

【寫眞銅版】 寫眞銅版は一に網目板かみめばんと稱し、活字と同時に印刷し得るので新聞雜誌等に多く用ひられる。之を製するには寫眞を撮る際感光板とレンズとの間に硝子板に網目を附けたものを入れて撮影し、その種板を感光劑を引いた銅板面に焼き付けて火で熱すると、焼き付けられた部分はエナメル状となり酸に腐蝕せぬので凹凸を生ずるから、之れにインキを塗布して印刷するのである。

【三色版】 は網目版の方法で青、赤、黄の三色の種板を作つてそれぞれ網目板を作つてから、三色のインキを以て三度に重刷するのである。

【オフセット版】 は最新の製版で、之は石版印刷の進化したものと見ることが出来る。二個の大ロールがあつて、其一はゴム布を張り、他の一は印刷上石版石と同じ性質を有する亜鉛板を張つたもので、其表面は石版に於けると同じやうに一種のゴム液を塗布してある。この亜鉛板面に繪圖を轉寫する。ロールにつれて、此轉寫圖は一回轉毎に一度づつインキを受取つてはゴム版面に押捺する。依つてゴム版に紙を當てて印刷するのである。

オフセット版は印刷が鮮明であり、石版印刷のやうに光澤ある紙を必要とせず、且つ一種の雅味を有するので、近來繪畫の印刷に最も多く使用せらるやうになつた。

印刷用インキは乾性油を熱して強き粘稠性を帶ばしめ、之に油煙又は顏料を加へて練つたもので、よく印版面に附着すると同時に、容易に版面から紙面に移り、且つ速かに乾燥する性あるを要する。又凹版印刷ではインキは凹所に填充して紙面に印するものであるから、却つて粘性の強くない半固體のものを用ふる要があるのである。

第四編 物理學

量

函數的關
係

物理學的
自然觀

第一章 序 說

其 一 量 の 測 定

物理學に於ては、大少多寡の區別を認め得るものは、凡て之を量と稱する。甲乙二種の量が互に相關聯して増減することは、日常吾人の經驗するところである。例へば温度の高低に従つて物體の體積が増減する。此の場合物體の體積は、其温度の函數であると稱する。物理學では、先づ相關聯すると見做される量の系統を發見し、次に是等の量の間に成立つべき函數的關係を發見するに力める。此の二者に成功した時、吾々は其の現象が科學的に研究せられたといふことが出来る。換言すれば、自然現象間に見らるる性質的差別を數量的差別に歸著せしめ、宇宙凡百の事象を終極的一要素に還元するのが、自然科學の目的である。

すなはち物理學的自然觀は、感覺的要素を計量的要素に還元するを本質とする。而して二種の量の間の關係を精細に論究せんとするには、先づ夫等の量の多少を、數を以て表は

三六三
 する必要がある。換言すれば、凡ての量は之を測定して其數値を知つた後でなければ、精密科學の研究資料とすることは出来ない。して甲なる量を測定するとは、之と同一種類の量を乙を標準として之と比較し、其比較を表はす數を求めらる事である。此場合乙なる量を其種類の量の單位と稱し、甲なる量の多少は、此單位と比を表はす數値との二つを以て示される。従つて物理學上の量を表はすには、必ず單位と數値とを列記すべきもので、單に數のみを示して單位を附記せざるものは無意味である。

甲の長さ乙の長さとの比を求むるには、直接に一方を他の上に重ね合せて幾倍なるかを知ることが出来るけれども、凡ての量が斯の如く直接に測定し得るものではない。

かく直接に測定すること不可能な時には、間接に之を測定する手段を講ずる。今直接測定不能なる甲現象が、種々の特性を有する際に、其特性の内の一つが直接に測定し得るならば、之によつて間接に甲を測定することが出来る譯である。例へば寒暖の程度は、直接測定が不可能であるけれども、寒暖に従つて物體は伸縮し、此伸縮の多少は尺度で直接に測定し得るから、其伸縮の多少によつて、間接に寒暖の程度を測定することが出来る。普通の寒暖計は即ちそれである。

眞理は自然現象中に含まるるものであるから、吾人は事實の觀察に依つて眞理を追究するのであるが、自然現象は甚だ複雑であつて、普遍的概念を抽象するに頗る困難である。従つて吾人は人爲的に事情を變更して、之が自然現象に如何なる影響を及ぼすかを觀察する必要がある。これ即ち實驗である。

是等の觀察を基礎とし、それから何等かの結論を引き出すのは吾人の知能に頼るものであるから、研究者の知能の程度に應じて同一の現象からでも、種々の異なつた結論が産み出されることがある。是れ古人の學說が順次に破棄せられ、新たなるものが之に代はる所以である。

其二 單位の運算

凡ての量は、單位として採用された量と、之に對する比を示す數との積で表はされる。數學では之を名數と呼んで、加減乗除等の運算は、名數で行ふのではなく、單に數に就てのみ行ふものとして居るけれども、物理學に於ては名數を其儘運算するものと見て差支へがない。例へば三間と五間との和或は積を求むる場合には、

$3\text{間} + 5\text{間} = (3 + 5)\text{間} = 8\text{間}$
 $3\text{間} \times 5\text{間} = 3 \times 5 \times \text{間} \times \text{間} = 15\text{坪}$
 の如くする。茲に長さの單位なる間の自乗を以て面積の單位とし之を一坪と呼んだのである。従つて除法の場合でも十五坪を五間で割ると、

$$15\text{坪} \div 5\text{間} = 15 \div 5 \times \text{坪} \div \text{間} = 3\text{間}$$

即ち一間の自乗が一坪であるから一坪を一間で割ると一間となるのである。

かく乗除法は異なる單位を有する二量間に行ふ事が出来るけれども、加減法は之を行ふことが出来ない。換言すれば加減法は、同一單位を有する量の間だけに行はれるのである。而して同一單位を有する二つの量の積は、異なりたる單位を有する量となり其商は何等の單位を有せざる數となる。

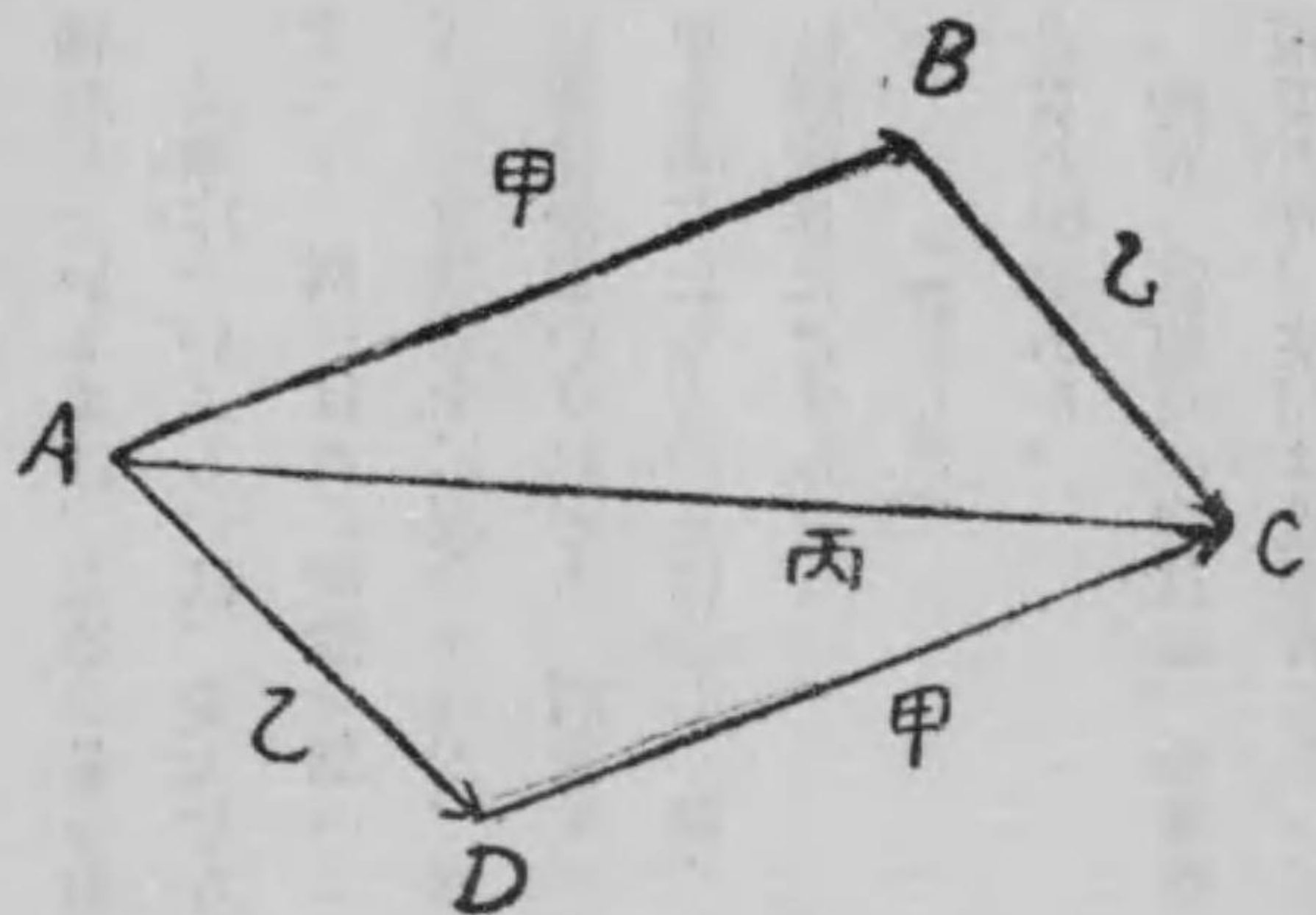
主計量

別途量

金錢や重量などのやうな、主計官が普通に取扱ふ量是一般に尺度上の長さで表はすことが出来るから、之を主計量と稱する。西洋で物指をスケールと呼ぶに依るのである。

運動や速度のやうな方向を有する量の運動は、年齢や身長のやうな主計量に於けるものと異なるべきは明白である。依つて此種の量を別途量と呼んで、主計量と區別する。主計

別途量の加減法



圖三十四 第

量は單に大きさあるのみであるが、別途量は更に方向を持つて居る點で、之と區別されるのである。而して直線は長さと方向とを兼有して居るから、別途量も亦一本の直線で表はすことが出来る。

今AB直線を以て甲別途量を表はし、BC直線を以て乙別途量を表はせば、甲乙の和丙は、A端とC端とを結ぶAC直線で表はされるものとする。従つて丙から甲を引いた差乙は其兩端を結んだBC直線で表はされる。かくの如く別途量の加減法は直線を連結する事に依つて簡單に行はれるのである。

別途量を表はす直線は、單に長さとその方向とに依つて決定され、其の位置に無關係であるから、ABCDを平行四邊形とすると、ADはBCと同じく別途量乙を表はし、DCはABと同じく甲別途量を表は

順序

す筈である。然るにADとDCとの和も亦ACであるから、二つの別途量甲乙の和は一定であり、甲に乙を加へても、乙に甲を加へても其結果に變りは無い。加法の結果が加へる順序に關係なしといふ事は、是等の量を取扱ふに非常な便利がある特點である。

此順序といふものは、重大なる意味を有するもので、輕々に看過すべきことではないのである。例へば水に硫酸を加へると、硫酸に水を加へるのとは、其結果に非常な差があつて、一方は安全に混合するが、他方 發する。主計量の場合には、乘法の際にも其順序に關係がないけれども、別途量の場合には順序に關係し、甲に乙を乗じたるものと、乙に甲を乗じたるものとは等しく無く、其符號が正反對となるものである。即ちAとBとが共に別途量だとすると

$$A \cdot B = -B \cdot A$$

となるのである。

時間・空間及び物質は、物理學の三大要素である。時間及び空間は古代から哲學上の問題であり、空間は數學者によつて十分研究されて居るが物質は範圍外に放置されて居る。實質的科學なる物理學では、凡ての現象が物質に起るものであるから、物質並びにエネルギー

ギーに關する研究が、その主要の部分を構成するものである。

第二章 エネルギ

其 一 寒 暖 計

寒暖の感
覚

吾人は感覺によつて直ちに寒暖の區別を知ることが出来る。而して此寒暖は性質的のものであるから、直接に兩者を比較することが出来ない。更に又同一の温室でも、一層暖かい室に居た人は涼く感ずるが、寒い場所から入つて來れば暖いと感ずる。従つて其寒暖の程度即ち溫度を、吾人の感覺に訴へて直接に判斷することは、非科學的である。換言すれば、寒暖を科學的に論ずるには、吾人の個性を離れて、其測定法を講ずることが、最初の要件である。

溫度

寒暖計

暖氣のために伸張し寒氣に逢つて收縮するは二、三の例外を除けば、萬物共通の性質である。然るに物質の伸縮は之を測定する事が出来るから、之に依つて間接に寒暖の程度を知る事が出来る。是れ即ち普通の寒暖計である。

先づ吾人が標準として採用した物質では、其の膨脹は溫度の増加に比例すると假定して

溫度の定
義

溫度を定義する。換言すれば溫度の高低を測るに、標準物體の膨脹の多少を以てする。

標準物體には普通は水銀を採用し、通俗的には酒精を使用するが、學術的には空氣或は水素のやうな氣體が選ばれて居る。水銀寒暖計は水銀の膨脹した量で、溫度の増加を知るのであるが、硝子管の直徑が一樣だと、體積の増加は其長さで知れるから、水銀柱の高低が直ちに溫度の高低を示す事になる。

零度

溫度の單位を何程にするかといふことは、勿論吾人の任意である。更に又溫度の基點、即ちどれ程寒いものを零度とするかといふ事も、先天的に決まつて居る事ではなく、吾人の勝手に定め得べきものである。

華氏寒暖
計

華氏が初めて寒暖計を製作した時には、其當時人爲的に作り得る最も寒い溫度の寒劑に其寒暖計を浸して其處に目盛を附け、次に此寒暖計を自分の肉體にて暖ため其最高點に再び目盛をつけた。そして是等二點間を十二等分し更に各區を八等分して其間を一度と定め最下點を零度とした。従つて華氏の寒暖計では體温が九十六度といふことになつた。

攝氏が寒暖計を製作した時には、水の氷點と其沸騰點とを標準に取り、其間を百等分し最下點を零度とした。そこで華氏の寒暖計で水の氷點を測定して見ると三十二度に當り、

攝氏寒暖
計

其沸騰點は二百十二度に當ることになった。従つて氷點と沸騰點との溫度差は、攝氏の寒暖計では百度であるが、華氏の寒暖計では百八十度あることになる。割合に簡単な數であるのは、偶然とはいへ餘程珍しいことと言はねばならぬ。

其二 熱と其運動

溫度異なる甲乙二物體を互に接觸せしめると、兩者共に其の溫度を變化するのが普通である。今甲の溫度が乙の溫度より高い時に實驗して見ると、次の三種の場合が起ることを認める。

- (一) 甲の溫度下り、乙の溫度上る
- (二) 甲の溫度下り、乙の溫度變らず
- (三) 甲の溫度變らず、乙の溫度上る

是等いづれの場合に於ても、吾人は或る特種の物理的要素が甲體から乙體に移つたものと認めて、此要素に熱なる名稱を附し、熱が甲體から乙體に移つたものと認める。一般に溫度の變化は、熱の出入に基くもので、熱を受け入れたとき溫度上り、之を失ふとき溫度

熱

潜熱

下るのであるが、前記の(二)(三)のやうに熱を受取つても溫度上らず、之を失つても溫度下らざる場合がある。かくの如く溫度に關係なき熱を潜熱と稱する。

物體が熱を授受せるに拘らず、其溫度に變化のない時は、其物體には必ず他の性質に於ける變化があるものである。例へば攝氏零度の氷と水の混合物に、多少の熱を加へても其溫度は上らないが、氷の量が減じて水量が増加する。即ち零度の氷が融けて、零度の水となるのである。又百度の水蒸氣の充滿する室内に多少の涼風を送つても溫度は下らないで單に水蒸氣の一部が凝縮して露を生ずるだけである。

熱の効果

かくの如く熱には二種の効果がある。一は物體の溫度を高める事で、他は物體の形態を變化させる事である。従つて溫度を異にする同種の物體が有する熱量は同一でないのみでなく、溫度が同一でも氷と水、或は水蒸氣等は其含有する熱量に多少の差がある。

熱の傳導

甲乙二個の物體を接觸せる際に、熱が一方から他方に移動する現象を名けて熱の傳導と稱する。しかし傳導によつてのみ熱が移動するのではない。

氣體や液體の如く各部分が自由に運動し得る物體では、丙なる物質が熱を持って甲所から乙所に之を運搬する。此場合には同時に、熱を失つて乙所から甲所に戻つて來るものも

對流
輻射
輻射線の
吸収

あるから、往復一對の流れが出来る。従つて之に對流といふ名稱が與へられる。

熱の移動には更に第三の種類がある。即ち熱は輻射によつて移動する。太陽の熱が地球に到達するのは輻射によるものである。而して輻射線は熱ではないから、太陽と地球の中間に於て、輻射線の通過する場所は寒冷である。送中に寒冷な場所があつては、傳導も對流も起り得ない。そして太陽から來る輻射線は、地球上の物質に吸収されて後、初めて熱と化するものである。

宇宙間にある凡ての物質は、其温度の高低如何に拘らず、自己の温度に相應なる程度の輻射線を放つて居るものである。

然らば如何にして温度の變化が起るかといふに、自己の温度が周圍の温度と同一だと、自分が出すと同一量の輻射を周圍から受取るから、温度が變らないけれども、自分が高温度であれば、多量の熱を輻射によつて失ひ、周圍からは少量の熱を受くるに過ぎないから温度が下がる。即ち宇宙の萬物は輻射の方法によつて、各自に熱の交換を行つて居るのである。

温度Tと輻射Rとの間には

ステファ
ンの法則

$$R = aT^4$$

なる關係がある。これはステファンが實驗的に發見したもので、ボルツマンは之を理論的に證明したので、之をステファン・ボルツマンの法則と稱する。茲に a は一定數でありTは絶対温度(攝氏温度に二七三度を加へたもの)を表はすものである。

其三 熱と仕事

熱が何であるかといふ事は、容易に解決されざりし疑問であつた。今を去る僅か百數十年前に於てさへ、熱は燃素と火氣との化合物であると説明されて居た。然るに摩擦によつて無限に熱が生ずることや、二個の氷塊を摩擦して之を融解せしめ得ることなどが知られてから、摩擦に費された仕事、熱に變化したのであるといふ論が採用されるやうになつた。

仕事と熱とは互に變化し得るもので、其間には一定不變の數量的關係がある。是れ即ち熱力學第一法則である。

物體の運動速度が一定でなく、次第に増加するならば、此運動には加速度があると稱し

熱力學第
一法則
加速度

力

其加速度を生ぜしめた原因を力の存在に歸せしめる。従つて力が働けば加速度が生じ、加速度があれば力の存在を示すことになる。

一秒間に、毎秒一種の速度を増加するものを加速度の單位とし、一瓦の質量に一秒間働いて單位量の速度を生ずる力を、力の單位に採つて之を一ダイーンと命名する。地球上に於て凡ての物體が落下するのは、地球の引力が物體に働いて居るからである。

静止せる物體に a なる加速度を有する力が、 t 秒間働いたとき運動した距離 d は、

$$d = \frac{1}{2} at^2$$

から求められるから、落下した物體に就いて、時間と距離とを測れば地球の引力即ち引力の加速度を算定することが出来る。實驗の結果によると、糶及び秒を單位として約九八〇である。此値を普通 g を以て表はす。

或力が物體に働いた時に、其物體が力の方向に運動すれば、此力が仕事をなしたと言ひ其量は力と其力の方向に運動した距離との相乗積で測定する。一ダイーンの力が働いて其方向に一種だけ運動した時の仕事を單位に採用して、之を一エルグと命名する。力が働いても其方向に少しも運動せぬ場合には、何等の仕事をせぬのである。此場合には力が單

ダイーン

重力

仕事

エルグ

獨に働いて居るのではないのである。

加速度は力によつてのみ生ずるのであるが、一度得た速度は、之を反對の力が働かざる限り消滅せぬものである。従つて或は物體が現に動いて居るといふ事實は、之に力が働いて居るといふ證據にはならない。更に運動して居る物體に力が働いた場合には、加速度は其力の方向に起るけれども、運動は初めから有せる速度と、新たに得たる速度との合成速度の方向に起るのであるから、新たに加へられた力の方向とは一致しないものである。換言すれば、運動し居るものが突然他の方向に運動せる場合に力は其方向に加へられたものではない。

其 四 熱 機 關

一瓦の水を攝氏一度だけ温ためるに必要な熱量を熱量の單位として、之を一カロリと稱する。

熱が仕事から生ずるものであるならば、一カロリの熱を生ずるには幾何エルグの仕事が必要であるか、之を決定するには、一定の力を以て氷を攪拌して、摩擦によつて熱を起し

カロリ

其爲めに水が暖まつた温度を知ればいい。實驗の結果によつて、一瓦の水を攝氏一度温めるに要する熱量は、一瓦の物體を四二七米の高さに運搬するに必要な仕事に等しい。之をエルグ單位に換算すると、重力は九八〇ダインであるから

$$980 \text{ グラム} \times 42700 \text{ ユ} = 41846000 \text{ エルグ}$$

大約四千二百萬エルグである。之を熱の仕事當量と稱する。換言すれば一カロリの熱は、之をエネルギーとして見るとき、四千二百萬エルグの仕事に等しい。従つて此熱を適當に利用すれば、これだけの仕事を爲さしめ得る譯である。かかる装置を熱機關と稱する。蒸氣機關や石油機關は勿論、生物と雖も一種の熱機關である。

熱機關を作り得る物質に必要な條件は、之が熱を得たときと熱を失つた時と、互に相反する結果を生ずる性質を有すべきことである。例へば空氣は、之に熱を與ふれば膨脹し、熱を奪へば反對に收縮するから、空氣を利用して熱を仕事に變へる事が出来る。これ所謂熱汽機關である。

熱機關にはかかる作業物の外に、之に熱を與へる高熱源と、之から熱を奪ふ低熱源とを要する。作業物は高熱源から熱を受けて其一部を仕事に變じ、殘部を低熱源に排出する。

熱氣機關

熱の仕事當量

熱機關

従つて凡ての熱が仕事に變るものではないことを注意すべきである。

熱は温度平等なる場所では、仕事をなすことは出来ない。又熱の一部が仕事を爲す際には、必ず残りの熱が低温度のものとなる。そして低温度にある熱は、自ら高温度に移り行く事が出来ない。従つて一の孤立した世界では、永久に運動を繼續するやうな熱機關は存在し得られぬ。これ即ち熱力學第二法則である。

熱機關に於ける熱と、水車に於ける水とは同一種類に屬するものではない。水車を運轉しても水が消滅しないやうに熱氣機關の運動により、水蒸氣は無くならぬが、其蒸氣を高温度に保たしめて居る熱の一部が消滅して仕事を爲すのであつて、同様に水力で電氣を起す場合にも水が電氣に化する譯ではない。

熱機關が高熱源からH₁だけの熱量を受け、其内H₂だけの熱量を低熱源に向つて排出したとすると、つまり其差H₁-H₂だけの熱量が此機械によつて仕事に變つたのであるから

$$\frac{H_1 - H_2}{H_1} \quad \text{即ち} \quad 1 - \frac{H_2}{H_1}$$

を以て熱機關の効率を測定する。H₂は決して零でないから、効率は常に一より小さいのである。

熱力學第二法則

効率

其五分子運動説

三八

氣體

壓力

物體の溫度

凡ての物質は分子と稱する細粒の集合體であつて、其の集合形式に従ひ結晶體、液體、氣體などに區別される。氣體は體積の變化自由自在なるもので、之を構成する各分子間に何等の統一なく、各自が任意に運動して居るものであるから、其體積は外部から制限せざる限り不定のものである。各分子は任意の方向に運動して居るから、相互間に衝突あるのみならず、容器の壁に衝突して、之を外方に押し出さんとする結果を生ずる。これ即ち氣體の壓力である。而して容器内にある分子數が多ければ、衝突の回数も多くなるから、壓力は氣體の密度に比例して増加すること明かである。

吾人が物體の溫度として寒暖の區別を認めるのは、其物體の分子が有する運動の遲速に外ならぬ。即ち分子の運動烈しきものに接觸すると温暖を感じ、遲緩なるものに逢へば寒冷なりと認める。高温なりとは分子の運動の烈しい事であるから、器壁に衝突する回数も多くなる。従つて溫度の増加と共に壓力も増加する。此際器壁を外方から壓して居る力が一定ならば、物體は次第に膨脹すべきこと必然である。

今 U_1 なる速度で運動して居る物體に、 t 時間力が働いて速度が U_2 となつたとすれば、加速度 a は、

$$at = U_2 - U_1$$

から求められる。物體の質量を m とすれば、力は質量と加速度との積で測られるから

$$F = ma$$

である。さて今吾々は質量と速度との相乗積 mU を運動量と定義する。そこで力と之が働いた時間との積 ft を考へると、前二式から

$$ft = mU_2 - mU_1$$

なることを知る。即ち其時間内に生じた運動量の變化に等しい。従つて運動量の變化は力なる力が短時間働いても、少なる力が長時間働いても其結果は同一であり、力が働かなければ運動量は變化しない。

氣體の分子運動の速度を c とすると、空間は三次元で各方向共同様に動き得るから、多數の分子の平均では、一方向の分速度は $\frac{c}{\sqrt{3}}$ である。而して此方向に直角な容器壁の單位面積上に高さ c 、 $\sqrt{3}$ 輻の圓筒を想像すれば、其體積は $\frac{c}{\sqrt{3}}$ 立方輻であるから、一立方輻毎

運動量

にN個の分子存在するものとする。此圓筒内には $\frac{1}{\sqrt{3}}cN$ 個の分子が存在し、此の内の半分は壁に向ひ、他の半分は反對に運動して居る筈であるから、一秒間に壁に當る分子數は $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}cN$ 個である。而して一個の分子が衝突すれば反對の速度で戻るから $2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}c$ だけの運動量を壁に與へる。従つて一秒間には總量

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot c \cdot N \cdot \frac{2m}{\sqrt{3}} = \frac{Nmc^2}{3}$$

となる。是れ即ち單位面積上に受ける壓力である。容器の體積がVで、分子總數がnだとすれば、單位體積の分子數NはnをVで割つたものに等しいから、前式は

$$PV = \frac{1}{3} nmc^2$$

となる。

其六 空氣の壓力

前式に於てmnは氣體の質量であるから、壓力Pと體積Vとを觀測すれば、分子が運動して居る平均の速度cを算定することが出来る譯である。

長さ二尺内外の硝子管に水銀を充たし、別に水銀を盛つた鉢に倒さに立てて見ると、水銀

は途中まで降下し、或る高さの所で停まつて居るのである。蓋し外界にある空氣の分子は盛んに此鉢の水銀面に衝突して、之を押し下げやうとして居る。従つて管内の水銀が下降せんとする力と、外界の空氣が水銀面を押し付け居る力が平均した所で止まることになるのである。管内に於ける水銀柱の高さは時と場合とに従つて同一ではないが、平均して海面上で七十六糎である。然るに水銀の密度は水の十三倍半強であるから、一平方糎に働く力を計算して見ると、

$$76 \times 13.59 \times 981 = 1.013 \times 10^6 \text{ dyne}$$

一氣壓

である。外界の空氣が水銀面を押す力も之に等しい。之を一氣壓と稱する。

攝氏零度に於て一氣壓の壓力の時、一瓦の質量を有する水素の體積は一六一六〇立方糎である。よつて是等の値を前の公式中に入れてcを算定すると

$$c = \sqrt{\frac{PV}{13nm}} = \sqrt{\frac{1.013 \times 10^6 \times 1.1160 \times 10^4 \times 3}{1.84 \times 10^6}} = 1840 \text{ 米/秒}$$

即ち右の状態に於ける水素の分子は、平均して毎秒千八百四十米の速度で運動して居るといふ事になる。

水素以外の氣體では、右の容積に於て $nm = 1.15$ ではなく、分子重をrとすると $nm = \frac{r}{2}$ であ

水素分子
の運動速
度の

るから、

$$c = \sqrt{\left\{ \frac{pV}{3T} \right\}}$$

である。従つて氣體分子の速度は同一状態の時には、分子重の平方根に逆比例する事になる。例へば酸素ならば分子量十六であるから、酸素分子の速度は毎秒四百六十米で、空氣ならば毎秒四百八十五米である。

水銀の比重は一三・五九であるから、若し前記の實驗を水銀の代りに水で行ふものとするれば、

$$76 \times 13.59 = 1032.84 \text{ 厘}$$

即ち約十米強の高さで水が管内に停止する譯である。吸上ポンプで水を井中から汲み出すことが出来るのは、此理を應用したもので、要するに外界に於ける空氣の壓力を利用するのである。従つて前記の高さ以上に水を吸ひ上げる事は出来ない。

眞空管内に於ける水銀柱の高さによつて、氣壓を測定することが出来るから、かかる装置を氣壓計と稱する。氣壓は高さと共に減少するから、逆に氣壓計によつて高さを測定することが出来る。但し氣壓は同一平面上で一定不變のものではなく、時と場合とによつて

吸上ポンプ

氣壓計

高氣壓
低氣壓

絶えず變化するものである。壓力が強いと氣壓計の水銀柱が高く昇り、弱ければ低く降るから、普通に氣壓の強弱といはず、高氣壓、低氣壓と呼ばれて居る。

兩地の氣壓が異なるときは、高氣壓の場所から低氣壓の場所に向つて空氣が流れて来る。之れが風である。

空氣の分子は其數甚だ多く、且つ亂雜なる方向に運動して居るから、直き衝突して、其自由に運動し得る距離は極めて短かいから、風などにはならない。

分子の半徑を r とすると、其一秒間に拂ふ體積は $\frac{4}{3}\pi r^3 v$ であるから、此中に含まれた分子の數は $N \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 v$ である。つまり一個の運動せる分子は毎秒これだけの數の静止せる分子に衝突する譯であるから、衝突する間の距離の平均、即ち平均自由行程を l とすると

$$l = \frac{c}{N \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 v} = \frac{1}{N \cdot \frac{4}{3}\pi r^3}$$

となる。凡ての分子が皆運動するものとする、衝突する回數は更に大きく、平均自由行程は二割五分乃至三割短縮する。計算の結果は百萬分ノ十九程位である。従つて水素に就いていふと、一秒間に千八百四十米運動し、一回平均の行程が百萬分ノ十九程であるから一秒間に約九十七億回衝突する譯になる。

平均自由行程

其七 エネルギー

エネルギー

運動状態にある物体は、之が他物に接觸するとき、之に作用して仕事を爲す能を有して居る。此事實を吾々は運動體がエネルギーを持つて居ると稱する。凡ての運動體は其エネルギーを他に與へた後でなければ、静止の状態に戻ることは出来ない。然らば運動せる物體が有するエネルギーの量は如何にして測定されるか。

静止せる質量 m なる物體に f なる力が t 時間働いて速度 v となつたとすれば、加速度 a は

$$a = \frac{f}{m}$$

であり、従つて速度 v は

$$v = at = \frac{ft}{m}$$

となる。而して運動した距離 d は

$$d = \frac{1}{2}vt = \frac{f}{2m}t^2$$

であるから、此間に爲した仕事 W は

$$W = fd = \frac{1}{2}ft^2$$

であるが、 $ft = mv$ だから

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

と表はされる。

運動せる物體がエネルギーを有するは、之に力が働いて仕事を爲したためであるから、此仕事を以て其エネルギーを測定するのは正當である。従つて質量 m なる物體が v なる速度で運動して居るとき、其物體が運動のために有するエネルギーは、

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

であるといふ事になる。而してエネルギーの單位は仕事の單位と同一なること言ふまでもない。此運動量は其有するエネルギーに相當する仕事を他に爲せば其の静止状態に歸るのである。

分子が自在に運動して居ることは、液體に於ても同様である。此場合分子の運動に基因する現象が明かに示される事實がある。即ち少量の雌黄を水に溶かして顕微鏡下に檢すると、雌黄の細粒が水中に懸垂されて居るのが分かる。然るに細粒は暫くも静止することなく、各方向に活動して、次第に元位置から離れて行く。是れ運動せる水の分子が運動の

エネルギーを持つて居て細粒に衝突して之を一方方向に動かせば、次の他の分子が衝突して他の方向に動かし、恰かも蹴球戯に於けるが如く、各方向に變位するのである。此現象をブラウン運動と稱するのである。

細粒が元位置を離れ去る距離は、時間（或は衝突回数）の平方根に比例することが證明される。實驗によると、一分間に約千分ノ六耗位である。而して衝突回数は、單位體積中にある分子數に關係すること當然であるから、此運動を精細に觀測して、分子數 N を決定することが出来る。種々の方法で算定した結果によると、普通の氣體は一氣壓攝氏零度に於て一立方糎内にある分子の數は先づ、

$$N = 2.5 \times 10^{23}$$

位のものである。

物體に力が作用して仕事を爲せば、此物體は必ず一定の速度で運動するかといふに、彈性體の場合には必ずしも左様ではない。例へば弓を張る場合には、右手の動いた距離と實際出した力との積で測られる仕事が費されたのであるけれども、弓は少しも運動速度を持つて居ない。併し此仕事が空費されたのでない事は、右手を放せば矢が大なる速度で飛ん

で行くので知られる。

かかる場合には弓が運動して居ないけれども、曲つて居ることによつて普通の弓と同一ではない事が示されて居る。即ち他から仕事が爲されたるに拘らず、運動速度を取得せざる彈性體は其物體は自身が歪を受けて居るのである。而して歪を受けた彈性體は他に對して同量の仕事を爲した後でなければ、元の状態に戻らぬのである。歪を受けるとは、物體を構成する各分子の相對的位置に變化を生ずることであるから、つまり彈性體は分子間の位置の變化によつてエネルギーを持つて居ることになる。かかるものを位置のエネルギーと稱する。

地球の附近にある物體は、之を自由に放任すると地上に落下する。これは恰も張られた弓に掛けられた矢が飛んで行くのと同様、位置のエネルギーが運動のエネルギーに變化するのである。而して弓矢の場合に位置のエネルギーは弓が持つて居るので飛んで行く矢には關係が無いやうに、落下する物體それ自身は何等位置のエネルギーを持つて居ないのである。

質量 m の物體が、靜止の位置から t 秒間落下するとき、此物體が有する運動エネルギー

1 E は

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$$

である。然るに t 秒間に落下した高さ h は、

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

であるから E は次の如く表はすことが出来る。

$$E = mgh$$

即ち地球の表面に於て h 種だけ自由に落下した m 瓦の物体は E だけの運動エネルギーを持つて居る譯である。

其 八 熱 エ ネ ル ギ ー

仕事によつて熱が発生する。従つて熱も亦エネルギーの一種である。而して分子運動の緩急が温度の高低となつて現はれるのであるから、熱も亦一種の運動エネルギーに外ならない。

質量 m なる n 個の分子が持つて居る運動エネルギーの総和は $\frac{1}{2}nmv^2$ である。然るに是等

熱エネルギー

風

分子の制

n 個の分子が運動する方向は同一でなく亂雑であるから、それを一團體と見れば此團體は全體として何等の運動をなさない。即ち此團體を外部から見た時、その運動エネルギーは皆無である。換言すれば $\frac{1}{2}nmv^2$ なるエネルギーは内部に隠れて居り、熱といふ特殊の形で吾人に認められるものであるから、之を熱エネルギーと名けて、普通の運動エネルギーと區別する。従つて熱エネルギーとは、其方向が亂雑なる運動エネルギーの集合であるといふことも出来る。若し氣體の各分子が共同の方向に運動するならば、吾人は之を風と稱するのである。運動せる物体が衝突して發熱するのは、團隊運動をなせる際持つて居た運動エネルギーが、衝突の爲め運動を妨げられ、各分子が勝手な方向に運動するので、熱エネルギーとして認められる様になつたのである。

分子の運動方向が亂雑であるために、熱エネルギーの全部を仕事に利用することが不可能なのである。若し吾人が分子を制御することが出来るならば、凡ての熱エネルギーを利用することが出来て、熱機關の効率も一となるであらう。

氣體分子の單位面積に及ぼす壓力は、

$$P = \frac{nmv^2}{3V}$$

ボイル
シャル
法則

であり、是等分子の有する熱エネルギーは $\frac{1}{2}mv^2$ であつて、温度 T は此熱エネルギーに比
例する筈であるから、

$$PV = \frac{2}{3}nT \quad \text{即ち} \quad \frac{PV}{n} = \frac{2}{3}T$$

で、一定数である。是れ即ちボイル・シャルルの法則である。分子運動の速度が零になれ
ば、温度 T も零になること明かであるから、右の T は絶対温度を表はすものである。

氣體の凡ての分子を制御して同一方向に向はしめる事は吾々に出来ないことであるが、
亂雑に運動して居る無数の分子の内から、或る一定の方向に運動して居るものだけを撰べ
ば、其運動エネルギーを利用することが出来る。例へば氣體を入れてある容器の一部にピ
ストンを有する筒を附けると、此ピストンに向つて運動する分子は、共同して此ピストン
を押し出す事になる。そしてピストンが或距離だけ外方に動くから、氣體が仕事をした事に
なる。蒸氣機關の原理は茲に存する。

蒸氣機關

蒸氣ター
ビン

右の例に於て若しピストンが無いならば、其方向に運動する分子は自由に飛び出すこと
が出来から、普通の風と化すること明かである。従つて此圓筒に風車を置けば仕事を爲
す譯で、これ取りも直さず蒸氣タービンの原理である。

流體の密度及び其團體運動の速度が不變ならば、之に對抗する面の大小によつて其爲し
得る仕事が増減する譯である。而してピストン式などに比べて、タービン式は、此面積を
非常大にすることが容易である。更にピストンの場合には、往復運動にする必要があるけ
れど、タービン式は同一方向に無限に回轉し得る利益がある。

其 九 振 動

同一系内にあるエネルギーが運動エネルギーと位置エネルギーとに交互に變化するなら
ば、其物體の運動は週期的になる。かかる運動を振動と名づける。

發條で吊された分銅が靜止して居る時、之に y なる力を加へて d だけ引延ばしたとする
と、 rd の仕事は費されて其爲めに發條が d だけ延長し、之に相當する歪を受けたから、費さ
れた仕事は位置のエネルギーとして發條中に貯藏せられて居る。そこで今突然手を離すと
發條は弾力によつて收縮し、分銅は爲めに運動し、元の位置に達した時に最大速度を持つ
此點で發條は歪を有しないから、位置のエネルギーは無くなり、分銅は速度を有するから
運動のエネルギーを持つて居る。しかも分銅は上方に向ふ速度があるから續いて上昇し、

振動
發條の振
動

弦の振動

或點に至つて靜止する。此時は再び運動エネルギーは皆無で、全部位置のエネルギーとなる。次に再び下降して初のやうに往復する。斯かる運動を振動といふのである。

兩端を固定した絃の中央に力を作用せしめて一定量の仕事をなせば、絃は伸張して、之に相當する位置のエネルギーを持つ事になる。次に手を離せば、絃は彈力の作用によつて元の位置に歸らんとして運動し、元位置に歸つた時は歪がないから、位置のエネルギーは皆無となるが、運動の速度を有するから、運動エネルギーを持つ事になる。而して此速度があるため、反對側に運動して再び歪を生じ、振幅最大に達した時に一時靜止するから、運動エネルギーは零となり、再び全部位置のエネルギーとなる。斯かる交代が連続して所絃の振動が生ずるのである。

縦振動
横振動

是等二つの振動に於て、前の場合には縦に振動し、後の場合には横に振動して居る。即ち縦振動と横振動である。

彈力

自由振動

絃の振動の場合に、振動の起る根柢は、絃が彈性體で伸張された場合に再び元に戻らうとする彈力があるによるのである。即ち自己の彈力によつて自由に振動するのであるから、之を自由振動と名ける。

強制振動

彈力の有無に拘らず、任意の物體に外力を週期的に作用せしめて、之に週期的の運動を行はしめることが出来る。かかるものを強制振動と名ける。

強制振動の場合に、之を強制する外力の週期と、振動體の自由振動の週期とが同一なるときは、振幅は次第に増大するものであるが、異なるときは、振幅は週期的に増減し、或時は非常大の振幅を以て運動し、次には全く運動を停止したやうな結果を生ずるものである。

音波

甲體が一定の週期で振動して居る際に、之と直接に、或は適當な媒質によつて間接に、接続された乙體は、甲體から振動のエネルギーの一部を譲り受けるのが普通である。例へば空中にあつて絃が振動すれば、附近の空氣が振動のエネルギーを受けて自ら振動する。此振動が即ち音波となつて各方に傳播する。

共鳴
共鳴

振動する空氣中に更に丙なる物體があると、此の物體は空氣から振動エネルギーを受け、而してその自由振動の週期が空氣振動の週期と同一だと、振幅は次第に増大し、明かに之を認め得る程度に達する。斯かる現象を共振と稱する。音響の場合には共振する物體が鳴り出すから、特に共鳴と呼んで居る。即ち甲なる樂器を奏する時、其振動が空氣に傳

はり、甲と同一音調を有する丙楽器が其附近にあると、空氣の振動は其エネルギーを丙楽器に與へて、之を振動せしめる事になる。これ丙が甲に共鳴したのである。

吾々が耳によつて他人の音を聞く事が出来るのも、耳の内部に各種の自由振動を有する振動子があつて、他人の聲帯の振動に共鳴するからである。従つて其振動子の一部に故障あれば、それに相當する調子の音を聞くことが出来なくなるのである。

其十波 動

振動の傳播

振動の傳播といふのは、振動する物質が傳はるのではなく、振動に必要なエネルギーが、媒質の一點から他點に傳はり行くことである。

振動エネルギーが媒質中を傳はるのは、凡てのエネルギーが一瞬時に甲から乙に移るのではなく、順次に一部分づつ傳はつて、甲が全部其振動エネルギーを失ふ迄には一定の間を必要とする。而して此時間内にエネルギーは可なり遠方まで分與されるから、其間の各部は同時に振動するけれども、振動を初めた時刻は各部順次に遅れて居るから、振動の位相は同一でなく、従つて其振幅は一定の規律によつて増減し所謂波形を生ずることにな

波動

る。此波形は時間の経過に従つて次第に前進する。かかる運動を波動と稱する。換言すれば、波動とはエネルギーが運動エネルギーと位置エネルギーとに交換しながら、一點から他點に移動する現象である。従つて運動エネルギーのみの形でエネルギーが飛んで行くのは波動ではない。

波長

週期 振動數 波の速度

媒質の一點が一同振動する間に傳はつた波形の全長を其波動の波長といひ、之に要した時間を其週期と名け、一秒間に振動する回數を其振動數と稱する。従つて波長と振動數との相乗積は、一秒間に此波形が前進した距離即ち波の速度である。

波動にも縦波と横波との區別がある。波の進む方向に振動するのが縦波で、之と直角なる方向に振動するのが横波である。音波は縦波で、光波は横波である。

自然光

偏光

太陽其他の發光體から來る自然光は、其進む方向に直角なる面上の何れの方向にも同一の性質を有するに反し、反射若しくは透過せる光の或ものは、此面上の特殊の方向に對しては、他の方向に對すると異なつた性質を具へることになる。かかる光を偏光と稱する。例へば電氣石の薄片を甲乙二枚に薄く割り、元のやうに重ねて太陽を眺めると、太陽の亦色像を認めることが出来るが、互に直角に重ね合はせたもので眺めると、全く之を認める

ことが出来ない。此事實は光が其進む方向と直角なる方向に振動する横波でなければならぬ事を要求する。而して自然光は其振動の方向が雑多なるものの集合で、偏光は此中一定の方向に振動するもののみが分離されたものであると考ふべきである。

其十一 地震

地震
震源
震央

弾性體は凡て振動することが出来る。かかる弾性體の一部に振動を與へると、之を中心として各方に波動が傳播する。地盤を構成する岩石も亦弾性體であるから、振動して之を傳播すること明らかで、通常吾々が地震と稱して居る現象即ちこれである。一地點が突然陥落し、或は火山の内部に活動起れば、其處が震源となり、地震が附近に傳播することになる。従つて地震は其直上にあたる地點即ち震央點に始まり次第に他の地點に波及する。

火山性地震

地震のエネルギーは震源から各方に傳播するのであるから、少くとも震源からの距離の自乘に逆比例して、或はそれ以上に急速に減少すべき筈である。従つて火山性地震のやうに地表面近くに震源あるものは、震央點で強震でも、之より五、六里離れた所では殆んど感ぜざるに反し、地底深く震源を有する地じ地震たと、數十里或は數百里に亘つて殆ん

地じ地震

ど同様の強震を感ずることになる。

震源距離

岩石の如き固體は、横にも縦にも振動し得るから、地震波には横波と縦波とがある。其傳播速度には大差がある。而して兩者の到着時間の差は、速度の差と距離とで決まるから此關係を逆用して、縦波と横波とが觀測所に到着した時刻の差を測れば、これから震源までの距離が知り得られることになる。

初期微動

觀測の結果によると、最初に到着する初期微動は縦波であつて、暫時の後に到着する主要動は横波である。山鳥其他の動物が地震を前知すると稱せられのは、此初期微動を感じて鳴くのである。

主要動

其十二 輻射と吸収

輻射
粒子說

エネルギーが非常に大なる速度を以て源點から他點へ移動する現象を輻射と稱する。其移動の形式は波動と限つた譯ではなく、粒子說などのやうに或物質粒子が運動状態にあつてエネルギーを携帯し、或はエネルギー自ら粒子狀となつて飛び行くとするも、凡て之を輻射と認めることが出来る。

輻射の強さは輻射線に垂直な單位面積を單位時間に通過するエネルギーの量で表はされる。此エネルギーを直接に測定することは通常困難であるから、是れと一定の關係ある他の現象を測定して、間接に輻射の強さを測る場合が多い。

輻射の強さは源點からの距離の自乗に逆比例する筈であるが、實際は遙かに之よりも少なく、且つ中間に介在する媒質の種類、並に其密度によつて多少の差を生ずる。此減少は媒質が輻射線を吸収するに基づくもので、夫等は主として熱と化するものである。

吸収
一次線
二次線
螢光
燐光

輻射線が或物體に入射するとき、其一部が吸収され、之と異なる輻射線が新たに出る事がある。此場合に初めの輻射線を一次線といひ、新しい輻射線を二次線と稱する。一次線が入射して居る間だけ、かかる二次線が出るときは之を螢光といひ、一次線が止んだ後でも二次線が続いて出るとき、之を燐光と稱する。

分子の内的運動たる自由運動の週期が、輻射線を構成する波動の週期と同一なる場合には共振を起すため、輻射線が有する振動エネルギーの一部を媒質の分子が奪ふことになる。

エネルギー
等配則

一物體が各種の運動をなすこと自由なる場合に、すべての自由度にエネルギーが等分さ

れるといふ法則がある。例へば一物體が三次元の空間に行進運動並に回轉運動をなす場合には都合六個の自由度があるから、或一軸の周りに回轉する運動のエネルギーは總量の六分の一である。

螢の光
燈火

但し二三の例外はある。螢の光の如きそれである。螢は強い光を放つけれども、其温度は高くない。此場合にはエネルギーの大部分が原子の内的振動のみに與へられて居る。普通の燈火は、熱エネルギーを用ひて分子の運動を烈しからしめるので、左様すると等分法則によつて其一部が自然に原子の内的振動を起して光を放たしめるのである。若し吾々がエネルギーを直接に原子の振動に附與することが出来た時は、最も經濟的な燈火が得られる譯である。

分子の外的運動烈しくなるに連れ、エネルギー等分則により、其内的運動も増加するので、物體の温度が高くなると自然に發光するやうになる。而して温度が低いと振動が緩慢であるから、其光の週期も長く、従つて赤く輝き、餘りに低温度だと輻射線の週期長さに過ぎ、肉眼で見ることが出来なくなる。

此理を逆用して、光の色から發光體の温度を推定することが出来る。かかる機械を光學

高温計
實際上の
最高温度

グアイー
ン
法則
ミクロン

太陽の表
面温度

キルヒホ
ツフの法
則
暗黒體

的高温計と稱する。攝氏寒暖計七百度以上四千度位までは之で測定することが出来る。地球上で吾々が實現し得る最高温度は、孤光燈の四千度内外のものである。

各温度に於て最大のエネルギーを有する放射線の波長は、其絶対温度Tに逆比例するものである。これをグアイーンの法則と稱する。波長を千分ノ一耗即ちミクロン單位で測ると、比例定数は二九四〇である。實測によると、太陽光線に於て最大の放射エネルギーを有する波長は〇・五三二ミクロンであるから、太陽の表面の温度は

$$T = \frac{2940}{0.532} = 5530$$

即ち絶対温度五千五百三十度、攝氏五千二百五十七度といふことになる。

發光は原子内部の波動に基き、吸収は原子の内的振動の共振作用に基くものであるとすれば、各物質の原子は各自固有の振動週期を有つ譯であるから、物質が高温で放つ放射線の波長と、低温の時吸収する放射線の波長とは同一である。例へばソヂウムのやうに高温で黄色光を放つものの原子は、黄色の光に逢へば、是れと共振をして其振動エネルギーを吸収する。これキルヒホツフの法則である。

物體に入射した放射エネルギーの全部を吸収するものを暗黒體と稱する。即ち暗黒體は

吸収能と
放射能と
透明體

放射エネルギーの全部を吸収して之を熱エネルギーに変化するから、物體を放射線で暖ためる際には其面を黒くすることが有利である。然るに物體は吸収し得る放射線だけを放射する性質があるのだから、吸収能の大なるものは放射能も亦大なることになる。吾々は肉眼で見へる放射線が通過し得る物體を透明體と呼んで居るが、透明體は必ずしも凡ての放射線に對して透明なのではない。例へば水や硝子は見ゆる光に對しては透明體であるが、熱線は之を通過することが出来ずして途中で吸収される。

其十三 波の干渉

週期同一で振幅も亦互に相等しい二つの波動が出逢ふならば、極端の場合としては、或る點では全く靜止することになり、他の點では二倍の振幅で振動する事になる。斯る現象を波動の干渉と稱する。若し其週期が多少相違して居れば、或時刻に靜止せるものが、次第に振幅も増加して、最大振幅に達すれば再び減少し、此變化が週期的に繰返される。音響の場合には其音響が週期的に強く或は弱く鳴るから、茲に唸うなりが生ずるのである。

光の場合には、二個の光點から來る光波が互に干渉すれば、振動を助け合ふ所は明るく

干渉
唸り

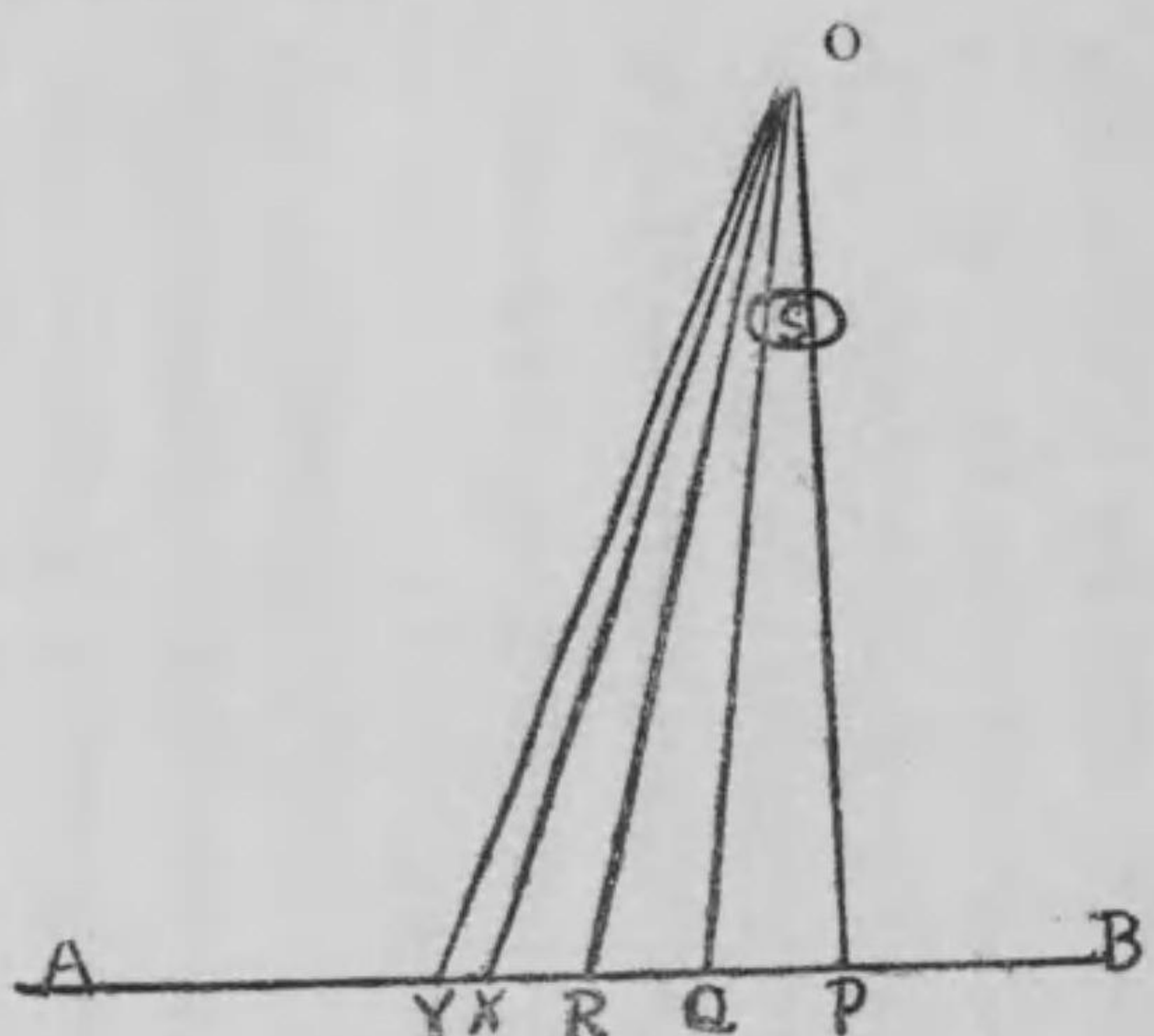
なり、相殺する所は暗くなるから明暗交替する縞を生ずる。之が所謂干渉縞である。
光の波動説が採用されて居る最大の根據は、此干渉の現象である。明るい光を二つ合せ
て、却つて暗くなるといふ事實は、波動説でなければ解釋することが出来ない。

最初一點から發源した波動が他に傳播した後に、更に其後の傳播の模様を論ずるには、
其時刻に現に運動して居る各點を、獨立なる波動の發源點と見做せばいい。之をハイゲン
スの原理と稱する。而して任意點に於ける其後の波動は、前記の各發源點から傳はつて來
る凡ての波動の合成なること勿論である。従つて此點から各發源點に到る距離の差が半波
長の奇數倍なる場合には各波動が互に相殺し、偶數倍なる場合には互に助くること明白で
ある。

今AB線上の各點が發源點だとして、線外の一點Oに於ける波動を考へるに、OP、OQ、OR、それ
ぞれ半波長つつの差ありとすれば、PQの部分から來るものと、QRの部分から來るものとは、
相殺する筈だが其方向に大差あるから完全に消えない。併しPを去る遠方のXY邊では、
其方向互に平行に近いから能く相殺する。従つてAB全體からの波動の内P點に近い部分
の波動だけがO點に於ける波動を決定することになる。波の直進するは此理によるもので

廻折

廻折格子



第四十八圖

途中にある障礙物Sが此波を遮り得るか否か
は、波長の多少によつて決まり、波長大なれ
ば之を遮るに大なる障礙物を必要とするので
ある。

波長に比べて小さい障礙物だと波を遮るこ
とが出来ず、波は其障礙物を迂廻した觀を呈
する。波長に比べて小なる孔を通過する場合
には、其孔の部分が新たに波の發源點となる
から必ずしも直進せず、各方に波及すること
になる。之を波の廻折イフラクシヨンと稱する。

平面硝子板に一種につき、一萬本内外の割
合で細線を刻むと透明な細隙を残すから、之れに光を投射すると廻折する。かかるものを
廻折格子グレースと稱する。廻折格子に刻まれた各線間の距離dなるとき、之に波長λなる光を
投射して生じた干渉縞に於て、其m番目の明線が見へる方向と廻折格子への法線との爲す

角をAとすれば、

$$m\lambda = r \sin A$$

なる関係がある。従つてAを測定してLを算定し得る譯である。實測によると、見へる光の内で、赤は波長最も長く、紫は最も短い。一種の百萬分ノ一を單位として、見へる光の波長は七十六乃至三十九である。

太陽の光は各種の色を有する光の混合物であるから、之を廻折格子に當てると、波長の長短に應じて各色の光が分散し、スペクトルを作ることになる。眞珠などが奇麗に七色を放つ理由は、それが天然の廻折格子になつて居る爲めである。

同様の現象は一個の細隙でも起る。即ち一個の細隙の内で一部から來るものと他部から來るものが、或は助け或は相殺し得る。細隙の代りに圓形の孔があるとすれば、之を中心とする同心環をなして干涉縞が現はれる。従つて一光點の實像は單一の光點ではなく、其周圍に明暗交互せる干涉縞が同心環となつて出現する。顯微鏡で微細な物體を見る時など、二個の微粒子が非常に接近して居ると、一個の繭形にしか見へなくなる。従つて顯微鏡で認め得る二點間の距離には、光の性質上一定の限界があることになる。此限界は光

スペクトル
眞珠

顯微鏡

の波長に比例するから成るべく波長の短かい光線を使用すると微細なるものも認め得られる。

更に又光を直接に物體の表面に投射せず、視野を暗黒として、側面から物體を照らすと、恰も暗夜に螢を見るが如く輝くから、百萬分ノ一種より小なる微粒子でも之を認めることが出来る。かかる装置を超越顯微鏡と稱する。

超越顯微鏡

其十四 電 氣

任意の木片を暖ためてから摩擦すると、軽い物體を吸ひつける力を生ずることは昔から知られた現象である。此現象を生ずるものを電氣と稱する。

電氣

摩擦によつて熱が発生するやうに、摩擦によつて電氣が生じたのであるから、此際費された仕事が電氣に變つたものと考へなければならぬ。

電氣の發生は摩擦に限るものではない。電氣石といふ礦物は其温度を變化させると電氣を發生するから、これは熱によつて電氣が発生したものと認められる。又二種の金屬を接續して其接合點を暖めると電氣が発生する。

電氣石

電氣の存在は之が有する吸引力によるが、これには互に反對の性質を有する二種あるから、電氣には陰陽の二種ありとする。

電氣も直接に其量を測り得るものではないから、之が作用する力の強弱によつて、間接に之を測定する外はない。然るに同一電氣量でも、媒質が異なると作用も變る。従つて真空中で働く力を標準として電氣量を測定し、其單位をクーロンと名ける。二荷電體間に作用する力は各自の荷電量の相乗積に比例し、其距離の自乗に逆比例する。

電氣作用の現存する範圍内を電場といひ、其強さはそこに置かれた單位量の正電氣に作用する力によつて決める。電場内を或種の媒質で充すと電氣作用が消滅することがある。かかる媒質を電導體と稱する。電導體でないものは電氣作用を傳へるから、之を電媒質と稱する。

電場内にある一點から他點に單位正電氣を移すに、一定の仕事を要するならば、此仕事の量を以て二點の電位の差を測る。通例電位差のことを電壓と稱し、其單位をボルトと名ける。荷電體の電位を一定量だけ高むるに要する電氣量は、荷電體の種類により大差がある。換言すれば荷電體の電氣容量は必ずしも同一ではない。而して電氣容量と電位との相

電氣量
クーロン

電場

電導體
電媒質電位差
電壓
ボルト

電氣容量

乗積は其荷電體が有する電氣の總量に等しい。

物體に荷電すれば其爲めに仕事が費される。而して夫れに相當するエネルギーが此電場内に貯藏された事になる。これは電場内の電媒質に歪を與へたもので、位置エネルギーの一種である。

同一の種類電氣は互に反撥する性質を有するから、導體に宿る電氣は出来るだけ互に離れんと努め、従つて凡ての電氣は導體だけに集まり、尙ほ更に導體外に逸出せんとつとめる。而して電媒質か之に抵抗して平衡を保つて居るのであるから、電位が甚だしく高まり、電媒質が抵抗し得ざるに至ると、突然火花を放つて電氣が逸出する。此現象を放電と稱する。放電の際には熱を生じ火を放ち音響を發し更に其他の仕事をするのは、凡てこれ媒質内に貯藏されたエネルギーによるので、最初荷電する際に費された仕事が再現したものである。

電位差を有する二個の荷電體を導線で連絡すると、高電位のものから低電位の方へ電氣が移動する。これを電流と稱し、電流の單位をアンペアと名ける。電壓が同一でも、これを連結する電線の如何によつて電流に強弱がある。即ち電流に對する導線の抵抗に大小の

放電

電流

アンペア
抵抗

オーム

ジュール

ワット

差がある。電気抵抗の単位をオームと名ける。

電圧一ボルトあるものを抵抗一オームの導線で連結すれば一アンペアの電流が流れ、

一秒間に一クーロンの電気が通過し、此導線内に一秒間に一ジュールの熱が発生する。毎秒

一ジュールの熱に相当する仕事をなすものを一ワットと名ける。従つて電圧百ボルトのと

き抵抗二十オームならば五アンペアの強さの電流が流れ、毎秒

$$100 \text{ボルト} \times 5 \text{アンペア} = 500 \text{ジュール}$$

或は

$$20 \text{ボルト} \times 25 \text{アンペア} = 500 \text{ジュール}$$

の熱が発生する。此場合には電力が五百ワットであると稱する。

一ジュールは一千万エルグの仕事に等しく、四ジュール強が一カロリーに相當する。

其十五 電 燈

電流が通ずる導線の抵抗によつて熱が発生し、其量の多少は電流の強さの自乗と抵抗の
大いさとの相乗積に比例する。従つて抵抗大なるものに強い電流を通ずると、非常なる熱

電力

白熱燈

を生じて高温度となる。若し之を真空管内に封じて電流を通ずると、燃焼不能となるから
白熱の温度即ち攝氏千二百度以上に達する迄、之を熱することが出来る。斯くして白熱燈
が出来るのである。

抵抗は電球製作の際に定められたものであるが、電流の方は電圧に比例するから、豫定
の電圧がなければ電流弱く、従つて發熱が不足で温度が上らないから、白熱に達しないで
弱い光を放つことになる。例へば百二十ボルト三十二燭光とある電球は、百二十ボルトの
電圧を有する電極間に挿入したとき三十二燭の光を放つ意味であるから、事實電圧が百二
十ボルトなければ三十二燭光の電球を使用しても二十數燭光の光を放つに過ぎざる結果と
なる。

燭光

一燭先といふのは、或る標準の蠟燭一本を點火したときの明るさである。學術的には、
白金が其凝結する温度に於て一平方糎から放つ光を單位の光力とするが、一燭光は其二十
分の一に相當する。

孤光燈

電圧が非常に大となれば導線が切斷されても空中を通じて放電することは雷電の際に目
撃するところである。これを人爲的に行ふと孤光燈が出来る。炭素棒を上下から向ひ合せ

真空放電

電子

陰極線

X線

て多少の間隙を残し、之に電圧を加へると火花を放つて電流が通り發光することになる。

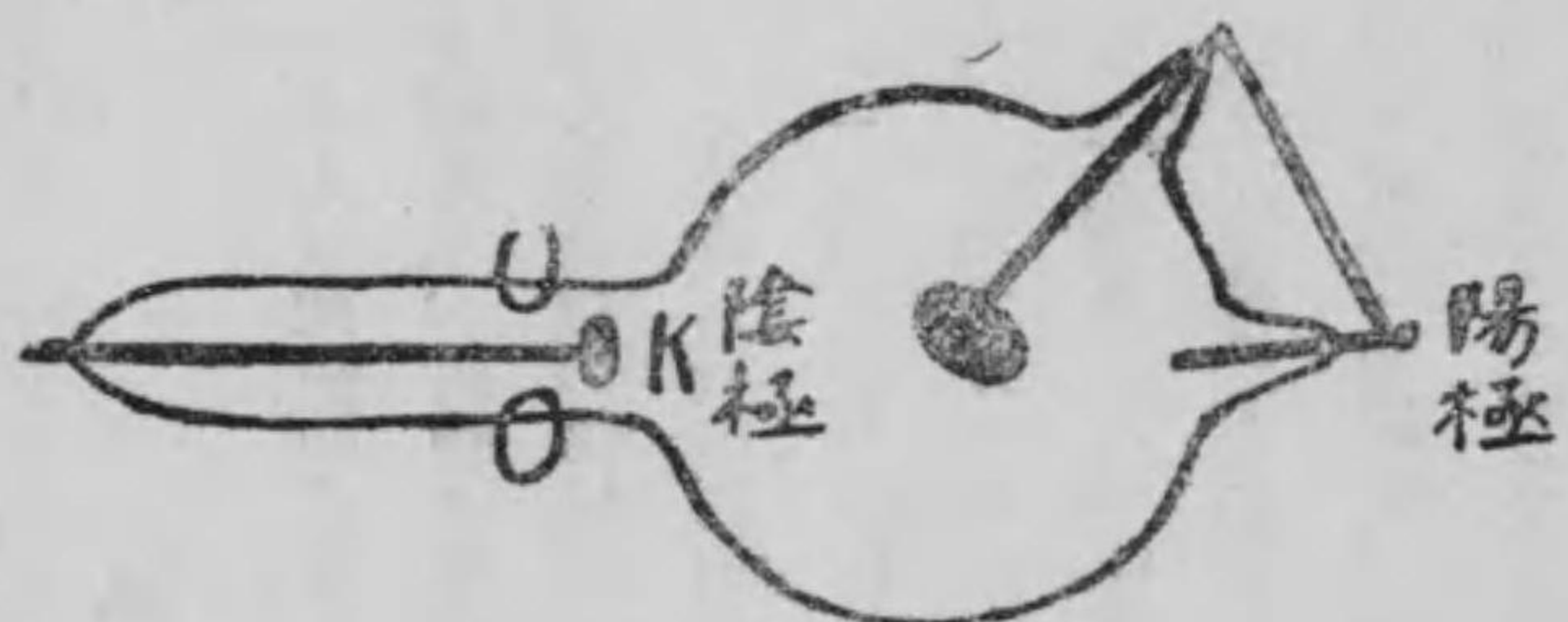
これは空中に曝露されて居るから、炭素が次第に燃焼して行くこと勿論である。孤光燈の温度は一般に三千度乃至四千度にも達する場合がある。

氣壓を減少せる管内では放電が起りやすい。斯かる場合に之を抵壓放電或は真空放電と名け、其真空の程度や電極の種類に従つて種々の名稱がある。例へばガイスレル管、クルックス管、クーリツチ管などの類である。斯る放電に際しては陰極板面は薄き光層で掩はれ、次に暗黒部がある。此際には陰極板から無数の電子が飛び出るので、夫れが自由に進むこと或距離に達すると氣體の分子と衝突し、茲に發光して陰光層を生ずることになる。其次には多少の暗黒部があり、夫より陽極板に至る迄、管の全部は光の海の波を打つて居るやうに輝やいて居る。

真空の程度を次第に高めると、電子は氣體の妨害なしに自由に飛んで行く事が出来るから、右の光輝ある部分(陽光柱と稱する)は衰へて、最後には非常の速度で飛んで居る電子群からなる一種の輻射線が現れる。之を陰極線と稱する。

此陰極線が管壁に衝突すると、茲にX光線と稱する一種の二次輻射が出て来る。X線を

電離
陽粒子
陽極線



第十四圖

出すために圖に示すやうな真空管が造られて居る。陰極Kから發散する陰極線が對陰極板Cに衝突し、そこからX線が出る装置である。陰極線が氣體の分子と途中で衝突すると、分子を電離せしめ、其陽粒子は陰極板の方向に進んで行くから、更に第二の輻射線が出来る。之を陽極線と稱する。X光線は普通の光線が透過し得ざる物質を自由に透過するので有名である。金屬は日光に對して不透明であるが、X線に對しては透明體である。之に反して硝子は普通の日光に對しては透明體だがX線に對しては不透明である。

第三章 物質

其 一 質 量

吾人は傳統的に幾多のものを物質と認めて居る。そこで先づ是等の各個に就いて其性質を研究し、萬物に普遍なるもの、並に是等に特殊なるものを檢出して、之を物性と名け、然る後或種の物性を有するや否に從つて物質なるや否を判定する。

吾人が傳統的に物質と稱して居たものには次のやうな色々の性質が見出される。

- (一)物質固有の性質としては慣性、剛性、彈性、伸縮性、粘性其他で、是等は物質の構造や分子相互間の關係等によつて決定される。
 - (二)物質相互間に成立つ性質としては附着力、浸透性其他化學的性質等である。
 - (三)物質エネルギーに對する性質としては熱及び電氣の傳導性、比熱、潜熱、透明度、色、放射率、吸收能、反射能其他幾多のものがある。
- 是等多くの物性の内で、物質なりや否を決定するに足るべき性質は何れなるかを研究し

物性

質量

それを數量的に測定する方法を知つた後でなければ、嚴密なる意味に於て物質を物理學上の研究材料とすることは出來ぬ。換言すれば、物質の多少即ち其質量を數量的に決定する方法を案出することが物質研究の第一歩である。

古くは物體の體積を決定することが其物體の質量を決定することであつた。此考へは今日でも日常絶へず應用されて居ることは人の能く知るところである。

其 二 密 度

アトム

デモクリタスは凡ての物質がアトム即ち不可切體と稱する單一なるものの集合から成り立つて居ると説いた。此學說に従へば、體積は必ずしも質量を代表するものではなく、其物體を構成する不可切體の總數を勘定することによつて、其質量が決定される譯である。

普通の物體は之を暖めると、其體積を増加する。或は又之に壓力を加へると、其體積は減少する。従つて體積の大小によつて質量の多少を云々するは、不當であるといふことになる。そこで單位體積の質量の多少を示すに密度といふ考へを導き、體積と密度との相乗積で質量を決定することになる。

密度

體膨脹率

完全氣體

線膨脹率

物體が溫度によつて膨脹する場合に、一氣壓の下、攝氏零度に於ける體積に比し、溫度一度高まりたる爲めに増加した量をその體膨脹係數或は體膨脹率と稱する。例へば空氣其他の氣體の膨脹率は二百七十三分の一である。若し此割合で何所までも收縮する氣體があるならば、之を氷點下二百七十二度まで冷せば體積は僅かに二百七十三分の一となり、更に氷點下二百七十三度に至ると體積は皆無となることになる。かかる理想的の氣體を完全氣體と稱する。

固体にあつては體積の増加の代りに長さの増加を考へ之を線膨脹率と稱する。體膨脹率はこれの三倍に等しい。但し結晶體などは線膨脹率が各方向に同一ではなく、一方には膨脹すると同時に、他方には收縮するものさへある。

次に重なる金屬の線膨脹率を掲げる。

物質	線膨脹率 ⁻⁷
白金	86 × 10
白金	88
鐵	118
金	151
銅	171
銀	191
鉛	285
亞鉛	311

其三重量

重量

質量一瓦

物質の内、體積について主要なるものは重量である。重量は壓力又は溫度によつて何等の影響を蒙らない。従つて昔は重量の測定によつて質量を判定した。質量測定の手段として、體積の代りに重量を採用することは一歩進歩した考であること明かである。

一氣壓の下に攝氏四度の水一立方糎が有する質量を質量の單位に採用して之を質量一瓦と稱し、北緯四十五度に於ける其重量を重量の單位として重量一瓦と呼ぶ。

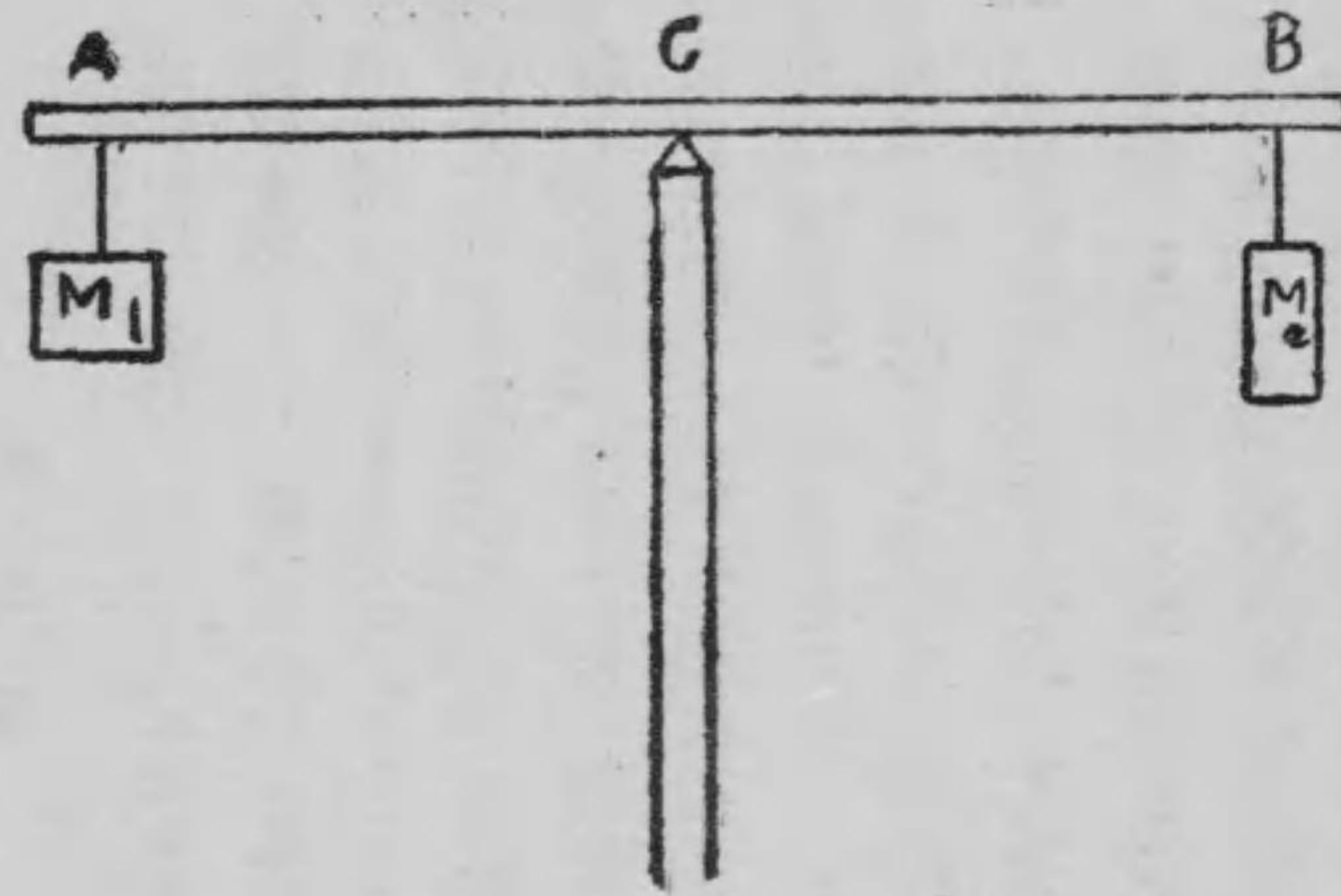
溫度及び壓力を一定にして測定すると、凡ての單位は自己固有の密度を有するものであるから、其密度を測定して何物なるかを判定することが出来る。

重量とは、地球とその附近にある物質とが萬有引力の法則に従ひ互に引き合ふ結果として、此物質が地上に落下せんとする力である。従つて物體の重量を測定するとは、其物體に働き居る地球の引力を測定することに外ならぬ。

今一樣なる一本の竿ABの中點を支點Cの上に適當に置けば、之を水平に保たしめることが出来る。そこで重量相等しき二個の物體M₁M₂を支點Cから等距離の處A Bから吊すと、依

天秤

回轉能率



第五十圖

然水平の位置を持續して居るが、 M_1 と M_2 の重量が等しくなければ、重い物を吊した方が下降する。従つて一方に重量の知られて居ない物體を吊し他方に分銅を加減して釣り合はせると、物體の重量は即ち分銅の重量と等しいかかる装置を天秤 稱する。

此場合 M_1 に働く地球の引力は C を中心として B 棒を左に廻轉せしめんとし M_2 に働く地球の引力は右に廻轉せしめんとするが、兩者の回轉能率が等しいので靜止するのである。而して回轉能率は之を廻轉せしめんとする力に比例するのみでなく、回轉軸から力の作用線に至る垂直距離にも正比例することが實驗上證明せられる。

指秤

遠心力

其 四 慣 性

従つて AB なる棒を任意の點 C で吊し A に未知量を吊し B に一定量の分銅 M_2 を吊せば、 AB 間の距離を適當に加減して水平の位置を保たしめ得る譯である。而して M_1 の重量が二倍になれば AB 間の距離を二倍にすれば平衡するから、 PC の部分に度盛を施し其距離を讀取れば、直ぐに M_1 の重量を知り得ることになる。かかる装置を積秤と名ける。

地球に對して測定せらるべき物體の位置を變更すれば、其重量も亦變化する。例へば地面と高い建築物の階上では、地球中心からの距離に差があるから、同一物體でも其重量に變化ある筈である。のみならず、地球は眞の球形でなく、赤道附近は膨脹し、南北兩極に於ては收縮して居るから、兩所に於ける重量は異なる。更に又地球自轉のために、赤道附近にある物體には遠心力がある。そして此遠心力は赤道で最大で兩極では無くなる。従つて此遠心力に相當するだけ物體の重量は軽くなる。

かくの如き二つの原因が共同して、赤道に於ける重量は兩極に於けるものに比し、約百九十二分の一程度の減少を生ずる。従つて吾人もし重量を以て物質量の正當なる代表者と

見做すと、物質は南洋から北海に移ると増加するといふ奇怪なる結論に達する。是故に物質が不生不滅なりと認むるならば、重量によつて質量を決定することは許されないのである。

物体の體積も重量も質量を測定するに足らぬとすれば、何によつて之を決定するか、= ウトンの慣性の法則が之れに答へる。凡ての物体は静止の場合にも運動の場合にも必ず其現狀を維持しやうとする保守的の性質がある。之を物質の慣性或は惰性といふ。而して慣性の大小は之に單位量の加速度を興ふるに必要な外力の大小によつて測定する。一物体の慣性は其各部分の慣性の總和に等しく、慣性の大小によつて質量を決定すれば、温度又は壓力等にも影響せられず、時間と場所とも關係がなくなる。

甲乙二個の物体間に一の撥條を壓縮したものを挟み、突然手を放つと、甲乙兩體は左右に跳ね飛ばされる。此際甲乙が同一量の加速度を得たときは、甲の質量と乙の質量とは互に相等しいと稱する。速度が等しくない時には、大なる加速度を得た者は、小なる加速度を得たものよりも其質量が少ないと認め、其得たる加速度の逆比を以て質量の比とする。質量一瓦の物体に一秒間働いて單位の加速度を生ずる力が單位量の力で、一ダイーンと呼ば

慣性の法則

れて居る。

甲乙兩者が互に作用してそれぞれ加速度を得たとすれば、甲或は乙の得た加速度と其質量との積は何れも實際兩者の間に作用した力に等しい。換言すれば甲が乙に或力を以て働き或加速度を興へると、必ず同時に乙が甲に同量の力を以て反對に働き、反對の方向に加速度を興へることになる。これ原働と反働とは同量で其方向反對であるといふ運動の第三法則である。

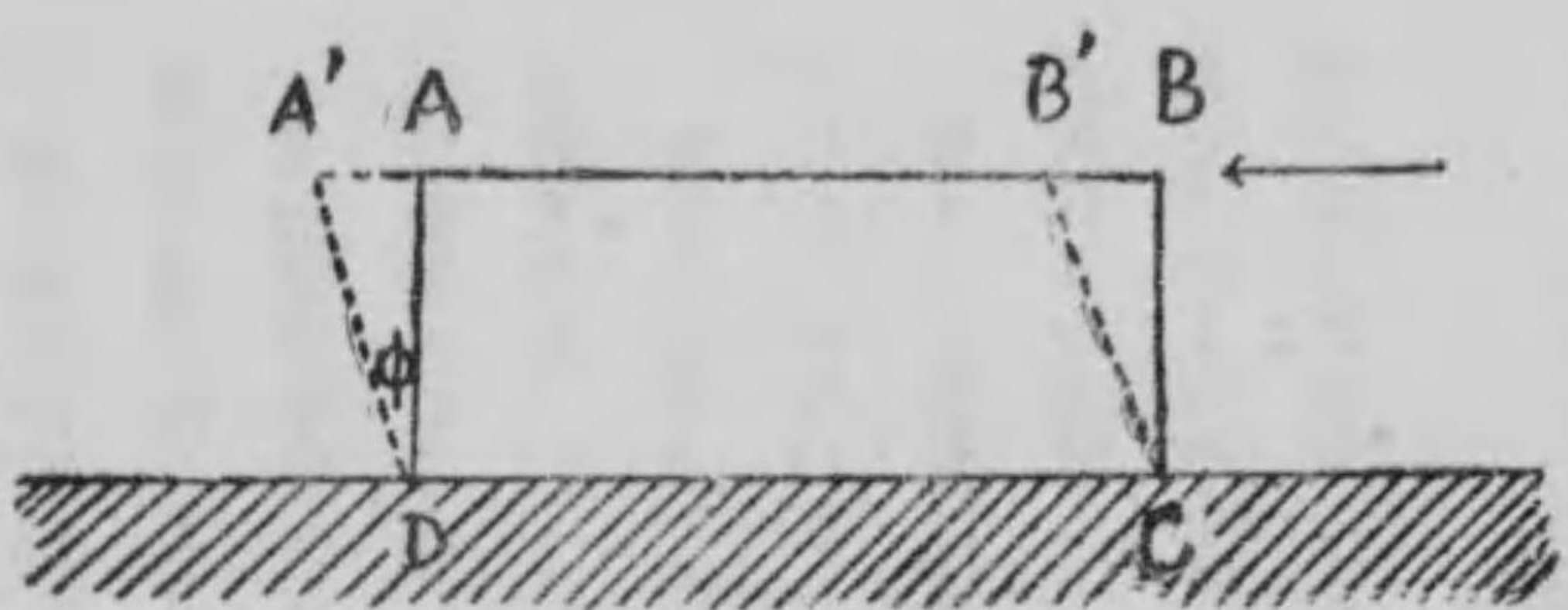
甲が乙を或力で押せば甲は必ず同一の力で乙に押されるのである。従つて乙が甲を押すだけの力がないならば、甲は乙に對して其力を出すことが出来ないのである。

要するに質量は慣性によつて測るのが最も適當な手段である。従つて質量大なりとは慣性大なるを意味し、更らに慣性大なりとは、之を動かすに強大なる力を必要とするの謂である。かくる如く慣性によつて質量を測定するときは、重力に關係がないから、天上でも地下でも其質量に變化を來たすが如き恐れはない。

其五 物質の三態

剛體

慣性率



第十五圖

物性の内、次に重要なものは、剛性及び弾性であるが、是等の性質は凡ての物體に普遍的なものではない。従つて其有無若くは程度によつて物體を區別することが出来る。一個の固體を構成する各部の相對的位置が、外力により何等の變化を受けないものを剛體と稱する。従つて剛體は體積が一定なばかりでなく、其形狀も亦不變である。かかる剛體は單に理想的のものに過ぎないが、實地上剛體と認めて差支ないものも少なくはない。

角柱狀の彈性體 $\triangle ABC$ を取り其底面を固定し、上面に沿ふて力を加へると變形する。かかる變形を迂りと稱しこれに直角なる直線 AD 或は BC の變位せる角度を以て其大いさを測定する。そして此場合に働いた力 F と右の角度との比を以て其物體の剛性率を表はすこととする。

彈性體に各方向から同量の壓力を作用せしめると其體積が縮

彈性率

流體體體
液體體體
氣體體體

液化

永久瓦斯
液體空氣

臨界溫度

小する。此場合に壓力と單位體積の變化との比を以て其體積彈性率を測定する。同一壓力によつて生ずる體積の變化小なるものを彈性率大なりとする。従つて體積彈性率小なる物體とは容易に收縮するものの事である。

體積彈性率と剛性率とは全く獨立せる別種類のもので、前者のみありて後者なきものを流體と名け、兩者を兼有するものを固體と稱する。液體の内、體積彈性率の非常に大なるものは之を液體と稱し、小なるものは氣體と呼ぶ。一定溫度の時に氣體の體積彈性率は其時の壓力に等しく、壓力の増加と共に次第に増加して、遂に液體に近づくことになる。

水や石油の如き液體は、暖めると蒸發して氣體となるが、かかる氣體を冷却すると、液化すること明かである。併かも是等の氣體は溫度を降下しないでも壓力を加へるのみで容易に液化するものである。然るに空氣は常溫では如何に強大なる壓力を加へても液化しないから、永久瓦斯と呼ばれたことであるが、壓力を加へると同時に適當の低溫度に冷却すれば液化するものである。現今液體空氣は工業上非常に旺んに使用されて居る。

一般に言へば、凡ての氣體には一定の溫度があつて、之より高ければ如何に強壓を加へても密度が増加するのみで、液化はしない。此溫度を臨界溫度と稱する。水蒸氣などは其

臨界壓力

臨界溫度が常溫より高く、空氣や水素では常溫より低いから、普通の溫度で實驗すると、
一は液化し他は液化せぬといふまでである。

更、又氣體が一定壓力以下にある場合にも、如何に之を冷却しても液化しないものである。此一定壓を臨界壓と稱する。

通常の氣壓で水の沸騰點は百度、其氷點は零度だが、永久瓦斯では次の如き低溫度である。

水素	酸素	窒素	水
沸騰點 - 252.5°	- 182.5°	- 193°	+ 100°
氷結點 - 257	- 238	- 214	0

空氣液化機

空氣液化機は純粹な空氣を二百氣壓に壓縮して小孔から噴出せしめると、斷熱膨脹のため其溫度が降下する。よつて再び之を壓縮して噴出せしめ、幾回も此操作を繰り返して其沸騰點以下に冷却せしめる法によつたものである。

物體の是等の形態の變化を誘起する要素は熱、即ち物質を構成する分子が有する隠れたる運動エネルギーの多少である。換言すれば、固體に熱エネルギーを與へると液體とな

分子力

り、液體に熱エネルギーを與へると氣體と化するのである。而して熱エネルギーは物質を構成する分子の亂雜なる運動として受け入れるものであるから、固體よりも液體に於て分子の運動が烈しく、液體よりも氣體に於て分子運動が更に猛烈であること當然である。

液化

物質分子間には萬有引力以外に、各分子が互に相吸引する力があると認むべき理由がある。これを分子力と稱する。氣體では分子の亂雜なる運動あまりに烈しく、之に對して分子力などは省略し得るが、次第に冷却すると、此亂雜な運動が衰へ、分子相互間の引力範圍内に限られるやうになる時、液化の現象が起るのである。しかし液體の表面にある分子の或ものは時々周圍の分子の引力範圍外に飛び出すこともあり得る。是れ即ち蒸發である。従つて蒸發は溫度高き程盛なのは當然だが、低い溫度でも常に多少づつ起るのである。

蒸發

液體の表面上に之から生じた氣體が澤山あれば、其氣體の分子が液體中に突入して捕虜となることも有り得る。氣體から液體に突入する分子と、液體から氣體に逃げ出す分子とが或る溫度或る氣壓に於て丁度平均することがある。此時の氣壓を其溫度に對する飽和壓と稱する。若し飽和壓以上に壓力が増せば、氣體の一部は液化し、反對に溫度が増せば氣

飽和壓

體の一部が氣化する。

其六 表面張力と浮力

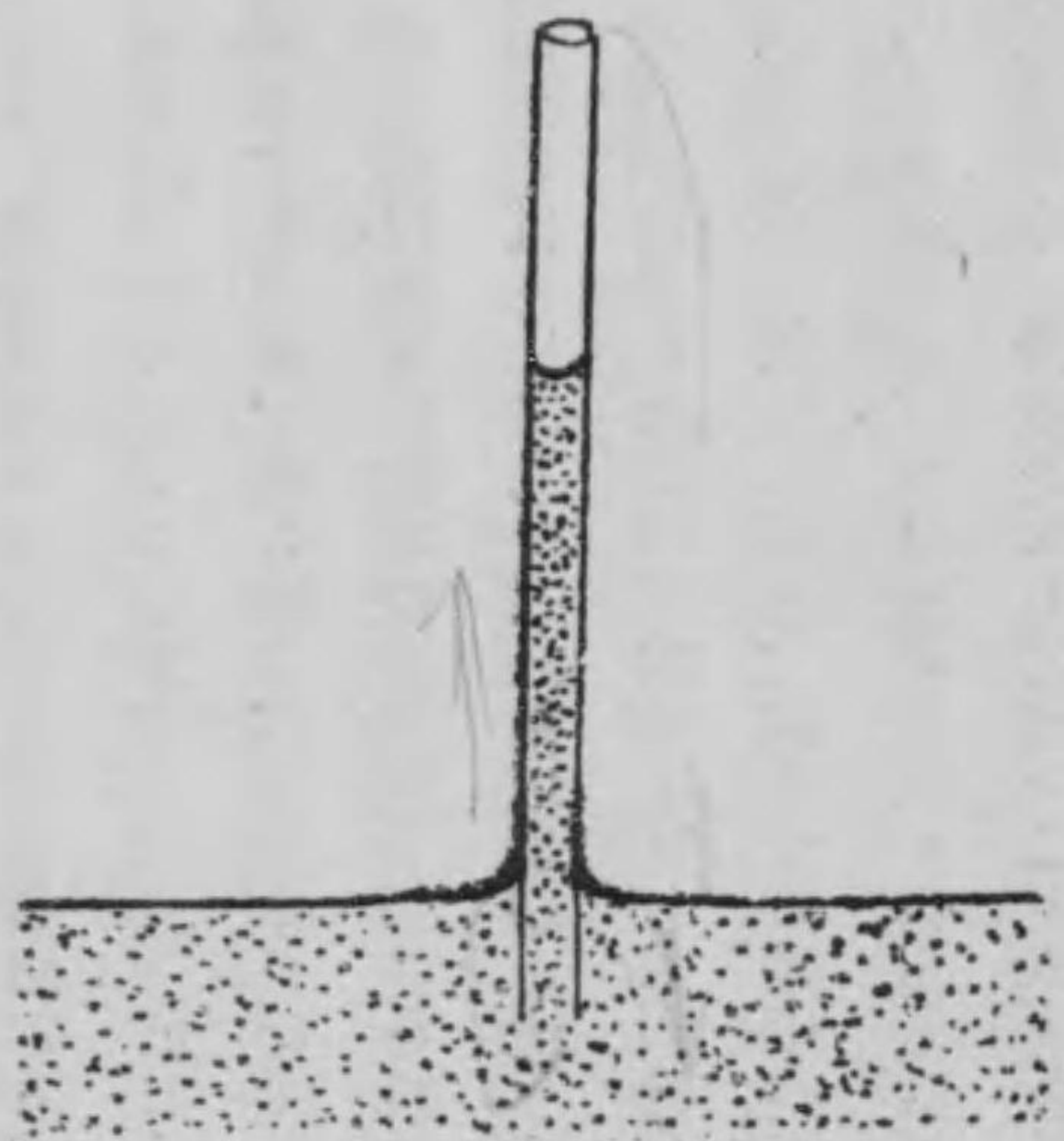
表面張力

水滴は球状を呈すること多く、液體を盛つた容器の側壁は獨得の曲面を形成する。これは物質の分子間に存する分子力によつて生ずる現象である。而して水滴が球形をなすのは畢竟表面を次第に收縮せんとする力が働いて居ることに當るから之を表面張力と稱する。器物に液體を盛つた場合には、其境界面に三種の面が一線にて會して居り、是等三種の界面にそれぞれ表面張力が働いて居るから、其三力が釣合ふやうに境界面の形狀が決められる。

普通の場合には、常に地球の引力が働いて居るので、例へば硝子製の毛細管を水中に直立せしめると、水が硝子管面全部に擴がらうとしても、重力に制せられて一定の高さに止まる事になる。此場合にも毛細管の周邊の表面張力の總和と、毛細管内に引き上げられた液の重量とが等しい筈だから、毛細管の半径や液の高さを測れば表面張力の強弱を算定し得ることになる。

浮力

パスカルの原理



單位質量の重量を w とし、密度 d で靜止せる液體中に切口の面積一平方糎、表面以下の長さ h の細長い垂直部を考へると、其重量は P_{11} なるに、落下せざるより見れば此部分

は同一の力で下部から押し上げられて居ると考へなければならぬ。此の力を浮力と稱する。

五 表面から深さ h だけある點に於ける
十 壓力は dwh であるから、此壓力は深さに比例するといふ事になる。而して此壓力は各方に一様に働き居るものである。之をパスカルの原理と稱する。

次に液體内部の一部分 v だけを、密度 d なる他物で置き換へたとすると、其重量は P_{11} であるが、此物體は P_{11} に等しき浮力で押し上げられて居るから、其重量は $(P_{11} - P_{21})$ に減ずる。之をアルキメデスの原理と稱する。此原理によつて空中及び水中で任意の物質の重量を測定すれば、其物質の密度を

知ることが出来る。而して物質の密度は其種類により一定であるから、此方法によつて其物の眞偽を鑑定することが出来る。

氣體は壓力の爲めに容易に收縮するから、深さが増せば壓力強くなり密度大となる結果として、壓力は深さに比例せざる事になる。

風船はアルキメデスの原理によつて浮び上るものであるが、空氣の密度は高く昇るに従つて減少するから、或る高さ迄上昇すれば重量と浮力とが等しくなつて靜止する。

飛行船は風船に推進機を附けて進退を自由にしたものであるから、機械の故障による墜落の恐れはない。しかし強風に逢ふと吹き飛ばされる恐がある。

飛行機は之に反して、空氣よりも重い物体が推進機の働きによつて、作用と反作用とが等しいといふ原理に基き、前進する際に空氣の抵抗を利用して上壓を生ぜしめて昇天するものであるから、推進機に故障があると直ぐ墜落する。之を免れるには、空氣の抵抗を利用し所謂空中滑走をなして徐々に下降する外はない。

其七 物質の變脱

ラヂウム
放射性物
質
放射能

透過度

アルファ
線
ベータ線

ガンマ線

ウランニウム化合物からは寫眞作用ある或種の放射線が出る事が知られた。そして更に其作用の大なるものを順次に分析して終にラヂウムが発見された。斯かる物質を總稱して放射性物質といひ、其特性を放射能と稱する。

是等の放射線は、通常の目に見へる光線の透過し得ざる物質を透過する性質を有する。其透過度を數量的に検査して見ると、厚さ二十分の一を有するアルミニウムの薄板一枚を通過すると、放射線の量が半減し、二枚で更に半減し、三枚で更に半減するけれども、四枚目以後は容易に減することなく、百枚を重ねて漸く四枚重ねたときの半分に減するものである。従つてアルミニウム板によつて容易に吸収されるものと、然らざるものとの二種あること明白である。前者をアルファ線と呼び、後者をベータ線と稱する。

アルミニウム板の代りに鉛板を用ふると、アルファ線もベータ線も凡て吸収し得るに拘らず、猶電離及び寫眞作用を有する放射線の存在が認められる。之をガンマ線と名ける。アルファ線は透過度數も少なく、之を一とすればベータ線は百で、ガンマ線は千四百である。アルファ線は正電氣を帯びて陽極線と、ベータ線は負電氣を帯びて陰極線と、ガンマ線はX線と同類なるものである。

ヘリウム

化学の根
抵の破壊

鉛
物質の變
脱

放射性物質から放射したアルファ線が容器中に集めて見ると、ヘリウムの残存するこ
とが發見された。之によればアルファ線とは陽電氣を荷つたヘリウムの原子が非常の速
度で飛び出したものか、或はアルファ線をなす陽性の核が陰性の電子と結合してヘリウ
ムとなつたのである。ウラニウムもラヂウムもヘリウムも皆獨立の元素である。而して元
素は最終のもので、一元素が他元素に變化することは不可能であると從來信ぜられて居た
のであるから、放射性物質からアルファ線が飛び出し、其線がヘリウムになるといふ事
は、化学の根抵を打破つた大事件である。ラヂウムの發見が理學界に重要視されたのは此
爲である。かくして元素は獨立せるものではなく、ウラニウムはラヂウム其他種々の元素
を経て、終に鉛になつて仕舞ふとの説が主張された。此現象を物質の變脱と稱する。

四六

其 八 元素進化説

物質が變脱する際にヘリウムが飛び出すならば、ヘリウムの原子價は四であるから、各
元素の原子價は順次に四を等差とする級數となるべきである。而して事實ウラニウムは二
三八、ウラニウムXは二三四、トリウムは二三〇、ラヂウムは二二六、ニトン(ラヂウム・

エマネーション)は二二二、ラヂウムAは二一八、ラヂウムBは二一四、ラヂウムDは二一
〇、鉛は二〇六である。即ちウラニウムが三個のヘリウムを失へばラヂウムとなり、ラヂ
ウムが五個のヘリウムを失へば鉛となるのである。

物質は始めに簡單なる元素か出來て、次第に複雑なものに進化したと考ふべきである。
これ元素進化説である。

星雲のやうな最も幼稚な天體には水素、ネプリウム、ヘリウム等の極く簡單な元素のみ
存在し、恒星に進化するに従つて、次第に複雑な元素が現はれ、終には化合物までも出現
するやうになる。さすれば元素は次第に進化して複雑となり、終には不安定の度を増して
崩壊するに至る。これ即ち放射作用であると認める。

同一元素でも産地によつて其原子量を多少異にする場合がある。例へばボヘミア産のウ
ラニウム鉛と普通の鉛とは原子量に於て0.5%の差異がある。一般には種々のものが混合
して居り、其平均の原子量を吾人が測定して居るものと見ることが出来る。

ウラニウムが幾回もアルファ線やベータ線を放射してラヂウムとなり、ラヂウムが更に
アルファ線を放射してニトン即ちラヂウムエマネーションと化し、之が順次に
RaA
RaB
RaC
RaD

放射作用
原子量の
相違

エマネ
ーション

放射作用
原子量の
相違

平均壽命

半減期

といふ風に變脱するのであるが、變脱は一個一個の原子が任意にやるのであるから、ラヂウムに成つてから次の原子に變脱する迄をラヂウム原子の壽命と稱すると、之には長短があつて一々知ることが出来ないが、其平均壽命を知ることが容易である。

今茲に幾つかのラヂウム原子ありとすれば、時間の経過と共に次第に減少する。而して初めの半數になるまでの時間を測定することは容易である。之を半減期と名ける。ラヂウムの半減期は約二千年であるが、エマネーションの半減期は僅に四日弱に過ぎない。然るに此半減期は平均壽命の六割九分三厘に等しいものであるから、エマネーションの平均壽命は五日半といふことになる。 RaC^1 の如きは最も短命なるもので、其平均壽命は一秒の百萬分の一に過ぎぬ。

放射作用の共通

放射作用は原子量の大なる物質に限り實驗された現象であるけれども、此性質は凡ての原子に共通するものであると信ぜられる。此考を以て推すと、ネプテリウム及びヘリウムから次第に進化してウラニウムに至るに際し、鐵屬以下は安定原子のみの集合で其原子量はヘリウムの原子量四の倍數か、或は之にネプテリウムの原子量を加へたものに近く、鐵以上は各原子が進化して鉛に至るものあると同時に、其一部は變脱して鐵に歸るものもあるか

ら、鐵は天體にも地球にも最も多く存在することになる。

原素進化説にして眞ならば放射作用は地球の内部到る處に於て實現せられて居る筈である。事實ウラニウム、トリウム、ラヂウムなどは決して珍しいものではなく、到る處少量づつ分布せられ、地下水殊に深所から湧き出る温泉は必ず多少のラヂウム・エマネーションやヘリウムを溶解して居る。アメリカではヘリウム採集を目的とする會社が創立され、水素の代用品として輕氣球に使用される迄に進んで居る。現今では放射能の測定法が非常に進歩して、五億石の温泉中僅に一合のエマネーションを含むのみでも、之を検出する事が出来る。此エマネーションは一瓦のラヂウムから毎日十分の一立方耗づつの割合で發生する氣體で、氷點下六十五度で液化し、氷點下七十一度で光輝ある固體となるから、一名之を素即ちニトンと呼ぶのである。

ヘリウム製造會社

其九 原子の構造

真空放電は物質の大四状態なるものを考ふる必要を生じ、更に放射作用が発見されてから、原子は自然に碎けるものである事が明かになり、従つて原子は最早單純なるもので無

大正十一年萬國原子量表

原子番号	元素名	原子量	電子数	陽子数	中性子数	質量数	原子番号	元素名	原子量	電子数	陽子数	中性子数	質量数
1	H	1.008	1	1	0	1	1	H	1.008	1	1	0	1
2	He	4.00	2	2	0	4	2	He	4.00	2	2	0	4
3	Li	6.94	3	3	0	6	3	Li	6.94	3	3	0	6
4	Be	9.1	4	4	0	9	4	Be	9.1	4	4	0	9
5	B	10.9	5	5	0	11	5	B	10.9	5	5	0	11
6	C	12.005	6	6	0	12	6	C	12.005	6	6	0	12
7	N	14.008	7	7	0	14	7	N	14.008	7	7	0	14
8	O	16.00	8	8	0	16	8	O	16.00	8	8	0	16
9	F	19.0	9	9	0	19	9	F	19.0	9	9	0	19
10	Ne	20.2	10	10	0	20	10	Ne	20.2	10	10	0	20
11	Na	23.00	11	11	0	23	11	Na	23.00	11	11	0	23
12	Mg	24.32	12	12	0	24	12	Mg	24.32	12	12	0	24
13	Al	27.0	13	13	0	27	13	Al	27.0	13	13	0	27
14	Si	28.1	14	14	0	28	14	Si	28.1	14	14	0	28
15	P	31.04	15	15	0	31	15	P	31.04	15	15	0	31
16	S	32.06	16	16	0	32	16	S	32.06	16	16	0	32
17	Cl	35.46	17	17	0	35	17	Cl	35.46	17	17	0	35
18	Ar	39.9	18	18	0	39	18	Ar	39.9	18	18	0	39
19	K	39.10	19	19	0	39	19	K	39.10	19	19	0	39
20	Ca	40.07	20	20	0	40	20	Ca	40.07	20	20	0	40
21	Sc	45.1	21	21	0	45	21	Sc	45.1	21	21	0	45
22	Ti	48.1	22	22	0	48	22	Ti	48.1	22	22	0	48
23	V	51.0	23	23	0	51	23	V	51.0	23	23	0	51

陽粒子と電子

く複雑なる構造を有するものであるといふことになつた。

ボールの説によると、原子は陽粒子と電子から成るものである。陽粒子を中心として電子が公轉して居る一個の體系が一個の原子である。而して陽粒子を公轉して居る電子の數は一個より數十個の多きに至る。これが異なつた種々の元素を生ずる所以で、最も簡單な水素原子は唯一個の電子を有するのみである。

電子の數

其他の原子では、之を構成する電子の數は原子量の半分に等しい。一原子を構成する電子の數が五個以内だと同一軌道に等距離を隔てて公轉し、六個以上となると、大小二個の軌道に別れ、更に十七個以上ならば三個の軌道に別れて公轉するのが安全状態なのである。例へば電子の數が十三個ならば内部の軌道に三個と外部の軌道に十個とに別れ、十四個ならば内部に四個と外部に拾個とに別れる。従つて十三個の電子より成る原子は内部軌道からいへば三個の電子より成る原子と共通の性質を有し、外部軌道から言へば十四個の電子より成る原子と類似して居る事になる。かくして元素に週期律の存在する理由が飲み込める。

すべての元素を其原子量の順序に並べ、水素を第一番とし、ヘリウムを第二番とし、順次

原子番號

に進んでウラニウムを第九十二番とすれば、斯くの如き原子番號は極めて重要な意義を持つもので、例へば某原子を構成する陽粒子の電氣量は、其原子の番號に正比例するものである。

原子の直徑

二個の原子が接近し得る最小距離を原子の直徑と見做せば、中央の陽粒子は僅に其一萬分の一に相當する小局部を占むるのみである。従つて原子の内部、即ち陽粒子と電子との間を、他の電子若くはアルファ線等が自由に通過し得る譯である。

原子内の空間

物質が高温度に於て發光するのは、原子の構造が斯くの如きものであるため、其内部に電磁的振動が起るに基づくのである。

物質の發光

原子中、中性のものは單獨で一個の物質分子となるけれども、通例は陰性の原子と陽性の原子とが化合して分子を形成するものである。而して是等無數の分子が集合する形式如何に従つて結晶體、液體、氣體等の區別が生ずる。

其十 原子の配列

X線の波長は普通の光の波長の五千分の一程度で極めて短かい爲め、普通の廻折格子は

其眼が粗大に過ぎて干渉縞を作ることには出来ない。此場合に結晶體のX線に對する天然の廻折格子とすることが考へられた。即ち結晶體を薄板とし、之にX線を投射すると、一定の距離を隔てて並んで居る其原子と、中間にある空隙とが一個の格子をなすので、廻折現象が起り、之を寫眞に撮ると干渉縞に相當する明暗模様が現はれる。而して此模様から、逆に廻折格子の粗密、換言すれば其結晶體内に於ける原子の排列方法を推定することが出来る。

岩鹽分子

岩鹽に就いて實驗した結果によると、ナトリウム原子と鹽素原子とは立方體の各頂點に交互に並列して居る事が知られた。これから二原子間の平均距離を算定すると 2.81×10^8 厘なすはち一寸の約一億分の一弱である。

かく格子間の距離が知れた上は、普通の光の場合の如くにしてX線の波長を算定し得る譯で、計算の結果、種類によつて長短があるけれど、約此距離の半分程度である。

前記X線研究の結果によると、岩鹽の分子ではナトリウムと鹽素とは交互に各方向に等距離に配別されて居るから、一個のナトリウムは自己の上下左右前後にある六個の鹽素の内何れと共に一個の分子を形成して居るか、普通の考からは判定することが出来ない。若

原子の形

し原子の形が球状で、各方向に同様な性質を持つて居るものだとすれば、分子といふ概念は否定されることになる。よりにて吾人は原子の形は球状にあらずといふ結論に到達する。さうすると原子といふものは各方向に平等ではなく、特殊の方向に面して偏つた性質を持つて居て、其方向に存在する原子と共に一個の分子を構成して居ると考へるのである。

扁平な原子

原子は陽粒子を中心として電子の一群が公轉して居る一個の體系たすると、其軌道面は一定の方向に向つて居る筈で、即ち原子は扁平なものであると考へられる。ブラッグ氏が結晶構造から決定した結果によると、原子の直径は一億分の一を單位として、

ナトリウム	カリウム	マグネシウム	バリウム	鉛	硫酸
Na	K	Mg	Ba	Pb	S
3.55	4.15	2.85	4.20	3.80	2.05

別方面から論ずると、原子内の一個の電子を引離すために費す仕事の量は核と電子との距離即ち原子の半径に逆比例する。而して此仕事の多少は電離作用を起すに必要な電圧に

よつて知ることが出来る。従つて茲に原子の半径を算定する方法が與へられる。一億分の一を單位として此方法で決められた原子の半径は

ヘリウム	水素	ナトリウム	カリウム	銅	バリウム
He	H	Na	K	Cu	Ba
0.28	0.53	1.41	1.67	0.94	1.39

他の方面から算定した結果によると、電子の半径は

$$r = 1.88 \times 10^{-13} \text{ 厘米}$$

大約原子の直径の十五萬分の一程度である。

其十一 電子の質量

現今知られたる最も小さきものは電子である。其質量は水素原子の千八百分の一程度である。而して水素原子の質量は

$$16 \times 10^{-24} \text{ 克}$$

であるから、電子一個の質量は

0.9×10^{-27} 瓦

水素の原子は中央に位する陽粒子と、之を公轉する一個の電子とから構成される。従つて原子の質量の殆んど全部は、其中央の一小局部に密集して居ることになる。

第四章 電磁作用

其一 磁氣

二個の磁石を接近せしめると、互に吸引する場合と反撥する場合とがある。同一の磁石片は常に反對の性質を帯びた二極を持つて居ることが知れる。かかる作用は其極にある磁氣の有する特性に基くものであると認め、其磁氣の量は磁極の作用の強弱によつて測定することとする。従つて磁氣にも亦電氣のやうに正負の二種あるといふ事になる。磁石の兩極を結ぶ直線を其軸と名ける。

磁石を吊して自由に方向を變じ得るやうにすると、常に南北の方向を指すから、北に向ふものを正極と呼び、南に向ふものを負極と名ける。

大磁石の附近に小磁石を吊して運動自在ならしめると小磁石の正極は大磁石の負極に吸引され、其正極に排斥されるから、小磁石は大磁石に對して常に一定の方向を以て靜止する。之から考へると、地球も亦大なる一個の磁石で、其正極は南に負極は北にあるものと

認められる。

二個の磁極が互に吸引する力は、相互間の距離の自乗に逆比例するもので、其比は恒数は媒質に従つて一々異なるものである。同一量の磁氣を有する二極が真空中に於て一極の距離にある時、互に作用する力が一タインなるとき是等の磁極は何れも單位量の磁氣を有するものとする。磁氣量が m_1, m_2 なる二つの極が r の距離にある時の力は

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

で表はされる。此式中にある恒数の μ は媒質に固有な値であるから、之れを其媒質の磁氣透過度と名ける。透過度は通常一に近きものであるが、一より大なるものを常磁性體といひ、一より小なるものを反磁性體と言ふ。常磁性體の内非常に大なるものは特に強磁性體と稱する。例へば鐵には透過度が五千乃至一萬に達するものがある。

磁氣作用の現存する範囲内を磁場と言ひ、其一點にある單位量の正磁氣を有する磁極に作用する力を以て、其點に於ける磁場の強さを測定する。而して自由に連動し得る正磁極が磁場に於て運動する道路は、其處に於ける磁力線の位置を示すものである。而して磁場に吊されたる磁石は其軸が磁力線と同一方向を取るとき安定の位置を保つものである。磁

磁場

磁力線

磁氣透過度
常磁性體
反磁性體
強磁性體

力線に垂直なる單位面積を通過する磁力線の數は、其處に於ける磁場の強さと同一の數値を有するものとする。

磁力線が磁性體を貫通すれば、茲に新たな磁氣が発生する。之を感應磁氣と稱する。例へば鐵片を磁石に近づけると、此鐵片は臨時に一個の磁石となる。鐵片が感應により臨時に磁石となつた後、之れを磁場外に出すと、忽ち其磁性を失ひ、普通の鐵に戻つて仕舞ふ。鋼を以て同様の實驗を行ふと磁場内にある間は鐵よりも弱い感應磁氣を帯びて居るに拘らず、之を磁場外に出しても、依然として其磁性を保有し、永久磁石となつてしまふのである。

次に反磁性體たる蒼鉛の一片を以て同じ實驗を行ふと磁石の正極に近い端に正極を生じ遠き端に負極が発生する。従つて元の磁石と互に反撥する結果を生ずる。常磁性體と反磁性體との區別の必要な所以は此處に存するのである。

其二 地磁氣

地磁氣に基づく磁場の強さは、時と場所とにより變化するものであるけれど、狭き範圍

偏角

で短日月の間ならば、一樣で一定のものと見て差支ない。任意點に於ける地球の磁場の力線を含む垂直面を、其處に於ける磁氣子午面と稱し、此面と天文學上の子午面と成す角を偏角或は方位角と名ける。

地球を一個の大磁石として考へると、其負極は北緯七十三度三十五分、東經二百六十四度二十一分の地下にあつて、北極を距ること五百里許りの南方である。

伏角

鋼の一片を取り、磁氣子午面内に自由に回轉し得るやうにし、其重心を支へて水平ならしめる。之を感應によつて磁石に化せしめてから、初めのやうに安置すると、初めのやうに水平位置を取らないで、本邦では南端が高く上り、北端は降下する。此際磁針が水平面となす角を伏角と稱する。地球磁氣の正負極に於ては伏角は九十度となる。

磁氣嵐

同一場所でも、偏角や伏角ならびに磁力の強さは一定したものではなく、歳月と共に變化するものである。地磁氣は此種の長期の變化をなすのみではなく、四季或は晝夜の變化によつても多少増減する。又磁氣嵐といつて突然大なる變動を起すものがある。これは多くの場合、全地球に亘つて同時に發生する現象で、其原因は太陽面上にある黒點、白紋等太陽の活動と直接に關係して居ることが知られて居る。太陽から放射される電子の一部が

極光

地球附近に來ると其磁場の作用を受け磁力線に沿つて地球の正負兩極附近に流れ込み、ガイスレル管に見る低壓放電と同様に發光して、極光の壯觀を現出すると同時に、電磁現象を起すのである。此際には地中にも電流を生じて、電信電話を全然無効ならしめることが決して珍しくない。これは電子の運動が電流となつて磁場を生じ、ために惹起される磁場の變化が感應電流を生ぜしめるによるのである。

其三 電磁力

電磁力

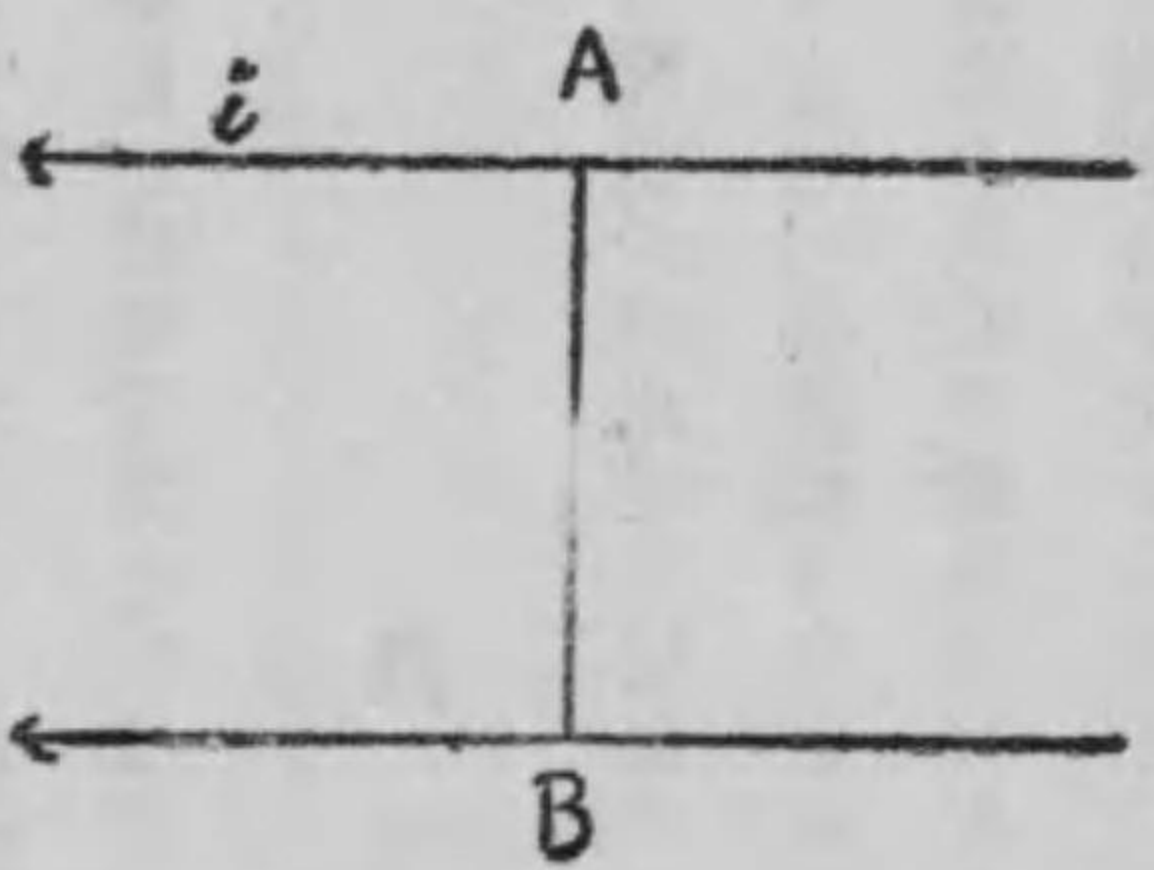
電氣が靜止せる場合には單に其附近が電場となるだけだが、電氣が非常の高速で運動すると、其運動方向と一定の關係ある磁力線が生じて其附近は磁場となる。換言すれば、電流の附近は電場であると同時に兼ねて磁場である。従つてかかる電磁場に置かれた磁氣は其作用を受けることになる。之を電磁力と名ける。

電流 i が紙面上、右から左に一直線に通ずる場合、その下方 a の距離にある B 點に於ける磁場の強さは、

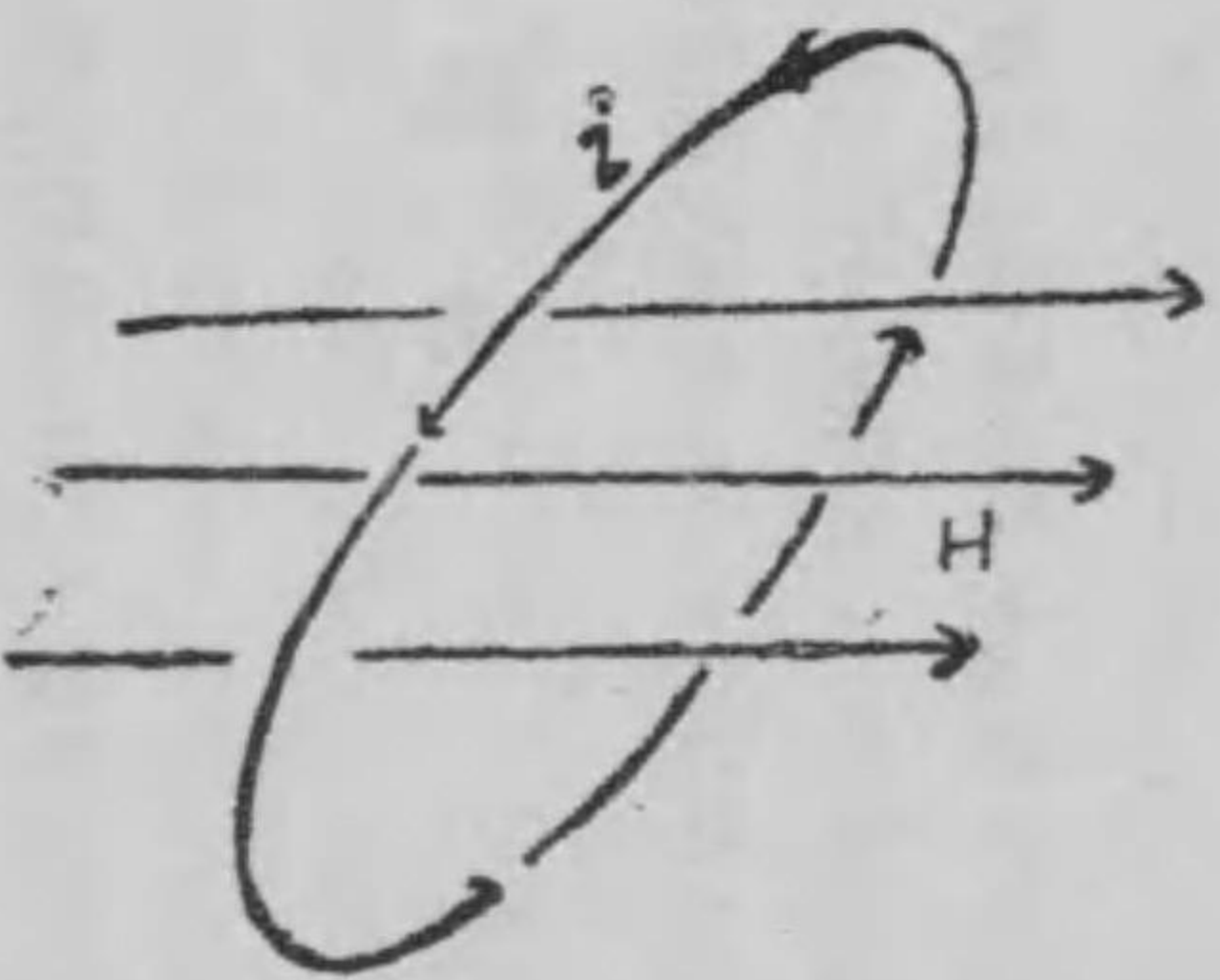
$\frac{2i}{a}$

で、其方向は表面の裏から表へ向へるものである。

電流 i が流れる輪道が圓形だと磁 力線 H は其面に垂直であり、電流の方向が時計の運動の方向と反 対であれば、磁力線の方向は、圓周内では時計の裏から表に貫き、圓周外では其反対である。従つて地下に太陽と共に東から西に流れる電流ありとすれば地磁氣が生ずる譯である。地球の自轉によつて地球を構成する岩石内の電子は西から東に運動して居



第三十五圖

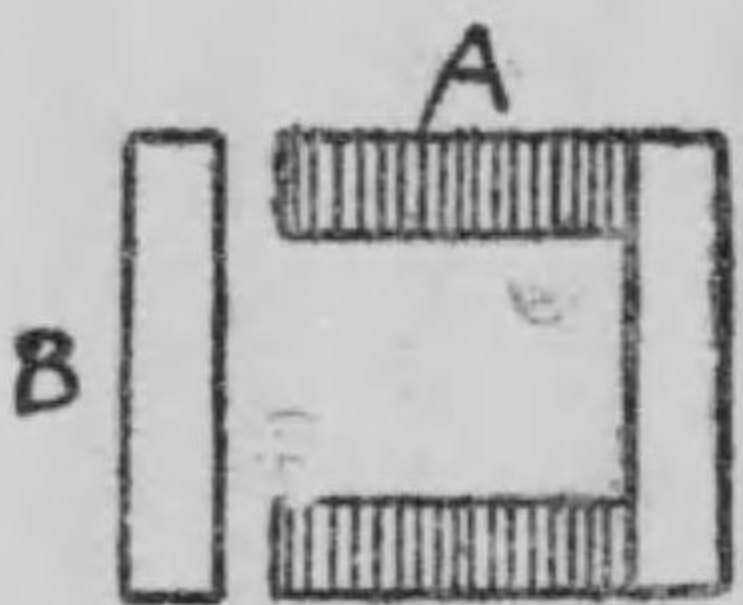


第四十五圖

る。負電荷 磁氣は地球 東に運動することは、電流が東から西に通ずると同一であるから、地 基づく當然の結果であると考へ得られる。 電流を通 じはその輪道と同形なる薄き磁石片と見做し得るから。同一方向に電流

電磁石

を通じた二個の輪道は互に吸引し、電流の方向反対な二個の輪道は互に反撥する。更に電流によつて磁力線を生じ、磁力線によつて感應磁氣を生ずるから、電流を通ずる附近に磁性體があると感應によつて之が磁石となる事も必然の理である。かかるものを電磁石と名ける。



第五十五圖

軟鐵Aのまはりに絶縁した金屬線を幾重にも捲きつけ、此輪道に電流を通ずると軟鐵Aは電磁石となる。此際其附近に第二の軟鐵片Bがあると、之も亦感應によつて磁石となるから、A Bの兩磁石は互に吸引する。次に電流を断てば電磁場は消失するからAもBも元の軟鐵に歸つて相互の吸引力を失つてしまう。此事實は各種の方面に最も廣く應用されて居る。

工業上電流が單獨に利用されるのは、電燈や電氣鍍金など小範圍に限られ、應用の大部分は電氣と磁氣との相互作用を利用したものなのである。

電磁石AとBとが互に吸引する力を適當に利用すれば、各種の仕事をなさしめる事が出来る。電鈴、電話、電信若くは電氣鐵道などのやうに、其外形は全然異なるものでも、物

理學上から見た原理は凡て同一であつて、唯工學的考案に於て差違あるにすぎない。

電話の場合では、送話機に向つて音聲を發すると、音聲によつて薄い板が振動し、之と接觸する炭素粒間の電氣抵抗を變化するので、之を通過する電流の強さが、音聲に應じて變化する。次に此電流が受話機に入れば、之によつて生ずる磁力線のために磁場を變じ内部にある鐵板はために振動して空氣を共振せしめ音響を發するのである。

其 四 電氣單位系

靜電單位系

さきに吾々は電氣量の單位を定むるに、靜止の位置にある二個の電氣間に作用する力を以てし、之を基本として電氣に關する種々の單位を導びいた。かかる單位系を靜電單位系と稱する。

然るに電流と磁氣との間には電磁作用があるから、磁氣量の單位を基本として電氣に關する種々の量の單位を定めることも出来る。今一定の強さHを有する磁場内に磁針を吊せば、其軸が磁力線の方向と一致した位置に靜止する。次に此磁針を中心として、其面が磁力線Hを含むやうな捲線ABを造つて、之を輪道として電流を通ずると、之によつて生じた

電磁單位系

電磁力Dが磁針に働き、元の位置からA角だけ傾けて靜止する。さすれば、

$$F = H \sin A$$

だからAを觀測すれば電磁力Fが分り、従つて輪道を通つた電流の強さを知ることが出来る。斯くの如く電磁作用を仲介として磁氣量の單位から誘導したものを電磁單位系と稱する。

例へば電流の場合に電磁單位系に従へば、半徑一厘の圓弧の一種を流れるとき其中心にある單位磁極に及ぼす力が一ダインである電流を單位とする。實用上では其十萬倍を單位として、之を一アンペリアと呼んで居る。電氣抵抗の單位一オームは極瓦秒單位系に比して十億倍にあたり、電壓の單位、一ボルトは一億倍にあたる。

磁氣作用は非常の高速度を以て電氣が運動するところの電流によつて生ずる現象であるから、靜電單位系と電磁單位系とで同一量を別々に測定して得た數値の相異は、電流を形成する電氣、即ち電子の運動速度と直接に關聯して居る筈である。實測から計量した結果によると、此速度は毎秒三十萬軒で、光速度と同一である。而して光も亦一種の電磁波であるから、兩者の速度一致するは當然である。

電子の運動速度

其五 感應電流

電氣輪道を磁場に置くとその面が磁力線に垂直なる様に静止する。そして其面を通過する磁力線の数が最大なる位置に静止する。従つて磁場が一様でない時輪道は磁力線の密集せる點に向つて運動し、輪道が伸縮自由ならば輪道は自ら伸びて其面積を増加する。

輪道が斯く動くには力が働いて居なければならぬ。換言すれば電場に置かれた電流には磁力線と電流とを含む平面に直角なる方向に一種の力が働き、其大きさは兩者の間の角の正弦に比例する。従つて兩者が平行な時皆無で、直角の時最大である。更に磁場内に自ら電流道を入爲的に動かして其面を貫通する磁力線の数を増加せしめると、其輪道内に自ら電流が發生する。之を感應電流と稱する。感應電流の強さは單位時間に磁力線の数が變化する割合に比例するもので、其方向は磁力線の数が増加した場合と、減少した場合は反對で増加した場合に發生する電流の方向は、此感應電流によつて生ずる磁場の磁力線が、増加した磁力線と反對の方向を有し、互に相殺するやうになつて居る。

輪道内を貫通する磁力線の増加によつて感應電流が發生するのであるから、一定の磁場

感應電流

内で輪道を固定して置いて、磁場を變化させても結果は同一である。例へば磁場内に鐵の如き強磁性體を置くと、磁力線が茲に密集するから、捲線を通る電流を一定にして置いても、此鐵片を動かせば磁力線が集合或は離散するから、輪道内を貫通する磁力線に變化を來たして感應電流が發生する。

其六 電磁波

感應電流を多量に發生せしめるためには、輪道の一部を特に幾回も繰り返した捲いたものを磁場で回轉すればいい。電燈或は電氣鐵道等に使用される電流は、大抵皆此原理を應用して作つた發電機で起した感應電流である。而して水力或は火力は其發電機の主要部たる捲線を磁場内で回轉する動力として使用されるのである。

磁場に於て等角速度で捲線を回轉する際生ずる感應電流の強さは週期的のものである。かゝるものを交流と稱する。これは比較的簡單な装置で直流とすることが出来る。

甲乙二種の捲線を重ねて、甲に交流を通すれば、之に基く磁場が週期的に變化するから乙に發生する感應電流も交流であるが、捲線の巻き數の多少によつて、初めの電流より強

發電機

交流
直流

變壓器

きものとも弱きものともすることが出来る。電流を弱くすれば電圧が高くなり、電流を強くすれば電圧が低くなる。此装置は一般に電圧を変化する目的を以て使用するから、之を變壓器と稱する。

電磁波

電氣振動

振動器

帯電のエネルギーは電場を充填する媒質の歪に宿るものであるから、交流の際には其歪が普通の弾性體に於ける振動のやうに週期的に変化する。且つ電場と共に磁場も週期的變化を受ける。茲に於て電磁波が生ずる。適當の装置によつて放電をなすと、更に急激なる電氣振動を起すことになる。而して之を原として電磁波が傳播することになる。斯かる装置を振動器と稱する。

電波

實驗の結果によると、電氣波と磁氣波とは共に横波に屬し、其振動方向が互に直角なるもので、其速度は電媒恒數と透過度の積の平方根に等しい。通常は兩者を合して單に電波と呼んで居る。

熱エネルギーが傳導體なくとも、輻射線の形で各方に傳播し得るやうに、電氣エネルギーも傳導體の助なくとも、電磁波として、之を遠隔の地に輸送することが出来る。然るに適當の電壓の下にある金屬の粉末などは電磁波に逢ふと、其接觸面に於ける電氣抵抗を急

無線電信

に減少して、突然電流を通過せしめることになる。無線電信は此事實を利用して考案したものである。

輻射壓

光壓

電磁波が傳播する場合には、單位體積内のエネルギーに等しき壓力を其進む方向に及ぼす。之を輻射壓と稱する。而して光も電磁波の一種であるから、光の入射する面には、其單位面積毎に單位體積内に宿るエネルギーの量に等しき光壓が働いて居るのである。

彗星の尾は太陽の光壓によつて生成したものである。其尾は構成する物質が密度の差大なるものの混合する場合には、それに對する光壓に多大の差があるため、夫等は分離することになる。一個の彗星に二本、三本或は數本の尾を生ずることがあるのは、此理によるもので、夫等の尾はそれぞれ全く異種の物質から成立つてゐるのである。

其七 電子説

電氣に關する各種の研究を統一するものは最近の電子説である。電子説によると電氣量には一定の最小限があつて、粒子狀をなして居る。此粒狀の負電氣を電子と稱する。一個の電子をなす電氣量は

束縛電子
自由電子

$e = 4.774 \times 10^{-10}$ 靜電單位 $= 1.9 \times 10^{-10}$ 電磁單位
電氣は電子を球狀として其半徑 r を算定すると、

$$r = 1.88 \times 10^{-12} \text{ 厘米}$$

物質の原子を構成する電子は、一定の位置に拘束されて居るから、之を束縛電子と名付ける。此外に物質内にあつて分子間を自由に運動して居る電子の一群がある。之を自由電子と稱する。攝氏零度の時自由電子の運動速度は、

$$v = 1.12 \times 10^7 \text{ 厘米}$$

位のものである。是等の自由電子は平常は亂雑に運動して居るが、一度其運動方向を限定されると其物體が帯電の現象を呈し、或は電流を生ずることになる。

自由電子が一方にのみ運動すれば、電流を生ずると共に熱を傳達することになるは當然である。従つて電氣の良導體は同時に熱の良導體であることが理解される。

電子の平均自由行程は、物質の種類、温度の高低に依つて差異がある。攝氏零度の白金に就いていふと 1.54×10^{-10} 厘米ばかりで、それが一秒間に衝突する回数は約七十三万億といふことになる。

良導體
電子の自由行程

固有スゴクトル

原子と磁石

分子間にエネルギーが交換されるのは全く自由電子があるためである。

放射線の起源は束縛電子の公轉運動に存するのであるから、各元素は其原子を構成する電子の數や公轉の週期等に従つて、固有の放射線を放射し、それ獨得のスペクトルを有することになるのである。

電子の運動は其軌道面に垂直な磁場を生ずるから、凡ての物質原子は夫れ自身すでに一個の小磁石であるが、夫等が亂雑に配別して居るから、全體としては磁性を示さない。従つて或る方法で其原子の方向を一方だけに制限する事が出来れば、其物質は磁石となるのである。

其八 質量の變化

帶電に費された仕事は電場のエネルギーと化するやうに、電氣を運動せしむるに費された仕事は磁場のエネルギーとなつたのである。換言すれば電氣に加速度 A を與へるには、之に或力 F を働かせなければならぬ。然るに力を加へて加速度 A を生ずるなら其質量は F/A であるといふことになるから、此電氣も亦これだけの質量を持つといはねばならぬ。

之を電磁質量と稱する。さすれば電子にも亦相當の質量がある筈である。これは陰極線の研究によつて知ることが出来る。陰極線は非常の高速で運動して居る電子の一群であるから、之には電磁力が働き、其行路が彎曲せしめられる。依つて其程度を測定すればいい。實驗の結果によると電子の荷電量を e 、質量を m とすれば、

$$\frac{e}{m} = 1.77 \times 10^7 \text{ 電磁單位} = 5.31 \times 10^{11} \text{ 靜電單位}$$

である。猶此場合に出て来る電子の速度は光の速度の約十分の一程度のものである。而して電子の荷電量 e は電氣分解其他の方面から測定され、

$$e = 4.77 \times 10^{-10} \text{ 靜電單位}$$

であるから、

$$m = 0.9 \times 10^{-27} \text{ 克}$$

が電子一個の質量であり、之が質量を構成して居る最小部分である。

然るに精細なる測定の結果によると、質量は其速度の大小に従つて變化することが知られた。例へばベータ粒子に於ては運動の速度が光の速度の約五分の一から約三分の一に増すと、質量は約三十分の一増加することが觀測された。

物質のみに限らず電氣にも質量があるといふことは、要するに、質量は電磁作用によつて生ずるもので、媒質が含有するエネルギーと共に増減するのである。物體に加速度を興へると其運動エネルギーが増加するから、之に相當するだけの質量が増加するのである。而してエネルギーの増加を E 、エルグとすると、これによつて生ずる質量の増加は E/c^2 、瓦である。茲に c は光即ち電磁波の速度である。例へば一瓦の砲丸が毎秒百米の速度で發射されたとすると、質量の増加は約十億分の一五十六瓦である。

右の理によつて、運動せる物體の質量は、其運動の方向に測つたものと、之に直角な方向に測つたものとは一致しないことになる。茲に於て縦質量及び横質量の區別が生ずる。

一瓦の質量は c^2 即ち、

$$9 \times 10^{20} \text{ エルグ} = 2 \times 10^{11} \text{ カロリー}$$

のエネルギーに相當するものであるから、物質の原子内には殆んど無盡蔵のエネルギーを貯藏して居る譯である。放射作用は原子内のエネルギーが自然に外界に飛び出す現象であつて、他日若し此放射作用を人爲的に促進する方法が發明されるならば、宇宙の經濟界に大革命を惹き起すこととなるであらう。

其九 ローレンツ収縮

静水中を c なる速度で泳ぐ人が流速 v の河を、距離 l だけ泳ぎ下るとすれば時間

$$t = \frac{l}{c+v}$$

を要し、更に泳ぎ戻するには時間

$$t' = \frac{l}{c-v}$$

を要するから、往復に費した全時間 t''

$$t'' = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v}$$

となる。次に此流れを直角に横切つて同じ距離 l だけ往復するに費す時間は、合成速度が

$$v' = \frac{c^2 - v^2}{c}$$

$$t = \frac{2l}{v'}$$

依つて兩者の場合に費した時間の比は

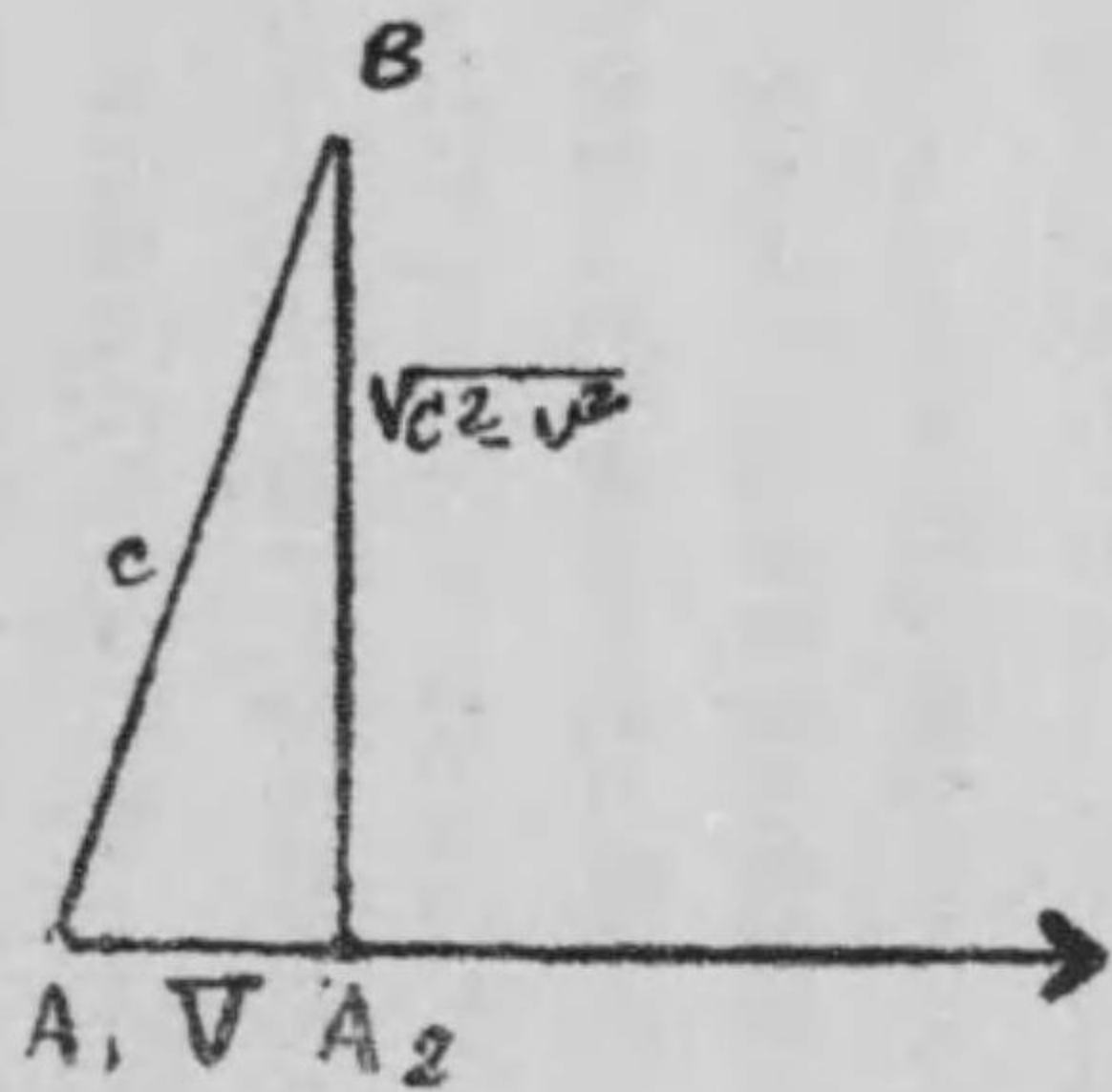
$$\frac{t''}{t} = \frac{c^2 - v^2}{c^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

マイケルソン、レーダーの實驗

となつて、泳ぐ速度に對する流水の速度の比によつて異なる。

地球の軌道上に於ける運動速度は毎秒約三十軒である。従つて地球上に於ける光の其速度 c を以て一定距離 l を往復するに要する時間は、其行路が地球運動の方向に平行な時と直角な時とは前式で示される差を生ずる譯である。然るにマイケルソン及びモーレーの實驗した結果によると毫も此の如き差を認めないのである。換言すれば光は運動系にあつても静止系にあつても、同一の速度で傳播するのである。換言すれば光の速度に觀測者又は發光體の運動速度を加へ、或は減じて、増加又は減少することが無いといふ事になる。

第五十六圖



速度は距離と時間との比で決定されるものであるから右のやうな不可解の事實を説明するには、距離の測定法或は時間の測定法に從來閑却されて居た點があるを考へなければならぬ。

今 A_1 で光を放つたものが v なる速度を以て運動し單位時間後に A_2 にありとすれば、其時刻に B に到着

した光は、運動して居る A_2 から見て、なる速度を有すると同時に、静止して居る A_1 から見ても同速度だといつても、其距離は A_1B と A_2B で、其比は $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ に等しい。従つて單位尺度なるものが、静止状態の時單位長のもものが運動状態にあるに時 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ に收缩すると假定すれば、光速度は必然不變のものとなる。之をローレンツ收缩と稱する。地球の場合には、其運動方向の直径が約六厘半ほど縮む勘定になる。

右の説に於ては時間が絶対的のものとして論じたのであるが、果して然りや否やは決定的なものではない。従つて吾人は時間と空間とに關し、更に再考するの必要を認める。

吾人が現に一目の下に眺めて居る天上の世界は幾十萬年の過去以來、凡ての年代を通じて同時に見て居るのである。従つて地球上から見て同時刻といふ事は、他の星界より見れば同時刻ではない。換言すれば一の世界から見ても前に生起した事象も、他の世界から見れば却て後に生起することになる。従つて繼起關係を以て原因と結果とを區別するならば、一つの世界で甲の原因と認められる乙事實が、他の世界では却つて甲の結果と推定されることあり得るであらう。要するに時刻の前後は絶対的のものではない。

吾々は太陽が南中してから次に又南中するまでを一日と考へて居る。左様すると國內に

定住せるものから見ると七十二日間を費したと見へた地球一週旅行も、旅行者自身から見れば七十一日或は七十三日の旅行である。即ち同じく一日といつても三者の一日には長短がある。

第五章 相對性原理

其一 運動の相對性

物體の行進運動及び回轉運動を論ずるには、必ず原點と方向、即ち一組の座標系に依憑することを要する。此場合一つの座標系から見れば、運動せる物體も他の座標系から見ると静止することになるは明かである。さすれば静止と運動とは同意義の語であると言はねばならぬ。

吾人が或る現象を精確に記述するには、時間 t と空間の三次元 x, y, z と合せて四個の變數を必要とする。

今座標の原點を o とし、例へば列車の運轉する徑路上に x 軸を採り、之に直角な ot 線を以て時間を表はすものとすると、時間の初め、即ち $t=0$ の時 A 點にあつた列車が此線路上に於て静止せるものであるなら、 t の値如何に拘らず ot 線から A 點に至る距離 l が不變だから A 點を過ぎて ot 線に平行な直線 AB が静止の状態にある A の履歴を表示する。若し v な

静止と運

25AC

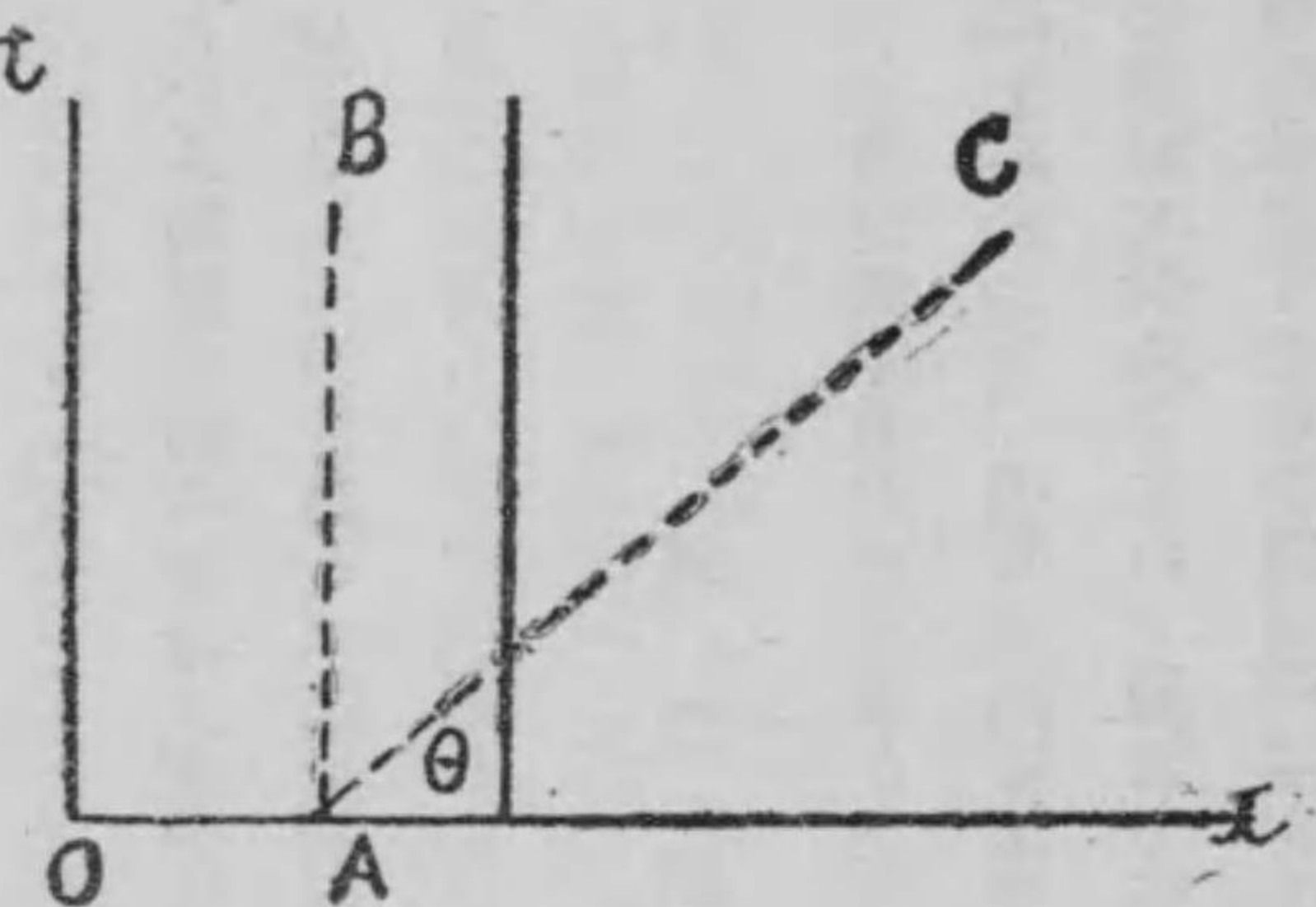
る一定速度で運動する場合に t は時後の距離が

$$x = l + vt$$

であるから AC なる直線が、斯る等速運動の状態にある A の履歴を表示する。此場合 AC 線が OX 軸となす角の余切が運動速度 v に等しい。

第十 吾人が宇宙の現象に於ける法則を見出すと言ふことは、森羅萬象の經歷を示す無數の履歴線間に成り立つ相互關係を知ること以外ならない。

一座標系に於て、 AC のやうに傾いた線で表示されるものも、自己の系内に固定した他の座標系を採つたとすれば AB のやうに垂直な直線で表示される。即ち AC の



第五十圖

式は、

$$x = l + vt$$

であるが、之は

$$x-vt=1$$

と書いて $x-vt$ を x' と置けば、

$$x'=1$$

となつて、明かに ot 線に平行である。しかし、

$$x-vt+vt$$

といふ関係があるから、 x' の属する座標系は x の属する座標系に對して v なる速度で運動して居るものである。之を列車に就いて言ふと、此列車に連結された機關車に原點を置いた場合に當るので、機關から見るとき列車は其位置を變へないのである。

其二 時刻の決定

自然現象の生起が時間と空間とを其背後に豫想して居るやうに、時間の認識は現象の生起を必要とし、空間の測定は物理的なる對象を必要とする。換言すれば物理的現象を離れた經驗的對象でない、絶對の時間や空間が存在するものではない。而して時間の概念は一つの場所で任意の週期的現象を観測すれば、之に依つて自己特有の時計を造ることを得る

同時刻

が、甲乙二つの場所での現象の生起が同時刻であるといふことを判定するには、甲と乙とが各自に時計を持つて居るのみでは不充分である。

二つの場所に於ける現象生起の時刻を比較するには、各地に於て任意に造られた相互の時計を比較する必要がある。従來の思想では、甲世界の時計を乙世界に持ち行くか或は乙世界の時計を甲世界に持つて行つて兩者を一致せしめ得るものと考へたのである。然るに此考案には、時計を一つの世界から他の世界に持つて行つても變化しないといふ假定が含まれて居る。此假定は必ずしも許さるべきものではない。従つて甲乙兩者間に信號を交換して決定するのが理論上正當であるといふ事になつた。

吾人の世界が一定方向に速度を以て運動して居るとすれば、運動の方向に直角に通信するならば、光の速度を c として l なる距離を往復する時間は共に

$$t_0 = \frac{l}{c}$$

であるけれども、運動の方向に平行に通信する場合には往復の時間には、

$$t = \frac{l}{c} \left\{ \frac{1}{1-v} + \frac{1}{1+v} \right\} = \frac{l}{c} \frac{2}{1-v^2}$$

なる差がある。従つて例へば地球が如何なる方向に何程の速度を持つて居るかを假定する

工合によつて、地球上の甲と乙との時計の比較が種々なる結果を來たすことになる。而して地球の速度を知ることが運動の相對性から見て不能であるから、要するに甲と乙との兩地に於ける同時刻の意味は不明であることになる。

自己の系内に於ける運動を論ずる場合には、系が全然静止して居るものと見ることが出来るから、往復に要する時間差は消失する。従つて同時刻の意味が唯一的に決定される。然るにマイケルソン・モーレーの實驗は、

$$t_0 = t_1 = t_2$$

なることを示したから、地球上に於ては地球が静止せるものと見做して、甲地と乙地との時計を比較し月世界では月が静止せるものと見做して、同時刻の意義を決定することが實驗と一致する所以である。かくすれば地球上の時間は月世界には通用せず、月世界の時間は地球上に通用せざることになる。換言すれば、時間は各體系に固有なるものとなるのである。兩者時刻の關係は果して如何。

其三 相對性原理

甲體系の時間と、之に對し v なる速度を有する乙體系の時間との間の關係を求めるために、アインスタインは次の二個の假定を設けた。

- (一) 物理的現象を支配する法則は、静止系に於ても、之に對し等速度を以て運動して居る運動系に於ても、同様に適用せられる(相對性の假定)
- (二) 光の速度は光源及び觀測者の運動速度に無關係で、一定不變である(光速不變の假定)

是等の假定は單なる便宜上のものではなく、電磁氣並びに光に關する幾多實驗の結果から、必然的に生じた假定であることを注意しなければならぬ。

今甲系と乙系との間に速度 v を有する相對的運動ある場合に、甲に原點を有する直角座標を x, y, z 、乙に原點を有するものを x', y', z' とし、論者は甲系内に静止して居るとする。而して甲乙の時間をそれぞれ t, t' で表はす。ニウトン力學では時間は兩系に共通で運動方向に x 軸及び x' 軸を取れば

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

である。

$$z^1 = z^2$$

甲の原点と乙の原点とが一致した時、其處で光を放つたとすると、光波は各方向に c なる速度で傳播するから、其波面を静止系甲から考へると、 t 秒間に到達する距離は ct なる球面であり、運動系乙から見る場合には光速不変の假定により、

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = c^2 t_1^2$$

なる球面であり、運動系乙から見る場合には光速不変の假定により、

$$x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2$$

なる球面である。従つて次のやうな関係がある。

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 - c^2 t_1^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$$

數學上からは此式を満足する變數の組合せは澤山あるが、必要な物理的條件を満足すべきものとしてローレンツの導びいた關係式は次のやうなものであつた。

$$x_1 = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y_1 = y$$

ローレンツの式

$$z_1 = z$$

$$t_1 = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

此關係は時間及び空間に關して驚くべき結論を與へることになる。即ち運動系の x_1 軸の上二點を探り、其座標を静止系から測つたものを x_1^2 とし、運動系で x_1^1, x_1^2 とすれば是等の二點間の距離は静止系から測ると、

$$l = x_1^1 - x_1^2$$

であり、運動系で測ると、

$$l_1 = \frac{x_1^1 - x_1^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

である。是れローレンツ收縮なるものと一致する。如何とならば、運動系内に固定せるものを運動系から見るとは静止の状態で見ることであり、運動系内に固定せるものを静止系から見るとは、之を運動状態に見ることであるから、 l_1 は運動状態に於て見る長さであり l は静止状態に於て見る長さである。然るに

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

なる関係があるから、 $l = l_0$ と置くと

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

となるからである。

前式に於て速度 v は自乗の形で入つて居るから、右に動くも左に動くも結果は同一である。従つて甲から見て乙の尺度が短縮すると同様に、乙から見ると甲の尺度が短縮することになる。かくして空間の大小は絶対的のものではなく、光と同一速度で動くものから見ると、空間は無に歸する譯である。

次に静止系に於ける時間と運動系に於ける時間を比較するに、運動系に於ける t_2 と t_1 との時刻の差を T とし、之れに對應する静止系に於ける時刻差を T' とすれば、

$$T = T' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

となるから、静止の状態での一秒は運動状態のとき、

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

秒に變化することになる。かくして哲學者が直感の形式とした空間も、時間と共に絶対的

初質量

のものでは無く、見る人の立場に従つて伸縮自在であるといふ結論に達するのである。

茲に述べた相對性の原理から論ずると、静止の状態に於て測定せる質量を m_0 とし、之を初質量と名けると v なる速度で運動してゐる時に測定すれば、縦質量は

$$m_0 \left\{ 1 - \frac{v^2}{c^2} \right\}^{-\frac{3}{2}}$$

で横質量は

$$m_0 \left\{ 1 - \frac{v^2}{c^2} \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

であるといふことになる。

更に同一方向にある二つの速度 u と v との和を w とすれば、之は $u + v$ に等しいことは出來ない。此場合には既に得られた關係式から

$$\frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}} = w$$

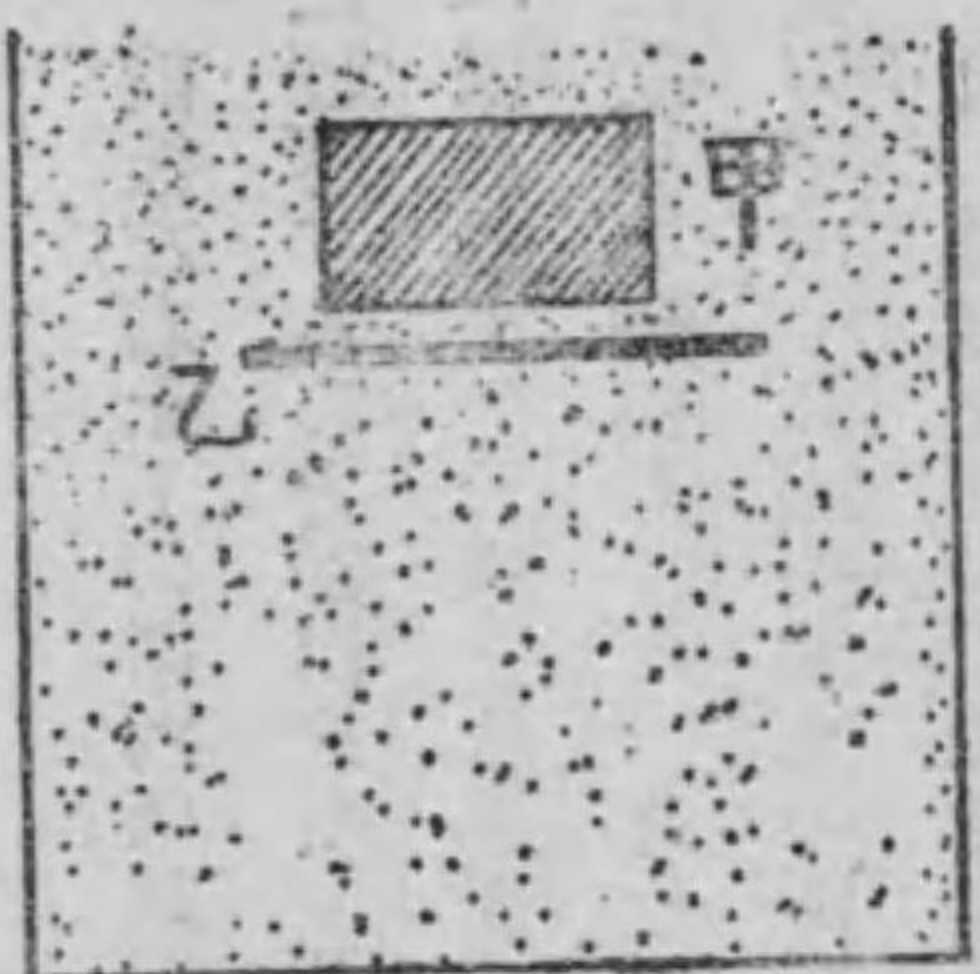
なることを見出すのである。

其四 力の相対性

ニュートンの力學では一樣なる直線運動ならば、何れの方向に如何なる速度を有して居ても、之を判定することが出来ないけれども、加速度がある場合には之を識別することが出来る。換言すれば、速度は相対的であるが、加速度は絶対的であると認める。かく在來の力學が教へる様に加速度は果して絶対的なものだらうか。加速度が絶対的であるとは力の有無が絶対的であるといふ事である。換言すれば、一座標系に關して力の場にあらずる空間は、如何なる他の座標系に關係して考へても、力の場となることが出来ず、逆に一座標系から見て力が働いて居るならば、他に力が働いて居ないと見得られるやうな座標系は成立たぬといふことである。果して然るか。

重力の場に於て、一物體を掌上に置けば壓力を感じる。従つて此壓力を利用して他の物體に加速度を與へ得る譯である。例へば薄板乙が同一比重を有する流體内に靜止して居る場合を考へる。今此乙板上に密度大なる物體甲を載せると、甲は乙に壓力を及ぼすから乙は加速度を得て下方に運動する。しかし乙が如何なる状態にある時にも必ず壓力を及ぼす

同一假説



第五十四圖

かといふに、左様は行かないのである。即ち乙に及ぼす甲の壓力は、乙が靜止或は等速運動をなす場合と、加速運動をなす場合とは同一でなく、乙の運動の加速度は増加するに従つて甲の影響は減少し、乙の加速度には極限がある。此極限の加速度は即ち地球の重力と稱して g で表はして居るところのものである。要するに靜止、若しくは等速運動の際に現存する甲乙間の壓力は、壓力の方向に適當な加速運動をする時消滅する。従つて力も亦座標系によつて存するもので絶対的のものではない。

アインシュタインは在來の學説を捨て、重力の如き自然力と、加速度を與ふることによつて出現する人爲的力とは全く同一であることを主張したのである。之を同一假説と稱する。

此理論を驗證する一つの方法がある。今器底に一本の發條を附け、其上端にコルクの如きものを結びつけてから容器に水を注入すると、コルクは浮力によつて上昇し、撥條は延長し、其彈力が浮力と等しき點で靜止する。而して浮力はコルクと水との重量の差により

て生ずるものであるから重力と共に生滅すべき理である。然るに弾力は重力に無関係である。従つて此装置を自由に落下せしめると浮力は無くなり、弾力のみが残るので、コルクは水中に沈下することになるのである。

其五 四次元の宇宙

前後左右上下の區別は絶對的のものでなく、いづれも皆相對的のものであることは容易に理解することが出来る。此外になほ時刻の過去未來といふ區別がある。在來の思想に従へば此過去と未來とは絶對的のものである。換言すれば、吾々が過去と觀するものは如何に立場を變換しても、之を未來とすることは不可能である。然るにミンコフスキーは四次元の宇宙では過去未來の區別も亦絶對的でないと言破した。

光の速度を c にて表せば ct は t 秒間に光の通過する距離である。若し x, y, z が互に直角な座標軸ならば ix, iy, iz も互に直角なるのみならず、更に第四の座標 ct にも直角であるから、原点と x, y, z, t 點との距離は、

$$s^2 = (ct)^2 + (cx)^2 + (cy)^2 + (cz)^2$$

で表はすものとする。

四次元の宇宙に於ても、凡ての質點の經歷は一本の線で表はされる。靜止せる質點の經歷を示す線は t 軸に平行な直線となり、等速運動をなすものの經歷線は t 軸に對して一定の傾きを有する直線となり、太陽の周圍に公轉する地球の運動のやうに、加速度あるものは螺旋狀の曲線を描くこととなる。かくの如く宇宙の森羅萬象何れも自己の履歴線を有するものであり、吾人が或瞬間に目撃する世界は、此四次元の宇宙を時間の軸に直角な三次元の空間で切つた切口に於ける點の配置に過ぎぬものである。

其六 過去現在及び未來

三次元の空間に於て x, y, z 三元は、之を力學上から見ると全然對等のものであるが、地球上に居住する吾々の立脚地から見ると、水平面上の x, y は對等であるが、上下を表はす z は左様でない。同様に四次元の宇宙に於て、空間の三元 x, y, z と時間の一 t との間には除く可らざる相違がある。吾々は任意に x, y, z を變ぜしむることが出来るが、時間の經

過は、之を促進せしめることも停止せしめることも出来ない。併しながら吾人が地球を離れて考ふる時 x, y, z を同一視し得るやうに、吾人が生死の境界を解脱する時、始めて時間と空間とを同様に考へることが出来る。

今四次元の宇宙に於ける

$$c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2 = s^2$$

を (M, C) の面で切つた切口は

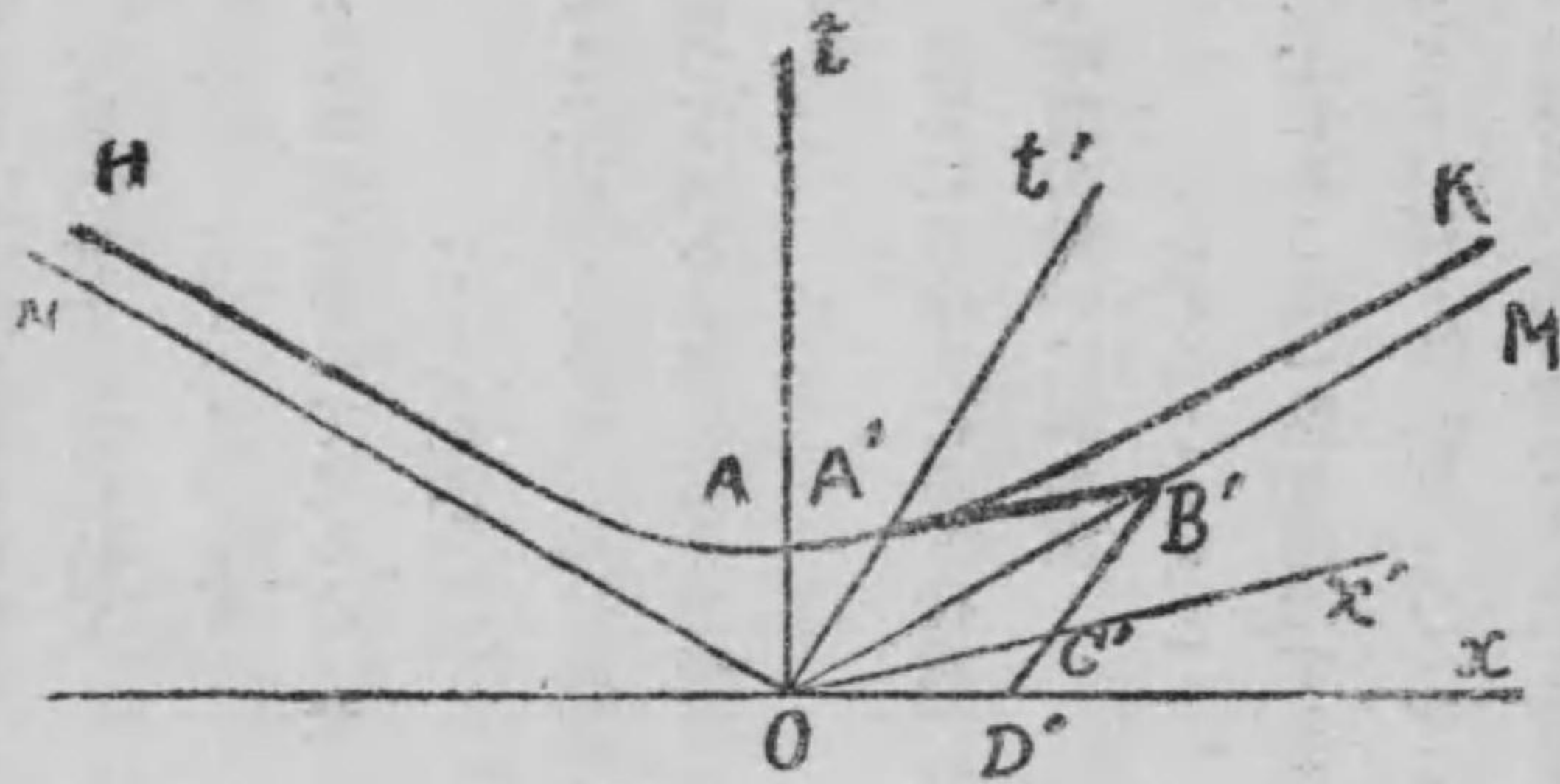
$$s^2 = c^2t^2 - x^2$$

で表はされる。よつて $s^2 = 1$ なる宇宙の一部を考へる。

$$c^2t^2 - x^2 = 1$$

は (M, C) 面上に引かれた双曲線 HAK を表し、 $oM(ct - x = 0)$ 及び $oN(ct + x = 0)$ を漸近線にして居る。

今任意の直線 $A'B'$ を引いて双曲線に A' に交らしめ、切線 $A'B'$ を引き、次に $B'D'$ を A' に平行に引き、更に $A'B'$ に平行に C' を引き、平行四邊形 $oA'B'C'$ を作る。そこで時間 t 及び空間 x の軸を oA', oC' に變換して t', x' で表はすとすれば、 (M, C) 面上に描かれた凡ての履歴線が變形を受けること



第五十圖

勿論であるが、初めに交はつて居た二線は變形後も、同一点で交はつて居り、履歴線相互間の關係は之に依つて何等の變化を受けないのである。即ち宇宙の各部分が或種の歪を受けるだけである。換言すれば M, C 座標系から (M, C) 座標系に轉換しても、事象間の關係を示す形式は一定不變である。自然の法則は之を論ずる座標系の如何に依つて變化する譯がないからである。前にも説いたやうに (M, C) 座標系で一定速度にて運動するものの履歴線は t 軸と一定の角をなす直線である。此直線を ot として、之を時間の軸とする新しい座標系 M, C' を採れば、此系内では、其ものが静止状態にあることになる。加速運動の場合には履歴線は曲線になるが、一点に於ける切線を ot' 線に採ればいい。斯くして凡ての加速運動も、之を適當の座標系を採用す

れば静止の位置に轉換することが出来る。

今四次元の宇宙に於て

$$0^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 0$$

なる錐面を考へて見ると、其、 M 面に於ける切口は前記の $OMON$ である。而して此錐面は、

$$+c = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

なる二枚から成り、一は時間 t の負量に、他は正量に相當する。而して前者は光を原點に送つて來る宇宙の部分で過去圈に屬し、後者は原點から光が送られる部分で、來未圈に屬する。

然るに其中間にある任意の點 P を考へると、 OP 線を x 軸に採るとき、之と一對をなすべし時間の軸 $0t$ は双曲面

$$0^2 - x^2 - y^2 - z^2 = 1$$

の上にある或一點を通過すること明かである。此場合に (M) 座標系に照した P の位置を x とすれば 0 は正量であるから P 點は未來に屬するが、新座標系 (M') に關係せる P の位置 x' は 0 の値が零であるから明かに現在である。従つて $NOM'ON'$ の中間にある宇宙の

部分は、絶對的未來でもなく、絶對的過去でもなく、採用する座標系の如何によつて、過去現在未來の何れとも見得るものであるといふことになる。

其七 相對性原理の證驗

四次元の宇宙に於て、相隣接せる二點間の距離 ds は

$$ds = \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$$

である。よつて

$$dt = \frac{ds}{c} = \frac{1}{c} \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$$

と置けば dt は或種の時間の微分である。従つて之を履歷線上の始點 P_0 から他の任意點 F まで積分したものは其間の全時間である。之を P にあるものの個性時と稱する。

此 P の座標 x, y, z, t を個性時 T に就き微分したものを x', y', z', t' とすれば、其合成即ち運動別量法は、 P 點で履歷線に引いた切線と共通の方向を有するから、其點に於ける時間軸の方向を示し、更に之を個性時につき微分した x', y', z', t' の合成即ち加速度別途量は前者と一對をなす空間の方向を示すことになる。

ゼオデシ
ック線

二次元の平面上ではP點で與へられた曲線に接する圓の半徑を以て其曲線の曲率半徑とするやうに、四次元の宇宙にあつては、P點で履歴線に切する双曲面によつて其曲率半徑rを定めると、加速度別途量は $\frac{v^2}{r}$ なる大いさを有することになる。而して x, y, z, \dots, t 皆零となる場合に限つて前記の双曲面は直線と化し半徑は無限大となるものである。

二次元の平面上に於て二點間の最短距離は直線であるが、球面のやうに曲率を有する面上に於ける二點間の最短距離は直線ではない。換言すれば、歪を受け曲率を有する世界にあつては最短行路は直線ではなく所謂ゼオデシック線である。

吾人の空間に於て、運動する放射體がA點からB點に達する最短なる直線行路を採らないうで、A B二點を通過する拋物線によるのは、吾人の空間が現實に於て歪を受け、或種の曲率を持つて居る爲めであると考へられる。而して此歪或は曲率は、加速度の原因たる力従つて其力の場を生ずる物質の存在に基因する。換言すれば、物質の存在する附近は凡て力の場であるから、空間が一定の曲率を有し、従つて此處を自由に運動するものの最短行路は或種の曲線と化するのである。

光は非常な速度を有するから普通の場合其行路の曲否を認めることは出来ないが、太陽

光線の屈
曲

のやうな絶大の物質が存在する空間では其力の場も亦強大であるから、太陽附近に於ける光の通路は直線たる能はずして微少な曲率を持つことになる。アインシュタインの計算によると太陽の縁に接して通過する光は一・七五秒だけ其進路を曲けられることになる。これは一九一九年五月二十五日ブラジルに於ける皆既日食で實證されたやうに見へるが、なほ一九二二年九月の皆既日食によつて確かめられる必要がある。但し質量MとエネルギーEとの間に

$$E = Mc^2$$

なる關係があるから、太陽の光も質量を有するから、萬有引力の法則によつて其行路が曲がるけれども、其量は $0 \cdot 87$ 秒に過ぎないものである。

ニュートン力學によつて説明し得られなかつたもので、アインシュタイン力學が始めて説明した他の現象がある。水星近日點の移動がそれである。

十七世紀の末葉以來の多くの觀測から算出された水星近日點の移動は百年間に五七四秒である。然るにニュートン力學に従ひ他の諸惑星の影響として理論上算定された値は五三三秒に過ぎない。其間四十二秒の開きがある。然るに一般相對性原理の理論から論ずれ

水星の近
日の點移
動

ば、近日點の移動は更に四十三秒の補正を要することになつて観測とよく一致するのである。

要するに、アインシュタインの力學は最終のものでは無からうが、少くともニュウトンの力學に一步を進めたものであることは疑を容れないのである。

第六章 量子論

其 一 萬物の不連続性

實驗的観測が精密を極むる現今に於ては、物質のみならず、電氣も光もエネルギーも、凡て不連続性を有し、粒子状をなして存在するものとしなければ、實驗的事實を説明し得ざるに至つた。電子説は電氣の不連続性を示し、更に磁氣にも磁子と稱する最小部分がある、光子並びに作用量子等の説は、エネルギーが甲乙兩者間に授受される際には其量に一定の最小限があつて、之れにも亦不連続性を帯ぶることを主張するのである。

實驗上の事實として最も早く不連続性を示したものは化學變化の場合である。化學變化の場合に於ては、化合するものの質量間に一定の割合があるのみでなく、其體積間にも簡單なる關係が成立する。斯くの如き事實を説明するには、是等の物質が原子や分子と稱すべき個々の粒状に分割されて居り、其粒子一個より小なる一部分だけは化學作用に與かり得ざるものであると假定する要がある。

磁子
光子
作用量子

電氣化學
當量

學者が氣體の粘性係數、ブラウン運動、其他全く異なつた種々の方面から推定した分子の數は非常に能く一致し、一瓦分子の數は常に約 61×10^{23} である。斯く全然異なつた立脚地から出發して得た結果が凡て同一であるといふ事は、原子が必ずしも空想的のものではないことを示すものである。放射能の發見は更に物質の不連続性を支持するに止まらず、放射性物質から放射されたアルファ粒子やベータ粒子の軌道を寫眞に撮り、或は是等の粒子が螢光體に衝突して生ずる螢光を勘定して、放射された粒子の數を知るに至つた。

電解に際して通過した電氣量と、之によつて電解した物質の質量とは常に一定の關係がある。例へば一クーロンの電氣が通過する毎に分解される水素の量は 0.0001038 瓦である。之を電氣化學當量と稱する。

電解とは分子が分離して正負の電氣を荷ひ行く現象であるとするれば、一瓦中にある粒子の數は知れて居るから、一個の粒子が運搬する電氣の量を算定することが出来る。即ち

$$1 = 4.774 \times 10^{10} \text{ 個電氣單位}$$

で一定のものである。従つて電氣も亦粒子状態で、其一個は前記で與へられたる負電氣より成り、電解の際には斯かる電氣の粒子を一、二或は三個といふ風に各物質粒子が運搬する

光電効果

ものと認められる。吾人が今まで電子と呼んで居たのは即ち此の負電氣の粒子のことである。

光量子

光に照された金屬面からは電子が逸出する。此現象を光電効果と稱し、逸出する電子の速度は毎秒百乃至十萬軒であり、光の強さには無關係で、其振動數と共に増減する。此事實は光も連續的のものでなく、所謂光量子と稱する粒状をなし、光の強弱に従つて光量子の數に多少の差があるけれども、一個の電子を追ひ出すには一個の光量子で充分なのであるとすれば、追ひ出された電子の速度が光量子の數に無關係なることは當然である。

其二 比熱の變北

熱エネルギーも亦粒子状をなして授受されるものであるといふ考へを要求した最初の事實は、物體の比熱に關する實驗の結果である。

氣體分子運動論から、氣體の定壓比熱と定積比熱の比は三分の五であるべき事になる。然るに實驗の結果によると、水銀蒸氣、アルゴン、ヘリウム等の氣體では、之と一致するが、酸素、窒素、空氣などでは五分の七内外の値である。

一般に言へば一個の原子が一個の分子であると認められるもののみが、理論上から得た三分の五と一致し、水素、酸素のやうに二個の原子が結合して一個の分子をなすものでは五分の七であり、炭酸瓦斯などのやうに三個の原子が化合して一分子を構成する氣體では此比が六分の八である。此關係は二原子以上から成る分子は三種の行進運動の外、回轉運動若くは振動をも爲すもので、熱エネルギーは是等各種の自由度に均分されるものであると考へれば理解することが出来るのである。

實驗の結果によると、單原子から成る氣體の分子熱は

$$12.5 \times 10^7$$

エルグで、三カロリーであるから、單原子から成る分子は、行進運動のみを行ひ、熱エネルギーは是等三個の自由度間に等分されるものとする、各自由度は一カロリーの熱を領有するものと見ることが出来る。左様すると二原子から成る氣體の分子は五個の自由度を持つてゐるから、其分子熱は五カロリーである譯になる。實際に於て例へば水素では常温に於ては五カロリーであるが、攝氏零度で四・七五カロリーとなり、温度の降下と共に次第に減少し、絶對温度五十度になると、僅か三カロリーに過ぎなくなる。斯く温度の降下

に従つて比熱の減少するのは、凡ての物質に共通な性質であつて、絶對温度の一度半まで實驗した結果によると、比熱は終に零となるものと推定される。

斯かる事實を説明するには、各自由度に分配されるエネルギーは連続的のものでなく、之を分割し得る最小限があつて粒子状をなし、其整数個づつ授受するものと認める必要がある。之が所謂エネルギーの量子説である。即ち熱エネルギーは n 個の量子より成り、分には M 個の自由度があるとする、任意の時刻に於て n 個の量子が M 個に分配されて居る譯で、 n が非常に大なる場合ならば、各自由度に n/M づつ等分されるけれども、低温度になると n が小となり、之を M 個の自由度に分配する場合に、必ずしも等分されなくなるので、自由度の数が減少したやうな結果を現はすのである。例へば三個の自由度ある場合にエネルギー量子が僅かに三個のみ與へられたとすると、公算上、平均して恰かも自由度が二個に減少したやうになるのである。

其三 自然現象の非可逆性

或現象の凡ての相が、初めに生起せるものと全く逆の順序に生起し得るときは、此現象

可逆的

非可逆的

は可逆的であると稱する。

運動に對して抵抗のある場合には、進むとき速度を減少するも後退するとき抵抗によつて速度が増加することがないから、抵抗を伴ふ凡ての變化は非可逆的である。更に又熱は其全部を仕事に費すことが不可能であるから、熱の發生を伴ふやうな現象は可逆的であることは出来ない。

有ゆる方面から研究した結果によると、自然現象は凡て非可逆的であり、且つ其可逆的なる能はざる最後の理由は熱の特別な性質(熱力學第二法則)に基くものである。而して自然現象が凡て非可逆的だといふことは、自然現象は進化するのみで退化することが無いといふことである。これを物理學上の術語で言ひ表はすと、自然現象起る毎に宇宙のエントロピーが増加するのみで、決して減少することなく、此エントロピーが最大の値に到達すれば、最早自然現象が全然生起せざることになる。

エントロピーの真相は量子説によつて明らかにされたのである。即ちボルツマンの研究によると、或系のエントロピーといふものは、其系内にあるエネルギー量子を其系を構成する各自由度に分配するに當り、或種の分配方法が偶然實現せらるべき公算の對數に比例す

進化
退化
エントロ
ピー

る量である。従つて自然現象が起る毎に其の系内のエントロピーが増加するといふ事は、つまりエネルギー量子の分配が、自然に其生起の公算大なるものに歸着するといふことである。

斯くの如くして自然現象生起に關する最後の法則は次の如くである。自然現象起る毎に一系内に於けるエネルギー量子の分配は益々公平となるもので其分配が一方に偏するやうな現象は自然に生起することが不可能になる。

其 四 自然界の進化と革命

自然現象の非可逆性が量子説に基き、公算論によつて解決されることは前述の通りである。果して然らば自然の非可逆性、従つて熱力學第二法則も亦、絶對的のものではなく、是れに反する現象も時ありて起り得ることになる。即ち或る一方に偏する現象の生起の公算が如何に微少なりとするも零に非ざる限りは絶對に生起せぬものではなく、稀には實現すべきこと理論上當然である。従つて千萬年に唯一回の割合で生起すべき稀有の現象であるといふことは、必ずしも千萬年の後でなければ生起しないといふ意味ではないから、明

不可思議
現象

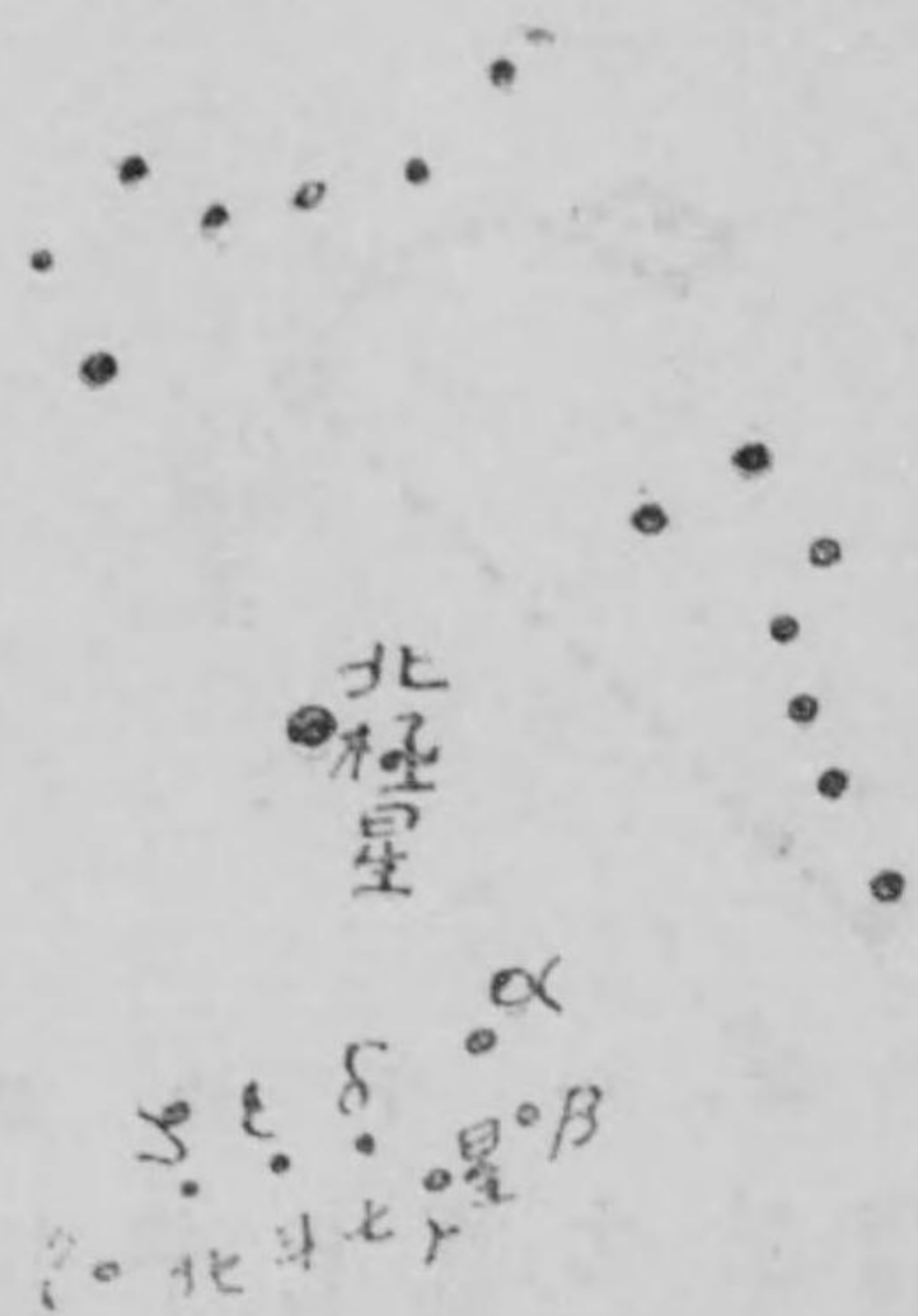
日突然實現されないとはい限らない。かくして不可思議現象が突然實現されることもある。決して不合理であるとは言へないのである。萬一斯かる自然界に於ける大革命が起つたとすれば、其瞬間にエネルギー量子の分配が不公平になり、宇宙のエントロピーは突然減少し、自然界は再び其青年時代に返り、改めて進化の道程に上ることとなる。これ故に吾人の自然界は終に其極に達することなく無窮に永續し得るものと考へることが出来るのである。

六

第五編 天文學

第一章 星座と星の名

北斗七星

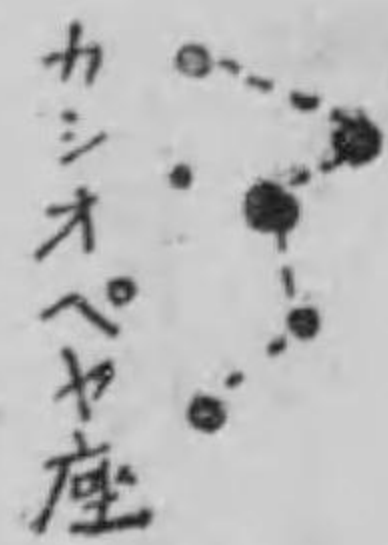


第十圖
第六は先づ星を學ぶ事から初める。其れで星を學ぶには先づ北斗七星を何時でも認めらる

は大熊座と稱する星座の中の著るしい星の集團であつて、一度び之を認め得る様にな

つた後には、決して忘れる事の出来無い星である。其の形は其名の如く斗即ち櫛形を爲した七つの明るき星からなる。

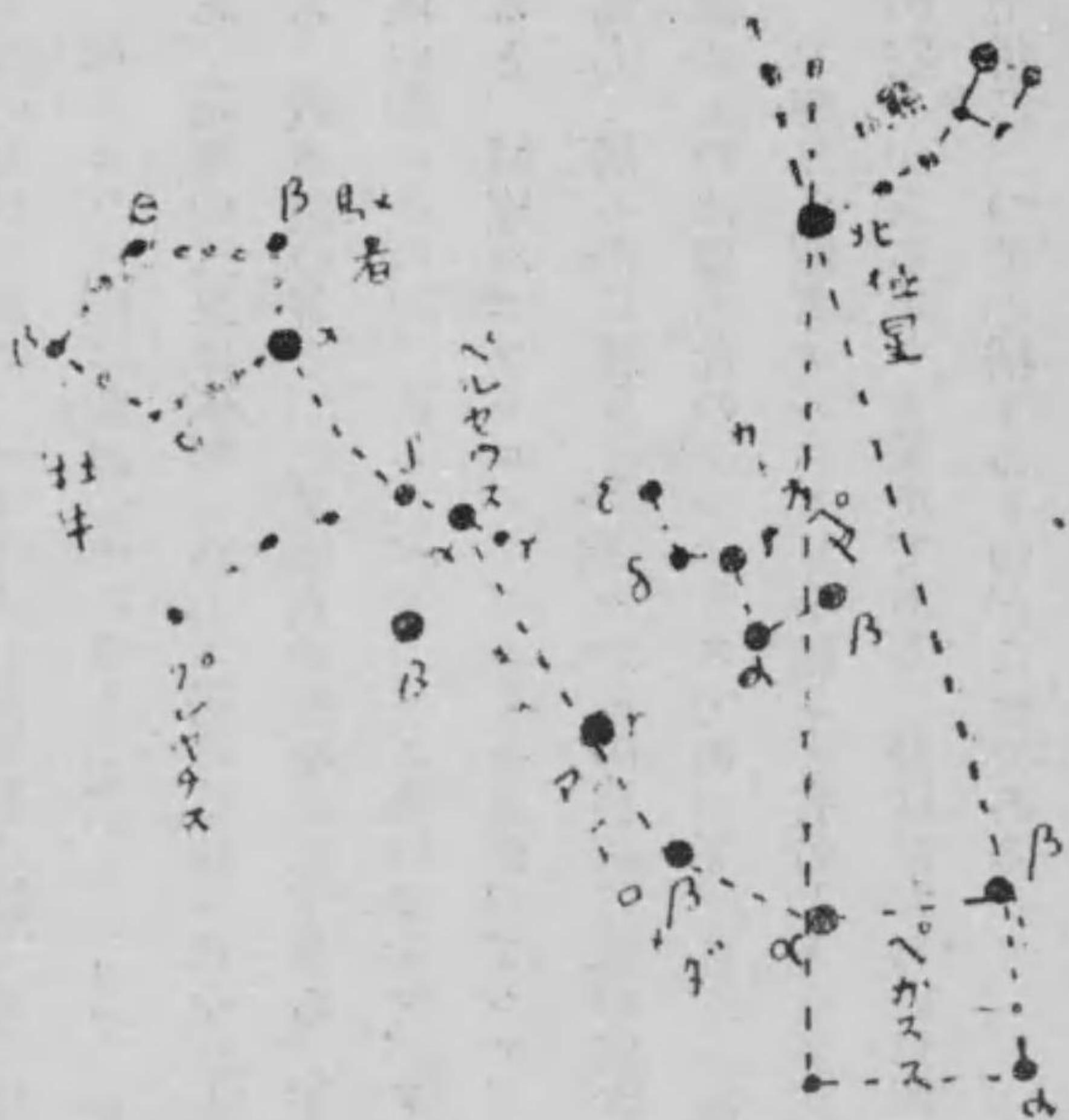
北斗の櫛形の端にある二星アルファ、ベータの二星を延長して五倍の所に北極星が見え



第 十 六 一 圖

る。北極星は地球自轉の軸の方向にあたる天球上の
 一點に極めて近く位するので殆んど動かない。總て
 の星は此の北極星を中心として一晝夜に其の周りを
 一回轉するやうに見へるものである。随つて北極星
 に近き天の部分にある星は、常に地平線上にあつて
 決して没することがない。其の他の星は東北から東
 の地平線にかけて出た星は天頂に近く上り、下つて
 西北から西方地平線にかけて没する。其れ等の星は
 十二時間以上地平線に出て居る。東から東南にか
 けて出る星は、一旦南天に上りて西方から西南の地
 平線にかけて没する。其の地平線上に出て居る時間
 は十二時間より少ない。此の他北極星附近の星と反
 對に南方地平線下に有りて決して認められぬ星もあ
 る。

カシオペア座



第 十 六 二 圖

北極星は北斗七星に似た形を
 した光輝稍弱き七箇の星の一端
 を占めて居る事が認められる。
 是は小熊座である。前記の北斗
 七星は大熊座に屬する。

北極星を挟んで北斗七星に對
 するW形の五箇の星がある。之
 はカシオペア座である。ベガス
 ス座は、俗にベガス、の四角形
 と稱する著るしい星の群を爲な
 す。此の四角形は大熊座アルフ

ア、デルタ星を北極星に結ぶ二つの直線で容易に見出す事が出来る。即ち此の二線を延し、
 カシオペア座を越えて北極星とカシオペア座までの距離程延ばせば四角形を挟む様にな
 る。此の四角形を爲す四つの星のアルファ、ベータ、ガンマの三つはベガス座の星で、

残りの一つはアンドロメダ座アルファ星である。

アンドロメダ座のベータ、ガンマ星はアルファ星を直ちに識別する事が出来る。

アルファ、ベータ、ガンマ星を結ぶ線を延ばせばペルセウス座のアルファ星に突きあたる。

是等の七つの星は、一寸北斗七星の形に似て居て可成大なる形の群である。

ペルセウス座は銀河の中に位し、右のアルファ一星はガンマー、デルター兩星の真中にある。

是等の三星は孤形を爲して居る。此の孤を少し辿つて行けば駈者座アルファ一星に至る。

駈者座の著るしい星は五角形を爲して居る。丁度ペルセウス座はカシオペア座と駈者座の間にある譯である。

ペルセウス座のガンマ、アルファ、ベータを結ぶ線を外側に曲けると、同座のエプシロン、ゼータ星を過ぎ、ブレアデスと云ふ多數の星の群を爲して房形を爲して居る群に達する。

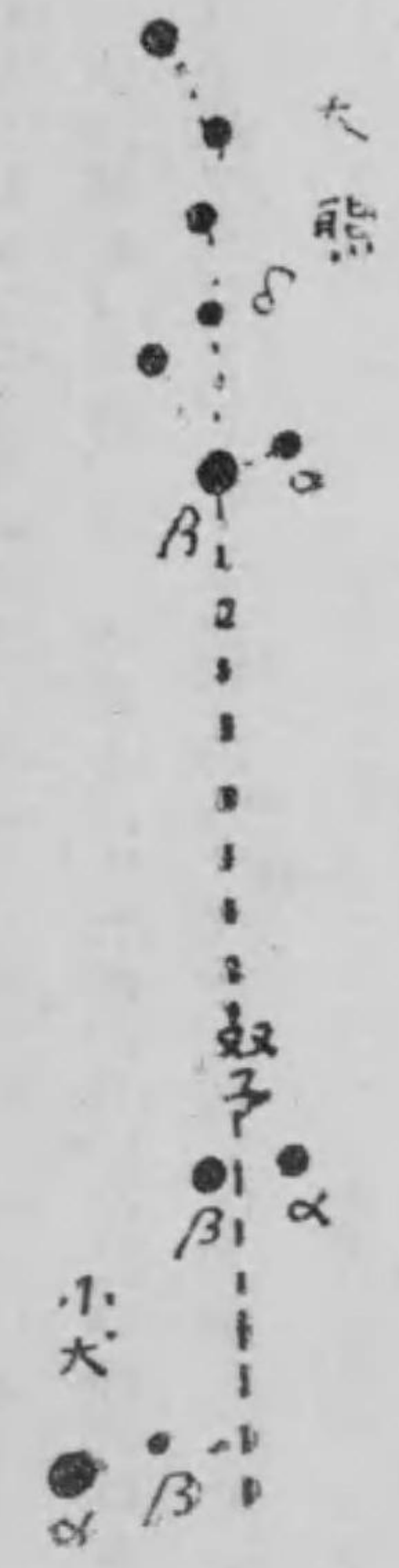
吾々が秋の初めに東の空から上つて來る葡萄狀の星のかたまりを認めるのは即ち此のブレアデスであつて、昔から能く知られた星である。

北極星と駈者アルファ星を結ぶと有名なオリオン座の壯大な結構に達する。是は冬期夜の空をかざる美しき星座である。是はかたむいた四角形内に三箇の星が並立して居るもので俗に三つ星と稱するものがこれである。

三つ星を結ぶ線を下方に延せば非常に強く輝く星を認めるであらう。是はシリウス(大犬座のアルファ星)で、支那の天文學では天狼と稱し、恒星中光輝最も強きものである。

三つ星の線を反對の方向に延すと矢張り著るしく輝く星がある。是はアルデバラ(牡牛座アルファ星)である。其附近には多數の星が集つて居る。是はハイアデスと稱せらる。

第三十六圖



第六十四圖

牡牛座アルファ一星、オリオン座アルファ、ベータ星及び大犬座のアルファ星

の四つは大きな菱形を爲して居る。

大熊座のデルタ、ベータ星を延した線の方向に二つの著るしい星が並んで見える。是は双子座アルファ、ベータ星である。又少し延せば其附近に更に著るしい一等星小犬座アルファ星がある。

大熊座のアルファ、ベータ星を結ぶ直線を北極星と反対の方向に引延せば獅子座に向ふ。是は四つの著るしい星が菱形をなして居る。

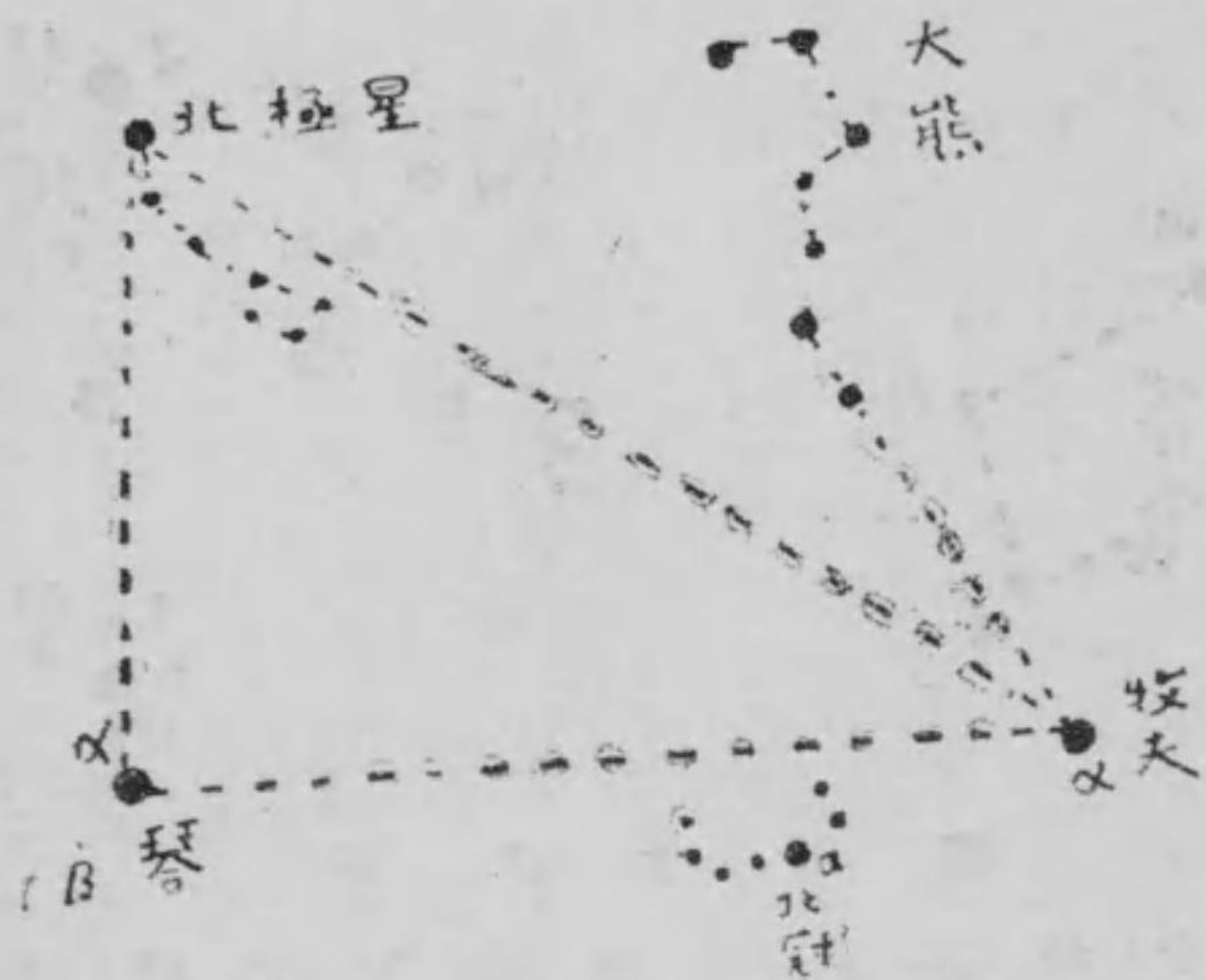
大熊座ゼータ、エータ星を結ぶ直線を延ばすと赤色の牧夫座アルファ星が見える。其の附近に多くの星が半圓形を爲して並んで居るのは北冠座である。



第六十五圖

獅子座アルファ一星、牧夫座アルファ星及び乙女座アルファ星は正三角を爲して居る。

北半球で最も強く輝く琴座アルファ一星は、此の星と牧夫座アルファ星及び北極星と結んで出来る直角三角形の直角にあたる所にある。此の星は銀河の北側にある。對岸には一



第六十六圖

星が二つの星に挟まれて居るのが見える。是は鷲座アルファ一星で、七夕の故事で有名な牽牛星が是である。前の琴座アルファ一星は織女である。

琴座とベガス、座との間にある一等星は白鳥座アルファ一星である。此の星座は五箇の星が十字架の形を爲して居る。

初めて星座を學ぶ場合には金星、火星、木星、土星がある爲に、星圖と首引しても容易に飲み込めないものである。記者の経験ではアルデバラン(牡牛アルファ一星)と、シリウス(天狼)とを取違えて解つた積で居た事がある。亦木星か土星かを乙女座アルファ星と誤認した事もある。しかし熱心に觀



測を忘らなければ星座に通曉する事は左程困難では無い。天文学の初期の興味は間違へ乍ら星座を學ぶ時代にある事は經驗ある人の皆承認する所である。此誤解の他の原因は日日同一時刻に見える星が同じでない事にある。例へば北斗七星は夕方冬では地平線の近くにありて認めにくい、夏には天上に近く倒に見えて居るので、一寸間誤付くのである。それで星座を學びたい人は、日本天文学會發行の星座早見によつてやるのが、最も捷徑であらう。これを用ふると何日何時頃には星座が何ういふ工合に見えるかといふことが一目瞭然たるからである。そして一歩進んでなほ詳しく知りたい人は同會發行の新撰恒星圖を參考されるがよい。

第六十七圖

次に重なる星座の名を挙げよう。

アンドロメダ	Andr. medea
水瓶座(みづがめ)	Aquarius
鷲(わし)	Aquila
アルゴ	Argo Navis
龍骨(りゅうこつ)	Carina
橋(はし)	Malus
鐘(かね)	Puppis
羅針盤(らしんばん)	Pyxis Nautica
帆(ほ)	Vela
牡羊(おひつじ)	Aries
駁者(さきよしや)	Auriga
牧夫(ぼくふ)	Bootes
旗(はた)	Camelopardus
獵犬(かりいぬ)	Canes Venatici

蟹 (か に)	Cancer
大 犬(おほいぬ)	Canis major
小 犬(こいぬ)	Canis minor
山 羊(や ぎ)	Capricornus
カシオペア	Cassiopeia
ケンタウル	Centaurus
ケフェウス	Cepheus
鯨 (くじら)	Cetus
髪 (かみのけ)	Coma Berenices
南 冠(みなみのかんむり)	Corona Australis
北 冠(きたのかんむり)	Corona Borealis
鳥 (からす)	Corvus
白 鳥(はくてう)	Cygnus
海 豚(いゝるか)	Delphinus
龍 (りょう)	Draco

エリダヌス	Eridanus
雙 子(ふたご)	Gemini
ヘルクレス	Hercules
海 蛇(うかへび)	Hydra
蜥 蜴(とかげ)	Lacerta
獅 子(し し)	Leo
兎 (うさぎ)	Lepus
小獅子(こじし)	Leo minor
天 秤(てんびん)	Libra
狼 (おほかみ)	Lupus
山 猫(やまねこ)	Lynx
琴 (こと)	Lyra
一角獸(いっかくじう)	Menoceros
蛇 遣(へびつかひ)	Ophiuchus
オ リオン	Orion

孔雀(くじやく)	Pavo
ペガサス	Pegasus
ペルセウス	Persens
魚(うを)	Pisces
南魚(みなみのうを)	Pisces Australis
飛魚(とびうを)	Pisces Volans
矢(や)	Sagitta
射手座(て)	Sagittarius
蝸(さなぎ)	Scorpio
蛇(へび)	Serpens
牡牛(おうし)	Taurus
三角(さんかく)	Triangulum
大熊(おほくま)	Ursa Major
小熊(こくま)	Ursa Minor
乙女(をとめ)	Virgo

著しい星には一々固有名がある。次にしばしば用ひらる星の固有各を示さう。

バイエル命名	固有名
エリダヌス	Achernar
牡牛	Aleyone
牡牛	Aldebaran
ペルセウス	Algol
鷹	Altair
蝎	Antares
牧夫	Arcurus
オリオン	Belatrix
オリオン	Betlguese
アルボ	Canopus
駁者	Capella
雙子	Castor
獅子	Denelola

南魚	デルタ	Pomphant
鯨	オミクロン	Mira
大熊	ゼータ	Mizar
小熊	アルファ	Polaris
雙子	ベータ	Pollux
小犬	アルファ	Procyon
獅子	アルファ	Regulus
オミガン	ベータ	Rigel
大犬	アルファ	Sirius
乙女	アルファ	Spica
琴	アルファ	Vega

【ルツソオと天文学】 漂浪文人ルツソウは生涯放浪を續けたが、彼は又學問界にも放浪的勉學をやつたもので、數學、文學、法律、音學を初めとして、彼がやつて見られた學問は無いくらいであつた。彼が天文學をやらうと思つて、ひどい近眼にも拘らず、星圖と首引

で星座の觀測を、つた事が懺悔録にも書いてある。石川戲庵氏の譯に依つて其文を抽くと「それからは又時間の精確な測定や諸天體の運動と云ふ様なことに趣味を持つやうになつた。相當な機械さえあつたら星學をやりたいかつたのだが、己むを得ず書物中から得た僅かな智識と、自分の望遠鏡で觀察した少しばかりの粗雑な事實を基礎にして、其れで諸星の雜とした位置ぐらいを知るだけで満足した。私の近眼ではとても肉眼で正しく諸星を觀測しやうと云ふ事は無理であつた。此の話で可笑い實驗を試みたことを憶ひ出す。星座を研究する積りで、平面天體圖を買つて来て、それを枠へ貼り着けた。空の澄み渡つた夜毎に庭へ出て、此枠を自分の背と同じ高さの四本の杭の上に載せて天體圖はひつくり返して置いた。其れから風で火の消えぬやうに四本の杭の真中へ木製の手桶を入れて、其の中へ蠟燭を立て、置いた。替りばんこに眼では圖面を視、望遠鏡では天を眺めて、星を知り、星座を見分ける練習をした。庭は高臺にあつたから、その上でして居る事は皆下の街道からよく見えた。或る晩夜更けて百姓等が、其下道を通りかゝると、私は異様な仕度をして、いつもの様に觀測をしている。百姓達は天體圖に映つて居る火の光を眺めたが、蠟燭が桶の中に隠れてゐるから、火の出所が解らないので變だと思つていと、四本の杭がある。

異體の知れぬ符徴を描きつけた大きな圖面もある。望遠鏡が彼方此方を動き廻る。そんなことが、まるで妖術を使つて居る様にしか見えないので、みんな吃驚してしまつた。

私の風體が、また彼等の驚きを鎮めることの出来ぬ様なものであつた。頭には寝帽を冠つたその上へ、もう一つ兩耳の垂れた帽をのせ、彼女が仕立て、くれた短衣を羽被つていたので、彼等の眼には紛れも無い一個の魔法使ひと見えた。時刻は丁度眞夜中だから今から此處でサツバア(一年に一回、サタンが多くの妖鬼や魔法使を呼び集めて催す噪宴)が始まるのであらう。然う彼等は信じたらしい。此の有様を詳しく見届ける氣も起らなかつたが、そのまゝ、魂も銷える様に逃げ散つてその有様を告げ知らせる爲に近所中を喚いて廻つた。すると風説は忽ち其處等一面に擴がつて、翌朝になると誰も彼もノアレエさんの裏庭で昨晚サツバアが開かれたさうなと言はぬ者はなかつた。此風説の結果が、どんな事になつたか知らぬが、其の晩に、彼の妖術を實見した百姓の一人が二人のエスイタ僧の所へ此顛末を申し出た事だけは解つた。此の僧達は良く家へ出這入りをした人達であつたが譯が解らないから、兎も角も安心する様にと慰めて歸した。二人は私達に其事を話した。私は斯ふ云ふ次第でと譯を言ふて聞かせたら大笑ひになつた。けれ共無暗に人を嚇かすのも能であ

るまいと思つて、其れから後は夜分の觀測には燭火を用ひないで、天體圖は家へ歸つて見ることにした。」

實際星の研究は夏の快晴の晩などは實に面白いものである。カーライルと云ふ英國の有名な文學者が『なぜ自分に小さい時に星のことを教えて呉れなかつたか』と歎息したと云ふ話がある。小さい望遠鏡でも有れば、これに越した事はない。が、普通の双眼鏡でもよろしい。又單に肉眼で見居るのでも、星座を習つて覺えて置くのは、實に興味の深いものである。

星座の美觀を巧みに記述したものに佐藤春夫氏の「李太白」と題する李白昇天の物語の中に書いてあるものがある。これは陝西省華山に住む道士丹邱子が天文を觀察中李太白の星が出現すると云ふ話がある處であるが、頗る興味あるものであるから、次に重なる部分を記さう。

丹邱子はいつものとほり、立つて靜かに天界を眺めました。名月はすでに隠れて星の降るやうな天です。山中にはもとより曆日はないけれども、天には自づと季節が現はれ出て居ます。此の方には何時も座を變へることの無い天皇大帝を初めとして、其のそばには天帝太

子が西北につき、北斗七星のうち六星は曠漠たる大地の果に隠れて見えませんけれども唯だ天樞だけは僅かに地平から覗き出て眞北の果に煌めいて見えます。天と地との間に漲つて居る清涼の天香によつて知れる上にも、北斗が此のとほり、亥の方向を建して居ることとに依つても、それは十月であることが解るのです。西嶽華山の連峰の上に押しつぶされた天には夜も未だ更けないこと、て、玄武七宿の全部と白虎七宿の大部分斗、牛、女、虚危、室、壁、奎、婁、胃、昂、畢が天皇帝を中心にして西から東へ連峰の弓なりに沿ふた半圓孤を壯麗に大空一ぱいに描き出して居ます。乳を流し溢れさせたやうな銀河は、斗宿から畢宿を殆んど眞直に諸宿の描き出した大圓孤の兩端を貫いて丁度弦のやうな形に流れ、連華峰と朝陽峰との間を一息に橋渡して居ます。黒雲母のやうな暗の圓天井には諸の星が寶玉よりももう峰層に美しく、もう一層に綺羅びやかに惜しげもなく豊饒に鑲められて居ます。朝陽峰の肩の上に輝く紅玉は畢病第五星天高です。その稍下に銀河の流れの中に輝く黄玉は第五車二星天庫です。それ等の間に挟まつて居る連珠は昂七星です。南の落雁峰の眞上に唯一つ目立つて輝く紅玉は北落師門です。王良は殆んど天頂にかかり、策と天津第五星とは各々その東西に見えます。天津第五星の白い光がわけても目立ちます。丹

邱子は尚ほ空を眺めつゞけて居るのです。蓮華峰の梢々高いところには、憂鬱な碧玉のやうな、また閨怨の涙で濡れた眸の光のやうな織女星が勞役に疲れきつた黄色な悲しい戀人の牽牛星と、互に渡る術もない銀河を相距つて歎いて居ます。これらの星を見たと同じ瞬間に、丹邱子はこの二つの丁度眞中に當つて、ふと、一つの全く目新らしい客星を発見したのです。それは今のさつき一瞥した時には無かつた星でした。それは織女星よりももっと青く、併し明るい爽快な、水に濡れて居るやうな、思ふまゝ、琢磨した青玉のやうな星でした。それは初めは微かな光であつたけれども、直ぐ一時にはけしく燦爛と煌めき出しました。こんな間にも天は小休みなく運行をつゞけて、斗牛女虚危、室壁の諸宿は何時の間にもやら順々に廻つて、一つ、一つ、西の方に隠れて仕舞うて、丹邱子が再び空を見まはした時には、西の蓮華峰の頂には奎宿が覆ひかぶさり、婁宿が其の南側に隣りして、胃、昂、畢、觜、井、鬼、柳、星、翼、軫が先刻の諸宿に代つて同じ大半圓孤を描き出して居ました。銀河もこれと共に何時の間にもやらぐつと廻轉して、全く方向が變つてしまひました。東西に交つて居ましたものが北の地平の果から落雁峰を少し東に避けて流れて居ます。北落師門は赤い光を何處かへひそめて、その代りには天狼が青白い金剛石の様な耀やかな光輝を

その峰の尾に煌めかせて居ます。其の東南の稍々高いところには南河第三星が西に銀河を距て、參宿の諸星と回ひあつて見えます。五車第二星天庫は昂七星と共に天頂の中心に近く耀いて居ます。遠い北の地平線に近い天皇大帝の東側には北斗七星が悉く現はれて帝座の東を守護するかのように並んで居ます。丹邱子が長い闇道を下り盡した時には既に東の方はほんのりと白んで居るのでした。

第二章 太陽と月

其 一 太陽

太陽は惑星系の中心にあつて、惑星系の成立を保持するものであり、其放つところの光と熱とは地球上にある吾々人類ならびに諸々の生物の生活を維持する源である。

太陽はまた多くの恒星の一つと見ることが出来る。恒星は非常の遠距離にある太陽であつて、其距離の甚大なるが爲に最大の望遠鏡を以てしても一點としか見へないのである。太陽が現在よりも百萬倍の遠距離にあるとすれば、三、四等の星にしか見へず、何等特別の注意を惹くところがないであらう。されば太陽は謂はゞ恒星の代表者として吾人の近傍にある譯で、従つて吾々はその研究によつて恒星の性状を知り、或る場合には逆に恒星に通ずる一般の性状からして、太陽に關する事實を闡明することも出来るのである。

【距離大さ等】地球から太陽までの距離は九千三百萬哩ある。其直径は八十七萬哩あり、地球の直径の百九倍にあたる。従つて其容積は地球の百三十萬倍となる。又其質量は三十

三万倍、平均比重は地球の四分の一で、水に比べて一・四倍である。其温度は表面で約六千度であるが、其内部は幾百萬度に達して居ることと推察される。

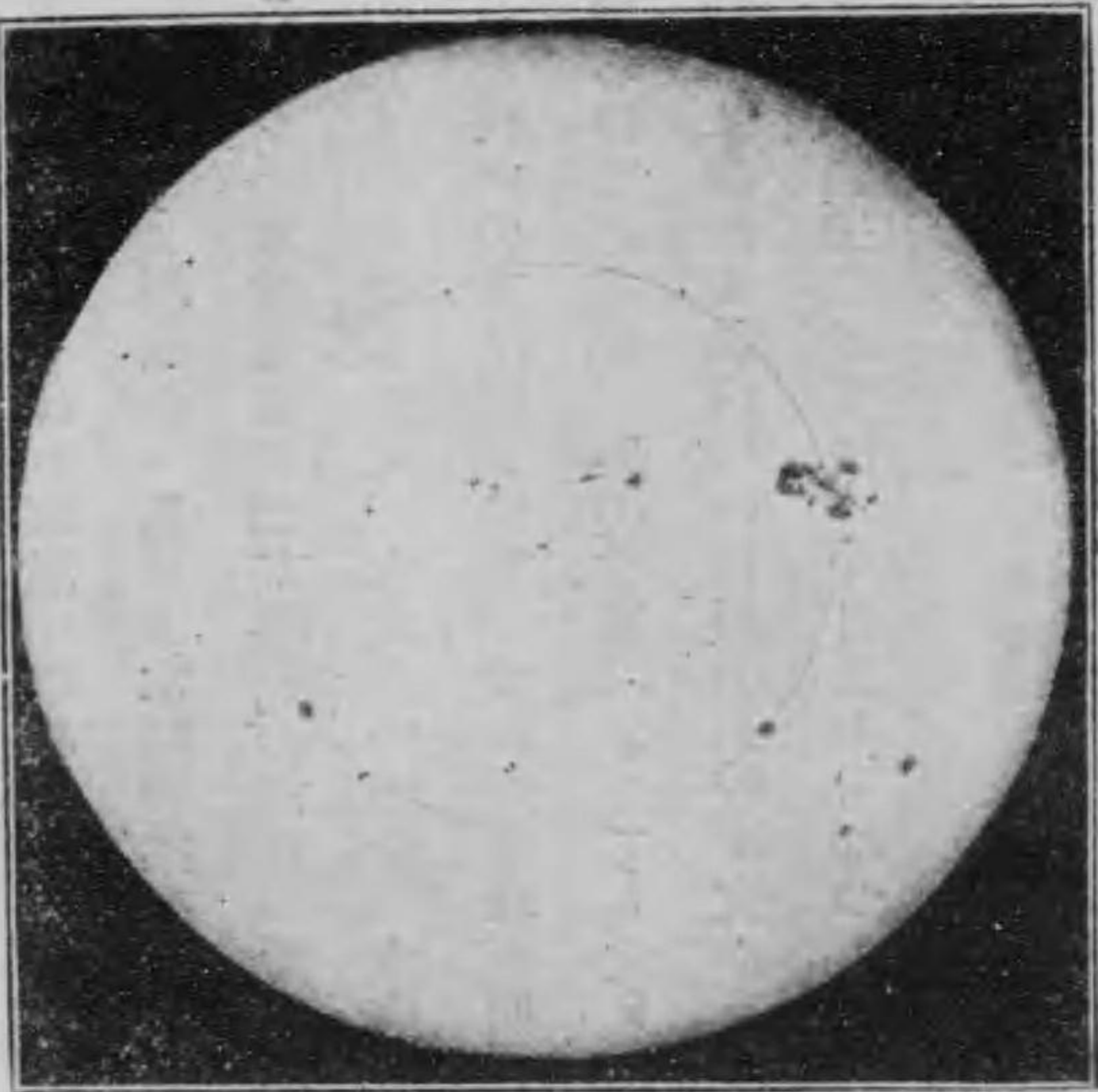
太陽は断へず其光熱を空間に輻射して居て、其中の極く微少な部分だけ地球や諸惑星に遮られる。他の大部分は遠く宇宙の際に向つて去り、行くところを知らずといふ有様である。此熱の量を測るには太陽光線に垂直なる一定の面積上に毎分落ちる熱の量を以て知ることが出来る。此測定を行ふ器械をピルヘリオメーターと稱する。これによつて太陽の輻射の強さを測る場合には、種々の高さに於て行つた観測によつて、大氣の吸収度を推定して必要なる補正を施すのである。所謂太陽常数と稱するのは、大氣が無いものとした場合に、太陽光線に垂直な一平方糎の面上に毎分受くる熱の量を指したものである。此値は約二カロリ（詳しくは一・九五カロリ）である。一カロリとは攝氏十五度の水一瓦を一度高めるに要する熱の量をさすものである。

此エネルギーは一平方米毎に分毎一・四キロワット、或は毎平方碼一・六馬力の仕事にあたる。

太陽の表面は地球に至る距離を半径とする球の表面の四萬六千分の一に過ぎないから、

ピルヘリオメーター

太陽常数



第六十八圖 (太陽黒點の月軌道比較)

太陽の表面では毎分毎平方糎九万カロリ一割の割合で輻射して居る譯になる。是を動力に換算すると、太陽表面の一平方米毎に約九万馬力の動力が間断なく消費され發散されて居る譯である。此熱量の如何に大であるかといふことは、もし太陽全面を四十呎の氷層で蔽ふても一分間で融かしてしまうといふのでも解かる。尙ほ此熱は三千万立方哩の氷を一秒時間に融かしてしまうものである。

地球に達する二カロリの輻射熱の一部分は大氣を通過する間に吸収されてしまふ。大氣は眼には透明であるが其の中には多量の水蒸氣が含まれてゐて、それが熱を吸収するのである。例へばワシントンでは晴れた日太陽の高度四十五度以上の時には毎分毎平方糎上に一・一五乃至一・四五カロリの熱を受けるし、一哩以上の高所にあるウィルソン山では

大氣の吸収

一・四五乃至一・六一カロリー、三哩の高さあるホイッニー山では一・七五カロリーの熱を受ける。太陽の全輻射熱のうち地球の受ける部分は僅かにその二十二億分の一に過ぎない。

【熱の存続】 前記のやうな莫大量の熱の消費を何うして太陽が続けて行くことが出来るのであらうか。これは決して燃焼によるものではない。太陽が全部石炭から成るとしても其燃焼によつては到底數千年を保つことは出来ないのである。

しかも太陽がかゝる莫大な輻射熱を繼續し來つた過去の壽命は驚くべく悠久なものである。かの水成岩などは太陽熱のために水の循環を生じてから後に、漸次に堆積して生成されたものであるから、水成岩の總量、水成岩の層の厚さ、或は海洋中の鹽分の分量などからと種々の方法によつて、太陽が地球を照らして以來の年代の最小限を推定することが出来るのであるが、何の計算によつても大凡十億年程度の値が得られるのである。さうして此事は我が太陽以外の恒星の比較研究からも大體確かめられることであるのみならず、我太陽は過去に於ては、今日よりも却つて多量の熱を發散しつつあつたものと見なければならぬのである。

斯の如き多量の熱の根源は何物であらうか。我が太陽及びそれに類似せる無数の星の發

收縮説

散する熱は如何にして供給せられて居るのであらうか。これは實に重大なる問題であり、しかも未だ解決されて居ない、従つて最も興味ある問題である。

近年に至るまでは、此多量の熱を説明し得べきものとして太陽の收縮説が唱へられて居た。今もし太陽の直徑が一年間に二七〇呎の割合で縮少するものとする、此輻射熱を供給するに充分な熱量が發生するのである。かかる僅かな收縮は數千年も經過しなければ認め得るものではない。併し此原因からは、太陽が開闢の始めに廣大な空間に擴がつて居つた時から現在の大きいさに縮小するまでの間に發生した熱量は漸く數千万年分を説明し得るに過ぎないので、従つて我が太陽の過去の壽命は斷然數千万年以内でなければならぬと結論されて居たものであるが、前記の如く近年の研究によると、太陽の過去の壽命は確かに幾億年以上であることは動かし難いので、今日に於ては收縮説は、それだけでは太陽の熱源を説明するには不充分であると見做されるに至つたのである。

近年に至つてラヂウムやウラニウムの如く原子崩解によつて原子内部のエネルギーを非常に多量に發散するものが知られて來たが、この原子崩解の現象は全く自發的のもので、溫度や壓力や其他周囲の狀況によつて毫も左右することの出来ないものである。

太陽内部のやうに幾百万度乃至幾千度萬といふ高温度に於ては、地上に於ては不活潑な大多数の原子までがラヂウムやウラニウムのやうに崩解して多量の熱を發生するものと見るべきであらう。この詳細な事は尙今後の研究に俟つより外はない。

要するに、太陽熱の第一原因は收縮である。其始め散漫なる状態にあつたものが相互引力によつて次第に密集すると共に多量の熱を發生して、四方に光と熱とを發散すると同時に太陽自體も非常の高温度に上り、これがために其内部に原子の崩解を來すので、これが第二の原因となつて、單に收縮によるものに幾十倍する多量の熱を發生するに至つたものと考へられるのである。

【太陽の恵み】 吾々の日々の生活は悉く太陽の賜であつて、今もし忽然太陽が消滅したと想像すると、諸惑星は太陽の引力が消滅したがために切線方向に飛び去つてしまひ、行衛定めぬ孤獨の旅路を辿らねばならなくなる。そして我地球は眞の闇路に投し、僅かに認められるものは恒星のかすかな光のみとなるであらう。勿論月や諸惑星は太陽の反射光によつて輝やいて居るのであるから、太陽の消滅と同時に消滅して全く認められなくなる。地球は最早外部から何等の熱を與へられず、しかも輻射によつて急速に其熱を失ふから、

太陽の消滅

大氣中の濕氣は悉く雪となつて沈降し、大洋の水は直きに凍結してしまつてであらう。そして植物などは二、三日に死滅して仕舞ひ、次いで動物も斃れるであらう。人類は貯藏した食物や人工的の熱があるために外の生物が悉く死滅した後までも暫くは生きて居ることが出来るが、それも一と月とは續かないであらう。かくして太陽が消滅してから一月を経過しないうちに地上のあらゆる生物は全然其跡を絶つに至るであらう。

吾々が氣付いて居ない太陽の恵といふものが如何に廣大なものであるかといふことは、この推測によつて明かに認められるのである。

しからば、此太陽の輻射エネルギーは何ういふ工合に利用されて居るかといふと、それは動物や植物によつて位置のエネルギーとして貯へられるのである。植物の葉緑素は根から吸ひ上げた地中の礦物質を食物となすために、是非日光の作用を要するのである。植物性食物は謂はゞ動物の同化しやすき形に貯へられた太陽エネルギーであるといふべきであつて、動物はまた人間の食物として適當な形に貯へられた太陽エネルギーの一形態であると見ることも出来るのである。

石炭紀の植物

過去幾千萬年太陽エネルギーは石炭紀の繁茂せる植物中に貯へられてあつた。今日吾々

は此エネルギーを石炭、コークスなどとして利用して居る。石油や天然瓦斯なども同様である。

今日吾々が其利用の途を日々に擴張しつつある他の形のエネルギーがある。大洋の水は太陽熱のために蒸發して、水蒸氣となり、高所に上つて凝結し、雨又は雪となつて降る。即ち太陽は大洋から水を汲み上げて山の上に落とす譯で、吾々はこれから光、熱及び電気エネルギーの發生に必要な莫大なる動力を得られるのである。

蒸氣機關の出現前には海上に於けるすべての貿易は風力の與ふるエネルギーに頼つて行はれた。今日でも種々の水車を動かすために風力が盛んに利用されて居る。

太陽エネルギーは、今日に於ても過去に於けるが如く將來の人類のために貯藏されつつあるのである。それは森林を見れば分かる。地球が太陽から受くるエネルギーの千分の一位を貯藏エネルギーと化することが出来れば人類の將來の需要に應ずるに充分であると認められて居るのであるが、現在の趨勢を以てすれば、地下に埋藏されて居る石炭の總量は今後僅かに百數十年にして消費され盡すことになる。近年水力は旺んに開發されて來たけれども、其總量は到底百年後の増大せる需要に應ずるには足らないので、百年後の文明は

太陽熱の 利用

是非共太陽熱の直接利用によつて支持すべき必要があるのである。それで今後百年の間に太陽の光熱を今日に幾百倍する程度までに利用する方法を案出して、それを實行するのでなければ今日の文明は破滅の運命に近づくものといはなければならぬ。幸ひに今日のやうな活潑なる科學的研究の趨勢よりすれば、太陽熱利用問題の解決は確かに期待し得べきものであらう。

光球

米粒

【太陽の表面】 吾々の認める太陽はその輝ける表面であつて、之を光球（フォトスフェア）と稱へる。其視直徑は約半度ある。大望遠鏡を以て星像の安定良好なる時に太陽面を眺めると、表面全體が一面に米粒のやうなもので蔽はれて居るのを認めることが出来る。此米粒の直徑は約四百哩程度のもので、間斷なく其形を變化するから、十分位を隔てて撮つた寫真で同一米粒を一致させることは餘程困難である。その何物なるやは未だ確定されて居ないが、多分太陽内から表面に上つて來た白熱した物質柱の頭だらうと考へられる。極く短時間をおいて撮つた寫真では同一米粒を摘出することが出来るが、それによると米粒は毎秒五哩乃至二〇哩の速度を以て不規則に運動することが知られる。これは實際の運動を表はすものではなく、米粒は謂はゞ荒海の波の頂のやうなもので、白點は動くけれども

反彩層

その白點を組成する物質は断えず變つて居るのであらうと考へられて居る。
【反彩層】 太陽の輝ける表面上には反彩層といふ薄い瓦斯の層がある。此物はそれ自身が發する光以外の光に對しては透明である。

分光器

今電弧或は眞空管内に灼熱瓦斯を生ぜしめて、之を分光器で驗べると細條の一群の輝ける像がスペクトルに於ける輝泉となつて現はれる。そこで強烈な白光（これはスペクトルのすべての色を含む）を此瓦斯を透して眺めると、今までの輝線は明るい背景上に暗線と化して認められる。即ち瓦斯はそれ自身が發する光を遮るのである。これと同理で、太陽表面（光球）上の反彩層といふ瓦斯層は本來輝線スペクトルを與へるものであるが、太陽スペクトルに於ては暗線となつて現はれるのである。其下方にある光球は連續スペクトルを發する。それで此暗線の位置を實驗室内で色々の物質を蒸發せしめて造つた人工的輝線スペクトルと比較して、太陽中に存する物質の如何を知ることが出来るのである。

【組成物質】 此種の研究によつて太陽中には地球上に存在する多くの元素が存在するところが確かめられたのである。その名稱は水素、珪素、炭素、酸素、ヘリウム、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、ストロンチウム、バリウム、アルミニウム、クロ

色球

ム、鐵、ニッケル、コバルト、マンガン、鉛、亜鉛、錫、銅、銀、バラチウム、チタニウム、ヴァナヂン、スカンジウム、イトリウム、ジルコニウム、ランタン、セリウム、エルビウム、イテルビウム、ユーロビウム、ネオヂム、ガリウム、ロヂウム、ルテニウム、ルビダウム、カドミウム、白金、窒素、硫黃、タンゲステンなどであつて、金は認められず、磷、弗素、臭素、鹽素、沃素なども認められないのである。

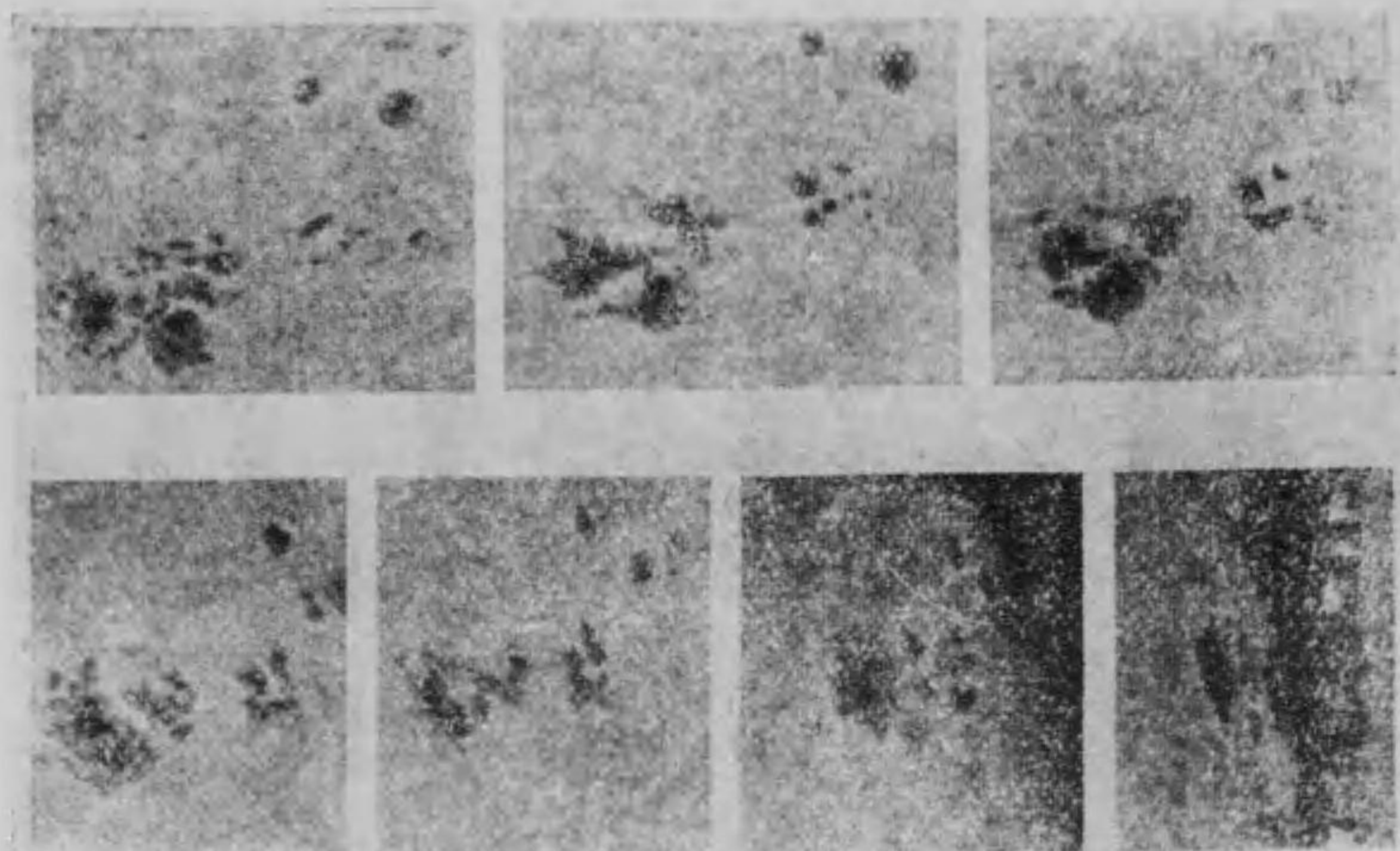
【色球】 反彩層の上には色球がある。これは水素、ヘリウム、カルシウム、マグネシウムなどの軽い互斯の層である。皆既日食の時、月面が光球を全く蔽ふ否や淡紅色の環として瞬間認められるのでかく名付けられたのである。此色は主として水素のスペクトルに於ける赤線に由來するのであつて、またかの普通の紅焰の起原も此の層に由來するものと信ぜられて居る。

太陽の縁に近い部分の光輝は、中心よりも光輝が弱いのである。これは太陽を取かこんで居る灼熱せる瓦斯層の吸收作用によるものであつて、縁の方から來る光は其氣層中を長く通過するので、光を吸收される程度がはけしいために光輝が衰へるのである。此事實は太陽の寫眞を撮ると一屬明瞭に認めることが出来る。

太陽の光輝の分布

白紋

太陽黒點



第十六圖 黒點の變化

【白紋】 それから太陽の西又は東の縁に近く輝やいた斑らな部分が認められることがある。この物は白紋と稱するもので、これは太陽面の中心近くでは認めることが出来ない。其光輝が表面の光輝より僅か許りしか強くないからである。併し多少高層に位して居り、前記の太陽の縁を暗くする氣層以上に少くとも一部分突出して居るので、縁の方では比較的大なる光輝を放つて見へるのである。

【太陽黒點】 此白紋の認められるあたりには大抵同時に太陽黒點が認められるものである。黒點は太陽面上に於ける攪亂された部分を示すものであつて、其大いさは小さいのは直徑數百哩から大きいものになると直

黒點の眞相

徑三、四萬哩もあるのがある。そうして黒點は大抵居するものであつて、其廣茫長さ十萬哩以上幅五萬哩もあることが決して珍らしくない。

黒點には色々の種類がある。時としては圓形の孤立した黒點が其形を變へずして數ヶ月も現はれて居ることがあり、甚だしきは十八個月も其儘繼續したものがあつた。太陽は二十五日六時間許りで一自轉を行ふのであるが其間に地球も其軌道上に動くので、地球から見ると太陽面上同一子午線が再び同一位置に見へるには二十七日六時間許りを要する。太陽黒點は此自轉に伴れて太陽面上を東から西に經過するので、實際の形が變らなくても、見掛けの形は毎日少しづつ變つて行く。前記のやうな變化のない黒點はむしろ例外であつて、大抵は少しづつ形が變り、其太陽面上に存在する壽命も長くて二、三ヶ月が普通である。

【黒點の眞相】 に就いては多年の精緻なる研究にも拘らず、今日未だ知られざる點が甚だ多いのである。然し黒點が太陽の内部に由來するものである事は疑ひなく、即ち温度や壓力が表面に較べて非常に高いので、劇しい對流を生じ、表面に上つて來たものは恰かも地球上の颶風のやうな猛烈な渦動、起すのであらうと考へられる。そして此渦動に於ける瓦斯が膨脹の爲に冷へると、光球と對照して比較的暗き雲塊として認められるのであらう。

【黒點のスペクトル】 は光球のスペクトルとは大なる差異がある。即ち黒點のスペクトルでは多くの線が濃くなり、且つ幅ひろくなつて居り、多數の細かい線がスペクトルの所々に現はれる。例へば緑の部分に現はれる多數の細線群はマグネシウム、ハイドライド（マグネシウムと水素との化合物）に因るものであり、深紅部に於ける帯線群は酸化チタンによるものである。是等の化合物は黒點内の低温度によつて生ずるものであつて、光球面では温度が餘り高すぎるので、是等の化合物が存在し得られないのである。

大黒點を強力な分光器で調べると、或種のスペクトル線が黒點の上では二重或は三重になつて居るのを認めることが出来る。これは所謂ゼーマン効果と稱するものであつて、今強力な磁石の兩極間に火花を發せしめ、之を分光器で驗べると、此磁場のために或種の線が三本或は夫れ以上に分裂することを認める。そして夫等の線をなす光は偏よれる光であることが知られる。黒點に於ける線は此種のものに外ならないのである。

さすれば黒點に於けるスペクトル線も一つの磁場の作用を受けて居る譯であつて、従つて太陽黒點は一の磁石であると推論されねばならない。そしてこれは太陽黒點上の蒸氣に認められる渦動に於ける帶電質點即ち電子（太陽のやうな高熱の物體には常に存在する）の

渦動によつて生ずるものと考へられるのである。

太陽黒點附近に大爆發が起ると、莫大量の電子が放出される。夫等の電子が地球大氣の上層に達する場合には（達せぬことも多い）其處の空氣をイオン化して電流が流れるので、地球上の電線に感應電流を惹起して、その勢ひの甚だしいときには、通信上に非常の障礙を及ぼすのである。此場合には磁石も甚だしき變化（磁嵐）を受ける。また極光は是等の電子によつて上層大氣中に起る現象であると考へられる。その最近の例は一九二一年五月十三日太陽面の中心附近にあつて二個の大黒點によつて生じた影響であつて、此時は非常に光輝の強い極光が現はれ、各國の電信は甚だしき障害を蒙つたのである。

【黒點の週期性】 太陽黒點は昔から知られて居たが、其數に週期性のあることは十九世紀の央ば頃シュワーベの初めて唱へたところであつて、シュワーベは週期が約十一年であることを見出したのである。併しながら個々の活動期に就いていふと長きは十三、四年から短かきは七、八年のものがあつて、極めて複雑なる變化をして居るのである。さうしてかの極光や磁石の變化もほぼ黒點と同様に變化するのである。従つて是等の三つのものは皆太陽に於ける何等かの、現在に於ては窺知すべからざる或一つの原因によつて生ずる

ものと見做される。

黒點の新活動期が始まると、黒點は先づ太陽の南北高緯度(三十五度乃至四十度)に其姿を現はす。そして時が経つに従つて段々低緯度の方へ現はれる様になり、活動の終期には赤道に近く或は赤道上に現はれる。黒點活動の最盛時には赤道の南北緯度約二十度の邊に現はれるのである。最近の極大は一九一七年八月頃に起つたが、次の極少は一九二三年末或は一九二四年の初め頃であらうと豫想されて居る。

兎に角、黒點の出現は太陽の研究には勿氣の幸である。吾々はこれを手掛りとして何時かは太陽の本質を闡明し得るであらう。今近年に至るまでの観測によつて得たる事實の中特に著しいものを重複を厭はず、次に列挙する。

- 一、黒點は太陽の表面に於ける渦動である。
- 二、黒點出現の多少は約十一年の週期を以て循環する。
- 三、黒點 多い時には太陽全面から發する光も熱も共に強い。
- 四、黒點の出現する部面は赤道の南北五度から三十度位の間である。出現の多い時(極大)は南北十五度邊に多く、減少と共に次第に低緯度に現はれるやうになる。

極大極小期

研究問題

五、太陽の回轉は全體一樣でない。赤道の邊に約二十五日で一回轉するが、緯度が高くなると共に次第に遅くなり、四十五度邊では約二十九日位の割となる。

是等の事實に對する説明は、今日まで未だ満足なるものが一つもないのである。一體黒點は如何なる原因によつて發生するものか、何故に十一年の週期を有するか、出現部面の移動や太陽面の回轉の特異なる現象は何を意味するか、是等の根本問題に對して學者の見解は全然定まつて居ないのである。

【紅焰】^{プロミネンス} 紅焰は皆既日食の際、太陽の縁に認められる紅蓮の焰の舌である。これは色球と同じ成分のものであつて、普通その高さは四、五萬哩であるが、稀には三十萬哩も高際に飛出すものがある。紅焰には靜穩性と爆發性のとの二種があつて、靜穩性のは其名の通り極く緩漫に變化し、やがて次第に消失するものであるが、爆發性のは上昇し初めると見る間に、太陽からの非常な斥力に撥かれたやうに噴出して、三四十萬哩も高際に飛び上がるのである。尙是等の外にも太陽の縁に橋を架けたやうに孤光をなして横たはるものもある。これは活潑な變化をなす黒點の附近に現はれるものであつて、爆發に關係あるものであること疑を容れない。して前記のやうに高層に飛び出した紅焰は、皆そのまま消失し

紅焰の種類

てしまうのである。

太陽の縁にある紅焰は、望遠鏡に分光器を装置して、之を觀測することが出来る。これは水素の輝線、殊にその赤線の光輝が、太陽の縁の背景の空の連續スペクトルのよりもつと強いので、分光器の細隙を充分廣くして、一時に紅焰の大部分を認めることが出来るためである。よつて望遠鏡を動かして像が細隙を通過する様にすると、すべての紅焰を眺めることが出来る。

太陽面上にある紅焰は實験的に觀測することは出来ないが、寫眞術を應用して、之を觀測することが出来る。それには先づ、太陽スペクトルに於ける一暗線、例へば水素の暗線を撰ぶ。そして分光器の目元玉アイピースの代りに第二細隙を装置し（之を分光太陽寫眞儀と稱する）其位置を件の水素線のみを通過せしめ、他のすべての線を遮斷するやうにする。かうしてから分光太陽儀を動かして、第一細隙が太陽の像を一方から他方に通過するやうにし、第二細隙が靜置した寫眞種板の上を通過するやうにすると、水素の光で見た太陽の像が太陽面上に散布せる澤山の水素の雲の層の厚さが異なるために起る線の強さの變化として現はされる。そして紅焰がある場所は強き吸収をなすので明瞭に認めることが出来る。

分光太陽寫眞儀によつて、水素、カルシウム、鐵、ソヂウム及びマグネシウムの雲の分布を示す太陽表面の寫眞を撮ることが出来る。ソヂウムとマグネシウムの寫眞は左迄著しき點が無い。鐵の寫眞はカルシウム下層雲と似た構造を示す。カルシウムは太陽表面上所々にあつて強く輝いた雲をなして居る。これは特に黒點域に於て著しい。是等のカルシウム雲（羊毛斑と稱する）は常に黒點及び白紋のある部に現はれるものであるから、その光輝を較べて其雲の下方に起りつつある攪動の程度を卜することが出来る譯である。それでカルシウム雲は黒點又は黒點群の生成する前驅と見做すべきものである。即ち太陽表面上ある部分に著しいカルシウム羊毛斑が出来ると、現在そこに何物も認められなくとも、やがて黒點が現はれることが通例である。水素は多くカルシウムと共に現はれるが、これは一般に吸収現象を示し、黒雲の形で現はれるものである。併し太陽黒點の附近などにはしばしば非常に輝やいた水素雲を認めることがある。そして多くの場合に下方の黒點が、カルシウム雲或は水素雲のために蔽はれて、分光太陽寫眞に現はれないことがある。

太陽スペクトルの線は、皆同じ高さの場所で生ずるものではない。或ものは太陽氛圍氣の上層に其起原を有するし、或ものは下層にある。そして過半は夫等の中間の部分から起

スベクトル線を生ずる場所

るものである。水素のスペクトルは其實視部分に五本の線を有するが、其内H α アルファーといふ赤線は最高層を代表するもので、藍緑線H β ベータはや、低く、他は更に低い部分から起るものである。斯様な譯であるから、水素の色々な線を使つて、手早く五六枚の寫眞を撮ると太陽面上に存する紅焔の種々の高さに於ける斷面圖が得られる譯である。同様にスペクトルの幅ひろきH γ 又はK線を使つてカルシウム雲の諸斷面を撮影することが出来る。此場合に線の中心で撮つたものは最高層を表はし、此中心線を隔たつた部分で撮つたものは、隔たりの大なるほど下層を表はすものである。

【コロナ】 皆既日食の際、太陽のまはりに美しい銀色の光芒が現はれる。これはコロナと稱されて居る。其光が甚だ弱いので紅焔のやうに平常之を認めることが出来ず。辛うじて皆既中の二三分間だけ認め得るに過ぎない。茲數十年を通じてコロナを観測研究し得た時間は一、二時間に過ぎないのである。吾々がコロナに就いて有する知識は此短時間觀測の結果として收め得たものなのである。コロナの光芒は太陽の縁から不規則に突出して居て、其延長約二百萬哩に及ぶ。コロナの構造は非常に複雑なものであるから、寫眞に撮つた上で詳しく調べるのが普通である。一般にコロナの形は黒點の活動と密接なる關係を有つ

コロナを
研究した
時間

コロナの
生因

て居るもので、即ち黒點の多い時にはコロナは凝集する傾きがあり、短かい光芒が比較的一樣に太陽のまはりに分布して居るが、黒點の少ない時であると、コロナは太陽赤道帯から長大な翼のやうな光芒を發し、兩極からは之に應じてブラシのやうな短かい光芒が出て居る。つまりコロナの形も黒點、極光、磁嵐を惹き起す原動力に左右されて居ることが知られるのである。

コロナの光は大部分それを組成して居る微粒子が太陽光線を反射したものであるが、一部分は未知の元素コロニウムに由來する。此コロニウムはスペクトルの縁部に著しい線を示す。又此元素は太陽雰圍氣の下層には存在せぬものである。

【太陽の構造】 以上述べた所を概観すると、太陽雰圍氣の底は連続スペクトルを放つ光球であり、其上に吸収作用を示す反彩層があり、これが太陽スペクトルに於ける暗線フラウンホーフェル線を與へる。其上にある層は太陽の光の大部分を吸収するもので、太陽面の縁の光輝が中央よりも弱いのは此層のためである。其上にカルシウム雲たる羊毛斑があり、次に輝線スペクトルを與へる色球がある。そして其外方にコロナが擴がつて居るのである。黒點、白紋、紅焔などは是等の氣層中に於ける局部的現象なのである。

【太陽の回轉】 太陽の自轉は黒點によつて知ることが出来る。それによると自轉時間は緯度によつて違ひ、低緯度から高緯度に赴くに從つて長くなる。併し緯度四十度以上は黒點が無いので、高緯度の様子は分らなかつたのであつたが、分光器で視線速度を測る方法が此場合にも應用されてから、太陽表面全體の速度が分るやうになつた。次に各緯度に於ける表面の自轉時間を示さう。

緯度	自轉時間
〇度	二四・五日
二〇度	二五・五日
四〇度	二七・六日
六〇度	二九・六日
八〇度	三〇・六日

かかる差異の生ずる原因は不明で、其解決は將來學者の研究に俟たねばならないのである。

【太陽の研究】

吾々は太陽系の偉大なる動力源として、有らゆる點から太陽を研究せん

とするものであるが、一面には太陽を一の巨大なる實驗場と見做して、之れを研究するのである。此實驗場では温度といひ、壓力といひ、到底地球上では實現し得られざる規模に於て操作を觀測することが出来る。即ち物理學化學上に於て最も重要な問題であつてしかも外では決して研究することの出来ない問題の解決を太陽に求めんとするのである。元素なるものは温度如何に高きも不變なるものなるや、其或ものは一層單純なる元素に分解し得るものなるや。或る元素例へば水素が全然異なる二種のスペクトルを與へ、其一は實驗室内に於て容易に現出せしめ得べきに拘らず、他の一は決して現出すること能はず。唯波長を表はす公式に於て前者と簡單なる算術的關係あるによつて、水素の線なることを知る(ウオルフ・ライエー星に之れあり)事實を如何に説明し得べきであらうか。是等は何時かは太陽の研究によつて明かにされる時が來るであらう。更に他面には、太陽は一の恒星であつて、吾々が詳細に研究し得る唯一の恒星である。従つて太陽雰囲気中に起りつつある現象の詳細なる研究は種々の星によつて提供される多くの問題を解決する緒となるものである。

其二月

地球から月に至る距離は僅かに二十四萬哩で、他の天體の距離に較べると甚だしく地球に近いもので、火星の最近距離の百分の一にも足らぬ位である。それで最大倍率を使つて大望遠鏡で之を眺めると、肉眼で約二百哩の距離から眺めたと同じ割合に大きく見へる。かかる短距離では直径一哩半位の圓は肉眼で月を見た時位の大きさに見へるのであるから月の世界に都市や湖があれば直ぐ分る筈である。

月が常に同一の面を地球に向けて居ることは、其表面に認められる模様が何時でも同じいことによつて、誰でも之を認めて居るであらう。かく斷へず同一面を吾々に向けてゐるのは月が回轉しないからではなく、その回轉の速さ(角速度)と、月が地球をまはる速さ(角速度)とが等しいためである。

火口

望遠鏡の天體觀覽では素人は大抵きまつて失望するものであるが、月だけは何人にも驚嘆を以て迎へられるのが常である。其表面に見へる著しい特徴は多數の火山口である。今日までに約三萬個の火山口が數へられて地圖に載せられてある。その多くは直径五十乃至



第七十圖
月の眞寫

六十哩で、大なるものになると直径百哩以上もあるのがあつた。例へばブトレミイは百十五哩あり。テオフィルスは直径六十四哩で深さ約二萬呎ある。また最大火口コベルニクスの中にある高山は基底から一萬呎餘も突起してゐる。是等の火口が如何に大なるかは、其中

隕石説

此に立つ人が四周の火口壁を見ることが出来ない一事で推測することが出来る。これは月面の曲率のために地平線下に没して見へないのである。

月面に於ける火口が地球のに較べて非常に大きいのは重力が弱いためであらうが、その起因如何については今日いまだ確定して居ないのである。其内最も有力な説は隕石説であらう。即ち大昔に於て多數の隕石が月面に落下し、其際起つた熱のために隕石も表面も融解してしまつたために、今日その痕跡が認められない。地球の場合にも同様の現象があつたけれども、地球には、大氣のあるために地上に落下するまでに其勢ひが衰へるし、又月面に見るやうな火口を生じても數千萬年に亘る氣界の現象のために、消磨して跡形もなくなつたのであるが、月には大氣が極めて乏しいので、其儘今日まで保存されたものと考へるのである。望遠鏡で月を眺めるにはト弦頃が最も良いのである。それは満月頃では影がないので對照上表面の様子が能く分らないからである。

火口の外、月面には尙ほ山脈や平原がある。是等の平原をガリレオは海と呼んだので、今日でも月面の地圖では海と名けられて居る。

海
大氣

月の大氣はあるにしても非常に稀薄なもので、地球の大氣の千分の一を超へないことは

月面の變化

色々の事實によつて明知することが出来る。例へば月光のスペクトルは日光のスペクトルの極く弱いものに過ぎずして、そこに何等月の大氣による著しき吸収を認めないのである。また月が恒星を蔽ふとき光線屈折の現象が丸きり起らないのも、月に殆んど大氣が存在しない證據となる。尙吾々は、面に嘗て雲を認めず又霜なども認めないのである。従つて月面には水が無いとしなければならぬ。大氣も水も無ければ、月の表面に變化の起る譯がないのである。事實今日まで數個の疑はしき例外を除いては、何等の實質的の變化を認めないのである。米國の天文學者ピケリング氏は二、三年來月面に變化あることを頻りに主張して居り、果ては其原因が植物の發育のためであらうなどと説いて居るが、一般學者の賛成を得るに至らない。

第三章 太陽系

太陽系は太陽の周圍に集まつた大なり小なりすべての天體を總稱する。夫等は恒星からは非常に距たつて居て、その響影を受けず、單に強大なる中心體太陽の引力の下に、その周圍を回轉しながら一の團體を構成して居る。

太陽系は地球とその衛星たる月の外、七個の惑星、水星、金星、火星、木星、土星、天王星及び海王星とそれ等に屬する多くの衛星の他、なほ火星と木星間にある多數の小惑星を包含して居る。また此外にも週期彗星や流星群などもあり、黄道光の原因たる細塵状のものもある。

八大惑星の特徴は

- (一) 皆ほとんど同じ平面上に運動すること
- (二) その描く軌道の楕圓はほとんど圓に近きこと
- (三) 皆同じ方向に運行することである。

惑星の太陽からの平均距離は地球太陽間の平均距離を單位として次の通りである。

水星	〇・四	木星	五
金星	〇・七	土星	一〇
地球	一・〇	天王星	二〇
火星	一・五	海王星	三〇

これから公轉の週期を求めるにはケプレル第三法則を使へばいい。それは週期の自乗は平均距離の立方に比例するといふのである。例へば海王星の場合には週期百六十四年となる類である。

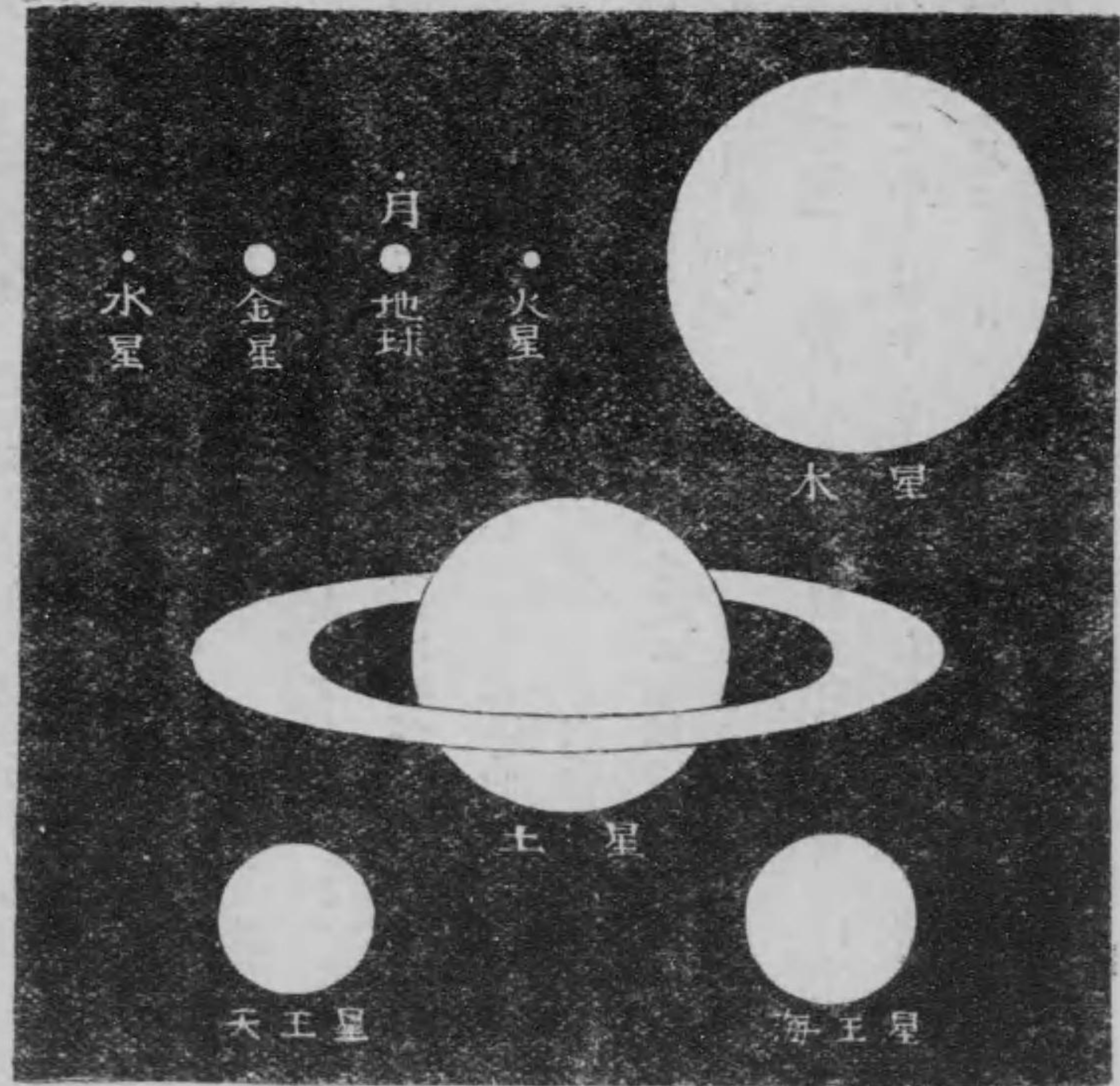
【小惑星】 火星と木星の軌道の間多數の小惑星の軌道が密集して居る。既に其數がかなり多いに拘はらず、毎年新たに發見されるものが少なくない。小惑星の初めて發見されたものはセレスで、十九世紀の第一日にピアツジといふ天文學者に發見された。それに次いで間もなくパラス、ジュノー及びヴェスタが發見された。是等は最大の望遠鏡を用ひて辛うじて光面として認め得べき大きさである。その最大なるセレスの直径は五百哩ばかりで、最小なるパラスの直径は百哩ばかりである、其後一八四五年に至るまでは一個の小惑

ケプレル
第三法則

星も発見されなかつたが同年以後は續々新しいものが発見され、殊に寫眞術が適用されるやうになつてから急劇に其數を増加した。一九〇〇年末に於ける小惑星の總數は四五二個であつたが、今日では九百個以上に達して居る。夫等の大多數は非常に小さなものである。其中の或もの殊にエロスは太陽視差の決定に非常に役に立つたものである。また木星の質量の決定に使はれたものもある。小惑星の軌道に就いては天體力學上興味ある且つ重要な問題が多いのである。

かやうに多數の小惑星が火星木星間といふやうに極くせまい範圍内に制限されて存在することは不思議な且つ又面白い事實であると謂はねばならない。オルベルスは夫等は大なる惑星の破壊したものであらうと述べたが、單にそれだけでは説明に困難な點が少なくないのである。しかし平山清次教授の説によると一つの惑星が時を隔てて數回に爆裂したものと考へれば小惑星に於ける多くの特徴を説明するに困難でないといふことである。【惑星の直徑】 惑星の大きさを決定するのは、距離が知れて居るから、その視直徑を測りさへすれば、之を見出すことは雜作ない。

水星は八惑星中の最小なるもので其直徑三千哩である。即ち地球の直徑の八分の三にあ



第十七圖

たる。次は火星で地球の約二分の一である。金星は地球とほぼ同じい。他の四惑星は遙かに大きく、木星の直徑は地球の十一倍、土星は九倍、天王星は四倍、海王星は五倍である。【惑星の質量】 惑星でも衛星を有つて居るものは其質量を容易に見出すことが出来る。それは衛星の軌道の半徑（地球太陽間の平均

距離を單位とした) a と週期(年) T とを知らば ρ は太陽を單位とした惑星の質量であるからである。しかし水星と金星は衛星を持たないので此法を適用することが出来ない。此場合にはそれが相互の、或は地球の運動に及ぼす影響或は適々其附近を通過する彗星の運動に及ぼす影響(これを攝動と稱する)の大きさから推算するものである。惑星の質量は一般に太陽の質量を單位とした數で表はすものである。太陽系中の巨人たる木星の質量は太陽の千分の一に足りないが、地球のに較べると三百倍以上もあるのである。次に大なるは土星で木星の三分の一と四分の一の間にある(地球の九十五倍)。天王星及び海王星は木星の約二十分の一である。是等に較べると内惑星は遙かに小さく、その中最大なる地球も太陽の三十萬分の一より小さく、金星は地球の四分の三、火星は九分の一、水星などは二十分の一に過ぎない。

【惑星の密度】 惑星の大きさと質量が分れば密度はすぐ知られる。内惑星は此點では地球(水に比し五倍半)と大差ない。しかし外惑星の密度は遙かに小さい。即ち木星、天王星、海王星は水より少しく大なるに過ぎず、土星などは水に及ばない(木星の半分に過ぎない)かく密度に差違あるは物理的條件に大差あることを示すもので、内惑星は充分冷却して

て收縮して居るけれども、外惑星は未だそれ程進行して居ないのである。

【惑星の自轉】 惑星は皆その軸のまはりに回轉してゐるものである。火星の表面には明確な斑紋があるので其週期は極めて精密に決定された。それは地球のより稍長く即ち二十四時間三七分二二・七秒であつて、此値は〇・一秒まで正確である。木星と土星の自轉時間もかなりよく決定されて居る。共に十時間前後である。かやうに回轉が速かなため是等の兩惑星は小望遠鏡で見ても判かる位に扁たくなつて居る。天王星と海王星の自轉時間は不明だが二十四時間以下であらう。水星と金星の表面には明確な紋様が認められないために、その自轉時間は確かに知られて居ないのである。もとは共に約二十四時間であると考へられて居たが、伊太利の天文学者スキアパレリが自轉時間が公轉時間に等しいと唱へ出してから、兩説互に相譲らず、種々の試みあるにも拘らず、今日未だ何れとも斷言することが出来ないのである。

【衛星】 惑星のまはりを巡つて居る衛星の發見は、ガリレオ以來引つづき現在に及んで未だ終了したものとは思はれないのである。水星と金星は衛星を有たない。地球は一つの衛星を有する、即ち月である。火星は極く小さい二個の衛星を有するが、夫等の直徑は六

七哩を出ない、これは一八七七年米國の天文學者アサフ・ホールがワシントン天文台の大屈折望遠鏡を用ひて發見したものである。其名稱はフォボスとダイモスで、その火星中心からの距離はそれぞれ五八〇〇哩及び一四六〇〇哩で、火星の直徑が四二〇〇哩であるから、如何に火星に密近し居るかが分かる。従つて火星を巡るのも非常に速やかで、即ちその週期は七時四〇分及び三〇時一八分に過ぎない。それでフォボスなどは西から出て東に没するといふやうな藝當を演ずるのである。

木星の大なる四衛星は一六一〇年ガリレオによつて發見された。是等は双眼鏡で容易に認めることが出来る。小望遠鏡を使つて觀測すれば木星面の經過や木星の陰影中に没する現象などを認めることが出来て、極めて面白いものである。即ち木星を觀測中、木星から稍離れて輝いて居た衛星が急に消失するなどは素人を驚かすに充分である。是等の四衛星中の最小なるものは月の大いさ位あり、最大なるものはその直徑が地球の半分位のものである。又木星に一番近いのは地球から月に到る距離位にあり、一番遠方にあるのは此距離の四倍半許りである。夫等が木星を一周する時間はそれぞれ一日四分の三、三日二分の一、七日四分の一及び一六日四分の三である。第五衛星は非常に微小なもので一八九二年リッ

ク天文台の大望遠鏡でバーナード教授の發見したものである。これは前の四衛星よりも木星に近いので、週期は十二時間に過ぎない。これは最大望遠鏡を用ひなければ見ることは出来ないのである。其他第六衛星は一九〇四年十二月に、第七衛星は一九〇五年一月にリック天文台のペライン氏が寫眞的に發見した。第八衛星は一九〇七年二月綠威天文台のメロット氏が發見した。此物は木星から遙かの遠距離にあつて、木星からの距離は一千萬哩から二千萬哩の間に變化する。週期は二年で、他の諸衛星と異なり、反對の方向に運行する。即ち逆行するのである。第九衛星は一九一四年七月米國のニコルソン氏が發見したもので、第八衛星と同じく逆行する。光度は十九等である。木星からは木星半徑の四四〇倍も遠距離にあるので、太陽によるの攝動が著しい。週期は約三年である。第八第九の兩衛星はもと小惑星だつたのだらうと老へられる。

土星は環を有することに於て異彩を放つものである。望遠鏡の創製時代には此環の形が能く分らないので、土星は翼のやうなものを持つて居ると考へられた。奇妙な附屬物が其實は輝ける環であることは一六五五年ハイゲンスが之を明らかにした。此環は、星の赤道面にあつて極めて薄く土星には觸れて居ない。環の平面は不變の方向を有し、黃道面と二

十七度ばかりの傾をなして居る。土星は太陽のまはりを二十九年半で一周するから、此間に太陽の位置は土星赤道の南北二十七度の間に變化する。太陽が赤道の北にあると環の北側が照らされるし、太陽が南にあるときは南側が照らされる。そして太陽が土星の赤道面上にあるときには唯環の縁が照らされるだけであるから、此場合には環は見へない。一般に地球と太陽は環の同じ側にある、けれども時として互に反対側にあるときは矢張環は見へないことになる。環には空隙があることは一六七五年カシニが発見したので、之をカシニ分裂と稱するが、一八五〇年更に今までの環の内側に極めて微弱な環が存在することが知られた。

環の何物なるやは一八五六年英國の物理學者マクスウエルの理論的に明かにしたところで、一八九五年米國の天文學者キラーは分光器の觀測によつてそれを確證することが出来た。それによると環は無數の微小なる衛星の密集せるものなのである。

土星は環の外に十個の衛星を有つて居る。その最大なのはチタンと稱し、一六五五年ハイゲンスの發見したところである。その直徑は約三千五百哩ある。約十四日で土星を一周し土星の半徑の約二十倍の距離にある。ついで四個の衛星が一六七一年から一六八四年の

間にカシニによつて發見された。それから百年後キリヤム・ハーシエルは土星の半徑の三倍及び四倍の距離に二個の小なる衛星を發見した。第八衛星はチタンより稍遠距離にある小體で、一八四八年ボンドとラッセルにより各獨立に發見された。第九衛星は一八九九年南米アレキバで撮つた寫眞からビケリング教授により發見された。此衛星は非常の遠距離にあつて、土星を一周する時間は一年半を要するのである。そして頗る細長い軌道道を逆行するのである。第十衛星は一九〇五年四月十六日ビケリング教授の發見したもので、これは近距離にあつて順行する。その週期は二十日二十時である。第九衛星の光度は十六七等で、第十衛星のは十七等以下である。天王星は一七八一年キリヤム・ハーシエルの發見した惑星である。このものは四個の衛星を有する。その中の二個は一七八七年ハーシエルの發見したもので、他の二個は一八五一年ラッセルによつて發見された。その軌道面は極めて珍しいもので天王星の軌道面に殆んど垂直なのである。

海王星は一個の衛星を有するのである。ラッセルの發見したもので、海王星の軌道面に三十五度も傾いた平面上に逆行する。

一般に衛星は黄道面から餘り離れて居ない平面上に、惑星が太陽を巡ぐると同じ方向に

惑星のまほりを巡ぐるものである。例外なのは天王星及び海王星の衛星、土星の第九衛星及び木星の第八、第九衛星がある。

さて次に諸惑星の物理的條件に就いて述べやう。問題は其温度は如何、そは皆地球の如き固體なるか雰圍氣を有するか等である。

【惑星の温度】 内惑星(水星、金星、地球、火星)の温度は主としてその受くる太陽熱で決定されるので、太陽から受ける熱と、それが空間に輻射する熱と丁度釣り合ふといふ條件で其温度を推算することが出来る。しかし此計算には雰圍氣の影響を考へなければならぬが、不明であるため確かな結論を引出すことが出来ない。雰圍氣が惑星の表面温度に影響を及ぼすことの大なるは地球上に於ける晝間と夜間の氣温の平均差が極く少ないので分かる。英のポインチング教授は此考へ方から推算を試みて火星には大氣の有る無しに拘らず、其温度は到る處氷點以下であるといつた。水星及び金星の場合には其温度は地球より一七〇度及び六〇度(攝氏)高い。

木星以下の大惑星では右と異なり、其温度は主として惑星自體の内部の熱に左右せられるもので、太陽から受ける熱の影響は輕微である。木星などは多分赤熱状態にあるに相違ないが、その衛星が木星の蔭に隠れるとき、それを照らすほど充分な光を放つて居ないのである。土星、天王星及び海王星も高温度のものであらう。

【惑星の雰圍氣】 一八七四年及び一八八二年金星が太陽面經過をなした時、金星が太陽面に入り込む少し前に其暗黒なる面の縁に光環を現はした事實は金星が雰圍氣を有することを示すものである。水星も金星も極く濃厚な雰圍氣に包まれて居るので、そのためその固體表面が全く認めることが出来ないのであるらしい。水星及び金星のスペクトルを見ると、太陽のと能く似て居る。これ其光が其雰圍氣の高層にある雲のために反射されたものでその中に入り込んだものでないことを示すものだらう。

火星の雰圍氣の有無は極めて興味ある問題だが、同時に又極めて困難な問題である。火星のスペクトルは太陽のスペクトルに無い様な線は無い。それで問題は地球大氣の吸収によつて生ずる線が、火星のスペクトルに於ては一層濃厚なるや否やといふことになる。これは同じ器械で同じ大氣條件の下に月と火星のスペクトルを比較すればいい。併し其結果は學者によつて意見町々である。しかしキャメル教授が合衆國の最高峰ホイットニー山頂で觀測したところによると月と火星のスペクトルには何等の差異を認めないといふことであ

木星

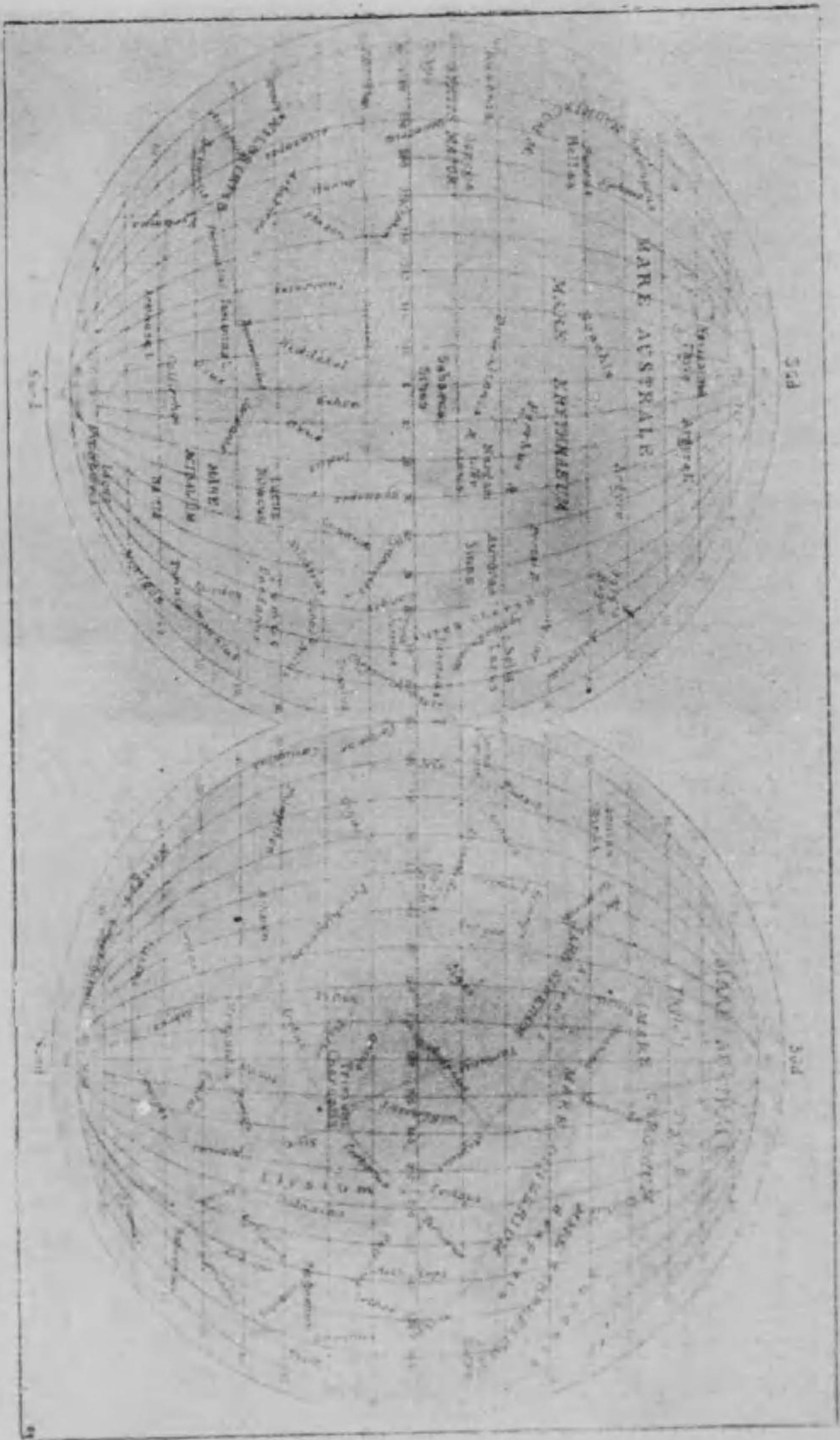
極冠

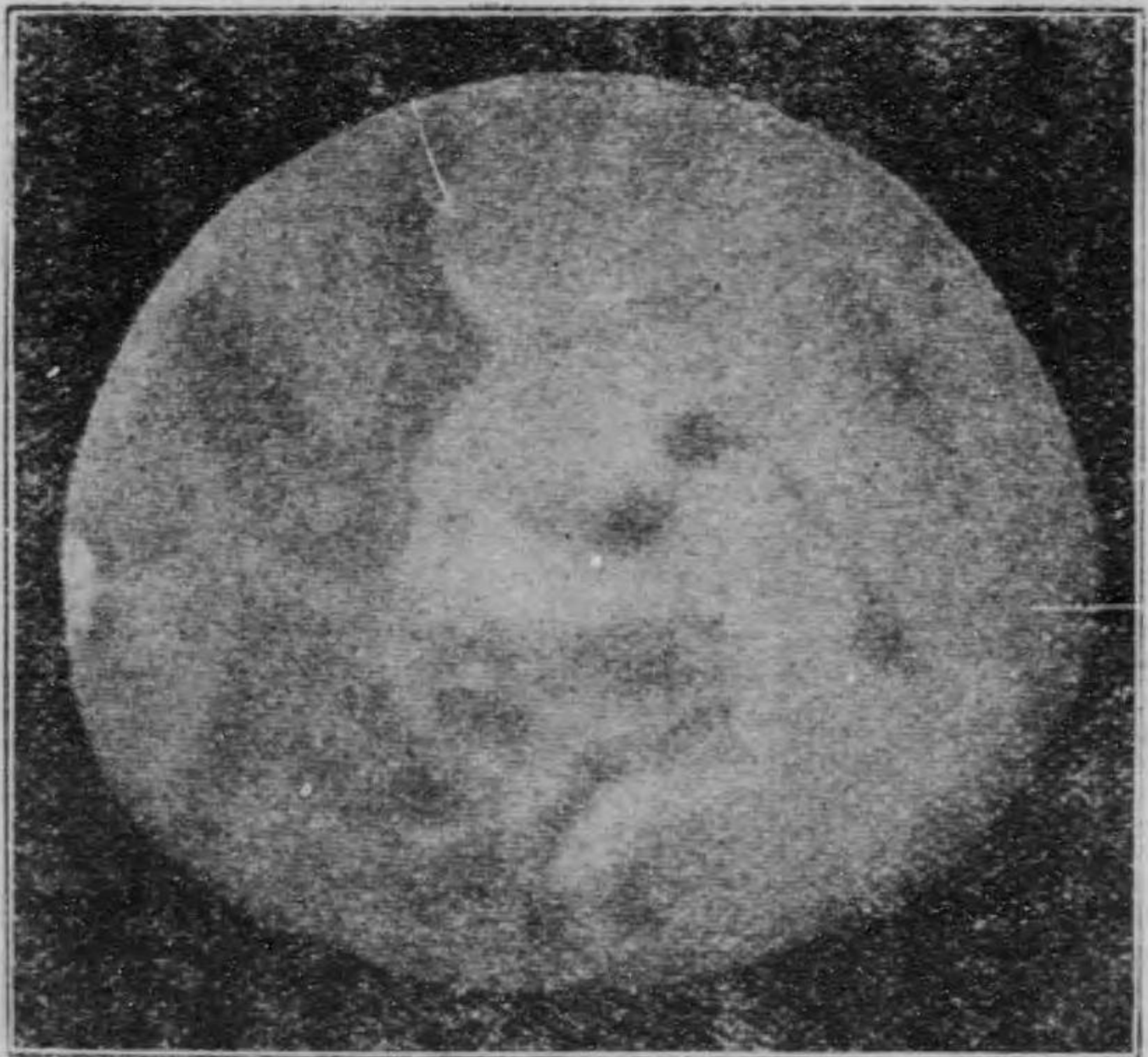
るから、火星に大氣があつたにしても極めて稀薄なものであるに違ひないのである。

木星のスペクトルには太陽のに存在しない一つの線があつて、其雰圍氣中には未知の元素あることを示して居る。また天王星と海王星のスペクトルも太陽のとは大分違ふのである。即ちそれ等は我地球上の大氣とは全く異なる雰圍氣で包まれて居るのである。

【火星】 惑星中で其面上に複雑な模様を示すものは火星と木星だけである。火星は其南北兩極に白色の冠を現はすことがあり、此冠は火星の夏期に縮小するのである。此白色のものは雪と見做されて居るが、炭酸瓦斯の氷結したものだといふ意見もある、その消失するときは極めて急速に消滅することから考へて地球の兩極地方に見るやうな厚層のものでないことは明らかであつて、軽い淡雪といつた程度のものであらう。

火星面の紋様はもと海と陸だと考へられて居たものであるが、雲のない事や低温度なることなどから考へて、暗らい部分は海では無く、唯色を異にする大陸であるとしなければならぬやうである。所謂火星の運河(水道)に就いては伊太利の天文學者スキアパレリーの發見以來、賛否の論争仲々に激しかつたに拘はらず、未だ其真相が確定されないのである。ウィルソン山天文台で撮つた寫真には水道らしき線條は少しも現はれて居ない。それ





第七十三圖

で水道などは主觀的に見へる幻像に過ぎないといふ學者が多いが、一方には水道が認められるのは大氣状態の極めて良好な際しかも折々瞬間的に水道の一小部分が認められるに過ぎないのであるから寫真などに撮れる譯はないといふ説もある。

【木星】 木星に帯狀の模様があることは小形の望遠鏡でも認めることが出来る。第七四圖は一八九〇年リック天文台の三十六吋の屈折望遠鏡で見た木星で、バーナード教授の描いたものである、木星の表面は絶

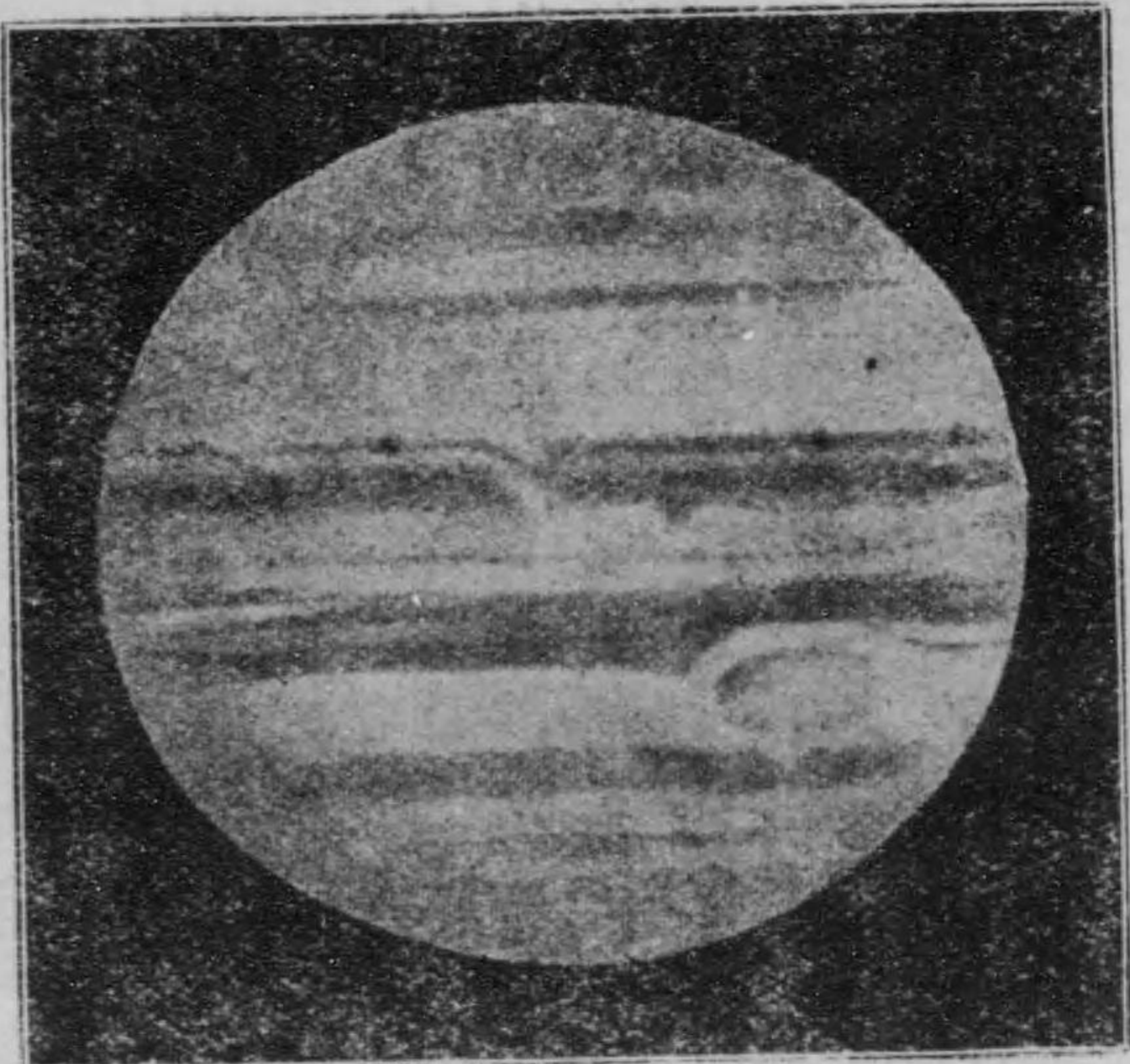
えず變化し、明暗の斑紋が現はれては消へ、消へては現はれる。その現はれて居る期間は一二ヶ月に過ぎない。その中で多年に亘つて變らなかつたのは一八七八年に現はれた大赤斑で、一八八八年まで其光輝に餘り差したる變動がなかつたが、其年急に衰へ、一八九

〇年には復舊したが、其後また次第に衰へた。

木星面の斑紋の觀測によると、木星の自轉速度は太陽のと同じやうに緯度を異にするに従がつて違ふのである。即ち

緯度	自轉時間 時分秒	觀測斑紋數
+60°乃至+25°	9 55 39.4	9
+25°乃至+10°	9 55 39.9	15
+10°乃至0°	9 55 23.9	27
0°乃至-12°	9 50 27.9	21
-16°乃至-28°	9 55 8.2	1
-28°乃至-45°	9 55 0.9	2
赤道	9 55 40.6	—

第七十四圖



① 此表を一見すると直ぐ氣附くやうに、赤道流と其傍近流との速度が急に大差を示すのは驚くばかりである。自轉時間五分の差異は傍近兩流の速度の差異が毎時二百哩以上もあることになるのである。木星が固體でないことは明らかだが、速度に右の様な大差のあるの

は、液體でなく瓦斯體であることを示すものであらう。

【彗星】 彗星の洋名コメットは毛のある星と言ふ意味である。これは誰でも知つて居る様に時々天空に現はれる尾のある煙状の天體で二三ヶ月或は數ヶ月にして消失するものである。其の中何年か経て再び歸つて來るものもあるし、久遠に再び其の影を現はさないものもある。彗星が極めて細長い楕圓狀の軌道上を運動する場合には何年か立つと再び太陽附近に歸つて來るが、拋物線又は双曲線上に運動するものは再び歸つて來ない。望遠鏡の發明以來極めて多數の彗星が發見されたが、今日でも毎年四五箇の彗星が發見される。此等の望遠鏡で發見される彗星は大抵尾のない微弱な雲狀塊である。然し二三年間に一位の肉眼で見えるものが現はれる。今日までに記録された彗星の總數は多分五百個以上に達するであらう。

彗星は三ツの部分から成る。第一は輝いた核である。是は望遠鏡で見ると星の様に見える輝いた點である。此の核を取りまいてコマと呼ばれる輝いた雲狀物がある其の光は核に近い所で最も強く遠さかるに隨ひ次第に衰へる。此の核とコマと合せて彗星の頭部を形成する。此の頭部から出て長く帚狀を成すものがある。此の尾は頭部から太陽と反對の方向

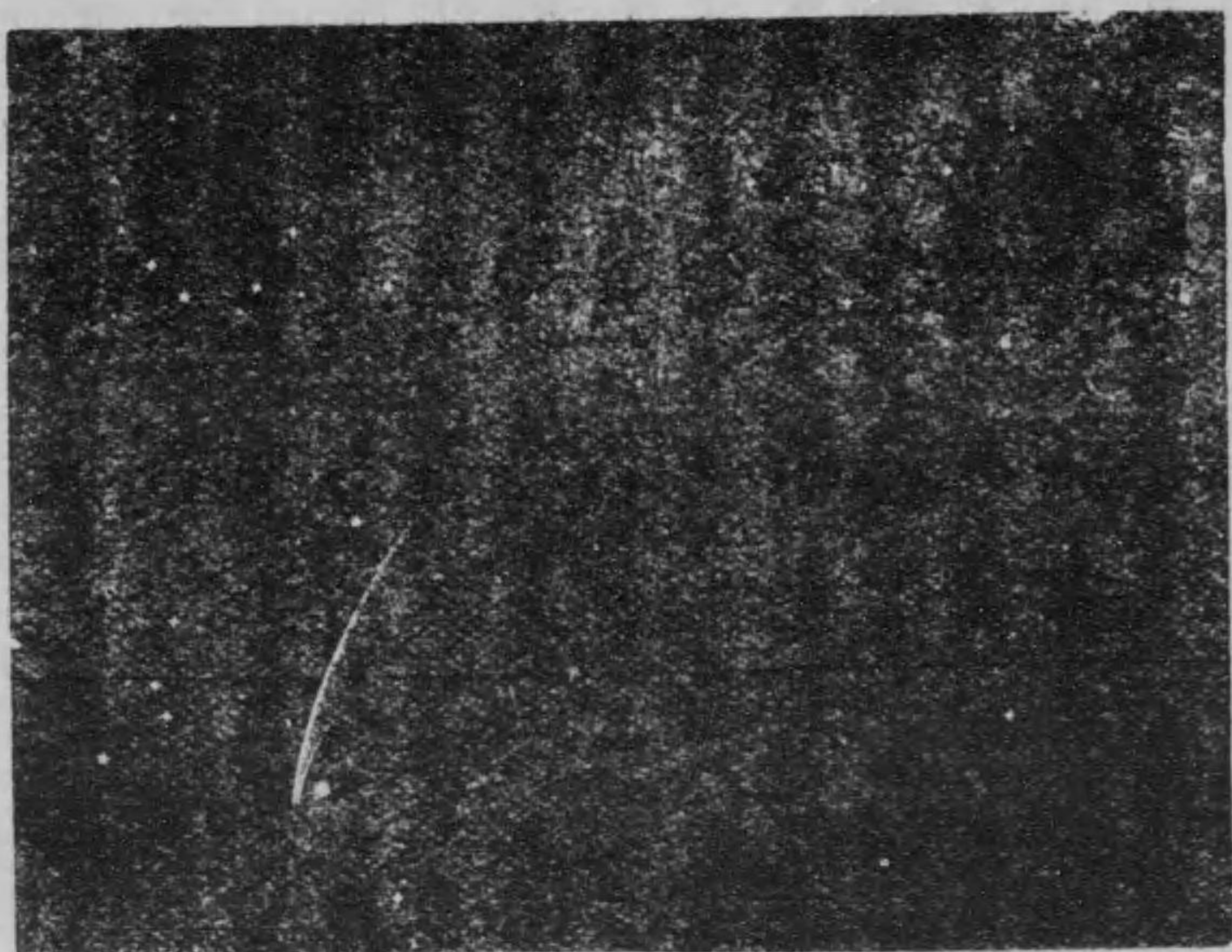


圖 五 十 七 第