

K270.42

1

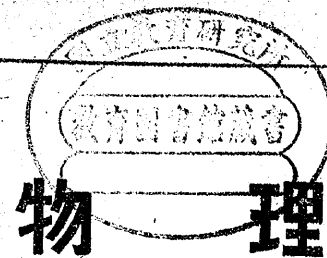
2b

物 理

(2)

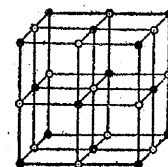
文 部 省

3年度用



物理

(2)



文 部 省

第二分冊目録

力と運動

1. 直線運動… … … … 103
 1. 速さ
 2. 速さの変化
 3. 速さの変化と力
 4. 落下運動
 5. 力と加速度
 6. 慣性の大きさ
 7. 物質の量
 8. 運動量と力積
2. 曲線運動… … … … 112
 1. 曲がった道に沿っての運動
 2. まう物運動 (拋物運動)
 3. 一樣な速さの円運動
 4. 円すい振り子 (円錐振り子)
 5. 慣性力
 6. 万有引力と重力
3. 回轉運動… … … … 124
 1. 物体に働く力の合力
 2. 重心
 3. 偶力
 4. 車輪の回轉
4. 運動と抵抗… … … … 131
 1. 物体が滑る時の摩擦
 2. 物体が轉がる時の摩擦
 3. 流体の摩擦
 4. 流体の圧力
 5. 流体中の物体の受ける抵抗

エネルギー

1. 機械と力… … … … 136
 1. てこ・滑車・斜面
 2. 仕事
 3. 仕事の單位
2. 仕事とエネルギー… … … … 142
 1. 重力による位置エネルギー
 2. 運動エネルギー
 3. 重力による位置エネルギーと運動エネルギーとの和
 4. 弾性による位置エネルギー
 5. 電気エネルギー
 6. 熱エネルギー
 7. エネルギーの移り変わり

振動と波動

1. 振 動	… … … … …	154
1. 單振子	2. ばね振子	3. 共振
2. 波 動	… … … … …	157
1. 水 波	2. つる巻ばねを傳わる波動	
3. 横 波	4. 縦 波	5. 波動の重なり
6. 反射波	7. 針金の振動	
3. 音	… … … … …	167
1. 音の進行と反射	2. 音の高さと強さ	3. 空氣柱の振動
4. 共 鳴	5. 音 色	
4. 電氣振動と電磁波	… … … … …	175
1. 蓄電びん(蓄電瓶)の放電	2. 電氣振動による電界と磁界の変化	
3. 電氣共鳴		
5. 光の本性	… … … … …	179
1. 光と波動	2. 光と横波	3. 光と電磁波

電子とふく射(輻射)

1. 真空放電	185
2. 陰極線	186
3. 電子	187
4. 三極真空管	189
5. エッキス線	192

力と運動

われわれの周囲には、さまざまな物がさまざまな運動をしている。運動の有様にも、直進しているもの、回転しているものなどがあり、又、速さの一定の物、速さが刻々変わる物などいろいろである。これから、これらの運動の有様を調べることにして、まず直線運動から始めよう。

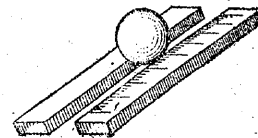
1. 直線運動

1. 速さ

競走などでは、速さはきまった距離を走るのにかった時間で表わすが、これにはいろいろ不便があるので、普通には、速さは単位時間に通る道程で表わす。長さや時間の単位の選び方で、毎秒何 cm とか、毎時何 km などと呼び、これを $cm/秒$, $km/時$ などの記号で表わす。

2. 速さの変化

実験 1 図のように、目盛のある真直な 2 本の棒の上に球をのせ、棒を少し傾けて球を轉がしめよ。時計の刻む音を聞きながら、1 秒おきに球のあった場所に鉛筆でしるし



1) メトロノームを使うとよい。

を付け、後にその目盛を読んでみよう。

このように、物の速さは一般にはその場所場所で、いいかえればその時々で違って来る。単位時間に速さの変わる割合を加速度という。1秒間に1cm/秒だけ速さが変わるような加速度を、毎秒1cm/秒の加速度といい、これを1cm/秒²という記号で表わす。複雑な運動では加速度もまたその時々で変わって来る。

速さはその大きさのほかに、進む向きをも考えなければならない。それでこれからは、例えば右向きの速さを正値したら、左向きの速さは負と考えることにする。

又、加速度は速さの増す割合とさめる。速さが増している時加速度は正で、速さの正の向きと同じ向きになり、速さが減っている時加速度は負で、速さの正の向きとは反対になる。

加速度の変わらない運動を等加速度運動という。

一般に等加速度運動で、最初の速さを v_0 cm/秒、加速度を α cm/秒²、 t 秒後の速さを v cm/秒とすると

$$\frac{v - v_0}{t} = \alpha$$

であるから

$$v = v_0 + \alpha t \quad \dots\dots\dots (1)$$

の関係が成り立つ。

又、 t 秒間に通過した距離 (S cm) は平均の速さ $\frac{v + v_0}{2}$ cm/秒

で、 t 秒間走った距離に等しいと考えられるから

$$\begin{aligned} S &= \frac{v + v_0}{2} t \\ &= \frac{(v_0 + \alpha t) + v_0}{2} t = v_0 t + \frac{\alpha}{2} t^2 \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

で與えることができる。

更に、(1)、(2) から t を消去すれば

$$v^2 - v_0^2 = 2\alpha S \quad \dots\dots\dots (3)$$

の関係式が得られる。

問1 初め5cm/秒の速さで右向きに進んでいた物体が、等加速度運動をして、10秒後には左向きに3cm/秒の速さになった。加速度は何程か。又、その向きはどうか。

問2 上の問で速さが零になったのは何秒後か。又、それまでに此の物体は何cm動いたか。

問3 上の問で、最後の位置は、最初の位置より何cm離れた所にあるか。又、その位置は、最初の位置より右にあるか左にあるか。

3. 速さの変化と力

われわれはすでに力の釣合について学んだ。又、二つの物体が力を及ぼし合う時には、作用、反作用の法則が行われることも知っている。これから物体に働く力と、その速さの変化との関係について調べて行こう。

氷の面上で、氷の一片を滑らせてみると、真直に遠くまで滑って行く。しかし、水平な机の面上で本を滑らせてみても、ちぎにとまってしまう。これは、机の面が本にその運動をとめるように摩擦力を働かせているからである。

一般に、物体の速さが変わるのは、外からその物体に力が働いている時だけである。

外から少しも力が働かない時には、初め静止していた物体はいつまでも静止し、動いていた物体は一直線上で同じ速さで動き続ける。物体のこのような性質を慣性といい、又、上の関係を慣性の法則という。

又、いろいろな実験で調べてみると、外から一定の力が働いている時には、その物体は等加速度運動をするものであることもわかる。

4. 落下運動

地上にある物体には、いつも下向きの力が働く。この力が重力¹⁾で、このために物体を放せば落下運動をする。

金属の塊りなどを使って実験し、この落下運動を調べた結果、これが等加速度運動であることがわかった。

しかし、綿のように軽い物や、金属でも粉のように小さい物や、板のように面積の大きい物では大変ようすが違って来る。これは空気²⁾の抵抗のためで、こ

1) 真空中で測った時の重さに等しい。

2) このことは後で学ぶ。

のような物でも真空中の中で実験してみると、やはりみな等加速度運動をする。金属の塊りなどでは、普通空気¹⁾の及ぼす抵抗力が重力に比べて非常に小さいので、重力だけが働いているのと、ほとんど違いがないというだけのことである。

なお、落下運動の加速度は、空気の抵抗さえなければ、物体によって違うことはない。つまり重力による加速度は、どんな物体についてもみな同じである。

しかし、場所によって多少の違いがあって、地球上で赤道から極に近づくにしたがって幾分大きくなり、又、高い所へ行くほど小さくなるが、だいたいその値は 980 cm/秒^2 である。一般には、重力の加速度を $g \text{ cm/秒}^2$ で表わす。

問 重力の加速度が 980 cm/秒^2 の場所で物体を放し、1秒後、2秒後、3秒後などに物体が落下した距離と、その時の速さを計算せよ。空気の抵抗を無視して考えてみよ。

5. 力と加速度

一つの物体にきまった大きさの力が働けば、きまった加速度の運動をすることは知ったが、この時、力と加速度との間にはどんな関係があるだろうか。

これをいろいろな実験の結果からまとめて考えてみると、力と加速度とがちょうど比例していることがわかる。

1) 一般に抵抗力は速さと共に増す。したがって、速さが大きい時には金属の塊りのような物でも、等加速度運動はしない。

物体に働く力の大きさが次第に変わるような時には、加速度もまた次第に変わる。しかし、物体の加速度の大きさは、いつ見てもその時働いている力の合力に比例し、その向きは合力の向きと同じになっている。

6. 慣性の大きさ

大きな石は、これに大きな力を働かせなければ、大きな加速度を與えることはできないが、小石ならば、小さな力を働かせても、大きな加速度が得られる。

物体に慣性のあることはすでに知ったが、こうしてみると、物体の慣性には大小があることがわかる。

物体の慣性の大きさをきめるには、まず標準の分銅をきめ、これと比較すればよい。その物体と標準の分銅と同じ大きさの力を働かせた時、物体の加速度が分銅の加速度の、例えば5倍であったとすれば、物体の慣性は分銅の慣性の $\frac{1}{5}$ ときめるのである。

7. 物質の量

物質は他からこれに物質が附け加わったり、一部分これから逃げて行ったりすることのない限り、状態の変化や実質の変化が起っても、又、場所が変わっても、全体の分量は変わるはずがない。このような物質の分量はどうしてきめることができるであろうか。

フラスコの中に閉じ込めた物質を考えてみると、中でどんな変化をしても、

その重さは変わらないが、ただ違った場所で測ると、その重さが違って来る。したがって、重さで物質の分量をきめるわけには行かない。

しかし、標準の分銅と比較した重さの割合は、場所によって違うことはない。即ち、場所が違えば、物体の重さも標準分銅の重さも、共に同じ割合で変わって来るから、分銅の重さの例えば3倍の物は、どこで比較してもいつでも3倍である。そこで分銅と比較した重さの割合で物質の分量をきめることができる。

物質の分量をきめるのに適したもう一つの方法は、物体の慣性の大きさを利用する方法である。即ち、物体の慣性の大きさが標準分銅のその例えば3倍であったとすれば、その物体の物質の分量は標準分銅のその3倍とすればよい。ところがどんな物体でも、同じ場所では同じ加速度で落下する。このことは重さが標準分銅の例えば5倍の物は、慣性の大きさもまた5倍になっていることを示している。

そこで物質の分量をきめるのに適したこれらの二つの方法は、どちらを用いても同じ結果を與えることになる。これらのいずれかの方法できめた物質の分量を質量という。

質量の単位にはグラム(g)を用いる。質量が、例えば $5g$ の物体というのは、慣性も重さの割合も $1g$ の分銅の5倍だということである。

問1 さおばかりは物体の質量を、ばねばかりは物体の重さを測る器械である。何故か。

問2 ばねばかりと分銅とで、物体の質量を測るにはどうすればよいか。

1) 重きとは、厳密には真空中で測った重さのことである。真空中ではその浮力が働くから、物体の重きは真の重きより多少軽くなる。

質量を上のようにきめると、これをもとにして力の大きさをきめることもできる。質量 $1g$ の物体に働いて 1 cm/秒^2 の加速度を生ぜしめる力を、1 ダインの力という。

問 3 $1g$ の物体に働く重力は何ダインか。

問 4 $5g$ の物体に 10 ダインの力が働くと、物体の得る加速度は幾らか。

質量 mg の物体に f ダインの力が働いた時、物体がその向きに $\alpha\text{ cm/秒}^2$ の加速度で動くとするば

$$f=ma$$

の関係がある。これを運動の法則という。

8. 運動量と力積

実験 1 石を右手に持ってこれを放し、左手を動かさないようにして、その掌で受けとめ、手ごたえを感じてみよ。石の質量や右手の高さをいろいろに変えて試みよ。手ごたえはどのように変わるか。

この実験でもわかるように、物体はその質量が大きいほど、又、その速さが大きいほどとめにくい。物体の質量と速さとの相乗積は、運動の激しさを表わす一種の量と考えられる。これをこの物体の運動量という。

実験 2 実験 1 で、きまつた高さから石を放し、石を受けとめる瞬間に急に左手を下げてみよ。手ごたえは変わるか。

このように、物体の運動状態を急に変えるには大きな力があるが、ゆっくり変えるには小さな力でよい。力とそれが働いた時間との相乗積を力積という。

一つの物体(質量 mg) が $v_0\text{ cm/秒}$ の速さで動いている時、その方向に f ダインの力が t 秒間働いたために速さが $v\text{ cm/秒}$ になったとすれば、この運動の加速度を $\alpha\text{ cm/秒}^2$ として

$$ma=f \dots\dots\dots (1)$$

が得られる。又、この運動は等加速度運動であるから、すでに知ったように

$$\frac{v-v_0}{t}=\alpha \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2) から

$$mv-mv_0=ft$$

という結果が得られる。即ち運動量の変化は、力とそれの働く時間との積(力積)に等しい。

又、質量が m_1 及び m_2 の二つの物体が、互に引き合い(あるいは押し合い)ながら運動して、その結果、速さがそれぞれ

1) 運動量や力積には速さと同様に向きを考え、右向きを例えば正としたら、左向きを負として計算しなければならない。

v_1 cm/秒 及び v_2 cm/秒から、 v_1' cm/秒、 v_2' cm/秒になったとする。引き合う力を f ダイン、力の働いた時間を t 秒とすれば

第一の物体について

$$m_1 v_1' - m_1 v_1 = ft$$

第二の物体について

$$m_2 v_2' - m_2 v_2 = (-f)t$$

これらの二式から

$$m_1 v_1' + m_2 v_2' = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

が得られる。これから、それぞれの物体の運動量は変化しても、全体の運動量の和は変わらないことがわかる(運動量保存の法則)。

(問 1) コップを石の上に落せば割れるが、壁の上では割れない。何故か。

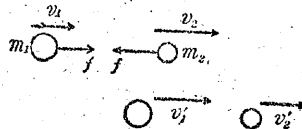
(問 2) 花火を打ち上げる時、筒は激しく後退しようとするが、これは何故か。

2. 曲線運動

2. 曲がった道に沿っての運動

(問 1) 石を投げて、その運動を観察し、石の通った道すじのだいたいを図に書け。

1) 前のページの脚註参照



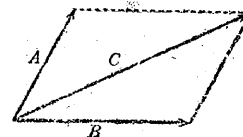
このような石の運動では、その速さも変わるが運動の方向も変わって来る。一般に速さと共に方向も併せ考えた量を速度という。速度は力と同じように、矢で表わすことができる。

(問 2) 問 1 と同様に石を投げ、その道すじのいろいろな点での速度を観察して、それを矢でだいたい表わしてみよ。

(問 3) 速度の一定な運動と、速さの一定な運動とは、どう違うか。

雨が鉛直に降っている時、走っている汽車の窓からこれを見たら、どのように見えるか。又、窓ガラスに当たった雨の跡は、どのように附くか観察してみよ。物体の速度は、それを見る人によって、違うことがわかるであろう。

(問 4) 速さ 5 m/秒 で東方へ進んでいる船の上で、人が船に対して 2 m/秒 の速さで、東 45° 北へ動く時、その人の水面に対する速度を作図によって求めてみよ。



一般に、平行四辺形の対角線を求める方法で求めた速度のことを、

1) 等速度運動とは、速度の一定の運動であるということができる。

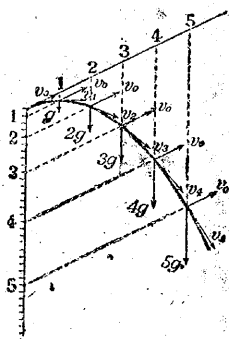
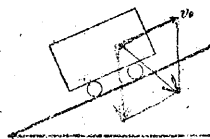
各、の速度の和といい、合速度ともいう。又、物体の速度が初め矢 A であったのが、終りに矢 C になったとすれば、この間に物体の速度が、矢 B だけ増したという。

2. ほう物運動

実験 走っている汽車の中で物体を落してみよ。地上で落した時と違いがあるか。

一般に、等速度運動をしている物の中で落下運動を調べると、その有様は地上で物を落した時と少しも違わない。

問1 汽車が坂道を等速度で走っている時、この中で落した物体を地上で見えていたら、どんなに見えるであろうか。図を見ながら考えてみよ。



問2 上のことから、ある方向に投げた物体の初速度を v_0 cm/秒 とし、投げてから t 秒後の

1) 詳しくいえば、等速度運動をしている汽車

速さ $\left\{ \begin{array}{l} \text{投げた方向} \\ \text{鉛直下向き} \end{array} \right.$ 及び 動いた距離 $\left\{ \begin{array}{l} \text{投げた方向} \\ \text{鉛直下向き} \end{array} \right.$

をそれぞれ式で表わせ。

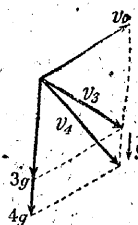
問3 初速度 v_0 で鉛直に投げ上げ、又は、投げ下した時の式はどうなるか。

物体を投げた時の運動をほう物運動(拋物運動)といい、その道すじをほう物線という。この時の速度は、その方向も大きさも共にだんだん変わって行く。一般に曲線運動では、速さと方向とを併せ考えた速度の変化を考えなくてはならない。単位時間内における速度の変化を加速度という。加速度には、速度と同様に、大きさと方向とがあり、矢で示すことができる。

前のページの図で例えば3秒後と4秒後の速度を比較してみると、この間の1秒間に増した速度は、右の図でわかるように g cm/秒で、その方向は真下に向かっている。したがって、この間の加速度は矢 g で表わすことができる。何秒後を取って考えても、全く同様であることから、ほう物運動は等加速度運動で、その加速度は鉛直下向きに g の大きさであることがわかる。

ほう物運動で、物体の質量を m g とすれば

$$\text{質量} \times \text{加速度} = m g \quad g \cdot \text{cm/秒}^2$$



となり、この値は鉛直下向きの方を持つ。又、一方で、この物体に働く力は重力で、その大きさは mg ダイン、方向は鉛直下向きであるから、この場合にも、質量 $\times$ 加速度は、その太きさにおいても、方向においても、力と等しいことがわかる。

ほう物運動では、働く力は重力だけで、その大きさも方向もきまっている。そのために、物体は等加速度運動をする。しかしもっと一般に、力がその時々で方向も大きさも変わるような時には、加速度もまたその時々で、方向も大きさも変わって行くが、いつ見ても加速度は力の方向に向いていて、その大きさは力の大きさを質量で割った値に等しい。このように運動の法則は曲線運動の場合にも適用される。

3. 一様な速さの円運動¹⁾

実験 鍾に附けた糸の端を持って、鍾を一様な速さで円運動させ、手ごたえを感じてみよう。速さが大きい時と、小さい時とでどう違うか。

この時、手はいつでも糸に引かれることを感ずるであろう。これは鍾に円運動をさせるために、手が鍾を引いているので、その力の反作用で手が引かれているからである。

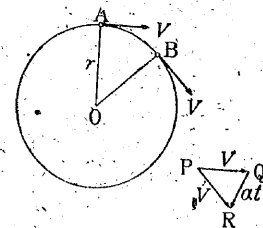
この力は、鍾の質量や速さとどんな関係になっているであろうか。重力は働

1) 等速円運動ともいう。

かないものとして、一様な速さを持った円運動について考えてみよう。

この場合、物体に働く力は糸の張力だけで、それは常に中心に向かっていて、加速度もまた常に中心に向かっていてるはずである。このように、加

速度の方向はたえず変わりつつあるから、その大きさを調べるには、円の極めて小さな部分に



ついて考えなければならない。極めて小時間 t の間に A から B まで動いたとし、A, B における

速度の矢に等しく、且つ平行に PQ, PR を書くとすれば、この間の速度の増しは QR で、加速度の大きさを α とすれば

$$\alpha t = QR$$

である。

$\triangle OAB$ と $\triangle PQR$ とは相似形であるから、速度の大きさを V 、円の半径を r とすれば

$$\alpha t : V = AB : r$$

ところが短い時間 t を考えているから

$$AB = \widehat{AB} = Vt$$

故に

$$\alpha t = \frac{V \cdot AB}{r} = \frac{V^2 t}{r}$$

故に

$$\alpha = \frac{V^2}{r} \dots \dots \dots (1)$$

の関係が得られる。

等速円運動の加速度は $\frac{V^2}{r}$ で、常に中心に向かってることがわかる。

半径 OA が単位時間に変わる角度を角速度といい、角度には普通弧度を用いる。

角速度を ω とすれば

$$V=r\omega \dots\dots\dots (2)$$

(2)を(1)に代入して

$$a=r\omega^2$$

の関係がある。

次に、糸の張力を T とすれば、物体(質量 m)に T が働いて加速度 a を生ずるのであるから、運動の法則から

$$T=ma=\frac{mV^2}{r}=mr\omega^2$$

となる。

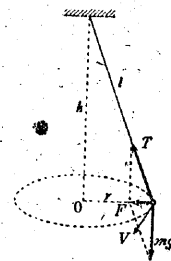
問 長さ 20 cm の糸の一端を持ち、他端に質量 100 g の石を縛り、これを毎秒3回転の割合で振りまわし、円運動をさせた時、手は何程の力で引かれるか。

このように等速円運動をさせるには、常に中心に向かう一定の大きさの力が働いていなければならない。この力を向心力という。

4. 円錐振り子

糸に錘を付けて地上で円運動をさせる時には、錘に働く力は糸の張力のほかに重力がある。こんどは、この重力をも考えに入れて、運動を考えてみよう。

実験 錘を付けた長い糸の一端を固定して、錘に水平面内で小さな円運動をさせ、一周する時間(週期)が糸の長さとなん関係になっているかを、糸の長さをいろいろ変えて調べてみよう。



このように運動する振子を、円錐振り子(円錐振子)¹⁾という。錘の質量を m とすれば、これに働く力は重力 mg と糸の張力 T だけである。その合力 F が向心力となって、円の中心 O の方に向いて、円運動をしているのである。

向心力を F とすれば

$$F:mg=r:h$$

であるから

$$F=mg\frac{r}{h} \dots\dots\dots (1)$$

の関係が得られる。

円運動の加速度は $\frac{V^2}{r}$ であるから、運動の法則によって

1) 円運動の半径が小さくなくても、円錐振り子という。

$$m \frac{V^2}{r} = F = mg \frac{r}{h}$$

故に

$$V = r \sqrt{\frac{g}{h}}$$

の関係が導かれる。

問1 円すい振子の周期を T 秒とすれば

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

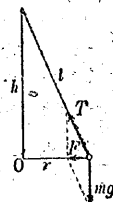
の関係があることを導いてみよ。

円の半径が糸の長さに比べて非常に短い時には、 h は l に非常に近いから

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

とすることができる。実験の結果と、この式で計算した値とを比較してみよ。

問2 円すい振子の運動を、円の平面内で遠い所からながめてみよ。速さの変わり方はどうか。



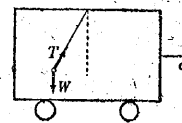
5. 慣性力

電車が発進する時、車内のつり革が傾くことから見てわかるが、加速度運動をしている時には、この中でつるした振子は後に傾くし、車内に立っている人は後に倒れそうになる。これはどうしてであろうか。電車が一定の加速度 α で水平

に進行しているものとして考えてみよう。

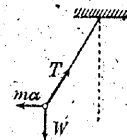
もし、われわれが地上に立っていて、車内のようにすを見たとしたら、これについて次のように考えるであろう。

鍾は電車と共に加速度 α で動いている。鍾の質量を m とすれば、これに働く力は糸の張力 T と重力 $W (mg)$ だけで、これらの合力は α と同じ方向を向き、その大きさは $m\alpha$ に等しい。このように考えれば、運動の法則が成り立つことになる。



又、車内の人が倒れそうになるのは、電車の床が先に進もうとして足を前へ引くのに、身体は慣性のために後に取り残されるようになるからである。

こんどは、われわれが車内にいて観察したとしたらどうか。電車はとまっぴいて、振子も中で傾いたままとまっている。したがって、鍾は T と W のほかに、これらの合力と大きさが等しく向きが反対の力、即ち、 $m\alpha$ で後向きに引かれていて、これらの三つの力が釣り合っているものと考えなければならない。又、車中に立っているわれわれ自身は、後に倒れそうになり、身体が後に引かれるような感じを起す。



このように、加速度運動をしている所に立って観察する時に現われる力を慣性力という。

7 (問) 半径が 300 m の円弧を画いて曲がっている軌道の上を、一定の速さ 8 m/秒 で汽車が走っている。車内につるされた振子は、どのように傾いて静止するであろうか。又、錘の質量を 10 g として、これに働く慣性力を求めよ。

このように、角速度の一定な円運動や回転運動をしている所で、静止している物体に働く慣性力を、特に遠心力という。

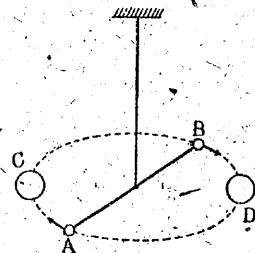
6. 万有引力と重力

地球は太陽の周りに等速円運動をしているとみることができる。したがって、地球には向心力が働いているはずで、地球と太陽とは引き合っていると考えられる。

又、地球上では物体に重力が働く。これも物体と地球とが引き合っているために違いない。

このように、物体を引きつける性質を持っているのは、太陽とか地球のような天体だけに限るのであろうか。普通の物体は互に引き合っているようにもみえないが、全く引き合わないのであらうか。

図のように小さな鉛の球 A, B を、細い棒の両端に附け、棒の中心を細い糸でつるしてつり合いを保たせる。



別に大きな鉛の球 C, D を用意して、これらを A, B に近づけると、A と C, B と D との間に引力が働いて、糸が少しねじれるのがわかる。この時のねじれの角度から、万有引力の大きさを知ることができる。

実際に調べてみると、質量がそれぞれ $m\text{ g}$ 及び $m'\text{ g}$ の二つの物体が $r\text{ cm}$ だけ離れている時、引き合う力を f ダインとすれば

$$f = 6.68 \times 10^{-8} \times \frac{mm'}{r^2}$$

の関係がある。

天体の間で働く力も、やはりこの法則にしたがっていて、同じ性質のものと考えられる。あらゆる物体の間で作用するこのような引力を、万有引力という。

問 1 われわれが重力と呼んでいるものは、地球と物体との間の万有引力であらうか。

問 2 緯度 30° の地点で、質量 1 g の物体に働く地球自轉のための遠心力は何ダインか。

問 3 物体は東に向かって疾走する時は多少軽くなり、西に向かって疾走する時は多少重くなるといわれている。何故か。

問 4 月は地球を中心として、だいたい等速円運動をしていると見なすことができる。地球と月の中心間の距離を、

1) 北極から赤道まで、地球の表面に沿って測った距離は凡そ 10^7 m である。

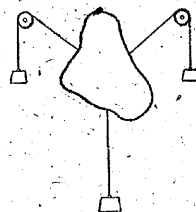
地球の半径の60倍として、月が地球の周りを一回轉する時間を計算せよ。陰暦の1箇月とは、月が満ち欠けする周期で、約29.5日に当たるが、この値と一致しているか。

3. 回轉運動

1. 物体に働く力の合力

形の小さい物体に、二つあるいは三つの力が働いた時のつり合いや、二つの力の合力のことはすでに知ったが、こんどは、物体の形が大きい時のことを考えてみよう。

実験1 前に実験したのと同じような方法で、固い紙を糸で三方から引いて、つり合いを調べてみよう。又、二方から引いてつり合いを調べよ。



問1 形の小さい物体の時と比べてどこが違うか。又、二つの力の合力を求めるにはどうすればよいか。

問2 図のように、二人で重さ W のバケツを提げた時、それぞれ何程の力を出していることになるか。



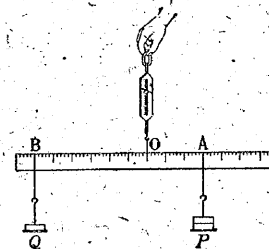
1) 紙のように軽いものを使うのは、その物体に働く重力を考えなくてもすむからである。

問3 二つの力を F_1, F_2 とし、合力の作用線上の一点から、 F_1, F_2 に下した垂線の長さをそれぞれ p_1, p_2 とした時、次のような関係があることを証明せよ。

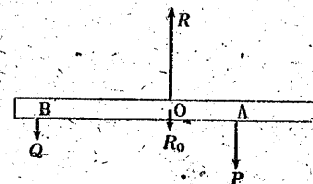
$$F_1 p_1 = F_2 p_2$$

二つの力が平行になっている時には、上のようにして合力を求めるわけには行かないが、この時には、合力はどうなるのであろうか。

実験2 太さが一様な棒の中心 O を、ばねばかりで水平に支えてつるし、はかりの示度 R_0 を読め。次に錘 P, Q を適当な位置に掛けて棒を水平につり合わせ、その時の OA, OB の長さ、及びはかりの示度 R を読め。錘 P, Q をいろいろに変え、又、 OA, OB をいろいろに変えて実験してみよう。



初め錘をのせない時、棒が水平にとまっていたのは、はかりの弾力と棒に働く重力とがつり合っていたからである。つぎ



り R_0 は棒の重さを示す。錘をのせた時、O 点に働く力は、上向きに $R-R_0$ だけふえたから、P と Q との合力は、 $R-R_0$ で下向きになっていなければならない。

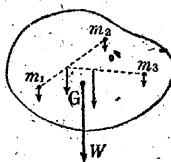
この実験で $R-R_0$ と、P, Q の間にどんな関係があるか。又、問3の F_1d_1 及び F_2d_2 に当たるものは $P \times OA$ 及び $Q \times OB$ であるが、この実験では、どんな関係があるか。

問4 この結果から、物体に働く二つの平行な力の合力を求めるには、どうすればよいか試してみよ。

この実験で、 $P \times OA$ が $Q \times OB$ より大きければ、棒は右に回轉し、小さければ左に回轉することがわかったであろう。このことから $P \times OA$ や $Q \times OB$ は、棒を O の周りに回轉する働き的大小を表わしているものと考えられる。一般に、力と一つの点からこれに下した垂線の長さとの相乗積を、その点の周りの力の回轉能という。

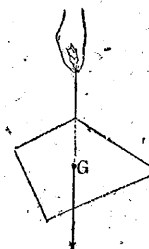
2. 重心

物体は小さな部分の集まりと見ることができる。この小さな部分には、それぞれ下向きの重力が働いている。これらの力の合力は、その物体について定まった点を通ることが証明される。この点をこ



の物体の重心という。一様な球や立方体や棒などでは、皆その中心が重心になっている。

実験 厚紙をいろいろな形に切って、その重心を見つけてみよ。



3. 偶力

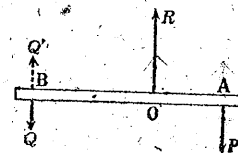
一つの棒に三つの平行な力 P, Q, R が働いて、つり合っているものとしよう。このことはまた、P と R の合力が Q とつり合っていると考えることができる。

問1 反対向きの二つの平行な力 P, R の合力を Q' とすれば

$$Q' = R - P$$

$$R \times OB = P \times AB$$

の関係があることを証明せよ。

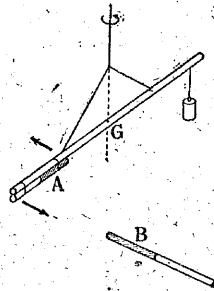


もし、P と R がその大きさが等しい時には、合力の作用点が求められないから、その合力も求められない。このような一組の力を偶力という。

偶力はどのような働きをするものであろうか。

1) 合力の大きさは零で、作用点は限りなく遠方へ行く。

実験 1 右の図のように木の棒を長い糸でつるし、その一方の端には小さな磁石 A、他の端には銅の錘を付けて、つり合わせて置け。遠くの方に強い磁石 B を置いた時、木の棒がどんな運動をするか、よく観察せよ。



A が短くても B が遠くにあれば、A に働く磁力はほとんど偶力になる。したがってこの実験から、物体に偶力が働けば、その場所はどこで働いても物体は重心の周りに回転し始めるだけで、重心は動き出さないことがわかる。逆に、物体が重心の周りに回転し始めるのは、必ず偶力の働いた時である。

しかし、単独の力が働いたのでは回転を始めないであろうか。

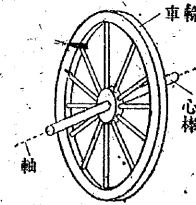
実験 2 滑らかな机の上に本を置き、いろいろな所を鉛筆で押し、本の運動を観察してみよ。重心は動くかどうか。

この実験でもだいたいわかるように、単独の力が働いた時には、重心の周りに回転運動も起るが、重心もまた動き出す。

問 2 直流電動機の電機子にはどんな力が働くか。又、この力が偶力でなかったらどんな不都合が起るか。

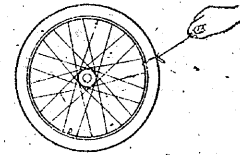
4. 車輪の回転

自転車や荷車などの車輪は、皆心棒を持っていて、車輪の各部分は、一つの動かない中心線の周りに円運動をしている。この中心線を車輪の軸という。

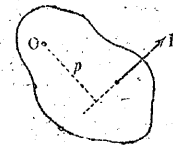


実験 1 自転車の前の車ははずし、その心棒を水平にして支えておけ。ゴム輪に糸を付けてこれを引き、輪の回転を調べよ。

回転の角速度の速くなり方を角加速度というが、角加速度を大きくするにはどうすればよいか。又、幾ら引いても回転を起さないことがあるか。



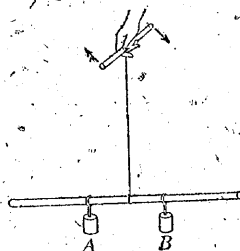
問 1 上の実験から、動かない軸 O を持つ回転体に、力 F が働く時、角加速度と F の回轉能 Fp との間にどんな関係があると思うか。



この問のように、角加速度は力の回轉能に比例している。
力が働いてもその作用線が軸を通っていれば、その回轉能が零になるから回轉は起らないし、回轉している物は、その角速度が変わらない。

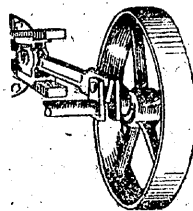
大きなずみ車では、力を働かせても回轉は起りにくい、小さな風車のようなものでは、すぐに回轉を始める。物体の回轉運動でもやはり慣性に大小がある。

実験 2 細長い木の棒を針金で水平につるし、棒には二つの同じ重さの錘 A , B を中央から同じ距離の所にかける。棒を手で押さえておいて針金の上の端を直角だけまわし、手を放した時の、棒の角速度を観察せよ。 A , B の位置をいろいろに変えて調べてみよ。



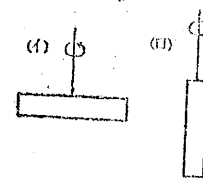
問 2 上の実験から、回轉の慣性はどんな場合に大きくなると思うか。又、はずみ車は半径の大きい車輪の形にしてあるのは何のためか。

問 3 一枚の板を次のページの図の(イ)図のようにつるした時と(ロ)



図のようにつるした時とで、どちらが回轉の慣性は大きいと考えられるか。

わかったら実際に実験してみよ。

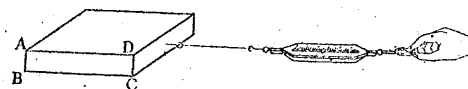


4. 運動と抵抗

今まで物体の運動をいろいろ調べた時、いつも摩擦が働いたり、空気の抵抗が働いたりして運動を妨げていた。こんどは、この運動の妨げをする抵抗のことを調べてみよう。

1. 物体が滑る時の摩擦

実験 机の上に四角な木片を置き、次の図のように、これにばねばかりを附けて、だんだん強く引いてみよ。又、滑り始めの時ののはかりの示度を読め。



机の上で物体を動かそうとして外力を働かせると、この物体には、机との接触面において外力と反対の向きに摩擦力が働く。初めのうち、物体が滑り出さないのは、外力が大きくなるにつれて摩擦力も大きくなって、これらが釣り合っているためである。

しかし、摩擦力の方には限度があって、ある大きさ以上に

はなれないために、外力がこれより大きくなれば、滑り出すものと考えられる。この時の摩擦力を、最大静止摩擦力という。

先の実験に用いた木片上にいろいろな錘をのせて、滑り始めの時の摩擦力を測ると、最大静止摩擦力は物体の接触している面に働く全圧力に比例することがわかる。又、木片の他の面、例えば前のページの図の ABCD の面を下にして、机と接触させて測ると、その面に働く全圧力が変わらなければ、最大静止摩擦力は前の場合にほぼ等しく、その接触面積の大小にはほとんど関係のないことがわかるであろう。

いろいろ性質の違った面を使って実験してみると、全圧力は同じでも最大静止摩擦力は違って来る。ざらざらした面では大きく、滑らかな面では小さい。

物体が運動している時も摩擦力は働くが、この時の摩擦力は、最大静止摩擦力より少し小さい。

摩擦力は運動を妨げるものであるから、機械の運動などには油や石墨などの潤滑料を塗って、これを小さくする。

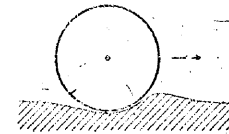
2. 物体が轉がる時の摩擦

水平な机の上で球を轉がしても、しばらくたつと、その運動はとまる。このように物体が滑り合わなくて、ただ轉がる時でも、運動をとめようとする力が働く。この時の摩擦を轉がり摩擦という。

問 1 轉がり摩擦は滑り摩擦に比べると非常に小さいが、

このことを利用した例を挙げてみよう。

問 2 車を引いて道の軟らかい所へ来ると、重く感ずるのは何故か。



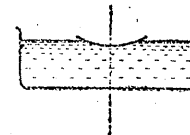
3. 流体の摩擦

こんどは流体の中を物体が運動する時に受ける抵抗を調べてみよう。

流れていない水の上を舟が前へ進んでいる時、舟に乗ってこれを見れば、舟がとまっていて、水が後へ流れているように見える。舟と水との関係は、どちらがとまっていて、どちらが動いていると考えても全く同じことである。そこで舟の受ける抵抗を調べるには、流れている水がとまっている舟に及ぼす力を調べてもよい。

とまっている流体が物体に及ぼす力は、いつもその面に垂直であったが、流れている流体ではどうであろうか。

実験 金だらいに水を入れ、これをかきまわして水に円運動をさせ、その真中に木のさらを浮かせてみよう。さらは回轉するか。



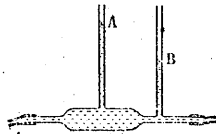
1) 氣體と液体をいっしょにして流体という。

流れている流体は物体の表面に垂直に圧力を及ぼすだけでなく、流れの方向につれて行こうとする力をも及ぼす。流れの方向に力を及ぼす性質を、流体の粘性という。粘性による力の大きさは、流体の速さによっても違うが、又、流体の性質にもより、油のようにどろどろしたものでは大きい、空気のようなものでは小さい。

4. 流体の圧力

とまっている流体の中では、圧力は流体の深さだけによってきまっていたが、流れている流体の中でも同じであろうか。

実験 図のように、ガラス管の一部を細くして、A、Bの二つの側管を付け、ガラス管を水平にして、左の方から水を流してみよ。A、Bの水面はどう違うか。



問1 この実験から、流れの速い所と遅い所とでは、圧力がどのように違うことがわかるか。

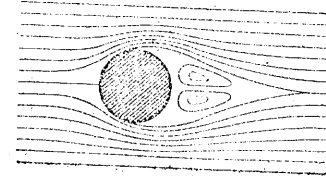
問2 霧吹の作用を考えてみよ。

このように、圧力は速さによって違うから、流れのようすがわからなければ、物体の受ける力はわからないことになる。

5. 流体中の物体の受ける抵抗

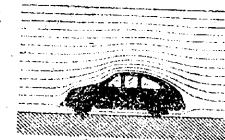
流体の各部分が流れて行く道を示す線を流線といい、又、側面が流線でできているような管を考えて、これを流管という。1本の流管についていえば、太い所では流れの速さが小さく、細い所では大きい。

橋の脚などのような材木のために川の流れが妨げられている所で、流線を調べてみると、流れが非常に遅い時以外には、物体の後側で流体がよどみ、そこにはうずができて、流線は大体図のようになる。



このような場合には、物体の前側の圧力の方が後側の圧力よりも大きいから、物体にはこれを押し流そうとする力が働く。このほか粘性による力もまた押し流そうとする作用を持つが、これは圧力のための力に比べれば一般にずっと小さい。

流体の中を物体が運動する時もこれと同じで、おもに圧力のための抵抗力を受けるが、物体の形を図のようなものにして、物体が速く走る時にも、その後にうずのできないようにしておけば、抵抗が小さくてすむ。このような形を流線形という。魚にはこれに近い形をしたものが多い。



エネルギー

1. 機械と力

1. てこ・滑車・斜面

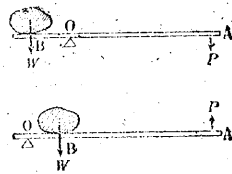
小さな力をもとにして大きな力を働かせようとする時、いろいろな機械を使う。こんどはこれについて考えてみよう。

(イ) てこ

われわれの手では、直接には持ち上げられないような重い石でも、てこを使えば、楽に支えることができる。このわけを簡単な場合について考えてみよう。



問1 軽くて丈夫な棒 AB の一点 O を支点とし、B に重さ W の物体をのせた時、A に $W \times \frac{OB}{OA}$ の力を與えれば、物体が支えられるわけを考えてみよう。



このように、OB に比べて OA を長くすれば、直接支えるよりも小さな力で物体が支えられることがわかる。

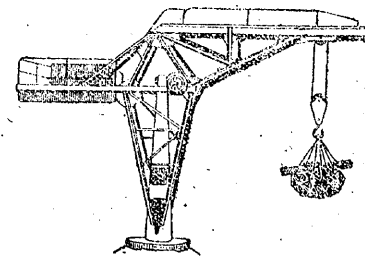
1) 重さは考えなくてもよい。

問2 この時、支点の受ける力は何程か。

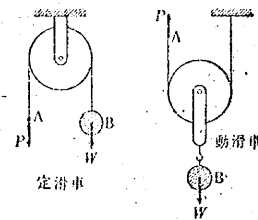
問3 てこの理を應用した実例を挙げてみよう。

(ロ) 滑車

重い荷物をつり上げる時などに使われる起重機には、普通、動滑車と定滑車とを組み合わせた装置がしてある。これらの滑車は、どのような働きをするのであろうか。



問1 物体を支えるための力は、定滑車を使えばその方向を変えることができるし、動滑車を使えば、その大きさを $\frac{1}{2}$ にすることができる。このわけを図を見ながら考えよ。

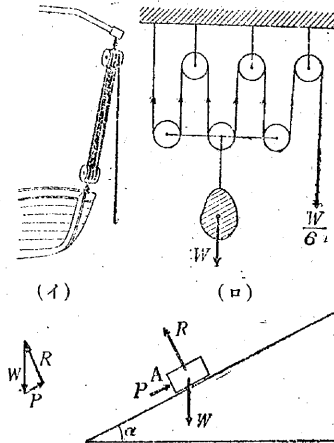


次のページの(イ)図のように、動滑車と定滑車とを組み合わせた滑車の働きを調べるには、これを(ロ)図のようにわけて考えてみるとよい。小さな力で重い物体の支えられるわけ

がわかるであろう。

(一) 斜面

重い物体でも、斜面にのせて支えているのは容易である。このわけを考えるために、図のような斜面の上で物体Aを支える時の重さ W と、支える力 P との関係を、滑らかな斜面のつり合いについて調べてみよう。



物体には、 P と W のほか斜面から受ける反作用力 R も働くが、面が滑らかな時には、この力は面に垂直に働くものである。 P, W, R の三力のつり合いを考えれば

$$P = W \sin \alpha$$

の関係があるので、斜面が緩やかなほど、物体を支える力 P が小さくて済むことがわかる。

2. 仕事

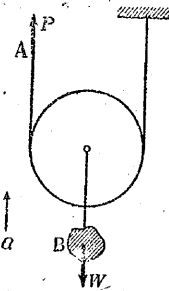
いろいろな機械を使うと、重い物体でも小さな力で支えら

- 1) 摩擦力が働かない。
- 2) 物体は斜面を押すが、その反作用として物体は斜面から押し返される。

れることがわかったが、次に、これらの機械を使って、物体を非常にゆっくり持ち上げる場合を考えてみよう。

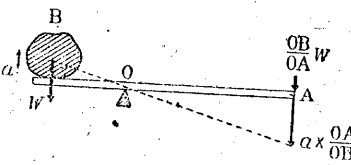
動滑車を使って重さ W の物体Bを a だけ持ち上げるには、綱の一端Aに $P = \frac{W}{2}$ の力を加えて $2a$ だけ引き上げなければならない。

力と力の方向に動いた距離との相乗積を仕事ということは、すでに知っているが、こうしてみると、滑車を使っても使わなくても、物体を持ち上げるための仕事に変わりのないことがわかる。



問1 定滑車と動滑車とを組み合わせた滑車についても、この事がらは同様に成り立つ。何故か。

てこで物体を持ち上げる時の仕事について考えてみても、物体を支える力は $\frac{OB}{OA}W$ です。むが、物体を a だけ持ち上げるにはA端を $\frac{OA}{OB}a$ だけ下げなければならない。したがって、物体を a だけ持ち上げるための



1) ここでは、物体をたくさん動かすと、AやBが円弧を描くので、考えが複雑になるから、極くわずかに動かした時を考えればよい。たくさん動かしても同じことが成り立つ。

仕事は aW で、てこを使っても使わなくても同じである。

又、物体を滑らかな斜面に沿って、まず B から B'' に運び、次に B'' から B の真上の点 B' に運んだとする。 B から B'' へ運ぶのには $aW \sin \alpha$ だけ

の仕事を、又、 B'' から B'

へ運ぶのには $bW \sin \beta$

だけの仕事を要する。し

たがって、全体での仕事

は $W(a \sin \alpha + b \sin \beta)$ となり、これは $W \times BB'$ に等しい。

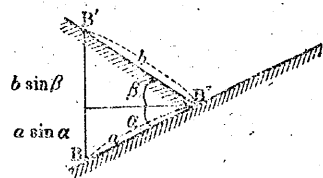
即ち、滑らかな斜面を使っても使わなくても、仕事に変わりはない。

このように考えてわかるように、機械自身の重さや摩擦が小さくて、これらを考えなくてもよい時には、機械を使っても使わなくても、仕事には少しも変わりがない。このことはてこや滑車や斜面に限らず、その他のいろいろな機械についても成り立つことで、これを仕事の原理という。

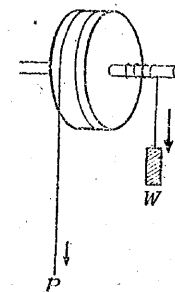
われわれは、問題を考えやすくするために、てこや動滑車ではそれ自身の重さを考えないことにしたが、実際には必ず重さがある。この時には、われわれは物体を持ち上げるための仕事と、機械を持ち上げるための仕事との和に等しい仕事をしなければならない。

問 2 次のページの図のような輪軸で、輪の半径を a 、軸

- 1) 機械の重心が下がるような時には差となる。



の半径を b とした時、軸にかかっている Wg 重の物体を、ゆっくり引き上げるには、輪にかかった綱を何程の力で引けばよいか。



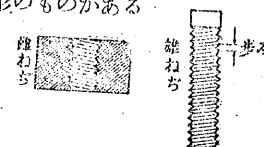
機械のなかにはねじを使ったものが多い。ねじは斜面がよじれて曲がった曲面になったものと考えることができる。

みぞの切り方にもいろいろな形のものがある

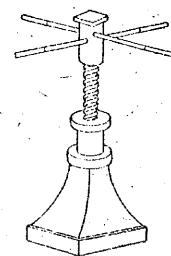
が、1 回転すると普通山と山と

の間隔だけ進む。この距離をね

じの歩みという。



問 3 ジャッキは重い物体を少しずつ持ち上げるのに使う機械である。この機械で重さ 60 kg 重の物体を持ち上げるには、うでの両端に何程の力を與えればよいか。うでの全長を 60 cm 、歩みを 1 cm として、仕事の原理を使って計算してみよ。



3. 仕事の単位

仕事の単位は、普通、力の単位と距離の単位との相乗積の

形で表わしている。例えば、 1 kg 重の力を働かせて、その方向に 1 m だけ動かした時には、これを 1 kg 重・ m の仕事と呼ぶ。長さや力の単位にはいろいろあるから、それにつれて仕事の単位にもまたいろいろある。物理でよく用いられるのは、 1 ダインの力が働いて、その方向に物体を 1 cm だけ動かした時の仕事で、これを 1 エルグの仕事という。

質量 $m\text{ g}$ の物体の重さは mg ダインであるからこれを $h\text{ cm}$ だけ上げるには mgh エルグの仕事が必要である。

1 エルグという単位は非常に小さいから、その 10^7 倍を 1 ジュールと呼んで、実用上にはジュールを用いることが多い。

問 1 kg 重・ m は何ジュールか。

2. 仕事とエネルギー

1. 重力による位置エネルギー

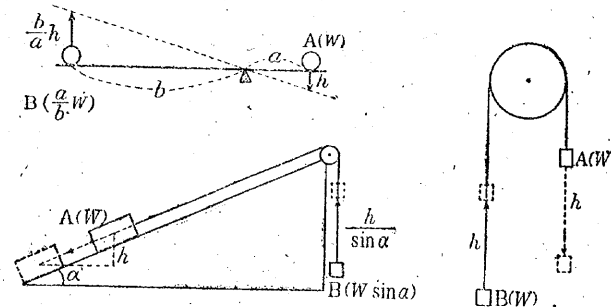
高い所にある水おけの水は、管で下へ導くと水車をまわすことができる。このように、高い所にある物体は低い所へ下がるまでに、他の物に対して仕事をすることができる。

次に仕事の大きさを調べてみよう。

問 1 重さ $W\text{ g}$ 重の物体 A が、滑車や、てこや、滑らか

- 1) 工学では、 1 kg 重の力、 1 kg 重・ m の仕事を、それぞれ 1 kg 、 $1\text{ kg}\cdot\text{m}$ と呼ぶ。
- 2) だいたい 1 mg の分銅を 1 cm 上げる時の仕事に等しい。

な斜面などを使って、下の図のように他の物体 B とつり合わせてあるものとする。 A が鉛直距離で静かに $h\text{ cm}$ だけ下がる間に、他の物体 B にした仕事をそれぞれの場合について計算してみよ。



この間でわかるように、重さ $W\text{ g}$ 重の物体は、斜面や滑車に摩擦がなければ、鉛直距離 $h\text{ cm}$ だけ静かに下がる間に、他の物体に $Wh\text{ g}\cdot\text{cm}$ の仕事をすることができる。

輪軸やねじの場合について考えてみても、このことはいつでも成り立っている。

一般に、物体が仕事をする能力を持っている時、その物体はエネルギーを持っているといい、高い所にある物体の持つエネルギーを、重力による位置エネルギーと呼ぶ。

重力による位置エネルギーの大きさは、摩擦がないとした時、その物体が標準の高さまで、静かに下がる間に、他の物

- 1) A と B とがつり合ったままで、ゆっくり動いて行く時を考えよ。

にすることのできる仕事で表わす。

質量 m g の物体の重さは、 mg ダインであるから、これが h cm の高さにある時その物体の持っている位置エネルギーは、 mgh エルグである。

問 2 内径 5 cm の円筒に、底から 20 cm の高さまで水を入れ、円筒の底を高さ 10 m の所に置いた時の水の位置エネルギーは何エルグか。

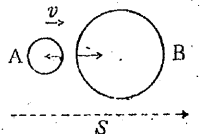
2. 運動エネルギー

風車に風が当たれば、これを動かして仕事をする。このように、物体は動いていることのために、他の物体に仕事をする能力があるから、やはりエネルギーを持っているといえる。これを運動エネルギーという。

走っている物体も他の物体を押しながら進むと、自分は勢いが次第に衰えてついにはとまってしまう。物体の運動エネルギーの大きさは、その物体がとまるまでに、他の物体にすることのできる仕事の量で表わす。

簡単な場合について、この値を計算してみよう。

v cm/秒 の速さで走って来た質量 m g の物体 A が、一定の力 f ダインで抵抗する他の物体 B を一直線に押しながら S cm だけ進んでとまったとする。



この間に A のなした仕事を K エルグとすれば

$$K = fS \quad (1)$$

A は B から反作用の力 f を受けるので、その速さは次第に小さくなる。そのとまるまでの時間を t 秒とすれば、A の加速度は $-\frac{v}{t}$ であるから

$$m\left(-\frac{v}{t}\right) = -f \quad (2)$$

$$v^2 = 2\left(\frac{v}{t}\right)S \quad (3)$$

の関係がある。

(2), (3) を (1) に代入すると

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

の関係が得られる。

詳しい計算によると、A が B を押す力の大きさや方向が変わる時でも、やはり同じことが成り立つ。したがって、A の持つ運動エネルギーの大きさは $\frac{1}{2}mv^2$ であるといえる。

問 幅 20 m、深さ 2 m で、流速 1 m/秒 の川の流れている。流れに沿って 100 m の距離の間にある水の持つ運動エネルギーは何程か。

3. 重力による位置エネルギーと運動エネルギーとの和
高い所から物体を放せば、重力による位置エネルギーは次

第に減るが、その代わり運動エネルギーは増す。

初めの高さを $H \text{ cm}$ とし高さが $h \text{ cm}$ になった時の速さを $v \text{ cm/秒}$ とすれば、すでに学んだように

$$v^2 = 2g(H-h)$$

故に、この物体の質量を $m \text{ g}$ とすれば

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg(H-h)$$

したがって

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

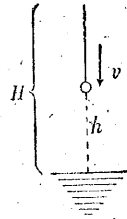
の関係が得られる。即ち、重力による位置エネルギーと運動エネルギーとの総和は変わらない。

物体をただ放したのでなく、高い所で斜に放った時についても全く同様のことが成り立つ。このように物体が重力の働きだけでその運動の有様を変えても、兩種のエネルギーの総和は変わらない。これをエネルギー保存の法則という。

問 1 物体を同じ高さの点から、きまった速さで鉛直に投げ上げた場合、投げ下した場合、及び水平に投げた場合について

- (1) 投げてからある時間後における
- (2) 同じ高さに達した時の

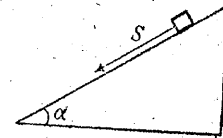
運動エネルギーを比較せよ。



物体を高い所へ押し上げる時には、兩種のエネルギーの和は、この力のなした仕事だけ増す。又、物体が滑らかな斜面に沿って滑り落ちる時などは、この物体に面の抗力が働くが、この力は面に垂直で、物体は面に沿って動き、抗力の方向には少しも動かないから、この力のなした仕事は零に等しい。

問 2 滑らかな斜面の上で、初めとまっていた物体が $S \text{ cm}$ だけ滑り落ちた時の速さは何程か。

エネルギー保存の法則を使って計算してみよ。



4. 弾性による位置エネルギー

引き伸ばしたつる巻ばねは、それが縮むまでに他の物体に力を作用してこれに仕事をすることができるから、やはりエネルギーを持っている。このように、弾性体がひずんでいる時、その物体の中に蓄えられていると考えられるエネルギーを、弾性による位置エネルギーという。

問 つる巻ばねに小さな物体をつるし、これを上下に振動させた時、重力・弾性による位置エネルギー及び運動エネルギーが、それぞれ最も大きくなる所、又、最も小さく

- 1) この場合、上下運動につれて物体は回転もするが、回転による運動エネルギーは考えなくてもよい。

なる所はどこか、考えてみよ。

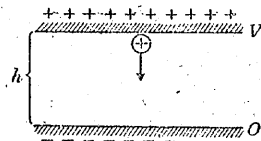
このような時でも、物体とばねとをいっしょにして考え、その重力・弾性による位置エネルギー及び運動エネルギーの総和を調べてみると、これに重力以外の力が働かなければ、全体のエネルギーについては、やはりエネルギー保存の法則の成り立つことが証明される。

5. 電気エネルギー

電気を電位の高い所へ運ぶのに、仕事が必要であることはすでに知ったが、このように高い電位にある電気はこれを電動機を通して電位の低い所に導けば、その間に仕事を行うことができる。したがって、高い電位にある電気は、やはりエネルギーを持っていると考えられる。これを電気エネルギーという。

電位 V ボルトの所にある Q クーロンの電気の持つ電気エネルギーを計算するには、重力による位置エネルギーを計算するのと同じ方法で求められ、その値は QV ジュールに等しい。

図のように、地上 h cm の所の電位を V ボルトとし、ここに質量 mg の物体があって、 Q クーロンの電気を持っていたとする。この物体が、重力と電気力の両方の作用で落下して



地面に達したとすれば、位置エネルギーも、電気エネルギーも共に零になるが、その代わり運動エネルギーは増す。

このような場合にも、位置・運動及び電気エネルギーの総和を調べてみると、一定に保たれることがわかる。

6. 熱エネルギー

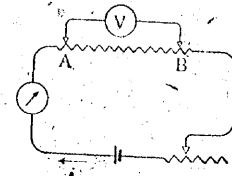
われわれは今まで考えを簡単にするために、すべて機械に摩擦はないものとして考えて来たが、実際の機械などには必ず摩擦があって運動を妨げている。

摩擦のある斜面に沿って物体が滑り落ちる時を、滑らかな斜面に沿って滑り落ちる時に比べてみると、同じ高さだけ落ちても速さの増し方はずっと少ない。したがって、この場合にはエネルギー保存の法則が成り立たないように見える。又、高い電位にある電気も抵抗の大きい導線を通して低い電位に導くと、ただ電気エネルギーが減るだけであるから、この場合にも、エネルギー保存の法則は成り立たないように見える。

このように、摩擦や抵抗のある時には、全体のエネルギーが減って、エネルギー保存の法則は成り立ちそうもない。

しかし、この時斜面や導線内には必ず熱が現われる。失われたエネルギーと発生した熱量との間に何か関係がないだろうか。

図のように、抵抗線 AB を通して

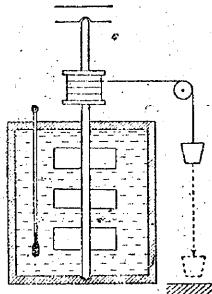


i アンペアの電流を流した時、 $A \cdot B$ 間の電圧が V ボルトであったとする。

電気は毎秒 i クーロンだけ A から B に運ばれるが、 B は A よりも V ボルトだけ電位が低いから、 $A \cdot B$ 間では毎秒 iV ジュールの電気エネルギーが消えて行くことになる。

すでに調べたように、この時 $A \cdot B$ 間で $\frac{1}{4.2} iV$ カロリーの熱が発生するから、1 ジュールのエネルギーが失われると、代わりに $\frac{1}{4.2}$ カロリーの熱が発生することがわかる。即ち、1 カロリーの熱は 4.2 ジュールの仕事に相当するから、この 4.2 ジュールを熱の仕事当量という。

このことはまた、次のような実験でも確かめることができる。かくはん器を附けた容器に水を入れて、かくはん器を分銅の重さを利用して回転させる。水はかきまわされて運動を起すが、摩擦のために、やがてとまってしまう。この時、水温が上昇するので、この値を測定すれば発生した熱を知ることができる。この実験でも、分銅の位置エネルギーが P ジュールだけ消えると、代わりに熱が $\frac{P}{4.2}$ カロリーだけ現われることがわかる。



問 高い所で投げ出した石が地面に達してとまった時、

エネルギーはどう変わったか、考えてみよ。

機械に摩擦のある時などもやはり同様で、4.2 ジュールのエネルギーが失われれば、その代わりにいつも 1 カロリーの熱が発生している。一方、蒸気機関などでわかるように、熱はこれをもとにして仕事をすることができる。

これらのことから考えてみると、熱は弾性による位置エネルギーと同じように、物体の内部に蓄えられた一種のエネルギーと考えれば都合がよい。

このように、熱をその 1 カロリーが 4.2 ジュールに相当する一種のエネルギーと考えて、いろいろな場合について調べてみると、総体のエネルギーについては、いつでもエネルギー保存の法則が成り立っていることがわかる。

すでに知ったように、物体は分子が集まってできているが、それらの分子は、それぞれ思い思いの方向に振動しているものと考えられている。

水をかきまわすと、その運動は粘性のために次第にとまるが、水温はそのためにならずかではあるが上昇する。かきまわした水が流れているというのは、分子がそれぞれ違った方向に小さな振動をしながらも、全体としては流れの方向に動いていることに当たる。しかし、これらの分子は互に衝突するので、次第にその運動が乱れて、ついには思い思いの方向の振動だけになってしまうであろうが、その振動は前に比べ

ば、いっそう激しくなっている筈である。こうなった時、われわれには水としての運動は認められないが、その代わりに水温がわずかに上がったことがわかるのである。このことから、熱エネルギーは、分子の思い思いの振動エネルギーの総和と考えればよく理解できる。

7. エネルギーの移り変わり

われわれは今までいろいろな種類のエネルギーを考えて来たが、まだこのほかにも、違った種類のエネルギーが考えられる。例えば、燃料は燃焼する時、熱を発生して仕事をすることができるから、今まで考えたものとは別の種類のエネルギーを、内部に蓄えていると考えなければならない。物質を分子の集合と考えてみると、このエネルギーは分子の内部に蓄えられていると想像される。

このように、自然界にはいろいろなエネルギーがあって、それらが一つの態から他の態に変わり、一つの物体から他の物体に移って行く。しかし、いろいろ調べた結果、これらの変遷の間でも、エネルギーの総和は一定に保たれているものと考えられている。これが一般の場合のエネルギー保存の法則である。

物体は仕事をすれば、それだけエネルギーが減少するから、他からエネルギーを補給されることなしに、いつまでも仕事をするような機械を作ることはできない。

8. 動力

機械がエネルギーの補給を受けて仕事をする時、どれだけの仕事をどれだけの時間でするか、実際の問題としては大事なことである。単位時間にする仕事の量を、仕事率あるいは動力と呼び、毎秒1ジュールの仕事をする時、これを1ワットの仕事率という。1000ワットのことを1キロワットといい、実用上ではこれを用いることが多い。又、工学では馬力という単位をしばしば用いる。1馬力は746ワットで、約 $\frac{3}{4}$ キロワットに当たる。

V ボルトの電源に電動機をつないだ時、流れる電流を i アンペアとすると、 iV ワットの電力がこの間で消費される。

このエネルギーは電動機によって姿を変え、仕事となって現われるが、電動機の中で熱に変わるものもあるので、全部が仕事に変わるわけではない。電動機に限らず、一般に、機械が他の物に対してすることのできる動力を出力といい、機械が毎秒消費するエネルギーを入力という。出力は入力より小さい。

振動と波動

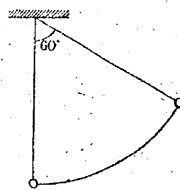
1. 振動

柱時計の振子や懐中時計のテンブなどは、一周期ごとに同じ運動を繰り返している。このような運動を振動という。これから、この振動について調べてみよう。

1. 単振り子

柱時計の振子では、その構造が複雑であるから、初めに小さな錘を糸に付けて天井からつるしたものを、鉛直面内で振らせる時の振動を調べることにする。このような振子を単振り子という。

問 長さ 50 cm の糸に錘をつるし、糸を鉛直線方向から 60 度傾けた位置で放した。錘が最下点を通る時の速さは何程か。錘のエネルギーを考えて計算してみよ。



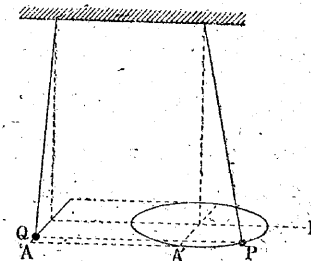
このような単振り子の運動のうちで、錘をつるす糸を長くし、振れの幅を小さくした時の運動を特別に調べてみよう。この

- 1) 単位時間のうちに運動を繰り返す回数、即ち、周期の逆数を振動数という。
- 2) 振れの幅の半分、即ち、中心から片側の端までの長さを振幅という。

時には錘はほぼ直線上で振動していると見なすことができる。

実験 1 長さの等しい

二つの長い振子を、図のように並べて置く。錘 P に同じ振子の運動をさせて、P がちょうど A の位置にきた時に、錘 Q を A から放して振動させ、



E の方から見て、二つの錘の運動を合わせてみよう。

二つの錘が全く一致して運動することがわかったであろう。運動の法則からも、この二つの運動が同じものであることが証明される。等速円運動を横からながめた運動は、単振動であるから、このことから単振り子は単振動をすることがわかる。

同じ振子の周期を表わす公式と同様に、この時にも糸の長さを l とすれば、 T は次の式で與えられる。

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

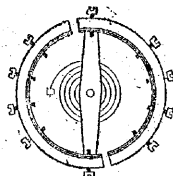
振れる角度が小さい時、周期が振幅や錘の質量に無関係であることを、振子の等時性という。

実験 2 重力の加速度 g を測定する方法を考え、実際に

やってみよ。

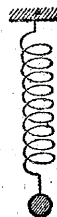
2. ばね振子

問 単振子や柱時計の振子が振動するのは、重力の作用によるが、懐中時計のテンブが振動するのは、何によるのか。



このようにばねを用いた振子をばね振子といい、その振動を弾性振動という。

実験 1 つる巻ばねに錘を附けてこれをつるし、錘を少し引き下げてから放してみよ。どんな運動をするか。又、振幅を変えた時、周期が違つか。いろいろな質量の錘を用い、又、つる巻ばねの長さを変えて、振動の周期がどのように変わるかを調べてみよ。



詳しく調べてみると、錘は単振動をすることがわかる。又、その周期は振幅が小さい時にはこれに関係しないが、錘の質量が大きいほど、又、ばねが弱いほど大きくなる。

1) 詳しくいえば、ばねが単位長さ伸びた時に生ずる弾力が、小さいということである。

長い金属棒の一端を固定し、他端に錘を附けたものや、テンブの振動でも同じようなことが成り立つ。

3. 共振れ

このように物体の振動では、いずれも自分に定まった固有の周期がある。これを固有振動の周期という。重いつり鐘のようなものをむやみに押したり引いたりしてみても、なかなか振れにくい。が、つり鐘の固有振動の周期に合わせて押したり引いたりすると、しまいには揺れ出す。一般に、外から周期的な力を作用させる時、その力の周期が物体の固有振動の周期に近いほどよく振れる。この現象を共振れという。

地震でも、地面の振動の周期が家屋の固有振動の周期に近いと、家屋は揺れやすい。

2. 波 動

1. 水 波

実験 静かな水面に石を投げて水波を起し、水面に木の葉を浮かばせて、その運動を観察せよ。又、波の進む方向に沿って二枚の木の葉を浮かばせ、それらの運動を比較してみよ。

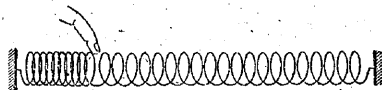
この実験でわかるように、振動は次々に少しずつおくれながら伝わって行く。この現象を一般に波動といい、波動を伝える

物質を媒質という。

水面は重力のために水平になろうとしている。水面の一部に急に谷ができる、これを平にしようとして隣の部分からここへ水が流れ込み、そのために隣の部分の水面が低くなる。このようなことが次々に起って谷が傳わる。水面に山ができる時も同じである。つまり、大きな水波ができるのは、主として重力の作用のためである。

2. つる巻ばねを傳わる波動

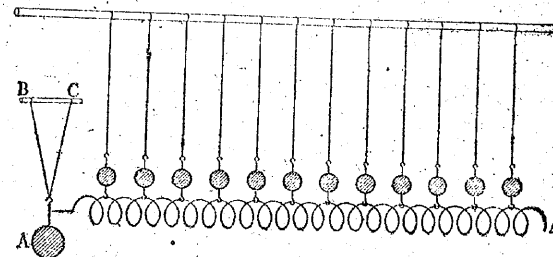
実験 弾力の弱い長いつる巻ばねの両端を固定し、その一端に近い所を指で縦に引いて押し縮め、急に放してみよ。又、横に引いてから急に放してみよ。



縮んだ状態や横にずれた状態が、ばねに沿って進んで行くのがわかるであろう。この傳わり方を詳しく調べようとしても、それが速くてなかなかわかりにくい、傳わる速さを小さくするために、次のような装置を用いるとよい。

次のページの図のように、長い糸で錘を等間隔にたくさんつるし、この錘になるべく弾力の弱いつる巻ばねをかけて、これを水平に保つ。ばねの一端には別に大きな錘Aを用いて2本つり振子を作り、この装置で波を起すことにする。この装置を波動装置と呼んでおく。

錘の質量が大きくて、弾力が弱いと、錘は動き出しにくい。



このために振動が傳わるのに手間がかかる。つまり、波動の傳わる速さが小さくなるのである。

3. 横波

実験 波動装置で、大きな錘Aを前後に振らせた時、他の錘がどのような運動をするかを観察せよ。

Aが前後に振動すれば、それぞれの錘も皆Aと同じ周期で、これと同じように前後に振動するが、図で右にある錘ほど振動がおくれて来る。この時、それぞれの錘の振動する方向は、波の傳わる方向に対して直角になっている。このような波動を一般に横波という。

問1 次のページの図を見ながら、横波の進む有様を考えよ。



この間でわかるように、媒質の二点、例えば P と Q とは、いつでも同じ状態で振動する。PQ の距離を波長という。又、媒質の振動の振幅及び周期を、それぞれ波動の振幅及び周期という。

問 2 波動の傳わる速さを V 、波長を λ 、周期を T 、振動数を N とすれば、これらの間には、次の関係があることを証明せよ。

$$V = \lambda N \quad \lambda = TV$$

波を起すものと振動の仕方が変われば、媒質の各点の振動の仕方も変わって来るが、特にこれらが単振動をするような波動を正弦波という。

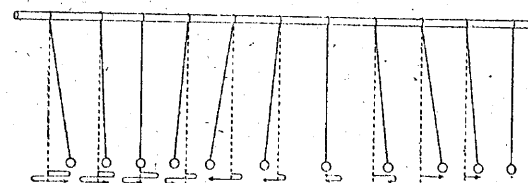
問 3 振幅を 1.5 cm 、振動数を毎秒 2 回、波動の傳わる速さを 20 cm/秒 として、正弦波の波形を図に書いてみよ。

4. 縦 波

実験 波動装置で、BC を直角だけまわして大きな錘 A

を左右に振らせ、前と同じように、他の錘の運動を観察してみよ。

問 1 この時の波動を下の図を見ながら考え、次の事らを図に書き入れよ。



- (1) 各部分の変位
- (2) 各部分の速さの向き
- (3) ばねが最も密な所と粗な所
- (4) 波長

この時には、各部分の振動の方向は波の進む方向と一致している。このような波動を一般に縦波という。又、粗の部分と密の部分とが交互に傳わるので、粗密波ともいう。

問 2 正弦波が傳わるものとして、波を起さなかった時の各部分の位置を横軸に、現在の変位を縦軸に取って、この関係を図表に書け。

- 1) 波を起さなかった時の位置と比べて、現在ずれている距離。

このようにすると、縦波もまた横波と同じように書き表わせる。

変位の代わりに各部分の粗密を取っても、同様に波動の形になる。したがって、縦波は媒質の粗密が波動の形で傳わるものとも考えられる。

5. 波動の重なり

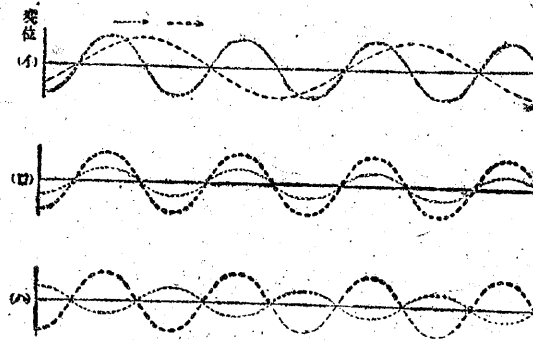
問1 静かな水面に石を二つ投げ、この時できる波が互に出遇った後、どうなるかを観察してみよ。

波は出遇っても、その後は少しも乱されていない。波は他に波があっても、そのもちまへの運動をそのまま続けて行くものと考えられる。

又、波が衝突している時のように、水面の一部分に二つの波が同時に到達すると、水はそれぞれの波のもちまへの運動を同時に行う。そのために、それぞれの波に基づく変位を合成した変位になる。このことは水波に限らず、一般に、振幅の小さい波動について成り立つことで、これを波動の重なり¹⁾の法則という。

問2 一つの媒質の中を次のページの図のように、二つの横波又は縦波が、同じ方向に等しい速さで進む時、これらが重なってできる合成波はどうなるか。(イ)、(ロ)、(ハ)。

1) 波動装置でいえば、ばねの単位長さ当りの輪の数、

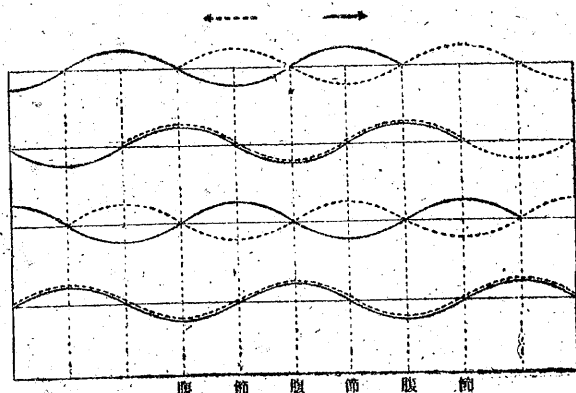


の場合について、それぞれ図に書き入れてみよ。

二つの波動の波長が違ふ時は、(イ)のように波形が変わって来る。又、同じ波長の時には、(ロ)のように両方の波動の振動の足並みがちょうどそろって、互に強め合う場合も起れば、(ハ)のようにちょうど消し合う場合も起る。(ハ)の場合、特に両波の振幅が等しければ、完全に消し合ってしまう。

このように、波長の等しい(あるいはほぼ等しい)二つの波の重なりを干渉という。

振幅も波長も等しい二つの横波又は縦波が、反対の方向に等しい速さで進む時、合成してできた波は、どちらにも進まない。又、媒質の各点の中には少しも振動しない点(節)と、最もよく振動する点(腹)とができて、これらは交互に波長の $\frac{1}{4}$ ずつへだてて並ぶ。このような波を定常波という。

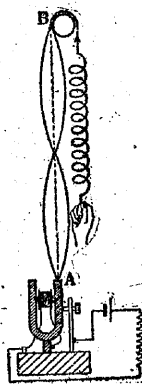
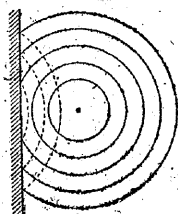


6. 反 射 波

一般に、一つの媒質の中を進んで来た波は媒質の境で反射する。水面の波が、岸壁に当たって反射するのも同じである。

もし、入射波と反射波とが媒質の中を引き続いて進んで行くと、定常波が起りそうである。こんどは、糸を傳わる横波で調べてみよう。

実験 電磁音叉(音叉)



1) 電鈴や誘導線などと同じ方法で、音を電流で振動させる装置。

の一つの枝に糸を付け、これを前のページの図のように滑車にかけて、他端につる巻ばねを付ける。ばねの下端を手を持ち、音を振らせながら、だんだん手を下げてみよう。糸の振動はどのように変わるか。

糸の張力を次第に増して行くと、それがある強さになると、糸には定常波ができてよく振れる。更に張力を増して行けば、この定常波は消えるが、張力がある強さになると、又、定常波が現われる。しかし、こんどは腹の数は前のものより一つだけ少ない。このようにして、しまいに A, B だけを節に持つ定常波ができる。

なぜこのようなことが起るのであろうか。それを知るために、まず波の速さを考察してみよう。

波動装置で、錘の質量が小さいほど、ばねが強いほど波の傳わる速さが大きくなることを知った。これを糸の場合に應用してみれば、糸の線密度が小さいほど、又、糸の張力が大きいほど、傳わる速さが大きくなることが考えられる。

したがってまた、一定の振動数の波が糸を傳わる場合には、張力が大きいほど、波長が長くなることがわかる。A から出た波が B で反射し、更にまた A で反射して A を出て行こうとする時、別の新しい波がちょうど A から送り出されるようになっていけば、これらの波が干渉して強め合うので、よく振れるが、そうでなければ振れにくい。したがって、糸が定

1) 単位長さ当たりの質量。

常波をつくってよく振動するためには

$$2 \cdot AB = \text{波長} \times \text{整数}$$

の関係がなければならない。

振動数は一定であるが、速度は張力によって異なる。したがって、波長も張力によって変わり、波長が上の関係を満足するような張力になった時に、非常によく振れるのである。

問 この実験で、つる巻ばねの代わりに一定の錘をつるし、滑車 B を上げ下げしてみると、AB の長さが適当な値になった時、定常波ができる。これらの場合の AB の長さの間には、どんな関係があるか。

7. 針金の振動

音を使わなくても、糸の両端を固定して張り、これをはじけば糸はしばらく振動する。しかし、糸ではその振動がじきに衰えてしまっていてわかりにくいから、針金を使って実験してみよう。

実験 長い針金を二本の釘の間に強く張り、これをはじいて振動させてみよ。どんな振動をするか。

又、針金の長さの $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ などの点を指で軽くおさえながら振動させた後、指を除けてみよ。その時には、どんな振動をするか。

この実験でわかるように、針金は両端だけに節を持つ振動。即ち、基本振動のほかに $\frac{1}{2}$ の点に節を持つ振動や、 $\frac{1}{8}$ 及び $\frac{2}{3}$ の点に節を持つ振動などの振幅の小さい数種の振動、即ち、倍振動をすることもできる。針金に限らず、一般のげん(絃)の振動はみなこれと同じである。

問 げんの振動について

- (1) 張力を強くすれば、基本振動の振動数は大きくなるか小さくなるか。
- (2) 張力を同じにして、針金の長さを半分にしたら、基本振動数は何倍になるか。
- (3) 長さの等しい針金と糸で、その張力を等しくした時、どちらの方が振動数は大きい。
- (4) 基本振動と倍振動との振動数の間には、どんな関係があるか。

普通に針金をはじけば、基本振動のほかに、倍振動も同時にするものである。

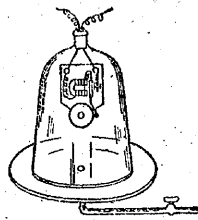
3. 音

1. 音の進行と反射

実験 1^{*)} 電鈴をガラス容器の中に封じ込み、これを鳴ら

1) * しるしのついたものは先生が主となってされるものである。

しながら、中の空気をポンプで抜いてみると、電鈴の音が聞えなくなることがわかるであろう。



空気にも弾性があるから、その一部分に振動が起れば、空気中を弾性による縦波が傳わて行く。発音体が振動すれば、その周囲にある空気の中に粗密ができる。これが波動となってわれわれの耳に達すると、音の感覚を起すものと考えられる。

問1 音波が縦波であることを実証するには、どうしたらよいか。

音波の傳わる速さは氣圧には関係がないが氣温によって異なる。溫度1度の空氣中での音波の速さを V m/秒 とすると、次の関係がある。

$$V = 331 + 0.6 t$$

普通、日中には大氣の溫度は高い所へ行くほど低くなるので、そのために音波の進む路は少しずつ曲がって来る。



問3 汽車や電車の音の聞こえ方が、晴曇によって相違

1) 流体には体積の変化に対する弾性はあっても、形の変化に対する弾性がない。このようなものの中では、弾性による横波はできない。

する理由を説明せよ。

問4 高い所にあるサイレンの音を地上で聞くと、一般に日中よりも夜間の方がよく聞える。何故か。

問5 風のある時、音の速さはどう変わるか。又、風のない時、走っている汽車の汽笛から出る音の速さはどうか。

音の速さは弾力の傳わる速さで、これは空氣によってきまっていることを基にして考えてみよう。

問6 音は液体や固体の中でも傳わるが、このことはどうしてわかるか。

問7 がけや大きな建物などに向かって声を出すと、少したってから同じような声が聞える。このような声を反響という。これはどうして起るのであろうか。

講堂や音樂堂などでは反響が非常に妨けになるので、天井や壁の形を工夫して、音波が乱反射するようにしてある。こうすれば反響は防げるが、音はいろいろな部分から反射して来るので短い音を出しても長く続いて聞える。これがいわゆる余韻で、物理ではこれを残響という。残響はあまり多くても困るが、あまり少なくてもよくない。残響の時間を調節するには、天井や壁や床にフェルトを張ったり、厚い幕を垂らしたりして、音の反射を適度に妨げればよい。

問8 土手の向こう側の、見えない所から出た音でも聞える。どうしてであろうか。

水面の波を板でさえぎった時、波がどのように進むかを

1) 山びことも、木だまともいう。

調べ、これと比べて考えてみよ。

一般に波動には、このようにさえぎった物の後へまわって進む性質がある。これを波動の回折という。

2. 音の高さと強さ

楽器などから生ずる楽音では、音の高低がはっきりしている。高い音と低い音とでは、音波においてどのような違いがあるのであろうか。

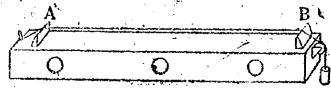
実験 1 蓄音機をかけながら、回転の速さを変えると、音の高さはどのように変わるか。

音の高低は振動数の大小できまり、振動数の大きいほど音は高く聞える。しかし、振動数があまり小さくて、一秒間凡そ 16 以下の場合とか、又、あまり大きくて凡そ 20000 以上の場合には、音波が来ても音として感じなくなる。

実験 2 図のようないちげん琴を使い、こま A, B をいろいろに動かして、ピアノか音さの音と合わせながら、ハの音を出すように調節せよ。

次に、B を動かしてニ・

ホ・ヘ・ト・イ・ロの



音の出る位置を探し、それぞれの音に対する AB の長さを測れ。これからそれぞれの音の振動数の比を出してみよ。

ハの音に対する他の音の振動数は次のようになっている。

音 名	ハ	ニ	ホ	ヘ	ト	イ	ロ	ハ
振動数の比	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

なお、ハの音の振動数は毎秒 261 である。

問 2 ニ、ホ、ヘ、ト、イ、ロ、ハの振動数を計算せよ。

実験 3 いちげん琴でげんを強くはじいてみよ。又、弱くはじいてみよ。音の強さはどのように違うか。

発音体が激しく振動すると、音波の振幅も大きくなると考えられる。この時、音は強く感ずるのである。

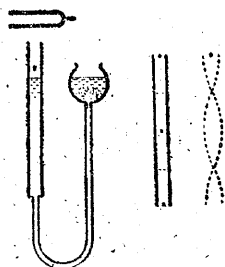
前にげんの振動を調べた時、げんは基本振動のほかに、倍振動もしていることがわかった。そのためにげんの発する音は、基本音のほかに振動数がその 2 倍、3 倍などの音も含んでいる。振動数が 2 倍のものを第二倍音、3 倍のものを第三倍音などという。楽器の発する音では、基本音より倍音の方が強いことももあるが、音の高さは基本音の振動数できまる。

3. 空気柱の振動

実験 1 次のページの図のように、長いガラス管の上で

音を鳴らしながら、水面を静かに上げ下げしてみよ。音の強さはどのように変わるか。

問 1 164 ページの実験と比べて、この現象を説明してみよ。



管内の空気柱は、げんと同じように定常波をつくって振動する。ただげんと違う所は、上端では外の空気とつながっていて、そこがいつでも腹^{うぶ}になって振動することである。そのために、水面が上端から波長の $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ などの位置に来た時、定常波をつくって強く振れ出す。

問 2 ある音さで実験してみたところ、水面が上端から 32.0 cm 及び 98.4 cm になった時、強くなった。音さの振動数及び音さの波長はそれぞれ何程か。

上端にできる腹は管口より少し上である事に注意して計算してみよ。

げんが振動して発音体となるように、管内の空気柱も振動して発音体となる。笛・尺八・ラッパなどの管楽器が音を発するのは皆この理による。この時もげんの振動と同じように、一

1) 詳しくは、腹は管の開口端より少し外の方にできる。

般には基本振動のほかに倍振動も同時にしているので、これから出る音も基本音のほかに倍音が混じっている。

尺八や笛などでは、管内の空気柱は吹口(歌口)の所でも、外の空気とつながっていて、そこも腹になって振動する。

このように、両端とも開いた管を一般に開管といい、これに対して一端の閉じた管を閉管という。

4. 共 鳴

実験 1 振動数の等しい二つの音さを並べて置き、一方をしばらく鳴らしてからとめてみよ。この時、他の音さが微かに鳴っているのがわかるであろう。

又、他の音さの両方の枝にそれぞれ針金を少し巻いて、同じことをやってみよ。こんどはこのようなことの起らないことがわかるであろう。

この実験からわかるように、外から来る音波の振動数が、音さの固有振動数に近くなると、音さは共鳴して鳴り出す。音さには、これを取り付ける箱がついていることがある。この箱は何のためであろうか。

実験 2 箱を附けたまま音さを鳴らしてみよ。次に、箱を取り去って鳴らしてみよ。この時、音の強さはどのように違うか。

音だけが振動しても、空気は音の枝をまわってしまうので、空気に縦波を起しにくいから音も弱いが、これに箱を附けると、音の振動が箱に傳わって廣い面積を持つ板が振動するから、粗密の波を出しやすくなる。それが振動し、又 171 ページの実験で予想されるように、箱の大きさが適當であると、中の空氣柱がこれに共鳴して鳴り出すので、強い音が出るのである。この箱を共鳴箱という。

バイオリンなどの樂器の胴の作用もたいたいこれと同じであるが、胴のように構造が複雑なものでは、いろいろな周期を持つ数種の固有振動をすることが出来る。そのため、げんの振動と胴の振動との関係はやや複雑で、簡単な共鳴ではなくなる。

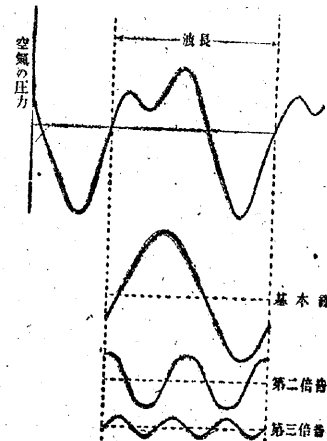
5. 音 色

バイオリンの音と笛の音とでは、その高さや強さが同じでも、はっきり區別することができる。このように音色が違ふのは、何によって起るのであろうか。

音をマイクrophonに当てて空氣の圧力の速かな変化を電流の変化に変え、この電流の流れる細い導線を磁石の兩極の間に置くと、導線は電流の強弱につれて動く。導線の動く有様を詳しく調べてみれば、空氣の圧力の変化する有様がわかる。音波についていろいろなことを調べるには、普通このような方法が用いられる。

いろいろな樂器から出る音について、音波の波形を調べてみると、それぞれ違っている。次のページの図は、バイオリンから出る音についての一例であるが、この波動を分析して

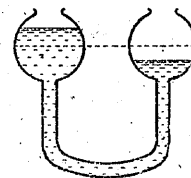
みると、三つの正弦波の重なったものであることがわかる。これらはそれぞれバイオリンの発する基本音及び第二・第三倍音に相当している。倍音の混ざり方は、それぞれの樂音によって違ふ。これが音色の違いを起すおもな原因と考えられる。音の音や笛から出る高い澄んだ音などは、基本音以外の音を含まない單純な音である。



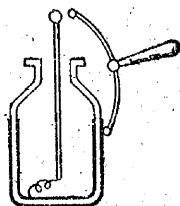
4. 電氣振動と電磁波

1. 蓄電びんの放電

図のようなガラス管に水を入れ少し傾けてから急に起すと、管が太い時には水は管内で振動する。水面は重力のために、水平になろうとして水流を生ずるが、慣性のために今度は水面の高さが逆になってとまり、このようなことを数回繰り返す。蓄電びんを充電し、その内外の金属のはくを次のページの



図のように金属の棒によって接触しよう
とすると、そのすき間に電気火花が生ず
る。この時、蓄電びんにたまった電気は
電位の高い方から低い方へ流れるが、電
流にも自己誘導の現象があって、電流の
強さをそのまま保とうとする性質がある

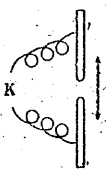


から、こんどは正、負が逆に帯電してとまり、このようなこ
とを数回繰り返す。この現象を電気振動といい、この時の電
流を振動電流という。

振動の周期は、回路の形や蓄電びんの電気容量などによっ
てきまり、回路の抵抗があまり大きくない場合
には、回路の自己誘導係数を L ヘンリー、電気
容量を C ファラドとすれば、周期 T 秒との間
に次の関係がある。

$$T = 2\pi\sqrt{CL}$$

普通の蓄電びんの放電では数十万分の一秒程度であるが、図のように、ただ2
本の棒の間で起る振動では、数億分の一秒程度にすることもできる。

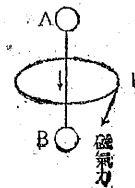


2. 電気振動による電界と磁界の変化

電気振動が起った時、その周囲ではどんなことが起るであ
ろうか。

- 1) 振動電流は一種の交流であるから、誘導線輪のように、導線を非常に数多
く巻いたものの中はほとんど流れない。

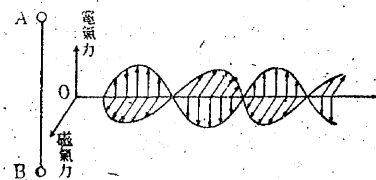
問1 図のような装置でA、A⁺
Bがそれぞれ等量の正及び負
の電気を持っている時、P点
にある電気にはどのような電
気力が働くか。



又、A から B に電流が流れている時、P 点に置いた磁
気にはどんな磁気力が働くか。

A, B の間に電気振動が起れば、A, B の持つ電気量も、こ
の間を流れる電流の強さも速かに変わる。このような時には、
また別のいろいろなことも起って来るが、しかし、だいたい
想像されるように、P 点では電気力も磁気力も共に周期的に
変わる。

又、詳しい研究に
よると、A, B の作用
がP点に及ぶには、
少し時間がかかる。



したがって、P が遠
いほど A, B の作用がおくれて到着する。このために A, B に
電気振動が起っている時、ax 上の各点における電気力と磁気
力とは、上の図のように変わって行く。

このように、電気力も磁気力も波動の形で傳わることがわ
かったであろう。この波動を電磁波という。

音は空気の圧力の変化が波動の形で傳わるものであるが、圧力を傳えるのに空気が必要である。しかし、電氣力や磁氣力は真空中でも傳わるから、電磁波は真空中でも傳わって行く。詳しく調べてみると、電氣力の波動と磁氣力の波動とは、いつもいっしょに生じ、傳わる速さは真空中では共に後に述べる光の速度と同じで、 3×10^{10} cm/秒である。

問 2 電磁波は縦波か横波か。

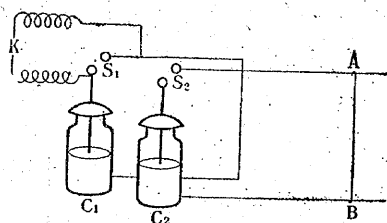
問 3 振動数が毎秒 100 万の電氣振動器から出る電磁波の波長は何 m か。

3. 電氣共鳴

実験* 図のよう
に、大きさの
等しい蓄電びん
 C_1 , C_2 に、それ
ぞれく形(矩形)
の導線と火花間

げき(間隙) S_1 , S_2 とを連結し、誘導線輪 K_1 で S_1 に火花を飛ばさせながら、AB の部分をいろいろ動かしてみよ。両方の回路の形がだいたい同じになった時、 S_2 に小さな火花の出ることがわかるであろう。

両方の回路の形が同じになれば、その中に起る電氣振動の



周期も同じになる。ちょうど振動数の等しい二つの音を対立させたのと同じことで、共鳴が起って第二の回路にも電氣振動が発生するのである。

到来する電磁波が非常に強い時には、このように火花によってこれを検出することもできるが、電磁波が弱い時にはわかりにくい。しかし、鉱石検波器や真空管検波器を使うと、弱い電磁波を検出することもでき、又、真空管増幅器を使えば、できた振動電流を強くすることもできる。このような方法で、電磁波はラジオやその他の通信などに用いられている。

問 たくさんの放送局から同時に放送されても、その中で一つだけ選択して受信することができる。これはどうしてであろうか。この時、われわれは受信器のダイヤルをまわして、その放送局に合わせるが、ダイヤルをまわすのは何のためか。受信器を分解して調べてみよ。

5. 光の本 性

1. 光と波動

光は霧吹きの中から出る霧のように、何か非常に小さい粒子の走っているものであろうか。それとも、音波のように一種の波動であらうか。光の進む有様を考えながら考察してみよう。

(1) 光は固体の中を通過しても、その速さが少しも衰えないし、照空燈の光が二本交わる所を見ても、それぞれ少しも乱されずに進んで行く。又、物体から出る光の速さは、その

物体が走っていても、とまっても変わらないものである。

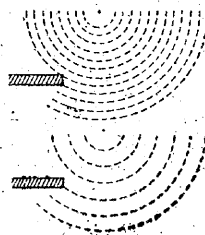
(2) 水波でも音波でも電磁波でも、一般に波動は皆回折するが、光は回折しないように見える。

問1 上のことから、光の本体はどちらであると考えられるか。

(1)の性質から考えれば、光はどうしても波動でなければならないと考えられるが、何故光だけは回折しないのであろうか。一般に波の回折ということについて、もう一度調べなおしてみよう。

問2 池の面にできた極めて波長の短い波と、比較的波長の長い波とが、物体によって回折する有様をよく観察してみよ。

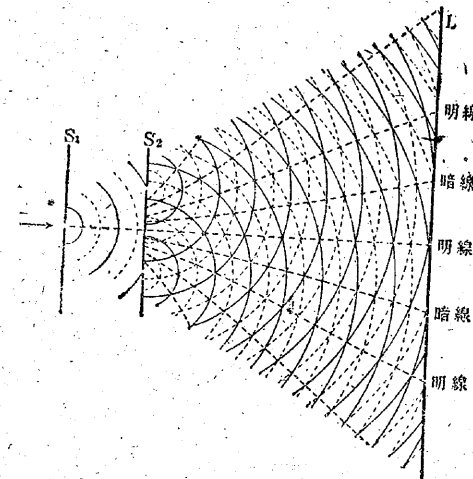
波長が長いほどよく回折し、波長の短いものは、あまり回折しないことがわかるであろう。



このことから、光は波長が極めて短いために、回折がほとんど起らないのではないかと考えられる。果して、波動であ

るとしたらどんなことが起るはずか想像してみよう。

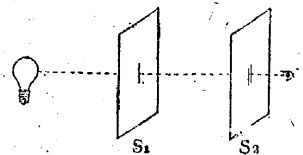
問3 次の図のように、一つの細いすきまから出た光を、更に二つの細いすきまを通し、これを白いつい立Lの上に受けると、干渉の結果、つい立の上に明暗のしまができるはずである。そのわけを考えてみよ。



つい立の代わりに眼を置けば、明暗のしまが見えるに違いない。実験してみよう。

1) 水の波で同じようなことをやってみると、干渉の結果、明線に当たる所はよく波立ち、暗線に当たる所では水が動かない。

実験 ガラス板に黒紙をはり、これに小刀で細い傷をつけて細いすきまの線を一
本作れ。同じ方法で、も
う一枚の方には二本の細
いすきまの線を極く接近
して平行に作り、これらを図のように置いて、 S_2 の直ぐ後
から S_1 の細いすきまをのぞいてみよ。



明暗のしまが見えたであろう。つい立Lの代わりに写真の
乾板を置けば、しまを写すこともできる。このことから、光
も少しは回折し、又、干渉もすることがわかり、したがって、
光は一種の波動であることが確かめられる。

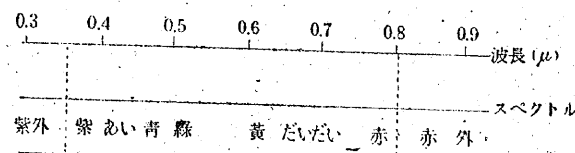
この時よく見ると、しまには色がついている。これは光の
色によって波長が違い、波長が違えば明線や暗線のできる場
所が変わってくるためと考えられる。

問4 光源に Na 灯のおを用い、 S_2 上の二本の細いすき
まの間隔を 0.6 mm 、 S_2 とつい立Lとの距離を 1 m とし
た時、つい立上で中央の明線からその隣の明線までの距離
が 1 mm であった。光の波長は何程か。¹⁾

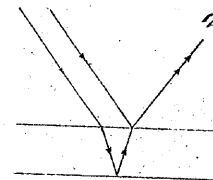
このようにして、種々の色の光や紫外線・赤外線などは、

1) 詳しく調べてみると、 $0.5893\text{ }\mu$ (ミクロン)である。但し、 $1\text{ }\mu=10^{-5}\text{ mm}$

その本性は皆同じで、ただ波長がそれぞれ違うものであるこ
とがわかる。

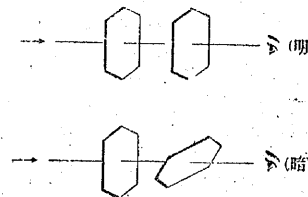


水面に浮かんでいる油の薄い層は、見方によ
って非常に美しい色を呈することがある。
石けん玉もこれを大きく膨らませると、やは
り美しい色がついて見える。このように、一
般に透明な薄い層は美しい色を呈するが、こ
れらは薄い層の表面から反射する光と、裏面
から反射する光との干渉の結果として説明することができ
る。又、このことを利用すれば、薄い層の厚さを測ることもできる。



2. 光と横波

実験 結晶軸に平行に
切った電氣石の板を二枚
重ね、これを通した光
を見よ。



両板の結晶軸が平行の時最も明かるいが、一方の板を直角
だけまわすと最も暗くなるであろう。

このことからわかるように、光波は横波で、電氣石はある

方向に振動する光だけしか通さないから、一度電気石の板を通過した光波の振動方向は、一定しているものと考えられる。このような光を偏光という。

電気石の板を1枚だけ用いたのでは、どんなにまわしても明暗を生じない。このことから、自然光はいろいろの方向に振動する横波の混じったものであると考えられるであろう。

3. 光と電磁波

光波は真空中でも傳わるから、媒質のいらぬ横波と考えなければならないが、電磁波の場合も同様である。

電磁波と光との性質を比較してみると、第一にその速さが同じで、共に真空中では $3 \times 10^{10} \text{ cm/秒}$ である。このほか、反射や屈折や干渉なども同じように行う。ただ異なる所は回折の程度であるが、これは波長が異なるので当然である。

これらのことから、光も紫外線も赤外線も皆、電磁波の一種であると考えられる。

- 1) 普通の電気振動器から出る電磁波は、その電気力や磁気力の振動方向がまわっているから、偏光に相当したものである。

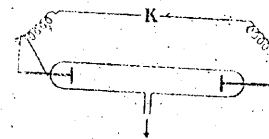
電子とふく射

ふく射(輻射)は電磁波であるから、電気や磁気と密接なつながりを持っているに違いない。又、どういう時に物体からふく射が出るのであろうか。これについて、もう少しいろいろ調べてみよう。

1. 真空放電

空気は絶縁体で電気を通しにくいから、圧力を減らしてうすくしたらどうなるのであろうか。

実験 図のようなガラス管に空気を入れ、その両端には電極を封入し、これを誘導線輪Kの両極につないで、高い電圧を與えながら、真空ポンプで中の空気をだんだん抜いてみよう。



初め、空気の圧力が1気圧の時には放電は起らないが、圧力を減らして行くと、赤紫色の紐状の光のすじが現れ、更に圧力が減ると、光は管の中全体に拡がる。圧力が氷銀1mm以下になると、陰極に近い所だけを除いて、美しい赤い光を発するようになる。

他の気体でも同様に光を発するが、この時発する光は気体の種類によって異

なり、分光器で調べてみると、それぞれの気体に特有の線スペクトルを生じていることがわかる。

圧力を更に減らして行くと、こんどは光が淡くなり、 $10^{-3}mm$ ぐらいになると、ほとんど光が見えなくなるが、その代わり陰極に対するガラスが緑色に光り始める。圧力をもっと減らして $10^{-5}mm$ ぐらいにすると、この光も消えて、電気はほとんど管内を通らなくなってしまう。

一般に、圧力の小さい気体中の放電を真空放電という。

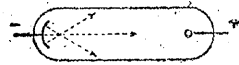
2. 陰極線

圧力を $10^{-3}mm$ ぐらいにした時、ガラスが緑色に光るのは何故であろうか。

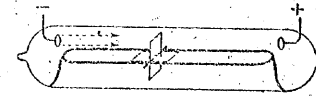
次の図のような形の放電管で、管内にアルミニウムの板を置いて放電させると、ガラスの壁にその影がはっきりできる。これによって、陰極から何か真直ぐに走り出ているものがあって、それがガラスに当たってけい光を発しさせると考えられる。これを陰極線というが、これも光と同じように電磁波の一種であろうか。

陰極線についていろいろ調べてみると、けい光作用や写真作用のほかに、次のような性質がある。

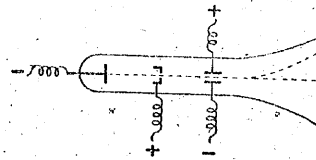
(1) 陰極の面に垂直に出る。したがって、陰極をおう球面にしておけば、一度その中心に集まる。



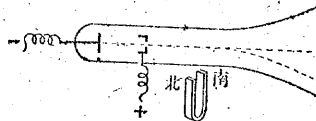
(2) 物体に圧力を及ぼす。したがって、その通路に小さな風車を置けばこれがまわり出す。



(3) 電界の中で曲がる。その曲がり方は、走っている負の帯電体の曲がり方と同一である。



(4) 磁界の中でも曲がる。陰極線に沿って、電流がこれとは反対の向きに流れていると考えた時の曲がり方と同じである。



問 これらの事実から、陰極線の本性は何であると考えられるか。ふく射の性質と比べて考えてみよう。

電界や磁界の中での曲がり方から、陰極線の速さを知ることができる。速さは誘導線輪の電圧によっても違いますが、だいたい光速の数十分の一程度である。

3. 電子

陰極線の粒子を電子というが、電界や磁界の中での曲がり

1) ふく射も幾らか圧力を及ぼすが、それは非常に小さいものである。

方やその他いろいろなことから考察してみると、電子の質量は $9 \times 10^{-28} g$ 、電気量は 1.6×10^{-19} クーロンである。これらの値は電圧によらないばかりでなく、放電管の中の気体にも、電極の物質にも関係なく、常に一定である。

電子の質量は水素原子に比べてさへも、その $\frac{1}{1800}$ に過ぎない。又、いろいろの帯電体の持つ電気量は、皆電子の電気量のちょうど整数倍になっている。

このようないろいろなことから、電子は原子を構成する要素で、原子はそれぞれきまった数の電子を含むものと考えられている。しかし、原子は普通には中性であるから、電子群の負電氣に等しいだけの正電氣を持ったものがあるはずである。

これについてもいろいろ調べた結果、原子にはその中心に正電氣を持った原子核と呼ばれる粒子があり、その周りには電子群がまわっていて、ちょうど太陽系のような構造になっているものと考えられている。核はそれぞれの原子によって違い、その質量は原子の質量の大部分に当たる。

物体は原子の集まりであるから、結局、原子核と電子とからできているといえる。もし物体の中の電子の数が不足していれば、正の帯電体となり、過剰であれば負の帯電体となる。

針金を流れる電流は、電子群の流れと考えられる。²⁾ その電流が磁界を生ずる

- 1) 原子や分子などで、電子が不足していたり、過剰にはいつていたりするものが、それぞれ陽イオン及び陰イオンである。
- 2) 正電氣の流れる向きを電流の向きと約束したから、これと電子群の流れの向きとは逆になる。

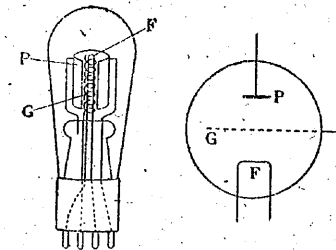
ことから電子が運動すればその周りに磁界を生ずることも考えられるであろう。このようにして磁氣は電子の運動に基づくものという考えも成り立つ。又、核の周りに運動している電子の運動状態が急に変わって、そのために原子の持つエネルギーが減る時そこから光などのふく射が出て行くものと考えられている。

4. 三極真空管

真空放電では、管内の圧力が $10^{-5} mm$ 程度になると、もはや陰極線も見られなくなり、電流はほとんど管内を流れない。このことから、陰極線を生ずるものは管内の気体にあることがわかる。

電氣通信に用いる三極真空管も、やはりこのような非常に高度の真空管であるが、この中をどうして電流が通るのであろうか。

実験 I 三極真空管のガラス球を取り去って、内部の構造を調べてみよう。

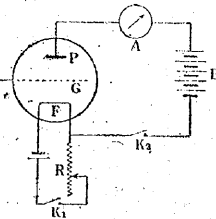


三極真空管の中央には、細い糸 (F) があって、これ

- 1) 電子の飛び出した残りの原子や分子は陽イオンとなって進み、途中で中性の原子や分子などに衝突して、これを作らないながら陰極線とは反対の向きに流れる。これを陽極線という。

は外からの電流で熱することができる。繊維を囲んで、陽極板(P)があり、これらの中間には繊維を取り巻いて、網状かつる巻状のもう一つの極(G)がある。これを格子と名づける。

実験2 図のように、真空管に電流計A、電池B、スイッチ K_1, K_2 、抵抗器などを結び、 K_1 を開き、 K_2 を閉じてP、Fの間を電流が流れるかを調べよ。次に、 K_1 を閉じて繊維に電流を流して熱しながら K_2 を閉じてみよ。電流は流れるか。この時、電池Bの向きを逆にしてみよ。



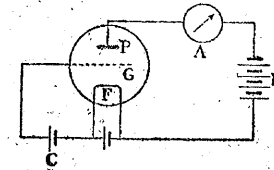
一般に真空管の中で繊維を熱すると、その表面から電子が飛び出す^りが、その数は繊維の温度が高いほど多い。

問1 FよりもPの方が高電位の時だけ、電流が流れるのはどういうわけか。又、Bの代わりに交流の電圧を作用させた時、電流はどのように流れるであろうか。

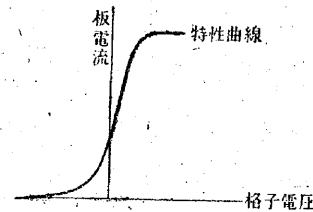
- 1) この時出る電子のことを熱電子とか熱イオンなどというが、電子と同じものである。
- 2) 真空管は整流用としても用いられるが、この時には格子はいらない。このようなものを二極真空管という。

こんどは格子の働きを調べてみよう。

実験3 格子と繊維回路との間に、図のように電池Cを結び、Cの電圧をいろいろ変えたり、その向きを逆にしたりして、BAPFB回路(板回路)を流れる電流(板電流)が、どう変わるかを調べてみよ。



Fに対する格子の電圧を格子電圧というが、これと板電流との間には、真空管の種類にもよるが、だいたい図に示したような関係がある。この曲線を三極真空管の特性曲線という。



問2 電池Cの代わりに交流電圧を與えた時、板電流がどう変わるか。特性曲線の図を見ながら考えてみよ。

問3 弱い振動電流から強い振動電流を得るには、三極真空管をどう使えばよいか。

三極真空管は電磁波を検出したり、あるいは発生させたりする時に用いられるので、電気通信などでは非常に大切な役目をしている。

5. エックス線

高速度の電子群が固体に衝突すると、そこから一種の放射線が出て、これがガラスに当たると黄緑色のけい光を発しさせ、特にシアン化白金バリウムに当てると美しい緑色のけい光を発しさせる。この放射線をエックス線という。エックス線を発生させるための真空管をエックス線管球というが、これには気体放電の陰極線を利用するものと、熱電子を利用するものとの二種類がある。

エックス線は直接眼には見えない。しかし、写真乾板には作用し、物体に当たればけい光を発しさせるなど、いろいろな性質があるが、その最もいちじるしい性質は、物体を透過する作用が強いことである。木材やエボナイトや筋肉など、光に対しては不透明な物質をも透過し、金属でも薄いアルミニウムのようなものは

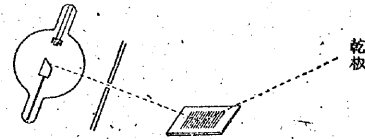
透過する。そのために、いろいろの物体や人体の内部を調べる時など

にも用いられ、又、生理作用もあるので医学上利用されることが多い。

一体、エックス線の本性は何であろうか。

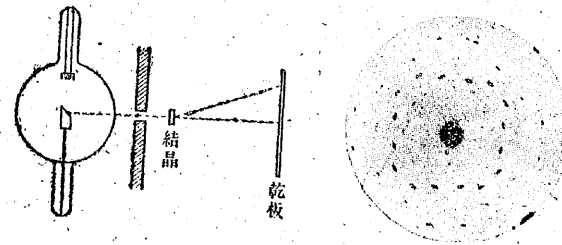
ガラス板の表面に細い平行線を密接して等間隔にたくさん引き、これに図のようにエックス線を当てて、反射したものを写真の乾板で受けると、その上にしまが写る。これはエックス線がやはり一種のふく射線で、ガラスの表面から反射したものが、干渉してできたものであると考えれば説明される。この方法

1) このようなものを回折格子といい、光の波長を測る時に用いられる。エックス線の時にはいろいろの理由から面に対する入射角を 90 度近くになければならない。

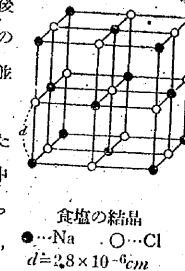


で波長を測ることもできるが、それによると、エックス線の波長は一般に紫外線よりも更に短い。

高速度で走って来た電子が原子に衝突して、急にその運動をとめられたり、あるいは原子の中にある電子が、そのために急にその運動状態を変えたりした時、エックス線が出るのである。¹⁾



エックス線を上の図のように結晶に当てて、その後乾板を置くと、この上に斑点が写る。これは結晶の中にある原子が規則正しく並んでいるために縦横に並んだたくさんの細いすきまと同じような作用をして、これらの細いすきまによって、エックス線が干渉したためであると考えられる。このことから、逆に結晶中の原子の配列の有様を知ることができる。これによっていろいろ調べてみると、金属その他多くの固体では、小さな結晶の集合したものであることがわかる。



このようにエックス線は医学上、工学上ばかりでなく、金属を始めいろいろな材料の研究にも用いられ、物質の構造を知るためには、なくてはならないものである。

1) 原子核の周りにある電子群のうちで、外側の方をまわっているものの運動状態が変わった時出るものが光で、原子核に近い所をまわっているものの運動状態が変わった時出るものがエックス線であると考えられている。

K270.42-1-28

〔昭和 23 年度発行〕

物 理

(2)

昭和 22 年 5 月 1 日印刷 同日 翻刻印刷
昭和 22 年 5 月 5 日発行 同日 翻刻発行

〔昭和 22 年 5 月 5 日 文部省検査済〕

著作権所有

APPROVED BY MINISTRY
OF EDUCATION
(DATE May, 29, 1948)

著 作 者
発 行 者

文 部 省

翻 刻 者
発 行 者

東京都中央区銀座一丁目五番地

大日本圖書株式會社

代表者 佐久間長吉郎

印刷者

東京都新宿区市谷加賀町一丁目十二番地

大日本印刷株式會社

代表者 佐久間長吉郎

東京都中央区銀座一丁目五番地

發行所 大日本圖書株式會社

95120455

佐藤良一郎氏
寄贈編入乙

