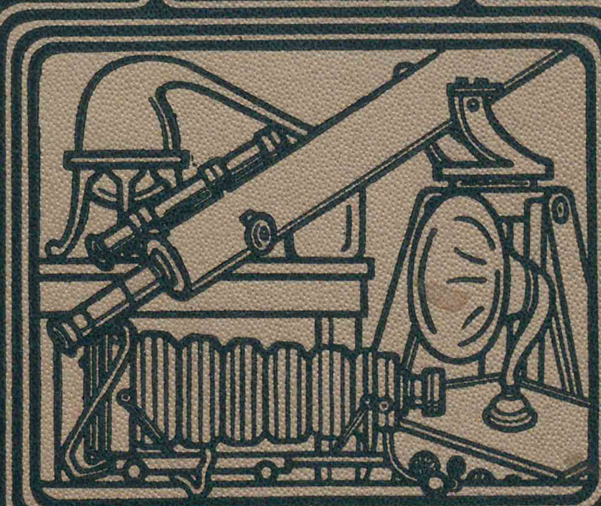
田丸
物理新教科書
（下巻）

理學博士 田丸卓郎 著



文部省檢定濟
大正十五年四月一日 中學校物理科用

田丸

物理新教科書

[下卷]

東京帝國大學教授
理學博士
田丸卓郎
著

東京開成館

下卷目次

丸田

物理新教科書

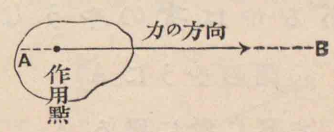
〔下 卷〕

第七篇

力の釣合

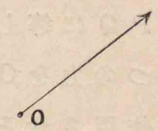
第一章 力の合成及び分解

185. 力の要素。 力については,それの大さの外に,なほそれの方向及び作用點を明にする必要がある。力の作用點を通じて,力の方向に引いた直線 AB をその力の作用線といふ。



第 182 圖

力を圖に表すには,作用點Oから力の方向にそれの大さに比例する長さの直線を引き,矢で向きを示す。

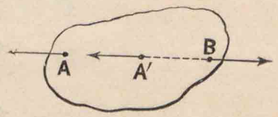


第 183 圖

186. 二つの力の釣合。 二つの力が一つ

の物體に作用して釣合ふのは,これらが同一直線に沿うて反對の方向に向ひ,等しい大さを持つ場合に限る。これは日常の經驗からも明なことである。

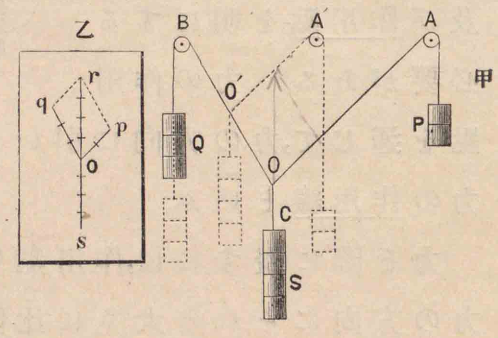
この關係から推して(物體の形を變へることを問題としないならば),「同一の作用線上で異なる點A, A′に同じ向きに働く等しい力は互に同等だ」といふことが知れる。



第184圖

187. 三つの力の釣合。 三つの力が同時に一點に作用して釣合ふのは,どういふ場合であるかは次のやうな實驗で檢査できる。

圖のやうにAとBに滑に廻る車を置き,それに絲をかけて,重さP, Qに等しい二つの力をO點に作用させ,それで重さSを支へさせると,Oに於ける三本の絲の方向がP, Q, S三つの力の大さに應じて一定した方向に來て釣合ふ。(滑車A

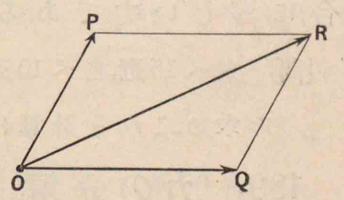


第185圖

をA′に移しても絲の方向は變らない)。この方向を適宜な板の上に寫し取り,長さop, oq, osを力の大さに比例して取れば,これらのop, oq, osは三つの力の代表線になる。このときに次の關係が行はれる。

釣合ふ三つの力の代表線の中のどれでも二つを邊とする平行四邊形をつくつて作用點Oを通る對角線を引くと,それが殘りの力の代表線と正反對の方向にあつて,且長さがそれに等しい。

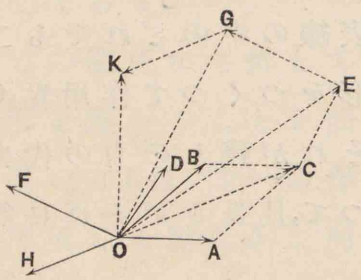
188. 一つの點に作用する力の合成。 上の定理の結果として,一點Oに同時に二つの力が作用することの結果が如何なる一つの力と同等であるかは圖によつて表される。力の作用點Oから各の力の方向へ,大さに比例する直線OP, OQを引き,これを二邊とする平行四邊形OPRQをつくれば,Oを通る對角線ORの表す力がOP, OQが同時に作用したのと同等である。このやうな關係にあるORを二力OP, OQの合力といひ,OP,



第186圖

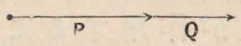
OQ を OR の分力といふ。

なほ幾多の力 OA, OB, OD, OF, OH が同一の點 O に作用する場合にも,最後の合力は,まづ二力 OA, OB の合力 OC を求め, OC と第三力 OD との合力 OE を求め,以下同様にして得られる。



第 187 圖

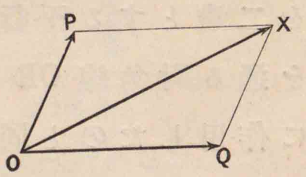
同じ作用線上にある二力 P, Q の合力はその作用線上に於ける P, Q の和(P, Q が同方向の場合)または差(P, Q が反對方向の場合)に等しい力である。



第 188 圖

[問] 東へ15瓩,北へ10瓩の力を加へたときの合力を圖で求め,これを計算によつて求めた結果と比べよ。

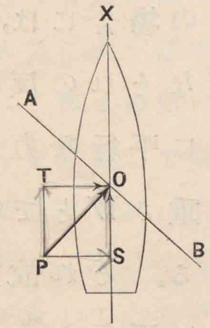
189. 力の分解。 一つの力 OX を,それを含む平面上にある任意の二方向 OP, OQ に分解することができる。卽ち原の一力 OX を對角線とする平行四邊形 OPXQ を描けば,その相隣れる二邊



第 189 圖

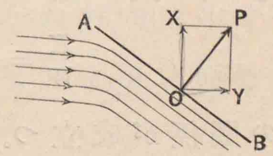
OP, OQ は分力の大さ及び方向を示す。

190. 船の帆及び飛行機の翼。 帆をあげて走る船の前進の方向を OX, 帆の方向を AB, それに垂直な PO で風の壓力の方向及び大さを表すとすれば,これを OX に平行な SO と垂直な TO とに分解するとき, SO は船を前進させる力, TO は船を横に動さうとする力である。横の方向には船は甚だ動きにくい形を持つてゐるから,この横の力のためには船は多く動かず,船はおもに SO の力で前進する。



第 190 圖

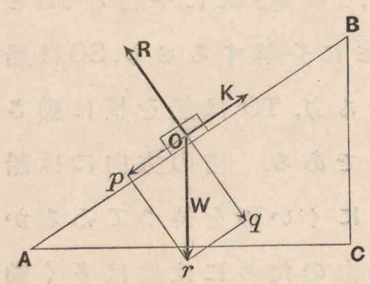
飛行機の翼の面 AB を平面と見做せば,それに作用する風の壓力(推進機の廻轉によつて飛行機の前進するために起る)は面に垂直な OP で,それを水平な力 OY と鉛直な力 OX とに分解するとき, OX は飛行機を押上げる力であり, OY は推進機の廻轉によつて起る牽引力に反抗する。故に OX が飛行機の重さよりも大なるときは上昇することができる。



第 191 圖

191. 斜面。 滑な斜面上にある重さ W の物體を面に沿うた力 K で支へるとき, K の大さが幾らであるかを考へよう。滑な面といふのは,

それに觸れてゐる物體が横に動かうとするのを止める作用をしない面,即ちただ垂直に押付けられるのに反抗するだけで,面に沿うた力を生ずることのない面である。この場合には,斜面に垂直なそれの反抗力Rと面に平行な力Kと物體の重さWとで釣合つてゐる。それ故重さWを面に平行な力と垂直な力とに分解したのがそれぞれKとRとに等しくなければならない。故に圖のやうな作圖をして,



第192圖

$$\frac{K}{W}=\frac{\mathrm{Op}}{\mathrm{Or}}=\frac{\mathrm{BC}}{\mathrm{AB}}=\frac{\text{斜面の高さ}}{\text{斜面の長さ}}$$

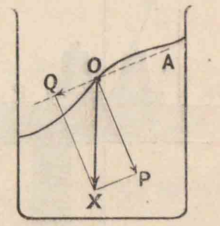
の關係が成立つ。

〔問一〕 高さ1米の床上に地面から長さ5米の板を架けて100瓩の樽を押上げるには幾らの力を要するか。

〔問二〕 重い橇を引くに水平面と30度の方向に10貫の力を加へたとすれば,水平方向の分力は幾らか。

192. 靜止した液體の表面. 靜止した液體の表面が,何故に重力の方向に垂直となるかは斜面の理によつて說明することができる。

液體の相接してゐる部分は互に滑ることを妨げないから,滑な面と同樣に考へられる。今液體の表面が曲面または斜面であつたときに,例へば表面の一點Oで表面と水平面との間に挾まる任意の斜面OAを想像して見るに,OAよりも上の部分はOAに沿うて滑り落ちる筈である。このやうな運動がないためには,表面と水平面と一致してゐなければならない。

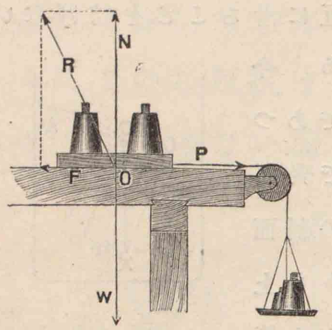


第193圖

193. 摩擦力. 實際の物體の面は191節にいふやうな滑な面ではなくて,多少他の物體が己の上で滑ることを妨げるやうな力を生ずる。このやうな力,即ち面が己に沿うた方向に生ずる力を摩擦力といひ,このやうな面を粗(あら)い面といふ。

(1) 水平な面上に置いた物體に水平方向の力Pを加へるに,Pが大き過ぎない限り,物體が動かない。もし面が滑ならば,その力は如何に小さくても,物體は動くべき筈であるが,それが動かないのは,摩擦力Fが働いてPに釣合ふからである。即ち$F=P$の關係がある。

(2) 次の圖のやうな裝置で實驗して見ると,Pが一定の値P_1を超えた處で物體が始めて動く。故に摩擦力FはP_1までの値にはなり得るが,P_1以上にはなり得ないのである。このP_1に等しい摩擦力F_1を最大摩擦力といふ。



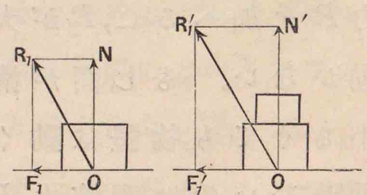
第194圖

(3) 圖の板の上にいろいろな錘を置いて實驗すると,この最大摩擦力F_1は錘と板の重さとの和W卽ち板と机との押合ふ力Nに比例する。

〔法則〕 定つた二つの面の觸れ合ひでは,物體の最大摩擦力F_1は接觸面に垂直な方向の壓力に比例する。

この定つた比 $F_1:N$ を摩擦係數といふ。摩擦係數は觸れ合ふ面の性質によつて違ふ。

(4) 摩擦力Fと垂直反抗力Nとの合力Rは卽ち面が物體に及してゐる全反抗力である。



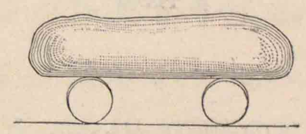
第195圖

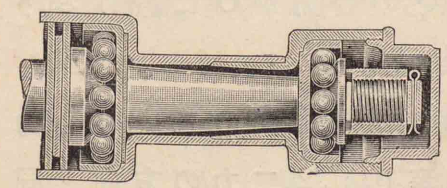
物體が滑り出さうと

してゐるときの全反抗力R_1の方向は,上の法則の結果,押合ふ力の大小に關せず一定してゐる。(卽ち圖で$\angle N'OR_1' = \angle NOR_1$である。)

194. 運動摩擦力。 或面の上を物體が滑りながら動いてゐるときには,それを止めるやうな方向に摩擦力が作用する。これを運動摩擦力といふ。一般に運動摩擦力は靜止の最大摩擦力に比して幾分か小さい。

195. コロや球の用。 物體と面との間に硬い球または圓柱(コロ)を挿んで上(193節)のやうな實驗をすると小さい力で物體が動き出す。自轉車の車輪と心棒との間に鋼鐵の小さい球を數多くつめてあるの(ボールベアリング)はこれの應用である。


第196圖

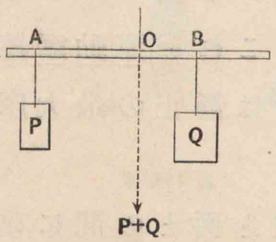

第197圖

〔問一〕 車軸に油を塗る效能はどうか。

〔問二〕 砂礫または砂上の歩行困難な理由はどうか。

第二章　平行力の合成及び重心

196. 平行な二つの力の合成。　太さの一様な棒の中點Oを絲で吊り下げ,その左右の二點A, Bにそれぞれ錘 P, Q を掛け, OA, OB の長さを適當に加減すれば棒が水平に釣合ふ。このとき次の關係が行はれる。



第 198 圖

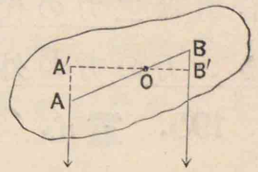
$$\frac{OA}{OB}=\frac{Q}{P}$$

この絲の支へる力は(棒自身の重さを別にして考へれば),O點に於ける $P+Q$ であるから, Aに於ける P と Bに於ける Q の合力がOに於ける(下に向ふ) $P+Q$ である。卽ち

〔定理〕 固體に作用する同方向の二力の合力は,(1)二力の和に等しく,(2)二力の方向と同じ方向に作用し,(3)それの作用點は二力の作用點を結ぶ直線を二力の大さに逆比例して分つ點である。

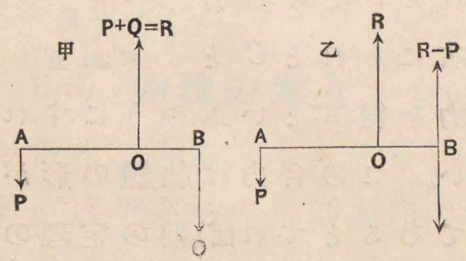
二力の作用點A, Bを結ぶ直線が二力と垂直で

ない場合も上記の關係のあることは,容易に證明される(186節でいつたことと $\frac{OA}{OB}=\frac{OA'}{OB'}$ の關係から)。



第 199 圖

197. 方向が反對な場合。　下圖甲でAに於ける下向きの力 P と, Bに於ける下向きの力 Q と, Oに於ける上向きの力 $P+Q=R$ と三つの力が釣合ふとすれば,乙圖のやうに, Aに於ける下向きの P とOに於ける上向きの R との合力は, Bに於ける上向きの $R-P$ である(何故なればそれらがBに於ける下向きの $Q=R-P$ で支へられるから)。このとき,前節の關係から,



第 200 圖

$$\frac{AB}{OB}=\frac{AO+OB}{OB}=\frac{AO}{OB}+1=\frac{Q}{P}+1=\frac{P+Q}{P}=\frac{R}{P}$$

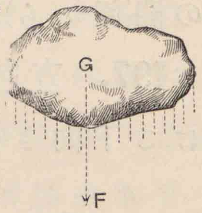
卽ち

$$\frac{AB}{OB}=\frac{R}{P}$$

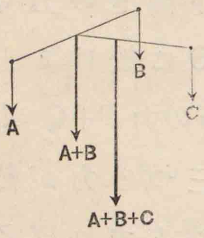
故に,上の定理は平行な二力の向きが反對な場合にも行はれる。但し方向の反對なのに對して,

合力は二力の代數和に等しく,その作用點が大きい力の方の外側にある。

198. 重心。 物體は無數の小部分の集りであるから,各部分に作用する重力の合力を得るに,前の定理によつて,まづ小部分に作用する重力AとBとの合力を得,次にそれとCとの合力を得るといふやうにすればよい。この合力は(物體の形が定つてゐるとすれば),前の定理の結果,物體の向きに拘らず,大さは物體の全量に等しく,作用點は物體中の定つた點である。この合力の作用點を重心と稱へる。

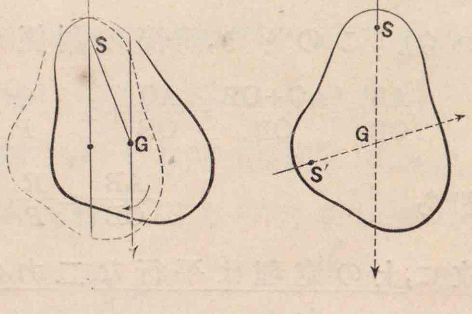


第201圖



第202圖

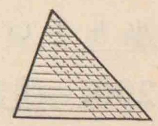
故に任意の形狀の物體を取り,任意の一點Sを絲で吊せば,重心は絲の延長線上に來て靜止する。平な板などでは,



第203圖

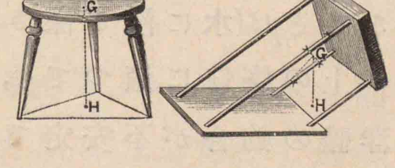
この事實を利用して實驗的に重心の位置を求めることができる。即ち二つの點に絲をつけて別々に吊下げ,兩延長線の交點を求めれば,それが即ち重心である。

〔問〕三角形を無數の細い棒の集りと見,また圓壔,角錐,圓錐等を無數の平行板の集りとして,それらの重心を考察せよ。



第204圖

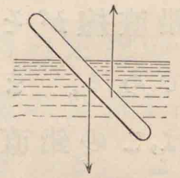
199. 物體の坐り。 机上に置かれた物體が靜止して顚倒しないのは,それの重心を通る鉛直線がそれの基底面內を通過してゐる場合である。またそれを傾けて物體が顚倒するのは,この鉛直線が基底面の外に出るときであるから,基底面が大きくて重心が低い物體は,傾けても重力の作用線が容易に基底面外に出ないので,安定である。(尤も基底面が大きくても,重心を通る鉛直線がそれの縁に近い場合は,基底面の小さいのと同じことである)。



第205圖

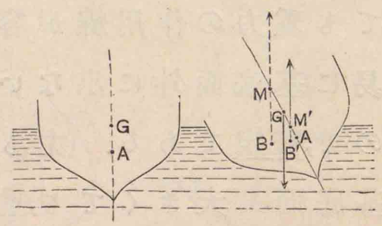
物體を極めて少し傾けても,重力の作用線が基底面外に出るものは實際には靜止してをられない。これを不安定の坐りといひ,傾けたまま或は轉したまま,その位置で釣合ふものは中立の坐りといふ。

200. 浮體の釣合及び坐り。 浮體の重さが排除した液體の重さと等しいことはアルキメデスの原理で知る所であるが,釣合ふためにはなほ物體の重心と排除した液體の重心(1)とが同一の鉛直線上にあるを要する。 それは,浮力は浮體の排除した液體の重さに等しく,且排除した液體の重心を通つて作用するからである。 故に,例へば長い木の棒が斜になつて浮いてゐることは(水に浸る深さに拘らず)できない。



第 206 圖

上の條件に適つても,浮體の釣合が不安定であることがある。 それは浮體が少し傾くと液を排除した部分の形が



第 207 圖

(1)「排除した液體の重心」といふのは,排除した液體がもとの位置にあると想像した場合の重心の意味である。

變り,それの重心が,AからBに移動する。 もしBを通る鉛直線がAG線をGよりも上のM點で切るならば,浮力は物體の傾きを直すやうに働くから,浮體の坐りが安定である。 もし傾いたとき液を排除した部分の重心がB′に來て,それを通る鉛直線がAG線をGよりも下のM′點で切るならば,釣合が不安定である。 上のM,M′のやうな點をメタセントルといふ。 それ故に,メタセントルが浮體の重心よりも上にあれば安定,下にあれば不安定である。

第三章 器械と仕事

201. 梃子。 梃子,輪軸,滑車,斜面,ネヂ等を簡單な器械といふ。

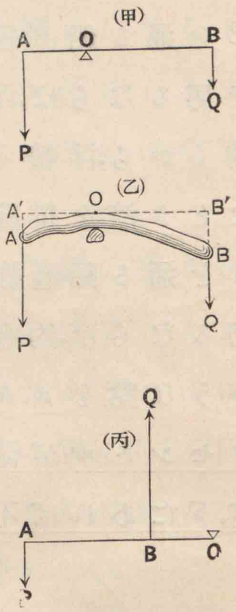
梃子は丈夫な棒である,それの一點(支點)を動かないやうに支へ,一點(力點)に力を加へて他の一點(重點または抵抗點)に作用する抵抗物體を動すのに使ふ。

196 節で述べた裝置で,絲の取付けた點Oを支點と考へると,二つの力 P, Q が

$OA : OB = Q : P$

即ち $P \times OA = Q \times OB$

の關係をなすときに釣合ふことを見た。この式で見る $P \times OA$, $Q \times OB$ のやうな量,即ち支點から力の作用線に至る垂直距離に力の大さを乘じた量を「その力の支點の周りの能率(またはモメント)」と稱へる。この語を使つて上の關係を表せば,



第 208 圖

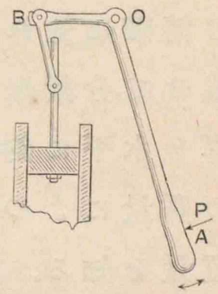
〔定理〕 梃子は,力と抵抗力とが,それを反對に廻すやうに作用して,それらの支點の周りの能率が等しいときに釣合ふ。

また「力が梃子を廻さうとする作用はそれの能率で表される」といふことができる。乙圖のやうな場合には,P, Q 二力の能率が $P \times OA$, $Q \times OB$ でなくて,$P \times OA'$, $Q \times OB'$ である。

この定理は二つの力が支點の同じ側に作用する場合にも行はれる。これは197節(第200圖)

の場合に $R \times OB = P \times AB$, 即ち丙圖でいへば,$Q \times OB = P \times OA$ の關係があることから知れる。

また,力が梃子を廻さうとする作用はそれの能率で表されるといふ考へ方からいへば,二つの力が平行でなくても,上の定理を應用してよい。例へば,ポンプの柄が右圖のやうに曲つてゐるときに,A點に OA に垂直に力 P を加へるのは,B を OB に垂直に $P \times \frac{OA}{OB}$ の力で引くと同等である。



第 209 圖

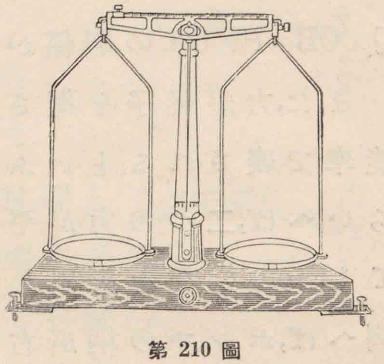
〔問一〕 試驗管鋏と日本鋏とを比較せよ。

〔問二〕 櫂で舟を漕ぐ場合の作用を考へよ。

〔問三〕 甲乙二人が6尺の棒で20貫の物體を擔ひ,3と2との比に重さを分けようとすれば,物體を甲の擔ふべき棒の一端から幾尺の處に懸けるべきか。

202. 天秤。 天秤は物體の質量を精密に秤る器械である。水平に据付けた臺に鉛直な支柱が立ち,それの上端に近く取付けた鋼鐵または瑪瑙の平板上に,中央に鋼鐵または瑪瑙の刄を有する輕い丈夫な桿を載せ,その桿の兩端に(中央の刄から等距離に)ある刄に重さの等し

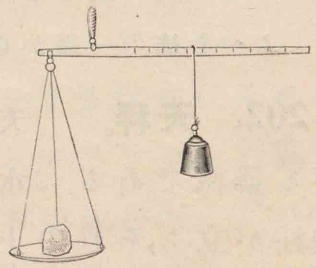
い秤皿を吊してある。一方の秤皿に物體を載せ,他方の秤皿には質量の精確に知れた分銅を載せて,分銅を加減して,桿を水平に釣合せ,分銅の質量によつて物體の質量を知る。



第210圖

桿が水平に釣合へるや否やを知るには度盛板と指針とによる。天秤は(三つの刄が同じ平面にあるとすれば)桿と秤皿との重心が中央の刄の下で,それに近い程鋭敏である。

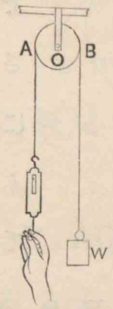
203. 桿秤。　桿秤の目盛は,空皿で桿が水平となるときの錘の位置を0とし,そこから皿と反對の側へ向つて一様な間隔をなして盛つてある。そして,物體を皿に載せ,錘の位置を加減して桿が水平に釣合ふときの錘の位置の目盛によつて物體の重さを知る。

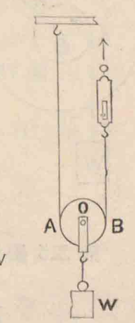


第211圖

[問] 桿秤の桿は,通常中部が稍太くしてあるにも拘らず,度盛を等分に施して差支ない理由を説明せよ。また目盛の間隔は何によつて定めるか。

204. 滑車。　定滑車は中央を支點とする梃子と見做すことができる。即ち滑車の軸Oは支點,二つの切點A,Bはそれぞれ力點及び重點である。そして半徑は梃子の兩臂に相當するから,定滑車は力の大さに於て利益がないが方向を變へる便がある。

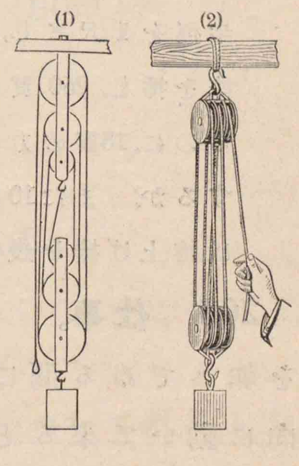




第212圖　第213圖

動滑車では軸Oは重點,絲の切點Aは支點,Bは力點と見做すことができる。隨つて力點から支點までの距離は重點から支點までの距離の二倍であるから,力が重さの半分で釣合ふ。

また滑車には複滑車或は「セミ」と稱して定滑車と動滑車とを組合せたものがある。

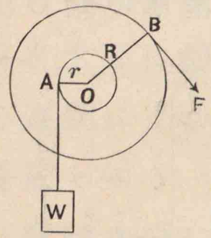


第214圖

［問一］ セミに於ける力の釣合を研究せよ。

［問二］ 動滑車に於て綱を斜に引くとき釣合に要する力はどうか。

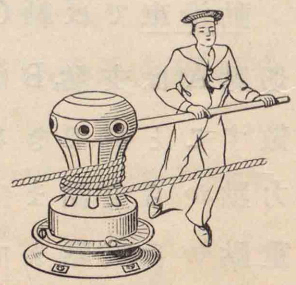
205. 輪軸。 輪軸は半徑の異なる二つの輪を共通な心棒に固定したものである。大きな輪の半徑をR,小さい輪(軸)の半徑をrとすれば,軸に卷いた絲に作用するWと釣合ふに要する力Fは次の式によつて求められる。



第 215 圖

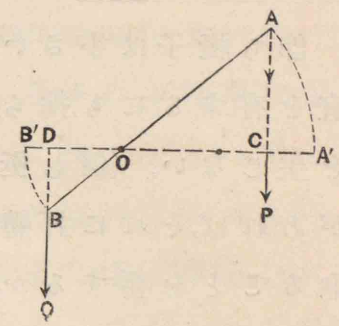
$$F.R=W.r \quad \text{或は} \quad F=W\times\frac{r}{R}$$

［問］ 圖のやうな捲上げ機の軸の半徑を1尺とし,これに6尺の棒を挿し,250貫の碇を引上げるのに,15貫の力の人幾人を要するか。また10間引上げるには捲上げ機を幾回廻すべきか。



第 216 圖

206. 仕事。 物體Aが物體Bに引續き力を加へてゐる間に,力を加へてゐる點が力の方向に動いて來るときには,「力が(またはその力を出してゐる物體Aが)物體Bに對して仕事をした」といふ。そして,仕事は力と,力點が力の方向に動いた距離との積で表されるものと定義する。例へば眞直な梃子の一端Aに力Pが鉛直に働いて梃子がBAから水平な位置B′A′まで動き,他端Bにかかつてゐる錘QがBからB′まで上つたとすれば,



第 217 圖

$$\text{力が梃子になした仕事}=P\times \mathrm{AC}$$

今錘QをBからB′まで揚げることを直接に行つたと想像すると,その仕事は

$$\text{錘になした仕事}=Q\times \mathrm{BD}$$

である。然るに,

$$P:Q=\mathrm{OB}:\mathrm{OA},$$

また幾何學に知る通り

$$\mathrm{OB}:\mathrm{OA}=\mathrm{BD}:\mathrm{AC}$$

故に $P:Q=\mathrm{BD}:\mathrm{AC},$

卽ち $Q\times\mathrm{BD}=P\times\mathrm{AC}$

卽ち力のなした仕事を力點について計算したものと,抵抗物體に接する處について計算した

ものとが等しい。

即ち梃子は小さい力で大きい力に釣合ふ便宜を有するにも拘らず,仕事の量に於ては損益を生じない。(但し梃子の支點,その他に摩擦力があれば,それに打勝つだけ力を餘分に大きく取ることを要するから,仕事の上では梃子を使つたために幾分の損は免れない。)

これは梃子に限らず,一般にどんな器械にでも行はれることで,力學上要用な定理である.即ち

〔定理〕 器械的の方法によつては(摩擦力の作用がないとすれば)仕事の損益はない。

定滑車は力に變りなく,隨つて距離に於て利することがない。動滑車は一個使用する毎に力は半分に減ずることができるが,綱を二倍の距離だけ引かなければならない。セミの作用もまた同様に仕事から考へられる。

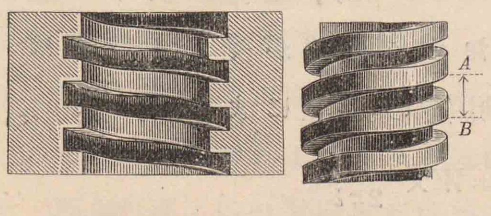
〔問一〕 輪軸に於て上と同様な仕事の比例を考へよ。

〔問二〕 斜面について力と仕事との關係を考究せよ。

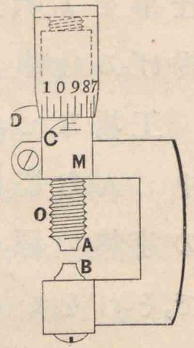
207. 仕事と働き。 1貫の物體を1尺揚げる仕事を1貫尺,1封度の物體を1呎揚げる仕事を1呎封度(foot-pound),1瓩の物體を1米揚げる仕事を1瓩米(kilogram-meter)といふ。

工場などで一定時間中になされる仕事は,途中どんな器械や裝置があるに拘らず,すべてその運轉の源なる動力によつて定つてゐるもので,それをいひ表す量を働きまたは工率といふ。工率の實用單位は馬力である。馬力とは毎秒550呎封度,即ち1秒毎に550封度の物體を1呎揚げる仕事をなすもので,毎秒76瓩米の工率に當る。

208. ネヂ。 直角三角形の薄い紙片と圓柱とを取り,紙片の底邊を圓柱の軸に直角に向けて紙片を圓柱に卷付ければ,斜邊は圓柱の周りに一種の曲線をつくる。この曲線に沿うてその部分を高く殘し他を削つたものは雄ネヂである。また同じ形を同じ太さの圓柱狀の孔の內側に卷付け,曲線に當る部分を殘してその他を高く盛り上げたものは,雌ネヂ



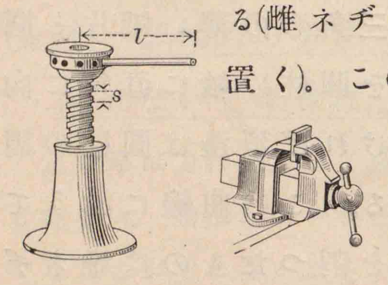
第218圖



第219圖

である。それ故に,ネヂは斜面の變形であるといへる。ネヂの高い部分を「山」と稱へ,山から次の山まで圓柱の軸に沿うて測つた距離を「歩み」といふ。隨つてネヂが一回廻ればネヂは一歩みだけ前進または後退する。この理を應用して薄い物體の厚さや細い針金の直徑などを測る。

ネヂはまた雄ネヂの頭に横に梃子を取付け,それを廻して重い物體を押上げるのに使はれる(雌ネヂを十分固い支への上に置く)。このとき,梃子の長さを l,歩みを s,物體の重さを W,梃子に直角に加ふべき力を P とすれば,一廻轉に要する仕事は $2\pi l.P$ で,そのために物體が受ける仕事は $W.s$ であるから,206節の定理によつて,



第220圖

$$P = W \times \frac{s}{2\pi l}$$

の關係がある。

第八篇

運動及び勢力

第一章　運動の法則

209. 慣性の法則。 靜止する電車,汽車などが急に動き出せば乘客は後に,また進行しつゝある電車,汽車などが急に止れば乘客は前に倒れかかる。一般に,

〔法則〕 他から力が作用しない間は靜止してゐる物體は靜止の狀態をつづけ,運動してゐる物體は,同一の方向に同一の速さで進行をつづける。

これを慣性の法則といふ。或はこれを「ニュートンの運動に關する第一法則」といふ。

力が働く場合に,どのやうに靜止または運動の狀態が變つて行くかを知るために,まづ重力のために起る運動を調べよう。

〔問一〕 電車,汽車などが急に曲るとき常に身體が彎曲の外側に倒れようとする理由はどうか。

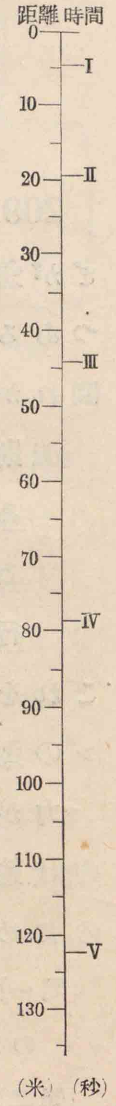
〔問二〕 庖丁の柄を嵌めるに適宜な方法を説明せよ。

210. 落體の運動。 空氣のない處で物體

を落せば,羽毛の類も石の類も總て同じ運動をなすことは實驗で知られる。この運動を適當な方法で調べると,圖のやうに最初の1秒間に4.9米,次の1秒間に14.7米,次の1秒間に24.5米,次の1秒間に34.3米といふやうに次第に速さを增して降るのである。落ち始めから任意の時間 t 秒經つた瞬間に物體のある點を,落ち始めの點から測つた距離を s とすれば,s が t に對して,

$$s=4.9t^2 \quad \text{......................(1)}$$

の關係をなすことが知れる。($t=0,1,2,3,4......$と置いた s の次々の値の差をつくると,丁度上の 4.9, 14.7, 24.5, 34.3 を得る。)



第221圖

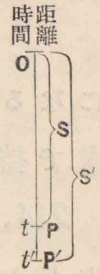
211. 落體の速度。 落體が落ち始めから時間 t 秒經つて,P を通るときにどんな速さを持つてゐるかを知るには,t からなほ極めて少し時を經た t' 秒のときに落體がある點の O からの距離 s' を出し,$t'-t$ 秒の間に $s'-s$ 米だけ進んだといふ關係から計算すればよい。

$$s'=4.9\,t'^2, \qquad s=4.9\,t^2;$$

故に $$\frac{s'-s}{t'-t}=4.9\,\frac{t'^2-t^2}{t'-t}=4.9(t'+t)$$

これが P,P′ 間を進む間の平均の速さである。t' を極めて t に近く取れば,P を通るときの速さ v を得る。即ち

$$v=4.9(t'+t)=9.8\,t \text{ 毎秒米} \quad \text{.........(2)}$$



第222圖

これ即ち落ち始めから t 秒を經た瞬間に於て落體が持つてゐる速さである。

これを見ると,落體の速度は1秒每に 9.8 每秒米づつの割合で增す。

212. 落體の加速度。 上のやうに速度の增す割合を加速度といふ。そして落體の加速度は 9.8 每秒每秒米であるといふ。この單位「每秒每秒米」は「1秒每に速度1每秒米づつ增す」といふ意味の加速度單位である。落體の加速度の大さを通常 g の字で示す。

213. 諸量の關係式。 g を使つて上の式(1),(2)を書くと,

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \quad \text{......................(1')}$$

$$v=gt \quad \text{..............................(2)}$$

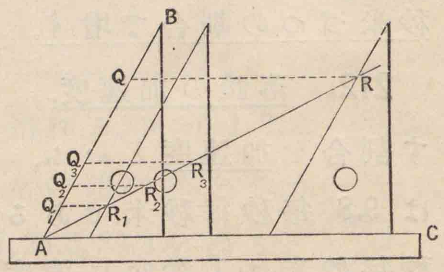
になる。またこれらの式から t を逐出すと,

$$v^2=2gs \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

になる。これは落ち始めの點から s 米落ちた處で持つて居る速さを定める式である。

214. 速度の合成。 次に任意の方向に投出した物體即ち抛體の運動を調べるのであるが,それにはまづ速度の合成といふことを知る必要がある。

三角板を取り,一邊 AB に沿うて鉛筆を以て線を引くときに,その線を引きながら,試みにその三角板を定規 AC にあてて右の方に動して行くと,その線はどんな線になるかといふに,三角板に沿うて鉛筆を動す速さも,定規に沿うて三角板を動す速さも一様であるとすると,鉛筆が AB 上の Q_1 に來るときには,板は既に Q_1R_1 だけ動いてゐて鉛筆は R_1 に來てゐる。鉛筆が AB 上の Q_2 に來るときには同様に實際は R_2 に來てゐる。いつでも同様で,つまり

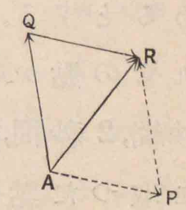


第 223 圖

AQ 線を引くと思ふ間に,實は AR 線を引いてゐるのである。即ち鉛筆は,AB 上の運動と同時に,AC に平行な運動をなして,その結果,AR 上の運動をなすことになるのである。今 A から Q に來るのに 1 秒かかつたとすれば,QR は 1 秒間の板の運動,AR は同じく 1 秒間の實際の運動である。即ち AQ, QR, AR はそれぞれの運動の速度を代表するものと見做すことができる。故に一般にいへば下の圖で,

〔定理〕 AQ と QR とで代表される二つの速度を同時に持つてゐるものの速度は,AR で代表される速度である。

このとき AR を合成速度と稱へる。また圖のやうに,AQ, QR と順に速度を表す線を引いて合成速度を見出す手數を速度の合成といふ。



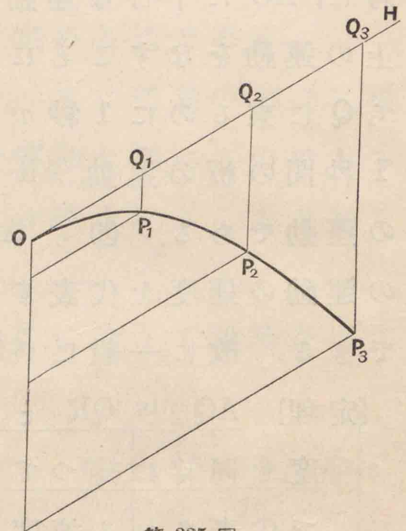
第 224 圖

注意。 速度といふ語は速さのみならず運動の方向を込めて使ふものとする。

215. 抛體の運動。 任意の斜な方向に物體を投出したときに,それが通つて行く道の形並にそれぞれの點を通る時刻の大體は,日常の

經驗で人の知つてゐる通りであるが,これは次のやうな作圖で知れる通りの運動である。

投出した點Oから最初與へた運動の方向にOH線を引き,最初與へた速さV_0をそのまま保存して進むときに物體が1秒後,2秒後,3秒後等にをるべき位置をしるしたのがQ_1, Q_2, Q_3等であるとする。次にこれらの點から鉛直線を引き,落體が最初から1秒間,2秒間,3秒間等に落ちる筈の距離だけ下に取つた點をそれぞれP_1, P_2, P_3等とする(卽ち$Q_1P_1=4.9$米,$Q_2P_2=4.9\times4$米,$Q_3P_3=4.9\times9$米)。さうすればP_1, P_2, P_3等は抛體が1秒の終,2秒の終,3秒の終等にをる位置である。隨つて抛體は圖の$OP_1P_2P_3$…の曲線を描いて進むのである。これはつまり,抛體が最初の速度のみでなすべき運動と落下の運動とを同時になすものであ

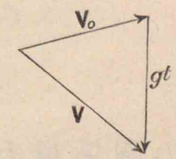


第225圖

るといつてもよいのである。

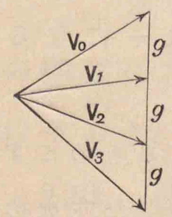
またこの運動を次のやうにいつてもよい。初速だけで直線に進む(想像上の)運動點Q(Q_1, Q_2, Q_3,…)から見ると,P(P_1, P_2, P_3,…)はいつもQの眞下にあつて,Qからの距離が落體と全く同様に増す。卽ちPはQに對して普通の落下運動をなす。

216. 抛體の速度。最後に述べた考へ方によれば,最初からt秒經つた瞬時にPはQに對して(落體と同じく)下向きのgt毎秒米の速度で動いてゐる。故にPの速度は,Qの速度V_0にこれを合成したVである。



第226圖

217. 抛體の加速度。上の定理によつて出發後1秒,2秒,3秒等の終に於ける速度を描くと圖のやうにV_1, V_2, V_3等となり,1秒毎に下向きのg毎秒米づつ加つて行くことが見える。この下向きのg毎秒米が1秒毎に加るのが卽ち抛體の加速度である。卽ち抛體の加速度は初速または現在の速度如何に拘らず,下向きのg毎秒毎秒米である。このとき加

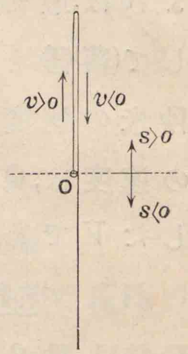


第227圖

速度は,速度合成の意味に於て1秒毎に加る速度を意味する。

218. 鉛直抛體。 前(215節)に述べたことをOHが鉛直である場合にあて嵌めて見ると,最初の速さが上向きにv_0であるときに,初めからt秒經た瞬間に出發點から上にs米の位置で上向きにv毎秒米の速さを持つてゐるとすれば,

$$s=v_0t-\frac{1}{2}gt^2,$$
$$v=v_0-gt,$$
$$v^2=v_0^2-2gs$$



第228圖

の關係があることが知れる。これらの式は物體が昇り切つてから落ちて行く運動にも,また初めから下へ投げられた場合でも應用される。ただ昇りのv, v_0は+,降りのv, v_0は−,出發點から上の位置のsは+,下の位置のsは−になることに注意すればよい。

〔問一〕 花火が最高點に達したとき爆發するものとすれば,打上げたときから4秒の後に爆發した花火の高さは幾米か。(空氣の抵抗がないとする,以下同樣)。

〔問二〕 前の問に於ける初速度は幾毎秒米か。

〔問三〕 初速300毎秒米で上に發射された花火は幾米昇り得るか。

〔問四〕 初速500毎秒米で30度の傾角で發射された砲彈は幾秒の後,幾米の地點に落ちるか。

219. 加速度。 落體,抛體に限らず,一般に速度の變化する割合を單位時間に對していひ表した量を加速度といふ。直線運動では,t秒間に速さがv_0からvになるとすれば,加速度がこの間に變らないと見て,次の關係がある。

$$加速度=\frac{(v-v_0)}{t}$$

運動の方向の變る場合には,「速度の變化」を速度合成の取扱ひ方で加る速度の意味に了解するから,上のやうな關係にはならないけれども,加速度は

$$加速度=\frac{(t\,秒間に加つた速度の量)}{t}$$

の關係になり,且速度の加つた量の方向にあるのである。

220. 運動の法則。 落體及び抛體の運動は一定の力(重力)が引續いて物體に作用する場合の運動である。その運動は上に見たやうに

落體,抛體を通じて,最初または現在の運動の方向並に速さに關せず,加速度が力と同じ方向に於て,一定の大さを有するものである。

落體,抛體の運動は一つの物體に一つの定つた力が働く場合のみであるから,同じ物體に大きい力の働く場合と,小さい力の働く場合との比較はわからないが,さういふ場合も合せて調べると,次の法則が行はれるのである。

〔法則〕 物體が外から力を受けてゐる間は,現在の速度に關せず,力の方向に於て,力に比例し,物體の質量に逆比例する加速度を以て動く。

これを「運動の法則」または「ニュートンの運動の第二法則」と稱へる。地球上で總ての物體が同じ加速度を以て落ちるのは,重力が質量に比例するからである。假に重力が四分の一である處では,總ての物體が g の四分の一の加速度で落ちる筈である。

221. 力の絶對單位。 力の重力單位なる「1瓦の重さ」の類は地方によつて,少しではあるが差がある。このやうな差のないのは力の絶

對單位である。これは「單位の質量に作用して單位の加速度を生ずる力」である、糎,瓦,秒を基本單位とした場合の絶對單位即ち1瓦の物體に作用して1毎秒毎秒糎の加速度を生ずる力を1「ダイン(dyne)」といふ。それ故に P ダインの力が m 瓦の物體に働くときに a 毎秒毎秒糎の加速度を生ずるとすれば,次の關係がある。

$$a=\frac{P}{m} \quad \text{または} \quad ma=P$$

1瓦の重さをダインで表せば,この式で,$m=1,\ a=980$, 隨つて $P=980$ (ダイン)である。

222. 運動量。 物體の質量と速度との積を運動量といふ。今直線運動の場合を取り,前節の式に $a=\frac{v-v_0}{t}$ を代入すれば,

$$P=m\frac{v-v_0}{t},$$

故に $$Pt=mv-mv_0 \ (^1)$$

即ち,力とその作用した時間との積は運動量の變化に等しい。

運動方向の變る場合にも,運動量の取扱ひを速度合成のときと同樣にするものとすれば,や

(1) $v<v_0$ の場合に P が負號を得るのは,力が運動と反對方向に働くことを示す。

はり同じ關係が行はれる。

223. 打擊及び衝突。 靜止してゐる物體に一定の速度を與へ,または運動しつゝある物體を靜止せしめ,その他一般に物體に一定の速度の變化を與へるのには,Ptが一定の大さを持つことを要する。それ故に,これに必要な力の大さは,それの働くべき時間に逆比例する。もし極めて短い時間に若干の速度變化が生ずるならば,極めて大きな力がその間に加ることが必要である。物體を打ち,または二つの物體が衝突するときに,それがこはれることのあるのは,そのためである。このやうな場合に,餘り大きな力が働かなくてすむやうにするには,力の働く時間がいくらか長くなるやうにすればよい。衝突の場處に柔い物質またはバネの類を取付けるのはこのためである。

〔問一〕 强弓から放たれた矢も僅に一枚の幕をも穿ち得ないで止るといふ。その理由はどうか。

〔問二〕 コップは床上に落ちれば破れるが,疊の上に落ちれば破れない理由はどうか。

〔問三〕 毎秒6米の速さで直線運動をする5瓩の物體

がある。これを2秒間に靜止させるには幾らの力を加へたらよいか。

$Pt=2P'$
$5\times 6=2P$ $\frac{30}{2}=P=15$瓩

224. 反作用の法則。 物體甲が物體乙を押すときは,同時に乙が甲を押し,甲が乙を引くときには,乙が同時に甲を引く。甲が乙に及す力(作用)に對して,乙が甲に及す力が反作用である。反作用については次の法則がある。

〔法則〕 作用と反作用とは大さ相等しく,一直線に沿うて互に反對の方向に作用する。

これを反作用の法則または「ニュートンの運動の第三法則」といふ。

〔問一〕 人が歩み,水面にをる水鳥が進むときの作用を説明せよ。

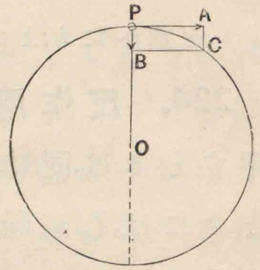
〔問二〕 大小二つの舟を綱で結び,小舟に乘つて綱を引けば小舟のみが著しく引かれる理由はどうか。

第二章 圓運動及び廻轉物體

225. 圓運動。 絲の一端に石を結び付け,他端を以て速に廻せば絲は緊張し,手は強く絲に引かれることを感ずるが,石はそれと同じ力

で絲に引かれてゐる。

もし石が圓周上の一點Pに來たとき,絲を切れば石はP點に於ける切線PAの方向に飛び去る筈である。絲があるとき石が圓周上のC點に來るのは,絲の引く力のために,石がPからAに達する間に,中心Oに向つてPBだけ引かれて石は二つの運動を合した運動をなして, PA, PBの平行四邊形の對角線の一端(C)に來るからである。



第229圖

今PからCに至る時間も距離も極めて小さいと考へれば,この間物體は定つた方向POに一定の力を受けると見てよい。随つて拋體の運動に於けると同樣にPBの長さを計算してよい。絲の張力をTダイン,物體の質量をm瓦とすれば,加速度は$\frac{T}{m}$毎秒毎秒糎であるから, PBの長さは,拋體の場合と同樣に,但し落體の加速度gの代りに$\frac{T}{m}$を使つて,

$$\mathrm{PB}=\frac{1}{2}\times\frac{T}{m}\times t^2$$

で表される。然るに速さがv毎秒糎なれば,

$$t=\frac{\mathrm{PC}}{v},$$

f=am

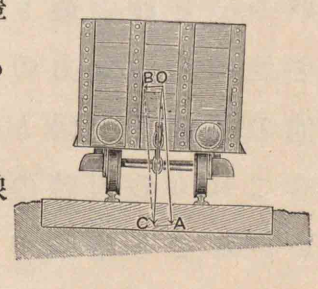
故に $$T=\frac{2m.\mathrm{PB}.v^2}{\mathrm{PC}^2}$$

PCを極めて小さく取れば, PC=BCと見てよい。また幾何學で知る關係 $\mathrm{BC}^2=\mathrm{PB}\times(\mathrm{BO}+\mathrm{OP})=\mathrm{PB}\times(2R-\mathrm{PB})$ はつまり $\mathrm{BC}^2=\mathrm{PB}\times 2R$ になる(但しRは圓の半徑)。これを上の式に入れると,

$$T=\frac{mv^2}{R}\qquad(\text{單位はダイン})$$

の式を得る。即ち,一定の速さで圓周上を運動する物體は,質量と速度の二乘とに正比例し,圓の半徑に逆比例し,且中心に向ふ力の作用を受けつつある。

このとき物體がTの力で絲を外方に引いてゐるといふ作用は,廻轉してをることを忘れて觀察すれば,物體がTだけの力で外に引かれてをると同樣である。それ故に,廻つてをることの作用を考へる代りに,物體を外方に引いてゐるところの,そのやうな力があるやうに考へてもよい。この想像上の力を遠心力と稱へる。



第230圖

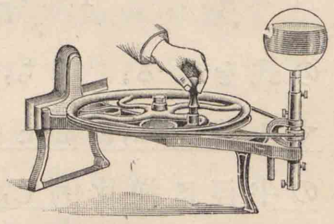
汽車や電車などの軌道の

彎曲部でその外側を高く,内側を低くするのは,重心 O に作用する重力 OA と,遠心力 OB との合力 OC を軌道面に垂直にするためである。

〔問一〕 コップを丈夫な絲で縛り,水を入れて廻轉すると水が溢出しない理由はどうか。

〔問二〕 器に水を入れ中心を通る鉛直線を軸として廻せば中央の凹むは何故か。

〔問三〕 球に水と水銀とを入れ早く廻轉すれば,水銀が球の中部に帶狀となる理由はどうか。



第 231 圖

〔問四〕 自轉車に乘るものが急に道路を曲らうとするときに,身體を內側に傾ける理由はどうか。

226. 萬有引力。 宇宙間にある總ての物體は互に引合つてゐる。この力を萬有引力といふ。それの最も著しいのは,地球上の諸物體と地球との重力の外,月と地球との間,地球及び他の遊星と太陽との間の引力である。

これらの天體の運動の道は全くの圓ではないけれども,略圓であると見てよい。萬有引力には次の法則がある。

〔法則〕 二つの物體間に働く萬有引力は二物體の質量に比例し,その距離の二乘に逆比例する。

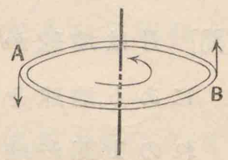
〔問〕 月は地球から地球半徑の六十倍 (385000 粁)の距離にあり,地球を一廻りするのに 27.3 日を要する。それの 1 瓦が地球に引かれる力は幾ダインか。またそれが上の法則の實例になることを證せよ。

227. 廻轉するコマの性質。 廻轉するコマが支點よりも上に重心があるに拘らず倒れないことも特殊な現象であるが,更に根本的なのは次に記す性質である。

コマの軸の下端を固定した凹みに支へて軸を鉛直にして勢よく廻し,軸の上部を横に押して見ると,軸が押された方へ傾かないで,それに直角の方に傾く。例へば上から見て時計の針と反對の方向に廻つてをるときに,軸を左に押すと,それが手前に傾く。廻り方が違つたり,押し方が反對であつたりすれば傾き方も反對になる。(この實驗は,重心を尖端上に支へることができるコマであれば特にうまくできる。)

廻轉してゐる普通のコマの軸を傾けると,軸

が圓錐を描いて廻る(ミソをする)のは,重力が上の實驗で軸を横に押すのと同じ作用をするからで,つまり上の現象と同じものである。

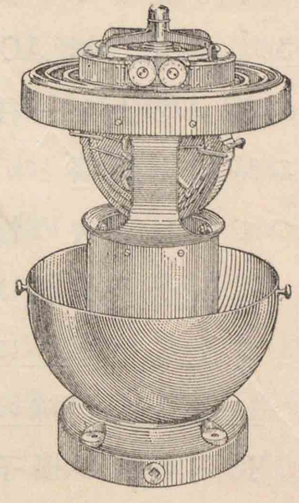


第232圖

上の現象を簡單にしかも十分に説明することは困難であるから,ただ大體を説明する。今假にコマの實質が圖のやうに細い圓形の部分ABだけにあるものとし,それが時計の針と反對に廻つてをるときに,Aを押下げ,Bを押上げる力を加へたとすると,B部の速度は前方に進む間に幾分上向きに變り,A部の速度は手前に進む間に幾分下向きに變るから,軸が手前に傾くのである。(このやうな力の加へ方が軸の上部を左に押すのと同じであることはいふまでもない。)

228. ヂャイロコンパス. 上に述べたコマの性質から,他のいろいろな現象が起る。その中の一つは「ヂャイロコンパス」と稱へて,磁針を使ふ羅針盤と違つて,鐵材のために影響を受けない羅針盤(方位を知る器械)である。これは水平な廻轉軸を有するコマで,それの廻轉軸が(水平なままで)どんな方角にも向き得るやうにしてある。一般にこのやうに一つの平面內で廻轉軸

が自由に向き得るコマは,それを支へてゐる裝置全體が或線を軸として廻ると,コマの軸がこの軸の方向に一番近い位置に來て落ちつくものである。

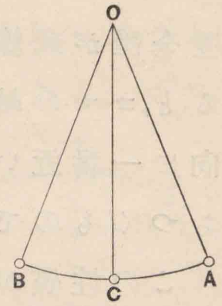

第233圖

この性質がある結果,ヂャイロコンパスを載せてゐる地球が廻轉するために,ヂャイロコンパスの廻轉軸は地球の廻轉軸に最も近い方向卽ち南北の方向に(北から見るとコマの廻轉が時計の針と反對に廻るやうな向きに)來て初めて落ちつくのである。

第三章　振動及び波動

229. 振子(フリコ)。 重い小さい球を輕い絲で固定點から吊つた裝置を振子(フリコ)(または單振子(タンシンシ))といふ。今次の圖のやうに絲を張つたまま,球を靜止點CからAに移して放てば,球は圓弧ABの上をいつまでも左右に往復する。このやうな

運動を振動といひ,定點Oから球の中心點までの長さを振子の長さといふ。弧ACを振幅(1)といひ,弧AB上を一往復するに要する時間を週期といふ。實驗によつて容易に次の性質が知れる。

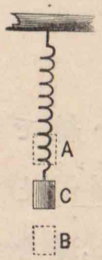


第234圖

單振子の週期は,振幅が餘り大きくないときには,(1)球の大小輕重並に振幅に拘らず,(2)絲の長さの二乘根に比例する。

長さ1米の振子の週期は約2秒,25糎の振子の週期は約1秒である。時計の振子はこの理を應用したものである。

230. 簡單な振動。 鋼の針金を螺線狀に巻いたバネの一端を固定し,他端に錘を下げ,それの靜止の位置Cよりも上の方Aに(バネがたるまない程度に)押上げて放せば,錘が下り,Cを通り越してBC=ACのやうなBまで行つて,またAまで上るといふやうに,週期的の運動卽ち振動をしながら上下に動く。振幅AC



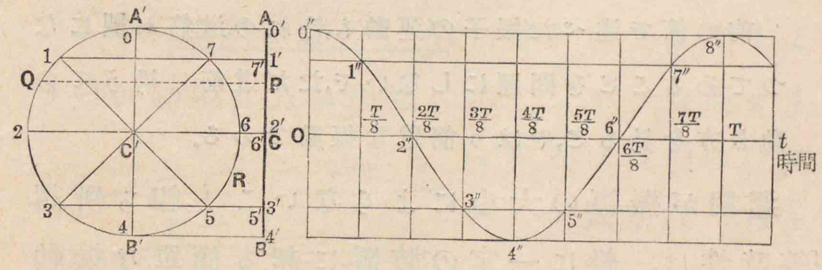
第235圖

(1) 場合によつてはこれの二倍卽ち圖のABを振幅といふこともある。

を大小いろいろにしてこの實驗を試みると,週期が一定であることを見る。

このAB間の振動を調べると,球の速さは端Aに於ては0,それから次第に速さを增し,Cに於て最大になり,これから速さは次第に減じ,Aと同じ程反對の側にあるBに至つて再び0になる。歸り途も同樣な動き方でAに至り,それから後は同じ運動が繰返される。

この運動は,或物體が一樣な速さで圓周を廻るとき,その有樣を側面から見たのと同じである。このやうな振動を「簡單な振動」といふ。



第236圖

點Qが圓周 A′QB′RA′ の上を一樣な速さで廻るのを遠方の右側から見れば,點PがABの間を往復すると同じに見える。今Qが圓周を一周するに要する時間をT秒とすれば,$\frac{T}{8}$秒毎にQのをる位置が0,1,2,3,4,5,6,7,0で,これを側面から見たPの位置は0′,1′,2′,3′,4′,

$5', 6', 7', 0'$ である。T の等分し方をもつと細かくすれば,Pの運動が兩端A及びBで一時止ることも知れる。これが卽ち簡單な振動で,前にいつた裝置の錘の運動がそれの一つの實例を與へるのである。

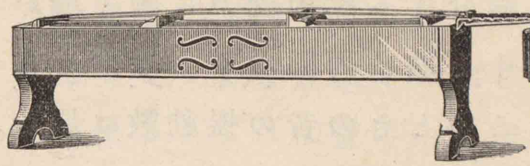
なほ上の運動を曲線で示す方法がある。それは横の線 Ot 上に,初めから經過した時間を刻み(圖には $\frac{T}{8}$ づつに刻んである),それぞれの點に於ける縱の線の上に,その時刻時刻に中心からのP點の隔りを取つて $0''$, $1''$, $2''$, $3''$, $4''$ 等の點を定める。そしてそれらの點をつなげば點Pが各時刻にをる位置も知れ,隨つてそれの運動全體がわかる。圖に表したものはこのやうに「時間に對して書いた簡單な振動の曲線」である。

前の節で述べた振子の運動も,それの道筋が圓になつてゐることを問題にしないで,ただ道筋に沿うての動き方を見ると,やはり簡單な振動である。

週期が振幅の大小によらないこと,卽ち所謂「等時性」は,一般に一定の裝置に起る簡單な振動に通ずる性質である。

231. 絃の振動。 兩端が固定して張つてある絃が全體で振動して出す音卽ち所謂原音については,次の法則が行はれる。

絃の原音の振動數 N は,絃の長さに逆比例し,



第 237 圖

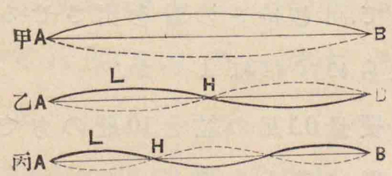
絃の張力 T の平方根に比例し,且單位の長さの絃の質量 m の平方根に逆比例する。卽ち

$$N \propto \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

T がダインで,m が每糎瓦,l が糎で表してあれば,每秒振動數は次の式で與へられる。

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

232. 絃の振動のし方。 絃が原音を出すときの振動のし方は甲圖に示したやうな形をする(點線は實線の位置から半週期經つたときの位置)。



第 238 圖

同じ絃の中央點(乙圖H)に輕く觸れてL點の邊を引いて放すと,絃は乙圖のやうな形をなして振動する。このときの音の振動數は原音の二倍である。

絃を三等分する點(丙圖H)に輕く觸れてL點の邊を彈くと,絃は丙圖のやうな形をなして振動する。このときの音の振動數は原音の三倍である。

絃を四等分した點,五等分した點などについて同樣に實驗しても,同樣に原音の四倍,五倍などの振動數の音を生ずる。

このやうな音を總て<u>倍音</u>と稱へ,乙圖,丙圖のHのやうに,絃が振動する間動かない點を<u>節</u>(フシ),節と節との間の運動の激しい處を<u>腹</u>(ハラ)と稱へる。

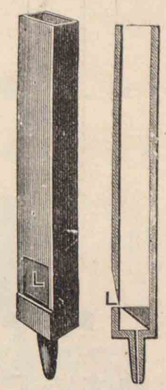
〔問一〕 同一物質の同じ長さの絃を同じ力で張つた場合の振動數は,それの半徑とどんな關係をなすか。

〔問二〕 直徑0.5粍の鋼線(比重7.8)と直徑1粍の銅線(比重8.9)とを同じ力で張つて,同じ高さの音を出させるには,絃の長さの比を幾らにすればよいか。

〔問三〕 長さ30糎,1糎の質量0.1瓦の絃を,10瓩の力で張るとき,その絃の振動數は幾らか(但し$g=980$)。

〔問四〕 直徑0.5粍,振動部の長さ50糎の鋼線に振動數261(ハ調の(1))の音を出させるには幾瓩の張力を要するか(但し$g=980$)。

233 氣柱の振動。 行拔けの筒(開き管)または一方の閉ぢた筒(閉ぢ管)の口の緣を斜に吹いて音を出させると,管の長さに應じて一定の高さの音が出る。これは管の中の空氣が振動して出る音である。普通風琴管と稱へる管で實驗する。


第239圖

開き管並に閉ぢ管の出す原音の振動數N(每秒)は,管の長さがl糎であれば,空氣中の音の速さをv每秒糎とするとき,

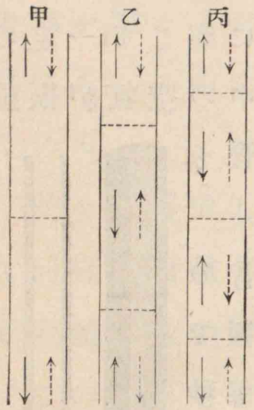
(開き管) $N=\dfrac{v}{2l}$

(閉ぢ管) $N=\dfrac{v}{4l}$

で與へられる。短い笛が高い調子の音を出すこと及び閉ぢ管の音が同じ長さの開き管に比べて八度(オクターブ)だけ低いことがこれで知れる。

234. <u>開き管の空氣の振動のし方</u>。 原音を出す開き管に於ける空氣の振動法は中央が運動のない節になり,兩端の空氣が同時に出,同時に入るといふ動き方である(次の圖甲)。

管を強く吹くと音の調子が急に上ることが

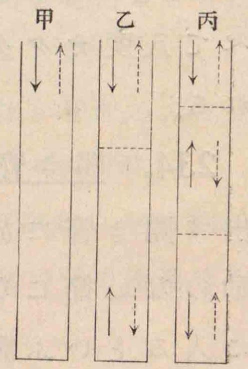


第240圖

ある。これは振動法が乙圖のやうに變るので,甲と同樣な運動をする半分の長さの氣柱が二つ重つてゐるのと同等である。隨つて,この音,卽ち第一の倍音は原音の二倍の振動數を持つのである。なほ事情によつて管が丙のやうに,間に三つ(またはそれ以上)の節を持つて振動することもある。要するに,

開き管の生ずる倍音の振動數は原音の整數倍(二倍,三倍,四倍等)である。

235. 閉ぢ管の空氣の振動のし方。 閉ぢ管では,開いた端が腹で,閉ぢた端が節になることは當然で,原音は甲圖のやうな振動をする。これは開き管に於ける振動を半分だけ取つたのと同じことであるから,閉ぢ管は長さ二倍の開き管と同じ音を出すことが了解される。

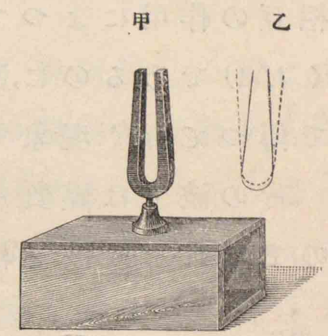


第241圖

閉ぢ管の倍音は乙圖,丙圖などで見る通りの振動をするので,次の關係が知れる。

閉ぢ管の生ずる倍音の振動數は原音の奇數倍(三倍,五倍,七倍等)である。

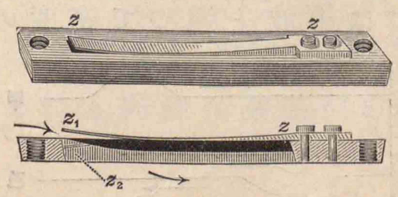
236. 音叉。 音叉の振動法は圖の乙に示すやうで,左右の脚が同時に外または內に動き,それと同時に支柱が少し上下に動く。



第242圖

音叉は函から離しては强い音を出さないが,函または板の上に支柱をあてると强い音を出す。これは,この支柱の運動で函または板に振動を傳へ,それから周圍の空氣に振動が(波として)傳るからである。

237. 舌。 風琴(リード-オルガン)やハーモニカの發音部をなす舌は彈性のある金屬板である。これは,金屬の板に穿つた長方形の孔を殆ご塞ぐ位置

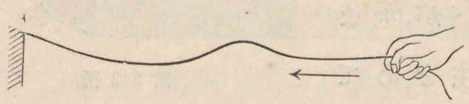


第243圖

に於て,一方の端が取付けてあるので,舌と孔との隙間を空氣が通るときに,それを振動させるのである。

238. 波動。 86節で學んだやうに,波動は一般に,引續いた媒質に於て,それの相隣る部分の相互の作用によつて,各部分が狹い區域内で動くだけであるのに,運動の狀態は隔つた場處まで傳つて行く現象である。

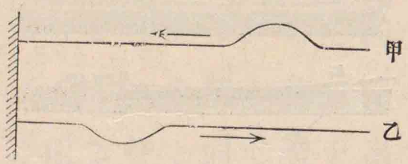
音の波では媒質が音の進む方向に進退するのでこれを縱波と稱へるが,それと違ふのは絲をゆるく張つて,それの一端を手に持つて橫に早く動搖を與へる場合である。



第 244 圖

このとき動搖は絲に沿うて進むのに,媒質(絲)の運動は絲に垂直である。このやうな波を橫波と稱へる。橫波では縱波と違つて密度の變化はない。

絲の波で容易に實驗されるのは,それの反射である。絲の一端が固定してゐると



第 245 圖

きに,そこへ甲のやうな波が來ると,反射の波は乙圖のやうに甲と反對側の運動になつて歸る。

水面の波では,媒質は波の進む方向にも動くけれども,目立つて見えるのは水面の高低の變化であることと,密度の變化がないこととから,それを橫波と見てよい。

239. 規則正しい波。 規則正しい波は,媒質の各部分が引續き一定の週期で振動をして,その狀態が傳つて行くものである。この場合に,一つの波の高い處(音波ならば密な處)と次の同樣な場處との距離を波長と稱へる。波長 L と振動數 N と波の傳る速さ V との間には次の關係がある。

$$L=\frac{V}{N}$$

例へば,振動數 435 の音波の(空氣中での)波長は $\frac{340}{435}$ 米即ち約78糎である。無線電話に使ふ電氣波の波長と,それの傳る速さ(300000每秒粁)と電氣振動の振動數とにも同樣な關係がある。

第四章　勢力及び熱

240. 仕事。 仕事に關して前に學んだのは,力が釣合つてゐて,物體が一定の速さで動いてゐる場合であつた。ここでは,力が釣合つてゐないために物體の速さの變る場合を考へる。

前に使つた仕事の單位,瓩米,呎封度,貫尺は皆重力單位であつたが,力の絕對單位,ダインに相當する仕事の C.G.S. 絕對單位は「1ダインの力が働きそれの方向に作用點が1糎進むときになされる仕事」で,これをエルグ(erg)と稱へる。1瓩の重さは1000×980ダインであるから,

1瓩米=1000×980×100エルグ

241. 勢力(またはエネルギー)。 仕事をなすことのできる物體は「勢力(エネルギー)を持つてゐる」といふ。そしてそれがなし得る仕事の量を以て勢力の分量とする。

物體はいろいろな關係から勢力を持つことができるので,勢力にはいろいろな種類または態(かたち)がある。

242. 位置勢力。 高い處にある物體は滑

車のやうな裝置を使ふと,或低い位置に降るまでの間に,自分と同じ重さの物體を同じ距離だけ上げることができる。それ故にm瓩の物體が或標準の高さよりもh米高い處にあるときには,標準の高さにあるときよりもmh瓩米だけ餘計に勢力を持つてゐる。この種の勢力を位置の勢力または位置勢力といふ。

高い處にある物體が位置勢力を持つてゐるのは,引き合ふ二つの物體(卽ち物體と地球)が離れてゐるからである。これと同じ理で,原因の何であるに拘らず,引き合ふ物體が近づき得る狀態にあるとき,または斥け合ふ物體がなほ離れ得る狀態にあるときには,それら二つの物體の組合が勢力を持つてゐるのである。ゴム紐を伸したり,バネを曲げたりしてあるのも同じわけで,このやうな勢力は彈性に關する位置勢力である。また電氣を帶びた二つの物體は電氣的の位置勢力を持つてゐる。

243. 運動勢力。 或速さを以て動いてゐる物體は,それに抵抗する力があつても,すぐには止らず,幾分の距離だけ進んで初めて止るか

ら,動いてゐる物體が止るまでに,その抵抗力と,その距離との乘積だけの仕事をすることができる。これ即ち物體が動いてゐるために持つてゐる勢力で,これを運動の勢力または運動勢力といふ。位置勢力と運動勢力とを總稱して機械的の勢力または機械的勢力といふ。

運動の法則によつて計算すると,この仕事の量は,抵抗する力の大小に拘らず一定したもので(抵抗力が大なれば距離が小さいために),それの大さ即ち運動勢力は絕對單位で,

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

(mが瓦でvが每秒糎で表してあれば,これだけエルグ)である。

244. 兩種の勢力の增減。 鉛直に投げた物體で,出發點P_0から運動中の一點Pまで鉛直に測つた距離sとその點で物體の持つてゐる速さvとの間に,

$$v^2=v_0^2-2gs$$

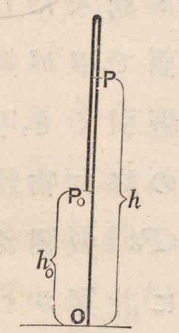
の關係があることは既に學んだ(218節)。任意の位置Oを高さの標準點とし,それから測つたP_0の高さをh_0,Pの高さをhとすれば,$s=h-h_0$

$V^2=2gS$ $\frac{V^2}{2g}$ mg $S=\frac{V^2}{2g}$ $S=Vt-\frac{1}{2}gt^2$

$\frac{1}{2}mg\times\frac{V^2}{g}$

$\frac{1}{2}mV^2$

$\frac{1}{2}mV^2$
$\frac{1}{2}mV^2$



第246圖

であるから,これを前の式に入れ,兩邊にmを乘ずると,

$$\frac{1}{2}mv^2+mgh=\frac{1}{2}mv_0^2+mgh_0$$

の關係が生ずる。$\frac{1}{2}mv^2$ はP點に於ける運動勢力, mgh は同じ點に於ける位置勢力(絕對單位を使つてあるからgが入つてゐる), $\frac{1}{2}mv_0^2$ と mgh_0 は出發點に於ける同樣な二つの量である。それ故に鉛直拋體では,

運動勢力+位置勢力=不變

の關係がある。

これと同樣な關係は斜な拋體でも,滑な斜面上の運動體でも,振子や彈性體の振動でも總ての場合に行はれる。即ち

位置勢力を持つてゐる物體で,その位置勢力の原因である力の外に,力の作用しない場合には,運動,位置兩種の勢力の全量は不變である。

245. 二つの物體間に於ける勢力の移動。 物體甲が重い物體乙(重さm瓩)をh米だけ引上げるときは,甲はmh瓩米だけの仕事をな

してそれだけの勢力を失ひ,乙は mh 瓩米だけの位置勢力を得る。また滑な水平面で,甲が靜止物體乙に力 P ダインを加へて s 糎引くと,甲の勢力が Ps だけ減ると同時に,その終に物體乙の持つてゐる運動勢力は $\frac{1}{2}mv^2=Ps$ の關係になることが運動の法則から容易に計算される。一般にこの通りで,

一つの物體甲が他の物體乙に仕事をすれば,甲の勢力がその仕事の分量だけ減じ,乙の勢力が同じ分量だけ增す。隨つて,

二つの物體が互に力を及して動くときには勢力が一方から他方に移るだけで,二物體の勢力全體は變らない。

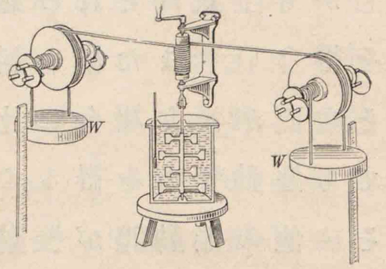
この定理に關して,二物體の間に梃子その他器械的の裝置を挿むことが影響を生じないことは,206節の定理から知ることである。

246. 機械的勢力の消える場合。 上の二節でいつたことが行はれないことのあるのは,摩擦や空氣の抵抗などの作用する場合である。例へば,紙片や毛のやうな物體が同じ高差だけ落ちても,石や金屬片のやうな速さを得ないのは,空氣の抵抗に對して仕事をしたもので,しかも空氣はそれに對して何も機械的の勢力を得ない。また粗い斜面を滑り落ちる物體はその面が滑な場合に比べて,同じ距離だけ落ちても運動勢力を得ることが少い。また振子やその他の振動體が振動を續けてゐる中に次第に振幅を減じて終に靜止するに至るのも,空氣の抵抗などのために次第に勢力を失ふ例である。要するに,

摩擦力や,空氣や液體の抵抗のやうな作用がある場合には,關係諸物體の全體の機械的の勢力が減ずる。

247. 熱が勢力の一つの態。 前節のやうに機械的勢力の失はれる場合を調べて見ると,いつでも熱が生じてゐる。例へば錐で木に孔を穿ち,鋸で木を切るとき,錐や鋸が火傷をする程熱せられるなどは,木が傷けられるためではなくて,摩擦力に對して仕事をするためである。そしてこのやうな熱量を精密に測定した結果によると,その熱の分量が失はれた機械的の勢力に比例し,機械的勢力の 430 瓦米卽ち 4.2×10^7

エルグに對して熱1カロリーと定つてゐる。ここに出したやうな數を熱の仕事當量といふ。



第247圖

ヂュール (Joule) が熱の仕事當量を測定するに使つた裝置。

このやうに熱はいつも一定の割合で機械的勢力に代つて現れること,及び蒸氣機關の類で熱が仕事をするやうに使はれることから推し考へると,熱は勢力の一つの態であるといふことが知れる。

勢力は上に述べたものの外に,いろいろな態を持つことがあるが,熱以外のいろいろな態の勢力がなくなる場合には,いつでも,それと同等なだけの熱が必ず生ずるのである。

故に,熱を勢力として一緒に計算すると,

どんな物理的變化に於ても,關係してゐる諸物體全體の勢力は不變である。

これを勢力(エネルギー)不滅の法則と稱へる。

248. 物質の分子組立。 熱が勢力の一つの態であることは,次のやうな物體の分子組立

から了解される。

物體は總て極めて小さい分子で出來てをり,その分子は,氣體では自由に飛廻つてをり,液體では不自由ながら相互の間を縫うて動いてをり,固體では各一定の位置を中心として振動してゐる。溫度が高くなると,このやうな運動が劇しくなるのであるから,つまり熱は分子の運動勢力に外ならないのである。

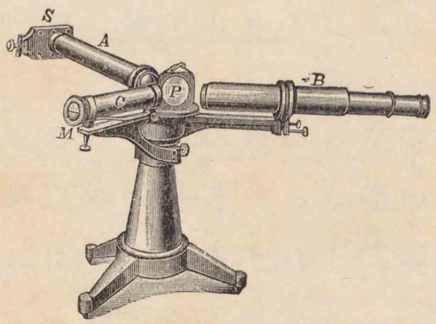
第九篇

波動としての光

第一章　スペクトル

249. 分光器。 スペクトルは,與へられた光で照してある細隙の像が,光の屈折率の異なるに隨つて,異なる場處に出來た排列の圖である。

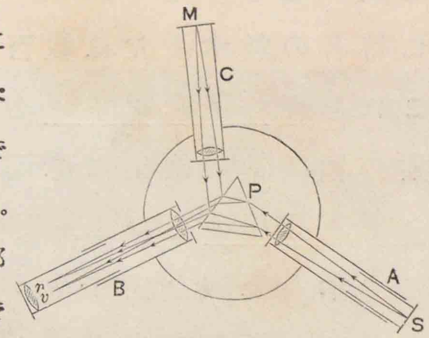
相接した像が混じないためには細隙を十分細くし,像を鮮明にすることが必要である。この目的に適當につくつた裝置が分光器である。



第 248 圖

分光器は(1)コリメートルAの前端の細隙Sを照す光を凸レンズで平行光線となし,(2)これをプリズムPに投射させ,(3)プリズムを通過して分散した光を攏め平行光線に對して調節した望遠鏡Bに受けてスペクトルをつくらせて,觀察する裝置である。なほ尺度圓筒Cの端には,ガラスに小さい物指Mが刻んであつて,これをランプで照し,凸レンズで平行光線

として プリズムの一面にあて,それの反射光によつて物指の線がスペクトルと上下に竝んで見えるやうにしてある。これはスペクトル各部の位置を尺度の目盛で見定めるためである。



第 249 圖

250. 連續スペクトル。 ブンゼン燈で熱した白金線や,電燈,アーク燈などの光を分光器で檢査すれば連續した一列の色帶を認める。これを連續スペクトルといふ。多くの高溫度の固體や液體は連續スペクトルを生ずる。

251. 輝線スペクトル。 白金線に食鹽の塊を載せてブンゼン燈で熱すれば,それよりも上の部分の焰が黄色の光を發する。これを分光器で檢すれば暗黑中にただ一本の輝いた黄色の線[1]を見る。これを「ナトリウム線」または「D線」といふ。およそ諸種の元素や化合物は適當な方法で(氣體ならばガイスレル管に入れて

---

[1] 細隙を十分細くして見れば,二本に分れる。

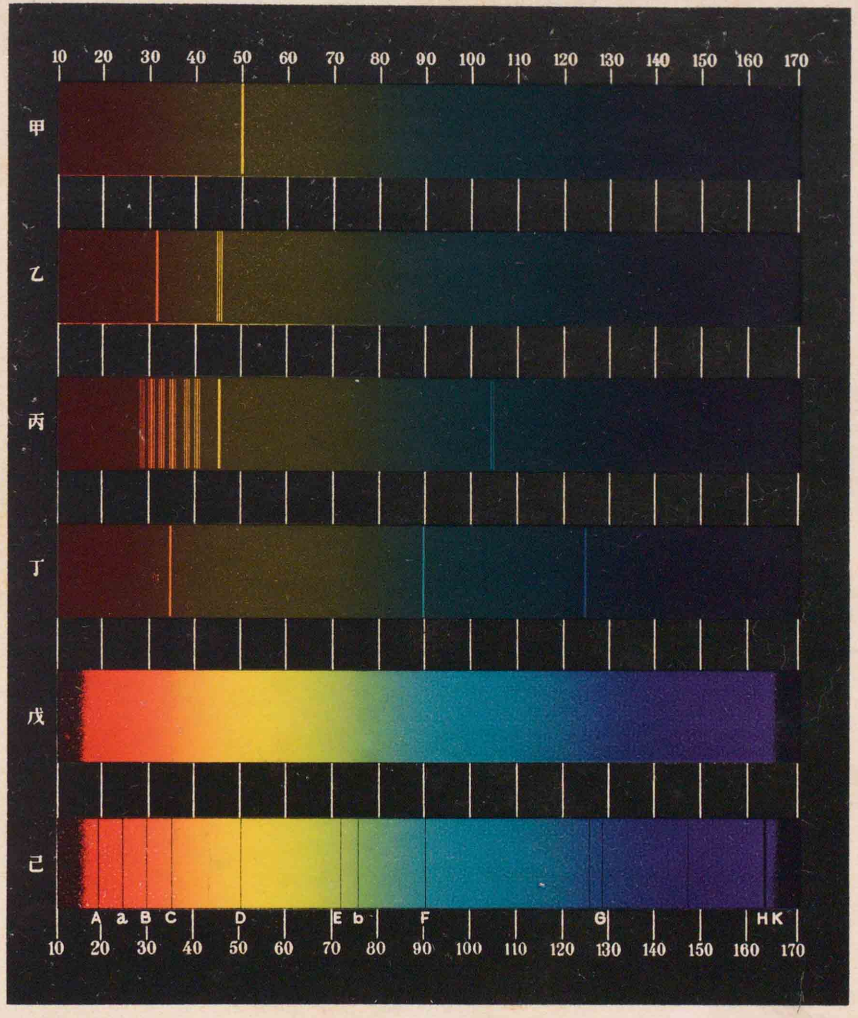
電氣を通して)光を出させると,その光は各元素に特有の數本または數百本の輝線を生ずる。これを輝線スペクトルといふ。この性質は元素の極微量の檢出に應用される。これをスペクトル分析術といふ。

一本の輝線を出すやうな光を單光といひ,さうでない光を複光といふ。

252. 吸收スペクトル。 色ガラスや有色の液體を通して連續スペクトルを窺へば一部暗黑な部分を生ずる。これはスペクトルの中の或色が通過の際吸收されたからである。このやうなスペクトルを吸收スペクトルといふ。

253. 特殊な吸收スペクトル。 連續スペクトルを生ずる高溫度の發光體と分光器との間に比較的低溫度を有する輝線スペクトルを生ずべき光源(蒸氣または氣體)を置くと,連續スペクトル中,低溫度の發光體の發する輝線の場處が他の部分よりも却つて暗く見える。これを吸收線スペクトルといふ。これは,發光體に比べて低溫度にある蒸氣または氣體が,高溫度の發光體から出て,これを通過する光線の中から

諸種ノすぺくとる



甲、なとりうむノ焰。
乙、りちうむノ焰。
丙、すとろんしうむノ焰。
丁、水素ノ發スル光。
戊、らんぷ、蠟燭等ノ光。
己、日光。A a B C 等ハふらうんほーふぇる線ヲ各別ニ呼ブトキノ名。

自己の發生する輝線スペクトルに相當する光を吸收することを示すものである。

254. 太陽スペクトル。 細隙を十分細くして,日光を分光器で窺へば,無數の黑線が見える。これをフラウンホーフェル (Fraunhofer) 線といふ。その主なものに A, B, C, D 等の名前を附けてある。この黑線は高溫度(6000 度)にある太陽の主な部分から出て來る光線が,その周圍の雰圍氣を通る際,その雰圍氣の輝線スペクトルに相當する光を吸收されたから現れるである。故にその黑線を研究して太陽の雰圍氣中にある元素を知ることができる。太陽に限らず恆星の研究も同様な方法で分光器で行はれる。

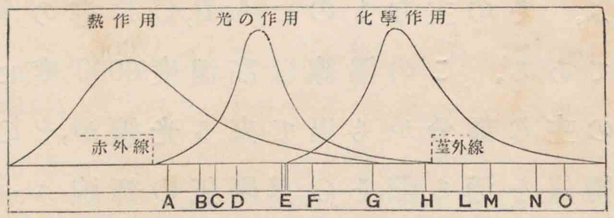
〔問一〕 ここに挿入した「諸種のスペクトル」について太陽の雰圍氣中に含まれる元素を擧げよ。

〔問二〕 太陽スペクトルと月光のスペクトルと全く同一な理由を說明せよ。

255. 赤外線及び菫外線。 青化白金バリウム板に日光スペクトルを投射すると,菫色の部分が著しく長くなる。また青化白金バリウム板の代りに寫眞乾板または寫眞感光紙を置

いて,現像すれば,青色から菫色に亙つて最も著しく,更にスペクトルの菫の部の外までも強い變化が起ることを見る。

次に日光スペクトルの各部分に,輻射熱を吸收するやうに裝置した鋭敏な寒暖計を置いて實驗すると,菫外部には殆ど熱作用を認めないが,赤の部に接近するに隨つて,次第に熱作用が著しくなり,赤色外の暗黑部分にもなほ熱作用のあることを認める。



第250圖

これを以て見れば,スペクトルは,目に見える部分に止らず赤より外にも,また菫より外にも擴つてゐる。即ち日光には,赤から漸次に色が變つて菫に至るまでの目に見える種類だけでなく,赤よりも屈折率の小さいもの,菫よりも屈折率の大きいもので光と同性質のものがあることが知れる。これらをそれぞれ赤外線及び菫外線といひ,總稱して暗線といふ。赤外線は熱作用が著しいので「熱線」ともいひ,菫外線は化學作用が著しいので「化學線」ともいふ。

光線,暗線を總稱して輻射線といふ。

第二章 光の本質

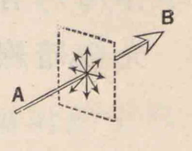
256. 光の速さ。 光の進む速さは眞空中で每秒三十萬粁(3×10^{10}糎),空氣その他の氣體中でも略同じである。液體,固體內では速さが小さくて,眞空に於ける速さを,その物質の(眞空に對する)屈折率で除したものに等しい。

257. 光の波。 このやうな速さで進む光は,下にいふやうな種々の現象から推し考へて見るに,物質または物質類似のものではなくて,波動である。しかも,光は眞空と稱へる處をも進むから,光波の媒質は普通の物質でなくて,吾々がどこからも取り除くことのできない一種特別のもので,これをエーテルといふ。

光の波長は色によつて違ふ。屈折率の大きい程,波長は小さくて,スペクトルの赤の端で約0.8ミクロン,菫の端で約0.4ミクロンである(ミク

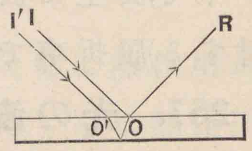
ロンは粍の千分の一)。

258. 光波は横波。 このやうに極めて短い波長を持つてをる光波は横波である。圖のABを光の進む方向とすれば,媒質は小さい矢で示すやうにABに垂直な平面内であらゆる方向に振動してゐるのである。

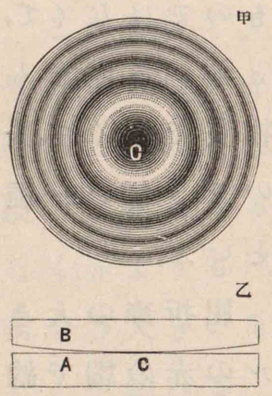


第251圖

259. 光の干渉。 光が波動であることを最もよく示す現象はシヤボン玉などで見える薄膜の色である。これは,薄膜の表面で反射する光の波と一旦薄膜中に進入して,薄膜の裏面から反射して出て來る光の波との關係で白光の中の或色の光は強まり,或色の光は弱まるから生ずるのである。随つて色の違ふのは,膜の厚さの違ふことを示すのである。このやうな現象を光の干渉と稱へる。「ニュートン輪」は空氣の薄い層



第252圖



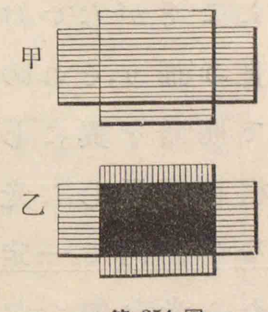
第253圖

で同様な現象を見るやうにしたものである。

[問] 一滴の油を水面上に落せば如何なる現象を起すかを觀察し,且その理由を説明せよ。

260. 光の偏り。 光が横波であることを最もよく示す現象は光の偏りである。

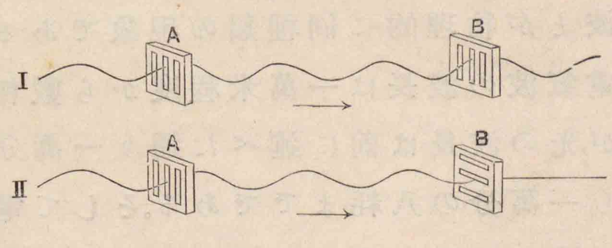
結晶軸に平行に切つた二枚の電氣石の板を重ねて,それを通して光を見るに,二枚の板の向け方によつて光を割合によく通すとき(甲圖)と,全く通さないとき(乙圖)とある。



第254圖

光の割合によく通るのは,(I)結晶軸が互に平行な場合,(II)通らないのはそれが互に垂直に向いてゐる場合である。

これは,電氣石の性質として,結晶軸に平行な方向の振動の光はよく通すけれども,結晶軸に垂直な方向の振動の光を吸收するためである。



第255圖

即ち,(I)の場合には板Aを通つた光の波がBをも通るが,(II)ではAを通過した光の波はBに吸收されるからである。

この場合に,A板を通過した光は(多少色づいてゐることの外)ただ見ては普通の光と異なつたことがないけれども,B板を以て檢査すれば上の通り,それの結晶軸の方向が上下と左右とで明暗を異にしてゐることが知れる。このA板を通過した光のやうに,光の進む方向に垂直な平面内で一定の方向にのみ媒質の振動してゐる光を偏つた光または偏光と稱へる。

もし光がそれの進む方向に於ける振動で出來る波(縱波)であつたならば,上のやうな現象は起る筈がない。

261. エーテル波。 光はエーテルの波だといつたが,電氣波が發見されてから,光と電氣波とが物理的に同種類の現象であると知れた。電氣波の波長は一萬米程度から數粍まであるが,光の波長は前に述べた通り一萬分の四粍から一萬分の八粍までである。そして電氣波と光の波との間に赤外線がある。また菫よりもなほ波長の短い方では,菫外線が0.06ミクロン邊まで實驗せられた外,X線及び放射性物質から出るガンマ線もやはりそれ(波長の短いエーテル波)であると知れて來た。即ちエーテル波を波長の長い方から順に並べると,次のやうになつて,これらは總て眞空中(空氣中も略同じ)を每秒三十萬粁の速さで傳るのである。

電氣波	赤外線	光	菫外線	X線	ガンマ線
10 粁 から 4 粍	3 粍 から 0.8 μ	0.8 μ から 0.4 μ	0.4 μ から 0.06 μ	1.2 $m\mu$ から 0.018 $m\mu$	0.043 $m\mu$ から 0.007 $m\mu$

($\mu=\frac{1}{1000}$ 粍, $m\mu=\frac{1}{1000000}$ 粍)

第十篇

電流に於ける勢力

第一章　オームの法則

262. 電氣抵抗。 同じ導線部の兩端に於ける電壓を種々に變へたときに,それを通る電流の强さを調べると,丁度それが電壓に比例することが見出される。即ち電壓をEボルト,電流をiアンペアとすれば,$E \div i$はその導線に定つた數である。このときに「この導線は$\frac{E}{i}$オーム(ohm)の抵抗を持つてゐる」といふのである。即ち抵抗をRオームとすれば,

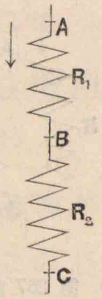
$$\frac{E}{i}=R \quad 即ち \quad i=\frac{E}{R}$$

の關係がある。

これは,抵抗の定義であると同時に,後にいふ「オームの法則」を導線の一部分に應用した關係である。

263. 行につないだ導線の抵抗。 上の法則から,抵抗の知れた二つの導線AB,BCを前後につないで一本にした(即ち所謂「行に」つないだ)ものACの抵抗を知ることができる。即ちABの抵抗がR_1で,BCの抵抗がR_2であれば,全體ACの抵抗Rは次の式で與へられる。

$$R=R_1+R_2$$



第256圖

何故かなれば,電流がAからCに向つて流れるとすれば,電位V_A(Aに於ける電位)が最も高く,V_C(Cに於ける電位)が最も低い。即ち$V_A>V_B>V_C$である。そしてA,B間の電壓をE_1,B,C間の電壓をE_2.A,C間の電壓をEとすれば,

$$E_1=V_A-V_B, \quad E_2=V_B-V_C, \quad E=V_A-V_C,$$

隨つて
$$E=E_1+E_2$$

の關係がある.また,このときここを流れる電流がiであれば,$\frac{E_1}{i}=R_1$, $\frac{E_2}{i}=R_2$, 隨つて $\frac{E_1+E_2}{i}=R_1+R_2$

故に
$$\frac{E}{i}=R_1+R_2$$

然るに$\frac{E}{i}$はAC全體の抵抗Rであるから,

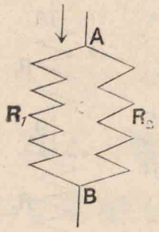
$$R=R_1+R_2$$

この關係から,次の定理が知れる。

同じ太さの同じ物質の導線の抵抗は長さに比例する。

264. 列につないだ導線の抵抗。 二つの導線を兩端をそろへてつないだ(即ち所謂「列に」

つないだ)ものの抵抗は次の式で得られる。二路になつた各部分の抵抗がR_1, R_2であれば,この部分が全電流を通す上で持つてゐる抵抗Rは,



第257圖

$$R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2},$$

即ち逆數について$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$の關係になる。

何故かなれば,抵抗R_1の部を流れる電流がi_1, R_2の部を流れる電流がi_2, A, B間の電壓がEなれば,

$$i_1=\frac{E}{R_1},\quad i_2=\frac{E}{R_2},\quad \text{故に}\quad i_1+i_2=E\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$$

然るにA, B部が全體の電流 i_1+i_2 を通す上の抵抗をRとすれば, $i_1+i_2=E\times\frac{1}{R}$

二つの式を比較して $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$

上の計算から知れる通り,同じ二つの點A, Bの間に三本以上の導線(抵抗R_1, R_2, R_3……)が列につないである場合には,次のやうになる。

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

隨つて例へば同じ導線をn本列につないだものの抵抗は一本の抵抗のn分の一になる。

同じ物質で斷面積2の導線は斷面積1の導線を二本列につないだのと同じ抵抗を有するといふ考へを押廣めて,次の定理が知れる。

同じ物質で同じ長さの導線の抵抗は斷面積に逆比例する。

265. 抵抗の大さ。 上の二つの定理から,どんな導線の抵抗でも,一定の太さ,一定の長さのその物質の抵抗が知れてをれば,それから計算ができる。

電氣抵抗 (斷面1平方粍,長さ1米)

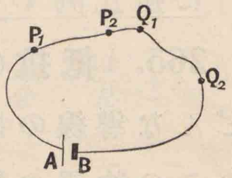
	オーム			オーム
銀	0.015	洋銀	約	0.30
銅	0.017	水銀		0.941
アルミニウム	0.028	炭素	約	60.
タングステン	0.060	硫酸銅飽和液 (斷面1平方糎 長さ1糎)	大略	22
鐵	0.10	硫酸亞鉛溶液 (25%, ,,)	大略	21
白金	0.11	稀硫酸 (比重1.05, ,,)	大略	3.3

266. オームの法則。 輪道全體については,その輪道に作用する動電力(電池または發電機の)をEボルト,輪道全體の抵抗をRオームとし,それに流れる電流をiアンペアとするときに,前と同じ關係が行はれる。即ち

[法則] 電流は動電力に比例し,抵抗に逆比例

する。

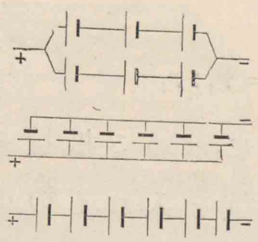
これを<u>オームの法則</u>といふ。この法則は導線の一部分にも應用される。ただその場合には動電力はその部分の兩端に於ける電位差卽ち電壓を意味するものであつて，これ卽ち262節で述べた關係である。



第258圖

例へば圖のやうに，電池によつて，一定の電流が流れてゐる輪道の種々の部分について見るに，もしP_1,P_2間の抵抗とQ_1,Q_2間の抵抗とが等しいならば，P_1,P_2の電位差と，Q_1,Q_2の電位差とが等しい。またP_1,P_2間の抵抗が全抵抗の四分の一ならばP_1,P_2間の電位差が電池の動電力の四分の一である。

267. 電池の內抵抗。 電池の液體も抵抗を有することは前の表にもある通りであるから，オームの法則を電池を含んだ輪道にあてはめる場合には，全體の抵抗に電池の抵抗(卽ち「內抵抗」)を含ませなければいけない。それで例へば全く同樣な電池(動電力E,內抵抗r)が6箇あるのをいろいろにつなぐ場合の動電力並に內抵抗は次のやうになる。

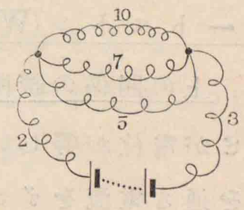


動電力	內抵抗
$6E$，	$6r$
E，	$\frac{1}{6}r$
$3E$，	$\frac{3}{2}r$．

〔問一〕 輪道の中抵抗200オームの部分の兩端に動電力100ボルトを加へれば電流は幾アンペアか。

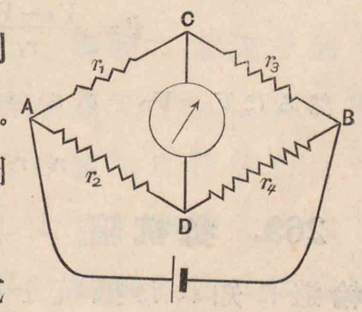
〔問二〕 抵抗がそれぞれ5, 3, 2オームなる針金を行または列に連續して動電力20ボルトを加へれば，電流の强さは幾らか。

〔問三〕 動電力各1.8ボルト，內抵抗各0.5オームの電池10箇を行につないで，それぞれ抵抗2, 3及び10, 7, 5オームの導線を圖のやうに接續すれば各導線を流れる電流の强さは幾らか。



第259圖

268. 導線の抵抗測定。(ホヰートストンの橋)。四つの抵抗r_1, r_2, r_3, r_4で圖のやうな連絡をつくる。電流計を含むCD線に電流が流れない場合には次



第260圖

に證明する通り,

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4$$

の關係がある。それ故に,求める抵抗をr_1に置き,他の三つに知れた抵抗を入れ,その中の一つを加減して,電流計を見てC,D間を切りまたはつないでもそれが動かないやうにすれば,

$$r_1 = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_4}$$

によつて,求める抵抗が知れる。この方法を「ホキートストン(Wheatstone)の橋」といふ。

上の關係の證明。C,D間に電流がないからCとDとが電位が等しい。r_1とr_3を通る電流をi, r_2とr_4とを通る電流をi'とし,電位をVで表せば,

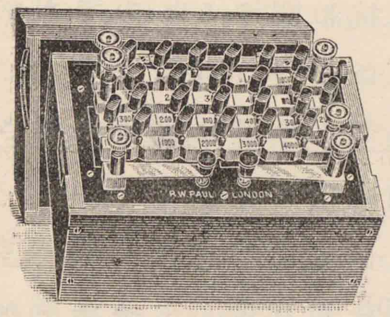
$$i = \frac{V_A - V_C}{r_1} = \frac{V_C - V_B}{r_3},$$

$$i' = \frac{V_A - V_D}{r_2} = \frac{V_D - V_B}{r_4};$$

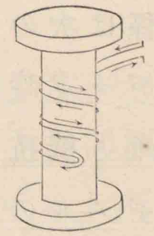
然るに$V_C = V_D$であるから,後の式を前の式で割り,

$$r_1 : r_2 = r_3 : r_4$$

269. 抵抗箱。 前節のやうな使ひ途,竝に輪道に知れた抵抗を挿むなどの目的に,加減のできる知れた抵抗を備へた裝置が抵抗箱である。



第261圖



第262圖

圖に示した抵抗箱は前節の使ひ途に便するために,大さの示してある抵抗を三つの部分に分けて備へ,その中一つは天秤の分銅のやうに隨意に加減できるやうになつてゐる。

〔問〕 抵抗箱の導線を第262圖のやうに中央で二つに折曲げてそろへて巻くのは何故か。

第二章 電流に運ばれる勢力

270. 電流の熱作用。 導線に電流を通ずれば熱を生じ,次第に電流を強くすれば,終に導線は赤熱する。しかもその發熱は物質によつて相違する。今試に同じ太さの銅線と鐵線とを行につないで,段々に強い電流を通せば鐵線がまづ赤熱になる。即ち電流の發熱作用は,電

流の強さ及び導線の抵抗に關するものである。この關係は次のやうにいひ表される。

電流が一定時間に生ずる熱量は,電流の強さの二乘と抵抗との相乘積に比例する。

これをヂュールの法則といふ。

今輪道の一部分の抵抗を R オーム,電流の強さを i アンペア,電壓を E ボルトとすれば,t 秒間に發生する熱量(H カロリー)は,

$$H=\frac{1}{4.2}i^2Rt=0.24\,i^2Rt$$

或は $$H=0.24\,iEt$$

で示される。この式にある 4.2 といふ數字は熱の仕事當量 4.2×10^7 を 10^7 で割つた數である。

271. 電流に運ばれる勢力。 電流に於ける電位は溝を流れる水の高さと同樣に考へるべきものであることは既に(157節)述べた。電流の強さは,その溝を1秒間に流れる水の分量と同樣な關係になる。溝の水(分量 Q)が高さ h だけ降るときにそれの位置勢力が Qh だけ減ずると全く同樣に,電流 i が t 秒間に通る電氣量 it (總電氣量 Q)が高い電位 V_A の處から低い

電位 V_B の處に降る間には $Q(V_A-V_B)$ に比例する分量だけ勢力が減ずる。

電位差卽ち電壓の單位ボルトは,1「クーロン(Coulomb)」(1アンペアの電流が1秒間流れたときの總電氣量)の電氣が,そこ(1ボルトの電位差)を降るときに,勢力が 10^7 エルグだけ減るやうに定められた單位である。それ故に,i アンペアの電流が流れてゐる導線で,電壓 E ボルトある部分には t 秒間に,

$$Eit\times10^7 \text{ エルグ}$$

だけ電氣的位置勢力が減ずる。

272. 熱になる場合。 この導線部分で機械的の仕事をなすこともなく,またその他の勢力を生ずることもなく,單に電流がその導線部分を流れるだけであれば,上のやうに失はれた勢力は全く熱 H になる。故に

$$\text{發熱量 } H=Eit\times10^7 \text{ エルグ}=Eit\times10^7\div(4.2\times10^7)$$
$$=\frac{1}{4.2}Eit \text{ カロリー} \quad (271\text{節參照})$$

273. キロワット。 毎秒 10^7 エルグの割合で勢力を供給する働き(または工率)をワットといひ,それの千倍をキロワットといふ。隨つて,i

アンペアの電流は電壓 E ボルトの導線部分で,

$$iE \text{ ワット} = \frac{1}{1000} iE \text{ キロワット}$$

の働きをなしてゐるのである. 1キロワットは1.34馬力に等しい.

1キロワットの働きで1時間に供給される勢力を「キロワット時」といふ. 隨つて

$$\text{キロワット時} = 1000 \times 10^7 \times 3600 \text{ エルグ}$$
$$= 367000 \text{ 瓩米}$$

電燈1燭光につき炭素線白熱電球は約3.1ワットを要し,タングステン白熱電球は約1.2ワットを要するが,窒素入白熱電球は更にそれの半分卽ち0.6ワットを要するに過ぎない.

〔問一〕 (1)50燭光のタングステン電球は幾ワットを要するか.(2)それの電壓が100ボルトならば,電流の强さは幾アンペアか.(3)それの抵抗は幾オームか.(4)それを毎日5時間點せば一ケ月に幾キロワット時いるか.

〔問二〕 100ボルトの動電力でタングステン電球50燭光を5箇と24燭光を10箇とを點ずるには,幾アンペアに堪へる導線を使用すべきか. 但し電球は全部列に入れるものとする.

〔問三〕 10米の落差で毎秒200リットルの割合で落ちる水の勢力は,16燭光の電燈幾箇を點火し得るか(但し電燈1燭光につき1.25ワットの電力を要するとする).

〔問四〕 1500ボルト,5アンペアの電流を100ボルトに變壓して,タングステン電燈幾燭光を點じ得るか. 但し變壓器に於ける勢力の損失を5%とする.

274. 電動機のある場合. E ボルトの電壓ある導線の中に電動機を動して機械的の仕事をさせる場合は,電動機は,發電機と同じ作用で逆方向に動電力 E' ボルトを生ずる. 隨つてオームの法則に使ふべき動電力は, $E-E'$ ボルトになり,電動機の抵抗が R オームなれば,電流は,

$$i = \frac{E-E'}{R} \text{ アンペア}$$

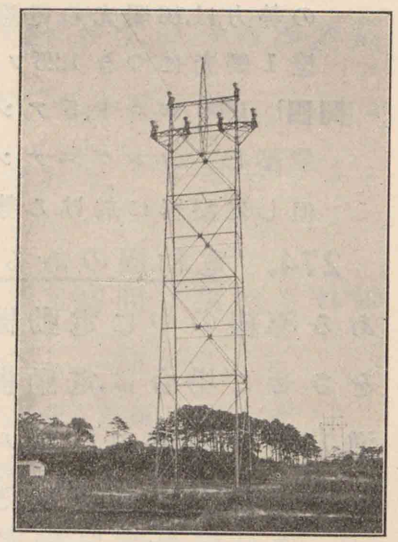
隨つて

$$E = E' + Ri$$

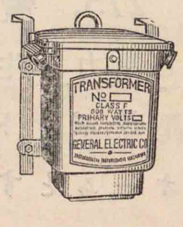
この部分に供給される勢力の割合は前の通り Ei であるが,これは $Ei = E'i + Ri^2$ ワットに等しく,この中 Ri^2 は導線を熱するに使はれ, $E'i$ が電動機を運轉するに使はれる.

275. 電力輸送. 山の中の水力を利用して電力を生じ,それを遠隔の地に輸送するに,電壓 E ボルト,電流 i アンペア,往復導線の抵抗 R オームとすると,送り出される電力は Ei ワット,往復導線で失はれる電力は Ri^2 ワットである.

一定導線を使つて一定電力を輸送しようとすれば,Eを大にし,iを小にするのが利益である。例へばEを十倍に,iを十分の一にすれば輸送電力は同じでも途中の(熱になる)損失は百分の一になる。要するに,電力輸送では電壓を大にする方が有利である。


第 263 圖

276. 變壓の必要。しかし,發電所に於ける發電機もそれの生ずる電壓に適當な度合があり,また使用者の方には適度の低壓で供給することが必要であるために「變壓」の必要が起る。直流の電力を變壓するには,電源から來る電流を一旦直流電動機に通じてこれを廻轉し,それで直流ダイナモを廻轉せしめることが必要で,これは可なり複雜である。然るに交流は,構造の極めて簡略な變壓器によつて容



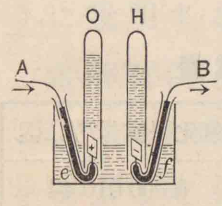
第 264 圖

易に變壓することができる。これが交流が電力輸送上最も便利な理由である。

遠隔の發電所から都市に供給される電流は電壓數萬ボルトが普通である。それを變壓して電燈用は100−110 ボルト(動力用は 200−220 ボルト)位にして供給する。

第三章 電流の化學作用

277. 電氣分解。 酸類,鹽類等の水溶液,所謂電解質の溶液に二箇の導體片を浸し,それらを電流の出入口(兩極)として電流を通ずれば,液體の内部では何の變化も見えないに拘らず,陰極(電池の陰極に連絡した導體片)に水素または金屬が遊離し,陽極に酸根が遊離する。尤も,この酸根は同時に再び水または陽極板に作用して,化學的變化をなす結果,電解質の減り高を補充することが多い。このやうな現象を電氣分解(または電解)といふ。



第 265 圖

電氣分解は水溶液のみでなく融解した化合物でも行はれる。

278. ファラデーの法則。 ファラデー(Faraday)は電解について次の定律を發見した。

(1) 電解によつて兩極に析出する物質の量は電流の强さと電流を通じた時間との積即ち電解に費した電氣量に比例する。

(2) 同じ電氣量によつて析出する種々の物質の量は,その物質の化學當量(原子量を原子價で除したもの)に比例する。

1アンペアの電流で1秒間に(卽ち1クーロンの電氣で)分解される質量(瓦數)を電氣化學當量といふ。

種々の元素の電氣化學當量

元素	原子量	原子價	化學當量	電氣化學當量瓦/クーロン
水素	1.008	1	1.008	0.000 010 44
酸素	16	2	8	0.000 082 92
銀	107.88	1	107.88	0.001 118
金	197.2	3	65.73	0.000 681 3
銅	63.57	2	31.78	0.000 329 5
ニッケル	58.68	2	29.34	0.000 289 3
ナトリウム	23.00	1	23.00	0.000 405 3
鉛	207.00	2	103.5	0.001 073

或物質の電氣化學當量を z とすれば,i アン

ペアで t 秒間に分解されるその物質の量(m)は,

$$m=zit \text{ 瓦}$$

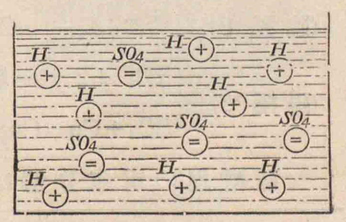
で與へられる。1アンペアの電流によつて1秒間に析出する銀の量は 0.001118 瓦であるから,化學當量 q なる物質の電氣化學當量は,

$$z=0.001118\times\frac{q}{107.88}$$

279. ファラデーの法則によれば,この q 瓦の分解物質は常に一定の(卽ち $107.88\div0.001118=96490$ クーロン)電氣量に伴はれて動く。

このことから,電氣分解の起る作用を次のやうに說明することができる。

電解質例へば H_2SO_4 が溶液の中で陽イオン $2H^{\cdot}$ ($^{\cdot}$ は1.008瓦につき陽電氣 96490 クーロンを荷ふことを示す)と陰イオン SO_4'' ($''$ は SO_4 を原子量から計算した數だけ瓦につき陰電氣 2×96490 クーロンを荷ふことを示す)とに分れて自由に動いてゐるうちに,兩極にある電氣に引かれて,陽イオンは陰極に,陰イオンは陽極に來り,そこで電氣を失つて,初めて普



第266圖

通の狀態になつて現れ,場合によつてはなほ化學作用を呈するのである。

白金を兩極として稀硫酸を分解する場合の作用は[1],

$$H_2SO_4 = 2H^{\cdot} + SO_4''$$

$$2H^{\cdot} + 2(-) = H_2$$

$$\begin{cases} SO_4'' + 2(+) = SO_4 \\ SO_4 + H_2O = H_2SO_4 + \frac{1}{2}O_2 \end{cases}$$

隨つて,陰極から水素,陽極から酸素を發生する。

食鹽溶液の電氣分解(兩極は白金)では,

$$NaCl = Na^{\cdot} + Cl'$$

(陰極で) $\begin{cases} Na^{\cdot} + (-) = Na \\ Na + H_2O = NaOH + \frac{1}{2}H_2 \end{cases}$

(陽極で) $Cl' + (+) = \frac{1}{2}Cl_2$

即ち陰極から水素,陽極から鹽素を發生する。

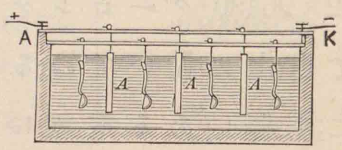
この作用は苛性曹達及び鹽素(漂白粉をつくるために必要な)の製造に應用される。

硫酸銅の電氣分解(兩極は銅)では,

$$CuSO_4 = Cu^{\cdot\cdot} + SO_4''$$

(陰極で) $Cu^{\cdot\cdot} + 2(-) = Cu$

(陽極で) $\begin{cases} SO_4'' + 2(+) = SO_4 \\ SO_4 + Cu = CuSO_4 \end{cases}$



第 267 圖

硫酸銅の電氣分解は,銅鍍金または電鑄術,竝に銅の

(1) 次の化學方程式中にある(+)(−)はそれぞれ陽陰電氣の單位量($H^{\cdot}$に荷はれると等しい量)を示す。

精製に應用される。

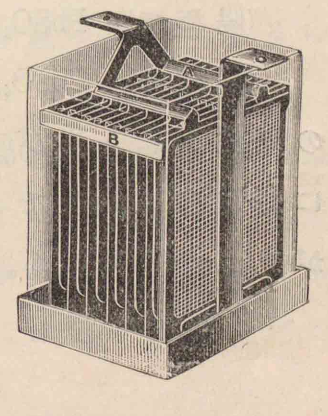
280. 蓄電池。

ボルタ電池を使用すれば,暫時で銅板の表面から水素を發生し,逆方向の動電力が起つて電流が弱くなる。また稀硫酸を電解して水素,酸素がまだ附着する二枚の白金板を導線で接續すれば,前と反對の方向の電流が流れる。このやうに,

電氣分解器の兩極が電流の通るために性質を變じ,新に動電力を生ずることを分極といふ。

蓄電池はこの分極作用を利用して,まづ電氣的勢力を化學的勢力として貯蓄し,その化學的勢力を再び電氣的勢力とする裝置である。

格子狀鉛板に酸化鉛を強く押込んだもの數枚を一枚置きに連ねて,それぞれ陰極及び陽極として稀硫酸に浸し,これを直流發電機または他の電源に接續して一定方向の電流を通ずれば,陰極に析出した水素は酸化鉛を還元して鉛とし,陽極に析出した酸素は酸化鉛を更に酸化して過酸化鉛とする。



第 268 圖

このやうな狀態にすることを「充電する」といふ。

充電した蓄電池は普通の電池と同樣に使はれる。それの動電力は2ボルトである。それを電池として使ふと，それで起る電流のために電氣分解が起り，次のやうな化學作用が起る（電氣を帶びてをることを略して示す）。

（陽極で）　$PbO_2+2H+H_2SO_4=PbSO_4+2H_2O$

（陰極で）　$Pb+SO_4=PbSO_4$

蓄電池が電流を起してこのやうになることを「放電する」といふ。

次に再び電源に接續して電流を通ずれば，

（陽極で）　$PbSO_4+SO_4+2H_2O=PbO_2+2H_2SO_4$

（陰極で）　$PbSO_4+2H=Pb+H_2SO_4$

の變化が起り，再び充電された狀態になる。故に蓄電池は幾度でも繰返し充電して使ふことができるのである。

結びのことば

物理學近年の進步

281. 物理學の題目及び方針。 最初に「物理學は物質の學問である」といつた。「物質」の語は狹い意味では電子やエーテルのやうな特殊のものを含まないやうに使ふけれども，電子もエーテルも普通の物質と同樣に，前者は大さや質量まで定められ，後者は假想的のものではあるが，普通の波の媒質と同樣な性質を持つてゐるとして取扱はれてゐるから，廣い意味ではこれらも物質の語に含ませて差支ない。物理學はこの廣い意味に於ける物質の學問であるのである。

物理學の方針は總ての現象を數量的に觀察し，その間に數量的の關係を見出すことであるから，物理學の取扱には數學的の部分が甚だ多い。隨つて物理學の研究には數學が離るべからざる關係を持つてゐる。

しかしまた物理學に於ける數學はただ取扱の方法だけであるので，物理學の知識の根本に

なるのはどこまでも實驗または自然の觀察でなければならない。

282. 物理學と工業。 實驗並に觀察を正確にするには,常に精密な器械を必要とするので,物理學の發達は器械製造上の工業界の能力に從ふことが甚だ多い。それと同時に工業上の能力の增進に物理學の研究が必要であることはいふまでもないので,物理學と工業とに密接な關係のあることは注意すべきである。

このやうに徹底的な物理學的の研究方法によつて工業上の發達を促すことは,今では世界全般の方針だといつてよいが,かういふ方針の始りは獨逸のガラス及び光學器械の製造などにあつたと思はれる。それによつて,顯微鏡,寫眞機,望遠鏡等に著しい進歩をして,物理學に限らずこれらを應用する方面も大いに進歩することができた。

283. 航空機の發達。 人間の歷史の最も古い時代からの問題で近年漸く解決されたのは人間が空中を飛ぶことである。これには飛行機の翼の形や性能などの理論的なことの發

達も勿論關係してゐるが,中でも大切な關係を持つものは輕い發動機の發達である。この問題も飛行機だけの問題としては到底現在のやうな發達は望まれなかつたのであるが,自動車といふ實用物の工業が發達してから,それが可能になつたのである。航空機は純物理學的の題目ではないけれども,兎に角,新しい方面の發達が工業と相俟つて進むといふことの著しい例である。

輕い發動機の重さは1馬力に對し1瓩前後のものである。

このやうに輕い發動機のなかつた間は,飛行機が出來なかつたといへるにも拘らず,飛行機の操縱に相當熟練を積んで見ると,發動機なしの飛行機でも相當長い間風を利用するだけで空中に飛んでゐることができるのである。これは一種の皮肉である中に,物事の發達に關する面白い眞理を含むものといへる。

284. 電氣工學的發展。 特に日本で近年著しく發達して來たのは水力電氣の利用であるが,これは電燈,電車その他の機械工業の動力

を供給する外,將來益々種々の化學工業にも應用されて,天然の勢力の利用を旺にすることであらう。これらは前から根本原理の既に知られてゐる方面に於ける應用の擴大に過ぎないのではあるけれども,物理學の應用中,社會のために關係の大きいものである。

285. 無線電信電話の發達。 純粹の通信用としてまた娯樂機關として無線電信電話の發達もまた近年に於ける目覺しいものの一つであるが,これは特に全然物理的な研究から始つて,比較的短年月の中に現在の放送無線電話のやうに民衆的な機關にまで發展して來たといふ點が面白いものである。

最近この方面の急激な發達を促した三極眞空球も,その理論は全く物理學の畑に育つたもので最も注意すべき裝置の一つである。

286. X線。 X線もまたそれの發見後比較的に短い間に學問上並に應用上著しい發達を遂げたものである。醫學上に應用がある外に,理論上ではそれが電氣波の短波長のものである點から要用であるばかりでなく,それの波長

が結晶體に於ける原子の距離と同程度の量であることが基となつて結晶體を組立ててゐる原子の配列を定める方便たるに至つた。また同樣な方法で種々な材料の檢査などもできるやうになつた。

287. 放射性物質。 放射性物質の發見は近年の物理學に極めて大きな動搖を與へた。それはただ前に知られたことと全然異なる不可思議な現象であるといふ點ばかりではない。元素と稱へてゐるものの不變性を否定するのみならず,物質の組立と電氣とに密接な關係のあることを示し,物質の電氣的組立の理論に向つて最初の確な步みを進めた點に於て要用なものである。

288. 物質の電氣的組立。 放射性物質の研究が基となつて,化學で學ぶ各元素の原子は陽電氣を帶びた粒が中心にあり,それの周りを陰電氣を帶びた電子が廻つてゐるものであるといふことになつた。それにはスペクトルの細かい實驗的研究と純理論方面の研究とが大きな關係を持つてゐるのであるが,立入つたこ

とは今說くことができない。水銀を金に變へるといふことも,ただ實驗上の偶然な發見といふやうなものでなく,全くこの種の研究の結果であることは注意すべきことである。

289. 電子。 上に述べた中で純學理的に最も面白味のある事柄を見ると,物質の電氣的組立といふ大きな問題から,X線,放射性物質並に無線電信電話に於ける三極眞空球のやうな,特殊な現象や物質や器械に至るまで,總て電子が大切な役目をしてゐることが認められる。卽ち近年の物理學的の進歩は電子の發見に始つてゐるといつてよいのである。

このやうな電子は,それの帶びる陰電氣量$=1.59\times10^{-19}$クーロン,質量$=9\times10^{-28}$瓦$\left(=\frac{1}{1840}\times\right.$水素原子の質量$\left.\right)$,直徑$=3.7\times10^{13}$糎と測定されてゐる。そして總ての電氣量は皆この電子の荷電量の整數倍であると考へられてゐる。

290. 相對律とエーテル。 近年世間一般に喧しい評判になつた相對律は空間及び時間の觀念に對して根本的な變化を與へたといふ點で重要なものであるけれども,實際に出會ふ

事柄には關係の少いものであるから,ここに論じない。

また相對律ではエーテルといふ特殊な物質類似のものが空間を滿してゐるといはないで,電氣波(廣い意味の)の空間に傳ることを,單に空間または電氣力の性質と考へるやうになつてゐるが,エーテルは單に電氣力が空間に傳ることを考へ易くするため想像した媒質であるに過ぎないから,さういふ點から見た空間の別名だといつても宜しいので,エーテルがあるとかないとかいふことは單に名前の問題に過ぎない。本書では便利な點からエーテルといふ名前を使ふことにしてある。

——(下卷終)——

附　録

問　題　集

この問題集は練習の目的につくつたものの外に高等學校,專門學校等の入學試驗に出たものをも集めたものである。その中には本書に說いてあることだけでは答へられないものもある。けれども,それらを捨てずにここに收めた。それは中學校の卒業者中相當多數のものがそのやうな高等の學校へ入學を志望する關係から,その參考の意味を兼ねてである。

この問題集にある問題には本書と異なる術語を使つてあるものがある。それもそのやうないひ方が世にあることを知る目的から,わざとそのままにしてある。

第七篇(力の釣合)に關するもの

1. 深い泥の中で,右足を拔かうとすれば,左足が益〻深く入るのは何故か。

2. 人が車を引けば,車はそれと等しい力で正反對の方向に人を引く。然るに人も車も前進するのは何故か。

3. 反作用で運動する實例を擧げよ。

4. 厚さ竝に物質が一樣な三角形の板の重心は,頂點と對邊の中點とを結ぶ線の切合ふ點の處で厚み半ばの處にあることを證せよ。

5. 一樣な物質で出來てゐる徑5寸の圓柱が30度の粗斜面上に靜止し得るためには,高さは幾らであることを要するか。

6. 長さ3間,幅1尺,厚さ1寸の板(比重0.75)が石垣上に橫り,一端が長さ1間だけ石垣の緣から突出してゐるとき,12貫目の人が板の上を外の方に步むに,何處まで行けば,板が覆るか。また5貫目の小兒ならばどうか。

7. 桿秤の錘を支へる絲を替へるとき,その重さがもとと違へば,如何なる誤を生ずるか。皿を替へればどうなるか。

8. 人が棒を肩にかけ,肩よりも後に重い物體を懸け,前の部分を手で支へる場合の力の働き方及び肩が感ずる重さはどうか。

9. 餘り粗くない水平な板の間で,同樣な靴を穿つてゐる二人が綱引をなすときの勝負はどうか。

10. 全く粗い面上に各邊1尺,高さ5尺の木の角柱(比重は0.7)が立つてゐる。一面に横さまに力を加へてこれを倒さうとするに,高さ4尺の處を押せば力幾らを要するか。また高さ1尺の處を押せばどうか。

11. A,B二人が長さ7尺の棒の兩端を持つてこれに懸る二箇の物體を支へてゐる。A端から2尺の處に3貫目,4尺の處に5貫目の物體があれば,二人の分擔量は各幾らか。また後者をそのままにし,前者を移して二人の分擔を等しくするには何處に移したらよいか。

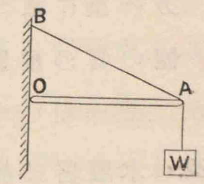
12. 一樣な長い眞直な木の棒が水に浮ぶときに必ず横になることを說明せよ。

13. 二本の絲で一つの重い物體を吊し,各の絲に同一の重さが懸るやうにしたとき,それらの絲の間の角度が大なるときと小なるときといづれが切れ易いか。その理由を說明せよ。

14. 長さ1米の絲の上端を固定し,下端に重い物體を吊し,これに水平の力を加へ,絲の方向を鉛直線と30度の傾きに保たしめるには幾らの水平力を要するか。

15. OAは長さ2米の剛體の桿で次の圖のやうな鉛直な壁面の一點Oを支點として鉛直平面内に自由に廻轉し得る。今A端に30瓩の物體Wを吊し,50瓩の重さ

までの張力に堪へ得る鋼線ABを以てOAを水平に保たうとする。鋼線の切斷しないOBの最小距離を求めよ。但しB點はO點を含む鉛直線上にあるものとし,桿及び鋼線の重量は省略し得るものとする。



16. 斜角30°なる滑な平面に沿うて重量1瓩の物體を50糎だけ引上げるのに,幾らの力及び仕事を要するか。

17. 滑な斜面上にある重い物體を水平な力で支へる場合に要する力の大さはどうか。

18. P瓩の力で長さqなる梃子を附した歩みbなる螺旋を廻轉すれば,螺旋の歩みの方向に幾瓩の力を及すか。

19. 200貫目の物體を斜角30度の坂の上に揚げようとするに輪軸を坂の上に裝置する。軸棒の直徑が5寸,横棒は中心から3尺ならば,幾らの力を要するか。但し物體の下にコロのやうなものを置いて滑な斜面に於けると同樣にしたものとする。

20. 太さが一樣で長さ1米の等質の棒がある。その一端に5瓩の物體を掛けたとき,その端から15糎の處を支へれば水平になる。棒の重さを問ふ。

21. 兩臂の長さが等しくない天秤で物體の重量を測定しようとして,物體を右方の皿に載せたときはW_1瓦,左

方の皿に載せたときは W_2 瓦で釣合つたとすれば,物體の眞の重量Wは次の式で知れることを證明せよ。

$$W=\sqrt{W_1W_2}\text{ 瓦}$$

22. 水壓器に於て小圓筒及び大圓筒中の活塞の直徑がそれぞれ2糎及び15糎で,小活塞を動す梃子は支點から重點まで5糎,支點から力點まで30糎である。今梃子に60瓩の力を加へるとき,大活塞に加る力はどうか。

23. 二箇の銅塊PとQとを梃子の兩端AとBとに絲で吊し,それを支點Oで支へて釣合せた。PとQとを同一の液體 P′ と Q′ とに沈め,梃子を再び釣合せようとする。支點の位置の變化の有無について說明せよ。但し梃子及び絲の重さはないものとする。

24. 荷を運ぶ人が體を荷と反對側に傾けるのは何故か。

25. 比重 0.5 なる木の圓板の中心を外れて厚さの等しい鉛の圓板を塡めたものの重心の所在はどうか。但し木板の直徑1尺,鉛板の直徑2寸,兩圓心の距離3寸,鉛の比重11.3とする。

26. 綿を載せた車とその綿と同量の石を載せた車といづれが顚覆の憂が多いか。

27. 動滑車を用ゐて物體を引上げるのに,綱を鉛直に引上げると,斜に引上げると,力に相違があるかどうか。また定滑車の場合にはどうか。

28. 器械は仕事を利するものでないことをセミによつて說明せよ。

29. 體重15貫の人と13貫の人とが各10貫の荷を負つて斜角30度の坂を2町上つた。兩人のなした仕事はそれぞれ幾らか。

30. 落差(水位の差) 100 米で毎分 100000 立の落水ある瀧を利用すれば,幾馬力の發電機を廻轉し得るか。但し水の85%を有效であるとする。

31. 18呎の高さにある水桶に 360 噸の水を汲上げた。その仕事は幾らか。この仕事を4時間でしようとすれば幾馬力を要するか。

32. 荷物を運搬するに車の便利な理由はどうか。

33. 汽車の機關車の重量を小にすれば如何なる結果を來すか。摩擦の理によつて說明せよ。

34. 斜角30度の斜面上に1瓩の物體がある。摩擦係數が 0.14 ならば,物體を斜面上に支へるには,面に沿うて幾らの力を加へたらよいか。また物體を引上げるのに要する力はどうか。但し摩擦係數はいづれの場合も等しいものとする。

第八篇(運動及び勢力)に關するもの

35. 机上に紙片を置き,その上に銅貨を載せ,急に紙を引けば,銅貨は舊處に殘留するが,緩に引けば銅貨が紙片

と共に動くのは何故か。

36. 釘を押込むことは困難な場合でも打込むことは容易な理由を說明せよ。

37. 汽車中に座つてゐれば窓外の雨の線が汽車の速さによつて異なる傾きをなして見える。何故か。

38. 水流を横切つて最近の對岸點に行かうとする。どう船を向けたらよいか。但し水流の速さは總て一樣で既知のものと見做す。また如何なる場合にも目的を達し得るか。

39. 池の岸にある高い崖から石を水平に投出すときに,石が水面に來るまでの時間はどうか。石に附與した速度はこれに影響があるかどうか。

40. 全幅一樣に流れる河を成るべく短時間に横切らうとする。どう船を向けたらよいか。但し船が出し得る速度は定つてゐるものとする。

41. 風のないとき,降雨中を毎分1町の割で走る人が傘を鉛直線から30度傾けて丁度宜しいときは,雨滴の降る速度(毎秒)は幾らか。

42. 瓦米,貫尺,呎封度等の單位が地方によつて小差があるといふのは何故か。

43. 一直線上に一樣な加速度で運動する物體の初速度は毎秒10米,5分後の速度は毎秒34米であるといふ。この運動の加速度は毎秒幾毎秒糎か。

44. 絲の兩端に重さの比3:5なる二つの物體をそれぞれ結び付けて,これを固定軸を有する滑車に掛けて放つたとすれば,各物體の加速度はどうか。但しgの値を毎秒980毎秒糎とし,絲と滑車の重さ,空氣の抵抗,及び摩擦は省略する。

45. 靜止してゐる150瓦の物體の上に10秒間一定の力が働き,その物體がこの間に20糎だけ動いたといふ。この力の大さを問ふ。

46. 質量100瓦の物體を毎秒毎秒5糎の加速度を以て地上から上方に引揚げるに要する力の大さを求めよ。但し重力の加速度は毎秒毎秒980糎とする。

47. 飛行機は今水平の方向に一定の速度V秒米で進行してゐる。或物體を機上から自由に落下せしめたとすれば,落下し始めてから,t秒後の物體の位置はどうか。但し重力による加速度は毎秒g毎秒米で,大氣の影響を省略するものとする。

48. 二物體を1秒時間隔てていづれも垂直に78.4秒米の速度を以て投上げたとき,(1)何秒の後に二物體が相會するか。(2)會合點の高さは幾らか。(3)會合のとき各物體の有する速度はどうか。

49. 重力の加速度を知る方法をあげよ。

50. 滑な斜面の頂上から物體を落し水平面に達したときの速さは,斜面に沿うて落ちるときと,鉛直に落ちる

ときと同じである。これを證明せよ。

51. 懷中時計の夏遲れ易く,冬進み易い理由を問ふ。

52. 一往復を1秒とする振子を有する柱時計があり,1日に2分づつ遲れる。その振子を單振子と同様に見做せば,これを直すにはどうしたらよいか。

53. 人が音源に向つて進んである間は,靜止して聞くよりも音が高く聞え,これから遠ざかりつつある間は低く聞えるといふ。これを說明せよ。

この現象をドプレルの原理といふ。

54. 月と地球中心との距離が常に一定で地球半徑の六十倍であるとすれば,月のある處に於ける重力の加速度はどうか。また月が地球を一周する時間は幾らか。

55. 地球は 365.24 日で太陽を一周する。二者の距離は 38000000 里である。また月は 27.32 日で地球を一周する。その距離は 95500 里である。然らば太陽の質量は地球の質量の幾倍か。

56. 毎秒 300 米の速さで反對の方向に飛來る等大の鉛丸二箇が衝突して相合して停止するときは,二者の溫度は何度昇るか。但し鉛の比熱を 0.03 とする。

57. 線膨脹係數 0.000012 なる鐵製の振子を有する時計がある。溫度攝氏10°のとき,正しい時間を示す。溫度35°に昇つたとき,この時計の示す時間は1日に幾秒遲れるか。

58. 地球の兩極を貫く穴を穿つたとし,その穴に石を投ずればどういふ運動をするか。

59. 長さ1米の絲の一端に5瓦の物體を附け,これを毎分 200 回の回轉數を以て振廻すとき,絲が丁度切れたといふ。この絲は幾らの重さまで堪へられるか。但し圓周率を$\frac{22}{7}$として計算せよ。

60. 地球自轉の速さを增せば地球上の物體の重さに如何なる影響があるか。

61. 石炭1瓦は 8000 カロリーの熱を生ずる。今その6%が機械的エネルギーになるとすれば,500 馬力の蒸氣機關車が1時間に消費する石炭の量は幾らか。

62. 高音部譜表の「イ」音(上巻78頁)が生ずる空氣中の音波の波長は幾らか。

63. 音(1)を出す絃がある。何處を止めたならば(5)を生ずるか。また(3)(2)を生ずるか。

64. 絃を或力で張つて得る音の第五度の音を張りを强くして出さうとする。何倍に張つたらよいか。

65. 二箇の同調音叉の一箇を取り,その一脚の端に小さい金屬片またはコルクなどの錘を嵌めて兩音叉を同時に鳴せば,唸りを生ずる。その理由はどうか。また錘を下げれば,次第に唸りの數を減ずる。その理由はどうか。

66. 長いガラス圓筒中に活塞を設け,氣柱の長さを加減

する裝置がある。この活塞の位置が圓筒の一端から12.0糎,37.2糎,62.3糎,87.6糎等なるとき,最もよく共鳴する音叉の發する音の波長を算出せよ。

67. 深いガラス圓筒に水を注ぐとき,次第に音の高くなる理由はどうか。

68. 5瓩の錘で張つた直徑0.5粍,長さ15糎の鋼鐵の絃と最もよく共鳴する音叉の振動數は幾らか。

第九篇(波動としての光)に關するもの

69. 分光器によることなく,手輕に焰色反應によりナトリウム及びカリウムを識別するには,どうすればよいか。

70. 油を水面に流すのに,油が多量なるときは色を現さないが,少量で且廣く擴つたときは,種々の色彩を現す理由はどうか。

71. 音波及び光波の振動數の多少,振幅の大小はそれぞれ如何なる結果として感知し得られるか。

72. 音と光とを比較してその異同の點を列記せよ。

第十篇(電流に於ける勢力)に關するもの

73. ブンゼン電池五箇を用ゐ,抵抗100オームの導線に電流を通じようとする。電池を行につなげば,電流幾らか。但し電池一箇の內抵抗を0.2オームとする。

74. 大型の電池と小型の電池とは如何なる點に於て同じく,如何なる點に於て相違があるか。

75. 16燭光の炭素線電球には100ボルトで0.5アンペアの電流が通ずるといふ。その炭素線條の抵抗は幾オームか。

76. 全抵抗5オームの導線中を3アンペアの電流が通つた。導線の兩端の電位差は幾ボルトか。

77. 電動力1.05ボルト,內抵抗1.0オームを有する電池五箇を外抵抗10オームの導線で列につなぐとき,この導線を流れる電流の强さ,及び導線の兩端の電位差を求めよ。

78. 一定の有様に裝置した電流計(アンペア計)はまた電壓計(ボルト計)の用をなす(卽ちその兩端に於ける電位差を測る用をなす)といふ。何故か。

電壓計として例へば運轉中の發電機または電氣發動機の兩端の電位差を知る目的に用ゐるには,電壓計の兩端をこれらの二極に連絡する。されば電流の一部は電壓計中に流れ來つて二極の電位差を示す。但し使用法がこのやうであるから,電壓計內の導線は常に抵抗を大につくられ,上のやうに連絡しても,極少量の電流だけ電壓計の方に流れ來て,主な導線中の電流に

大きい變化を生じないやうにする。

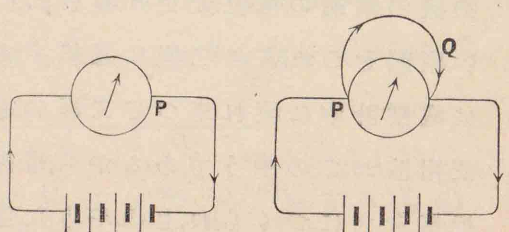
79. 炭素線の兩端電位差が 100 ボルトで,これを通ずる電流が 0.5 アンペアのとき,完全に發光する電燈がある。今電位差が常に 150 ボルトを保つ二點A,B間にこの電燈を入れて完全に發光せしめるには,なほ幾オームの抵抗を加へたらよいか。

80. 外抵抗に比して內抵抗の大きい數多の電池を用ゐて比較的大きい電流を得るには,どのやうに連結すればよいか。

81. 抵抗 6 オーム,12オーム,及び16オームの導線と一定電壓 120 ボルトの電源とがある。三つの導線をどのやうに組合せて電源につなげば,12オームの導線に最大及び最小の強さの電流が通ずるか。

82. 動電力 2 ボルト,內抵抗 0.5 オームの電池を5オームの導線でつなぐとき,內抵抗のために失ふ動電力は幾ボルトか。

83. 抵抗5オームの電流計を抵抗50オームの導線Pで電池に連絡して圖の甲のやうにしたのに,電流計の針は 0.3 アンペアを示した。今更に抵抗1オ



甲　乙

ームの導線Qを以て電流計の兩極を連絡して乙圖のやうにすれば,電流計の指針は幾アンペアを示すか。但し電池の內抵抗は省略するものとする。

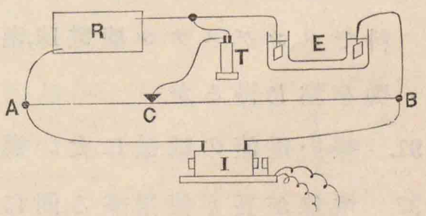
84. 水の電氣分解器に1時間電流を通じて,酸素,水素を合して 1000 立方糎(20度,760粍)を得た。この間の電流の平均の強さは幾らか。

電氣分解器は,本問のやうに使へば,電流計の代用をなす。但し或瞬時の電流の強さを示す用をなさない。

85. 3 寸四方の板の上に銅を著せるのに,10アンペアの電流を以てすれば,1時間に幾らの銅を沈澱するか,また銅板の厚さは幾らとなるか。

86. 電池の亞鉛板が有用にだけ溶解するとすれば,厚さ0.8糎,高さ12糎,幅27糎の亞鉛板が,半分の厚さになるまでに通過する電氣量は幾クーロンか。また電流が常に1アンペアの強さがあるとすれば,幾時間かかるか。

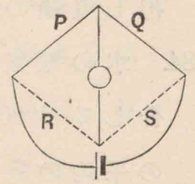
87. 電解質の電氣抵抗を測るには,圖のやうな裝置(コールラウシュ橋)を用ゐるのが便利である。



Iは小感應コイル,Rは抵抗器,Tは受話機,Eは電解質, ACB は太さ一樣な導線である。今Rが500オームで, ACは30糎, CBは70糎のとき,受話機の音が消えたといふ。電解質の抵抗は

幾オームか。

88. 電信線が切斷したので,ホイートストン橋によつて抵抗を測定した所が,抵抗はそれぞれPは100, Qは10, Sは528オームであつたといふ。架空線Rの抵抗は幾オームか。但し架空線は切れた處で地絡し,地球の抵抗はないものとする。架空線の抵抗を52米につき,1オームとすれば,切斷した點までの距離は幾米か。



89. 1キロワット時の電力の料金を13錢とすれば,1000瓩カロリーの電熱の料金は幾らか。また100ボルト,3.5アンペアで使用される電熱器の10時間の料金は幾らか。またその總發熱量は幾らか。

90. 16燭光の炭素線電球一箇を點ずるには,100ボルトで0.5アンペアを要する。そしてタングステン線電球は毎燭光1.25ワット,また窒素入電球では毎燭光0.6ワットを要する。炭素線電球16燭光のもの三十箇の電氣料でタングステン線電球,窒素入電球各(一箇として)何燭を點じ得るか。

91. 強い電流の輸送に太い導線を使ふ理由はどうか。

92. 電球が長く使用する間に次第に內面が黑くなる理由はどうか。

93. 同燭光の普通電球に比較して窒素入電球は著しく熱せられる。その理由はどうか。

94. 電壓100ボルトの發電機Dを抵抗各1.5オームの導線AB及びA'B'を以て電動機Mに連絡してこれを運轉してゐる。そして輪道の一部に入れたアンペア計の指針は3アンペアを示したといふ。このとき,次の各を求めよ。

(a) 電動機の兩端に於ける電壓。

(b) 發電機が輪道に供給する全工率。

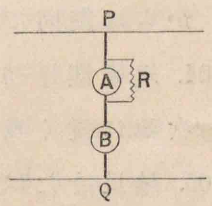
(c) 電動機が消費する工率。

(d) 導線AB, A'B'に於て熱となつて消費する工率。

95. 二本の鐵棒を繼ぎ合せて,これに強い電流を送れば熔著するのは何故か。

96. 同じ長さ,同じ太さの銅線及び鐵線を行につなぎ,電池の兩極に結んで一つの輪道(電路)をつくり,これに電流を送るときは,電流の強さ及び同一時間に發生する熱量は各線に於て異なるか。もし異なるものとすれば,その割合はどうか。但し鐵の抵抗は銅の抵抗の六倍とする。次に列につないだときはどうか。

97. 圖に於てA, Bは二つの相等しい電燈で,常に一定電壓(電位差)に保たれた導線間に接續せられてゐる。今Aを挾んでRなる抵抗線を連結すれば電燈A, Bの光度の變化はどうか。その理由を説明せよ。



98. 抵抗導線の兩端に 100 ボルトの電壓を加へて,導線に10アンペアの電流を通じ,これを5°C. の水3立中に投じて,水の温度を 100°C. まで上昇せしめるのに要する時間を求めよ。但し發生する熱量は全部水を温めるのに使用せられるものとする。

99. 硫酸銅溶液に白金の極を入れて,電流を通ずるとき起る變化を記せ。

100. 銀鹽の溶液から1時間に5瓦の銀を析出する電流の强さは幾アンペアか。

101. 15アンペアの電流を3時間硫酸銅溶液に通じて銅53.1 瓦を得た。然らば25アンペアの電流を53分間硝酸銀溶液に通ずれば幾らの銀を析出するか。但し銅及び銀の化學當量をそれぞれ 31.8 及び108とする。

102. 交流を以て蓄電池を充電する方法があるかどうか。もしあるとすれば,その方法を説明せよ。

103. 電氣盆を猫皮で打つて生ずる電氣勢力は如何なる勢力から變じたものかを説明し,一度發電した電氣盆からは幾回でも電氣を取り得る理由を述べよ。

104. 起電機は初めは輕く廻轉するが,發電するに隨つて次第に重く感ずるは何故か。

105. 輪道または磁石の運動によつて起る感應電流は機械的勢力が電氣的勢力に化したものであることを説明せよ。

106. 水力から電氣を起し,電燈を點火するに至るまでのエネルギーの變遷を説明せよ。

107. 電流の勢力が熱勢力,化學的勢力及び機械的勢力に變ずる實例及びその逆の實例一つづつを擧げよ。

三角函數に關する問題

108. 光の屈折に關する法則を三角函數で表せ。

109. 水の屈折率は1.33である。水面に45度の角をなして入射する光線の屈折方向はどうか。

110. 屈折率が n の物質から光が空氣中に出るときの臨界角が K ならば,二者の關係は $\sin K=\dfrac{1}{n}$ であることを證明せよ。

111. 水及び屈折率が 1.5 なるガラスから空氣に出る光の臨界角は各何度か。

112. 照度と物體表面の傾きとは如何なる關係があるかを三角函數で表せ。

113. 滑な斜面にある物體を支へるのに要する力に關する法則を三角函數を用ゐて言明せよ。

114. 傾斜10度の坂路を 100 貫目のものを滑な車に載せて挽き上げようとするのに幾らの力を要するか。

115. 一點に作用して釣合ふ三力 P_1, P_2, P_3 が,同點から出るこの平面内の一線と角 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ をつくるときは,

$$P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 + P_3 \cos \alpha_3 = 0$$

の關係があることを證せよ。(この關係はなほこれを任意數の力に擴張することができる。)

116. $\alpha_1=10^\circ$ の方向の $P_1=\sqrt{3}$, $\alpha_2=160^\circ$ の方向の $P_2=2$, $\alpha_3=-80^\circ$ の方向の $P_3=1$ の三力は釣合ふことを圖によつて證し,且實地計算によつて前問の法則が正しいことを證せよ。

117. 摩擦角が20度,30度なる面の摩擦係數は各幾らか。

118. 摩擦角が10度なる面が30度の傾斜をなすとき,その上にある物體を,面に沿うた方向に引いて支へようとする。幾らの力を要するか。

119. 眞直な針金を長さを1と2との比に分つ點で直角に曲げ,この曲りの點を及の上に支へるときは,兩脚は鉛直線と何度の傾きをなすか。

120. 水平面と α 角をなして,Vの速度を以て射出した砲丸は,發射點と同一の水平面上 $\dfrac{V^2 \sin 2\alpha}{g}$ の距離に達することを證せよ。

121. 電流の強さと正切電流計の磁針の傾きとの關係を三角函數で表せ

田丸 物理新教科書(下卷)

定價金六拾錢

田丸
新物理
(下)

著作權所有

大正元年十月八日印刷　大正元年十月十一日發行
大正元年十一月二十六日訂正再版印刷　大正元年十一月二十九日訂正再版發行
大正十五年二月十六日修正三版印刷　大正十五年二月十九日修正三版發行
大正十五年三月二十三日訂正四版印刷
大正十五年三月二十六日訂正四版發行

著作者　田丸卓郎

東京市小石川區小日向水道町八十四番地
發行兼印刷者　株式會社 東京開成館
代表者 松本繁吉

東京市小石川區小日向水道町八十四番地
發行所　株式會社 東京開成館
〔振替貯金口座〕東京五三二二番

東京市日本橋區呉服橋二丁目5
販賣所　林平次郎

大阪市東區北久寶寺町心齋橋筋角
販賣所　三木佐助

東京開成館