

K270.42

1

1

物 理

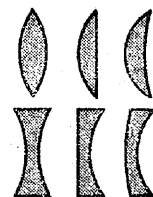
(1)

K27042

文 部 省

物理

(1)



文 部 省

は し が き

十七世紀の初め、望遠鏡が発明されてから、宇宙に関する知識はひろくなり、又、顕微鏡の発明によって、生物の働きや微生物などの世界の神祕が明らかになって来た。十八世紀には蒸気機関が発達して産業界に大きな革命を起し、十九世紀には電気機械ができて、更に新たな動力源が作り出された。今世紀にはいって、電磁波や電子の研究が、通信・交通の上にもたらした革新はよく知られている通りである。

これまで、多くの科学者や技術者によってなされた研究の結果が、人類文化の向上に貢献したことはいちじるしく、又、われわれの生活を豊かにし、社会に役立つことも多かった。これからその基礎の上に立って、科学を更に発達させ、世界の文化と人類の福祉に盡して行かなければならない。

われわれはすでに、力や熱による物の形・大きさ・状態の変化などについて学んできたが、それに続いて光・電気・磁気・力・エネルギーなどの本質について学んで行こう。

いうまでもなく物理を学ぶには、自然の現象や人工物の働きについての観察・実験を基礎として、物ごとを合理的に考察し処理して行く能力を養うことが肝要である。そうして、われわれの環境内での出来事を正しく理解し、生活を合理的に営んで行くばかりでなく、更に進んで、よりよい物ごとを考え出し、作り出すことができるようにしなければならない。

全 編 目 録

は し が き

光

1. 光の進行
2. 鏡
3. レンズ
4. 光に関する器械
5. 発光体
6. 光を受けて見えるもの

磁 氣 と 電 氣

1. 磁 石
2. 電 氣
3. 電池と電流
4. 電 熱
5. 電磁石
6. 直流計器
7. 発 電
8. 交 流

力 と 運 動

1. 直線運動
2. 曲線運動
3. 回轉運動
4. 運動と抵抗

エ ネ ル ギ ー

1. 機械と力
2. 仕事とエネルギー

振 動 と 波 動

1. 振 動
2. 波 動
3. 音
4. 電氣振動と電磁波
5. 光の本性

(4)

電子とふく射(輻射)

1. 真空放電
2. 陰極線
3. 電子
4. 三極真空管
5. エックス線

應 用

1. 熱機関
2. 自動車
3. 水力機械
4. 電動機・電力輸送
5. 船 舶
6. 電氣通信

第一分冊目録

は し が き … … … … … (7)

光

1. 光の進行… … … … … 1
 1. 光の進路
 2. 光の散乱
 3. 物体の影
 4. 光の強さ
2. 鏡 … … … … … 10
 1. 光の反射
 2. 平面鏡
 3. とつ面鏡(凸面鏡)
 4. おう面鏡(凹面鏡)
3. レンズ … … … … … 19
 1. 光の屈折
 2. 全反射
 3. とつレンズ
 4. おうレンズ
4. 光に関する器械 … … … … … 29
 1. 眼の作用
 2. 虫めがね
 3. 顕微鏡
 4. 望遠鏡
 5. 写真機
 6. 映写機
5. 発光体 … … … … … 35
 1. 太陽の光
 2. 分光器
 3. 紫外線と赤外線
 4. 高温物体の発する光
6. 光を受けて見えるもの… … … … … 40
 1. 物体の色
 2. けい光(螢光)とりん光(磷光)

磁 氣 と 電 氣

1. 磁 石 … … … … … 44

(6)

1. 磁石の性質	2. 磁界	3. 地磁気	
4. 物質の磁化	5. 耐久磁石		
2. 電 氣	...	...	51
1. 帯電	2. 静電誘導	3. 蓄電器	
4. 電位			
3. 電池と電流	...	...	60
1. 電池	2. 導体と不導体	3. 電流の強さ	
4. 電氣抵抗	5. 電池の起電力	6. 電池の内抵抗	
7. 電位差			
4. 電 熱	...	...	71
1. 電流による発熱	2. 電 燈	3. 電熱器	
4. ヒューズ			
5. 電磁石	...	...	76
1. 電流による磁界	2. 線 輪	3. 電磁石	
6. 直流計器	...	...	78
1. 磁界の中にある電流	2. 検流計	3. 電流計	
4. 電圧計			
7. 発 電	...	...	82
1. 磁石の運動による発電	2. 他の電流の変化による発電		
3. 自己誘導	4. 渦電流(渦電流)	5. 誘導線輪	
6. 直流発電機	7. 直流電動機		
8. 交 流	...	...	95
1. 交流発電機	2. 交流電動機	3. 変圧器	
4. 發 流	5. 三相交流	6. 交流計器	

光

1. 光の進行

1. 光の進路

光は太陽などの光源から来て物に当たり、その後光のどこかない影を作るから、光源と物と影との間の関係を調べれば、光の進路がわかる。

空気中での光の進路をはっきり知るために、次のような実験をしよう。

実験 1 まず幅の狭い光を一方向に出す装置を用意する。

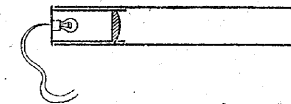
それには紙筒の内側を黒く塗り、

その一方に豆電球とレンズを図の

ように取り付け、他方の底の真中

に小さな孔をあけて、そこから光

を出すようにすればよい。

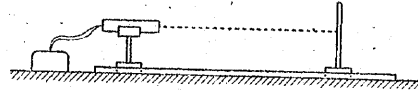


この装置は、これからたびたび使うから、光束装置と呼ぶことにしよう。

次に机の上に真直なみぞを取り付け、一つの白いつい立を、その面がみぞに直角になったまま、みぞに沿って滑らせることができるようにする。光束装置も適当な台にのせ、その中心線が正確にみぞと平行になるようにする。

これだけの用意ができれば室を暗くして豆電球をつける。

そうすると、
つい立の上に
光った部分が



見えるであろうから、その中央に鉛筆でしるしを付け、つい立をみぞに沿って前後に動かし、光の当たる場所が変わるかどうか調べてみよ。

もし、光の当たる場所が変わったら、光束装置の中心線の方をよく調節して、いま一度実験を繰り返せ。

問 この実験から、空気中では、光が一直線上を進むことを説明せよ。

光は空気中だけでなく、真空中でも、あるいは水やガラスのような透明体の中でも一直線に進行する。

上の実験で使ったような光は、ある限られた切り口を持っていて、光の進路全体が一つの束になっているから、このような光を光束という。光束が非常に細くなると線状になるから、そのようなものを光線という。

光の進路は見えるかどうか。

上の実験で、光は一直線に進んでいることはわかったが、その進路は室内の空気が十分澄んでいれば、全く見えなかったであろう。光は眼に対してどうなったとき見えるのか。

実験 2 実験 1 の装置で、つい立を取り去って、先に光

の当たっていた場所に眼を置いて光源の方を見よ。

このように光の進路を側面から見ることはできないが、その光を眼の中へ受け入れれば、光を感じる。

2. 光の散乱

問 1 われわれは光を眼に受け入れなければ光を感じないのに、前節の実験 1 で、つい立の面に光った部分を見た。これは光源からの光がつい立でどうなったのであろうか。

又、この光った部分がつい立の前方のどの方向からも見えることから、つい立に当たった後の進路について、どういことがわかるか。

上の問でわかったような現象を光の散乱というが、光の散乱は、ほとんどあらゆる物体の面で起る。われわれが室内で物を見ることのできるのも、太陽からの光が何回か散乱を受けて、それが最後にわれわれの見る物体で散乱されて眼に入るからである。

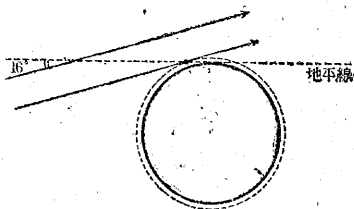
光は普通の物体の表面からばかりでなく、ほこりや霧のようなこまかい粒の集まりからも散乱される。この場合について調べよう。

実験 前節の実験 1 の装置で、光の進路に湯氣を立てて、それをいろいろな方向から観察し、散乱光の強さが方向に

よって、どう変わるかを調べてみよう。

問2 夕立の後などに、雲の間から放射状の光の條が現われることがあるが、これはどうしてであろうか。

問3 太陽が地平線下に没した後も空は薄明かるく光っている。この現象を薄明と呼ぶが、太陽が地平線下だいたい 16° くらいまで没すると、薄明の現象は無くなる。このことから、大氣の存在する高さを計算してみよう。但し、地球の半径を 6370 km とする。



3. 物体の影

光の直進から、物体の影がどんな形になるかわかるはずである。これから一二の場合について考えてみよう。

問1 (1) 直径 50 cm の地球儀を、中心が床から 1 m の高さにあるように置き、その真上に床から 2 m の所に豆電球のような極めて小さな光源を置いたとする。床の上にどんな影が映るか。作図によって調べよう。

(2) 光源が(1)のような点光源でなく、点光源のあった

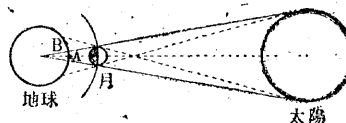
1) 極めて小さな光源を点光源という。

位置に中心のある直径 10 cm の曇りガラスの電球を置いたら、床の上にはどんな影が映るか。作図によって調べよう。

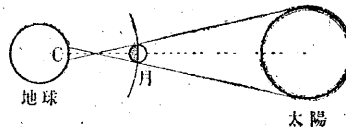
このような場合にできる影の中で、少しも光の達しない部分を本影、光が少しは達するが、全体の光の達しない部分を半影という。

われわれと太陽との間に月が来た時には日食が起る。又、月食は、太陽によって生ずる地球の本影の空間に、月が入る時に起る。

問2 右の各の場合で、A, B, C の各点から見た太陽の形はどうなるか。



これらをそれぞれ皆既食・部分食・金環食という。



問3 月食で、皆既食と部分食はそれぞれどういう時に起るか。

問4 日中、地面に横たえて置いた棒を持ちあげて行くと、その影がだんだん薄くなって行くのはどういうわけか。

問5 つい立に近づけて一本の棒を立て、その前の方にあかりを置いてこれを照らす。次に、そのつい立をだんだんと後退させる時、影はどんなに変わって行くと思うか。

問6 日食の起るのは新月の時、月食の起るのは満月の時であるが、新月や満月の時、いつもきまって起るわけではない。何故か。

小さな孔でできる像

実験 晝間、外に面した暗室の壁に小さな孔をあけ、その手前に白いつい立を立て、孔からつい立までの距離をいろいろに変えて、映っている像がどう変わるかを観察し、その像のできるわけや変わるわけを説明せよ。

問7 林の中などで、地上の日影に円い光った部分がたくさん現われることがあるが、あれはどうしてできるのだろうか。

4. 光の強さ

われわれがいくら注意して光の進む速さを見ようとしても、そのままではわからないが、特別な方法を使って調べると、その速さを測ることができる。その結果によると、光の速さは 3×10^{10} cm/秒 である。これは世の中で一番大きい速さであることが知られている。

光は光源から何かが上の速さをもって四方に直線的に流れ出しているものと考えられるが、霧吹きから吹き出している水滴の例を考えてもわかるように、光の流れの強さは、光源

1) 水滴の進路は先へ行って曲がるが、そのことは今考えないことにする。

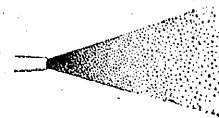
から遠い所ほど弱くなると思われる。

実際、電燈などの光が遠い所ほど弱

くなることは、われわれのよく知っ

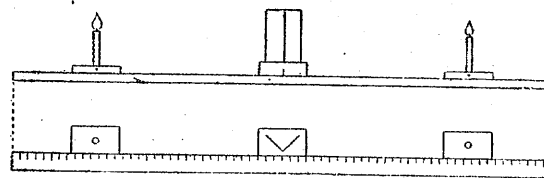
ていることであるが、果してどのよ

うに弱くなるのか、実験して調べよう。



実験1 目盛りをした長いみぞと、それに沿って滑らせることのできる三箇の台とを用意し、真中の台にはつやのない白紙を、下の図のようにみぞの方向に対して 45 度に傾けて二つ並べて立てる。又、左右の台の真中には、火をつけた同じ種類のろうそくを一本ずつ立てて、室を暗くする。

このようにすると、左の紙は左のろうそくだけによって、右の紙は右のろうそくだけで照らされるようになるから、眼を紙の台の真正面に置いて、左右の紙の明るさを比べながらろうそくの位置を調節し、左右が同じ明るさになるようにせよ。



この場合、紙の合わせ目から、左右のろうそくの中心線までの距離は、どんな関係になるか。

実験 2 前の装置で、左の台のろうそくを二本にし、それと中央の台との距離をいろいろに変えて、前の実験と同じことを数回繰り返してみよ。

この実験の場合には、紙の合わせ目から左右の台の中心までの距離の割合はどうなったか。

前の霧吹きのとえからもだいたい想像されるように、これらの実験から、光の流れの強さ(単に光の強さという)は、光源からの距離の二乗に反比例して小さくなる。

したがって、光源から r だけ離れた点における光の強さを I とすると

$$I = \frac{I_0}{r^2}$$

で表わされる。 I_0 は単位距離における強さである。

問 1 写真を焼き附けるのに、ある電燈から 80 cm の距離では 10 秒を要したとすれば、150 cm の距離では何秒かかるか。

光源の強さ

ろうそくに明かるいのと暗いのとがあるように、光源の強さにもいろいろあるから、それを数で表わすと便利である。普通には標準ペンタン燈と呼ばれるものを基準として、これ

を 10 しょく(燭)の光源と定める。

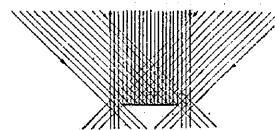
問 2 1 しょくの光源から 1 m の場所の光の強さは、16 しょくの光源から何 m の場所の光の強さに等しいか。

問 3 二つの電球のしょく光を比較するには、どんな実験をすればよいか。

光の照度

ある場所につやのない物体を置いた時、その面がどんな明かるさに見えるかは、その面の性質にもよるが、光源の数や強さや位置でできる。光の方について、もっと詳しくいえば、その面を照らすいろいろな方向の光の強さと、それらの光の面に対する傾きとでできる。

いいかえれば、照らされる面の単位面積に当たる光の流れでできる。これをその面の受

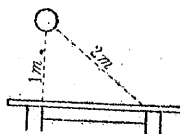


ける光の照度というが、照度は、われわれが日常仕事をする上に極めて大切な量である。

照度の単位には、1 しょくの光源から 1 m の距離にあって、光源の方向に垂直な面の照度を用い、これを 1 ルクスという。

この場合には、面はそれに垂直な光だけしか受けないが、これは照度の単位を定める便宜のためで、一般の場合の照度には、いろいろな方向から来た光を含んでいることを忘れてはならない。

問 4 机の面から 1 m の高さに 100 しょくの電燈がついている。電燈から 1 m 離れた机の面の照度は幾らか。



・面の明かるさ

同じ照度の光を受けても、面の性質によって、その明かるさが違うことは、われわれの常経験していることである。これは、それらの面が受けた光の何割を散乱させて、光として四方へ送り返すかであることである。

光の吸収と散乱

濃い色ガラスを通して太陽を見たことがあるか。このように、光はある種の物質の中を通る時には、それに吸収されて弱くなる。

湯気などによる散乱光については、すでに調べたが、それを通り抜ける光の方については考えなかった。太陽の面に雲がかかると、その間、日照が弱くなることから考えて、散乱も吸収と同じように、通過する光を弱めるものであることがわかるであろう。

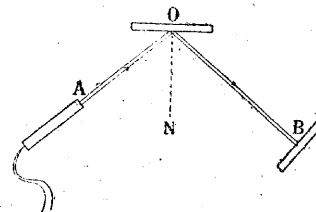
2. 鏡

1. 光の反射

たらいの水で反射した日光が、壁に水面の形を映し出すこ

とがある。このように、光の進路は反射によって急な変化を受けるが、この変化にはどんな法則があるかを調べよう。

実験 表面がよく光を反射する平面の鏡を、その面が鉛直になるように机の上に立てる。鏡の面の中央には細い縦線を引いて、それが机の面を指



す点(O)を机の上にする。次に、1ページの実験1で使った光束装置をつい立を取り出し、光束装置の中心線を水平にして、光を斜に鏡の中央線の上に当て、反射光を図のようについ立に受けて、次のことを調べよう。

(1) 机の面から、つい立の上の光った部分までの高さ、光束装置の孔までの高さとを比較してみよ。

(2) 光束装置の孔の真下の点(A)と、つい立の上の光った部分の真下の点(B)とを机の上にするし、直線 AO, BO 及び鏡面への垂線 ON を机の上に白墨で書き、角 AON(入射角)と角 NOB(反射角)とを比較してみよ。

以上のことを入射角をいろいろに変えて繰り返してみよ。

この実験から、(1) 入射光線と反射光線とを含む面は、光を反射する面に対して垂直であり、(2) 入射角と反射角とは

相等しいことがわかる。

これらの二つの関係を、反射の法則という。

反射の法則は、すべての滑らかな面で行われるが、反射される光の量は、反射する物質によって非常に違う。

例えば、水面やガラスの面からの反射は弱いが、金属殊に銀の面からの反射は強い。普通の鏡は、よい平面ガラスの裏面に銀を薄く附けたものである。

しかし銀などでも、面が滑らかでないと、その細部では上の法則で表わされるような反射が起るが、全体としてはいろいろな方向へ光を送り返すいわゆる乱反射が起る。普通につや消しと呼ばれている面での反射がそれである。

これから、いろいろな鏡からの光の反射を調べよう。

2. 平面鏡

平面鏡は、普通、物の形を映して見るのに用いられているが、物の形がどうして映るのであるうか。反射の法則から考えてみよう。

問 1 平面鏡の前に一つの点光源か、あるいは四方に光を散乱する非常に小さい物体(光点)がある。今、それから出て、鏡のいろいろな部分に当たって反射する光の路を、なるべく正確に作図してみよ(紙の面が、光源を通して鏡に直角な面に当たるとしてみよ)。

それらの反射光線を表わす線を、鏡の後の方へ延長したら、延長線は互にどのように交わるか。

鏡の前に眼を置いて反射光線を眼に入れたら、どんな物

を見ている感じがするであろうか。

このように考えると、人は鏡の後に光点と同じ物を見る理由がわかったであろう。この同じ物を、その光点の像という。

問 2 平面鏡の反射で、光点の像は鏡に対してどんな位置にできるか。このことから、物体を光点の集まりと考えて、ある物体とその像との形の関係をいい表わせ。

問 3 鉛直に立っている平面鏡の前に立って、自分の全身を映すことのできる姿見の大きさは、どれだけあればよいか。

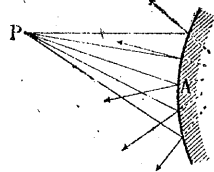
問 4 互に直角になるように置かれた平面鏡の間に、一つの光点を置いた時、像は幾つできるか。又、その物体より眼に入るまでの光の通路を示せ。

3. とつ面鏡(凸面鏡)

球面の一部を切り取って、その外側を鏡にした物をとつ面鏡という。その球面の中心Oと、鏡面の中心Aとを結ぶ直線を、とつ面鏡の軸という。

問 1 平面鏡で行ったと同様に、とつ面鏡の前に一つの点光源を置いたとして、それから出てとつ面鏡のいろいろな部分に当たって反射する光の路を、紙の面を光源と軸と

を含む面と考えて、なるべく正確に書け。これらの反射光線を鏡の後ろの方へ延長したら、延長線はどのように交わるか。



鏡の面積の割合に中央の出張りの小さい鏡では、反射光線がほぼ一点で交わることがわかったであろう。したがって、このような鏡では、一点から出た光は皆一点から出たように反射することがわかる。

P 点の像がどこにできるかを知るには、反射後の方向がわかっている二つの光線を取って、これらの反射光線を逆に延長した交点を求めればよい。

このために、次のような光線を考えるのがよい。

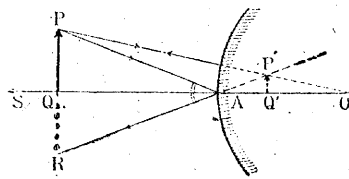
(1) P から球面の中心 O に向かう光線。

反射光線は OP の方向に向かう。

(2) P から鏡面の中心 A に向かう光線。

反射光線は AR の方向に向かう。但し、R は軸に対して P と対称の点である。

このようにして、OP, AR の交点 P' を求めれば、これが P の像である。したがって、PQ の像は P'Q' となり、物体の像



を求めることができる。

AQ 及び AQ' をそれぞれ u, v とし、球面半径を r とすれば、 $\triangle OP'Q'$ と $\triangle OPQ$ とは相似であるから

$$\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{OQ'}{OQ} = \frac{r-v}{r+u} \dots\dots\dots (1)$$

又、 $\triangle AP'Q'$ と $\triangle APQ$ とも相似であるから

$$\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{AQ'}{AQ} = \frac{v}{u} \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2) から

$$\frac{r-v}{r+u} = \frac{v}{u}$$

故に

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{2}{r}$$

という関係が得られる。これをとつ面鏡の公式という。

球面の半径と、鏡面の中心から物体までの距離 AQ とがわかれば、この式によって、像までの距離 AQ' が求められる。

PQ が非常に遠い時には $\frac{1}{u} = 0$ であるから $\frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ となる。したがって、非常に遠い物体の像は OA の中点にできる。この時の Q' のことを、とつ面鏡の焦点という。鏡面の中心から焦点までの距離を焦点距離といい、これを f で表わせば、 $f = \frac{r}{2}$ である。したがって、とつ面鏡の公式は $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ となる。

問 2 とつ面鏡の軸に沿って、一つの光点 P を非常に遠

方から鏡の面まで、しだいに動かす時、その像はどう動くか。作図して調べよ。これによって、とつ面鏡の前にある物体の像が、どのように映るかを考えよ。

次に、実際のとつ面鏡に物を映して、この考えが当たっていたかどうかを験してみよ。

問3 自動車には、車の後方を見るためにとつ面鏡を取り付けてあるが、平面鏡を使うよりもどんな利益があるか。

4. おう面鏡(凹面鏡)

球面の一部を切り取って、その内側を鏡にした物をおう面鏡という。おう面鏡による反射でも、とつ面鏡と同じように、鏡の前の一点から出た光の反射光線は皆一つの点で交わる。

ただ前と違う点は、反射光線を逆に延長したものが一点に集まる場合だけでなく、実際に反射光線そのものが一点に集まる場合もあることである。

したがって、おう面鏡を太陽に向けて、焦点に紙切れを置くと焦げ出すが、とつ面鏡の焦点では、そのようなことは起らない。このように、実際に光が集まる像を実像といい、これに対して、平面鏡やとつ面鏡で見たような、つい立に映すことのできない像を、きょ像(虚像)という。

おう面鏡の前にある物体の像を知るには、とつ面鏡の時に用いた考えをそのまま使えばよい。

問1 物体をしだいに遠方からおう面鏡に近づけた時、

像は実像から、きょ像に変わるが、どこが境になるか。又、像は物体と反対の立ち方(倒立)から同じ立ち方(正立)に変わるが、どこが境になるか。

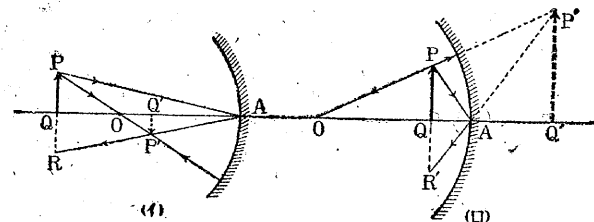
問2 物体から鏡まで、像から鏡までの距離を、それぞれ u, v とし、球面の半径を r とすると、次の関係があることを証明してみよ。

(1) $u > \frac{r}{2}$ の時 (実像の時)

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$$

(2) $u < \frac{r}{2}$ の時 (きょ像の時)

$$\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$$



上の図の PAP' という光の進路を考えてみるに、 PA と AP' とは、 P 点で反射の法則を満足しているのであるから、逆に P' から $P'A$ という光が出たら、それは P を通るはずである。他のいろいろな反射光線についても同じことがいわれるから、 P' を光点とすれば P はその像になる。

このように、光はいつも同じ進路の上を、向きを変えて逆行させることができるのである(光の逆行の法則)。

とつ面鏡の場合と同様に、PQが非常に遠い時は $\frac{1}{u}=0$ であるから $v=\frac{r}{2}$ となる。したがって、非常に遠い物体の像は、OAの中点にできる。この点がおう面鏡の焦点で、焦点距離を f とすれば、前と同様に $f=\frac{r}{2}$ となり、おう面鏡の公式は

$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ (実像の時) $\frac{1}{u} - \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ (きょ像の時) となる。

問3 おう面鏡の焦点距離を実際に求めるのには、どうすればよいか。

問4 半径 10 cm の おう面鏡の前方 20 cm の所に、高さ 3 cm の物体がある。この像は、実像か、きょ像か。正立か、倒立か。又、高さは何程か。

問5 鏡の前方 25 cm の所に物体を置いた時、鏡の前方 1 m の所に実像を作るおう面鏡がある。今、その鏡の前方 30 cm の所に物体を置けば、どんな像が、どんな位置にできるか。

問6 前のページの図(イ)で、物体を $P'Q'$ の所に置いたら、その像はどこにできるか。

おう面鏡は、星の光をその焦点に集めて観測するような集

光の目的と、光源を焦点に置いて、その光を遠方に投ずるような投光の目的とに利用される。

投光の目的には、なるべく光源を取り囲むような形のおう面鏡を使った方が、光を利用する上に有利であるが、おう面鏡では、光源の囲みが多くなると、反射光が平行でなくなるから、その代わりにほう物面鏡が多く使われる。この鏡にも軸と焦点とがあるが、焦点から出て鏡面で反射された光は、全部軸の方向の平行光線になる。

問7 おう面鏡を用いる場合と、とつ面鏡を用いる場合とで、自分の顔を映すのに、どんな相異があるか。作図によって考えてみよう。

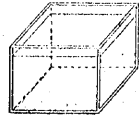
3. レンズ

1. 光の屈折

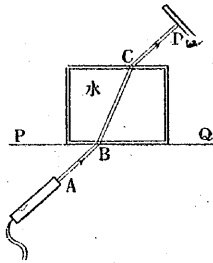
おけに水を入れると、底が幾らか浮き上がるように見えるが、これはどうしてであろうか。まず、光が水の中を出入する時のようすについて調べよう。

実験 側面が前後左右とも、ガラスでできている水箱に水を入れ、白紙を平に敷いた机の上に据え、その前方に中心線を水平にした光束装置を置き、次のページの図のように水箱の前面からこれに光を入れ、後方につい立を置いて

通過した光を受け、
次のことを調べて
みよ。

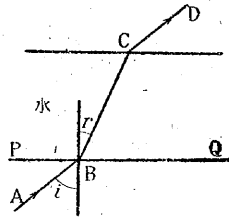


(1) 机の面から光が水箱に入る点、つい立に当たる点までの高さを測り、それらを光束装置の孔の高さと比較する。



(2) 三角定木などを使って、光束装置の孔、光が水箱に入る点・出る点、つい立に当たる点の四点の真下の点 A, B, C, D を紙の上にするし、別に、水箱の前面を表わす線 PQ を紙の上に引いて、水箱をのける。

それから更に紙の上に A, B, C, D を結ぶ線を引き、AB と CD とが平行であるかどうかを見る。次に、B 点から PQ に垂線を引き、AB, BC がそれぞれ垂線となす角 i, r を測り、それらの正弦の比 $\frac{\sin i}{\sin r}$ を求めよ。



以上のことを水箱へ入れる光の角度を変えて繰り返せ。

この実験でわかるように、光は空気中から水中へはいる時、急に進路を変える。これを光の屈折というが、ここで大切な

1) 上の実験では、間にガラス板があったが、その影響は考えなくてもよい。

ことは、上に得た入射角の正弦と、屈折角の正弦との比が、光の入射の角度に関係なく、いつも一定であることである。このことは、水ばかりでなく、ガラスその他すべての透明な物質でも成り立つことで、それぞれの物質についてのこの定数を、その物質の屈折率という。

上の実験で、水の屈折率は約 1.3 であることがわかったであろう。普通のガラスの屈折率は約 1.5 である。

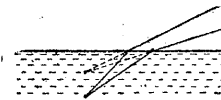
なお、入射光線と屈折光線とを含む面は、光を屈折する境界面に垂直で、入射光線と屈折光線とは、入射点に立てた境界面への垂線に対して、互に反対側にあることも知ったであろう。

この二つのことと、先の屈折率に関することを一括して光の屈折の法則という。

なお、上の実験で知ったことは、光が水中から空気中へ出る時には、入る時とちょうど逆の関係が成り立つことで、光の逆行の原理はこの場合にも成り立つ。

問 2 水中にある物体が、浮き

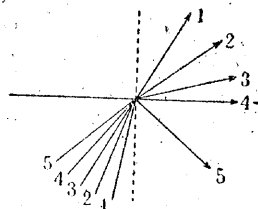
上がって見える誤を、右の図を見ながら考えて見よ。



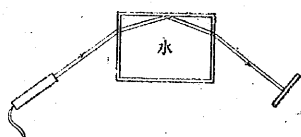
2. 全 反 射

問 1 光は空気中からは、どんな角度でも、水中には

いることができるが、水中からはある範囲内からでなければ、空気中へ出られない。これは、どんな範囲であろうか。



実験 前節の実験装置で、光を左側の面から水中へ入れて、光が上の範囲外の角度で水中から空気の方へ向かった時、どんなことが起きるか調べてみよう。

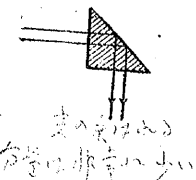


この実験で、水中での光の進路がわかりにくかったら、水の中へ何か白い粉末を入れて、光を散乱させるがよい。

上の実験でわかるように、光が水中から空気中へ出られないような角度で境界面に当たると、ちょうど鏡面に当たった時のように反射の法則によって反射される。このような反射では、屈折光線は少しも無く、全部反射されるので、これを全反射という。

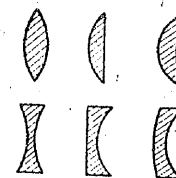
問 2 いろいろな切りこみを附けたガラス器が、よく光るのは何故か。

切り口が直角二等辺三角形のガラス柱を45°プリズムという。これは全反射を利用して、光の方向を図のように90°、又は33ページの図のように180°変えるのに使われる。



3. とつレンズ

ガラス・水晶などの透明体の板を磨いて両面を球面にしたものをレンズという。レンズで、中央の部分の肉の厚さが、周囲の部分の肉の厚さよりも薄いものをおうレンズ、厚いものをとつレンズという。



どちらの場合にも、レンズの直径に比べて肉の厚いものを厚肉レンズ、そうでないものを薄肉レンズという。厚肉レンズでは、ことがらがこみいるから、われわれは薄肉レンズのことだけを考えよう。又、球面鏡の場合のように、レンズでも軸というものを考えるが、その軸は、両方の球面の中心を結んだ線を指すのである。レンズの中心というのは、軸上で肉の厚みの中央にある点のことである。

まず、とつレンズについて調べよう。

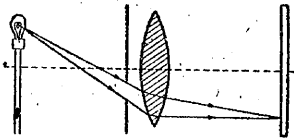
光がレンズを通過する時には、レンズの表と裏の面で二回屈折するが、屈折の法則を使って光の進路を作図することが

1) 一方が平面であることもあるが、その時は、その面を作る球の半径が、非常に大きくなったものと思えばよい。

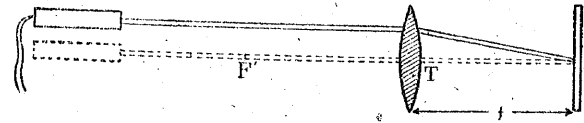
できる。このようにして図を書いて見ると、レンズの前方にある光点から出て、レンズのいろいろの部分を通った光線は、薄肉レンズで光束が軸からあまり離れていない時には、通過した光線それ自身か、あるいはそれを逆に引き延した直線が、一つの点で交わることがわかる。

とつレンズでも球面鏡と同様に、一点から出た光は一点に集まる(実像)か、あるいは一点から出たようになる(きょ像)。豆電球をしだいにレンズに近づけると、実像もまた次第に遠くにできるようになる。十分に近づけると、ついには実像ができなくなるが、その代わりにレンズの後側からのぞいてみると、電球のきょ像ができる。

実験 1 とつレンズの前方に豆電球を置き、レンズの後に軸に垂直につい立を立て、つい立の位置を動かして、豆電球の実像が最もはっきりする位置をさがせ。次に、小さな孔をあけた厚紙をレンズのすぐ前に置いて、レンズのいろいろの部分を通った光が、つい立の上で同じ位置に集まることを確かめよ。



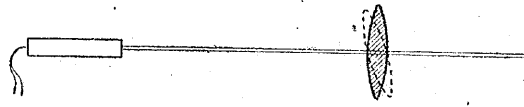
実験 2 次のページの図のように、大きなとつレンズの前に、光束装置をレンズの軸に平行に置き、後につい立を立てて屈折光線を受け、光束装置の高さを変えた時、つい



立の上の光った部分の位置がどう変わるかを見よ。

つい立とレンズとの距離 f を適当にすると、光った部分の位置が変わらなくなることを確かめよ。

次に、下の図のように、光束がレンズの中心に向かうようにし、光束に対するレンズの傾きをいろいろ変えて、つい立の上の光った部分の位置が変わるかどうかを見よ。



上の初めの実験によって、軸に平行な光線は、すべて一点 F に集まることがわかる。これがレンズの焦点である。

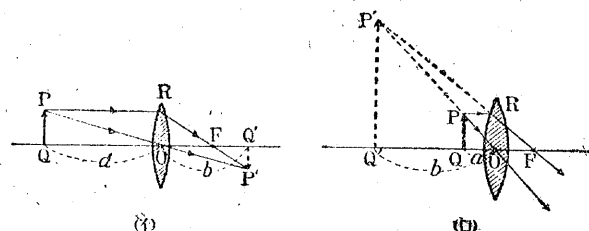
同様に、レンズの後側から軸に平行に入射する光線は、前側の一点 F' に集まる。このように、レンズには二つの焦点があって、レンズの中心から等距離の所にある。この距離 f を焦点距離という。又、後の方の実験で、レンズの中心を通る光線は、そのまま直進することがわかる。

問 1 焦点の所に光源を置いたら、そこから出る光はレ

レンズを通った後どうなるか。

実験3 焦点距離を測るにはどうすればよいかを考えて、実際に行ってみよ。又、同じ大きさ、同じガラスのレンズでは、ふくらみの大きいほど焦点距離の短いことを確かめよ。

おう面鏡やとつ面鏡の場合と同様に、レンズによって生ずる物体の像は図のようにして求められる。この時、軸に平行に進む光線と、レンズの中心に向かう光線とを考えるとよい。



(a) 図で、 $OQ=a$, $OQ'=b$, 焦点距離を f とすると $\triangle OPQ$ と $\triangle OP'Q'$ とから

$$\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{OQ'}{OQ} = \frac{b}{a} \dots\dots(1)$$

又、 $PQ=OR$ であるから、 $\triangle FOR$ と $\triangle FP'Q'$ とから

$$\frac{P'Q'}{PQ} = \frac{FQ'}{FQ} = \frac{b-f}{f} \dots\dots(2)$$

(1)と(2) とから

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

が得られる。これが光源と像との、位置の間の関係を表わす式である。

問2 (ロ)図のようにきょ像を生ずる時には、この関係は

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

で表わされることを証明せよ。

問3 物体 PQ を遠方からしだいにレンズに近づけた時、実像及びきょ像を生ずるのは、 a の値がそれぞれどんな場合か。

問4 焦点距離 15 cm のとつレンズの前方 5 m の所に立っている人(高さ 160 cm)の像は、どこにできるか。実像か、きょ像か、正立か、倒立か、又、その高さは何程か。

問5 とつレンズでは実像が倒立し、きょ像が正立するが、球面鏡ではどうか。

問6 一つのとつレンズがある。その軸上、レンズの中心から 80 cm の所に光源を置いたら、レンズから 20 cm の所にその実像を作った。このレンズを用いて、物体と同一の大きさの実像を作るには、物体をレンズから何 cm の距離に置いたらよいか。

問7 とつレンズを光源とつい立との間の、ある位置に置いたところ、つい立の上に実像ができた。このレンズを更に 60 cm だけ光源に近づけた時、再びつい立に実像を生

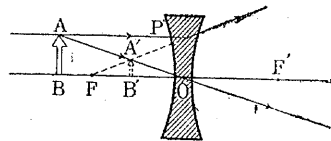
じた。レンズの焦点距離は何程か。

問 8 焦点距離がそれぞれ 10 cm, 5 cm の二つのレンズが 10 cm の間隔をおいて対立している。第一のレンズの前方 20 cm の所にある光源の像は、どこにできるか。

4. おうレンズ

おうレンズの場合も同様で、レンズの前方で、軸に近い所にある光点から出た光は、レンズを通過した後、一点から出たような進路をとる。軸に平行な光が面に当たるとレンズを通り抜けてから、ちょうど光の来た側の軸上のある点 (F) から出たかのような進路をとる。F をおうレンズの焦点という。

おうレンズにも、もう一つの焦点 F' があって、光が軸に平行に反対の向きから来る時、F と同じ



立場に立つ。中心 (O) から F 及び F' までの距離は相等しい。

又、おうレンズの中心に向かう光線は、レンズを通り抜けた後も方向を変えない。

それ故、おうレンズによる物体の像も、とつレンズの場合と同様な方法によって作図することができる。

問 1 おうレンズでも実像を生ずることがあるか。

問 2 おうレンズの中心 O から、物体及び像までの距離

をそれぞれ a, b とし、焦点距離を f とすれば

$$\frac{1}{b} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f}$$

の関係がある。これを証明せよ。

問 3 おう、とつ両レンズで、像はレンズの前方 (物体と同じ側) にできる (虚像の場合) ことも、後方にできる (実像の場合) こともある。後方にできた場合は b は正、前方にできた場合は b は負として計算することにし、更に、とつレンズでは f が正、おうレンズでは f が負として計算することにすれば、どんな場合にも

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

の関係が成り立つ。これを証明せよ。

問 4 物体と像の大きさとの比を、 a, b を使って表わせ。

問 5 焦点距離 10 cm のおうレンズの前方 15 cm の所に、長さ 3 cm の物体を置く時は、像の位置及び長さは何程であるか。

問 6 球面鏡の場合にも、 u, r に適当に正、負を付けて考えることにすれば、常に $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r}$ が成り立つ。どうすればよいか。

4. 光に関する器械

1. 眼の作用

われわれが、遠い物でも近い物でも、はっきり見ることの

できるのは、眼の中にある軟かいとつレンズのふくらみを、その周囲についている筋肉の作用で調節して、いつでも眼の奥の網膜の上に、物体のはっきりした像を結ばせるからである。又、眼にあまり強い光がはいると害があるから、それを防ぐために、どう孔(瞳孔)の大きさを変えて、眼にはいる光の量を調節するようになっている。

眼の健康な人は、非常に遠方から眼の近くまで、はっきり見ることができるが、近視眼の人は、眼球の奥行の割合に、レンズのふくらみが大きいので、ある距離より遠い所を、はっきり見ることができない。そのような人は、おうレンズのめがねをかけて、眼のレンズの余分なふくらみを補えばよい。

これに反して遠視眼の人は、眼球の奥行

の割合にレンズのふくらみが小さいので、

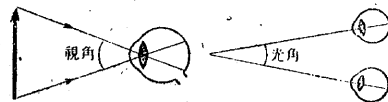
ある距離より近い所は、はっきり見ること

ができない。そのような人はとつレンズの

めがねをかけて、眼のレンズのふくらみの不足を補えばよい。

老眼の人は、眼の調節作用が弱ったために、遠い所は見えても近い所ははっきり見えない。それ故、老眼の人は、近くを見るにはとつレンズのめがねをかけ、遠くを見るにはそれをはずして、眼の調節作用の不足を補わなければならない。

物体の両端が一つの眼で作る角を、その物体の視角といい、これと反対に、両眼が物体上の一点で作る角を、その点の光角という。



問 1 (1) 同じ物体でも、遠くにあれば小さく見え、近くにあれば大きく見える。何故か。

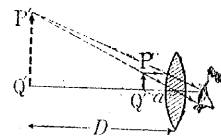
(2) われわれが、物体の遠近を見分けることのできるのは何によるか。かた眼を閉じて験してみよ。

(3) われわれが、立体と感ずるのは、何によるのであるか。左右の眼を交互に閉じ、眼に映っている像の違いを見つけよ。

2. 虫めがね

小さい物体をはっきり見るには、視角が大きくなればよい。即ち、物体を眼に近づけて見ればよい。しかし、あまり近づけると、眼の調節作用に限度があるから見えなくなる。眼に近づけて、しかもはっきり見えるためには、虫めがねを用いればよい。虫めがねは、一枚のとつレンズか、又は、何枚かのレンズを重ねたものである。

めがねを眼によく接近させ、眼とめがねとをいっしょに目的物(PQ)に近づけると、われわれには物体がP'Q'の位置にあるように感じられるので、P'Q'が眼から適当に離れた所にあれば、PQはどんなに眼に近くても、はっきり見ることができる。物を長く注視しても割合に眼の疲れないのは、眼から25cmばかり隔った所であるとされている。これを明視の距離というが、虫め



がねの倍率というのは、像をこの位置に作った時の像の長さを、物体の長さで割った数である。

したがって、倍率を m 、焦点距離を f 、明視の距離を D とすれば

$$m = \frac{P'Q'}{PQ} = \frac{D}{a}$$

ところがレンズの公式で

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{-D} = \frac{1}{f}$$

であるから

$$m = \frac{D+f}{f} = 1 + \frac{D}{f}$$

となる。倍率は f の小さいほど大きい。

問1 厚紙に針で孔をあけ、これをひとみのすぐ前に置くと、物体を非常に眼に近づけても見ることができるので、虫めがねの代わりになる。何故か。

又、この方法は、虫めがねを使うのに比べて、どういふ点で劣っているか。

3. 顕微鏡

虫めがねの倍率を、非常に大きくすることは困難であるから、顕微鏡が工夫された。顕微鏡では、まず、焦点距離の短いレンズ(対物鏡)で、一度物体の拡大された実像を作り、

それを更に虫めがね(接眼鏡)で拡大して見るようになっている。

一度に 1000 倍にすることは困難であるが、まず、100 倍にして、次に、それを 10 倍にすることは割合に容易である。

顕微鏡でも、最後の像を眼から 25 cm の所に作った時の像の長さと、物体の長さとの比を、その倍率という。顕微鏡の倍率は、対物鏡と接眼鏡の両方の焦点距離が短いほど大きくなる。よい顕微鏡の対物鏡や接眼鏡は、何枚ものレンズの組み合わせからできている。

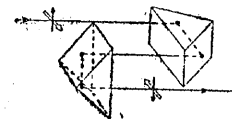
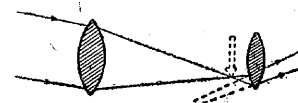
4. 望遠鏡

遠い物体を拡大して見たい時、一度その実像を作り、その像を虫めがねで見るのがよさそうに思われる。

実際、天体用の望遠鏡は、この原理でできている。望遠鏡では、遠方の物体の像の視角を、物体自身の視角で割った数を倍率といっている。天体用の望遠鏡では、対物鏡の焦点距離が長いほど、又、接眼鏡の焦点距離が短いほど、倍率が大きいということは明らかである。

このような望遠鏡では、像が倒立するので、普通の用途には不便であるが、正立プリズムを用いれば、これを防ぐことができる。

正立プリズムというのは、図のように、45° プリズムを二箇向い合わせて並べたもので、4 回の全反射によって、像の上



下と左右とが、それぞれ入れ代わるものである。

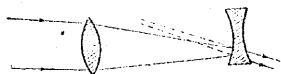
プリズム双眼鏡は、これを利用したもので、像が正立である上に、筒の長さが倍率の割に短いという長所がある。

又、正立プリズムを使わないで、おうレンズで簡単に像

を正立させる方法もある。お

うレンズ望遠鏡はこれを利用したものである。

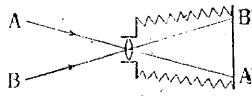
これは、対物鏡で屈折された光線が像を結ぶ少し前の所に、おうレンズを置いて、一点に集まるべき光を、平行に近い光線にもどすと共に、方向を変化させるのである。こうすると、拡大された正立きゝ像が得られる。



5. 写 真 機

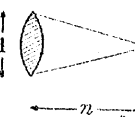
写真機の構造は眼とよく似ている。違う所は、レンズの焦点距離を変える代わりに、暗箱の長さを変えて、目的物に焦点を合わせることである。どう孔に相当するものにレンズの絞りがあって、入射する光の量を調節するようになっている。

写真レンズの良し悪しは、鮮明でゆがまない像を作るかどうかということのほか、明かるい像を作るかどうかということできる。このレンズの明かるさを表わすのに、 $1:n$ な



- 1) これに対して、上に述べた、とつレンズばかりでできた望遠鏡を、とつレンズ望遠鏡と呼ぼう。
- 2) 焦点距離を変えるように工夫されたものも無いではない。

どと書くが、その意味は、レンズの口径を1とする時、焦点距離が n であるということである。 n が小さいほど、レンズは明かるい。



6. 映 写 機

活動写真では、極めてわずかな変化している画を、毎秒二十数枚の速さで映す。われわれの眼はそれくらいの速さで取り換えられる画を見ると、画自体が動き出すように感ずる。

5. 発 光 体

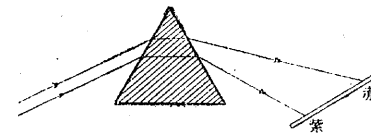
物体の中には、電燈やろうそくのように、自分で光を出している発光体もあれば、本や着物のように、他から光を受けなければ見えない物もある。まず、発光体の方から考えてみよう。

1. 太陽の光

実験 暗室の中

に日光の細い光束を導き、プリズムで屈折させた後、

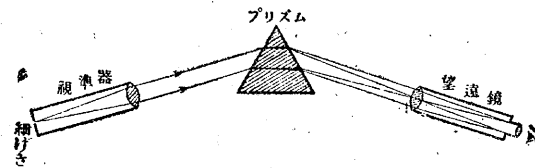
白いつい立の上に受けてみよう。日光の中には、どんな色の光が含まれているか。



太陽の光を白色光というが、白色光はいろいろな色の光の集まったものであることがわかる。これがプリズムによって分散されるのは、ガラスに対する屈折率がそれぞれ色によって違うからである。つい立の上に見える光の帯を、スペクトルという。

2. 分光器

スペクトルを研究するのに、分光器という器械を用いるとよい。そのおもな部分は、視準器と望遠鏡とプリズムの三つである。視準器の端には細いすきまがあって、ここから光を入れ、これを平行光束にした後、プリズムで屈折させ、望遠鏡でのぞくようになっている。



望遠鏡で見えるものは、細いすきまの像であるが、それらのできる場所が色によって違い、日光では細いすきまの像が無数に連続して並ぶので、連続スペクトルが見える。

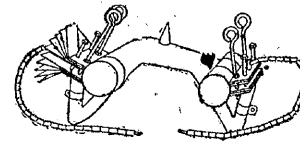
1) 詳しく調べてみると、日光のスペクトルの中には、ところどころ黒い線がある。したがって、日光の中でこれらの黒線に相当する色の光だけは非常に淡い。

3. 紫外線と赤外線

分光器で、望遠鏡の代わりに写真器を使えばスペクトルを撮影することができる。このようにして、太陽の光のスペクトルを写してみると、紫の外側でもなお感光する。われわれの目には見えないが、太陽の光の中には、紫よりも更に屈折率の大きい光が入っていると考えなければならない。これを紫外線と呼んでいる。

紫外線には写真作用と同じように、いろいろの物質に実質の変化を起させる作用がある。

カーテンや衣服が永く日光にさらされると、色があせたり変わったりするのは、おもに紫外線的作用による。紫外線には生理作用もあるので、これを利用した日光療法がある。又、殺菌作用も強いので、消毒にも用いられる。紫外線を人工的に発生させる方法で、最もよく用いられるのは水銀燈である。



日光浴をすれば暖かく感ずるから、光には熱作用のあることが考えられるが、鋭敏な温度計の球をスペクトルの各部分に置いて調べてみると、赤の外側で、目に見えない所にもまた、この作用があることがわかる。このことから、日光の中には、目には見えないが、赤よりも、もっと屈折率の小さいものを含んでいると考えなければならない。これを赤外線と

1) 普通のガラスは、あまり紫外線を通さないから注意しなければならない。紫外線を調べるための分光器のプリズムやレンズは、水晶で作ってある。

いい、紫外線・光線・赤外線などを、総称してふく射線(輻射線)という。

紫外線や紫色の光線などのように、これに対する物質の屈折率の比較的大きいものは大気中を通る時、浮遊するちりなどのために散乱されて、遠方まで達しにくい。赤外線や赤色の光線のように屈折率が比較的小さいものは、散乱の割合が少なく遠方まで達しやすい。したがって、赤外線に感する写真乾板を使って、遠方の物を比較的明らかに写すことができる。これを赤外線写真という。

4. 高温の固体の発する光

実験 1 電燈の光を分光器で調べてみよう。

電燈の光はタングステンの繊維が熱せられて発するものであるが、鉄も熱せられれば光を放ち、又、炭火も赤く光る。このように、すべて固体は熱せられると光を発するが、その光を分光器で調べてみると、皆連続スペクトルとなって現われる。

実験 2 鉄の針金を、ほのおで熱し、だんだん温度を上げて色の変り方を観察せよ。

すべて固体は熱せられると、ふく射線¹⁾を発する。しかし、大体 500° ぐらいになるまでは、赤外線だけを出しているのだから、われわれの目には見えないが、

1) 後に学ぶエックス線なども、やはり、ふく射線の一つである。

500° 以上になると赤い光も現われ始めるので、暗い所では暗赤色に見えるようになる。なお、温度が高くなるとだいだいや黄の光が加わり、 1000° を越えると、赤から紫までの全部の光を発するようになり、更に高温になると、紫外線も加わって来る。このために固体の発する光の色は、温度が上がるとだんだん赤から白に近づいて来る。

又、このことを利用すれば、スペクトルを調べてその固体の温度を知ることができる。

炭素弧光燈は非常に高温であるから、その光は紫外線²⁾をも含み、紫外線療法にも用いられる。

食塩水を浸み込ませた石綿をほのおの中に入れておくと、黄色の光を発する。この光を分光器で調べてみると、黄色のただ一本のスペクトル線が見える。食塩の代わりに重炭酸ナトリウムや硫酸ナトリウムを用いても同様である。

このように、細い線になって現われるものを、線スペクトルという。

連続スペクトルの中で、黄色と名づけた部分には、緑に近い黄色もあれば、だいだいに近い黄色もある。しかし、食塩の発する光は、このように全く純粹にただ一色である。このような光を単色光という。

この時に出る光は、それらの固体が蒸発して気体となり、これが熱せられて発するものであると考えられている。

このように、一般に気体が熱せられた時に発する光は、普通には線スペクトル

- 1) このようにして、太陽の表面の温度は約 6000° であると推定される。
- 2) 最も温度の高い部分は陽極で、ここでは 4000° にも及ぶ。
- 3) プンゼン燈の無色ほのおがよい。
- 4) 光を分散する働きがもっと大きい分光器で調べると、実は一本ではなくて、極めて接近した二本の線であることがわかる。

ルを生ずる。

食塩でも、重碳酸ナトリウムでも、硫酸ナトリウムでも、全く同じスペクトルが見えることから、この黄色の光はNa原子の発しているものであることが想像されるであろう。

実験 3 水銀燈や鉄の弧光燈の発する光を、分光器で調べてみよ。

このように、線スペクトルではたくさんの線が現われることもあるが、これらのスペクトルは、物質の元素に固有のものであるから、スペクトルを調べて、物質中の元素を知ることができる。

実験 4 ろうそくの ほんの黄色に光っている部分の光を分光器で調べてみよ。この結果から、そこで光っているものは何であると考えられるか。

6. 光を受けて見えるもの

1. 物体の色

実験 1 赤ガラスを通過した電燈の光を、分光器で調べてみよ。

この実験でわかるように、赤ガラスはおもに赤い光だけを

通し、他の色の光は吸収してほとんど通さない。このように、物体はそれぞれ光を色によって選択吸収するから、光がこの中を通ると着色する。

実験 2 色の濃い赤ガラスの板の裏に墨を塗り、表の面に電燈を写してみよ。電燈は赤く見えるか。

電燈が赤く見えないことから、物体の表面で反射した光は、一般に着色していないことがわかる。

絵の具に色について見えるのは、一度、絵の具の粉末の中を通り抜けて着色した光が、粉末の表面で反射してもどって来るからである。したがって、このようなものは日光に照らして見ても、日光に透して見ても、その色は同じである。

花の色や着物の色、その他、われわれが普通にしているものの色は、たいていこのようにして生じたものである。

問 1 黒い紙の上に朱で書いた字は読みやすいが、赤インキで書いたものは、ほとんど読めない。何故か。

問 2 円形の白い紙に、絵の具で図のように七色を塗り、紙を速かに回転すると、全体が白く見える。しかし、これらの七色の絵の具を混ぜ合わせると、黒くなってし



1) しかし、金などは特別で、その表面から反射した光も着色している。

まう。何故か。

実験3 ほのおの中の食塩の発する光で、赤・黄・青の紙を見たら、どんな色に見えるかを考え、その考えが正しいかどうか実際にやってみよ。

問3 黄色の紙は夜電燈の光で見ると、白に近い色に見える。何故か。

水は無色透明であるが、湯気は白く見えるし、流の水を遠くから見ると白。又、白い紙は、いつでも照らす光と同じ色に見える。これらのことから、一般に、白いものはいずれも透明な粉末であることがわかる。光はこれに当たって四方に散乱されるのである。

問4 赤ガラス、硫酸銅の結晶などは、粉にすれば白っぽくなるのはどういうわけか。

黒い物体はどんな色の光で照らしても、いつも黒く見える。このことから、黒い物体はすべての光を、みな吸収してしまうものであることがわかるであろう。

2. けい光(螢光)とりん光(燐光)

赤インキを日なたで見ると、緑色に見えることがある。濃

い青ガラスを通した日光には、緑色は含まれていないが、この光を暗室の中に導き、これで赤インキを照らして見ても、やはり緑色が見える。照らす光が青でも紫でも、更に紫外線でも、赤インキの緑に変わりがない。

これらのことから、赤インキはちょうど電燈が自分で光っているのと同じように、やはり、自分から緑色の光を発しているものであることがわかる。ただ、電燈を光らせるのには電流を通ずるが、赤インキは光を当てれば、自分で光り出すのである。

このようにして発する光をけい光という。木の葉を、アルコールに漬けて作った葉緑素のアルコール溶液に紫外線を当てると、血のような真赤な色に見える。これもけい光である。紫外線には、けい光を出させる作用が強い。又、天然の宝石には、強いけい光を発するものが多いから、これに紫外線を当てて、模造品と鑑別することもできる。

けい光は、外からのふく射がとまれば直ちに消える。しかし、バリウムやカルシウムなどの硫化物に日光を当てた後、暗い所で見ると、なおしばらく光っている。この時には、この光をりん光という。

磁 気 と 電 気

1. 磁 気

われわれは東西南北を知るのには、普通磁石を用いる。磁石はまた発電機その他の器械にも用いられていて、その用途は非常に多い。これから磁石について調べてみよう。

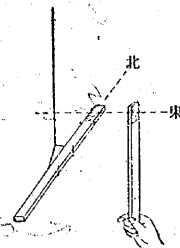
1. 磁石の性質

実験1 棒磁石や馬蹄形磁石に鉄粉をふりかけて、それらがどんな状態になるかを見よ。

磁石の両端に近く、特によく鉄を吸いつける部分を磁石の極という。細長い棒磁石を、よりの掛かっている糸で水平につるす時、北を指す極を北極、南を指す極を南極という。

実験2 一本の棒磁石を水平につるし、その一つの極に、別の棒磁石の一端を図のように近づけると、二極の間にはどんな力が作用するか。

極の組み合わせ方をいろいろに変えて調べてみよう。



1) 北極には鉄の針などで、目じるしを附けておくとう便利である。

実験2において、同種の極の間には斥力、異種の極の間には引力が作用すること、及びそれらの力は、二極の距離が近くなるほど強くなることがわかるであろう。

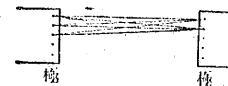
更に詳しい実験によると、二極の間の引力、あるいは斥力の大きさは、それらの間の距離の二乗に反比例することがわかる。(クーロンの法則)

このように、磁極の間に力が作用するのは、極に磁気というものがある、磁気の間には力が作用するためと考えられる。

実験2でわかるように、北極にある磁気と南極にある磁気とは、種類が違ったもので、北極にある磁気を正、南極にある磁気を負とする。

磁石の極の強弱は、そこにある磁気の量の多少による。又、一つのきまった磁気に対して、他の正磁気的作用する力の大きさと、負磁気的作用する力の大きさが等しい時、これらの正、負の磁気量を等しいときめる。

一定の距離で、二極の間に作用する力は、両極にある磁気量の積に比例する。これは両方の極をそれぞれ単位の極に分けて考えればわかるであろう。



実験の結果によると、一つの磁石の北極にある磁気量と、南極にある磁気量とは分量が等しい。

2. 磁 界

上に、磁石の周囲の空間には、他の空間と違って、

1), 2) クーロンの法則。

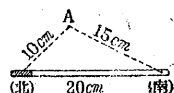
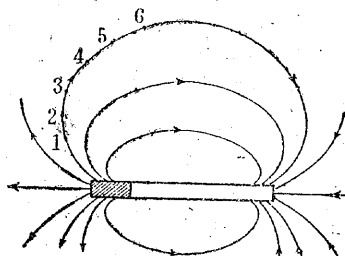
そこへ別の磁石を持って来ると、それに力が作用するという特別な性質がある。このような空間を磁界と呼んでいる。

棒磁石を紙の上に置き、別に小さな磁針(針磁石)をその近くに置いて、その両極の指す点 1・2 を紙の上にする。次に、磁針の位置を変えて、前の 1 を指した極が 2 を指すようにし、前に 2 を指した極が、新しく指す点 3 を紙の上にする。順にこのようにしてできた点を結んで曲線を作り、それに棒磁石の北極から南極に向かう矢じるしを付ける。

最初に磁針を置く場所をいろいろに変えて、このような曲線を何本か書いてみると、図のようになる。何故このような曲線ができるのであろうか、考えてみよう。

問 両極間の距離が 20 cm の棒磁石がある。その北極から 10 cm、南極から 15 cm の距離にある点 (A) に別の磁石の北極を置いたら、それにはどんな方向の力が作用することになるか。図に書いてみよう。

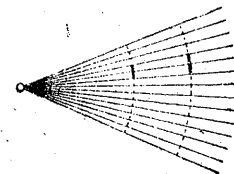
次に、A に北極の代わりに南極を置いたら、それにはどんな方向の力が作用するか。又、A に自由に回転のできる



非常に小さな磁針を置いたら、その磁針はどんな方向に向くか。この考察から、前のページの結果を説明せよ。

このようにして書いた曲線を磁力線という。磁界中の一点に単位の北極を置いた時、これに働く力を、その点における磁界の強さ、あるいは磁気力という。磁気力の方向は、その点における磁力線の接線と一致している。

前のページの図からもわかるように、磁石の外では、磁力線は磁石の北極に始まり南極に終る。そうして、途中で枝分かれしたり、又、途中で切れてしまったりすることはない。ただ一つの正磁極を考えてみると、磁力線はこの極を中心として四方に放射状に出る。このうちの一本の磁力線を考えて、この線上で極からそれぞれ r_1 及び r_2 の所にある二つの点を考え、そこで磁力線に垂直な単位面積を考えると、これを貫く磁力線の数の比は、 $r_1^2:r_2^2$ であることがわかる。



又、これらの二点における磁界の強さの比も $r_2^3:r_1^3$ であるから、磁力線に垂直に書いた単位面積を通る磁力線の数は、それらの点での磁界の強さに比例することがわかる。このことはまた、一般の場合にも成り立つ。

磁石の極から出る磁力線は、何本でも書くことができるが、上の図のように、磁力線に垂直な単位面積を通る数が、その

点における磁界の強さに比例するように書くことにきめる。そうすると、一般に磁力線が密集している所では磁界が強く、疎な所では磁界が弱い。

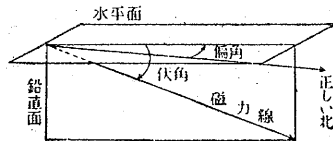
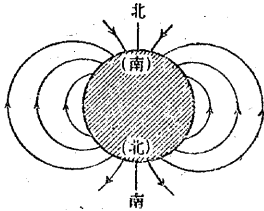
3. 地 磁 気

地球の表面で、磁針がいつでもだいたい南北を指すのは、地球自体が一つの大きな磁石であって、地球の北極には磁石の南極があり、地球の南極には磁石の北極があると考えられるとよく理解できる。

しかし、地磁気の極の位置は、地理学上の極の位置と一致しないばかりでなく、磁界の模様も地方によっていろいろ不規則であり、磁針が指すのは正確な南北の方向ではない。

ある場所で、磁針の北極が正しい北の方向から偏っている角度を、その場所での偏角という。本州では偏角は、だいたい西へ5-7度である。

地磁気の磁力線は上の図からもわかるように、赤道地方を除いては水平に走っていない。地磁気の磁力線が水平から傾いている角度を伏角といい、本州ではだいたい50度である。



問 地磁気の磁力線は、水平に走っていないが、磁針を水平に保つには、どんな工夫をすればよいか。

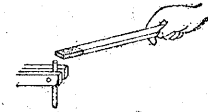
4. 物質の磁化

すでに知っているように、普通の鉄は磁石に吸ひつけられる。ニッケルやコバルトなどにも鉄と同じような性質がある。

実験1 細長い軟鉄の棒を、腕

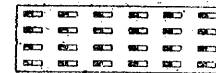
木に縦にはさみ、その上端に磁石の極を近づければ、下の端には磁氣的にどんな性質が現われるか。

下の端に別の小さな軟鉄片を接触させて、手を離したらどうなるか。又、その状態で磁石を遠ざけたらどうなるか。



この実験によって、軟鉄が磁界にはいると、一時的に磁石の性質を帯びることがわかるであろう。これを軟鉄が磁化したという。

鉄などが磁化する時、その内部では、次のような変化が起っていると考えられている。鉄の極めてこまかな部分は元来磁石であるが、普通の状態ではそれらがまちまちの方向になっているので、全体としては磁性を現わさない。しかし、鉄が磁界内に置かれると、それらの小さな磁石が大部分磁界の方向に向くので、全体が一つの磁



磁界の向き

石としての作用を現わすのである。

このように、磁界のために物質が磁化することを磁気誘導の現象という。

実験 2 一本の棒磁石に平な紙をのせ、その上に鉄粉をまいて紙を少し振動させ、鉄粉がどんな形に並ぶかを見よ。

問 この実験で、鉄粉がつながり合って鎖のようになるのは何故か。又、その鉄粉の書く曲線は何を示すか。

5. 耐久磁石

実験 前のページの実験 1 と同じことを、軟鉄の棒の代わりに鋼の棒を用いて繰り返してみよ。どんな違いが見つかるか。

固体の変形に、一時的な変形と永久的な変形とがあるように、磁化にも、一時的なものと後まで残るものがある。普通の磁石は、一度強く誘導された磁化がいつまでも残ったもので、このようなものを、軟鉄の場合のような一時的の磁石に対して、耐久磁石という。

強い磁石を作るには、次に学ぶ電流の磁気作用を利用するのであるが、鋼を強い磁石でこすって、耐久磁石を作ることできる。又、鋼は磁石に触れただけでも多少磁化されるか

ら、時計を強い磁石の近くに置くと、磁化されて狂うことがある。

又、磁石の磁化を失わせるには、それをしばらく高い温度に熱すればよい。

同じ鉄でも、軟鉄と鋼では磁氣的の性質がだいぶ異なるが、これを次のように考えると、よく理解できる。

鉄の内部のこまかな小磁石は、絶えず振動して互に衝突し合っている。軟鉄ではこれらの小磁石は自由に回転できるのに、鋼鉄では何かの原因で回転が不自由である。そのために、軟鉄では外から磁界が作用すればすぐに整列し、これを除けば互の衝突ですぐに再び元の無秩序の状態にもどる。鋼鉄では整列しにくい代わりに、いったん整列すると中々無秩序の状態にもどりにくいのである。

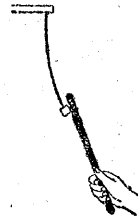
高い温度に熱すると、これらの小磁石の振動は益々盛んになり、衝突も激しくなるので、鋼でも、小磁石が無秩序の状態になってしまうのである。

2. 電 氣

1. 帯電

ゴムのくしを髪の毛でこすったものは、ちりのような小さな物体を吸ひ寄せる性質がある。ちょうど磁石が鉄粉を吸ひ寄せるのとよく似ている。どうしてこのようなことが起るのであろうか。

実験 天然絹糸でコルクの薄片をつるし、それに乾いた毛皮の毛で摩擦したエポナイト棒を、よく接触させたのち離し、再び静かに棒を近づけてみよ。コルク片は反ばつされるであらう。更に乾いた天然絹布で摩擦したガラス棒を、静かに上のコルク片に近づけてみよ。コルク片は吸引されるであらう。



次に、上の順序と逆に、コルク片にまずガラス棒を接触させてのち離し、これに両方の棒を交互に近づけてみよ。

上の実験の結果は、次のような考えを基にすれば、よく理解することができる。

(1) 上のように摩擦した棒は、普通と違った性質を持っているが、これはそれらの棒が摩擦によって、電気を帯びた(帯電した)からであると考え。

(2) 帯電した棒をコルク片に接触させると、棒の持っている電気の一部分はコルク片に移るが、天然絹糸は電気を通さないから、電気はコルク片の上にたまっている。

問 上の実験の結果から次のことを考えよ。

(1) エポナイト棒が帯びている電気と、ガラス棒が帯びている電気とは、同じ性質のものかどうか。

(2) 同種の電気の間、又、異種の電気の間には、それを

れどんな性質の力が作用するか。

習慣上、絹布で摩擦したガラス棒の帯びたような電気を正(陽)電気、又、毛皮で摩擦したエポナイト棒の帯びたような電気を負(陰)電気といている。

実験によって、同種の電気の間¹⁾の斥力も、異種の電気の間²⁾の引力も、共に距離の二乗に反比例することが知られている。

一定の距離に置いた帯電体の間に作用する力の大きさは、帯電の状態によって異なるから電気にも量を考える。

二つの帯電体の間の力が、両方の持つ電気の量の積に比例することは、磁気の場合と同じように考えられるであらう。

一つのきまった電気に対して、他の正電気が作用する力と、これと同じ距離に置いた負電気の作用する力との大きさが等しい時には、これらの正、負の電気の量は等しいときめる。

帯電は絹布とガラス棒、毛皮とエポナイト棒を摩擦した時だけに起るのではない。種類の違う二つの物質を摩擦すればいつも帯電が起るし、そのほかにも、いろいろ帯電させる方法がある。しかし、どんな場合にも、上に調べた二種類よりほかの電気は見つからない。

磁気の場合と同じように、帯電体の周囲の空間を電界という。電界に単位³⁾の電気量を持つ物体を置く時、それに働く力の大きさを電界の強さ(電気力)を表わすことも、又、その力の方向を連ねた曲線を電気力線ということも、磁気の場合と同様である。

1), 2) クーロンの法則。

3) 同じ物質でも、温度などが違う二物体を摩擦すれば帯電する。

2. 静電誘導

52ページの実験において、コルク片に帯電した棒を近づけると、まだ接触させない前にも、コルク片が幾らか引きつけられることに気づいたであろう。

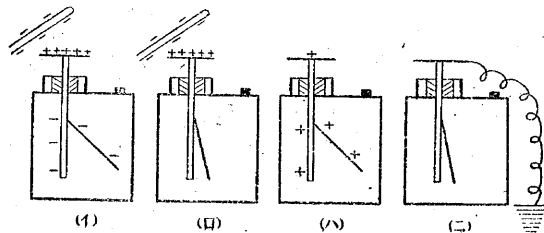
帯電した物体は、帯電していない物体にも力を及ぼすのであろうか。

これについて考える前に、はく検電器(箔検電器)を用いて次のような実験を行ってみよう。

はく検電器は、金属又はガラス箱の中に、箱と絶縁した金属の棒を下げ、それにアルミニウムなどの、はくをつるしたものである。棒とはくが同種の電気を帯びれば、相反ばつして開く。

又、はく検電器と同じ原理で、わずかな電気でも、はくが動くように工夫された器械に電気計がある。

実験 (I) 帯電したエポナイト棒を、はく検電器の金属棒の上端に近づけて、はくが開くことを見よ(図イ)。



(2) 上の状態で検電器の金属棒に、一瞬間、指あるいは手で持った金属片を触れてみよ(図ロ)。

次に、ガラス棒・エポナイト棒などで触れてみよ。

(3) 上のようにして検電器の金属棒に、指をいったん触れて離れたのち、帯電した棒を遠ざけてみよ(図ハ)。

(4) この状態の時、更に指で検電器の金属棒に触れてみよ(図ニ)。

これらの実験は、次のように考えればよく理解できる。金属は平素は等量の正、負の電気を持っていて、それらがよく混じっているから、他の帯電体に及ぼす引力と斥力とが打ち消し合って帯電の性質を現わさない。もし、帯電体をこれに近づけると、それと反対の電気は引き寄せられて帯電体の近くに集まり、同種の電気は反ばつされて遠い端に集まる。

ここでは、正電気も負電気も共に金属の中を動くことができるものと考えたが、正電気は動けるが、負電気は動けないと考えても、又、負電気は動けるが、正電気は動けないと考えても全く同様に理解できる。

このように、帯電体の影響で電気の分離が起る現象を静電誘導という。又、正、負の電気が集まって、その作用を打ち消し合ってしまうことを、電気が中和したという。

問！ 天然絹布でこすったガラス棒を使って、一つの導

体を負に帯電させるにはどうすればよいか。

問2 正に帯電し、はくがなかば開いている検電器がある。これに正電気、あるいは負電気を近づけたら、はくの開きはどうか。

問3 上のような考えと、帯電体間の引力についての法則とから、帯電していないコルク片が、帯電した棒に引きつけられるわけを考えよ。

54ページの実験において、電気は金属の中を自由に動くが、ガラスやエポナイトの中は、動けないことがわかった。電気が自由に動ける物質を導体、自由に動けない物質を不導体という。この実験で知ったように、われわれのからだは導体である。靴や床や土地も導体であるから、指で帯電した金属片に触れれば、それは地球全体と導体で結ばれたことになる。このように、一つの物体が導体で土地と結ばれている時、その物体は地絡¹⁾されているという。

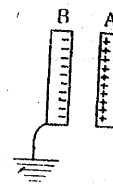
不導体も導体と同様に、平常は同量の正、負の電気を持っているものと考えられている。その中では、電気の移動は普通行われないから、静電誘導は起らないが、先に実験したように、ガラス棒を絹布で摩擦すると、両者の表面の間には電気の移動が行われて帯電が起る。したがって、このような場合、ガラス棒が正電気を帯びれば絹布は負電気を帯び、その正、負の電気量は互に等しいはずであるが、それはまた実際にも確かめられている。

- 1) ことさらに地絡させる場合には、接地させるともいう。

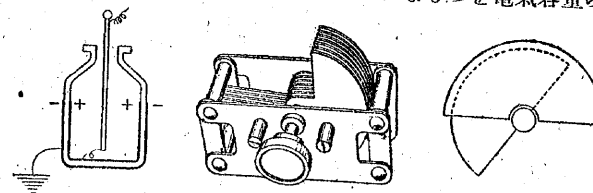
3. 蓄電器

導体に電気を與え、更に同種の電気を追加しようとしても、すでにたまっている電気の反ばつ力を受けるので、追加しにくくなる。したがって、一つの導体に多量の電気をためることは困難になる。電気を多量にためやすくするには、どのような装置を用いればよいであろうか。

蓄電器は、このような目的のために作られたもので、二枚の金属板 A、B を対立させ、一方の板 B は普通接地し、他の板 A に電気をためるのである。A に例えば正電気をためると、静電誘導で B に負の電気だけが残る、これが正の電気を引きつけるので、B が無い時よりも正電気がたまりやすくなるのである。



蓄電器では、金属板の面積が大きいほど、又、互の距離が小さいほど電気をためやすい。そのようなものを電気容量²⁾の大きいと云う。



- 1) あまり多量に帯電すると、電気は空気の中をも通り、火花を出して他の導体へ移る。
- 2) 電気容量の単位は後に学ぶ。

きな蓄電器という。

金属板の間にガラスなどをさし入れると、そこが空気である場合に比べて、容量が数倍大きくなる。又、無線通信などに用いる可変蓄電器は、金属板の互に向かい合った部分の面積が、変えられるようになっていて、その容量をいろいろ変えることができる。

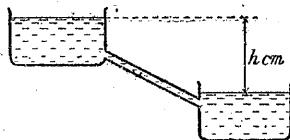
ガラスびんの内外に金属はくをはったものは、蓄電びんとしてしばしば用いられる。

4. 電 位

導体に電氣を與えれば、相互の反ばつ力で、電氣は他の導体へ移ろうとする。したがって、これを導線で地球とつなげば、導線の中に電氣の流れ、即ち、電流が生ずる。導線の中で電氣を流そうとする働きは導体の持つ電氣量にもよるが、ただそれだけではきまらない。すでに考えたように、この導体の附近へ接地した他の導体を置くと、電氣が地球へ移ろうとする傾向が減るので、電氣を流そうとする働きも弱くなる。

導線の中で電氣を流そうとする働きの大さは、どうしたらきめられるだろうか。

高い所にある水箱と、低い所にある水箱とを管でつなげば、水が流れるが、この時、管の中の水を押し流そうとする働きは、両方の水面の高



さ(即ち水位)の差が大きいほど大きい。したがって、この時には、高さの差 h cm でこの働きの大きさを表わすことができる。

このことはまた、次のように考えることもできる。質量 $1g$ の物体を、下の水面から上の水面の高さの所まで運ぶのには、 $1 \times h$ g重・cm の仕事が必要である。したがって、高さの代わりにこのような仕事の大きさで、水を押し流そうとする働きの大きさを表わすこともできる。

電氣では高さというものはないから、仕事を使って電氣を流そうとする働きを表わす。即ち、地球の表面からその導体 A まで、単位の正電氣を反ばつ力に逆らって運ぶために必要な仕事を A の電位と名づける。



電位の高い導体は、水面の高い水に相当する。

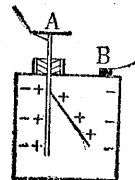
二つの導体を導線でつなげば、電位の高い方から低い方へ正電氣が流れる。

ひとつつながりの導体の中で、電氣の流れが起ていなければ、これらの導体の電位は皆等しい。

二つの導体の電位が違ふ時は、それらの間に電位差があるという。この電位差は、はく検電器で測ることができる。電位差のことを電圧ともいう。

導体の電位は、通常それが帯びている電氣量に比例する。蓄電器に電氣量 Q をためた時に、両板の間に電位差 V を生じたとすれば、 $\frac{Q}{V}$ でその電氣容量を表わす。

電位差を測ろうとする二つの導体 (A),



(B) に、それぞれはく検電器の金属棒及び金属箱をつなぐと、電位差の大小にしたがって、はくの開き方が、多くあるいは少なく開く。例えば、(A)の方が(B)より電位が高いと、前のページの図のように正、負の電氣が配置する。

問 1 前のページの図で、(B)の方が(A)より電位が高い時には、電氣の配置や、はくの開き方はどうなるか。

問 2 電氣と磁氣の性質中、似ている点と異なる点とを考えてみよう。

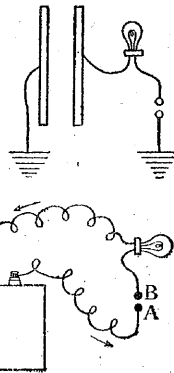
3. 電池と電流

1. 電池

容量の大きな蓄電器に電氣をため、豆電球を途中にはさんだ導線でこれを接地して、電氣を流してみると、豆電球が一時光るのが見られる。

電氣の流れには、豆電球を光らせる働きがある。

電池の両極に導線をつなぎ、一方の導線の途中には、図のように豆電球をさし入れて置く。二本の導線の端 A, B をつなぐと、豆電球が光るが、切れば豆電球もすぐに消えてしまう。このことから A, B をつないだ時、電池の一



方の極から他の極の方へ、電氣の流れ、即ち、電流が流れることがわかる。

電池の両極をそれぞれ陽極(正極)及び陰極(負極)というが、陽極は陰極より電位が高いので、これらを導線でつなぐと、陽極より陰極の方へ電流が流れるのである。

蓄電器では、たまっていた電氣が中和してしまえば電流はとまり、電球の光は消える。しかし、電池では、実質変化が起って常に両極に正、負の電氣が補われるので、電流は永く続くのである。

2. 導体と不導体

実験 1 前のページの図で、A, B の間を金属・ガラス・ゴム・木片などいろいろの物でつなぎ、電流が流れるかどうかを調べてみよう。

金属のような導体は電流をよく通し、ガラスやゴムのような不導体は電流を通しにくいことが、この実験からもわかったであろう。不導体はまた絶縁体ともいう。

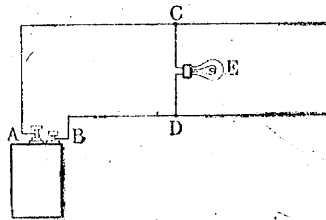
又、木材や紙のように、導体・不導体の中間の性質を持つ物質もある。

問 いろいろな電氣器具に用いてある絶縁体を挙げてみよう。

実験 2 電燈線・動力線などの開閉器、電気器具に用い
てあるスイッチの構造と作用とを調べてみよう。

3. 電流の強さ

実験 図のように、電池の両極 A, B に細い二本の導線
をつなぎ、導線の二点 C, D の間に、豆電球 E のソケット
から出ている針金をそ
れぞれ結べ。C, D の位
置をいろいろに変えた
ら、電球の明かるさは
どのように変わるか。



この実験において、電流の通る導線の部分 ACEDB が長
くなるほど電球が暗くなるのがわかるであろう。電球が暗
くなるのは、電流が弱くなったためと考えられる。

電解質溶液に電流を通すと、物質の分解が起ることはす
でに学んだが、その時、電極に毎秒析出する物質の量に比例し
て、電流の強さをきめることができる。電流の強さの単位を
1 アンペアという。¹⁾

1) 1 アンペアとは、電極に銀を用いて、硝酸銀の溶液から電気分解により毎
秒 1.118 mg の銀を分離する電流の強さと規定されている。実際に電流の強さ
を測るのに用いる電流計の目盛は、この規定に合うように作られたものである。
10⁻³ アンペアを 1 ミリアンペアという。

1 アンペアの電流が流れている導線を、1 秒間に通る電氣
量を電氣量の単位として、これを 1 クーロンと呼ぶ。

1 クーロンの電氣量を運ぶのに、1 ジュールの仕事¹⁾を必要
とするような二点間の電位差を、1 ボルトといい、これを電
位差の単位とする。

又、電氣容量の単位には、1 ファラドを用いる。これは 1
クーロンの電氣量を與えた時、1 ボルトの電位差を生ずる導
体の電氣容量である。10⁻⁶ ファラドを 1 マイクロファラドと
いう。

4. 電氣抵抗

導線はその長さが増すにしたがって、電流を通しにくくな
ることがわかった。これは導線に電流の通るのを妨げようと
する作用、即ち、電氣抵抗があるためと考えられる。

高い所にある水を管で低い所へ導くのに、管が細くて長いと、水の流れ方が
弱くなる。これも、管に水の流れを妨げる作用があるからである。

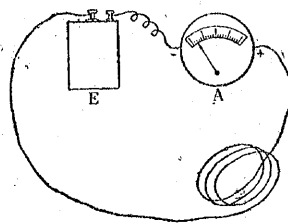
これからいろいろな導線の電氣抵抗が、その長さ、太さ、物
質の種類などによって、どのように違うかを調べよう。

実験 1 蓄電池 E と電流計 A とを、次のページの図のよ
うに細い導線でつなぎ、回路の中の電流の強さを電流計で

1) このことは、後に学ぶ。

2) 特に蓄電池を用いるわけは、後の考察で明らかになる。

読め。同じ太さ、同じ物質の導線で、長さがいろいろ異なるものを用いる時、導線の長さで電流の強さとの間にはどんな関係があるか。



実験1において、電流の強さは、導線の長さに反比例して減って行くことがわかったであろう。これは、導線の抵抗がその長さに比例して増すためと考えられる。

実験2 長さ、太さが相等しく、同じ物質でできた数本の導線を用意し、実験1の装置でEとAとを、この導線一本で結ぶ時と、数本束にして結ぶ時とで、電流の強さがどのように違うかを調べてみよう。

この実験から、数本束にした導線の抵抗は、その本数に反比例して減少することがわかったであろう。

問1 長さの等しい同じ物質の導線の抵抗と、その太さとの間には、どのような関係があるか。

- 1) 回路に過大の電流が通ると、電流計や電池を損じるから注意せよ。この場合回路に適当なヒューズをさし入れるとよい。
- 2) 電流計にも抵抗があるが、それは非常に小さいので、ほとんど考えなくてもよい。

実験3 長さ、太さの共に等しい鉄線とニクロム線とを用意し、これを実験2の装置で、EとAとの間に結び、この時流れる電流の強さを比較せよ。

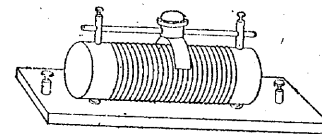
導線の抵抗は、その長さや、太さのほかに、物質の種類によっても異なる。長さが1cmで断面積が1cm²についての抵抗を、その物質の抵抗率という。

導体の抵抗率は、温度によって変わる。普通、金属例えば、電球に用いるタングステン繊維などの抵抗は、温度が昇るといじりしく増すが、炭素繊維などはこれに反し、温度が昇るとかえって減る。

抵抗の単位を1オームという。

問2 直径0.91mm、長さ5mのニクロム線の抵抗は何オームか。

電流の強さを適当に加減するために、いろいろに変化する抵抗を必要とする時には、普通図のよ



- 1) 国際単位では、水銀14.4521gを、一様な断面積(1mm²)で長さ106.300cmにした物(水銀はガラス管に入れて用いる)の0°における抵抗を、1オームと定める。
- 2) 導線の太さに番号を附けて、何番線と呼ぶ習慣がある。ここに掲げた太さのものは20番線である。

うな可変抵抗器が用いられる。

問 3 三本の抵抗をそれぞれ、 R_1, R_2, R_3 とし、これを図

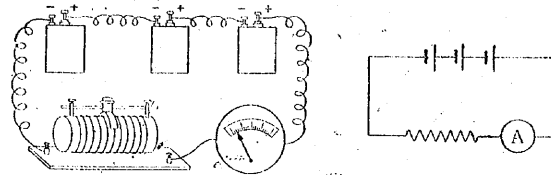
のように順次一例につなぐ時、その全抵抗は幾らになると考えられるか。



5. 電池の起電力

電流を流そうとする電池の働きの強さを表わすのに、起電力という言葉を用いる。まず、蓄電池について、その起電力を調べてみよう。

実験 1 何箇かの蓄電池を、次の図のように直列に結び、電流の強さが電池の数によってどう変わるかを調べよ。



n 箇の蓄電池を直列に結べば電流は n 倍になる。したがって、全体の起電力は n 倍になるものと考えられるであろう。

起電力の単位を 1 ボルト¹⁾ といい、蓄電池の両極を、抵抗 1

1) このようにつなぐのを直列につなぐという。

2) 起電力の単位にも、電位差の単位と同じものを用いるわけはすぐ後に学ぶ。

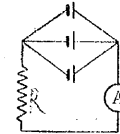
オームの導線で結ぶ時に流れる電流が E アンペアであれば、その起電力を E ボルトと定める。したがって、 R オームの抵抗を持つ導線で結ぶ時、流れる電流が I アンペアであるとなれば、蓄電池の起電力は

$$E = IR \text{ ボルト}$$

で與えられる。

鉛蓄電池一箇の起電力は約 2 ボルトで、蓄電池の大きさには関係がない。

実験 2 実験 1 で用いた蓄電池を、図のように(並列)結び変えた時、全体としての起電力はどう変わるか調べてみよう。



電池を並列につなぐ場合には、その数を増しても起電力が変わらないことがわかる。

蓄電池から強い電流を得ようとしても、それぞれきまった最大の値があって、これ以上強い電流を通すと蓄電池を傷つける。この値は、大型の蓄電池では大きく、小型の物では小さい。小型の蓄電池でこの値以上の電流を得ようとするには、これら数箇並列に結び、一箇当たりの電流がこの限界を超えないようにすればよい。

問 同種の蓄電池三箇を直列につなぎ、これを抵抗 10 オームの導線で結ぶと、何程の電流が流れるか。

6. 電池の内抵抗

先に調べたように、蓄電池の両極をいろいろの抵抗の導線で結ぶ時、電流と導線の抵抗との間には

$$(\text{電流}) \times (\text{抵抗}) = \text{一定} = \text{蓄電池の起電力}$$

の関係がある。いい換えれば電流は導線の抵抗に反比例する。

しかし、蓄電池の代わりに乾電池を用いて実験すると、上の関係が成り立たないことがわかる。それは何故であろうか。この場合、電流が電池の内部をも突き抜けて通り、そこでもやはり、ある大きさの抵抗(内抵抗)を受けることに注意しなければならない。

内抵抗の大きさは電池の種類で異なり、蓄電池では非常に小さいが、乾電池などではかなり大きく、数オームある場合がある。

乾電池などの場合、その内抵抗を r オームとし、両極を結ぶ導線の抵抗を R オーム、電流の強さを I アンペアとすれば、 I は $(R+r)$ に反比例する。したがって、 $I(R+r)$ が一定値となり、これが電池の起電力 E に当たるものと考えられる。したがって

$$I(R+r) = E$$

の関係が成り立つ。

乾電池一箇の起電力は約 1.5 ボルトである。

問 1 起電力 E ボルト、内抵抗 r オームの乾電池 n 箇を

1) $r=0$ とすれば前のページの関係式を得る。

直列に結び、これを抵抗 R オームの導線で結んだ時、流れる電流の強さを I アンペアとすれば

$$I(R+nr) = nE$$

の関係式が成り立つ。何故か。

問 2 問 1 において、 n 箇の電池を並列に結ぶ時には

$$I\left(R + \frac{r}{n}\right) = E$$

の関係が成り立つ。何故か。

7. 電位差

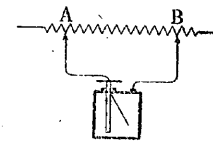
導線に電流が流れている時、導線の二点 A, B をそれぞれ検電器(あるいは電気計)の両端につないでみると、はくが開く。即ち、A, B 間に電位差があることがわかる。

電流の強さをいろいろ加減したり、A, B の位置をそれぞれ変えたりして実験してみると、電位差は電流の強さと、A, B 間の抵抗との相乗積に比例することがわかる。

A, B 間の抵抗が R オームで、電流が i アンペアの時の電位差 V ボルトは、次の式で與えられる(直流抵抗の法則、オームの法則)。

$$V = iR$$

問 1 次のページの図のように、抵抗がそれぞれ R_1 及



び R_2 オームの二本の導線を A, B 間で並列につなぎ、これに i アンペアの電流を通した時、それぞれの導線を流れる電流の強さを i_1, i_2 アンペアとすれば

$$(1) \quad i_1 + i_2 = i$$

$$(2) \quad i_1 R_1 = i_2 R_2$$

の関係がある。何故か。

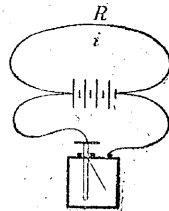
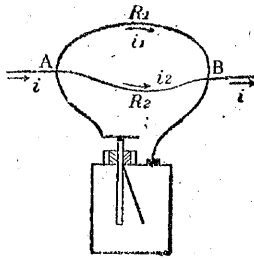
又、二本の導線をひとまとめにしてただ一本と考えた時、この導線の全抵抗を R オームとすれば

$$(3) \quad iR = i_1 R_1 \quad (4) \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

の関係がある。何故か。

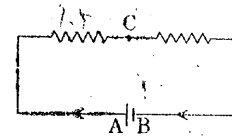
電位差も電池の起電力も、共に同じボルトという単位で表わされるのは何故だろうか。

蓄電池の両極を抵抗 R オームの導線でつないだ時、この中に i アンペアの電流が流れたとすれば、この蓄電池の起電力は iR ボルトであるが、この時両極間の電位差もまた iR ボルトである。したがって、蓄電池の起電力は、その両極間の電位差で表わされたものと考えることができる。このため



に、これらの二つの量が同じ単位で表わされるのである。

問2 図のように 1.5 オームの導線 (AC) と、2.8 オームの導線 (CB) とが内抵抗 1.2 オーム、起電力 1.5 ボルトの乾電池



と直列につながれている。この回路を流れている電流は何アンペアか。又、A, C 間及び C, B 間の電圧は、それぞれ何ボルトか。

このように内抵抗のある場合、電池の両極間の電圧が、その起電力と異なる値となることに注意せよ。

4. 電 熱

1. 電流による発熱

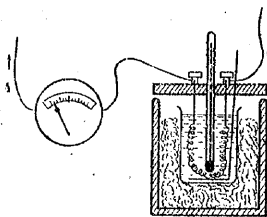
電熱器や電気アイロンなどでもわかるように、導線に電流が通ると熱を発する。電流が弱ければ熱の発生は少ないし、又、同じ電流が通っていても、抵抗の小さいコード線ではほとんど熱が発生しない。発生する熱が電流の強さや導線の抵抗とどんな関係になっているかを調べるのには、次のような実験をしてみればよい。

抵抗の知っているニクロム線などをつる巻状に巻き、次のページの図のような容器に入れる。容器にはなるべく多量の水を入れ、木の蓋をして温度計、及びかくはん器を付けてお

く。導線の両端に銅線を結び、電流計を通して電源につなぐ。

あらかじめ水及び容器の重さをそれぞれ測っておき、電流を通しながら水の温度ののぼって行く速さを調べ、これから電流の強さと、毎秒発生する熱量との関係を求めるのである。

電流の強さを変えた時、発生する熱量はどうなるか。又、抵抗の異なる導線を用いた時は、どうかということも調べてみる。



発生した熱は、水だけの温度をあげるのに費されるのではなく、容器・ニクロム線・かくはん器・温度計などの温度をあげるにも費され、銅に包んでも熱は幾らか放散する。詳しく調べるには、このようなことも考えに入れて、熱の発生量をきめなければならない。

このような実験の結果、次の関係がわかる。

(1) 電流の強さをいろいろ変えてみると、毎秒発生する熱量は電流の強さの二乗に比例する。

(2) 抵抗の異なるいろいろの導線を用い、これにきまつた強さの電流を通しながら調べると、毎秒発生する熱量は導線の抵抗に比例する。

(3) 抵抗 R オームの導線に I アンペアの電流が流れる時、 t 秒間に発生する熱量を Q カロリーとすれば

$$Q = \frac{1}{4.2} \times P R t$$

となる(ジュールの法則)。

問 1 導線の二点 A, B 間の電圧を V ボルト、流れる電流の強さを I アンペアとする時、この二点間で毎秒発生する熱量は $\frac{1}{4.2} IV$ カロリーである。何故か。

問 2 電熱器には銅線や銀線などはいないが、これはどういうわけか。

問 3 二本の導線を軽くより合わせ、これに電流を通ずると、その継ぎ目の所で非常に熱が発生することがある。何故か。

導線の二点間の電圧と流れている電流の強さとの相乗積を、その二点間で費される電力といい、電力の単位をワットと呼ぶ。1 ワットとは、1 ボルトの電圧の二点間を1 アンペアの電流が流れている時、その二点間で費される電力をいう。即ち、1 ワットは毎秒1クーロンずつの電気量を、1 ボルトの電位差だけ運ぶのに必要な仕事に当たる。このように電力とは、電気が単位時間になし得る仕事(仕事率)である。

したがって、導線の二点間で費される電力を P ワットとして、そこで t 秒間に発生する熱量を Q カロリーとすれば

$$Q = \frac{1}{4.2} P t$$

の関係がある。

1) このことはまた後(153 ページ)にも学ぶ。

電流の発生する熱を簡単に電熱といっている。これから電熱の応用の二、三について考えてみよう。

2. 電 燈

一般に物体は高温度になると光を出す。電燈は細い繊維を電熱で高温度に保つようにしたものである。繊維は抵抗率が大きくて融点の高いものでなければならない。

繊維には最初は炭素を用いたが、今日ではタングステンを取り扱う技術が進歩したために、電球の繊維として炭素よりすぐれた性質のあるこの金属を一般に用いている。

電球の内部は、発生した熱がむだに放散するのを防ぐために、真空にしている場合もある。しかし、窒素・アルゴンなどの気体を詰めた方が、タングステンの昇華が少なくてすみ、そのために一層高温度に保って発光を盛んにすることができる。今日では気体入りの電球が多く用いられている。

問 1 ワット数の小さな電球は触れてみてもさほど熱くないのに、これをふとんの中に入れて放置すると、ふとんが焼け出すことがある。何故か。

問 2 100 ボルト用 60 ワットの電球には何アンペアの電流が流れていることになるか。又、この電球がともって

1) タングステンの融点は 3400° 。炭素は高温度でも融解しないが、しかし、よく昇華する欠点がある。

いる時の抵抗は何オームか。

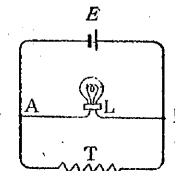
問 3 100 ボルト用の電球を 200 ボルトの電源につないだ時にはどうなるか。

問 4 電球のタングステン線の一端が支えの導線から離れ、タングステン線の途中がこれに触れていると、電球が非常に明かるく光る。何故か。

3. 電 熱 器

いろいろな電熱器にニクロム線を用いるのは、この合金の抵抗率が大きいこと、融点が割合に高いこと、赤熱しても空气中で酸化しないことなどの長所があるからである。

問 内抵抗の大きい電池 E で電球 L を点燈し、電球の両端に更に電熱器 T を図のようにつなぐと、電燈が暗くなる。これは何故か。



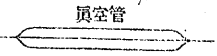
4. ヒューズ

回路中に適当なヒューズをさし入れておくと、何かの事故で過大な電流が流れても、ヒューズが融けて電流が切れるから危険を生じない。ヒューズは極めて融点の低い合金の針金、あるいは帯金で、それらの切り口の大きさで何アンペアまで

1) 空气中で 900° – 1000° くらいまで耐える。

の電流に耐えるかがきまる。

問 図のようにヒューズを真空のガラス管の中に入れたものと、空中にさらしたものとでは、どちらが強い電流に耐えるか。



5. 電 磁 石

電鈴を分解してみると、中に電磁石があって、これに電流を通すと軟鉄片を引きつけるようになっている。電流と磁石との間には、どんな関係があるのだろうか。

1. 電流による磁界

実験 机の上に磁針を置き、その真上の点を通して南北に水平に長い導線を張り、それに南から北に向かって電流を通したら磁針はどうなるか。電流の向きを反対にした時はどうか。又、導線を磁針の真下に張った時はどうか。

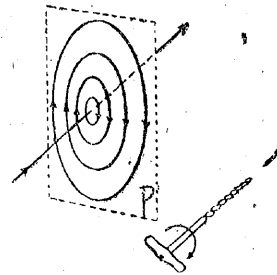
次に、導線を同じように東西の方向に張って、それに順に東向きと西向きの電流を通して磁針のようすを見よ。

電流の周囲に磁界がどの向きにできるかがわかったら、再び導線を南北に張り、電流の強さを変えたり導線と磁針との距離を変えて、磁界の強さがどう変わるかを調べよ。

真直な長い電流によって生ずる磁界の向きは、どこでも電

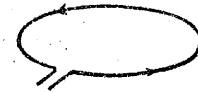
流の方向と直角で、その強さは電流の強さに比例し、電流からの距離に反比例する。

磁力線を書けば、それらは電流に垂直な面に横たわっていて、その面と電流との交点を中心とする同心円になる。



磁力線の向きと電流の向きとの関係は、右まわしねじを用いて、図のように表わすことができる。即ち、磁力線に沿っての磁界の向きを、ねじをまわす向きにとれば、電流の向きはちょうどねじの進む向きになる。

問 上の結果から考えると、円形の導線に、図の矢じるしの向きに電流が流れている時、磁力線はどうなるであろうか。図に書いて見よ。



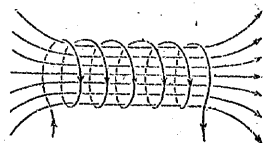
2. 線 輪

電流による磁界を利用する時に、しばしば用いられる線輪(コイル)は、導線をつる巻形に巻いたもので、上の図のような、円形の導線をたくさん重ねたものと似ている。

実験 線輪の軸を東西に向けて電流を通し、その内部の

- いろいろな場所に小さな磁針を置いて、磁界のようすを観察せよ。

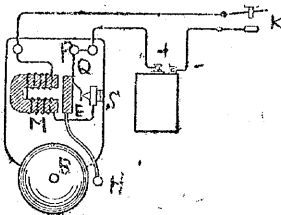
この時、電流の向きと磁力線の向きとの関係は、図のようになることを確かめよ。



問 線輪を流れる電流の向きと、磁界の向きとの関係を、右まわしねじを例にとっていい表わせ。

3. 電磁石

線輪に軟鉄の心を入れておくと、電流による磁界のほかに、軟鉄が磁化して磁石となったための磁界も加わるので、強い磁界を作ることができる。



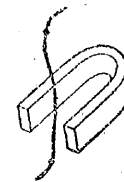
問 図を見て電鈴の作用を説明せよ。

6. 直流計器

1. 磁界の中にある電流

電流が磁石に力を及ぼすことを知ったが、逆に、磁石が電流の流れている導線に力を及ぼすかどうかを調べてみよう。

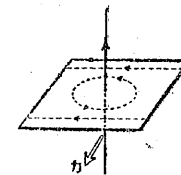
実験 水平方向の磁界内において、曲りやすい導線をややたるませて鉛直に張り、これに電流を通す時、どんな力を受けるかを見よ。又、この実験で磁界の方向を変えて、電流に対する角度を少しでも小さくして行くと、それにつれて電流の受ける力は、どのように変わるかを調べよ。



この実験からもだいたいわかるように、電流の流れている導線が磁界にあると、導線の方角と磁界の方角との両方に直角の方角に力を受ける。そうして、その力の働く向きは、電流の磁界と外からの磁界とが助け合って強くなる側(図では向こう側)から反対の側へ、導線を押しやろうとする向きである。



なお、電流の流れている導線が磁界で受ける力の大きさは、(1) 電流の強さと、磁界の強さと、磁界内にある導線の長さ
とに比例し、(2) 電流の方角と磁界の方角とが、互に直角の時に最も大きく、直角から離れると少しでも小さくなり、両方が平行になると零となる。



問 二本の長い真直な導線が平行に張ってあって、これ

に同じ向きの電流が流れている時、これらの導線の間にはどんな力が働くことになるか。又、反対向きの電流が流れている時にはどうなるか。

2. 検流計

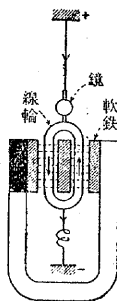
磁界の中で電流の受ける力が、電流の強さに比例することを利用して、電流を測る器械を作ることができる。

普通に用いられる検流計では、強い馬てい形磁石の両極の間に、下の図のように、軽い線輪を細い導線で作るし、その導線と線輪の下から出ている細い導線とを通して、電流を線輪に通すようになっている。

問 右の図で、馬てい形磁石の左の極が北極で、線輪の中の電流が矢じるしの向きに流れているとすれば、線輪はどんな力を受けるか。

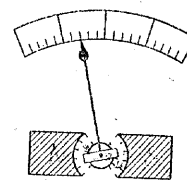
線輪のわくに固定してある鏡は、線輪のわずかの回転を見るためのものであるが、線輪の回転の角度が極めて小さい間は、角度は電流の強さに比例するとみることができる。

検流計は極めて弱い電流を調べるのに用いるが、直接アンペア単位で電流が読めるようにはなっていない。



3. 電流計

先に学んだように、電流はアンペア単位で目盛した電流計で測るが、電流計は検流計と同じ原理に基づくもので、ただ線輪を導線で作るす代わりに時計のテンプと同じ方法で保持し、鏡の代わりに図のように針指を附けた点が、検流計と違っている。

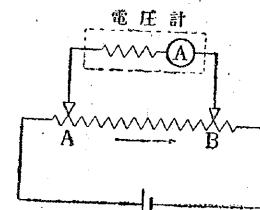


電流計では検流計と違って、線輪が大きな角度まで回転するから、上の図のように磁力線が線輪の回転に対して放射状になるようにして、線輪に対する磁界の働きがいつでも一定になるように作られている。

4. 電圧計

電圧をボルト単位で測れるようにした器械を電圧計という。

これは鋭敏な電流計を、非常に大きな値の抵抗と直列につないだものである。例えば、図の回路で A, B 間の電圧を測るには、



電圧計の両方の端を A 点と B 点とに接触させて用いる。

この時、電圧計の中にも電流が流れるから、もし、電圧計の抵抗が小さいと、これを入れたために回路のいろいろな部分の電流の強さが変化し、したがって、A, B 間の電圧も変わってくる。これを防ぐために、電圧計の抵抗を非常に大きくし、

その中を通る電流が非常に小さくなるように作られている。

問1 電圧計の両端子の間の抵抗が 1000 オームで、それに入れてある電流計は、これを電流計として用いる時、一目盛が1 ミリアンペアを示すものとする。この電圧計の一目盛は何ボルトを示すことになるか。

問2 乾電池の両極をそれぞれ電圧計の両端子につないだ時、電圧計の読みは起電力を示しているであろうか。又、蓄電池の場合はどうか。

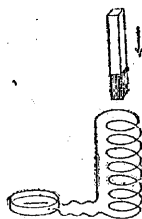
7. 発 電

先に電流が磁界を生ずることを知ったが、逆に、磁界は電流を生じないものであろうか。

1. 磁石の運動による発電

実験1 線輪に検流計をつなぎ、棒磁石、あるいは電磁石の一方の極を線輪の中へ押し動かし、検流計の針が動くかどうかを見よ。その動き方から、線輪内にどの向きの電流が流れるかを調べよ。

なお、(1) 極をさし込む時と引き出す時、(2) 極が北極である時と南極である時とで、それぞれ電流の向きはどう変わるか。

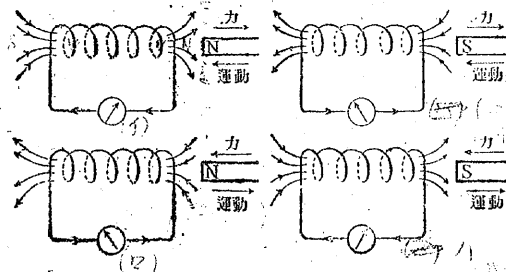


又、(3) 極の動かし方が速い時と遅い時、(4) 強い磁石を用いた時と、弱い磁石を用いた時、(5) 線輪の巻き数が多い時と少ない時とで、それぞれ電流の強さはどう変わるかを見よ。

このような実験によって、線輪に対して磁石が運動すると、線輪内に電流が起ることがわかるが、それは線輪内に新たに起電力が発生したためと考えられる。この起電力を誘導起電力といい、この時流れる電流を誘導電流という。

実験1からわかるように、磁石の強さやその動かし方との間に一定の関係を持つのは誘導起電力で、誘導電流ではない。誘導電流は誘導起電力を全回路の抵抗で割ったものであるから、回路の抵抗が大きいと、起電力は同じでも電流は小さくなる。なお、誘導起電力の向き及び大きさについては、次のような関係がある。

誘導起電力の向きは、その向きに流れる電流によって生ず



る磁界が、磁石の運動を妨げようとするような向きである。

又、その大きさは、(1) 磁石の極が強いほど、(2) 動き方が速いほど、(3) 線輪の巻き数が多いほど大きくなる。

誘導起電力は磁石が動いている間だけ起り、その運動が終ればとまる。

実験 2 実験 1 では磁石の方を動かしたが、線輪の方を動かしたらどうなるかを考察し、その考え方が正しいかどうかを実験してみよ。

誘導起電力は磁石と線輪との相対的の運動によってきまり、どちらを動かしても、又、両方共に動かしても、相対的の運動さえ同じならばいつも同じように起る。又、磁石の代わりに電流の通っている線輪、あるいは電磁石を用いても上と同じことが起る。

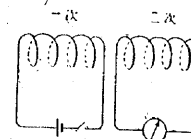
上のような実験で、線輪を含む回路の中に電池などの起電力がはいっている場合でも、誘導起電力の起り方には変わりはない。

問 線輪を含む回路内に起電力 E ボルトの電池がある時、誘導起電力を e ボルト、回路の全体の抵抗を R オームとすれば、回路を流れる電流は何アンペアか。 e と E が同じ向きの時と反対向きの時について、それぞれ考えよ。

2. 電流の変化による発電

電流の流れている線輪を動かすと、附近の線輪の磁界の強さが変わるので、この中に起電力が発生することはわかったが、線輪を動かす代わりに、その中を流れている電流の強さを変えても、やはり他の線輪内の磁界が変わるので、この中に起電力が起りそうである。

実験 1 図のように、線輪を二つ向かい合わせて一方に検流計をつなぎ、他方に電池をつないで、電流を通じたり切ったりする時、初めの線輪にどの向きの電流が流れるかを調べよ。



上の実験において、線輪を動かさなくても、一つの線輪（一次線輪）を流れる電流の強さが変化すると、他の線輪（二次線輪）に誘導起電力が発生することがわかる。その起電力の向きは、(1) 一次線輪に電流を通し始める時（一般には電流の強さが増す時）は、その電流の向きとは反対向きに起り、(2) 一次線輪の電流を切る時（一般には電流の強さが減る時）は、今まで一次線輪に流れていた電流と同じ向きに起る。

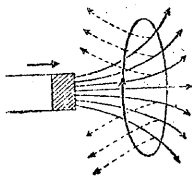
この場合の起電力も、一次線輪の電流が変化している間だけ起り、その大きさは一次電流の変化する速さが大きいほど、又、両方の線輪の巻き数が多くて互の距離が近いほど大きい。

このような起電力は、二次線輪の電流が変わると、そのために、また一次線輪の方にも起って来る。二つの線輪の間のこのような相互的な関係を相互誘導の現象という。

このほかにもまだ、磁界の変化に伴って誘導起電力の発生するいろいろの場合がある。これらの場合をまとめて考察しよう。それには線輪の置かれた所の磁界の変化、即ち、線輪内を通る磁力線の数の変化を考えてみるとよい。一般に、一つの線輪内を通る磁力線の数の変化に伴って、線輪内に誘導起電力が起り、その向きと大きさは次の通りである。

(1) その向きは誘導起電力の向きに流れる誘導電流によって生ずる磁界が、線輪内を通り抜ける磁力線の数の変化するのを妨げるような向きで、(2) その大きさは、線輪内の磁力線の数の変わる速さが大きいほど大きく、又、線輪の巻き数が多いほど大きい(電磁誘導の法則)。

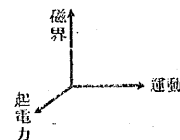
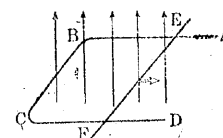
例えば、線輪が磁石に近づいて来る時には、この線輪内の磁力線の数が増すことになるが、線輪内には図のような向きに起電力が生じ、これに基づく電流による磁界は磁石に基づく磁界とは反対向きになって、線輪内の磁界を弱める。磁界が弱くなることは、磁力線の数が減ることになるのである。



問 次のページの図で ABCD は固定した針金、EF はこ

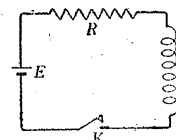
の上で滑ることのできる針金である。

この装置を図のような磁界の中に入れて、EF を矢じるしの方に動かす時、どのように誘導起電力が起るか。又、このことから、一つの針金が磁力線を切りながら運動する時、その中にはどのように起電力が起るかを考えよ。

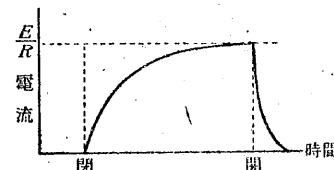


3. 自己誘導

問 1 図のような回路で、スイッチ K を押す(閉める)と、 $\frac{E}{R}$ の電流が流れることは知ったが、スイッチを閉じた瞬間に、電流が直ちにその強さになるかどうかを考えてみよ。但し、 E は電池の起電力で、 R は回路全体の抵抗とする。



上の問で考えたように、電流が線輪を通り始めようとするれば、この線輪内にこれを妨げようとするような反対向きの起電力が発生するから、電流の強さは直ちに $\frac{E}{R}$ にはならず、少



し遅れてからこの値になる。

スイッチを切った時(開いた時)電流がとまろうとすれば、それを妨げる向きに起電力が発生するから、少したってから電流がとまる。これらの場合における電流の変わり方は、前のページの図のようで、回路を開いた時の方が、その変わり方が激しい。

実験 線輪、あるいは電磁石を含む回路に電流を通し、回路中にあるスイッチを開いて、スイッチのすき間に発生する火花を見よ。どうしてこのようなことが起るのか。

このように、一つの線輪内で電流が変化しようとするれば、いつもこれを妨げようとする起電力が発生する。この現象は電磁誘導の特別の場合に当たるが、これを特に自己誘導の現象という。

実験によると、自己誘導によって生ずる起電力の大きさは、線輪の中の電流が変化する速さに比例する。この比例定数は線輪の大きさ、形及び周囲の物質によってきまり、これを線輪の自己誘導係数という。自己誘導係数の単位としては、線輪の中の電流が、1秒間に1アンペアの割合で変化する時、1ボルトの誘導起電力を生ずるものを選び、これを1ヘンリーという。

相互誘導でも自己誘導でも、線輪の中に鉄心を入れると、誘導係数が非常に大きくなる。

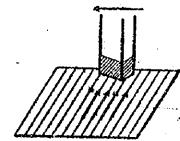
自己誘導の現象から、電流は、今までの状態をそのまま保ち続けようとする性質を持っていると考えることができる。

問2 電車のポールが電線から離れる時火花が出るが、何故か。

4. うず電流(渦電流)

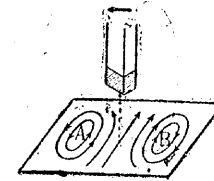
今まで電磁誘導の現象を調べるのにいつも線輪を使ったが、線輪の代わりに金属の板や塊を使ってみたら、どうなるであろうか。

銅板の上で磁石を垂直にして、図のよう
に左に動かしたとする。銅板は多くの
銅線を密接して並べたものと考えられる
が、これらの導線には先に(86ページ問)
考えたように、図のような起電力が起ることがわかる。これ
らの起電力は、磁石の真下の所で最も大きく、これを離れる
ほど小さい。



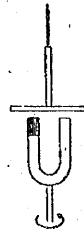
電流はこれらの導線に沿って流れるばかりでなく、一つの導線から、次の導線に移ることもできるから、次の図のようなA, B二つのうず巻形の電流が流れることが予想される。

Aのうず電流と磁石との間には反ばつ力が、Bのうず電流と磁石との間には引力が働くから、銅板は磁石の運動する方向に向く力を受けることになる。このようなことが、実際に起るかどうか験してみよう。



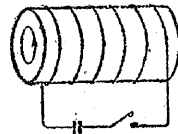
実験 図のように、アルミニウムの円板を面が水平になるようにつるし、その下へ強い馬蹄形磁石又は電磁石の極を近づけて、磁石を鉛直軸の周りに回転させてみよう。

次に、磁石を低い位置に下げて、円板を糸の周りに回転させて置き、急に磁石をあげて円板に接近させてみよう。

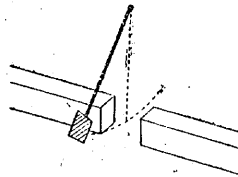


この実験で、われわれの考察が正しかったことがわかる。このように、導体の中では一般にうず巻状の電流が流れるので、これをうず電流という。

問 1 図のような鉄心のある電磁石に電流が流れ始める時、鉄心内にはだいたい図のようなうず電流が発生する。何故か。



問 2 図のように棒の先に銅板を附けた振子がある。銅板を強い電磁石の間で振らせながら電磁石に電流を流すと、振子は急にとまる。何故か。



うず電流はいろいろな目的に利用される。しかし、導体内

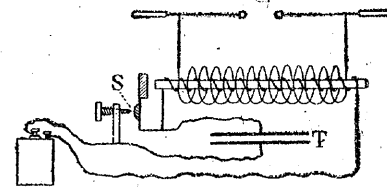
に熱が発生して、かえって害になるような場合もあるので、このような時には適当な工夫をしてこれを防ぐ。

5. 誘導線輪

相互誘導を利用して、数ボルトの電池から数万ボルトの起電力を発生することのできるものに誘導線輪がある。

誘導線輪の要部は図の

通りで、互に絶縁した細い鉄の針金を多数束にした鉄心の上に、太い銅線をあらかく巻いたものを一次線輪とし、これとよく



絶縁して、この上に細い銅線を非常に多数回巻き附けたものを二次線輪とする。一次線輪と電池との間には、電鈴の場合と同様に、電流を断続する接点 S と、S と並列に蓄電器 T が入っている。電池をつなぐと、おのずから接点が開いて電流が断続するが、電流が通る時より、切れる時の方が電流の変化が急なので、切れる時に、二次線輪に非常に大きな電位差が生ずる。

問 誘導線輪の鉄心に、細い鉄線の束を用いるのは何のためだろうか。

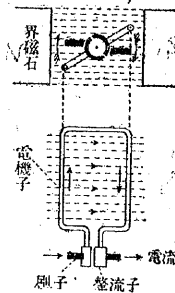
6. 直流発電機

電池によって電流が得られるほかに、電磁誘導によっても電流の起ることがわかった。これは電力を得るのに非常に大切な方法で、今日のように電気の利用の盛んになったのは、

全くこの方法によったおかげである。

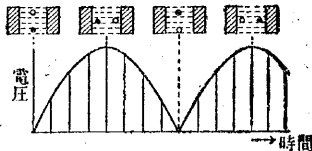
直流発電機では、図のように電磁石で磁界を作って、その中で羽子板のような形に曲げた導線を、磁界に直角な軸の周りに回転させるのである。羽子板の柄に当たる所には、円筒を二つに割った形の導体（整流子）を、導線のそれぞれの端に附ける。整流子には、炭素製の刷子を二箇向かい合わせて触れさせ、電流の出入口とする。

電気機械では、いろいろな作用の基になる磁界を作る電磁石を界磁石といい、界磁石に対して相対的に動いて、いろいろな作用をする導線の集まりを電機子という。



問1 上の図で、電機子を羽根の附いた矢じりしで示した向きに回転すると、羽根のない実線の矢じりしで示したような向きに誘導起電力が起り、両方の刷子を導線でつなげば、その向きに電流が流れることを説明せよ。

誘導起電力は、電機子が一樣な速さでまわっていれば、その面が磁界に平行の時最大で、直角の時零となる。この起電力が零の時、刷子の触れている整流子が入れ換



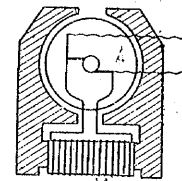
1) 図の上の部分で、⊕ のしるしは電流が向こうへ流れることを表わし、⊙ のしるしは手前へ流れることを表わしている。

わるので、刷子の間の電圧は前のページの図のようになる。

このようにして、整流子の作用によって電圧が一方方向に起ることがわかったが、しかし、その大きさは時間と共に、はなはだしく変化して不便である。この不便を除くために、実際の発電機では、電機子の導線の数と整流子片の数を多くして、それらを電機子の回転軸の周りに一様に配置し、電圧がなるべく変化しないと同時に、それらの導線が最も有効に働くように工夫してある。



発電機の界磁石は、普通電磁石であるが、このための励磁電流は、電池などから取らないで自分の起す電流から取るのが普通である。励磁電流の取り方にはいろいろあるが、一つのおもな方法は、図のように、界磁石の線輪を電機子と並列につなぐ方法である。このようにしたものを分巻発電機という。分巻発電機で運轉の始めに磁界を與えるものは、磁石に残っている残留磁気である。



問2 直流発電機から電流を得るためには、電機子にどのような力を働かせる必要があるか。

1) 界磁石の巻線に通す電流。

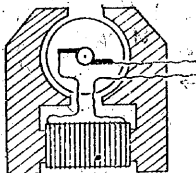
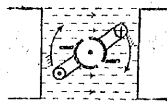
7. 直流電動機

磁界の中にある導線に電流を通せば、これに力が働くから、このことを利用していろいろな仕事をする機械、即ち、電動機を作ることできる。

直流電動機は直流発電機と同じ構造である。今、直流発電機の電機子に図の向きの電流を通せば、羽根の附いた矢じるしの向きに回転するであろう。この場合、電源が直流電源であっても、整流子の作用で、電機子を通る電流の向きがちょうど都合よく変わるから、電機子はいつまでも回転を続ける。

同じ機械を発電機として用いた時と比べると、回転の向きは同じであるが、電流の流れ方が逆である。いい換えると、電動機を働かせるには、それが発電機として出すはずの起電力に打ち勝つだけの起電力を、外から加えなければならない。右の図のように、電機子と界磁石の線輪を直列につないであるものを直巻電動機という。

直巻電動機では、運転の始めに非常に大きな力が出るので、電車などの電動機としては欠くことのできないものである。

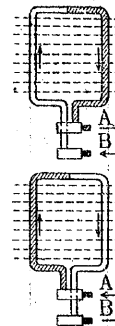


- 1) 図のように、ただ一对の整流子片しかない時には、電機子に力の作用しない場合ができるが、その場所は慣性で通り越すことができる。

8. 交流

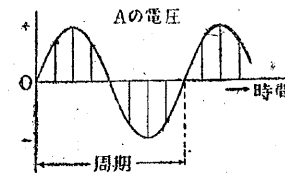
1. 交流発電機

直流発電機の整流子の代わりに、導線の端をそれぞれ一つの導体の環(滑り環)につなぎ、二箇の炭素刷子をそれらに接触させると、刷子には電機子の半回転ごとに、向きの反対になる電圧が現われ、刷子を導線で結べば、それには交互に向きの反対になる電流が流れる。このような電圧を交流電圧、電流を交流という。この時、Bに対するAの電圧は次の図に示した曲線のように変化する。電圧が一度増減して元の値になるまでの時間をその周期、一

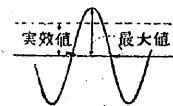


秒を周期で割った数、つまり一秒間に何回増減を繰り返すかという数を周波数という。

関東地方では周波数 50、関西地方では周波数 60 の交流が用いられている。



交流では電圧や電流をいうのに、実効値という値を用いる。それは、電圧や電流が正しい正弦波曲線で表わされる時には、その波の山の高



- 1) 交流は電燈や電動機などに用いられるが、このような時、一方の導線を接地することが規定になっている。

さ(最大値)の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ に当たる値である。

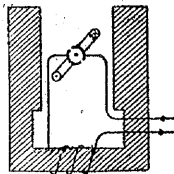
交流電圧何ボルト、あるいは交流何アンペアというのは、それらの実効値を指している。

問 電燈線には交流 100 ボルトが来ているが、この電圧の最大値は何ボルトか。

2. 交流電動機

次に、交流で働く電動機を作るにはどうすればよいか。

問 直巻電動機で、外から送り込む直流の向きを反対にしたら、まわり方はどう変わるか。図について説明せよ。



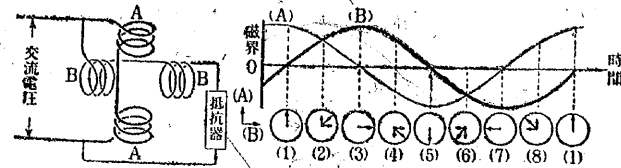
このことからわかるように、直流で用いた直巻電動機は、そのまま交流の電動機としても用いられる。

この種類の電動機は、整流子を持っているので、整流子電動機と呼ばれている。

交流を使えば、直流では全くできなかった種類の電動機が作られる。それは誘導電動機及び同期電動機と呼ばれる。

次のページの図のように、A・A の線輪が鉛直な磁界を作り、B・B の線輪が、これと交わる水平な磁界を作るように配

1) 普通には交流何ボルトというが、これは交流電圧何ボルトの意味である。

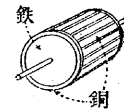


置し、A・A の方は直ちに、B・B の方は抵抗器を通して、共に交流の電源につなぐ。抵抗器を B・B と直列に入れると、それを通る電流が A・A を通る電流と、時間的に食い違って来るのである。交流ではこのような食い違いを位相の差という。

上の右の方の図で、曲線(A)は A・A 線輪の磁界の変化、曲線(B)は B・B 線輪の磁界の変化を表わしている。これらの曲線から、線輪の中央の磁界が、時間と共に (1), (2), (3)……の順に回転することがわかるであろう。

このような回転する磁界の中に導体を入れると、うず電流のために導体がまわり出すことは、前に調べた通りである。

実際の電動機では、鉄板を重ねて作った円柱体に、右の図のように、太い銅線のかごを外からかぶせたような物(回転子)を磁界で回転させる。このような構造のものは、ただの銅、あるいは鉄の塊りよりも回転磁界に対して遙かに有効に働く。



このような電動機は、回転子に起る誘導電流によって働くので、誘導電動機という。

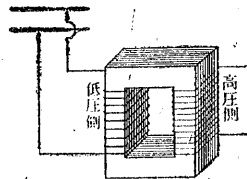
実際の誘導電動機では、上の図の曲線のように、位相の差

が完全に行かない。しかし、この種の電動機は、扇風機などの小型の電動機としてよく用いられる。

上に述べた回転子の代わりに、回転軸に直角な磁石を取り附ければ、その磁石は磁界の回転につれて、毎秒磁界の回転数と同じ数だけ回転するであろう。これが同期電動機の原理である。電気時計の中に入れてある電動機もこの一種である。

3. 変 圧 器

薄い軟鉄の板を多数重ねて、環状の鉄心を作り、それに二箇の線輪を巻き附けたものは、変圧器といって、交流の電圧を上げ下げするのに用いられる。



変圧器の鉄心だけでなく、電機子の中に入れる鉄心、その他磁界が絶えず変化する部分の鉄心には、表面を不導体にした鉄板を重ねるか、あるいは誘導線輪の鉄心の場合のように、表面を不導体にした鉄の針金の束を使う。これは鉄心にうず電流の起るのを、なるべく少なくするためである。

問 1 変圧器で、鉄心にうず電流の起るのを少なくするためには、重ねる鉄板の面を、磁界の方向に対してどのようにすればよいか。

問 2 鉄心にうず電流が多く流れると、どのような不利

益が起るか。

問 3 変圧器に電流を通じている間、ある一種の音の発するのを聞いたことがあるであろう。これは何故か。

変圧器は普通、変圧器油という油の中につけて使用するが、これは絶縁をよくするためと、変圧器に生ずる熱を速やかに外部に傳えて、変圧器が過熱しないようにするためである。

変圧器の一方の線輪に交流を通すと、誘導によって他方に起電力が起るが、この場合、両線輪の端に現われる電圧の比は、両線輪の巻き数の比に等しい。

変圧器の二つの線輪のうち、発電機の側につないだのを一次線輪、反対側のを二次線輪というが、同じ変圧器でも、どちらを一次線輪として使用するかによって、二次側の電圧を上げることにも下げることもなる。この時、一次側で消費される電力は、二次側に現われる電力に等しく、変圧器を用いても電力に損得はない。

交流の電圧が、このように容易に上げ下げできることは、交流が直流より広く使用されているおもな理由である。

4. 整 流

交流は電動機・電燈などの電源として広く実用に供せられるが、一方電気分解のように、直流でなければ使用できない

1) 実際には鉄心部における熱の発生などにより、多少電力の損失がある。

場合もある。交流を直流に直すことを整流という。

整流にはいろいろな方法がある。従来は、交流で電動機をまわし、それで直流発電機を動かす方法を用いた。しかし、近頃は水銀整流器といって、水銀の蒸気中の放電を利用したものを用いる。

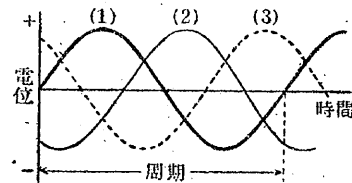
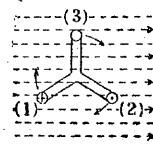
小規模な整流が必要なのは、ラジオ用蓄電池の充電などの場合であるが、このような時には、しばしば、亜酸化銅整流器又はタンガー整流管(二極真空管)を用いる。

5. 三相交流

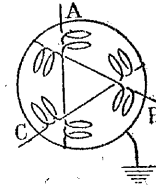
交流発電機の電機子の二本の平行な導線の代わりに、図のように回転軸の周りに互に 120° ずつ隔てた三本の平行な導線を置き、これを界磁石の間で回転させる。この時、三本の導線の向こうの端を一つにつないで接地し、手前の端を三箇の滑り環で外部導線につなぐ時は、三本の導線の電圧は位相が周期の三分の一ずつ互にずれる。このような交流を三相交流という。これに対して普通の交流を単相交流という。

次に三本の導線を、次のページの図のような、三組の線輪

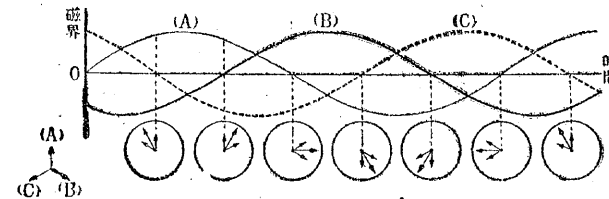
1) 詳しくいえば、位相は $\frac{2\pi}{3}$ ずつずれる。



A, B, C の端へつないで、三相交流を通し、それらの線輪の他の端をいっしょにつないで接地すれば、これらの線輪の中央における磁界の方向は、下の図のように順次変化して回転磁界を生ずる。



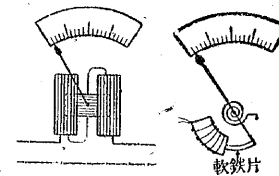
このような回転磁界の中に、単相の時と同様な回転子を入れたものが、工場などで広く用いる三相誘導電動機である。



6. 交流の計器

直流の電流計には、耐久磁石による磁界を用いたが、交流の計器では、そうすることのできないのは明らかである。それならどうすればよいであろうか。

まず思いつくことは、図のように固定した線輪の中へ、回転できる線輪を入れ、それらを直列につないで交流を通すことである。

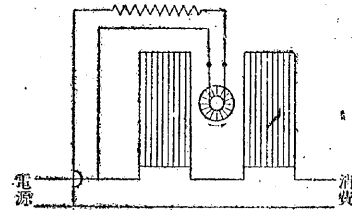


しかし普通は、これより簡単にできる可動鉄片測計器を用いている。この型では、線輪を流れる交流の磁界が軟鉄片を引く力を利用する。電圧を測るの

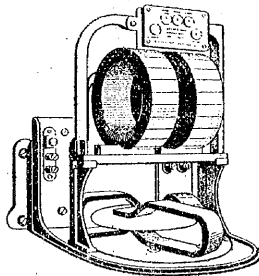
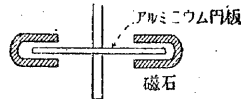
に、線輪と直列に抵抗を入れることも、直流計器の場合と同じである。

交流の計器で、家庭などでもよく使われるのは、積算電力計である。これは、ある場所で一定の期間に消費された、電力と時間との積を表わすようにしたものである。

その一つの型の構造を示すと、鉄を使わない整流子電動機と同じで、磁界として使用している電流をそのまま通した線輪を使い、電機子には使用している電圧に比例するような電流を通して回転させる。



回転軸の下端には、アルミニウムの円板を軸に直角に付け、その板をはさむように馬蹄形磁石を置いて、板が運動すると、それにうず電流が起って、板をとめようとする力を作用するようにしてある。電機子が磁界で受ける偶力は、この構造からわかるように、使用している電流と電圧との積に比例するが、一方うず電流が制動する偶力は、その回転速度に比例するので、結局電機子は使用電力に比例する速度で回転することになる。それ故、歯車仕掛けで、ある期間内に電機子の回転した数を表わせば、それが使用した電力と時間との積を示すことになる。



1) 電力による仕事は1キロワット時何程として電力と時間の積で販賣される。

物理 (1)

昭和22年4月8日印刷 同日鑑刻印刷
昭和22年4月12日発行 同日鑑刻発行

〔昭和22年4月12日 文部省検査済〕

著作権所有

APPROVED BY MINISTRY
OF EDUCATION
(DATE Apr. 8, 1947)

著 作 者
発 行 者

文 部 省

東京都中央区銀座一丁目五番地

鑑 刻 者
発 行 者

大日本圖書株式會社

代表者 佐久間長吉郎

東京都新宿区市谷加賀町一丁目十二番地

印 刷 者

大日本印刷株式會社

代表者 佐久間長吉郎

発 行 所 大日本圖書株式會社

395.4-3-1

~~395-1-1~~

~~K270.42-3-1~~

K270.42-1-1

寄贈
昭和22年6月10日

