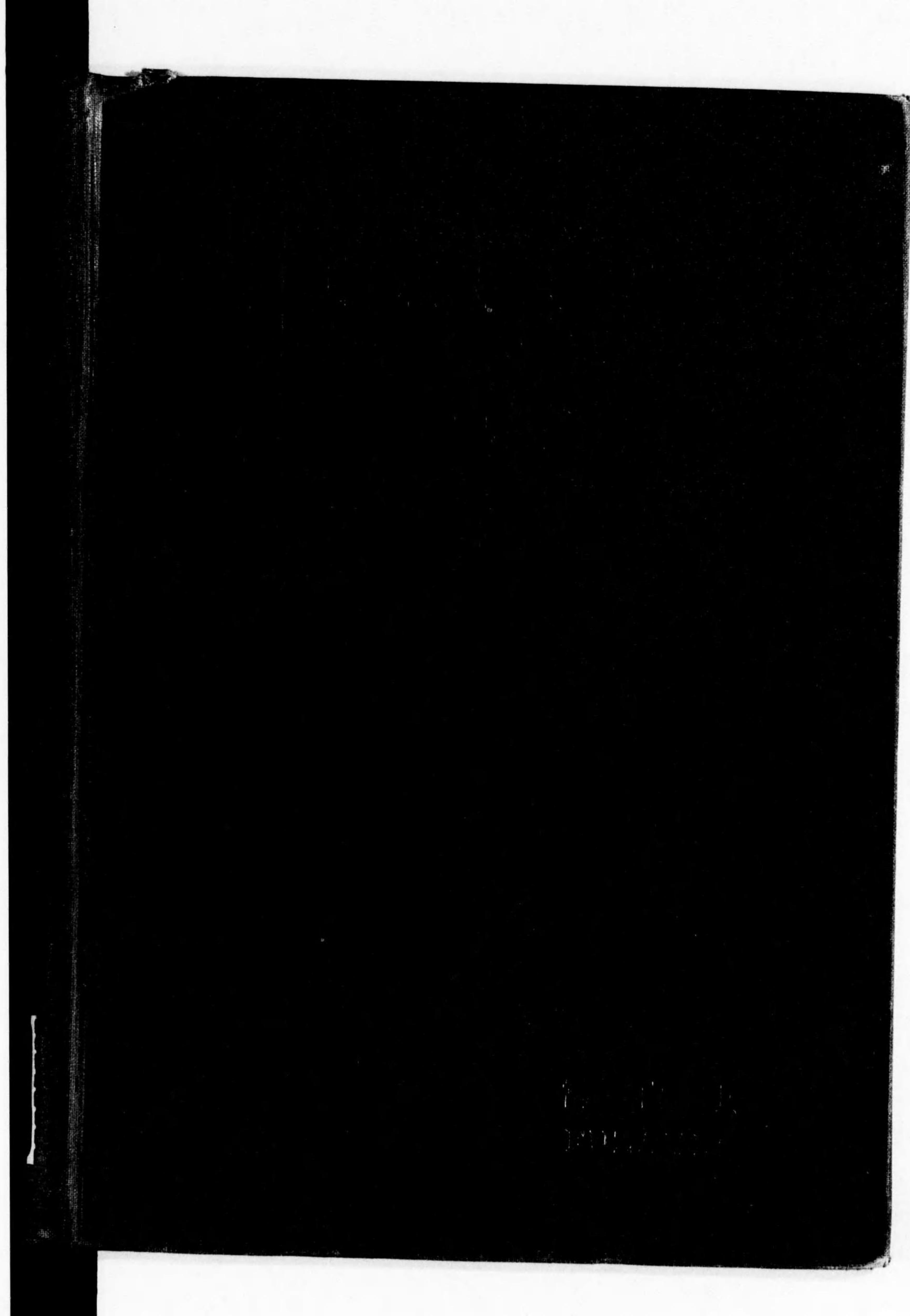


始



中村物理學

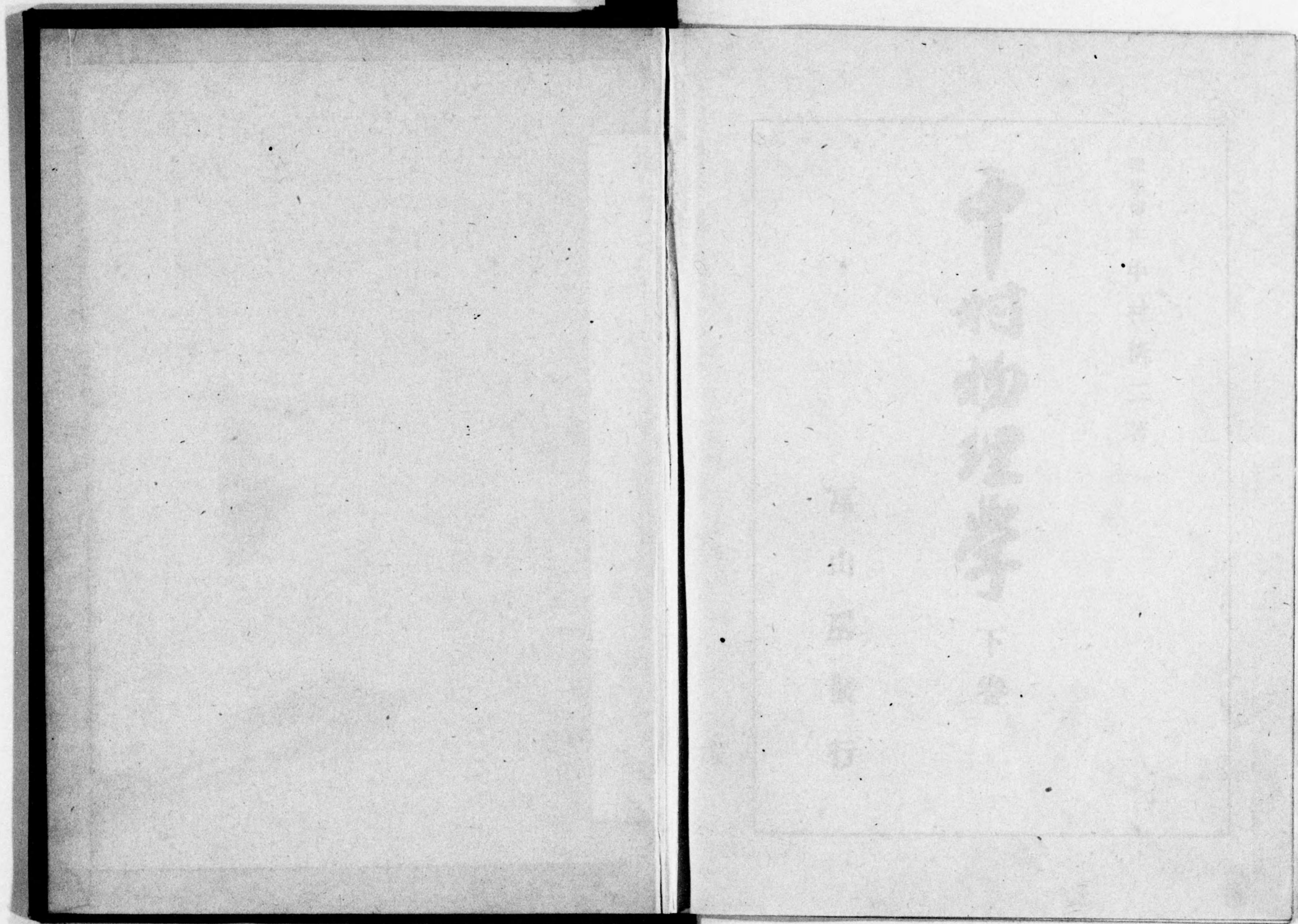
下卷

理學博士 中村潤二著

後

富山房

FUZAMBO

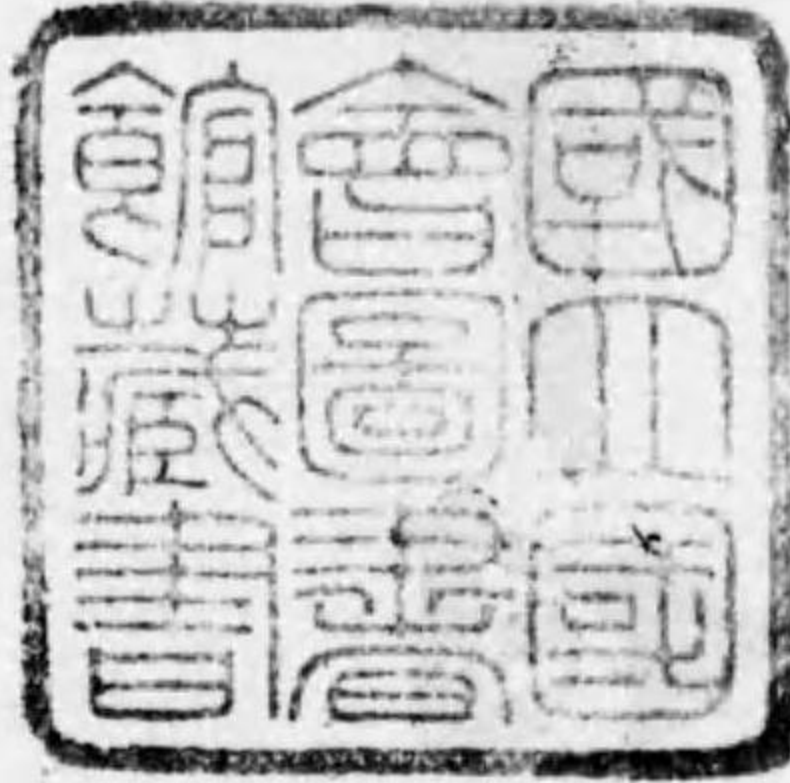


理學博士 中村清二 著

中村物理学 下卷

富山房發行

420
80



142574

中村物理學 下卷

第六篇 磁氣と靜電氣557

第三十六章 磁氣557

 第355節 天然磁石と人造磁石557

 第356節 磁石の作り方559

 第357節 磁石の極561

 第358節 二つの磁極間の作用563

 第359節 磁氣の誘導566

 第360節 磁石の磁氣能率569

 第361節 磁氣指力線 磁界572

 第362節 ポテンシャル576

 第363節 界の強さとポテンシャル581

 第364節 磁氣ポテンシャル582

 第365節 地球磁界585

 第366節 羅針盤588

 第367節 地磁氣の變化589

 第368節 地球磁界の測定591

 第369節 自記磁力計595

第三十七章 靜電氣598

 第370節 電氣概論598

第 371 節	二種の電気	599
第 372 節	電気の量 クーロンの法則	601
第 373 節	電気の傳導	602
第 374 節	電気の誘導	604
第 375 節	電気盆	606
第 376 節	検電器	607
第 377 節	ファラデーの實驗	609
第 378 節	電界	610
第 379 節	特殊の帯電導體二例	612
第 380 節	電気容量	615
第 381 節	ライデン瓶	618
第 382 節	焦電気	620
第 383 節	壓電気	621
第 384 節	レナード効果 接觸電気	623
第 385 節	イオン 電離	625
第三十八章	透電質	627
第 386 節	透電質	627
第 387 節	透電質内の電界と誘導量の強さ	629
第 388 節	誘導力線の屈折	631
第 389 節	誘導力線の屈折の法則の應用例	632
第 390 節	透電質内の誘導の狀況	634
第 391 節	透電率の測定	636
第七篇	動電気	639
第三十九章	電解質	639

第 392 節	電解質と金屬との接觸	639
第 393 節	電流 電池	641
第 394 節	二三の電池	644
第 395 節	電気分解	646
第 396 節	ファラデーの法則	647
第 397 節	電量計	649
第 398 節	イオンの移動	650
第 399 節	電気分解の應用	653
第四十章	電流	655
第 400 節	電気に関する單位と符號	655
第 401 節	オームの法則 其一	658
第 402 節	電気抵抗	660
第 403 節	オームの法則 其二	661
第 404 節	電池の接続	663
第 405 節	極板の分極	665
第 406 節	蓄電池	667
第 407 節	ホキートストーン橋	668
第 408 節	抵抗箱	670
第 409 節	電気抵抗溫度計	671
第 410 節	電池の起電力の測定 電位差計	672
第 411 節	標準電池	674
第四十一章	電流と熱	675
第 412 節	電流の熱作用	675
第 413 節	配線	676
第 414 節	弧燈	677

第415節	白熱電燈	679
第416節	電気爐	680
第417節	熱電流	681
第418節	熱電流溫度計	683
第419節	熱電輻射計	684
第420節	ペルチエー効果 タムソン効果	685
第421節	熱電流の説明	686
第四十二章	電磁氣學	688
第422節	電流の磁氣作用	688
第423節	圓形電流の磁界	690
第424節	電流による磁界の強さ	692
第425節	圓形電流の中心に於ける磁界の強さ	695
第426節	圓筒形の長いコイルの軸上の磁界	696
第427節	直線電流の磁界	696
第428節	電流の單位	697
第429節	磁界内に置かれた電流	699
第430節	磁界内に置かれた回路 其一	701
第431節	磁界内に置かれた回路 其二	703
第432節	二つの電流の間の作用	706
第433節	電磁石	707
第434節	電磁發動機	708
第四十三章	電磁計測器械	710
第435節	檢流計	710
第436節	動コイル檢流計	713
第437節	電流計 電位計	714

第438節	電力計	717
第439節	熱電微溫計	719
第440節	衝擊檢流計	720
第441節	オスシログラフ	722
第四十四章	透磁質	723
第442節	物質の磁性	723
第443節	強磁性體	725
第444節	磁氣誘導	727
第445節	磁性體内の磁氣現象	728
第446節	常磁性體と反磁性體	731
第四十五章	電磁誘導	732
第447節	電磁誘導 其一	732
第448節	電磁誘導 其二	735
第449節	レンツの法則	738
第450節	誘導電流の起電力	739
第451節	誘導電流に於ける電流の強さ	742
第452節	相互誘導と自己誘導	743
第453節	自己誘導に於ける起電力の理論	745
第454節	誘導係數	747
第455節	電磁誘導と力學	749
第456節	電流回路の電磁エネルギー	751
第四十六章	電磁誘導の應用	754
第457節	物理學實驗への應用	754
第458節	誘導コイル	757
第459節	發電機	759

第460節	變壓器	763
第461節	電力輸送	764
第462節	電話	765
第四十七章	交流	768
第463節	交流回路	768
第464節	交流と電気容量	771
第465節	抵抗と自己誘導と電気容量	774
第四十八章	放電と電気振動	776
第466節	火花放電 コロナ放電	776
第467節	リヒテンベルグの圖形	778
第468節	振動放電 電気振動	779
第469節	電気振動の周期	780
第470節	電気振動に於けるエネルギー	782
第471節	電気振動の解釋	784
第472節	電気振動に於ける指力線 電磁振動	787
第473節	電磁的同調振動	790
第474節	振動回路の種々の型	791
第四十九章	電磁波と光の電磁論	793
第475節	マックスウェルの功績	793
第476節	電磁波	794
第477節	ヘルツの實驗	796
第478節	無線用電磁波	799
第479節	短波通信	801
第480節	三極真空管	802
第481節	受信及び發信回路	804

第五十章	真空放電	807
第482節	真空放電	807
第483節	陰極線	810
第484節	電界に於ける電子	811
第485節	磁界に於ける電子 其一	814
第486節	電子の比荷電量	816
第487節	磁界に於ける電子 其二	817
第488節	極光	819
第489節	電子顯微鏡	819
第490節	陽極線	822
第491節	タムソンの實驗	823
第492節	アストンの實驗 同位元素	825
第八篇	X線, 放射能及び宇宙線	828
第五十一章	X線	828
第493節	X線の發見	828
第494節	X線の性質	829
第495節	X線用の真空管球	831
第496節	電離函	832
第497節	X線の廻折と結晶體	834
第498節	結晶體の内部構造	834
第499節	等軸晶系の空間格子	835
第500節	NaCl に於ける原子配列	838
第501節	ブラッグの廻折實驗 其一	839
第502節	ブラッグの廻折實驗 其二	842

第503節 種々の X 線	844
第504節 ラウエの實驗	845
第五十二章 放射能	848
第505節 放射能	848
第506節 放射性物質の發する三種の線	849
第507節 α 線	850
第508節 β 線 γ 線	852
第509節 ウィルソンの霧函	852
第510節 電子の帯電	857
第511節 電氣素量の測定 ミリカンの實驗	858
第512節 α 粒子の散亂 原子の構造	860
第513節 放射性元素のその後の發見	862
第514節 放射平衡	866
第515節 放射性元素の壞變	868
第516節 同位元素	872
第517節 原子の人工破壊 人工放射能	873
第518節 原子核の構造	877
第五十三章 宇宙線	878
第519節 宇宙線	878
第520節 宇宙線用の器械	879
第521節 宇宙線シャワー	880
第522節 中間子	881
第九篇 量子論と相對性原理	883
第五十四章 量子論	883

第523節 量子論の必要	883
第524節 プランクの作用量子	884
第525節 光電効果	885
第526節 熱電子	887
第527節 水素の線スペクトル系列	888
第528節 ゼーマン効果 スタルク効果	894
第529節 特性 X 線の系列	895
第530節 電離電壓	896
第531節 共鳴電壓	898
第532節 コンプトン効果	900
第533節 量子論の現状	900
第五十五章 相對性理論	903
第534節 視動と實動	903
第535節 ニュートンの力學	905
第536節 光波の媒質	908
第537節 ドップラー効果	910
第538節 フレネルのエーテル隨伴運動説	914
第539節 光の錯行	918
第540節 マイケルソン、モーレーの實驗	919
第541節 ローレンツ收縮	923
第542節 同時刻の問題	926
第543節 ローレンツ轉換	929
第544節 速度の轉換と加速度の轉換	931
第545節 アインシュタインの運動學 其一	933
第546節 アインシュタインの運動學 其二	934

第547節	ロレンツ轉換式の圖示	935
第548節	アインシュタインの運動學 其三	938
第549節	アインシュタインの運動學 其四	939
第550節	アインシュタインの力學	940
第551節	エネルギーと質量	942
第552節	一般相對性理論	942

附録

第一	ギリシャ文字	945
第二	數學	945
	Ⅰ 級數	945
	Ⅱ 二項定理	945
	Ⅲ 指數函數	946
	Ⅳ 三角函數	947
	Ⅴ 三角形	950
	Ⅵ 對數	950
第三	元素表	952

追加

第一	第25.26.27節の追加	955
第二	第501.502節の追加	958

索引

.....	1
-------	---



中村物理學 下卷

第六篇 磁氣と靜電氣

第三十六章 磁氣

第355節 天然磁石と人造磁石

磁石に関する知識は可なり古いものである。磁石と云ふ名が我國の文獻に現はれたのは續日本書紀に「和銅六年（西曆七百十三年）近江國より磁石を獻す」とあるのを始めとする。此磁石と云ふ天産物は磁鐵礦 Fe_3O_4 のことで鐵の酸化物である。その頃には磁石の吸鐵性のみが知られてあつた。一體磁石と云ふのは石扁に慈の字をつけた磁の字一字で充分なので慈母がその子を己れの周圍に集めるが如く磁鐵礦が鐵片又は他の磁鐵礦の小塊を吸引するから與へられた名稱である。西洋のマグネットと云ふ名は昔の人が小亞細亞のリヂア (Lydia) に近いマグネシア (Magnesia) と云ふ所で磁鐵礦を發見してからギリシャ人が之をマグネスと呼んだのに基因する。

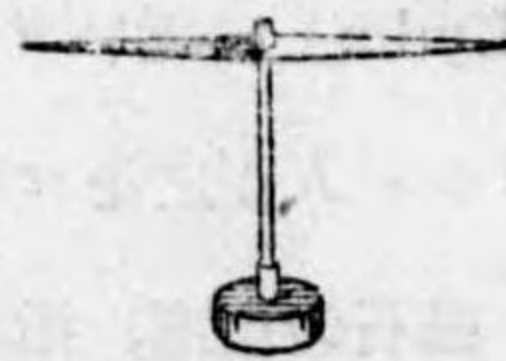
磁石の指南、指北の性質即ち指極性は遙かに後世になつて發見されたもので支那に於ける宋時代を最初とするらしい、即ち十二世紀のことである。ヨーロッパで學術的に磁石の研究をした文獻は西曆一千六百年に出版せられたイギリスのウィルリアム、ギルバート (William Gilbert) の著書 *デ・マグネーテ* (De Magnete) が最も古い。

昔中國にあつたと云はれる指南車には沙漠の中を行く車に磁針を備へて、之によつて進路の方向を知ること船舶に於ける羅針盤と同様であつたのだと普通に説かれてあるが、之は進路の方向を示す仕掛けでないといふ異説もある。即ち中國では帝

王は常に南面すべきものであるから、帝王を載せた車は假りにそれが出發の時に王座が南面してあつたとして、後に進路の方向が西へ 20° 向けられたとすると王座を以前よりは 20° だけ東の方へ廻はして王座をして元の如く南面せしめる如き機械的の齒車仕掛か何かを備付けた車が指南車であると云ふ説があるのだ。

磁鐵礦の一塊を鑛屑の鐵粉の中へ入れると鐵粉の最も多くつく場所が二ヶ所ある。之を**磁石の兩極**と云ふ。此二極を連ねる線が水平になる様に細い糸で此鑛石を吊して見ると、此線が南北の方向を指して靜止するのが**指極性**である。然し天然の鑛物塊では形が不規則だから兩極の位置が判然しないので此装置ではその土地の南北の方向を正確に求めることが出来ない。天然磁石の代りに人工磁石を發見してから之を使用して正確に南北の方向を知り得る様になつた。

人工磁石と云ふのは名前とは違つて石ではなく鐵の長い棒で、太いものもあり又針の様に細いものもある。之に天然磁石の一極を當て、棒の一端から他端へと一定の方向に數回磨ると棒又は針の兩端に極を有する人工磁石となり、吸鐵性や指極性が附與せられる。棒が長ければ棒の方向が兩極を連ねる線であると見てよい。此の如き磁石を**磁針**と云ふ。普通に磁針は糸で吊さずにその中央に寶石製の小さい皿をはめ此皿を垂直に立てた針の上に載せて磁針をして自由に水平面内に動き得る様に支持する。縫針を磁石にした様な軽い磁針ならば其表面に脂氣をつけて之を靜止する水面上に浮かせると針は南北の方向を指して休む。中國人は磁化した縫針で短い燈心草を貫いて之を水面上に浮かした。



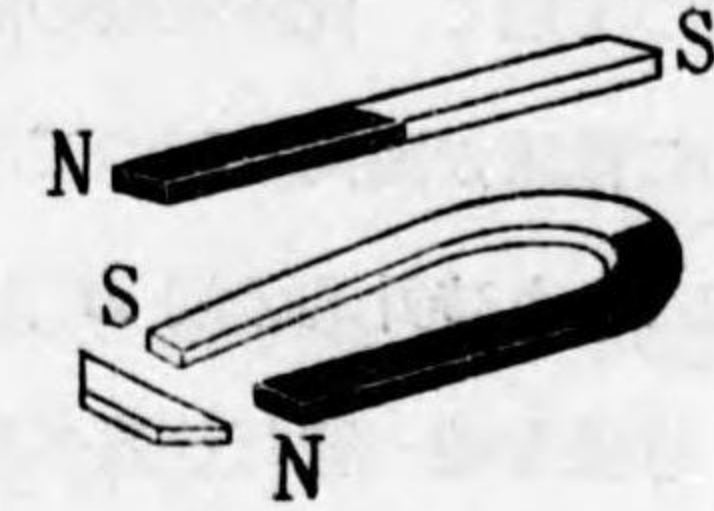
第500圖 磁針

磁針の北に向ふ端にある極を**北極**又は**指北極**と稱し通常之を **N** 字で表はして **N 極**と云ひ、他の極を**南極**又は**指南極**と稱し之を **S** 字で表はして **S 極**と云ふ。

吸鐵性を利用するに適した人工磁石には**棒磁石**と**蹄鐵磁石**の二種ある。

磁石の極といふのは實は判然とした點ではなくして若干の廣がりをもつて居

る。そして其位置は磁石の兩端でなくして少しく内方にあることは鐵粉の附着した有様を見れば明かである。此若干の廣がりをもつ體積の中に吸引作用の中心とも見るべき點を求めて、それを以て普通極として取扱ふ。非常に長い人工磁石ではその極は棒の兩端にありと見て差支ない。

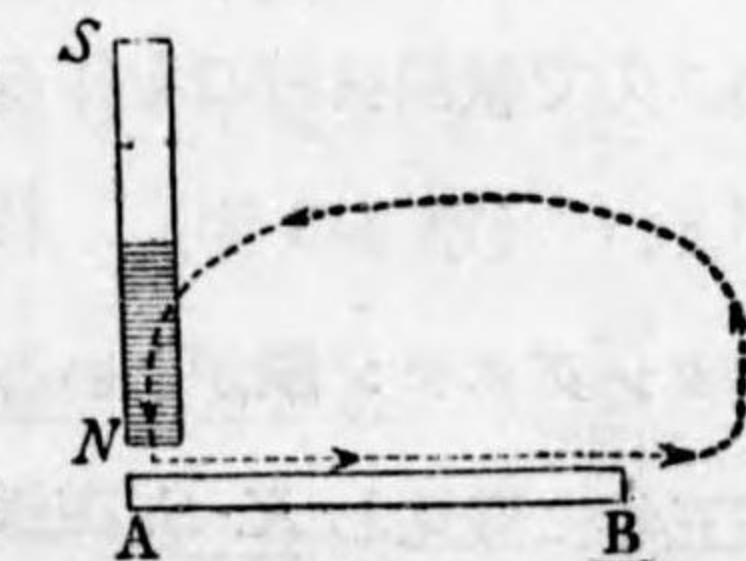


第501圖 棒磁石と蹄鐵磁石

第356節 磁石の作り方

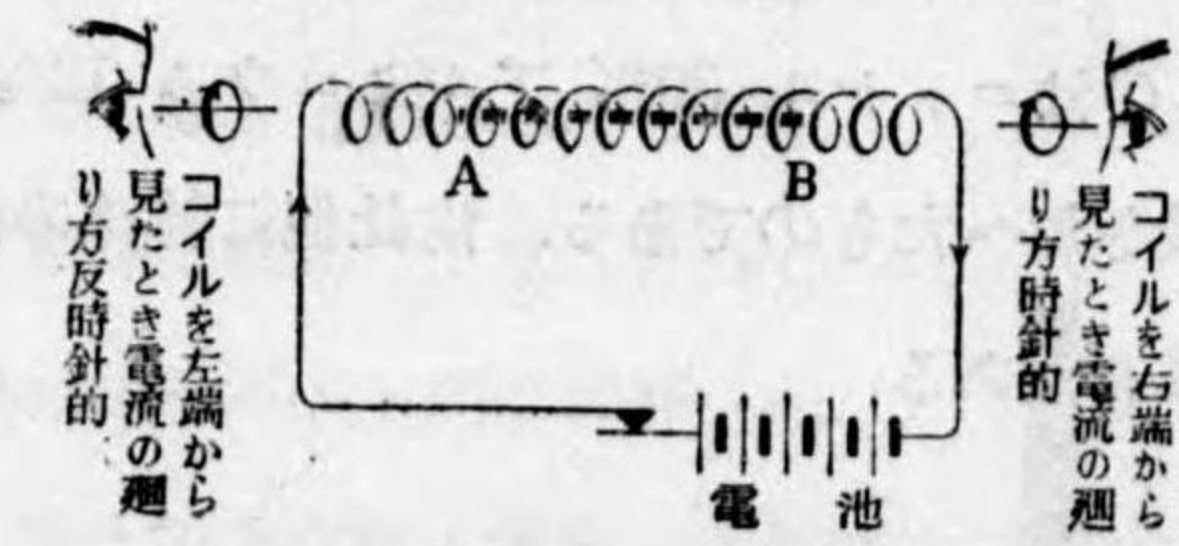
今日實用に供せられる磁石は磁針でも棒磁石又は蹄鐵磁石でも皆鋼鐵で作られる。之に磁性を附與するには既製の磁石で磨するか又は電流を通したコイル(線輪)の中に入れる。天然磁石は今日は唯好事家の玩弄品たるのみである。

既製の磁石 **NS** を使用して鋼鐵片 **AB** に磁性を與へる即ち**磁化**するには第502圖に示す如くする。即ち **AB** を机上に横たへ磁石 **NS** の一極 **N** を **A** 端にあて、之を以て他端 **B** まで矢で示す如く **AB** の面を磨すり、それから圖の曲線で示す如く **N** を **B** から速く離して復 **A** にあて、前の動作を數回繰返せば **A** 端が **N** 極 **B** 端が **S** 極となる。此際 **S** 極を先づ **B** にあて **BA** の方向に磨すつても全く同様の結果になり **A** 端が **S** 極 **B** 端が **N** 極となる。此方法は前節に記した天然磁石で人工磁石を作つた方法と全く同じである。



第502圖 鋼鐵棒 **AB** を棒磁石の一端にて磨りて磁化する

電流によつて鐵棒を磁化するには第503圖に示す如く導線を數回並べて圓筒形を成す所のコイルを作り圓筒の軸の位置に鐵棒 **AB** を保持



第503圖 電流による鋼鐵棒の磁化

して此コイルに暫時電流を通して後 **AB** を取り出して見ると、これが磁石に

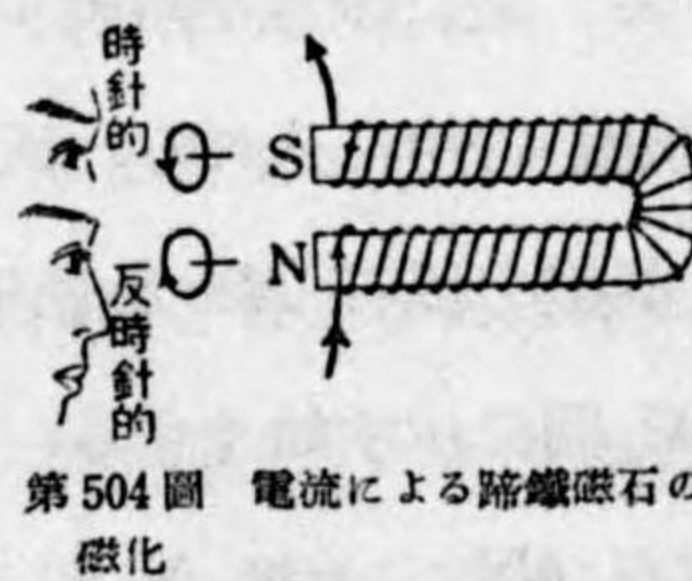
なつて居る。此際線輪の圓筒を小口から見ると圖に示すものでは右端では時計的に電流が圓筒を廻つて居り左端では反時計的である。反時計的の端 A が N 極になり時計的の端 B が S 極になる。

導線を唯一層だけ並べ巻いたのでは磁石が弱かつたならば導線を左端から巻き始めて右端に至りその儘同じ向に巻き續けて右端から第二層を巻き戻つて左端に至り更に續けて第三層を左から右に第四層を右から左に戻る如く幾回でも重ねればよい。此際コイルを廻る電流の向きは各層かわらないことを注意するがよい。

蹄鐵磁石も上と同様にコイルをその上に巻いて之に電流を通すればよい。電流の廻り方と出來た磁石の極との關係は上記の通りである。

コイルの中に入れた鐵が軟鐵であると電流を通し居る間は磁化して居るが電流を絶つと殆ど磁性を失ふので軟鐵は磁石を作るには不適當である。鋼鐵

がよい (第 443 節)。特に強力なる磁石を作るには特殊鋼が必要である。従來タングステン鋼がよいとせられて居たが東北帝國大學の本多光太郎教授が大正五年に發見し $K.S.$ 磁鐵鋼と命名したものはコバルト鋼で炭素 0.7~1.0% タングステン 6~8% クロミウム 1~4% コバルト 15~36% で之に適當量の鐵を加へた合金である。これが昭和八年に改良せられたものを新 $K.S.$ 鋼と云ふ。又東京帝國大學の三島徳七教授が昭和六年に發見し $M.K.$ 磁鐵鋼と命名したものはニッケル 30% アルミニウム 12% に 20% 以下のコバルトと適當量の鐵を加へたものである。尙此他に特殊の粉狀體を壓搾して成形し之を磁化した磁石がある。



第 504 圖 電流による蹄鐵磁石の磁化

第 357 節 磁石の極

磁石の兩極はその性質に於て著しい差があるもので N 極は常に北を指して南を指すことなく S 極は常に南を指して北を指すことはない。

磁石の吸引作用を示すのは鐵に限定せられてはゐない。ニッケル、コバルト等の金屬も鐵に比しては著しく弱いけれども尙磁石に吸はれる。然しその他の物質は殆ど全く作用せられないと見てよい。鐵は此磁石に吸引せられる性質に於て全く他に抽んで著しい金屬であるが然かし鐵でも種類によつて著しい相違がある。軟鐵といふ純鐵が最もよく吸引せられ鋼鐵の如き炭素を含むものは弱い。而して特に注意を要することは鋼鐵は通常多少磁性を帯びて自身が既に一つの磁石となつて居ることが普通だから鋼鐵片を磁石に近づけるといふことは實は磁石と磁石とを近づけるのであるから軟鐵と鋼鐵との比較をするには全く無磁性の鋼鐵と軟鐵とを比較しないと眞の比較にはならない。

鐵を無磁性にするには之を赤熱して極めて徐々に冷却して常溫にする、即ち所謂なます又は焼鈍すればよい。

鐵片が磁石に吸引せられることは鐵片の形狀にも關係するから此問題を無くする爲めに無磁性の軟鐵又は鋼鐵で球を作り之を磁石の極に近づけてその吸引現象を比較して見る。

第 505 圖に於て K はよく焼鈍した無磁性の鐵球で之を蔓卷型のベネ秤 S_p の下端より吊し、その下に棒磁石の軸を鉛直にして保持してある。先づ初めに S 極が上にあるとして鐵球を之に近づけると吸引せられて鐵球は磁石の上端に密着して仕舞ふから、それを防ぐ爲に豫め棒磁石の上端に或厚さの木片 (又は硝子板) を置いて K をその上に休ませる。それから極めて注意してベネの上端 T を引き上げて K が將に



第 505 圖 蔓卷ベネの彈力と磁石との約合

木片から離れんとするときのバネの長さ AB を測定する。 K が少しでも木片から離れると磁石の吸引力がバネの弾力に負かされて鐵球はバネに引上げられて磁力の及ばない高所に行く。 球が將に木片から離れんとするときには磁石の吸引力がバネの弾力と釣り合ひこれで測定せられるのである。

以上の實驗を第一回には S 極を上にし第二回には N 極を上にして繰返すと同一の木片（即ち鐵球と磁極との距離が一定）のときにはバネの長さ AB が同じである。 即ち

兩極の鐵球を吸ひつける引力は正に相等し

といふ結論を得られる。 即ち磁石の兩極は質的には相異なるが量的には相等しいのである。

棒磁石を取替へて實驗すると球と磁極との距離が一定でも吸引力は大小色々ある。 或一本の磁石の N 極の強さを $+m$ とすれば S 極の強さは $-m$ である。 何故に兩極の相異を正負の符號で表はしたかといふと、それは兩極を重ね合はせると磁性が消失するといふ事實があるから代數量の取扱をするのである。 これを示す一つの實驗は長い鐵のリボン又は針金を磁化してその兩端に N, S 極のあるものを取り之を曲けて輪にし兩極を重ね合はせると吸引作用が消失する。

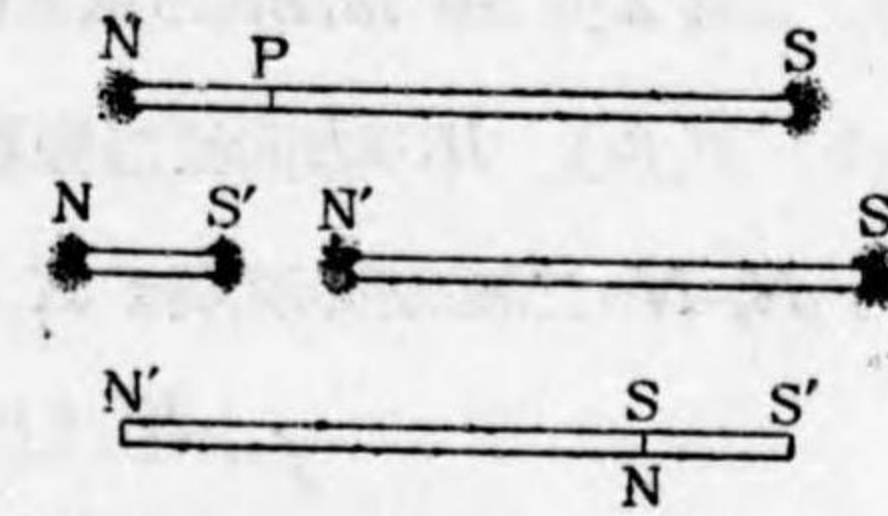


第 506 圖 輪狀磁環

一本の細長い磁石 NS を取り之を任意の所 P で二つに折ると左右二本が別々の磁石になり左のは元の N 端が N 極で折口 S' に S 極が現はれ右のは折口 N' に N 極、元の S 端が S 極である。 そして極の強さは皆 $\pm m$ である。 元來 P 點には他の鐵片を吸引することの無い場所であつたが折口の S' と N' とを密接して見ると S' の $-m$ と N' の $+m$ とが相殺して吸引作用を示さない。 又二本を左右交換して S の右に N を密接させると其所には吸引作用が無く兩端 N' と S' とに磁極を有する NS' といふ一本の磁石に

なる (第 507 圖)。

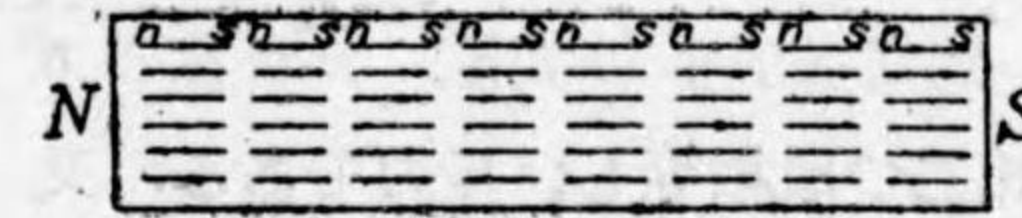
此實驗は又次の事を吾等に考へしめる。 即ち磁石は單なる鐵棒では無く特別の内部構造を有して居て恰も多くの磁石の分子ともいふべき小磁石の整列した集團であつて内部の各



第 507 圖 棒磁石を折れば折口に磁極あることを示す實驗

點に於て相隣れる分子磁石の南北の極が重なり合つて居るので外に對しては磁力作用を現はさないのであるが兩端に於

ては相消し合はないから磁石全體として



の極があるのだとする。 此考を分子磁石の說といふ。

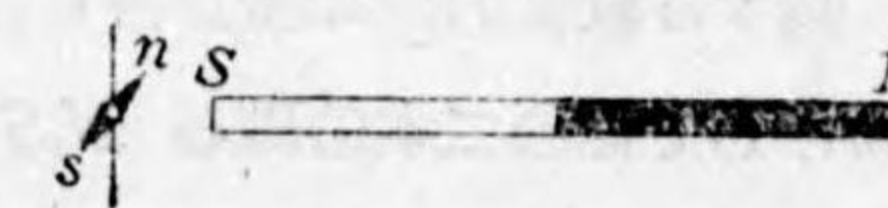
第 508 圖 棒磁石 NS は分子磁石 ns の集團である

第 358 節 二つの磁極間の作用

磁極の前に鐵片（よく焼鈍した磁氣なきもの）を近づけると常に吸引せられるが二つの磁石の極の間では



兩極が同名のときは反撥し異名のときは吸引する。



第 509 圖 同名の極は相斥け異名各極の相引く

此吸引、反撥を實驗するには長い棒磁石を東西に向けてその一極を小磁針に近づけて見るが最も便利である (第 509 圖)。 二つの磁極間に作用する力を測定すれば之によつて磁極の強さを都合よく定め得られるのである。 即ち一の磁石の N 極は $+m$ 、 S 極は $-m$ の強さを有し他の磁石の N' 極は $+m'$ 、 S' 極は $-m'$ だとする。 クーロン (Coulomb 1736—1806) の初めて發見した所によると此二つの磁極 m, m' を r の距離に置くと其間の力は

(1) 距離の二乗に逆比し、

(2) 極 m, m' の強さの相乗積に正比例し、

(3) 力の方向は二極を連ねる直線上にある。

即ち N, N' 二極の間の力は K を比例定數とすれば

$$f = \frac{K(+m)(+m')}{r^2} = + \frac{Kmm'}{r^2} \quad (358/1)$$

で此比例定數 K は磁石のある周囲の物質 (普通の場合には之は空氣だが) に關係する。而して南極 S, S' 間の力は

$$f = K \frac{(-m)(-m')}{r^2} = + \frac{Kmm'}{r^2} \quad (358/2)$$

で此二つは相等しい斥力である。又 N, S' 及び $N' S$ 間の如き異名の極間の力は共に引力で

$$f = K \frac{(+m)(-m')}{r^2} = K \frac{(-m)(+m')}{r^2} = -K \frac{mm'}{r^2} \quad (358/3)$$

である。故に f が + ならば斥力、- ならば引力と解釋すべきである。而して、二つの磁石の磁極間の引力、斥力は同一の距離に於ては其大きさが相等しい。之によつて磁石の兩極は質に於て反對で量に於て、相等しいことが一層よく判然する。

上式に示す關係は實驗によつて確かめられた發見であるが、これによつて磁石に關する數量的の知識が得られる様になつた。例へば一つの磁石 N_0S_0 を媒介物として他の二本の磁石 N_1S_1 及び N_2S_2 を比較して見る。三磁石の極の強さを m_0, m_1, m_2 とする。今 N_0 と N_1 を r の距離に置いた時の斥力 f_1 及び N_0 と N_2 を同じ距離に置いた時の斥力 f_2

$$f_1 = K \frac{m_0 m_1}{r^2}, \quad f_2 = K \frac{m_0 m_2}{r^2}.$$

とを實測して見たとき (1) $f_1 = f_2$ であつたならば $m_1 = m_2$ であるに相違ないから之によつて相等しい強さの磁極 m_1, m_2 といふものを具體的に實現することが出来る。又若し第三の磁石 N_3S_3 と N_0S_0 との間の力

$$f_3 = K \frac{m_0 m_3}{r^2}$$

が f_1 又は f_2 の n 倍であつたならば $m_3 = n.m_1$ と決定してよい。故に (3) 若し m_1 又は m_2 を單位磁極とすれば m_3 の強さは n である。而して (4) 二つの單位磁極を有する二つの N_1S_1, N_2S_2 間に力を作用させると $m_1 = m_2$ であるから

$$f = K \frac{m_1^2}{r^2} \quad (358/4)$$

となる。之が眞空中に於て $\frac{1}{r^2}$ ダインであらしめる如き $m_1 = m_2$ を $C. G. S.$ 單位系の單位磁極として眞空の K を 1 と定める。此單位を用ゐれば一般に磁極 m, m' 間の力は眞空中に於ては

$$f = \frac{mm'}{r^2} \quad (358/5)$$

としてよいことになる。結局單位磁極とは相等しき磁極が眞空中に於て 1 種の距離に於て相互間に 1 ダインの力を作用するものである。 之は磁氣量の $C. G. S.$ 單位である。此單位には別に特に名稱はつけてない。

第 94 節に於て萬有引力の場合には質量 m, m' 間の引力は

$$f = G \frac{mm'}{r^2} \quad (94/1)$$

であつた。質量 m, m' の單位は瓦、距離 r の單位は種、力 f の單位はダインであつて比例定數 G の値は實驗によつて

$$G = 6.670 \times 10^{-8}$$

であつた。本節の (358/1) 式は (94/1) 式と同形であり f と r とは兩式同じ單位であるが m の單位は兩式に於てその選び方に著しい相違があることに注意すべきである。

それは (94/1) に於ては第十一節に於て豫め $4^\circ C$ の水 1000 立方種の質量を 1 種とした即ち一立方種の水が 1 瓦だとして單位質量を制定したのである。斯く定めたので比例定數 G の大きさが實驗で定められたのである。本節では之と異なつて比例定數が眞空中に於て $K=1$ となる如き $m=m'$ を單位磁氣量としたので之は謂はば机の上で左様に定めたのである。考へ方の筋道が丸で違つて單位磁極は、これだと具體的に實物を示さずに用が辨じ得るやうにしたのである。

若し萬有引力の場合に比例定数を 1 になるやうにしたければ單位質量を 3872 瓦にし、それを 1 種の距離に置けば 1 ダインの引力を生ずるからである。即ち 4 胚弱の大質量を單位とするのである。(94/1) 式中に

$$r=1, m=m'=3872$$

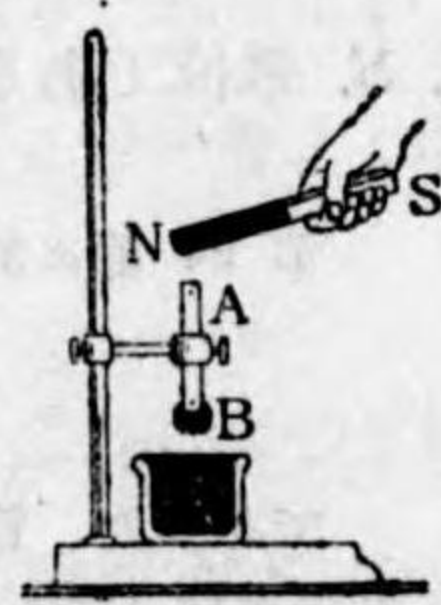
と置けば

$$f=6.670 \times 10^{-8} \times \frac{3872 \times 3872}{1^2} = 1.$$

f が丁度 1 ダインになる、これは $\frac{1}{\sqrt{6.670 \times 10^{-8}}} = 3872$ 瓦を單位質量としたのであるから此單位を使用すれば比例定数は 1 となることは明白である。

第 359 節 磁氣の誘導

第 510 圖に示す如く磁化して居ない一本の軟鐵棒 AB を丈夫に動かない様に支持して置きその一端に強い磁石 NS の一極を近づけると AB は一時的にその両端に南北極を有する磁石になる。之を AB' が誘導によつて磁化されたといふ。故に最初に AB に鐵屑又は鐵釘を近づけても何等の吸引作用を示さないのに NS を近づけると AB の両端は鐵屑を吸引する。



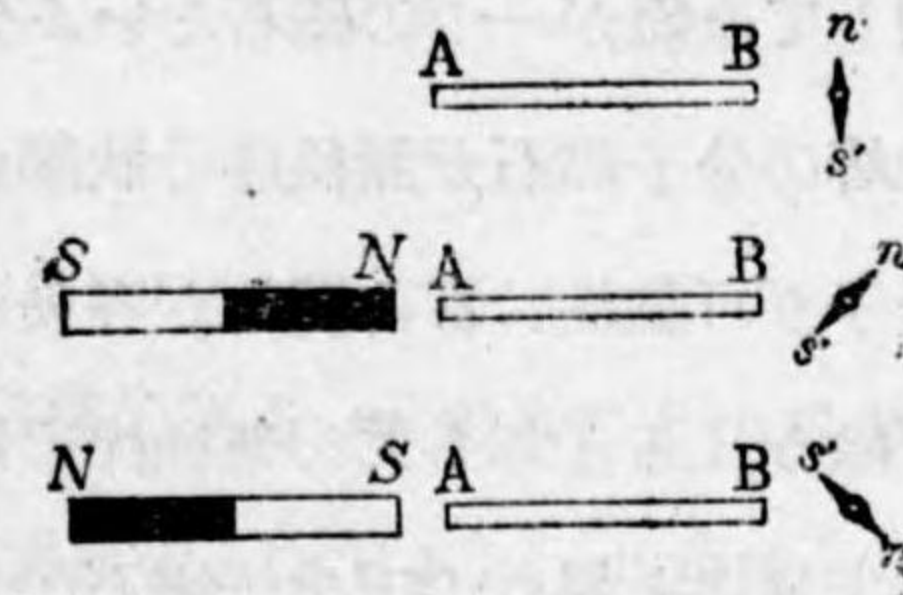
第 510 圖 軟鐵棒 AB が磁石 NS の誘導作用により磁化する

誘導によつて AB の得た磁性はその A 端に磁石の N 極が近づけば A 端は s 極、 B 端は n 極になり相對する端が

反對の磁極を示すのである。此故に AB を丈夫に支持しないと相對する異名の極の強い吸引作用で AB が全體として NS に引き寄せられる。實は本篇の最初に記した磁石の根本性質たる磁石の吸引作用は磁性を有して居なかつた鐵片を誘導によつて磁化して、その相近き異名の極の吸引作用によつて鐵片を吸引させたのであると解釋すべきである。

AB に現はれる磁極が何であるかを調べるには AB に近く一つの小さな磁針 $n's'$ を置いて見るがよい(第 511 圖)。 AB を東西に向け置きこれに

NS を近づけると、最初に南北を指して居た磁針 $n's'$ が圖の如く偏せられる。



誘導によつて磁化するのは棒磁石 NS が軟鐵棒 AB に近づけてある間だけで NS を遠ざけると是迄 AB に吸引された鐵釘は忽ち落ちて仕舞ひ偏せられて居た小磁針 $n's'$ は再び南北

第 511 圖 誘導によつて發生する軟鐵の磁極の検査

を指す。故に AB が誘導によつて得た磁性は一時的磁石である。

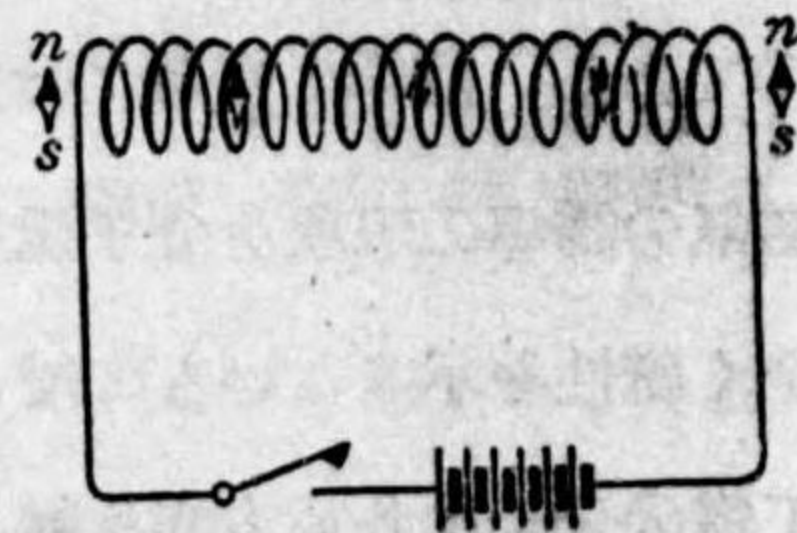
誘導の此實驗を行ふに當つて一つの注意すべき事實は AB の鐵の材質に就てある。 AB が軟鐵なれば、それは此實驗に最適した理想的のものであるので上文には軟鐵と指定して置いた。他の鐵、殊に鋼鐵では上文に記した如くに實驗は進行しないことがある。即ち最初から多少の磁性を帯びるものがあつて小磁針を近づけて見ると、それが中立でなく AB の兩端に既に弱い磁極が存在し又之に磁石 NS を近づけても軟鐵ほど強く磁化せられず NS を遠ざけてもその磁性は全く消失せず幾分の残留磁性がある。特に鋼鐵では NS を近づけてある間に之を小槌で叩いてやると残留磁氣が著しく強い。故に鋼鐵特に $K-S$ 鋼の如き特殊鋼は残留磁氣が強いので此性質が永久磁石を作るのに利用せられるのである、誘導の實驗には適しない。

磁氣の誘導の現象を分子磁石の説によつて解釋して見るのも面白い。即ち鐵は全く磁性を示さないものでも實はそれは無数の分子磁石の無秩序の集團であつて鐵の分子は各或方向を軸としてその兩端に南北異性の極を有するもの即ち分極分子である。之を譬ふるに鐵は球の如き無方向のもの集團では無くして首と尾とを有する動物か或は釘の如き兩端が異なつたものなのである。普通の状態ではその分極した分子が種々雑多な方向に向つて居るので集團全體としては特異な方向性を有しないが之に棒磁石の一極例へば N 極を近づけると總ての分子磁石の s 極は之に吸引せられ n 極は之に反撥せられて第 508 圖の如く整

列して全體が一つの磁石といふ分極状態になる。之れ即ち誘導である。而して此等の分子磁石が無秩序の状態から有秩序の状態に移るに當つて軟鐵であると分子が可動性に富み變化が容易に行はれるが同じ理由で棒磁石が取去られ統制が除かれると忽ち元の無秩序の状態に復歸するから所謂一時的磁石である。鋼鐵では之と異なつて分子磁石の方向變換が摩擦的抵抗の爲に容易に行はれないので誘導の現象が軟鐵ほど著しくなく又棒磁石を取り去つても容易に元の無秩序の状態に復歸し得ず整列した状態が幾分残存して、それが残留磁氣を示すのである。誘導を誘起するときに鐵棒を叩くとよいのも亦それが分子磁石の方向變換を助成するからである。

第356節の磁石を作る方法として鐵棒を磁石で摩することを記したがその説明は上文で明白であらう。又コイルの中に鐵棒を入れコイルに電流を通して磁石を作る方法を記したが之も亦同様に誘導によつて鐵棒を磁化しその残留磁氣を利用したのである。コイルに電流を通ずると鐵棒中の分子磁石がコイルの軸に並行に整列せしめられるのである。その然ることを知るには次の第512圖の實驗を行ふて見るがよい。

コイルの軸を東西に向け置き、その両端に近く又コイルの中央に多くの小磁針を据へると電流のない時は皆南北を指して居るが、電流を通ずれば忽ち東西を指し、之を断てば忽ち又元の通り南北を指す。



第512圖 電流を通ずるコイルによる小磁針の偏倚

此磁針は運動が極めて自由であるから之は軟鐵に於ける分子磁石を代表して居る。若し磁針の運動を妨げる摩擦抵抗が大であると残留磁氣を示すことになる。

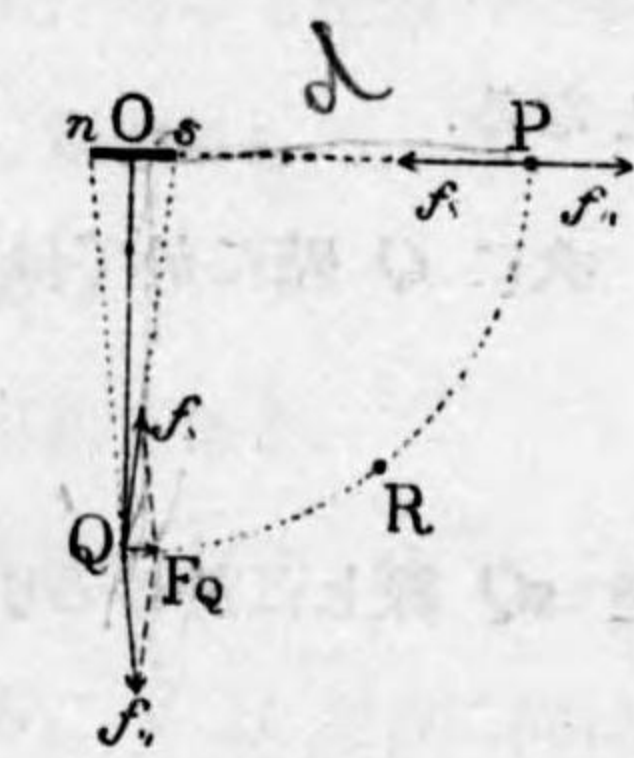
尙第358節及び第359節については後文第44章を見よ。

第360節 磁石の磁氣能率

一つの磁石が全體として外に及ぼす作用は磁極の強さ m のみによつて支配せられるのではなくして兩極間の距離 l にも關係するのである。此距離 l を磁石の長さといふ。

磁石がその周圍に及ぼす作用を計算する爲に先づ最簡單な場合を取り上げて磁石は細い鐵の針金を磁化した如き所謂線狀磁石だとしその兩端に m なる磁極があるものとする。磁石の中心 O から $OP=OQ=d$ の距離にある P, Q 二點に於ける作用を考へる。 P は磁石の軸上に在り Q は之に直角な所にある。

此等の點に於ける磁石の作用を計算するに當つて其所に單位 N 極があると假定すればよい。何となれば其所にある磁極が $+m'$ であれば單位磁極のときの數値を m' 倍すればよい。又磁極といふものは單獨に存在するものではなくして NS 極が必ず隨伴して居るものだがそれでも吾人は N 極があるとして計算したとき引力であれば S 極なれば斥力として力の方向を逆にさへすればよい。故に P 又は Q に單位 N 極を置くとすればそれが最一般の場合であるとしてよい。



第513圖 磁針 ns の生ずる磁氣力

第一に磁石 ns の P 點に於ける全作用を求め、磁石の長さ $ns=L$ とすると nP 間の斥力は (358/5) 式によつて

$$f_n = + \frac{m \cdot l}{\left(d + \frac{l}{2}\right)^2} = + \frac{m}{d^2} \left(1 + \frac{l}{2d}\right)^{-2} \tag{360/1}$$

sP 間の引力は

$$f_s = - \frac{m \cdot l}{\left(d - \frac{l}{2}\right)^2} = - \frac{m}{d^2} \left(1 - \frac{l}{2d}\right)^{-2} \tag{360/2}$$

故に求むる所の全作用は $f_s > f_n$ なるが故に二力の合力なる F_p は引力で

$$F_p = f_s - f_n = -\frac{m}{d^2} \left\{ \left(1 - \frac{l}{2d}\right)^{-2} - \left(1 + \frac{l}{2d}\right)^{-2} \right\} \quad (360/3)$$

である。扱て此所で新たに制限を設けて P は磁石から相當遠い所にあるとす、——同じことを磁石 ns は距離 d に對して非常に小さいとすると見てもよい。兎に角 d に比して l を小なりとして $\left(\frac{l}{d}\right)$ の高次の者を省略すると上式の右邊を二項定理によつて展開して省略を行へば

$$F_p \doteq -\frac{2ml}{d^3}. \quad (360/4)$$

m と磁石の全長 l との相乗積を此磁石の磁氣能率と稱し之を M 字で表はせば

$$F_p \doteq -\frac{2M}{d^3}. \quad (360/5)$$

となる。

次に Q 點に於ては nQ 線上に於ける斥力

$$f_n = \frac{m}{nQ^2}. \quad (360/6)$$

と sQ 線上に於ける引力

$$f_s = \frac{m}{sQ^2}. \quad (360/7)$$

との合力を求めればよい。力の平行四邊形によつて此合力 F_Q は

$$F_Q : f_n = ns : nQ.$$

であるから

$$F_Q = f_n \frac{ns}{nQ} = \frac{ml}{nQ^3}. \quad (360/8)$$

然るに

$$nQ^2 = d^2 + \frac{l^2}{4}. \quad (360/9)$$

だから之を代入して $\frac{l}{d}$ の高次を省略すると

$$F_Q \doteq \frac{ml}{d^3} = \frac{M}{d^3}. \quad (360/10)$$

となる。(360/5) と (360/10) とによつて得られる結論は

(1) 線狀磁石の全作用はその能率 M に正比例する。

能率といふ名はこれが磁石の能力を計る量だからであつて全作用は磁極の強さ m のみでなく l にも關係する。此所に於て想起すのは力學に於て力の廻轉作用がその能率によつて定められたことである。力の能率とは力 f にその臂の長さを乗じたものであつた。磁氣能率は磁極の強さ m に磁石の長さを乗じたものである。兩者を對比類推して見るがよい。

(2) P 及び Q に於ける小磁石の全作用は距離 d の三乗に逆比例する。

此は磁極間の作用が距離の二乗に逆比例するといふクーロンの法則から導いたものである。磁極は單獨には存在しないものだから距離の二乗の法則を實驗によつて直接に證明することは困難であるが磁石の全體としての作用は實驗に適したものであるから本節の磁石の全作用なる距離の三乗則を實驗的に證明すればそれが即ちクーロンの法則の實證になる。

(3) P に於ける作用は Q に於けるものの二倍である。

之も距離の二乗則を實證する爲めの實驗に適した事柄である。

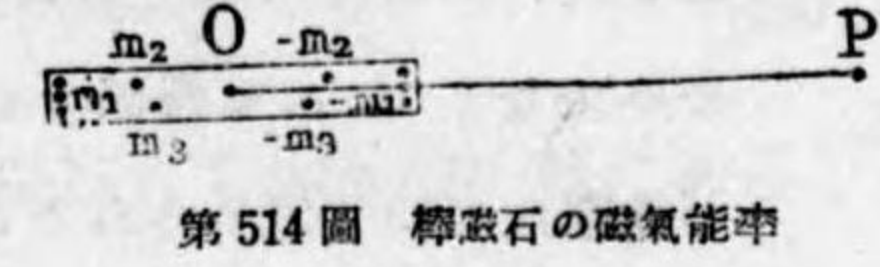
(4) P, Q に小磁針 $n's'$ を置けば P に於ては n' は左方に O に向ひ s' は反對に右方に向はんとし Q に於ては n' 右方に s' は左方に向はんとする。故に若し ns を東西に向けて置けば P に於ては小磁針の n' 端が西に Q に於ては東に偏して靜止する。

(5) 上記の小磁針を一つの自由に廻轉し得べき剛體として力學的に取扱へばその兩端の $n's'$ 二點に二つの相等しく方向相反する力が作用する即ち偶力が作用して居るのだから全體として磁石 ns に吸寄せられたり移動せられたりすることなく唯其位置に於て偶力の指定する方向を取るまで廻轉させられるのである。

P, Q 以外の一般の點 R に於ける磁石の全作用は計算が稍面倒であるから今は省略するがその大體の狀勢を窺ふことの出来る實驗を次節に於て記述する。

以上は線狀磁石として論じたのである。棒狀磁石は斯くの如き線狀磁石を多

數に束ねて出來て居ると考へると全體の作用は棒磁石の中心 O から d にある P 點では (d は線狀磁石の大きさに比して大なりとして、從て總ての線狀磁石が同じ d をもつとして)



$$F_r = \frac{2m_1 l_1}{d^3} + \frac{2m_2 l_2}{d^3} + \dots = \frac{2 \sum ml}{d^3} = \frac{2M}{d^3}$$

となる。此 $\sum ml = M$ を棒磁石全體の能率と命し棒磁石全體の作用は之によつて定められる。又此時に $\sum m$ を棒磁石の磁極の強さといひ質量の中心とか重力の中心といふ如くその多數の n 極の中心となるべきものを考へて之を棒磁石の N 極といひ、 s 極の中心を棒磁石の S 極といふ。此 NS 二點に $\sum m$ の磁極があると考へる、そして NS 間の距離が棒磁石の長さだとして之を l_0 とすれば

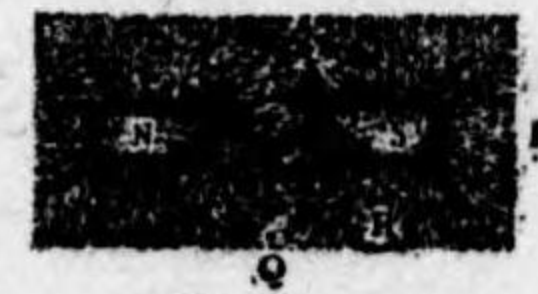
$$M = \sum ml = l_0 \sum m.$$

とするのである。兩極 NS の位置は棒の兩端よりは幾分内側にある。

Σ シグマと云ふ記號は同様なものを澤山加へて集めるときに使用する。 $a_1 + a_2 + a_3 + \dots$ を Σa と記し、 $a_1 l_1 + a_2 l_2 + a_3 l_3 + \dots$ を Σal と記すが如きである。後者に於て若し $l_1 = l_2 = l_3 = \dots = l$ ならば $\Sigma al = l(a_1 + a_2 + a_3 + \dots) = l \Sigma a$ となる。

第361節 磁氣指力線 磁界

棒磁石を机の上に横たへ其上に硝子板を載せ篩を使用して鐵の鏽屑を板上に撒布して軽く板をコツコツと叩く。鐵粉は第515圖に示す如く美しい曲線を描いて配列し特に磁石の兩極の所では鐵粉は著しく密集して毛髮の如く立つて居る。これは鐵粉が皆誘導によつて、それぞれ兩極が誘起せられて小磁石となつたのであるが前節(4)の磁針の如く運動が自由でないから南北を指すことなどは全く問題とする必要なく、硝子との摩擦の影響を除く爲に硝子板



第515圖 棒磁石の指力線

を叩いて鐵粉をして磁石の全作用の指定する方向を取らしめれば第513圖の磁石の軸上の P 點は軸を延長した直線上に、又軸の中央これに直角なる線上の Q 點の如きに於ては曲線上の接線が磁石の軸に並行なる諸點上に位する。そして PQ 以外の場所 R に於ける磁石の指定する方向は鐵粉の描出した曲線の趨向によつて一目瞭然と讀取られる。

R 點に於ける N 極に作用する力は此點を通過する曲線の接線によつて與へられるが、その向きを定めるには磁石の N 極から湧き出して曲線に沿ふて流れて S 極に吸込まれる液體があると想像し曲線は此液の流線だと見ると液の流れる方向が即ち N 極が動かされんとする力の方向であつて上記の如く液の流れる方向を示す矢を曲線につけて置くと便利である。斯くすれば磁石の右にある P 點では力は左に向ひ軸に垂直なる Q 點では力が右に向ひ R 點では斜めに右上方に向ふことが示される。

此圖形を保存するには硝子板の上に青寫眞の原紙を貼附しその上に鐵粉を撒き手早く圖形を作らしめてから適度に光に作用させて後、寫眞紙を水洗して曲線の形を定着すればよい。

磁石の周圍にある空間は磁力の作用して居る場所で其所には一見何等普通の空間と區別さるべきものが無いが鐵粉を以てその空間に於ける磁力の作用し方を具體的に示現して見ると始めて之が磁力の作用して居る特別の空間であることが知れる。此の如き磁力の作用して居る場所を**磁場**又は**磁界**といふ。此磁界は棒磁石に基因するのだから具さには棒磁石の磁界といふべきである。而して磁界の狀況は鐵粉の配列によつて象徴された曲線で與へられるので此曲線を磁界の**指力線**といふ。指力線は N 極から出て S 極に終るものとし、それが磁界内に置かれた N 極に作用する力の方向を指示するものである。 S 極に作用する力は勿論その方向は反對である。磁界を記述するには先づ磁界の一點に單位 N 極を置き之に作用する力を、その點に於ける**磁界の強さ**としこれとその

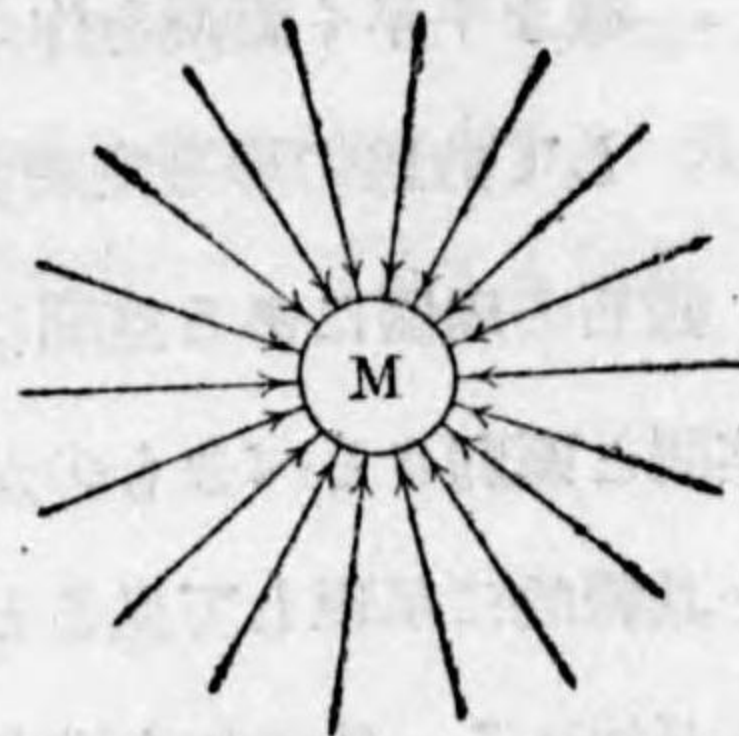
力の方向即ち指力線の方向との二つを以てする。即ち第512圖に於て P 點に於ける磁界の強さは $F_P = \frac{2M}{d^3}$ で Q 點に於ては $F_Q = \frac{M}{d^3}$ である。磁界の強さ F の所に磁極 $+m$ を置けば此磁極には $+mF$ の力が指力線に沿ふて作用し $-m$ を置けば指力線と反對の方向に作用する。 $F=1$ なる磁界の單位の名稱は内外國とも物理學者はガウスと呼び電氣工學者はエルステッドと呼んでいたが最近エルステッドと呼ぶことに協定した。

磁界に限らず一般に或力を作用する原因 S があると S の作用の及ぶ所は S の力界である。力界とは勢力範圍とか繩張りとかいふが如き意味で力の狀況は指力線の配置によつて示される。例へば一つの球の中心が O にあつてその質量が M だとするとその周圍は此球による萬有引力の力界である。力界内の一點 P に單位質量の質點を置いたとして此質點に作用する球の萬有引力の界の強さが F である。 OP の距離を d とすれば (94/1) 式により

$$F = G \frac{M \cdot 1}{d^2}$$

である。而して P に作用する力は引力で P から O に向ふから界内の指力線は第516圖の如く中心 O に向て輻湊する直線である。

又地球の表面に近い空間は上記の特別の場合なる重力界である。此場合には地球の中心に向ふ指力線は (第517圖) 即ち地表の狭い區域では地球の中心に向ふ鉛直線で互に平行である。その力界の強さは普通の地面に近い所では地面からの高さに関係なく $m=1$ に作用する重力であるから各所一定で $F=g$ である。重力界は均一なる力界である。地面より著しく高い所までを考へれば第516圖となり界の強さは勿論高さによつて異なる。



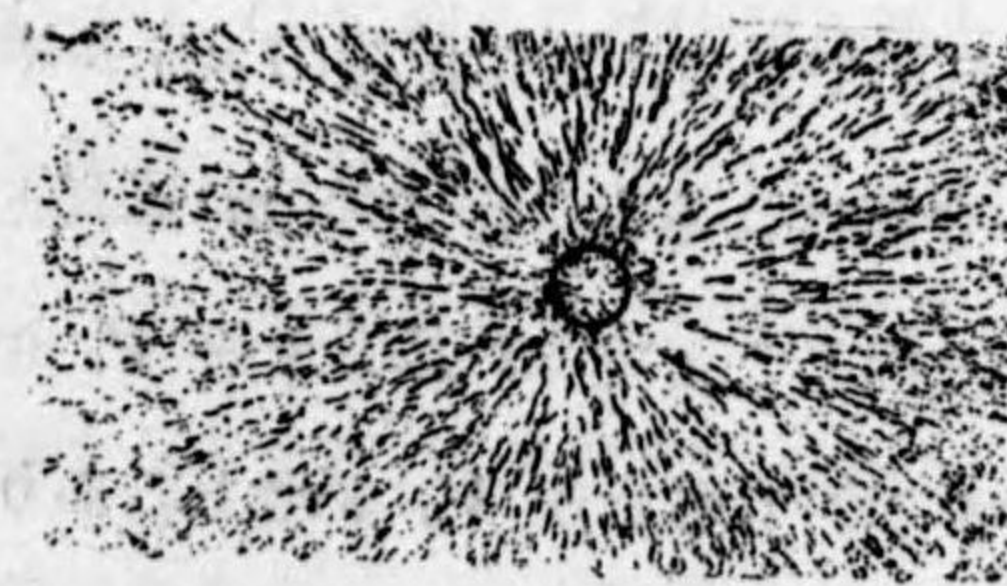
第516圖 球 M による萬有引力の指力線



第517圖 重力界の指力線

此所で改めて述べる必要もない事ではあるが或空間が何かの力界であるときはその原因となるものが存在して居るのであつて、その界であるか否かは之に適當した或特殊の手段を講ぜなければ判定できぬ。例へば吾等は重力界の中に生活して居るのであるが、それを知らずに居る人が多い。ニュートンが林檎の落ちるのを見て發見したといふ傳説の眞偽は知らぬが兎に角ニュートンによつて始めて之が認識され、その原因は地球の引力によることが明になつた。吾等は同時に又一つの磁界の中に生活して居る。そのことの認められたのは磁針をその中に置いたらば南北を指したといふことを知つてからでその原因は地磁氣によることが明になつた。即ち重力の界たることは石を落し磁界たることは磁針をふらせて始めて、それが知れるのである。要するに界は存在しても之を知る方法のない間は存在しないと同様である。

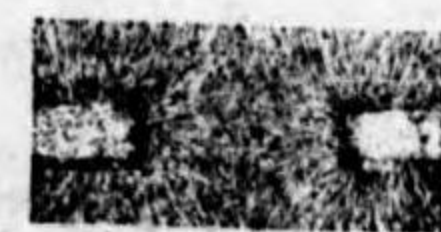
本節の初めに記した方法で作つた磁界の指力線の尙二三を示す。第518圖は棒磁石の一端に於て硝子板を棒に直角に置いたもので一つの極から指力線が四方に擴がつて居る。之は第516圖と一致する。第519圖は異名の極を相對せしめたとき、第520圖は同名の極を相對せしめたときの指力線を示して居る。磁界の狀況が指力線によつて一目瞭然と示されて居る。兩圖とも極が點状である



第518圖 棒狀磁石の極の周圍で磁軸に直角なる平面内の指力線



第519圖 異各極間の指力線



第520圖 兩各極間の指力線

ときの指力線が附加してある。

第362節 ポテンシアル

或力界の状況は指力線の配置によつて明瞭にせられるが茲に尙一つ別の考案があつて此方が數量的の議論を行ふに一層適したものである。それは**ポテンシアル**といふ觀念の導入によつてなされる。先づ重力界を取つて之を説明する。

一體ポテンシアルといふ考は力界内に於ける點の位置に高低の位を設けて之を指示する爲のもので人間の席次を正三位とか従五位とかいふ位階で定めるのと似た考である。力界の或特定の位置例へば地面を基準として、それから他の位置の高低をポテンシアルと命ずる特殊量によつて定めるのである。

重力界の中にある基準點 P_0 から單位質量を重力に抗して P まで運ぶのに w だけの仕事を要したならば P のポテンシアルは P_0 よりは w だけ高いとする。即ち P, P_0 のポテンシアルをそれぞれ V, V_0 とすれば

$$w = V - V_0 \quad (362/1)$$

である。ポテンシアルは常に差だけを考へればよい所の相對的の量であつて絶對値は入用でない。

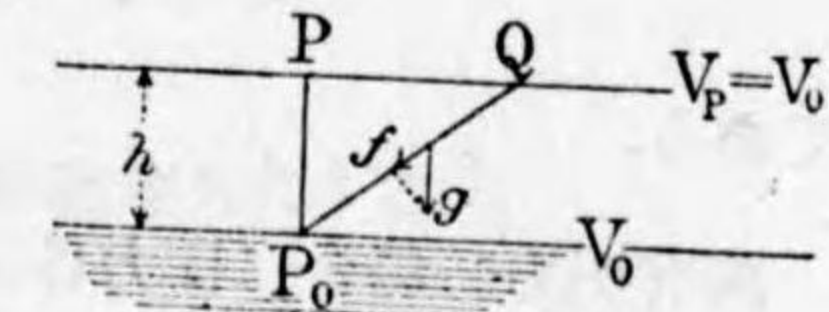
ポテンシアルの低位から高位へ物を運ぶには仕事を要するのであるから高位の方が低位よりは位置のエネルギーが大なる所である。故に位置のエネルギーのことを**ポテンシャルエネルギー**といふ。今運ばれるものが水の m 瓦だとするならばポテンシアルの高低は水位の高低と同じことで m 瓦の水を V_0 から V に運ぶには $w = m(V - V_0)$ の仕事を要するのであるが V_0 が地上にあり V が地面上 h の高さにありとすれば m 瓦の水を地上から h に揚げるに要する仕事は $w = mgh$ であるが故に $w = m(V - V_0) = mgh$ であつて $m=1$ 即ち單位質量を運ぶに要する仕事即ちポテンシアルの差は

$$V - V_0 = gh. \quad (362/2)$$

となる。 V_0 の價は重要でないから之を零としても一向差支ない、否地面を以て基準位置とし此所が V の零なる場所とした方が實際上便利であらう。斯くすれば地上 h の地點は重力のポテンシアルが $V = gh$ である。ポテンシアルを定義するのに單位質量を取つたことの有利なことは讀者の宜しく認識せらるべきである。

P を通過する水平面上の任意の一點 Q を取り單位質量を P_0 から直接に斜に Q に運ぶに要する仕事は P_0Q の距離が s で力は重力の分力なる f

$$f = g \times \frac{h}{s}.$$



第521圖 重力の場。同一水平面上にある P, Q のポテンシアルは同じである

であるので仕事の大きさは

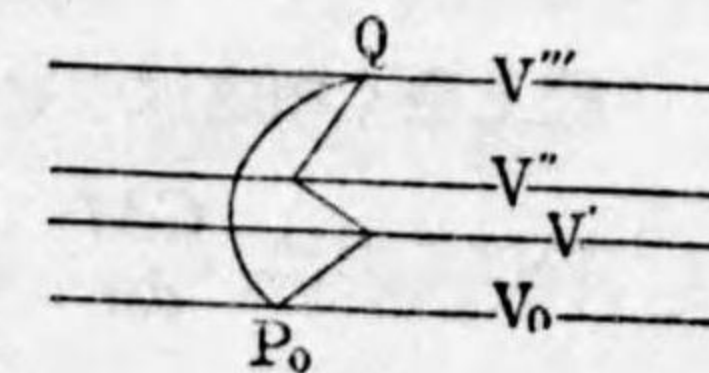
$$w = f \cdot s = g \times \frac{h}{s} \times s = gh.$$

となる。故に P_0 のポテンシアルを以前の如く V_0 とすれば Q のポテンシアルは

$$V_Q = V_0 + gh.$$

となり之は P のポテンシアル V_P と等しい。之によつて P を通過する等高平面は**等ポテンシアル面**である。と稱してよい。

P から Q に到るには仕事を要しないのは勿論であるから等ポテンシアル面上の移動には仕事を要しないことになる。此事を利用して再び P_0 から Q に至る仕事の量を計算する。先づ P_0 から指力線に沿ふて P に至りそれより Q に達するとすれば P_0P 間の仕事は gh で PQ 間は零であるから $w = gh$ 即ち式で書けば $V_P = V_0 + gh, V_Q = V_P = V_0 + gh$ で前の結果と一致する。同様

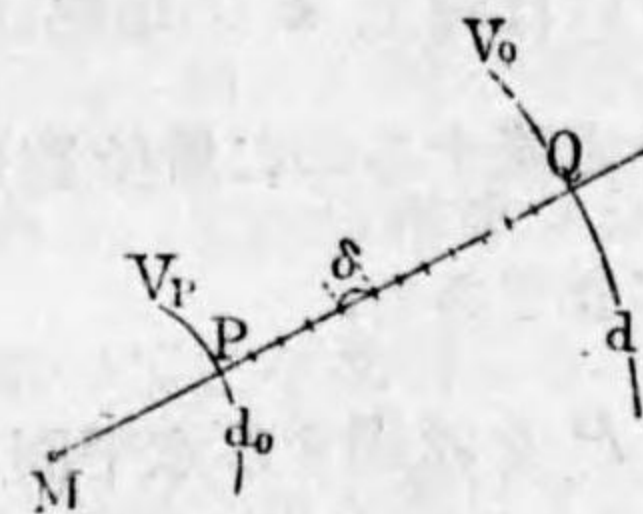


第522圖 P_0 より Q に至るに要する仕事の量は経路の形に關せず

の Q のポテンシャルが V ならば 単位質量を運ぶに要する仕事の量は $w = V - V_0$ である。

次に質量 M なる質点の周囲にある萬有引力の界のポテンシャルを論ずる。 M から d_0 の距離にある P のポテンシャルを V_P とし同じ指力線上の d にある Q のポテンシャルを V_Q とし単位質量を P から Q に運ぶに要する仕事を w とすれば前同様に

$$w = V_Q - V_P$$



第523圖 萬有引力の界に於けるポテンシャルの計算

である。

萬有引力の場合には力界の強さが一定でなく前文に示す如く d の所では $F = \frac{GM}{d^2}$ であるから P から Q に進むに従つて漸々 d は増し F は小さくなる。故に P が d_0 に在り Q が d にありとし PQ 間の距離を n 等分して $d - d_0 = n\delta$ なる δ だけ距つた諸區分點を設けて多くの區域に分ち此等各區域間を動かすに要する仕事を計算し之を總計して w とする。但し n の數は無限に大にし δ を無限に小にした w の極限值が正しい値であることは明白である。

第一區域の始めに於ける界の強さは $\frac{GM}{d_0^2}$ で終りに於けるものは $\frac{GM}{(d_0 + \delta)^2}$

である。同様に第二區域の始めは $\frac{GM}{(d_0 + \delta)^2}$ で終りには $\frac{GM}{(d_0 + 2\delta)^2}$ である。

以下同様であるから各區間に於ける力として始めと終との平均値を使用し距離は $s = \delta$ として仕事の量を求める。此際此平均値は算術平均か幾何平均かと考へるに δ を小にした極限では算術平均と幾何平均とは實際上全く相違はないのであるから今は便宜上幾何平均を採用して第一區に於ける力は $\frac{GM}{d_0^2}$ と $\frac{GM}{(d_0 + \delta)^2}$ の幾何平均 $\frac{GM}{d_0(d_0 + \delta)}$ を f とし之に $s = \delta$ を乗じて此區域の仕事として $fs = \frac{GM\delta}{d_0(d_0 + \delta)}$ を取る。同様に第二

區域では仕事は $\frac{GM\delta}{(d_0 + \delta)(d_0 + 2\delta)}$ で以下之に倣ふのである。然るに

$$\frac{\delta}{d_0(d_0 + \delta)} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_0 + \delta},$$

$$\frac{\delta}{(d_0 + \delta)(d_0 + 2\delta)} = \frac{1}{d_0 + \delta} - \frac{1}{d_0 + 2\delta}.$$

であるから此等の總和は

$$w = GM \left\{ \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_0 + \delta} \right) + \left(\frac{1}{d_0 + \delta} - \frac{1}{d_0 + 2\delta} \right) + \dots - \frac{1}{d} \right\} \\ = GM \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d} \right).$$

となる。此結果には δ が小なることが既に考慮せられてある。

故に

$$V_Q - V_P = GM \left(\frac{1}{d_0} - \frac{1}{d} \right).$$

然らば

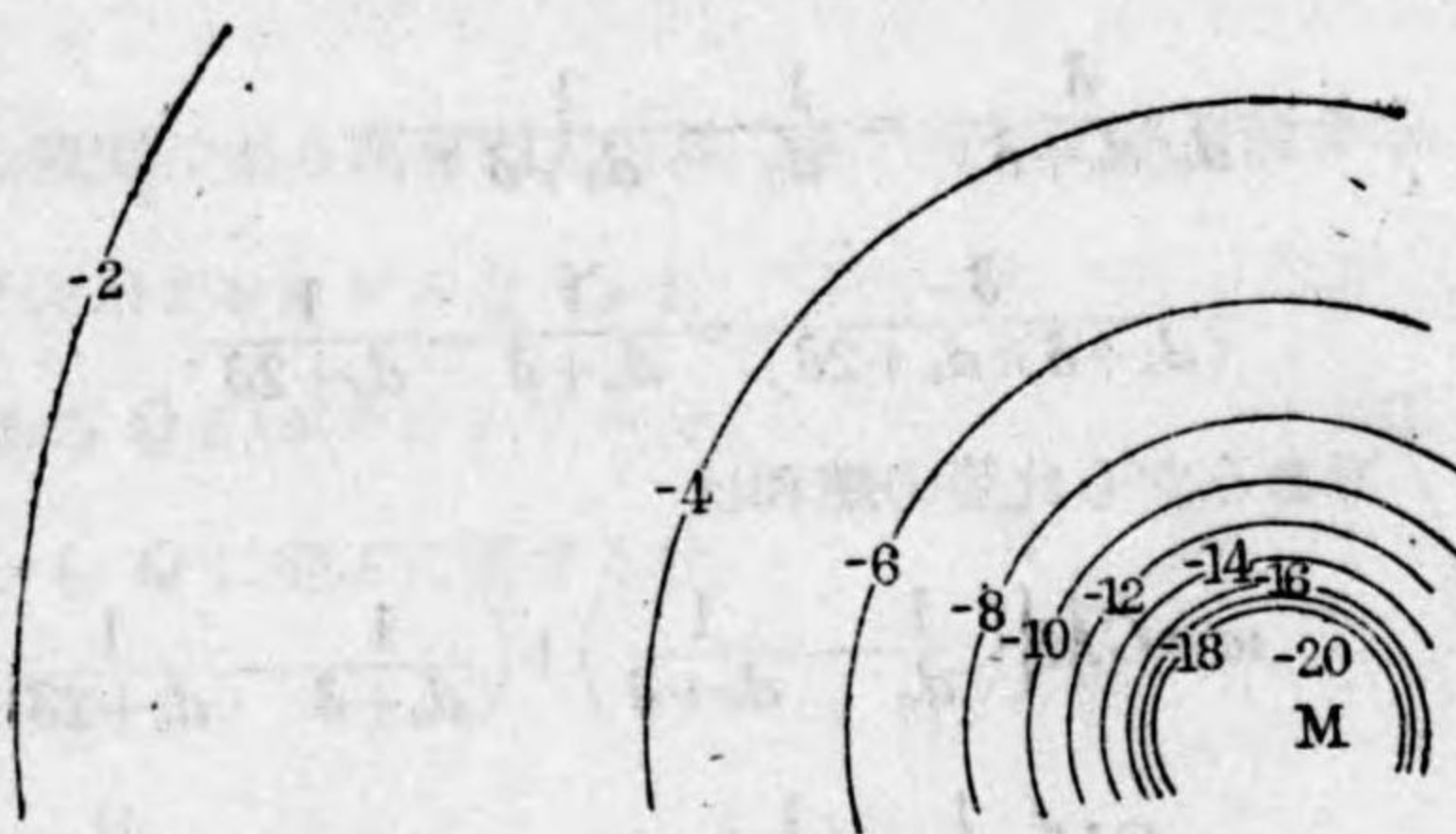
$$\left. \begin{aligned} V_Q &= K - \frac{GM}{d}, \\ V_P &= K - \frac{GM}{d_0}. \end{aligned} \right\} d > d_0 \quad (362/3)$$

としてよい。此式を見れば K は $d = \infty$ なる時の即ち M から無限大に遠い所のポテンシャルの値で之を V_∞ とすれば結局萬有引力の界内の一點のポテンシャルは

$$V = V_\infty - \frac{GM}{d}. \quad (362/4)$$

といふことになり、無限遠の所が最高ポテンシャルで M に近づくほど低位になる。此際便宜上無限遠の地點をポテンシャルの基準點として、 $V_\infty = 0$ と取つても一向差支はない、左様すればポテンシャルは總ての地點で負である。一例として $GM = 2520$ として $V = 2, 4, 6, \dots$ 等のポテンシャルに相當する d を表記すれば次の通りである。

$V = \frac{GM}{d}$	d
-2	1260
-4	630
-6	420
-8	310
-10	252
-12	210
-14	180
-16	157
-18	140
-20	126



第524圖 萬有引力の界内の等ポテンシャル面

前の重力の界のときと全く同様に考察すれば

(1) 此時の等ポテンシャル面は M を中心とした第524圖に示す如き球であること

(2) 一つの V_0 なる等ポテンシャル面上の一点から V' 等ポテンシャル面上の任意の點に至るに要する仕事は徑路の形に無關係に

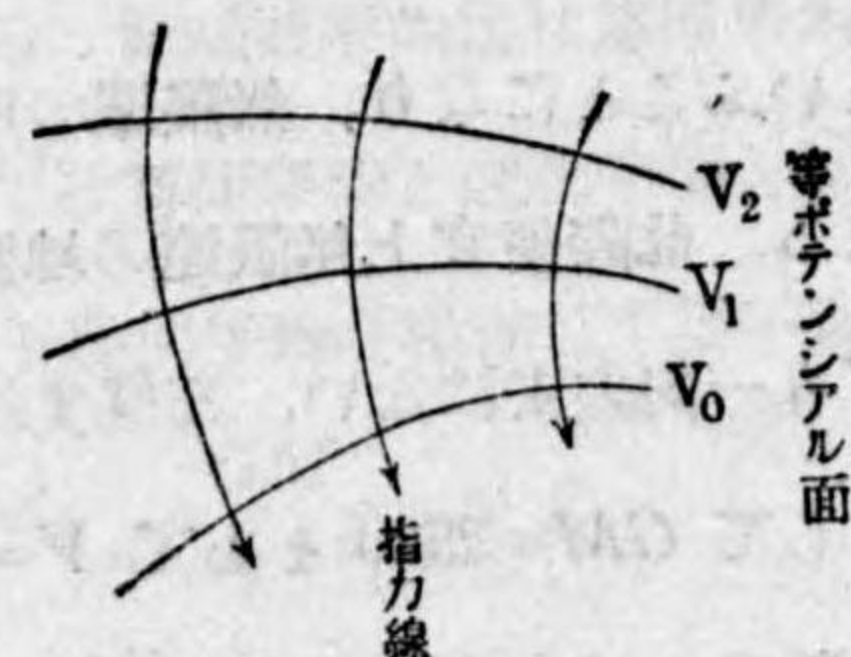
$$w = V' - V_0$$

であること。

(3) 彼場合も今の場合も 指力線はポテンシャル面に直角に交はることが知られる。

(4) 上に記した事は等ポテンシャル面に沿ふ移動には力が作用しないので

仕事を要しないといふと同意義である。斯く指力線と等ポテンシャル面とは直交するから力界の状況を見るには第525圖に示す如く指力線の配置を以てするよりは $V_1 - V_0 = V_2 - V_1 = V_3 - V_2 = \dots$ と云ふ多くの等ポテンシャル面 $V_0V_1V_2V_3\dots$ でポテンシャルの等差的なるものを



第525圖 指力線は等ポテンシャル面に直角である

力界内に描けば之によつて界の状勢が數量的に表現せられる利益がある。尙次節の説明を見よ。

第363節 界の強さとポテンシャル

ポテンシャル V と界の強さ F との數量的關係如何といふことを考へる。ポテンシャルの定義を與へる (362/1) 式によると單位質量の物體をポテンシャル V_0 の所から V の所へ運ぶに要する仕事が w ならば

$$w = V - V_0$$

であるといふ。重力界の強さは單位質量に働らく重力の大きさ即ち g である。重力界中に於ては上記 w の仕事を爲すには單位質量の物體を重力に抗して距離 s だけ動かせばよいのであるから

$$w = gs$$

である。此二式から重力界の強さは

$$g = \frac{V - V_0}{s} \tag{363/1}$$

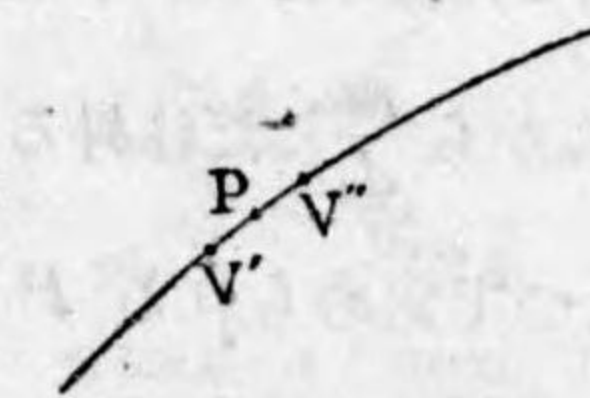
となる。

以上は重力の場合に就て説明したのであるが一般の場合に於ても同様で力界の強さを F とすれば

$$F = \frac{V - V_0}{s} \tag{363/2}$$

である。 V の變化が一樣でなく等ポテンシャル面 $V_0V_1V_2\dots$ の間隔が第525圖の如く離れた所と密接した所とがあれば $V_1 - V_0 = V_2 - V_1 = \dots$ でも前者では F が小で後者では F が大である。

力界内の一点 P に於て指力線に沿ふて測つた長さを s としてその兩端に於けるポテンシャルが $V'V''$ ならば上式



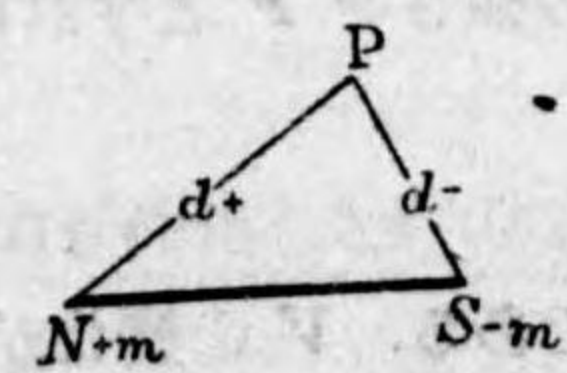
第526圖 界の強さのポテンシャルの勾配

$$\frac{V'' - V'}{s}$$

を計算すれば之は指力線に沿ふて V の變化する程度を表はす變化度である。即ち屋根の傾斜を表はす勾配の如きものである。此 V の勾配が界の強さ F である。力界の強さが一定でなければ一點 P の所で s を成るべく小さく取つた V の變化度の極限值が P に於ける界の強さである。而して界の中に於て指力線はポテンシャルの高位から低位に向ふものである。

第 364 節 磁氣ポテンシャル

以上のポテンシャルの論は之をその儘磁界の場合に應用してよいのである。今 N, S 二點に強さ m なる南北の磁極を有する一本の線狀磁石があるとし N 極から d_+ , S 極から d_- の距離にある一點 P のポテンシャルを求めよう。磁氣ポテンシャルは單位北極を運ぶ仕事であるが仕事といふ量は方向を有せざるものであるから、その合成は單に代數的加算によつて得らるゝことを先づ念頭に置くべきである。磁力と萬有引力とは量的には全く同一の形式の法則によつて律せられるが前者には引力と斥力とがあり後者は引力のみであるといふ點が異なる處である。引力による仕事は萬有引力のを其儘使用し斥力による仕事は符號を反對にすればよいのである。故に單位 N 極を無限遠から d_- まで S 極の引力に従つて運べばポテンシャルは(362/2)式の如く低下して V_∞ より $\frac{m}{d_-}$ だけ減し



第 527 圖 磁石 NS による P 點のポテンシャル

又 N 極の斥力に抗して d_+ まで運べばポテンシャルは V_∞ から $\frac{m}{d_+}$ だけ昇るので結局線狀磁石の磁界内に於て無限遠から (d_+, d_-) によつて定められる P 點に行くときポテンシャルは

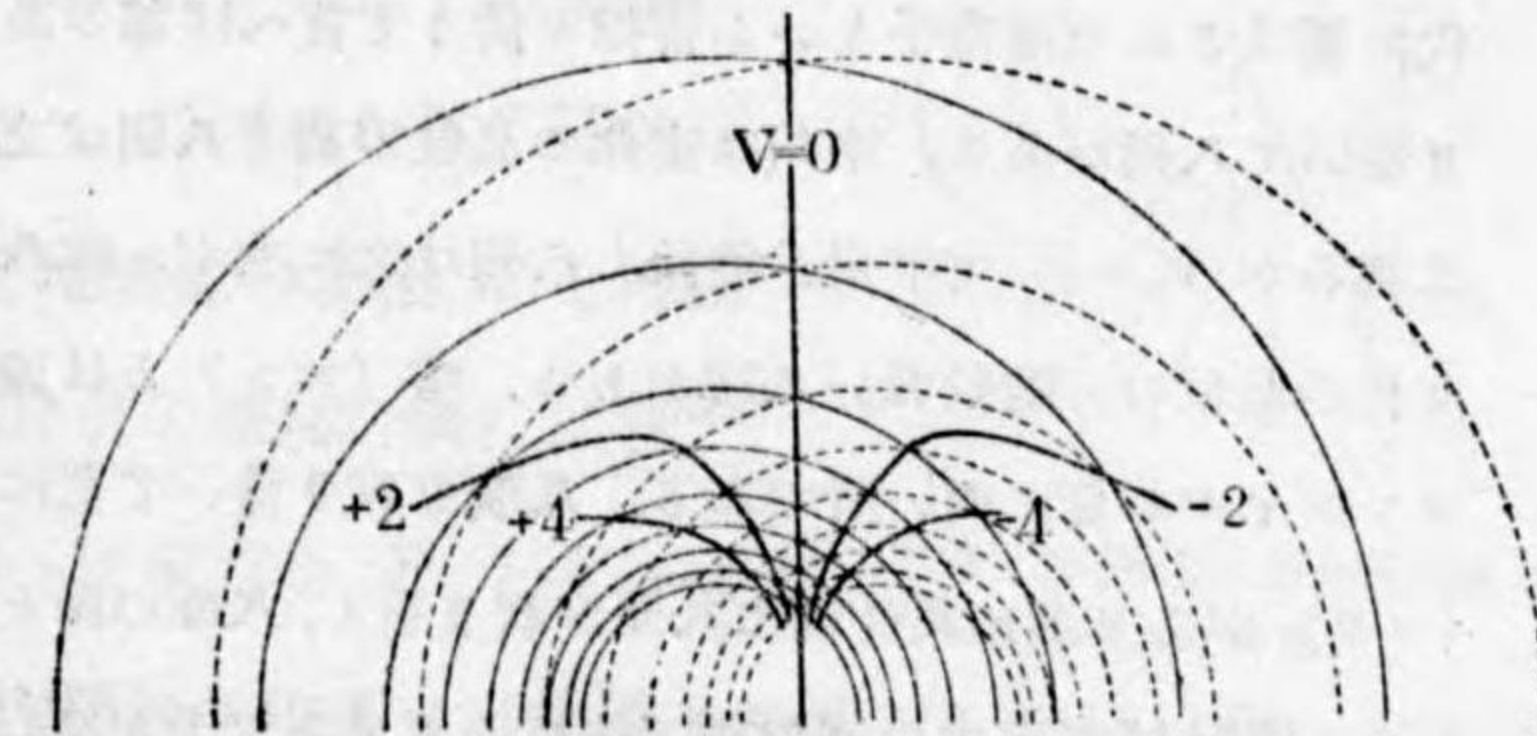
$$V = V_\infty + \frac{m}{d_+} - \frac{m}{d_-}$$

となる。而して無限遠の所を零ポテンシャルの基準位置として V_∞ を零とすれば P 點のポテンシャルは

$$V = m \left(\frac{1}{d_+} - \frac{1}{d_-} \right) \tag{364/1}$$

となる。

此式によつて線狀磁石による等ポテンシャル面を得る作圖法は N, S 兩極による等ポテンシャル球面即ち第 524 圖に示したものを別々に描いて (圖には N S 極とも V が 4 から 18 までが描いてある) 其交叉點のポテンシャルの代數和を以て交叉點のポテンシャルとする。N 點の V は $+\infty$, S 點のは $-\infty$, NS の中點 O のは $V_\infty = 0$ である。而して V の値の一定なる諸點を連ねれば所要の等ポテンシャル面となり之に直交する曲線を描けばそれが指力線になる。此圖に相當する指力線を描いてそれが第 515 圖の鐵粉が作る曲線と一致して居ることを注目せよ。



第 528 圖 磁石 NS による等ポテンシャル面の作圖法

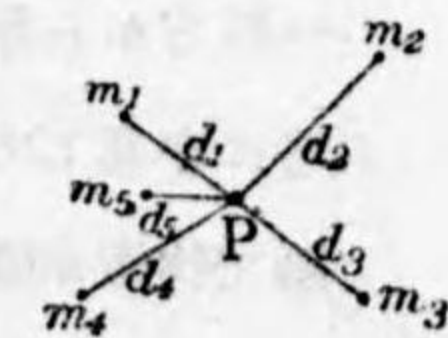
以上の説明から容易に察知できることであるがポテンシャル論の優れた所は磁極が如何に數多くありその位置が何所にあらうとも各磁極 m_1, m_2, \dots 等からの距離が d_1, d_2, \dots 等にある P 點のポテンシャルは次の代數和によつて與へられることである。

$$V = \frac{m_1}{d_1} + \frac{m_2}{d_2} + \dots = \sum \frac{m}{d} \tag{364/2}$$

但し N 極の m を正とし S 極の m を負とする。

磁氣によるポテンシャルを通常磁位と呼ぶ

斯くして磁界内にある總ての點 P の磁位が計算し得られれば (1) 等磁位



第 529 圖 多くの磁極によるポテンシャル

面も畫かれるし又(2)磁位の變化度の最大なる方向たる等磁位面を垂直に通過する指力線の方向が得られ(3)その各點に於ける磁位の變化度の數値を計算すれば磁界の強さが得られるのである。

既に第161節に述べた如く物事に關する新しい觀念に出會つたときに適當な類例を見つけて、之に類推法を試みることは一般に便利である。但し類例は何所までも類例で唯似寄つて居るだけだといふ事を忘れてはならない。よく間違つて類例を眞實と誤つて不當な邊まで考を推進めることがあるから、その要心は大切である。扱て本節の或力の界、その界の中の諸點のポテンシャル、指力線といふ如き觀念も都合の良い類例をとると理解を容易ならしめることが出来る。

或る都に國の中心があつて、そこから政治、文化その他の勢力が周圍にひろがつて、その勢力範圍が、國の文化界を形成する。例へば中國風に考へて中國の戰國時代に著はされた淮南子といふ書物を借りて言へば都のある所が中州で之を八方に取り巻いて八州がある。中州は文化の品位が高く八州は之に次ぐ。即ちポテンシャルは都心が $V_0 = \infty$ で中州が稍低く八州は之に次ぐ。此八州を取り巻いて八方に更に文化の品位の一階段低い八嶺がある。嶺(エン)とは遠と同音同意で都から遠いポテンシャルの更に低い所である。八嶺を取り巻いて更にポテンシャルの低い八紘(コウ)があり更に其外側に八極が取り巻く。八極の極とは世界の果であるとしたのだから謂はば無限大の遠距離で此所のポテンシャルは $V_\infty = 0$ である。

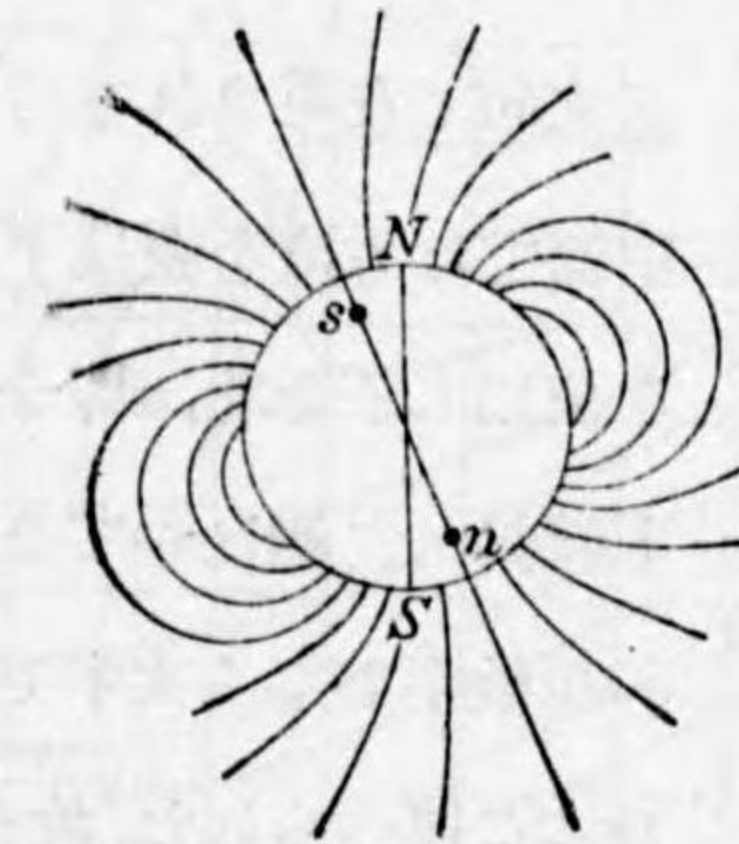
文化や政治の力が自然に流れて行く方向はポテンシャルの高い主都から低い方へ向ひ指力線が等ポテンシャル線に直交して走る。

此所で一寸序であるから、後文に出て來ることであるけれども、電氣力の界のことに就て一言して置く。電氣には陰と陽との二種あつて陽電氣はポテンシャルの高い所から低い所へ向つて自然に流れ行き之と同時に陰電氣は逆にポテンシャルの低い所から高い所へ向つて流れ行くといふことにされて居る。これは上の類例で言へば文化や政治力が都から僻遠の地へ向うと同時に遠地の物産も亦人間も逆に都の方へ四方から集まつて行くやうなものだと述べてもよからう。これは二つの流れが同時に存在して居るといふことの譬たるに過ぎない。唯それだけの譬である。文化が陽で物産が陰だなどは毫頭論して居るのでは無い。

第365節 地球磁界

地球の表面は一つの磁界である。此原因は地球に在りと考へられるから之を地球磁界といふ。然し今日の知識では此磁界は地球内部にある原因のみに歸すべきでなく大氣の上層に於ける電流が生ずる磁界の寄與する部分が可なり著しいことが知られた。地球磁界の指力線の大體の趨向は第530圖に示してある。圖に於て N は地理學的の地球の北極 S はその南極であつて NS 線が地球の廻轉軸である。

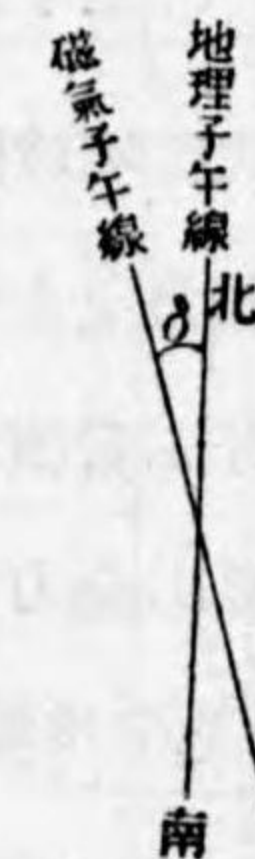
地球磁界の極は sn 線上にあつて磁針の北端が N の方を指すから地球を磁石とすればその南極は N に近く北極は S に近い。此兩極を貫く磁軸が地球の表面を貫く點 s を地磁氣の北極、 n を地磁氣の南極と云ふ。此名稱は眞の磁極の義には背いて居る。地球上の一點例へば東京を P とすれば



第530圖 地球磁界の指力線 NS : 地球の自轉軸 ns : 磁極

NPS を通する平面は地理學の子午面又は地學子午面であるが sPn なる平面は之を磁氣子午面といふ。 s 點の位置は初めて西曆 1831 年に北緯 $70^{\circ}5'$ 西經 $96^{\circ}46'$ にあることがロス (Ross) によつて見出され n 點の位置は 1909 年に南緯 72° 東經 155° 附近にあることがシャックルトン (Shackleton) によつて見出された。此等の點に於ては地磁氣の指力線が鉛直線の方をとる。

地球上の一般の點例へば東京 P に於ては指力線は磁氣子午面 sPn 内に在つて斜に北下方に向つて居る。故に東京に於ては普通の磁針は地理的の眞北即ち N を指さずして磁氣的の北即ち s の方向を指す。換言すれば磁針の北端は眞北よりは西に偏して居る。地學子午線と磁氣子午線との間の角 δ を偏差又は方位角と



第531圖 地理子午線と磁氣子午線

いふ。日本内地に於ては此角は 5° 餘である。又重心を針先で支持して重力の作用を除き去つた磁針が全く自由に磁氣の指力線の方向を指すときには、その N 極は斜に下方に伏して静止する。此時の磁針の水平面と爲す傾角 θ を伏角といふ。日本内地に於ては伏角は 48° 程である。

中國の文獻によると偏差のことは針先を磁鐵鑛と摩すると「則能指南，然常偏東」といふ文で表はされてある。中國では磁針は指南といふて南端を主として考へる習慣であつたからで、偏差の存在は南端が東に偏するといふ文句で表現されるのである。

中國では方位を表はすに子丑寅卯等の十二支を使用し子を北、卯を東、午を南、酉を西とし時計的に廻はつて全方位を十二等分したものを數字でなく文字で表はしたので、それが日本に傳へられた。故に子午線とは南北線、子午圈とは南北に向ふ大圈のことである。更に



第532圖 磁石により方位を定める文字

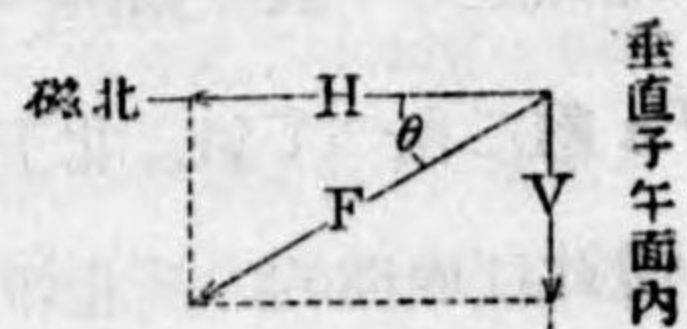
方位を委しく表はす爲に二十四等分したが之には更に十二の別の文字を之に配當した。偏差の大きさは宗時代の寇宗奭の本草衍草に磁針が「常偏丙位」と書いてあるが丙とは二十四等分で午の東隣であるから一周天 360° の二十四分の一即ち 15° だけ東に偏して居ることをいふのである。

次に地球磁界の界の強さ即ち單位磁極に及ぼす力の大きさは如何といふに普通は此力を水平と鉛直との二つの方向に分解して單に之を水平分力及び鉛直分力と呼ぶ習慣になつて居る。指力線に沿ふて働く地球

磁界の全力を F とし水平分力を H , 鉛直分力を V , その地點の伏角を θ とすれば

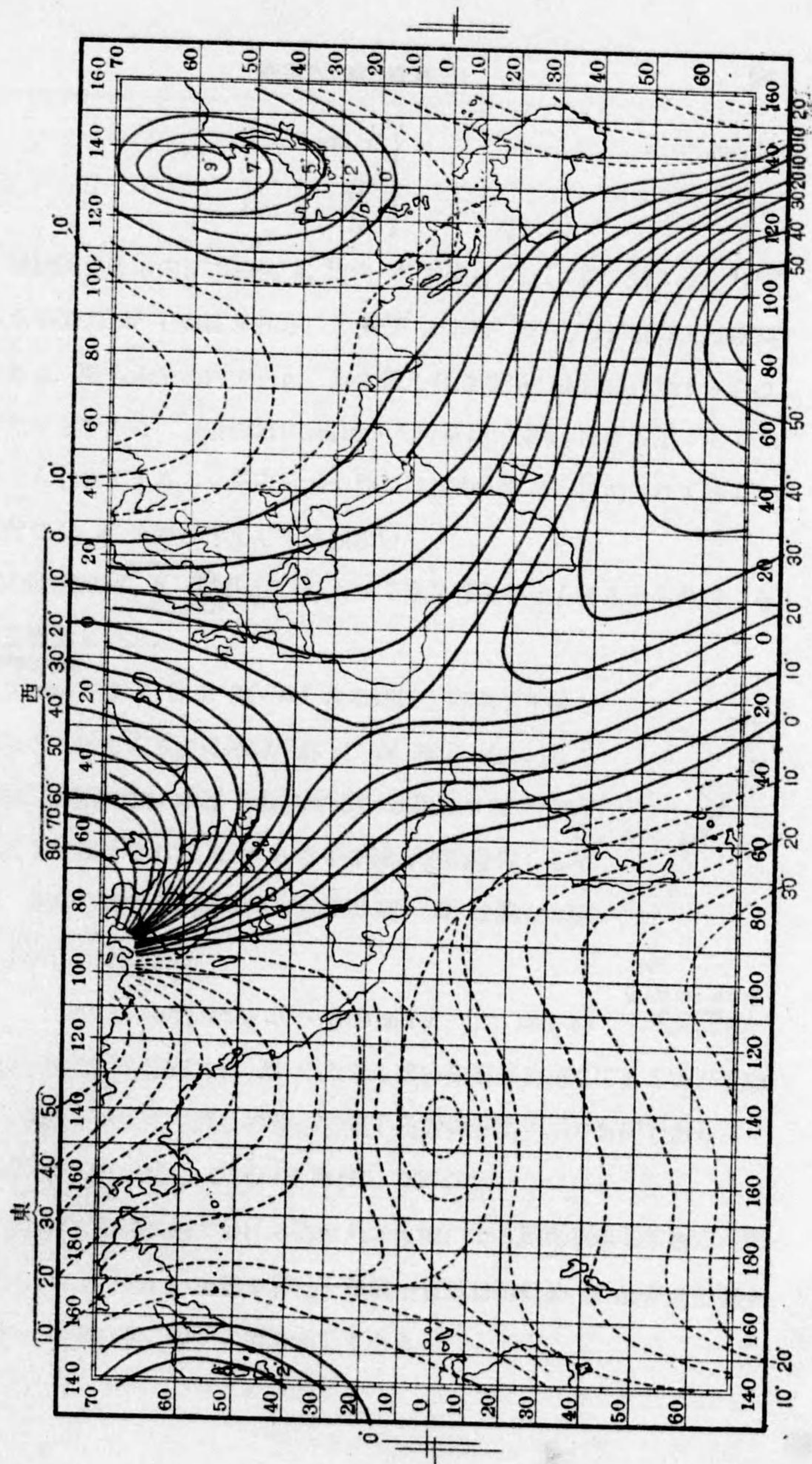
$$F^2 = H^2 + V^2,$$

$$H = F \cos \theta,$$



第533圖 H: 地磁氣の水平分力
V: " " 鉛直分力
F: " " 全合力
 θ : 伏角 紙面は鉛直子午面である

等方位角線



$$\left. \begin{aligned} V &= F \sin \theta, \\ \tan \theta &= \frac{V}{H}. \end{aligned} \right\} \quad (365/1)$$

である。地球磁界の方向は方位角 δ 、伏角 θ で定められ、界の強さは全力 F の代りに水平分力 H で表はされる。之は F より H の方が実際には便利だからである。即ち水平面内で自由に動き得る普通常用の磁針に作用するのは水平分力だからである。これは磁針の構造がその南端の方を、わざと重くして磁針を水平ならしめてあるから鉛直分力の作用は重力のために打消されて居て、普通の磁針には F 全體が作用しては居ない。

地磁氣の狀況は δ, θ, H の三つによつて完全に表示せられるから此三つを **地磁氣の三要素** といふ。

極の強さ m 、長さ l 、能率 $M=ml$ なる磁針が磁氣子午線と α の角をなして居るときには地球磁界は N 極に北に向ふ mH 、 S 極には南に向ふ mH を作用するから此二力は一つの偶力を形成して磁針をして $\alpha=0$ なる子午線の方を取らしめんとする。此時の偶力の廻轉能率 (第 110 節) D は偶力の腕の長さが $l \sin \alpha$ であるから

$$D = mH \times l \sin \alpha = MH \sin \alpha. \quad (365/2)$$

である。故に同じ形の磁針では M の大なる強い磁石が使用してある方が支點たる針先に摩擦があつても之に打勝つて正しい方向を指すので有利である。

日本内地では H の値は $C. G. S$ 單位で 0.3 に近い。

圖版第 535 圖に地球全面に於ける方位角の土地による變化を示してある。圖上の曲線は方位角の等しい地點を連ねた軌跡で實線は磁針の N 端が西に偏する所を示し、點線は東に偏する所を示してある。



第 534 圖 水平磁針に作用する地磁氣の偶力

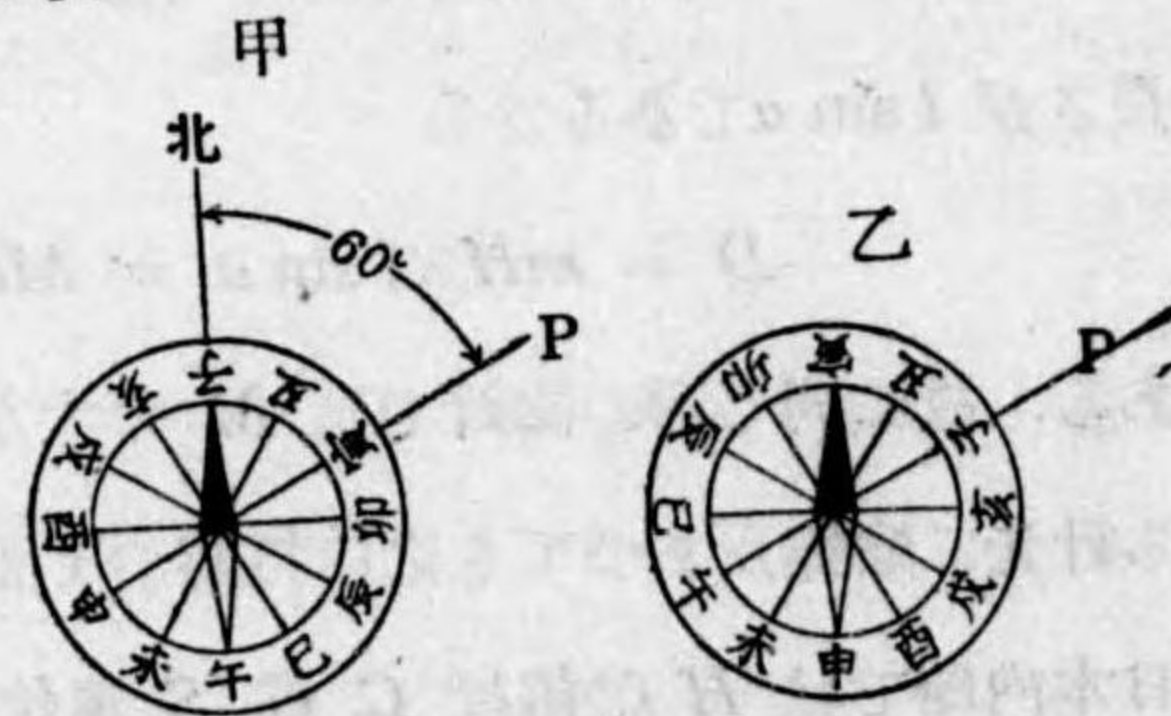
各地磁氣要素 1923 年

地名	經度(東)	緯度(北)	方位角(西)	伏角	水平分力	觀測年
大泊	142°47'	46°39'	8°58.5	60°24.1	0.25268	昭和 7
札幌	141 21	43 4	7 56.2	56 52.0	26896	7
仙臺	140 54	38 16	6 21.0	51 56.2	28813	8
柿岡	140 11	36 14	6 1.4	49 31.4	29770	16
飯田	137 49	35 31	5 40.8	49 0.6	30160	8
廣島	132 27	34 23	5 29.6	48 16.3	31242	7
徳島	134 35	34 4	5 25.0	47 38.6	31075	7
宮崎	131 25	31 55	4 44.0	45 19.9	32191	7
父島	142 11	27 5	2 43.0	37 22.9	31963	8
那覇	127 40	26 13	2 51.3	36 56.9	34748	7
臺北	121 30	25 2	2 9.8	35 17.8	0.35954	7

第 366 節 羅針盤

磁針を使用して方角を知るには携帯用のものは懐中時計か腕時計ほどの大きさで方位を記した圓盤の中心に針を立てその尖端に磁針が乗つて水平に動くやうにしてある。此器械に用法が二通りある。

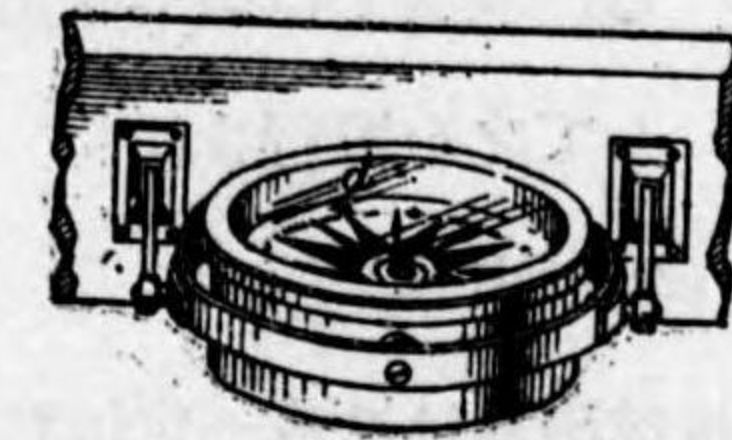
第一は圓盤に記してある子午線
の方向を正しく磁針に一致させて
それで物體 P の方位を圓盤上の
文字又は角度の目盛りで知るので
ある。第二は圓盤の子の方向を物
體 P に向けて其時磁針の N 端が
指す文字又は目盛りで P の方位を
知るのである。例へば物體 P が北より東 60° の方向にありとすれば十二支で
いへば寅の方角である。圖で明かな如く圓盤上を廻る文字の配り方は第二の方
は反時計的で第一の方は時計的で(第 536 圖)あることを要する。角度の目盛



第 536 圖 第一法甲：文字板を固定し目標 P の方位を讀む
第二法乙：文字板の子を目標 P に向け磁針の北端にて方位を讀む

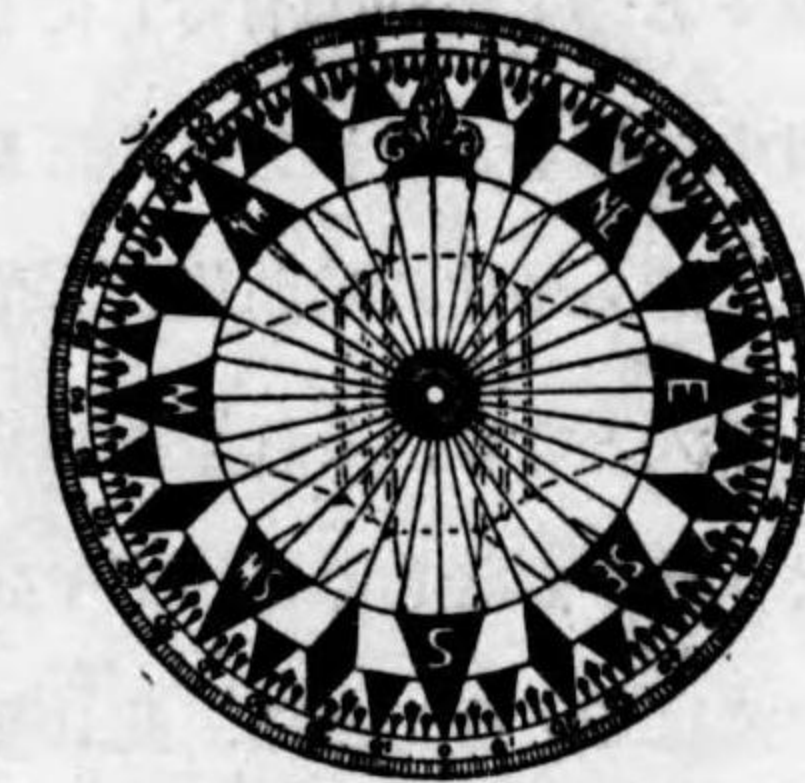
りでも同様兩者反對に廻はる。

遠洋航海に使用する磁針は特に羅針盤といふ。此ものでは方位を記した圓盤に磁針が固定してあつて、それが針頭に支へてあるので方位圓盤は水平に磁針と共に廻はる。故に方位圓盤の文字は前記第一法のものでよい。方位は十二支によらず圖の如くに命名してある。又磁針は一本でなく數本を平行に絲で張り支えて(圖では六本)能率を大にしてある。



第 537 圖 羅針盤の支へ方

鐵船では勿論のことであるが、木造船でも使用してある鐵材が磁針の指す方向を磁氣子午線外に偏せしめるから此鐵材の影響を除去しなければならぬ。鐵材には鋼鐵の如き既に永久磁石になつて居るものもあり又軟鐵で永久磁石ではないが地球磁界の誘導によつて一時的に磁石になるものもある。此等の妨害を除く爲には所謂毒を以て毒を制する方策を用ゐて羅針盤の傍に適當なる強さの永久磁石や軟鐵塊を適當な位置に置いて之によつて船の鐵材の作用を打消さして居る。



第 538 圖 羅針盤の文字板磁針が之につけてある

第 367 節 地磁氣の變化

第 530 圖を見れば明白なることではあるが方位角及び伏角は地球上の諸地點に於てその價が一定でなく例へば地磁氣の北極 s では伏角が 90° であり日本内地では約 50°、赤道地方では伏角が零の所があり、更に南方に行けば磁針の N 端が上方に向ふ所がある。伏角が零なる地點の軌跡を磁氣赤道といふ。方位角も亦(第 535 圖)一定でなく磁針の N 端が西に偏する所も東に偏する所もある。水平分力の大きさも同様に各所同一でなく、地球磁界は空間的變化を示すのである。

航海や航空には羅針盤を使用してその磁針の指す方向によつて船又は飛行機の進行方向を知るのであるが廣い地域に於ては方位角が一定でないから、その空間變化を海圖、地圖の上に現して置かねばならぬ。此目的の爲に地磁氣の三要素の空間變化を測量することは國家的に必要な事業である。我國では田中館愛橘博士が明治二十六年から四ヶ年間夏期休暇を利用して之を遂行された。その後我海軍水路部は十年毎に全國の地磁氣測量を行ひ來つた。

地球磁界は又或一定地點に於ても時間的變化を示すものである。此變化には種々あつて周期の有るものも無いものもある。周期的變化は三要素に皆あるが就中最顯著なのは方位角の日變化であつて、これが規則正しく常に行はれて居る。即ち午前八時前後に方位角が最小で、それより次第に増大して午後二時頃に極大となり、それより減少するが夜間は著しい變化をなすこと無く夜明け前より減少が著しくなつて午前八時の極小に達する。此變化に於て極大と極小との差は $20'$ 程である。此日變化は太陽の爲めに大氣中に於ける電流が變化して磁界に影響を來たしたのだと解釋される。(第 369 節を見よ)

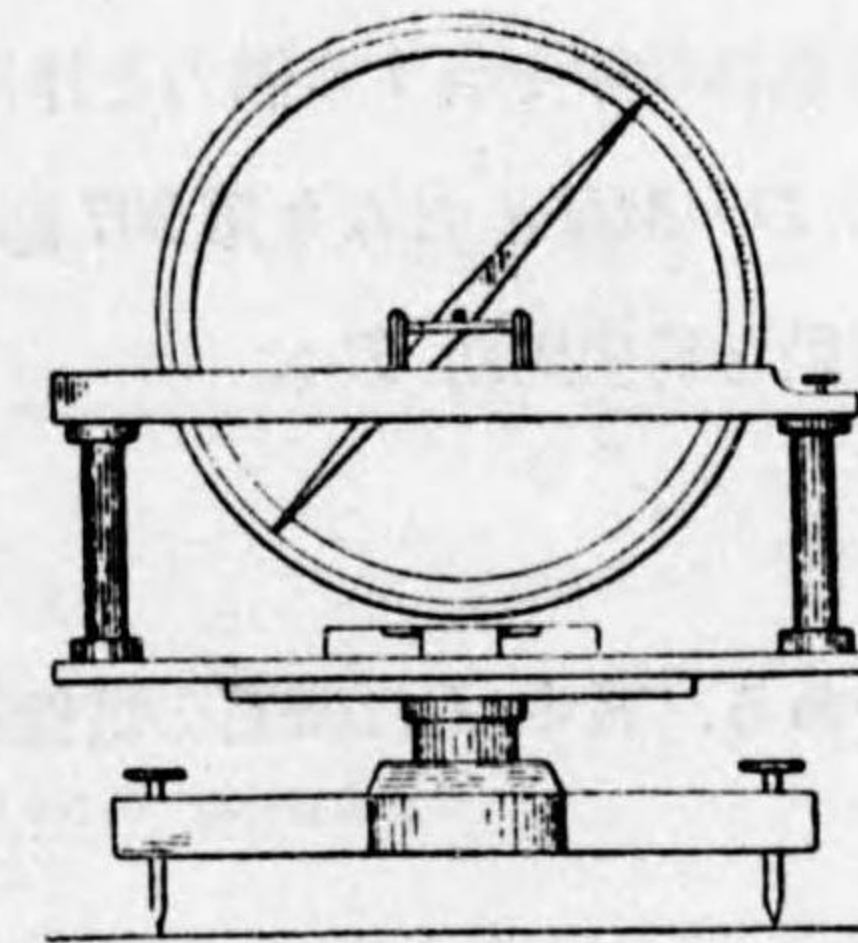
周期のない變化に經年變化といふ長年月に亙つて次第に變化して行くものが三要素の何れにもある。之があるから海軍水路部では十年毎に地磁氣測量を繰返し行ふのである。

以上は變化が極めて穩かに徐々に行はれるのであるが此外に全く不規則であつて著しく大なる變化が突發し或は短時間にして止み或は數日に亙つて續くことがある。之を磁氣嵐といふが、その中に突然開始といふ變化がある。之は全世界に涉り絶對的に同一刻限に開始するもので國際的の共同研究によつて始めて明にせられた。之は太陽から電氣的に活性ある何者か、突然飛行し來つて地球を襲ふから起るものらしい。要するに地磁氣の時間的變化は地球外にその原因があるものが多らしい。

第 368 節 地球磁界の測定

地球磁界の三要素の測定にはそれぞれの器械がある。方位角を測るには天測によつて太陽又は恒星の觀測から天文學的即ち地理學的子午線の方角を決定し、これと水平磁針の靜止したときの磁軸の方向との差を求めらるので理論上は説明を要する程のことはない。

伏角を測るには第 539 圖に示す如き伏角計を使用する。之は磁針の重心を貫いて居る水平軸によつて磁針が鉛直面内に於て自由に廻轉し得る様にしてある。鉛直面内に於ける磁針の水平からの傾角を測る爲の目盛圓盤があり又此鉛直面の方位を正す爲の水平なる目盛圓盤がある。尙水準によつて水平圓盤は水平になり同時に鉛直圓盤の 0° を通過する直径が水平になる様に製作してある。之を使用するには水準器による調整が終つてから鉛直圓盤の方



第 539 圖 伏角計(理化學辭典より)

位を徐々に變化して磁針の傾斜の變化を追跡して行くと磁針が直立することが方位 180° を隔て、二回ある。此方位に於ては磁針に作用する力が鉛直であるに相違ないが重力は重心で支へてあるのだから最初から省かれてあるので此二つの位置に於ては地球磁界の鉛直分力 V のみが作用して居るに相違ない。即ち鉛直圓盤が東西になつて居るのである。故に此位置に於ける水平圓盤の目盛を読み、それより 90° だけ鉛直圓板の方角を變ずれば磁針は子午鉛直面内に於て自由に動き得る境遇を與へられて磁界の全力 F の方向を指し水平より伏角 θ だけ傾斜して靜止する(第 533 圖)。此時の傾角を鉛直圓盤で讀取ればよい。

水平分力を測定することは稍面倒である。舊來の方法は二つの實驗を結合し

て、それから計算して出すのである。求むる水平分力を H とし実験に使用する棒磁石の能率を M とすれば一つの實驗で M, H の相乗積を得、第二の實驗で M/H を得、之によつて M と H とを算出するのである。

先づ M, H の相乗積の値を得る實驗に就て略説する。一本の棒磁石を圖の如く細い糸で吊して水平に振動せしめる。磁石が子午線と α の角を爲して居るときは第 365 節に於て第 534 圖に就て説いた如く地球磁界は

$$D = MH \sin \alpha.$$

の廻轉能率を有する偶力を作用するから角 α が小なれば $D = MH \cdot \alpha$ となり第 207 節によつて其場合の k を MH として磁石が水平振動を爲す周期 T は

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MH}}.$$

である。式中 I は磁石の慣性能率 (第 115 節) である。これから

$$MH = 4\pi^2 \frac{I}{T^2}. \quad (368/1)$$

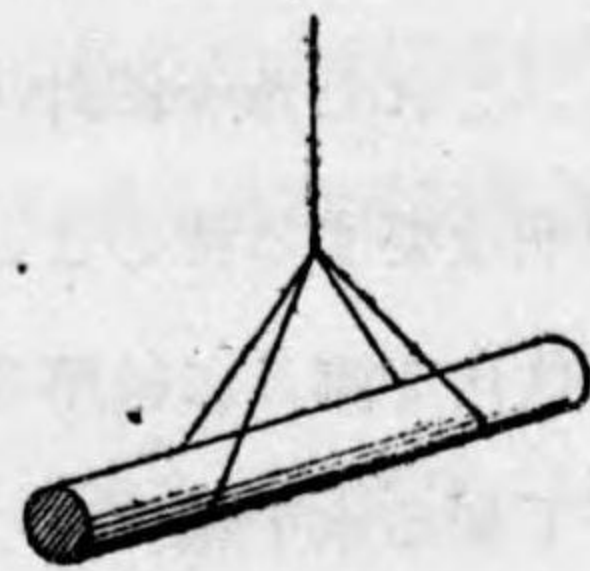
を得る。これが第一實驗で之を振動實驗と呼ぶ。

磁石の慣性能率 I は磁石の形によつて直に知れる場合と知れない場合がある。即ち第 540 圖の如き棒磁石なればその長さや半径とから第 115 節に記した式によつて計算できる、尙吊した糸が細いから此分は省略してよい。若し慣性能率が知れないときには銅又は眞鍮で慣性能率が I_0 なりと知れた物體を磁石と一緒にして $I+I_0$ のものが振動する様にして、その時の周期 T' を測定すると

$$T' = 2\pi \sqrt{\frac{I+I_0}{MH}},$$

$$\frac{I}{T^2} = \frac{I+I_0}{T'^2}, \quad I = I_0 \frac{T'^2 - T^2}{T^2}.$$

から I を算出してそれを (368/1) に使用すればよい。



第 540 圖 棒磁石

第二實驗で $\frac{M}{H}$ を求むるものを偏倚實驗と呼ぶ。それは振動實驗に使用した棒磁石を小磁針 ns に近づけて之を子午線外に偏倚せしめその偏角 α から計算するからである。

既に第 360 節に於て説いた如く一つの磁石 NS の中心から d の距離にある第 513 圖の P 點の磁界の強さは

$$F_P = \frac{2M}{d^3}.$$

であつた。今此棒磁石を東西に向け N 極を西にして置くと中心 O から d にある東方の一點 P に於ては F_P

が西に向つて居る。此 P 點には同時に北に向ふ水平分力 H が作用して居る。此二つの磁界 H, F_P を合成したものの方向は圖に示す如く子午線より角 α だけ偏して居る。但し

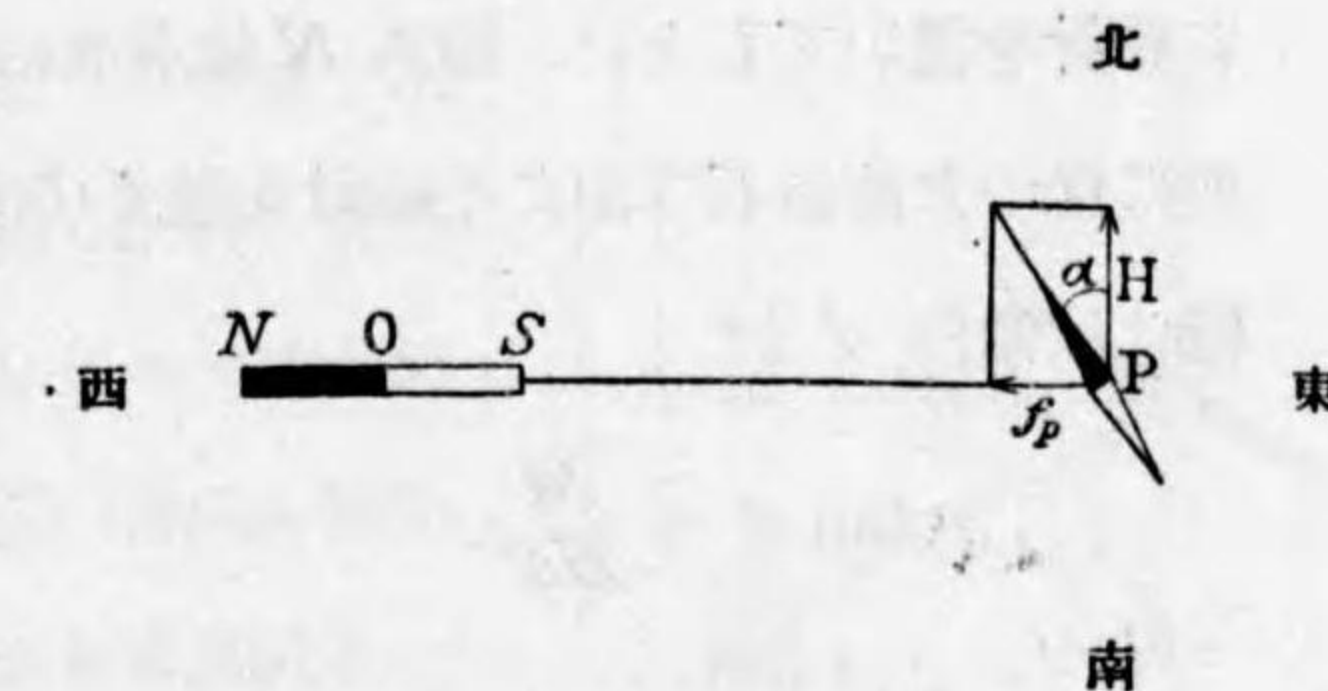
$$\tan \alpha = \frac{F_P}{H}.$$

今振動實驗に使用した棒磁石の N 極を西に向け軸を東西にして据ゑたものを第 541 圖の磁石 NS とし、その P 點に一つの磁針 ns を置くと ns は H と F_P との合力の方向を指して静止し偏角 α を示す。上の F_P の價を代入すれば

$$\tan \alpha = \frac{F_P}{H} = \frac{2M}{Hd^3},$$

$$\frac{M}{H} = \frac{d^3}{2} \tan \alpha. \quad (368/3)$$

となり α を觀測すれば $\frac{M}{H}$ が得られる。



第 541 圖 偏倚實驗其一

此實驗に於て磁針 ns は成るべく小さいがよい。 H の方は磁界が均一であるから移動しても H には變化はないが F_p の方は距離によつて變化するから此心配がない程に磁針 ns の長さが短くなければならぬ。上記の計算に F_p として第 360 節の値を使用したのが之は d に比して l が小なりといふ制限つきで計算が省略してあつた。此制限を破つて居る程 d が近いと省略してない所の正しい F_p を使用せねばならぬが然し偏倚實驗の要點は上記で盡してある。

棒磁石と磁針との關係位置として第 513 圖の Q 點に磁針を置いてよい。即ち N 極を西にし軸を東西に保つた棒磁石の南に小磁針を置くのである。此時には偏角 α' は

$$\tan \alpha' = \frac{M}{Hd^2} \quad (368/4)$$

である。

H の知れた場所では此二つの實驗のどちらからでも能率 M の知れない棒磁石の M を測定することが出来る。

第一實驗で $P = MH$ を得、第二實驗で $Q = \frac{M}{H}$ を得たから求むる水平分力の價は

$$H = \sqrt{\frac{P}{Q}} \quad (368/4)$$

であり同時に又磁石の能率が

$$M = \sqrt{PQ} \quad (368/5)$$

から計算できる。

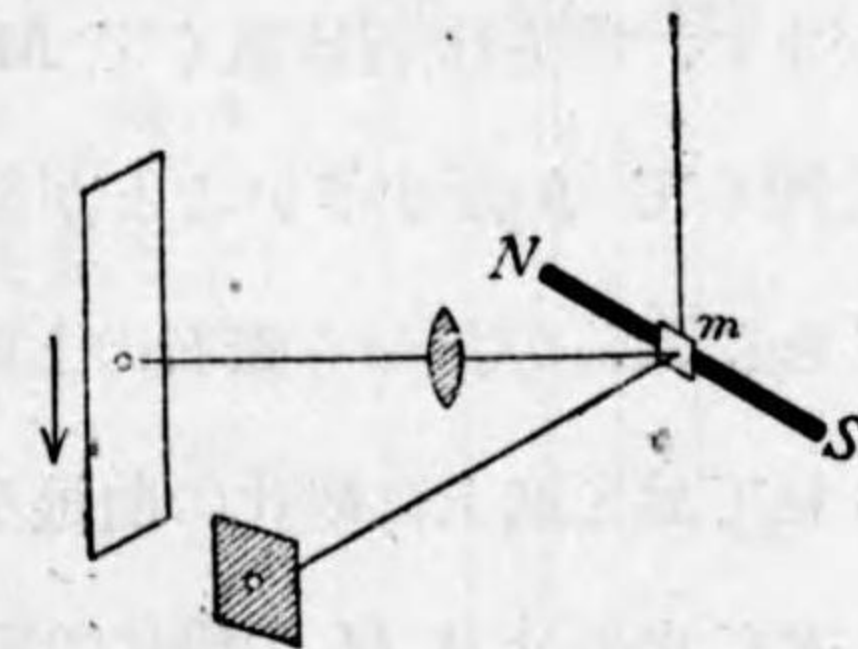


第 542 圖 偏倚實驗其二

第 369 節 自記磁力計

地磁氣の時間的變化の研究は連續觀測によらねばならぬ。故に各國とも常設の觀測所を置き長年月に亘つて自記磁力計を以て寫眞的に之を記録せしめて居る。我國の觀測所には中央氣象臺附屬のものが茨城縣柿岡にあるが其他に大學附屬のものがある。

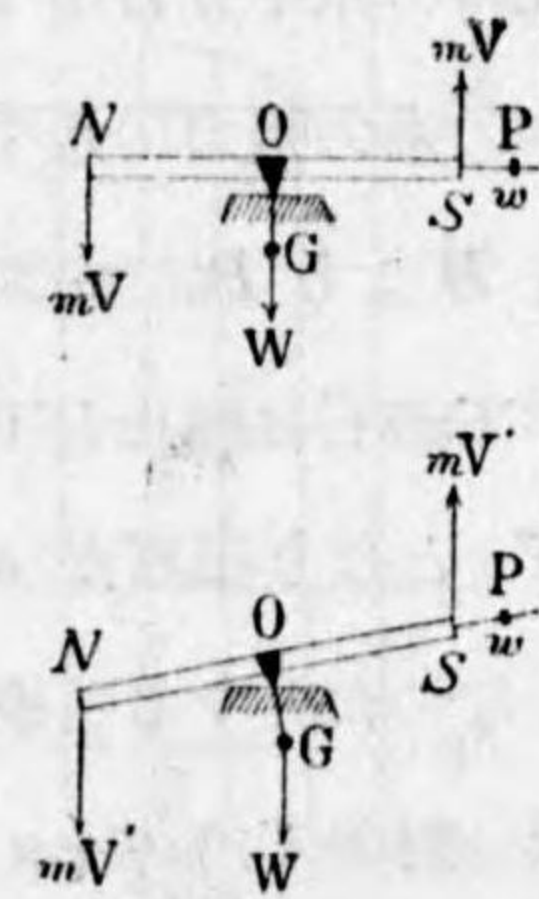
方位角の變化は即ち磁氣子午線の變化であるから水平に吊した磁石の指す方向の變化に外ならぬ。故に記録の方法は極めて簡單である。強い磁石に表面を鉛直にした反射鏡 m を附し之を一本の糸で水平に吊す。小孔から出る光を此鏡で反射させ凸レンズで此光を受けて小孔の像をプロマイド寫眞感光紙の上に結ばしめる。磁石の方向の變化に應じて小孔の像が左右に動くから寫眞紙を一定速度で上方又は下方に引き動かせば磁氣子午線の變化を示す曲線が得られる。(第 546 圖)



第 543 圖 方位角の變化を見る自記磁力計

伏角が變化すれば鉛直分力 V が變化するから自記磁力計では後者を記録することにして居る。磁石を天秤の桿の如く磁軸に直角な稜双で支へて磁石をして自由に子午面内に於て動き得る様にし又磁軸が水平になる爲に磁石の南端に小さな荷重 w を附ける。第 544 圖に於て O が稜双の位置で鉛直分力が V のとき磁石 NS は水平で、その重心は O の直下 $OG = p$ なる G にあるとする。磁石の重量 W が G 點にかゝり南端に附けた荷重 w が $OP = \lambda$ なる P にありとする。然るときは磁石の長さが l 磁極の強さが m 従つて磁氣能率が M とすれば

$$mVl = MV = w\lambda$$



第 544 圖 鉛直分力の變化を見る磁力計

である。V が増大して V' となり磁石が小なる角 a だけ傾斜したとすれば

$$mV'l \cos a = MV' \cos a = w\lambda \cos a + Wp \sin a,$$

$$\therefore MV' = w\lambda + Wp \tan a.$$

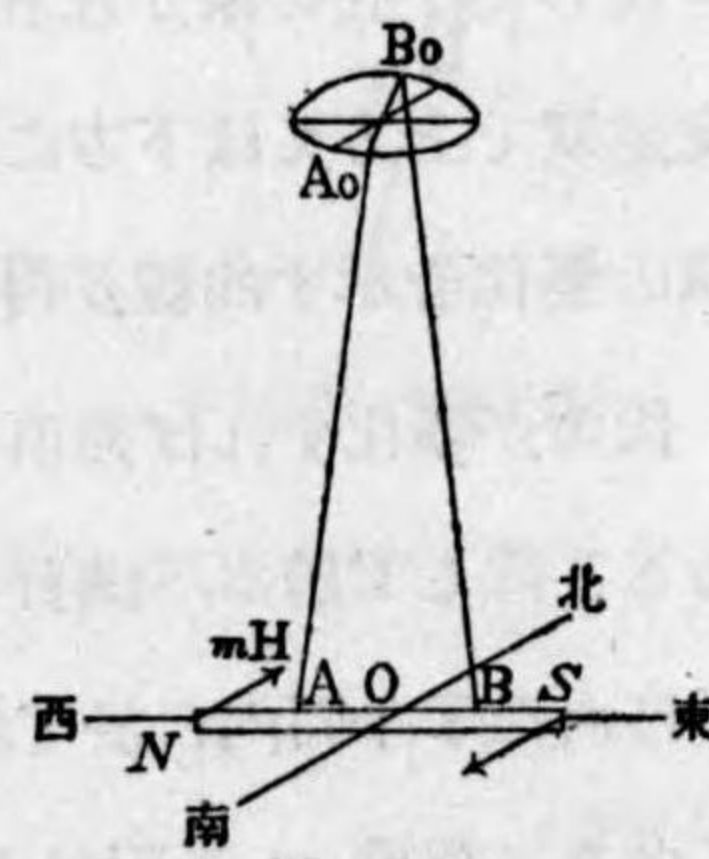
従つて $M(V'-V) = Wp \tan a.$

角 a を小なりとすれば $\tan a = a$ として

$$V'-V = \frac{Wp}{M} a = C \cdot a.$$

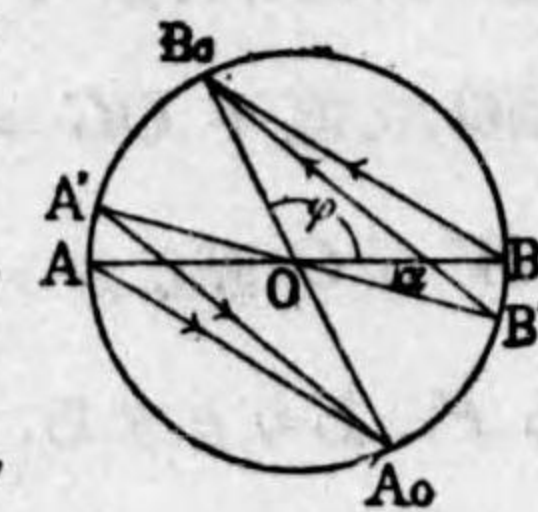
鉛直分力の變化 V'-V は角 a に正比例する。或一定の變化が著しく現はれるには a が大であるべきだから比例定數 C の小さい様に器械を設計したがよい。即ち磁石は強くて M が大、又 W が小で軽く且つ支點 O が重心 G に近くて p が小さいことが望ましい。扱て此器械では a の變化を記録することになるのだから磁石の上面に水平反射鏡を貼りつけ小孔から來る光を反射させて感光紙上に變化の曲線を記させる。

次に水平分力 H の變化の記録に就て述べる。能率 M の棒磁石の二點 A, B につけた同長の二本の糸 A₀A, B₀B で之を水平に吊して糸の上端 A₀B₀ を下端 AB 線 (即ち磁軸の方向) に對して角 φ だけ廻はして磁石をして強いて東西に向かはしめる。此時の水平分力を H とすれば磁氣偶力 MH が二本の糸の張力の水平分力で A より A₀ に向ふものと B より B₀ に向ふものとの二つが形成する偶力と釣合



第 545 圖 水平分力 H の變化を見る磁力計

つて磁石は静止して居るのである。そこで H が増して H' となり磁石が a だけ方向を變して AB 線が A'B' となつたとすると糸の上端の A₀B₀ 線は糸の下端 A'B' 線に對して角 φ+a だけ廻はつて居るから糸の張力の水平分力の形成する偶力も變化して新しい釣合を保つ。



(水平面上に投影)

磁石が正しく東西に向かつて居るときの吊糸の偶力は A₀B₀=AB=2l (装置としては A₀B₀≠AB でも差支ない) として計算すると糸の吊力の水平分力を T とすれば AA₀ 及び BB₀ なる二つの平行なる二線間の距離を之に乗して偶力の廻轉能率 E を得る

$$E = T \times 2l \cos \frac{1}{2} \varphi.$$

である。これが磁力の能率 MH と釣合つて居るから

$$MH = 2lT \cos \frac{1}{2} \varphi.$$

扱 H が増大して H' となり磁石が a 角だけ方向を變して AB が A'B' となり φ が φ+a となつたとき。角 a が小なれば吊糸の張力の水平分力は前の通り T と見てよいから、上式と同様にして

$$MH' = 2lT \cos \frac{1}{2} (\varphi + a),$$

($\cos \frac{1}{2} a = 1, \sin \frac{1}{2} a = \frac{a}{2}$) として

$$MH' = 2lT \left\{ \cos \frac{1}{2} \varphi - \frac{a}{2} \sin \frac{1}{2} \varphi \right\},$$

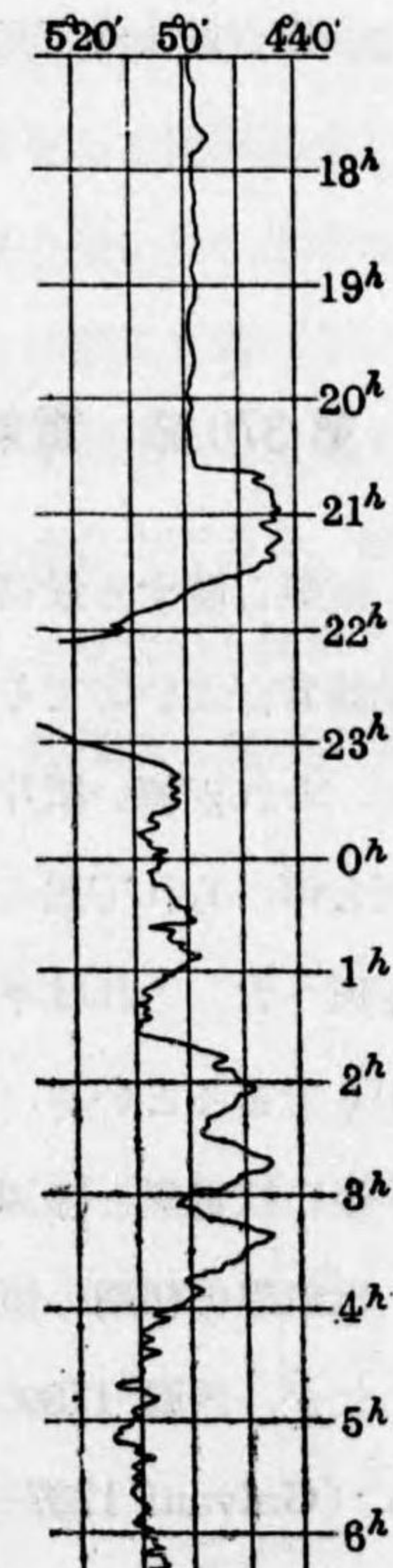
故に $M(H'-H) = -lT \sin \frac{1}{2} \varphi \times a = K \cdot a.$

となつて a 角は H'-H に正比例する

之を以て H'-H の變化を自記するには a の變化を記録すればよいのだから磁石の側面に平面鏡を貼りつけ之に水平の光を送つて反射光の動き方を第 543 圖の磁力計と同様に寫真感光紙上に投ずるがよい。

明治四十二年九月二十五日から二十六日にかけて日本の北の方の部分に北極光 (第 488 節) が現はれた。

之は大氣の上層に於ける電氣の眞空放電の光である。此大氣中の電流が磁



第 546 圖 方位角の變化の記録

界を生ずるので通常此際には地磁氣の急激なる變化即ち磁氣嵐を生じ又地殻中を流れて居る地電流にも變動を生ずるものである。此日には此地電流の異常の爲に内國電信は一時不通になつた。第 546 圖に示すのは東京に於ける此日の方位角の變化の自記磁力計の記録である。此記録では二十五日の午後八時半頃から急に方位角が小さくなり午後九時半頃から急に増大して記録用紙外に飛び出し午後十一時頃に平常の價に近い處まで戻つて暫らく變化を示さなかつたが丁度その時刻から極光が現はれたのである。日本の他の觀測所やイギリスの觀測所の記録を精査すると全く同一時刻に磁氣嵐が始まつて所謂突然變化（第 367 節）の現象を示した。

第三十七章 靜電氣

第 370 節 電氣概論

電氣に関する最初の知識は極めて古いが然し人體には電氣に関する特殊の感覺器官がないのでその十分なる認識は比較的に新しい。西洋で琥珀を摩擦すると、それが軽い紙片等を吸引することを知つたのは西曆紀元前 600 年頃のことだと傳へられて居る。此現象を英人ギルバートが調べて之に Electricity の名を與へた。これはギリシヤ語で琥珀のことをエレクトロン (Electron) といふからであるといふ。日本ではその音を越歴といふ文字で寫してエレキと呼んだが後には電氣と呼ぶことになつた。

電氣學の初期の領域は主として此摩擦によつて生じた電氣に関する研究であつたが、西曆 1789 年にイタリアのボローニヤ (Bologna) の生理學者ガルベニ (Galvani 1737—1798) が有名なる蛙の實驗で電氣の放電から電流といふ觀念を得、引續いて 1796 年にイタリアのパピアの物理學者ボルタ (Volta 1745—1827) が電池を考案して持続的に電流を發生し得る方法を發明したのが

實に電氣學に於ける劃期的の大革新を齎らし、その後の發展は實に目覺しかつた。ガルベニ以前の電氣學は電氣が靜止して居るときのものを主として居たので之を靜電氣學と呼ぶが電流の發見以後は所謂動電氣學で電氣の流動に伴ふ諸現象即ち電流の磁氣作用、熱作用、化學作用等の諸現象が闡明せられて、その應用は人類の日常生活を利すること甚大であり爲に電氣工學といふ工學の新部門を發展させた程である。

電氣に関する基礎的研究で最驚歎に値するものは蓋し電磁氣論であらう。之は電流と磁界との交渉に関するもので電流は磁界を作り磁界の變化は電流の變化を誘起することを論ずるもので之によつて光を一種の電磁氣波動なりと解釋すべきことを我等に教へたことを初めとして之が現代の世界をして電磁氣波の文化たらしめた如き觀あらしむるに至つた。電磁氣波の波長の長いものを感知する器官を身體に具備して居ない我等は電磁氣波の存在などは夢にも考へなかつたのに物理學の理論的研究は電磁氣波の存在を教へ、これを發生する方法を教へ之を感知すべき器械を教へ之を利用すべき方面を知らしめたのである。航空の問題は鳥の飛翔するのを見て彼の如く空中を自由に飛んで見たいとは誰人も夢みる處であるから、それが實現したといふに過ぎない。電磁波の實用は全くその成立を異にして居ることをよく認識すべきである。

第 371 節 二種の電氣

二つの異なつた物質を摩擦すると兩方に電氣が發生して軽い物體を吸引する。

此實驗には第 547 圖に示す如き、よく乾いた麥藁を一本の眞綿の纖維で吊した檢電器を使用するがよい。發電體を近づけると吸引せられて著しく動く。



第 547 圖 檢電器

摩擦するのは何でもよいが然し發電に都合のよい組合せがある。即ち封蠟

松脂等は猫の皮か羅紗で摩るがよく硝子ならば絹布で摩るがよい。此等を摩擦して別々に上の装置に近づけると常に吸引せられる。但し餘り強く吸引せられて發電體と麥藁とが接觸すると別の現象が起るから、それは後文の説明のときに譲つて今は吸引の事實のみを實驗して置くがよい。

摩擦によつて發生する電氣に二種ある。之を陽電氣、陰電氣と呼び $+$ 、 $-$ の符號を以て之を區別する。互に摩擦したのものには常に異名の電氣が發生する。即ち封蠟と羅紗とを摩擦すれば封蠟に $-$ 、羅紗に $+$ 、硝子棒と絹布とを摩擦すれば硝子に $+$ 、絹布に $-$ の電氣が起る。

同名の電氣は互に相反撥し異名の電氣は互に相吸引する。

此の事は磁氣にも同じ様なことがあつた。磁氣では一つの鐵棒を磁化すると、その兩端に南北異名の極が生じたのであるが電氣では摩擦した兩物體に別々に陰陽異名の電氣が發生するのである。

發電體の吸引、反撥を實驗するには乾いた絹糸で第540圖又は第547圖と全く同様に封蠟の棒を水平に吊したものを装置し此封蠟の棒 A を羅紗で摩擦して發電せしめ別の封蠟の棒 B を同じく羅紗で摩擦してから A に近づけると反撥するが羅紗の中を近づけると吸引する。又絹布で硝子棒を摩つて此棒を A に近づけると吸引するが絹布を近づけると反撥する。

之を要するに吸引か反撥かによつて異名か同名か \times 判定せられるので電氣には陰陽の二種あるのみである。陰陽の名は唯區別の爲に約束上附せられた名稱に過ぎないので何れを陰とし何れを陽とすべき理由はない。

摩擦によつて發生する電氣はそれぞれの物質に特有のものでは無く摩擦せられる相手の物質によつて定められる。次に示す序列中から任意の二つを取つて之を摩擦すると序列の前位にあるものが $+$ に後位にあるものが $-$ になる。

$+$ 猫皮 \rightarrow 硝子 \rightarrow 羅紗 \rightarrow 羽毛 \rightarrow 木材 \rightarrow 紙 \rightarrow エボナイト \rightarrow 封蠟 \rightarrow 絹 \rightarrow

シェラック \rightarrow 琥珀 \rightarrow 硫黄 $-$

即ち硝子は猫皮で摩すれば陰、羅紗で摩すれば陽に發電するのである。又順位の離れて居る程よく發電するのであつて上文に硝子と絹布、羅紗と封蠟の組合せを推奨したのは此故である。但し此序列は唯大體を示すのみで實は餘り價値のある信用すべきものではないことを注意して置く。

物體が帶電して居るとき、その陰陽を定める甚簡単な方法は光明丹 (Pb_3O_4) と硫黄の細粉とを殆等分に混合したものをモスリンの巾の篩の中に入れて篩ふと二種の粉が摩擦によつて帶電し赤い光明丹は陽に黄い硫黄は陰となるので篩から出て來る粉を驗査さるべき物體の上に篩ひかけて物體をボンボンと軽く叩くと若しそれが陽電氣を帶びて居たのならば光明丹は落されて硫黄が止まり物體の表面が黄色になり反對に物體が陰電氣を帶びて居たのならば光明丹で赤くなる。

單に言葉の使用上の習慣であるが本章の如き靜電氣を發生させるのを起電と云ひ後章にある電流を發生させるのを發電といふ。それから物體に電氣がかゝつて居るのを帶電その電氣の量を荷電といふ。

第372節 電氣の量 クーロンの法則

第358節に於て磁極間の引力及び斥力に就てクーロンの法則を述べたがクーロンは全く同じ形の法則が靜電氣の場合にも當てはまることを見出した、此二つの場合は外形に於て全く同じ關係であるから今は一々之を説明することを省略するが先づ電氣量の單位を定め、それから電氣量 e 及び e' が距離 d の所にあれば其間の力 f は真空中に於ては、比例定數を1として

$$f = \frac{ee'}{d^2}. \quad (372)$$

で與へられることを知るのである。 f の方向は e, e' を連ねる直線上にあつて e, e' の符號が同じなれば f は斥力、反對なれば引力であること等全く前と同

様である。

尙 e, e' が各一點上にあれば上記の通りであるが両者が或大さのある所に擴がつてあれば e が e_1, e_2, e_3 等の集まりであるとする事も前同様である。

甲乙二つの物體を摩擦すると甲に起る電氣量 e と乙に起る電氣量 e' とは符號が反對であることは既に學んだが甲乙兩體に發生した電氣量は相等しいのである。即ち $e+e'=0$ である。此事は甲乙兩體を摩擦した儘之を引離さず一體として第 547 圖の裝置に近づけて見ても吸引せられないので窺ひ知られる。尙後文第 377 節参照。

電氣量の單位は磁氣量の單位と同様にそれぞれ (372) 式及び (358/5) 式によつて理論的に定めるのである。磁氣の場合には第 358 節に詳説した如く相等的な二つの磁氣 $m=m'$ が真空中に於て一繩の距離に置かれたときに 1 ダインの力が作用するものであつた。電氣量の單位も同様に (372) 式に於て $e=e'$ なる二つの電氣を真空中に於て $d=1$ 繩の距離に置いたときに兩者の間に 1 ダインの力が作用するものである。これが電氣量の C. G. S. 單位 (第 12 節) である。之には特別の名がつけて無い。

實用には此單位は餘りに小さいので其 3×10^9 倍即ち三十億倍を以て實用單位とし之を 1 クーロンと命ずる。尙第 400 節を参照せよ。

今後に記述する實驗によつて (第 395 節, 第 510 節等) 知られたことであるが自然界にある電氣量が實在し得る量に最小限度がある。之を電氣素量と呼び恰も質量で言へば原子の質量の如きものである。此素量の大きさは 1.60×10^{-19} クーロン即ち靜電 C. G. S. 電氣量の 4.80×10^{-10} である。

第 373 節 電氣の傳導

第 547 圖の裝置で發電體を麥藁に近づけて吸引させるとき兩者が接觸しない程度にせよと注意し若し餘り接近させた爲に兩者が接觸すると別の現象が起る

と説いたが、それは接觸すると發電體の電氣量の一部が麥藁に移行して藁が電氣を帯びるからである。之を藁が傳導によつて帶電したと云ふ。然るときは麥藁と元の發電體とは同名の電氣があるから兩者の間に斥力が働き麥藁は發電體から遠ざからんとして逃げまはる。磁氣には傳導の現象はなく磁氣が流動することは無い。尙靜電氣學では電氣の流動して居る間のことは取扱はない。

電氣を傳導する物體を導體といひ然らざるものを不導體といふ。第 547 圖の麥藁を吊すに用いた眞綿は不導體であるから麥藁の電氣が之を傳はつて他へ移行することがない。換言すれば不導體は電氣が他所へ移行することを妨げて他物體との縁を遮斷するとも言へるので之を絶縁體といふ。金屬は非常に良い導體である。又大抵なものはそれが多少とも濕氣を帯びて居ると導體である。硝子は本來絶縁體であるのだけれど硝子といふものは非常に大氣中の濕氣を其表面に凝着する特性があつて水の薄膜で蔽はれてある如くであるので特別に之を熱するとか又は無水アルコールで拭ふとかしないと此水分の爲に恰も硝子が電氣の導體の如くに見えることが多い。

帶電して居る物體に直接手を觸れる (或は手に持つた導體で觸れても) と電氣は人の身體を傳つて他に逃げて帶電體の電氣は消失して仕舞ふ。此電氣の逃げて行く先は普通大地だとして之を接地によつて電氣が失はれたといふ言葉を用ゐる。若し第 547 圖の麥藁を吊す糸が導體であると藁が發電體に接觸しても電氣は地に逃れ去るから反撥作用は起らない。

第 371 節に掲げた摩擦によつて發電する物質の表の中に金屬が載せてない。之は實は金屬が發電しないのでは無くして發電はするがその電氣が人の身體を経て逃げ去るのである。故に金屬に絶縁體の柄を附し此柄を持つて摩擦して見ると金屬でもよく發電するのである。

絶縁した導體に傳導によつて電氣を與へると此電氣は流動して平衡状態に落付く。平衡状態に於ては電氣は導體の内部にはなく表面にのみ流布して擴がつて居る。導體の表面に於ける電氣量の分布の狀況は表面の各所の彎曲の程度

によつて支配せられ凸にして彎曲の甚しい所に多い。電氣が導體の表面にのみある理由は同名の電氣が互に相反撥するからであると解釋してよい。

導體が球であると平衡状態に於ては電氣は球の表面に均等に分布せられて居る。

電氣が導體の表面にのみ存在することを實驗したり又導體の表面に於ける電氣の分布の状況を調べるには**検査棒**と呼ぶ小器具を使用するがよい。之は第

548 圖に示す如き絶縁體でつくつた長さ數寸の棒でその一端には小さい金屬片 M が附してある。此棒を把つて M を帶電體の検査したい部分の表面に接觸して帶電體



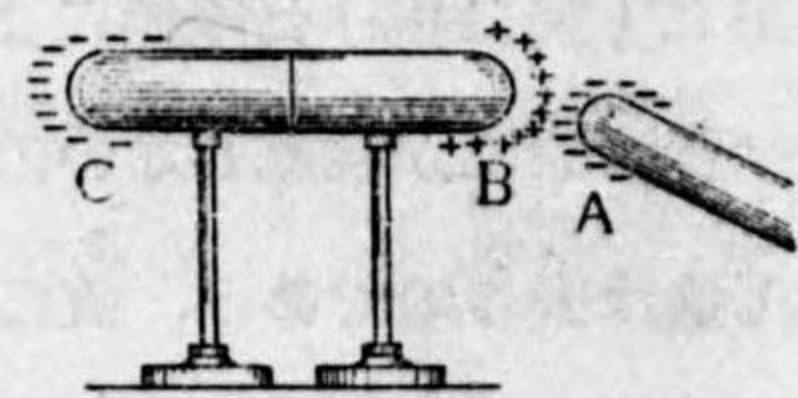
第548圖 検査棒

の電氣を M に分ち取つてそれを第547圖の麥藁に近づけて見ればよい。麥藁に豫め電氣を與へないで置いて M を近づけて見ると M 藁が吸引せられれば M に電氣があるのであるし若し藁に豫め陰陽何れか既知の電氣を與へて置いて M を近づけるとその吸引か反撥かによつて M の電氣の符號が明にせられる。尙第376節を見よ。

第374節 電氣の誘導

磁氣に誘導の現象があつたが電氣にも同様のことがある。即ち帶電して居ない絶縁された導體に一つの帶電體 A を近づけると導體に電氣が現はれる。即ち A に近い所に異名の電氣、遠い所に同名の電氣が現はれる。

之を實驗するには導體として圖に示す如き二つの絶縁した導體 B, C を接觸して一體として



第549圖 靜電氣の誘導作用

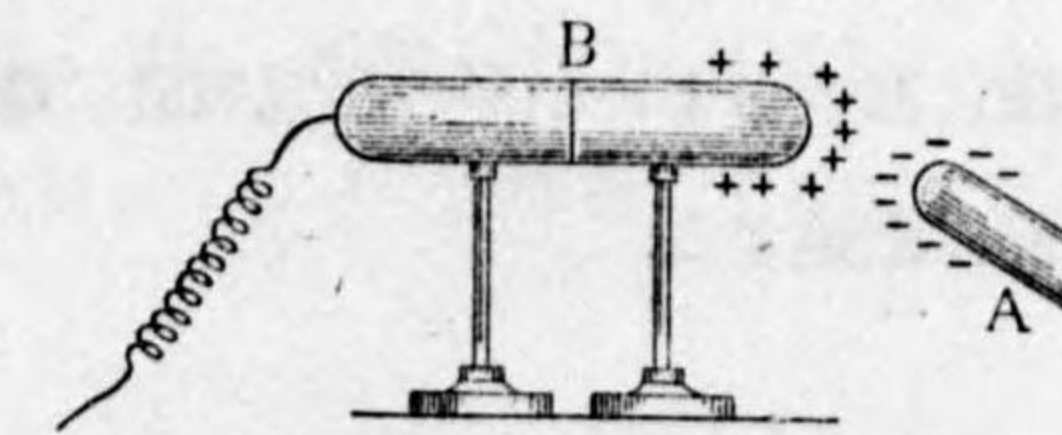
之に帶電體 A を近づけるがよい。而して誘導による電氣の陰陽を調べるには前節に記した検査棒と檢電器(第547圖)とを使用するがよい。即ち先づ檢電器に電氣を與へないで置いて検査棒を導體 B, C の中程の所に觸れて此所に

は電氣のないことを知り次に検査棒を B の A に近き所と C の A から遠い所とに觸れて此等の場所では帶電して居ることを確かめればよい。次に B と C との電氣の符號を定めるには檢電器に既知の電氣例へば陰電氣を與へ置き、それから(1)検査棒を導體 A に觸れて(第549圖に於ては陰に帶電してある)その陰陽を確かめ、次に(2)検査棒を B に觸れてその電氣の符號を調べ、終りに(3)検査棒を C に觸れて検査すればよい。

上記の如く導體 B 及び C に電氣が現はれて居るときに A を遠ざけると B, C は元の無帶電の状態に戻ることは同じく検査棒によつて知られる。此事實は誘導によつて現はれた電氣は陰と陽とがその量の等しいことを示すので B に現はれた陽電氣と C に現はれた陰電氣とが共に傳導によつて B, C の全體に擴がつて陰陽中和して仕舞ふからである。

以上の實驗では導體 B, C を二つにして置く必要はないのであるが次の實驗の爲に二つにして置いたのである。即ち B, C を接觸させて置いて帶電體 A を近づけて前記の如く B に陽 C に陰電氣が現はれた所で A をその儘にして C を B から離して二つの絶縁導體とする。勿論離しても B は陽 C に陰に帶電して居る。そこで A を遠ざける。斯くすれば B の陽電氣、 C の陰電氣はそれぞれ傳導によつて各自の全體に擴がるが兩者間の交通が絶たれて居るから中和することはない。検査棒を以て此二つの離れたる絶縁導體 B, C の電氣の符號を別々に調べて見るがよい。

次に第550圖に示す如く導體 A の前に絶縁體 B を近づけその兩端に誘導電氣を生ぜしめて後 B の A から遠い端を接地すると陰電氣は大地に逃



第550圖 誘導作用を利用して絶縁した導體に帶電せしめる

れ去る。それで尙 A をその位置に保つて B と地との連絡を絶ち B には陽電氣のみが残つて居るとき A を遠ざけると陽電氣は絶縁してある B の全表

面に擴がつて結果として陽に帶電した導體 B を得る。此操作を誘導によつて導體を帶電せしめるといふ。

導體 B を誘導によつて帶電せしめると A と反對の符號の電氣を得るのであるが若し B を A に接觸して傳導によつて帶電せしめると A と同符號の電氣を得る。此相違をよく了解するがよい。

傳導による帶電の順序を第 549 圖によつて少しく委しく考へて見よう。絶縁導體 B, C (之を一體として B とする) に帶電體 A を近づけると先づ起るのは誘導現象で第 549 圖に示す通りである。そこで A と B とを接觸すると B の陽電氣 $+e$ は A の陰電氣の一部分と中和して消失し A は $-e$ を失ひ B には陰電氣 $-e$ が残る。その結果は A の陰電氣が B に移行したのでこれを傳導によつて帶電したと見るのである。帶電體を第 547 圖の檢電器の麥藁に近づけるときも同様で先づ起るのは誘導によつて藁に陰陽の電氣が等量に現はれる。然し帶電體から距離が兩者違ふので近い方の吸引力が優勢で藁は帶電體に吸引せられ終には接觸するに至る。接觸すると藁には同名の電氣が残つて一見傳導によつて帶電した形になつて反撥せられる。

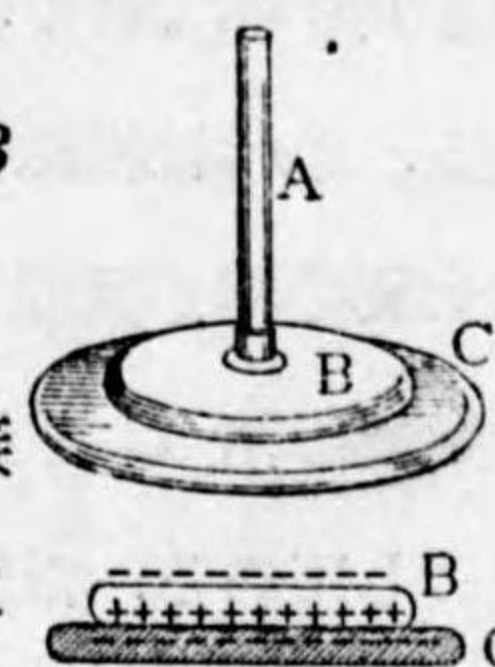
機械的に多量の電氣を發生せしめる装置がある。即ち摩擦による摩擦起電機や誘導によるウヰムスハースト (Wimshurst) の誘導起電機の類である。然し今日では此等の機械は餘り重要でないから、その説明を省略する。然し種々の實驗に都合のよい小形の起電装置に電氣盆といふ装置があるから、それだけを次節に記述する。

第 375 節 電氣盆

電氣盆は松脂又はエポナイトの如き絶縁體で作つた丸盆の形をした圓盤 C と丁度その上に適合する様な金屬圓板 B に絶縁體の柄 A を附したものとから

成る。之を使用するには先づ圓盤 C を猫皮又は羅紗で強く摩擦して陰に起電させる。次に B を C の上に載せると B の下面に陽電氣、上面に陰電氣が誘導によつて現はれる。

B, C の相對する面は研磨してあるのでなく唯數點で直接接觸して居るのみである。此接觸點では C の陰電氣が傳導によつて B に移行するが C は不導體だから接觸點の周圍に



第 551 圖 電氣盆

ある少し離れた所の陰電氣は移行することはないので、 B の電氣は主として C からの誘導によるものである。そこで B の上面に指を觸れて接地して上面の陰電氣を地に逃れ去らしめ柄 A によつて B を取り上げると B の下面の陽電氣は全體に擴がつて陽に帶電した一つの導體 B が得られ之を何所にでも持ち行き實驗の用に供することが出来るのである。而して此装置の便利なことは C の陰電氣は元の通り存して居るから何回でも繰返し B に陽電氣を與へることが出来るのである。

電氣盆では相當多量の電氣が得られるので B を軽い物體に近づけると盛に飛びついて來て直に又跳ね返される。又之を他の物體例へば人體に近づけると B に面した所に陰電氣を誘導させ B の陽電氣と人體の陰電氣とが強く相吸引し距離が近ければ微かな音と小なる火花とを出して陰陽相合して消失する。此陰陽相合して電氣が消失することを放電といふ。

陰陽の電氣が相離れて對向して互に吸引して居るときには其所に位置のエネルギーが蓄へられてあることは説明する迄もない。距離を小にして吸引を許し放電して電氣が消失すれば今迄の電氣的な位置エネルギーは變形して音のエネルギー又は光のエネルギーとなる。

第 376 節 檢電器

檢電器は電氣の有無及びその陰陽を知るに使用せられる装置で第 547 圖のも

のも其一種である。検電器の最便利で鋭敏なものは第 552 圖に示す箱検電器である。これは絶縁體の口栓を有する硝子瓶で栓には金属の棒が貫通してあつて、その下端には二枚の金属の箔 C を並べて吊し上端 B は球又は圓板にしてある。此箔は以前は黄金の箔を使用したのが今日はアルミニウムの箔の方が軽くてよいから専ら之を使用して居る。又硝子は前に記した如く



第 552 圖 箱検電器

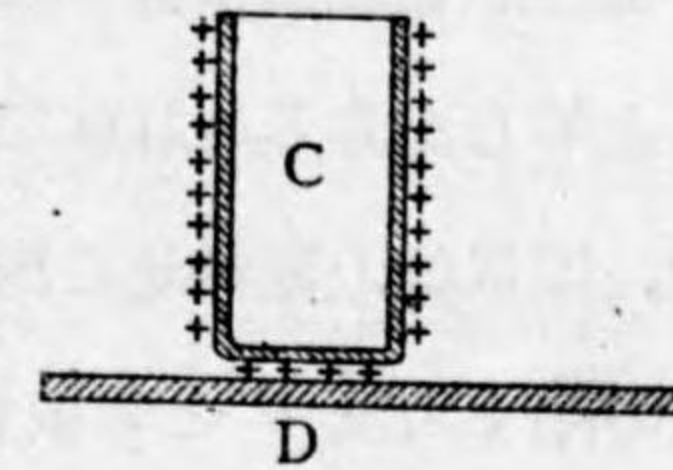
その表面に空気中の水分を凝着して絶縁が不良となるから濕つた外気が瓶内に入らぬ様に栓は氣密にし尙瓶の中に濃硫酸を輕石に浸ませたものか或は鹽化加里或は五酸化磷の如き乾燥剤を入れて瓶内を乾燥して置く。

此器を使用するに二通りの仕方がある。その第一は先づ B を接地して二枚の箔を下垂せしめ置き次に B に檢せんと欲する帯電體を接觸して検電器を傳導によつて帯電せしめると二枚の箔が帯びた同名の電氣は互に反撥して開く、此開く角度の大小によつて帯電の強さを判断する。此際帯電體を B に觸れしめなくても近づけさへすれば誘導によつて C の所に電氣が起り、それで箔が開くから之によつて判断してもよい。 B と帯電體との距離を變ずると開く角度は變化することは勿論である。

以上の使用法では帯電の有無は知れるが陰陽の判断は出来ない。これを爲すには第二の使用法によるのである。先づ傳導又は誘導によつて検電器に陰又は陽の既知の電氣を與へ置き箔 C の開く角度を見る。次に檢せんと欲する帯電體を B に近づけるか或は接觸すると検電器と帯電體とが同名なれば箔の開く角度は増大し異名なれば減少する。

箱検電器と第 373 節に記した検査棒との組合せは電氣の種々な實驗を行ふのに大に役に立つものである。導體に電氣を與へてもその内部にはなく唯表面にのみ宿ることや導體の表面に於ける電氣の分布が彎曲の程度によつ

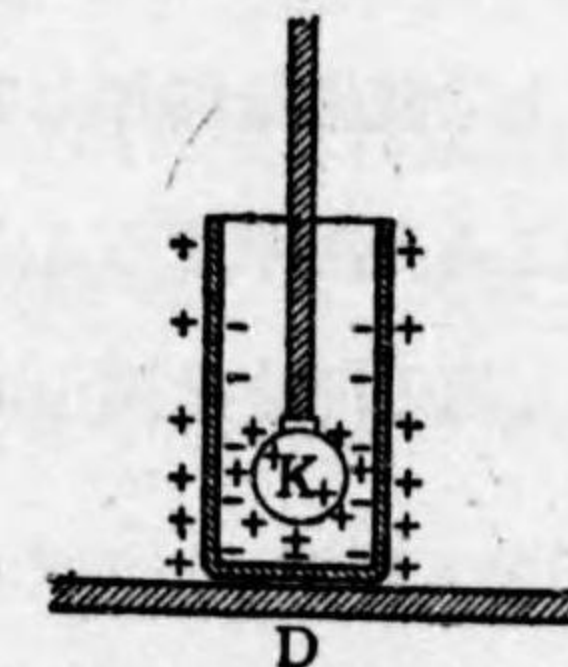
て一様でないことなど(第 373 節)を實驗するのに適して居る。例へば電氣が導體の表面にのみ宿ることを實驗するには茶筒のブリキ罐 C を絶縁板 D の上に置き傳導によつて之に帯電させ検査棒を罐の内外に順次に觸れて箱検電器で調べて見る。但し實は此實驗は罐の上が開いて居らず金属の蓋がしてあるのが理想的なのであるが開いて居ないと検査棒を入れられないから已むを得ず開いた儘で行ふのである。小さな穴のある蓋をして、その穴から検査棒を挿入してやれば上等だ。



第 553 圖 内空導體に於ける電氣の分布

第 377 節 ファラデーの實驗

ファラデー (Faraday) が始めて行つたブリキ罐の實驗といふのがある。前節の第 553 圖の如く罐詰の空罐か茶筒のブリキ罐 C を絶縁板 D の上に置く。絶縁した金属球 K に陽電氣を與へたものを罐の中に入れると誘導によつて罐の内側に陰電氣、外側に陽電氣が現はれる。



第 554 圖 内空導體中に帯電體を入れたときの誘導

前節の實驗では内側には電氣が無かつたが唯今は K の陽電氣が罐の内側に陰電氣を呼び出してそれを拘束して居るので内側に K と反對の帯電がある。尙此實驗にも罐の上は蓋があるのが理想的である。

扱て此罐の外側を豫め針金を以て箱検電器と連絡して置いて此實驗を行ふと箔は勿論或角度だけ開く。ファラデーの實驗の面白い點は此時罐内に於て K の位置を變じても箔の開き方は一定で何等の變化を示さないことである。箔の開きは罐内にある絶縁導體の電氣量のみで決定せられることである。若し K に $+e$ の電氣があるとし更に $+e'$ の帯電量を有する第二の K' を入れると箔は $e+e'$

の電氣量に相當する開きの角度を示し、若し後に入れた e' が $-e$ であると箔は閉ぢて仕舞つて $e+e'=0$ なることを示す。

故に此實驗法は假りに e を電氣量の單位とすれば後に入れる K' の e' を e と等しからしめれば二單位の電氣に對する箔の開きを知り同様にして三單位、四單位の電氣量に對する箔の開きが知れるのである。斯くして電氣量 e と箔の開く角度 θ との數量的關係が明かになつて結局電氣量は計測し得ることを示すのである。

此實驗の續きとして罐内に入れた球 K を罐の内側に接觸させて見よ。然るとき K の陽電氣と罐の内側の陰電氣とが中和して消失し罐の外側の陽電氣のみとなるが檢電器の箔は依然として元の通りの角度で開いて居る。之は K に $+e$ の電氣があると罐の内側には $-e$ 、外側には $+e$ 電氣を誘導發生し内側の $-e$ が消失しても外側の $+e$ は依然として存在することを示すのである。

上の装置を利用して摩擦によつて生ずる甲乙二物體に起る電氣量の相等しいことを證明することが出来る。それは摩擦した甲、乙を別々に罐中に入れると箔の開きは同一で甲乙を同時に入れると箔の開きは零となるので明かである。

第 378 節 電界

磁石の周圍に磁界がある如く帶電體の周圍には電氣力の作用する電界がある。そして第 361 節の磁界のときと同様に指力線や等ポテンシャル面などを考へてよい。然も二つの場合には共にクーロンの法則が當はまるのであるから數量的の計算は全く同じである。唯異なる點は電氣には傳導といふ現象があるから電氣が移行しつゝある間は指力線が之に伴はれて動き等ポテンシャル面も亦動くことである。平衡状態に落付いて仕舞つて電氣が動かなくなつて仕舞つて

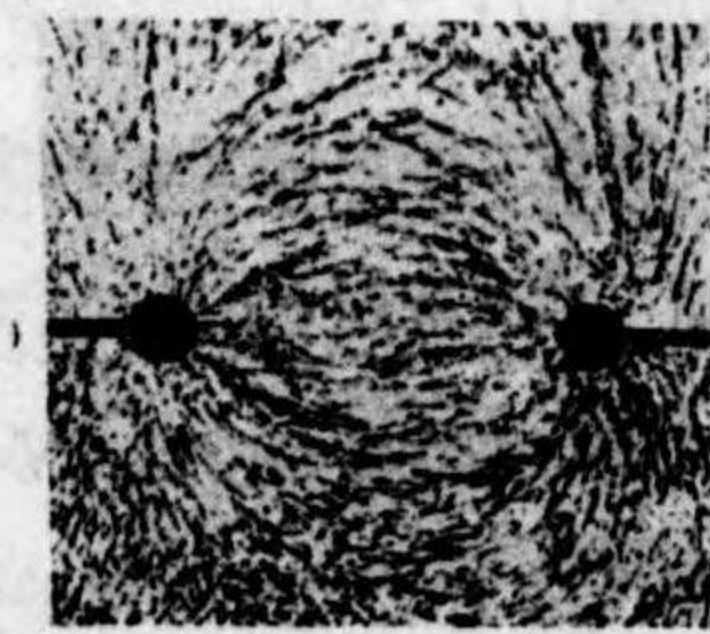
からは電界も磁界も兩者全く同様の外觀を有する。

例へば一點 O に e の電氣量があると、それより無限遠のポテンシャルを $V_\infty=0$ とすれば O より r の距離にある一點 P のポテンシャルは $\frac{e}{r}$ であつて e が陽なれば單位陽電氣を無限遠から P まで持つて來るには斥力に抗して $+\frac{e}{r}$ の仕事を要し若し e が陰なれば引力に働かれて $-\frac{e}{r}$ の仕事を得られるのである。

電氣でも磁氣でも力界内に於て（電氣なれば陽電氣に磁氣なれば北極に）作用する力の方向はポテンシャルの高い所から低い所に向ふのであるから指力線は高いポテンシャルの所から低いポテンシャルの所に向ひ等ポテンシャル面に直交することは既に説いた通りである。

扱て電氣には傳導の現象があり物體には導體があるといふ事から産れる特異の事實は電氣の平衡状態に於ては導體の表面は一つの等ポテンシャル面なりといふ事柄である。何となれば若し導體の表面中にポテンシャルの高い所と低い所とがあるとすれば陽電氣は高い所から低い所に向つて（陰電氣なれば逆に低い所から高い所に向つて）流れる筈であるからである。流れ終つて平衡状態に落つけば全表面が同一ポテンシャルになる。此故に逆に等ポテンシャル面を以て之を導體の表面なりと見て差支ない場合がある。此考を應用して種々の面白い數量的知識が得られる。之を次節に於て説明しよう。

鐵粉を以て磁界の指力線を具體的に示したと同様に電氣の指力線を示すことが出来る。その法は絶縁性のよい油の中に硫酸キニーネの細かい針狀結晶を攪拌浮遊させ置き油の中に帶電體を入れるとキニーネの小さい針が整列して指力線を示すのである。



第 555 圖 異名の電氣量の間の指力線を示す實驗

電氣ポテンシャルを電位といふ。電位の C. G. S. 單位は C. G. S. 單位の

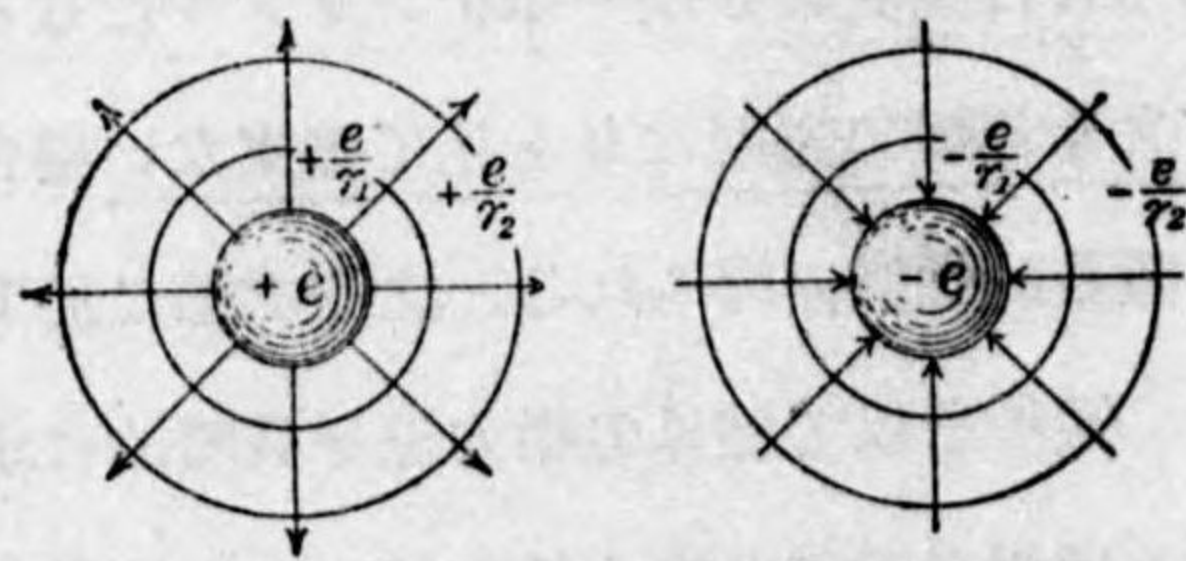
電氣量を動かすとき C. G. S. 単位の仕事 1 エルグ (第 118 節) を爲せば電位が一単位だけ昇り又は降るのである。實用には第 372 節の 1 クーロンの電氣量を一點から他點に動かすとき 10^7 エルグ即ち 1 ジュール (第 118 節) の仕事を要するものを二點間の電位差の實用單位とし之を 1 ヴォルト (Volt) と呼ぶ。1 ヴォルトは C. G. S. 単位の $10^7 \div 3 \times 10^9 = \frac{1}{300}$ に相當する。單位名としてのヴォルトは V 字で書き表はす、例へば三十五ヴォルトは 35V と記すが如きである。尙第 400 節を参照せよ。

第 379 節 特殊の帯電導體二例

一點 O に電氣量 e がある、その周囲の電界は O を中心とした等ポテンシャル面の球と之に直交する直線即ち球の半径なる指力線とで表はされる。O から距離 r にある一點 P に於ける電界の強さは $F = \frac{e}{r^2}$ であり電位は無限遠に於て $V_\infty = 0$ なりとすれば P に於ける電位は $\frac{e}{r}$ である。若し e が + ならば指力線は O から均等に輻射的に發散し、- ならば O に向て收斂するが電界の状況を圖示する爲めに指力線の

描き方を次の如く定める。

O を頂點とする全立體角は 4π であるが若し O に單位電氣量があるならば各單位立體角毎に一本づゝ指力線



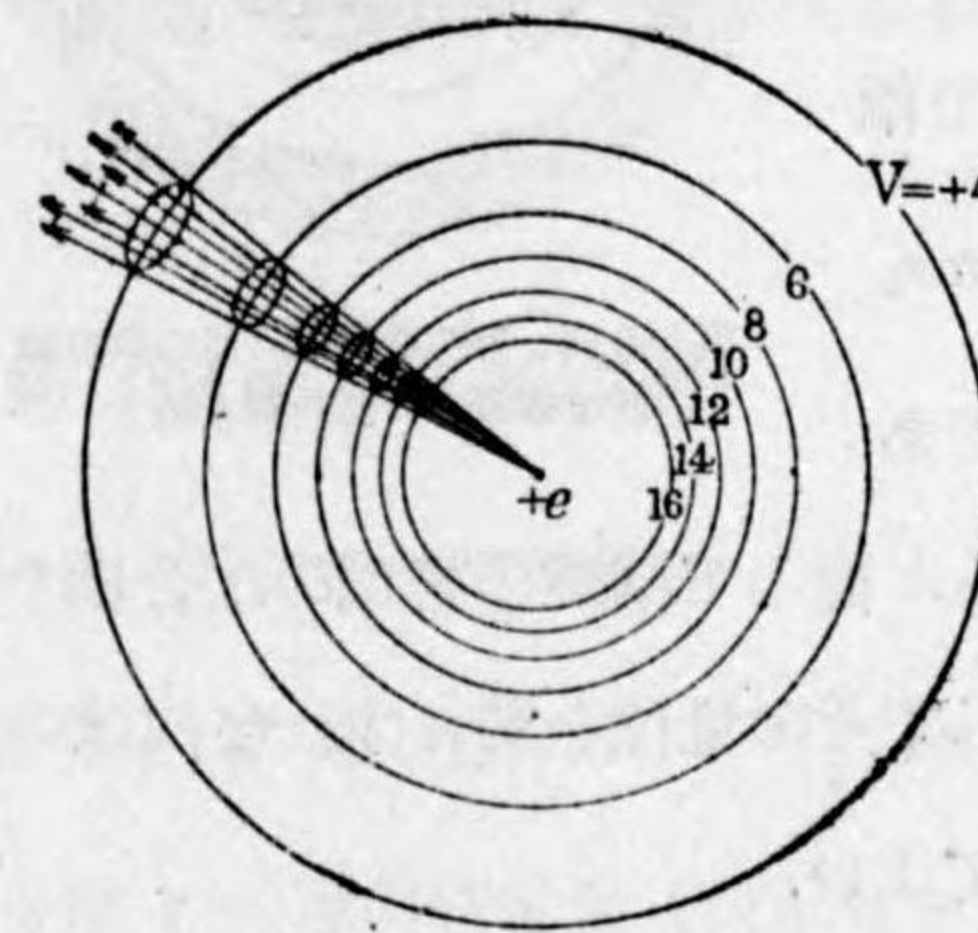
第 556 圖 球の周囲の等電位面と指力線

を描き電氣量が e ならば (第 556 圖) e 本づゝの指力線を描くことにするのである。故に全立體角では $N = 4\pi e$ 本の指力線を均等に輻射させるのである。斯くすると P を通ずる等電位球面の全面積は $4\pi r^2$ であるから、その單位面積を過る指力線の數は $N \div 4\pi r^2 = \frac{e}{r^2}$ で恰も電界の強さ F に等しい。故に今後此描き方を採用して總ての場合に指力線の數で電界の強さを表はすことにする

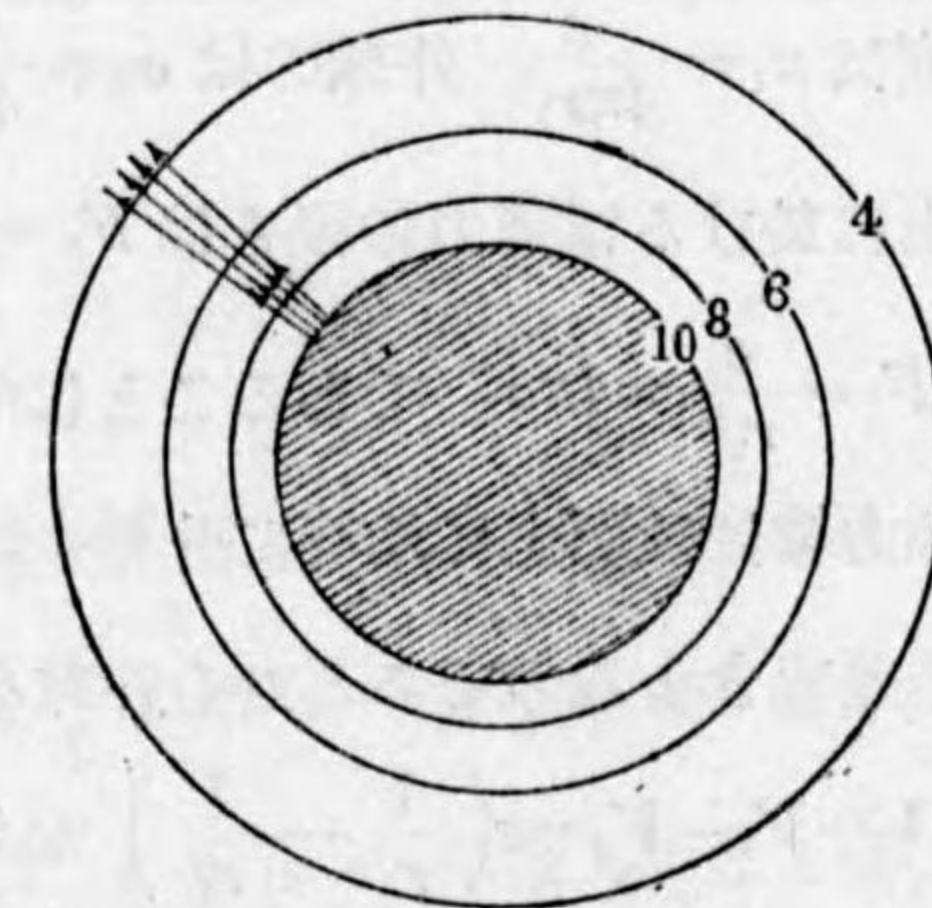
今此等の等電位面の一つ例へば半径 r で $V = \frac{e}{r}$ (第 558 圖ではこれを $V = 10$ とした) のものを第 559 圖の影をつけた導體の表面なりとすればそれは一個の孤立した球形導體の作る電界になる。導體球の内部には電氣が存在しないので指力線も等電位面も



第 557 圖 單位面積の指力線の數で電界の強さを示す



第 558 圖 指力線の數



第 559 圖 導體から出る指力線の數

消失して球の外部の電界は全く元の +e が中心 O にあるのと同じである。此球の全表面にある電氣量は e であるから單位面積の上には

$$\sigma = e \div 4\pi r^2 \tag{379/1}$$

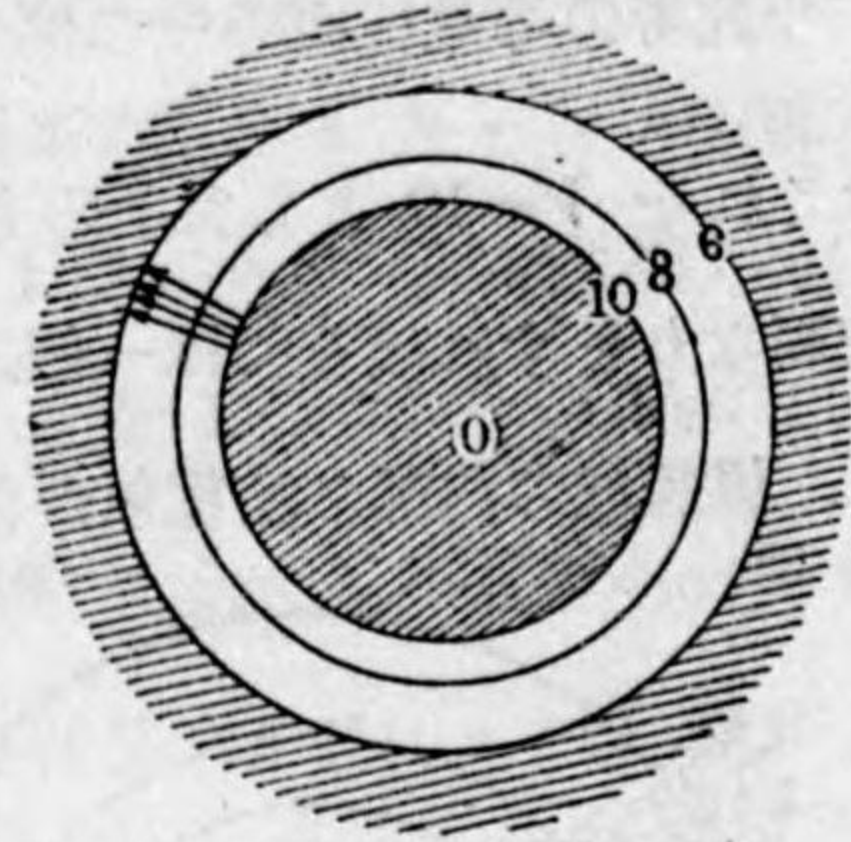
の電氣が均等に分布せられてある。σ を電氣の表面密度といふ。而して球の表面に於ける電界の強さ即ち單位電氣量を外方に球面に垂直に押しやらんとする力は、 $F = \frac{e}{r^2}$ で、それは

$$F = 4\pi\sigma \tag{379/2}$$

と書き改めることが出来、そしてこれが單位面積を過る指力線の數に等しいことは前既に説いてある通りである。

次には O 點を取り巻く等電位面の半径 r_1 r_2 のもの二つを導體の表面として見る。第 560 圖では假に半径 r_1 で電位が $V_1 = \frac{e}{r_1} = 10$ としたものと半径 r_2 では $V_2 = \frac{e}{r_2} = 6$ としたものが導體の表面になつたとしてある。即ち半径 r_1 の實球の外に半径 r_2 の中空球が共同の中心 O を以て之を包圍してあるの

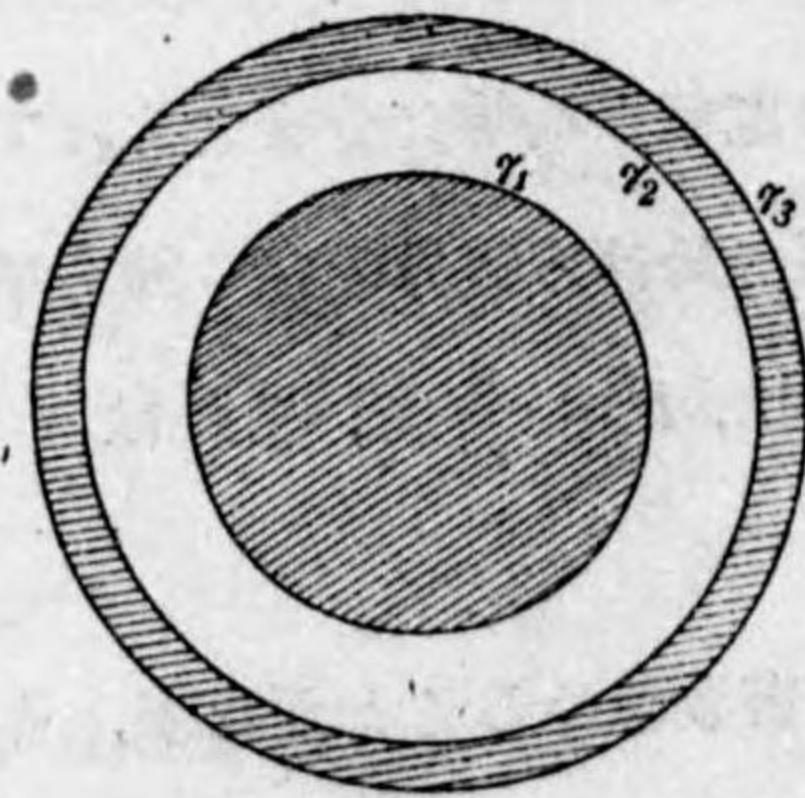
で實球と中空球との二つの導體が向き合つて居て導體の中には指力線も等電位面も消失して居るのである。然し兩球の間の電界は一點 O にある e の作る電界と同じものであつて内球、外球共に e だけの電氣量があるから内球の表面密度は $\sigma_1 = \frac{e}{4\pi r_1^2}$ 外球のは $\sigma_2 = \frac{e}{4\pi r_2^2}$ で兩球面上に於ける電氣力の強さは $F_1 = \frac{e}{r_1^2} = 4\pi\sigma_1$ 及び $F_2 = \frac{e}{r_2^2} = 4\pi\sigma_2$ であることは前同様であ



第 560 圖 球形帶電體と同心中空球狀帶電體との間の指力線

り、指力線は球面上に均等に分布されてある。而して兩球の帶電の工合はその電位の差できまるのであるから外球を接地してその電位を零とすれば内球の電位は $V = V_1 - V_2 = e\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ なりと見てよい。

上の如く半径 r_1 と r_2 との等電位面を導體の面としたのでは内の導體は球だが外の導體は無量大の導體でその中に半径 r_2 の球形の穴があるのだから變だと思つたら r_1, r_2, r_3 三つの半径の球面を導體の面とした第 561 圖の如きものとしてもよい。斯くすれば一の中空球 A が實球 B を包んだものになり外の中空球を接地しても r_1, r_2 間の空所に於ける電界は上記の通りである。



第 561 圖 同心中空導體 A と球形導體 B

以上の二例は全く特殊の場合であるが一般の場合に於ても總て導體の表面に於て電氣の密度が σ であると其所の電氣力は表面に垂直でその大きさは $F = 4\pi\sigma$ になるのである。

第 554 圖の ファラデーの實驗に於て球 K の帶電が $+e$ ならば此球から全體に於て $4\pi e$ 本の指力線が出てその末端は罐の内面（罐の上に蓋がしてあるとする）に終つて居るから罐の内面の全帶電は $-e$ である。此事を誘導と名づ

けたので指力線には始めと終りとがなければならぬからである。此 $4\pi e$ 本の指力線の分布は K の位置によつて變化し K が右側に偏在すると多くの指力線は K の右側から發散して之に對向する罐の局部に終るので罐の内面の電氣の分布は均等でなく表面密度 σ は場所によつて違ふ。

電氣が導體の表面を動いて全表面が等電位面になるまでには指力線が同時に電界の中で動く

第 380 節 電氣容量

一點 O にある電氣量が e なるとき（第 556 圖）、之に電氣量を供給して e' とすると P 點の電位は $V = \frac{e}{r}$ から $V' = \frac{e'}{r}$ に昇る。故に第 559 圖の孤立した半径 r の球の帶電量（荷電とも言ふ）を e から e' に増大すると球の電位は V から V' に昇る。即ち球の電位は帶電量が大きなる程高くなるのであつて電位を一單位だけ高めるに要する電氣量は

$$C = (e' - e) \div (V' - V) = r. \quad (380/1)$$

である。即ち電位の變化は荷電の變化に正比例しその比例定數が r に等しい。故に球が小なれば電位は容易に變化し球が大なれば多量の電氣を供給しなければ電位は昇らない。

一體電位といふ觀念は電氣のかゝつて居る状態の強弱の程度を表はすものと見てよい。電位を大小と言はずして高低と言ふのは之によるのであつて電位の高い導體とはその電氣作用が顯著なものであつて電界外から陽電氣を此導體まで持來さんとする強い斥力を以て近づくことに反抗し陰電氣を近づけると大なる力を以て之を吸引するので電氣作用が極めて旺盛なものである。

凡そ量には強弱の程度を表現する爲のものと分量の多少を舉示するものとの二種ある。水を容れた器の中の水位の高低又物體の溫度や氣體、液體の壓力の如きは前者に屬し、水量、熱量の如きは後者に屬する。電氣現象に於ては電位が前者で電氣量即ち荷電が後者に屬する。

或一つの定まつた物では例へば水を容れた一定の器では水量を多くすれば水位が高まり器底の壓力は強くなり或一定の物體に熱量を多く與へる程温度が高くなるが異なつた場合を比較すると例へば水の容器が直立した管の如き場合には少量の水で水位が著しく昇り、底面積の廣い器では多量の水を注入しても水位が中々昇らない、又熱でいふと比熱の小なる物質で作つたもので且つ質量の小なる物體は少量の熱の供給によつて温度は忽ち著しく昇り反對の場合には温度が中々昇らない。卑近な例をいへば酒を多量に飲んでも中々酔ひの度の淺い人もある。

前文に示した所によると球形の導體に於ては半径の小なるものは電位の變化が著しく少量の電氣を供給すれば之を高めることが出來之に反して半径の大なるものは電位の變化が小である。之を計量する比例定數 C を球の電氣容量といふ。容量といふても導體の中に容つて居る電氣の總量を指して居るのではなく容量の大なりといふのは電位の昇り悪い換言すれば或電位にする迄には多量の電氣を容れ得るといふ意味である。恰も酒量の大なる人といふのは中々酔はぬ人を指すのに似て居る、又中々昂奮したりせぬ人を度量の廣いといふのに似て居る。孤立した球の電氣容量は半径に等しい。

次に第560圖に示した同心球の電氣容量を計算して見よう。電氣量が e のときには内外球間の電位の差は

$$V = V_1 - V_2 = e \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

で電氣量を増して e' とすれば電位の差は

$$V' = V'_1 - V'_2 = e' \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

である。此場合には空球を接地して $V_2 = 0$ として内球の電位は $V = V_1$ なりとしても一向差支はないことは前に述べた通りである。扱てそこで e を増して e' とすれば内球の電位は V から V' に高まるのであるから内球の電位が一單位だけ昇るに要する電氣量は

$$C = \frac{e' - e}{V' - V} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}} = \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (380/2)$$

で此 C が第561圖の同心二球の電氣容量である。之によると C を大ならしめるには (1) $r_2 - r_1$ が小即ち兩球面の間隔が小さく (2) r_1 及び r_2 が兩者共に大即ち相對する球の面積が大なる方がよい。

今内球の半径を r とし内外球の間隔を d とすれば $r_1 = r$ $r_2 = r + d$ であるから同心球の電氣容量は (380/2) を變形して

$$C = \frac{r r_2}{r_2 - r_1} = \frac{r(r+d)}{d} \quad (380/3)$$

である。之を第559圖の孤立した一個の同じ半径 r の球の電氣容量 $C = r$ (380/1) と比較すると

$$C : C' = d : r + d.$$

であつて d が小なれば如何に後者の容量が大なるか知られる。今兩者を共に同一電位 V にするに用いた電氣量 e, e' を比較すると

$$e = VC = Vr,$$

$$e' = VC' = V \frac{r(r+d)}{d},$$

$$e : e' = d : r + d.$$

ある。故に兩者の V が相等しく即ち、同一程度に電氣がかゝつて居るとすると如何に後の者が多量の電氣を蓄藏して居るか知られる。

一般の場合にも同様の事があつて廣い面積を有する二つの導體 (上記の内外球の如く) が小なる間隔を以て相對向して居ると電氣容量が大であつて此の如きものは多量の電氣を蓄藏するに適して居る。故に之を蓄電器といふ。ライデン瓶やラジオに使用する可變蓄電器はその例である。

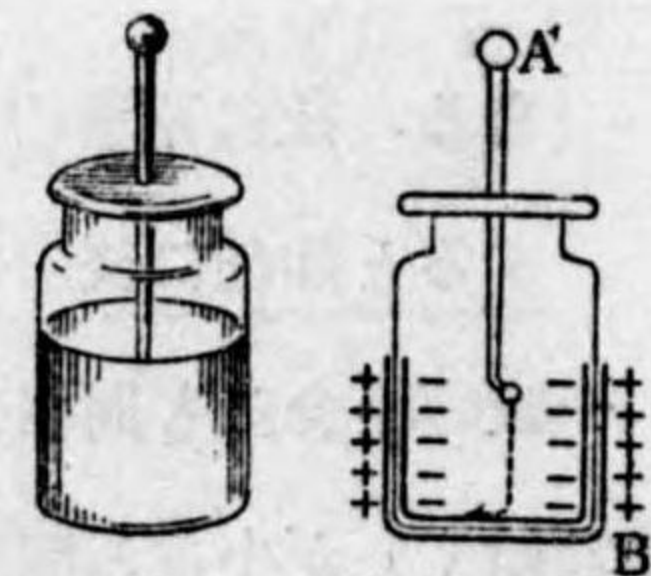
本節に説く如く帶電體の電位の高低は水位の高低の如く電氣又は水の流れ行く方向を決定するものであるから電位差を電壓と呼ぶことにする。流れ行く方向は電位、水位、温度、壓力の高い方から低い方へ行くので量の多少で定まるものではない。數百リットルの多量の水を貯へた器と數立方寸の水を入れた小さな直立した管とを連絡したとき管中の水位が高ければ水は細い小さな管から

大なる器へ流れ込むのである。

電氣容量の大きさを表はす實用單位は 1 ファラッド (Farad) といふ。これは 1 クーロンの電氣量を與へると電位差が 1 ヴォルトだけ昇るものである。これを C. G. S. 單位で言へば $e=1$ クーロンが 3×10^9 で $V=1$ ヴォルトが $\frac{1}{300}$ だから容量は $3 \times 10^9 + \frac{1}{300} = 9 \times 10^{11}$ である。即ち 1 ファラッドの電氣容量は C. G. S. 單位の 9×10^{11} 倍である。(第 400 節参照)。本節に述べた孤立した球の電氣容量はその半徑 r に等しいといふのは C. G. S. 單位で言ふて居るのであるから 1 ファラッドの容量を有する孤立球は $r=9 \times 10^{11}$ 糎即ち九百萬糎の半徑を有する恐ろしく大なる球である。地球の半徑は約六千四百糎であることを注意する。

第 381 節 ライデン瓶 電氣エネルギー

ライデン瓶は蓄電器の一種で 1746 年にライデン大學で工夫したもので第 562 圖の如き薄肉の硝子瓶の底及び側面の内外兩面に錫箔を貼り蓋の中央を通して立てた金屬棒の下端に鎖をつけて底の内面の錫箔に觸れしめ上端は球形にしてある。硝子の面には水分の凝着を妨げる爲めにシエラックを塗布してある。此瓶を机上に置くと瓶の外箔は接地した電位が零なる第一の導體を爲す。金屬棒と内箔とが之に對して居る第二の導體であつて兩體の間隔は硝子の厚さで一定してある。内箔に電氣量 e を與へてその電位を V にすると此瓶の電氣容量は $C = \frac{e}{V}$ であつて此際、外箔には e だけの異名の電氣が誘導せられてある。

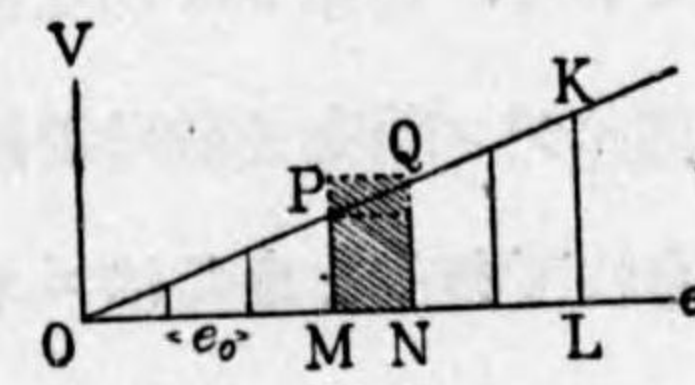


第 562 圖 ライデン瓶とその理

第 551 圖の電氣盆を操作して一回毎に e_0 の電氣が得られそれをライデン瓶の上端の球に觸れて内箔に e_0 を與へたとすれば n 回之を繰返せば蓄へた電氣量は $e=ne_0$ となり電位も之に應じて次第に高まつて行く。之を蓄電器を充

電するといふ。充電すれば内外の箔の異名の電氣が相吸引して居るので若干の位置のエネルギーが蓄へられる。適當な方法で此内外の電氣を連絡してやれば此位置のエネルギーは放電によつて他のエネルギーに變形する。

電氣容量 C なる蓄電器が電氣量 e を蓄へ内外の電位差が V なるときの位置のエネルギーを計算して見よう。 C は前文に説く如く e 對 V の比例定數で $e=CV$ である。最初 e が零 V が零なる無帶電の状態 O から始めて假りに前説の如く電氣盆で e_0 づゝの電氣を與へたとすれば此有様を圖示すれば第 563 圖の如くである。電氣を與へつゝある途中の電氣量と電位とは正比例の関係にあるから圖の如く e を横座標に V を縦座標にとれば一直線 OK で表はされ OK の傾斜は C で定められる。今途



第 563 圖 帶電體のエネルギー

中の或状態 P に於て電氣量が $e_P=OM$ 、電位が $V_P=PM$ であるとき之に e_0 の電氣を與へんとすると同名の電氣を電位 V_P の所へ押込むのであるから $e_0 V_P$ の仕事を費やして Q の状態になりその電氣量が $ON=e_Q$ 、電位が $QN=V_Q$ となるので此仕事の量は $V_P \times e_0 = MNQP$ の面積で表はされる。結局無帶電の状態 O から最終の状態 K なる帶電 $OL=e$ 、電位 $KL=V$ にするのに要する仕事即ち位置のエネルギーの總量 E は三角形 OKL の面積に等しく

$$E = \frac{1}{2} OL \times KL = \frac{1}{2} e \cdot V. \tag{381/1}$$

である。而して $e=CV$ であるからエネルギーの量は

$$\left. \begin{aligned} E &= \frac{1}{2} eV, \\ &= \frac{1}{2} CV^2, \\ &= \frac{1}{2} \frac{e^2}{C}. \end{aligned} \right\} \tag{381/2}$$

註 e, V, C 等に實用單位を用ゐれば E も亦實用單位になる筈である。 e を 1 クーロン、 V を 1 ヴォルトとすれば $e \times V = 3 \times 10^9 \times \frac{1}{300} = 10^7$ 即ちジュールに

なる。

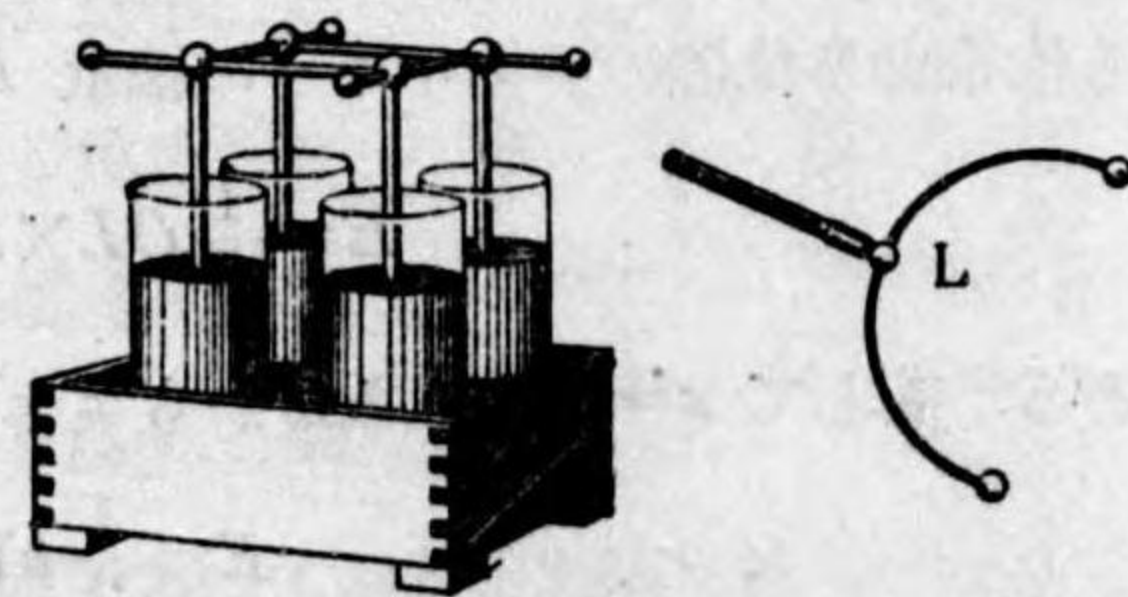
本文に記したライデン瓶の説明に實は硝子の質のことが省略してあつた。硝子はその肉の厚さ d だけの間隔に唯内外の錫箔を保つだけの役目をして居るらしく書かれてあつたが實は間隔が同じく d でも空氣（又は眞空）のときと硝子の如き絶縁體とでは後者の方が電氣容量が數倍大きいのである。此倍數 ϵ をその絶縁物質の透電率と云ふ。二三の物質の ϵ の値を表記する。蓄電器には兩導體の間に ϵ の大なる物質を介在せしめるが有利である。尙第391節を参照せよ。

ライデン瓶を多數に連絡して之に多量の電氣が蓄へられてあるときにはエネルギーも亦多量に蓄へられてあるのだから之を放電すると大なる火花と激しい爆音を出し若し人體が内箔から出て居る球に接近すると人體との間に放電が起つて生理的に危険である。故にライデン瓶の放電には**放電叉**と稱する特殊

の器具（第564圖）を使用する。放電叉は金屬製の開閉自在の二股に絶縁體の把手を附したもので、之を使用するには先づその一脚を外箔に觸れ（外箔は接地してあるから觸れても危険はない）

次に他脚を内箔から出て居る球に近づけて放電させるのである。順序を逆にして先づ球に觸れ後に外箔に近づけると放電が放電叉と外箔との間に行はれ

るから外箔は熱の爲に融け硝子は破壊する。



第564圖 多數を並列したライデン瓶と放電叉
(Lの所が螺番で兩股の開きを加減する)

第382節 焦電氣

物體に電氣の發生する仕方は上記の摩擦や誘導によるものの外に尙色々あ

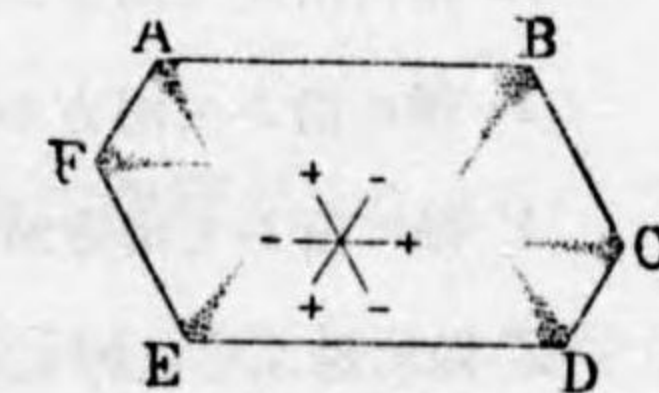
	ϵ
眞空	1.0
普通の氣體	1.0
松脂	1.8—2.6
二硫化炭素	2.6
エポナイト	2.7—2.9
パラフィン油	4.6—4.8
クラウン硝子	5—7
硬硝子	7—9
フリント硝子	7—10

る。次に記す焦電氣と壓電氣とは特殊の物質に起る特殊の起電方法である。

焦電氣の發見は可なり古いのである。西曆1700年頃に電氣石の結晶を熟灰の中に入れると其兩端に灰が蝟集することを知つた。此現象を1756年にギリシャの學者エピナス (*Aepinus*) が調べて兩端には陰陽の電氣を帯びて居て一見磁石の兩端に南北極があるのに似て居ることを知つた。一體電氣石の結晶は完全なものは稍少ないが若し完全であると細長い柱状で其兩端が形を異にして首と尾との如く一端が鈍く他端が尖つて居て兩端が性を異にして居ることを暗示して居る。

電氣石の帯電は溫度が變化しつゝある間だけ現はれるもので熱しても溫度が一定になると電氣は消失する。而して溫度が昇りつゝある間に陽となる端は溫度が降りつゝある間は陰になつて居る。

水晶の結晶も亦焦電氣を示す此結晶は六角柱状であるが（第565圖）之を軸に垂直に切斷して六角形の板を作り之を 500°C 附近以上まで熱しつゝある間に第371節に記した光明丹と硫黄との混合粉を篩ひかけて見ると六角の邊角の折半線が一つ置きに A, C, E が赤く B, D, F が黄になる。



第565圖 水晶の焦電氣

電氣と磁氣との違ひはあるが電氣石や水晶の柱體

の軸を地球の軸の方向と見立てると電氣石では此軸の方向に一本の磁石、水晶では赤道平面の中に三本の磁石が 120° の間隔を以て交叉して居るやうな状態である。

焦電氣の現象は今日まで實用に供せられて居ない。

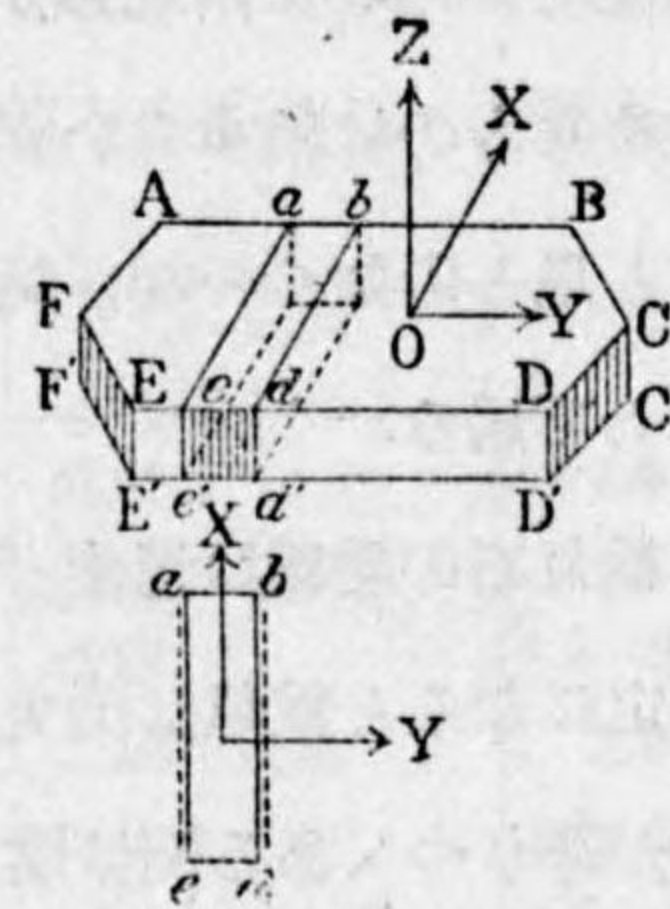
第383節 壓電氣

壓電氣又は**ピエゾ電氣**も亦電氣石、水晶その他少數の結晶體に於て之を見る現象である。之は壓電氣と呼ぶけれど實は壓しても引伸ばしても亦捻つても即

ち一般に彈性的の歪を與へたときに發電するものを廣く斯く呼んで居る。之は 1881 年にフランスの學者キューリー兄弟 (J. Curie, 及び P. Curie) が發見したもので色々の事に實用せられて居る。

先づ水晶の壓電氣に就て述べると水晶の結晶から次の如き實驗資料を作る。即ち水晶を横斷して作つて六角の板 (第 565 圖参照)

を作る。此板の切口は等邊の正六角形でなくとも AB と ED, BC と EF, CD と FA とは互に平行して居て内角は皆 120° である。そこで AB 及び ED に垂直に之を縦に切つて直六面體 $abdeed'b'd'$ を作り切口 $bdd'b'$ 及び $aeed'a'$ に錫箔を貼りつけ一方を接地し他方を箔檢電器につなぐ。そこで之を壓し又は伸ばすと檢電器が帶電を示す。發生した電氣の符號は



第 566 圖 水晶の壓電氣

- X 軸に沿ふて兩方から押して檢電器が陽を示すと
- X 軸に沿ふて兩方から引張れば 陰
- Y 軸に沿ふて兩方から押せば 陰
- Y 軸に沿ふて兩方から引張れば 陽
- Z 軸に沿ふては押しても引いても 無效果

である。此 Y 軸の方向即ち邊角の折半線の方を水晶の電氣軸といふ。Z 軸の方向は結晶軸又は光學軸である。光學軸は一本で首尾がなく電氣軸は首尾があつて赤道平面内に三本ある。尤も三本といふても實は三方向といふ意味であつて 120° の角度で交叉して居てそれが第 565 圖に + - をつけた三本の線で示されて居る。

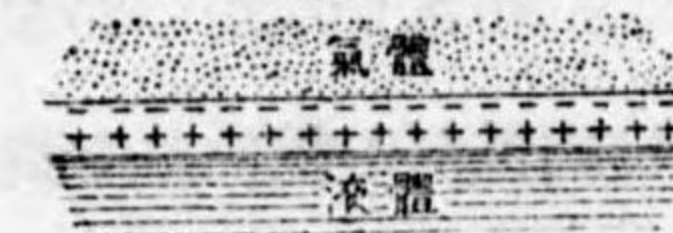
水晶の壓電氣は上文に説く如く彈性的の歪力を働かせれば電氣が發生することを指すのであるが之に逆効果がある。即ち水晶板の兩面に陰陽の電氣をかけると板が歪んでその厚さが増し又は縮むのである。此正効果と逆効果と兩方が實用に供せられて、その應用は驚くべきものがある。それに就ては後文第 481

節を参照せよ。

第 384 節 レナード効果 接觸電氣

上記の外に電氣が發生して居る場合が尙色々ある。降雨のとき又は瀑布に於て雨滴、水滴が陽に帶電して居り周囲の空氣が陰に帶電して居る。レナード (Lenard 1862—) が 1892 年に之を研究して水滴が分裂すると大なるものは陽に、小なるものは陰に帶電することを明かにしたので後人が之をレナード効果と呼んだ。周囲の空氣が陰に帶電して居るといふのは實は水滴から飛び出して霧の如き微細なる水の粒子が陰に帶電して空氣中に浮遊して居るのである。陽に帶電した雨滴が地に落下して地面に陽電氣を與へ陰に帶電した微粒が空中に浮遊して居ることは空中電氣や雷の發生に關して重要な役割を演じて居ると思はれる。又氣泡が液體の内部から飛び出す場合にも同様であつて飛び出した氣泡の中の液の微粒が陰に液體は陽に帶電する。此事は液を絶縁した器に入れて沸騰させて實驗すれば見られる。

液と氣體とが接觸して居るとき、その界面には電氣二重層があるものと考へられる。二重層とは第 567 圖に示す如く陰陽の電氣を帯びた二つの層が非常に小なる間隔を以て存在して居るので液に近い方が $+\sigma$ 遠い方が $-\sigma$ の表面密度を有して居る。此二層間の隔りは非常に小さいから平常は外界に對しては陰陽の作用が相殺して液は帶電して居ないものと同様であるが此二重層が破れて液の微粒が e の陰電氣を荷つて飛び出すと液の母體が $+e$ に帶電せられるのである。



第 567 圖 電氣二重層

西曆 1797 年にヴォルタ (Volta 1745—1827) は二種の金屬を接觸すると兩者の間に電位差が現はれ一方は陽、他方は陰に帶電して居ることを發見した。之を接觸電氣又はヴォルタ効果といふ。之を實驗するには箔檢電器の上端を銅

A の圓板にし又亞鉛 B の同大の圓板に絶縁體の把手を附したものを取り先づ亞鉛板を銅板の上に載せ一旦接地して止める。此状態に於て銅は既に帯電して居るのだが A, B 間の電位差が非常に小さいので箱を開くに至つて居ない。是に於て把手をとつて亞鉛板を引上げて行くと段々に箱が開き帯電を示すのである。



第 568 圖 異種の金屬 A, B 間の接觸電氣

此理由は A, B 兩體の相對向する面は陰陽に帯電してあるのが距離が甚近く恰も電氣容量の甚大なる一つの蓄電器を形成して居た。此時の電氣容量を C とし電位差を V とすれば帯電量は $e = CV$ である。そこで亞鉛板を上げ A, B 間の距離を増せば電氣容量が減じて C' となるけれど絶縁してある導體の帯電量には變化が起る筈がないから、e は元の通りであり従つて電位差は $e = C'V'$ なる V' となる。若し C' が C の $\frac{1}{n}$ ならば V' は V の n 倍となつて終には檢電器の箱が開くのである。

同じ事實を次の如く説明してもよい。即ち AB 兩面の異名の電氣が相吸引して居るのに實驗者が此引力に抗して亞鉛板を引き離したので仕事をした、此エネルギーが即ち電位を V から V' に高めたのである。若し最初に帯電がなかつたならば箱は開く筈がない。

接觸電氣の電位差を測定して見ると周囲の空氣の濕度とか或は氣體の性質とかの影響で値は一定でない。故に嚴密には眞空中で金屬を接觸させて測定しなければならぬ。斯くして得た金屬間の眞の接觸電位差は金屬の形や大さには無關係で一定の溫度に於ては金屬の種類のみによつて定まるものである。種々の金屬を接觸電位の順序に列すると次の如くで列中の任意の二つの金屬を取り之を接觸させると初位のものが陽に終位のものが陰に帯電するのである。

(陽) ← 亞鉛 鉛 錫 鐵 銅 銀 金 → (陰)

異種の金屬 A, B, C を取り之を組合せると次の事實がある。即ち A, B 間

の電位差を V_{AB} で表はせば

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_{BC} = V_B - V_C$$

$$V_{AC} = V_A - V_C$$

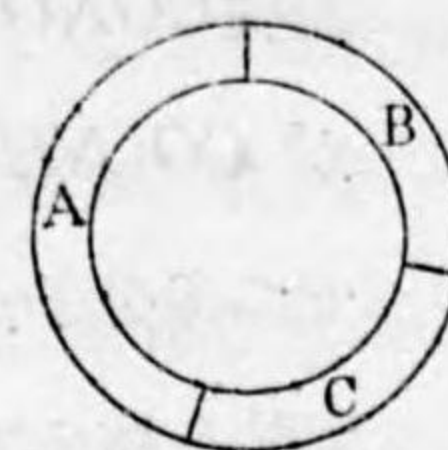
$$= V_{AB} + V_{BC}$$

$$V_{CA} = V_C - V_A = -V_{AC}$$

故に異種の金屬を組合せて圖の如く一つの回路を作れば

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0$$

である。第 567 圖の液と氣體との間の界面にある陰陽の電氣は此所にいふ接觸電氣ではなくして液體の表面に存する電氣の二重層なることが證明された。



第 569 圖 三金屬間の接觸電氣

第 385 節 イオン 電離

前節に於て大氣中に浮遊して居る霧滴の如き水の微粒が電氣を帯びて居ることがあることを述べたが、酒精燈、ブンゼン燈或は蠟燭、爐火等より立ち揚がる燃焼の結果として發生した氣流の中には陰、陽に帯電した二種の微粒が存在して居る。斯くの如き帯電微粒を一般にイオン Ion と呼び陽電氣を帯びたものを陽イオンといひ陰電氣を帯びたものを陰イオンといふ。帯電して居ない中性のものがイオンに分離することを電離といふ。イオンを含む氣體を電離した氣體或はイオン化した氣體といふ。

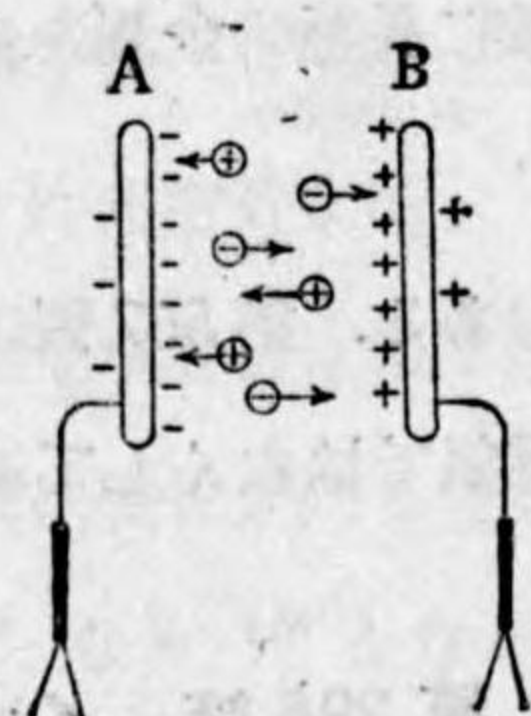
イオンは本來は或種の溶液例へば NaCl の水溶液に於て NaCl の分子の或者が分子として存在せず、それが Na 原子と Cl 原子とに分離して Na は陽電氣を帯び Cl は陰電氣を帯びて居る場合に此名稱が附せられたのであつて此場合に陽イオンは Na の原子であるがそれが中性でなく陽に帯電して居るから特に Na イオンと呼ぶのである (第 38 節参照)。場合によつてはイオンが一個の原子でなく數個の原子團のことがある。例へば金屬

錯鹽 $CO(NH_3)_5NO_3 \cdot SO_4 \cdot 5NH_3$ の水溶液に於ては分子がイオン化して陽イオン \oplus が $CO(NH_3)_5NO_3$ で陰イオン \ominus が SO_4 である如きである。要するに一つの分子が二つの陰陽のイオンに分離するのであつた。その後此本來の意味を擴めて一般に帯電した微粒をイオンと呼ぶこともある。

電離した氣體の特性（液體のことは次の動電氣學に於て電池や電氣分解に於て詳説する）はその氣體の中に第 570 圖の如く陰陽に帯電した物體 A, B を絶縁して置くと氣體中に浮遊して居るイオンは可動性を有して居るから陽イオン \oplus は陰に帯電した A に吸引せられ、陽に帯電した B に反撥せられて氣體中を動いて A に到りその帯電を A に與へて中和して A の帯電を減するので A を箔検電器につないで置くと箔は次第に萎む。同様に陰イオン \ominus は反對の方向に動いて B の帯電を減する。故に結局 A, B は共に電氣を失つて放電することになる。但し此放電は A, B の電氣が導體を傳つて所謂傳導によつて放電するのではなく全然機構を異にして居るが結果に於ては電離氣體が傳導性を有して居ると同一のことになる。之を以て嚴密には正しい言ひ方ではないが便宜上電離氣體は傳導性を有すと述べることになつて居る。此事が電離氣體に特有の性質である。

上記の實驗の如く陰陽に帯電した物體 A, B を對立させたときには之を電極といひ A を陰極 B を陽極といふ。電離氣體の傳導性を實驗するには電極を對立させる必要はない。唯一つの例へば陰に帯電した物 A を電離氣體の中に置いてよい。此時には陽に帯電した B は遠方にあると考へてもよく或は又地面が B であると考へてもよい。

電離氣體の傳導性を利用した興味ある工業上の應用がある。それはセメント工場又は鑛山の精鍊所等に於て煙突から排出せられる濛々たる煙塵が近隣の民



第 570 圖 陰陽に帯電した兩板間のイオンの動き方

家に迷惑を及ぼす所謂煙害を除く爲の電氣收塵法であつて、之によつて煙突からは細塵を含まざるガスのみが排出されるのである。其方法は煙突の中心に一本の長い金鎖の如き導體を絶縁して吊し之を成るべく高い電位に帯電させるのである。爐から來る氣體の中に浮遊して居る固體又は液體の微粒はイオンであつて、それが煙突内を通過する間に鎖に吸付けられてその上を被覆するから時々之を掃ひ落せばそれで收塵が出来るのである。尤も此ガスの中に亞硫酸の如き有害なものがあつてもそれは眼には見えないので一般の人は知らずに居るが之をも除き去つて煙害を完全に除き去るには煙道の中に適當な水分を送つて亞硫酸分子を水で包んでイオンとなし之を沈澱させることが案出された。

足尾銅山では上記の如き方法で收塵しその集めた塵の中から有價の資材たる金屬カドミウム、インヂウム等を回収して居た。

氣體をイオン化するには尙色々の方法がある。即ち氣體の分子は董外線、 X 線及び放射性物質から出る β 線等で照射するとイオン化せられる。大氣の上層に於て太陽の董外線の作つたイオンが多量にあつて、それが一種の電流の作用をする。

電煤質 第三十八章 透電質

第 386 節 透電質

第 373 節に説いた如く電氣の導體の中には電界が存在しない。電氣指力線は導體の表面に至ると面に垂直になつて其所で始終し導體は電氣力を遮斷して之を貫通させない。指力線の存在する所は電界であつて、それは眞空や空氣中と限られた譯ではなく絶縁體ならば、それが固體でも液體でも指力線がその中を貫通する。尤も油の如き液體絶縁體の方が其中に於て帯電體を動かして見たり其他實驗的に内部の狀況を調べるに都合はよいが固體でも現象的には何等液體

と異なる所がない、斯く絶縁體中に於ては指力線が存在し電界が成立して電氣現象の媒となり電氣作用を透過せしめると云ふ意味に於て之を電媒質又は透電質といふ。

今液體の透電質中に二つの球狀帶電體 e_1, e_2 を r の距離に保ち其間の電氣力を測定して見ると眞空中の中ならば

$$f = \frac{e_1 e_2}{r^2}.$$

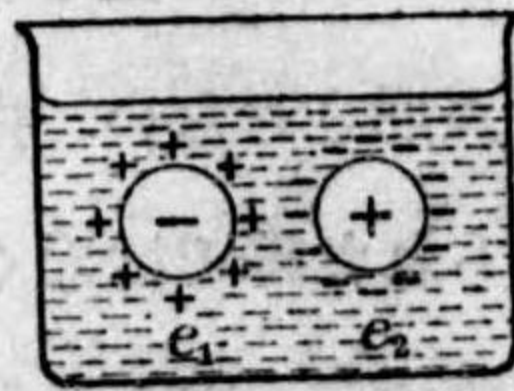
であつたのが今は力が著しく小さくて引力にせよ斥力にせよ透電質の中ではクーロンの法則は

$$f = \frac{1}{\epsilon} \frac{e_1 e_2}{r^2}. \quad (386/1)$$

で與へられる。但し ϵ は 1 より大なる數で各透電質にそれぞれ特有の値を有し、これをその物質の電媒恒數又は透電率といふ。此 ϵ は第 381 節に於て蓄電器に關して述べたものがそれでその値は液體ならば實驗的に上式からも計算し得るが一般に液體、固體の ϵ の測定方法は後文第 389 節に之を記してある。

扱て何故に透電質中に於ての電氣力が小さいかといへばそれは媒質中に誘導による帶電が生ずるからである。一體帶電體の近傍に他の物體を近づけると、それが導體でも絶縁體でも誘導による電氣が発生する。而して導體ならば唯その表面のみに發電するので體內には電氣は存在しないが絶縁體であると表面のみならず實質中にも電氣が生ずるのである。今 e_1, e_2 の電氣を帯びた二つの球を透電質中に置くに誘導作用のために球と接觸する所に球のと異名の電氣を生ずること第 571 圖に示す如くである。

即ち e_1 を陰電氣とすれば之を包んで透電質中に陽電氣 e_1' を生し、 e_2 を陽電氣とすれば e_2' の陰電氣が之を取り巻く。故に兩球間の引力は e_1, e_2 間の作用にあらずして $e_1 - e_1'$ と $e_2 - e_2'$ との間の帶電量の小なる兩體間の引力となつて其大きさが e_1, e_2 間の引力の $\frac{1}{\epsilon}$ になるのである。



第 571 圖 透電質中にある帶電體

る。此誘導によつて生じた e_1' 及び e_2' は透電質の性質によるので透電率 ϵ の價が之を決定するのである。

上記の e_1, e_2 を真帶電量といひ $e_1 - e_1', e_2 - e_2'$ を透電質中の自由帶電量といふ。左側の球の陰荷電 e_1 の中の e_1' は透電質の表面に現はれた異名の $+e_1'$ に束縛せられて電氣力を現はすにあづかることが出来ず $e_1 - e_1'$ の陰電氣だけが自由に作用するのであるから、斯く名づけるのである。右側の球の陽荷電 e_2 に就ても同様である。

第 387 節 透電質内の電界と誘導量の強さ

透電質の一點 O に點狀帶電 e があり r だけ距つた一點 P に單位電氣量を置けば之に作用する電氣力は (386/1) によれば、 f を E と書改めて

$$E = \frac{1}{\epsilon} \frac{e}{r^2}.$$

である。眞空の場合のときの定義を踏襲して之を透電質中の一點 e による電界の強さといふ。點狀帶電に限らず一般の場合に於ても透電質内の一點に單位帶電を置いたと假定し之に作用する電氣力をその點に於ける電界の強さ E と定義する。

透電質中の一點に於て電界が E なるとき

$$D = \epsilon E \quad (387)$$

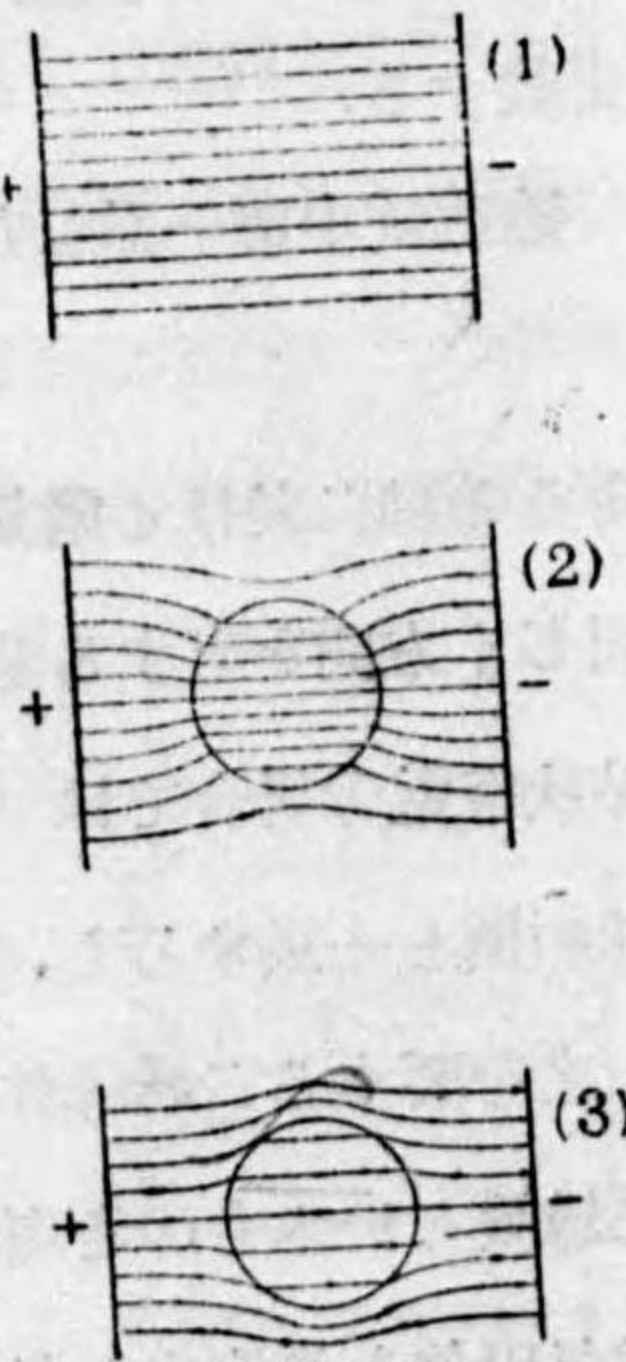
をその點に於ける電氣誘導量或は單に電氣誘導と呼ぶことにする。 D は E と同じく方向を有する量でその方向は電氣力の作用する方向と一致する。上記の點狀帶電の場合では $D = \epsilon E = \frac{e}{r^2}$ でその價は眞空の中に於て e の作る電界の價と一致するし、その方向も亦彼場合と全く同じである。

之を要するに誘導は最初は定性的に現象を言ひ表はす語であつたのを學者が誘導量といふものを考へ出し定量的に誘導の語を使用し之によつて透電質中の電氣現象を眞空中に於けるものゝ如く取扱はんとしたのである。即ち第 378 節

に記した真空中に於ける電界の状況を示すのに指力線を以てし指力線に垂直に畫いた表面の單位面積中に其點に於ける電界の強さ E に等しい數の指力線を通過せしめる如き方法を探つたのであるが透電質中の状況を示すには全く同様に誘導の強さと誘導力線とを使用すればよいのである。而して真空中に於ては $\epsilon=1$ であるから其所では電界の強さは誘導の強さと同じで指力線は即ち誘導力線である。此誘導による電界の表現方法は真空、透電質の區別なく一般に採用して差支ないものである。故に或空間が多種の透電質（真空も透電質の一種として）を以て充たされてあり、其中に任意の帶電體があるとき誘導力線は陽電氣のある所或は無限遠から出發して此等の透電質中を通過して陰電氣のある所に終るか或は無限遠に至つて終るのである。而して力線に垂直なる面積 S を貫通して $N=DS$ 本の誘導力線が電媒質中に存在するものと考へてよいのである。導體の中へは此等の指力線は入らない。

例へば陰陽電氣を帯びた二枚の無限大の平面が互に平行して對立して居るとき其間の場所が透電率 ϵ なる或透電質を以て充たされてあれば誘導力線は平面に垂直なる平行線群を爲すが（第 572 圖）此間に透電率 ϵ' なる球が介在

したときには誘導力線は第 572 圖 2, 3 に示す如くなる、(2) 圖は $\epsilon' > \epsilon$ のときで (3) 圖は $\epsilon' < \epsilon$ のときである。兩圖共に球内では誘導力線が平面に垂直なる平行線であるが之は形が球だからで他の形では斯様ではない。(2) 圖では力線が恰も球内に吸込まれる如く彎曲し(3) 圖では恰も球内に入ることを避けるが如くに彎曲する。此状況を譬ふれば地殻の中を水平に流れる水流があるとき砂の如き水をよく透過せしめるものと粘土の如き透過の良しからざるものがあるとき水流は成るべく透過し易き所を選ぶが如く誘導力線は ϵ の大



第 572 圖

なる所を選んで通過すると考へてもよい。此故に誘導を一つの液の流れの如くに考へて誘導力線を誘導流線と觀るのが理解を容易ならしめてよい。而して透電率 ϵ の大なる所は誘導流線の集まり來る所で、液が流れ込み易いのであるから。その意味で ϵ を透電率と呼ぶのである。

誘導の流線は陽の眞帶電のある所から湧き出し陰の眞帶電のある所で吸ひ込まれる如き流れ方を爲し、異なつた透電質の境界面に於ては第 572 圖 2, 3 に示す如く急に方向を變じて誘導の流線の屈折はあるが然かし流線が切れたり又は其數が増減する等のことは無いのである。流線の數は陰陽とも眞帶電 e の所からは常に $4\pi e$ 本の流線が湧き出し又は吸込まれるのである。兩媒質の境界面には見掛け上の帶電はあるがそれは誘導流線の數には何等の變化を生じないである。これが E を考へずに D を採る理由であつて斯くすれば話が著しく簡單になる利益がある。

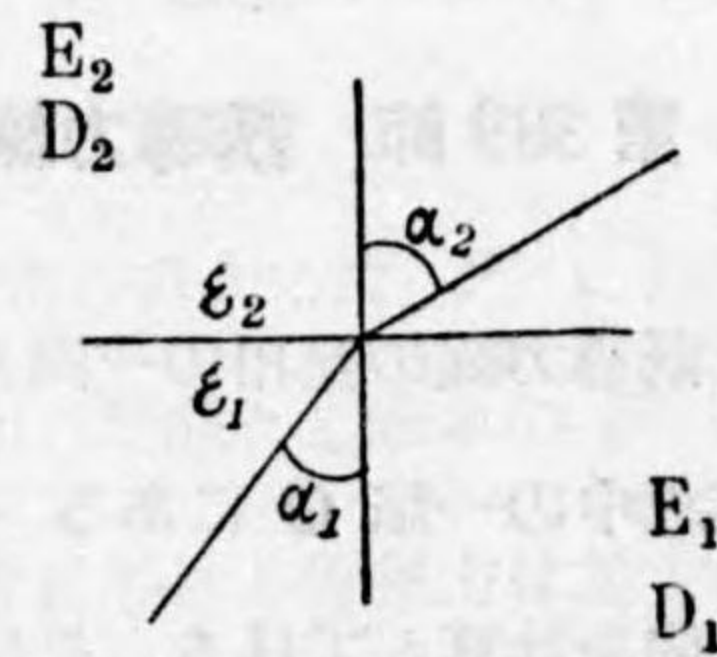
第 388 節 誘導力線の屈折

二つの透電質の境界に於て誘導線が屈折することは第 572 圖にも圖示してあるが今その屈折の工合を調べて見る。

兩媒質の透電率を ϵ_1 及び ϵ_2 とし境界面に立てた法線と電界 E 及び誘導力線の爲す角度を α_1 及び α_2 とする。定義によつて

$$\begin{cases} D_1 = \epsilon_1 E_1 \\ D_2 = \epsilon_2 E_2 \end{cases} \quad (388/1)$$

である。今 E 及び D を境界面に垂直なるものと平行なるものとに分解したと考へる。誘導量 D の



第 53 圖

方は前節に説く如く液體の流れの如きものであり眞帶電の在る所に於てのみ湧出吸入があるので境界面上に於ては何等の異状は起らないのであるから第一の媒質に於ける D の境界面に垂直なる成分 $D_1 \cos \alpha_1$ はその儘境界面を過ぎて

第二媒質に於ける垂直成分 $D_2 \cos \alpha_2$ となるべきである。境界面に平行なる成分は境界を越すことなく第一媒質のものは第一媒質中を流れるもので第二媒質の關與する所ではないから平行成分 $D_1 \sin \alpha_1$ 及び $D_2 \sin \alpha_2$ の間には特殊の條件的關係は存在しない。

電界 E の兩成分に就ては如何といふと境界面に見掛上の帯電があるので直角成分 $E_1 \cos \alpha_1$ と $E_2 \cos \alpha_2$ とは勿論その値を異にして居るが平行成分 $E \sin \alpha$ は境界面の兩側に於て異なるべき理由がない。

之によつて次の二式が成立する。即ち

$$\left. \begin{aligned} D_1 \cos \alpha_1 &= D_2 \cos \alpha_2 \\ E_1 \sin \alpha_1 &= E_2 \sin \alpha_2 \end{aligned} \right\} \quad (388/2)$$

(388/1) (388/2) 式を結合して E, D を消去すれば

$$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \quad (388/3)$$

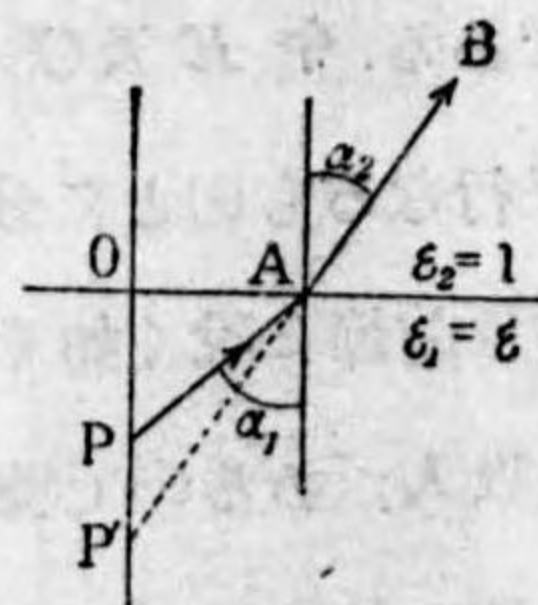
となる。これが誘導指力線の屈折を律する式である。

此式を見て直に心付くことは其形が光線の屈折を律する第250節の(250/1)式のと類似である。彼の場合には $\sin \alpha_1 : \sin \alpha_2 = \frac{1}{\mu_1} : \frac{1}{\mu_2}$ であつたのが今度は $\tan \alpha_1 : \tan \alpha_2 = \epsilon_1 : \epsilon_2$ となつて居るのである。即ち角度の正弦が正接に代へられ屈折率 μ と透電率 ϵ に反比例、正比例の差がある。

第389節 誘導力線の屈折の法則の應用例

誘導力線の應用の一例として透電質 ϵ なる液中の一點 P にある帯電 $+e$ と空気中の一點 Q にある $+e'$ との間の電氣力の大きさ及び方向を計算して見る。それには先づ $+e$ による誘導力線を求める必要がある。

液中に於ける e の誘導力線は P から湧出して發散する直線群である。今その中の一本の PA を取つて考へると



第574圖

これは A 點に於て屈折して空気中に於ける誘導力線 AB となるのである。空気中には誘導力線は普通の電氣指力線である。此 AB の方向 α_1 は

$$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \frac{\epsilon}{1}$$

である。今 AB を逆に延長して OP 線と P' に於て交はらしめると

$$\tan \alpha_1 = \frac{OA}{OP}, \quad \tan \alpha_2 = \frac{OA}{OP'}$$

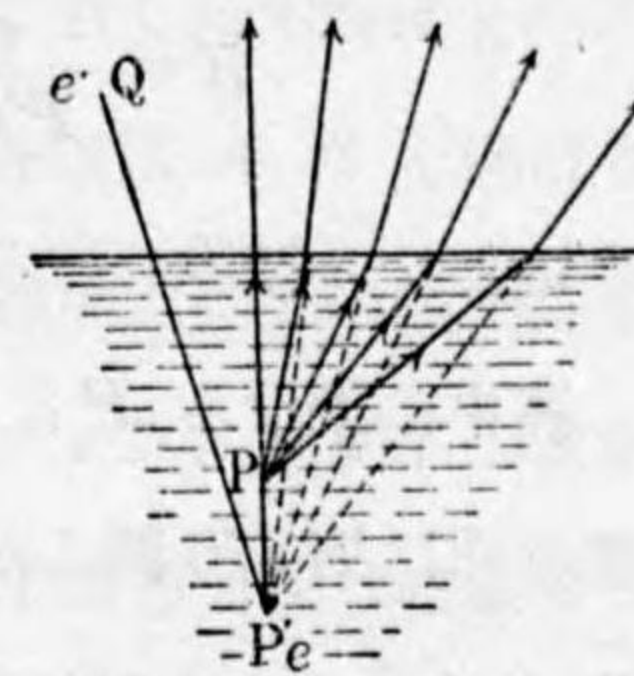
故に

$$\frac{\tan \alpha_1}{\tan \alpha_2} = \epsilon = \frac{OP'}{OP}, \quad OP' = \epsilon \cdot OP$$

で P' の位置は PA の方向に無關係で P に起因する空気中に於ける指力線は恰も P' 點から發散するものゝ如き有様である。之を類似の場合なる液中の P にある光源から出る光が屈折して空気中に出る場合と比較して見ると彼場合には第253節の第298圖に示してある如く空気中の屈折光線を逆に延長すると、一般には一點に於て交叉しない。唯傾斜の小なる光線に限つて殆んど一點 P に集中し之を P の虚像と呼んだ。然るに今の場合には誘導力線の傾斜の大小に關せず正確に P' は P の虚像であつて液中にある P の空気中に於ける作用を論ずるに當つては空気中に P' に $+e$ があるものと見做してよいのである。第274節に述べてある收差といふ語を使用すれば光の場合には P' に收差があり透電質の場合には收差が存在しない。故に當面の問題たる液中の P にある $+e$ と空気中の Q にある $+e'$ との間の空気中に於ける電氣力は其方向は PQ 直線上にありその大きさは

$$f = \frac{ee'}{PQ^2}$$

である。 Q にある $e'=1$ とすれば液中の e が空気中の Q 點に生ずる電界の強

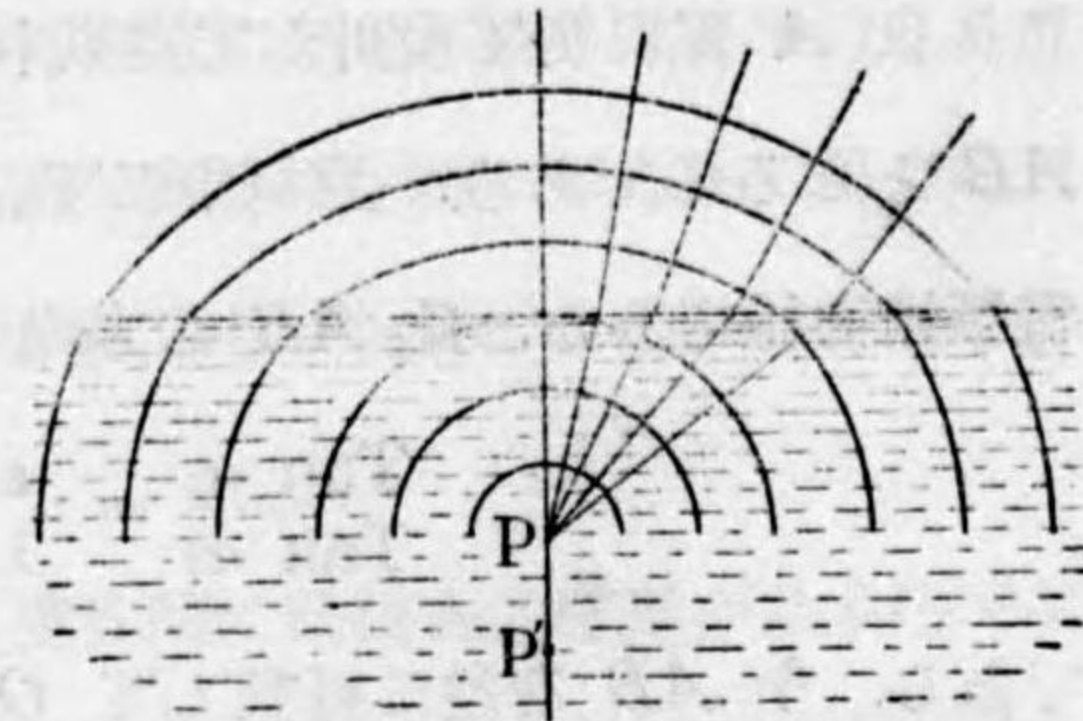


第575圖 透電質中にある點の e は寫中から見れば P' にある如くに作用する。

$$E = \frac{e}{PQ^2}$$

さはといふ結論になる。

液中に於ける P にある e による等電位面は第 576 圖に示す如く液中では P を中心とした球で空気中に於いては P' を中心とした球であることは明白である。

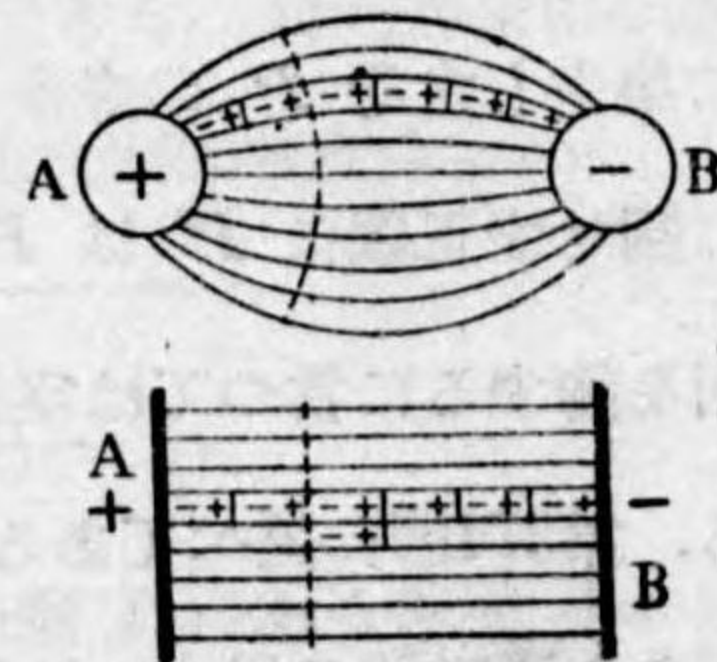


第 576 圖 透電質中 P にある e による空気中及び媒質中に於ける等ポテンシャル面と誘導力線

第 390 節 透電質内の誘導の状況

上文に於て透電質中に於ける誘導に就て述べたが本節に於て尙詳細に之を説明する。

透電質中に陰陽に帯電した二つの導體 A, B があり A の帯電は陽, B のは陰だとする。此時誘導力線が AB 兩體を連絡して居る。(第 555 圖参照) 誘導力線上にある媒質の微小部分は皆 A に近い側に陰, B に近き側に陽に帯電せられてあつて微小部分の兩側には陰陽異名の電氣があること猶磁石の兩端に SN 極があるが如く微小部分の兩側が陰陽の極を得たと稱すべきである。故に之を透電質が分極状態に在るといふ。透電質の誘導といふのは此の如き分極状態を得たことを指すのである。即ち分極した微小部分の連鎖によつて A と B との兩導體をつなぐのである。



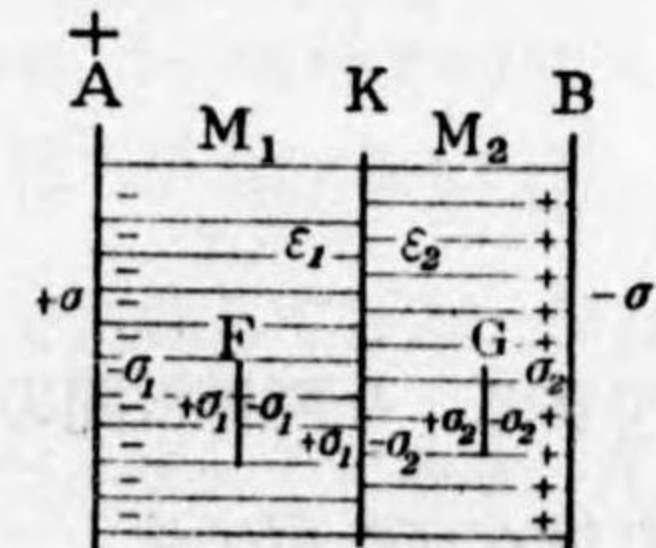
第 577 圖 電媒質中の誘導
甲: 二つの球の間
乙: 二つの平行平面の間

今一つの微小部分 p とその隣の微小部分 q とを考えると相對する端に異名の電氣があるから相牽引して誘導力線は恰も引延ばされて居るゴム糸の如くで収縮して其長さを減せんとする張力が之に沿ふて働いて居る。此張力が即ち

A, B 二導體間の引力となつて現はれるのである。然るに若し此引延ばされてある如き誘導力線が成るべく収縮せんとする一方ならば各線は A, B を連ねる最短直線となるであらうが、その然らざる理由は一本の誘導力線上の微小部分 p と之に並んで隣る力線上の微小部分 r を考へると p と r とには同名の電氣が並んで居るからその間に斥力があつて之に牽制せられて誘導力線は密集することが出来ず適當な間隔を以て隣り同志は相反撥して離隔せられる。斯くして平衡状態に在るのが透電質に於ける誘導の姿である。

斯く誘導力線に沿ふて張力が働き之に直角に壓力が作用して居るとしてその張力及び壓力の大きさは如何といふに、その大きさは兩者共に $D^2 \div 8\pi\epsilon$ であつて尙透電質の單位體積中に同じく $D^2 \div 8\pi\epsilon$ のエネルギーが藏されてあることが計算された(計算略)。故に AB 間の引力は所謂遠隔作用と稱して中間には何等の作用するものがなく A が直に B に作用するといふのではなくして A, B 間に存在する媒質に分極を起し相隣れる微小部分間に連鎖的に次から次へと作用が傳達して居るのである。

二枚の平行平板 A, B の間に二つの透電質 M_1, M_2 がある。但し M_1 と M_2 との境界面 K は板面に平行であるとする。今 A には表面密度 $+\sigma$ B には $-\sigma$ の眞帯電があるとき M_1, M_2 の内部は分極状態にあるから誘導力線に垂直に M_1 内の F の所に横断面を作つて M_1 を左右二つに離して見ると左半部の右側面には分極による $+\sigma_1$ 右半部の左側面には $-\sigma_1$ の表面密度があり同様に M_2 内の G の所では $+\sigma_2$ 及び $-\sigma_2$ の表面密度がある。又兩媒質の境界面 K に於ては $+\sigma_1$ と $-\sigma_2$ との表面密度が相接して居る。故に A 面に於ては $\sigma - \sigma_1$, B 面に於ては $-\sigma + \sigma_2$, K に於ては $+\sigma_1 - \sigma_2$ の自由帯電がある如き觀を呈する。然るに誘導の強さを考へるとなれば眞帯電のみで定められるので M_1, M_2 内では



第 578 圖 A, B の間に二つの透電質 M_1, M_2 がある場合

随所一定なる

$$D = 4\pi\sigma.$$

の誘導の強さがある。而して電界の強さは M_1 内に於ては

$$D_1 = 4\pi\sigma = \epsilon_1 E_1, \text{ 故に } E_1 = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_1}.$$

M_2 内に於ては

$$D_2 = 4\pi\sigma = \epsilon_2 E_2, \text{ 故に } E_2 = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_2}.$$

なる強さを有して居るのである。斯く誘導の強さ D で計算を行へば $\sigma_1 \cdot \sigma_2$ の如き帯電に頓着することなく真帯電のみによつて透電質内の電氣的狀況が求められるので、これが誘導量 D といふ觀念の有利なる點である。

第 391 節 透電率の測定

透電率の實驗的測定には第 579 圖の如き平行平板の形をした蓄電器の中に問題の透電質を入れてその電氣容量を測定するのが常用の方法である。兩極板 A, B に真帯電 $+\sigma, -\sigma$ を與へると透電質内では前節所説の如く

$$D = \epsilon E = 4\pi\sigma,$$

$$E = \frac{4\pi\sigma}{\epsilon}.$$

である。今兩極板間の距離を d とすれば單位電氣量を A から B に運べば仕事の量

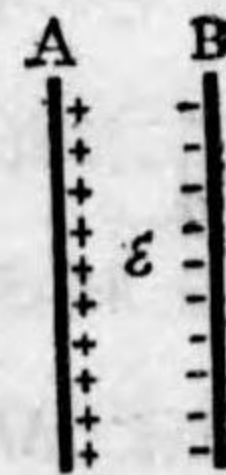
$$E \cdot d = \frac{4\pi\sigma d}{\epsilon}.$$

が得られる、これ即ち A, B 兩極板間の電位差で

$$V = \frac{4\pi\sigma d}{\epsilon}$$

である。又極板の面積を S とすれば蓄へられた電氣の總量は

$$Q = S \cdot \sigma.$$



第 579 圖 二つの平面の間に透電質を入れたときの電氣容量

である。故に電氣容量はその定義に従つて

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{S\sigma \cdot \epsilon}{4\pi\sigma d} = \epsilon \cdot \frac{S}{4\pi d}.$$

である。兩極間が真空又は空氣の時は $\epsilon=1$ であるからその時の電氣容量 C_0 は

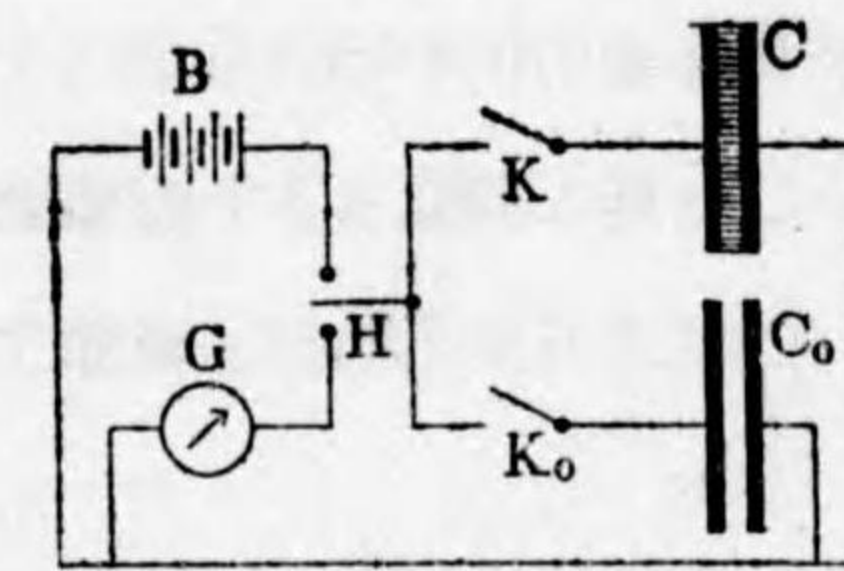
$$C_0 = \frac{S}{4\pi d}, \quad C : C_0 = \epsilon : 1.$$

であり透電質があるときは電氣容量が ϵ 倍大きくなるのである。(第 381 節参照) 之を以て ϵ の測定には此二つの場合の電氣容量 C, C_0 を測定すればよい。即ち二つの蓄電器を同一電位 V に帯電するに要する電氣の量 Q, Q_0 は

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C_0}, \quad \frac{C}{C_0} = \frac{Q}{Q_0}, \quad \therefore Q = \epsilon \cdot Q_0$$

Q, Q_0 の比を求めれば ϵ が得られる。

此測定實驗は次の如くすればよい。即ち第 580 圖に於て C, C_0 は全く同一の構造を有する蓄電器 (必ずしも平行平板のものでなくともよい) で一方 C には透電質が填充してあり C_0 には之がない。 B は 50~100 ヴォルト程度



第 580 圖 二つの電氣容量の比較

の蓄電池 (第 406 節) の如き電池の作用が長時間不變に保ち得られるもので、 G は衝擊檢流計 (第 440 節) で此等が圖に示す如く導線で連絡してある。 H は蓄電器を必要に応じて電池又は檢流計につなぐ切り替へスキッチであり、 K, K_0 は C 又は C_0 を H につなぐ開閉器である。實驗の順序は次の通り。

(1) K_0 及び H を以て蓄電器 C_0 を電池 B につないで C_0 を充電するとその中に電氣量 Q_0 が蓄へられる。

(2) 急に H を G の方へ切り替へると Q_0 が檢流計を通して放電し檢流計は最大偏角 α_0 を與へる。第 440 節に詳説してあるが此 α_0 によつて Q_0 が定まる。

(3) 蓄電器 C に就て全く同様の操作を繰返す爲に K_0 を切り K と H とで C を電池につなぎ之を充電して電氣量 Q を蓄へる。

(4) 急に H を G に切替へて Q の放電による檢流計の最大偏角 α を読み之によつて Q を定める。

斯くして α, α_0 の讀取りから Q, Q_0 の比、従つて C, C_0 の比が求められる。此實驗中電池 B の強さが不變でさへあればよく、その價は知る必要はない。



第七篇 動電氣

第三十九章 電解質

第 392 節 電解質と金屬との接觸

第 384 節に於て金屬間の接觸による帶電のことを述べたが之れより金屬に化學作用を及ぼす液と金屬間の接觸による帶電の現象を考へる。

液にも色々あるが此所には水溶液を主として取り上げる。砂糖の水溶液の如き金屬と接觸しても何等の化學作用の起らぬものもあるが鹽類や酸類の水溶液は程度は異なれども多少とも化學作用がある。斯くの如き化學作用のある液を電解質といふ。此名稱は後文に説明するが之に電流を通ずると此等の液が二つの成分に分解される即ち電氣分解されるのを略して電解と呼び、それに基づいて斯く名づけたのである。

電解液の特色はそれが電離（第 385 節）して居て陰陽のイオンに分かれて居ることである。但しアレニウス（Arrhenius スウェーデンの化學者 1859—1927）その他の學者の研究によると液の分子が皆電離して居るのではなく分子の儘で存在して居るのもあり又イオンに分かれて居るものもある。例へば稀硫酸の場合では H_2SO_4 の分子のまゝで電氣を帶びない中性のものと陽電氣を帶びた H イオンと陰電氣を帶びた SO_4 イオンとが水溶液中にあるのである。而して一般に稀釋された液ほど電離されて居る分子の割合が多いのである。

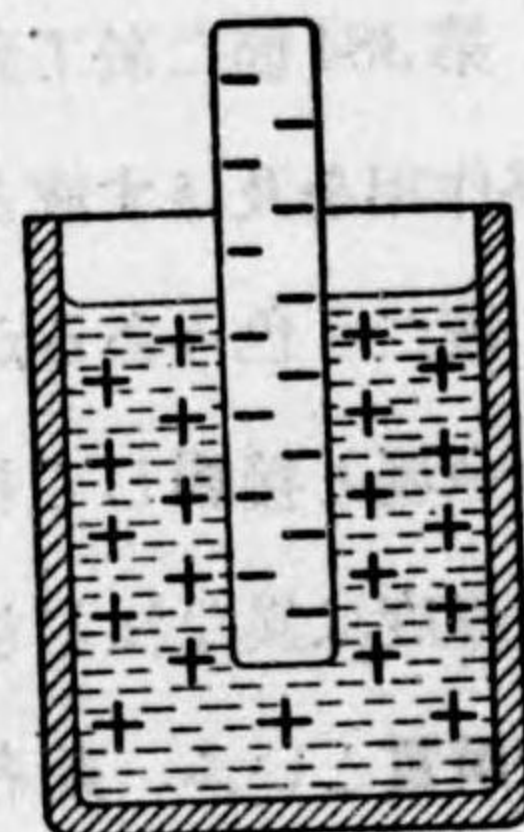
イオンの帶びて居る電氣の量は常に電氣素量（第 372 節）の或整数倍であることが研究の結果明らかにされた。此倍数をそのイオンの價數といふ。例へば H イオンは一個の陽の電氣素量を帶びた一價の陽イオンで SO_4 は二個の陰の

電氣素量を帯びた二價の陰イオンである。之を表はす爲めにイオンの原子記號の右肩に陽イオンは + 又は・を價數だけ附記し陰イオンは - 又は'を同様に附記するので H イオンは H^+ 又は H' とし SO_4 イオンは SO_4^{--} 又は SO_4'' と記するのである。

稀硫酸では中性分子 H_2SO_4 と一價の H^+ と二價の SO_4^{--} の陰陽のイオンが存在して液全體としては中性である。

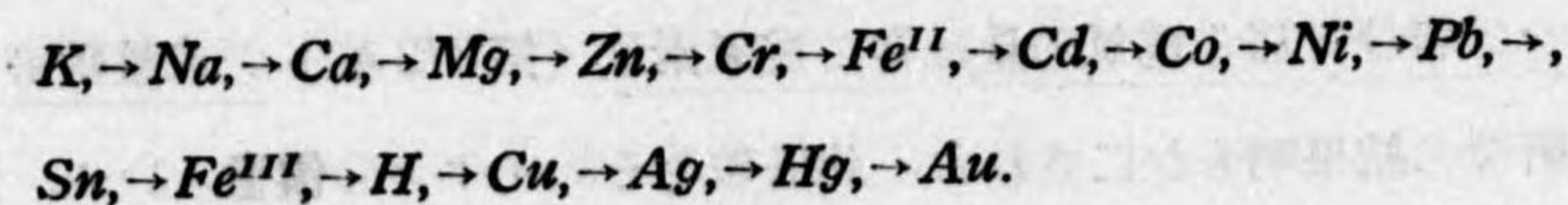
扱て上記の如き全體としては中性なる電解質の中に或金屬の棒を入れたとする

(第581圖)。例へば稀硫酸の中に亜鉛の棒を入れたとすると一般に金屬は陰に帯電し液は陽に帯電する。これは金屬と液との間の化學作用の爲に上例では亜鉛が硫酸亜鉛となつて水素を遊離するが、これは亜鉛が陽イオン Zn^{++} となつて溶液の中に入らんとする傾向がありその爲めに一個の亜鉛原子につき二個の電氣素量の陽電氣を取つて出て行くので亜鉛棒は陰に帯電し液中には H_2O と中性の H_2SO_4 と Zn^{++}



第581圖 電解質中に立つ金屬棒

と H^+ と SO_4^{--} があることになる。今迄は二個の H^+ を相手にして居た SO_4^{--} が Zn^{++} と組む形になつて H^+ と別になる。此 H^+ が遊離して氣泡として發生すると液は全體として + に帯電するのである。亜鉛棒のこのイオン化は際限なく引續き行はれる譯には行かぬ。それは亜鉛棒の陰電氣が Zn^{++} の陽イオンを吸引するからで亜鉛と液との間に或る一定の電位差を生ずると平衡状態になる。此イオン化傾向の大きさは化學作用の盛なんであるか否かで定まるもので金屬の種類及び液の濃度等によつて異なるものである。次に主要な金屬とそのイオンを含む液に於けるイオン化傾向の順位を示せば次の通りである。



即ち鐵の方が銅よりはイオン化傾向が大きい。

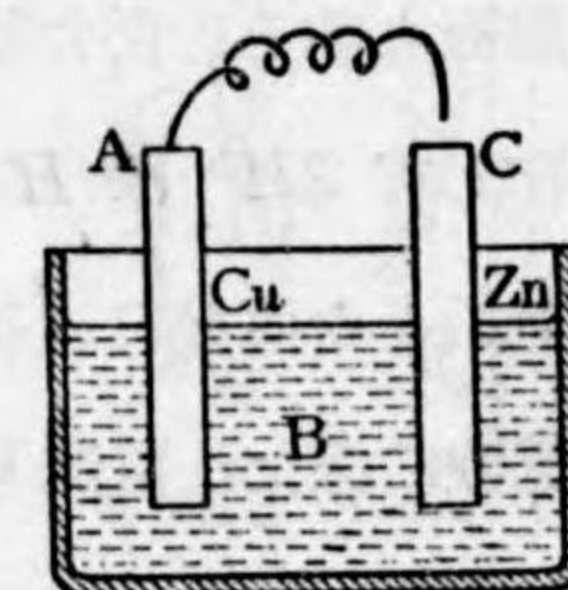
硫酸銅の水溶液の中に鐵屑を入れて置くと金屬銅が鐵の上に附着する事實は銅山で銅を含む廢液の中から銅を回収するのに利用して居るが、これは鐵のイオン化傾向が大きいので鐵は液中に溶け込んで鐵イオンとなり硫酸銅中の Cu^{++} が鐵屑の陰電氣に吸引せられその陽電氣は鐵の陰電氣と中和して鐵の表面には中性の銅が現はれるのである。

金屬のイオン化傾向の大きさを數量的に表はすにはその金屬とそのイオンを含む規定溶液との間の電壓(電位差)を以てし之を電離溶壓といふ。ヴォルトを電壓の單位として之が次の表に示してある。

$K K^+$	-2.92	$Fe Fe^{++}$	-0.44	$H_2 2H^+$	0.00	$Hg Hg^{++}$	0.86
$Na Na^+$	-2.71	$Ni Ni^{++}$	-0.25	$Cu Cu^{++}$	0.34	$Au Au^+$	1.5
$Zn Zn^{++}$	-0.76	$Pb Pb^{++}$	-0.13	$Ag Ag^+$	+0.81		

第393節 電流 電池

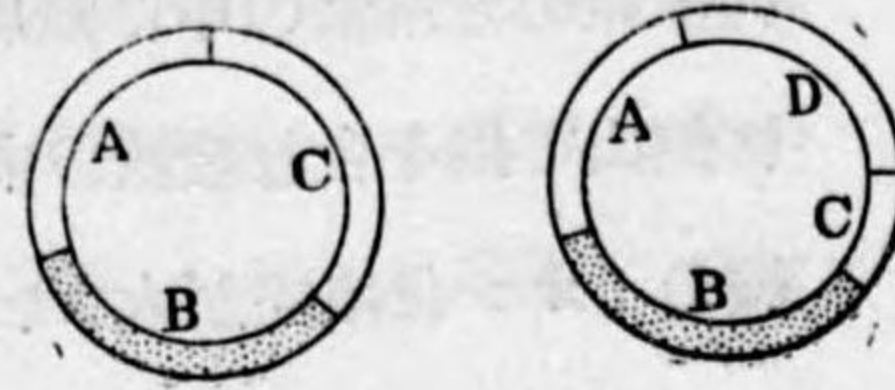
或電解質 B の中に二つの異なつた金屬板 A, C を對立する。今 A を銅、 C を亜鉛、 B を稀硫酸とすると亜鉛板は液に犯されて Zn^{++} を出し自身は陰に帯電する銅板も亦同様に Cu^{++} を出すが電離溶壓が亜鉛の方が大であるので Cu 板は Zn 板に比しては電位が高く約 1 ヴォルトの差が生じて平衡状態になり化學作用は停止する。液は兩板よりも電位が高く陽に帯電してある。



第582圖 電解質中に對立する二つの異つた金屬の板

扱て A, C 二つの板を空中に於て金屬線を以て連絡させて見ると如何なる現象が起るか。此際 A, C の間に入れる針金が第三の金屬 D であつても亦 A, C whichever であつて A, C が直接に接觸しても何等の差はないことを注意して置く。それは第384節に記した通り金屬間の接觸電氣に於ては $V_{AD} + V_{DC} = V_{AC}$ だからである。故に A の銅板に同じ銅の針金を附してそれで C の

亜鉛板に觸れることにする。然るときは銅の電位が亜鉛よりは高いから電氣（陽電氣）が針金を通して銅から亜鉛の方へ流れ所謂電流が生成する。此電流は若し銅と亜鉛とが同一の電位になれば、それで止んで仕舞ひ銅が高電位にあることを持続すれば電流は長く持続される筈である。唯今の場合では化學作用の爲めに銅は高電位に保たれ電流が永續するのである。その理由を之から説明する。



第53圖 電解質 B と異金屬 A, C, D 等の接點

上記の如く銅板と亜鉛板とを針金で連絡すれば電流の爲に陽電氣が銅板から針金を通じて亜鉛板の方へ移行するので銅板は陽電氣を失ひ(即ち陰電氣を得)亜鉛板は陽電氣を得て銅板の陽電位は下り亜鉛板の陰電位も亦下るので結局兩方とも板を初めて稀硫酸中に入れて少し化學作用が始まりかけた状態の方へ逆戻りした形である。故に中止して居た化學作用が直に再開し得られることになつて亜鉛は Zn^{++} を液中に送り出して自身の陰電位は又上り Zn^{++} は液中にある So_4^{--} と組合つて $2H^+$ を遊離させる。

銅板も亦その得た陰電氣で H^+ を吸引して自身の陰電氣と H^+ の陽電氣と中和して $2H^+$ は H_2 なる水素分子となつて銅板の上に附着する。斯くして銅と亜鉛とを直接に連絡して居る間は化學作用が持続せられ銅は高電位に亜鉛は低電位に保たれ電流も亦持続せられる。連絡を絶てば電流も止み化學作用も止むのである。

上記の如き化學作用によつて電流を得る装置を電池といひ二つの金屬板の中電流の流れ出す方を陽極、流れ込む方を陰極といひ總稱して電極といふ。又電流が流れて居ない平衡状態に於ける兩極間の電位の差を電池の起電力といふ。上例では銅が陽極、亜鉛が陰極でこれをヴォルタの電池といひその起電力が約 1 ヴォルトである。そして兩極を連絡したときは二つの金屬 A, C と電解質 B とで一つの回路を作つた。或は回路を開いたと云ひ、連絡を絶つたときは回路を切つ

た或は回路を開いたと云ふ。第 384 節に述べた如く三つの金屬 A, B, C で回路を開いたときは A, B, C には電位差はあつても電流は起らぬ。回路の中に電解質があると之を閉ぢれば電流が流れるのである。

回路を開ぢ又は開くといふ語は外國語の直譯で一才變な言ひ方である。第 585 圖にそれが圖示してある。



第584圖 回路の開閉開, K: 開閉器

第 582 圖の銅板に銅線を附してその先で亜鉛板に觸れたり離れたりするときは回路の開閉點は銅線の端なる二金屬 AC の界である。

第 370 節に述べたガルバニの蛙の實驗といふのはガルバニが生理學の實驗の爲に準備した蛙の後脚を腰部に眞鍮の鉤をつけて之を廊下の鐵格子に吊して置いたときに脚の先が何かの拍子で鐵に觸れると其都度必ず脚肉が痙攣的に收縮することを發見したのである。此現象をヴォルタが研究して蛙の脚の先が鐵に接觸する毎に眞鍮と鐵と蛙肉との三つで一つの回路が形作られ此回路を通して電流が發生したのであることを知つたのである。即ち眞鍮と鐵とが電極で蛙の肉の中にある液が電解質である。



第585圖 ガルバニの實驗

ガルバニの實驗は一見誠に些細な事柄で蛙の脚がピクピク動いたといふだけの事だが、それが學者の研究の出發點になつて今日の世の中で大層な役目をして居る電流といふものの發見の端緒となり動電氣學といふ學問の開拓となつたのは實に驚異に値する。些細な事をも見逃さぬ學者の觀察力の鋭敏と研究心の旺盛なる適例として此事件が屢話題として取り上げられるのは尤なことである。

上文では主に銅板と亜鉛板との連絡に用ゐた針金の中の電流のことを説いたのであるが稀硫酸の中でもイオンによる電氣の移動がある。即ち電氣はイオン

に擔はれて液中を動くのである。陰極の亜鉛の所では化學作用と共に Zn^{++} が亜鉛板から離れ行くので陽電氣が亜鉛から液へ移り陽極の銅板の所では $2H^+$ が陽電氣を銅板に與へて分子の H_2 となるので陽電氣が液から銅へ移る。故に液の中では陽電氣が亜鉛から銅へと運ばれ空氣中にある針金の中では銅から亜鉛へと運ばれて陽電氣が一の環狀回路を爲す(陰電氣は同時に反對に)のである。

第 394 節 二三の電池

ヴォルタの電池は使用して居ると漸々電流が弱る不便がある。これは前節に説く如く銅板の所に H^+ 又は H_2 が蓄積せられて銅板を包圍し直接に稀硫酸に觸れることを妨げ又此 H^+ が液の中で陽電氣を銅から亜鉛へと向はしめて主電流に反對する逆効果を生ずるからである。故に實用にはヴォルタの電池でなく此害を除いた電池を使用するのが常である。

ダニエル(Daniel)の電池は圓筒形の陶器又は硝子の容器の中に素焼の圓筒形の隔壁を置き其外側と容器との間に硫酸銅の飽和溶液を入れ其中に銅板を立て、陽極とし内筒には稀硫酸(體積にて水 10 硫酸 1)を入れ此中に亜鉛棒を置いて陰極とする。起電力は約 1.1V である。回路を閉じたときに於ける化學變化は陰極に於て亜鉛は Zn^{++} を出して硫酸と化合して硫酸亜鉛を生じ陽極の H^+ は隔壁を通して内筒から出て SO_4^{--} と組合つて硫酸銅から銅を離して Cu^{++} とし之を陽極に附着させる。故に亜鉛は漸々腐蝕せられ銅板は新しい銅で被覆せられるのみで極板もその周圍の液も少しも状況を變じないから長く一定の電流を得られる。

ルクランシェ(Leclanché)の電池は陽極に於ける水素も酸化させるといふ考案で出来たものである。



第 586 圖 ダニエルの電池

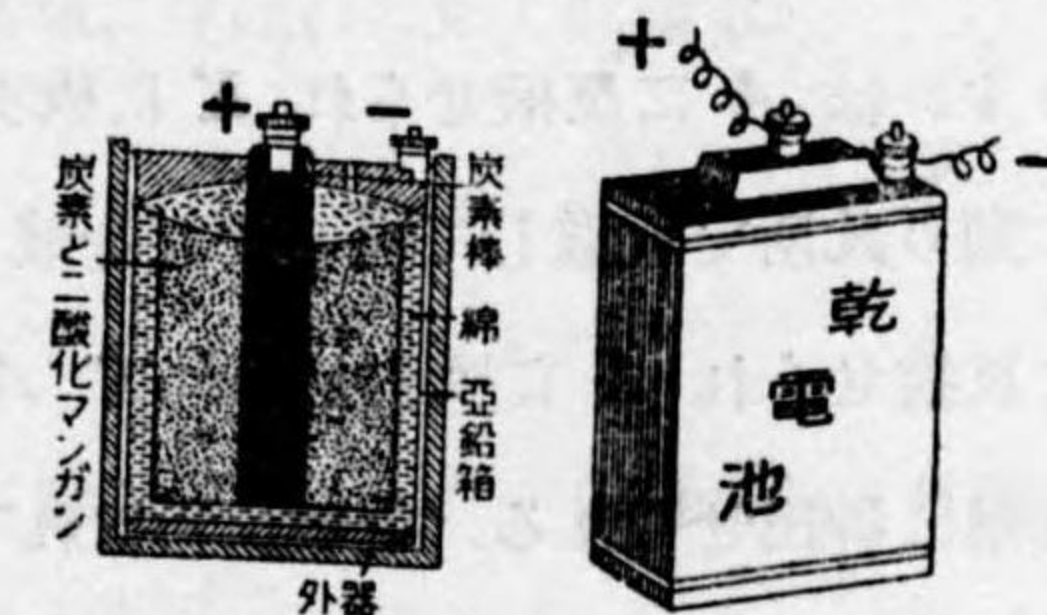


第 587 圖 ルクランシェの電池

陰極は亜鉛、電解液は略 20% の鹽化アンモニウムの水溶液であるが陽極には炭素棒を用ひ之を二酸化マンガンの粒で包被し此酸化劑によつて H^+ を處分するのである。然かしこの酸化作用が餘り敏活でないので開路のときの起電力が 1.6~1.4 V. のものが閉路すると漸々 1.2~1.1 V に低下して長時間の又は連続的の使用に堪へない。然しながら暫時放置すれば復活するから此電池は電鈴用としては賞用せられて居る。

乾電池はルクランシェの電池を携帯用にしたものである。陰極を亜鉛板の箱形にして容器の役目をさせ鹽化アンモニウムの溶液を多孔性の物質に浸込ませ尙乾燥しない様に鹽化カルシウム又はグリセリン等の吸濕性物質が添加してある。

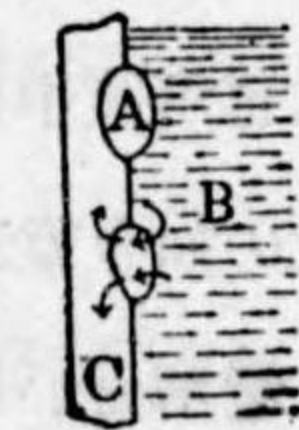
此等の電池の陰極たる亜鉛は通常其表面を水銀でアマルガムにしてある。その理由は普通亜鉛には鐵その他の異金屬が



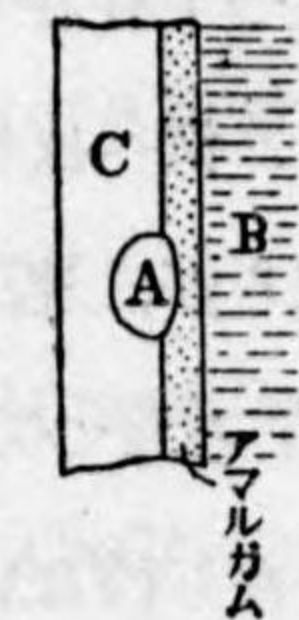
第 588 圖 乾電池

混在して居るが、これが電極の表面に出て居るものを其儘電解質中に立てると第 589 圖の如く此異金屬 A と電解質 B と亜鉛 C で一つの小回路が出来、此所に局部的の電流が生じて(主回路が開いてあつて電池として使用して居ないときでも)亜鉛が不斷に空しく消費せられる。故に此患を除く爲に陰極として使用すべき亜鉛の表面は先づ之を酸で清淨にしてから之に水銀を塗りつけてアマルガムで極板の全表面を包む。斯くすれば亜鉛は水銀の中に滲透して液に作用するけれど鐵はしないから電解質 B は水銀中にある亜鉛に作用して正しい電池の働きが行はれる。

尙後文に蓄電池(第 406 節)及び標準電池(第 411 節)の記事がある。



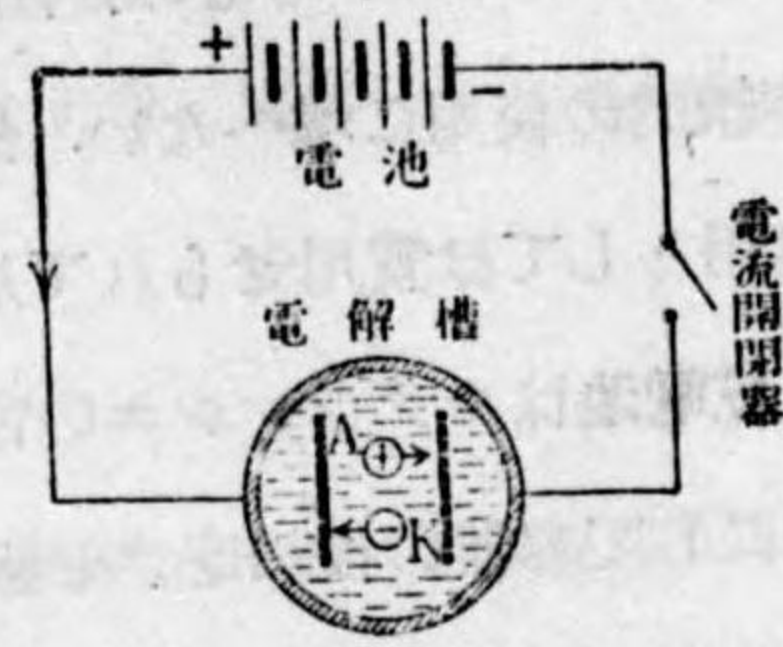
第 589 圖 不純物による局部回路



第 590 圖 アマルガムで極板を包んで局部回路を生ぜしめない

第 395 節 電氣分解

電解質中に二個の金屬板（又は金屬棒） A, K を立て A を電池の陽極に K を陰極につなぐと電池から来る電流は A で電解質中に入り K から出て行き電池の陰極を経て電池内を通過して A に至り一つの回路を閉ぢる。斯くすると A は陽に K は陰に帯電されたことになるから電解質中のイオンは此作用を受けて陽イオンは A に反撥せられ K に吸引せられて K に到り此所で放電して陽イオンを成す物質が析出せられ、陰イオンは反對に K に反撥せられ A に吸引せられて A に到つて放電して陰イオンを成す物質は其所に析出せられる。放電は行はれても電池から續々電氣の供給があるから A, K の帯電は元の通りで此作用は永續する。但しイオンが電氣を失ふと其物質がその儘では存在し得ない場合があつて、その時には A 又は K の金屬或は電解質中にある液に化學的に作用して他の物質となつて現はれるのである。此の如き電流によつて陰陽のイオンが兩方に分かれる現象を電氣分解又は略して電解といひ、之に要する装置を電解槽、 A をその陽極 K をその陰極といふ。電解に於ては電流がイオンを作り出すのではなく既に電解質中にイオンとなつて存在して居るものに方向性を與へて兩極に分かれて現はれしめるのである。例へば電解質を稀硫酸とすれば $2H^+$ は陰極 K に、 SO_4^{--} は陽極 A に到るが、若し極板が共に白金板だとすると（第 397 節の第 594 圖） $2H^+$ は H_2 となつて K の上に現はれ氣泡となつて液中を上昇し SO_4^{--} はその儘では存在し得ない物であるから水 H_2O に作用して硫酸 H_2SO_4 及び O となり酸素の氣泡が A から發生する。此とき極板から出る氣體の體積は水素が 2 酸素が 1 の割合である。若し極板が銅なれば陽極に於て SO_4^{--} が銅に作用して



第 591 圖 電氣分解 A : 陽極
 K : 陰極

硫酸銅となるから液は電極の附近に於て青くなり水素が陰極から發生する。

上記の場合は陰極に水素 H_2 、陽極に酸素 O が析出されるので普通は水の電解だといふが實は稀硫酸の H^+ イオンと SO_4^{--} イオンによる電解である。純粹の水は電流の通ることによる大なる抵抗を爲すもので電解はしない。

更に電解の例を擧げる。硝酸銀 $AgNO_3$ の水溶液に於ては陽イオンは Ag^+ 陰イオンは NO_3^- であるが銀を電極板とし白金を陰極板とすれば電解の結果は NO_3^- が銀に作用して之を腐蝕して硝酸銀を作り Ag^+ は陰極の白金板の上に附着するので恰も銀が單に陽極より陰極に運ばれた如くなる。

第 396 節 ファラデーの法則

電氣分解に於て析出せられる物質の量に關してファラデー (Faraday 英國の學者 1791—1867 年) は次の事實を明かにした。

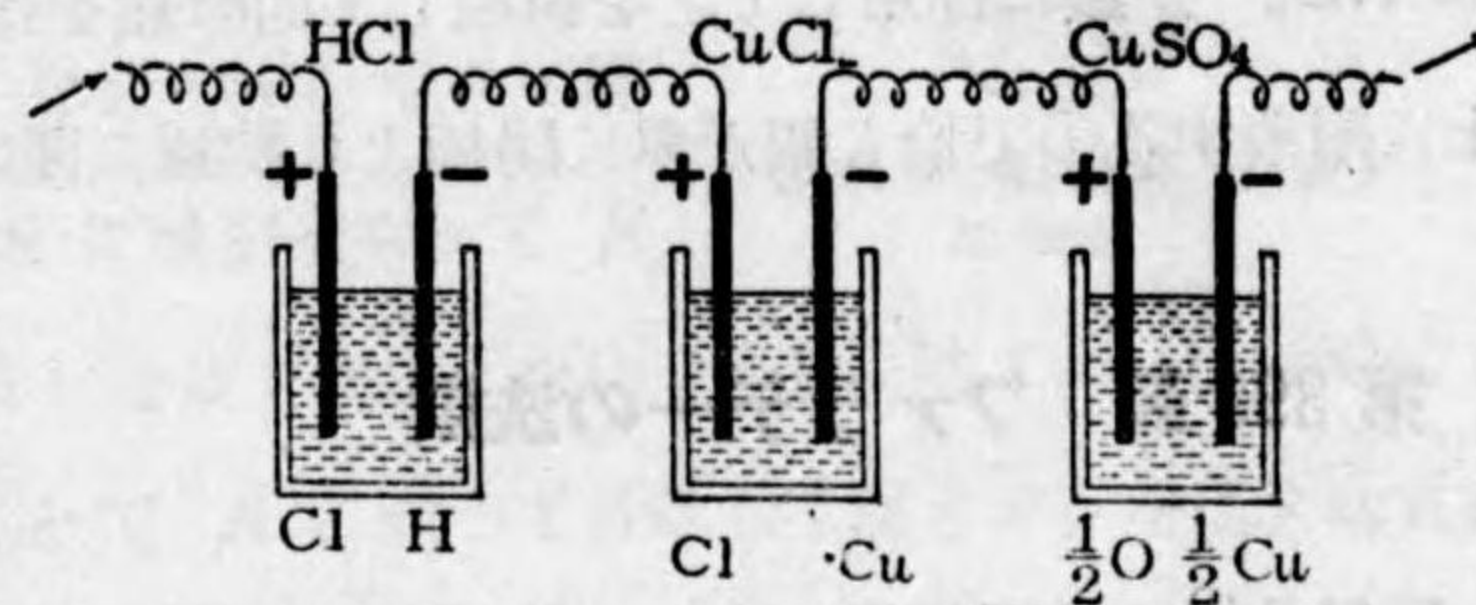
- 第一 析出せられる物質の量は電流を通した時間に正比例する。
- 第二 同一の電流で同一の時間中に析出せられる種々の物質の量はその物質の化學當量に正比例する。

第一の一定の電流が或特定の電解質中を通ずるときその析出量が時間に正比例することは常識的にも當然のこととして肯定せられる事柄である。第二に就ては先づ化學當量といふものを知らねばならぬ。これは水素又は酸素の一定量と直接又は間接に反應し或は之と置換する他の元素の量の前者に對する比で通常は酸素の 8 瓦に對する比を言ふ。換言すれば 元素の原子量 A をその原子價 n で除したものである。元素によつては價數が一つに限られて居ないものがあるが、それぞれの原子價に對して化學當量がある。例へば銅は $CuCl$ の如き第一銅のときは一價で $CuSO_4$ の如き第二銅では二價であり鐵は $FeCl_2$ の如き第一鐵では二價、 $FeCl_3$ の如き第二鐵では三價である。

第二の法則によると第592圖の如き三つの電解槽を一行に並べて之に電流を通ずると第一槽、第二槽の陽極に 35.46 瓦の鹽素が出たとすれば第三槽の陽極には 8 瓦の酸素、第一槽の陰極には 1.008 瓦の水素、第二槽の陰極には 63.55 瓦、の銅、第三槽には 31.77 瓦の銅が析出せられるのである。

	原子量 A	原子價 n	化學 A 當量 n
H	1.008	1	1.008
O	16.00	2	8.0
Cl	35.46	1	35.46
Fe'	55.84	2	27.92
Fe''	''	3	18.61
Cu'	63.55	1	63.55
Cu''	''	2	31.77
Zn	65.38	2	32.69
Ag	107.88	1	107.88

次に析出量の絶対値を述べる。先づ電流の單位の大きさを定める。實用單位はアンペア Ampere といひ之を書き表はすに A 字を以てす



第592圖 同一の電流を種々の電解質中を通ずる實驗

る。之は毎秒 1 クーロンの電氣量が流れるものをいふ。即ち クーロン=アンペア×秒 である。

今日まで實驗上最も正確に測定せられたものは銀であるが之では 1 A の電流は毎秒 0.00111810 瓦の銀を析出する。即ち之が 1 クーロンに對應する銀の量である。他の物質では化學當量に正比例して定められる。此量を電氣化學當量といふ。

或物質の電氣化學當量でその化學當量を除すれば化學當量を析出するに要する電氣量のクーロン數を得る。例へば Cl では $35.46 \div 0.0003675 = 96490$ であるが、これは勿論總ての物質に共通の一定の恒數である。之を F 字で表はしファラデーの恒數といふ。F の正しい値として

$$F = 96494 \text{ クーロン}$$

	電氣化學當量
H	0.00001044
O	0.00008291
Cl	0.00003675
Fe'	0.0002893
Fe''	0.0001929
Cu'	0.0006588
Cu''	0.0003294
Zn	0.0003388
Ag	0.0011181

が今日採用されて居る。

水素イオンは水素一原子に陽電氣素量が 1 個附いて居る。水素 1 原子の質量は 1.662×10^{-24} 瓦である。故に之を水素の電氣化學當量で除すれば電氣素量 1 個の帶電量がクーロン單位で得られる。

$$\epsilon = \frac{1.662 \times 10^{-24}}{0.00001044} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ クーロン}$$

而して 1 クーロンは C. G. S. 靜電單位で 3×10^9 であるから

$$\epsilon = 1.60 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^9 = 4.80 \times 10^{-10}$$

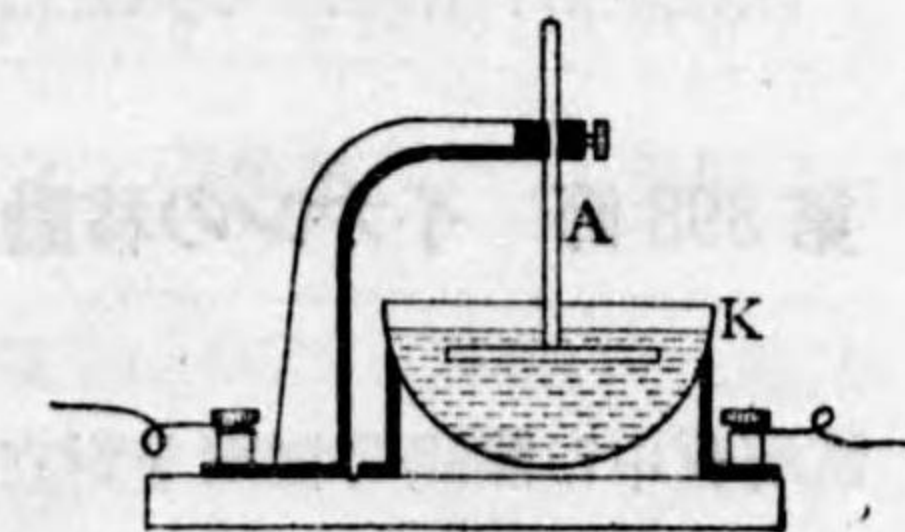
で前に屢擧げた數値と一致する。

アンペアは電流の C. G. S. 靜電單位の 3×10^9 倍であるが國際會議を開いて之を實際化すると前記の銀の電氣分解が最も正確に之を實現し得るとして銀の水溶液から銀の 0.00111800 瓦を毎秒析出する電流なりとの議決をなしそれを採用して之を國際アンペアと命じた。然るにその後一層精密な研究を行ふて以上の分量を析出する電流は 0.99994 A であつて 1 アンペアよりは極少しではあるが小であることが明にされたのである。

第 397 節 電量計

電量計は電氣分解によつて或時間中に流れた電氣の總量を測定する器械である。故に此器械で得た電氣量を時間で除して電流の大きさを知ることが出来る。普通使用する電量計に三種ある。

最精確なるものは銀電量計 (第 593 圖) であり之では純粹なる硝酸銀の 15% 水溶液を電解液とし之を白金の皿の中に入れる。此皿 K は容器であると同時に陰極として利用せられる。陽極 A としては銀の柄をつけた圓板を液中に吊して置く (第 396 節)。實驗の前後に於ける皿の質量を秤量して、



第593圖 銀電量計

145271

その差を以て析出した銀の量を得、之を銀の電氣化學當量で除してクーロン數を得る。

銅電量計は硫酸銅を電解質とし電極に陰陽共に銅を使用する。陰極の質量の増加からクーロン數を算出することは上と同じ

水電量計は第594圖に示したもので電解液として10~20%の硫酸を使用するときは兩極板は共に白金を使用し、若し苛性ソーダを使用するときはニッケル極板を使用する。但し後の場合には不純物として鹽化物を含まざることを注意しなければならぬ。此電量計では析出した水素又は酸素の體積を別々に或は兩氣體の混合したものの體積を測定して之を標準状態にあつて乾燥したものに換算するのである。水素ならば標準状態の1ccの質量が0.00008987瓦であるから電氣化學當量0.00001044瓦の體積即ち1クーロンに相當する體積は

$$\frac{0.00001044}{0.00008987} = 0.116 \text{ cc.}$$

である。酸素ならば同様にして電氣化學當量の體積は

$$\frac{0.00008291}{0.001429} = 0.058 \text{ cc.}$$

であつて水素の體積の二分の一であることは前述の通りである。

若し酸素と水素を別々にせず一緒にして捕捉すればその

1ccは5.748クーロンの電氣量に對應する。

水電量計は精確なる測定には適して居ない。

第398節 イオンの移動

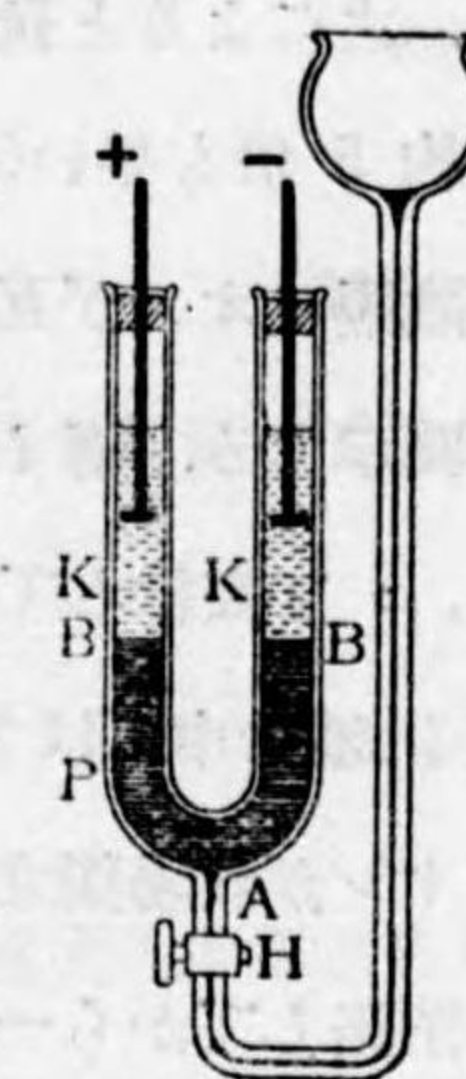
電解質中に陰陽の極板を對立させ回路を閉ざると陰イオンは陰極に反撥せられ陽極に吸引せられて液中を陰極から陽極に向つて移動し陽イオンは反對に陽極から陰極に向つて移動する。



第594圖 發生氣體による水電量計

142574

第595圖は之を示す装置である。脚の長さ10厘位のU字管に液を入れる爲の枝管をつけたもので此細管には口栓Hがつけてある。先づP、K二液を準備する。Pは水1リットルに過酸化マンガン加里KMnO₄ 0.5瓦を溶解して後その比重を大にする爲に約5%程尿素を添加する。Kは硝酸カリウムKNO₃ 0.3瓦を水1リットルに溶解したもの。そこで先づ口栓Hを閉じて漏斗からP液を適當量だけ注入し、次に靜にHを開いてP液を細管とU字管との継ぎ目のAまで上昇せしめて之を閉ぢる。それからK液を



第595圖 イオンの移動を示す實驗

U字管中に適宜に注入して後再びHを開いて兩液の境を圖に示すBBまで上昇せしめて之を閉ぢる。さうすると無色透明なるK液が判然たる境界を以て濃黄色のP液とBBに於て接觸して居る。此準備が終つた所でK液中に下垂する白金の電極を約50V程の電源につないで電流を通ずるとP、K兩液の陽イオンK⁺は陰極の方に移動し陰極に達すれば水に作用してKHOを作るが此移動は目に視ることは出来ない。陰イオンはK液のNO₃⁻、P液のMnO₄⁻は共に陽極に向つて移動するが此際MnO₄⁻はその色によつて移動を見ることを得て二液の境界がU字管の一脚では昇り他脚では降る。その速さは回路を閉ぢてから3分時の内に1厘程も移動する。

イオンが液中を移動する速さは陰、陽によつて其値を異にする。又温度の高い程大である。それから陰陽兩極間にある電位差の強さに正比例して大きくなるが然かし各イオンに固有の速度があつて他のイオンの存在によつて影響せられ

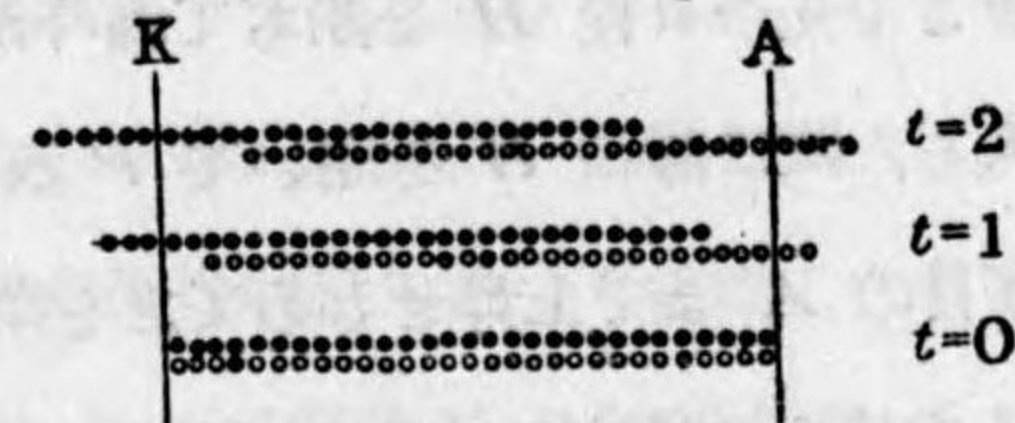
ることはない。次の表は温度18°Cに於て電界の強さが1厘につき1Vのときの移動速度を示すものであ

H ⁺	33.0 × 10 ⁻⁴ 厘/秒	OH ⁻	18.0 × 10 ⁻⁴ 厘/秒
Li ⁺	4.6	Cl ⁻	8.8
K ⁺	6.7	No ₃ ⁻	6.5
Zn ⁺⁺	4.8	So ₄ ⁻⁻	7.1
Ag ⁺	5.6		

る。之によると硫酸に於て電氣を液中で運搬するのは H^+ の方が SO_4^{--} よりは約 5 倍も早いのである。

陰陽イオンが互に反対の方向に移動して電氣を運ぶ有様を模型的に第 596 圖に圖示する。陽イオンは・で表はしそれが毎秒 3 個づゝ左方にある陰極に向ひ、 \circ で表はしてある陰イオンは毎秒 2 個づゝ右方の陽極に向ふものとしてある。液の中には勿論此等のイオンの外に中性の分子もあるが、その分子の間をイオンが陰陽獨立に移動するのである。

閉路してから一秒の後には・が左に 3 個が \circ 右に 2 個移動したので陽極に於ては 5 個の陰イオン、陰極に於ては同じ



第 596 圖 陰陽イオンの速度に差あり

く 5 個の陽イオンが電極に付き、それに相當するだけの物質が析出せられ二秒の後までには最初から言へば 6 個の・が左に 4 個の \circ が右に動くので 10 個のイオンに相當するだけの物質が兩極に於て析出される。

今回路を閉ぢる前に液の單位體積中に n 個づゝの陰陽のイオンがあつたとする。又陰陽イオンの移動速度をそれぞれ u_-, u_+ とし、イオンの荷電(帶電量のこと)を e とする。然るときの毎秒 nu_+ 個の陽イオンが neu_+ の陽電氣を陽極から陰極に運び個の陰イオンがの陰電氣を陰極から陽極に運ぶから結局一秒間に運ばれた電氣の量即ち電流の大きさ i は

$$i = ne(u_+ + u_-). \quad (398/1)$$

である。

陰陽のイオンが移動速度を異にすることは兩極の附近に於けるイオンの濃度が第 596 圖で示す如くに異なつて居ることによつて推知せられるのである。電解液の眞中に於ては單位體積中に n 組の $\cdot \circ$ があるが極の附近に於ては t 秒間には陽極の附近では nu_+t 個の組が失はれ濃度は

$$\begin{aligned} n_+ &= n - nu_+t, \\ n - n_+ &= nu_+t. \end{aligned} \quad (398/2)$$

となり陰極附近では nu_-t 個が失はれて濃度は

$$\begin{aligned} n_- &= n - nu_-t, \\ n - n_- &= nu_-t. \end{aligned} \quad (398/3)$$

となる。此兩極に於ける濃度の變化 $n - n_+$ と $n - n_-$ との比を計算して見ると

$$\frac{n - n_+}{n - n_-} = \frac{u_+}{u_-}. \quad (398/4)$$

となるから濃度の測定を行へば此式によつて $\frac{u_+}{u_-}$ なる移動速度の比を求められる。

前に表記した移動速度は電位差が 1 極につき 1V のときのものであるが電位差が大ならば之に比例して大となるけれど $u_+ u_-$ の比は表にある u の比のまゝである。故に稀硫酸を電解すると陽極の濃度の變化が陰極に於けるものゝ約五倍程大であることが知れる。 KCl の電解では兩極の濃度の變化は大體等しい。第 595 圖の實驗に於て強い 50V の電源を使用したのは $u_+ u_-$ を大ならしめて速く現象の進行するのを見度いからである。

第 399 節 電氣分解の應用

電氣分解の工業上の應用が色々あるが電鍍、電鑄及び電氣冶金等がそれである。尙第 606 節に記す蓄電池もその應用と考へられる。

電鍍術は金屬製の物體を電解によつて他の金屬で被覆する術で即ち電氣メッキの方法である。先づ物體の表面を清淨にする爲めに最初に其表面を機械的に磨き次に熱いアルカリ溶液で油脂類を去り更に酸を用ゐて酸化物等を除去してから清水で洗つて之を陰極として電解槽中に入れる。陽極は被覆させようと思ふ金屬を用ゐる。此技術に於て重要なことは被覆した金屬膜が脆くなく又表面が滑かなものを得る爲に電解液の温度と陰極に於ける電流密度とを適當にし

なければならぬことである。電流密度とは電極板の単位面積上を通る電流の大きさである。

電鍍術の詳細は他書に譲つて一例として次に銅鍍について述べれば水 1 リットル中に $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (普通の硫酸銅) の 200 瓦と H_2SO_4 の 30 瓦とを入れた液を電解液とし、温度は $45^\circ \sim 55^\circ\text{C}$ とし、電流密度は 1 デシメートル平方につき 2.0A とすれば良い。

電鑄は原物と同様な寫型を電氣分解によつて複製することで銅鑄を普通とする。先づ原物の陰型を得る爲に之に蠟又はゴム等を密着させて剥き取り此陰型の表面に電氣傳導性を與へる爲に黒鉛の細粉を塗りつけて硫酸銅の電解槽中に吊下げ之を陰極として銅鍍の條で述べた通りにして銅を附着させるのである。最初は陰型の表面の傳導性が不充分だから電流が弱いけれど暫時にして銅が附着して所要の電流密度が得られる様になる。銅が充分の厚さになれば之を陰型から剥き取るのであるが之を容易ならしめるには陰型に黒鉛を塗つてから先づ之を硝酸銀の電解槽に入れて銀の薄層をつけ次に沃度のエーテル溶液を注いで沃化銀の層と變して後に銅電解槽中に移すが良い。斯くすれば剥取りが容易で且陰型を數回使用し得る利益がある。

電氣冶金の一例として銅の精鍊を述べる。銅鑛石から爐の中で製鍊された粗銅は其中に鐵、ニッケル、銀、金、コバルト、鉛等を含む不純なものである。之を陽極として銅鍍の所で記した電解槽中に吊し精銅を陰極として電氣分解を行ふ。彼所に記してある條件の通りに作業すると銅のみが陰極に附着し他の金屬は液中に残るか又は遊離して槽底に沈澱する。斯くして得た銅は電解銅と稱して 99.9% 程の純度を有し電氣工業に使用する導線として適當して居る。

第四十章 電流

第 400 節 電氣に関する單位と符號

電氣に関する諸量の單位には理論上の目的に使用するに都合のよい C. G. S. 系統のものと其とは別に實用單位といふものがある。C. G. S. 單位には第三十七章以下に於て説いた靜電現象に基づくものと後文第四十二章に於て更に記述さるべき電氣の流動に伴ふ電磁現象に基づくものとの二種があり區別の爲めに之を靜電單位 (Electro-static unit) と電磁單位 (Electro-magnetic unit) と呼び、それぞれ頭字をとつて *e. s. u.* 及び *e. m. u.* と略記する。第 372, 378, 380 節に記した C. G. S. 單位は皆靜電單位であり、それと實用單位との關係が述べてあつた。

電氣に関する諸量の中既に前文に現はれた電氣量 (第 372 節) 電位 (第 378 節) 電氣容量 (第 380 節) 電流 (第 396 節) の外に後文に記述される電氣抵抗 (第 401 節) 誘導係數 (第 454 節) 等がある。此等の量の説明はそれぞれの條下を参照することにして此所に便利の爲に此等の各々の單位を一括して掲げて置く。

實用單位にはそれぞれ名稱が附してあるが學術理論用の C. G. S. 靜電單位及び C. G. S. 電磁單位には名稱が附けてない。相互の關係は次の通りである

略符號	
電氣量	C 1 クーロン (Coulomb) $= 3 \times 10^9 (e. s. u.) = \frac{1}{10} (e. m. u.)$
電流	A 1 アンペア (Ampere) $= 3 \times 10^9 = \frac{1}{10}$
電位差	V 1 ヴォルト (Volt) $= \frac{1}{300} = 10^8$
電氣抵抗	Ω 1 オーム (Ohm) $= \frac{1}{9} \times 10^{-11} = 10^9$
電氣容量	F 1 ファラッド (Farad) $= 9 \times 10^{11} = 10^{-9}$

9×10^{11} $\frac{1}{9} \times 10^{-11}$ 9×10^{11}

誘導係數 H 1 ヘンリー(Henry) = $\frac{1}{9} \times 10^{-11}$ = 10^9

電力 W 1 ワット (Watt) = 10^7 = 10^7

此等の實用單位名は關係ある學者の名をとつたものでアンペアは A と略し
 ヴォルトは V , オームは Ω , ファラッドは F , ヘンリーは H , 電力は W と略
 する. そして此等の單位の千分の一はミリ百萬分の一には μ クロと形容詞を單
 位名に冠するのは總て他の場合に準じ (第 11 節) m, μ 等の略字を附するこ
 とも同様である. 例へば 1 ファラッドの百萬分の一は 1 μF クロファラッドで
 之を $1 \mu F$ と記すが如きである. 又千倍をキロといふことも同様であつて五千
 ワットは 5 キロワットで $5 KW$ と記すのである.

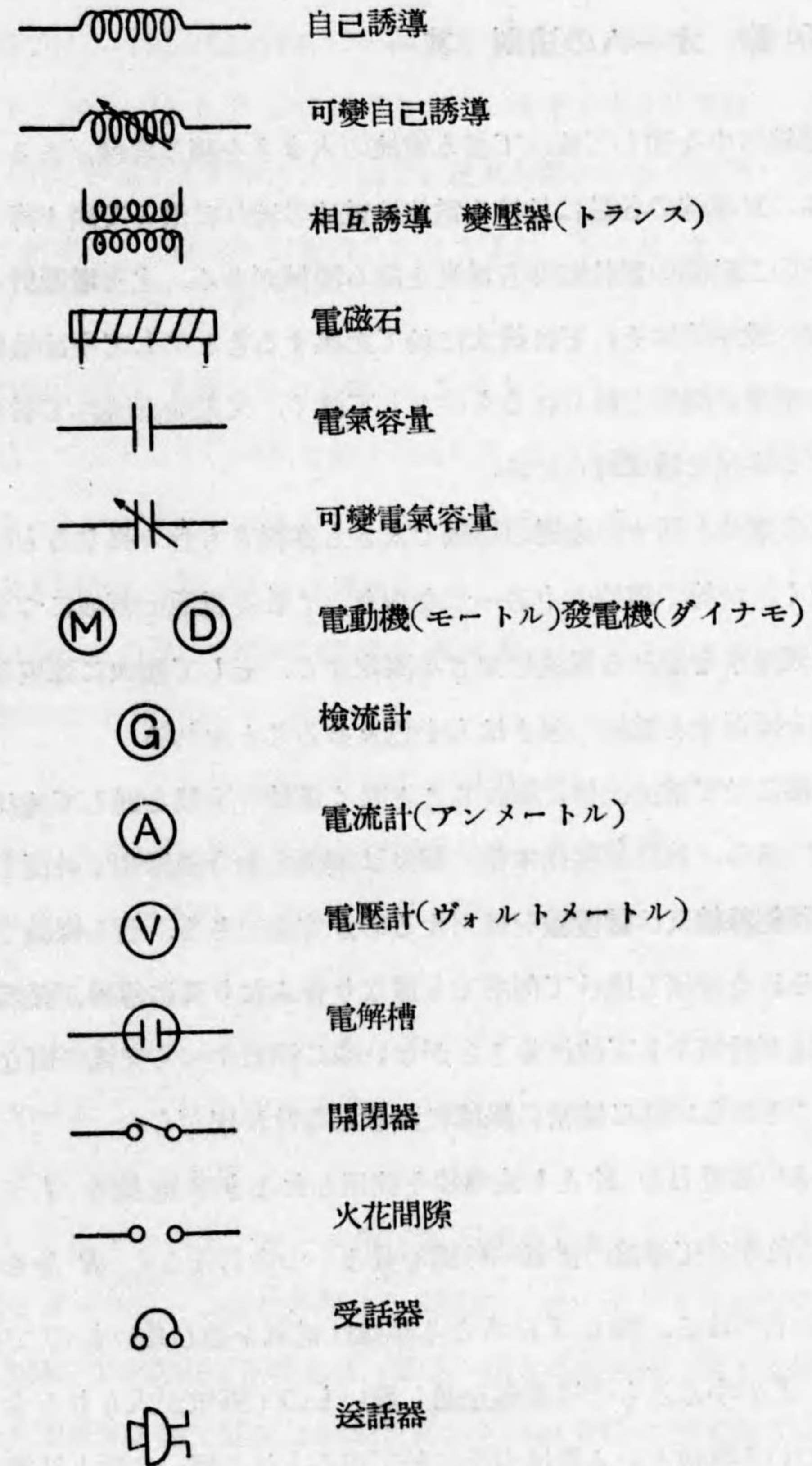
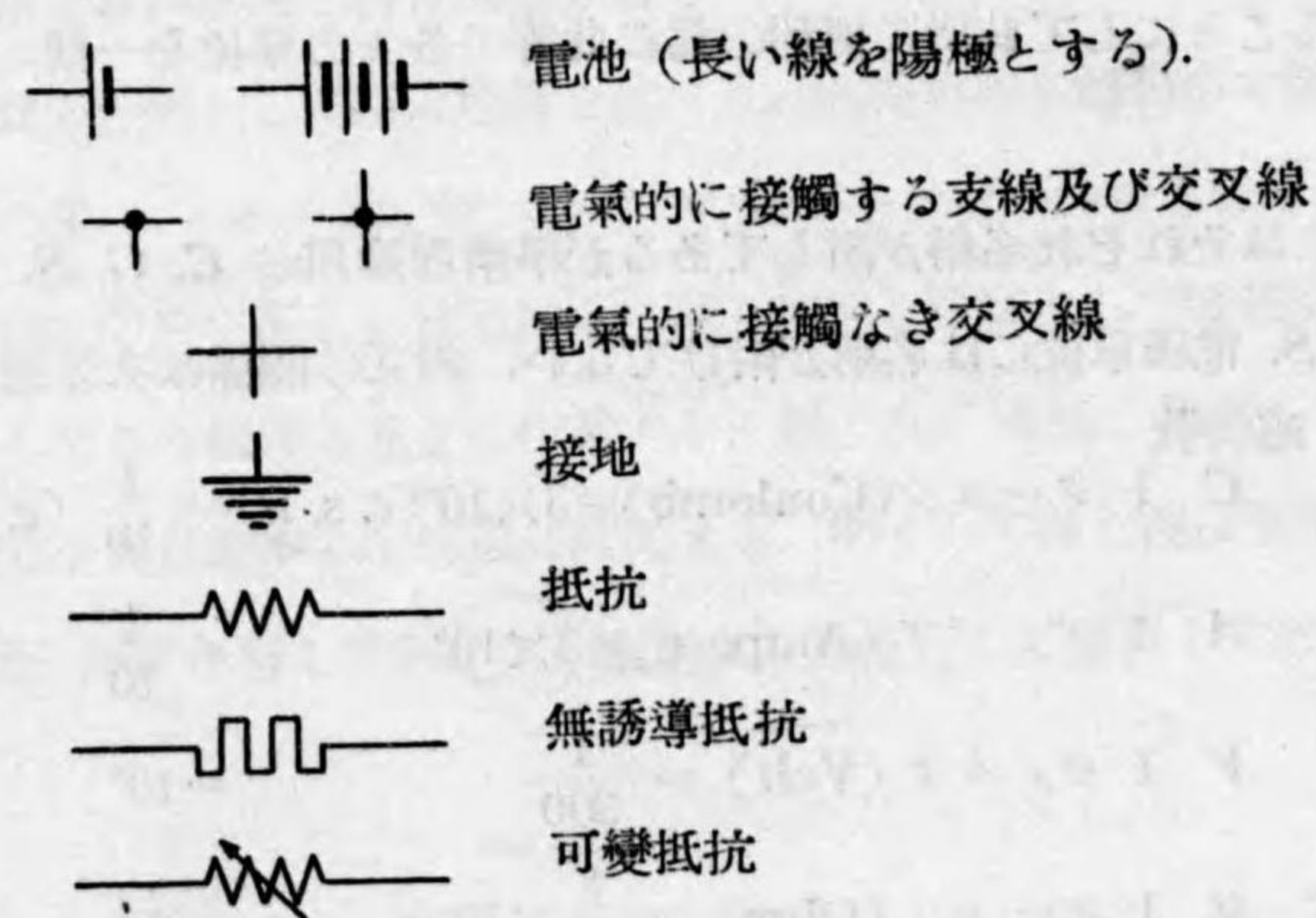
第 372 節に述べた電氣素量と呼ぶ電氣量の最小極限で電氣分解に於てイオンの帯び
 て居るものは靜電 C. G. S. 單位と電磁 C. G. S. 單位とで並記すると

$$\epsilon = 4.80 \times 10^{-10} (e. s. u.)$$

$$= 1.60 \times 10^{-20} (e. m. u.)$$

である

尙序に電氣の略圖に使用する諸符號を纏めて記して置く.



第401節 オームの法則 其一

金屬導線の中を通して流れて居る電流の大きさを測る器械がある。之を電流計といふ。又導線の各點に於ける電位は電流の流れに沿ふて漸々降下して行くが導線上の二點間の電位差即ち電壓を測る器械がある。之を電壓計といふ。此等の器械の説明等はそれぞれ後文に於て記述することにして今は唯此等の器械で電流や電壓が測定し得られるものとして置く。又電流が流れて居るか無いかを検査する器械を檢流計といふ。

今一定の電池と種々の金屬の導線で太さも亦長さも色々異なるものを數多く準備し置く。此等の導線の中の一つを取り、これを電池の兩極につないで回路を閉ぢて回路中を流れる電流の強さを測定する。そして順次に導線を取り替へて此實驗を繰返すと電流の強さは大小色々あることを知る。

此實驗に於て電流は他に漏れることなく導線の全長を通して流れることが大切である。故に導線は木綿、絹又は護謨の如き絶縁體で被覆したもの即ち所謂絶縁線又は被覆線を使用するのが安全である。若し裸線であるならば、それを延ばし廣げて何所でも重なり合ふたり又は導線が接觸したりして電流が近道をして流れることがない様に注意すべく又机の面などで漏電することのない様に適當に絶縁に注意しなければならぬ。

扱て電池の起電力を E とし或導線を使用したときの電流を I とすると $\frac{E}{I} = R$ の値を以て導線の電氣的性能を量る一つの目安とし R をその導線の電氣抵抗と名づける。即ち I の大なる導線は電氣を通し易いもので抵抗が小なりとし、 I の小なるものは電氣を通し難いもので抵抗が大なりとする。

此所でいふ抵抗といふ語は力學に於て用られる同一の語とは違ふことに注目するがよい。力學では机上にある一物體を f なる力で左に向つて動かさんとすると物體と机との間の摩擦力 f は反對に右に向ふので之を摩擦

抵抗と名づけ、物體を動かすのに有効な力は $f - f'$ である。即ち働かしめた力 f から減すべき力 f' が抵抗であつた。唯今の場合には導線に E なる起電力（力といふても力學の力ではない電氣を動かさしめる原因）を働かせるとその結果として現はれた電流の大きさ I は $\frac{E}{I} = R$ 故に

$$I = \frac{E}{R}. \quad (401/1)$$

で E を抵抗で除して得られると考へたのである。

故に此二つの場合には現象を起す原因たる f から減するか、原因たる E を除するかといふ相違があるのである。誤解のない様に此用語上の約束を最初によく把握して置くことを奨める。

電池が一定の起電力 E で導線の抵抗が R_1, R_2, R_3, \dots であるとそれぞれの實驗に於ける電流は I_1, I_2, I_3, \dots で

$$E = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = \dots \quad (401/2)$$

となるのである。(401/1) 式で表はした關係をオームの法則といふ、これは西曆 1827 年にオーム (Ohm ドイツの學者 1787—1854 年) の發見したものである。

E をヴォルトを單位として計り I をアンペアを單位として計つたときには R の單位をオームといひ Ω 字を以て之を表はす。例へば E が 10V で I が 2A ならば R は 5Ω である

上記のヴォルト、アンペア、オーム等は實用單位であることは第400節に之を説いたが、1 オームといふ抵抗の單位を具體的に表示するものを定めるために國際會議を開いて次の如く決定した。即ち一樣な切斷面積を有する純粹なる水銀柱の長さ 106.300 糎で質量 14.4521 瓦のものが 0°C に於て長さの方向に示す抵抗であるとしたのである。之を國際オームといふ。然るに其後一層精密なる測定を行つた所が上記水銀柱の抵抗は 1.00051 オームに相當して國際オームは少し大に過ぎることを明かにされた。

第 402 節 電氣抵抗

金屬導線の如く電流がその断面に對して一様に分布せられてあるものに於ては抵抗の大きさは

- (1) 導線の長さ l に正比例し
- (2) その断面積 S に逆比例する

又その金屬の材料如何に關しては

- (3) 材料の比抵抗 ρ に正比例する。比抵抗とは $l=1, S=1$ のときの抵抗であつて一立方寸の立方體の有する抵抗である。

又金屬の抵抗は温度が上昇すると増大するものである。一定温度に於ては

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (402/1)$$

である。

$\frac{1}{R}$ を導線の電氣傳導度といひ $\frac{1}{\rho} = \sigma$ を

その材料の比傳導度といふ。

導體が針金の形でないときでも之を通し

て電流が流れるときには矢張り抵抗といふことは考へられる。唯電流の分布が一樣でないから簡単に述べ得ないのである。又金屬でなくとも電解槽や電池内の液等でもその傳導の工合が金屬とは異なつてイオンによつて電氣が運ばれるといふ違ひはあるが然かし矢張り電氣抵抗といふ觀念は考へ得られる。例へば電解質の水溶液に於て濃度が小なるときには濃度を減すれば抵抗が大であることは第 398 節の

$$i = ne(u_+ + u_-)$$

で推知できる。即ち u は電源が強ければそれに比例して大であるから i も亦大になり、又液の濃度が小なればイオンの數 n が小で比傳導度が小で

	$\rho(\Omega.cm) 18^\circ C$
アルミニウム	2.94×10^{-9}
銀	1.66
水 銀	94.07
鐵(0.1%・炭素)	12.0
伸 銅	1.78
白 金	11.0

電流も亦小になる。液の濃度が大なる場合は液中に於ける電離現象が複雑で上記の如く簡単には述べられない。

前節のオームの法則

$$I = \frac{E}{R}$$

に於て實は電池にも若干の抵抗があるのだが導線の抵抗に比して小なるにより簡單の爲に之を省略したが、若し此を明記するならば次の如くにする。即ち電池の抵抗を内抵抗、導線の抵抗を外抵抗といふ。これをそれぞれ R_i, R_e とすれば回路の全抵抗は

$$R = R_i + R_e$$

でオームの法則は

$$I = \frac{E}{R_i + R_e} \quad (402.2)$$

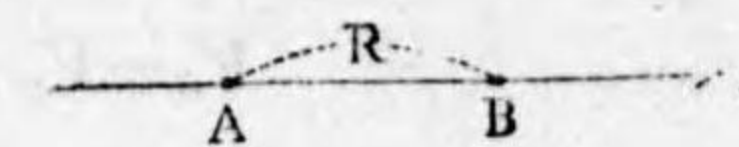
と記される。若し回路の中に電解槽があればその抵抗は勿論 R_e の一部分を成すのである。

第 403 節 オームの法則 其二

第 401 節に記したオームの法則は全回路に對するものであるが尙茲に回路の各部分に適用すべきものがある。第 597 圖に於て A, B は I なる電流が通過しつゝある一導線上の二點であつて AB 間の抵抗が R であると電壓計を用ゐて此兩點間の電位差即ち電壓 $V_A - V_B = V$ を測定して見ると

$$V = IR \quad (403/1)$$

であることを知る。これは導線上の一部分に適用される法則であつて甚重要な事である。



第 597 圖

實は區別する必要はない事であるが(401/1)では IR の電池の起電力は E で表はし(403/1)では同じ IR の回路の二點間の電壓は V で表はすことにする。之は説明の便宜のために姑く斯くするのである。

先づ此法則の應用例二三を擧げる。

第一. 第 598 圖は起電力 E なる電池に外抵抗 R_e なる導線をつないで回路を閉じたものである. 第 402 節の (402/2) 式によれば

$$E = I(R_e + R_i) \quad (403/2)$$

然るに (403/1) 式を導線 R_e の両端(即ち電池の両端)に適用すれば導線から言へば

$$V_A - V_B = V = IR_e \quad (403.3)$$

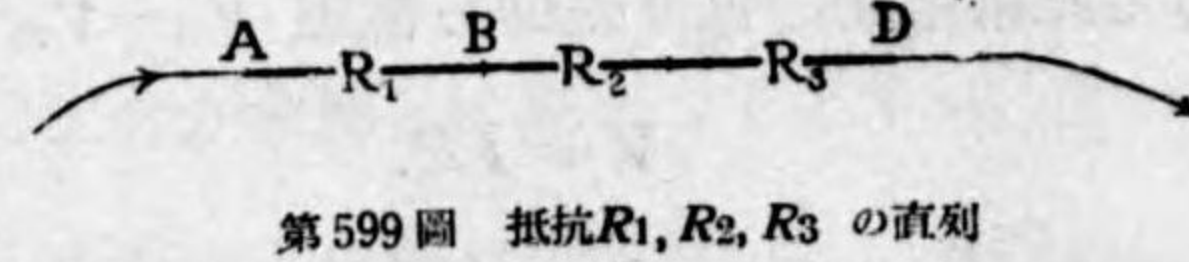
である. 此兩式に於ける E と V との相違は E は閉路のときの兩極間の電位差であり V は閉路のときの兩極間の電位差であつて $E > V$ である.

$$E - V = R_e + R_i : R_e \quad (403.4)$$

である. 故に電池の兩極を導線 R_e でつなぐと兩極間の電位差が E から V まで減少するのである. 若し R_e が非常に大きくて R_i は之に比して省略し得べしとすれば $E = V$ で回路を閉ぢても兩極間の電圧は降下しないが一般には降下するを常とする. 回路を閉ぢた爲めに生じた兩極間の電圧の降下は $E - V = IR_e$ であつて電池の内抵抗 R_i が大なれば著しい.

第二. 抵抗 R_1, R_2, R_3 等の導線 AB, BC, CD を第 599 圖に示す如く一行になぎ合はせることを直列につなぐといふ. 之に通ずる電流を I とすれば (403/3) 式によつて

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= IR_1, \\ V_B - V_C &= IR_2, \\ V_C - V_D &= IR_3, \end{aligned}$$



$$\therefore (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) = V_A - V_D = I(R_1 + R_2 + R_3) \quad (403.5)$$

扱て R_1, R_2, R_3 は太さも長さも違ふものであらうが電流の大きさ I で此代りとなるべき A, D 間に入るべき一本の導線の抵抗 R は何程と問へば R は

$$V_A - V_D = IR,$$

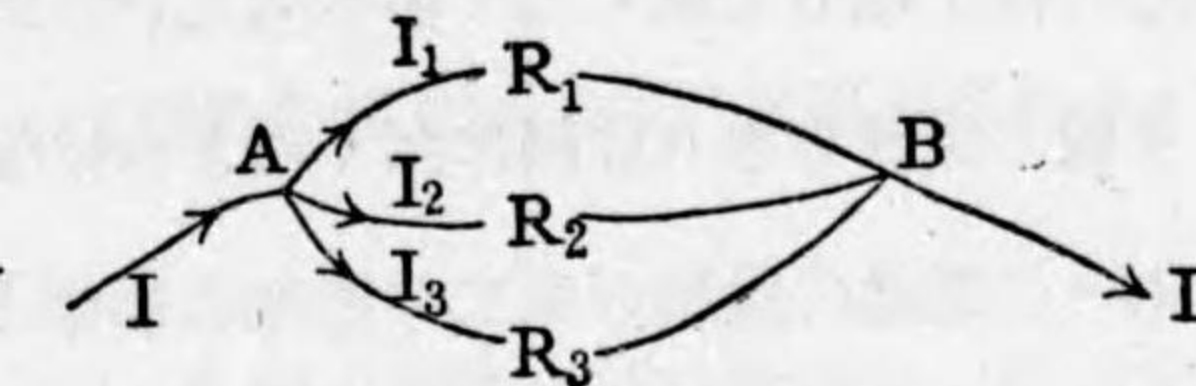


第 598 圖 回路の外抵抗と内抵抗

$$\therefore R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (403.6)$$

で導線を直列にすれば抵抗は單に累加する.

第三. 抵抗 R_1, R_2, R_3 等の導線を第 600 圖に示す如く並べて繋ぎ合はせることを並列につなぐといふ. 即ち電流 I を A 點に於て分岐して I_1, I_2, I_3 等とし B 點に於て再び之を合流して I となすのである. 電流が此の如き分岐接続によつて消失する筈がないから



第 600 圖 抵抗の並列

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (403.7)$$

である. 此場合に (403/1) 式を適用すれば

$$\begin{aligned} V_A - V_B &= I_1 R_1, \\ &= I_2 R_2, \\ &= I_3 R_3. \end{aligned}$$

であるが I の價を變ずることなく一本の導線 R で代用し得るものを求めると

$$V_A - V_B = IR.$$

(403/7) 式に之を代入すれば

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (403/8)$$

即ち並列の場合には抵抗の逆数を累加すれば合成した抵抗の逆数となるのである. 抵抗の逆数は傳導度である(第 402 節)から並列に於ては傳導度を累加すれば合成傳導度となるのである.

第 404 節 電池の接続

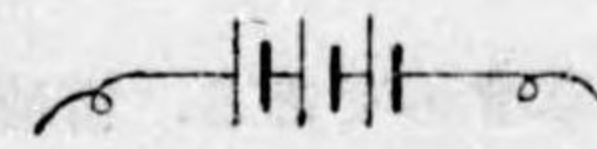
一個の電池では目的に叶ふ程の強い電流の得られないときに數個の電池を結合して使用することがある. その接続法に色々ある. 先づ一個の電池を略圖で示

すには第 400 節に記した如く第 601 圖に示す細長い線と太く短い線とを平行に描き之に導線をつける。細く長い方が陽極である。之は陽極は面積の廣い銅板、陰極は亞鉛の棒の積りで斯くしてあるらしい。



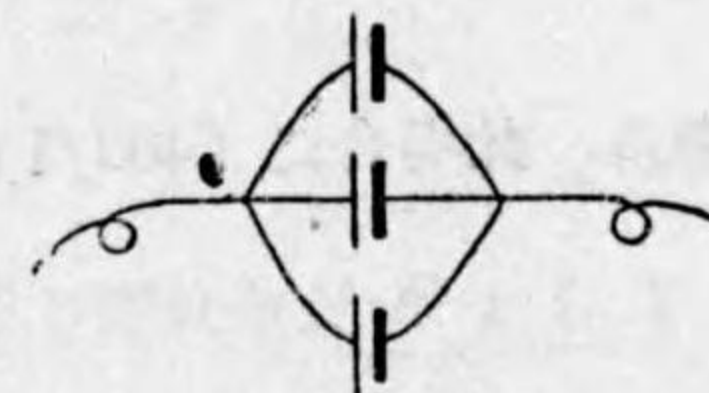
第 601 圖 電池の圖示

多數の電池を第 602 圖の如く繼ぎ合はせるのを直列につなぐといふ。これでは第一の電池の陰極が第二の電池の陽極と導線でつながれるので之を n 回繰返せば組合せたものの兩端の電極間の電圧は一個のものの n 倍になる。



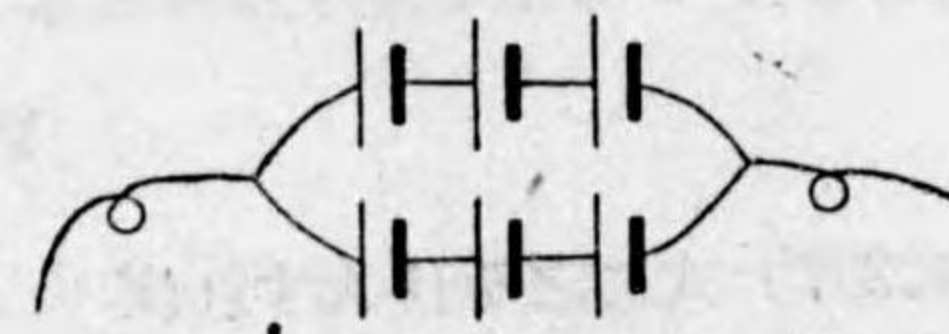
第 602 圖 電池の直列

第二の繼ぎ合はせは第 603 圖の如く陽極を皆連結して一つとし陰極は又皆連結して一つとしたもので之を並列につなぐといふ。これでは陰陽とも極の面積が廣くなつたと同じで起電力は一個の電池とかはりがない。然かし面積が廣いから内抵抗が小さく多量の電流を取り出し得られる。



第 603 圖 電池の並列

第三は前二法を組合はせたもので第 604 圖では三個を直列に一組にし此二組を並列につないであるが六個の電池でその起電力は一個のときの 3 倍である。



第 604 圖 電池の組合せ三個直列したのを二つ並べる

電池一個の起電力を E とし内抵抗を R_i とすれば第 602 圖の三個直列では起電力は $3E$ で内抵抗は $3R_i$ である。之を外抵抗 R_e の導線を使用して回路を閉ぢれば得る所の電流は

$$I' = \frac{3E}{R_e + 3R_i}$$

であり、第 603 圖の三個並列では内抵抗が $\frac{R_i}{3}$ となるから電流は

$$I'' = \frac{E}{R_e + \frac{R_i}{3}} = \frac{3E}{3R_e + R_i}$$

となる。故に

$$I' : I'' = 3R_e + R_i : R_e + 3R_i$$

となり $R_e > R_i$ ならば $I' > I''$ となる。即ち外抵抗が大ならば直列につなぐ方が大なる電流を得られて利益である。

第 604 圖の三個直列を二組並列にした 6 個の電池では起電力が $3E$ で内抵抗は $\frac{3}{2}R_i$ であるから得られる電流 I''' は

$$I''' = \frac{3E}{R_e + \frac{3}{2}R_i} = \frac{E}{\frac{1}{3}R_e + \frac{1}{2}R_i}$$

となる。

多數の電池例へば小型の乾電池を 50 個も、100 個も直列に繼ぎ合はせたものを屢々實驗に使用することがある。之を高壓電池といふ。

第 405 節 極板の分極

電池と金屬導線と電解槽とで一つの回路を作る。電池の起電力を E 、その内抵抗を R_i 、金屬導線の抵抗を R_1 、電解槽 C のを R_2 とすると回路の外抵抗は $R_e = R_1 + R_2$ であるからオームの法則によつて電流は

$$I = \frac{E}{R_i + R_1 + R_2}$$

で與へられる。今電解液が硫酸銅で極板が兩方とも銅であつたとすると電解槽の陽極に於ては銅が漸々犯されて液中に入り陰極に於ては銅が液から極板に附着するので液や極板の表面の状況は電流を通し始めと何等の變化を見ない故に時間が経過しても上式の電流が流れて居る。然るに若し兩極板が白金板であつたならば一つの極板は漸々銅で蔽はれ他の極板は白金の儘であるが、その周囲は硫酸銅が薄くなつて稀硫酸になる。故に漸々電解槽の中の状況が變して行き

結局一方を銅板、他方を白金板とした二つの異なつた電極を有する新しい電池 C が生成せられたことになるのである。此新生電池を E から離してそれをして獨立の回路を作らせて調べて見るとその起電力 e はその方向が原電池の E に反對に向ひて居ることが知られる。之を以て假りに液の變化があることを無視して R_2 は變らぬとしても元の回路では R_0, R_1, R_2 を流れる電流は

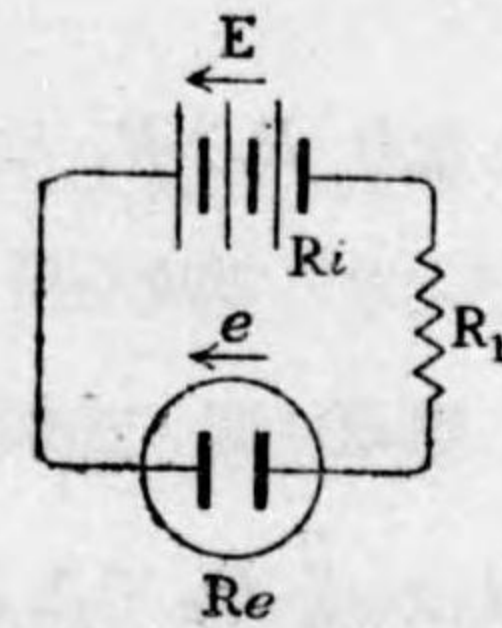
$$I' = \frac{E - e}{R_0 + R_1 + R_2}$$

となる。 e は最初は零であるが時間が経過すると漸々大きくなつて或最終値に達するまでは I' は漸々小さくなつて終りに一定になる。

斯く最初同一であつた極板が漸々性質を變じて行くことを極板の**分極作用**といひ e を分極による**分極逆起電力**といふ。實際 E が e より大でなければ電氣分解を長時間経續することは出来ないのである。

硫酸銅中に於ける銅極は分極しない電極であつて銅の電氣分解は容易に行はれるが稀硫酸中に於ける白金板は分極して一方は酸素で包まれ他は水素で包まれるから此電解を繼續するには $1.68V$ 以上の電源を必要とする。之れが即ち此場合の e の最終値である。

電池の兩極板も同様に分極作用を示してその起電力が最初は E であつても分極逆起電力 e を生じて實際の起電力は $E - e$ となるものである。ボルタの電池はその著しい例で此種のものゝ實用にはならない。分極作用を有せざるを作り出す工夫が施されて始めて電池が電源として實用に供せられるに至つたのである。ダニエルの電池はその一例である。ダニエル電池では陽極は銅板が硫酸銅の中に立ち陰極は亜鉛棒が硫酸亜鉛の中に立つので使用しても銅が厚くなり亜鉛棒が細くはなるが他に變化がないので分極が起らず起電力は一定不變である。第404節に記した所は電池は分極作用を有せざるものとしてある。



第605圖 電解槽極板の分極

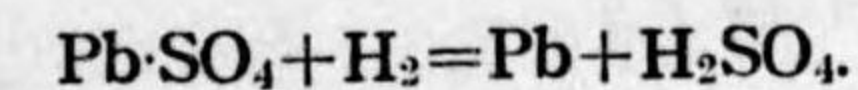
第406節 蓄電池

蓄電池は分極作用を利用したものである。電氣分解を行ふことを目的とする人から見れば分極作用は妨害となるので之を除去することに勉めたのであるがプランテ (Planté フランスの學者, 1834—1889) は 1860 年に却て分極作用を利用して蓄電池といふ新しい電源を考案した。その後之が種々改良せられて今日は盛に實用に供せられて居る。

極板の製作方法は製作會社によつて相違があるが大體としての原則は鉛板を使用し之に格子狀の凹凸が設けられてあつて、その間に $PbSO_4$ の練物を詰め込んである。之を稀硫酸中に對立させて適當の電源 (電池又は直流ダイナモ) から之に送電すると極板が漸々分極して陽極は電解液 H_2SO_4 からの SO_4^{--} に働かれて



極板は PbO_2 となり硫酸が液中に増す。同時に陰極には $2H^+$ が働いて



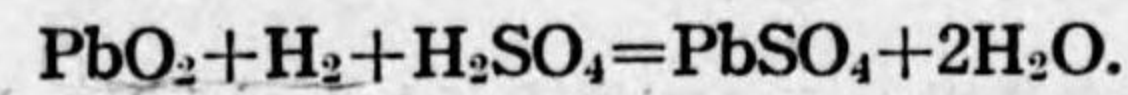
で極板は Pb となり硫酸が此所でも液中に入る。斯くして PbO_2 と Pb とを兩極とし以前よりは濃度の高い硫酸 (電解質) を有する一つの新しい分極電池が出来上る。此操作を**充電**といひ電源から供給した電流のエネルギーを此新生電池の中に化學的エネルギーとして蓄積したので之を**蓄電池**と稱するのである。又電源として電池を用ゐたとすれば、それは第一次の電池でその送出エネルギーで第二次の電池が出来たと考へて**二次電池**とも稱するのである。

新生電池は規定の充電状態では硫酸の濃度が比重 1.2 となるべきものとしてあつて、その起電力は常温に於て $2.05V$ で PbO_2 を陽極、 Pb を陰極とする。陽極は其色暗赤褐色で陰極は帶青灰色である。

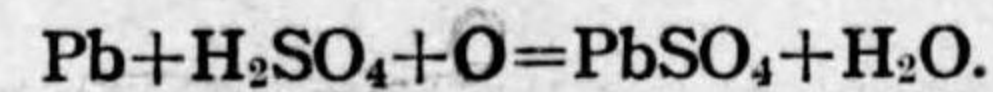
充電に際して電源の陽極とつないであつた極板が二次電池の陽極となり陰

極とつないであつた極板が二次電池の陰極となるのであるから第 605 圖の E を一次電池とし C を二次電池とすれば後者は前者に反對する逆向きの分極起電力 e を有して居るのである。此 e の價が一個で $2.05V$ であるから若し多數の蓄電池を一時に充電せんと欲するならばその合成した e より大なる電源の起電力 E を必要とする。

蓄電池を獨立電源として使用することを**放電**といふ。放電に際しては陽極に於ては



陰極に於ては

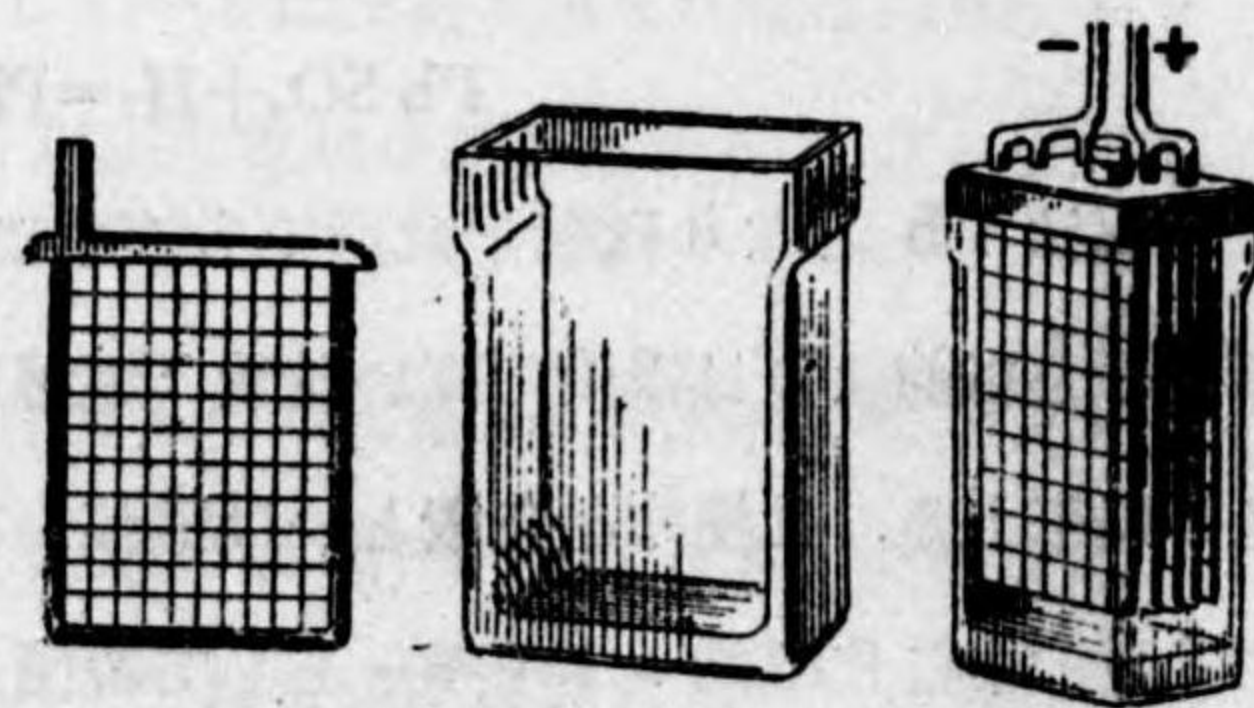


なる變化が行はれて極板は元の如く兩者同じく $PbSO_4$ になり電解質中には水が増して硫酸の濃度が小さくなる。そして起電力は放電と共に漸々降下する。但し蓄電池を何回も充電、放電して長い壽命を保たしめるには放電を上式に示す極端まで實施してはならぬ。通常繼續使用時間を 8~10 時に止め起電力が $1.8V$ に液の比重が 1.15 に降下す

れば充電を行ふ。

蓄電池の構造は第 606 圖に示してある通りである。極板の面積が廣くて間隔が近いので内抵抗が非常に小さい。多數に連結すれば

$100V$ 程度の電量の多い電源として便利である。



第 606 圖 蓄電池

第 407 節 ホキートストーン (Wheatstone) 橋

四つの抵抗 R_1, R_2, R_3, R_4 を第 607 圖に示す如く連結し R_1R_3 の接合點 A と R_2R_4 の接合點 D とを電池の兩極につなぐと電池の陽極から來た電流 I

が A 點に於て分岐して $I' I''$ の二電流となり前者は ABD 後者は ACD を通して D 點に於て再び合流して電池の陰極に歸る。今 A, B, C, D 四點の電位を $V_A V_B V_C V_D$ とすれば V_A 最高く V_D 最低く V_B 及び V_C はその中間にある。

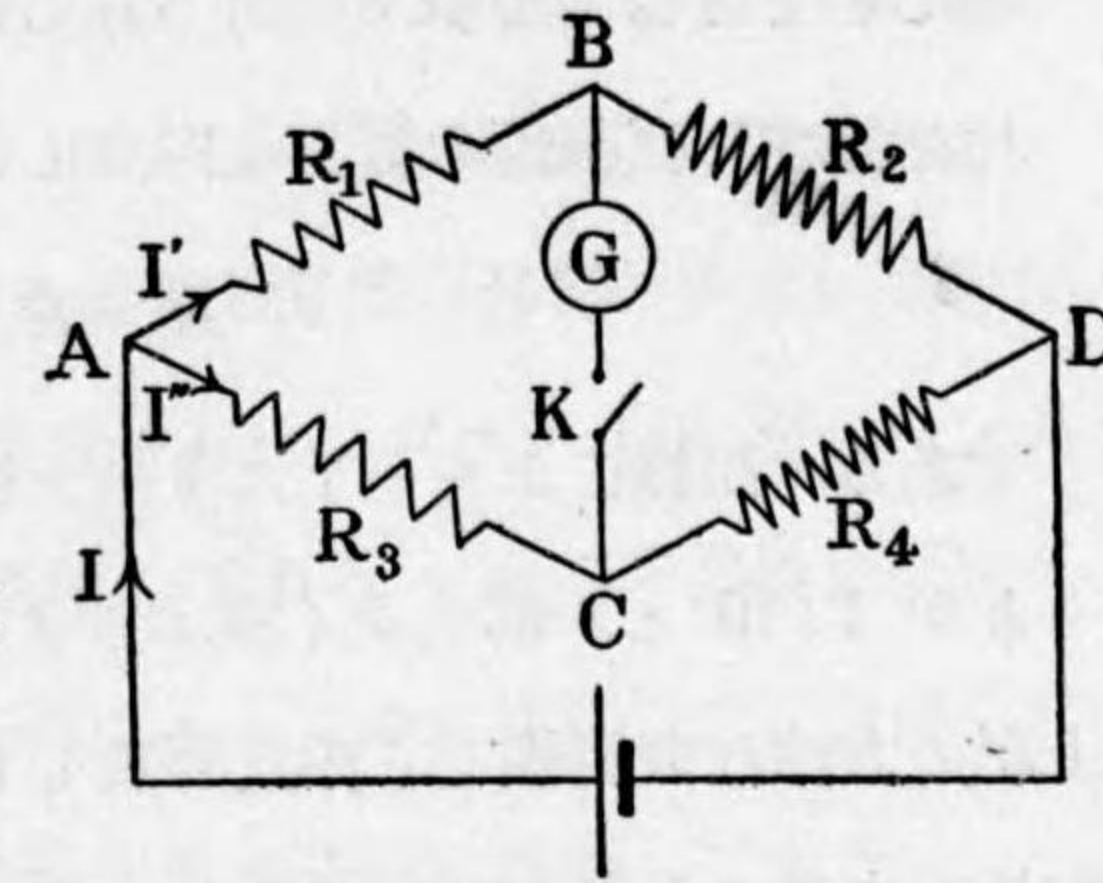
$$V_A - V_B = I'R_1, \quad V_A - V_C = I''R_3,$$

$$V_B - V_D = IR_2, \quad V_C - V_D = I''R_4.$$

そこで若し幸に $V_B = V_C$ であつたならば

$$\frac{I'}{I''} = \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2},$$

$$\therefore R_1 : R_2 = R_3 : R_4.$$



第 607 圖 ホキートストーン橋

といふ簡単な關係になる。 $V_B = V_C$ なる條件が満足せられてあるか否かを實驗によつて判定することは極めて容易である。即ち B, C 二點を極めて敏感なる檢流計 G と開閉器 K とで圖の如く橋渡しをする。若し此二點の電位が異なれば電位の高い方から低い方へと此橋を渡つて電氣が動くから K を押して見て G に感ずれば B, C の電位が異なる證據であり、若し又 K を押しても離しても G が不感であれば B, C の電位は等しいことを知るのである。

故に四つの抵抗の中 R_4 を自由に其大きさを變化し得る如き所謂**可變抵抗**にして置いて之を調節して見れば必ず檢流計の不感の状態にあるときを探し求め得て

$$R_1 : R_2 = R_3 : R_4.$$

となし得られる。若し特に $R_1 = R_2$ として置いたならば $R_3 = R_4$ であるから R_3 を未知抵抗とすれば R_1R_2 なる二つの相等しき抵抗と R_4 なる可變にして然も其價を読み取り得る抵抗との三つを組合せて R_3 の價を測定し得られる。

此方法は恰も桿の兩臂の等しい化學天秤で質量を測定するのに似て居る。

即ち $R_1 = R_2$ なることは兩臂の長さの等しいことに似て居り R_3 が未知

質量、 R_3 が分銅の質量、檢流計が不感なことは天秤の指針が零點を指して平衡状態なることを示すのと同様である。天秤に於て左右の臂の長さの等しいことは必要缺くべからざる条件ではなく分銅の質量に兩臂の長さの比を乗すれば物體の質量を測定し得る如く $R_1 \neq R_2$ ならば

$$R_3 = R_1 \times \frac{R_1}{R_2}$$

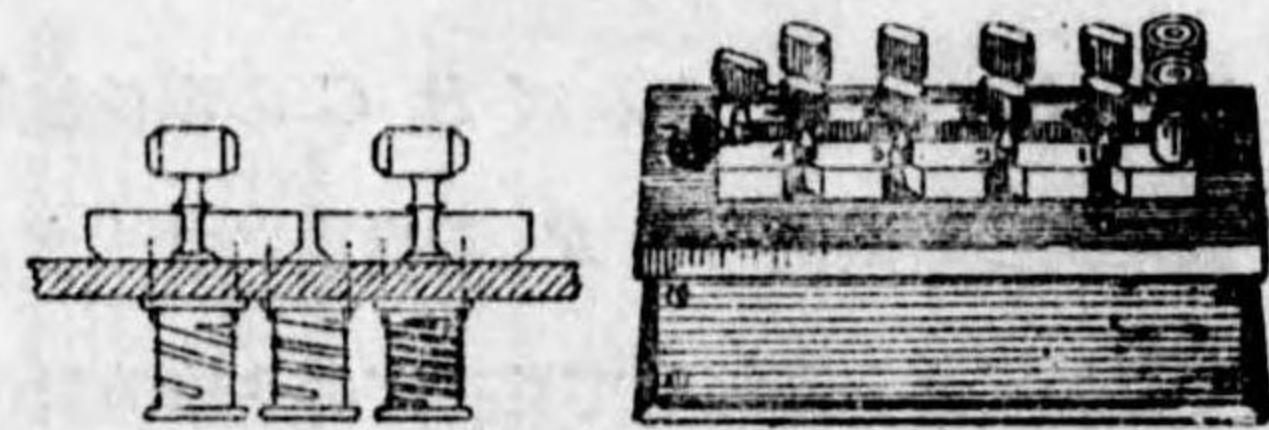
である。同様にホキートストーン橋でも R_1, R_2 の兩臂となる抵抗を 1:1 とか 1:10 とか都合よく選ぶがよい。

上記の方法は金屬線でも亦電解液でもその抵抗を測定するのに賞用せられる實驗法で之をその考案者の名をとつてホキートストーン橋の法といふ。橋といふのは B, C 間に檢電計で橋渡しをして居るからである。

第 408 節 抵抗箱

抵抗箱は質量に於ける分銅の如き役目をなすもので種々の既知抵抗を有する多數の導線を一組として箱の中に納めて各導線のオーム数が読み得る様にしてある。第 608 圖はその外觀を示す

もので箱の上板はエポナイトの如き絶縁體で作られ板の下面から枠に巻いた導線が垂下して居りその導線の兩端は板の上面に並列して



第 608 圖 右抵抗箱、左抵抗線の巻き方。

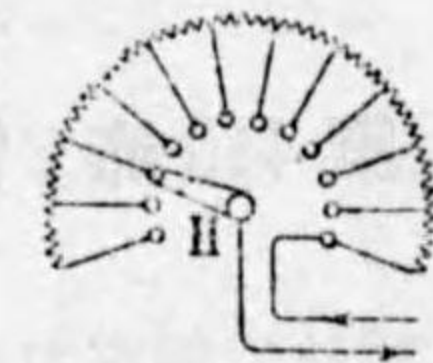
ある金屬片の相隣れる二つに連結してあることは第 608 圖に示す通りである。此等の金屬片は多數列を爲して並べてあるが互に離れて居て其間に金屬栓を挿込むと隣り同志が連絡する。此栓を抜き挿しする所にその下にある導線のオーム数が記してある。金屬片の列の兩端には回路から來る針金をつなぐ爲の止め螺が備へてある、これを抵抗箱の兩極といふ。栓を全部挿込んで置くと兩極は金屬片と栓とで直に連結せられて抵抗箱全體の抵抗は零である。然し或栓例へ

~~PbSO₄ + H₂ + H₂O~~ ~~Phase + H₂SO₄~~ +
 + PbSO₄ + ~~H₂O~~ + H₂O = PbI₂ + H₂SO₄

ば 10 オームの所と 5 オームの所とを二つ抜き取ると其所で隣り同志の金屬片の間に 10Ω, 及び 5Ω の導線が入れられて電流は此二つを通過しなければならぬから抵抗箱の抵抗は 15Ω になる。箱の中に納めてある導線は分銅の時と同様に 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50, 100, 200, 200, 500Ω 等である。

此等の抵抗は標準的な精確なものである必要上温度の影響の少ない金屬即ちコンスタンタン (銅 60, ニッケル 40 の合金) マンガニン (銅 84, マンガン 12, ニッケル 4 の合金) 等の絶縁線を使用してある。此等の導線は長いものを其儘枠に巻きつけてなく第 608 圖の左側に示してある様に二つに折返して二重にしたものが巻いてあるがその理由は後文第 452 節に説明してある。

抵抗箱ではないが回路の抵抗を自由に加減する爲に使用する加減抵抗器を第 609 圖に示して置く。之は抵抗線を圓形にして所々から支線を出してその端に金屬把手 H が順次に接觸する様にしてある。



第 609 圖 加減抵抗器

第 409 節 電氣抵抗温度計

金屬の電氣抵抗が温度によつて變化することを利用して温度を測定すること恰も水銀の體積の變化から温度を測定すると同様な行き方の考案がある。之を電氣抵抗温度計といふ。通常は金屬として白金が温度の使用範圍が廣いので之を使用する白金抵抗温度計が最廣く行はれて居る。白金線の抵抗はホキートストーン橋の方法によつて測定する。

100°C, 及び 0°C の抵抗を R_{100} 及び R_0 とし未知温度の抵抗を R_θ とする。

$$R_{100} - R_0 : R_\theta - R_0 = 100 : \theta$$

として θ を計算すると此 θ は必ずしも水銀温度計が示すべき温度とは一致すべき先天的理由もなく、又實際一致せぬ。故に上式の θ を θ_p とし之を白金温度と命じ θ_p から水銀温度計の示すべき示度 θ を求めることにして居る。

これには次の實驗式による。

$$\theta = \theta_p + 1.5 \left\{ \left(\frac{\theta}{100} \right)^2 - \frac{\theta}{100} \right\} \quad (409/1)$$

然し実際には θ_p の如きものを使用せずに抵抗 R と攝氏の温度 θ との關係をそれぞれの器械に就て實驗によりて求め置き之を表記するなり又はグラフに作つて置いて測定した R から此グラフによつて未知温度を知ればよいのである。

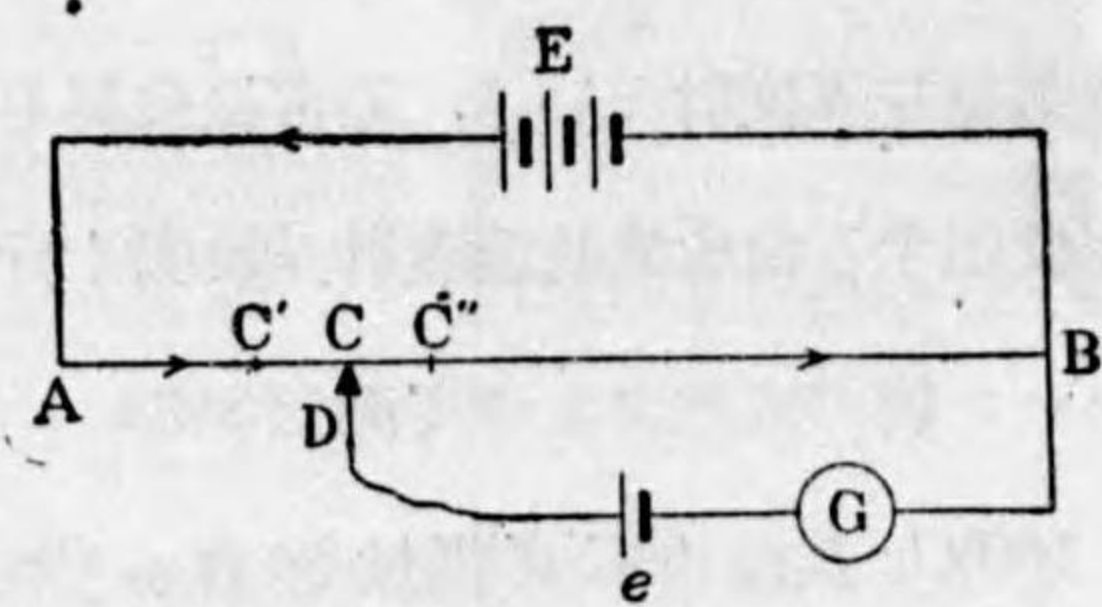
水銀溫度計に於て溫度計が全部測らるべき温度になつて居ない爲に補正を要した如く白金溫度計に於ても同様な注意が必要である。例へば地下深い所の温度を知らんとして白金線を此深い所に埋めたとすると此往復に要した長い導線の抵抗を考慮しなければならぬのである。然し此補正の件は他の實驗書に譲つて今は省略する。

第 410 節 電池の起電力の測定 電位差計

電池の起電力を測定する方法を述べる。之は第 403 節の (403/1) の式の一つの應用である。

第 610 圖に於ては AB はマンガニン又はコンスタンタンの裸線で長さ 2~3 米のものを絶縁板の上に直線状に張り渡したものでその両端は蓄電池の如き長時間一定電流を供給し得る電池 E の兩極につなぎ一つの回路を閉ぢさせて置く。 A が陽極に B が陰極につないであれば針金 AB の上に於て電位は

A が最高く C, C, C' と漸々低くなつて B が最も低い。 e は起電力を測らんと欲する未知の電池でその起電力は e で、 $E > e$ を E に對する一つの要求とする。此未知電池の陰極を B 點につなぎ陽極から出る導線の末端 D は針金 AB 上を滑らして $C'CC'$ 等の諸點で任意に針金に接觸し得る様にして置



第 610 圖 電位差を測る回路

く。 G は極めて敏感なる檢流計で e を通過する電流の方向を知る爲のものである。今 D が C 點に於て針金 AB に接觸してあるとする。然るときは E の陽極から來た電流は C 點に於て分岐して二つとなり一つは針金に沿ふて $CC'B$ と流れ、他の一つは e, G を通過して B に於て前者と合流して E に返る。然し後の支線には e といふ電池が此電流に反抗する如き状態で待ち受けて居ることに注目しなければならぬ。若し E の方が優勢であれば e を通ずる電流は G を經て B に向ふが、劣勢なれば反對に B から G, e を經て C に向ひ若し兩者が正に釣合へば電流は零となり G は不感の無電流の位置に靜止して居るであらう。而して如何なる時兩者が釣合ふか。今 D が接觸して居ない時に BC 間の電位差 $V_C - V_B$ が丁度 e に等しかつたとする。然るときは CB 間の電位差 $V_C - V_B > e$ であり $C'B$ 間のは $V_{C'} - V_B < e$ である。 D が何者にも接觸して居ず e の回路は開いて居ると DB 間の電位差は e の陰陽兩極間の電位差なる起電力 e に等しいので $V_D - V_B = e$ であるから $V_C = V_D, V_C > V_D, V_{C'} < V_D$ である。故に D を C に接觸しても同電位だから電氣の移動がある筈がなく G を通ずる電流が生じないが D を C' に觸れると高電位の C' から D に移る電流があり、 D を C' に觸れると高電位の D から C' の方に電流が流れるものである。故に檢流計を注視しつつ針金の末端 D を滑らせれば C 點を發見し得られる。此時

$$V_C - V_B = e.$$

で E からの電流は全部 AB 中を流れて e, G が存在しないと同一であるから之を I とし BC 間の抵抗を R_{BC} とすれば、

$$V_C - V_B = I \cdot R_{BC} = e.$$

となる。上と全く同じ操作を起電力の知れた例へば標準電池 e_0 (第 411 節) を用ゐて行つたとして其時の D の接觸點を C_0 とすれば

$$I \cdot R_{BC_0} = e_0.$$

抵抗 R は針金の長さに正比例するから

$$e_0 : e = R_{BC_0} : R_{BC} = \overline{BC_0} : \overline{BC}$$

となり單に B から接觸點 C_0 又は C までの長さを讀めば

$$e = e_0 \frac{\overline{BC}}{\overline{BC_0}}$$

で e が求められる。

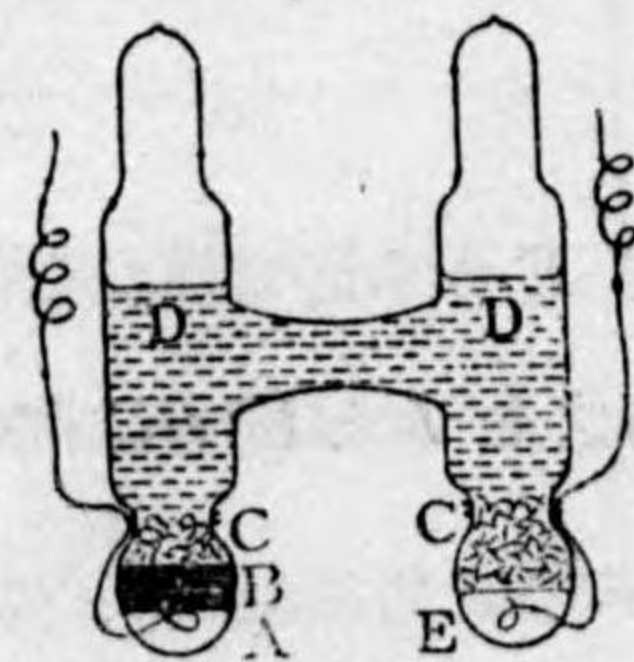
上記の操作を都合よく行ひ得る様に設計した器械がある。それを**電位差計**と云ふ。

標準電池でなくともダニエルの電池などは上記の e_0 として大抵の場合に役に立つが非常に正確を要するときには標準電池を使用しなければならぬ。

第 411 節 標準電池

前節の實驗に使用する e_0 は單に起電力の標準として使用するもので、それを通ずる電流は無いのであるから普通の意味の電源ではない。所謂**標準電池**と稱するものは斯くの如き特色を有する電池であるから決してそれから電流を取り出す目的に使用してはならぬものである。次に記す**ウェストン (Weston) 電池**は標準電池の中特に温度の影響の殆どないものとして有名である。

ウェストン電池は圖に示す如き H 字形の硝子器の一方に水銀 A 、他方に 10~15% のカドミウム、アマルガム E を入れ之を兩極とし共に器の底を貫く白金線で回路と連絡するやうにしてある。尙陽極たる水銀の上に水銀と硫酸第一水銀と硫酸カドミウムとを糊状にした混合物 B を置いてある。此電池は電解質と



第 611 圖 標準電池

して硫酸カドミウムの飽和液 D を使用するので兩極の上に硫酸カドミウムの結晶粒 C を置き更に硫酸カドミウムの飽和溶液を入れてある。此電池の起電

力は 20°C に於て 1.01827V であるが温度が $0^\circ\sim 40^\circ\text{C}$ の範囲内では起電力は

$$E = 1.01827 - 0.0000406(t - 20)$$

で殆ど温度の影響がない。而して純粹な材料を使用して規定の處方に従つて作れば上記の如く有効數字の多い正確なものが得られるので實際之を以て電位差の標準原器として採用し得られるのである。

標準電池といふ名は、これが電池の標準型であるといふ意味ではない。電位差の標準でメートル尺のやうな一種の原器であるといふことなのである。此電池によつて 1V といふものが六個の有効數字で示される精密さで具體化されて居るのである。

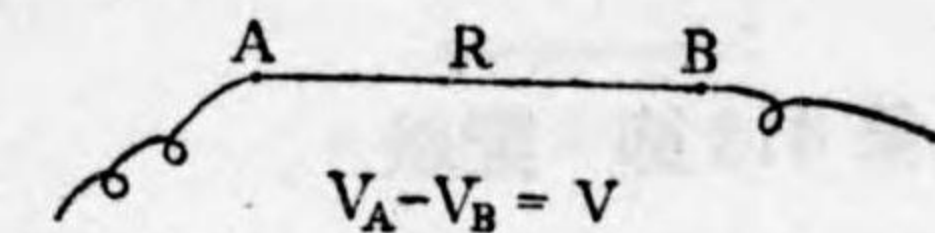
第四十一章 電流と熱

第 412 節 電流の熱作用

電流 I アンペアの流れて居る導線上の二點 A, B を考へる。此部分の抵抗が R オームで二點間の電位差が V ヴォルトとすればオームの法則によつて

$$V = I \cdot R$$

である。扱て電位はその定義によつて單位電氣量が A から B まで運ばれると V だ



第 612 圖

けの仕事が得られ、それだけのエネルギーを他に利用することが出来るのである。然るに電流 I といふのは單位時間中に運ばれて居る電氣量であるから I アンペアの電流とは t 秒間に It クーロンの電氣量が運ばれるので t 秒間には上記 AB の所で $W = VIt$

$$W = V \times It = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t \text{ ジュール}$$

の電流によるエネルギーが他の種類のエネルギーに變態してゐるのである。此他の種類のエネルギーとは何か。

以前から誰人も心附いて居た所であるが導線の中で抵抗の大なる場所では熱

の発生があるものである。此事實を初めて根本的に研究したのがジュール (Joule イギリスの物理學者 1818—1889) である。W の實用單位にジュールの名を與へたのは實に彼の功績を記念する爲である。

ジュールは種々の方法で研究を行つたが最直截的なのは抵抗線 R を第 612 圖の如く熱量計 (第 158 節) の中に入れて之に電流 I を通じ t 秒間に熱量計内に発生した熱量 H カロリーを測定した。そして J を熱の仕事當量 (第 178 節) とすれば正に次式が成立することを證明したのである。

$$JH = I^2 R t = \frac{V^2}{R} t = VI t. \quad (412/1)$$

此式が電流の熱作用の基本式である。

上記の如く電流のエネルギーが t 秒間に $I^2 R t$ ジュールの熱エネルギーとなるとすると此導線はエネルギー變態用の一つの機關と見做し得べくその仕事率は毎秒 $I^2 R$ ジュール即ち $I^2 R$ ワットの仕事率のものであつて電力 $I^2 R$ ワットを消費して之を熱にする。

第 413 節 配線

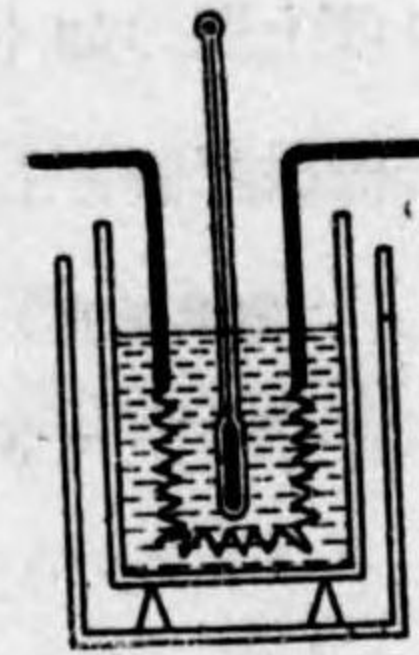
電流の熱作用の應用は中々多い。室内を暖める爲の電氣暖爐、家庭用の電氣アイロン、電氣コンロ、諸種の電燈或は工業用の電氣爐等がそれである。

今家内へ電柱から引込んである配線の一部に電氣アイロン R_1 とフューズ線 R_2 及び導線が直列につないであつて、それに一つの電流 I が通じて居るとする。電氣アイロンの抵抗を R_1 フューズ線の

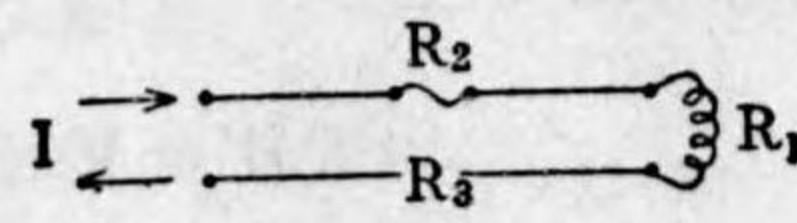
抵抗を R_2 導線の其他の部分全體の抵抗を R_3 とする。

此三つの抵抗の特色は R_1 は通常ニクロムと稱

する合金 (ニッケル 60~78, クロム 8~18, 鐵 1.2~26 マンガン 1.7~5) の針金を使用してあつて此抵抗が大きく且つ耐熱的で高温に於ても容易に熔融



第 613 圖 電流による熱の發生量の測定

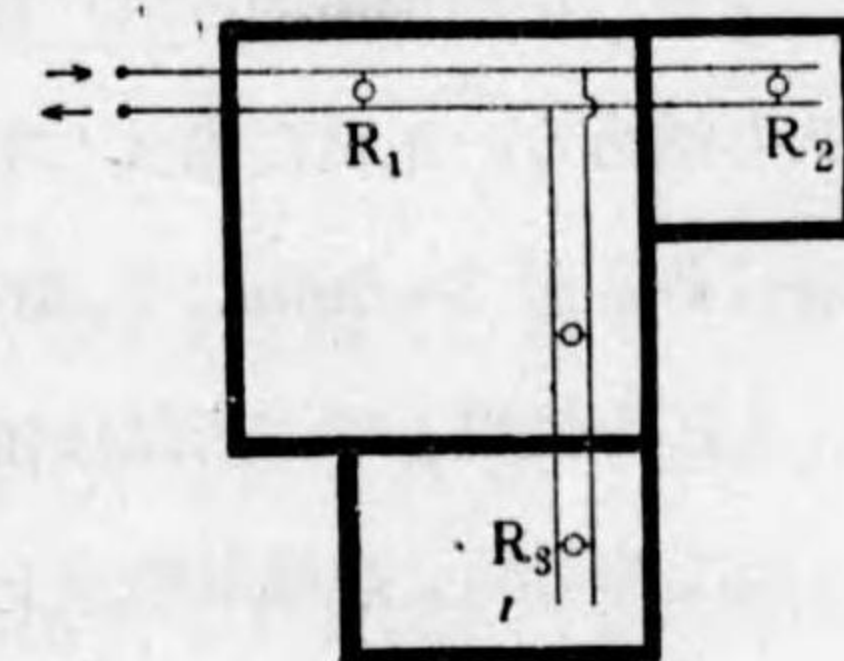


第 614 圖

したりしないものである。フューズ線の R_2 は鉛の短かい針金で少し大なる電流が通すると忽ち熔融して切れるのである。引込線は太い銅線で R_3 は甚小さい。此三ヶ所に於ける熱は $I^2 R_1 t, I^2 R_2 t, I^2 R_3 t$ であるから熱は主として R_1 のみにあつてアイロンの中は赤く焼ける程だがフューズや引込線は殆熱せられない。然るに何か不測の事故の爲に I が突然大になるとフューズ線が熱容量が小さいので瞬時にその温度が昇つて線が切れてアイロンが過熱せられる前に電流が切れ損傷を免れる。故にフューズは火災防止の安全装置である。要するに直列に於ては抵抗の大なる所ほど熱の發生が大である。

然るに配線には導線が並列になつて居る所が所々にある。例へば室内の照明に用ゐる白熱電燈は第 615 圖に示す如く引込線に並列につないである。直列につなぐと一つを消燈すれば全燈が一時に消へて

困るが並列なれば左様なことがないからである。此場合には電燈の兩極間の共通の電圧は通常 $V=100$ ヴォルトであつて各燈の抵抗はその明るさによつて其價を異にする。今抵抗 R_1, R_2 が電位差 V の間に並列につないであると



第 615 圖 電燈線の配線

すると電流は R_1 の方は $I_1 = \frac{V}{R_1}$, R_2 の方は $I_2 = \frac{V}{R_2}$ である。 $R_1 > R_2$ とすれば $I_1 < I_2$ である。然るに發熱量は $JH_1 = \frac{V^2}{R_1} t$ と $JH_2 = \frac{V^2}{R_2} t$ であるから $H_1 < H_2$ である。故に H_2 の電燈が明るく H_1 の方が暗い。即ち並列では抵抗の小なるものの方が多く熱せられ従つて其光は餘計に明るいのである。

第 414 節 弧燈

電燈の中で最古いのが炭素を兩極とする弧燈であつて 1801 年にデービー (Davy イギリスの化學者 1778—1829) が發明したものである。之が街路照明

に用られたのは 1876 年からだといふ。これは二本の炭素棒の先を尖らせて其尖端に於て接觸せしめて之に電流を通ずると接觸點の抵抗が大なるにより忽ち赤熱せられその熱によつて空氣中に熱電子といふイオンの帶電微粒を放出しこれを含む氣體が電氣の傳導性を有すること(第 385 節) 恰も電解質に於けるが如くで炭素棒を引離しても電流は此氣體を通して流れ且つ之を熾熱する。此際特に陰極から陰電氣を帯びた熱電子の微粒が高速度で飛び出して陽極に衝突し其所に噴火口の如き窪所を生ずる。此坑底の溫度が 5000°C に近く最も光輝ある所で其發する光は董外線に富んで居る。斯く光の強いのは陽極にあるけれど弧光の成立に必要な條件は陰極を高溫度に熱することにあつて陽極は溫度が低くとも弧光が點火し始める。正當に點火して居るときには炭素極の距離は電流によつて少しの差はあるが $2\sim 5\text{mm}$. で、 $40\sim 50\text{V}$ の電壓を與へ $10\sim 15\text{A}$ の電流を要する。

これを弧燈と呼ぶ所以は弧光燈の略で最初は炭素棒を水平に保つて置いたので棒の間の熾熱氣體が上昇してその兩端が炭素で捉へられた弧狀を爲したからである。

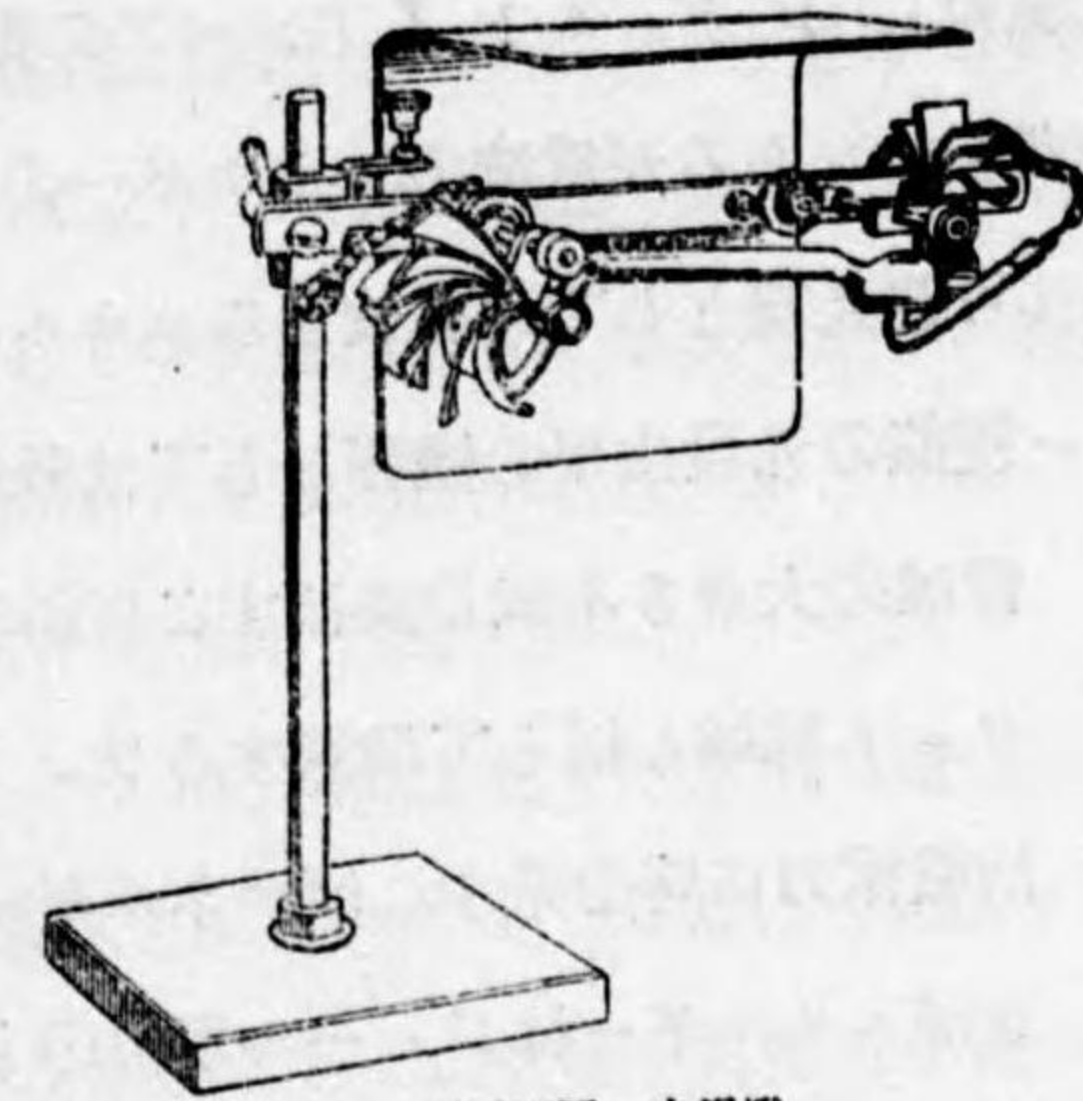
此電燈は其光の強いことに於ては他に抽んで居るけれど起働装置を要し又炭素棒が空氣中に於て燒盡し然かも陽極の方が陰極よりも二倍の速さで消耗するから極間の距離を適當に保たしめる自動装置が必要なので此電燈は余り便利なものではなく今は殆ど用ゐられない。

弧燈の極は炭素とは限らない。タングステン、鐵、銅でもよいが此等は多くは特殊の研究に使用せられるもので普通の照明用のものではない。水銀弧燈は空氣を排除した硝子又は熔融水晶の管中に於て水銀を兩極として水銀蒸氣の中に作つた弧光である(第 617 圖)。圖に示すものは實驗用のものであるが管が熱せられることが甚しいから管の兩端に多くの金屬薄片をつけて熱を放散する



第 616 圖 弧燈

やうにしてある。普通の光よりは董外線に富むことが日光に劣らぬとて醫療用に使用せられるものは人工太陽燈とも稱せられる。近頃此管の内壁に螢光體を塗りつけた螢光電燈といふものが照明用として市場に現はれた(第 320 節)。これは水銀の弧光中の董外線で螢光體の螢光を勵起して之を弧光の光に加へて殆ど日光と同じ白色光と爲さしめるのである。水銀燈は普通 100V 程度で點燈する。



第 617 圖 水銀燈

第 415 節 白熱電燈

白熱電燈は金屬線に電流を通して之を高溫度にして光を發せしめる。即ち金屬線を白熱して之を照明用に使用するを目的としたものである。エヂソン (Edison アメリカの發明家、1847—1931) が 1878 年に白金線を用いた電球を作り出したが、その後エヂソンは竹の織條を黒燒にした炭素線を使用して始めて實用に供せられるに至つた。炭素は空氣中で加熱すれば忽ち燒盡するから酸素を遮斷する爲に内部を眞空にした硝子球内に之を封入したのである。それでも尙高溫度の爲に炭素から熱電子を放出しそれが硝子球の内壁を黒くする缺點があつた。そこで一方では炭素よりは一層高溫度に耐へて強い可視光線を出すものとしてオスミウム、タングステン等の金屬線が採用せられ他方では熱電子の放出を抑制する爲に電球内に窒素又はアルゴンの如き不活性の氣體を $\frac{1}{2}$ 氣壓程の壓力で封入した所謂瓦斯入電球を作り出した。瓦斯入電球は點火すると球内の壓力は 1 氣壓に昇る如く調整してあるから破壊しても爆破の患はない。瓦斯入タングステン電球の織條は點火すると溫度が 2700°C 程度である。

電球に V ヴォルト I アンペアの電流を送つたとすると電力 IV ワットを消費しつゝあるが電流のエネルギーの多分は熱線として輻射せられて空しく失はれ可視光線としての有効なるエネルギーとなるのは割合に少い。即ちエネルギー変態の光発生用の機關としては効率の小なるものである。

電球の大きさを云ひ表はすに以前は幾燭と燭数を以てしたが今日は多く幾ワット電球と稱して消費するワット数を擧げることになつて居る。

消費電力に時を乗すればエネルギーになる。電力をワット、時を秒で表せばエネルギーはジュール単位のものになるが電燈會社より料金徴収の爲に家庭に配置してある積算電力計(第438節)では使用エネルギーを表はすに電力はキロワット即ち 1000 ワット、時は時数を以てしてキロワット時といふ単位を採用して居る。故にキロワット時に 3600000 を乗すればジュール単位のものになる。

第416節 電氣爐

電氣爐には抵抗爐、電弧爐及び誘導爐との三種ある。抵抗爐は抵抗の大なる導體に電流を通して之が爲めに生ずる熱を利用するもので電氣コンロや電氣アイロン等と同種類に屬する。鋼の焼入や研究所に於て高温度に於ける物性の研究等に使用する爐は陶管又は熔融水晶の管に要求する温度に応じてニクロム線又は白金線等を巻き付けその上を石綿で包むか或は第二の稍太い管で蔽ふて兩管の間隔をマグネシアの粉末で填充して熱の散逸を防いだものを使用する。加熱せんと欲する物體は内管の中の空所に置く。此爐は取扱が輕便で温度の調節が容易、又不純物の混入の患もなく研究用の机の上に据ゑ置くことも出来る極めて便利なものである。温度は 2500°C 位までは出し得られる。

電弧爐は加熱せんと思ふ物質を坩堝の中に入れ其中に炭素極を置いて電弧を生ぜしめ依て生ずる熱を利用するのである。之では 3000°C 位まで達せられ

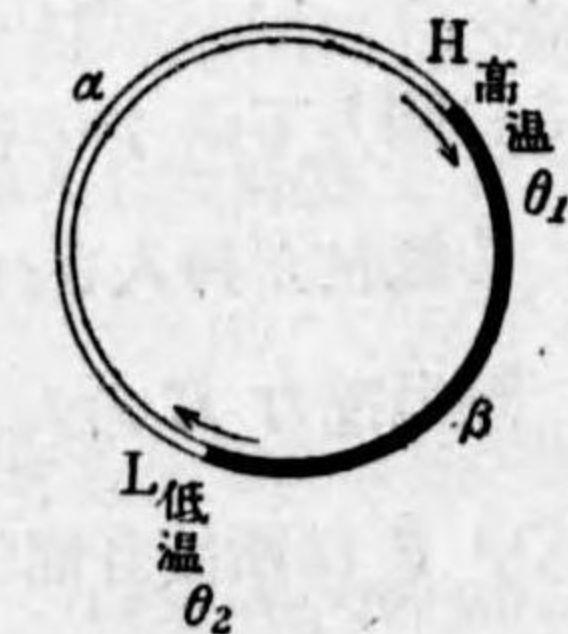
る。之は通常抵抗爐より規模が大きく工業用に使用せられることが多く $100V$ 、 $2000A$ 程度の電流を使ふこともある。モアッサン (Moissan フランスの化學者 1825—1907) が此種の爐で研磨剤として今日賞用せられるカーボランダム (SiC の商品名) や又アセチレン瓦斯 (C_2H_2) を作るに用ゐるカルシウム・カーバイド CaC_2 を製造し又初めて人工ダイヤモンドを作つた。

尙一例として此爐による金屬アルミニウムの精鍊を記せば炭素で造つた容器に氷晶石 ($3\text{NaF}\cdot\text{AlF}_3$) 90% と酸化アルミニウム (Al_2O_3) 10% との混合物を入れ容器を陰極とし炭業棒を陽極として混合物中に電流を送つて電弧の高温度で混合物を融解する。然るときは此融解液が一つの電解質となつて高温電氣分解が行はれ金屬アルミニウムは陰極たる器底に集まるので時々器底につけた栓を抜いて取り出す。陽極では弗素を發生するが、これは直に酸化アルミニウムに作用して弗化アルミニウムと酸素とを生じ前者は上記の電解を繰返す。此方法では氷晶石は融劑の役目をして居るので時々酸化アルミニウムの方を爐中に供給すれば連続作業が行はれる。

誘導爐は上記二種と異なり電源から爐中に送電するのでなくして交流に於ける誘導電流の現象を利用したもので爐中に交流の第二次回路があり第一次回路に交流を流して第二次回路の電流を誘起し(第448節参照)、その抵抗によつて熱を生ずるものである。即ち前二種とはエネルギーの供給方法に於ける相違があるのが此爐の特色であつて實は抵抗爐の一種である。

第417節 熱電流

西曆 1826 年にゼーベック (Seebeck, ドイツの物理學者 1770—1831) が二つの金屬 α, β の線又は棒を蠟付けして一の閉回路を作りその接合點の一つ H を熱し他の接合點 L を冷やすと此回路中に電流が流れることを發見した。

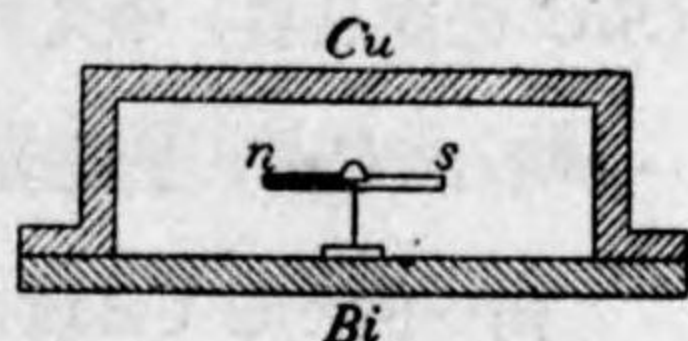


第618圖 異金屬 α, β 間のゼーベック効果

此現象をゼーベック効果と呼び此電流を熱電流といふ。熱電流の強さは回路の抵抗によつて支配さるゝ事は勿論であるが回路中に電流を流す原因となる起電力は二つの金属の種類と兩接合部の温度差によつて決定せられるものである。

ゼーベックの實驗した装置は第 619 圖に示す如く

蒼鉛 *Bi* の帶狀の板の兩端に銅板 *Cu* を蠟附けて矩形を作り其平面を垂直に南北に向け其中に磁針を



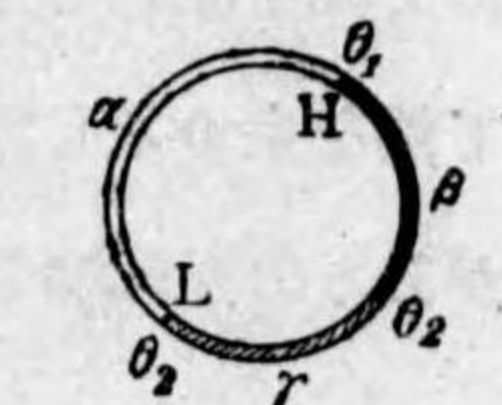
置く。兩接合部の一方を熱すれば（他方を冷やして）此端に於て電流が蒼鉛から銅に向ふことは磁針の偏し方によつて知られる。太い金属を使用したのは起電力が小さいから抵抗を成るべく小にして磁針に感ずる程の電流を得んが爲めである。尙第 619 圖の *Bi* の代りにアンチモンを使用すれば電流の向は逆で熱した端に於て電流が銅からアンチモンに向ふ。

熱せられた接合部に於ける電流の流れる方向の順序に諸金属を列記すると次の如き熱電列を得る。但し此順序は温度の範囲によつて變化するが大體次の通りである。

Bi, Ni, Co, Pt, Cu, Pb, Sn, Ag, Zn, Fe, Sb.

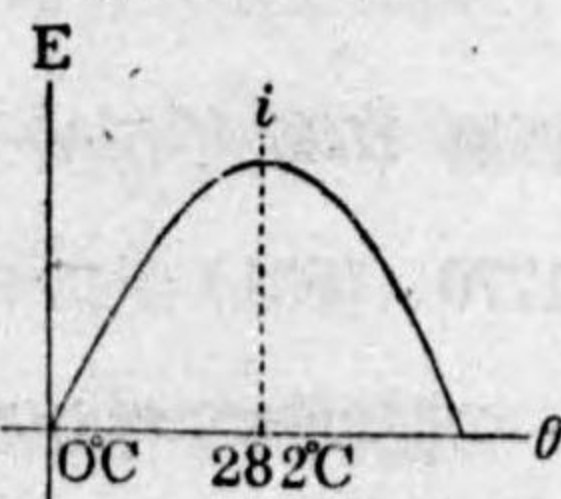
である。蒼鉛 *Bi* と銅 *Cu* との一對では *Bi* から *Cu* に、アンチモン *Sb* と *Cu* との一對では *Cu* から *Sb* に向ふことは既に記した通りである。

α, β 二つの金属の間に第三の金属 γ を挿入しても若し $\alpha\gamma$ 及び $\beta\gamma$ の接合部が同一温度 θ_2 にあれば起電力の大きさに關しては γ の存在を無視してよい。此際電流の大きさは γ の抵抗が挿入された爲に勿論小さくなる。



第 620 圖 二金属 α, β の間に第三金属を入れた場合

熱起電力 E の大きさは一般に次式によつて表はされる。式中 θ は兩接合部の温度 θ_1, θ_2 ($\theta_1 > \theta_2$) の差 $\theta_1 - \theta_2$ である。



第 621 圖 温度と θ 熱電流による起電力 E

$$E = b\theta + c\theta^2 \quad (417)$$

銅と鐵との對に於ては E をマイクロヴォルト (10^{-6} ヴォルト) 單位で表はせば $b=10.34, c=-0.0183$ である。之を圖示すれば第 621 圖に示す如き拋物線形であつて $\theta=282^\circ\text{C}$ 附近に於て E は最大値に達しそれ以上の温度差では E は却つて小となる。

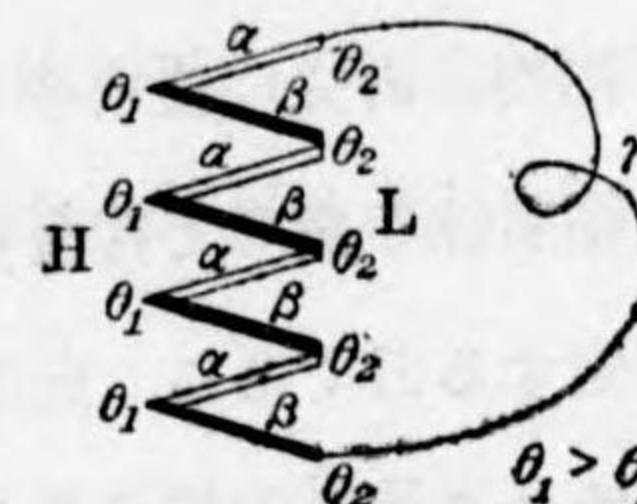
此熱電流の装置は熱を變して直接之を電流のエネルギーとなす一種の機關であつて化學作用を電流のエネルギーとなす電池と比すべきものであるから此の如き一對の金属から成る回路を熱電池又は熱電對と呼び之を數組直列したものを熱電槽といふ。

二金属 α, β の接合點の一つを離して其間に他の金属線を挿入して之に熱電流を通じてよい。

此等の熱電池又は熱電槽はその起電力が既述の如くマイクロヴォルト程度の小なるものであるから電源としては殆ど使用せられることはない。寧ろ次節に記す温度を測定する計器として使用せられるのが主なる用途である。



第 622 圖 熱電對



第 623 圖 熱電槽

第 418 節 熱電流温度計

熱電流による起電力 E を測定して之によつて温度を測る装置を熱電流温度計といふ。それには適當なる二つの金属を選びその接合點 H を測らるべき温度 θ の所に置いて第 622 圖に示す回路中の導線 r の部に挿入した計器で E を測定するのである。 L は通常 0°C に保つ。

測らるべき温度の範囲によつて自ら二金属の選擇が決定せられる。普通の常温に近い温度範囲では鐵と銅との對又は銅とコンスタンタン ($\text{Cu } 60, \text{Ni } 40$ の合金) が材料の點で推奨せられる。低温度測定にも銅とコンスタンタンの對が

よい、又金と銀との熱電對は液態水素の溫度まで使用できる。1000°C 以上の高
温を測る所謂高熱計として白金を一金屬とし他を白金とロヂウムとの合金即ち
(Pt 90% Rh 10%)を賞用する。これでは高温點の溫度を θ とすれば起電力 E は

$$E = a + b\theta + c\theta^2.$$

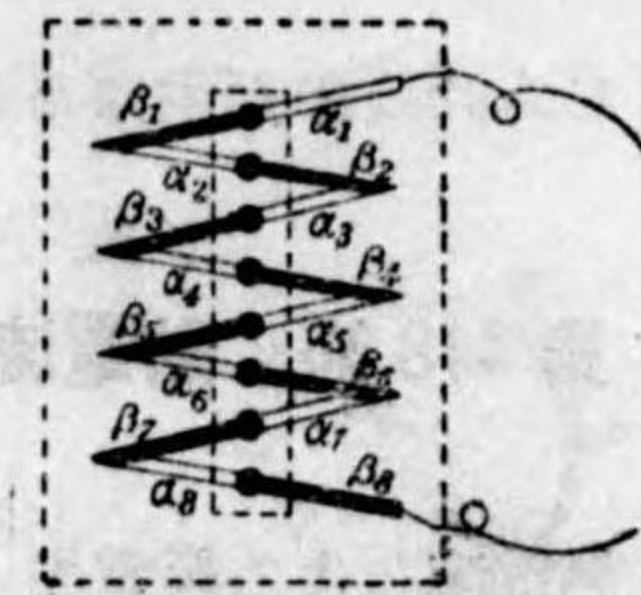
で a, b, c の價を θ の三つの價即ち金點 (金の融解點 1063°C) 銀點 (銀の融
解點 960.5) 及びアンチモンの融解點 (630.5°C) で定めることになつて居るが
 $a = -307, b = 8.1, c = 0.0017$ として此式で計算したものは 2°C 位の誤差で正
しい溫度が得られる。

爐の中の溫度を測るときは高温度の氣體の爲めに熱電對の金屬線が犯され
ないやうに之を陶器の管又は熔融水晶の管に入れて保護する必要がある。

第 419 節 熱電輻射計

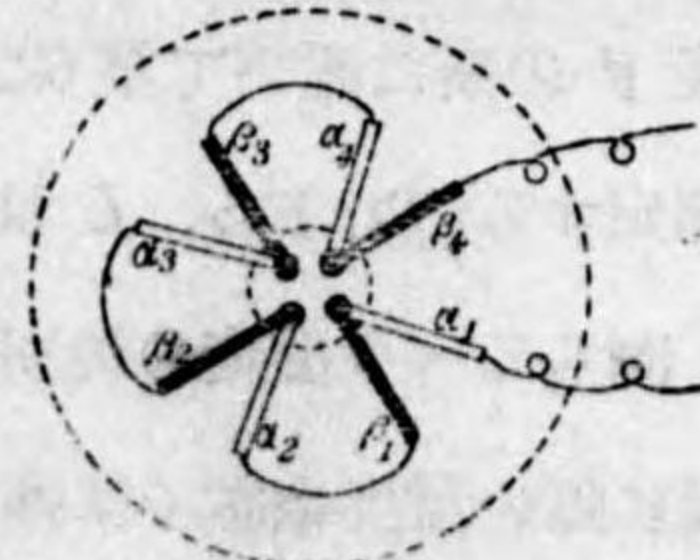
輻射の研究に使用する輻射計に於ては多數の熱電對を直列に組立てた熱電槽
に輻射線を投じて甚微量なる熱による溫度の上昇を觀測して輻射エネルギーを

測定するのである。此際には兩金屬として蒼鉛やア
ンチモン等を使用することがあるが此等を使用する
熱電槽の製作には特別の熟練技巧を要する。スペク
トルに於ける輻射の測定には第 624 圖の如く加熱接
合點を直線的に中央に排列してその上にスペクトル



第 624 圖 輻射線スペクトル測定用
熱電輻射計

線を投し低温接合點は點線で示した障壁で遮蔽して
置く。輻射線を一點に收斂する場合には第 625 圖の
如く組立てたものが用ゐられる。何れにせよ加熱接
合點には銀の小圓板を貼付し之を白金黒又はカンフ
ォルの煤煙にて燻して投射する輻射エネルギーを全
部吸収させる。尙加熱部以外は全部遮蔽することは



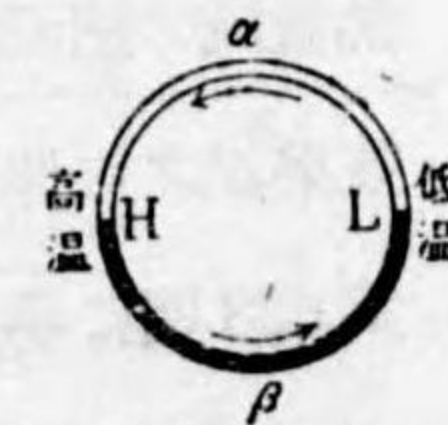
第 625 圖 輻射線が一點に集中する
ときに使用する輻射計

勿論である。電流の計器としては極めて鋭敏なる鏡檢流計が専ら用ゐられる。尙
同様な熱電微溫計と稱するものを第 439 節に記してあるから参照せられたい。

第 420 節 ペルチエー効果. タムソン効果

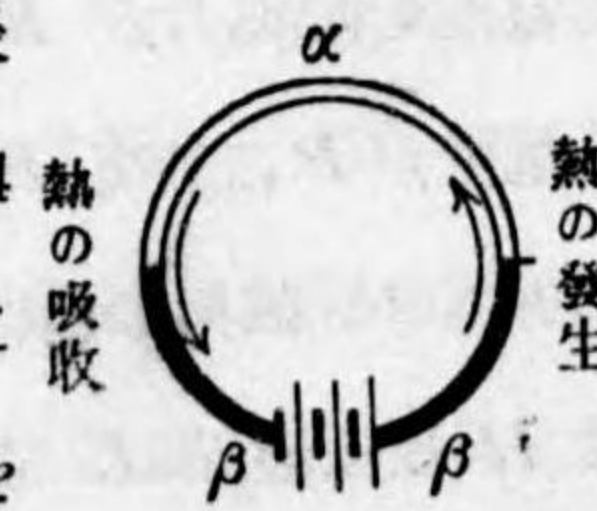
熱電流の現象即ちゼーベック効果に於ては (第 626 圖) 接合點 H に外部の
熱源から熱を與へて溫度を上げたので回路から言へば其所では熱を吸収し他の
接合點 L では發生した熱を回路から奪つて溫度を下けたので電流が起つたの
であるが、それと全く逆の現象を西曆 1834 年にペルチエー (Peltier フラン
ス人, 1785—1845) が發見した。之をペルチエー効果といふ。此現象は α, β
二つの金屬で作つた閉回路に外の電源から電流を送ると接合部の一に於て熱が
吸収せられ他に於て熱が發生せられるのである。別に熱を處分する装置が設け
てなければ吸収部では其所の溫度が下り發生部では溫度が昇るのである。而し
て電流の方向を逆にすれば熱の發生吸収が又逆になる。依つて此ペルチエー熱
は第 412 節に記した電氣抵抗に基づくジュール熱とは異なつて可逆的のもので
あることを特徴とする。

二つの接合部の熱の發生吸収は如何に起るかといふと熱電流に於て流るゝ電
流と同じ方向の電流を此際電源から送つたとすれば加熱し
た高温接合點 H にペルチエー熱の吸収がある (第 627 圖)。
但し此回路の各部にジュール熱の發生のあることは勿論のこ
とで、それは今特に注意する必要はあるまい。



第 626 圖 ゼーベック
ク効果

其後西曆 1851 年にタムソン (Sir William Thomson 後
にケルヴィン Lord Kelvin イギリスの大物理學者 1824
—1907) が類似の現象を唯一種の金屬から成る閉回路に
於て發見した。即ち第 628 圖の如き一つの金屬と電池とを
以て閉回路を作り金屬線に電流を通すると回路の各部に



第 627 圖 ペルチエー効果

ジュール熱の発生があるのは勿論だが此回路の一点Hを高温度に保ちLを低温度に保つと電流がLからHに向ふ回路の一半では熱の吸収があつてジュール熱から減ぜられて温度が下りHからLに向ふ他の半分では熱の発生があつてジュール熱に加はり温度が昇るのである。此現象をタムソン効果といふ。故に結局熱が電流の爲に之と共に運ばれた観がある。タムソン効果は金属の種類によつて其性質を異にし *Cd, Zn, Ag* 等の金属では上記の如く高温点Hから低温点Lに向つて熱が電流と共に運ばれるが *Te, Pt, Pd* 等の金属では逆に電流と反対の向きに運ばれる。前の場合をタムソン効果が正なりといひ後の場合には負なりといふ。



第628圖 タムソン効果

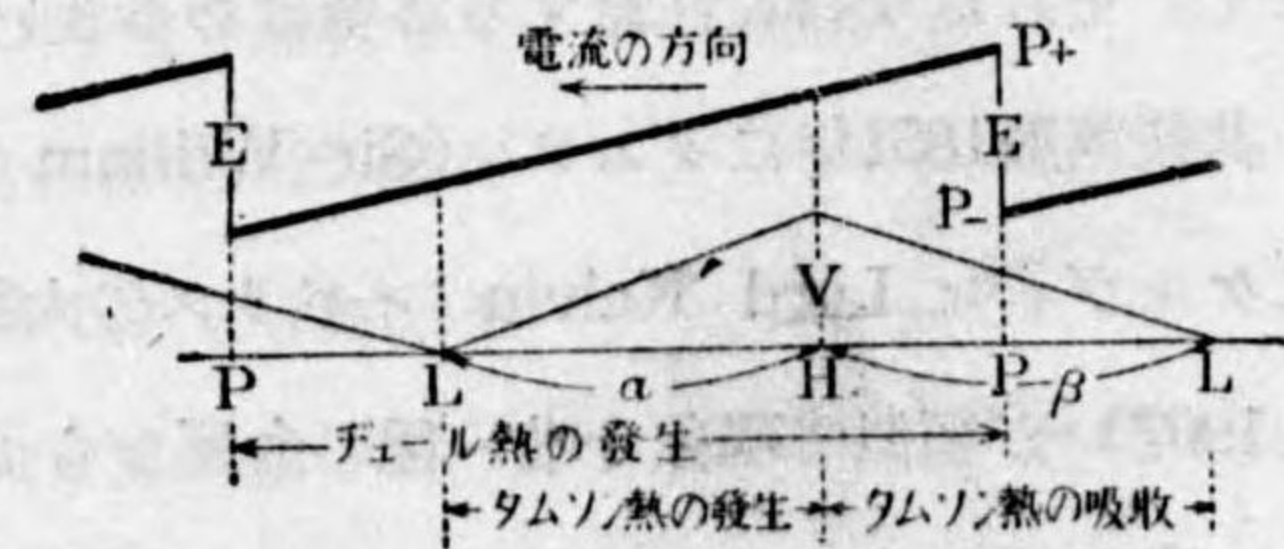
第421節 熱電流の説明

熱電流の回路に生ずる起電力の説明は α, β 二つの金属の接觸する所に接觸電位の不連続的の飛躍がありそれが温度の高低によつて程度を異にすること、又タムソン効果の正なる金属に於ては同一金属内でも高温度の所が低温度の所よりは電位が高くなつて居るといふことによつて説明せられるのである。

熱電流の閉回路に於ては回路中に温度の高い所と低い所とがあるのでタムソン効果が之に伴なつて居るから先づタムソン効果の説明を行ふ。

第628圖に示したタムソン効果の閉回路を假に一直線に延ばして第629圖の如くし電池の兩極を P_+, P_- と

し電池の起電力が E であるから電位が P に於て E だけ飛躍しタムソン効果の爲による高温点 H は低温点 L より電位

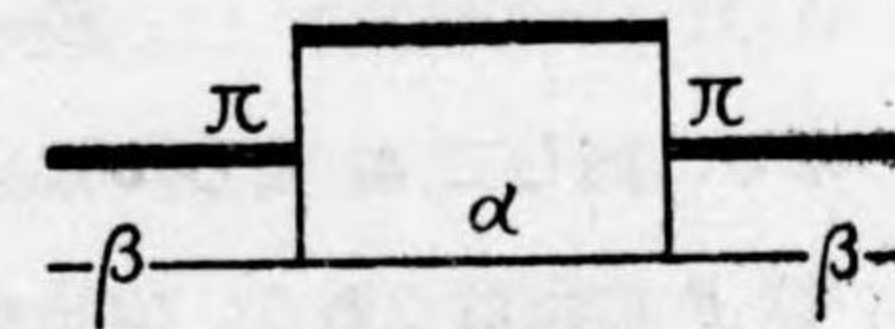


第629圖 第628圖の回路に於ける電位の圖

が V だけ高いとする。回路中の各點の實際の電位は太い線で示した電池によ

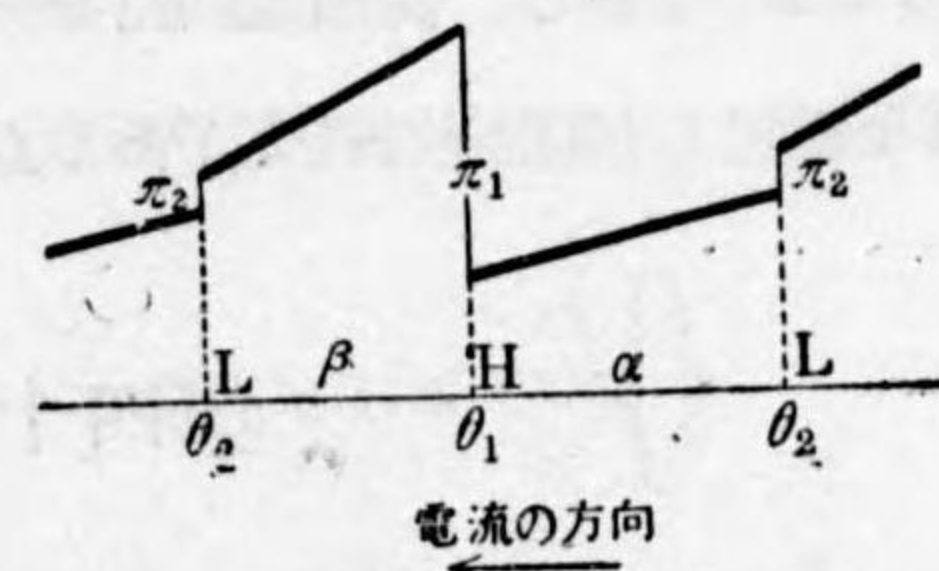
る電位と、細い線で示したタムソン効果による電位とを合成したものである。今此回路を流れる電流が i であるとすれば前者によつて電位差 E を流れるとき仕事の量 Ei がジュール熱となる。タムソン効果による電位に就ては高電位の H から低電位の L に流れるとき $+Vi$ の仕事による熱を発生し L から P を経て H に到るには電位の高い方へ進むのであるから $-Vi$ の仕事による熱を吸収するのである。

次には第626圖の熱電流（回路中に電池なし）に於ける電位を考へる。二つの金属を α と β とし熱電流の強さを i 高温接合点 H の温度を θ_1 低温接合点 L の温度を θ_2 とする。前の如く回路を一直線に延ばして畫くとき若し温度が回路の總ての所で一定であれば第630圖に示す如く二金属の接觸點に於



第630圖 二金属が同温度のときの接觸電位を π とす

て π だけの電位の飛躍があるが各の金属内では電位が一定であり電流は成立しない。若し接合點の温度に高低があるなれば第631圖の如く高温度 θ_1 の H に於て電位の飛躍 π_1 があり低温 θ_2 の L に於て電位の飛躍 π_2 があつて熱電流 i が流れ起電力が回路中に現はれる。これがゼーベック効果を生ずる熱電圧の源である。此回路に於ける熱の発生及び吸収を考へると H に於ては電流は電位差



第631圖 接觸點の温度が異なる場合

π_1 の所を上昇するので $\pi_1 i$ の仕事に對する熱を吸収し L に於ては電位差 π_2 の所を降下するので $\pi_2 i$ の仕事に對する熱を発生する。此 $\pi_2 i$ 及び $\pi_1 i$ は共にペルチエ熱に外ならぬ。それからタムソン効果により金属 α に於ては低温度 θ_2 より高温度 θ_1 に進むから熱の吸収があるが、その量は此間の電位の上昇 V_α は、金属 α に特有なるタムソン効果の定數 σ_α と温度差 $(\theta_1 - \theta_2)$ の相乗積で示される

$$V_{\alpha} = \sigma_{\alpha}(\theta_1 - \theta_2).$$

から仕事の量 $V_{\alpha}i = \sigma_{\alpha}(\theta_1 - \theta_2)i$ に対する熱の吸収である。同様に金属 β に於ては高温度 θ_1 より低温度 θ_2 に進むから σ_{β} を金属 β のタムソン効果の定数とすれば

$$V_{\beta} = \sigma_{\beta}(\theta_1 - \theta_2),$$

$$V_{\beta}i = \sigma_{\beta}(\theta_1 - \theta_2)i.$$

の熱の発生がある。故に全熱量は全回路の熱電起電力を E とすれば

$$Ei = \pi_1i - \pi_2i + \sigma_{\alpha}(\theta_1 - \theta_2)i - \sigma_{\beta}(\theta_1 - \theta_2)i,$$

$$\therefore E = \pi_1 - \pi_2 + (\sigma_{\alpha} - \sigma_{\beta})(\theta_1 - \theta_2),$$

となる。低温度 $\theta_2 = 0^{\circ}\text{C}$ とし高温度 $\theta_1 = \theta$ とすれば

$$E = \pi_1 - \pi_2 + (\sigma_{\alpha} - \sigma_{\beta})\theta. \quad (421)$$

となる。而して π_2 なる 0°C に於ける電位差は一定であるが高温度部の電位差 π_1 は θ の函数である。尙此式を (417) 式と比較して考へよ。

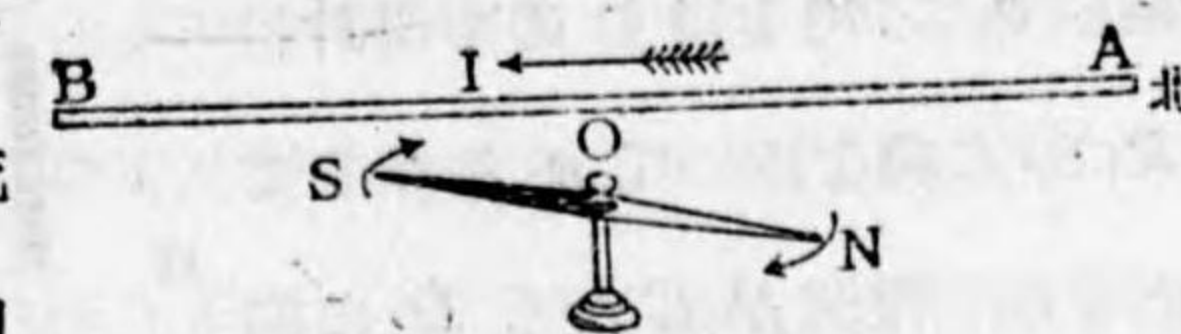
以上の如くして熱電流の現象がペルチエ熱及びタムソン熱によつて説明せられたのである。尙熱電回路を一種のエネルギー變換の機關として熱力學の理論を應用した理論的研究があるが今それには説及ほし得ない。

第四十二章 電磁氣學

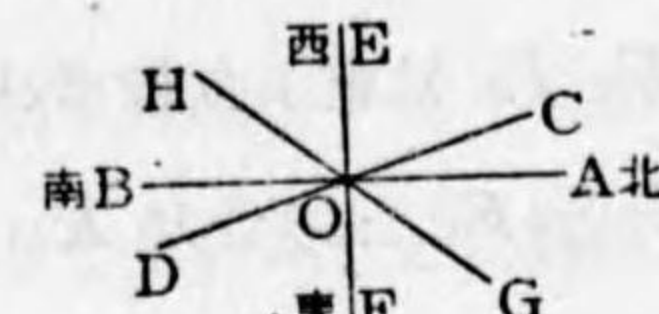
第 422 節 電流の磁氣作用

電流がその周圍に磁界を作るといふことをエルステッド (Oersted デンマークの物理學者 1777—1851) が 1819 年に發見したことが電磁氣學といふ電流と磁氣との間の交渉を論ずる甚だ廣汎なる領域を有する學科の一部門を開拓した基となつた。發見した事實は誠に簡単なことで電流の通ずる針金の傍では磁針は南北を指さないことを見出したに過ぎない。

今導線を水平に置いて其下に磁針 NS を置く。先づ (1) 導線を南北に向けて北 A から南 B へ向け電流を送ると磁針の N 極は東へ S 極は西へ偏せられて子午線と或角 θ を爲して靜止する。此靜止の位置は地球磁界と電流の作る磁界とを合成したものの指力線



線の方である。次に (2) 導線を子午線外の CD とか GH とかの方向を取らせて北側 C, G から南側 D, H



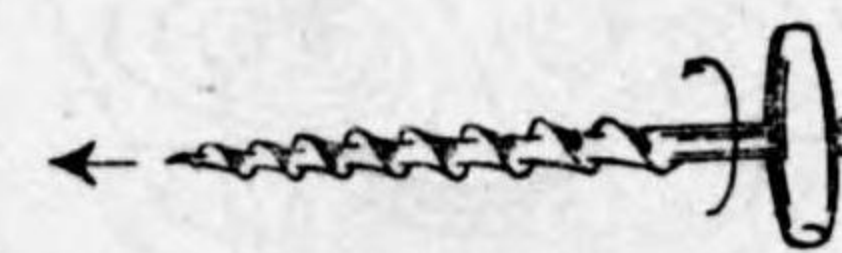
第 632 圖 エルステッドの實驗

へ向け電流を送ると磁針は前同様 N 極が東、 S 極が西へ偏せられるが靜止の位置に於ける偏角は (1) より小さい。更に (3) 電流を EF の如く東西に向はしめると磁針は偏せず $\theta = 0$ である。電流を逆にして南側の D, B, H から北側の C, A, G へ向はしめると偏角は子午線の反對の側に生ずる。

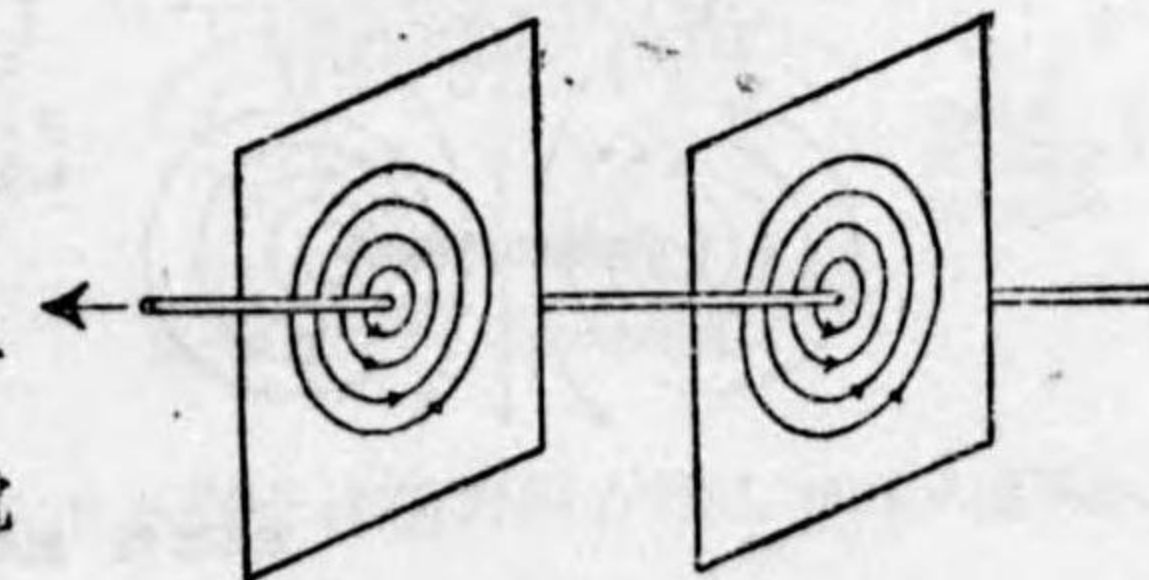
磁針が導線の上にあると磁針の偏することが上記と逆になり北側から南へ流すと N 極は西に偏し南側から北へ流すと東に偏するのである。

上記の現象の起る理由は直線電流の周圍は磁界であつて、その指力線は電流に垂直なる平面の中に於て電流を中心とした圓形をなすからである。此圓形指

力線の方に関する最簡單なる記憶法はマックスウェルの右廻はしの螺子の



方法である。葡萄酒の瓶のコルク抜きは右廻はしの螺子で右廻はしすると前進し左廻はしすると後退する。此螺子の進む方向と廻はす方向との關係は電

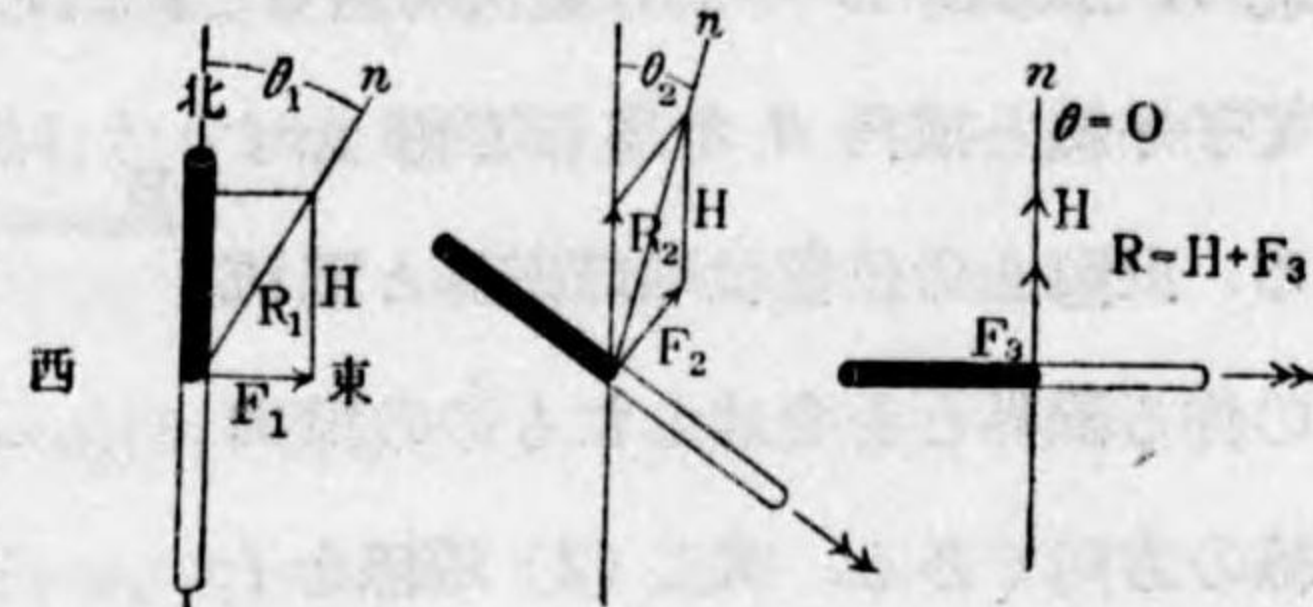


流の方向と指力線の方向との關係と一致するのである。

第 633 圖 直線電流の周圍の指力線

故に第 634 圖に於て H を地球磁界の水平分力とし電流が磁針の上にあつて

第 632 圖の A から B に向ふとすれば電流に基因する磁界 F_1 の指力線が東に向ひ H と F_1 との合力 R_1 は子午線と θ_1 の角を爲すので磁針は此 R_1 の方向を取つて n を指して静止する。電流が C から D に向へばその磁界 F_2 は東よりは多少北に向ひ H と F_2 との合力 R_2

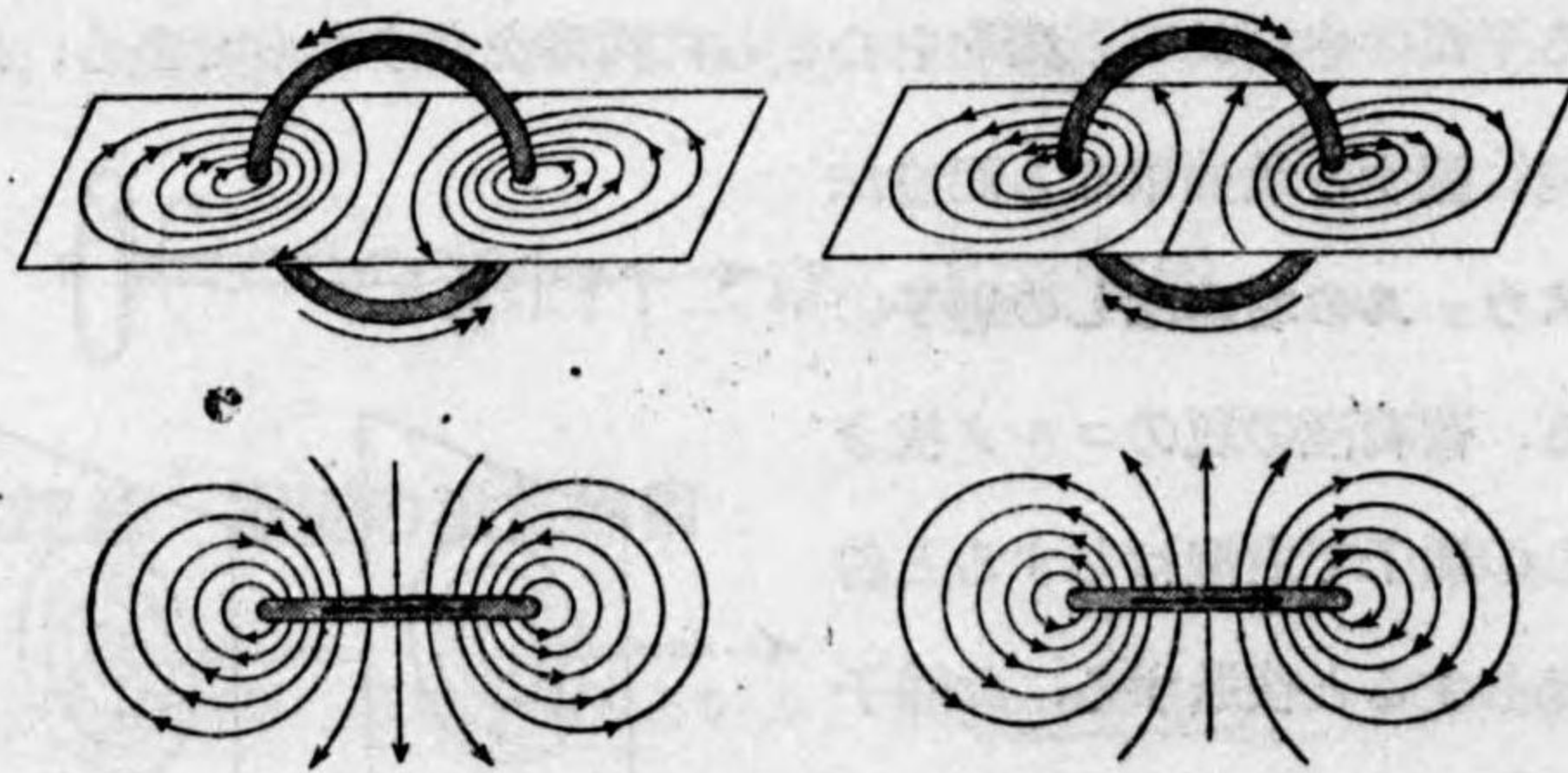


第 634 圖 電流による磁針の偏倚角

は子午線と θ_2 の角を爲す。此 θ_2 は θ_1 よりは小さい。更に電流が西から東に向つて流れるとその磁界 F_3 は H と同じく北に向ひ R_3 は $H+F_3$ になり磁針は偏することはない。此等の場合に於て電流の作る磁界は電流の強さが一定で磁針より同じ高さに導線が在れば $F_1=F_2=F_3$ なることは勿論である。

第 423 節 圓形電流の磁界

電流が圓形の回路を作るときは上記の直線電流を曲けて作ったものと考へれば指力線の大體の趨向を推知することが出来る。即ち指力線の形は圓ではない

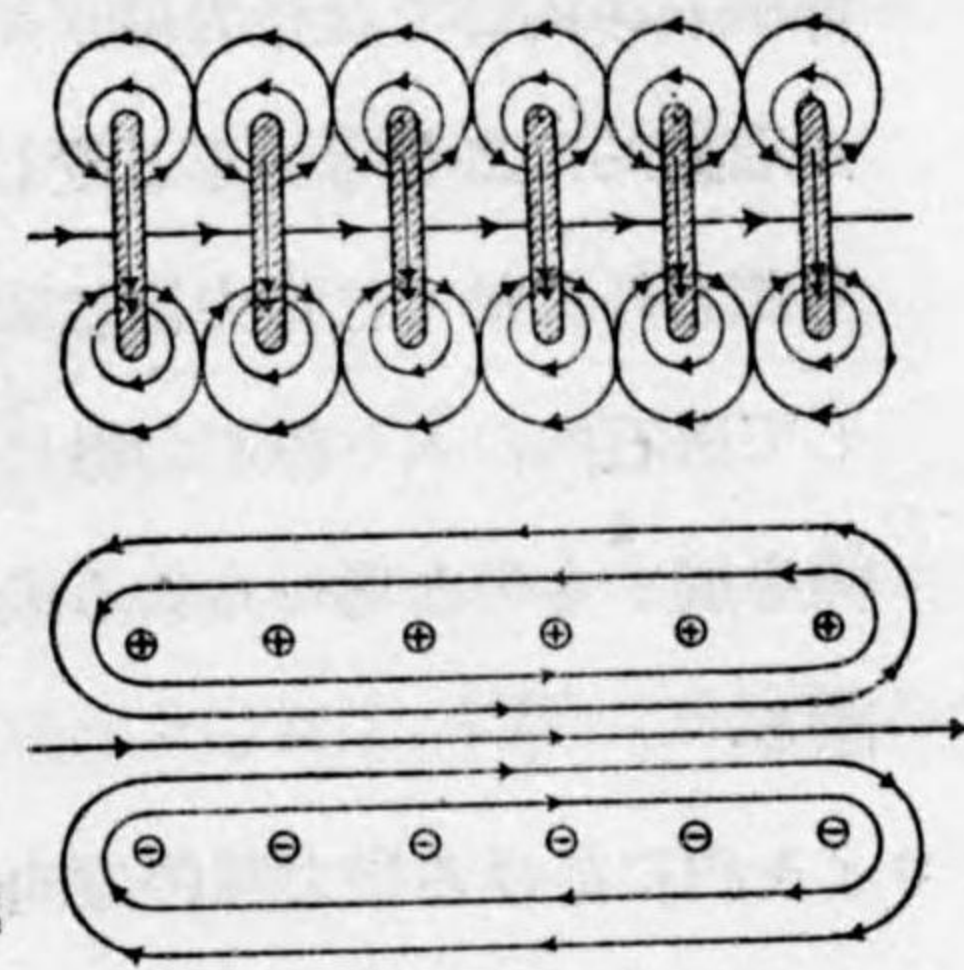


第 635 圖 圓形電流の磁界

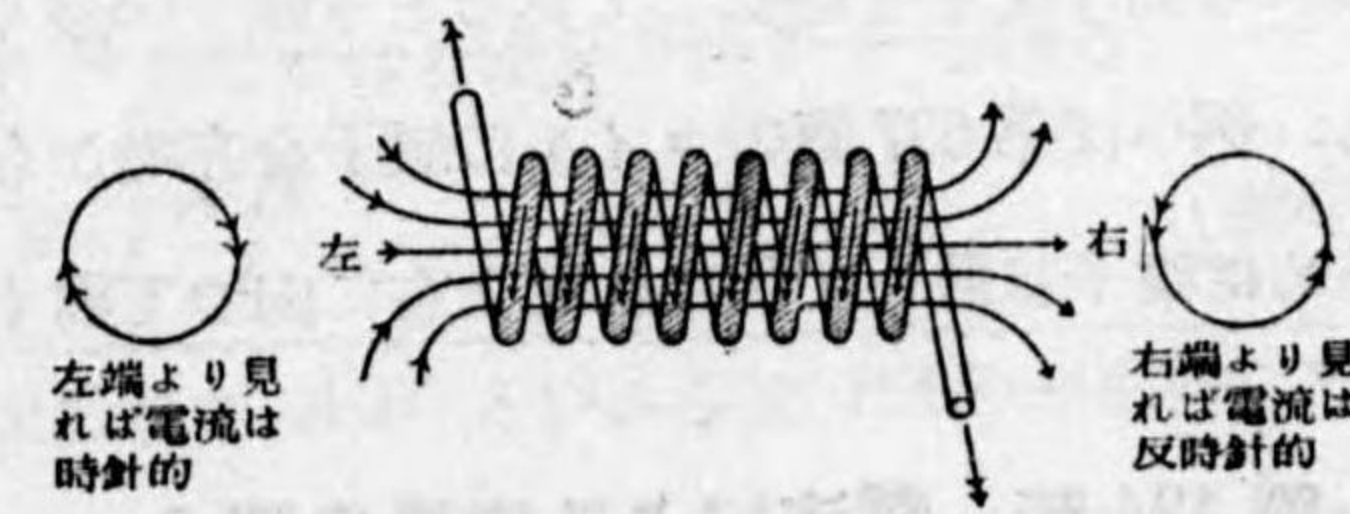
けれども導線の圓の平面を垂直に貫く彎曲した環狀を爲し導線の外側を巡つて無端の閉曲線を作ることを第 635 圖に示す如くである。之は第 361 節の鐵粉の實驗を行つて之を實證することが出来る。

又多數の圓形電流を並べて (第 636 圖) 之を繼ぎ合はせたものと考へ得られる線輪管のコイル (第 637 圖) に於てはコイルの内部では指力線はコイルの軸に平行な直線をなしコイルの端に於てコイルの外に彎曲して出でコイルの外側を反對の向きに走つてコイルの他端に於て又彎曲してコイルの内部に入つて同じく無端の曲線を爲すのである。但しコイルの内部に於ては殆ど平行線を作つて居る。而して指力線の走る方向は圖に示す如く電流のコイルを巡る方向によつて定まるもので針金を巻き進むとか巻き戻るとかいふことに關係はないことは既に第 356 節に於て一言した通りである。

圓形電流でもコイルを流れる電流でも之を小口から眺めたときに電流が時針的に廻はつて居れば圓又はコイルの内部を通る磁界の指力線は手前から先方に向ふことは第 637 圖に示す通りである。又第 637 圖を見ると直に氣の附くことは外部に於ける指力線は棒磁石の非常によく似て居てコイルの右端に N 極があるものの如くである。それはコイルを磁針に近づけて見るとコイルと磁針との間に吸引反撥の作用があつてコイルは磁石と同じ作用をすることは知られる。兩者の重要な相違はコイルに於ては、



第 636 圖 多數の圓形電流の組合せ



第 637 圖 コイルによる磁界

その内部に入ることが出来ることで、コイル内では指力線が殆どコイルの軸に平行に走つて居てコイル内の磁界は殆ど均齊なることは第 361 節の鐵粉の實驗で之を實證することが出来るが、棒磁石の内部で指力線が如何になつて居るかは唯想像するばかりである。

第 356 節に於て鐵棒を磁化するのに之をコイルの中央に置きコイルに電流を通ずる方法を述べたが、あれは此磁界内に鐵棒を入れて誘導によつて磁性を與へたのである。

斯くコイルは一つの棒磁石の如き磁界を作るから之に磁針又は磁石を近づけると兩者の間の作用が現はれる。即ち第 637 圖のコイルの左端に近く但しコイルの外部に磁針を置けばその n 極は吸引せられ s 極は反撥せられて指力線の方向が、明らかに知られる。此際若し磁針が支へられて居らず全體として動き得るならばコイルの内部に吸ひ込まれる。

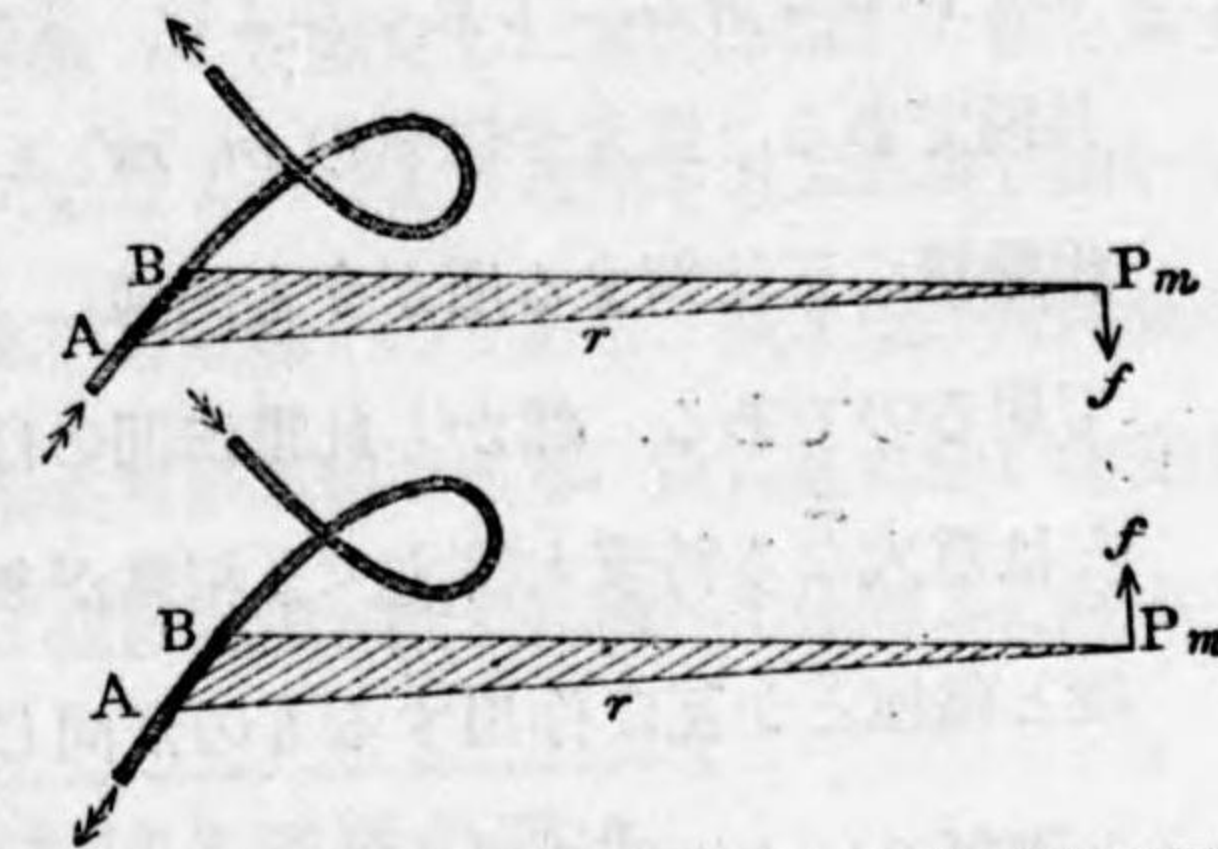
棒磁石の内部では指力線が如何になつて居るかは實際に調べる方法が無いが理論的に之を考えると蓋しコイルの中と同様であるものとしてよい。即ち磁石外に於ては指力線は磁石の N 極から出て S 極に至り、それから連続して磁石内に入り磁石の軸に平行に之を通過して N 極に至つて一束の閉曲線を成すものと考へられるのである。その詳細は之を第 444 節以下に之を譲る。

コイル内に於ける指力線の方向に関する簡單なる記憶法は第 422 節と同じくコイル抜の右螺子の方法によるがよい。即ち螺子をコイル内に挿込んで電流の流れる如く把手を廻はして見ると螺子の動く方向と指力線の方向と一致する。例へば第 637 圖のコイルに螺子を左端から挿込めば螺子は進み右端から挿込めば螺子は退いて何にれせよ右に向つて動く。

第 424 節 電流による磁界の強さ

一定の電流 i と磁極 m との間に作用する力の大き及びその方向は 1820 年にビオー (Biot フランスの物理學者 1774—1862) とサバール (Savart フランスの物理學者 1791—1841) とが共同研究の結果として發表した法則によつて與へられる。電流を運ぶ導線は一般には彎曲した空間曲線であるから先づ電

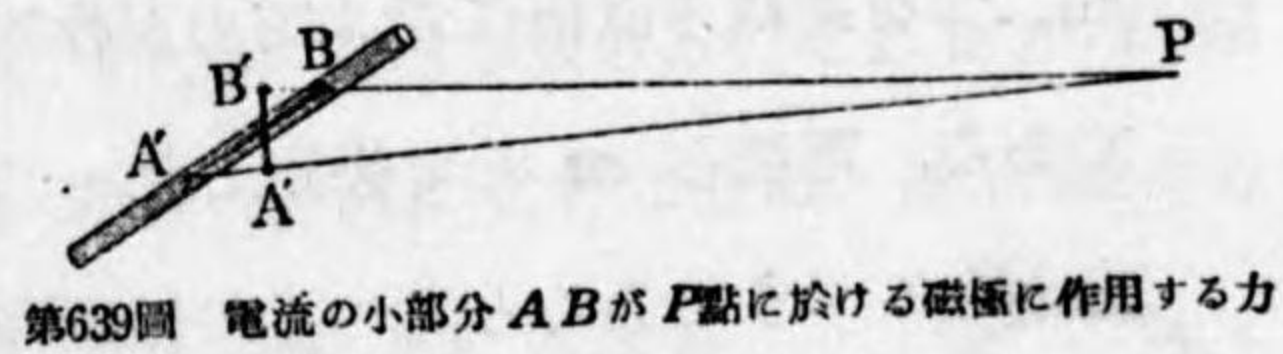
流回路を AB の如き微小要素に分ち各要素が P 點にある磁極 m に及ぼす力 f を求め之を總和して全回路の効果を求めるのである。



第 638 圖 電流の一部分 AB による P 點に於ける磁力

電流要素は (1) その長さ AB と (2) 電流 i と (3) その方向との三元を有して居る。直線 AB と磁極 P 點とで空間に一つの平面を決定する。然るときは電流要素が磁極に及ぼす力 f は此平面に垂直でその方向は第 638 圖に示す如く第 422 節の右螺の法則で與へられるものである。力 f の大きに関しては次の法則がある。

- (1) 電流 i に正比例する。
- (2) 要素と磁極との距離 r の二乗に逆比例する。
- (3) 要素 AB を磁極 P より見たる見掛け上の長さ $A'B'$ に正比例する。
- (4) 磁極 m に正比例する。



第 639 圖 電流の小部分 AB が P 點に於ける磁極に作用する力

即ち
$$f = im \frac{A'B'}{r^2} \quad (424/1)$$

である。而して $m=1$ とすれば P 點に於ける磁界の強さ F を得る

$$F = i \frac{A'B'}{r^2} \quad (424/2)$$

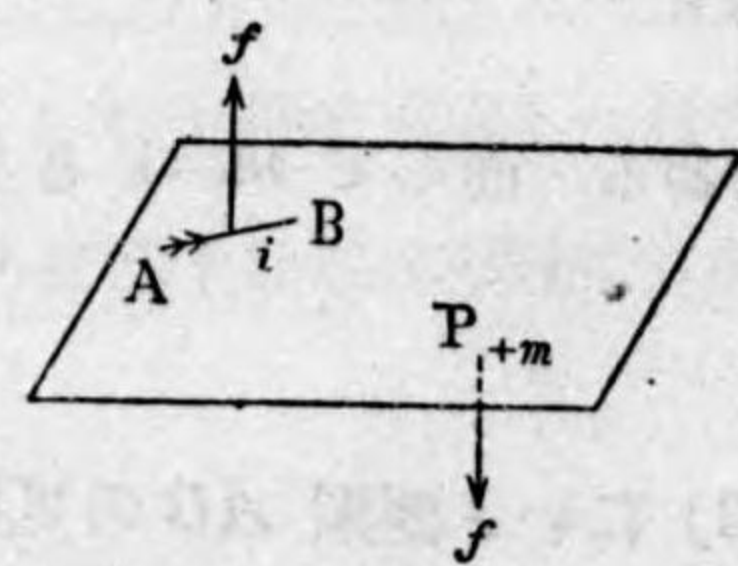
(3) にいふ要素 AB の見掛け上の長さ $A'B'$ といふのは PAB 平面内に於て P を中心として半径 r の圓を描くとき二直線 PA, PB が挟む圓弧の長さである。

ビオー・サバールの法則では互に作用するものが磁氣の方では m 、電氣の方では $i \times A'B'$ で、それが距離 r で作用して居るのである。これをニュートンの萬有引力や、クーロンの磁氣、又は靜電氣の法則と對照して宜しく

その内容を味はつて見るがよい。先づ距離 r の二乗に逆比例することは共通である。質量や磁氣の m, m' とか電氣の e, e' とか互に作用する量の相乗積に正比例する所が今も同様に m と $i \times A'B'$ との相乗積に正比例して居るのである。然かし此電磁間の作用にはニュートンやクーロンの法則とは重大なる特筆大書すべき相違がある。是迄のは質量と質量とか或は磁極と磁極とか互に作用するものが同じ性質のものであつたが今度のは電氣と磁氣といふ性質を異にするもの間の作用である。同種のもの時は兩者を結びつける直線に沿ふて働らく引力か斥力かのどちらかであつた。それは當然といへば當然で他の方向が考へられないのである。然かし今度は一方が方向を有せざる m で、他方は電流といふ方向を有するものである。此二つを連ねる直線に沿ふて力が作用すると言へばそれは寧ろ奇怪なことである。電流と m とで決定した一つの平面に對して力の作用する方向が定めらるべきであると思へるのは無理のない話である。そこで m に働く力は如何に向くか。といふと、それは右廻はし螺子の法則で與へられた通り此平面に直角である。然るに平面には表と裏とがある。表へ向くか裏に向めくか、それが同時に右廻はし螺子の法則

で定められたのである。

上文に説く所は勿論 m は磁石の N 極としてある。 S 極なれば m は負で f の方向は反對である。



第640圖 電流と磁極の間の作用と反作用

尙一つ此所に述べて置くべきことは運動の第三則にいふ如く作用と反作用とは同時に作用するのであるから上記の如く電流要素 $i \overline{A'B'}$ が m に f なる力を働かすと同時に m は電流要素に同じ大きさの力 f を反對の方向に向けて働かして居ることである。故に第638圖に於て電流の方が動かざる如く装置せられ、 m が磁針の極の如く可動のものであれば m が

f の命する方向に動き出すが、若し磁極 m が固定した重い棒磁石の極を爲す(磁氣要素とでもいふべき)もので不可動なものであり電流を運ぶ導線が細いブラブラしたものでもあれば電流要素の方が動くのである。弧光燈の炭素極間の高溫の瓦斯イオンは電流を運んで居る可動導體である。故に之に強い棒磁石を近づけると弧光は横に動かされて、或は電流が断たれ消へて仕舞ふに至る。

第425節 圓形電流の中心に於ける磁界の強さ

ビオー・サバールの法則によつて簡單なる場合の磁界の強さの計算を行ふ。先づ圓形電流の中心に於ける磁界を取る。

圓の半径を r とし電流を i とする。圓弧の一小部分 AB を考へると圓の中心 P に $m=1$ なる磁極がありとして P 點の磁界を求めるのであるが P 點から圓弧 AB を見た見掛け上の長さ $A'B'$ は AB に外ならぬ。故に磁界の強さ F は $\frac{i \overline{AB}}{r^2}$ の總和であるから \overline{AB} の和なる全圓周



第641圖 圓形電流の中心に於ける磁界の強さ

$2\pi r$ に $\frac{i}{r^2}$ を乗じて

$$F = \frac{i}{r^2} \times 2\pi r = 2\pi \frac{i}{r}$$

を得る。これ即ち圓形電流の中心に於ける磁界である。

絶縁線を圓形に重ね合はせること n 回で一つの圓環を作り之に電流 i を通ずると圓環の中心に於ける磁界は上記のもの n 倍で

$$F = 2\pi \frac{ni}{r} \tag{425}$$

である。

圓の中心でない所の磁界は計算は面倒であつて此所に記すことが出来ない。

第 426 節 圓筒形の長いコイルの軸上の磁界

第 423 節に於て解説した如く圓筒形コイルは圓形電流を多數並べた如きものであるから上記の圓形電流の磁界の計算と同様な但し面倒な計算を行ふとコイルの軸上に於ける磁界を求めることが出来る。

コイルの形が甚細長いもので、その長さの單位につき針金が n 回 (重ねても並べても) 巻いてあればコイルの軸上にあつて兩端より遠い中央の P 點に於ける磁界は稍面倒な計算によると

$$F=4\pi ni. \tag{426}$$

である。上式はコイルが甚細長ければその半径や長さには關係なく適用してよい。



第 642 圖 長さ圓筒形コイルの中心に於ける磁界の強さ

第 427 節 直線電流の磁界

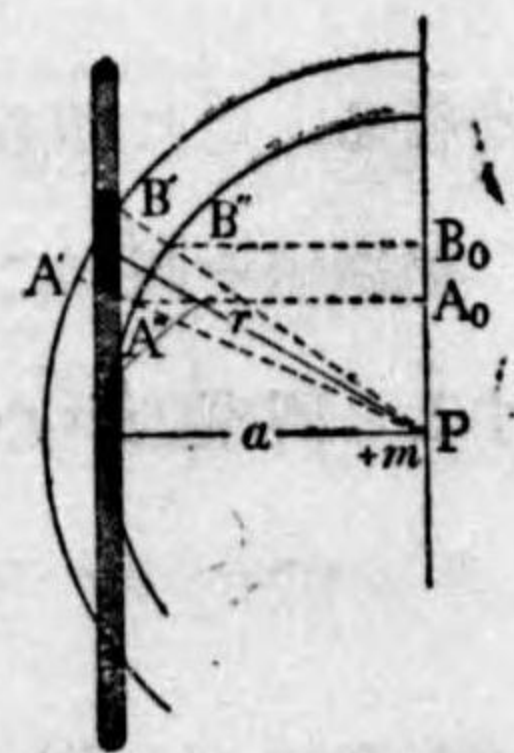
無限に長い直線電流が作る磁界の大きさをビオー・サバルの法則によつて計算する。

直線電流 i の上に電流要素 AB を取りその見掛け上の長さ $A'B'$ を求める爲に AB の中點を通る半径 r の圓を描く。此 r は要素と磁極 P との距離である。此要素に基づく力は

$$\frac{i \times A'B' \cdot m}{r^2}$$

である。然るに P から直線電流までの最短距離 $PO=a$ として P を中心とした半径 a の圓を描けば PA, PB が此圓周上に挟む弧 $A''B''$ は

$$A''B'' : A'B' = a : r,$$



第 643 圖 直線電流の一部による磁力

$$A'B' = A''B'' \frac{r}{a}.$$

然るに又 $A''B''$ を P を通過する i に平行なる直徑の上に投影したものを A_0B_0 とすれば相似三角形の理により

$$A''B'' : A_0B_0 = r : a, \quad A''B'' = A_0B_0 \frac{r}{a}.$$

故に
$$A'B' = A_0B_0 \frac{r^2}{a^2}.$$

之を前式に代入すれば電流要素 AB に基づく力は

$$\frac{i \cdot m \cdot A_0B_0}{a^2}$$

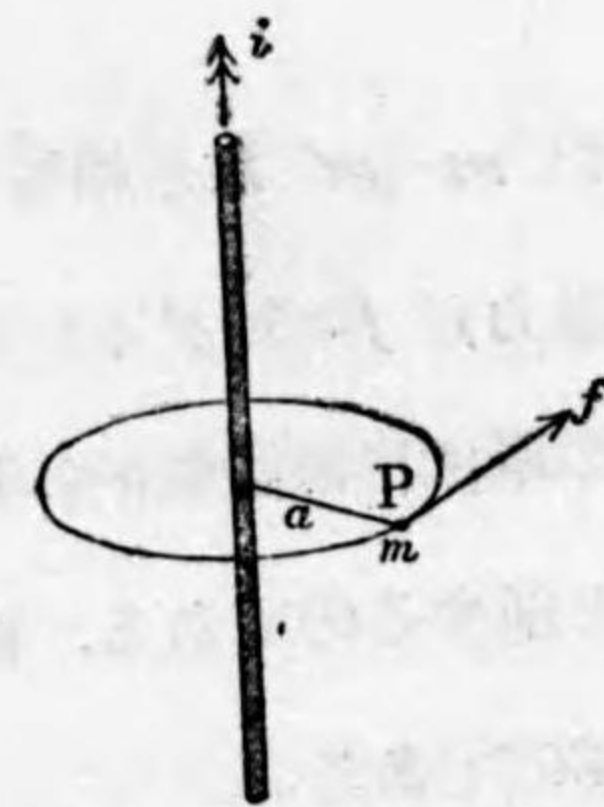
となり此總和を求むればよい。然るに A_0B_0 の總和は明瞭に半径 a なる圓の直徑 $2a$ であるから求める所の全體の力は

$$f = \frac{im}{a^2} \cdot 2a = \frac{2im}{a}. \tag{427/1}$$

で $m=1$ とすれば P 點に於ける磁界 F を得て

$$F = \frac{2i}{a}. \tag{427/2}$$

となる。而して F の方向は第 643 圖では紙面に直角で紙背に向ふが立體圖は第 644 圖に示した通りで、それは既に第 633 圖に示したものと一致して居る。



第 644 圖 直線電流の作る磁界

第 428 節 電流の單位

第 400 節に於て電氣に關する單位には學術的の C. G. S. 單位に靜電單位 (e. s. u.) と電磁單位 (e. m. u.) との二種あることを述べたが今や吾等は電流の電磁單位に就て解説するに適當なる時期に到着した。

第 644 圖の P にある磁極 m を半径 a の圓周上に沿ふて直線電流 i を一周させるとこれに要する仕事 w は

$$f = \frac{2im}{a},$$

$$s = 2\pi a.$$

であるから

$$w = fs = 4\pi im. \quad (428/1)$$

となり圓の大きさ a には関係しない。若し單位磁極なれば、 $m=1$ として

$$w = 4\pi i. \quad (428/2)$$

となる。之によつて電流の單位として

單位磁極をして直線電流を一周せしめたときに仕事 $w=4\pi$ エルグなる如き電流を以て單位電流とす

と定義することを得る。之を電流の電磁單位 (e.m.u.) といふ。

扱て此定義にある單位磁極とは磁氣に関するクーロンの法則 (第 358 節) に於て

$$f = \frac{mm'}{r^2}.$$

の $m=m'$ なる相等しき二つの磁極を真空中に於て距離 $r=1$ に置いたときに磁力が $f=1$ ダインなるものを $m=m'=1$ としたのであるから今定めた電流の單位は電磁氣的作用に基いて制定したものであるから、之を電流の電磁單位と稱するのである。而して斯くの如き電流は一秒間には電氣量の電磁單位を運ぶのである。

然るに第 372 節に於ける靜電氣に関するクーロンの法則に於て $e=e'$ なる二つの相等しい電氣量を真空中に於て距離 $r=1$ に置いたときの電氣力は

$$f = \frac{e \cdot e'}{r^2}$$

から $f=1$ ダインとなる如きものを $e=e'=1$ とした電氣量の單位と定める。此單位は靜電氣作用に基いて制定したものであるから之を電氣量の靜電單位と稱する。而して斯くの如き電氣量が毎秒流れる電流が電流の靜電單位である。

靜電單位と電磁單位とは上記の如くその出發點が全く互に獨立である。故にその絶對値の大きさは實測によつて定める外はない。その實測法を今記述することを得ないが第 400 節に記した實用單位の制定にも學者は此實測を行つたのである。第 400 節の表には

$$1 \text{ アンペア} = 3 \times 10^9 \text{ (e. s. u.)} = \frac{1}{10} \text{ (e. m. u.)}.$$

とあるから

$$1 \text{ (e. m. u.)} = 10 \text{ アンペア},$$

$$1 \text{ (e. s. u.)} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{ アンペア},$$

$$1 \text{ (e. m. u.)} = 3 \times 10^{10} \text{ (e. s. u.)}$$

で電流の電磁單位は靜電單位の 3×10^{10} 倍である。

第 423 節以下の式にある i は電磁單位であるから電流をアンペアで測定した實驗にはアンペア數の $\frac{1}{10}$ を i としなければ式で計算した f がダインで出て來ない。例へば (426) 式の i がアンペアで與へられてあれば $f = \frac{1}{10} \times 4\pi ni$ として f がダインで算出される。

電流の靜電單位と電磁單位との割合が上記の如く定まると其他の電氣に関する兩種の單位間の割合が之から導き出される。

第 429 節 磁界内に置かれた電流

第 424 節の終に述べた如く電流が磁極に力を及ぼすと同時にその反作用として磁極は電流に力を及ぼすものである (第 640 圖) 換言すれば磁極 m の作る磁界内に置かれた電流は之に或力を作用せられるのである。此力を求めるにはビオー・サバールの法則のときの如く電流を微小要素に分ちその各要素が磁界から受ける力を求め之を總和して全電流が受ける磁界の効果を求めればよい。

扱て先づ第 639 圖の左側にある電流要素 AB が磁極 m に働かれる力の場

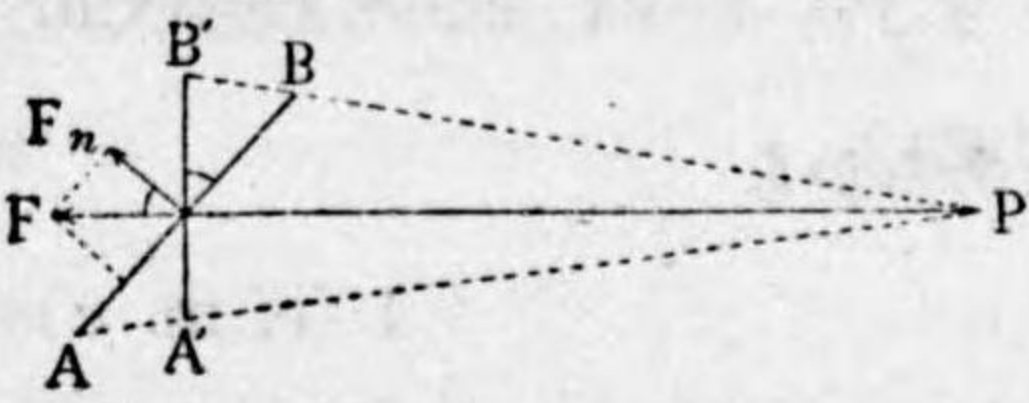
合を考えるとその力の方向は圖に示してある通り平面 PAB に直角で上方に向ひその大きさは

$$f = i \cdot m \cdot \frac{A'B'}{r^2} \quad (424/1)$$

であつた。此式の $A'B'$ は AB を r に直角な方向に投影した長さに外ならぬ。而して此電流要素が居る磁界の大きさは m

の作る $F = \frac{m}{r^2}$ で、その方向は r を延長 F

した方向である。此 F を電流に直角なるもの F_n と之に平行なるものとに分解する。



第645圖 P にある磁極による電流要素, AB の受ける力

と

$$F_n : F = \overline{A'B'} : \overline{AB},$$

$$F_n \cdot \overline{AB} = F \cdot \overline{A'B'} = \frac{m}{r^2} \cdot \overline{A'B'}$$

であるから之を (424/1) 式中に代入すれば

$$f = i \cdot F_n \cdot \overline{AB} \quad (429/1)$$

となる。此結果は全く一般的に正しいものであつて

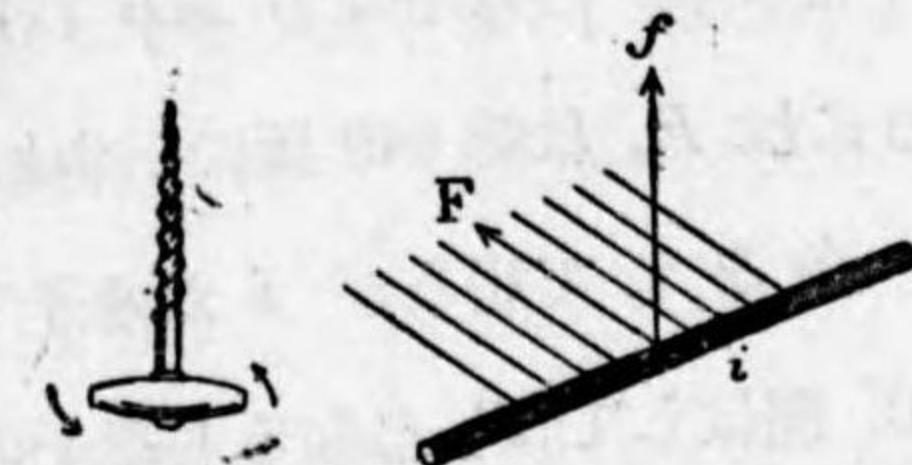
電流要素 AB が磁界 から受ける力 f は

- (1) 電流 i に正比例し
- (2) 電流要素の長さ AB に正比例し
- (3) 電流に垂直なる磁界の分力 F_n に正比例する
- (4) i, F_n, f は互に直角で(第646圖) i から右廻りに 90° 廻轉して F_n を

得る如くした右廻螺子の進む方向が f の方向である。(第647圖)

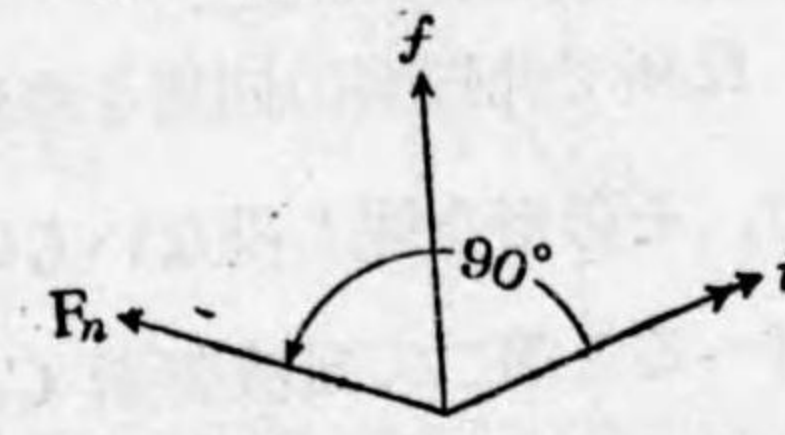
f の方向を記憶する爲に色々の方法が案出されたが記憶法を記憶するのが容易でない。例へば「フレミングの左手の法則」と呼ばれる記憶術がある。これでは「左手の中指, 食指, 拇指を互に直角にし中指を電流 I , 食指を磁界 F_n の方向とすれば拇指が f の方向である」といふのであるが

何指が何を代表するかを記憶するのが面倒である。英語では中指が Middle finger でその第二字の i が電流 I を, 食指が Fore finger でその f 字が磁界,



第646圖 電流に直角なる磁界の分力 F_n によつて電流要素 i の受ける力 f

Field の f を, 親指が Thumb でその m 字が運動 Motion の m を思ひつかせるといふ趣向であるが, 要するに何等疑惑を起さざる決定的の記憶法ではないから英語國以外では採用せられて居ら



第647圖 i, F_n, f の三つが互に直角である

ぬ。寧ろ上記の如く F_n を生ずる N 極 m があるべき位置を想像し此 m が電流 i で如何なる力を蒙るかを考へその反作用の方向を求めて f とするのが記憶法によらず理論的に正しい推理をしたものと言へよう。

第430節 磁界内に置かれた回路 其一

今均齊なる磁界 F の中に置かれた一つの回路 i に及ぼす全作用を求めて見る。

それには回路の電流要素に作用する磁界の及ぼす力を合計すればよいのであるが先づ最簡單なる場合として磁界は水平であるとして水平面内に設けた直角座標軸の $+x$ 軸に平行に向つて居るとする。それから回路は一本の針金を矩形 $ABCD$ の形に曲げたもので其形は變化しない剛體的のものだとしその平面は鉛直であり、尙邊 BC, DA は鉛直で直角座標の z 軸に平行に、邊 AB, CD は水平に保たれて、回路の平面は y 軸と α の角を爲して居るのである。第648圖は電池等を省略して磁界と回路との關係だけが圖示してある。

此場合には電流要素として AB, BC, CD, DA なる矩形の四邊を考へ、之に及ぼす磁界 F の作用を順次に計算すればよい。

先づ第一に水平なる AB に及ぼす作用を考へるには F_n は第 649 圖に示す如く水平で x 軸と α の角をして居るが i が水平であるから i から 90° 廻はして F_n になる右螺子の進む方向たる電磁力 f は上方に向ふて $+z$ の方向を指す。

此所で此矩形の回路を剛體の枠に巻かれたもので、その形を變し得ないものだとしてあることを考へると第二の電流要素 CD 部に働く電磁力は明かに下方 $-z$ に向ひその大きさは AB 部のと等しいから此上下に向ふ一對の電磁力は相殺して何等の効果を生じない。

次に第三に鉛直なる電流要素 BC 部に作用する電磁力を考へる。 i は鉛直に $-z$ に向ひ磁界は $F_n = F$ で $+x$ に向ふ。 i から 90° 廻はして F_n となる右螺子の進む方向たる電磁力は $-y$ に向ひその大きさは(第 650 圖)

$$f = \overline{BC} \times i \times F.$$

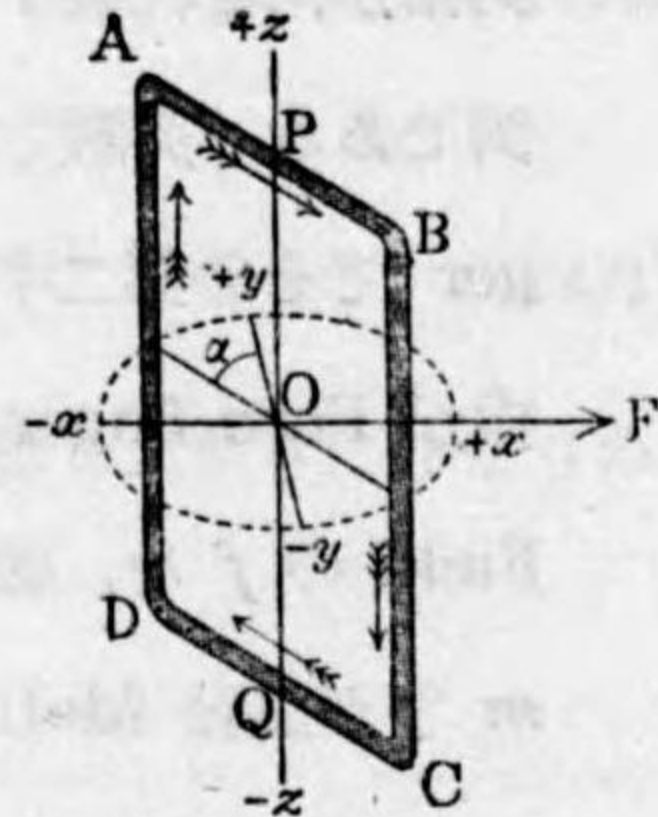
である。

第四の要素たる DA 部に作用する電磁力は \overline{BC} 部と正反對に $+y$ に向ひその大きさは上記のと全く等しく

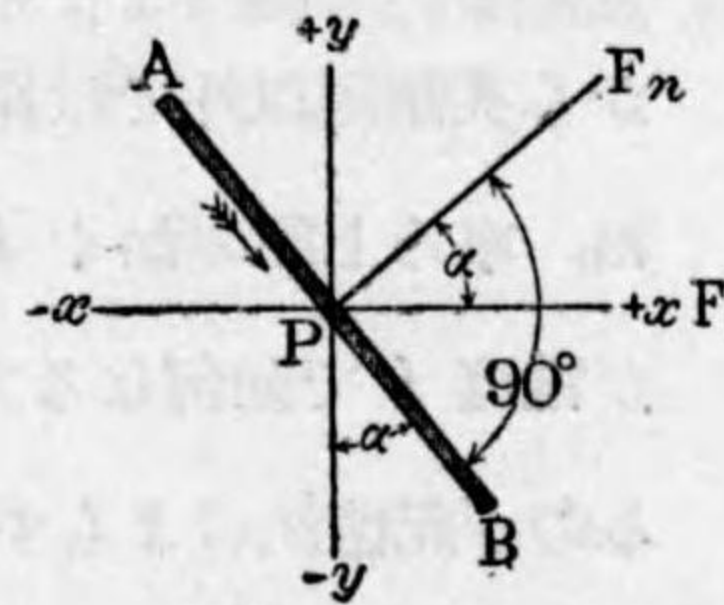
$$f' = \overline{DA} \times i \times F.$$

である。(第 651 圖)

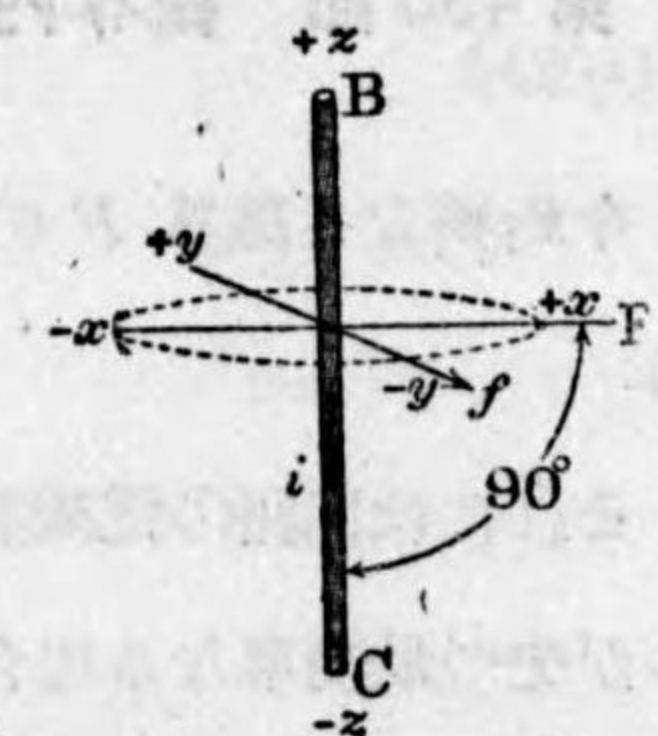
剛體の回路の二邊 \overline{BC} , \overline{DA} に上記の如く方向反對で相等しい電磁力が作用するが此二力は同一直線上には無い。今此矩形の剛體の枠が上下邊の中央 P, Q を



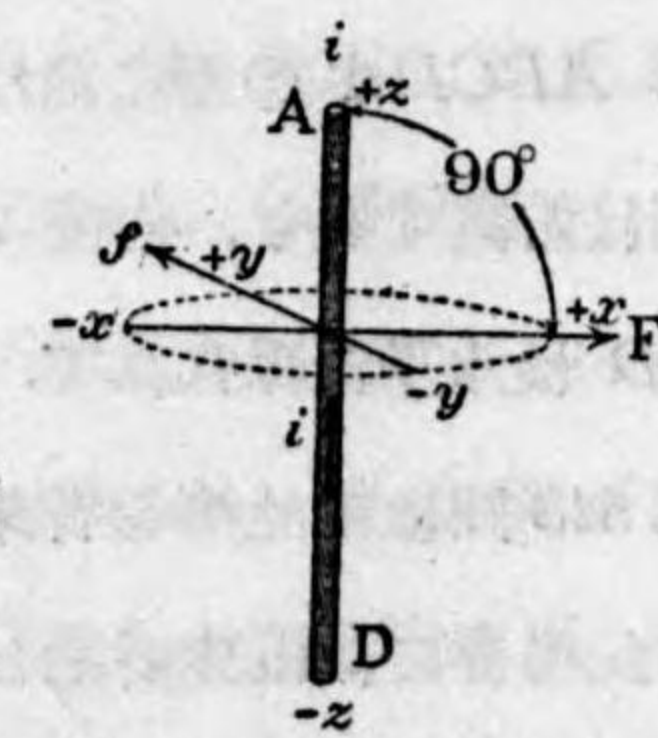
第 648 圖 矩形の回路 $ABCDE$ が鉛直で水平磁界 F に作用せられる場合



第 649 圖 第 648 圖の AB 部の受ける力



第 650 圖 第 648 圖の BC 部受ける力



第 651 圖 第 648 圖の AD 部の受ける力

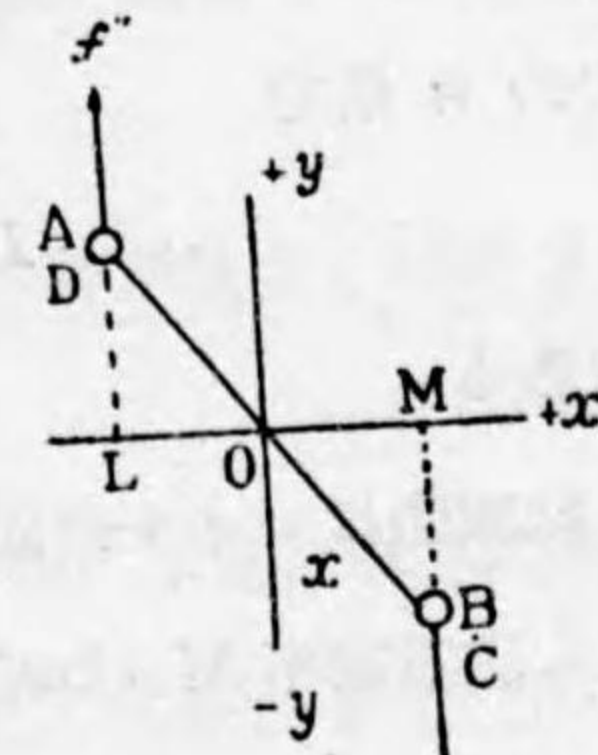
連ぬる鉛直線を軸として廻轉を許さるる如く装置してあつたとする、然るときは \overline{BC} , \overline{DA} に働く二つの電磁力は恰も一つの偶力を形成して z 軸即ち \overline{PQ} 軸に對して廻轉能率 D を有する。その大きさは能率の臂の長さが第 652 圖の $LM = \overline{AB} \sin \alpha$ であるから

$$D = LM \times f = AB \sin \alpha \times \overline{DA} \times i \times F. \quad (430/1)$$

矩形の面積を $\overline{AB} \times \overline{DA} = S$ とすれば

$$D = S \sin \alpha i F. \quad (430/2)$$

であつて廻轉の方向は矩形の平面を x 軸に直角ならしめんとするのである。即ち α を小ならしめんとし α が零になれば $D=0$ となつて \overline{BC} , \overline{DA} に働く力は相殺して釣合ひ矩形はその平面を x 軸に直角にして平衡状態に入る。

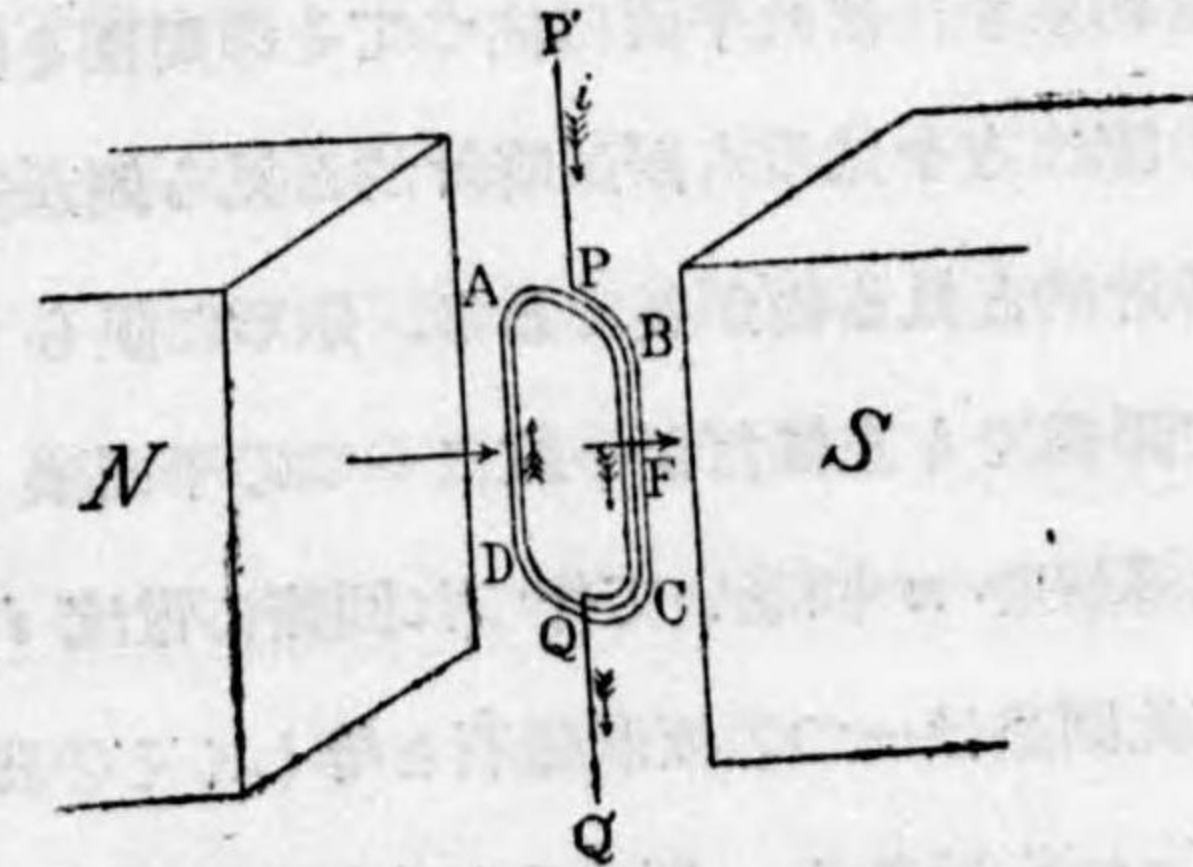


第 652 圖 第 648 圖の矩形の受ける力は偶力を形成する

第 431 節 磁界内に置かれた回路 其二

前節に於て均齊なる磁界 F の中に置かれた矩形の平面回路はその針金が剛體の枠に巻かれて廻轉軸 PQ (指力線に直角) を有するものであると回路の平面が指力線に直角になる位置に於て平衡状態に入ることを示した。第 653 圖は

斯くの如き装置を示すもので矩形の板の周圍に導線を數回巻きその導線の兩端を上下邊の中點 P, Q とし、此兩點から細くして長い導線 PP' 及び QQ' を附して之を鉛直にして上下より引張つて回路を鉛直に吊す。又 N, S は水平なる磁界 F を作る強



第 653 圖 強い磁石の兩極 NS 間に吊した矩形回路

磁石の相對する兩極である。回路の平面の法線 PN が F と角 α を有するとき
 は(第 654 圖) 廻轉能率は導線が n 回柁に巻いてあれば (430/2) 式に示すもの
 の n 倍で

$$D = n \cdot S \cdot \sin \alpha \cdot i \cdot F. \quad (431/1)$$

である。

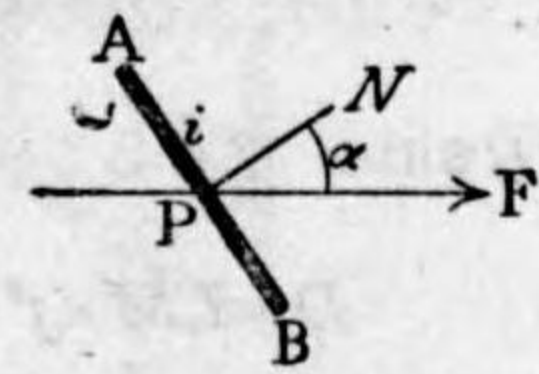
此回路はコイルの面に直角なる磁針と同じ作用をする
 から磁氣能率 $M=2ml$ なる磁針 ns が磁界 F の中に同
 じ向きに角 α を爲して居るとき (第 655 圖) の
 廻轉能率を與ふる式 (第 365 節) と對照すると彼
 所の (365/2) 式の H は今は F で表はしてある
 から

$$D = m \cdot F \cdot 2l \cdot \sin \alpha = M \cdot F \cdot \sin \alpha. \quad (431/2)$$

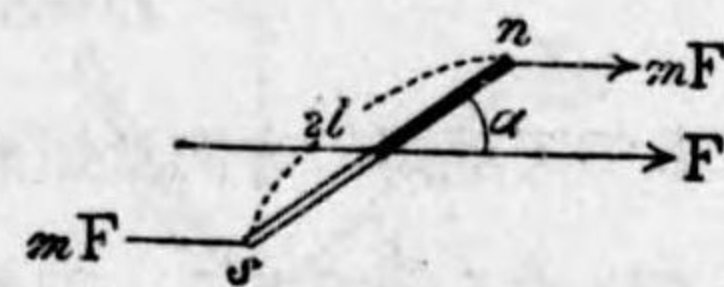
と全く同じ形を有して矩形回路 $ABCD$ は磁氣能率が

$$M = niS. \quad (431/3)$$

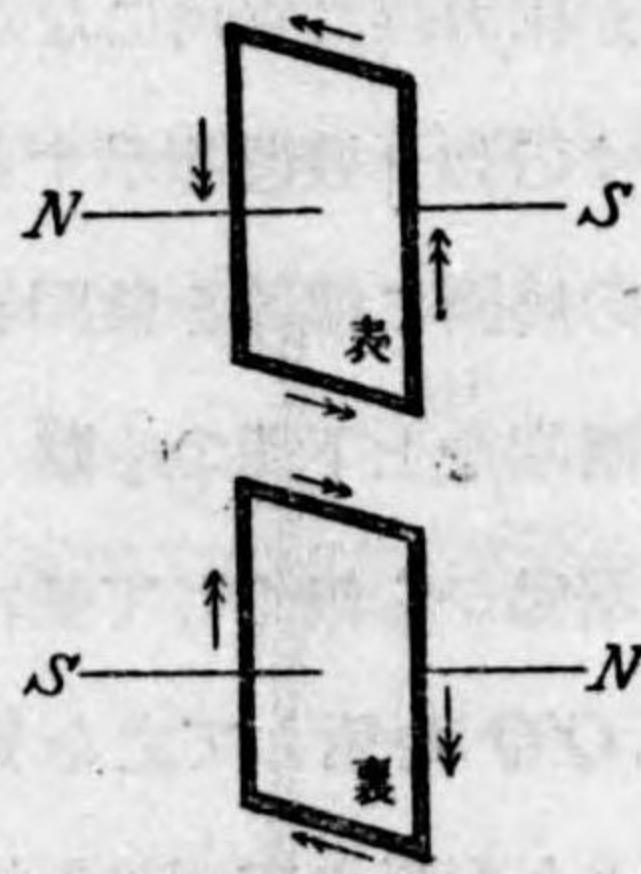
なる磁針と等價であることを知るのである。兩者の異なるところは磁針は唯長
 さを有するのみでその兩端 SN の極があるが之に反して矩形回路は扁平なる
 板狀であつて之に直角に兩磁極がある。此回路の平面には表と裏とがあつて表
 の方が N 極に對應し裏の方が S 極に對應するもの
 と約束すれば此平面向つてその周圍を流れる電流
 の流れ方を見る人が反時計的と見る側が表であつて
 時計的と見る側が裏である。矩形に限らず第 635 圖
 の圓輪でも左様だが一般に一つの面積 S の周圍
 に導線を n 回巻いて作つた回路に電流 i を通ずれば
 此回路は一つの板狀磁石と等しくその磁氣能率は
 $M=niS$ である。斯くの如き板狀磁石を一つの磁界



第 654 圖 磁界 F の中にある回路 A, B



第 655 圖 磁界 F の中にある磁針 ns .



第 656 圖 回路が平面を爲すときその平面の裏と裏の定め方

内に置けば磁界 F の指力線が板の裏側より表側へ垂直に貫通して $\alpha=0$ なる位
 置を取つて平衡する。此平衡した時には板狀磁石の指力線と磁界 F の指力線
 とが全く一致する。

此平衡の位置を別の言葉で述べれば磁界 F の指力線の数が最も面積 S を
 貫通する位置であるといふことが出来る。

即ち第 379 節に従つて指力線は磁界の等ポテンシャル面に垂直に單位面積に
 つき F 本づつ畫く規約にすると面積 S が圖の如くその法線が F の方向と
 角 α をなせば S 中を貫通する指力線の数は S を
 F に垂直に投影した $A'B'$ の面積 S' を直角に
 貫通する數であるから S' を有效面積と稱しても
 よく指力線の數 N は

$$N = S' \cdot F = S \cdot \cos \alpha \cdot F. \quad (431/4)$$

$\alpha=0$ なる平衡の位置に於ては此數が $S \cdot F$ なる最大値を有する。 S の周圍に導
 線が n 回巻いてあると回路を過ぎつて通過する指力線の最大數 N_m は

$$N_m = n \cdot S \cdot F$$

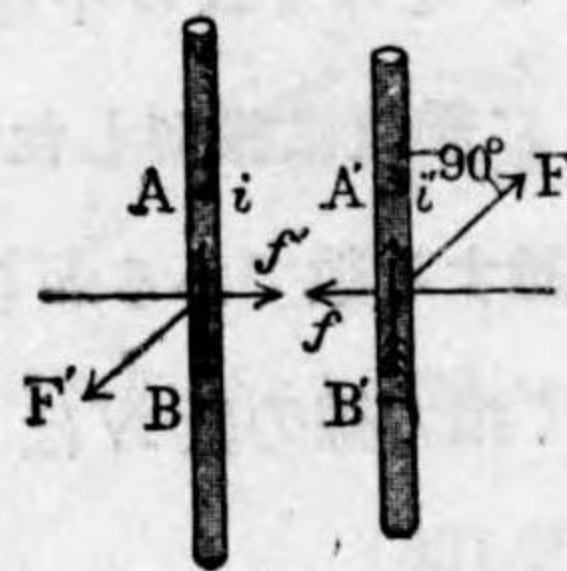
である。

以上は第 648 圖の回路 $ABCD$ が剛體の柁に巻かれてあつて形を變化すること
 なく全體として運動することが出来るものとして記述してあるが、今此回路
 が剛體でなく假にその導線が伸縮自在で形を變し得るものとすれば、第 648 圖
 の AB 部は $+z$ の方へ BC 部は $-y$, CD 部は $-z$, DA 部は $+y$ の方へ
 押しやられる如き電磁力によつて働かれて居るので矩形はその四邊が皆外方へ
 動いて結局矩形の面積 S を大ならしめんとし従つて此場合に於ても回路の面
 積を過ぎつて通過する指力線の數を成るべく大ならしめんとする如き作用を磁
 界から蒙るのである。

第 432 節 二つの電流の間の作用

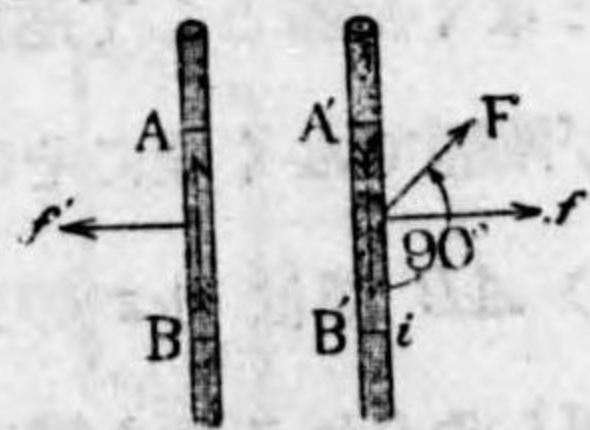
磁極と磁極との間に引力又は斥力が作用し磁極と電流との間にも亦力が作用した。然らば電流と電流との間にも亦力が作用して然るべきであると想像する。それは電流がその周囲に磁界を有するから起るべき筈の現象だと考へられるからに外ならぬ。実験を行つて見たら果して左様であつた。

今最简单な場合として二つの直線電流 i, i' が互に平行で同方向に向つて流れて居るとする。 i, i' が紙面内にありとし i の電流要素 AB が i' の要素 $A'B'$ に働く力を考へる。先づ AB が $A'B'$ に於て生ずる磁界 F を考へると、之は紙面に垂直で紙背に向ふ。故に第 429 節に掲げた規則の如く第 658 圖の通りに $A'B'$ に作用する力 f として i' から時計的に 90° 廻轉して F に至る右螺子の進む



第 658 圖 互に平行に同方向に向ふ電流は相引く

方向を求めるとそれは紙面内に於て左に向ふ f である。即ち $A'B'$ は方向を變ずることなくその儘左に動いて AB に近づかんとする。同様に $A'B'$ が AB に於て生ずる磁界 F' は紙面に垂直で前方に向ひ i から時計的に 90° 廻つて F' に至る如き右螺子の進む方向 f' は紙面内に於て右に向ふ。故に同方向に向ふ平行電流 i, i' は第 658 圖に示す如く互に相近づ

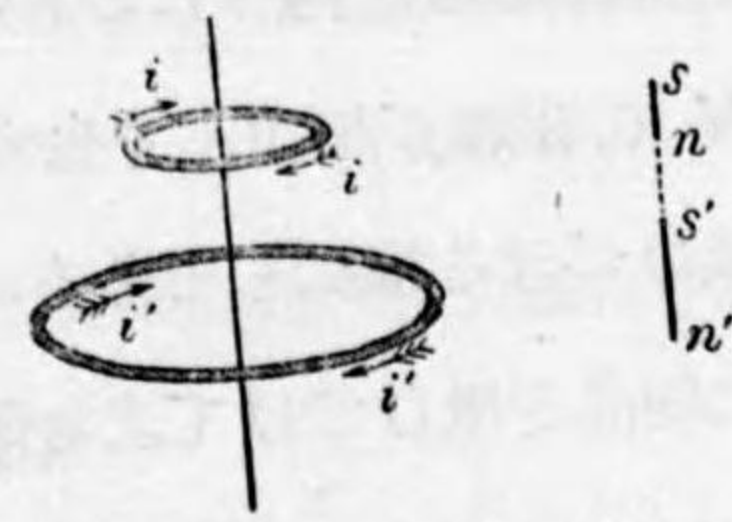


第 659 圖 互に平行に反對の方向に向ふ電流は相斥ける

かんとするのである。
 i, i' が平行で電流の流れる方向が反對であると互に相遠ざからんとする (第 659 圖)。

同様に二つの圓形電流がその面を平行にして電流が同方向に向つて流れるときは相吸引する。これの説明は上記の如くしてもよいが又此事實は此の如き電流は第 431 節に説く如く板狀の磁石と考へてよいのであるし、此場合には異名の極が相對して居るのだから吸引するのだと説明してもよい(第 660 圖)。

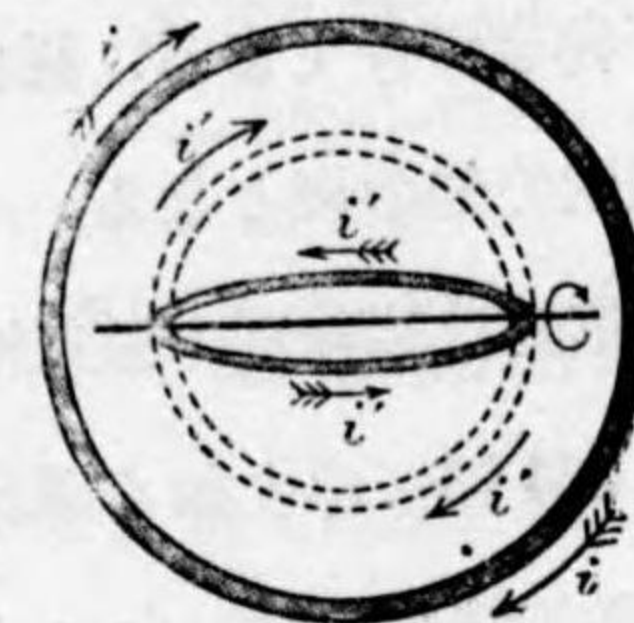
更に又他の例を取る。一つの圓形電流 i の中に他の圓形電流 i' が一つの直徑を軸として廻轉し得る如く装置してあるとき(第 661 圖)には i' は廻轉して點線の圓で示した如く i' が i に平行して同方向に流るる位置に至つて靜止するのである。



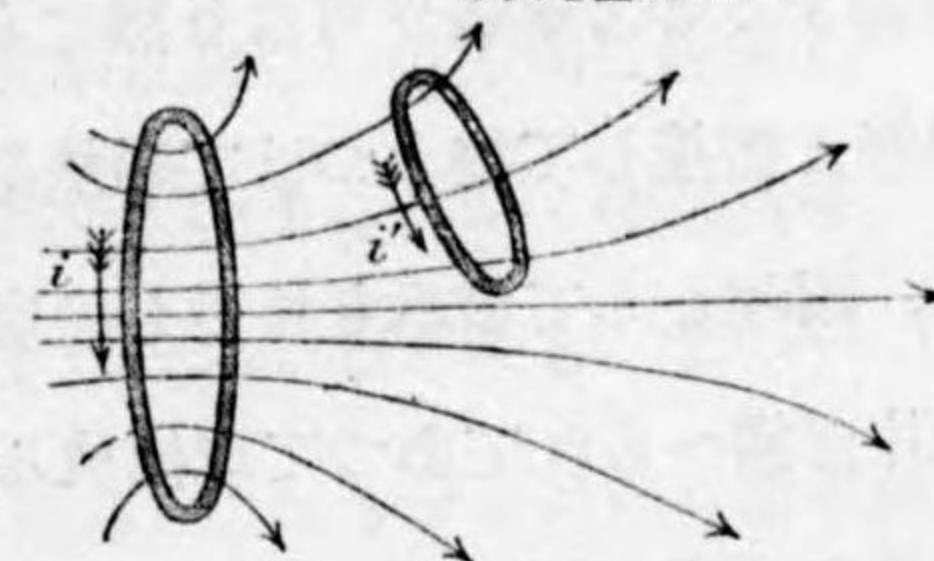
第 660 圖 二つの圓形電流間の作用

以上の總ての場合に於て二つの電流間の引力及び斥力は兩電流の大きさ i 及び i' の相乗積に正比例することは容易に知り得られる。

而して作用する力の方向は結局兩方の回路の作る磁氣指力線の數が互に相手方の回路の面積の中を成るべく多く通過する様に相互の位置を占めしめんとするのである。例へば第 662 圖では圓形回路 i は他の圓形回路 i' で吸引して二つが同一平面内にある同心圓とならんとすることは第 661 圖のものと同様である。



第 661 圖 圓形電流の中にある同心圓形電流



第 662 圖 二つの圓形電流間の作用

第 433 節 電磁石

電流の磁氣作用の應用として吾人の日常生活に於て種々の目的に利用せられるものが澤山あるが電磁石がその一つである。

電磁石は適當の形をした軟鐵材を心として其上に被覆導線を捲いたもので之に電流を通ずると電流の通ずる間、強い磁石となり電流を止めれば殆ど磁性を失ふことを特徴とする。斯く必要に應じて自由に磁性を得又は之を失はしめる爲に軟鐵材を專用するのであるが永久磁石として鋼鐵材を賞用するのと好き對照である。

電磁石の形は目的によつて種々ある。第一の最普通なる形は圓柱形の鐵心の

中部に導線を捲きたるもの第二は蹄鐵形の鐵の兩脚に導線を捲き兩脚端に S 、 N の磁極が相並んで生ずるもので通常之に兩脚を架する程の大きさの鐵片を吸ひつける様にしてある。第三は之を工場内等でクレーン等につけて鐵で作つた物品を吸ひつけて之を運搬するに使用する爲のもので釣鐘狀の外観を有し(第663圖)その中央釣鐘の軸にあたる所に太い圓柱形の棒が出て居て之に導線が捲きつけてある。圓柱の端が一つの磁極となり鐘の縁が圓環狀の他の極となる。

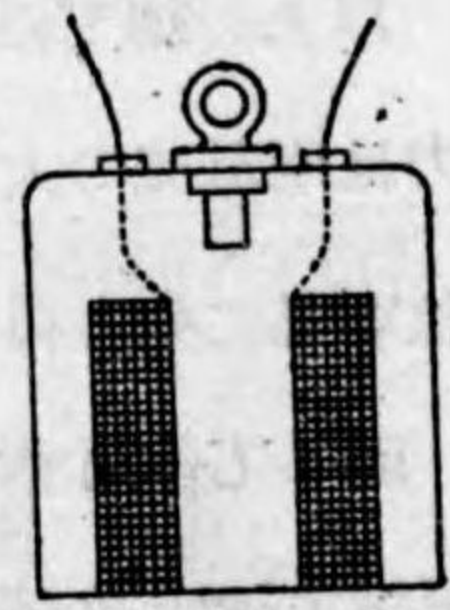
第四は諸物質の磁氣性質を研究するために使用するもので第664圖に示す如く環狀又は蹄鐵形の太い鐵心の兩端に近く多數の導線を捲いたコイルが附けてある。之には通常大電流を通ずるので導線が可なり熱せられるから流水を通した管を導線と密接して捲きつけて過熱を防ぐ様に装置したものもある。兩極としては取り外し出来る軟鐵製の圓錐形の特種極片が備へられてあつて或は成るべく均齊なる

磁界を(第665圖甲)或は成るべく強い磁界を(第665圖乙)兩極間に作る如き形を與へてある。

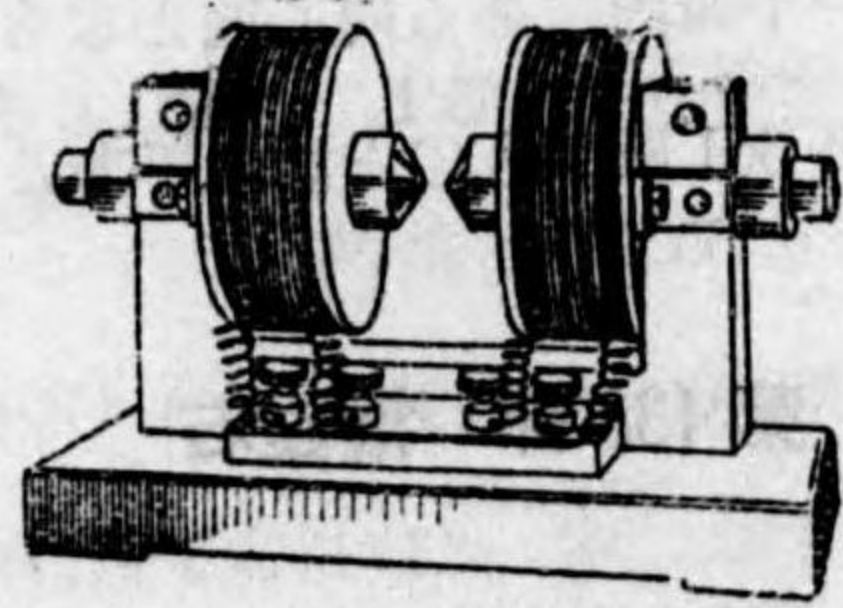
電磁石の應用として電鈴、電信機等があるがそれは既に讀者の知る所であるから今それに就て詳説しない。

第434節 電磁發動機

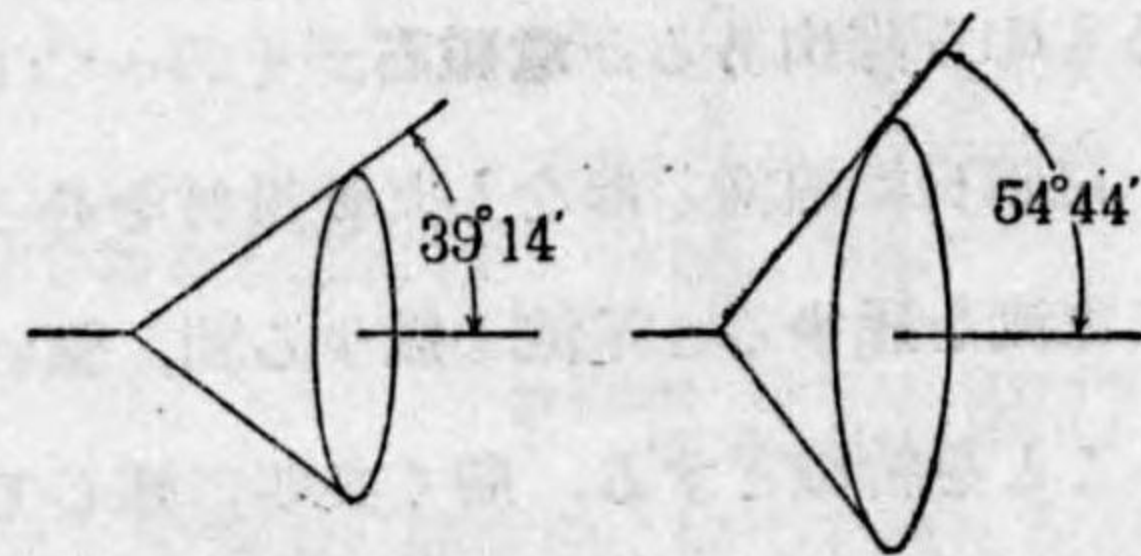
磁界と電流との間の作用によつて廻轉運動を起さしめ之を動力機關として工作機械を運轉せしめる爲に利用するものを電氣發動機又は電氣モートルといふ。これは電流のエネルギーを機械的エ



第663圖 鐘形電磁石



第664圖 物質の磁性研究用の電磁石

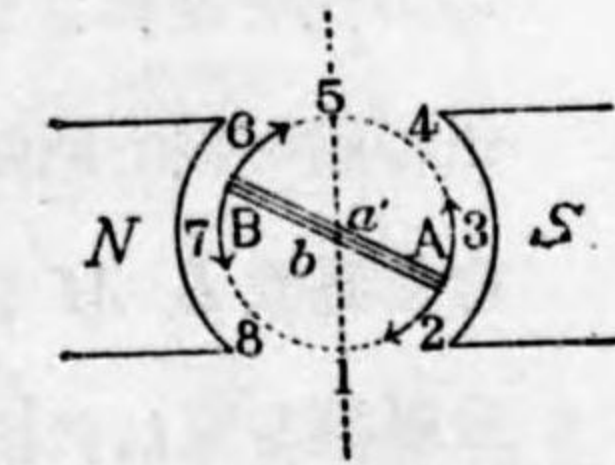


第665圖 甲(均齊磁界用) 乙(強力磁界用)

ネルギーに變形せしめる機關であつてその種類は色々あるが今その最簡單なるものに就て原理を略説する。

第666, 667圖に示すものは強い電磁石の兩極 N, S の間に磁氣指力線に垂直なる廻轉軸 PQ を有する一つの扁平なるコイル $ABCD$ を置くこと 第431節の第653圖と同様なものである。

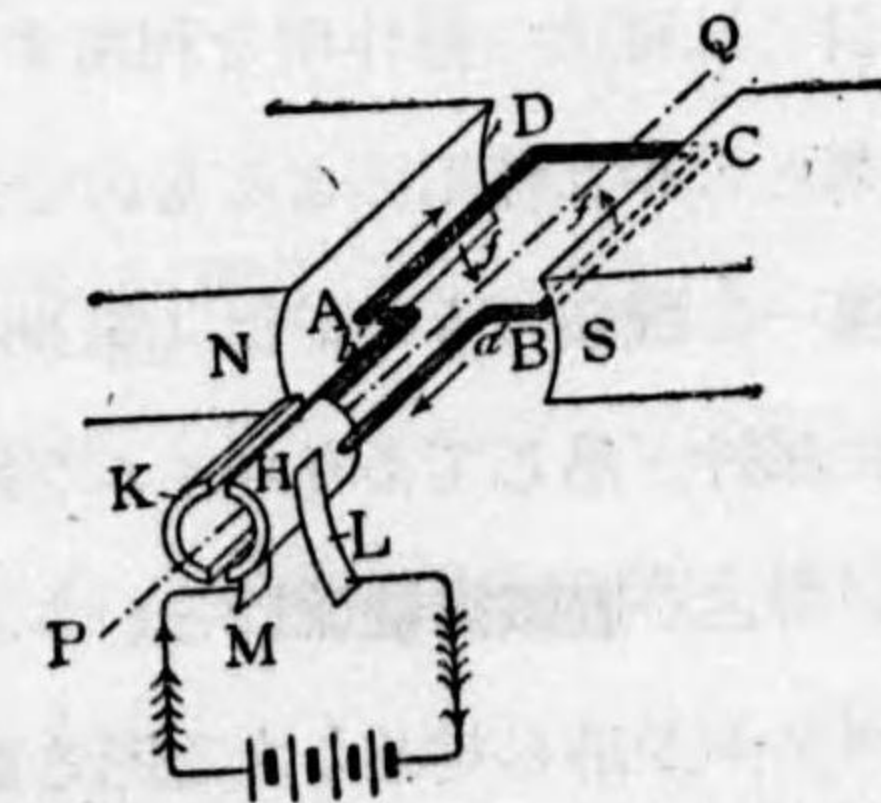
此コイルに外部の電源から電流を送つたとして廻轉軸に平行なる導線 AD に作用する電磁力の廻轉能率は A が圖の1にあるとき零で2, 3, 4等に於ては反時



第666圖 磁石の兩極 NS の間に環狀電流を置く

針的で3に於て最大であるが5に於て零となり6, 7, 8に於ては逆になつて時針的の廻轉を生ずる。故にコイルが半回轉する毎に A が1及び5にあるときに之に送る電流の方向を反轉すれば廻轉能率は常に一定の向に作用してコイルをして一定の方向に例へば反時計的に廻轉を永續する。斯く半廻轉毎にコイルに送る電流を反轉するといふ注文に應ずるには次の如くする。先づ一つの絶縁體で作つた圓柱を二枚の金屬板 K, H で包み、これをコイルからの導線の兩端 a, b に連絡して置き、此金屬板 K, H を電源より來る導線の端を LM なる二つの軽いバネとして之を以て圓柱を挟む如くして置く。第667圖に於ては電流は M から K に行き b を經てコイル中に入り a より出て H, L を經て電源に歸るが半廻轉の後には M が a に L が b に觸れるからコイル中を流れる電流は逆となる。

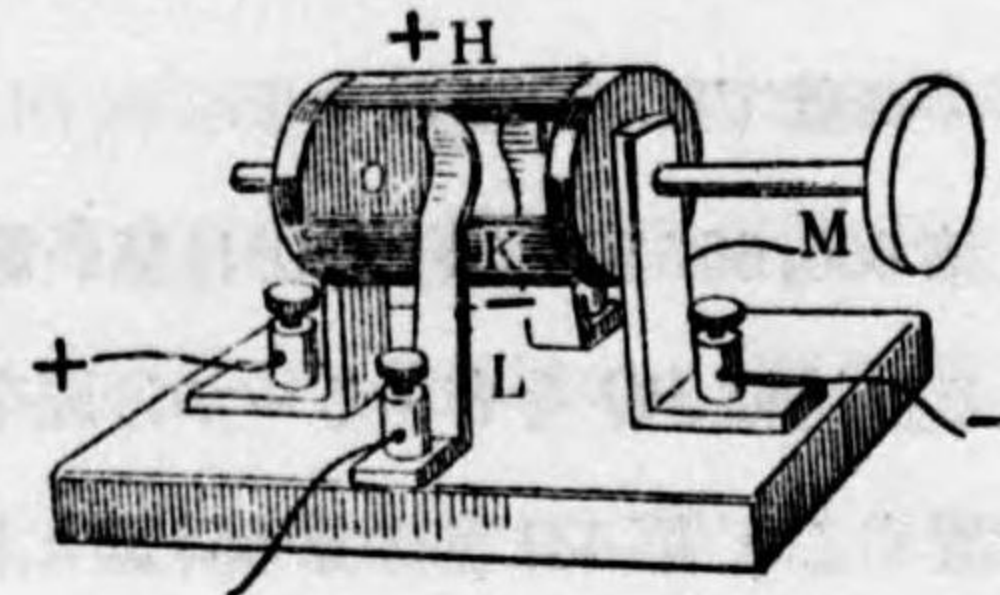
圖に於てコイルは導線を唯一回巻いてあるが實際には導線を數回捲いて扁平コイルを作つてある、又コイルを鐵の圓柱の上に捲いてある。之を電動子といふ。これは指力線が鐵の圓柱中を多く通過するから結局コイルの有効面積を通過する指



第667圖 界内にある電流の受ける機械的力

力線の数が大になり有利だからである。

第 667 圖に於て電動子を通ずる電流の方向を逆轉させる装置として電動子の廻轉軸の兩側にある K, H を挟む金屬板 L, M を圖示したが實際は



第 668 圖 電流の方向反轉裝置

金屬線を束ねた刷毛の如きもので之を**ブラシ**と呼んで居る。

此の如き電流の方向逆轉裝置は外觀に於ては異なるがその理は全く同じものが屢々物理實驗に使用せられる、その一つを第 668 圖に示す。

第四十三章 電磁計測器械

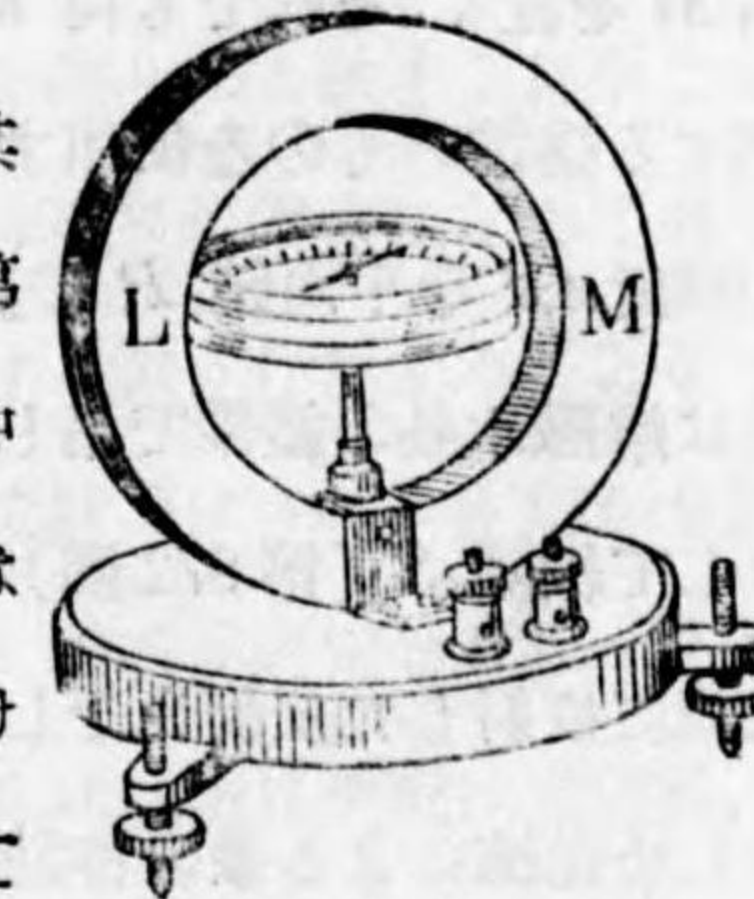
第 435 節 檢流計

檢流計は電流が流れて居るか否かを見る器械である。然しこれで電流の大きさを測ることも出来る。特に電流の大きさを測ることを目的としたものを**電流計**(第 437 節)といふ。第 397 節に記した電量計では電氣分解により電氣量を測り之を所要時間で除して實驗中の平均電流を得られるが或時刻の電流の大きは見出されない。變化する電流の或時刻の値を知るには**檢流計**によるがよい。檢流計には電流の熱作用を利用するものもあるが最普通に行はれるものは電流と磁氣との相互作用によるものである。そして之に二つの種類がある。

第一の種類のものでは(第 669 圖)圓環式のコイルが固定してあつてその中心に磁針が吊してありコイルを通る電流による磁針の偏角によつて電流を測るもので之を**動磁針檢流計**といふ。第二の種類ものは固定した磁石の兩極の間にコイルが吊してあり之を通る電流によるコイルの偏角によつて測るもので、之を**動コイル檢流計**といふ。前者は舊式のもので此種のものでは測らるべき電

流が磁針に作用すると同時に他の電流例へば實驗所の近傍を通る電車又は電燈線の電流の作用を蒙るので電氣工業の發達と共に漸々使用し得ざる様になつた。第二種のものには此患がない。

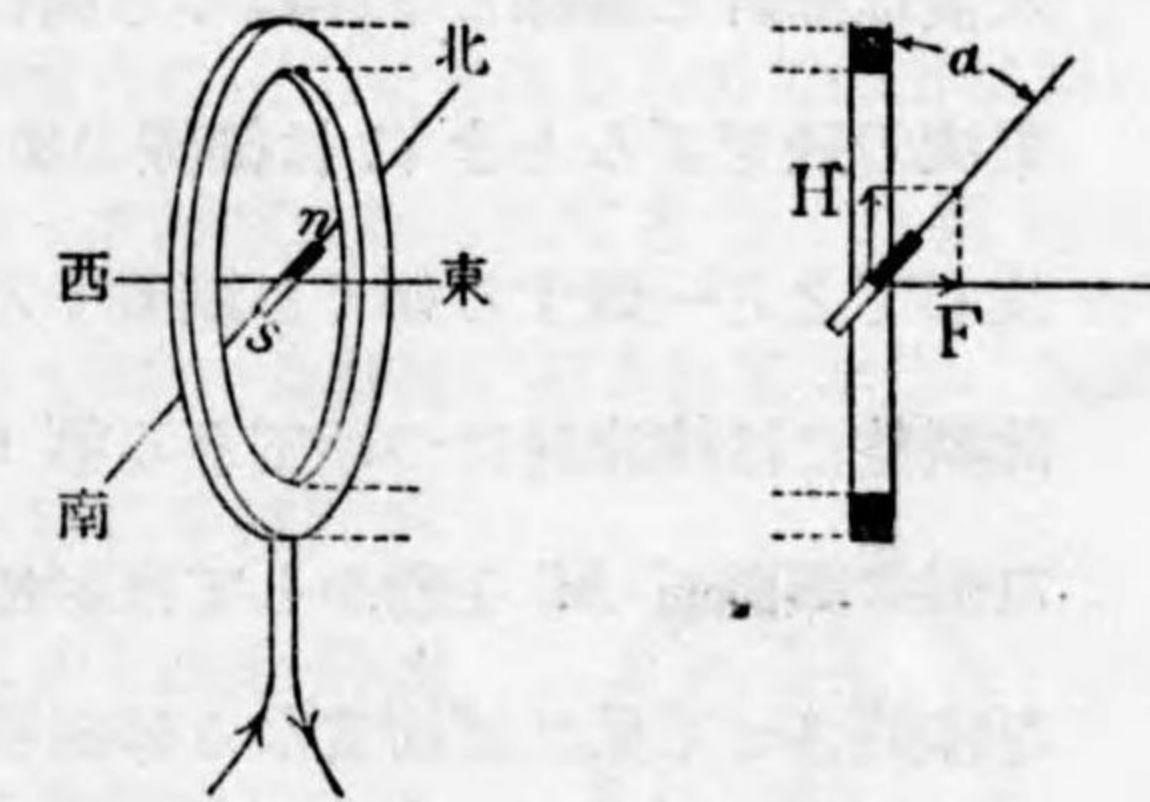
第一種の檢流計のコイルは先づ圓環狀の線輪を其面 LM を鉛直にして子午面の中にあらしめる。(第 670 圖)。然るときは之を通る電流 i はコイルの中心に於ては東西に向ふ磁界を作る。その大き F は電流を i 、コイルの平均半径 r 、コイルに巻きつけてある導線の回数を n とすれば(425)式によつて



第 669 圖 檢流計動磁針

$$F = 2\pi \frac{ni}{r}$$

之が東に向ふとし北に向ふ地球磁界の水平分力を H とすれば、 F, H の合力は東北象限の中にあつて子午線と角 α を爲すから磁針 ns は此方向を指して靜止する。而して此角 α を測れば



第 670 圖 動磁針檢流計の理

$$\tan \alpha = \frac{F}{H}$$

であるから

$$i = \frac{r}{2\pi n} \cdot H \tan \alpha \quad (435/1)$$

として電流の大きさが求められる。

普通は r や n を知ることは面倒であるから(435/1)式を

$$i = K \cdot H \cdot \tan \alpha = G \cdot \tan \alpha \quad (435/2)$$

と書けば K は檢流計の構造による定數で G は一定の場所に於て使用したときの定數であるから二三の既知電流 i_1, i_2, \dots を通したときの偏角 $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ を測定してそれから此等の定數を推算すればよい。

弱い電流を測る鋭敏な検流計(第671圖)では n を非常に大にしてある。又 α を大にするために、地球磁界を減殺して有効磁界 H 小にするやうに、永久磁石 M を置く。それでも尚 α は小さいから**反射鏡検流計**と稱する構造のものを使用する。これでは長さ數耗の小さい磁針 ns を平面鏡 P の裏に貼り付けたものを蜘蛛の糸又は熔融水晶の纖維で吊したものを磁針として使用する。そして細隙 S (第672圖)から來る光を凸レンズで受けて此鏡に投射した反射光をして細隙の像 R を尺度の上に作らしめ電流による像の移動によつて α を算出する。

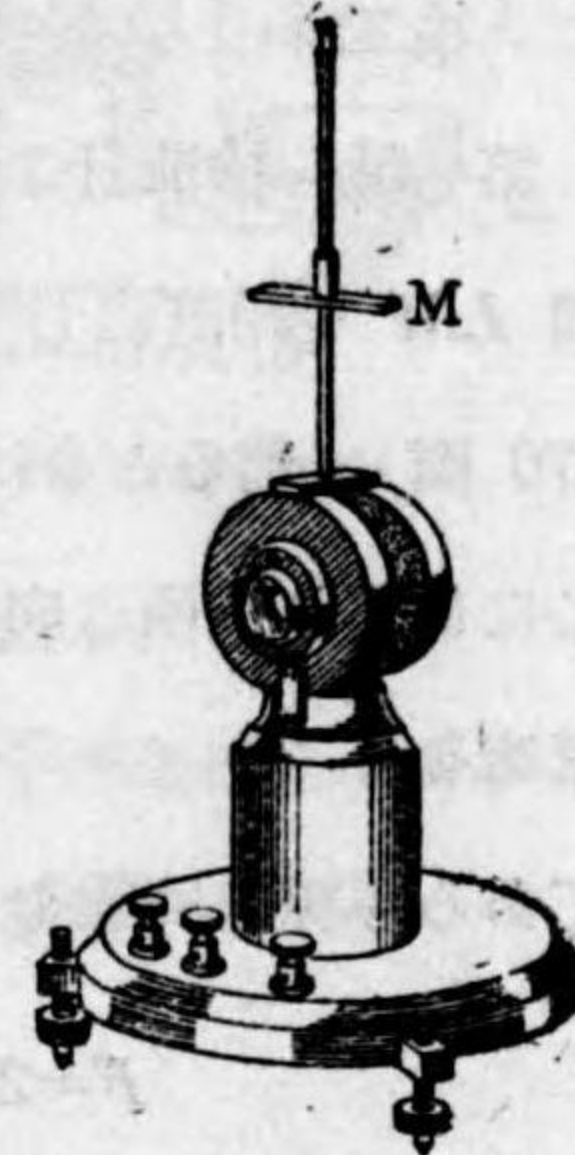
尺度は磁針と細隙とを連ねる方向に垂直に据ゑられ電流の通ぜざるときには細隙の像は恰も細隙の所に生じて之と一致する如くに調整する。

此調整には検流計につけてある第671圖の棒磁石 M を動かして反射像を移動させて見れば適當なる棒磁石の位置が発見し得られる。扱て電流を通した爲に磁針が偏角 α を生ず

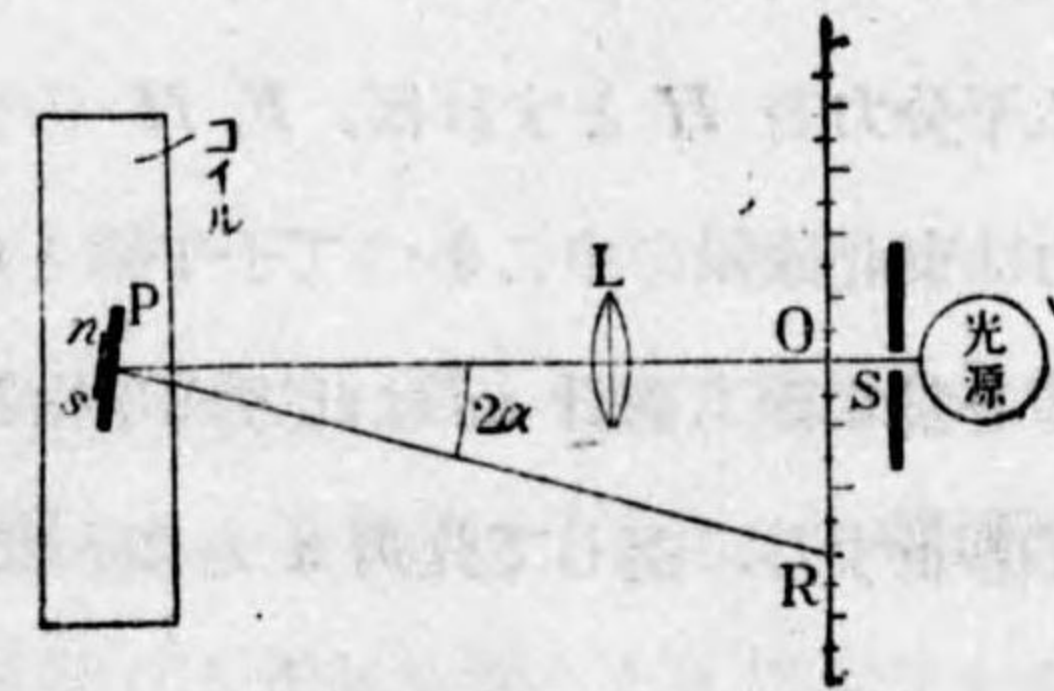
ると投射光線 SP に対する反射光線は 2α だけ方向を變して PO から PR となり R に細隙の像が生ずる。尺度の鏡からの距離を $PO=D$ とすれば

$$OR = D \cdot \tan 2\alpha.$$

で尺度の目盛で OR を讀取れば、それと D とで偏角 α が得られる。斯くして α を測定すれば此器械は甚弱い電流を測る計器となつて**反射鏡検流計**と稱するものになる。1A の千分の一即ちミリ・アンペア或は百萬分の一即ちマイクロ・アンペア程度の微弱なる電流用のものも設計されてある。



第671圖 反射鏡検流計



第672圖 動コイル検流計

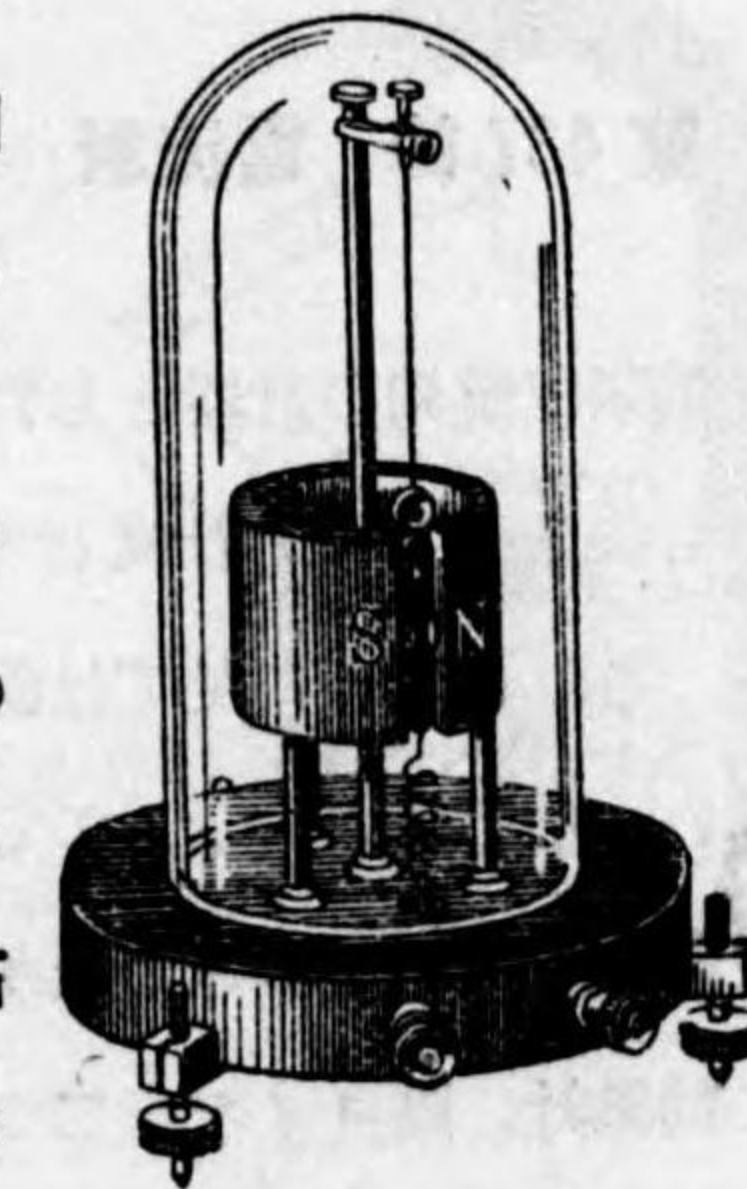
第436節 動コイル検流計

動コイル検流計は強い永久磁石の作る磁界の中に測らんと欲する扁平なるコイルを吊したもので之に電流を通すると此コイルは磁界に垂直になつて成るべく多くの指力線をして之を貫かしめる様にせんとする力が作用することを(第429節)利用したものである。前節の第一種の電流計ではコイルが動かず磁針が動いたのであるが本節の第二種の電流計では逆に磁石が固定せられコイルがその中で動くのである。磁界は甚強くしてあるから地球磁界や或は電燈線、電車線等の作る磁界は全く顧慮する必要がないのが大利益である。

第673圖に示すものは甚弱い電流の場合に使用せられるもので磁界は強い永久磁石を圓筒形に曲けた如き形のもの、兩極間に作られてある。此圓筒の縦の切れ目の間に長方形に巻いたコイルが細い金屬線で吊されてある。電流の通じない時はコイルの平面は磁氣指力線に平行に保

たれ電流が通ずればコイルが廻轉するがそれを抑制して電流の大小に應じて適當なる偏角を有せしめる爲にコイルは下方から蔓卷ベネで引張られてある。コイルを吊す金屬線と下の蔓卷ベネとは同時にコイルに電流を通ずる役目を勤めて居る。そして前節の反射鏡検流計と同様にコイルに平面鏡がつけられてあり之で電流によるコイルの偏角を讀取る。尚永久磁石の N, S 兩極の間に丁度コイルの中に入り得る大きさの軟鐵の圓柱 K が置かれてあつてコイルは N, S と

K との間の狭い間隙の中を自由に廻轉し得る様にしてある。此 K は第445節に説く如く第572圖と同様に N, S 間の指力線を收束するからコイルのある所の磁界を強からしめる作用をなすのである。(第673圖参照)

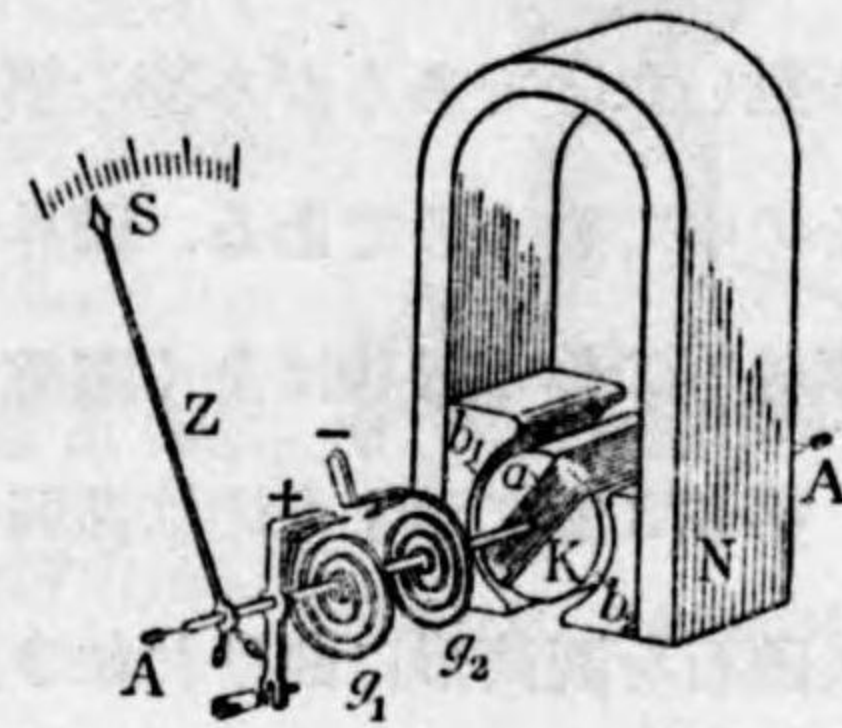


第673圖 動コイル検流計

動コイル検流計の構造よろしきものに於ては甚鋭敏で 10^{-9} アンペア程度の弱い電流を測り得られ第一種の反射鏡検流計に比して毫も遜色はない。

電流が餘り弱くない場合の検流計 (第 674 圖) に於てはコイルに廻轉軸を設け之を時計の齒車のやうに寶石の軸受け A, A で支持し又コイルの零位を調整し且つコイルの偏角を抑制し兼ねて電流をコイル中に導くためには渦巻ベネを使用して居る。第 674 圖に示すものでは此ベネが g_1, g_2 の二つで右巻きのもの

と左巻きのものを使用してある。これはコイルの偏角が左右兩側に均一ならしめるための工夫である。コイルの偏角は直接之に附した指針 Z で讀む。次節のアンペア計及びヴォルト計は此式のものである。コイルが永久磁石の兩極と指力線收束用の軟鐵圓柱との間の狭い間隙中で動くことは前同様である。

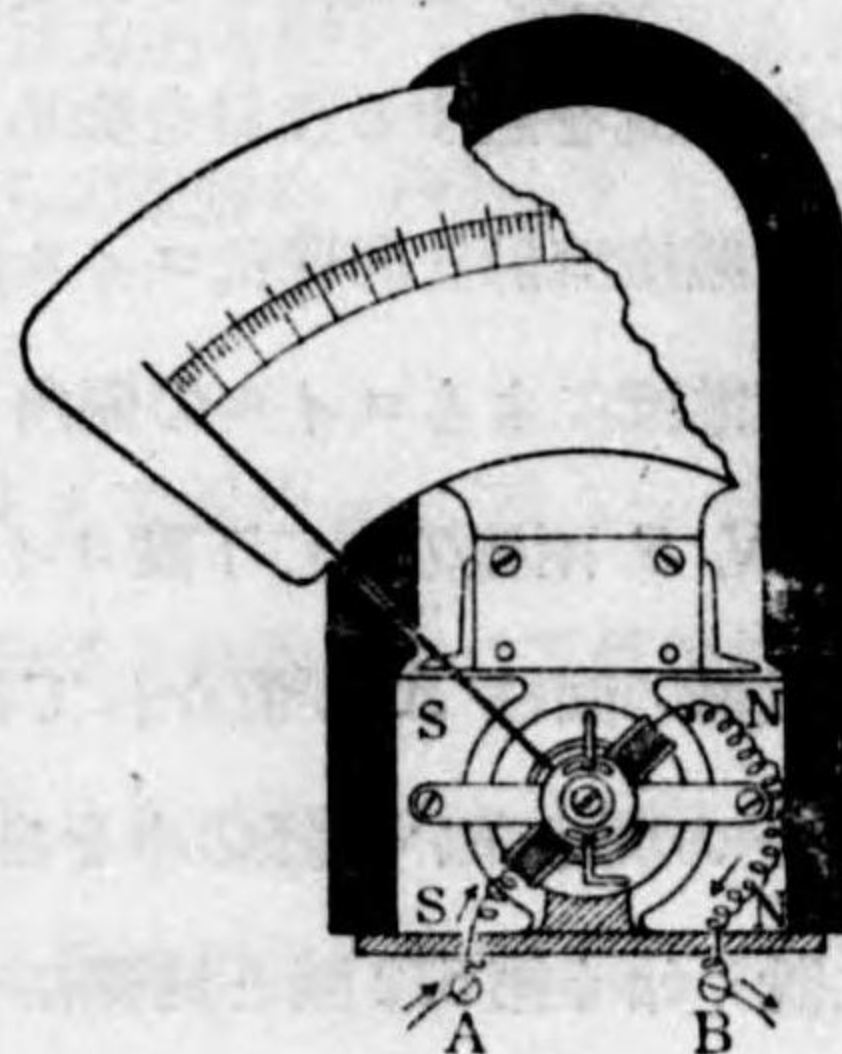


第 674 圖 動コイル検流計の一種

第 437 節 電流計 電位計

電氣工業用の計器とした電流計で電流を直にアンペアで読み取り得る如くしたものをアンペア計或は又アンメーターといふ。これは原理に於ては前節の検流計に外ならない。唯電流が大なるので使用目的に應ずる様な構造を與へてあるに過ぎない。検流計と同様に動磁針、動コイルの二つの型式があるが今日は殆ど動コイル型 (第 675 圖) のみとなつた。

之を使用するには此器械を電流を測らんとする回路の中に直接挿入すること第 676 圖の M の如くすれば直に電流 i を知るが又之を導線の



第 675 圖 アンペア計

二點 A, B 間に設けた支線の中に N の如く入れてもよい。後の場合は i が甚大で之をメーターに通すと破損の恐れがあるときに行ふのであつて主線に於ける A, B 間の抵抗を r' 電流を i' とし

メーターの抵抗を r'' , メーターが與へる電流を i'' とすれば (第 403 節)

$$i = i' + i''$$

AB 二點間の電位差から

$$V = i' r' = i'' r''$$

であるから

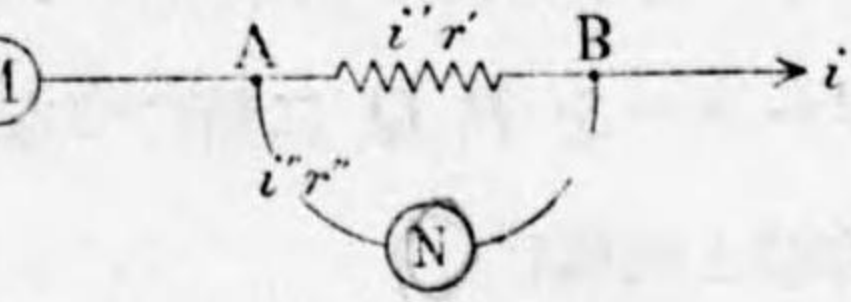
$$i = i'' \left(\frac{r''}{r'} + 1 \right)$$

となり i'' から直に i を推知できる。此際 $\frac{r''}{r'} = 9, 99, 999$ 等とした抵抗 r' をメーターに附屬させて置き、メーターと r' の一つとを主線の AB 間に並列につなげば i は i'' の 10, 100, 1000 倍等となつて別に特別な計算を要しないから便利である。

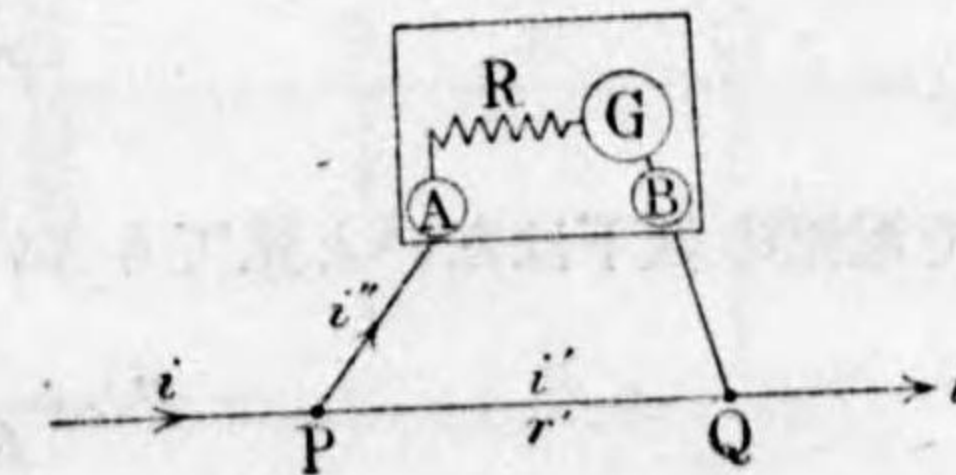
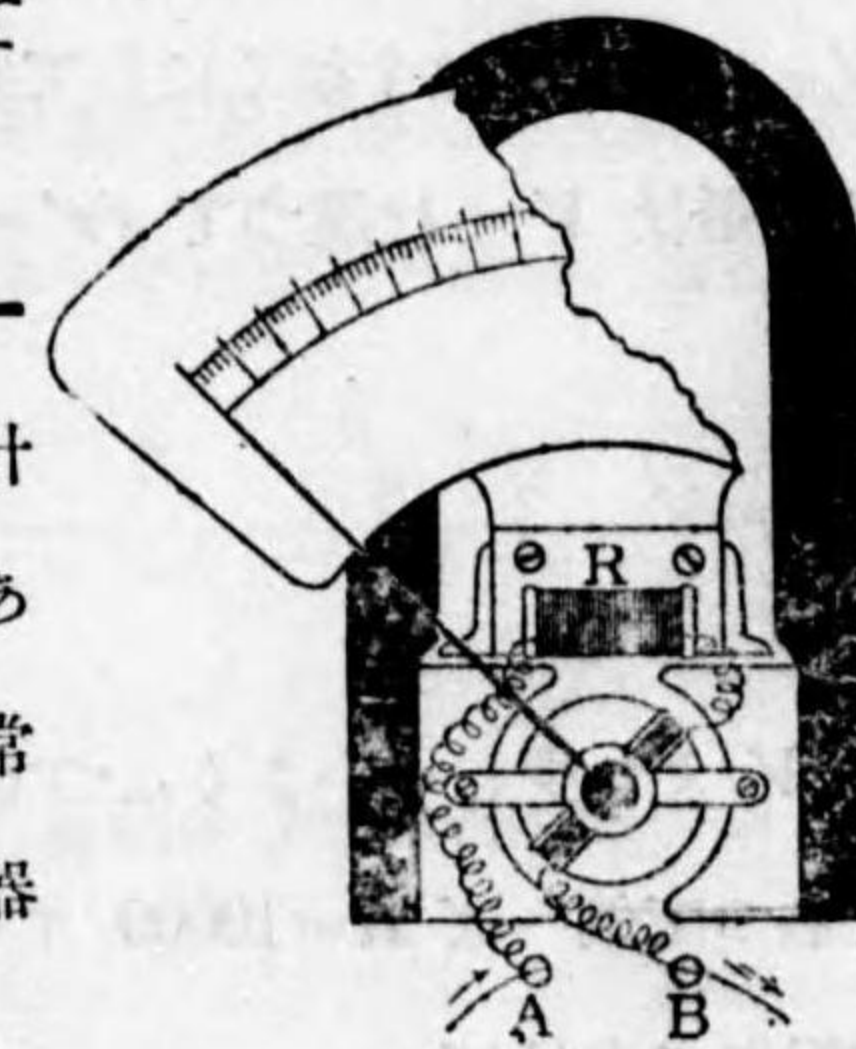
電位計又はヴォルト計或は又ヴォルトメーターは直接ヴォルトで電壓、電位差を讀み得る検流計の一種である。これも今日は専ら動コイル型である (第 677 圖)。これは第 677 圖に示す如く非常に大なる抵抗 R を計器の中に藏してあつて計器としては弱い電流を測り得る検流計に外ならぬ。

即ち計器の兩端子 A, B を主線にある電位差 V を求めんとする二點 PQ につなぎ R と G とから成るメーターを支線としてつないで、そのメーターの示度を讀むものである。

先づ PQ 二點間の抵抗を r' としメータ



第 676 圖 アンペア計の使用法



第 677 圖 ヴォルト計の使用方

一をつながない前に電流が i であつたならば P, Q 間の電位差は

$$V=ir'$$

此 V を求めんと欲するのである。

メーターを P, Q 二点につなぐと i は i' と i'' とに分かれ

前節と同様に

$$i=i'+i''$$

$$i'r'=i''R$$

となる。故に

$$i'=i''\frac{R}{r'}$$

$$i=i''\left(\frac{R}{r'}+1\right)$$

$$\therefore V=ir'=i''(R+r')$$

でメーターを流れる電流 i'' が V に正比例するから、その目盛を直ちに V をヴォルトで表はす如くにして置くのである。メーターをつなぐと P, Q 二点間の電圧は V とは違つて $i'r'=i''R$ となつて居るがその値は

$$i''=\frac{V}{R+r'}$$

$$i''R=V\frac{R}{R+r'}$$

で V より少しく小さくなつて居る。普通の電位計では R が非常に大きくしてあつて例へば $R=10000$ オームにしてあつてそれを $r'=1$ オームの P, Q 二点につなげば

$$i''R=V\frac{10000}{100001}$$

で電圧の低下はないと見てもよい。そして i' は殆ど i 等しく

$$i'=i\frac{R}{R+r}=i\frac{10000}{10001}$$

P, Q 間の電流も變化しないと見てよい。

斯くの如き R の大なる電位計を起電力 E なる電池の兩極につないで回路を閉ぢると電池の内抵抗を R_0 とすれば此回路の外抵抗は $R_0=R$ なるメーターの抵抗であるから

$$i=\frac{E}{R_0+R}$$

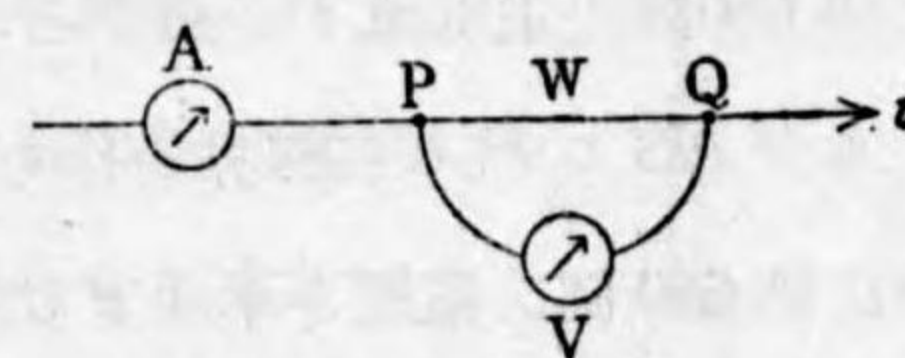
で兩極間の電位差は

$$V=iR=E\frac{R}{R_0+R}$$

となる。然るに R_0 が R に比して非常に小であるからメーターが示す電圧 V は E に等しいと見て差支なく、此メーターで直ちに電池の起電力 E が讀取り得られるのである。第 406 節の蓄電池の充電が十分に行はれたか或は放電が度を過ぎしては居ないかといふ様な検査は此の如きヴォルトメーターの小型のものを電池の兩極に繼いでその示度によつて判断するのである。

第 438 節 電力計

電流 i が流れて居る回路の二点 P, Q 間の電位差が V であると (第 679 圖) 此二点間に於て毎秒 $W=iV$ の割合で電流的エネルギーが得られる。實用單位でいへば W ワットの電力である。之を測るには電流計 A 、電位計 V を圖の如く回路中に入れて、 i と V とを測ればよい。

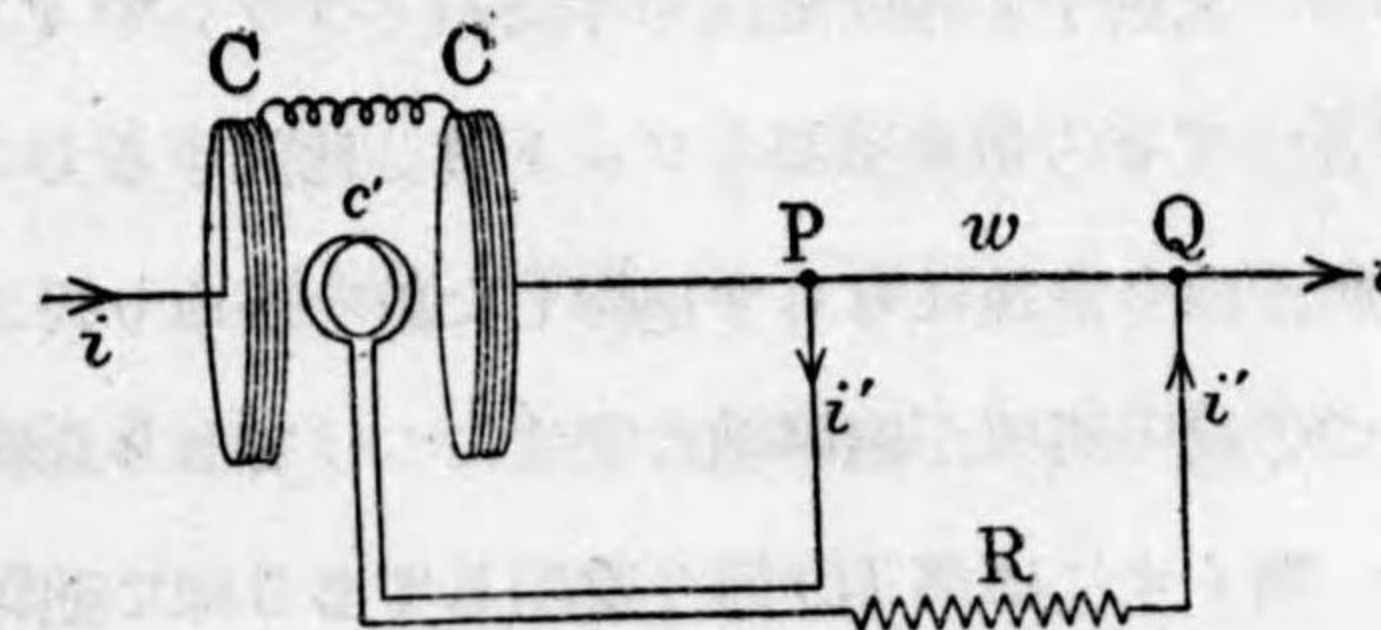


第 679 圖 PQ 二点間の電力の計測

一つの器械で直に W を讀取る様にしたもの

のを電力計又はワットメーター

といふ。これは電流計 A のコイル C と電位計 V のコイル c' とを近づけて第 662 圖の如くし前者を流るゝ電流 i と後者を流れる電流 i' との



第 680 圖 電力計の理

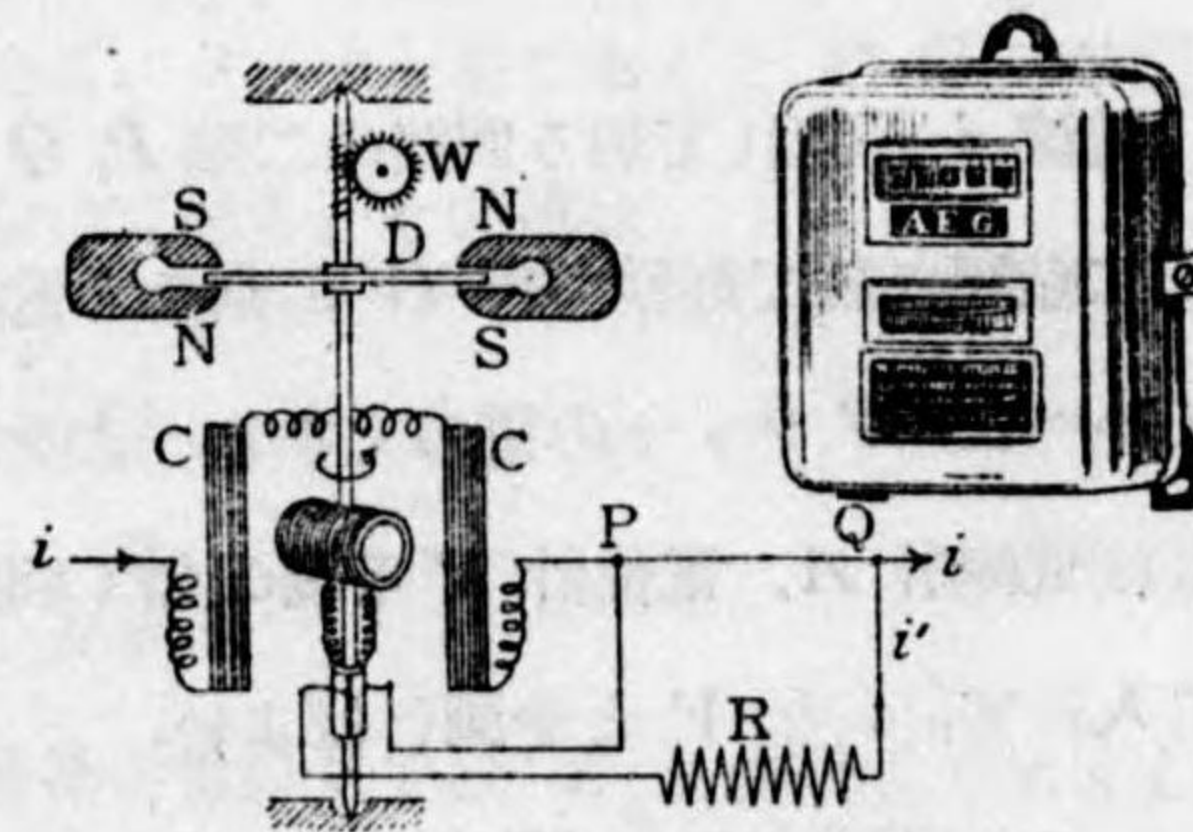
間に電磁作用を爲させる様にしたものである (第 680 圖).

第 680 圖に於て C, C 二つのコイルは固定してあつてこれが電流計 A のコイルで抵抗が甚小さく之に主電流 i が流れて居る. 此コイルの間に一つの動コイル d が置かれ, これが電位計のコイルで大抵抗 R を通じて回路の P, Q 二點につながれる. d を通る電流は i' であつて之は前節に説いた如く V に正比例する, 電流の流れない時には C と d の平面は互に垂直になつて居るが電流を通すと i と i' との電磁作用で第 432 節に説いた如く d は C に平行にならんとする. 此時の偏角は i, i' の相乗積に正比例するから即ち $iV = W$ に正比例するのである.

各家庭に於て電力会社に支拂ふ電力使用料金は電力に使用時間を乗した電流的總エネルギーに對するもので通常ワット時を單位として支拂ふのである. 之を測るメーターは會社から各家庭に配置してある積算電力計である. これは家庭に配置してある所謂電氣のメーター

であるがその構造は鐵部のない電磁發動機(第 667 圖)と思へばよい. 即ち第 680 圖の主電流 i の通ずる C コイルが NS の代りに磁界を作りその中に第 680 圖の電圧を示す i' の通ずるコイル d が電動子として動くので

ある. 電動子の軸は垂直で半圓環とブラシで i' が之に送られ i, i' の相互作用によつてその相乗積即ちワット數に比例する力に働かれて廻轉するのであるが廻轉が餘り急速にならず廻轉した數を讀取り得る様に抑制する必要があるので一つの銅の圓板が廻轉軸に垂直につけてあり此圓板を強い永久蹄鐵磁石ではさむ. 斯くすれば第 449 節に説明してある様に廻轉が緩慢になつてその廻轉の數が齒車仕掛けで讀取り得られる. 第 681 圖に示す器械では中段の窓からは圓板



第 681 圖

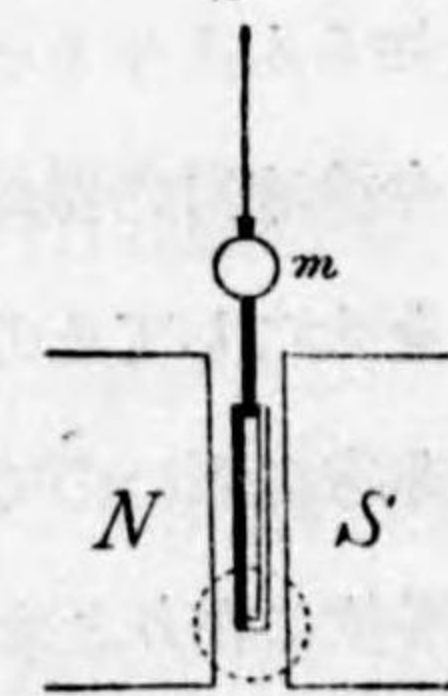
の廻はつて居るのが見られ上段の窓からは廻轉の數即ち電力を積算した幾ワット時といふエネルギー量が讀み取られる. 大抵の家庭に据付けてある器械だから電流の強さによつて圓板の廻る速さが變ることを見るがよい.

第 439 節 熱電微温計

諸光源から發する輻射エネルギーの總量を測定したり或はスペクトル上に於けるエネルギーの分布の工合を調べたりするには熱電流を利用して之を行ふことは既に第 419 節等に於て之を述べた. 之に要する熱電流は第 624, 625 圖に示すもので暗黒體を以て兩金屬の接合點を被覆して之に投ずる輻射エネルギーを吸収して熱電流を發生せしめ之を第 435 節, 第 436 節の鋭敏なる反射鏡檢流計に連絡して熱電流の大きさを測定するのである.

然るに同一目的に使用する熱電微温計と稱する第 682 圖の器械は熱電流と檢流計のコイルとを一つに纏めた如きもので之は動コイル檢流計の一種の變型と見るべきものである.

此器械は反射鏡動コイル檢電計と全く同じ使用法でよいのであるから之に就て述べる必要はない. 唯その構造だけを記して置く. コイルは二種の異金屬 (加工の便宜上銀と蒼鉛が多く用られる) の長さ數耗で極めて細い針金を二本並べてその上下端に於て蠟付けしたもので之れだけで一つの電路

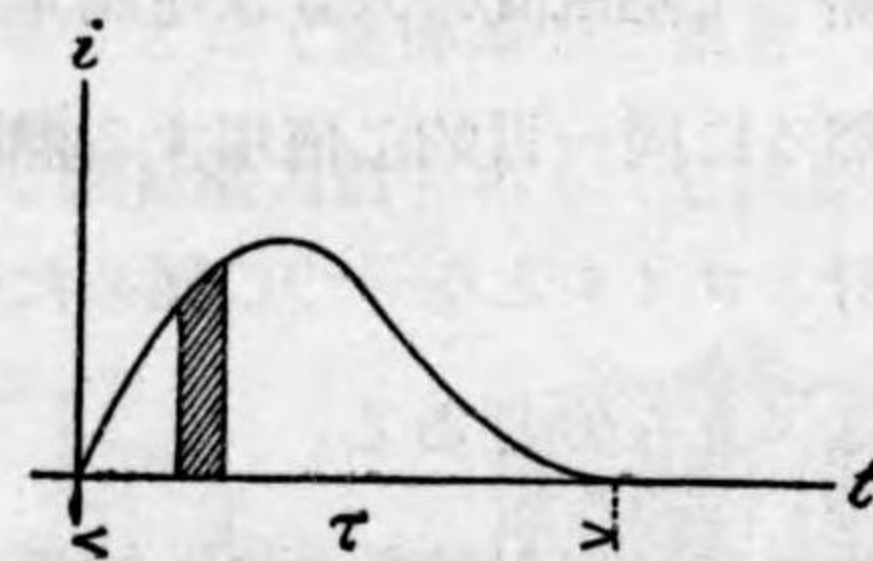


第 682 圖 熱電微温計

を完成して居る. これが強い永久磁石 N, S の兩極間に熔融水晶の極めて細い纖維で吊されて居る. 此器械では第 674 圖におけるやうな指力線收束用の軟鐵圓柱 K は置かれて居ない. 尚コイルには反射平面鏡 m が付けてある. コイルの下端の蠟付け點が熱電流の高温接合點で, 此所のみ調査すべき輻射エネルギーを投射して圖の點線の圓の外にある他部は之を遮つてある.

第 440 節 衝擊檢流計

衝擊檢流計は瞬間的に通した電流によつて運ばれた電氣量を測定する特種の計器である。大體の構造は第 671, 673 圖のものと同じであつて。動磁針及び動コイルの二種類ある。此器械は檢流計と命せられるが實は電量計である。長時間持続する一定電流であればその強さ i と繼續する時間 t との相乗積 $e=it$ が電氣量であるし若し i が一定でなく i_1, i_2, \dots と變化しても各の繼續時間 t_1, t_2, \dots 等を計測し得れば電氣量 $e=i_1t_1+i_2t_2+\dots=\sum it$ として e が測定出来る。當面の場合 t が計測出来ない程短かい時間 τ に i が零から始まつて或最大値に達し又減少して零となる場合の電氣量を測らんと欲するのである。即ち電流の變化を第 683 圖の如く圖示すれば電氣量は時間に對して電流を積分したものであるから電流曲線と t 軸との作る面積を知らんとするのである。



第 683 圖 短時間しか流れない電流

今檢流計の磁針又はコイルの可動部分の慣性を大にしてその自由なる廻轉振動の固有周期 T に對して電流の繼續時間 τ が非常に短いので時間 τ の終りにも可動部分は未だ廻轉運動を開始せず尙その零位に在りとする。實際それ程に可動部分を重くして慣性を大ならしめてあるのだ。電氣量 $e=\sum it$ の全作用は力學的に考へて恰も可動部分に瞬間的の打撃を與へて $t=0$ に於て突然之に角速度 ω の初速を與へる。故に可動部分は此角速度を以て突然出發して或最大偏角 α まで偏倚せられ、その後は既に電流が無いのであるから自由運動を行つて零位に戻らんとする。實驗者は此初動の最大偏角 α を測定して之によつて e を知らんとするのである。 α, ω, e の間の關係は次の計算によつて得られる。

電流が i なる時可動部分に作用する偶力の廻轉能率は磁針なれば

(365/2) の H に (425) 式の F を使用した $D=M \cdot 2\pi \frac{ni}{r} \sin \alpha$, 可動コイルなれば (240/2) 式の $D=S \sin \alpha \cdot i \cdot F$ の $\alpha=0$ とした場合であるから共に D は i に正比例するものである。比例定數を k とすれば

$$i=k \cdot D$$

である。之を以て it を累加する第 683 圖の總面積は kDt を累加すればよいのである。而して $D \cdot t$ は力學に所謂偶力の力積 (第 86 節を廻轉運動に應用して) であつて、その總額 $\sum Dt$ が可動部分に角速度 ω を與へる原因である。即ち I を可動部分の慣性能率とすれば廻轉運動量 $I\omega$ となることは第 86 節の m, f, v の代りにそれぞれ I, D, ω を (86/2) 式に入れた

$$Dt=I\omega. \quad (440/1)$$

であるから結局電氣量 e

$$e=kI\omega.$$

であつて ω に正比例する。之が可動部分が動き始めるときの角速度 ω を與へる式である。

次に此角速度を得て後に電流は既に止んでゐて可動部分が自由運動を爲す時期に於ては磁針の場合と動コイルの場合と少しく相違する點がある。

磁針の場合には可動部分は唯地球磁界の水平分力 H の下に自由運動を爲すのであるが此時には磁針が子午線から角 θ だけ偏して居るときには磁氣能率 M なる磁針に $D=MH \sin \theta$ (第 365 節) なる偶力を作用するから $\theta=0$ から $\theta=\alpha$ の最大偏角の位置まで此偶力に抗して動くには $MH(1-\cos \alpha)=2MH \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ の仕事を要する。而して之は $\theta=0$ に於て磁針が有する $\frac{1}{2}I\omega^2$ の運動のエネルギー (第 128 節) によつて爲されるのである。

$$\frac{1}{2}I\omega^2=2MH \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

即ち ω は $\sin \frac{\alpha}{2}$ に正比例するので結局動磁針衝擊檢流計に於ては e は

$\sin \frac{\alpha}{2}$ に正比例する。

動コイルの場合にはコイルを吊した針金を振り或はコイルを支へるベネの弾力に抗して仕事を爲すのであるが、此弾力の偶力は θ に正比例し $D=K\theta$ で $\theta=0$ から $\theta=\alpha$ に至る仕事の量は (199/4) 式と同様に $\frac{1}{2}Ka^2$ となるから

$$\frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2}Ka^2.$$

即ち ω は a に正比例し結局動コイル衝撃検流計に於ては e は a に正比例する。

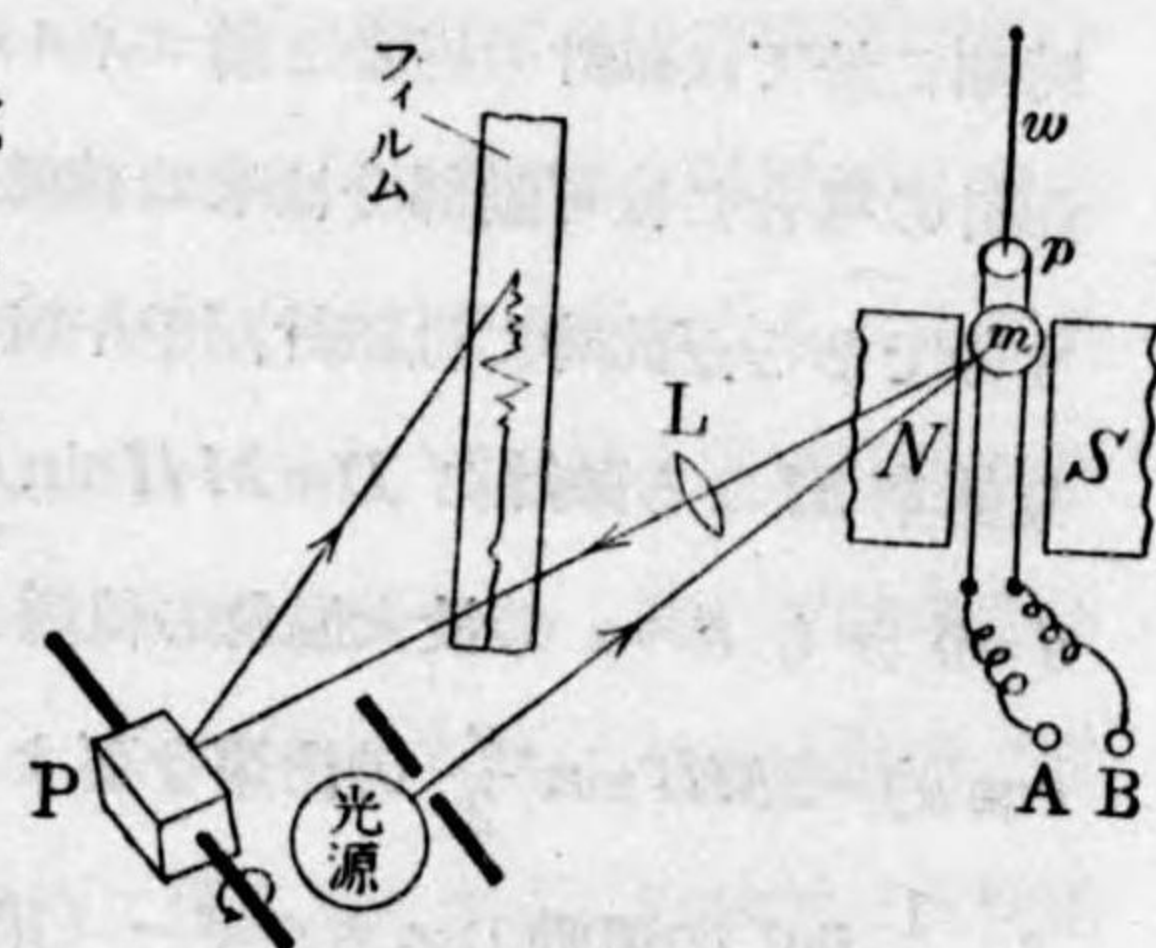
此検流計の慣性はその周期 T をして τ に比して長からしむる爲に大にするのであるが餘り大に過ぎると a が小さ過ぎて良くない。尙可動部分の運動に抗する摩擦的抵抗があることは望ましくない。

此検流計は第 391 圖の實驗にも使用されたが、此器械は同圖の C, C_0 の如き蓄電器中に蓄へられた電氣量を測るに適したものである。

第 441 節 オスシログラフ

前節第 683 圖に示す如き變化する電流の曲線の形を記録する器械をオスシログラフといふ、自記振動計の義であつて、電話の電流の如き變化する電流の振動を記録するといふ意味である。構造は要するに動コイル検流計に外ならない。その動コイルの役目をするも

のは一本のリボン状の導線が往復平行に並ぶやうに小滑車 k にかけてあるので、之を永久磁石の間に置く。リボンの下端は固定してあり、小滑車は上方



第 684 圖 オスシログラフ

から可なり強く金属線 w で引張られてある。此コイルの役目をする往復線が w を廻轉軸として左右に偏倚廻轉する固有振動の周期は金属線 w の弾力によつて支配されて甚短かくしてある。強い光源で照した細隙から來る光線をコイルに付けてある平面反射鏡 m に投じてその反射光線をレンズ L と水平廻轉軸を有する廻轉鏡 P とによつて記録用フィルムに投じてその上に電流の變化を記録させる。

オスシログラフは音響學の研究にも大に用ゐられる (第 236 節)。それには人の聲でも樂器の音でも之をマイクロフォン (第 727 圖) に受けて變化する電流とし、此電流をオスシログラフで記録させて音の振動の工合を明らかにするのである。

第四十四章 透磁質

第 442 節 物質の磁性

物質の磁性はその種類によつて著しく程度を異にする、之を研究するには兎に角之を磁界内に置いてその磁化の程度を測定すればよいのである。種々の物質を研究した結果、物質を三種類に分類するがよいことゝなつた。第一は鐵、ニッケル、コバルト等の金属で此等は他の物質に比し全く段違ひに著しく強く磁化せらるるもので之を強磁性體といふ。第二は Pt, Al, O 及び空氣等が之に屬し第一種と同じく磁界の方向と同じ向きに磁化せられるがその程度は比較にならぬ程弱い。之を常磁性體といふ。第三は Bi, Sb, P, Au, Ag, Hg, Pb, 水, Cu, CO₂, NH 等が之に屬し磁界と反對の向きに (磁界が右に向へば物體の北極は左に向ふ) 磁化せられる。而して磁化の程度は非常に弱い。之を反磁性體といふ。

先づ強磁性體の磁性の研究方法を述べる。實驗装置の大體は第 685 圖に示し

た通りである。圖中 C は鐵を磁化する爲の磁界を作るコイルで之に通ずる電流は電池 B から之を供給し電流の強さを圖中の電流計 A (第 675 圖のもの) で測りつゝ可變抵抗器 R によつて適宜之を變化させて種々の強さの磁界を作る。調査さるべき鐵材は通常長い圓柱形にして之をコイル C の中央軸上に支持する。此鐵材が地球磁界

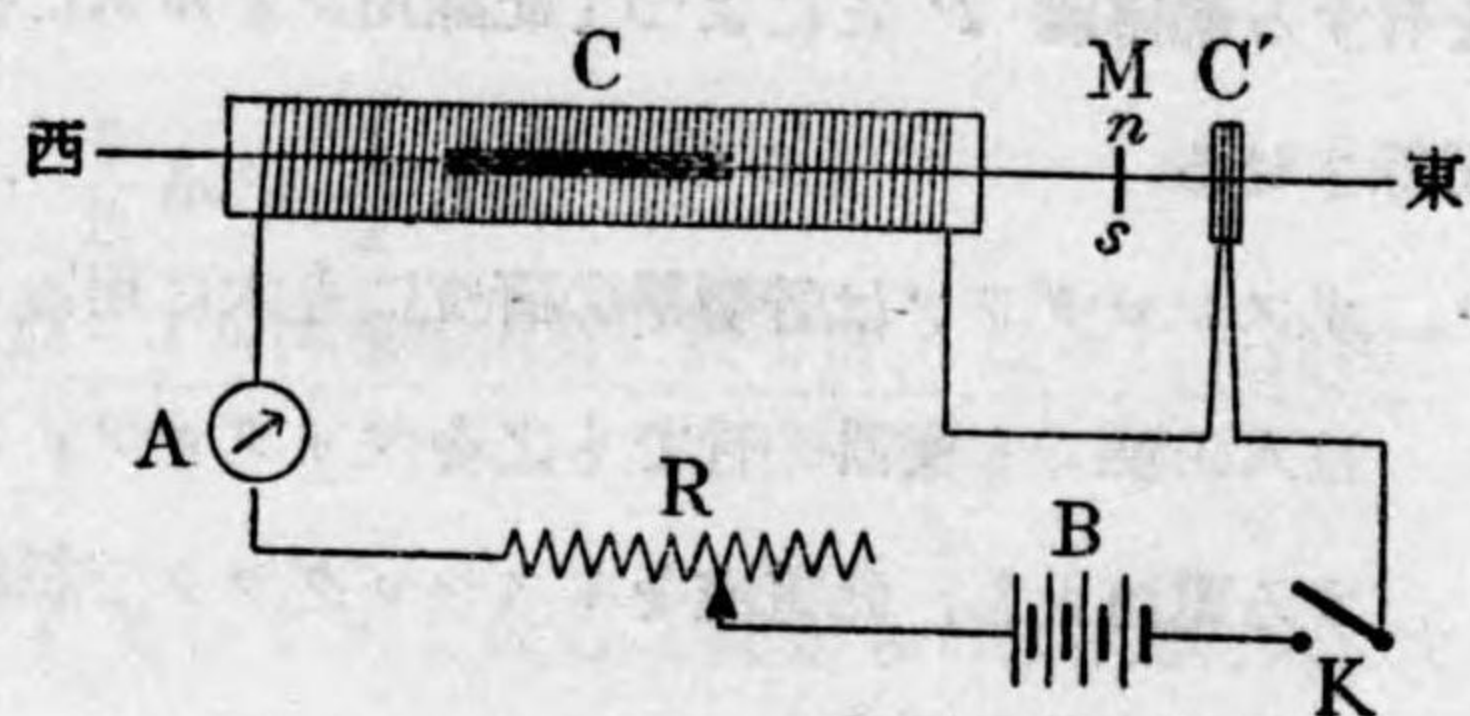
の作用を受けること無く唯コイルの磁界のみに支配せられしめる爲にコイルの軸を水平に東西に向け置く。

鐵材が磁化すればその磁石

としての磁氣能率が生ずるから之をコイルの軸上に据ゑた磁力計 M の磁針 ns の偏倚によつて測定する。 K には電流の開閉器を圖示してあるが實は電流の方向逆轉器(第 668 圖)でコイルの磁界を任意に左右の方向變換を爲さしめ磁力の偏角を東に又西にさせる方が有利である。尙茲に注意を要するのは上記の儘では磁力計に感ずるは鐵材の磁氣能率に基因するもののみならずコイルの磁界が之に作用するから之を除去する爲に同一電流を磁力計の近傍に置いた小コイル C' に通して C と C' とが反對に作用して相殺せしめるのである。それには C 中に鐵材を入れない前に C' の位置を動かして C, C' に同一の電流を通じても磁力計が全く偏せざる如き位置を求めればよい。斯くすれば C 中に鐵材を入れ電流を通じたときの磁力計の偏倚は鐵材の磁化によるもののみとなる。

少しく説明が煩はしく過ぎるが C' を小さくしたのはその影響が鐵材に及ぶことを恐れ唯磁針のみに牽制作用を爲さしめるために小にして M に近く置いたのである。研究装置に要する細心なる注意の一例として蛇足を添へる。

扱て磁針の偏角を α とし鐵棒の中心と磁針との距離を r とすれば第 368 節に説明した通り H を地球磁界の水平分力とすれば鐵棒の磁氣能率 M は (368/2) 式により



第 685 圖 鐵棒に誘導された磁氣能率の測定

$$M = -\frac{d^3}{2} H \tan \alpha. \quad (442/1)$$

である。而して M を作り出した原因たるコイルの磁界はコイルの長さ 1 寸毎に導線が n 回捲いてあり之に流した電流が i アンペアだとすれば第 428 節の終りに記した如く、(426) 式を改めた

$$F = \frac{1}{10} \times 4\pi ni. \quad (442/2)$$

で與へられる。斯くして種々に i を變化して (442/1) (442/2) 式の F 對 M の實驗曲線を作れば物質の磁性が明かになる。然かし M は鐵材の太さや長さが關係するから M を鐵材の長さ L で除し更に斷面積で除して單位長、單位面積の能率 I を求める。故に鐵材の體積を $V = LS$ として

$$I = \frac{M}{V}. \quad (442/3)$$

を計算して F 對 I の曲線を作る。此 I を磁化の強さといふ。 F が弱い間は I は F に正比例して増大し I 對 F のグラフは直線であるが F が強くなると増大の割合は漸々小さくなつて F 對 I のグラフは曲線は第 686 圖に示す如き趨勢を取る。

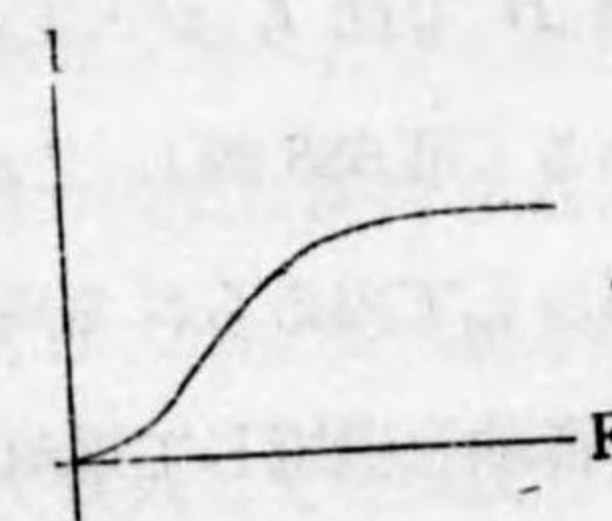
扱て上記の如く或物質を強さ F の磁界中に入れると、それが磁化されて、その單位體積が I なる磁氣能率を得るのであるが、

$$\frac{I}{F} = x \quad (442/4) \quad \text{第 686 圖 強磁體の磁化曲線}$$

とし此 x をその物質の帶磁率と呼ぶ。帶磁率は單位磁界によつて生じた磁氣能率の値であるから之によつて諸物質の磁化の難易を比較することが出来る。

第 443 節 強磁性體

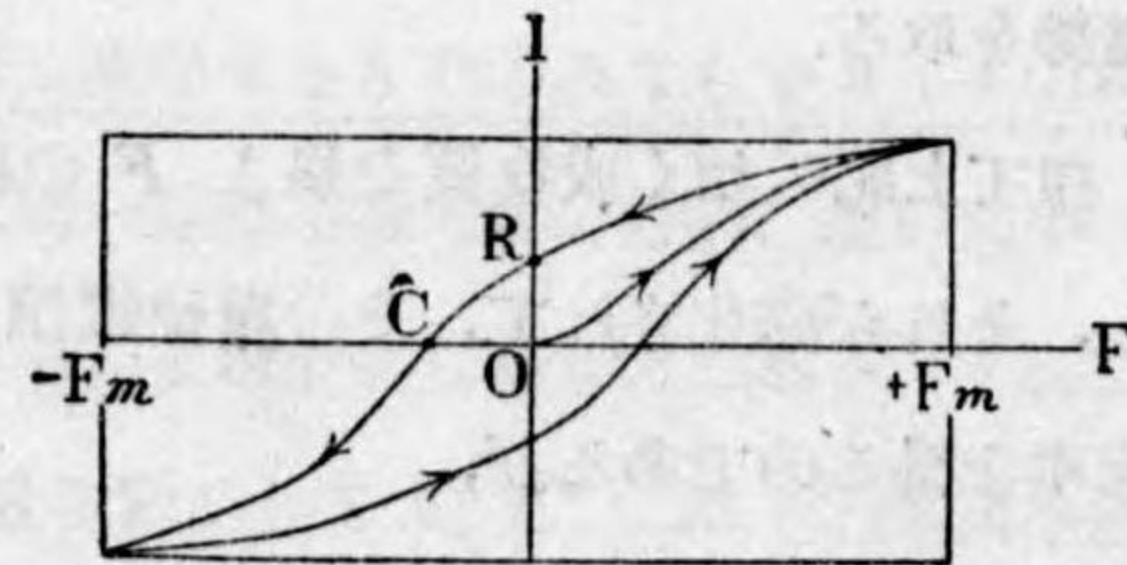
前節記述の實驗を行ふに當り強磁性體では通常實驗開始前から多少の磁性を帯びて居るから、その過去の歴史を拭き去つて處女状態から出發しなければな



らぬ。此ために先づ材料の**戻磁作業**を行つて全く磁性を失はしめる。戻磁の方法の**最簡單**なのは之を赤熱して徐々に常溫に復せしめるにあるが此際材料は水平に東西に向けて地球磁界のために磁化せられざるやう注意を要する。若し加熱を厭ふ場合には之を第 685 圖の**コイル C** 中に入れたまゝ **K** の所にある電流の方向轉換器を働かして急速に磁界の逆轉を繰返さしめながら、電流を或値からだんだん減少して零に至らしめる。即ち磁界の方向を逆轉しつつ段々之を小さくして零にするのである。斯くすれば **I-F** 曲線は第 686 圖に示す如く座標の原點から出發する様になる。同一のことはコイルに交流 (第 459 節) を送つてその強さを漸々小さくして行つてもよい。

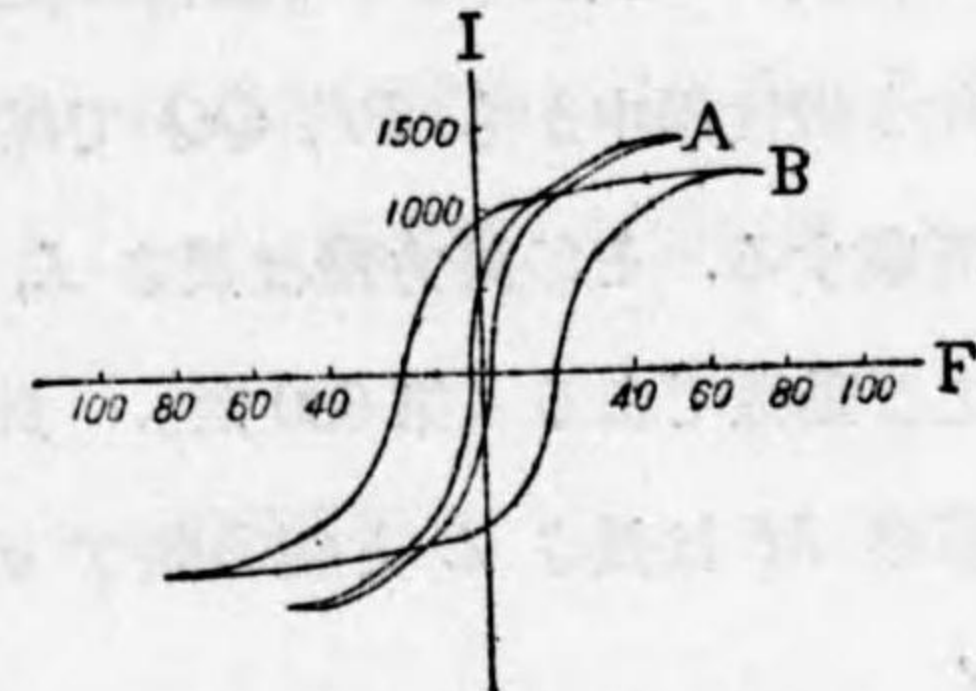
強磁性體の特色を知るには磁界の零から出發して漸々之を増大して或値 $+F_m$ に至つてから之を實驗の終結とせず尙之を繼續して次には磁界を漸々小にして零に復歸して見る。然るときは **I-F** 曲線は往復その路を異にして $F=0$ にしても $I=0$ に戻らず $RO=I_r$ の價を有するを見る (第 687 圖)。此 I_r は即ち**残留磁氣**の強さである。鋼

鐵 **B** では I_r が大で軟鐵 **A** では小である (第 688 圖)。これが鋼鐵が永久磁石として用ゐられる所以である。更に尙實驗を繼續して電流の方向を逆にし



磁界を $-F$ にしたときの **I** の経過を 第 687 圖 磁界の循環的變化による誘導能率の變化
調べると、先づ初めには **I** が漸々減少して **F** が $CO=-F_0$ なる或値に至つて始めて **I** は零になり材料は磁性を失ふ。此 $-F_0$ は磁性を奪ひ去るに必要な外力で之を**抗磁力**といふ。 F_0 の値は鋼鐵に於て大で軟鐵に於て小である (第 688 圖)。更に $-F$ を増大して $-F_m$ に至りそれから之を減少して零に歸ると前の如く **I-F** 曲線は往復その徑路を異にするが $+F_m -F_m$ の間の**循環作業**を數回も反覆して行つて見ると或一定の閉曲線を得る。斯くの如く磁化の

現象が往復その徑路を異にすることを**履歴現象**と云ひ、徑路を示す曲線を**履歴曲線**といふ。理論的研究によると此閉曲線の包む面積は一回の循環作業毎に熱として外界に放出されるエネルギーの量である。此量が鋼鐵では大で軟鐵では小である。之は分子磁石の方向を反轉させるに大なるエネルギーを要しそれが熱として放出されるものと解釋せられる。



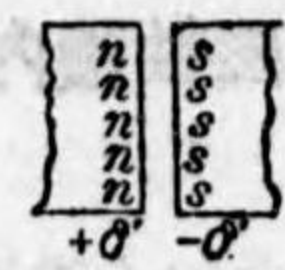
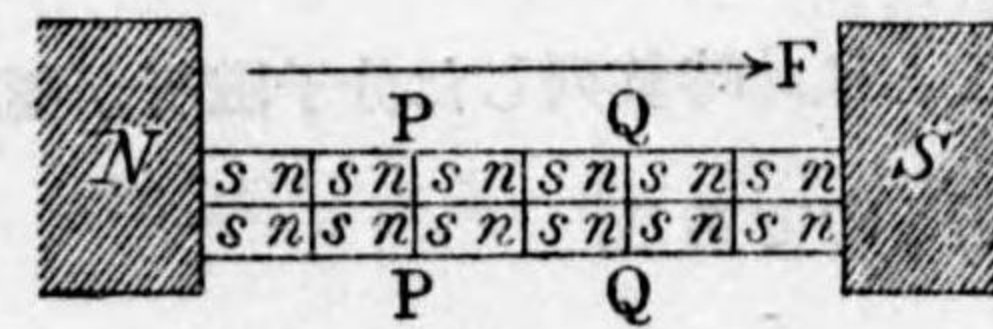
第 688 圖 軟鐵 A と鋼鐵 B

I-F 曲線の實際の例として第 688 圖の **A** に軟鐵 **B** に鋼鐵の曲線を示す。

第 444 節 磁氣誘導

前節に記した **F** 對 **I** の關係は磁性體を磁界 **F** の中に置くと **I** なる強さに磁化されるといふのである。此 **I** なる單位體積の有する磁氣能率とは如何なるものかを考察して見る。

磁氣の誘導を第 359 節に於て説いた時に磁性體の中にありと考へた分子磁石と假稱した微小部分がその兩側に **n, s** 極を有し磁界の指力線上に整列するのであるとしたが此考へによれば第 689 圖の大なる磁極 **N, S** の間に磁性體を挿入すると微小部分が **ns** なる小磁石の如く指力線に沿ふて整列して分極状態を呈して居ることは恰も第 577 圖の電氣の誘導の場合と全く同様であることが認知



第 689 圖

せられる。即ち指力線に沿ふては張力、之に垂直には壓力が作用して居ることも同様である。今兩磁極 **N, S** 間の中央に於て磁界が均齊であり指力線が平行なる所で指力線に垂直に一平面 **PP** を置いて磁性體を横斷して左右に引分けて見

ると磁性體の左半の表面には $+\sigma'$ の表面密度で n 極が並び右半の表面には $-\sigma'$ の表面密度で s 極が並んで居る。此表面密度 σ' は N, S 兩極面上の表面密度 σ とは異なつて磁化の程度即ち分極程度を示すものである。扱て斯の如き磁性體中から PP, QQ で媒質を垂直に切つて一つの直方體を取り出して考察する。その直方體は長さ L , 斷面積 S で側面は指力線に平行, 兩端面は之に垂直である (第 690 圖)。此直方體は分極して居る一つの磁石でその磁氣能率 M は長さ L と極の強さ $\sigma' \cdot S$ の相乗積に等しく

$$M=L \cdot \sigma' \cdot S.$$

く

であるから之をその體積

$$V=L \cdot S.$$

で除すると磁化の強さ I は

$$I=\frac{M}{V}=\frac{\sigma' \cdot L \cdot S}{L \cdot S}=\sigma'. \quad (444/1)$$

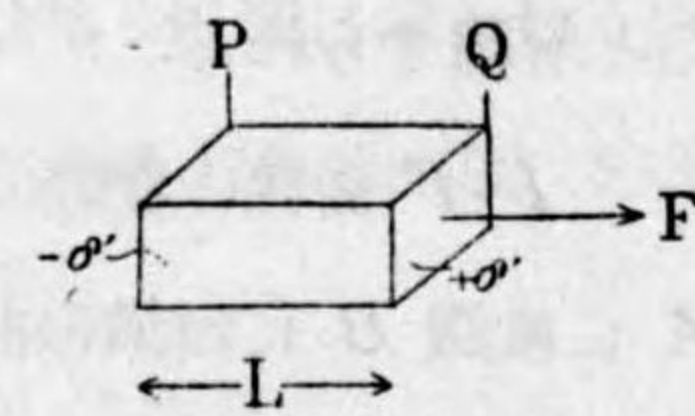
となるから σ' は I に等しく單位體積の磁氣能率で磁化の程度を示すものである。而して (442/4) 式によると

$$\sigma'=x \cdot F. \quad (444/2)$$

となる。これによると強磁性體に於ては x が一定でなく F を大にすれば I 即ち σ' が正比例以上に烈しく大になるので、これは第 689 圖に示す如き整列した分子磁石の数が多くなることを示し又 I に限度があつて極大値を有することは此時整列した分子磁石が極度に達した飽和状態になつたことを物語つて居るのである。

第 445 節 磁性體内の磁氣現象

第 689 圖に示す如く磁性體内ではその隨所に於て指力線に垂直な横斷面上に σ' の表面密度で磁化分極して居るから磁極 N の所ではその本來の (磁性體の



第 690 圖 磁氣誘導による表面密度 σ'

無い時の) 表面密度が σ であつても恰も $\sigma-\sigma'$ の表面密度をもつ如き觀を呈して居る。

上文の説明から類推すれば第 386 節以下に於て透電質に関して記述したことは其儘之を磁性體に移して用語を適當に改變すれば觀念の發展は毫も異なることなきを知るのである。即ち磁性體を透磁質とし σ を眞帶磁の表面密度, $\sigma-\sigma'$ を自由密度と稱してもよからう。

同様に透電率 ϵ なる透電質中に於けるクーロンの法則が

$$f=\frac{1}{\epsilon} \frac{e \sigma'}{r^2}.$$

で與へられる如く一般の透磁質中に於けるクーロンの法則は

$$f=\frac{1}{\mu} \frac{m m'}{r^2}. \quad (445/1)$$

で與へられる。此 μ は物質の磁性に関する一定數で ϵ に對照さるべきものである。第 358 節では此 $1/\mu$ を假に K として置いた。 μ を透磁質の透磁率と呼ぶ。而して電界 E から $D=\epsilon E$ なる誘導といふ觀念を導き誘導力線によつて電氣力の空間的分布を表現し ϵ の大なる物質中を誘導力線が多く通らんとし ϵ の小なる物質中を通ることを厭ふが如き狀況であることも、同様に透磁質の物體にもあてはまるのである、 μ に透磁率の名を與へたのも實は之によるのである。故に吾人は總て透電質のときに倣つて F を磁界の強さ $B=\mu F$ を磁氣誘導量の強さとし磁氣誘導力線を畫いて磁氣的狀況を表示し

$$B=4\pi\sigma \quad (445/2)$$

によつて眞帶磁の界面密度が表はされることを知るのである。而して又自由帶磁密度 $\sigma-\sigma'$ と磁界の強さ F とは

$$F=4\pi(\sigma-\sigma').$$

で關係づけられる。故にこれと (444/2) 式の

$$\sigma'=x \cdot F.$$

とを結合すると茲に一つの重要な關係式を得る。即ち

$$F=4\pi\sigma-4\pi\sigma'$$

から

$$=\mu F-4\pi xF$$

となり結局

$$\mu=1+4\pi x. \quad (445/3)$$

となる。之が帶磁率と透磁率との關係式である。

全く同様なことが實は透電質に就ても言へるのであつて分極の程度を表はす x は磁氣の時には強磁性體ならば實驗的に測定が出来るのであるが電氣の時には之に相當するものは實際上餘りに小さくて考へる必要がないから程だから本書に於ては故意に言及しなかつたのである。

次に二三の鐵の種々の強さの磁界 F (C. G. S. 單位) に於ける μ の値を表記する。 c は炭素の含有量を % にて表はしてある。

此表によると軟鐵と硬鐵との差は著しい。これ等の μ の大なるものでは帶

磁率 x は $x = \frac{\mu}{4\pi}$ と見て差支ない。

μ も x も溫度によつて著しい變化をする。例へば純鐵に於ては常溫では

μ が著しく大であるが溫度が昇るにつれて始めは徐々に後には 800°C 附近から急速に磁性を失つて x が零に近い常磁性體となる。それから 910°C に於て突然飛躍的に x が一層小さくなつて殆んど磁性が無くなる。更に 142°C に於て再び x が少しく増加し 1520°C に於て融解する。 x の値が飛躍する 910°C と 1520°C の前後には鐵の原子の排列が變化するので其事は第 500 節以下の X 線の實驗によつて明示される。

帶電體又は磁石の周圍にある場所是一般には透電質であり同時に又透磁質であつて特殊の ϵ , 及び μ を有して居ると考ふべきである。若しその場所が真

鐵の種類	$\frac{F}{c}$	μ		
		1.	10.	100.
電解鐵	0.02	10240	1550	180
鑄鋼	0.04	10200	1568	183
瑞典軟鐵	0.03	6350	1463	181
〃	3.	—	515	99
鋼鐵	1.	—	50	98

空又は空氣なれば $\epsilon=1, \mu=1$ であつて $x=0$ である。鐵ニッケルの如き強磁性體では μ が大であるが殆んど總ての液體や氣體では通常 $\mu=1$ であるから普通には帶電體や磁石の周圍には ϵ だけ或値を持ち $\mu=1$ なる物質があるのだとして差支ない場合が多いのである。

磁氣誘導力線が異なつた媒質の境界に於て屈折することも電氣の場合 (第 388 節) と同様で ϵ の代りに μ を入れよといふのである。又第 572 圖と同様に磁氣の誘導力線は透磁率 μ の大なる透磁質の中を多く通るやうに收束されるのである。

第 446 節 常磁性體と反磁性體

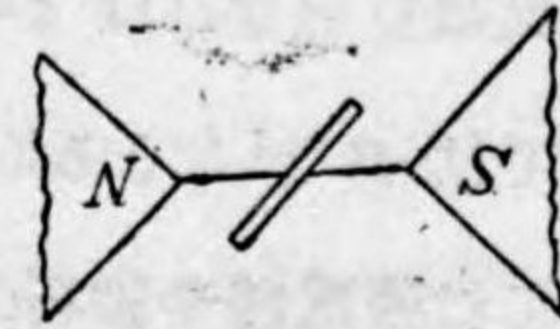
常磁性體はその性質に於ては強磁性體と同じだが量的には非常に弱いのである。恰も強磁性體に於ける I の甚小なる所に相當するので帶磁率 x は一定數であつてその大きさは C. G. S. 單位で 10^{-6} 程度の小なるものである。常磁性體では x は正數で磁界と同じ方向に磁化するが反磁性體では x は負數で磁界と反對の方向に磁化する。故に常磁性體は磁石に吸引せられ反磁性體は之に反撥せられる性質を有する。

或常磁性體 x_1 の中に之れより透磁率の小なる即ち帶磁率の小なる他の常磁性體 x_2 を置くと、その狀況は恰も第 572 圖 (3) の如く磁氣誘導力線が x_2 を避けて多く x_1 を通過するから兩者の境界面上に於ける自由帶磁表面密度の關係によつて後者をして反磁性體であるかの如き觀を呈せしめる。

空氣は非常に弱い常磁性體であるから或物質が常磁性體か反磁性體かの決定は空氣中の實驗では不可である。眞空中に於て之を行はねばならぬ。

第 664 圖の研究用の強い電磁石の兩極間を眞空にして其間に線狀の物體を指力線に 45° の傾角を以て吊し置き電磁石を勵起すれば (第 691 圖) その物體が常磁性體なれば兩極を連ぬる方向を取らんとし反磁性體なれば之に垂直にな

らんとする。而して此時に物體を廻轉せんとする偶力を測れば之によつて x を測定することが出来る。又兩極間に或常磁性の液を入れた器を置き其中に x の更に小なる常磁性體の線狀物體を吊すと既記の通り反磁性體であるかの如く指力線に直角にならんとする。

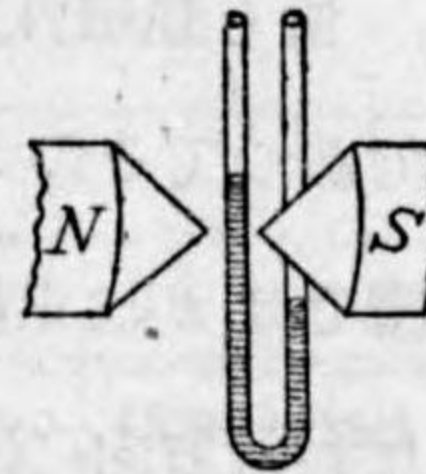


第691圖 常磁性體は磁界の指力線に平行にならんとし反磁性體は直角にならんとする

電磁石の兩極間に細い硝子管に液體を入れてその液面が丁度磁界の中央にある如く装置して(第692圖)後に電磁石を勵起すると液が常磁性體なれば液は吸引せられて管中に上昇し液が反磁性體なれば反撥せられて下降する。此時液の上昇又は下降した高さを h とし磁界の強さを F とすれば

$$h = \frac{x}{2g\rho} F^2.$$

である。式中 ρ は液の比重 g は重力の加速度である。之によつて液體の x を測定せられる。



第692圖 常磁性液は吸引せられ反磁性液は押下せられる

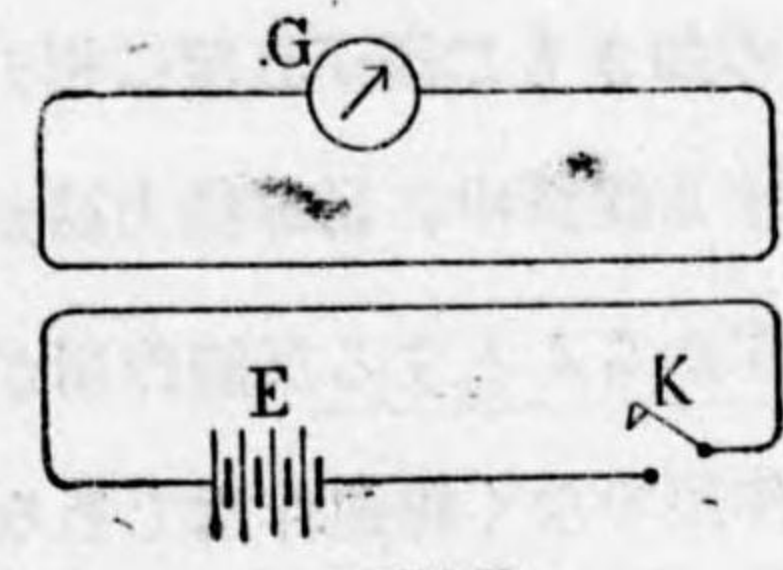
常磁性體に於ても x は溫度によつて變化するが之に關してキュリー (Curie フランスの物理學者 1859-1906) は x と絶對溫度 T との相乘積が與へられた物質に就ては一定であることを實驗的に擧示した。之をキュリーの法則といふ。

第四十五章 電磁誘導

第447節 電磁誘導 其一

第359節に於て記述した磁氣の誘導に於ては磁性を帯びて居ない鐵材の近傍に一つの永久磁石を近づけると両者が接近して居る間は鐵材が磁性を帯び両者が相對向して居る所に異名の極が現はれ、磁石を遠ざけると鐵材は磁性を失ふ

のであつた。又第374節に於て記述した靜電誘導に於ても同様に電氣を帯びて居ない導體の近傍に一つの帶電體を近づけると両者が接近して居る間は導體が電氣を帯び相對向して居る所に異名の電氣が現はれ、帶電體を遠ざけると導體は電氣を失ふのであつた。そこで之から類推して或は一つの電流の通して居ない回路に他の電流の通して居る回路を近づけると同様に両者が接近して居る間は前者に電流が誘發せられるかといふ疑問が起るのは當然なことである。1831年にファラデーは之を實驗するために第693圖に示す如く一つの電池 E と電流開閉器 K とを有する第一回路と檢流計 G を有する第二回路とを接近し置き K を押して第一回路に電流を通すれば第二回路に電流が流れ檢流計の指針が偏角を示すかを驗したがそれは無効であつた。



第693圖

此實驗が無効であるべきことは當然豫測し得ることである。何となれば若し第二回路中に電流が続けて流れて居るとすれば此電流のエネルギーの源は何所にありやと尋ねて見れば自ら明かになる。第一回路に於ては電池内に於ける化學作用によつて供給せられるエネルギーによつて電流が持続せられるのであるが第二回路は之とは全く絶縁してあり且つ電源を有せざるものであるのに若し其中に電流が持続せられるとすれば、それはエネルギー保存の法則に矛盾することである。然らばファラデーの如き大家が最初から効果なかるべしと豫測せられる實驗を何故に行つたのであらうか。彼の心中は今吾等が之を忖度すべき由もないが研究者としては効果なかるべしと豫斷せられる事柄をも一應は實地に就て之を檢討すべきものであつて或は考慮に加へなかつた他の理由によつて豫測しない新現象に逢着するかも知れないのである。ファラデーの此場合は此一例であるかも知れないのである。

然るに彼は此實驗を行ふことによつて從來全く知られて居なかつた新現象即ち吾等が電磁誘導と命名した現象を發見した。此現象の發見によつて、それが次第に發展して今日の電氣工業の基を爲したと稱してもよいのである。第 693 圖の二つの回路は互に絶縁してあつて導體を以て連絡せられては居ない。然かしファラデーは夙に電氣や磁氣の現象に於ては導體や磁石に重きを置かず寧ろ之を取り巻く媒質の重要性を認めた。即ち第 390 節に説いた如く二帶電體間の引力の如きも二體が直接に相引くといふ所謂遠隔作用にあらずして二體間に介在する媒質中に誘導指力線が出来て之に沿ふて收縮し、之に垂直に指力線が相違ざからんとする反撥作用が起つたのだとして説明を與へたのである。即ち直達作用でなく媒達作用であると考へたのである。故に彼は多分第一回路と第二回路とは兩者の間にある媒質によつて連絡せられてあるから第一回路中に於ける變化は第二回路中に何等かの變化を喚起するであらうと考へたのではあるまいか。そして彼としては豫測通りの一新現象を發見し得て會心の満足を喫したのではあるまいか。

ファラデーの新發見といふのは多くの事實の連続である。今その發見の順序を追ふて記述する。先づ第一には第一回路の K を押して新たに電流を通ずると、之と同時に第二回路に電流が流れるが暫時にして止み第一回路の電流が持續せられても第二回路には電流が存在しない。第二に K を放して第二回路の電流を切るとその瞬間に第二回路に以前と反對に向ふ瞬間電流が流れ暫時にして消失して仕舞ふ。即ち第一回路の電流の開始と切斷との瞬間に於て第二回路に一時的の電流が誘發せられるのである。

第 693 圖に於て兩回路の導線が平行線を爲して居る部分で右に向ふ電流を $+$ で表はすことにすれば第一の場合は第一回路の電流が 0 から $+i_1$ となる瞬間に第二回路に $-i_2$ なる一時的電流が流れ第二の場合は第一回路の電流が $+i_1$ から 0 になる瞬間に第二回路に $+i_2$ が誘發せられるのである。更に第

三に實驗の事情を變して第一回路の電流の方向を逆にして第一回路の電流を 0 から $-i_1$ にすれば第二回路には $+i_2$ を得、第四の場合として第一回路の電流を切つて $-i_1$ から 0 とすれば第二回路に $-i_2$ を得るのである、但し誘發された瞬間電流 i_2 は第 683 圖に示してある如く變化するものである。

次には第一回路電流を 0 から或有限値 $\pm i_1$ に變ずる代りに之を増減しても全く同様に第二回路に一時的電流を誘發するのである。即ち第一回路の電流を

第五に $+i_1$ から $+i_1'$ に増し

第六に $+i_1'$ から $+i_1$ に減じ

第七に $-i_1$ から $-i_1'$ に増し

第八に $-i_1'$ から $-i_1$ に減

ずるのである。事實は重要であるが平易であるから、その結果は一々之を詳説しない。實驗を行ふには第一回路中に抵抗箱を入れ置き突然抵抗を増減して驗すればよいのである。

以上の場合に於て第二回路中に誘發された一時的電流を誘導電流といひ、現象を電磁誘導といふ。

これで誘導といふ名をつけた現象が三つになつた。第一は第 359 節の磁氣の誘導、第二は第 374 節の靜電氣の誘導、第三は本節の電流の誘導である。讀者は名稱に捉はれずに現象の真相を知られよ。

第 448 節 電磁誘導 其二

前節に於ては第一第二の兩回路が或一定の相互位置に在るとき第一回路の電流を斷續し又は増減するときに第二回路に一時的電流が誘發せられたのであるが、ファラデーは更に事情を變じて第一回路中に或一定の電流を流して置いて之を第二回路に近づけたり遠ざけたり（第一回路を固定して第二回路を動かしても同じ）して相互位置を變じて試験して見た。第 694 圖に於ては二つの回路