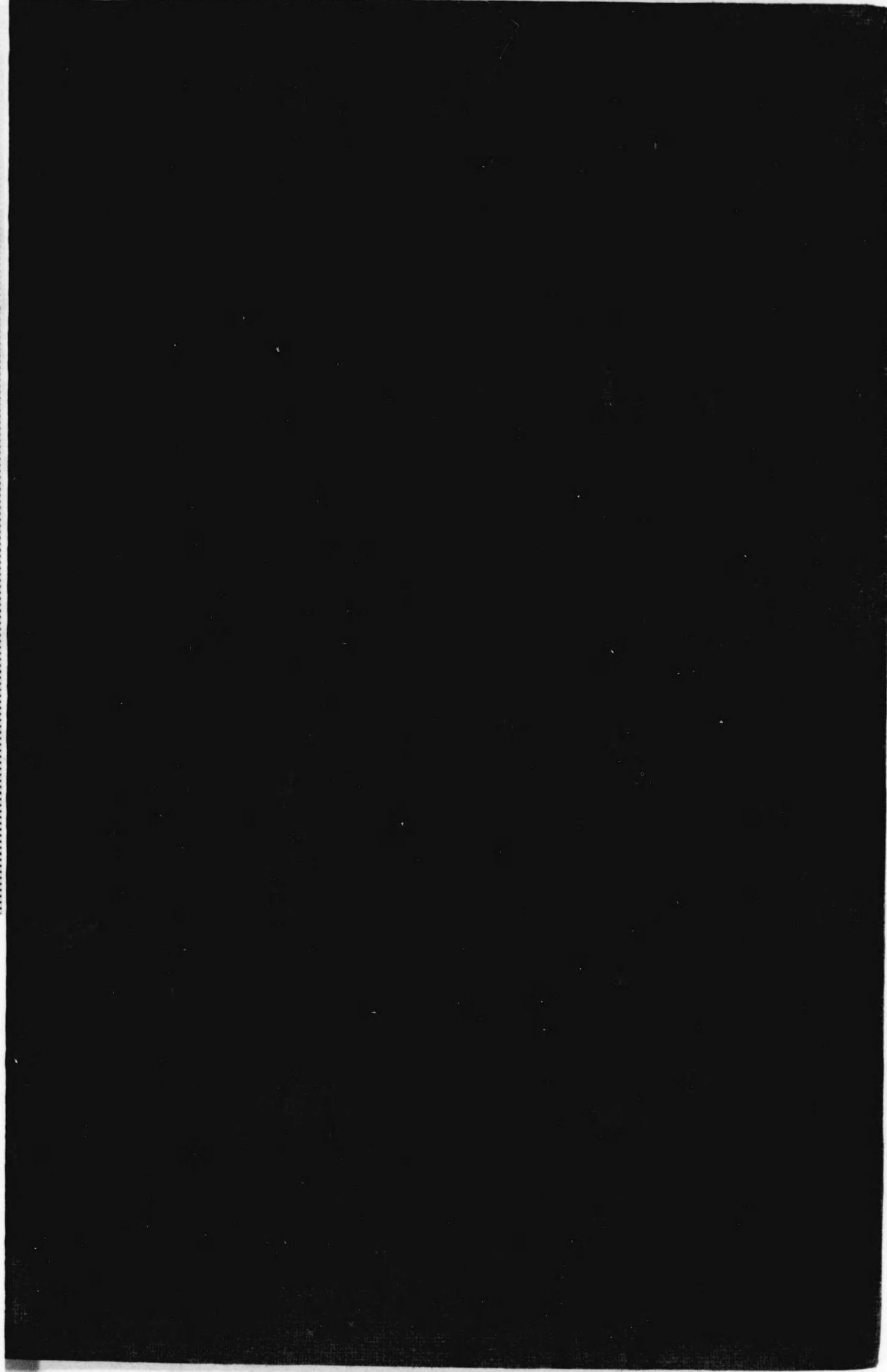


始



特 231
732

最新物理學通說



東京工業大學助教授 理學博士

竹內時男

著

東京開成館



序 言

本書は、最新の物理學的事項を理解し易きやうに纏めたもので、高等學校の文科、各種専門學校に於て物理學を補助學科として課する場合等の教科書として適當してゐると信ずる。

孫子曰く、「吾が以て待つあるを恃む」と。思ふに、わが愛する日本が思想的にも更に天下の富有を集めることが出来れば、國家はこれによつて旭日昇天せざるはないであらう。

余がこの書を編みつゝ、しきりに腦裡に去來したのは、感想録を物したかのバ斯卡ールのことどもである。わが日本にバ斯卡ールの如き、文理兩方面に秀でた人の速かに輩出せんことは、余の衷心祈つて止まぬところである。

本書は理學の本質を明徴することに主力を注いだが、憾むらくはその應用を詳かにする邊がなかつた。讀者幸にこれを諒とし、少くとも、現下の理學の通念を捉へ、東洋的諦觀を超えて自然現象にも情懷をやられんことを。本書がその手引となれば至幸である。

昭和11年4月

著者識す

目次

I. 物理学大観

緒論

1. 自然科学と物理学	1
2. 物理学の目的と方法	1
3. 定義	3
4. ヴェクトル	4
5. テンソル	6

第1章 力学

1. 力学	7
2. 力学の分類	8
3. 静力学	8
4. 仮想変位の原理	11
5. 動力学	12
6. 萬有引力	13
7. ニュートンの主著プリンシピア	14
8. 慣性系と運動エネルギー	21
9. 自然の経済	22
10. 最少作用量の原理	25
11. 対称と最大最小	26
12. ヘルツの力学體系	27

第2章 天体现象

1. 太陽	28
2. 時	30

3. 昔と今との時	31
4. 星座	33
5. 北極星	34
6. 星の光度	35
7. 夏の星・冬の星	35
8. 星は移る	39
9. 月と惑星	41
10. 歳差	43
11. 恒星	44

第3章 エネルギー

1. エネルギー	46
----------	----

第4章 熱力学

1. 熱力学	49
2. カルノー輪業	51
3. 熱機関の効率と絶対温度	53
4. エントロピー	55
5. エントロピーと確率	57

第5章 分子運動論

1. 分子運動論	59
----------	----

第6章 指数関数を含む法則

1. 指数関数	62
2. 気体法則	63
3. エネルギーの吸収	64
4. 残響	64
5. 感覚の法則	65

6. 写真	65
-------	----

第7章 週期的現象

1. 波動	68
2. ドップラー効果	68
3. 光行差と年週視差	71
4. ハイヘンスの作圖	73
5. 定常波	74
6. フーリエ解析	74
7. リーゼガング現象	74

第8章 電気と磁気

1. 電気	76
2. 物質の構成単位	77
3. 伝導電流と抵抗	78
4. 接觸電気	79
5. マックスウェル歪力	80
6. 物質の磁性	81
7. 磁気感應度	82
8. 磁場と磁気感應度	83
9. 電気變位	83
10. ガウスの定理	86
11. ビョーサヴァールの法則	87
12. 直線電流による磁場に於ける仕事	88
13. キルヒホッフの法則	88
14. 感應動電力	89
15. 自己感應	90
16. 交流	92
17. 熱電流とベルチエ効果	92

第9章 電気物質観

1. 放電現象... .. 94
2. 陰極線 95
3. イオン 97
4. 陽極線とレナード線 97

第10章 放射能

1. 放射能 99
2. 半減期 99
3. マッヘとキュリー 101

第11章 分子・原子・電子

1. 分子の大きさとその運動 103
2. 原子の配列 105

第12章 バウリの禁制

1. 元素の週期律 109
2. ボーア磁子 111
3. 強磁性に関する最新學説 112

第13章 光

1. 偏光 119
2. 反射及び屈折による平面偏光... .. 119
3. 複屈折 120
4. 光弾性學... .. 122
5. 結晶體と偏光 122
6. 偏光と力場 123
7. 干涉 123
8. 廻折 125

第14章 音と光との諸知識

1. 耳に聴えない音... .. 126
2. 音信號の傳播 129
3. 沈黙帶 131
4. 日常生活と光の反射・屈折等 132
5. 光量子 137
6. 赤外線 139

第15章 輓近物理學の展望

1. 中性子 145
2. 陽電子 145
3. 原子轉換... .. 149
4. 重水 149
5. 宇宙線と宇宙膨脹 151

第16章 極微の世界を探索する科學利器

1. 限外顯微鏡 152
2. X線分析... .. 153
3. ウィルソンの霧函... .. 155
4. 質量分光器 156
5. アルファ粒子の數へ方 157
6. 電子荷電の測定法 157
7. 宇宙線検出器 158
8. 電子波實驗 159
9. 電子顯微鏡 159

第17章 理學と神祕

1. 理學と宗教 161
2. 理學と想像 162

II. 理 學 と 認 識

第 1 章 空間とは何ぞ

1. リーマン幾何學... .. 164
2. 合同性の定義 166

第 2 章 時間とは何ぞ

1. 時計の意義 168
2. 時間順序と因果性 169

第 3 章 自然法則の可逆性

1. 現象の可逆性と時間方向 171
2. エントロピー減少とマックスウェルの魔 172

第 4 章 運動と力との相対性

1. 運動の相対性と力の絶対性の疑問 174
2. マッハと力の相対性... .. 175

第 5 章 相 對 性 原 理

1. 相等性現象 177
2. 新萬有引力論 178
3. 相対論の背理 180

第 6 章 光 の 理 論

1. 光の感覺... .. 181
2. 光の發生と量子論 182

第 7 章 新量子力學

1. 物質の波粒性 186
2. 確率波 188

結 論

索 引

物理學大觀

緒論

1. 自然科學と物理學 吾等の周圍に存する全體のものを自然¹⁾といふ。自然に於ける變化即ち自然現象²⁾を研究する學を自然科學³⁾といふ。

自然科學を二大別すれば物質科學⁴⁾と生物科學⁵⁾となる。前者は物質世界の現象を、後者は生活現象を論ずるものである。物理學・化學・天文學・氣象學・地質學は物質科學に屬する。

物理學⁶⁾は物質科學の中で最も基礎的である。物理學は物體の運動・物性・音・熱・電氣・磁氣・光に關する現象を論じ、遂に物質の構造を明かにする。こゝに物理學は化學と全く混融するに到るのである。

2. 物理學の目的と方法 自然科學は、自然に關する吾等の知識を豊富にし、且これを整理統一⁷⁾するを以て目的とする。即ち先づ觀察⁸⁾と實驗⁹⁾とによつて事實¹⁰⁾を發見し、又吟味してこれにより法則¹¹⁾を歸納¹²⁾する。

1) nature 2) natural phenomenon 3) natural science

4) physical science 5) biological science 6) physics, 獨 Physik

7) systematize 8) observation 9) experiment 10) fact

11) law 12) induction

法則とは、同種類の多数の現象に関する事実を概括した普遍的な叙述¹⁾である。換言すれば、自然の齊整²⁾といふ原理的假定³⁾に基づいて、凡ゆる時と所と人とに共通する不変的な自然認識を形式化したものである。

これら諸法則間の関係を求めるために假説⁴⁾を置く。法則及び假説から論理的に種々の結論⁵⁾を推斷演繹⁶⁾し、これを観察と實驗とに訴へて、正否を確める。假説が確められた時には、この論理の體系を學説⁷⁾といふ。

物理学を便宜上分けて實驗物理学⁸⁾と理論物理学⁹⁾とする。前者は観察と實驗とにより事実や法則を発見するもの、後者は法則を統括し、且これにより種々の新結論を導き出すものである。

物理学は正確科学¹⁰⁾である。従つて正確なる測定¹¹⁾と數學的理論¹²⁾とを武器とする。

バットで叩かれたボールの運動は、3部分に分析され得る。第一はバットの衝撃による部分、第二は重力による部分、第三は空氣抵抗による部分である。夫々の部分には、これを特殊の場合¹³⁾として包含する法則がある。これは、現在の質量・速度・力に於て、如何なる結果が起るかを示してくれる。法則は又上位の法則の中に含められ、次第に少数の大法則によつて自然の諸現象が統括されるのである。しかし理解にも或限界

1) description 2) uniformity of nature 3) principle
4) hypothesis 5) conclusion 6) deduction 7) theory
8) experimental physics 9) theoretical physics 10) exact science
11) measurement 12) mathematical theory 13) special case

があり、これを越えては哲學¹⁾になる。従つて物理学は事實の説明者²⁾ではない。

吾等の經驗が無限でない限り、法則は要するに確らしき叙述³⁾である。

學説の價値は、それが多数の事實を包含し得る程度によつて定められる。學説は従つて便宜上のもの、思惟經濟のためのものに過ぎぬ。

3. 定義 一つ概念を、實在する事物又は他の概念の結合に同等せしめることを定義⁴⁾といふ。

物理学に於ては定義と事實とを分別することが必要である。即ち定義に對して認識を求めてはならぬ。相對論⁵⁾はこの點を明瞭にするに與つて特に力があつた。

例へば熱膨脹と物體の溫度との關係に於ては、溫度が先づ定義されねばならぬのである。これは熱力学の章に譲ることとする。通常使用される溫度計は、硝子の細管中に水銀又はアルコールを入れ、見掛けの膨脹を等分して度を定めたものである。しかし水銀とアルコールとの膨脹の割合は同一でない故に、標準とされる固定點⁶⁾即ち氷點と沸點以外に於ては、兩溫度計の示す度は一致しない。例へば水銀溫度計を標準にすれば、無論水銀は一様な膨脹をなすが、アルコールの膨脹は一様ならざることとなり、又アルコール溫度計を標準にすれば、水銀その他の物質は一様ならざる膨脹をなすことに

1) philosophy 2) explanation 3) probable description
4) definition 5) theory of relativity 6) fixed point

なる。温度計に用ひられる物質の種類によつて、同一の温度も異なつて測られるが、如何なる物質を標準として選ぶかは任意である。しかし、氷點及び沸點の間に於て水銀の膨脹とその割合が良く一致し、且これより定められた温度尺度が熱力学上より定められた温度の絶対尺度¹⁾と一致するものは、ガス温度計²⁾である。

4. **ベクトル** 大いさの外に方向³⁾と向き⁴⁾を持つ量を**ベクトル量**⁵⁾といふ。ベクトルとは「導くもの」の意である。速度・力はベクトルの最も著しい例である。如何なる方向と向きとに如何なる大いさの速度又は力があるかといふやうに、大いさだけでは定まらぬ量である。

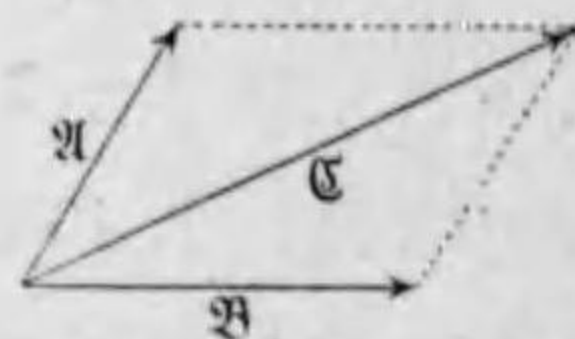
ベクトルを圖に表はすには、その方向に直線を引き、大いさに比例して長さを截り、尖端に矢を附して向きを示すのである。向きの相反對なるものを互に正負の關係にあるといふ。

ベクトルは方向と向きとを持つ故に、同種ベクトルの**合成**⁶⁾は、代數學的には不可能である。所謂**平行四邊形の法則**⁷⁾によつて幾何學的に合成される。

$$A + B = C$$

加法⁸⁾の逆は**減法**⁹⁾である。故に

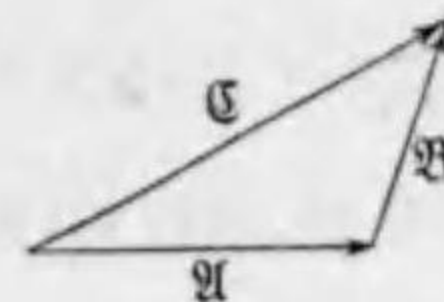
$$C - A = B$$



平行四邊形法を簡單にしたものに**三角形法**¹⁰⁾がある。これ

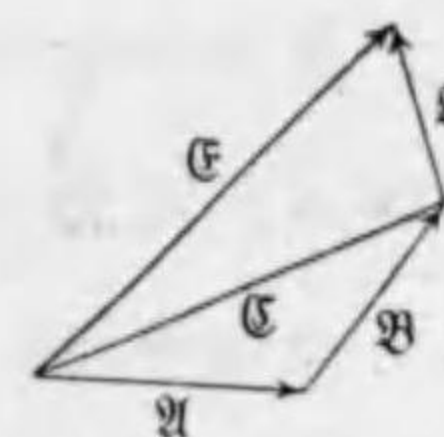
1) absolute scale of temperature 2) gas thermometer 3) direction
4) sense 5) vector 6) composition 7) law of parallelogram
8) addition 9) subtraction 10) method of triangle

を反覆して用ひれば、多くの同種ベクトル(必ずしも同一平面上になくてもよい)の**合ベクトル**¹⁾が得られる。合ベクトルは、前者の代表者としてのベクトルである。

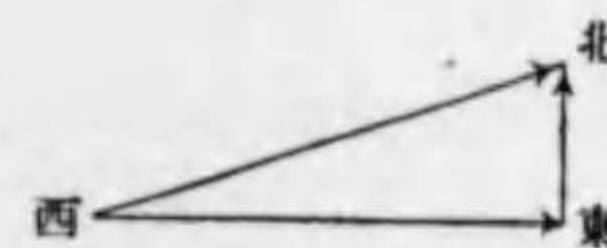


$$A + B + D = C + D = C$$

ベクトルの合成は順序を問はない。



ベクトルの合成が平行四邊形の法則によることは、**變位**²⁾の合成を考へれば容易に了解されるであらう。例へば西より東に向つて動く船上で、南より北に向つて人が歩めば、地球に對しては圖の如く變位したことになる。



ベクトルに**極性**³⁾及び**軸性**⁴⁾の2種がある。前者は移動性、後者は廻轉性を持つものである。變位・速度・力のベクトルは極性ベクトルである。

廻轉速度に於ては、廻轉量があり、又軸なる方向を示す直線があつて、それを右旋するか左旋するかといふ向きがある。右ネヂを廻はす方向とネヂの進む方向との關係を右廻りの關係と稱し、これを正の廻轉といふ。右ネヂの進む方向に直線を引き、又矢を附して、軸性ベクトルの方向と向きとを示す。直線の長さは廻轉の速さに比例して截る。

力の能率も軸性ベクトルである。

1) resultant vector 2) displacement 3) polar 4) axial

5. **テンソル** 物理学量には、スカラー¹⁾(大きさのみ有する量)・ベクトル量の他にテンソル²⁾量といふものがある。テンスとは伸張の意で、物を伸張したり圧縮したりするやうに、向きを區別しない方向と大きさとを持つ量をテンソル量といふ。伸張を正のテンソル的狀態、圧縮を負のテンソル的狀態といふ。歪力³⁾もこれに對應して正・負がある。張力は正、壓力は負である。

¹⁾ scalar ²⁾ tensor ³⁾ stress

第 1 章 力学

1. **力学** 物理学の諸分科の中で一番古く又最も簡単なものは、力学¹⁾である。力学は物体の運動及び釣合を論ずる部分である。

古代エジプトやアッシリア時代の遺物として、種々の工夫や器械の模寫が見出されたし、又有史以前の古墳からも多くの器具が見出されてゐる。しかし當時は、事實の秩序ある科学的認識なるものが大いに形成されてゐたとは、勿論考へられぬ。

古代エジプト人は、戦車を動かすに車輪を用ひてゐたが、石塊を運ぶにはこれを引込らしてゐた。エジプト人は又ネチを知らなかつた。

しかし古代の投石器の發明者は慣性を知つてゐたであらう。

アルキメデス²⁾(前250年頃)の時代には、色々の形のネチが現はれてゐた。

アラビア譯によつて今日まで傳はつてゐるヘロン³⁾(前100年頃)の著書の中には、5箇の簡単な機械が書かれてある。ヘロンは、ネチは螺線形の楔であるとも書いてゐる。

複雑な自然現象の中から、常に現はれて來る不變的な要素を抽出し、これが如何に互に相結合するかを知れば、これによ

¹⁾ mechanics ²⁾ Archimedes ³⁾ Heron

つて統括的に自然を理解し記載出来るのである。

記載と理解との経済は科学の本質をなし、安定な美的な形式を要求する。その際、事実を思惟の裡に模写し或は数量的に表現する方法を指示するものが、法則である。

吾等の有する「影像」即ち概念は、吾等の創り出したものであるが、しかし全く随意的な産物ではなく、対象間の関係と一致適合させようとの努力の下になされたものである。

フランスの大理学者アンリ・ポアンカレ¹⁾が「科学と憶説」(“La Science et l'Hypothese”) 中に於て、力学の根本法則は規約であると述べてゐるのは、この點に於て首肯される。

2. 力学の分類 力学はこれを分けて運動學²⁾と狭義の力学³⁾とになすことが出来る。運動學とは、物體に働く力を考へず單に物體の運動のみを論ずるもので、時空四次元の幾何學といつてもよい。狭義の力学を分けて静力学⁴⁾と動力學⁵⁾とする。静力学は、物體に働く力が釣合へる場合を論じ、動力學は、力が物體の運動状態を變化する場合を述べる。

3. 静力学 力学に関する最も古い研究は、古代ギリシヤ人の静力学である。静力学は、物體に働いて釣合をなしてゐる力を論ずるものである。

ギリシヤ人の力学は、幾何學の進歩に遅れてゐる。アルキタス⁶⁾(前400年頃)は滑車の理を發見し、木製の飛行鳩を作つた。ヘロンも有名である。アリストテレス⁷⁾(前383—322年)の著と

¹⁾ Henri Poincaré ²⁾ kinematics ³⁾ dynamics ⁴⁾ statics

⁵⁾ kinetics ⁶⁾ Archytas ⁷⁾ Aristoteles

いはれる「力学の諸問題」には、運動の平行四邊形の理を認め、遠心作用に近いものをも述べてゐるが、全體として寧ろ辯證法的性質を持つてゐた。

アルキメデスは數冊の著書があるが、その中今日まで完全に残つてゐるものに、「釣合に就いてがある。槌子や重心に関する法則を述べてゐるものである。

ステヴィン¹⁾(1548—1620年)は、斜面は鉛直面と水平面との中間をなすもの故、水平面の如くその上の物體がそれ自身では釣合はないが鉛直な壁に於けるよりも小さな力で支へ得るであらうと考へてゐた。

斜邊が水平な直角三角柱の一辺が、他邊の2倍大であるとする。三角柱に懸けられた環

状の鎖は釣合を保つか否か。若し釣合はなければ鎖は動くが、幾ら動いても状態を變化しない故に、永久運動²⁾を形成することになる。この運動は、ステヴィンの考によれば、落下なき落下運動、限界なき運動、目的に一致しない目的行爲、變化を起さざる變化の如きものである。これは不合理であるが故に、鎖は釣合ふとした。鎖の中の垂



ステヴィンの著書(1605年ライデンで發行された Hypomnemata mathematica) の扉の繪。上の飾辭は「驚くべきことにして驚くべきことにあらず。」の意である。

¹⁾ Stevin ²⁾ perpetual motion

下部は對稱的なるが故に、これを取除いて論じ得る。

ステヴィンの實驗は所謂¹⁾思考實驗である。三角形が幾何學に於ける觀念上の對象なるが如く、思考實驗も或論理的な要求を充たすのである。

ステヴィンは、力の合成に關する平行四邊形の法則の概念に到達し、これを利用してゐた。しかし1687年サー・アイザック・ニュートンの²⁾「自然哲學の數學原理」(“Philosophiæ naturalis principia mathematica”)に於てこれは始めて明白な形で發表されたのである。又同年獨立的にヴァリニオン³⁾もパリの學士院にこの法則を發表した。ヴァリニオンは、剛體に於ては、力の着力點を力の作用線上に動かしても、結果に於て變りがないことを示した。彼の論法では、動力學の特別の場合として靜力學を論ずる。

力の平行四邊形の法則は、經驗上の法則であることは明瞭である。即ち、力の⁴⁾獨立性の基礎の上にあるからである。一つの力は他の力の働くと否とに係はらず、獨立的な効果を物體に起すものである。然るにダニエル・ベルヌーイ⁵⁾が幾何學的證明を試みた。彼は、出來得るだけ僅かの假定から論理的にこの法則を導き出さんとしたが、これによつても、殆ど經驗とは考へられぬやうな僅かな經驗の中にも、既にこの法則が含まれてゐることが解るのである。

力がベクトルであることも重要な經驗である。上の證明に於てベルヌーイは、暗黙の裡、無意識的にこれを用ひてゐた。

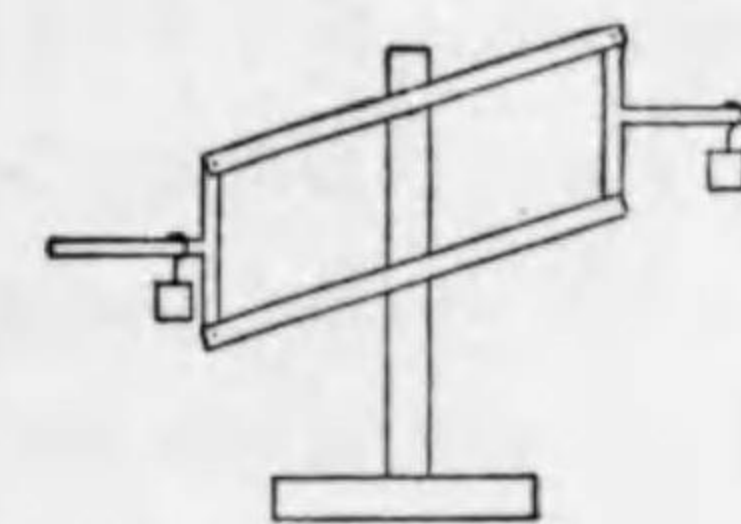
1) Gedankenexperiment 2) Sir Isaac Newton 3) Varignon
4) independence of force 5) Daniel Bernoulli

4. 假想變位の原理 假想變位の原理¹⁾とは何か。

ガリレオ・ガリレイ²⁾は、滑車に於ては重量と變位との積は兩側に於て相等しいことを示してゐる。この中に假想變位の原理の萌芽が現はれてゐる。釣合に對する假想變位の原理の一般形は、1717年ジャン・ベルヌーイ³⁾の發見したものである。

物體系の結合の状態を破らない無限小可能變位の一系を假想變位といふ。假想變位に際して仕事が零とならば、釣合が起つてゐるのである。それでこの原理を一名假想仕事の原理⁴⁾ともいふ。

ローバール⁵⁾の天秤は、傾角が自由に變化され得る平行四邊形の枠である。上下に相對する二邊の中點の周りに廻轉され得るやうになつてゐる。しかしこの時、他の二邊は常に鉛直になつてゐる。この二邊に水平な棒が取附けられてあり、相等しい



ローバールの天秤

重さの錘が下げてある。錘を水平棒の何所に下けても、釣合が成立つのである。如何となれば、天秤に或變位を與へた時、一方の錘の上がる距離は他の錘の下がる距離に等しく、全體のエネルギーは不變であるからである。

モーベルチュイ⁶⁾は靜止の法則を1740年パリの學士院に報告し、後これをオイラー⁷⁾が完全にし、1751年ベルリン學士院に報

1) principle of virtual displacement 2) Galileo Galilei
3) Jean Bernoulli 4) principle of virtual work
5) Roberval's balance 6) Maupertuis 7) Euler

告した。これは、仮想仕事の和が零なる時釣合が起ることを示したものである。

5. 動力学 ギリシヤに於ける力学は主として静力学に關するものであつて、動力学に關するものは幾らもなかつた。しかもそれらは概ね重要でなく又誤謬があつた。

アリストテレスは、すべての物體はその本來の場所に行かうとする性質を持つ、重い物體が下がり軽い物體が上がるのは、そのためである、落下運動は自然的な運動であると述べた。又辯證法的に、重い物體は速く、軽い物體は遅く落ちると唱へたし、衝撃を受けた物體の運動が持続されるのは、物體と同時に運動を起した空氣のためであるとした。

ガリレオの先驅者は¹⁾レオナルド・ダ・ヴィンチである。彼は、斜面に沿うて物體が滑り落ちる時間と、鉛直に同じ高さを落ちるに要する時間との關係を知つてゐた。將棋の駒を積み重ね、他の駒を少しも動かすことなしに一つを叩き出し得ることをも知つてゐたのである。

ガリレオは、イタリア、ピサに於ける青年時代、アリストテレスの反對者であり、「神の火」の如く偉大なるアルキメデスの崇拜者であつた。パドヴァに居る間は、種々の運動は何故に起るかを考へる態度を排して、「如何様に起るかを考へる態度」を採つた。この結果、拋射體の運動は、一様な運動に加速的である、落下運動が結合されたものであることを明かにし、又物體の落下距離は落下時間の自乗に比例することを知つた。斜面

¹⁾ Leonard da Vinci

上の運動振子の運動を研究し、遂に等加速度運動を定義した。彼の「對話篇」(“Discorsi e dimostrazioni matematiche”)に於ては、ガリレオ説の代表者サルヴィアティ¹⁾は、彼と共に實驗を繰返したことを述べ、精細に實驗を記載してゐる。

デカルト²⁾は、從來真理と認められたものすべてを疑ひ、その懷疑主義は今に高く評價されてゐる。スコラ哲學の陰れたる性質なる考に反對して、物質には擴延及び運動以外の性質を認めず、最初に與へられた運動は不滅であると假定して、全物理学を運動学に歸着せしめんと試みた。

ニュートンは、³⁾萬有引力を發見し、又力学の原理を完成した。近代まで、力学方面に於てなされた仕事は、ニュートンの原理を基とする演繹的形式的數學的な發展のみであつた。

6. 萬有引力 ケプラー⁴⁾は、師チホブラヘ⁵⁾及び自己の觀測を基礎として、惑星⁶⁾運動に關する次の三つの法則を導き出した。

- (1) 惑星は、太陽を一つの焦點とする楕圓の軌道を描く。
- (2) 太陽と惑星とを結ぶ動徑は、同一時間内に同一面積を通過する。——面積の定理⁷⁾。
- (3) 各軌道の楕圓の長軸の三乗は、週期の自乗に比例する。

ニュートンは、この法則を、距離の自乗に逆比例し質量の相乗積に比例する萬有引力の存在の假定よりして、説明した。

ニュートンは、月の持つ加速度は、重力の加速度と本質上異なる

¹⁾ Salviati ²⁾ Descartes ³⁾ universal gravitation ⁴⁾ Kepler

⁵⁾ Tycho Brahe ⁶⁾ planet ⁷⁾ theorem of area

ものでないことを認めた。自然の一様性を認めようとすることは、凡ゆる科学者に共通したところである。地表のみならず、高い山上や深い井中、さては月の世界にまで重力が及んでゐると、想像を飛躍させたのである。勿論、萬有引力説は、ニットンと同時代に多くの先驅者があつたが、ニットンに到つて始めて明白に包括的に述べられたのである。

¹⁾フックは1666年ウェストミンスター寺院の頂から、種々の物体を吊し、重力の變化を測らうとさへしてゐる。

ケプラーの三法則は、萬有引力が²⁾求心力の働きをなしてゐることを考へれば、容易に證明され得るのである。

ニットンの³⁾萬有引力恒數は後に諸家によつて精測された。

重力は、山塊、地下の鑛床によつても⁴⁾偏差を生ずる。これを測る鋭敏な装置も出来てゐる。

7. ニットンの主著プリンシピア 「古代に於ては力學に二つの方面、即ち證明を行ふ論理的方面と手工技術の實用的方面とがあつた。力學をメカニクスといふが、これは後者から出た名である。しかし技工は絶對完全にあり得ないので、後には、完全正確なるものを幾何學的と稱し、力學を幾何學から分別した。けれども幾何學の基礎は、直線や圓の描圖にあり、これは力學的技術に屬するものである。幾何學は、斯く考へれば、却て測定を生み且これを論證する廣義の力學の一部に過ぎないのである。

¹⁾ Hooke ²⁾ centripetal force ³⁾ gravitation constant
⁴⁾ variation

¹⁾合理的力學は、運動と力とを、種類を問はず普遍的に論ずる科學である。こゝにこれを數理的に處理せんと思ふ。」

プリンシピア(自然哲學の數學原理)は斯かる意圖の下に、1687年(初版として)生れたものである。ニットンをして不朽の生命を保たしめた、自然科學に於ける大寶曲であり、「人智の記録中最も光輝ある頁」といはれてゐる。

この書は3冊より成り、第一冊及び第二冊は、運動の現象から力の本性を論じ、又運動の條件を論じ、次に、力により自然界の他の現象を説明導出した一般的基礎的命題を包容するものである。第三冊は、前二冊の所論の應用として太陽系の構造の力學的解説を行ひ、太陽、惑星、月、彗星の運動、その質量、地球の形、²⁾潮汐の現象に對し、力學的原理から同じ因果的推論をなしてゐる。天上界には神祕的な力が働き地上界とは異なると、中世紀を通じて信ぜられた思想の打破の警鐘を鳴らした。

ハリ彗星を以て有名な天文學者³⁾エドムンド・ハリーはこの書の公刊をば慫慂し、王立學士院の無力のため自ら費用を支辨し、又校正の勞をも執つたのである。ニットンは自著を公刊することを好まず、光學に關する論文以外の著述はすべて友人の懇請によつて發表したものである。ハリーは、ニットンに取つては寔に心友であり、常にニットンを鼓舞した人である。

「自然と自然の法則とが夜の闇の裡に陰されてゐた時、神、ニットンあれといひければ、すべての物に光ありき。」(ポーブ)プリンシピア出でて、自然の現象は釋然解決されたのである。

¹⁾ rational mechanics ²⁾ tide ³⁾ Edmund Halley

イギリス、ケムブリッジ、トリニティカレッジ¹⁾なる彼の獨棲に於て、1686年4月下旬に完成された第一冊に對し、5月に序文が書かれてゐる。謙讓なる彼は、この困難なる問題に就いて缺點を責めるだけでなく親切に補正し探究せんことを讀者に希つてゐる。第二冊はその後、短日月中に完了されてゐる。

プリンシピアは過去の知識の集大成ではなく、深遠なる獨創の書である。論究に必要な數學も彼の發見に係るものである。特に第一冊の終り頃及び第二冊にフラクシオン²⁾法即ち今の微分の使用を述べてゐる。斯くて以後數世紀多くの學者の敬仰を受けた聖典となつたのである。

フラクシオンは、運動しつつある量の意味を寓するのである。幾何學的量は連続的流動で表はされる。例へば線は點の運動で、面は線の運動で生ずる。斯様な直觀的な立場の上に彼は微分學を案出したのである。既に1666年頃發明し使用してゐたことは、手記からも解る。しかし發表を控へてゐたので、ライプニッツ³⁾に先んぜられたのである。微分概念は近代數學の廣大なる全構造の出發點となつた。

本書第二版は、多くの改訂を加へて1713年に公表され、數箇月にして賣盡してゐる。アムステルダムでは偽版がなされた位である。1726年第三版が出た。

第一冊本文冒頭には、定義一として「物質の量は、その物質の密度と體積との相乗積で測られる。」とある。そして雪や粉末など、壓縮或は凝結され得るものでも、同様のことがいはれ、

1) Trinity College 2) fluxion 3) Leibniz

極めて正確に行はれた振子實驗によつて、質量が重さに比例することを發見したと附記してある。定義二には運動量が擧げられてあり、定義三には物質に内在する慣性が述べられてある。

次に運動の諸法則を述べてあるが、これこそ、有名なニュートンの運動の法則¹⁾として物理学の初歩に於てすら取扱はれるところのものである。

物體の運動の部に於ては、微分概念を示す豫備定理が前提されてある。次に中心力の發見が述べられて、所謂面積の定理が證明され、又抵抗媒質に對する場合も論ぜられてある。面積の定理は1679年に發見され、最も基本的な定理の一つとなつてゐる。

第二冊に於ては、抵抗媒質内の運動、重力の下に於ける流體の平衡と運動、波動、潮、音響が論ぜられてある。抵抗が速さの一乗又は二乗に比例するとして、近代航空力学²⁾の基礎をも造つてゐる。又流體の平衡問題は、天體の形狀に關して重要なものである。

當時行はれてゐたデカルトの渦動論³⁾は、天體運動を説明することを寧ろ困難ならしめるものであり、渦動説を以てすれば、惑星の速さは軸からの距離に比例することになり、事實と相容れないとして排撃した。

惑星が何故に閉じた軌道を描くか。彼は落ちつつある林檎から月惑星にまで思想を擴張した。彼に對しては、月は「落

1) Newton's laws of motion 2) aerodynamics 3) vortex theory

ちつゝある大石である。

當時はプラト¹⁾以来の萬有引力に関する思想が熟せんとしてゐた時代である。ニュートンと同時代のフック、建築家レン²⁾、ハリー、ハイヘンス³⁾等もこれに就いて考察するところがあつたのであるが、遂にニュートンの力に俟たざるを得なかつたのである。

フックはプリンシピアの第一冊に對し、これは自分の懐いてゐた思想であると不正の主張をなし、そのため第三冊も危くニュートンが發行を見合はせようとした位である。

ケプラーの惑星運動に関する法則は、ニュートンの萬有引力の法則を微分法則⁴⁾とすれば、正に積分法則⁵⁾である。

第三冊では、木星が極の方向に扁平なることを、自轉に原因するとし、又地球各地の振子觀測により發見された重力の偏差も亦、地球の扁平に歸した。これによつて、又分點(春秋分點)の歳差運動⁶⁾を説明した。廻轉楕圓體なる地球に働く太陽及び月の引力が地心を通らず、中心を少し外れた點に向ふために、地軸は空間に廻轉獨樂の軸の運動をなすのである。この現象は紀元前約150年ヒッパルクス⁷⁾の時代に既に認められ、ニュートンに到つてこの難問が始めて正しく氷解された。

運動の第三法則は、すべての天體が相互に作用し合ふことを明白ならしめたものである。又球狀物體を構成する各粒子に働く引力の總和が球心を通ることの證明がなされ、又光

¹⁾ Plato ²⁾ Wren ³⁾ Huygens ⁴⁾ differential law ⁵⁾ integral law
⁶⁾ precessional motion ⁷⁾ Hipparchus

の粒子説¹⁾も述べられてある。この粒子説は最近に到り新しく解釋されて來たのは、ニュートン説の復活とも稱すべきか。

彼は現象から導出されない凡ゆるものをば假説とし、「吾假説を作らず。」と、假説が實驗的科學に於ては何の位置をも占めないと唱へてゐる。內的性質や原因を考へることを暫くやめて、その前に法則、自然の函数的關係を普遍的に求め、機械的數學的世界を以て自然科學の本領となした。ニュートンに到つてアリストテレス以来の殘滓陰れたる性質は見事に洗ひ去られた。不朽の名著を一貫する思想は懸つてこゝにあり、彼をして人文史上に、重大なる意義を持たしめたのである。

しかもプリンシピアの結句に次のものがある。

「壯大なる太陽系は、叡智と力とを持つ存在の意志と創造と支配とから成る。永遠無限至上至高絶對全知全能的存在がそこに考へられる。いつまでも變はらず、又到る所にあり。しかも時空にあらず。連綿として同一である。見えず、聽えず、觸れられずして存在するもの、これ所謂神である。」と。

サー・ウィリアム・ローワン・ハミルトン²⁾即ちクォターニオン(四元法)³⁾の原理を發見したハミルトンは、十幾歳かでのプリンシピアを讀破して神童の名を馳せたことは有名である。原著は當時の傾向に従ひ、ラテン語で書かれ、形式・方法何れも、ユークリッド幾何學的である。明快・簡潔・通俗性は全篇を蓋ふ氣圍であり、素朴健實にしてしかも、高貴博大なる氣品を湛へてゐるのである。

¹⁾ corpuscular theory ²⁾ Sir William Rowan Hamilton ³⁾ quaternion

しかも汀で貝殻を拾ふのみ、真理の大海は拓かれずして吾が前にある。』のである。アルバート・アインシュタイン¹⁾はニュートン説を擴充深化し、更に多くの寶の貝を探し得たが、尙汀を彷彿。』ともいふことが出来る。真理は常に吾等の目的である。

アレキサンダー大王の兵士達は地中海沿岸の生れであつたため、インドス河口に於て非常に大きな干満現象に遭つて大いに周章したことが、歴史に書かれてある。凡ゆる時代の科學者達がこの潮汐現象に興味を持つたことは當然であらう。

潮汐の干満は1日に2回起る。今月に向ひ合つた地球上の三點A, B, Cを取る。

月がこれらの三點に

起す加速度は夫々

$\varphi + \Delta\varphi, \varphi, \varphi - \Delta\varphi$

であるとする。又地球がA, Cに及ぼす加速度は $-g, +g$ である。又月が地球に及ぼす加速度は φ である。よつて地球に對するこれら二點の加速度は $-g + \Delta\varphi, +g - \Delta\varphi$ である。よつてA, Cに於ては相等しく水が高まるのである。

既述の渦動とは、流體の或部分が或方向を軸として廻轉せるもので、これは周圍の靜止せる部分と明劃に區別されるものである。

完全流體²⁾(粘性のない流體)中に起つてゐるものは、永久に廻轉を續ける。そして人爲的に起すことも出来ぬ。ヘルマ

¹⁾ Albert Einstein

²⁾ perfect fluid

ン・フォン・ヘルムホルツ¹⁾はクレル紀要にこの問題を論じた。尙サー・ウィリアム・トムソン²⁾は1856年、磁力は磁力線を軸として起る媒質微部分の廻轉に基づく遠心力に類似すると述べたことがある。

8. 慣性系と運動エネルギー ニュートンの運動の第二法則即ち力は質量×加速度である ($f = ma$) といふことの行はれる基準系を慣性系³⁾といふ。これより加速系に移るには、加つてゐる力の外に慣性力⁴⁾をば考へねばならぬ。これは運動してゐる物體の質量に系の加速度の符號を反對にしたものを乗じたものである。廻轉系では、これは遠心力である。地球上では自轉による遠心力も一般引力とは區別されないのである。重力はために自轉により、極以外の地に於て減少される。これを、求心力に相當するものを失ふから重力が減少すると見るのは、慣性系の見地である。

アインシュタインが喩へたやうに、閉ざされた樽が自由落下すると、樽内の人には重力が意識されぬ。振子も振動せぬ。これも、慣性力が支配するからである。

逆に自由空間の中で樽が上方に重力の加速度を以て引かれて加速運動すれば、樽内の人には重力現象を體驗する。これも慣性力の點から論ぜられる。

$f = ma$ なる故、 $f - ma = 0$ である。斯様に加速運動を釣合に歸せしめることをダランベールの原理⁵⁾といふ。

¹⁾ Hermann von Helmholtz ²⁾ Sir William Thomson ³⁾ inertial system

⁴⁾ force d'inertie ⁵⁾ D'Alembert's principle

廻轉してゐる地球上の物體は釣合つてゐると見られるが、これも遠心力が、實在する「一種の重力」と見做されてゐるからである。

1695年ライブニッツは mv^2 (v は速さ) を vis viva 即ち「生ける力」と命名し、これを運動物體に存する眞の力であると見た。又静止せる物體が他物體に及ぼす壓力を vis mortua 「死せる力」と呼んだ。コリオリ¹⁾は $\frac{1}{2}mv^2$ を「生ける力」とするのが適切であると論じた。後に「生ける力」は「活けるエネルギー²⁾」と改稱された。

9. 自然の經濟 一つの重要な基礎的事實が觀察によつて一旦確立されると、その以後は、思惟に依據することによつても複雑な事實が論ぜられるのである。そしてこの思惟の段階に於ては、形式的發達が期待される。形式的發達といふのは、最少の勞力を以て事實を模寫することである。この中にも、自然の經濟といふことが先づ着目される。

既にピタゴラスは、圓は、與へられた長さを周圍とする圖形の中で面積が最大のものであると教へてはゐるが、17世紀の末から18世紀の初めにかけて、所謂等周問題³⁾が議論された。

ヘロンは、光が一點Aより發して鏡の一點Mに當つて反射し他點Bに達するに最短距離を探ると假定して、反射の法則を求めた。鏡に關するBの像をB'とすれば、AMB'は一直線をなす。そして

$$AMB = AMB'$$

¹⁾ Coriolis ²⁾ kinetic energy ³⁾ isoperimeter

それで、光が他の點Nに當たる場合よりも徑の長さは短く

$$AMB < ANB$$

フェルマ¹⁾は、光の屈折に於て同様な法則を發見した。光が一點Aより出發して、Mに於て屈折してBに達する場合に、時間が最少なる徑路を探るとした。(異なる媒質中では光の速さは異なる。)

若し同一媒質ならば、これは反射の法則と同一のものとなり、最少時間の原理は、最少距離の原理と一致する。

AMBを實際の徑路とすれば、この附近では、少し徑路を變へても時間は殆ど變はらぬ。今AM'Bといふ少し變化した徑を考へる。第二の徑では第一の徑に比し、第一媒質中でPMだけ長さを減じ(M'からAMに下した垂線の足をPとすれば、 $AM' \approx AP$)、第二媒質中ではM'Qだけ長さを増してゐる($BM \approx BQ$)。故に

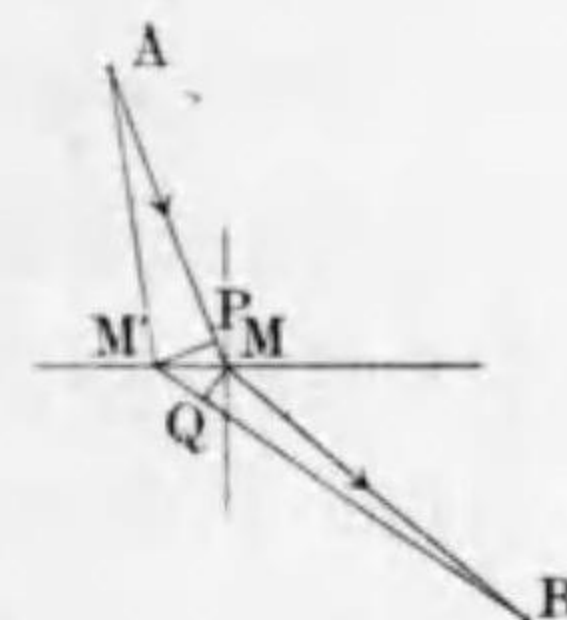
$$\frac{M'Q}{v_2} - \frac{PM}{v_1} = 0$$

でなければならぬ。 v_1 及び v_2 は夫々第一及び第二媒質中の光の速さである。入射角を*i*、屈折角を*r*とすれば

$$PM = MM' \sin i,$$

$$M'Q = MM' \sin r$$

$$\therefore \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin i}{\sin r} \\ = n$$



¹⁾ Fermat

n は第一媒質に対する第二媒質の屈折率¹⁾である。

フェルマーの原理を最少時間の原理²⁾といふ。

今鉛直面内に二点 A, B があり, A と B とを結ぶ曲線に沿って物体が落下する時落下時間が最少になるやうな曲線は如何か,これをブラキストクロンの問題³⁾といふ。ジャン・ベルヌーイの提出したものである。

この落下運動の問題は,光の屈折の問題に還元され得る。A より下方に h なる距離にある層では,光は $\sqrt{2gh}$ なる速さを持つと假定すると,光の経路は最短落下時間の経路と一致する。これはサイクロイド⁴⁾と呼ぶ曲線である。ジャン・ベルヌーイは斯くの如き創作的の方法で,この問題を解いたのである。

光が何故に最少時間の徑を選ぶか。これを創造者の慧智によるとすれば最前前進出来ないことになる。

光は凡ゆる徑路を選ぶことが出来る。しかし最少時間の徑に於ける光波のみが著しく強められるのである。即ち節約は外見にして,内面には非常な浪費があるのである。

經濟の集積したものが可視的となる。根本的に考へれば,變化を指導する要素たる仕事に注意せねばならぬ譯である。

ラグランジュ⁵⁾の變分法⁶⁾が生れ,等周問題と共に,力學の發達に大なる力を與へた。ラグランジュ以後,力學の一般法則を好んで最大最小の形に表はすことが行はれた。

1) index of refraction 2) principle of least time

3) brachistochrone 4) cycloid 5) Lagrange

6) calculus of variation

10. 最少作用量の原理 1747年モーペルチュイ¹⁾は最少作用量の原理²⁾と呼ぶものを發表した。彼は,この原理は神の慧智に一致するものであると述べてゐるのは特に面白いことである。それほど力学法則の建設には神學的立場が存してゐたことは歴史上見逃されぬ。

しかもモーペルチュイは,この原理を箇々の場合に應用するに於て,極めて無理な又曖昧な扱ひ方をなした。彼は教會の信仰に似たものを力学に取入れ,この流れに従つて知識を統一しようとしたのである。彼の原理はオイラーなどの學者を刺戟して,大いに發展されたのは幸である。

作用量³⁾を測るものとして,物体の質量と速さと通過した距離との相乗積 mes が採られる。或はエネルギーに時間を乗じたものと考へてもよい。

オイラーは哲學者的な性格を持つてゐたが,自然現象は經驗的結果から見て,最大或は最小となるところのものがあることに注意した。

一定質量の質點の速さ v が座標のみの函數である場合,軌道の兩端を固定して, v に ds (その附近の徑の長さ) を乗じて加へ合はせたもの $\int v ds$ が最大又は最小になるのが,實際運動徑路であるとした。

力が働かぬ場合 v は一定であり, $v \int ds$ が最小になるのは直線である。

數學上ではこの原理は

1) Maupertuis 2) principe de la moindre quantité d'action 3) action

$$\delta \int v ds = 0$$

即ち $\int v ds$ の變分が零であることによつて表はす。これは、この積分が唯一決定的な最大最小値を採ることを意味するので、次の如く述べる事が出来る。

「すべての運動に於て、實際の徑は、考へ得べき多くの徑の中で、特出的なものである。」と。

エルンスト・マッハ¹⁾ (1838—1916) はオーストリアの大學教授であつた。物理學の歴史的批判的研究を大成した人であるが、思惟經濟を強調した。

11. 對稱と最大最小 プラトーンが針金で造つた多邊形を石鹼水中に浸して後取出したところが、驚くべき對稱形の石鹼膜が張られてあるのを見た。こゝに、平衡と對稱性とは如何なる關係があるかといふ疑問が起る。

對稱である場合には、これを破らうとするすべての變形に對して、これと正反對の變形が常に可能であり、従つてこれら兩者は正又は負の仕事を行ふことになる。一方釣合の形は、仕事の最大又は最小の場合に相當するので、この條件は對稱性によつて自ら満足される。

一つの量が他の量の函數として變化し最大又は最小を示す場合には、正作用に對して必ず逆作用があるのであり、正逆重疊してゐるのである。

何か一例を考へて見よ。

¹⁾ Ernst Mach

12. ヘルツの力學體系 電波の存在を實證した有名なハインリッヒ・ヘルツ¹⁾ は、力學に於ても亦卓見を示した。彼は1894年「近世力學原理」(„Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhang darstellt“) を著し、從來の力學に關する認識論的考察を述べ、自身力の概念を除き去り單に時間・空間及び質量の概念を以て力學の基礎とする新形式の體系を構成した。これは、實際に觀察し得ざる力なる量を除き、觀察され得るものを以て式化せんとしたからである。彼は、自由なる物體は所謂慣性運動をなすが、物體が何等かの方法で結合されてゐる時は、ガウスの原理²⁾ に従つて、慣性運動よりの偏倚を出来るだけ最少ならしめんとするやうな運動をなすとした。彼は力の代りに、他の物體との剛體的結合を考へたのである。斯様な物體が視えない場合にも尙、陰れたる運動をなす陰れたる物體を假定したのである。これは、電氣力の傳達も媒質の運動の結果であると説明し得るからである。

ガリレオ—ニュートンの力はしかし、「空虛なる空間を進行する空虛なるもの」でなく、又超感覺的なものでは決してないのであるが、兎も角も、物體の運動は、擴張された慣性運動と見得ることは確かである。實際運動は、偏倚が最少なる一義的な運動である。この點に於てヘルツの力學は、形式的な統一された美しい體系をなすものである。

¹⁾ Heinrich Hertz

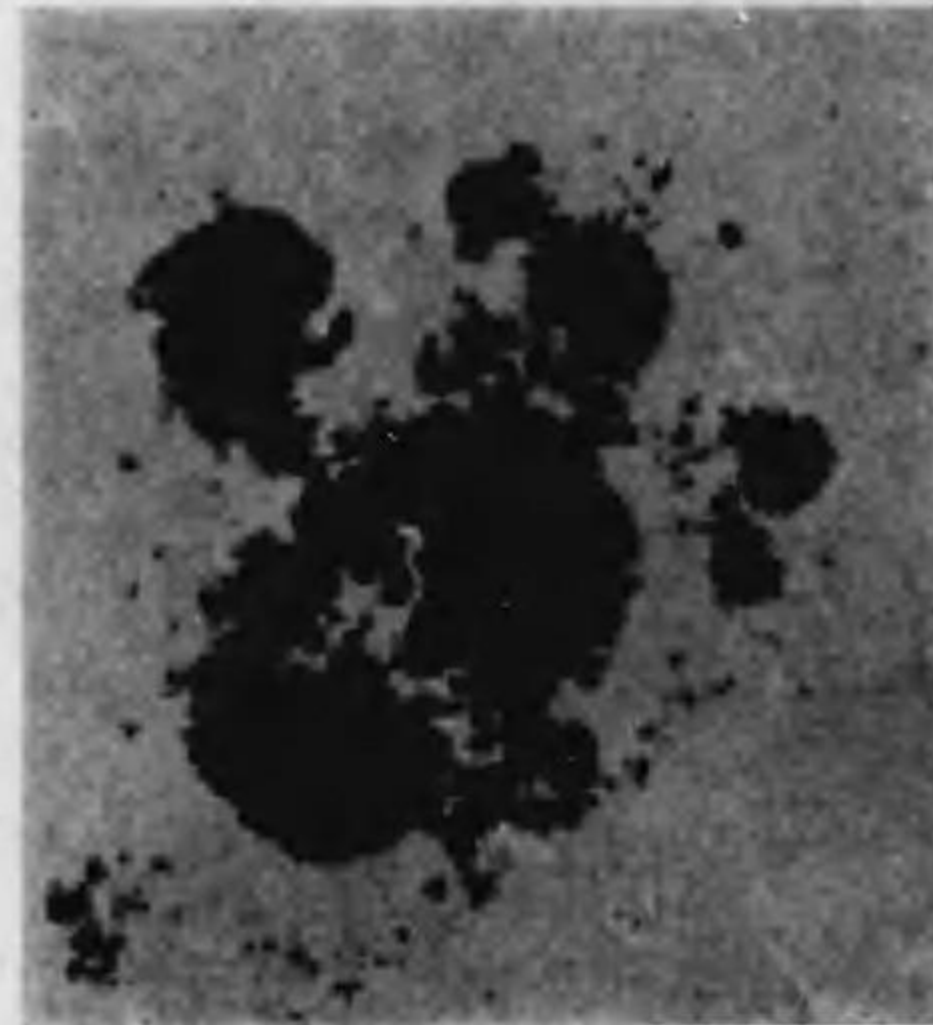
²⁾ Gauss

第2章 天 體 現 象

1. 太陽 太陽はどれほどの大いさがあるか。見たところ月と變はらないやうである。物體の兩端が眼に於て挟む角を視角¹⁾といふが、太陽の視角は約32'で、手を伸ばして見た五錢白銅貨の孔位である。この半ばを視半徑といひ、日により幾分異なる。

しかし太陽までの距離は約1億5千萬kmもあり、直徑は地球の約109倍もある。比重は、地球の約 $\frac{1}{4}$ で、水の1.4倍であるから、先づ普通の石炭位と思つてよく、案外に小さい。これは非常に温度が高いからであらう。太陽の温度は6,000°といはれてゐる。太陽が鉛直に地表に送る熱量は、地表1cm²に付いて1分間に約2カロリーの勘定になるから、太陽から1分間に四方に送り出される熱量は、5,520,000,000,000,000,000,000,000カロリーといふ莫大な量になる。又その光は23,000,000,000,000,000,000億燭といはれてゐる。

太陽を望遠鏡で見ると幾つかの黒點²⁾が見える。これは太陽の表面に起る大きな渦動である。膨脹して上昇し冷えて周囲より



太陽の黒點

1) visual angle 2) sun spot

も暗く見えるが、尙温度は高く、イオン又は電子をも多數に含んでゐる。この位置の變化から太陽も自轉してゐることが解り、赤道の所では約25日に1自轉をする。日食の際には、太陽の光球が月に陰れるので、太陽の周りが觀察される。この時、白黄の光が四方八方に放射狀に出て、非常に壯觀である。これをコロナ¹⁾といふ。尙紅焰(プロミネンス)²⁾といつて、焰が燃え上つてゐるやうな物が見え、如何に太陽の表面が活動状態にあるかが考へられる。



コ ロ ナ

太陽は一種の星である。毎夜見える星の中には太陽より大きいものは幾らもある。太陽が大きく見え、星が小さく見えるのは、後者の距離が非常に大きいためである。光の進む速さは1秒間に3億mで、太陽から地球に光が来るのには8分18秒掛かるが、一番近い星からでさへ數年掛かるのである。それほど遠いので、大きな星も小さく一點にしか見えぬのである。

星の中には、光が吾等に達するのに幾十年幾百年幾千萬年と掛かるほど遠いものもある。若しこれらの星が今日その存在がなくなつたとしても、その最後の光が吾等に達するには、今後尙長い年月を要するのである。光が1年間に通過する距離を1光年³⁾(L. Y.)といふ。

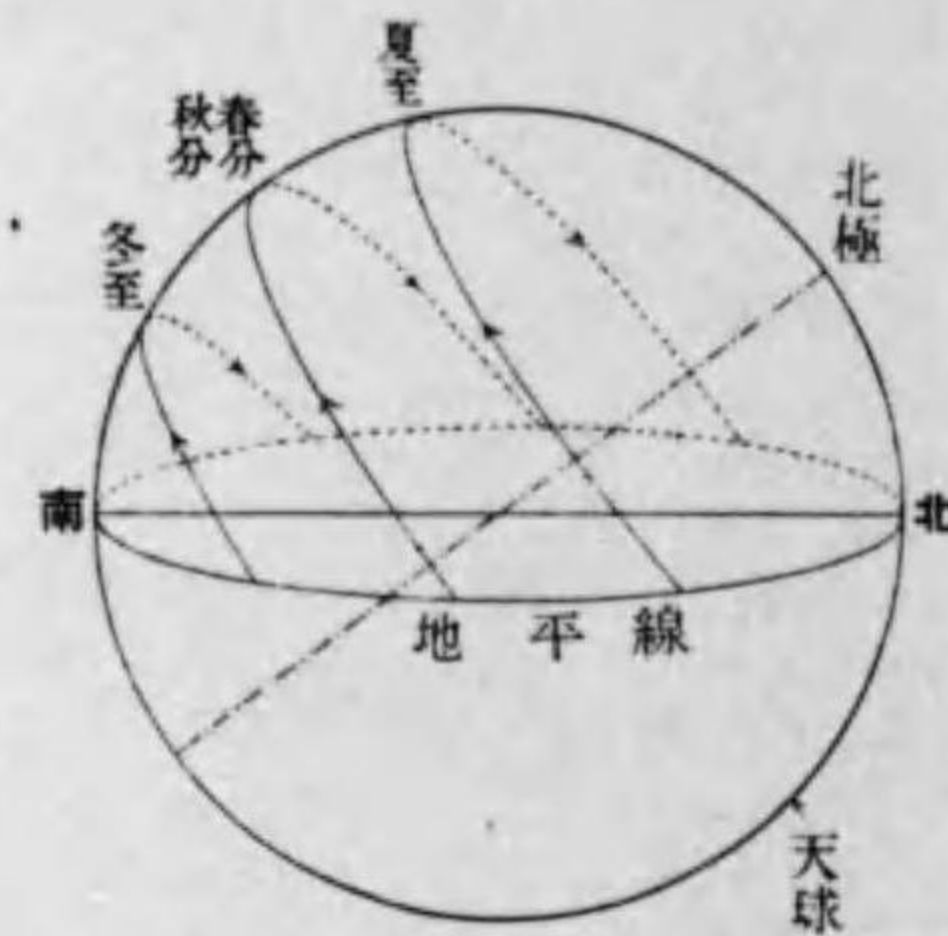
1) corona 2) prominence 3) light year

2. 時 太陽の上縁が地平線に見える時刻を日出時刻といふ。日出の最も遅いのは1月7日頃である。太陽の上縁が地平線下に陰れる時刻を日入時刻といふ。日入の最も早いのは12月6日頃である。

夜明日暮は東京では、太陽中心の俯角が $7^{\circ}21'40''$ になる時を指していふ。

¹⁾ 春分秋分²⁾では、太陽は天球³⁾(地球を中心とした無限の擴りの球。その内面に星が投影されて考へられる。)の赤道⁴⁾(地球の赤道面を無邊に擴げたと想像したもの)上にあり、春分以前、秋分以後は赤道面より下に来る。春分以後、秋分までは赤道面より上に来る。赤道面よりの太陽の角位置を赤緯⁵⁾といふ。従つて上の場合、赤緯は0, -, +である。

春分秋分では、太陽は正東の方位に昇り正西に陰れる。この時太陽が地平線上にある時間は、大略12時間であるが、中緯度では晝間は夜間よりも十數分長い。夏至⁶⁾には太陽は最も北へ、冬至⁷⁾には最も南へ行く。夫々北緯、南緯 23.5° の眞上に来る。それで夏至には北半球では晝間が一番長く、冬至では一番短い。そして緯度が高いほど夏至の晝間が長く、冬至の晝



地球に対する太陽の位置

¹⁾ vernal equinox ²⁾ autumnal equinox ³⁾ celestial sphere
⁴⁾ equator ⁵⁾ declination ⁶⁾ summer solstice ⁷⁾ winter solstice

間が短くなる。極では、春分秋分の中間及びその外に於て、半年は晝で半年は夜である。赤道では、晝夜は常に12時間である。

南向きの縁側に夏は殆ど日が差し込まぬが、冬に向ふに従ひ次第に日が深く入り浸る。

赤緯の餘角を極距離¹⁾といふ。天頂²⁾(觀測者の頭上の方向)より天體の位置を測つた角を天頂角³⁾、天體の面の中心が水平面に對して持つ角を高度⁴⁾といふ。天球の北極の高度がその地の緯度⁵⁾である。視高度は、光の屈折のため眞高度より高い。太陽や星の高度を測り航海曆から時刻を定め得るのである。

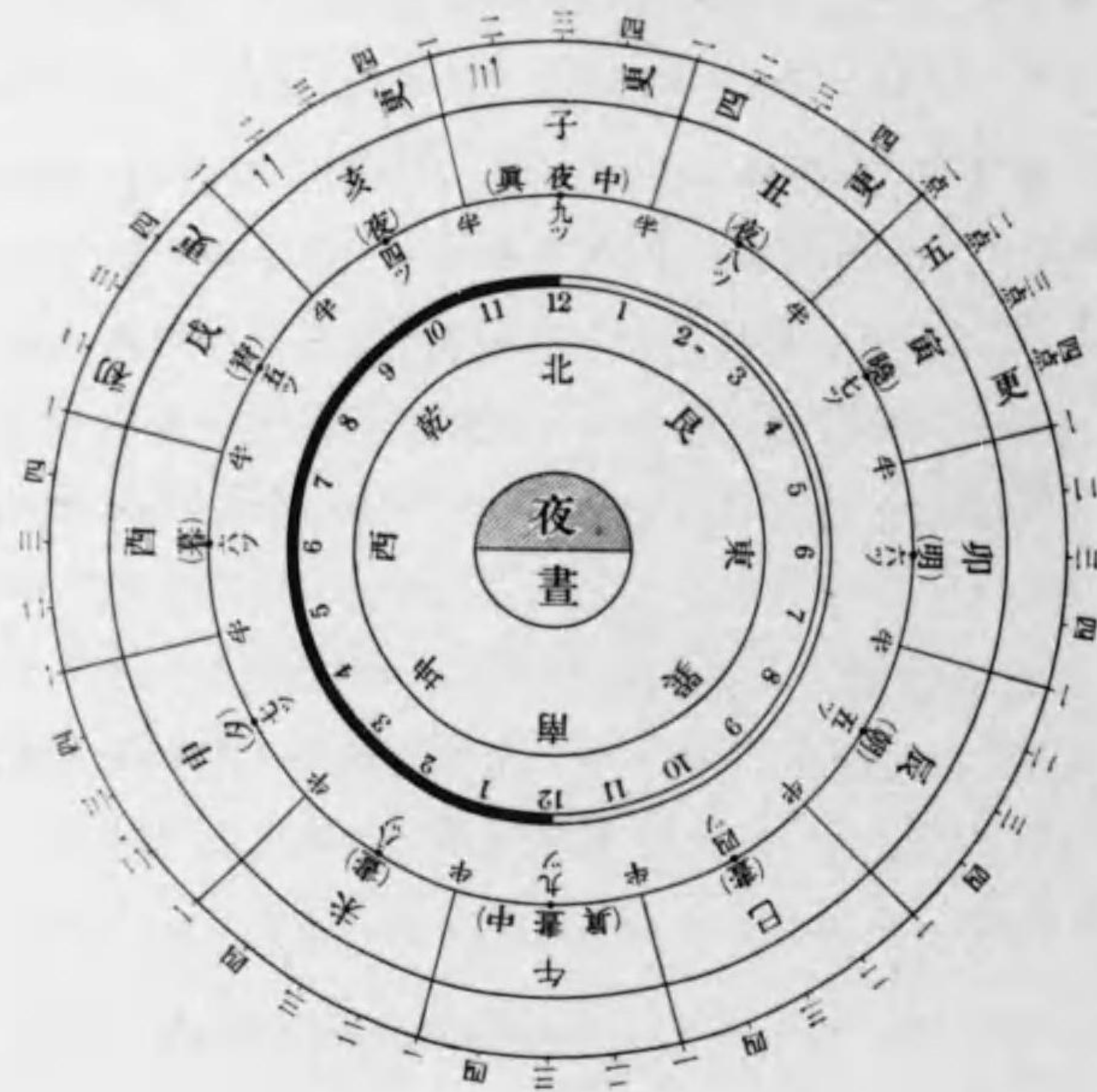
太陽が天球面上に見掛け上描く徑を黃道⁶⁾といふ。黃道と天球の赤道との二交點が春秋の分點である。太陽が赤道より最も距つた點が夏・冬の二至點である。

3. 昔と今との時 徳川時代より明治5年改曆までは1日を12時に分け、夜半から正午までを九つ・八つ・七つ・六つ・五つ・四つの6時に、正午から夜半までを同じく九つ・八つ・七つ・六つ・五つ・四つの6時に分けた。そして鐘はこの數だけ撞かれたが、捨鐘といつて、時を報ずる注意として餘分に三つづつ撞いたものである。今一つ十二支による分け方があつた。それは夜半より順次に子・丑・寅・卯・辰・巳・午・未・申・酉・戌・亥の12時に分けるのである。何れにしても昔の1時は今の2時間に當たる。

又各日の日出・日没を六つ時とし、明け六つから暮れ六つまでを6等分して晝間の時間とし、暮れ六つから明け六つまで

¹⁾ polar distance ²⁾ zenith ³⁾ zenith distance ⁴⁾ altitude
⁵⁾ latitude ⁶⁾ ecliptic

午前 0 時	九つ	子の刻
2 時	八つ	丑
4 時	七つ	寅
6 時	六つ(明け六つ)	卯
8 時	五つ	辰
10 時	四つ	巳
午後 0 時	九つ	午
2 時	八つ	未
4 時	七つ	申
6 時	六つ(暮れ六つ)	酉
8 時	五つ	戌
10 時	四つ	亥



を6等分してこれを夜の時間とした。故に四季により、1時の長さを異にした。それで前表は春分秋分に於ける時を示し、一般に大體のものに過ぎぬ。

正子は午前0時、正午は午後0時で、昔の名の残つてゐる例である。又昔は一時を、初刻と正刻とに分け、又は上・中・下の3刻、或は一・二・三・四の4刻に分けた。

太陽や星が子午線上を通過するのを南中といふ。

4. 星座 澄み渡つた夜の空に輝いてゐる恒星¹⁾、それは丁度圓天井に鑲められた寶石のやうに見える。幾つかの星は一群をなしてゐて、或ものは王冠のやうに見え、或ものは鳥の翼を擴げたやうに見え、或ものは蝦か蝸²⁾のやうに見える。古人はこれらの星の群に、形態に象つて、冠とか、白鳥とか、蝸とか、又は大英雄や神の名などを附した。斯様に天球上に散布する多數の恒星を見掛けの位置によつて適當の群に分けたものを星座²⁾といふ。星座の學名はラテン語で命名されてゐる。

空には色々な變化が起る。その位置を正確に表はすには、何か見當がなければならぬ。例へば飛行機が夜飛んでゐる時、どの方向に飛行するかを表はすに、星座を知つてゐれば便利である。又流星³⁾がどの星座に向つて飛んだとか、彗星⁴⁾がどの星座に見えるなどと述べる事が出来る。定つた星座が良く見えない時は、その方向に雲が懸つてゐると想像することが出来る。

1) fixed star 2) constellation 3) meteor or shooting star
4) comet

5. 北極星 太古から船員や陸行の旅人が夜、方向を知るために用ひた北極星¹⁾は、数多い星の中で一番良く知られたものである。

北極星は年中同じ位置に見える星で、他のすべての星はこの星の周囲を取圍んで廻るやうに思はれる。それは殆ど地球の廻轉軸の方向にこの星があるためである。

この星を見出すには、先づ北極星に近い星座を探すのがよい。晴れた晩に北の空を見上げると、^{おほくまの}大熊といふ星座が丁度柄杓のやうな形に列んでゐる。これを北斗七星ともいふ。この中の三つの星は柄杓の柄の形をなし、他の四つは鉢の形をしてゐる。その鉢の側面をなしてゐる二つの星を北斗の指針といひ、この二星を結ぶ直線を延ばし、二星の距離の約5倍離れた所を求めると、そこに北極星がある。



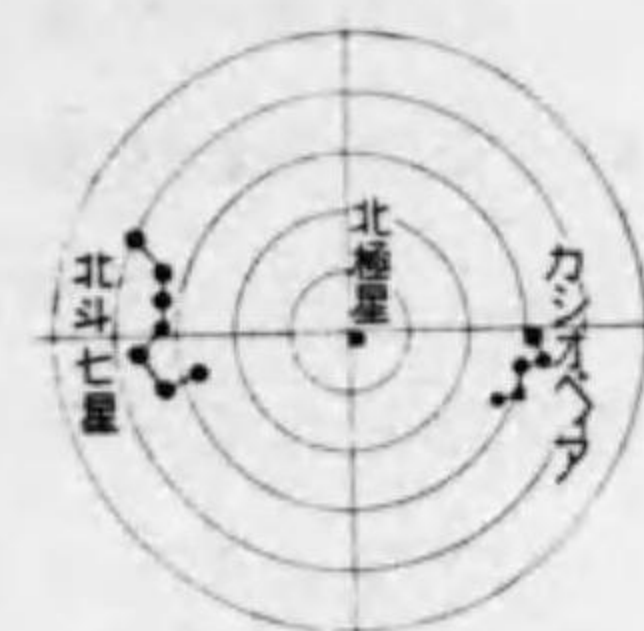
北極星の見出し方

北極星は、古人が^{こくまの}小熊と名附けた星座の一部である。この星座は良く見ると、北斗七星のやうな形をした星の群である。やはり柄杓の形をしてゐて、その柄の先に當たるのが北極星である。小熊とは良くも附けた名である。これに就いての譚もあるが、その名は、これらの星座を見上げた形から生れたものであらう。

北極星を中心として、北斗七星と丁度反対側にそれと同じ

¹⁾ pole-star ²⁾ Ursa Major ³⁾ Ursa Minor

位の距離に、W字形に配列した星座がある。これがカシオペア¹⁾である。W字の開いた方が常に北極星に向つてゐる。晴れた夜、北斗七星が良く見えない時も、必ずカシオペアは見えるから、これによつて北極星を見出すことも出来る。



北極星の位置

6. 星の光度 星の輝きの程度は非常に違つてゐる。しかし最大の星が常に最も輝いてゐるのではない。それは、地球から非常に遠い星は輝くことも少いからである。それで、唯、肉眼で見ただけで非常に輝いて見える恒星を一等星とするのである。一等星の数はさう多くはないから、覚えて置くと、星座などを見出すのに便利である。恒星の光の見掛けの強さを表はす等級²⁾は一等より六等に亘る。北極星・カシオペアは二等星である。1等を變化する毎に $\sqrt{100} = 2.5$ 倍づつ光度を増す。これは、刺戟と感覺との關係からである。一等星以上に強いものは負何等星、六等以下に弱いものは七等、八等、……と呼ぶ。寫眞上の強さと實視等級とは相異なる。

7. 夏の星・冬の星 吾等が星に親しむのは、多く夕方だけであるから、夏の夕と冬の夕とに分けて説明しよう。今、前者の代表に8月の夕の状況を述べよう。

先づ殆ど真上^{あまがは}、天の川^{がは}の西に青白い強い光を放つてゐる星が目立つ。これが七夕星^{たなばた}即ち織女星⁴⁾(ヴェガ)である。一等星

¹⁾ Cassiopeia ²⁾ magnitude ³⁾ galaxy or milky way ⁴⁾ Vega

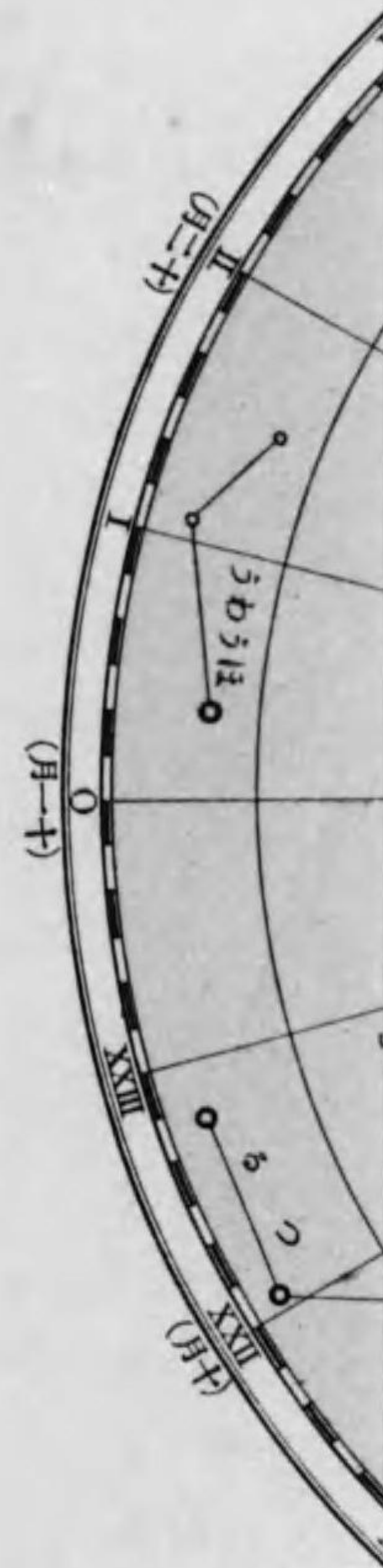
の中では二番目に明るい星である。陰曆7月7日の頃には、この星は天頂近く輝き、月の光もさほどでないために、恐らく最も美しく見えるであらう。こゝは¹⁾琴の星座といはれる。

譚はこの星を女性に、さうして丁度天の川を隔てた東にある一等星アルテール²⁾に結び付けてゐる。これが³⁾彥星或は⁴⁾牽牛星といはれる星である。これを男性に擬したのも、空を見上げた感じがさうさせたものであらう。アルテール附近の星を⁵⁾鷲の星座といふ。

天の川は銀河ともいひ、この二つの一等星の間を流れてゐて、この頃には殆ど天球を西と東との二つに分けてゐる。これを北に向つて眺めると、それは丁度カシオペアに行くであらう。カシオペアと織女星との中間で織女星に近く、銀河の中に一等星がある。それは⁶⁾デネブといはれる。この附近の星座は⁷⁾白鳥といはれ、その中の比較的大きい星を連ねると、十字になる。デネブはその十字の頭に位してゐる。

更に南に向つて銀河が地平線に近づく邊を眺めると、銀河の西に當つて赤い大きな星が見える。これが一等星⁸⁾アンタレスで、この附近の小さい星を併せ眺めると、丁度蝎のやうに見える。これを⁹⁾蠍の星座といふ。アンタレスは丁度蝎の眼玉のやうに見え、その尾は銀河の中に入つてゐる。尙序に銀河の東に北斗七星のやうな形の星座が見える。これが¹⁰⁾射手の星座である。

1) Lyrae 2) Altair 3) Aquila 4) Deneb 5) Cygnus
6) Antares 7) Scorpis 8) Sagittarius



周囲の月数は
その月の一日
午後九時頃南
中する星座を
指す。

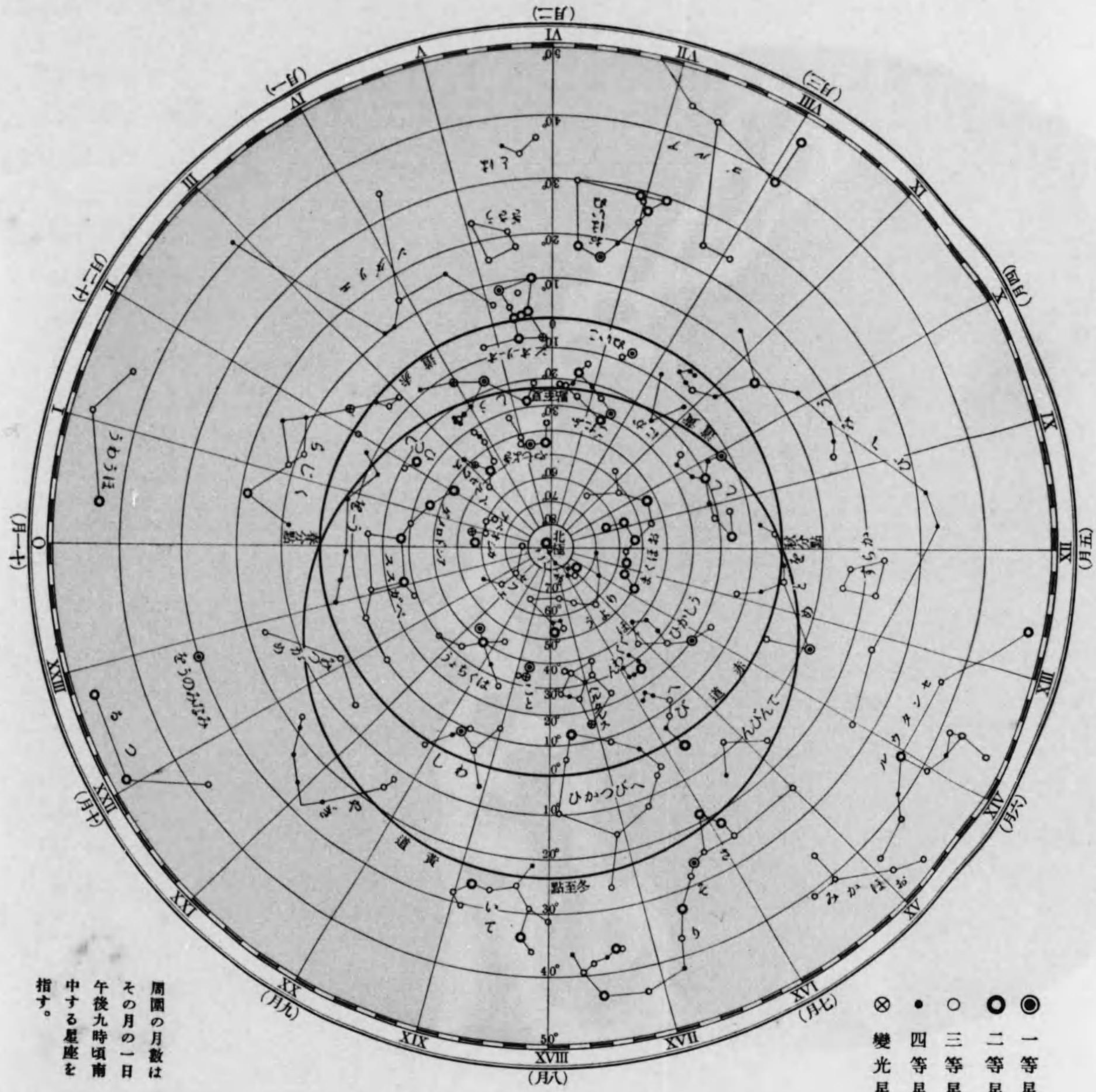
明るい星である。陰曆7月7日の頃には、輝き月の光もさほどでないために恐らくであらう。こゝは¹⁾琴の星座といはれる。性に、さうして丁度天の川を隔てた東にあ²⁾るに結び付けてゐる。これが³⁾彦星或は⁴⁾牽牛である。これを男性に擬したのも空を見させたものであらう。アルテール附近の星。

もしも、この二つの一等星の間を流れてみて地球を西と東との二つに分けてゐる。こゝめると、それは丁度カシオペアに行くであらう。織女星との中間で織女星に近く、銀河のそれは⁵⁾デネブといはれる。この附近の星、その中の比較的大きい星を連ねると、十字はその十字の頭に位してゐる。

銀河が地平線に近づく邊を眺めると、銀河の大きな星が見える。これが一等星⁶⁾アンタレスを併せ眺めると、丁度蝸のやうな星座といふ。アンタレスは丁度蝸の眼の尾は銀河の中に入つてゐる。尙序に銀河のやうな形の星座が見える。これが⁷⁾射手座

1) Aquila 2) Deneb 3) Cygnus
4) Sagittarius

恒星圖



織女星からずつと西北に離れて、大きい黄色の星が見出されるであらう。これが一等星¹⁾アークチュルスで、²⁾牛飼(牧夫)の星座の中にある。この星と織女星との中間に當つて、冠の形をした星の美しい配列が見える。これが³⁾冠である。又アークチュルスからずつと南鳩の星座の西に當つて、青白い一等星⁴⁾スピカが見える。この頃夜晩くなると、地平線に没するであらうが、この邊の星座が⁵⁾乙女座である。尙11時頃になると、全体の星は西へ餘程移り、東の空から星座⁶⁾ペガサスが昇つて来る。

ペガサスの三つの星と⁷⁾アンドロメダの星座の一つの星とは、大きな梯形を形造る。このペガサスと射手との間でずつと南になるが、⁸⁾南魚の星座があり、そこに一等星⁹⁾フォーマルホートが見える。

次に冬の夕、便宜上2月の夕の状況に就いて述べよう。

この頃、天の川は丁度真上を通つてゐる。誰でも氣が附くであらうが、南に當つて青白く物凄しい星が見える。これが星の中で一番明るく見えるもので、支那では¹⁰⁾天狼星といつてゐるシリウスである。これは¹¹⁾大犬の星座に屬する。それから少し眼を上げると、等距離に並んだ同じ大いさに見える三つの星があり、その西と東とに一等星が並んでゐる。東のが¹²⁾ベテルギウスで、赤色を帯び、西のは¹³⁾リゲルといふ。この二星と、その三つ星及びその附近の星とを併せて、¹⁴⁾オリオンの星座といひ、

1) Arcturus 2) Bootes 3) Corona Boreali 4) Spica 5) Virgo
6) Pegasus 7) Andromeda 8) Piscis Austrinus 9) Fomalhaut
10) Sirius 11) Canis Major 12) Petergius 13) Rigel 14) Orion

最も賑かで美しい星座である。

三つ星を北へ向つて延ばすと、そこに一等星**アルデバラン**¹⁾がある。これは**牡牛(牛)**²⁾の星座に屬する。アルデバラン・ペテルギウス・リゲル・シリウスを連結すると、殆ど大きな菱形をなし、その中央に三つ星が並んでゐて、美觀この上もない。

アルデバランの東で天頂よりもすつと北に當つて、黄色い大きな星が見える。これが一等星**カペラ**³⁾で、**馭者**⁴⁾の星座に屬する。カペラから南に當り、アルデバランの東に當たる所に、二つ同じ位に並んだ星が見える。誰でも名附けるであらうが、これを**雙子座**⁵⁾といひ、**カストール**⁶⁾**ポルクス**⁷⁾の二星である。

南方のが**ポルクス**で、一等星である。これから南、シリウスのある**大犬座**の東に當つて、青白い星でやはり凄味を帯びた一等星がある。これが**プロシオン**⁸⁾で、**小犬**⁹⁾の星座にある。尙**雙子座**からすつと東に當つて、星は疎らであるが、一等星が一つある。それが**レグルス**¹⁰⁾で、**獅子**¹¹⁾の星座に屬する。

春の夜には、獅子座のレグルスが餘程西に進み、東に牛飼の**アークチュルス**と乙女座の**スピカ**とが現はれて、大きな三角形をなしてゐる。秋の夜には、琴の**ヴェガ**等は西に傾き、**ペガスス**の梯形が眞上に現はれ、東から牛の**アルデバラン**、馭者の**カペラ**が昇つて來る。このやうに、前に述べた星が位置を變へて見えるだけで、新しい星は殆どない。

星は又色によつて、**白色星**¹²⁾**黄色星**¹³⁾**赤色星**¹⁴⁾と分けることが出

1) Aldebaran 2) Taurus 3) Capera 4) Auriga 5) Gemini
6) Castor 7) Pollux 8) Procyon 9) Canis Minor 10) Regulus
11) Leo 12) white star 13) yellow star 14) red star

來る。これは星の年齢の相違から來るもので、星が若い時は温度も低く、赤い光に富み、年代が經つと温度が高くなり、黄色の光に富み、尙進んで高温度に達し、白色となり、それから冷却し始め、黄色となり、赤色となるのである。それで同じ色にも進化及び退化の二期がある譯である。

白色星の代表的のものはシリウス・ヴェガ等で、黄色星に屬するものはアークチュルス・カペラ等、それから太陽もこれに屬する。赤色星に屬するものはアンタレス・ペテルギウス等である。

8. 星は移る どの星も東から西へ少しづつ移つてゐる。日暮れて東の地平線上に現はれた星は、次第に上つて、子午線を通過し、それから次第に下つて西の地平線下に没するのである。さうして翌日、殆ど同じ時刻に再び東の地平線上に現はれる。これは星が動いてゐるのではなくて、實は地球が地軸を中心として西から東へ自轉してゐるためである。一つの星に對して地球が完全に1廻はりする時間は、太古から今に到るまで殆ど變はることはない。これを**恒星日**¹⁾といひ、吾等の使つてゐる1日よりも約4分短い。

吾等の使つてゐる1日は、太陽に對して地球が1廻轉を完了する時間即ち**眞太陽日**²⁾を1年に付いて平均したもので、これを**平均太陽日**³⁾といふ。この1日を24等分して1時間とし、更に60等分して1分とし、それを又60等分して1秒とする。

この平均太陽日で地球の1自轉の時間即ち1恒星日を測ると約23時56分となる。従つて太陽と一緒に東の空に現は

1) sidereal day 2) true solar day 3) mean solar day

れた星があるとすれば、翌日はどちらが先に東に現はれるかといへば、いふまでもなく、星が出て約4分の後太陽が現はれることになる。このやうに太陽と一緒に出現する星は、次第に變つて行く。さうして翌年同じ時にまた、再びもとの星と一緒に出沒するやうになる。

太陽が天球上の或星座を辿つて、少しづつ東に移る有様を今少し詳しく調べると、春分に於て魚座にあり、それから¹⁾牡羊(羊)・²⁾牡牛と移り、夏至に至つて³⁾雙子に行く。それから⁴⁾蟹・⁵⁾獅子と進み、秋分に於て乙女、それから⁶⁾天秤・⁷⁾蝎と移り、冬至に於て⁸⁾射手、それから⁹⁾山羊・¹⁰⁾水瓶と進み、春分になつて再び魚に來る。この12の星座を移り動くのである。天球上のこの大きな道が黄道であり、黄道星座を**十二座**又は**獸帯**⁶⁾といふ。

このやうな譯で、季節によつて或時刻に見える星が次第に移り變つて行くのである。北斗七星も1年の中には北極星を中心として、その位置が次第に變はる。右の圖は、北斗七星が1年の中のどのやうな位置にあるかを示したものである。これは各月北天に向つて午後9時頃見た圖である。



¹⁾ Aries ²⁾ Cancer ³⁾ Libra ⁴⁾ Capricornus ⁵⁾ Aquarius
⁶⁾ zodiac

9. 月と惑星 月の面の一部は日光に照らされて輝いて見えるが、他の部は暗黒である。明暗の境界線は圓弧であるが、これを斜めに見れば楕圓弧である。外側の光つた方は圓弧をなし、常に太陽に背を向ける。

毎月陰曆5, 6日頃には午後西天に、22, 23日頃には午前東天に、三日月が現はれる。月齡8の附近では半月、月齡22の附近では月は夜半まで上らぬ。新月・上弦・満月・下弦の順序で變はる。日食は新月の際に、月食は満月の際に起る。日食は太陽の西側より、月食は月の東側より始まる。

太陽は地平線下にあつて月を照らす故、夏至・冬至の時分では三日月の傾きは中位、春分頃では横に臥せ、秋分頃では直立する。春秋分には太陽が赤道にある故である。

月は地球の周りに1公轉すると共に1自轉するので、常に一面のみしか地球から見られぬ。他の半面は永久に地球人の眼に入らぬのである。月には大氣はない。

黒點の觀測よりして、太陽自轉の方向は地球公轉の方向に同じいことを知る。月の公轉の方向は地球自轉の方向に同じく、地球の公轉の方向も地球の自轉の方向に同じい。

日暮れて直ぐ西の空に、或は夜明け前東天に見える**宵の明星**¹⁾・**明の明星**²⁾は**金星**³⁾(太白)といふ惑星である。**水星**⁴⁾(辰星)は太陽に最も近い惑星で、軌道の**近日點**⁵⁾が移動する。

木星⁶⁾(歲星)は黄色に見える惑星で、一等星よりも明るい。

¹⁾ evening star ²⁾ morning star ³⁾ Venus ⁴⁾ Mercury
⁵⁾ perihelion ⁶⁾ Jupiter

¹⁾土星(鎮星)は褐色に見え、通常一等星位に輝いてゐる。望遠鏡で見ると、それを取巻く美しい環が見られる。²⁾火星(熒惑)は赤い色をしてゐるので、誰にでも見出されるであらう。土星位の輝きを持つてゐる。

海王星³⁾の発見には数理天文学の勝利を語る挿話がある。

1845年、イギリスの⁴⁾アダムスは⁵⁾エーアリーの要求により、天王星⁶⁾の軌道が計算と符合しないのは他の惑星の影響なるべしとして、その位置を推算した。その結果は、前年公表されたフランスの⁷⁾ルヴェリエの算定と略々一致したのである。こゝに於てケムブリッジの實地天文学家⁸⁾チャリスに報告した。チャリスはエーアリーと共に苦心慘澹推算位置附近の星3,000箇を搜索してゐたが、1846年10月1日突然新惑星発見の報告を聞いた。この報道の出所はルヴェリエである。

ルヴェリエはベルリン天文臺の⁹⁾ガッレに書を送つて新惑星探究を請うた。ガッレは¹⁰⁾エンケの同意を得、篤志天文学家アレ¹¹⁾ストと共に観測を開始したが、アレストの注意によつて、恰もよしベルリン大學版たる星圖の正に印刷完了したものを手に入れた。1846年9月23日夜の観測後30分ならずして新しい星は発見され、その後惑星なることが確定された。

先鞭はルヴェリエの着けたやうであるが、エーアリー、チャリスも既に8月4日・12日及び9月19日この惑星を観測した。

1) Saturn 2) Mars 3) Neptune 4) Adams 5) Airy
6) Uranus 7) Leverrier 8) Challis 9) Galle 10) Encke
11) Arrest

精しい星圖のなかつたため、その惑星であることを確かめ得なかつたのである。

1930年、太陽系の最外惑星として¹⁾プルトー(冥王星)が発見された。これは天王星・海王星の運動から、豫期されてゐたものである。



矢の向いてゐるのが冥王星で、大きな星は雙子座 δ 星である。

10. 歳差 地球が赤道部に於て膨張してゐる(しかし長短軸の差は僅かに21km位)ため、太陽及び月の引力は、月の軌道面たる白道面や太陽の軌道面たる黄道面に向ひ地球の赤道面を引かんとするのである。これら白・黄道兩面の傾角は $5^{\circ}9'$ ばかりで、赤・黄道面は 23.5° の角をなしてゐる。地球は一方大なる速度で自轉してゐるのであるから、こゝに所謂²⁾迴轉儀の運動を起す。その結果、黄道と赤道との角は變はらずに、赤道面が漸轉し、即ち二面の角は 23.5° を保持しつつ、地軸は空間に26,000年を週期とし圓錐面を描畫するのである。北極星はヒッパルクスの時代には北極より 12° の所にあり、今は約 13° の點にあるけれども、 0.5° まで接近し得ることは理論の示すところである。1年とは太陽が春分點より出發して春分點に歸るまでの時間であるが、この赤道面移動の結果として、赤道面と黄道面との會線たる春分秋分線が移動するので、1年の長さを短くし、歳差を起すのである。

1) Pluto 2) gyroscope

白道と黄道との會線は19年に黄道面上を一週し、これと共に月の引力は漸變し、地軸はその描く圓錐の兩側に波狀の小躍動をなすのである。月章道¹⁾とはこれである。

11. 恒星 恒星のスペクトル線の種類及び強さは、星の物理學的状態によつて異なつてゐる。スペクトル型はハーヴァード式分類法で別けられてゐる。

多數の恒星が天球の一部に密集してゐるものを星團²⁾といふ。これには、不規則な散開的なものと、圓形をなして中心ほど密なものがある。一般に銀河の附近に多い。

如何なる大望遠鏡で見ても雲霧狀をなしてゐるものを星雲³⁾といふ。これをガス狀星雲⁴⁾と銀河系外星雲⁵⁾とに分ける。前者には惑星狀と無定形のものがあり、銀河系内のものらしい。後者には、渦狀をなすもの、楕圓狀をなすもの又不規則なものがある。これは銀河系外の宇宙系である。

連星⁶⁾とは、二星が重心の周りに廻轉する相近い星である。別ちて實視及び分光器的連星とする。週期及び速度又離心率も測定されてゐる。銀河の附近に多い。

二重星⁷⁾とは極めて相近い星である。

相接近した二星が廻轉して食現象を起し、週期的に減光する變光星を食變光星⁸⁾といふ。この外、週期が數十日以内で特に半日以下に亘る短週期⁹⁾のもの、週期が数十日乃至數百日に

1) lunar nutation 2) star cluster 3) nebula 4) gaseous nebula
5) extra-galactic nebula 6) binary 7) double star
8) eclipsing variable star 9) short period

亘る長週期¹⁾のもの又不規則なものがある。銀河の附近に多い。

極めて微かな光の星が突然輝き出し、數日間に數千・數萬倍も強さを増し、後緩かに光度を減少するものを新星²⁾といふ。銀河の附近や渦狀星雲の中に現はれる。今日までに數十箇知られてゐる。

見る恒星の殆ど全部は銀河系³⁾と稱する空間内にある。これは環狀をなした銀河を基礎とし、直徑十數萬光年のレンズ形のもので、太陽系附近の恒星は全體として系の中心の周りを3—4億年の週期で廻轉してゐるらしい。銀河系の中心は太陽系から、6萬光年の所にある。

恒星には各固有の小さな運動がある。これは、太陽系及び各恒星が空間を或方向に或速度で動いてゐる結果である。固有運動⁴⁾と稱される。銀河系内には、互に反對方向に動く二大星流⁵⁾がある。

又多數の恒星が一定方向に平行に略、相等しい固有運動をなすものを星群⁶⁾といふ。大熊星群などはその例である。

1) long period 2) nova 3) galactic system 4) proper motion
5) star system 6) star group

第3章 エネルギー

1. エネルギー エネルギーと謂ふ語は既に夙くアリストテレスによつて使用されてゐたが、今日の意味とは異なるものであつた。運動物体のエネルギーを指示するにこの語が用ひられたのは1807年で、實に19世紀の劈頭である。この世紀の理學は、エネルギーの概念を以て諸現象を統一綜合した。

ラムフォード¹⁾及びデーヴィ²⁾は種々の實驗を経て、運動のエネルギーは熱のエネルギーと化し得、熱エネルギーは運動エネルギーの一態に過ぎないことを歸納した。彼等は或は鉄板穿孔の際發生する多量の熱に驚異し、或は密閉器内にて氷塊を摩擦して發熱するに怪訝し、熱のカロリック³⁾説を打破するの根據を得た。熱を潜在物質カロリックの露出とするには餘りに不可解であるが、運動エネルギーの轉移と見れば、兩者連鎖を形成し、よく一より他に到り、尙その逆行をも説述するに容易である。熱の運動説がこゝにその源を發したのである。

ジュール⁴⁾は、錘の下降によつて翼車を水中で廻轉し、上昇せる水溫よりエネルギーと熱との相當性を知つた。所謂ジュールの熱の仕事當量⁵⁾は最も重要な數値である。

$$1 \text{ グラム・カロリー} = 4.187 \times 10^7 \text{ エルグ}$$

¹⁾ Count Rumford ²⁾ Davy ³⁾ caloric ⁴⁾ Joule
⁵⁾ mechanical equivalent of heat

ジュールが斯くの如く重大なる意義をエネルギーに附帶させたのは、1843年であつた。實に一定量の熱は一定量の仕事に變じ得べく、仕事は又熱と化し、その間に恒定せる數值的關係が存在するのである。

ヘルムホルツは1847年、5年前のローバート・マイヤー¹⁾の發見を知らず、齡僅かに26歳の時、ドイツ物理學壇に自著の論文「エネルギーの保存に就いて」(„Über die Erhaltung der Kraft“)を發表したが、老輩のためにその上梓が拒絶されたといふ。

彼は先づ運動と位置とに基づくエネルギーの相互關係を論じ、轉移形式の如何を問はずエネルギーに創造滅亡のないことを叫び、遂に永久運動の不可能なことを闡明した。又宇宙間の諸現象は熱にまれ電磁氣にまれ、すべてこれエネルギー顯現の形態に過ぎず、しかもそこに相當聯關のあることを宣言したのである。

フリードリッヒ・ヴィルヘルム・オストヴァルト²⁾は近代化學界の巨擘であつた。彼は晩年幽妙なる哲學的批判に入り、エネルギー觀念を萬能のものとして、所謂エネルギー的世界觀を創説した。

彼は形體精神及び生命のエネルギーを考へた。そして精神エネルギーはその根源を化學エネルギーに發し、又物質と精神との中間媒體として、神經エネルギーを假定した。これによれば、精神作用に消費されるエネルギーは、物質エネルギーと嚴格なる定量的關係にあるべく、精神即ち物質となり、身

¹⁾ Robert Mayer ²⁾ Friedrich Wilhelm Ostwald

心同一となり、一元論をして旗幟を鮮明ならしめるのである。

物とは何ぞや。心とは何ぞや。寔にかの康德哲學のいふ如く、凡百の現象の中で最も奇なるは生活現象である。しかも生活現象の中でも更に靈妙なるは精神活動である。

しかし自然科学がその機械説を以て心的現象を物質的運動となすの是非は、更に一層嚴密な検討を要するのである。

第 4 章 熱力学

1. 熱力学 熱力学¹⁾は熱の移動に関する現象を論ずるもので、これに二つの基礎的法則がある。

第一は、熱をエネルギーの一態と見てのエネルギー保存則である。即ち或物體になされた仕事 dW と加へられた熱エネルギー JdQ (J は熱の仕事當量) との和は、内部エネルギー²⁾ の増加 dE に等しい。

$$dW + JdQ = dE$$

第二は、熱は高温體から低温體へ自ら移ることは出来るが、他に何等の變化を與へることなしには、低温體から高温體へ上ることは出来ないことを述べるものである。

すべて熱は高温體から低温體へ移る際に仕事をなし得るもので(勿論なさぬ場合もある。)、丁度水が高所から流れて低所に移る際に水車を廻はすのに似てゐる。逆に水車を廻はして水を低所から高所へ汲み上げるやうに、外部からの仕事を以て低温體より熱を汲み取り、高温體に與へることが出来るのである。

今、高温體から JQ_1 の熱エネルギーを取り、 W の仕事をなし、低温體に JQ_2 の熱エネルギーを吐くとすれば

$$W = JQ_1 - JQ_2$$

である。逆作用に對しても同様の式が成立つ。

¹⁾ thermodynamics

²⁾ internal energy

熱が獨りで低温體から高温體に移り得るならば、摩擦に抗して仕事をなす熱機關¹⁾は永久に運動を続けることになる。何となればこの場合、摩擦によつて生じた熱や低温體に移つた熱が、そのまま熱源の方へ戻り得るからである。斯かる機關は熱力学の第一法則に抵觸しないけれども、尙且不可能なことが經驗上知られてゐる。

熱力学の第一法則に矛盾する運動を第一種の永久働²⁾といひ、この法則には従ふが第二法則に矛盾する上述の如き機關の運動を第二種の永久働³⁾といふ。熱力学の法則は、兩種の永久働共に不可能であるとするものである。

マイヤーは南洋通ひの船の船醫であつた。職務の暇には常に自然現象に就いて瞑想してゐた。荒天、波浪高き日には海水の温度が高いこと、南洋の土人の静脈血液の色が動脈血液の色と大した違ひがないことに注意し、熱もエネルギーの一態なることを發見し、遂にエネルギー保存則に到達したといふことである。

しかしドイツでは初めマイヤーの研究は非常に冷酷に扱はれ、時には敵意を以て迎へられた。出版もドイツでは不可能であつたが、丁度ティンダル⁴⁾がその名著「運動のモードとしての熱」(“Heat a Mode of Motion” 1863)に彼の先覺的功績を激賞したので、一般の注意がこれに向けられ、やがてドイツでも嘗ての不當なる取扱を恥ぢるに到つた。

1) heat engine 2) perpetual motion of the first kind
3) perpetual motion of the second kind 4) Tyndall

重い物體が下方に動き、温度差も電位差もそれ自身には大きくなることなく、小さくなる一方である。これが大自然の傾向である。

2. カルノー輪業 物體が種々の變化を受けた後再び元の状態に復することを輪業¹⁾といふ。この際、他のものに何等の變化をも残さないならば、可逆輪業²⁾といふ。殆ど釣合の状態にありながら變化すれば、可逆變化である。



サディ・カルノー

等温膨脹・壓縮の2箇の等温變化³⁾と断熱膨脹・壓縮(熱が出入しないことを断熱といふ)の2箇の断熱變化⁴⁾とより成る可逆輪業を、カルノー輪業⁵⁾といふ。フランスのサディ・カルノー⁶⁾の論じたものである。

完全氣體に應用したカルノー輪業を次に考へよう。

壓力を p 、體積を v とし、 $p-v$ 圖に於て

1より2までは等温膨脹(絶對温度 T_1)、2より3までは断熱膨脹(この場合、内部エネルギーは減ずるため、絶對温度は T_1 より T_2 に降るとする)、3より4までは等温壓縮(絶對温度 T_2)、4より1までは断熱壓縮(この場合、内部エネルギーが増すため、絶對温度は T_2 より T_1 に昇る。)

1) cyclic change or cycle 2) reversible cycle 3) isothermal change
4) adiabatic change 5) Carnot's cycle 6) Sadi Carnot

である。

等温変化をなさしめるには、熱の良導体を以て造られた底を備へた圓筒の中に氣體を容れ、底を大容量の熱源¹⁾(絶対温度 T_1)又は冷却装置²⁾(絶対温度 T_2)に接觸しつゝ、活塞を上げ又は下げるのである。この場合、膨脹に要するエネルギーは丁度熱源から供給され、壓縮の際に發生する熱はそのまゝ冷却装置に吸収されるのであるが、熱源又冷却装置は容量が頗る大きいので、この際その温度を變化しないのである。

断熱變化に際しては、氣筒の周圍を、全く熱に對して絶縁的なるもので包むやうにせねばならぬ。

この輪業に際して差引氣體がなす仕事 W は、曲線 1234 で包まれた面積で與へられるのである。如何となれば、第一過程に於て氣體がなす仕事は面積 122'1' で、第二過程では 233'2' であり、第三過程では氣體がなされる仕事は 344'3'、第四過程では 411'4' である。故に氣體がなす仕事からなされる仕事を減ずれば、面積 1234 となる。

氣體が熱源から受けた熱のエネルギーを JQ_1 、冷却装置に與へたエネルギーを JQ_2 とすれば、一輪業の後には氣體のエネルギーは舊に復し、又断熱變化に於ては熱の出入がない故に、結局氣體が外部から受けた差引の熱エネルギーが W に等しかるべく

$$W = J(Q_1 - Q_2)$$

でなければならぬ。

¹⁾ heat source ²⁾ refrigerator

3. 熱機関の効率と絶対温度 熱機関とは一つの熱源と一つの冷却装置との間に働くもので、熱源より熱 JQ_1 を受け、一部の熱 JQ_2 を冷却装置に與へ、その間に一定の仕事 W をなすものである。丁度水車が二つの水準の水のエネルギーを利用するのに似てゐる。機関各部の摩擦などに對する仕事の損を除けば

$$W = J(Q_1 - Q_2)$$

従つてこの効率¹⁾ e は、熱源から受けた熱のエネルギーで W を除すれば得られる。

$$e = \frac{W}{JQ_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \\ = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1$$

カルノー輪業も一つの熱機関と見做される。計算によると

$$e = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

となり、單に熱源と冷却装置との温度によるのである。

カルノー機関は可逆機関²⁾である。仕事 W を以て可逆機関を逆運轉すれば、冷却装置から JQ_2 の熱を汲み上げて、熱源に JQ_1 の熱を運ぶのである。

一つの可逆機関 A を順に、その機械的仕事を以て他の可逆機関 B を逆に運轉すれば、一輪業の後、兩機関共、原の状態に復し、他に何等の變化を與へることなくして $J(Q_{B1} - Q_{A1})$ の熱が熱源に與へられることになる。但し

$$W = J(Q_{A1} - Q_{A2}) = J(Q_{B1} - Q_{B2})$$

¹⁾ efficiency ²⁾ reversible engine

である故

$$Q_{B_1} - Q_{A_1} = Q_{B_2} - Q_{A_2}$$

でもある。 $Q_{B_1} - Q_{A_1} > 0$ なることは、熱力学の第二法則の教へるところである。Aを逆に、Bを順に動かせば、 $Q_{A_1} - Q_{B_1} > 0$ となり、結局 $Q_{A_1} = Q_{B_1}$ なるべきである。

従つて、同じ熱源と冷却装置との間に働けば、作業物質の如何に關せず、凡ゆる可逆機關に就き

$$e_B = e_A$$

従つてこれはカルノー機關のものにも同じく

$$e_r = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

不可逆¹⁾機關は逆行不可能故に、可逆機關のみ逆に運轉して、今の思考實驗を行へば

$$e_{ir} > e_r$$

となる。即ち可逆機關は凡ゆる機關の中最大の効率を持つのである。しかも 100°C と 0°C との間に働く機關の最大効率は、上式により

$$\frac{100 - 0}{100 + 273} = 0.27$$

に過ぎない。これは分子運動が整理されないためである。

カルノーの見解は獨自であり、孤立してゐたが、後にヘルムホルツ、クラウジ²⁾ス、ウィリアム・トムソン(後のケルヴィン³⁾卿)は彼の考を基礎として理論を發展させた。

可逆機關の効率は熱源と冷却装置との温度のみによる故、

¹⁾ irreversible engine ²⁾ Clausius ³⁾ Lord Kelvin

逆に効率より温度を定めることが出来る。これは作業物質の種類に關しないので、温度の絶対尺度(又は温度の熱力學的¹⁾尺度)といふ。普通に絶対温度といふのはこれである。Kで表はす。Kはケルヴィン卿の首字を採つたもの。 $e=1$ なる時、冷却装置の絶対温度を0とする。又機關がその間に働いて等しい仕事をなすやうな相續く二温度の差は、相等しいと規約するのである。

4. エントロピー 規準熱力學的状態より他の熱力學的状態に、可逆變化を行ふ場合、變化の徑の如何に係はらず

$$\sum \frac{dQ}{T}$$

は一定であることが證明され得る。こゝに dQ は徑の各點に於て温度 T に於て取つた熱量(吐き出した熱量は負の符號を與へることにして、この中に含めてある。)である。この一定量を第二状態のエン트로ピー²⁾といふ。エン트로ピーの變化を $d\phi$ とせば

$$d\phi = \frac{dQ}{T}$$

である。

斷熱可逆變化にては、 $dQ=0$ 故、 ϕ は變化しない。

可逆輪業では、定義より

$$\sum \frac{dQ}{T} = 0$$

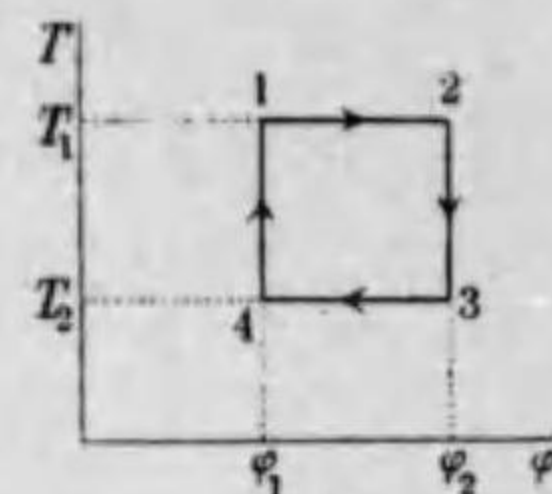
熱力学に於けるエン트로ピーは、重力場に於ける重力ポテンシャルに當たる量である。物體を移動する徑の如何に係はず、ポテンシャル・エネルギーの差は同じく、一點より發して再

¹⁾ thermodynamic scale of temperature ²⁾ entropy

びその點に歸れば、ポテンシャル・エネルギーの變化は零である。

カルノー輪業を $T-\phi$ 圖で表はせば、右のやうになる。

有限熱量を持ち、等質量で同一物質の熱源と冷却装置との間に於て得られる最大の仕事は幾何か。最大仕事をなすものは可逆機關であることは既述の通りである。



兩者の熱容量を c とする。熱源から或短時間に於て受ける熱量 dQ_1 は cdT_1 である。冷却装置に與へられるもの dQ_2 は cdT_2 である。よつて熱源と冷却装置とを一體とすれば断熱可逆變化なる故に熱源の失つたエントロピーは冷却装置の得たエントロピーに等しかるべく結果の溫度を T_r とすれば

$$-c \int_{T_r}^{T_1} \frac{dT_1}{T_1} + c \int_{T_2}^{T_r} \frac{dT_2}{T_2} = 0$$

積分して

$$\ln \frac{T_1}{T_r} = \ln \frac{T_r}{T_2} \quad (62 \text{ 頁参照})$$

$$\therefore T_r = \sqrt{T_1 T_2}$$

又最大仕事は

$$W = J(Q_1 - Q_2) = J\{c(T_1 - T_r) - c(T_r - T_2)\}$$

である。

熱が熱源から不可逆的に流れて冷却装置に入り混合する場合は

$$W = 0$$

$$\therefore T_r = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

である。

T_1 と T_2 との差が小さければ、第一の T_r も第二の T_r も殆ど相等しい。

5. エントロピーと確率 一つの巨視鏡的状態¹⁾を形成するに多数の顯微鏡的状態²⁾がある。巨視鏡的状態とは、外面に現はれた状態である。例へば氣體の壓力・體積及び溫度が斯く斯くといふのは、その巨視鏡的状態であるが、その中にある氣體分子は色々のエネルギー状態にあり得る。種々のエネルギー状態の中に分子を分配する方法の数が顯微鏡的状態の数である。顯微鏡的状態の数を物理學的確率³⁾ W とマックスプランク⁴⁾は呼んだ。 W の値が大なるほど、その巨視鏡的状態は起り易いといふ。

オーストリアのルドウィッヒ・ボルツマン⁵⁾は $k \ln W$ をエントロピーと定義した。

$$\phi = k \ln W$$

こゝに k はボルツマン恒數⁶⁾といはれるもので、モル氣體恒數 R をアヴォガドロ恒數で除したもので、即ち1分子に對する氣體恒數である。 $\ln W$ は相加的⁷⁾であり、 ϕ の相加性と關聯する。

不可逆現象⁸⁾が進行するに連れてエントロピーが増加する。これは、確率の大なる方に現象が移行すると解釋してもよい。ボルツマンの思想は實にこゝにあり、近世物理学を代表する

1) macroscopic state 2) microscopic state 3) physical probability
4) Max Planck 5) Ludwig Boltzmann 6) Boltzmann constant
7) additive 8) irreversible phenomenon

大思想である。エントロピーが最大に達すれば平衡が起り、変化が止む。宇宙全體も、そのエントロピーが刻々増大しつつある。そしてエントロピーが最大に達すれば、変化は止み活動は停止する。宇宙の死これである。それ故エントロピーの増大と時間の過去→未來の方向とは關聯する譯である。それでも、エントロピーの基本概念たる確率概念のために、エントロピー増加には絶対性がない。宇宙の死は確率的な叙述に過ぎず、絶対的でない。時あつて宇宙を回生させる稀有現象が起り得るのである。この時、時間は逆行する。

ドッ・ジッター¹⁾がその相對論的宇宙論から、宇宙は空間的に又時間的に彎曲を有することを述べた。時間の曲率は時間の輪廻をいふもので、上述のボルツマンの思想と一致する。

時間の可逆性は、既に古典力学²⁾の中にも指示されてゐる。例へば、物體を上方に抛げ上げる時とそれが落下して來る時とは、同じ高さでは速さが同じい。一方の時間の向きを反對にすれば他方の運動になる譯で、この種の可逆性を力學的可逆性³⁾といふ。

但し、摩擦ある運動や、磁場内の電子の運動はこの原理に従はない。

1) de Sitter 2) classical dynamics 3) dynamical reversibility

第 5 章 分子運動論

1. 分子運動論 18世紀の初め、ダニエル・ベルヌーイ、ジュール、クラウジウス、ゼーム・クラーク・マックスウェル¹⁾等は、氣體の壓力は分子運動の際に於ける衝突に起因するものであるとした。これを氣體運動論²⁾といふ。

氣體の一分子が邁進するや、他の分子の衝突を受けてその徑を變へ、又他の分子と衝突して屈曲し、間斷なくその徑路を變化しつつあるのである。

この運動は温度の増加と共に愈々激しくなる。

一衝突より次の衝突に到る距離の平均を平均自由行程³⁾と稱する。

容器の壁に及ぼす壓力は、實に分子の衝擊に基づくもので、來たりては打ち打ちては返る。この運動量の時間に對する變化割合が壓力となるのである。

各分子の速さは錯雜混沌なれども、或平均値を持つ。その平均運動エネルギーは絶對温度に比例するとするのは、エネルギー等配則⁴⁾である。それで温度が相等しければ

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

m 及び v は二種の分子の質量及び速さである。

ゲー・リュサックの法則(シヤールの法則)やボイルの法則(マリ

1) James Clerk Maxwell 2) kinetic theory of gas 3) mean free path
4) law of equipartition of energy

オットの法則)は, 1811年のアヴォガドロの假説と共に, この等配則の正鵠なることを示すのである。分子・原子の數, それらの大いさ・質量・速さ及び平均自由行程は観測上より求められる。

邊の長さ單位なる立方形容器中に N 箇の分子があるとする。質量を m , 平均速度を v とする。平均上, 全數の $\frac{1}{3}$ が左右に, 他の $\frac{1}{3}$ が前後に, 残りの $\frac{1}{3}$ が上下の方向に動くと考えてよい。1 箇の分子が一つの壁に垂直に完全弾性衝突をして受ける運動量の變化は, $-mv - mv = -2mv$ である。又 1 箇の分子は毎單位時間 $\frac{v}{2}$ 回この壁に衝突する。それで單位時間に起る總運動量變化は

$$-2mv \cdot \frac{v}{2} \cdot \frac{N}{3}$$

である。然るに壁は單位面積である故に, これは壁より受け従つて, 反作用として分子が壁に及ぼす壓力の強さ p に等しい。

$$p = \frac{N}{3} m v^2$$

Nm は密度 ρ に等しい故

$$\frac{p}{\rho} = \frac{v^2}{3}$$

となる。エネルギー等配則により, 溫度が一定ならば同一氣體では v^2 が一定である故, これはボイルの法則となる。

又二種の氣體に於て溫度と壓力とが相等しければ, mv^2 及び p が相等しい故, N が相等しく, アヴォガドロの法則を得る。

v は常溫では大體音の速さの程度である。

不斷の活動が顯微鏡下の花粉浮游液に窺見されたのは

1827年¹⁾で, イギリスの植物學者ローバート・ブラウン¹⁾の發見にかゝる。粒子の質量が小なるほど益々激甚に活動する。近世分子物理學に一時代を區劃したものは, 花粉のみならず一般懸垂微粒子に見られるこのブラウン運動²⁾である。これは, 液體分子が懸垂粒子に衝突するのが四方平均しないためである。

¹⁾ Robert Brown ²⁾ Brownian motion

第 6 章 指數函數を含む法則

1. 指數函數 イギリスのナピア¹⁾は清教徒として信仰厚い数學家であつた。彼は、 δ を無限に小さくする時 $(1+\delta)^{\frac{1}{\delta}}$ は極限值 2.718……を持つことを発見した。 $(1+\delta)^{\frac{1}{\delta}}$ は又次の無限級數に展開される。

$$1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1 \times 2} + \frac{1}{1 \times 2 \times 3} + \frac{1}{1 \times 2 \times 3 \times 4} + \dots$$

これは極限值 2.718……を持つのであるが、この値は通常、文字 e で表はされる。常用對數では 10 を底とするが、自然對數と稱する對數では、この e を底とする。即ち常用對數は \log_{10} で、自然對數は \log_e で表はされる。

\log_e を略して \ln 、即ち log. natural の二文字で表はすのが便である。

$y = e^x$ に於て指數 x が變數なる時、普通には y を x の指數函數²⁾といふ。 x が等差級數(算術級數)的に變化する時、 y は等比級數(幾何級數)的に急速に變化するのである。即ち y は複利的な變化を表はすのである。この時

$$x = \ln y$$

であるが故に、對數函數は指數函數の逆である。

自然法則が指數函數を含む場合は可なり多い。數理の面白さがこゝにも見られるのである。

¹⁾ Napier ²⁾ exponential function

2. 氣壓法則 吾等は氣海の底に棲んでゐる。それでその上にある大氣の重さに壓せられてゐるのである。これを氣壓¹⁾といふ。

氣體は壓縮され易い。それで大氣の上部ほど稀薄、下部ほど濃厚になつてゐる。大氣内各點に於ける空氣塊は、それより上にある大氣の重さで壓されてゐて、下ほど壓力従つて密度が大きいのである。(溫度を一定とすれば、ボイルの法則より、密度 ρ は壓力 p に比例するのである。) 上下二點に於ける壓力の差は、この二點間に亘る氣柱の重さに等しい。この關係を積分すれば、氣壓法則²⁾

$$p_h = p_0 e^{-\alpha h}$$

$$\text{従つて } \rho_h = \rho_0 e^{-\alpha h}$$

を得る。 h は高さを、添字 0 は地上を意味する。 α は或常數である。即ち上に昇ると急速に壓力と密度とを減するのである。飛行機や氣球の測高器は、この原理を利用し、壓力を測つて高さを知るものである。成層圈³⁾は天氣現象の起る對流圈⁴⁾の上であり、溫度略々一定である。高さ約 12 km 以上である。



成層圈探檢に使用した世界最大のエクスプローラー第二號接地の刹那

¹⁾ atmospheric pressure ²⁾ barometric law ³⁾ stratosphere
⁴⁾ troposphere

3. エネルギーの吸収 物体中を光が通過する時は、¹⁾吸収を受けてその強さが減ずる。今平行光線を考へ、その物体通過直前の強さを I_0 、厚さ d を通過した後の強さを I とすれば

$$I = I_0 e^{-\alpha d}$$

となる。 α を ²⁾吸収率といふ。即ち厚さが算術級数的に変化する時、強さは幾何級数的に変化するのである。この式は、光が僅かの厚さを通過する時失ふ強さが、その厚さとその時の強さとの積に比例するとして、積分により求められるものである。白紙1枚よりも2枚、3枚、……と重ねると、光の透る量はどうなるかを注意せよ。

抵抗を受ける物体の運動電池を回路から除いた瞬間に於ける電流の強さの変化等も、同じく指数函数を含む。

4. 残響 一つの室の中に、毎単位時間 P のエネルギーを出す音源があるとす。天井壁床人等の吸収があるために、或時間 t 後には、室内の音のエネルギー密度 E は

$$E = \frac{4P}{vA} (1 - e^{-\mu t}), \quad \mu = \frac{vA}{4V}$$

となる。こゝに v は音の速さ、 A は總吸収量、 V は室の容積である。 μ を ³⁾減衰率といふ。 μ が小なれば ⁴⁾残響は大であるといふ。残響の小さい室ほど講堂としてよいが、音楽堂としては残響を少しく残し餘韻を持たせねばならぬ。 A は、各面の吸収率に面積を乗じ加へ合せたものである。

笛を吹き急に止めて、残響の強さの変化する状況に注意せよ。

¹⁾ absorption ²⁾ coefficient of absorption ³⁾ damping factor
⁴⁾ reverberation

5. 感覚の法則 刺激と感覚とは比例しない。刺激が等比級数的に変化する時、感覚は等差級数的に変化する。これを ¹⁾ヴェーバー-フェヒナーの感覚の法則といふ。

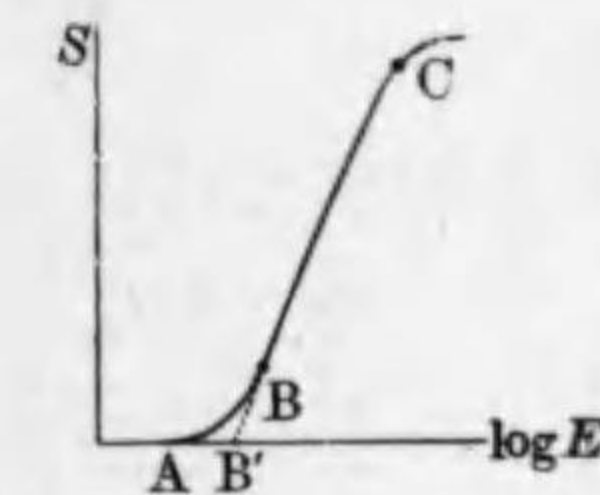
音の高低の感覚は、振動数に關しこの法則に従ふ。音階はこれによつて作られる。音が振動によることを知らない時代に於ても、既に音階が用ひられてゐたのである。

寫眞乾板の ²⁾黒さも、刺激する光の量が等比級数的に増加すると、等差級数的に増加するのである。

6. 寫眞 寫眞の感光膜は、少量の沃化銀-硫黄を含んだ臭化銀のゼラチン ³⁾乳劑から出来てゐる。先づゼラチン-臭化カリ及び少量の沃化カリを溶かした中に、硝酸銀溶液を滴下する。このまゝでは臭化銀の粒子が細かくて感光度(普通に連さといふ。)が低いので、⁴⁾熟成を行ひ粒子を大きくして感光度を高める。熟成には、高温で処理する方法と、アムモニアを用ひる方法とがある。

感光度は H.D. 幾らと表はす。これは ⁵⁾ハーター-ドリフフィールドの測定法によつて得られた數字である。露光量 E の對數を横軸に、黒さ S を縦軸に採ると、右のやうな感光示性曲線 ⁶⁾が得られる。

圖の如く A に於て始めて黒さが現はれてゐる。この $\log E$ を初感 ⁷⁾といふ。 A から B までを ⁷⁾露光不足といふ。



¹⁾ Weber-Fechner's law of sensation ²⁾ blackening ³⁾ emulsion
⁴⁾ ripening ⁵⁾ Hurter-Driffield ⁶⁾ characteristic curve ⁷⁾ under-exposure

BからCまでは直線で、これを正しい露出¹⁾といふ。Cから先は露出過度²⁾といはれる。

BC直線を延長して横軸との交点B'を求める。このlog Eの値を慣性³⁾といふ。これの逆数に或恒数を乗じたものが、H.D.感光度である。従つてこの数字が増せば、略、逆比例して露出を減らせばよい。CB'が横軸となす角の正切をgammaといふ。これが大なれば硬調、小なれば軟調である。

乳剤を塩化銀のアムモニア溶液で処理するか、露出前に薄い光に當てると、感光度が著しく増加する。これを超増感⁴⁾といふ。

臭化銀ゼラチン乳剤は、青色部に對し最大感度を持ち、緑色以上の長い波長のものには殆ど感じない。短い波長に對しては感光度は次第に減じ、3400 Å (Åはオングストローム單位⁵⁾, 10^{-8} cm) に到つて零となる。所謂赤札乾板とはこれである。青は白く、黄赤は黒く寫る。

フォーゲル⁶⁾が1873年偶然に、感光膜を色素の稀薄溶液で染めると、長い波長の光によつて感光することを發見した。この色素を色感劑⁷⁾といふ。色感性の感光膜も、やはり青色部が一番感光度が大きい。

整色性⁸⁾感光膜は青・緑・黄に對して感光性を持つ。赤色に感じない。全整色性⁹⁾の感光膜は、可視部に對して殆ど全部感光する。現像は暗室内か、濃綠色の硝子を用ひたラムプの下で

1) right exposure 2) over-exposure 3) inertia 4) hypersensitizing
5) Ångström unit 6) Vogel 7) color-sensitizer 8) orthochromatic
9) panchromatic

行ふ。この外赤端感光性¹⁾・赤外感光性²⁾の感光膜がある。

フィルター³⁾は、レンズの磨きと同程度の光學的平面なる二枚の硝子板の間に、色素で染めたゼラチン膜をバルサムで封じ込んだものである。これをレンズの前に置き、或波長範圍の光のみをカメラに入れるのである。

f 幾らと書いてあるのは、レンズの焦点距離がレンズの開き即ち直径の何倍であるかを表はすもので、これをレンズの明るさと稱する。レンズに入る光の分量はその面積に比例し、従つて直径の自乗に比例する。

レンズの明るさに従つて露出時間を決定することが出来る。

實際の寫真機では絞⁴⁾りを用ひて、被寫體の明暗の度によりレンズの明るさを加減し、適當の露出を與へるやうになつてゐる。

1) extreme-red sensitive 2) infra-red sensitive 3) filter 4) stop

第7章 週期的現象

1. 波動 波動¹⁾には物理學的現象の外に、社會學的及び生物學的現象が屬する。流行病の流行波動の如きその一例である。

$$y = a \sin \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right)$$

は波動方程式²⁾と呼ばれる。aは振幅³⁾、Tは週期⁴⁾、vは傳播速度⁵⁾、tは時刻、xは座標、yは變位である。tがTの整數倍だけ進むと、yは原に復する。v = vλと置くに、νは振動數⁶⁾、λは波長⁷⁾である。xがλの整數倍進むと、yは又原に復する。それで波動は、t及びxに對して週期的である。括弧の中のt - x/vをt + x/vとすれば、反對にxの負方向に進む波動となる。

波形⁸⁾とは波動の或瞬時tに於けるスナップ・ショットである。x = const. に於ては、yは振動⁹⁾を表はす。

上式には t = 0, x = 0 の時 y = 0 と假定した。一般には

$$y = a \sin \left\{ \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varepsilon \right\}$$

とし、εなる量で位相¹⁰⁾關係を表はす。

2. ドップラー効果 こゝに人あつて一つの發音體に向つて進行する時は、音の高さは靜止せる時よりも増加し、反對に、これより退行する時は、音の高さは減少する。

1) wave 2) wave equation 3) amplitude 4) period
5) velocity of propagation 6) frequency 7) wave-length
8) wave-profile 9) oscillation 10) phase

こゝに毎秒N₀の振動數を有する發音體があるとし、音の速さをV m/secとする。この音源に向つて人がv₁ m/secの速さで進むとする。音源は毎秒N₀の振動數を有する故、V mだけの長さの中にはN₀箇の音波が存在する譯である。人が停止して居れば、この數だけの波を毎秒鼓膜に感ずるのであるが、v₁ m/secの速さで進めば、この中に含まれる波だけ餘計に聞く譯である。この増加數をn₁とすれば

$$V : N_0 = v_1 : n_1, \quad n_1 = \frac{N_0 v_1}{V}$$

の式が成立し、外觀上音は

$$N_0 + \frac{N_0 v_1}{V} = N_0 \left(\frac{V + v_1}{V} \right)$$

の振動數を持つことになる。退行する場合(v₁ < V)にはn₁だけ減少するのである。

よつて一般に

$$N_1 = N_0 \left(\frac{V \pm v_1}{V} \right) \dots \dots \dots (1)$$

反對に人が停立して音源が運動する場合を考へる。

音源が毎秒N₀回振動しつゝ、靜止せる觀測者に速さv₂ m/secで進んで來るとする。但しVよりもv₂は小であると假定する。(v₂がVより大なる場合は、空氣中を飛ぶ彈丸による波動の如く、事柄は複雑する。) さうすれば靜止の位置で發した第一の音波は1秒後にはV m先にある、最後の振動を發した所との間にはN₀箇の波があるのである。さうすると

$$\frac{V - v_2}{N_0}$$

が外観的波長となり、外観的振動数は

$$\frac{V}{\frac{V-v_2}{N_0}}$$

となる。

退行すれば

$$\frac{V}{\frac{V+v_2}{N_0}}$$

よつてこれらを次式に總括する。

$$N_2 = \frac{N_0 V}{V \mp v_2} \dots\dots\dots (2)$$

同一振動数を有せる二箇の音叉を用ひてこの実験をなすことが出来る。即ち一を他に對して運動させる時は、唸りを生じて、明かに振動数の増減が知られる。

若し音源・観測者兩者共に運動する場合には、(2)の N_0 の代りに (1)の N_1 を入れれば

$$N_3 = N_0 \left(\frac{V \pm v_1}{V \mp v_2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

となる。上部の記號は相近づく時、下部の記號は相遠さかる時に用ひられる。

音波と同じく光波に於ても、この現象が見られる。勿論光速度は甚だ大であるが故に、微細なる効果しか示さぬが、天體の運動は、分光器の助けを借り、スペクトル線の移動よりして、視線方向の状況を知り得るのである。天體が地球より遠さかる場合は、スペクトル線は赤の方向に、地球に近づく時は、堇の側に動くのである。

5 km/sec で運動する時は、黄色の D_1 線が 0.1\AA だけ變位する

のである。

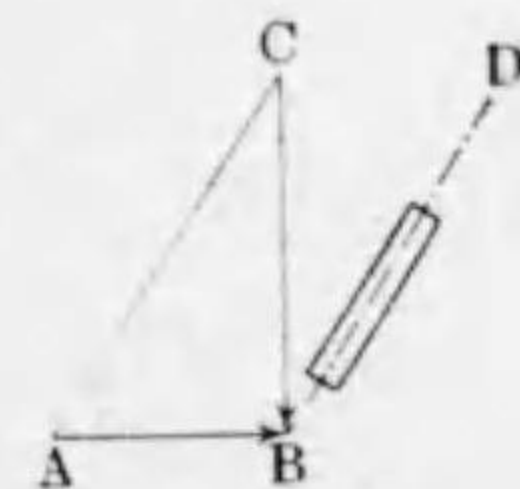
天體物理学の最近の發展は、この効果の研究に職由するので、視線に垂直な方向のみの運動研究より、一躍して視線方向の観測に入つた。連星に於ては、スペクトル線は週期的に幅を太くする。尙この効果は星の自轉及び固有運動の探知に無比の寄與をなしてゐる。

ドップラー¹⁾が1843年發見した上述の効果は、天體物理学の進歩を叙する上に於て、忘るべからざるものである。**ドップラー効果**²⁾と唱へられる。

3. 光行差と年週視差 かの晴夜仰ぎ見る無数の星は、眞の位置よりは一般に偏倚して眼に映する。

ブラッドリー³⁾はテムズ橋上に佇立して、河面上を疾走する艇の旗が、その固有速度と風速度とに支配されるのに感興を持ち、天體運動にも類似を求めんとした。

光は速さを有してゐる。地球の運動に伴ひ、観察者がAよりBに到る小時間に、恒星より放たれた光はこれと垂直にCよりBに進んだとする。Bに於て認



められる恒星の方向は、BCにあらずしてBDである。即ち星光が望遠鏡に入らんためには、恒星の眞方向とCBDの角をなした方向に鏡軸を傾ける必要がある。**光行差**⁴⁾とはこの差角をいふ。勿論恒星の眞方向と観測者の運動方向とが相一致

1) Doppler 2) Doppler effect 3) Bradley 4) aberration of light

せば、この差違は見出されぬ。二方向が他の角をなす時も、同様に光行差が存在する。

今真方向に垂直なる地球公轉速度を v とし、光速度を c とせば

$$\tan CBD = \frac{v}{c}$$

の式が成立する。この角は勿論小さい。

$\frac{v}{c}$ より光行差を求め得べく、反對に光行差より $\frac{v}{c}$ を知り得べく、ブラドリーの光速度測定はこの光行差の理論より行はれたのである。

恒星は、1年を週期として一般に天空に真位置を中心として楕圓形を描き、赤道極或は黄道極に於けるものは圓形を描き、赤道乃至黄道上にあるものは直線を描く。

地球の軌道上の位置により、近い星の方向を異にする。地動説が唱へられてより天文学者の探求したところであるが、ベッセル¹⁾の頃まで見出されなかつた。年週視差²⁾とは、星を地球より見た時と太陽より見た時との方向の差である。

年週視差は、一つの星に就いては極大値に於てのみ測られ得るので、北極星の如き太陽を去る44光年餘の遠い星に於ては僅かに $0.074''$ を算し、 α カシオペアの46光年餘の距離に到つては、更に小さい。年週視差 $1''$ の距離即ち3.259光年を1パーセック³⁾といふ。

光行差は必ずしも、光が波動でなくとも生じ得るのである。光粒子説でも説明し得る。

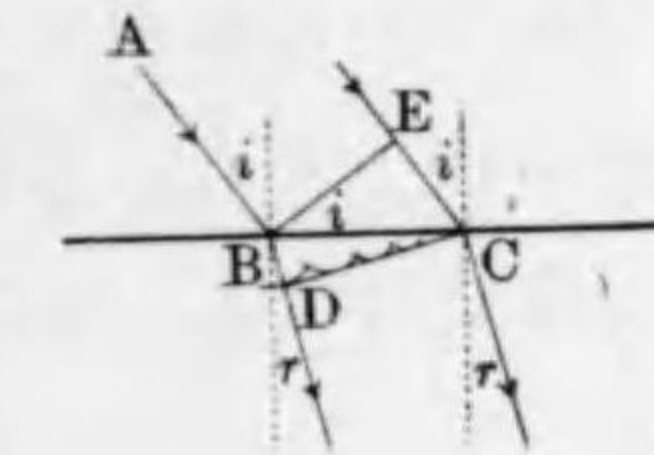
¹⁾ Bessel ²⁾ annual parallax ³⁾ parsec

4. ハイヘンスの作圖 波動の波面¹⁾とは、同一瞬時に同じ位相にある點を連ねて出来た面である。

一つの波面上の各點が波の源となり、こゝからハイヘンスの副波²⁾(要素波³⁾)が出て、これが相重なり次の瞬時の波面を造ると考へるのを、ハイヘンスの原理⁴⁾といふ。

等方體⁵⁾(各方向に物理學的性質の同じい物體)の中では、副波は球面波⁶⁾である。

入射波の波面を BE とし、今正に一端 B が二媒質の境界に達したとする。さうするとこゝからハイヘンスの副波が出、E が C まで達する間に、B から出たものは D まで擴り、B, C 間から出たものは途中まで擴がる。



$$\begin{aligned} \frac{EC}{BD} &= \frac{v_1}{v_2} \\ &= \frac{BC \sin i}{BC \sin r} = n \end{aligned}$$

n は第一媒質に對する第二媒質の屈折率である。

反射も同様に説明される。

$v = \nu\lambda$ の式に於て、 ν は媒質によらず一定である故

$$n = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

となる。即ち波長は、屈折率の大なる媒質では小さくなる。



¹⁾ wave-front ²⁾ Huygens' wavelet ³⁾ elementary wave
⁴⁾ Huygens' principle ⁵⁾ isotropic body ⁶⁾ spherical wave

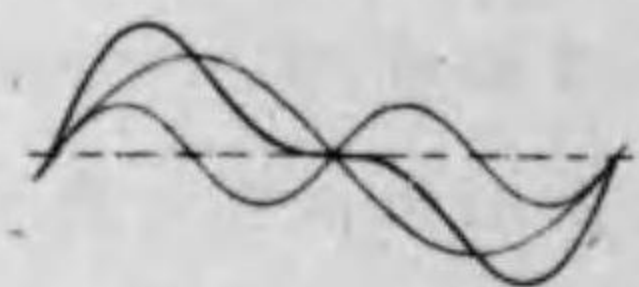
5. 定常波 反対方向に進む、同じ波長の二つの波が相重になると、波形の進行しない所謂定常波¹⁾を生ずる。節²⁾では媒質は常に静止し、その両側の腹³⁾では互に反対方向に振動する。一つの節と次の節との距離、又は一つの腹とそれに隣る腹との距離は半波長に等しい。

波が固定面に入射しそれから反射される場合にも、定常波が見られる。

光波に就いて1890年ヴィーナー⁴⁾がこの実験をなした。これは薄いコロチオン感光膜を表面鍍銀の鏡面と少し傾けて向ひ合はせ、鏡面に垂直に單色光を當てて反射させ現像する。この切口を顯微鏡で見ると、入射光線と反射光線との干渉によつて造られた定常波の腹に、銀が遊離された跡が見られた。

フランスのリップマン⁵⁾はこの現象を應用して天然色寫眞⁶⁾を造つた。

6. フーリエ解析 どんな週期的現象でもこれを、適當に振幅週期位相を異にする多くの正弦運動(單振動⁷⁾)に分解し得る。これをフーリエ解析⁸⁾といふ。逆に單振動を合成⁹⁾して一つの週期的現象を得る。



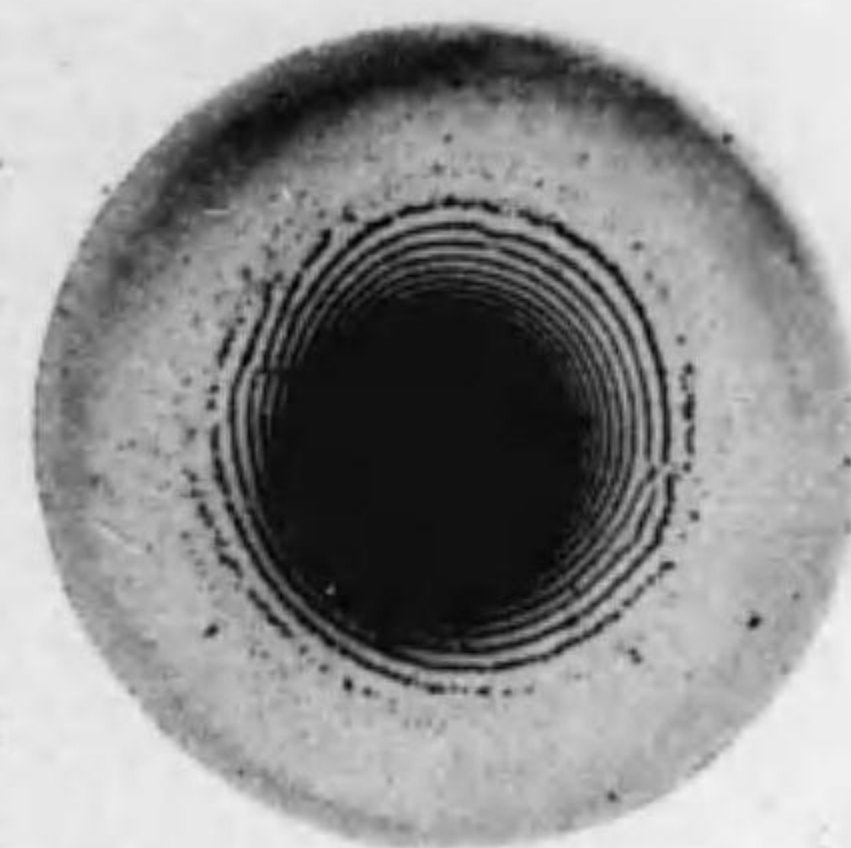
波の合成

7. リーゼガンク現象 1898年、ドイツの寫眞師リーゼガンク¹⁰⁾が、ゼラチンに於ける化學反應を研究中、面白い現象を

1) stationary or standing wave 2) node 3) loop 4) Wiener
5) Lippmann 6) natural color photograph 7) simple harmonic motion
8) Fourier analysis 9) synthesis 10) Liesegang

發見した。

今クロム酸カリで染めたゼラチンの薄膜で硝子板を蓋ひ、硝子板を水平に置いて、この上から硝酸銀の一滴を落す。さうすると硝酸銀が次第にゼラチン内を擴散しつゝ、クロム酸カリと反應してクロム酸銀の沈澱を造る ($2\text{AgNO}_3 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{CrO}_4 + 2\text{KNO}_3$) が、この沈澱は右圖のやうに、落した滴を中心に律動的に環状をなして起る。環と環との間は全く透明で、沈澱のない所である。



或は毛管の中に上述のゼラチンを充たし、その一端を硝酸銀の液の中に漬けると、沈澱は、管軸に垂直な平行な横縞となつて生ずる。

一つの物質が、ゼラチン中にある他の物質の溶液中に擴散して沈澱を生ずる時は、通常、上のやうな律動的な沈澱を造るのである(リーゼガンク現象¹⁾)。ガスの沈澱に於ても同様なことがあり、生物學地質學上に於ても重要な現象である。昆蟲の翼の中に於ける色素の分布、植物の或構造石英の中に生ずる金の條層の問題なども、この現象として説明されるやうである。

1) Liesegang's phenomenon

1. 電氣 異質の物體を摩擦すれば電氣¹⁾が生ずるのは、陰電子²⁾が一物體から他物體に移るからである。電氣には素量³⁾があり、陰電子は電氣の最小單位としての電氣量 e を持ち、陰に帯電し、質量は水素1原子の $\frac{1}{1,800}$ に近い。陰電子の移つた方は陰に、陰電子を失つた方は陽に帯電し、反撥吸引のため、釣合の状態に達すれば、それ以上には陰電子が移動するのが妨げられる。即ち或程度まで陰電子が移動し得るのである。

陰陽兩種の電氣の作用は相反する。それで普通に陽電氣を正、陰電氣を負として表はす。

二つの帯電體の間の力は、それらが氣體又は石油のやうな液體中にある時は、真空中にある場合に比して減ずる。この何分の一に減ずるかを表はす値を誘電率⁴⁾(電媒恒數)といふ。これを K で表はせば、真空中では $K=1$ 、空氣でも殆ど 1 に近い。一般に $K > 1$ 。

電氣は金屬など電導體⁵⁾中を容易に移動するが、電氣絶縁體⁶⁾(誘電體⁷⁾中を移動することは困難である。しかし電氣力は後者の方が透過し易いのである。

同種の電氣は反撥する故に、物體の一部が帯電する時、その荷電⁸⁾(電氣量)は全部に擴らうとする。

1) electricity 2) negative electron 3) quantum
4) dielectric constant 5) electric conductor 6) electric insulator
7) dielectric 8) electric charge

古くは電氣の正負二流體説¹⁾を出した人もあつたが、フランクリン²⁾は電氣の一流體説³⁾を唱へた。物質の中には、物質によつて吸収されしかも相互に反撥する電氣液が含まれるが、これが過量に存すれば或符號の電氣、不足なれば反對符號の電氣を現はすとした。しかし近代に於ては、普通には帯電現象は、陰電子の移動によつて説明されてゐる。

2. 物質の構成單位 物質の原子は原子核⁴⁾と周囲の陰電子とから成る。陰電子は核の周りに運動してゐる。中性原子に於ては、その總電氣量は核の陽電氣量に等しい。この電氣量を、電氣素量を單位として表はした數、即ち陰電子の箇數を原子番號⁵⁾といふ。

金屬に於ては、原子の最外部にある陰電子の若干箇が母原子から離れて、原子(今は陽イオンとなつてゐる)間を運動する。これを自由電子⁶⁾といふ。これに反して、遊離し得ない陰電子を束縛電子⁷⁾といふ。

金屬を熱し又は短い波長の光で照らすと、自由電子がエネルギーを得て、表皮の原子の内方引力に抵抗しこれを貫いて外に出る。これを夫々熱電子現象⁸⁾及び光電効果⁹⁾といふ。これらの陰電子を夫々熱電子¹⁰⁾及び光電子¹¹⁾といふ。熱電子又は光電子が生ずるためには、適當な値にまで自由電子のエネルギーが昇らねばならぬ。これをエネルギーの閾値¹²⁾といふ。

1) two-fluid theory 2) Franklin 3) one-fluid theory
4) atomic nucleus 5) atomic number 6) free electron
7) bound electron 8) thermionic phenomenon 9) photoelectric effect
10) thermion 11) photo-electron 12) threshold value

原子又は原子團は陰電子が過不足すれば、夫々陰イオン¹⁾陽イオン²⁾となる。

一般の原子核は陽子³⁾と中性子⁴⁾と稱するものから成立する。陽子は水素の原子核であり、又水素の陽イオンでもある。陽子は $+e$ の電氣を持つ。中性子は電氣的に中性で、質量は陽子のに近いものである。

陰電子と等質量で、單位の陽電氣を持つ粒子を陽電子⁵⁾といふ。宇宙線⁶⁾の観測に於て発見された。これは陰電子の對蹠であるが、直ちに陰電子と結合して消滅する。

3. 傳導電流と抵抗 金屬内にある自由電子が電場の作用を受けると加速運動をなさうとするが、金屬イオンと常に衝突し運動が妨げられるので、大體一定の速さを持つ。太さ 1mm の銅線に 1 アムペアの電流が流れる時、この速さは約 $\frac{1}{100}$ cm/sec である。

電解質内を電場の作用の下に兩種イオンが反對方向に移動する場合にも、同様のことが起る。

電子又はイオンが母原子又は分子に衝突してこれを振動させるために、熱が生ずる。これがジュール熱⁷⁾(電流熱)である。

鉛錫水銀などは、絶對零度に近く冷却すると、抵抗が急に減少して測り難くなる。この溫度を閾溫度⁸⁾といひ、この現象を超電導性⁹⁾といふ。

1) negative ion 2) positive ion 3) positive proton 4) neutron
5) positive electron 6) cosmic ray 7) Joule's heat 8) threshold point
9) supra-conductivity

水銀の固結した環を作り、この中に一旦感應により電流を流すと、斯かる低溫度では、1 日以上も電流が流れ続けるのである。

金屬特に白金の電氣抵抗は精密に測定し得るため、抵抗と溫度との關係を豫め知り置けば、抵抗を測つて溫度を知ることが出来る。これを抵抗溫度計¹⁾といふ。

金屬内の自由電子は、金屬イオンの間隙を運動すること、ガスマ子の運動に似てゐる。そしてその壓力により常に膨脹せんとする。金屬の種類により、原子 1 箇に對する自由電子の箇數も、原子間隙の大いさも、違ふので、この壓力も金屬の種類による。

金屬に於ては、熱の傳導は主として自由電子によるやうである。純粹の金屬では、比電導度と熱傳導率とが比例し、比抵抗と熱傳導率との相乗積は絶對溫度に比例する。これをヴィーデマン-フランツの法則²⁾といふ。

4. 接觸電氣 二種の金屬を接觸すると、電子の壓力差のために電子が一方より他方に移り、小さいながら兩金屬に電位差を作り、遂に電子の移動を妨げるに到るのである。この電位差は金屬の種類によつて異なるが、接觸面の大小形状にはよらない。これを接觸動電力³⁾といふ。

數種の金屬 A, B, C, …… 間の接觸動電力を比較するに、A, B 間の動電力と B, C 間の動電力との和は、A, C 間の動電力に等

1) resistance thermometer 2) Wiedemann-Franz's law
3) contact electromotive force

しい。これを**ヴォルタの法則**¹⁾といふ。

従つて二つの金属の間又は同一金属の中間に他の金属を挿入しても、両端の電位差は變はらぬ。

5. マックスウェル歪力 物体を電場内に置くと、これに電氣力が働く。これは、感應によつて物体に現はれる電氣に働く電氣力、及び物体が初めから帯電してゐた場合にこれに働く電氣力とから成る。

電場内に任意に想像された閉曲面内に含まれる物質の各點に働く力を合成すれば、結局閉曲面上各部分に、電氣力線の方向に張力、垂直の方向に同じ大いさの壓力が働くものとして、これら表面力を合成したものに等しくなる。

それで電場内の物体に働く力は、弾性體の歪力と同様に、面を介して所謂**マックスウェル歪力**²⁾として働くと考へてよい。即ち眞空及び他の媒質を通つて順次に電氣力が傳はつて行くのである。電氣力は、或速度を以て傳播する**近接作用**³⁾である。直達する**遠隔作用**⁴⁾は、一般に物理学では導入しないところの概念である。

電場内に存する歪力は勿論想像的なもので、實在的な弾性的歪力ではない。マックスウェル以前**マイケール・ファラデー**⁵⁾が想像したものであるが、マックスウェルに到つてこの概念が明確にされたのである。

體力が面力で置換へられることは、面白い考である。

¹⁾ Volta's law ²⁾ Maxwellian stress ³⁾ Nahwirkung

⁴⁾ Fernwirkung ⁵⁾ Michael Faraday

電氣エネルギーは、誘電體内にこの歪力のエネルギーとして貯へられ、帯電導體上に存するのではない。誘電體の單位體積には、マックスウェル歪力の大きさに等しいエネルギーが貯へられる。帯電體を放電すれば、歪力のエネルギーが取除かれ、これが熱・光又は音のエネルギーと化する。

磁場に於ても同じことが考へられる。

6. 物質の磁性 物質はその**磁性**¹⁾によつて二種に分けられる。磁石の一極に近づける時、遠くの端に同種の極を、近くの端に異種の極を生じて引力を受けるものと、近くの端に同種の極を、遠くの端に異種の極を生じて斥力を受けるものがある。前者を**常磁性體**²⁾、後者を**反磁性體**³⁾といふ。鉄・ニッケル・コバルト・酸素等は前者に屬し、銅・水・水素等は後者に屬する。鉄・ニッケル・コバルトは特に磁性が著しく、これを**強磁性體**⁴⁾といふ。

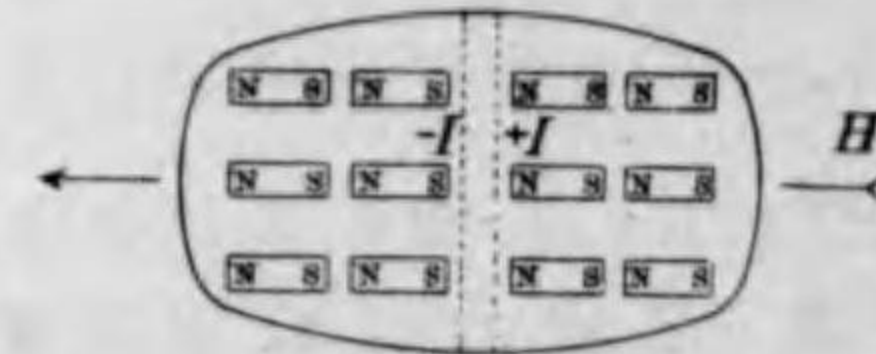
物質の原子は、後に述べるが如く微小なる磁石をなしてゐる。原子の集團である分子は、原子磁石の向きの結合により或磁氣を持つ譯である。しかし中には完全に打消し合ふものもあらう。後者が反磁性體を形成するものである。

今外部から磁場を加へると、分子磁石が磁場の方向に轉向せんとするが、これに反抗する分子力や熱運動がある。強磁性體にはこれが少い。

分子磁石に磁場が加はると、分子の中に常に反磁性を起すのである。この反磁性を蓋ふべく充分常磁性が大なれば、結局常磁性を示し、反對なれば、結局反磁性を表はすのである。

¹⁾ magnetism ²⁾ paramagnetism ³⁾ diamagnetism ⁴⁾ ferromagnetism

7. 磁気感應度 常磁性體を強さ H の磁場の中に置くと、分子間隙に於て兩側の分子磁石によつて生ずる磁場は、外磁場と同じ方向に生じ、強さは $4\pi I$ となる。 I は常磁性體の兩端に現はれる磁氣の表面密度であり、又垂直な切口の兩面に現はれる磁氣の表面密度でもある。これに外磁場 H を加へたものが、¹⁾磁気感應度 B といはれる量である。



$$B = H + 4\pi I$$

これは、等方體では I と共に H と同じ方向を持つ。 $\frac{B}{H}$ を μ で表はし、²⁾誘磁率と呼ぶ。故に

$$I = \frac{\mu H - H}{4\pi} = \frac{(\mu - 1)H}{4\pi}$$

これを kH で表はす時、 k は

$$k = \frac{\mu - 1}{4\pi}$$

であり、³⁾帯磁率と呼ばれる。真空では $\mu = 1$ であり、従つて $k = 0$ 。常磁性體では $\mu > 1$, $k > 0$; $B > H$, $I > 0$ 。反磁性體では $\mu < 1$, $k < 0$; $B < H$, $I < 0$ 。

強磁性體では μ は H によつて變化し、常磁性體に於ける如く一定でない。

永久磁石の磁軸を外磁場 H の方向に置く時は、磁場が充分強ければ、初めから存する⁴⁾残存磁氣(表面密度 I_r)の外に、更に

¹⁾ magnetic induction ²⁾ magnetic permeability
³⁾ magnetic susceptibility ⁴⁾ residual magnetism

表面密度 I_r が感應されるのである。

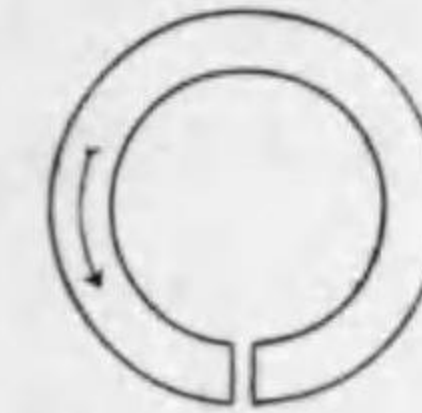
$$B = H + 4\pi(I + I_r)$$

外磁場がない時は、 $I = 0$ であり

$$B = 4\pi I_r$$

となる。

8. 磁場と磁気感應度 環状磁石の極めて薄い空隙内の磁場は $4\pi I_r$ である。これは磁石の B に等しい。空隙内は真空故、その磁場の強さも磁気感應度も相等的である。よつて磁気感應度は磁極の兩側に於て相等的であることを知る。



軟鉄の環にコイルを捲き、これに電流を通ずる時は、軟鉄内に磁場 H が生じ、又磁気感應度

$$B = H + 4\pi I_r$$

が生じ、空隙内には磁場 $H + 4\pi I_r$ が生ずる。軟鉄内の磁場は $\frac{B}{\mu} = H$ である。即ち磁場の強さは極面の兩側に於て飛躍する。

9. 電氣變位 誘電體を電場 E の中に置くと、¹⁾電氣感應度(又は電氣變位²⁾)

$$D = E + 4\pi P$$

が生ずることは、軟鉄を磁場の中に置いて磁気感應度

$$B = H + 4\pi I$$

が生ずるのに似てゐる。磁性體が分子磁石から成るやうに、誘電體の分子が³⁾双極子といつて、分子が初めから正負等量の

¹⁾ electric induction ²⁾ electric displacement ³⁾ electric dipole

電気の對を兩端に持つてゐるものがある。(四極六極等多極性の場合もある。)この誘電體を電場の中に置けば、双極子の電気軸が電場の方向と一致せんとする。又初めから双極子になつてゐなくとも、電場の中に置かれると、その電気力を受けて、分子内で正負等量の電気が僅かの距離夫々電場の方向及び反對方向に分離して一時双極子を形造るものがある。それらの結果電場の方向に面した誘電體の表面には負電気、反對側に正電気を示すのである。これは磁性體が磁場に於て磁化する場合に似てゐる。

しかし反磁性體に對するものはない。

P は I に當り、分子内に於ける電気の分離を表はす量で、これを電媒分極¹⁾といふ。 E は電気變位の假想的な一部をなすと考へられる。 I は單位體積中の磁氣能率²⁾(磁極の強さ×極間距離)又は磁氣の表面密度を示すやうに、 P は單位體積中の電氣能率又は電氣の表面密度 σ を示すのである。

$$D = KE$$

故に

$$P = \sigma = \frac{D - E}{4\pi} \\ = \frac{K - 1}{4\pi} E$$

となることは

$$I = \frac{\mu - 1}{4\pi} H \\ = kH$$

と同じい。

¹⁾ dielectric polarization ²⁾ magnetic moment

$K=1$ は眞空に對し、一般には $K>1$ であり $P>0$, $D>E$ である。

水の分子は、極性¹⁾を有し、その正極は水素により、負極は酸素による。故に普通 $(H_2O)_n$ なる分子集合を形成し、又他のイオンの表面に集り、加水分解²⁾を起す。水の誘電率が 大 (80 位) なるのは、その極性のためである。多くの電解質が水中では完全にイオンに解離するのも、水の誘電率が 大 なるためである。

D の時間的變化が所謂變位電流³⁾で、これは

$$\frac{1}{4\pi} \frac{dD}{dt} \\ = \frac{1}{4\pi} \frac{dE}{dt} + \frac{dP}{dt}$$

で表はされる。

この中、 $\frac{dP}{dt}$ は分極電流⁴⁾と呼ばれる。 $\frac{1}{4\pi} \frac{dE}{dt}$ 以外、分極電流も、導體中を流れる傳導電流⁵⁾も、又傳導電流の原因である帶電微粒子の運動たる對流電流⁶⁾も、すべて電解作用をも化學作用をも持つ。しかしどの種の電流も磁氣作用はある。

傳導電流は、導體の切口を單位時間に通過する電氣量である。正電氣の動く方向を以て方向とする。分極とは、電媒質微部分に於ける電氣分離であり、それが時間と共に變化することが分極電流である。これに眞空中に於けるマックスウェル歪力の時間的變化を加へたものが變位電流となる。

蓄電器を導線を通じて放電する時、導線の中には傳導電流、

¹⁾ polarity ²⁾ hydration ³⁾ displacement current

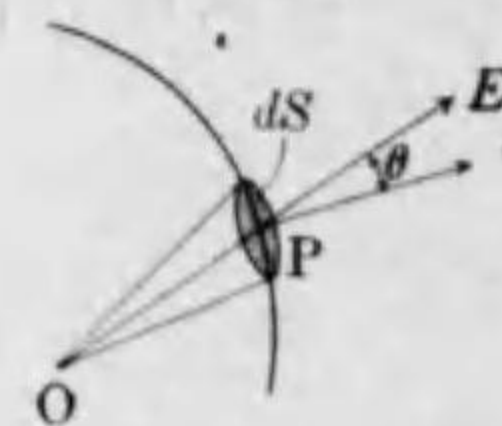
⁴⁾ polarization current ⁵⁾ conduction current ⁶⁾ convection current

蓄電器内の電媒質中には變位電流が流れる。兩者相連つて閉ぢた路¹⁾をなす。

變化電流²⁾交流³⁾又は振動電流³⁾は蓄電器内の電媒質を通る、しかし直流は通り得ないのは、變位電流の點から説明される。

變位電流の概念はマックスウェルの發見であり、頗る重要なものである。

10. ガウスの定理 電場内の或一點 P に一つの微小面 (面積 dS) を想像する。この點に於ける電場の強さ E を法線方向に分解したものの E_n と dS との積を、この微小面を通る電氣力束⁴⁾といふ。丁度流れの場に於て



單位時間に微小面を通る流量は、その點に於ける流れの速度を面に垂直に分解したものにその面積を乗じたものに等しいのと似てゐるのである。

電場の中に任意の、即ちどんな大いさ、どんな形の閉曲面を考へても、若しこれが荷電點を包まなければ、これを通る全力束は、零に等しい。正の荷電は流れの源、負の荷電は流れの吐口に當り、電氣力線は流線に當り、荷電點を包まなければ、流れは單に閉曲面を貫通するに過ぎないから、差引き流れ出る又は流れ込む流量は零である。

これに反し、若しこの閉曲面内に荷電點を含めば

$$\text{全力束} = \frac{4\pi}{K} (e_1 + e_2 + \dots + e_n)$$

¹⁾ closed circuit ²⁾ alternating current ³⁾ oscillating current
⁴⁾ flux of electric force

となる。 e_1, e_2, \dots, e_n は荷電點の電氣量を示す。 K は誘電體の誘電率である。これをガウスの定理¹⁾といふ。

荷電點の一部を含み、他を除外する時は、全力束は、中に含まれた荷電量のみによるのである。

これらは磁氣に對しても同様に類推される。磁氣と電氣との大なる相違は、磁氣は正負必ず相伴ひ、これを實際に分離することが出来ないところにある。

又質點間の萬有引力の法則も形式上は電氣力と同じく、従つてガウスの定理が行はれる。

11. ビオ-サヴァールの法則 強さ i の電流が流れてゐる任意の形方向及び大いさの導線が、空間の或一點 P に生ずる磁場を求めるには、導線の一部 ds が P に生ずる磁場 dH を求めて、これをベクトル的に加へ合はせればよい。圖の場合では、磁力線は紙面の上下に向ひ、大いさは



$$dH \propto \frac{id_s \sin \varphi}{r^2}$$

で與へられる。 r は ds と P との距離、 φ は ds と r とのなす角である。

この法則をビオ-サヴァールの法則²⁾といひ、實驗的に歸納されたものである。

これも荷電點間の電氣力、磁極間の磁氣、萬有引力などの如

¹⁾ Gauss' law ²⁾ Biot-Savart's law

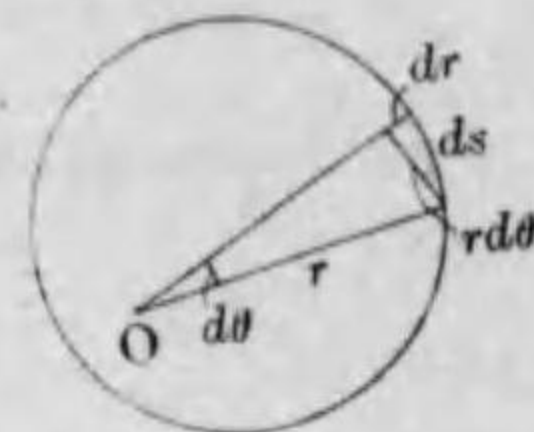
く、距離の二乗に逆比例する法則であるのは面白い。

電流が磁極に及ぼす作用の反作用として、 ds は下方より上方に力を受ける。これは、 P にある磁極によつて ds の部に生ずる磁場 H によつて電流が力を及ぼされるものといつてよく、電流 i 、磁場 H と力 F の関係は、右廻りネジの関係にある。



12. 直線電流による磁場に於ける仕事 或強さの電流が流れてゐる長い直線状導線を任意の徑に沿うて磁極が一週する場合になし又はなされる仕事は、その電流の強さに比例する。磁場の強さは、今の場合、導線よりの距離 r に逆比例し、磁力線即ち磁場の方向は、導線を取巻き、右廻り方向に圓形に生ずる。

導線に垂直なる平面上の變位ベクトル ds は、 dr と $rd\theta$ とに分けられるが、 dr の方向に磁極を動かすには仕事を要せず、 $rd\theta$ の方向のみが考慮され、結局 ds 間に於ける仕事は $d\theta$ に比例し、一週すれば θ は 2π となる。徑が立體的な場合にも、導線に平行なる徑の要素は、仕事の勘定に入らぬのである。



13. キルヒホッフの法則 多數の分岐線より成る導線系(導線網)に定常電流¹⁾(時間が経つても流れの状態の變はら

¹⁾ stationary current

ぬ電流)が流れてゐる時、その分布を論ずるに、キルヒホッフの法則¹⁾がある。それは次の2部より成る。

i) 任意の分岐點に於て、これに流れ入る電流を正、流れ出る電流を負とすると、電流の強さの總和は零となる。若しさうでないと、分岐點に於て電氣が蓄積されるので、その結果電流は定常的でなくなるであらう。

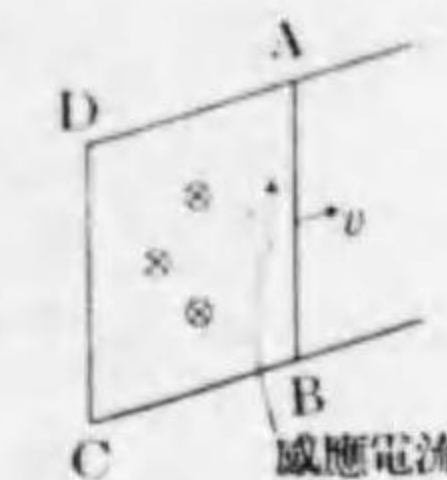
これは、所謂流れの連續性²⁾を表はしたものである。

ii) 導線系内に一つの閉路を考へる時、各部分に於ける電流の強さと抵抗との相乗積の和は、その中に含まれる動電力の和に等しい。但しこの閉路を右廻り又は左廻りする電流、及びその方向に電流を流さんとする動電力に正負の符號を與へねばならぬ。

この部は要するに一般化されたオームの法則ともいふべきものである。

斯様にして、複雑な導線網の電流分布が、多元一次方程式の解として得られるのである。

14. 感應動電力 今紙面の上方より下方へ向へる磁場があり、直線状導線 AB (A は上方にあり)を紙面上に右方に速度 v を以て動かす。さうすると、導線中に等量に存在した正及び負の電氣がそれと共に動くので、ここに左右に流れる相等しい強さの電流が出来る。そしてこの電流は磁場の作用を受け、正電氣には B より A の方向に、負電氣



¹⁾ Kirchhoff's law

²⁾ continuity

にはAよりBの方向に力が加はる。正電気は、金属の體をなす陽イオンであるが故に、これは動かされず、負電気は、自由電子なるが故に、動かされんとし、従つてこの方向と逆に電流が流れんとするのである。この電流を起さんとする原因が**感應(誘導)動電力**¹⁾である。導線が兩端開いて居れば、Aには正電気、Bには負電気が溜まる。

誘電體を磁場内で動かすと、同様にして分極が起る譯である。

導線の場合は、兩端を閉ぢれば電流は矢の方向に流れる。**感應電流**²⁾これである。

一つのコイルの中を通る磁場が變化しても、同様に感應電流が流れる。速く多く變化すれば強い感應電流が流れるが、その時間は短く、結局流れる電気の總量は、磁場の變化に比例し、コイルの抵抗に逆比例する。

感應電流は、マイケール・ファラデーがロンドンの**王立學術研究所**³⁾の教授の位置にあつた時發見したものである。

感應電流は**發電機**⁴⁾の原理をなすものである。

地磁場の中でコイルを廻轉しても、感應電流が流れる。

導體又はコイルと磁場との間に相對運動があれば、一般に感應電流が流れる。

15. 自己感應 一つのコイルを流れる電流の強さが變化すると、このコイルの中を通る磁力線の數が變化し、従つて

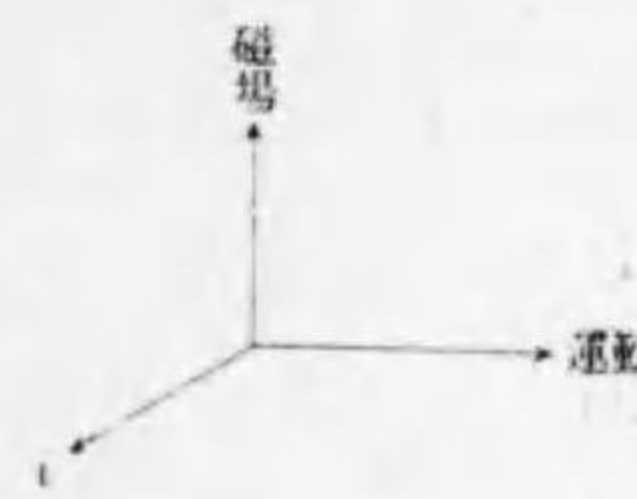
1) electromotive force of induction 2) induction current
3) Royal Institution 4) electric generator

この變化を妨げんとする方向にコイルに電流が流れる。この現象を**自己感應**¹⁾といふ。主電流が減ればこれを増さんとし、増せばこれを減らさんとする。即ち電流の變化に對して慣性作用を示すものである。

自然現象には屢々斯かる類例が見られる。運動に對して抵抗があるなどもこれに類する。

中心を支へた水平金属板の縁邊に沿うて磁石を持ち運ぶと、金属板はこの後を追うて廻はる。これは**誘導電動機**²⁾の原理であるが、これも、磁場と導體との相對運動を止めんとするやう感應電流が、渦狀をなして金属板に流れるためである。斯様な電流を**渦流**³⁾といふ。

金属板は常に磁場の廻轉に遅れて動いて行く。遅れがなければ相對運動が起らず、従つて渦流が流れないからである。反對作用は、これを起す原因である主作用よりも小さかるべきである。



導線を電池に絡ぐ時、若し自己感應が大なれば、電流が一時に増加せず、或時間後に始めて定常状態となり、動電力÷抵抗なる電流の強さとなる。電池を除去する時も、或時間後に始めて電流の強さが零となる。

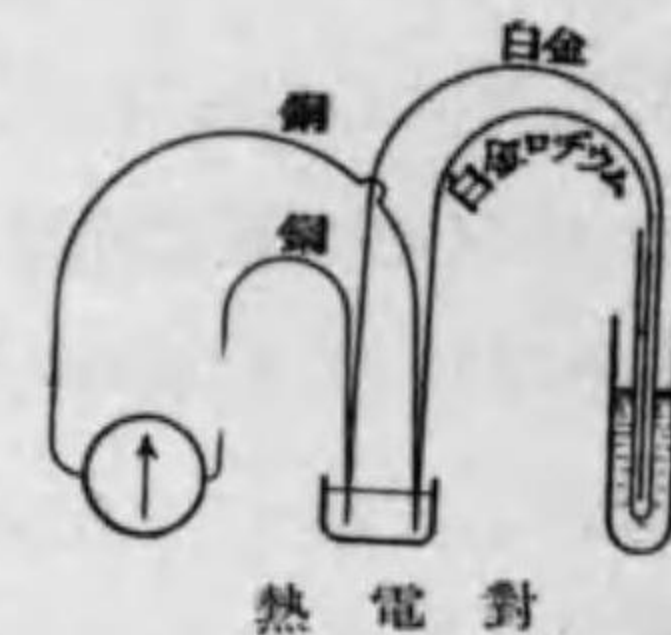
自己感應のある回路に電流が流れる時、電池の供給したエネルギーは、一部は抵抗に對する熱エネルギーに、他部は磁気エネルギーに用ひられる。

1) self-induction 2) induction motor 3) eddy current

16. 交流 磁場の中で、一定な角速度 ω を以てコイルを廻らす時、コイルの中を通過する磁力線の数は週期的に変るので、コイルに週期的な動電力が生ずる。しかし電流の変化は一般にこれと位相を異にする。そして回路の自己感應のために、抵抗が増加したやうな観を呈する。交流に対する「抵抗」をイムピーダンス¹⁾といふ。 ω や自己感應などが大きいと、遂には交流を通さなくなる。斯様なコイルを遮断コイル²⁾といふ。但しこのコイルには直流は通る。

17. 熱電流とペルチエ効果 異種の金属を両端相接

触して一つの回路を作るに、ヴォルタの法則により動電力はない。然るに、二接触点の温度が相異なると、動電力が生じ、回路に電流が流れる。これを熱電流³⁾といふ。この金属対を熱電対⁴⁾といふ。



二つの接触点を夫々熱端⁵⁾及び冷端⁶⁾といふ。両端の温度差が大となると、初めは動電力が増加し、最大値に達し、後又減少し出す。そして零となり、反対方向に動電力が生ずるに到る。最大値に当たる熱端の温度を中性温度⁷⁾といひ、動電力の方向が變はることを熱電逆變⁸⁾といふ。

熱端では電子の移動が、冷端よりも多く、従つて鉄と銅の熱

1) impedance 2) choking coil 3) thermo-electric current
4) thermo-couple 5) hot junction 6) cold junction
7) neutral temperature 8) thermo-electric inversion

電対では、電流は鉄の中では高温部より低温部に、銅の中では低温部より高温部に向ふ。

二つの金属対に電流を流すと、接触部に於て熱の発生及び吸収がある。この現象をペルチエ効果¹⁾といふ。これは、電流が接触点に於ける電位差に従ふ時、電気エネルギーが過剰となるので熱を発生し、反対の場合に、熱エネルギーを變じて電気エネルギーとなすからである。發熱・吸熱は電流の強さに比例し、電流の方向を反対にすれば、發熱は吸熱、吸熱は發熱となる。

最初熱電対の熱端を温度 T_1 、冷端を温度 T_2 にして置くと、熱電流が流れるが、流れると共に熱端の温度は下り、冷端の温度は上り、遂に温度差がなくなつて電流は止む。熱電流によつて熱端のエネルギーを冷端に運ぶのである。

更にこれをペルチエ効果の點から考へると、熱電流が熱端を通る時、そこに存する電位差に打勝つために熱を吸収して温度を下げ、冷端を通る時、そこに存する電位差に沿ふため熱を發生して温度を上げるのである。

ペルチエ効果では、両端の温度差が無限に大きくなることは出来ぬ。温度差が出来ると、熱電流が流れ出し、温度差を少くしようとするのである。これも自然の逆作用である。

同一金属に於ても、部分によつて温度が異なる所へ電流を流すと、發熱・吸熱がある。これをトムソン効果²⁾といふ。

1) Peltier effect 2) Thomson effect

第 9 章 電氣物質觀

1. 放電現象 放電には突破的なもの、刷毛状のもの、微光を發するものがある。

正・負に帯電した金屬の二球を放電するには、その半徑や間隙によつて放電電壓が變化する。壓力が上昇すれば放電は困難となり、反對に壓力が下降すれば容易となり、更に壓力が減少すれば却つて放電電壓は増大する。蓋し放電は氣體イオンの電氣搬送に基づくもので、分子が夥多なる時はその運動が妨げられるが、反對に、非常に少い時は、イオンの發生も減少するからである。そして一度放電した後には、放電を媒助するイオンが浮游してゐるが故に、空氣の交替をなさねば次の放電電壓は減少する。

眞空管の兩極を感應コイルの兩極に連結し、内部の空氣を排除して放電すると、殘存氣體の量によつて相違する美麗なる色光現象を見る。而して壓力が數 mm Hg より減すれば、光斑の數が減じ幅廣き暗黒帶を見るが、この程度の眞空管は所謂**ガイスター管**¹⁾と稱するもので、微光を以て包まれた陰極部より陽極に向つて、**第一暗黒界**²⁾又は**クルークス暗黒部**³⁾があり、これを経て**陰極光**⁴⁾**第二暗黒界**⁵⁾又は**ファラデー暗黒部**⁶⁾があり、これを越えれば鱗片状の明暗相交代する部があり、これを

1) Geissler tube 2) first dark space 3) Crookes' dark space
4) cathode glow 5) second dark space 6) Faraday dark space

陽柱¹⁾と稱し、陽極の附近にまで及んでゐる。眞空が更に進めば陽柱は消失し、**クルークス管**²⁾を形成し、陰極の對壁に螢光を發する。

管内の電壓分布は、**探極線**³⁾を動かして、これに連絡せる電壓計の指度で知る。特に陰極附近には急激なる**陰極降下**⁴⁾があるのである。

2. **陰極線** 1879年**サー・ウィリアム・クルークス**⁵⁾は眞空管を創案して、**陰極線**⁶⁾を發見した。

陰極線はその對壁の硝子に螢光を發せしめ、或物質に對して燐光作用を呈し、硝子製軌道上の雲母片の輕車を廻轉し、凹面極板にてこれを集中すれば、こゝに熾熱を起し、この放射線を遮斷すれば後方に陰影を區劃する。

その外磁力や電氣力は徑の屈曲を起す。彼は陰極線を成せるものは**物質の第四態**⁷⁾であるとした。

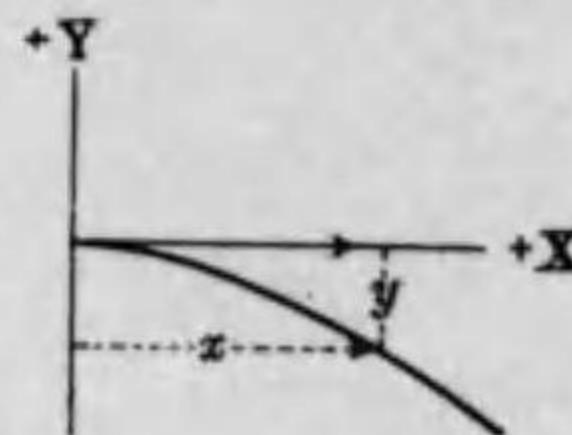
クルークス等當時の碩學を少からず苦めた陰極線は、1881年**サー・ゼーゼートムソン**⁸⁾等により陰電子の運動に歸せられた。物理學界の懸題であつた電流と靜電氣との關係は、幾多論争の後、**ローランド**⁹⁾が廻轉荷電輪の磁石に作用することを實驗して以來解決されてゐたのである。

1897年及び翌年に互り、トムソンの研鑽や、**カウフマン**¹⁰⁾の攻究によつて、電子の荷電量 e や質量 m が決定された。

1) positive column 2) Crookes' tube 3) probe 4) cathode drop
5) Sir William Crookes 6) cathode ray 7) fourth state of matter
8) Sir J. J. Thomson 9) Rowland 10) Kaufmann

今、当初速度 v で、水平に運動する粒子にその運動方向(正 X 軸の方向)に垂直(正 Y 軸の方向)に静電場 E を働かすとする。

$$\begin{cases} x = vt, \\ y = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} t^2 \end{cases}$$



となるが故に、 t を消去すれば

$$y = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} \left(\frac{x}{v}\right)^2$$

となり、恰も抛射体の描く径と等しくなるのである。

又粒子の運動方向に垂直に大なる一様な磁場 H を働かすと、後者に垂直な平面内に於て半径 r の圓形の廻轉をなす。而して粒子の速さは、その切線方向に加速度を得ない故に不變である。

若し兩實驗を同時に同所に於て行ふ時は、この影響範圍を脱した後は、原の粒子運動方向に垂直に置かれた乾板に $\frac{e}{m}$ の値のみによつて異なる拋物線を描く。 v の大なるものは頂點より遠ざかれる點を打つのである。



$\frac{e}{m}$ は單位質量の荷ふ電氣量で、これを¹⁾比荷電といふ。

測定より v 及び $\frac{e}{m}$ を知り得ることは明瞭であらう。

電子の質量は²⁾電磁的起原である。このことの一例證として、電子が運動すれば周囲の媒質中に磁場を生じ、その磁場の

¹⁾ specific charge

²⁾ electromagnetic origin

全エネルギーが電子の運動エネルギーに等しくなるのである。

Imperious Caesar, dead, and turned to clay,
Might stop a hole to keep the wind away.

— Hamlet —

3. イオン 1887年スヴァンテ・アレニウス¹⁾はイオン説を唱へた。

酸・塩類の溶液に電池の極板を浸す時は、溶液を通つて電流が流れる。

電解質²⁾とは、斯かる物質を指すのである。その溶液は一部イオン化されてゐて、これが極板の電氣力によつて運動し、正負反對の二潮流が生ずる。これが電解質内の電流である。電流の強さは極板の面積距離及び電壓にもよるのである。

ファラデーはこれらイオンに一定の荷電あることを示してゐる。電解により發生される原子數とその遊離に要する電氣量とより、荷電の値が測定されるのであり、これは e 又はその整数倍である。

焰の中にもイオンが遊離されてゐる。液體中の氣泡は、液體及び氣體の種類により量及び符號を異にする電氣を帯びてゐる。孔より噴出する氣流にも電氣が現はれる。

4. 陽極線とレナルド線 更にゴルトシュタイン³⁾は1886年、殘留氣體が壓力 $\frac{1}{100}$ 乃至 $\frac{1}{1,000}$ mm Hg 程度に稀薄となる時は、陽極の前方なる、1—2 mm の細孔を有する壁を通つて

¹⁾ Svante Arrhenius

²⁾ electrolyte

³⁾ Goldstein

桃黄色の陽極線¹⁾一名カナル線²⁾が放射し、對壁に螢光を發せしめるのを發見した。この粒子の大いさは原子程度のものから分子程度に及んでゐて、正電氣を持つ。粒子の速さは最大 3.6×10^7 cm/sec である。

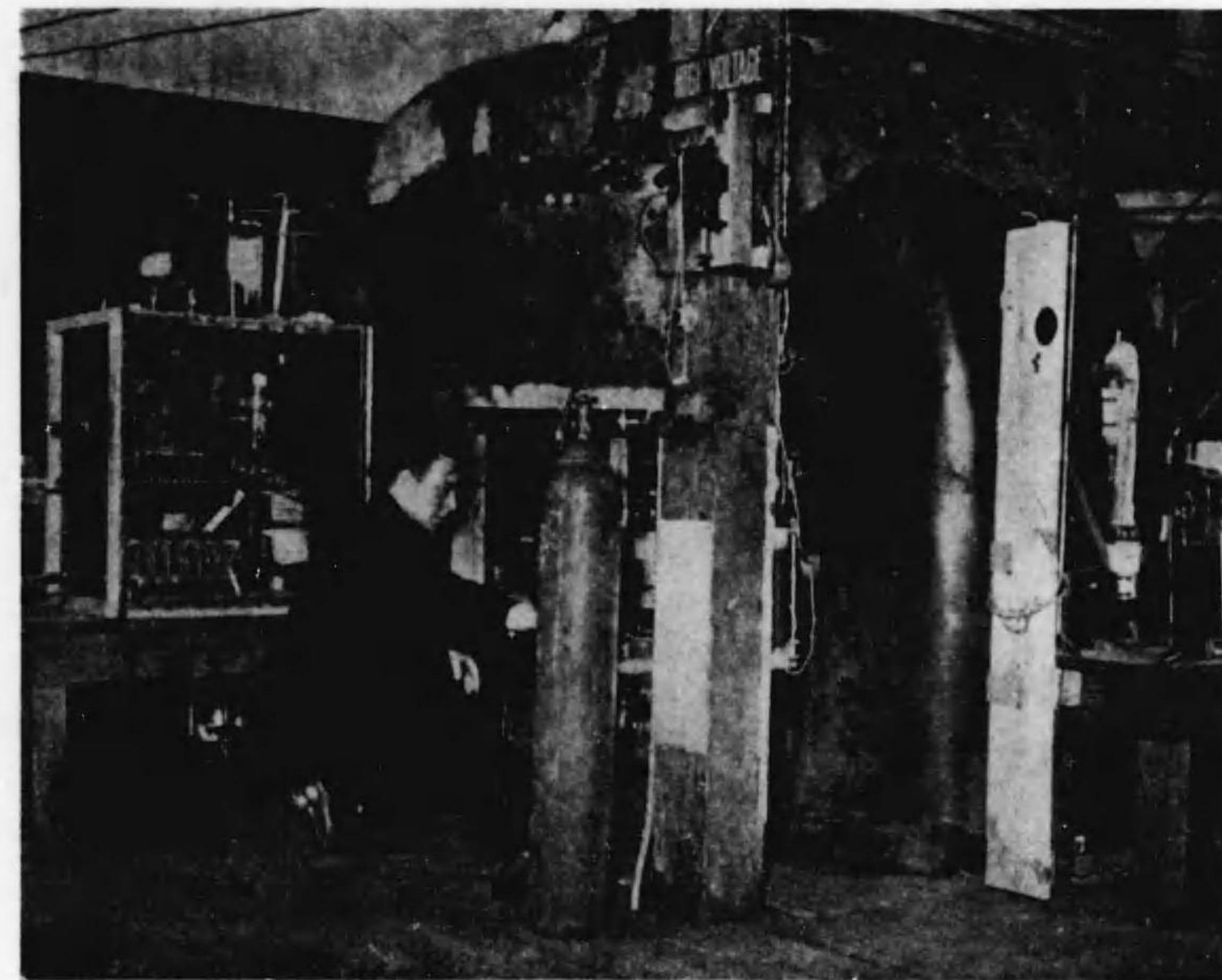
カナル線の出すスペクトルにドップラー効果を發見したのは、ドイツのシュタルク³⁾である。

$\frac{1}{100}$ mm Hg 内外の壓力で陰極線を發せしめ、厚さ數 μ ($1 \mu = \frac{1}{1,000}$ mm) のアルミニウム窓を通過して外に出さしめると、これは空氣を電離して青色の螢光を放たしめる。ヘルツが嘗て實驗したものであるが、1894

年レナルド⁴⁾によつて研究された。レナルド線⁵⁾といふ。



金屬窓を透し空氣中に陰極線を出す装置と研究者クーリッジ (Coolidge)



人工放射能實驗

1) anode ray 2) canal ray 3) Stark 4) Lenard 5) Lenard ray

第 10 章 放射能

1. 放射能 原子量 226 のラヂウム Ra は α, β, γ の放射線を發射して原子量 222 のラドン Rn (一名ラヂウムエマナチオン, 又は單にエマナチオン)といふガスに變じ,ラドンは α 線を出して原子量 218 のラヂウム A 即ち RaA となり,これは又 α 線を出して原子量 214 のラヂウム B 即ち RaB となり,漸次變化して遂に原子量 206 の鉛となる。

原子の中心核即ち原子核が不安定な元素は,斯様に自然に變化して他の元素に變脱する。この際,原子核内から放射線が放たれるのである。 α 線は,核内に存したヘリウム原子核が大いなる速さで飛び出すもの, β 線は電子が飛び出るもの, γ 線は X 線よりも波長の短い電磁波である。近頃は人工的に,普通の元素の原子核を不安定ならしめ,原子核より放射線を放たしめることに成功した。これを人工放射能¹⁾又は誘導放射能²⁾といふ。人工放射能に際して發せられる放射線は上記 3 種の型以外にもある。

2. 半減期 放射性物質の或量の放射能 I を,電離作用(氣體をイオン化すること),寫眞作用又はその他の作用で測定すると,これが時間に關し指數的に減少するのを見る。即ち

$$I = I_0 e^{-\lambda t}$$

ここに I_0 は $t=0$ に於ける放射能である。 λ は放射能減衰

¹⁾ artificial radioactivity ²⁾ induced radioactivity

を定める恒數で、¹⁾減衰恒數といひ、放射性物質に特有である。

放射能が半減するまでの時間を²⁾半減期といふ。これを T とすれば

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$$

故に

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \times 0.69$$

である。放射能が最初の $\frac{1}{e}$ 即ち約 37% になるまでの時間を³⁾平均壽命といふ。これを τ とすれば

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{e} = e^{-\lambda \tau}$$

よつて

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{\lambda} \\ &= \frac{T}{0.69} \\ &< 2T \end{aligned}$$

T の値は Ra では 1580 年, Rn では 3.8 日, RaA では 3.1 分, RaB では 26.8 分である。 T を知つて放射性物質の何なるやを逆を知ることも出来る。

I は放射性物質の原子箇數 n に比例する故に

$$r = n_0 e^{-\lambda t}$$

の式が成立する。

驗電器の箔に電氣を與へてこれを開かして置き、次に放射性物質を驗電器に近づけて箔の閉ちる速さを測る。この速さは放射能 I に比例するのである。

¹⁾ decay constant ²⁾ half-value period ³⁾ average life

或は又、 α 粒子が硫化亜鉛を塗つた板に當つてパツパツと螢光を出す現象¹⁾瞬間を利用し、毎秒發射される粒子の數を氣永に觀測し、それより T を求めてもよい。

3. マッヘとキューリー 温泉水の含有するエマナチオンの量を表はすに、²⁾マッヘといふ單位を用ひる。1 立の温泉中に含まれるエマナチオンが、その電離作用によつて $\frac{1}{1,000}$ C.G.S.e.s.u. (C.G.S. 靜電單位、電流の一つの理論上の單位) の電流を支持するに足る時、その量を 1 マッヘといふ。

又 1g のラヂウムと平衡してゐるエマナチオンの量を 1 キューリー³⁾といふ。これは 6.62×10^{-6} g であり、1 氣壓に於てこれに相當する體積は 0.6 mm^3 である。

$$1 \text{ マッヘ} = 3.7 \times 10^{10} \text{ キューリー}$$

鳥取縣の^{みささ}三朝温泉は我國温泉中で最大のエマナチオン含有量を有し、517 キューリーある。冷鉱泉では山梨縣の増富の 3,012 キューリーが我國最大含有量のものである。

放射能原子が次第に變脱して他の原子に變り、母より子、子より孫を生ずるが、若し子の原子箇數 n' が不變になるためには

$$\lambda n = \lambda' n'$$

でなければならぬ。如何となれば

$$n = n_0 e^{-\lambda t}, \quad n' = n_0' e^{-\lambda' t}$$

故に

$$\frac{dn}{dt} = -\lambda n, \quad \frac{dn'}{dt} = -\lambda' n'$$

¹⁾ scintillation ²⁾ Mache ³⁾ Curie

であるからである。λは $\frac{1}{\tau}$ に等しい故、RaとRnとに就いて

$$\begin{aligned} n:n' &= 1580 \text{年}:3.8 \text{日} \\ &= 1:6.6 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

である。即ち1gのRaと平衡するRnは $6.6 \times 10^{-6} \text{g}$ である。

劃期的なラヂウムの発見はどんな立派な研究室から生れたか。キューリー夫妻がそのための仕事をしたのは、パリ市立物理化学学校の倉庫兼機械室だつた見



影もない建物(寫眞)の一隅である。當時地位も名聲もなく、ひたすら眞理のためのみに敬虔な努力を人知れず続けてゐた夫妻のために、そこに何の利用すべき設備もなく、何の豊かな研究材料もなかつた。夫君の不慮の死後に出版されたその論文集「ピエール・キューリー論文集」(“Oeuvres de Pierre Curie” 1908)の巻頭に於て、キューリー夫人は當時を追想して次のやうに懐しんでゐる。

「……この小屋、その硝子張りの屋根は雨漏りも防ぎ切れなくて、夏は釜中の思ひをさせられ、冬は鑄物の煖爐が碌々室内を暖めてもくれなかつたが、それでもこの小屋の中で、私達は、来る日も来る日も終日を仕事に捧げ盡しながら、私達の生涯で最も充實した、最も幸福だつた幾年かを過したのであつた。……」と。

第11章 分子・原子・電子

1. 分子の大きさとその運動 化学は物質の離合集散を研究する學問であるが、昔、卑賤の物質を化して貴重な黄金にしようと苦心した、あの錬金術(アルケミーと呼ぶ)がこの學問の起りなのである。錬金術は失敗に歸したが、これが近代化学工業の根底を作り上げた。我國では化学のことを初めは含密(セミー)と呼んでゐたのである。

昔は物質はその組成が連続的なものであると考へたのであるが、量的に物質の分合を論ずるには、どうしても分子といふ考、又原子といふ考が必要になつて來たのである。即ち物質は不連続的な組織を持つと考へねばならぬ。

先づ第一に分子に就いて。物質を細分して行くと、遂にはこれ以上分割するとその物質の特性を失ふといふ粒子へ來る。この粒子が分子である。例へば水は水の分子、砂糖は砂糖の分子から成る。水の分子を分ければ最早水たる性質を失ひ、砂糖の分子を分ければ砂糖たる性質を失ふのである。

今水1,600立に60mgのフリュオレッシンといふ色素を入れて、良く溶かす。さうすると、この液の一滴が僅かに認め得る黄色の光を出してゐることが解る。この滴には原の5億分の1のフリュオレッシンが含まれてゐるが、尙多數のフリュオレッシンの分子を持つてゐるのである。この滴を水で100萬倍の又400萬倍に稀めると、始めてフリュオレッシン分子1箇が含ま

れるに到る。フリュオレッシン分子は水素分子より約 166 倍重いのである。

¹⁾ **アマデオ・アヴォガドロ** といふ學者は 1881 年に、同じ温度同じ壓力のガスは、種類の如何に關せず、同體積には同數の分子を含むといふ説を唱へた。それで同じ状態の同じ體積のガスの質量の割合に、分子の質量比が等しいことになる。或は同じことだが、同じ状態のガスの比重の割合が、その分子の質量の割合に等しい。化學に於て、ガス分子の質量を定めるには、この比重の方法によるのである。

容器の中から空氣を抜き取つて眞空を作る場合、現代最高の技術を以てしても、尙、毎 cm^3 に地球の全人口數 (約 17 億) に等しい箇數の分子が残るのである。分子の大きさと箇數以て知るべく、如何に強力な顯微鏡でも分子を見ることは出来ぬのである。

ゴム風船が翌朝になると下つてしまつてゐるのは、誰も知つてゐることである。あれは、ゴムの膜を透して、中にあつた軽い水素分子が外に出て、外の重い空氣分子が中に入り、入れ換りになるからである。あのゴム膜にも孔隙があつて、それを通つて分子がぐんぐん飛び出るのである。

毒ガス用マスクの中の炭素は、その表面にガスが凝縮附着する。これも分子現象である。

液體の中に物質が溶け込むと、それが内部に餘分の壓力を作る。これを²⁾ **滲透壓**といふ。この壓力は、この物質がガス状

¹⁾ Amadeo Avogadro ²⁾ osmotic pressure

にある時、溶液と同じ體積を占める時及ぼす壓力に略々等しいのである。それで種々の物質の滲透壓を比較して、その物質分子の重さの割合を知ることが出来る。

液體の中に溶け込んだ物質の分子は飛び廻はり、丁度ガス分子と同じやうな状態にあり、そのために餘分の壓力を生ずるのである。

滑劑の作用は、固體表面に吸着してゐる油の一分子層の作用が主である。油は一分子の厚さで固體の表面を蔽ふ場合がある。分子が轟々と表面に植はつてゐる状態を想像するだけに興味が深い。

硝子の表面に脂肪酸の一分子層を付けるには、薄硝子を、ステアリン酸少量を溶かしたベンゾールの中に漬けて出せばよい。この層は硝子に固く附着してゐて、容易に蒸發し去らない。この一分子層をかき取るには、小さな銅球を毎 cm^2 3 萬 kg の局部壓力で押しつゝ、動かさねばならぬほどである。

高壓滑劑の著しい性質も、異常に安定な一分子層が表面に出来ることから起つてゐる。

純粹な鑛油、乃至純粹飽和炭化水素の滴を水面上に置くと、レンズ形になつて浮ぶ。しかし動植物性油は水の上に擴り、1,000 萬分の 1 cm 程度の厚さになる。この種の分子は縦に長い分子で、何十箇と原子が竝んだ奇態なものなのである。

2. 原子の配列 分子を更に分けると、原子といふものになる。原子に分けられた後は、最早舊と違つたものである。例へば水の 1 分子は、酸素の原子 1 箇と水素の原子 2 箇とよ

り成る。酸素も水素も水とは違つたものである。

原子は原語ではアトム (atom) (不可分者即ち分けることの出来ないもの) といふ。原子はこれ以上分けることが出来ないといふ。原子はこれまで考へられてゐたからである。しかし、さうではなかつた。原子はこれを更に分けて陰電子と核とにすることが出来る。即ち原子は内部に構造を持つのである。

原子説を以て化学上の事實を説明し始めたのは、¹⁾ダルトンである。彼は、原子が或は寄り、或は離れて種々の物質を造るとした。原子の世界を眺めれば、寄りては離れ、離れては寄る無数の個体の群團である。

この離合集散は何によつて起るかといふに、多くは全く電気力である。

例へば、塩素の1原子とナトリウムの1原子とが相寄り、食塩の1分子を造るのであるが、塩素は負に、ナトリウムは正に帯電して正・負電気力の牽引で、食塩の分子が出来上がるのである。

食塩は結晶してゐる。岩塩といふ食塩の一種では、見事に結晶してゐる。

食塩が斯様に見事に結晶するのは、塩素とナトリウムとの原子が規則正しく組合つてゐるからで、サイコロの角頂に當つてこの2種の原子が交互に置かれたものを想像すれば、これが食塩結晶の内部の状況になる。

結晶は必ず内部構造が規則的である。これが外部に現はれてあのやうな奇麗な外形となるのである。畢竟原子間の

¹⁾ Dalton

力の働き方の完全さからである。

固体では斯様に原子が一定の間隔を持つて配列してゐる。しかし液体や気体では、固体のと異なり、分子としての集合が亂雑である。

岩塩の結晶がグザグザと水に解けて行く状態を想像せよ。解けたものは、一部が所謂解離して塩素イオンとナトリウムイオンとなる。食塩水に電気を通すと、この陰陽イオンが反対方向に動いて電流を形成するのである。

金属では原子が即ち分子で、金銀銅などすべて原子は對稱的配列を持つてゐる。延伸性を持つた金属は、所謂**面中心立方**¹⁾なる原子配列をなす。これを解り易くいへば、サイコロの六面の中心と角頂とに、各1箇の原子が存するものである。白金も鉛もすべてこの配列をなす。

これに反して、脆い金属は、**體中心立方**²⁾といつて、丁度サイコロの體の中央と各角頂とに各1箇の原子があるのである。

延伸性のあるのは、要するに構造が強いからである。面の中心に原子があれば、これが四隅の原子に力を及ぼすので、それだけ結構が強くなる譯である。丁度家の壁に筋違を入れたのと同じく、耐震建築の原理を原子の世界に見得るのは、自然の妙といはねばならぬ。

水素原子2箇が相寄つて水素1分子を造る。この場合の結合力は前に述べたやうな電気力ではなく、特殊の力所謂**共鳴力**³⁾といふものである。

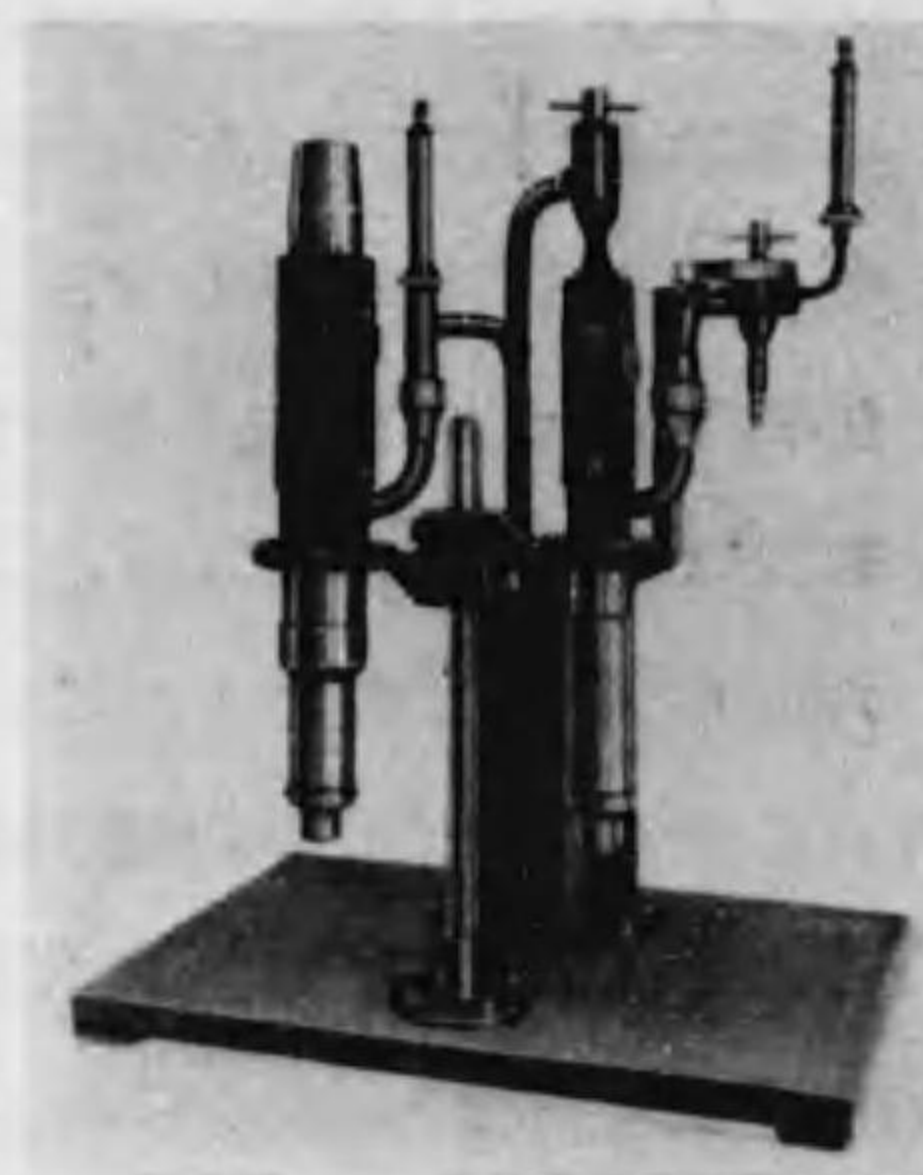
¹⁾ face-centered cube ²⁾ body-centered cube ³⁾ resonance force

この共鳴力は最近の電子波動論から説明されるもので、原子内にある電子が振動性を持つために現はれる力である。

電気振動回路が二つ相近くにある時、若し兩者の固有振動週期が同じければ、こゝに共鳴現象を起して、相作用するのである。水中に置かれた二つの球が振動する時にも、同様互に引力を及ぼす。原子間の共鳴力はこれと似てゐるのである。

同種原子が集合して分子を造る場合、斯様に特殊の力がその役割を演じてゐる。これに反して、異種原子が分子を造るのは、原子がイオンとなつて結合するので、寧ろその機構は簡單である。前者を同極性¹⁾、後者を異極性²⁾といふ。

原子の世界には、斯様に陰陽イオンの力と、力學的な共鳴力が支配するのである。



最新式真空ポンプ

1) homopolar 2) heteropolar

第 12 章 パウリの禁制

1. 元素の週期律 ¹⁾パウリは陰電子の状態を定める 4 箇の量子数 n, l, m, s が與へられた値を持つ電子は最大 1 箇しかないことを唱へた。量子数は市町村丁目番地のやうなもので、電子の状態を定める座標といつてもよい。 (n, l, m, s) によつて指定されたところには、多くとも電子 1 箇存するか、或はそこに電子が缺けてゐるのである。即ちこの原理は、廣義の物質不可入性³⁾といつてもよい。パウリの禁制⁴⁾又は除外原理⁵⁾と唱へられてゐる原理であつて、經驗以外に根底はない。直觀的にいへば、電子には特殊な反撥力が存するからである。

さて、 l は電子が公轉軌道運動する時の角運動量⁶⁾ (角運動量とは廻轉運動の大いさを測るものである。) の値を表はすものである。角運動量の單位として、 $\frac{h}{2\pi} = \hbar$ を採ると、 l が軌道運動の角運動量の値になる。 h はプランクの恒數⁷⁾ である。 $h = 6.55 \times 10^{-27}$ エルグ秒。

角運動量の單位 \hbar は標準状態即ち外から刺戟を受けない状態にある水素原子の電子が持つ軌道角運動量である。

l を第一副量子数⁸⁾ と唱へてゐる。これに反し、 n は軌道の大いさが増すと増し、又軌道運動のエネルギーが大となると大となる。 $n=1$ は最少のエネルギー即ち標準状態にある

1) Pauli 2) quantum number 3) impenetrability of matter
4) Paulisches Verbot 5) exclusion rule 6) angular momentum
7) Planck's constant 8) first subordinate quantum number

電子の軌道に当たる。 n を主量子数¹⁾といひ、これによつて電子のエネルギーが主として定まる。

m は磁気量子数²⁾と呼ばれ、磁場を加へた時軌道が磁場の方向に對して持つ特定配置を示す値である。軌道面が磁場に對して勝手な方向を採り得ないのである。 $\frac{m}{l}$ は軌道面と磁場方向とのなす角の正弦を與へる。

s は電子の自轉の角運動量を表はすものである。これは³⁾廻旋と呼ばれる。

n は1, 2, 3, …, ∞ ; l は0, 1, 2, …, $(n-1)$; m は $l, l-1, l-2, \dots, -(l-2), -(l-1), -l$ に亘る。

さて與へられた l を持つ電子の持つ m の筒数は $2l+1$ あり、 s に $\pm \frac{1}{2}$ の2種がある。それでパウリの禁制により l 電子層(殻)⁴⁾は $2(2l+1)$ 筒の電子を以て飽和される。 $l=0$ には2, $l=1$ には6, $l=2$ には10, $l=3$ には14筒の最大可能の電子筒数がある。飽和されれば電子の配列は對稱的であり、外部に對して化學力を示さない譯である。原子價零なる不活性元素は、斯様に飽和された對稱的な電子配列を持つ。

$n=1$ には $l=0$; $n=2$ には $l=0, 1$; $n=3$ には $l=0, 1, 2$; $n=4$ には $l=0, 1, 2, 3$ が對應する。それで $n=1$ には2, $n=2$ には8, $n=3$ には18, $n=4$ には32筒の電子が含まれ得る。これは元素の週期律の長さと同様なる數である。

次に、内部電子層が飽和されないのに、既に外部電子層に電

¹⁾ principal quantum number ²⁾ magnetic quantum number

³⁾ spin ⁴⁾ shell

子が配列されてゐることがある。斯様な元素は特別な性質を示すのである。

$n=1, 2, 3, 4, \dots$ に對してK, L, M, N, ……層の名があり、 $l=0, 1, 2, 3, \dots$ に對してs, p, d, f, ……副層¹⁾の名がある。

パウリの原理は元素の週期律をよく説明し、物質界を支配する原理といはれる。

2. ボーア磁子 半径 a の圓形針金に強さ i の電流が流れると、これは扁平な圓形磁石と同じ磁氣作用を現はし、その磁氣能率は

$$M = \pi a^2 i$$

である。但し M も i も所謂電磁單位(e. m. u.)で測つてある。

電氣量 e 、質量 m なる粒子(電子)が、半径 a の一つの圓形軌道を毎單位時間 n 回廻轉すれば、軌道の任意の點を毎單位時間電氣量 en が通る故、定義により電流の強さ i は

$$i = en$$

である。これによつて生ずる磁氣能率は次の如くなる。

$$M = \pi a^2 en$$

角運動量は

$$I = ma^2 2\pi n$$

である。

標準状態の水素原子内の電子では、これが $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ である故、 M は

$$M = \frac{e}{2m} \hbar$$

¹⁾ sub-shell

となる。これを磁気能率の単位とし、**ボーア磁子**¹⁾といふ。

電子が廻旋のために持つ磁気能率は1ボーア磁子である。

眞空中で金属を熱して蒸気とし、細隙を通じて原子の流れを噴出させる。そしてこれを双形の磁極に沿うて進むやうにする。原子が持つ磁気能率は原子の流れを磁場に對し兩側に分岐させる。この流れを特殊の試薬を塗つた板に受けると、これが分明になる。これを**シュテルン-ゲルラッハの實驗**²⁾といふ。原子核も一般に磁性・反磁性がある。

對稱的電子配列をなせば全體として磁気能率は零である。

3. 強磁性に関する最新學說 磁鉄礦が奇異なる性質を持つことは既に3,000年も前から知られてゐる。しかしこの長い年月にも關はず、強磁性に關する理論は非常に遅れてゐたが、漸く最近10年位の間急速な發展をなした。

19世紀の終り近く、**ゼームス・エー・ユー・イング**³⁾の書いた400頁の名著が現はれた。磁化曲線(磁氣と磁場との關係を示すもの)、**飽和磁氣**⁴⁾の存在、**磁氣轉移溫度**⁵⁾、**履歴現象**(磁氣が現在加つてゐる磁場の外、これまで受けた磁場にもよること)、**ヒステレシス**⁶⁾、**磁歪**⁷⁾等の、重要な實驗的事實も理論的事實も共に含めてある。この頃既に珪素鋼が發明されてゐた。

最近の20年の間には、強力な磁石鋼が幾種も發明された。しかし何が故に僅かの元素しか強磁性を持たないか、又誘磁

1) Bohr magneton 2) Stern-Gerlach's experiment 3) James A. Ewing
4) saturated magnetism 5) transition temperature 6) hysteresis
7) magnetostriction

率の値が60萬といふ大きな數にまで互る理由はどこにあるか等の基本的な問題は、極めて最近にしか解決されなかつた。

約1世紀前**アムペール**¹⁾は、分子の中にも電流が流れてゐる(**分子電流**²⁾)ので、分子磁石を形成すると考へた。

原子内には、核の周りに圓又は楕圓の軌道を描く電子があり、この電子が又自轉性(廻旋)を持つてゐるのである。質量が運動するために、廻旋電子は一定の角運動量を持ち、荷電が運動するために、一定の磁気能率を持つのである。公轉運動のためにも、磁気能率と角運動量とを持つけれども、兩者の比所謂**ジイロ・マグネチック比**³⁾は廻旋に對するこの比の半分である。

廻旋電子は一種の廻轉儀である。アメリカの**バーネット**⁴⁾は、鉄の棒を細い絲で吊り、これを縦に急に磁化する時に起る絲の僅かの捩れを測つた。これは、初めに凡ゆる方向を取つてゐた電子の磁軸が磁場に平行ならんとして、縦軸に沿うて新たに角運動量を結果し、反作用の法則で棒は、これに等しく反對の角運動量を以て反衝されるからである。上から下に磁場が加はれば、鉄棒は磁場の周りに左廻はりに廻はる。これは以前に、**アインシュタイン・ド・ハース**⁵⁾の發見したものである。

磁氣の變化は斯くて電子の磁軸の變化によるものであり、電子軌道の空間的配置の變化によるものではない。

1) Ampère 2) molecular current 3) gyro-magnetic ratio
4) Barnett 5) Einstein-de Haas

鉄の原子には26箇の電子があり、これが先づ主なる「殻層」に分たれてゐる。第一層(K層)は一番内側にあり、電子2箇を持ち、第二層(L層)は8箇、第三層(M層)は14箇、第四層(N層)は2箇を持つ。主殻層は又副殻層にも分れるが、これら主殻層が電子で飽和されるのは、第一層より算へて、2, 8, 18, 32箇の時である。然るに第四層が出来始めても第三層が飽和してゐないことがあり、第三層のこの缺陷を充たさんとすることが強磁性と関係があるのである。これは鉄屬に於て明かに見られる。

鉄では第三層までの各層の正負廻旋(方向相反する廻旋)の電子の数は、夫々正1負1; 正1,3負1,3; 正1,3,5負1,3,1である。即ち第三層には、尙4箇の廻旋が打消されずに残つてゐる。それで核の荷電を1だけ増し、同時に核質量を増加し、外層に1箇電子を増せば、鉄がコバルトとなり、これを繰返せばコバルトがニッケルとなる。銅に於ては第三層は飽和されてゐる。

それで第三層の電子の廻旋は右表の如くなる。

各層が電子で飽和されてゐる時は、これら電子が對稱的に分布し、正負の廻旋は等量に含まれ、廻旋は互に打消し磁氣的に中性となる。内殻電子の箇數が増加して行くものに、鉄屬以外、パラヂウム・白金・稀土金屬があるに係はらず、これらは強磁性を示さないのは、如何なる理由からか。

	正	負	過剩
Cr	4	0	4
Mn	5	0	5
Fe	5	1	4
Co	5	2	3
Ni	5	3	2
Cu	5	5	0

強磁性體となるべき元素は、その或電子殻層が不飽和で、補償されない廻旋を持つべきであるが、又附近の原子のこの不補償廻旋が平行にならなければならぬ。エネルギーの計算から、小區域で凡ゆる原子の廻旋を揃へるためには、原子の直径が不飽和廻旋電子層の直径と或比(1.5以上)を持たねばならぬ。これは、電子の廻旋と荷電とが互に相作用するためには、これらの間の距離が関係あるからである。この力が共鳴力一名交換力¹⁾で、電氣力でも磁力でもない特殊の力で、電子が波動性を持つことより起るものである。

交換力によつて廻旋が平行にされんとし、熱運動はこれを不規則ならしめ、攪亂せんとする。それで温度が充分高くなると、強磁性を失ふ。この温度をキューリー點²⁾一名磁氣轉移點といふが、鉄では770°Cである。これが高いほど交換力の強さも大なのである。新しい強磁性體のガドリニウム³⁾といふ金屬は、その比が約3で、キューリー點は16°Cである。

飽和磁氣の強さは、交換力の大きいさと不補償廻旋電子の箇數とによる。補償された廻旋の電子は磁場に影響されぬからである。鉄コバルト合金が最大の飽和磁氣を示すのは、このためである。温度が高くなるほど飽和値は次第に減ずる。強磁性體では、交換力が大きくて、外から磁場を加へなくても、小區域⁴⁾で自然的に廻旋が平行し、磁氣的に飽和されるのである。この小區域の大きさは約0.002 cm立方で、原子を約 10^{15} 箇包含するのである。この各小區域の廻旋が凡ゆる方向に向

1) exchange force 2) Curie point 3) gadolinium 4) domain

いてゐる時、全體として磁氣を示さぬ。

小区域の存在は、鉄面を500倍の顕微鏡で擴大して檢し、酸化鉄のコロイド粒子で蔽ふと、小区域間の境界の¹⁾迷場のために、粒子が規則正しく配列するのである。これは強磁性體が消磁の状態にあつても示すことで、磁化されてゐる時は、この紋様は大きくなる。

²⁾バルクハウゼン効果はこの小区域の存在の他の證明で、磁化曲線を何億倍にも擴大すると、それが急激な小階段の集合であることを示すのである。即ち鉄棒の周りに、擴大装置に絡いだコイルを捲き、縦磁場を次第に増加して行くと、擴声器に吃音を聴く。これは、小区域に於て磁化方向の反轉が起るからである。良好な状態では、擴声器なしでもこの音は聴える。

原子内の各電子は原子に對して、或限られた箇數の配置しか取り得ないことは、分光學的にも知られてゐる。30年前の理論のやうに、溫度が上つても電子が任意の配置を取ることとは不可能である。

結晶體では、小磁石(電子廻旋と軌道運動とによる原子全體の磁氣)が純粹磁氣的に相作用するが、原子配列の規則正しいため、磁化の或方向は他よりも安定である。鉄では、この方向は立方形の稜の方向 [100] である。立方形の對角線の方向 [111] は最も磁化し難い。ニッケルではこの反對である。面對角線の方向は何れに對しても中間的である。磁化曲線は當

¹⁾ stray field ²⁾ Barkhausen effect

初部を越えてから、この相違を表はしてゐる。

交換力は廻旋を平行にし、結晶力は、その向く方向を定めるが、前者は室温で1,000萬エールステット¹⁾(舊はガウスと命名した單位)程度の磁場を造り、後者は1,000エールステット程度の磁場を造るのである。前者が所謂²⁾ヴァイスの内磁場である。鉄の單結晶が消磁されてゐる場合でも、小区域は結晶の6方向の一つに飽和的に磁化されてゐる。無磁場の時、前述の如くこの6方向は何れも安定で等しく起り得るのである。磁場を加へると、この小区域の方向の一つの安定方向より他の方向に移すのであり、この變化が不連続的に起り、バルクハウゼン効果を示すのである。

磁化されても、飽和でない限りは、小区域の方向は磁場の方向に向かない。しかし磁場の方向に最も近い、磁化容易の方向に向くのである。飽和に當つて始めて、小区域の方向が磁場の方向に全く廻轉するのである。それで、最も磁化し易い方向と違つた方向に磁場を加へると、磁化は初め磁場に平行するが、磁場が増すと、磁化容易の方向に向き、更に磁場を増すと、これより離れて磁場の方向に向いて來る。最も磁化し難い方向に磁場を加へると、小区域の廻轉は、低い磁場から始まる。

磁化當初に於ては、小区域の轉移境界(數原子大)が移動し、外磁場の方向に磁化した小区域を擴張しようとする。この際不良な方向に向く小区域はなくなつて行く。この移動

¹⁾ oersted ²⁾ Weiss' internal field

の距離は小さい。磁化曲線の中中部では配置が急に變りエネルギーを大いに變化し、次には配置が徐々に滑かに變はるのである。鉄板では、壓延の方向は、結晶の單位胞¹⁾である立方形の稜に一致する。歪みを加へると、無磁化の状態から強い磁化の状態に齎される。65%ニッケルを含む鉄ニッケル鋼(65パーマロイ²⁾)では、張力は、凡ゆる磁場内で磁化を強め、85パーマロイではこの反對である。又何れの場合でも壓力は張力と反對効果を呈する。純鉄に於ては、弱磁場では張力は磁化を増し、強磁場ではこれを減ずる。これらの逆現象が磁歪である。(電場のために起る歪みを電歪³⁾といふ。)

歪みを受ければ、磁化し易い方向を變へ、鉄では張力の方向に、ニッケルではこれに垂直な方向に小區域が向かんとする。(小區域の方向には勿論正負2種の向きがある。)歪みが大きくなると、結晶力の方が負けるのである。強く歪まされた物質が磁氣を變へ難いのは、局部的歪みのために安定となり、小區域の境界の移動が止められてゐるからである。それで機械的に強いものは磁氣的にも強いこととなる。

化學的不純物は、非金屬性のもので、内部歪みを起す。例へば鉄では、1,500°Cの水素の中で熱すると、この「化學的歪み」が除かれる。しかし小區域にある磁場のため磁歪が未だ残つてゐる。小區域の方向を一方向に向けるには、弱磁場の中で數分間熱するのである。さうすると、同時に誘磁率も増加する。

1) unit cell 2) permalloy 3) electrostriction

第13章 光

1. 偏光 光線¹⁾は一般に波面に垂直である。光は横波²⁾なる故波面内で振動し、一般に複雑な曲線を描いて振動する。これを不偏光³⁾又は自然光⁴⁾といふ。然るに或場合に、光が一定方向に振動することがあり、これを側方から見れば、光線を含む一平面内で波線を描くのである。斯様な光を平面偏光⁵⁾といふ。

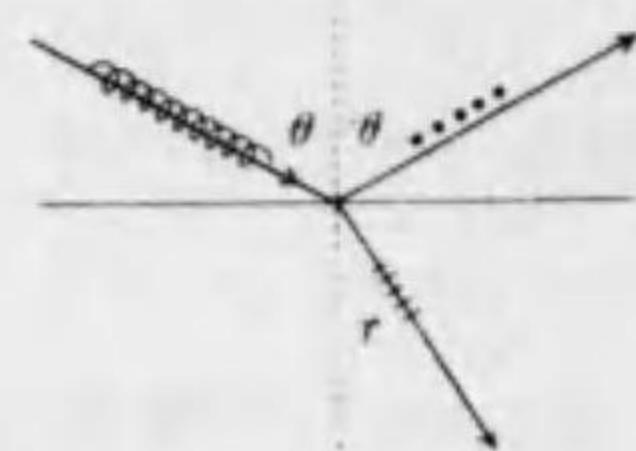
又波面内で右又は左廻りに圓形又は楕圓形に振動するものを圓偏光⁶⁾又は楕圓偏光⁷⁾といふ。前者は側方から見れば螺旋振動である。

2. 反射及び屈折による平面偏光 自然光が金屬光澤⁸⁾を持たない物體の表面に当たると、反射光線が一部分、平面的に偏る。この振動方向は入射面⁹⁾に垂直である。そして入射角即ち反射角が或値になると、反射光線の殆ど全部が平面偏光となる。この角を偏光角¹⁰⁾といふ。偏光角を θ 、屈折率を n とすれば

$$\tan \theta = n$$

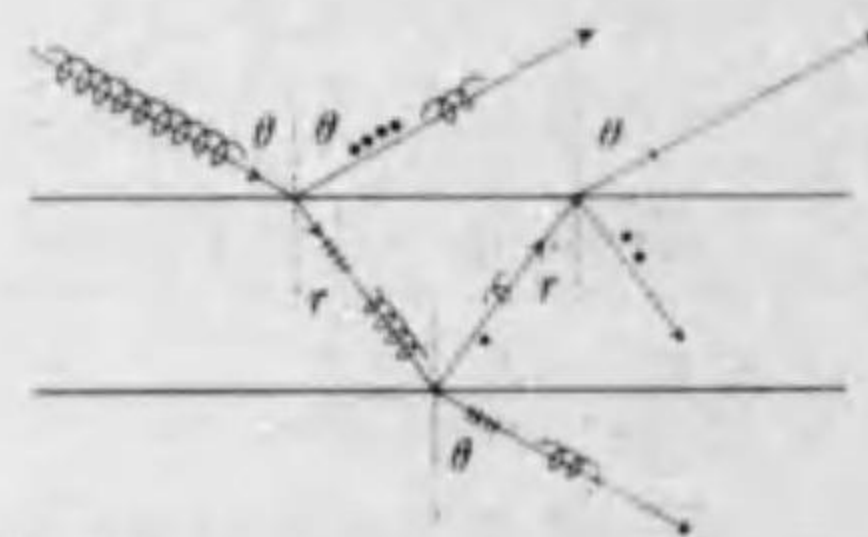
これをブリュースターの法則¹¹⁾といふ。例へば屈折率1.5の硝子では、偏光角は57.5°である。

1) ray of light 2) transverse wave 3) unpolarized light
4) natural light 5) plane polarized light 6) circular polarized light
7) elliptic polarized light 8) metallic luster 9) plane of incidence
10) angle of polarization 11) Brewster's law



偏光角を以て反射が起る時、屈折光線も亦一部偏り、その振動方向は入射面に平行である。

自然光の中には、この二つの互に垂直なる振動が等量に含まれてゐたと考へてもよく、一つは反射光線の方に、他は屈折光線の方に入る。然るに反射光線は屈折光線に比して一般に弱く、従つて反射光線は殆ど全部偏つても、屈折光線は一部しか偏らない。この時第二面が第一面に平行で、こゝに第一面の屈折光線が入射すると、又偏光角をなす。不偏光は一部こゝで又分れ、入射面に垂直なる振動は反射光線の中に、平行なる振動は屈折光線の中に入るの



動は反射光線の中に入るの、屈折光線は愈々偏光に富んで来る。

面白いことは、入射面に垂直或は平行に振動してゐる光を偏光角を以て入射させると、夫々屈折光線或は反射光線を缺く。

3. 複屈折 方解石¹⁾の結晶に自然光をば投ずると、一般に二重に屈折する。この現象を複屈折²⁾といふ。等軸晶系以外の結晶は多少複屈折を呈するが、方解石は殊に著しい。

複屈折性結晶に於ても、或特別な方向では複屈折を呈しない。この方向を光軸³⁾といふ。一方向又は二方向の光軸を持

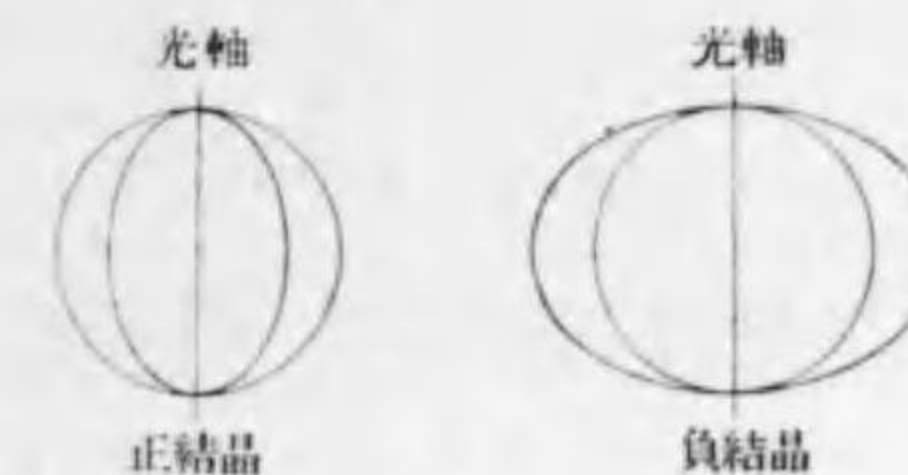
1) calcite (Iceland spar) 2) double refraction 3) optical axis

つものを夫々單軸結晶¹⁾・双軸結晶²⁾といふ。

單軸結晶に屬するものに水晶・方解石・電気石等、双軸結晶に屬するものに雲母・霰石等がある。

何故に複屈折なる現象を起すか。例へば、單軸結晶に於ては、ハイヘンスの副波は、光軸の方向に於て一致した球面波と廻轉楕圓面波とから成る。廻轉楕圓面とは、楕圓をその一軸の周りに廻轉して出來た立體の面である。

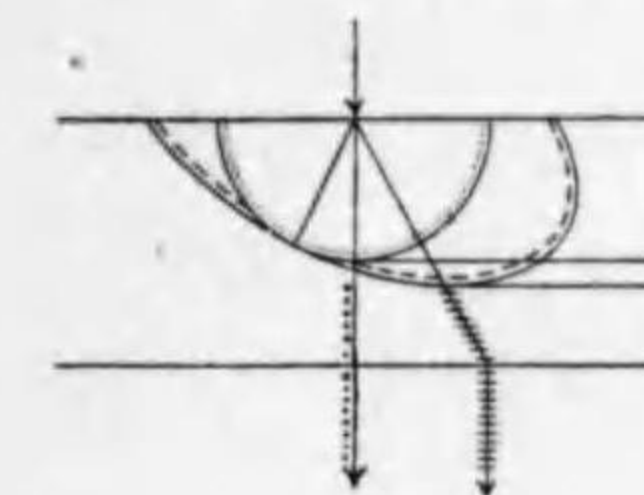
それで單軸結晶に於ては、光軸の方向以外では、兩波に對して速さが異なる。球面波が廻轉楕圓面波より外にあるもの



を正結晶³⁾、さうでないものを負結晶⁴⁾といふ。水晶は前者に、方解石・電気石は後者に屬する。

双軸結晶の場合は、副波の波面は複雑である。

圖に於ては、光軸が結晶板面に斜めになつてゐて、又負結晶である。



球面波は常光線に對し、光軸に垂直に振動し、廻轉楕圓面波は異常光線⁵⁾に對し、光軸に平行に振動してゐる。

板面に垂直に光が入射すると、常光線はそのまゝ進行し、異常光線は斜めに進む。

ニコル⁶⁾は方解石から造り、異常光線のみを通す。

1) mono-axial crystal 2) bi-axial crystal 3) positive crystal 4) negative crystal 5) extraordinary light 6) Nicol

4. **光弾性學** 複雑な構造材料に生じた歪力の分布は、數學的解析によつて知ることは困難である。こゝに於て、二次元的即ち一平面に於ける歪力の分布を偏光を以て知らうといふ工夫が考案された。セルロイド(ザイロナイト)又はフェノライト¹⁾で實際の構造の透明模型を作り、これに實際に模して力を働かせる。さうすると、この模型の内部に實際と同じ歪力の分布が起る。物質内部に歪力が起れば、その分子の配列を變へ、従つて光學的に**不等方的**²⁾となる。即ち方向によつて光學的性質が變つて來る。偏光もその中を通ると影響を受けるのである。それで偏光の受ける影響を測つて逆に歪力の分布を知らうとするのが、この方法である。

材料に生じた歪力を偏光を以て研究することは、イギリスのコーカー³⁾の創意になる。

5. **結晶體と偏光** 光軸に垂直に截つた水晶板に垂直に平面偏光を送ると通過した厚さに比例し波長の四乗に略、逆比例して、振動方向が廻轉する。これを**廻轉偏光**⁴⁾といふ。

光線が紙背から來るとする。右廻はりに廻轉される時これを右旋、左廻はりに廻轉される時これを左旋といふ。廻轉偏光を起す物體を**旋光體**⁵⁾といふが、結晶に限らず、液體にも氣體にも旋光性のあるものがある。溶液では、その濃さに比例し溶液の長さに比例して、振動方向を廻轉する。この廻轉角を測つて逆に溶液の濃さを知ることが出来る。砂糖溶液に

¹⁾ phenolite ²⁾ anisotropic or aeolotropic ³⁾ Coker
⁴⁾ rotatory polarization ⁵⁾ optically active substance

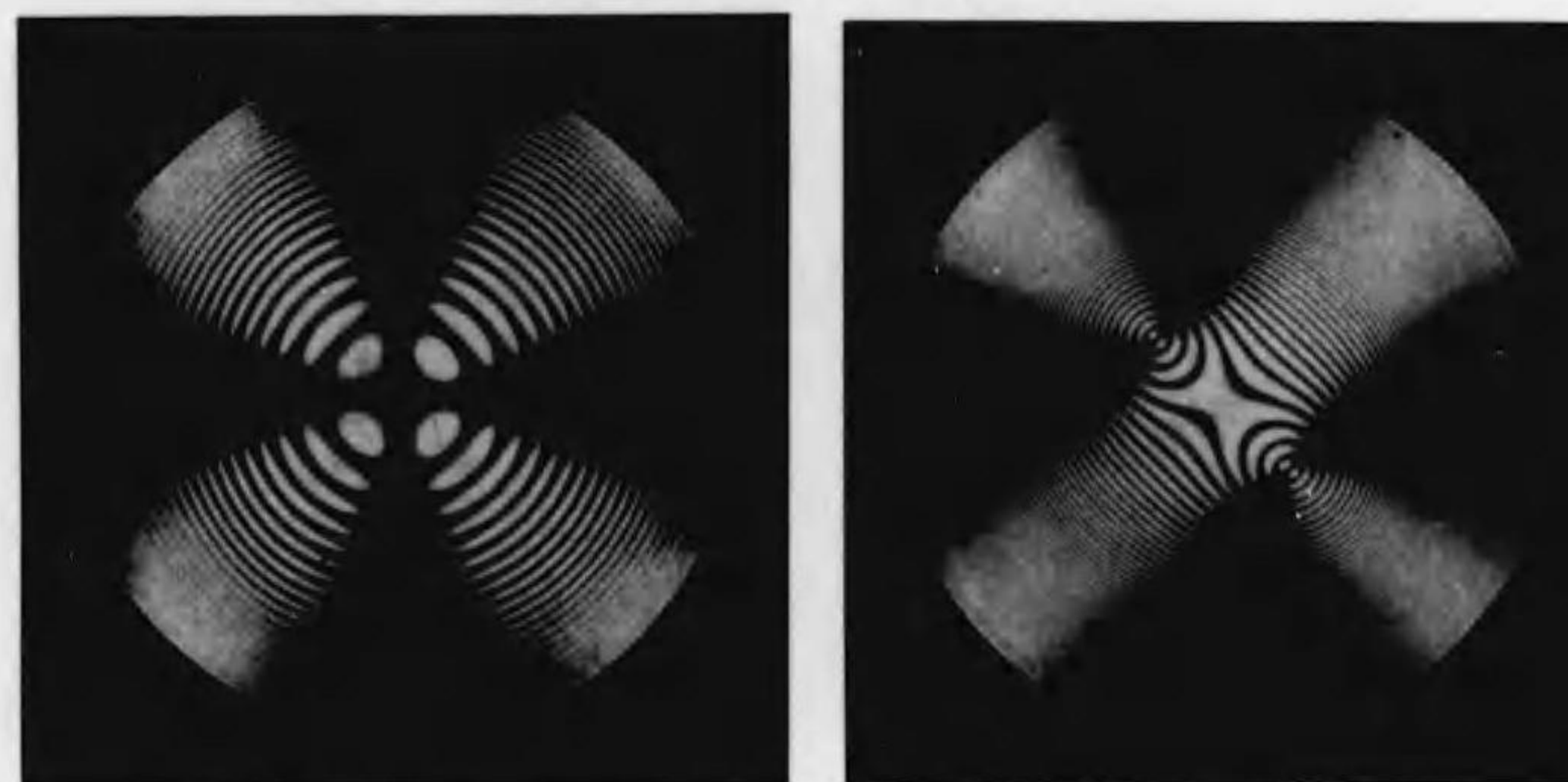
歪んだ透明體を偏光で見た時の色彩



(1) 屈げた棒の歪み

(2) 圓環内の歪み

偏光で見た結晶の美しさ



(1) 方解石を光軸に垂直に截り、二つのニコルの中に入れて見た時の圖形

(2) 双軸結晶板を二つのニコルの中に置いて見た時の圖形

就いてこれを行ふことを¹⁾検糖法といふ。

光軸が板面に横はる、適当な厚さの水晶の板は、平面偏光が通過すると、圓偏光になる。これを²⁾四分一波長板といふ。

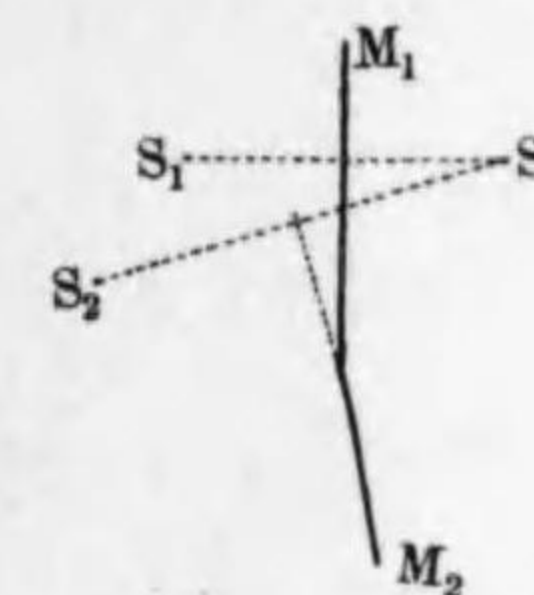
6. 偏光と力場 磁場の中に置かれた液體に、磁場の方向に平面偏光を送ると、通過距離、磁場の強さと共に偏光振動方向の廻轉を起す。これを³⁾ファラデー効果といふ。磁氣と光との相關する現象の一つである。磁場と逆方向に送り返せば、廻轉角は2倍となる。

磨いた磁極面より平面偏光を反射させると、楕圓偏光となる。これを⁴⁾カー効果といふ。

ニトロベンゾールの液中に電極を置き、これに高電壓を掛け、この間に平面偏光を送ると、振動方向が廻轉する。この現象もカー効果といはれる。

光源を強い磁場や電場内に置くと、光のスペクトル線は分裂し又偏る。これを夫々⁵⁾ゼーマン効果・⁶⁾シュタルク効果といふ。

7. 干渉 一つの光源 S から出る光を分けて二つの光源 S_1 , S_2 を造り、これらの光源からの光波を相重ねると、⁷⁾干渉の現象を表はす。



二つの獨立した光源からの光では、干渉は起り得ない。如何となれば振動の方向や振幅は刻々變化するからである。

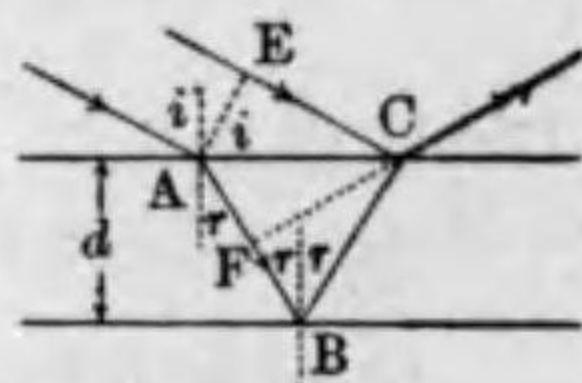
¹⁾ saccharimetry ²⁾ quarter wave-length plate ³⁾ Faraday effect
⁴⁾ Kerr effect ⁵⁾ Zeeman effect ⁶⁾ Stark effect ⁷⁾ interference

S_1 及び S_2 からの径の差が波長の整数倍ならば、光は強め合ひ、半波長の奇数倍ならば消し合ふ。

一つの光源からの光を分けて二つの光源を造るには、 180° に近い角をなした二枚の平面鏡(フレネルの二重鏡¹⁾)を用ひるか、又は角が 180° に近いプリズム(フレネルの二重プリズム²⁾)を用ひる。

光の干渉を應用して、微小な距離を測ることが出来る。この装置を干渉計³⁾といふ。

薄板が色附くのは、第一面に於ける反射光線と第二面に於ける反射光線とが相重なるからで、入射白光の中或色の光が打消す時、その餘色を見るためである。同じ厚さの薄板でも、入射角によつて色付きの工合が異なる。



石鹼泡が色附くのは、日光が平行光線でも、部分により入射角を異にするからである。

第一面に於ける反射は、光學的に疎なる媒質から密なる媒質に入る境界に於けるもの、第二面に於ける反射は、密なる媒質から疎なる媒質へ移る途中のもので、互に反射の性質を異にするので、径の差の外に、半週期の位相差をも生ずる。

圖に於て AE は入射光線の波面、CF は屈折光線の波面である。径の差といへば FBC である。これが波長の整数倍の時暗く、半波長の奇数倍の時明るくなる。

¹⁾ Fresnel's bi-mirror ²⁾ Fresnel's bi-prism ³⁾ interferometer

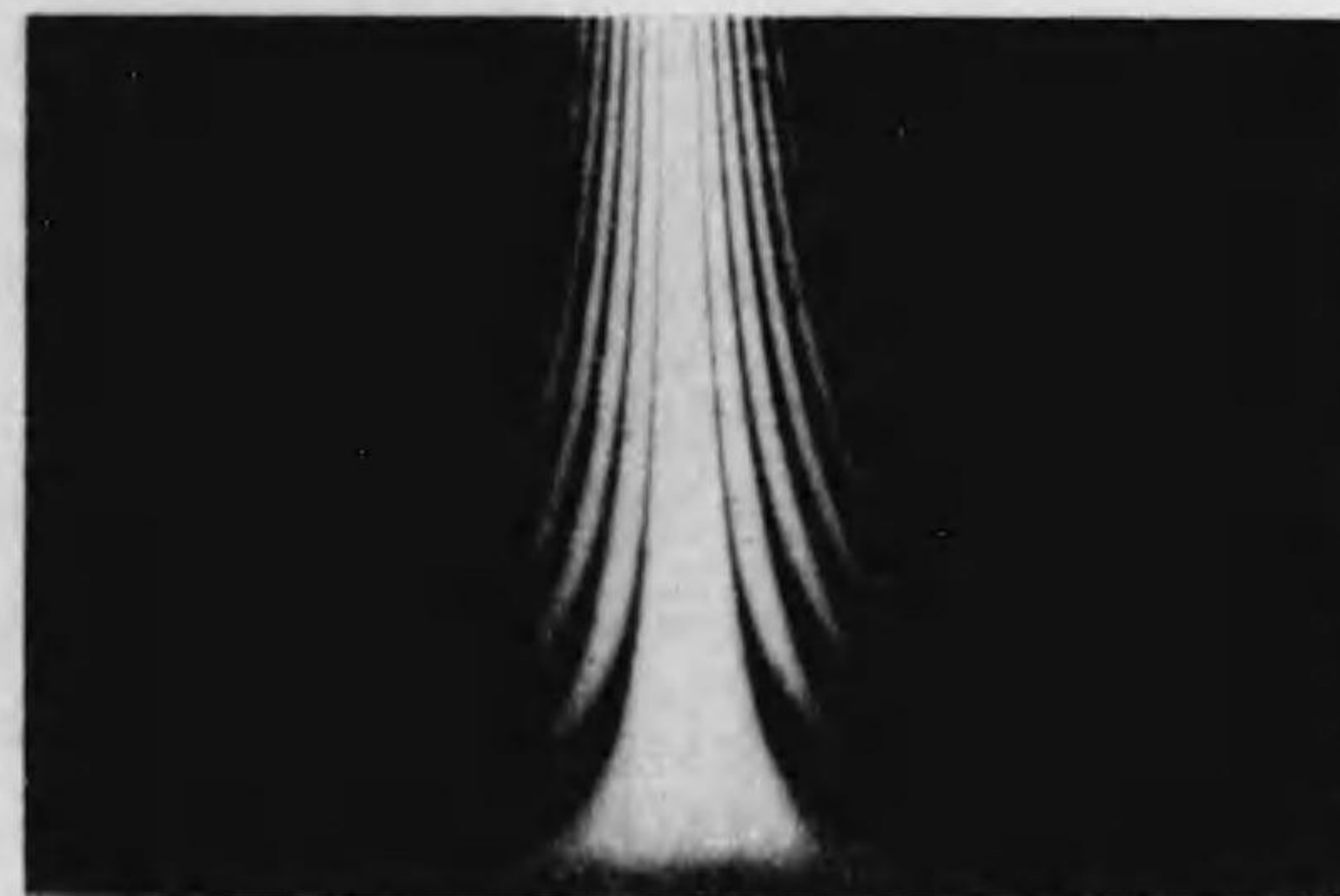
8. 廻折 細隙に對して垂直に平行光線を送る時、その幾何學的影¹⁾の中にも光が入り込む。これを廻折²⁾といふ。白い光を用ひる時は、外側に赤、内側に堇のスペクトルを表はす。鳥の羽毛は、細隙の集りと見てよく、細隙が太いので色が相重なり、白色の縞が細隙に横に生ずる。

光波の進む途中に蜘蛛絲などが張つてあると、これが障害物となり、廻折のスペクトルを生ずる。又球の影の中心の所は、廻折のため輝點を生ずる。

細隙の両端からの径の差が波長の整数倍の時打消し、半波長の奇数倍の時強め合ふ。

音の場合にも廻折の現象を認め得る場合がある。

次の圖は、或細隙による廻折縞³⁾である。



¹⁾ geometrical shadow ²⁾ diffraction ³⁾ diffraction fringe

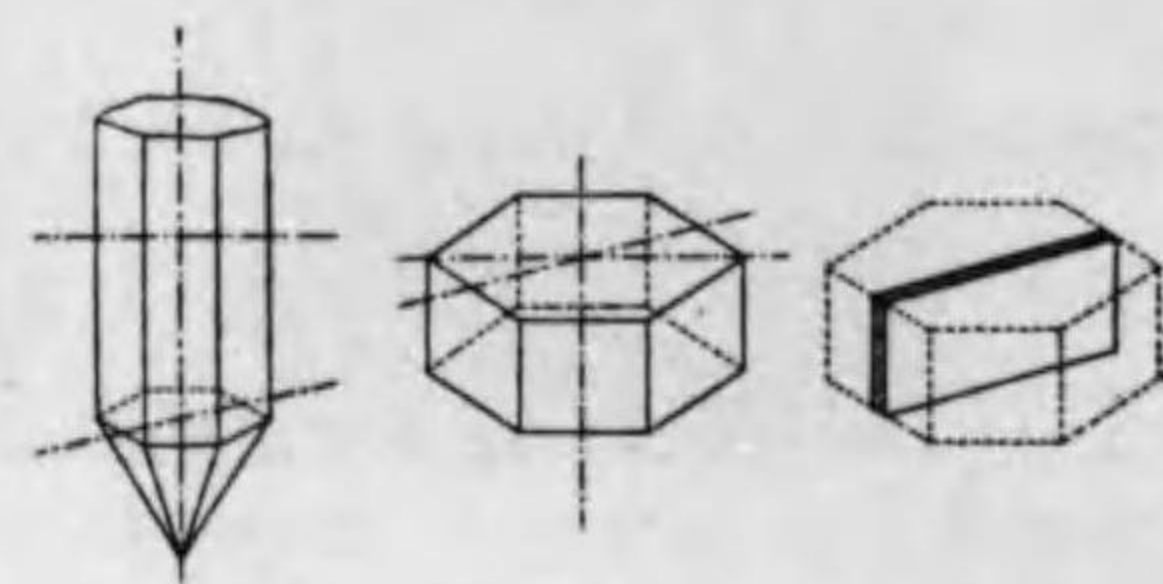
第14章 音と光との諸知識

1. 耳に聴えない音 耳に聴えるものが音であらう。

しかし音の定義を擴張して、弾性體を傳はる振動を一般に音とすれば、耳に聴えない音もある譯である。即ち可聴音はその振動数の範圍が限られて居り、餘り遅い振動も餘り速い振動も耳に聴えない。勿論この範圍は人によつて幾らか相違することであらうが、大體每秒20—30回より3萬回に到る。振動数が餘り多くて耳に聴えない音波を¹⁾超音波といひ、この研究分科を²⁾超音波學といふ。

超音波を實用に供することを提案したのは、かの新造巨船タイタニック號が1912年氷山と衝突して沈没した直後、³⁾ルウィス・リチャードソンである。しかしフランスの⁴⁾ランジュヴァンに到つて始めてこれが實際化されたのである。彼はこれを以て海の深さを測る器械を考案した。超音波にはその他種々の應用がある。後にこれを詳述しよう。

超音波は所謂⁵⁾壓電氣の逆現象を應用し水晶片を振動させて起すのが、普通である。その水晶片は圖のやうに結晶から截つて造る(キュー



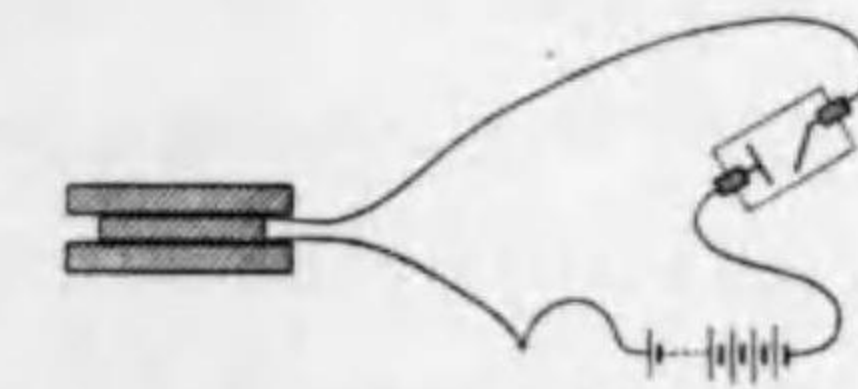
第1圖 第2圖 第3圖

¹⁾ super-sonic wave ²⁾ super-sonics ³⁾ Lewis Richardson
⁴⁾ Langevin ⁵⁾ piezo-electricity

リー截法)。壓電氣はキューリーの發見で、原装置はパリのラヂウム研究所に保存されてある。(結晶を熱して電氣を起すことを¹⁾焦電氣といふ。)

即ち先づ水晶の長軸に垂直に截り(前頁の第1, 2圖),次に長軸に平行に又截片底面に垂直なるやうに薄板をこれより截取る(第3圖)。今この片の面對に壓力を加へると、正・負の電氣が等量に夫々兩面に現はれる。

この現象は可逆的であつて、兩面に等量の正負電氣を加へると、水晶片が同じだけ收縮する。従つて兩面に交番電壓を加へると、水晶片の厚さが週期的に變化する。



水晶片を壓縮すると電氣を發生することを示す實驗。水晶片の下面は地を経て高壓電池の一極に連つてゐる。

この時、一面を固定すれば、他面は前後に動いて振動する。若し水晶片の固有振動の週期が交番電壓の週期に近ければ、片は大いに振動する。(或截り方では、電場に垂直に板が振動する。)

實際には薄い金屬膜を兩面に附し、これを真空管發振装置に連絡し、水晶片を絶縁性油の槽の中で振動させる。さうすると音波が油の中に傳播する。交番電壓が高周振動をすれば、發生音波は超音波となる。勿論水晶片の固有振動週期と交番電壓の振動週期と一致する時、振動の振幅は最大である。

今每秒50萬サイクル數萬ヴォルトの高周高電壓を應用すると、油内の音波の波長は數cmとなる。振動数が大に過ぎて

¹⁾ pyro-electricity

この音波は不可聴である。

油内の斯様な音波が適当な反射体に当たれば、入射波と反射波とが重なり定常振動をなし、一群の腹と節とを示す。節の所では油内の壓力變化が激しいので、氣泡が盛に出て来る。氣泡は壓力が減つた時に出る。この氣泡の相隣る層の距離を測つてこれを2倍すれば、油内音波の波長が出る。

超音波は速さの遅い媒質例へば空氣中では遠方に達し難い。(その速さは普通の音波の速さと同じとしてよい。)

高周音振動は不可聴なるのみならず、面白い作用を持つ。

例へば、これが当たると小動物を殺し、普通には困難な油と水又は水銀と水のコロイドを作つたりする。この振動の傳はつてゐる棒を握ると、摩擦のためにその部が熱くなる。下から音波の當たる液面は隆起する。

超音波は測深用に供される外、又沈没物體の檢出にも用ひられる。如何となれば、普通の反響法では廣い範圍の平均の深さしか與へぬが、これは小部分の深さを示してくれるからである。又この音波を水平に向けて、潜水艦や他の船の船舷又は冰山より反射させることが出来る。氷は反射體としては、良くないが、それでも中々遠方から檢出出来る。反射音波はこれを水晶片に當てて、電氣を起させ、よつてこれを知り得るのである。又ランジュヴァンは、超音波を用ひて水中で電話することに成功してゐる。

放送波長を一定するにも、水晶振動板が用ひられる。この場合に用ひられる板の厚さは可なり薄い。

磁歪なる現象がある。これは強磁性體を磁化すると歪む現象である。近頃この逆現象を利用して高周音振動を起させてゐる。即ち高周電流により、磁性體を週期的に磁化し振動させるのである。これを以て擴聲器を働かせる工夫も出来てゐる。

又ニッケル管を用ひ、これを毎秒數萬回振動させ、その周りを流れるミルクを殺菌する考案が最近に現はれた。

2. 音信號の傳播 音信號が空氣中を如何様に傳播するかは、航海者に對して特に重要な問題である。霧が懸かる時は、燈臺の光は遠方に達しない。斯かる場合に、或地點の危険なることを航海者に警報するに、音信號を用ひる。

音信號は普通サイレン¹⁾を以てする。壓縮空氣を間斷的に廻轉圓筒のスロットから吹き出さす。この種のサイレンでは固定及び廻轉圓筒があり、各、2列のスロットを持ち、上列はスロットが相近接し、高い調子の音を出すためのものである。固定及び廻轉圓筒の各スロットが相重なる度に空氣が出て、音を出す。サイレンとは水中に棲む美聲の乙女の謂である。昔譚に基づく。

一つの音源の音を聽いてゐる時にも、屢々音の強さに大なる又急激なる變化があるのを知る。ティンダルの注意したやうに、大氣中の不均等が可聴度²⁾に大いに影響するのである。一體に音波は、屈折率の相異なる二つの空氣部分の境界で反射を受ける。屈折率は、その媒質に於ける音の速さによるの

1) siren

2) audibility

であり、音の速さは、空気の温度と湿度とによる。

霧の丘がある時、この縁邊では甚しい反響を聴く。又寒暖の空気が混合した所では、音の可聴度が大いに變化する。曇天又は雨天の日には遠くへ音が傳はるのは、空気が比較的均等であるからである。

風が吹いてゐると可聴度が變化することは、¹⁾レイノルツが指摘したところである。

地に接した空気はその運動を阻止され、高い所では風の速さは速い。それで今地上より發した球形の音波を考えると、上方では下方よりも風下の方向では速く進み、風上の方向では遅く進む。風のために音波が變形すること、恰も溝を流れる水に鉛直に岸壁に沿うて落ちる滴によつて生ずる波紋の形と同じい。(岸に近い所では流れの速さは遅い。)

地面が雪や氷で蔽はれてゐる時は、音波への摩擦は少い。

温度の勾配がある時も同様である。音は温い空気中では速く、冷たい空気中では遅く進む。

晝間は地上高く登るに従つて温度が下り、音の速さが減じ、地上から發せられた音波は恰も風に逆ふ音波の如く變形する。暑い日中はこの場合の現象を呈し、寒い日の夕はこの逆現象を呈する。

日中では、音源が高くにあると、下方に向く音線は一度水平となり再び上方に向ふ。

スポーツマンはこれらの現象を利用することを知つてゐる。

¹⁾ Reynolds

3. 沈黙帯 可聴度の異常なる現象として、¹⁾沈黙帯なるものがある。

音源に近い區域に散在する観測者が音を聞かなくて、その區域を越した所にゐる観測者が極めて明瞭に音を聞く場合がある。これは航海及び戦場に於て屢々經驗する現象であり、戦の中心から5kmの所にゐて、3時間も続いた激戦に1發の砲聲をも聞かずに終つた例がある。

火山工場の爆發にも同様の現象が認められる。又何回もの爆發の時は、位置により音を聞く回数も異なる。

音として聴えない波でカーテンなどを動かすので解る種類のものがあつたり、人間が音を聴かない先に雉子が騒ぐなどのこともある。

沈黙帯の起るのは、音源からの音波が上方に屈折し、後再び下方に向ふためである。上方ほど逆風が速くなり、上のやうな結果を起すのである。温度勾配の逆變からも同様の結果を起す。

温度勾配のみ働く場合には、音源に關して對稱的な面積に於て、内圓面積は標準可聴度の所であり、次にこれを圍む環狀の沈黙帯があり、その外側には異常可聴度の環狀帯がある。

沈黙帯の他の説明は、²⁾フォン・テム・ボルネ²⁾ので、上方に向ふに従ひ、空気の組成が大いに變じ、水素及びヘリウムが非常に多くなり、こゝで音の速さが速くなるといふのである。

日本では火山爆發音に關し大森博士等の研究調査がある。

¹⁾ silent zone ²⁾ von dem Borne

4. 日常生活と光の反射屈折等

ローマのヴァチカン宮殿のシステナ寺院に、ラファエロの「最後の審判」の壁画、「人類創造」、「エデンの追放」の天井画がある。後の二つの画は極めて探し難く又見難いので、鏡に映して嘆賞してゐる人がある。仰いで見るに苦しい時、鏡を用ひるのは良い考案である。

又パリの市廳で天井画を観る時案内人が教へてくれたことであるが、或時は手で眼下からの光線を避けるやう、又或時は手の筒で眼に他の光線の入るのを妨げるやうにすると、良く画が鑑賞出来るのである。前者と共に画の鑑賞の良い方法である。

光學實驗には屢々ヘリオスタット¹⁾といふ装置を用ひる。これは室の窓に取付け、日光を常に一定の方向に室内に導く鏡装置である。

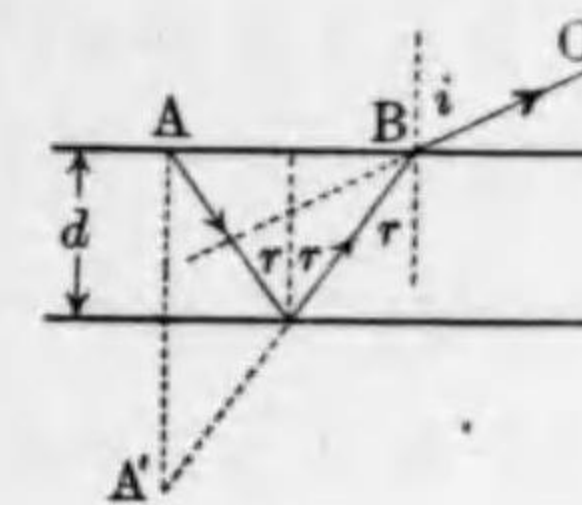
太陽は運行するので、これを追ふために時計仕掛を施したものがあつた。時計の針を保持してゐる棒に相當する軸を廻轉させ、この軸で鏡を動かす。軸は地軸に平行しなければならぬ。

框に入つた鏡の厚さを測らうといふには、真直な縁 A を有する板をこの鏡硝子の上に載せ、又別に三角定規を硝子の上に鉛直に立ててこの斜邊 BC に沿うて鏡面を望み、この方向に縁の像が來るやうにする。この時硝子面上の、三角形の頂點と縁との距離 AB (= t) を測ると、鏡の厚さ d が解る。

この場合、斜邊の方向は硝子より屈折して出る光線の方向

¹⁾ heliostat

を與へる。この光線は硝子内では背後の銀面で反射したものである。斜邊が鉛直線となす角を i とし、硝子内の光線の入射角を r とすると



$$\frac{1}{n} = \frac{\sin r}{\sin i}$$

$$t = 2d \cdot \tan r$$

となる。こゝに n は空氣に對する硝子の屈折率である。この二つの式から r を追ひ出せば、 d 、 t 、 n 及び i の間の關係が解る。

ボール箱或は木箱の前面に小孔を穿ち、後面を擦硝子にすると、この硝子上に前方の景色が倒さに映ずる。これを針孔暗箱¹⁾といふ。針孔暗箱による像は歪みを持たないので、建築物を撮影するのに良い。撮影には擦硝子の代りに乾板を置けばよい。しかし露出時間が普通の寫眞よりは長く掛かる。

y を孔の直徑を cm で表はしたものと、 x を孔と乾板との間の距離を cm で表はしたものとすると、次の時最も鮮明に映ずる。

$$x = \left(\frac{y}{0.0128} \right)^2$$

一重の和封筒の中に、墨で文字などを書いた紙片を入れて封する。この文字を読むには次のやうにする。

脱脂綿などに充分エーテルを浸して、これで封筒の表面を靜かに擦るのである。ありありと中の文字が見えて來る。

¹⁾ pin-hole camera, 獨 Lochkamera

しかしエーテルが蒸發すると、封筒は舊の状態に戻り、不透明となる。

これは、エーテルが封筒に浸んで、封筒面で光が反射される量を減じ、中へ光を透過させるからである。

一體屈折率の變化の少い所では、反射は少ししか起らぬものである。擦硝子が濡れ、紙に油が浸むと、光を透すのはこのためである。動物の透明標本にはサリチル酸メチルエステル³と安息酸ベンジル¹とを混じた液を用ひる。

斯様な原理は次の場合に應用される。縁の複雑した固体をこれと同じ屈折率の液中に浸す。さうすると縁の影響は取去られて、全體が光の屈折に對して同じやうに働く。縁の反射がなくなるので縁は見えなくなる。

水の屈折率は $\frac{4}{3}$ で、従つて全反射の臨界角は $48^{\circ}30'$ である。

水中の眼に對しては、眼の直上には、眼を頂點とし半開き $48^{\circ}30'$ で軸が鉛直なる圓錐が水面と交はる圓周により圍まれた部分に、水面外のすべての景色が見られる。その周りには池底の反射像が見られる。

吾等が地上で周圍のすべての景色を見渡すには、眼を 180° の間に動かさねばならぬ。然るに水中では、眼を $48^{\circ}30' \times 2$ の間に動かせばよいことになる。魚や潜水者が水上の景色を見る場合が、これである。(次頁の圖参照)

水でなく屈折率 n の液體を深さ h まで湛へた場合には、槽底から見れば、液面の所の丸窓の半徑は $\frac{h}{\sqrt{n^2-1}}$ となる。従

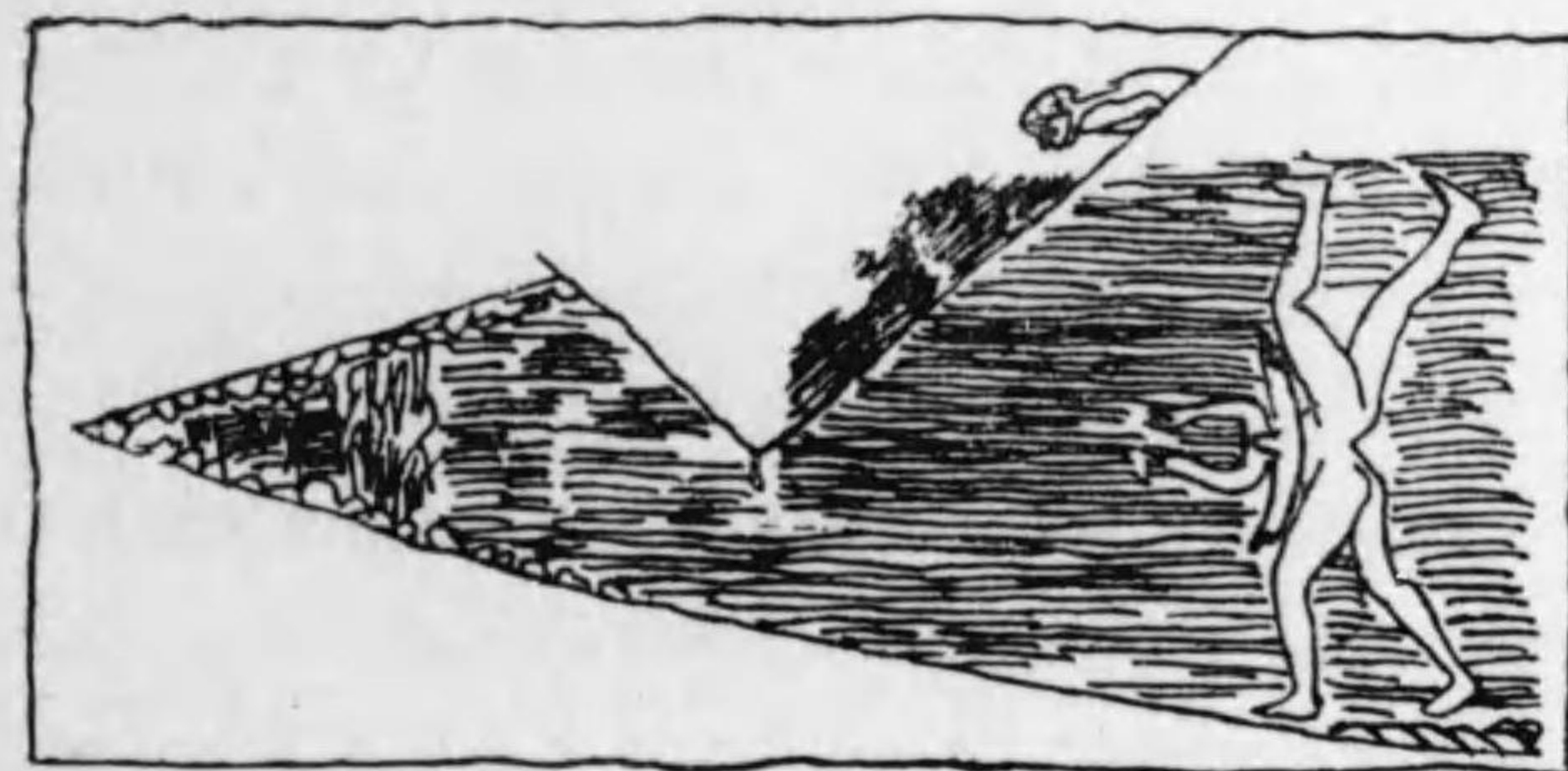
つて屈折率の大きな液體を用ひるほど、この半徑は小さくなる。この方法により、僅かな角度に收められた一種のパノラマ寫眞が撮られる譯である。



魚の見た光景 (1)



魚の見た光景 (2)



魚の見た光景 (3)

點滅式ネオン燈の光斑の跡が青く見えることは、少し注意してゐる人には知られてゐることである。これは色の對比¹⁾である。

¹⁾ contrast

白光と赤光とを両方から投ずると、赤光の影の所が青く見える。青色が生じたと思ひ誤つてはならぬ。一つの色が弱くなる時、餘色を感じるだけのことである。

鉛筆を左眼の前方、腕の距離に保ち、右眼を閉ち、左眼と鉛筆の尖端とを通る視線が向ふの本箱の縁に当たるやうにする。次いで左眼を閉ち、右眼を開けると、鉛筆は本箱の縁の左側に見えて来る。

左眼で見た状況と右眼で見た状況とは違ふ。吾等が物体の遠近が解り、深みがあることを知るのは、両眼があるからである。

左右の眼に映する夫々の像が合して一つとなつて感ぜられる時、立體感が現はれる。

遠い景色は近い景色に比して、両眼に映する像の差違が少く、従つて扁平に見える。近い景色に深みは多く現はれる。

ところで、両眼の距離が今よりも大となると、遠景に對しても立體感は大となる。普通以上に凹凸が現はれるのである。

或實體鏡圖では、左右の寫眞を夫々赤色と緑青色とで重ねて印刷し、左眼は緑青色のセルロイドの眼鏡で、右眼は赤色のセルロイドの眼鏡で蓋ひ、これを眺めるのである。さうすると、餘色の關係で、左眼圖の赤色は、左眼の眼鏡の緑青色で吸収されて黒く見える。同様に右眼圖は右眼には黒く見える。それ故、左眼は左眼圖、右眼は右眼圖を見ることになり、立體感を起す。

近頃この方法は、實體活動寫眞にも用ひられ出した。

5. 光量子 螢・燐光體は、一般に短い波長の光を吸収して長い波長の光に換へるものである。即ち刺戟光の振動数を ν_0 とし、螢・燐光の振動数を ν とすれば、 $\nu < \nu_0$ である。

初めアインシュタインは光の粒子説からこの關係を説明し、後にフランスのルイ・ド・ブローイ¹⁾が光の波粒²⁾説を唱へる一根據となつた。

一體光は波動であるが、又粒子でもある。波動として又粒子として働く。斯かるものを波粒といふ。光の振動数をいふ時、光は波動であり、光のエネルギーを考へる時、光は粒子である。即ち結節としての粒子に、波動が附隨して進むのである。このエネルギー粒子は、波動の振動数を ν とする時、 $h\nu$ のエネルギーを持つ。 h はプランクの恒數である。光のエネルギーはこのエネルギー $h\nu$ の整數倍である。 $h\nu$ を光量子³⁾(光子⁴⁾)といふ。光のエネルギーはこのエネルギー量子⁵⁾(即ち光量子)から成立するものであり、振動数が大なるほど光量子はそれに比例して値が大となる。

さて光が物体に作用する時は、その各光量子が作用するのである。振動数 ν_0 の刺戟光の光量子が、螢・燐光體に當つて振動数 ν の光を起すとする。前者の光量子が $h\nu_0$ 、後者のは $h\nu$ である。エネルギー保存の法則が成立する故に

$$h\nu_0 = h\nu + \varepsilon$$

の關係を得る。 ε は物質中に吸収されたエネルギーである。

1) Louis de Broglie 2) wawicle 3) Lichtquanten 4) photon
5) energy quantum

$$h\nu_0 > h\nu, \quad \therefore \nu_0 > \nu$$

光が電子に作用する場合も今のやうに、光量子と電子との間の要素的過程¹⁾によつて説明される。光が金属より自由電子を出すには、光量子が或閾値より大でなければならぬ。逸出電子の速さを v 、質量を m とすれば、エネルギー保存則として

$$\frac{1}{2}mv^2 + h\nu_e = h\nu$$

の関係が成立する。こゝに ν は刺戟光の振動数、 ν_e は閾振動数で、 $v=0$ の時の ν の値である。即ち電子を辛うじて金属表皮より離れしめるに足るエネルギー量子が $h\nu_e$ なのである。

斯くて ν が大なるほど即ち短波の方が光電効果を起し易いことが解る。

ラジオの波も電磁波動である。しかし振動数が小さいので、光量子の値は小さい。兎も角も光や電磁波は波動であり又粒子でもある。

光は波動であり粒子である。光の進行に對する障礙物が波長に比し非常に大なれば、光は反射及び屈折をなす。しかし波長に比し得る大いさの物體に對しては、光は干渉及び廻折を起す。前者は光を粒子として力學的に扱つた場合に當り、後者は光を波動として扱ふ時始めて了解される。ゴム球を床に抛げる時同様な反射が起ることを考へよ。

電子も同様な性質を持たねばならぬであらう。電子は、大

¹⁾ elementary process

なる物體に對しては粒子として働き、小さな物體に對しては波動の如く働くのでなからうか。實際に、電子の流れ——陰極線が結晶體に當ると結晶體内の規則正しい原子配列によつて廻折を起すのである。即ち電子はこの時波動として働く。

斯様に電子も光も共に波動として又粒子として働くのであり、何れの見方も正しいのである。物質の波動論¹⁾即ちこれであり、現今物理學に於ける最大問題となつてゐる。

電子は波動であり粒子であるが、又偏りを持つ。即ち電子は自轉性を持つのである。従つて電子は磁石の如くに働く。如何となれば電氣が廻轉すれば磁性を表はすからである。

光量子も偏りを持つ。一つは右方に、他は左方に廻轉性を持つのである。

6. 赤外線 プリズムを以て日光を分析すると、虹色の帯が現はれる。これが可視光線のスペクトルであるが、その一端なる莖線の外部には、不可視であり、特に化學作用の顯著なるによつてその存在を知り得る**莖外線**²⁾(一名**化學線**³⁾)があり、又他端なる赤線の外部には、同じく不可視であり、特に熱効果の豊富なるによつてその存在を認め得る**赤外線**⁴⁾(一名**熱線**⁵⁾)がある。

可視部の波長範圍は人により相違するが、大體 $0.4-0.8\mu$ である。莖外部は 0.35μ までは硝子を通過し、 0.19μ までは水

¹⁾ wave theory ²⁾ ultra-violet ray ³⁾ chemical ray
⁴⁾ infra-red ray ⁵⁾ heat ray

晶を通過する。次にシューマン¹⁾、ライマン²⁾、ミリカン³⁾区域が来る。ミリカン区域は $600-60 \text{ \AA}$ の範囲をいふ。これは部分的に軟⁴⁾X線と重なる。軟X線は 140 \AA 邊まで侵入してゐる。可視部は上述の如くその波長範囲は 0.4μ に過ぎぬが、これに比し赤外部の波長区域はその1,000倍近くもある。即ち最大光學的波長は 420μ であり、最短電波は 140μ である。赤外部は斯く範囲廣大なるのみならず、人生に至大の關係を持つものであるが故に、その研究は極めて必要且興味あるのである。

日光は大體にいへば 5.3μ まで大氣を透過して地球面に達する。マントルを具へたガス燈は 200μ 以上の赤外線をも出す。水晶水銀燈では 342μ の線をも出す。重要な赤外線は $0.8-2.0 \mu$ の間にある。赤外線は可視光線とその働きをば異にし、可視線に對して不透明なエポナイト・木片・ボール紙を大部分透過する。かの煤煙の如きも赤外線に對しては良く通過的である。これに反し、厚さ 1 cm の水は 1.4μ 以上の光を得る。レスリー⁵⁾は1804年、硝子が赤外線を吸収することを發見した。硝子プリズムは 2μ までに用ふべく、それより先は岩塩のプリズムを用ひる。赤外線の屈折率は大約誘電率の平方根に等しく、従つて水晶では 2.14 となり、可視線に對する金剛石の如くに働く。

波長の連続した赤外線を得るためには、完全暗黒體⁶⁾を必要とする。完全暗黒體とはこれに落ちる輻射線をすべて吸収

1) Schumann 2) Lyman 3) Millikan 4) soft 5) Leslie
6) perfectly black body

するもので、自然には求めることは出来ぬが、人工的にはこれを実現し得る。即ち導體を以て或空間を圍み、電流で熱して一定溫度に保つ時、この空間所謂洞空¹⁾より發せられる輻射をその壁に穿てる孔より導き出せば、これは連続スペクトルより成り、所謂暗黒輻射²⁾である。

可視・紫外及び赤外の3部は、波長を異にし作用を別にするが、皆同種のものであり相連続せるものなることを豫言したのは、1835年のアムペールである。

赤外線の存在を、非常に鋭敏な溫度計を以て確認したのは、1800年、天文學者ハーシェル³⁾である。彼は、太陽エネルギーの少くとも半分は不可視であることを發見した。

プレヴォ⁴⁾は、氷製レンズで日光を集め火薬を爆發させた。これ、熱が輻射的に傳播することを證明するものである。

メロニ⁵⁾及びティンダルは始めて熱電堆⁶⁾(熱電對の堆)を以て漸く正確に赤外線を研究した。レスリーは示差溫度計⁷⁾を用ひてこれを研究した。

クノブラウフ⁸⁾は、赤外線は全然可視線の如く、選擇吸收⁹⁾・干渉・廻折・複屈折・偏り等を示し、全く同じ法則に従ふことを實證した。

フィゾー¹⁰⁾及びフーコー¹¹⁾は赤外線の波長測定に取掛つたが、方法は未だ不完全であつた。數十年後ラングレー¹²⁾は鉄の薄

1) cavity 2) black-body radiation 3) Herschel 4) Prévost
5) Melloni 6) thermo-pile 7) differential thermometer
8) Knoblauch 9) selective absorption 10) Fizeau 11) Foucault
12) Langley

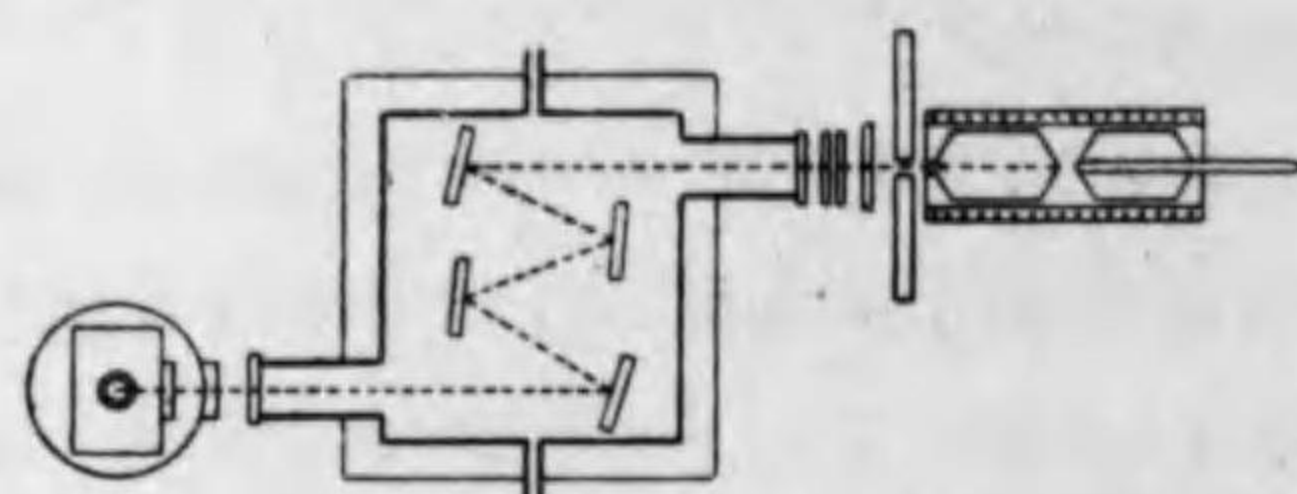
片を用いた**ボロメーター**¹⁾と稱する温度計と岩塩プリズムとを以て赤外線の研究した。ボロメーターは電気抵抗温度計であり、熱容量が小さいためこれに投ぜられた僅かの熱エネルギーによつても、容易に温度が上騰し、電気抵抗を變ずる。ボロメーターには線状及び面状の2種がある。前者は特殊の波長の放射線の熱エネルギーを測るに用ひられ、後者は或波長範圍の熱エネルギーの全量を測るに用ひられる。

パッシェン²⁾は 23μ までを探究し、**ルーベンス**³⁾は針金を以て**廻折格子**⁴⁾(細隙を密に並べた装置)を造つて波長を測定した。

原子内電子の振動週期は各物質に固有である。この週期に近い振動週期の光が、この物質を通る時は甚しく吸収を受け、又所謂**異常分散**⁵⁾といふ現象を呈する。この週期の光がこの物質の平な表面に当たれば、他の週期の光に比し最も強く反射される。それで數回この物質平面から反射すれば、純粹にこの週期の線のみが残る。これを**残留線**⁶⁾といふ。

例へば、螢石では残留線の波長は 24μ , 31.6μ , 岩塩では 52.0μ , KCl では 63.4μ , AgCl では 81.5μ である。ハロゲ

ン塩の残留線は多く**双線**⁷⁾(相接近せる二線)より成り、上記の値は双線の平均位置を示す。 50μ 附近の赤外線は斯く残留



残留線装置

1) bolometer 2) Paschen 3) Rubens 4) diffraction grating
5) anomalous dispersion 6) residual ray 7) doublet

線によつて得られる。

乾燥せる空気を容れた箱の中に、その残留線を求めんとする物質平面を置き、洞空放射を導き入れて累次これを反射させ、最後にその物質の凹面より反射収斂させ、箱外の放射計に投ずるのである。

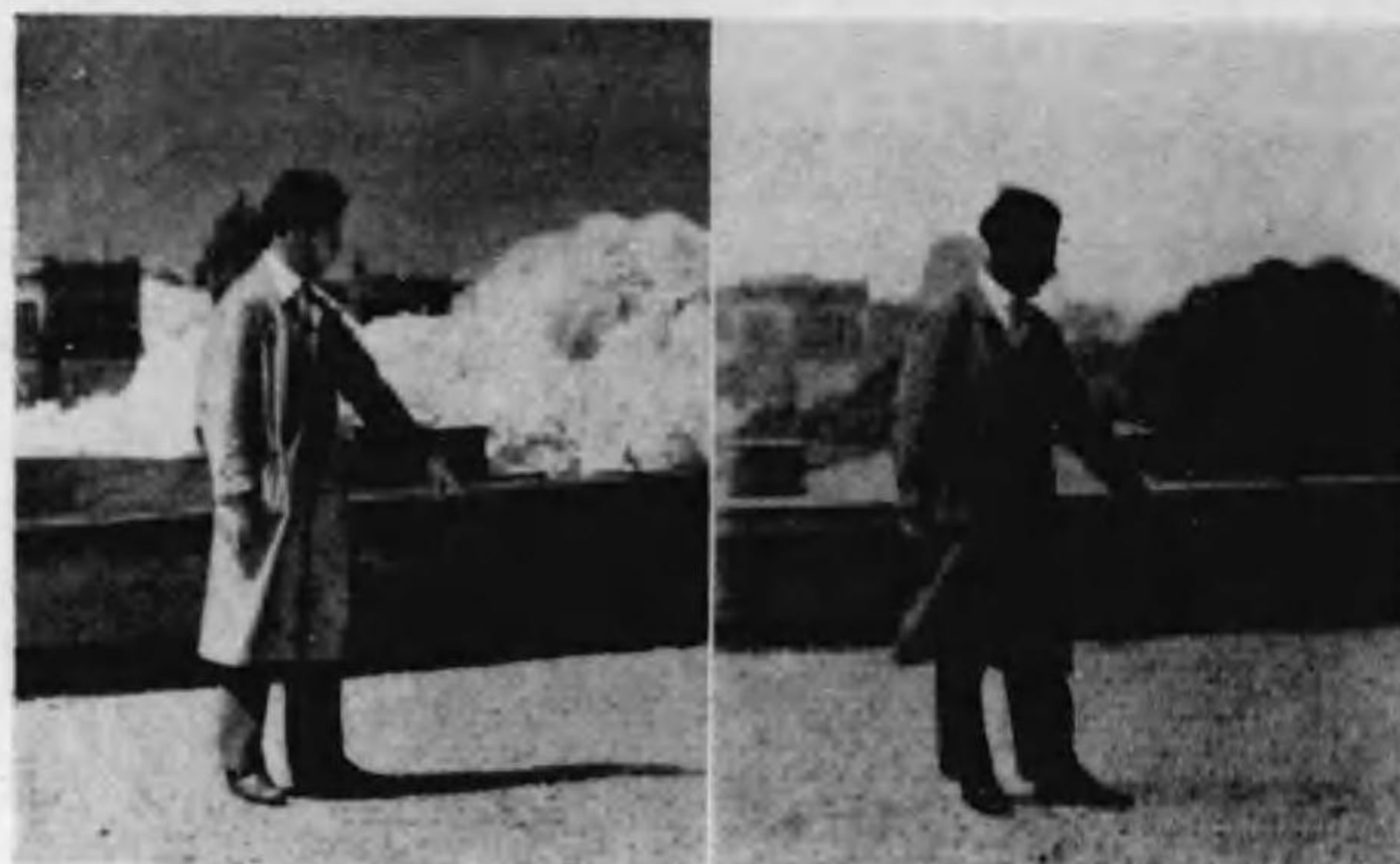
ボーイス¹⁾の**測微放射計**²⁾は感度頗る大である。蒼鉛とアンチモンの熱電對の一接続部を放射線で熱する時に發生する動電力で、電流計のコイルに電流を流すやうになつてゐる。コイルは抵抗を少くするために銀線を以て捲いてある。又コイルは**融解水晶**³⁾の絲で吊る。電流計の鏡のフレから放射量を知り得るのである。

レベデフ⁴⁾、**コブレンツ**⁵⁾、**ラインコーパー**⁶⁾、**モール**⁷⁾等は、真空中に小さな熱電堆を置いて放射エネルギーを測つた。岩塩の窓を附した管内には金屬カルシウムを置き、これを熱してアルゴン以外の管内殘餘空気を吸収させる。真空熱電堆は氣流の妨害がない。

赤外線寫眞では人物の影は黒く明瞭に現はれ、又顔が白く寫る。重外線寫眞ではこの反對に、影は現はれず顔は黒く寫る。如何となれば短波は、普通に影と稱へる所にも散亂されて入り込んでゐるからである(次頁の圖参照)。

水蒸氣の赤外吸収スペクトル寫眞から、酸素に原子量 16, 17, 18 の3種があることが明かにされた。又水の分子の振

1) Boys 2) radio-micrometer 3) fused quartz 4) Lebedev
5) Coblentz 6) Reinkober 7) Moll



赤外線写真

紫外線写真

動は原子の相互の引力による振動と廻轉振動とより成る。前者は深赤部に、後者は赤部に吸収スペクトル帯として撮影される。この吸収帯は地上的起原のものであることは、ドップラー効果のないことから解る。

空気の成分としての炭酸ガスの分量が變化すれば、地球上の氣候が變化されねばならぬ。アレキスは炭酸ガスの含有量の極小より氷河期を説明し、又吸収エネルギーの蓄積として石炭層の成生を説明したのは、極めて興味あることである。

太陽より輻射されるエネルギーの中大部分は赤外線であり、その配布によつて地球上の氣候が影響されるのである。大氣の温度をして生物の生活に適應させるのも赤外線である。

第 15 章 輓近物理学の展望

1. 中性子 現今物理学の中心問題としては、原子物理学では物質の基本単位としての陽電子¹⁾・中性子・原子の轉換²⁾更に進んで重水³⁾がある。宇宙物理学では宇宙線⁴⁾宇宙膨脹⁵⁾論がある。

中性子とは何であるか。これは電氣を帯びない微粒子で、質量は水素原子のに近い。中性子は透過度が大きで鉛の障子をも極めて容易に通過する。これは荷電零なるためで、粒子の透過能は質量よりも荷電によるからである。中性子はドイツのボテベッカー⁶⁾、フランスのイレヌ・キューリー・ジョリオ⁷⁾、イギリスのチャドウィック⁸⁾の實驗によつて発見されたものである。硼素或はベリリウム⁹⁾的にアルファ粒子を衝撃すると、これより中性子及び 5.0×10^6 電子ヴォルト⁹⁾ (電子がそれだけのヴォルトの電壓を受ける時に得るエネルギー量をいふ。) 以上のガンマ線より成る複雑な線が出る。中性子はそれ自身では容易に検出されぬが、パラフィン或はセロファン等の水素含有體に当たると、これより陽子を出す。この陽子が電離作用を持つので、これを電離槽に入れ、電離を増幅器によつて擴大し、オッシログラフ¹⁰⁾に尖起を起さしめるのである。

2. 陽電子 次に陽電子とは何であるか。陽電子は所謂宇宙線の霧函¹⁰⁾研究よりして、アメリカのアンダーソン¹¹⁾によつ

1) positron 2) transmutation 3) heavy water 4) cosmic ray
5) expanding universe 6) Bothe-Becker 7) Irène Curie-Joliot
8) Chadwick 9) electron-volt 10) cloud chamber 11) Anderson

て発見されたものである。陽電子は宇宙線に随伴する粒子であり、正電気を帯び、質量は陰電子のに等しいのである。霧函に磁場を加へると、陰電子と反対方向に等しく曲がる径を示す。この径は陽子によつて起されるものでないことは、種種の點から確かである。陽電子の発見は、所謂負運動エネルギーなるものの存在を肯定するものである。

負運動エネルギーとは何か。運動エネルギーはすべて正であるとするのは古典物理学である。新物理学では、正・負運動エネルギー間の^{トランジション}轉移を考へるのである。

¹⁾ 静止質量(相対論によると、物體は速く運動すると質量を増加する。) m_0 の電子が速度 v で運動すると、質量は $m_0/\sqrt{1-v^2/c^2}$ となり、物質即ちエネルギーよりその全物質エネルギーは $\pm m_0 c^2/\sqrt{1-v^2/c^2}$ で表はされる。こゝに c は光の最大速度である。即ち $\pm m_0 c^2$ より大又は小なる²⁾ エネルギー水準(エネルギー段階。エネルギー値を水準線を以て示したもの)が電子に對し可能であり、負水準にある電子を³⁾ 虚電子といふ。

イギリスの⁴⁾ ディラックは電・磁場に於て動く電子の波動方程式をして⁵⁾ 相対律的不變性を保たしめた。一體観測者の立場を變へても即ち座標轉換に際して形式が不變に留まるもののみが、眞の物理學的法則なのである。物理學的法則なるものは本來斯くの如き性質を持たねばならぬのである。ディラックの一般化波動方程式は、例へば水素スペクトル線の⁶⁾ 微構

¹⁾ rest mass ²⁾ energy level, 佛 niveau ³⁾ virtual electron

⁴⁾ Dirac ⁵⁾ relativistic invariance

¹⁾ 造などを明確に定量的に説明する。しかしこの方程式の解には、經驗上知られてゐる電子のエネルギー水準の外に、一見事實に合はぬ如き負運動エネルギー水準を與へる。しかし新物理学に於ては負運動エネルギー水準の必要なることは、正運動エネルギー水準と同様である。普通には負運動エネルギー水準はすべて充たされてゐる。斯かる虚電子の全體は何等外部に力場を起さぬと假定されるのである。眞空は即ちこれである。

今若し²⁾ 硬いガムマ線の刺戟によつて虚電子が正運動エネルギー水準の一つの空位に移るならば、こゝに陰電子が現はれると同時に、先の負水準に「孔」が出来る。後者こそ陽電子なのである。負水準の「孔」は、數學的には全く陽電子と同様な性能を示すのである。即ち硬いガムマ線の光量子が消滅して、その代り陰陽電子の1對を造るのである。今光量子即ち輻射の單位を $h\nu$ で表はさう。 h はプランクの恒數、 ν は振動數を示す。電子の静止質量を m_0 とすれば

$$h\nu = 2m_0c^2$$

となるべく、このエネルギーは、 1.01×10^6 電子ヴォルトである。これは光の³⁾ 物質化といはれる。しかし線運動又角運動量保存則が成立するためには、先づ光量子の直線運動量を一部負擔するものとして、重い原子が必要である。即ち重い原子があれば、その原子番號の自乗に比例して、光は物質化し易いのである。重い原子はこの場合觸媒として働くのである。眞

¹⁾ fine structure ²⁾ hard ³⁾ materialization

空のまゝでは光は物質化し難いのである。第二に陰陽電子は一般に $\frac{1}{2} \frac{h}{2\pi}$ の相等しい角運動量を持たねばならぬ。如何となれば、光量子の角運動量は 0 又は $\frac{h}{2\pi}$ のみの變化をなし得るからである。重原子の核内に角運動量の變化があつても、これは同じく $\frac{h}{2\pi}$ の整数倍であるべきである。陰陽電子は原子核より $\frac{h}{2\pi m_0 c} = 3.85 \times 10^{-11} \text{cm}$ の距離即ち K 環以内で對となつて現はれる。陽電子の壽命は常に非常に短く、水中では 10^{-9} 秒で、直ちに陰電子と結合するのである。一般に壽命は密度に逆比例する。壽命の極端に短いことが、これまで発見を遅からしめた所以であるが、陽電子を實驗室で得ることもさまで困難でない。例へばトリウム C'' よりのガンマ線は 2.62×10^6 電子ヴォルトのエネルギーを持つが、これが重原子例へば鉛に吸収される時に、陽電子が現はれ過剰吸収の因となる。又かのベリリウム線によつても陽電子が発生する。但しベリリウム線中のガンマ線がその原因である。同時に現はれる陰電子は光電子と **コムプトン電子**¹⁾ (光量子の衝突により散亂された電子) とより成る。

アルミニウム・硼素にアルファ線を當てても陽電子が出る。この陽電子は随伴陰電子よりもエネルギーが大であり、その差は核に近く電子對が生れるほど大である。尙放射性原子ではその發するガンマ線の **內的轉換**²⁾ によつて陰陽電子對が生ずる。しかしこれは常に核外現象である。

與へられた輻射で發生する陽電子の最大エネルギーは殆

1) Compton electron 2) internal conversion

ど同一であるが、重元素ほど陽電子の發生數は大となることは當然である。

既に電子エネルギー水準の充空に就いて述べたが、物質界を支配する大原理としてのパウリの禁制が、これに關するものである。一つの電子水準には電子は最大 1 箇しか存し得ず、従つて 1 箇の電子があればこれが充たされるのである。この原理によつて、陰陽電子の創生消滅が説明されるのである。

3. 原子轉換 原子物理学は畢竟「超化学」である。原子の核荷電即ち原子番號を變化することは原子の轉換である。原子核は陽子と中性子との團體で、原子番號は陽子の數に等しく、原子量は陽子と中性子との質量の和である。核内には、遊離した陰電子は存せぬのである。又陽子は實は中性子と陽電子との結合體であると考へられる。

原子轉換には、普通にはアルファ粒子・中性子又は加速陽子所謂「原子彈」を用ひる。アルファ粒子は 10 萬に 1 回の割に核に衝突して原子を轉換するのである。核の轉換は霧函によつて可視的ならしめ得る。しかし中性子線はこの場合不可視である。中性子線は不思議な線である。

4. 重水 水素原子核は、普通には陽子 1 箇のみより成るが、時にこれに中性子 1 箇又は 2 箇加つたものがある。陽子は何れの水素核にも 1 箇しか含まれぬので、原子番號は共に 1 であり、各、は水素の **同位體**¹⁾ をなす。質量は約 1:2:3 の比をなす。 ${}^1\text{H}^1$ に比して ${}^2\text{D}^1$ (**重水素**)²⁾ 又は ${}^3\text{H}^1$ は更にその存在が

1) isotope 2) diplogen or deuterium

少い。酸素原子にも、 ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O の同位體がある。これら水素原子 2 箇と酸素原子 1 箇とが結合して水 1 分子を造る時種々の水が現はれる。

水は人間に最も親しい物質の一つである。普通には水の分子は $^1\text{H}_2\text{ }^{16}\text{O}$ で表はされるもので、分子量 18 であるけれども、 $^2\text{D}_2\text{ }^{16}\text{O}$ (分子量 20) は $\frac{1}{5,000}$ 普通の水に混じてゐる。重水とは即ち後者を意味する。

水の解けた水は $(\text{H}_2\text{O})_3$, 新しく液化した水は主として $(\text{H}_2\text{O})_2$, 水蒸気は H_2O より成るといはれる。第一を trihydrol, 第二を dihydrol と呼ぶ。重集合分子ほど細胞をして正規な成長を起さしめるのである。これは水分子の重合によるものであるが、こゝに述べる重水は、分子そのものが普通のとは相違せるものである。

3 年位働いてゐる古い工業用電解槽よりの水には、重水が微量に含まれる。今その數十立を採り、これを 0°C 近くで數百アマペアの大電流で電解する時は、軽い水の方は速く電解され、重い水が残るのである。電解に當つてはアルカリを加へ、後にこれを二酸化炭素で中和し、蒸溜するのである。 0°C 近くで電解を行ふのは、蒸發を減らすためである。數十立から漸く半 cm^3 の純粹な重水が得られる。この水は植物の種子の成長を止める。

重水は 25°C で 1.1056 の比重を持ち、 11.6°C で最大密度を持ち、 3.8°C で凍り、 101.42°C で沸騰する。蒸發熱は普通の水より大である。屈折率はより小さく、粘性はより大きい。

5. 宇宙線と宇宙膨脹 宇宙線とは、絶えず天空より地球に飛來する高透過度の不可思議な線である。發生の最初は如何なる種類の線であるか不明であるが、地上に飛來しては陰陽電子より成るやうである。宇宙線の總エネルギーは宇宙組成に於ける重要な役割を持つのである。宇宙線は人體を毎秒 10 箇ばかり通過するが、人體には少しもそれが感ぜられぬ。地下 300 m にも達する。驟雨的にも起る。

星雲は太陽系より後退しつゝある。太陽系よりのその距離を l cm とし、後退の速さを v cm/sec とすると

$$l = a \frac{v}{c}$$

で表はされることが、アメリカのハッブル¹⁾によつて確められた。 a の値は 1.7×10^{27} cm であり、恰も宇宙の現在の大きいさに近い。 v はスペクトルのドップラー効果 $-\frac{\Delta n}{n}$ (n は振動數、 $-\Delta n$ は振動數の減少)より定められる。

$$\frac{v}{c} = -\frac{\Delta n}{n}$$

即ち遠方の星雲ほどスペクトル線の大なる赤方變位²⁾を示すのである。 v が l に比例することは宇宙の膨脹を意味する。

宇宙は何故に膨脹するか。恐らくは物質が輻射に轉換するためであらう。物質が消滅して輻射が現はれ、又輻射が物質に變化する。宇宙は生々流轉して歇まないのである。

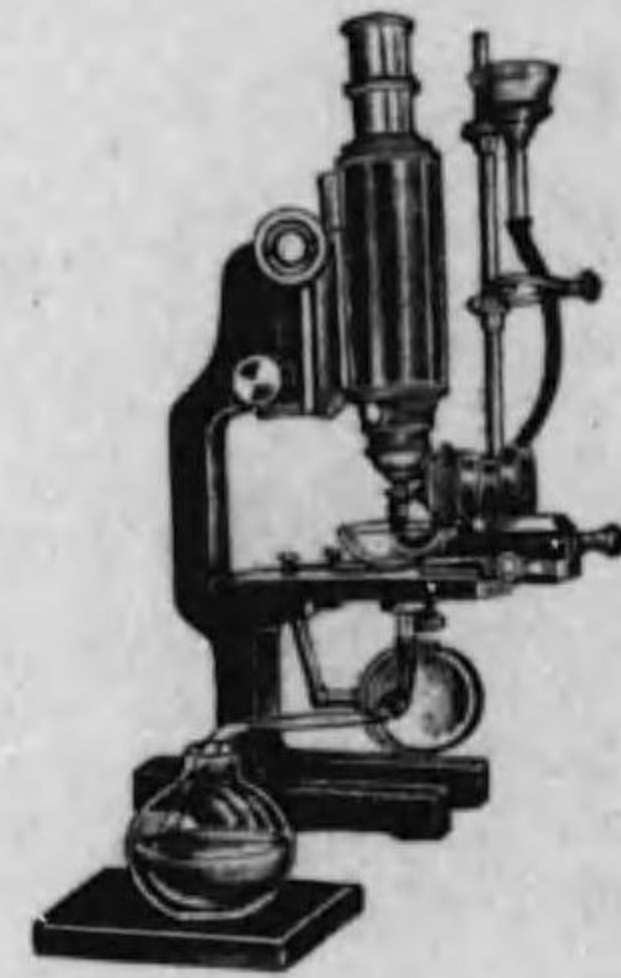
1) Hubble, 2) redward shift, 獨 Rotverschiebung

第16章 極微の世界を探る科学利器

1. 限外顕微鏡 日常の世界とは桁外れの世界の一つ、原子と電子との生動する世界を感觸するには、どんな器械が要るか。吾等の五感の不足を補ふ超感覚の装置、新時代の詩心は、この骨細の精測器械の静かなる愛撫から起らうといふもの。しかし忘れてもこれを偶像視してはならぬ、縦横無盡に驅使せねばならぬ。

限外顕微鏡¹⁾は、ロバート・ブラウンが発見したブラウン現象の研究用として、1903年ドイツのツィクモンディ²⁾(ノベル賞受領者)及びジーデントップ³⁾により發明されたものである。最高倍率の普通顕微鏡で見得る微粒子の大いさの $\frac{1}{1,000}$ 程度の微粒子が液体又は氣體媒質中にあるものを、これにより識別し得るのである。即ち大いさ約 10^{-6} cmの粒子の存在を認め得る。但し形は判別出来ぬ。

限外顕微鏡には、照明方法により細隙式と反射集光鏡式との2種がある。弧燈の光の像を細隙上に作り、この像を他のレンズ系により被檢媒質中に結ばせるものが前者である。カーディオイド⁴⁾(心臟)形集光鏡・拋物線形集光鏡を用ひて薄層の媒質を檢するのが後者である。こ



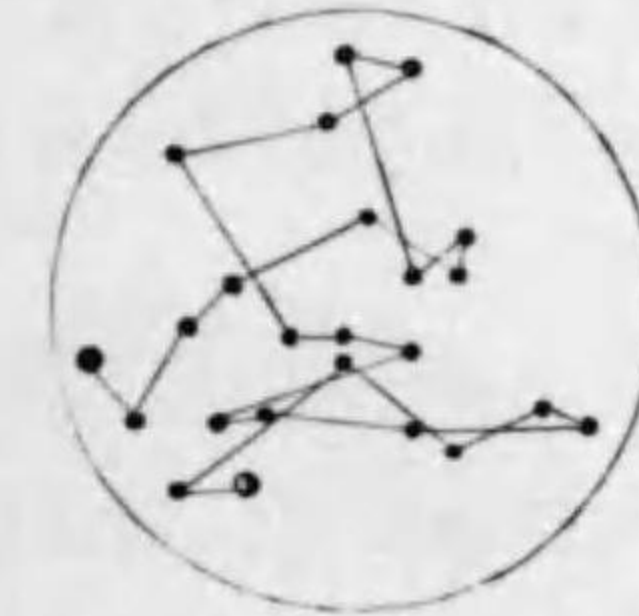
反射集光鏡式限外顕微鏡

1) ultra-microscope 2) Zeigmondy 3) Siedentopf 4) cardioid

れらの照明方法により、粒子を含む媒質中の一點を側方又は斜めの方向から強く照らし、暗い背景の視界中に、粒子により廻折された光の輝いた輪状の斑を上方の顕微鏡で視るのである。これを暗視野照明¹⁾といふ。輝いた光斑は視得るが、これは粒子そのものを見てゐるのではない。所謂ブラウン運動、膠質・バクテリアがこの顕微鏡により研究される。

単色光で照らす方法、偏光を用ひる方法も採用されてゐる。

ブラウンは草花の花粉を水に浸し、顕微鏡で觀察したところ、花粉が絶えず不規則な運動をなしてゐることを見附けた。これは、水中に生ずる對流運動のためではない。流體分子が運動して粒子に衝突し、その衝突力が四方平均しないために起るもので、粒子の大いさが小さいほどこの偏れが大



ブラウン運動

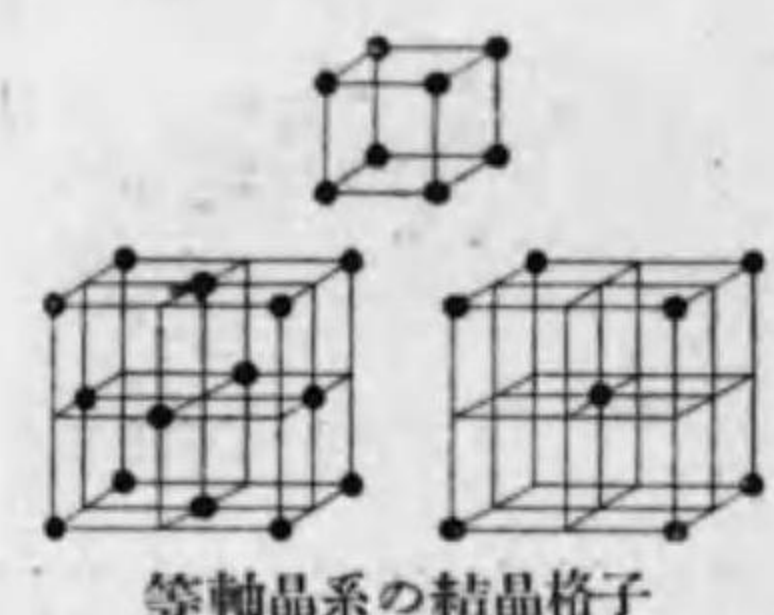
となり、粒子の運動が速くなる。又流體の温度が高いほど運動は活潑である。或時間に於て粒子により描かれる距離の自乗平均は、その時間に比例し、絶對温度に比例し、又流體の粘性及び粒子の大いさに反比例する。分子の實在性が確證される現象である。

2. X線分析 1912年ドイツの理論物理學者マックス・フォン・ラウエ²⁾が、ミュンヘン大學員外教授であつた折、X線が結晶原子によつて廻折を起し得ることを理論的に證明し、フリードリッヒ³⁾及びクニッピンク⁴⁾が實驗的にこれを證明した。

1) Dunkelfeldbestrahlung 2) Max von Laue 3) Friedrich 4) Knipping

一體 X 線は波長の極めて短い電磁波であるが、結晶内にある原子がなす規則正しい空間格子¹⁾は、丁度 X 線に対して三次的な廻折格子をなすものと考へられる。入射 X 線に垂直に置かれた寫眞乾板上には、その前に置かれた結晶を通る際受けた廻折 X 線が黒斑を印するのである。よつて X 線の波長と黒斑の位置とから結晶格子の所謂格子間隔を測り得るので、これに対してラウエの基本式と

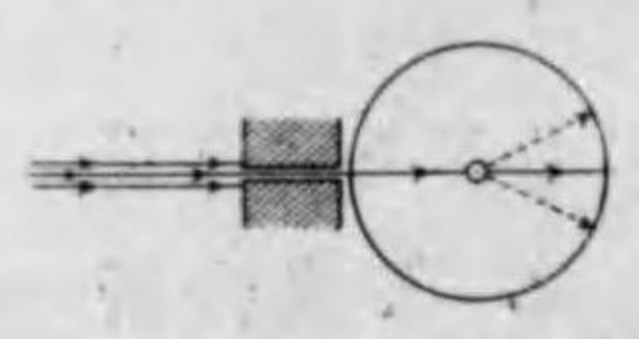
ラウエ法による方解石の X 線干涉圖形



等軸晶系の結晶格子

いふものがある。同年これと獨立に、イギリスのブラッグ²⁾父子が同じく X 線干涉の理論を發表した。ブラッグの関係式と呼ばれる。ノベール賞は X 線干涉の研究に對してラウエ又ブラッグ父子に授けられた。

結晶構造を調べるのに、その各原子面によつて生ずる干涉を一度に測定するのが、デバイ-シェラー粉末法³⁾といふものである。結晶を粉末にしたものを硝子の細い圓筒又は紙の細いロールの中に詰めたものに、X 線を當てるのである。粉末の集團は、自然に現はれるすべての面を示す譯であり、且これが非常に數多く又全く任意の方向を



デバイ-シェラーの粉末法

¹⁾ space lattice ²⁾ Bragg ³⁾ Debye-Scherrer's powder method

取るので、細圓筒を軸とする同軸圓筒面上に巻かれてある寫



鋼線のデバイ-シェラー圖形

眞フィルムには、黒線が現はれる。後にフィルムを圓筒面から取り外して、線の位置を測り、これより原子面の距離を計出するのである。

3. ウィルソンの霧函 1897年イギリスのケムブリッジ大學物理学講師即ちキャヴェンディッシュ¹⁾實驗所²⁾研究員のシー・ティ・アル・ウィルソン³⁾が發表したもので、初めは電氣素量を測定する目的を持つた。しかし今では、X線や放射線によつて氣體が電離することを利用して、以てこれらの線の徑路を研究するのに用ひられてゐる。一に膨脹函³⁾といふ。



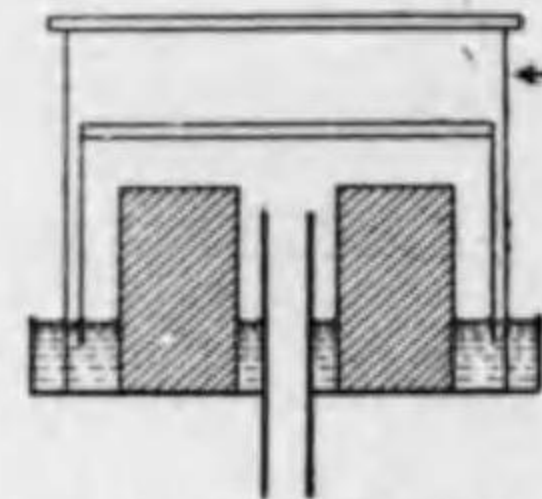
ウィルソン霧函内の α 線の飛跡

一體これらの線は氣體分子を破壊し、それから陰電子を飛び出さしめる作用がある。即ち氣體をイオン化(電離)する作用がある。又飛び出した電子が他の氣體分子に衝突して、これを又電離することもある。それで X 線や放射線の通つた徑路に當り可なり多數のイオンが生ずるけれども、イオンは飽和水蒸氣内ではその凝結の核

¹⁾ Cavendish Laboratory ²⁾ C. T. R. Wilson ³⁾ expansion chamber

心となり得ることが解つてゐる。それでこれに強い光を當てれば、イオンの發生従つて線の徑路が視られ、又寫眞に撮られ得る。

上下二板間は水蒸氣で飽和された浅い圓筒形の膨脹室を形成するもので、下板は上下に動く活塞である。薄いアルミニウムの横窓からX線又は放射線が入り込む。瓣を引抜いて眞空球に連ねると、下板は急速に落下し、水蒸氣で飽和された空氣を急速に膨脹させ、イオンの周りに水滴を造る。これを瞬間的に電氣火花で上部から寫眞に撮るのである。



ウィルソンの霧函

膨脹比が1.25の時は陰イオンを、1.31以上の時は陽イオンを中心として霧が生ずる。荷電された水滴の落下速度及び二板間に加へられた電壓による滴の上昇速度を測れば、電氣素量が決定される。

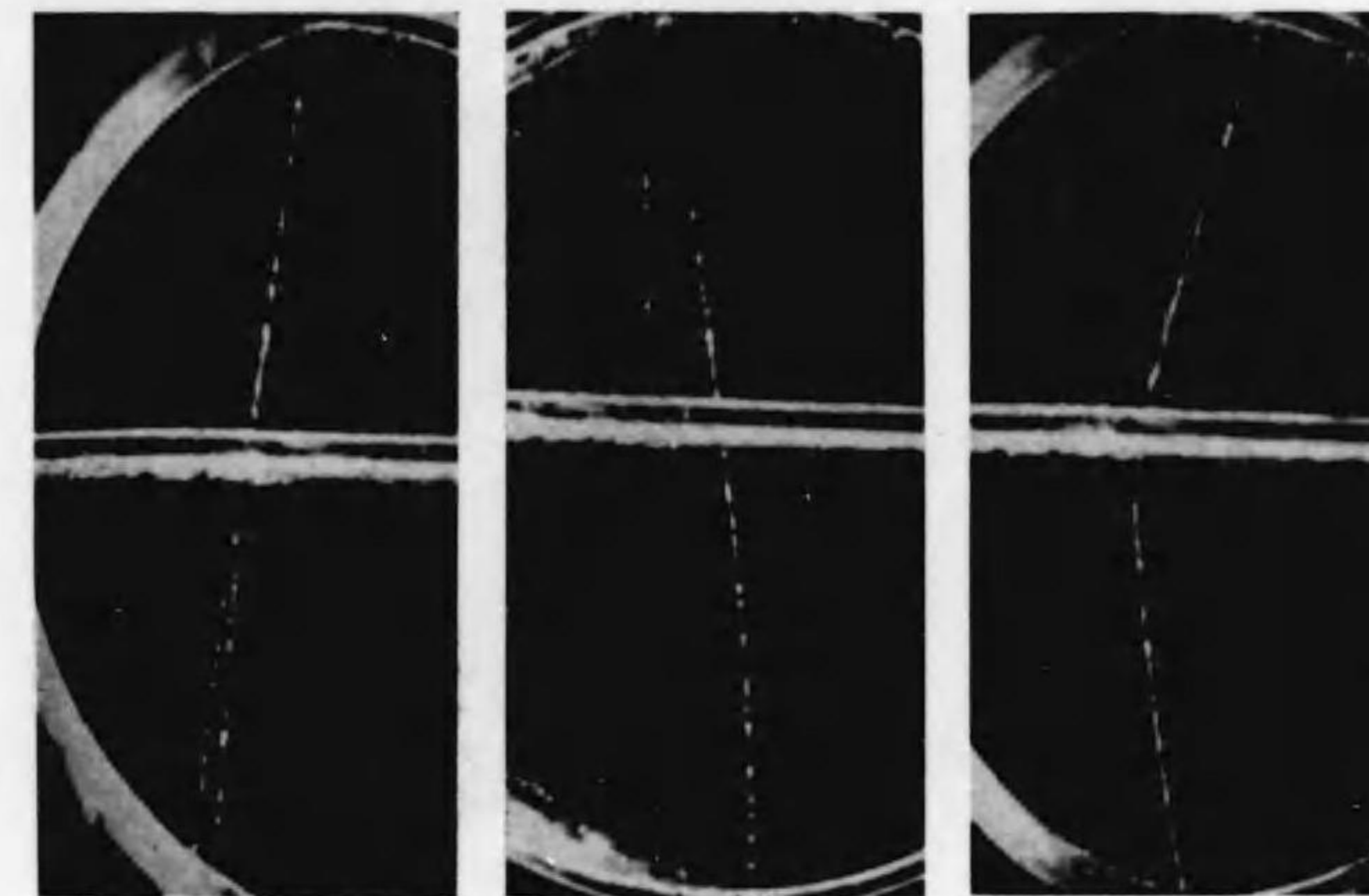
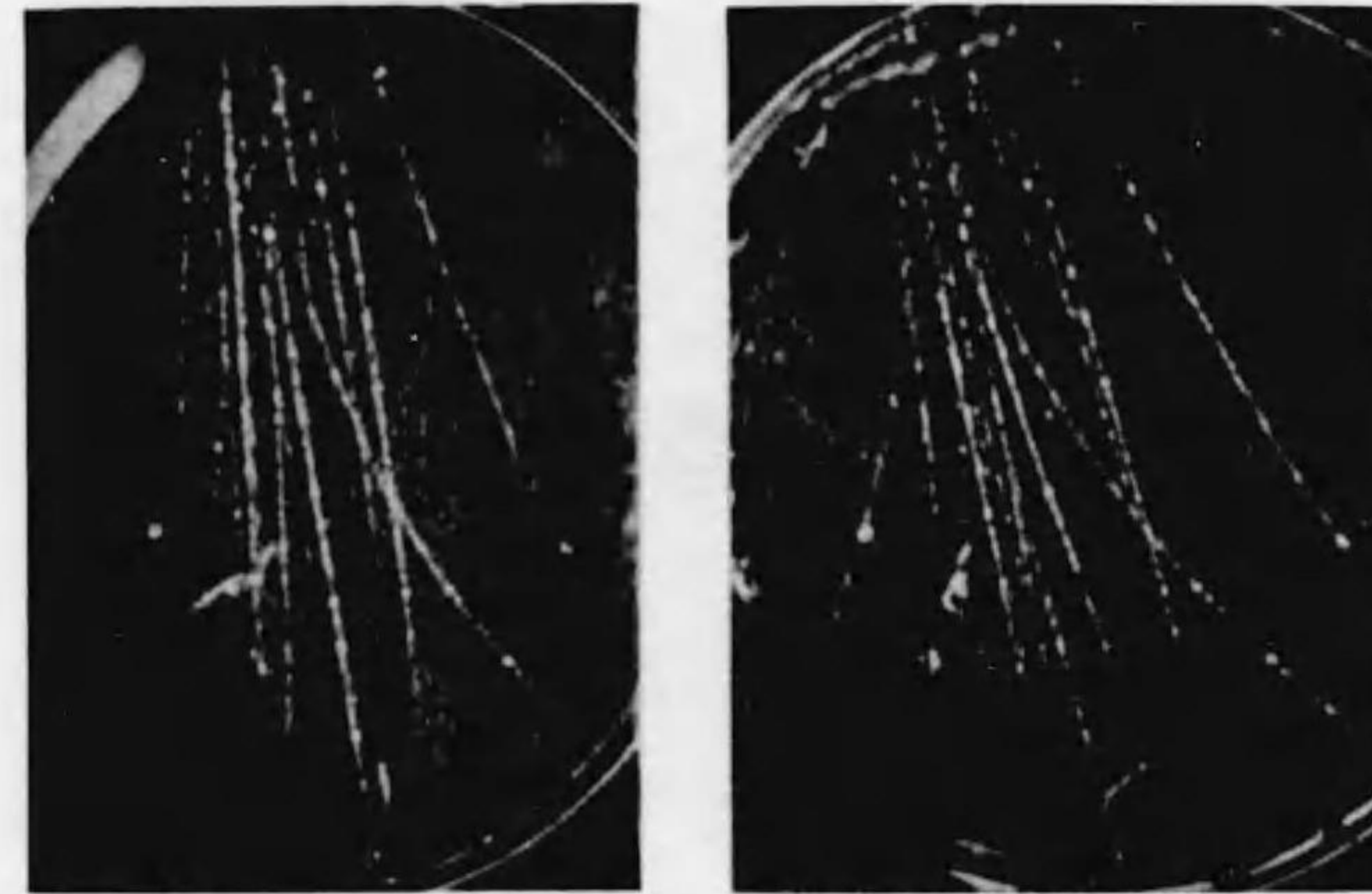
この装置に磁場を加へて、X線及び放射線又はそれらにより二次的に發生された線の彎曲を調べる。宇宙線陽電子中性子の存在も、この方法により明かにされた。

垂直な二方向より徑路の像を寫し、又活動寫眞に連續撮影することも出来る。

4. 質量分光器 質量分光器²⁾はゼー・ゼー・トムソンの原装置を改良して、1919年イギリス、ケムブリッジ大學のキャヴェンディッシュ實驗所で同助手アストン³⁾が製作したものである。

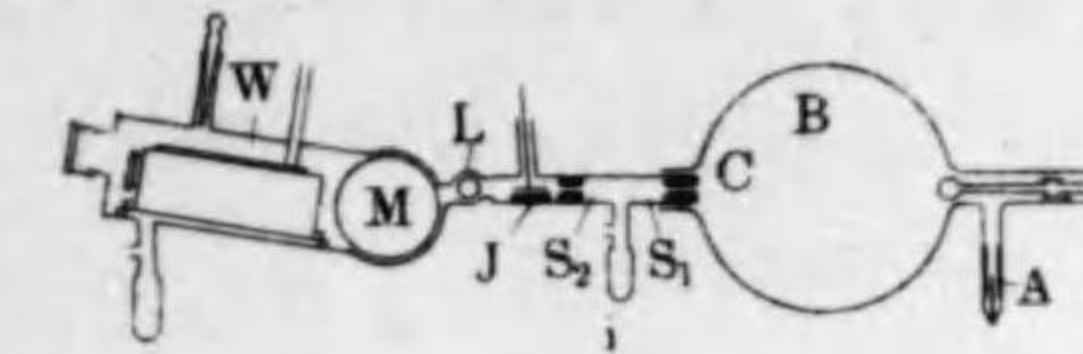
¹⁾ secondary ²⁾ mass spectrograph ³⁾ Aston

霧函に於ける宇宙線の足跡



これによつて既知元素の殆どすべてに互り同位體が知られた。ノベル賞に値したものである。

Bは氣體を封入した放電管、Aは陽極、Cは陰極で、それには約0.03mmの細孔 S_1 がある。陽極線は



S_1 及び S_2 を通つて細い束となり、Jの板に加へられた静電圧を受けて、粒子は、質量及び速度により異なる大いさに僅かに偏れ、Lによりその一部のみが通過させられる。Mは強い磁場で、静電場と垂直に作用し、粒子線を収斂して質量により



質量スペクトル

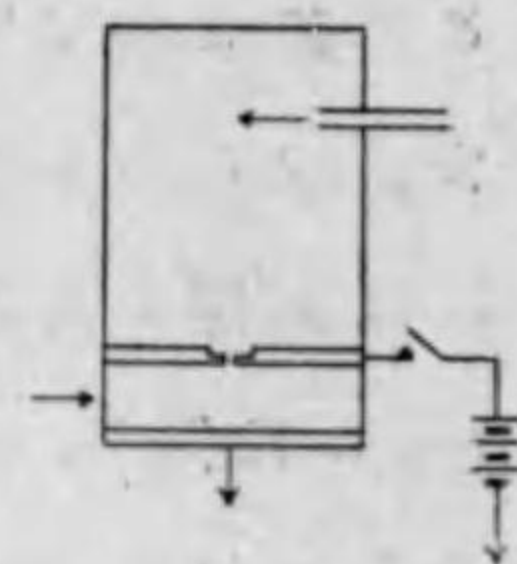
細い「スペクトル線」をW上に作るものである。この位置から粒子1箇1箇の質量が測られる。

5. アルファ粒子の數へ方 アルファ粒子が、螢光板に当たると、所謂瞬閃と稱するチラツキの光を出す。一つのチラツキが一つのアルファ粒子によつて生ずると假定すれば、投げ出される粒子の數を或立體角(角範圍)に就いて測定することが出来る。これによつて、例へばラチウムClgから毎秒 3×10^{10} 箇の粒子が放たれることが解る。

6. 電子荷電の測定法 電子が持つ電氣量は、電氣素量であることは、誰でも知つてゐるであらう。これを測る最も

良い方法は、アメリカのミリカンの方法¹⁾である。

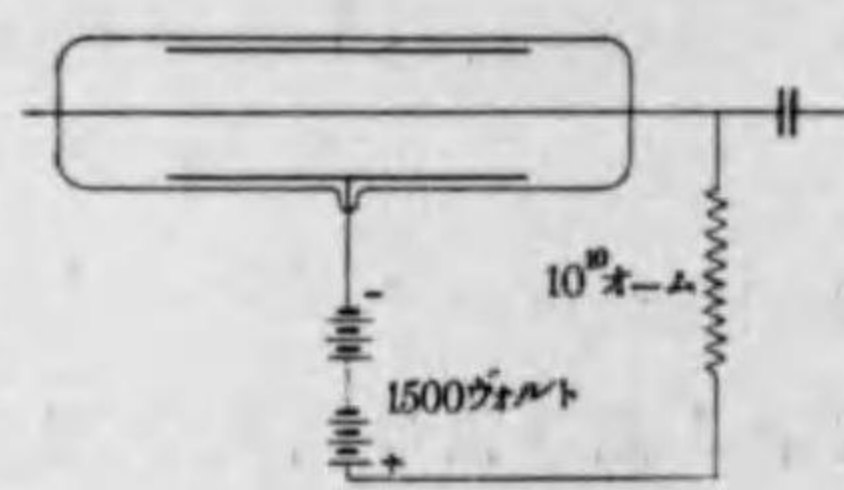
霧吹きで水銀油・グリセリン等を吹き入れる。さうすると霧滴が電気素量若しくはその整数倍の電気を持つのである。その1箇を下の室に入れその上に逸早く蓋



ミリカンの電子荷電測定法

をし、この下室の両端に既知の数千ヴォルトの電圧を加へて霧滴の運動を強く照らして顕微鏡で調べ、それから電気量を求めるのである。種々の粒子に就いて電気量を求め、その最大公約数を求めればよい。

7. 宇宙線検出器 金属圓筒を造り、その中軸に沿うて白金線を張つて置く。圓筒の中に或壓力のアルゴンなどを容れて置く。さうすると所謂電離槽が出来る譯であるが、圓筒壁と白金線との間に約1,000ヴォルトの直流電圧を掛けて置く。圓筒にはその一端に例へばアルミニウ

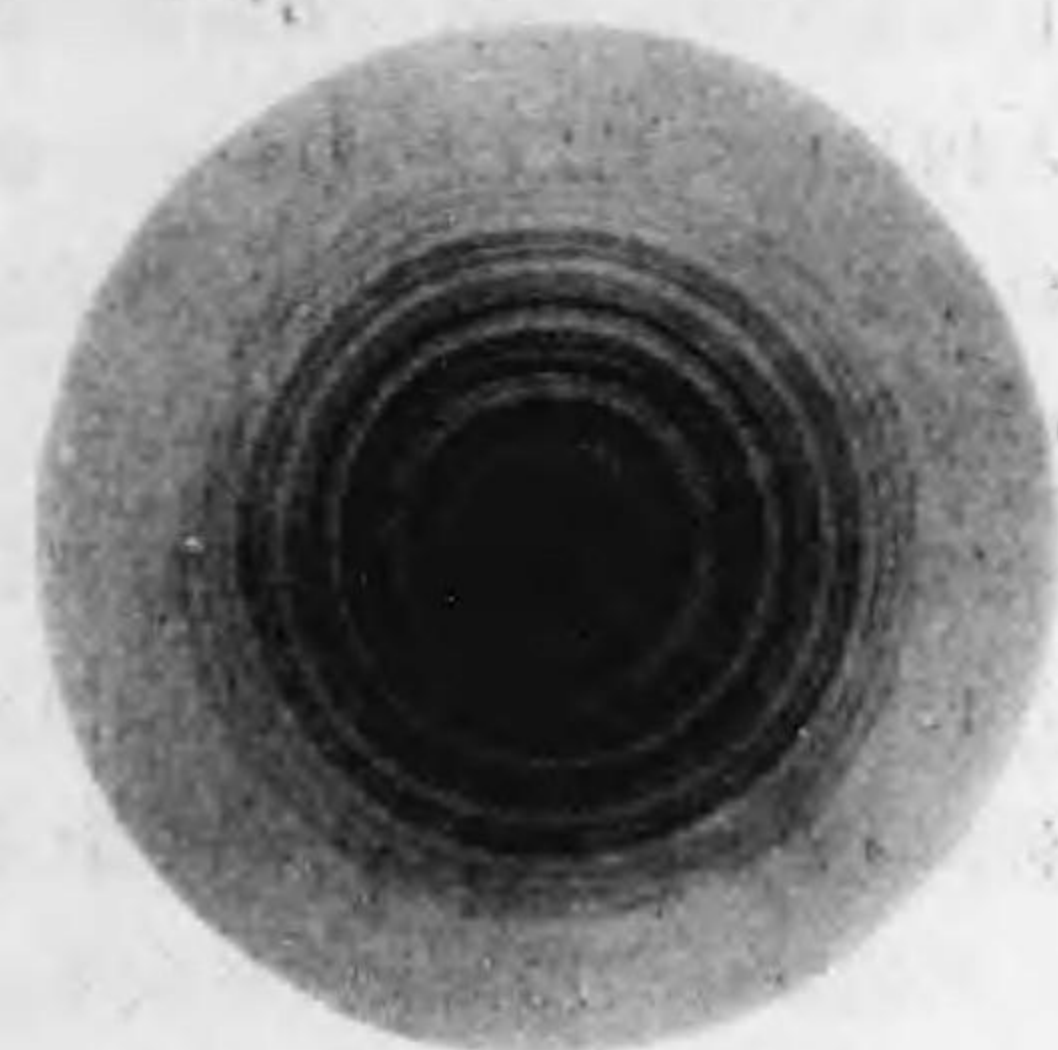


ガイガー-ミュラー計數管

ムで出来た窓が付けてある。この窓を透して放射線なり宇宙線なりが入り込むと、電離槽中に電離による衝撃的な電流が流れるが、これを普通の真空管で、二・三段に擴大し、その電流で擴聲器を働かし、又はサイラトロン²⁾といふ強電流の流れる管を用ひて、電流を自記させる。これをガイガー-ミュラー計數管³⁾といふ。

¹⁾ Millikan ²⁾ thyratron ³⁾ Geiger-Müller counter

8. 電子波實驗 金属その他の物質の表面状態、又は極めて薄い膜の内部原子構造を、短時間に研究し得るものである。電子が波動性であることを應用したもので、陰極線を表面で反射させ、又は膜を透過させ、後これを寫眞乾板上に受けると、X線の場合と同じく、原子格子による廻折縞が印像される。被檢物質は高真空内に置かれなければならぬ。陰極線は、クーリッジX線管球式に、白熱陰極より出し、これに電場を加へて適當な速さを與へて用ひる。



金箔を通した電子波の廻折

アメリカのデーヴィッソン¹⁾-ガーマー²⁾が、ニッケル單結晶³⁾面に就いて始めて實驗したものである。

9. 電子顯微鏡 この装置は近年發明されたもので、真空管内陰極面の状態並びにその陰極線放射過程を直接觀測し、又陰極面前の空間荷電³⁾(真空管内に漂ふ電子の雲)を研究するのに用ひられる。

原理は、適當な電場又は磁場を加へ、陰極線を收斂造像させるのである。斯かる收斂装置を電子レンズ⁴⁾といふ。電子レンズは、電気レンズと磁気レンズとに分けられる。前者には、

¹⁾ Davisson-Germer ²⁾ single crystal ³⁾ space charge
⁴⁾ electron lens

内外二重の金網を凸レンズ形にし、内部を正、外部を負に帯電させたもの、或は二つの同心正負帯電球を用ひるものがある。後者、磁気レンズは、高速度の陰極線に對して適する。普通の光學顯微鏡と同様に、焦點距離・球面収差・色収差等の語がある。「色」は、陰極線の速度に當たる。



電子顯微鏡で見た陰極面前の電子雲

電子顯微鏡による像を寫眞乾板に結ばせ、又は螢光板上で觀察する。この際光學顯微鏡を併用すれば更に擴大が行はれる。

近頃では、金屬面に莖外線を當てその面から光電効果として電子が放たれることを應用し、金屬面の電子顯微鏡的觀測がなされてゐる。又表面に特殊の酸化物を塗り、これを熱して熱電子を出させ、これを研究する方法も行はれてゐる。

理學の眼は廣く又深い。しかも種々の眼が考案されて行く。暗夜の中を視る「眼」(闇視¹⁾)も出來てゐる位である。こゝには極微の世界を見る眼に就いて語つたのである。極微の世界には所謂不確定性があり、偶然性の問題と關聯してゐる。

¹⁾ nocto-vision

第 17 章 理學と神祕

1. 理學と宗教 文化の或過程に於ては、宗教的教養が殆ど全部の教養であり、宗教が唯一の世界觀をなしてゐたのである。ところが18世紀に到つて、前時代の¹⁾大發見・大發明を承けて、啓蒙思想が開かれ、思想の自由が叫ばれて來た。

¹⁾ブルノヤガリレオは理學に殉じ、デカルトも辛うじてその運命から免れたのである。

しかし理學者にして狂信的な人も少くなかつた。

自然科学と神學とは全く相異なつてゐるものであるとする見解は、²⁾コペルニクスに始まりラグランジュに到つて大いに主張された。ニトンは非常な信仰家であつたが、兩者を決して混同はしなかつた。

ニトンは、自己の研究を汀の貝拾ひに喩へ、眞理の大海は尙拓かれずして吾が前にありと叫び、全知全能の神の存在を唱へた。「最大危險者」³⁾チャールズ・ダーヴィンは、アマゾナの大森林に跪いて神を呼んだ。

カルチアの動物教は、自然に對する畏怖より出發してゐる。エジプトの宗教は自然教である。

宗教の教條は理學の發展に伴つて變化して行かねばならぬ。宗教が古い教條に従つて觀念を律せんとする時には、そこに救ふべからざる破綻を生ずるのである。

¹⁾ Bruno ²⁾ Copernicus ³⁾ Charles Darwin

寧ろ理學の階梯を踏める人にして、始めて眞正にして熱誠なる信仰者たり得る資格があると思はれる。

2. 理學と想像 理學は冷やかである。しかし理學にも想像は必要である。されば偉大なる理學者、卓越せる發明家、秀逸なる創見者は、固より玲瓏なる理性の閃きに從つて云爲するが、又一面小説的冥想や詩的感情や怪異的假定によつてゐる。電氣學者ファラデー、マックスウェルは、すもがな進化論のダーヴィンは詩文集に親しみ、近代稀有の理學者アンリ・ポアンカレもナンシー中學にあるや、教師は彼を目して文科の適材なりと考へたといふ。ドイツ文壇の華たるゲーテは、人をして咏嘆措く能はざらしめる思索を理學にも向け、その卓見も尠くない。一見盲目的な衝動も、精緻なる理學思想に或根本的な暗示を與へるのである。

理學界の巨人ティンダルは有名なる彼の講演に於て、雄辯を以て想像の力を述べてゐる。

「想像は、物理學研究の道程に於て新事實を開發し、推論に貢獻をなす、効率の著大なる機械である。提案に對して人を驅つて沈思の郷國に遊ばしめるものである。ニットンは心神を靜寂の境裡に遣り、以て發見に到着したと自らいつてゐる。萬有引力の法則の創説は、その階段



ティンダル

は、槌かに歸納と演繹との麗しき組合はせを表現してゐる。即ち物理學的理論は、疑ひもなく想像力により貢獻されてゐる。

る。落ち來る林檎より流れ行く流星に到るまでの一系の考察は、驚異すべき想像の飛躍である。想像力の發達せる人、吾等これを天才と呼ぶ。その思想以て大に亘り、小を穿ち、胸に天來の妙趣を懐き、冥想に問ひ、靜思に尋ね、その説くや大膽にして臆せない。」と。

アインシュタインはいふ。吾等の經驗し得る最も美しいことは神祕である。こゝに一切の眞の藝術と理學との源がある。眞の宗教的精神の中心もこゝにあると。

理 學 と 認 識

第 1 章 空間とは何ぞ

1. リーマン幾何學 物理學は客觀的世界の狀態を研究の目標とし、そこには自然現象の研究と抽象的思惟の法則とが相交錯して認識の擴張を促してゐるのであるが、空間問題は、物理學に於ける最基本的なるものの一つであり、そこにこの好例を見るのである。

紀元前3世紀のギリシヤの數學者ユークリッド¹⁾は、空間の科學即ち幾何學を建設し、以後の空間研究の基礎となつた。ユークリッドは幾何學に公理的形式を與へ、幾何學を公理と命題との群として表現し、命題はすべて公理よりの論理的結論として嚴格に導かれることを示した。斯くて、幾何學は凡ゆる科學の中で最も確固たるものであると認められるに到つた。

しかし公理の位置は如何か。これは幾何學的證明法即ち論理の方法の力の及ばぬところのものである。假定であり、證明以前のものである。

ユークリッド幾何學の公理の中に、**平行線公理**²⁾といふのがある。或與へられた直線に交はらぬやう、一點より引かれ得べ

¹⁾ Euclid ²⁾ Parallelenaxiom

き直線は1本しかないとするものである。この公理は早くより數學者の特別な注意を惹いたもので、これが他の公理より證明され得ないかとの疑問を解く試みが、實に2,000年間も行はれたのである。しかしこれらの試みはすべて失敗に歸したと共に、幾何學の公理の意義が論ぜられ、その發展を促進し面目を一新するに到つたのである。

平行線公理に同等する假定群がある。三角形の内角の和は2直角なることもその一つである。平行線公理の妥當性はこれら同等假定の妥當性と同一視されるのである。

今より約100年前ハンガリアの**ボリアイ**¹⁾とロシアの**ロバチェフスキー**²⁾との二人は、幾何學の論理的建設より、平行線公理又は同等公理を一般に除外し、他の公理を以て置換して、それ自身内の矛盾のない幾何學を造り得ることを指示した。ユークリッド幾何學の外に、これに對する**非ユークリッド幾何學**³⁾がこゝに生れた。そこでは三角形の内角の和は2直角とは相違する。

平行線のない幾何學、空間の位置により幾何學的性質の異なる幾何學も、構成された。由來直觀の強制は、數學者に對しては何の影響をも與へぬものである。

ドイツの**リーマン**⁴⁾は、一般的幾何學型式の基礎を造つた。リーマンの思考行程は、曲面の形狀に關する。

ユークリッド空間に於ける面は、三次元空間に浸漬された二次元領域である。リーマンは、三次元空間の扁平性及び彎曲

¹⁾ Bolyai ²⁾ Lobatchevskii ³⁾ nichteuklidische Geometrie ⁴⁾ Riemann

性に就いて考察し、三次元ユークリッド空間はその數學的特性に於て平面に相應するとした。

曲面の微小部分は平面と區別されない。而して全體としての幾何學的構成が微小部分に對するものと同じいやうな面が、平面である。全體としての構成が微小部分の構成と相違し、従つて曲率を持つものは、平面よりは一般的なもの、これが曲面である。

球面の上に描かれた圓では、圓の大いさが大きいほど圓周率は小さくなる。非ユークリッド空間では、圓周率は 3.1416 とは相違する。

ユークリッド空間では、類似圖形の存在するために、全體としての性質が微小部分の性質に同じい。リーマンは微小部分に於てユークリッド的特性を保有し全體として曲率を持つやうな空間型式を考案し、ユークリッド幾何學の關係の一般化を計つた。この一般化は明かに抽象的であり、人間思惟の一つの法則化に過ぎぬ。幾何學の多様性、種々の空間形式の可能性が數學に於て發見されても、その何れが事實に適合するやの測定問題とは、自らこれは區別されねばならぬ。即ち數學は**可能性の科學**¹⁾であり、物理學は**實在性の科學**²⁾である。

2. 全同性の定義 數學は非ユークリッド空間形式の可能性を教へ、更に**認識論**³⁾は、空間形式を事實に應用する場合、基礎として**全同**⁴⁾の定義的任意設定を必要とすることを示す。

1) Wissenschaft des Möglichen 2) Wissenschaft vom Wirklichen
3) Erkenntnistheorie 4) Kongruenz

今異なつた二つの空間位置に二つの**尺度**¹⁾が置いてあるとする。この二測尺が實際に同じ大いさであるか否かといふ設問は無意味である。客觀的にこれを判定することは一般に不可能である。これは**設定**²⁾であり、決して認識ではない。

同一の場所で、相並べて見て同じ長さであつた二つの測尺を、一つは空間の遠くに運んだ場合にも、両者が尙同じ大いさであるか否かは、全く判定する手段がない。第二の測尺を第一の測尺の場所に運んで長さの變化を知らうとしても、前者がその途中に於て又長さを變化したかも知れぬ。斯様な變化力が考へられ得るのである。この力は祕密的であり、すべての物體を、移動に際し、同様に特有的に歪ましめるのである。斯かる力は、物理學に於て普通にいふ力とは非常に趣を異にする。

全同の定義の置き方により、測尺は移動に際し、長さの同じ値を保持する場合と、さうでない場合とがある。全同定義が與へられて始めて、空間形式が論ぜられる。同様に、形にも絶對的なものはない。

ユークリッド幾何學とユークリッド空間とが最も簡單明瞭であるのではない。却て實在は、ユークリッドの幾何學と空間とを、特殊の場合として含むが如きものがある。

空間の客觀的本質に關する洞察には、數學的又認識論的な發展を要したのである。

1) Maszstab 2) Festsetzung

● 第2章 時間とは何ぞ

1. 時計の意義 時間は、それより空間概念が導かれるほど深く深い概念であることは、後に述べようと思ふが、吾等の身體は空時的領域であるけれども、精神的現象は時間的順序のみに於て経過する。吾等の全内的生活は、従つて時間の流れの眞唯¹⁾中に立ち、時間の基本的要素である過現未又生成²⁾に對する直接的な感覺を持つのである。即ち吾等の感覺世界の中には、時間的事件の配置と方向とが與へられてゐるのである。

客觀的世界に於ても同様時間は確かに経過である。しかし時間概念のすべての批判は、先づ以て測定の問題の批判に懸かるのである。

誰でも、時間の一様性、時間順序、同時刻³⁾に就いて明確な概念を持つてゐると思惟してゐる。しかし一度その概念を、具體的な自然現象に實際に應用せんとする時に到つて、今日までの概念の不十分なことに氣附くのである。

時間隔の感覺は非常な不齊を持つが、物理學者は、厳格な一様性と等分割可能性とを假定する。しかし實はこれは任意的な設定に過ぎぬのである。

時間隔を客觀的に正確に測定する装置が、時計である。恒星の運動は優秀な時計であるといはれる。しかし、恒星の運

1) Werden 2) Gleichzeitigkeit

動は一樣で、太陽の運動は不規則なことは、如何にして知られ得るか。何故にこの逆がいはれぬのであらうか。

違つた二つの時刻に於ける二つの時間隔の相等しいか否かは、認識の問題ではなくて、同様全く定義に過ぎぬのである。一つの現象の推移を時間的に一樣なものとする、他は不同のものともなり得る。

ニウトンの運動の第一法則は、力の働かぬ物體は一樣な運動をなすといふ。しかし問ふ、力の働かぬことは如何にして知られ得るか。實際、運動の第一法則によつて時間隔を定めることは、不可能なのである。この意味でこの法則も定義に過ぎぬのである。

2. 時間順序と因果性 自ら存し永久に経過反覆する絶對的時間の概念は、斯くて原理的には棄てられるが、時間測度の内的本性に關して、先後の概念を説かねばならぬ。即ち時間の順序形式¹⁾とは何であるかを次に考へよう。

因果性²⁾の思想は、時間的順序附けの背後にあつて、これを照らすものである。原因は必ず結果よりも先である故、二つの事件の間に因果關係があれば、これによつて時間順序が決定される。作用傳達の連鎖の逆行は不可能であるからである。即ち因果原理が破れれば、時間順序に困亂を起すであらう。

時間の因果論こそ、同時刻の概念に就き本質的な了解を與へるものである。

地球と火星との間に時刻の無線比較を行つたと想像する。

1) Ordnungsschema 2) Kausalität

地球より正午を報告しこの信號が火星に達し、直ちに受領の返信が發せられ、これが0時16分に地球に達したとする。無線通信の傳播速度が往路及び復路に於て知られてゐなければ、無線信號が火星に到着した時刻は、正午と0時16分との間¹⁾のどの時刻と同時刻であるかは、客觀的には全く判定され得ぬ。これを**同時刻の相對性**と呼ぶ。

信號傳達速度は、地球と火星との時計を合はせた後でなければ決定出来ない。即ち時計を合はす、換言すれば異なつた場所の同時刻を決定しなければ、速度の測定は不可能である。即ち同時刻は、速度の測定によつて調整することは出来ぬ。

測定²⁾の**相對思想**は、アインシュタインの始めて述べたところのものであり、認識論的思惟が物理學的思惟に轉向した著例である。物理學者はこの意味に於て、哲學者とならねばならぬ。

¹⁾ Relativität der Gleichzeitigkeit ²⁾ Relativitätsgedanke

第 3 章 自然法則の可逆性

1. 現象の可逆性と時間方向 ボルツマンは、「所謂 H 曲線に就いて」 („Über die sogenannte H-Kurve“ Math. Ann., 50, S. 325, 1898; Ges. Abh., III, Nr. 128) と題する論文の終りに於て、次の如く述べた。

「自然現象が逆順序に起るやうな世界が考へられ得ることは、疑ひのないところである。若しこの反世界に住む人間が吾等と同じ感覺を持つならば、吾等が未來と呼ぶものを過去と命じ、過去と呼ぶものを未來と稱するであらう。」と。

又非常に多くの、しかし有限箇數の粒子と無限の時間とが與へられてゐる時、歴史は必然繰返され、すべての粒子は、以前に持つたと同じ速度と相對的位置との配置に再び配列され、事件の再歸を起すので、歴史は壁紙の反覆模様の如きものになるべしと、考へる人もある。

物體が真空中で落下運動を行ふ場合を考へる。その各瞬時に持つ速度と同じ大いさを有し上方に向ふ速度を物體が持つならば、全く逆なる運動を示すであらう。斯様な二つの運動は、互に可逆的であるといはれるが、一は他の時間方向を逆にしたものに過ぎぬ。真空中に於ける拋物線運動も振子の運動も、可逆運動の例である。これに反し、摩擦抵抗を受ける物體の運動、分子の擴散、熱の輻射、熱傳導等は、非可逆的現象である。

可逆現象に於ては時間方向に對稱性があることは、斯くて明かであらう。

2. エントロピー減少とマックスウェルの魔 水の中に赤インキの一滴を落す時、終局に生ずる状態は、両者が擴散により一様に混じた状態と考へられる。この状態を最大エントロピーの状態といふ。

水を入れた瓶を火上に置く時に起る最後の即ち最大エントロピーの状態は、水が水蒸氣に變じたものであるとする。この場合、熱は全體に一様に散布する。これらから考へると、最大エントロピーの状態は、凝縮偏倚を避けた一様な最も普通な状態である。

エントロピーが最大に向ふのは、宇宙全體の傾向であり、時間の方向と關聯される。これが減じて時間が逆行することは、如何なる自然法則もこれを止めず全く不可能ではないが、しかし頗るあり得ぬものである。

一様に混和した後は、エントロピーの減少なくしては、一般的な特性は變化されぬ。水と赤インキとの分子は互に衝突し、常にその位置を變へてはゐる。しかし無限の時間内に於ては、瓶の一端に水、他端に赤インキが來る配列は、或は起り得るであらう。この時エントロピーは最大値より減少するのである。しかしこれは異常なる稀有現象である。

同様に火上の水が凍り、消えた爐の火が前よりも熱くならぬとは、全然にはいひ得ぬのである。

可逆變化に於てはエントロピーは増加せぬ。これに對す

る時間方向も可逆的である。

水に赤インキを混ぜた時、若し顯微鏡的な生物がこの液体内に居つて、小さな扉を持つた針の孔の所に立つて、随意に扉を開き又閉ぢ得るとする。さうして孔を通らんとする水の分子とインキの分子とに就いて分離を行ふと、長い間には、両者が別離されるであらう。この別離は智能によつてなされたもので、この生物をマックスウェルの魔¹⁾といふ。物理學者マックスウェルが可逆・不可逆現象の問題に關して想像した怪物である。彼の作用は力學の法則に矛盾しないものであるが、彼の選擇は、任意の系をしてより小さなエントロピーの状態に到らしめるものである。

¹⁾ Maxwell's demon

第 4 章 運動と力との相対性

1. 運動の相対性と力の絶対性の疑問 運動の相対性の概念は元來、單純な感覺的直觀的な吾等の觀察體驗から産れ出たものであるが、しかし論理的批判に於ても、絶対的運動状態又絶対的静止状態なるものはないのである。運動はすべて相対的であらねばならぬ。

空間に二物體 A と B とが與へられてあり、A、B 間の距離が増しつゝある時、A と B との何れが動き他が静止するといつても、叙述は異なるであらうが、内容は同じい。A と B とが相對運動にあるのみである。運動を論ずるには、一を静止すると考へ、これに對して他の物體の運動を見るのである。この「静止系」を基準系¹⁾といふ。

18世紀の初め、ライブニッツとニュートン派との間に力學的相對性が論争された。ライブニッツは古典的相對論者であり、ニュートンは絶対論者であつた。これは一般に非常なセンセーションを起し、食卓の話にすら上つた位であるが、當時遂に歸結が見出されなかつた。

ニュートンの絶対論とは何か。

列車が動き出す時、この運動によつて慣性力²⁾が生じ車内の荷物が網棚から落ちようとする。慣性力により、二者の何れが運動し出すかが知られるとされた。

¹⁾ Bezugssystem ²⁾ Trägheitskraft

物體が廻轉する時に現はれる遠心力¹⁾はこの慣性力である。地球が極の所で少しく扁平なのは、この力のためであり、従つて、形の變化より地球の固有運動が一義的に知られ得るとされた。

桶に水を容れ桶を廻轉すると、水面の中央部が窪み壁の所が高くなるのも、桶の眞の廻轉のためであるとされた。これらは絶対運動に關するニュートンの見解であり、この見解は長い間物理學者を苦めた。運動學的にはすべての系は相對的であるが、力學的には互に相違するものがあるとされたのである。

2. マッハと力の相對性 桶の中の水が廻轉すると、水面の中央部が窪む。これに反して、水が静止しその周りで桶が廻轉しては、こんな現象は起らぬ。

マッハはいふ。これはしかし、桶の壁の厚さが餘り薄いからで、若し桶の壁の厚さが普通とは異なり數 km あるとしたなら、凹みが起るであらう。即ち桶及び周圍のすべての世界が共に水の周りに廻はれば、水面の凹みが非常に強く現はれるであらうと。

桶の中の水が廻轉すると考へる代りに、實に、水が静止し全宇宙がその周りに廻はるとしても同じことである。廻轉運動の相對性は日常吾等の眼前に現はれてゐるものであり、慣性力は常に相對加速運動によつて起されるのである。既に運動の相對性が定められたが、力の相對性がこゝに定められ

¹⁾ Fliehkraft od. Zentrifugalkraft