PHYSICS

ON

MIDDLE COURSE

PHYSICS

[illegible]

重要公式

1. 比重 $d=\dfrac{m}{v}$
2. パスカルの原理 $\dfrac{P}{S}=\dfrac{p}{s}$
3. 連通管 $dh=d'h'$
4. 固體の比重 $s=\dfrac{W}{W-w}$
5. 同上 $s=\dfrac{W}{W+w-W'}$
6. 同上 $s=s_1\times s_2$
7. 液體の比重 $s=\dfrac{W-w_1}{W-w_2}$
8. 同上 $s=\dfrac{W_1-w}{W_2-w}$
9. ボイル定律 $PV=P'V'$
10. 同上 $\dfrac{P}{d}=\dfrac{P'}{d'}$
11. 寒暖計 $C=\dfrac{5}{9}(F-32)$
12. 比熱 $x=\dfrac{sm(T-t)}{m'(t'-T)}$
13. 線膨脹 $l'=l(1+\alpha t)$
14. 體膨脹 $V'=V(1+bt)$
15. シヤールの定律 $V'=V\times\dfrac{273+t'}{273+t}$
16. ボイルシヤールの定律 $\dfrac{PV}{T}=\dfrac{P'V'}{T'}$
17. 唸りの數 $b=m-n$
18. 音階 $\dfrac{n_3}{n_1}=\dfrac{n_2}{n_1}\times\dfrac{n_3}{n_2}$
19. 光度 $\dfrac{I}{d^2}=\dfrac{I'}{d'^2}$
20. 反射の定律 $i=r$
21. 凹面鏡 $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{2}{r}=\dfrac{1}{f}$
22. 凸面鏡 $\dfrac{1}{b}-\dfrac{1}{a}=\dfrac{2}{r}=\dfrac{1}{f}$
23. 像の大 $\dfrac{L}{l}=\dfrac{a}{b}$
24. クーロンの定律 $f=k\dfrac{mm'}{r^2}$
25. 電氣容量 $c=\dfrac{Q}{V}$
26. 電流の工率 $W=CE$

學　梓

特許局書名登録第一五三〇九三號

本叢書は高等學校專門學校入學受驗用書として上記の書名登録を許可せられたるものなり

PHYSISCS ON MIDDLE COURSE.

受驗參考

新　制

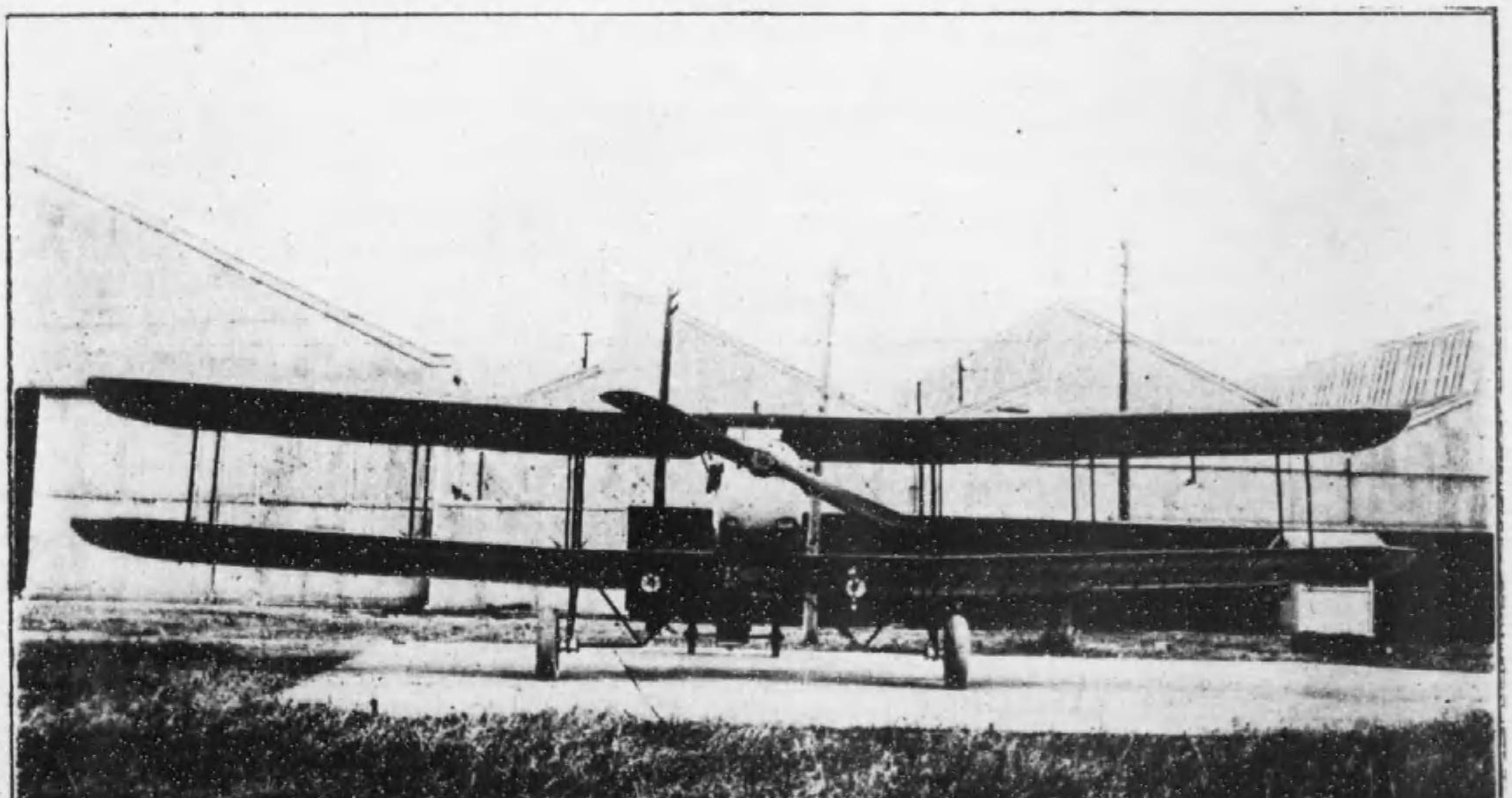
答案式 中學四年修了程度 物理學粹

全

東京府立第一中學校教諭
高田德佐
著

東京 慶文堂 神田

世界に誇るべき我海軍一三式飛行機



（説明は裏面にあり）

（赤）

（青）

（黄）

（赤黄青）

飛　行　機

本圖は帝國海軍最も優秀なる一三式飛行機にして，世界に誇るに足るもの，機體は本邦製，發動機は英國製ネピヤライオン450馬力，速度毎時90節，航續は4時間以上，兵裝は機關銃一門，魚雷又は爆彈1噸，無線電信機を有す．

→緒　言←

1.【目的】本書は中學校第四學年を修了して高等學校専門學校の入學試驗に應ぜられる學生諸君の補習參考用として編纂したるものなり.

2.【内容】本書の内容は次の如し.

(1) 大正十四年四月文部省制定の中學校の新教授要目に據る.

(2) 中等程度の物理學教科書を基礎として其の内容を更に敷衍したる上之を整理したり．例へば一題目の下には教科書の順序如何を問はずそれに必要たる一切の事柄を網羅したるの類なり.

(3) 説明は其の要領を一見明瞭にするがため箇條書の形式を採りたり.

(4) 説明の程度は之を移して以つて直ちに試驗の答案として適切なるものと爲せり.

3.【問題】本書には最近二十餘年間に於ける高等程度の諸學校の入學試驗問題と，内外物理教科書中の問題及び一切の計算問題を本文又は適所に配し，一々之に解答を加へたり.

4.【挿圖】本書には二百個の圖版を挿みて説明を助けたり．圖版は普通の説明圖を避け試驗の答案用としてのみ必要なるもの一切を收め，然も之を試驗場に於て容易に描き得る程度の略圖にせり.

5.【特長】本書は百數十版を重ねしものに最新要目による訂正を加へたるもの，受驗用として唯一事項の不足なく又，唯一事項の不要の部分なからしめ以つて學生諸君の負擔を輕減し併かも其の效果を最も顯著ならしめんと努めたり.

大正十五年六月　　著　者　識

高等諸學校一覽

1.各高等學校—高等
2.各醫學專門學校—醫專
3.東京農科大學實科—東農
4.盛岡高等農林學校—盛農
5.鹿兒島高等農林學校—鹿農
6.水原農林專門學校—水農
7.東京農業大學—農業
8.北海道大學—北海
9.慶應大學—慶大
10.早稻田高等學院—早高
11.東京高等工業學校—東工
12.大阪高等工業學校—大工
13.名古屋高等工業學校—名工
14.熊本高等工業學校—熊工
15.米澤高等工業學校—米工
16.横濱高等工業學校—横工
17.廣島高等工業學校—廣工
18.京都高等工業學校—京工
19.東北大學工學專門部—北工
20.秋田鑛山專門學校—秋鑛
21.桐生高等工業學校—桐工
22.東京商科大學—東商
23.神戸高等商業學校—神商
24.小樽高等商業學校—小商
25.山口高等商業學校—山商
26.長崎高等商業學校—長商
27.大阪高等商業學校—大商
28.成蹊實業專門學校—成學
29.拓殖大學—拓殖
30.高千穗商業學校—穗商
31.立教大學—立教
32.東洋協會京城專門學校—京專
33.臺灣總督府高等商業學校—灣商
34.關西學院—關院
35.大阪醫科大學—大醫
36.愛知醫學專門學校—愛醫
37.南滿醫學堂—滿醫
38.東京醫學專門學校—東醫
39.京都醫學專門學校—京醫
40.京城醫學專門學校—城醫
41.日本醫學專門學校—日醫
42.東京慈惠醫學專門學校—慈醫
43.東京女子醫學專門學校—女醫
44.東京齒科醫學專門學校—東醫
45.大阪齒科醫學專門學校—大齒
46.日本齒科醫學專門學校—日齒
47.富山藥學專門學校—富藥
48.九州藥學專門學校—九醫
49.大阪藥學專門學校—大醫
50.東京高等師範學校—東師
51.廣島高等師範學校—廣師
52.東京女子高等師範學校—女師
53.奈良女子高等師範學校—奈師
54.陸軍士官學校—陸士
55.陸軍經理學校—陸經
56.海軍兵學校—海軍
57.海軍機關學校—海機
58.海軍經理學校—海經
56.商船學校—商船
60.水產講習所—水產
61.東京高等蠶糸學校—東蠶
62.京都高等蠶業學校—京蠶
63.上田蠶業專門學校—上蠶
64.明治專門學校—明專
65.東京外國語學校—外語
66.東京美術學校—美術
67.東京音樂學校—音樂
68.專門學校入學檢定—專檢
69.高等學校入學資格檢定—高檢

目次

中學第三四學年の部

第一篇

物性

第一章 總説

第二章 物質の分子現象

第三章 固體

第四章 液體

第五章 氣體

第二篇

熱

第一章 熱 溫度

第二章 寒暖計

第三章 比熱

第四章 熱の傳播

第五章 膨脹

第六章 融解

第七章 氣化

第八章 熱機關

第三篇

音

第一章 音波

第二章 音の性質

第四篇

光

第一章 光の直進

第二章 光の反射

第三章 光の屈折

第四章 光學器械

第五章 光の分散

第五篇

電氣

第一章 磁氣

第二章 靜電氣

第三章 電流電池

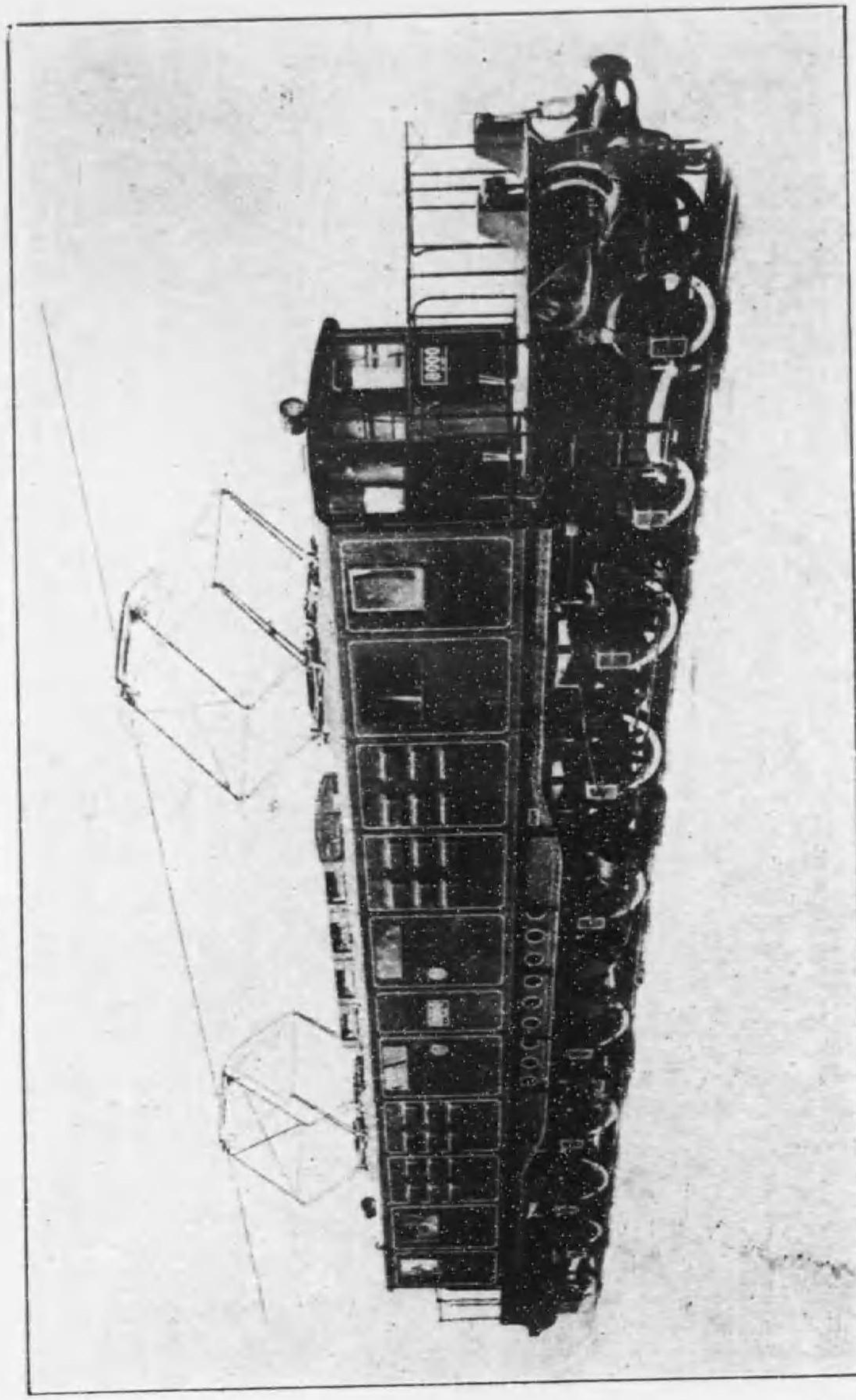
第四章 電流の磁氣作用

第五章 電磁感應

第六章 振動放電 眞空放電

〔四年終了目次終〕

最新式の我が電氣機關車



（說明は裏面にあり）

電氣機關車

本圖は帝國鐵道省所有に係る東海道急行列車牽引用のもの，英國製，重量97瓲，長さ20米，電動機6個，電流1500ボルト，牽引力7.5瓲，速度毎時95粁，8000型電氣機關車と稱せらる．

新　　制

答案式物理學粹

中學第三四學年の部

第一篇

物　　性

總說.―物質の分子現象.―固體.―液體.―氣體.

第一章

總　　說

物理學.―物質.―物質の通性.―單位.―密度と比重.―密度の計算.

1. 物理學

【定義】 物理學は物質及びエネルギーに關する事項を攻究する學科なり．

【材料】 物理學に於て取扱ふ事項は次の如し．

物性，力，運動，熱，音，光，磁氣，電氣，等．

【目的】 物理學は上記の諸事項より自然の定律を發見して人智を啓發し，且之を應用して人生の幸福を增進するを目的とす．

2. 物　質

【定義】 空間の一部を占有し，吾人の感覺によりて其の存在を認め得るものを物質といふ.

〔例〕 空氣，炭酸瓦斯，水，アルコール，木，鐵 等.

【定義】 物質を其の形狀大小の上より見るときには之を物體といふ. 即ち物體は物質の一團なり.

〔例〕 机，小刀，書物 等.

3. 物質の通有性

1. 塡充性. 物質は一定の空間を占有す.
2. 不可入性. 二物質は同時に同一の空間を占有する能はず
3. 有孔性. 物質は細微なる空隙を有す.
4. 重量. 物質は重さを有す.
5. 慣性. 物質は其の靜止又は運動の狀態を繼續せんとす.
6. 不滅性. 物質は創造する能はず，又消滅せしむる能はず.

4. 單　位

【定義】 基本單位. 長さ，質量，時間.

【定義】 C.G.S.單位. 長さに糎，質量に瓦，時間に秒を用ふる單位.

【定義】 誘導單位. 基本單位より誘導せらるゝ單位.

〔例〕 速度(長さと時間)，密度(長さと質量)，力（長さと質量と時間）等.

5. 密度 比重

〔陸士〕〔外2校〕

【定義】 密度. 單位體積に含まるる質量をいふ.

通常一立方糎中の瓦數にて表はす. 故に密度には體積の單位名と質量の單位名とを要す.

【定義】 比重. 物體の質量と，それと同體積の水(攝氏4度)の質量との比.

（注意） イ. C.G.S. 單位にては密度と比重とは同數値なり.

ロ. 比重は不名數，密度は名數なり. されど C.G.S.單位にては不名數を用ふるを常とす.

【公式】 密度 (d)，質量 (m)，體積 (v) の關係.

$$d=\frac{m}{v}$$

6. 密度の計算

(1) 50 立方糎の質量 390 瓦なる鐵塊の密度及び比重何程.

【解】 比重 $\frac{390}{50}=7.8$…(答)　密度 每立方糎 7.8 瓦…(答)

(2) 長さ 50 糎，幅 15 糎，厚さ 40 糎なる直方體の木片ありて其の質量 15 瓩なり. 密度如何.

【解】 $\frac{15\times1000(\text{瓦})}{50\times15\times40(\text{立方糎})}=0.5$ 瓦每立方糎 ……………(答)

(3) 比重 8.3 なる眞鍮塊 100 瓦の體積を計算せよ.　〔海機〕

【解】 $100\div8.3=12.05$ 立方糎……………………(答)

(4) 1 立方尺の銅の重量は幾匁なるか. 但し銅の比重を 8.9 とす.　〔山商〕

【解】 $\left\{1\text{瓦}\times\left(\frac{100}{3.3}\right)^{3(\text{立方糎})}\times8.9\right\}\div\frac{15}{4}=66$ 貫…………(答)

(5) 比重 4.8 なる固體 147 瓦を比重 0.8 なる液體中に投ずるときに固體が排除する液體の體積及び重量を求む.　〔北工〕

【解】 固體の排除する液體の體積は

$147\div4.8=30.6$ 立方糎……………………(答)

其の重量は

$0.8\times30.6=24.5$ 瓦……………………(答)

(6) 重量4封度の壜あり，之に水を満たせば其重量 16 封度となる．今之に 1 封度20錢の硫酸を満たさんとす．何錢を要するか．但し硫酸の比重を 1.84 とす．〔海經〕

【解】 壜内を充たす水の重量は

16−4=12 封度

故に硫酸は　12×1.84=22.08 封度

其の價格は　20錢×22.08=4圓41錢6厘…………………(答)

(7) 銅(比重 8.9) 500 瓦と金 (比重 19.3) 750 瓦とより成る合金の比重を問ふ．〔海經〕〔慈醫〕

【解】 合金の重量は　500瓦+750瓦=1250瓦

其の體積は

$$\frac{500}{8.9}+\frac{750}{19.3}=95\text{立方糎}$$

故に比重は　1250÷95=13.2…………………………(答)

(8) 比重 0.8 の液體 28.8 瓦と，比重 1.3 の液體 50.7 瓦とを混ずるときは混合物の比重如何．〔北工〕

【解】 前問と同理により

$$(28.8\text{瓦}+50.7\text{瓦})\div\left(\frac{28.8}{0.8}+\frac{50.7}{1.3}\right)^{\text{立方糎}}=1.06\cdots\cdots\text{(答)}$$

(9) 直徑 4 糎なる銅球(比重 8.9)の重さ何瓦．

【解】 $8.9\times\frac{4}{3}\times3.1416\times\left(\frac{4}{2}\right)^3=298.2\text{瓦}$ …………………(答)

(10) 比重 15 なる金と銅との合金は幾カラットの品位なるか．

【解】 品位を x カラットとせば，純金は 24 カラットなるにより次の式を得．

$$\underbrace{\frac{x}{19.3}}_{\text{金の體積}}+\underbrace{\frac{24-x}{8.9}}_{\text{銅の體積}}=\underbrace{\frac{24}{15}}_{\text{合金の體積}}$$

∴ $x=18$ カラット…………………………(答)

(11) 人體の比重を平均1とすれば體重16貫ある人の體積は幾立方尺あるか．小數點下二位迄計算せよ．〔慶大〕

【解】 $16\text{貫}=16\times\frac{15}{4}\text{瓩}=60\text{ 瓩}$

水 1 瓩は 1 立あるを以て人の體積は 60 立なり．然るに 1 立は 3.3 寸立方なるを以て，之を 10 寸立方に改算すれば次の如し．

$$60\times\frac{(3.3)^3}{(10)^3}=2.22\text{ 立方尺}\cdots\cdots\text{(答)}$$

7. 問　題

(1) 物指を用ひて物體の長さを測定する時の注意如何．〔金工〕

【解】 (1) 物指の目盛を刻める線を物體に着くるを要す．

(2) 物體が球形ならばそれを平板にて兩側より挾み，平板間の距離を測るを要す

(3) 物指が金屬製なれば其の溫度についての補正を施すを要す．

(4) 物指の端の使用を避くべし．

(2) 重量と質量との區別を記せ．〔廣工〕〔京工〕

【解】 質量は物體を構成せる物質の分量にして，重量はその質量に作用する重力の大さなり．前者は之に一定の力を作用せしむるとき生ずる加速度の大さによりて其の多寡が定まり，又後者は地球上に於ける位置によりて大いさ異なる．1 瓦は質量の單位にして，之に作用する重力は略 980 ダインの力なり．尙後章に委し．

(3) 面積及び體積の C.G.S. 單位如何．又大さと方向とを併せ有する量を記せ．〔廣工〕〔大工〕

【解】 平方糎，立方糎．

速度，加速度，力，運動量，能率 等（後章に委し）

(4) 物理變化と化學變化との區別を問ふ．〔大工〕

【解】 物理變化は變化が分子の構造には及ばざるものにして，化學變化は之に及ぶものなり．融解，氣化等は前者の例にして，酸化，電

解等は後者の例なり.

(5) 形狀不規則なる固體の體積を測定する方法如何. 〔大工〕

【解】 ビーカーの流出口を少しく下方に傾けて支へ, 之に水を充たし, 此の中に不規則なる形を有する固體を沈め, 溢れたる水を刻度圓筒に受けて其の體積を測る. この水の體積は即ち物體の體積なり.

第二章

物質の分子現象

分子.—物質の三態.—分子引力.—擴散と滲透.—溶解.—吸收と蒸發.—表面張力.—毛管現象.

1. 分子

【定義】 各物質固有の性質を有する最小粒子を分子といふ.

【性質】 (1) 分子は物質の種類によりて異なる.

(2) 分子を破壞すれば其の物質の固有性を失ひて原子となる.

(3) 分子は夫々一定の重量を有す.

(4) 分子は非常に近かき距離にては互に引き合ふ. 此の力は分子力なり.

(5) 分子は物體內にては常に運動す.

2. 物質の三態

1. 固體 (イ) 一定の體積と形狀とを有す.

(ロ) 體積形狀を變ぜんとする力に抵抗す.

(ハ) 分子はほぼ一定の排列をなし, 各自の位置を中心とする小

區域內に運動す.

2. 液體 (イ) 一定の體積を有し, 一定の形狀を有せず.

(ロ) 故に體積を變ぜんとする力に抗するも, 形狀を變ぜんとする力に抗せず.

(ハ) 液體分子の運動は固體よりは稍自由にして其の位置を變ずるを得.

3. 氣體 (イ) 一定の體積をも形狀をも有せず.

(ロ) 故に如何なる大さの器に入るゝも之を充たす.

(ハ) 氣體の分子は速かに且自由に運動し, 絕えず互に衝突す.

(ニ) 氣體の分子は器壁に衝突して其の部分に壓力を生ず.

3. 分子力

1. 分子間に作用する引力を分子力といふ.
2. 分子力は極めて近距離に於てのみ作用す.
3. 同種分子間の分子力を凝集力といふ.
4. 異種分子間の分子力を附着力といふ.
5. 分子力の例.

(イ) 木の裂け難きは凝集力大なるによる.

(ロ) 茶碗の割れ目を合すも接合せざるは, 之を分子力の作用する距離に近づくるを得ざるによる.

(ハ) 石墨の粉を水壓器にて壓し固むるは, 之を分子力の作用する距離に近づくるによる.

(ニ) 硝子は熱せられて熔け居るとき容易に融着するも亦(ハ)に同じ.

(ホ) 鍍附の際其の表面を鹽酸にて洗ふは, 白鑞と地金との分子距離を近くせんが爲なり.

(ヘ) 硝子が水に濡るゝは水と硝子との分子力(附着力)が, 水

相互の分子力(凝集力)よりも大なるによる.

(ト) 水銀が硝子に附着せざるは水銀の分子力(凝集力)が水銀と硝子との分子力(附着力)よりも大なるによる.

(チ) 紙を糊にて附け得るは紙と糊との分子力大なるによる.

(リ) 郵便切手を貼付する時濡らさゞれば附着せず濡せば附着するは, 濡らしたるがため糊は溶解して紙との分子距離相接近し, 之を乾かすときは水は蒸發し去りて一層分子間の距離の近かくなりしによる. 〔水産〕

4. 擴散 滲透

【定義】 互に混合し得べき二種の液體又は氣體が相接して靜止するとき次第に混合する現象を擴散といふ.

〔例〕 水とアルコール, 水と硫酸銅溶液, 水素と空氣等.

【定義】 互に混合し得べき二種の液體又は氣體が隔壁を透して相混ずる現象を滲透といふ.

〔例〕 水—(膀胱膜)—アルコール. 水—(膀胱膜)—硫酸銅溶液. 水素—(素燒)—空氣. (括弧內は隔壁なり)

【定律】 氣體の滲透する速度は其等の密度の平方根に反比例す.

〔例〕 水素と空氣との密度の比は 1:14 なるにより, 滲透速度の比は次の如し.

$$\frac{1}{\sqrt{1}}:\frac{1}{\sqrt{14}}=3.7:1$$

【說明】 擴散及び滲透は分子が互に異種分子間に飛び込むによる.

【實例】 (1) 大氣の成分の略一定せるは酸素と窒素とが互に擴散するによる.

(2) 風船球の縮少するは水素がゴムを滲透し出でたるによる.

(3) 液を混合するとき振盪するは互に擴散すべき表面を大ならしめんが爲なり.

(4) 大根を鹽漬にするときは細胞內の水は滲透し出で細胞は縮少して軟かくなる.

(5) 牡蠣を水に浸すときは水は鹽分を含める牡蠣の中に滲入して牡蠣は膨る.

5. 溶 解

【定義】 固體が液體中に擴散する現象を溶解といふ.

【定義】 (イ) 溶質=溶解する固體. (ロ) 溶媒=溶解せしむる液體(水, アルコール, 二硫化炭素等). (ハ) 溶液=生じたる液體. (ニ) 飽和溶液=其の溫度に於ける濃度の最大なる溶液

【定理】 一定量の溶媒に溶解する固體の量は多くの物質について溫度の高きほど多し.

【說明】 固體の溶解は固體分子が液體分子間に滲入するによる.

6. 吸收 蒸發

【定義】 吸收とは氣體が液體中に擴散する現象なり.

【定理】 (1) 氣體の吸收は概ね其の壓力に比例して增加す.

(2) 氣體の吸收は溫度高き程小なり.

【說明】 吸收は氣體分子が液體分子間に混入するによる.

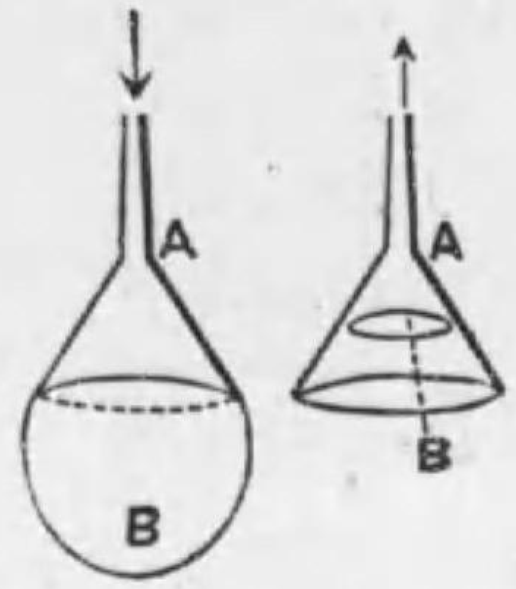
【定義】 蒸發は液體分子が氣體又は眞空中に擴散する現象なり.

【說明】 蒸發は液體分子が運動激烈となり其の凝集力に打ち勝ちて液體外に飛び出す爲なり.

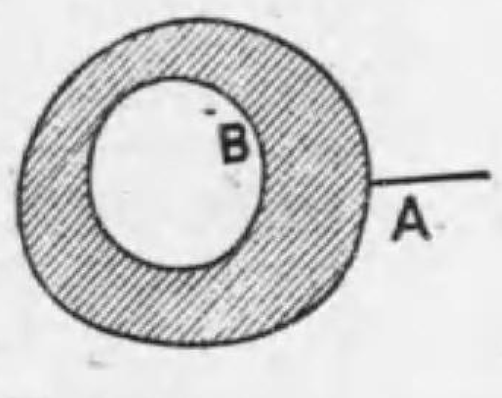
7. 表面張力

【定義】 液體の表面を成るべく縮少せんとする力を表面張力といふ.

【實例】(1) 一定體積にて其の表面の最小なるは球形なり．よつて液滴は表面張力のため最小の表面を取らんとして球形をなす．例へば(イ) 蓮の葉，芋の葉の上の水滴．(ロ) 硝子板上の水銀滴．(ハ) 石鹼球．(ニ) アルコールと水との混合液中の種油滴．(ホ) 硝子棒端を熱すれば丸くなる．(ヘ) 熔融せる鉛を水中に滴下して散彈を造る．(ト) 圖の如く漏斗Aに石鹼膜Bを張りて放置すれば膜は縮みて漏斗內に進み其內の空氣を追ひ出し，又之をA端より吹かば石鹼球Bを生ず．



(2) 一定の長さにて最大の面積を圍むは圓なり．故に針金の框に石鹼膜を張り，之に絲の輪を載せて輪內の液膜を破るときは絲は圓形をなす．從つて絲の輪外の液膜の面積は最小なり．



(3) 刷毛，毛筆等を濡らすときは水の表面張力のため毛は引き寄せられて互に近寄る．

【定理】 液體の表面張力の强さは液の種類によりて異なる．

【實例】 1. 油滴の水面に擴がるは水は油よりも表面張力大なるがために油の表面を引き延ばして水自身の表面を收縮するによる．〔東師〕〔水產〕

2. 木板を水にて濕ほし之に石鹼液を點ずれば，水の表面張力は石鹼液よりも大なるにより，水は四方に退きて中央は乾きたるが如くなる．

3. 墨を磨るとき墨汁が硯の海より丘に逆流するは，丘に存する表面張力の大なる薄き墨汁が，海にある表面張力小なる濃き墨汁を引くによる．〔商船〕

(4) 水上に樟腦を浮ぶるときは樟腦の溶解する程水は表面張力を減じ，爲めに樟腦は表面張力の大なる部分に引き寄せられて轉々水上を運動す．〔陸士〕

8. 毛管現象

【定義】 液中に細管を立つるとき管內の液面と管外の液面とに高さの差を生ずることを毛管現象といふ．

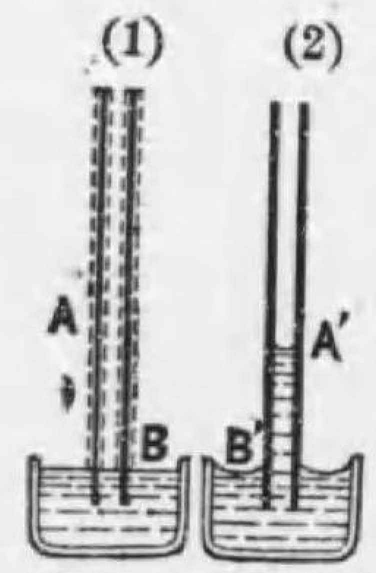
【定理】 1. 管を濡らす液ならば管內の液面は管外の液面よりも高くして管內の液の表面は凹形をなす．

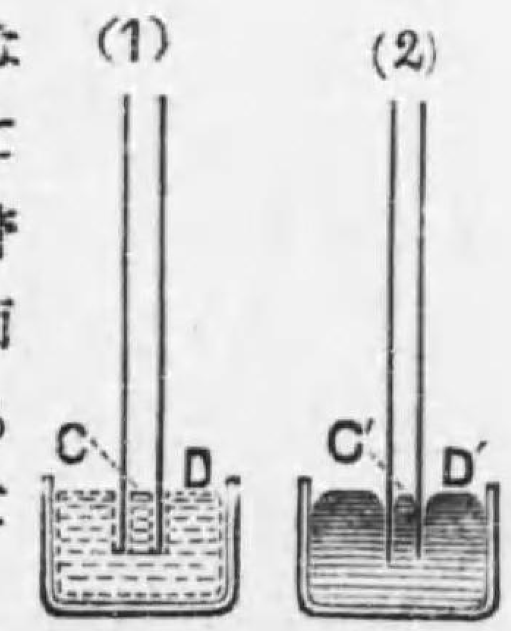
2. 管を濡らさざる液ならば却つて管內の液面は管外の液面よりも低くして，表面は凸形をなす．

【定律】 毛管の內外に於る液面の高さの差は管の半徑に反比例す．

【理由】 毛管現象は液の表面張力及び附着力等のために起る．

【說明】(イ) 管Aを濡らす場合には液面は左圖(1)點線A,Bの如くなるを以て液面は收縮して(2)A′B′となる．(ロ) 管を濡らさざる場合には液面は右圖(1) C,Dの如くなるべきを以て，表面は收縮して(2)C′D′の如くなる．





【實例】 1. 水中に硝子管を立つるときは水は管內に昇る．

2. 水銀中に硝子管を立つるときは水銀は管內にて低し．

3. 石油又は融解せる蠟は燈心を昇る．

4. インキは吸取紙にて吸ひ取らる．

5. 水を雜巾にて拭ふ．

6. 衣服に着きたる蠟は其の上に吸取紙を置き火熨斗をかくれば除かる.

【問題】 直徑 1.8 粍の毛細管中に於ける水の上昇の高さ 15 粍ならば, 45 粍の高さの上昇を得んには管の直徑を幾粍になすべきか. 〔商船〕

【解】 毛管に上昇すべき水の高さは其の直徑に反比例す. よつて求むる直徑は

$$1.8 \times \frac{15}{45} = 0.6 \text{ 粍} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

第三章

固　體

弾性.—フックの定律.—彈性計算.—剛體.—重力.

1. 彈　性

【定義】 外力を受けて歪み(變形)を生じたる物體が, 外力を去るとき原形に復する性を彈性といふ.

【定義】 彈性を有する物體を彈性體といふ.

〔例〕 ゴム, 鋼鐵, 竹, 等.

【定義】 歪める彈性體内に外力に反抗して生ずる力を彈力といふ.

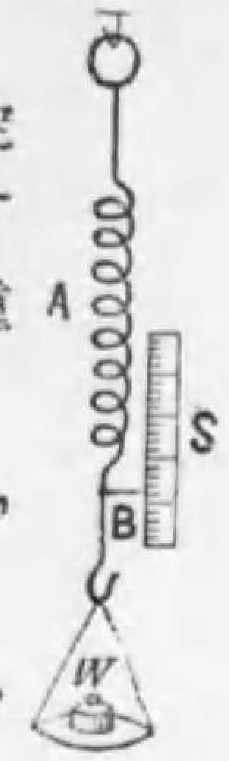
【定義】 彈性體が外力を去るとき原形に復し得る限界を彈性の際限といふ.

【應用】 ゼンマイ秤, 弓, 時計のゼンマイ, 車のバネ, 金屬晴雨計, 空氣銃, ゴム球, 自轉車自動車のタイヤ等.

2. フックの定律

〔鹿農〕

【定律】 彈性の際限内に於ては歪みは之を生ぜしむる外力の大さに比例す.

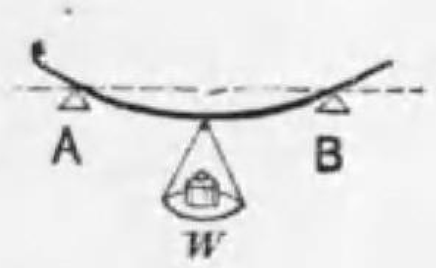


【實例】 1. ゼンマイ秤 (イ) ゼンマイ秤はフツクの定律を應用し, ゼンマイの延長が物體の重さに比例することにより, ゼンマイの延長を見て其の物體の重さを知る裝置なり.

(ロ) 鋼鐵ゼンマイ Aの上端を支へ下端に物體を吊し, ゼンマイの延長を指針 B の指す目盛 S にて知る.

(ハ) ゼンマイ秤は重量(力)を測るに適する裝置にして, 天秤 桿秤の如く質量を測る裝置にあらず. 故に重力の異なる處にては其の示度も異なる.

2. バネ又は鋼棒ABの撓みは力Wに比例す.



【問題】 柳に風折れなしといふ諺を物理的に說明せよ. 〔東師〕

【解】 柳の枝は彈性を有し其の際限大にして彈力小なるを以て, 風に壓さるゝときは容易に撓みて之に抗すること少なく, 從つて風力を受くること小なればなり.

3. 彈性の計算

(1) 長さ 10 糎のゼンマイ秤に 100 瓦の物體を吊したるに 15 糎に延長せり. 之に或物體を吊せしに長さ 30 糎なりしとせば吊せる物體の重さ何程.

【解】 フックの定律により

$$(15-10)^{\text{糎}} : (30-10)^{\text{糎}} = 100^{\text{瓦}} : x^{\text{瓦}}$$

$$\therefore\ x = 400\text{瓦} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(2) ゼンマイあり. 此の下端に10匁の物體を吊すときは 5 寸の長

さに延び，15匁の物體を吊すときは5寸5分の長さに延ぶといふ．ゼンマイの最初の長さ如何．

【解】ゼンマイの最初の長さをx分とすれば，10匁の物體を吊したる時に延びたる長さは$(50-x)$分，又15匁の物體を吊したる時に延びたる長さは$(55-x)$分なり．彈性體の歪みは吊したる物體の重さに正比例すべきを以つて，次の比例式を得．

$$10 : 15 = (50-x) : (55-x)$$

之を解きて$x=4$を得．　(答)　4寸．

(3)　歪みと力との關係をグラフ(曲線)にて示せ．

【解】略す．

4. 剛　體

【定義】彈性體と異なり，力を加ふるも其の形狀大小を變へざる物體を剛體といふ．

(注意)　完全なる剛體は存在せざるも，力の割合に小さき場合には石，鋼等は剛體と見做して差支なし．

【問題】次の物質の中より彈性體と剛體とを選び出せ．

青竹　枯れたる竹　銅塊　粘土塊　ゴム紐　セルロイド板　石塊．

【解】イ．よき彈性體の例．

青竹　ゴム紐　セルロイド板

ロ．剛體の例．

石塊　銅塊

5. 重　力

【定義】物體に作用する地球の引力を重力と稱す．

重力あるがために物體に重量あり．即ち重量は物體に作用する重力の大さなり．

【定理】物體の重量は同一の場所に於ては其の質量に正比例す．

【定義】重力の方向を表はす直線を鉛直線と稱す．

鉛直線は地球の中心を過ぎる．

【定義】鉛直線に垂直なる平面を水平面と稱す．靜止する液面は水平面をなす．

第四章

液　體

液體の壓力.—パスカルの原理.—水壓機.—パスカルの原理計算.—液體の自由表面.—水準器.—液體內の壓力.—壓力の計算.—連通管.—計算.—アルキメデスの原理.—計算.—固體の比重測定.—計算.—液體の比重測定.—計算.

1. 液體の壓力

【定理】靜止する液體の器壁に及ぼす壓力の方向は常に其の面に垂直なり．

【證明】もし壓力が器壁の面に垂直ならざれば之を垂直なる分力と，平行なる分力とに分解するを得べく，前者は器壁の反作用と釣合へども，後者は液體の運動を起すべければなり．

【定義】單位面積に作用する壓力を壓力の強さ（通常單に壓力）といふ．

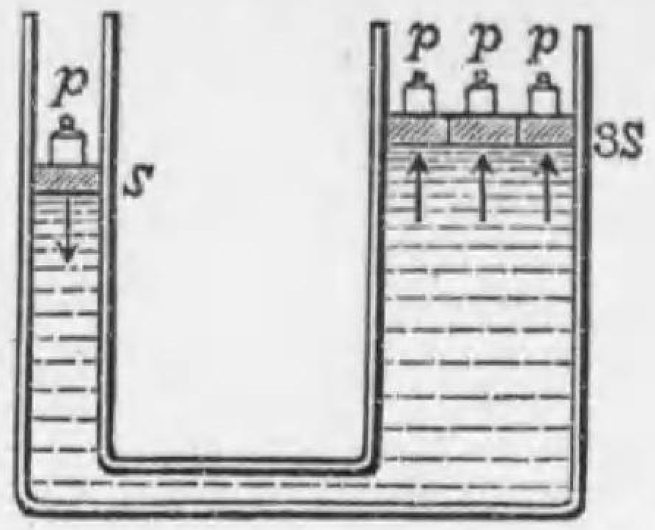
【公式】 壓力の强さ p，全面積 s，全壓力 P とせば

$$P=pS$$

2. パスカルの原理

〔東師〕

【原理】 液體の一部に壓力を加ふる時は其の壓力の强さは增減なく液體の各部に傳達す．



【實例】 (1) 圖の如く面積夫々 S, s なる活塞を備へたる連通器に水を入れ，活塞上に夫々 p, $3p$ の錘を載せて平均を得たりとせば，

$$\frac{p}{s}=\frac{3p}{S}$$

これ小活塞の單位面積每の壓力卽ち壓力の强さが大活塞の單位面積每に現はれたる證なり．

(2) 水道管の水壓は貯水場にて加へらるる壓力の傳達による．

(3) 瓦斯管內の壓力は瓦斯貯槽にて加へらるゝ壓力の傳達による．

【應用】 水壓機，起重機　等．

3. 水壓機

〔陸士〕〔外5校〕

【原理】 水壓機はパスカルの原理を應用し，小なる力にて大なる壓力を生ぜしむる裝置なり．

【構造と作用】 (1) 上圖の如く小圓筒の面積 s の活塞を p なる力にて動かし水を大圓筒に壓入す．

(2) 大圓筒には面積 S の活塞ありて，

$$P=p\times\frac{S}{s}$$

の力 P にて押上げられ，其の上の物體を壓搾す．

【用途】 鐵，紙，綿，糸などの壓搾．

4. パスカルの原理の計算

(1) 水壓機に於て兩圓筒の活塞を夫々直徑 0.75 吋 及び 20 吋なりとし，小圓筒の活塞上に 150 封度の力を加ふるときは大圓筒の活塞上に何封度の力を生ずるか． 〔商船〕

【解】 求むる力を x 封度とせば

$$\frac{x}{(20)^2}=\frac{150}{(0.75)^2}\quad\therefore\ x=10666.7\text{ 封度}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(2) 水壓機あり，物體を壓搾する大活塞の直徑は 16 糎，水を此の大活塞の下に送る小活塞の直徑は 2 糎なり．今長さ 63 糎の梃子の一端を支點とし，其の支點より 9 糎の處に小活塞を連ね，他端に 13 瓩の力を作用せしむるときは，物體は何程の力にて壓さるゝか． 〔東工〕

【解】 13 瓩の力のため小活塞に及ぶ力の大さを x 瓩とせば

$$13\text{瓩}\times63\text{糎}=x\text{瓩}\times9\text{糎}\quad\therefore\ x=91\text{ 瓩}$$

活塞上の力は其の面積に比例するを以て，大活塞上の力 y 瓩は

$$91\text{瓩}:y\text{瓩}=2^2:16^2\quad\therefore\ y=5824\text{ 瓩}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(3) 前頁圖の右活塞の面積 150 平方糎にして，此の上の分銅 3 貫なるとき左活塞に分銅なければ其の水面は右方より何尺高かるべきか． 〔海軍〕

【解】 求むる高さを x 尺とす．左右兩方の壓力の强さ等しきにより

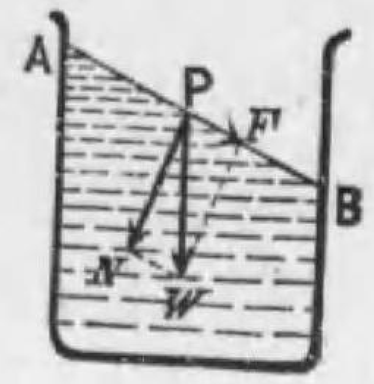
$$\frac{x\times100}{3.3}\times\frac{4}{15}=\frac{3\times1000}{150}\quad\therefore\ x=2.475\text{ 尺}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

5. 液體の自由表面

〔盛農〕〔東師〕

【定理】 重力の作用を受けて靜止する液體の自由表面は重力の方向に直角なる平面をなす．

【證明】 若し液體の自由表面ABが重力の方向に直角ならずとせば，表面上の一點Pに働く重力Wは，面に直角なる分力Nと，平行なる分力Fとに分解するを得べし．前者は液體の抵抗と釣合へども，後者のためP點の液體は下方に滑り落つべきなり．



【定義】 重力の方向に垂直なる平面を水平面といふ．

【實例】 (1) 器に容れたる液體の表面は常に水平なり．

(2) 但し露又は雨滴の如きは表面張力の影響大なるため其の表面は水平ならず．

(3) 重力は地球の中心に向ふにより遠隔なる二地に於ては平行ならず．故に水平面は實は大なる半徑の球面の一部なり．

(4) 河水は水平面を形成せんとして低地に流る．

(5) 噴水は高所の水が低處に到りて水平ならんとして生じ，水道栓より水の流出するも同じく，井水の湧出するも亦同じ．

〔東師〕

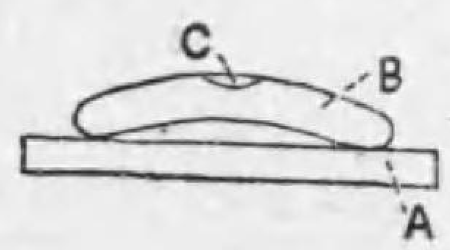
【應用】 水準器に用ふ．

6. 水準器

【原理】 液體の自由表面の水平なることを應用し，面の水平を定むる裝置なり．

【構造】 (1) 稍彎曲せる硝子管Bに液（流動し易きエーテル等を用ふ）を入れ，少許の氣泡Cを殘して閉ぢ，

(2) 之を臺Aに固定せるものなり．



【使用法】 (1) 氣泡CがBの中央（印あり）

に來るときA臺の乘れる面は水平なり．これ氣泡が管の最上部に位せんとすればなり．

(2) 面の水平なるを定むるには互に直角なる二方向に於て，水準器の氣泡が何れも其の中央に來るかを見るべし．これ相交はる水平二方向（二直線）を含む平面は，水平面を定むればなり．

(3) 水準器の良否を檢するには之を平面上に置き，次に左右を反對にして置き，各の場合に於て氣泡が中央にあるか或は左右同程度に偏れるかを見るべし．

7. 液體內の壓力

【定理】 (1) 重力による液體の壓力の强さは其の深さ及び密度に比例す．

(2) 液體內一定の深さにある面の受くる壓力の强さは面の方向に關せず常に相等し．

【公式】 密度dなる液內にて深さhに於ける壓力の强さpは

$$p=hd$$

【實例】 (1) 桶の箍を下部に多く嵌めて丈夫にする必要あるは，壓力の强さが深きほど大なるがためなり．

(2) 堤防の基礎を特に廣く堅固に造るも同理なり．

(3) 筒に底板を當て水中に挿入するに底板は落ちず．次に筒に水を殆んど筒外の水平面まで入るゝときは，底板の上下の水壓平均して底板は落つ．

(4) 面積相等しくして水平なる底面の受くる全壓力は液の深さ相等しきとき，側壁の鉛直なる器，上部の擴がれる器，下部の狹き器等，容器の形に關せず同一なり．これ液體內の壓力の强さは深さにより一定し，從つて等面積の器底が受くる全壓力

は相等しければなり．

【問題】 水を盛りたる箱あり．絲の一端を手に持ち，他端に結付けたる硝子片を水中に懸垂したり．懸垂前後に於て箱の底面に及ぼす壓力の變化の有無を述べ，その理由を說明せよ．〔桐工〕

【解】 箱の水面は硝子片の體積と同體積だけ昇るを以て箱の內の水の深さが增加し，從つて底面の壓力も此水の重さだけ增加するなり．

8. 液體壓力の計算

〔海兵〕

(1) 100米の深さに於ける水壓如何．

【解】 1瓦×100×100＝10 瓩「每平方糎」……………………(答)

(2) 深さ9780米の海底に於ける壓力の强さは一平方糎每に何程なるか．〔北農〕

【解】 海水の比重は1.03なるにより

1.03瓦×9780×100

＝1007.3 瓩 ……………………………………(答)

(3) 各邊の長さ1米なる立方形の箱あり．之に水を滿たすとき底面及び側面に働く壓力を求めよ．〔熊工〕

【解】 箱內の水の全重量は

1瓦×$(100)^3$＝1000 瓩……………………………(答)

側壁は鉛直なるを以て上の重さは底面の受くる全壓力なり．又側壁の平均の壓力の强さは

1瓦×(100÷2)＝50瓦

側壁の全面積は

$(100)^2$×4＝40000 平方糎

故に側壁の全壓力は

50瓦×40000＝2000 瓩……………………………(答)

(4) 水銀の深さ2糎，水の深さ3糎，油の深さ1.5糎(密度0.9)なる時，一平方糎に對する底壓力は幾瓦なるか．〔高船〕

【解】 13.6瓦×2＋1瓦×3＋0.9瓦×1.5

＝31.55 瓦……………………………………(答)

(5) 容器に入れたる水の中に重さ300瓦の鉛塊を糸にて吊り下ぐるときは，容器の底に及ぼす水壓の變化如何．但し鉛の比重は11.4とす．〔横工〕〔熊工〕

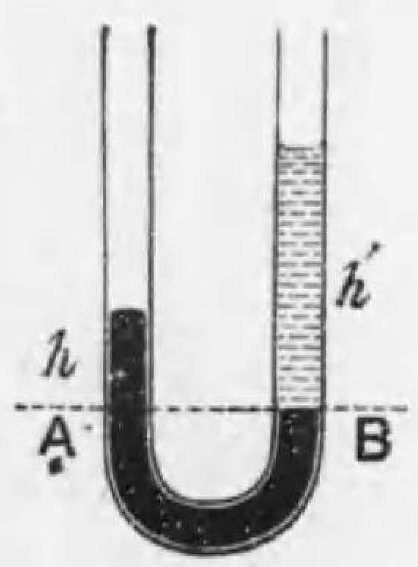
【解】 鉛塊のために容器の水面は高まりて底を壓す力を增加す．其の大さは高まりたる水の重さに等し．即ち，

300瓦÷11.4＝26.3 瓦……………………………(答)

9. 連通管

〔東師〕

【定理】 連通管の兩脚に密度を異にする液を入るゝ時．其の境界面より各液面までの高さは兩液の密度に反比例す．



【證明】 同一液體內に於ける同一水平面ABの壓力の强さは相等しからざるべからず．然るにA,B上の壓力は密度d, d'と高さh,h'との積にして，夫々dh, $d'h'$なり．故に

$$dh = d'h'$$

【公式】 $\therefore\ h : h' = d' : d$

10. 連通管の計算

(1) 連通管の一方に或液を入れ他方に水銀を入れたるに，二液の靜止したるとき二液の境界面より兩液面迄の高さは，水銀0.175米，他の液0.28米なりといふ．此の液の水銀及び水に對する比重を求む．〔陸士〕

【解】 水銀に對する比重をxとせば

0.175米 : 0.28米＝x : 1

∴ x＝0.625 ……………………………………(答)

又水銀の比重は13.6なるにより，水に對する比重は

$13.6 \times 0.625 = 8.5$……………………………(答)

(2) 連通管に水と石油（比重0.8）とを入れたるに，境界面より水の高さ12糎なりしといふ．石油面までの高さ何程．

【解】 求むる高さをx糎とせば

$12^{糎} : x^{糎} = 0.8 : 1$

$\therefore\ x = 15$ 糎 ……………………………(答)

(3) U字形曲管の一方より水銀を入れ，次に他方より水を入れ，兩管口を水平にして管口より水面に至る距離2寸5分，水銀面迄の距離8寸8分あるを知れり．水柱の高さ及び兩液の接觸面の管口よりの距離幾何．　〔米工〕

【解】 接觸面より管口までの距離をx分とすれば，水柱の高さは$(x-25)$分，水銀柱の高さは$(x-88)$分なるにより，

$x-25 : x-88 = 13.6 : 1$

故に管口までの距離は$x=9$寸3分 ……………(答)

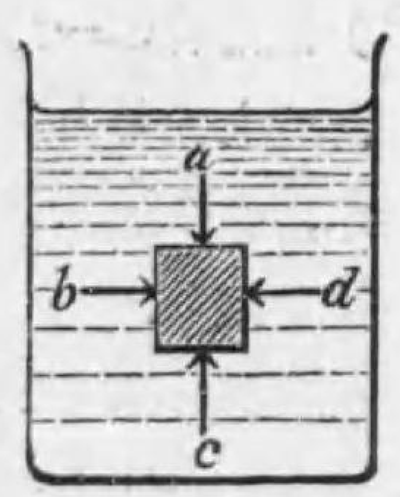
又水柱の高さは$93^{分}-25^{分}=6$寸8分…………(答)

11. アルキメデスの原理

〔東農〕〔外4校〕

【原理】 液體内の物體は其の物體が排除したる液體の重量に等しき浮力を受く．

【證明】 (1) 液體内に其の液體のVなる體積を考ふるに，此の液體の全重量は其の周圍より受くる壓力a, b, c, dの合力と釣合ふ．



(2) 即ちV體積の液體の受くる浮力は自己の重量に等し．

(3) 次に液體の代りにV體積の他の物體を其の位置に入るゝも，周圍よりの壓力の合力即ち浮力は前と異なることなし．

(4) 依つて物體は正しく自己の排除せる液の重さだけ輕くなる．

【浮沈】 (1) 沈む場合．物體の比重が液の比重より大なれば，物體の重量は排除液の重量即ち浮力よりも大にして，物體は沈む．水に石を投じたる場合の如し．

(2) 沈まざる場合．物體と液體と比重等しければ，重量と浮力とは釣合ひ，物體は液體内任意の處に止まる．適度の食鹽水に鷄卵を入れたるときの如し．

(3) 浮ぶ場合．物體の比重が液の比重より小なれば，物體は浮び出で，物體と同重量の液だけを排除す．通常の浮體はこれなり．

【實例】 (1) 淡水よりも海水中にて浮び易きは，後者の比重大にして從つて排除せる液體の重量，即ち浮力大なるによる．

(2) 浴湯内にて自己の體重を指にても容易に支へ得るは，人體は水より比重僅かに大なるに過ぎざるにより，浮力は殆んど體重に等しければなり．

(3) 魚は浮袋を筋肉の作用にて膨脹せしめ全體積を増加し以て排除液量を多からしめ，從つて浮力増加して浮ぶ．反對に浮袋を小にし浮力を減じて沈む．

(4) 潜水艇は海水を入れて沈み，又排除して浮ぶ．船は自己の重量だけの水を排除して浮ぶも，水の侵入するときは排除液は少なくなり，從つて浮力を減じて沈沒す．

(5) 軍艦の排除する液體の重さ，即ち軍艦の重量を排水噸數といふ．　〔專檢〕

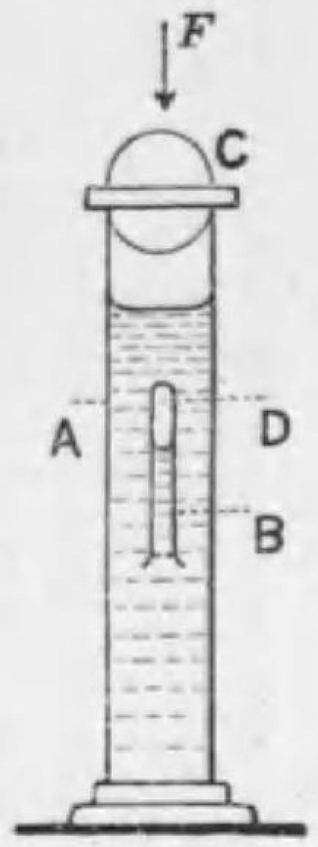
(6) 器中の水に浮ぶ氷が融解するも，水面の高さには昇降なし．これ氷は水となるも重量を變ずることなく，體積は正しくもと排除せし水の體積と相等しければなり．

(7) 銅(比重8.9)，鐵(7.8) 等は水銀(13.6) に浮び，金(19.3)，白

金(21.5)等は此の中に沈む. 〔專檢〕

【應用】 艦船, 浮船渠, 浮秤, 固體の體積測定用, 比重測定用等.

【問題】 圓筒Aに水を入れ, 之に試驗管Bに若干の水を入れ倒にして浮べ, 圓筒口を被ひたるゴム球(下部に孔をあけたるもの) Cを押すときは試驗管は沈み, 放てば浮ぶ. 此の理如何.



【解】 Cを押せば圓筒の水面上の空氣は壓縮せられ, パスカルの原理により, 試驗管內の空氣Dは壓縮せられ此の中に水が侵入して排除せる水は少なくなるが故に, アルキメデスの原理により試驗管は沈む. 手を放つ際は上の反對なり.

12. アルキメデスの原理計算

【第一】 沈む物體

(1) 體積45立方糎の鐵塊を水中にて秤るときは, 其の重さ幾何となるか. 又390瓦の鐵塊を海水中にて秤るときは其の重さ幾何. 但し鐵の比重は7.8, 海水の比重は1.03とす. 〔北農〕

【解】 鐵塊の重さは 7.8瓦×45=351瓦, 水の浮力は 1瓦×45=45瓦なるにより, 水中の重さは

351瓦−45瓦=306瓦 ……………………(答)

又390瓦の鐵塊の體積は

390÷7.8=50立方糎

故に之の排除する海水の浮力は

1.03瓦×50=51.5瓦

依て海水中の重さは

390瓦−51.5瓦=338.5瓦 ……………………(答)

(2) 比重2.5, 重量10瓩の物體を糸にて吊し之を體積の半分だ

水中に浸すときは絲の張力は何程なるか. 〔熊工〕

【解】 此の物體の體積は

10÷2.5=4(立)

故に水中に沒せる體積は2立にして, 其の受くる浮力は

1瓩×2=2瓩

故に絲の張力は

10−2=8瓩 ……………………(答)

(3) 10糎立方の白金塊を零度の水銀中に支ふるには何程の力を要するか. 但し水銀の比重を13.6, 白金の比重を21.5とす. 〔高船〕

【解】 白金の重量は 21.5×10³=21.5瓩

水銀の浮力は 13.6×10³=13.6瓩

故に上方に支ふる力は 21.5瓩−13.6瓩=7.9瓩 ………(答)

(4) 比重9なる金屬塊あり. 內部に空隙あるため空氣中にて測れる目方310瓦, 水中にて計れる目方715瓦なりといふ. 空隙の體積幾許なるか. 〔秋鑛〕〔東農〕

【解】 金屬塊の全體積は 810−715=95立方糎

而して, 金屬部の體積は 810÷9=90立方糎

故に空隙の體積は 95−90=5立方糎 ……………………(答)

(5) 623瓦の中空なる銅器あり. 之を水中に吊して其の重さを測りしに496瓦ありしといふ. 中空部の體積を求めよ. 〔東農〕

【解】 銅器の排除する水の體積は 623−496=127立方糎

中空部の體積を x 立方糎とせば

8.9瓦×(127−x)=623瓦

∴ x=57立方糎 ……………………(答)

(6) 木製の柄を附せる鎚あり. 空氣中に於ける重量は232瓦にして, 水中に於ける重量は127瓦なり. 鐵の比重8, 木の比重0.4として其各重量を求む. 〔北工〕

【解】 鎚の受くる浮力は　232−127=105 瓦　にして，從つて鎚の體積は 105 立方糎なり．今鐵の重量を x 瓦とすれば，木の重量は $(232-x)$ 瓦にして，其の體積の和は 105 立方糎なり．故に次の方程式を得．

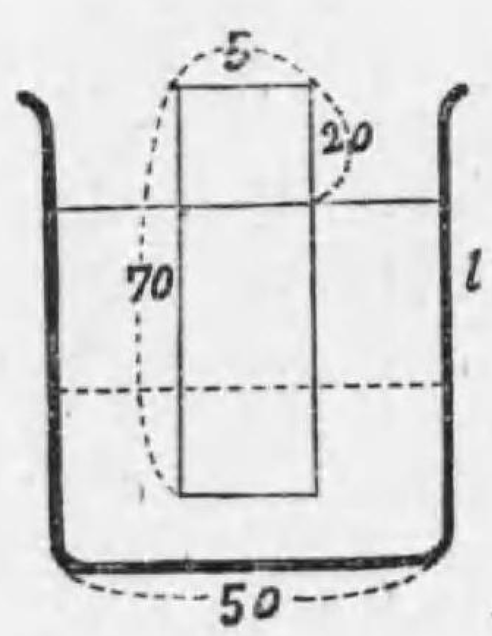
$$\frac{x}{8}+\frac{232-x}{0.4}=105 \qquad \therefore\ x=200\ 瓦\cdots(答)$$

$$232-200=32\ 瓦\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(7) 內側の横斷面積が一樣に 50 平方糎なる圓筒に水 1350 立方糎と比重 13.6 の水銀若干量とを入れ，此の中に手に持ちたる金屬棒を其の軸が圓筒の軸と平行なる樣にし下端が水銀中に入るまで沈めたるに棒は水面上 20 糎だけ殘りたりと云ふ．此の際手が棒に加へ居る力の方向及び大さを求めよ．但し金屬棒の長さは 70 糎，質量は 2870 瓦，横斷面積は一樣に 5 平方糎，兩端の切口は軸に直角にして，下端は圓筒の底に達せざるものとす．〔愛醫〕

【解】 横斷面積50平方糎の器に横斷面積 5 平方糎の棒が入りたるため水のある部分の面積は 50−5=45 平方糎となるを以つて深さは

$$1350\div45=30\ 糎$$



故に金屬棒に及ぼす水の浮力は

$$30\times5=150\ 瓦$$

而して棒の水銀中の長さは

$$70-(20+30)=20\ 糎$$

なるを以て，水銀の浮力は

$$20\times5\times13.6=1360\ 瓦$$

依つて金屬棒を上に引くに要する力は，

$$2870\ 瓦-(1360\ 瓦+150\ 瓦)=1360\ 瓦\cdots\cdots\cdots(答)$$

【第二】 浮ぶ物體

(1) 水を入れたる器中に比重 0.92 の氷塊を浮ぶるときは水面より上の部分と下の部分との體積の割合は幾何．〔鹿農〕

【解】 水面上の體積を x，水面下の體積を y とせば，水の比重は 1 なるを以て，浮力の原理により次の關係あり．

$$0.92\times(x+y)=1\times y$$

$$\therefore\ x:y=2:23\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(2) 比重 1.3 の液體中に比重 0.9 の氷を投ずるとき氷が液體の內外にある質量の比を求む．〔醫專〕

【解】 氷の內外の體積を x，y とせば

$$0.9\times(x+y)=1.3x \qquad \therefore\ x:y=9:4$$

依つて質量の比は　9 : 4 ⋯⋯⋯⋯(答)

(3) 海上に浮べる氷塊あり．其の海面上に現はるゝ部分の體積は 10000 立方尺なりと云ふ．氷塊の全體積を求む．但し海水の比重は 1.026，氷の比重は 0.917 なりとす．〔秋鑛〕

【解】 氷塊の全體積を x 立方尺とせば

$$\underbrace{1.026\times(x-10000)}_{\text{排除する海水の重さ}}=\underbrace{0.917\times x}_{\text{氷塊の重さ}}$$

$$\therefore\ x=94129\ 立方尺\cdots\cdots\cdots(答)$$

(4) 水銀上に浮べる鐵塊あり．之を沒するまで上部に水を注ぎたり．鐵塊の水銀中に沒する部分と水中に在る部分との體積の比を求む．但し比重は鐵 7.8，水銀 13.6 とす．〔名工〕

【解】 鐵塊の水中にある部分の體積を x，水銀中の體積を y とすれば，浮力は鐵塊の重さと釣合ふにより，

$$\underbrace{x}_{\text{水の浮力}}+\underbrace{13.6y}_{\text{水銀の浮力}}=\underbrace{7.8(x+y)}_{\text{鐵塊の重さ}}$$

$$\therefore\ y:x=34:29\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(5) 純良なる牛乳の比重は 1.03 なりといふ．今或牛乳に細長き

直圓柱を入れたるに高さ 12.0 糎だけ沈み，更に水中に入れたるに 12.2 糎沈みたりといふ．計算の理由を附して此の牛乳の純否を定めよ．〔高等〕

【解】直圓柱の重さは，それが排除せる水及び牛乳の重さと釣合ふが故に，深さ 12 糎の牛乳の液柱と深さ 12.2糎の水柱との重さ相等し．故に牛乳の比重をSとせば

$$12\times S=12.2\times 1 \qquad \therefore\ S=1.017$$

依つて此の牛乳は不純なり．(答)

(9) 一邊 10糎の木材の立方體を海水中に浮べ，其一邊を鉛直ならしむるときは，水上に現はるゝ部分の高さ幾何なるか．木材の比重を 0.56 とし，海水の比重を 1.025 とす．〔北工〕

【解】水上の部分を x 糎とすれば水中の部分は $(10-x)$ 糎なり．而して木材の重さは其の受くる浮力と釣合ふにより，

$$0.56\times 10^3=1.025\times 10^2\times(10-x)$$

$$\therefore\ x=4.54 \text{ 糎}$$ ……(答)

【第三】沈むる力

(1) 比重 0.25 にして重量 1 瓩なる物體を水中に押し沈むるには幾何の力を要するか．〔熊工〕〔海軍〕

【解】此の物體と同體積の水の重量即ち浮力は

$$1\text{瓩}\div 0.25=4\text{瓩}$$

故に所要の力は

$$4\text{瓩}-1\text{瓩}=3\text{ 瓩}$$ ……(答)

(2) 比重 0.75 にして，重量 1.2 貫の木片を水中に沈むるに要する力を求む．

【解】木片と同體積の水の浮力は $1.2\text{貫}\div 0.75=1.6$ 貫なるが故に，所要の力は $1.6\text{貫}-1.2\text{貫}=0.4$ 貫 ……(答)

(3) 比重 0.85，體積 V 立方糎なる物體を比重 1.025 なる海水中に全部沈めんには幾匁の力を要すべきか．〔水産〕

【解】$(1.025-0.85)\times V\times\frac{4}{15}=0.044V$ 匁 ……(答)

【第四】二つの物體の結合

(1) 比重 0.6 の立方體の木材を比重 1.5 の液上に置き其の一邊を鉛直ならしむるときは 2 糎沈む．此の木材に10瓦の錘を載するときは何程沈むか．〔東工〕

【解】立方體の一邊の長さを x 糎とせば，立方體の重量は $0.6\times x^3$ 瓦 液の浮力は $1.5\times x^2\times 2$ 瓦なるにより

$$0.6\times x^3=1.5\times x^2\times 2 \qquad \therefore\ x=5\text{糎}$$

又木材に錘を載せたるときの重さは

$$0.6\times 5^3+10=85\text{ 瓦}$$

水中に沈みたる長さを y とせば，液の浮力は $1.5\times 5^2\times y$ 瓦なり．

$$\therefore\ 1.5\times 5^2\times y=85$$

$$\therefore\ y=2.25\text{ 糎}$$ ……(答)

(2) 半徑 1 寸，比重 2 なる球と，半徑 2 寸，比重 0.5 なる球とを繫ぎて水中に入るゝ時水面上に出づる部分は幾何．〔秋鑛〕

【解】比重水より小なる方の球は面上に出づべし．其の部分の體積を x 立方寸とす．球の重さは夫々

$$2\times\left(\frac{4}{3}\pi\times 1^3\right)=\frac{8\pi}{3} \qquad 0.5\times\left(\frac{4}{3}\pi\times 2^3\right)=\frac{16\pi}{3}$$

排除する水の重量は

$$1\times\frac{4}{3}\times\left(1^3+2^3\right)-x=12\pi-x$$

故にアルキメデスの原理により

$$\frac{8\pi}{3}+\frac{16\pi}{3}=12\pi-x$$

$$\therefore\ x=4\pi=12.6\text{ 立方寸}$$ ……(答)

(3) 1瓩の木材(比重 0.7) に次の (イ)(ロ) の如く鉛(比重 11.4) を附して水に沈め木材の體積の10分の 9 を水中に入るゝ様にするには鉛何瓦を要するか．(イ)木材の上部に載せたる場合

（ロ）木材の底部に吊したる場合. 〔陸士〕

【解】（イ）求むる鉛の重さを x 瓦とす.

木材の重さは $0.7\times1000=700$瓦

排除せる水の重さは $\frac{1000}{0.7}\times\frac{9}{10}=\frac{9000}{7}$瓦.

$$\therefore\quad x+700=\frac{9000}{7}$$

$$\therefore\quad x=585.7\text{瓦}\cdots\cdots\text{(答)}$$

（ロ）鉛の重さを y 瓦とすれば，それが水中に於ける重さは $x\times\left(1-\frac{1}{11.4}\right)$ 瓦なるにより，前問と同様に

$$y\times\left(1-\frac{1}{11.4}\right)+700=\frac{9000}{7}\quad\therefore\quad y=642.0\text{瓦}\quad\text{(答)}$$

(4) 比重 0.25 のコルク 1050 瓦と比重 8.5 の銅 3400 瓦とを絲にて結び付けて水中に入るゝときは，浮沈如何. 〔海兵〕

【解】物體の重さは $1050+3400=4450$瓦

水の浮力は $1050\div0.25+3400\div8.5=4900$瓦

後者は前者より大なるにより物體は浮ぶ……………(答)

(5) 重さ 540 瓦の浮標あり. 其の體積の 3 分の 2 は水面上に浮出せり. 之を沈めんには水中にて測りたる重さ幾瓦を附加すべきか. 〔海兵〕

【解】浮標の體積の 3 分の 1 に作用する浮力は 540 瓦なり. 故に全體積に作用すべき浮力は

$$540\text{瓦}\div\frac{1}{3}=1620\text{瓦}$$

故に附加すべき重さは

$$1620\text{瓦}-540\text{瓦}=1080\text{瓦}\cdots\cdots\text{(答)}$$

(6) 比重 0.8, 重さ 154 瓦の木片を全部水中に押し沈めんには幾瓦の鉛塊(比重11.3)を吊り下ぐべきか. 〔陸士〕

【解】鉛塊の空氣中に於ける重さを x 瓦とせば，水中に於ける重さは $x-(x\div11.3)$瓦，故に全體の重さ（左邊）は水の浮力（右邊）と釣

合はざるべからず.

$$154\text{瓦}+(x-x\div11.3)\text{瓦}=154\text{瓦}\div0.8$$

$$\therefore\quad x=42.2\text{瓦}\cdots\cdots\text{(答)}$$

(7) 比重 0.6 にして體積 70 立方糎なる木片あり. 之に比重 8 なる眞鍮の錘を附着し其の全體が恰度水中に沈む如くするには，眞鍮の錘の體積を幾何にすれば可なるか. 〔熊工〕

【解】眞鍮の體積を x 立方糎とすれば，其の重さは $8x$ 瓦，木片の重さは $0.6\times70=42$ 瓦，水の浮力は $(70+x)$ 瓦なるにより，

$$8x+42=70+x\quad\therefore\quad x=4\text{ 立方糎}\cdots\cdots\text{(答)}$$

(8) 11 匁の鉛塊に體積幾何のコルクを附着せば浮沈せざるものとなるか. 但し鉛の比重は 11, コルクの比重は 0.25 とす. 〔長商〕

【解】鉛 11 匁の體積は $3.75\text{瓦}\times11\div11\text{瓦}=3.75$ 立方糎

コルクの體積を x 立方糎とせば，其の重さは $0.25x$ 瓦なり. 而して水の浮力は全體にて $(3.75+x)$ 瓦なるが故に，

$$3.75\times11+0.25x=3.75+x\quad\therefore\quad x=50\text{ 立方糎}\cdots\cdots\text{(答)}$$

13. 固體の比重測定

〔醫專〕〔海機〕

1. 水より重き固體

【公式】 $S=\frac{W}{W-w}$

式中 S は比重, W は物體の重さ, w は物體の水中にての重さ.

【證明】 $W-w$ はアルキメデスの原理により物體と同體積の水の重さなり. 故に上の分數は物體と水との重さの比なり.

2. 水より輕き固體

〔盛農〕〔鹿農〕

【公式】 $S=\frac{W}{W+w-W'}$

式中，S, W は同上, w は錘の水中にての重さ，W' は物體と錘との水中

にての重さの和.

【證明】 $W+w$ は物體に錘を附し錘のみ水中に入れたるときの重量，然るに物體をも水中に入れしため之が W' に減少せり．故に水の浮力は $W+w-W'$ にして，これ物體と同體積の水の重量なり.

3. 水に溶解する固體　〔鹿農〕〔盛農〕

【公式】 $S=S_1\times S_2$

式中 S は固體の比重，S_1 は固體の其固體を溶かさざる液に對する比重，S_2 は其液の比重.

【證明】 固體の重さを W，其の固體と同體積の或液と水の重さを夫々 W_1, W_2 とすれば

$$S_1=\frac{W}{W_1},\quad S_2=\frac{W_1}{W_2}$$

$$S=S_1\times S_2=\frac{W}{W_1}\times\frac{W_1}{W_2}$$

$$=\frac{W}{W_2}$$

4. 比重壜

【公式】 $S=\dfrac{W}{W+w-W'}$

式中 W は物體の重さ，w は壜に水を充たしたる重さ，W' は之に物體を入れ溢れたる水を去りたる後の重さ.

【證明】 $W+w$ は物體と壜と水との和，W' は物體と壜と物體以外の水との和,故に $W+w-W'$ は物體と同體積の水の重さなり.

14. 固體の比重計算

(1) 空氣中にて秤れば 58 瓦にして，水中にて秤れば 46 瓦なる物

の體積及び比重を求む.　〔海機〕

【解】 體積 $=58-46=12$ 立方糎
比重 $=58\div12=4.83$ ……………………(答)

(2) 空氣中にて 11.7 瓦の重さを有する固體を水中にて秤りしに，10.2 瓦となれり．其の固體の比重を問ふ.　〔海機〕

【解】 $11.7\div(11.7-10.2)=7.8$ ……………………(答)

(3) 長さ 5 寸の直壔形の木を水に浮べたるに 2 寸だけ水上に現はれしといふ．木の比重如何.

【解】 木の比重を x とすれば

$$5x=(5-2)\times1\qquad\therefore\ x=0.6$$ ……………………(答)

(4) 水より輕き重さ 15.3 瓦の物體に錘を結び付け水中に沈めて其の重さを測りしに 18.3 瓦にして，錘のみを水中に沈めて其の重さを測りしに 29.6 瓦なしりと云ふ．物體と同體積の水の重さは幾何なるか．但し水は攝氏 4 度の蒸溜水とす.　〔鹿農〕

【解】 錘の水中の重さと物體の重さとの和は，

$$29.6+15.3=44.9\text{瓦}$$

然るに物體が水中にて浮力を受けしがため其の重さ 18.3 瓦となれり．故に水の浮力，即ち物體と同體積の水の重さは，

$$44.9-18.3=26.6\text{瓦}$$ ……………………(答)

(5) 水には溶解すべきも酒精には溶解せざる或固體の空氣中に於ける重量 364 瓦にして,酒精中に於ける重量は 210 瓦なりといふ．此の酒精の比重を 0.85 として其の固體の比重を計算すべし.　〔商船〕

【解】 此の固體の酒精に對する比重は

$$\frac{364}{364-210}=\frac{182}{77}$$

故に其の固體の水に對する比重は

$$\frac{182}{77}\times0.85=2.01$$ ……………………(答)

(6) 比重壜に水を充せるときの重さ 250 瓦，其の内に重さ50瓦の硝子粉を入れ溢れたる水を拭ひて測りたるときの重さ 285 瓦なり．此の硝子粉の比重を求む．〔東農〕

【解】 比重壜と其の中の水とそれに入るべき硝子粉との重量の和は

$$250\text{瓦}+50\text{瓦}=300\text{瓦}$$

硝子粉を壜に入れたるため溢れたる水の重量は

$$300\text{瓦}-285\text{瓦}=15\text{瓦}$$

之が硝子粉と同體積の水の重量なり．故に硝子粉の比重は

$$50\text{瓦}\div 15\text{瓦}=3.33 \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(7) 金剛石(比重 3.5)を嵌めたる 65 瓦の金(比重 17.5)の指輪を水中にて秤り 60 瓦を得たり．金剛石の重量何程．〔商船〕

【解】 金剛石の重量を x 瓦とすれば，金の重量は $(65-x)$ 瓦，指輪の體積は$(65-60)$ 立方糎．故に

$$\frac{x}{3.5}+\frac{65-x}{17.5}=65-60$$

$$\therefore\ x=5.6\text{ 瓦} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(8) 比重 8.9 の銅と比重 7.0 の亞鉛とより成る合金塊あり．空氣中及び水中に於ける重量夫々 40.7 瓦と 35.7 瓦なりといふ．銅及び亞鉛各幾瓦を含有するか．〔北工〕

【解】 合金の水中にて受けし浮力は $40.7-35.7=5.0$ 瓦なるが故に其の體積は 5.0 立方糎なり．

今銅の重量を x 瓦とすれば，銅と亞鉛との體積の和は合金の體積に等しきにより，

$$\frac{x}{8.9}+\frac{40.7-x}{7.0}=5.0 \qquad \therefore\ x=26.7$$

故に　銅 26.7 瓦，亞鉛 14.0 瓦 ⋯⋯⋯⋯(答)

(9) 眞空中にては重さ 20.53 瓦，比重 0.933 の液體中にては重さ 18.35 瓦なる一つの物體の其溫度に於ける比重を求めよ．

〔橫工〕

【解】 此の物體と同體積の此の液體の重さは此の液體の呈する浮力に等し．即ち

$$20.53-18.35=2.18\text{ 瓦}$$

又其の固體の體積は $(2.18\div 0.933)$ 立方糎なり．

故に此の固體の比重は

$$20.53\div(2.18\div 0.933)=8.79 \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(10) 空氣中にての重さ 5.5 瓦なる或物體に分銅を附し比重 1.05 の食鹽水に入れて測りしに 28 瓦ありしといふ．此の物體の比重を求めよ．但し分銅のみの食鹽水中の重さは 30 瓦なりとす．〔熊工〕

【解】 求むる比重を x とせば，其の體積は $\frac{5.5}{x}$ 立方糎にして，之が食鹽水中にて受くる浮力は $1.05\times\frac{5.5}{x}$ 瓦なり．故に

$$5.5\text{瓦}+30\text{瓦}=28\text{瓦}+1.05\times\frac{5.5}{x}\text{瓦}$$

$$\therefore\ x=0.77 \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(11) 長さ 30 糎，重さ 500 瓦の一様なる棒の一端に或る物體を吊し，其の端より 5 糎の點を支へて釣合へり．今其の物體を全部水中に入れしに支點を前記の端より 10 糎の處に變へて再び釣合へりといふ．其の物體の密度如何．〔海軍〕

【解】 物體の空氣中の重さを x 瓦とすれば，題意により，

$$5x=500\times(15-5) \qquad \therefore\ x=1000\text{ 瓦}$$

又此の物體の水中に於ける重さを y 瓦とせば

$$10y=500\times(15-10) \qquad \therefore\ y=250\text{ 瓦}$$

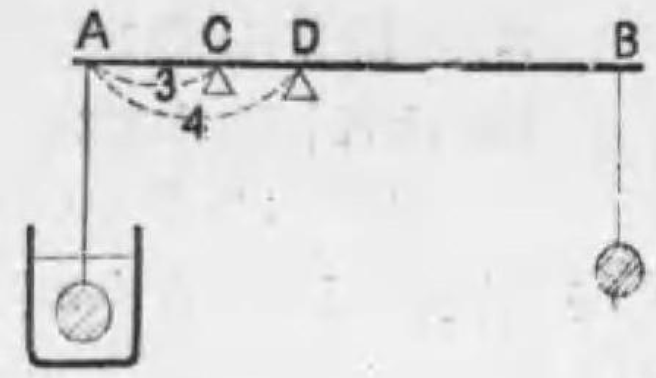
故に此の物體の密度は

$$1000\div(1000-250)=\frac{4}{3}\text{ 瓦每立方糎} \cdots\cdots(\text{答})$$

(12) 長さ 1 尺の重さなき棒の兩端に同じ物質より成る二つの球を吊し一端より 3 寸の所を支へたるに棒は水平となれり．次に

一つの球を水中に沈め他の球は元のまゝ空氣中に置きて試みたるに，同じ端より4寸の所を支ふる時棒は水平となれり．此の球の比重を求む． 〔熊工〕

【解】 棒 AB に於ける A 端に吊せる球の質量を 1，B 端のを m の質量とし，初めの釣合に於ける支點を C とすれば，次の能率關係あり．



$1\times3=m\times(10-3)$

又 A 端の球を水に入れたるときの重さを y，其の時の支點を D とすれば，次の關係を生ず．

$y\times4=m\times(10-4)$

此の兩式より $y=\frac{9}{14}$ を得．故に水中にて減じたる重量は，

$1-\frac{9}{14}=\frac{5}{14}$ にして，從つて比重は $1\div\frac{5}{14}=2.8$ ……(答)

15. 液體の比重測定

〔鹿農〕〔外5校〕

1. 浮力法

【公式】 $S=\dfrac{W-w_1}{W-w_2}$

式中 W は物體の重さ，w_1 は測定液中の重さ，w_2 は水中の重さ．

【證明】 $W-w_1$ は物體と同體積の測定する液の重さ，$W-w_2$ は物體と同體積の水の重さ，故に其の比は液の比重なり．

2. 比重壜法

【公式】 $S=\dfrac{W_1-w}{W_2-w}$

式中，W_1 は比重壜に液を充たしたる重さ，w_2 は同じく水を充したる重さ，w は比重壜の重さ．

【證明】 式中，分子は液體の重さ，分母は液體と同體積の水の重さなるにより，此の比は液體の比重なり．

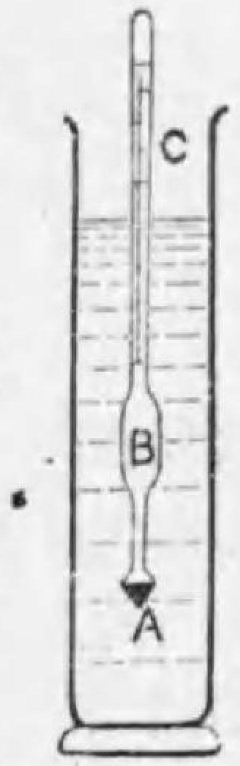
3. 連通管法

【公式】 $h:h'=d':d$

式中，兩液の境界より比重 d なる液面までの高さ h，又 d なる液面までの高さ h'．

【證明】 $hd=h'd'$ 〔23 頁〕

4. 浮秤



【原理】 浮秤の重さを W，排除液の體積を V，比重を S とせば $W=SV$． 故に排除液の體積は液の比重に反比例す．之により比重を測る．

【構造】（イ） 細長き硝子管 C に度盛を施し，（ロ） 其の下部 B を膨大せしめ，（ハ） 其の底 A に重き物體（水銀，鉛等）を入れ全部が直立して浮ぶ樣にす．（ニ） 水に浮べたるときの水面に接する點を目盛の 1 とし，上下に比重を目盛す．

【使用法】 液に浮秤を浮べ液面の目盛を見て比重を知る．

16. 液體の比重計算

〔北工〕

(1) 空氣中に於て重さ 47 瓦の固體を水中にて測りたるに 35 瓦となり，他の液體中にて測りたるに 38 瓦となれり．此の液體の比重を問ふ． 〔商船〕〔海軍〕

【解】 47−35=12瓦…物體と同體積の水の重さ，

47−38=9 瓦…物體と同體積の液體の重さ，

∴ 9÷12=0.75 ……………………(答)

(2) 150 瓦の銅片を水中にて測るときは 130.6 瓦，油中にて測る

ときは 133.1 瓦なり. 油の比重如何. 〔東商〕〔醫專〕

【解】 $\dfrac{150-133.1}{150-130.6}=0.87$……………………(答)

(3) 比重 3.21 なる硝子球の目方 50.35 瓦なるを取り海水中にて計りしに 34.28 瓦なるを見たり. 海水の比重を問ふ. 〔東商〕

【解】 比重は海水の硝子に對する比重と, 硝子の比重との相乗積なり.

$$\frac{50.35-34.28}{50.35}\times 3.21=1.025……………………(答)$$

(4) 切口一様なる硝子管より成る浮秤を水面に浮ぶるときは其の長さの2分の1を水上に出し, 他の液體に浮ぶるときは其の長さの3分の1を出す. 此の液體の比重如何. 〔醫專〕

【解】 水中にては2分の1を沒し, 此液體中にては3分の2を沒す. 而して密度は排除液の體積に反比例す. 故に比重は

$$\frac{1}{2}\div\frac{2}{3}=0.75……………………(答)$$

(5) 浮秤あり, 比重 0.6 なる液體中に一定の印迄沈めり. 今之を水中に入れ同一の印迄沈むるには 120 瓦の重さを要すと云ふ. 此の浮秤の重さは幾何なるか. 〔商船〕

【解】 浮秤の重さを x 瓦とす. 排除せられし比重 0.6 の液の體積(左邊)は排除せられし水の體積(浮秤と錘との重さの和)(右邊)に等し.

$$\therefore\quad \frac{x}{0.6}=x+120$$

$$\therefore\quad x=180\text{ 瓦}……………………(答)$$

(6) 下より上へ等距離に度盛せる浮秤あり. 度盛の 0 と 100 との間の體積は 0 以下の體積の三分の一なり. 今之を水に浮べしに 15 度迄沈み, 或液體に浮べしに 75 度迄沈みたりと云ふ. 此の液體の比重幾何. 〔東工〕

【解】 0 以下の體積を 1 とせば 0 と 100 との間の體積は $\frac{1}{3}$ にして, 從つて其の度盛の一つは $\frac{1}{300}$ に當る. 而して浮秤と同重量の水の

體積は $\left(1+\frac{15}{300}\right)$, 比重 x なる液の體積は $\left(1+\frac{75}{300}\right)$ にして, 此の兩者は重量相等し. 故に

$$1+\frac{15}{300}=\left(1+\frac{75}{300}\right)x$$

$$\therefore\quad x=0.84……………………(答)$$

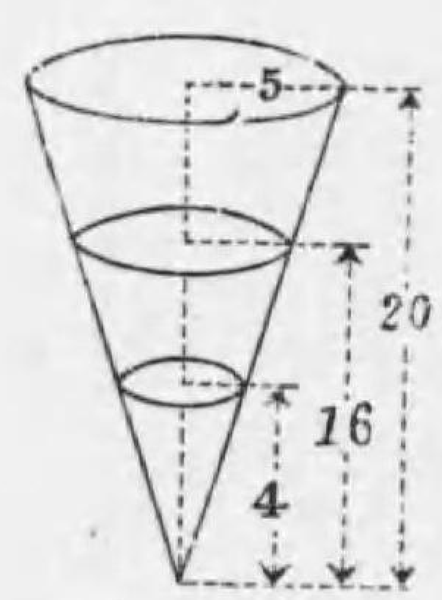
(7) 底面積10 平方糎の圓筒に底を當てて或液體中に 15 糎沈め, 次に此の圓筒に 153 瓦の水銀を注入したるに底は落ちたり. 此の液體の比重如何. 〔東工〕

【解】 液の比重を x とす. 底の上壓力(左邊)と下壓力(右邊)と等しかるべきにより,

$$10\times 15\times x=153$$

$$\therefore\quad x=1.02……………………(答)$$

(8) 重さ 176 瓦にして, 深さ20 糎, 上口の半徑 5 糎の直圓錐形漏斗狀の硝子容器の底部に高さ 4 糎まで水銀を入れ, これを或液體に浮べたるに深さ16 糎だけ液體中に沒して釣合へりと云ふ. 液體の比重を求めよ. 〔大工〕



【解】 圓錐容器に入れたる水銀の重量を求むるに水銀面をなせる圓の半徑は $5\times\frac{4}{20}=1$ 糎, 故に水銀の體積は

$$1^2\times\frac{22}{7}\times 4\times\frac{1}{3}=\frac{88}{21}\text{ 立方糎}$$

此の水銀の重さと圓錐容器との重さの和即ち下式の左邊は, 圓錐容器によりて排除せられたる比重 x なる液體の重量即ち下式の右邊に等し.

$$13.6\times\frac{88}{21}+176=\left(5\times\frac{16}{20}\right)^2\times\frac{22}{7}\times 16\times\frac{1}{3}\times x$$

$$\therefore\quad x=0.877……………………(答)$$

第五章

氣　體

氣體.—ボルイの定律.—計算.—空氣の壓力.—計算.—大氣の壓力—計算.—晴雨計.—サイフォン.— 水ポンプ.—空氣ポンプ.

1. 氣　體

1. 氣體は分子が互に衝突反撥するにより膨脹して容器に充つ.
2. 氣體は彈性を有す.
3. 氣體の壓力は常に器壁に直角なり.
4. 氣體に加ふる壓力は增減なく各部に傳達す(パスカルの原理).
5. 氣體の物體に呈する浮力は其の物體によりて排除せらるゝ氣體の重さに等し(アルキメデスの原理).
6. 重力の作用を受けて靜止する氣體の壓力は,(イ) 同一の水平面に於ては相等しく,(ロ)異なる二水平面にては其間の距離を高さとする氣體の壓力だけ下部の方の壓力大なり.

2. ボイルの定律

〔海兵〕

【定律】 溫度一定なるとき一定質量の氣體につき次の定律あり.

(1) 氣體の體積は其受くる壓力に反比例して增減す.

又は,次の如く述ぶるを得.

(2) 氣體の壓力と體積との相乘積は一定す.

(3) 氣體の密度は壓力に比例す.

【公式】 (1) $P:P'=V':V$　　(2) $PV=$一定

(3) $P:P'=d:d'$

但し,壓力 P の氣體の體積を V, 密度を d とし,又壓力 P' の氣體の體積を V', 密度を d' とす.

【證明】 (1) 實驗によるに,一定體積の氣體の壓力を2倍すれば體積は2分の1となり,壓力を2分の1に減ずれば體積は2倍となる. 即ち,〔高師〕

(2) $P:P'=V':V$

$\therefore\ PV=P'V'=P''V''=$一定

(3) 又一定質量の氣體の密度は明かに體積に反比例す.

$V':V=d:d'$

然るに $V':V=P:P'$

$\therefore\ P:P'=d:d'$

【應用】 次の如く壓力計に用ふ.

(1) U形曲管に半ば液體を入れ其一端に少しく空氣を殘して閉ぢ他端を蒸氣罐に通ずれば,密閉せられたる氣體の體積の增減により罐內の壓力を知るを得.

(2) 上の裝置に於て兩管の開きたるものは大氣の壓力に近き强さの壓力を測るに用ひらる.

(3) 消火喞筒は壓縮空氣の彈力にて水を噴出す.

3. ボイルの定律の計算

(注意) 此計算は一定質量の氣體につき,初めの壓力と體積との相乘積を後の壓力と體積との相乘積に等しと置きたる方程式を作りて之を解くべし.

(1) 壓力760粍の時200立方糎の空氣あり.同溫度に於て壓力400粍のときの體積を求めよ.〔海兵〕〔商船〕〔東醫〕

【解】 760粍×200立方糎=400粍×x立方糎

$\therefore\ x=380$ 立方糎……………………(答)

(2) 或る室内の溫度變らずして氣壓 770 粍より 760 粍に減じたりといふ. 室内の空氣の何分の一が室外に出でたるか. 〔海兵〕

【解】 元の體積を單位に取れば, 膨脹せし體積は

$$1\times\frac{770}{760}-1=\frac{1}{76}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(3) 長さ 20 糎の試驗管を倒にして水底に沈めしに水は管口より 2 糎の處まで侵入せりといふ. 水の深さ何程なりしか. 但し其時の氣壓は 76 糎, 又水銀の密度は 13.6 なり. 〔東師〕

【解】 管内の水面までの深さを x 糎とせば

$$76^{(\text{糎})}\times 20^{(\text{糎の氣柱})}=\left(76+\frac{x}{13.6}\right)^{\text{糎}}\times(20-2)^{(\text{糎の氣柱})}\qquad\therefore\ x=115\text{ 糎}$$

故に管口迄の深さは $115+2=1$ 米 17 糎$\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(4) 上端を閉ぢたる硝子管の下に錘を附し海底に沈めて之を引上げたるに管内に海水の半ば侵入せし形跡を見たり. 海の深さ何程. 但し海水の比重を 1.02 とす. 〔名工〕

【解】 體積が半減せしが故に壓力は 2 氣壓なり. 依つて海水によりて生ずる壓力は 1 氣壓ならざるべからず. 故に

$$76^{\text{糎}}\times 13.6\div 1.02=10.13\text{ 米}\cdots(\text{答})\ (\text{管の長さは省略す})$$

(5) 大氣の壓力 1 氣壓なる時長さ 1 米の有底圓筒を倒にし, 之を深さ 76 米の海底に鉛直に押し沈むる時圓筒内に侵入すべき海水の高さを求む. 但し海水の比重を 1.03 とす. 〔熊工〕

【解】 求むる海水の高さを x 糎とすれば, 海水と大氣壓との和に圓筒内の空氣の體積を乘じたる積は, もとの大氣壓と圓筒内の空氣の體積との相乘積に等しかるべし. 即ち

$$\left(\frac{7600\times 1.03}{13.6}+76\right)\times(100-x)=76\times 100$$

$$\therefore\ x=83.3\text{ 糎}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(6) 兩端開きたる細き硝子管 ABCD を水平に横たへ, BC の部分に水銀を滿たし其の長さを 30 糎とし, AB の長さを 8 糎とす. 今 A 端を閉ぢ之を上にして管を水平面に對し 30 度傾くれば, AB の部分に閉ぢ込められる空氣柱の長さ幾許となるか. 但し此の時の大氣の壓力を 75 糎とす. 〔東工〕

【解】 30糎の水銀柱を水平面に對して 30度 傾けたるときの鉛直の高さ(長さ)は

$$30^{\text{糎}}\times\frac{1}{2}=15^{\text{糎}}$$

最初 AB 内の壓力は 75 糎, 後には $75-15=60$ 糎なるを以て, 後の場合に於ける空氣柱の長さを x 糎とせば

$$75\times 8=60\times x$$

$$\therefore\ x=10\text{ 糎}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(7) 直徑一樣にして上端閉ぢたる長き硝子管を大なる水銀槽中に立てたるに管内の水銀柱の高さは槽の水銀上 20 糎となれり. 大氣の壓力は 76 糎にして管内の空氣の體積は管の長さ 10 糎に相當するときは, (イ) 管内の空氣の壓力は幾何. (ロ) 管を更に水銀槽中に若干沈めたるとき空氣の體積は管の長さの 8 糎となれりといふ. 管内の水銀柱の高さ幾何なりや. 〔名工〕

【解】 (イ)管内空氣の壓力は $76-20=56$ 糎$\cdots\cdots$(答)

(ロ) 此の時の管内の空氣の壓力は $56\times\dfrac{10}{8}=70$ 糎

故に求むる水銀柱の高さは $76-70=6$ 糎$\cdots\cdots$(答)

(8) 切口一樣にして兩端開放せる硝子管を水銀槽中に沈め上端より 10 糎だけ出して上端を密閉し, 更に上端より 58 糎だけ引き上ぐるときの管内の水銀柱の高さを求めよ. 〔京工〕

【解】 此の時の大氣壓を76糎とすれば密閉されたる空氣の最初の體積は 10 糎柱, 壓力は 76 糎にして, 求むる水銀柱の高さを x 糎とせば, 後の空氣の體積は $(58-x)$ 糎柱, 壓力は $(76-x)$ 糎なり. 故に

イルの定律により次の關係を得.

$$76\times10=(76-x)\times(58-x)$$

之を解きて $x=96$ 及び 38 を得. 然るに 96 糎は槽の水銀面上に出づる管の高さ 58 糎よりも高きを以て題意に適せず. (答) 38 糎.

(9) 氣壓 75 糎なるとき, 一端を閉ぢたる長き硝子管に水銀を注ぎ上部に長さ 18 糎の空氣を殘し上端を指にて押へ, 之を水銀槽中に倒立して空氣柱及び水銀柱の長さを相等しからしめんとす. 水銀柱の長さを如何にすべきか. 〔北工〕

【解】 初め管内にある空氣柱の長さは 18 糎, 壓力は 75 糎なり. 又求むる水銀柱の長さを x 糎とせば, 管の全長は $x+18$ 糎にして, 後の場合の管内の空氣の體積は $\dfrac{(x+18)}{2}$ 糎, 其の壓力は $\left(75-\dfrac{x+18}{2}\right)$ 糎なり. 此の前後に於ける夫々の壓力と體積との積は相等しかるべし. 即ち

$$18\times75=\frac{x+18}{2}\times\left(75-\frac{x+18}{2}\right)$$

之を解きて水銀柱の長さを得. 即ち,

$$x^2-114x+3024=0$$

$\therefore\quad x=72,\ 42$　　　(答) 72 糎, 42 糎.

(10) 一様なる斷面積を有する長さ 1 米の一端閉ぢたる管に空氣を入れ, 之を鉛直に海水中に 100 米の深さまで沈むる時は管内に侵入する海水の高さ幾糎となるか. 但し海水の比重は 1.03, 海面上に於ける大氣の壓力は一氣壓とし, 水銀の比重は 13.6 とす又深さ 100 米の處に於ける海水の溫度は海面上の空氣の溫度に等しきものと假定す. 〔早高〕

【解】 管に海水の侵入する高さを x 糎とすれば管内にて空氣の存する部分の長さは $(100-x)$ 糎にして, 其の壓力は水銀柱にて表はしたる $\left(76+\dfrac{1000\times1.03}{13.6}\right)$ 糎なり. 而して初の管内の空氣柱の長さは 100 糎, 壓力は 76 糎なるを以て, ボイルの定律により,

$$76\times1000=\left(76+\frac{10000\times1.03}{13.6}\right)\times(100-x)$$

之を解きて　$x=90.8$ 糎　 ………(答)

(11) U 形管の一端を閉ぢたる壓力計に於て密閉管の水銀面は上端より 20 糎低く, 蒸氣罐に連接せる脚の水銀面は更にこれより 16 糎低しといふ. 罐内の壓力如何. 但し水銀面が水平なるときの壓力を 1 氣壓とす.

【解】 $(20+8)\div20+16\div76=1.6$ 氣壓………(答)

(12) 水と空氣とを閉込めたる圓筒を鉛直に立てたり. 空氣の壓力は 3 氣壓なり. 圓筒の底に小孔を穿ち其の儘放置して水の一部を流出せしめたるに空氣の體積は33分の 100 倍となれり. 大氣の壓力を 1 氣壓とすれば圓筒内に殘留せる水の高さ幾何なりや. 但し溫度は一定なりとし, 水蒸氣の影響はなきものとす.

〔桐染〕

【解】 此の圓筒に殘れる空氣の壓力は

$$3\text{ 氣壓}\div\frac{100}{33}=0.99\text{ 氣壓}$$

大氣の壓力は 1 氣壓なるを以て, 圓筒内の水の呈する壓力は

$$1-0.99=0.01\text{ 氣壓}$$

從って其の高さは

$$76^{\text{糎}}\times13.6\times0.01=10.34\text{ 糎}$$ ………………(答)

(13) 兩脚の太さを異にし (但し各脚の斷面は夫々一様なりとす) 且つ一端閉ぢたる U 字管を鉛直に立て, 之に水銀を入れたるあり. 其の兩脚の水銀面は水平をなし, 閉脚の空氣の部の長さ 30 糎なり. 今開脚を甲氣體に連絡せしに閉脚の水銀面は 10 糎昇りて開脚の水銀面は 2 糎降り, 又開脚を乙氣體に連絡せしに閉脚の水銀面は 20 糎昇れりといふ. 甲乙兩氣體の壓力各幾何なるか. 〔大工〕

【解】 (1) 最初甲氣體の場合に於て閉脚の空氣の體積は 30 糎柱より 30−10=20 糎柱に減ぜしにより壓力は

$$76^{\text{糎}} \times \frac{30}{20} = 114^{\text{糎}}$$

となり，甲氣體に連なれる脚の水銀面は閉脚の水銀面より10+2=12 糎低きにより，甲氣體の壓力は

$$114^{\text{糎}} + 12^{\text{糎}} = 126 \text{ 糎} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(2) 乙氣體の場合には閉脚の體積は 30−20=10 糎となれるを以て，其處の壓力は

$$76^{\text{糎}} \times \frac{30}{10} = 228^{\text{糎}}$$

にして，此の時乙氣體に連なれる端の水銀面は 4 糎降るべきを以て，兩面の高さの差は 20+4=24 糎なり．故に乙氣體の壓力は

$$228 + 24 = 252 \text{糎} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(14) 水底に直徑1.2粍の氣泡あり．水の表面に浮び出でたるとき 3.6 粍の直徑となれりとすれば水の深さ如何． 〔大醫〕

【解】 氣泡の體積は直徑の 3 乘に比例し，又氣體の體積は其の壓力に反比例するを以て， 今水面の壓力を水銀柱の76糎 とせば,水による水底の壓力は，

$$76 \times \left\{\left(\frac{3.6}{1.2}\right)^3 - 1\right\} = 1976 \text{ 糎}$$

然るに水銀の比重は 13.6 なるを以て，上記の値を水の高さにて表せば，

$$1976 \times 13.6 = 268.763 \text{ 米} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(15) 比重2.5なる物質にて作れる質量35瓦の硝子圓筒を筒口を下にして水面に浮べしに，筒内に1氣壓の時25立方糎の空氣ありて釣合ひたり．今此の圓筒を徐々に水中に押し沈むるときは遂に浮沈することなく自ら水中に止まる位置に達す．此の位置に於ける圓筒内の空氣と水との境界面の深さを求む．但し溫度は一

定にして，大氣の壓力は 1 氣壓(水柱10米とせよ)，水の比重は 1 とし，圓筒內の空氣の重さは除外するものとす． 〔東工〕

【解】 圓筒が水中に止まるには其の硝子の部分が排除する水の重さと筒の內部の空氣が排除する水の重さとの和が，筒の重さに等しきを要す．然るに硝子の體積は $\frac{35}{2.5}$ 立方糎，水の深さを x 米とすれば，水による壓力は $\frac{x}{10}$ 氣壓(10米が 1 氣壓なるにより)なるを以て深さ x 米の處の壓力は大氣壓と合して $\left(1+\frac{x}{10}\right)$ 氣壓，從つて筒內の空氣の體積は $25 \div \left(1+\frac{x}{10}\right)$ 立方糎なり．上の兩體積の和だけ水を排除し，水一立方糎は 1 瓦なるにより，上の體積を表はす數は排除せられたる水の重さを表はす．之が筒の重さと釣合ふ．故に

$$\frac{35}{2.5} + \frac{25}{1+\frac{x}{10}} = 35 \qquad \therefore\ x = 1.9 \text{ 米} \cdots\cdots(\text{答})$$

(16) 前回に於て水の代りに比重 d の液を用ひたりとせば如何．

【解】 液の比重は d なるにより深さ x 米の處の壓力は水の深さに直して dx 米なるべきにより氣壓は $\frac{dx}{10}$，又排除液の重量は其の體積を立方糎にて表したるものゝ d 倍なるべきにより次の式を得．

$$\left(\frac{35}{2.5} + \frac{25}{1+\frac{dx}{10}}\right)d = 35 \qquad \therefore\ x = \frac{250}{35-14d} - \frac{10}{d}$$

(17) 氣壓 h の時長さ l 糎なる一端閉ぢたる管を倒にして比重 d なる液中に沈めて後引上げたるに，液は管內に a 糎だけ浸入せし形跡を見たり．管口までの液の深さ如何．但し水銀の比重を d' とす．

【解】 外の水面と管內の水面との距離を x 糎とすれば，此の深さによる液柱の壓力は水柱の壓力にて dx に相當し，從つて水銀柱にて

$\frac{dx}{d'}$糎に相當す．よつて管内の空氣の壓力は$\left(h+\frac{dx}{d'}\right)$糎（水銀柱にて)，又其の體積は管內の長さにて $(l-a)$ 糎なり．故にボイルの定律により

$$hl=\left(h+\frac{dx}{d'}\right)(l-a)$$

之を解くに　$hl=hl-ha+\frac{(l-a)dx}{d'}$

$(l-a)\ dx=had'$　　$\therefore\ x=\frac{had'}{(l-a)d}$

よつて管口までの深さは之と a との和なり．即ち

$$\frac{had'}{(l-a)d}+a\text{糎}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(18)　切口一様にして眞直なる硝子管の一端を閉ぢ之に水銀を充し鉛直に水銀中に倒立したるに，此水銀面上の管の長さ 1 米にして水銀柱は76糎の高さを保ちて靜止せり．今之に少量の空氣を入れ水銀柱の高さ60糎となりて靜止せるとき此の管を尙10糎だけ沈むれば水銀柱の高さ幾許となるべきか．〔海兵〕

【解】管内空氣の初めの壓力 (76−60) 糎（水銀柱にて)．體積は(100−60)糎(管内の氣柱にて)なり．又後の壓力と體積とは同樣に夫夫$(76-x)$糎，及び$(100-10-x)$ 糎なり．故にボイルの定律により．

$$(76-60)\times(100-60)=(76-x)\times(100-10-x)$$

$\therefore x=56.8$　又は　109.2　　　(答)　56.8糎

4. 空氣の浮力

【定理】空氣中の物體は其物體と同體積の空氣の重量に等しき浮力を受く．

【數値】空氣 1 立の重量は 0°，1 氣壓に於て凡そ 1.3 瓦なり．故に體積 1 立の物體は凡そ 1.3 瓦の浮力を受くる割合なり．

【實例】(1) 飛行船は氣囊に水素を充たし其の全重量を氣囊の排除する空氣の重量と釣合はしめ，推進機，空氣囊（前後にあり）舵等により任意の方向に進行す．

(2) 空氣は上層に至るに從ひ其密度を減ずるを以て浮力も亦小となる．水素を充せる風船球も上昇するに從ひ浮力を減じ，且空氣は水素と交代して重さを增し下降す．〔高等〕〔東農〕

(3) 排氣鐘内に於て體積大なる球を天秤の一方に掛け他に體積之よりも小なる物體を掛けて釣合はしめたる後鐘内の空氣を抜けば，前者に對する浮力は後者よりも著しく減じて前者は下るべし．〔東師〕

(4) 空氣中に於て天秤の一方に金塊を載せ，他方に眞鍮の分銅を載せて釣合はしめたるものを水素中に入るゝときは後者は下るべし．これ眞鍮塊は金塊よりも比重小なるにより，同質量については體積大にして，從つて大なる浮力を受け，これが密度の小なる水素中に入りし爲眞鍮の方の浮力が金よりも著しく減少せしによる．若し反對に之を水中に入るれば眞鍮塊は金塊よりも多量の水を排除して大なる浮力を受け，從つて却つて金塊は下る．〔陸士〕

5. 浮力の計算

(1) 輕氣球の袋に水素を充たして半徑 5 米の袋となすときは幾瓩の重さを揚げ得るか．但し袋の重さは 1 平方米につき 250 瓦，空氣 1 立の重さは 1.3 瓦，水素の空氣に對する比重は 13 分の 1 なりとす．〔陸士〕

【解】半徑 5 米の袋に充ちたる空氣と水素との重量の差は

$$1.3\text{瓦}\times\left\{\frac{4}{3}\times\pi\times(5\times10)^3\times\left(1-\frac{1}{13}\right)\right\}$$
$$=\frac{4400}{7}\text{瓩}$$

又袋の重量は

$$250瓦\times 4\times \pi \times 5^2 = \frac{550}{7}\ 瓩$$

故に浮力は

$$\frac{4400}{7}-\frac{550}{7}=550\ 瓩 \cdots\cdots\cdots\cdots (答)$$

(2) 絹布の袋の重量 62.5 瓩の輕氣球に空氣の 13 分の 1 の密度の水素を充たすときは何程の重さを揚げ得るか. 但し絹布 1 平方米の重さを 0.25 瓩とし, 空氣一立方米の重さを 1.293 瓩とす.

〔大工〕

【解】 輕氣球の絹布の面積は

$$62.5瓩 \div 0.25瓩 = 250\ 平方米)$$

其半徑を r 米とせば

$$4\pi r^2 = 250 \qquad \therefore\ r = 4.46\ 米$$

故に求むる浮力は

$$1.293瓩\times\left\{\frac{4}{3}\times\pi\times(4.46)^3\times\left(1-\frac{1}{13}\right)\right\}-62.5瓩$$

$$=381.5\ 瓩 \cdots\cdots\cdots\cdots (答)$$

6. 大氣の壓力

〔海兵〕〔大工〕

【定義】 水銀柱 76 糎 (30 吋) に相當する大氣を 1 氣壓とす.

【數値】 1 氣壓＝1033.6 瓦 (＝13.6×76) 毎平方糎
＝2.5 貫毎平方寸.

【測定】 (イ) 上端を閉ぢたる長さ 1 米許の硝子管に水銀を充たし, 水銀中に倒立す.

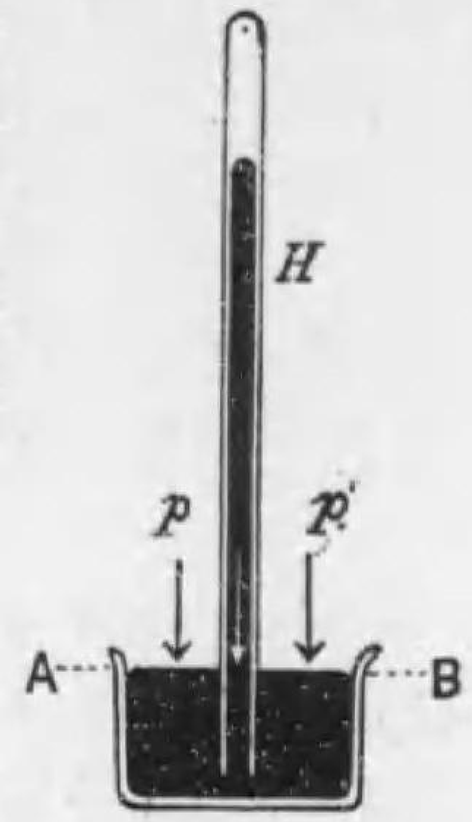
(ロ) 此時水銀は下りて一定の高さに止まる.

(ハ) 此の時の高さ (管內水銀面と管外水銀面との鉛直に測りたる高さの差) は管の直徑及び管の傾斜に關せず.

(ニ) 此高さは卽ち氣壓を表はすなり.

【證明】 (1) 管外の水銀面 AB に作用する力は大氣の壓力の強さ P にして, 管內に於ける AB と同一水平面上に作用する壓力の強さは管內水銀の重さ Hd (H は水銀の高さ, d は水銀の密度) なり. 相連なりて靜止せる液に於ては同一水平面に於ける壓力の強さ相等しからざるべからず. 故に

$$P = Hd$$



(2) 管の大小により管內水銀の量は異なれど其下部に及ぼす壓力の強さは同一なり. 故に水銀柱の高さは氣壓の大小により上下するも, 管の太さの大小には無關係なり. 〔海兵〕〔外 4 校〕

(3) 同樣の理により管を傾くるとき水銀柱の長さは增すも, 其高さには變化なし. 〔東師〕〔醫專〕

(4) 一脚開ける直立 U 字管に水銀を入れ, 閉脚には全部水銀充ち, 開脚の水銀面が閉脚の上端よりも低きときは, 閉脚端の受くる壓力は大氣壓より兩脚の水銀の高さの差を減じたるものに等し. 次に開脚の空氣を排除するときは次第に閉脚端の壓力を減じて遂に眞空を生じ, 兩脚水銀面の高さは平均して止む. 眞空計は此の理により眞空に近かき壓力を測るに用ふ.

【定義】 上端を閉ぢたる長さ 76 糎以上の硝子管に水銀を入れて水銀中に倒立せるとき管內水銀面上に生ずる空所をトリセリーの眞空と稱す.

【應用】 晴雨計, サイフォン, 喞筒, 金魚鉢 (水壜を水槽に倒立せるもの), ピペット, 蠅又は鮹の足の吸盤等.

7. 大氣の壓力計算

(1) トリセリーの實驗に於て水銀柱の代りに水柱を用ふれば其高さ何程.

【解】 水の密度は水銀の13.6分の1なるを以て其高さは

$$76\text{糎}\times 13.6=1033.6\text{糎}$$

$$=10\text{米(約)}=33\text{尺}$$ ……………………(答)

(2) 大氣の密度を地上と同一なりとせば其高さ何程.

【解】 大氣の壓力は一平方糎毎に 13.6×76 瓦, 空氣1立方糎の重さは0.0013瓦なるにより, 求むる高さは

$$13.6\times 76\div 0.0013=8\text{粁}$$ ……………………(答)

(3) 氣壓750粍の時の壓力を瓦にて算出せよ. 〔北農〕

【解】 $13.596\times 75=1019.7$ 瓦 每平方糎 ……………(答)

(4) 水銀晴雨計の高さ 30 吋のとき大氣が一平方吋に及ぼす壓力何程. 〔海經〕

【解】 30吋=76糎, 1平方吋=6.5平方糎.

故に壓力は

$$13.6\text{瓦}\times 76\times 6.5=6.7\text{瓩}$$ ……………………(答)

(5) トリセリーの眞空內に少量の空氣を入れたるに水銀柱が1氣壓の高さより 65 糎に下りたり. 管內空氣の壓力何程.

【解】 $76\text{糎}-65\text{糎}=11\text{糎}$ ……………………(答)

(6) 一端閉ぢたる長さ1米の硝子管に水銀を半ば入れて水銀上に倒立せば水銀の高さ如何.

【解】 此時の氣壓を 76 糎, 管內水銀の高さを x 糎とせば, ボイルの定律により

$$76\text{糎}\times 50\text{糎氣柱}=(76-x)\text{糎}\times(100-x)\text{糎氣柱}$$

$$\therefore\ x=25\text{糎}$$ ……………………(答)

(7) トリセリーの眞空中に少量の空氣入りたりとし, 其の空氣が1000倍の膨脹をなしたりとせば, 水銀柱の高さに幾何の相違を生ずるか. 但し當時の氣壓は760粍なり. 〔商船〕

【解】 入りたる空氣の呈する壓力はボイルの定律により

$$760\text{粍}\div 1000=0.76\text{粍}$$

故に水銀柱の下降も　0.76粍 ……………………(答)

(8) 大氣の壓力と等しき壓力を呈する鐵の圓柱の高さ何程なるべきか. 〔北農〕

【解】 鐵の比重は7.8なるにより

$$76\text{糎}\times 13.6\div 7.8=132.5\text{糎}$$ ……………………(答)

(9) 內孔の太さ同一にして兩端開ける長き硝子管を水銀槽中に立て上端より10糎を出して上端を塞ぎ, 更に70糎だけ引上げたるに管內の水銀面は管內の水銀面より 50 糎高く上れり. 其時の氣壓如何.

【解】 大氣の壓力を x 糎とし, ボイルの定律により

$$x\times 10=(x-50)\times(70+10-50)$$

$$\therefore\ x=75\text{糎}$$ ……………………(答)

(10) 深さ80糎の直圓筒を倒にして水中に挿入し, 底面が水面上7糎に達せしとき水が筒內に5糎入込みたり. 此時の大氣の壓力如何. 〔米工〕

【解】 大氣の壓力を水銀柱の x 糎とすれば

$$x\text{糎}\times 80=\left\{x\text{糎}+\frac{80\text{糎}-(7\text{糎}+5\text{糎})}{13.6}\right\}\times(80-5)$$

$$\therefore\ x=75\text{糎}$$ ……………………(答)

(11) 一様の切口を有し一端閉ぢたる眞直なる硝子管あり. 其の內の空氣を一部分排除し, 開きたる端を下として垂直に水銀槽中に入れ, 其の管の上端を槽中の水銀面より 100.0 糎の高さとなしたるに, 管中に昇りたる水銀柱の高さは槽中の水銀面より 50.0 糎となり, 尙管を24.0糎だけ水銀槽中に押し入れしに, 水銀柱の高さは40.0糎となりしと云ふ. 其の時の大氣の壓力を水銀柱の高さにて表はせ. 但し此の實驗中は溫度及び大氣の壓

力は一定なりとす.　〔横工〕

【解】 求むる大氣の壓力を x 糎とす. 第一の場合に於て管内の空氣の體積は 100.0−50.0＝50.0 糎柱, 壓力は (x−50.0) 糎にして, 第二の場合に於ける體積は

$$100.0-24.0-40.0=36.0 \text{ 糎柱}$$

壓力は (x−40.0) 糎なり. 故に

$$50.0\times(x-50.0)=36.0\times(x-40.0)$$

之を解きて　x＝75.7 糎……………………………(答)

12) W形連通管の左脚に硫酸銅の溶液を入れ, 右脚に水を入れたるに, 前者の液面は底部より夫々 35 糎 (外脚) 及び5糎にして, 後者の液面は底部より夫々 4 糎及び 38.5 糎 (外脚) なり. 硫酸銅の溶液の密度及び連通管の中央部に密閉せるらる空氣の壓力を問ふ. 但し大氣の壓力は 76 糎とす.　〔東工〕

【解】 密閉せる大氣の壓力は大氣壓より大なること水柱の兩脚の高さの差を水銀柱の高さにて表はしたるものなり. 故に

$$76+(38.5-4)\div 13.6$$

$$=78.5 \text{ 糎}$$……………………………(答)

又硫酸銅の溶液の密度 d は

$$(38.5-4)\times 1=(35-5)\times d$$

$\therefore$　d＝1.15……………………………(答)

8. 晴雨計(氣壓計)

大氣の壓力を測る装置にして, 水銀晴雨計, アネロイド晴雨計の二種あり.

1. 水銀晴雨計 (フォルチンの晴雨計)　〔海機〕〔海經〕

【原理】 大氣の壓力(P)と之により支へらるゝ水銀柱の重さ(hd)と等しきこと, 即ち $P=hd$ により, 水銀柱の高さ h を測りて氣壓 P を定むるなり.

【構造】 (イ) 管Aに水銀を充たし水銀槽B中に倒立す.

(ロ) 水銀槽の底は革の袋 E にて作り, 其の下部の C を廻はして水銀面を上下せしむ.

(ハ) Dは象牙針(膨脹率少なく, 且水銀に作用せられず) にして水銀槽の上部より垂る.

(ニ) 管 A の側面の尺度Hには, 象牙針Dの下端より測りたる長さ(通常粍にて)を盛る.

(ホ) Kは水銀槽に空氣の出入する孔にして通常之を革にて覆ひ管を倒にしたる時に水銀のこぼれ出づるを防ぐ.

【使用法】 (イ) C を廻し水銀面を D 端に接せしむ.

(ロ) 管内の水銀上端を尺度H にて讀む.

(ハ) 空氣は革K又は小孔より侵入するなり.

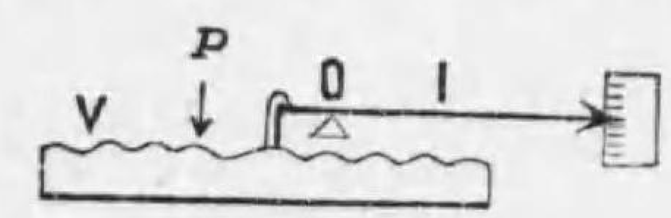
(注意) 管Aが細きに過ぐるは宜しからず. 何となれば毛管作用のため水銀が眞の高さに上らざればなり.

【用途】 氣壓を測定して氣象を定むる材料となし, 又山の高さを測るに供す.

2. アネロイド晴雨計

【原理】 金屬板の歪によりて大氣の壓力を測る.

【構造】 (イ) Vは金屬製扁平圓筒にして内部の空氣を排除す.



(ロ) 針Iは0を支點とせる挺子となり圓筒面の僅かの上下を擴大して目盛Sを指す.

【作用】 大氣の壓力 P が大となれば圓筒の面は押凹められ, 之に連なれる針は氣壓を刻める目盛Sを指す. Sの目盛は豫め水銀晴雨計と比較して定め置くなり.

【用途】 水銀晴雨計と同様なれども，携帶に便なるを以て飛行機等に備へて其の高さを知るに用ふ．

9. サイフォン

〔鹿農〕〔外９校〕

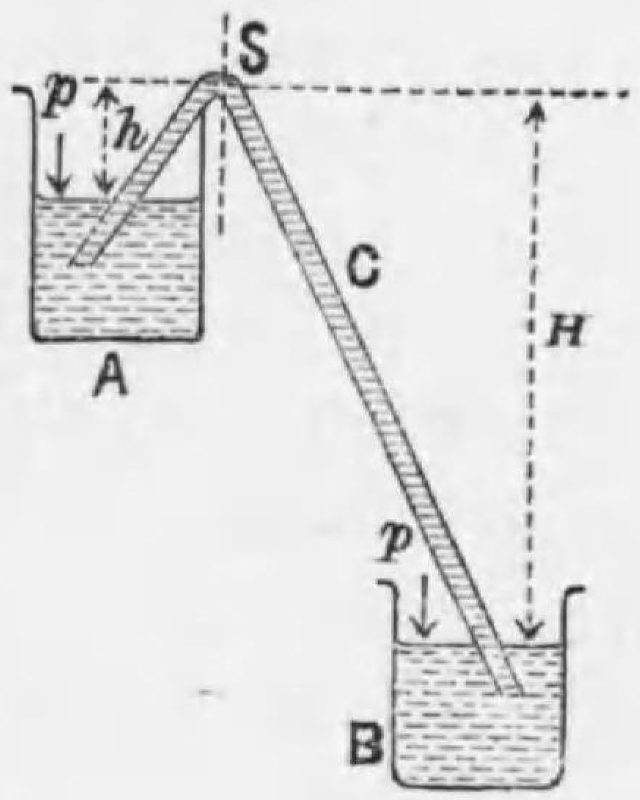
【原理】 大氣の壓力により器を傾くることなくして液體を一の器より他の器に移す裝置なり．

【構造】 曲管にして一脚は他脚より長し．

【作用】 (イ)液のあるＡ器は液を受くるＢ器よりも高しとす．

(ロ) サイフォンＣに水を充たして圖の如く置く．

(ハ) A,Bの液面は大氣の壓力qを受く．(ＡとＢとの高さの差は僅かなるにより大氣の壓力の差の影響を考ふるの要なし)



(ニ) サイフォンの最上部Ｓ點の左右の壓力を夫々P,P'とせば

$P=p-$高さhの液柱の壓力

$P'=p-$高さHの液柱の壓力

然るに圖に於ては

$$h < H$$

$$\therefore P > P'$$

即ちＳ點に於ける壓力は左方は右方よりも大にして，液は壓力の差$P-P'$にて右方に流る．

(注意) (1) サイフォン内の液の運動は$P-P'=0$の時，即ち$h=H$の時に至りて止む．

(2) サイフォンには大氣の壓力のため液が管內に押上げらるゝなり．故に眞空中にては用をなさず．

(3) 大氣の壓力は水柱の高さ1033糎を支ふるに足る．故にサ

フォンは高さ之より大なれば用をなさず．

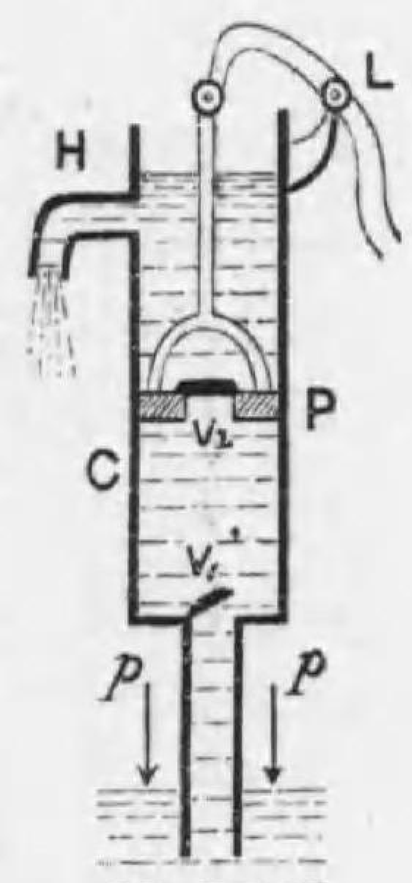
(4) 濡らせる布片の一端をコップの水に浸し，他端を机上に出し置くときは布片は一のサイフォンの如き作用をなし，コップの水は布片を傳うて流れ出づ．

(5) 排氣鐘中にサイフォンとを裝置して高所の器より低所の器に液を移しつゝ漸次鐘中の空氣を排除する時は液の運動は如何樣になるか．　〔名工〕

【解】 鐘內空氣の壓力が前圖の液柱hを支ふるに足る間は液はサイフォンを流るゝも，之に等しくなりたる時流れは止み，之より更に小となればサイフォンの最高處に空處を生じ管の內部と外部との液面の高さの差は兩脚に於て相等しくなり，遂には此の差も零となる．

10. 水ポンプ

1. 吸上ポンプ　〔東農〕〔米工〕



【原理】 大氣壓により水を高處に揚ぐる裝置なり．

【構造】 (イ) Ｃは圓筒にして底部に上方に開く瓣V_1あり．

(ロ) Ｐは挺子Ｌにより Ｃ內を上下する活塞にして，中央に上方に開く瓣V_2あり．

【作用】 (イ) 活塞Ｐを引上ぐれば瓣V_2は閉ぢ，Ｐ下の空氣は稀薄となる．

(ロ) 從つてV_1瓣開き，V_1瓣以下の壓力も減じ，水は大氣壓pのため圓筒底に連なる管內に上る．

(ハ) Ｐを押下ぐればＰ以下の空氣の壓力增加してV_1瓣は閉

ち, V_2 瓣は開きてP下の空氣はP上に出づ.

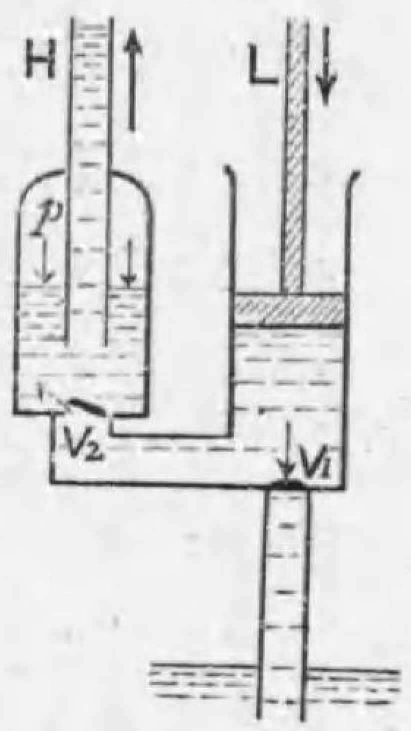
（ニ） P を引上ぐれば P下の空氣の壓力愈減じ, 水は愈上りてC内に入る.

（ホ） Pを下ぐれば, 水の壓力のために V_1 瓣は閉ぢ, V_2 瓣は開きて水はP上に出づ.

（へ） Pを引上ぐれば水は筒口Hより流出す.

（注意） 吸上ポンプは大氣壓の作用によるものなるにより其高さ 10 米以上に及ばず.　〔高等〕

2.　押上ポンプ（消火ポンプ）　〔陸士〕〔東農〕



【原理】 大氣壓と活塞に加ふる力とにより水を高處に揚ぐる裝置なり.

【構造】（イ） 瓣なき活塞を備ふる圓筒あり.

（ロ） 圓筒の底に上方に開く瓣 V_1 あり. 其下部は水を吸ひ上ぐる管に連なる.

（ハ） 圓筒側壁に管Hあり, 其の下部に上方に開く瓣 V_2 あり.

【作用】（イ） 挺子 L によりて活塞を引き上ぐれば其の下の空氣は稀薄となり, 前に説明せると同樣の理によりて水は圓筒内に吸ひ上げられ,

（ロ） 活塞を押下ぐれば V_1 は閉ぢ, V_2 開き, 水は管Hを上

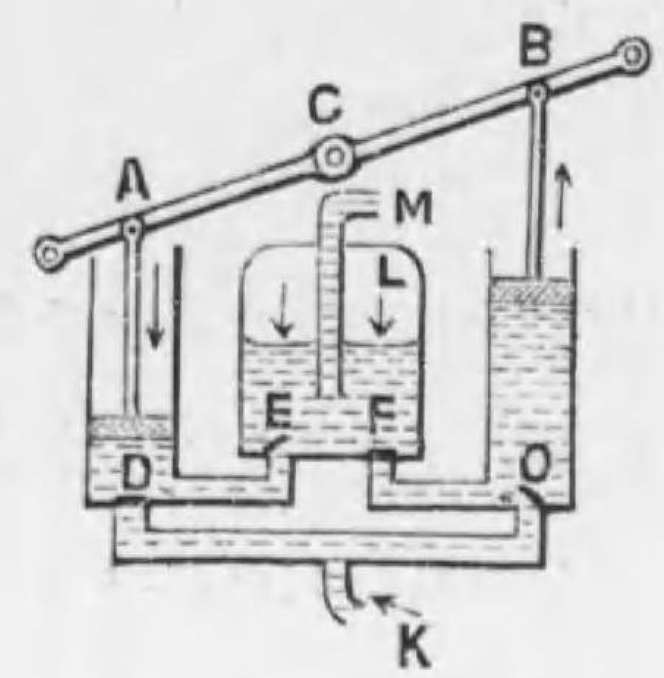
（ハ） 圖の如く空氣室あるときは其の中の空氣は壓縮せられ, 其の壓力 p のため水は間斷なく管Hを上る.

（注意） 活塞を動かす力大なれば水を如何程にても高き所に揚ぐるを得. 自動車ポンプは活塞を動かすに油機關を用ふ.

3. 消火ポンプ（手にて動かすもの）　〔東工〕

【原理】 壓搾せる空氣の壓力を利用して水を噴出せしむるなり.

【構造】（イ） 二個の押上ポンプを組合し,（ロ） 其の側方の管



を中央の空氣室に連結す.

【作用】（イ） 挺子 ACB を上下して左右の押上ポンプを働かすときは, 水は管Kより入り, 瓣 D, O 及び E,F を交互に開閉して中央の空氣室に入る.

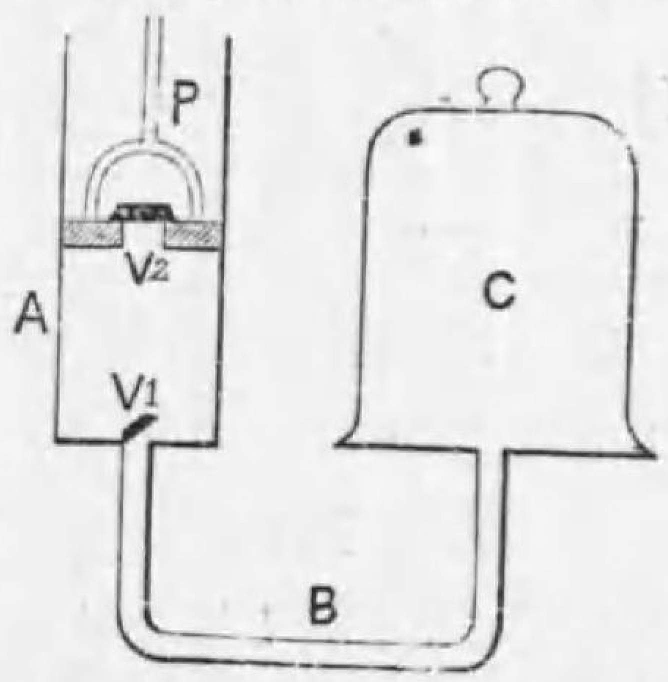
（ロ） 室内の空氣は壓縮せられ大なる壓力 L を水面に及ぼす.

（ハ） 其壓力のため水は管Mより噴出す.

11. 空氣ポンプ

1. 排氣機　〔醫專〕

【原理】 吸上ポンプと同裝置によりて鐘内の空氣を排除す.



【構造】 Aは底部に上方に開く瓣 V_1 を有する圓筒, P は活塞にして上方に開く瓣 V_2 を備ふ. A の底は管 B により鐘 C と底に於て連なる.

【作用】（イ） PをA底より引上ぐるときはP下の空氣は膨脹して其壓力を減じ, 從つて大氣の壓力のため瓣 V_2 閉ぢ, 同時にC内の空氣は其壓力によりて V_1 を開きてA内に移る.

（ロ） Pを下ぐればA内の空氣は壓縮せられ其壓力が大氣壓を超ゆるに至り瓣 V_2 を開きて大氣中に逃がる.

（ハ） 上の操作を反復して次第にC内の空氣を除去す.

【公式】 鐘及び管の體積を V, 圓筒の體積を v とし, 活塞を上ぐる

回數をn, 最初の鐘內の壓力をP, 後の鐘內の壓力をpとす.

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

【證明】 活塞を一回上ぐるときは空氣の體積はVより$V+v$となる. 故に壓力はボイルの定律により, $P\times\frac{V}{V+v}$ となる. 同樣に一回每に$V/(V+v)$倍となるにより, n回後には此のn乘となる. 卽ち上の公式を得.

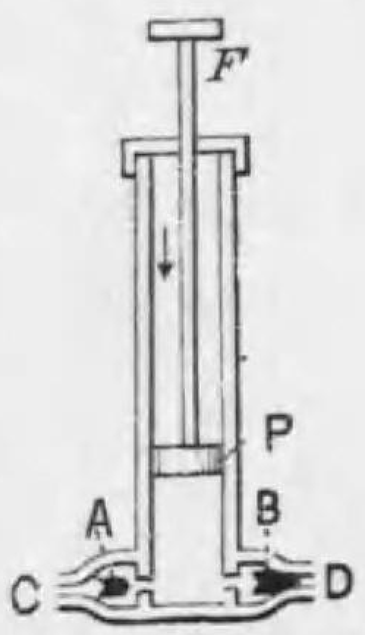
（注意） nを如何に大にするも上式n乘の値は0とならず. 故にこの排氣機にては眞空を作ること能はず.

【問題】 排氣機の圓筒の內徑8糎, 活壓の動く距離30糎, 鐘の體積10立ならば, 一回活塞を上げし時鐘內の壓力幾何. 〔專檢〕

【解】 $\frac{10\times1000\text{c.c.}}{10\times1000\text{c.c.}+4^2\times\pi\times30\text{c.c.}}=0.87$ 氣壓…………(答)

2. 壓縮ポンプ

【構造】 圓筒に活塞Pを備へ, 其底部の管CDに孔を閉づる瓣(栓)A,Bあり.



【作用】 挺子Fを押して活塞Pを下ぐれば其下の壓力は增加し瓣Bは進みてD管に通ずる口を閉ぢ, 瓣Aは退きC管に通ずる口を開きてP下の空氣を逃れしむ. 又Pを引き上ぐればBは退きD口開きて空氣を圓筒內に吸收し, Aは進みてC口閉づ. 故に活塞の上下運動に從ひ空氣はDより入りCより出づ. 依つてCに器を連ぬれば其の內に空氣を壓縮するを得.

（注意） 若し器をDに連ぬれば其の中の空氣を排除する排氣機となる.

第二篇

熱

（1） 熱. ————熱, 溫度.
（2） 熱の傳播.——傳導, 對流, 輻射.
（3） 熱の効果.——膨脹, 融解, 氣化.
（4） 熱機關.

第一章

熱 比熱

熱.—熱の發生—熱の作用.–溫度.

1. 熱

【定義】 熱は物體分子の振動に基くエネルギーの一態なり.

2. 熱の發生

熱は次の諸原因によりて生ず.

1. 器械的エネルギーの變化.
   〔例〕 摩擦, 打擊, 衝突等.
2. 電流のエネルギーの變化.
   〔例〕 電氣爐, 電燈, 雷電等.
3. 化學的エネルギーの變化.
   〔例〕 化合熱, 分解熱, イオン化熱等.

3. 熱の作用

熱が物體に加はれば次の諸作用を呈す.

1. 溫度の上昇.
2. 體積の膨脹 (又は稀に收縮).
3. 狀態の變化 (融解, 氣化).
4. 光及び電氣の發生.
5. 化學變化の促進.

4. 溫度

【定義】 溫度とは物體の寒暖の階級を表はす語なり.

物體分子の振動劇しき時は溫度高く, 緩なる時は溫度低し.

〔例〕 嚴冬零下數度, 酷暑 35° 位, 常溫 20° 位, 浴湯 40° 位, 熱湯100°, 火 1000° 以上, 電氣爐3000°位, 太陽6000°位,

5. 溫度と熱

〔高等〕〔醫專〕

物體內の熱と溫度との關係は恰も器內の水量と水面の高さとの關係に似たり. 卽ち

1. 熱はエネルギーの量にして, 溫度は寒暖の階級なり.
2. 一物體に加はる熱量の多き程其物體の溫度高し. (一器に入る水量多き程水位高きに似たり).
3. 同一熱量により上昇する溫度は物體の質量及び其物體を作れる物質によりて異なる (同一水量によりて上る水面の高さは器の大小によりて異なるに似たり).

6. 溫度を下す法

〔廣師〕

1. 寒劑を用ふる法(氷と食鹽の混合物. 99頁を見よ)
2. 氣化熱を利用する法. (液態アムモニアの蒸發, 液態空氣の蒸發. 101頁を見よ).
3. 壓縮したる氣體の膨脹 (液態空氣を製する時. 109頁を見よ).

第二章
寒暖計

> 寒暖計.—水銀寒暖計.—目盛.—良否.—酒精寒暖計.—最高寒暖計.—最低寒暖計.

1. 寒暖計

【定義】 寒暖計は溫度の高低を測る裝置なり.

【原理】 溫度の高低を測る方法は次の原理に基く.

(1) 物體の膨脹(水銀, 酒精, 金屬等).

(2) 物體の融解(高溫度の爐に入るる或混合物).

(3) 電流の强弱(電氣抵抗の增加, 熱電流の强さ等).

【種類】 普通の寒暖計は次の如く分類するを得.

(1) 材料により——水銀寒暖計, 酒精寒暖計, 空氣寒暖計.

(2) 目盛により——攝氏寒暖計, 華氏寒暖計.

(3) 構造により——普通の寒暖計, 最高寒暖計, 最低寒暖計.

2. 寒暖計の二種

【原理】 水銀の見掛の膨脹によりて溫度を測る.

【構造】 水銀寒暖計 太さ一樣なる細長き硝子管の下部を圓筒形又は球形に膨らし, 內部に水銀を入れ, 管に目盛を刻みたるものなり. 水銀の上部は眞空なり. (實は水銀の蒸氣少量あり).

酒精寒暖計　は水銀の代りに酒精(着色したる)を用ひたるものなり.

3. 寒暖計の目盛

〔高等〕

【標準二點】 (1) 氷點……融解しつゝある氷の溫度.

(2) 沸騰點(沸點)…… 1 氣壓の下に於て沸騰する水上に於ける水蒸氣の溫度.

【目盛の二種】 〔東師〕

(1) 攝氏寒暖計(C)…0°〔氷點〕(百等分) 100〔沸騰點〕…(學術用)

(2) 華氏寒暖計(F)…32°(百八十等分)212°…(日常用)

【目盛換算式】 (1) $C=\frac{5}{9}(F-32)$

(2) $F=\frac{9}{5}C+32$ (上式の變形)

【例題】 (1) 攝氏 18° は華氏の何度に相當するか. 〔海機〕

【解】 上の公式(2)により

$$F=18\times\frac{9}{5}+32=64.4°\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(2) 攝氏と華氏とにて同じ度數にて表はさるる溫度如何.

【解】 所要の溫度を $x°$ とせば,公式(1)により

$$x=\frac{5}{9}(x-32) \quad \therefore\ x=-40$$ (答) 零下 40 度

4. 寒暖計の良否

〔大工〕〔秋鑛〕

1. 管の內徑一樣なること.
2. 氷點及び沸騰點が正しく, 且目盛の一樣なること.
3. 管の內徑成るべく細きこと.
4. 水銀溜は圓筒形をなして水銀面の廣きものなること.

5. 寒暖計の質量の小さきこと (速かに溫度の變化に感ずるによる).

5. 水銀寒暖計と酒精寒暖計の特長

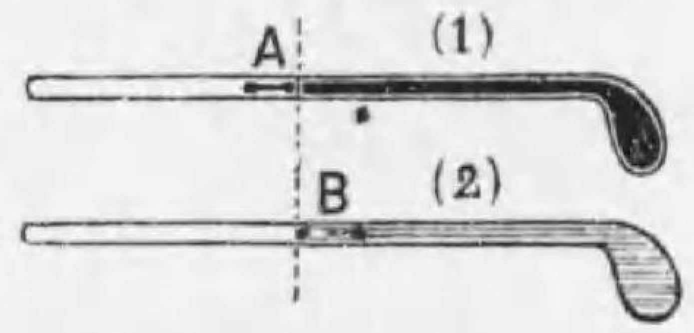
〔高等〕

1. 水銀寒暖計は正しき溫度の變化を表はす. これ水銀の膨脹率殆んど一樣なるによる.
2. 水銀寒暖計は稍高溫度(300°位) 迄の測定に適す. これ水銀の沸點は 357° なれど, 酒精の沸點は低くして 78° なればなり.
3. 酒精寒暖計は低溫度(−100°位迄) の測定に適す. これ酒精の氷點は −130° の低溫なるも, 水銀のは −39° なるによる.

6. 最高寒暖計

〔醫專〕〔鹿農〕

【原理】 或時間內に於ける最も高かりし溫度を指標又は水銀線によりて示す裝置なり.



【構造】 管徑の稍太き水銀寒暖計〔右圖(1)〕を横たへ, 管內水銀外に鐵製指標を置きたるもの.

【作用】 溫度高まりて水銀上昇するときは指標は水銀頭に押されて前に進むも, 溫度下るときは水銀のみ收縮して指標は取殘さる. 依つて指標の後端 (水銀の側) の指す目盛は或時間內の最高溫度なり.

【體溫計】 右圖硝子管 E の球部 A に連なる處 C を極めて細く造れる水銀最高寒暖計にして, 溫度昇るとき水銀は其狹き部分を通りて管內に昇るも, 溫度下るときは水銀は其の部分にて切れ管內の水銀線は球部に歸ること能はずして取殘さる. 依つて其上端は體溫を示すなり.

7. 最低寒暖計

〔醫專〕〔鹿農〕

【原理】 酒精の表面張力を利用して或時間內に於て最も低かりし溫度を示す酒精寒暖計なり.

【構造】 管の稍太き酒精寒暖計〔前頁圖(2)〕を横たへ，管內の酒精中に鐵製の指標を入れたるものなり.

【作用】 溫度下りて酒精收縮するときは酒精の自由表面は指標を引きて收縮すれども，溫度上るときは酒精膨脹して指標は原位置に取殘さる．依つて其前端は所要の最低溫度なり.

(注意) 最高及び最低寒暖計の指標は其溫度を讀みたる後之に附屬せる小磁石に依りて水銀又は酒精の自由表面に接せしむべし．指標に鐵線を用ふるは磁石の引力を利用せんが爲なり

第三章
比熱

熱量の單位.—熱容量.—比熱.—例題.—比熱の測定.—氣體の比熱

1. 熱量の單位

〔東工〕〔商船〕

【定義】 水1瓦を溫度攝氏1度昇すに要する熱量を1カロリーといふ.

又，1瓩カロリー=1000カロリー

〔例〕 m 瓦の水の溫度を t より T に昇すに要する熱量 H は

$H=m(T-t)$ カロリー

(注意) 上述の水1瓦といふべきを1立方糎といへば誤なり.

2. 熱容量

〔山商〕〔東農〕〔上蠶〕

【定義】 或物體の溫度を1°高むるに要する熱量を其物體の熱容量と云ふ.

(熱容量)=(比熱)×(質量)

(注意) 上の物體の代りに物質といふ語を使用すれば誤なり.

【例題】 比熱0.033なる水銀500瓦の熱容量何程なるか.

【解】 0.033×500=16.5カロリー……………………………(答)

3. 比熱

〔海兵〕

【定義】 或物體の若干量を溫度1度高むるに要する熱量と，それと同質量の水を溫度1度高むるに要する熱量との比を其の物質の比熱といふ．即ち

$$比熱=\frac{或物質を溫度1度高むる熱量}{其物質と同質量の水を溫度1度高むる熱量}$$

【比熱の種々の表し方】 (1) 上の定義を見よ.

(2) 或物質の熱容量とそれと同質量の水の熱容量との比.

(3) 或物質1瓦を溫度1度高むるに要するカロリーの數.

(4) 或物質1瓦の熱容量(數).

(注意) 比熱は或物質と水との同質量を溫度1度高むるに要する熱量にして，同體積に就いていふにあらず.

4. 物體を溫むる熱量

比熱 s，質量 m 瓦の物體を t° より T° に昇すに要する熱量 H は

【公式】 $H=sm(T-t)$ カロリー

即ち (熱量)=(比熱)×(質量)×(溫度の差)

(注意) (1) 此式に見る如く同溫度の一定質量の物體に含まるる熱量の多少は比熱の大小によるを以て，高溫度の物體と雖

も，比熱小なれば却つて低温度の比熱大なる物體よりも熱量少なきことあり.　〔鹿農〕

(2) 同温度の物體の冷却の速さの大小は其物質の比熱及び傳導度の大小による.　〔秋鑛〕

【問題】(1)　10°に於けるアルミニウム 60 瓦を 100°に昇すに要する熱量如何.　〔北農〕〔山商〕

【解】アルミニウムの比熱を 0.22 とせば，熱量は

$0.22\times60\times(100-10)=1188$ カロリー……………………(答)

(2) 比熱 0.11 の物質 150 瓦を攝氏 80 度より 230 度までに熱するには，幾何の熱量を要するか.　〔鹿農〕〔京工〕

【解】$0.11\times150\times(230^\circ-80^\circ)=2475$ カロリー………………(答)

(3) 石炭瓦斯 1 立を燃燒せしむれば 5000 カロリーの熱を發生す. 今此の瓦斯を用ひて，長さ 1.5 米，幅及び深さが各 1 米なる矩形の浴槽に其の深さの四分の三まで 5°C の水を入れ，之を 45°C まで溫めんとす. 瓦斯の料金を 1 立方米につき 7 錢とせば幾何の料金がかゝるか. 但し浴槽は重さは 100 瓩にして比熱 0.1 を有すとし，叉瓦斯の燃燒熱は全部水及び浴槽を溫むるに費さるゝものと假定す.　〔米工〕

【解】所要の熱量　$(1.5\times1\times1\times\frac{3}{4}\times1000+100\times0.1)\times(45-5)$

$=45400$ 瓩カロリー

所要の料金　$7錢\times\frac{45400\times1000}{5000\times1000}=63.56$ 錢………(答)

(4) 或體積の水銀 (密度 13.6，比熱 0.033) を溫度 1° 上昇せしむる熱量と，之と同體積の水を溫度 1° 上昇せしむる熱量とを比較せよ.　〔商船〕

【解】各 1 立方糎を取りて熱量を比較すれば

(0.033カロリー×13.6)：(1カロリー×1)＝9：20………(答)

(5) 或溫度に於ける金及び銀の比熱は夫々 0.0315 と 0.0560 とにして其の密度の比は 2 と 1 なりと云ふ. このとき金及び銀

の同體積を等しき溫度だけ上昇せしむるに要する熱量の比を求めよ.　〔京工〕

【解】$2\times0.03150:1\times0.0560=9:8$……………………………(答)

(6) 溫度 15°C の水 300 瓦に 60°C の水 100 瓦を加へたるに 25°C の水となれりといふ. 然らば容器共の他に逃げたる熱量は幾許なるか.　〔秋鑛〕

【解】逃げたる熱量を x カロリーとすれば

$$300\times(25-15)+x=100\times(60-25)$$

$$\therefore\ x=500 \text{ カロリー}$$ ……………………………(答)

(7) 質量及び物質相異れる同溫度の二物體に同量の熱を與へて溫度の上昇相等しきことあるは何に起因するか.　〔熊工〕

【解】質量を m, m'，比熱を s, s' とせば

$$ms=m's'$$

或は　$m:m'=s':s$

即ち質量の比は比熱の反比に等しきなり.

5. 比熱測定 (混合法)　〔盛農〕〔醫專〕〔東農〕

【原理】液體の中に熱したる固體(叉は液體)を投じて混合後の溫度を測り，前者の得たる熱量と後者の失ひたる熱量とを等しと置きたる方程式を解くべし.

【方法】比熱 s なる $t°$ の液體 m 瓦中に，比熱 x なる $t'°$ の固體(叉は液體) m' 瓦を入れ，結果の溫度 $T°$ なりとせば

固體の失ひたる熱量　$xm'(t'-T)$ カロリー

液體の得たる熱量　$sm(T-t)$ カロリー

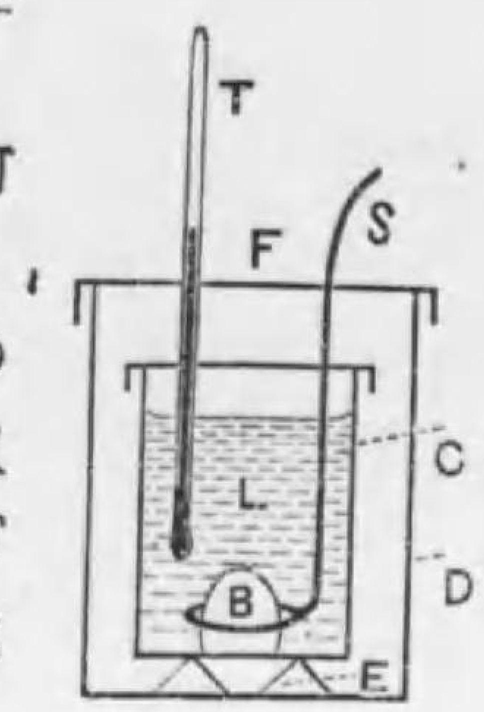
この兩者は相等し. 卽ち次の公式を得.

【公式】$xm'(t'-T)=sm(T-t)$

$$\therefore\ x=\frac{sm(T-t)}{m'(t'-T)}$$

（注意）(1) 最初の液に水を用ふれば $s=1$ なり.

(2) 上の公式の何れを未知數とするも可なり.



【熱量計】 圖は熱量計にして, C は金屬製の圓筒, D は熱を傳へ難き物質例へば毛布又はコルク製の箱, E は C の臺, F は蓋, T は寒暖計, S は攪拌器, L は液體, B は比熱を測るべき固體.

【問題】 (1) 60° に熱したる銅塊 200 瓦を 10° の水 150 瓦中に投じたるに, 水の温度 15.5° に昇れりと云ふ. 銅の比熱幾許なるか. 〔廣工〕〔山商〕〔北農〕〔東師〕

【解】 銅の比熱を x とすれば, 上の式により,

$$150\times(15.5-10)=x\times200\times(60-15.5)$$

$$\therefore\ x=0.093\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(2) 厚さ 0.2 糎にして一邊の長さ 5 糎なる正方形の銅板 (比重 8.9) を 80° に熱し, これを 15° の水 48.06 瓦中に投じたるに水の温度 20° となれり. 銅の比熱を求めよ. 〔醫專〕

【解】 求むる比熱を x とす. 銅の質量は $5\times5\times0.2\times8.9$ 瓦 $=44.5$ 瓦なるにより,

$$44.5x(80-20)=48.06\times(20-15)\quad\therefore\ x=0.09\cdots(\text{答})$$

(3) 50 瓦の銅塊を 100° に熱し, 之を 10° の水 200 瓦を有する銅製器中に投じたるに水の温度 12° となれり. 器の質量 150 瓦ならば銅の比熱幾何. 〔東工〕

【解】 銅の比熱を x とせば, 熱の出入につき次の方程式を得.

$$50x(100-12)=200\times(12-10)+150x(12-10)$$

$$\therefore\ x=0.097\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(4) 200 瓦の銅を 100° 迄熱し之を 25 瓦の銅器に入れたる 8° の

酒精 100 瓦中に投ぜしに酒精の温度は 28.5° に上昇せしと云ふ. 酒精の比熱を問ふ. 但し銅の比熱は 0.093 なり. 〔神商〕

【解】 銅塊は熱を失ひ, 銅器と酒精とは熱を得たり. 故に

$$\overbrace{0.093\times200\times(100-28.5)}^{\text{銅の失ひたる熱量(カロリー)}}=\overbrace{0.093\times25\times(28.5-8)}^{\text{銅器の得たる熱量(カロリー)}}+\overbrace{x\times100\times(28.5-8)}^{\text{酒精の得たる熱量(カロリー)}}$$

$$\therefore\ x=0.63\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(5) 80° の眞鍮塊 100 瓦を氷塊中に穿ちたる孔の中に入れたるに, 氷 9 瓦を融解せりと云ふ. 眞鍮の比熱如何.

〔大藥〕〔醫專〕〔專檢〕〔陸士〕

【解】 眞鍮の比熱を x とすれば, 100 瓦の眞鍮塊が 80° より 0° に冷ゆるまで發する熱量 $x\times100\times80$ カロリーは, 氷 9 瓦の融解のため吸收する熱量 80×9 カロリーに等し. (93 頁を見よ)

$$x\,\text{カロリー}\times100\times80=80\,\text{カロリー}\times9$$

$$\therefore\ x=0.09\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(6) 攝氏 30 度, 20 度, 10 度の甲乙丙三種の液あり. 甲と乙, 甲と丙とを同じ重量づつ混ずれば混合液の温度が夫々 26 度, 25 度となる. 然らば乙と丙とを同じ重量づつ混ずれば何度の液となるか. 又甲, 乙, 丙の三種の液の比熱の比は如何.

〔米工〕

【解】 甲, 乙, 丙の比熱を夫々 a, b, c とすれば次式を得.

$$a(30-26)=b(26-20)$$

$$a(30-25)=c(25-10)$$

$$\therefore\ a:b:c=3:2:1\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

又最後の温度は

$$(20\times2+10\times1)\div(2+1)=16.7^\circ\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

6. 混合物の温度

【公式】 混合物の溫度を求むるには，比熱を求むる公式(69頁)に於て，比熱 x を s' とし，T を未知數 x とす．

$$s'm'(t'-x)=sm(x-t)$$

【問題】 (1) 比熱 c, 溫度 t° なる物體 m 瓦を，比熱 c', 溫度 t'° なる液體 m' 瓦に入れたる時共通の溫度幾何．〔陸士〕

【解】 共通の溫度を x° とすれば

$$cm(t-x)=c'm'(x-t')$$

$$\therefore\ x=\frac{cmt+c'm't'}{cm+c'm'}$$ ……………………（答）

(2) 80° の銅(比熱 0.095) 20 瓦を 10° の水 100 瓦中に入るれば溫度は幾度となるべきか．〔高等〕〔盛農〕

【解】 銅の失ひたる熱量と，水の得たる熱量と相等し．

$$0.095\times20\times(80-x)=1\times100\times(x-10)$$

$\therefore\ x=11.3$度……………………（答）

(3) 3 糎立方の體積を有する銅を攝氏 800 度に熱し，之を攝氏 15 度の溫度を有する 1000 瓦の水の中に投入せば水の溫度は幾度となるか．銅の比重は 7.85, 比熱は 0.115 として計算すべし．〔横工〕

【解】 求むる溫度を x° とし，發生する熱と吸收する熱とを相等しと置きたる方程式を解くべし．

$$7.85\times3^3\times0.115\times(800-x)=1000\times(x-15)$$

$\therefore\ t=2$[illegible]°……………………（答）

(4) 溫度 60° の水 300 瓦を質量 100 瓦の銅器中に入れしに其の溫度 59.1° となれり．此器の初めの溫度幾度なりしか．但し銅の比熱を 0.09 とし，熱は空氣中に向つて失はれざるものとす．〔海軍〕

【解】 初めの溫度を t° とせば

$$300\times(60-59.1)=100\times0.09\times(59.1-t)$$

$\therefore\ t=26.1^\circ$……………………（答）

(5) 質量 5 ポンドの鐵球を或溫度に熱し，これを攝氏 13 度，質量 8 ポンドなる水の中に投じたるに最後の溫度は攝氏 48 度となりしと云ふ．鐵球の初めの溫度は如何．但し鐵球の比熱を 0.112 とす．〔熊工〕

【解】 かゝる問題は質量の單位を如何にとるも可なり．今求むる溫度を t° とせば

$$5\times0.112\times(t-48)=8\times(48-13)$$

$\therefore\ t=548$ 度……………………（答）

(6) 15° の水銀（比熱 0.03）50 瓦の中に 100° に熱したる鐵（比熱 0.11）10 瓦を入るれば水銀の溫度如何．

【解】 $0.03\times50\times(x-15)=0.11\times10\times(100-x)$

$\therefore\ x=51^\circ$……………………（答）

(7) 爐の溫度を測る爲に白金塊を其中に入れて熱したる後之を 20° の水銀中に投じたるに結果の溫度 60° を得たり．次に此白金塊を 120° に熱し之を溫度 15° にして前と同量の水銀中に投じたるに結果の溫度 20° を得たり．依つて爐の溫度を計算せよ．〔醫專〕

【解】 水銀も白金も夫々前後同一量なるを以て，水銀の溫度の下降の比は白金の溫度の上昇の比に等し．

$$\therefore\ (20-15):(60-20)=(120-20):(x-60)$$

但し x は最初の白金塊の溫度にして，從つて爐の溫度なり．之を解きて，

$x=860^\circ$……………………（答）

(8) 90° に熱したる銀塊 150 瓦あり．之を 20° の水中に入れて 30° の溫度となさんとす．幾瓦の水を要するか．〔陸士〕

【解】 水の質量を x 瓦とし，吸收熱と發生熱と相等しきことを方程式に置けば，

$$x\times(30-20)=\overset{(銅の比熱)}{0.057}\times150\times(90-30)$$

$\therefore\ x=51.3$ 瓦……………………………(答)

(9) 65°の湯700瓦中に零下10°の氷 300 瓦を投ずるときは結果の溫度如何. 氷の比熱を0.5とす.　〔醫專〕

【解】 氷が0°となるまでに要する熱量は $0.5\times300\times10=1500$ カロリー, 之が更に融解して0°の水となるまで要する熱量は $80^{カロリー}\times300=24000$ カロリー, 故に結果の溫度を t° とせば

$700\times(65-t)=1500+24000+300t\quad\therefore\ t=20$ 度………(答)

7. 氣體の比熱

【定義】 二つの場合あり.　〔名工〕〔水產〕

(1) 定積比熱　體積を一定に保ちたる氣體(即ち密閉したるもの)の1瓦を溫度1°高むるに要する熱量(カロリー數).

(2) 定壓比熱　壓力を一定に保ちたる氣體(自由に膨脹せしむ)の1瓦を溫度1°高むるに要する熱量(カロリー數).

(3) 定積比熱と定壓比熱との關係.

$$\frac{定壓比熱}{定積比熱}=1.41\quad(略)$$

(注意) 定壓比熱が定積比熱よりも大なるは氣體が外壓に抗して膨脹するため, 熱エネルギーの一部が消費さるゝによる.

【問題】 攝氏0度の空氣100瓦に其の壓力を一定に保ちて2163カロリーの熱を與へしに其の體積の三分の一增加したり. 空氣の比熱を求めよ.　〔金藥〕

【解】 氣體の體積は1度上昇每に0度の體積の $\frac{1}{273}$ 增す故溫度上昇 t° は

$$\frac{t}{273}=\frac{1}{3}\qquad\therefore\ t=91$$

今求むる比熱を x とすれば

$100\times91\times x=2163\quad\therefore\ x=0.24$ ……………(答)

第四章

熱の傳播

熱の傳播.—傳導.—對流.—輻射.

1. 熱の傳播

〔醫專〕〔外5校〕

熱は高溫度の處より低溫度の處に移動す. 其の移動の仕方に次の三種あり.

【定義】 (1) 傳導.——熱が物體を傳ひて移動することを云ふ.

(2) 對流.——熱が流體の移動に伴ひて移動することを云ふ.

(3) 輻射.——熱が物體を經ずして移動することを云ふ. 詳しくいへば熱がエーテル波として發射する現象をいふ(77頁).

2. 傳　導

〔海兵〕

【定義】 傳導の定義は上にあり. 又次の如く言ひ表はすを得. 傳導とは熱現象を呈する物質分子の振動が次第次第に隣りの分子に傳はるを云ふ.

【定義】 (1) 熱の導體.——熱を良く導く物質を熱の導體と云ふ.

(2) 熱の不導體.——熱を導かざる物質(又は導き難き物質)を熱の不導體と云ふ.

【實例】 (1) 導體の例.——銀, 銅, 金, 亞鉛, 白金, 鐵, 水銀(傳導の大小順)等の金屬.

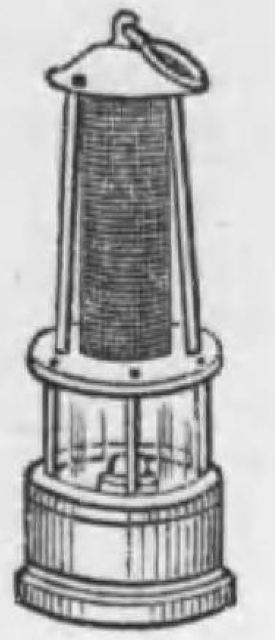
(2) 不導體の例.——氣體, 毛, 木, 水, 硝子等.

【應用】 1. 導體の應用.

(イ) 安全燈(次頁の圖の如く焰を金網にて包みたる裝置にして金網が熱を傳導し去るため外部の爆發性氣體を其發火

點に達せざらしむ). 〔海機〕〔陸士〕

(ロ) 瓦斯燈又はアセチレン燈の火口に近き管内に金網を張ること.



(ハ) 鍋, 釜, 湯沸.

2. 不導體の應用.

(イ) 火箸, 鏝, 十能等に木の柄を附し, 或は湯沸のつるに糸を卷く(木質の應用).

(ロ) 冬寒さ酷しき時に庭木, 水道栓を藁にて覆ふ (木質の應用).

(ハ) 氷を鋸屑の中に貯ふ(木質の應用).

(ニ) 金庫の二重壁間に砂を塡充す.(一は壁間の空氣の對流を防止せんがため).

(ホ) 毛布, 布團, 衣服, 二重硝子窓(寒國にて)等は空氣の不導性の應用なり. 〔海經〕

【問題】 (1) 室內の金屬が毛布よりも冷たく, 日向の石が木より熱きは何故か.

【解】 金屬は導體にして手の熱を其の全部に傳導して全體が手と同溫度になるまで熱を奪へども, 毛布は不導體にして其の局部のみ手と同溫度になれば熱を吸收せず. 又熱き石に觸るるとき石が全部手と同溫度になるまで熱を供給すれども, 木は其の局部のみ熱を失へば熱の移動止むによる.

(2) 陶器の茶碗にて飲み得る位の熱さの湯も, 金屬製茶碗にては熱くして飲むことを得ず. 何故か.

【解】 陶器は不導體にして口のあたる部分だけ唇のため溫度下れども, 金屬は導體にしてたとひ唇のあたる部分が冷却するも他より直に熱の傳導し來るがためなり.

3. 對　流

〔高等〕〔外6校〕

【定義】 前々頁を見よ.

【原理】 對流は流體にのみ起る. これ空氣, 水等が熱せられて膨脹し, 其比重を減じて上層の比重大なる部分と交替するによる. この理により對流を起すには流體を下部より熱するを要す.

【實例】 (1) 風, 潮流, 風呂又は湯沸等の水の對流.

(2) 火事場近傍に風あること. 〔海機〕

(3) 熱したる物體を密閉したる器內に吊すとき, 器內に空氣あれば對流作用起るにより, 眞空なる時よりは速かに冷ゆ.

【應用】 煙突, 洋燈ホヤ, 焜爐, 暖爐, 蒸氣管. 〔長商〕

【問題】 (1) 煙突の原理を說明し, 且其の高さと効用との關係を述べよ. 〔高等〕〔橫工〕

【解】 煙突內の空氣は溫度高きが爲め周圍の空氣よりも密度小にして對流作用盛んに起り新鮮なる空氣が流入して其の燃燒を助くるなり. 又煙突內の空氣の密度を d, 煙突外のを d', 煙突の高さを h とし煙突の內外に於ける上端の壓力を等しとせば, 煙突の下部の壓力の差は $(d'-d)h$ にして, 此の壓力の差により空氣は流入す. 即ち煙突は高さ h の大なるほど有効なり.

(2) 冷藏庫に氷を裝置するに如何なる位置を可とするや. 〔三農〕

【解】 上方に裝置するを要す. 上部の空氣は冷却して密度を增す結果, 下方に降り, 下部の空氣は上昇し, 對流を起す.

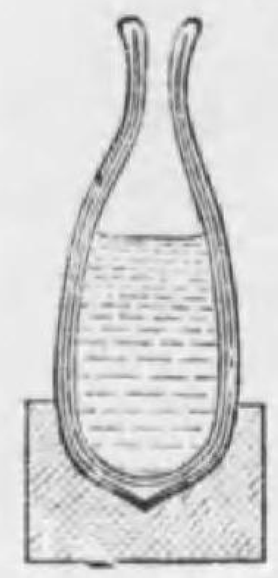
4. 輻　射

〔大工〕

【定義】 (1) 75頁を見よ.

(2) 輻射とは熱がエーテルの波動(光波より波長大)となりて發射する現象にして, 此の輻射熱が物質にあたりて其分子を振

動せしめて熱を生ぜしむるなり.



【實例】（イ）日向の温かきこと.

（ロ）火鉢，暖爐等の直前の温かきこと.

（ハ）氷に近寄るときに涼しく感ずること（氷より輻射熱來らざるによる）.對流も一因なり.

（ニ）魔法壜は壜の壁を二重に造り其の間の空氣を抜き且壁面に銀鍍を施せるものにして，熱は對流及び輻射の何れによりても失はるゝこと少なし.

【輻射熱の吸收と反射】黒き物體は完全に輻射熱を吸收し，白き物體（磨ける物體も）はよく輻射熱を反射す.

〔例〕（イ）輻射計の翼車の片面に油煙を塗ること，汚れたる雪の速かに融解すること等は輻射熱を吸收するがためなり.

（ロ）夏服に白地を用ふること，又帽子に日覆を用ふることは輻射熱を反射せしむるためなり．晴夜に露を生ずるは地上の物體よりの輻射熱を再び地に反射する雲なきがため地が速に冷却するによる.

【問題】（1）金盥に湯を入れ金屬板上に之を置きて放置すれば湯の温度は漸次下降す．此時湯の熱の失はるゝ原因を列記説明せよ.〔東工〕

【解】（1）熱が金盥の金屬及び金屬板の金屬を傳導して失はる

（2）湯が熱を輻射し去る.

（3）湯の表面より水が蒸發し其の際氣化熱を吸收せらる.（100頁）

（2）物體の温度と其の物體の出す輻射線との關係を問ふ.〔陸士〕

【解】温度高まるに從ひて順次波長の短かきエーテル波，即ち熱線，光線，化學線を輻射す.

第五章

膨　脹

熱の作用.—膨脹.—線膨脹係數.—補整振子.—線膨脹計算.—體膨脹係數.—兩膨脹係數の關係.—體膨脹係數計算.—見掛の膨脹.—水の膨脹.—氣體の膨脹.—氣體の定律.—計算.

1. 熱の作用

熱の物體に及ぼす効果を次の三つに分つ.

1. 膨脹.　2. 融解（凝固）.　3. 氣化（液化）.

2. 膨　脹

熱が物體に加はるときは物體分子の振動劇烈となりて分子は互に相遠ざかる．即ち物體は體積を増大す.

膨脹の度合は氣體最大にして，液體之に次ぎ，固體最小なり.

3. 膨脹係數

〔海兵〕

温度1°上昇毎の物體膨脹の割合を膨脹係數と云ふ．次の二つに分つ.

1. 線膨脹係數.　2. 體膨脹係數.

4. 線膨脹係數

〔東農〕〔京實〕

【定義】温度1°上昇毎の延びの割合を其物質の線膨脹係數と云ふ.

【公式】$l'=l(1+at)$

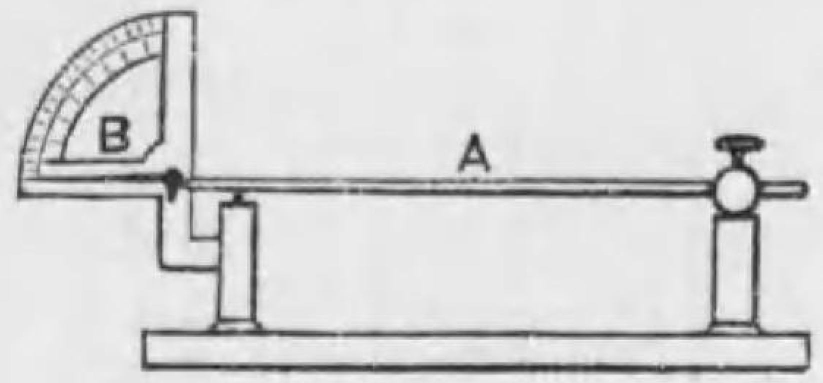
但し，l=物體のもとの長さ，　l'=膨脹せる全長.

t=上昇せる温度，　a=線膨脹係數.

【證明】$l'-l$ は $t°$ の上昇に對する延長,

$\frac{l'-l}{t}$ は1°毎の延長,

$\frac{l'-l}{tl}$ は1°毎の延長の割合, 卽ち線膨脹係數(a)



$$\therefore \frac{l'-l}{tl}=a$$

之を變形して上の公式を得. 〔高等〕

【線膨脹の例】 (イ) 圖の金屬棒Aを熱するときは延長して指針Bを動かす. 〔東工〕

(ロ) 鐵軌は夏は冬よりも延長す.

(ハ) 時計の振子は夏は冬よりも延長す.

(ニ) コツプに熱湯を注ぐとき, 或は熱き洋燈ホヤに水のかゝりたるとき破壞す. 〔東師〕〔專檢〕

【線膨脹應用】 (イ) 車輪に鐵輪を嵌むるとき後者を赤熱として其の直徑を大にす.

(ロ) 振子時計は補整振子により, 懷中時計は切テンプにより時間を調節す. 〔海機〕

(ハ) 壜栓の拔け難きとき壜の頸部を暖むれば拔け易くなる.

(注意) (1) 物體は溫度上昇するとき膨脹するにより其密度を減ず. 〔海兵〕〔北工〕

(2) 物體の膨脹量は比較的小なれども, 膨脹せんとする力(收縮せんとする力と同じ)は極めて大なり.

5. 補整振子

〔蠶農〕

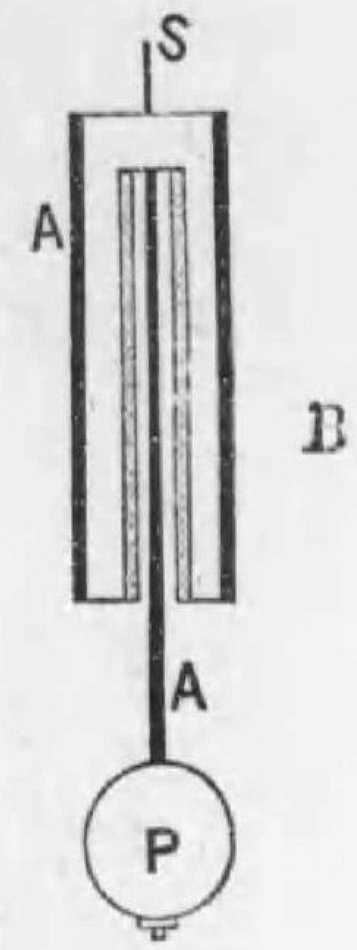
【原理】 振子の週期Tは,

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

の如く振子の長さlの平方根に比例す. 卽ち長き振子の週期は大なり. 故に振子時計は夏は後れ, 冬は進む. 補整振子は線膨

脹係數の異なる二種の金屬(鐵と亞鉛等)を組合して振子の長さを常に一定ならしむる樣に作れる裝置なり.

【構造】 三本の鐵棒(A)と二本の亞鉛棒(B)とを圖の如く組合したるものにして, 鐵棒の延長のため下降せる振子を亞鉛棒の延長にて引き上ぐるなり. 從て棒の長さと膨脹係數との間に次の關係あり.

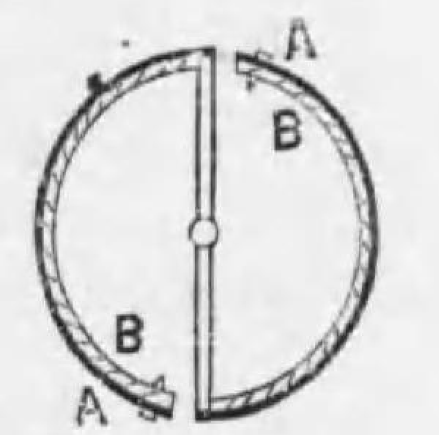


$$\underset{\text{鐵棒の長さ}}{(A+A)}\times\underset{\text{鐵の係數}}{a}=\underset{\text{亞鉛棒の長さ}}{B}\times\underset{\text{亞鉛の係數}}{a'}$$

$$\therefore\ a:a'=B:(A+A)$$

卽ち二種の金屬棒の長さを其線膨脹係數の反比に取るべきなり.

【切テンプ】 切テンプは膨脹係數小なる金屬B(鐵)を內側に, 膨脹係數大なる金屬A(眞鍮)を外側に組合して半圓輪を作りたるものなり. 溫度上るときは切りたる端は却つて內側に向ひて振動の週期を一定にす.



6. 線膨脹の計算

(1) 0° に於て長さ 100尺の銅線は 200° に於て幾尺あるか. 但し銅の線膨脹係數は 0.000017 なり.

〔東齒〕〔商船〕

【解】 100尺×(1+0.000017×200)=100.34尺…………………(答)

(2) 0° に於て長さ1米, 週期2秒の振子は 35° に於て幾何の週期を有するか. 但し此振子を造れる針金の線膨脹係數は 0.000018 なり. 〔北工〕

【解】 此振子の 35° の長さは

1米×(1+0.000018×35)=1.00063 米

然るに振子の週期は針金の長さの平方根に正比例するを以て，求むる週期は

$$2^{秒}\times\sqrt{1.00063}=2.0006\text{ 秒}\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(3) 溫度 16° のとき鐵製の尺度を用ひ或る物體の長さを測りて 53.72 糎を得たり．此尺度は 0° の時正しきものとすれば 16° の時の眞の長さ何程．鐵の膨脹係數は 0.000012 なり．

〔東醫〕〔東師〕〔大醫〕

【解】 この尺度の 16° の時の眞の長さは物體の長さなり．卽ち，

$$53.72^{糎}\times(1+0.000012\times16)=53.73\text{ 糎}\cdots\cdots(答)$$

(4) 0° に於て正しき目盛を施したる鋼鐵製の尺度を用ひ，40° の時に一のアルミニウム棒の長さを測りしに，其棒の長さは其時の尺度の目盛 30.0306 米と相等しきを見たり．其棒の 0° に於ける長さは幾何なるか．但し鋼鐵の線膨脹係數は百萬分の11.5，アルミニウムのは百萬分の 22.5 なりとす．

【解】 0° に於て 30.0306 米の鋼鐵製尺度の 40° に於ける眞の長さは

$$30.0306^{米}\times\left(1+\frac{11.5}{1000000}\times40\right)=30.0444\text{ 米}$$

此長さはアルミニウムの40°の時の長さなり．故に0°に於ける長さは

$$30.0444^{米}\div\left(1+\frac{22.5}{1000000}\times40\right)=30.0015\text{ 米}\cdots(答)$$

(5) 28° の室內に於て晴雨計を以て氣壓を測定したるに水銀柱の高さ 766.7 粍ありたり．此測定に用ひたる尺度は 0° に於て正しき眞鍮製の尺度なりしと云ふ．室內の氣壓は每平方糎幾瓦に當るか．但し 28° に於ける水銀の比重は 13.576 にして，眞鍮の線膨脹係數は 0.000019 なり．

〔大工〕

【解】 0° に於て正しき目盛の 776.7 粍は，28° に於ては

$$766.7^{粍}\times(1+0.000019\times28)=767.21\text{ 粍}$$

故に所要の壓力は次の如し．

$$13.576^{瓦}\times76.721=1055.1\text{ 瓦}\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(6) 面積が 16° に於て 600 平方糎なる眞鍮製薄板を 196° に熱したるに 604 平方糎に膨脹せり．この眞鍮の線膨脹係數を求む．

〔海機〕

【解】 溫度一度每に面積の膨脹せし割合は

$$\frac{604-600}{600\times(196-16)}=0.000037$$

面積の膨脹係數は線膨脹係數の 2 倍にて表はし得べきを以て，線膨脹係數は

$$0.000037\div2=0.0000185\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(7) 或溫度のとき體積の比が 2:1 なる大小二箇の圓筒ありて小圓筒の線膨脹係數は 0.0000170 なり．之を大圓筒內に入るれば兩圓筒間の體積は溫度の變化に關係なく一定なりといふ．大圓筒の線膨脹係數幾何なりや．

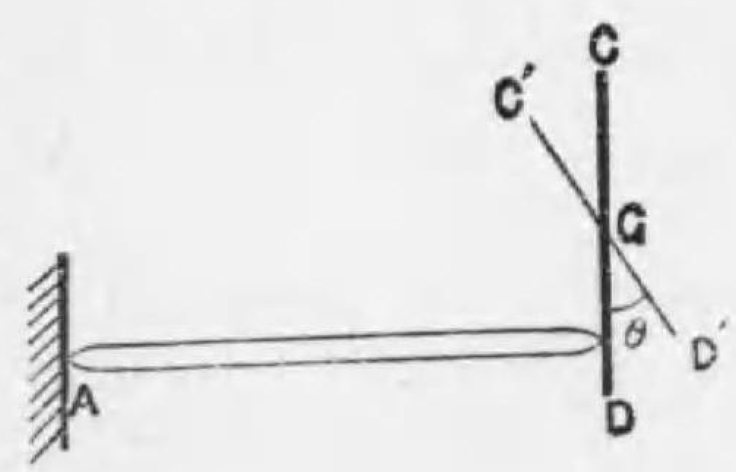
〔桐工〕

【解】 或溫度の時小圓筒の體積を v とせば大圓筒の體積は $2v$ にして，其の差は v なり．而して題意により t 度の時には次の關係あり．但し x を大圓筒の線膨脹係數とす．

$$2v(1+3xt)=v(1+3\times0.0000170t)+v$$

$$\therefore\ x=0.0000085\cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(8) 長さ 2 米の金屬棒 AB の一端 A を固定し他端 B を G 點を支點とせる挺子 CD の一端 B に輕く接觸せしむ．但し棒の溫度は攝氏 20° にして棒 AB は水平，挺子 CD は鉛直とす．棒 AB を常に水平に保ち其の溫度を攝氏 70 度に熱したるに其膨脹により挺子は 30 度廻轉して C′D′ の位置を取れり．今 GB の長さを 3 粍とせば金屬棒の膨脹係數如何．〔大工〕



【解】 棒の延長は $3\times\frac{1}{\sqrt{3}}$ なるが故に，求むる膨脹係數は次の如し

$$3粍\times\frac{1}{\sqrt{3}}\times\frac{1}{2000\times(70-20)}=0.0000173\cdots\cdots(答)$$

7. 體膨脹係數

【定義】 温度 1° につき體積の膨脹する割合を<u>體膨脹係數</u>と云ふ.

【公式】 $V'=V(1+bt)$

但し, V=原體積, V'=膨脹せる全體積,

t=温度の上昇, b=體膨脹係數.

【證明】 $\frac{V'-V}{t}$ =溫度 1° 毎の膨脹

$\frac{V'-V}{tV}=b$ (温度 1° につき膨脹せし割合).

之を變形して上の公式を得.

【體膨脹の例】 金屬容器の膨脹, 金屬球の膨脹, 諸種液體の膨脹, 氣體の膨脹等.

【體膨脹の應用】 水銀寒暖計, 酒精寒暖計, 空氣寒暖計等.

8. 體膨脹係數と線膨脹係數との關係

【定理】 體膨脹係數 b は線膨脹係數 a の 3 倍に等し.

$$b=3a$$

【證明】 一邊 l にして體積 V なる立方體が, 溫度 t の上昇につき一邊 l' にして體積 V' なる立方體に變じたりとせば,

$$l'=l(1+at)\cdots\cdots\cdots(1) \quad (線膨脹の公式)$$

$$\therefore\ l'^3=l^3(1+at)^3$$

而して $l'^3=V',\ l^3=V$ なるにより

$$V'=V(1+at)^3\cdots\cdots(2)$$

然るに $V'=V(1+bt)\cdots\cdots(3)$ (體膨脹の公式)

(2) (3) より

$$1+bt=(1+at)^3$$
$$=1+3at+3a^2t^2+a^3t^3.$$
$$\therefore\ b=3a+3a^2t+a^3t^2$$

a は甚だ小なるにより其自乘又は三乘なる右邊の第三項以下は a の精密さに對して省略するを至當とす. 故に

$$\therefore\ b=3a$$

9. 膨脹の計算

(1) 0° の時直徑 3.06 糎の眞鍮の球を 300° 迄熱する時は其球の體積幾何となるか. 但し眞鍮の線膨脹係數を 0.000019 とす. 〔鹿農〕

【解】 球の元體積 $=\frac{4}{3}\times3.1416\times\left(\frac{3.06}{2}\right)^3=15.02^{立方糎}$

膨脹後の體積 $=15.02^{立方糎}\times(1+\overbrace{0.000019\times3}^{體膨脹係數}\times300)$

$=15.5$ 立方糎$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(2) 眞鍮(線膨脹係數 0.000019)にて製せる一升桝は溫度 40° の上昇につき何程の誤差を生ずるか. 〔神商〕

【解】 $10^{合}\times0.000019\times3\times40=0.023$ 合$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(3) 水銀は 0° に於て 13.59 の比重を有し, 線膨脹係數は 0.00006 なり. 100° の時 200 立方糎の重量何程なるや. 〔美術〕〔東工〕

【解】 水銀の 0° の體積を求め, 之を比重に乘ずべし. 即ち

$$13.59^{瓦}\times\frac{200}{1+0.00006\times3\times100}=2770\ 瓦\cdots\cdots(答)$$

(4) 鐵の 0° に於ける比重 7.82 なるときは 200° に於ける比重何程. 但し鐵の線膨脹係數は 0.0000123 なり. 〔東農〕

【解】 $7.82\div(1+0.0000123\times3\times200)=7.76\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(5) 或溫度のもとにて, 器物中に其内容積の $\frac{1}{n}$ の固體を入れ是

等の空間を塡充するに液體を以てせしに，溫度上昇後液體の一部は溢れ出たり．器物，固體，液體の體膨脹係數 a' a'' a''' 間には如何なる關係ありや． 〔桐染〕

【解】 液體と固體との膨脹は容器の膨脹よりは大なるべきにより，

$$1\times a' < \frac{1}{n}\times a''+\left(1-\frac{1}{n}\right)\times a'''$$

$$\therefore\ a'-a''' < \frac{1}{n}(a''-a''') \cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(6) 重さ m 瓦の鉛塊を溫度零度，密度一立方糎につき d_0 瓦の水中にて測りしに重さ m_0 瓦となり，又溫度 t，密度一立方糎につき d_t 瓦の水中にて測りしに重さ m_t 瓦となりたり．然らば鉛の體膨脹係數幾許なるか． 〔東工〕

【解】 0° 及び $t°$ の鉛塊の體積 v_0, v_t は夫々

$$v_0=\frac{m-m_0}{d_0},\quad v_t=\frac{m-m_t}{d_t}$$

故に膨脹係數 β は

$$\beta=\frac{v_t-v_0}{v_0 t}=\frac{\dfrac{m-m_t}{d_t}-\dfrac{m-m_0}{d_0}}{\dfrac{m-m_0}{d_0}\times t}$$

$$=\frac{d_0(m-m_t)-d_t(m-m_0)}{(m-m_0)td_t} \cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(7) 質量 W 瓦の或固體の攝氏 4 度の水中に於ける重さは W_1 瓦，攝氏 t 度の水中に於ける重さは W_2 瓦なりと云ふ．攝氏 t 度の水の密度を毎立方糎 d 瓦とすれば，此の固體の體膨脹係數は幾許． 〔東工〕

【解】 此の固體の最初の體積は $(W-W_1)$ 立方糎にして，$t°$ に於ける體積は $(W-W_2)\div d$ 立方糎なるを以て，體膨脹係數は

$$\frac{(W-W_2)\div d-(W-W_1)}{(W-W_1)\times(t-4)} \cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(8) 0° に於ける銀の比重は 10.5 なり．150° に於ける銀 20 立方糎の重量を問ふ．但し銀の體膨脹係數を 0.000057 とす．

【解】 0° に於ける銀 1 立方糎の重量は 10.5 瓦なり．今この銀が 150° に熱せらるれば其の體積は $(1+0.000057\times150)$ 立方糎となるを以て，其の 20 立方糎の重量は

$$10.5\times\frac{20}{1+0.000057\times150}=208.2\ 瓦 \cdots\cdots\cdots(答)$$

10. 見掛の膨脹

【定義】 液體の眞の膨脹より其容器の膨脹を減じたるものを<u>見掛の膨脹</u>と稱す．卽ち

(見掛の膨脹)=(眞の膨脹)−(容器の膨脹).

(眞の膨脹)=(見掛けの膨脹)+(容器の膨脹).

【問題】 0° にて容量 25 立方糎の硝子壜に水銀を充たし，之を 100° に熱するとき溢るる水銀の體積を求む．但し硝子の線膨脹係數は 0.000008，水銀の體膨脹係數は 0.00018 なり． 〔熊工〕

【解】 見掛の膨脹を求むべし．

$$25\text{立方糎}\times(0.00018-0.000008\times3)\times100$$

$$=0.39\ 立方糎 \cdots\cdots\cdots(答)$$

11. 水の膨脹

〔海機〕

(イ) 水の膨脹係數は溫度によりて著しく異なる．

(ロ) 水は 4° にて最小の體積(最大の密度)を有す．

(注意) (1) 水の(ロ)の性質は河湖の魚類には甚だ重要なり．何となれば冬季空氣の溫度が下降して 0° 又はそれ以下に達せし時河湖の水は 4° に至る迄は對流を起して一樣に冷却すれども，4° 以下に冷却せし水は 4° の水よりも密度小にして上層に止まる．依つて水は表面より氷結し，且氷は熱の不導體なる

を以て其底部の水は容易に氷結せざるなり. 〔盛農〕〔商船〕

(2) 容器の水を氷にて冷却するには $4°$ までは氷を上部に置くを要し，それ以下にては下に置くを要す.

12. 氣體の膨脹 〔大工〕

【係數】(1) 氣體の膨脹係數は氣體の種類に關せず一定なり.

(2) 氣體の膨脹係數は其氣體が $0°$ に於て占むべき體積の 273 分の 1 なり.(シャールの定律)

【定義】 攝氏の零下 273 度を $0°$とし，之を起點として攝氏の目盛にて表はしたる溫度を絕對溫度(T)といふ. 故に攝氏の度數 t に 273 を加へたるものは絕對溫度の度數なり.

$$\therefore \quad T=t+273$$

例へば攝氏 $27°$ は絕對溫度の $27°+273°=300°$ にして，攝氏 $-273°$ は絕對溫度の $0°$ なり. 〔大工〕

【定律】 壓力一定なるとき一定質量の氣體の體積は其の絕對溫度に比例して增減す.

【公式】$t°$ の時に體積 Vの氣體の $t'°$ に於ける體積 V' は

$$V'=V\times\frac{t'+273}{t+273} \quad 又は \quad \frac{V}{t+273}=\frac{V'}{t'+273}$$

【證明】 $V\div\left(1+\frac{t}{273}\right)=V_0$……$0°$ の體積

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

之より V_0を消去して

$$V'=V\times\frac{1+\frac{t'}{273}}{1+\frac{t}{273}}=V\times\frac{273+t'}{273+t}$$

【氣體膨脹例】 ゴム球が溫まりて膨るること. 竹，麥藁の燃ゆる

時彈くこと. 火藥の爆發. 綿布團が日向にて膨るゝこと.

13. 氣體の定律 (ボイルシャールの定律)〔盛農〕〔外2校〕

【定律】 一定質量の氣體の體積は其絕對溫度に正比例し，壓力に反比例して增減す.

【公式】 溫度 $t°$, 壓力 Pの時，體積 Vの氣體が溫度 t', 壓力 P'に於て占むべき體積 V' は次の如し.

$$V'=V\times\frac{t'+273}{t+273}\times\frac{P}{P'}$$

【證明】 溫度 t, 壓力 Pの時體積 V の氣體の，溫度を一定に保ち壓力を P' に變じたるときの體積 v はボイルの定律により,

$$PV=P'v$$

$$\therefore \quad v=\frac{PV}{P'} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

次に壓力を P' に保ちつゝ溫度を $t°$ より $t'°$ に變ずれば，體積V' はシャールの定律により,

$$v\times\frac{t'+273}{t+373}=V' \cdots\cdots\cdots(2)$$

(1) (2) より v を消去して,

$$V'=\frac{PV}{P'}\times\frac{t'+273}{t+273}\cdots\cdots\cdots(3)$$

卽ち前の公式を得. この公式は或は變形して,

$$V'=\frac{PV}{P'}\times\frac{T'}{T} \quad 卽ち$$

【公式】 $\dfrac{PV}{T}=\dfrac{P'V'}{T'}$ を得.

依て，一定質量の氣體の初めの壓力と體積との相乘積を其絕對溫度にて除したる商は，後の壓力と體積との相乘積を其の絕對溫度にて除したる商に等し.

14. 氣體の體積の計算

(1) 温度0°，壓力760 粍の空氣一立あり．其溫度を 50°，壓力を750粍とせば，體積は幾何となるか．〔東工〕

【解】 公式により

$$1\text{立}\times\frac{50+273}{273}\times\frac{760}{750}=1.2\ \text{立}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(2) 體積100立方糎の電球あり．之を攝氏127度に熱して圓筒の體積900立方糎の空氣ポンプに連結し，其活塞を3回上下したる後之を封じ，球の溫度を攝氏27度に下げたり．球内の空氣の初の壓力760粍なるときは最後の壓力幾何．但し電球の膨脹を省略し，又ポンプ内の空氣の溫度は電球の溫度と同一なりとす．〔東工〕

【解】 活塞を3回上下せる後の電球内の壓力は

$$760\text{粍}\times\left(\frac{100}{100+900}\right)^3=0.76\ \text{粍}$$

今此溫度を127°より27°に下ぐるときの電球内の壓力 P は，

$$100\text{立方糎}\times\frac{273+27}{273+127}\times\frac{0.76}{P}=100\text{立立糎}$$

$$\therefore\ P=0.57\text{粍}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(3) 0°，760粍の時の密度は1立方糎につき空氣は0.00129 瓦にして水素は 0.00009 瓦なり．今是等氣體の各0.002 瓦を混じ，30 立方糎の容器に入れ密閉して其溫度を 20° になしたる時の容器内の壓力を求む．〔海兵〕

【解】 この混合氣體の體積は次の如し．

$$\underbrace{\frac{0.002}{0.00129}}_{\text{空氣}}+\underbrace{\frac{0.002}{0.00009}}_{\text{水素}}=23.8\ \text{立方糎}$$

之を溫度20°，壓力 P となしたる時の體積は 30 立方糎なり．故に

$$23.8\text{立方糎}\times\frac{20+273}{273}\times\frac{760}{P}=30\text{立方糎}$$

$$\therefore\ P=647\text{粍}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(4) 深さ20米の池底より水面に浮び出づる氣泡あり．池底の溫度攝氏4度，水面の溫度攝氏20度なるとき氣泡の體積は如何に變化するか．〔高等〕

【解】 水面の壓力を76糎とすれば池底の壓力は $\left(76+\frac{2000}{13.6}\right)$ 糎なり．故に體積の變化は $\left(76+\frac{2000}{13.6}\right)\times\frac{1}{76}\times\frac{273+20}{273+4}=3.11$ 倍$\cdots\cdots$(答)

(5) 溫度攝氏0度にて體積200立方糎，壓力819粍を有する氣體と，溫度攝氏 17 度にて體積580立方糎，壓力500 粍を有する氣體とを體積 5460 立方糎の容器に入れ，此の混合氣體の溫度を攝氏100度に溫むれば幾何の壓力を呈すべきか．〔大工〕

【解】 求むる壓力を x 粍とすれば，兩氣體の溫度を 100 度，壓力を x 粍とせるときその和は 5460 立方糎なり．即ち

$$200\text{立方糎}\times\frac{273+100}{273}\times\frac{812}{x}+580\text{立方糎}\times\frac{273+100}{273+17}\times\frac{500}{x}=5460\text{立方糎}$$

$$\therefore\ x=109.3\text{粍}\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(6) 容積2000立方糎の器に溫度攝氏13度壓力780粍なる乾きたる空氣を入れて質量を測り，次に器中の空氣を一部分抽き出し殘部の溫度を攝氏13度壓力10粍となし再び質量を測りしに前より 2.499 瓦減じ居たり．溫度攝氏0度にして壓力760粍なる乾きたる空氣の密度を計算し，且つ其の空氣1瓦の有する體積を求めよ．〔東工〕

【解】 初めの13度，780粍に於ける氣體を標準狀況に換算せば

$$2000\times\frac{780}{760}\times\frac{273}{273+13}=1959\ \text{立方糎}$$

又後の13度，10 粍の氣體を標準狀況に改算せば

$$2000\times\frac{10}{760}\times\frac{273}{273+13}=25\ \text{立方糎}$$

∴　空氣の密度　2.499瓦÷(1.959−0.025)=1.293 瓦每立…(答)

一瓦の體積　(1.959−0.025)÷2.499=0.773 立………(答)

(7) 長さ1米の直圓筒を倒にして海底に沈めしに海水は 86.4 糎だけ圓筒内に侵入したり．而して海面上の溫度は 20°C にして海底の溫度は 8°C なりしと云ふ．海の深さ幾何なるか．但し海水の比重を 1.025 とす．　〔廣工〕

【解】海面上の壓力を水銀柱の 76 糎とすれば，海面上にて直圓筒内の空氣の壓力は76糎，溫度は 20°，體積は 1 米柱にして，之を海底に入れしとき壓力は P 糎，溫度は 8°，體積は 100−86.4=13.6 糎なりしを以て，次の關係を得．

$$\frac{76\times 100}{273+20}=\frac{P\times 13.6}{273+8}\qquad \therefore\ P=535.9\ 糎$$

よつて海水による壓力は 535.9−76.0=459.9 糎にして，從つて海水の深さは次の如し．

459.9糎×13.6÷1.025=61.03 米 ……………………(答)

第六章
融　　解

融解.—融解點.—壓力關係.—融解熱.—計算.—凝固.—寒劑.

1. 融　解

【定義】固體が液體に變ずることを融解と稱す．

【實例】氷の水となるが如き，金屬又は硝子等を熱すれば液體となるが如きこれなり．

2. 融解點

【定義】固體の融解する溫度を融解點(熔融點)といふ．

【定理】固體の融解しつゝある間は溫度は一定（融解點）なり．

【實例】融解點は氷は 0°，水銀は零下 39°，錫は 230° なるが如し．

3. 融解點と壓力　〔北農〕

【定理】融解して其體積を收縮する物質に强壓力を加ふるときは融解點は下降す．

〔例〕氷は融解して體積を收縮す．氷は一氣壓の下に於て 0° にて融解すれども 1000 氣壓にすれば略零下 8° にて融解す．0° の氷塊を强く壓し附くるときに合して一塊となるは壓力のため接觸部の氷が融解し，壓力を去りたる後再び凝固したるなり．これ復氷と稱する現象なり．又水が凝固するときに體積の膨脹を許さゞればそれに對して大なる壓力を呈す．冬期水瓶水道管の破裂するが如き，岩石間に浸入したる水の氷結のため岩石の崩壞するごとき是なり．

【定理】融解して體積を膨脹する物質に强壓力を加ふるときは，其の融解點は上昇す．

〔例〕黃燐は融解する際膨脹す．故に壓力を加ふれば融解點は昇る．卽ち1氣壓の下にて略 40° にて融解すれど，1000 氣壓にては略 70° にて融解するが如し．

4. 融解熱 (融解の潛熱)　〔大工〕〔外5校〕

【定義】融解點に於ける固體1瓦を同溫度の液體となすに要する熱量を其物質の融解熱といふ．

【實例】氷の融解熱は 80 カロリーなり．

（注意）氷の融解熱は他の諸物質に比べて最も大なり．

【應用】氷の融解熱は大なるにより，雪は溫度上りても一時に消

えず，又物を冷すに水よりも氷を用ふれば氷のある間は常に溫度を零度に保つを得べし．

5. 融解熱の測定及び計算

【原理】 熱したる物體に氷を混じて氷の融解せし重量を測り，之により氷の吸收したる熱量と物體の失ひたる熱量とを等しと置きたる方程式を解くべし．

【公式】 (1) 0°の氷に比熱 S なる $t°$ の物體 m 量を混じ，それがため m' 量の氷が融解したりとせば，氷の融解熱 x は

$$Smt=m'x$$

(2) 0° の氷 m 量が t の水 m' 量に溶けて t'' の水を得たりとせば，融解熱 x は

$$mx+mt'=m'(t-t').$$

（注意） 上の二つの公式には物體の質量の單位を限定する必要なし．

【問題】 (1) 多量の氷塊に 80° に温めたる 100 瓦の銅塊を觸れしめたるに 9.2 瓦の水を生じたり．氷の融解熱を求む．但し銅の比熱を 0.092 とす．

【解】 銅の失ひたる熱量は $0.092\times100\times80$ カロリー，氷の吸收せる熱量は $x\times9.2$ カロリー，故に次の方程式を得．

$$0.092\times100\times80=x\times9.2$$

$\therefore\ x=80$ カロリー……………………………(答)

(2) 攝氏 100 度の熱湯と攝氏 0 度の氷との等量を混ぜしに溫度は攝氏 10 度となりしと云ふ．氷の融解熱を問ふ．〔熊工〕

【解】 熱湯の單位量の失ひたる熱量(左邊)は，等量の氷が融解し更に 10度上るが爲に吸收したる熱量(右邊)に等し．故に氷の融解熱を x カロリーとせば

$$100-10=x+10$$

$\therefore\ x=80$ カロリー……………………………(答)

(3) 0° の氷 30 瓦を 100° の水 50 瓦中に投入せしに平均の溫度 32.5° となれりと云ふ．氷の融解點を求む．〔專檢〕

【解】 氷の融解熱を x カロリーとせば

（イ） 氷の融解に要する熱量 $=x\times30$ カロリー

（ロ） 生じたる水が平均溫度に達する熱量 $=32.5\times30$ カロリー

（ハ） 100° の水が平均溫度に下るまで發する熱量

$$=(100-32.5)\times50 \text{ カロリー}$$

（イ）+（ロ）は（ハ）に等しからざるべからず．故に

$$x\times30+32.5\times30=(100-32.5)\times50$$

$\therefore\ x=80$ カロリー……………………………(答)

(4) 一氣壓にて 0° の氷 100 瓦を絕えず一樣に熱したるに 4 分間にて全く融解し，尙 5 分間を經て沸騰點に達せりと云ふ．氷の融解熱を問ふ．〔海兵〕

【解】 吸收せる熱量は時間に比例するを以て，氷の融解に要する熱量と，0° の水が 100° に上るに要する熱量とは 4:5 なり．然るに後者は 1 瓦につき 100 カロリーなるにより，前者 x は次の如し．

5分 : 4分 = 100カロリー : xカロリー

$\therefore\ x=80$ カロリー……………………………(答)

(5) 鉛塊に一定の割合にて熱を加へしに每秒一度づつ溫度上昇し融解點に達してより全く融け終る迄に 3 分20秒を要したりといふ．鉛の比熱を 0.03 として融解熱を求めよ．〔大工〕

【解】 鉛を溫度 1° 昇すには 1 瓦につき 0.03 カロリーの熱を要するを以て，加へたる全熱量卽ち其融解熱は

$0.03\times(60\times3+20)=6$ カロリー……………………(答)

(6) 0° の氷を攝氏 30° の水 210 瓦中に投じて攝氏 25° の水 220 瓦を得たり．氷の融解熱如何．〔米工〕

【解】 $(220-210)\times(x+25)=(30-25)\times 210$

$\therefore\ x=80$ カロリー……………(答)

6. 氷の融解熱應用計算

(1) 0° の氷 500 瓦を悉く融解して 30° の水となすに要する熱量を計算せよ。 〔上醫〕〔北農〕

【解】 求むる熱量は氷の融解に要する熱量と，融解せし水の溫まるに要する熱量との和なり。

$80^{\text{カロリー}}\times 500+30^{\text{カロリー}}\times 500=5500$ カロリー…(答)

(2) 0° の氷 100 瓦と 0° の水 100 瓦との混合物あり．之を熱して溫度 30° とならしむるには幾何の熱量を要するか． 〔海兵〕

【解】 $80^{\text{カロリー}}\times 100+30^{\text{カロリー}}\times 100\times 2=14000$ カロリー…(答)

(3) −10°C の氷 100 瓦と 50°C の水 150 瓦とを混じ全部 10°C の水となすには幾何の熱量を與へ，又は奪ふを要するか．但し氷の比熱は 0.5，融解點は 1 瓦につき 80 カロリーとす． 〔慶大〕

【解】 −10° の氷 100 瓦が 10° の水となるために吸收する熱量は

$(0.5^{\text{カロリー}}\times 10+80^{\text{カロリー}}+10^{\text{カロリー}})\times 100=9500$ カロリー

又 50° の水 150 瓦が 10° の水となるまでに發出する熱量は

$150\times(50-10)=6000$ カロリー

故に更に供給すべき熱量は

$9500-6000=3500$ カロリー ……………………(答)

(4) 零下 5° の氷塊 5 瓩を 80° の水 30 瓩に混合すれば幾何の溫度となるか．但し氷の比熱を 0.5 とす． 〔大工〕

【解】 求むる溫度を $x°$ とし，−5° の氷が 0° の氷となり，次に融解し，更に $x°$ 上るに要する熱量の總和は，80° の水が $x°$ に冷却るとき發生する熱量に等し．故に次式を得．

$(0.5\times 5+80+x)^{\text{カロリー}}\times 5000=(80-x)^{\text{カロリー}}\times 30000$

$\therefore\ x=57.05°$ ……………(答)

(5) 40° の水 100 瓦に 0° の氷を入れて 0° の水となすには幾何の氷を要するか． 〔秋鑛〕〔海兵〕

【解】 氷の量を x 瓦とし，發生熱と吸收熱とを等しと置けば，

$80\times x=40\times 100$

$\therefore\ x=50$ 瓦……………………(答)

(6) 溫度 0° の氷塊に 80° の水 200 立方糎(比重 0.97) を混ずれば幾何の氷を融解するか． 〔海兵〕

【解】 $0.97^{\text{カロリー}}\times 200\times 80=80x^{\text{カロリー}}$

$\therefore\ x=194$ 瓦 ……………………(答)

(7) 100° の熱湯 1000 瓦を入れたる器に 0° の氷若干を溶かしたるに 37° の水を得たり．氷の質量を求めよ． 〔熊工〕〔高等〕

【解】 氷の質量を x 瓦とし，發生熱と吸收熱とを等しと置けば，

$(100-37)\times 1000=(80+37)\times x$

$\therefore\ x=538$ 瓦 ……………(答)

(8) 浴槽に溫度 60°C. の湯 390 立あり．之に 0°C. の雪を加へて共溫度を 50°C. に下げんとす．雪幾瓦を要するか． 〔早高〕

【解】 求むる雪の重さを x 瓦とせば次の如し．

$390\times 1000\times(60-50)=80x+50x$

$\therefore\ x=30$ 瓩 ……………(答)

(9) 140 瓦の銅を 90°C. に熱して 0°C. の氷中に混ずれば幾何の氷を融解し得るか．但し銅の比熱を 0.09 とし，氷の融解熱を 1 瓦につき 80 カロリーとす．

【解】 氷の融解する量を x 瓦とすれば

$140\times 0.09\times 90=80x$

$\therefore\ x=14.175$ 瓦 ……………………(答)

(10) 銀塊 100 立方糎の溫度を 1°C 溫むるに要する熱量を以て 0°C の氷幾瓦を融解し得べきか．但し銀の比重は 10.5，比熱は 0.058 なりとす． 〔北工〕

【解】 此銀塊を 1°C 温むるに要する熱量は

$$10.5\times100\times0.058=60.9 \text{ カロリー}$$

氷1瓦を融解するに 80 カロリーを要するを以て，融解すべき氷の重さは

$$60.9\div80=0.76 \text{ 瓦} \cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(11) 氷及び水の混合物中に温度 20°C, 質量 35 瓦の鉛球（比熱 0.031）を入れたるに氷が溶け盡さざりしとせば，混合物の體積の變化如何. 但し體積 v の水が氷となる時は，その體積は凡そ $1.09v$ となる. 又氷の融解熱を 1 瓦につき 80 カロリーとす.

〔東醫〕

【解】 此混合物の最後の温度は 0° にして，從つて鐵球が 0° になるまでに失ひし熱量は

$$35\times0.031\times20=21.7 \text{ カロリー}$$

氷の融解熱は 80 カロリーなるを以て，上の熱量にて融解さし氷の質量は

$$21.7\div80=0.27$$

而して水 1 瓦は 1 立方糎を占むるが故に上の水の體積は 0.27 立方糎なり. 又題意により水 v 體積は氷 $1.09v$ 體積より生ずるにより減少せし體積は

$$0.27\times\left(\frac{1.09v}{v}-1\right)=0.024 \text{ 立方糎}\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

7. 凝固

【定義】 液體の固體に變ずることを凝固といひ，凝固する時の温度を凝固點といふ.

凝固は融解の反對にして，純物質にては凝固點は融解點に等しく，凝固熱(一瓦の液體が凝固するとき發生する熱量)は融解熱に等し.

【膨脹】 凝固に際し體積を膨脹するものは水の外，活字金（鉛と

アンチモンとの合金), 鐵等あり. されど多くの固體は凝固するときに收縮す.

8. 過融

【定義】 物質が凝固點以下に於て液狀をなす現象を過融(過融解)と稱す. 蒸溜水を極めて靜かに置きて冷却すれば零下 10° に於て尚液狀を保つ. 過融は不安定なる狀態にして，之を動搖するか又は之に其物質の小片を入るれば忽ち凝固し其際放つ凝固熱のため温度は上昇す.

9. 寒劑

〔水產〕

【定義】 低温度を起すに用ふる物質を寒劑と稱す.

【實例】（イ） 氷と食鹽との混合物. (−22°)

（ロ） 氷と鹽化カルシウムとの混合物. (−55°)

【理由】 氷と食鹽とを混ずるときは氷は融解して水となり，食鹽は此水に溶解す. こゝに要する融解熱(1瓦につき 80 カロリー)と溶解熱（1 瓦につき 18 カロリー）とを混合物自身より吸收するがため其温度を下降するなり.

【用途】 廣く低温度を起すに用ひらる.

（注意） 上の寒劑は何れも混合物なり. 寒劑には混合物を用ひざるものあり.

【實例】 寒劑には上の外，固狀無水炭酸・液態空氣等あり. 前者は融解熱と氣化熱との吸收により，後者は氣化熱の吸收によりて温度を降すなり.

第七章

氣 化

氣化.—氣化熱.—測定.—計算.—蒸發.—蒸氣張力.—沸騰.
液化.—臨界溫度.—露點.—濕度.—濕度計.—水の特性.

1. 氣 化

【定義】 液體が氣體に變ずる現象を氣化と稱す.

【實例】 水の水蒸氣となること. 酒精, エーテル等の氣體となること.

【應用】 洗濯物を乾かすこと, 蒸氣機關を運轉せしむること等.

(注意) 固體が氣體に變ずるも亦氣化なり. 樟腦, 沃素の如し.

【方法】 氣化の方法に次の二つあり.

(1) 蒸發.——液の自由表面より氣化すること.

(2) 沸騰.——液の內部よりも氣化すること. 〔秋鑛〕

2. 氣化熱 (蒸發熱)

〔陸士〕〔外2校〕

【定義】 液體1瓦が之と同溫度の氣體に變ずるに要する熱量を其の溫度に於ける氣化熱又は蒸發熱と稱す.

【數値】 水の氣化熱は536カロリーにして, 他の何れの液體よりも大なり. (溫度によりて氣化熱に多少の違ひあり).

【實例】 (1) 手のぬれ居るときには冷く感じ, 濡れ衣を着くれば寒く感ずること, 水を打ちたる庭の涼しきこと.

(2) 布片にアルコールを浸して皮膚を拭ふときそれが氣化熱を吸收するがため寒冷を感じ, 之を吹くときは蒸發は盛となりて愈冷たく感ぜしむ. 〔九藥〕〔水產〕

(3) エーテルの蒸發するとき著しき寒冷を生ず.

(4) 液狀アムモニアを氣化せしめて食鹽水を零度以下に冷却し, 此中に水を入れたる筒を浸して氷を製す.

(5) 液態空氣を物體に注ぎかくるときは物體は大に冷却す.

(6) 浴湯を沸すに水蒸氣を通ずること(氣化熱の發生).

(注意) エーテルの氣化熱(94カロリー)は水より小なるに強き寒冷を起すは其沸騰點 (35°) 低くして蒸發速かなるによる.

【問題】 (1) 湯によりてせるよりも, 同溫度の蒸氣によりてせる火傷の酷しき理由如何. 〔東醫〕

【解】 蒸氣は同溫度の湯よりも氣化熱に相當するだけ多くの熱を有し, 身體に觸れて同溫度の湯となるまでに多量の熱を放つが爲なり.

(2) 重さなき活塞を有する圓筒を立て, 圓筒內の底面と活塞の內面との間を攝氏零度の氷にて間隙なく塡充したり. 外氣の壓力を常に一氣壓に保ち, 圓筒內の溫度を攝氏100度少し上まで上昇したりとすれば, 圓筒內物質の狀態の變化, それに伴ふ溫度の變化及び活塞の移動の有樣如何. 但し活塞と圓筒とは溫度の影響を受けざるものとす. 〔桐工〕

【解】 (1) 氷の融解する間は溫度は零度のまゝにして活塞は少しく降る.

(2) 全部融解したる後溫度高まり 4° まで活塞は少しづゝ降る.

(3) 4° より溫度は昇り, 活塞も昇り, 100° に至れば全部氣化するまで溫度は一定す. 而して水の次第に氣化するに從ひ活塞は著しく上る.

(4) 100° 以上に熱すれば水蒸氣の溫度は昇り, 活塞も亦上る

(3) 0° の雪2瓩を1氣壓の下に 100° の蒸氣に化するに要する熱量如何. 〔上醫〕〔大工〕

【解】 (80カロリー+100カロリー+536カロリー)×2000

=1432000カロリー………………(答)

(4) 華氏 68° の水 1 貫目を悉く氣化するに要する熱量如何.

〔水產〕〔長商〕

【解】 $68°F=(68-32)\times\frac{5}{9}=20°C$, 1貫$=\frac{15}{4}$瓩

$\therefore\ \frac{15}{4}\times\{(100-20)+536\}=231$ 瓩カロリー…(答)

3. 氣化熱の測定

【方法】 水の氣化熱を測らんには100° の水蒸氣を一定溫度の水又は氷の一定量に通じて結果の溫度を求め，前者の失ひたる熱量と後者の得たる熱量と相等しきことを方程式に置き，之を解くべし.

【公式】 m を 100° の水蒸氣の質量, M を $t°$ の水の質量, T を結果の溫度, x を氣化熱とせば,

$$mx+m(100-T)=M(T-t)$$

これより x を求むべし.

【問題】 (1) 100° の水蒸氣 5 瓦を 20° の水 500 瓦中に入れしに其溫度 26° となれり. 水の氣化熱を求む. 〔熊工〕〔醫專〕

【解】 氣化熱を x カロリーとすれば，次の方程式の左邊は水蒸氣の失ひたる熱量，右邊は水の得たる熱量なり.

$$5x+5\times(100-26)=500\times(26-20)$$

$\therefore\ x=526$ カロリー………………………(答)

(2) 溫度 0° の氷に一定の割合に熱を供給せしに 20 分時の後溫度上昇し始め，更に 25 分時の後沸騰し始め，尙 45 分時の後其 3 分の 1 だけ水が氣化せりといふ. 沸騰前の水の蒸發を無視して氷及び水蒸氣の潜熱を求む. 〔高等〕

【解】 潜熱は 1 瓦につきての所要の熱なり. 0° の水 1 瓦を 100° に熱するに 100 カロリーの熱を要す. 故に氷の潜熱は

$100\times\frac{20}{25}=80$ カロリー ……………………………(答)

又，水蒸氣の潜熱は

$100\times\frac{45}{25}\div\frac{1}{3}=540$ カロリー ……………………(答)

4. 氣化熱の計算

(1) 100° の水蒸氣 10 瓦を 20° の水 100 瓦中に送入すれば最後の溫度幾何なるか. 〔商船〕〔醫專〕

【解】 最後の溫度を $x°$ とし，吸收熱を發生熱に等しと置けば,

$$(x-20)\times100=536\times10+(100-x)\times10$$

$\therefore\ x=76°$……………………………………(答)

(2) 0° の氷 89 瓦を 100° の水蒸氣 45 瓦中に入るゝときは其結果如何. 〔陸士〕

〔注意〕 この種の問題の答には (イ) 全部が 0° となるとき, (ロ) 0° と 100° 間の或溫度となるとき, (ハ) 100° となるときの三あり. (イ)と(ハ)に於ては氷又は水蒸氣の一部が變化せずして殘ることあり.

【解】 此問題にては氣化熱は融解熱と水を沸騰せしむるに要する熱とを補ひて餘あり. 今 100° の水となりし水蒸氣の量を x 瓦とせば，下の方程式の左邊は氷が 100° の水になるに要する熱量，右邊は水蒸氣の液化する際發せし氣化熱にして，此の兩者は相等し.

(80カロリー+100カロリー)×89=536カロリー×x $\therefore\ x=30$ 瓦

100° の水 89瓦+30瓦=119 瓦
100° の水蒸氣 45瓦−30瓦= 15 瓦 ……………(答)

(3) 攝氏零度の氷 10 瓦に 3408 カロリーの熱を與ふるときは其の結果如何になるべきか. 〔醫專〕

【解】 3403− 80 ×10=2608カロリー……融解せし後餘れる熱量.
2608−100×10=1608カロリー……百度に於て餘れる熱量.

1608÷536=3瓦……氣化せる水
10−3=7瓦 ……100° の水 ……………(答)

(4) 0°の氷, 50°の水, 100°の水蒸氣を重量の比 10:9:1 に混ずる時は其結果如何. 〔北工〕

【解】 上の各が 0° の水となるまでに發出し, 或は吸收する熱量の比は

氷 $80^{\text{カロリー}} \times 10 = 800^{\text{カロリー}}$ (吸收)

水 $50^{\text{カロリー}} \times 9 = 450^{\text{カロリー}}$ (發出)

水蒸氣 $(536^{\text{カロリー}} + 100^{\text{カロリー}}) \times 1 = 636^{\text{カロリー}}$ (發出)

故に所要の温度は

$(450^{\text{カロリー}} + 636^{\text{カロリー}} - 800^{\text{カロリー}}) \div (10+9+1) = 14.3°$ …(答)

(5) 溫度 15 度の水 1 石あり. 之に容器の底に管口を開ける管により 100 度の水蒸氣を通じて温度を 40 度に高めんとす. 水蒸氣幾瓩を通ずべきか. 〔神商〕

【解】 1 立の水は 1 瓩を有し, 5.5 合は 1 立なるにより,

1 石 = 182 立 = 182 瓩

故に今求むる水蒸氣の質量を x 瓩とせば

$$536x + (100° - 40°)x = (40° - 15°) \times 182$$

$\therefore\ x = 7.634$ 瓩 ……………………………(答)

(6) 0°の銅塊 (比熱 0.095) 400 瓦, 0°の氷 60 瓦, 10°の水 600 瓦, 100°の水蒸氣 20 瓦を混ずれば結果の溫度如何. 〔大工〕

【解】 氷の融解熱を 80 カロリー, 氣化熱を 536 カロリーとし, 結果の溫度 x が 10° 以上なりしとせば,

$$\underbrace{0.095 \times 400 \times x}_{\text{銅の得る熱}} + \underbrace{(80 + x) \times 60}_{\text{氷の得る熱}}$$

$$+ \underbrace{(x - 10) \times 600}_{\text{水の得る熱}} = \underbrace{\{536 + (100 - x)\}}_{\text{水蒸氣の失ふ熱}} \times 20$$

$\therefore\ x = 19.4°$ ……………………………(答)

(7) 17° の水 3000 瓦に 100° の水蒸氣幾瓦を通ずれば 37° の水を得べきか. 〔東農〕〔高等〕〔海兵〕

【解】 所要の水蒸氣の量を x 瓦とし, 發生熱と吸收熱とを等しとすれば

$$\{536^{\text{カロリー}} + (100-37)^{\text{カロリー}}\} \times x$$
$$= (37-17)^{\text{カロリー}} \times 3000$$

$\therefore\ x = 100$ 瓦 ……………………………(答)

(8) 100° の水蒸氣 10 瓦を 20° の水 100 瓦中に入れたるとき 76° の水を得たり. 水の氣化熱を求む. 〔熊工〕

【解】 $10x + 10 \times (100 - 76) = 100 \times (76 - 20)$

$\therefore\ x = 536$ カロリー ……………………………(答)

(9) 攝氏零度の氷 150 瓦を攝氏 50 度の水とならしむる熱量を以て, 攝氏 50 度の水幾瓦を攝氏 100 度の蒸氣となすことを得べきか. 〔高等〕〔熊工〕

【解】 求むる水の質量を x 瓦とせば,

$$(80+50)^{\text{カロリー}} \times 150(\text{瓦}) = [(100-50) + 536]^{\text{カロリー}} \times x(\text{瓦})$$

$\therefore\ x = 33.3$ 瓦 ……………………………(答)

(10) 100 度の水蒸氣 90 瓦を 0° の氷 450 瓦に加ふれば結果如何. 〔北工〕

【解】 $536 \times 90 + (100 - x) \times 90 = (x + 80) \times 450$

$\therefore\ x = 39.3°$ の水 ……………………………(答)

(11) 石炭 1 瓦を燒燒すれば 7500 カロリーの熱を發生す. 攝氏 16 度の水 1 石を蒸發せしむるには石炭幾斤を要するか. 但し水 1 升は 1800 瓦, 石炭 1 斤は 600 瓦とす. 〔名工〕〔商船〕

【解】 16° の水 1 瓦を蒸發せしむるに要する熱量は

$$(100 - 16) + 536 = 620^{\text{カロリー}}$$

故に 1 石を蒸發するに要する熱量は

$$620 \times 1800 \times 100 = 1516 \times 10^{5\,\text{カロリー}}$$

之を石炭 1 斤より生ずる熱量にて除すれば

$1516 \times 10^{5} \div (7500 \times 600) = 33.6$ 斤 ……………………(答)

〔陸士〕

5. 蒸發

【定義】 液體が其自由表面より氣體に變ずることを蒸發と稱し，生じたる氣體を蒸氣と稱す.

【原理】 蒸發は液體分子が熱を吸入して振動烈しくなり相互の分子力に打勝ちて逸散する現象なり.

【實例】 水の乾くこと，揮發性液體の逸散すること，香水の香氣の擴がること等.

【應用】 乾燥，香料（例. ナフタレン，樟腦）.

6. 蒸發の促進

〔大醫〕

蒸發を速めるには，

（イ） 液の自由表面を廣くすること.（洗濯物を擴げること，蒸發皿の淺くして廣きこと，鹽田）.

（ロ） 氣流を送りて表面に生じたる蒸氣を除去すること（風當りのよき處の物はよく乾く）. 〔水產〕

（ハ） 溫度を高くして其物と外氣とに含まるゝ蒸氣の最大張力の差を大ならしむること（日當りのよき熱き處にてはよく乾く，濡れたる物體を火にて乾かす）. 〔米工〕

【例題】 活塞を備へたる圓筒內に少量の液と其蒸氣のみとあり. 溫度を一定に保ちながら活塞を引き上ぐるときは液面の壓力小となり液は氣化し，押し下ぐるときは蒸氣は液化し，活塞を定位置に保ちつゝ溫度を上すときは壓力を增し，下すときは壓力を減ず. 〔東工〕

7. 蒸氣の最大張力 （最大壓力）（飽和壓力）

【定義】 蒸氣張力（蒸氣壓）とは蒸氣の呈する壓力の强さを云ふ. 〔醫專〕

【定義】 最大張力（最大壓力又は飽和壓力）とは液體と接する蒸氣の壓力が其時の溫度につき最大の値を有するときを云ふ. 最大張力は溫度の高き程大なり. 〔海機〕〔外5校〕

【定義】 最大張力を呈する蒸氣を飽和蒸氣と稱し，最大張力に達せざる張力を呈する蒸氣を不飽和蒸氣又は過熱蒸氣と稱す. 〔大工〕〔外8校〕

（注意） 密閉せる器內に於て液に接する飽和蒸氣を熱すれば液は更に蒸發して其溫度に對して飽和し，而して液が悉く蒸發せし後に初めて蒸氣は不飽和となる. 又反對に不飽和蒸氣を冷せば飽和し次で蒸氣は液化し始め常に飽和狀態を持續す.

【測定法】 トリセリーの眞空中に少しの液體を入れよ. 液體は少許り水銀上に殘るを要す. この時の水銀柱の降下は其溫度に於ける其蒸氣の最大張力なり.

【問題】 (1) 印度地方の家庭にて素燒の水瓶に水を滿たして夜中屋根の上又は風當り良き場所に置けば明夜けまでには中の水は氷の如く冷ゆ. 之を其の儘椽の下に置けば一日冷水を缺くことなし. 此の現象を說明せよ. 〔東師〕

【解】 素燒の水瓶より水が滲出しては蒸發し，其の際要する熱を水より吸收するを以て水は冷却するなり.

(2) 晴雨計管內の水銀面上に少量の液體あり. 飽和狀態のもとにて液體を蒸發し去らんとす. 理由を附して其の方法を記述せよ. 〔桐工〕

【解】 晴雨計管の水銀の上は普通眞空なれども，若し其の上に液體あらばこの部分は其の液體より生ぜし蒸氣にて飽和せらる. 次に管を引き上げて其の空間を大にすれば液體は更に蒸發して此の空間を飽和せしむ. 故に水銀上の液體が消失するまで管を引き上ぐべし.

(3) 一定量の或蒸氣を其の體積が半分となるまで溫度を一定

にして壓縮せば其壓力は如何に變ずべきか．可能なる種々の場合に就きて考へよ．〔海軍〕

【解】(1) 其の蒸氣が飽和せるものならば，蒸氣の一部は液化して壓力には變化なし．(2) 體積が半分となるまで尚不飽和なるときは壓力は2倍となる．(3) 體積を減じつゝある途中にて飽和するならば壓力は稍增加す．

8. 沸騰

〔米工〕〔外4校〕

【定義】液體が其表面のみならず内部よりも氣化する現象を沸騰といひ，其時の溫度を沸騰點と云ふ．

【原理】液より生ずる蒸氣の最大張力が大氣の壓より大なるときに起る．よつて沸騰點は液の最大張力を大氣の壓に等しからしむる溫度なり．上の理由により大氣の壓高き程沸騰點は高く，反對に低きほど沸騰點低し．〔南醫〕〔水產〕〔外6校〕

(注意) 液の沸騰しつゝある間は其溫度一定す．

【實例】(1) 水，酒精等を蒸溜すること．

(2) 沸騰點は山頂にては低し．大氣中にて沸騰點以下の液も其外壓を去れば(排氣機に入れて)沸騰す．

(3) 壜に半ば水を入れ沸騰中密閉し，壜を倒にして底部を冷す時は水は再び沸騰す．〔盛農〕

これ水面上の蒸氣は冷却して一部液化するがため水面に呈する壓力を減じ，其の壓力が其水の溫度に對する最大張力以下となるによる

(4) 高山にて物を煮るとき釜の蓋を重くするを可とす．又沸騰點を測りて山の高さを推知するを得．〔熊工〕

9. 液化

〔仙工〕〔商船〕

〔定義〕氣體の液體に變ずることを液化と云ふ．液化に際しては氣化熱と同量の熱(液化熱)を放つ．

【方法】氣體を液化せしむるには (イ) 溫度の下降，(ロ) 壓力の增加を要す．

【理由】これ氣體(蒸氣)を冷却すれば其最大張力小となり僅かの壓力によりて液化し，或は又壓力を增加して其の溫度に於ける最大張力以上に至らしむるも液化す．通常此冷却と壓縮との二方法を併用す．

【實例】無水炭酸，無水亞硫酸，アムモニア，鹽素等は何れも此の方法により液態に變ず．

10. 臨界溫度 (限界溫度)

〔早高〕〔山商〕

【定義】氣體を液化せしめ得ると得ざるとの境界の溫度を臨界溫度といひ，臨界溫度に於て之を液化するに要する最小の壓力を臨界壓力(限界壓力)といふ．

(注意) 氣體は臨界溫度以上にあらば如何に大なる壓力も之を液化する能はず．臨界溫度以下の氣體を蒸氣と稱し，それ以上のものを瓦斯と稱して區別することあり．(通常，蒸氣とは常溫にて液體のものより生じたる氣體をいふ．)

【實例】水蒸氣，無水炭酸，アムモニア等の臨界溫度は何れも常溫以上にあるを以て是等は單に壓力を加へて液化せしめらる．酸素，窒素(從つて空氣)，水素等の臨界溫度は普通の寒劑を用ひて到達するを得ざる低溫にあるを以て，是等は單に壓力を加へて液化するを得ず．故に壓縮せる氣體が膨脹する時溫度を下降する(1氣壓の減少に對し1度の下降)原理を應用して之を其臨界溫度以下に冷却せしめて液化す．

11. 露點

〔米工〕〔外5校〕

【定義】大氣中に於ける飽和水蒸氣の溫度を其露點と云ふ．換言すれば大氣中の水蒸氣が冷却して飽和の狀態に達し將に液化し

始めんとする時の溫度なり.

（注意） 物體の溫度が大氣中の水蒸氣に對して其露點以下に降るときは大氣中の水蒸氣は其表面にて液化す. 卽ち露を生ず.

【實例】（イ） 晴夜草木に露を結ぶ（晴夜は地熱の輻射を妨ぐる雲なきにより地上の溫度下降するによる).

（ロ） 夏時氷水を盛れるコツプの表面に曇りを生ず.

（ハ） 沸騰せる鐵瓶の口より出づる水蒸氣は湯氣に變ず.〔愛醫〕

（ニ） 冬季呼氣の白く見ゆること.

（ホ） 冷たき硝子板に呼氣をかくれば曇りを生ず.

12. 濕　度

〔海兵〕〔外11校〕

【定義】 空氣中にある水蒸氣の張力と, 其空氣の溫度に於ける水蒸氣の最大張力との百分比を濕度と稱す.

（注意） 濕度は又現在の水蒸氣の密度と其溫度に對する最大密度との百分比なり.

【實例】 室內を溫むるときは空氣は乾燥す. これ空氣中の水蒸氣の量には增減なきも, 空氣の溫度の上昇のためそれに含まるべき水蒸氣の最大張力の增加するによる. 〔高等〕〔北農〕

【測定法】 空氣を冷却して露の生ずる溫度（卽ち其水蒸氣の露點)を測り, 其溫度に於ける最大張力を表によりて求め, 之を其時の空氣の溫度に於ける最大張力にて除し, 其商を百倍すべし.

【問題】（1） 朝霧は普通午前中に霽るるは何故か. 〔東鑑〕

【解】 太陽出で空氣の溫度が高まるため大氣は乾燥し, 霧が全部氣化するなり.

（2） 空氣中に含まるゝ蒸氣の密度が同一ならば, 暖き日と寒き日とにて空氣の濕度に差異ありや. 若しありとせば何れの日が濕度高きか. 其の理由如何. 〔米工〕

【解】 差異ありて, 溫度高き方の濕度が小なり.

（3） 空氣の溫度同じきも濕度の大なる時の方暑く感ずるは何故なるか. 〔高等〕〔東商〕

【解】 濕度大なるほど水蒸氣の量は飽和に近かく從つて水分の蒸發も亦遲し. 身體よりは常に水分蒸發して氣化熱を奪ひ去る. 故に蒸發遲きほど吸收せらるゝ熱も少なく, 從つて蒸しあつく感ずるなり.

（4） 絕對濕度, 關係濕度の定義を述べ, 且室內の空氣を溫むれば濕度は如何に變化すべきかを說明せよ. 〔上鑑〕〔鹿農〕

【解】 絕對濕度とは空氣1立方糎に含まるゝ水蒸氣の量を以て表はせるものにして, 關係濕度とは空氣中の水蒸氣の量と其の溫度に於て飽和さるべき水蒸氣の量との比なり. 故に室內の空氣を溫むれば絕對濕度には變化なきも, 溫度の上昇と共に其處に含まれ得べき水蒸氣の量を增加するを以て關係濕度は小となり, 空氣は乾燥す.

13. 濕度の計算

（1） 30度の空氣を冷却せしに10度に於て露を生じたり. 最初の空氣の濕度如何. 〔東師〕

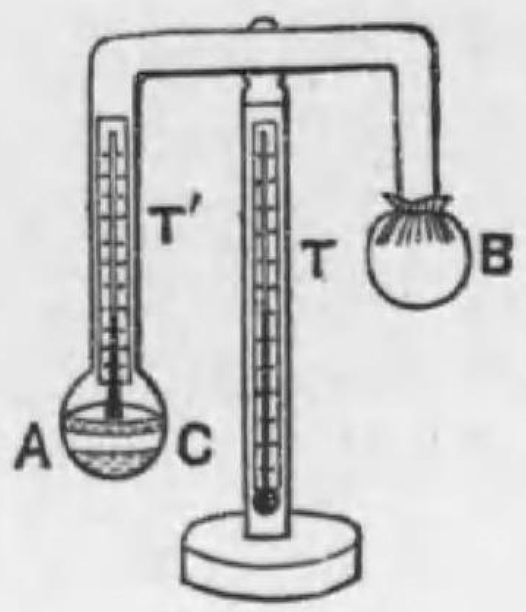
【解】 表によりて最大張力を求むるに30度にては31.5粍, 10度に於ては9.1粍なるにより, 求むる濕度は

$$\frac{9.1}{31.5}\times 100=29\%\cdots\cdots\cdots\cdots\text{答)}$$

（2） 氣溫26°, 濕度80なる時空氣一立方米內の水蒸氣の質量幾何. 但し26°に於ける飽和水蒸氣の壓力は25粍, 26°, 1氣壓の乾燥空氣一立方米の質量は1180瓦, 水蒸氣の密度は空氣の密度の8分の5なり. 〔廣師〕

【解】 $1180\text{瓦}\times\frac{5}{8}\times\frac{25}{760}\times\frac{80}{100}=19.4\text{ 瓦}\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$

14. 濕度計

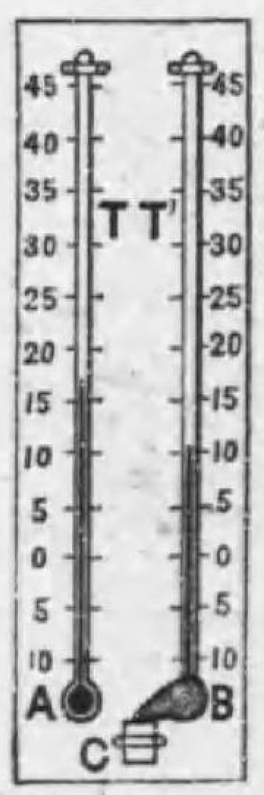


1. ダニエル濕度計

【原理】 大氣を冷却して其露點を見出す裝置なり.（露點を見出せば其濕度を求め得ること前述の如し）.

【構造】 彎曲せる硝子管の兩端に球A,Bあり. Aには半ばエーテルを充たし, 其中に一の寒暖計 T' を浸し, 球外に金屬帶Cあり. Bは空なり. 別に一個の寒暖計Tを支柱に設く.

【作用と使用法】 空球Bを包める布片にエーテルを注ぎ掛くればエーテルの蒸發と共にB球は冷却し,從つてB内にありしエーテル蒸氣の一部は液化して其の壓力を減じ, ために球Aのエーテルは氣化して殘れるエーテルの溫度は降り球Aは次第に冷却す. 球Aの冷却につれ之に接する空氣の溫度も降り遂に其金屬帶に霧(曇り)を生ず. 其時の溫度を T' にて測り之を t° とす. これ其の露點なり. 又Tの溫度 T° は其時の大氣の溫度なり. よつて表によりて濕度を知るを得.



2. 乾濕球濕度計 〔米工〕

【原理】 寒暖計の球を濕すときは水の蒸發のため示度低く, 而して空氣の乾燥するほど蒸發盛んにして示度愈低し. この溫度の降下より表によりて濕度を求むるなり.

【構造】 二個の寒暖計T,T'あり. 濕球Bの球を包める布の下端は水壺に浸さる.

【使用法】 乾濕球寒暖計の示度の差と乾球寒暖計の示度とより, 別に作れる表によりて濕度を見出す

なり. 〔盛農〕

3. 毛髮濕度計

【原理】 毛髮が濕度高き時延長する性を利用す.

【構造】 毛髮Hの上端を固定し, 下端をOを支點とせる指針Nの一端に結びたるものにして, 指針の先端は目盛盤Sを指す.

【作用】 毛髮の伸縮に伴ひ指針は濕度を目盛せるS上を動く.

15. 水の特性

〔京工〕〔東商〕〔神商〕

1. 比熱大なること　これ故に海水は陸地より溫まり難く, 又冷え難し. 從つて沿岸の氣候を調和す.
2. 融解熱大なること　これ故に水は冷却するも急に氷結することなく, 又雪は春季暖かになりたる時急に融解して洪水を起す如きことなし.
3. 蒸發熱大なること　水の蒸發により多量の熱を吸收し, 又水蒸氣の液化する際多量の熱を發出して氣溫の急劇に變ずるを防ぐ.
4. 4°に於て最大密度を有すること　この結果として冬季水は表面より氷結し始め, 水の不導性と相待ちて底部の水の氷結を防ぎ, 以て魚類の棲息に適せしむ.

第八章

熱機關

1. 蒸氣機關

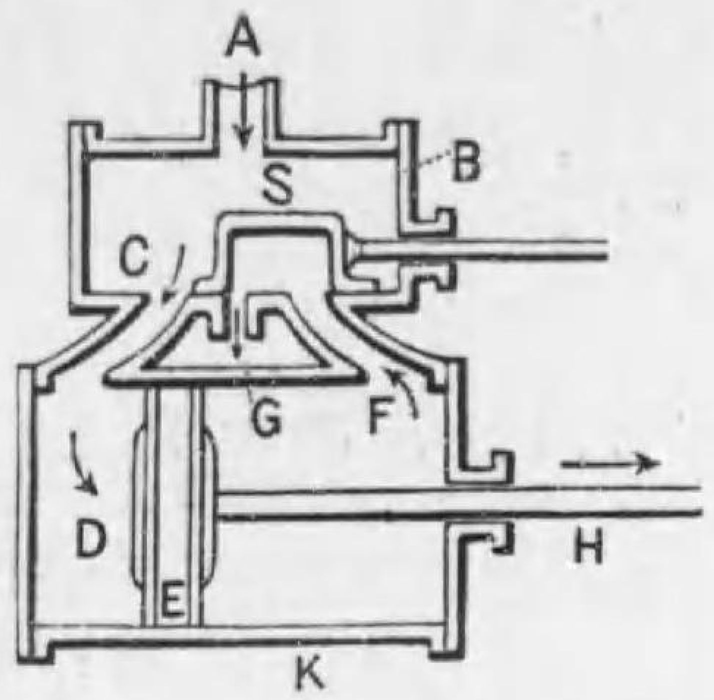
【原理】 水を熱して水蒸氣となし, 其壓力にて圓筒內に設けたる

活塞を動かし，此活塞に連結せる挺子によりてハズミ車を廻轉せしむる裝置なり．

【構造】 主要部は次の三つなり．

(1) 汽罐，(2) 配分器，(3) 汽筒．

汽罐は水を沸騰せしむる釜，汽筒Kには活塞Eあり．配分器Bは汽筒に隣接し，滑り瓣Sありて別に設けたる離心盤によりて活塞と反對に動く樣に作らる．



【作用】 汽罐より來る蒸氣はAより配分器Bに入り，滑り瓣Sの位置が圖の如きときはC孔より汽筒內にある活塞の一側Dに至りて之を押し動かす．この際活塞の他側の蒸氣は孔Fを通り滑り瓣の覆へる孔Gより逃れ去る．而して活塞の運動に從ひて滑り瓣も滑りて交互に蒸氣を活塞の片面に流入せしむ．汽筒の蒸氣を速かに除去するため孔Gを凝結器に通ずるものあり．又別に調節器ありて汽筒に入る蒸氣の量を調節す．ハズミ車は質量大なる車輪にして，其慣性によりて運動の急なる變化を防ぐ．

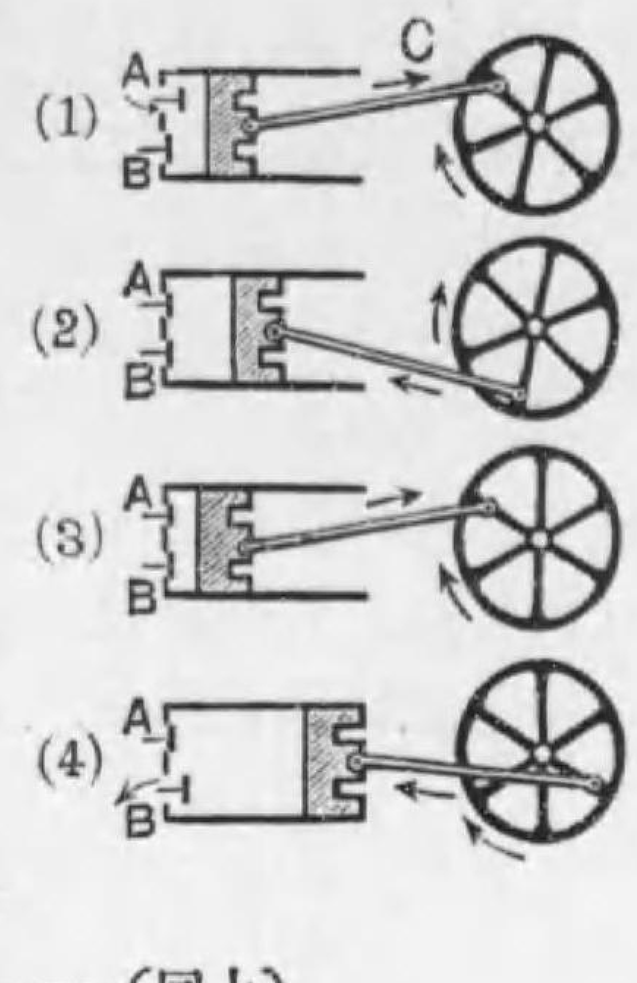
【用途】 蒸氣機關は汽車，汽船の運轉及び各種工場の器械を運轉せしむる原動力なり．

2. 內燃機關

【原理】 可燃瓦斯と空氣との混合物に點火し，其爆發力により活塞を動かし，之に連結せるハズミ車を廻轉せしむるなり．

【構造】 圓筒に一の活塞あり，挺子Cによりハズミ車Dに連なる．圓筒底に二個の瓣A,Bあり．其一のAは瓦斯と空氣との

混合物を供給し，他のBは爆發後の廢氣を排除す．點火裝置は電氣火花又は瓦斯焰等による．



【作用】 活塞は一回の爆發により二回往復運動し，從つてハズミ車を二回廻轉せしむ．其操作は次の四段に分つを得．

(1) 圓筒內に爆發性氣體の吸入……………………………………(A瓣開く)

(2) 爆發性氣體の壓縮……………………………………(A,B 瓣閉づ)

(3) 爆發(點火)……………………………………(同上)

(4) 廢氣の排除……………………………………(B瓣開く)

上の操作に於て實際活塞を動かす力は(3)に於ける爆發の力にして，これが爲ハズミ車は廻轉して(1)(2)(3)の操作を起さしむるなり．

【種類】 ガソリン(輕油機關)，重油(ディーゼル機關には重油を用ふ)，石油(石油發動機)石炭瓦斯(瓦斯機關)等を燃料として用ふ．かゝる液體燃料は之を霧として空氣に混じ機關の圓筒內に送る．

【用途】 自動車，飛行機，飛行船，自動艇，漁船，小規模の工場等の動力として用ひらる．

【特長】 (1) 水を沸す汽罐を要せず．從つて重量の小なること．

(2) 燃料は液體にて取扱ひに便なる上，燃燒後灰を殘さゞること．

(3) 效率の比較的大なること．

【缺點】 燃燒が機關內に起るにより機關が強熱せらるゝにより水又は冷風にて之を冷却する必要あり．

3. 蒸氣タービン

【原理】高速度の水蒸氣を車の第一の翼に吹き當てゝ車軸を廻轉せしむ.

一旦使用して膨脹したる水蒸氣を更に其の方向を調へて第二の翼に突き當て, 同樣の操作を數段に行ひ大速度の運轉を得. 而して其の效率は廻轉速度の大なるほど高し.

【用途】工率數萬馬力に達するものを得べきを以つて, 大軍艦, 大商船の推進器を運轉せしむるに盛んに使用せらる.

第三篇

音

音波.－音の性質.－發音體の振動.

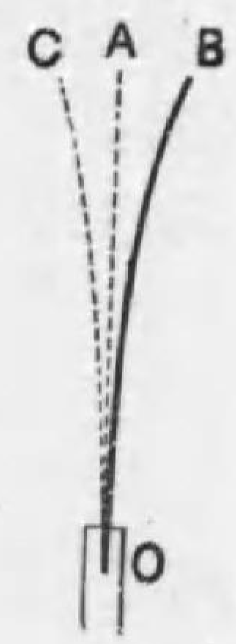
第一章

音 波

音波.－音.－音波の性質.－音波の速度.－速度測定.－速度計算.－音波の衰減.－音波の反射.－反射の計算.－音波の干渉.－唸り.－唸りの計算.－共鳴.

1. 音 波

【定義】物體の振動によりて生ずる空氣の疎密波(縱波)にして, 耳に入りて音の感覺を起さしむるものを音波と稱す.



【理由】物體 AO が O を支點として速かに振動すれば, A が B に移りたる時, 其右側の空氣は壓縮せられて濃厚(密)となり, 左側の空氣は膨脹して稀薄(疎)となる. 次に C に移りたるときは上の反對に右側は疎となり左側は密となる. こゝに生じたる疎密部は A を中心として球形に波及す.

2. 音

【定義】 音は音波のために鼓膜が振動し，よりて生ずる感覺なり.

【定義】 振動して音波を生ずる物體を發音體と稱し，音波を傳播する物體を音の媒質と稱す.

【鼓膜】 鼓膜の振動は發音體(振動する物體)振動と同數なり.

是即ち發音體の一振動は一音波を生じ，之が耳に達して鼓膜を一振動せしむればなり.

【實例】 琴，三味線，胡弓，ヴアイオリン等の絃の振動，鼓，太鼓等の膜の振動，鐘，鈴等の板金の振動によりて何れも音波を生ず.

3. 音波の性質

1. 音波は一定の速度にて媒質中を進行す.
2. 音波は物體に衝突して反射す.
3. 音波は密度異なる物質に入るとき屈折す.
4. 音波は自己と同振動數の物體を共鳴せしむ.
5. 二つの音波が同時に起るときは或は干渉して消滅し，或は相助けて强くなる.
6. 音波は音源より離るゝに從ひて衰ふ.

4. 音波の速度

〔海兵〕〔海機〕

【定律】 音波の速度は媒質の彈性の大なるほど大に，密度の大なるほど小なり．從つて音波の速度は固體最大にして，液體之に次ぎ，氣體最小なり.

【定理】 空氣中の音波の速度は 0° に於ては 331 秒米にして，溫度 1 度上昇する毎に 0.6 秒米づゝ增加す.

【數値】 空氣中の音波の速度は每秒約 340 米 (約 3 町) なり．水にては其約 4 倍，鐵にては約 15 倍大なり.

【實例】 電光を見て後雷鳴を聞く．砲火を見て砲聲を聞く．遠方にて杭を打つを見るに槌の杭を離れる時音を聞く等.

5. 音の速度測定法

〔海機〕

1. 音の波及する距離 (s) をそれに要する時間にて除す．(V=音の速度).

$$V=\frac{s}{t}$$

2. 振動數(n)の知られたる發音體に共鳴する閉管の長さ(l)を求め，n と l との積を 4 倍す.

$$V=4nl$$

3. 音の干涉により振動數(n)の知れたる發音體の音波の波長(l)を求め，振動數と波長とを乘ず．(122頁)

$$V=nl$$

6. 音の速度計算

(1) 電光を見て 20 秒の後雷鳴を聞きたりと云ふ．雷電迄の距離如何.

【解】 音の速度を每秒 340 米とせば，求むる距離は次の如し.

$340\times20=6800$ 米 ……………………(答)

(2) 石を落ししに 10 秒時にして井戸の水面に達せり．石が水面を打ちし音は最初より幾秒の後に聞ゆるか. 〔陸士〕

【解】 重力の加速度を 9.8 秒々米とせば，此の井の水面迄の深さは $s=\frac{1}{2}gt^2$ により

$$\frac{1}{2}\times9.8\times10^2=490 \text{ 米}$$

音は每秒 340 米の速度を有するにより，此深さの水面より音が地上に達するに要する時間は

$$490\div340=1.44 \text{ 秒}$$

依つて所要の時間は

$10^{秒}+1.44^{秒}=11.44$ 秒……………………………(答)

(3) 長き鐵管の一端に耳を當て他端を打たしめたるに，鐵管より傳はりたる音を聞きたる後 0.2 秒にして管中の空氣より傳はりたる音を聞きたり．此鐵管の長さ如何．

【解】 鐵管の長さを x 米とし，空氣中の音の速度を毎秒 340 米，鐵中のを其 15 倍とせば

$$\frac{x}{340}-\frac{x}{340\times 15}=0.2 \qquad \therefore\ x=73\ 米\ \cdots\cdots(答)$$

〔公式〕 前問に於て鐵管（又は他の物質の管）の長さ l, 鐵中の音の速度を V, 空氣中の音の速度を v, 時間の差を t とせば，次の公式を得．

$$\frac{l}{v}-\frac{l}{V}=t$$

故に上の四つの値の三つを與へられたる時は他を算出するを得べし．

(4) 振動數毎秒 680 回の音叉は長さ 12.5 糎の閉管に最もよく共鳴す．音の速度如何．

【解】 $4\times 680\times 12.5=340$ 米……………………………(答)

(5) 干渉管(122頁) により，振動數 650 回の音の波長が 50 糎なるを知れり．音の速度如何．

【解】 $V=0.5\times 650=325$ 米 ……………………………(答)

7. 音波の衰滅

【定義】 音波が空氣中に擴がるとき其エネルギーの量は距離の自乘に反比例す．

【證明】 何となれば音の全エネルギー E は球形に擴がる．故に球の單位表面に及ぶ音のエネルギー e は

$$e=\frac{E}{4\pi r^2}$$

但し r は球の半徑にして，發音體よりの距離を表はす．即ち單位面積の受くる音のエネルギーは距離の自乘に反比例す．

【定理】 音波が管中を進行するときは管壁との摩擦のために幾分か衰弱するのみにして，距離の自乘に反比例して其の強さを減ずるが如きことなし．

【應用】 船室を連ぬる傳聲管，水上に用ふるメガホン，蓄音機の喇叭，聽診器等．

8. 音波の反射

〔陸士〕〔檢專〕

【定律】 投射せる音波と反射する音波とは投射點に於ける面への垂線と同一平面内にありて，且投射角は反射角に等し．

【實例】 音樂堂の天井を彎曲せしむること．外耳の作用．外耳に手を翳して聞くこと．廣き講堂にて演説の不明瞭に聞ゆること．山彦，反響等．

9. 反射の計算

(1) 聲を發して 2 秒の後山彦を聞くとき，山までの距離如何．

【解】 $340\times 2\times\frac{1}{2}=340$ 米 ……………………………(答)

(注意) 反射する物體までの距離は音波の通過せし距離の半分なり．

(2) 0.5 秒間繼續する音の反射を聞くためには，反射物體の距離如何．

【解】 0.5 秒間に音は $340\times 0.5=170$ 米を進行す．故に最近距離は

$$170^{米}\times\frac{1}{2}=85\ 米\ \cdots\cdots(答)$$

10. 音波の干渉

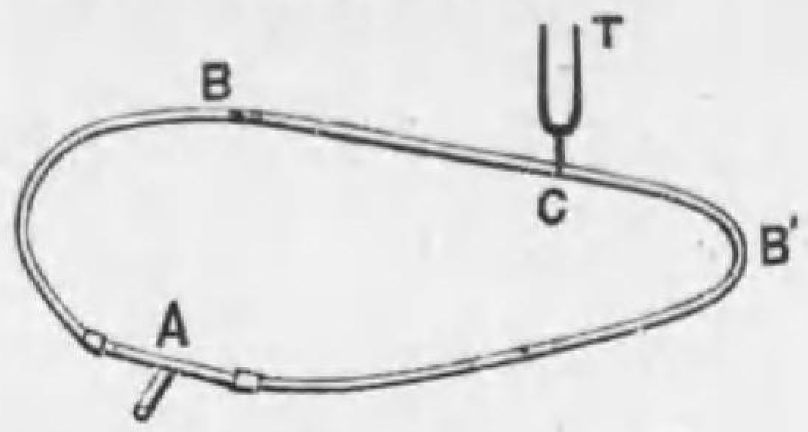
〔鹿農〕〔外 2 校〕

【定義】 二つの音波が相重なりて音波の振幅を減ずることを音波

の干渉と稱す. 干渉の結果音は弱くなり或は消滅す.

【理由】 波長等しき二音波が一波長だけ喰ひ違ひて重なるときは二音波の密部及び疎部は夫々相重なり疎密の差の一層著しき合成音波を生ず. 之に反し二音波が半波長だけ喰ひ違ひて相重なる時は二音波の疎部と密部と消し合ひ音波は消滅す.

【實例】 (イ) 唸りは音波の干渉の爲に起る. (ロ) 圖の如きA管を附せるゴム管上に, 鳴らしたる音叉Tの脚Cを滑らしつゝA管端より聞くに, Cの位置により音は或は強く(ABC－AB′C＝一波長のとき), 或は弱し(ABC－AB′C＝半波長のとき).



【問題】 圖の干渉管に於て AC 兩管の差 2 米及び 3 米の時強音を聞き, 1.5 米及び 2.5 米の時弱音を聞きたり. この音叉の振動數を求む.

【解】 前二者は半波長の偶數倍にして, 後二者は奇數倍なり. 故に半波長は 0.5 米なり. 而して音の速度は毎秒 340 になるにより振動數は

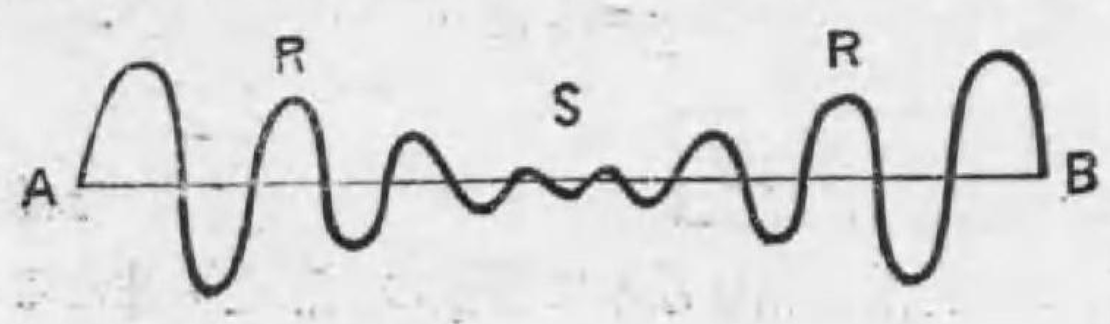
340米÷(0.5米×2)＝340 回毎秒 ……………………(答)

11. 唸り

〔東工〕〔外11校〕

【定義】 波長に僅かの差異ある二音波が相重なり或時は干渉し, 或時は相助けて交互に音に強弱を生ずる現象を唸りと云ふ.

【理由】 二音波の波長に僅かの差あるがため, 或時は丁度二音波



の密部は相重り從つて疎部も相重なりて音は强大となり, それより次第に音波の喰違を生じ密部は疎部と相重なるに至り音は弱小となる. 圖 R は音の强き時, S は弱き時を表はす.

【實例】 (イ) 振動數の僅かに異なる二音叉を同時に鳴らすとき.
(ロ) 梵鐘を鐘くとき (鐘は振動數近き數區に分れて振動す).

【公式】 單位時間の唸りの數(b)は二音の單位時間の振動數(m,n)の差に等し.

$$b=m-n$$

【證明】 一秒間の唸りの數は b なるにより, 一回の唸りの時間(强音より次の强音までの時間)は $\frac{1}{b}$秒, この時間内の二音の振動數は夫々$\frac{m}{b}$, $\frac{n}{b}$なり. 而して振動數の差 1 に對して一回の唸りを生ずべきにより, 次の式を得.

$$\frac{m}{b}-\frac{n}{b}=1$$

$$\therefore\ b=m-n$$

(注意) 振動數の差餘り多きときは唸りの數も增加して不快の感を與ふ.

12. 唸りの計算

(1) 振動數の差が a 秒に一回なる二つの音波が同時に耳に到着する時に如何なる現象を生ずべきか.　〔陸土〕

【解】 振動數の差は毎秒$\frac{1}{a}$回なるを以て, 毎秒$\frac{1}{a}$回の唸りを生ず.

(2) 振動數毎秒 512 回の音叉と 515 回の音叉とを同時に鳴らすときは, 毎秒何回の唸りを生ずるか.

【解】 公式　$d=m-n$ により

$515-512=3$ 回 ……………………(答)

(3) 振動數毎秒 412 回の音叉を稍高調の音叉と同時に鳴らせし

に一分間に300回の唸りを生ぜり. 後者の振動數何程.

【解】 毎秒の唸りは

$300回 \div 60 = 5回$

故に求むる振動數は毎秒

$412回 + 5回 = 417回$ ……………………………(答)

(4) 甲乙丙三個の音叉あり. 今丙音叉を振動數毎秒465回の甲音叉と同時に鳴らしたるに毎秒3回の唸りを生じ, 472回の乙音叉と同時に鳴らしたるに4回の唸りを生じたり. 丙音叉の振動數を求む.

【解】 丙音叉の振動數は第一の場合より

$465回 \pm 3回 = 468回$ 又は $462回$

又第二の場合より

$472回 \pm 4回 = 476回$ 又は $468回$

故に求むる値は468回なり. ……………………………(答)

13. 共 鳴

〔高等〕〔外10校〕

【定義】 發音體が自己と同じ振動數の發音體よりの音波を受けて自ら鳴り始むる現象を共鳴といふ.

【理由】 發音體が音波の密部を受くるときは前方より押され, 疎部を受くるときは反對側の空氣の壓力にて逆に後方より押さる. この力は甚だ微弱なれども, 發音體の振動週期が正しく音波の週期と等しき時は上の關係が反復せられ, 遂に自ら振動を始めて音を發するに至るなり.

【實例】 (イ) 數個の音叉の共鳴, (ロ) 音叉に臺箱を附すること. (ハ) 琴, 三味線, バイオリン, 太鼓等の胴の作用. (ニ) 劍道場, 能樂堂等の床下に大瓶を置くこと. (ホ) 口腔内の空氣の作用. (ヘ) 鼓膜, 蓄音機の振動板等の作用 (何れの音波にも共鳴す). (ト) 笛, 尺八等の內部に於ける空氣の作用.

第二章

音の性質

音の二種.—樂音の三要素.—音の調和.—音程.—音階.—音の振動數.—サイレン.—振動數測定.—振動數計算.

1. 音の二種

〔海經〕

1. 樂　音

【定義】 發音體が規則正しき振動をなし, 從つて規則正しき音波が耳り入りて愉快なる感覺を與ふる音を云ふ.

【實例】 音叉の音, 諸種の樂器の音.

2. 噪　音

【定義】 發音體の振動が規則正しく繼續せず, 從つて音波も不規則にして, 人に不快の感覺を與ふる音を云ふ.

【實例】 砲聲, 衝突, 車輪の轟き等.

2. 樂音の三要素

〔米工〕〔外10校〕

【定義】 高低, 强弱, 音色を樂音の三要素とす.

1. 高　低

【定義】 音の高低は發音體の振動數の多少による. 換言すれば單位時間に耳に入る音波の數の多少による.

【證明】 (イ) 廻轉せる齒車に厚紙を觸れしむるに廻轉の速度大なる程音は高し.

(ロ) 鑢の上に鉛筆の先を走らするに速さの大なるほど音は高

し.

(ハ) 發音體が近づきつゝあるとき(汽笛の如き)は靜止の時よりは近づきたる距離に排列する音波の數だけ多くの音波を受くるにより音は高く聞え, 反對に遠ざかるときは遠ざかりたる距離に排列する音波の數だけ少なく從て音は低く聞ゆ.(之をドプレルの原理といふ).

【實例】 (イ) 高き音 強く張れる短かき絃, 小さき鈴, 短かき笛, 強く張れる太皷等.

(ロ) 低き音 上に反す.

(注意) 音の高低は又, 音の調子とも云ふ.

2. 強弱

【定理】 音の強弱は發音體の振幅の大小による. 換言すれば耳に入る音波の振幅の大小による.

【證明】 太皷を強く打つとき, 絃を強く鳴らす時はそれによりて發すべき音波の振幅は大なるべく, 從つて音は强し.

【實例】 (イ) 強き音 大なる樂器の音, 強く打ちたる鐘, 太皷の音等.

(ロ) 弱き音 上の反對なり.

(注意) (イ) 音の強弱は又, 大小とも稱す.

(ロ) 音波の振幅は發音體よりの距離大なるほど減少す. 故に遠きほど音は弱くなる.

3. 音色

【定理】 發音體の振動が更に小振動を伴ふため, 一音波の中に更に小疎密部を含む. 從つて同一の波長の音波なりとも其の波形を異にす. 此の波形の差異が音色を生ず.

【說明】 三味線と琴とを同一の高さ同一の強さに鳴らすも, 兩者の音には各一種の特徵あり.

【實例】 三味線, 琴, ピヤノ, オルガン等の樂器を初め, 人の音聲の夫々異なるは皆音色のためなり.

【理由】 音色は原音に伴ひて生ずる倍音が相互に干渉する結果種々の波形を生ずるなり.

【應用】 種々の樂器を用ふるは音色の差異を應用せんが爲なり.

3. 音の調和

〔海機〕

【定義】 相合して愉快なる感覺を與ふる時もとの二音は互に調和すと稱し, 然らざる二音を調和せずと稱す.

【定理】 振動數の比が簡單なる二音は調和す.

其比は例へば 1:2, 2:3, 3:4, 等の如し.

【理由】 振動數の比が簡單なるときは, これによりて生ずる合成音波が規則正しき波形をなすによる.

(注意) 振動數の比が簡單ならざる二音は調和せずして多數の唸りを生じ不快の感を與ふるなり。

4. 音程

【定義】 二音の振動數の比を音程と稱す.

【實例】 振動數 n_2 の音と n_1 の音との音程は……$\frac{n_2}{n_1}$,

振動數 n_3 の音と n_2 の音との音程は……$\frac{n_3}{n_2}$,

故に n_3 の音と n_1 の音との音程は次の如し.

$$\frac{n_3}{n_1}=\frac{n_2}{n_1}\times\frac{n_3}{n_2}$$ 即ち,

【定理】 二つの音程を重ねたるもるは各音程の相乘積に等し.

5. 音階

【定義】 或振動數の音(主音と云ふ)を基礎とし, 之と調和し得る種々の音程の音を其高さの順に排列したるものを音階と名づく.

【音階】 通常用ふる音階は

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(i)
音階	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(i)
音名	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	do_1
主音に對する音程(一)	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

	do–re	re–mi	mi–fa	fa–sol	sol–la	la–si	si–do_1
相隣れる二音の音程(二)	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{16}{15}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{16}{15}$

【說明】 (イ) 1:2 の音程をオクターブと稱す. 即ち do_1 は *do* より1オクターブ高し.

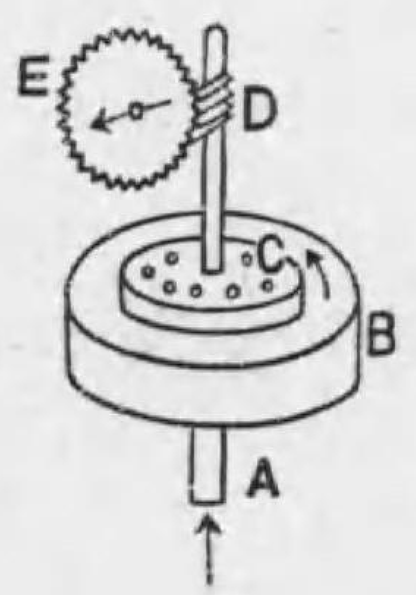
(ロ) 音程 $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{9}$ を同一と見做し全音(一音)と稱し, $\frac{16}{15}$ を半音と稱す.

(ハ) 通常ハ調の主音 *do* の振動數は每秒 264 回なり.

6. 音の振動數

1. 耳に感ずる音　振動數每秒約 15 回より 40000 回迄 (波長約 22米より 8粍迄).
2. 音樂に用ふる音　振動數每秒約 30 回より 4000 回迄 (波長約 11 米より 8糎まで)
3. 人の音聲　振動數每秒約 80回より1000 回まで(波長 4米より33糎まで).

7. サイレン



【構造】 主體は金屬製の圓筒形の箱 (B)にして, 下底に空氣を吹送すべき管 (A) を設け, 上面には一圓周上等距離に數十の小孔あり, 又其上に自由に廻轉し得べき圓板 (C)ありて之に丁度圓筒の孔と重なる樣に小孔を設く. 但し小孔壁は互に反對の方向に傾斜し相重なりたる時は「く」の字の形をなす. 廻轉圓板

(C)に附屬する垂直軸 (D)は齒車 (E) により其廻轉を指針に傳ふ.

【作用】 圓筒底の管より空氣を吹送するときは空氣は圓筒の小孔より噴出し圓板小孔の側壁に突當りて圓板の廻轉を起さしむ. 而して此際小孔が重りたる時空氣は急に噴出して外部に濃厚部を生じ, 喰ひ違ひたる時は空氣は遮斷せられ却つて稀薄部を生ず. かくして空氣中に疎密波卽ち音波を送る.

【應用】 振動數の測定に用ふ. 圓板の一廻轉每に其小孔の數だけ疎密波を生ずるにより, 一秒間の圓板の廻轉數と小孔の數との相乘積はサイレンの發する音の振動數なり. 其使用法は次にあり.

8. 振動數の測定　〔海機〕〔東工〕

1. サイレンを用ふる法. サイレンに空氣を送入して發音體と同じ高さの音を發するに至らしめ, 其時のサイレン板の每秒の廻轉數 mを求むべし. 之にサイレン板の小孔の數 n を乘じたるもの mn は發音體の振動數なり.
2. 振動を記入する法. 振動する物體に固定せる小針を煤煙を附着せしめたる紙上に動かして其上に波線を畫かしめ, 一秒間に生じたる波形の數を讀み取る.
3. 氣柱の共鳴による法. 發音體に共鳴する氣柱の長さを求め, 頁の公式によりて波長を計算し, 之にて音波の速度を除すべし.
4. 其他の方法. 唸りによる法(123頁), 干涉管による法(122頁), 等あり.

9. 振動數の計算

(1) 發音體と同音を發するサイレンあり，其圓板の小孔の數は20個にして50秒間の回轉數は 1500 回なり．發音體の振動數如何．

【解】 求むる振動數は

$$20\times\frac{1500}{50}=600 \text{ 回毎秒}$$

(2) 發音體を深き圓筒口に近づけ，此圓筒に水を入れたるに水面までの深さ 17 糎となりしとき最も強く共鳴せりと云ふ．發音體の振動數を求む．

【解】 公式 $n=\frac{V}{4l}$ (230頁)，及び $V=340$ 米より

$$n=\frac{340}{4\times0.17}=500 \text{ 回} \cdots\cdots\cdots\cdots \text{(答)}$$

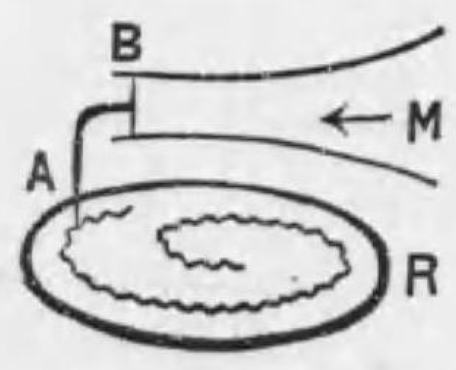
(3) 或音叉の振動數を求めんとして其波長を測定したるに 1.0 米と 1.1 米との間なる事を知るを得たり．次に振動數毎秒 330 回なる他の音叉と同時に鳴らしたるに毎秒5回の唸りを生じたりと云ふ．但し音波の空氣中に於ける速度を毎秒 331 米として振動數を計算せよ． 〔高獎〕

【解】 唸りの數より計算すれば音叉の振動數は，

$330\pm5=335$回，又は 325 回

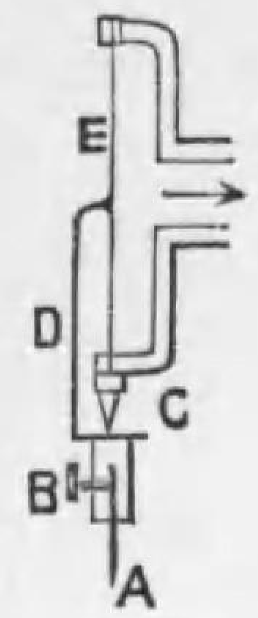
然るに波長より算出せば $331\div1.0=331$回，$331\div1.1=300.9$回の間にあり．故に 335 回は不適當なり． (答) 毎秒325回

10. 蓄音機



【原理】 蓄音機は音の振動を波狀の溝線として蓄へ，次に此溝線を利用し彈性ある薄板を振動せしめて音を發せしむる裝置なり．

【構造】 前頁圖の如く喇叭管Mと針(A)の附ける振動板B，音譜板Rより成る．振動板は硝子等の薄板にして，自由に廻轉し得る臂にて支へたる喇叭管 M の底部に位す．音譜板Rはエボナイト或は他の物質にて製せられ時計仕掛により一樣の速度にて廻轉す．



【作用】 喇叭管に向つて發音するときは底部の振動板は振動し，針の尖端は音譜板の半徑の方向に振動し，圓板を廻轉するに從ひ其上に波形を畫くべし．この波形を適當の方法によりて溝線となす．

次に右圖振動板 E に連なれる針 A の先をこの溝線に入れて音譜板を廻轉するときは，針の振動につれて振動板は振動す．而して其振動數音色等は前の發音體の振動，即ち音の振動數，音色と一致するなり．尙圖の B は針 A を止むるネヂ，C は振動の支點，D は振動を傳ふる棒なり．

【用途】 音樂，歌曲，談話，演說等の音を保存し，之を再生せむるに廣く用ひらる．

【問題】 蓄音機より音を發せしむるとき音譜板を最初音を記錄せし時よりも速かに運轉せしむれば音の高さに變化ありや．

【解】 音は高くなる．これ音を刻める波狀の溝線が前よりも針の下を速かに通過して振動板の單位時間毎の振動數を增加せしむるによる．

第四篇

光

光の直進.—光の反射.—光の屈折.—光學器械.—光の分散.

第一章

光の直進

光の性質.—發光體.—透明體.—光の直進.—影.—蝕.—照度.—光度.—測定法.—計算.—光度計.

1. 光の性質

1. 光は發光體内に於ける電子の振動によりて生ずる波動なり.
2. 光の速度は眞空中にて一秒間に3億米(七萬六千里)なり.
3. 光は一樣なる光媒中を直進す.
4. 光は光媒の境界面に於て反射す.(但し直角に投射する時は屈折せず.)
5. 光は光媒の境界面に於て屈折す.
6. 光波は干涉し, 又偏る.

2. 發光體 暗體

【定義】(1) 發光體.—自ら光を放つ物體を云ふ.

(2) 暗體.—自ら光を放たざる物體を云ふ.

【實例】(1) 發光體.—太陽, 電燈(タングステン又は炭素が電流のエネルギーにより熱せられて放つ光), ランプ, 蠟燭(石油又は蠟の分解により生じたる炭素が燃燒熱により熱せられて放つ光), 恒星等.

(2) 暗體.—書物, 机等の諸物體, 衛星.

(注意) 暗體の見ゆるは發光體より光を受け之を反射するによる. 即ち弱き發光體の如き作用をなすなり.

3. 透明體 不透明體

【定義】(1) 透明體.—よく光を通過せしむる物質を云ふ.

(2) 半透明體.—幾分か光を通過せしむる物質を云ふ. されど之を透して物を見ることを得ず.

(3) 不透明體.—全く光を通過せしめざる物質を云ふ.

【實例】(1) 透明體.—硝子, 水晶, 水, 二硫化炭素 空氣, 炭酸瓦斯, 水素等.

(2) 半透明體.—磨硝子, 木綿, 半紙, 薄き金箔等.

(3) 不透明體.—木, 石, 金屬等.

【應用】(1) 透明體—窓硝子, 額硝子, 硝子瓶, 眼鏡等.

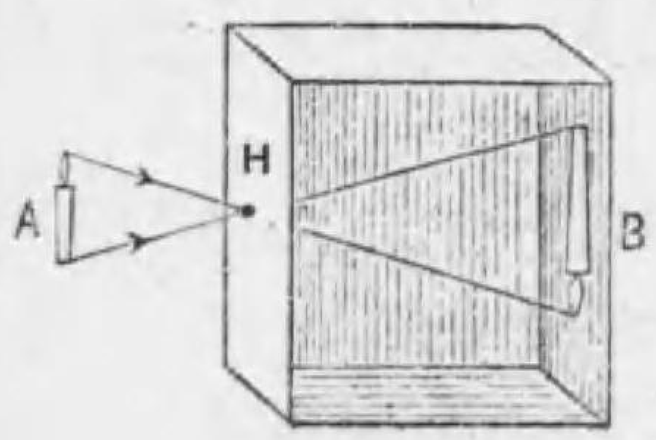
(2) 半透明體.—障子紙, 磨硝子板等.

(3) 不透明體.—衝立, 襖間, 壁, 塀等.

4. 光の直進

【定理】光は組織一樣なる光媒(光を通過せしむる物體)中を一直線に進行す.

【實例】(1) 小孔より入る日光は暗室内の塵埃を一直線に照らす.



(2) 暗室内の小孔の前に紙を置くときは外部の景色を倒に映す. 圖の如く燭火Aを置くもよし. これ外部の物體Aより來る光が直進し小孔Hを通り

て紙上に孔の映像を生じ，是等の映像集まりて物體の像 B を現はすなり．小孔の小さきほど物體の像は鮮明なれど，大なるときは孔の映像相重なりて物體の像は不鮮明となる．

〔盛農〕〔鹿農〕

(3) 木葉の透間を洩れ來る光は地の上に太陽の圓き像を生ず．

(4) 發光體の前に不透明體を置くとき其後ろに影を生ず．

(5) 日蝕，月蝕の生ずること．

【應用】（イ） 銃砲の狙ひを定むるには照尺，照星，的の三つを一直線上に置く．

（ロ） 弓の狙ひを定むること．棒の曲れるを見ること．鉋の刄の出具合を見ること等．

（ハ） 小孔によりて作れる寫眞畫(前例)．

（ニ） 日覆を用ひて影を造ること．

（ホ） 物體の存在する方向を見定むること．

5. 影

〔東工〕

【定義】 不透明體に遮ぎられて光の達せざる場所を影と稱す．影の斷面は所謂影法師なり．

【定義】 (1) 發光體より全く光を受けざる影を本影と稱し，

(2) 發光體の一部分より光を受くる影を半影と稱す．

【說明】 發光體 (A) が大さを有するときは物體 (B) の後に本影 (C) と其周圍に半影 (D) を生ずること第 136 頁上圖の如し．

（注意） 物體の大さが發光體の大さに比し小なるほど本影は短かし．

【問題】 (1) 日向の電柱は其影を地に投ずるも，電線の影を生ぜざるは如何．

〔東師〕

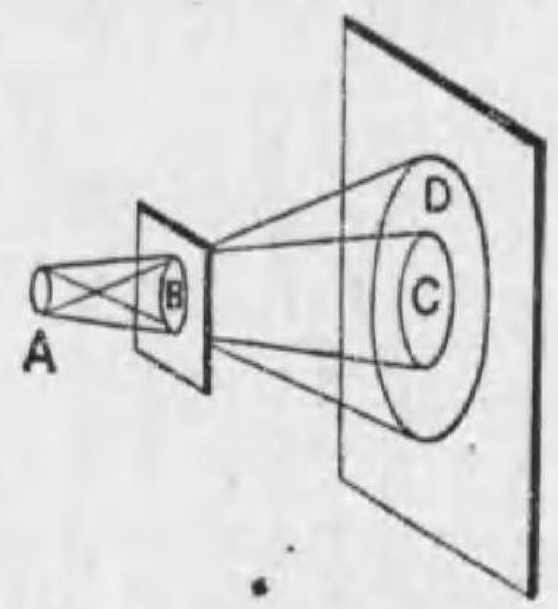
【解】 太陽の視半徑は16分(度數の)なり．電線は細きが爲其本影は短かくて地に達せざれども，電柱は太くして其の本影が地に達するなり．

(2) 電燈の光を蚊帳の內に射入せしむれば蚊帳糸の影を生ずるも，電燈を白紙にて包めば糸の影を生ぜず．　此理如何．

【解】 電燈の發光する線條は蚊帳糸よりも細くして長き本影を生ずれども，紙にて包みたる電燈全體は一つの大なる發光體となりて糸の短かき本影を生ずればなり．

(3) 或直徑の發光圓板Aとそれより大なる直徑を有する圓孔Bと障子面Cとを平行に立て，圓板と圓孔との中心を一直線上に置く時，障子面は照度著しく異る二つの部分に照らさる．その理由を述べよ．

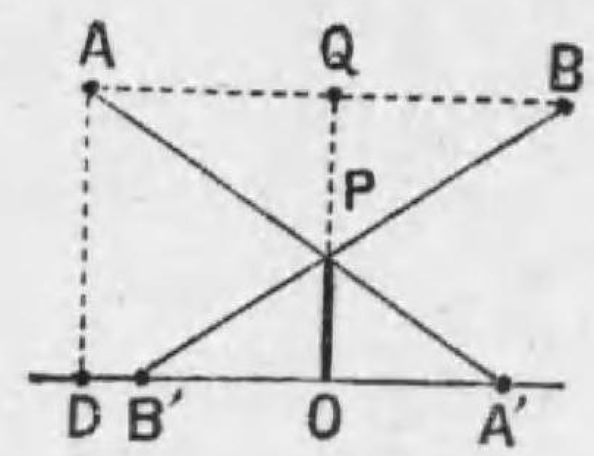
〔桐工〕



【解】 光は直進するにより障子の C 部は發光板 A よりの光全部を受け，D 部は其の一部分よりの光を受くるによる．

(4) 床面より5尺5寸の高さに互に 10 尺を隔てゝ光力の異なる二つの燈火あり．兩燈火の直下に位する床面上の二點を結び付くる直線の中點に長さ5寸の棒を直立するとき此の棒が其の兩側に投ずる各陰影の長さ如何．又其の兩陰影の中何れが濃厚なるか．

〔熊工〕



【解】 燈火 A によりて生ずる OP の陰影を OA′ とせば三角形 APQ と三角形 OPA′ とは相似形なるを以て

$$AQ : QP = A'O : OP$$

之に AQ＝10尺÷2＝5尺，

QP＝5.5尺－0.5尺＝5尺，

OP＝0.5尺　を代入すれば

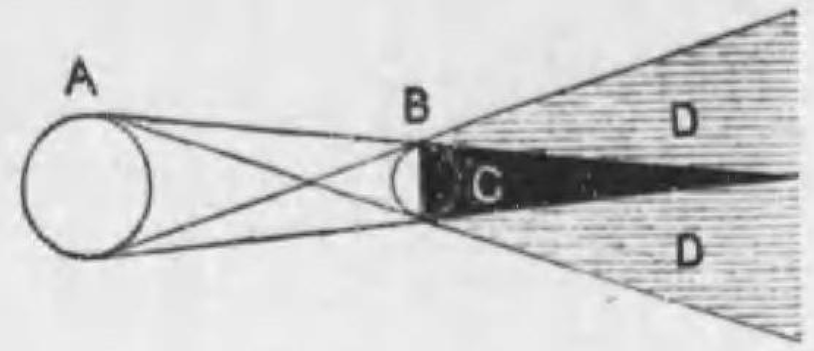
$$5 : 5 = A'O : 0.5$$

$\therefore$ A′O＝0.5尺……(答)

又 A の光度を B より强しとするときは陰影 OA′ は OB′ よりも濃厚なり．これ兩陰影中光を受くる度合は A に近き方多ければなり．

6. 蝕

1. 日蝕．日蝕は地球が月 B の影に入るときに起る現象にして本影内の地方は皆既蝕，半影 D 内の地方は部分蝕，本影頂の後方の地方は金環蝕（太陽 A が環に見ゆ）を見る．



2. 月蝕．月蝕は地球の本影が月に映る現象にして，月が全く本影内に入れば皆既蝕，一部本影内に入れば部分蝕を生ず．

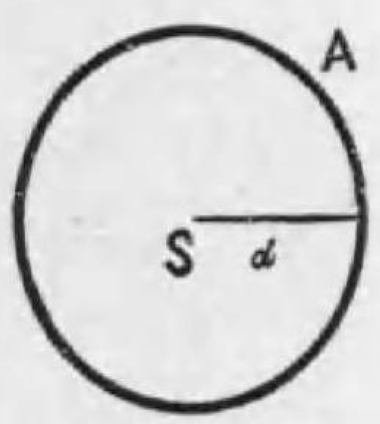
7. 照　度

〔商船〕〔大工〕

【定理】 單位面積が單位時間に受くる光量を照度と云ふ．

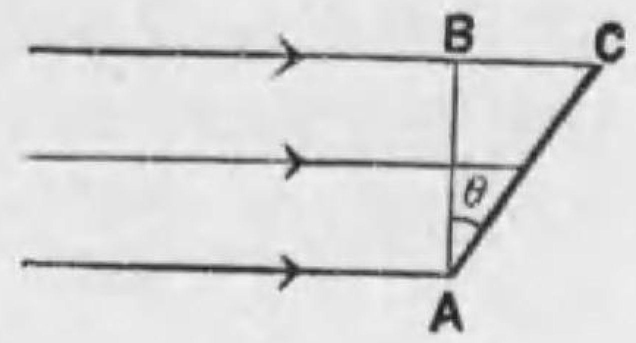
【定律】 (1) 照度は光源よりの距離の自乘に反比例す．
但し光が平行なる場合には然らず．（下にあり）
(2) 照度は面の向きが光の方向に直角なるとき最大にして，それより傾くに從ひ次第に小となる．

【證明】 (1) 發光體 S より發する光のエネルギー E は球形に波及し，距離 d の處 A に於ては $4\pi d^2$ の面積に擴がる．故に單位面積の受くる光のエネルギーは $E/4\pi d^2$ となる．即ち照度は d^2 に反比例す．　〔大工〕〔名工〕



（注意） 若し光を球形に波及せしめずして平行に向くるときは照度は距離に關せず一定す．

(2) 光のエネルギー E が光線に垂直なる面 AB に當るときの照度は E/AB なり．而して AB と角 θ をなす面 AC に當りたるときの照度は E/AC なり．然るに AC の面積は傾きの角 θ が 90° になるまで次第に增加し，90° に至りて無限大となる．よつて AC 面の單位の面積に當る光の量は次第に減じて面の明るさを減ず．



【實例】 机より電燈，ランプを遠ざくるほど机の面は暗くなる．
是等に適當なる笠を用ふればさほど著しくは暗くならず．又是等の發光體を斜の位置に置けば光は弱し．
地上の明もさ朝夕は日中よりも弱し．

8. 光　度

〔上農〕〔外 4 校〕

【定義】 發光體の放つ光の量を光度と云ひ，光源より單位距離に於ける光の方向に直角なる面の照度を以て之を測る．

【單位】 (1) 或標準蠟燭の發する光度を一燭光とす．（日本，英國制）
（註） 標準蠟燭は鯨油にて製し，一時間 120 グレーン，即ち 7.776 瓦づゝ燃燒す．
(2) ヘフネル燈が高さ 4 糎の焰にて燃燒するときに發する光の 1.2 倍を一燭光とす．（獨制）
（註） ヘフネル燈は醋酸アルミニウムを燃料とし，一定の太さの燭心を用ふ．

【實例】 普通の西洋蠟燭は凡そ 1 燭光，五分心ランプは 4 燭光，中形瓦斯白熱燈は 50 燭光，弧燈は數千燭光なり．

9. 光度の測定

〔山商〕

【公式】 Iを標準光源の光度, I' を測定せんとする光源の光度とし, この兩光源が同一の衝立に同一の照度を與ふる距離を d, d' とせば

$$\frac{I}{d^2}=\frac{I'}{d'^2}$$

式中三つの項を知る時は殘りの一を求むるを得.

【證明】 上式の左邊は光度 I の光源が d の距離にある面上に及ぼす照度なり. 同樣に右邊は求むる光源が同じ面に及ぼす照度なり. この兩者が等しくなる樣に d と d' とを定むるなり.

10. 光度の計算

(1) 衝立より 10 糎の距離にある 16 燭光の電球と 200 糎の距離にある弧燈とが衝立を照すこと相等し. 弧燈の燭光を求む.

〔鳥農〕

【解】 $\frac{16}{(10)^2}=\frac{x}{(200)^2}$　　$\therefore\ x=6400$ 燭光………………(答)

(2) m 燭光の光 A と n 燭光の光 B との間隔を a 尺とすれば, 直線上 A と B との中間に於て A を距ること幾尺の所に置きたる物體が兩方より相等しき強さの光を受くるか.　〔商船〕

【解】 求むる距離を x 尺とすれば

$$\frac{m}{x^2}=\frac{n}{(a-x)^2}\quad \therefore\ x=\frac{a(m-\sqrt{mn})}{m-n}\text{尺}\ \text{……(答)}$$

(3) 物體あり. 10 米の距離にある 50 燭光の電燈にて照さるると, 6 米の距離にある 32 燭光の電燈にて照さるると何れが明るきか. 又問ふ, 此の物體が二つの電燈にて同一の明るさに照さるるには 32 燭光の電燈の位置を如何に變ずべきか.

〔大醫〕

【解】 $\frac{50}{10^2}:\frac{32}{6^2}=9:16$. 故に後者は明るし. ………………(答)

又所要の距離を物體より x 米とすれば

$$\frac{50}{10^2}=\frac{32}{x^2}\qquad \therefore\ x=3\text{米}\text{………………(答)}$$

(4) 一個の燭火が 50 糎の距離にある一點を照らす光の強さは, 此點より 2 米の距離にある 16 燭光の電燈 1 個及び 3 米の距離にある 18 燭光の電燈 1 個を同時に點ぜるものと相等し. 燭火は幾燭光なるか.

〔名工〕

【解】 求むる燭火を x 燭光の光度とせば, 公式により

$$\frac{x}{(0.5)^2}=\frac{16}{2^2}+\frac{18}{3^2}$$

$$\therefore\ x=1.5\ \text{燭光}\ \text{………………(答)}$$

(5) 一光源より夫々 8 吋と, 1 呎 4 吋との距離にある二點の照度を比較せよ.

〔熊工〕

【解】 照度は距離の自乘に反比例するにより

$$\frac{1}{8^2}:\frac{1}{16^2}=4:1\ \text{………………(答)}$$

(6) 太陽が地球上の一點を照らす強さは 5500 燭光の光が 12 吋の距離にある點を照らす強さに等しく, 又月が地球上の一點を照らす強さは 1 燭光の光が 126 吋の距離にある點を照らす強さに等しと云ふ. 太陽と月とが地球の一點を照らす強さの比如何.

〔東工〕

【解】 求むる照度の比は

$$\frac{5500}{12^2}:\frac{1}{126^2}=606375:1\ \text{………………(答)}$$

(7) 6 尺相隔りて 8 燭光と 2 燭光との光源あり. 二つの光源を結ぶ直線上にて照度相等しき點を求む.　〔醫專〕

【解】 8 燭光の光源よりの距離を x 尺とせば, 上の公式により

$\frac{8}{x^2}=\frac{2}{(6-x)^2}$　∴ $x=4$尺…………………(答)

（注意） 他の一根 $x=12$ 尺は問題に適せず.

(8) 10燭光の電燈を3尺の距離に置くときと等しき照度を得るには16燭光の電燈を幾何の距離に置くべきか.〔商船〕

【解】 求むる距離を x 尺とすれば

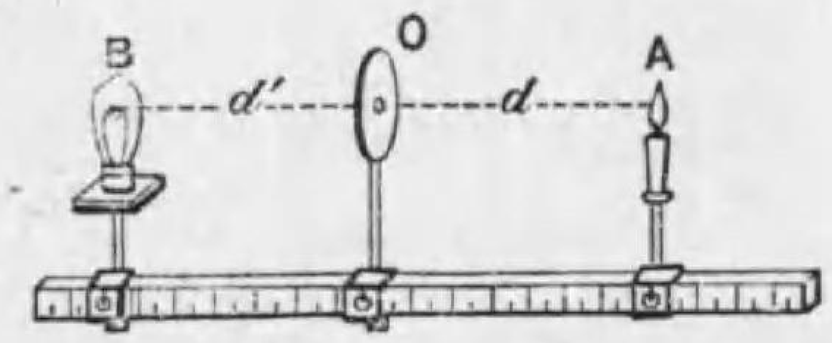
$\frac{10}{3^2}=\frac{16}{x^2}$　∴ $x=3.8$尺 …………………(答)

11. 光度計

〔東師〕〔北工〕

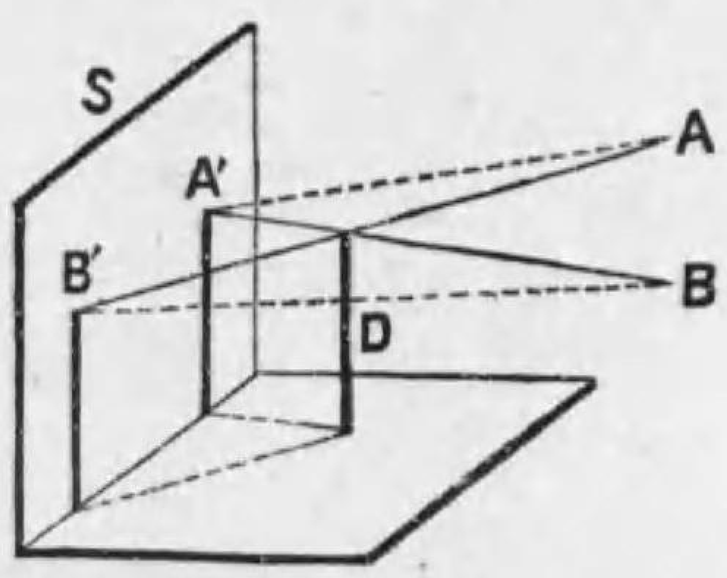
【原理】 標準光源と測定光源とが同一の照度を與ふる距離を求むる装置なり.(距離定まらば公式により光度を得ること上述の如し).

【構造】 (1) ブンゼン光度計　〔東師〕〔北工〕



兩光源A,Bの間にて白紙に油滴を點ぜる衝立Oを前後に動かし, 油滴が其周圍の白紙と同一の明るさを有する位置を定め, 之と兩光源との距離 d,d' を測る.

（注意） 油滴を點ぜる部は他部よりはよく光を透過す. 依つて前面の光源强ければ其部は暗く, 後面の光源强ければ却つて明るし. 故に明るさの一様なるは兩側の照度等しきときなり.



(2) ラムフォード光度計

磨硝子の衝立Sの前に置きたる棒Dの兩光源A,Bに照らされて生ずる影A',B'の濃さ

が同一なる様に光源を動かし, A,BとSとの距離AA',BB'を測るなり.

第二章

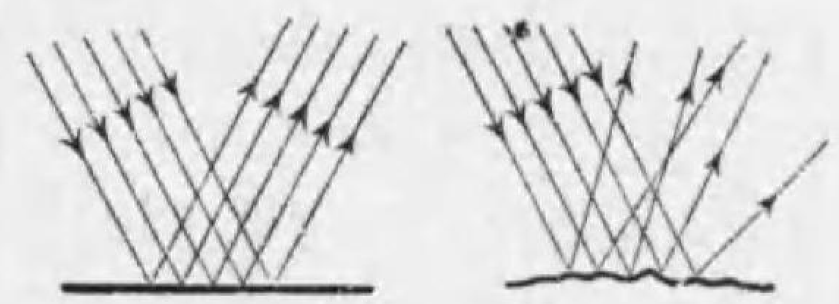
光の反射

反射.—反射の定律.—平面鏡.—平面鏡と像.—像と平面鏡の大さ.—二個の平面鏡.—凹面鏡.—凹面鏡の公式.—應用問題.—像の作圖法.—像の大さ及び計算.—凸面鏡.

1. 反射

【種類】 (1) 正反射.—物體面に當りたる光が反射の定律により一定の方向に反射することを云ふ.

(2) 亂反射.—物體面に當りたる光が其點より種種の方向に反射することを云ふ.



【實例】 正反射(圖の左).—鏡面の反射, 水面の反射等.

亂反射(圖の右).—普通の物體面の反射.

（注意） (1) 物體を見得ること, 日陰又は室内の明るきこと, 天空の明るきこと等は亂反射(散光)のためなり.

(2) 磨硝子は光を亂反射するにより街燈等の覆に用ひて便なり.

(3) 亂反射せる光を散光といふ.

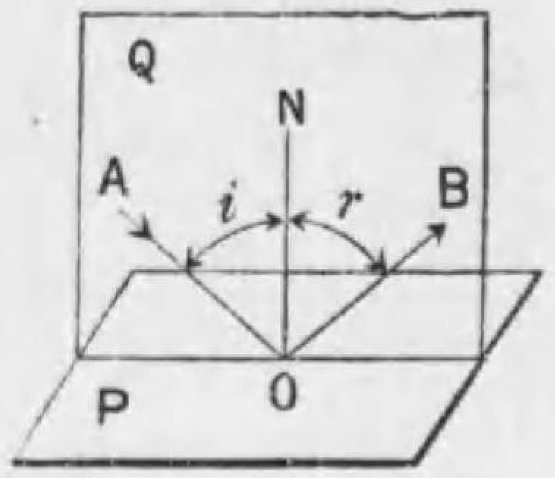
【定義】 (1) 投射光線.—物體面に當る光線(次圖AO).　〔水產〕

(2) 反射光線—物體面にて跳ね返る光線(OB).

(3) 投射角.—投射光線(AO)と投射點に於ける面への垂線(ON)

との角(i).

(4) 反射角.—反射光線と垂線とのなす角(r).



【問題】 簾を透して室内より室外の物はよく見ゆるも，室外より室内の物は見え難きは何故か．　〔廣工〕

【解】 室外の物體は强き日光を受け其の散光も强くして簾の透間より室内に射入す．然るに室内の明るさは上の散光よりも弱きにより室内より室外の物體を見るを得れども，其の反對の理により室外にては室内を見ること能はざるなり．

2. 反射の定律

〔海經〕〔外4校〕

【定律】 (1) 投射光線と反射光線とは投射點に於ける面への垂線の兩側にありて，此三線は同一平面内にあり．

(2) 反射角は常に投射角に等し．

$$i=r$$

【應用】 鏡にて光の方向を變ずること，六分儀，燈火の笠等．

(注意) (イ) 淸潔なる鏡面は正反射のみにて反亂射なきが故に，人は鏡面を認むること能はず．　〔大工〕

(ロ) 鏡に小紙片を附着して日光を反射せしむれば鏡に投射せる光は正反射をなし，紙片に投射せる光は亂反射をなすがため，衛立上に紙片の影を生ず．

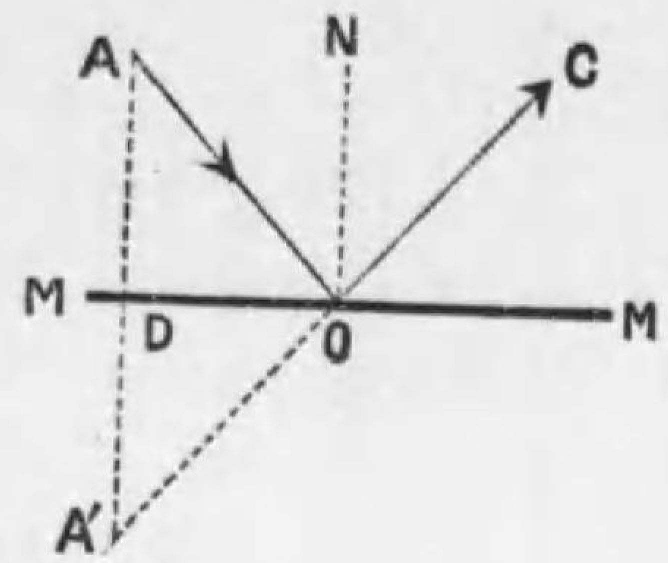
(ハ) 亂反射は各光線については正反射の定律に從ふも，面の凹凸のため其等の方向一定せざるによるなり．

3. 平面鏡

【定義】 反射面が平面をなす鏡を平面鏡といふ．

【定理】 平面鏡によりて生ずる像は鏡面に對して物體と對稱の位置にあり．

【證明】 光線AOが平面鏡MMに當りOに於てOCの方向に反射したりとす．ADをMM′に垂直に引きそれとCOの延長との交點をA′とす．AA′//NOなるが故に，∠A=∠AON(錯角)，及び∠A′=∠NOC(同位角)．然るに∠AON=∠NOC(定律)，故に∠A=∠A′．從つて直角三角形ADO≡A′DO，よつてAD=A′Dなり．此關係はOの位置如何に關せず．即ち像A′は鏡面MMに對して物體Aの對稱の位置にあり．



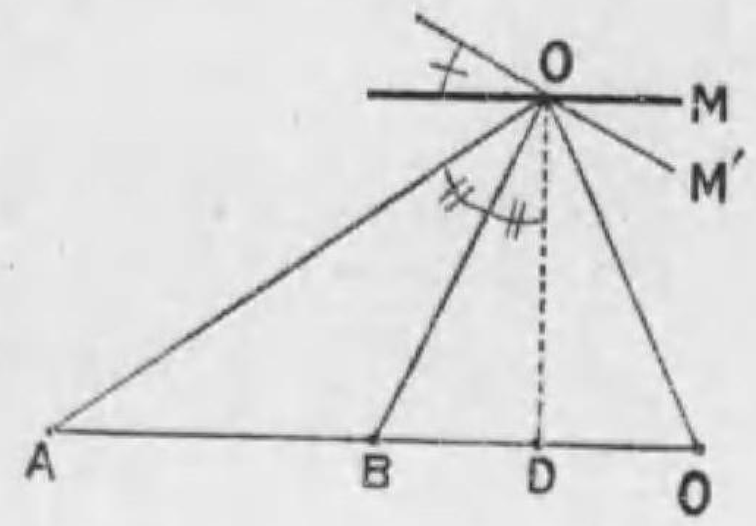
【問題】 (1) 平面鏡を其の平面内にある軸の周圍に θ 度だけ廻轉せしとき此の廻轉軸に垂直なる平面内に入り來る同一の投射光線に對し反射光線の廻轉すべき角は幾何なるべきか．　〔商船〕

【解】 最初の投射角及び反射角を何れも i とすれば，廻轉後の投射角及び反射角は $(i+\theta)$ なり．故に反射光線ともとの垂線となす角は $\theta+(i+\theta)$ にして，隨つて元の反射光線とのなす角は

$$\theta+(i+\theta)-i=2\theta \cdots\cdots\cdots\cdots(答)$$

(2) 次圖の如く同一の水平面上に二點A, B及び小なる平面鏡Mあり．鏡の反射面は鉛直にしてAB線に平行し，且A及びBの方に向けらる．而して距離BOは4尺なり．AB線上B點より右方4尺の一點Cに眼を置けば鏡の中央にB點の像を認む．今眼を同じくC點に置きて鏡を鏡面の中央を過る鉛直軸の周りに15度廻轉したるに，A點の像を鏡の中央に認むるに至れりと云ふ．A, B二點間の距離幾何．　〔大工〕

【解】 反射光は鏡の廻轉角の 2 倍だけ廻轉す．故に題意により て角 $\mathrm{AOB}=15\times2=30°$ なり．而して $\mathrm{OB}=4$尺，$\mathrm{BC}=4$尺 なるを以つて，OBC は正三角形，OD は其の中線に當る．故に 角 $\mathrm{BOD}=30°$なり，從つて



角 $\mathrm{AOD}=30+30=60°$，且 $\mathrm{BD}=2$尺，故に

$\mathrm{OD}=\sqrt{4^2-2^2}=2\sqrt{3}$尺，依つて$\mathrm{AD}=2\sqrt{3}\times\sqrt{3}=6$尺

$\therefore\ \mathrm{AB}=\mathrm{AD}-\mathrm{BD}=6-2=4$尺 ……………………（答）

4. 平面鏡の作る像

〔大工〕

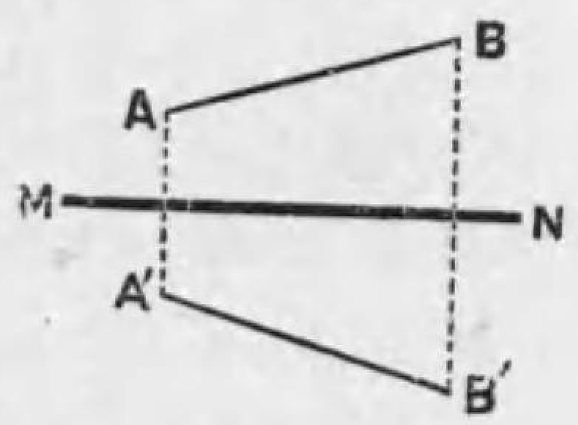
【定義】 (1) 實像—物體の各點より發する光線の集合によりて生ずる像を云ふ．

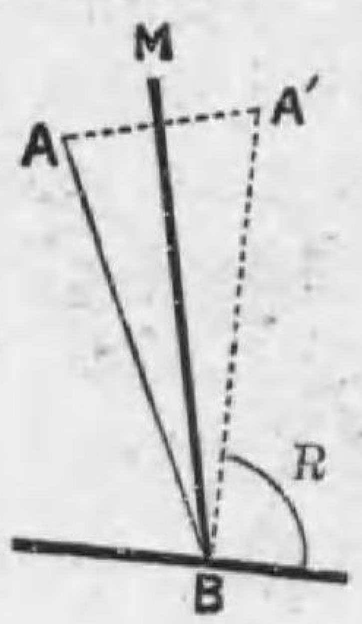
〔例〕 小孔による像，凹面鏡，レンズ等によりて生ずる像．

(2) 虛像—物體より發する光線が鏡面により反射せられて發散し，實際光線が集合せざれども其反射光線を逆に延長せしものが相集るべき點をいふ．

〔例〕 平面鏡，凹面鏡の作る像の如し．（凹面鏡，レンズも虛像を作る．）

【作圖法】 平面鏡によりて生ずる物體 AB の像 A′B′ を作るには物體の各部につき 鏡面 MN に對してAB の對稱なる點 A′B′を求め，之を連ぬべし．〔東師〕〔外 2 校〕





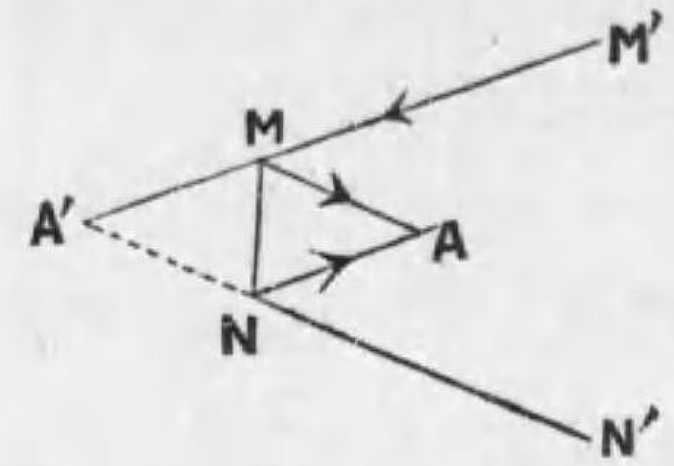
【問題】 水平と 60° の傾をなす棒の像を鉛直ならしむる平面鏡の位置如何．〔警專〕

【解】 AB を棒，A′B を其像とすれば，鏡は角

ABA′ を二等分する MB 又は之と直角にあるを要す．即ち鉛直と 15° 又は 105° をなす．

5. 像と平面鏡の大さ

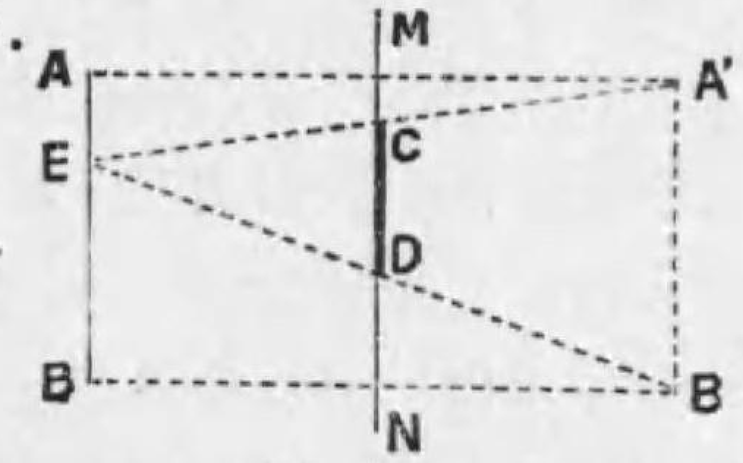
1. 自己の全身を映ずるを得ざる平面鏡も遠方の樹木など大なる物體の像を映ずべし．何となれば鏡 MN の前方 A 點に於ては A の對稱點 A′ を頂とし鏡 MN を底とする錐體 M′A′N′ 内の物體を見るを得べく，A が鏡に近き程此錐體の開きは大なるべし．而して此範圍外の點より鏡に投射する光は總べて A を通過すること能はざるが故に A にて見るを得ず．



〔東農〕〔高等〕

2. 自己の全身を映じ得る鏡は身長の半分なり．何となれば身長 AB の像 A′B′ は鏡 MN に對し AB の對稱の位置 AM＝MA′ に生ずべし．之が眼Eに於て夾む長さは鏡面に於て CD にして，$\mathrm{CD}=\frac{1}{2}\mathrm{A'B'}=\frac{1}{2}\mathrm{AB}$ なればなり．

($\because$ $\mathrm{A'B'}\,/\!/\,\mathrm{CD}$, $\mathrm{A'C}=\mathrm{CE}$).



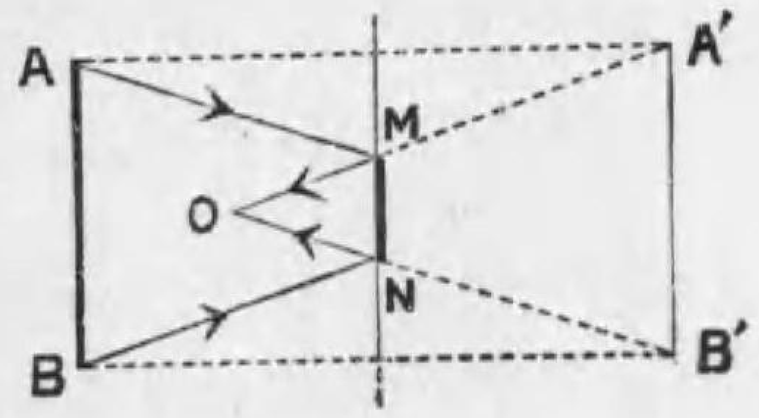
〔大工〕

3. 室の中央 O に立ち其前壁の鏡 MN に後壁 AB の全景 A′B′ を映ぜしむるには 其鏡の高さ及び 幅は夫々壁の高さ及び幅の 3 分の 1 なるを要す．

〔東工〕

【解】 像の上下 A′B′ よりの光が眼 O に來るためには

$\mathrm{OM}=\frac{\mathrm{AM}}{2}=\frac{\mathrm{A'M}}{2}$



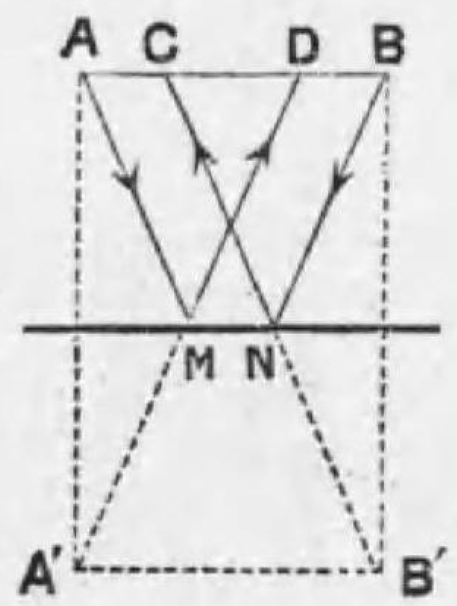
$\therefore\ \mathrm{OM}=\frac{1}{3}\mathrm{OA'}$

然るに壁及び鏡は直立するにより MN は A′B′ に平行なり.

$\therefore\ \mathrm{OM}:\mathrm{OA'}=\mathrm{MN}:\mathrm{A'B'}=1:3$

$\therefore\ \mathrm{MN}=\frac{\mathrm{A'B'}}{3}=\frac{\mathrm{AB}}{3}$

【問題】 (1) 顏面の長さ 8 寸 2 分, 幅 4 寸 8 分の人あり. 此人直立せる平面鏡の前に立ち己れの顏面の全像を見んとす. 鏡の長さ幅の最小限如何. 但し此人の兩眼の距離は 2 寸 2 分なりとす. 〔東農〕

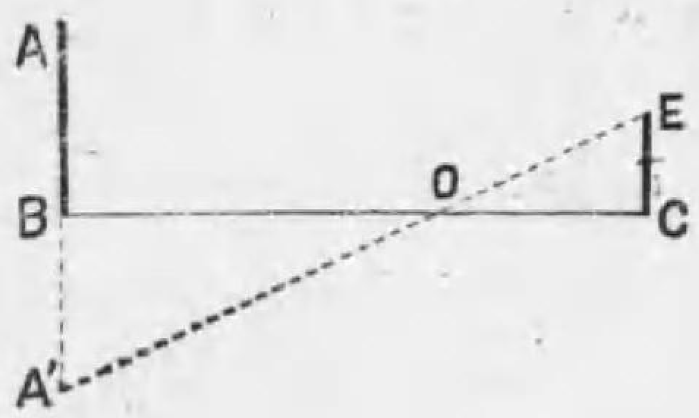


【解】 鏡の高さは(2)により顏の長さの半分卽ち 4 寸 1 分なり………(答)
又顏の幅 AB=4 寸 8 分 にして, 眼の距離 CD=2 寸 2 分なるにより, 像 A′B′ の見ゆる鏡 MN の大さは

$\mathrm{MN}=\mathrm{DB}=\frac{1}{2}(\mathrm{AB}-\mathrm{CD})$

$=\frac{1}{2}(48-22)=1$ 寸 3 分 ……(答)

(2) 對岸に直立せる樹木の池の水に映ずるを見るに, 若し水際より 3 間離れて立つときは其水際に樹木の頂を見るべしと云ふ. 水際より眼の高さ 6 尺にして人と木との距離 15 間なるときは木の高さ水面より幾尺なるか. 〔海兵〕



【解】 木 AB=像 A′B=x尺,
眼の高さ EC=6尺=1間.
水際と人との距離 OC=3 間,
木と人との距離 BC=15 間.
而して三角形 A′BO と三角形 ECO とは相似形なり.

$\therefore\ \mathrm{A'B}:\mathrm{EC}=\mathrm{BO}:\mathrm{OC}\quad x$間 : 1間 = (15−3)間 : 3間

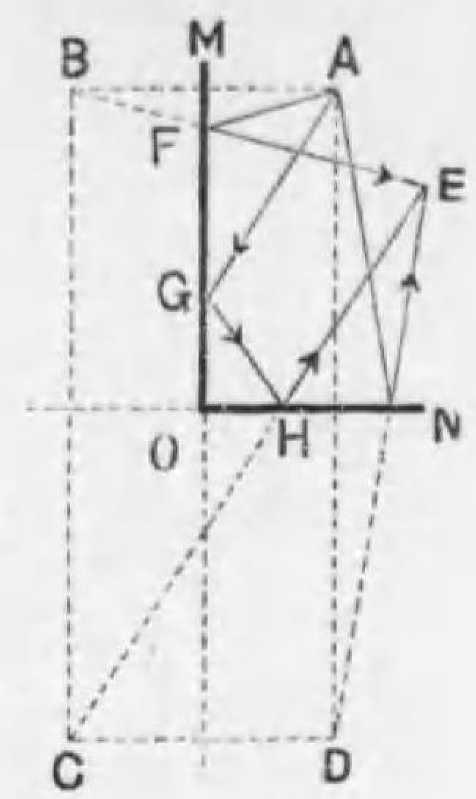
$\therefore\ x=4$ 間 ………………………………(答)

6. 二個の平面鏡

〔北工〕〔醫專〕

1. 互に直角なる場合.

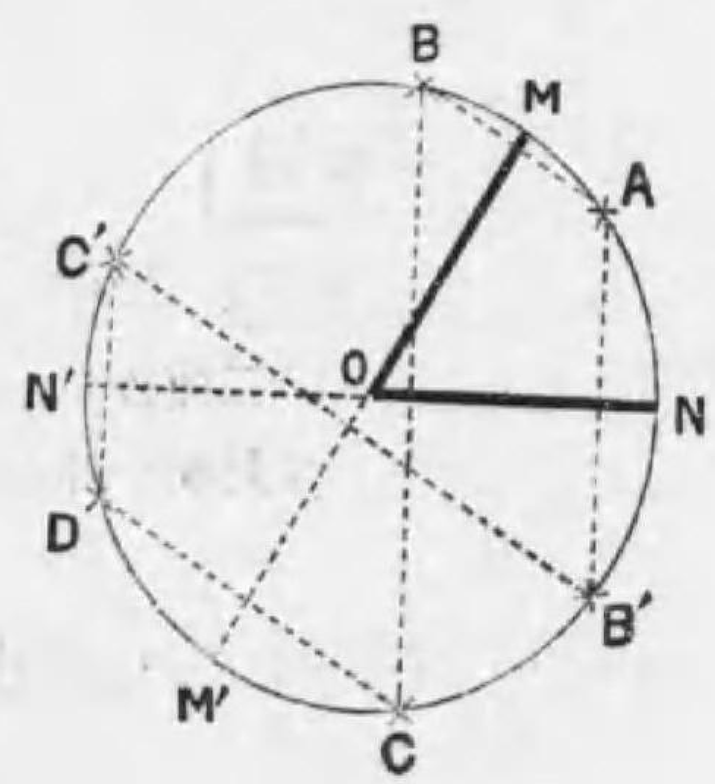
【定理】 3 個の像を生ず.



【證明】 A……物體, E……眼,
MO 及び ON……鏡.
像 B……鏡 OM に對し A と對稱.
像 D……鏡 ON に對し A と對稱.
像 C……鏡ON に對し B の對稱にして, 且鏡OM に對し D と對稱.
光の通路は圖に示すが如く, B, D は一回の反射によりて生じ, C は二回反射によりて生ず.

2. 60 度をなす場合. 〔醫專〕

【定理】 5 個の像を生ず.
MO,ON は鏡, Aは物體にして, 像は B,C,D 及び B′, C′ なり.



【證明】 B…OM の一回反射によりて生ず.
C…OM と ON の順に二回の反射による.
D…OM, ON, OMの順に三回の反射による.
同様に
B′…ON の一回反射,
C′…ON,OMの二回反射,

D…ON, OM, ON の三回反射によりて生じ前のDと合す.

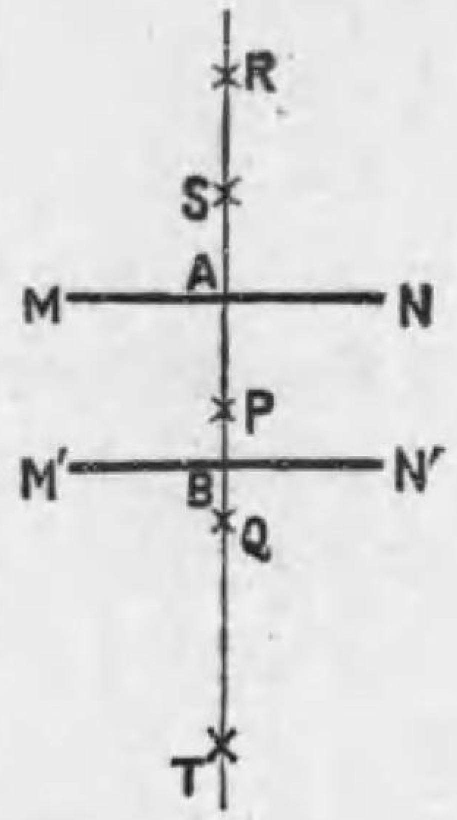
一般に像が鏡の裏面卽ち弧 M'O N' の內に來りたるときは以後最早像を作らず.

【應用】 百色眼鏡.

8. 平行なる場合.

【定理】 無數の像を生ず.

【證明】 MN, M'N'…平行せる平面鏡.



P…物體.

Q…M'N' 一回の反射にて生ずる像.

R…M'N', MN の二回反射によりて生ずる像.

以下第三回, 第四回等の反射によりて像を生ず.

S…MNの一回反射によりて生ずる像.

T…MN, M'N' の二回反射によりて生ずる像. 第三回以下之に倣ふ.

故に像は物體を過る鏡への垂線上に無數に並ぶ.

(實例) 肉厚き硝子鏡に燭火を映ずるときは明瞭なる像の外，淡き無數の像を見る.

7. 凹面鏡

【定義】 (1) 球面鏡 反射面が球面の一部をなすときは之を球面鏡と稱す. 次の二種あり.

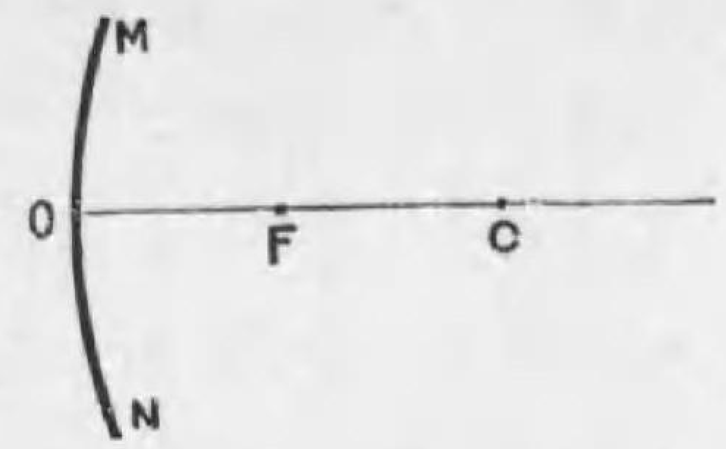
(2) 凹面鏡 反射面が球の內面卽ち凹面なるときは之を凹面鏡と稱す.

(實例) 探照燈, 幻燈, 自動車, 自轉車等の反射鏡, ランプ及び電燈の笠等.

(3) 凸面鏡 反射面が球の外面卽ち凸面なるときは之を凸面鏡と稱す.

(實例) 繩取玉, 風鈴球等.

【定義】 球面鏡の中央(O)を鏡心, 鏡を作る球の中心(C)を球心, 球心と鏡心とを連ぬる直線(OC)を鏡軸と稱す.



【定義】 (1) 焦點 平行光線が鏡に反射せられて集中する點を焦點(F)と稱す. 焦點は球心と鏡心との中央にあり.

(2) 焦點距離 焦點と鏡心との距離(卽ち球の半徑の半分 FO)を焦點距離と稱す.

(3) 共軛點 物體の一點と其點の像とを共軛點と稱す.

8. 凹面鏡の公式

〔醫專〕〔商船〕

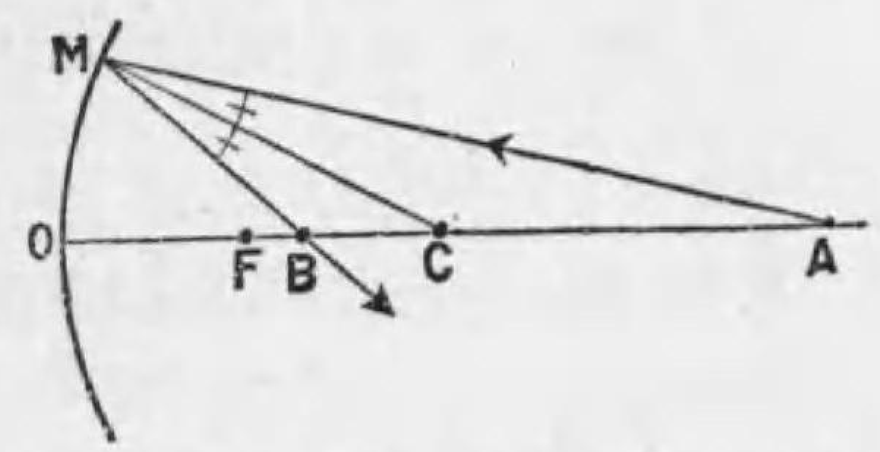
【公式】 共軛點 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}$

但し a=物體と鏡との距離(AO)

b=像と鏡との距離 (BO)

r=鏡をなせる球の半徑(CO)

【證明】 物體Aより凹面鏡に投射する光線 AM は MBの方向に反射し, MC は鏡面の垂線なるを以て, 反射の定律により



∠AMC=∠BMC, 卽ち MC は三角形 MBA の頂角 M を二等分するを以て,

$$\frac{MA}{MB}=\frac{CA}{CB}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

然るに普通の凹面鏡は鏡の開き(鏡の兩緣が球心に於て夾む角)小なるにより，次の如く見做し得.

$$MA=OA=a,\quad MB=OB=b,$$

而して $CA=a-r,\quad CB=r-b.$

之を(1)式に代入すれば

$$\frac{a}{b}=\frac{a-r}{r-b}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

分母を拂ひて移項すれば

$$br+ar=2ab$$

各項を abr にて除すれば

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

【吟味】 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}$ に於て

(1) $a=\infty$ なれば $b=\frac{r}{2}$

即ち物體が無限の遠方にあれば像は鏡心と球心との中央に生ず. 而して像は實像となる. 換言すれば平行光線は鏡の焦點に集まる.

(2) $a=r$ なれば $b=r$.

即ち物體が球心にあれば像も亦球心にあり. 像は實像なり.

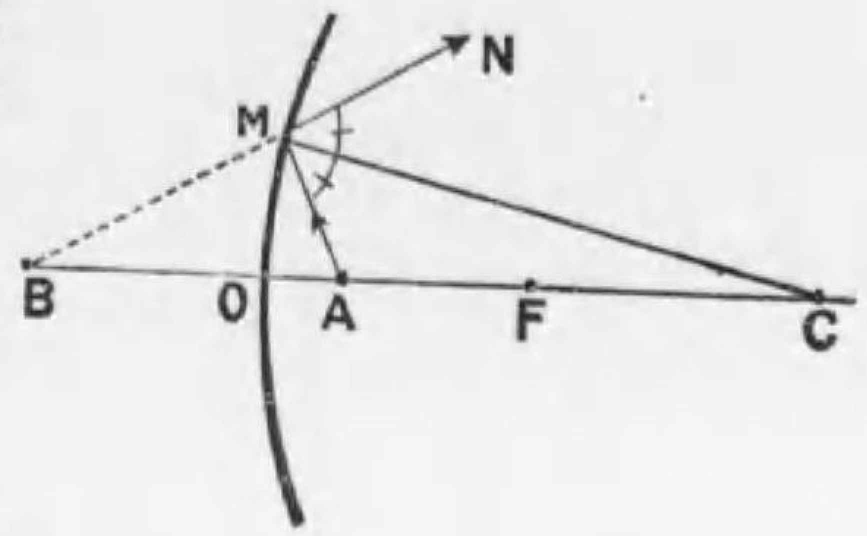
(3) $a=\frac{r}{2}$ なれば $b=\infty$

即ち物體が焦點にあれば像は無限の距離に生ず. 換言すれば像を生ぜずして反射光線は鏡軸に平行す.

(4) $a<\frac{r}{2}$ なれば $b<o$

即ち物體 A が次圖の如く焦點距離以內にあれば反射光線

MNは發散して實像を生ぜず. されど其の延長はBに交りて虛像を生ず.



(注意) b に負値を得ば常に虛像なり.

〔商船〕〔外4校〕

9. 共軛點の計算

(1) 半徑40糎なる凹面鏡の鏡軸上，鏡心より25糎の所に物體を置くときは，幾何の距離に如何なる像を生ずるか.〔醫專〕

【解】 公式 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}$ により

$$\frac{1}{25}+\frac{1}{b}=\frac{2}{40}$$

$$\therefore\ b=100$$

鏡の前方鏡心より100糎の處に實像を生ず. ………(答)

(2) 前問に於て物體を鏡心より 15 糎の處に置かば如何.

〔醫專〕

【解】 公式 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}$ により

$$\frac{1}{15}+\frac{1}{b}=\frac{2}{40}$$

$$\therefore\ b=-60$$

鏡の後方鏡心より 60 糎の處に虛像を生ず. ………(答)

(3) 凹面鏡の前方70.0糎の處に物體を置きたるに3.9糎の處に像を生じたり. 凹面鏡の半徑如何.

【解】 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}$ により

$$\frac{1}{70.0}+\frac{1}{3.9}=\frac{2}{r} \qquad \therefore\ r=50\text{糎}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(4) 前問の鏡に日光を受くるときは焦點の位置如何.

【解】 焦點距離 f は

$$f=\frac{x}{2}=\frac{50}{2}$$

$$=25\text{糎}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

10. 像の作圖法

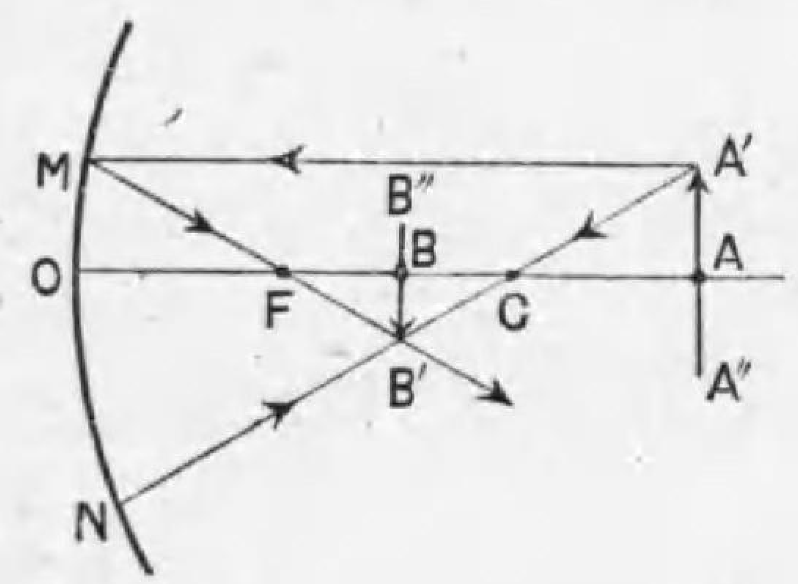
〔海兵〕〔外2校〕

【原理】 凹面鏡に於ける像は次の原理によりて作圖せらる.

(1) 球心を通過する光線は反射の後もとの路を逆行す.

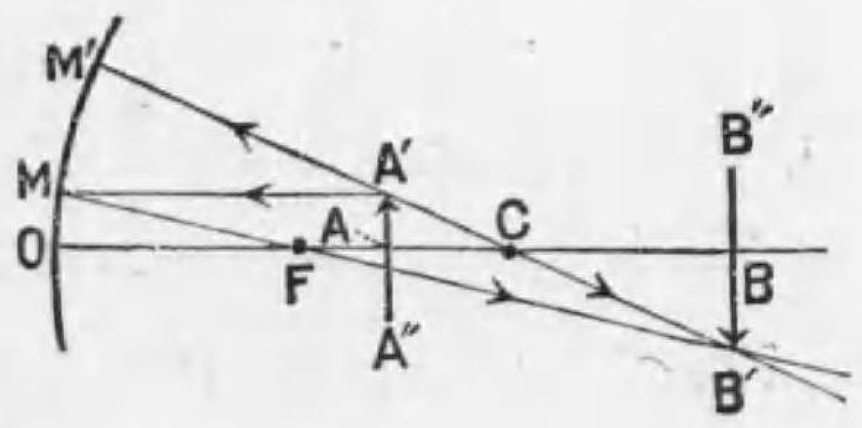
(2) 鏡軸に平行なる光線は反射の後, 焦點を過ぎる.

【作圖法】 物體の一點 A′ と球心 C とを結び, 同じ點 A′ より鏡軸 OA に平行なる直線 A′M の鏡との交點 M と焦點 F とを結べば, 此二直線又は其延長の交點 B′ は物體 A′ の像なり. 同樣に物體の他の點 A″ の像 B″ を作り, 從つて A′A″ の像 B′, B″ を得.

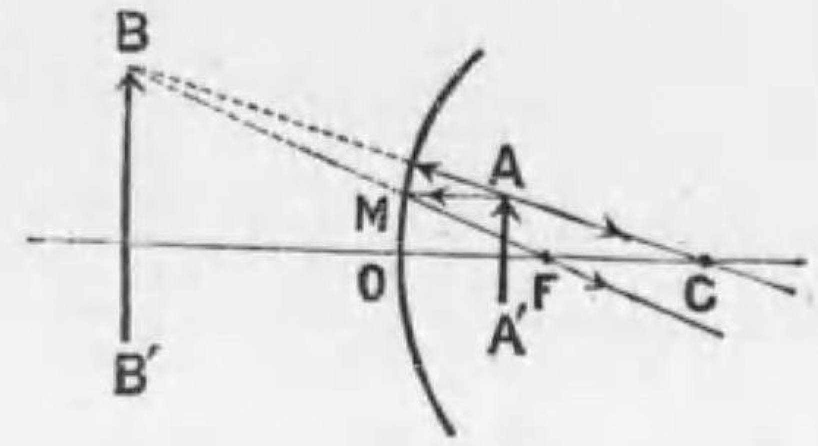


【種類と大さ】 (1) 上圖の如く物體が球心外にあれば, 球心と焦點との間に物體よりも小なる倒立實像を生ず.

(2) 右圖の如く物體が球心と焦點との間にあれば球心外に物體よりも大なる倒立實像を生ず.



(3) 右圖の如く物體が焦點以內にあれば鏡の後方に物體よりも大なる正立虛像を生ず.



11. 像の大さ

【公式】 $\dfrac{L}{l}=\dfrac{a}{b}$

但し, L=物體の長さ, l=像の長さ, a=物體と鏡との距離. b=像と鏡との距離.

【證明】 前頁の圖に於て物體と像との比は次の如し.

$$\frac{L}{l}=\frac{AA'}{BB'}=\frac{AC}{BC}=\frac{AO-CO}{CO-OB}=\frac{a-r}{r-b}$$

$$=\frac{a}{b} \qquad (\because\ 150\text{頁, 公式}2)$$

$$\therefore\ \frac{L}{l}=\frac{a}{b}$$

即ち物體と其像との大さの比は, 物體と凹面鏡との距離及び像と凹面鏡との距離の比に等し.

12. 像の大さの計算

(1) 半徑 30 糎の凹面鏡の前 80 糎の處に置きたる長さ 10 糎の物體の像の大さを求む.

【解】 $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{2}{r}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$

$\dfrac{L}{l}=\dfrac{a}{b}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$

上の公式(1)により, 像の位置は

$$\frac{1}{80}+\frac{1}{b}=\frac{2}{30}$$

$\therefore\ a=18$ 糎

又公式 (2) により，像の大さは

$$\frac{10}{l}=\frac{80}{18}\qquad \therefore\ l=22\ \text{糎}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(2) 曲率半徑 1 尺 2 寸の凹面鏡の前に一物體あり．其像の大さは物體の大さに 2 倍す．鏡心より物體及び像に至る距離如何．〔長商〕

【解】 前問の公式(1)(2)により

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{2}{12}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{L}{2L}=\frac{a}{b}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

此聯立方程式を解きて $a=3$, $b=18$ を得．即ち鏡心より物體まで 9 寸，像まで 1 尺 8 寸なり．$\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(3) 凹面鏡の前 20 糎の處に 6 糎の長さの物體を置きしに 2 糎の長さの像を生じたり．凹面鏡の半徑を求む．

【解】 公式により

$$\frac{1}{20}+\frac{1}{b}=\frac{2}{r}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{6}{2}=\frac{20}{b}\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

之を解きて，半徑 $r=10$ 糎を得．$\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

(4) 壁より 8 米離れたる所に發光體あり．それの 17 倍の實像を凹面鏡によりて壁上に生ぜしめんとす．球面の半徑何程の鏡を如何なる所に置けば可なるか．〔陸士〕

【解】 凹面鏡と壁との距離を x 米とせば

$$(x-8)\text{米}:x\text{米}=1:17$$

$$\therefore\ x=8.5\ \text{米（壁より）}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

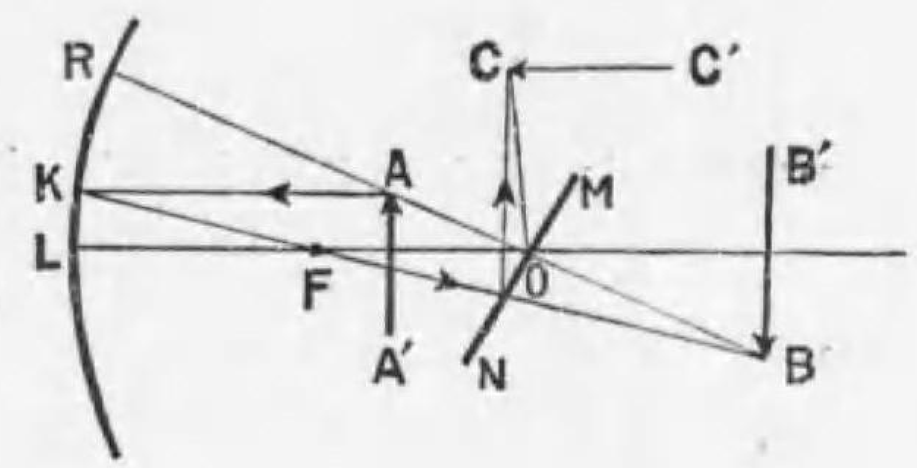
而して凹面鏡の曲率半徑を r 米とせば

$$\frac{1}{8.5}+\frac{1}{8.5-8}==\frac{2}{r}$$

$$\therefore\ r=\frac{17}{18}\text{米}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(5) 曲率半徑 20 糎なる凹面鏡 L の前方 15 糎の處に物體 AA′ を鏡軸に直角に置き，更にそれより 5 糎距りて平面鏡 MN を鏡軸と 45° の角をなして置けば，像は何處に如何なる大さに生ずるか．〔陸士〕

【解】 光は圖の如く通過して CC′ に實像を生ず．今若し平面鏡なしとせば像 BB′ の生ずべき位置は



$$\frac{1}{15}+\frac{1}{b}=\frac{2}{20}$$

$$\therefore\ b=30\ \text{糎}$$

而して凹面鏡との距離は

$$15+5=20\ \text{糎}$$

故に像 CC′ と平面鏡上の O との距離は

$$30-20=10\ \text{糎}\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

而して BB′=CC′ なるを以て

$$AA':CC'=15:30$$

$$=1:2$$

即ち物體に大さ 2 倍す．$\cdots\cdots\cdots\cdots$(答)

13. 凸面鏡

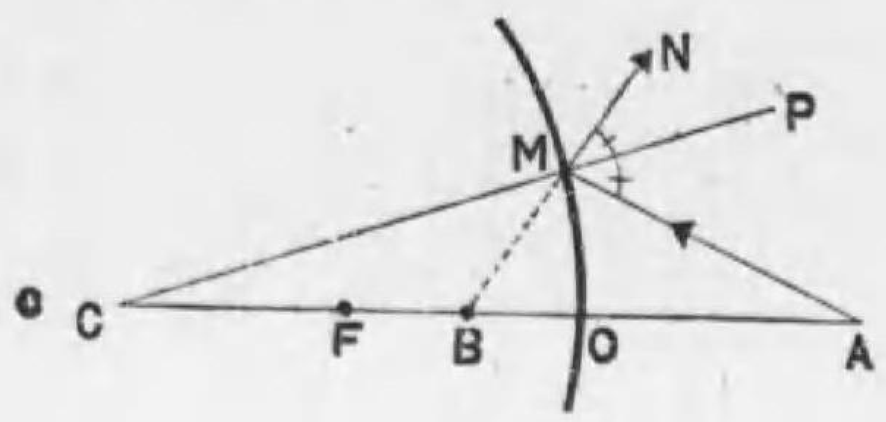
【公式】 (1) 共軛點．

$$\frac{1}{b}-\frac{1}{a}=\frac{2}{r}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

(2) 像の大さ.

$$\frac{L}{l}=\frac{a}{b}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

【證明】 物體Aの像をBとすれば反射の定律により，CM は角 BMA の外角 AMB の二等分線なり．



故に，

$$\frac{MA}{MB}=\frac{CA}{CB}\cdots\cdots(1)$$

鏡の開き小なる時は次の如く見て差支なし．

$$MA=OA=a,\quad MB=OB=b,$$

而して $CA=r+a,\qquad CB=r-b$

之を(1)に代入すれば，

$$\frac{a}{b}=\frac{r+a}{r-b}\cdots\cdots(2)$$

分母を拂ひて移項すれば，

$$ar-br=2ab$$

各項を abr にて除すれば，

$$\frac{1}{b}-\frac{1}{a}=\frac{2}{r}\cdots\cdots(3)$$

【別證】 本公式は次の如く證明するも可なり．凹面鏡の公式，

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

に於て b, r は鏡の後方にあるを以て負とすれば，

$$\frac{1}{a}-\frac{1}{b}=-\frac{2}{r}$$

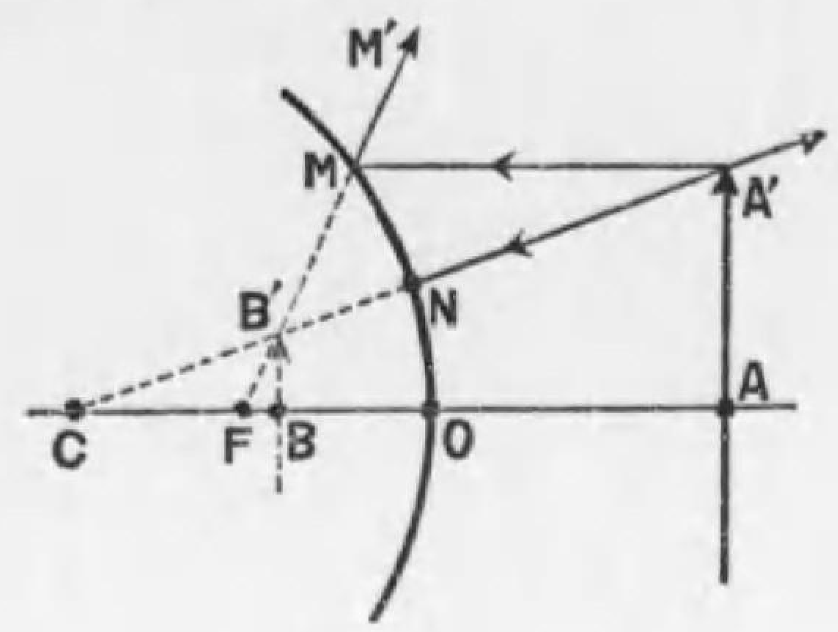
$$\therefore\ \frac{1}{b}-\frac{1}{a}=\frac{2}{r}$$

【像の作圖】 像の作圖法は全く凹面鏡の場合に等しく，其大さは

$$\frac{AA'}{BB'}=\frac{CA}{CB}=\frac{r+a}{r-b}$$

$$=\frac{a}{b}\ \text{(前頁式 2)}.$$

$$\therefore\ \frac{L}{l}=\frac{a}{b}$$



(注意) 凸面鏡に於ては像は常に物體よりも小にして，正立し，虚なり．

【例題】 (1) 硝子の風鈴球に顔を映すときは球に近き部分は大きくうつる．

(2) 試驗管の外側は縦に平面鏡となり，横に凸面鏡となれるを以て，之に顔を寫さば顔の長さは實物大に，幅は小となりて細長くうつる．

【問題】 半徑 10 糎の凸面鏡の前方 150 糎の處に置きたる長さ 27 糎の物體の像の位置及び大さ何程． 〔名工〕

【解】 公式 $\frac{1}{b}-\frac{1}{a}=\frac{2}{r}$

$\frac{L}{l}=\frac{a}{b}$ より

$$\frac{1}{b}-\frac{1}{150}=\frac{2}{10}\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{27}{l}=\frac{150}{b}\cdots\cdots\cdots(2)$$

(1) (2) を解きて

像の位置 $b=4.84$ 糎，像の大さ $l=0.87$ 糎……(答)

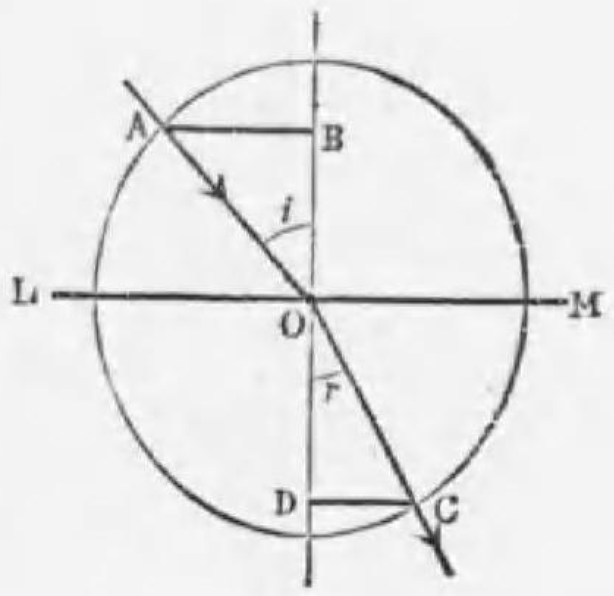
第三章

光の屈折

屈折.—定律.—屈折率.—屈折の例.—全反射.—プリズム.—レンズ.—レンズの公式.—公式の吟味—公式の應用.—像の作圖法.—焦點距離の公式.

1. 屈折

【屈折】 光は一物質より斜に他の物質に入る時に其境界面に於て屈折す.



【定義】 (1) 投射光線 境界面に投射する光線(AO). (2) 屈折光線 境界面に於て屈折する光線(OC). (3) 垂線(法線) 境界面の垂線(BOD). (4) 投射角 投射光線と垂線との角(i). (5) 屈折角 屈折光線と垂線との角(r).

2. 屈折の定律

〔海機〕〔外4校〕

【定律】 (1) 投射光線と屈折光線とは投射點に於ける面への垂線と同一平面内にありて, 且其兩側にあり.

(2) 上圖に於ける $\frac{AB}{DC}$ は境界をなせる二物質により一定し, 投射角の大小に關せず.

【註】 AO=OC に切り, A 及び C より垂線BDへ下せる垂線が AB 及び CD なり.

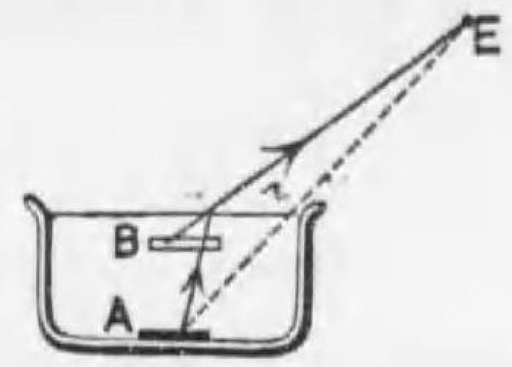
3. 屈折率

〔京農〕〔外6校〕

【定義】 上の比 $\frac{AB}{DC}$ を, 後物質の前物質に對する屈折率といふ. 水1.33, 硝子約1.5, 金剛石 2.47 なり.

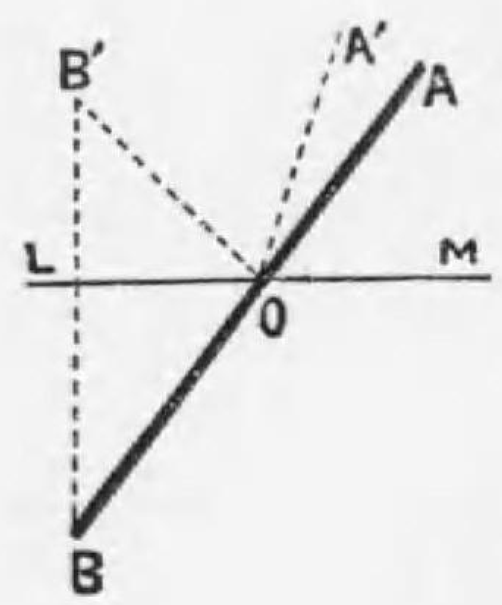
4. 屈折の例

1. 水中に浸せる棒が水面にて折れて見ゆるは水中の各部が各其眞の深さより浮き上りて見ゆるによる.



2. 水中の魚は眞の位置よりも浮き上りて見ゆ.

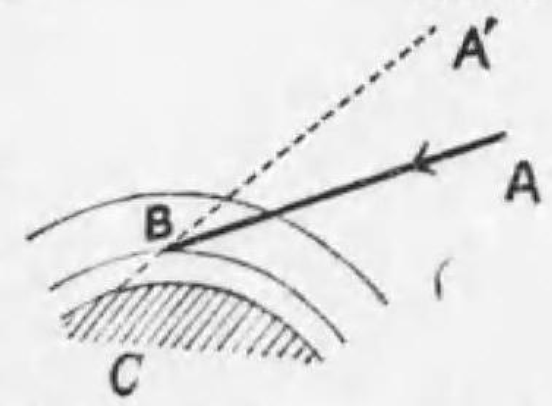
3. 緣に遮ぎられて見えざるやう器内に物體Aを入れ, 器に水を注ぐときは物體は浮き上りてBに見ゆ.



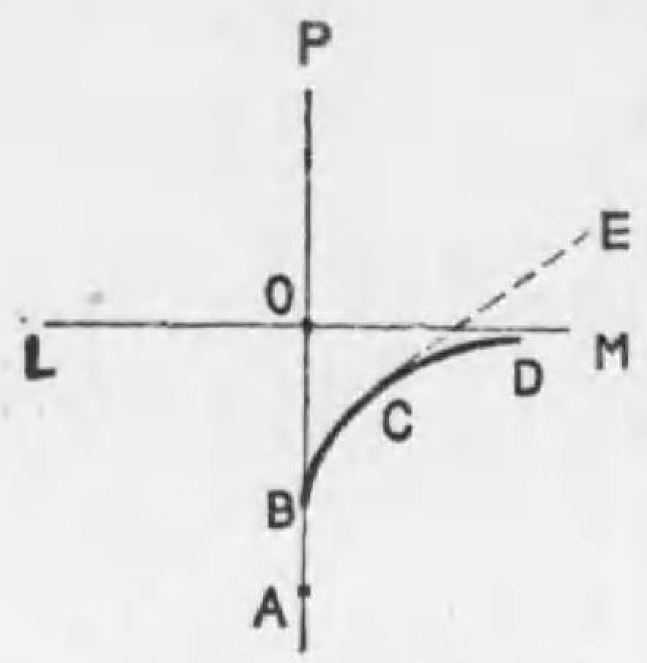
4. 半ば水に挿入せる棒 AOB を水中より見るときは, 空氣中の部OAは實際より遠ざかりてOA′に見え, 水中の部OBは其儘見ゆるものと, 水面に映りて(全反射のため) OB′に見ゆるものとあり. 故に棒は A′OB 又は A′OB′ の如く見ゆ.

5. 硝子鉢の金魚が大きく見ゆるは水がレンズの作用(蟲眼鏡)をなすによる.

6. 炭火の上を透して見たる物體が動搖して見え, 或は日當りよき瓦又は塀の上に陽炎の生ずるは, 温められたるが爲めに膨脹して密度を減じ且絶えず動搖する空氣の中を, 光が通過するとき屈折して其進路を絶えず變ずるによる. 〔東師〕



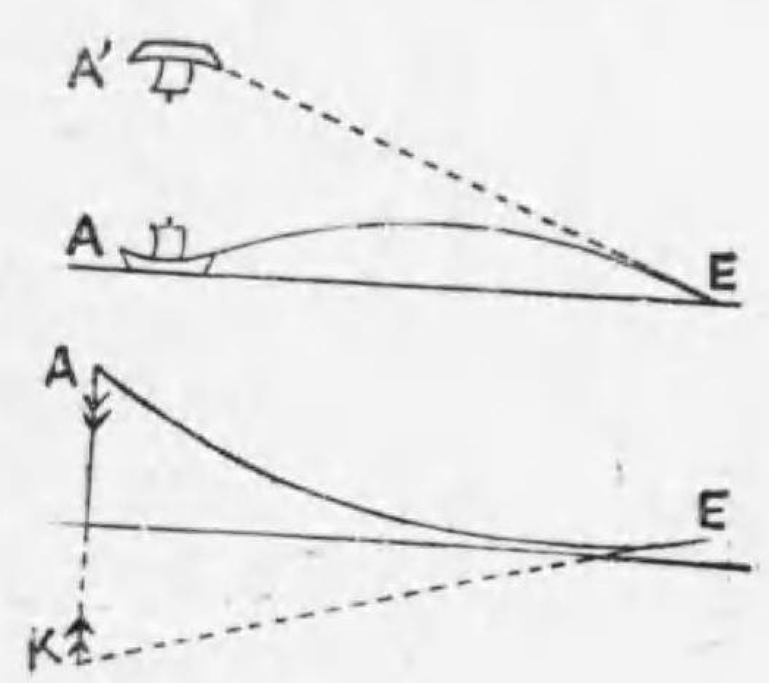
7. 天體は地平に近きとき眞の位置よりも高く見ゆ. これ大氣は地上に近き程濃厚なるにより天體Aより來る光は次第に垂線に近づくやう BC の方向に屈折するため地上Cの人は CB の方向に之を見るなり. 〔大工〕



8. 水中に小さき物體あり．目を物體の眞上より水平の方向に移動するに從ひて如何なる位置に物體は認めらるゝか．〔桐工〕

【解】左圖LMを水面，Aを水中の小物體とすれば，眞上PよりAを見ればOAの四分の三の點Bに見ゆ．それより眼Eを水平の方向に移すに從ひ物體の位置は曲線BCD上に移る．

9. 蜃氣樓は天候靜かにして冷たき海面に於けるが如き大氣の下層が密にして上層に至るに從ひて著しく疎なるとき，又は之と反對に熱せられたる沙漠に於けるが如き下層の空氣が上層より却つて疎なるときに起る現象にして，物體より出でし光が密部の方に屈折し且全反射するによりて起る．



5. 全反射

〔東商〕〔專檢〕〔外16校〕

【定義】光が密物質より疎物質の境界面に投射する時，疎物質內に入ることなくして再び悉くもとの密物質中に反射する現象を全反射と云ふ．此の場合の反射光は境界面に於て反射の定律に從ふ．

【定義】全反射をなす光の投射角の中にて最小のものを臨界角といふ．

【實例】臨界角は硝子 42.5°, 水 47° 位.

【實例】(1) コツプの水中に匙を入れて下より窺へば，匙の水中の部は水の下面に映りて見ゆ．

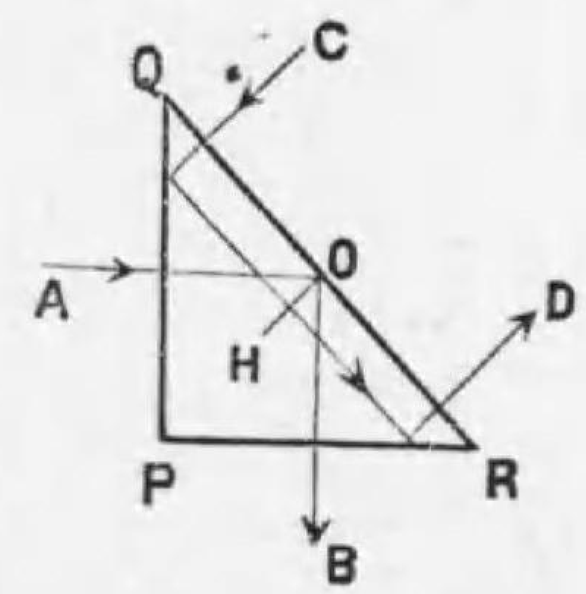
(2) 水中に空の試驗管を斜に入れ之を上より見下す時は，試驗管の表面は著しく輝きて見ゆ．水中の草葉に附ける空氣の泡が銀の球の如く輝きて見ゆるも之に同じ．

(3) 水中より天を見るときは天は水の臨界角の2倍（略97°）の頂角を有する圓錐の底に見ゆ．これ地平よりの光は臨界角にて水中に入ればなり．

(4) 水中の一點より諸方に發する光は其一部は水面に於て屈折し垂線に遠ざかりて空氣中に出づるも投射角が臨界角より大なる光は皆再び水中に反射す．〔水產〕

(5) 金剛石は屈折率大にして從つて臨界角小なるにより，よく光を全反射す．

(6) 全反射プリズムに用ひらる．



6. 全反射プリズム

【構造】切口が直角二等邊三角形をなせる透明體QPRなり．

【作用】其使用の方法によりてPQとPRとの二面が全反射面となり，又はQR面が全反射面となる．

【證明】硝子製の全反射プリズムに光AOがPQに垂直に投射する時はQR面に45°の投射角AONにて投射し，此角は硝子の臨界角42.5°よりも大なるを以て光は全反射してOBの方向に進み，從つてPR面に垂直に當るため此光は屈折することなくして進む．卽ちQRは全反射面をなす．

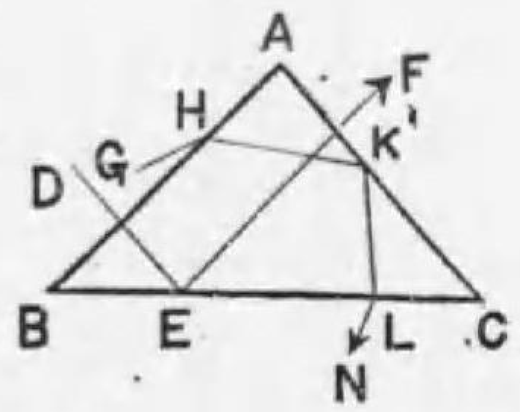
同樣にQR面に垂直に投射する光CはQP, PRの二面にて全

反射し，Dの方向に出づ．此の場合に直角をなせる二面が全反射面なり．

【應用】 光の方向を直角に變じ(潜望鏡に用ふ)，又像の向きを反轉する(望遠鏡)に應用せらる．

【問題】 二等邊直角三角形 ABC の截斷面を有する硝子プリズムに太陽光線が DE の如く AB に垂直に投射するときと，GH の如く AB に小なる角をなして投射するときに於ける光線の通路を圖解せよ．但し之に用ひたる硝子に於ては光線が硝子より空氣中に出づるときの臨界角が何れの色の光線に就ても約 38° なり．　〔名工〕

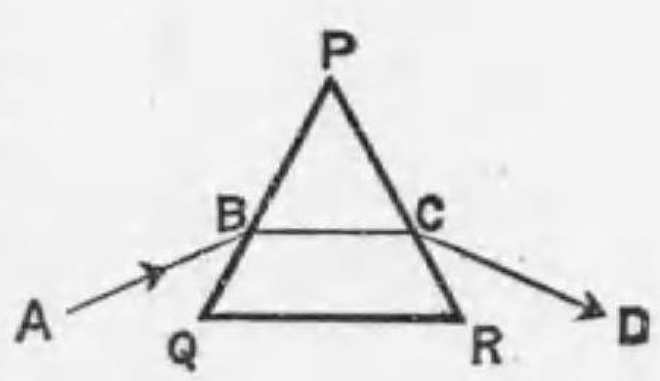
【解】 (1) DE は AB に垂直なるが故に E に於ける投射角は 45° にして，從つて光は EF の方向に全反射し，此の光は AC 面に垂直なるが故に此の面を眞直に通過して空氣中に出づ



(2) GH が面に殆ど平行なるときの屈折角は 38° なるにより，AC面への投射角は其の餘角なる 52° にして臨界角よりも大なり．故に K點に於ては全反射し，L 點に於て屈折して空氣中に出づ．

7. プリズム

【構造】 三角柱を PQR プリズムと稱す．プリズムは通常硝子にて作り，又水晶，硫化炭素(硝子製箱に入る)等にて作る．



【作用】 プリズムに入る光は，屈折の定律によりてプリズムの肉厚き方へ屈折す．

【用途】 (1) 頂角の直角なるは全反射用として光の方向を變ずるために用ふ (161頁圖)．

(2) プリズムを通過せしめて光を色光に分散せしむ(　頁圖)．

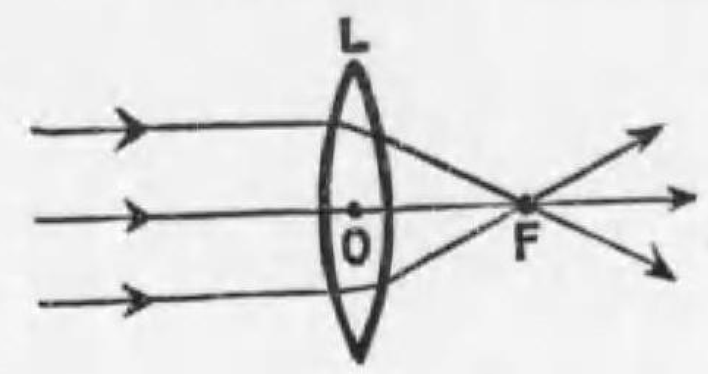
8. レンズ

〔秋鑛〕〔外4校〕

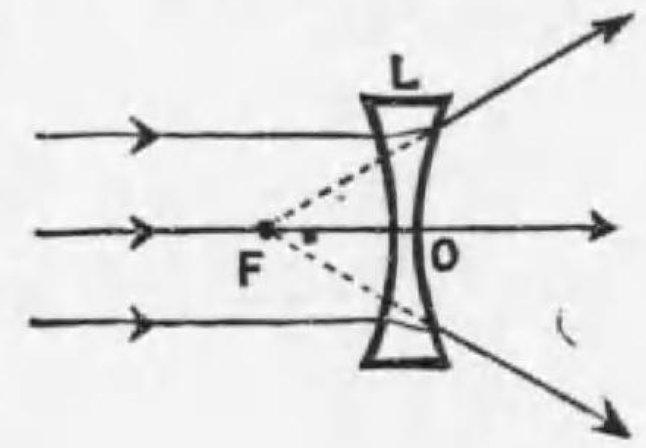
【定義】 二つの球面の一部(又は一つは平面)にて界せられたる透明體をレンズと稱す．

【種類】 (1) 凸レンズ　中央部が周圍よりも厚きレンズ．

(2) 凹レンズ　中央部が周圍よりも薄きレンズ．



【定義】 (1) 焦點．軸(レンズの中央に於て面に直角なる直線)に平行なる光が，凸レンズに於てはレンズを通過後收斂せられて集まる點(F)，凹レンズに於ては發散せられてレンズの後方の一點より出でたるが如く見ゆる點(F)を焦點と云ふ．　〔山商〕



(2) 凸レンズの焦點を實焦點，凹レンズの焦點を虛焦點 (上圖にて)

(3) 焦點距離 とは焦點とレンズの中心(光心)との距離を云ふ．

【應用】 眼鏡，顯微鏡，望遠鏡，幻燈機，寫眞機，分光器等．

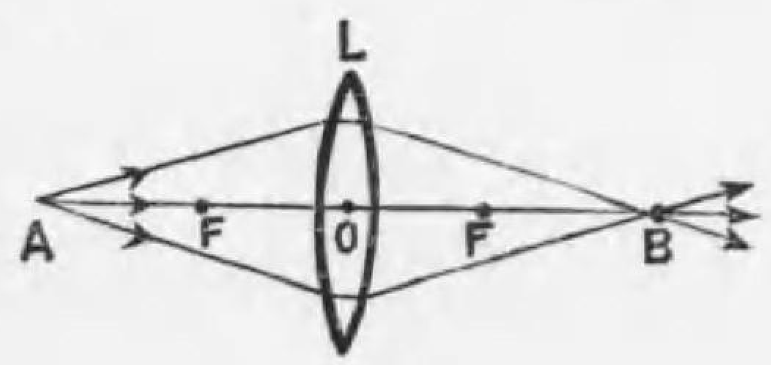
9. レンズの公式

〔山商〕

兩圖Lはレンズ，Aは物體，Bは像．

a は物體とレンズとの距離 (AO)，

b は像とレンズとの距離 (OB)，

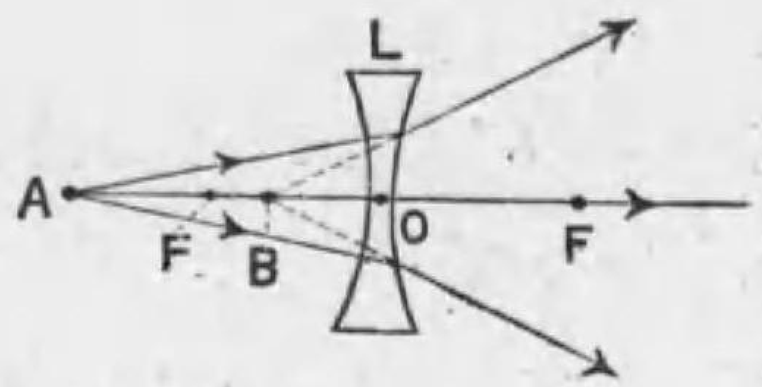


f は焦點距離(OF).

1. 凸レンズ $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$

2. 凹レンズ $\dfrac{1}{b}-\dfrac{1}{a}=\dfrac{1}{f}$

3. 像の大さ $\dfrac{L}{l}=\dfrac{a}{b}$



L は物體の大さ, l は像の大さ.

(注意) A と B とを互に共軛點と云ふ.

10. 公式の吟味 (但し凸レンズに就て) 〔東工〕〔海兵〕

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \qquad \frac{L}{l}=\frac{a}{b}$$

(イ) $a=\infty$ ならば $b=f$.

發光體が無窮の距離にあるとき, 換言すれば平行光線は焦點に集まる.

(ロ) $a=2f$ ならば, $b=2f$, 從て $L=l$.

發光體が焦點距離の二倍の距離にあれば像も亦同距離の反對側に生じ, 像は倒立し, 大さは物體に等し.

(ハ) $a=f$ ならば $b=\infty$.

物體が焦點にあれば, 像を生ぜず. 光は平行に進行す.

(ニ) $a<f$ ならば, $b<0$, 且 $L<l$.

物體が焦點距離以內にあればレンズの物體と同じ側に正立せる虚像を生じ, 其大さ物體よりも大なり.

11. 公式應用の計算

(1) 焦點距離 20 糎の凸レンズの軸上 25 糎の距離に物體を置くときは, 幾何の距離に如何なる像を生ずるか. 〔廣師〕〔醫專〕

【解】 公式 $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$ により

$$\frac{1}{25}+\frac{1}{b}=\frac{1}{20}$$

$\therefore\ b=100$

レンズの軸上物體と反對の側にレンズより 100 糎離れて倒立せる實像を生ず. ……………………(答)

(2) 前問に於て物體を軸上 15 糎の所に置かば如何. 〔醫專〕

【解】 $\dfrac{1}{15}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{20}$

$\therefore\ b=-60$

レンズの軸上物體と同じ側にレンズより 60 糎離れて正立せる虚像を生ず. ……………………(答)

(3) 凸レンズの一方 2 米の處に物體を置きたるにレンズの他方 50 糎の處にて像を生じたり. レンズの焦點距離如何. 〔專檢〕

【解】 公式により

$$\frac{1}{200}+\frac{1}{50}=\frac{1}{f} \qquad \therefore\ f=40 \text{ 糎}$$ ……………………(答)

(4) 焦點距離 40 糎の凸レンズの前方 45 糎の處に長さ 30 糎の物體を立つるときは, 虚實兩像中何れのものが其長さ幾何となりて生ずるか. 〔市醫〕〔上醫〕〔水產〕

【解】 $\dfrac{1}{a}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{f}$ により

$\dfrac{1}{45}+\dfrac{1}{b}=\dfrac{1}{40}$ ……………………(1)

又 $\dfrac{L}{l}=\dfrac{a}{b}$ により

$\dfrac{30}{l}=\dfrac{45}{b}$ ……………………(2)

(1) (2) より b を消去して $l=240$ を得. (答) 240 糎の實像

(5) 凸レンズを用ひ物體より 36 尺の距離にある壁に其物體の11倍大の鮮明なる實像を映ぜしめんとす, 如何なる焦點距離のレ

ンズを何處に置くべきか。 〔高等〕

【解】 像とレンズとの距離は物體のレンズとの距離の 11 倍なるを以て

公式 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$ に入るべき a 及び b は次の如し。

$$a=36\text{尺}\times\frac{1}{1+11}=3\text{尺}$$

$$b=36\text{尺}\times\frac{11}{1+11}=33\text{尺}$$

$$\therefore\quad \frac{1}{3}+\frac{1}{33}=\frac{1}{f}$$

$$\therefore\quad f=2.75$$

故に焦點距離 2.75 尺の凸レンズを物體より壁の方に 3 尺離して置くべし. ……(答)

(6) 凸レンズの主軸上レンズの中心より 50 糎の處に光源を置きたるにレンズの他の側 20 糎の處に實像を生ぜり. 今物體をレンズより幾糎の距離に置かば物體と同大の實像を生ずるか.

【解】 $\frac{1}{50}+\frac{1}{20}=\frac{1}{f}$ ……(1)

$\frac{1}{a}+\frac{1}{a}=\frac{1}{f}$ ……(2) 〔∵公式中 $a=b$〕

(1)(2) より f を消去して

$a=28.6$ 糎……(答)

(7) 燭火を凸レンズより 12 糎を隔てゝ置きたるに 3 倍の實像を生じたり. 今燭火を尚 3 糎遠ざくれば何倍の實像を生ずるか. 〔東工〕

【解】 燭火とレンズとの距離は 12 糎なるを以て

$$\frac{1}{3}=\frac{a}{b}$$

により, 像とレンズとの距離は 36 糎なり.

$$\therefore\quad \frac{1}{12}+\frac{1}{36}=\frac{1}{f}\text{……(1)}$$

$$\frac{1}{12+3}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}\text{……(2)}$$

(1)(2) より f を消去して $b=\frac{360}{7}$ を得. 從つて像の大さは

$$\frac{1}{l}=\frac{12+3}{\frac{360}{7}}\qquad\therefore\quad l=3.4\text{倍}\text{……(答)}$$

(8) レンズの主軸上レンズと焦點との中間の一點より發する光及びレンズの他側より此の點に向つて進行し來る光の集まるべき點を求む. 〔東師〕

【解】 レンズの焦點距離を f とし, レンズと求むる點との距離を x とせば,

(1) $\frac{1}{f\div 2}+\frac{1}{x}=\frac{1}{f}$ ∴ $x=-f$. 光點の側にて虚……(答)

(2) $-\frac{1}{f\div 2}+\frac{1}{x}=\frac{1}{f}$

∴ $x=\frac{f}{3}$ 光點と反對の側にて實……(答)

(9) 或凸レンズの前方 3 尺の所に物體を置かばレンズの後方 6 尺の所に像を生ずといふ. 物體を 2 尺遠ざくれば像の動く距離如何. 〔海軍〕

【解】 レンズの焦點距離を f 尺とせば

$$\frac{1}{3}+\frac{1}{6}=\frac{1}{f}\qquad\therefore\quad f=2\text{尺}$$

次に物體を遠ざけたるとき生ずる像の位置 b は

$$\frac{1}{3+2}+\frac{1}{b}=\frac{1}{2}\qquad\therefore\quad b=3\frac{1}{3}\text{尺}$$

故に像はレンズに近づくこと

$$6\text{尺}-3\frac{1}{3}\text{尺}=2\frac{2}{3}\text{尺}\text{……(答)}$$

(10) 共通の軸を有する二つの凸レンズ AB ありて A の焦點距

離は 40 糎なり・A の前面の無限遠より來る光線が A, B を通過して後平行光線となる如く A, B を置く. A の前面 10 米の處に光點を置き之より發する光線が A, B を通過して再び平行光線となる如く B の位置を移動す. 移動の長さと方向とを問ふ. 〔名工〕

【解】 A レンズによりて生ずる像が B レンズの焦點にあるとき B を通過する光は平行なり. 故に A によりて生ずる像の位置の移動は求むる B の移動に等し. 而して A によりて後の場合に生ずる像の位置は

$$\frac{1}{10\times100}+\frac{1}{x}=\frac{1}{40} \quad \therefore \quad x=\frac{125}{3}\text{糎}$$

故に前の焦點よりも B の方に移動する距離は

$$\frac{125}{3}-40=1\frac{2}{3}\text{糎} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(11) 光源より 100 糎距りて衝立あり. 一の凸レンズを光源より次第に遠ざけたるに先づ衝立上に像を生じ, 更に 50 糎を遠ざけしに再び此上に像を生ぜり. レンズの焦點距離を求む. 〔桐築〕

【解】 焦點距離を f, 光源とレンズの最初の位置との距離を a とすれば

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{100-a}=\frac{1}{f}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

又後の場合に於て

$$\frac{1}{a+50}+\frac{1}{100-(a+50)}=\frac{1}{f}\cdots(2)$$

之を解きて $f=25$ 糎 ……………………………(答)

(12) 焦點距離 10 糎なる凹レンズの前方 15 糎の所に長さ 4 糎の物體を置きて生ずる虚像の位置及び其長さを算出せよ. 〔名工〕

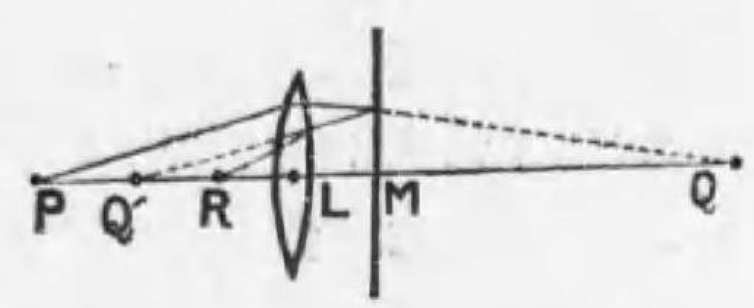
【解】 像とレンズとの距離を物體の側に於て x 糎とせば

$$\frac{1}{x}-\frac{1}{15}=\frac{1}{10} \quad \therefore \quad x=6\text{糎} \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

像の大さは

$$15:6=4\text{糎}:y\text{糎} \qquad \therefore \quad y=1.6\text{糎}\cdots\cdots(\text{答})$$

(13) 凸レンズの主軸上レンズより 1 米の前方に光源を置くときレンズの後方 1.5 米の處に像を生ず. 若し此のレンズの背後 5 糎の處に平面鏡をレンズの方へ向け且レンズの主軸に垂直ならしめて置かば, 如何なる像を如何なる位置に生ずべきか. 〔米工〕



【解】 光點 P のレンズ L に對して生ずべき像 Q は, 平面鏡 M によりて反射せられ M に對し Q の對稱點 Q' に生ず.

然るに此の光は再びレンズ L に屈折せられて R に集まる. 而して題意により, PL=100 糎, PQ=150 糎, ML=5 糎. よつて

$$LQ'=MQ'-ML=MQ-ML=(150\text{糎}-5\text{糎}-5\text{糎})=140\text{糎}.$$

故に $\dfrac{1}{LR}-\dfrac{1}{140}=\dfrac{1}{100}+\dfrac{1}{150} \quad \therefore \quad LR=42$ 糎

即ち, レンズの前方 42 糎の處に實像を生ず. … (答)

(14) 焦點距離 1 米の凸レンズの後方 0.5 米の所にレンズの軸に直角に平面鏡を置くときはレンズの前方 2 米の處にある光點の像は何處に生ずるか. 〔高等〕

【解】 平面鏡なきとき生ずべき像の位置をレンズより x 米とせば,

$$\frac{1}{2\text{米}}+\frac{1}{x\text{米}}=\frac{1}{1\text{米}} \quad \therefore \quad x=2\text{米}$$

此の像が平面鏡によりて反射せられレンズの前方に於て

$$2\text{米}-0.5\text{米}\times2=1\text{米}$$

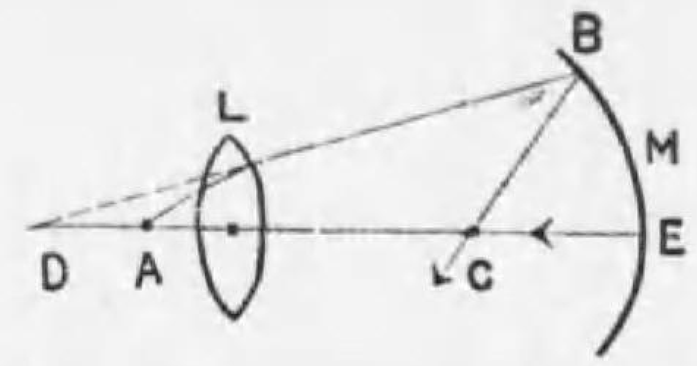
の處に生ずべきも, レンズを再び通過する際收斂せられてレンズより y 米の距離に實像を生ず. 故に

$$-\frac{1}{1\text{米}}+\frac{1}{y\text{米}}=\frac{1}{1\text{米}} \quad \therefore \quad y=0.5\text{米}\cdots\cdots\cdots(\text{答})$$

(15) 焦點距離 30 糎の凸レンズと曲率半徑 40 糎の凹面鏡とを 45 糎距てて軸が一致する様に置き，其のレンズに對し鏡と反對側に軸上レンズより 10 糎の點に光點を置かば其の像は凹面鏡の中心より幾糎の處に生ずるか．　〔東工〕

【解】 光點 A のレンズ L によりて生ずる像 D の位置は

$$\frac{1}{10}+\frac{1}{x}=\frac{1}{30}\quad\therefore\quad x=-15$$



即ちレンズに對し光點と同じ側に於てレンズより 15 糎の處にありて，虛なり．換言すれば光は此の點より出でたるが如く凹面鏡に投射し，依て生ずる像 C を凹面鏡の前方 y 糎とせば，

$$\frac{1}{15+45}+\frac{1}{y}=\frac{2}{40}\quad\therefore\quad y=30\text{ 糎}\ \cdots\cdots\text{(答)}$$

(16) 焦點距離 0.8 米の凹レンズと曲率半徑 0.8 米の凹面鏡とを 1.52 米距てて置く時，凹レンズの前方 1.2 米の所にある物體の像の位置及び像と物體との大さの比幾何．　〔大工〕

【解】 凹レンズによりて生ずる虛像の位置は凹レンズより

$$\frac{1}{x}-\frac{1}{1.2}=\frac{1}{0.8}\quad\therefore\quad x=0.48\text{ 米}$$

此の點より凹面鏡までの距離は $0.48+1.52=2$ 米．

故に凹面鏡によりて生ずる像の位置は凹面鏡の前方に

$$\frac{1}{2}-\frac{1}{y}=\frac{2}{0.8}\quad\therefore\quad y=0.5\ \cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

又像の大さは物體の大さの

$$\frac{0.48}{1.2}\times\frac{0.5}{2}=\frac{1}{10}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\text{(答)}$$

(17) 焦點距離 5 寸の甲凸レンズの前方 1 尺の處に物體あり．今レンズの後方 5 尺の處に立てる壁上に物體の實像を作らんとす．如何なるレンズを甲レンズと相接して組合すべきか．

又此時壁上に生ずる實像の大さは物體の幾倍なるか．〔大工〕

【解】 甲レンズのみに依つて生ずる像の位置をレンズより x 尺とせば

$$\frac{1}{1^{\text{尺}}}+\frac{1}{x^{\text{尺}}}=\frac{1}{0.5^{\text{尺}}}\quad\therefore\quad x=1^{\text{尺}}$$

次に焦點距離 y 尺の乙レンズを甲と接して置けば

$$-\frac{1}{1^{\text{尺}}}+\frac{1}{5^{\text{尺}}}=\frac{1}{y^{\text{尺}}}\quad\therefore\quad y=-1.25^{\text{尺}}$$

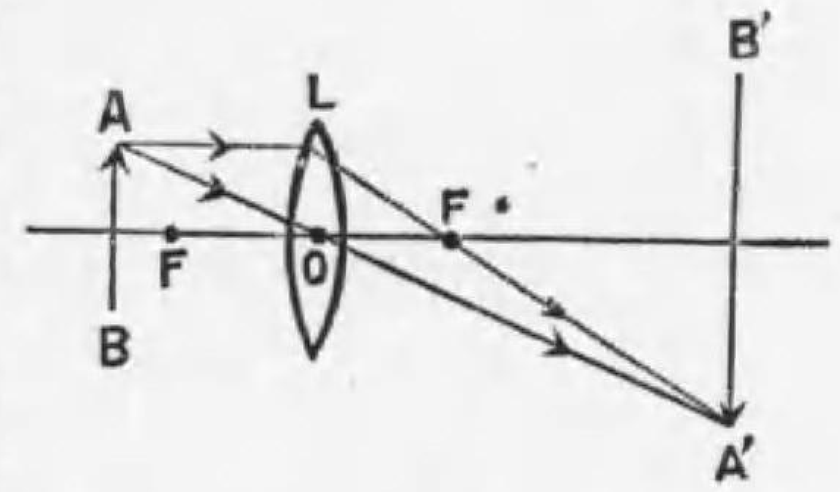
故に焦點距離 1.25 尺の凹レンズ，又像と實物との大さの比はレンズよりの實物と像との距離の比に等し．即ち 1 : 5 ………(答)

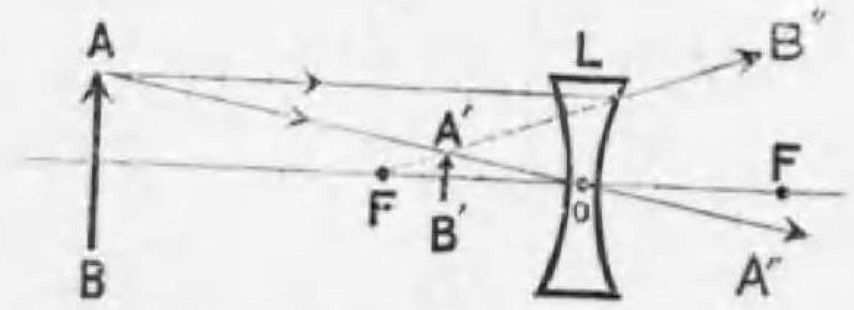
12. 像の作圖法

〔北工〕〔外16校〕

【原理】 (1) レンズの中心（實は光心）を通過する光は屈折せず．
(2) 軸に平行なる光は屈折後焦點を通過す．

【方法】 圖の如く，(イ) 物體の一點 A よりレンズの中心 O を過る直線 AA′ と，(ロ) 軸に平行なる直線 AL がレンズに交はる點 L を焦點 F（凸レンズにては物體と反對側，凹レンズにては同じ側）に結びたる直線 LF 又は其延長との交點 A′ は A の像なり．同様に B の像 B′ を得べく，從つて AB の像 A′B′ を得．（右の二圖及び 175 頁蟲眼鏡の圖を見よ）．





13. 焦點距離の公式

1. 一個のレンズの焦點距離（f）．

$$\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$$

但し n はレンズを造る物質の屈折率, R, R' は兩面の球半徑.

2. 合成レンズの焦點距離 (F)

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

但し, f, f' は夫々二個のレンズの焦點距離.

【問題】(1) 硝子製の凸レンズを水中に置きたる場合に於て之を空氣中に置きたる場合に比し, 光を收斂する作用に如何なる差異あるか. 〔上醫〕

【解】光の水より硝子への屈折率は空氣より硝子への屈折率よりも著しく小なり. 故に光を收斂する作用小となる.

(2) 一面平にて一面凹なる硝子製のレンズあり. 凹面の曲率半徑 10 糎なるときは, 此レンズの焦點距離如何. 但し硝子の屈折率は 1.5 なりとす. 〔水產〕

【解】公式 $\frac{1}{f}=(n-1)\left(\frac{1}{R}+\frac{1}{R'}\right)$ に於て

$$\frac{1}{f}=(1.5-1)\left(\frac{1}{10}+\frac{1}{\infty}\right)=\frac{1}{20}$$

$\therefore$ $f=20$ 糎 ……………………………………(答)

(3) 5 糎の焦點距離を有する凸レンズあり. 之に 20 糎の焦點距離の凹レンズを重ぬるときは合成レンズの焦點距離如何. 〔京醫〕

【解】 $\frac{1}{F}=\frac{1}{f}+\frac{1}{f'}$ に於て

$f=5$, $f'=-20$ を入るれば

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{5}-\frac{1}{20}=\frac{3}{20}$$

$\therefore$ $F=6.7$ 糎 ……………………………………(答)

(4) 焦點距離夫々 f_1 及び f_2 なる二個のレンズの軸を一致せしめ且距離 d だけ距でて置きたる組合せレンズの焦點距離を求むる公式を作れ. 〔大工〕

【解】f_1 レンズにより生ずる焦點が f_2 のために F の處に生じたりとせば

$$\frac{1}{F}-\frac{1}{f_1-d}=\frac{1}{f_2} \quad \therefore \quad \frac{1}{F}=\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_1-d} \cdots\cdots(答)$$

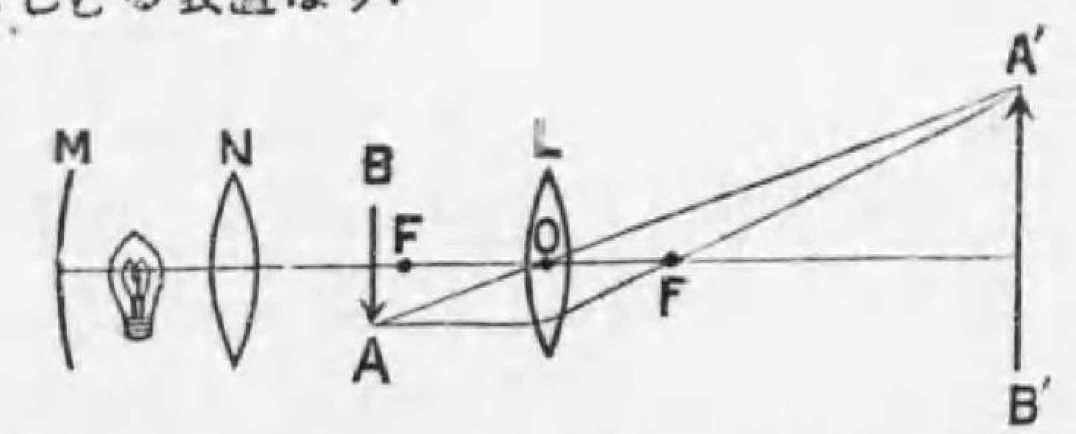
第四章

光 學 器 械

幻燈器械.—寫眞器械.—蟲眼鏡.—顯微鏡.—望遠鏡.—雙眼鏡.—眼.

1. 幻燈器械 〔海兵〕

【原理】幻燈機はレンズにより硝子板に畫ける繪の實像を映幕上に生ぜしむる裝置なり.



【作用】(1) 物體 AB を凸レンズ L の焦點 F 外に置くことを要す.

(2) 物體が焦點に近き程大なる映像 A'B' を生ず.

(3) 大なる映像を鮮明に生ぜしむるには強き光を要す.

これがため凹面反射鏡(M)と, 凸レンズ(N)とによりて電燈

等の光を物體(AB)上に集中せしむ.

(4) 實物幻燈機は映畫 AB に相當する位置に實物を置くなり.

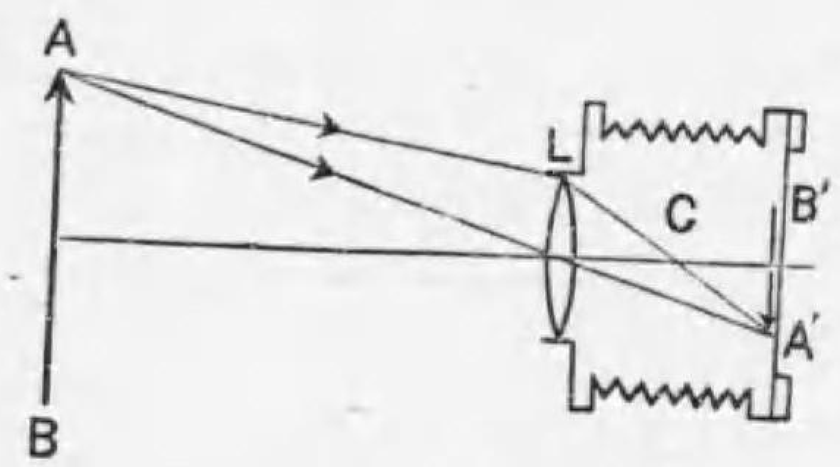
2. 活動寫眞機

【原理】 幻燈の連續せる映畫をセルロイド製フイルムに作り，之を幕上に映じ極短時間(十分一秒以內)毎に取換ふれば，眼には連續せる光感を與へ，寫眞畫は活動するやうに見ゆ.

【構造】 幻燈機と同じ. 但し映畫が細長きフイルムとなり,フイルムを動かす間はシヤッターにて光を遮ぎるやうに作らる.

3. 寫眞器械

【原理】 物體の實像を凸レンズによりハロゲン化銀を塗布せる硝子板に生ぜしむる裝置なり.



【裝置】 C は暗箱，L は凸レンズ，A′ は硝子板(乾板)にして，物體 AB の距離に應じて之を前後し，其上に實像 A′B′ を生ぜしむ.

(注意) 乾板は臭化銀を膠にて固着せるものにして，强く光を受けたる部分は亞臭化銀に還元するにより，之を焦性沒食子酸等にて洗ひ一層還元して黑色の銀粒を生ぜしむ.

【問題】 (1) 焦點距離 20 糎のレンズを有する寫眞器械にて實物の 2 倍大(長さにて)の寫眞を得んとす. 〔1〕物體とレンズとの距離及び〔2〕物體と感光板(種板)との距離を求む. 〔米工〕

【解】 物體とレンズとの距離を x 糎とすれば

$$\frac{1}{x}+\frac{1}{2x}=\frac{1}{20} \qquad \therefore \ x=30\text{糎}$$

(答) (1) 30 糎. (2) 60 糎

(2) 焦點距離 8 吋のレンズを有する寫眞機にて實物の 10 分の 1 (長さに於て)の寫眞を得んとす. 物體とレンズの距離及びレンズと感光板との距離を如何にすべきか. 〔大工〕

【解】 レンズと感光板との距離を x 吋とすれば，レンズと物體との距離は $10x$ 吋に當るが故に

$$\frac{1}{10x}+\frac{1}{x}=\frac{1}{8}$$

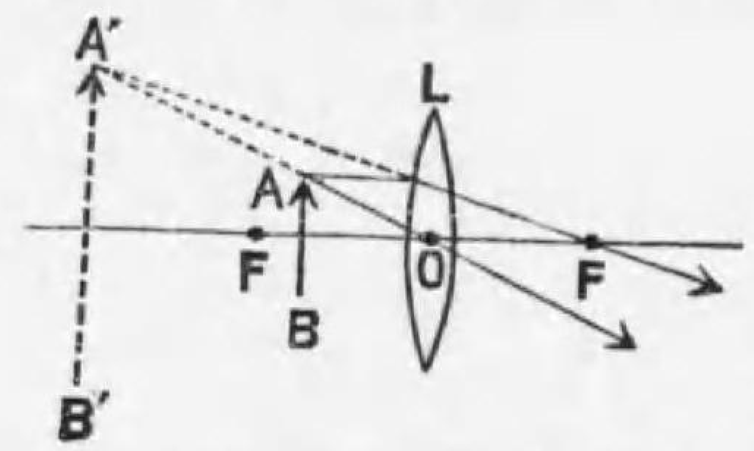
之を解きて $x=8$ 吋 ……………………………………(答)

從つて物體とレンズの距離は $8.8\times10=88$ 吋 …………(答)

4. 蟲眼鏡

【原理】 凸レンズにより物體の廓大したる虛像を見る裝置なり.

【作用】 (1) 光の通路は圖に示すが如し.



O はレンズ，F は焦點，AB は物體，A′B′ は虛像.

(2) 物體はレンズの焦點以內にあるを要す.

(3) レンズと虛像との距離は明視距離(健眼にて25 糎)にあるを要す.

(4) 倍率(像の大さ÷物體の大さ)は 1 に明視距離と焦點距離との比を加へたるものに等し. 卽ち $1+\dfrac{25}{f}$ なり. 但し f は焦點距離を，25 は明視距離を糎にて表はしたる値なり.

5. 顯微鏡

〔盛農〕〔外10校〕

【原理】 凸レンズにより小なる物體の廓大せる實像を作り，更に之を他の凸レンズにて廓大したる虛像として見る裝置なり.

【作用】 (1) 光の通路は圖に見るが如し. L は對物レンズ，L′ は