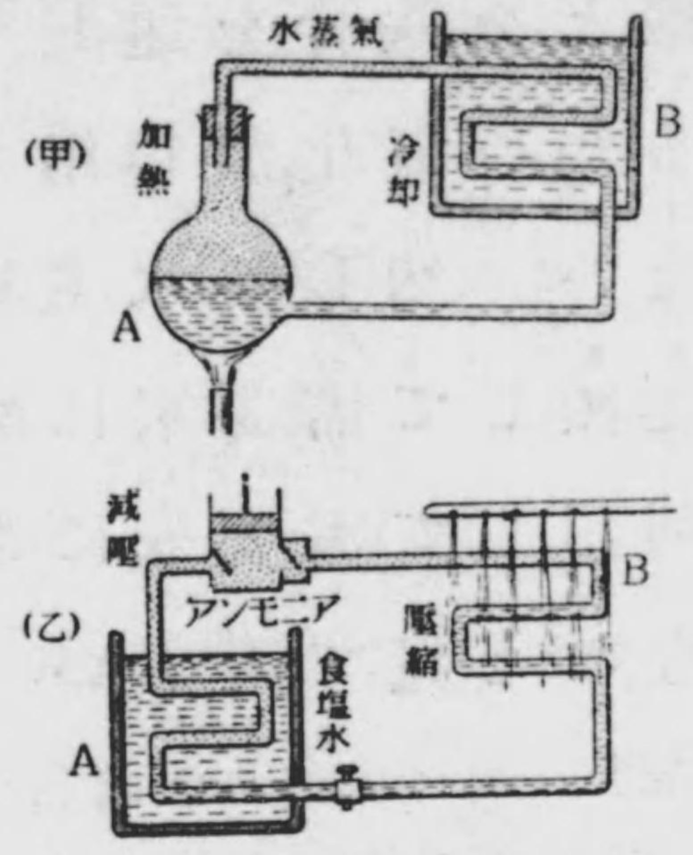


圖 41・1　狀態の變化による熱の運搬

製氷(圖 41・1,乙)では減壓によつて液體アンモニアを蒸發(吸熱)させて,こゝに寒冷を起し,蒸發したアンモニアはポンプで蛇管內に壓縮して之を液化(發熱)し,同時に冷水を注いで熱を取去る．生じた寒冷で食塩水を 0°C 以下に冷し(食塩水は 0°C で凍らない),これに浸した罐中の淡水を凍らせ,又は冷えた食塩水を冷藏庫に導く．**蒸氣釜**(圖 41・2)又は**蒸氣風呂**では加熱によつて水を蒸發(吸熱)せしめ,之を釜又は風呂に導き液化(發熱)させて釜又は風呂を熱する．**蒸氣暖房裝置**も全く同じ理による．

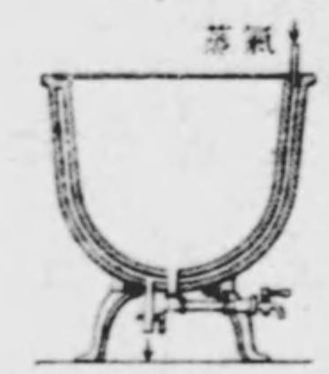


圖 41・2　蒸氣釜

【問1】 一般に物を蒸すとは如何なることか．

【問2】 100°C の水蒸氣 10 瓦を 20°C の水 100 瓦中に入れたところ全部 76°C の水となつた．水の氣化熱を求む．

【問3】 水が切れて强く燒けて居る鉄瓶を手にさげたまゝ水を注ぐと,手にひどい火傷を起すことがある．何故か．

❷融解熱の利用　融解熱を利用して熱を運搬する方法はないか．此の場合に於ては固體と液

體とを鉄管を通して循環させることが困難であるため氣化熱利用の如き方法によることは出來ない．然し，製氷工場で熱を取り去つた氷を車で運搬して需要家に配給することは結局融解熱を利用して需要家にある熱を製氷工場に運搬するものと見てもよい．

【問】　ボンブ詰の液體二酸化炭素でドライアイスを作り，之で各種のものを冷す作業を熱の運搬といふ立場から説明せよ．

§42. 濕度　❶大氣に混ずる水蒸氣の分壓(p)が其の溫度に對する最大蒸氣壓(P)よりずつと小さい時は，濕つた物の水分は空氣の分子を排してよく蒸發する．(§38の2)　かゝる時，空氣はよく乾いて居るといふ．從つて，空氣の**濕度**(H)は次の式で表はされる．

$$\text{濕度}(H)=\frac{\text{現在の蒸氣壓}(p)}{\text{現在の溫度に對する最大蒸氣壓}(P)}\times 100 \cdots(\text{式 }42.1)$$

洗濯物がよく乾くためには，其の周圍の空氣の濕度が小さく，且つ蒸發面が大きいことが必要である．濕度Hを小さくするにはpを小さくし，Pを大きくすればよい．洗濯物の乾燥に關する次の事情は何れも之によつて説明される．

(i)蒸發した水分は周圍の空氣に含まれ，其の水蒸氣の分壓pが增すから，之を小さくするため，この空氣を吹き飛ばしてpの小さい新しい空氣を送ると速く乾く．風のある時速く乾くのは其のためである．(圖42-1)

圖 42-1　風と洗濯物

圖 42-2　日向と洗濯物

(ii)洗濯物を日光にあてる(圖42-2)と，其の溫度が高まるから周圍の空氣は暖まりつつ膨脹する．從つて其の水蒸氣の分壓pは其のまゝで最大蒸氣壓Pのみが高まる．其の結果，濕度Hが減じて速く乾く．

(iii)洗濯物を擴げると，蒸發面が增すから速く乾く．

❷大氣中の物體が冷却すると，周圍の空氣は冷却しつつ收縮する．(圖42-3)　この結果，水蒸氣の分壓pは元のまゝで，最

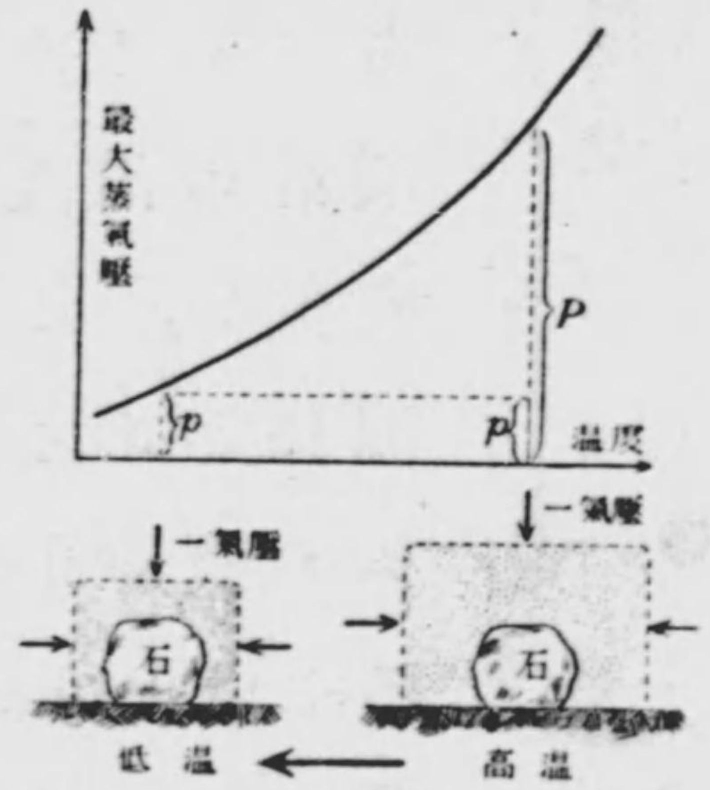


圖 42-3　露點を説明す

大蒸氣壓Pのみが低下するから遂には飽和に達し蒸氣の一部が液化して物體の表面に露を結ぶ. この時の溫度を**露點**といふ. 故に,

露點は現在の蒸氣壓を最大蒸氣壓とする溫度である. 從つて露點は現在の蒸氣壓の小さいほど低い.

露點と現在の溫度とを測り,これらに對する最大蒸氣壓を表によつて求めると,直に濕度を算出し得る. **露點濕度計**(圖42・4)は此の原理により露點と現在の溫度とを測つて濕度を求める裝置である.

圖 42・4 露點濕度計

又空氣の濕度の小なる程水の蒸發が盛であるから,球部を濕布で包まれた寒暖計の溫度は普通の寒暖計の溫度よりも低い. この溫度の差は濕度と一定の關係があるから,兩寒暖計の溫度を測り豫め實驗的に定めた表から濕度を求めることが出來る. **乾濕球濕度計**(圖42・5)は此の原理によつて濕度を測る裝置である. 又

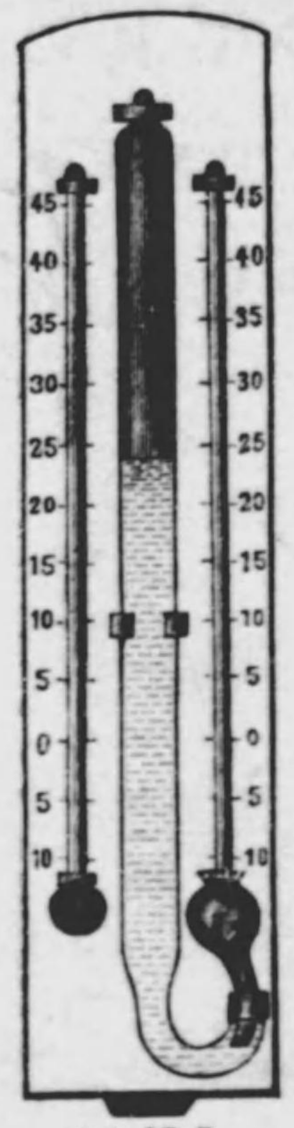


圖 42・5 乾濕球濕度計

毛髮は濕度によつて伸縮するから之でも濕度を測り得る. **毛髮濕度計**(圖42・6)は其のための裝置である.

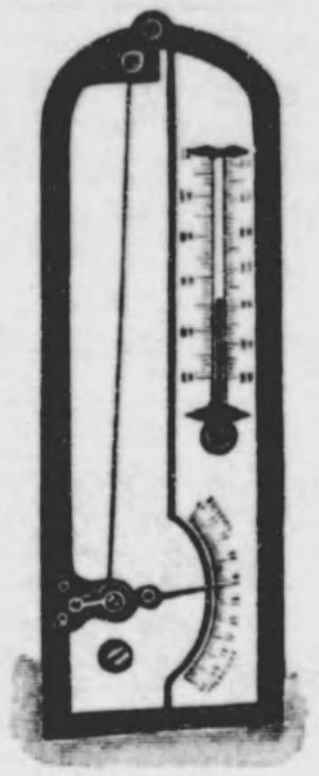


圖 42・6 毛髮濕度計

【問1】 フラスコの內面を水で濕し,之を焰で乾し透明になつた時冷い硝子棒をフラスコ內にさし込むと其の上に露が出來る. 之を說明せよ.

【問2】 濕つた板を日光が照すとき,之がよく乾くのは露の出來るのと全く逆の現象だといふ. 圖42・3を利用して之を說明せよ.

§43. 露・雨・雪等 ❶夜間地上の物體が冷えると大氣中の水蒸氣は物體の表面に液化して**露**となる. 露が出來ると,蒸氣壓が減ずる結果露點も降つて遂に0°Cに達し,更に冷えると水蒸氣は,直に氷結して**霜**となる. 初めから蒸氣壓の小さい時にも同樣に霜が出來る. 尙出來た露が凍つて霜の樣になることもある.

❷水蒸氣を含む空氣が高空に昇つて膨脹し,自ら冷却すると,そこで微細な水滴又は氷片となる. **雲**はかゝる水滴又は氷片の浮游するものである. 高空にある白雲は多く氷片より成る. 水滴や氷片が集つて落ちると**雨**や**雪**となる.

第四篇　光

第一章　光の直進

§44. 光　物體中には自ら光を出すものと,他の光を反射して自ら光を出すと同様になるものとがある.(圖44·1) 何れの場合にも,物體から出る光が直進して眼に入ると其の物體が見え,且つ其の物體のある方向が分る. 暗夜に光る燈臺は其の重要なる一應用である.

圖 44·1　自ら光を發する電燈と,他の光で照された建物

§45. 影

❶ 光は直進して不透明體の後方に影や影法師を作る.

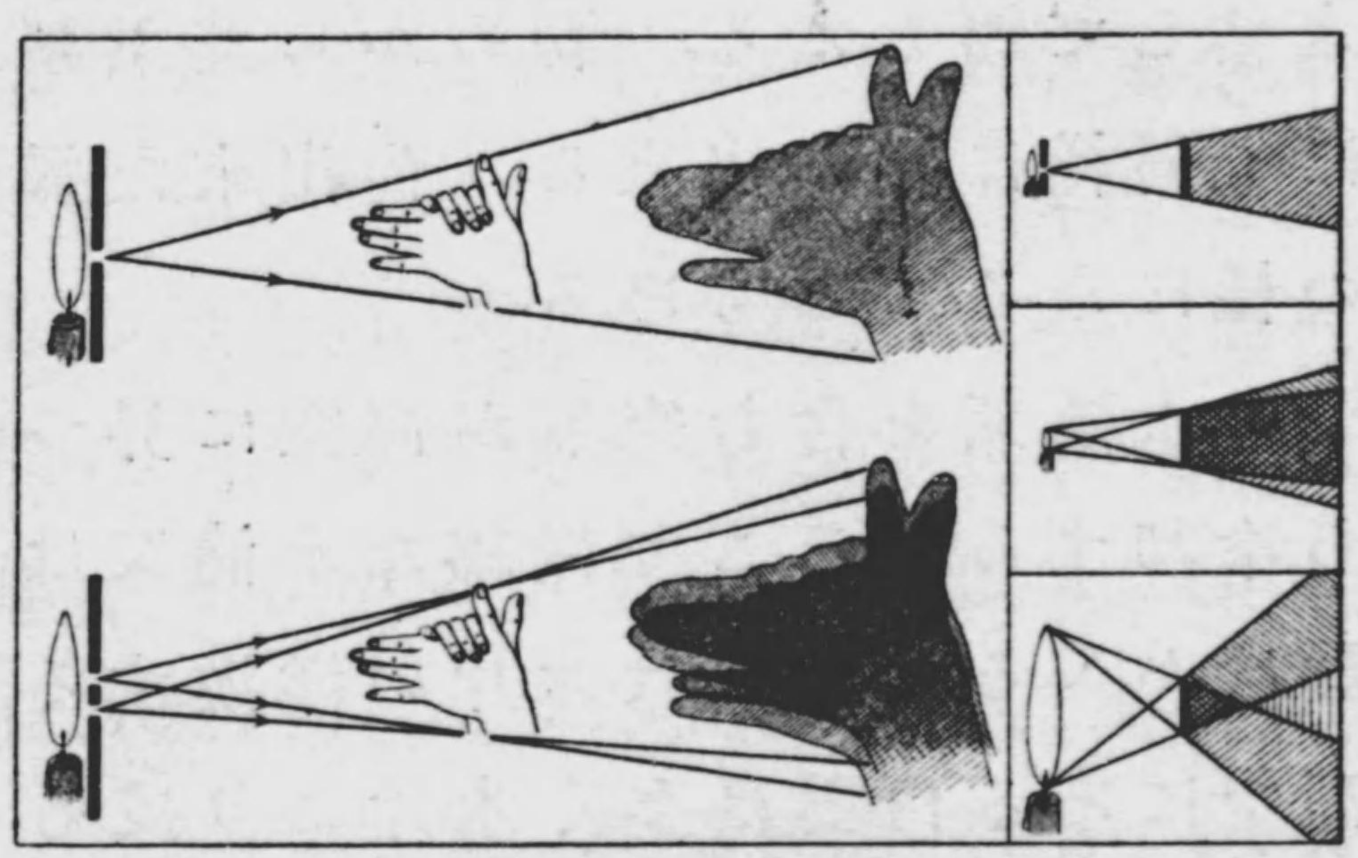


圖 45·1　影や影法師の出來る有樣

影法師の輪郭は,光源が小さい時は鮮明で,(孤燈による自分の影法師の様に) 大きい時は不鮮明である.(街燈による自分の影法師の様に) これは前の場合には少しの光も影の內に入らぬからであり,(圖45·1) 後の場合には光源の各點による鮮明な影法師がずれて重なるからである. 一般に,

影のうち ｛ 全部の光の來ない部分を**本影**といひ,
　　　　　一部の光の來ない部分を**半影**といふ.

❷ 地球や月はそれよりもずつと大きい太陽に照され,其の後方に圓錐狀の本影と其の周圍の半影とを生ずる.(圖45·2) 本影中にある地球や月の半面は暗く,他の半面は明るい.

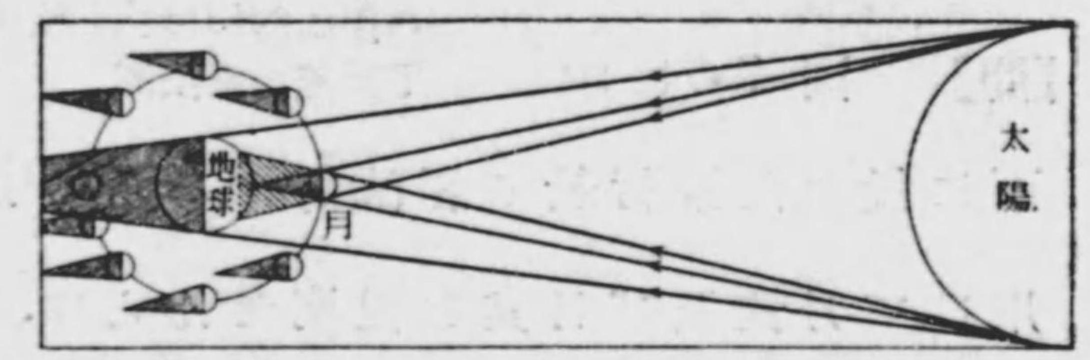


圖 45·2　月と地球とによつて生ずる本影

晝夜の別や月の盈虛は之がために起る. 地球の本影が月面に投ずると,月面に地球の丸い影法師が出來る. 之が**月食**である.(圖45·3) 此の場合月食の形が圓の一部をなすのは地球が球形をなすからである. 又月の本影が地球面に屆く時,その本影又は半影內にある人には夫々太陽の全部又は一部

が月の後にかくれて見えない．これが**皆既日食**(圖 45•4)または**部分日食**である．此の場合にも食の形が圓の一部をなすのは月が球形をなすからである．

圖 45•5　飛行船の影法師

圖 45•3　月面に投じた地球の影法師(月食)と壁に投じた燕の影法師

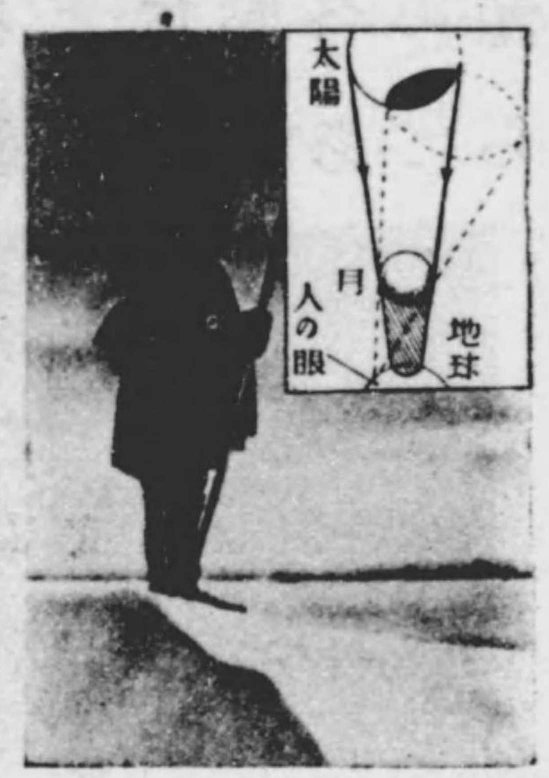


圖45•4 月に遮られて一部の見えない太陽(日食)と歩哨に遮られて一部の見えない空

【問】　圖 45•5は地面に投じた飛行船の影法師である．之を用ひて月食及び日食を説明せんとす．如何に利用するか．

§46. 小孔による像　圖 45•1 に於て透明•不透明の部分を逆にすると,圖 46•1 の場合になる．此の場合に於て,光源が大きくて,孔が極めて小さいと,孔の形の明斑が集つて上下•左右の逆な光源の像

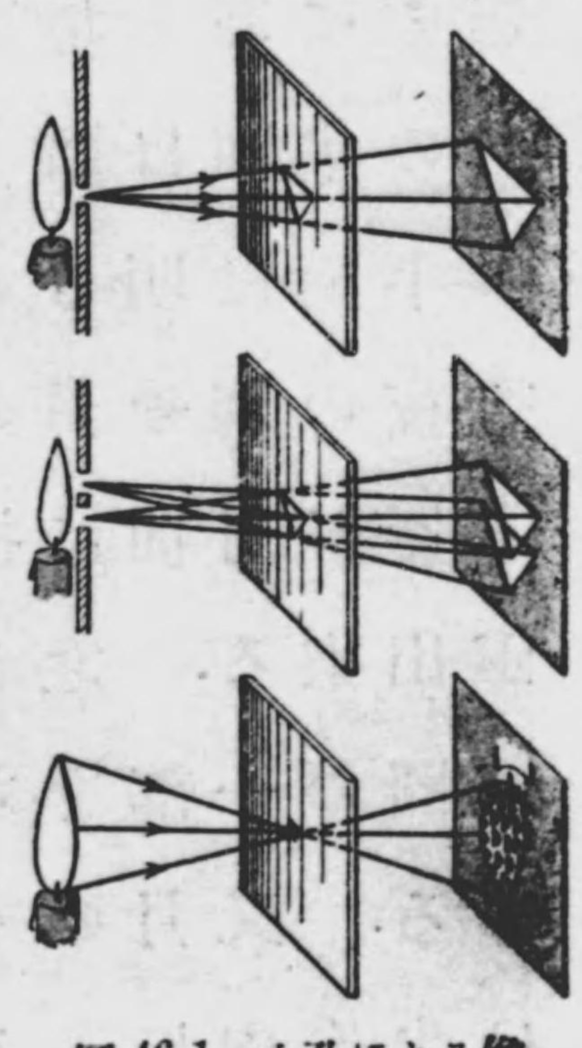


圖 46•1　小孔による像

を作る．針孔寫眞はその一應用で,圖 46•2 は著者が撮影したものである．

圖 46•2　針孔寫眞（名古屋市鶴舞公園内の噴水塔）

圖 46•3 上はかけた太陽の普通の寫眞で下は同じ太陽の針孔寫眞と見られる

【問】　日中,木の葉の影の間に丸い明斑のあるのは何故か．又此の明斑は部分日食の時三日月形になる(圖 46•3)．何故か．

§47. 照度　❶或る面の單位面積が單位時間に受ける光の量をその面の**照度**といふ．そして,

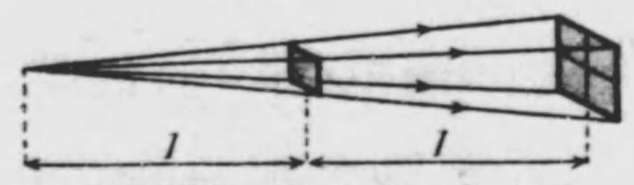


圖 47•1　逆二乘の關係

一光源のみによる**面の照度**(I)は,
(1)その**光源の强さ**(L)に比例し,
(2)又**距離**(r)の二乘に反比例し,(圖 47•1)
(3)面が光線に直角なとき最大で,面が**傾く**ほど小さくなる．(圖 47•2)

圖 47•2　傾きによる照度の大小

即ち,　$I=k\dfrac{L}{r^2}$ ……………(式47•1)

こゝに k は(3)の關係によつて

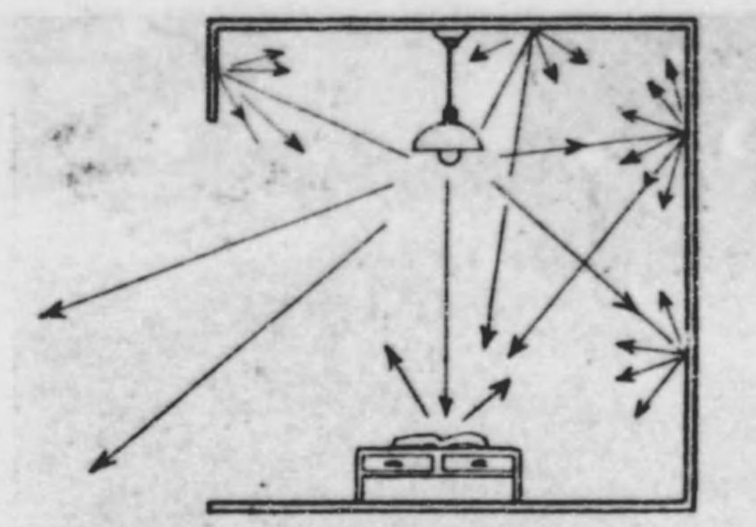


圖47·3 室内の反射

きまる比例常數である.

光源の強さを**光度**と稱し,その單位を**燭光***といふ.

室内の面の照度は上記の事情の外に壁や天井から反射する光の多少によつても大に違ふ.(圖47·3) 又**面の明るさ**はその照度による外,尚面の性質によつても大に異なる. 物體の各部を區別し得るは,其の色の相違にもよるが,又面の明るさの相違による場合も少くない.(圖47·4·5)

圖47·5 月の表面

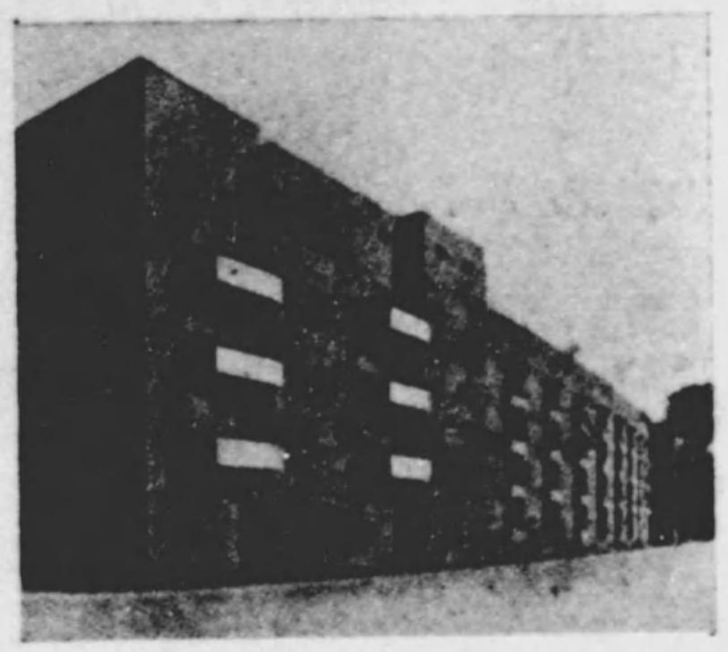


圖47·4 面の明るさによつて凹凸を判斷す

【問】 張板は如何なる傾きにするが最も有効か(圖47·6).

❷ パラフィン板の間に錫箔をはさんだもの(ジョリーの光度計といふ. 圖47·7)を光度が夫々 L_1, L_2 なる二光源の間におき,兩パラフィン板の明るさが等しくなる時の距離を r_1, r_2 とすると,二光源による照度は夫々 $k\frac{L_1}{r_1^2}$, $k\frac{L_2}{r_2^2}$ で表はされ,兩者は相等しいから,

* わが國では標準ペンテン燈の光度の$\frac{1}{10}$が1燭光である.

$$\frac{L_2}{r_2^2}=\frac{L_1}{r_1^2} \quad \text{(式47·2)}$$

の關係がある. 故にL_1が燭光の單位で分つて居ると, r_1, r_2測るのみで,この式によつてL_2を燭光の單位で算出し得る.

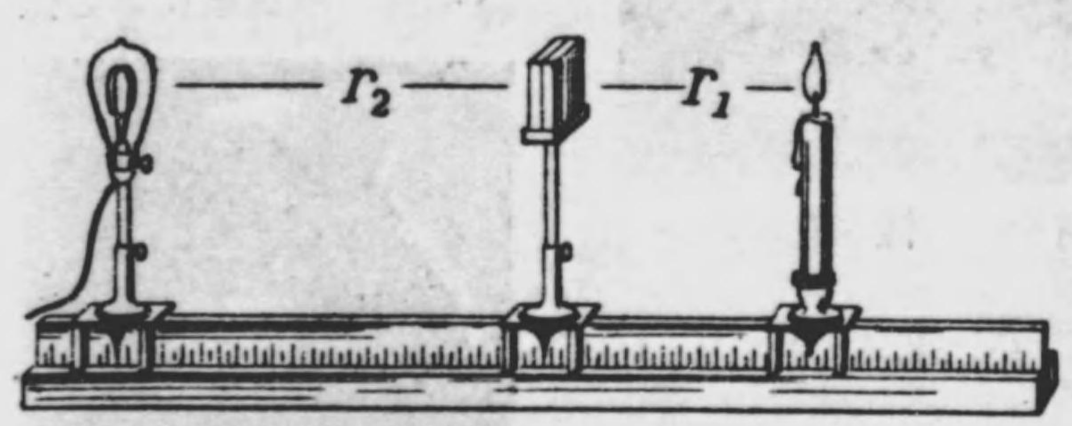


圖47·7 ジョリーの光度計

圖47·6 太陽の方向と張板の傾き

【問1】 16燭光の電球によつて40糎の距離にある衝立に生ずる最大照度と同一の最大照度を25燭光の電球によつて同じ衝立上に作らんとす. 此の電球をいくらの距離におくべきか.

【問2】 6米を隔てた16燭光と4燭光との電球の中間で各の電球による最大照度の等しい所を求めよ.

第二章 光の反射

§48. **平面鏡の變形** 物體から出て**平面鏡**に投射する光は反射の法則(一般理科)に従つて規則正しく反射する結果,その對稱の位置に虛像を作る.(圖48·1, 2) 此の時反射面が不規則に凹凸を生ずると像が亂れ,遂には消失する.(圖48·3) 然し反射

圖48•3　像が亂れる

圖48•2　像が亂れない

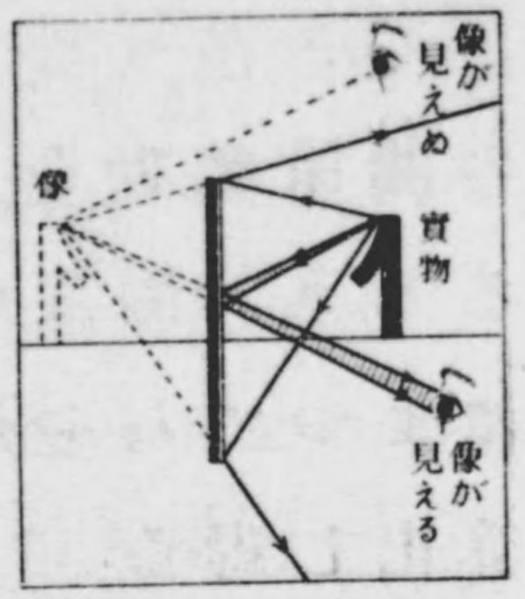


圖48•1　平面鏡による像

面が規則正しく圓筒形に或は球形に變形すると像も規則正しく變形する.(圖48•4)

圖48•4　像の變形
(ある硝子器の面に出來た窓の像)

§49. 凹面鏡

❶凹面鏡は平面鏡を球狀に窪ませたもので,鏡の中央(A)と球面の中心(O)とを結ぶ直線AOを**鏡軸**といふ.(49•1)

今圖49•1,に示すが如く,定規と分度器とを用ひて凸面鏡の各點から反射する光を正確に描くと,次のことが分る.

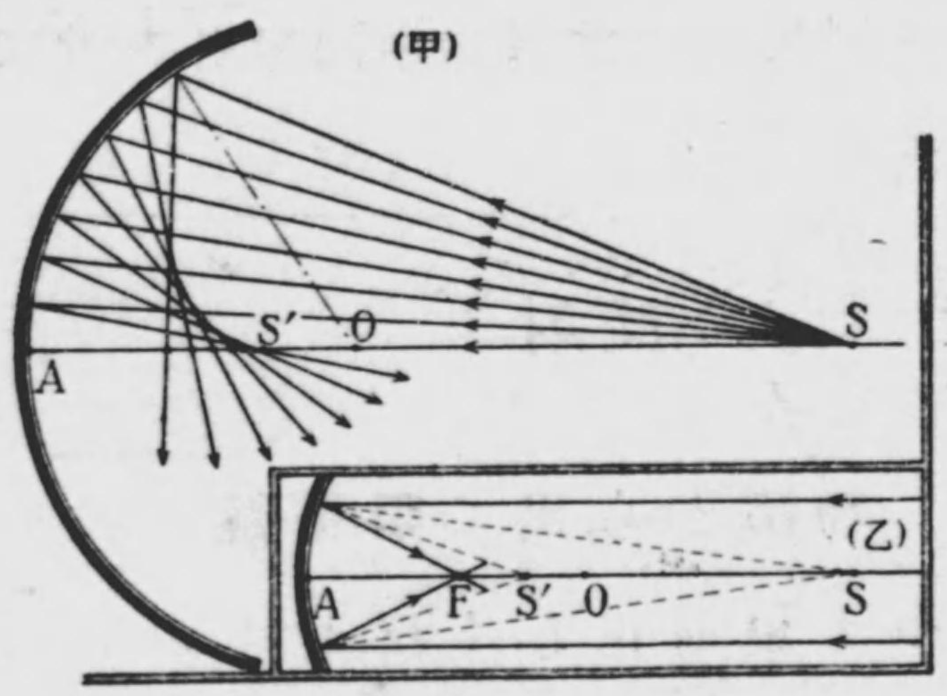


圖49•1　凹面鏡
(甲)Aの近傍から反射する光のみがS′の一點に集中する
(乙)焦點Fの位置を示す

鏡軸上の一點(S)から出た光のうち,
鏡の中央に近い點から反射する光は,
悉く鏡軸上の他の一點(S′)に集中する.

故に今後は反射面が鏡の中央に近い部分に限られた凹面鏡を考へ,S′をSの**像**といふ.

❷實物Sが無限遠にあつて投射光線が鏡軸に平行であると,S′はAOの中點(F)に來る.(圖49•1,乙) 從つて,眞正面から凹面鏡に當る日光はFに集まつて,その紙などを焦すから,Fを**焦點**,AFを**焦點距離**といふ. $AF=f$, $AO=r$ とおくと,次の關係がある.

$$f=\frac{r}{2}$$ **焦點距離=半徑の半分**…………(式49•1)

❸光源が S_∞•S_5•S_4•S_3•S_2•S_1 の如く鏡軸に沿うて移動する(圖49•2)と,それの像は S_2•S_3•S_4•S_5•S_∞•S_0 の如く移動する. そして光源が焦點の近所で

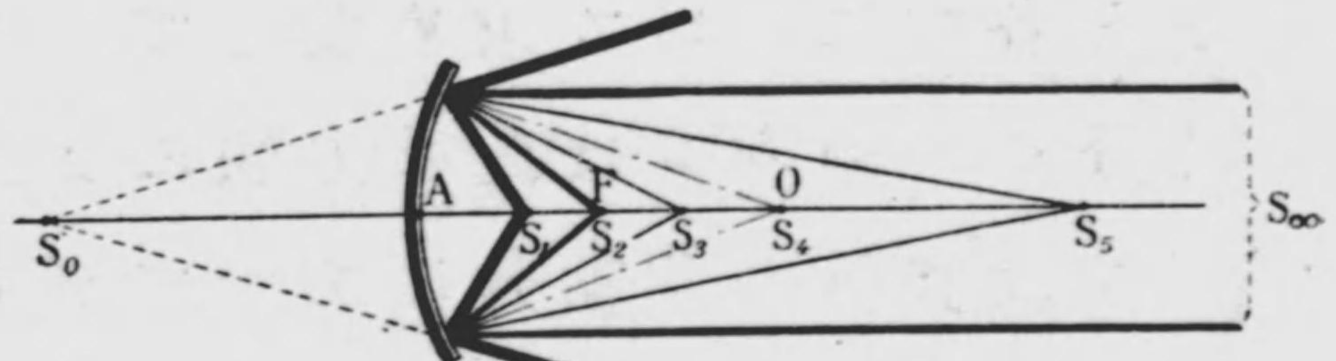


圖49•2　光源の移動に對する像の移動を示す

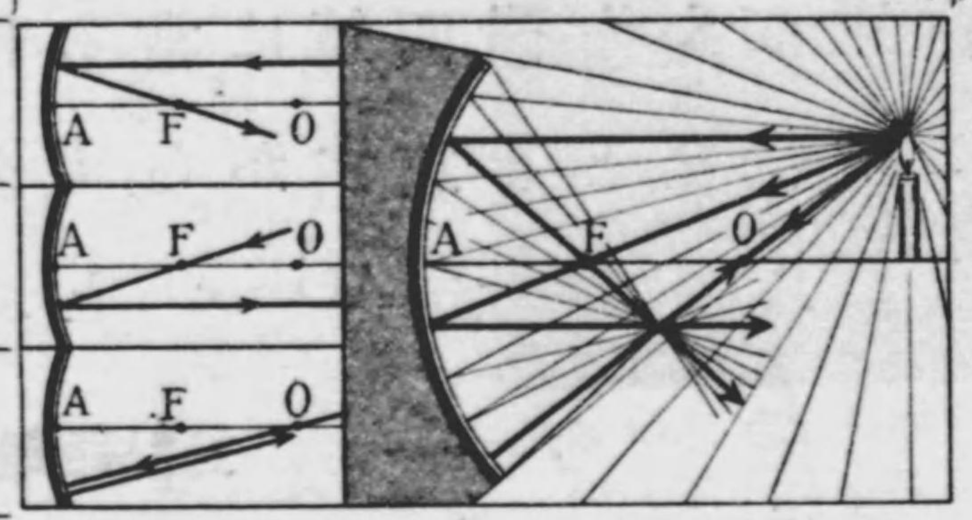
僅にずれると,反射光線は發散光線ともなれば又收斂光線ともなる. 探照燈や自動車の前照燈には之を應用し

てある. 又耳鼻科醫の使用する鏡も(圖49·3)凹面鏡の一應用である.

圖49·3 耳の孔をのぞく

§50. 凹面鏡による像

❶一點の像は,すべての反射光線の交點であるから,次の様な進路(圖50·1)のよく知れた反射光線の何れか二つによつて像の位置を定め得る.

投射光線	反射光線	圖 50·1
鏡軸に平行	焦點を通る	
焦點を通る	鏡軸に平行	
球面の中心を通る	球面の中心を通る	

此の方法で物體の特殊の點(例へば頂點)の像を求めると,各點について求めなくても全體の樣子がよく分る. 圖50·2は此の方法によつた像の作圖で,(1)(2)は實物が焦點外にあつて倒立實像を生ずる場合,(3)は實物が焦點内にあつて正立虛像を生ずる場合である.*

* これらの圖に於ては,實物を對稱的な矢で表はさないで,非對稱的な1字で表はしてあるから,實物及び像に於ける上下・左右の關係のみでなく前後の關係もよく分る.

❷鏡の中央(A)と實物(ST)及び像(S'T')との距離(a, a')と焦點距離(f)との間には次の(圖50·3)關係がある.

$$\frac{1}{a} \pm \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \cdots\cdots\text{(式50·1)}$$

但し{+號は實像の場合 / −號は虛像の場合

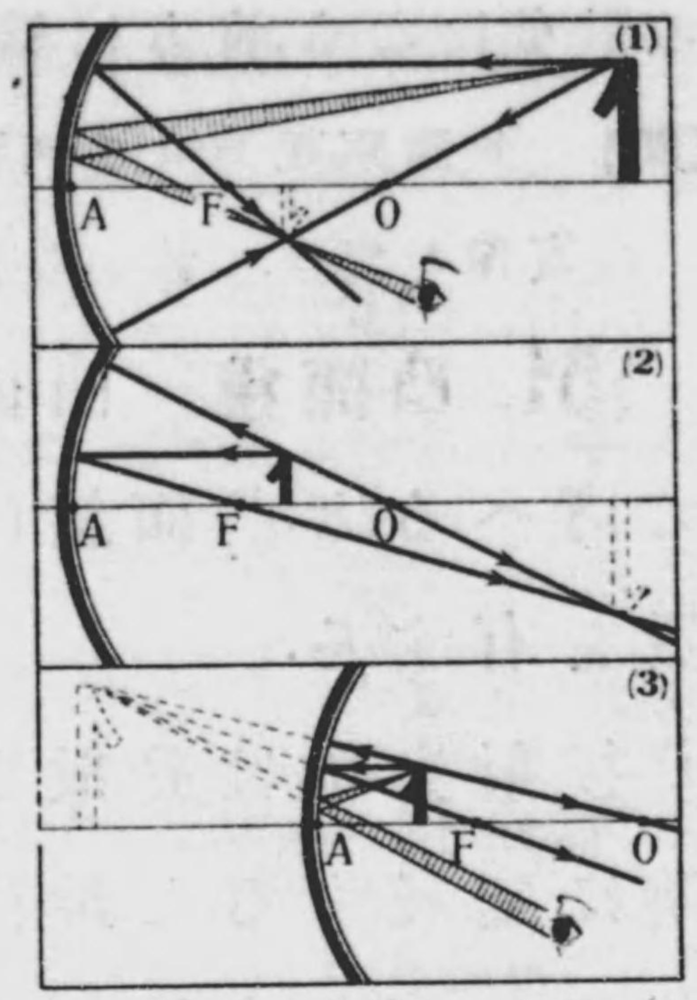


圖50·2 凹面鏡による像

また實物の長さ(X)と像の長さ(X')とに關しては,

$$\frac{X'}{X} = \frac{a'}{a} \cdots\cdots\text{(式50·2)}$$

の關係がある. $\frac{X'}{X}$ の比を**倍率**といふ.

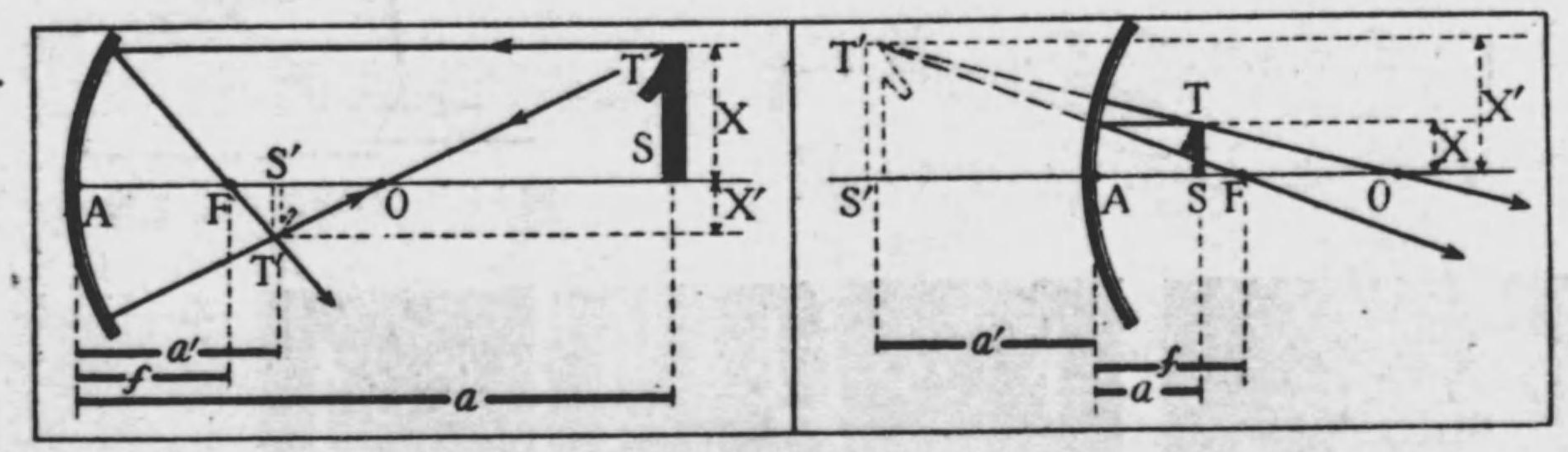


圖50·3 式50·1, 50·2 を導く

圖50·2に於て,實物1を自分の顏と考へる場合に,(3)の如く顏が焦點以内にあると擴大された顏の正立像を認め,之より遠ざかつて顏が焦點の位置に來ると像は消失し,更に遠ざかると(2)の狀態になり頭の後方に顏の倒立像が出來る. 然し,之は勿論見えない. 更に遠ざかると,(1)

の狀態になり,前方に縮少した顏の倒立像を認める.

【問】 焦點距離 6cm の凹面鏡の前に物體をおき,其の 3 倍の長さの實像を得た. 鏡から實物及び焦點に到る距離を求む.

§51. 凸面鏡 凹面鏡に準じて考へると,凸面鏡は次の諸性質を有する.

(i) 投射光線は發散され,それを逆に延長すると鏡後で交はる.(圖 51·1)

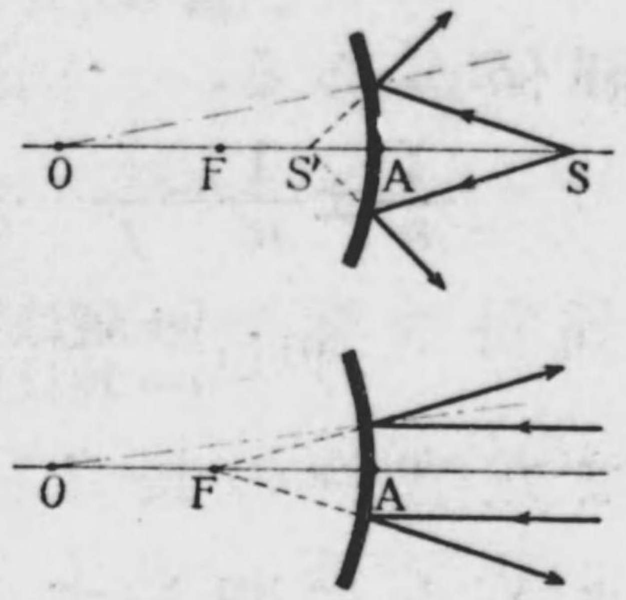


圖 51·1 凸面鏡

(ii) 像は正立虛像で,且つ實物より短い.(圖51·2) 之がため凸面鏡には廣い範圍のものが小さくうつる.(圖51·3) 故に懷中鏡として自分の顏を見たり,自動車にとりつけて後方の樣子を見るなどに都合がよい. 圖 51·4 は凹面鏡·平面鏡·凸面鏡に於ける虛像を比較した寫眞である. 尙この場合,かやうに虛像に大

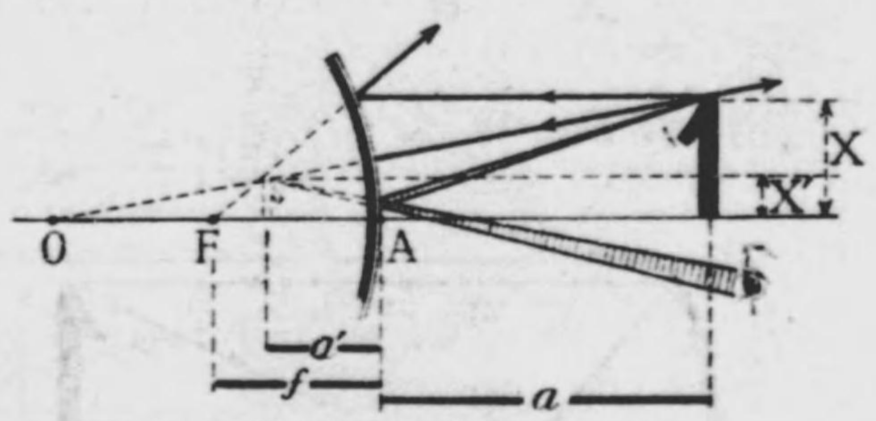


圖 51·2 凸面鏡による像


圖 51·3 凸面鏡


凹面鏡 平面鏡 凸面鏡

圖 51·4 虛像の比較

小の別を生ずる理由は圖 51·5 の如く平面鏡を凹面狀に,又は凸面狀に曲げるとき反射光線 a_1 が夫々 a_2, a_3 の如く方向をかへることを考へても容易に分る.

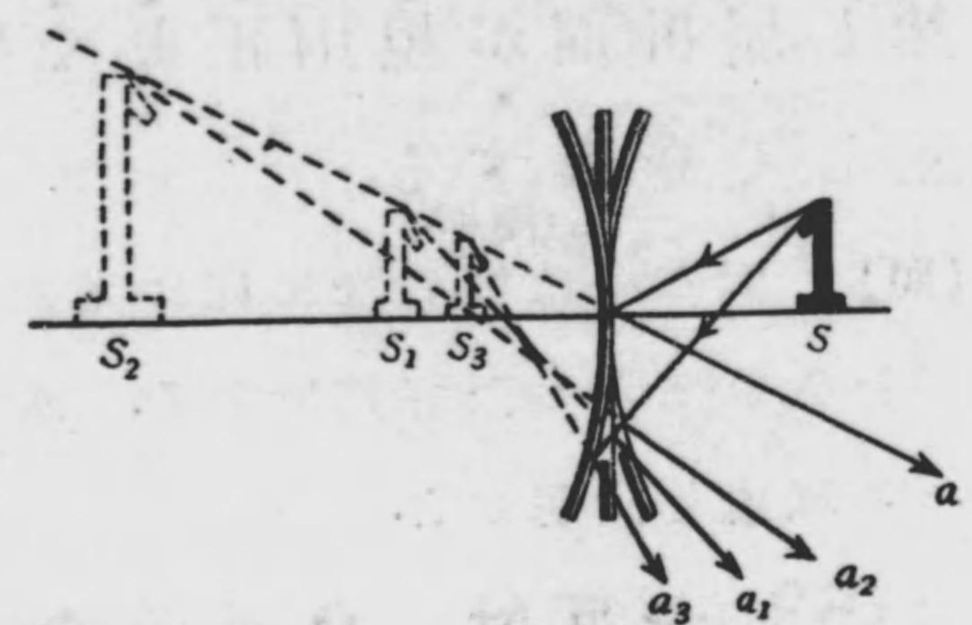


圖 51·5 凹面鏡·平面鏡·凸面鏡による虛像の比較

(iii) 凸面鏡では,a, a', f, X, X' 間につぎの關係がある.(圖151.2)

$$\frac{1}{a}-\frac{1}{a'}=-\frac{1}{f} \qquad \frac{X'}{X}=\frac{a'}{a} \quad \text{…………(式 51·1)}$$

第三章 光の屈折

§52. 平面屈折による像 水中の物體から出て水面に投射する光は,屈折の法則(一般理科)に從つて規則正しく屈折する結果,實物より多少異なる虛像を(圖 52·1)作り,一般に實際よりも淺く見える. この時,水面に

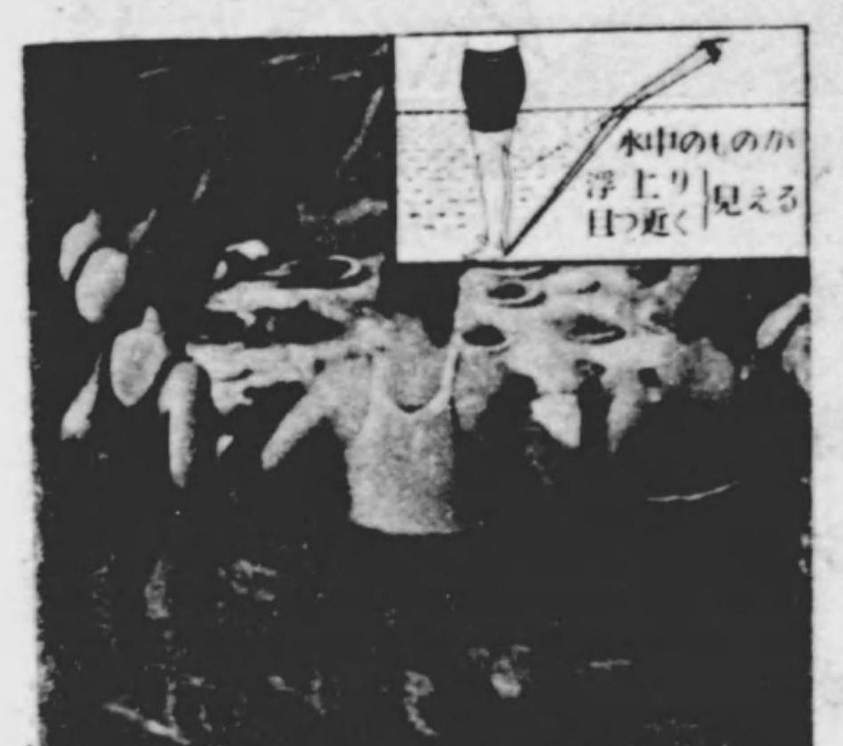


圖 52·1 水中の足が短く見える理を示す


圖 52·2 水中の筆や鉛筆が大きく見える

不規則な小波が立つと像が亂れ,遂には消失する. 然し,屈折面が規則正しく變形すると,像も亦規則正しく變形する.(圖52-2)

【問】 圖52-3は同じ様に底に光と書いた蒸發皿で,一方だけに水を入れてとつた寫眞である. 水を入れた方の文字が多く見える理由を説明せよ.

§53. 全反射 ❶透明體の境に投射した光は,一部反射し,一部屈折す. そして,圖53-1,2の何れの場合にも,投射角の大きいほど,反射光線は多く屈折光線は少い. 之がため,水面にうつる樹木の像


圖52-3

圖53-1 光源が空中にある場合

圖53-2 光源が水中にある場合

は斜に見る程濃く,水底の像は斜に見る程淡い.

❷圖53-2の如く投射光線が垂線より遠ざかつて射出する場合,投射角がある値に達すると,屈折角は既に90°に達し,投射角がそれより增すと,光は全部反射し,面は完全な鏡の働きをする.(圖53-3) これを

全反射と稱し,此の境目の投射角を**臨界角**といふ. 臨界角は水では約49°, 硝子では約42°であるから光が全反射をする範圍は相當に廣く,從つて利用の途も多い.

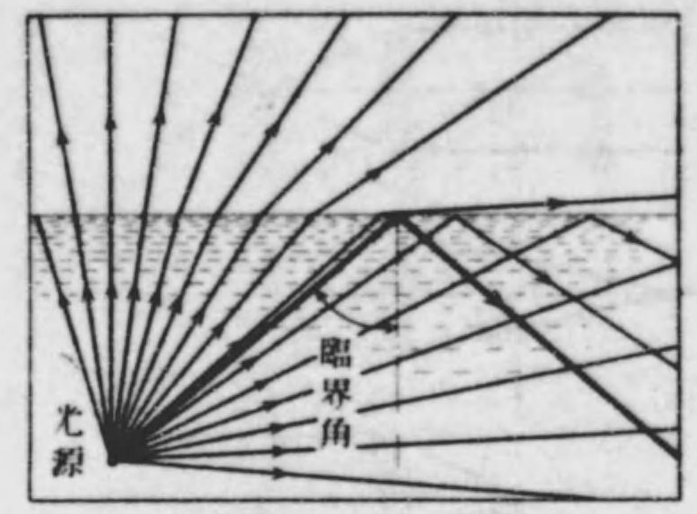
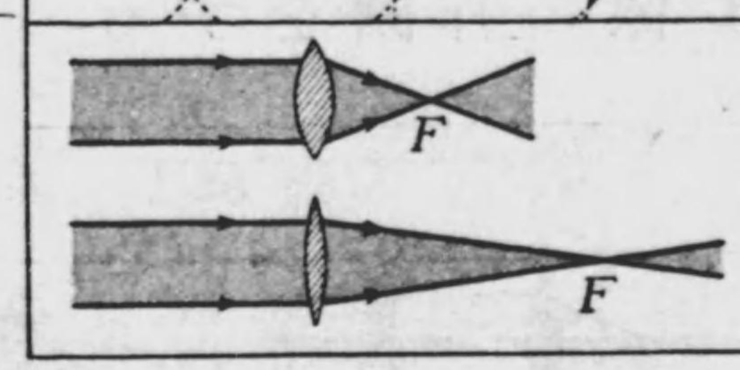
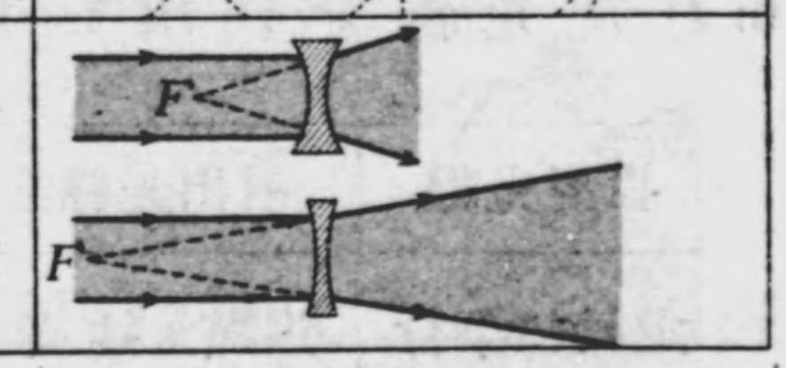


圖53-3 全反射

§54. レンズ レンズには次の二種がある.(一般理科)

種類	凸レンズ	凹レンズ
特徴	中央が縁よりも厚い.	中央が縁よりも薄い.
形狀		
作用	 F 光を收斂し, 其の程度は焦點距離の大きい程小さい.	 F 光を發散し, 其の程度は焦點距離の大きい程小さい.

凸レンズは平行光線をその焦點に集めるだけの收斂作用を有するから,焦點外の一點よりの發散光線をば焦點外の一點に收斂し,(圖54-1) 焦點よりの發散光線をば平行光線となし,焦點内の一點よりの發散光線をば同じく收斂するが,此の場合には之を收斂光線とするまでには到らな

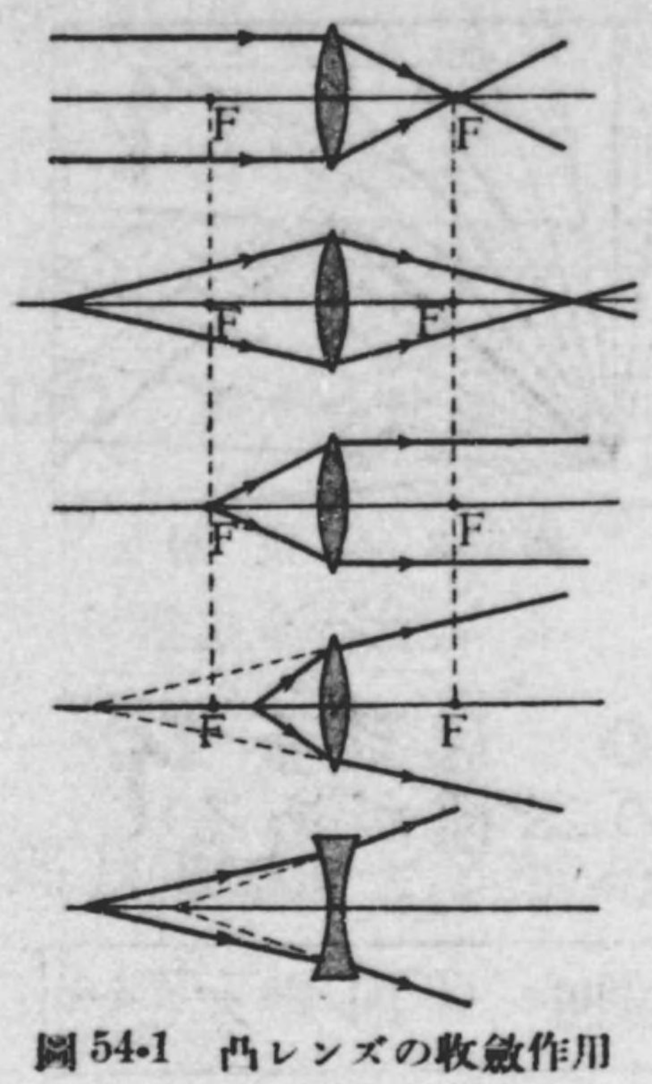


圖54・1 凸レンズの收斂作用と凹レンズの發散作用

い.

凹レンズは發散作用を有するから,發散光線が之に當ると更に發散する.

【問】 焦點距離が10糎なる凸レンズと焦點距離が8糎なる凹レンズとを2糎だけ隔てゝおき,凸レンズに平行光線をあてると,凹レンズから出る光線は平行光線である. 之を證明せよ.

§55. レンズによる像

❶次の樣な進路のよく(圖55・1)知れた光線を利用して像の作圖をする.

投射光線	射出光線	圖 55・1
主軸に平行	焦點を通る	
レンズの中心を通る	光の方向が變らない	
焦點を通る	主軸に平行	

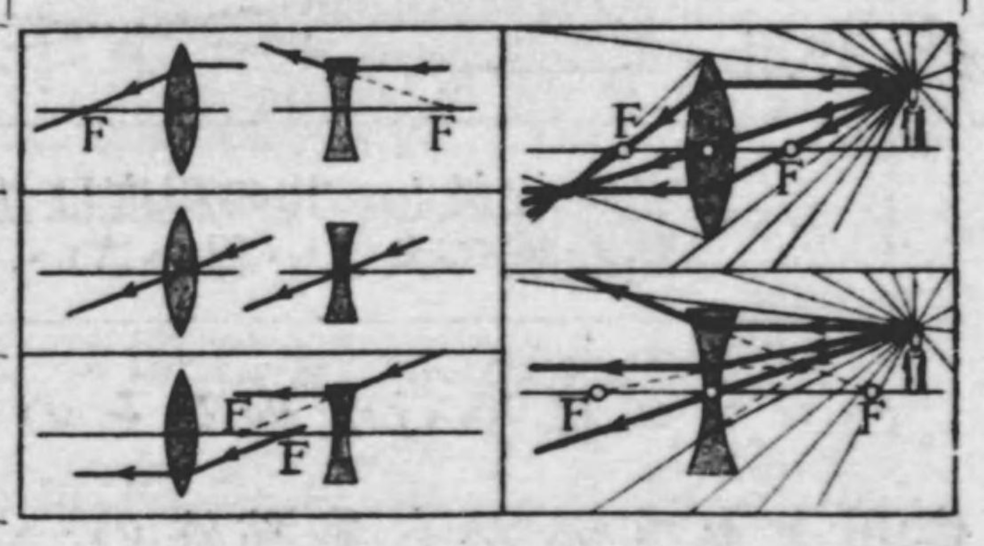


圖 55・2 の(1)は實物が凸レンズの焦點外にあつて倒立實像を生ずる場合,(2)は實物が焦點內にあつて正立虛像を生ずる場合の作圖で,(3)は凹レンズ

によつて,正立虛像を生ずる場合の作圖である.

【問】 レンズによつて生じた實像又は虛像を見るには眼を如何なる位置に置くべきか.

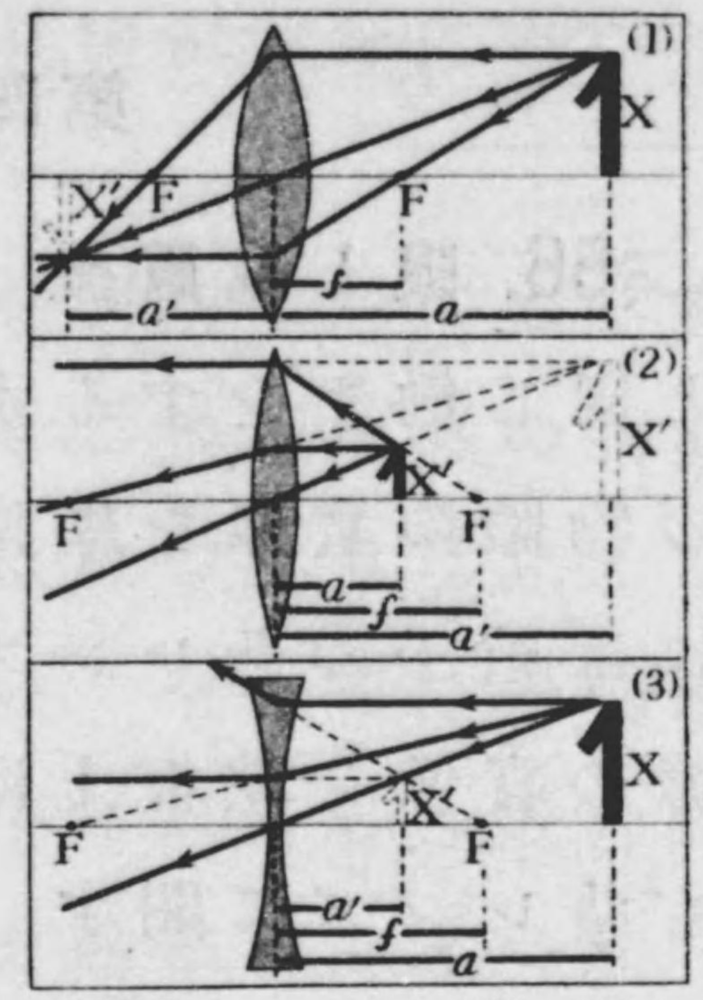


圖55・2 レンズによる像の作圖

❷レンズと實物との距離を a,レンズと像との距離を a' とすると,これらと焦點距離 f との間に次の關係がある.

凸レンズ $\dfrac{1}{a} \pm \dfrac{1}{a'} = \dfrac{1}{f}$ 但し $\begin{cases} +\text{號は實像の場合} \\ -\text{號は虛像の場合} \end{cases}$ …(式55・1)

凹レンズ $\dfrac{1}{a} - \dfrac{1}{a'} = -\dfrac{1}{f}$ ……(式55・2)

又實物及び像の長さ X, X' に關しては,次の關係がある.

$$\text{倍率} = \frac{X'}{X} = \frac{a'}{a} \quad \text{……(式55・3)}$$

【問】 焦點距離20糎の凸レンズの焦點內に物體をおき,レンズより25糎の所に虛像を得た. 物體の位置及び物體と像との長さの比を求む.

第四章　光學器械

§56. 眼と寫眞機　❶**眼球**(圖56-1,甲)の前部には凸レンズと同じ働きをする水晶體があり,之によつて前方の物體の實像を網膜上に結ばしめ,**寫眞機**(圖56-1,乙)の前部には硝子の凸レンズがあり,之によつて前方の物體の實像を乾板上に結ばしめる. 何れの場合にも凸レンズに關する公式

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

が適用される. 寫眞機では物體の遠近に應じて a が變り,しかも f は一定であるから a' が變化する. 從つて常に乾板上に鮮明な像を得るため乾板を前後に動かす. 然るに,人の眼に於ては a' は一定であるが,幸に水晶體が彈性を有し,筋肉の働きによつて,其の凸度をかへ,之によつて f を變化し以つて常に鮮明な像が網膜上に出來る樣にする. 之を眼の**調節作用**といふ.

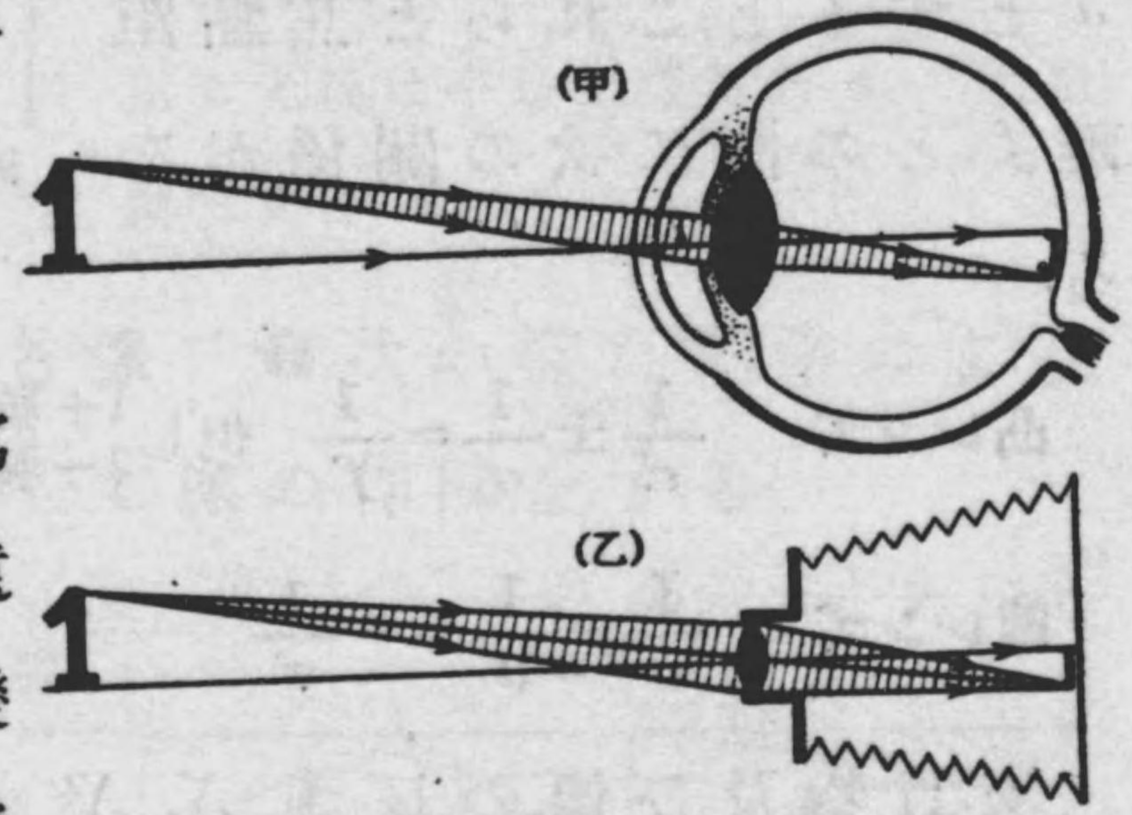


圖56-1　眼と寫眞機

魚類の眼などでは水晶體が前後に動いて調節作用を營むものもある.

❷眼の調節作用は一定の範圍內に於てのみ働き,この範圍外の物體ははつきりは見えない. そして,この範圍中で眼に最も近い點を**近點**,最も遠い點を**遠點**といふ. **正常眼**(圖56-2,甲)に於ては近點は眼前15糎位の所にあり,遠點は無限遠にある.

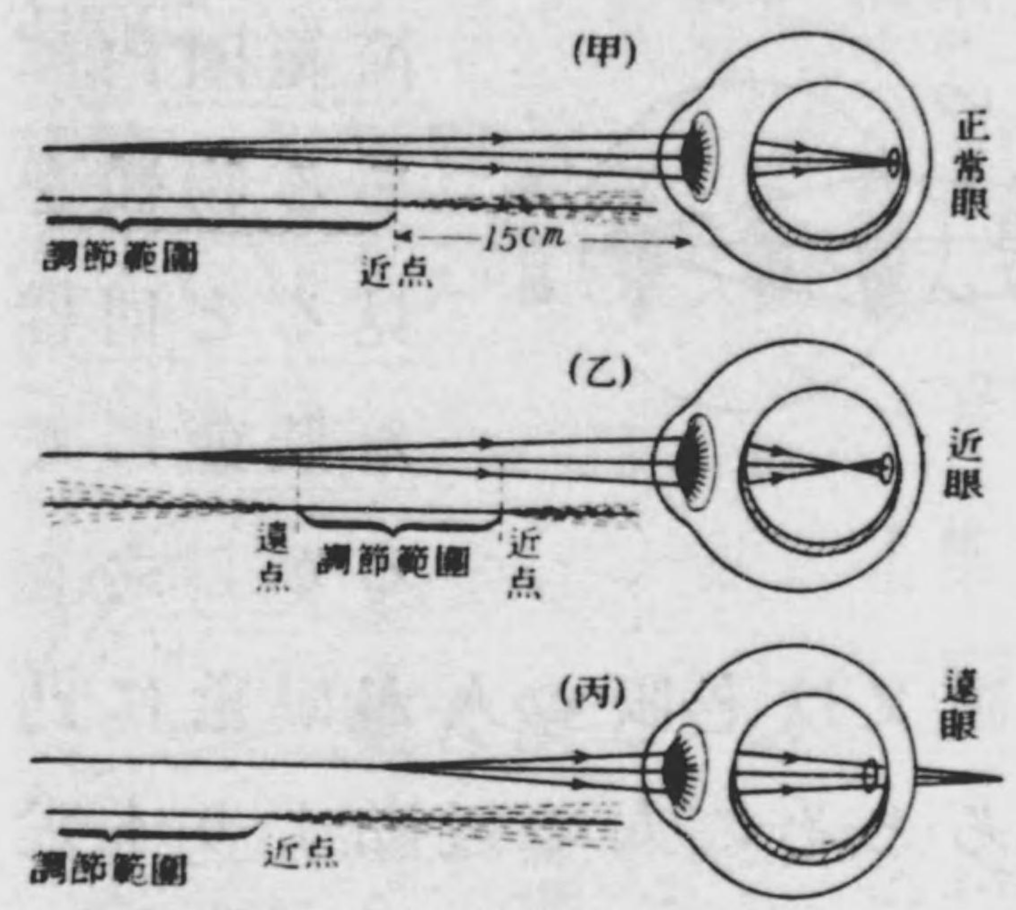


圖56-2　近點と遠點

近眼に於ては遠點が著しく眼に近く,從つて遠方の物體がはつきりは見えない. **遠眼**(圖56-2,丙)又は**老眼**に於ては近點が正常眼よりも遠く,從つて近傍の物體がはつきりは見えない. 尙**正常眼**に於ても小さい物體や遠方の物體が細かく見えないといふ缺陷がある. 以上の諸缺陷はレンズの働きによつて或る程度まで補ひ得る.

§57. 眼鏡　近眼の人が眼前に凹レンズの眼鏡(圖57-1,甲)をかけると,その人の遠點よりも遠くにある物體

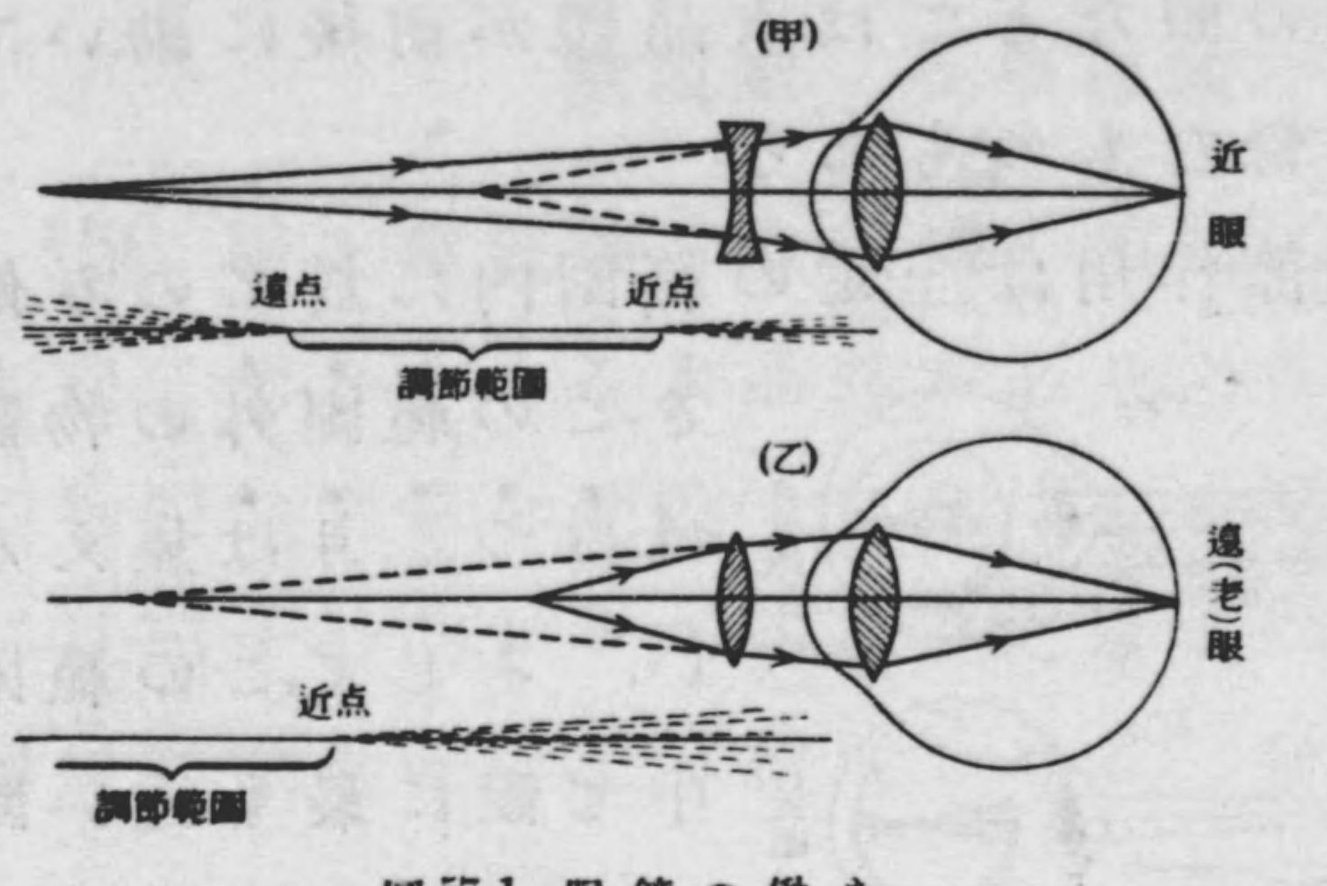


圖57-1 眼鏡の働き

の虚像が其の調節範圍内にでき,調節範圍内にある物體を見ると同樣な狀態になるから,之をはつきり見得る. 遠眼又は老眼の人が眼前に凸レンズの眼鏡をかけると,その人の近點よりも近くにある物體の虚像が(圖57-1,乙)其の調節範圍内にできるから,之をはつきり見得る.

§58. 擴大鏡 物體を細かく見たいときは,之を眼に近付けて網膜上の像を大きくする. 然し餘り近付けると,調節に骨が折れるから,正常眼では25糎位の所まで近付けるのが普通である.(圖58-1,甲) この距離は調節も割合に樂で,しかも割合に細かく見える距離で,之を**明視距離**といふ. 若し物體(S)を近點内まで近付けても,之を凸レンズを通して見て(圖58-1,乙)其の虚像(S′)が明視距離に出來れば,それでもよ

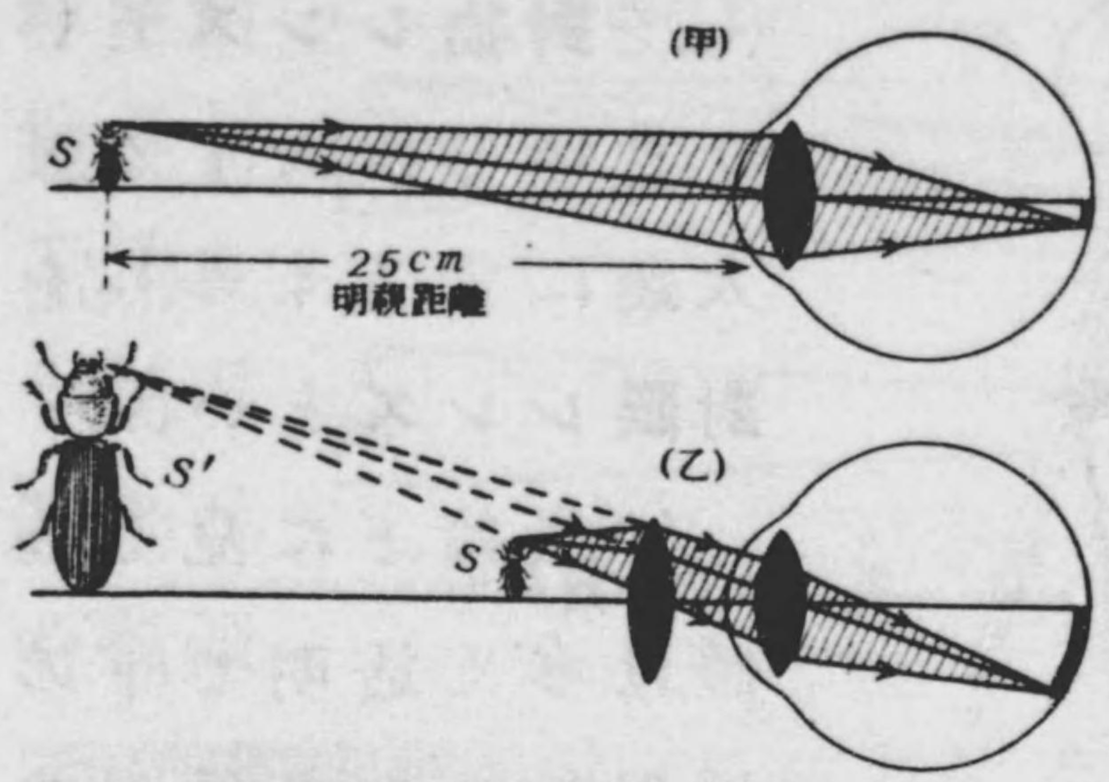


圖58-1 擴大鏡の理

い. 幸にも此の時の虚像は物體よりもずつと大きいから網膜上の像も物體を明視距離に置いて見るよりも,ずつと大きくて餘程細かい所まで見える. かやうな使ひ方をした凸レンズを**擴大鏡**といふ.

筆使ひの粗い繪や縞柄の大きい反物の樣子を概觀したいときは,(圖58-2)之を眼から遠ざける. 遠ざける代りに凹レンズを通して,その小さい虚像を見る樣にしてもよい.

圖58-2 筆使ひの粗い繪

§59. 顯微鏡 擴大鏡で見るよりも,もつと細かく觀察したい時は,一旦凸レンズ(L_1)によつて擴大された實像を更に擴大鏡(L_2)で擴大して見ればよい.(圖59-1,甲) 顯微鏡は此の理により(圖59-1,乙)肉眼では到底見得ない樣な微細な物體を見るに用ふる裝置であつて,擴大した實像を作る凸レンズ

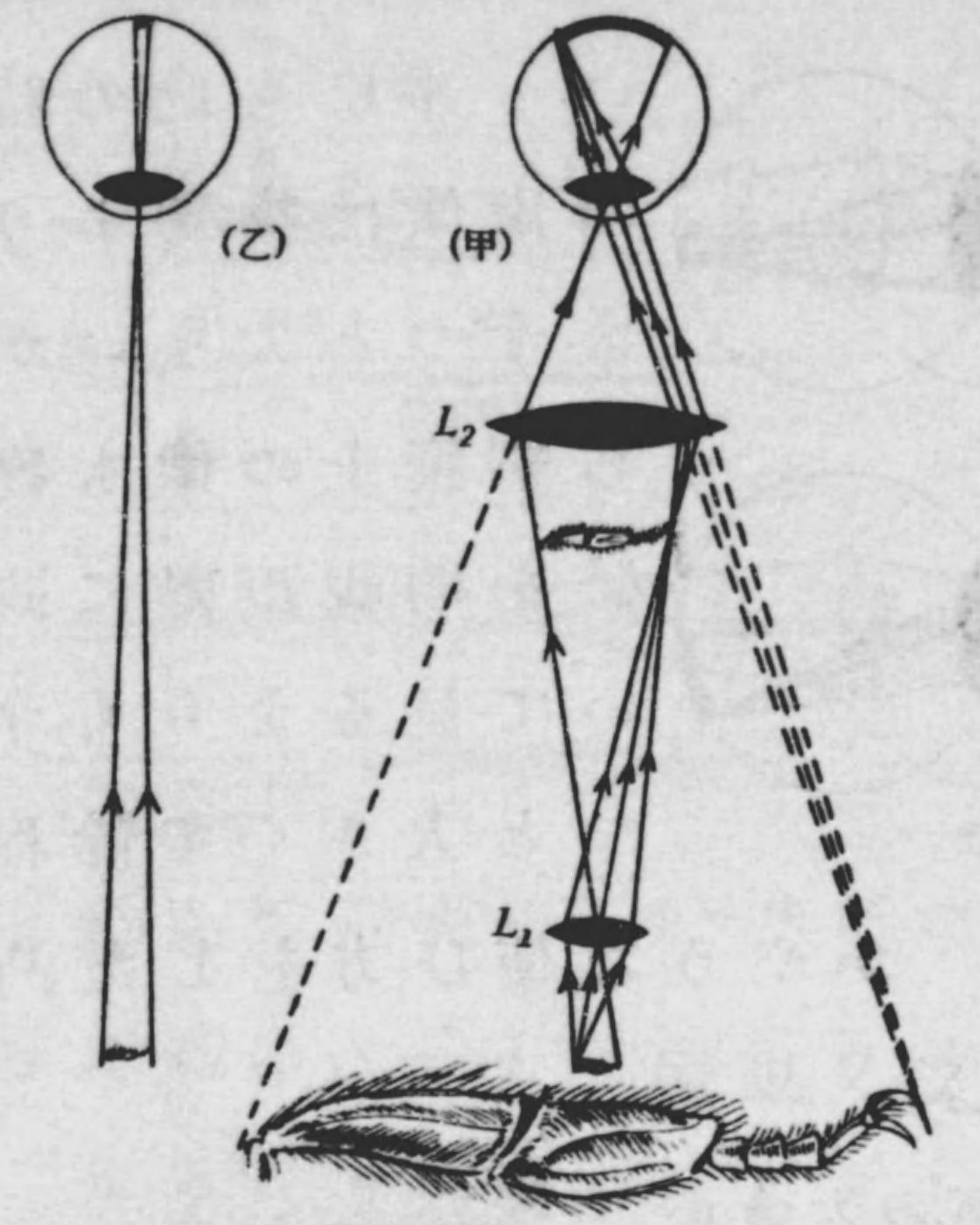


圖59•1 顯微鏡の理

(L_1)を**對物レンズ**といひ,實像を擴大する擴大鏡に當るもの(L_2)を**對眼レンズ**といふ.

顯微鏡(圖59.2)下に見る物體は多く透明で下の反射鏡からの透過光線で見るが普通であるが,金屬の如き不透明體の表面を見るときは其の表面からの反射光線による.

§60. 望遠鏡 ❶物體が遠方にあるため細かく觀察し得ない時は,一旦凸レンズ(L_1)(圖60•1,甲)を用ひて眼に近く實像を作り,之を擴大鏡(L_2)で擴大して見ればよい. この場合實像は物體よりもずつと小さくなるけれども擴大鏡を用ひ得る結果,結局直接(圖60.1,乙)に見るよりもずつと細かく見得るのである. 但し,


圖59•2 顯微鏡

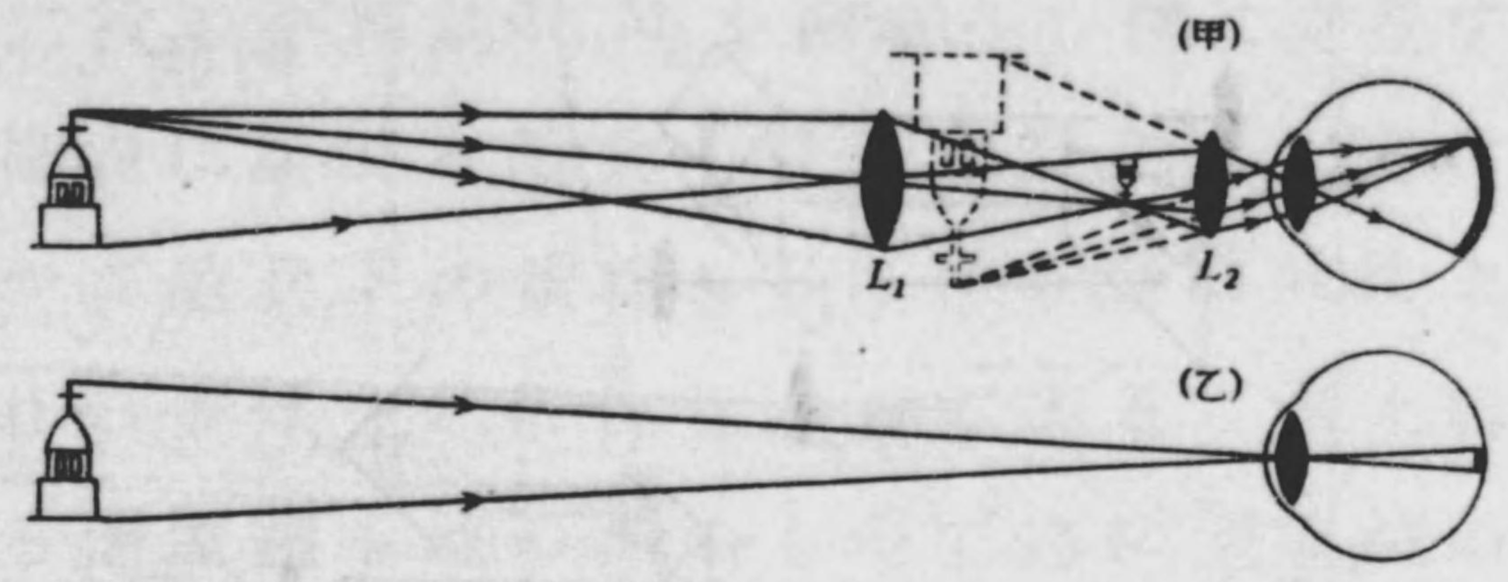


圖60•1 望遠鏡の理

物體は倒立して見えるが,天體などの觀測には差支なく用ひられるので,此の種のものを**天體望遠鏡**(圖60•2)といふ. この場合にも物體に對するレンズを**對物レンズ**,眼に對するレンズを**對眼レンズ**といふ.


圖60•2 天體望遠鏡
(天體觀測中の樣子)

❷對物レンズによつて實像を結ぶ前に凹レンズ(L_2)を置いて虛像を作らせると(圖60•3),物體は正立して見える. 之は地上の物體を觀測するに用ひられ,**地上望遠鏡**といふ. 多くはかゝるものを二個列

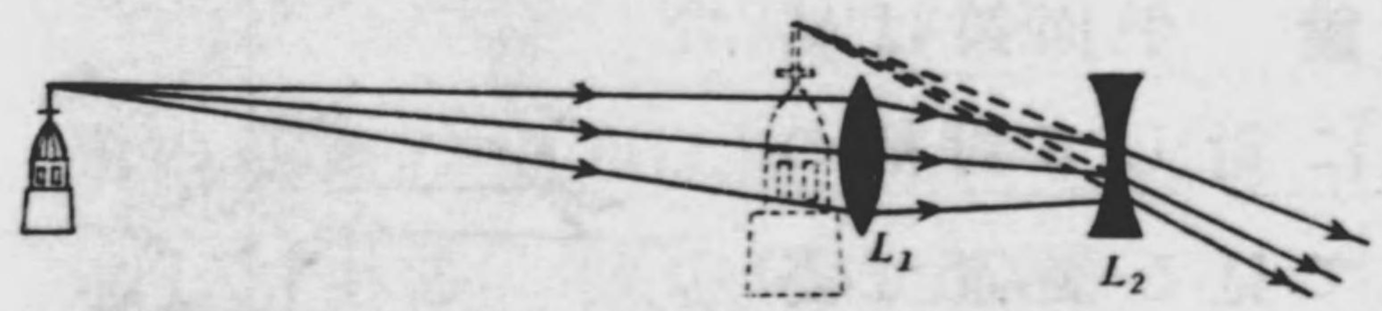


圖60•3 地上望遠鏡

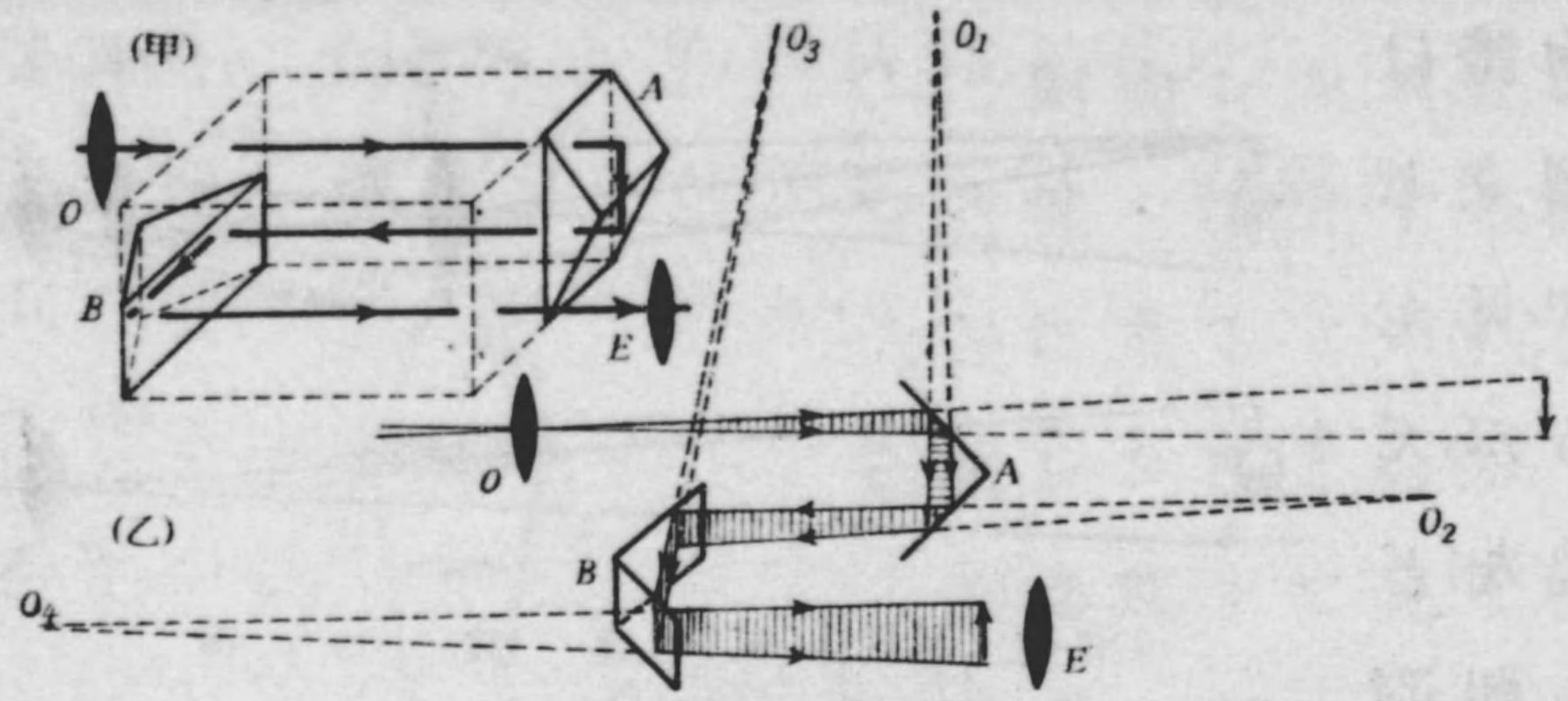


圖 60•4 プリズム双眼鏡の理

べ,兩眼で觀測する樣になつて居り,これを**双眼鏡**といふ.


圖 60•5 プリズム双眼鏡

❸ 又二個の直角プリズムA,Bを圖 60•4,甲の如く組合せて對物レンズOと對眼レンズEとの間においても像の倒立を防ぎ得る. 其のわけは圖 60.4,乙に示す通りである. かやうな双眼鏡を**プリズム双眼鏡**(圖 60•5)といふ.

§61. 潛望鏡 平面鏡は結局物體を鏡に對して對稱の位置に移して見る裝置で,姿見や陳列窓の深みを增す裝置などは,その簡單な應用で

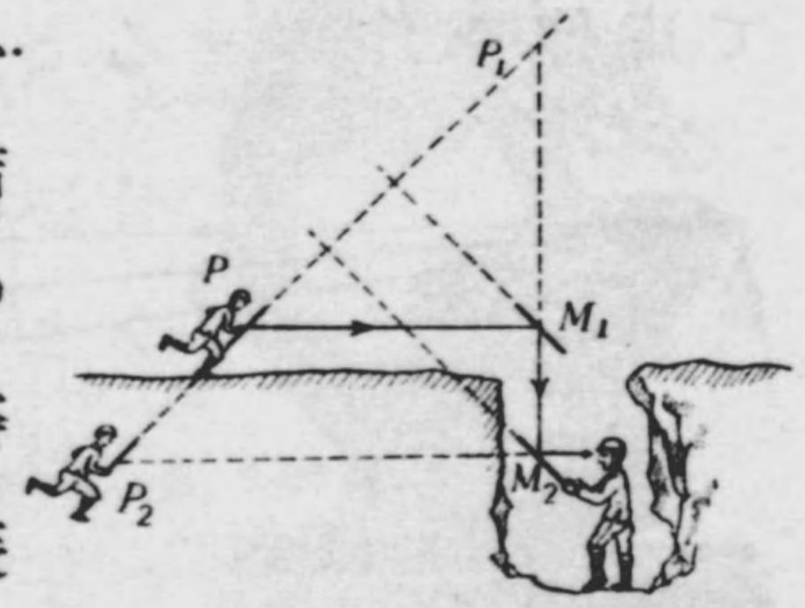


圖 61•1 平面鏡の應用

ある. 二枚の平面鏡M_1,M_2を圖 61•1 の樣に裝置すると,塹壕內に居ても敵兵の樣子が見える. 之はM_1によつて敵兵Pの虛像をP_1に作り,更にM_2によつてそれの虛像をP_2に作るからである. 潛水艦の用ふる**潛望鏡**(圖61•2)も此の種のもので,之に望遠鏡の作用を加へたものである. 或は望遠鏡に於ける光の通路を平面鏡を用ひて二度まげたものと見てもよい. 此の場合に於ける光の通路は簡單に圖 61•3 に示してある. 圖中Oは對物レンズ,Eは對眼レンズに當り,L_1,L_2は通路を延長するた

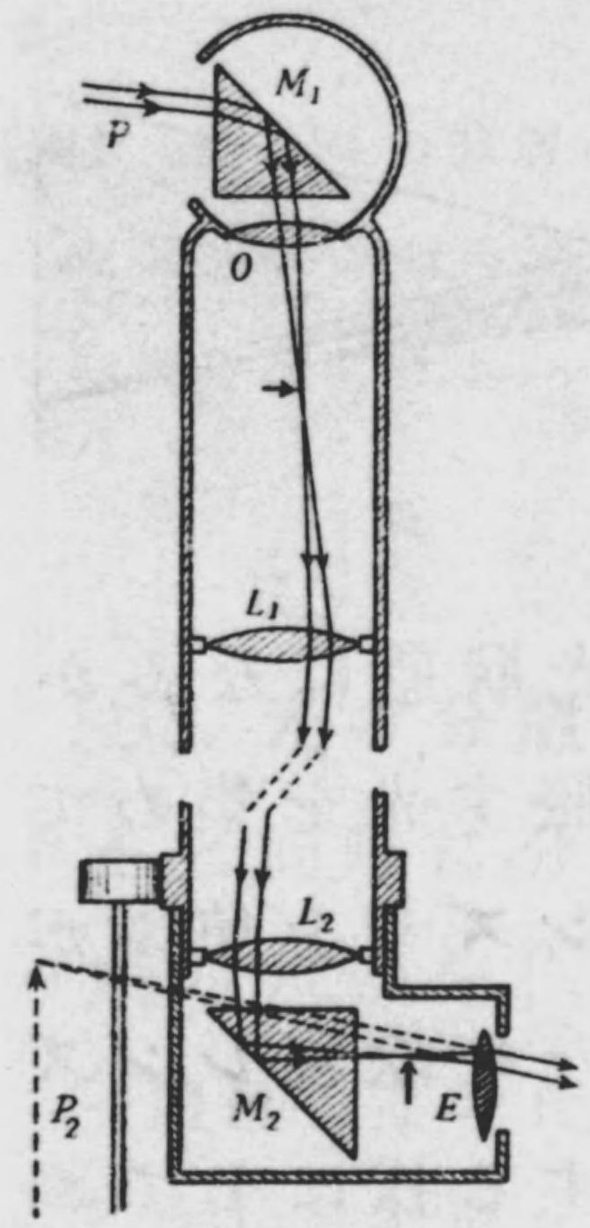


圖 61•2 潛望鏡

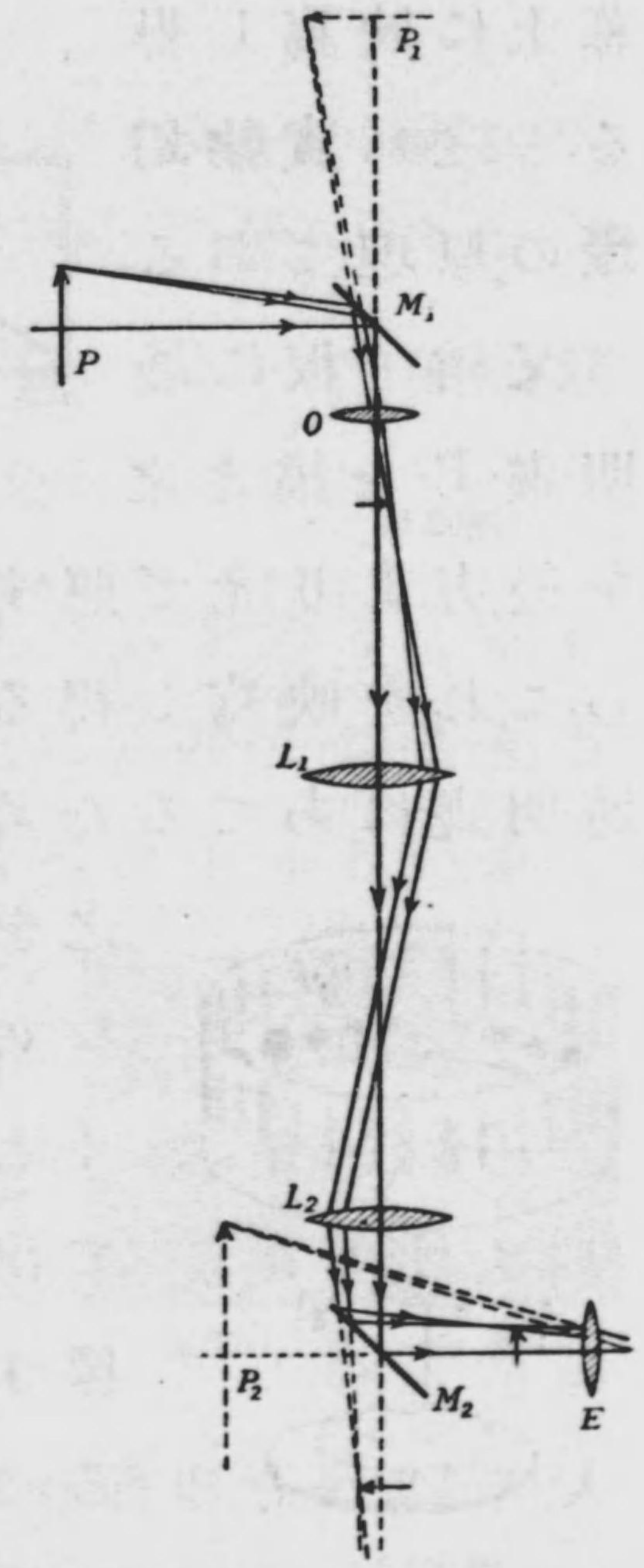


圖 61•3 潛望鏡に於ける光の通路

めのレンズである．

§62. 幻燈　❶凸レンズによつて出來る燭火の實像を白幕上に受けると，どこからでも之が見える．繪葉書や書物の繪でも，之を強い光で照すと發光狀態になるから，矢張り凸レンズによつて白幕上に映寫し得る．之れ**實物幻燈**の原理である．

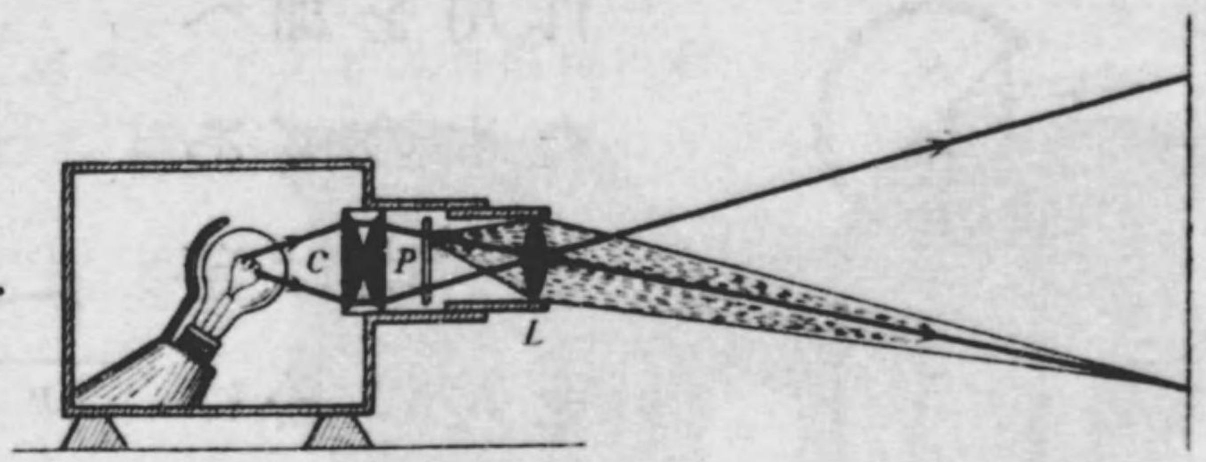


圖62·1　幻　燈

又硝子板に透明畫Pを描き之(圖62.1)を後方より光で照すと矢張り發光狀態になるから，これを映寫し得る．此の場合照す光を集めて透明畫にあてるためには**集光レンズ**Cを使ふが，之を通つた光が一旦**映寫レンズ**Lの中心に收斂する様にしておくと，これが透明畫から亂屈折して出る弱い光と一緒になつて結像するから像は非常に明るくなる．之れ**透寫幻燈**である．

圖62·2

❷若し活動する物體を毎秒十

數枚の割合で撮つた連續した透明畫を順次に映寫し，その畫をとりかへる瞬間だけ光を遮る様にすると映寫された像が活動する様に見える．之れ**活動寫眞**の原理である．

圖62·3

【問】　圖62·2の裝置を速に廻轉しながらその窓から内面においた圖62·3の如き繪を見ると，球が膨脹收縮する様に見える．此の理を說明せよ．

第五章　色

§63. 光の分散　日光がプリズムを通ると屈折(圖63·1)すると同時に分散して白壁上に赤·橙·黃·綠·青·藍·紫の順の色帶を作る．これを**スペクトル**といふ．(別刷圖63·2, A)

一體色のない日光とプリズムからどうして七色を生ずるか．これが研究の手懸として先づ光源を色色にかへて見る．今食塩又はリチューム塩の水溶液に浸した石綿をブンゼン燈で強く熱する時出る光或は酸素や水素を封入した管に火花放電を起す時出る光などを使つて見ると，

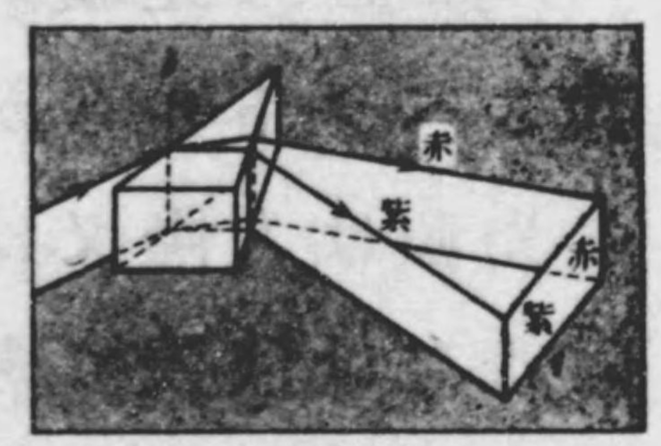


圖63·1　光の分散

別刷の圖 63.2, B, C, D, E の様に異なる位置に異なる色の線が出る.

此の實驗により色のもとは光にあつて,プリズムは之を分ける役目をすることが分る. 即ち,

(1)日光の中には色の異なる多くの光がある.
(2)これらは屈折率を異にする結果分散する.

二種以上の色に分け得る光を**復光**といひ,もはや分けることの出來ない光を**單光**といふ.

§64. スペクトル 鳴聲で鳥の種類が判るが如くスペクトルで光源の種類や狀態が判らないか. それには豫め兩者の關係を精査しておくことが必要である.

別刷の圖 63.2 で分る通り,スペクトルの中にはAのやうな**連續スペクトル**とB, C, D, Eのやうな**線スペクトル**とがある. 一般に連續スペクトルの光源は太陽又は電燈の白熱線の樣に灼熱せる固體又は液體であり,線スペクトルの光源は灼熱せる氣體である. 故にスペクトルの種類を見て光源の狀態を判斷し得る. 又線スペクトルの線の位置や數は光源中の元素に特有であるから線

スペクトルを見て之から逆に元素の種類を定め得る. 之を**スペクトル分析**といふ.

§65. 吸收スペクトル ❶連續スペクトルを作る光が或る物質を通過すると,通過後の光は所々に線狀又は帶狀に光の缺けたスペクトルを作る. これは,其の部分の光を通過物質が吸收したからで,この光のかけた部分に着目して之を通過物質の**吸收スペクトル**といふ. 之に對し前節の如きスペクトルを發光體の**發射スペクトル**といふ. 何れもスペクトル分析に利用される.

❷日光のスペクトルには,仔細に觀察すると,極めて多數の黑線がある. 之は日光の一部が太陽の雰圍氣を通過する間に吸收されたために生じたもので,この黑線を**フラウンホーフェル線**といふ. 從つてフラウンホーフェル線は太陽の雰圍氣の吸收スペクトルに外ならない.

§66. 分光器 スペクトルをはつきり觀察するには**分光器**(圖66-1)を使ふ. 今細隙Sを光で照す(圖66-2)と,細隙が光源になつたと同樣に光を出し,之がレンズL_1に當り,平行線になつて進んでレンズL_2に當り,其

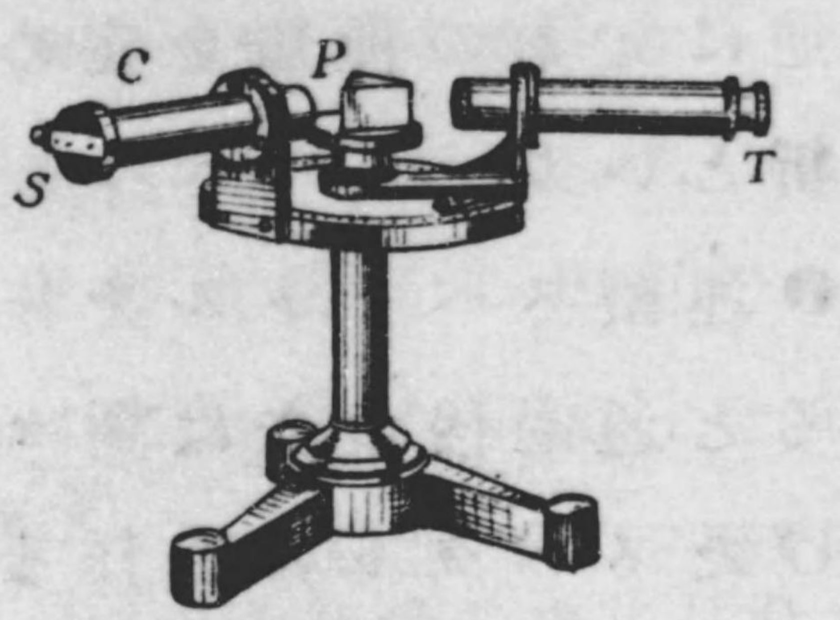


圖66·1 分光器

の焦點Fに細隙の線狀の像を結ぶから之を擴大鏡の働きをする對眼レンズEを通して擴大して見る. この時レンズL_1, L_2間にプリズムPをおくと,之に當る光線は屈折するからTを其の方に廻せば矢張り細隙の像が見える. 若し細隙を照す光が

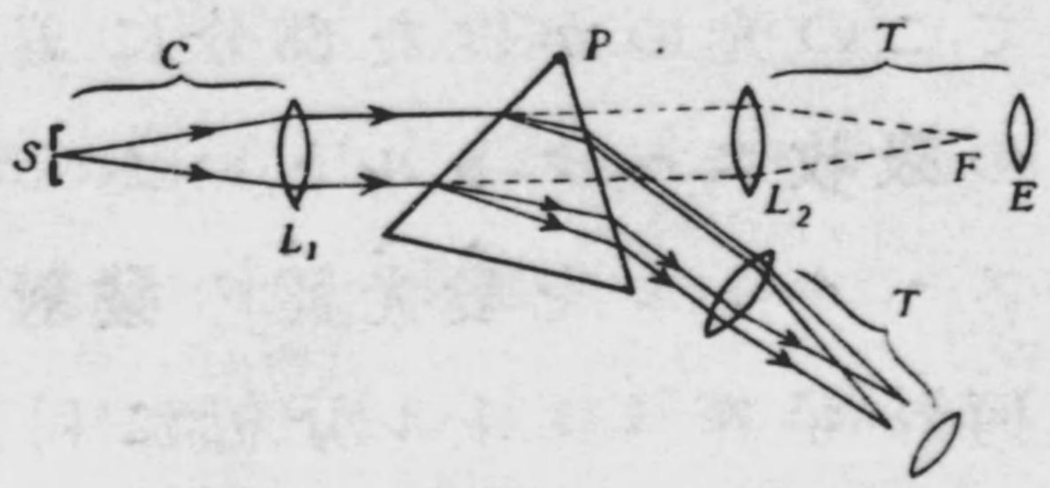
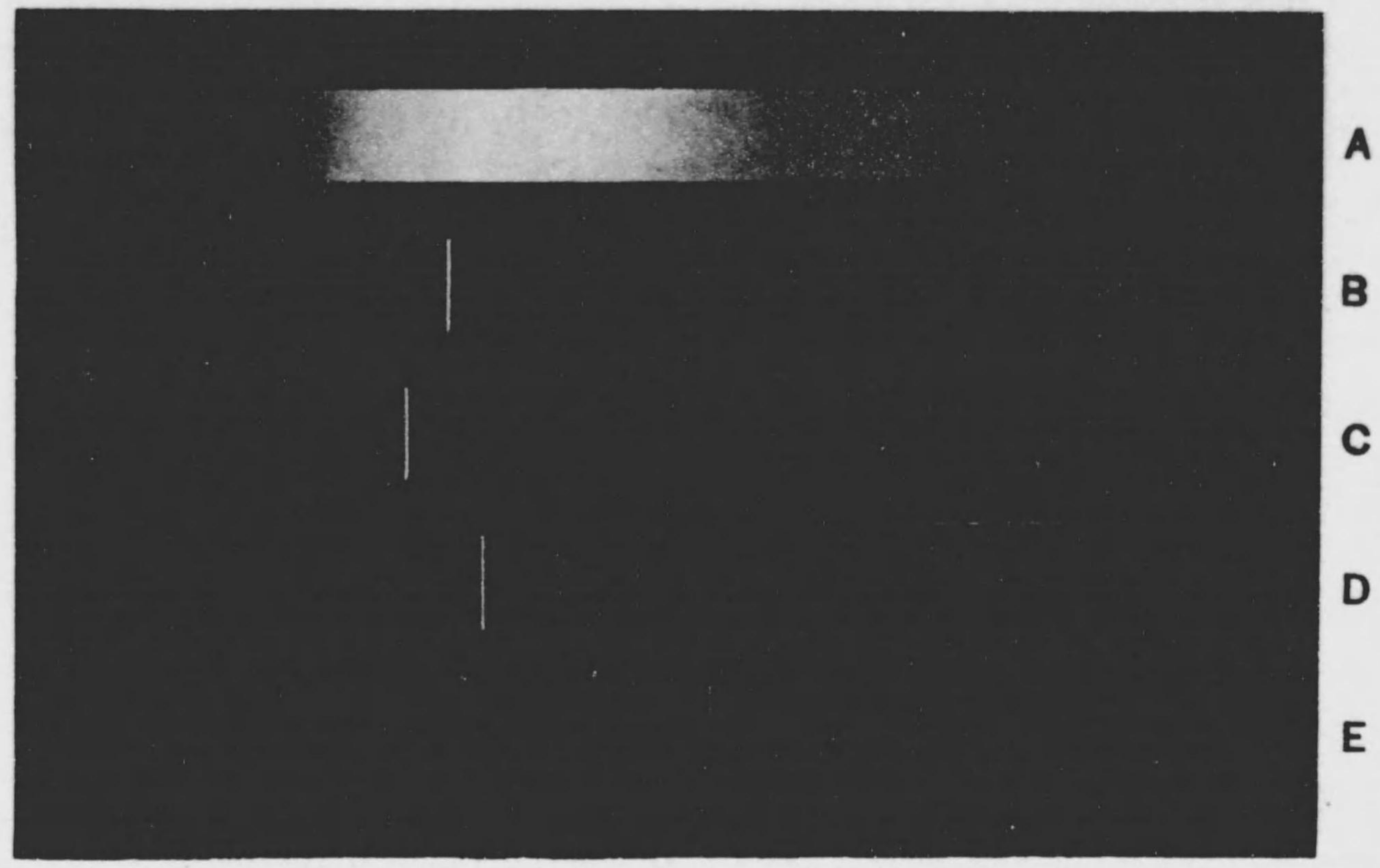


圖66·2 分光器に於ける光の通路

屈折率の異なる多くの光を含むと,プリズムでの屈折の度が異なるため鮮明な細隙の像が相並んではつきりしたスペクトルを作る. この場合細隙の幅を廣くすると,像の幅も大きくなつて相隣るものが相重なつて鮮明を缺く. 之によつて窓から入る日光をプリズムで受ける時に出來るスペクトルが不鮮明なわけがよく分る.

§67. 物體の色　暗室内においた赤い苺を,電燈で照すと,色がついて見える. 故に色の原因は確

(別刷の圖67·1, 甲)



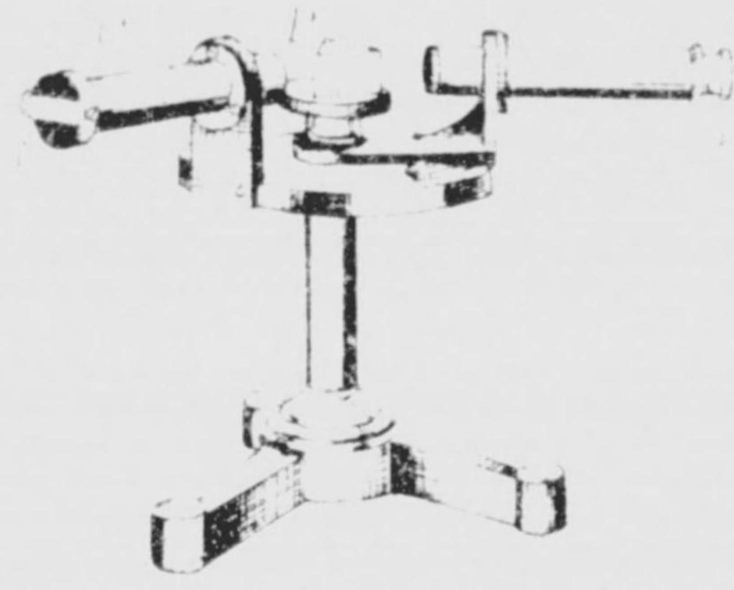
A 太陽　B ナトリュウム　C リチューム　D 酸素　E 水素

圖63·2 スペクトル

(甲)
電燈の光で照された苺と皿とを寫生したもの

(乙)
ナトリュームの光で照された苺と皿とを寫生したもの

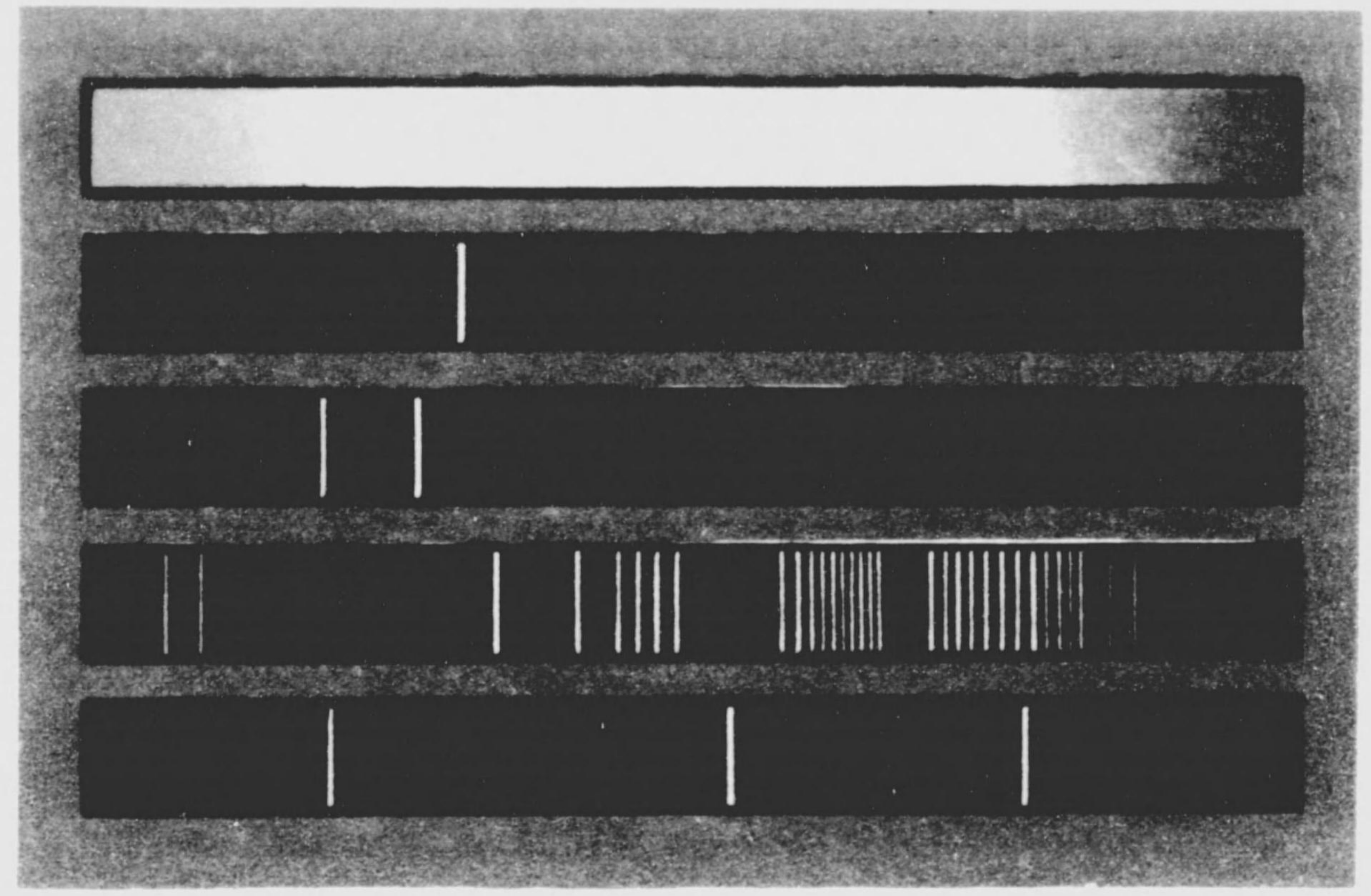
圖67·1 物體の色と照す光



分光器

の焦點Fに細隙の線狀の像を結ぶから之を擴大鏡の働きをする對眼レンズLを通して擴大して見る。この時レンズL.L間にプリズムPをおくと之に當る光線は屈折するからTを其の方に廻せば矢張り細隙の像が見える。若し細隙を照す光が屈折率の異なる多くの光を含むとプリズムでの屈折の度が異なるため鮮明な細隙の像が相並んではっきりしたスペクトルを作る。この場合細隙の幅を廣くすると像の幅も大きくなって互に重なり合ひ相重なって鮮明を缺く。之によって窓から入る日光をプリズムでうける時に出來るスペクトルが不鮮明なわけがよく分る。

§67. 物體の色　暗室内においた赤い苺を通常の光で照すと色がついて見える。故に色の原因は何



に物體にある. 所が電燈の代りにナトリュームの焔で照すと,赤い苺が黒ずんで見える.(別刷の圖 67-1, 乙) 故に色の原因が又照らす光にあることも分る. 研究の結果によると,

> 透明又は不透明な物體に投射した日光は,
> 深かれ淺かれ一旦はその表面下に浸入し,
> 其の結果 ― 或る光は物體によつて**吸收**せられ,
> 　　　　　 他は ― 表面下の淺い所から**反射**し,
> 　　　　　　　　　 或はそのまゝ**透過**して出る.

不透明體の色はこの反射光によつて生じ,若し七色全部を反射するときは白く,全部を吸收するときは黒く見える. そこで赤いものを電燈とナトリュームの焔とで照すときの色の相違は,圖 67•1 からすぐ判斷される.

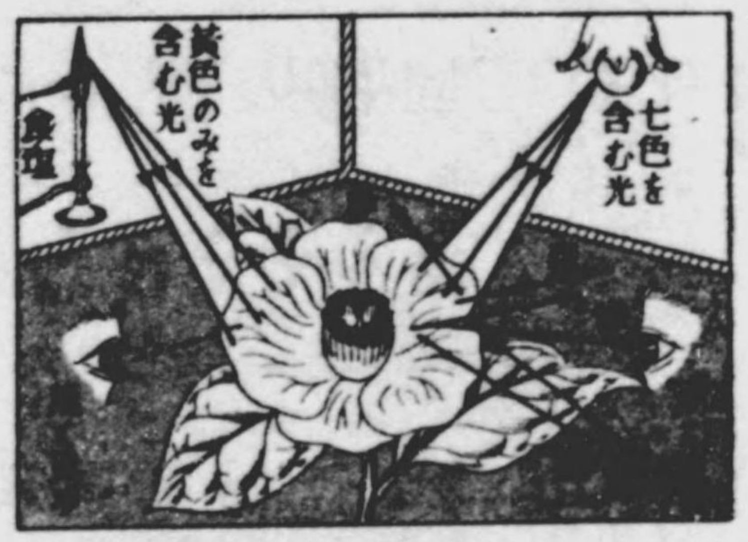


圖 67•1　光の種類によつて色の異なる理を示す

透明體の色は上記の透過光によつて生じ,全部の光を透すものは無色透明である.

§68. 色の混合と繪具の混合

❶分散した七色

の日光をレンズで集めると白くなる．集める途中に不透明體を入れて光の一部を遮ると,殘りのものに色がつく．殘る光を次第に多くすると,次第に白くなる．即ち,

混合する光が多くなるほど白に近づく．

相混ずる時白色となる二色を互に**餘色**であるといふ．赤と青緑,青と黃との如きは餘色である．

❷然し黃の繪具と青の繪具とを混合すると,白色を呈しないで青緑色を呈する．之れ黃の繪具は黃色と青緑色とを反射して他を吸收し,青の繪具は紫と青緑色とを反射して他を吸收するもので,兩者の混合物は青緑色のみを反射するからである．同樣の理由により,

混合する繪具が多くなるほど黑に近づく．

§69. 虹　暗室に入る光を水を充したフラスコにあてると,(圖69･1)(1)暗室の一方の壁が圓形に明るくなり,(2)其の緣に七色の色がつく．これは(1)から考へると,水球の表面反射に基く現象でなく,(2)から考へると,屈折による分散

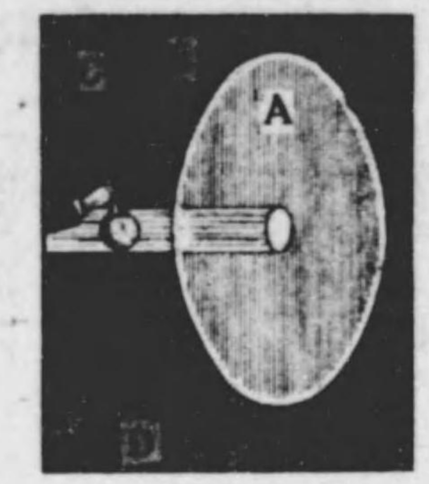


圖69･1　壁Bの孔から入る日光がフラスコに當るとA部が明るくなり緣に色がつく

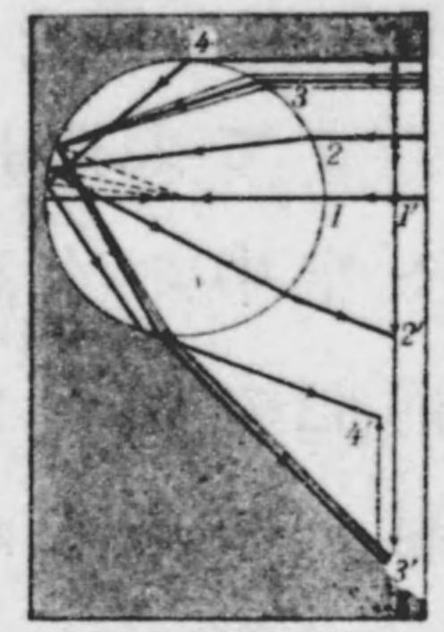


圖69･2　水滴中の光の反射屈折

に關係あるらしい．研究の結果によると,之は投射光線が屈折･反射を繰返すために起る現象で,投射點が1,2,3,4の如く移ると,(圖69･2)射出光線は1′,2′,3′,4′の如き方向をとり,射出光線が投射光線に對してなす角は3′の邊で極大に達して後戻りする．從つてこの極大の近所の射出光線は平行光線に近くて割合に強い．そして此の極大値は赤光では42°,紫光では40°,他の光では其の間にある．そこでかやうな射出光線を受ける壁の上には,恰も半徑が少しづゝ小さく,周緣のみが濃い七色の色紙を同心的に重ねたと同樣な狀態(圖69･3)の光が達する．從つて,

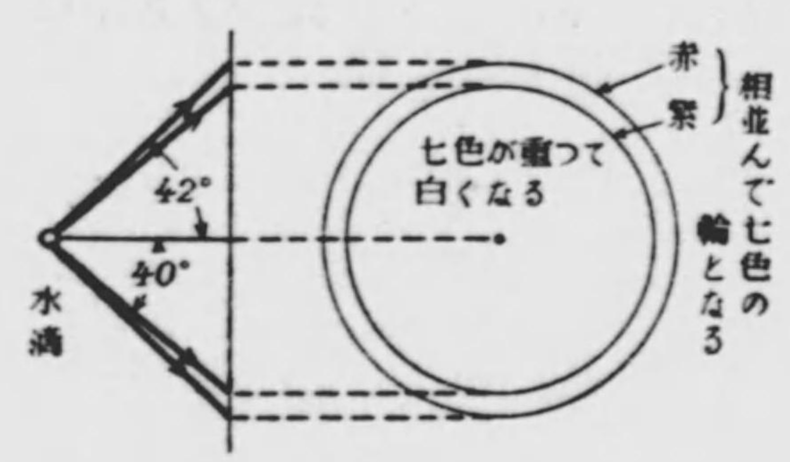


圖69･3　七色の輪の說明

周緣では強い七色の單光が並んで七色の輪を作り, 內部では弱い七色の單光が重つて白く明るくなる．

故に眼を周緣上におくと,水滴が何れかの色に輝く．草

葉におく露の玉が赤又は靑に輝くも同じ理による.

さて太陽に照らされる空中の水滴は何れも(圖69·4)前記の如く光を屈折·反射してゐるから,40°又は42°に開いた傘の頭を太陽に向け,柄を光線に平行にしたと考へると,其の圓錐面の延長上にあるすべての水滴からは面に沿うて赤又は紫の光のみを送る. 故に眼を傘の頭におくと,赤及び紫を兩側に持つ七色の輪が見える. 吾々の見る虹はかやうな輪の一部分である.

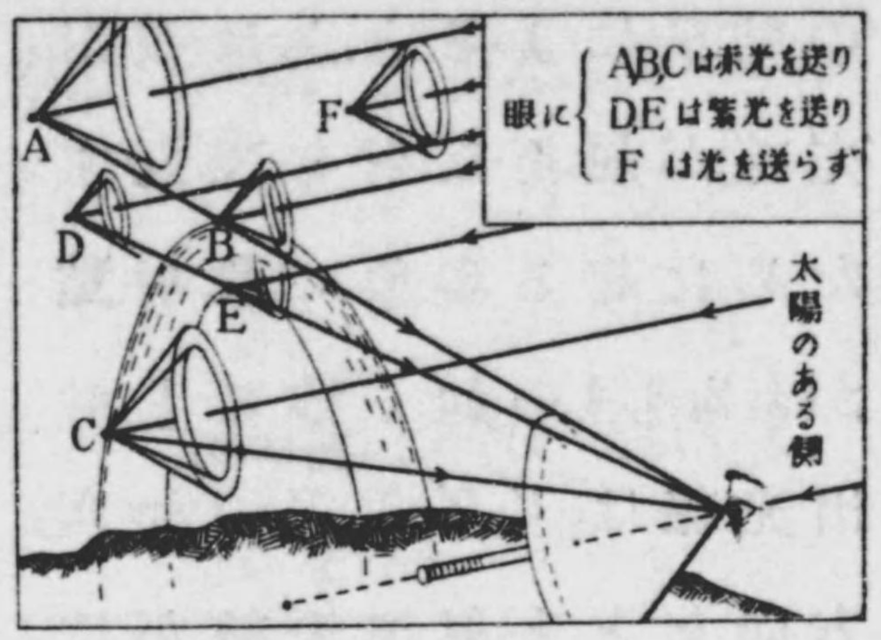


圖69·4　虹を說明す

第五篇　磁氣及び電氣

第一章　磁　氣

§70. 磁石　磁石は鉄片を引き,鉄片は又磁石を引く. この力を**磁氣力**といひ磁氣力の著しい兩端を**磁極**といふ. 磁極にあつて磁氣力を生ずる素を**磁氣**といふ. 自由に動く磁石の兩極は,ほゞ南北を指して靜止し,北に向ふ極を**北極**(N極),南に向ふ極を**南極**(S極)といふ.

尙磁極相互の間にも磁氣力が働く. そして,

> **異種の極**の間の磁氣力は**引力**であり,
> **同種の極**の間の磁氣力は**斥力**である.

今兩極の距離だけを色々にかへて見ると,

> 磁氣力は兩極間の**距離の二乘**に**反比例**する. ………(I)

又磁極をとりかへると,距離が同じでも磁氣力が異なる. 之は磁極にある**磁氣量**が異なるためだと考へられる. そこで一定の磁極(A)から一定の距離に色々の磁極 B, C, D, … を置いた時の磁氣

力が 1:2:3:… の比であれば，磁極 B, C, D, … の磁氣量もまた 1:2:3:… の比であるときめる．かやうにきめると，

磁氣力は兩極の**磁氣量の相乘積**に**比例**する．………(II)

(I), (II) を一緒にして**クーロンの法則**といふ．

§71. 磁場 磁石の周圍に小磁針をおくと，磁氣力の方向に向つて止まる．(圖71·1) かかる小磁針のとる方向を順次に結ぶと，磁石の兩極に終る曲線となる．此の曲線を**磁力線**といひ，小磁針のN極の向ふ方向を以つて磁力線の方向ときめる．従つて磁力線は磁石のN極から出てS極に終り，磁氣力の強い兩極の近傍で密集する．一般に磁氣力の働く空間を**磁場**といふ．

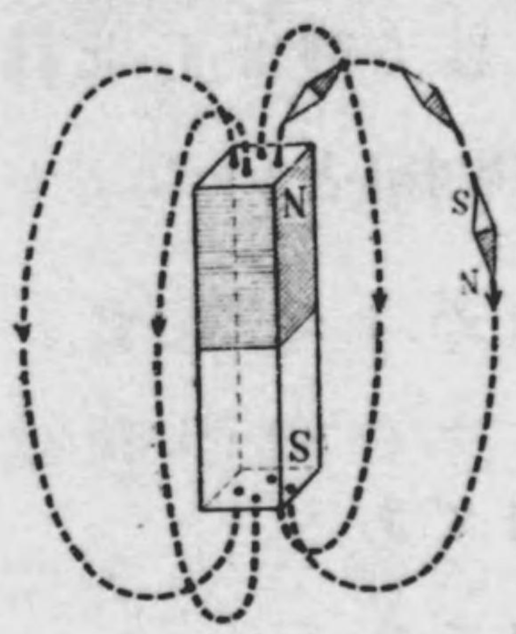


圖71·1 磁力線

§72. 磁氣感應 ❶強い磁石の一極に種々の金屬片を近づけると，鉄，ニツケル，コバルトの三つは其の近い端に

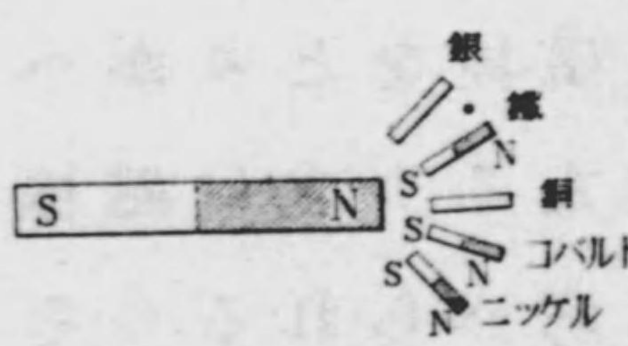


圖72·1 磁氣感應

異種の極，遠い端に同種の極を生じて磁石となる．この現象を**磁氣感應**といひ，鉄に於てづぬけて著しい．そして近い端の引力は遠い端の斥力よりも大きいから，(クーロンの法則により)鉄は棒磁石に吸引せられる．鉄粉の磁氣感應を利用すれば，眼に見えない磁場を眼に見える樣にすることが出來る．例へば棒磁石の上の厚紙に鉄粉をまいて輕くうつと，(圖72·2)磁石となつた鉄粉は磁力線に沿うて列ぶ．

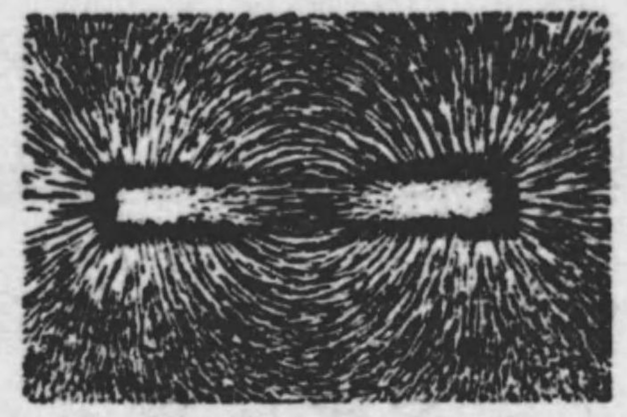


圖72·2 鉄粉で磁場が見える樣になる

❷磁氣感應は軟鉄でも鋼鉄でも起るが，兩者の間には次のやうな著しい相違がある．

	磁場に入れると，	磁場から出すと，	
軟鉄	磁石となる．	全部の磁氣を失ふ．	故に**一時磁石**といふ．
鋼鉄	磁石となる．	大部分の磁氣を保つ．	故に**永久磁石**といふ．

§73. 地球の磁場 磁石の性質や磁針が南北を指すことから考へると，地球は自然の一大磁石と(圖73·1)見做される．そして重心を支へた磁針は(圖73·2)水平より傾いて靜止する．この傾きは磁力線の方向を

示すもので,之を**伏角**といふ. 伏角は赤道地方で小さく極に近づく程大きくて地球の兩極の近傍には伏角が90°の所がある. 之を**地球の磁極**といひ,地球の兩極とは一致しない. 從つて磁針のN極は眞の北よりも多少偏した方向を指す. この角度を**方位角**といひ,吾が國の內地では西へ4°乃至7°位である. 航海者は方位角を記入した海圖と羅針盤とで其の進路を定めて進む.

圖73・1 地球の磁場

圖73・2

第二章 電流

§74. 電流 ❶ 稀硫酸に銅板と亞鉛板とを浸し,兩板を導線で電流計(圖74・1)や豆電球に連結し釦(ぼたん)を押すと,電流計の針が振れ,又電球が光る. これは導線の路に**電流**が生じたためである. この際稀

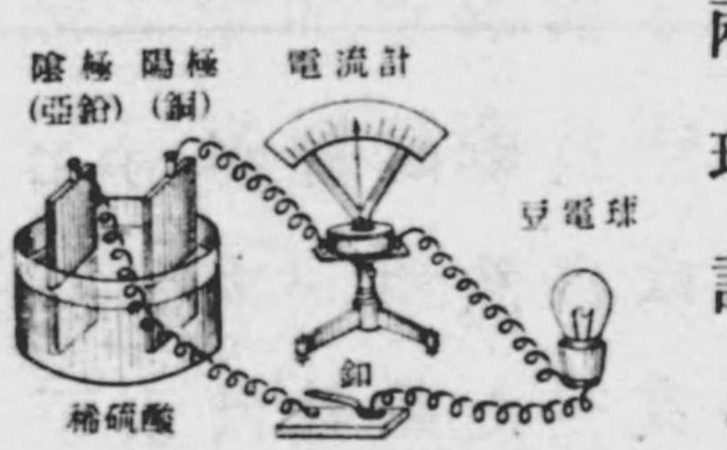


圖74・1 電池と電流

硫酸に銅板と亞鉛板とを浸したものは電流を生ずる源泉であるから,之を**電池**といふ. この電池では銅板は陽電氣を得て**陽極**となり,亞鉛板は陰電氣を得て**陰極**となる. 之を**ボルタの電池**といふ. 電池の兩極は長短の二本の線で表はし,また+−で區別する. (圖74・2) 電流の流れる路を**電路**又は**回路**といふ.

圖74・2

❷ 上の裝置で電池の數や導線の長さなどをかへて見ると,電燈の光の强さが變り,電流計の針の振れも變る. 之は一定時間中に流れる電氣の量が異なるためと考へられる. 回路の任意の切口を單位時間中に通る電氣の量を**電流の强さ**と稱し,**アンペア**なる單位で測る. そして其の目盛が直にアンペア數を示すやうにした電流計を**アンメーター**といふ.

§75. 電位 ❶ 導線ABに電氣が(圖75・1)流れるのは,ゴム管A'B'に水が流れるのに似て居る. そして水流は兩水面の高さの差(從つてA',B'に於ける水壓の差)に基くから,電流もA,B

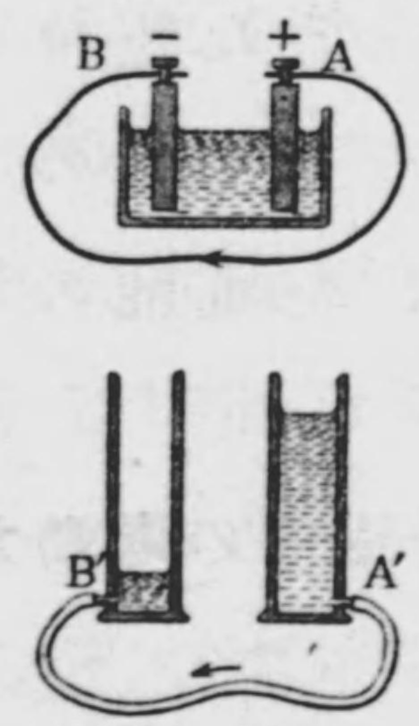


圖75・1 電位を說明す

の電氣的の高さの差に基くと考へ,かやうな電氣的の高さを**電位**といひ,電位の差を**電壓**といふ.電位や電壓は**ボルト**なる單位で測る.電壓がボルトで讀める樣にした器械を**ボルトメーター**といふ.

❷ 土地の高低に崖(がけ)と坂(さか)とがある樣に,電位にも之に類する場合がある.これをボルタの電池の回路(圖 75·2)について見ると,電池外の導線に沿うては電位は陽極より陰極に,電池内の液に沿うては陰極より陽極に向つて次第に降つて居るが,陰極から液に,又液から陽極に移る接觸面に於ては電位は急に昇つて居る.この急激な電位の上昇は化學作用に基くもので,之れが電流を起す基であるから,これを電池の**電動力**といふ.そして,

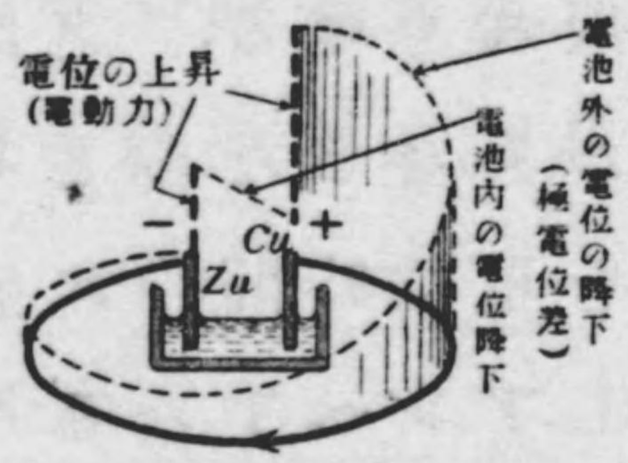


圖 75·2　電位の降下と電動力

電池の**電動力**は
(1) 極板と液との種類によつてきまり,
(2) 極板の面積距離には無關係である.

電池外の電位降下を**極電位差**と稱し,電動力よりは電池内の電位降下だけ小さい.電池に於て,吾々の利用するのは,この極電位差である.

❸ 回路の一部に電動力を加へると,回路の形の如何に拘らず,忽にして,全回路に電流を生ずる.之れ電流の實用上最も重要なる性質である.

❹ 河の流れには緩急の別がある外に,それの多い少いの別がある.電流でいふと前者は電位の別に當り,後者は電流の強さの別に當る.通俗に『電氣が強い弱い』といふとき,多くは上の何れの別を指すかをはつきり考へてゐないが,それでは電氣の本當の性質が表はされてゐない.

第三章　電流と化學變化

§76. 電解　酸·鹽基·鹽類の水溶液に電流を通すと,これらが分解される.一體これらのものは水溶液中でイオンに電離し,陽イオンたる水素や金屬の成分は陰極に,陰イオンたる殘りの成分は陽極に析出する.若し析出するものが其のまゝ存在し得ない時は,更に化學變化を起し,その生成物が析出する.例へば水素イオン(H·)は水素となつ

て其のまゝ析出するが,硫酸イオン(SO_4'')は,之が白金板上に析出するときは,水と作用して H_2SO_4 を作つてO_2を析出し,又銅板上に析出するときは,直に銅と作用して $CuSO_4$ となり,此の結果銅がとけ出したことになる.

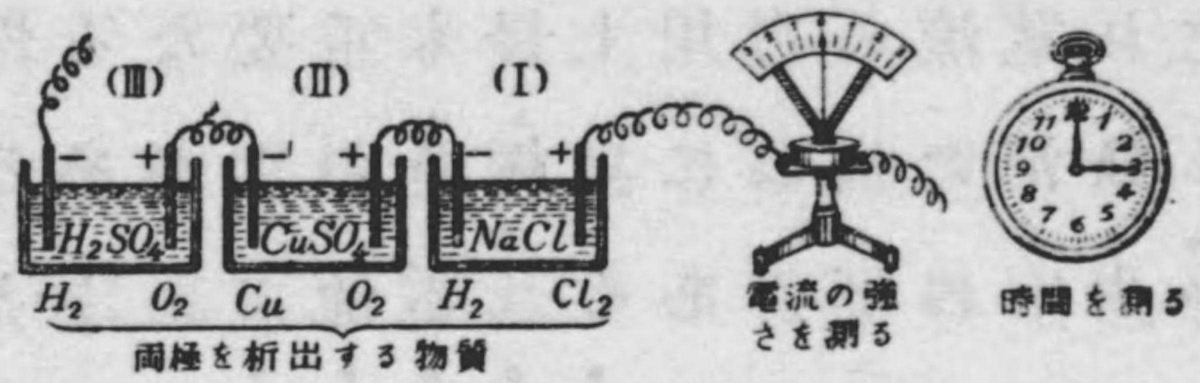


圖 76·1 ファラデーの法則

以上のごとき現象を一般に**電解**と稱し,電解される物質を**電解質**といふ.圖 76·1 の様な裝置で實驗し,各極に析出する物質の質量を測定して見ると,

> 各極に析出する**物質の質量**(m)は,
> (1) 物質の**種類**によつて異なり,
> (2) 其の**電流の强さ**(i) に比例し,
> (3) 電流の通る**時間**(t) に比例す.

$$\therefore\quad m=kit \cdots (式\ 76\cdot1)$$

之を**ファラデーの法則**といふ. こゝに(1)の關係を示す比例常數 k は 1 アンペア($i=1$)の電流で 1 秒間($t=1$)に析出する質量に當り,之を**電氣化學當量**といふ. 之は略して單に化學當量とはいはない.

§77. 電池

❶電池は電解と逆な現象で,ボルタの電池(圖 77·1, 甲)についていふと,陰極の亞鉛は自ら亞鉛イオン($Zn^{\cdot\cdot}$)となつてとけ出て陰極に陰電氣を殘し,稀硫酸中の水素イオン($H^{\cdot}$)は陽極に到り自らは水素瓦斯となつて陽極に陽電氣を與へ,以つて電流の源を作る. これは電池內で自然に起る化學變化で,薪が燃えて熱を發する様なものである. 兩極を導線で連結すると,兩極の電氣は導線中に流れ出し,それと同時に,上記の化學變化が起つてなくなつた兩極の電氣を補ふから,導線中には引き續いて電流が通るのである.

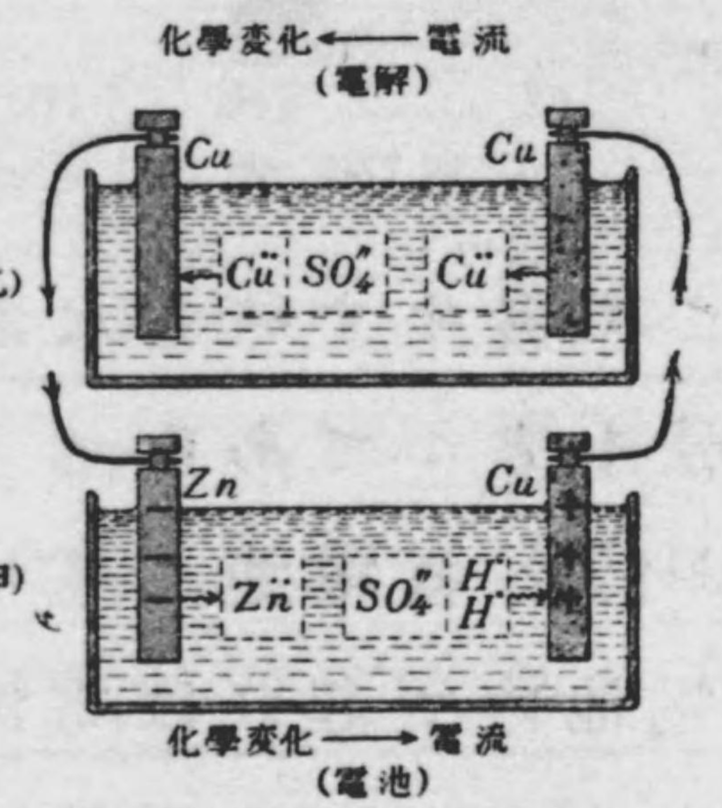


圖 77·1 電池と電解

そして此の電流が電解質中(圖 77·1, 乙)を通ると,前述の如く化學變化を起して之を電解する. 從つて,

$$電流\ \underset{(電池)}{\overset{(電解)}{\rightleftarrows}}\ 化學變化$$

❷ボルタの電池內で化學變化が起ると水素の氣泡は陽極面を包んで電流の通るのを妨げる.

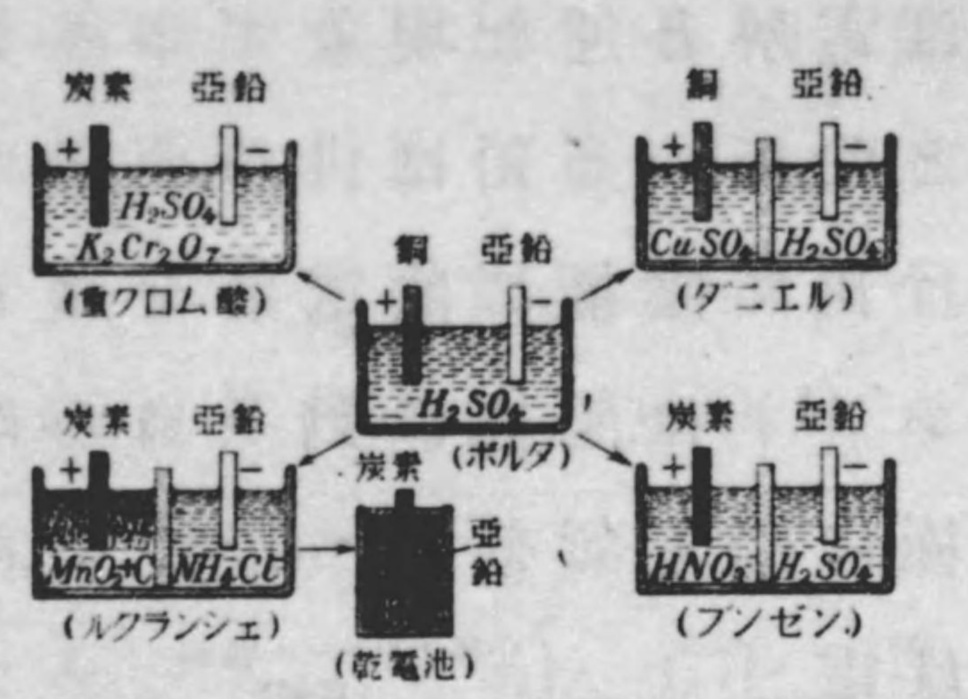


圖 77・2　實用電池

故にダニエル電池・重クロム酸電池・ブンゼン電池及びルクランシェ電池の如き實用(圖 77・2)の電池では,水素の代りに銅を析出せしめるか,又は酸化劑によつて發生すべき水素を酸化して水とするかの方法をとつてある.

§78. 蓄電池　[電流⇄化學變化]の變化が同一の電池內で起れば,電流を取り出して古くなつた電池に逆に電流を送り込んで之を回復せしめ得る筈である. 普通の電池ではそれが出來ないが,蓄電池はそれが實際に出來る電池で,其の出來上つたものゝ陰極は細末狀の鉛(Pb),陽極は細末狀の二酸化鉛(PbO_2)(圖 78・1)から成り,何れも同じ稀硫酸中に浸してある. そして電流を取り出すのを**放電**,逆に電流を送り込むのを**充電**(蓄電の意味)といふ.

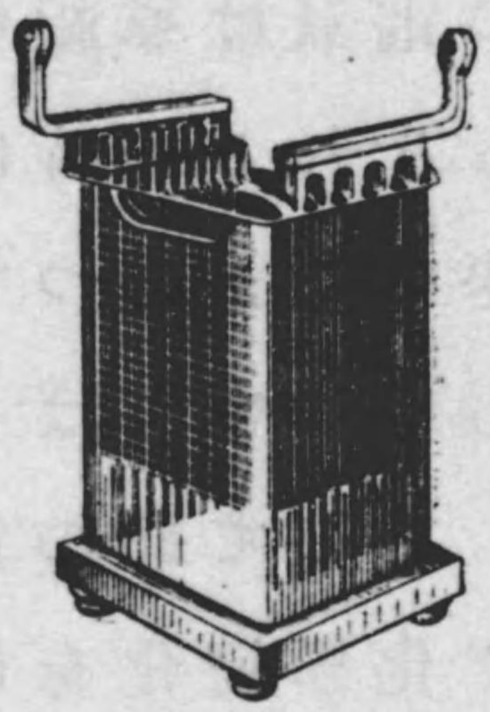


圖 78・1　蓄電池

卽ち,　**電流** $\underset{\text{(放電)}}{\overset{\text{(充電)}}{\rightleftarrows}}$ **化學變化**

放電及び充電に伴ふ化學變化は下表の通りで,放電すると兩極は何れも次第に不溶性の硫酸鉛($PbSO_4$)で覆はれて電動力を減じ,充電すると兩極は夫々二酸化鉛(PbO_2)及び鉛(Fb)に戻つて電動力を回復する. 電動力は約 2 ボルトで,強い電流が得られ,廣く用ひられて居る.

		陽極	液	陰極
放電	前	PbO_2 ← ↖	$2H^{\cdot}$　H_2SO_4　SO_4'' →	Pb
	後	$PbSC_4$	$2H_2O$	$PbSO_4$
充電	前	$PbSO_4$ ← ↖	SO''　$2H_2O$　$2H^{\cdot}$ →	$PbSO_4$
	後	PbO_2	$3H_2SO_4$	Pb

蓄電池に電流を送り込まなくても回復すれば誠に好都合であるが,それは出來ない. 蓄電池に限らず,

> すべて自然現象は代償を拂はずして逆行させる事は出來ない.

§79. 電鍍　圖 77・1,乙に於ける陽極に粗製の銅板をおき,陰極に純粹の銅板を置くと,電流の通る

につれ粗製の銅は次第に溶解して純粋な銅のみが陰極の純銅の上に附着する. **銅の電氣精錬**に於ては,このやうにして粗銅から純銅を得るのである. 又若し陰極の純銅の代りに匙の如き金屬器具を以つてすると,これが(圖 79·1)銅の薄層にて一樣に覆はれる. 之れ所謂**銅鍍金**である. 又金や銀の鍍金も之と同樣の方法で行はれる.

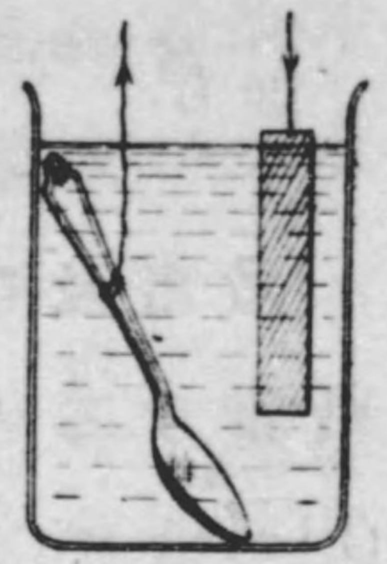


圖 79·1 電鍍

第四章 電氣抵抗

§80. 電氣抵抗 電動力の一定な電池の兩極を長さ·太さ·品質の異なる色々の導線で連結すると電流は或は強く或は弱い. これは導線の實質が,電流を通さうとする電壓に逆つて,之を通すまいと邪魔をし,その程度が導線によつて異なるためと思はれる. かやうな邪魔を**電氣抵抗**または單に**抵抗**と稱し,**電流の强さ**に對して**電壓**とは逆の働きをするから,最も簡單に次の關係があるときめる.

$$\textbf{電流の强さ}=\frac{\textbf{電壓}}{\textbf{抵抗}} \quad \text{従つて,} \quad \textbf{抵抗}=\frac{\textbf{電壓}}{\textbf{電流の强さ}}$$

そこで,ボルトメーター(V)とアンメーター(A)(圖 80·1)とで導線の PQ 間の電壓(E)と電流(i)とを測り,上の定め*に從ひ,導線 PQ の抵抗(R)を $\frac{\text{電壓}(E)}{\text{電流}(i)}$ によつて求めると,之は一つの導線については一定である. そして,電壓が 1 ボルト($R=1$)なるとき,1 アンペア($i=1$)の電流を通すが如き抵抗をその單位とし,之を**オーム**といふ. そこで,E, i, R を夫々ボルト,アンペア,オームで表はすと E, i, R の間の關係は,

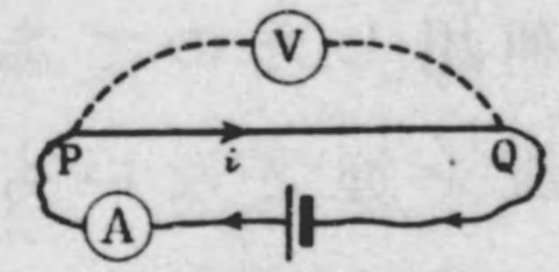


圖 80·1 抵抗を測る

$$R=\frac{E}{i} \quad \text{或は,} \quad i=\frac{E}{R} \quad \text{或は,} \quad Ri=E \cdots\cdots(\text{式 } 80{\cdot}1)$$

で表され,之を**オームの法則**といふ.

抵抗が小さい程電流は大きいから,抵抗の逆數を**電氣傳導度**又は略して**傳導度**ともいふ.

§81. 諸物質の電氣抵抗 ❶ 硝子·陶磁器·エボナイト·絹·ゴムなどの抵抗は極めて大きく,電流は全く流れない. 導線に絹又は木綿の絲を巻き或は

* 誤解を起さない時は**電流の强さ**のことを單に**電流**ともいふ.

ゴムを被覆して電流のもれるのを防ぎ,電信や電燈の架空線を電柱に支へるため陶磁器製の碍子を用ひて漏電を防ぐ等は其の抵抗の大きいのを利用したのである. かやうに抵抗が大きくて電流を通さないものを**絶緣體**といふ.

❷金屬はよく電氣を導き,電流は容易に之を流れる. 故に之を**導體**といふ. 導線は針金の形にした導體に外ならぬ. 實測によると,

導線の抵抗(R)は
- (1)**品質**及び**溫度**で異なり,
- (2)其の**長さ**(l)に正比例し,
- (3)其の**太さ**(s)に反比例す.

即ち, $R=a\dfrac{l}{s}$ ……………………(式81,1)

こゝに a は(1)の關係を表はす比例常數で,これを**比抵抗**といひ,通常長さ1米,太さ1平方粍の導線の抵抗で之を表はす. 又實測によると,
(別表參照)

電池內の抵抗は
- (1)液の**品質**及び**溫度**で異なり,
- (2)その極板の**距離**に正比例し,
- (3)且つ極板の**面積**に反比例す.

電池外の導線の抵抗を**外抵抗**,電池內の液體の抵抗を**內抵抗**といふ.

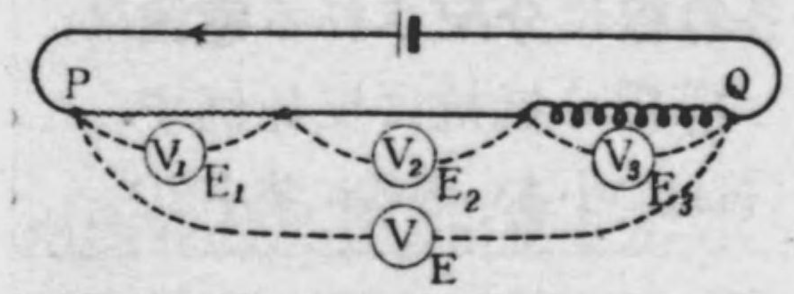
【問】 與へられた銅線を10倍の長さに引き延すと,其の抵抗は何倍になるかを計算せよ.

比抵抗 (オーム) (15°C,長さ1米,太さ1平方粍)	
銀	0.016
銅	0.017
アルミニューム	0.030
鉄	0.12
白金	0.11
水銀	0.96
炭素	50

§82. 導線の連結

回路の一部(PQ)を數本の導線で連結するに,行連結と列連結とがある.

行連結



ボルトメーター V_1, V_2, V_3 及び V で各導線の兩端間の電壓 E_1, E_2, E_3 及び PQ 間の電壓 E を測ると, 實際,

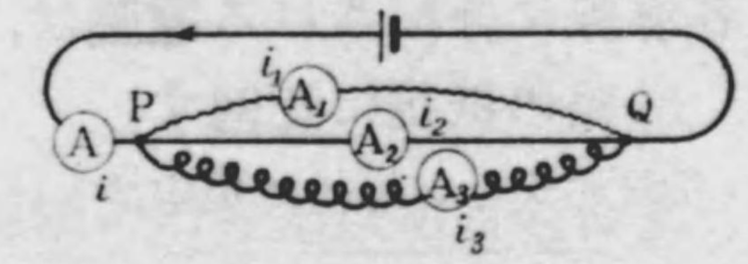
$E=E_1+E_2+E_3$ …………(1)

の關係がある. そして, 回路の電流を i とすると, 各導線の抵抗 R_1, R_2, R_3 は

$R_1=\dfrac{E_1}{i}$, $R_2=\dfrac{E_2}{i}$, $R_3=\dfrac{E_3}{i}$ …………(2)

である. (2)を(1)に代入すると,

列連結



アンメーター A_1, A_2, A_3 及び A で各分路に流れる電流 i_1, i_2, i_3 及び主路に流れる電流 i を測ると, 實際,

$i=i_1+i_2+i_3$ ……………(1)′

の關係がある. そして,PQ間の電壓を E とすると,各導線の抵抗 R_1, R_2, R_3 は

$R_1=\dfrac{E}{i_1}$, $R_2=\dfrac{E}{i_2}$, $R_3=\dfrac{E}{i_3}$ …………(2)′

である. (2)′を(1)′に代入すると,

$E=i(R_1+R_2+R_3)$ ………(3)

そこで，一本の導線の場合と同様に，$\frac{E}{i}$を以つてPQ間の全抵抗Rときめる．さうすると，

$R=R_1+R_2+R_3$ ………(4)

即ち，**全抵抗＝各抵抗の和**

[注意] E_1, E_2, E_3 及びEは同じボルトメーターで順次に測つてもよい．

尙式(2)によると，

各導線に分配される**電壓**は，
導線の抵抗に比例す．
(抵抗の大きい導線に集中す)

例へば，電球の白熱線の抵抗は頗る大きく，從つて電球にかゝる電壓は大部分こゝに集中す．其の狀恰も水流に於ける瀑布の樣である．

$i=E\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)$ …(4)′

そこで，一本の導線の場合と同様に，$\frac{E}{i}$を以つてPQ間の全抵抗Rときめる．さうすると，

$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ …(4)′

即ち，**全傳導度＝各傳導度の和**

[注意] R_1, R_2, R_3 は勿論 A_1, A_2, A_3 のアンメーター抵抗を含めたものである．

尙式(2)′によると，

各導線に分配される**電流**は，
導線の抵抗に反比例す．
(抵抗の小さい導線に集中す)

例へば，同じ二線間に點ずる電球の抵抗は燭光の大きいものほど小さいから，燭光の大きいものほど多くの電流が流れる．

電流の調法な性質の一つは，それが自由に曲つた導線に沿うて流れる上に，分れ路を作れば，その何れにも流れることである．この場合その分れ路に分配される電流は上の式(2)′に從ふ．

§83. 電池から得る電流 ❶電動力E，内抵抗rなる1個の電池を外抵抗Rの導線で連結し，iなる電流を得ると，電池の内外の電位の降下はオームの法則により，夫々ir, iRである．そして兩者の和は電池の電動力Eに等しきこと圖75・2より明かであるから次の式が成り立つ．

$$E=ir+iR=i(r+R) \quad \therefore \quad i=\frac{E}{r+R} \quad \text{………(式 83・1)}$$

❷n個の全く等しい上記の電池を連結するに，次の様な行連結と列連結とがある．

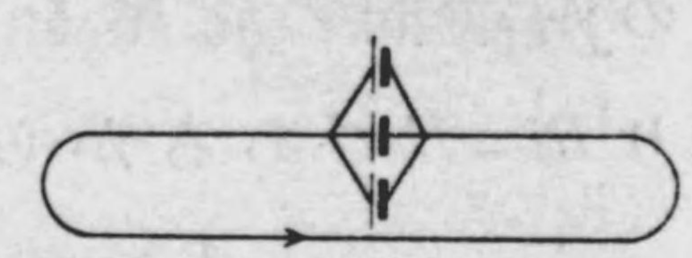
行連結

兩極の電位差は相重るから，
電動力は元のn倍となり，
内抵抗は元のn倍となる．

故に，$i=\frac{nE}{nr+R}$

…………(式 83・2)

列連結



兩極の電位差は相重らぬから，
電動力は元の儘であり，
内抵抗は元の$\frac{1}{n}$になる．

故に，$i=\frac{E}{\frac{r}{n}+R}=\frac{nE}{r+nR}$

…………(式 83・3)

第五章 電流と熱

§84. 電熱 電流の通る導線には，一見何等の變化もない樣であるが，電流の通る間，導線の各部に

熱を發生するものである. 實驗によると,

回路の一部分に發生する熱量(Q)は,
(1)その一部分の**抵抗**(R)に比例し, ∴ $Q=kRi^2t$
(2)**電流の强さ**(i)の二乘に比例し, ……(式84.1)
(3)電流の通つた**時間**(t)に比例す.

そして,Qをカロリー,iをアンペア,Eをオーム,tを秒で表はすと,kは $\frac{1}{4.2}$ である. 又抵抗Rの部分の兩端間の電壓をEとすると,オームの法則により$Ri=E$であるから,式84.1は次の樣になる.

$$Q=\frac{1}{4.2}Ri^2t=\frac{1}{4.2}Eit \qquad \text{……(式84.2)}$$

之を**ジュールの法則**,生じた熱を**ジュール熱**といふ.

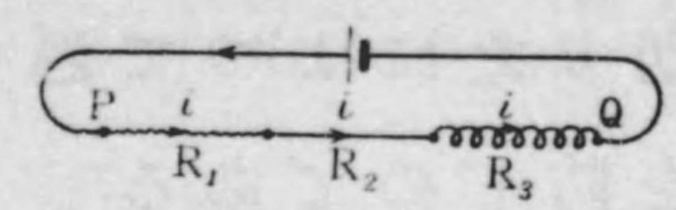
§85. 電熱の集中

式84.2によると電流の發熱量に關しては,次の關係がある.

發熱量は{ **電流と時間**とが一定なときは,**抵抗に比例し,**
電壓と時間とが一定なときは,**電流に比例す.**

之を念頭におくと,次圖のPQ間の發熱量に關する次の叙述がよく了解される.

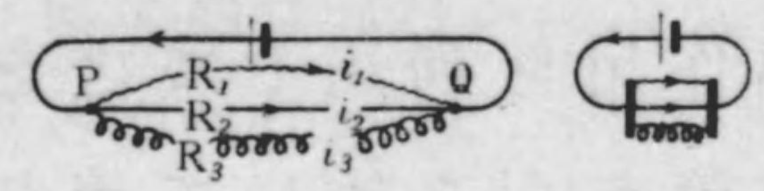
行連結(電流が一定)



ジュール熱は
抵抗の大きい部分に集中す.
(電壓の大きい部分)

故に一つの回路の電燈や電熱器だけに發熱せしめ得る.

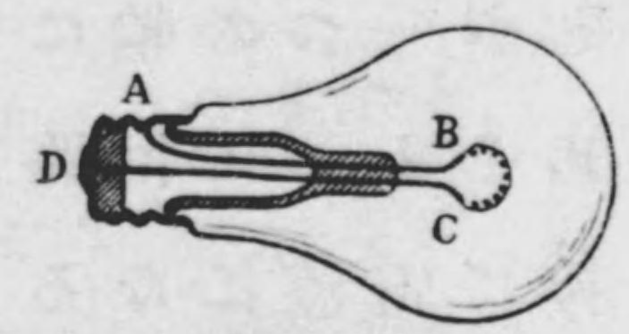
列連結(電壓が一定)



ジュール熱は
電流の大きい部分に集中す.
(抵抗の小さい部分)

故に同電壓の二線間に燭光の異なる電燈を點じ得る.

【問】 電燈の白熱線BCの所には電氣の大瀑布があるといふ(圖85·1). どんな意味か.



§86. フューズ

何かの故障で過大電流が通ると,電氣器具を燒き切つたり,火災を起したりする危險があるが,之を利用すると却つて危險防止の安全裝置となる. 例へば電路の安全な場所に入れる**フューズ**(融解 (圖86·1)

圖85·1 白熱線と瀑布

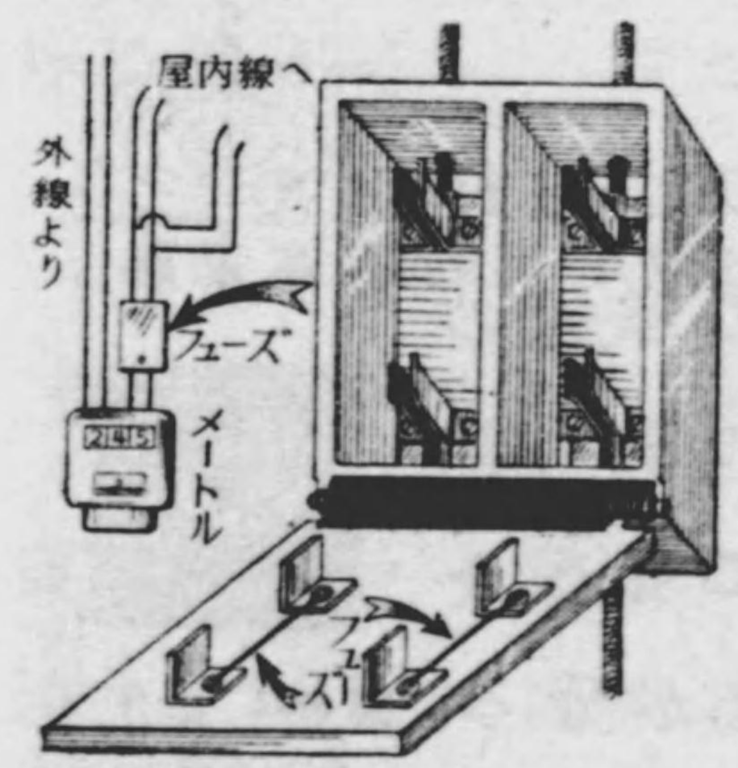


圖86·1 フューズ

點の低い合金の針金)は其の一考案で,過大電流の熱作用を利用して之を燒き切り,之によつて過大電流が引き續いて流れるのを防ぐのである.

§87. 電流と熱 之に關しても[電流⇄熱]の關係はないか. 火力發電は[電流←熱]の關係に相違ないが,こゝに云ふ[電流←熱]は熱が直接に電流に變る變化である. 今二種の金屬例へば銅線と鐵線とを一つの輪につなぎ,一方の接ぎ目の溫度を高めると,この回路に電流が流れる. これは熱が直接に電流になるもので,これを**熱電流**といひ,極めて弱いけれども溫度の測定などに利用される.

第六章 電流と磁場

§88. 電流の磁場 鐵粉及び小磁針を用ひて檢すると,電流の通る導線の周圍は磁場になつて居り,その磁力線は導線に直角な平面内に於て導線を中心とする同心圓であることが分る(圖88-1). そして之に關しては次の法則がある.

圖 88-1 磁力線の方向と電流の方向

右ネヂを{ 磁力線の方向に廻はすと,(磁針のN極の向く方向)
ネヂは電流の方向に進む.

§89. 磁氣作用の集中 磁氣作用も熱作用の如く回路の抵抗の大きい部分に集中しないだらうか. 研究の結果によると,熱作用とは異なり,

磁氣作用は{ (1) 回路の**各部に於て一様**であり,
(2) **電流の強さ**の一乘に比例する.

從つて,磁氣作用を集中するには,導線をコイル狀に巻き,各部の磁力線が同方向に相重なる様にする(圖89-1)より外に途がない. 從つて,

導線ををコイル狀に巻くことは,
磁氣作用集中の第一段の考案である.

尚細長いコイル狀の導線に電流を通すと,周圍に出來る磁力線の様子は棒磁石の磁力線と殆んど等しい(圖89-2).


圖 89-1 磁氣作用の集中

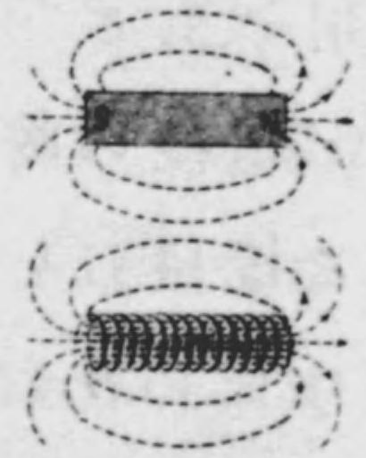


圖 89-2 棒狀コイルと磁石との類似を示す

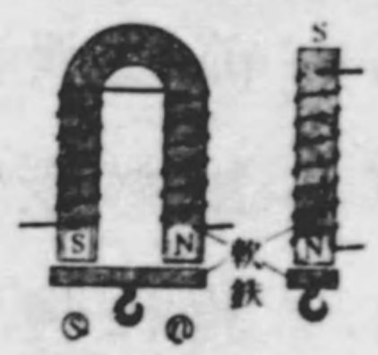


圖 89-3 電磁石

圖 89·4 電氣起重機

この時コイル中に軟鐵を入れると,外の磁力線までも吸ひ集めて軟鐵は強い一時磁石になり,電流を斷つと,軟鐵は磁氣を失ふ．これ一般理科で學んだ**電磁石**(圖 89·3)に外ならぬ．即ち,

> **コイル中に軟鐵を入れること**は,
> 磁氣作用集中の第二段の考案である．

電磁石は色々の方面に應用されるが,それは次の二性質に基く．

(i)強大なる磁場を作る．電氣起重機(圖 89·4)は此の性質の一應用である．

(ii)電流の斷續によつて遠隔の地にある電磁石を働かし得る．電鈴や電信は此の性質の應用である．

§90. 電鈴 押釦をおすと(圖 90·1, 甲),電磁石が前の軟鐵を引いて鎚が鈴を打ち,釦を離すとバネのため離れる．故に押釦で電流を斷續する

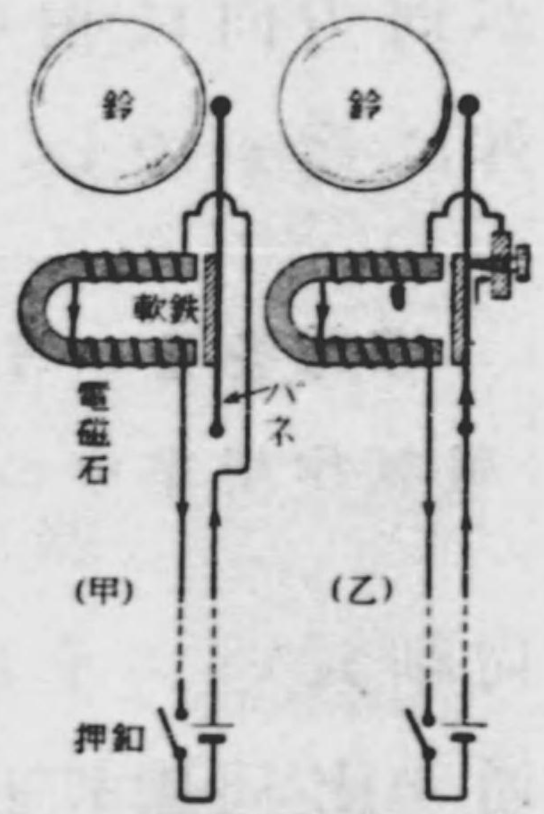


圖 90·1 電鈴の自動斷續を工夫す

と,續いて鈴が鳴る．實用の電鈴では軟鐵片の運動を利用して自働的に電流を斷續する樣にしてあるから,釦を押す間(圖 90·1, 乙)鈴は鳴り續ける．

§91. 電氣時計 1分毎にRの金屬片(圖 91·1)でDの齒を一つ宛押し送ると,Dは一定の速さで廻る．そこで親時計と共に1分間に1廻轉する車Aが遠方にあつてそのB片が接觸すると,電流が通り電磁石Mが働き鐵片Iを引きつけてRが齒車Dから滑り落ちる．次にB片の接觸が切れると錘WのためRは齒車を一齒だけ送る樣にしておくと,之で時間を測ることが出來る．即ちDの一齒に對する廻轉角を6度にしておくと,Dについた指針は1時間に一廻轉することになる．

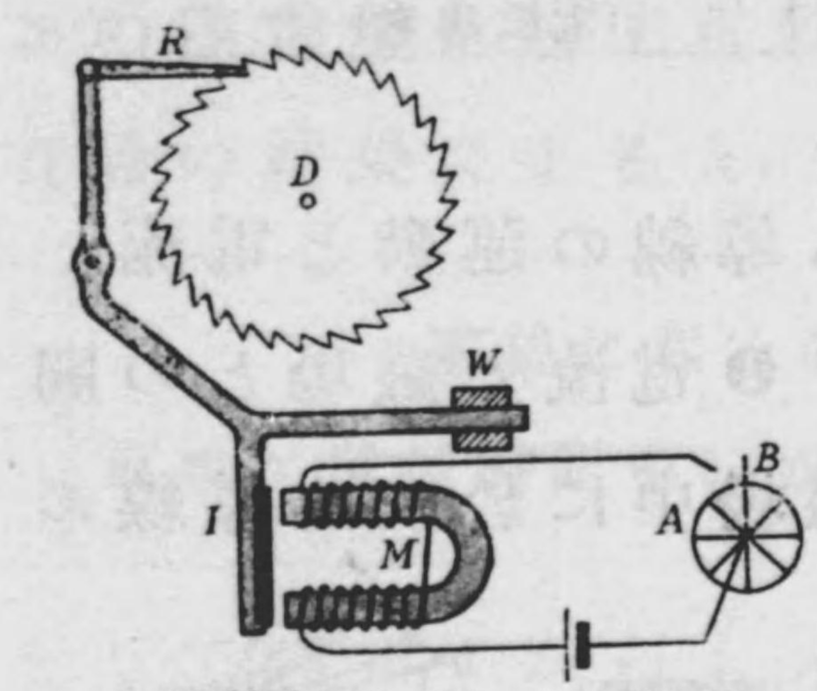


圖 91·1 電氣時計

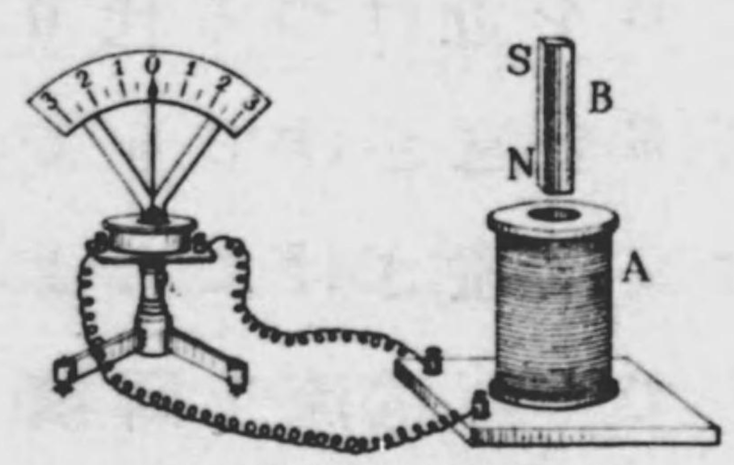


圖 92·1 電磁感應

§92. 磁場と電流 [電流⇄化學變化]と同樣に,[電流⇄磁場]なる關係はないか．今コイル(A)(圖 92.1)に電

流を通すと,そこに磁場を生ずるが,逆にBなる磁石又は電磁石を近づけてそこに磁場を作ると,實際Aに電流を生ずる. かく磁場から電流を得る現象を**電磁感應**,得た電流を**感應電流**といふ.

(磁氣作用)
電流⇄磁場
(電磁感應)

第七章　磁場に於ける導線の運動と電流

§93. 導線の運動と電流　❶電流と磁場との關係を更に深く考究すると,磁場中に於ける導線の運動と電流とに關するもつと一般的な法則に到達する.

さて感應電流を起すには,前節の如くA(圖 92·1)にBを近けづる代りにBを遠ざけてもよく,又Bを固定してAを近づけ又は遠ざけてもよく,或は又A,B(電磁石)を固定してBの電流を斷續してもよい. これらの場合をよく吟味すると圖 93·1 に示す例で分る通り,結局Aの導線が磁力線を横切るときに感應電流が

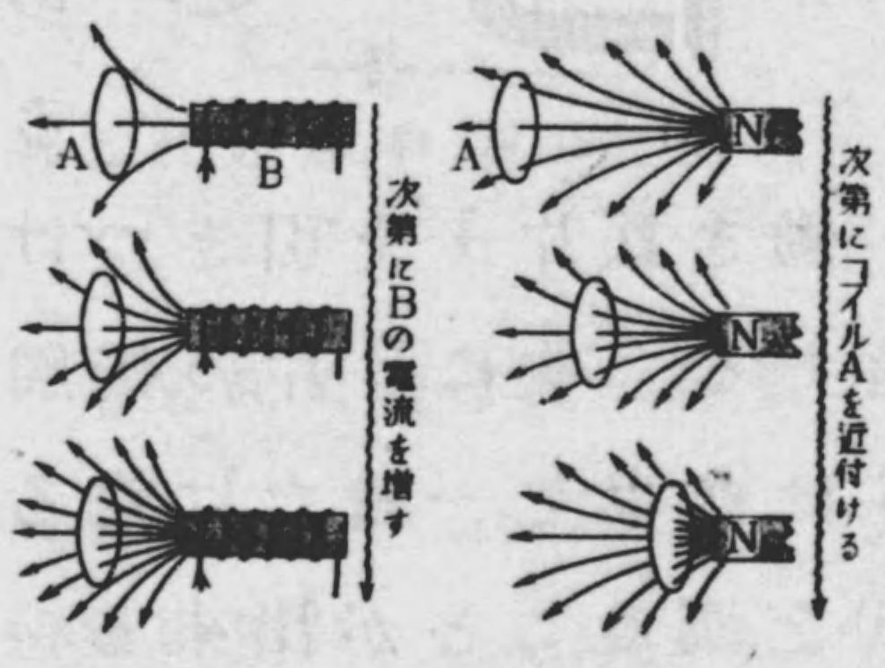


圖 93·1　導線が磁力線を切る

起るのである. 即ち,

> **磁場内にある導線が,**
> **磁力線を横切つて運動すると導線に電流が起る.**

この際,電流を起す電動力を**感應電動力**といふ.

實驗の結果によると,

> **導線に起る感應電動力は,**
> **導線が單位時間中に切る磁力線の數に比例する.**

そして,圖 93·1 からも容易に分る様にコイルの導線が磁力線を切れば,それだけコイルを通る磁力線の數が變化するから,

> **コイルに起る感應電動力は,**
> **コイルを通る磁力線の單位時間中の變化に比例す.**

といつてもよい. 又圖 93·1 のコイルAと相併んで同じ様な多くのコイルをおくと,その何れにも等しい感應電動力が起るから,これらの電動力が行に相重なる様にコイルを一聯のコイルにすると,其の兩端には,その捲き數に比例する電動力が

現はれる．即ち，

> **コイル**に起る**感應電動力**は，
> またその**コイルの捲き數**に比例する．

❷以上は磁場中に於ける導線の運動によつて電流を生ずる現象であるが，之と全く逆な現象がある．即ち，

> **磁場**内にある導線に，
> **電流**が流れると，磁力線を横切つて導線が**運動**する．

この際導線を動かす力を**電磁力**といふ．實驗の結果によると，

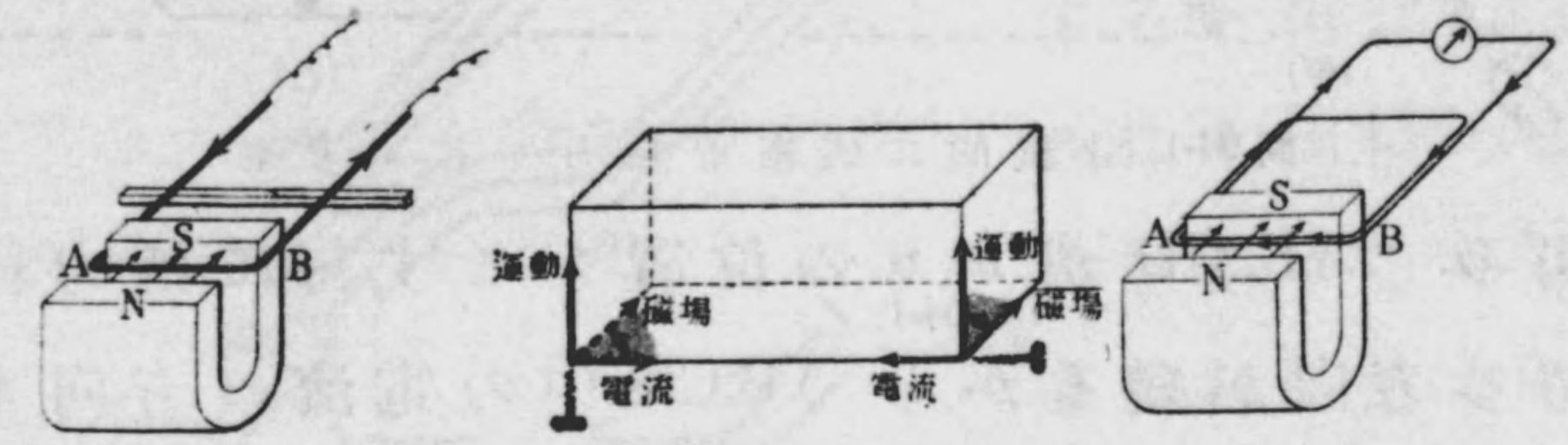
> **電磁力**は $\begin{cases}\text{(1) その電流の强さに比例し，}\\ \text{(2) また磁場の强さに比例す．}\end{cases}$

❸上述のことから導線の運動と電流とは磁場を媒介として互に變遷するものなることが分る．

即ち，　**導線の運動** $\underset{\text{(電磁力)}}{\overset{\text{(感應電動力)}}{\rightleftarrows}}$ (磁場) **導線中の電流**　．

さて，以上の場合，電流・磁場・運動の三方向を直交する三軸にとつて表はすと，次の法則がある．

電磁力(運動)　|　**感應電動力**(電流)



導線 AB に矢の方向に電流を通すと，導線は電磁力のため上方に動く．故に，

> **電流**から**磁場**の方に
> 右ネヂを廻すと，
> ネヂは**運動**の方向に進む．

之を**流磁右ネヂの法則**といふ．

導線 AB を上方に動かすと，感應電動力のため矢の方向に電流が起る．故に，

> **運動**から**磁場**の方に
> 右ネヂを廻すと，
> ネヂは**電流**の方向に進む．

之を**動磁右ネヂの法則**といふ．

§94. 直流と交流

磁力線を横切つて導線を振ると，導線中に感應電動力が起り，振る方向の變る毎に電動力の方向も變る．導線を直線狀に振るよりも圓形に振り廻はす方が一般に便利である．

今圖94·1.甲の如く，導線を ABCD の如く曲げて之を磁極 NS の間で廻轉すると，AB, CD には動磁右ネヂの法則に從つて二重矢の方向の感應電流

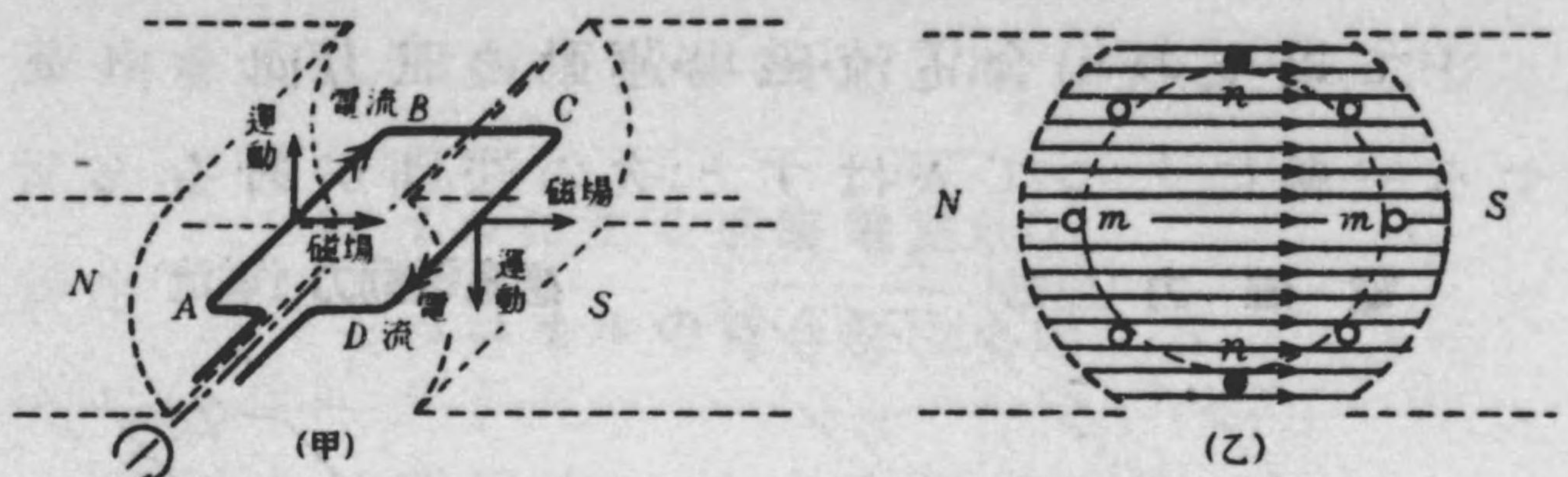


圖94・1 連續的に感應電動力を起す考案

が起る. AB, CD が n, n(圖94・1, 乙)の位置をこす毎に磁力線を切る方向が變るから AB,CD 中の電流の方向もこの位置をこす毎に變る. そして感應電動力の大きさは AB, CD が單位時間中に切る磁力線の數に比例するから, m, m の位置で極大で, n, n の位置で零である. 從つて電流は時と共に圖 94・2 の如き強さ及び方向の變化を繰返す. かやうな電流を**交流**といひ, 1 秒間中に之を繰返す回數を交流の**周波數**といふ. 交流に對し, 電池からの電流の如く方向の一定した電流を**直流**といふ.

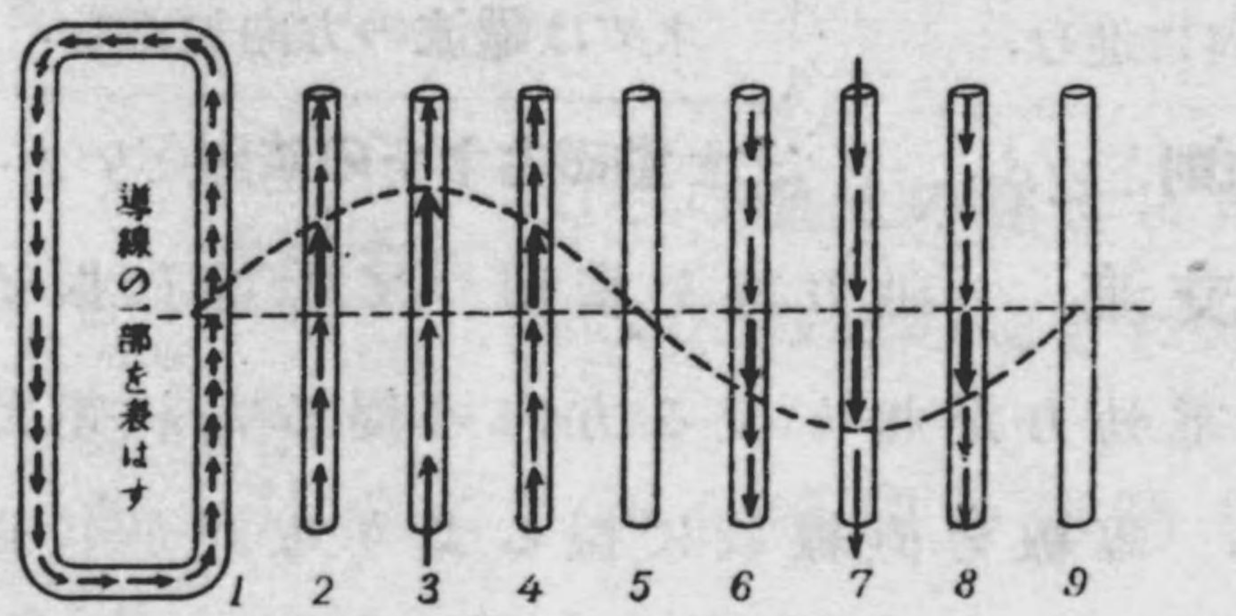


圖94・2 交流を圖示す

§95. 發電機

圖 94・1 の ABCD と同樣のコイル A'B'C'D' 等を多數重ねて同時に廻轉(圖95・1, 甲)すると, 何れのコイルにも同樣の電動力を生ずるから, 之等が行に重なる樣に一聯のコイルに卷くと, 其の兩端に大なる電動力が得られる. それ故この兩端を(圖95・1, 甲, 圖95・2, 甲)**滑動環** R_1, R_2 に結び, 之に刷毛 S_1, S_2 をふれると, こゝから交流を外に取り出し得る. **交流發電機**(圖95・3)は之を精巧にしたものである.

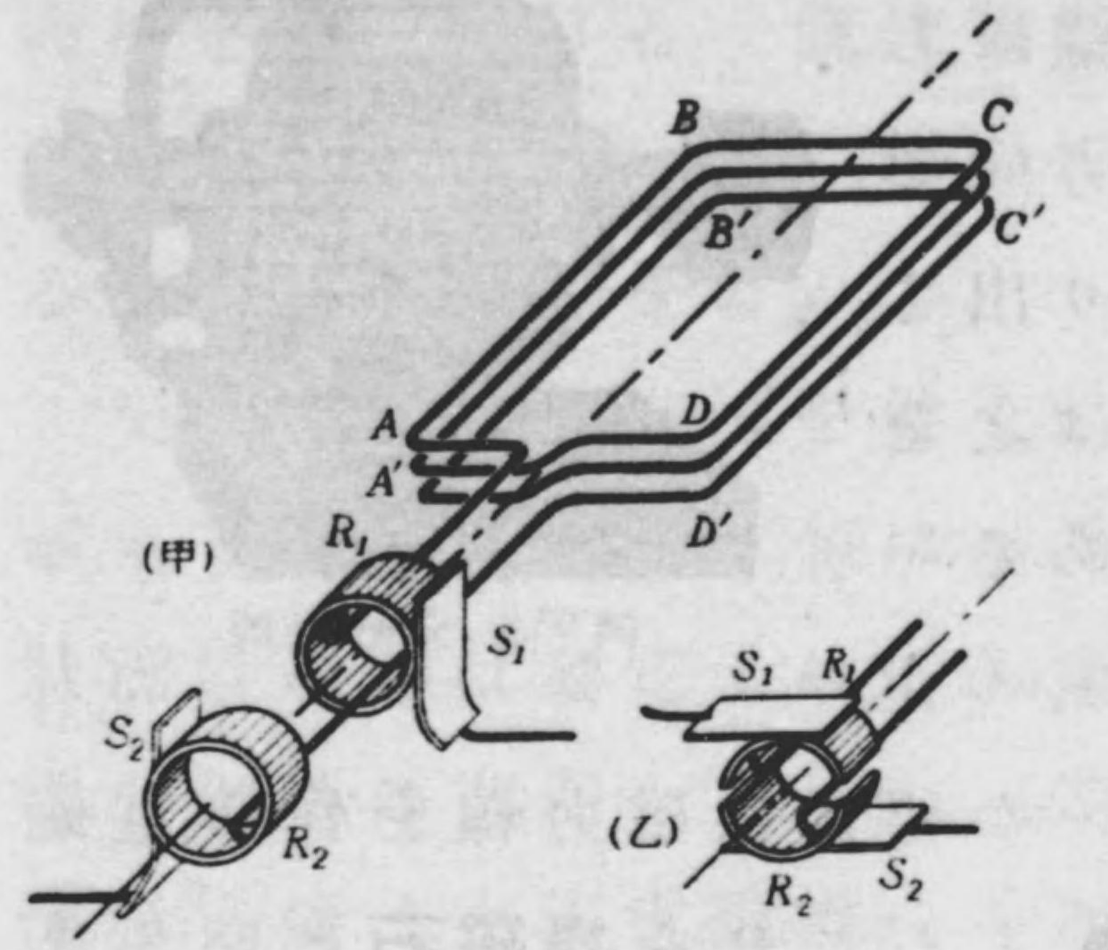


圖 95・1 發電機の原理を示す(其一)

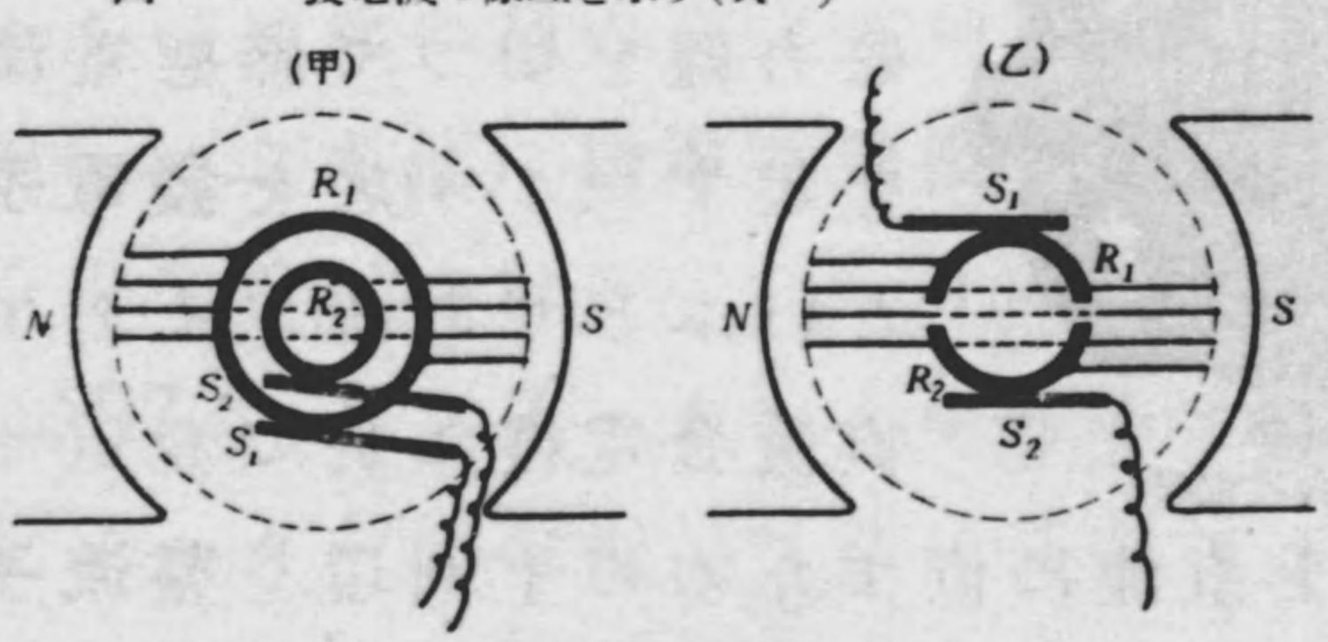


圖 95・2 發電機の原理を示す(其二)
(前面より見たる圖)

又上のコイルの兩端を**半圓環**(圖 95・1, 乙, 圖 95・2 乙) R_1, R_2 の各に結び, 之にふれた刷毛 S_1, S_2 が交流の方向の變る位置

n, n で一方の半圓環から他の半圓環に移る様にしておくと外部には方向の一定した直流が取り出される．**直流發電機**(圖95.4)は之を精巧にしたものである．

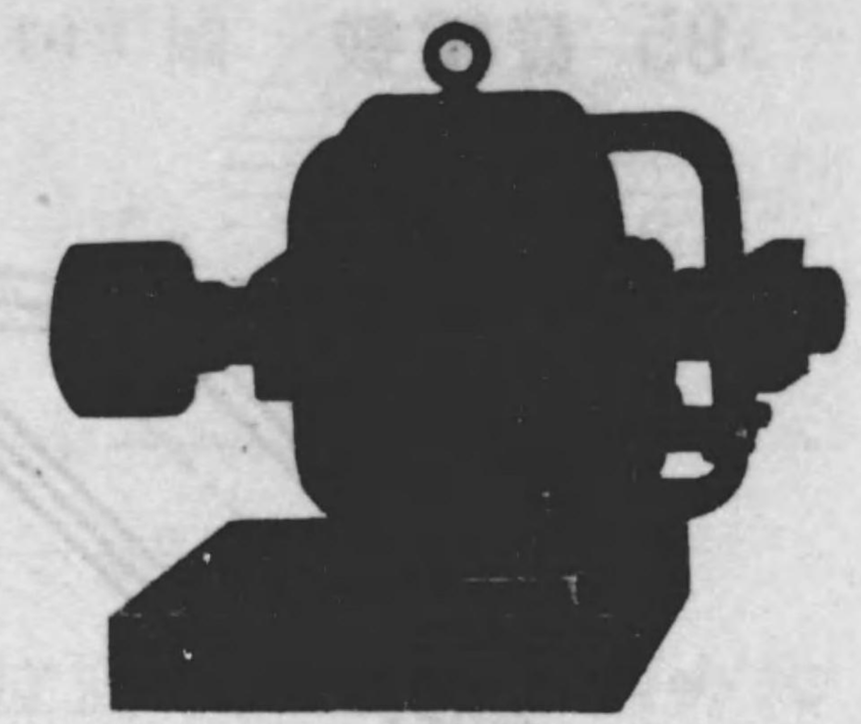


圖 95.3 交流發電機

何れの發電機でも其の主要部は磁力線を作る電磁石(これを**場磁石**といふ)と磁力線を切つて感應電流を起すコイル(之を**發電子**といふ)とである．そして直流發電機に於て發電子に起る交流を直流に直すための半圓環を**整流子**といふ．

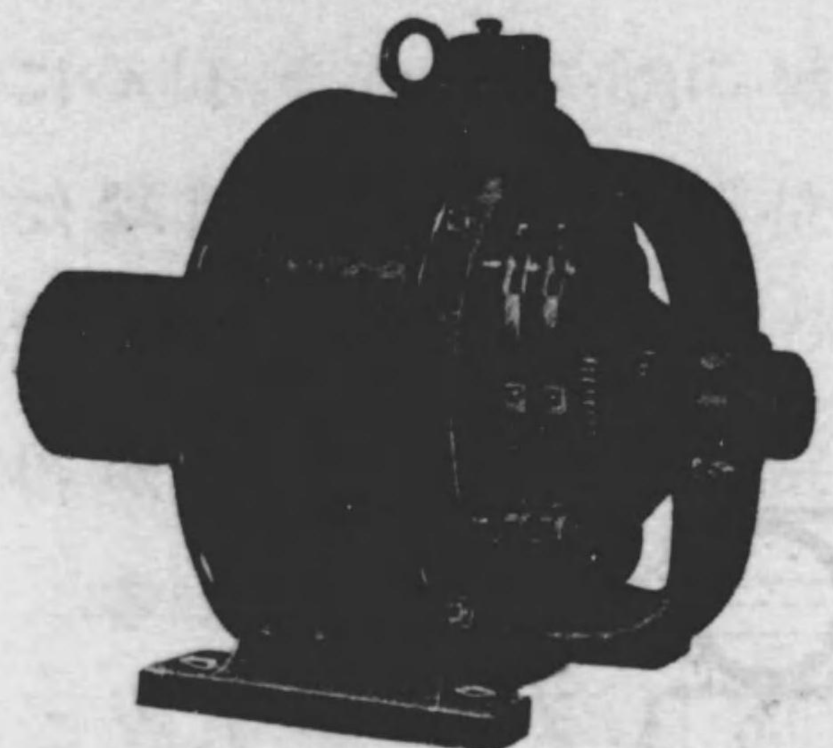


圖 95.4 直流發電機

§96. 電動機 直流發電機に取り出したと同方向の直流を外から送り込むと,流磁右ネヂの法則(圖94.1,甲について考へよ)に從つて發電子が前と逆の方向に廻轉する．そしてAB, CDの電流の方向はn, nの位置で(圖94.1乙),整流子の働きによつて逆になるからAB, CDに働く電

磁力の方向も逆になり,そのためAB, CDは同じ方向に廻轉を續ける．**直流電動機**は此の理によつて作られて居る．此の場合發電機の發電子に當るコイルを**電動子**といふ．

交流發電機に交流を送り込み,發電子のAB, CDがn, nの位置をこす毎に交流の方向が變る様な狀況にあれば,發電子は同じ方向の廻轉を續ける．即ち廻轉の週期と交流の週期とが等しければ,交流發電機は交流電動機にもなる．**同期電動機**といふのは此の種の交流電動機である．交流電動機にはこの他に**誘導電動機**といふのがあつて,多く用ひられて居る．

§97. アンメーターとボルトメーター ❶アンメーター 磁極NS間(圖97.1)にあるコイルに電流を通すと,コイルに働く電磁力とコイルを吊る細い針金の彈力とが釣合ふ所まで廻轉して靜止する．此の靜止する迄の廻轉の角度は電流の強さの大きい程大きいから,之で電流の大小を知ることが出

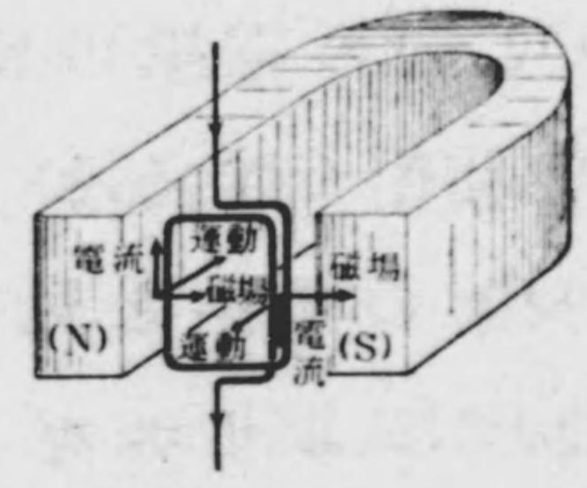


圖 97.1 電流計

來る．之を**電流計**といふ．

アンメーターは同じ原理で作られ,其の指針の示す目盛が直にアンペア數を表はす様にしたものである．圖97.2に示すものは其の一種でコイルの軸についた鬚ゼンマイの彈力とコイルに働く電磁力とが釣合ふ位置までコイルが廻轉して止まる．

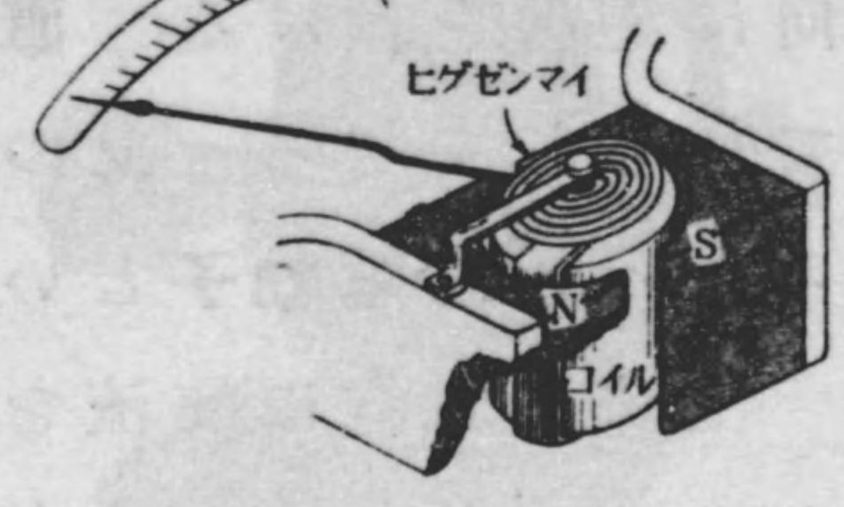


圖97.2 アンメーター

❷**ボルトメーター** 回路の二點P,Qに抵抗R(圖97.3)の既知なる電流計Vを連結し,之に通る電流iを測ると,iRは此の時のPQ間の電壓である．但し抵抗Rが大きいほど電流計を入れたために起るPQ間の電壓の變化が小さいから,抵抗Rを極めて大きくすると,iRは電流計を連結しない前のPQ間の電壓と見做し得る．**ボルトメーター**は此の理によりボルト數が直に讀み得る様に目盛した抵抗の著しく大きい電流計に外ならぬ．

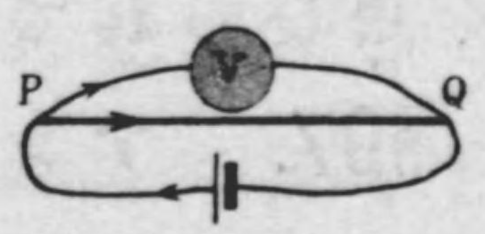


圖97.3 ボルトメーターの原理を説明す

❸以上は直流用のメーターで,交流に對しては

役に立たない．交流用のメーターとしては電流の方向に無關係な熱作用を利用したものがある．又交流の通るコイルが鐵片を吸引する作用も電流の方向に無關係であるから,之を利用した**吸込式**(圖97.4)のメーターもある．


圖97.4 吸込式のメーター

§98. **オシログラフ** 磁極間を往復して相並ぶA,B(圖98.1)線に矢の方向の直流が通ると,Aは後にBは前に動かんとする．故に之に小さい鏡mをつけておくと,之から反射する光が電流の強さに應じて一方にふれる．電流の方向が逆になると,ふれの方向も逆になる．そこで方向と大きさの常に變化する電流(交流は其の代表的のものである)が之に通ると,鏡から反射する光のふれも常に變化するから,之によつてフィルム上に其の變化の様子を曲線として描かしめ得る．かゝる裝置を**オシログラフ**といふ．

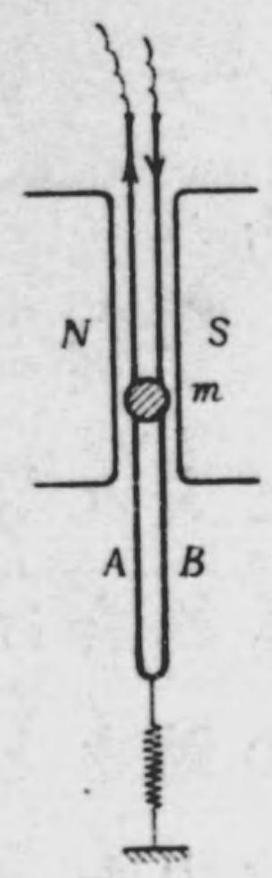


圖98.1 オシログラフ

第六篇　釣合ふ力

第一章　力の釣合

§99. 平行でない力　三力 P, Q, R が釣合ふとき，(圖 99.1) 例へば二力 P, Q の代りに R と等反な一力 Z を以つてしても釣合は破れないから，P, Q の働きは Z の働きと等しい．かく二力と全く働きの等しい一力を元の二力の**合力**といふ．

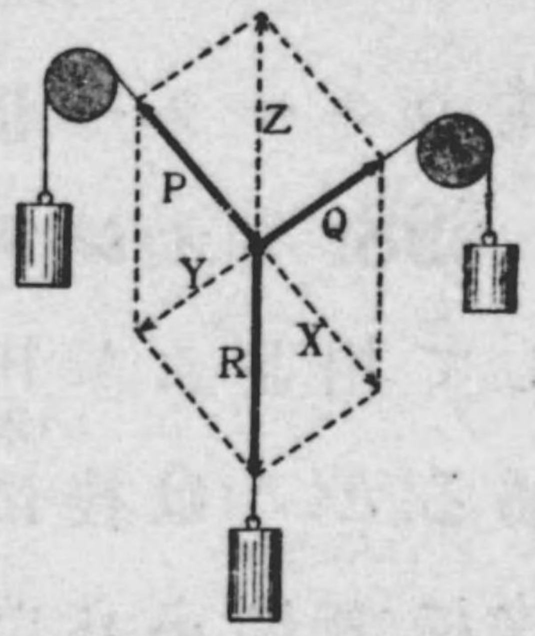


圖 99.1　力の合成分解

又例へば一力 R の代りに，P, Q と夫々等反な X, Y を以つてしても釣合は破れないから，R の働きは X, Y なる二力の働きと等しい．かく一力と全く働きの等しい二力を元の力の**分力**といふ．

偖 P, Q, R の大きさと方向とを表はす直線を引くと，どの二力を邊として平行四邊形を作るも，其の間の對角線は他の一力と等反である．從つて，

(甲)平行四邊形の	二つの相隣る邊で二力をあらはすと， 其の間の對角線はその合力を表はす．

(乙)平行四邊形の	二つの相隣る邊で二分力を表はすと， 其の間の對角線は元の一力を表はす．

之を**平行四邊形の法則**といひ，便宜上(甲)を**合成法**，(乙)を**分解法**と稱する．

分力は元の力よりも小さいとは限らない．例へば桿 C を R (圖 99.2) の力で引き上げるとその二分力は OA, OB の方向に働いてずつと大きくなり，從つて車のブレーキがよくきく．

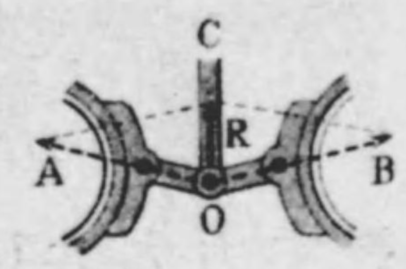


圖 99.2　元の力よりも大きい分力


圖 99.3　ぴんと張つた綱は切れ易い

【問】 圖 99.3 のやうにぴんと張つた綱に物體を懸けるとき綱の切れ易いのは何故か．

【注意】　本章で取扱ふ力の釣合は適宜分解法又は合成法の一方によつてあるから諸君はよろしく其の他方での取扱ひを練習せねばならぬ．

§100. 固體面の壓力と摩擦力　固體の面を押す際，面が完全に滑かな時は面に直角の方向への(圖 100.1) み反作用を生じ，面が粗い時は斜の方向へも反作用(圖 100.2)を生ずる．これらの作用と反作用とを面に直

角と平行との二分力に分けて考へる時,直角な分力は面間の**壓力**であり,平行な分力は**摩擦力**と呼ばれる. 實驗の結果によると,

圖 100.1　滑かな面

圖 100.2　粗い面

> 固體面の壓力は押す力と共に限りなく増すが,(面がこはれない限り)
> 摩擦力には一定の限度即ち**最大摩擦力**がある.

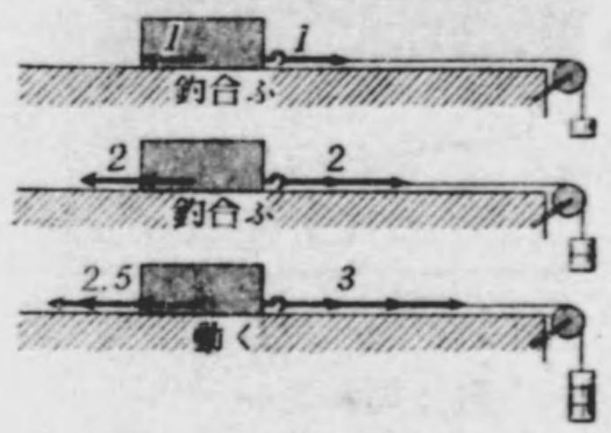


圖 100.3　最大摩擦力2.5の場合

例へば,分銅を次第に増して,物體を(圖100.3)次第に強く引くと,初めは動かないが,遂には動く. 之れ初めは引く力が増すにつれて摩擦力も増して釣合ふが,遂には摩擦力が最大値に達し,引く力がそれよりも大きくなつたからである.

尙實驗の結果によると,

> **最大摩擦力**(F)は
> (1) 接觸面の**種類**によつて異なり,
> (2) 接觸面の**全壓力**(P)に正比例し,
> (2) 接觸面の**面積**に無關係である.

即ち,　　$E=kP$ ……………………(式 100.1)

こゝに k は(1)の關係を表はす常數で,接觸面の**摩擦係數**といふ. 未だ最大値に達しない摩擦力については勿論式100.1の關係は成立しない.

氷や雪の面は摩擦係數(從つて最大摩擦力)が小さくて,スケート(圖100.4)やスキー(圖100.5)に適するが,歩むには適しない. 故に


圖 100.5　スキー

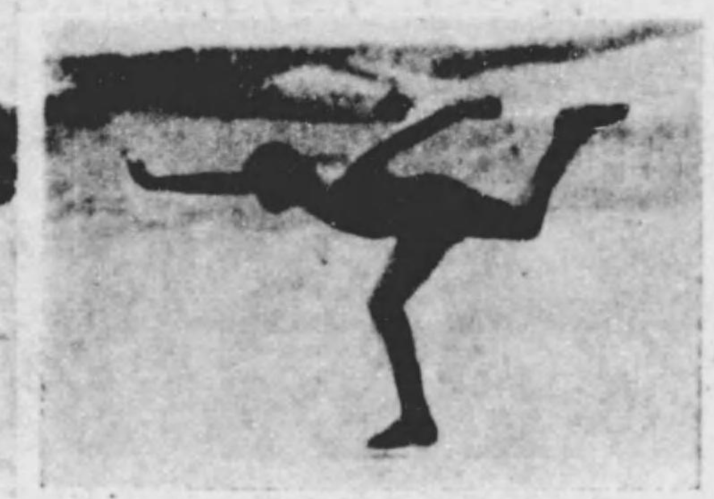


圖 100.4　スケート

寒國で路面が凍ると砂をまき,自動車のタイヤーなどには鎖をはめる. 機關車の車輪が空廻りするときもレールに砂をまく. 車輪にブレーキをかけ,調革で動力を傳へるなども摩擦の利用である.

面の摩擦係數を減ずるには,油·蠟·石墨などを塗る.

【問1】 棒をゆるく握ると滑り落ちるが,强く握ると落ちないのは何故か.

【問2】 水平においた板の上に10瓩の物體をのせ2瓩重の力で水平に引いて動かし得た. 今更に8瓩の物體を加へると,今度は何瓩重の力で引き動かし得るか.

§101. 斜面(其の一) 水平面上の物體は,面の粗滑(圖101.1,甲)

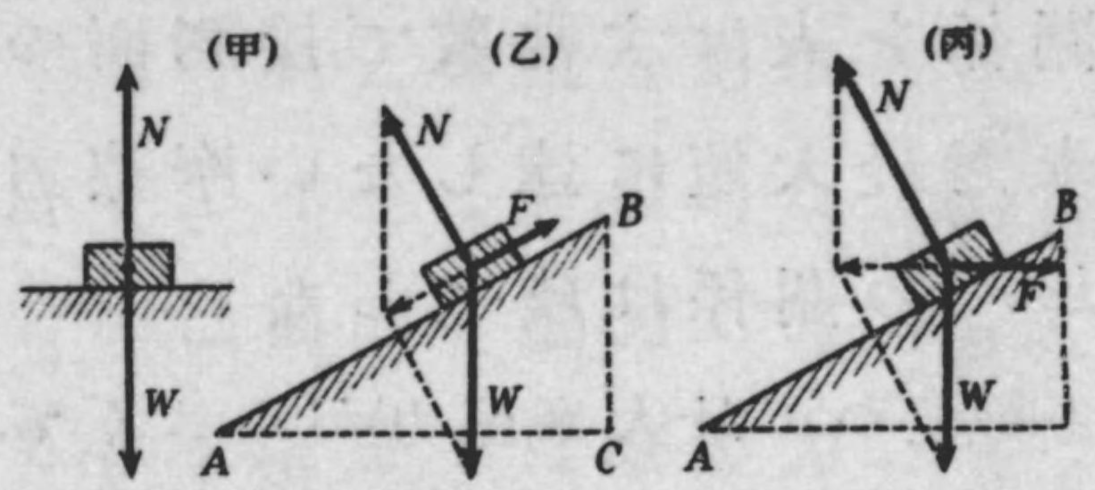


圖 101.1 平面と斜面との上で釣合ふ物體

に拘らず,重力 W と面の壓力 N とを受けて釣合ふ. 此の面が僅かでも傾く(圖 101.1 乙)(圖110.2)と, W と N とは面に沿ふ合力を生ずるから,面が滑かなときは滑り落ちる. 之を支へるため面に沿うて加ふべき力を F とすると,次の關係がある.

圖 101.2 子供の遊ぶ滑り臺

$$F=\frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}W \cdots\cdots\cdots\cdots(式 101.1)$$

故に斜面の勾配 $\frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}$ の小さい程小さい力で支へ得る. 面が粗い時は摩擦力が此の F の代りをする. 若し水平な力(F)で支へる(圖 101,1 丙)と,次の關係がある.

$$F=\frac{\overline{BC}}{\overline{AC}}W \cdots\cdots\cdots\cdots(式 101.2)$$

【問1】 式 101.1, 2 の關係を W を分力に分解する方法によつて出せ.

【問2】 摩擦ある斜面上に靜止する物體に働く力を圖示し,斜面の傾きを小さくして遂に水平になるまでに此等の力の大きさの變化する有様を説明せよ.

第二章 力の能率の釣合

102. 平行な力 輕い棒の中點O(圖 102,1)をゼンマイ秤で支へ,重さが P の分銅をOにかけると秤は P に等しいだけ彈力を増して棒は釣合ふ. 然し,Pを A にかけると棒は廻つて釣合はないが,之れと同時に重さが Q の分銅を B にかけると釣合ふ. 此の時ゼンマイ秤が上に引く力 R を其の目盛で讀み,且つ $\overline{OA}$, $\overline{OB}$ の距離を測ると, P,Q,R なる平行な三力の釣合に關して,

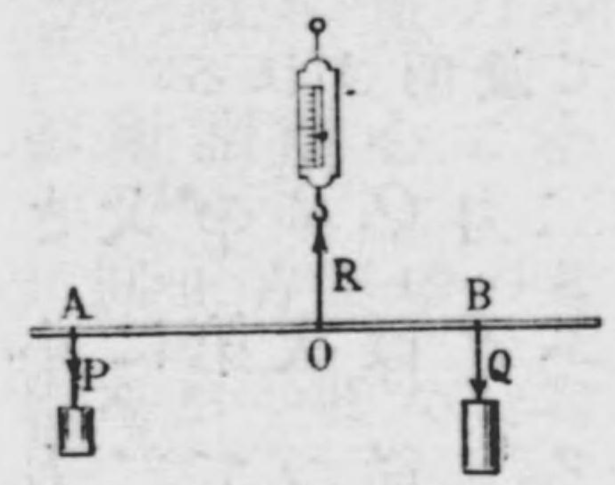


圖 102.1 平行力の釣合

$$R=P+Q \cdots\cdots\cdots\cdots(式 102.1)$$

$$\overline{OA}\cdot P=\overline{OB}\cdot Q \cdots\cdots\cdots\cdots(式 102.2)$$

なる二つの關係がある. そこで §99 の場合と同様な考へ方によつて P と Q との合力を求めると,

> A,B に働く同じ向きの平行二力の合力の
> (1)**大きさ**はもとの二力を加へた和に等しく,
> (2)**向き**は元の二力と同じく且つ平行であり,
> (3)**働く點** O は AB を二力の反比に内分する.

又 Q と R との合力を求めると,

B, O に働く逆の向きの平行二力の合力の
(1) **大きさ** は大力より小力を引いた差に等しく,
(2) **向き** は大きい力と同じくて且つ平行であり,
(3) **働く點** A は BO 間を二力の反比に外分する.

合力の大きさに關する和の關係は式102.1より直に分り,差の關係は之を $P=R-Q$ の如く變形して證明される. 又働く點に關する内分關係は式102.2より直に $\frac{\overline{OB}}{\overline{OA}}=\frac{P}{Q}$ として證明され,外分關係はこの兩邊に夫々1を加へて, $\frac{\overline{OB}+\overline{OA}}{\overline{OA}}=\frac{P+Q}{Q}$ 或は $\frac{\overline{AB}}{\overline{OA}}=\frac{R}{Q}$ として證明される.

§103. 偶力

向きの逆な平行二力 Q, R の大きさが次第に接近すると,之に釣合ふ P は次第に小さくなり,働く點は次第に遠ざかる. 從つて二力 (圖 103.1) の大きさが等しくなると,此の二力と同等な一力は存在しない. かゝる一對の二力を **偶力** といひ,時計のネヂをかける時,錐をもむ時,自働車のハンドルを廻す時などに働く力は之に屬する.

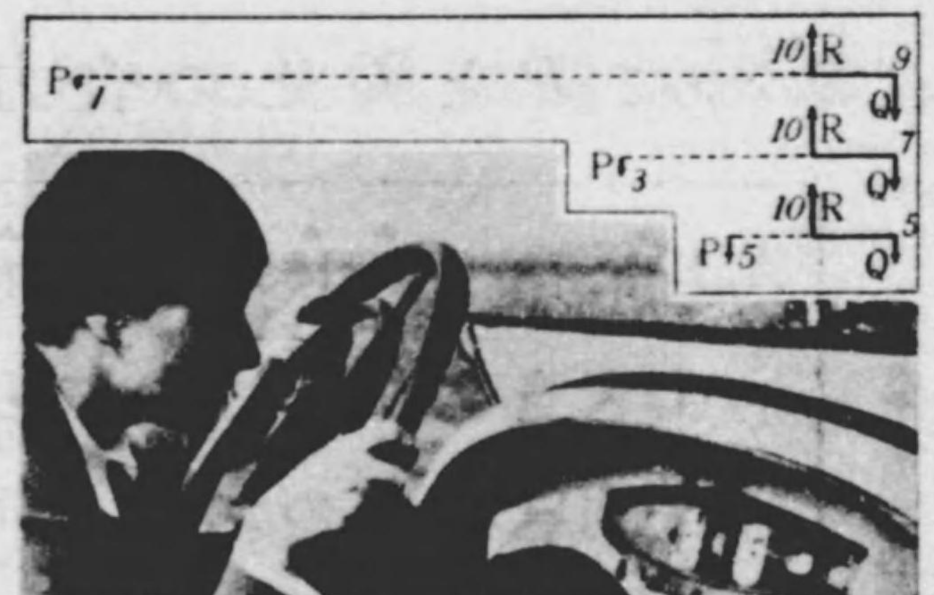


圖 103.1　偶力の説明と實例

§104. 重心

物體を絲で吊る (圖 104.1, 甲) と絲の張力と物體の各部に働く重力 (多くの平行力) とが釣合ふ. 從つて重力の合力は絲の張力と等反であり,其の働く點は何處にあるか分らぬが,絲の方向線上にあることは明かである. そこで物體を色々の點で吊つた時 (圖 104.1, 乙, 丙) の絲の方向を物體上に記して見ると,これらは皆一定點 G で交はる. 故に重力の合力は此の點に働く. かゝる點が所謂 **重心** である.

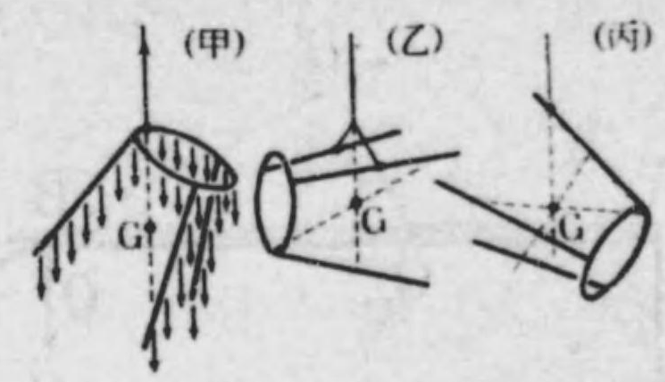


圖 104.1　重心を求む

圓·正方形球の様な規則正しい形の物體で,其の各部の密度が一様な時は重心は幾何學的の中心と一致する. 然し密度が一様でない時は密度の大きい方に偏する.

§105. 力の能率

❶棒で柿をおさへ落すは困難であるが (圖 105.1, 甲),之をつき落すは容易である (圖 105.1, 乙). 即ち横に押し廻す力の働きは棒の先まで傳はると,餘程小さくなるらしい. 一體圖102.1の實驗で見た様に,O に固定軸のある棒を廻す力の働きは,力の大きさのみできまらな

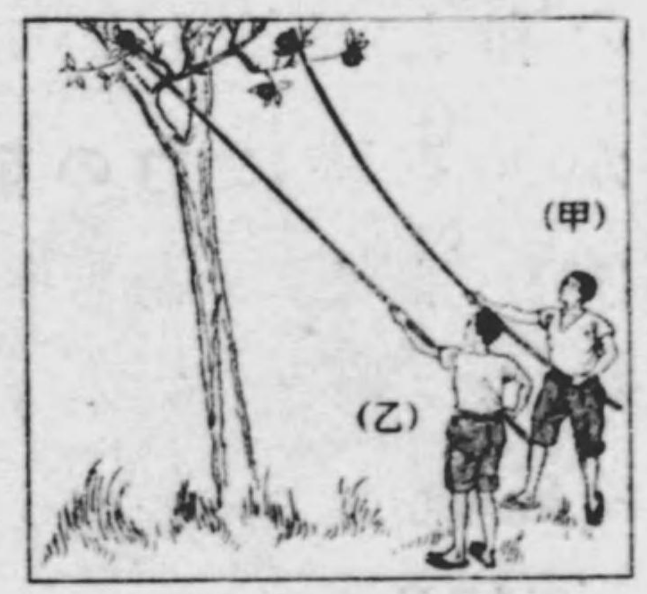


圖 105.1　柿を落す二つの方法

いて,軸からの距離に關係し,式102.2の關係あるときPと

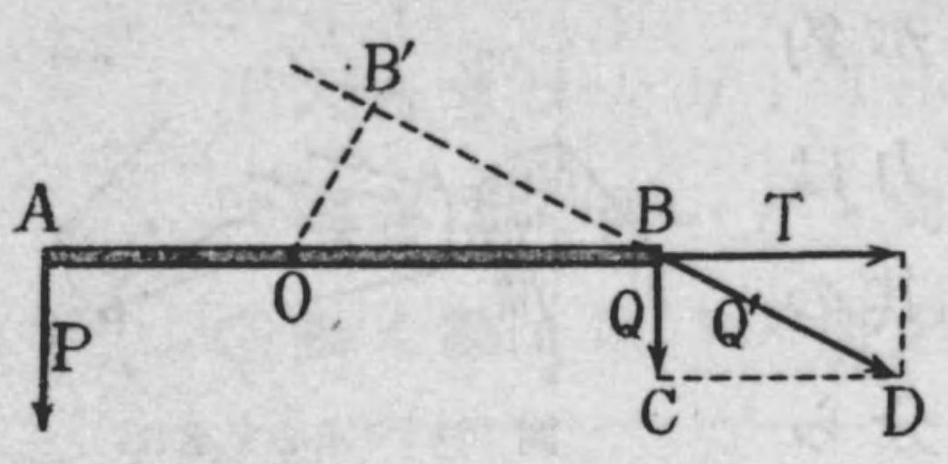


圖105.2 力の能率

Qが釣合ふ. この時BにOBの方向の力Tを加へ(圖105.2)ても,Tには棒を廻す働きがないから釣合は破れない. つまり,BにQとTとの合力Q'を加へても之はPと釣合ふ. 故に廻轉に關してはQとQ'とは同等である. 今OからQ'の方向に垂線OB'を下すと△OBB'∽△BDC なる故,

$$\frac{\overline{OB'}}{\overline{OB}}=\frac{\overline{BC}}{\overline{BD}}=\frac{Q}{Q'} \quad \text{或は} \quad \overline{OB}\cdot Q=\overline{OB'}Q' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(105.1)$$

一般に二力が廻轉に對して同等であると,力の大きさと廻轉軸から力の方向へ下した垂線の長さとの積は相等しく,其の逆も眞である. そして此の積を**力の能率**,垂線の長さを**能率の臂**といふ.

❷右廻りの力の能率の和と,左廻りの力の能率の和とが等しい時は物體は廻轉に對して釣合ふ. かゝる時に**力の能率が釣合ふ**といふ.

【問】 輪軸狀の絲巻に絲を巻き,之を机上において絲を引くとき,圖105.3の方向に引くと,何れに廻轉するか. 又如何なる方向に引けば廻轉しないか.


圖105.3

§106. 斜面(其の二)

車の中心MにFの力を加

へて之を粗い斜面上に轉がし上げるときは車はOを中心とし廻轉するから, $\overline{OM}\cdot F=\overline{OL}\cdot W$ であれば釣合ふ. 然るに, $\frac{\overline{OL}}{\overline{OM}}=\frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}$ であるから,上式は

$$F=\frac{BC}{AB}W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}106.1)$$

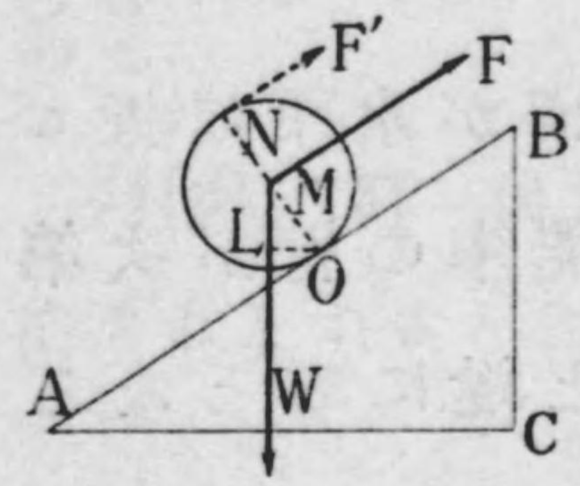


圖106.1 斜面の第二の使ひ方

となり,滑かな斜面上に物體を滑らし上げる時と同じ關係になる.(式101.1) 此の場合摩擦力は車のO點に働くが,之は無論Oを廻轉軸とするだけの働きをする.

又F'の力をN點に加へて轉がし上げるときは,

$$\overline{ON}\cdot F=\overline{OL}\cdot W, \qquad \frac{OL}{ON}=\frac{OL}{2\cdot OM}=\frac{1}{2}\cdot\frac{BC}{AB}$$

$$F'=\frac{1}{2}\cdot\frac{BC}{AB}\cdot W \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}106.2)$$

となるから前の場合の半分の力で足る.

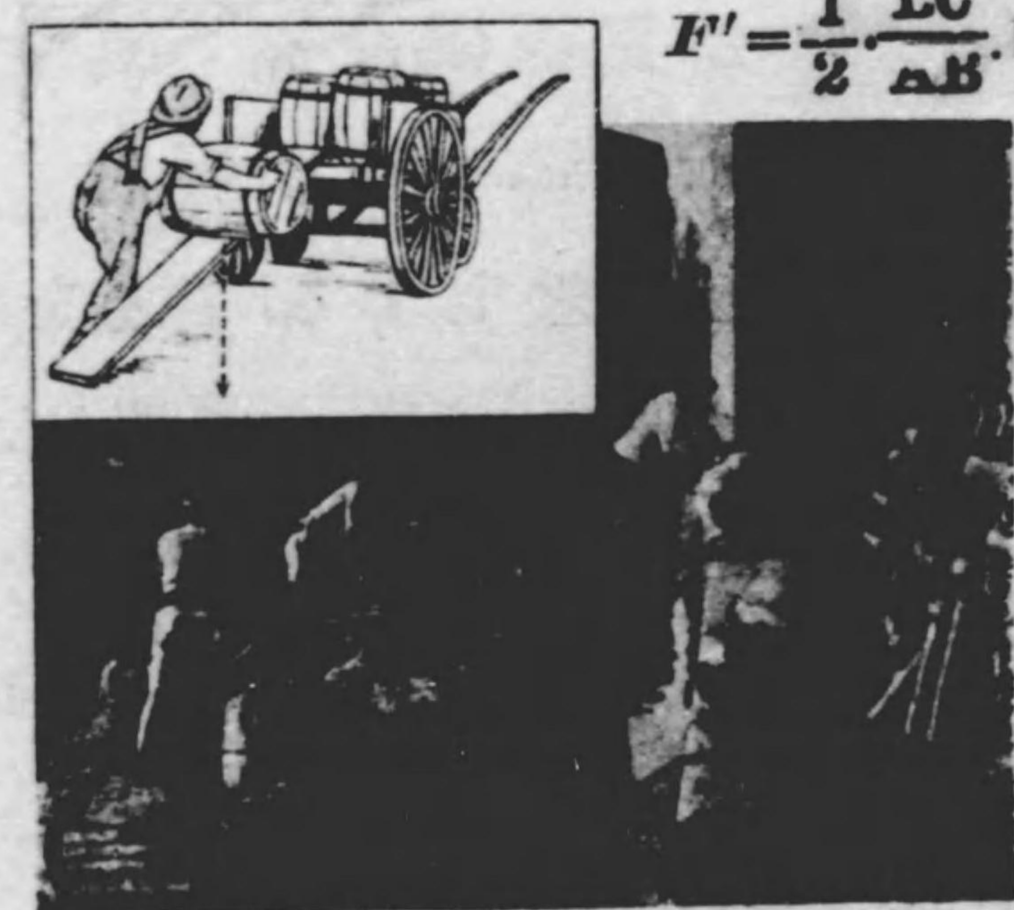


圖106.2 斜面の第二の使ひ方の實例


圖106.3 地面にめ入り込んだ車輪

【問1】 圖106.2の様にして粗い斜面に樽を轉がして上げると,引きずり上げるよりも二つの點で利益がある. 之を說明せよ.

【問2】 地面にめ入り込んだ車輪を動かすに圖106.3の如くする理を問ふ.

§107. コロ

圖106.1に於て斜面が水平に近づくと,車を逆に廻さんとする力の能率の臂が次第に小さくなり,完全に水平になると遂に零となるから,轉がすに少しも力を要しないことになる. 圖107.1の様に用ふるコロは此の場合に當る. 然し下の面やコロが多少窪む(圖107.2,甲)と,廻轉軸となる點(O)が重力の方向より少し前に出て逆な廻轉能率を生ずる. 之を**廻轉の摩擦**といふ. 從つて路面が硬くして平かなときは,廻轉の摩擦が小さく,砂利を敷く(圖107.2,乙)と大きくなる. 金屬上を金屬の球又は圓柱が轉がるときの廻轉の摩擦は頗る小さい.

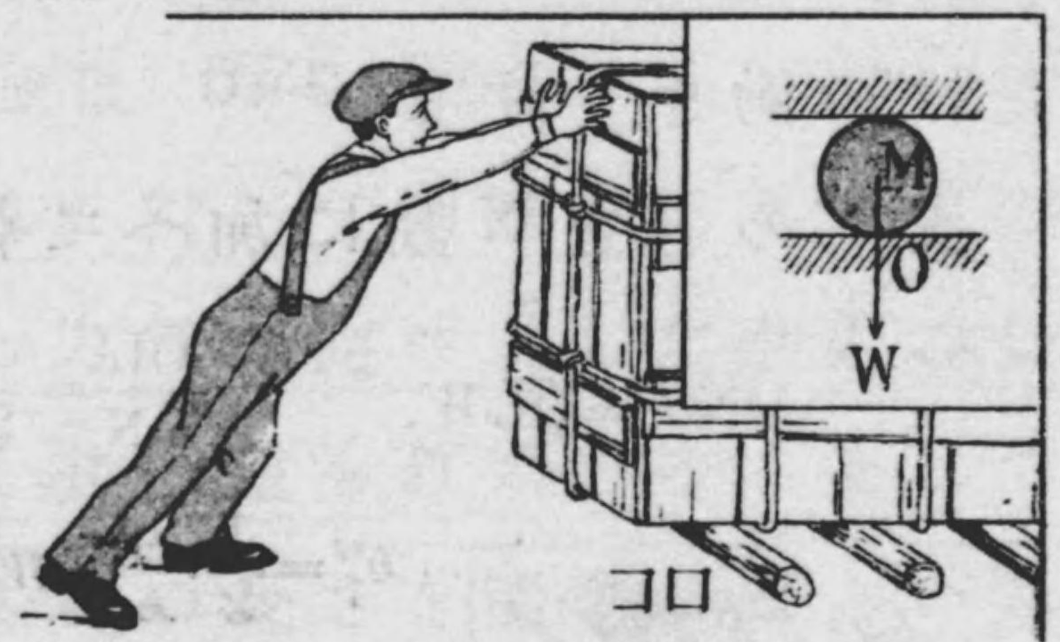


圖107.1 コロの使用

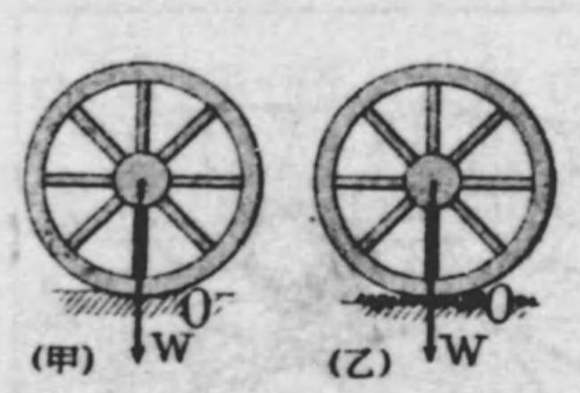


圖107.2 廻轉の摩擦

自動車・自轉車の軸と軸承との(圖107.3)間に鋼鐵製の球又は圓柱を入れるのは之を利用したものである.

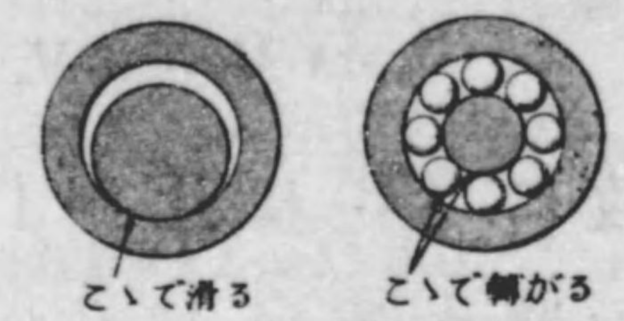


圖107.3 軸承と軸

§108. 秤

圖102.1に於て, P,Q を夫々質量 M,M_0 に働く重力とすると,式102.2 $\overline{OA}\cdot P=\overline{OB}\cdot Q$ は

$$\overline{OA}\cdot M=\overline{OB}\cdot M_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}108.1)$$

としてもよい. 故に $\overline{OA}, \overline{OB}$ を測り,更に質量 M_0 を知れば,質量 M を求め得る. 諸種の秤は此の理によつて物體の質量を測る裝置である.

天秤(圖108.1,甲)の兩臂の長さは相等しいから,

$$\overline{OA}=\overline{OB} \qquad \therefore \ \boldsymbol{M=M_0} \quad \cdots\cdots\cdots(\text{式}108.2)$$

であつて分銅の質量 M_0 から直に M が分る.

桿秤(圖108.1,乙)の皿に物體をのせない時,質量 M_0 の分銅をCにおいて桿が水平になり,次に皿に質量 M の物體をのせ分銅をBに移して桿が水平になつたとすると,左右の增した能率は相等しいから,

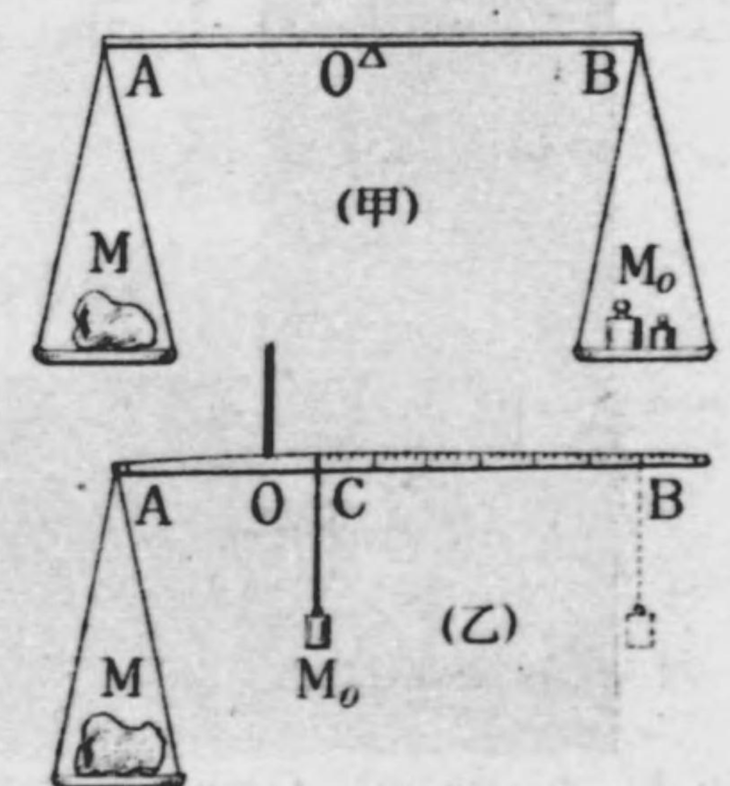


圖108.1 天秤と桿秤

$$\overline{OA}\cdot M=\overline{CB}\cdot M_0 \quad \therefore \quad M=\frac{M_0}{\overline{OA}}\cdot\overline{CB} \quad \text{……(式 108.3)}$$

故に $\overline{CB}$ に比例して目盛をしておくと之で直に物體の質量 M が分る.
($\overline{OB}$でないことを注意せよ.)

【問】 桿秤に於て同じ質量に對する一目盛の長さを成るべく大きくせんにはどうしたらよいか.

§109. 物體の釣合 物體の釣合に關しては,廻轉に關する場合と移動に關する場合とがある.

(I) 廻轉に關する釣合 此の場合物體を支へるに次の三つの場合が考へられる.

一つの點で支へる場合		……(甲)
多くの點で支へる場合	點が一直線上にある場合	(乙)
	點が一直線上にない場合	(丙)


圖 109.1 安定な釣合


圖 109.2 安定な釣合

(甲)(乙)の場合については次の三通りがある.

(i)少し傾けると重力の能率は之を戻す樣に働く場合で,釣合は**安定**である. (圖 109.1, 2)

(ii)少し傾けると重力の能率は之を益々傾ける樣に働く場合で釣合は**不安定**である. (圖 109.3)

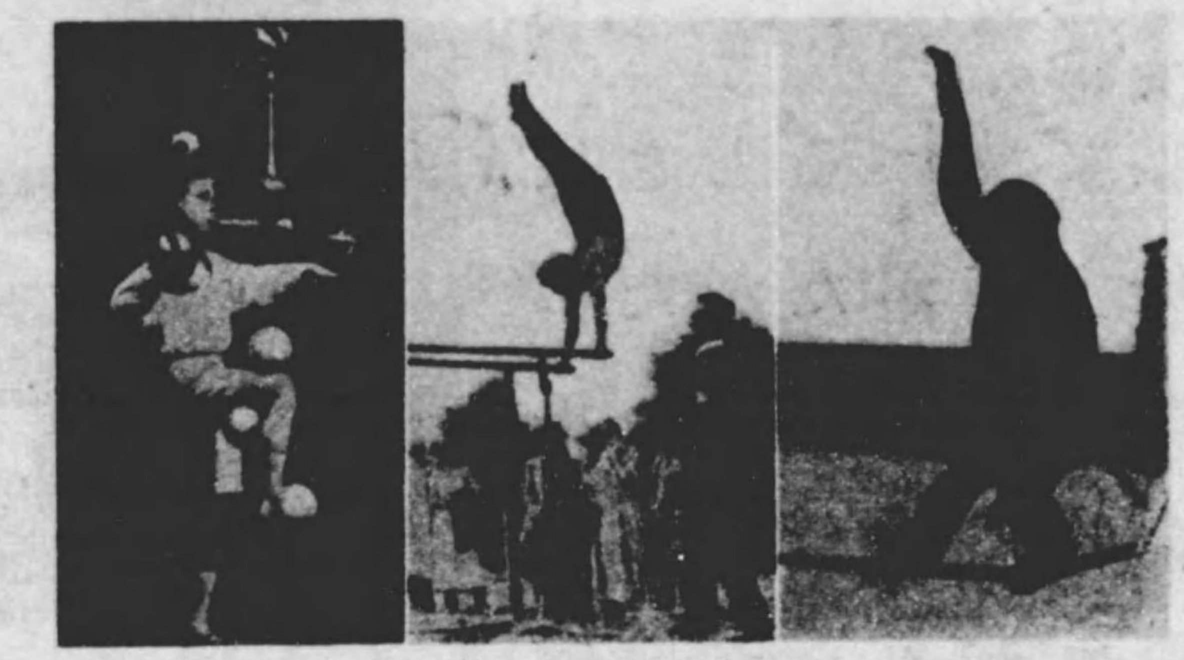


圖 109.3 不安定な釣合

(iii)いくら傾けても重力の能率は常に零である場合で,釣合は**中立**である. (圖 109.4)

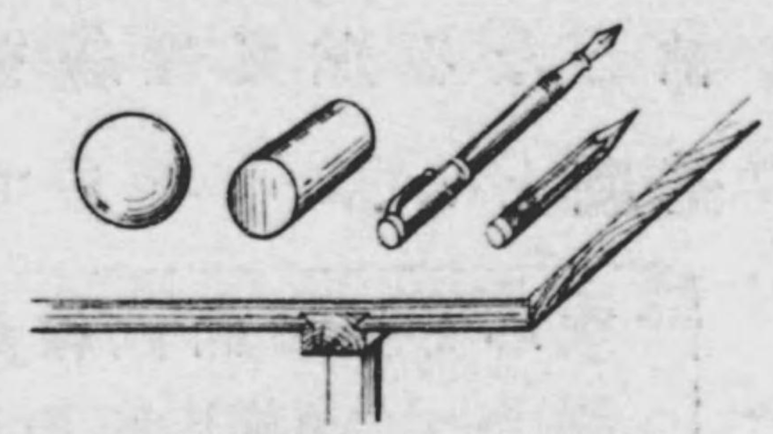
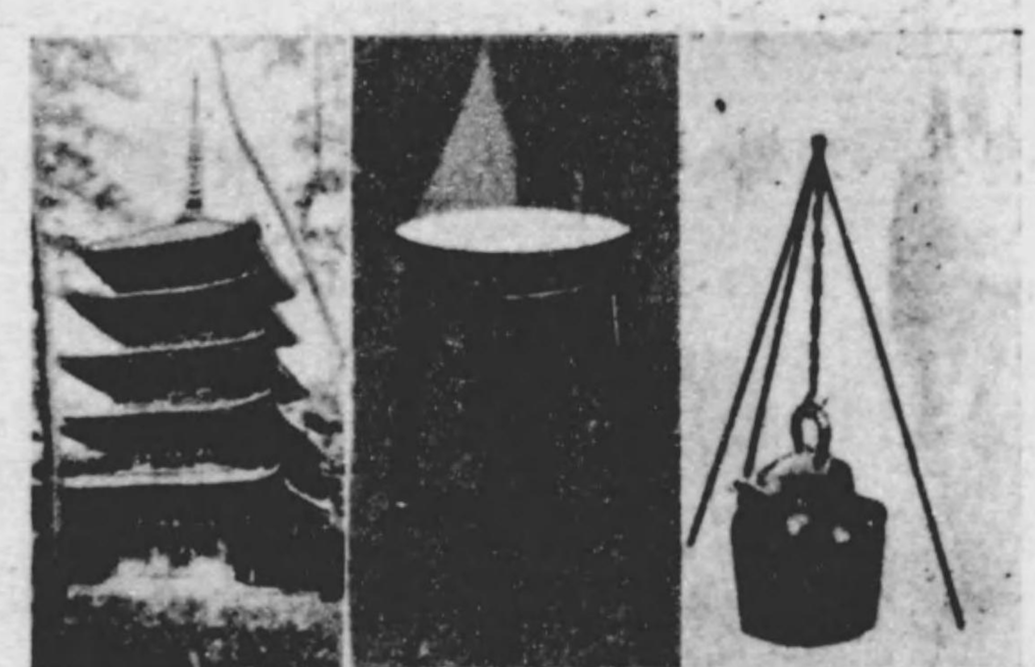


圖 109.4 中立の釣合

中立の釣合は不安定の釣合と同樣に實用上便利が惡い. 鉛筆を六角形にするのは中立の釣合を安定の釣合にかへる手段である.


面で支へる　四點で支へる　三點で支へる
圖 109.5 安定な釣合

(丙)の場合には三點又は四點で支へ

られることも多いが,普通は無數の點で支へられる.(圖109.5) 三點で支へるときは決してがたがたしない. これらの場合,物體が色々の方向に傾くとき廻轉の軸となる點又は線を結び付けて得る面を物體の**基底**といふ. そして,

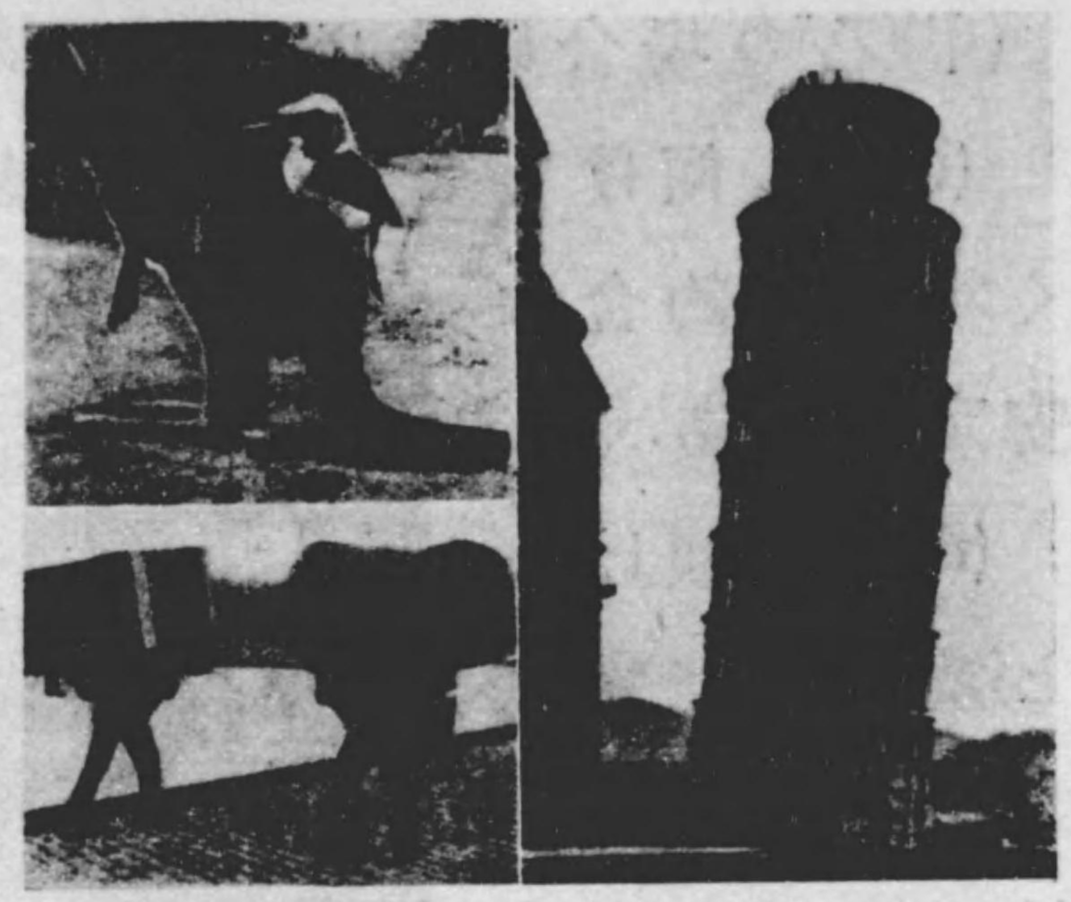


圖 109.6 重心を通る鉛直線が基底内を通る

重心を通る鉛直線が,基底を通ると轉ばない.(圖109.6)

そして (1)基底の廣い程,(2)重心の低い程,(3)物體の重い程, その安定度が高い.

上述のすべての場合について物體を傾ける際の重心の昇り降りを吟味すると,

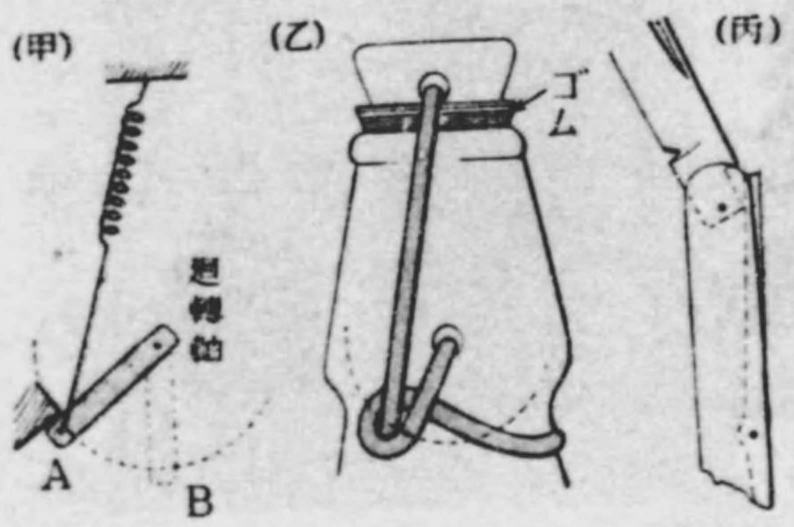


圖 109.7 彈力による安定・不安定

一般に重心は,
安定の釣合ではたかく昇り,
不安定の釣合では低く降り,
中立の釣合では昇降しない.

尙重力の代りに彈力が釣合の安定・不安定を左右する場合がある. 圖109.7,甲に於て棒がAにあると安定で,Bにあると不安定である. これが實例はナイフの開閉裝置や瓶の栓の止金に於て見られる.(圖109.7,乙,丙)

【問1】 起き上り小法師の起き上る理由を問ふ.

【問2】 車に荷を積むとき重きものを下に積むは何故か.

(II)移動に關する釣合 粗い水平な机面にある物體に面に沿ふ力が働くとき,それが最大摩擦より小なる限り,其の力は面の摩擦力と釣合つて物體は釣合を保つ. 例へばこの机面を僅に傾けると重力と面の壓力との合力が面に沿うて物體をすべり落ちしめんとするが,直に摩擦力が働いて之を支へる. 然し氷の面の如く最大摩擦力が小さい時は物體は極めてすべり易い. 之によつて摩擦力は物體の移動に關する釣合を安定ならしめる重要な働きのあることが分る.

§110. 浮體の釣合 液面に靜止する浮體に働く重力(W)と浮力(B)とは同一直線上にあつて釣合ふ(圖110.1,甲)が,浮體が少し傾くと重力(W)と浮力(B)とは同一直線上から外れて偶力をなす樣になる. 此の偶

力が浮體を元に戻す様な狀況にあれば釣合は安定であり,浮體を益々傾けんとする狀況にあれば釣合は不安定である. そして,

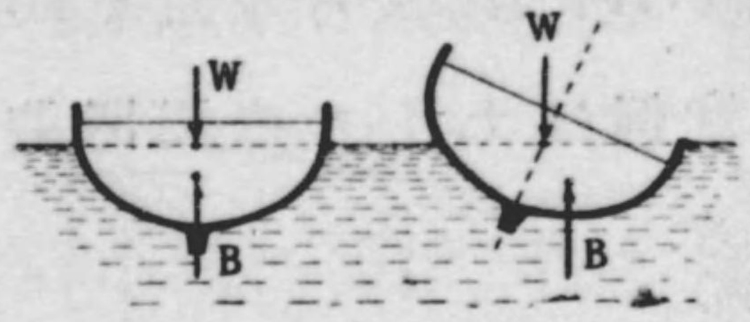


圖 110.2　釣合の安定な船

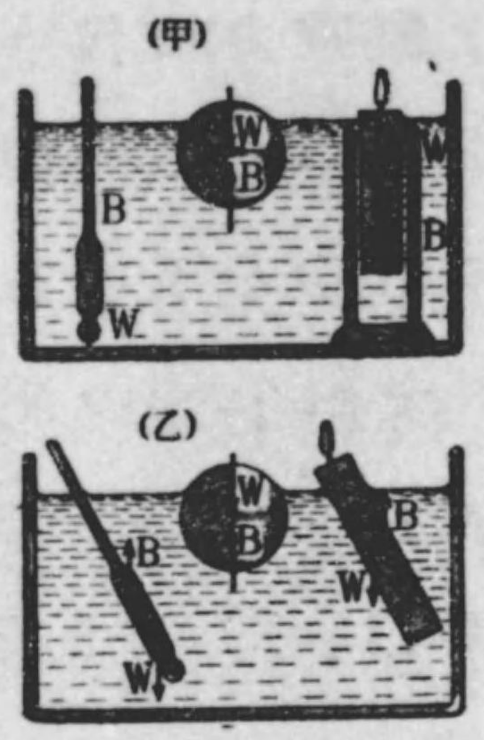


圖 110.1　浮體の釣合

(1)浮體の重心が低いほど
(2)浮力が傾く方に移る程
} 安定の狀況にあり易い.

故に船を造る時は其の形に注意し((2)の關係)(圖 110.2),荷を積むときは重いものを船底に入れる((1)の關係).

第三章　力の傳達

§111. 力の傳達　諸種の機械は力の大きさ及び方向の一方又は兩方を變化して傳達する裝置に外ならない. 次に之を既に學んだ諸種の實例について考へる.

(i)水壓器　圖 16.4 の水壓器は液體に於けるパスカルの原理を利用して下向きの小さい力を上

向きの大きい力として傳へるものである.

(ii)壓搾空氣で働く機械　圖 20.2 に示すが如き壓搾空氣によつて働く機械は空氣に於けるパスカルの原理を利用して壓搾ポンプに加へる力の大きさ方向をかへて自由に思ふ場所に傳へるものに外ならぬ.

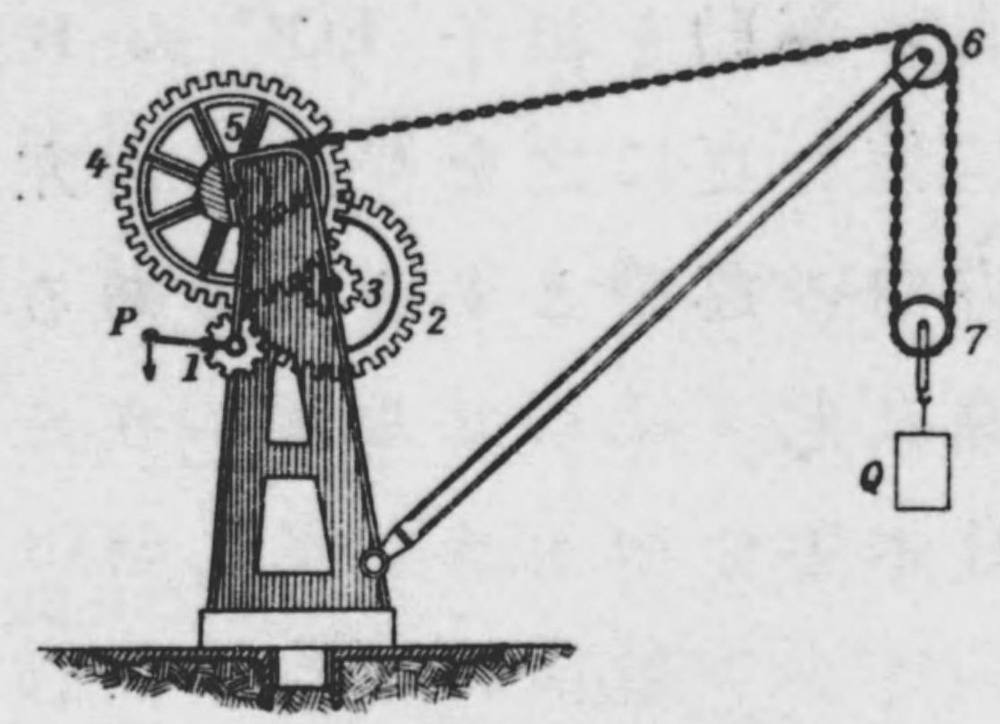


圖 111.1　輪軸と滑車の應用

(iii)滑車と輪軸(一般理科)　定滑車は力の方向のみを變へて傳達し,動滑車と輪軸は力の大きさ及び方向をかへて傳達するもので,調革や齒車は其の應用である.

【問】　圖 111.1 の P に加へた力が如何にして Q まで傳へられるかを說明せよ.

(iv)圖 99.2 の裝置　此の裝置は三力の釣合を利用して,上向きの小さい力を横向きの大きい力としてブレーキに加へるものである.

(v)梃子　梃子は力の大きさをかへて傳へる外

に尚方向をかへて傳へる. 圖111.2に於てはA點の上下の方向の運動を梃子 BOC のB點に傳へ,更に之をC點の右左の方向の運動とするのである.

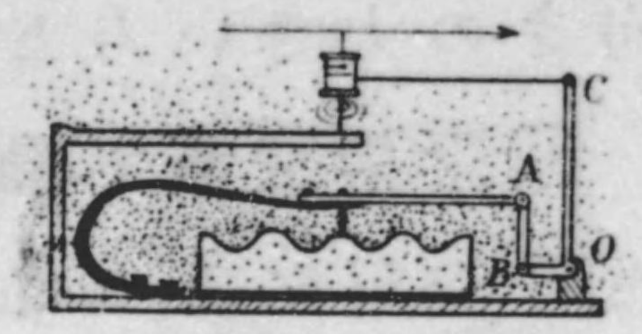


圖 111.2　梃子の一應用

第七篇　物體の運動

第一章　速度及び加速度

§112.　速さと速度　物體が動くとき,其の位置が時と共に變る割合を,その速さといふ. 速さを表はすには, 100米を10秒(圖112.1)で走つたといつても分るが,物理學では單位時間中に進む距離で,その速さを表はす. 從つて上の例では, $\frac{100米}{10秒}=10\frac{米}{秒}$で速さを表はし,10を其の數値, $\frac{米}{秒}$を其の單位とする. 一般に t 時間内に s の距離だけ進むと,其の速さ v は次式で表はされる.

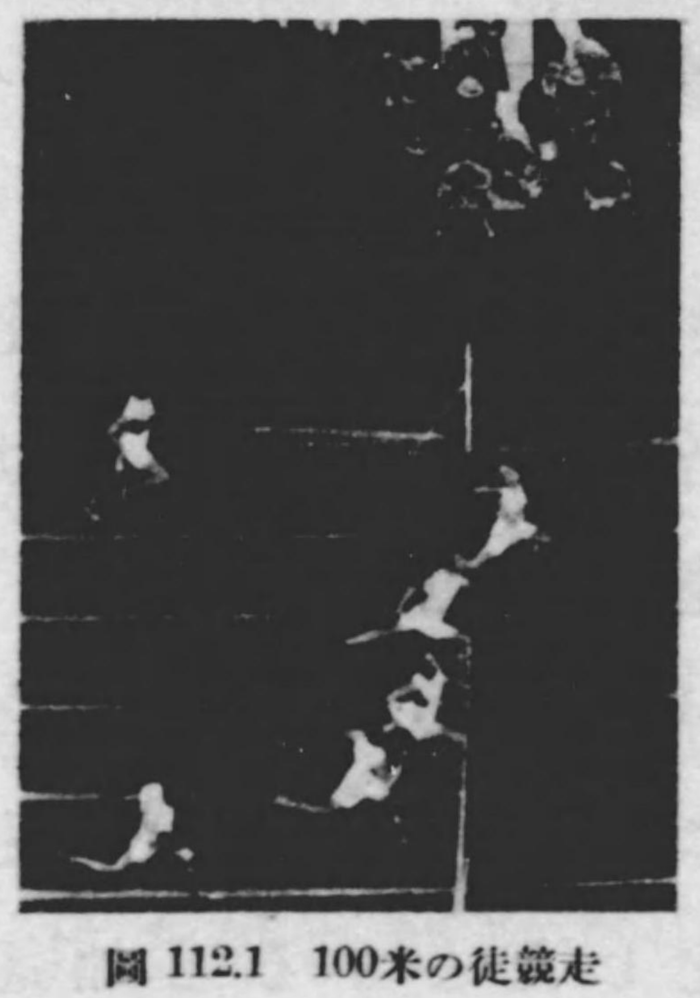


圖 112.1　100米の徒競走

$$v=\frac{s}{t}\quad 速さ=\frac{距離}{時間}\cdots(式112.1)$$

運動には速さの外に方向があるから,兩者を併せ考へたものを速度と稱して速さと區別する.

§113.　運動及び速度の合成　白墨を持つ手を縱に振りながら黑板の前を橫に通ると,縱・橫の二

つの運動が組合つて波形の線を描く．此の場合微部分 AD について考へると，此の間に手は縱に AC だけ，横に AB だけ動いて居る．

圖 113.1　運動の合成分解

一般に一様な速さで，AB, AC の運動を同時にすると，其の結果は AB, AC で作る平行四邊形の對角線 AD で表はされる運動をしたことになる．そして，これに 1 秒を要したとすると，AB, AC, AD は何れも速度を表はすものと見てよい．從つて運動も速度も力と同じく平行四邊形の法則によつて合成分解し得る．

§114.　加速度　速度の大きさ・方向ともに變化しない運動を**等速度運動**，兩者の何れか一方又は兩方の變化する運動を**不等速度運動**といふ．

不等速度運動に於て速度が時と共に變る割合を**加速度**といふ．直線運動に於て，t 時間内に速度が一様な割合で v だけ變化したとすると，加速度 a は，

$$a=\frac{v}{t}\qquad \textbf{加速度}=\frac{\textbf{速度}}{\textbf{時間}}\cdots\cdots\cdots(\text{式 } 114.1)$$

で表される．例へば，5 秒間に速度が $100\frac{\text{糎}}{\text{秒}}$ だけ増すと，この時の加速度は $\frac{100\text{ 糎/秒}}{5\text{ 秒}}=20\frac{\text{糎}}{\text{秒・秒}}=20\frac{\text{糎}}{\text{秒}^2}$ で表され，20 は其の數値，$\frac{\text{糎}}{\text{秒・秒}}$ は其の單位である．

第二章　慣性と力

§115.　運動の法則　❶手中のボールが投げ出され，飛び來るボールが止められ或はバットで打ち返される際の如く一般に，
(圖 115.1)

圖 115.1　運動・靜止の狀態の變化

> 物體に力が働くと，運動・靜止の狀態が變る．

又斷崖上の岩は之を他から動かすものがない限り，何時迄もそこに立ち，走る車はブレーキをかけなければ海の中へでも飛び込むが如く，一般に
(圖 115.2)

> 物體に力が働かないと，運動・靜止の狀態は變らない．

この性質を**慣性**といふ．従つて慣性に反して物體の運動·靜止の狀態が變つて加速度を生じて居るときは力が働いて居るのである．そして一般に，

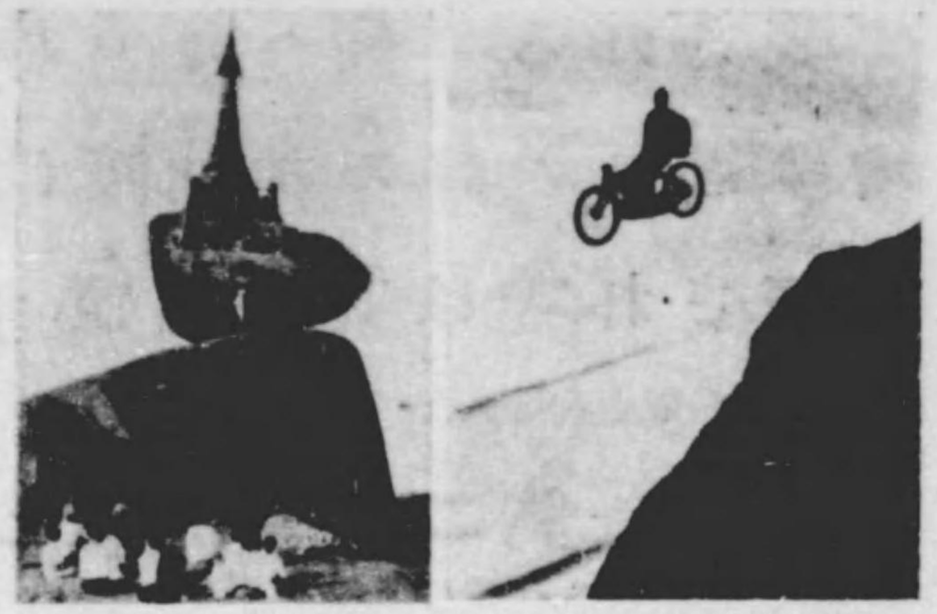


圖 115.2　運動·靜止の狀態の不變

> **加速度**の　方向は力の方向に等しく，
> 　　　　　　大きさ(a)は　(1) 加はる**力**(f)に比例し，
> 　　　　　　　　　　　　　(2) **質量**(m)に反比例する．

即ち，　$a=k\dfrac{f}{m}$　或は，　$ma=kf$ ……………(式115.1)

偖質量1瓦($m=1$瓦)の物體に働いて $1\dfrac{\text{糎}}{\text{秒}^2}$ の加速度$\left(a=1\dfrac{\text{糎}}{\text{秒}^2}\right)$を生ずる力を以つて力の**絶對單位**とし，之を***ダイン***($f=1$ダイン)と稱する．故に之を式115.1に代入すると，

$$1\text{瓦}\cdot 1\,\frac{\text{糎}}{\text{秒}^2}=k\cdot 1\,\text{ダイン}\qquad\therefore\quad k=1,\quad \text{ダイン}=\frac{\text{瓦糎}}{\text{秒}^2}$$

となる．従つて式115.1は次の様になる．

$$f=ma\qquad \underset{(\text{ダイン})}{\textbf{力}}=\underset{(\text{瓦})}{\textbf{質量}}\times\underset{(\text{糎}/\text{秒}^2)}{\textbf{加速度}}\ \cdots\cdots\text{(式115.2)}$$

これを**運動の法則**といふ．

❷ 式115.1中の力は運動·靜止の狀態を變へようとする量であり，質量は之を變へまいとする慣性を表はす量であるから，運動の法則の意味は，

$$\textbf{加速度}\left(\begin{array}{l}\text{運動・靜止の狀態の}\\\text{變化の度を表はす量}\end{array}\right)\propto\frac{\textbf{力}\left(\begin{array}{l}\text{運動・靜止の狀態を}\\\text{變へようとする量}\end{array}\right)}{\textbf{質量}\left(\begin{array}{l}\text{運動・靜止の狀態を}\\\text{變へまいとする量}\end{array}\right)}$$

である．故に質量が大きくて力が小さい程，加速度は小さく，従つて慣性の影響が著しく現はれる．

今庖丁の柄を石にうちつけると身が柄に深く入り込む．(圖115.3,甲) これ柄は石に衝突して急に止まるのに，身は身と木との間のさほど大きくない摩擦力のみを受けるから，(圖115.3,乙) その慣性のために容易に止まらないで，柄の中に入り込むのである．書物の下の新聞を急に引くとき新聞だけが引き出されるのは書物に働く摩擦(圖115.3,丙)力の小さいため書物が短時間中に新聞ほ

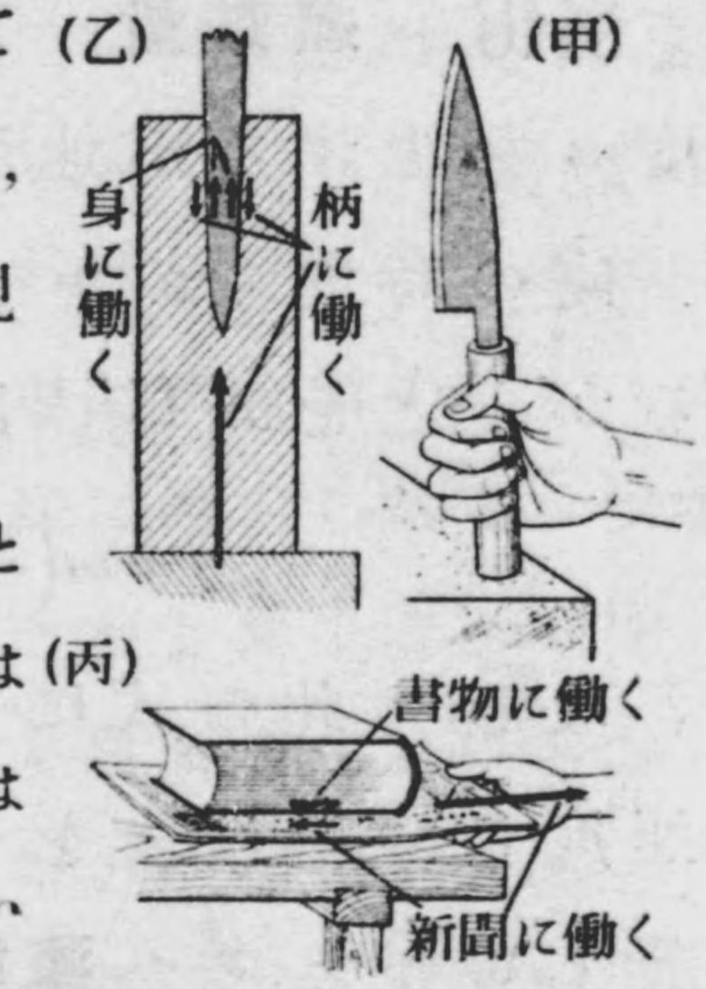


圖 115.3　慣性の影響

圖 115.4　乘馬が急に停る

どの速度を得ないからである．鉋の臺をうつて刄を拔き出し,柿の枝を振つて柿を落し,疊をたゝいて塵を去るなど皆慣性利用の實例である．又電車が急に動き出し,乘馬が急に止(圖115.4)まるときなどに人が倒れる現象も少し複雜ではあるが,結局慣性に基く現象である．

§116. 運動量 力が働くと式115.2による加速度 a を生ずるが,速度が v_0 から v になるまでには一定の時間 t がかゝる．このとき $a=\frac{v-v_0}{t}$ であるから,之を式115.2に代入すると,

$$f=m\left(\frac{v-v_0}{t}\right)=\frac{mv-mv_0}{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(式116.1)$$

となる．此の式に一團となつて表はれた質量と速度との積は,之を一つの新しい量と考へ**運動量**といふ．さうすると上式より次のことが分る．

> **力**は單位時間中の運動量の變化に等しい．

故に短い時間中に大なる運動量の變化が起る時は

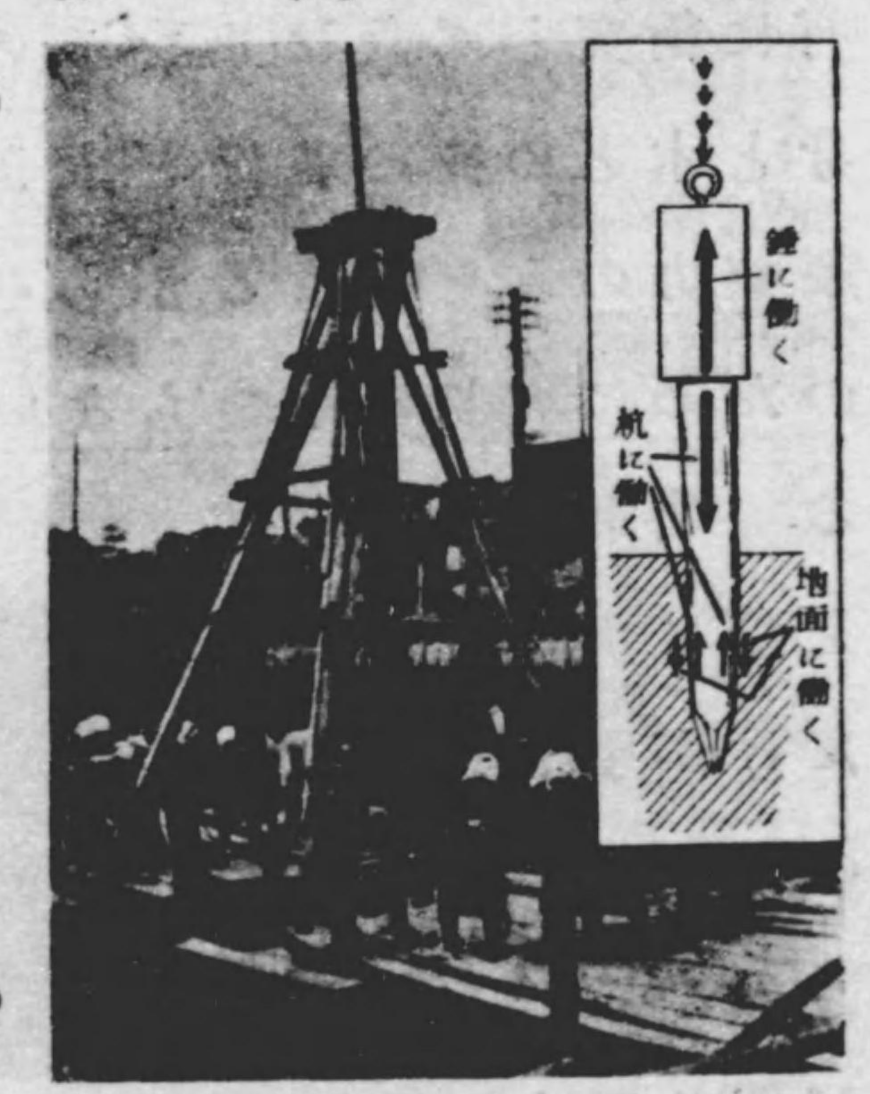


圖116.1 杭を打ち込む

大なる力が働く．

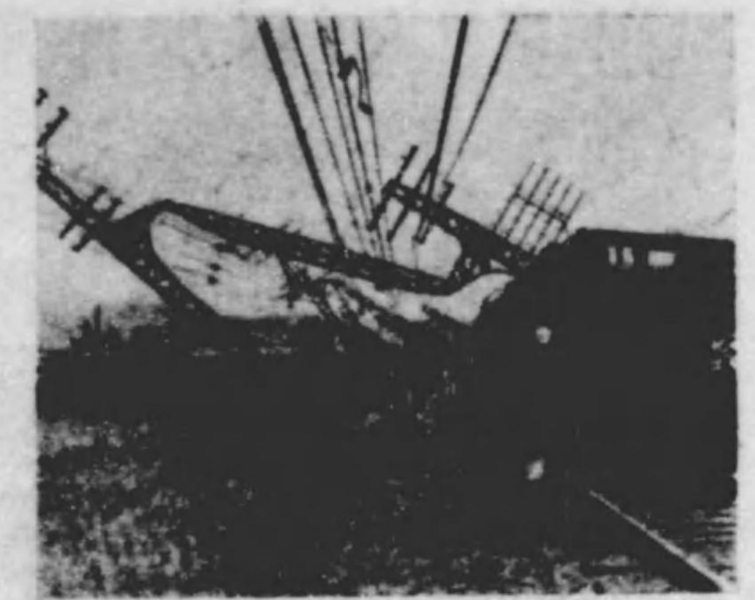


圖116.2 暴風の偉力

例へば,重い錘を高所に(圖116.1)引き上げ,落して杭に衝突させると,割合に短時間に其の大なる運動量を失ふから錘に大なる力が働く．そして其の反作用は杭に働き,杭を地面の抵抗にうち勝つてよく打ち込むのである．槌が釘をうち込み,暴風が電柱や電車を(圖116.2)吹き倒すなども之と全く同樣に說明し得る．又錘と杭とを一體と見て之を薪割(圖116.3)と考へ地面を薪と考へれば容易に薪割の際の力の關係が分る.*


圖116.3 薪割り

以上は小さい力を大きい力に變へる一方法とも見られる．

尙衝突や打擊の際は瞬間的に大なる運動量を失ふことが多いから,割合に大なる力が働き,器物を破壞することが多い．故に此の害を防ぐにはバネ・綿・鉋屑等を用ひて衝突の時間を長からしめる．

*薪に喰ひ込んだ薪割を薪と共に振り上げ,打ちおろして薪を割るときの作用は圖115.3,甲の庖丁の場合と全く等しい．

§117. 作用·反作用による運動

❶ 作用には必ず反作用を伴ふから作用のために一物體が運動狀態をかへると,必ず反作用のために運動狀態をかへる他の物體がある. 例へば鳥や龜が進めば(圖 117.1, 2)空氣や水が後方に動き,砲彈が飛び出ると砲身が後退する. 此の際兩物體の得る加速度は質量に反比例するから,質量の大きいものは殆んど動かない. 之れ馬が大地を蹴つて(圖 117.3)飛ぶにも拘らず大地が動かぬ理由である.

圖 117.1 空中を飛ぶ鳥

圖 117.2 水中を進む鳥と龜

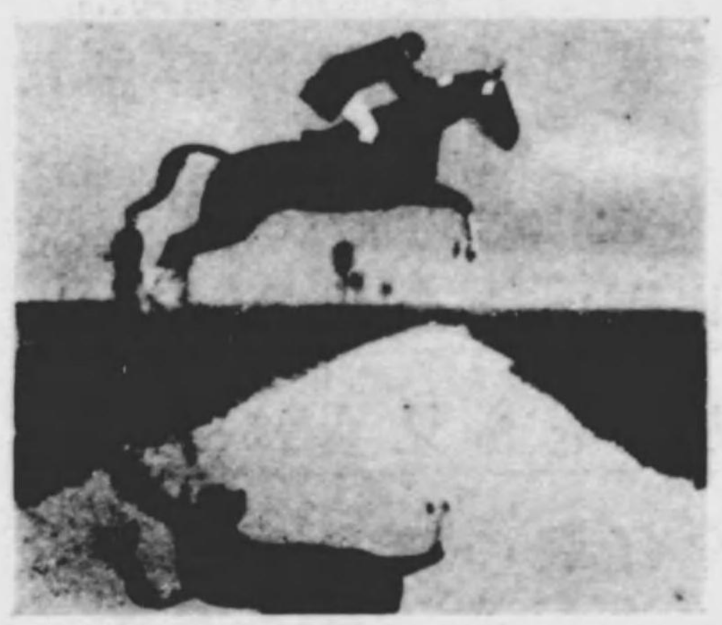


圖 117.3 動かぬ大地

【問1】 人は自分身自で歩く. 之はその慣性に反しないか.

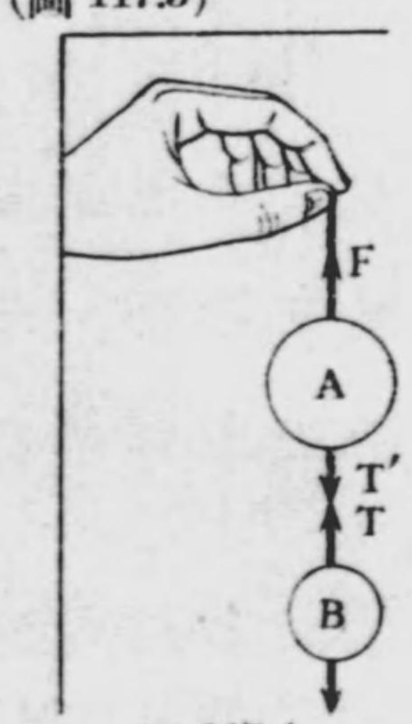


圖 117.4

❷ A, B の球を引き揚げる時(圖 117.4),A は B を T の力で引き,B は其の反作用として T' の力で A を引く. それにも拘らず A が上に揚るのは A には尚 T' よりも大きい力 F が働くからである.

圖 117.5 橇を引く(高田地方)

人が橇を引くと(圖 117.5)橇は其の反作用として人を引くにも拘らず人が前進するのも,同樣に說明し得る.

【問】 船中にある人が水棹で船をつくも船は動かないが,岸をつけば動く理由を問ふ.

第三章　落體の運動

§118. 落體の運動

❶ 1秒毎に發する(圖 118.1)メトロノームの音と同時に錘を落し,續いて發する音をきく毎に錘の位置を印すと,其の出發點から測つた距離は $1^2:2^2:3^2:4^2:\cdots$ の割合になる. 從つて一般に初めより測つて t の時刻までに落下した距離を s とすると,次の

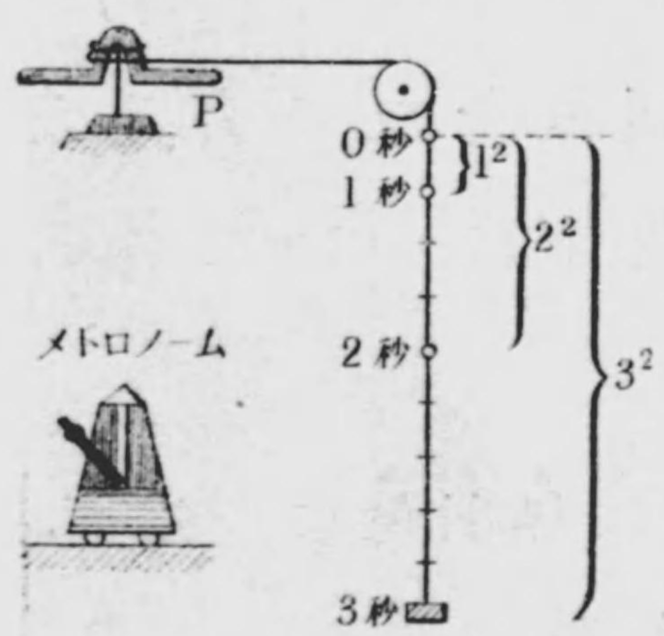


圖 118.1 落體の實驗

式が成立する.

$$s=kt^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.1)$$

さて此の運動の速度が一定の加速度 a で増すものと假定すると,最初の速度は零にして,t の時刻の速度 v は,

$$v=at \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.2)$$

である. 從つて其の平均速度は $\frac{0+at}{2}=\frac{1}{2}at$ であつて,此の間の落下距離 s は,

$$s=\frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.3)$$

である. 故に式118·1で表される前記の落下運動は等加速度運動であつて,比例常數 k は加速度 a の半分に當ることが分る. 尙式118.2,3 から t を消去すると,v, s 間の關係として次式が得られる.

$$v^2=2as \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.4)$$

❷上記の實驗から得られる加速度は圓板(P)の大きさや質量によつて異なり,圓板を取り去ると錘は全く自由に落ちる. 自由落下についての研究によると,.

> 自由落下の**加速度** g は落體の質量に無關係に一定で,
> その大さは 980 $\frac{\text{糎}}{\text{秒}^2}$ である.

即ち, $$g=980\frac{\text{糎}}{\text{秒}^2}\fallingdotseq 10\frac{\text{米}}{\text{秒}^2}$$

自由落下の場合,式118.2,3,4 は次の様になる.

$$[\text{自由落下}]\begin{cases} v=gt \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.5)\\ s=\frac{1}{2}gt^2 \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.6)\\ v^2=2gs \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式}\,118.7)\end{cases}$$

此の三式の關係は g を媒介とする v, s, t 間の關係で,圖118.2の如く表はし得る.

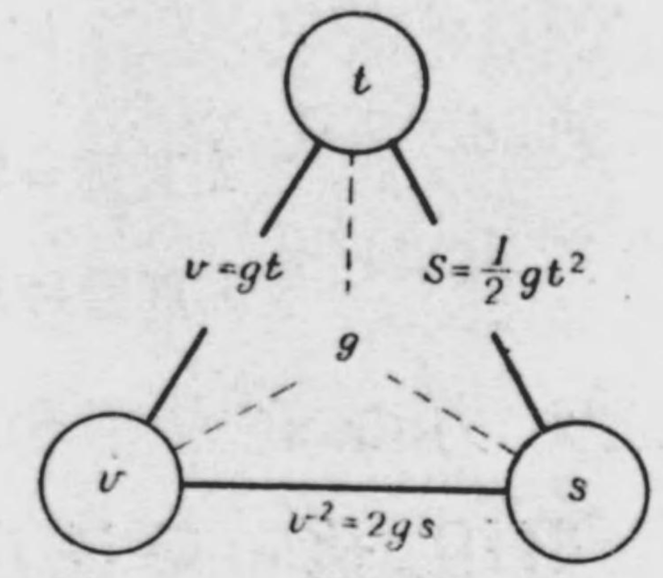


圖 118.2

【問1】 自由に落下する物體が落ち初めてより3秒と5秒との間で通過する距離を求めよ.

【問2】 靜止する物體が10米だけ自由に落下するには何秒を要するか.

【問3】 10米の高塔から石を落すと,地面に達した時幾 $\frac{\text{米}}{\text{秒}}$ の速度を得て居るか.


圖 118.3 火災の際の救命袋

❸斜面上の落體は圖101.1で見た樣に重力と面の壓力との合力(之は重力よりも小さい)を受けてゆつくり滑り落ちる. 子供の遊ぶ滑り臺や圖118.3の救命袋などはその應用である.

屋根から瓦をおろす時にも之を利用する.

❹加速度 g で落ちる質量 m の物體に働く力は mg で,之は勿論其の物體の重さ W である.

即ち, $W=mg$ ……………………(式 118.8)

從つて1瓦の重さは $1\text{瓦}\times 980\dfrac{\text{糎}}{\text{秒}^2}=980\dfrac{\text{瓦糎}}{\text{秒}^2}=980$ ダインである. 故に,

1瓦重=980ダイン≒1000ダイン

1瓱重≒1ダイン

之れ力の重力單位と絶對單位との關係である.

§119. 他の等速度運動を伴ふ落下運動

❶拋射體 OAの方向に v_0 の初速度で投げ出された物體は, OA の方向に等速度運動をしながら OB の方向に落下運動をする.

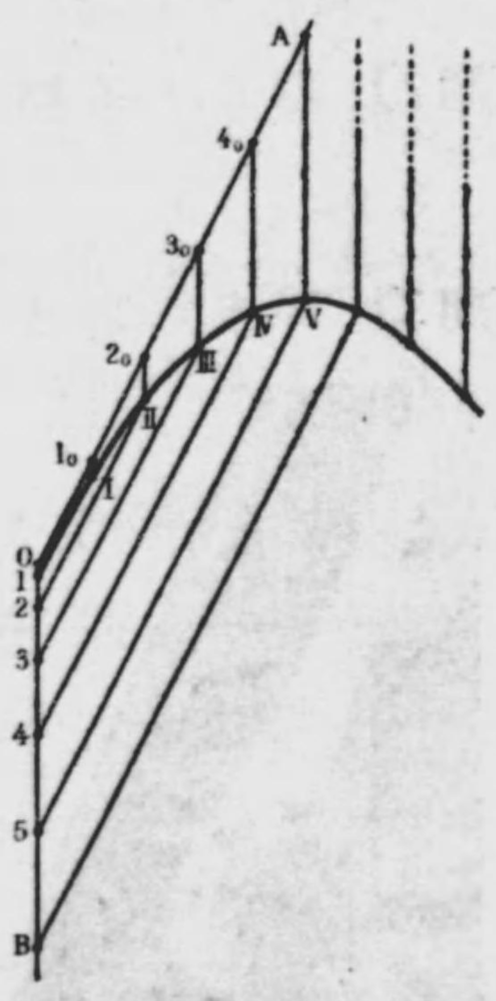


圖 119.1 拋射體の運動を圖解す

從つて 1, 2, 3,…秒後にはそれぞれ $1_0, 2_0, 3_0$ … 及び 1, 2, 3,… で表される位置にある筈で,實際は其の合成の位置 I, II, III, … 等に居り,所謂拋物線を描いて進む. 噴泉の(圖 119.2)水・バットで打たれたボール・發射された砲彈等の

經路は空氣の抵抗があるため之とは多少異なるが,先づ之に近い.

【問】 水平に投げ出した物體も自然に眞下に落ちる物體も同時に地面に達する. 之を證明せよ.

圖 119.2 拋物線を描く噴水

❷投上體と投下體 圖 119.1 に於て 1_0I, 2_0II, 3_0III … の長さは $1^2:2^2:3^2:\cdots$ の割合であるから此の割合の長さの絲に錘をつけ,之を OA なる棒に等距離を隔てゝ順次に結び付け, OA を斜に保つと錘は拋物線上に列び, OA の方向をかへるに從つて種々なる場合の拋射體の經路が得られる. そこで OA を次第に上向きに,又は下向きにして,全く鉛直の方向になると,投上體又は投下體の場合になる. 此の場合

	等速度運動	落下運動	合運動	
			投上運動	投下運動
速度	$v=v_0$	$v=gt$	$v=v_0-gt$	$v=v_0+gt$
距離	$s=v_0t$	$s=\frac{1}{2}gt^2$	$s=v_0t-\frac{1}{2}gt^2$	$s=v_0t+\frac{1}{2}gt^2$
尙距離と速度との關係を出すと,			$v^2=v_0^2-2gs$	$v^2=v_0^2+2gs$

I, II, III, … 等に於ける速度及び出發點Oからの距離は等速度運動と落下運動との代數和であるから前頁の表の樣に表はされる.

第四章 圓運動及び萬有引力

§120. 圓運動 ❶走る馬を中心に引きつけて居ると,馬は圓形に走る. 一般に圓運動をする物體に働く中心に向ふ力を**求心力**といふ. つまり求心力のために中心に向ふ加速度を生じ,之が切線の方向の速度に加はる結果(圖120.1),常に方向が變るので,物體が v の速さで半徑 r の圓に沿ふ樣に方向が變るためには加速度の大きさは $\frac{v^2}{r}$ なるを要するものである. 故に其の物體の質量を m とすると,求心力の大きさ f は次式で表される.

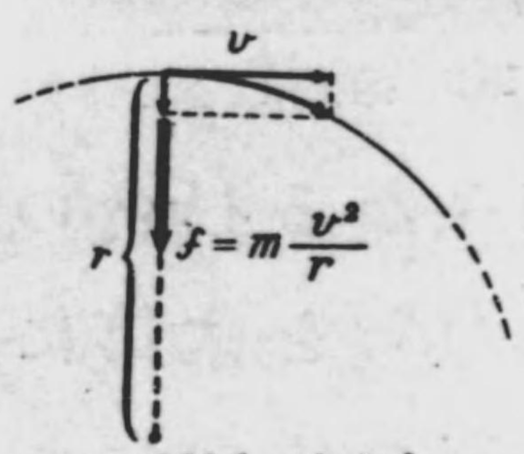


圖120.1 求心力

$$f=m\left(\frac{v^2}{r}\right) \text{………(式120.1)}$$

❷求心力を與へるには次の樣な色々の方法

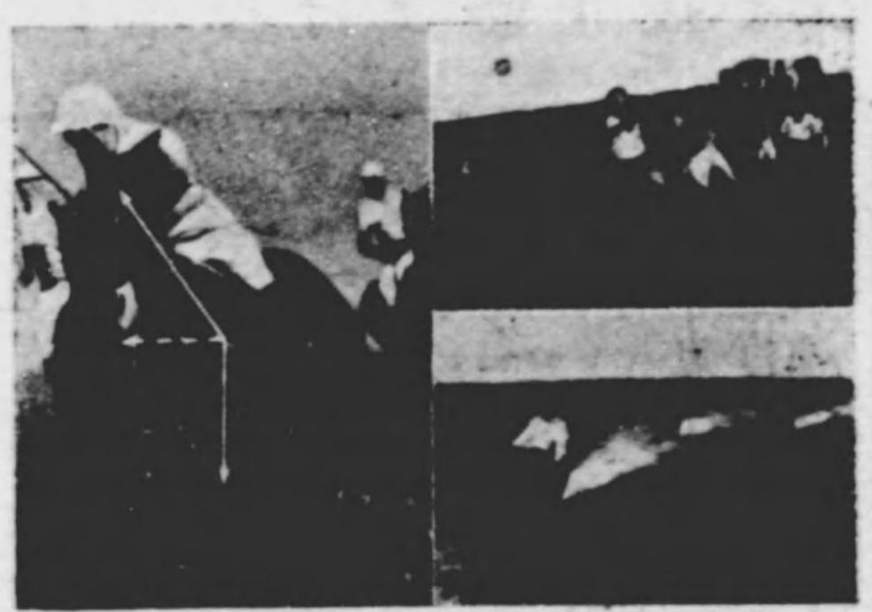


圖120.2 圓形に走る人・馬・自轉車

がある.

(i)絲の端に錘を結びつけて振り廻はすときは錘に働く絲の張力が求心力となる.

(ii)人や馬や自轉車が圓形に走る時は內側に傾き(圖120.2),地面の反作用 P と重力 W との合力が求心力となる. 若し餘り傾き過ぎると地面の摩擦が最大摩擦に達して人や自轉車はすべつて轉がる. 此の際トラックの外側を少し高くすると地面の反作用 P は地面に直角に近くなるから,轉がり難い.

(iii)汽車や電車の軌道の曲り角(圖120.3)の外側が高いのも同理で,この時レールはほゞ直角に押されるから其の損傷も少い.


圖120.3 傾く電車

【注意】 走る人が前に傾くときは(圖124.3參照)地面の反作用 P と重さ W との合力は前に向ひ人をして前進せしめる. 走る人が横に傾くときは(圖120.2參照) P と W との合力は横に向ひ人をして圓運動をさせる.


圖120.4 廻りぶらんこを遊ぶ

【問】 廻りぶらんこを遊ぶ子供に

働く求心力は如何にして與へられるか(圖120.4).

§121. 廻轉體 之に關し學ぶことが三つある.

(i) **廻轉分離** 廻轉體の各部は圓運動をし,それに必要な求心力は分子力によつて供給せられる.廻轉が十分に速くなつて分子力が其の求心力に足りなくなると,廻轉體は變形·破損或は分離する.之がため飛行機のプロペラーや發電機の様な廻轉速度の極めて大きいものでは特殊の設計を要し,廻轉分離器にかけた蜂の巣からは蜂蜜が分離し,洗濯物からは水分が分離する.廻轉分離器は體溫計を振つて水銀柱を下げ,或は濡手を振つて水を切る動作が連續的に行はれる樣にしたものに當る.土木工事などの時使ふ渦卷ポンプ(圖121.1)も翼で圓運動を與へた水を送水管の方に投げ飛ばすもので,括塞のある水ポンプの使はれない泥水などを吸み出すに都合がよい.

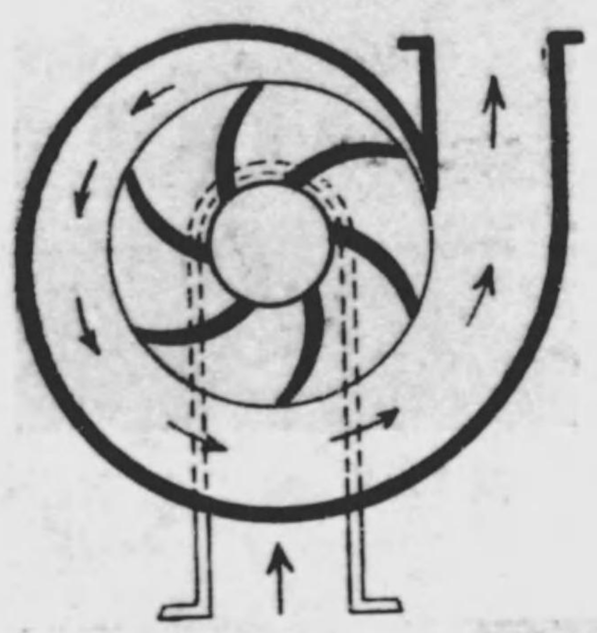


圖121.1 渦卷ポンプ

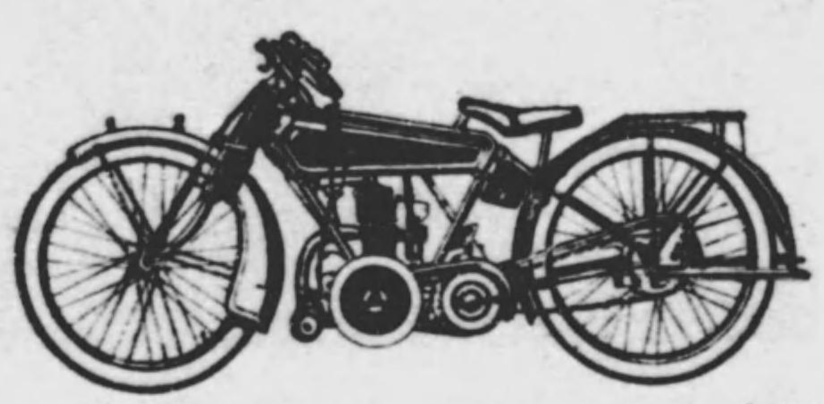


圖121.2 自轉車の泥よけ

【問1】 自轉車の泥よけをつける位置について説明せよ(圖121.2).

【問2】 廻轉分離器から分離した蜂蜜は中心より遠ざかるに相違ないが,何れの方向に飛び去るか.

(ii) **廻轉の速さの保持** 軸より遠い所に大なる質量を有する廻轉體の運動量は頗る大きい.かやうな時は,ある力を加へても廻轉の速さは急には變らない.廻轉の速さを一様にするために用ふるハズミ車(圖121.3)は,かゝる**廻轉の慣性**を利用したものである.機關車では**行進の慣性**が大きいから別にハズミ車はなくても其の速さを一様に保つことが出來る.

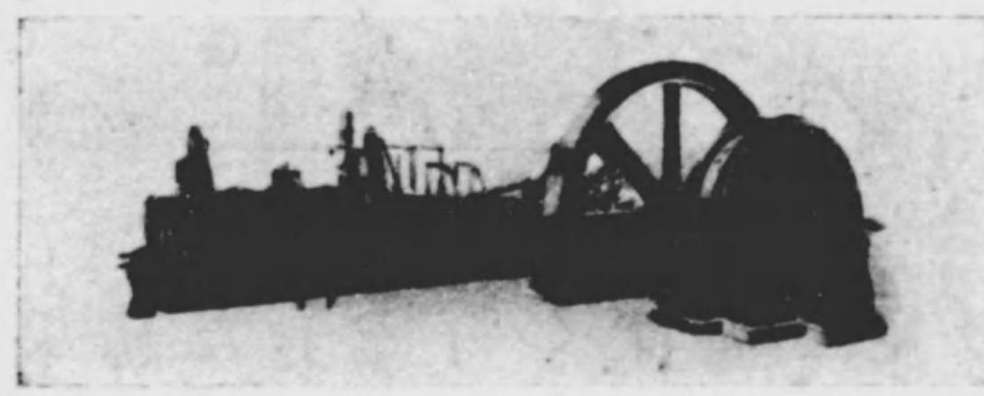


圖121.3 ハズミ車

(iii) **廻轉軸の保持** 廻轉體は又其の廻轉軸の方向をも保持せんとする.地球の自轉軸が空間で一定の方向を保ち,うまく廻轉を與へられた圓盤(圖121.4)が水平の姿勢を保つて遠くへ飛ぶなどは皆この性質による.

圖121.4 投圓盤

§122. 萬有引力

❶水平に投げ出した石が(圖 122.1)拋物線狀に飛ぶ際,重力が小さい程石は遠くまで達し,遂には月の如く地球を廻る筈である. ニュートンはかゝる推論から月が圓運動をするに必要な(圖 122.2)求心力を求めた所,重力が月までも及んで居て,しかも距離の二乘に反比例して小さくなつて居ればよいことを發見し,尙深く硏究した結果遂に次の法則を發見した.

圖 122.1

圖 122.2　思索にふけるニュートン

> すべて宇宙間にある二物體間には引力が働き,
>
> 引力の大きさ(F)は
> - (1) 二物體の質量の相乘積(mm')に比例し,
> - (2) 二物體の距離(r)の二乘に反比例する.

かゝる引力を一般に**萬有引力**といひ,上の法則を**萬有引力の法則**といふ. 式で表はすと,

$$F=k\frac{mm'}{r^2} \quad \text{……………(式 122.1)}$$

❷此の式でm'とmとが夫々地球と地上の物體との質

量を表はすと,m'は一定であり,又rもほゞ一定であるから$\frac{km'}{r^2}$が一定となり,Fがmに比例することになる. 之れ物體の重さがその質量に比例することを示すもの(第 6 頁)に外ならぬ. 而して$\frac{km'}{r^2}$が重力の加速度gに當るから,gが一定で物體の質量に無關係なることも分る.(第 160 頁)

第五章　抵抗と推進力

§123. 運動に對する抵抗

物體が粗い面の上をすべるときは抵抗として**摩擦力**を受ける. 又物體が水又は空氣の如き流體中を進むときは,その一部に力を加へて之を前に又は橫に押しのけねばならぬ. そして物體はその反作用を受ける. 之を**流體の抵抗**といふ. 實驗によると,

> 流體の抵抗(R)は
> - (1) 速度(v)の二乘に比例し,
> - (2) 進行の方向に直角な最大斷面積(A)に比例する.
> - (3) 物體の形狀・流體の密度 に關係する.

即ち,

$$R=kv^2A \quad \text{……………………(式 123.1)}$$

こゝにkは(3)の關係を表はす比例常數である.

今物體がある力(F)を受けて次第に其の速度を增すと,その抵抗(R)も增し,遂には兩者が釣合ひ,其の後はその時の速度で等速度運動をする.この時の速度を**終速度**といふ.終速度をv_0とすると,

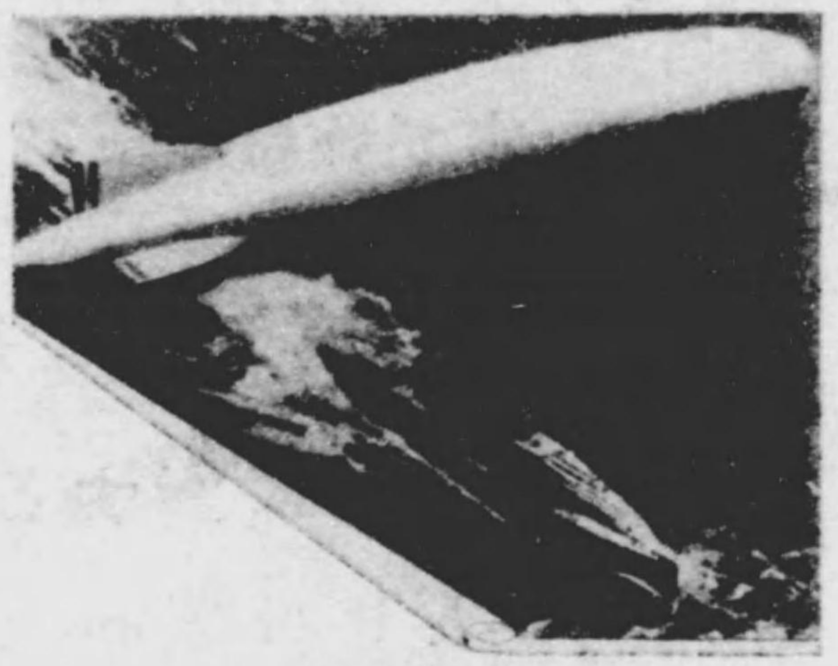


圖 123.1　軍艦と飛行船

$$F=kv_0^2A$$

$$\therefore\quad v_0^2=\frac{F}{kA}\quad\cdots\cdots(\text{式 }123.2)$$

である.kは斷面積が小さくて,流線形の物體ほど小さい.故に,終速度は斷面積が小さくて流線形の物體ほど大きい.大きい終速度を要する軍艦や飛行船などでは(圖 123.1)特に此の點に注意してある.近時機關車などにも此の點に留意した流線形のものが出來た.又急流中を泳ぐ魚の形は(圖123.2)極めて抵抗の小さい形で,靜水中に住む魚の形とは著しく違ふ.

圖 123.2　金　魚　と　鮎

落下傘は(圖 123.3)特

にkの大きい形にして其の終速度を小さくしたものである.

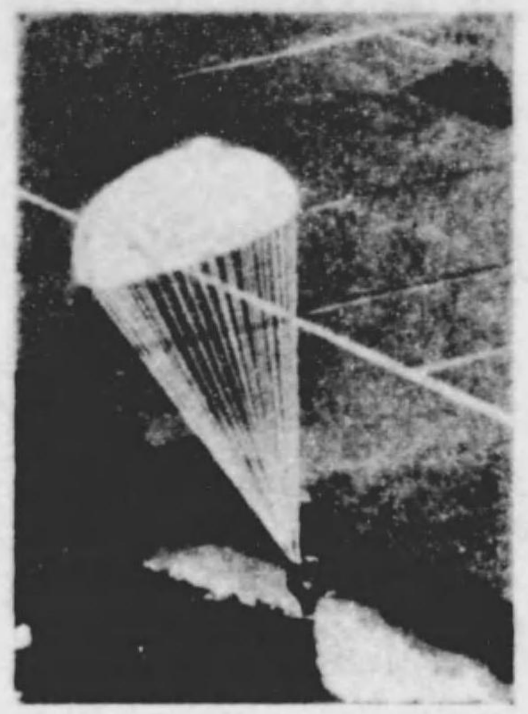


圖 123.3　落下傘

次にkの一定なる球狀體の落下の終速度について考へる.この場合,重力Fは(式123.2)其の半徑rの3乘と密度dとの積に比例し,斷面積Aはrの2乘に比例するから,

$$v_0^2\propto\frac{r^3d}{r^2}\propto rd\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{式 }123.3)$$

となる.之によつて密度dが一定なときはv_0^2はrに比例し,半徑rが一定なときはv_0^2はdに比例することが分る.空中の塵埃が徐々に落下し,水簸法によつて粘土粒の大小を區別し得るなどは此の理による.

§124. 推進力　物體に推進力を加へるに色々

圖 124.1　櫂で漕ぐ(劍・牛兩大學のボートレース)

の方法がある．第一は自轉車のペダルを踏んで之を進める例で見る方法で,汽車・自動車などの推進力は皆之による．第二は櫂かスクリュー(圖124.1,2)かで水を後方にはね飛ばすか,又は足で地面を蹴るとき(圖124.3)に起る水又は地面の反作用を利用する方法である．又飛行機や飛行船がプロペラーを廻轉して(圖124.4)前進するのも此の方法に屬する．


圖 124.2 スクリュー


圖 124.3 徒競走のスタート

飛行機がプロペラーを廻轉して(圖124.5)空氣を後方にはね飛ばすと,Qなる推進力を生じて機は前進し同時に翼面に直角な抵抗Rを受ける．Rの鉛直分力Xは通常**浮揚力**


圖 124.4 プロペラー

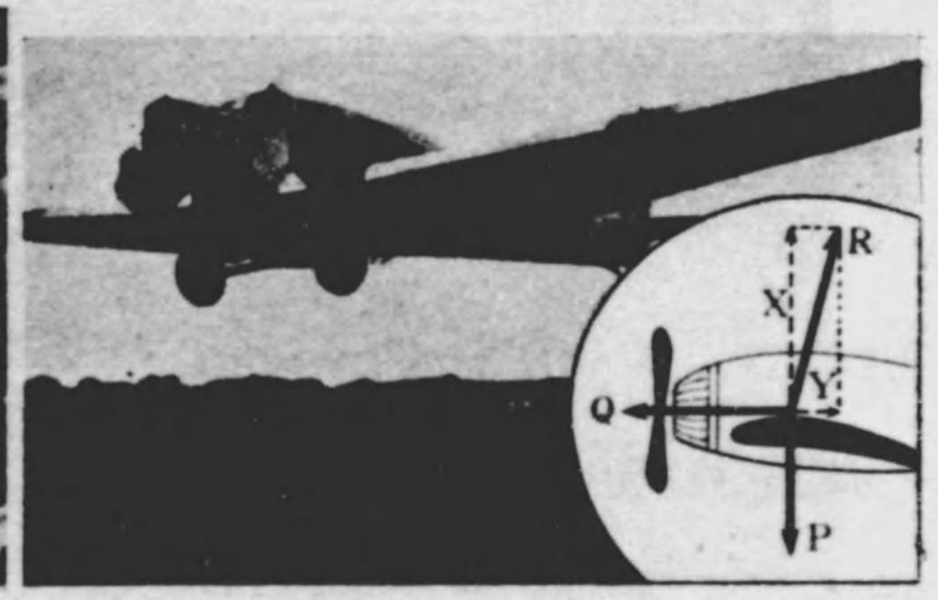


圖 124.5 飛行機に働く力

と呼ばれ,これと機の重さPとの差で鉛直の方向に加速度を生じ,又水平分力Yと推進力Qとの差で水平の方向の加速度を生ずる．そしてP,Q,Rの三力が釣合ふに到れば其の時の速度を終速度として等速度運動をする．又飛行中發動機が停止して機が空中滑走をする時は翼は水平となり,RとPとが釣合つて等速度運動をするのである．

推進力を與へる第三の方法は流れる流體を受ける方法で,船が流水の衝突によつて流れを下り,ヨットが風の衝突によつて走るなどは此の例である．

今帆に風が當ると,帆の面に直角な風壓R(圖124.6)を與へる．此風壓の分力X及びYによつて船は前方にも,側方にも進む．側方の水の抵抗Qは大きいから此の側方の終速度は小さく,前方の水の抵抗Pは小さいから此の前方の終速度は大きい．從つて船は主として前方に進む．此

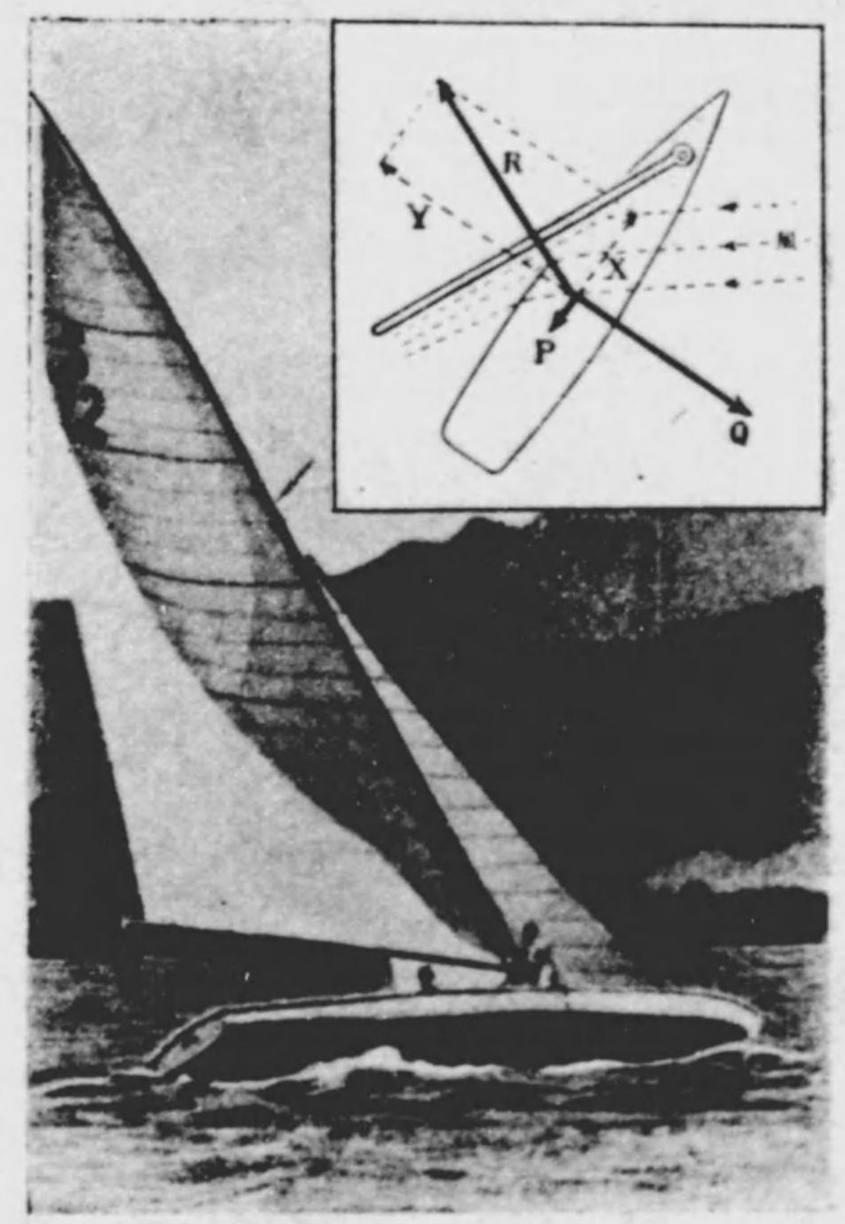


圖 124.6 ヨットに働く力

の際船尾に附けた舵を右に曲げると船尾の右側のみが大きい抵抗を受けるから船首は右方に方向を轉ずる．飛行機の方向舵・昇降舵も同じ理による．

【問】 圖124.7の前後の船に働く推進力及び抵抗の大きさについて吟味し，兩船ともに前進する理由を明かにせよ．

圖124.7 曳船

第八篇 仕事及びエネルギー

第一章 仕事

§125. 仕事 馬が車をひくときは普通**仕事**をしたといふ．物理學では之を擴張して，

> すべて力が物體に働き，その結果物體が，
> (1)力と**同じ方向**に動く時は，**力が物體に**對して仕事をしたといひ，
> (2)力と**逆の方向**に動く時は，**物體が力に**對して仕事をしたといふ．

例へば砲身から彈丸が飛び出す(圖125.1)ときは火藥の爆發力が彈丸に對して仕事をし，彈丸が木材に突入する(圖125.2)ときは彈丸が木材の抵抗に對して仕事をしたといふ．

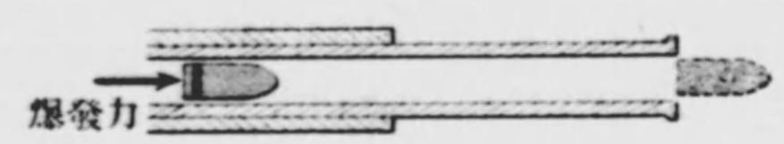


圖125.1 力が仕事をする

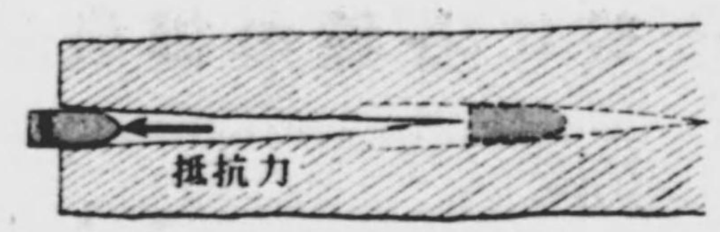


圖125.2 彈丸が仕事をする

何れの場合にも仕事Wは力fと動いた距離sとの積で測る．CGS制では1ダイン($f=1$)の力が働き1糎($s=1$)の距離だけ動く時の仕事を仕事の單位とし之を**エルグ**といふ．即ち，

$$W=fs \qquad \underset{(エルグ)}{仕事}=\underset{(ダイン)}{力}\times\underset{(糎)}{距離} \cdots\cdots\cdots\cdots (式125.1)$$