

升2N32

78-3

98-3



普通物理學 下卷

理學士福井政一編

東京博文館藏版

明治  
20 2 7  
丙交

# 普通物理學下卷目次

## 第六編 音響學……………一

### 第一章 音響學總論……………一

- 一、音響學の範圍——二、樂音及噪音——三、音響の原因——四、音響傳播の媒介者
- 五、音響の強弱に關する原因——六、「ドツブレル」の原理——七、反射、反響屈折、陰影、及び「デフラクション」

### 第二章 諸物體の振動……………七

- 八、糸の振動——九、節及腹——一〇、棒の振動——一一、音叉——一二、膜の振動
- 一三、板の振動

### 第三章 空氣の振動……………一五

- 一四、發音體としての空氣——一五、空氣及び他の瓦斯體に於ける音響の速度——

六、瓦斯體に於ける音響の速度——一七、管内に於ける空氣柱の振動——一八、空氣柱の倍振動——一九、「クント」の實驗——二〇、樂器——二一、分岐したる管内の空氣の振動——二二、共鳴——二三、人の音聲

第四章 液體及固體の振動……………二七

二四、液體及固體の振動

第五章 音樂に關する定理……………二八

二五、單純なる樂器——二六、樂音の要素——二七、音程——二八、音階——二九、加減

第六章 音響に關する機械……………三二

三〇、「サイレン」——三一、「デニハーメル」——三二、「リサンシュウ」の光學的方法——三三、蓄音機

第七編 磁氣學……………三九

第一章 磁石の性質……………三九

三四、磁石——三五、磁石の兩極——三六、磁氣量——三七、磁氣の感應——三八、磁石を作る法——三九、磁石作用

第二章 磁氣に關する諸量……………四三

四〇、磁氣の法則——四一、單位の極——四二、「ポテンシャル」——四三、磁氣能率及磁氣の強さ——四四、磁石外の軸上の某點に於ける磁力——四五、軸の中央を通する垂線上の某點に於ける磁力——四六、同一「ポテンシャル」——四七、指力線——四八、磁力管——四九、磁氣密度——五〇、磁場の強さ

第三章 磁氣「シエル」……………五二

五一、磁氣の分布——五二、「シエル」の「ポテンシャル」——五三、某點に於ける極の「シエル」に對する「ポテンシャル」——五四、磁場に於ける「シエル」に作用する力——五五、「シエル」の作用に依り生ずる磁力——五六、「シエル」の通過によりて生ずる「ポテンシャル」の差

第四章 磁氣の感應

五九

五七、感應磁氣及其強さ 五八、「ベルミエビリチー」 五九、「サツセブチビリチ

ー」 六〇、磁氣附の曲線 六一、Bの測定法 六二、剩餘磁氣の作用 六三、

磁氣附の「シクル」 「ヒステレンス」 六四、反磁性體 六五、物體を包圍する「ミ

ヂウム」によりて生ずる見懸の反磁性體 六六、反磁性體と感應線 六七、感應

の分子的説明

第五章 磁氣の測定及諸器械

七一

六八、磁氣の測定 六九、正切法 七〇、正弦法 七一、振動法

第六章 地球の磁氣

七四

七二、地球磁氣の三要素

第八編 靜電氣學

七六

第一章 摩擦電氣と感應電氣

七六

七三、電氣學の區分 七四、電氣學の進歩 七五、靜電氣 七六、感應電氣

七七、絶緣體 七八、感應によりて生ずる二種の電氣の量 七九、摩擦により

て生ずる二種の電氣の量 八〇、電氣に關する學說

第二章 電氣に關する諸法則

八三

八一、「クローロン」の法則 八二、電氣量の單位 八三、電場 八四、「ポテンシ

ヤル」 八五、「ポテンシヤル」の差 八六、電氣力即ち電氣動強度 八七、同一

「ポテンシヤル」面 八八、指力線 八九、「ガウス」の定律 九〇、均一に帶電

せられたる球の外部に於ける某點の電氣力 九一、均一に帶電せられし球形「シエ

ル」の内部に於ける電氣力 九二、全く包圍せる傳導體の内部に於ける「ポテンシ

ヤル」 九三、電氣密度 九四、電氣附られたる球の表面に於ける力 九五、均

一帯電の平面の表面に於ける電氣力 九六、電氣の張力

第三章 傳導體に關する理論

九八

九七、傳導體の電氣容積 九八、二同心球の電氣容量 九九、平行なる二平面の

電氣容量——一〇〇、比電氣容量——一〇一、電氣像——一〇二、傳導體に於ける「エ  
ネルギー」

第四章 放電の種類……………一〇五

一〇三、放電——一〇四、グロー——一〇五、電氣箒——一〇六、電氣火花

第五章 空氣に於ける電氣……………一〇七

一〇七、雷鳴——一〇八、電光——一〇九、空氣中の電氣——一〇〇、北光及南光——

一一一、諸種の發電——一一二、熱電氣——一一三、壓電氣

第六章 電氣に要する諸器械……………一一〇

一一四、發電氣器——一一五、驗電器——一一六、蓄電器

第九編 動電氣學……………一一七

第一章 總論……………一一七

一一七、電流——一一八、電流の強さ

第二章 抵抗及抵抗により生ずる熱量……………一二八

一二九、「オーム」の法則——一二〇、電流により生ずる熱

第三章 接觸電動力及熱電流……………一二〇

一二一、接觸電動力——一二二、熱電流——一二三、溫度と熱電動力との關係——

一二四、熱電氣力と溫度との關係——一二五、「ペルチエー」作用——一二六、タムソン  
作

第四章 化學的作用に依れる電流……………一二八

一二七、電池——一二八、電池の種類——一二九、重クロム「酸電池」——一三〇、

「ダニエル」電池——一三一、「ブレンゼン」電池——一三二、其他の電池——一三三、電氣

分解——一三四、電氣化學當量——一三五、「クラウジユース」の説——一三六、電氣

の分極——一三七、蓄電池

第五章 傳導體に於ける傳導……………一三四

一三八、行に連結せる傳導體——一三九、兩端の「ポテンシャル」と中間の「ポテンシ

「ヤル」との關係——一四〇、列に連結せる傳導體——一四一、比抵抗——一四二、電池の連結——一四三、絶縁體に於ける傳達

第六章 抵抗電動力等の測定……………一三九

一四四、抵抗箱——一四五、抵抗の測定——一四六、電動力の比較

第十編 電磁氣學……………一四四

第一章 電流を作る磁場……………一四四

一四七、電磁氣——一四八、無限に長さ直線を通ずる電流の磁氣作用——一四九、無限に長さ平行線を同一強の電流が通ずる場合——一五〇、無限大なる二平行面に同一の電流が反對の方向に通過する場合——一五一、圓輪道に電流の通ずる場合——一五二、二個の同一大の圓輪道互に其軸と直角をなす場合——一五三、「ソレノイド」——一五四、無限大の長さを有する正圓柱形の「ソレノイド」——一五五無端の「ソレノイド」

第二章 電流相互の關係……………一五七

一五六、磁場に於ける電流に作用する力——一五七、無限長の二平行線に電流の通ずる場合——一五八、同一軸を有する二個の圓輪道の場合——一五九、「アムペール」の説

第三章 電磁氣に於ける諸器械……………一六一

一六〇、電流計——一六一、正切電流計——一六二、正弦電流計——一六三、「タルン  
ンダール」電流計——一六四、「バリスタック」電流計——一六五、「ケルビン」電流計  
——一六六「ポルトメートル」

第四章 電流感應……………一六五

一六七、感應電流——一六八、第一電流の變化に基く感應——一六九、第一輪道の運動に依りて生ずる感應——一七〇、第二輪道の運動によりて生ずる感應——一七一、磁石及第二輪道の相互の比較的運動によりて生ずる感應——一七二、自己感應及相互感應——一七三、擊突によりて金屬に感應せる電流——一七四、周期的電動力の場合即ち交番電流——一七五、磁場に於ける「コイル」の回轉する場合一七六、「トランスホ

「マー」の原理——一七七、交番電流の分布——一七八、自己感應係数の測定——一七九、相互感應係数の測定——一八〇、相互感應係数の比較——一八一、自己感應係数の比較

**第五章 應用の諸器械**……………一八一

一八二、感應「コイル」——一八三、「コンミュテーター」——一八四、發電機（ダイナモ）——一八五、發動機（モートル）——一八六、「トランスホーマー」——一八七、電信機——一八八、地中或は海底電信線——一八九、「サイフォンレコーダー」——一九〇、電鈴——一九一、電話機

**第十一編 電氣波動論**……………一九六

**第一章 電氣の單位**……………一九六

一九二、諸種の單位——一九三、兩單位の關係

**第二章 電氣量の「ヂメンション」**……………一九九

一九四、電氣量の「ヂメンション」——一九五、「ヂメンション」の表——一九六、實用單位

**第三章 光の電磁氣論及電氣の振動**……………二〇三

一九七、「ファラデー」管——一九八、「レーデン」體——一九九、電氣波——二〇〇、驗定器——二〇一、反射——二〇二、屈折——二〇三、共鳴——二〇四、「デフラクシヨンの現象——二〇五、金屬線を通ずる電氣波——二〇六、「ホール」現象——二〇七、電氣及光の關係——二〇八、電荷の減少

**第四章 氣體中の放電**……………二一九

二〇九、熱せられたる瓦斯及び火焰——二一〇、稀薄なる瓦斯中に於ける放電——二一一、非常に稀薄なる瓦斯を通ずる放電——二一二、電氣を傳導する狀況及明暗の層を生ずる理——二二三、「カソード」光線

**第十二編 熱學**……………二三三

**第一章 概論** ..... 二二三

二二四、熱とは如何なるものぞ 二二五、溫度并に其測定法 二二六、寒暖計 二二七、瓦斯體の重學的定説

**第二章 膨脹** ..... 二三二

二二八、物體の三態并に其變化 二二九、固體の膨脹 二三〇、液體の膨脹 三二一、寒暖計の訂正 三二三、重量寒暖計 三二三、瓦斯體の膨脹 三三四、絶對溫度 三三五、空氣寒暖計

**第三章 状態の變化** ..... 二五〇

三三六、融解及凝固 三三七、溶液 三三八、氣化 三三九、蒸氣の潜熱 三三〇、蒸氣及び瓦斯體の液化 三三一、際どき溫度 三三二、球形狀態

**第四章 濕度** ..... 二六六

三三三、濕度 三三四、露點 三三五、濕度計 三三六、「フシクロメーター」 三三七、化學的濕度計

**第五章 熱量の測定** ..... 二七〇

三三八、熱量の單位 三三九、比熱 三四〇、比熱の測定(混合法) 三四一、冷却法 三四二、瓦斯體の比熱 三四三、「テエロン」「ベチー」の定律 三四四、再び融解物の潜熱に就て 三四五、氷の融解する事によりて比熱の測定 三四六、蒸氣の有する潜熱

**第六章 熱の傳播** ..... 二八六

三四七、熱の傳播 三四八、熱の傳導 三四九、液體及瓦斯體の傳導 三五〇、副射

**第七章 熱力學** ..... 二九三

二五一、「エチルギー」としての熱 二五二、熱の仕事當量 二五三、熱力學の第一法則 二五四、可逆機關 二五五、同溫線と同熱線 二五六、「カルノー」の機關 二五七、熱力學の第二法則



第十三編 「エ子ルギー」に就て……………三〇五

二五八、伏「エ子ルギー」と活「エ子ルギー」——二五九、兩「エ子ルギー」の關係——  
六〇、「エ子ルギー」の變體

下卷目次終

普通物理學下卷

理學士 福井政一編

第六編 音響學

第一章 音響學總論

一、音響學の範圍 音響學は彈性體の振動及び其振動を傳導する中間物體例令は空氣水及び石の如き物體の振動を研究するの學なり故に音響學に於ては音響の起因傳播及び其比較と之れを受感する生理的機能に關する疑問を論ずるなり

二、樂音及び噪音の區別 音響とは彈性體の振動を中間の彈性體の媒介に依り耳に達し以て吾人に與ふる特種の感覺にして其振動にして連續的に且つ愉快なる感覺を與ふるもの之を樂音といひ之に反し其振動の生滅する瞬時にして従つて其感覺瞬時なる號炮の如きか或は假令ひ連續的なるものにも

樂音と噪音

せよ不調和に混合せらるゝと雷鳴の如きもの之を噪音と云ふ素より此兩者は其間一線を畫して之を明別すると難し

### 三、音響の原因

音響は彈性體の縦波に依りて傳播するものにして其中間物體に振動を與ふる振動源は彈性體分子の摩擦擊敲等の原因に依り其平均位置より變位せられ之れが爲に振動を生ずるにあり假令ば一の金屬若くは玻璃板を取り其一部分を固く支へ彈弓を以て之を摩擦する時は板は振蕩して音響を發し板上の砂は上下左右に振動して狼狽の狀を呈す即ち物體の振動により音響の生ずるを知るなり

### 四、音響傳播の媒介者

波動論に於て論せしが如く音響は中間のミヂアムなくんば以て傳達するとなし今空氣ポンプ内に鐘を入れ時計仕掛を以て之を槌撃する装置をなし鐘を撃つときは鏘然として聲を發すと雖ども空氣ポンプを作用して次第に空氣室内の空氣を排除するときは音響は次第に衰へ終に之を聴く能はざるに至る實に空氣は音響を傳達する一の中間物體にして吾人が遠寺の鐘を聞き樂音の剗曉たるを聞くも全く之が爲なり管に空氣のみな

媒體

らず總べての瓦斯體總べての液體及び固體等彈性を有する物體は皆音響の傳達者たり即ち水中にありて尙ほ岸上の人の聲を聞き耳を地上に附けて遠く軍隊の行進を知るを得るが如き皆之れが爲なり

### 五、音響の強弱に關する原因

音響の強弱に關する原因一にして足らず振幅の大小振動源よりの距離等之れなり今順次之を説かんとす

音の強さに關する法規

(I) 音の強さは受音器(耳)と發音物體との距離の平方に逆比例す

何となれば振動の波及するや球面をなして進むを以て之を數學上より考ふるときは明瞭なり又實驗を以て之を知らんには同様の鐘四箇を置き其距離二分の一の所に別に同様の鐘一箇を置き四箇の鐘を一時に撃つときは其音の強さは半距離に於ける一ヶの鐘の音に等しきを見るべし然れども若しゴム若くは金屬等の管を用ゆるときは此法則に従ふとなく其音の「エネルギー」は多くは管中に保持せらるゝを以て遠所に於ても明に之を聞くことを得べし談話管は此理に基づきて作りたるものなり

(II) 音響の強さは振動物體の振幅の自乗に正比例す

振動振幅の大小が音の強弱に關するとは琴若くは三味線の糸を張り之を弾するとき直に之を感知するを得べし

(III) 音の強弱は之を傳達する瓦斯體の密度に關係す  
濃厚なる空氣に於ては強音を發すと雖とも高山の頂に於ける稀薄なる處に至れば音響は次第に微弱となる又水素瓦斯の如き殆んど空氣の十四分の一の密度を有するものに於ては其音甚だ微弱にして一五三九の密度を有する炭酸瓦斯の如きものに於ては強き音を發するなり

(IV) 音の強さは空氣の運動及び風の方向に依て變ず  
靜穩なる天候の時に於ては風ある時よりも音は能く傳達す又風あるときは風上よりも風下に音は能く傳達するものなり

(V) 音響は發音物體其近傍にあるときは強大となるものなり  
是れ即ち共鳴の現象にして鼓弓三味線等に於て假令へ其線より發する音響は甚だ微弱なりと雖も發音箱の爲に助けられ以て吾人をして感知せしむる音を生ず音又の如き皆共鳴器を用ひざるとなし

ドツブレルの原理

六、「ドツブレル」の原理 以上は發音體及び受音體相互の位置一定せるものとして之を論せり若し兩者の中其位置を變ずるものありて互に相對運動をなすときは其狀は如何之れ本條に説かんとする所なり今發音體來て耳に近づくときは音の調子は實際の者よりも高く聞へ又去て耳に遠かるときは其調子は低く聞ゆ之れ即ち「ドツブレル」の原則なり

今發音體及び耳共に靜止するとき一秒間に $n$ 波來て耳に入る者とす而して耳若し發音體に近づく時は其一秒間に受くる波動の一層多かるべく又之を去て遠かるときは其受くる波動は一層少きと明なり故に彼にあつては發音體 $n$ 以上の振動を發するが如く此に在ては $n$ 以下の振動を發するが如し尙 $v$ を耳の發音體に對する速度とすれば一秒間に耳の發音體に近接する距離は $v$ にして其間に存在する波の數は $\frac{v}{\lambda}$ を波長とすれば $\frac{v}{\lambda}$ なり故に耳の一秒時間に受くる波の數は $\frac{v}{\lambda}$ なり然るに

$$\lambda = \frac{v}{n} \quad (v \text{ は音響の速度})$$

なるを以て耳の受くる波の數は

なり又耳の發音體より遠ざかるときに於ては其受くる波の數は

$$n + \frac{v}{\lambda} = n + \frac{nv}{\lambda v} = n(1 + \frac{v}{\lambda v})$$

$$n - \frac{v}{\lambda} = n(1 - \frac{v}{\lambda v})$$

なり吾人の停車場近傍に至るとき汽車の來往するに際し笛聲の差別あるを認むるは全く之れが爲なり

**七、反射反響屈折陰影及び「ヂフラクション」** 音響は波動に依て生ずるが故に縦波動に關する諸種の顯象の生ずべきは理の當に然るべき所に於て反射屈折の法則に従ふのみならず又波動の消殺及び助成をなして「ヂフラクション」の現象を生ずるなり吾人が大厦高樓の傍に在て大聲を發するとき大厦高樓の吾人の爲に做ふ如きは反響の然らしむる所なり若し又二物體の中間に在て聲を發するときは此二物體は幾度となく反響して吾人の聲を摸倣すべく之れを稱して複反響と云ふ彼の日常用ゆる喇叭は音の反射の理をも用ひたるものなり

## 第二章 諸物體の振動

**八、糸の振動** 糸は縦横二様の振動をなすと雖ども横振動は其主要なるものにして琴三味線等の糸の振動は全く之に屬するを以て單に横振動のみを論せんとす今糸の長さ $l$ 糸の切斷面積を $s$ 密度を $\rho$ 張力を $T$ とし其單位時に於ける振動數を $n$ とすれば

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho s}}$$

但し本式に含まれたる諸量は絶對單位を以て計られたるものにして糸は均一に且抵抗なく屈曲し得べき彈性體なりとす而して以上の法式によれば振動數は糸の長さに逆比例し其切斷面積及び密度の平方根に逆比例し其張力の平方根に正比例す

然るに宇宙に存在する糸は撓みの彈性完全なるにあらずして幾分か屈曲するに抵抗なす即ち多少の剛性を有す而して糸の剛性は二つの異りたる結果を有す一は即ち半流動的性にして振動をして速に消滅せしめ他は即ち位置のエネ

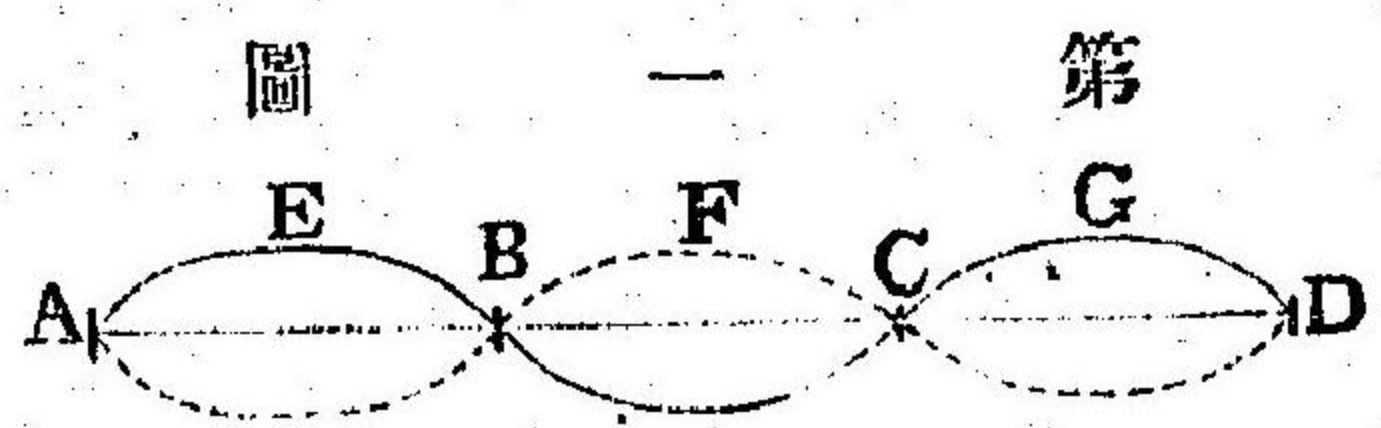
ルギ一に影響し其結果振動の時間を減す且つ剛性を有する糸の振動数は之を完全撓性の糸の振動数に比すれば大なりとす「シーベック」の研究の結果に依れば若し剛性にして小なるときは

$$n = n_0 \left( 1 + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{E\sigma}{T}} \right)$$

なりとす但し $n$ は振動数 $n_0$ は完全撓性の場合に於ける振動数 $r$ は糸の切断面の半徑 $r$ は糸の長さ $L$ は張力 $E$ は弾性係数にして皆悉く絶対單位を以て計られたるものとす是に由て之を見れば剛性の糸の場合に於ては恰も張力の増加したると一様なり

以上は糸の自由振動に付て之を云ふのみ其牽制的振動の場合例へば糸の一端を音叉の一端に緊結し糸の振動すると同時に音叉をも振動せしめ以て糸の張力に周期的變化を與ふるが如き或は又糸の一ヶ所若くは數ヶ所に重量を加ふるが如き場合に於ては其振動の形状は複雑にして振動同期は以上の如き簡單なる能はず

節腹



九 節及び腹

ADなる糸を緊張し其間Dより長の三分の一の他の一點Bに於て支へABをBDの二分の一とし之をして振動せしむれば糸は交互に實線及び點線を以て示せる形状をなして振動すべし而してABDの三點及びC(=CD) BC(=AB) 點は動くことなくABCにCDの部分は常に振動す管に糸の場合に於て然るにあらず棒膜板等の如き諸物體の振動の場合に於ても常に振動する所と之に反して全く動くことなき所あり

前者を腹(F E G)と云ひ後者を節(A B C)と云ふ

一〇、棒の振動

棒の振動に三種あり縦振動振れ振動横振動之れなり茲に棒と稱するものは一樣なる物質より成れる圓柱狀の物體にして其兩端は軸に垂直なる平面を以て切斷せられたるものとす故に各切斷面の質心は悉く軸なる一線上にあり

縦振動の場合に於ては棒は軸の方向に振動するを以て之を動かすべき力は棒の伸縮によりて表はされたる抵抗力なり故に此場合に於ては某量の伸長を生すべき力は其切斷面に比例し且動かさるべき質量

亦其切斷面に比例するを以て一定の長さを有し同一の物質によりて形成せられたる棒の縦振動周期及其形狀は其切斷面の大きさ及形狀に關係することなし又同一の論法に依り振振動の場合に於ても亦然ることを知り得べし然れども横振動の場合は前二者と異にして其振動周期は撓みの面に直角なる棒の厚さに無關係なれども其振動の原力即ち曲りに對する抵抗は其面に於ける厚さの増す割合に比して多く増すを以て其面に於ける厚さの増加は振動周期を短くし音調をして高からしむ

縦振動及び横振動に於て物質に關するものは其密度及び「ヤング」の彈性率にして振りの振動に於ては「振りの剛性」なり此等三種の振動は棒の伸長撓み及び振りに別々に關係し従ふて各々全く其間毫も關係を有せずと雖ども實際吾人が棒の振動を研究するに方りては此等三種箇々別々に生ずること殆んど無く互に相伴ふて生ずるものなり

(I) 縦振動 縦振動の場合に於ては振動傳播の速度( $a$ )は

$$a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

にして $E$ は「ヤング」の彈性率 $\rho$ は密度なり故に棒の縦振動に於ける音の調子は同一の長さを有せる糸の振動より生ずる音の調子より高し例へば鋼鐵に在て

$$E = 22 \times 10^8, \rho = 7.8 \text{ として } a = \sqrt{\frac{980 \times 22 \times 10^8}{7.8}} = 530,000 \text{ 厘米即ち}$$

空氣中に於ける音の速度より大なること殆ど十六倍なり

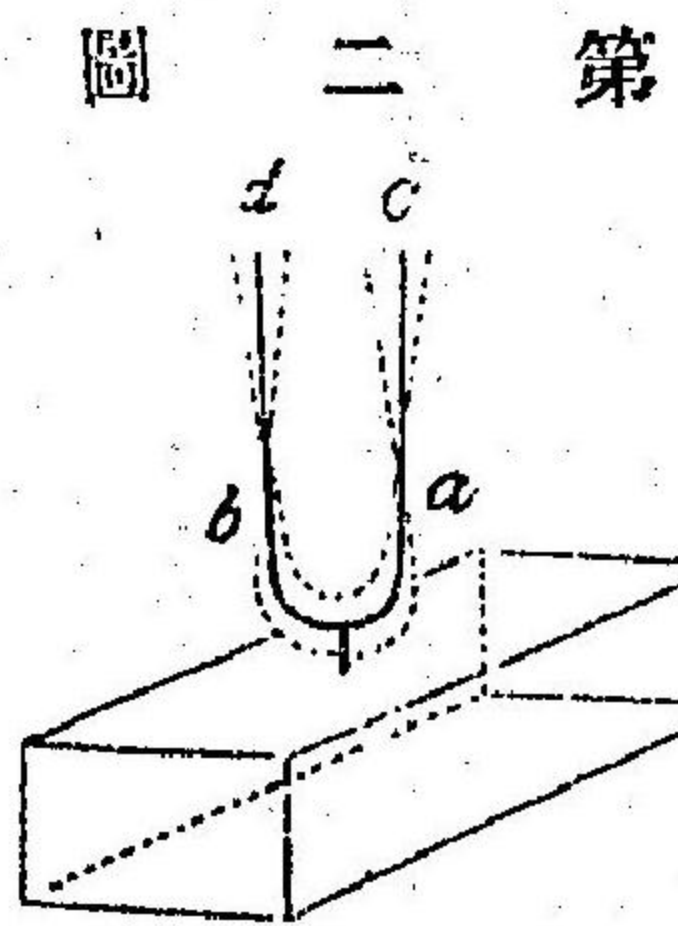
棒を緊結したる所は一の節なり故に若し棒の中央を緊結し之に縦振動をなさしむるときは振動は原音を與へ波の長さは棒の長さの二倍となり恰も空氣の振動に於ける開道管の場合と相類似す又棒の一端を緊結するときはその波の長さは棒の長さの四倍となり恰も密閉管に於ける空氣の振動と同一の狀を呈す

(II) 振りの振動 振りの振動に於ける波動傳播の速度と縦振動の場合に於ける速度とは其間互に關係ありて其他振動の狀況は前者と大差あることなし即ち速度の關係は

$$\text{縦振動に於ける速度} + \text{振りの振動に於ける速度} :: \sqrt{E} : \sqrt{\rho} :: \sqrt{2 + 2\rho} : 1$$

$E$ は「ヤング」の彈性率にして $\rho$ は振りに對する係數なり

(II) 横振動 棒の横振動の振動数は其棒を装置する状況に依りて異なるものなり棒の装置に種々あり單に一端のみを固定する場合兩端を固定する場合兩端共に自由の場合或は單に之を支へたる場合等にして其一端のみを固定したる場合に於ては振動数は次の式に由て表はすを得  $n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  但し  $L$  は波動の速度  $E$  は「チャイレーション」の半径  $r$  は棒の長さ  $m$  は不定數なり即ち單位の時間に於ける振動数は同一の物質に在ては棒の長さの平方に逆比例し其撓の面に於ける厚さに正比例す若し棒にして圓柱なるときは何れの方向に於ても棒の厚さ相等しく従ふて振動數相等しと雖ども扁平なる棒に於ては其振動數は厚さに依りて異なるを以て振動の方向に依りて同じからず



第一、音叉 音叉は即ち棒の横振動の一例にして單純なる音を發する器なり其形は圖に示せる如くU字形をなし下部に支柱ありて悉く鋼鐵より成り木箱の上に立つ其振動の状況は圖に示すが如く交互に實線と點線とを以て示せる位置を取る即ち  $a$  及び  $b$  は節にして恰

も  $a$  及び  $b$  に於て固定したる棒の振動に於けるが如し故に音叉の振動の周期は撓曲面に直角なる厚さには全く關係することなく其面に於ける厚さに逆比例し其長さ  $L$  若くは  $L^2$  の平方に正比例す音叉の場合に於て  $L$  若くは  $L^2$  なる棒の切斷面は正方形なるを以て  $T$  を撓面に於ける厚さとし  $l$  を長さとするれば  $n = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  なるを以て鋼鐵を以て作りたる音叉の振動數は

$$n = 84590/L^2$$

故に豫め音叉の形狀に依り其調子を略ぼ知ることを得而して音叉の下部に於ける木箱は共鳴により音を増大するの用に過ぎず

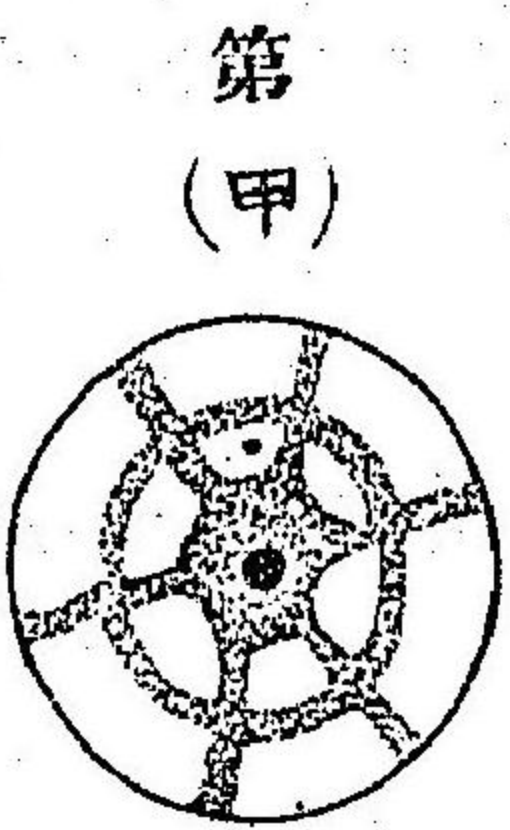
一、膜の振動 完全なる撓性の膜は之を緊張することなくんば決して振動すること能はずと雖ども之を一の木匡に緊張して繋つときは上下に振動し節線と振動部とを生ず而して各振動部は節線を以て縦横に區劃せられ其相隣接する部分の振動は互に全く反對にして一方の上昇するとき他方は下降するものなり而して節線の形狀は全く膜を緊張せる木匡の形狀に依りて異なる微細なる砂を膜面に散布して膜を振動せしむれば其節線の形狀瞭然たるべし太

三味線の胴

鼓は即ち其一例にして圓柱狀管の兩端に緊張せられたる皮の振動に依て音を發するものなり膜に振動を與ふるには直接に之を撃つも可なり又他物を振動せしめ其振動によりて之を振動せしむるも亦可なり三味線の所謂胴と稱するものは後者に屬す

### 一三、板の振動

方形若くは圓形の金屬板を取り一ヶ所若くは數ヶ所を固く支へて之を彈弓若くは他の方法により振動せしむれば板は上下に振動す細砂を板上に散布し之に振動を與ふれば振動部にある細砂はために上下に振蕩せられ振動なき場所に向て集合す細砂の集合したる處は即ち節にして此振動の場合に於ても亦數多の節線を生ず實に節線の形狀は其板の形と其固定する點の存在に依りて變異するものなり圓板の中央を緊定するときは其節線は甲圖の如く數多の直線と同心圓にして正方形の板に於ては乙圖の如く數多の直線と及び雜複なる曲線より成る而して其相隣



第 (甲)

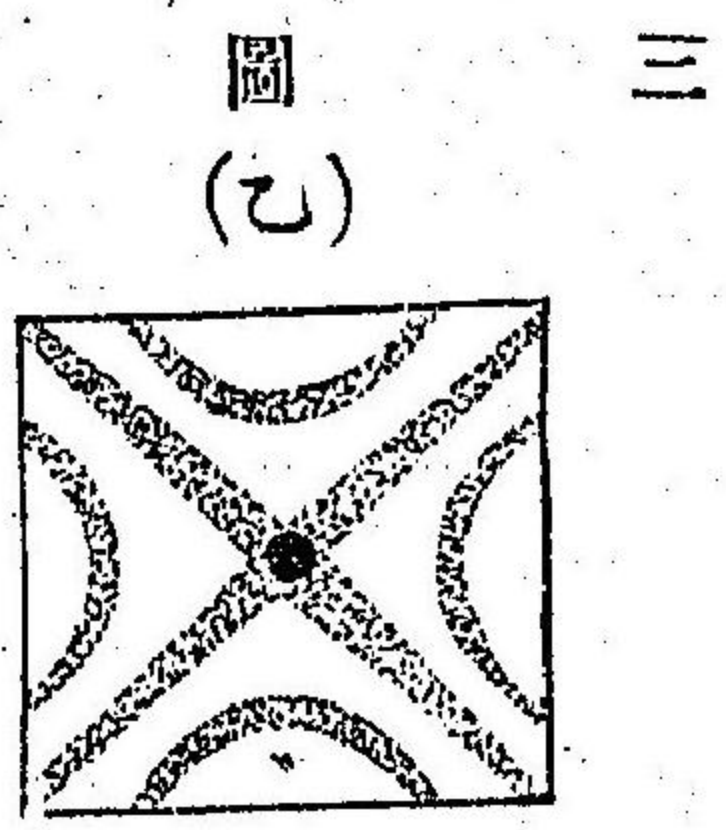
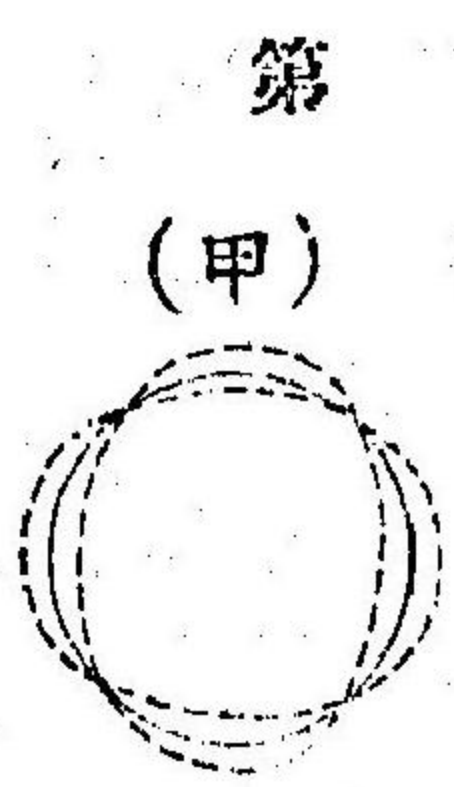


圖 (乙)

三

れる部分の振動は互に反對にして一方の上昇するときは他方は下降するものなり此の如く板上に細砂を散布して板の振動を研究せるは「クラドニー」を以て嚆矢となす故に此圖を稱して「クラドニー」の圖と呼ぶ  
鐘の振動は特殊の板の振動の場合にして其振動は圖に示すが如く縦に四ヶの節線と及び横に數多の節線より成る甲は鐘の横断面にし



第 (甲)

四

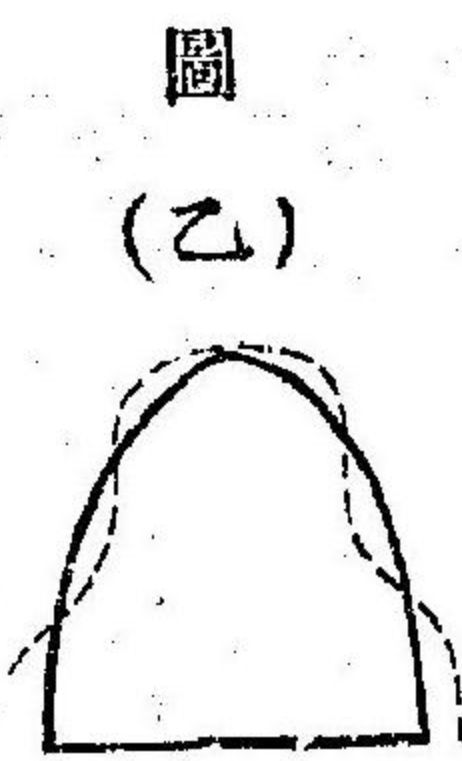


圖 (乙)

て乙は其縦断面なり故に横断面にある節線は必ずしも其振動皆無なるにあらず而して其各部の振動は膜及び板の場合と同じく反對の振動をなす其各部の振動同一なるときは能く互に調和すと雖ども然らざるときは相干渉して唸りを生ず遠寺の鐘聲の殷々たる之が爲なり

### 第三章 空氣の振動

一四、發音體としての空氣 前章に於て論述せる場合に於ては空氣は一の媒介者として音響を吾人に傳達せり然れども空氣は單に音響媒介者た



のみならず又自からも振動して發音す彼の「オルガン管及び笛は實に空氣の振動を利用したるものなり」

**一五、空氣及び他の瓦斯體に於ける音響の速度** 音波の空氣中に於て四方に傳播するや瞬時に一方より他方に移るものにあらず一定の時間を要す彼の電光と雷鳴は同時に發生すと雖ども電光を見て忽ち雷鳴を聞くことなきは蓋し此理に他ならず「ニュートン」は之を研究し空氣の振動するや其振動前に於ても其振動の時に於ても溫度は常に同一なりとし以て傳播の速度を算出し  $v = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$  ( $v$  は速度  $p$  は壓力  $\rho$  は密度)

空中ノ速度

となせり然るに此結果は實驗によりて測定したるものと相一致することなく却て齟齬すること甚し之れ必竟全然實驗上の誤差にあらずして必ず理論上未だ思想の達せざる所ありしに依る其後「ラブラース」は「ニュートン」の誤を正し空氣の振動するときは終始同一の溫度に存在するにあらずして其振動急劇なるが爲に其振動によりて生じたる熱量を傳播するの暇なきものなれば空氣振動のときは全く「アダバチック」の状態にありとし波動傳播の速度を算出して

$$v = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$$

となせり但し「定壓比熱と定積比熱の比なり此方法に依りて得たる結果は實に能く實驗によりて得たるものと符合す即ち攝氏 $0^{\circ}$ 及び通常の壓力のときに於ては音響傳播の速度は毎一秒時間に殆ど三百三十三メートルなりとす音響の速度は溫度に依りて變ずるものにして攝氏 $0^{\circ}$ に於ては

$$v = v_0 \sqrt{1 + \frac{t}{273}} = 333 \sqrt{1 + 0,00366t}$$

但し $v_0$ は攝氏 $0^{\circ}$ に於ける速度なり尙同一溫度に於ては其速度は其密度に關係することなし何となれば密度の變ずると同じ割合に依りて壓力は變化するを以てなり且つ音響の速度は其鋭鈍にも關することなきものなり

**一六、瓦斯體に於ける音響の速度** 瓦斯體に於ても空氣に於けると同じく一定の溫度に於ては音響の速度の平方は壓力と密度との比に $\gamma$ を乗じたるものなり又 $v$ を $\rho$ に於ける速度とし $v_0$ を攝氏零度に於ける速度とすれば速度と溫度との關係は

$$v = v_0 \sqrt{1 + \alpha t} \quad \frac{1}{273} = 0.003665$$

なり同一壓力の下にて於て瓦斯體の異なるに依りて其密度の變ずるものなれば  
 従ふて速度の變ずるを知り得べし左に二三の瓦斯體につき音響の速度(一秒間)

鹽素	206.3 米	を擧ぐ
炭酸瓦斯	261	ク
酸素	317	ク
空氣	333	ク
水素	1269	ク

**一七、管内に於ける空氣柱の振動** 之を論ずるに當り先づ管の端の  
 開通せるものと密閉せるものととの差異を述べんとす若し管の一端密閉し管中  
 の密波閉鎖せる端に向て進來するときは其波は密閉せる端に於て反射せられ  
 其「エチルギー」は外部に去るとなく常に管内に保持せらるゝを以て同一の密波  
 反對の方向に進入するものと同じ故に管の閉鎖端の影響は同一の波を反對の  
 方向に送るに異ならず開通せる端に於ては此の如く簡單なるにあらず今管中

に一の密波ありて開通したる端に向て進行し來り開通端に達するとせよ然る  
 ときは開通口の所に於て其形狀は直に外の空氣の状態とならざるべからず然  
 るに此の如き現象を生ずるが爲めには密波と同一度なる疎波反對の方向に來  
 て此密波と遭遇して始めて生ずるものなり故に開通したる口の影響は密波を  
 反射して同一度の疎波となすに異ならず此理によりて管内の空氣柱の振動の  
 狀況如何は直に之を知るとを得べし

(I) 兩端密閉せる管内に於ける空氣柱の振動 此場合に於ては兩端密閉せ  
 るを以て一の密波は常に密波として反射せらる故に兩端は常に節となる然る  
 に波の長さは節より節に至るもの若くは密所より密所に至る長さなるを以て  
 波の長さは管の長さに同じ

(II) 兩端開通せる管内に於ける空氣柱の振動 此の場合に於ては一の密波  
 は一方の開通せる端に於て反射せられ疎波トナリ管内ヲ通行シ來テ他端ノ開  
 通口ニ至リ復ヒ反射セラレ疎波は再び密波となり以て始の狀態に復す故に管  
 の長さの二倍を経て始めて同一の狀態に來るを以て波の長さは管の長さの二

倍なり

(III) 一端開通し一端密閉せる管内に於ける空氣柱の振動 今一の密波密閉せる端に向て進行するものとす然るときは此密波は反射せられて密波として開通口に來り然る後反射せられ疎波となりて密閉口に向ひ再び密閉口に於て反射せられ其方向を變ずるも猶依然たる疎波として繼續し再び開通口に來りて反射し疎波漸く密波となり以て始の状態に復す之に依て之を觀れば此場合に於ては空氣の振動は管の長さの四倍の行路を経て始めて同一の形狀に復するを以て波の長さは管の長さの四倍に同じ

### 一八、空氣柱の倍振動

空氣柱亦他の振動體の如く倍振動をなす即ち



第一腹節 一端開通せる管内に於ては密閉端は常に節にして開通口は常に腹なり今此管を三等分して  $\frac{1}{3}l$  の空氣柱の

和と見做し  $a$  及び  $b$  は腹にして  $c$  及び  $d$  は節とすれば管内の空氣は依然として故障なく振動するを得べし即ち  $\frac{1}{3}l$  なる空氣柱は原空氣柱と同じ状態に振動するを以て恰も原空氣柱の振動の時に於て其長さを三倍にしたるものと同

じ又同じく空氣柱を五等分して二つの節と二つの腹との存在すると假定するも空氣柱は故障なく振動し得べし此の如く空氣柱は一齊に振動して管の四倍



の長さに等しき波長を有し得るのみならず又其三倍五倍七倍等の振動數を有する音響を發するを得べ

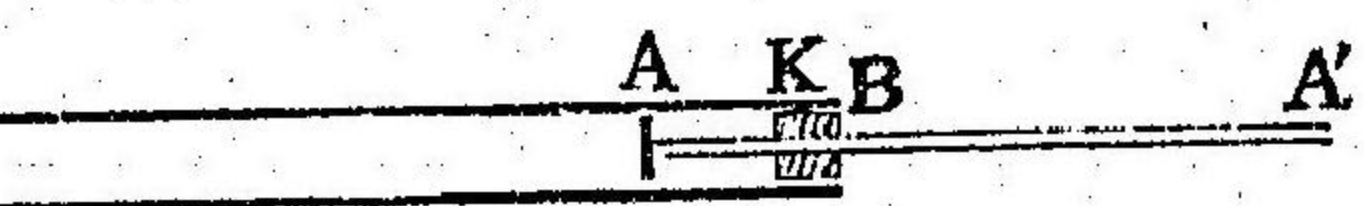
く同理に依りて兩端開通せる空氣柱に於ては原音の外其二倍三倍四倍等の振動數を有する音響を發することを得べし

### 一九、「クント」の實驗

管内に於ける空氣の振動の状態を實驗を以て知るに至れるは之を「クント」の功に歸せざるを得ず今其實験を記せんに BB なる玻

璃管の長さ一米許内徑七厘許りなるものを取り其の一方は可動栓 C を以て之を閉ぢ他端は「コルク」栓 K を以て塞ぐ而して別に同じ長さにして小なる玻璃管 AA' をして K なる栓によりて固く外管と連結せしめ其一端には A なる活塞を附して軽く外管に觸接せしむ今外部にある内管の一端を濕潤せる毛布を以て管に沿ふて摩擦するときは玻璃管の縦振動は空氣に傳はりて管内の空氣柱をして振動せしむるに至る若し管内に「リコポチウム」若しくは「コルク」の粉末を散布

し可動的栓を動かしてACなる空氣柱をして其(λ)は波長の倍數ならしむれば管



第七圖

内の空氣は強音を發し散布したる粉末は振蕩して其節の處に集合すると猶ほ板若くは膜の擬動のときに於けるが如し之れ即ち「クント」の實驗にして依て生じたる粉末の狀を「クント」の圖といふ此方法によりて種々の瓦斯體に於ける同一の音響の速度を知るとを得べし何となれば其管内に種々の瓦斯を入れ此法によりて管内に於ける波の長さを知るとを得るを以てなり「クント」は此法によりて音響の速度は管小なるときは其直徑と共に減じ速度の減少は用ゐたる音調の波長と共に増し或は音の強弱は其速度に關係せざる等其他數多の事實を發見せり

今AC長さをdとし其間にn節ありとすれば節より節に至る平均の長さは $\frac{d}{n}$ なり然るに此 $\frac{d}{n}$ なる長さは波長の二分の一なるを以て波の長さは $2\frac{d}{n}$ なり今振動管を見るに其長さは $l$ にして一端に於てKを以て固定せられ振動を受けたるを以て波の長さは $2l$ なり而して音

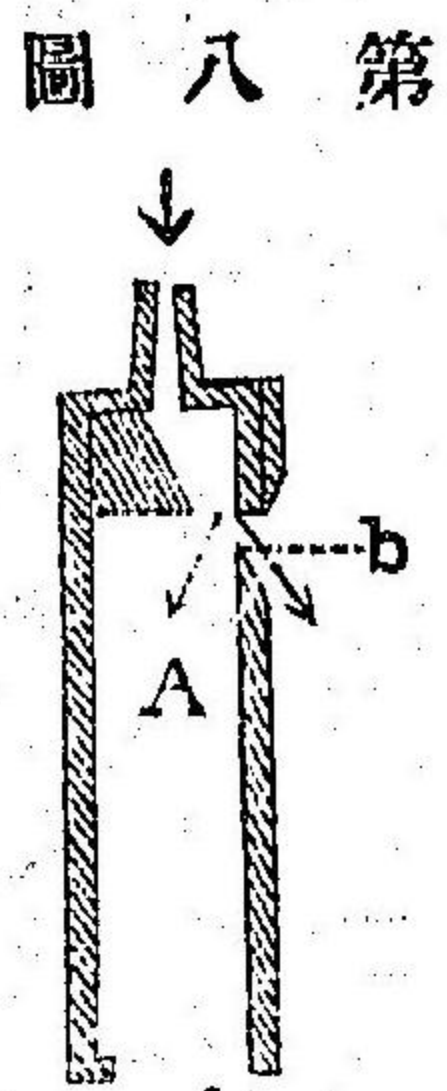
唇管ト舌管

響の速度は波長に單位時間に於ける振動數を乘したるものなるを以て振動管に於ける振動數を $p$ とし空氣に於ける振動數を $p'$ とすれば音響の速度の比は $p:2p':2s$ なり然るに此場合に於ては音調全く相等しきを以て $p' = p$ と等し故に速度の比は $s$ 即ち $l:2l$ なり此法に依りて固體に於ける速度と空氣に於ける速度の比較をなすとを得べし

二〇、樂器

糸の振動膜の振動は琴、三味線、ピアノ及び太鼓等に於て樂器として用ひられ空氣柱の振動も亦樂器として「オルガン」管、笛及び尺八に應用せらる空氣器に二種あり一は唇管にして一は舌管是なり

唇管の構造は通常尺八及び「オルガン」管に於て見る如く空氣の奔流小管の通路

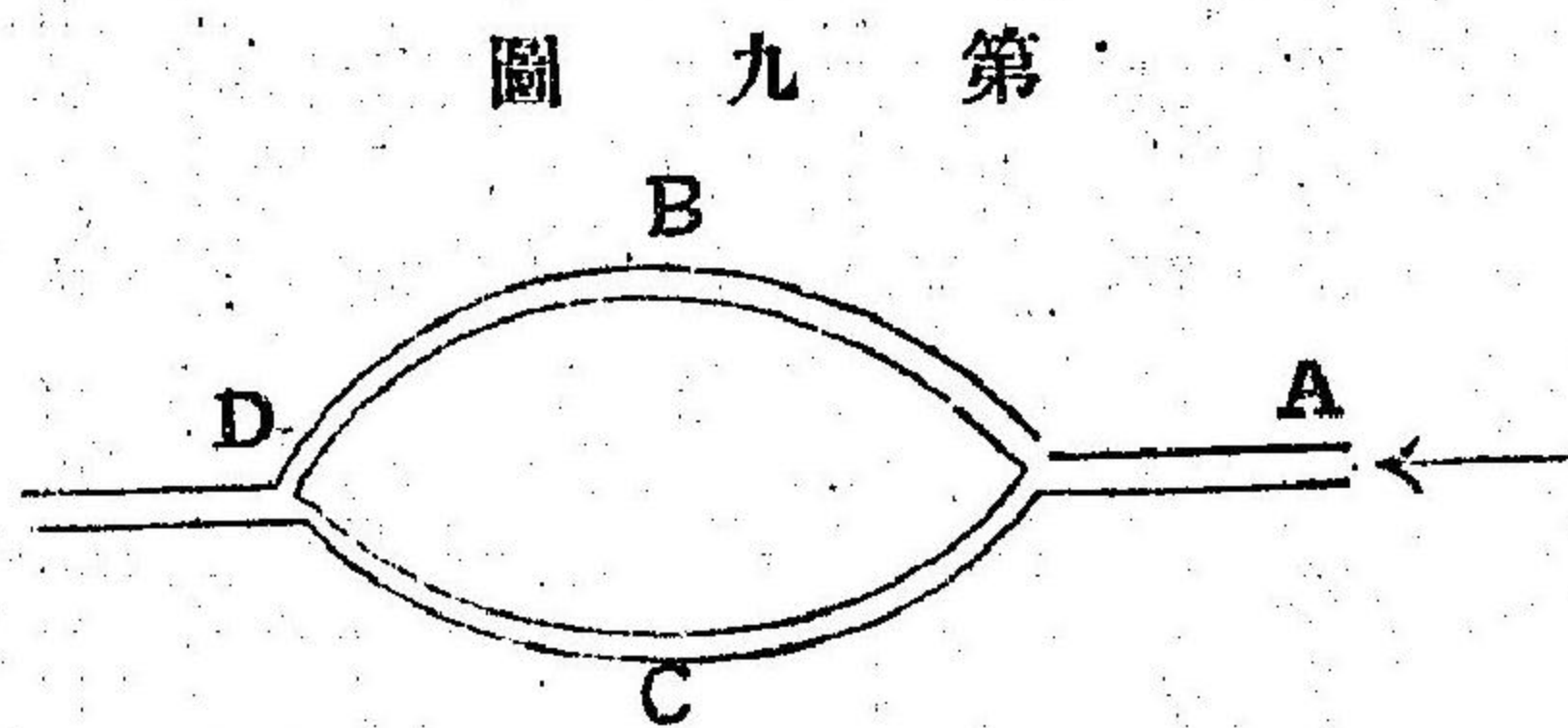


第八圖

を過ぎて或は斜に或は直角に唇りに衝突しりをし  
て振動せしめ以て管内Aにある空氣を振動せしむ  
而して其振動の狀況は密閉管と開通管とに依りて  
異なるト上文に述べたる處の如し

舌管に於ては振動源は金屬若くは他物を以て製作したる舌にして管内より來

れる空氣の奔流は此舌を壓して通過し以て舌に振動を與へ従ふて管内の空氣をして振動せしむ其振動の狀況は亦茲に之を論ずるの要なし本邦に於ける笛若くは尺八の類は數多の細孔其横側にありて此孔の開閉に依りて管の長さを變化し以て波長を變じ従ふて音調の高低を生ずるなり



二、分岐したる管内の空氣の振動 圖の如き形狀の管ありて空氣の振動Aより矢の方向に來るものとす若しB及びC管任意に無關係に配置せらるゝ時はAより來れる振動はB及びCに進入するに際し一部反射せられ逆波を起し一部分はB及びCを通過してDに至る若し又Dに對してBC任意に配置せらるゝときは再びDに於て反射波を生ず然るに若しB及びCは各々一様の管にしてB及びCの切斷面互に相等しく且其和A管の面積と等しきときはAより來れる波は入口に於て決して反射逆行することなく各々等しくBCに分岐して進入す若し又

第九圖

BC管の長さ互に相等しきか若くは其差の偶倍數なるときはDに於て反射することなく互に相増加して進行す故にDに於ける波の形狀はAに於けるものと敢て異なることなく中間に分岐管は何等の影響を與ふることなし然るに若しBC管の長さの差の奇數倍なるときは出口にD於て互に相干渉して消滅し波動を生ずるとなし

管の分岐は以上の如く二個に止まらず二個以上に分岐する場合に於ても同一の論法に依り之を研究するとを得べし唯複雑となるのみなり

二、共鳴 音響に於ては又共鳴をなす假令へば相等しき振動の周期を有する二個の音叉を取り胡弓の弦を以て其一を摩擦し之を振動せしむると瞬時の後手を以て之を抑へ其發音を止むるときは他の之に隣れる音叉の微音を發し居るを見るべし之れ一の音叉の振動が空氣を傳はりて他の音叉をして振動せしめ而して其振動周期互に相等しきを以て共鳴して發音するに至るを以てなり太鼓及び三味線の胴等は此理に依りて作れるものにして糸若くは膜の振動中其胴に包含せられたる空氣柱の振動周期と同一なるものあるときは其振

聲帯

動に應じて共鳴をなし以て音を強大ならしむ彼の「オルガン管、笛、尺八等」に於ける空氣の振動も亦此理に他ならずして其舌及び其唇の發する數多の振動中其管内に於ける空氣の振動と同一なるものゝみに共鳴して管内の空氣柱は其音を強大となし以て一定の音調を與ふるなり音又の下部にある本箱も亦此理に依りて作りたるものにして音又の音を強大にするの作用をなす

此の如く音響は共鳴に依りて強大となると雖ども敢て「エテルギー」不滅の法則に反する者にあらず何となれば若し共鳴するとなくして微弱の音を發せしむるときは其振動は久しきに耐ゆべしと雖ども否らずして共鳴に依りて音を發するときは其振動の長きに亘るとなし是れ蓋し振動を與へたる「エテルギー」は兩者に於て相同じきを以てなり

二三、人の音聲　人の音聲は咽喉に於ける膜の振動によりて生ずるものにして其振動を口腔に於て共鳴して種々の音を發するなり而して膜の振動は筋肉の作用によりて種々なるのみならず口腔の形狀によりて共鳴する振動一定するを以て吾人は口腔の形狀を變じて種々の音聲を發するなり

### 第三章 液體及び固體の振動

二四、液體及固體の振動　液體も亦振動して音響を生ずるものにして彼の奔注する水滴の液體に衝突する時の如き是なり而して液體に於ては其半流動性の爲めに其振動甚だ複雑にして之れを研究するに到底吾人の力の及ぶ能はざるもの多し固體に於ても亦單に等組織にして等方性なるものゝみに於て音響の狀況を考察するを得るのみ液體に於ける音響の速度は  $v = \sqrt{\frac{P}{\rho}}$  にして  $\rho$  は密度、 $P$  は壓縮係數、 $P$  は壓力なり今二三の液體及び固體に於ける音響の毎秒速度を示せば

	溫度	
河水(セー)	一五〇	一四三七 <sup>*</sup>
同	三〇	一五二八
人工海水	二〇	一四五一
水	一〇	一四八三
銀		一一七五
無水酒精	二三	

ターヘンチン	二四	一一二二
エーテル	一八	一一六一
鹽 水		一五六四
「グーチョーク」		三〇、五乃至六一〇
「ワツクス」		七三〇
金		二一四〇
銀		二六八五
銅		三七一七
「パラフィン」		一二九五
鉛		一四一八
松		三三二二

### 第四章 音樂に關する定理

二五、單純ナル樂音 單純の樂音は其の振動數が某界限内に存在し且

其振動たる間斷なく又急劇に同一の振動をなすときは單純の樂音を生ず然れども樂音は大概單純なるにあらずして複雑なるものなり音又唇管舌管は殆んど單純なるものにして琴ピアノに於ける糸の音は複雑なるものなり

二六、樂音の要素 樂音は三個の主要なる性質を有す音の高低音の強弱及び音色之れなり

音ノ高低  
一 音の高低は發音體の振動數の多少によるものにして振動數大なるときは音は高くして振動數少きときは音に従ふて低し

音ノ強弱  
二 音の強弱は發音體の振動の大小に關係す振幅大なるときは音は強く振幅小なるときは弱し何となれば音の強弱は其振幅の平方に正比例するを以てなり

音色  
三 音色は其發音體に特殊のものにして同一の音と雖ども一の發音體より發するものと他の發音體より發するものは自から差異あり之れ實に吾人の音を聞きて其樂器の何たるを知る所以なり

二七、音程 音程とは一の音と他の音との比較によりて定められたる距離

を云ふ例令へばXなる音は一秒時の振動数 $n$ にしてYなる音は振動数 $m$ なるときYX二音の音程は $\frac{m}{n}$ なりと云ふ今二個以上の音ありて各皆樂音なるも之を同時に發せしむるときは或は能く調和するものあり或は不調和なるものありて必ずしも樂音を作らざるは必竟音程の如何によるものなり樂音を取りて之れを比較審査するに或は「 $4:3$ 」等の音程を有するを見るに「 $3:1$ 」の音程を有するもの之れを「 $ラクターブ$ 」と云ふ又た音程「 $ラクターブ$ 」を距らざる三音XYZの振動数の比「 $4:5:6$ 」をなすものあり此三音若し第四音即ちXの「 $ラクターブ$ 」と共に發するときは之を長音「 $コード$ 」と云ふ又XYZの三音の振動の比「 $8:12:15$ 」なるときは假令少しく不調和に聞ゆるも尙ほ愉快の感と與ふるものなり而して此三音にして第四音即ちXの「 $ラクターブ$ 」と共に發音するときは之を短音「 $コード$ 」と云ふ

**二八、音階** 某音Cと其「 $ラクターブ$ 」とを連結する音の排列を稱して音階と稱す此等の音の倍音によりて作られたる音の列も亦此音階に屬す音階に二種あり長音階及び短音階是なり今長音階を見るに

オクターブ

長音短音

音階

C D E F G A B c  
 1 2 3 4 5 6 7 8

C:D  $\frac{2}{1}$  D:E  $\frac{9}{8}$  E:F  $\frac{8}{9}$  F:G  $\frac{4}{3}$  G:A  $\frac{3}{2}$  A:B  $\frac{6}{5}$  B:c  $\frac{16}{15}$

而して相隣接せる音律の音程は

即ち各律間の音程に $\frac{9}{8}$   $\frac{10}{9}$  及び $\frac{16}{15}$ の三種あるを知る而して前二者を一音程と云ひ後者を半音程と云ふ同じく一音程と稱するもの互に相同じきにあらず其音程 $\frac{16}{15}$ なり之を「 $コンマ$ 」と云ふ短音「 $コード$ 」に依りて形成せらるゝときは短音階を作るべし

**二九、加減** 同音階中第一音即ち低音を其音階の「 $キーノート$ 」と稱す而して

種々の樂曲は皆同一の「 $キーノート$ 」を有せざるを以て固定の音律を有せざる「 $オルガン$ 」及び「 $ピアノ$ 」に於ては曲に従ひ之を變ずる方法を設けざるべからず之れ即ち加減の必要ある所以なり現今普通に用うる加減の方法は平均加減にして何れの律にも加減の量を同一にせるものなり即ち「 $オクターブ$ 」を純粹に保ち其

キーノート

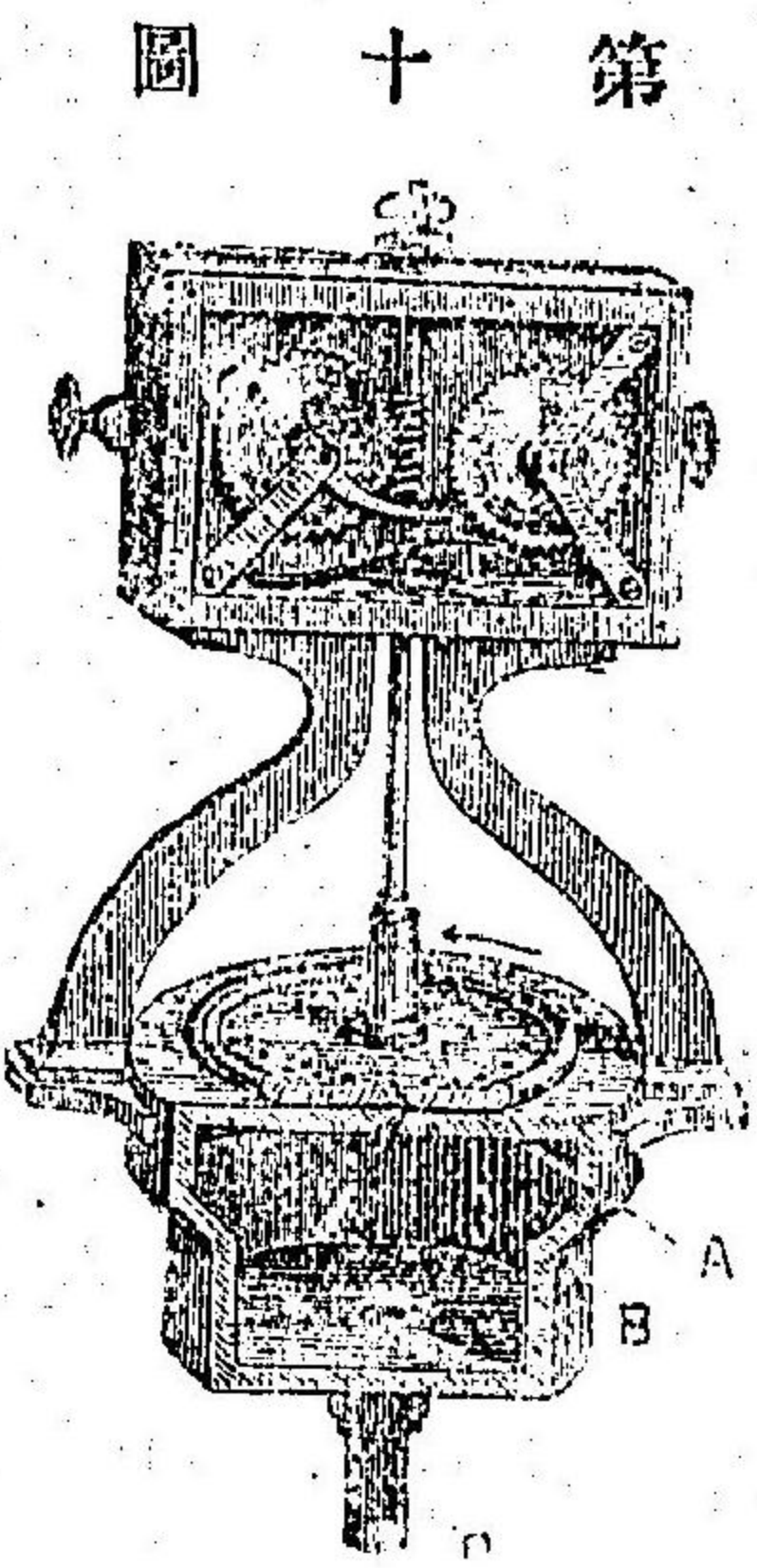


間に十一の同一音程の音を挿入するの法なり故に其音程は $\sqrt[10]{2}$ 即ち10thのなり  
 とす此の如くにして得たるものは前條説く所と同じからずと雖ども其差僅少  
 にして殆んど同一の感を生ず  
 以上論ずる所に依れば「キーノート」の振動数を定むるときは他の各律の振動数  
 は直ちに之を知るとを得べし然れども各人の嗜好に依りて原律の振動数一定  
 するをなしと雖ども概ね一秒時に付き「beat」とす之れ實に「グイナ」會議の時定め  
 たるものなり

### 第五章 音響に關するの機械

三〇、「サイレン」 「サイレン」は一定時に於ける振動體の振動数を測定する  
 器にして其構造は圖の如く下部はOなる管に依りて吸管に連り之れより來る  
 の空氣はA B孔を通過する装置をなすBは固定の圓板Aは可動の圓板にして  
 其上に重さなり軸Tと共に回轉す而してA Bは各々同數の孔を有す此孔は其  
 大小同じく且等距離に配列し其形狀圖に示すが如く一様に一は一方に一は他

方に傾く故に空氣の此孔を通過するや其力によりてA板をして回轉せしむ又  
 中央の軸は齒車の裝置に依て指針と相聯結し以て其回轉數を指示す  
 Aの有する孔數nにしてBは唯一の孔を有するときはB板の孔はA板一回轉  
 毎にn度開閉せらるべし若し其の時間に於ける回轉數をmとすればBに於け



る孔は其時間にmm度開閉せらるべく即  
 ち空氣はmmの振動をなす今又B板にP  
 個の孔ありとすれば此P個の孔の各々  
 は皆mm度開閉せらるゝを以て從ふて音  
 響の強さを増す故にBに於ける孔の數  
 は振動の數に關係するにあらず音を強

からしむるの作用をなすものなり

空氣の通過の多少は回轉の遲速に關係し從ふて音の高低に關係するを以て某  
 音の振動数を定めんと欲せば吸管より劇しく空氣を送り「サイレン」をして振動  
 數を測らんとするの音と一致するに至らしめ而して其間空氣の流通を一定し

従ふて回轉を一定し以て「サイレン」に於ける空氣の振動數を測るときは所要の振動數を得べし

三二、「ヂニハーメル」の方法 木若くは金屬の圓柱を作り之をして其軸に沿ふて回轉せしむるの装置とし紙を圓柱に貼附し煤煙を以て之に塗り振動數の未知なる振動體と己知の振動體とをして同時に振動せしめ其一端を煤煙に

觸接し圓柱を回轉せば振動體の末端は自ら其振動を

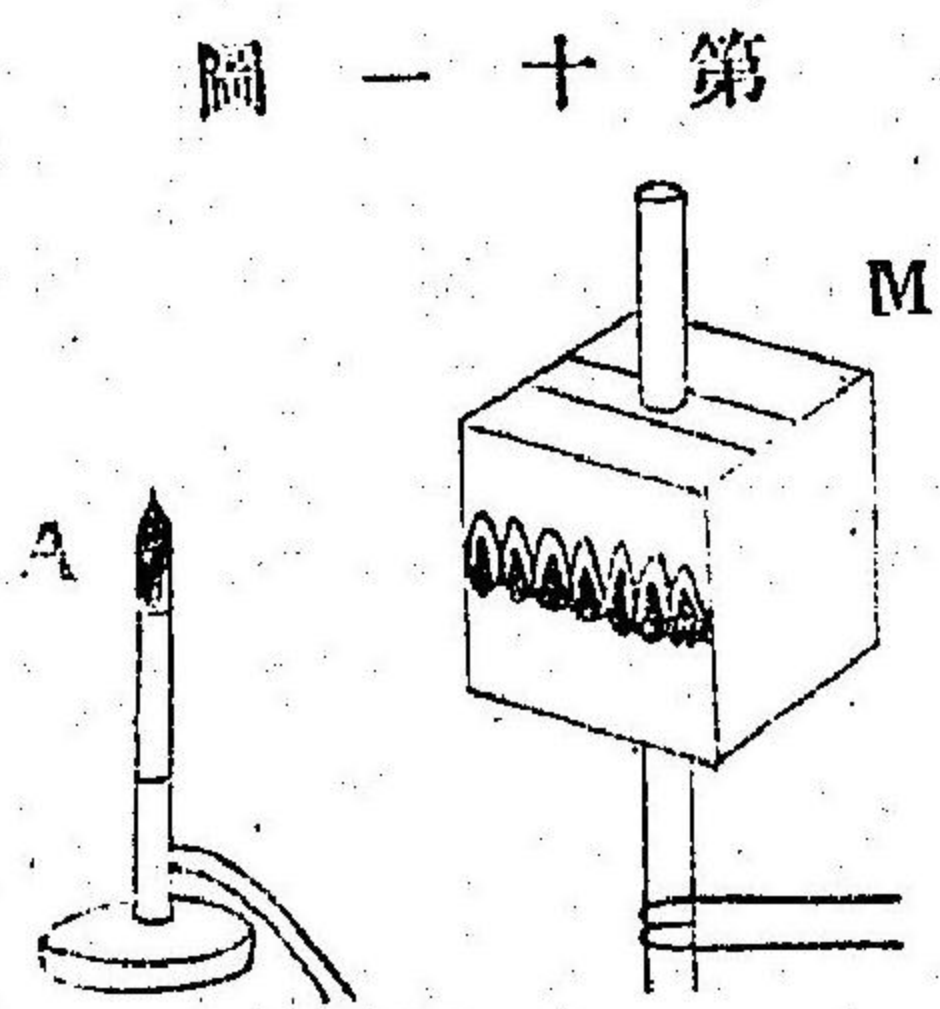
紙上に記載すべし此畫せる兩者の振動數を比較する

ときは直に所要の振動數を得べし

「ケーニヒ」の「マノメトリック・フレイム」ケーニヒの方法

は音響の波動を瓦斯の燐に與へ火焰運動によりて音響の性狀を知るの器なり其装置を略述すれば中間膜を以て隔てられたる箱の一室にAの如きブンペン燈

様のものを置き其右方に於ける下部の管は瓦斯溜に連りて瓦斯を上部の口に送りて燃燒せしむ又左方の室は「ゴム管」によりて振動體に接近し其發する振動



第十圖

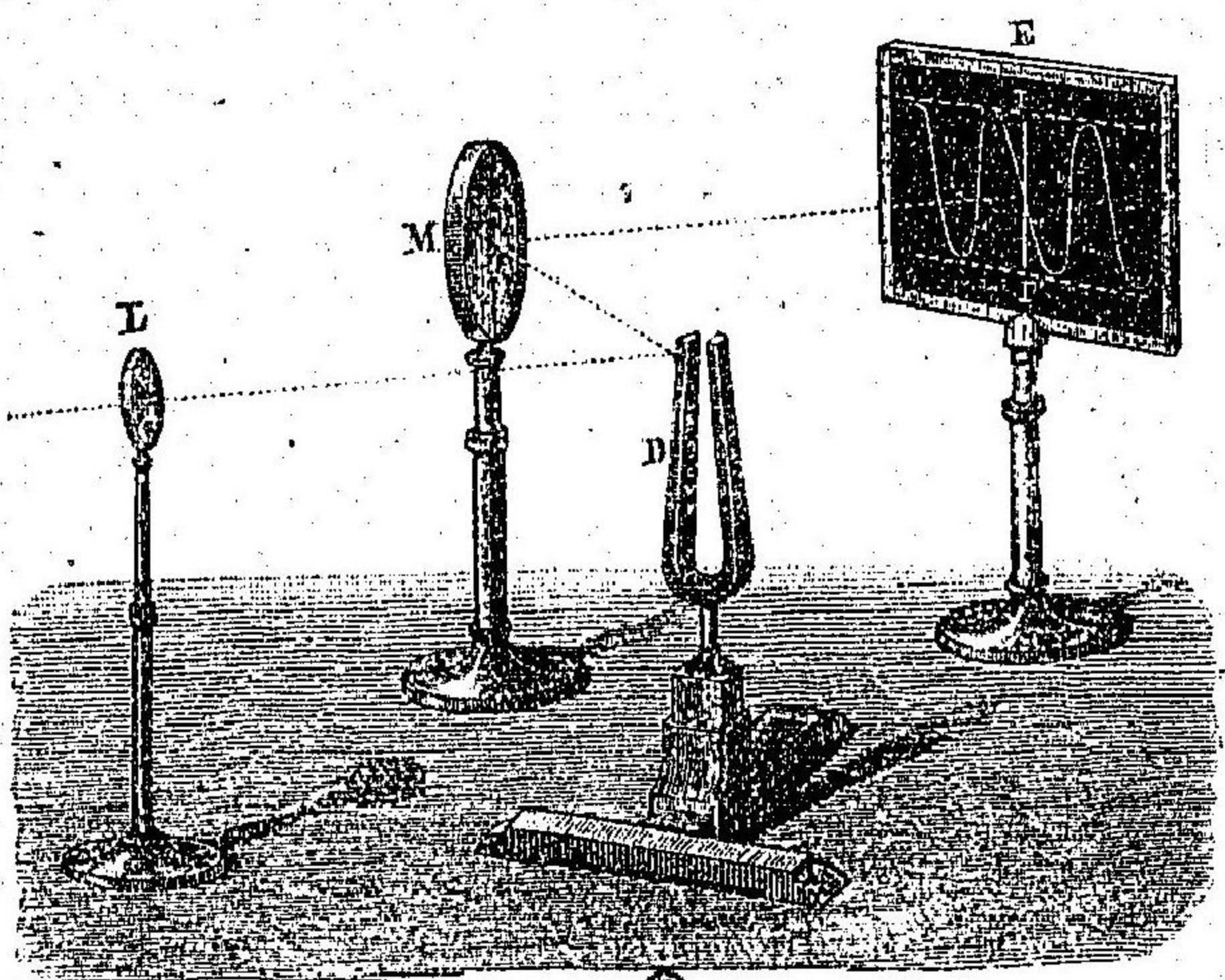
ヘルムホルツノ實驗

を受け之を膜に傳へ以て火焰をして相互に伸縮せしむるの装置なりMは四方共に平面鏡にして圖に示すが如く回轉し其反射により火焰の狀況を目撃するを得せしむ今若し火焰伸縮することなく靜に燃ゆるときはMの回轉によりて鏡面に火焰の一帶を認むべしと雖も若し火焰伸縮するときには個々に之を認め得べくして齒狀を呈す「ケーニヒ」は此方法によりて振動の狀態を研究せり蓋し數多の火焰を各々共鳴器に連結し其近傍に在て某音を發せしむるとき共鳴器中之一と共鳴するものあらんには直に火焰の形狀は齒狀を呈するを以てなり「ヘルムホルツ」此方法に反して單純の音律を合して一の音律を作成する器を作れり即ち數多の音叉を電氣の作用によりて發音せしめ以て之を合成するの装置なり

三三、「リサシユウ」の光學的方法

此方法は前者と大に用法を異にし單に振動數を比較するものなり即ち音叉の棒の一端に鏡を附着し他に之に相當する物體を附し其平均を破るとなからしめ而して日光若くは一點より來る光をして鏡面により反射せしむ故に音叉靜止するときには單に一點の光像を認む

べしと雖ども音叉振動するときは其像影は一線となるを圖の如くなるべし今



第二十圖

て全く同一の音を發するときは光像の大きさは振動振幅と共に減ずべしと雖ど

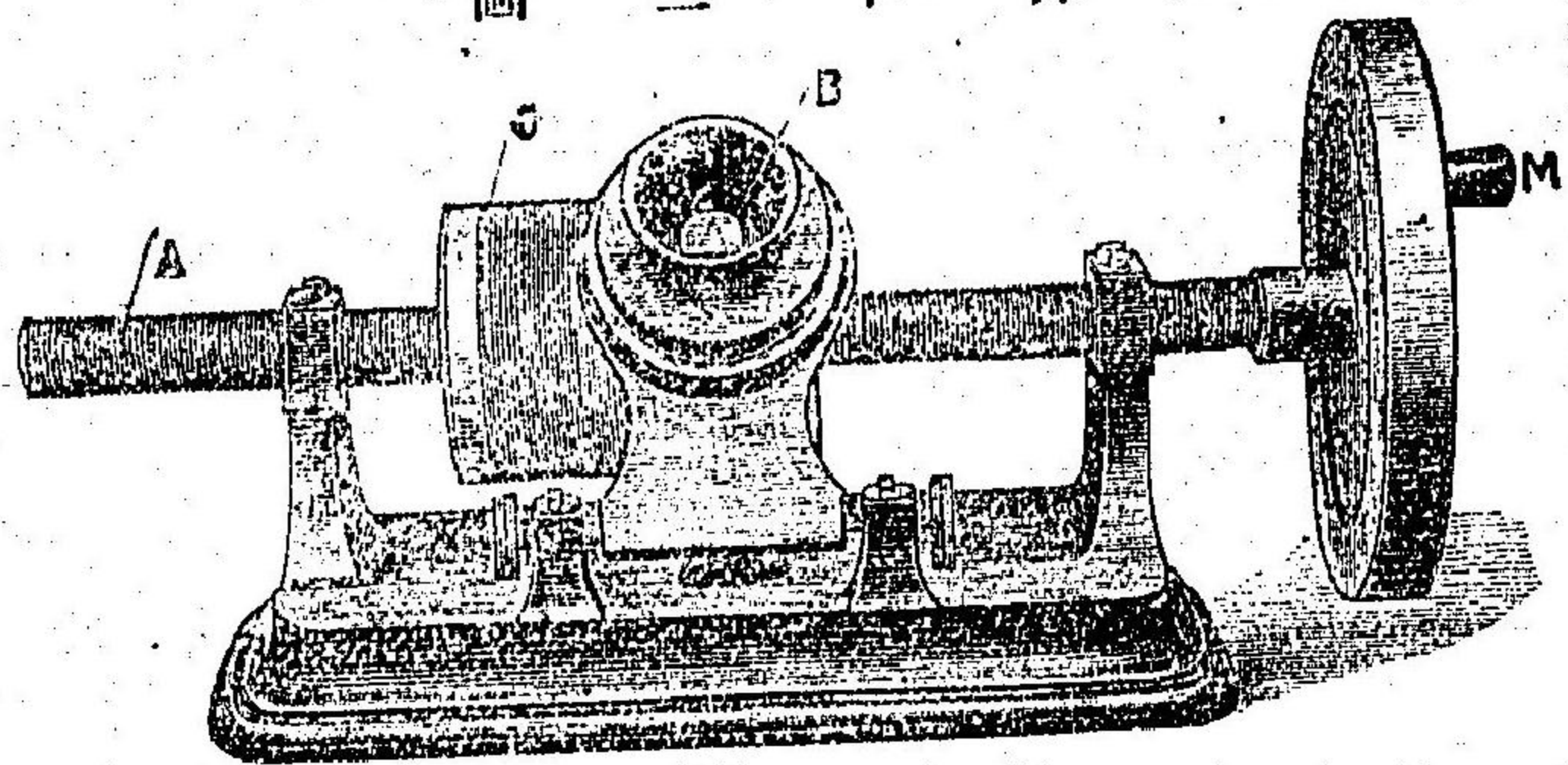
直接に之を視るを廢し一の平面鏡によりて反射し色消レンズの中を通過せしめ之を對立の上に投影するときは吾人は明に其振動の状態を見るべし又平面に代ふるに鏡を有する他の音叉を用ゐるも之を同方向に置き同方向に於ける二個の振動の合成の状態を見るに其同方向に動くときは像線尤も長くして反對の振動をなすときは像線最も短きを見る加之光像の大きさは異時變化して或は小となり或は大となる之れ其位相の差の然らしむる所なり若し音叉にし

も二者の振動僅少の差を有するときは光像は周期的に或は大となり或は小となる而して又同時に唸りを發す

二個の音叉を同一の方向に置かずして其振動の方向を互に直角ならしむるときは一の音叉によりて生ずる光像は互に直角をなすを以て對立上に圖の如き光像を認む若し二音の振動同一なるときは其光像の形狀甲圖の如くならざるべからず乙圖は其差一「ラクテープ」なるときに於ける位相の變化に相當せる光像の形狀を示すものなり此方法によるときは二音の振動數を比較し得べし

三三、蓄音器

米人「エヂソン」の發明せる所にして音聲を貯藏し隨時之を復活し得る器なり其構は次第に改良を施し甚だ複雑に變せりと雖ども要するに左の如し即ちCは螺旋線を刻したる圓柱にして同形の溝を刻したるAA'軸と共にMなる把手によりて回轉し一方より他方に進退す喇叭口は圖に示すが如く膜を以て掩はる其膜の中心に「ゴム」管によりて連結したる針あり此針は常に溝の中心に向ひ縦に振動して其振動を膜に傳たふるものなり今此圓柱の溝に錫箔を貼り針をして之に向はしめ圓柱を軸と共に回轉せしめつゝ喇叭口に向て



第三十圖

言語を發すれば膜の振動は針に傳はり針は錫箔の上  
上に深淺相當の深さを刻す故に喇叭管を原位に復  
歸し針頭を錫箔に付けて圓柱を回轉するときは嘗  
て刻したる深淺に相當して針は上下に振動するを  
以て喇叭口にある膜は其振動を受け従ふて貯藏せ  
る音聲を發するなり

## 第七編 磁氣學

### 第一章 磁石の性質

磁石

**三四、磁石** 天然に存在する磁鐵礦及び特種の取扱を受けたる鋼鐵等は一種特殊の性質を帯び糸を以て之を吊し自由に其周圍に回轉し得べからしむるときは空間に於て常に一定の方向を指示す此の如き物體を磁石(マクネット)と稱す磁石は某力の作用によりて體中に於ける一定の方向をして空間に於ける一定の方向と常に平行せしむるものにして體に於ける其線を稱して磁石の軸と云ひ空間に於ける方向を磁力の方向と云ふ磁力とは一の磁石の他の磁石及び鋼鐵等を吸引し若くは拒反する力の謂なり

**三五、磁石の兩極** 今一の磁石の中部を糸にて吊り之をして平衡の位置にあらしめ然る後他の磁石を取り其指北點を始めの磁石の指北點に近ければ互に相拒反す之に反して其指南點に近ければ互に吸引す又指南點を取りて之

南極、北極、

を始めるの磁石に試むるに前と同じく同一の性質を帯ぶる點は互に反撥し異りたる性質を帯ぶる點は互に吸引す

「マクネット」軸の末端にして地球の北に向ふ處を北極と云ひ其南を指す處を南極と云ふ故に同性極は相反撥し異性極は相吸引すること恰も電氣に於けるが如し

### 三六、磁氣量

極に於ける磁力の強さは一定するにあらず要するに或は強へ或は弱くして測定し得べき量なり之を稱して磁氣量と云ふ一の磁石の磁氣量は常に零なり何となれば若し零にならずとせば必ず二極の強さ異ならざるべからず而して若し其強さを異にするときは強き方に向て物體自身の移動を生ぜざるべからざればなり然るに磁石を木片に載せて之を水上に浮ぶるも或は中部を糸にて吊るも唯鉛直線の周りに回轉するのみにして毫も其移動を見ず之れ磁氣量の零なるを證するなり又一の磁石を取り其中央部を検するに毫も力の存在を認めず然るに之を中央より切斷するときは各片は皆磁石となり嘗て力の存在せざりし中央部は極となり吸引反撥の作用を生ず是れ亦磁石の

分極

兩極は反對にして其磁氣量の和零なるを證するに他ならず而して之を小分して止まざるも其小片は皆悉く磁石の性質を有し決して一箇の物體に唯一の極を得ること能はざるなり

凡て一物體に於て一定せる某方向若くは某線に關して特別の性質を有するときは之を分極せりと稱す磁石亦分極の顯象を有す即ち前例に於けるが如く之を分割して極微のものとなすも皆一定の方向に特殊の性質を帯ぶるを以てなり

### 三七、磁氣の感應

磁石を鐵層に近くるときは鐵層は之が爲めに吸引せられ磁力の方向に順次整正配列す是れ即ち感應の現象にして鐵層の一端に磁石と異性の極を生じ其他端に磁石の極と同性の極を生ずるに依るなり然れども若し他の玻璃木片等を以てするときは此の如き顯象を呈することなし「ニッケル」「コバルト」酸素等は鐵と同一の性質を有し之を磁石の兩極の中間に吊り下ぐるときは其物體は吸引せられて磁石の軸と平行の位置に来る之に反して「ピスマス」蒼鉛燐及び銅等は見懸に於ては兩極より拒反せらるゝの狀あり前者を

常磁性體  
反磁性體  
フエロマグネ  
ット

「バラマクテット」と云ひ後者を「デアマクテット」と云ふ鋼鐵等は其性質非常に著しきを以て之を「フエロマクテット」と稱することあり

磁石と鋼鐵との中間に木片若くは銅等を挿入するも其鐵に及ぼす作用は中間物體の有無に關することなし

地球は又一の大なる磁石にして其兩極は地理學上の兩極と一致せず少しく偏倚す而して其力の方向は兩極を含める面内にあり彼の磁石殆んど南北を指示するは全く之れが爲めなり故に地球を一の磁石とせば北極は南にありて其南極は北にあるなり

**三八、磁石を作る法** 磁石を作る法は一の磁石を取り其一極を以て鋼鐵片の長さに沿ふて一方に摩擦する乎或は二個の磁石を取り反對二極を以て鋼鐵の中央より之を長さに沿ひて兩方に摩擦すること數回にして得らるべし又は電流を用うるも作り得べし要するに感應作用の應用に依りて之を作るに他ならず而して鋼鐵鑄鐵は之を磁石となせば能く其性質を帯び久しきに耐えるも鍛鐵は之を感應する力の存在する間のみ磁石の作用をなす然れども多く

剩餘磁氣

クローソンの法

の軟鐵亦感應の除去の後多少磁石の性質を帶ぶるものにして其強弱は鐵の性質如何に依る此剩餘の磁氣を剩餘磁氣と云ふ

磁石は劇しく打撃するか或は之に熱を與ふるときは其強さを減するが故に之を使用するに際し能く注意し之に震温を與ふることなからしむべし

**三九、磁石の作用** 磁石の作用は種々にして或は「ケル」顯象の如く光の偏り面を回轉するあり或は「ホール」顯象の如く金屬に對して電氣の方向を變ずることあり或は又特種の金屬の電氣に對する抵抗を變ずることあり

### 第二章 磁氣に關する諸量

**四〇、磁氣の法則** 磁氣の法則は電氣に於けると同様にして左の如し

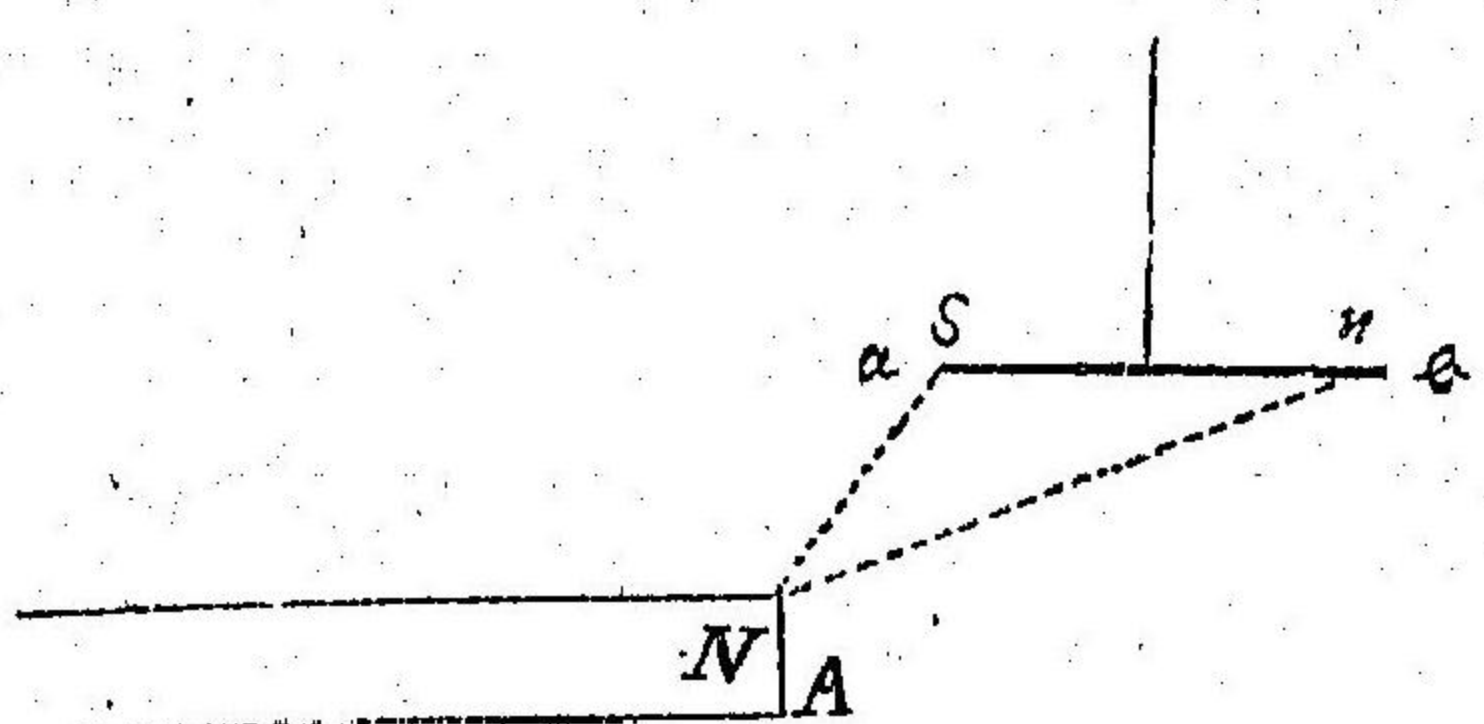
- (I) 同名の極は拒反し異名の極は吸引す
- (II) 二極の間に存在する力は各磁石の二極間の距離大にして極を單一の點として考察し得る範圍内に於ては極の強さの相乘に正比例し其距離の自乗に逆比例す

今鐵線  $\alpha$  を取り糸を以て之を他の磁石の極(例令へば  $N$ ) の近傍に垂下せば之に近き處に  $\alpha$  極(南極)を感應し之に遠き處に  $\beta$  極(北極)を生ず而て  $\alpha$  は磁石の  $N$  極よりの距離  $1/(A\alpha^2)$  に依り吸引せられ  $\beta$  は  $1/(A\beta^2)$  に依り拒反さるゝを以て鐵線は振動の後一定の方向に平衡し全體として磁石に近くべし斯く論じ來れば嘗て磁石の小片を木片に載せ水上に浮べる場合に唯だ回轉振動して全體に其位置を變せざるとの説と矛盾する感なきにあらず然れども地球の極とこの磁石との距離は甚大なるを以て全體の移動は極めて小なるを以てなるが故に之れを問ふを要せざるなり

**四一、單位の極** 第二の法則を見れば吸引若くは拒反の力は極の強さの相乗積に正比例すと然らば極の強さを計るべき單位の極を要す今第二の法則を式を以て示せば

$$f = k \frac{mm'}{r^2}$$

圖 四 十 第



但し  $f$  は力にして  $m$  及び  $m'$  は極の強さ  $r$  は其距離にして  $k$  は常數を表す單位の極とは北極にして之れと強さ等しき極の側に置き其距離單位にして其間の「ミヂアム」空氣となるとき單位の力を生ずるものゝ事なり

斯く單位極の義を定むるときは第二法則は左の如く換言し得べし

二極間の力は極を點として考察し得べき範圍内に於て極の強さの相乗を距離の自乗を以て除したる商に等し

**四二、「ポテンシヤル」** 某點に於ける磁石の「ポテンシヤル」とは無有限大の距離より其點に迄單位の極を運ぶためなされたる仕事なり

斯くの如く定義をなすときは電氣に於けると同じく  $V$  を「ポテンシヤル」とし  $m$  を磁石の極の強さとし  $\rho$  を極より其の點にまでの距離とすれば電氣に於けると同じく  $V = \frac{m}{\rho}$  なり又磁石の一組あるときは某點に於ける「ポテンシヤル」は各々より生ずる「ポテンシヤル」の和に等し(南極は負號を有すること勿論なり)即ち  $V = \sum \frac{m}{\rho}$  なり

二點間の「ポテンシヤル」の差も電氣の場合に於ると同じく一點より他點に單

單位ノ極

ポテンシヤル

ポテンシヤルノ差

位極を運ぶときに要せし仕事にしてVを「ポテンシャル」の差としmを運びたる極の強さとしWを仕事とすれば  $W = mV$  なり  
 磁石は長さlに對する「ポテンシャル」の變化の割合にして磁場の強さに等しきこ  
 と電氣に於けると異なることなしfを力としHを磁場の強さmを其點に置く  
 極の強さとすれば

$$f = mH.$$

又Wを仕事としVを「ポテンシャル」を距離とすれば

$$W = fl = mHl \quad W = mV.$$

故に

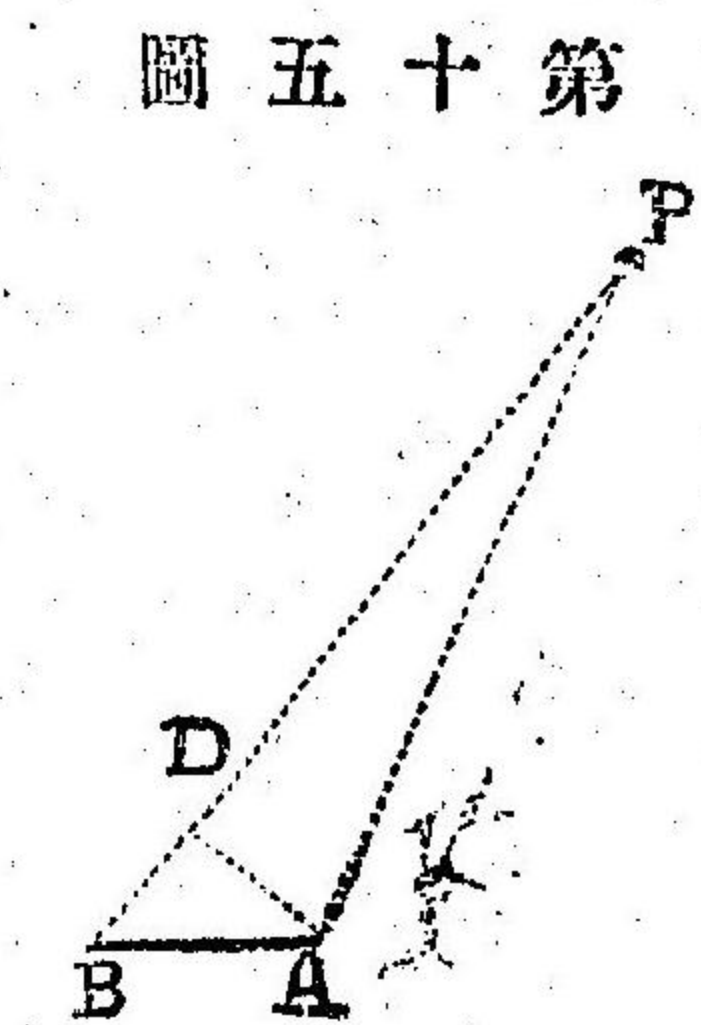
$$H = V/l.$$

**四三、磁氣能率及び磁氣の強さ** 極めて小にして兩極間の距離の極  
 の強さmなる磁積の某點Pに於ける「ポテンシャル」は兩極より其點に至る距離  
 をr及びr'とすれば

$$V = m \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) = \frac{m(r' - r)}{rr'}$$

ABを磁石としAより垂線ADを下せば  
 $DB = r' - r = d \cos \theta = (PBA)$   
 $r' - r = d \cos \theta, \quad \theta = (PBA)$   
 $V = m d \cos \theta / r^2$

故に  
 を得



均一に而も長さに沿ふ磁氣を帯べる棒磁石に於て極  
 の強さに其長さを乗したるものを磁氣の能率と云ふ  
 Mを以て之を示せば前の場合に於ては  
 $V = M/l^2 \cos \theta$   
 なり

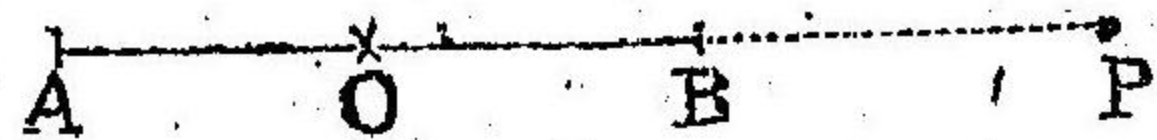
磁氣の強さとは磁氣能率を其容積を以て除したる商にして通常Iを以て之を  
 示す

**四四、磁石外軸上の某點に於ける磁力** ABを磁石としPを軸上の  
 一點としOをABの中央點としmを極の強さとすればPに於ける力fは

磁氣能率



圖六十第

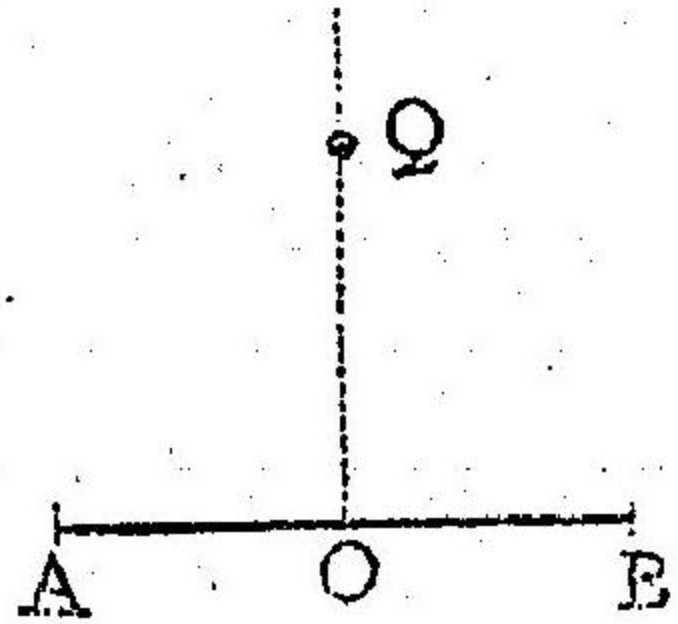


若しOPに對してOB甚た小にして棄るも差支なきときは

$$f = m/OP^2 - m/AP^2 = m \left( \frac{1}{(OP-OB)^2} - \frac{1}{(OP+OB)^2} \right) = m \left( \frac{4OP \cdot OB}{OP^2 - OB^2} \right)$$

$$= 2M/OP^2$$

圖七十第



四五、軸の中央を通ずる垂線上の其點ニ於ケル磁力。Oより引ける垂線OQ上の一點Qに於ける磁力も同一の方法に依りて之を求むることを得此場合に於ては一は吸引一は拒反にして其量相等しきを以て合成磁力fは

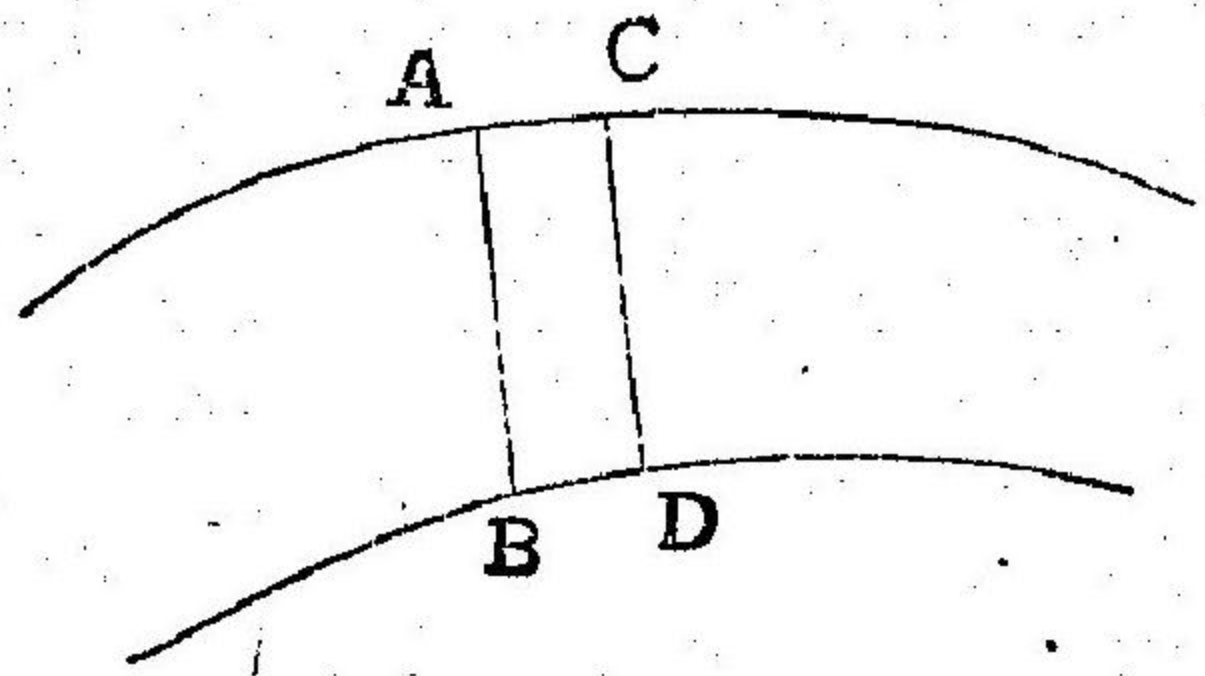
$$f = \frac{m}{BQ^2} \sin \angle BQO + \frac{m}{AQ^2} \sin \angle AQO = \frac{2m}{BQ^2} \frac{OB}{BQ} = \frac{M}{BQ^2} = \frac{M}{OQ^2}$$

同一ポテンシャル面

四六、「同一のポテンシャル面」同一ポテンシャル面とは電氣の場合に於けるが如く同一のポテンシャルを有する點の軌跡にして二つの同一「ポテ

指力線  
磁力管

圖八十第



ンシアル面は決して交叉することなし何となれば若し交叉することあるときは其點は同時に異なりたる二種ノ「ポテンシャル」を有せざるべからざればなり  
四七、指力線 指力線とは電氣に於けるが如く磁力の方向を指示する線にして「同一ポテンシャル面」に對して垂直なること敢て贅するの要なし

四八、磁力管 電氣に於けると同じく指力線に依りて包圍せられたる管にして單位の磁力を示すに單位の管を用ゆること電氣に於けると異なることなし故に又力の強弱は管の數に依りて之を知ることを得べし

AC及びBDを二箇の極めて近接したる「同一ポテンシャル面」としABODを磁力管としAC及びBDを其切斷面とすればACの表面に於ては力の方向其面に垂直にしてBDに於ても亦BD面に垂直なり今AC、BDの單位面積に作用する力を夫々F、F'とすればAC面に作用する力はF×ACにしてBDに於てはF'×BDなり而して曲面に於ては定義に依り之に直角に作

用する力之れなきを以て

$$BO \times F' + F + FAC = 0 \therefore BD \times F' = F \times AC \quad \frac{F'}{F} = \frac{BO}{AC}$$

即ち力の強弱は切斷面の大きさに逆比例しF及びF'は反對の性質を有す換言すれば一端Nを生すべき時は他端Sを生ず是れ則ち感應に依りNはSを生じSはNを生ずる所以なり

指力線の狀況を知らんと欲せば紙片下に磁石を置き紙上に鐵屑を撒布すれば鐵屑は力の方向に順次配列せられ美麗の圖を生ずLMを磁石とすればP點に於ける作用はPBの拒反とAPの吸引なるが故に力は其合力PCの方向に作用し鐵屑の配列は上圖の如し

**四九、磁氣密度** 磁氣若し極に集中せずして表面に分布する場合に於ては極の強さと稱すべきものなく各點各所其強さを異にす故に表面密度を考ふ

圖 九 十 第

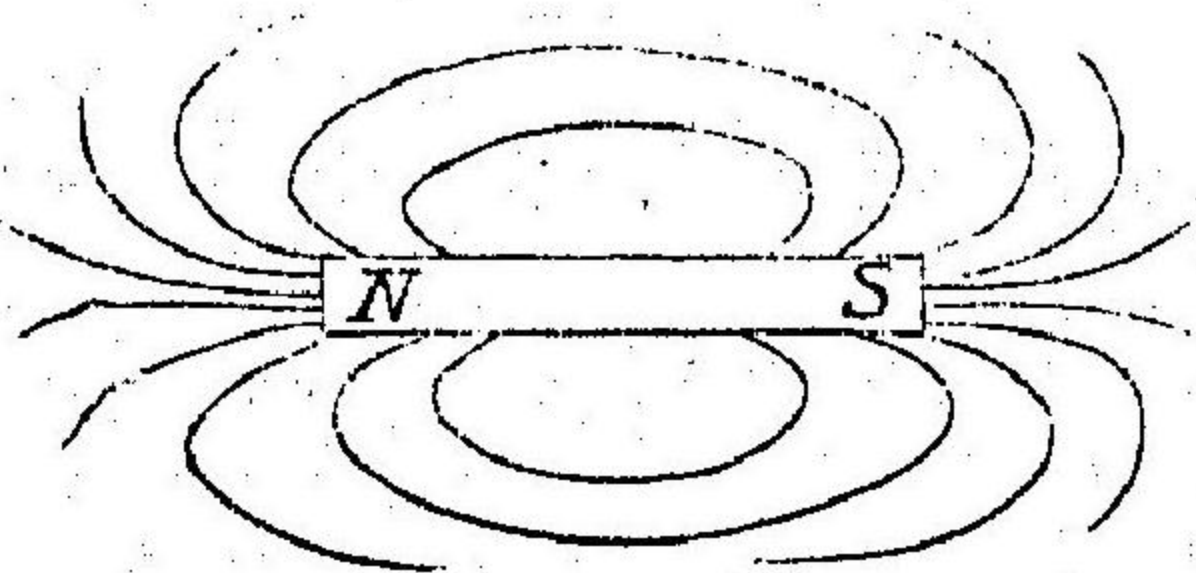
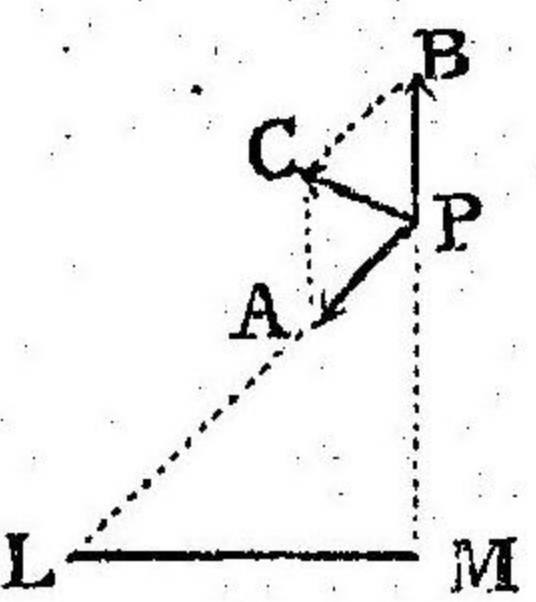


圖 十 二 第



るを要す表面密度とは其面積中に存在する磁氣量と面積との比にして單位の面積に於ける磁氣量を意味す通常常の磁石に於ては磁力は兩端尤も強くして中央に至るに従ひ漸次減少し中央に至りて終に零となる

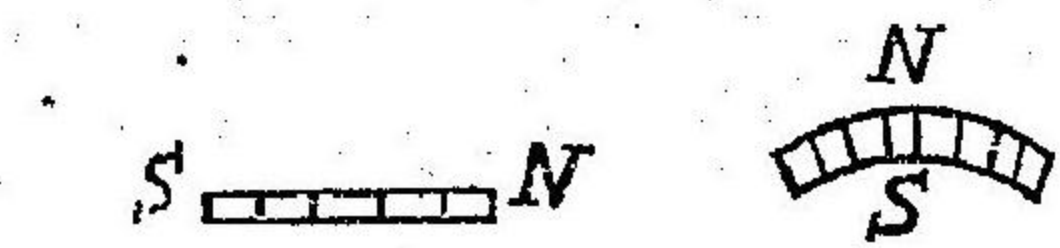
**五〇、磁場の強さ** 某點に於ける磁場の強さは其點に於ける單位極に作用する力の量を以て測定せらるゝものにしてm單位の極を以て測定し力fを生ずる時は磁場の強さHは  $H = \frac{f}{m}$  なりとす

今單位の極を取り單位の長さを半徑とし極を中心として球を畫けば此球面上の各點に於ては磁氣の強さ1なるべし然る時は單位面積を通過する指力線は其數一なり而して球の面積は4なるを以て單位の極より發する指力線は4なると明かなり若し又磁石の極の強さmなる時は同一の理に依りて指力線の數は4mなりとす然るに此指力線は磁石を構成せる鐵内を通過するが故に鐵内を通過する指力線は4mなるべし今磁石の中に其長さに垂直に無限小の厚さを有する掘割を考察し其兩側に於ける密度をρとすれば一方より發射する指

力線は全く他方に垂入するを以て掘割の單位の面積を通過する數は  $\frac{4\pi}{3}$  なる  
と明かなり故に此の如き處に於ては磁氣の強さ  $H = \frac{4\pi}{3} m$  とすなり

### 第三章 磁氣の「シエル」

五一、磁氣の分布 以上は棒磁石に於ける磁氣の通常の分布をのみ論せ



圖一十二第

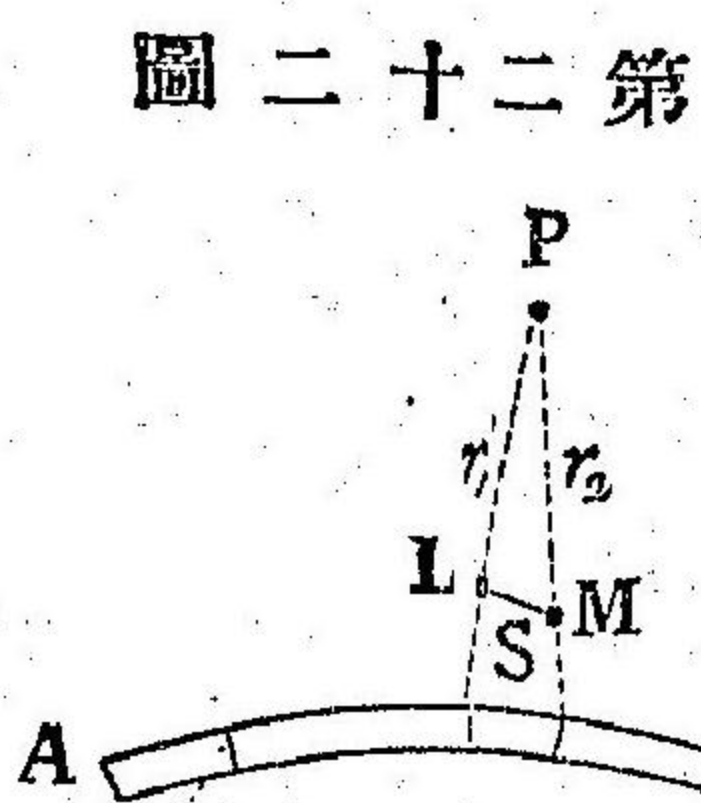
磁氣シエル

り然るに長さ非常に小なる棒磁石の側面と側面とを連結し且同一極を一方にのみ向はしむるを得べし磁氣をして此の如き配布をなさしむる時は之を「ラメラ」分布と云ひ棒磁石に於ける分布を「ソレノイダル」分布と云ふ又前者の如き磁石を「シエル」と云ふ換言すれば磁氣物質の薄き「シエル」を表面に直角に磁氣附けたるものを「磁氣の「シエル」と云ふ而して某所に於ける「磁氣の強さに其點に於ける「シエル」の厚さを乗したるものを磁氣の「シエル」の強さと稱す

若し「シエル」の強さ其表面を通じて同一なる時は之を單一なる「磁氣シエル」と云ひ然らずして各點其強さを異にする時は單一なる「磁氣シエル」の重疊堆積せるものと

見做すとを得べし此の如き「シエル」を重複「磁氣シエル」と稱す

五二、「シエル」の「ポテンシャル」 單一「磁氣シエル」の作用に依り某點に於ける「ポテンシャル」は「シエル」の強さと其點に對して「シエル」のなせる立體角との相乗に等し



圖二十二第

ABを「シエル」の境界としPは「ポテンシャル」を求むべき點とす「シエル」は極めて小なる要素より成立せるものと「シエル」の厚さを  $\omega$  とす

微小の面積  $s$  を底とし立體角  $\omega$  を有する圓錐を畫き  $r_1$  及び  $r_2$  はPより此小磁石の兩端に至る距離とす又  $\theta$  に直角にLMなる面を畫き其面積を  $a$  とし  $s$  及び  $a$  のなす角を  $\beta$  とし「シエル」の強さを  $m$  とす然る時は

$$s = \omega \frac{a}{\cos \beta} \quad \omega = \frac{a}{r^2}$$

故に  $m$  を以て極の強さとすれば

$$m \sin \theta = \sin^2 \theta \cos \beta$$

然るに此小「マクネット」より生ずるPに於ける「ポテンシャル」 $V_p$ は

$$V_p = w \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \sin^2 \theta \cos \beta \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right\}$$

然るに  $\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{(r_2 - r_1)}{r_1 r_2} = \frac{r_2 - r_1}{r_1^2} = \cos \beta \frac{r_1}{r_1^2}$

$$V_p = \sin^2 \theta \cos \beta \left( \frac{r_1}{r_1^2} \right) = \sin^2 \theta \cos \beta$$

「シエル」全體の作用に依りPに於ける「ポテンシャル」は此の如き小「マクネット」より生ずる「ポテンシャル」の和なるを以て「シエル」より生ずる「ポテンシャル」を $V_p$ とすれば

$$V_p = \Sigma V = i \Sigma \cos \theta = iQ$$

Qは「シエル」のPに對してなす立體角とす

之に依りて之を見ればは無限大の距離より單位の極をP點即ちQ角をなす點に運ぶ爲めに要する仕事を示す而して極の強さ $m$ を有するものを運ぶ時は其仕事は $m$ 倍なるを以てPに極 $m$ を置く時は其「ポテンシャル」は $mQ$ なるべし又Q點に於て立體角 $Q_p$ を保ちPに於て $Q_p$ を保つとせば其「ポテンシャル」の差 $V_p - V_q$

は

$$V_p - V_q = i(Q_p - Q_q)$$

$V_p$ の方程式を見るに「ポテンシャル」は立體角の如何に依りて變ずるが故に「磁氣シエル」の強さ同一にして同一の境界を有する「シエル」は其表面の屈曲凸凹如何に關せず同一の「ポテンシャル」を興ふるを知るなり是れ實に重要な事項なり

**五三、某點に於ける極の「シエル」に對する「ポテンシャル」** 極 $m$ を無限大の距離より「シエル」に近けてQ角を有する點に運ぶ時なす仕事は「シエル」を無限大の距離より $m$ に近けて同一の状況に至らしむる爲めになすべき仕事と同一なるとは明瞭なるを以て極 $m$ の作用に依り「シエル」の「ポテンシャル」は又 $mQ$ なると言を待たず

P點に於ける極 $m$ より發する「指力線」は極の強さに比例し又四方に均一に發射するが故に立體角 $Q$ を通過する「指力線」は立體角 $Q$ に比例し又 $m$ に比例すものと考察するを得べし即ち $Q$ は $Q$ を通ずる「指力線」の數なり之に依て之を見るに「磁氣シエル」に對する極 $m$ の「ポテンシャル」は「シエル」の強さに極より出で「シエル」

を通過する「指力線」の數を乗したるものに等し今「指力線」の數を  $N$  を以て示せば

$$V = N\phi$$

なり故に若し極及び「シエル」中何れか其位置を變ずる時は依て生ずる「ポテンシャル」

の差は  $V_1 - V_2 = H_0(N_1 - N_2)$

なるを知るなり

**五四、磁場**に於ける「シエル」に作用する力  $\alpha$  の方面に作用する力を

$X$  とし  $\alpha$  を其方向に動かされたる量とすれば  $X\alpha$  は「シエル」の移動に伴ふて磁力に

依りなされたる仕事にして  $\sum (N_1 - N_2)$  に等し但

し  $N$  は「シエル」の  $A$  にありし時之れを通過する「磁場

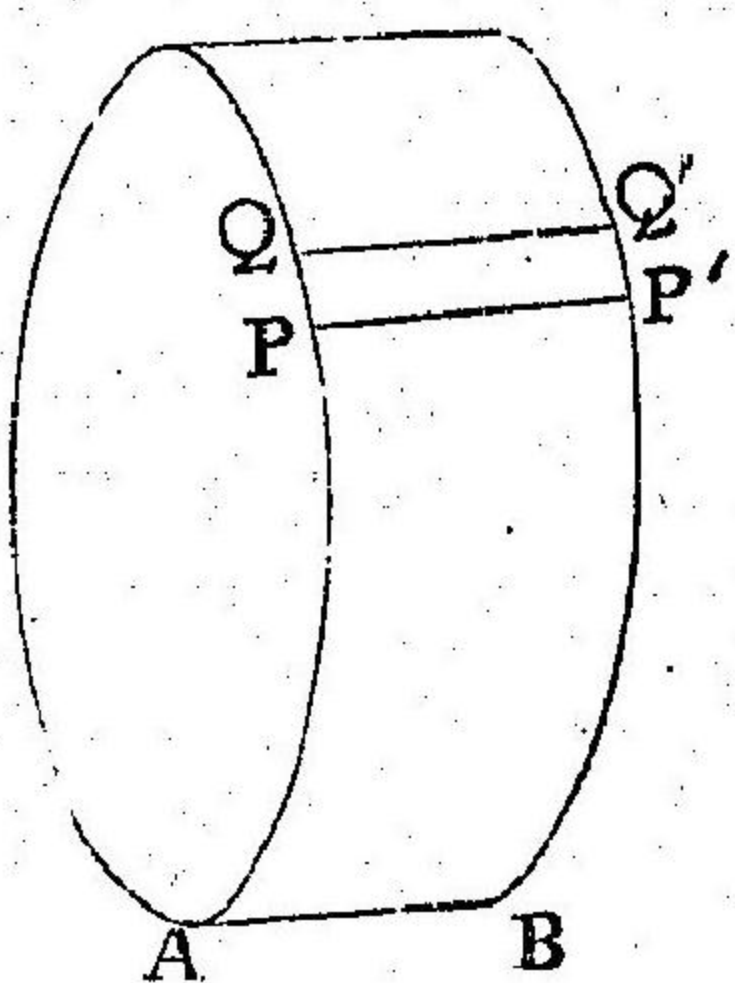
指力線」の數にして  $N'$  は  $B$  に來りし時の數なりと

す

次に  $A$  及び  $B$  に於ける「シエル」の位置と及び「シエル」の

邊緣の各點の通路に依りて形成せる包圍曲面を考察するに  $H_0$  を其曲面の外部に向ひたる垂線の方向に於ける磁力とすれば既に説きしことにより「垂直磁氣

第三十二圖



感應の總和は  $(N' - N)$  と  $PP'BA$  の如き曲面上の垂直磁氣感應の總和  $(\sum H_{\perp})$  との和に等しく且つ  $\alpha$  なるを以て

$$N' - N = \sum H_{\perp} \alpha$$

然るに  $PP' = QQ' = \dots = \alpha$

$$PQ'P'Q' = \alpha \times PQ \sin \theta$$

但し  $\theta$  は  $\alpha$  と  $PQ$  間の角なりとす

$H$  を  $P$  に於ける磁力とし  $\psi$  を  $PQ'P'Q'$  に對し外方へ向へる垂線と磁力間の角とすれば

$$H_{\perp} \alpha = \alpha \cdot PQ \sin \theta \times H \cos \psi$$

然るに

$$X \alpha = i(N' - N)$$

故に

$$X \alpha = i \sum \alpha \times PQ \sin \theta \times H \cos \psi$$

$\alpha$  は「シエル」の各點に對して同一なるを以て

$$X = -i \sum PQ \sin \theta \times H \cos \psi$$

之に依りて之を見れば  $\alpha$  の方向に平行に「シエル」に作用する力は「シエル」の邊緣の單

位の長さに  $-iH \sin \theta$  なる力の作用すると同一なり然るに  $\alpha$  なる方向は任意の方向なるを以て之に依り各方向に於ける力を求めんとす

(1)  $\alpha$  の方向を PQ の方向とすれば  $\theta = 0$  なるを以て合力は PQ に垂直なり

(2)  $\alpha$  の方向を H に平行とすれば  $\theta = \frac{\pi}{2}$  なるを以て H の方向に於ける力は零なり

故に合力は H 及び要素 PQ に直角なり今  $\alpha$  を以て垂線の方向とし  $\psi$  を以て H と PQ とのなす角とすれば

$$\theta = \pi/2, \psi = \frac{\pi}{2} - \psi$$

にして合力は

$$-iH \sin \psi \alpha$$

なりとす

**五五、「シエル」の作用に依り生ずる磁力** 「シエル」の強さを  $i$  とし H は某點に於ける單位極より生ずるものとすれば前條に依り PQ に於ける力は H 及び

PQ に直角にして  $-iH \sin \theta$  なり然るに單位極の「シエル」に對する作用は「シエル」の單位極に對する作用と其量相等しく方向反對なるを以て此方は又「シエル」の某點 M に於ける單位極に作用する量に等し然るに此場合に於ては H の方向は PM にして其量  $i/PM$  なるを以て「シエル」邊縁の單位の長さの M に於ける作用は PM 及び PQ に直角にして  $(i/PM) \sin \theta$  なり但し  $\theta$  は PQ (切線の方向) と PM 間の角なりとす

**五六、「シエル」の通過に依り生ずる「ポテンシャル」の差** 單位の極を

「シエル」の北極に對して無限の距離より其拒反に抵抗して「シエル」の表面に運ぶ仕事は  $+i\psi$  にして他の表面の吸引に對して運ぶ仕事は  $-i\psi$  なるを以て「シエル」の表面に極を近接したる點に於ける「ポテンシャル」は一方に於ては  $i\psi$  にして他方に於ては  $-i\psi$  なり故に一方より他方に運ぶ爲めに要するに仕事の量は此等の差  $2i\psi$  (即ち  $2i\psi$ ) なり換言すれば「シエル」を通過することに依り生ずる「ポテンシャル」の差は  $2i\psi$  なり

### 第四章 磁氣の感應

五七、感應磁氣及其強さ 前章に於て鐵片は他の磁石に感應して磁氣を帶ぶるに至ると及び其の性質如何に依りて剩餘の磁氣に多少の差あることを説けり而して之れが感應の源となる磁石の消滅と共に全く其性質を失ふ鐵を軟鐵と云ひ然らずして剩餘の磁氣を有するものを剛鐵と稱す鐵「ニッケル」及び「コバルト」等に於ては磁氣附の方向と之を生ずる磁力の方向とが常に一致すと雖も結晶體若くは壓力或は張力等により牽制せられたる物體に於ては此二方向必しも一致するにあらず然れ共茲には單に前者のみを論述すべし感應磁氣の強さは之を生ずる磁力の強弱及び其物質如何に依りて異なるものなり而して之を二様に考ふる事を得べし即ち一は其物體に出沒する指力線の數を考察するものにして一は其物體の表面に於ける磁氣の強さを考察するにあり前者に従ふときは自ら其物體なきときに於ける指力線の數即ち磁場の強さと其存在するときに於ける指力線の數即ち感應の強さの關係を來し後者に従ふときは磁場の強さと其物體の磁氣の強さとの關係を生ずるに至る而して兩者の關係は次に説く處に依りて明となるべし

ヘルミエビリチー

五八、「ヘルミエビリチー」 空氣の單位面積を通過するの指力線の數H なるときは磁場の強さはH なるに已に之を説けり然るに鐵、ニッケル等の物體は空氣より多く磁氣の指力線を導くを以て若し磁方に依りて作用せられたる空間の部分此等の物體に依りて占有せらるゝときは單位の面積を通過する指力線はMと異ならざるべからず此指力線の數に依りて表示せられたるものを感應と云ひBを以て之を表はす此BとHとの比を「ヘルミエビリチー」と稱し $\mu$ を以て之を表はす即ち

$$\mu = B/H$$

なり例へば空氣の單位面積を通過する50の指力線に依りて表さるべき磁場に某種の鐵を置く時其單位面積を通過する指力線の數16,050なる時は「ヘルミエビリチー」 $\mu$ は321なりとす

「ヘルミエビリチー」は現今吾人の知る處を以てすれば各物體に通じて正にして決して負なるとなし常磁性體に於ては1より大にして反磁性體に在ては1より小なり

磁氣の指力線は物體の表面より去るに方て假令ひ彎曲すと雖も「内部の指力線」と連續的にして其表面に密接する内部と外部とに於てBの價相等し

サツセブチビ

五九、「サツセブチビリチー」磁氣の強さIは磁場の強さHに依りて生ずるものとすればIとHとの比を「サツセブチビリチー」と稱すKを以て之を表示せば

$$K=I/H$$

即ち磁場Hに於ける單位の指力線に對し物體の末端の表面に於て磁氣の單位Kあるを意味す然るに前章に論せし處に依れば單位の極より發射する指力線の數は4πにして從て磁氣の極Kより生ずる線の數は4πKなるを以て左の方程式を得

$$B=H+4\pi KH=H(1+4\pi K)$$

$$\mu=1+4\pi K$$

即ち此方程式に依りて見るときはBとHとは共に増加す然るに鐵「ニッケル」等に於てはHKとなりて磁氣の感應さるゝ度飽和の點に近く時はKは次第に減少する

を以てIは界限を有す

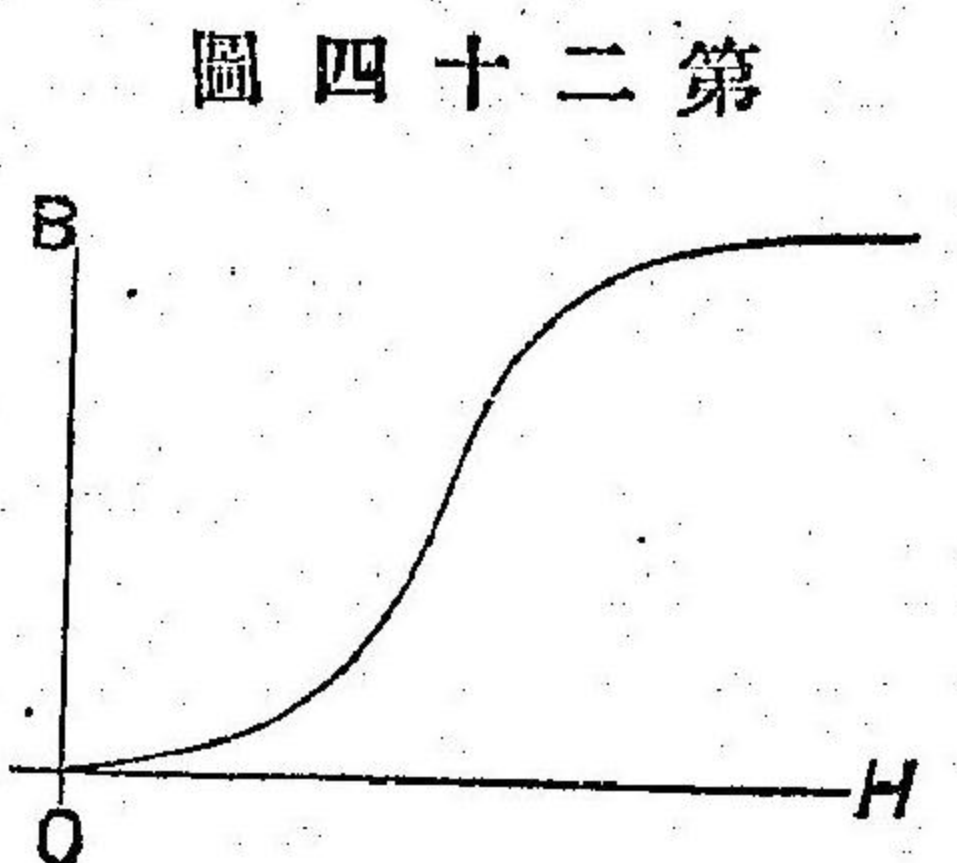
### 六〇、磁氣附の曲線

感應の狀況を考究するに便利なる方法はHを横坐

標Bを縦坐標とし曲線を以て實驗の結果を表はすにあり「イユウイング」は得たる結果より軟に「ナマサレ」たる鐵張力により剛くせられたる鐵は「ナマサレ」たる鋼鐵は伸張に依りて剛くせられたる鋼鐵鑄鐵「ニッケル」に於ける狀況を示すIに圖を以てせり

此圖を一見する時は左の事實を發見すべし(一)Hの價小なる時はBの價亦小にしてHの増加と共にBは増加す

(二)Hの價少しく大なる處よりして曲線俄に上に向ひBは非常に大となる(三)Hの増加に従ひ曲線は漸次屈曲し遂に殆んど水平に近かんとしBの増加極めて小なるを示す第三の狀態に於ては鐵は殆んど飽和の點に近かんとする者なり「ホッポキンソンの検査せる鐵に就て之を示せば



圖四十二第



「ナマサレ」たる鍛鐵

	B	$\mu$	H.
	5.000	3000	1.66
	9.000	2250	4
1	0.000	2000	5
1	1.000	1692	6.5
1	2.000	1412	8.5
1	3.000	1082	12
1	4.000	823	17
1	5.000	526	285
1	6.000	320	50
1	7.000	161	105
1	8.000	90	200
1	9.000	54	350
1	0.000	30	666

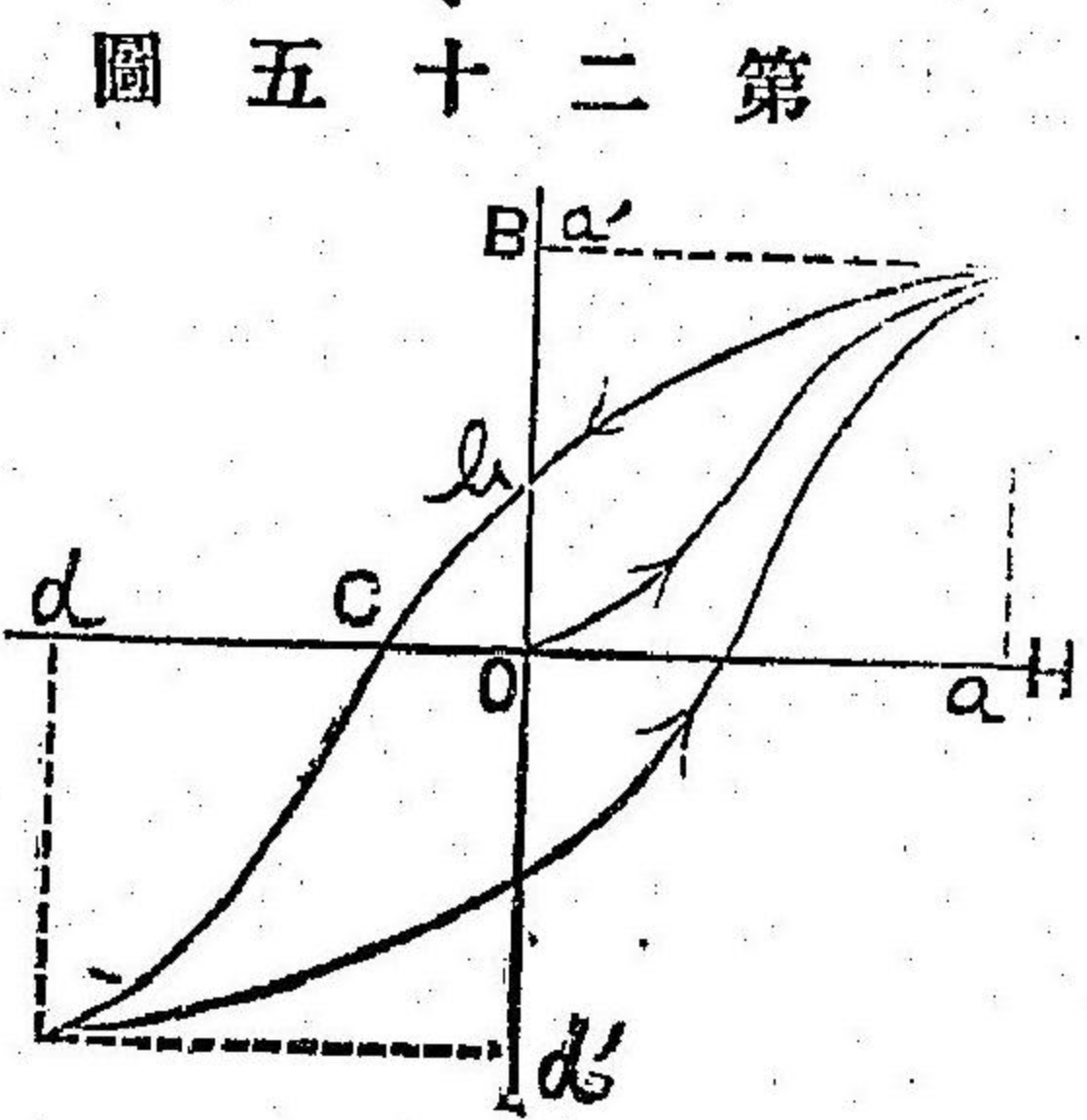
鍛鐵に於ける「ビットウエルク」の研究の結果は

H	K	I	N	B
3.9	151.0	587	1899.1	7390
10.3	89.1	918	1121.4	11550
40	30.7	1226	386.4	15460
115	11.9	1370	150.7	17330
208	7.0	1452	88.8	18470
427	3.5	1504	45.3	19330
585	2.6	1530	33.9	19820

- 六二、Bの測定法 Bを測るには左の諸法あり
- (I) 「マクネトメートル」を用ゐるもの
  - (II) 端なき環の場合に於ては「コイル」を用ゐて感應電流を測る

(III) Bの自乗に比例する張力を以て測定すると  
 (IV) 「ケル」の發見せる光學上の關係によりて之を定む

六二、剩餘磁氣の作用



鐵を磁氣附けて然る後磁氣附くる力Hを減少して零となすに尙ほ剩餘磁氣の存在するとは已に之を説けり曲線を以て之を示せば初めの磁場の力Hを零より増すときは曲線はOより矢を以て示せる方向にHツaa'となるるときBはob'となり曲線はaに至る是より漸次Hを減するに表示點は同一の行路を再びせず却て其上方を進みHが零なる時Bはob'となる此ob'の量は物體の性質並に會て磁氣附けられたる狀況に關係す此點よりHを反對の側に増かしHがoo'となるに至りて始めてBは零となるoo'即ち剩餘磁氣を破壊する爲めに必要な力の量を物體の磁氣に對する頑性と云ふ再び進んでHがdo'となるに至ればBはod'となり表示點はdに至る然る後Hを漸次減少するときは又

ヒステレシス

行路を變じ矢を以て示せる方向を取るを圖に於けるが如し

六三、磁氣附の「シクル」 「ヒステレシス」 Hをして斯くの如く増加減少の「シクル」(一周廻)をなさしむるとせばBも亦「シクル」をなして「ループ」を作り磁氣附の後るゝを示す「イウイング」は深く此現象を研究して之に「ヒステレシス」の名を下せり且曲線に依りて包圍せらるゝ面積は此作法の間に熱の變せる「エネルギー」を表はすと云へり強く磁氣附の場合に於ては「シクル」に於て九千乃至二十萬「エルグ」の「エネルギー」の費ゆるとあり故に幾度となく「シクル」を行ふ時は遂に熱を感じるに至る

種々の器械的作用にして分子を振盪する傾向あるものは磁氣附けを扶助し或は妨拒す而して種々の器械的作用を以て牽制するときは「ヒステレシス」の狀況種々に變化し又鐵を磁氣附くるときは其立積を變ず

六四、反磁性體 蒼鉛を磁石の極の中間に垂下する時は磁力の方向に直角の位置を取るゝを説けり嘗に蒼鉛のみならず數多の物體も亦多少此の如き性質を有するものあり之を反磁性體と云ふ

左に常磁性體及び反磁性體を列擧す

常磁性體	反磁性體
鐵 「ニツケル」 「コバルト」 「マンガン」 「クロミウム」	「セリウム」 「タタニウム」 酸素瓦斯 同液體 「ゾ」 「ン」
	「蒼鉛」 「燐」 「サリウム」 水亞鉛 銀
	銀 銅 金 水 酒 テリウム 硫黃

又化學上純粹の白金は反磁性體なりとす  
液體は之を検するに磁氣金屬を含める液體を除く外反磁性體ならざるもの殆んど稀なり然るに動物の血液は鐵を含むと雖も反磁性體なりとす  
之を要するに反磁性體のKは負數なるを以てμは1より小なり蒼鉛に於てはμは0.999999なりとす左に磁氣附け得る度を比較すれば

鐵 +1,000,000

水 -7.8

磁鐵 402270

木 23.6

### 六五、物體を包圍する「ミヂアム」に依りて生ずる見懸の反磁性

體 「マグネ」附け得る度合の小なる物體を磁氣體の「ミヂアム」中に置き之を検すれば恰も反磁性體の如く磁力の方向に直角に平衡の位置を取る例へば鹽化鐵の稀薄なる溶液を玻璃管に入れ之を検するに空氣中に在ては常磁性體として磁力の方向に位するも之を濃厚なる同一の溶體中に置く時は恰も反磁性體の如く力の方向に位す之を要するに磁力の方向に平行若くは直角に物體の位するは之を圍繞する物體の磁氣に關する性質の然らしむる所にして指力線の状態を考一考せば其理自から明なるべし

### 六六、反磁性體と感應線

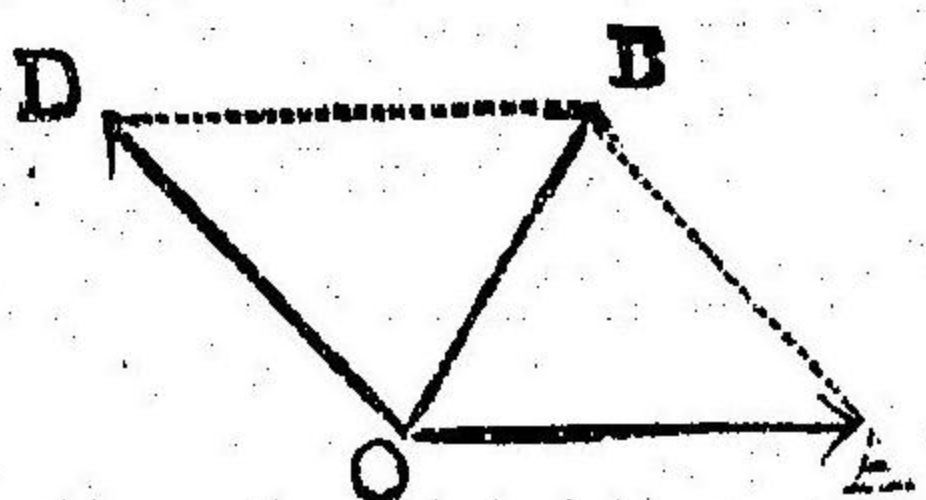
前已に説ける如く「ベルミニエピリチー」は其物體の單位の面積を通過する感應線(指力線)の數を表示するが故に其周圍の「ミヂアム」よりも強き磁性體なるときは感應線は其物體の方に集中し然らざる時は離散するは當然の理なり故に鐵、ニッケル等に於ては空氣より一層多くの感應

線を通過せしめ蒼鉛に於ては一層少なし即ち感應線は常磁性體は通過し易きを以て成るべく多く之を通過せんとし反磁性體は成るべく之を通過せざらんとす之に依りて反磁性體は磁場の強き處より弱き處に送らるゝ傾向を有す之れ即ち棒狀の反磁性體を磁石の極間に水平に垂下せば力の方向に直角に位する所以なり然れども「ウェーベル」「フデアー」の考察せし如く決して反對の方向に分極するにあらず其狀鐵等と異なることなく唯感應の量に多少の差あるのみ

### 六七、感應の分子的説明

「ウェーベル」は鐵等の磁氣附得る物體は皆分子的磁石より成るものと考察せり即ち單位の立積中に此の如き磁石の數 $n$ ありとし其磁氣能率を $m$ となせり而して此等の磁石は磁力の作用せざる間は隨意に配列し毫も磁氣の性質を示さずと雖も一たび磁力の作用を受くる時は自から其配列を變ず従ふて磁氣の性質を帯ぶるに至る若し此等の分子的磁石にして自由に運動するものなる時は少量の力の作用により直に同一方向に配列して其全體の磁氣能率 $M$ は $nm$ となるべし然れども是れより大なる能率を有すると能はず是れ磁氣附けに限界ある所以なり然るに分子的磁石は自由に行動

するにあらずして相互の間に摩擦の存在するものとし磁氣附ける力に抵抗するとなせり即ちODを以て分子的磁石の方向とし且其抵抗力を示しOAを磁力と



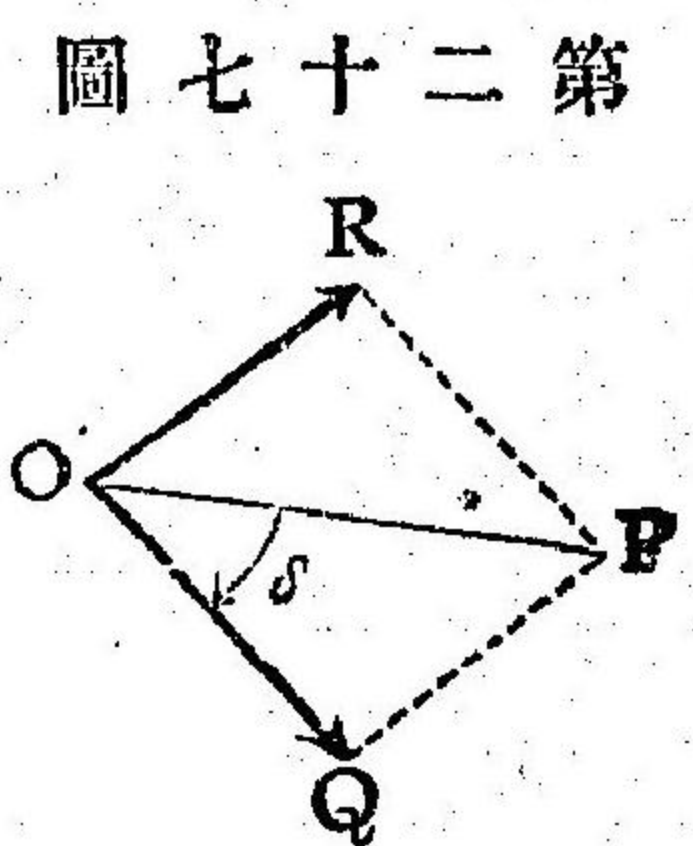
圖六十二第

すれば分子の方向は此等二力の合力の方向OBを取るべし而してOBの方向はOA及びODの方向及び其量の如何に關す今若しOAを次第に増加するときは分子的磁石は次第にOAの方に傾斜し磁氣は次第に強大となり其遂に無限大となるときは各磁石分子はOAに平行となりてM<sub>||</sub>の能率を有するに至るべし「イーウイング」は彼の抵抗力の摩擦に基因するとなすの  
不理論たるを説き分子的磁石相互の作用に依となし模形を作て種々の顯象に於ける實驗と此模形より生ずる實驗の結果の能く符合するを説けり而して兩者何れを取るもOAの大小に依り磁氣附ける狀況に三個の狀況ありて遂に一定の限界を超過する能はざるを知るに足る彼の鋼鐵に於て固定の磁氣を生じ軟鐵に於て之を生ぜざるの理は之れ亦抵抗力と磁氣附ける力との關係に依るなり

### 第五章 磁氣の測定及諸器械

六八、磁氣の測定 磁氣測定の主要部分は磁氣の軸磁氣能率及び磁力の方向及び其強さを測定するに他ならず然るに此測定は地球上に於て之を行ひ且磁石を用ふるを以て地球の引力地球の磁力の感應等の影響を蒙らざるとなし故に此等の擾亂も原因を成るべく除去するを要す地球の引力の影響を除去するは磁石の針の重心を羅針盤に於けるが如く支柱を以て支ふる力或は磁氣計(マクネトメーター)に於けるが如く糸を以て吊す力に依りて之を除去し得べし而して茲には單に其測定に關する一般の方法を示すに過ぎず

地球の磁氣の子午線の方向は磁氣計の針の方向なるを以て針の方向を知るときは磁氣子午線の方向を知り得べし磁氣の磁場に於ける磁力の方向亦之と同  
一理に依りて定むるを得べし但し地球の磁氣の作用するを忘るべからず  
六九、正切法 地球の磁氣子午線の方向をOQとし他の磁力の方向をORとしOPを針の此等二力に依りて平均せる位置とし $\alpha$ を角(POQ)とすれば此等二力



が針をしてOの周りに回轉せしめんとする能率は相等しからざるべからずHを地球磁氣の水平分力としfを東西に作用せる磁力とすれば

$$H \times RO = f \times OQ$$

$$\therefore f = H \frac{RO}{OQ} = H \frac{PQ}{OQ} = H \sin \theta$$

之れに依りてH及びthetaを求めばfを求めむるを得多くの磁氣計は此理を應用せるものにして鏡mの下に小なる磁石M(感應作用を小にする等の爲)を結び糸を以て垂下し其偏倚角を測る而して之を測る方法は光學論の條下に説明せる如く望遠鏡を用ゆ

磁氣計を用ゐて磁氣能率を求むる諸法中尤も便利なる方法に二様あり一は即ち磁石の軸に東西にして其軸上の一點に磁氣計を置くにあり此時に於ては

$$f = 2M/r^3 \quad f = H \sin \theta$$

$$\therefore M = \frac{1}{2} r^3 H \sin \theta$$

に依りてr、H及びthetaを求めばMを求め得べし又他の一法は磁石の軸を東西にし之に對稱の處に磁氣計を置くにあり然る時は

$$f = M/r^3, \quad f = H \sin \theta$$

$$\therefore M = r^3 H \sin \theta$$

に依りてMを求め得べし

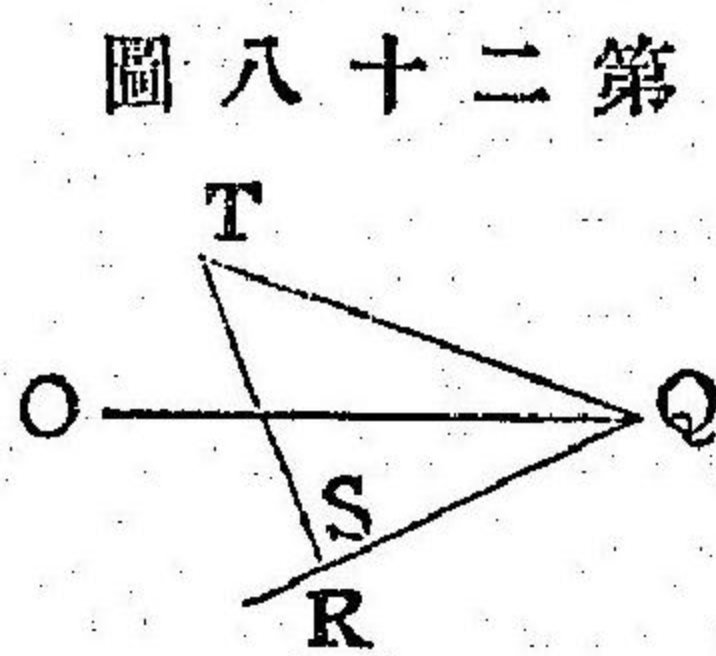
### 七〇、正弦法

正弦法とは磁氣計に作用する磁石を動かし磁石の方向と磁氣計の針の方向とを互に直角ならしむるにあり即ちOQを平衡せるとき針の方向としQTをHの方向としQRを磁石より生ずる磁力の方向とすればQTをQRの上に分解したる要素はQRに等しかるべし之をQSとすれば

$$QS = QR = H \sin \theta$$

$$\therefore f = H \sin \theta$$

正弦法に用うる磁場の強さが地球磁氣の水平の強さHより小なる時を良しとす



圖八十二第

七一、振動の方法 磁石を振れ力のなき糸を以て垂下し之を水平ならしめ糸の周りに振動せしめ其振動する時間を測定するにあり然るときは振動の時間其物體の糸の周りの惰性能率等より $MH$ を含める一の方程式を得べし此方程式と前に示せる方程式とに依り $M$ 及び $H$ の價を求むるを得べし

### 第六章 地球の磁氣

七二、地球磁氣の三要素 既に地球は一つの大なる磁石にして地球上に於て磁石を吊せば必ず殆んど南北を指示することを説きしが地球磁氣軸は地球の地理學上の軸と一致せず從ふて子午線と傾斜す此傾斜角を稱して地球磁氣の方位角と云ふ地球磁氣の磁場に於ける力の方向は所を異にするに從ふて同じからず赤道に於ては磁石を吊せば水平に磁氣子午線にありと雖も兩極に近くに従ふて漸次其北極下方に向ひて傾斜し地球の磁氣極に至るときは鉛直即ち水平と九十度の角をなすに至る其磁力が水平となす角を伏角と云ふ吾人若し此等二角を定むるを得ば磁場の方向を知るを以て此二角と磁場の強さ

方位角

伏角  
水平分力

とは地球磁氣に必要な要素にして之によりて地球磁氣は全く測定し得らるべし

方位角を知るの方法は前已に説明せり伏角を知るの法は横に針の重心を貫ける軸ありて此軸の周りに回轉し得べきニ針を磁氣子午線内に置けば針は力の方向に傾くを以て分度せる圓板上に針の指示せる度数を見て伏角を知り得べし又磁場の強さを求むるには正切と振動法とに依り $H$ を求むれば可なり地球上に於て此等の各要素は所の異なるに從ふて同じからず同一の方位角を有する處を連ぬる線を等方位角線と云ひ同一の伏角を有する處を連ぬる線を等伏角線と云ふ

等方位角線

等伏角線

此等三要素は同一の場所に於ても常に一定のものにあらず日々の變化四期の變化及び周期的變化をなす毎日の値は日出前より變じ來り午後二時頃に最大度に達す而して夜間は大抵同一の價を有す此の如き周期を有する變化の外尙ほ磁氣嵐と稱するものあり其變化極めて不規則にして隨時に來るものなり

磁氣嵐

周期的變化は太陽黒點の多少と關係を有するが如く又磁氣嵐は北光と關係を有するが如し

## 第八編 靜電氣學

### 第一章 摩擦電氣と感應電氣

七三、電氣學の區分 電氣學は電氣の顯象及び其原理を考究する學にして之を分て(第一)靜電氣を研究する靜電氣學(第二)動電氣たる電流を論ずる動電氣學(第三)磁氣及び電氣の關係を論ずる電氣磁氣學(第四)電氣振動及び波動を論ずる電氣波動論とし順を追ひ次を正ふして之を論せん

七四、電氣學進歩 電氣は後章説く所に依りて明なるが如く特殊の顯象にして物質にあらず又「エネルギー」にもあらずと雖ども常に物質と共に存在

し物質を離れて電氣なく之を一所より他所に動すに當りては「エネルギー」を要す加之之を生ずるに費したる「エネルギー」は其媒介に依りて之を變じて或は熱となし或は光となす事を得べき一種不思議の顯象にして古來より學者の研究せし所なりしが「マックスウェル」一たび「フレラデー」の思想を祖述し光の「エレキマグネチ」論を唱導し電氣亦「エーラル」の一種の狀況なりと論せし以來其理論實驗日に月に進み「ヘルツ」の電氣波發見を経て現今之を疑ふものなきに至れり余先づ靜電氣に關する諸顯象を説き次に其理論に及ばんとす

七五、靜電氣 玻璃或は樹脂の一片を取り之を摩擦するときは嘗て有せざりし一種奇異の性質を有し互に相吸引す然れども復び之を結合するときは直ちに其性質を失ふものゝ如し又他の玻璃と樹脂を取り同一の事を施すに又同一の顯象を生じ互に相吸引す然るに今斯くなされたる二箇の玻璃若くは樹脂を互に相接近せしむるときは吸引することなく却て反撥す其互に反撥吸引する現象を電氣の現象と云ひ其物體は電氣附けらるゝとか帶電せらるゝと云ふ而して玻璃と樹脂とに在ては玻璃に生ずる電氣は常に同一の性質を有し樹

陽電氣

脂に於ても亦然らざるなし其玻璃に生ずる電氣と同一の性質を有するものは之を陽電氣と云ひ樹脂に發するものと同きものを陰電氣と云ふ發電體は管に此等の物體のみに止まらず數多の物體は摩擦若くは他の作用に依りて電氣を生ずるものにして其二三の例を擧ぐれば猫皮、毛布、象牙、玻璃、綿布、絹、木、グーチ、コーク、封臘、樹脂、硫黃、カタバルカ等の如き物體は其二箇を取り之を摩擦するときは其上部に位するものは常に陽電氣を生じ下部に位するものは陰電氣を發す而して此の如き電氣を靜電氣と云ふ

### 七六、感應電氣

内空なる金屬の器を取り絹糸を以て吊し發電したる玻璃を器に觸るゝことなく其中に上せば始め電氣の現象を呈せざる器は忽ち外部に電氣附けらるゝに至る而して之を検するに陽電氣を反撥し陰電氣を吸引す然る後復び玻璃を器に接觸せしめずして之を遠くるときは忽にして金屬器は電氣を失ふ樹脂を以てするも亦然らざるなし是れ他なし器の電氣は玻璃の電氣に感應して生ずるものにして之を感應電氣と云ふ實に發電體を金屬に近くるときは常に金屬は電氣附けられて其發電體に近き部分は之と反對の電氣

感應電氣

を有し其之に遠き部分は同性の電氣を發す

### 七七、絶縁體

感應に依りて發電したる金屬と絹糸を以て吊したる他の金屬とを同じく絹糸を以て吊されたる金屬の線を以て連續するときは第二の金屬は前の金屬と同一の電氣を帶ぶるに至る此の如く電氣の一方より他方に移ることを導くに依りて電氣附けらるゝと云ふ

以上の實驗に依り之を見るに金屬は電氣を導き絹糸は之に反するを知る此の如く良く電氣を導くものを電氣の導體と云ひ之に反して電氣を導かざるものを不導體若くは絶縁體と云ふ總ての金屬動物等は導體にして空氣玻璃樹脂エポナイト象牙等は絶縁體なり然れども宇宙の物體は絶對的に良導體と稱すべきものなく又不導體なし而して二箇の發電體の中間にありて之をして互に相中和せしむることなく絶縁する「ミヂアム」(媒體)を不導媒體と稱す而して一般に媒體の電氣を傳導する力を比感應容量「スペンファイックインダクタ」(イカバシ)と云ふ實に完全なる良導體の比感應容量は無限大なりとす

### 七八、感應によりて生ずる二種の電氣の量

感應に依て電氣附

比感應容量



けられたる金屬と他の金屬を連続し傳導に依り第二金屬に電氣附け然る後之を離隔し第一金屬器に發電したる玻璃を接觸せしめずして遠くるときは第二金屬器は陽性に第一金屬器は陰性に授電するを見る次に導體を以て之を連續するときは此二箇の電氣は結合して二者共に全く電氣の性質を失ふに至る之に依りて之を見れば感應に依りて生じたる二箇の電氣は互に反對の性質を有し且其量相等しきを知るなり

**七九、摩擦によりて生ずる二種の電氣の量** 次に中空の金屬器中に同時に發電したる樹脂及び玻璃を絶縁して吊す時は前に於けると趣を異にし毫も電氣の性質を呈することなし之れ即ち摩擦に依りて生じたる二箇の電氣は互に相等しく且反對なるを證するに足る又A、Bなる二箇の金屬器に前の如く夫々玻璃及び樹脂を入れ然る後導體を以て之を聯結し次に之を離隔し又玻璃及び樹脂を去るときはAは陰性にBは陽性に受電すべし而してAと玻璃若くはBと樹脂とを第三の金屬器Cに前の如き方法によりて吊すときはCは毫も電氣の性質を帶ぶることなし之れ他なし玻璃の陽電氣とAの陰電氣若

くは樹脂の陰電氣とBの陽電氣とが互に相等しきに依るなり  
以上の事實に依りて之を見れば摩擦及び感應の作用に依りて發したる電氣は常に反對にして其量相等しく且同性の電氣は互に相反撥し異性の電氣は互に相吸引するを知る

今又一の金屬器Aを前の方法に依りて帶電し之を他の大なる器Bに入れ之を接觸せしめたる後Bを去るときはBは其量例へば $a$ の電氣を有すべし次に再びAに帶電しBに同一の方法を施せばBは $2a$ の電氣を保つ之を行ふこと $n$ 度なるときはBは $na$ の電氣を有するに至る之に依りて之を見れば電氣は又他の物理學上の諸量と同じく測定し得べき量なり然れども電氣は嘗て説明せる如く物質にもあらず又「エネルギー」にもあらず一種特奇のものたるを忘るべからず

**八〇、電氣に關する學說** 斯く論じ去り論し來れば讀者は自ら電氣

は如何なるものなるかの疑問を生ず可此疑問を解説せんが爲めに古來より諸學者の立論せしもの寡からず「スノー、ハーリス」は二箇流動體の説をなし宇宙間

マックスウェルノ説

の物體は其量相等しき陽電氣と陰電氣とを有し平常の場合に於ては此二箇の電氣は相合して其物體は恰も電氣を有せざるが如き觀をなすとなせり其後、フランクリンは一箇流動體の説をなせり曰く各物體悉く二箇流動體に髣髴たるものにして物體は同一の性質を有する物質陰電氣を云ふの外電氣流動體を有すと此の電氣流動體は互に逆自乗の法則に依り相拒反し所謂物質に對しても亦同一法則に依り吸引するものと假定し若し物體に存する流動體と拒反する度の其物質と相吸引する度と等しきときは其物體は飽和の狀にありて電氣性を示すことなく若し吸引する度大なるときは陽電氣附けられ然らざるときは飽和以下にありて陰電氣を示すものとせり然れども以上二説は皆未だ以て充分なりと云ふべからず是に於て「マックスウェル」は「ファラデー」の説を祖述し「エーテル」を基礎として之を論述せり凡そ電氣の作用は之を彼の二箇流動體説一箇流動體説に於ては直接作用と見做し之を説明せるが又其作用は中間の物體の媒介に依るものとなすも不可なることなし後者に從ふて之を解するは寧ろ穩當なるが如し媒體を基礎として論ずるときは其媒體の狀態如何は又自ら研

究するを要す「マックスウェル」は中間物體を光に於けると同一に「エーテル」となせり此媒體は電氣力の爲めに制肘せられ恰も繩條を以て之を曳くが如く電氣力の方向に張力を有し之に直角なる方向に同量の壓力を有するものとなせり例令ばA及びBなる蓄電器を金屬線を以て聯結するときはAに於ける「媒體」に在てばBよりAに向て陽電氣の順次傳播するものとなせり之を「電氣移動」と云ふ此の如き思想に依り「マックスウェル」は着々議論を進め遂に波動論に及ぼし光の電氣磁氣論に到着せり若し此説の如くんば「媒體」の異なるに依りて電氣の顯象異ならざるべからず而して實際に於ても之れを見る之れ實に第十九世紀に於ける大發見なりとす

### 第二章 電氣に關する諸法則

八一、クーロンの法則 吾人は已に電氣は測定し得らるべき量なることを云へり「クーロン」は自己の考案になれる振秤に依りて左の法則を發見せり二箇の電氣附けられたる物體の間に存する力は二物體間の距離の自乗に逆比

クーロンの法

例し電氣量の相乗積に正比例す  
即ち  $f$  を力とし  $r$  を距離とし  $e$  及び  $e'$  を電氣量となれば

$$f = \frac{e \times e'}{r^2}$$

但し  $k$  は用ゐる處の單位によりて定まる常數なりとす

### 八二、電氣量の單位

相等しき陽電氣を帯べる二物體を空氣中に於て單位の距離に置きたるとき相拒反する力が單位の力なるときは各物體にある電氣量を其單位とす此定義に従ふときは前方程式に於て  $k=1$  となるを以て一般に二帶電體の間に作用する力  $f$  は

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

なり

### 八三、電場

發電體の近傍にある物體は感應作用に因りて發電するのみならず他の發電體を其近傍に置くときは吸引若くは拒反の現象を呈するものなり即ち發電體の近傍は之が爲めに一種の状態にあるものにして他の發電體を其近傍に置くときは吸引若くは拒反せらるゝものなり故に發電體の近傍の

空間を稱して電場と云ふ而して電場の或點に於ける強さは單位の電氣を電場の點に置くとき之れに作用する力に依りて測定することを得べし

### 八四、「ポテンシアル」

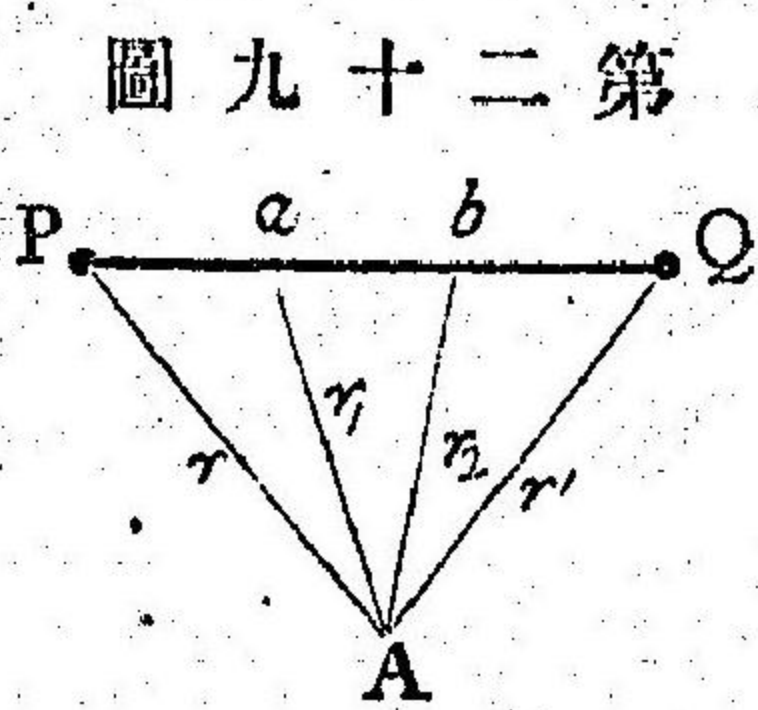
某點の「ポテンシアル」とは單位の陽電氣を無限大の距離より此點に運ぶに要する仕事の事なり即ち發電體  $A$  の近傍に於て單位の陽電氣を動すに之に近きときは多くの仕事を要し之に遠きときは同一の距離を近くるにも僅少の仕事にて足る故に此仕事の量を以て其點の状態を定むることを得べし若し宇宙に唯一の發電體  $A$  あるときは某點  $P$  に於ける「ポテンシアル」は  $A$  の有する電氣量を距離  $AP$  を以て除したる商に等し

今一點  $P$  と他の一點  $Q$  とに於ける「ポテンシアル」の差を定めんに

$$AP=r_1, AQ=r_2 \text{ とし } V_1 \text{ 及び } V_2 \text{ を夫々 } P \text{ 及び } Q \text{ に於ける「ポテンシアル」とし } e \text{ を } A \text{ 點の電氣量とす又 } PQ \text{ 間の距離を } r_1, r_2, \dots \text{ とす而して此}$$

より此等の點 ( $a, b, \dots$ ) に至る距離を  $r_1, r_2, \dots$  とす而して此各點に單位陽電氣を置くときは其力は

$$\frac{e}{r_1^2}, \frac{e}{r_2^2}, \frac{e}{r_3^2}, \dots$$



第二十九圖

なり然るに

仕事 = カ × (カの方角に動ける距離)

なるを以て  $a$  より  $P$  に動かす爲めになされたる仕事 ( $W_1$ ) は

$$e^{1/2}(e_1 - q) > W_1 > e^{1/2}(e_1 - q)$$

今  $n$  を非常に大となし従つて  $e_1 - q$  を非常に小となせば ( $W_1$ ) は  $\frac{e}{r_1}(e_1 - q)$  と見做す事を得べく即ち

$$W_1 = \frac{e}{r_1}(e_1 - q) = e \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right)$$

同一の方法に依り

$$W_2 = e \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_2'} \right), W_3 = e \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_3'} \right), \dots, W_n = e \left( \frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_n'} \right)$$

$W_1$  より  $W_n$  に至る仕事を加ふると  $W$  は

$$V_p - V_q = e \left( \frac{1}{r_p} - \frac{1}{r_q} \right)$$

$Q$  を無限大なりとして  $V_q = 0$  とすれば

$$V_p = e/p.$$

を得るなり

若し  $e_1, e_2, \dots, e_n$  なる電氣量を有する  $n$  箇の發電體あるときは某點  $P$  に於ける「ポテンシアル」は

$$V_p = \frac{e_1}{r_{p1}} + \frac{e_2}{r_{p2}} + \dots + \frac{e_n}{r_{pn}} = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{r_{pi}}$$

### 八五、「ポテンシアル」の差 二點間の「ポテンシアル」の

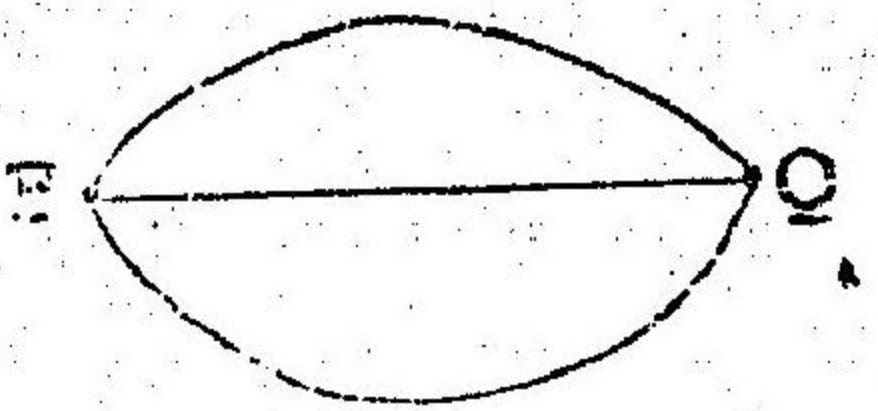
差は一點より他點に單位の陽電氣を連ぶるとき要する仕事にして前方程式を見るときは其仕事の量は  $V_p$  及び  $V_q$  に全く關係し其中間の行路如何に依る事なきを以て上圖に於けるが如く 1 2 3 4 等の行路を取るも其仕事の量は毫も異なる事なし

### 八六、電氣力即ち電氣動強度 「ポテンシアル」の定

$$V_p - V_q = f, (f = PQ = \text{に沿ひたる平均の電氣力})$$

なるを以て平均電氣力は「ポテンシアル」の距離に對する變化の割合なり今  $PQ$  を非常に小にするときは  $P$  及び  $Q$  は殊んど一致すべし故に某點  $P$  に於ける電氣力電氣動強度は其點に於ける「ポテンシアル」の距離に對する變化の割合なり

第三十圖



義に従へば

八七、同一「ポテンシャル」面 質點に於ける電氣は外物に對して前條説明せる法則に依り作用するを以て其「ポテンシャル」は前條得たる處のものなり故にPと同一の値を有する無数の點は電場に於て配列する事あるべし此無數の點は一の表面上にありて其表面上の各點に於ける「ポテンシャル」は同一の値を有す此の如き表面を稱して同一「ポテンシャル」面と云ふ單一の質點に存する電氣の場合に於ては其表面は常に球なるべし故に

$$V = \frac{Q}{r}$$

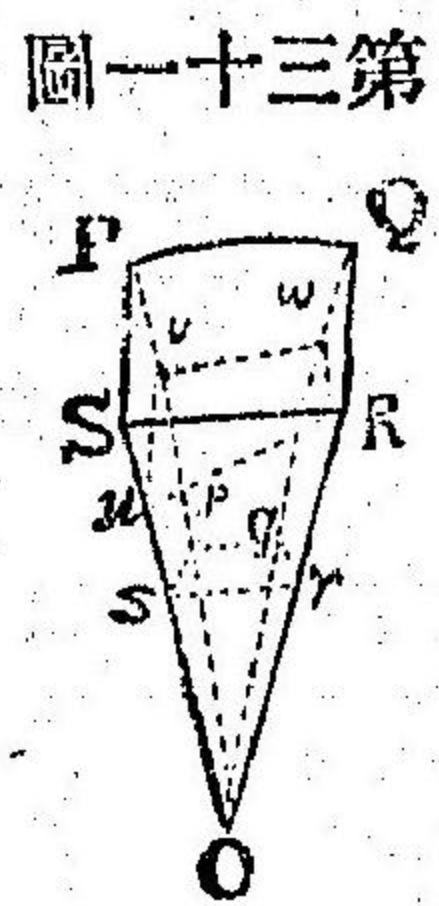
に相當する同一「ポテンシャル」表面を作らんと欲せば各點を中心として某價の「ポテンシャル」を有する球面を作るときは其球面の交叉せる所の「ポテンシャル」は其交叉せる球に相當する「ポテンシャル」の加に相等し此の如くにして分値の「ポテンシャル」を有する各點を求むれば此各點は一の表面を作るべし是れ即ち此場合に於ける同一「ポテンシャル」面なり

八八、指力線 電氣力は「ポテンシャル」の距離に對する變化の割合なるを以て其方向は同一「ポテンシャル」面に垂直なること明なり此の垂直なる線は一

電力管

の曲線を作るべし此曲線を「指力線」と云ふ故に同一「ポテンシャル」面の球なるときは「指力線」は半徑の方に向へるものなり今「指力線」の束に依りて圍まれたる空間を考ふれば一の管を作るべし之を「力管」と云ふ而して同一「ポテンシャル」面の單位面積を一箇の「力管」の通過するとき其點に於ける電氣力を一とすれば單位の面積を通過する「力管」の數に依りて其點に於ける電氣力の強弱を知り得べし

八九、「ガウス」の定理 電場に於ける任意の包圍曲面上の垂直電氣感應の總和は曲面内に存する電氣量の和に $\epsilon_0$ を乗したるものに等し但し垂直電氣感應とは曲面の要素微小部分と之に對し外方に向へる垂直線に於ける電氣強度を乗したるものにして包圍曲面上の垂直電氣感應總和とは此の如き小垂直電氣感應を曲面全體に施し之を加へたるものなり



先づ電場の單一電氣量に於ける場合を論せんとす。電氣量 $e$ を有せる發電體の位置とし發電體の大きさは電氣強度を算する點の距離に對して非常に小なりとす。PQR SをOと聯結し

ORに直角にRを通過して平面R<sub>uvw</sub>を書き各線とR<sub>uvw</sub>に於て交はらしむ又  
 oを中心とし單位の半徑を以て球を書き各線とp<sub>qrs</sub>に交はらしむ  
 然るにPQRRは非常に小なるを以て其面に於ける電氣強度は各所相等しと見  
 做し得可く且Rに於ける價はeOR<sup>2</sup>なりNをPQRSに對する垂直電氣強度とす  
 れば

$$N = eOR^2 \cos \theta,$$

θはPQRSとR<sub>uvw</sub>とのなす角なりとす故に垂直電氣感應は

$$\text{面積}(PQRS) \times N = \text{面積}(PQRS) \times \cos \theta \cdot eOR^2.$$

然るに

$$\text{面積}(PQRS) \times \cos \theta = \text{面積}(R_{uvw})$$

$$\therefore \text{面積}(PQRS) \times N = \text{面積}(R_{uvw}) \times eOR^2, \quad (1)$$

然るにR<sub>uvw</sub>はp<sub>qrs</sub>相似形なるを以て

$$\text{面積}(R_{uvw}) : \text{面積}(p_{qrs}) :: OR^2 : or^2,$$

$$\text{面積}(R_{uvw}) / OR^2 = \text{面積}(p_{qrs}) / or^2 = \text{面積}(p_{qrs}) \quad (2)$$

即ち  
 故に方程式(1)及び(2)に依りて

$$\text{面積}(PQRS) \times N = e \times \text{面積}(p_{qrs}) \quad (3)$$

之に依りて之を見れば微小要素に於ける垂直電氣感應は發電體を中心とし單  
 位の半徑を有する球面要素を底面とし發電體を頂點とせる圓錐體の切斷する  
 面積に電氣量を乗じたるものに等し  
 先づ發電體の包圍内部にある場合を論せんに曲面要素を底面とし發電體を頂  
 點とし圓錐體を書けば此圓錐體は曲面を切斷すること奇數にして圓錐母線の  
 曲面内部より外部に向ふ度數は外部より内部に向ふ度數より多きこと一なり  
 而して母線の内部より外部に向ふ處に於ける垂直電氣感應は前述の理により  
 て其量相等しく而して其性質全く相反するを以て相消殺し其和全く零となる  
 故に包圍曲面内に發電體あるときは垂直電氣感應の總和は電氣量と單位半徑  
 の球面要素との相乗積の和に等し然るに此の如き球の面積は4πなるを以て垂  
 直電氣感應の總和は4πεなり  
 次に發電體の包圍曲面外に於ける場合を論せんとす此場合に於ては圓錐體の  
 母線が曲面の内部より外部に向ふ度數は外部より内部に向ふ度數と同一なる

を以て其結果全く相消殺し垂直電氣感應の總和は零なり  
 發電體の數一ならざるときは同一の法に依りて各別に垂直電氣感應を求め之  
 を加ふれば得べきを以て以上の定理の正確なるを知るに足る而して包圍曲面  
 内に於ける發電體の量を $\Sigma q_i$ とし其外部にあるものを $\Sigma q'_i$ とし全量を $e$ とすれば  
 $e = \Sigma q_i$ の與ふる垂直電氣感應の和は零なるを以て曲面に於ける垂直感應の總  
 和は $\Sigma q'_i$ 即ち曲面内の電氣量の和に $4\pi$ を乗じたるものに等し常に電氣に於て  
 然るのみならず磁氣に於ても同一の定理の正確なること證明し得べし

**九〇、均一に帶電せられたる球の外部に於ける某點の電氣力**

Oを球の中心としPを球の外部の一點とすPを通しOを中心として球を畫く  
 ときは此球面上の各點に於ける電氣強度は其價同一にして其方向は半徑の方  
 向なるべし何となれば球は均一に帶電せらるるを以てなり故に電氣強度をR  
 とすれば垂直電氣強度はRなるを以てPを通じて畫ける球面上の垂直電氣感  
 應の總和は $4\pi OP \times R$ なり然るに前條の理に依り $4\pi e$ に等しきを以て

$$R \times 4\pi OP = 4\pi e$$

$$R = \frac{e}{OP^2}$$

故に均一に帶電せられたる球の外部にある點に於ける作用は恰も電氣量が球  
 の中心に集中せると同一なり

**九一、均一に帶電せられたる球形「シエル」の内部に於ける電氣力**

Qを本部の一點としRを電氣強度としOを球の中心とすQを通しOを中心と  
 して、一の球面を作れば前と同一の理に依り此球面上の垂直電氣感應の總和は  
 $4\pi OQ^2 \times R$ にして又其曲面内の電氣量に $4\pi$ を乗じたるものに等し然るに電氣量  
 は曲面内に存在することなきを以て「ガウスの定理に依り

$$4\pi R \times OQ^2 = 0,$$

$$\therefore R = 0,$$

即ち均一に電氣附けられたる球形「シエル」の内部の電氣力は零なり

**九二、全く包繞せる傳導體の内部に於ける「ポテンシャル」**

傳導體の表面は同一「ポテンシャル」面なり何とれば若し「ポテンシャル」所に高  
 くして他所に低きときは電氣は平衡を失し直に一方より他所に流るるを以て

なり彼の感應の作用に依りて傳導體の一方に陽電氣を生じ他所に陰電氣を生じて電氣の性質相反するときに於ても亦異なることなし而して此同一「ポテンシャル」面を以て包繞せられたる傳導體の内部は其表面と同一の「ポテンシャル」に在り

電氣力は「ポテンシャル」の距離に對する變化の割合なるを以て傳導體の内部に於ては電氣力の存在することなし之を驗するには絶縁せる傳導體の球と及び恰も之を蔽ふ如き各々絶縁せる二箇の傳導體の内容半球を作り此の二半球を以て球を包み球より電氣を傳導して其「ポテンシャル」に至らしめ然る後二箇の半球を去り之を遠け内部の球を驗するに毫も電氣を帶ぶることなし之れ實に「カペンヂッシュ」の實驗法なり「ファラデー」は「カペンヂッシュ」に無關係に同一の事實を發見せり彼は此發見をなせし後尙ほ事實の正否を驗せんと欲し十二呎立方の室を作り其外面に錫箔を以て蔽ひ常に強大なる電氣を通じ然る後悠然として驗電器を携へ其室内に入れり然れども驗電器は毫も異狀無く彼亦斃死することなかりし彼等が斯學研究に熱心なる實に驚くに堪へずや當今の學

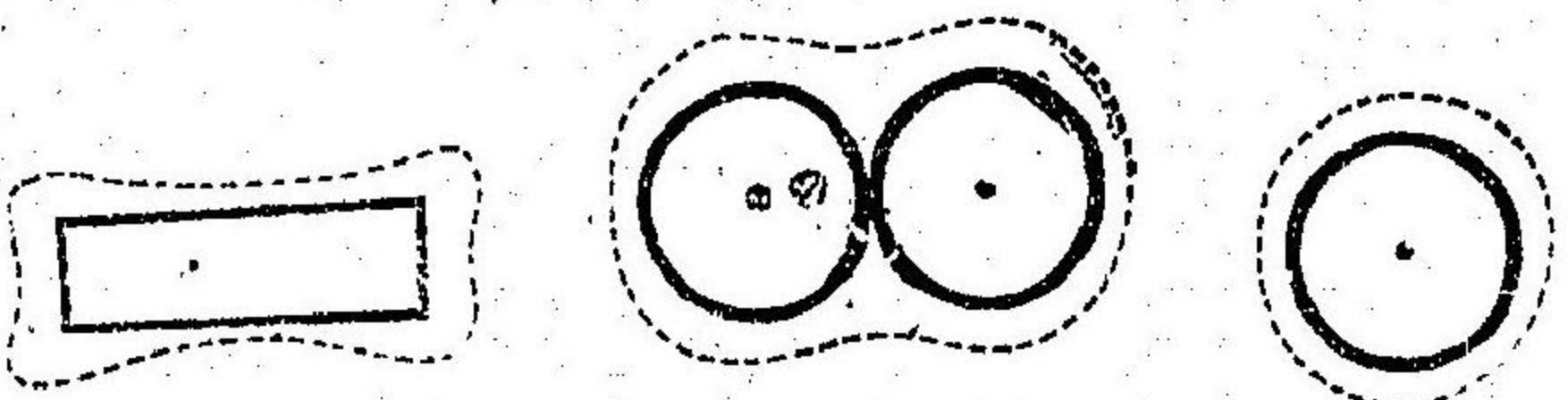
「カペンヂッシュ」の實驗法

者にして彼れの如き勇氣あるもの果して幾人かある

九三、電氣と密度

傳導體に於ては電氣は其表面にのみ存在するものなりと雖も各物體皆然にあらず故に電氣密度に容積密度面積密度及び線密度の區別あり某點に於ける容積密度とは其點を中心として小球を作り此球に含まれたる電氣量を其容積にて除したる商の極限值なり電氣若し傳導體の場合に於けるが如く表面にのみ存在するときは面積密度を以て之を測る某點に於ける面積密度には其點を中心として畫けるに圓内の電氣の量と其面積との比の極限值にして線密度とは線の長さと共に含まれたる電氣の量との比の極限值のことなりとす單一なる球相接せる二球及び「同壘盤」に於ける電氣配置の狀況は圖に於て點線を以て示せるが如し

第三十圖



九四、電氣附けられたる球の表面に於ける力 球に於ては電氣均一に分配せるを以て電氣量Qを有せる球の表面密度をρとすればQは4πr<sup>2</sup>ρ



なり然るに球は其中心に對し點對稱なるを以て均一に電氣附くるときは其外界に對する作用は猶ほQが中心に集合せる作用と異なるものなきものなり故に表面に單位の陽電氣を近くるときは之に作用する電氣力fは

$$f = \frac{Q \times 1}{r^2} = \frac{4\pi r^2 \rho}{r^2} = 4\pi \rho$$

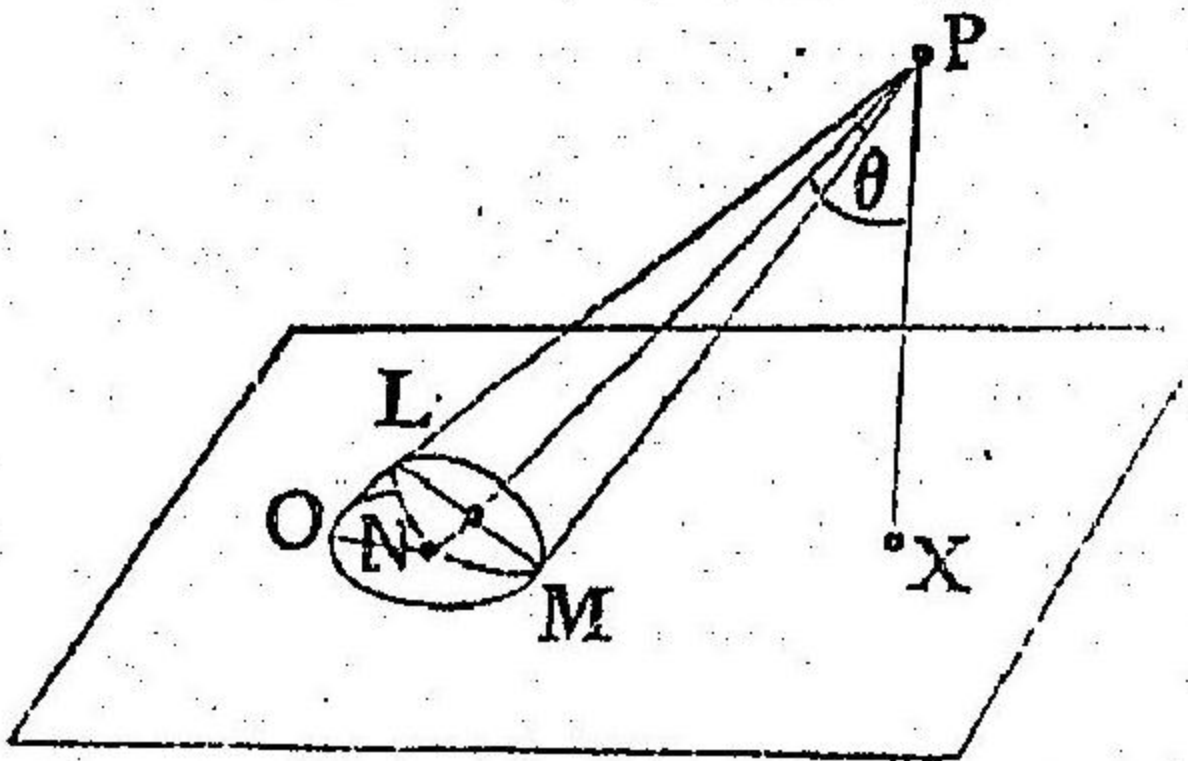
なり即ち球の表面に近接せる單位陽電氣に此球の作用する力は其表面密度に4πを乗じたるものに等し

**九五、均一帯電の平面(無限大)の表面に於ける電氣力** 表面無

限大なるときは其界限有限内にあらざるを以て邊緣の影響を受くるとなし而して表面の一方に於ては其力 $\frac{1}{2} \rho$ 他方に於ては $-\frac{1}{2} \rho$ なり何となれば一方に於ては單位陽電氣右より左に動き他方に於ては左より右に動くべければなり故に其變化は球に於けるが如く又 $\frac{1}{2} \rho$ なり之れ實に重要な事項なり今其 $\frac{1}{2} \rho$ なることを證せんとす

Pを表面外の一點としPより垂直線PXを下し之と角θをなすPNを作る又PNを

第三十三圖



軸Pを頂點として極めて微小なる圓錐を書けばNの周圍に楕圓を切斷す而して先づ此楕圓に於ける作用を見るにLMをPNに垂直なる切斷面とし $\alpha$ を立體角とすれば

$$LM = MO \cos \theta \quad \therefore MO = LM / \cos \theta = r \omega / \cos \theta$$

故にMOのPに於ける作用はPNの方向に $(\frac{1}{2} \rho \cos \theta) / r^2$  即ち $\frac{1}{2} \rho \cos^3 \theta$ の力を以て拒反す今此力をPXに平行及び垂直なる二方向に分解すれば

$$\text{垂直なる力} = (\frac{1}{2} \rho \cos \theta) \sin \theta = \frac{1}{2} \rho \sin 2\theta$$

$$\text{平行なる力} = (\frac{1}{2} \rho \cos \theta) \cos \theta = \frac{1}{2} \rho \cos 2\theta$$

然るにPXに垂直なる力はNと對稱の位置に在る點の作用に依りて相消殺せらる而して平面は無限大なるを以てPXに對して對稱なり故に單にPBに平行なる力のみ殘留す即ち斯くして得たる合力は

$$Z_{\text{net}} = 2\pi \rho$$

を得べし

**九六、電氣の張力** 電氣は器械的張力の如き一の張力と及び之に垂直の方向に壓力を有することを説けり而して $R$ を電氣動強度(電氣力)とすれば張力は $R^2/8\pi$ にして壓力亦 $R^2/8\pi$ なりとす

**第三章 傳導體に關する理論**

**九七、傳導體の電氣容量**

大小數箇の球を取り之等に同量の電氣を荷し其ポテンシアルを見るに皆悉く異ならざるなし實に「ポテンシアル」は傳導體の形狀大さ電氣の量及び四圍の境遇に依りて變ずるものなり即ち其電氣容量に依りて異なるものなり傳導體の電氣容量とは凡べて他の傳導體の「ポテンシアル」が零にして自己の「ポテンシアル」なるときに於ける其電氣容量なり即ち $Q$ を其電氣量とし $C$ を傳導體の電氣容量とし $V$ を「ポテンシアル」とすれば

$$Q = VC$$

なりとす球の場合に於ては $r$ を半位とすれば其電氣容量は $r$ に等し何となれば球に於ては其中心に電氣が集中せるものと見做し得べきを以て傳導體の「ポテ

電氣容量

ンシヤル」は $r$ にして又前方程式に依るときは $V$ は $Q/C$ なるを以てなり此の如き單純の場合に於ては之を算出すると難からずと雖も其形狀の如何に依りては之を算出すると能はざるなり

加之唯一の傳導體の存在するときは前述の如しと雖ども數多の傳導體同時に互に近接するときはその電氣容量は相互の感應に依りて變ず例へば自己の有する電氣と異性の電氣を有するもの其近傍に來るときは從つて自己の電氣を増し自己と同性の發電體來るときは其電氣を減す今二箇の球形傳導體ありて $r_1$ 及び $r_2$ を其電氣容量とし其間の距離を $r$ とし $q_1$ 及び $q_2$ を電氣量とし $V_1$ 及び $V_2$ を其「ポテンシヤル」とすれば

$$V_1 = \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}, \quad V_2 = \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_1}{r_1}$$

$$q_1 = r_1(1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1} V_1 - r_1 r_2 r^{-1} (1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1} V_2$$

$$q_2 = r_2(1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1} V_2 - r_1 r_2 r^{-1} (1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1} V_1$$

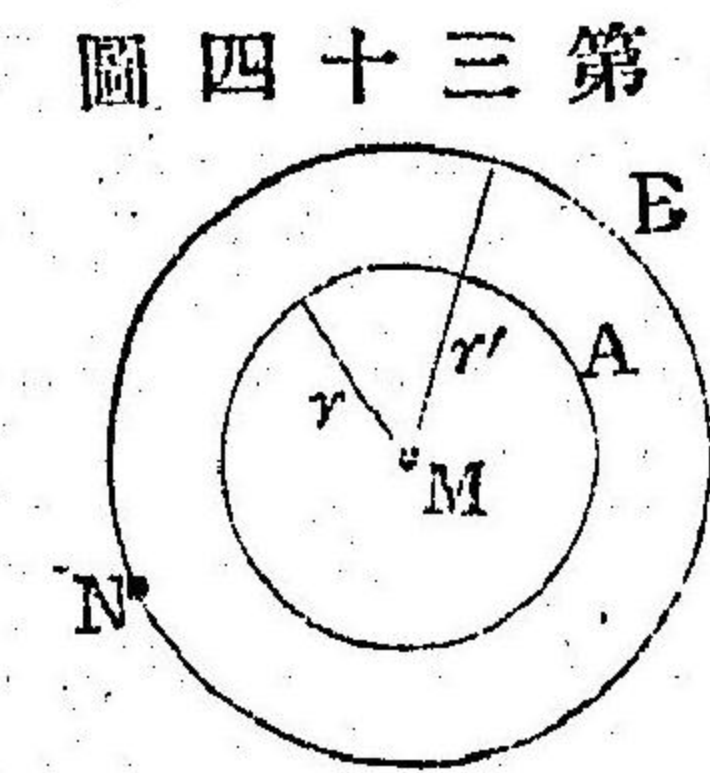
なるを以て二箇の傳導體のときに於ては其電氣容量は $r_1(1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1}$ 及び $r_2(1 - r_1 r_2 r^{-2})^{-1}$

にして相互の感應は  $\frac{1}{r_1 r_2} (1 - \frac{r_1^2}{r_2^2})$  なるを知るなり其數値あるときに於ては算出すると容易ならず然れども若し其間甚だ隔絶して互に感應なくんば之を算出すると難からず今數多の傳導體を金屬線を以て連結するときは同一の「ポテンシャル」となるが故に  $V$  を其「ポテンシャル」とし  $q_1, q_2, \dots, q_n$  を電氣容量とし  $q_1, q_2, \dots, q_n$  を各電氣量とすれば

$$V = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_n}{\sum \frac{1}{C_i}} = \frac{\sum q_i}{\sum \frac{1}{C_i}} = Q$$

なるを以て此場合に於ける電氣容量は各々の電氣容量の和に等し

**九八、二同心球の電氣容量** A, B なる二同心球の



場合に於て内球 A に電氣  $Q$  を與ふる時は外球 B の内面に  $-Q$  を生じ其外面に  $+Q$  を生ず今 B の外面を地に結べば此  $+Q$  は去りて遠ざかるべし然るに二球の中心 M に於ける「ポテンシャル」 $V_M$  は

$$V_M = \frac{Q}{r} - \frac{Q}{r'}$$

但し  $r, r'$  は夫々球 A, B の半径を表はす而して B の外面にある一點 N に於ては

$$V_N = \frac{Q}{r'} - \frac{Q}{r'} = 0$$

$$V_M - V_N = Q \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r'} \right) = Q \left( \frac{r' - r}{rr'} \right)$$

なるを以て此の如き組合に於ては其電氣容量は  $\frac{rr'}{r' - r}$  なりとす

**九九、平行なる二平面の電氣容量** 二箇の平行なる無限大平面の場

合は此結果より算出し得べし何となれば平面は無限大の半径を有する球面と見做し得べければなり仍て C を二球の半径の差とすれば  $\frac{1}{r} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{C}$  なるを以て

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{r'} = \frac{1}{C} \Rightarrow \frac{1}{r} = \frac{1}{r'} + \frac{1}{C} + \dots$$

今單位面積に於ける電氣量を  $q$  とすれば  $Q = 4\pi r^2 q$  なるを以て

$$V_A - V_B = 4\pi r^2 q \times \left( \frac{1}{r} + \dots \right)$$

とすれば

$$=4\pi r^2 \sigma$$

面積  $S$  に於ける電氣の量を  $Q$  とすれば  $Q = \sigma S$  なるを以て

$$C = \frac{S}{4\pi r^2} (V_A - V_B)$$

### 100. 比電氣容量

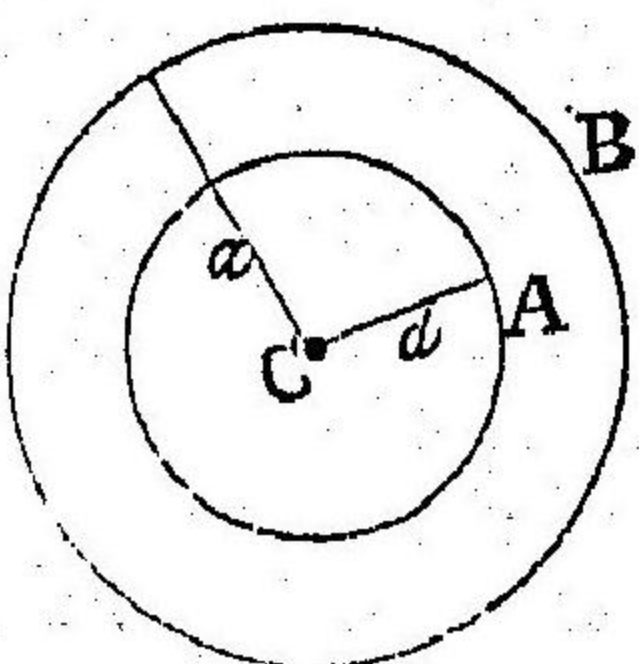
「スベシフィック、インダクタ、カバシター」は吾人は曾て電氣の作用は直接作用にあらずして中間の媒介者に依るとなせり果して然らば其不導媒體は空氣なるか將た玻璃なるか等に依りて電氣に關する種々の數量の變化を生ずべきは自然の理なり前條述べたる二同心球の場合の如きも其間空氣なるときは電氣容量は此の如しと雖ども然らざるときは異なるものなり此事實は「カベンチツシュ」及び「アテデー」共に發見せるものにして最近に至りて其究研大に進歩せり其不導媒體の比電氣容量「スベシフィック、インダクタ、カバシター」とは蓄電器の不導媒體として其物體を用ふるときは空氣を用ふる時に於ける電氣容量の比のことなり今左に二三の例を示さん

### 比電氣容量

空氣	1.000	玻璃	3.01	3.258	エポナイト	2.289
ターヘンチン	42.16	石油	2.03	二硫化炭素	1.81	
又「ホルツマン」氏の研究に依れば瓦斯に於ては						
空氣	1.000	眞空	0.929410	水素	0.999674	
炭酸	1.000356	テレフエアン瓦斯	1.000722			

### 101. 電氣像

絶縁せられたる傳導體の球の近傍に發電體の存在するときは電氣像の理に依りて傳導體の状態を知ることを得べし今  $e_1$  及び  $e_2$  の電氣量あるときは某點  $P$  の「ポテンシャル」 $V$  は  $e_1/r_1 + e_2/r_2$  にして  $V$  の一定なるとき  $P$  の軌跡は球なりとす電氣像の理は之に基けるものなり若し傳導球を地に結ぶときは  $V=0$  即ち  $e_1/r_1 + e_2/r_2 = 0$  なる方程式に依りて球の半徑を得べし而して球の半徑及び  $e_2$  を知るときは自ら  $e_1$  を知り得べし此法を施さん



第三十五圖

$$BC = \frac{a^2}{2} \quad (a = \text{半徑} \dots d = CA) \text{ とし } B \text{ に } e_2 = e_1 a / d \text{ なる電氣の存するも}$$

のとすれば球の外面に對しては實際球面に分布せる電氣と同一の作用をなすものなり此點は恰も鏡に於ける虚像に類するを以て之れを像と名く「電氣像」は點若くは點の組合にして表面に對して其所存と反對の側に實際表面に分布せる電氣と同一の作用を生ずるものなり此法に依り其表面密度を算すれば距離の三乗に比例するを見る

一〇二、傳導體に於ける「エネルギー」 「ポテンシャル」の定義に依り單位カ陽電氣を  $V$  なる「ポテンシャル」の處に運ぶ仕事は  $V$ 「エルグ」なり今  $Q$  なる陽電氣を運ぶときは其爲されたる仕事は  $QV$  なるべし然るに初め電氣なく又「ポテンシャル」零なるが故に其平均「ポテンシャル」にして全體の仕事は  $\frac{1}{2}QV$  ならざるべからず然るに  $Q = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{R}$  は電氣容量とすなるを以て「エネルギー」は  $\frac{1}{2}Q^2$  なり即傳導體の有する「エネルギー」は其電氣容量に逆比例し電氣量の自乗に正比例す傳導體の組合に於ては相互の感應を算入せざるべからず而して「エネルギー」の不滅の理に基きて放電のときに費さるゝものは此「エネルギー」に等し

#### 第四章 放電の種類

一〇三、放電 不導媒體の一點に於て電氣力漸々増加するときは遂に其抵抗に打勝ち俄然として放電を生ず而して光及び響は大概此現象に伴ふものなり放電の生ずるときに於ける電氣力は其不導媒體の強さを測定する尺度にして物體の異なるに由りて同じからず空氣にありては濃厚の場合は稀薄の場合に比し此現象生じ難し

一〇四、「グロー」 發電體若しくは傳導體に於ける鋭尖の點は之に電氣附くれば無限大の表面密度を有するに至るべし然るに之を圍繞する空氣の分子は同じく帶電して其體の一部分を形成す故に若し空氣の分子にして一定不動なるときは或は無限大の密度を有するを得べしと雖ども空氣の分子は其行動自由なるを以て發電體と同姓電氣を有するや直に相反撥し去て他所に赴き四圍の物體に或は衝突し或は之れを感應す而して他の新分子は舊分子に代りて尖點の近傍に來たり又同一の運命に遭遇す凡そ空氣分子の受電するや必竟尖

のとすれば球の外面に對しては實際球面に分布せる電氣と同一の作用をなすものなり此B點は恰も鏡に於ける虚像に類するを以て之れを像と名く「電氣像」は點若くは點の組合にして表面に對して其所存と反對の側に實際表面に分布せる電氣と同一の作用を生ずるものなり此法に依り其表面密度を算すれば距離の三乗に比例するを見る

一〇二、傳導體に於ける「エネルギー」 「ポテンシャル」の定義に依り單位が陽電氣をVなる「ポテンシャル」の處に運ぶ仕事はV「エルグ」なり今Qなる陽電氣を運ぶときは其爲されたる仕事はQVなるべし然るに初め電氣なく又「ポテンシャル」零なるが故に其平均ポテンシャル $V$ にして全體の仕事は「QV」ならざるべからず然るに $Q = \kappa V K$ は電氣容量とすなるを以て「エネルギー」は「QV」なり即傳導體の有する「エネルギー」は其電氣容量に逆比例し電氣量の自乗に正比例す傳導體の組合に於ては相互の感應を算入せざるべからず而して「エネルギー」の不滅の理に基きて放電のときに費さるゝものは此「エネルギー」に等し

#### 第四章 放電の種類

一〇三、放電 不導媒體の一點に於て電氣力漸々増加するときは遂に其抵抗に打勝ち俄然として放電を生ず而して光及び響は大概此顯象に伴ふものなり放電の生ずるときに於ける電氣力は其不導媒體の強さを測定する尺度にして物體の異なるに由りて同じからず空氣にありては濃厚の場合は稀薄の場合に比し此顯象生じ難し

一〇四、「グロ」 發電體若しくは傳導體に於ける鋭尖の點は之に電氣附くれば無限大の表面密度を有するに至るべし然るに之を圍繞する空氣の分子は同じく帯電して其體の一部分を形成す故に若し空氣の分子にして一定不動なるときは或は無限大の密度を有するを得べしと雖ども空氣の分子は其行動自由なるを以て發電體と同性電氣を有するや直に相反撥し去て他所に赴き四圍の物體に或は衝突し或は之れを感應す而して他の新分子は舊分子に代りて尖點の近傍に來たり又同一の運命に遭遇す凡そ空氣分子の受電するや必竟尖

點の密度大となり「不導媒體」の支ふる力足らざるに至るを以て徐に之に放電するに他ならず故に此の如き場合に於ては尖點と其近傍の空氣間に常に小なる火花を生ず此放電は空氣の運動に依りて生ずるものなれば人工に依りて之を助くるときは放電益々盛なるに至るべし

此場合の如き放電を「グロー」と云ひ又流動に依りて生ずる放電と稱するとあり「グロー」は濃厚の空氣に於けるよりも稀薄の空氣に著しく又尖點の電氣陽性なるときは殊に容易なりとす陽陰二電氣の多少性質を異にするは管に之に止まらずと雖ども茲に之を贅せず

一〇五、電氣箒 電氣箒も亦不導媒體の防禦の破るゝに他ならず而して此場合に於ては其作用劇甚にして其狀箒の如し

一〇六、電氣火光 二傳導體間の張力非常に増加するときは遂に不導媒體の抵抗を打破して火花となりて放電す而して火花の生ずるや此媒體中の最弱點を求め之に沿ふて傳播するものにして空氣中の塵埃等は大に與て力あり此顯象は媒體の異なるに依りて同じからず眞空管中に於ける火花の狀況は一種

特異にして之に伴ふて種々の顯象を生じ輒近學者の大に研究する所なるを以て後章再び之を説く所あるべし

## 第五章 空氣に於ける電氣

一〇七、雷鳴 電鳴及び電光は放電に伴ふ光及音響にして通常電氣器より生ずるものと其の性質を同くす唯だ量の大なるに過ぎず「フランクリン」の紙蓋の實驗は此の事實を證明せるものにして能く人の知る所なり而して雷鳴の生ずるは非常なる「ポテンシャル」の差を要するを以て特に之れを生ずる所以を説明せんとするなり雲霧は空氣中に浮遊せる水分子にして此の水分子は地上より蒸發し皆多少の電氣を有す然るに此の水分子は地球引力の爲めに下降する際互ひに結合して雨となり雲となり又霰となる而して始め水蒸氣のときに於て體中に有せし電氣は水となるに及んで其の表面に分布するが故に吾人は水分子若しくは雨滴を某電氣容量を有する球形の傳導體と見做すことを得べし此の極微の傳導體の再び結合して雨滴即ち大なる傳導體を形成するに際し

非常に其の「ポテンシャル」を増加す何となれば例令ば八個の小球結合して一箇の球を作るとするときは其の球の半径は前の二倍なるが故に電氣容量は小球の二倍なるべし然るに電氣の量は八倍なるを以て「ポテンシャル」は四倍に増加せざるべからざればなり斯くの如く極微の水分子の漸次結合して下降するに従ひ「ポテンシャル」は非常に増加し遂に地上若くは他の低き「ポテンシャル」を有する處に向つて放電するに至る之れ沛然として驟雨の起る際雷鳴の生ずる所以なり

**一〇八、電光** 電光に三種あり(1)「ジグザグ」この顯象は空氣中に異性電氣の結合を容易ならしむる固形分子の存在するか或ひは電氣の一所に存在するときに起るものなり即ち其の行路は折線狀をなす(2)全表面の輝くものにして天の一方に雲より雲に放電するときのごときは是れなり(3)球狀電光火焰の球の如きものにて徐に進行し忽ちにして爆發するものあり此の顯象は起ること稀なり

**一〇九、空氣中の電氣** 數多の學者の研究の結果にれば快晴のときに

於ては下層の濃厚なる空氣は絶縁體となり上層の稀薄の空氣は陽性に帯電せられ地球は陰性に帯電せらるゝこと恰も蓄電器の如しと雖ども雨天に於ては其狀態全く之れと異り變幻極りなし且つ空氣中電氣の量は一日に於ても一年に於ても最大最小の時あり

**一一〇、北光及南光(テオーラ)** 北極圈及び南極圈に於て殆んど毎夜電光を見る電光の形は穹窿に沿ひたる線狀にして恰も扇の如く其色或は淡赤色を帯ぶあり或は然らざるあり而して北極圈に顯出するものを北光と云ひ南極圈に生ずるものを南光と云ふ此顯象は地球磁氣の變化と大なる關係あるが如し

**一一一、諸種の發電** 電氣は摩擦、感應等に依りて生ずるのみならず尙打撃、物體振動、折衝、急劇の割裂或は結晶及び凝固するとき或は其燃燒及び蒸發等に依りても發電するものなり、壓力亦物體をして發電せしむ「コルク」を琥珀に壓するときの如き此例なり

**一一二、熱電氣(バイロ電氣)** 某結晶體は之を熱し或は之を冷却する



とき其一部分に發電す之を熱電氣と云ふ電氣石は其好適例にして之を熱するときは一方に陽電氣を發し他方に陰電氣を生ず然る後此見懸けの電氣を除去し之を冷却して原温度に復するときは陽電氣の生せし處に陰電氣を生じ陰電氣發せし處に陽電氣を生じ前と反對の顯象を呈す

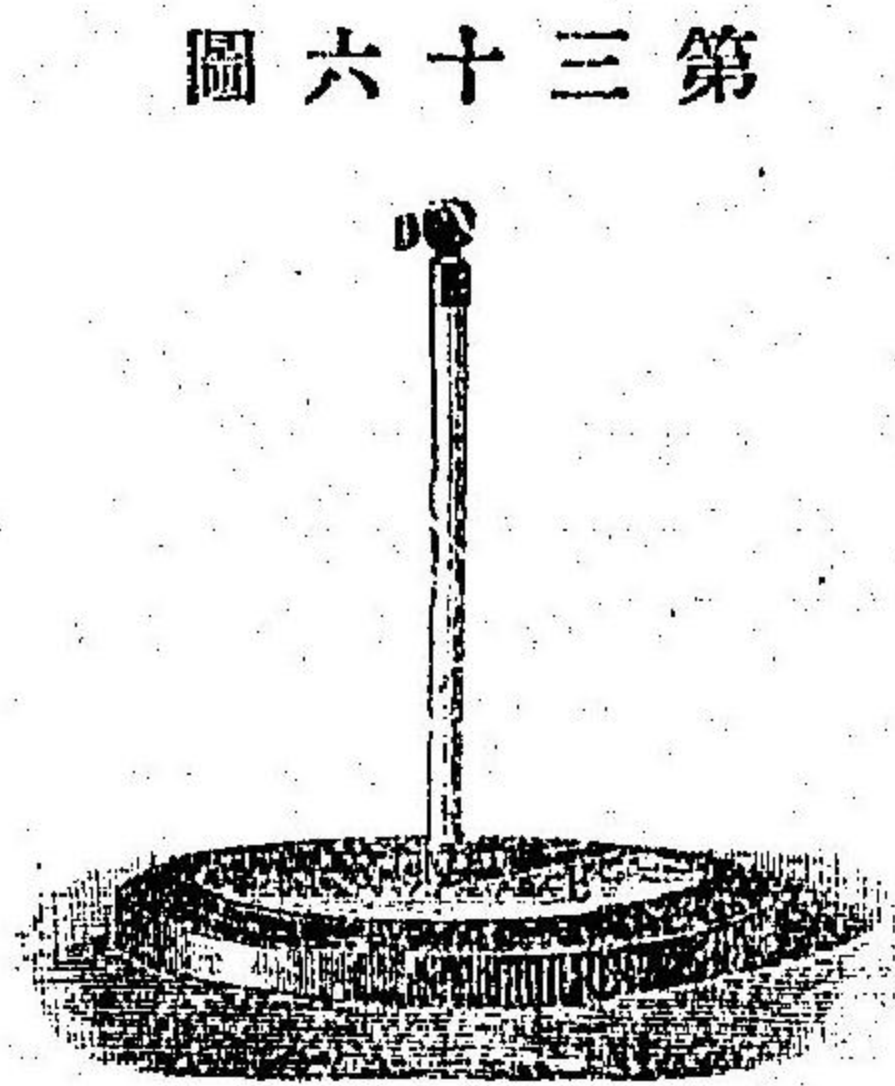
一一三、壓電氣(ピエゾ)電氣 某結晶體は之に壓力を加ふるときは發電す此の如き電氣を稱して「壓電氣」と云ふ例令ば乾燥せる指頭を以て寒水石の斜稜に沿ふて之を壓するときは發電するが如し雲母水晶等は皆同一の性質を有す

此の如き顯象の生ずるは全く物體分子の構造に依て然らしむる所なり其他動物中電氣を有するものなり

### 第六章 電氣に要する諸器械

- 一一四、發電氣器 靜電氣に必要な諸器械は之れを分ちて四種とす(第一)發電氣器(第二)増電氣器(第三)驗電器(第四)蓄電器是なり

發電氣器の一般の原理は少許の電氣を有する所と之に依りて感應する感應器と及び其感應電氣を運搬する運搬器とより成る而して傳導體たる「ブラッシ」刷毛様のものを以て運搬器に觸れしめ陽電氣を一の運搬器に移し他方に陰電氣を送る構造を有す其の一例として電氣盆及び「ウイムシャルスト」の起電器を説かん

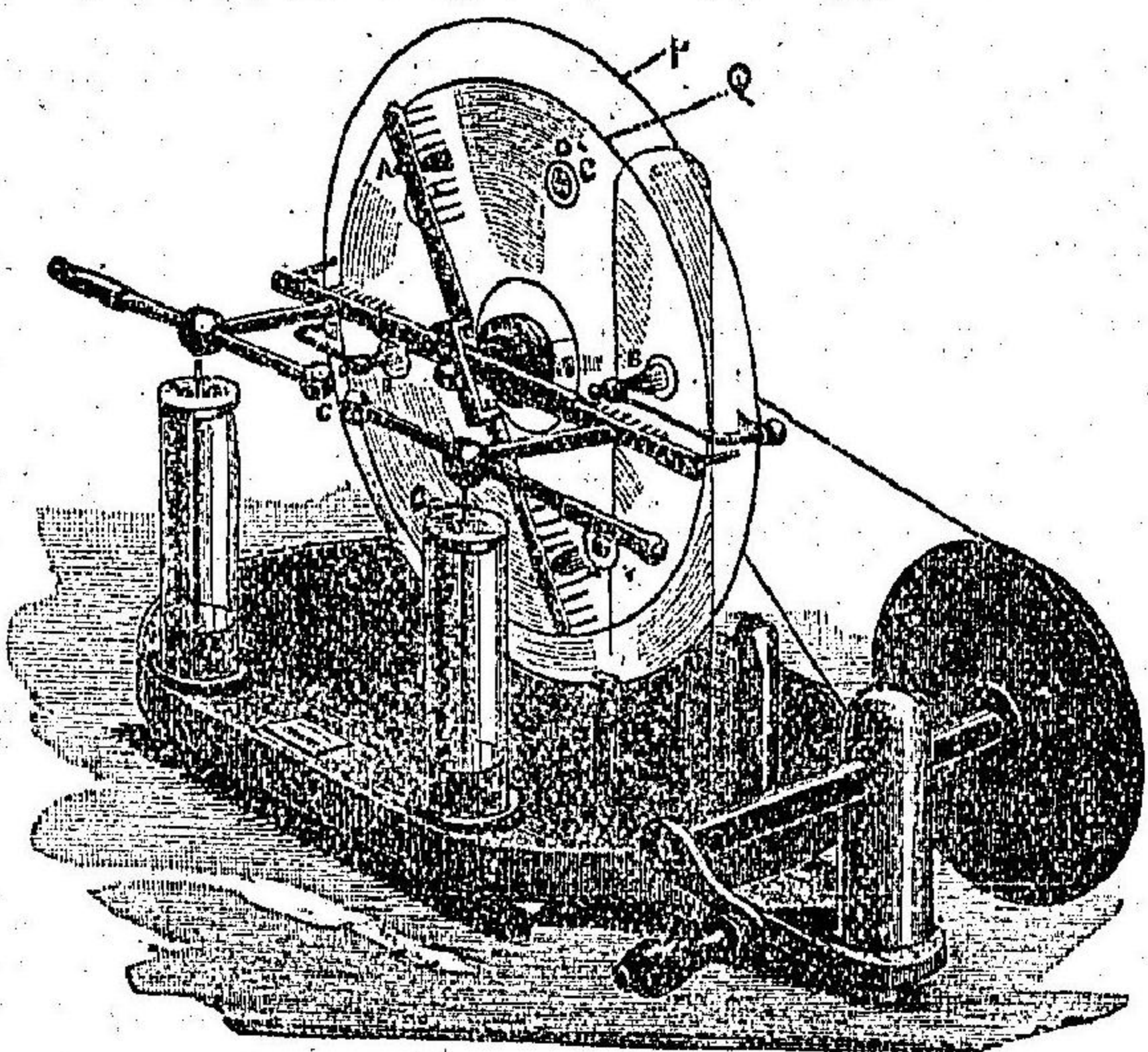


第三十六圖

(1) 電氣盆 電氣盆は通常「エポナイト」の圓板と玻璃柄に依りて絶縁せられたる金屬板より成る始め猫皮を以て「エポナイト」板を打撃すれば之に陰電氣を生ず其上に金屬板を置くとときは陽電氣を吸引し陰電氣を拒反するが故に指頭を以て金屬板に觸るれば金屬板は陽電氣のみを有するに至る然る後之を離隔すれば金屬板上に陽電氣を殘留し之れに依りて他物に電氣附くるとを得此法を幾度となく施せば巨大の電氣を集むるを得べし

(II) 「ウイムシャルスト」起電氣 圖に示せるが如く互に反對の方向に回轉し得

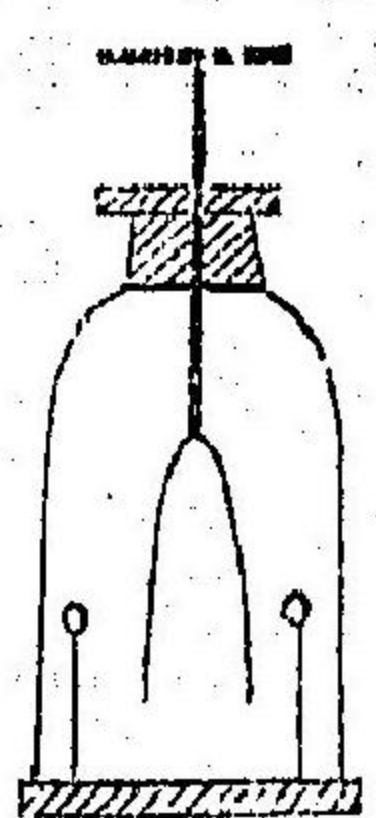
第三十七圖



塞子を通して之に密閉せる玻璃器の外部に出つると圖の如き装置なりAは金箔にしてBC及びBOは金箔Dは玻璃器なり今一の發電體を取りてAに近く

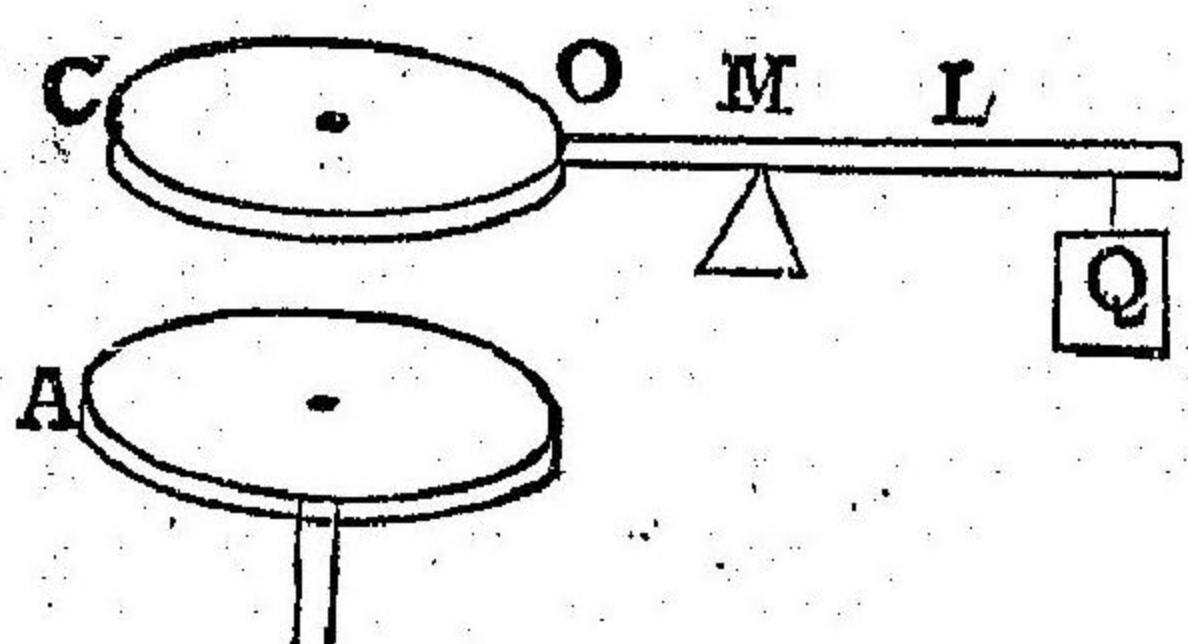
べき玻璃の圓板PQと其圓板に錫箔ABCと及び互に直角をなせる「ブラシ」より成る錫箔は感應器及び運搬器の作用をなすものなり把手を以て圓板を回轉するときは漸次電氣は蓄積して遂に大なる火花を發するに至る  
一一五、驗電器 驗電器或は電氣計は電氣の性質及び其量を驗する器にして其例として「金箔驗電器」吸引盤電氣計及び「象限電氣計」を説かん  
(I) 金箔驗電器 末端二箇に分離せる金箔は傳導體を結合し傳導體は

第三十八圖



ればAに於ては之と反對の電氣吸引せられ同性の電氣は拒反せられBC及BOに集る而して始め金箔は互に相接して垂直の位置にありと雖とも其一たび電氣掛けらるゝや其電氣は共に同一性の電氣なるを以て相拒反すべき其拒反の度は受電したる量即ち發電體の電氣の量に比例すべし電氣の性質を知らんと欲せば始め已知の電氣を之に荷し次に未知の電氣を近くべし若し同性なるときは金箔益々拒反し異性なるときは相接近す  
(b) 「吸引盤電氣計」 「スノーハリス」始めて之を作り「ロードゲルヒン」の改良を経て今日の如きに至れりCは可動の金屬の圓板にしてAはAに固定せりCはOに於て横杆Lと結合しLは通常アルミニウム線なる支點Mに依りて支へられ其一端に對重QありAに電氣を通すればCを吸引し從てLを水平ならしめんにはQを調節するを要すこのQと其他の已知量との關係によりてAにある電氣を測る

第三十九圖



第六卷 電氣に要する諸器械

器なり上圖は極めて其主要のみを略圖とす

(c) 象限電氣計 此器は  $o, d, d', d'$  なる四箇の象限形の金屬と針及び反射鏡

圖 十 四 第

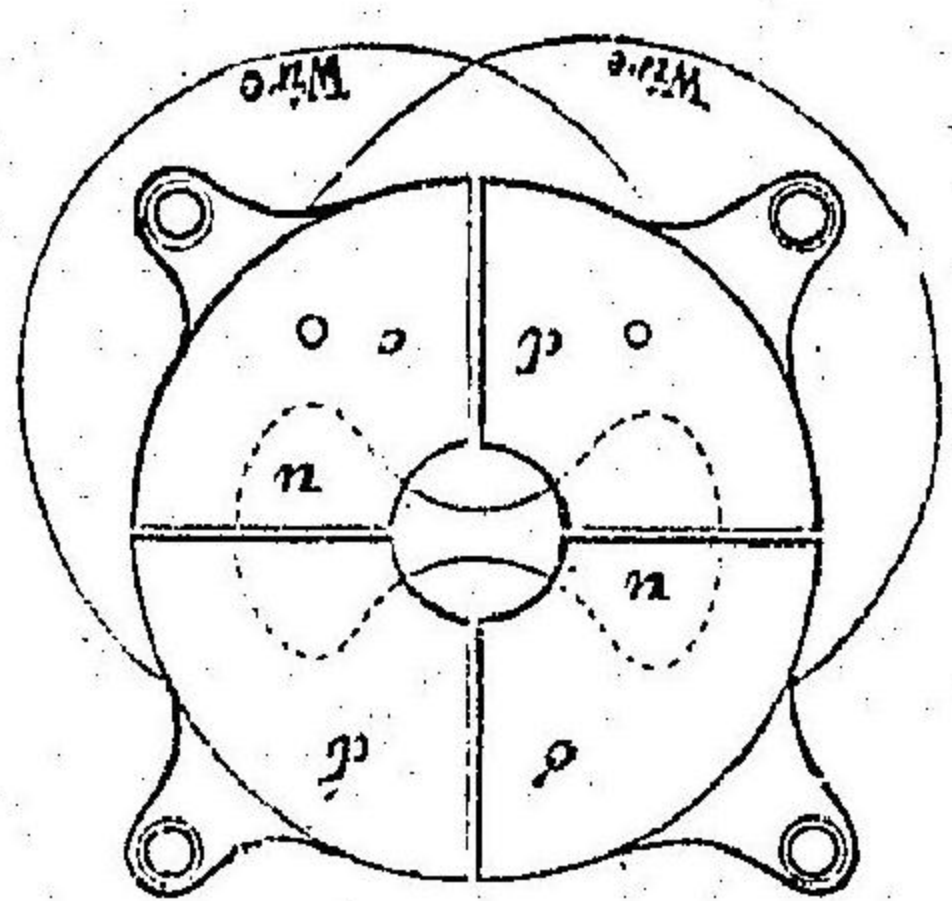
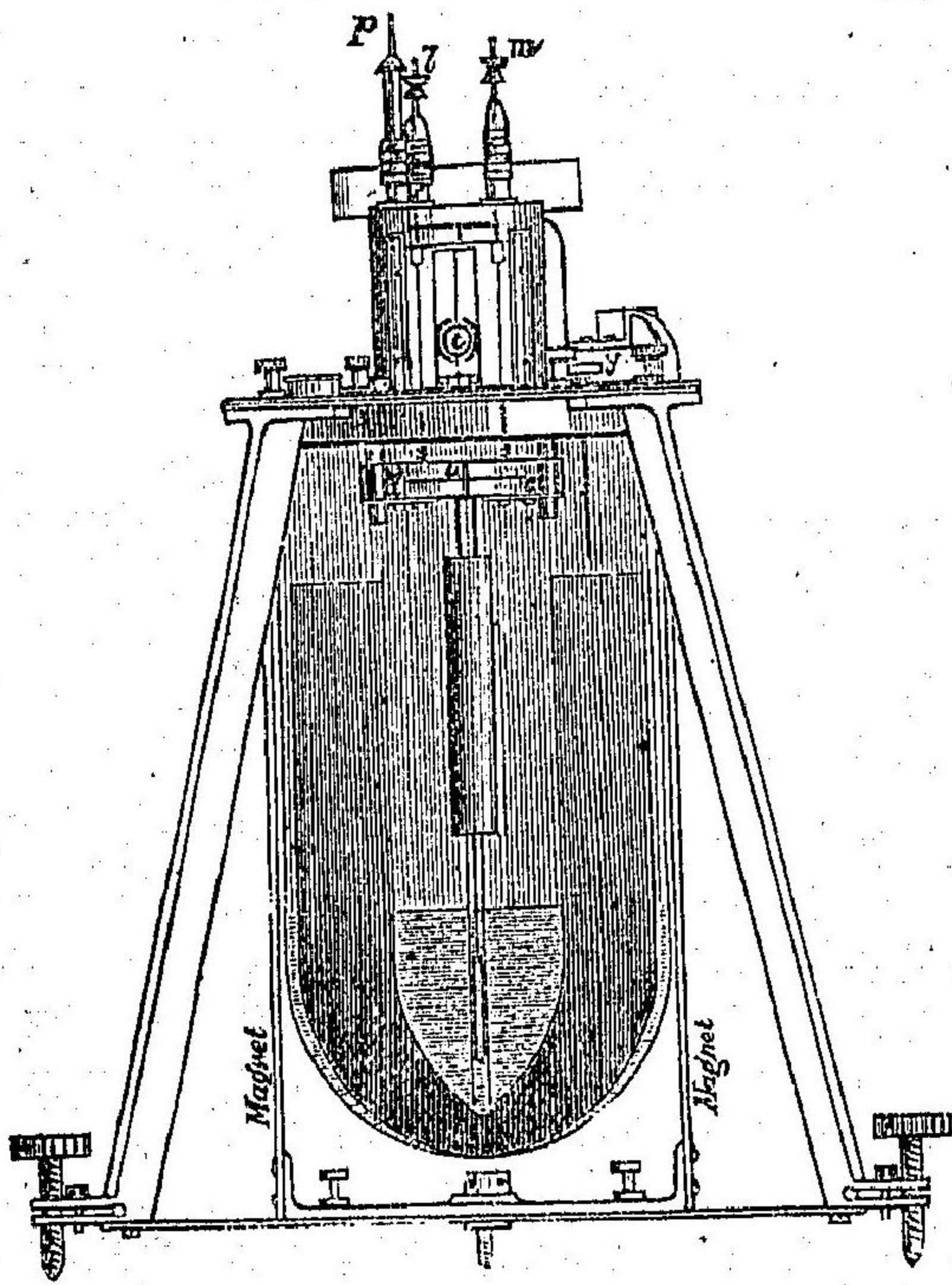


圖 一 十 四 第



より成る象限形の金屬切斷は圖の如き狀をなし上下二板の金屬にして二方に於て開通し一方に於て連結す又相對せる象限は金屬の線によりて連結す上下二板の金屬板の中央に水平に「アルミニウム」を以て作られたる薄き板あり之を針と稱す針は中心  $g$

より「アルミニウム」線に依りて下部に裝置せる硫酸と連結すとは反對鏡にして針の回轉せる角度を測定する用をなし  $g$  は針を吊せる水晶糸(若くは二本の絹糸)にして針をして平均の位置にあらしめんとする作用をなす先づ象限の電氣の有無を驗し其之れなきを見て硫酸より針に少量の電氣を荷し象限器の位置を調節して針をして平均の位置にあらしめ次に  $o, d'$  と  $d, d'$  を其「ポテンシャル」を測らんとする二點に結合すれば針は一方の象限に吸引せられて回轉す此回轉の多少に依りて其「ポテンシャル」の差を測定するなり  $V_1$  及び  $V_2$  を象限の「ポテンシャル」とし  $V_3$  を針の「ポテンシャル」とせば針を回轉せしむべき力は  $V_1 - V_3$  に比例し又針の「ポテンシャル」と象限の平均「ポテンシャル」の差に比例す即ち  $f$  を力とし  $a$  を常數とせば

$$f = a(V_1 - V_3)(V_3 - \frac{V_1 + V_2}{2})$$

なり

一一六 蓄電器 電氣は「不導媒體」を通して他物に反對の電氣を感應し此

二電氣は互に相吸引して離散するとなく此媒體あるが爲めに結合するとなく

存留するの理に基けるもの即ち蓄電器なり前已に説ける如く一の傳導體の近傍に反對の電氣附けられたる傳導體を近くれば此電氣は前きの傳導體に作用して前の傳導體の電氣容量を増加す而して蓄電器は或は二箇の平面傳導體より成るあり或は二箇の球より成るあり或は又二箇の同筒より成るありて其形狀種々ありと雖とも要するに其理は一にして「レーデン壘」は其好適例なるを以て余は單に之を説かん

「レーデン壘」は一の玻璃器にして其内外に錫箔を貼れるものなり而して錫箔は玻璃器の上部を蔽ふとなく内面の錫箔は中央の傳導體と外面の錫箔は地球と連結す今中央の傳導體より電氣を内面の錫箔に掛くれば外面の錫箔に反對の電氣を吸引して互に離散するとなく永く存在す故に之に依りて電氣を貯蓄することを得べし然れども濕氣其他の原因に依りて内外の電氣玻璃の上部を匍匐して相結合するを以て日を経ること久しければ漸く電氣の量を減す其減却の量は内外の「ポテンシャル」の差に比例す

各種の不導媒體中最良のものは乾燥せる玻璃なりとす然れども玻璃亦之を熱

するときは幾分か不導媒體の性質を失ふ

## 第九編 動電氣學

### 第一章 總論

#### 一一七、電流

「ポテンシャル」の差ある二個の發電體若くは「レーデン壘」の内外部を傳導體を以て連結するときは電氣は「ポテンシャル」の高き所より低き所に移り平衡の狀況を呈す之を連結せる線に於ては電氣は一端より一端に流動す之を電流の顯象と稱す而して電流の強弱は單位時間に流動せし電氣の量の多少に依りて異なるを以て之を連結する物體如何及び電氣の動力即ち電動力の大小に依りて變するものなり吾人若し常に電氣動力を同一に維持するとを得は電流は此の如く瞬時ならずして始終流動止む時なし之を不斷電流と云ひ

不斷電流

瞬時電流  
交番電流  
傳導度  
抵抗

彼を瞬時電流と云ふ又電流瞬時にして或は一方に或は他方に交互に流動するものあり之を交番電流と云ふ傳導體の電流を通過せしむる良否を傳導度といふ其電流を通過せしめざる度を抵抗と云ふ即ち抵抗は傳導度の逆數なり

一一八、電流の強さ 電流の顯象は或は之を陽電氣が一方より他方に移動すと見做すを得べく又陰電氣が反對の方向に移動すと思考し得べきのみならず之を陰陽二電氣同時に同量に互に反對の方向に移動すと考ふるも又不可なるとなし而して單位の電流が單位時間に流るゝとき之を單位の電流となす故に前説に従ふて稱する電流の強さは後説に従ふときに於ける二倍なるべし然れども吾人は前説に従はんとす

電動力が存在するときは傳導體を以て之を連結せば必ず常に電流を生ず而して不斷電流を生ずべき源泉は異種の金屬の接觸作用及び化學的作用等にして順次之を説き以て電流の法則及び測定の方法を明にし以て此編を結はんとす

### 第二章 抵抗及び抵抗に依りて生ずる熱量

オームの法則

一一九、オームの法則 電氣計によりて電流の通する傳導體の各點を測るに其ポテンシャル皆同しからずオームは電動力電流の強さ及び抵抗の關係を研究し左の法則を得たり  
電流輪道の兩端に於ける電動力は輪道を通する電流の強さと及び其抵抗の相乗積に等し

此法則を「オームの法則」と云ふCを電流の強さとしRを抵抗としEを電動力とすれば  $E = CR$  にしてRは一般に物體の異なるにあらずんば變するとなきを以てE大なるときはC從ふて強くE小なるときはC從ふて弱し

ジュールの法則

一二〇、電流によりて生ずる熱 「ポテンシャル」の差ある發電體は位置の「エネルギー」を有するが故に之を傳導體を以て連結し電氣をして流動せしめ「ポテンシャル」を同一になすときは位置の「エネルギー」は運動の「エネルギー」に變す然るに電流の場合に於ては運動の「エネルギー」は外部に對して仕事をなすとなきを以て内部に對する仕事をなさざるべからず換言すれば傳導體の抵抗によりて熱を生ずべし「ジュール」は電流と發生する熱量との關係を研究し熱

量は電流の強さの自乗抵抗及び電流の通過する時間に正比例するを發見せり  
即ちHを「カロリー」を以て示されたる熱量としJを「ジュール」の仕事當量としR  
CTを夫々電流の強さ抵抗及び時間とすれば

$$JH = CRT$$

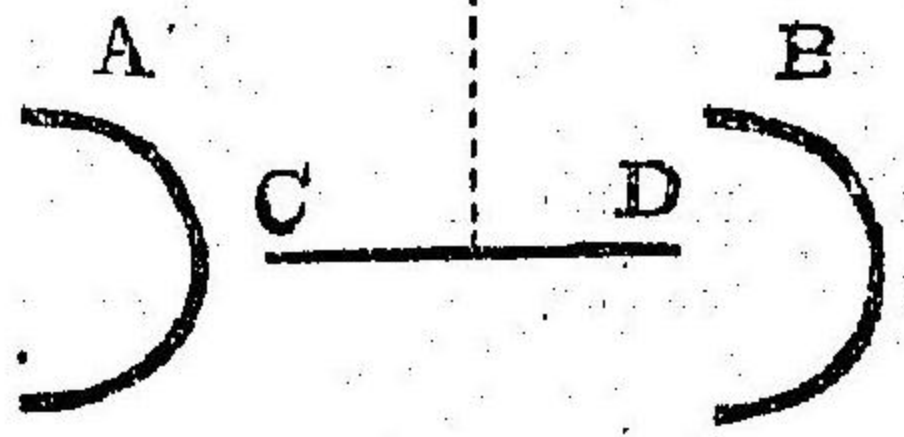
にして電流の方向に關せず常に同量の熱を生ず白熱電燈の如きも此理に基け  
るものにして其用ゐる電流は交番電流なりと雖とも依て生ずる熱量は毫も異  
るとなく炭素を熱して白色の光を發せしむ

### 第三章 接觸電動力及び熱電流

一一一、接觸電動力 内空の金屬の「ポテンシャル」は其内部の空氣の「ポ  
テンシャル」に等しく内部の各點は同一の「ポテンシャル」を有するを設けり然  
るに異種の金屬例令は亞鉛及銅の内空の半球を取り之を接觸し巧妙なる電氣  
計を以て之を驗するに内部の空氣は「ポテンシャル」の差を有するを發見すへし  
此顯象は「ウボルタ」の發見に係り近時「ケルビン」再ひ之を證明せり其方法はA B

電動力

圖二十四第



二箇の金屬の内空半球を作り先づ圖の如く離隔し指針CD  
なる針を其中間に垂下し之に少許の電氣を與ふるも毫も  
吸引拒反の顯象を生せずと雖も一たひA及びBを第三の  
金屬を以て接觸するときは針は一方より拒反せられ他方  
より吸引せらるゝを見る之れ實に異種の金屬は接觸に依  
りて電動力を生ずるを證するなり流動體と金屬及び二流  
體の接觸も亦此種の顯象を生ず意ふに此顯象の現因は物體を構造する分子の  
狀況に依るが如し  
接觸電動力の高低に依り順次物體を配列すれば  
(+)……「ソヂウム」「マクネシウム」「亞鉛」「鉛」「錫」「鐵」「銅」「銀」「金」「白金」「石墨」……(一)にして之を接  
觸順といふ

「エヤートン」及び「ペーリー」の研究に従へば

電動力單位は「ボルト」

電動力單位は「ボルト」

亞鉛

鐵

鉛	二一〇
錫	〇六九
鐵	三一三

銅	一四六
白金	二三八
炭素	一一三

二種の金屬の電動力は其接觸順の中間金屬の電動力の和に等し即ち二箇以上の金屬ABC...を接觸する順序ABCD...なりとすれば之に依りて生ずる電動力はAB,BC,CD,...等に依りて生ずる電動力の和に等し

一一二二、熱電流 異種の金屬を接合し其兩端を電流計に結び接合點を熱するときには常に電流の通するを見る此現象は一千八百二十一年「シーベック」の始めて發見せる處なり之を熱電流と稱し其電動力を熱電動力と稱す  
熱電動力は二性金屬の接合點攝氏一度の溫度増加に對する電動力を以て計る而して各種の金屬に依りて異なるのみならず同一金屬に於ても溫度によりて同じからず然るに鉛は熱電流に對しては特種の金屬にして其熱電動力は溫度の如何に關係することなし故に通常鉛を原位置金屬とし之れに相對的に他の金

屬の熱電動力を測算す其順序によりて之を列擧すれば

金屬名	「マイクロボルト」	金屬名	「マイクロボルト」
「ビスマス」	(十八) 九〇乃至九〇〇	「ニッケル」	(十二) 二〇
洋銀	(十一) 一七五	鉛	〇〇
白金	(一) 〇九	銅	(一) 一三六
亞鉛	(一) 二二三	鐵	(一) 一七五
蒼鉛	(一) 二二六 乃至二六四	「テリウリウム」	(一) 五〇二〇
「セレンニウム」	(一) 八〇〇〇		

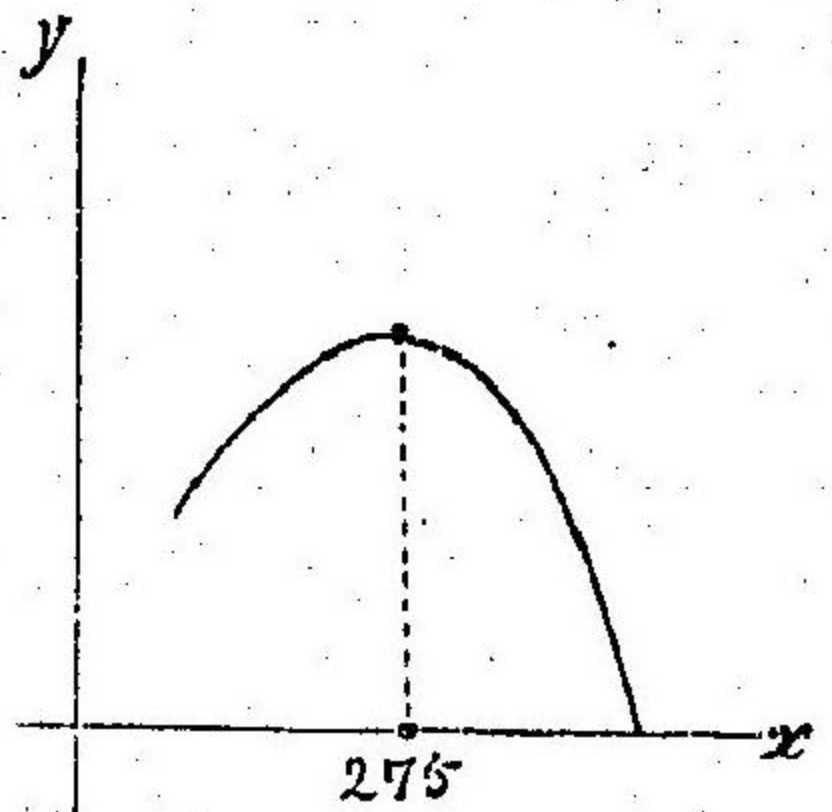
不純物の混合は又熱電動力の變化に至大の關係を有し微小の混合物は熱電動力に非常の變化を生ず

今ABC...の金屬を順次接合してABCD...とすれば輪道に於ける全電動力は其各組より生ずる電動力の和に等し例へば「ニッケル」鉛鐵を接合せる輪道は溫度攝氏一度の増加に對し  $22+17.5=39.5$  「ボルト」の電動力を生ず

一一二三、溫度と熱電動力の關係 某溫度に對する熱電動力を測り次

中和點

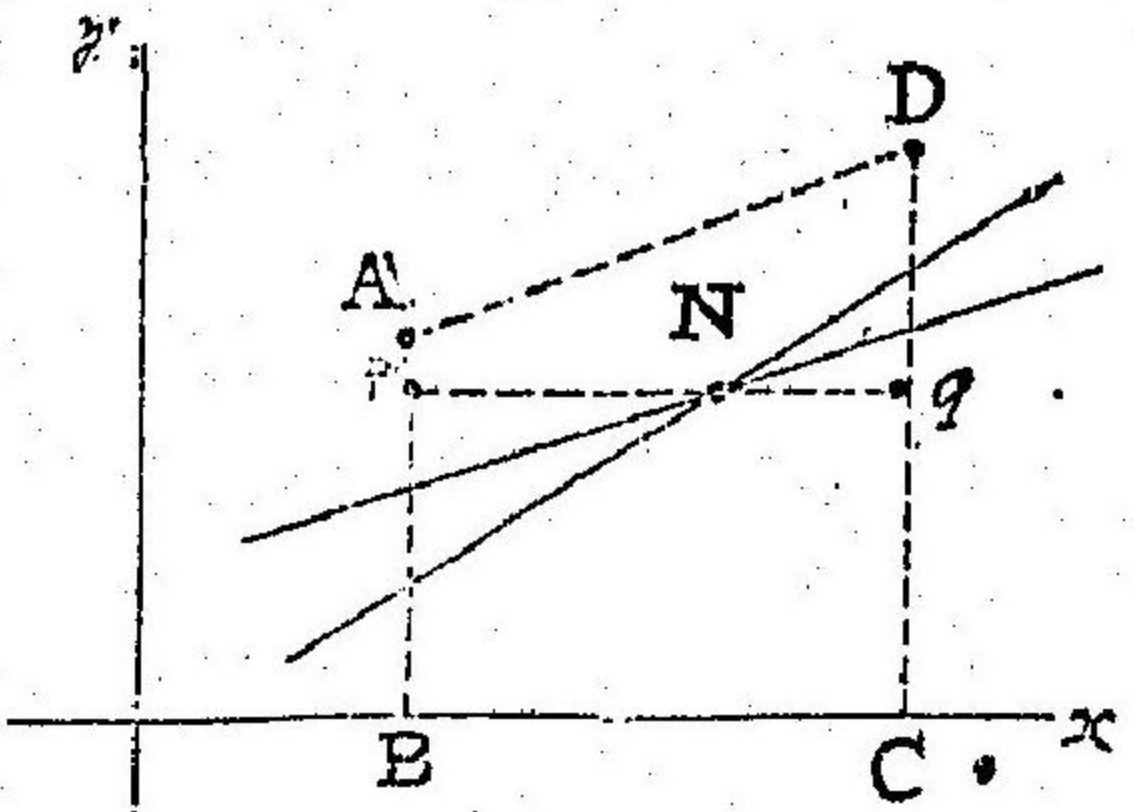
圖三十四第



に又他の温度に對する熱電動力を測り順次此の如くにして温度と電動力との關係を研究するに始めは温度の増加に對して電動力著しく増加し温度の上昇に従ふて其増加の度次第に減じ遂に其電動力を有するに至るや又増すことなく温度の上昇に伴ふて次第に減少すを温度とし、電動力とすれば其狀況圖に示すが如く拋物線狀をなす銅鐵の場合に於ては拋物線の頂點は攝氏二百七十五度に相當す此の如き點を稱し中和點と稱す中和點は其用ひたる金屬に依りて異なるものなり

一一二四、熱電氣力と温度との關係(熱電氣圖) 熱電氣の性質は圖に依りて研究するの得策たるは「ロードケルビン」(サーウィリアム・トムソン氏)の示せる處にして吾人は之に依りて利せること寡ならず前と同一の方法により温度と熱電氣力との關係を圖するに鉛の熱電氣力は温度によりて變することなく其状態の軸に平行なる線を以て示さるべく鐵及び銅は傾斜せる直線に依り表はさるゝ

圖四十四第



を知る即ち温度に於ける鐵銅の熱電氣力はABなり故に二線の交點Nは中和點を示す又熱電氣力の定義に従へば鐵銅の接合點の温度一方にして他方となるときは其電動力はABCDの面積に依りて示さるべしEを電動力としpNgをABに下せる垂線とすれば

$$E = \text{ABCD} = \frac{1}{2}(\text{AB} + \text{CD}) \cdot pNg = \frac{1}{2}(\text{AB} + \text{CD})(t_1 - t_2)$$

然るにNAP<sub>2</sub>及びNDqは相似なるを以て

$$\frac{\text{AB}}{Np} = \frac{\text{CD}}{Nq} \Rightarrow \frac{\text{AB}}{t_1 - t_2} = \frac{\text{CD}}{t_2 - t_1} = x \quad (x = \text{定數})$$

$$(\text{AB} + \text{CD}) = x \left( t_1 - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)$$

$$E = x \left( t_1 - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) (t_1 - t_2)$$

此方程式に依ればEは $(t_1 - t_2)$ 及び $\left( t_1 - \frac{t_1 + t_2}{2} \right)$ の函數なるを以て電動力のものに至りて最大域に達し是より漸次減少するの理自ら明なり異種の金屬の接合の外同一金屬に於ても其大さ均一ならざるか或は「不等方性體」なるときは又熱電流を生ず此の如く温度の差異によりて電流を生ずるを



以て微少の温度の差と雖とも之によりて測定することを得熱線の研究に用うる「ボロメートル」は此理に基けるものなり

一一二五、「ペルチエー」作用 一千八百三十四年「ペルチエー」は觸接電氣

に關して恰も熱電氣に於けると反對の顯象を發見せり即ち異種の二金屬を觸接せしめ之に電流を通ずるときは其接合點は電流の方向に依り或は熱せられ或は冷却せらる之れを「ペルチエー」作用と云ふ例令は「蒼鉛」及び「アンチモニー」の場合に於て「蒼鉛」より「アンチモニー」に向て電流を通ずるときは其接合點に於て熱を吸収し「ジュール」作用により生ずべき温度に達することなし之に反して「アンチモニー」より「蒼鉛」に電流を通ずるときは接合點の温度は「ジュール」作用に依り生ずべきものより猶一層大なりとす蓋し(+)金屬例令は「蒼鉛」より(-)金屬に電流を通ずるときは其接合點に於ける觸接電動力は電流を助成し之に反して(-)金屬より(+)金屬に電流を通ずるときは接合點に於て抵抗する電動力に遭遇するを以て仕事をなさざるべからず之れ即ち彼に於ては熱を吸収し此に在ては熱を發生する所以なり

「ペルチエー」作用

「ペルチエー」作用は反轉的性質のものにして電流の方向に依り熱を吸収し若くは發生するを以て電流の強さに直接に比例す彼の「ジュール」作用の如く電流の強さの自乗に比例することなし故にHを以て發生したる熱量としCを電流の強さPを常數Rを抵抗Jを「ジュール」の仕事當量とすれば

$$HJ = CR^2 + PC^2$$

なり而してPを「ペルチエー」作用の係數と云ふ

一一二六、「タムソン」作用 熱電氣圖に於て論せし處によれば鉛を除く

の外各金屬の熱電氣力は温度によりて異にして之を表示する圖はy軸に傾ける直線をなす而して此傾斜は同一金屬に於て種々に熱せられたる部分の電動力の性質を示す此電動力の差異は熱せられたる部分より冷却せる部分に電流の通ずるとき熱の發生若くは吸収の存するに依らずんばあらず此の如く同一物體に於て高温度部より若くは低温度部より低温度部若くは高温度部に電流を通ずるとき此等の部分に於て或は熱を發生し或は熱を吸収する顯象は「ウリアムタムソン」の發見する所にして之を「タムソン」作用といふ

「ペルチエー」作用係數

「タムソン」作用

### 第四章 化學的作用に依れる電流

分極作用  
電氣分解

イオン

一二七、**電池** 亞鉛の一片と銅の一片とを硫酸を混和せる水に浸し金屬線を以て之を連結すれば電流を生ず之れ蓋し化學的作用に依るものにして電流の通ずる間は亞鉛は常に硫酸の爲に作用せられ硫酸亞鉛と水素とを生じ水素は銅板に附着し以て見懸の抵抗を増す此顯象を分極と云ふ而して電流により物體分子の分解する顯象を電氣分解と云ひ其分解する物體を電氣分解物と云ふ又電流の電氣分解物に出入する處を「エレクトロード」と云ひ電流の進入する處を「アノード」とし電流の出づる處を「カソード」と云ふ又分解して「エレクトロード」に來るものを「イオン」と云ふ且つ「カソード」に現はるゝものを「カチオン」と云ひ「アノード」に來るものを「アニオン」と云ふ

一二八、**電池の種類** 電池の種類甚た多しと雖とも要するに分極作用を減少せんとするに他ならず而して其之に用うる電氣分解物の單一なる力若くは二箇なる力に依り單一流動體電池及び二流動體電池の二種となす前者の

適例は「重クローム酸電池」にして後者の好例は「ダニエル」及び「ブレンゼン」等の電池なり

一二九、「**重クローム酸電池**」 其「エレクトロード」は亞鉛及び炭素にして之を「重クローム酸加里」の溶液に浸したるものなり然るときは電流は亞鉛より溶液を経て炭素に入る其電動力は「一七ボルト」なり

一三〇、「**ダニエル電池**」 此電池は内外二箇の器より成る内部の器は通常粗製なる陶器にして之に硫酸亞鉛の飽和溶液を入れ此溶液中に亞鉛板を入れる而して之を外部器中に置く外部器は緻密なる陶器にして飽和せる硫酸銅の溶液硫酸銅の結晶及び銅板を有す然るときは亞鉛は硫酸の爲に溶解せられ硫酸亞鉛を生じ依りて生ずる水素は硫酸銅を分解し硫酸と銅とを生じ終始電氣分解をなす而して結晶したる硫酸銅は硫酸銅の溶液をして常に飽和の状態にあらしむるか爲なり

一三一、「**ブレンゼン電池**」 「エレクトロード」は炭素及び亞鉛にして外器に硫酸及び亞鉛を入れ内器に硝酸及び炭素を入れる然る時は硫酸は亞鉛に作用

し硫酸亞鉛を生し其遊離する水素は硝酸に作用し之を分解して水素とNO<sub>2</sub>を生す此電池は其内部抵抗非常に少くして且電氣動力一丸なるを以て大なる電流を得

一三三、其他の電池

其他世上に行はるゝ電池を表を以て示せば

名 稱	アノード	刺衝者	「デポーラサイザー」	カソード	「ザルト」の概要
「ザネルタ」(クオニラ等)	亜鉛	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	無	銅	1.0乃至0.5
「スビー」	同	同	同	白金鍍金セブ銀	同
「ロー」	同	同	同	炭素	同
「ボグザンボル」(クニキツ)	同	同	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	同	2.1
「クローグ」	同	同	HNO <sub>3</sub>	白金	1.9
「ラクランツェ」	同	NH <sub>4</sub> OH	HNO <sub>2</sub>	炭素	1.4
「ツンゼン」	同	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	同	1.9
「オーバン」(乾電池)	同	C <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 中に於けるNH <sub>4</sub> OH	MnO <sub>2</sub>	同	1.46
「ダニキル」(ボル等)	同	ZnSO <sub>4</sub>	EmSO <sub>4</sub>	銅	1.07

「ポラプー」	同	同	Agel	銀	1.42
「クラーク」	同	同	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	水銀	1.434
「クエストン」	「カドミウム」	CDSO <sub>4</sub>	Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	同	1.025

一三四、電氣分解

以上論ずる處によれば電流が溶液を通過するとき電氣分解を生し其分解して生ずるものは必ず「カソード」に他は「アノード」に現出す而して其生したる物質の量は同一の時間に同一の電流を通ずるときは必ず常に相等しく且得たる物體を化合せしむるときは再びもとの電氣分解物を生し過不足あるとなし今大さ所々均しからざる管を取り之に電氣分解物を入れ電流を通ずるに依て生ずる「アニオン」及び「カチオン」の比は常に同一にして管内の如何なる切斷面に於ても電氣分解物の構成異なるとなし之れ即ち「イラン」の通過する量は切斷面の大小に關せざるを證す故に電氣分解物の分解する分量は電流の強さを測定するを得へし

一三四、電氣化學當量

電氣化學當量とは單位時間單位の電流を電氣分解物に通ずるとき分解して發生する物質の量を云ふ換言すれば單位の電氣

の通過に依り分解して生したる量なり而して各物質の電氣化學當量は通常の化學的當量に比例す即ちQを以て分解したる量Pを電氣化學當量Cを電流の強さを時間とすれば

$$Q = PC$$

なり例令は水を分解するときには常に酸素と水素の量は水素の八倍なり而して水素の容積は酸素の二倍なるを以て酸素の電氣化學當量は水素に比し八倍なりとす

### 一三五、「クラウジユース」の説

「クラウジユース」は電氣分解の理を説明して曰く凡そ物體を構成する各要素は常に擾亂の状態にありて或は合し或は離れ聚散離合已むときなく甲と結合せる要素は忽ちに去て乙と結合し其物體分子の形態を具へ又忽ちに丙と結合し始終混亂す然るに一たび電流の通するや此混亂せる各要素は電動力のために作用せられ一定の方向を取るに至るべく即ち「カチオン」は陽電氣を荷ひて「アノード」より「カソード」の方に近づく傾向を生し「アニオン」は陰電氣を帯ひて之れを「アノード」に送る此の斯くにして「カ

分極

チオン」は「カソード」に「アニオン」は「アノード」に集るなりと故に電氣分解を起さしむるに際し常に一定の某電動力を必要とするのみならず「ファーム」の法則の尙ほ此場合に適用し得べきを知る

電氣分解は工業上并に學術上應用せらるゝもの多く彼の銅版の如き又純粹の金屬の如き皆此理に基きて作るものなり

### 一三六、電氣の分極

電氣分解によりて分解せられたれたる物體の「エレクトロード」に附着するや反對の電動力を生し恰も電氣分解物の抵抗の増加したるか如き觀を呈す此顯象を稱して分極と云ふ電氣分解の起るときは分極の顯象は必ず之に伴ふものにして電氣分解物に某時間電流を通し然る後電池を去り電流計を挿入するときには前と反對に電流の通するを見る分極の顯象は之を放置すれば時を経るに従ひて次第に減少す其減少する一は分極の度即ち附着物の量に關係し一は「エレクトロード」を圍繞する「媒體」及び其「エレクトロード」に作用する化學的若くは器械的作用の如何に關係するものなり水銀を亞鉛に塗り之を「アマルカム」とするは分極を減せんとするに他ならず

一三七、蓄電池

蓄電池は分極の理に依りて構造せられたるものにして通常鉛を硫酸に浸したるものなり蓋し此物體に電流を通するとき蓄電池は分極の顯象を生ずると大なるを以てなり此の如き酸化鉛に金屬線を連結するときは前と反對に電流を生ず故に蓄電池は他より之れに電氣を荷し置くときは必要に應じ再び電池の用をなすと恰も靜電氣の「レーデン」壘に於けるが如し

第五章 傳導體に於ける傳導

一三八、行に連結せる傳導體

第二第三……傳導體の「エレクトロード」とし $A_2$ を $A_1$ に $A_4$ を $A_5$ に連結し順次此の如くすするを行「シリーズ」の連結と云ふ今 $E_{12}$   $E_{23}$   $E_{34}$ ……を夫々此等の傳導體間に存する電動力とし $R_{12}$   $R_{23}$   $R_{34}$ ……を相當する傳導體の抵抗とし $E$ を全體の電動力とし $R$ を全抵抗とすれば「オーム」法則に依り

$$E = CR, E_{12} = CR_{12}, E_{23} = CR_{23}, \dots$$

なり何となれば電流の強さは各所相同しきを以てなり然るに

「シリーズ」の連結

即ち  $R = R_{12} + R_{23} + \dots$

$$E = E_{12} + E_{23} + \dots \therefore E = C(R_{12} + R_{23} + \dots)$$

行の連結に於ける傳導體の全抵抗は各々の抵抗の和に等し

一三九、兩端の「ポテンシヤル」と中間點の「ポテンシヤル」との関係

ACを「エレクトロード」としBを其中間の一點としABCの「ポテンシヤル」を夫々 $E_a$   $E_b$   $E_c$ としABの抵抗を $R_{ab}$  BCの抵抗を $R_{bc}$ とし $R_{ab} + R_{bc} = R$ とす然るときは

$$E_a - E_b = CR_{ab}, E_b - E_c = C R_{bc}, E_a - E_c = C R$$

なるを以て

$$E_b = \frac{E_a R_{bc} + E_c R_{ab}}{R}$$

依りてACに於ける「ポテンシヤル」と其相當する抵抗を知るときは中間點の「ポテンシヤル」を知るとを得

一四〇、列に連結せる傳導體

數多の傳導體ありて其末端盡く二點に集合するときは之を列(パラレル)に連結せりと云ふ此場合に於ては各導體の

「パラレル」の連結

兩端は盡く同一「ポテンシャル」を有すCを全電流の強さ $C_1, C_2, \dots$ を各傳導體に於ける電流の強さRを全抵抗 $R_1, R_2, \dots$ を各傳導體の抵抗Eを電動力とすれば

$$E = CR = C_1 R_1 = C_2 R_2 = C_3 R_3 = \dots, C = C_1 + C_2 + \dots$$

$$\frac{E}{R} = E \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \right)$$

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

即ち全抵抗の逆数は各抵抗の逆数の和に等し又以上の方程式に依り

$$C_m = \frac{E}{R_m} = \frac{CR}{R_m}$$

なるを知るなり

### 一四一、比抵抗

單位の長さを有する立法體に其稜に平行に電流を通ずるとき其物體の抵抗を比抵抗と云ふ今此の如き立方體 $l$ 個を順次配列するときは長さ $l$ にして單位の切斷面積を有する傳導體を得べし然るに之れ尙ほ $l$ 個の傳導體を行に連結せるに他ならず故に $\rho$ を以て比抵抗としRを全抵抗とすれば

$$R = \rho l$$

今又此の如にして得たる傳導體を長さに沿うて配列すると $s$ 個なるときは其切斷面は $S$ なるべし然るに之れ列に連結したると同一なるを以てRを抵抗とすれば

$$R = \rho l/s$$

なり即ち傳導體の抵抗は長さに正比例し其切斷面積に逆比例す

### 一四二、電池の連結

電池の場合に於ける抵抗は電氣分解物等電池の内部に屬する内抵抗と金屬線等其外部に屬する外抵抗とより成る故に今内部の抵抗を $r$ とし外部の抵抗をRとすれば

$$C = E/R + r$$

なるを以て同一の電池 $m$ 個ありて $m$ 個行に連結し後之を列に連結するときは $mE$ は電動力にして内部の抵抗は行の $n$ につき $mr$ なるを以て全抵抗は $\frac{mr}{n}$ なり故に

$$C = \frac{mE}{\left( \frac{mr}{n} + R \right)}$$

に依りて抵抗を算するを得

内抵抗  
外抵抗

此の如き連結の方法に依り最強の電流を得んと欲せば  $R = \frac{2}{n}$  とせざるべからず即ち外部の抵抗を内部の抵抗に等しくするを要す

**一四三、絶縁體に於ける傳導** 嘗て論せし如く所謂絶縁體は完全なるものにあらずして多少電氣を傳導す即ち「コンデンサー」に於ても傳導體を絶縁する中間物體を通じて電氣の移動を免かれず換言すれば絶縁物體は電氣を呼収す故に之を放電するに當て一たび之を行ふも電氣は悉く中和するにあらず其結合を再び切斷し然る後之を試むるに又火光を發して中和するを見る勿論其際に於ける電氣の量は甚だ僅少なりとす尙又前と同一の事を行ふに同一の現象を生じ次第に電氣の量を減し終に全く中和するに至る此の如き殘餘の電氣を稱して殘餘電氣荷と云ふ左に傳導體及び絶縁體の比抵抗を表を以て示せば

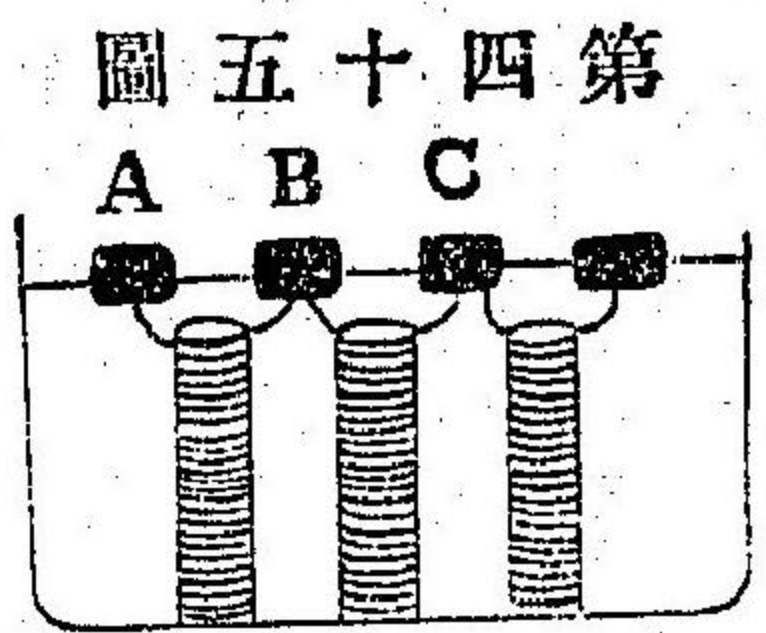
名 稱	比抵抗 (=クログラム) —絶立方	抵 抗 (オーム) —一米獎—絶平方	名 稱	比抵抗 (=クログラム) —絶立方	抵 抗 (オーム) —一米獎—絶平方
攝氏0°に於けるもの 銅(ナマシタ)	7.570	.0157	金	2.077	.0208

同(カタキ)	1.603	.0160	テルミニウム (ナマシタ)	2.889	.0289
銀(ナマシタ)	1.492	.0149	白金	8.982	.0898
同(カタキ)	1.620	.0162	銀(純粋)	9.638	.0964
鉛	—	—	セレンウム	—	—
水 銀	—	—			
	20.76	.027		475	475
180Cに於て 純水	$265 \times 10^3$		硫酸80%	$918 \times 10^4$	
硫酸50%	$486 \times 10^4$		硫酸亜鉛24%	$214 \times 10^5$	
同 30%	$137 \times 10^4$		硝酸30%	$129 \times 10^4$	
硝玻(20°Cに於て)	$91 \times 10^3$		ガラス(24°C)	$45 \times 10^{20}$	
同 (200°Cに於て)	$227 \times 10^{12}$				

第六章 抵抗電動力等の測定

一四四 抵抗箱 通常1, 2, 3, 5, 10「オーム」等の順序に依り配列せる抵抗を

有する金屬線(通常洋銀)より成る抵抗箱中の抵抗を作るとは絶縁せる線を電磁氣作用を減するか爲に之を中央より曲けて二條となし木匡に纏ひ其末端は之を大なる眞鍮に結ふと圖の如くすABC等は分離する眞鍮にして單に抵抗物に依りて連結せらる其の隔離せる處は他の金屬に依り自由に連結及び隔離し得べき装置を有す

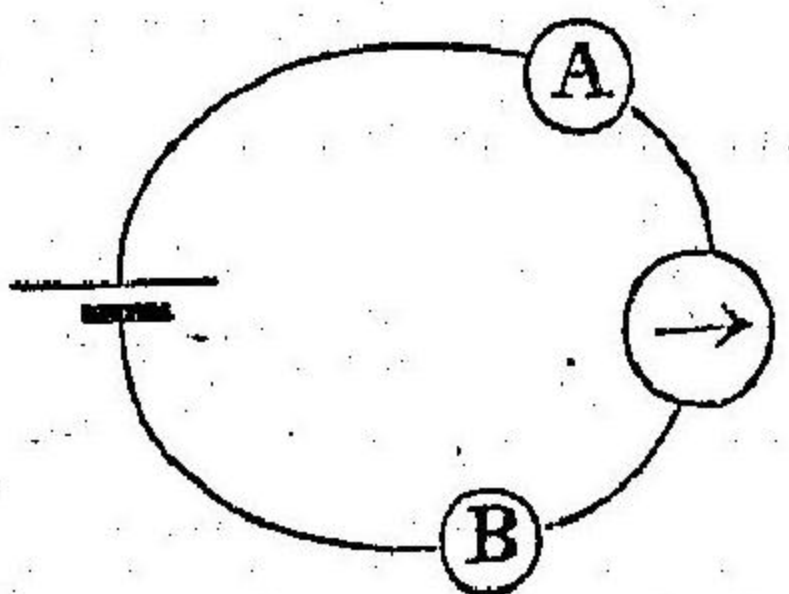


圖五十四第

### 一四五、抵抗の測定

抵抗を比較するには平差電流計を用ひて置き換へ方法に依り行ふとを得へし即ち始め平差電流計Cの一方Aに抵抗を測らんとする物體を入れ他方Bに若干の抵抗を入れ之を調節して電流計の針を動かすからしめ次にAにある抵抗を去り之に代ふる抵抗箱を以てし抵抗箱の抵抗を調節して電流計の針を動かさらしむれば此抵抗箱の與ふる抵抗は可測の抵抗物に等し然れども最良の方法は通常電橋(ホイットストンブリッヂ)方法と稱するものにして左に之を述べんとす此法は四點ABC Dを連結す

圖六十四第



「ホイット  
ストンブリッ  
ヂ」

るに六ヶの傳導體 AB, BC, CD, AC, BD, AD, を用ひ AC に電池を置き BD に電流計を置き AB, AD, BC, CD, の抵抗の關係を求め

今 ABC... を以て其點に於ける「ポテンシャル」を表し  $a, b, c, a, \beta, \gamma$  を夫々傳導體 BC, AC, AB, AD, BD, CD, の抵抗とし而て AC が先づ ABC 及び ADC の二線に分岐するものなれば B 及び D に於ける「ポテンシャル」は

$$B-A = (C-A) \frac{C}{a+\beta} \quad D-A = (C-A) \frac{a}{a+\gamma}$$

若し  $B=D$  なるときは B 及び D を連結するも BD に電流の通するとなかるへし然るときは

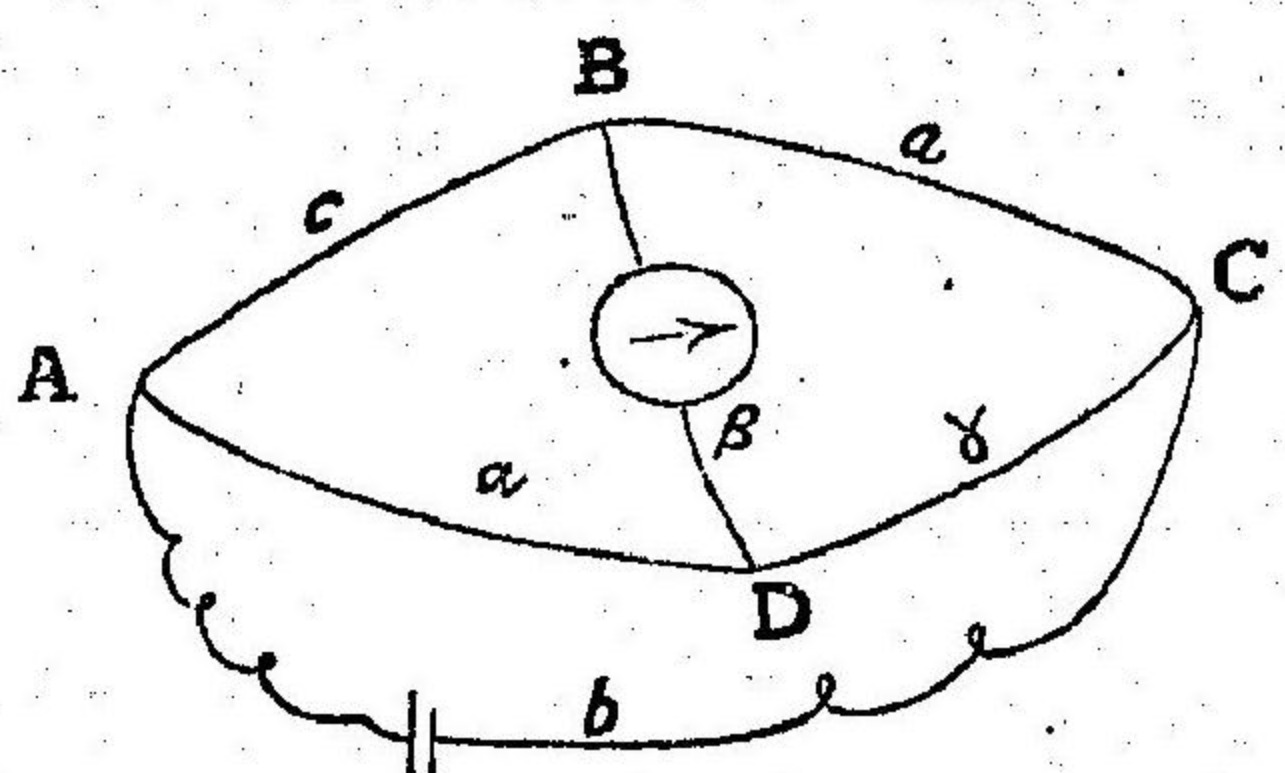
$$(C-A) \frac{C}{a+\beta} = (C-A) \frac{a}{a+\gamma} \quad a(a+\gamma) = a(a+\beta)$$

$$\therefore a = \beta \gamma$$

を得之に依りて三ヶの抵抗を知れば残余の抵抗を算出し得へし此の如き關係を共軛の狀況にありと稱す

電流計の抵抗を測定せんと欲せば四ヶの線の中任意の線例は BC に電流計を挿

圖七十四第





「タムソンの方法」

入しBDは「キー」キーとは自由に電流を切り又は接なくを得る器なりにて結び  
 $a, r_0$ の中一を調節すへし若しBD共軛の位置にあるときは電流通ずるとな  
 しか故に「キー」を以て之を連結するも切斷するも電流計の指針常に一定の處を  
 指示し動くとなかるへし然るときは「 $\infty$ 」に依りて電流計の抵抗 $a$ を得へし  
 此法を「タムソンの方法」と云ふ

電池の内抵抗は通常「マンセス」の方法に依り之を行ふ其法は前の如くBCに可測  
 物即ち電池を入れBDに電流計を置き「キー」を用ひてBDを或は連結し或は切斷  
 し電氣計の指針の變するや否やを驗す若し指針不動なるときは「 $\infty$ 」に依り  
 て電池の抵抗を得へし

### 一四六、電動力の比較

電動力比較の基とすへきものは不變電動力を  
 有する電池にして通例「クラーク」電池を用ゆ $E_1$ を「クラーク」電池の電動力とし $E_2$   
 を之と比較すへき電動力とすA及びBをA點及びB點の「ポテンシャル」とし $r_1$   
 $r_2$ を夫々AE, AEB, AEB, 及びABの抵抗としAE, AEB, ABに於ける電流の強さを  
 各々 $x, z$ とすれば「オーム」法則に依り

$$E_1 + A - B = ar_1, \quad A - B + E_2 = gr_2, \quad A - B = r_2z, \quad x = y + z.$$

若しA=Bなると $x = z = 0$ にして電流計は電流の影響を蒙るとなし然るときは

$$y = z, \quad E_1/E_2 = r_1/r_2$$

然るに $r_1$ 及び $r_2$ を測ることは甚だ繁雜なるのみならず $r_1$ は電流の内部抵抗を含  
 むか故に同一の法を再ひ行ふ即ち $r_1$ を變して $r_1 + a$ となし之に相當する抵抗を  
 $r_1 + b$ となしA=Bを求め然るときは同様に依り

$$E_1/E_2 = r_1 + ar_2/r_2 + b = r_1/r_2$$

$$\therefore E_1/E_2 = a/b,$$

之に依りて $a, b$ の比を知れば $E_1/E_2$ の比を知るとを得るなり

## 第十編 電磁氣學

## 第一章 電流を作る磁場

一四七、電磁氣 一千八百二年、コウペンバーゲンの學者クリスチアン、エ  
ルステットが初めて電流の通ずる金屬線に磁針が常に直角に向ふのみならず此  
現象は電線に歸因し之に依て生ずる熱の爲におらざるを發見せり之れ即ち電  
流の通ずる近傍は磁場を形成するを證するに他ならず其後アンペールコウエー  
ル等の實驗により輪道を通ずる電流の某點に於ける作用は若し其點の距離  
が輪道の大きさに比して大なるときは磁石の作用と同一なるを知れり而して磁  
石の軸は輪道面に直角にして磁氣能率は電氣の強さに輪道の面積を乗じたる  
ものに等しとす今若し輪道に依り包圍せられたる面積は悉く同一の強さを有  
する磁石に依り充満せられ一の磁氣「シエル」を構成すと想像し其強さを電流の強  
さとするときは此磁氣「シエル」の作用は輪道に於ける電流の作用と同一なり。

輪道大にして某點の距離小なるときに於ても尙ほ「シエル」と同一の作用をなす  
何となれば輪道に依りて包圍せられたる面積を縦横の線を以て小分し其依て  
作られたる數多の小輪道に各々本來の輪道に於けると同一の強さの電流を同  
一の方向に通ずるときは内部の各線には同一の電流反對に流るゝを以て毫も  
電流の通せざると等しく其結果本來の輪道に於ける電流と毫も異らざるなり  
然るに數多の小輪道の面積は隨意なるを以て従ふて某點の距離に比して其面  
積を非常に小にし得べし而して此の如き小輪道の作用は恰も「シエル」と同一に  
して且小「シエル」の合成は本來の輪道に依りて作られたる「シエル」と同一なるを  
以て各「シエル」の合成作用は輪道に依りて作られたる「シエル」の作用と同一なり  
故にVを某點Pに於ける「ポテンシャル」とし*i*を輪道のPに對してなす立體角  
とし*i*を電流の強さとするれば

$$V = ki.$$

「ポテンシャル」が單位にして立體角單位なるときの電流の強さを單位とすれば  
△*i*を得此の如き單位を電磁氣の單位と稱す然るときは

電流の電磁  
氣單位

$$V=i\theta$$

単位磁氣の極を「シエル」の北極の側より南極の側に運ぶ爲めに要する仕事の量は  $i$  を「シエル」の強さとすれば  $\theta$  なることは己に之を説けり電流の場合に於ても電流の通ずる輪道によりて作られたる「シエル」の正側より負側に之を通過して単位の磁氣極を運ぶと一度なるときは仕事の量は  $i$  を電流の強さとすれば  $\theta$  なること容易に之を知ることを得べし故に若し  $n$  度正側より負側に  $m$  度負側より正側に電流の通ずる線の周りに磁氣の単位極を運ぶ仕事は  $4\pi i(n-m)$  なること明なり。

**一四八、無限に長さ直線を通ずる電流の磁氣作用** 「シエル」の某点 P に於ける作用は其邊縁 Q に於ける切線と P、Q を連ぬる方向に直角に作用するものなるが故に此場合に於ては P に於ける作用は放射線 (PQ) の方向にあらずして電流の方向及び放射線に直角なる方向に作用すべし  $f$  を磁力とすれば電流を圍みて P より P' に至るまで単位磁氣を運ぶ仕事 W は  $\theta$  にして仕事は行路の如何によらざるを以て行路を圓とすれば其長さ  $2\pi r$  なり而して

$W=2\pi r$  を行路の長さとすれば

$$\therefore 4\pi i = 2\pi r \times f \quad \text{即ち} \quad f = \frac{2i}{r}$$

なり。

而して指力線は電流の方向に直角にして此電流の通ずる直線に直角なる平面内に於ては此直線の通過する點を共心とせる圓にして同一「ポテンシャル」表面は電流を含んで作れる平面なり。

故に V を「ポテンシャル」とせば

$$V = 2i\theta + A r \ln r.$$

但し  $\theta$  は P より電流に下せる垂線 OP が O を通して電流に垂直なる平面上にある一定直線となす角なり

**一四九、無限に長さ一平行線を同一強の電流が通ずる場合**

此場合に於ては二つの場合を考察するを要す(第一)電流の方向反對なる場合(第二)其方向同じなる場合はれなり

(I) 電流の方向反對なる場合を考ふるに A、B を電流に直角なる平面に於ける平

行線の投射影としPを其面内の一点とす然るときはPに於ける「ポテンシャル」は

$$V = \frac{2i}{4\pi r} \times \left[ \frac{PAB}{4\pi r} + \frac{1}{2} \left( \frac{PBA}{\pi} - 1 \right) \frac{PBA}{\pi} \right] + \frac{1}{4\pi r} \int \frac{2i}{4\pi r} \cos(\alpha + m) - \frac{1}{2} \frac{APB \times 2i}{\pi}$$

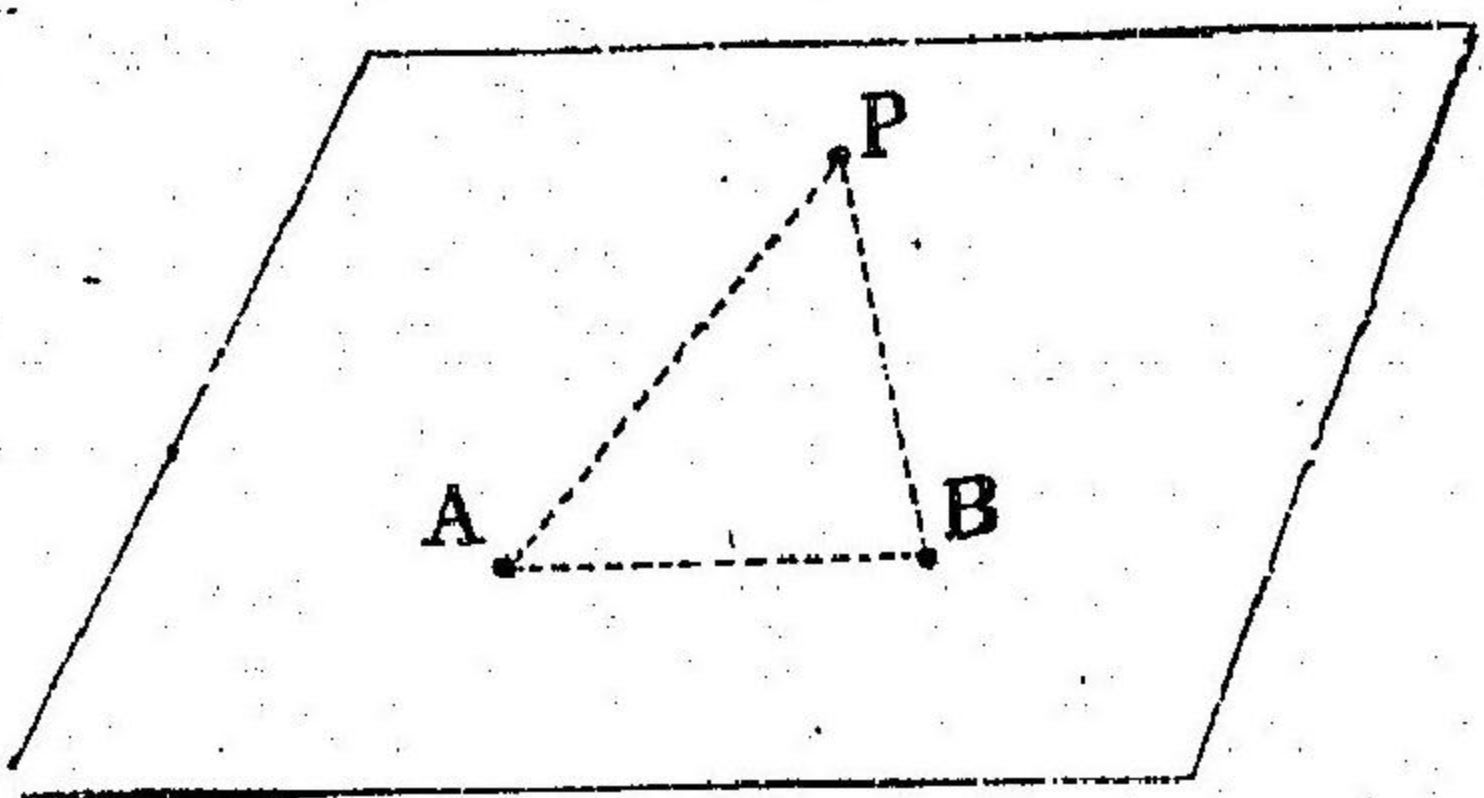
故に同一「ポテンシャル」線はA、Bを通ずる圓の一組にして従ふて指力線の方向は此等の圓に直角なる曲線なり之に依て指力線も亦AB上に中心を有する圓の一組なり

尙PTを指力線の方向としPTをAPBの切線とすればPTはPに於てAPB圓に直角なるを以て

$$\begin{aligned} \angle TPA &= \angle PBA, \quad \angle TPA = \frac{\pi}{2} - \angle PAB, \quad \angle APT \\ &= \frac{\pi}{2} - \angle PBA. \end{aligned}$$

なり然るにA及びBのPに於ける力は

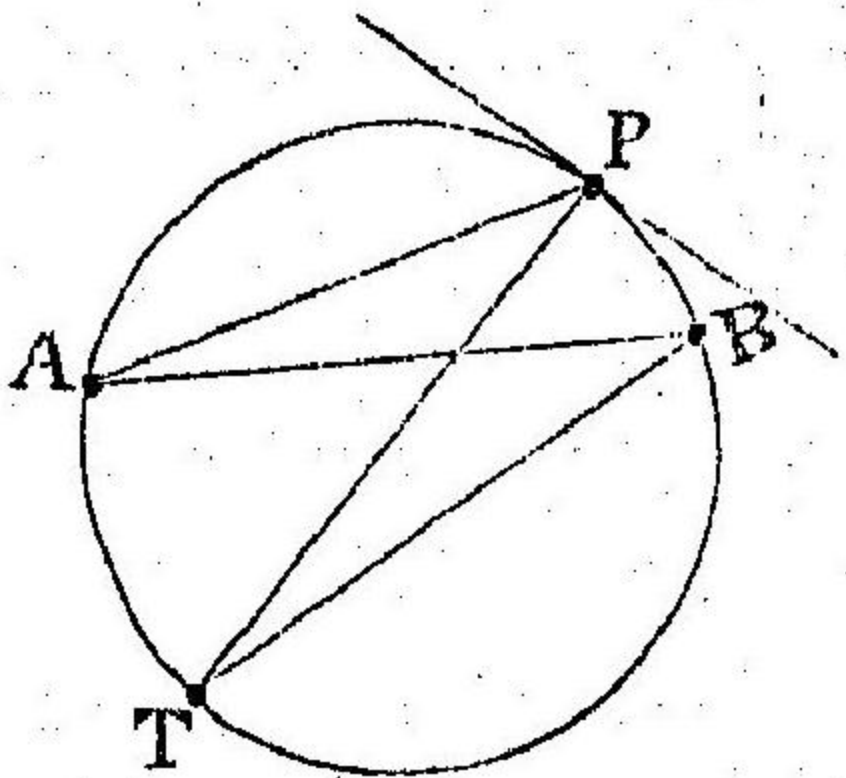
圖 八 十 四 第



$\frac{2i}{AP}$ ,  $\frac{2i}{BP}$   
にして各々AP及びBPに直角なるが故にPに於ける合  
成力(f)

$$\begin{aligned} f &= \frac{2i}{AP} \cos \angle ABP + \frac{2i}{BP} \cos \angle BAP \\ &= \frac{2i}{AP \cdot BP} \left[ BP \cos \angle ABP + AP \cos \angle BAP \right] \\ &= \frac{2i}{AP \cdot BP} AB. \end{aligned}$$

圖 九 十 四 第



之によりて之を觀ればPに於ける「マクニ力」はABの距離及び電流の長さに正比例しPよりA及びBに至る距離の相乗積に逆比例をなす  
(II) 電流の方向同じなる場合に於ては前と同一の法により之を考察すると敢て難きにあらず

其他數多の電流の存在するときに於ても同一の思想より考察するときには之を解ずるを得べし

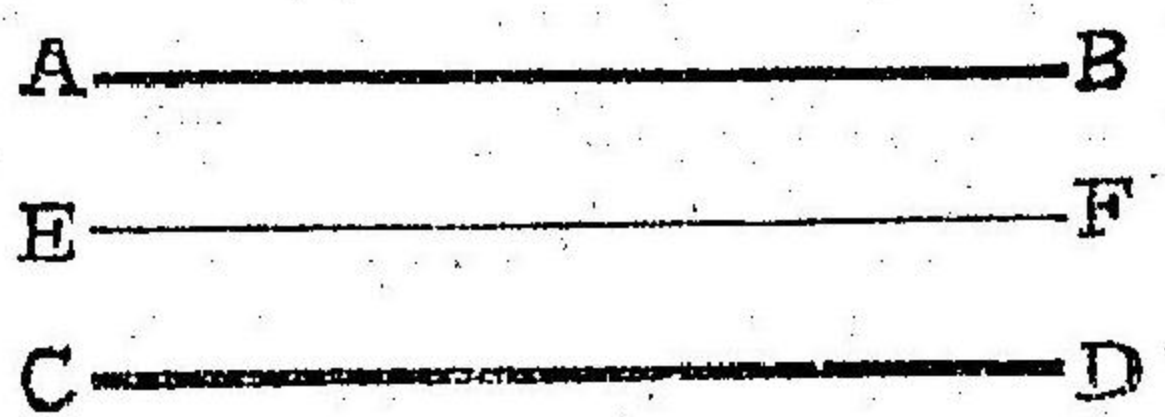
一五〇、無限大なる二平行平面に同一の電流が反對の方向に通過する場合 AB及びCDを二平行平面が之と直角なる平面(紙面)に於ける

交線としEFを其中央に於る二平面に平行なる平面の交線とす又電流はABに於ては紙面下より紙面上に直角に向ひCDに於ては紙面上より紙面下に向ひ直角に流るゝものとす

面EFに於てはAB及びCDの作用對稱せるを以てEFに直角なる方向に於ては磁力の存在するとなきや明なり今面EFを底とせる一の直六面體を想像し其二面は紙面に平行に他の二面はEFに垂直なりとす而て此包圍せる表面上に於ける磁氣感應は其和常に零なると前已に之を説けり然るに平面は無限大にして電

流に均一に分布せるを以てEFに平行なる平面内の各點に於ては磁氣感應は同一なるべし故に平行なる二面ABCDに垂直なる二面に於ける磁氣感應は其方向互に反對にして其量相等しきを以て其二面上に於ける和は零ならざるべからず之に依て面EFに於ける部分と此二平行なる平面とより來る磁氣感應の和は

圖 十 五 第



零なるべし然るに面EFに於ては之に直角なる磁氣感應は零なるを以て他の面に於て之に直角なる磁氣感應は零ならざるべからず概言すれば任意の點に於て二平行面に直角なる方向に磁氣感應なし

次に電流に平行なる方向に於ける磁氣感應の零なるを證せんとす一の矩形の二邊PQ及びRSは電流に平行に他の二邊PS及びRQは電流の平面に直角なるものを想像せよ然るときは此矩形を通ずる電流なきを以て單位の磁氣極をして此行路を取らしめ原位に復歸せしむるとき其仕事の量は零ならざるべからず然るにPS及びRSに沿ひたる磁力をF及びF'とすれば其仕事の量は  $(F-F')PQ$  にして又零なるを以て

$$F = F' \text{ (磁場)}$$

を得換言すれば電流の方向に於ける磁力は所の如何に關せず故に同一の値を有す然るに無限大の距離に於ては零なるを以て  $\infty$  を得之れ即ち所要の價なり

吾人は已に電流の方向及び二平面に直角の方向に磁氣感應の零なるを知れり

故に磁力は單に此等二方向に垂直なる方向にのみ作用す詳言すればEFに平行なる方向にのみ作用することを知る  
 然るに前と同一の方法に依り二面ABDCの外部に於てはEFに平行なる磁力も亦零なると容易に證明し得べく従つて此二平面に依りて包圍せられたる空間に於てのみ其存在するを知る

今矩形KLMNのKN及びLMはEFに平行にして他の二邊は之と直角なるものを想像せよ而してKNは電流の通過する面の一方にLMは他方にあるものとす然るときは單位の極を連ぶるに依り要する仕事の量Wは

$$W = 4\pi LM \times i$$

にして又HをLMに沿ひたる磁力とすれば

$$W = H \times LM$$

$$\therefore 4\pi \times LM \times i = H \times LM \quad \text{即ち} \quad H = 4\pi i$$

を得之に依りて之を見れば磁力は二平行面の距離に關せず常に各所に於て同一なり

一五一、圓輪道に電流の通ずる場合

QQ'を圓輪道Oを其中心OPをOに於て面OQに垂直なる線としOP上の一Pに於ける磁力を求めんとすQQ'を圓輪道の極微部分とすればPに於けるQQ'の磁力はQQ'及びPQに垂直にして其量  $\frac{QQ' \times i \sin PQQ'}{PQ^2}$  なり  
 之をOP及び之に直角なる二力に分解しf及びf'を以て之を示せば

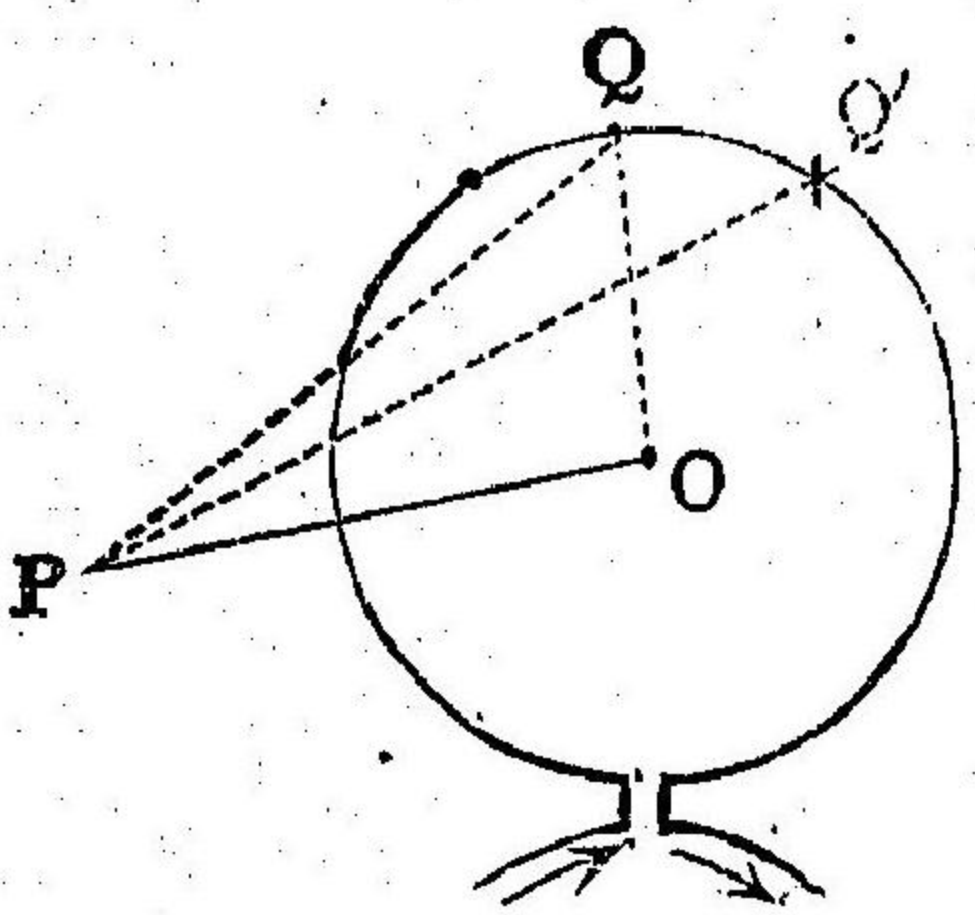
$$f = \frac{QQ' \times i \sin \theta}{PQ^2}, f' = \frac{QQ' \times i \cos \theta}{PQ^2}, \theta = \angle QPO$$

故にOPに沿ひたる圓輪道の磁力はfにして此に直角なるものはf'なり然るに  $\sum f' = 0$  何となれば互に相對する部分の作用は相消殺するを以てなり故にPに於ける磁力をFとすれば

$$F = \sum f = \frac{\sum QQ' \times OQ \sin \theta}{PQ^2} = \frac{2\pi i OQ^2}{PQ^2}$$

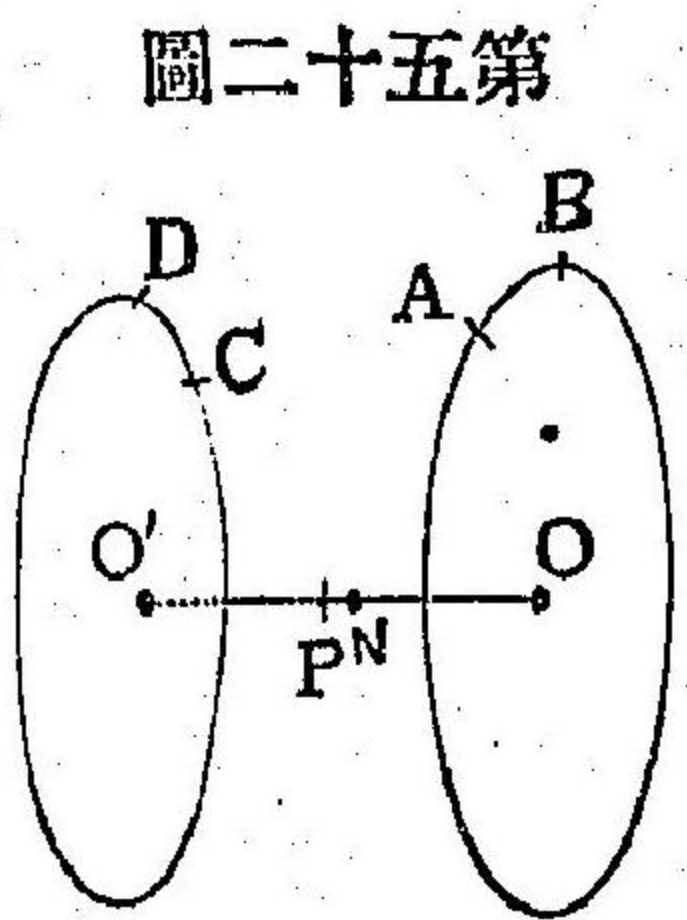
を得即ち軸OP上の點に於ける磁力は軸に平行にして圓周よりの距離の三乗に逆比例す

第五十五圖



若し  $PQ \parallel OQ$  なるときは  $F \parallel OQ$  なりとす

一五二、二ケの同一大の圓輪道互に其軸と直角をなす場合  
電流は二圓輪道に於て同一の方向に通ずるものとし  $OO' \parallel 2d$ ,  $r \parallel a$  とし電流の強さを  $i$  とす軸上の一點  $P$  に於ては  $AB$  に依りて  $\frac{2ria^2}{AP^3}$  を生じ  $CD$  に依りて同方向に  $\frac{2ria^2}{CP^3}$  を生ずるが故に磁力  $F$  は



圖二十五第

$$F = 2ria^2 \left( \frac{1}{AP^3} + \frac{1}{CP^3} \right) \\ = 2ria^2 \left( \frac{1}{a^2 + (d-a)^2} + \frac{1}{a^2 + (d+a)^2} \right) \\ NO = d, \quad a = PN.$$

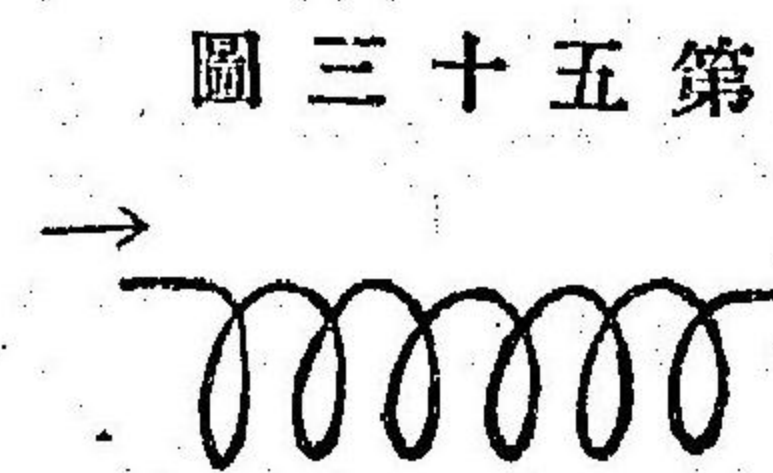
今若し  $a \parallel 2d$  とし  $P$  は  $N$  に極めて近接するものとすれば  $a \parallel 2d$  にして の高次項は棄却し得べきを以て

$$F = 4ria^2 / (a^2 + d^2)^{3/2}$$

故に此の如き場合に於ては中央點  $N$  の近傍に於ては磁力殆んど均一なり之れ

即ち「ヘルムホルツ」の電流計の構造に於ける理論なり

一五三、「ソレノイド」 「ソレノイド」とは磁石の細線にして其長さに直角なる各切斷面に於ては強さ同一なりとす任意の形状を有する圓柱の周りに軸に直角に絶縁したる金屬線を纏ひ之に電流を通ずれば「ソレノイド」を得べし



圖三十五第

一五四、無限大の長さを有する「正圓柱形のソレノイド」 正圓柱の周りに均一に金屬線を軸の直角に纏ふときは之を得べし即ち同一の長さに同数の金屬線を纏付したるものなり

此場合に於ても前と同一の方法により「ソレノイド」の外部に於ては磁力零にして其内部に於ては均一なるを證し得べし而して單位の長さに纏卷せる金屬線の數を  $n$  とし磁力を  $H$  とし電流の強さを  $i$  とすれば

$$H = 4\pi nia$$

若し「ソレノイド」無限大にあらずして一定の長さを有するときは其兩端に於て

るHの分布の状況は均一ならずして棒磁石の兩端に於けると髣髴たる形狀を呈す

一五五、無端の「ソレノイド」 無端の「ソレノイド」に在ては有限の「ソレノイド」の兩端に於ける不均一の状態を除くことを得べし無端の「ソレノイド」は環の周りに金屬線を軸に直角に纏卷すれば得べし而して環とは一の平面形を其面内にある軸の周圍に回轉したるものとす

今環の切斷面を作りOを軸の紙面に於ける遺跡とす $\rho$ を金屬線の數としOA及びOBの二平面の角を $\theta$ とすれば其の二平面間に存する金屬線の數は  $\frac{2\pi\rho}{\theta}$  なり

此場合に於ても前者と同じく磁力の存在する處は「ソレノイド」の内部にのみなるを證し得へし而して磁力の指力線の形狀は軸に直角なる平面内に於ける圓にして其中心軸上にあること亦證し得べし今Pを内部に於ける任意の點とし軸よりの距離を $r$ としHを磁力とすれば $r$ を半徑とせる圓の周りに單位の極を運ぶ仕事の量は  $2\pi r \times H$  にして又  $2\pi r i$  なるを以て

$$H = \frac{2\pi i}{r}$$

を得る即ち軸よりの距離に逆比例するを知るなり

然るに若し環或は圓柱にして「バラマクテ」物體なるときは $\mu$ を算入するを要す

### 第二章 電流相互の關係

一五六、磁場に於ける電流に作用する力 「磁氣シエル」の條下に於て磁場に於ける「シエル」に作用する力は其「シエル」を通過する指力線の數の距離に對して變化する割合なることを説けり電流の場合に於ても亦之に異なることなし $i$ を電流の強さとすれば $i$ を流導する輪道に作用する力は其輪道を力の方向に變移するとき輪道中を通過する磁氣感應線の數の増減の割合に電流の強さを乘したるものに等し今Bを磁氣感應としSを某點に於ける電流 $i$ の要素としSと力の方向のなす角を $\theta$ とすれば其力は  $B S i \sin \theta$  にして互に直角なり

一五七、無限長の二平行線に電流の通する場合  $i$  及び  $i'$  を電



流の強さとしA及びBを二平行線に直角なる平面に於ける二線の跡とすAに於ける電流に依りBに生ずる磁氣感應は $\frac{2i}{AB}$ にしてABに直角なるを以てBに於ける電流に對しては單位の長さの電流に $\frac{2i}{AB}$ の力作用すへし而して其方向は電流並に磁氣感應の方向に直角なるを以てABに沿ふて作用す

(a) 今若し $i$ 及び $i'$ 共に同一の方向に流るゝときは $\frac{2ii'}{AB}$ は正數なるを以て力の方向はBよりAにして互に吸引せんとする性質を有す

(b) 若し $i$ 及び $i'$ 反對の方向に流るゝときは負數となるを以て前者に歸して相反の性質を有す

若し又二線平行ならずして角 $\theta$ をなすときは磁氣感應と電流のなす角は $\theta$ の補角なるを以て $AS\cos\theta$ により考察し得へし此場合に於ては若し二電流共に交叉點に向ふときは互に吸引し否らざるときは相拒反すること前と同一の法に依り之を證するを得此顯象は前者の一般の場合にして二線をして互に平行ならしめんとする趨勢を有す

一五八、同一軸を有する二個の圓輪道の場合

一般輪道の解説

は容易ならずと雖とも特別な場合に於ては之を解すると難からず即ち(1)二個の圓輪道同一軸を有し其直徑殆ど相等しく且其間隔は半徑に比して非常に小なるとき(2)同一軸を有する圓輪の一が非常に小にして其距離非常に大なるときはなり

(1) 此場合に於ては相當なる圓の弧は之を二個の無限大の平行線と見做し得べし故に $i$ 及び $i'$ を電流の強さとし $a$ 及び $b$ を圓輪道の半徑とし其距離を $c$ とすA及びBを相當する弧とし其長さを $2a$ 及び $2b$ とす然るときはABの方向に作用する力は

$$\frac{2ii'ABc}{AB}$$

なるを以て之を共通の軸に平行なる力 $f_1$ と之に直角なる力 $f_2$ に分解すれば

$$f_1 = \frac{2ii'cd}{AB} \times \frac{a}{AB}, \quad f_2 = \frac{2ii'cd}{AB} \times \frac{a-b}{AB}$$

然るに中心Oに對してA及びBと對稱の點より生ずる力は互に消殺するを以て全體の力をFとすれば。

$$F = \frac{2ii'ac}{AB^2} = \frac{2ii'ac}{(a-b)^2 + a^2} \cdot 2b$$

然るに

$$\Sigma D = 2\pi$$

$$\therefore N = \frac{4\pi i a b}{(a-b)^2 + a^2}$$

而して*i*及び*b*共に同一方向なるときは吸引にして然らざるときは相反す  
 此場合に於て*b*を非常に小として*a*を非常に大とすれば輪道*a*に依りて生ず  
 る磁氣感應は(b)に於ては全體の面積を通じて均一と想像し得べし然るに(b)に  
 於ける(a)の磁氣感應は  $\frac{2\pi i a^2}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$  なるを以て感應線の數Nは

$$N = \frac{2\pi i a^2 b^2}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

なり今*a*少しく變ずるとするときは其感應線の數は亦自から變じ而して距離  
 に對する感應線の數の變化の割合は磁力を表示す然るに感應線の數の變化は  
 前方程式に依り

$$\frac{dN}{N} = \frac{2\pi i a^2 b^2}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} \left( \frac{da}{a} + \frac{db}{b} \right) \quad (\delta = \text{變化せる距離})$$

$$N = \frac{6\pi^2 a^2 b^2 i a}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}}$$

を得即ち*i*及び*b*同一方向なるときは互に吸引し然らざれば相拒反す

「アムペ  
ル」の説

一五九、「アムペールの説」以上論ずる處によりて之を見れば電流の通ず  
 るときは必ず其近傍に磁場を生じ輪道の場合に於ては電流の方向時辰儀の針  
 の方向と同一なるときは前方は北極にして後方は南極を生ず此理に依り「アン  
 ペール」は一の假想説をなして曰く磁石の分子は各々電流の流通する「ソレノイ  
 ド」にして此電流は一の分子より他の分子に移動するとなく而して電流の流通  
 せる分子の配列の狀況に依り南極及び北極の生ずるなりと

### 第三章 電磁氣に於ける諸器械

一六〇、電流計 電流計の原理は電流と磁石との吸引に基けるものにして  
 多くは「コイル」中に小なる磁石を垂下し電流「コイル」を通過するに依り磁針を偏  
 倚せしめ而して磁針の上部に固定せる鏡に依り光線を反射して偏倚角を知る  
 なり然れども又固定せる磁石の極の中央に「コイル」を垂下し之をして動くべか  
 らしむるの構造を有するものあり

一六一、正切電流計 「コイル」の面磁氣子午線の方角と同一にして「コイル」

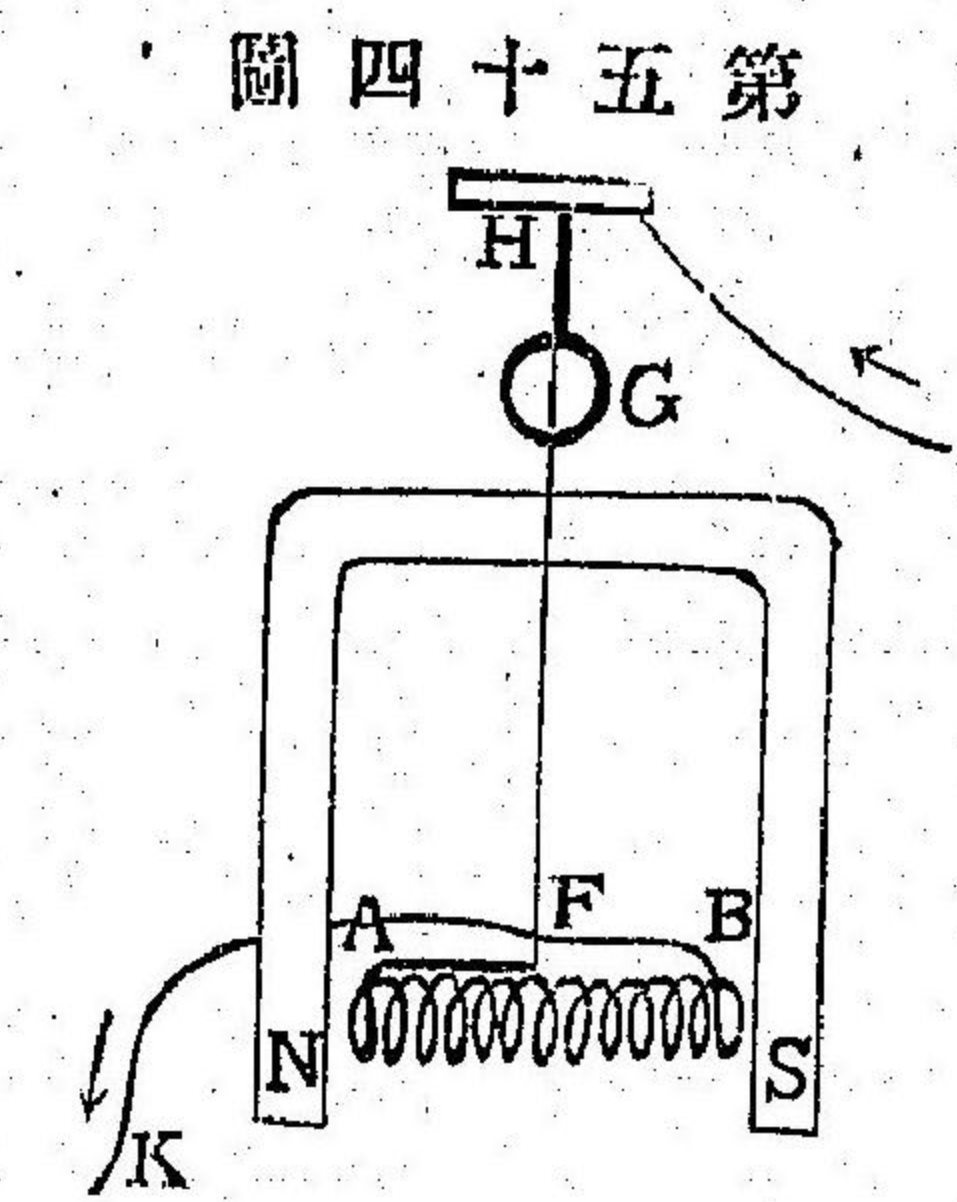
の中心に支柱を以て支へられたる磁針あり故に電流の「コイル」を通過するや東西に向ひたる磁力を起すを以て磁針をして偏倚せしめ針は地球の磁力と「コイル」の磁力と相平衡する位置に止まる而して二者の關係は磁氣計に於けると同一理なりとす

磁針の運動にして敏捷ならしめんが爲めに通常「コイル」に纏卷せる金屬線の數は非常に多し蓋し纏卷の數大なるときは磁力強大となるを以てなり然れども金屬線數大なるときは從ふて抵抗を増し電流を減するを以て最大敏捷の電流計を得んと欲せば之を無謀に増すべからず電流計に於ける敏捷は主要の問題なるを以て或は「コイル」の數を増して二個となすあり或は磁針は蜘蛛絲を以て垂下し其偏倚せる微小の角は反射鏡によりて之を測定するあり二個の「コイル」を有するものを通常重複「コイル」電流計と云ひ反射鏡を用うるものを「反射鏡電流計」と云ふ

**一六二、正弦電流計** 正弦電流計は其構造正切電流計と大同小異にして唯其異なる點は「コイル」は垂直線の軸として回轉し磁力の方向をして磁針の方

向と直角ならしむるの構造を有するにあり而して磁針は通常支柱上に安置せらる其磁力と地球磁力との關係は正切磁氣計に於けるが如し

**一六三、「タルソソヴァール電流計」** NSは馬蹄狀磁石にしてNは北極Sは南極なりABは垂下せる「コイル」にして金屬線の一端はKに傳はり他の一端は



第五十四圖

FよりHに通ずGは反射鏡HF及びBKは金屬線也電流の「コイル」に流るゝや「コイル」に南北の極を生じNはNと拒反しSはSと拒反するを以て「コイル」の變位を生ず而して回轉力はHFなる金屬線の振りの力の抵抗に依り平均するが故に偏倚の多少は電流の強弱を示す之に依て電流の強弱を測定す通常ABなる「コイル」の中間に軟鐵を置きNSより來る指力線を聚中し敏捷の度を増すの構裝置をなす

**一六四、「パリスチツク電流計」** 瞬時に起りて瞬時に消滅する電流の量を測定するに用うるものにして電流の通ずる瞬間は磁石は其位置を變するな

しと想像し偏倚の角を見て其間に通過せる電流の量を測定す然るに磁針の偏倚するや空氣の抵抗等に依り運動を妨害せらるゝを以て之を避けんが爲に磁針の惰性能率を大にし且回轉の軸に對稱ならしむるを要す

今Oを偏倚せる角としQを電氣の量としHを磁場の強さとしGは「コイル」の形狀及び金屬線の數等に關する電流計の常數としTを振動周期とすれば

$$Q = \sin^2 \theta (HT)^2 / G$$

一六五、「ケルビン」の電流衡 此器は「コイル」と「コイル」との間に存在する力を利用するものなり其構造は四個の固定せる「コイル」と二個の可動の「コイル」とより成り細微の金屬線に依りて互に連結す今適當なる方向に電流を通ずるときは可動「コイル」の一は上昇し他は下降す故に上昇「コイル」の端に重量を載せ以て相平衡せしむるときは此重量と「コイル」間に作用する力の關係により電流の強度を測定するを得べし

一六六、「ボルトメタ」 非常に大なる抵抗の有する長き細き線を以て電流計を作るときは其「コイル」の通ずる電流は非常に小なるべし然るに其流通す

る電流の量は其端の「ポテンシャル」の差に依るが故に適當に分度するときは針の偏倚に因りて其兩端の「ポテンシャル」の差を測定することを得べし「ボルトメタ」は此理に基けるものなり之れ亦一の電流計に他ならず

#### 第四章 電流感應

一六七、電流感應 一千八百三十一年「ファラデー」は種々の研究の後遂に電磁氣の感應を發見せり即ち電流の強さ及び其位置の變化等に依りて感應作用を生ず

一六八、第一の電流の變化に基く感應 第一第二の二個の傳導體の輪道ありて第一輪道を電池に結び第二輪道の内に電流計を挿入し而して電流計は第一電流に作用なき距離に置き然る後第一輪道に電流を通ずるときは第二輪道に於ける電流計は第一電流と反對の方向に流通する電流の之に生ずるを指示す此電流を感應電流と云ひ此作用を電磁氣感應作用と云ふ然るに第一輪道に電流を通ずる後之をして不變に止らしめば第二輪道に於ける感應電流

感應電流

は忽にして消滅し又毫も作用を生ずることなし。第一電流を閉止するときは第二輪道に感應し電流計は第一電流と同一方向の電流の通ずるを示す實に第一電流の強さの變化に伴ふて常に第二輪道に電動力を生ず第一電流増加するときは電氣動力の方向電流の方向と反對にして其減するときは其方向同一なり而して電流の一定不變なるときは毫も電動力を生ずることなし

二輪道を近くれば感應作用大にして之を遠くれば其作用微弱なり感應作用は輪道を螺旋線狀の「コイル」とし互に近接するときは著しく又「コイル」中に軟鐵線束を挿入するときは其作用殊に大なりとす

**一六九、第一輪道の運動に依りて生ずる感應** 第一電流にして不變に且靜止するときは毫も第二輪道に感應作用を生ずることなしと雖ども之をして其位置を變せしむるときは感應作用を生ず即ち不變の第一電流を第二輪道に近くるときは感應電流の方向反對にして之を遠くるときは其方向第一電流の方向と同一なり

**一七〇、第二輪道の運動に依りて生ずる感應** 第二輪道を第一電

流に近くれば感應電流の方向は第一電流の方向に反對にして之を遠くるときは其方向同一なり

以上を通覽するに第一及び第二電流間に存する作用は輪道の運動に反對する性質を有し相近くときは其作用は拒反にして其遠かるときは吸引す之れ即ち「レンツ」の發見せる至重の法則なり

「レンツ」の法則

**一七一、磁石及び第二輪道の相互の比較的運動に依り生ずる感應** 第一輪道の代りに磁氣「シエル」を用ゐる其邊縁は輪道と一致せしめ其強さは電流の強さと同じく其北極は電流の正側と一致せしむるときは感應作用を生ずること前と異なることなし

概論すれば正方向に第二輪道を通ずる磁氣感應線の數變するときは之に感應電流を生じ電動力は輪道を通ずる磁氣感應線の時間に對して減少する割合に等し $N_1$ 及び $N_2$ を磁氣感應線の始めと終りとの數 $t$ を時間 $E$ を電動力を電流の強さ $R$ を抵抗とすれば

$$E = \frac{-(N_2 - N_1)}{t}, \quad C = \frac{-(N_2 - N_1)}{R.t}$$

相互の感應  
系数

若し  $N \nabla N$  なるときは電流の方向同一にして  $N \nabla N$  なるときは反對なり  
**一七二、自己の感應及び相互感應** 第一輪道に單位電流の通ずるとき第二輪道を通ずる單位の磁氣感應線の數を相互の感應系数と云ふ然るに磁氣「シエル」の場合に於て相互の「ポテンシヤル」は互に相等しく且指力線の數に比例するを證せるを以て第二輪道に單位電流の通ずるとき第一輪道を通ずる單位の磁氣感應線の數は第一輪道に單位電流の通ずるとき第二輪道を通ずる感應線の數に相等し通常  $M$  を以て示す今若し第一及び第二の輪道相一致すると想像するときは自己の電流の強さの變化に伴ふて感應電流を生ずべし之を自己の感應と云ふ自己感應の系数とは其近傍に電流若くは磁石なくして自己の輪道に單位電流の通ずるとき單位の磁氣感應線の數を云ふ通常  $L$  或は  $N$  を以て之を示す二個の輪道  $AB$  ありて  $A$  に  $j$   $B$  に  $i$  の電流の通ずるときは  $A$  及び  $B$  を通ずる磁氣感應線の數は

$$L_i + M_j \quad M_i + N_j$$

なり然るに電動力は磁氣感應線の數の時に對して減少する割合なるを以て  $P'_i$

を  $A$  に於ける外部の電動力とし  $R$  を抵抗とし  $B$  に於ける電動力を  $P'_j$  とし  $S$  を抵抗とすれば

$$P'_i - \frac{\partial(L_i + M_j)}{\partial t} = R_i \quad P'_j - \frac{\partial(M_i + N_j)}{\partial t} = S_j$$

なり但し  $-\frac{\partial(L_i + M_j)}{\partial t}$ ,  $-\frac{\partial(M_i + N_j)}{\partial t}$  は單に感應線の數間に於ける減少の割合を示すものなり今若し  $P'_i$  は暫時の間繼續し其積加を  $P$  とし  $i$  及び  $j$  は  $i$  及び  $j$  となるとすれば

$$P = L_i i_0 + M_j j_0$$

而して  $B$  に外部の電動力作用することなしとすれば

$$M_i i_0 + N_j j_0 = 0$$

$$\therefore i_0 = -\frac{P}{L_i - \frac{PM}{N}}, \quad j_0 = -\frac{PM}{LN - M^2}$$

を得即ち第二輪道に電流を生ずるなり

例令へば無限大の長さの「ソレノイド」に於ては一個の輪道を通ずる磁氣感應線の數は  $A$  を輪道の面積とすれば  $4\pi nA$  なるを以て單位の長さに於ける自己感

應の係数は  $4\pi n^2 A$  にして長さ  $l$  なるときは  $4\pi n^2 l A$  なり又若し「ソレノイド」の中が鐵を以て充滿せらるれば  $4\pi n^2 \mu A$  なりとす又鐵の面積  $B$  なるときは  $4\pi n^2 (\mu B + A - B)$  なるを知るなり

無限大ニケの「ソレノイド」 $\alpha$  及び  $\beta$  の係数を見んとす若し「ソレノイド」の一にして他の内部に存せざるときは  $M = 0$  なること明なり故に一は他の内部に存在すと假定す  $B$  を内部の「ソレノイド」 $\beta$  の面積とし  $m$  を單位の長さに於ける線數とし  $n$  を  $\alpha$  の線數とす然るときは  $\beta$  の一輪道中を通ずる磁氣感應線の數は  $4\pi n B$  なるを以て單位の長さの相互感應係數は  $4\pi n m B$  なるべし長さ  $l$  に於ては  $M = 4\pi n m l B$  なりとす

此の如き方法に依り種々の場合に於ける感應係數を算出し得べし

**一七三、** 撃突に依りて金屬に感應せる電流  $N_0$  及び  $N_r$  を時刻  $t$  。

及び  $\pi$  に於ける輪道を通せる磁石感應線の數とし  $P$  を依て生したる電動力の和とすれば

$$P = (N_r - N_0) \quad (\text{但し } \pi \text{ は非常に小なる時とす})$$

$$L_0 + M_j + N_r = N_0$$

然るに右方は撃突の前に於ける磁氣感應線の數にして左方は  $t$  時の後に於ける感應線の數なるを以て撃突の前後に於ては輪道を通ずる感應線の數は不變なり而して是れ單にニケの輪道に就て之を云ふのみ然れども數多の輪道の場合に於ても之に異なることなく輪道を通ずる磁氣感應線の數は撃突の前後同一なりとす今之を金屬塊の場合に適用せんとす輪道に沿ふて單位の極を運ぶとき其要する仕事は輪道を通ずる電流の  $\pi$  倍に等し然るに金屬塊の内部に於ては任意の輪道に沿ふて單位の極を運ぶとき要する仕事は撃突の前後に於て同一なり何となれば之を通ずる磁氣感應線の數同一なればなり而して撃突の前に於ては電流の存在することなきを以て其後に在ても亦電流の存在することなかるべし換言すれば撃突に依り感應せる電流は金屬塊の表面にのみ存在す管に表面にのみ存在するにあらずして忽にして四方に傳播し忽にして消失す其理に至りては此小冊子の能く説明する處にあらず

**一七四、** 周期的電動力の場合即ち交番電流 周期的電動力は  $E = E_0 \cos \pi t$  と見做し得べし即ち  $\pi = 0$  なるときは  $E = E_0$  にして  $\pi = \pi/2$  なるときは  $E = 0$  且其

間に於ける電動力は零より大にしてE<sub>0</sub>より小なるのみならず時に或は一方に時に或は他方に向ふを以てなり而して $\omega t$ は交番周期にしてpは交番の度数なり此場合に於てはL<sub>0</sub>の $\omega$ に對して減する割合は電動力なるを以て $\frac{\partial I_0}{\partial t}$ を其割合とすれば

$$i = \frac{\partial I_0}{\partial t} + Ri = E_0 \cos pt$$

故に

$$i = \frac{E_0 \cos(pt - \alpha)}{(R^2 + L^2 p^2)^{1/2}}, \quad \tan \alpha = Lp/R.$$

を得

**一七五、**磁場に於て「コイル」の回轉する場合 Hを磁場の強さとし「コイル」の回轉軸は之と直角なりとす $\theta$ を「コイル」の面とHとのなす角としAを「コイル」の面積とすれば「コイル」を通ずる磁氣感應線の數は $HA \sin \theta$ なり今「コイル」は均一の角速度 $\omega$ を以て回轉すと想像せば感應線の減少の割合は

$$-\left( HA \sin(\theta + \omega t) - HA \sin \theta \right) \frac{\partial}{\partial t} = -HA \cos \theta \cdot \omega.$$

を得之を前の場合に比較せば $p = \omega \cdot E_0 = HA$ なるを以て

$$i = \frac{HA \cos(\omega t - \alpha)}{(R^2 + L^2 \omega^2)^{1/2}}, \quad \tan \alpha = L\omega/R.$$

**一七六、**「ツラレスフ・マー」の原理 以上二條は單一の輪道に付て之を説けり今二個の輪道の場合を論せんとす即ち鐵の環に絶縁せる二條の金屬線を纏へる場合はなり $i$ 及び $j$ を第一及び第二輪道に於ける電流 $L$  $M$  $N$ を第一輪道の自己感應係數第一第二の相互感應係數第二輪道自己感應係數 $R$ 及び $S$ を第一及び第二輪道の抵抗とし第一輪道に $E \cos pt$ なる電動力作用するものとす然るときは前と同一の法に依り

$$\left. \begin{aligned} i &= A \cos(pt - \alpha) \\ j &= B \cos(pt - \beta) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

を得但し

$$\begin{aligned} B^2 &= M^2 p^2 A^2 / (N^2 p^2 + S^2), \\ A^2 &= E^2 / (L^2 p^2 + R^2), \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 I &= I - \frac{M^2 N^2 j^2}{N^2 j^2 + S^2} \\
 R &= R + \frac{M^2 p^2 S}{N^2 j^2 + S^2} \\
 \tan \alpha &= I/p/R', \quad \tan(\beta - \alpha) = S/Np
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

即ち此場合に於ける第一及び第二輪道の電流は方程式(1)に依りて表はるゝ、及び  $j$  の値にして  $A, B, \alpha, \beta$  の値は方程式(2)に依りて定めらるゝものなり方程式(2)に於ける  $A$  の値を以て之を單一の輪道に於けるものに比するに  $I$  が  $I'$  に變じ  $R$  が  $R'$  に變せると毫も異なることなし之に依りて之を見れば第二輪道存在の結果は第一輪道の見懸の自己感應を減じ其見懸の抵抗を増すに他ならず若し交番の周期非常に短きときは  $p$  は非常に大なるを以て  $Np$  は  $S$  に比して非常に大なり故に此場合に於ては

$$I' = I - M^2 N^2, \quad R' = R + M^2 S N^2, \quad B = M A / N, \quad \beta - \alpha = \pi.$$

若し亦  $\delta$  非常に大なるときは

$$I' = I, \quad R' = R.$$

然るに「エネルギー」は電動力と電流の相乗積の平均値に等しきを以て以上の價より之を算出することを得べし

### 一七七、交番電流の分布

前已に撃突に依りて金屬塊に感應せる電流は單に表面にのみ存在し然る後四方に傳播するを説けり交番電流の場合には恰も之に異ならず即ち反對の撃突の繼續的周期的に來るものと見做し得べければなり故に一の撃突に依りて生ずる感應電流の表面より内部に向つて某距離を進むや忽にして反對の電流傳播し來り互に相消殺せんとす而して其内部に達する距離の大小は交番の度數に關す若し其度數非常に大にして交番盛なるときは未だ表面を去らざるに忽にして消殺せられ電流の表面にのみ存在するに交番徐々にして其數少なきときは幾分か内部に達す尙ほ他の方法に依り之を知るとを得べし交番度數  $p$  大なるときは電動力に於ける  $R$  なる項は之を感應より來るものに比して棄却するも不可なるとなし然るときは電氣感應線の數は  $I_1 + Mj + \dots$  にして又  $N$  に等しきを以て

$$I_1 + Mj + \dots + N = 0$$

但しNは外部に基因する電氣感應線の數とす之に依りて之を見れば電氣感應線の全數は零なるを以て金屬塊の撃突の場合に於けると同一の方法に依り内部に電流の存在するとなきを證し得べし

**一七八、自己感應係數の測定** 「ソレノイド」及び其他整正せる形狀を有する「コイル」の自己感應及び相互感應係數は前已に説明せる如く計算に依り之を知るとを得べしと雖ども多くは之を算出すると容易ならず故に之を測定する二三の法を示さんとす

電橋の一枝條BDに自己感應係數を測定すべき「コイル」を置きCDに「バリスタック」電流計Gを入れ「キー」Fに依りて電流を切斷若くは流通せしむるの裝置をなす而して先づ不變電流を通じ以てCDを共軌の狀況にあらしめGに電流を通ずるとなからしむべし然るときは「キー」を壓して電流を通ずるときは例令へ不變電流の場合に於てはC及びDは共軌の狀況にありと雖どもBD中なる「コイル」の自己感應に依りて感應電流を生ずるが故に其瞬間に於てはGを通じて感應電流の流通を來し電流計の指針は偏倚すべしを以て電流の一定し來るときの強

さとすれば瞬時に流れたる電氣量は電氣感應線の數の變化に等しきを以て

$-KI_0$  (但しKは常數とす) なること明なり然るに「バリスタック」電流計に於ては

$$Q = \sin^2 \theta \cdot HT / \pi G.$$

故に

$$KI_0 = \sin^2 \theta \cdot HT / \pi G.$$

今DB中に抵抗rを挿入すれば電橋の平衡は破れて電流計に電流を通ずるに至る然るにr若し小なるときは此抵抗の挿入に依りてDB中を流るゝ電流の強さに變化なきを以て尙ほ電流は $I_0$ と見做し得べし然るに抵抗rに相當する電動力は「オーム」法則に依り $rI_0$ なるを以て電流計を通ずる電流は $KrI_0$ なるべしφを以て此時に於ける偏倚角とすれば正切電流計の理に依り

$$KrI_0 = H \tan \phi / G.$$

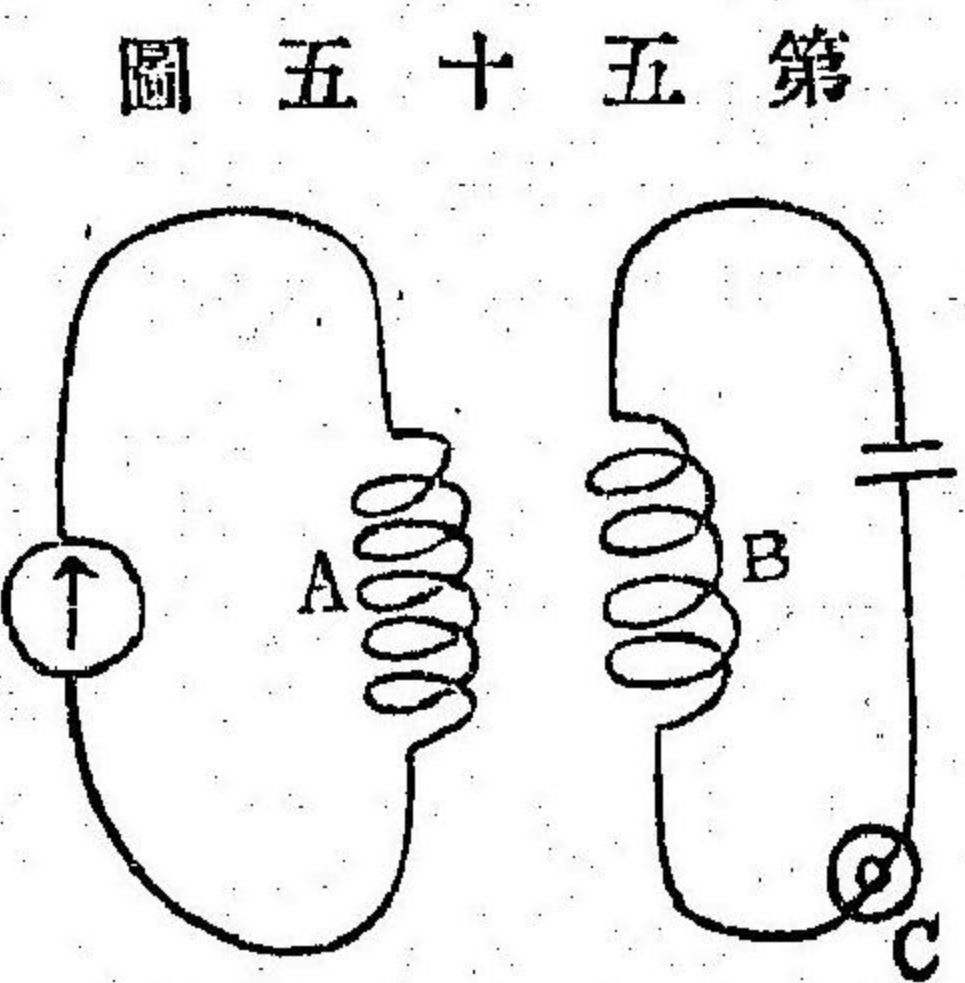
(2)

(1) 及び (2) の方程式に依り

$$I_0 = \frac{\sin^2 \theta}{\tan \phi} \cdot \frac{H}{\pi}.$$

**一七九、相互感應係數の測定**

A及びBを感應係數を求むべき「コイル」としAには電流計を入れBは之を電池と連結すると圖の如くす「キー」Cを押



しBに電流を通ずるときはA・Bの相互感應に依りてAに電流を起し電流計の針は偏倚す今偏倚角を $\theta$ としRを輪道Aの抵抗とすれば前と同一の理に依り

$$\frac{M_i}{R} = \frac{\sin^2 \theta \cdot H \cdot T}{G \pi} \quad (1)$$

次に輪道Aを切斷し之を輪道B中の二點に連結すべし其二點間の抵抗をSとし而してRはSに對して大なるときは輪道Bを通ずる電流の變化は小にして其價同一と見做すも不可なるとなし然るにAを通ずる電流は $\frac{M_i}{R+S} \sin^2 \theta$ なるを以て電流計の偏倚角を $\phi$ とすれば

$$S_i/R + S = \tan \phi \cdot H/G.$$

(1) 及び (2) の方程式に依り

$$M = \frac{RS}{R+S} \frac{\sin^2 \theta}{\tan \phi} \frac{T}{\pi}$$

を得

**一八〇、相互感應係数の比較** A及びaを一組の「コイル」としB及びbを他の一組の「コイル」とす而してa及びbを電池と共に一の輪道に入れA及びBは圖の如く他の輪道に入れP及びQを連結し之に電流計を挿入す $M_1$ 及び $M_2$ を(Aa)及び(Bb)の各々の相互感應の係数としR及びSをPQの共軛なるときのPAQ及びPBQの抵抗とすれば

$$M_1/R = M_2/S$$

なり何となればAPQを流るゝ電流を $i$ としBPQを流るゝ電流を $j$ とすればPQを流るゝ電流は $i-j$ なり

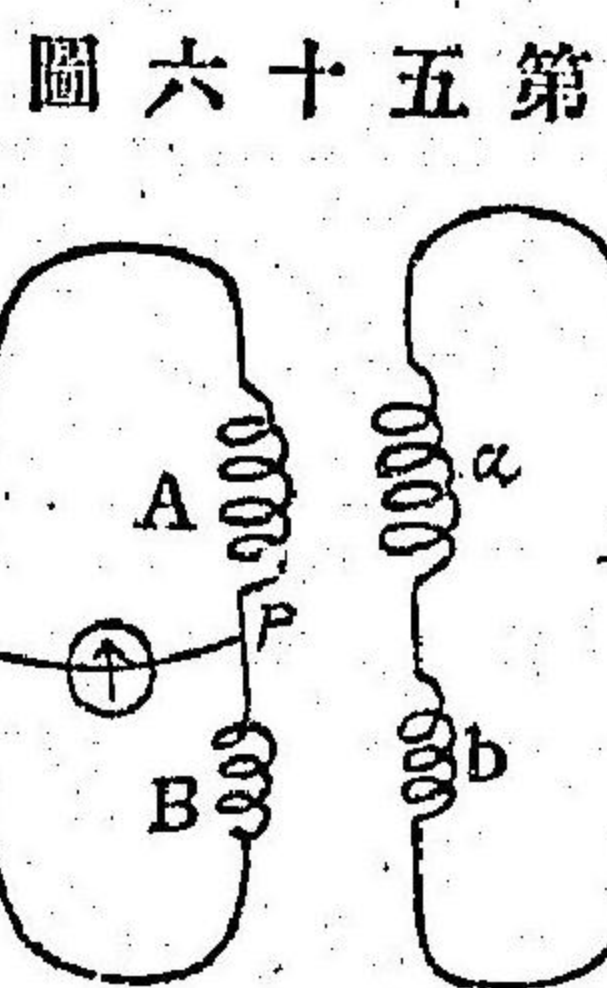
りKをPQの抵抗とすれば

$$Ri + K(i-j) = M_1 i,$$

$$Sj + K(j-i) = M_2 j.$$

然るにPQの共軛なるときは $a-y=0$ , 即ち $i=j$ なるを以て

$$M_1/R = M_2/S.$$



圖六十五第

なればなり

一八一、自己感應係数の比較 二個の「コイル」の自己感應係数をし及びNとす而して之を電橋のBD及びADに挿入し先づ不變電流のときに於てCDを共軛ならしめ次に「キー」に依り電流を通ずるときにAD及びBDの抵抗を變じて再びCDを共軛の状況となし又AC及びBCを調節して以て不變電流の場合に於てCDを共軛ならしむれば不變電流及び瞬時電流の場合に於てC及びDは共軛なりとす今PQRSを以てAD, BD, AC, 及びBCの抵抗とすれば

$$I/N = P/Q = R/S$$

なり

不變電流の場合に於てはP/Qにして變せずんばP及びQを變すと雖とも電橋の平衡を失ふとなし然るにP及びQの變化はAD及びBDに於てP及Qに比例する電動力の挿入に異なる事なし何となればC及びDは共軛なるを以てAD及びBDを流るゝ電流の強さは同一にして且オーム法則に依り抵抗に電流を乗するものは電動力なるを以てなり今若しADに電動力(A)BDに(B)を入れ以て平衡を破る

なくんば此等二電動力の比ABはP/Qに等しかるべし然るに此電動力は一はI<sub>1</sub>にして一はI<sub>2</sub>なるを以て方程式(1)の確なるを證し得るなり

## 第五章 應用の諸器械

一八二、「感應コイル」 此器は「トランスフォーマー」の理に基けるものにして内外二重の「コイル」より成る内部の「コイル」即ち第一「コイル」は大なる絶縁せる線を圓筒狀の鐵の外部に纏へるものにして外部の「コイル」即ち第二「コイル」は小さき線を纏卷せるものなり而して其纏卷の數非常に多くして數千に至る又内部に存する鐵は塊ならずして鐵條の束より成る第一「コイル」を電池に結び「キー」を以て或は之を切斷し或は之を連結するときは其度毎に第二「コイル」に強大なる感應電流を生し従ふて「エレクトロイド」間に強大なる火花を生す而して感應電流は連結及び切斷に依りて其方向反對にして其磁氣感應線の數は兩者常に同一なるを以て此「インパルス」の電動力は互に相等しとす然るに通電「コンデンサー」を第二「コイル」に電結するを以て連結に際しては電流の生長に可な