

46
178



始



46-178



育教等中

書科教學理物

授教校學範師等高京東

士學理

貞田野

編



版藏館成開

修正緒言

今回中等學校に於て文部省要目により物理生徒實驗を行ふに當り、物理科の授業時間を増さざるが故に、従来の教科書の材料を整理する必要あり。本書はこの主旨によりて、近物理學教科書に多大の修正を加へたるものなり。即ち全巻を通じて約五十頁を減じ、説明を簡潔にし、挿圖と實驗とを改修して、生徒實驗を課するに便ならしめたり。而して生徒實驗に關しては別に生徒實驗書を著して本書に伴なはしむ。

著者は本書の修正に際し、近物理學教科書に對して懇切精細なる批評を賜ひたる諸君に感謝の誠意を表す。

Handwritten mathematical notes on the right page, including partial fractions and algebraic manipulations:

$$\frac{1}{x(x-1)} = \frac{1}{x-1} - \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{x(x+3)} = \frac{1}{x+3} - \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{x(x-1)} + \frac{1}{x(x+3)} = \frac{1}{x-1} - \frac{1}{x} + \frac{1}{x+3} - \frac{1}{x}$$

大正六年十月

著者

なほ著者は文部省要目によりて生徒實驗に關する一種の裝置を編成し、明石製作所(東京市淺草區七軒町)に命じて製作せしめ、組立式中等學校物理生徒實驗裝置の名の下に發賣せしめたり。本書を使用せらるゝ諸君は、該裝置を併用せらるれば、教室及び實驗室に於て共に便利多かるべきを信ず。

緒言

著者曩に^{新定教科}中等物理學を公にし、物理學に於ける緊要なる法則を教授するは勿論、又他の學科に於て教授せざる普通の物理的現象及び諸般の近代的設備を説明し、物理的事項に關する學生の常識を養成せんことを努めたり。幸に世に認められて多少の貢獻をなすことを得たるは著者の悦ぶ所なり。爾來四年、其間同書を採用せられし教師諸君の經驗に基づきたる懇切なる助言及び批評に鑑み、同書をして現今の中等教育界に一層適應せしめんがために多大の修正を加へ、茲に本書を公にす。

材料の排列は主として文部省要目に據り、説明は平易を旨とし、數理的理論を避けて學生の經驗及び講義實驗に訴ふること、前書と異なることなしと雖も、學生の理會を容易ならしめんがために或は順序を變更し、或は説明を一層簡易にし、或は材料を更新せしもの頗る多く、新に挿入せし圖版亦百に餘り、其多くは畫家に囑して特に描かしめたるものなり。中に

就きて銚子無線電信局の寫眞は佐伯遞信技師の好意により、桂川水力發電所の寫眞は橋川東京電燈株式會社技師の好意によりて掲載することを得たるものにして、兩君に對して深く感謝する所なり。此他物理學者の肖像十餘を挿入し、卷末には補習問題集、和英對照術語集及び公式一覽を載せて學生の練習に便ならしめたり。

實驗は成るべく普通の器械及び容易に製作すべき装置にて行ひ得るものを選びたり。されど物理教室の設備は學校によりて一樣ならず、教師諸君は各其教室の設備に従ひて適宜に變改増補せられんことを希望す。著者は^{新定}教科中等物理學に就きて助言及び批評を賜ひたる教師諸君に對し、茲に謹んで感謝の意を表す。

大正四年十月

著者

目次

緒論

物理學、單位、密度

(一四)

第一篇 力學及び物性 (上)

(五一四三)

第一章 力

五

運動及び速度、慣性の法則、力、重力、力の釣合、反作用、
壓力及び張力、萬有引力、分子力

第二章 固體

三

物質の三態、固體、彈性、フックの法則、ゼンマイ秤

第三章 液體

五

液體、水平面、パスカルの原理、重力より生ずる壓力、連
通器、アルキメデスの原理、浮體、比重及びその測定、表
面張力、毛管現象

第四章 氣體 二六

氣體。氣壓計(晴雨計)。サイフォン。ボイルの法則。空氣の密度と浮力。空氣ポンプ。吸上ポンプ。壓縮ポンプ。分子説より見たる物質の三態。

第二篇 熱學 [四三七〇]

第一章 熱及びその移動 四三

溫度及び熱。熱の作用。熱の傳導。對流。輻射。

第二章 溫度及び熱量 四七

寒暖計。熱量及び比熱。

第三章 物體の膨脹 五一

線膨脹。體膨脹。水の密度。氣體の膨脹。氣體の壓力體積及び溫度の關係。氣體の密度及び壓力。

第四章 物體三態の變化 五七

融解點。融解熱及び凝固。寒劑。凝固と體積との關係。沸騰。

第三篇 力學及び物性 (下) [七一三四]

第一章 力 七

力の合成及び分解。力の能率。平行力の合力。偶力。

第二章 機械と仕事 七

槓子。斜面。仕事。仕事と機械。滑車。輪軸。螺旋。齒車。工率。

第三章 重量及び重心 六

桿秤。重心。物體の坐り。

第四章 運動 三

不等速運動。加速度。運動及び速度の合成及び分解。

第五章 運動の法則 六

運動の法則。運動量。

第六章 運動する物體 九九

落體、拋物線、圓運動、曲線運動、振子運動、彈性體の振動、廻轉運動。

第七章 運動する物體に對する抵抗 一三

摩擦、水の抵抗、空氣の抵抗、航空船、飛行機。

第八章 エネルギー 一八

エネルギー、エネルギーの量、水タービン、熱の仕事當量、液態空氣、蒸氣機關、蒸氣タービン、瓦斯機關、熱のエネルギー、エネルギー不減則。

第四篇 音學 [一三五—一五六]

第一章 波動 一三五

波動、横波、縦波。

第二章 音 一四〇

音、發音體、音の傳播、音波の速度、音波の反射、音の強

さ、音の高さ、共鳴、唸り及び干涉、樂器、音色、蓄音機。

第五篇 光學 [一五七—二〇一]

第一章 光の進行 一五七

光、光の直行像、影、光の速度、光の強さ、光度計、平面鏡の反射、平面鏡によりて生ずる像、亂反射、光の屈折、全反射。

第二章 光學器械 一七〇

凹面鏡の反射、プリズム、レンズ、凸レンズ、凹レンズ、寫眞機、眼、眼鏡、望遠鏡、雙眼鏡、潛望鏡、顯微鏡、幻燈及び活動寫眞機。

第三章 色 一八四

光の分散、光の種類と屈折率、分光器、スペクトルの種類、太陽のスペクトル、物體の色、虹。

第四章 光の作用及び輻射線 一九四

熱作用。發光作用。輻射線。輻射及び吸收。光の本性。

第六篇 電磁氣學

[1101-1175]

第一章 磁氣.....1101

磁石。磁力。クーロンの法則。磁氣の感應。磁場。地球の磁場。羅針盤。

第二章 電氣.....1131

發電。電氣に二種あり。電氣量、クーロンの法則。傳導及び放電。電位及び電壓。驗電器。電氣の感應。電氣盆。起電機。蓄電器。列田變。雷電。

第三章 電流と磁氣.....1155

電流及び電池。電池の分極。種々の電池。電流の磁氣作用。電流の磁場。電流計。アンペア計。電磁石。電鈴。電信機。電氣發動機(モートル)。

第四章 電氣抵抗.....1195

オームの法則。ボルト計。導線の抵抗。

第五章 電流と熱及び化學作用.....1245

ジュールの法則。電燈。電氣爐。電氣分解。ファラデーの法則。蓄電池。

第六章 感應電流.....1252

感應電流。感應電流の方向及び感應動電力の強さ。直流發電機(直流ダイナモ)。交流發電機。變壓器。電力輸送。電話機。振動放電及び電波。無線電信機。

第七章 眞空放電及び放射能.....1269

眞空放電。陰極線。X線。ラヂウム。

附錄第一 補習問題集

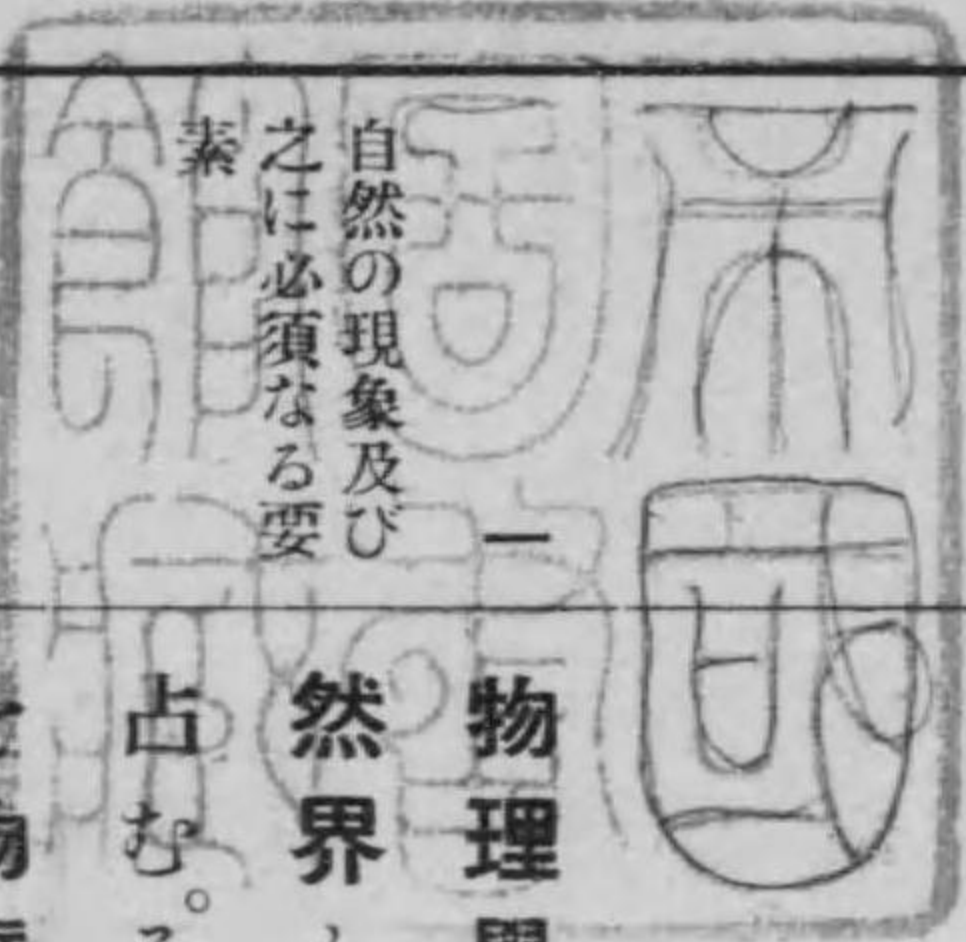
附錄第二 和英對照術語集

公式一覽

中等教育物理學教科書

理學士 野田 貞 編

緒論



自然の現象及び之に必須なる要素

自然科學と物理學

物理學。吾人が五官によりて感ずることを得るものを自然界と總稱す。吾人の周圍にある物體は皆一定の空間を占む。その空間を充たして吾人に種々の感覺を與ふるものを物質といふ。而して物體の状態は時と共に變化してやまず。この變化を自然の現象といふ。されば時間、空間及び物質は、自然の現象に必須なる要素なり。自然の現象を論ずる學問を自然科學といふ。自然の現象

は甚だ多數にして且多種なり。されば動植物及び礦物に關する現象は博物學にて論じ、物質の組立に關する現象は化學にて論ず。この兩者に屬せざる現象なほ多し。その中の運動、音、熱、光、電氣及び磁氣に關する現象を論ずるものは、即ち**物理學**なり。

物理學を學ぶ目的

これらの現象は極めて複雑なれど、子細に研究すれば、その間に一定の法則の行はるゝを發見すべし。之を**自然の法則**といふ。蒸氣機關電氣機械の如き、人類の幸福を著しく増進する種々の装置は、この法則を應用せるものなり。吾人は之より自然の法則及びその應用の一斑を學ばんとす。

二

單位の必要

單位。自然の現象を研究するには、種々の量を測らざるべからず。量を測るには**單位**を要す。時と長さ^と物質の量^{即ち質量}との三種の單位を**基本單位**といふ。

時間の單位

時間の單位なる平均太陽日は、太陽が一度南中してより再び南中するまでの時間を、一年につきて平均したるものなり。一日の八六四〇〇分、一を秒とす。

長さの單位

長さの單位なるメートル(米)は帝國政府の保管する一つの金屬棒に刻みたる標線の間の長さ^{溫度攝氏〇・一五度にして、その一〇分、一をセンチメートル(厘)とす。一尺は即ち一米の三・三分、一なり。}

質量の單位

質量の單位なるキログラム(珎)は帝國政府の保管する一つの金屬塊の質量にして、その一〇〇〇分、一をグラム(瓦)とす。一貫は即ち一珎の四分、一五なり。

三

厘を長さの單位とし、瓦を質量の單位とし、秒を時の單位とする仕組を**CGS制**といふ。
密度。一物體の單位體積内にある質量を、その物體の**密度**

密度の單位

といふ。さればCGS制にては、密度を測るに、一立方糎内にある物質の瓦數を用ふ。溫度四度の水は、一立方糎の質量一瓦なるが故に、その密度は即ち一なり。

密度の表 (五種)

白金	二五	鐵	七六	海水	一〇二六
金	一九三	亞鉛	七二	水	一〇〇
水銀	一三五九六	アルミニウム	二七	水	〇九二八
鉛	一一三	硫酸	一八五	アルコール	〇七九
銀	一〇五	硝酸	一五九	杉	〇四〇
銅	八九	人體	一〇七	ユルク	〇二四
真鍮	八四	牛乳	一〇三		

此の如く、密度の單位は、長さ質量との二種の單位より導かる。基本單位の他に、物理學にて用ふる種々の單位は、すべて皆基本單位より導かるものなり。

物理學にて用ふる諸單位

第一篇 力學及び物性(上)

第一章 力

運動及び速度。 物體がその位置を變ずることを**運動**といふ。運動には必ず方向あり、また速さあり。速さは單位時間を通じて距離によりて測る。例へば汽車が四分間に六糎を通過するときはその速さは毎分一・五糎或は毎秒二五〇〇糎なり。之を略して一・五分糎或は二五〇〇秒糎と呼ぶ。

運動の方向と速さとを併せて**速度**といふ。運動の方向は速度の方向にして、速さは速度の大きさなり。されば速度を圖に示すには、運動の方向に直線を引き、その長さにて速さを表すを常とす。

速度を變ぜざる物體は**等速運動**をなすといふ。

〔問〕 一九一二年ゴールドンペンネット飛行杯競争に、ペドリン氏は六分五五九秒間に二〇斤を飛ばして世界の記録を作りたり。この速度の大きさを時里及び秒米にて表せ。

二

慣性の法則。 力。矢は弦に押されて飛び、飛ぶ球はバットによりてその運動を變ず。すべて物體は靜止すると運動するとに關らず、他の物體が之に作用するにあらざれば、その靜止運動の状態を保持するものなり。この外物の作用を力といふ。即ち
外より力を加へざる時は、靜止する物體は始終靜止し、運動する物體は等速運動をなす。
之を**慣性の法則**といふ。

力の三要素

此の如く力は物體の速度を變せしむるものにして、この變化は力の大きさ、方向及び作用點によりて差あり。即ち力はこの三要素にて定まる。されば力を圖に示すには、力の作用點よりその方向に直線を引き、その長さを力の大きさに比例せしむるを常とす。

・〔問一〕 汽車の急に動き出すときは、車内に立てる人は後へ倒れんとし、急に止るときは、前へ倒れんとす。何故なるか。

〔問二〕 小刀が柄より抜けかかりたる時、柄を打ちて抜けざるやうにすることを得るは、何故なるか。
解 急を止る時は、前へ倒れんとす。何故なるか。解 急を止る時は、前へ倒れんとす。何故なるか。解 急を止る時は、前へ倒れんとす。何故なるか。

三

物體落下の原因
物體の重量

重力。 すべて物體は、之を支ふるものなきときは、皆地球の中心に向ひて走る。之を**落下**といふ。これ地球が物體を引くによるなり。地球のこの引力を**重力**といふ。地球が物體を引く力の大きさを、その物體の**重量**といふ。重量は物體によりて等しからず。實驗によれば、物體の重量はその質量に比例し、物質の種類には關せず。

力の單位

この法則によりて、吾人は天秤にて物體の重量を測りて、その質量を知り、また通常單位質量の重量を力の單位とす。例へば一砵の重さ、二貫の重さといふが如し。

四

力の釣合。一つの力が靜止せる物體に働くときは、之を運動せしむれど、綱引または棒押の例にて明なるが如く、大き

相等しき二力が同じ直線に沿ひて反對の方向に同じ物體に同時に働くときは、物體は運動を起すことなし。すべて、



數力が同時に同じ物體に働きて、之を運動せしめざるときは、これらの力または物體は釣合へりといふ。掌にて球を支ふれば、球の重量は球を下方へ引き、掌は之に等しき力にて球を上方へ押し、二力は釣合ひて、球は靜止す。

五

反作用。手にて車を押せば、手は車に押さるゝを覺え、手にて舟を引けば、手は舟に引かるゝを覺ゆ。これ慣性に基づく舟車の抵抗によるなり。此の如く甲物體が乙物體に力を加ふれば、乙物體も甲物體に力を加ふ。前者を作用といひ、後者を反作用といふ。實驗によれば

作用と反作用とは、大きき相等しく、方向相反す。

之を反作用の法則といふ。吾人の歩行は反作用を利用するものにして、足は地を後方へ押し、その反作用として地は吾人を前方へ押すなり。

〔簡一〕 自轉車及び機關車は如何にして進行するか。

〔簡二〕 小銃を發射する際、銃尾をあてたる肩に打撃を感ずるは、如何なる理によるか。

六

壓力及び張力。掌上の球は、接觸面にて掌を下方へ押し、掌

は同一面にて同一の力を以て球を上方へ押す。一は作用にして、一は反作用なり。此の如く接觸面に垂直に相押す力を**壓力**といふ。棒押の棒を垂直に切る平面に就きて考ふるに、その兩側の部分は相押すが故に、棒の内部には**壓力**あり。之に反して綱引の綱の各部は相引く。この場合には**張力**ありといふ。接觸面の單位面積内の**壓力**または**張力**を各その強さといふ。

七

萬有引力。ニュートンは天體運動觀測の結果によりて、宇宙



Mr. Newton

ニュートン
(一六四二—一七二七)
英人、ケンブリッ
ヂ大學の教授た
り。萬有引力の
法則を確定し、
微積分學を創建
し、運動の三則
を發表し、光に
關して重要な
發見をなせり。

間の萬物は、皆左の法則に従ひて互に相引くことを發見せり。
二物體の引力は、その質量の相乗積に比例し、その距離の二乗に反比例す。
この力を**萬有引力**といふ。



八

分子説

分子間の引力

重力もまたこの萬有引力に外ならず。地上の物體もまた互に相引く。されどその相引く力は、これらの物體の重量に比して非常に小にして、吾人は通常之を感じず。
分子力。すべて物體は皆機械的に分割することを得べし。例へば一塊の砂糖を碎けば、その各片は甘味を帶ぶ。更に之を細分するに、その各粒はなほ砂糖の特性を具ふ。されど、この分割を繼續すれば、吾人は終にもはや分つべからざる砂糖の微粒に達すべきことを信じ、この微粒を**分子**と名づけ、物體は皆この分子の集合體なりと考ふ。
すべて物體は強く壓しまたは冷せば、皆多少收縮するが故に、その内部に空隙あることを知る。されば物體を構成する分子は互に密接せずして、常にその間に若干の短距離を保つものなり。これらの分子はこの**近距離**にて互に相引く。

この引力を**分子力**といふ。同種の分子の間の引力を**凝聚力**といひ、異種の分子の間の引力を**附着力**といふ。例へば水が滴をなすは凝聚力により、糊が木片などに固く附くは附着力による。

第二章 固體

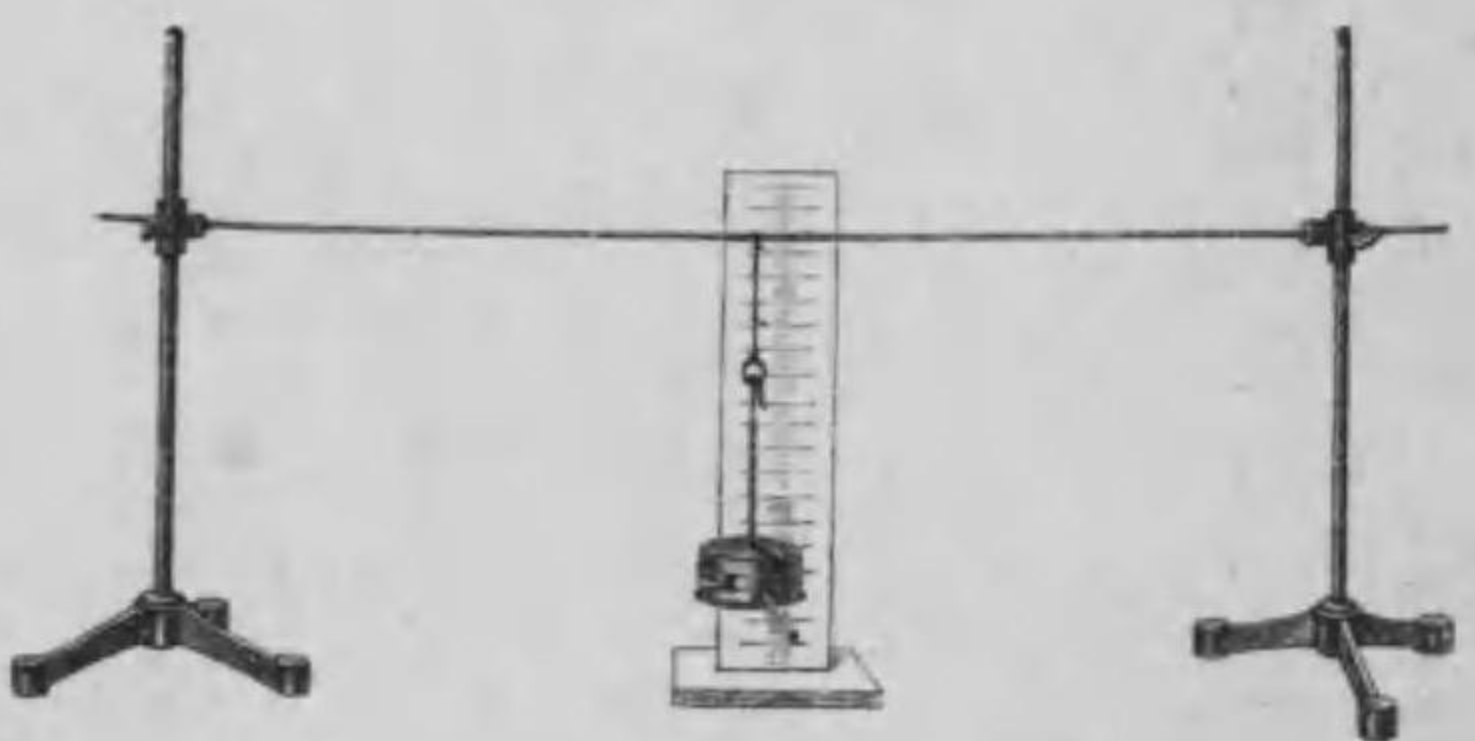
九 **物質の三態**。すべて物質は略三種に分る。木、石、金などの如く、常に一定の體積と形狀とを保つものを**固體**といひ、水、油、水銀などの如く、一定の體積を保てど、形狀かたちめその容器によりて定まるものを**液體**といひ、空氣の如く如何なる器の中にありても常に之を充たし、その體積も形狀も容器によりて定まるものを**氣體**といふ。液體と氣體とを**流體**と總稱す。

一〇 **固體**。鋼鐵棒を折るには大なる力を要す。これ鐵の各分子はその周圍の分子より大なる力を受け、容易に位置を變ぜざるによる。すべて固體がその體積と形狀とを保つは、その**凝聚力**の大なるによる。而して一旦折れたる鋼鐵棒は折れ口を合はせて押附けても舊の如く固著せず。されど折れ口を熱し、柔にして押附くれば、棒は舊の如く接がる。これ分子力の働くは甚だ近き距離に限ることを示すものなり。

〔問〕 石墨の粉を強く壓縮すれば、鉛筆の堅き心となる。何故なるか。

二 **彈性**。ゴム紐ゴムの紐の両端を引張れば、ゴム紐は細長くなれど、手を放てば直に原形に復す。また鋼鐵棒の両端を水平に支へて、その中央に分銅を懸くれば、鋼鐵棒は撓めど、分銅を除けば直に原形に復す。此の如く、外力のため一時歪ひずみを生ずれど、外力去れば直に原形に復する性質を**彈性**といひ、ゴ

彈性の界限



ム、鋼鐵の如く彈性に富める物體を彈性體といふ。
 されど、ゴム紐も餘り長く引張れば、手を放ちても舊の長さに復らず。鋼鐵棒も餘り強く撓むれば、分銅を除きても原形に復せず。されば物體の彈性には一定の界限あり。金、銀、銅などはこの界限小にして、容易にその形を變ず。打ちて箔となし、引きて線となし、また鋼鐵の型にて貨幣などの紋章を打出すことを得るは、之がためなり。硝子などは、彈性の界限を超ゆれば直に破る。此の如きを脆しといふ。

三

フックの法則

ゼンマイ秤

英人フックの研究によれば、

彈性の界限内にては、物體の歪は之を生じたる力に比例す。

之をフックの法則といふ。

ゼンマイ秤の理

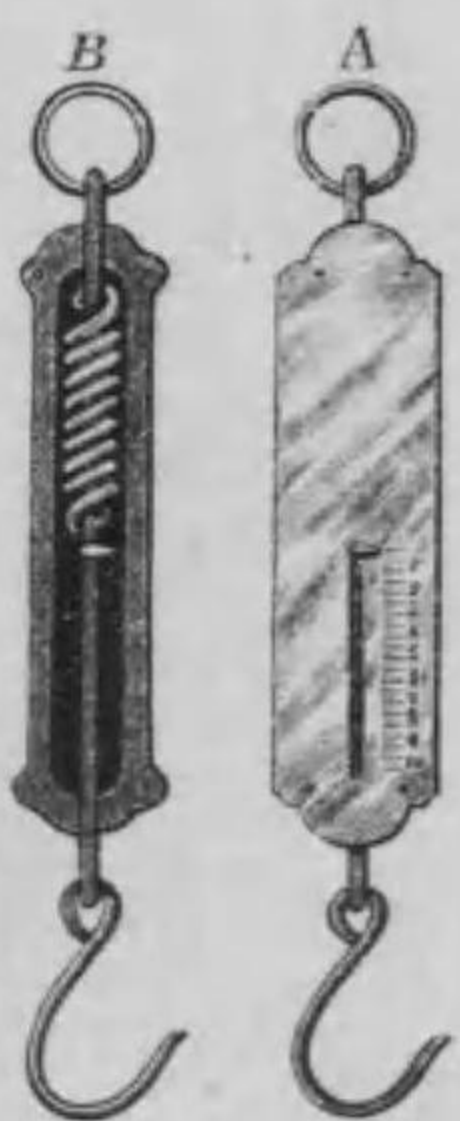
今鋼鐵線にて螺旋を作り、その一端を固定して他端に分銅

を懸くれば、螺旋は延長し、分銅の

重量を二倍すれば、二倍だけ延長

す。されば延びたる長さを目盛

にて測りて物體の重量を測るこ



とを得。之をゼンマイ秤といふ。

第三章 液體

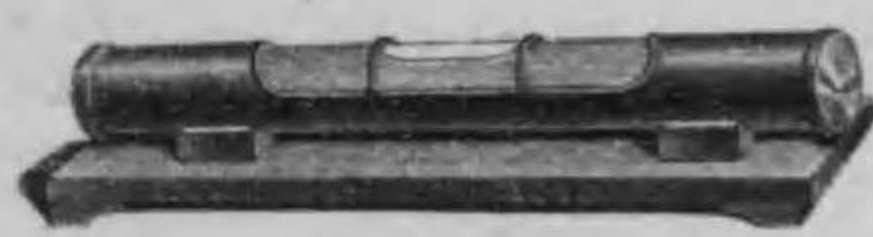
三

液體。液體は固體よりも壓縮し難けれど、極めて容易に形を變ず。これ液體の一部分は他の部分に沿ひて滑り動く為

と極めて容易なるによるなり。されば液體の分子は、互に一定の距離を保てど、分子力弱く、容易にその位置を變ずるものと知るべし。

二四 液の表面の水平なる理

水平面。此の如く液體の各部分は、外力のために容易に動くが故に、器に液體を容るれば、その各部分は重力の方向に滑り動きて地球の中心に近づき、その結果、液は容器の下部を充たし、表面は重力の方向即ち鉛直線に直角となる。水平面



これなり。面の水平なるか否かを檢するには、圖の如き水準器を用ふ。この器は、少し曲れる硝子管内に液を入れ、少許の氣泡を遺して管を密閉し、之に臺を附けたるものにして、之を水平面に載すれば、氣泡は器の中央即ち管の最高處に來る。

水平面の検査

〔問〕地球を包む海洋の表面は何故に球形なるか。

二五

パスカルの原理。豆を筒に入れ、活塞にて上より押せば、活塞に押されたる豆は、その下にある豆と豆との間に割りこみ、たゞ下方へのみならず、前後左右へ之を押し、筒の下底及び側壁に壓を加ふ。之によりて各部分の極めて滑り易き液體に就きて、左の事實を理會することを得べし。

器内にある液體の一部に加へたる壓力は、同じ強さにて液體の各部に傳播し、いづれの表面にも直角に作用す。之をパスカルの原理といふ。

されば硝子鑊に水を充たし、小孔を具ふるゴム栓を嵌め、板にて之を押さへ、ゴム栓の小孔に金屬棒を押込むときは、壓力は水の全體に擴がり



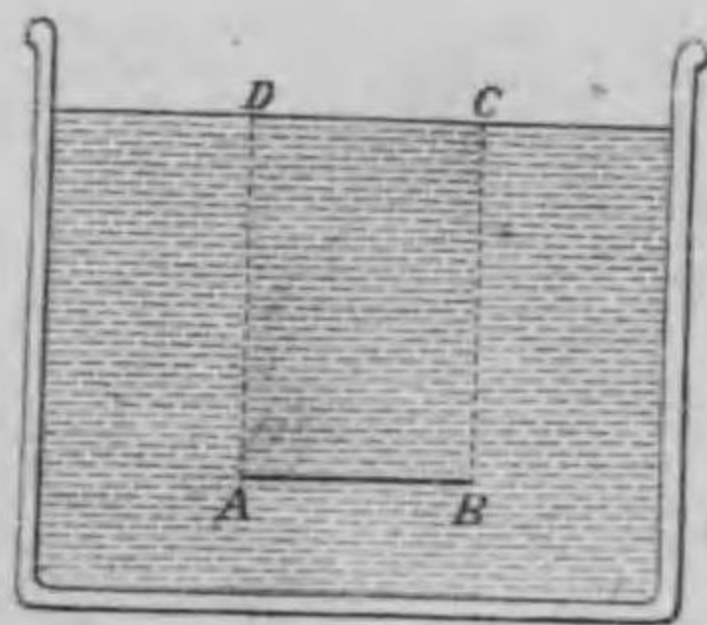
液體の壓力傳播の實驗

て鑊の全面に加り、棒を少し強く押せば、鑊は碎くべし。この際、棒に加へたる力を一貫とし、棒の切口の面積を一平方分とすれば、鑊の内面は各平方分に一貫の壓を受くるが故に、鑊の全面積を五寸平方即ち二五〇〇平方分とすれば、その受けたる壓力は二五〇〇貫なり。

水壓機はこの理に基づきて大なる壓力を生ずる装置にして、絲綿などの壓縮、重砲の操縦などに用ふ。

一六

液内の壓力の強さ



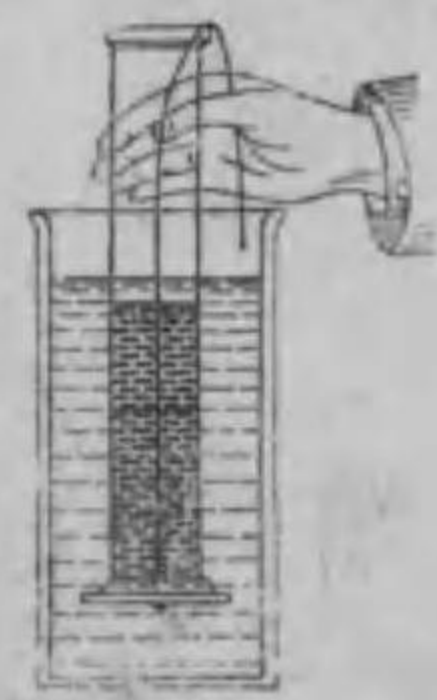
重力より生ずる壓力。液の上層はその重量にて下層を壓す。されば液中の水平なる面積 AB は、その上にある液柱 $ABCD$ の重量に等しき壓力を受く。今液の一立方糎の重量を h 瓦とし、面積 AB を一平方糎とし、その深さを h 糎とすれば、この壓力は hd 瓦なり。されば静止せる

液の内部に於ける壓力の強さは深さに比例し、同じ深さにありては相等しきことを知るべし。而して液中に於ける壓力の傳達は方向に關せざるが故に、液面より一定の深さにある面の受くる壓力の強さは、面の方向に關せず、常に相等し。

〔問一〕 堤防を築くに下部を堅固にするは何故か。

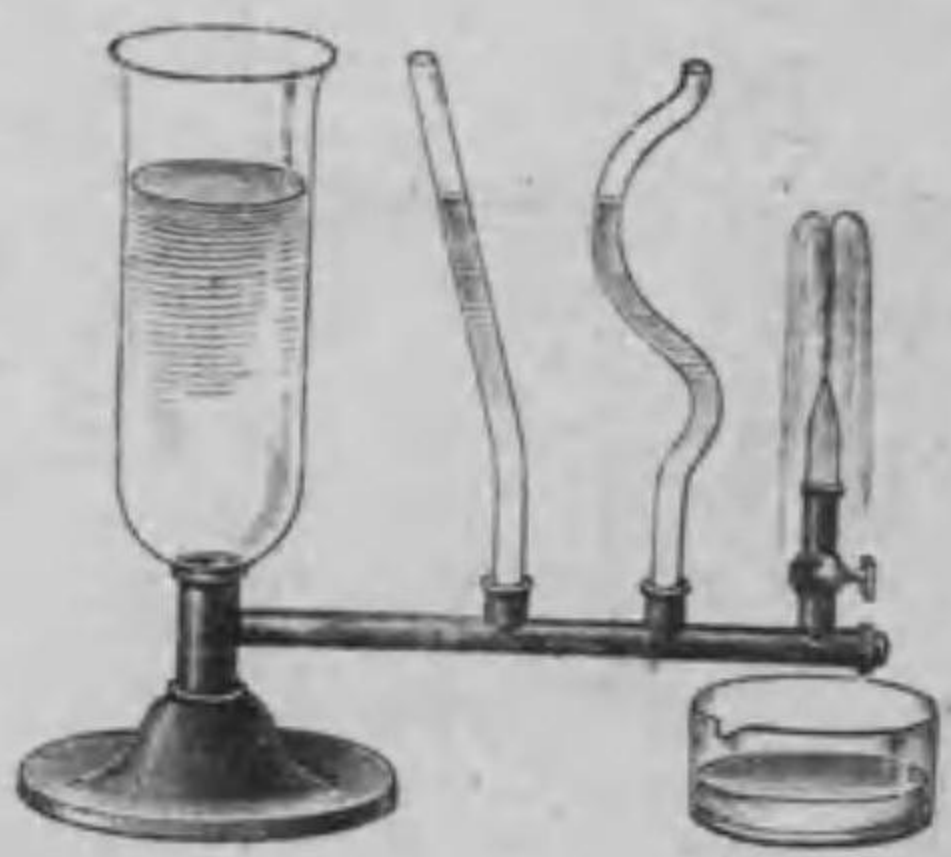
〔問二〕 世界第一の深淵は南洋ミンダナオ島の東方四〇哩の沖合にありて、深さ九七八八米なりといふ。この海底の水壓幾許なるか。

〔問三〕 兩端の開きたる硝子筒の下端を圓板にて塞ぎ、之を水中に沈むること、圖の如くすれば、圓板は落ちず。筒内に水を注ぎて内外の水面略同じき高さとなれば、圓板は落つべし。之を説明せよ。



二七 連通器。圖の如く、種々の形をなせる大小數箇の管を水平管にて連ね、その一本に水を入れるれば、いづれの管にても、水

連通器の應用



連通器の各管に異なる液を入れたる場合

各處に連絡す。されば水は常に全管に充ち、栓を開けば直に
 迸り出づ。掘抜井の水の溢れ出づるもこの理に基づく。
 今U字管に水銀を入れて兩臂の下部を充たし、次にその片
 臂に水を注加すれば、水及び水銀の表面は、圖の如き位置に
 静止すべし。假に二液の境界面Bの水平面以上にある水
 柱BFと水銀柱AEとを同時に取り去りたりとせば、AB以下の
 水銀は依然として静止すべし。随つてこれら兩柱がA及び

液體の密度の測定



し、兩液の密度を各d、d'とすれば、

$$hd = h'd'$$

Bに加ふる壓力の強さは互に
 相等し。されば水平面ABより
 兩液面までの距離を各h、h'と

即ち兩液の境界面より測りたる、兩液柱の高さは、その密度
 に反比例す。この理によりて液體の密度を測ることを得。

〔問〕 連通管の一方に或液を入れ、他方に水銀を入れたるに、二液の静止せ
 しとき、二液の境界面より兩液面までの高さ、水銀は〇・一七五米にして、
 他の液は、〇・二八米なりといふ。この液の密度と水銀及び水の密度と
 の比を求む。

(陸軍士官學校)

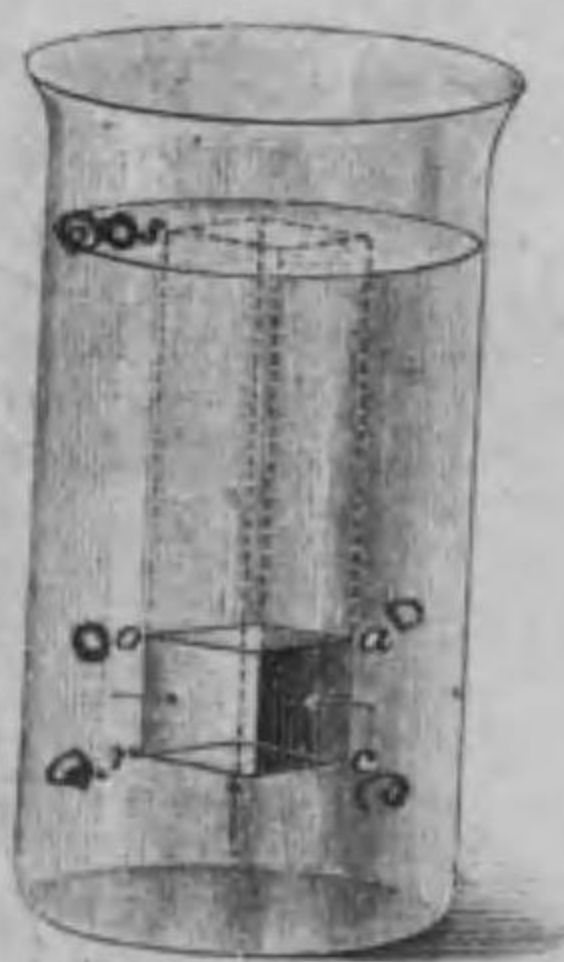
一八 アルキメデスの原理。 柄杓にて水を汲むに、その水面を離
 るゝ際に急に重くなるを覺ゆ。すべて

アルキメデス
(前二七四―前二三)
シラクサ人。有名なる幾何學者にして、 π を決定し、圓の面積を求め、挺子の法則を發見せり。



液中にある物體は、その排除したる液體の重量だけ軽く見ゆ。

之をアルキメデスの原理といふ。その理を考ふるに、圖の如く四角壻を液中に沈め、その一面を水平ならしむれば、前後左右の四面に作用する壓力は、水平にして互に釣合へど、上下兩面に作用する壓力は、然らず、上面に働く壓力は液柱 *soa* の重量に等しく、下面に働く壓力は液柱 *src* の重量に等しくして、その差は四角壻と等體積なる液の重量に等し。この力は四角壻を上方へ壓して物體は恰も重量を減じたるが如く見ゆ。この壓し上ぐる力を浮力といふ。



物體浮沈の理

この原理によりて、(一)物體の重量が等體積の液の重量より大なるときは、重力は浮力に勝ちて、物體は底に沈み、(二)物體の重量が等體積の液の重量より小なるときは、浮力は重力に勝ちて物體を壓し上げ、その一部分を空氣中に出して、排除したる液の重量を物體の重量に等しからしめ、(三)物體の重量が等體積の液の重量に等しきときは、物體は恰も重量なきが如く、液内隨處に止る。

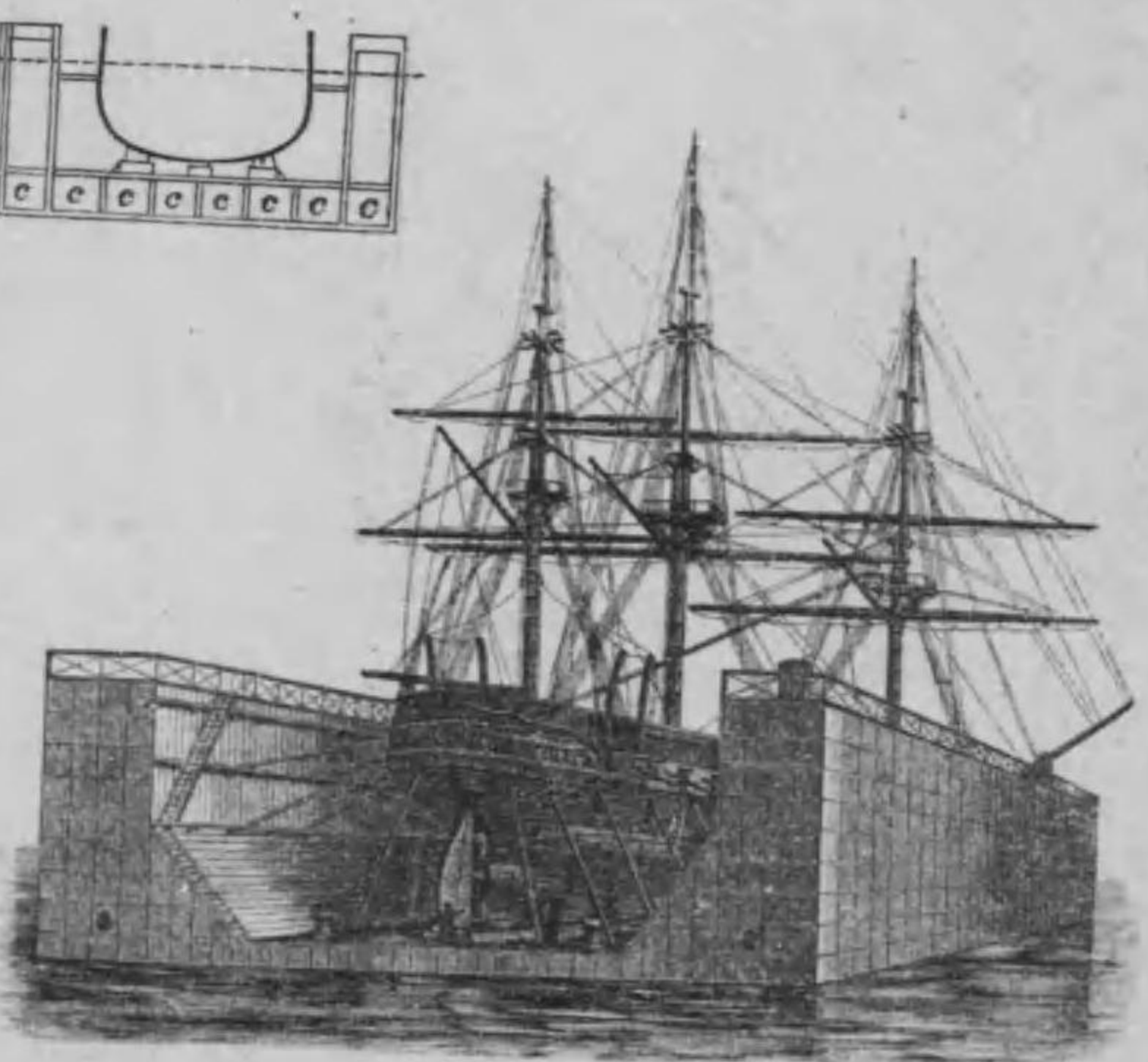
○〔問〕海上に浮かぶ氷山あり。水面上の體積七〇〇〇〇〇立方尺なるときは、その全體積幾許。
(高等學校)

一九
船の排水噸數とは、船が石炭食糧人員貨物などを滿載したるときに排除する水の重量にして、即ち船の最大重量なり。

浮體。浮かびたる建造物の最も重要なるものは船なり。船を構成せる材料は、鋼鐵の如き重き物質なれど、その内部に空處ありて、割合に多量の水を排除するが故に、水面に浮かぶなり。

下の小き圖は浮船渠の内部の構造を示す。eなる室に水を入れて船渠をA線まで沈めたる後、修繕すべき船を入れ、適當なる位置に据ゑたる後、eにある水をポンプにて汲み出せば、浮船渠はB線まで浮かび出づるが故に、大工は自由に船底の工事をなすことを得べし。

二〇



この比をその物體の比重といふ。前者の密度をG、S制にて物體の密度を表す數なり。

浮船渠及び潛航艇は、共に水の通らざる壁にて劃したる室を備へ、之に水を入れるれば、沈み、排水すれば浮かぶ。

〔問〕自動車を長さ一八尺、幅九尺の矩形をなせる渡船に載せたるに、船はこれがために三寸だけ沈みたりといふ。この自動車の重量を問ふ。

比重及びその測定。物體の密度と溫度、四度の水の密度、後者の密度は一瓦厘なる比

固體の比重の測定

液體の比重の測定

浮秤の使用

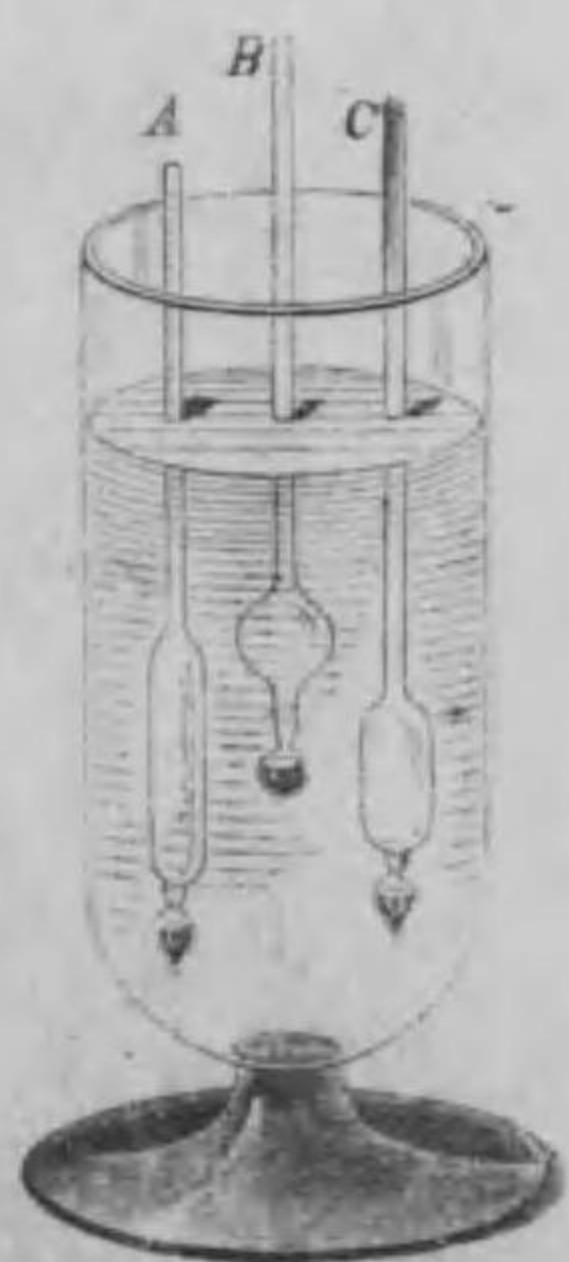
固體の比重を測るには、まづその重量を空氣中にて測り、次に水中にて測る。その大きさを各W'とすれば、固體に等しき體積を有する水の重さは、 $\frac{W'}{W}$ なり。さればこの固體の比重は $\frac{W}{W - W'}$ なり。



液體の比重を測るには、通常圖に示せる比重罫を用ふ。まづ罫の重量Wを測り、次に之に水を充たして、その重量W₁を測り、次に水の代に比重を求むる液體を入れてその重量W₂を測れば、この

液の比重は $\frac{W - W_1}{W_2 - W_1}$ なり。

浮秤は液體の比重を簡便に測る器械なり。この器は圖の如き形をなせる硝子管にして、そ



の下部に水銀または鉛の小粒あり。之を水中に放てば、直立して浮かび、液の比重の大なる程、沈むこと淺きが故に、液面にある管の目盛によりて液の比重を測ることを得。

〔問一〕 空氣中にて測れば五八瓦にして、水中にて測れば四六瓦なる物體の體積及び比重を求む。
(海軍機關學校)

三

表面張力。 硝子管の端に吹きたる石鹼球は、緊張したるゴム膜の如く、常に收縮せんとし、口を放てば球内の空氣は管端より押し出されて風をなし、球は縮みて終に平面膜となる。此の如く、液面の收縮せんとする力を**表面張力**といひ、分子力の作用に屬す。雨露または水銀の滴が球狀をなすは、その表面張力のために最小面積を取らんとするによる。表面張力の大きさは、水銀最も大にして、水之に次ぎ、油、アルコール、エーテル及び諸種の溶液また之に相次ぐ。

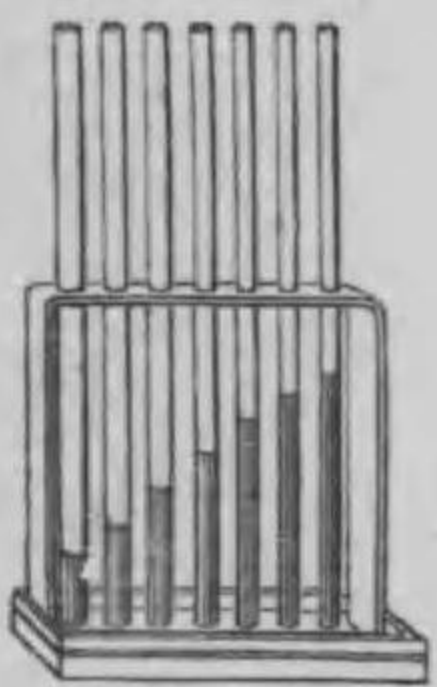
〔問一〕 銃丸を作るには、熔けたる鉛を高塔の上より篩ひ落し、之を塔下の水に受くるなり。その球形となるは、何故か。

〔問二〕 一滴の油を水面に落せば、油は急に水面に擴がる。その理如何。
(水産講習所)

三

毛管現象。 液體を硝子器に容るゝに、その硝子に接する處、水は液面上に曲りて稍昇り、水銀は液面下に曲りて稍降る。これ硝子と水との附着力は水の凝聚力より大にして、硝子と水銀との附着力は水銀の凝聚力より小なるによる。

細き硝子管即ち毛管を水中に立つれば、水は一定の高さまで管内に昇りて、釣合の有様となる。これ管内の水面は圖の如く凹形をなし、表面張力によりて上方に向ふ力を生じ、水柱を支ふるによる。之に反して、次の圖の如きU字



毛管現象の説明



管内に水銀を入るれば、毛管内の水銀面は凸形をなし、その表面張力は下方へ向ふ力を生じ、他の太き管の水銀面より低く止る。此の如き現象を毛管現象といふ。毛管の内外に於ける液面の高さの差は、同じ液體にては、管の直徑に反比例す。毛筆が墨汁を吸ひ、油が紙に浸むなどは、この現象に屬す。

〔問一〕衣類に附きたる蠟の汚點は、その上に吸取紙を置き、燒鏝をあつれば、除き去ることを得べし。何故なるか。

〔問二〕水をビーカーより傾け注ぐに、後引すれば、硝子棒を用ひて防ぐことを得べし。何故なるか。

第四章 氣體

三 氣體は外力を加へて壓縮し得べきこと、吾人が玩具

空氣の重量

二四

用の空氣銃に就きて經驗する所なり。されど外力を去れば、氣體は直に膨脹して容器内に擴がり、その側壁を壓す。これ氣體の各部分は運動極めて自由にして、常に相遠さからんとするに基づく。さればバスカルの原理及びアルキメデスの原理は、氣體にも行はる。

氣壓計(晴雨計)。氣體は固體及び液體に比べて甚だ輕けれど、空氣一尺立方の重量は約十匁にして、天井の高さ八尺五寸の八疊の室の空氣は約十二貫の重量を有す。されば、水が重力のため、その下にある物體を壓すが如く、空氣もまたその重量によりて下にある物體を壓す。空氣のこの壓力を氣壓といふ。

地表に於ける氣壓はトリチェリーの實驗によりて測ることを得。即ち長さ一米足らずの一端開きたる硝子管に水銀

トリチェリー
(一六八七)
伊太利人。ガリ
レオの弟子。

トリチェリーの
實驗



を充て、その開端を指にて押さへたるまゝ倒にして、盤内の水銀中に立て、次に指を放てば、管内の水銀面は降りて、盤内の水銀面より略七六厘の高さに停るべし。これ氣壓が盤内の水銀面に働くによる。管の上部は殆ど眞空にして、水銀柱は上より少しも壓力を受けざるが故に、連通器の理によりて、水銀面の氣壓はこの水銀柱の壓力に等しかるべし。されば水銀柱の高さにて氣壓を測り且之を表示す。この装置を氣壓計といひ、氣壓の變化は晴雨に密接なる關係あるが故に、之を晴雨計ともいふ。通常用ひらるゝ晴雨計は次の圖に示すが如く、下部には盤内の水銀面に觸るゝ象牙の針あり、上部にはこの針尖より測りたる高さを目盛して、水銀柱の長さを讀むに便ならしむ。

通常の晴雨計

アネロイド晴雨計

氣壓の強さ



別にアネロイドといふ水銀を用ひざる氣壓計あり。その主要部は金屬の薄板にて作りたる太鼓の内の空氣を稀薄にしたるものにして、氣壓の増減のために生ずる薄板の歪の大きさによりて氣壓を測る。氣壓は、處によりて異なるは勿論、同じ處にても時と共に變ずれども、平均七六厘水銀にして、一平方厘に一〇三三五または一平方寸に二五三〇匁なり。この壓力の強さを一氣壓といひ、壓力の單位とす。

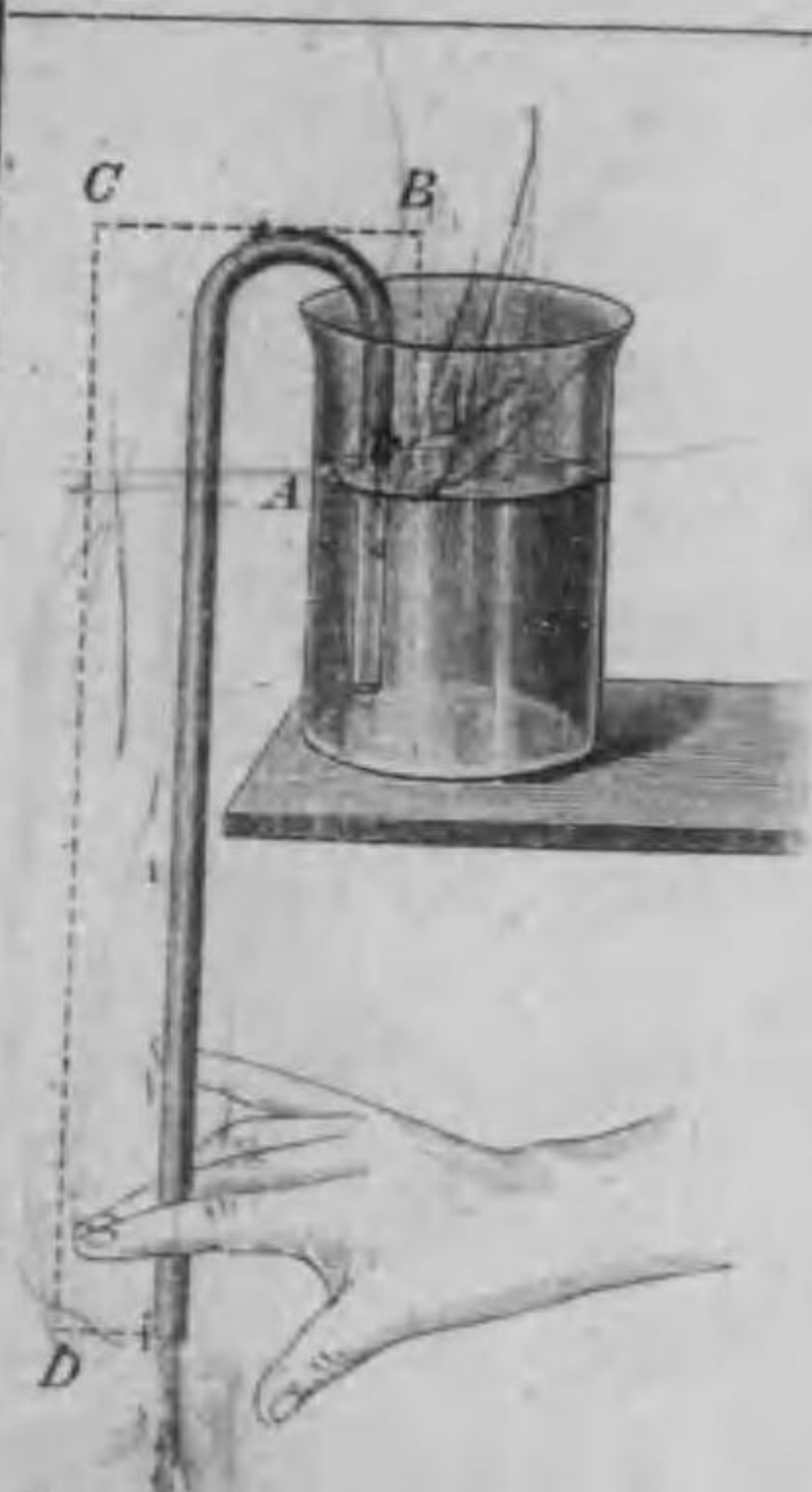
〔問一〕 晴雨計を傾くれば、管中の水銀の高さは變ずるか。(東京高等師範學校)
〔問二〕 水をU字管に入れ、その一端を瓦斯管に連ねたるに、大氣に接する

水面は他の面より一二種高かりき。而してこの際、氣壓は七五六種なりしといふ。瓦斯の壓力の強さを求む。

〔問三〕 一九頁問二に於て大氣の壓力を一氣壓として改算せよ。

二五

サイフォンの理



サイフォン。氣壓を利用したる器械に數種あり。サイフォンはその一なり。この器は長短兩脚を具ふる曲管にして、之に水を充たし、指にて長脚の端を塞ぎ、圖の如く短脚を上器の水中に挿入して指を放せば、水は絶えず長脚より流出すべし。この理由を考ふるに、水は全く管を充たすが故に、一方より壓す力が他方より壓す力より大なるときは、水は流れざるを得ず。然るに水面Aにて管内の水を上方へ壓す力は、氣壓より水柱ABの壓を

減じたるものにして、D端の水を上方へ壓す力は、氣壓より水柱CDの壓を減じたるものなるが故に、D端が水面Aより低きときは、水面Aに於ける上壓はD端に於ける上壓より大なり。されば水はD端より流出す。

〔問〕 バスカルはサイフォンの曲り目が上の水面より三四尺以上の高さにあるときは、水の流出せざることを實驗せり。この理由を問ふ。

二六

氣體の體積と壓力との關係

ボイルの法則。空氣が體積を減ずるに隨ひて壓力の強さを増すことは、空氣銃によりて知るべし。今圖の如くカラシを具ふる硝子管Aをゴム管にて硝子管Bに連れ、之に水銀を入れ、カランを開閉して一定量の空氣をA管内に密封すれば、その壓力は外氣の



ボイル

(一六六一年)
英人。その名を冠せる法則の外に實驗によりて數多の發見をなせり。英國皇立協會の創立者なり。



○一定量の氣體の體積は一定の溫度にてはその壓力の強さに反比例す。

之をボイルの法則といふ。されば壓力の強さPにて體積Vを有する氣體が壓力の強さP'のとき體積V'を有すとすれば、

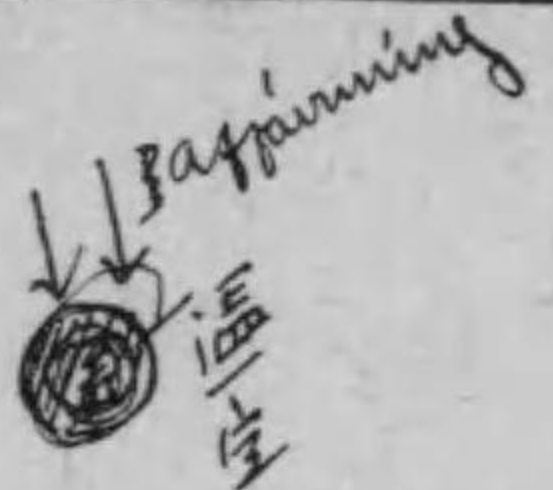
ボイルの法則の公式

$P \cdot V = P' \cdot V'$

$PV = P'V'$

即ち一定量の氣體の壓力の強さと體積との相乗積は常に一定す。而して一定量の物體の密度はその體積に反比例

$P \cdot V = P' \cdot V'$
 $\frac{P}{P'} = \frac{V'}{V}$
 $\frac{P}{P'} = \frac{V'}{V}$



するが故に、氣體の密度はその壓力の強さに比例す。

〔問一〕左表はボイルの實驗の結果なり。之によりて密閉せられたる空氣柱の長さを横軸に、壓力の強さを縦軸にして、體積と壓力の強さとの關係を示す圖表を描け。

空氣柱の長さ(吋)	壓力(吋水銀)
12	19.1
10	35.3
9	39.3
8	44.2
7	50.2
6	58.8
5	70.7
4	87.9
3.2	107.8

〔問二〕長さ二〇吋の試験管を倒にして水中に沈めたるに、水は管底より八吋の處まで進入したりといふ。水の深さ幾許なるか。(これ水深を測る一方法なり。)

二七

空氣の密度と浮力。溫度零度にて一氣壓の空氣の密度は

○〇〇一二九三瓦厘なり。大氣は上層に至るに隨ひて、その壓力の強さを減ずること、液體の場合の如く、富士山巔^{三七一五米}にては平均氣壓四九厘水銀なり。隨つて、上層の空氣は次第に稀薄となり、四十里以上の高さにては殆ど空氣の存在を認むること能はず。

氣壓と高さ

空氣層の厚さ

一七八三年佛人
シヤールはパリ
にて始めて水
素輕氣球を製し
之に乗りて上昇
した。

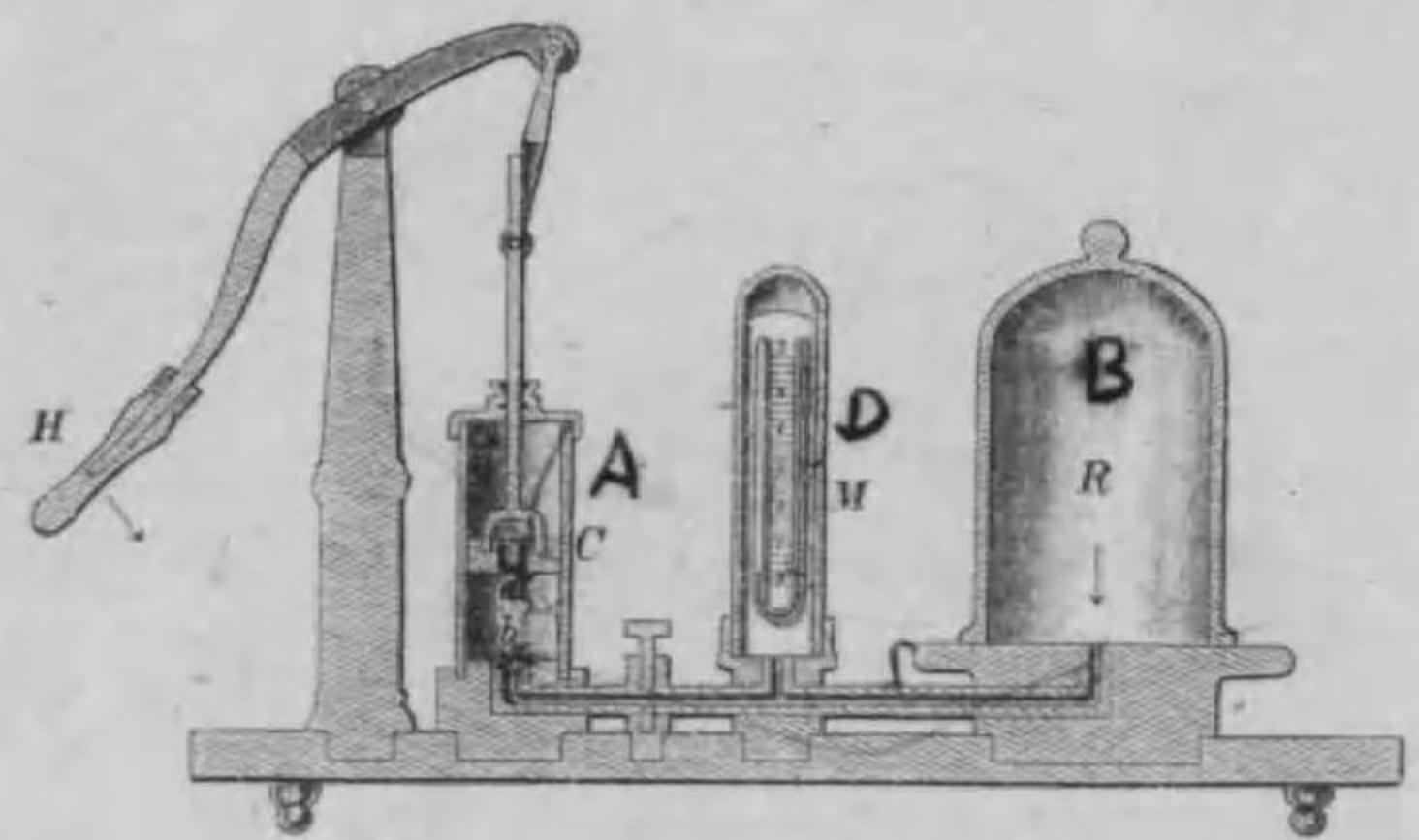
氣球の上昇

吾人はこの空氣の洋海の下底に生活す。されば空氣中にある物體は、アルキメデスの原理によりて、空氣の浮力を受けて同體積の空氣の重量だけ軽く見え、煙の如く空氣より輕き物體は、空中に押し上げらる。氣球は水素の如き輕き氣體を充たしたる薄き囊に、乗者の坐るべき籠を附けたるものにして、氣球、籠、乗者などの全重量がその排除したる空氣の重量より輕きときは、上昇す。

〔問〕一八六二年九月英人グレシヤ及びコックスウエル兩氏は輕氣球にて富士山の高さの約三倍の高さに達したりしが、その氣壓は僅に一八厘水銀なりき。而して兩氏は寒冷のために凍えて、手の自由を失ひたり。この際、兩氏は平地にて一度に吸込むべき空氣の量を幾度に吸込みしか。

二六

空氣ポンプ。空氣ポンプは一局處の空氣を稀薄にする装置なり。通常用ひらるゝものは、圖の如く、圓筒C内に活塞ありて、上に開く瓣aを具へ、細管によりて空氣を稀薄にすべき局處即ち鐘Rに連なる。今柄Hを取りて活塞を上ぐれば、活塞下の空氣は稀薄となりて、壓力の強さを減じ、活塞瓣は閉ぢ、鐘内の空氣は圓筒底の瓣bを開きて、圓筒内に入り來る。次に活塞を下せば、活塞下の空氣は濃厚となり、活塞瓣を開きて圓筒外に出づ。されば活塞を上下す



りて、上に開く瓣aを具へ、細管によりて空氣を稀薄にすべき局處即ち鐘Rに連なる。今柄Hを取りて活塞を上ぐれば、活塞下の空氣は稀薄となりて、壓力の強さを減じ、活塞瓣は閉ぢ、鐘内の空氣は圓筒底の瓣bを開きて、圓筒内に入り來る。次に活塞を下せば、活塞下の空氣は濃厚となり、活塞瓣を開きて圓筒外に出づ。されば活塞を上下す



空氣ポンプにて行ふ實驗。(一)下の圖の如

Confidential Code

V

Handwritten notes and numbers at the top of the right page.

獨逸人ゲリッケはマグテアルにて始めて下の實驗を行ひ、一尺餘の直徑を有する兩半球を引き離すに一六頭の馬を用ひたりといふ。
高山に登るとき身體内外の空氣の壓力が釣合を失ふがために、不快を感じるこゝとあり。吾人の身體の表面が氣壓を受けながら吾人が之を感じざるは、身體内部の空氣の壓力が外氣の壓力と相等しきがためなり。

き半球二箇を合はせて内部の空氣を抜き去れば、之を引き離すこと甚だ難し。氣壓の大なること知るべし。

(二) 膀胱の口を緊しく約し、鐘内に入れて空氣を抜き去れば、膀胱は忽ち脹れて破れんとす。されど鐘内に空氣を送れば、膀胱は再び收縮す。これ氣體が常に膨脹せんとする傾向あること、及び膀胱が通常萎縮するは、内外の壓力の釣合へるがためなることを證明す。

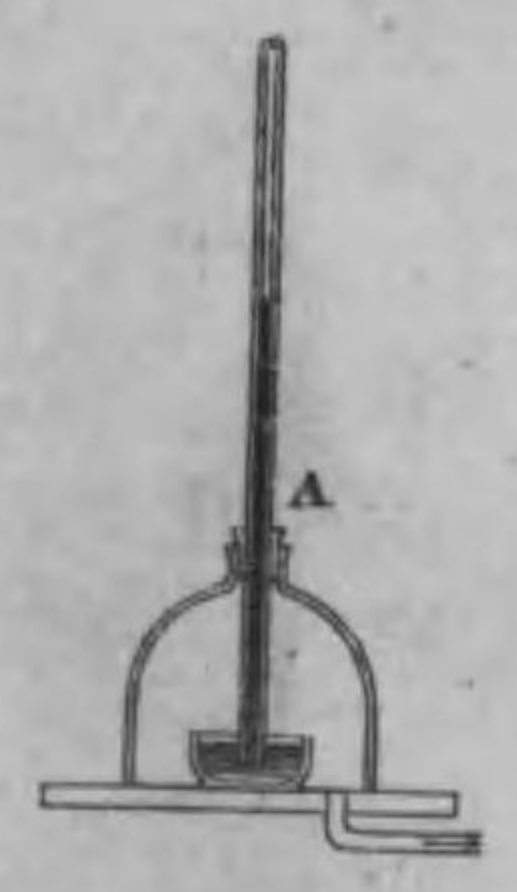
(三) 兩端の開きたる圓筒の一端を濡れたる膀胱にて覆ひ、その内の空氣を抜き去るときは、膀胱は内部に凹み、遂に音を發して破るゝに至る。所謂吸ふとは、口内の空氣を稀薄にするに外ならず。



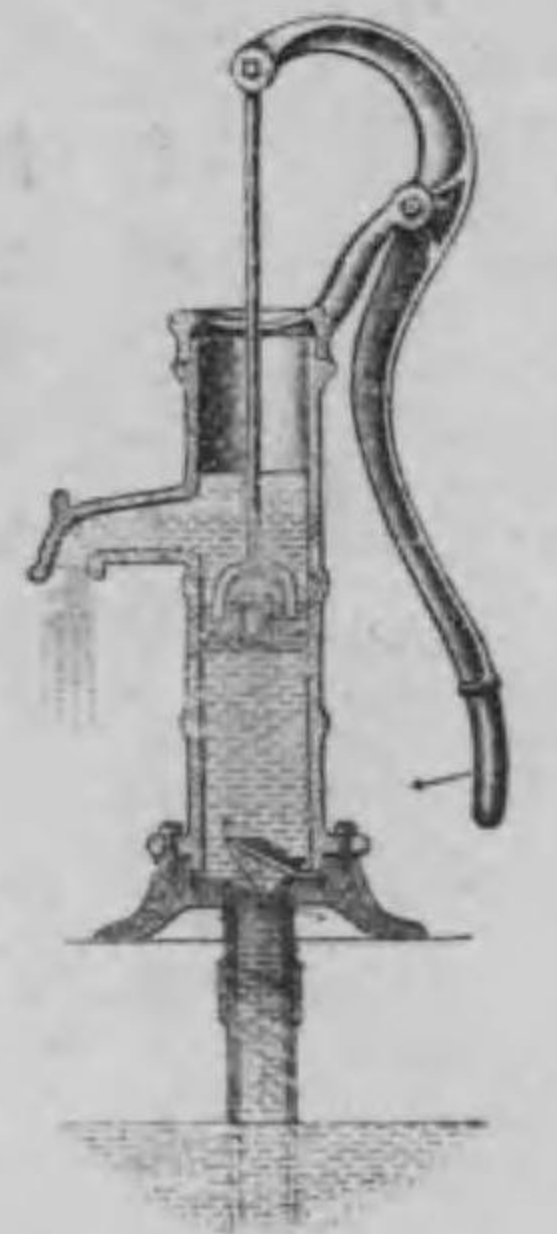
(四) カランを具ふる硝子球内の空氣を抜きて天秤に懸け、次にカランを開きて空氣を球内に入れるれば、球の重量の増すを見るべし。

(五) 空球と實球とを天秤に釣合はしめ、之を鐘内に入れて空氣を除き去れば、空球は降りて空氣の浮力を示す。

(六) 下の圖に示すが如く、氣壓計の下部を鐘内に



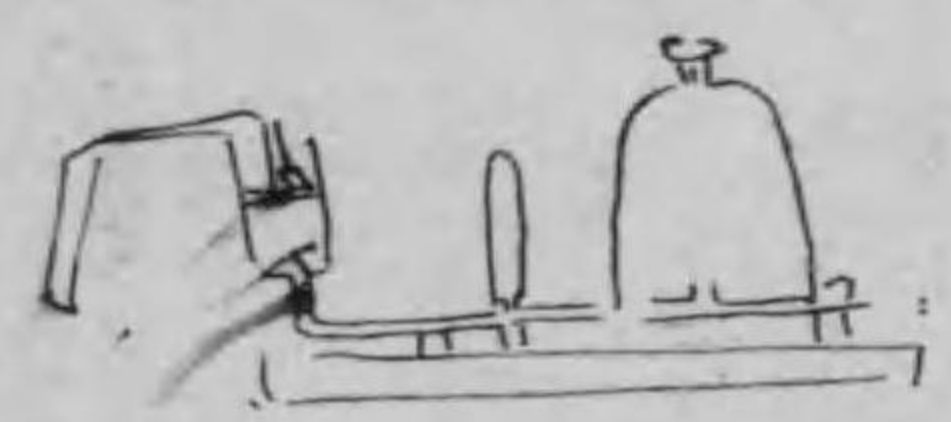
二元 吸上ポンプ。井より水を汲み上ぐるに用ふる吸上ポンプ



は、空氣ポンプと同様なる圓筒と活塞とを具へ、圓筒の下に管ありて水中に入る。今活塞を上下すれば、管内の空氣は排除せられ、管外の水はその面の氣壓のため之に代りて管内に入り來り、圓筒瓣及び活塞瓣を通りて圓筒の上部にある側管より流れ出づ。

〔問〕このポンプにて一〇米以上の深さの井より水を汲み上ぐることを得るか。

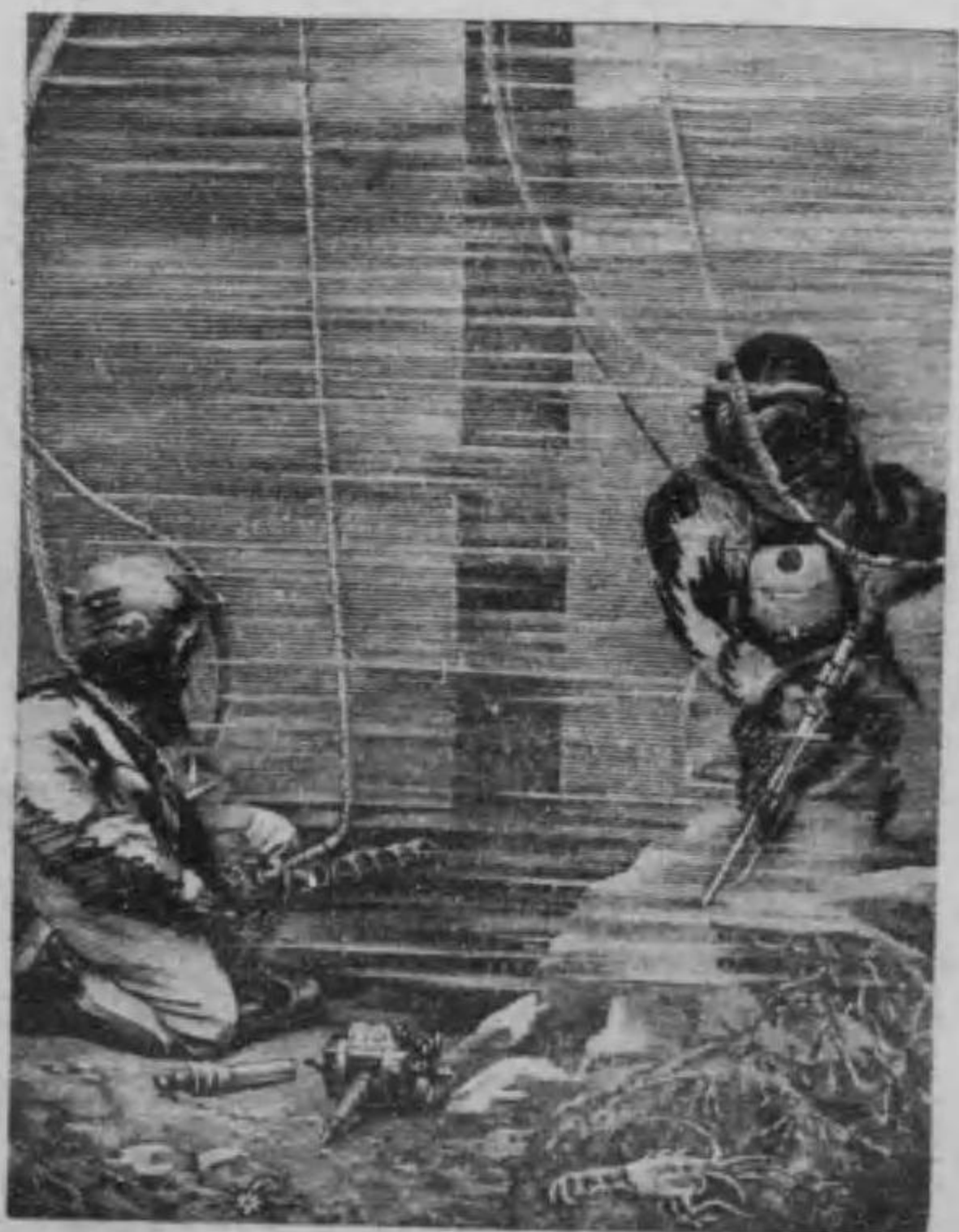
三〇 壓縮ポンプ。空氣ポンプの瓣を反對の方に開くやうにし



潜水作業

近年東京郵便局に實施せる氣送は、該局と他の一局とを連ねる一様なる金屬管に密に嵌る圓筒ありて、之に速達を要する手紙類を入れ、壓縮空氣にて之を先方へ送り、または管内の空氣を排出して、之を手前に取寄するものとす。

てポンプを運轉すれば、空氣は鐘内に押込まれるべし。此の如きポンプを**壓縮ポンプ**といふ。壓縮空氣の應用の一つは潜水作業にあり。潜水者は水及び空氣の透らざる兜及びゴム服にて全身を被ひて手のみを遺し、胸背及び蹠には鉛の錘を附けて水底に立ち、眞珠採取、沈没船引揚、その他の水中工事を行ふ。水上にては常に**壓縮ポンプ**を運轉し、管によりて**壓縮空氣**を潜水者のゴム服内に送り、古き空氣は胸部の瓣を通りて水中に逃れしむ。壓縮空氣はまた金屬管を通して郵便物を速達し、穿孔機を運轉し、水雷を走ら



しむるなど、應用甚だ多し。

〔問〕吹草は如何に作用するか。

三

分子説より見たる物質の三態。以上の諸現象及び擴散、滲透、溶解、吸收などの事實を参考して、物體に就きて吾人の有する見解によれば、物體の分子は絶えず運動するものにして、その離散せざるは**凝聚力**あるによる。固體にてはこの引力強くして、各分子はその近隣にある分子の束縛を受けて、始終一定點の周圍に振動す。液體にては**凝聚力**弱く、各分子は近隣の分子の羈絆を脱して他の分子の伍伴に入ることを得れど、なほ常にその周圍の分子の作用を受けて、一點の周圍に振動す。氣體に至りては、分子間の距離遠くして、各分子は他の分子の作用を受くることなく、各自一直線に進行し、容器の側壁または他の分子に衝突して、始めてそ

氣體の壓力の眞相

第一篇 力學及び物性(上)

四三

分子の打撃に外ならざるなり。この容器的側壁に與ふる壓力は、この

Monday
Tuesday
Wednesday
Thursday
Friday
Saturday
Sunday

Monday
Tuesday
Wednesday
Thursday
Friday
Saturday
Sunday
 $P = h \cdot d \cdot z \cdot r$
 $P' = h' \cdot d' \cdot z' \cdot r'$
 $P < P'$

第二篇 熱學

第一章 熱及びその移動

温度及び熱。物體の温さを温度といひ、湯は水より温度高しといふ。

釜の下に火を焚けば、釜の水は湯となる。この際、水に入りてその温度を高めたるものを熱といふ。湯もこの熱を失へば、温度下りてまた水となる。されば物體の温度の高低は、その中に存する熱の多少によるなり。

熱の作用。すべて物體は固體、液體、氣體の別なく、之を熱すれば、温度の昇るに隨ひて、次第に膨脹するを常とす。

また物體を十分に熱すれば、化學的變化を起さざる限、三態の變化を起して、固體は液體となり、液體は氣體となる。蠟

第一章 熱及びその移動

四三

を金屬板上に置きて熱すれば、液體となる。之を融解といふ。一滴の水を板上に置けば、やがて蒸氣となりて消失す。之を蒸發といふ。

熱の傳導の實驗

三

熱の傳導。火箸の一端を握りて他端を火中に入れば、この部の熱くなると共に、熱は火箸に傳りて次第に手前に及び、遂に手に移りて、手は熱く感ずるに至る。此の如く、熱が熱き物體より之に觸るゝ冷き物體に移り、または同じ物體の熱き處より冷き處に移る現象を、その傳導といふ。之と同じき實驗を木箸にて行ふに、その一端燃えても、他端は更に熱くならず。火箸の如く熱を善く傳導するものを良導體といひ、木箸の如く善く傳導せざるものを不良導體といふ。すべて金屬は良導體にして、液體は多く不良導體なり。而して氣體は最も甚だしき不良導體なり。金屬の中に

熱の傳導の良否

對流の實驗

四

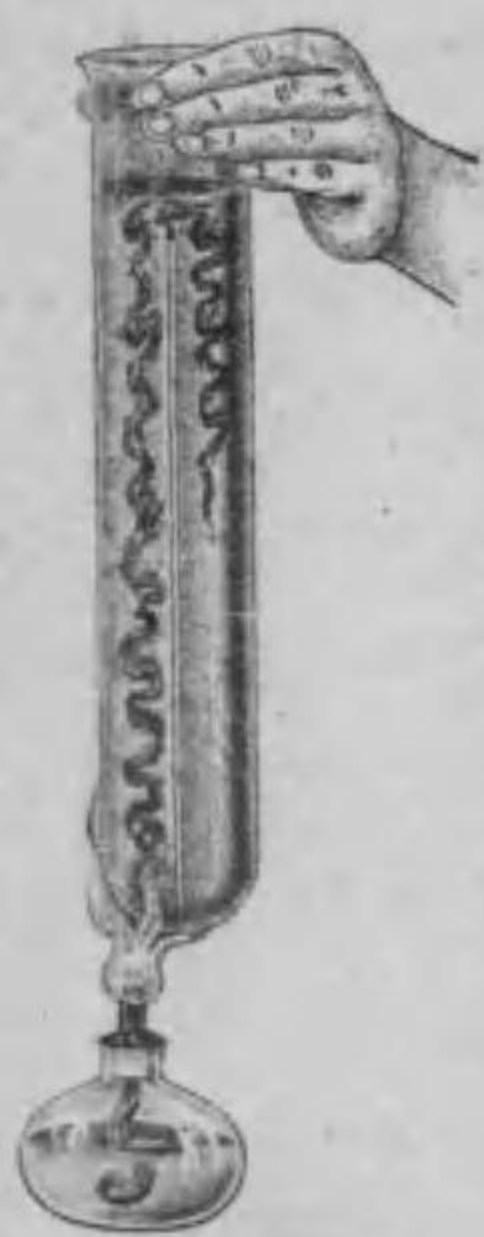
ても銀は最良の導體にして、銅之に次ぎ、鐵は銅に劣る。石及び陶器は鐵に劣る導體なり。藁紙、綿、石綿、毛、羽などは不良導體に屬す。防寒に綿、羽、毛などを用ふるは之がためなり。

〔問一〕 通常器物は周圍の空氣と同じき溫度にありながら、冬日手を金屬に觸るれば冷く、綿に觸るれば暖なるは、何故なるか。

〔問二〕 アルコール燈またはブンゼン燈の焰を細目の銅網にて押しふれば、焰は網の上に出づること能はず。その理如何。

對流。水は不良導體なるが故に、之を試験管に入れてその上層を熱すれば、上層は沸騰すれど、下層は温まることなし。

されど圖の如く太き試験管の中央部を厚紙にて左右に二分し、管に水を充て、その底にフタシンの小塊を入れ、アルコール



對流の利用

燈にて管底の左部を熱すれば、之に觸るゝ水は熱せられて膨脹し、軽くなりて管の左側を上昇し、未だ熱せられざる右側の水は降りて之に代るを見るべし。されば、水は流れて熱を全體に散布す。此の如く熱が物質に伴ひて移動する現象を對流といふ。

煙突及びホヤは空氣中の對流を利用して火に空氣を供給する装置なり。綿羽毛などが甚だしき不良導體なるは、内部に空氣を含み、且その空氣の運動自由ならずして、對流を生ぜざるによる。

〔問〕 火事場には常に風ありといふ。さる理由あるか。

五

輻射の例

輻射。 煖爐の傍に居れば、熱を感じ。蓋し空氣は不良導體にして、且この場合には吾人より煖爐の方へ流るゝが故に、熱は空氣によりて吾人に達したるにあらず。太陽もまた巨大

なる真空及び寒冷なる高層大氣を隔てて地球を熱す。此の如く、中間の物質、溫度に關係なく、熱が高溫度の物體より低溫度の物體に移る現象を輻射といふ。地球の表面は、夜間自己の輻射によりて冷却す。

〔問〕 夏日傘にて日光を遮るも戶外は室内より著しく熱きは何故か。

第二章 溫度及び熱量

六

寒暖計の構造

寒暖計。 物體は溫度の昇るに隨ひて膨脹するが故に、物體の體積によりてその溫度を測ることを得べし。寒暖計はこの理に基づきて作りたるものなり。この器は孔の直径一様なる細き硝子管の一端は閉ぢ、他端は球狀または圓柱狀をなせるものにして、この部と細管の一部とは水銀あり、その餘は真空なり。水銀を含みたる部分を融解する氷の

寒暖計の基點

中に入らるれば、水銀は氷と同じき温度となり、收縮してその面は常に一定點に止る。この點を**氷點**といふ。次に之を一氣壓の空氣中にて煮え立つ湯より生ずる蒸氣の中に入らるれば、水銀は蒸氣と同じき温度となりて膨脹し、その面は他の一定點に止る。この點を**沸騰點**といふ。氷點に對する温度を零度とし、沸騰點に對する温度を百度とし、兩點間を一〇〇に等分し、氷點以下、沸騰點以上にも同様の目盛を施して、温度の標準とす。之を**百度目盛**または**攝氏の目盛**といひ、一般學術上に用ふ。



攝氏の目盛

攝氏 (セルシウス)

(一七二一—一七四四)
瑞典人。ウプサラ大學天文學教授たりき。

體溫計の構造

一定時間内に達したる最高温度を測るものを**最高寒暖計**といふ。通常體温を測るに用ふる**體溫計**は一種の最高寒暖計にして、左圖の如く、細管の圓柱狀部に接する處は著しく狭し、水銀の膨脹するときには、無事に此處を



通過すれど、收縮するときには、此處にて切れ、管内の水銀は留りて最高温度を示す。

七

熱量の單位

熱量及び比熱。熱量を測るには、一瓦の水を温度一度だけ高むるに要する熱量を單位とし、之を**カロリー**といふ。されば六〇瓦の水の温度を一五度より四〇度に高むるには、 $60 \times (40 - 15) = 1500$ 即ち一五〇〇カロリーの熱量を要す。

比熱の測定

一瓦の物質の温度を一度だけ高むるに要するカロリーの數を、その物質の**比熱**といふ。されば水の比熱は一なり。今一度に熱したる金屬 m 瓦を t 度の冷水 m' 瓦の中に投じて善く攪拌すれば、熱は金屬より水に移り、兩者は一定の平均温度 t' 度に達すべし。これを金屬の比熱とすれば、混合の際に

金屬の失ひたる熱量は $m(t-t_0)$ カロリーにして、水が得たる熱量は $M(t-t_0)$ カロリーなり。この際、熱は他に散逸せざりしとすれば、これらの熱量は相等しかるべし。即ち

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

されば求むる比熱は

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

実際には水の容器は金屬製にして、水と共にその温度を變ずるが故に、相當の補正をなすものなり。この容器を熱量計といふ。



比熱の表

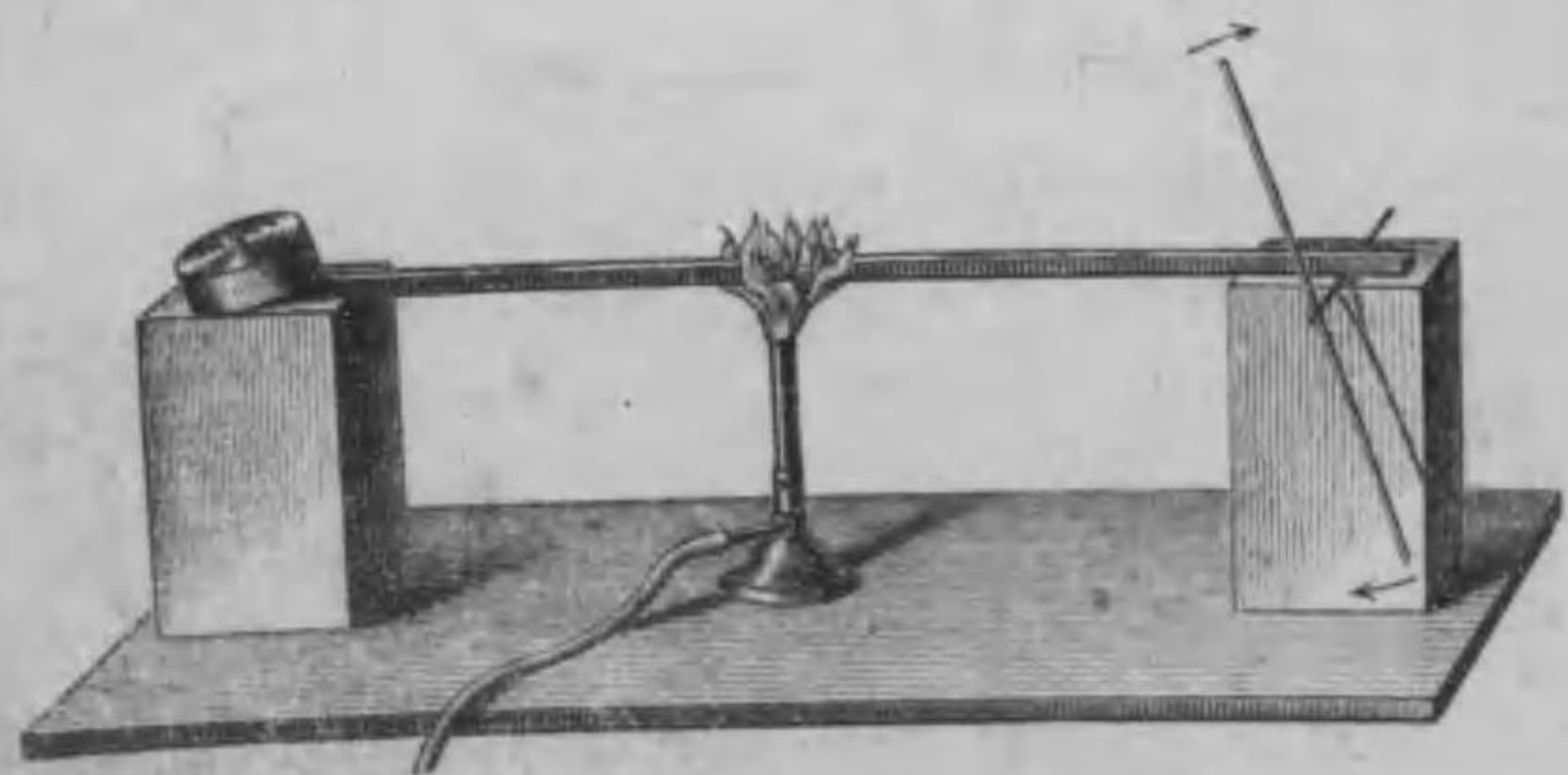
銅	鉛	鐵	水	アルコール
0.092	0.031	0.11	1.00	0.55

この表によりて水の比熱の甚だ大なることを知るべし。

第三章 物體の膨脹

八

線膨脹。 一尺許の金屬棒を水平に置き、その一端を固定し、他端を針に載せ、針尖に麥稈を貫くこと圖の如くし、棒を熱するときは、針は轉び、麥稈は廻轉して、棒の延びたることを示す。此の如く長さの延ぶることを**線膨脹**といひ、單位の長さの線狀物質が温度一度昇る毎に延ぶる長さを、その物質の**線膨脹係數**といふ。されば一物體が零度及び一度にて有す



〔問〕 温度九八度質量二〇瓦の銅塊を温度一五度質量五〇瓦の水の中に投じたるに、水の温度三度昇りたりといふ。銅の比熱幾許なるか。

(東京高等師範學校)

線膨脹の公式

固體の伸縮に關する用意

る長さを各 l_0 とし、その線膨脹係數を a とすれば、

$$l = l_0(1 + at) \quad \text{または} \quad l = l_0(1 + at)$$

次の表に示すが如く、固體が溫度によりて伸縮する割合は甚だ小なれど、この伸縮を妨げんとすれば、大なる抵抗をなす。例へば熱湯を硝子器に注げば、湯に觸れたる部分は、ま

線膨脹係數の表

白金	0.000009	眞鍮	0.000019
銅	0.000017	硝子	自0.000004 至0.000011
鐵	0.000022	磁器	0.000008
亞鉛	0.000029	水晶(一度熔し たるもの)	0.0000007
合金ニッケル	0.000001	解	0.0000054
		縦横	0.000005

づ膨脹して、硝子に歪を生じ、遂に破損することあり。また鐵道の線路は

夏日と冬夜とにて著しき溫度の變化を受くるが故に、その接目には伸縮の餘地を存せざるべからず。

〔問〕熱湯を注ぐとき、厚き硝子杯が薄きものより破れ易きは何故か。

體膨脹の公式

九

液體の體膨脹係數

體膨脹。單位體積の物質が溫度一度昇る毎に増す體積を、その物質の體膨脹係數といふ。今一物質の體膨脹係數を α とし、その線膨脹係數を a とし、零度に於ける體積を v_0 とすれば、溫度一度高まりたる後の體積は、

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

而して固體の線膨脹係數 a は甚だ小にして、 a^2 及び a^3 を省略することを得るが故に、

$$v = v_0(1+3a)$$

即ち物體の體膨脹係數はその線膨脹係數の三倍なり。

一般に液體は固體より大なる膨脹係數を有す。例へば水の體膨脹係數は0.000118にして、アルコールの體膨脹係數は0.0011なるが如し。

〔問〕零度にて比重七八二なる鐵あり。この鐵の線膨脹係數0.000011

$l = l_0(1+at)$
 $l' = l_0(1+at) + a^2 l_0 t^2$
 $3a = b$ (特)

$l' - l = a^2 l_0 t^2$

$v = v_0(1+3a)$

二三なりとすれば、二〇〇度にてこの鐵の比重幾許(小數二位までを計算せよ)。
(農科大學實科)

二

水の密度。

膨脹につきては、水は著しき例外なり。零度の

(瓦粒) 度密の水

0°	0.99987
2°	0.99997
4°	1.00000
6°	0.99997
8°	0.99988
10°	0.99973
20°	0.99823
60°	0.98324
100°	0.95838

水を熱すれば、温度の昇るに隨ひて、却つて收縮し、四度にてその最大密度に達す。その後は温度の昇るに隨ひて膨脹す。冬日湖沼は寒冷なる空氣によりて冷却せられ、表面の水は重くなりて沈み、下層の水之に代りて對流を生ず。全體の水が次第に冷却し、四度に達すれば、對流は止み、表面の水は更に冷却せられても、留りて沈まず、零度に達すれば、氷となる。而して下層は常に四度の温度を保ち、水底の魚介は無事に棲息することを得。

湖沼氷結の狀

〔問〕 水は表面より、油は下面より凍る理如何。

〔蠶業講習所〕

二

氣體の膨脹。

氣體膨脹の法則

氣體は温度によりて著しく膨脹收縮す。されど氣體はまた外部の壓力によりても收縮膨脹するが故に、氣體の膨脹係數を測るには、外部の壓力を一定せざるべからず。佛人シャルルの研究によれば、氣體は一定の壓力の強さの下に、温度一度昇る毎に零度の體積の二七三分、二づゝ膨脹す。

氣體膨脹の公式

$$v_t = v_0 \left(1 + \frac{t}{273} \right)$$

三

氣體の壓力、體積及び温度の關係。前式の場合に、氣體の温度は、壓力の強さは、 v にして、體積は、 v なり。今この温度

を變ぜずして、體積を變じて、 v となしたるとき、その壓

力の強さが p となりたりとすれば、ボイルの法則によりて

$$v : v' = p : p' \quad \therefore \quad pv = p'v'$$

この v の代に前式の v' の値を入れるれば、次の式を得。

$$pv = p_0 v_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad \text{または} \quad \frac{pv}{273+t} = \frac{p_0 v_0}{273}$$

之をボイル、シャルルの法則といふ。

〔問一〕 温度二〇度、壓力七二厘水銀にて、空氣の體積一〇〇立方厘なりとすれば、温度零度、壓力七六厘水銀のときは體積幾許なるか。

〔問二〕 攝氏零度以下二七三度を基點として攝氏の目盛にて表せる温度を絶対温度といふ。されば攝氏 t 度の絶対温度 T は $273+t$ なり。この温度を用ひてボイル、シャルルの法則を表記せよ。

三 氣體の密度及び壓力。此の如く氣體の體積は、その壓力の強さと温度とに關し、隨つてその密度もこの二者に關す。

氣體の密度の表
(零度一氣壓にて)

水素	0.000090	水蒸氣	0.000804
空氣	0.001293	炭酸	0.001977

今氣體の體積を變ぜずして温度を高むるときは、ボイル、シャルルの法則にて $v \propto \frac{1}{p}$ なるが故に、

$$p = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$$

即ち氣體の體積を變ぜずしてその温度を高むれば、壓力の強さは一度毎に零度の壓力の強さの二七三分一を増す。

〔問〕 フートボールは暖き日に寒き日より堅き理由を問ふ。

第四章 物體三態の變化

物體の融解

二四 融解點、融解熱及び凝固。固體に熱を加ふれば、常に一定温度にて融解し始む。この温度をその融解點といふ。融解の始りたる後、なほ熱を加ふれば、液體の量を増すのみにして、温度は全部の融解し終るまで昇ることなし。この際、加へたる熱は、全く固體を液體に變ずるがために消費せらる。融解

點に於ける物質一瓦を全く融解して同温度の液體となすに要する熱量を、その物質の融解熱といふ。

硝子及び鍛鐵の融解

融解點及融解熱の表

物質	融解點 (°C)	融解熱 (cal/g)
窒素	零下 二四	
アルコール	零下 一二	
水銀	零下 三九	二八
水	〇	七九
鉛	三七	五四
硝子	1000-1400	
鐵	1000-1600	
白金	1800	二七二

結晶體の融解點は明なれど、硝子、鍛鐵の如きは、融解するに先だちて軟くなりて、次第に液體に移りゆくが故に、その融解點は明ならず。硝子または鍛鐵の細工は、融解前の飴の如き状態を利用するものなり。

水を冷せば、零度にて再び氷となる。すべて物體が液態より固態へ移る現象を凝固といふ。凝固は融解點にて行はれ、且その際、物體は融解熱と同量の熱を放出す。水は鹽類を

物體の凝固

海水の凝固

溶せば、その凝固する温度は降るが故に、海水は淡水より凍ること遅し。濃き鹽水は零下二二度にて始めて凝固す。

〔問一〕 冬日地上の雪は、空氣の温度が零度以上に昇りても、一時に消えざるは、何故か。

〔問二〕 四〇度の水一〇〇瓦に零度の水を入れて零度の水となすには、幾許の水を要するか。

一五 寒劑。食鹽と雪または砕きたる氷とを一と三の割合に混ぜれば、雪または氷は食鹽に觸れて融解し、食鹽はその中に溶解して鹽水を生ず。この際に要する熱は混合物より供給するが故に、鹽水は零下二二度に達す。此の如き混合物を寒劑といひ、物體を冷すに用ふ。

一六 凝固と體積との關係。水が凝固して氷となるときは、その體積一〇〇分、九を増す。されば氷は水よりも軽くして、水面

岩石風化の主因

鑄造に適する要件

沸騰の現象

一七

に浮かぶ。冬季、水道管の往々破裂するは、管内の水が氷結するに當りて膨脹するによる。この作用はまた岩石風化の一つの主因なり。鐵及び活字金鉛とアンチモンと錫とより成るもまた凝固の際に膨脹するが故に、鑄物に用ひらる。されど多くの物質例へば金、銀、銅などの如きは、皆凝固の際に收縮するが故に、鑄造に適せず。

沸騰點及び蒸發熱。 液體の表面には常に蒸發作用あり。液を容器に入れて下より之を熱すれば、この蒸發作用は溫度と共に増進し、一定の溫度に達すれば、蒸氣は下底にも發生して、泡沫をなして出で来る。この現象を**沸騰**といふ。液が沸騰を始むれば、溫度は一定して變ぜず。加へたる熱は皆液を蒸氣に變ずるがためにのみ消費せらる。この一定溫度を**沸騰點**といひ、一瓦の液が蒸氣に變ずるがために要す

蒸發熱の實驗

蒸發熱の利用

る熱量をその物質の**蒸發熱**といふ。されば少許のエーテルを入れたる薄き小皿または小きビーカーを板上に置き、底と板との間に少許の水を入れ、硝子管にて空氣をエーテル中に送れば、エーテルは所要の蒸發熱を取りて蒸發するが故に、皿またはビーカーは板に凍り著くべし。



し。夏期道路に水を撒くとき、また皮膚にアルコールを塗布するときは、共に清涼を感じるは、この現象に基づく。

沸騰點 (一氣壓にて)	蒸發熱 (一瓦カロ)
水銀	三九
水	五五
アルコール	二〇五
アムモニア	二九六
窒素	五〇

〔問〕攝氏一〇〇度の水蒸氣五瓦を二〇度の水五〇〇瓦の中に入れて、その温度二六度となれり。水の蒸發熱を求めよ。(熊本高等工業學校)

一八

飽和蒸氣の壓力

飽和蒸氣。硝子罎に少許の液を入れて、その口を閉づれば、液は次第に蒸發して、蒸氣はその壓力以下、壓力の強さを略し、單に壓力ともいふ。を増せど、一定の壓に達すれば、蒸發作用は全く止む。この際、罎内は蒸氣にて飽和せられたりといひ、罎内の蒸氣を飽和蒸氣といふ。この時蒸氣は最大壓力を有す。眞空にては、液の蒸發甚だ急にして、蒸氣は瞬時に最大壓力に達す。今一米許の硝子管を水銀中に立て、トリチュリーの眞空を作りて水銀柱の高さを糲を得たりとす。この管の下端よりエーテルを送入すれば、エーテルは水銀中を昇りて眞空に達し、その一部は直に飽和蒸氣となり、水銀柱頭は直に下るべし。その高さを糲とすれば、飽和蒸氣の壓は \sim 糲水銀なり。管の

飽和蒸氣の壓力とその温度との關係

一九

大氣に接する水の沸騰

温度	壓力
-20°	0.1
-10°	0.2
0°	0.4
10°	0.9
20°	1.7
30°	3.1
40°	5.4
50°	9.0
60°	14.4
70°	23.1
80°	35.2
90°	52.4
100°	76.0
140°	272.5
200°	1162.5

水蒸氣の最大壓力 (糲、水銀柱にて)

上部を熱すれば、液の一部は更に蒸發して壓力を増し、飽和の状態を保つ。之に反して管の上部を冷せば、蒸氣の一部は再び液體となり、残れる蒸氣は壓力を減じて、なほ飽和の状態を保つ。されば飽和蒸氣の壓力は、温度と共に増加す。

沸騰點と壓力との關係。液の沸騰點は、その面に作用する壓力に關するものにして、壓力大なれば沸騰點高く、壓力小なれば沸騰點低し。汽罐内の水は數氣壓の下にあるが故に、一二〇乃至一三〇度にて始めて沸騰し、高山にては氣壓小にして、一〇〇度以下にて沸騰す。今大氣に接する水に就きて考ふるに、水面に作用する氣壓は、水中の各部に傳播す

水の沸騰點による氣壓の測定

るが故に、水が沸騰してその内部に飽和水蒸氣の泡沫を生ずるには、飽和水蒸氣の壓力が氣壓以上なるを要す。随つて沸騰は水蒸氣の最大壓力が氣壓と等しき溫度より始るものなり。されば水の沸騰點を測定すれば、水蒸氣の最大壓力の表によりて氣壓を算出することを得べし。

〔問〕 明治四十一年七月十二日午前十時、東京高等師範學校生徒が富士山巔にて測定せる水の沸騰點は八七六度なりき。當時の氣壓幾許。

二〇

液化。第一八節の實驗に於けるが如く、氣體が液體となる現象を液化といふ。通常の溫度にて水蒸氣を十分強く壓縮すれば、終に飽和の状態となり、蒸氣の一部は液化す。されど、これたゞ三六四度以下の溫度にて起る現象にして、それ以上の溫度にては、如何に壓力を加へても水蒸氣を液化すること能はず。此の如く、一つの氣體に壓力を加へて之を

水素空氣などの液化

液化し得べき最高溫度を、その氣體の限界溫度といふ。限界溫度にてその氣體を液化するに必要なる壓力をその限界壓力といふ。物體は皆各一定の限界溫度と限界壓力とを有す。水素または空氣の如く限界溫度の低きものを液化するには、之に強壓を加ふると同時に、之を甚だしく冷却せざるべからず。

及度の力	温度	境界	限界
水素	零下二五	零元	二〇
空氣	零下四〇	零元	二〇
炭酸瓦斯	三	七	三
アムモニア	一三〇	二五	三
アルコール	二四	三	三
水	三六四	一五	三

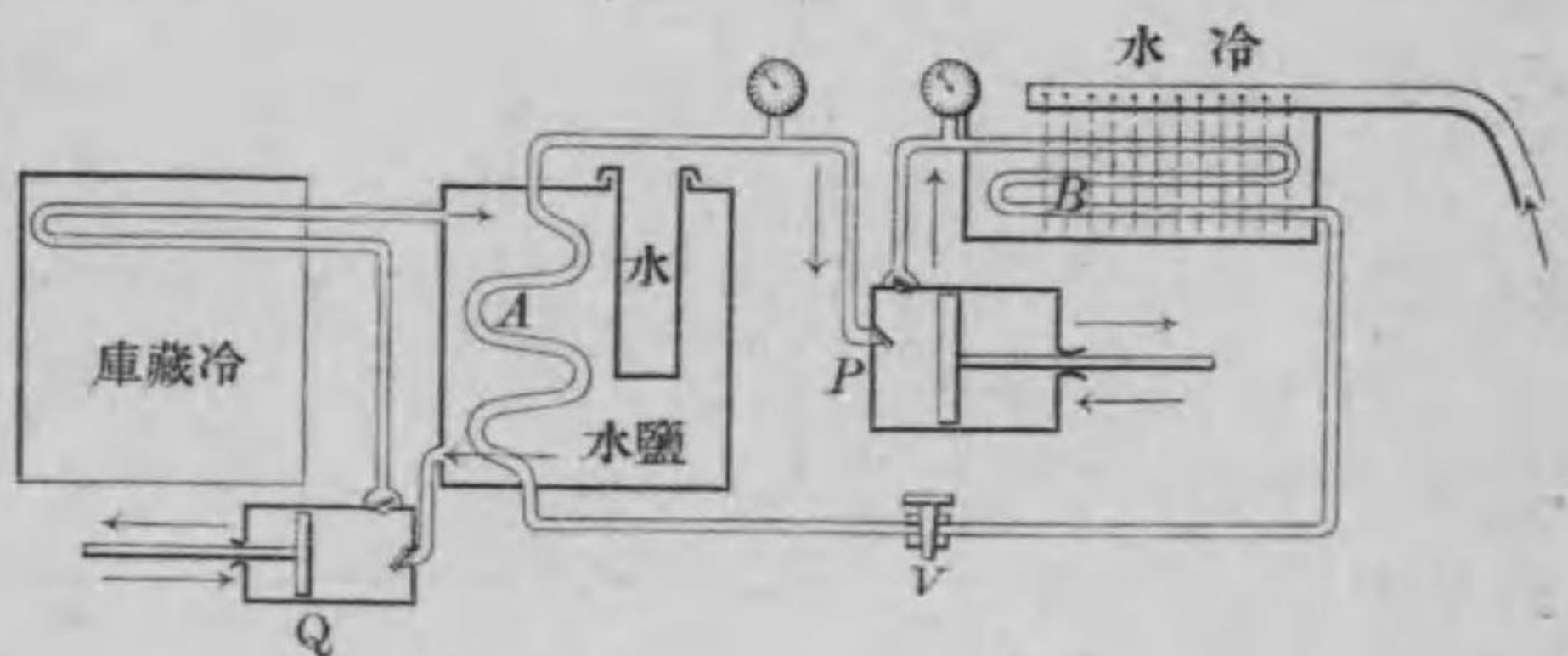
すべて氣體が液化する際には、その液體の蒸發熱に等しき熱量を放出するものなり。

製氷、冷蔵庫。大都會にて氷を製造するは、アムモニアの蒸發による。次の圖の如く、ポンプにてアムモニア蒸氣を

製氷装置

二

冷蔵庫の装置



またこの鹽水を冷蔵庫の管内に循環せしむれば、庫の温度を零度以下に保ち、永く鳥獸魚肉、蠶種などを貯ふるを得。

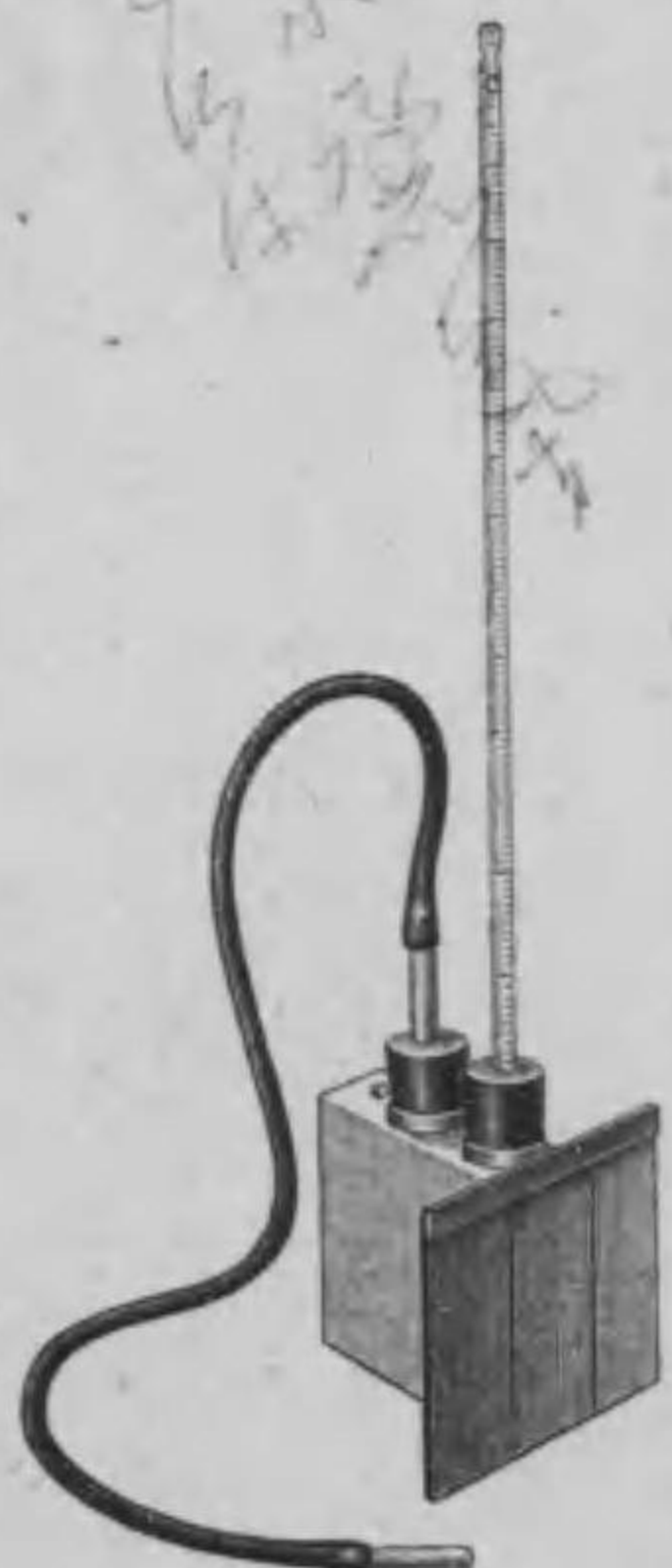
蛇管 *B* 内に強く壓縮して液化せしむれば、多量に熱を生ずるが故に、冷水を蛇管に注ぎて之を冷却し、冷却したるアムモニア液は調節瓣 *V* を通じて蒸發管 *A* に送る。この管内の蒸氣はポンプに吸収せられて常に小なる氣壓を有するが故に、アムモニア液は盛に蒸發し、管の温度は降りて略零下五度に達す。この管を鹽水中に沈むれば、鹽水は零下數度に冷却せらるゝが故に、淡水を入れたる鐵器をその中に沈め置けば、氷を得べし。

露の成生

三

露點の實驗

露點に對する水蒸氣の最大壓力



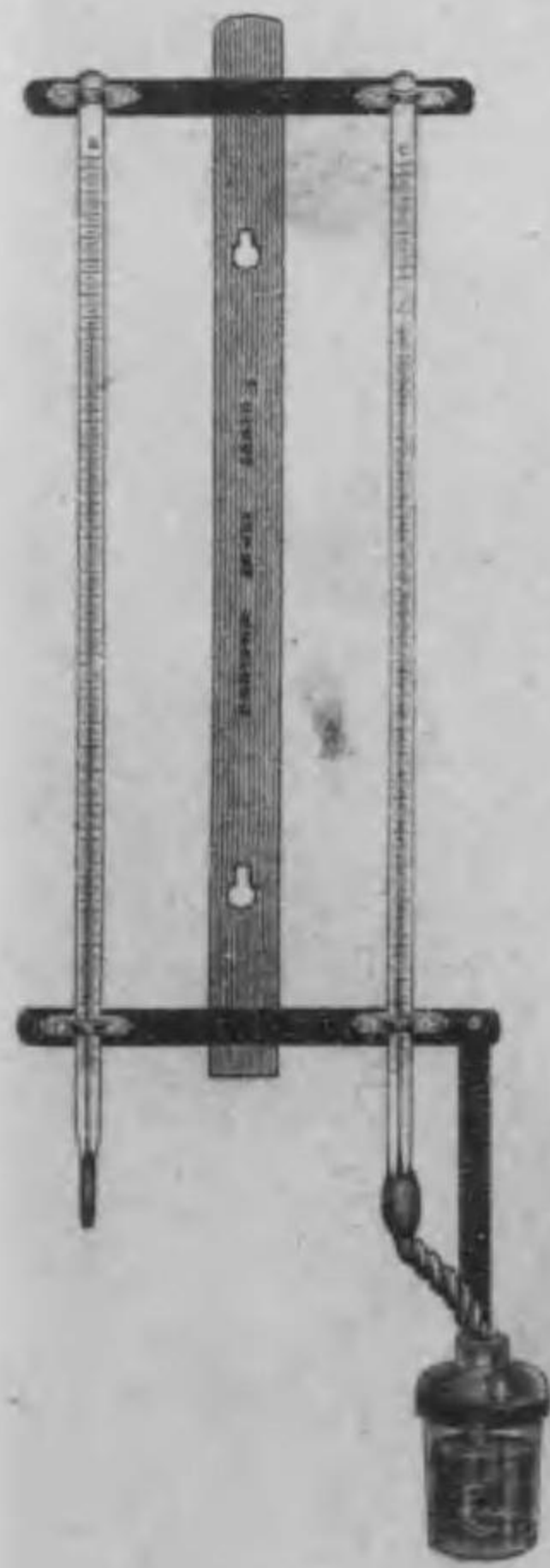
大氣中の水蒸氣。露點及び濕度。大氣は常に多少の水蒸氣を含む。靜なる空氣中にて一物體を冷し、次第にその温度を減ずれば、之に接觸する空氣の温度も共に降り、中に含まるゝ水蒸氣は、遂に飽和蒸氣となり、その一部は液化し、露となりて物體の表面に附著すべし。この時の温度を露點といふ。今圖の如く金屬函にエーテルを容れ、寒暖計をその中に立て、別にゴム管を附けたる硝子管を函内に挿入して、之より徐に空氣を吹き込めば、エーテルは蒸發して温度は降り、終に函の側面に露を結び始むべし。この時、寒暖計の示す温度は即ち露點なり。この露點に對する水蒸氣の最大壓力

空氣の乾濕

力を表に就きて求むれば、空氣中の水蒸氣の壓力を得。
 空氣の乾濕は、その水蒸氣が飽和の状態に遠きか近きかに
 よる。さればこの乾濕の状態を示すに、空氣中の水蒸氣の
 壓力と空氣の溫度に對する水蒸氣の最大壓力との比を用
 ひ、この比を一〇〇倍したるものを空氣の濕度といふ。例へ
 ば三〇度の空氣の露點が一〇度なりとすれば、その濕度は
 $\frac{0.9}{3.1} \times 100$ 即ち二九なり。衛生上最良の濕度は五〇乃至六
 〇なりとす。

乾濕球寒暖計の構造

乾濕球寒暖計は簡単に濕度を測る装置にして、圖の如く二
 箇の寒暖計を竝べ、
 その一方の球部を濡れたる布にて包みたるものなり。



大氣の濕度の大小によりて濡れたる布の水は多少蒸發し
 て、濕球寒暖計は乾球寒暖計より多少低溫度を示す。これら
 の溫度を觀測し、別に調製したる表によりて空氣の濕度を
 知るべし。

太陽の熱によりて河海及び陸地の面より蒸發する水蒸氣
 は、多量の蒸發熱を奪ひ去りて炎熱を緩和す。この蒸氣は
 熱せられたる空氣と共に上昇し、大氣中に擴散す。上層の空
 氣冷却して露點に達するときは、水蒸氣の一部は液化して
 微細なる水球を成す。即ち雲なり。液化したる水量大なると
 きは、水球は増大して雨滴となりて降り、その際、寒冷に遇へ
 ば、凍雨となる。また液化するとき、空氣の溫度零度以下な
 れば、雪を生じ、地面に近き空氣が冷却するとき、霧、露また
 は霜を生ず。この際、水は多量の蒸發熱と融解熱とに相當す

雲の成生

雨及び凍雨

雪、霧、露、霜

大氣中の水蒸氣
の溫度緩和の功

る熱を放出して、空氣を温む。降りたる雪、霜は綿の如くその中に多量の空氣を含みて、熱の不良導體なるが故に、その被覆する地物を保護して、零度以下の寒氣に侵されざらしむ。此の如くにして、大氣中の水蒸氣は常に溫度の急劇なる變化を防ぐものなり。

〔問一〕 風通し良きときは、濡物早く乾く。何故か。

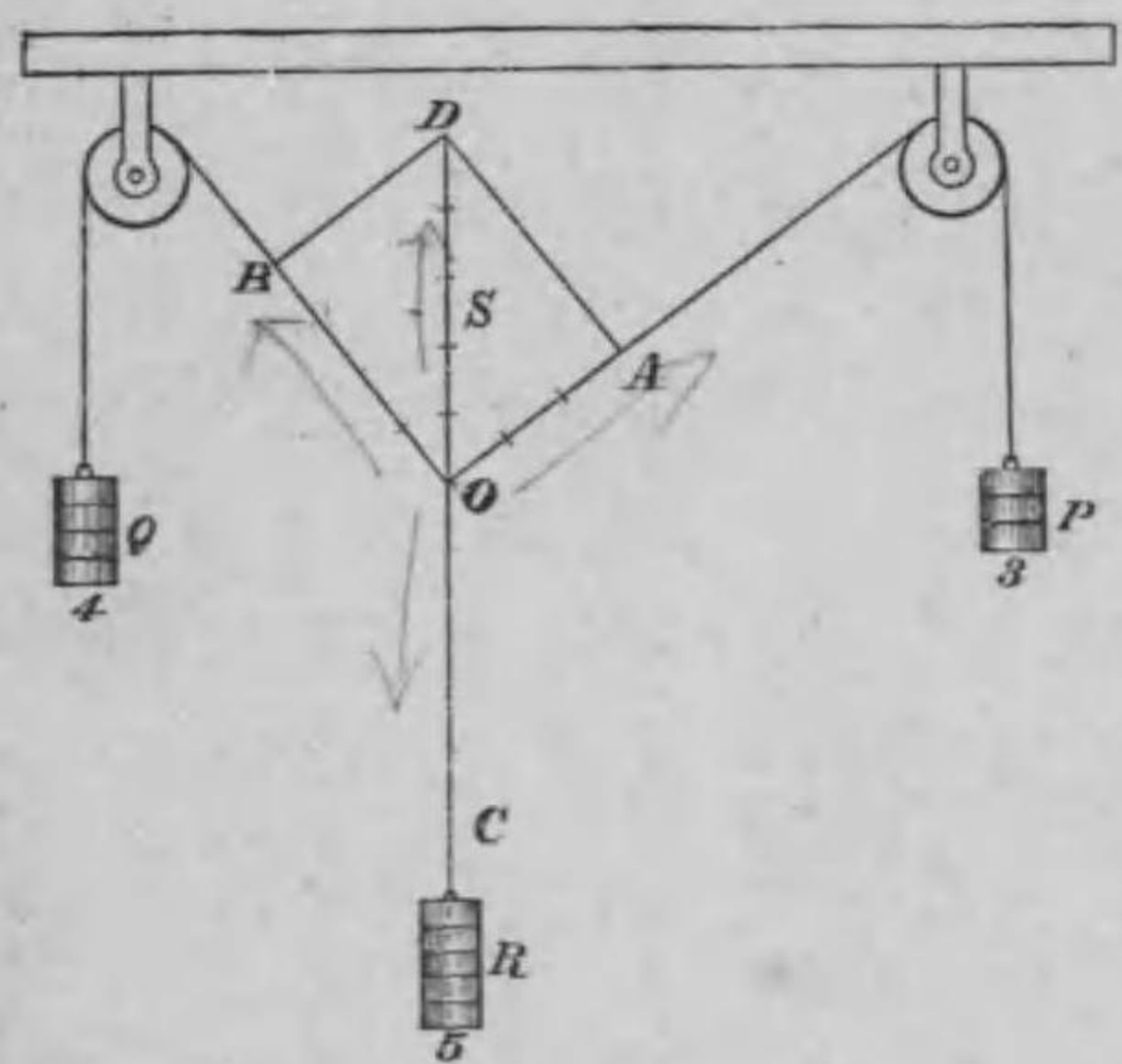
〔問二〕 夏日洋蓋に水を容れ置けば、器の外側に水滴の集るを見る。之を説明せよ。

第三篇 力學及び物性(下)

第一章 力

一 力の合成及び分解。 絲を二つの滑車に渡し、兩端に分銅 P 、 Q を懸け、次に絲の一點 O に他の絲を結びつけ、その端に分銅 R を懸くれば、絲は圖に示すが

如き位置に静止すべし。この際 P 、 Q 、 R の三力は各 OA 、 OB 、 OC の方向をなして同一点 O に働きて釣合へり。 假に P 、 Q 二力をなきものとし、 R と大きき相等しくして、方向相反せる力 S を O に加ふれば、 S は R と釣合ふべし。されば P 、 Q 二力



二つの力の合力を求むる法

力の平行四邊形の法

三つ以上の力の合力を求むる法

の效果は單獨の力 S の效果に等し。この S を PQ 二力の合力といふ。今白き厚紙を絲の後に立てて絲の方向を之に寫し、その長さ OA OB 及び OC を各 PQR に比例せしめ、 OC の延長線上に OC に等しく OD を取れば、 OD は OA OB を二邊として作れる平行四邊形の對角線に相當するを見る。 PQR の大きさを更へても、常に同様の結果を得べし。されば、

一 物體に働く二力の合力は、方向及び大きさにて二力を表す二直線 OA OB の作れる平行四邊形の、點を通る對角線にて表さる。

之を力の平行四邊形の法といふ。

三つ以上の力の合力を求むるには、まづその任意二力の合力と第三の力との合力を求め、この合力と第四の力との合力を求むべし。次第に此の如くして得たる最後の合力は即

ち總べての力の合力なり。此の如く數力の合力を求むることをかの合成といふ。

また前の例にて S と等しき效果を有する二力 PQ を S の分力といふ。されば OD を對角線とする平行四邊形の兩邊は

S の分力を表す。力の分力を求むることを

かの分解といふ。向方同車

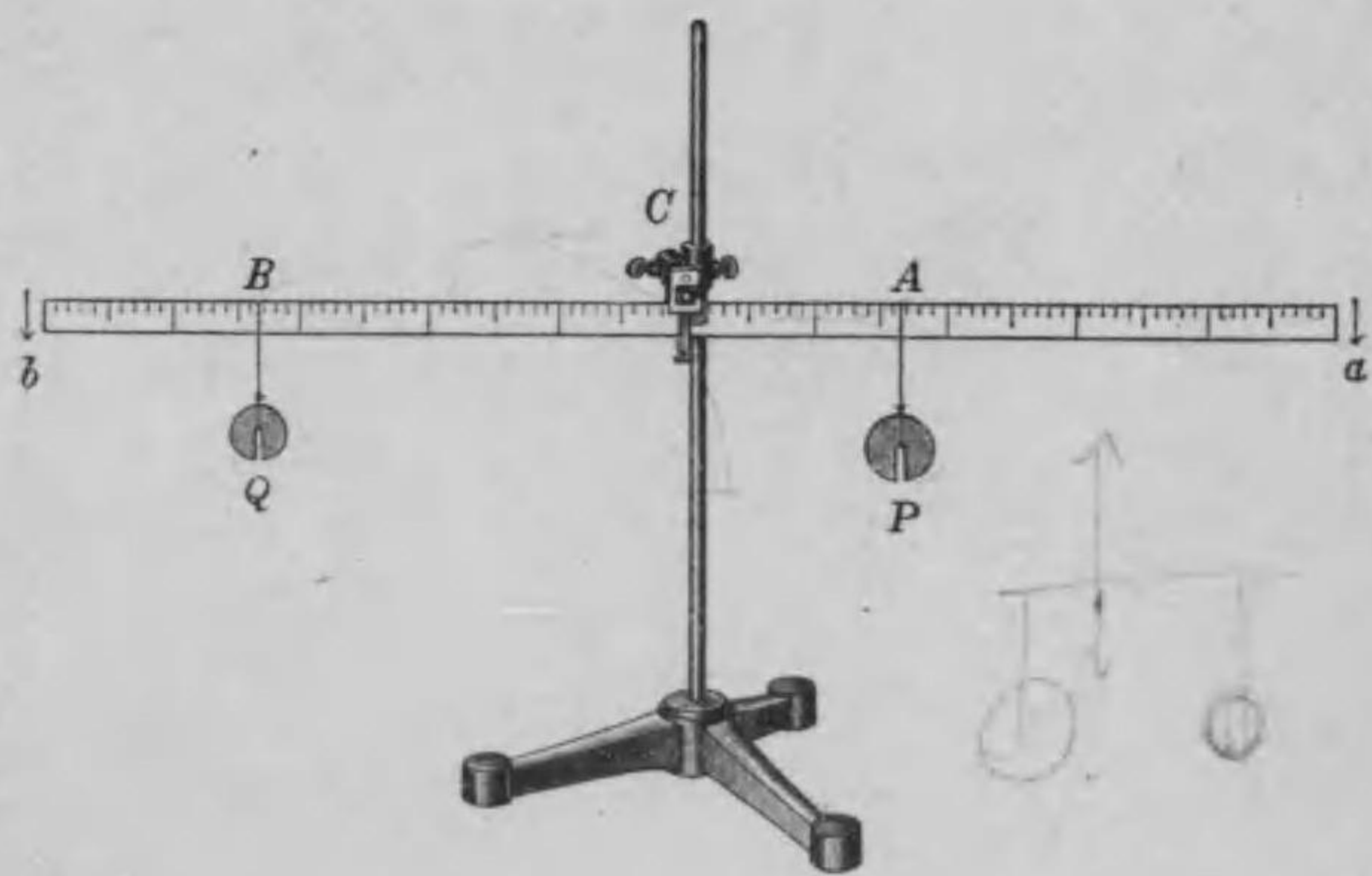
〔問一〕 大き相等しき二力が、(甲) 方向同じきとき、(乙) 互に直角なるとき、(丙) 方向相反するときの各合力を求む。

〔問二〕 圖の如く、人が車を押す力は二〇斤にして、地面と三〇度の角をなすといふ。車を前に動かす分力及び車を地面に押附くる分力各幾許なるか。



二

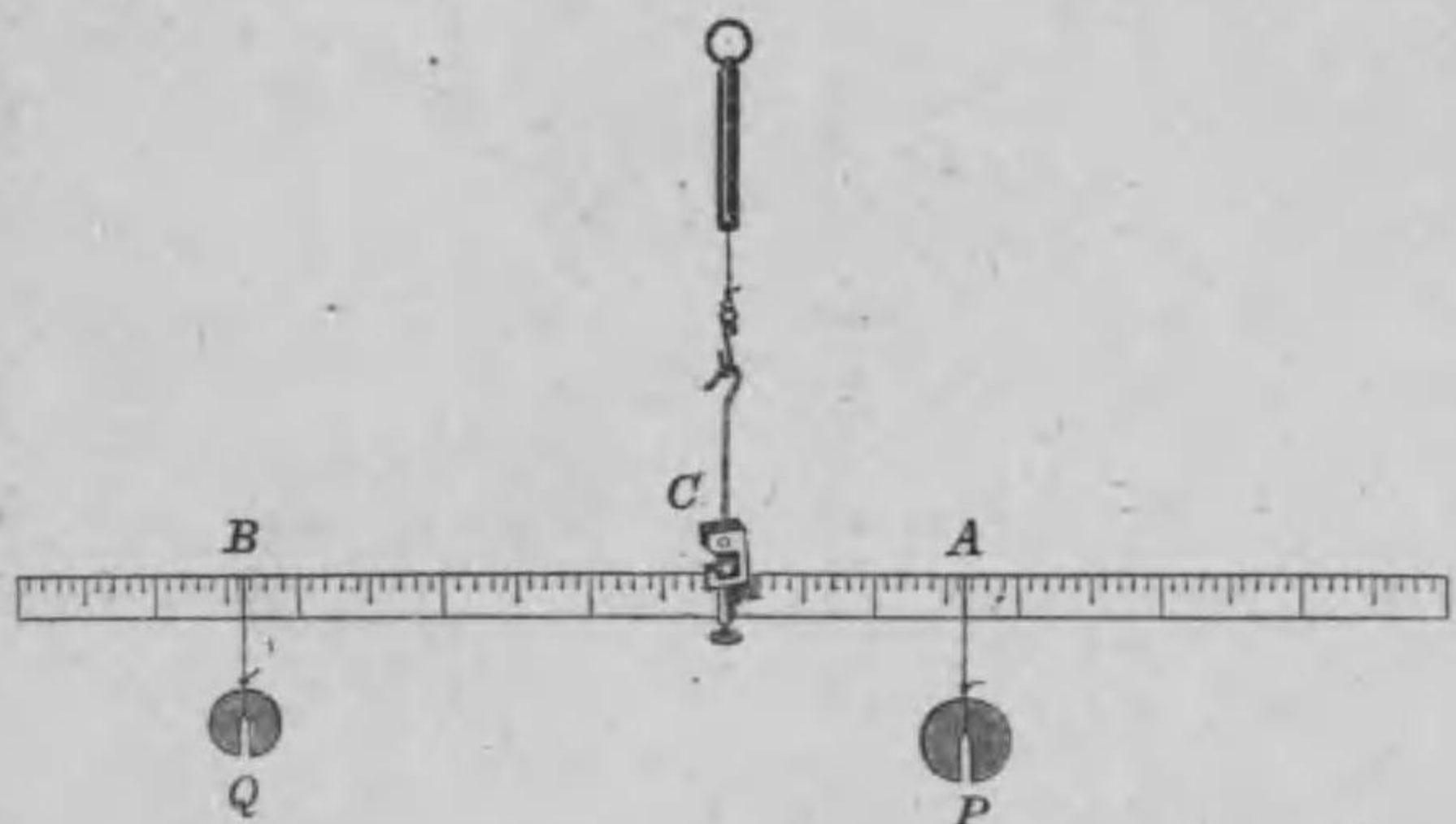
力の能率。開き戸を押せば、戸は蝶番を軸とじて廻轉す。而して押す點が軸より遠き程、戸を動かすこと容易なるは、吾人の經驗する所なり。次の圖の如く目盛したる一様なる



棒を、その中央Cにて支へて水平にし、一側に分銅Pを懸くれば、棒はCを軸として右へ廻り、また他の分銅Qを他側に懸くれば、棒は左へ廻るべし。今分銅Pを任意の一点Aに懸け、分銅Qを棒に沿うて動かせば、棒が水平となりて止るやうなる點Bを求むることを得。而してこの際CAとCBとの長さは常にPとQとの重さに反比例するを見るべし。即ち

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

この方程式の兩邊の如く、力の大きさと軸より力の作用線への垂直距離との相乗積を、その軸



に對する力の能率といふ。されば力が物體を廻轉せしむる能は、この能率にて測ることを得。

平行力の合力。 前の實驗にて分銅PQを懸けて棒が水平になりたる時、ゼンマイ秤にて棒の中央點Cを吊るすに、棒の釣合は依然たるを見る。この際、秤は棒の重量の外にPQの和Rだけの力にて棒を支ふること明なり。この三力PQRは釣合ふが故に、PQの合力はこのRと大きさが相等しく、方向相反して、C點に働く平行したる力PQの合力は、そ

平行力の中心

數箇の平行力の合力を求むる法

の大きき二力の和に等しく、方向は二力の方向に同じく、働く點CはPQに反比例してAB間を分つ。この合力の働く點CをPQ二平行力の中心といふ。

三つ以上の平行力あるときは、まづその任意二力の合力と第三の力との合力を求め、この合力と第四の力との合力を求め、次第に此の如くして、總平行力の合力とその中心とを求むることを得べし。

〔問〕 長さ六尺の棒に或重きの物體を懸けて、二人にてこの兩端を擔ふとき、人の肩に加る重さを二と三との比となさんとするには、この物體を何處に懸くべきか。

(東北農科大學)

四

偶力。 大きき相等しく、方向相反する二力を併せて偶力といふ。偶力が物體に働くときは之を廻轉せしむ。錐を揉み、鍵を廻す際に働く力はこの例なり。

第二章 機械と仕事

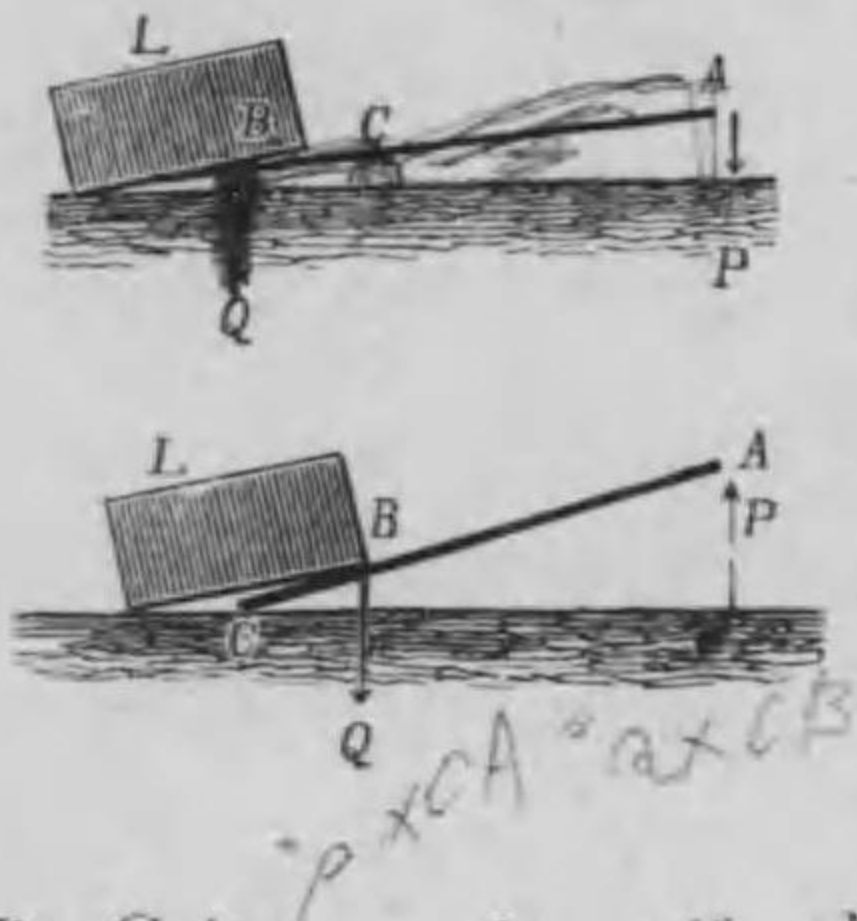
五

槌子。 重き物體の下に槌子をさしこみて之を動かすは、常見する所なり。槌子には動かざる支點Cあり、手にて力P

をA點に加へてB點に重量Qを支ふれば、支點Cに對する二力の能率は相等しかるべし。二力が平行するときは、

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

CA、CBを槌子の臂といふ。されば槌子の臂の比を適當に選ばば、小なる力にて重き物體を動かすことを得。



〔問一〕 長さ二米の槌子の甲端より二五厘の距離にある處を支點として、乙端に七五斤の力を加ふれば、甲端に幾許の力を生ずるか。

槌子の發明は極めて古く、古のエジプト人もまた之を解せり。エジプトの壯大なる建築物オベリスク・ピラミッドの如く、今日とても甚だ困難なるべき工事は、槌子を應用したること疑なし。

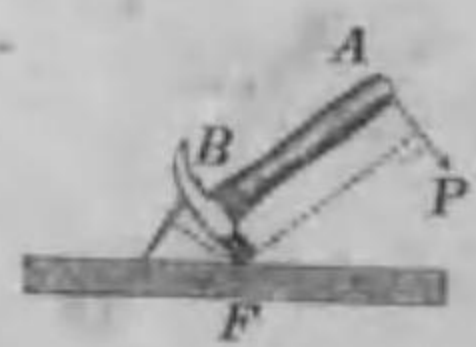
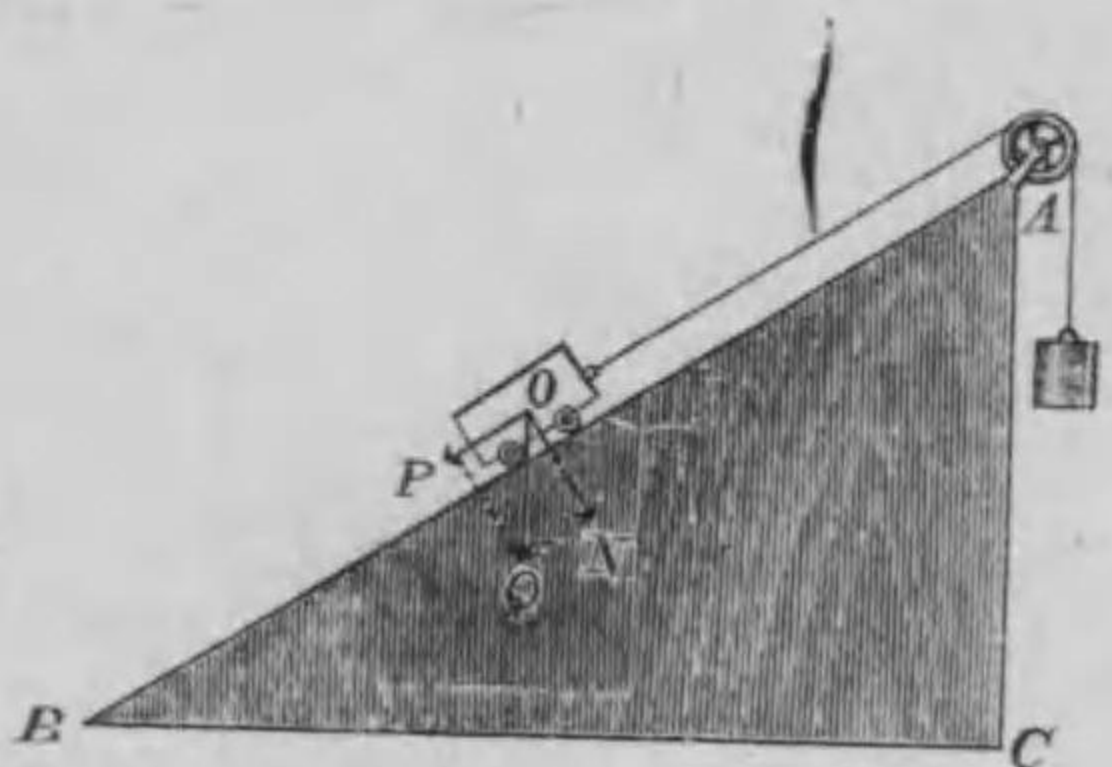
〔問二〕 圖の如く鐵槌にて釘を抜く場合に、鐵槌に加る力と釘に加る力との比を求めよ。

六 斜面。圖の如くBCを水平面とし、平滑なる斜面AB

上の一点Oに重量wの物體を置くとき、この重量w即ちOQを斜面に垂直なる分力ONと平行なる分力OPとに分解すれば、分力ONは物體と斜面との間に壓力を生じ、分力OPは、他に之に抗するものなきが故に、物體を斜面に沿うて動かすべし。而して三角形OQPは三角形BAOと相似なるが故に $OP = w \times \frac{AO}{AB}$ となり、分力OPは物體の重量より小なり。

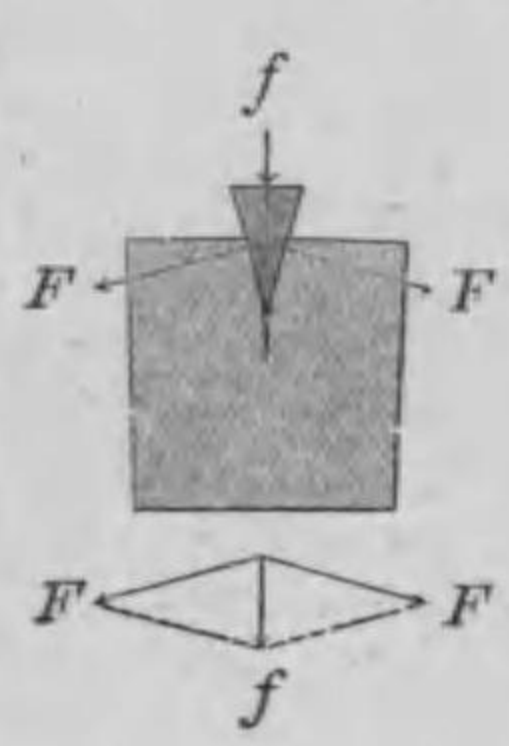
而してこの物體を單に斜面上に支へんとするには、分力 $w \times \frac{AO}{AB}$ に等しき力を、斜面に沿ひて上方に加ふれば足る。

斜面の利用



されば斜面を利用すれば、物體をその重量よりも小なる力にて高處に運ぶことを得。

〔問一〕 長さ五米の斜面あり、その高さ三米なり。この斜面上に一〇〇斤の物體を支ふるには、斜面の上方に向ひて幾許の力を加ふべきか。



〔問二〕 圖の如く楔にて木を割る場合に、楔の頭に力Fを加ふれば、楔の面に垂直なる分力FFは割目に働く。このFFの合力の大きさはfに等し、fとFとの比を求めむ。また刀劍が善く物を切ることを得るは何故か。

仕事の説明

七

仕事。甲物體が力を乙物體に加へて乙物體がその方向に動きたるときは、甲物體またはその力は、乙物體に仕事をなしたりといふ。例へば手にて石を擧ぐるときは、手または手の力は石に仕事をなすといふが如し。仕事の量は物體に動きたる力とその方向に物體の動きたる距離との相乗積にて測る。仕事の單位は、單位の力が物

仕事の單位

體に働きてその方向に單位の距離の移動を生じたるときの仕事なり。されば仕事の單位を示すには、力と長さとの單位を明記するを要す。例へば一呎米、一フートポンドといふが如し。

〔問〕 五〇〇噸の水を二〇呎の高さにある水槽に汲みあげたり。この仕事は幾フートポンドなるか。
(商船學校)

機械の用

斜面の仕事

八

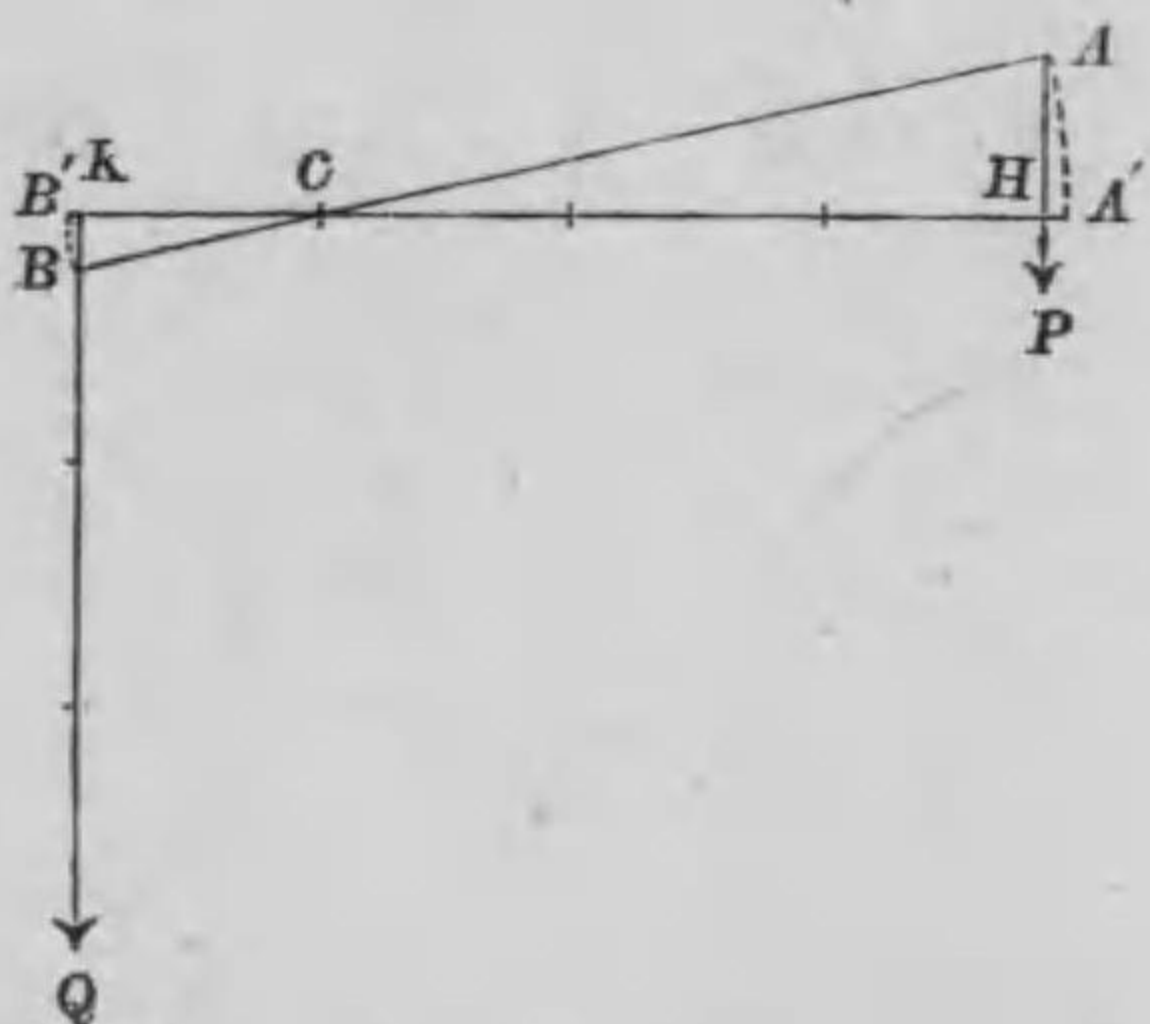
仕事と機械 斜面及び梘子は、機械の最も簡單なるものなり。而して機械の用は重力または他の抵抗に逆らひて物體を動かすにあり、即ち仕事をなすにあり。

斜面の場合に重量 w の物體を力 $\frac{w}{AB} \times AC$ にて斜面に沿うて B より A に運びたりとすれば、その仕事は $\frac{w}{AB} \times AC \times AB = w \times AC$ なり。而してこの仕事は斜面によらずして、物體を C より A に眞直に引揚ぐる場合の仕事に等し。

梘子の仕事

梘子の公式

古來數多の理學者は、外部より仕事を加へず永久に運轉して仕事をなす装置、所謂永久運動の装置を發明せんとて大に苦心せしが、皆失敗に終りたり。

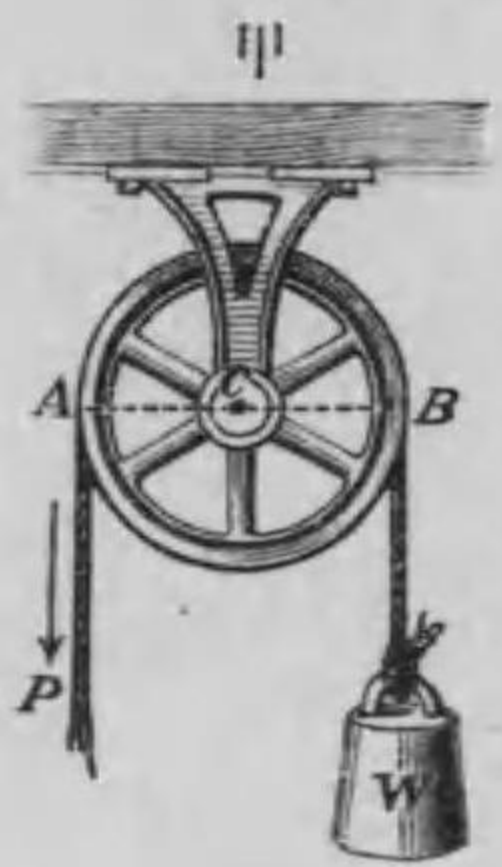


また梘子の場合に、圖の如く A 點に力 P を加へて、梘子が AB の位置より水平の位置 $A'B'$ に来れりとし、 AB より之に垂線 AH 、 BK を下せば $\frac{AH}{BK} = \frac{CA}{CB}$ なり。この際、人は梘子に $P \times AH$ の仕事をなし、梘子は石に $Q \times BK$ の仕事をなせり。その比は $\frac{P \times AH}{Q \times BK} = \frac{P \times CA}{Q \times CB}$ 一なり。即ち $P \times AH = Q \times BK$

されば斜面または梘子を用ひても、仕事に損益なし。此の如く小なる力を斜面及び梘子に加ふれば、これらの機械は大なる力を生ずることを得れど、そのなす仕事の量は、外部よりこれらの機械に加へたる仕事の量に等しく、機械は仕事を創生すること能はず。之を**仕事の原理**といふ。

他の複雑なる機械は皆斜面及び槌子を種々に組合はせたるものと見做すことを得るが故に、仕事の原理は機械一般に行はるゝものなり。

九 移動せざる滑車



滑車。井より水を汲みあぐるに、甲圖の如き滑車を用ふることあり。この滑車は兩臂の長さ相等しき槌子にして、たゞ力の方向を變ずるのみ。また乙圖に示すが如く、滑車の軸に物體を吊り、網の一端を一處に固定して、他端を上へ引くときは、

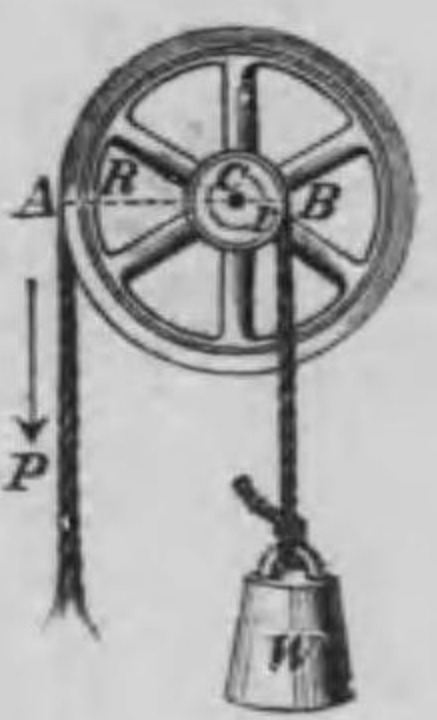
移動する滑車

物體は二條の綱にて支へらるゝが故に、一條の綱はその重量の半を受く。されば一〇〇斤の力にて二〇〇斤の重量を支ふることを得。また丙圖の如く共通の軸を有する二つの滑車二組を装置すれば、一〇〇斤の力にて四〇〇斤の重量を支へ得べし。



〔問〕 仕事の原理は滑車の場合にも行はるゝことを證せよ。

二 輪軸。輪軸は車の輪と軸とより成る。今輪の半徑をR、軸の半徑をrとし、輪に巻きたる綱を力Pにて曳きて、車を一廻轉せしめ、軸に巻ける綱に懸る重量Wを引揚げたりとすれば、仕事の原理によりて



の原理によりて

$$P \cdot 2\pi R = W \cdot 2\pi r \quad \therefore \frac{W}{P} = \frac{R}{r}$$

〔問〕 輪軸を槌子と見て右の公式を説明せよ。

二 螺旋。次の圖の如く、直角三角形の紙片を取り、直角の一邊

輪軸の公式



を圓壻の軸に平行にして圓壻に巻きつ
くれば、三角形の斜邊は圓壻の面に一種
の曲線をなす。この曲線に沿ひて突起し
たる線條を作りたるものは雄螺旋にして、この雄螺旋が丁



度嵌る圓筒を雌螺旋といふ。螺旋の軸に
沿ひて測りたる條と次の條との距離を螺
旋の歩みといふ。雄螺旋を雌螺旋に入れ、梃
子にて一回右へ廻せば、雄螺旋は歩みだけ
雌螺旋の中へ進入し、一回左へ廻せば、雄螺旋は歩みだけ退
出す。

この螺旋を用ひて家屋を押し舉ぐる場合を考へよ。梃子
の長さを a とし、その端に直角に加ふる力を P とすれば、螺
旋を一回廻すに要する仕事は、 $2\pi a \times P$ なり。螺旋の歩みを

螺旋の歩みを一
耗とすれば雄螺
旋を角度一度廻
す毎に雄螺旋は
一耗の三六〇分
一だけ進む。さ
れば微細なる移
動を物體に與へ
または微細なる
距離を測るに螺
旋を用ふ。

螺旋の公式

三

りとし、その上にある家屋の重量を Q とすれば、螺旋のなし
たる仕事は、 $Q \times D$ なり。仕事の原理によりて

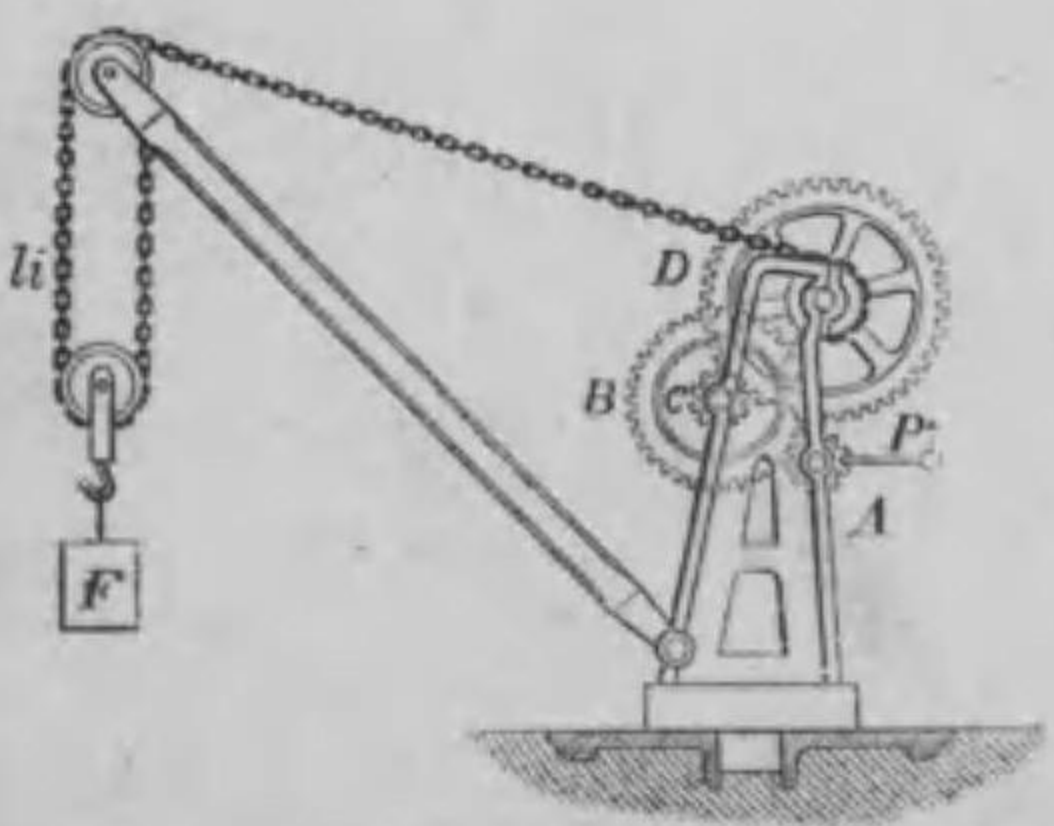
$$2\pi a P = Q D \quad \therefore \quad \frac{Q}{P} = \frac{2\pi a}{D}$$

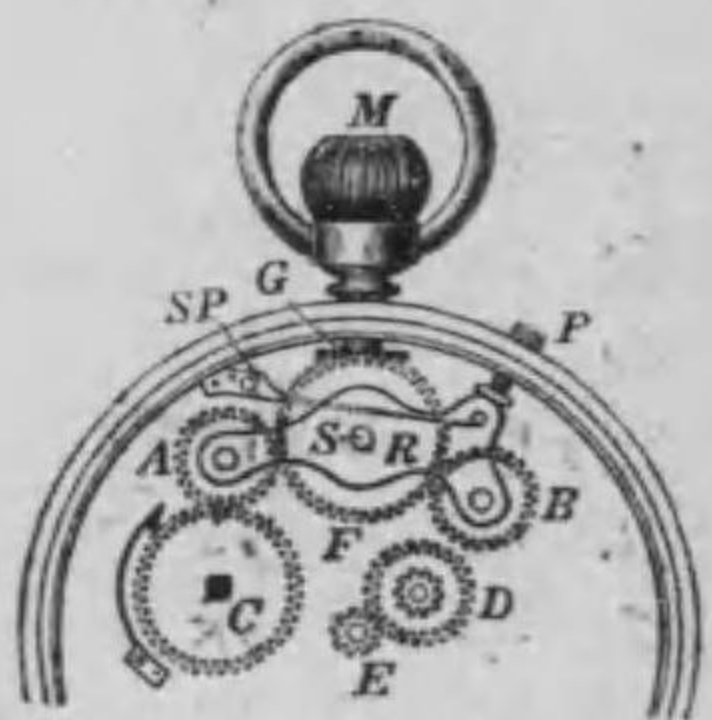
されば梃子を長くし、歩みを小にすれば、大なる力を生ず。

齒車 滑車、輪軸、螺旋の如き一つの廻轉體より他の廻轉體
に廻轉運動を移すには、調革または**齒車**を用ふ。噛みあふ
二つの齒車の齒數の比は、その半徑の比
にして、また一回轉に要する時間の比な
り。

【問一】 下圖に示す起重機にて、柄の長さは〇・五米、
齒車 $A B C D$ の齒數は各一二四八、一二六〇、鎖
を巻く軸の半徑は一〇厘なり。機に加ふる力 P
と機の支ふる重量 F との比を求む。

【問二】 次の圖により、龍頭にて懷中時計を巻上げ





且指針を動かす方法を説明せよ。但しRはSを支点として廻ることを得。Oはバネ、Eは指針の廻轉軸なり。

工率。 機械が單位時間になし得る仕事の量をその**工率**といひ、**馬力**をその單位とす。馬力は毎秒五五〇フートポンド

の仕事を行し得る工率にして、毎秒七六呎米に當る。

〔問一〕 第七節の問の仕事を行すに五時間を要したり。その工率幾馬力なるか。小數點以下二位まで算出せよ。

(商船學校)

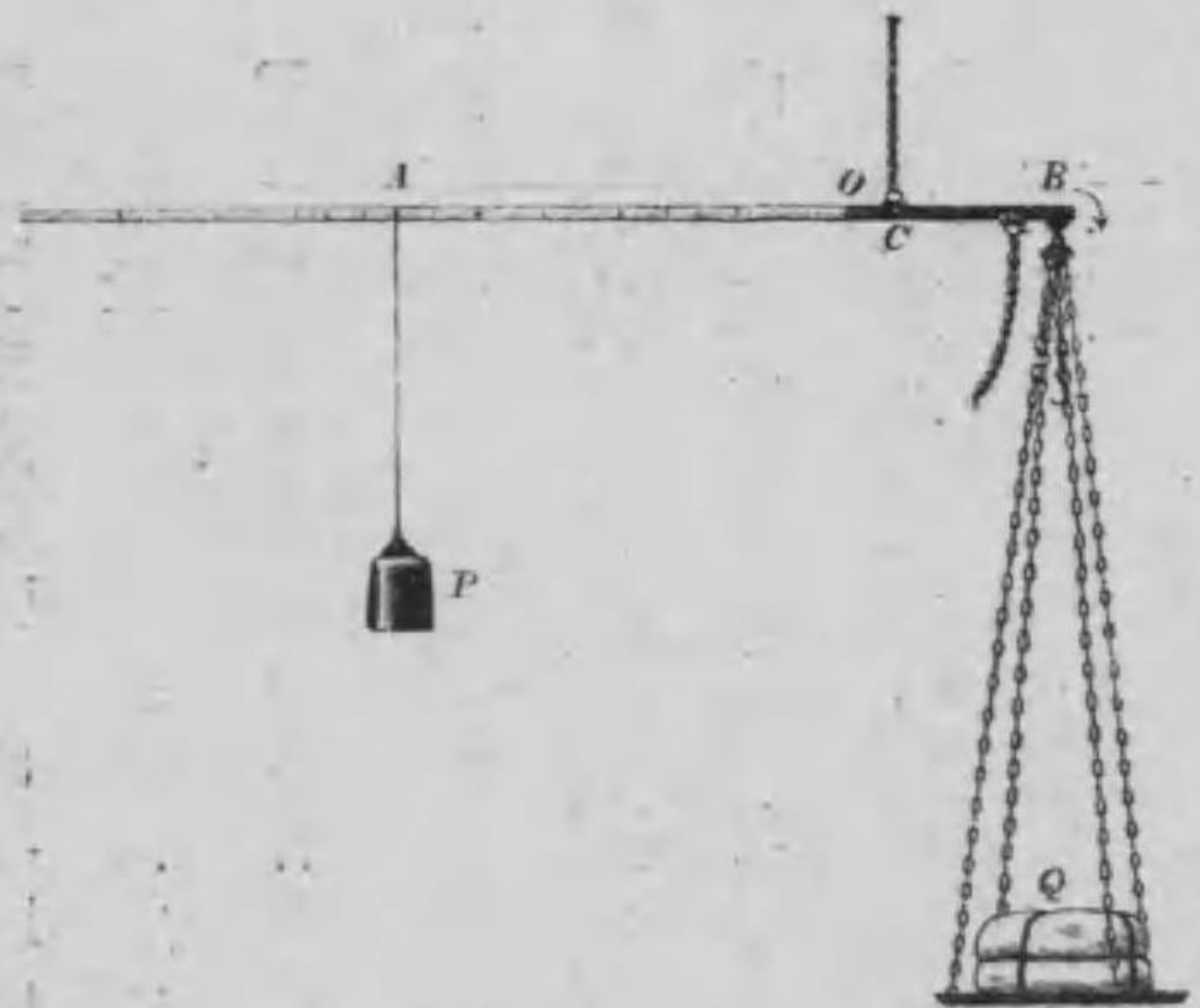
〔問二〕 空手にて成るべく急ぎて二階に昇りたる場合と、成るべく重き荷物を持ちて二階に昇りたる場合との工率を實驗によりて計算せよ。

第三章 重量及び重心

二四

桿秤。 物體の重量によりてその質量を測る機械を秤とい

桿秤の目盛



ふ。實驗室にて用ふる秤は**天秤**にして、吾人が日常用ふる秤は**桿秤**なり。桿秤は槌子の理に基づく。即ち桿の一端に近く緒綱附きて支點Cとなり、短き臂の端Bに皿懸り、他の臂には目盛ありて、重量Pの分銅之に沿ひて移る。空皿のとき、桿を水平にする分銅の位置をOとすれば、Oは目盛の零位なり。今重量Qの物體を皿に載すれば、桿を右へ廻す能率の×(C)を生ずるが故に、再び桿を水平にするには、分銅を左方の一點Aに移して、之と同量なる左廻しの能率の×(A)を生ぜしむるを要す。この際

されば物體の重量 Q は長さ OA に比例して測ることを得。

〔問一〕 重力の強さは場所によりて異なるに拘らず、同一物體を天秤にて秤量したる結果は何處にても差異なきは、何故なるか。(高等學校大學豫科)

〔問二〕 緒綱二條ある桿秤は大小二様の重量を測ることを得。何故か。

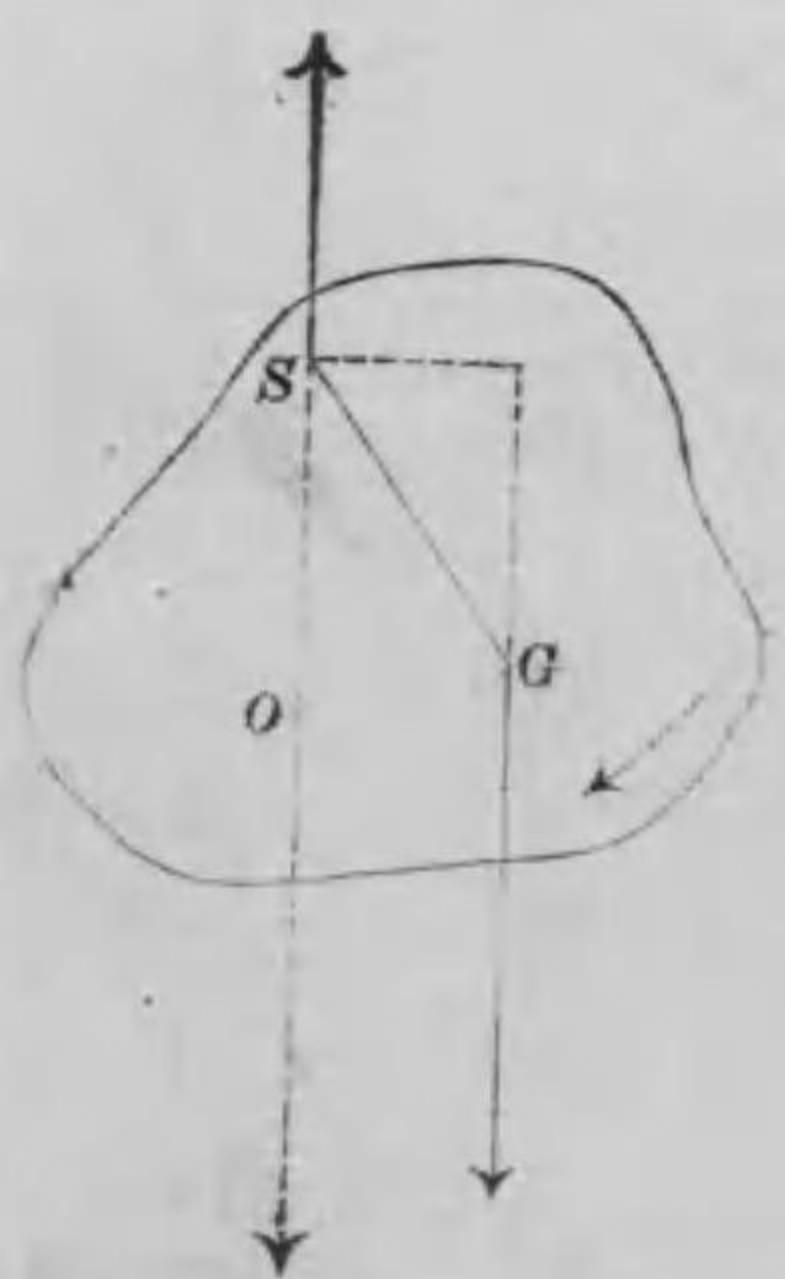
$$Q \times CB = P \times OA$$

$$Q = \frac{OA}{CB} \times P$$

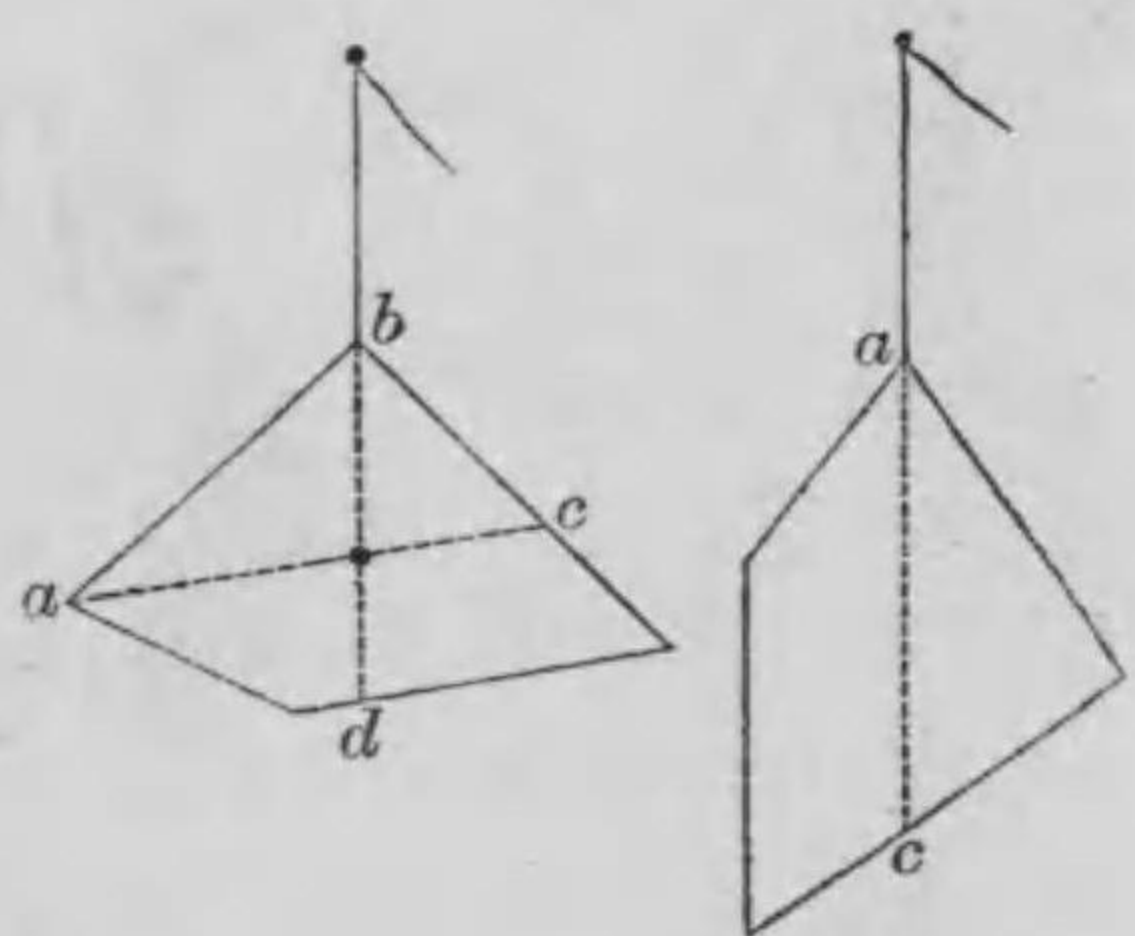
一五

重心。重力は鉛直の方向に物體の各部に働き、これら平行力の合力は物體の重量をなす。されば重量はこれら平行力の中心に働くと見なすべし。この中心を重心といふ。

全く運動する傾向を有せず。されど、下圖に示すが如く、物體の他の一點 S を支ふれば、物體は振動して、重心 G は終に S 點の



重心の所在

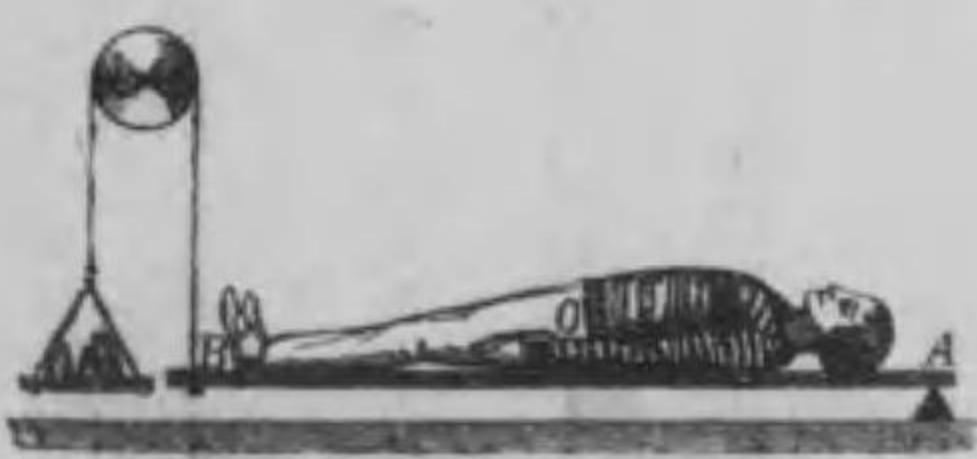


直下りに來りて靜止す。されば S 點を糸にて吊れば、重心は糸の延長線上にあり。

この理により、上圖の如き板をまづ a にて吊り、釣合の位置にあるとき、糸の延長線 ac を描き、次に b にて吊り、同じく糸の延長線 bd を描けば、その交叉點は即ち板の重心なり。

〔問一〕 下の圖の如く、長さ六尺の板の一端 A を支へ、他端 B を吊りて水平ならしめ、人をその上に載せて再び板を水平ならしむるに、六貫の分銅を皿に加へたり。而してこの人の體重は一六貫なりといふ。この人の重心は A より幾許の距離にあるか。

〔問二〕 玩具の豆小僧の理を説明せよ。



物體顛倒の理

圓錐體が底面に立つ場合の如く之を動かして忽ち舊位置に復するときは、之を安定の釣合といひ、その倒に立つ場合の如く常にその位置より遠ざからんとするときは、之を不安定の釣合といひ、水平盤上の球の如く隨處に止るときは、之を中立の釣合といふ。

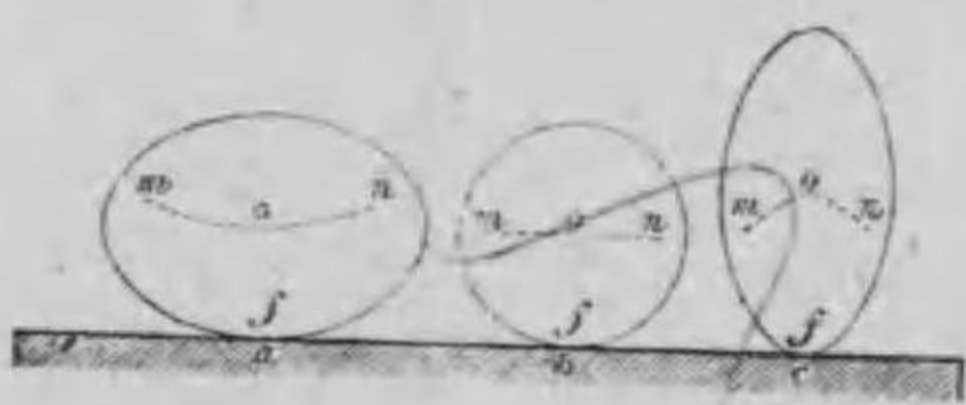


物體の坐り。圖の如き水指が机の上に立つときは、その重心はGにあり。この水指の上部を手にて右方へ押し、a點を軸として之を倒さんとすれば、重心はa點を中心とする圓弧Gを描き、aを通る鉛直線をりて通過すべし。重心がりに來る前に手を放せば、重力は水指を左方へ廻さんとする能率を有するが故に、水指は忽ち舊位置に復す。されど重心が一旦りを過ぐるときは、重力の能率は水指を右方へ廻さんとするが故に、手を放せば、水指は忽ち右方へ倒る。されば物體の顛倒せざるがためには、その重心を過ぐる鉛直線が基底を通るを要す。この理によりて圓錐體は倒立すること能はず、水平盤上の球は自ら轉ば

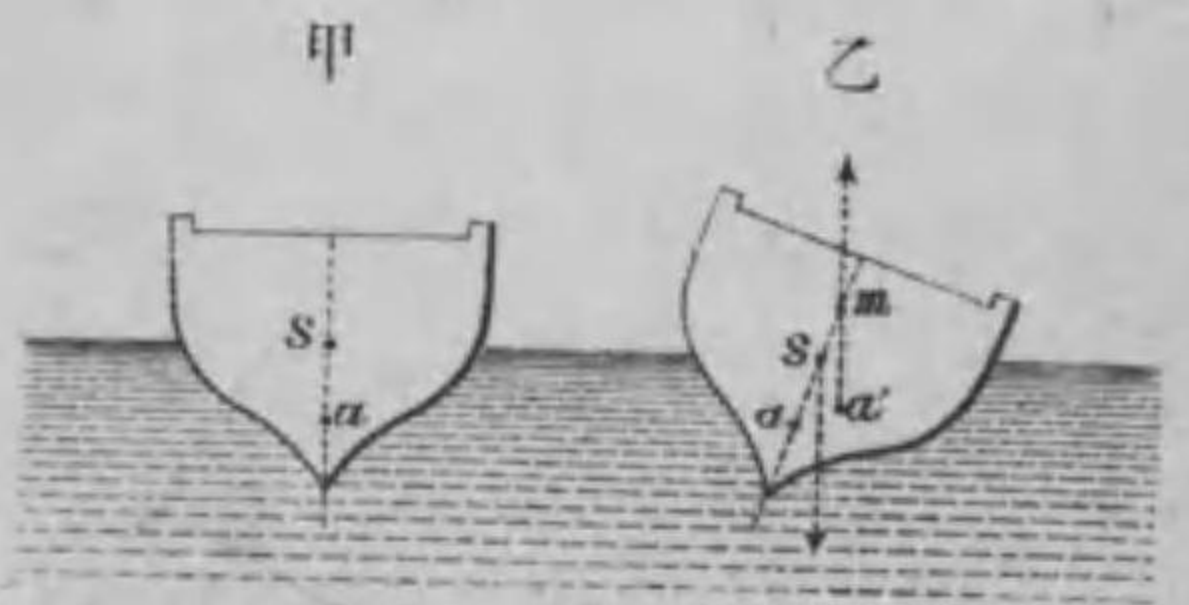
坐りの善惡

ずして隨處に止る。三脚臺、四脚臺などにては、これらの脚の下端を連ねて作りたる多邊形を基底とす。前圖のG點を通して水平線を描けば、a點にて垂線abに交る。beは水指を倒すがために重心を上ぐべき高さにして、この高さ重量との積は、水指を倒すに必要な仕事の量なり。されば物體の基底の廣き程、重心の低き程、而して質量の大なる程、之を倒すに必要な仕事は大にして、之を倒すこと難し。此の如き物體は坐り善しといふ。船に働く水の浮力は船の排除したる水の重量に等しく、且この水の重心に働くと見做すことを得。この重心を浮力の中心といふ。次の甲圖の如く、船の重心sと浮力の中心aとが同じ鉛直線上にあるときは、二力は釣合ひて船は動かす。今乙圖の如く船が稍傾きたりとなれば、船の重心sはそ

船の顛覆



の位置を變ぜざれど、排除したる水は、位置、形を變ずるが故に、浮力の中心は他の位置 a' に移る。この a' を過ぐる鉛直線と as 線との交る點 m が s の上にあるときは、矢にて示すが如き偶力は船を舊位置に復せしむるが故に、船は坐り善けれど、もし m 點が s の下に來らば、船は顛覆すべし。船の下底に重き物體を容れて船の重心を成るべく低からしむるは、これがためなり。



〔問一〕 卵には上圖の如く三種の置き方あり。之を少し左右に動搖せしむとして、各種に就きて坐りの善惡を檢せよ。

〔問二〕 机上に直立せる方柱の側面を直角に押して之を倒さんとするに、押す點の高き程倒し易きは何故か。

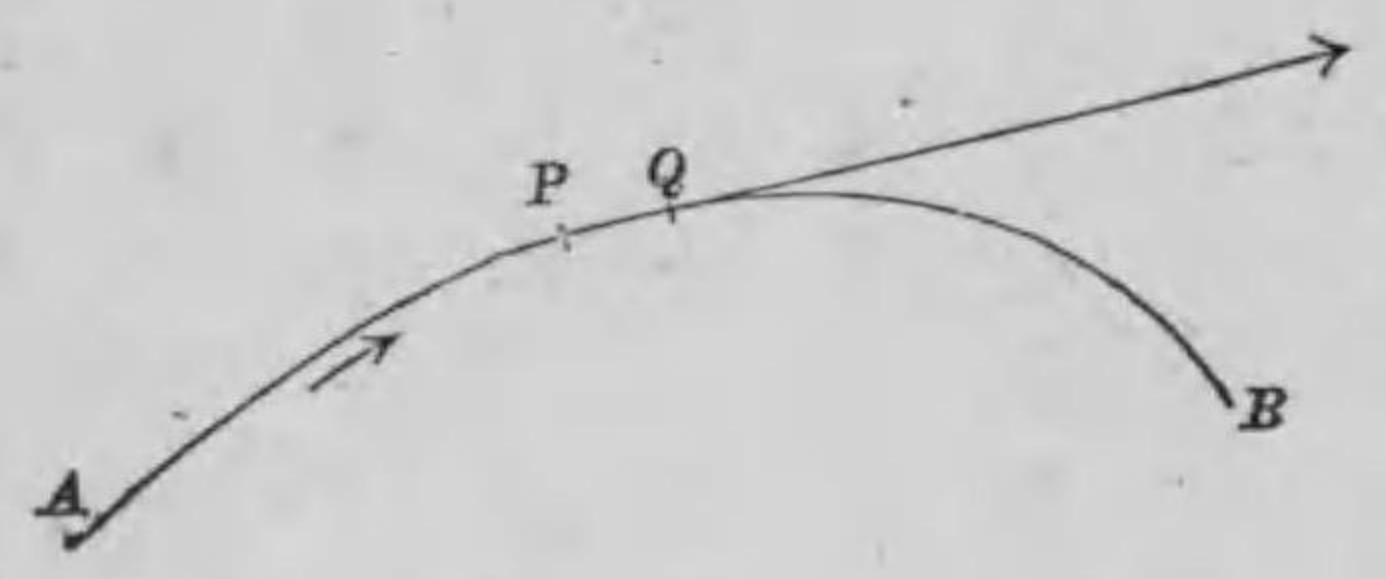
(高等學校)

第四章 運動

一七 不等速運動

速度の方向を變ずる運動

速度の大きさを變ずる運動



また停車場を發する汽車は、始め徐に動き、次第に速さを増

等速運動は稀にして、物體の速度は通常時及び場所と共にその方向または大きさを變ず。之を不等速運動といふ。

斜に空中に抛ちたる球は AB の如き曲線を描きて進行す。此の如き曲線もその短き一部例へば PQ を取れば、直線と見做さるゝが故に、物體が PQ を通過するときの運動の方向は PQ を連ぬる直線にて示すことを得べし。されば球の進むに隨ひて、その速度は絶えず方向を變ず。

八

して、遂に全速度に達す。この際、一定の瞬間に於ける速度は、その瞬間に於ける運動を單位時間續けたる場合に通過すべき距離によりて之を測る。

加速度。 不等速運動にて單位時間の速度の變化を**加速度**といふ。停車場を發したる汽車が一秒の後に五〇秒糶の速度を得、二秒の後に一〇〇秒糶の速度を得たりとすれば、一秒間に加りたる速度は常に五〇秒糶なり。即ち**加速度の大きさは毎秒五〇秒糶にして、その方向は加りたる速度の方向なり。** 而して速度増すときは**加速度は正にして、速度減ずるときは負なり。**

〔問〕 汽車が停車場に近づくとき、左表の如く次第に速度を減じたりと假

秒	秒
秒	秒
五〇〇	〇
一〇〇〇	一
一五〇〇	二
二〇〇〇	三
二五〇〇	四
三〇〇〇	五

定せよ。この**加速度**は幾許なるか。

合運動

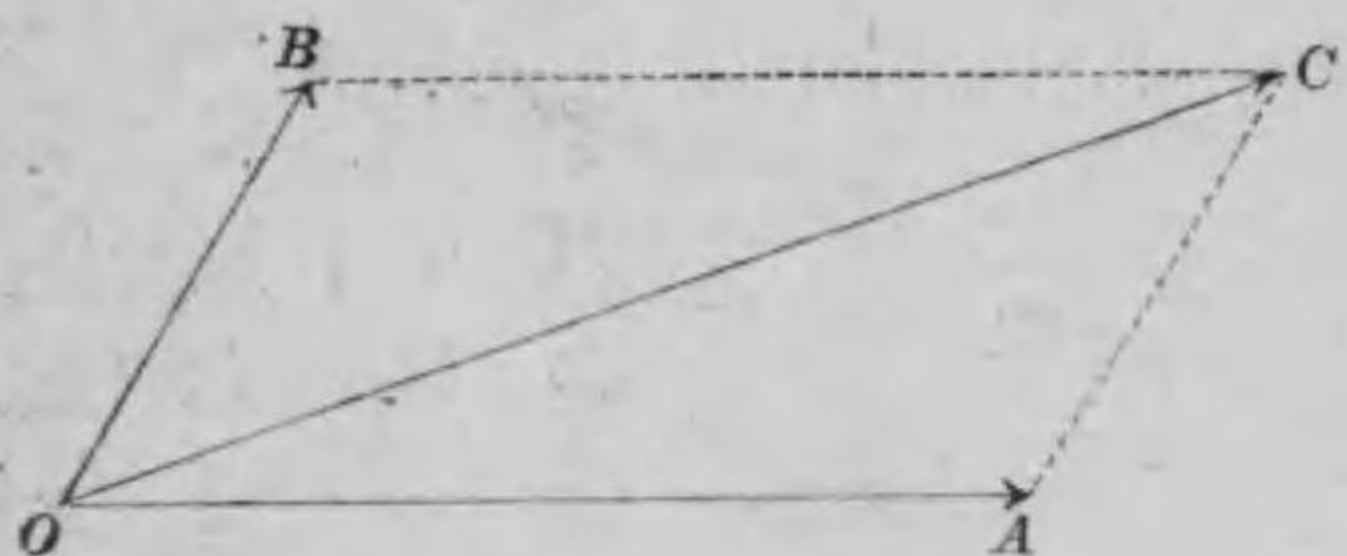
一九

運動及び速度の合成及び分解。 合進行する船の乗客が甲

板の上を斜に歩みたる場合を考ふるに、 O を最初の位置とし、一定時間の後、 O は船と共に OA だけ進み、同時に人は甲板の上を OB だけ歩みたりとすれば、人が B に到るときは、 B は既に船と共に進み、 OA に平行にして且等しき道 BC を通りて、今は C にあり。されば人は OA 及び OB の運動をなしたる結果として、水上にて OC の運動をなす。この OC を OA 、 OB の**合運動**といふ。

また一秒間に船は水上にて O より A に進み、人は船中にて O より B に達したりとすれば、人は水上にて一秒間に O より C に達す。されば OA 、 OB の二線は船及び人の速度を表し、 OC 線は水上に於ける人の速度を表す。この速度

合速度

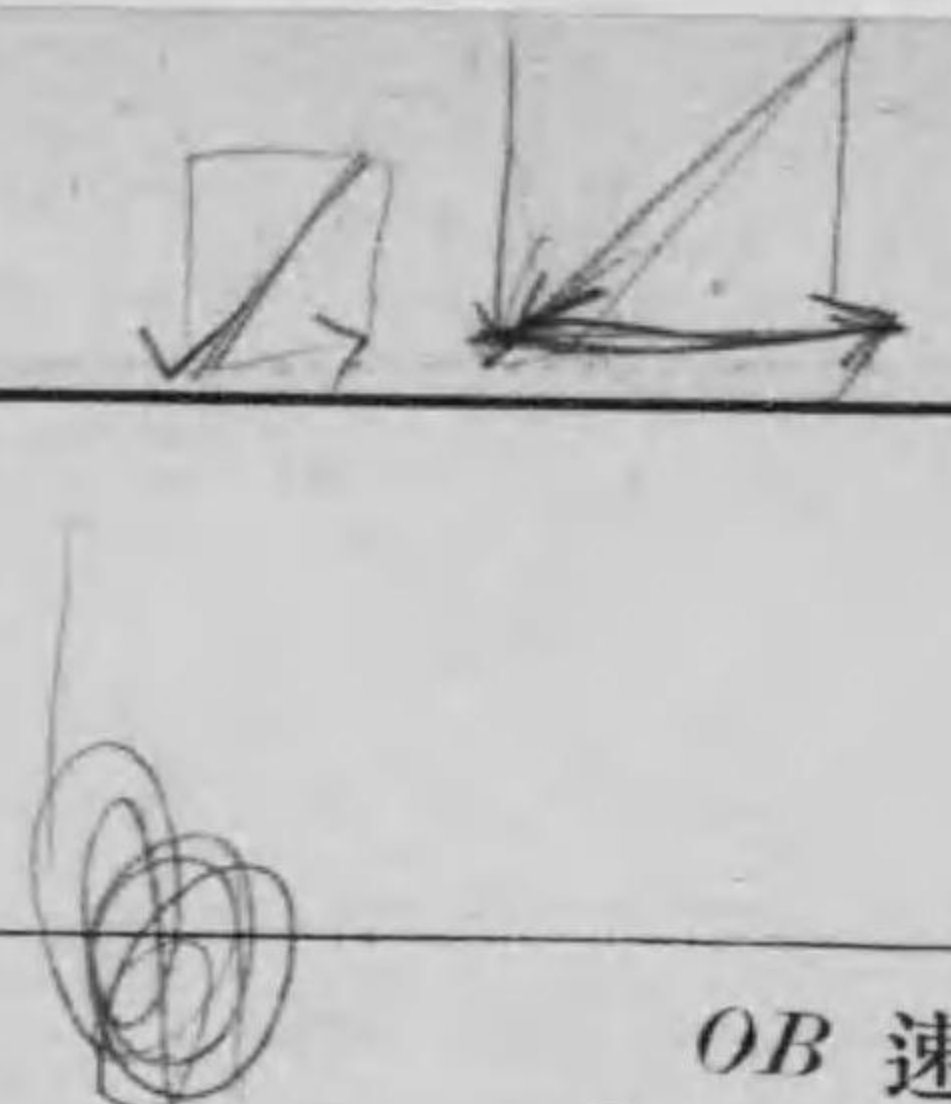


分運動及び分速度

OC を速度 OA OB の合速度といふ。
之に反して一つの運動または速度 OC を二つの運動または速度 OA OB より成ると見做すことを得べし。この場合に OA OB を OC の分運動または分速度といふ。

〔問一〕鉛直速度一三八分尺にて上昇する輕氣球が、水平の風に吹き流されて地面と六〇度の傾をなしたる道を走るといふ。風の速度及び輕氣球の速度を求む。

〔問二〕風なきとき進行する汽車中に坐する人は、窓外の雨の線を如何なる方向に見るべきか。圖を以て説明すべし。
(大阪高等工業學校)



第五章 運動の法則

二 運動の法則。球を打ちて大なる速度を與ふるには、大なる力を要す。實驗によれば、同じ物體に生ずる加速度は力の大きさに比例す。また荷を積める車を引出すは、空車を引出すよ

りも大なる力を要す。實驗によれば、物體に一定の加速度を與ふるに要する力の大きさは物體の質量に比例す。即ち力が物體に加るときは、物體は力の方向に一定の加速度を得。而してこの加速度と物體の質量との相乗積は加りたる力に比例す。

之を運動の法則とす。

C G S 制にては、一瓦の質量に加りて、毎秒一秒厘の加速度を與ふる力を力の單位とし、之をダインといふ。されば m 瓦の物質に加りて毎秒 a 秒厘の加速度を與ふる力 f は ma ダインなり。即ち

$$f = ma$$

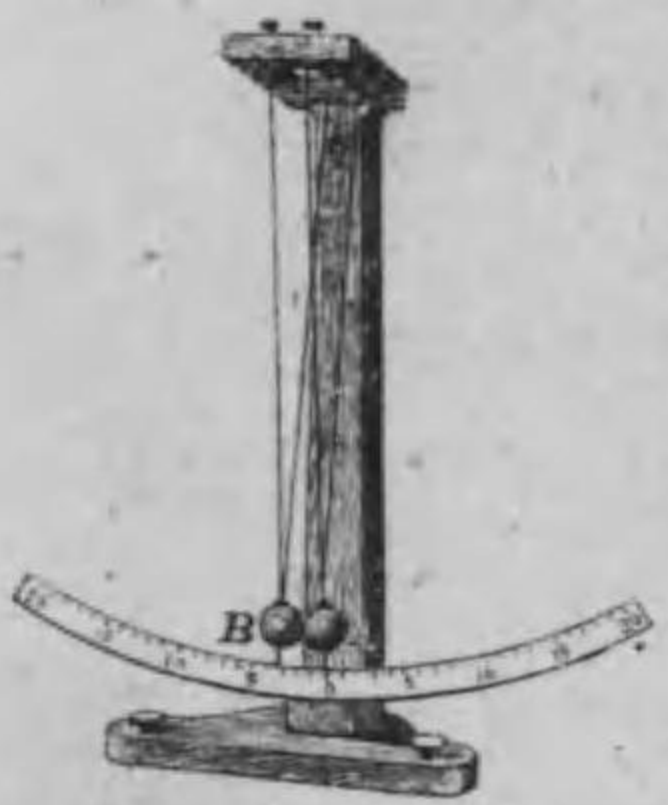
この運動の法則と慣性の法則及び反作用の法則とを併せて、ニュートンの運動の三法則といふ。

三

運動量。今質量 m の物体に力 F が加りて之に毎秒 u の加速度を與ふるときは、 t 秒の後、速度は $v = u + at$ 秒糶となるが故に、前式によりて

$$Ft = mv = m(u + at)$$

運動する物体の質量と速度との相乗積を、その運動量といふ。今この物体を舊の如く静止せしむるには、同じ強さの力 F を反対の方向に同じ時間 t だけ加へざるべからず、何故か。されば運動量の大き程、その物体を静止せしむるに大なる力、または長き時間を要す。



〔問一〕 硝子コップを高處より壘の上に落すときは破損せざるに、石の上に落すときは破損するこ
とあり。この理如何。 (東京高等商業學校)

〔問二〕 圖の如く二つの象牙球 A, B を吊り、 A 球を右へ引上げて放せば、 A 球は降りて B 球を打ち

て静止し、 B 球は左に上り、その高さは殆ど A 球を引上げた高さに等し。運動の法則は如何に之を説明するか

第六章 運動する物体

落體。

伊太利人ガリレオはピサの斜塔の頂より大小數箇



の物体を落し、その同時に地面に達することを實驗して、地球上の物体は、質量の大小に關らず、常に同じ加速度にて落つることを知り得たり。精確なる實測によれば、この加速度は地方によりて多少の差違ありて、日本にては毎秒九八〇秒糶なり。この加速度を表すに、通常 g を用ふ。この加速度を落體に與ふるものは、その重量なるが故に、一

ガリレオ (一五六四—一六四二)
大物理學者にしてまた天文學者數學者なり。實驗の物理學に必要なることを知り、之によりて落體及び振子の運動の法則を見せり。また始めて望遠鏡を天體觀測に用ひて木星の衛星、太陽の斑點及び土星の輪を見せり。物理學はこの人に始れりといふも過言にあらず。

物體の重量を m ダインとし、その質量を m 瓦とすれば、運動の法則によりて

$$v = gt$$

(1)

されば一瓦の重量は九八〇ダインに相當す。

物體が静止の状態より落つるときは、毎秒 g 秒糶だけその速度を増すが故に、 t 秒後の速度 v は

$$v = gt$$

(2)

この時間の平均速度は $\frac{gt}{2}$ なるが故に、落體の通りたる距離 s は、落體がこの平均速度にて等速運動をなしたるものと見て計算することを得。即ち

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

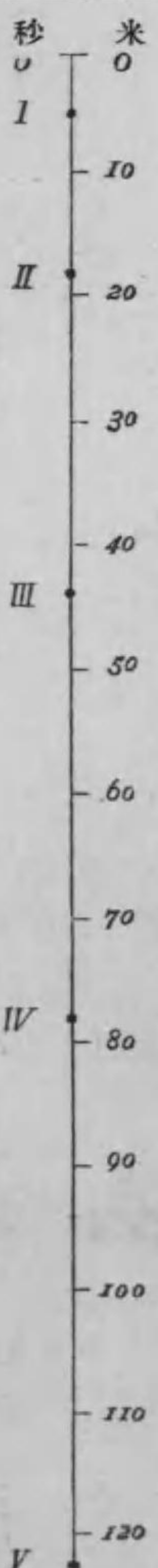
(3)

この兩式より t を消去すれば

$$v^2 = 2gs$$

(4)

この場合に落體の位置を一秒毎に檢すれば、略次の圖に示すが如くなるべし。



物體を速度 v_0 にて眞下または眞上に抛つ場合には、速度は毎秒 g 秒糶だけ増減するが故に、 t 秒後の速度は

$$v = v_0 + gt$$

(5)

この時間の平均速度は $\frac{1}{2}(v_0 + v) = v_0 + \frac{1}{2}gt$ なるが故に、落體が t 秒間を通りたる距離 s は

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

(6)

兩式より t を消去して、

$$2gs = H(v_0 + v)^2$$

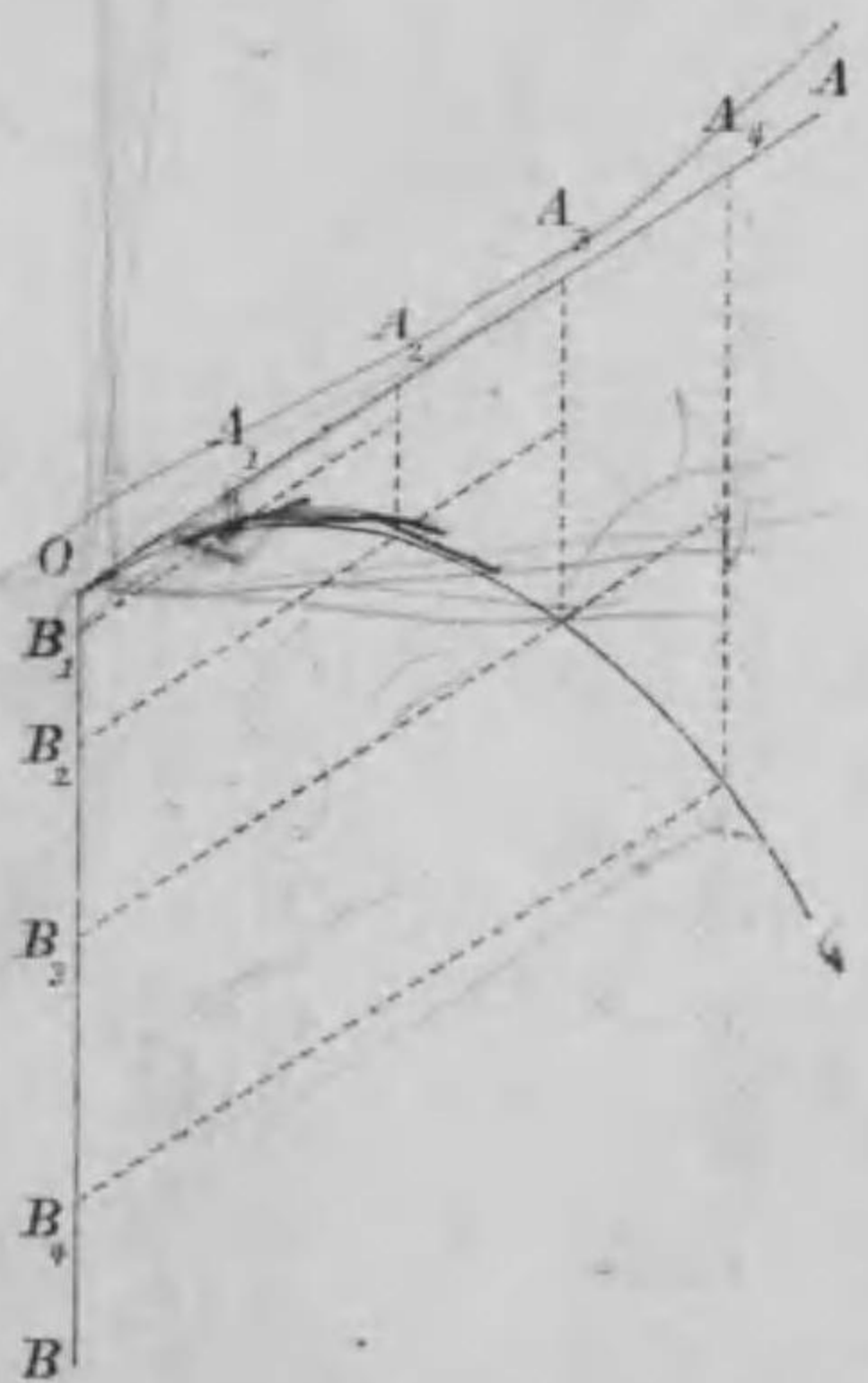
(7)

下の式にて投げ落す場合には、 v_0 を取り、投げ上ぐる場合には、 v_0 を取るべし。

〔問一〕 氣球より小石を落したるに一二秒にて地上に達せり。この氣球の高さ幾許。
(陸軍士官學校)

〔問二〕 花火を打上げたる瞬間より四秒を経て爆發を見たりといふ。その上昇したる高さ及び最初速度を計算せよ。但し花火は最高處に達して爆發したるものとす。
(高等學校)

三 拋物線。 石を斜に投げ上ぐれば、圖の如き一種の曲線を描く。この曲線を拋物線といふ。蓋し一定の速度の A_1 にてりより投げられたる石は、重力の加ることなくば、等速運動をなして、一秒の後 A_1 に、二秒の後 A_2 に、三秒、四秒の後 A_3 に達すべし。またこの等速運動なくば、石は落體の法則に隨ひて一秒の



拋物線の作圖

の加ることなくば、等速運動をなして、一秒の後 A_1 に、二秒の後 A_2 に、三秒、四秒の後 A_3 に達すべし。またこの等速運動なくば、石は落體の法則に隨ひて一秒の

後 B_1 に、二秒の後 B_2 に、三秒、四秒の後 B_3 に達すべし。實際には、石はこの二箇の運動を同時に成すが故に、平行四邊形の法によりてその位置を求め得べきこと、圖に示すが如し。

〔問〕 地上五〇米の高さより毎秒三〇〇米の速度を以て水平の方向に發射せる彈丸は、發射後幾秒にして地面に達するか。また彈丸の水平距離を求む。但し空氣の抵抗なきものとす。
(陸軍士官學校)

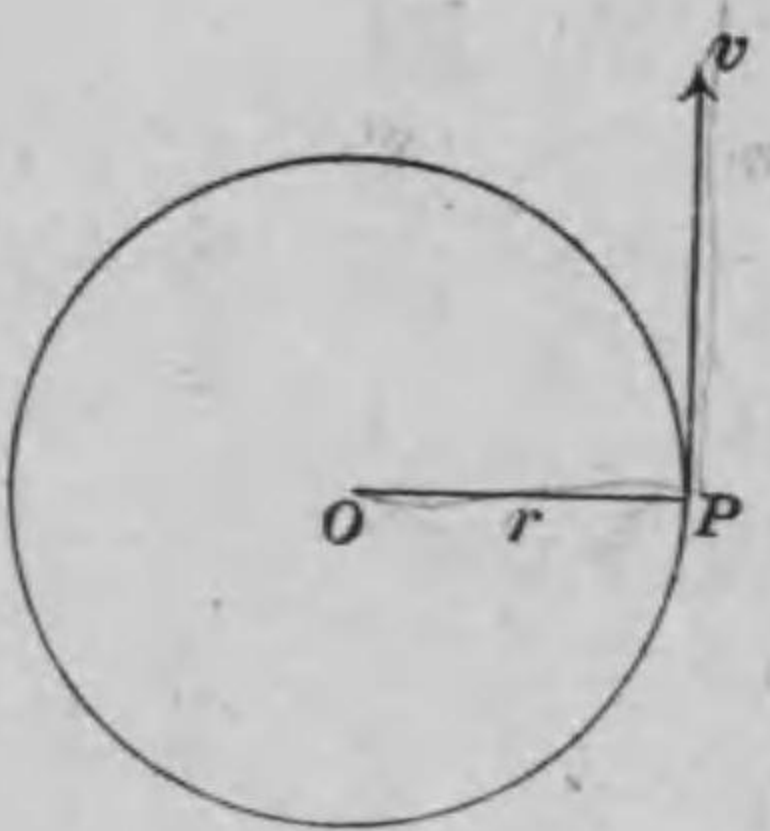
二四 圓運動。 或速さにて圓周の上を走る物體は、常に運動の方向を變ずるが故に、速度は絶えず變化す。されば運動の法則によりて力は常にその物體に加らざるべからず。絲の一端に錘を附け、その他端を手を持ち、錘を振り廻して圓運動をなさしむれば、手の絶えず絲を引くを覺ゆべし。これによりて圓運動をなす物體には、中心に向ふ力の働き居るを知るべし。この力を求心力といふ。この求心力は錘に働きて

求心力

705.6米

常に中心に向ふ(即ち錘の運動の方向に直角に)速度を加ふるが故に、錘はその運動の方向を變ずること、速度の合成法によりて明なり。

求心力の大きさ



今運動の法則によりて計算するに、圓の半徑を r とし、錘の質量を m とし、その速さを v とすれば、求心力の大きさは mv^2/r となる。而して錘が全圓周を描くに要する時間即ち週期を T とすれば、錘の速さ v は $2\pi r/T$ なるが故に、求心力の大きさは $\frac{4\pi^2 m r}{T^2}$ となる。

萬有引力の例

月は地球の周に略圓運動をなすが故に、地球は月を引くことを知り、また地球は他の遊星と共に太陽を周りて略圓運動をなすが故に、太陽は地球及び他の遊星を引くことを知る。随つて月は地球を引き、地球及び他の遊星は太陽を引く

ことを知る。これ萬有引力の例なり。

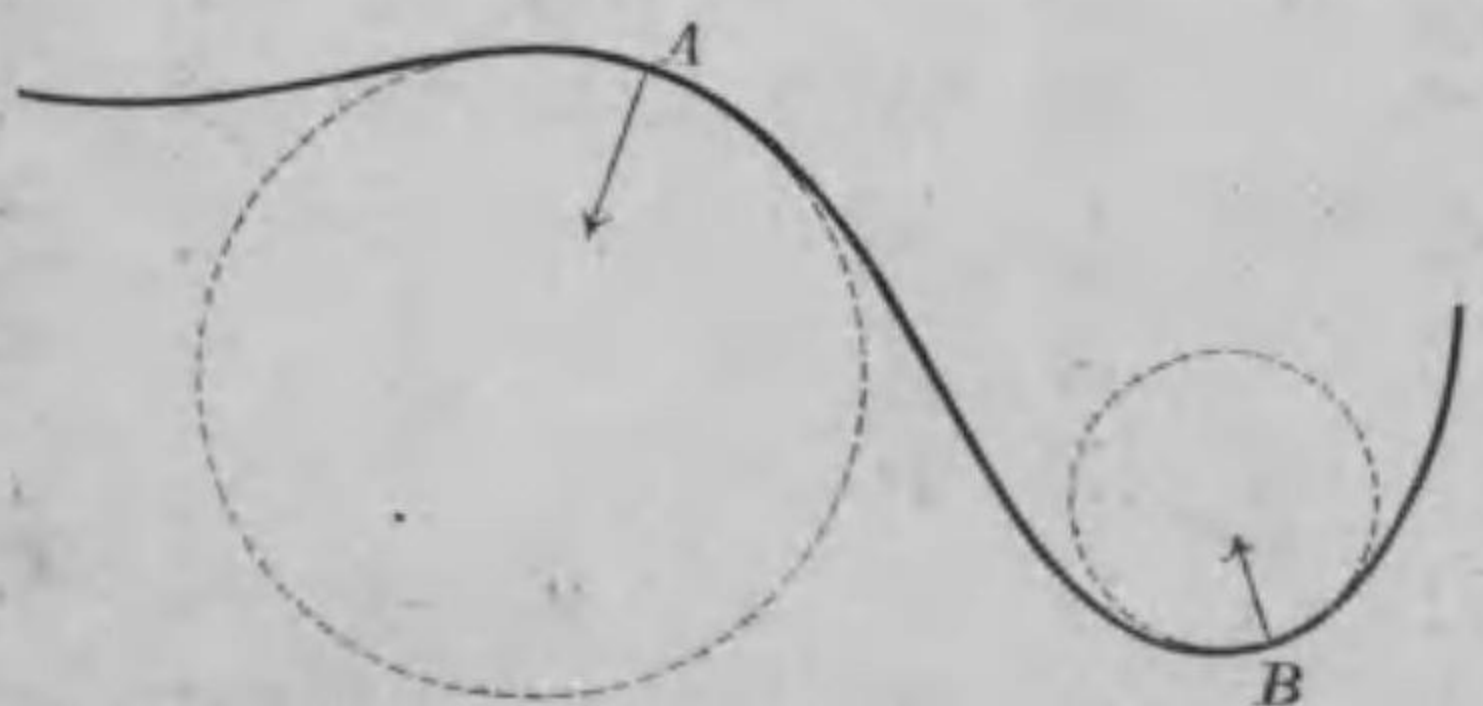
錘が圓運動をなす際に、急に絲を放てば、もはや錘に加る求心力なきが故に、慣性の法則によりて、錘は切線の方向に飛び去ること、恰も急に廻轉せる車輪に附きたる泥が飛び去るが如し。されば圓運動をなす物體は常にその中心より遠ざからんとす。

〔問一〕 小きブリキ罐に水を盛り、之に一尺許の絲を結び附け、水の零れ出でぬやうに垂直面内に振廻すことを得るは、何故なるか。

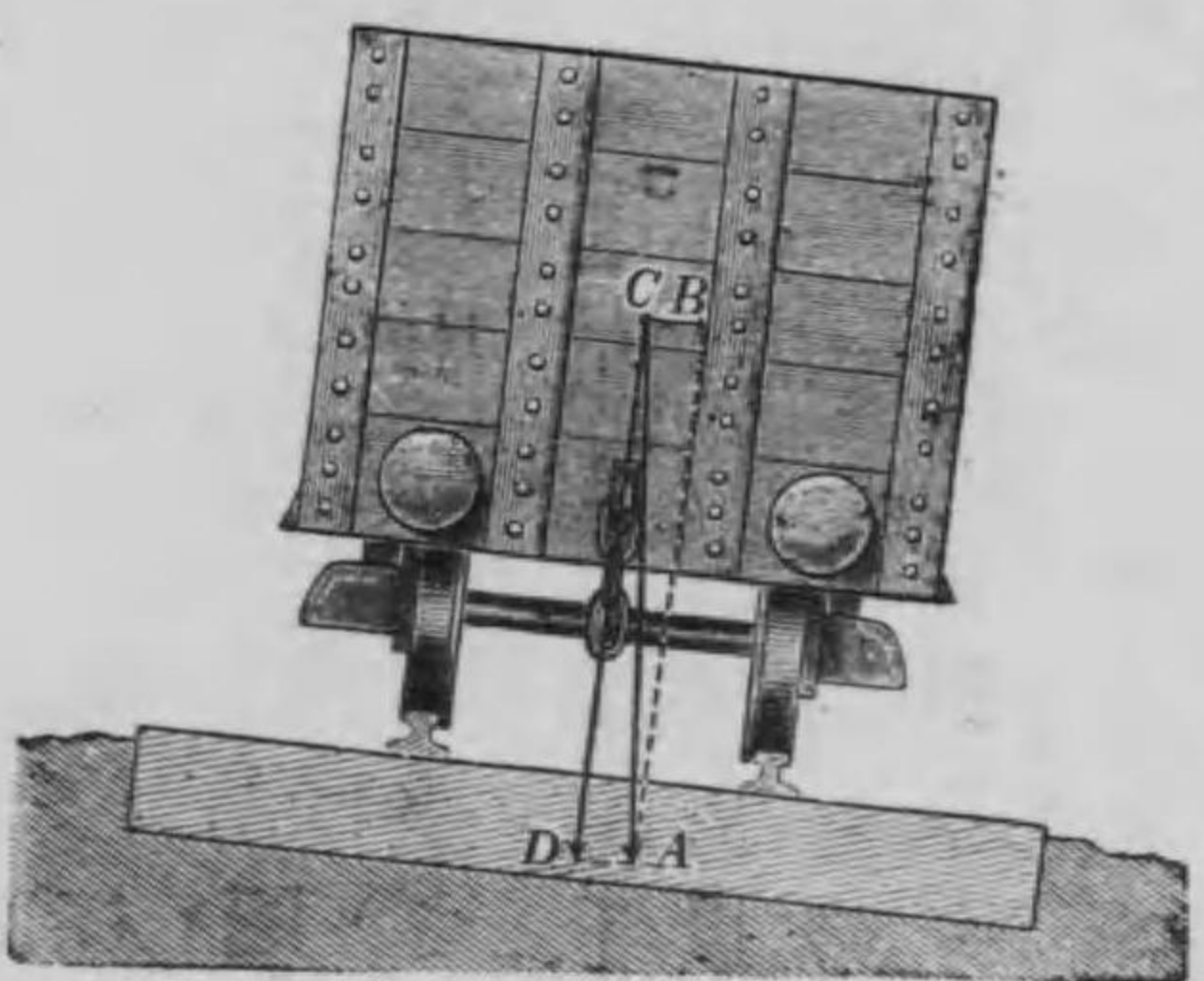
〔問二〕 地球の半徑は赤道にて六三七七七呎なり。赤道上にある一瓦の質量が地球自轉のために要する求心力を計算せよ。

二五

曲線運動。如何なる曲線にても、その短き部分は皆圓周の一部と見做すことを得。



されば汽車が鐵道の曲り目を走るときは、汽車を内方へ押し、必要なる求心力を之に與へざるべからず。然らざれば

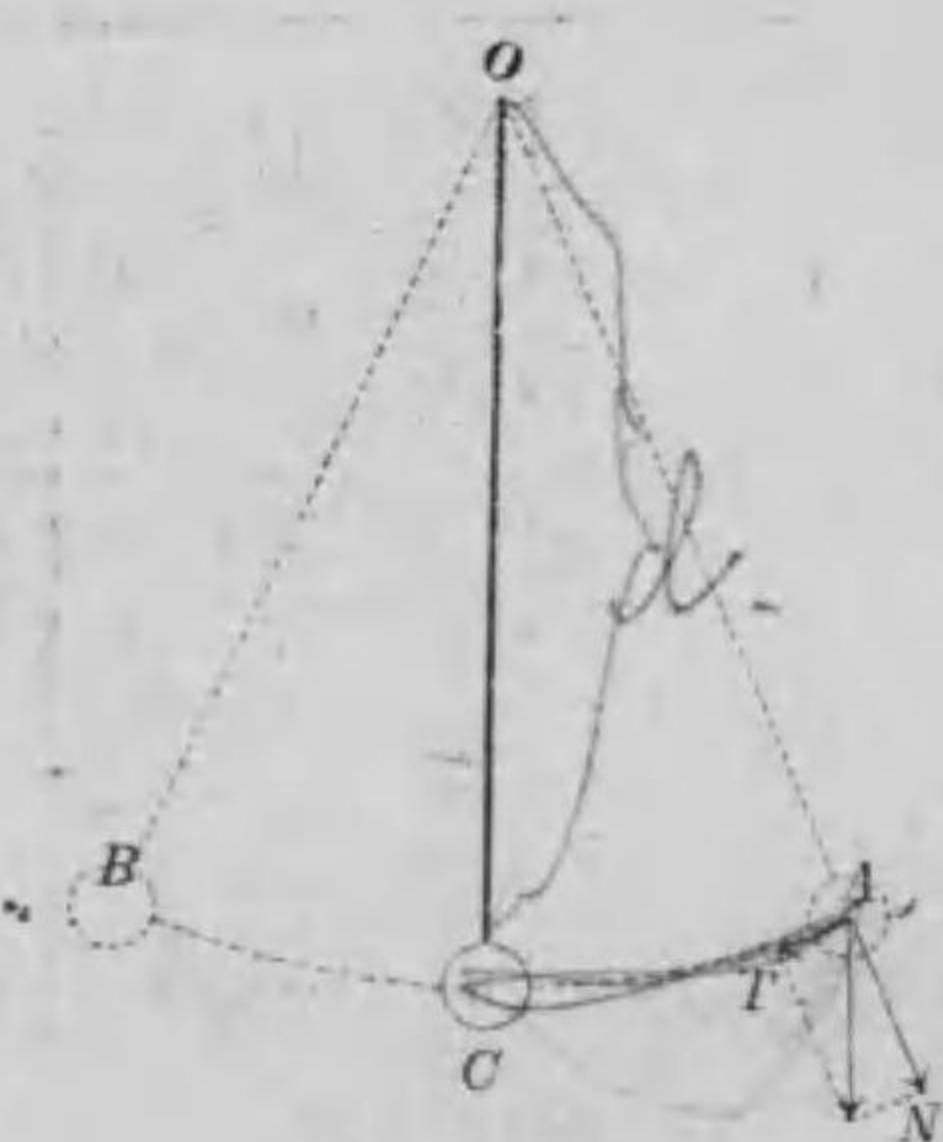


汽車は脱線すべし。鐵道の曲り目の外側を高くするは、之がためなり。この場合に、圖の如く汽車の重量を線路面に垂直なる分力 CD と平行なる分力 CB とに分ちて考ふるに、前者は汽車を線路に押付け、後者は汽車を内方へ押し、必要なる求心力となる。されば汽車が線路を破損し、または脱線する虞なし。

〔問〕 疾走する人が曲り目を廻るとき體を内方へ傾くるは何故なるか。

二六

振り運動。 絲にて錘を吊れば、絲は鉛直線をなして錘は靜



止す。この錘を圖の如く一方 A に引きて放てば、重力の作用によりて錘は圓弧 AB を描きて往復振動すべし。この圓弧を振幅といひ、一回の往復に要する時間 T を週期といひ、絲の長さ l を振子の長さといふ。 A にて錘の重量 w を絲の方向と切線方向とに分てば、分力 AN AT を得。分力 AN はたゞ絲を引張りて之を張るのみなれど、分力 AT は錘を圓弧 AB の最低點 C の方へ動かさんとし、その大きさは略 C 點よりの距離に比例するものなり。されば錘は C 點の方へ動き、次第にその速度を増し、 C 點にて最大速度を得、慣性によりて圓弧 CB を昇るべし。而して重力は常に錘を C 點へ引き戻さんとするが故に、錘の速度は次第に減

A2

振り運動の公式

じ、遂にA點の高さに等しきB點にて全く静止し、直に降り
始むべし。これ振り運動の状態なり。

實驗の結果によれば、振幅餘り大ならざるときは、

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

式中のgは落體の加速度なり。此の如く、振子の週期はその

振子の等時性

gの測定法

gの表 (毎秒秒厘)	
赤道	九九六
東京北緯三五度四三分	九九〇
富士山巔(海拔三七一五米)	九九七
極	九九三

長さに關し、その質量及び振幅に
は關することなし。之を振子の等
時性といふ。されば、振子の長さ
と週期とを測定し、この公式によ
りてgの値を算出し、またその等
時性を利用して時計を調整することを得。

〔問〕東京にて二秒を週期とする振子の長さを求む。

彈性體の振動 螺旋條を上より吊り、その下端に小き錘を

二七

渦線鋼鐵條の振動

懸け、錘が釣合の位置に静止したるとき、聊か之を引き下げ
て急に放てば、螺旋條は伸縮し、錘はその釣合の位置を中心
として上下に等時性振り運動をなすべし。これフックの法則
によりて、釣合の位置より偏りたる距離に比例する力が錘
に働きて、之を釣合の位置に引戻さんとするによる。



同理により、圖の如く小き渦線狀の鋼鐵條abの一端aを小
きハズミ車の軸に附著せしめ、他端bを固定し、
車が釣合の位置に静止したる後、聊か之を廻し
て急に放てば、渦線條は伸縮し、車は釣合の位置
を中心として、等時性の廻轉振動をなす。普通
の時計は此の如き振動によりて齒止を動かし、齒車の運動
を調節す。

〔問〕普通時計は夏日ハズミ車の半徑増して、後るゝものなり。之を防ぐに

は前圖の如く車輪を切り、輪の内側を鐵にて、外側を眞鍮にて作るにあり、この理由を問ふ。

二六

廻轉運動

車、獨樂及び地球は廻轉する物體の適例なり。

これらの物體には運動せざる直線即ち軸ありて、他の部分はその周に圓運動をなす。その圓の大きさは軸よりの距離に比例し、皆同時に一廻轉をなす。この際、各部分の圓運動に必要な求心力は、廻轉體の分子力より供給を受く。廻轉運動急にして、歪を生じ、遂に破壊するに至ることあり。例へば粘土の球を絲にて吊り、絲に縊をかけて漸く急に廻轉せしむれば、中央部は膨れ出し、上下は扁くなりて、遂に破裂するに至る。地球の兩極の扁平なるも、またその自轉の結果なり。今週期 T にて廻轉する車の軸より距離 r に質量 m ありとす

$$\frac{2\pi}{T} m v$$

廻轉體の歪

ハズミ車の理

れば、その運動量は $\frac{2\pi}{T} m v r$ なり。されば質量大にして、軸より遠ければ、物體は大なる運動量を有し、随つてその運動を止むること難し。廻轉運動の速度を平均するがために用ふるハズミ車は、この理を應用したるものなり。

廻轉する獨樂の軸に手を觸れて之を斜に傾けんとすれば、獨樂は之に抵抗すべし。蓋し軸の方向を變ずるは、獨樂の各部の運動の方向を變ずるに等しきが故に、慣性の法則に隨ひて獨樂は之に抵抗す。されば廻轉する物體は常にその軸の方向を保たんとす。この理によりて地球は大空に懸りて常にその廻轉軸の方向を變ぜざらんとす。砲身内に螺線狀の條を施すも、また砲彈に廻轉運動を與へて常に一定の姿勢を保たしめんがためなり。

〔問〕 自轉車は止るときは倒るれど、走るときは倒れず。何故なるか。

廻轉體の軸の方向

第七章 運動する物體に對する抵抗

二元

摩擦の大小

最大摩擦の大小

モレンのたけ

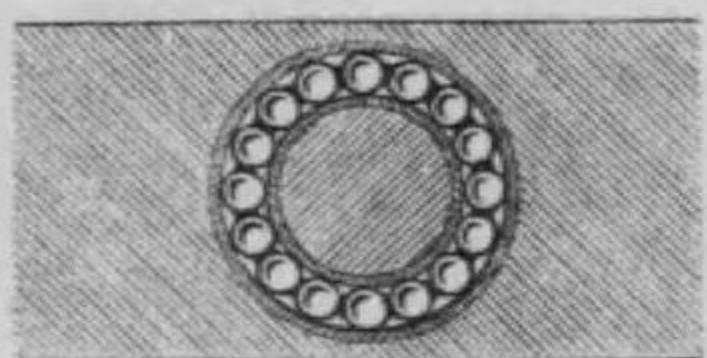
摩擦。絲にて吊り下げたる物體を水平に押せば、容易に動けど、平地に横たはる物體は、水平に押しても容易に動かず。これ物體と地面との接觸面に押す力と等しき力が反對の方向に働きて之に抵抗するがためなり。この抵抗を摩擦といふ。されど押す力が次第に増して、一定の大きさに達すれば、物體は遂に滑り出す。されば摩擦の大きさには一定の極限あり。この極限の摩擦を**最大摩擦**といふ。

最大摩擦の大小は、接觸する兩面の性質によるは、勿論、また兩面間の壓力の大小に關す。實驗によれば、

一、二面間の最大摩擦は、その間の壓力に比例し、面の大小には關せず。

滑り摩擦及び廻轉摩擦

機械は仕事に損あり



物體が他の物體の面に沿ひて滑るときは、最大摩擦より稍小なる摩擦を生ず。脂、油、石墨などの滑劑を接觸面に塗れば、著しく摩擦を減ず。一つの物體が他の物體の面の上に轉がるるときも、また摩擦を生ず。されど、この場合の摩擦即ち**廻轉摩擦**は滑るとききの摩擦即ち**滑り摩擦**より甚だ小なり。車は滑り摩擦を避くる装置なり。されどその軸と軸受との間にはなほ滑り摩擦あるが故に、滑劑を用ひて之を輕減し、または小鋼鐵球を入れて之を避く。

機械を用ふる際は、その各部分の接觸面は互に相押し且互に動きて摩擦を生ず。されば機械は外部にて有用の仕事をなすと共に、内部にては摩擦に對して無用の仕事をなさざるべからず。この内外の仕事の和は、外部より機械に供給し

たる仕事の量に等し。機械は仕事に損益なしとは、少しも摩擦なき場合を想像したるものにして、實際有り得べからず。機械を用ふれば、仕事に多少の損あるものなり。

三〇

水の抵抗の大きさ

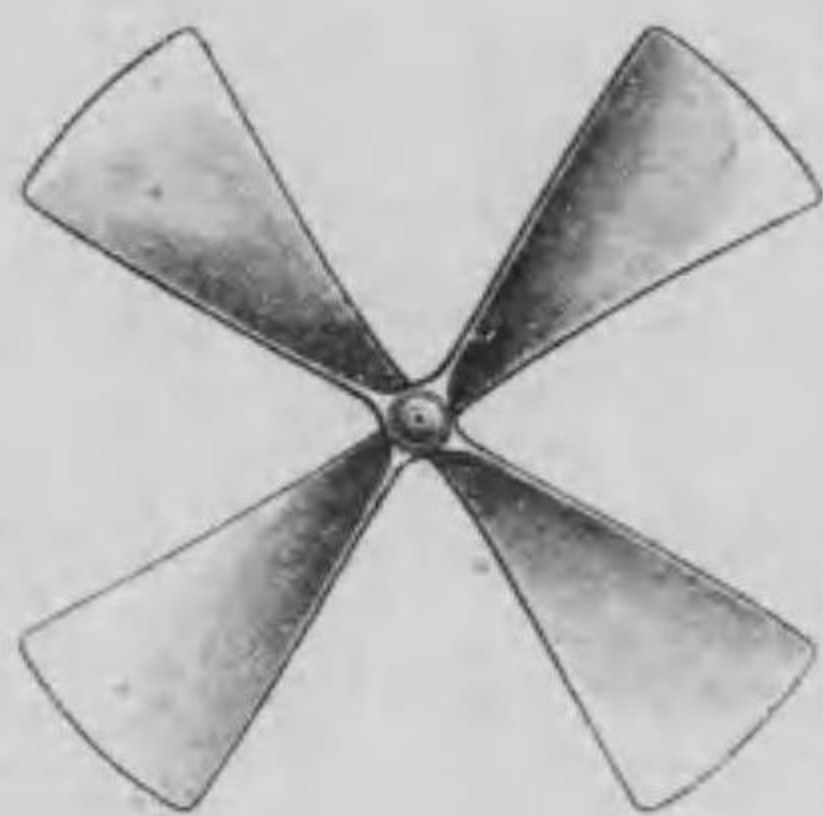
水の抵抗。静止せる物體を運動せしむるには、多少の力を加ふるを要す(慣性の法則)。その反作用は即ち物體の抵抗なり。水中にて板をその平面内に動かすは容易なれど、之をその平面に直角に同じ速さにて動かせば、著しき抵抗を感じず。これ後の場合には動かさるゝ水の量、前の場合より遙に多くして、大なる力を要するが故なり。また板を急に動かすは、遅く動かすよりも多量の水を速に動かすむるが故に、大なる力を要し、随つて大なる抵抗を感じず。

船の前進

この理によりて、船は横へ動くことは難くして、前へ進むことは易く、前進するときの水の抵抗は、船の大きさ及び速さと共に増加す。この抵抗に逆らつて進航するには、船は常に仕事をなさざるべからず。この仕事を船に供給するものは、船内の蒸氣機關なり。蒸氣機關は船尾にある推進機を廻轉す。推進機は二箇、三箇或は四箇の螺旋形をなせる金屬板の

推進機的作用

翼より成り、周圍の水はその雌螺旋を成す。されば推進機の廻轉するときは、その翼は螺旋の原理によりて水を後方へ押し、水は之に抵抗して翼を前方へ押し、船は随つて前進す。推進機の後方に舵あり、船の進路を司どる。



〔問一〕 巨船ルシタニヤ號がその最大馬力七〇〇〇馬力を用ひ、二五ノット(一ノットは六〇八〇時フートの速度にて馳せしとき、その推進機が水を押す力幾許なりしか。

〔問二〕 舵の作用を説明せよ。

三

空氣の抵抗。 彈丸が空中を飛行するとき、空氣は之に抵

抗して著しくその速度を減せしむ。

落體の法則によれば、一杆の處より落ち來れる雨は、地面に

ては一四〇秒米の速度を得べきに、實際雨の速度は一〇秒

米を過ぎず。これ雨滴が速度を増すに隨ひて空氣の抵抗も

共に増し、遂に雨滴の重量と釣合ふに至れば、雨滴はもはや

その速度を増さず、たゞ等速運動をなすによるなり。

すべて物體は、之を分てば面積を増す。例へば四角墻をその

面に平行して八箇の四角墻に等分すれば、その各部分の重

量は舊の四角墻の重量の八分一なれど、その面積は四分一

なるが如し。されば同形の物體は小き程、重量の割合に大なる

表面を有し、隨つて下降の際に割合に大なる空氣の抵抗

雨の速度

雲霧塵埃の浮力
の理由

三

を受く。雪及び細雨の霏々として降り、微細なる水滴より
成る雲霧及び塵埃の落下すること甚だ遅くして空中に浮
遊するは、この理に基づく。

航空船。 空氣の浮力によりて空中に懸る氣球に推進機を

附け、之を運轉すれば、空氣は之に抵抗し、氣球を水平に進行

せしむ。圖に示すは帝國陸軍航空船雄飛號にして、一對の

推進機と之を運轉する機關及び乗者などを載する吊船と

を具ふ。氣球の後部には舵ありて船の進路を左右す。氣球の前

を保ち、下の一枚には舵ありて船の進路を左右す。氣球の前

後部に各空氣室あり、吊船内の機關によりて自由に空氣を

出し入れすることを得。船の進行するとき、前部の空氣を

出して後部に入るれば、氣球は稍仰ぎ、空氣の抵抗はその下

面を壓して上方へ向ふ分力を生じ、船を上昇せしむ。

雄飛號の構造及
び操縦

三

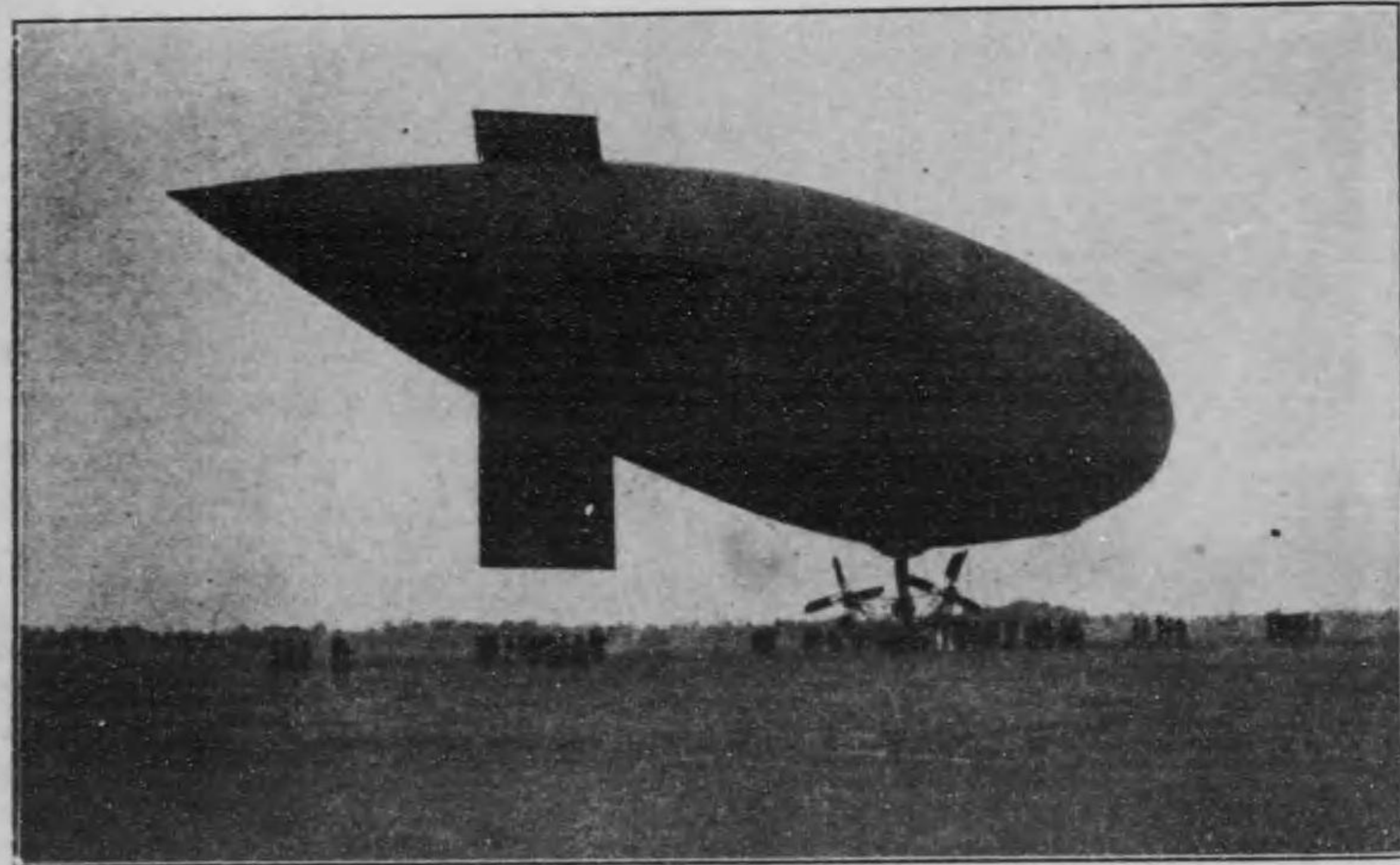
飛行機。鳥の飛ぶには翼にて空氣を後下方へ打ち、空氣は之に抵抗し、鳥は随つて前上方へ進む。空氣の浮力によらず、鳥の如く専ら空氣の抵抗を利用して空中を走る装置を飛行機といふ。圖に示すはその一種にして、鳥の如く左右二枚の翼を具へ、その前縁は後縁より稍高く、兩翼の間には乗者及び機關を容るゝ場所あり。また前頭に推進機あり、機關によりて之を廻轉すれば、飛行機は前進し、空氣は兩翼の下を壓し、その上方へ向ふ分力は飛行機の重量を支ふ。後尾には二つの舵あり、一つは水平にして、飛行機の昇降を司どり、一つは鉛直にして飛行機を左右に廻轉せしむ。

飛行機の構造及び操縦

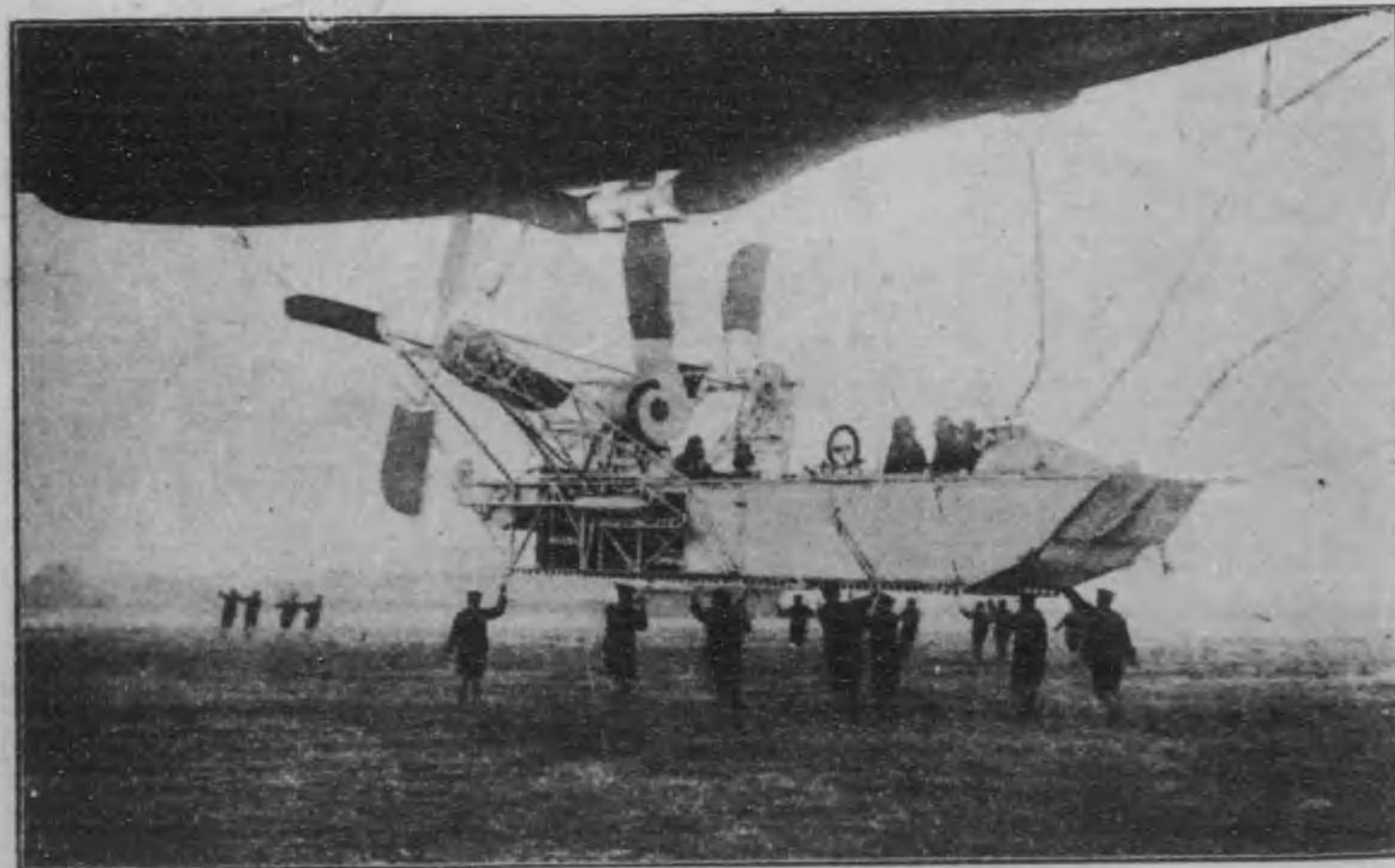
第八章 エネルギー

三

エネルギー。飛びゆく彈丸は、鐵板に觸るれば之を貫き、高



號飛雄の中備準發出



席乘坐び及部關機號飛雄



機行飛葉單式オリレブの中行飛



機行飛葉單式ルイボニ

運動のエネルギー及び位置のエネルギー

運動のエネルギーの大きさ

三五

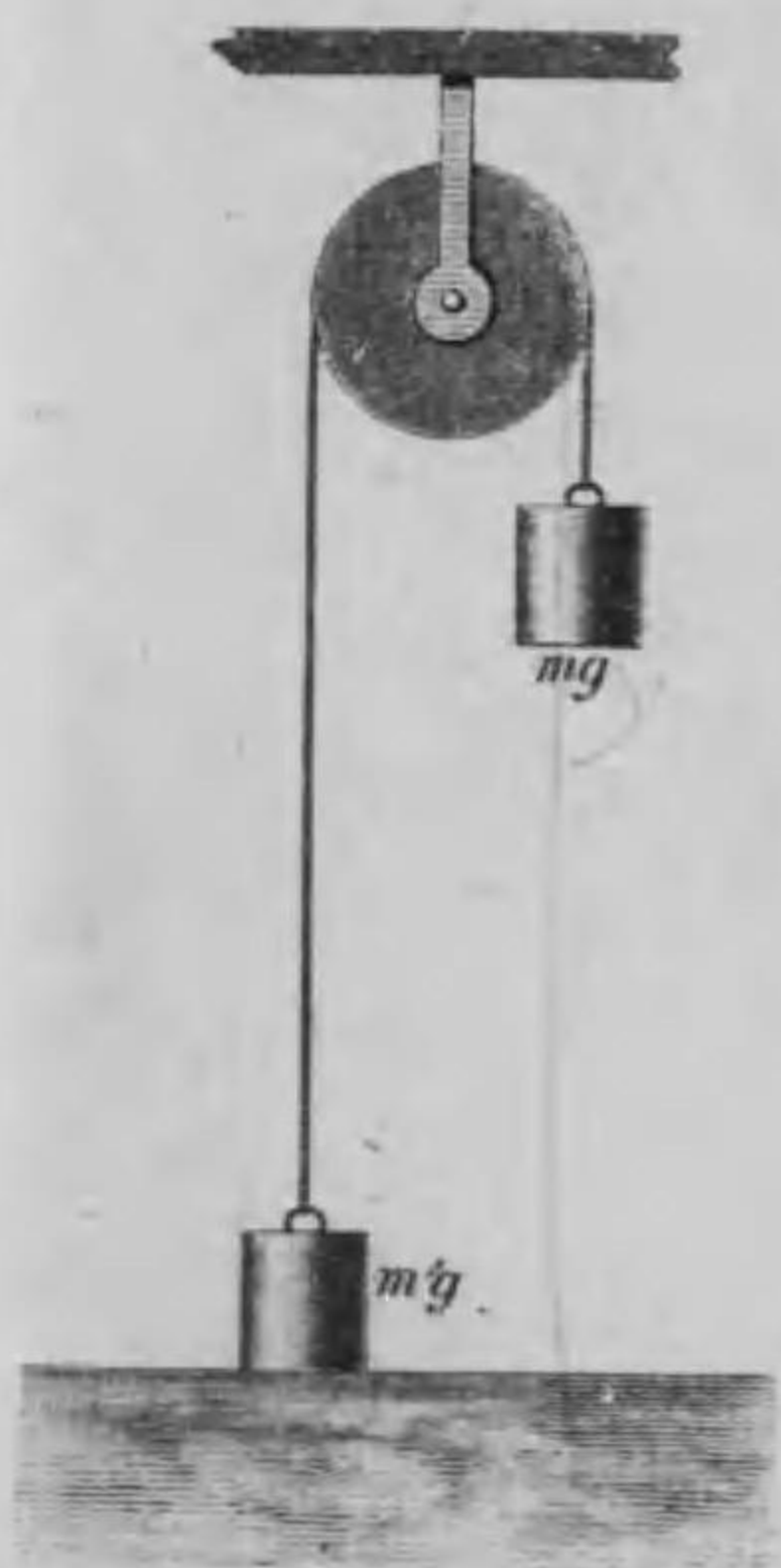
處に溜れる水は、水車を装置すれば之を廻轉せしめ、共に仕事をなす能を具ふ。仕事をなす能を、エネルギーといふ。飛びゆく弾丸の如く、物體が速度のために有するエネルギーを運動のエネルギーといひ、高處に溜れる水の如く、物體が位置のために有するエネルギーを位置のエネルギーといひ、この二つを機械的エネルギーといふ。

エネルギーの量。一、物體のエネルギーの量は、そのなし得べき仕事の量にて測る。随つて仕事の單位をエネルギーの單位とす。例へば m 瓦の物體が v 秒繩の速度にて動くとき、之に F ダインの力を速度と反對の方向に加ふるときは、物體の速度は運動の法則 $v = at$ によりて毎秒 a 秒繩だけ減少し、物體は終に靜止す。この間に經過する距離 s は、物體を直上に投げ上げた場合と同様に計算して $2a$ となる。

さればこの物體が靜止するまでになし得る仕事の量は fs 即ち $mv^2/2$ ダイン 槌なり。而して一ダイン 槌の仕事は $エルグ$ といふ。されば m 瓦の物體が v 秒 槌の速さにて動くとき、その運動のエネルギーは $mv^2/2$ エルグなり。

また s 槌の高さにある m 瓦の物體が、重力に對して有する位置のエネルギーを求むるに、圖の如く、まづ絲を小き車に渡し、その一端を m' 瓦の物體に結び付け、他端を下方にある m 瓦の物體に結び附くれば、 m が m より極めて僅に小なるときは、 m 瓦の物體は降る。その s 槌だけ降る間に、 m 瓦の物體は s 槌だけ引き上げらるべし。即ち m 瓦の物體はその位置のエネルギー

位置のエネルギーの大きさ

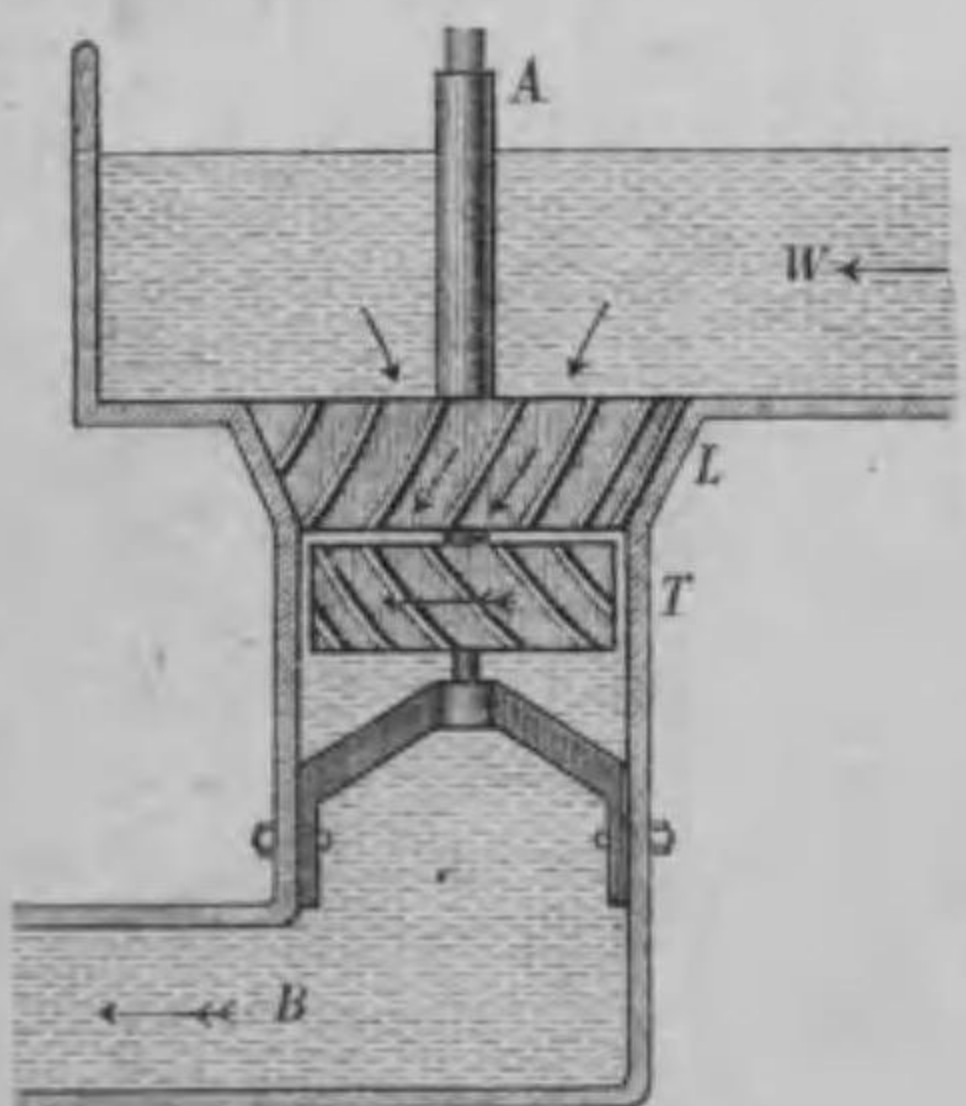


置のエネルギーによりて $m'gs$ 即ち mgs の仕事をなし得。されば s 槌の高さにある m 瓦の物體が重力に對して有する位置のエネルギーは mgs エルグなり。毎秒七六呎米を供給する水落は一馬力に相當す。

〔問〕 ナイヤガラ瀑布は高さ一六〇フット、水量毎分七〇、〇〇〇噸なり。このエネルギーは幾馬力に相當するか。

三 水タービン 水車及び水タービン

ンは、水の機械的エネルギーを利用する機關なり。水タービンの構造は圖に示すが如く、高さ水面を有する水の下底に、固定したる渦狀導板を具へ、高壓にてその間より迸出する水は、廻轉軸を有す



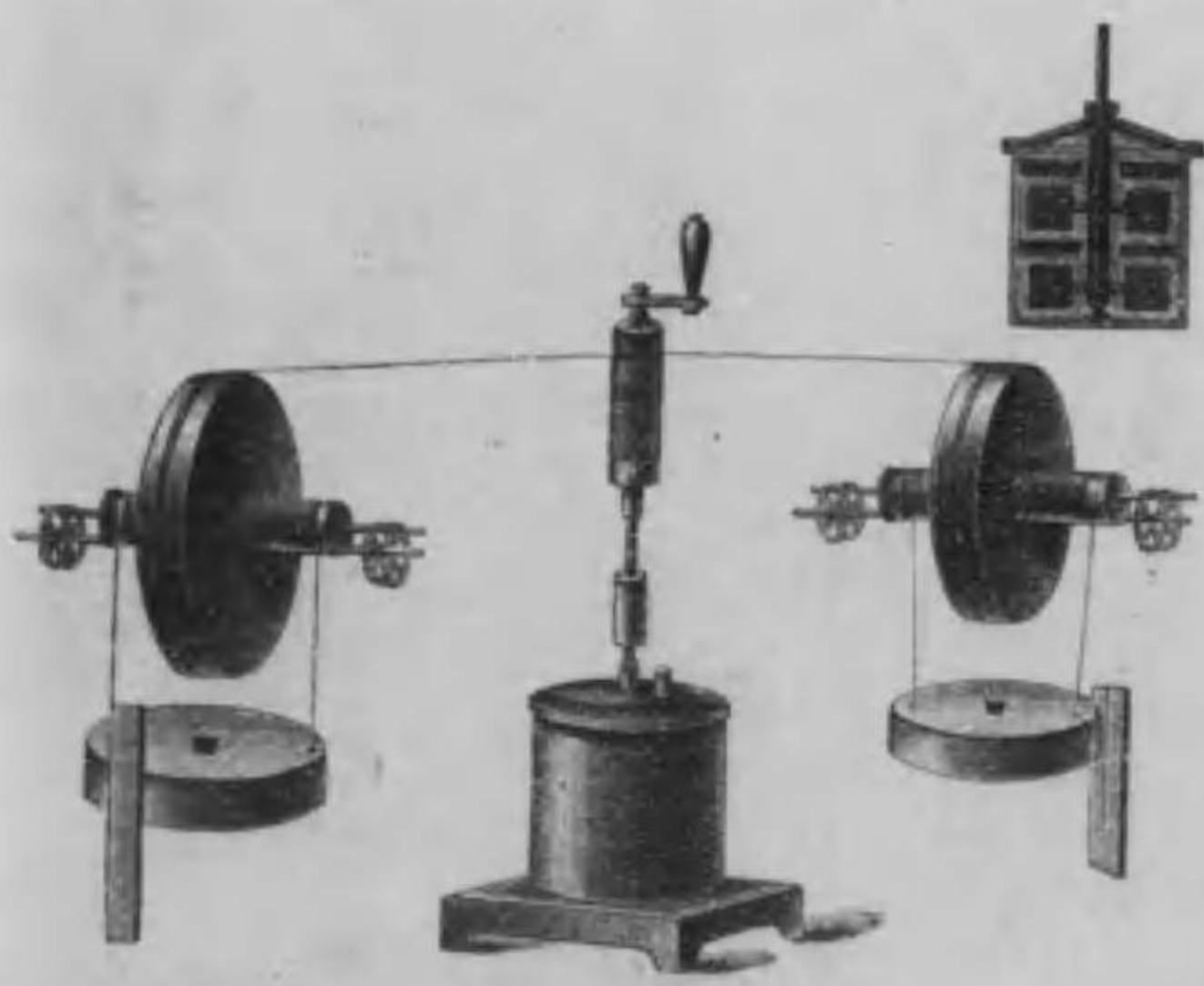
三七

ジュール氏の測定法

ジュール

(一八一八—一八九〇)
英人、醸造家の子なり。少時化學を學びて其の熱心なりしかば父は邸内に實驗室を造りて氏に與へたり。氏は氣體の熱に關する性質を研究し、電流が導體内に生ずる熱量を測定し、始めて諸種のエネルギーの同一なることを實驗的に證明せり。

る車の渦狀導板に直角に衝突して、之を廻轉せしむ。
熱の仕事當量。 物體の分子力に對して仕事をなすときは、熱を生ず。例へば鐵槌にて金敷かたしの上にある鐵片を打てば、鐵片は熱し、氷の兩片を摩擦すれば氷は融解す。
ジュールは次の如き装置によりて、仕事と熱との間に存する數量的關係を測定せり。圖に示すが如く、熱量計の水の中にある數箇の楫を落體の重量によりて廻轉すれば、楫は水を攪拌して、摩擦を生じ、摩擦は熱を生じて、水の溫度を高む。



熱の仕事當量

べし。ジュールは落體の重量と落ちたる距離とによりて仕事の量を測り、別に熱量計の水の質量と溫度の變化とによりて、この仕事に對する熱量を測り、一カロリーの熱量は常に四一九〇萬(4.19×10⁷)エルグの仕事に相當することを證明せり。之を**熱の仕事當量**といふ。

〔問〕 ナイヤガラ瀑布にて落つる水の位置のエネルギーが全く熱とならば、落ちたる後、水の溫度の高まること幾許なるか。

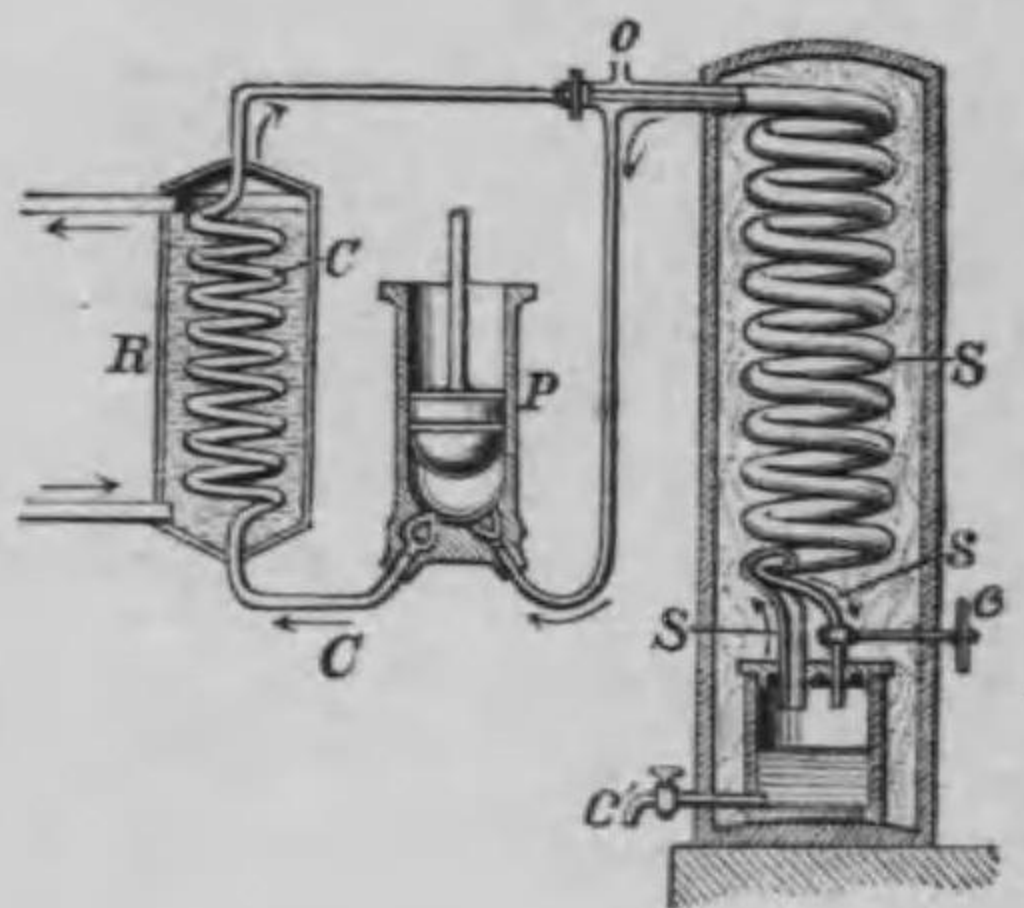
三八

空氣液化の理

液態空氣。 氣體が膨脹して仕事をなすときは、氣體は熱を失ひて、その溫度降る。例へば地面にて熱せられたる空氣は、上昇するに隨ひ、膨脹して次第に冷却し、自轉車のタイヤより逸出する空氣は冷なり。

空氣を液化するは、この原理による。その装置は次の圖の如く、ポンプPにて蛇管Cに空氣を壓縮して二〇〇氣壓と

空氣液化の装置



ある空気は、ポンプより新に送り来る高壓の空気を冷却す。この手順を繰返せば、カランcより流出する空気の温度は次第に降り、遂に液化點に達す。液化したる空気はカランcより取り出し、液化せざる部分は、より入り来る空気と共にポンプに還り、再び高壓管sに入る。液態空気は稍青みがよりたる透明の液にして、之を硝子罫

なし、壓縮の際に生じたる熱は水槽Rを流通する冷水にて奪ひ去り、蛇管sの終端にあるカランcを開き、空気を膨脹せしめて一氣壓に達せしむ。この膨脹によりて冷却したる空気は、大なる蛇管Sを通りてポンプに還る。Sは高壓管sを圍むが故に、この還路に

液態空氣の性質

空中酸素の液化

に入るれば、盛に沸騰す。硝子罫の側壁を二重にし、兩壁間の空気を除きおけば、之を長く貯ふことを得べし。酸素は沸騰點、窒素より高きが故に、液態空氣中の窒素は、氣體となりて逃れ出で、終に液態酸素を残す。空中酸素の液化は低温度工業の一つなり。

液態空氣に関する實驗の例

- (一) 水銀を液態空氣中に入れば、固體となる。この固態水銀にて重き分銅を吊るべく、また之を槌として用ふべし。
- (二) 薄き鐵器に液態空氣を盛りて十分に之を冷却すれば、鐵は脆くなりて、打てば直に碎く。
- (三) ゴム球を液態空氣中に浮かせば、液態空氣の蒸氣は溢れ出で、ゴム球は



彈性を失ひ、机上に投ずれば、容易に碎く。
(四) 液態空氣を浸せる新聞紙に點火すれば、盛に燃ゆ。新聞紙の代りに海綿を用ふれば爆發す。

〔問〕 口を開放したる罐に液態空氣を入れおきても、直に全く蒸發せざるは、何故なるか。

熱機關

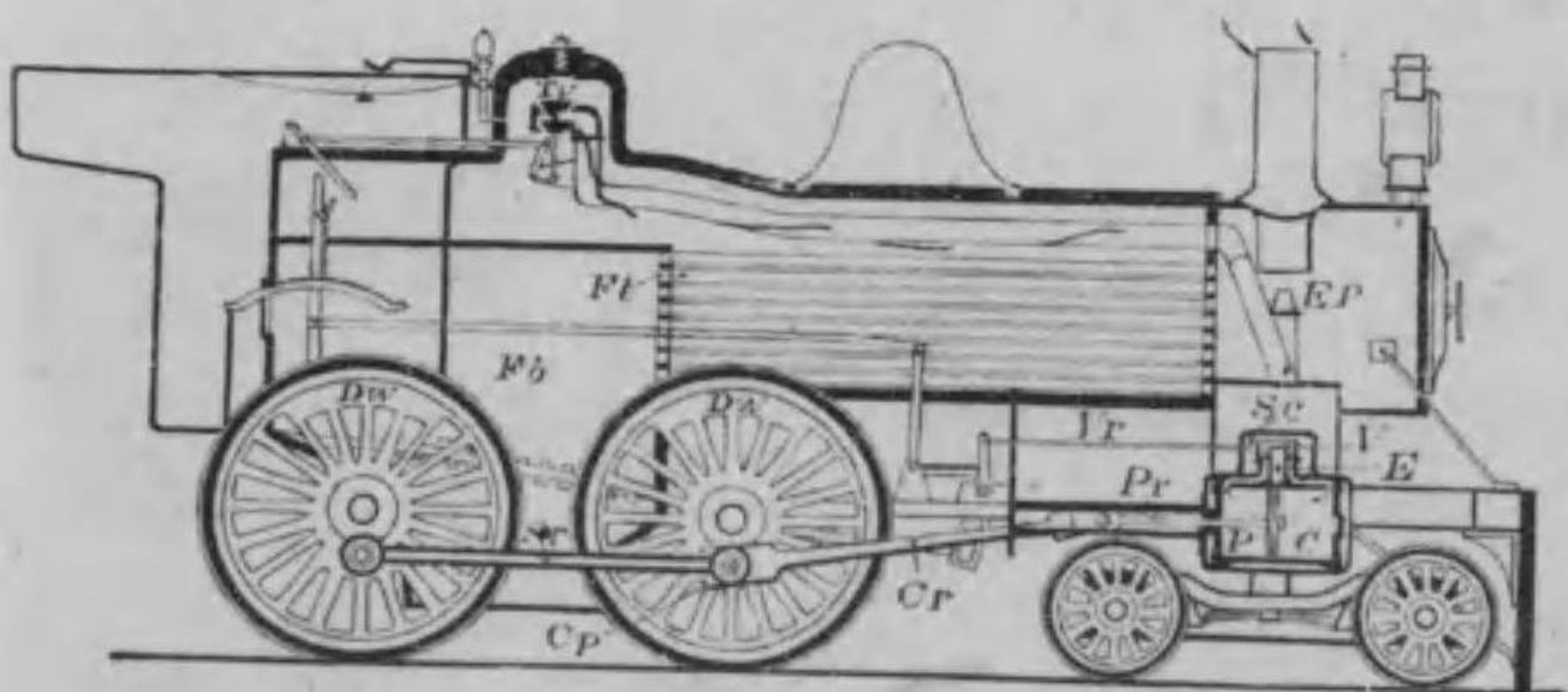
三九

機關車の説明

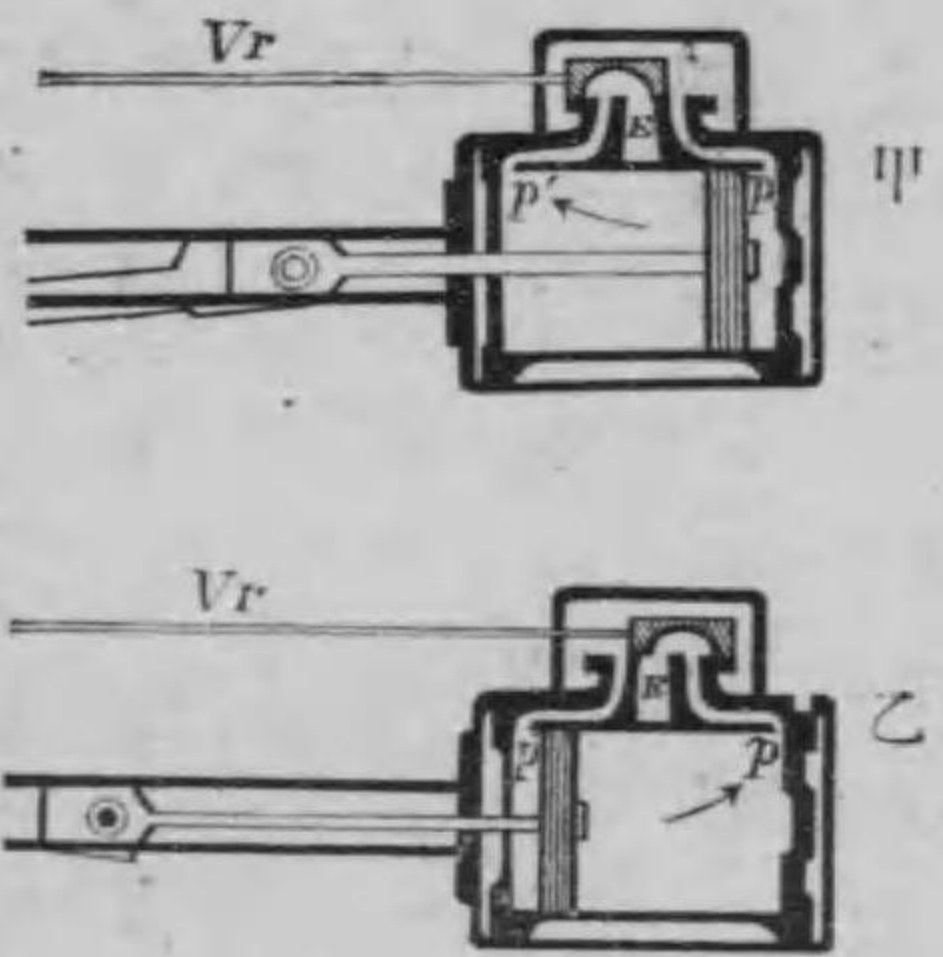
蒸氣機關は一七〇〇年頃始めて製作せられ、その後リット出て之を改良し、現今用ふる蒸氣機關の基礎を定めたり。

蒸氣機關。高温度にある氣體を膨脹せしめて仕事を、得る装置を熱機關といふ。蒸氣機關、瓦斯機關など、これなり。

下圖は一つの機關車を示す。汽罐の後端にある竈 F 内に生ずる煙及び熱き瓦斯は、多くの細管 f によりて汽罐を通る。汽罐内の水は竈及びこれらの管を圍むが故に、多量の熱を吸収し、遂に高壓の蒸氣は罐の上部を充たすに至る。機關手が



一つの槌子を動かすときは、罐の最上部にある瓣 T は開き、蒸氣はこの瓣を通り、大なる管によりて配分器 S に達し、次に圓筒 C に入る。配分器より圓筒に行く路は二條あり、その入口は滑瓣 V によりて開閉す。瓣が次の圖甲の位置にあるときは、蒸氣は P より入りて活塞 P を後方へ押し、棒 Pr Cr によりて車輪 Dw を廻轉せしむ。活塞が圓筒の後端に達すれば、車輪の廻轉運動は棒 Vr によりて滑瓣に傳り、瓣は滑りて上圖乙に示すが如く P を開き、同時に P を出口 E に通ぜしむ。されば高壓の蒸氣は圓筒の後端に入り、活塞を前方へ押し、膨脹し、前方の蒸氣を逐ひて D に連なれる管 Dr より煙突内に逃れ出でしむ。この時滑瓣は



蒸氣のなす仕事

既に動きて再びPを配分器に、PをVに連ぬるが故に、活塞は再び後方へ押さる。此の如く圓筒内の蒸氣は膨脹して、活塞を運轉し、車輪を廻轉せしむるなり。
蒸氣が膨脹の際に活塞を押す力は、蒸氣の壓力の強さと活塞の面積との相乗積にして、一押毎に活塞は圓筒の長さだけこの方向に動くが故に、この際、蒸氣のなす仕事は、これらの相乗積なり。

蒸氣のなす仕事 = 蒸氣の壓力の強さ × 活塞の面積 × 圓筒の長さ

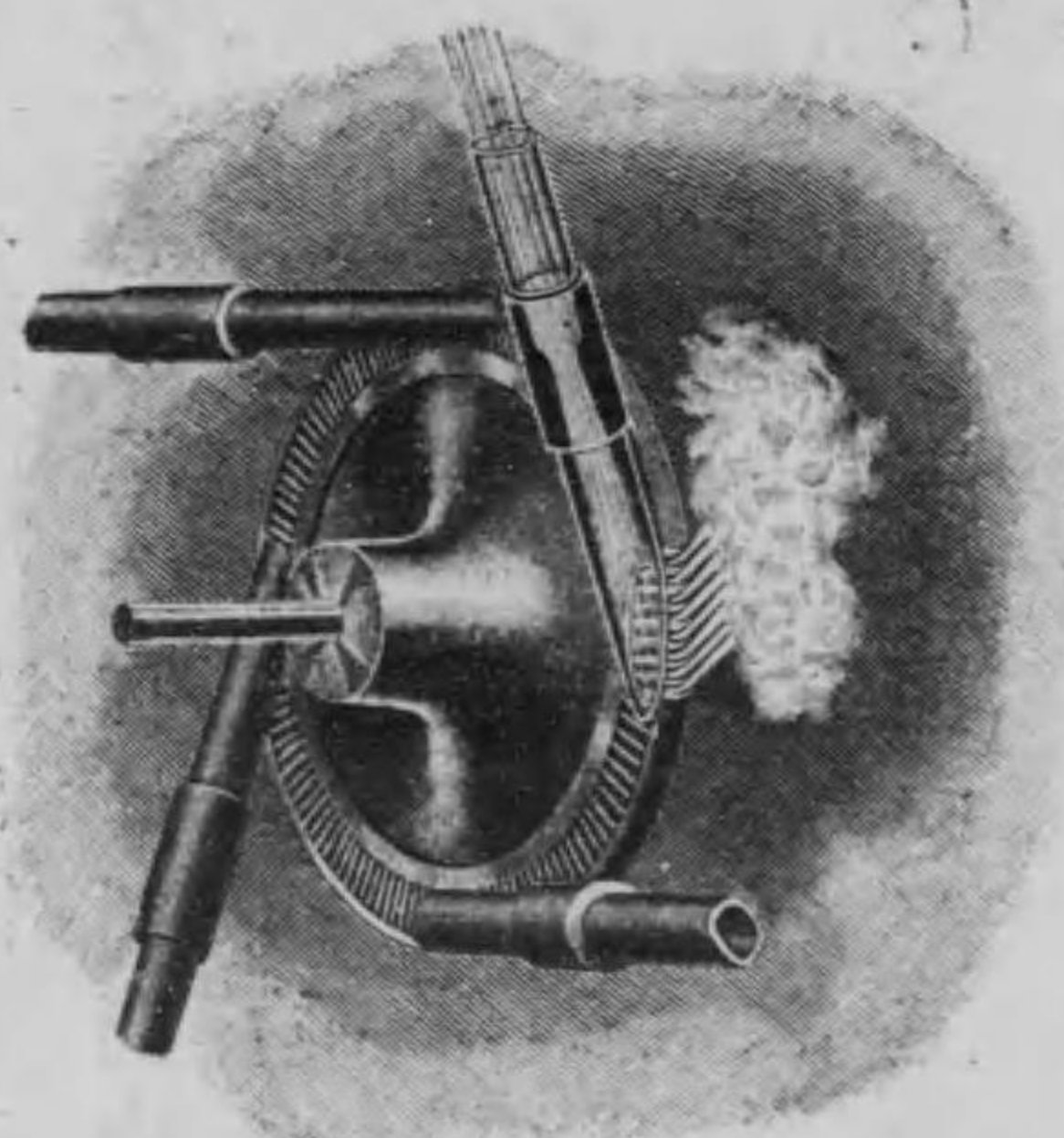
＝ 蒸氣の壓力の強さ × 圓筒の體積

されば圓筒の大きさと蒸氣の壓力の強さとを測れば、蒸氣より得る仕事の量を知るべし。而してこの際膨脹したる蒸氣は熱の一部を失ひて、溫度降る。

四〇

蒸氣タービン。蒸氣タービンは最近に發達したる熱機關

蒸氣タービンの説明



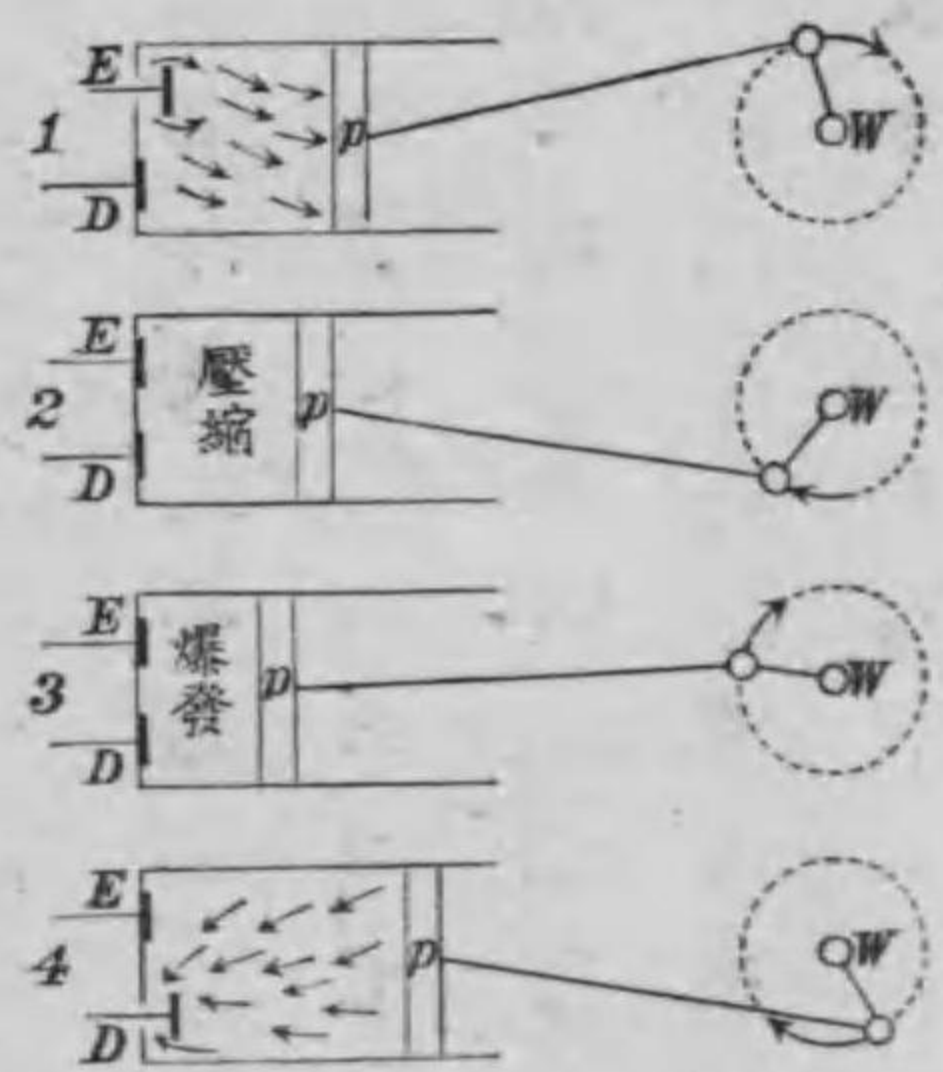
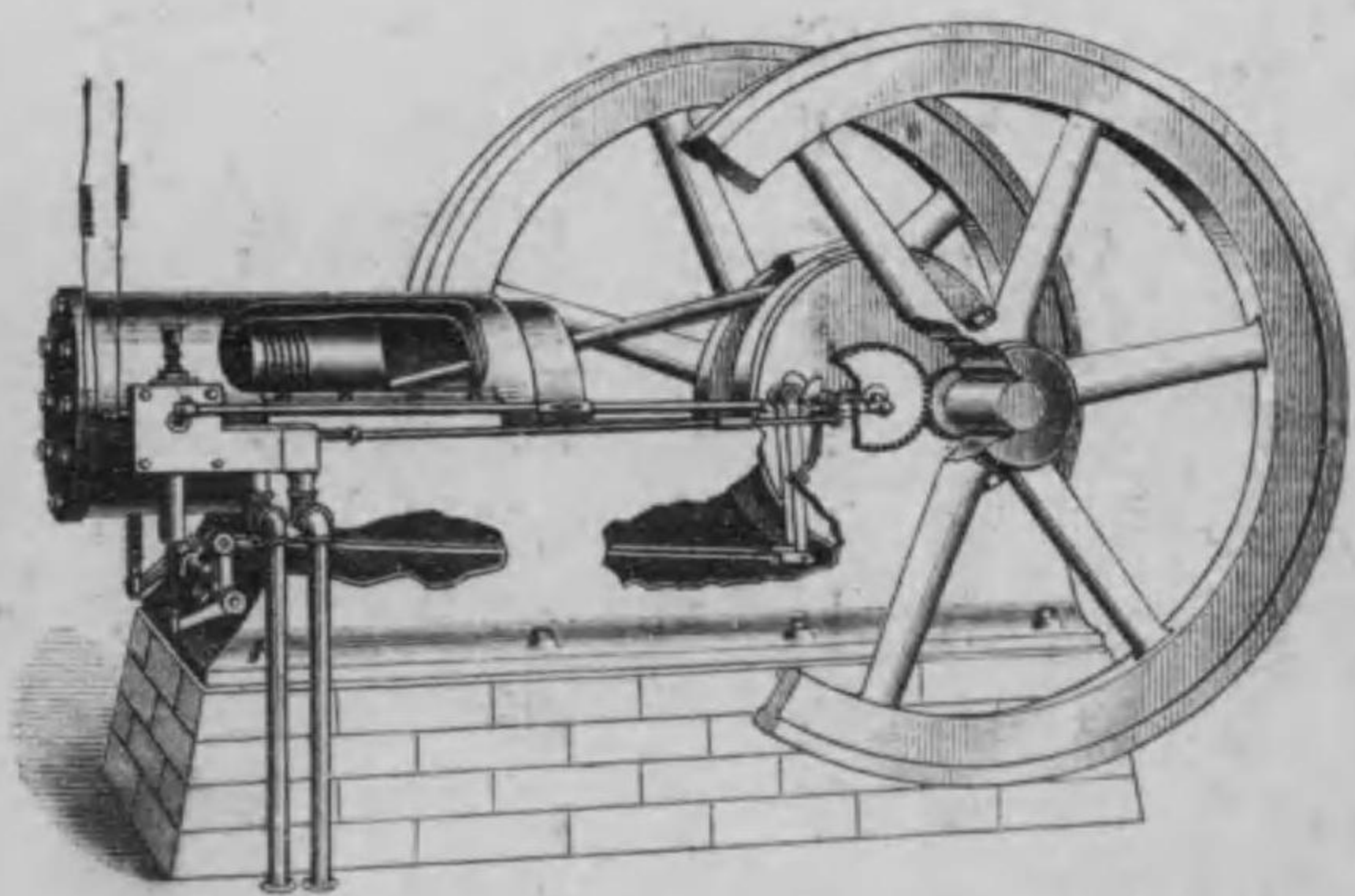
蒸氣タービンの便利

一列を衝きて逃れ出づる蒸氣は次の列を衝きて廻轉作用を増大する装置を有す。この種の機關は蒸氣機關よりも小形にして、且圓滑に廻轉するが故に、近來賞用せらるゝに至れり。最大の汽船インペレーター號(七〇〇〇噸)はこの機關を具へ、二三・五ノットの速度を有す。

瓦斯機關運轉の順序

四一

瓦斯機關。 瓦斯機關は石炭瓦斯と空氣との混合物の爆發によりて運轉す。この機關は次の圖に示すが如く、バズミ車によりて運轉する活塞 P あり。この活塞はまづ右へ動き、瓣 E は開きて、瓦斯と空氣との混合物は圓筒内に入る(第一段)。次に P は左へ動き、 E は閉ぢ、混合物は圓筒の左端に壓縮せらる(第二段)。この際、電氣の火花は混合物に點火し、爆發は大なる力にて P を右へ押す(第三段)。次に瓣 D は開き、 P は左へ動き、爆發の生成物を D より驅逐す(第四段)。かくて機械は始の狀態に復し、再び以上四段の手順を繰返す。瓦斯機關はたゞ第三段にて爆發瓦斯のエネルギーを受くるのみなれば、大なるバズミ車を附けて機關の運轉を平等にすること必要なりとす。



態に復し、再び以上四段の手順を繰返す。瓦斯機關はたゞ第三段にて爆發瓦斯のエネルギーを受くるのみなれば、大なるバズミ車を附けて機關の運轉を平等にすること必要なりとす。

石油發動機

〇 四二

また石油ベンジンの如き油を蒸氣となして石炭瓦斯に代用する機關あり。自動車、飛行機などに用ひらる。**熱のエネルギー。** 熱機關に於けるが如く、氣體が膨脹して仕事をなすときは、必ず熱の消失あり。而して一カロリーの熱の消失は常に仕事當量に等しき仕事を伴なふ。されば熱は仕事を生ずるものにして、エネルギーの一態なり。試に氣體の壓力を考へよ、氣體は常に容器に瀰漫し、その分

熱は分子の運動のエネルギーなり

子は側壁を打ちて之に一定の壓力を加ふ。この壓力の強さは分子の數、質量及び速度の大なる程大なり。而して一定量の氣體に熱を加ふれば、溫度と共にその壓力を増すが故に、熱は各分子の速度を増さしむることを知る。されば熱は分子の運動のエネルギーなりといふべし。

〔問一〕地面にて熱せられて上昇する空氣が上層にて冷却するは、何故なるか。

〔問二〕氣化熱は如何なる仕事をなすか。

四

落體のエネルギーの變遷

エネルギー不減則 物體の落つるときは、位置のエネルギーを減じ、運動のエネルギーを増す。今質量 m の物體が高さ h の處より落ちて地面に達するとき、速度 v を得たりとすれば、この際この物體の失ひたる位置のエネルギーは mgh にして、得たる運動のエネルギーは $\frac{mv^2}{2}$ なり。而して、落體の

公式によりて

$$v^2 = 2gh \quad \therefore \frac{mv^2}{2} = mgh$$

なるが故に、この兩者は相等し。さればこの際、兩種のエネルギーに増減あれど、單に一種のエネルギーが他種のエネルギーに變じたるのみにして、機械的エネルギーの全量は舊の如し。落體の地面に達するや、全く靜止して運動のエネルギーを失へど、落體及びその落下の場所は、この際熱せられて、最初の機械的エネルギーに相當する熱を生ず。

エネルギー變遷の例

バットにて球を打てば、運動のエネルギーはバットより球に移る。弓にて矢を放てば、弓は位置のエネルギーを失へど、矢は之に等しき運動のエネルギーを得。蒸氣が蒸氣機關の圓筒内にて膨脹するとき、熱のエネルギーを失へど、活塞は動き、車輪は廻轉し、連絡せる各部は運轉して、或は列車を

諸種のエネルギー

傾斜に上らしめ、或は船を水中に行る。前者は重力に對して仕事をなして位置のエネルギーを得、後者は水の抵抗に對して仕事をなして、水に運動のエネルギーを與ふ。而して運轉する各部が摩擦に對してなす仕事は、再び熱となる。機械的エネルギー及び熱のエネルギーの外にも、なほ音光、電氣、磁氣の現象及び化學作用に伴なふエネルギーあり。皆一つの物體より他の物體に移り、一態より他態に變ず。學者の研究によれば、
 すべてエネルギーは一つの物體より他の物體に移り、一態より他態に變ずれど、その全量は一定不變なり。
 之をエネルギー不滅則といふ。

〔問〕 振子が振動するとき、エネルギーに如何なる變化あるか。

第四篇 音學

第一章 波動

水波の進行

一 **波動。** 靜なる水面に小石を投ずれば、石の中りたる點を中心として、輪狀の高處即ち山は等速度を以て四方へ進行し、輪狀の低處即ち谷之に隨ひて走り、輪狀の山また之を追ひ、暫時にして數多の山と谷とは相踵いで水面に擴がり、所謂水波を生ず。而して水面に浮く木葉は同じ處にありて聊か振動するのみ。されば、波の進行は單に形の進行にして、水の進行にあらず。水の各部はたゞ一處に振動するのみ。
 二 **横波。** 長き綱を一直線に床上に横たへ、その一端を急に上下するとき、山は手より綱の他端へ等速度を以て進行し、綱の各部は山の通過する際に手と同一なる上下運動をな

綱の波動

波動の本性

横波に於ける波動と振動との關係



すを見るべし。更に手を上下に振動すれば、綱の各部は順次に同じ振動をなし、山と谷とは相踵いで等速度を以て進行す。されば波動は物質が振動を傳播するによりて生ずる現象なり。この物質を波の媒質といふ。而してこの綱の波の如く、媒質の各部の振動の方向が波の進む方向と直角なるときは、之を横波といふ。

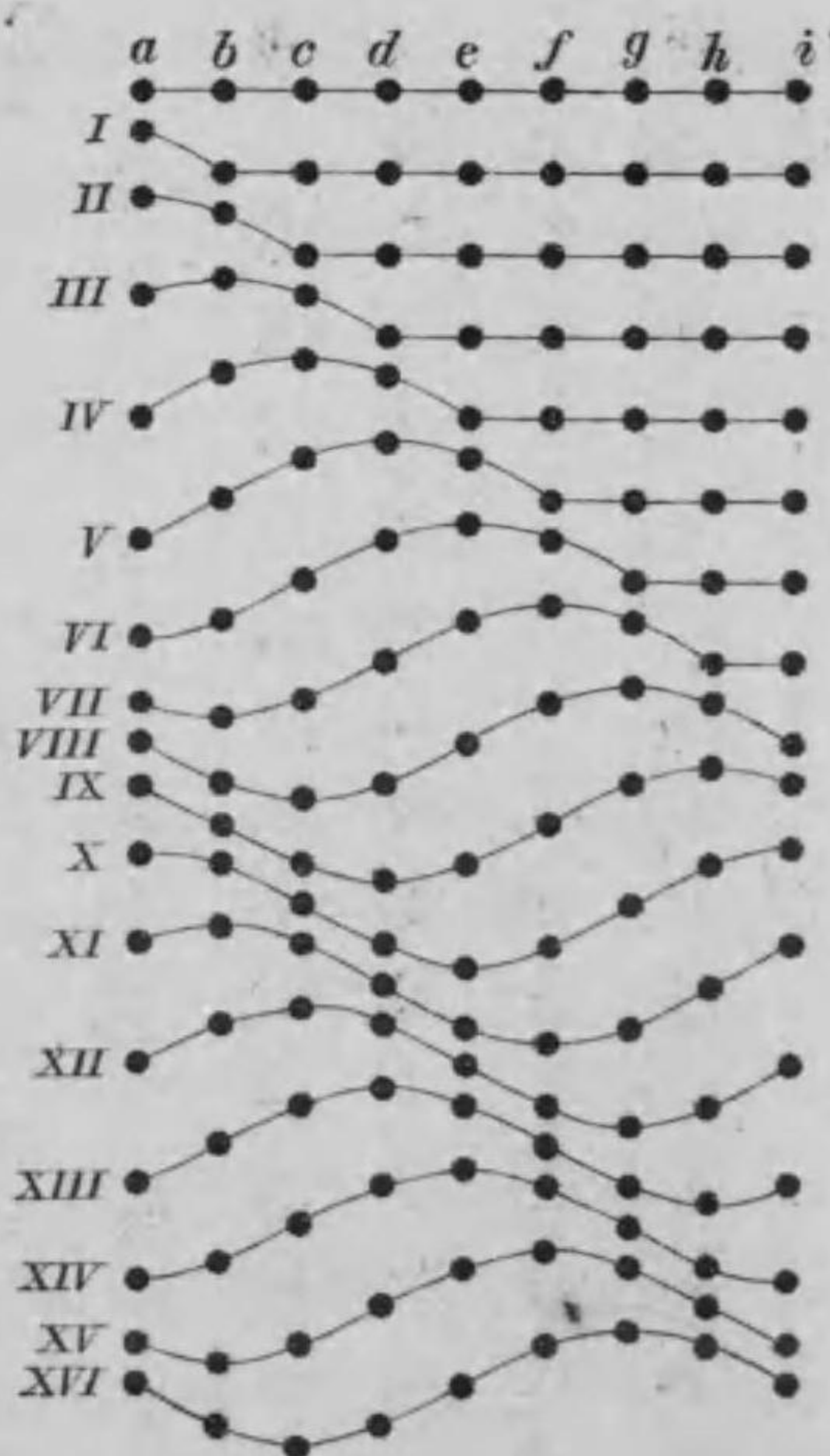
今 a, b, c などを等距離にある綱の部分とし、その a 端が上下に振動する週期を八秒とし、この間に振動は距離 ai に傳るとすれば、一秒の後、 a はその振動の八分、一を終へ、この間に波は ai の八分、一を進み、二秒の後、振動はその四分、一を終へ、波は ai の四分、一を進み、次第に此の如くにして綱は I II III などの各列にて表し

$$l = vT$$

$$l = vT$$

波の振幅及び波長

波長振動数などの關係



高さの差に相當す。之を波の振幅といふ。一振動間に波の進行したる距離 ai を波長といふ。波長は一つの山と次の山との距離に等し。山と山と、谷と谷と、または a と i との如く、常に振動の同じ階程にある二點を、同じ位相にありといふ。今振動の週期を T 、波長を l 、波の傳播の速度を v 、一秒間に

たる形をなし、八秒の後、 a はその一振動を終へて舊位置に復し、波は距離 ai を經過す。綱の各部の振動の振幅は、波の山と谷との

振動する數即ち振動數を n とすれば、

$$nT = 1$$

なるが故に、

$$v = \frac{1}{T}$$

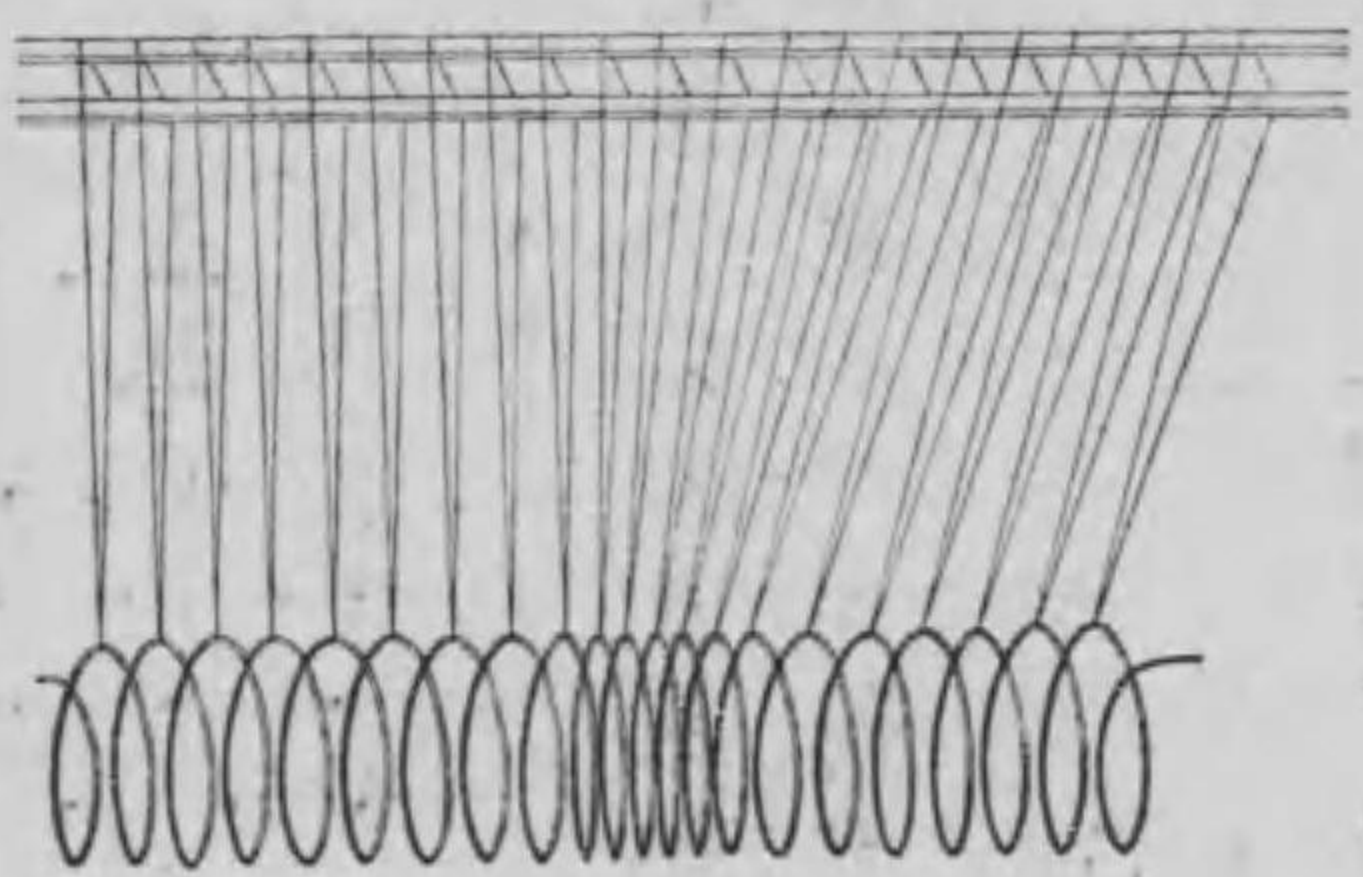
而して速度は媒質によりて定まる常數にして、同じ媒質にては、振動數の大なる程、波長は小なり。

〔問〕 風が麥畑の面を拂ふときは、所謂麥浪を生ず。この際麥穂は如何なる運動をなすか。

螺旋條の波動

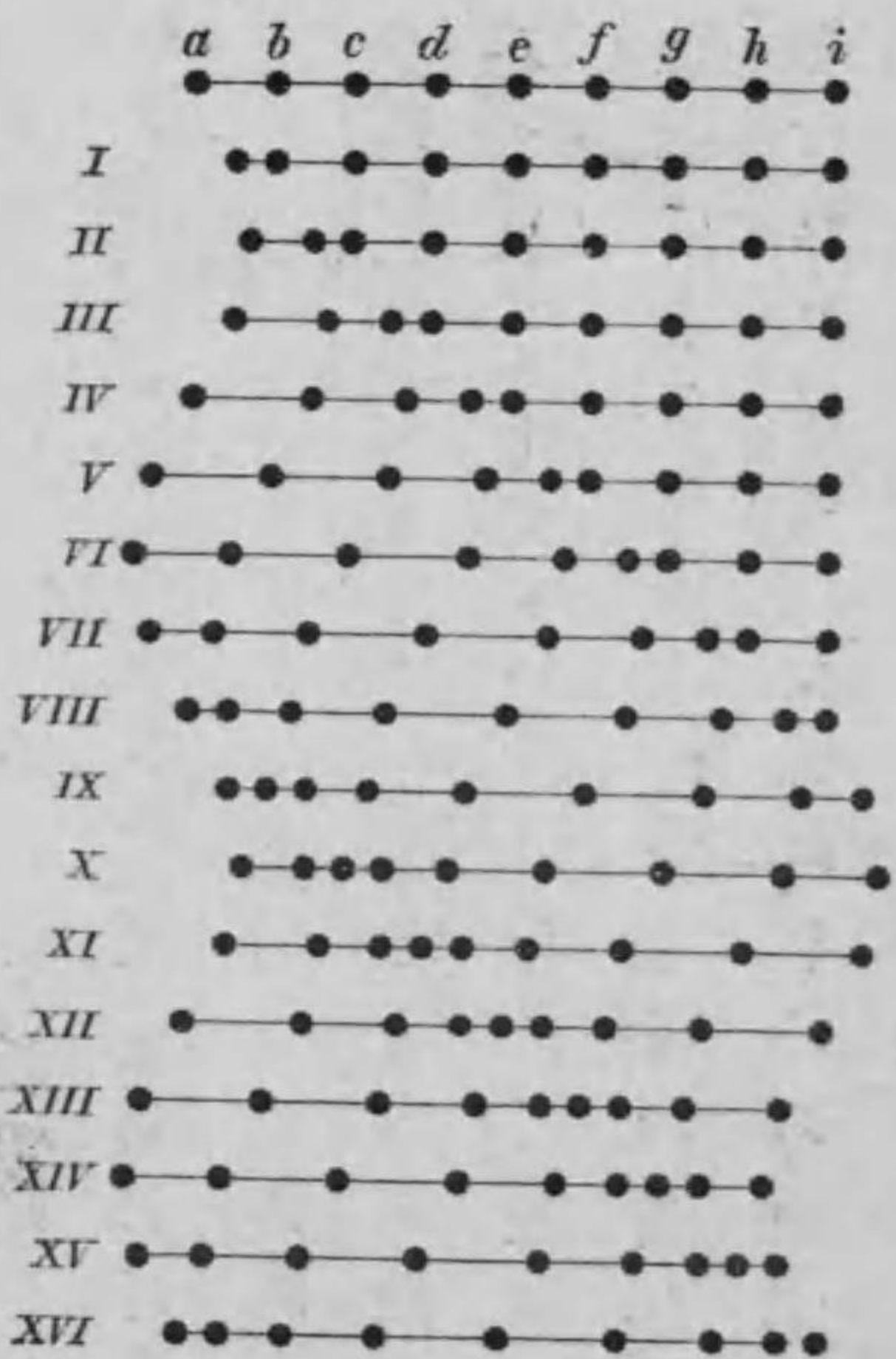
三

縦波。 螺線狀金屬條を水平に吊り、右端を急に左へ押せば、その端はまづ縮みて密となり、彈性によりてその前部を押しして縮ましめ、おのれは延びて舊の状態に復す。而して縮みて密となりたる前部は、またその前部を押しして縮ましめ、かくて密の状態が等速度を以て螺旋條を傳ひて走る。こと、恰



も山が綱を走るが如し。また右端を急に右へ引けば、螺旋條は延びて疎となり、その前部を引き延して、おのれは舊態に復し、疎部は次第に左へ走る。されば右端を左右に振動すれば、密の状態と疎の状態とは交互に螺旋條に沿ひて走る。而してその各部はたゞ左右に振動するのみ。今次の圖にて a, b, c などを等距離にある螺旋條の部分とし、その a 端が八秒の週期にて左右に振動し、この振動が螺旋條に沿ひて等速度を以て傳播し、八秒の後 b に達したりとすれば、この週期間に於ける a 端の振動とその傳播の状態とは I, II, III などの各列によりて見らる。此の如く媒

縦波の波長



質の各部が波の進む方向に振動して、交互に密部と疎部とを生ずるときは、之を縦波または疎密波といふ。一つの密部と次の密部との距離は、一振動間に振動の傳る距離にして、即ち波長なり。波長、波の速度、振動の週期及び振動数の關係は、横波の場合の如し。

第二章 音

四

音。音に種々あり。車の軋る音、運動場の喧噪などは、不快な

音の二大別

樂音の三要素

五

る感覺を起す。之を噪音といふ。鳥の聲、蟲の音、鐘、太鼓、琴、笛、ピアノ、オルガンなどの諸樂器の音は皆快感を生ぜしむ。之を樂音といふ。樂音はその強弱、高低及び音色の三要素によりて、相區別することを得べし。

發音體。音を發する物體は皆振動す。鐘、太鼓の皮、琴の絲などの發音する際には、明にその振動を認むべし。

音叉は二叉をなせる鋼鐵棒にして、音樂上甚だ重要な發音體なり。ゴムを附けたる



小槌にてその臂を軽く打てば、清澄なる樂音を發す。

この際、臂の端は強く振動し、臂の下方へ至るに隨ひて振幅を減じ、曲り目近くなれば、全く動かす。而して下端は縦に振動す。されば音は物體の振動に基づくことを知るべし。

音叉の振動

音の傳播の例
一四三

音の傳播の例

六

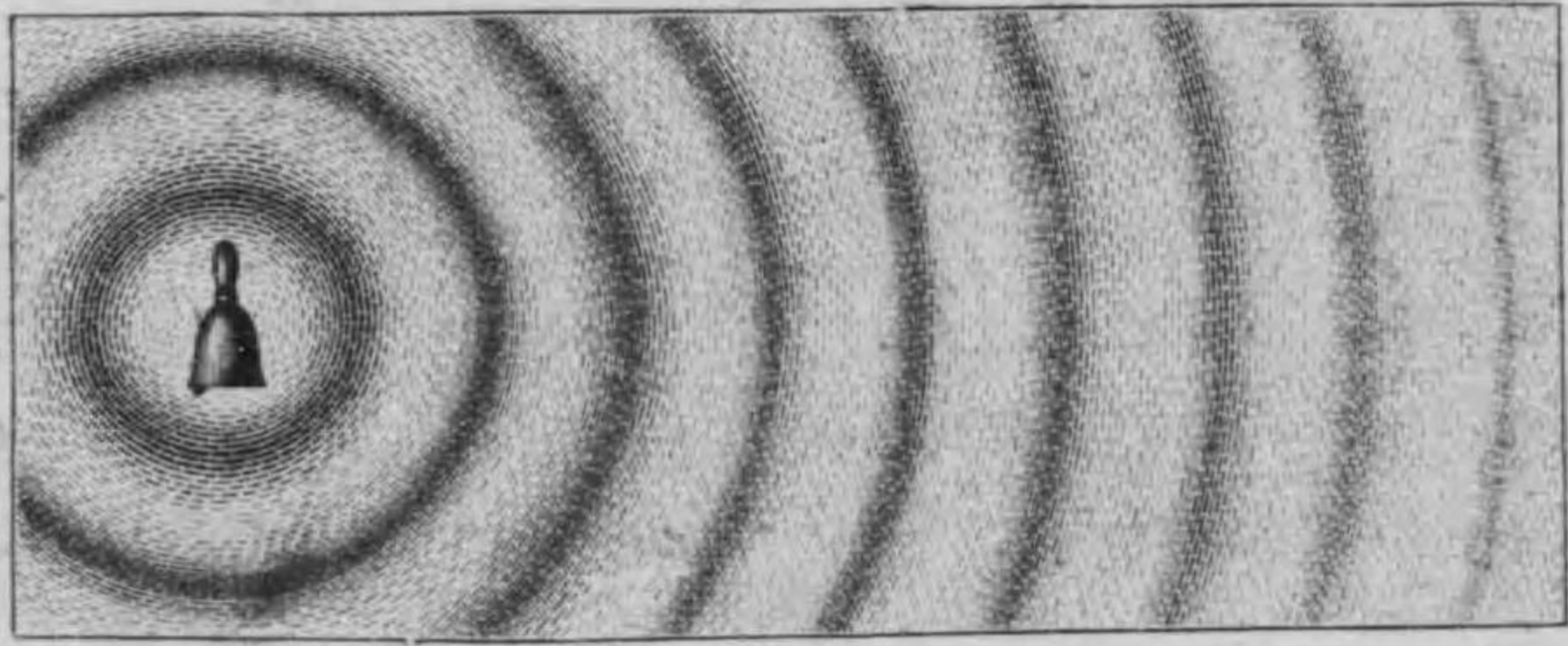
音の傳播 彈性體は皆發音體の振動を傳ふることを得るものなり。長さ一米許の棒の一端を室の扉または机に當て、他端に鳴れる音叉の柄を押し附くれば、扉または机は直に鳴り出す。これ棒は、その一端に受けたる音叉の振動を疎密波として傳ふること、恰も螺旋線條の場合の如く、遂に扉または机を振動せしむるによる。また通常、音叉に附屬したる臺箱の上に水を盛りたるコップを載せ、音叉の下端に小木片を附け、音叉を鳴らして木片を水面に觸るれば、箱は忽ち鳴り出すべし。されば液體もまた音叉の振動を傳ふ。

發音體が空氣中にて振動するときも、また之に等しく、振動面に接する空氣は、交番に密となり疎となり、疎密波は四方へ傳播し、遂に耳内の空氣に及び、最後に鼓膜を振動せしむ。鼓膜の振動は遂に聽神經に感じて、聽覺を生ず。

聽覺を生ずる理

音の由來

七



此の如く、音は發音體がその周圍にある媒質中に生ずる疎密波に基づくものなり。之を音波といふ。されば電鈴を空氣ポンプの鐘内に入れて空氣を抜けば、電鈴は振動すれど、音波を生ぜざるが故に、音を聞くことなし。

〔問〕水中の魚が人の足音を聞くことを得る理由を問ふ。

音波の速度 遠方にて發砲すれば、まづその煙を見、次にその音を聞く。これ音波が空氣中を進行するに多少の時間を要するに由るなり。この煙を見てより音を聞くまでの時間及び大砲までの距離を測るときは、略空氣中に於ける音波の速度を

知るべし。この速度は、零度の空氣中にては三三一秒米にして、溫度一度昇る毎に〇・六秒米づゝ増す。固體及び液體にては、音波の速度遙に大なり。

〔問一〕電を見たる後五・五秒にて雷を聞きたり。電までの距離幾許。

〔問二〕一八八三年八月二十六日ジャヴァのクラカタア火山大爆裂を起し、多量の瓦斯を噴出し、大氣中に大なる波を生じたり。この波は全世界を一周せしが、その通過したる地方の氣壓は急に増加したるが故に、その進行を容易に知ることを得たり。而してこの世界一周に三六時間を要したりといふ。この波の速度幾許なるか。

波動の反射

八

音波の反射。靜なる水面に傳播する波が岸を打つときは、

反射して逆行し、金屬螺線條の一端に振動を與ふるときは、疎密波は他端より反射し來る。音波もまた反射をなす。大なる絶壁の前に立ち、または深き井に臨みて聲を發すれば、暫時にして再びその聲を聞くべし。之を反響といふ。これ口

反響を聞く場合

より發したる音波が絶壁または水面に當りて反射し來るによる。反射面近ければ、反響は直に還り來り、原音と合して之を助くる作用をなす。

〔問〕野外にては室内の如く善く聞えざるは何故なるか。

九

音の強さ。音の強さは音波を成す空氣の振幅による。琴の絃を弾ずれば、空氣は絃と共に烈しく振動して強き音を發すれど、次第に絃と共に振幅を減じて、音は次第に弱り、終に振動と共に全く止む。鐘、太鼓、ピアノなどもまた然り。音波が振動體より發するときは、四方へ傳播して、常に發音體を中心とする球面上に配布す。而して發音體を遠ざかるに隨ひて、この球の面積は増し、音波の振幅は隨つて減少す。されば發音體より遠ざかれば、音の弱きを感じず。

音が一樣なる管内を進行する場合には、音波は常に同じ面

談話管の理

積内にありて、音は弱くなることなし。船及び病院などの如き大建築物内に用ふる談話管は、この理に基づく。

〔問〕 聴診器の作用を説明せよ。

音の高さ。音の高さは毎秒耳に入る音波の數即ち振動數による。厚紙の圓板に二つの同心圓を描き、大圓には四十



八箇の小孔を等距離に穿ち、小圓には同數の小孔を不規則に穿ちて、圖の如く之を廻轉機に載せ、小き硝子管の口より風を大圓に送りて圓板を廻轉するとき、小孔が管口の前に来る毎に、ブスといふ音を發す。圓板を次第に速に廻轉すれば、始は低き樂音を生じ、次第にその調子を高むべし。されば樂音は規則正しく一定の波長を有する空氣の波動によ

音の高さの振動數によることの實驗

一〇

樂音の源

噪音の由來

りて生じ、その調子は毎秒耳に入る波動の數多き程高し。随つて振動體より來る音は、振動體の振動數多き程高し。前の實驗にて硝子管の口を小圓に向くれば、一種の噪音を發す。されば噪音は不規則なる空氣の波動によりて生ずるものなり。

二

共鳴の例

共鳴。同じ振動數を有する二本の音叉を數尺の距離に置き、その一つを鳴らし、次いでその臂を押さへて鳴りを止むるに、他の音叉の鳴るを聞くべし。また相隣れる二條の絃を同じ調子にして、その一つを弾ずれば、他は自ら發音す。この現象を共鳴といふ。今水を容れたる手桶を綱にて吊り、桶に細き絲を附けて之を水平に早く引くに、絲は切れても桶は著しく動くことなし。されど絲を軽く引きて直に之を弛め、桶が僅に振動して還り來る毎に之を引くやうにすれば、

共鳴の説明

空氣の共鳴

共鳴箱の用



暫時にして桶は大いに振動するに至るべし。これと同じく、一つの音叉より發したる疎密波は他の音叉に達し、その音叉の週期を隔てて之を引きたまたは押すが故に、音叉は終に著しく振動するに至るなり。

空氣もまた共鳴す。今十分長き圓筒に活塞を設け、發音する音叉の臂をその口に近く置きて、活塞を一定の位置に移せば、圓筒内の空氣は強く鳴り出すべし。これ一定の長さの空氣柱は音叉と同數なる振動數を有し、音叉と共鳴するに由る。

音叉の臺箱はその内の空氣が音叉と同一なる週期を有するやうに作りたるものなれば、音叉

は振動を箱に傳へ、箱は之を空氣に傳へ、空氣と共に振動して、大いにその振動面を増すが故に、著しく音の強さを増す。この箱を**共鳴箱**といふ。琴、三味線、ヴァイオリンなどの胴はまた皆共鳴箱の用をなす。

〔問一〕 深き瓶に水を注ぐとき、水の充つるに隨ひて音の調子高くなる。何故なるか。
(東京高等師範學校)

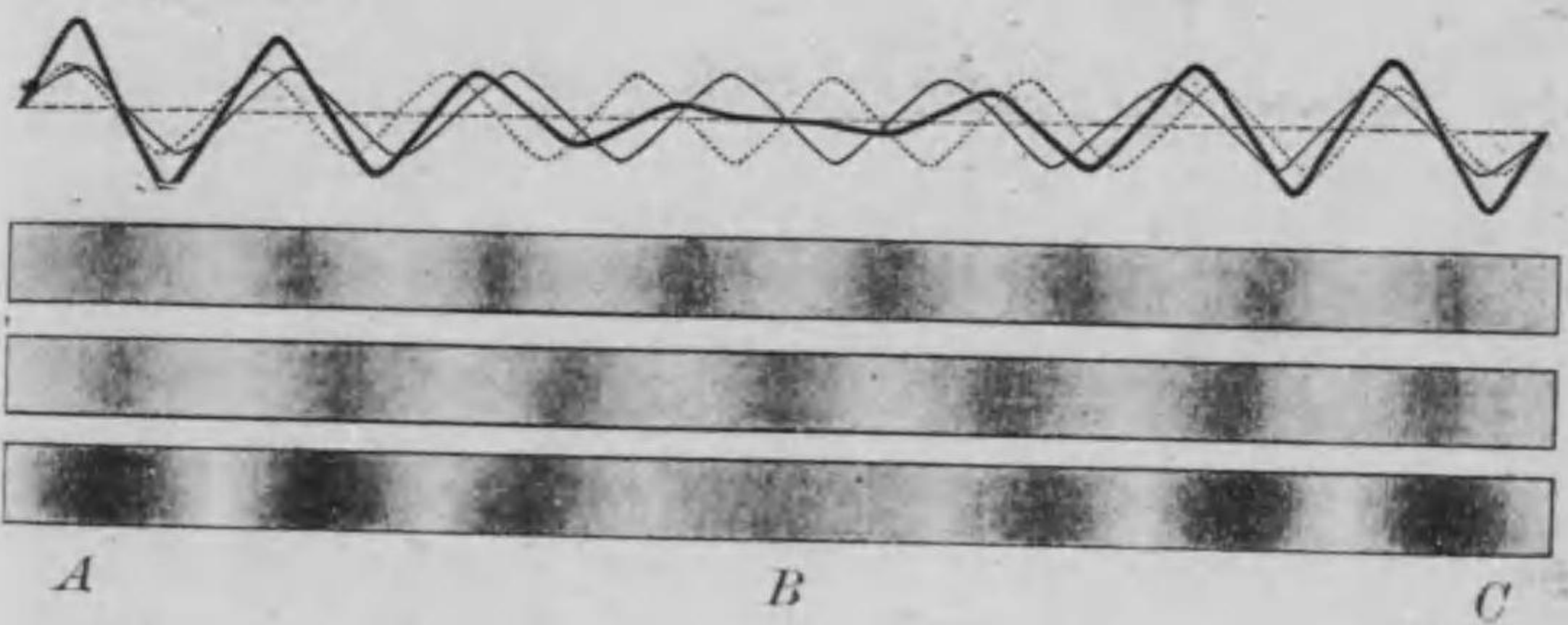
〔問二〕 音叉に共鳴箱を附くれば、早く鳴り止む。何故なるか。

三 **唸り及び干涉**。同じ振動數を有する音叉二本を取り、その一本の臂端に小さき金屬片を附けて、稍その振動數を變じ、同時に二本を鳴らせば、その音或は強く或は弱く、所謂唸りを生ず。今波長の稍異なる二箇の音波が同じ路を経て傳播すとすれば、兩波の密部は一點に相會し、相助けて大なる振幅を生じ、隨つて強き音を發す(1)。この點より遠ざかるに隨

細き線にて描ける波は七と八との波長を有する二箇の横波にして、太き線はその合成波なり。

三

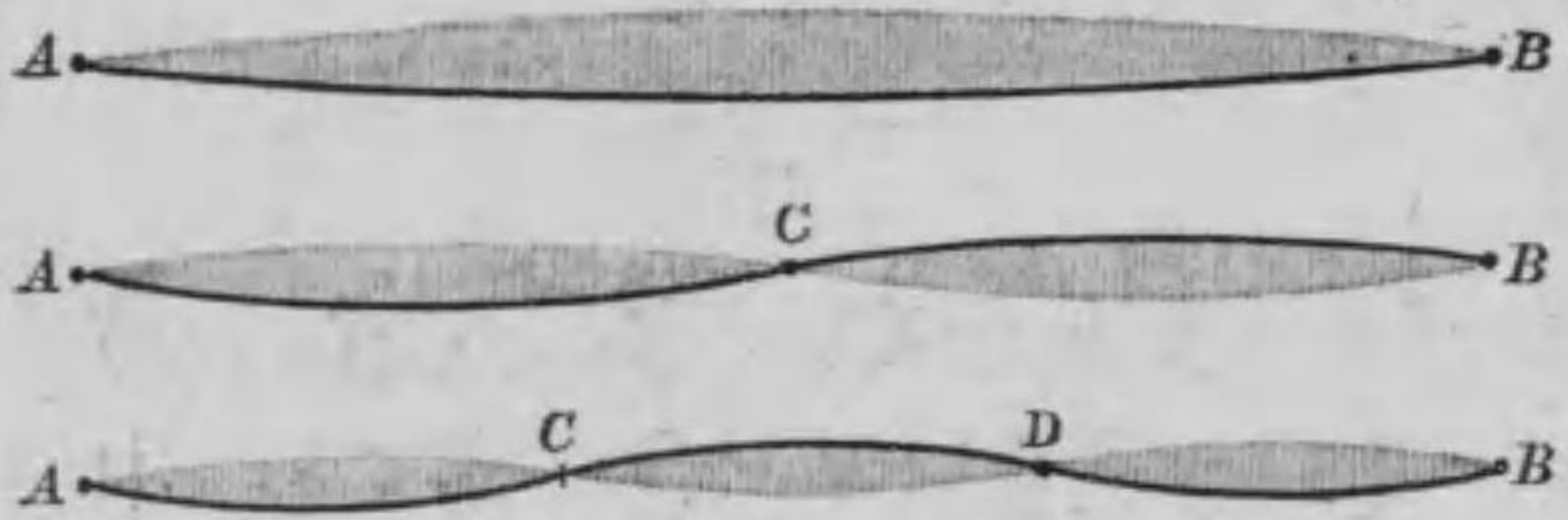
絃の振動數



ひて兩波の密部は次第に相遠ざかり、遂に一波の密部は他波の疎部と相合し、振幅は零となりて、音は消滅すべし(B)。更にこの點より遠ざかれば兩波の密部は再び相合して、強き音を發す(C)。この合成音波の強弱部は交互に耳に達して、唸りの感覺を起さしむ。B點に起るが如く、二箇の音波が相合して音を生ぜざる現象を音の干涉といふ。

樂器。樂器は多く絃或は空氣を發音體とす。

絃は細くして短く且張強きとき、高調の音を發す。一般に絃の振動數は、(一)その

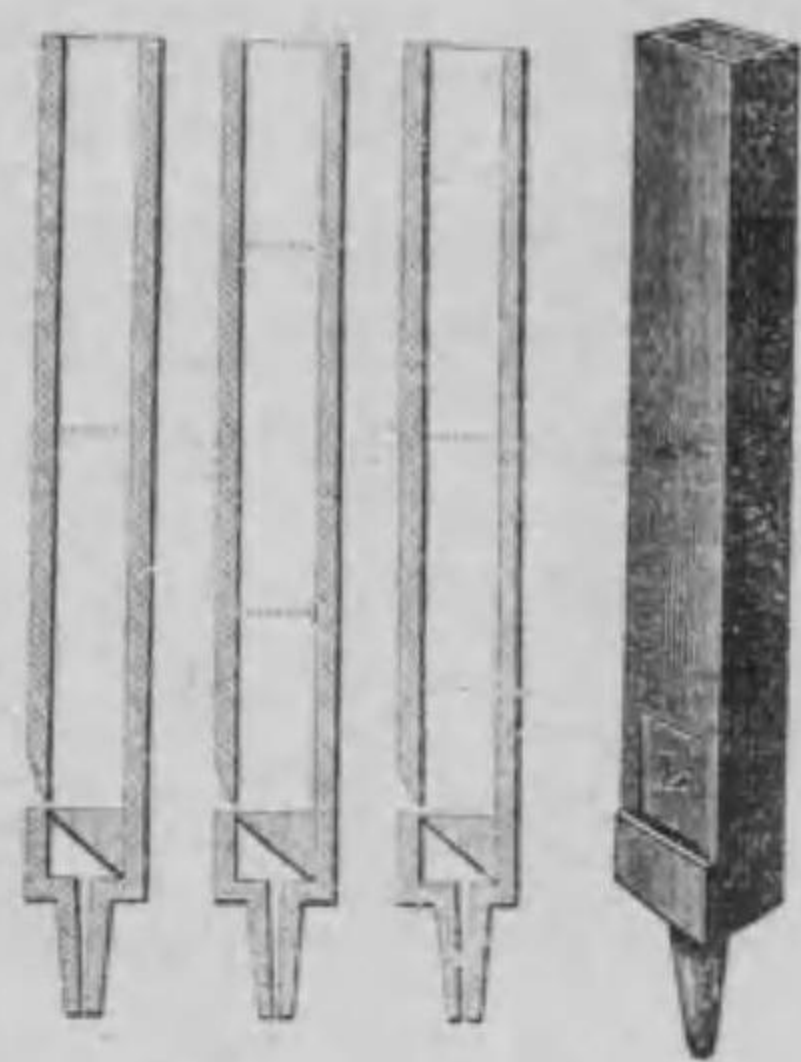


長さ及び直徑に反比例し、(二)その張力の平方根に正比例し、(三)その密度の平方根に反比例するものなり。

今琴の絃を張り、その中央部を彈ずれば、絃は全體として振動し、一定の高さの音を發す。之を原音といふ。次に絃の中央部を指にて軽く抑へ、絃の端より全長の四分、一の處を彈ずれば、絃の各半は別々に振動して、原音に二倍する振動數の音を發し、指を放ちても中央部Cは振動せず。更に絃の端より全長の三分、一の處に指を觸れ、六分、一の處を彈ずれば、絃は三等分して別々に振動し、原音に三倍する振動數の音を發し、二點C、Dは靜止して振動せず。此の如く絃が數區に等分して生ずる音を倍音といふ。絃

風琴管の發音

下圖の左の三つは開きたる風琴管の空氣の振動を示すものにして、點線は節に相當す。



の振動するとき、 C, D の如く常に靜止する點を節といひ、節と節との中央點を腹といふ。節とその次の節と或は腹とその次の腹との距離は、波長の半に等し。

風琴管の構造は圖に示すが如く、主として柱狀の管より成り、その下部には所謂唇を有す。下端の口より吹きこまれたる空氣は、唇に相對する細隙より薄層をなして迸出し、唇を衝きて疎密波を生ぜしめ、管内の空氣柱を振動せしむ。この際、空氣柱は數區に分れて振動し得ること、絃の如く、唇及び開きたる端は腹に相當す。されば開きたる管の長さの二倍はその原音の波長に等し。

音色。前述の如く、絃及び空氣柱は數區に分れて振動し得

樂器に固有の音色ある理

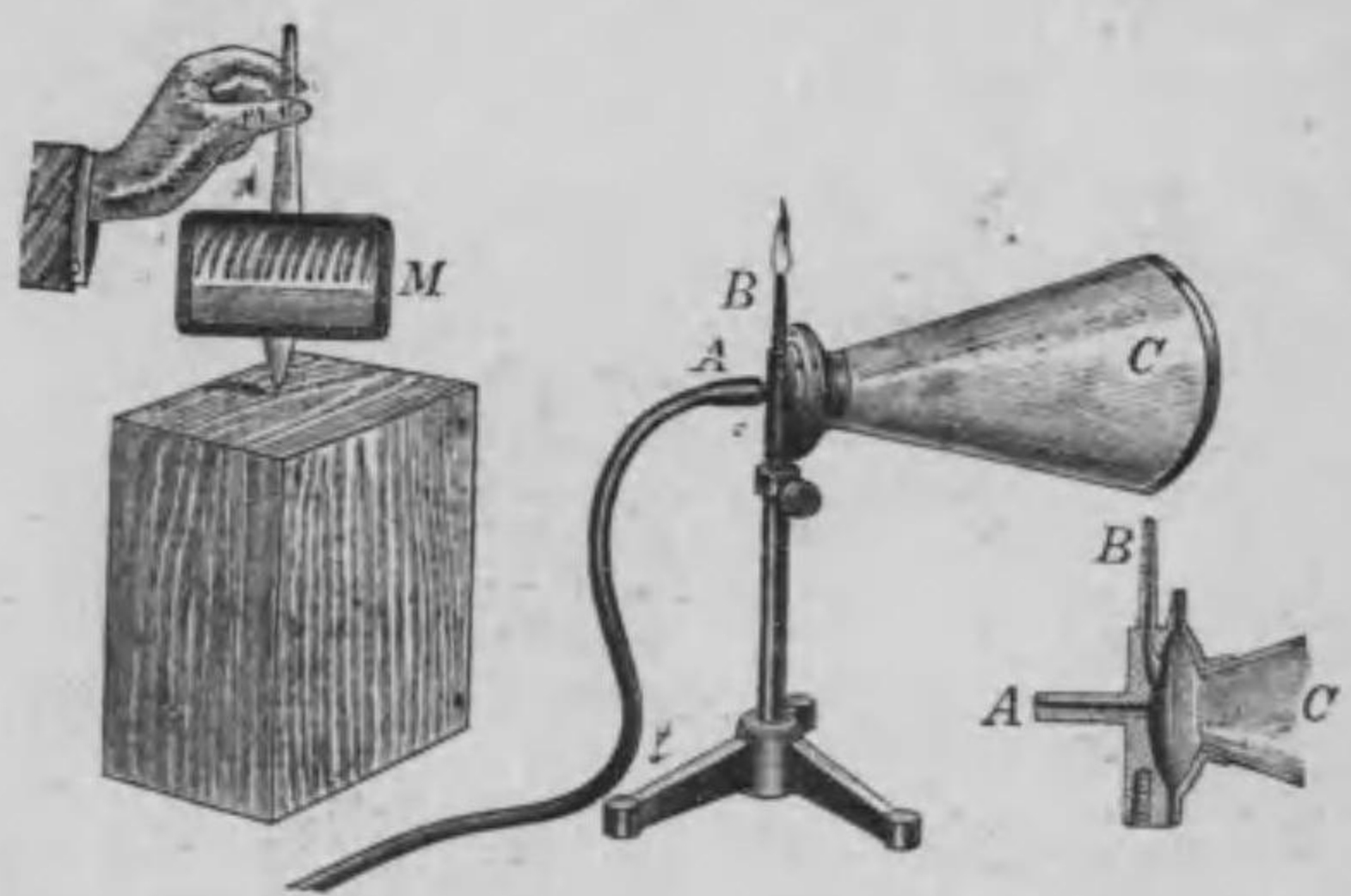
人聲

音色を説明する實驗

かのみならず、これらの振動は通常同時に起るものなり。されば絃を弾じ管を吹けば、原音と共に數多の倍音を發し、相混合して耳に富饒なる樂音を感ぜしむ。この倍音の數と強さとは樂器及び弾じ方、吹き方によりて異なり。これ樂器が各その固有の音色を有する所以なり。

吾人の聲は聲帶の振動によりて生ずる音にして、その強弱は呼氣の強弱により、その高低は聲帶の緊張の度による。而して口腔、咽喉及び鼻腔の内なる空氣は、聲帶と共に振動してその音色を成す。

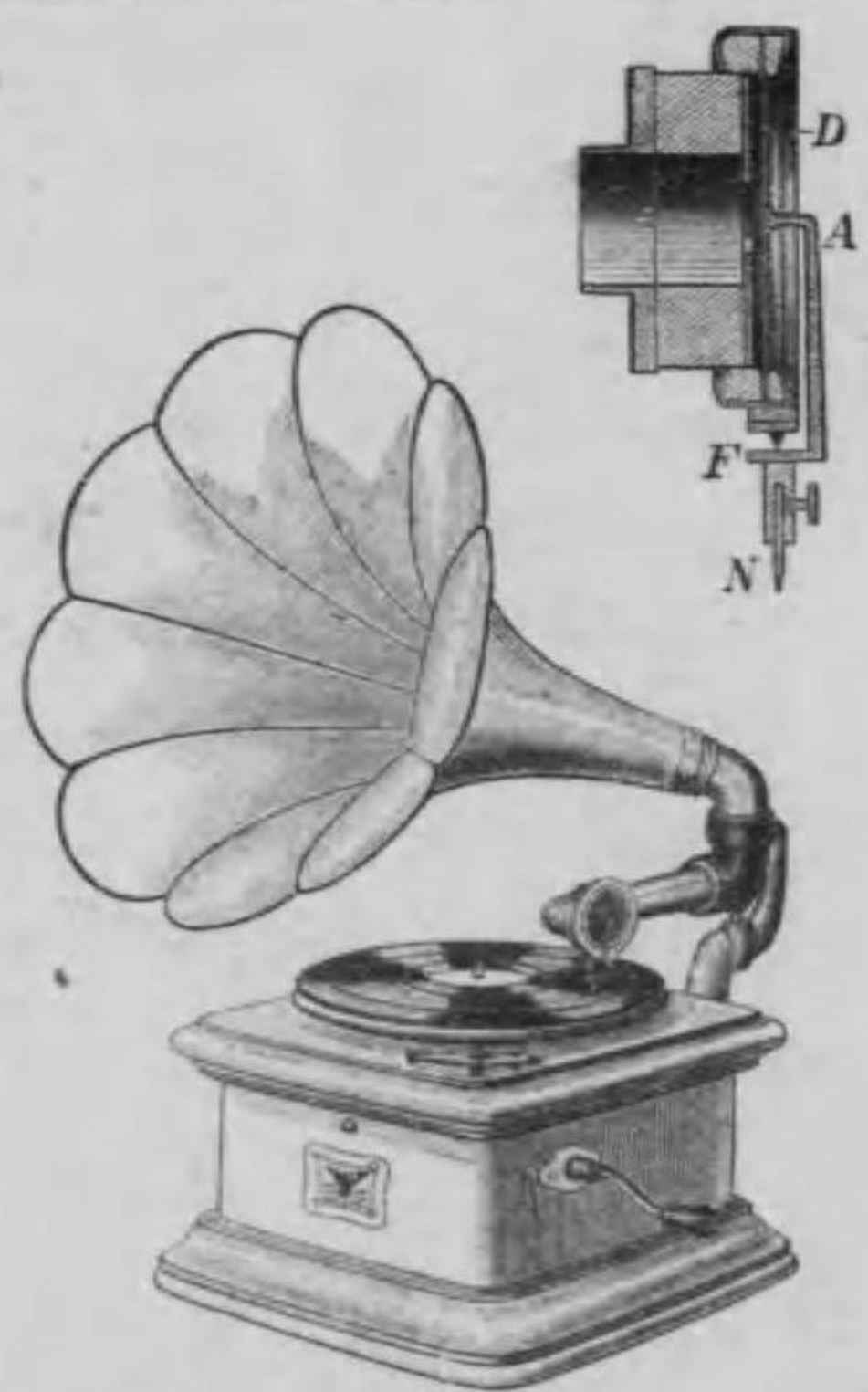
されば人聲の音波は通常單に一つの密部と一つの疎部とより成るものにあらずして、一波長の間に數多の疎密部を有す。之を實驗するには、次の圖の如き装置を用ふ。Cは受音器にして、その裏は薄膜に終る。薄膜の後方に小き空氣室



聲に應じて種々の波形を映すべし。音色濃ければ波形複雑なり。音色淡ければ波形簡單なり。

〔問〕 琴、ヴァイオリンなどは皆絃の一端に近き處を彈す。何故なるか。

蓄音機。蓄音機は音を記録しおき、隨時にその音を發せし



むる装置なり。圖に示すは、平圓盤蓄音機にして、喇叭の底部を成せる側面の薄膜に針Aあり。軟き脂を薄く塗りたる亞鉛製の圓盤を臺に載せ、之に針端Nを觸れしめ、時計仕掛にて圓盤を廻轉し、喇叭の底が次第に圓盤の中心に向ひて移動するやうにすれば、針端は脂を搔分けて盤面に渦線を描くべし。この際喇叭に向ひて聲を發すれば、その音の高低、強弱及び音色に應じて薄膜は振動し、針端は圓盤の半徑の方向に振動するが故に、渦線は波状を呈すべし。クロム酸にてこの波状渦線を腐蝕し、電鍍にて銅型を作り、熱と壓力とによりて同じ波状渦線を有するエポナイト平圓

發聲の理

盤數多を印刷す。その一枚を臺に載せ、針端を渦線に入れ、圓盤を廻轉すれば、針は波狀渦線を辿り行き、薄膜は之に相當する振動をなし、喇叭口よりは始め吹込みたる音を發すべし。

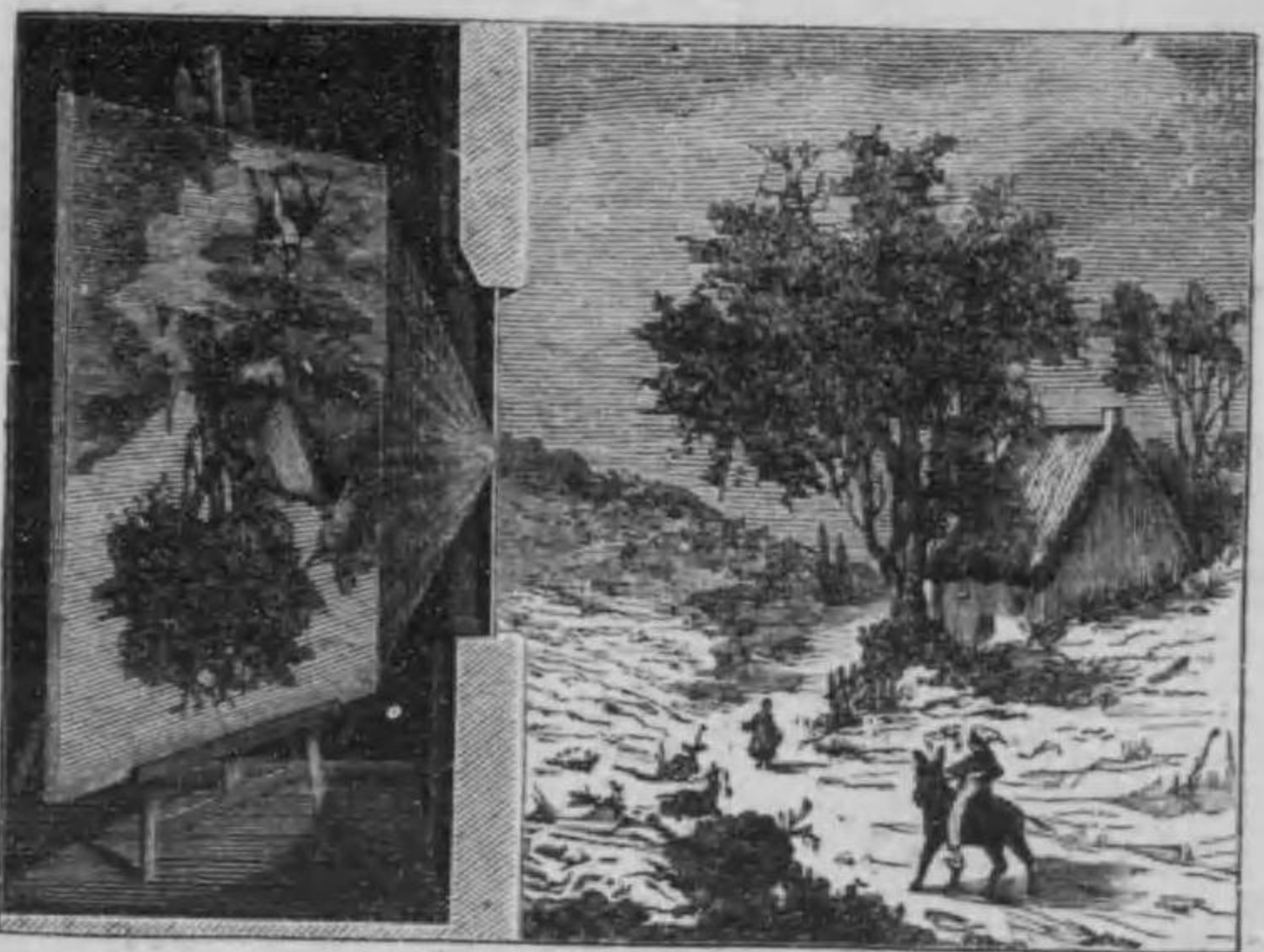
第五篇 光學

第一章 光の進行

透明及び不透明

一 光。吾人が太陽、電燈などを見るは、その發する光が眼に入るによるなり。これらの物體を發光體といふ。鳥獸、書籍の如き物體は、發光體の光に照らされて始めて見ゆ。空氣、水、硝子の如く光を透す物體を透明體といひ、金屬、材木の如く光を遮る物體を不透明體といふ。

二 光の直行。像。窓を通り來る太陽の光は、窓の形を床上に印す。これ光が一直線に進行するによる。孔ある窓掛にて窓を蔽へば、孔より入り來る光は、空氣中の塵埃を照らして進路の直線なることを示し、床上に明るき點を印す。この進路は太陽と孔とを連ぬる直線の延長線上にあり。線に沿



ひて進行する光を光線といふ。されば一室を暗くして、窓に小孔を穿てば、窓外にある物體の各點より發してこの孔を通りたる光は、直線に進行して、之に對する衝立に明るき點を印するが故に、窓外の全景はその上に倒映す。之を像といふ。

〔問〕 燭火と眼とを連ぬる直線上に掌を置けば、燭火を見ること能はず。何故か。

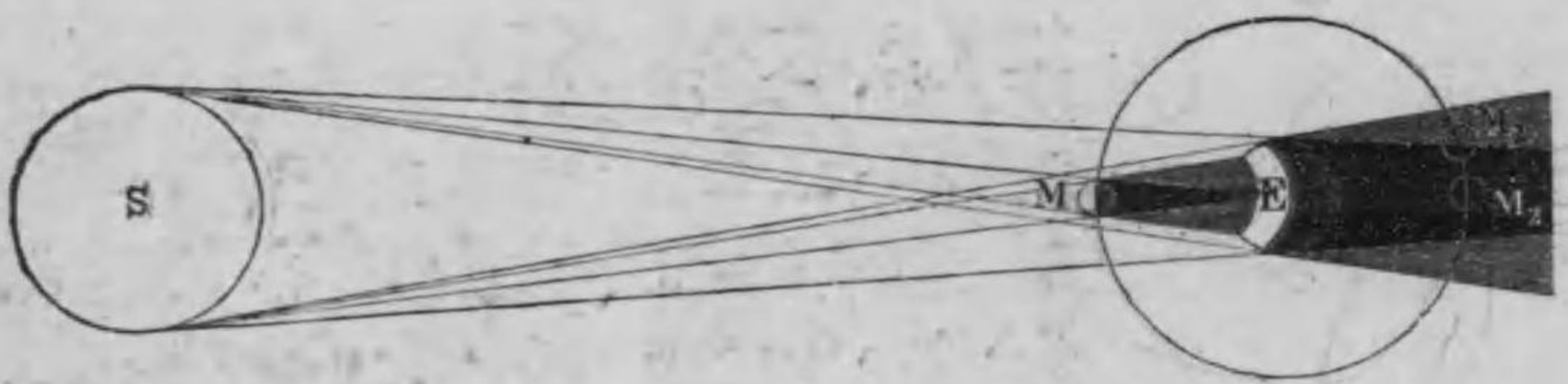
三

影。光の進路に不透明體あれば、その後方に影を生ず。發光體が小なるときは、街上の弧燈によりて生ずる人影の如く影は鮮明なれど、發光體が大なるときは、影は不鮮明なり。例へば次の圖にてSを太陽、Eを地球、Mを月とすれば、太陽

太陽によりて生ずる地球及び月の影

月蝕及び日蝕

一六七五年蘭人レーメルは天體の觀測によりて始めて光の速度を測定したり。

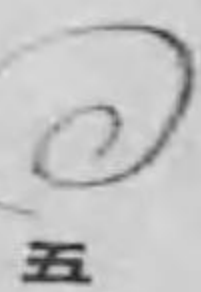


は大なるが故に、圖の如き影を生ず。太陽より少しも光を受けざる部分は全く暗黒にして、之を本影といひ、その周圍は太陽の一部より光を受くるが故に、之を半影といふ。月が地球の本影に入るときは、月蝕を生ず。また地球表面上、月の本影に入りたる處にては、太陽の皆既蝕を見、半影に入りたる處にては、その分蝕を見る。

〔問〕 日中、電柱は黒き影を地上に投ずれど、電線は然らず。何故なるか。

光の速度。光の速度は空氣中または眞空中にて三億米にして、一秒間に地球を七周半することを得。光の速度は此の如く大なれど、

宇宙の廣大



五

光が太陽より地球に達するには、八分一八秒を要し、北極星よりは四四年を要す。以て宇宙の廣大なるを知るべし。

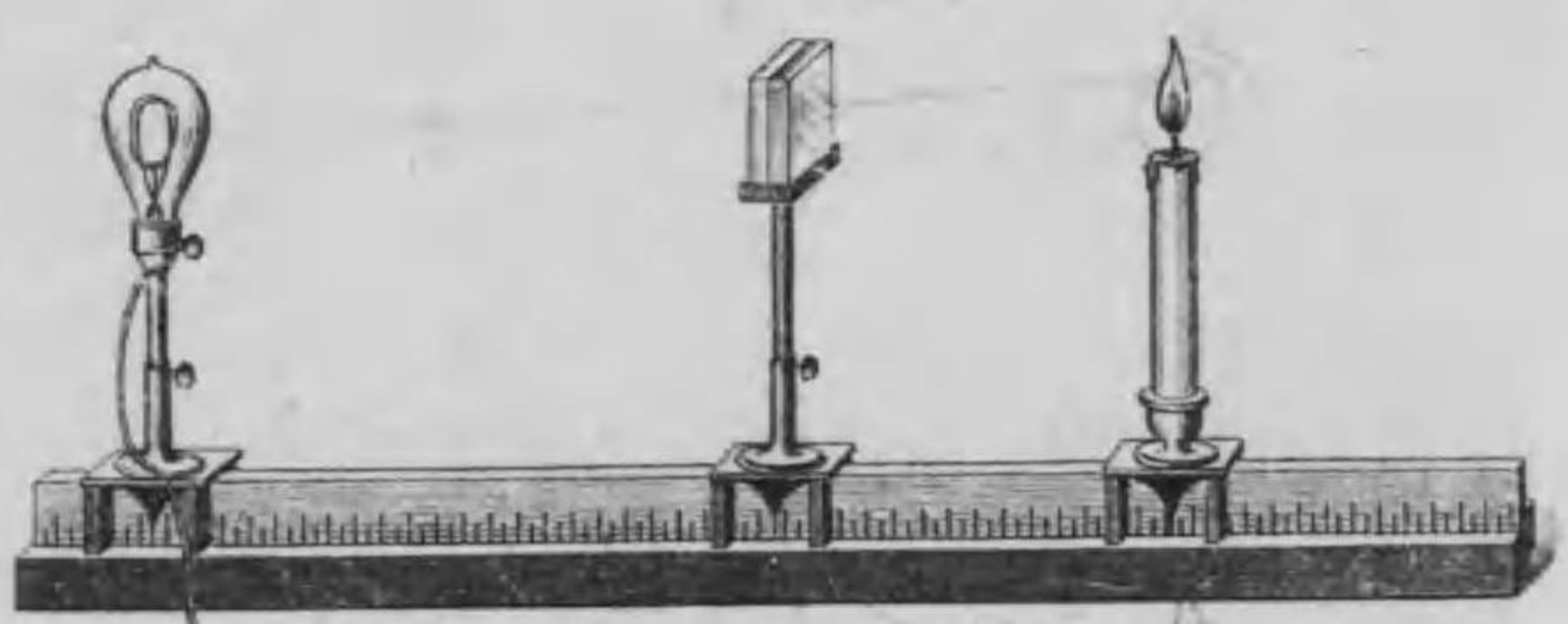
光の強さ。 光は發光體より球狀をなして諸方へ擴がり、常に發光體を中心とせる球面を作る。球の面積は半径の二乗に比例するが故に、球面上の單位面積内に達する光の量は、發光體よりの距離の二乗に反比例す。この單位面積内に達する光の量は、その面に於ける光の強さを測るものなれば、光の強さは發光體よりの距離の二乗に反比例す。

光度計。 光源より單位距離に於ける光の強さをその**光度**といふ。光度を比較する装置を**光度計**といふ。その一種は一様なる二枚のパラフィン板の間に錫箔を挟みたるものなり。兩光源を連ぬる直線上に之を置いて、その面をこの直線に直角ならしむれば、各光源は之に面するパラフィン板を照

光度の測定

六

光度の單位



らして之を明るくす。光度計を移して兩板の明るさを一様にすれば、兩光源の光の強さは光度計の處にて相等し。今兩光源の光度をA、Bとし、光度計までの距離をm、nとすれば

$$\frac{A}{m^2} = \frac{B}{n^2}$$

$$\therefore \frac{A}{B} = \frac{m^2}{n^2}$$

さればm、nを測りて兩光源の光度を比較することを得。

光度の單位は一定の標準蠟燭の光度にして、之を一**燭光**といふ。五分心ランプの光度は五燭光許にして、毎時三立方尺の瓦斯を消費する白熱瓦斯燈の光度は四〇燭光許なり。

〔問一〕一六燭光の電燈の下に讀書するには、燈との距離が二尺許なるを

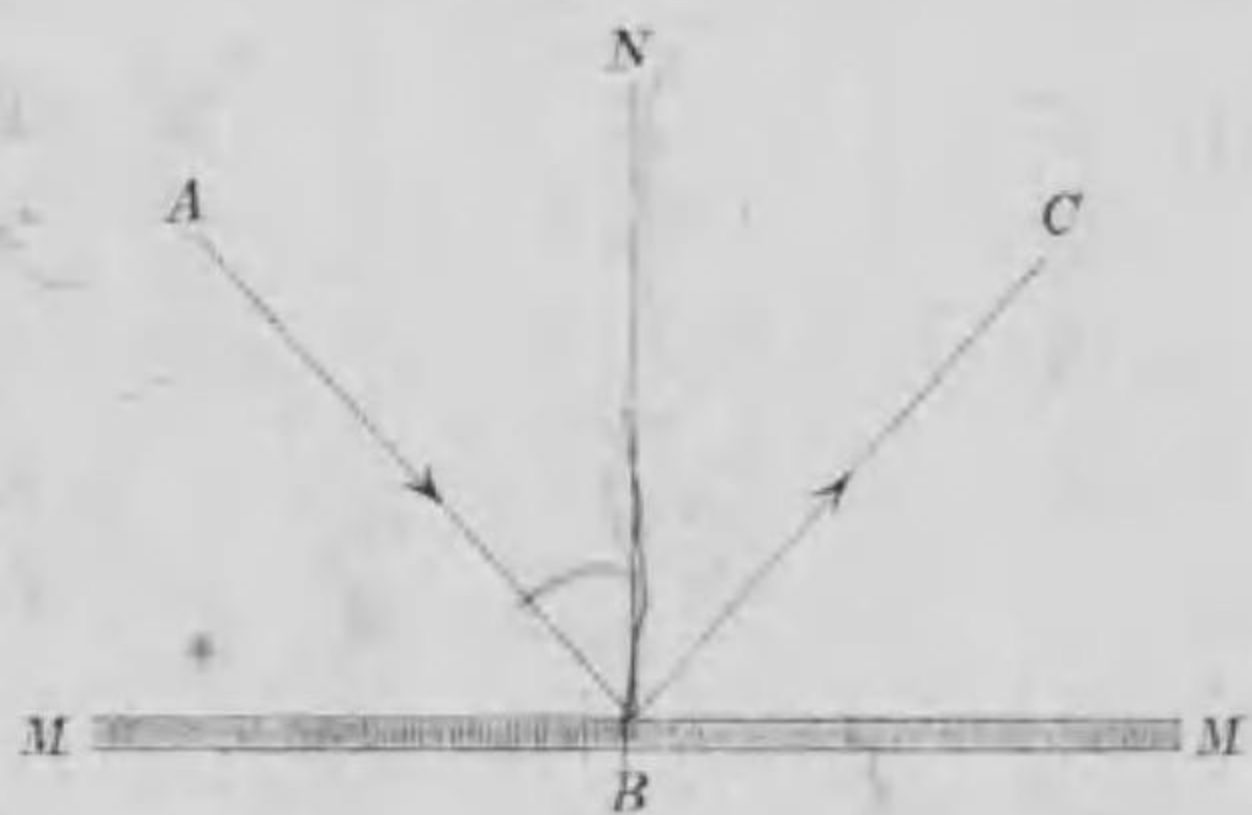
眼のためによしとす。五分心ランプ、 \odot 燭光電燈にては、各如何。
 【問二】 太陽が地球上の一點を照らす強さは、五五〇〇燭光の光が一、二吋の距離にある點を照らす強さに等しく、また月が地球上の一點を照らす強さは、一燭光の光が一、二六吋の距離にある點を照らす強さに等しいといふ。太陽と月とが地球上の一點を照らす強さの比幾許なるか。

(東京高等工業學校)

七

平面鏡の反射。 光が一物質中を直線に進行して、他の物質の面に達するときは、その進行の方向を變ずること、なほ音の如し。今鏡を机の上に置き、太陽の光をその一點に投射せしむれば、光は反射して壁または天井に達すべし。投射光線が鏡面に會する點を**投射點**といひ、この點に於て鏡面に描きたる垂線と投射光線とのなす角を**投射角**といひ、垂線と反射光線とのなす角を**反射角**といふ。實驗によれば、光の反射は左の法則に従ふ。

光の反射の法則



(一) 投射光線と反射光線とは、投射點に於て、反射面に描ける垂線と同じ平面内にありて、且垂線の兩側にあり。
 (二) 投射角と反射角とは相等し。
 例へば上圖にて MM を反射面、 B を投射點、 AB を投射光線、 BC を反射光線、 BN を垂線とすれば、

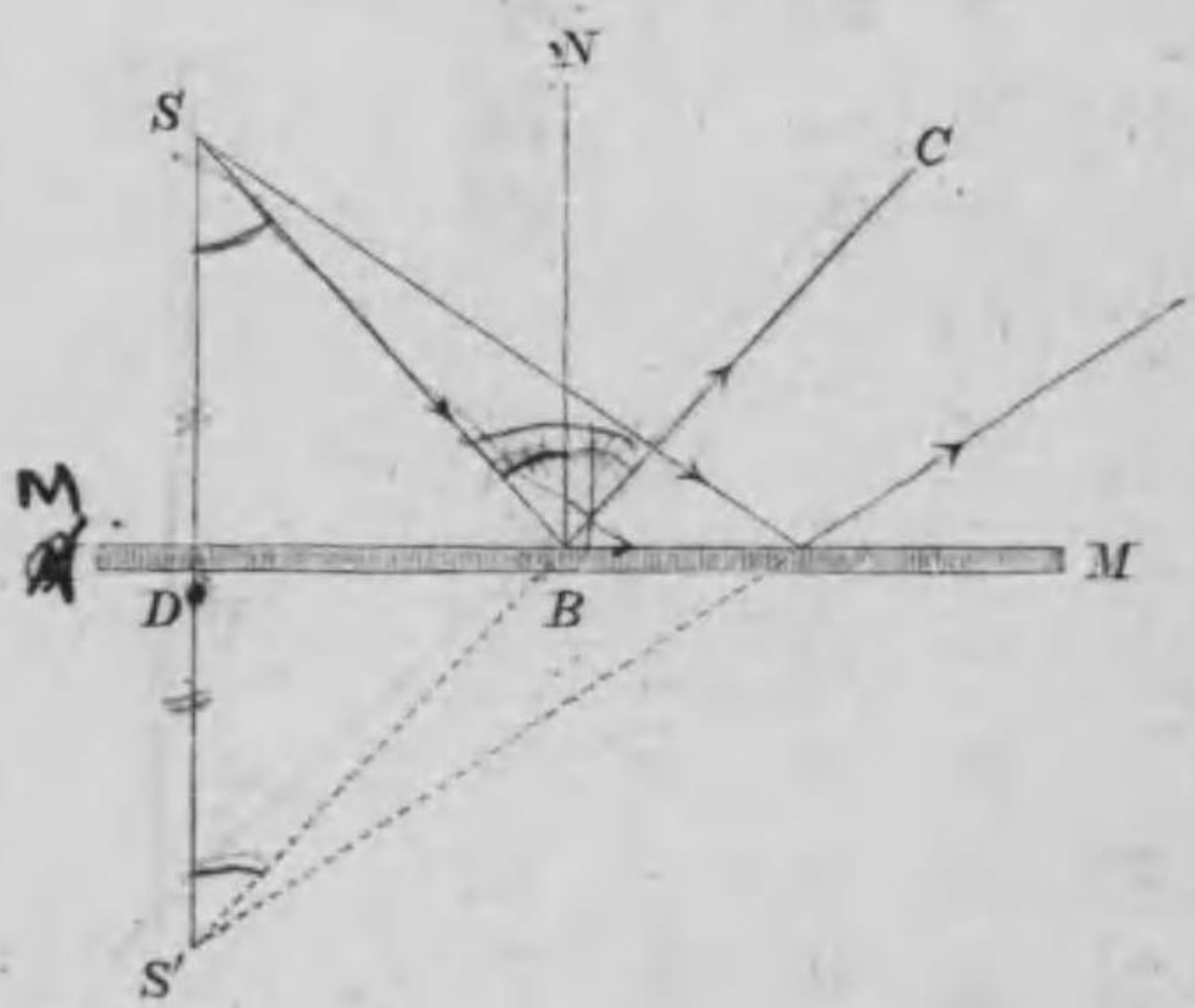
$$\angle ABN = \angle NBC$$

八

平面鏡によりて生ずる像。 平面鏡の前にある發光體は八方へ光を送り、その一部は平面鏡を打ちて、之より反射す。次の圖にて MM を鏡面とし、 S を發光體とすれば、 S より發して鏡面に垂直に投射したる光線 SD は、垂直に反射して反射光線 DS となり、斜に投射したる光線 SB は斜に反射して反射

像の位置

像の性質



光線 BC となる。 SD と CB とを延長すれば、 S' にて相會す。而して反射の法則によりて $\angle SBN = \angle NBC$ なるが故に、

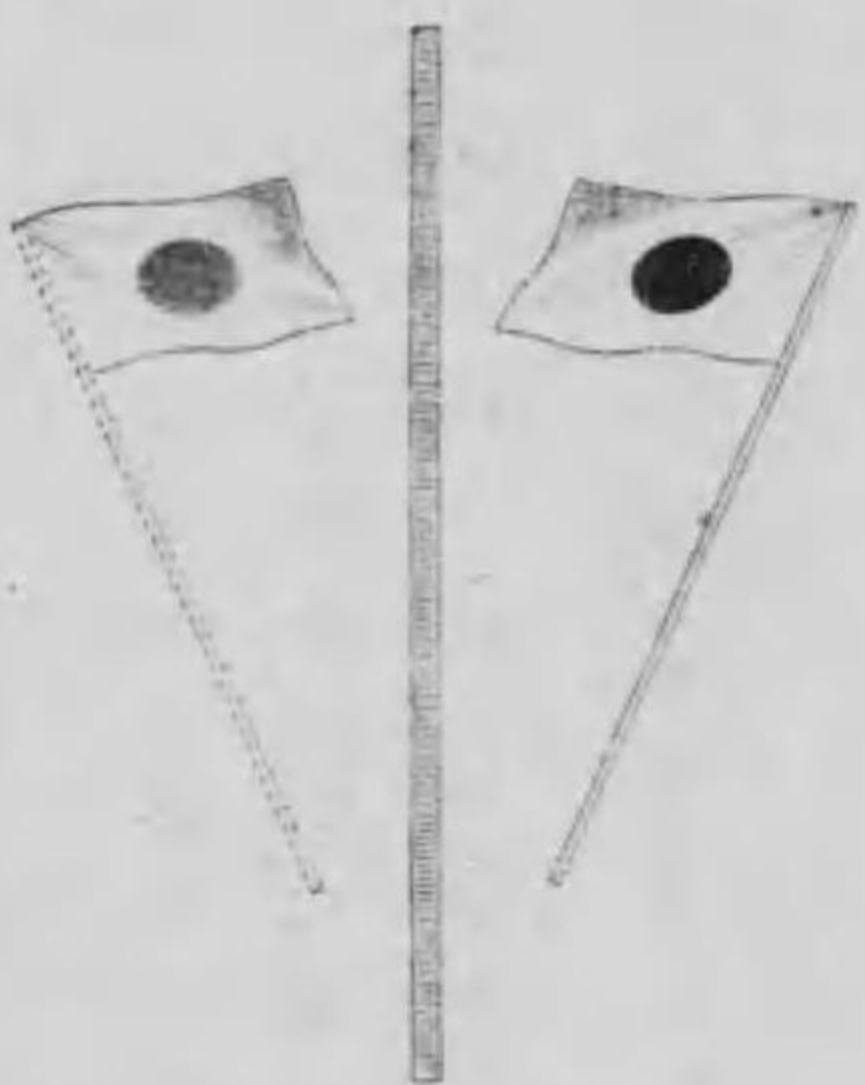
$$\angle BSD = \angle BS'D, \quad SD = S'D$$

即ち S' は鏡面に對して S と對稱なる唯一の點なり。されば鏡面に投射して反射する光線は、皆 S' 點より來るが如き方向をなし、鏡前にてこれらの反射光線を眼に受くれば、發光體の像を S' に認むべし。

この理によりて、鏡前に物體あれば、鏡後對稱の位置にその像を認むること、次の圖に示すが如し。この像は實物と大さ相等しけれど、左右相反し、且光線は、實際、像より來れるものにあらず。されば像の位置に紙を

置きて、も、像は映ることなし。此の如く光線が實際相會せずして生じたる像を虚像といふ。

〔問一〕 波立てる水の面に月影の延きて映る理は如何。
(高等學校)



〔問二〕 直立せる姿見鏡に向ひて眞直に立てる人が、自己の全身を映し得べき最小なる鏡の大きさ位置とを身體に比較し、圖解によりて求むべし。
(大阪高等工業學校)

反射の二種

九

亂反射は反射の法則の結果なり。

亂反射 鏡面、水銀面の如き平滑なる平面は、投射光をたゞ一方に反射す。之を**正反射**といふ。机の面の如きは甚だ粗糙にして、その部分は種々の方向を有し、随つて投射光を諸方に反射す。之を**亂反射**といふ。吾人が鳥獸、書籍などの如く自ら發光せざる物體をいづれの方よりも見得るは、亂反

射による。

すべて物體の表面に投射する光の一部分は正反射をなし、一部分は亂反射をなす。その割合は物體によりて差異あり。磨きたる銀の表面は投射光の一〇〇分九三を正反射し、白堊は殆ど完全に亂反射す。亂反射をなす部分多き程、表面は明るく見ゆるものなり。

〔問一〕 白壁の室は黒壁の室より明るきは、何故なるか。

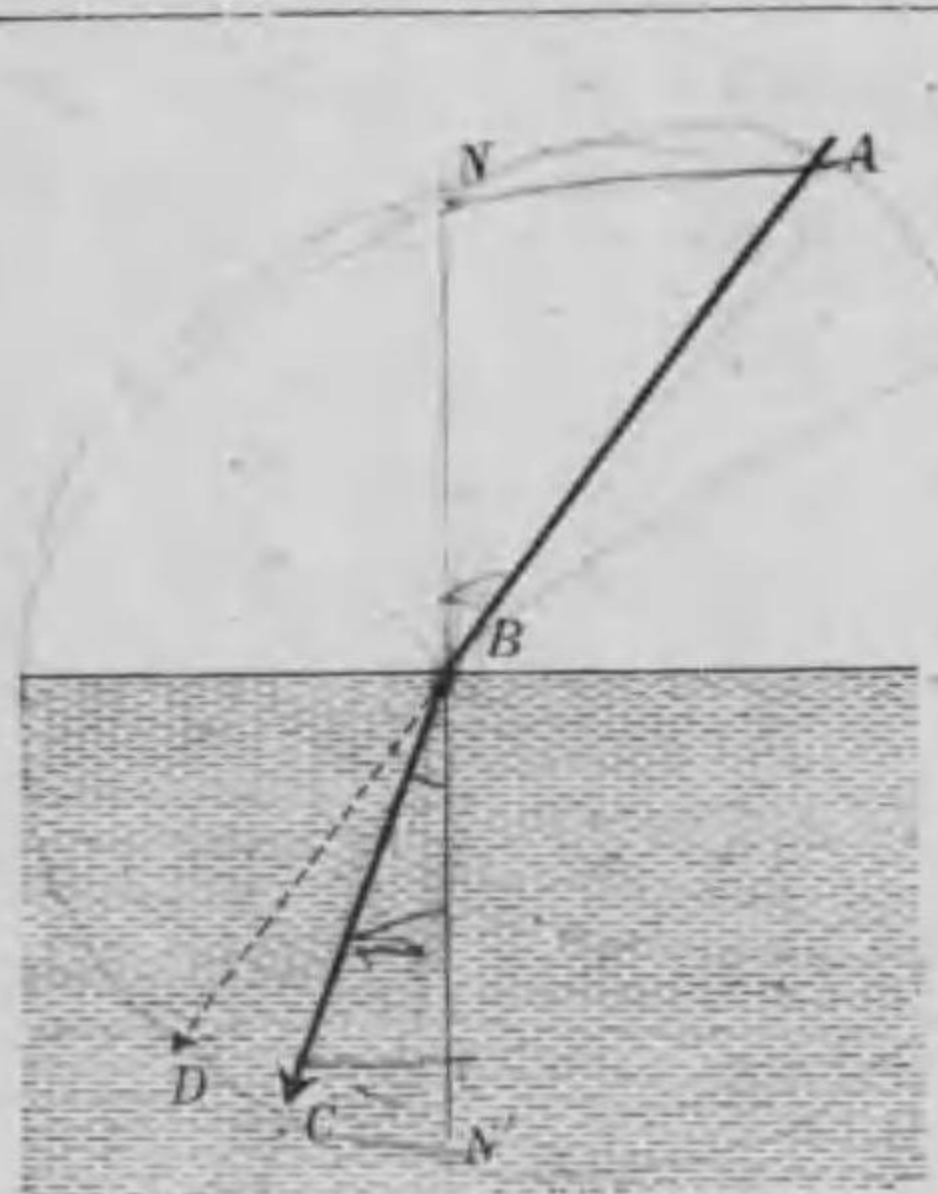
〔問二〕 鏡の中央に白紙の十字形を置き、之に日光を送りて壁上に反射せしむれば、十字形は黒く映るべし。何故なるか。

〔問三〕 地球は日光を月面に反射すること、なほ月が地球を照らすか。如し。吾人が新月の暗黒部を見るは、如何なる徑路を取りたる光によるか。

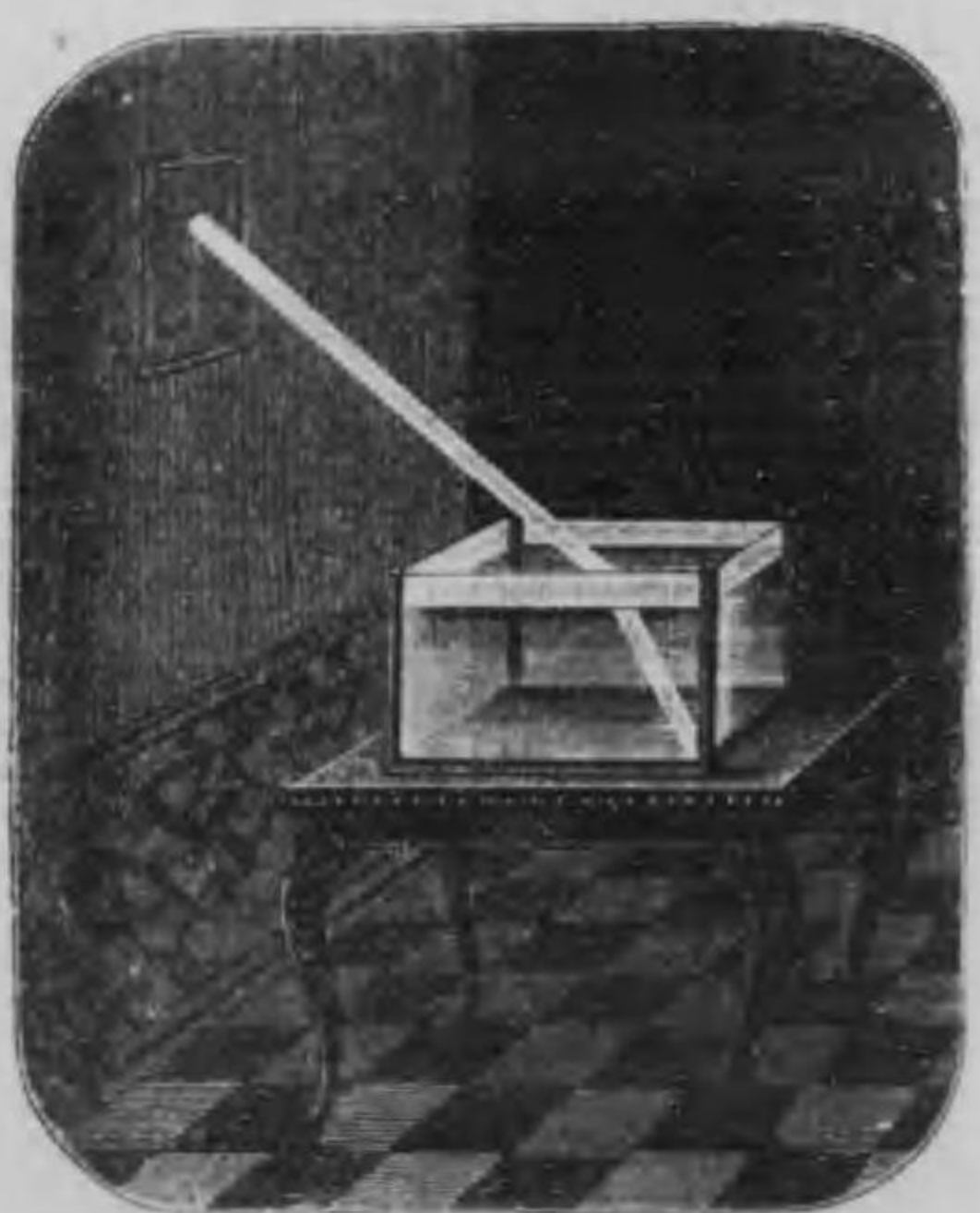
二

光の屈折。小孔を通りたる日光を斜に硝子器の水面に投射せしむれば、光の一部は水面より反射し、他部は方向を變じて水中に進入す。此の如く光が一つの物質より他の物

屈折の法則



質に入る際に、方向を變ずる現象を光の屈折といふ。次の圖にて投射點Bに於て兩物質の境界面に描きたる垂線と屈折光線とがなす角 $\angle NBC$ を屈折角といふ。この角の大小は投射角 $\angle NAB$ の大小による。



丁抹人スネルは屈折につきて左の法則を得たり。

(一) 投射光線と屈折光線とは、投射點に於て、屈折面に描ける垂線と同じ平面内にありて、垂線の兩側にあり。

光の屈折率

(二) 投射角の正弦と屈折角の正弦との比は、投射角の大小に關せず、常に一定の大きさを有す。

投射角を i とし、屈折角を r とすれば、この比 $\frac{r}{i}$ は、

$$\frac{r}{i} = \frac{1}{n}$$

この比を光の屈折率といふ。光が空氣より水に入るとききの屈折率は一・三三、硝子に入るとききの屈折率は一・五乃至一・七にして、金剛石に入るとききの屈折率は二・四二なり。

實驗によるに、光は同じ徑路を逆行することを得。例へば前圖にて CB を投射光線とすれば、 BA はその屈折光線となる。されば水より空氣に入る光の屈折率は空氣より水に入る屈折率の逆數にして、即ち 0.75 なり。

【問】 河は淺く見え、水中に入れたる杖は水面にて折れたるやうに見ゆ。何故なるか。

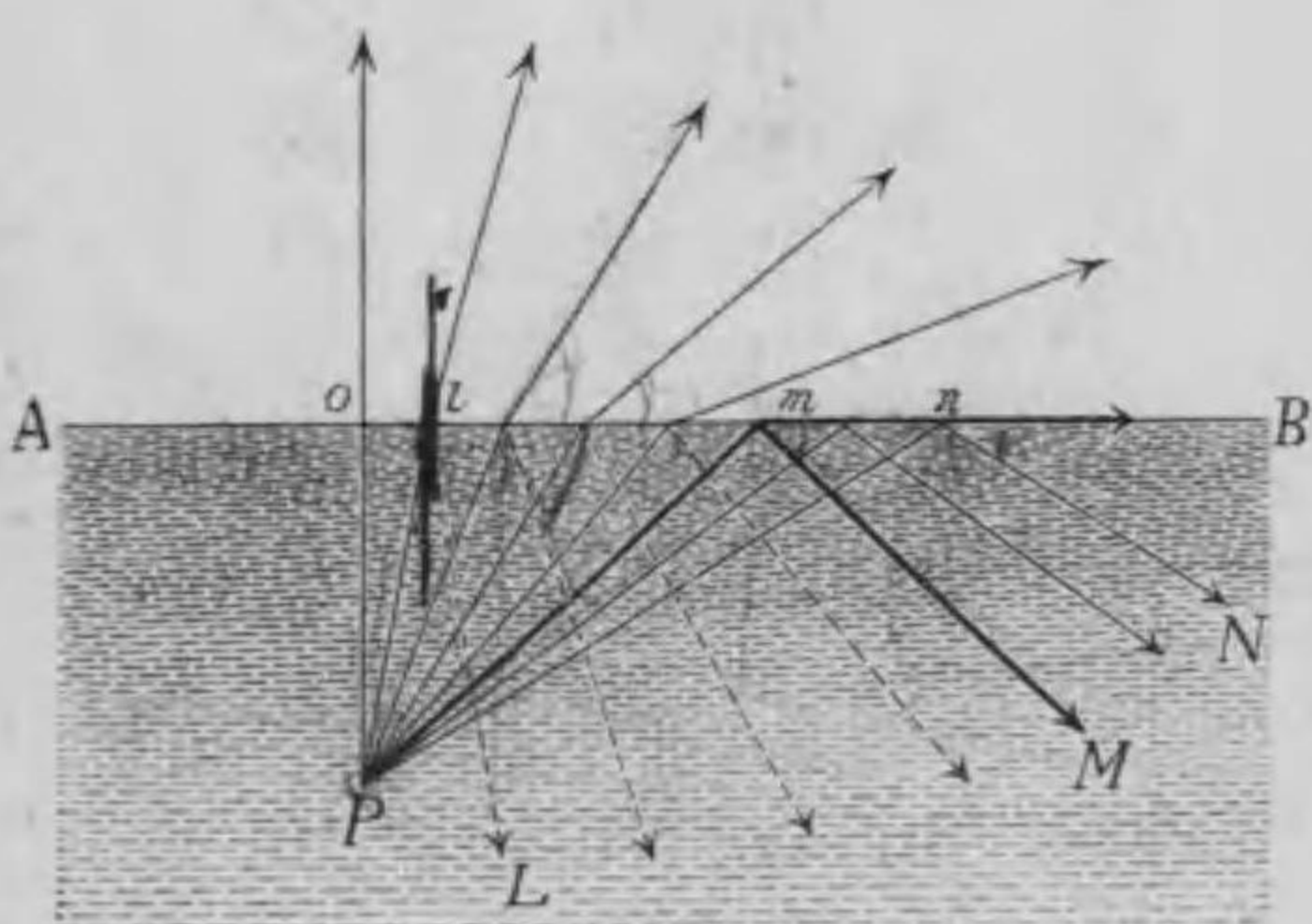
光の逆行

二

反射光線の多少

全反射 光が二物質の境界面に來るときは、(一) 二物質の屈折率の差の大なる程、また (二) 投射角の大なる程、反射する部分多し。今圖の如く、光が水中の一點 P より發して水面を打つときは、屈折角 r は投射角 i と共に増し、且常に之より大なるが故に、投射角 i が 48.5 度に達するときは、 $\frac{r}{i}$ は 0.75 となり、屈折角 r は 90 度となる。されば 48.5 度の角にて投射したる光は、一部は反射し、他部は辛うじて空氣中に出で、水面を掠め去るべし。投射角が更に之より大なるときは、光は少しも水面に出づること能はずして、全部反射す。之を光の全反射といふ。この全反射の始

全反射の條件



る角四八・五度を光が水より空氣に入る際の**限界角**といふ。されば水面は、**限界角**より大なる角をなして投射したる光に對して、恰も鏡の如き作用をなす。水中にある空の試験管が銀の如く光るは、この現象に屬す。

光が硝子より空氣に入る際の**限界角**は約四一・五度なり。

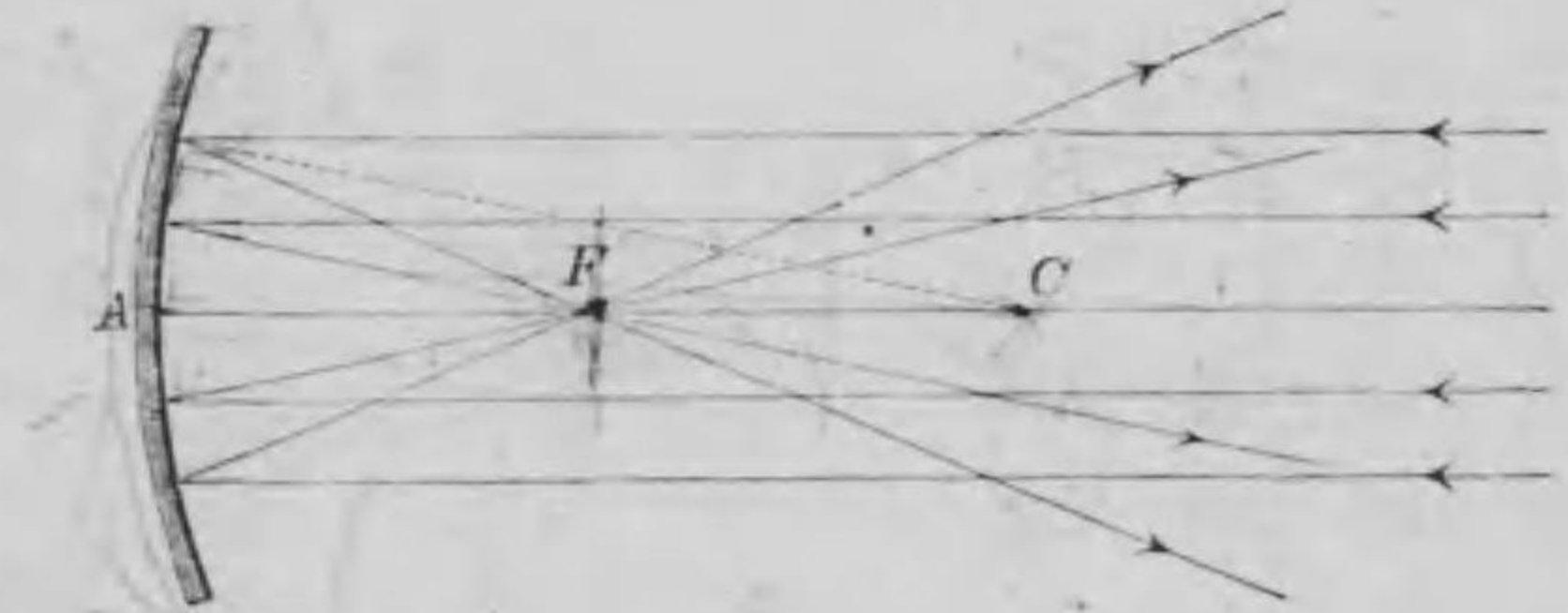
〔問一〕 魚はいづれの方向に口没を見るか。

〔問二〕 白紙は不透明なれど、之を水に浸せば、半ば透明となる。その理由を問ふ。

(東京高等師範學校)

第二章 光學機械

三 **凹面鏡の反射。** 球狀に窪みたる面を有する鏡を**凹面鏡**といひ、鏡の中央點 A と球の中心 C とを連ねたる線を**鏡の軸**といふ。この軸を太陽に向くれば、太陽より來る光線は鏡

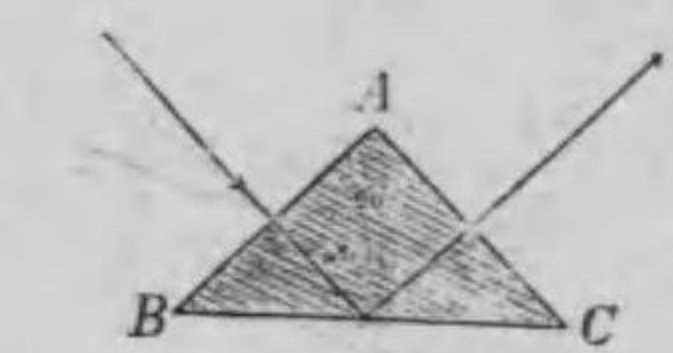


の軸に平行して鏡面に投射し、反射して C の中央點 F を過ぎ、鏡が球の中心に作る角の小なる場合に限る。此處に太陽の像を生ず。されば F 點に紙を置けば、太陽の像を映すべし。此の如く光線が相會して生じたる像を**實像**といふ。

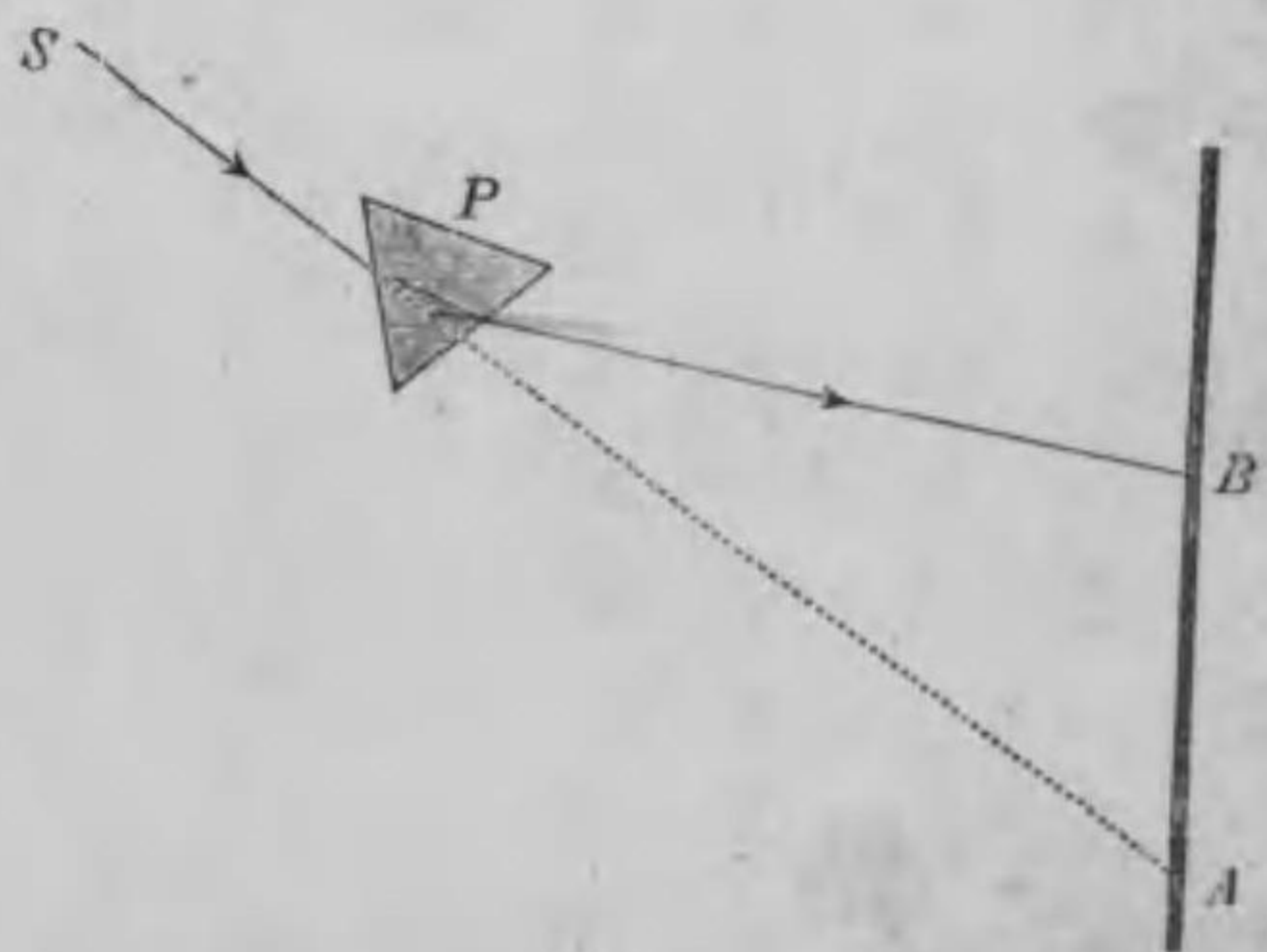
F を鏡の**焦點**といひ、**焦點**より鏡面までの距離 AF を鏡の**焦點距離**といふ。焦點より發して鏡面に投射する光線は、反射して鏡の軸に平行す。

三 **プリズム。** 平行せざる兩平面を有する透明體を**プリズム**といひ、その兩面のなす角を**プリズムの角**といふ。小孔を色硝子にて塞ぎ、之を通る日光を硝子プリズムに投射せし

むれば、その兩面は共にプリズムの厚き方へ光を屈折す。その投射光線と、透出光線とのなす角即ちフレは、プリズムの角の大なる程大なり。

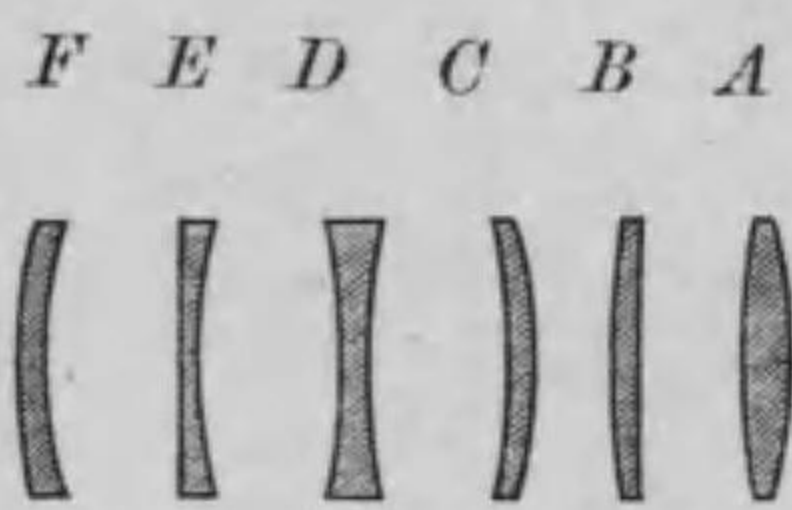


〔問〕二等邊直角三角形ABCの斷面を有するプリズムのAB面に垂直に投射する光はBCより出でずしてAC面に垂直に出で去るは何故か(全反射プリズム)。またこの際光のフレは幾許なるか。

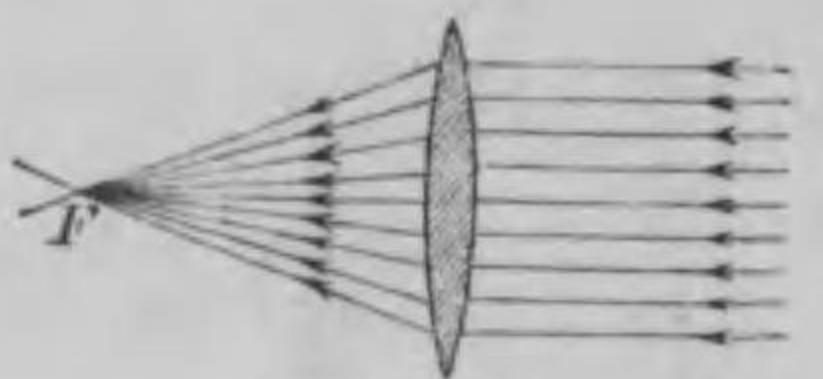


二四
レンズ。レンズは次の圖の如く、二つの球面を有する透明體にして、ABCの如く中央部の厚きものを凸レンズといひ、DEFの如く中央部の薄きものを凹レンズといふ。レンズの兩球面の中心を貫く直線をレンズの軸といふ。

一五
凸レンズに於ける平行光線の屈折



凸レンズ。凸レンズの軸を太陽に向くれば、日光は軸に平行してレンズに投射し、レンズの後方、軸上の一點に集りて太陽の實像を生じ、この點に紙の衝立を置けば、像はその上に映ず。この點をレンズの焦點といひ、レンズより焦點までの距離をその焦點距離といふ。蓋しレンズは次の圖の如くプリズムより組立てたるものと見做すことを得るが故に、光線は常にその中央部の厚き方へ



屈折して、一點に集るなり。

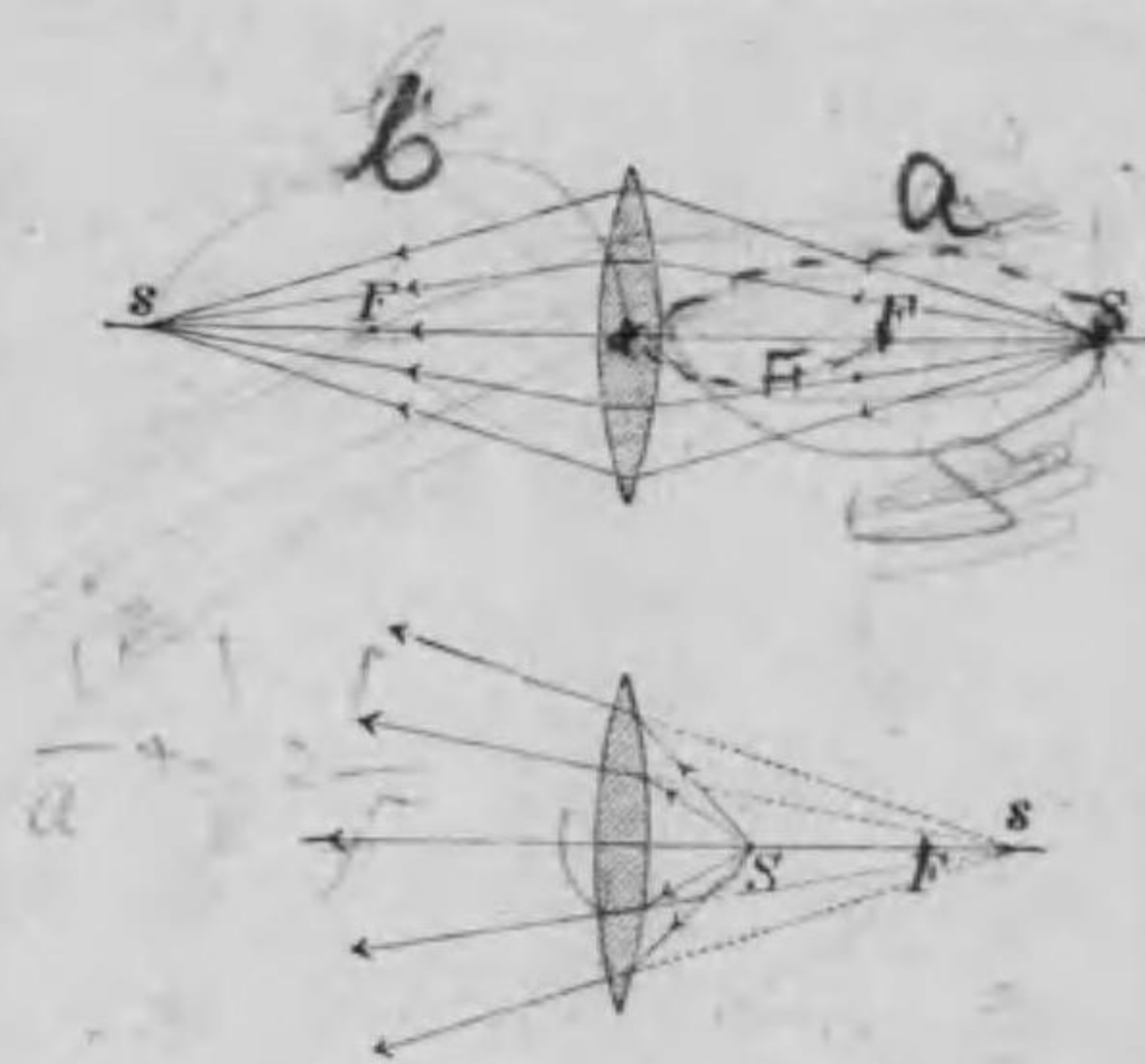
發光體がレンズの焦點以外の一處Sにあるときは、レンズを透過したる光は、焦點以外の一處sに集りてその像を生



レンズの共軛點の位置

凸レンズの公式

s が虚像となるときは下式の b は負となる。

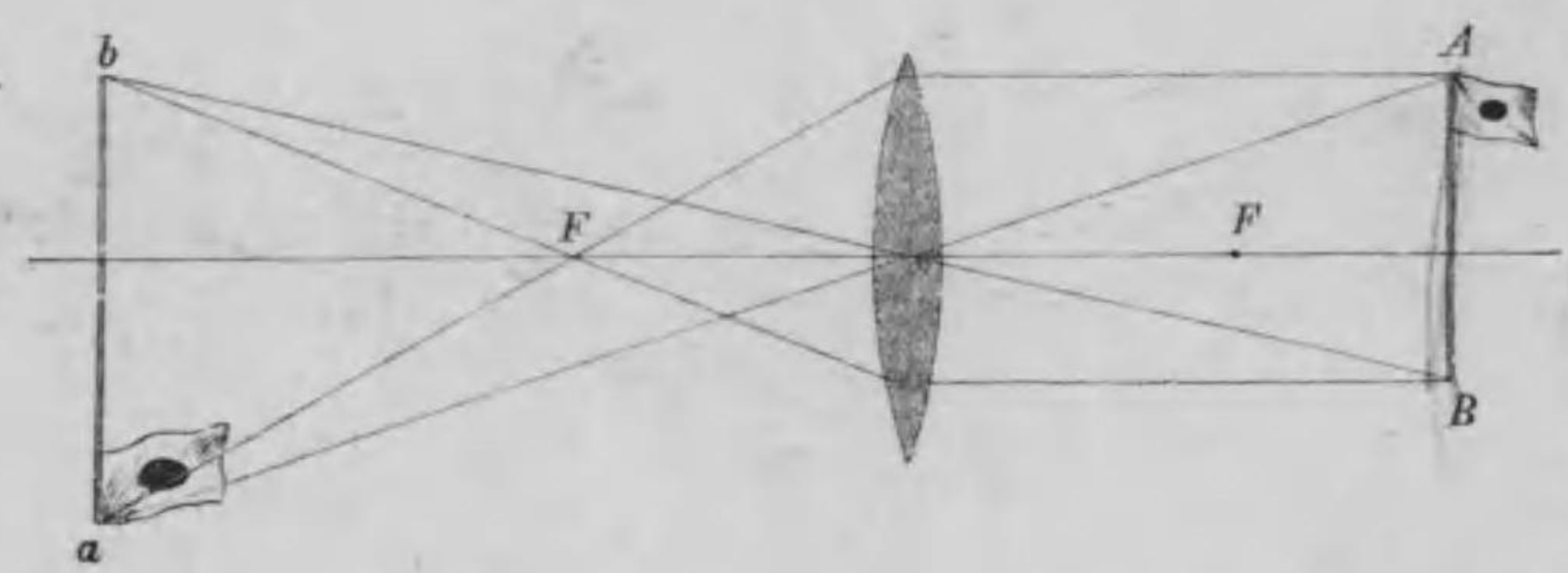


離を f とすれば、共軛點の位置の關係は左の公式によりて表さる。

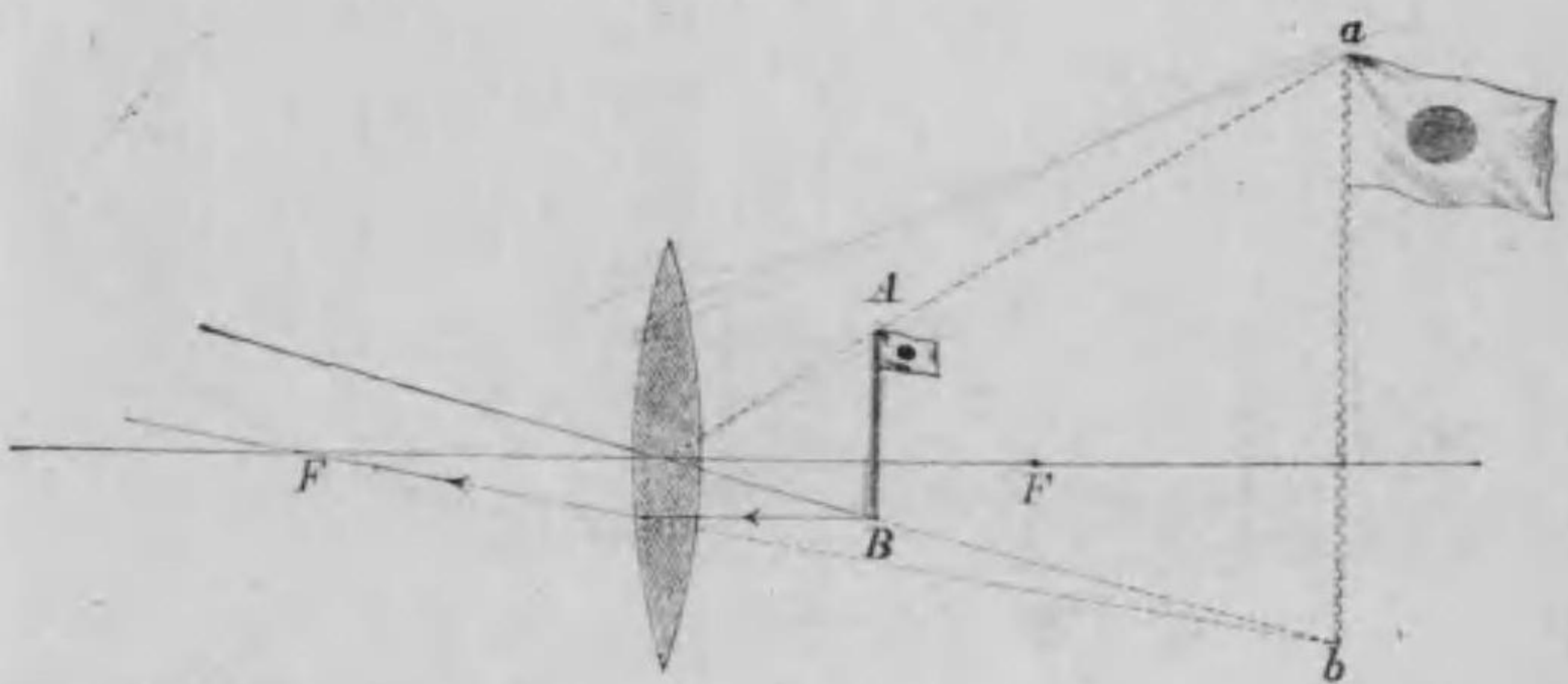
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

今圖の如くレンズの前に旗 AB を立つれば、 A より發し、軸に平行する光線は、屈折して焦點 F を過ぎ、またレンズの中心

蟲眼鏡



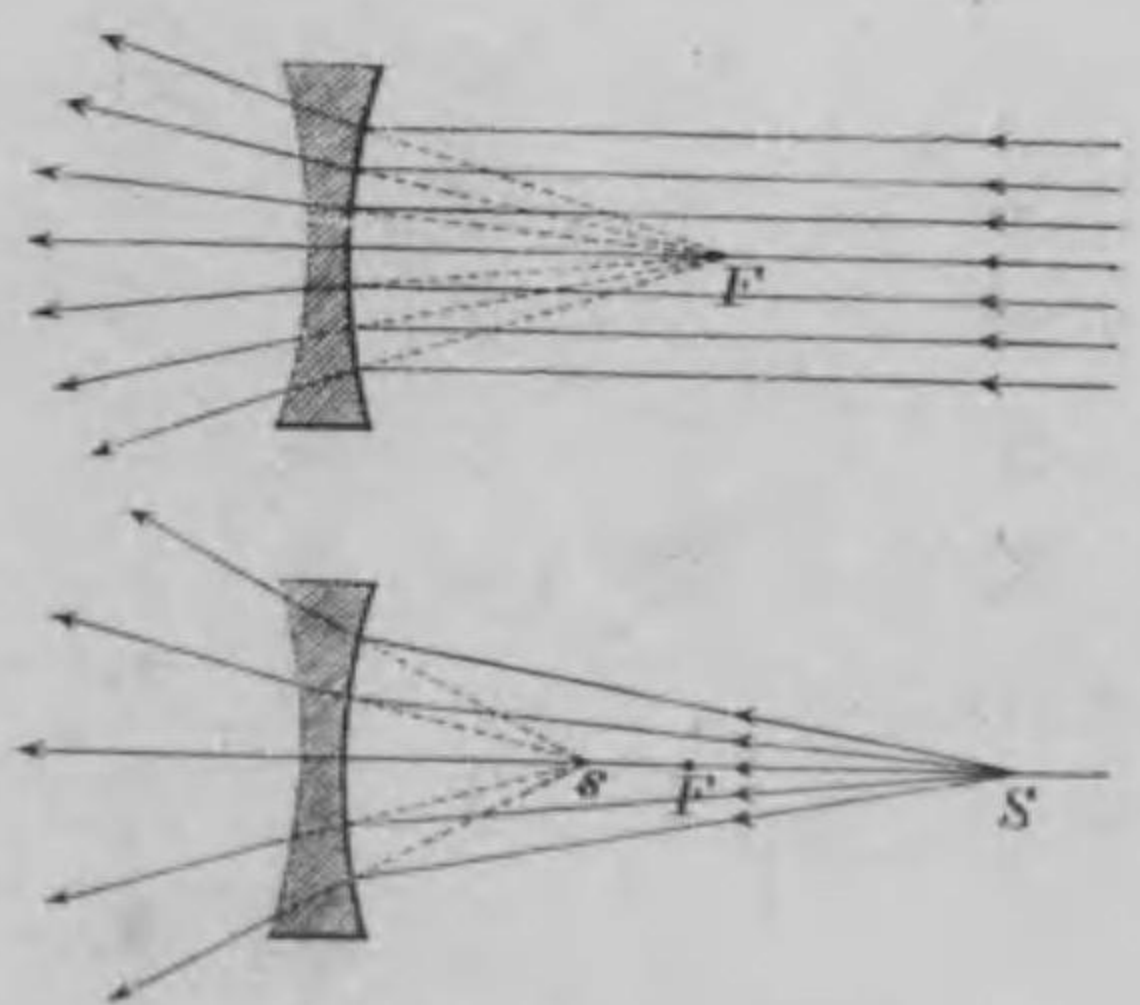
を通る光線は、そのレンズに出入する二點にて面は互に平行なるが故に、フレなしに直線に進行す。これらの二光線は a に相會す。 A より發してレンズを通りたる光線は、皆この點に會して、此處に A の像を生ず。 B も同様にその像を b に生じ、 A, B 間の諸點も a, b 間にその像を生ず。かくて旗の像は ab に生ず。而して物體とその像との大きさの比は、レンズよりの距離の比に等し。また次の圖の如く旗を焦點以内に置くときは、光は透過の後、發散するが故に、レンズの背面に眼を置けば、その大なる虚像を見る。蟲眼鏡はこの理に基づく。



〔問一〕 燭火を凸レンズより一二厘を隔てて置きたるに、五倍の實像を生じたり。像の位置及びレンズの焦點距離を求む。また燈火をなほ三種遠ざくれば、像の動く距離幾許か。

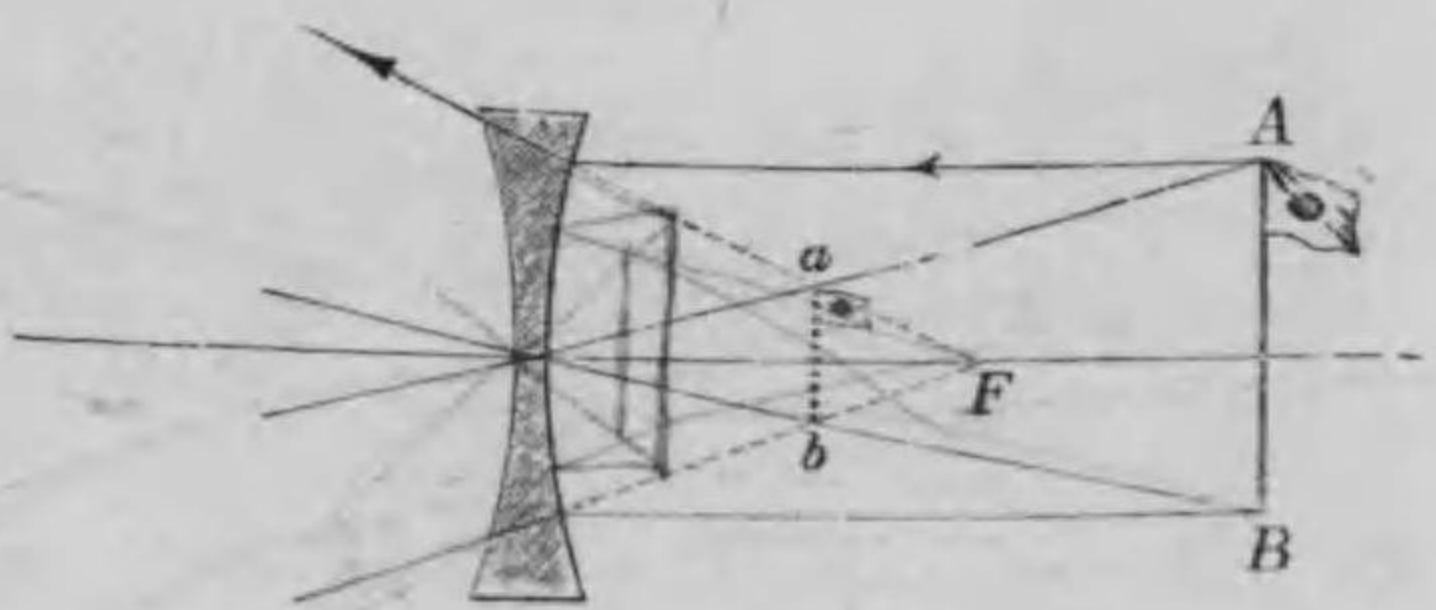
〔問二〕 焦點距離一米の凸レンズの後方〇五米の處にレンズの軸に直角に平面鏡を置くと、方二米の處に
ある光點の像
は何處に生ず
るか(高等學校)

凹レンズ。凹
レンズの軸に
平行する光線



一八二七年佛人
ニエプス寫眞術
を發明す。

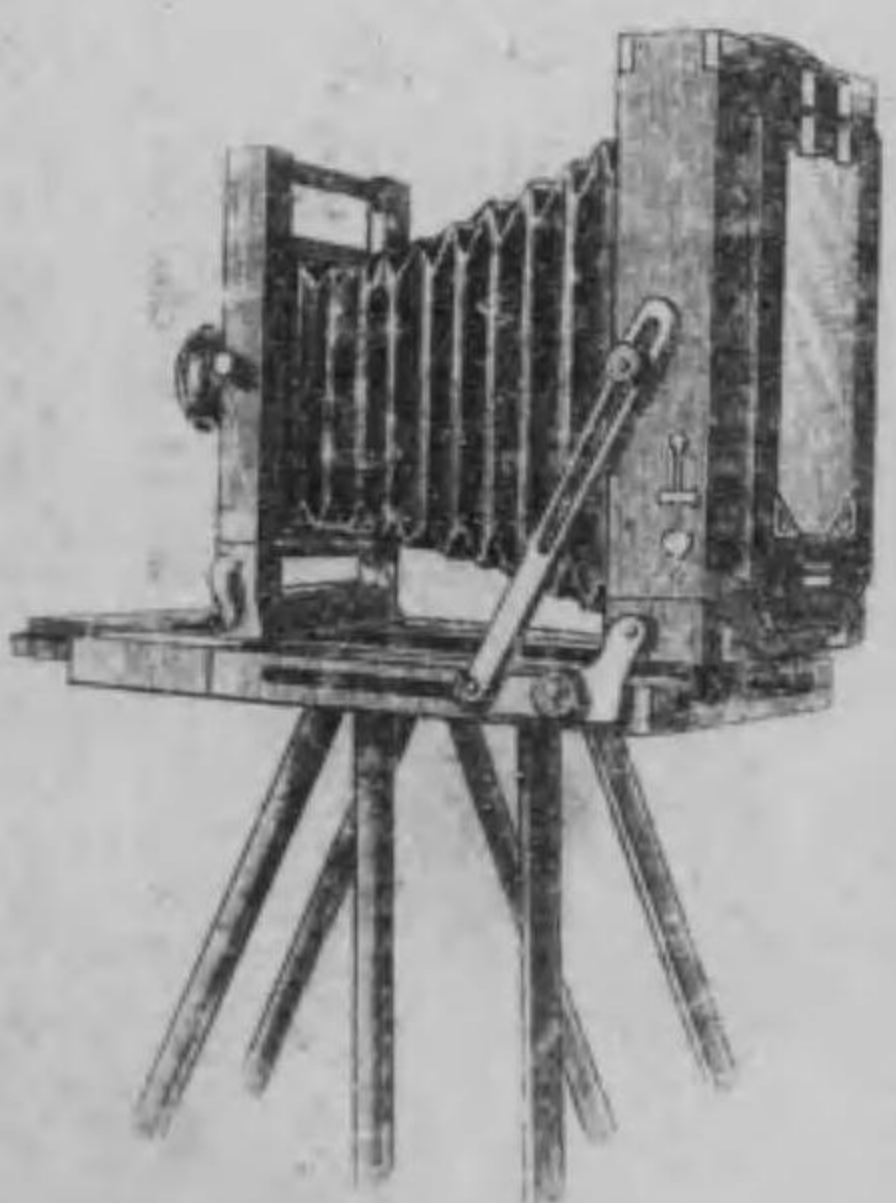
撮影法



は、透過の後、發散して虚焦點を生ず。随つて一點より發したる光は凹レンズを透過したる後、皆發散す。されば凹レンズを透過して物體を見るときは、實物より小さく且近き虚像を見ることが、上圖に示すが如くなるべし。

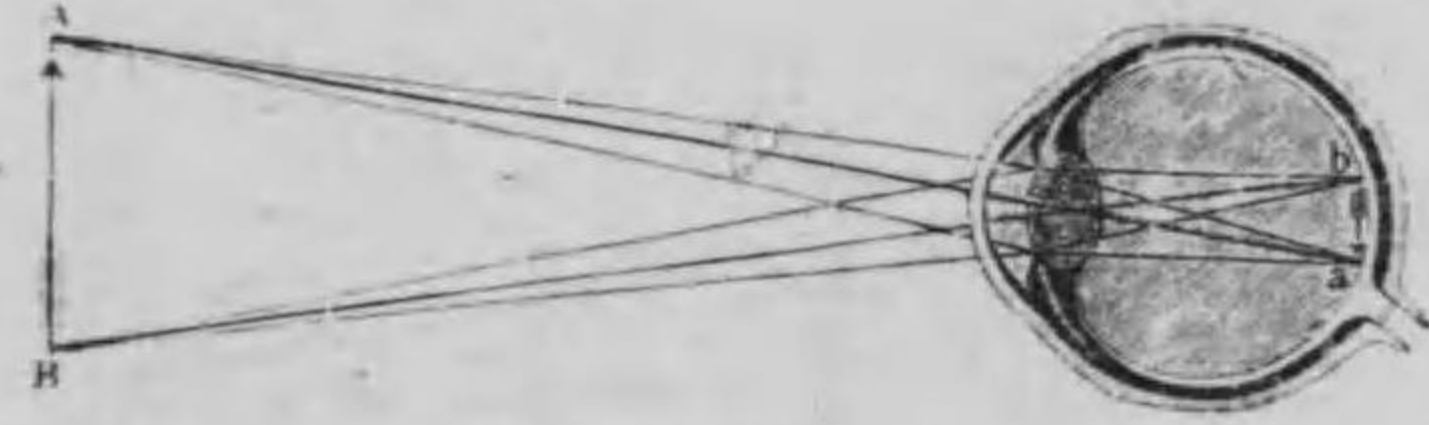
寫眞機。寫眞機械の主要部は暗箱といふ伸縮自在なる革箱の前端に

レンズを附け、後端に磨硝子を嵌めたるものなり。レンズを物體に向け、適當の處に置けば、磨硝子の上に物體の鮮明なる



物體の形状大小及び明暗と共にその色をも寫す方法を天然色寫眞術といふ。この寫眞術は近年多少の進歩をなしたれど、未だ十分の發達を見ず。

眼の構造

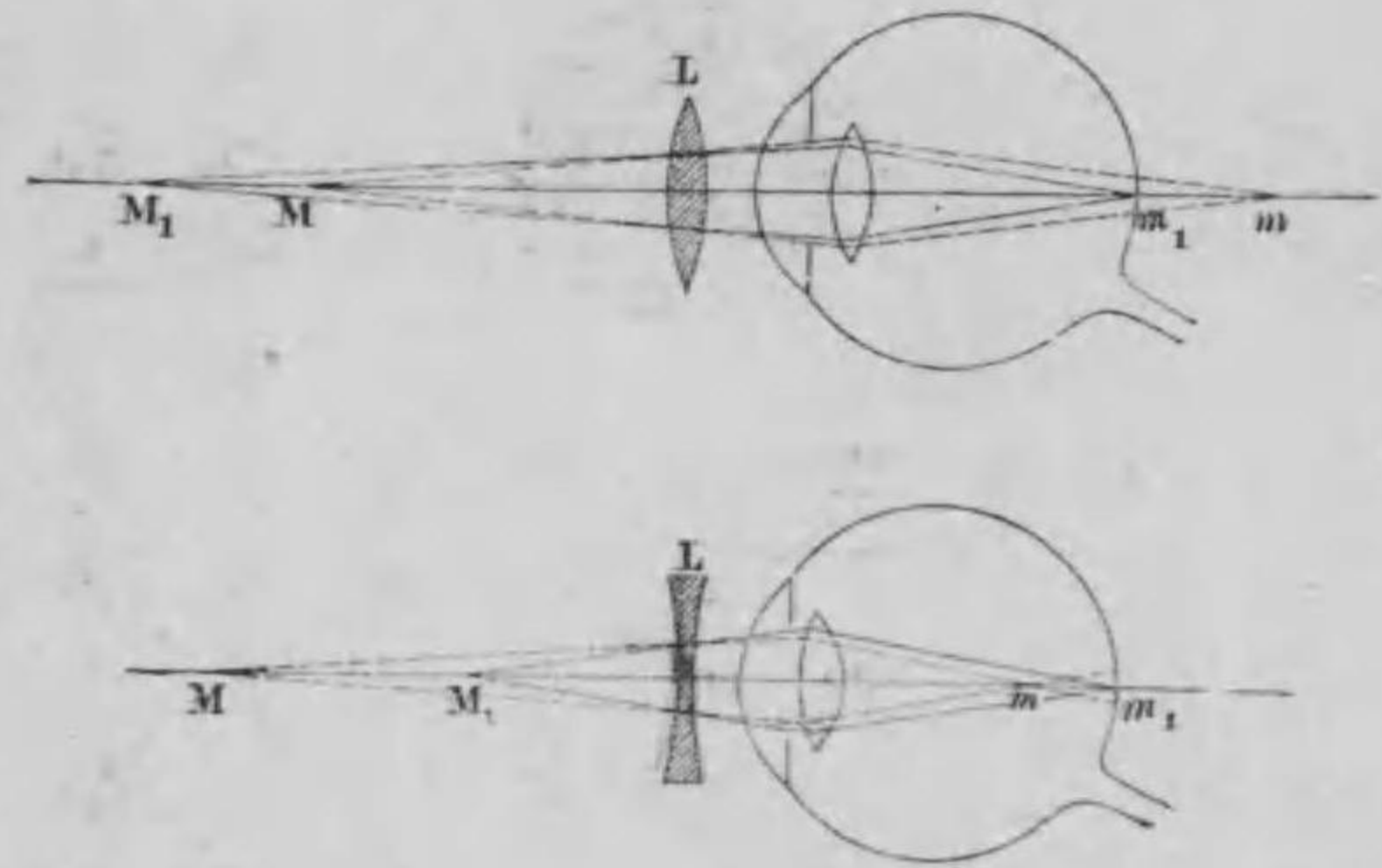


像を映すべし。この時、磨硝子の代りに臭化銀を含めるゼラチン膜即ち乾板を置けば、像は光の強弱に隨ひて、之に多少の化學的變化を生じ、適當の化學的處分を施せば、實物と明暗相反する所謂種板を得。この種板の下に感光劑を含みたる紙を置いて日光に曝せば、通常の寫眞を得。

眼。眼は暗箱に似たる光學機械と見做すべきものなり。瞳孔の後方には水晶體ありてレンズの作用をなし、眼球の内壁は所謂網膜にして、善く光に感ずる細胞を含む。物體より來れる光が眼に入るときは、水晶體は物體の距離に應じてその面を調節し、且その位置を變じ、網膜上に鮮明なる像を生じ、吾人は像と瞳孔とを連ぬる

遠眼鏡

近眼鏡



線の延長線の上にその物體を認む。健全なる眼は、一五種以上の距離にある物體を明瞭に見ることを得。而して最も安樂に讀書することを得る距離は二五種なりとす。

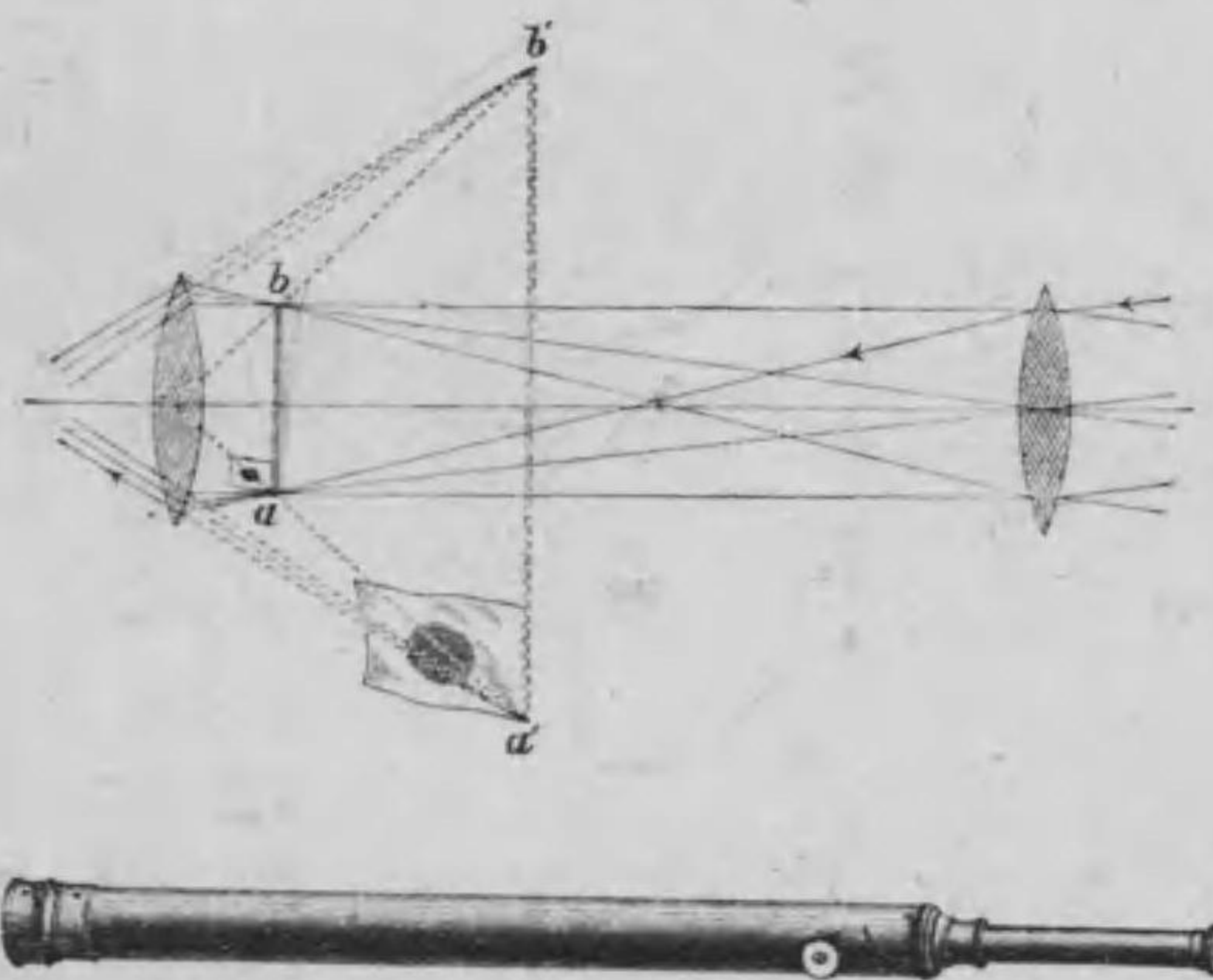
眼鏡。遠視眼にては、近き物體の像は網膜の後方に生じ、明瞭なる視覺を起すこと能はず。されば、凸レンズを眼前に置き、水晶體を助けて光を収斂し、物體の像を網膜上に映せしむ。また近視眼にては、遠き物體の像は、網膜の前に生ず。されば凹レンズにて光を發散して、像を網膜上に生ぜしむ。眼鏡の焦點距離を時にて計りたるものを眼鏡の度といふ。

二〇

望遠鏡の構造

一六〇八年和蘭人リッペルシエー望遠鏡を作る。

望遠鏡。望遠鏡天文望遠鏡は遠方にある物體を觀測する装置にして、伸縮自在なる金屬製圓筒の兩端にレンズを嵌

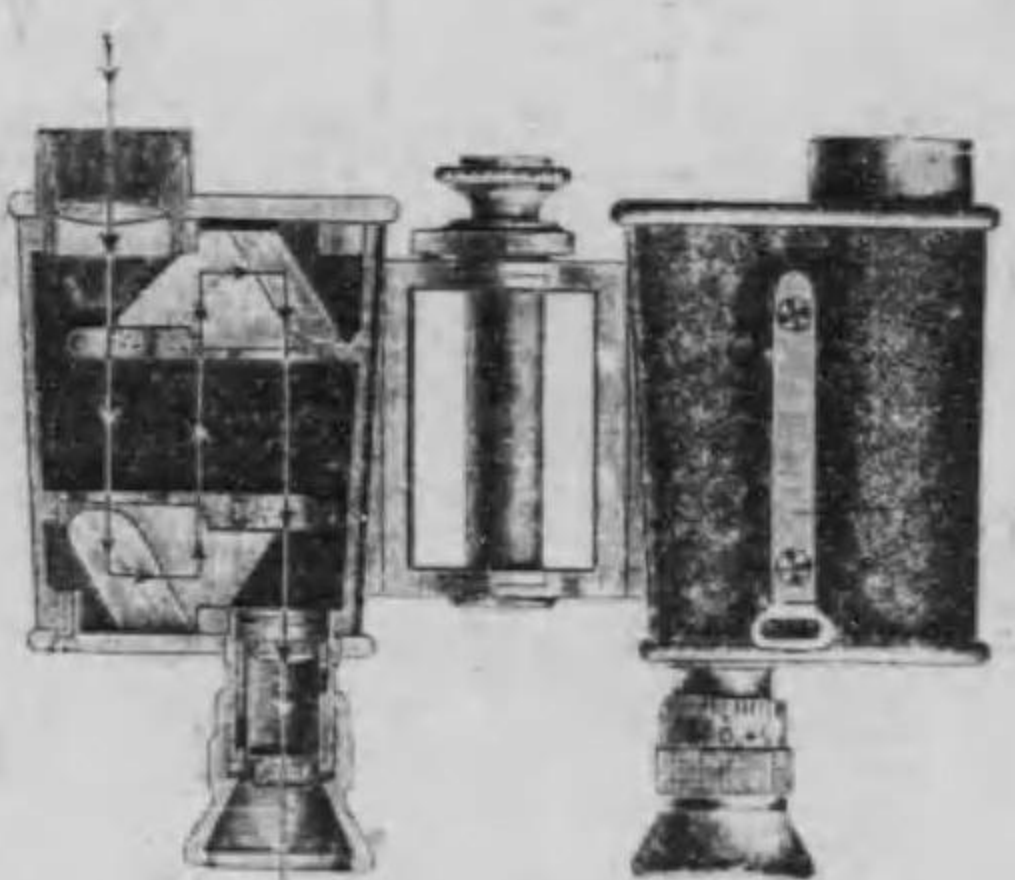


めたるものなり。その一つを對物レンズといひ、他を對眼レンズといふ。今對物レンズを遠方にある物體に向くれば、焦點より少し遠き處に倒立せる小き實像 ba を生ず。されば圓筒を伸縮して對眼レンズをこの像に近づけ、之を透してその廓大したる虚像 ba' を見ることを得。

二一

雙眼鏡。

天文望遠鏡は實物の倒像を生ずるが故に、地上の



二二

潜望鏡。潜航艇にて使用する

潜望鏡は、鉛直管の兩端に各一箇の反射鏡または全反射プリズムを置き、下端に望遠鏡を装置し、水面を艇内に偵察するものなり。

物體を觀るに不便なり。近來廣く行はるるプリズム入雙眼鏡は、天文望遠鏡の兩レンズの間に二つの全反射プリズムを置き、對物レンズより入り來る光を四回全反射せしめて像を正立せしむ。筒は短けれど、廣く見え、像鮮明なり。

