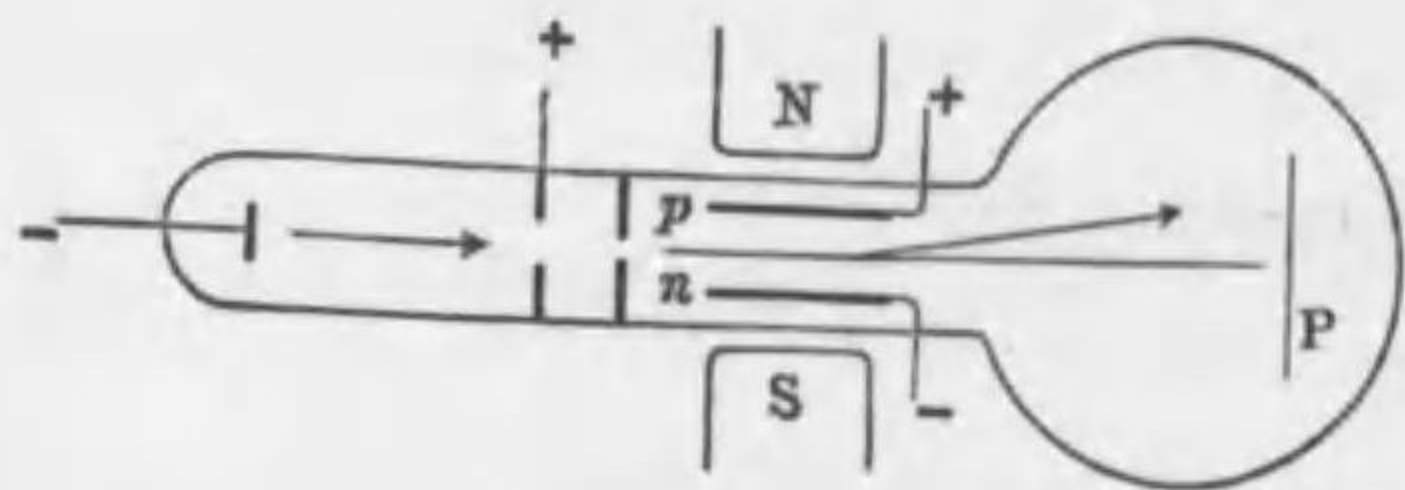


1.649×10^{-24} 瓦

を得 他の原子に於ても同様にして鹽素原子一個の質量は 58.0×10^{-24} 瓦 銀の原子一個の質量は 176.5×10^{-24} 瓦なり

ガイスレル管をを少しく變形し陰極に對して小孔を穿ちたる板を置くに陰極線の一部は孔を通過して更に直線に進行を續く 若し寫眞乾板 P を以て之を受くるときは感光作用を生ず また特種の物質を置けば光を發して輝くを見るべし

然るに今その途に於て兩側に二枚の金屬板 p n を置き之に電池をつなぎてその間に電場を生ぜしむるに陰極線の電



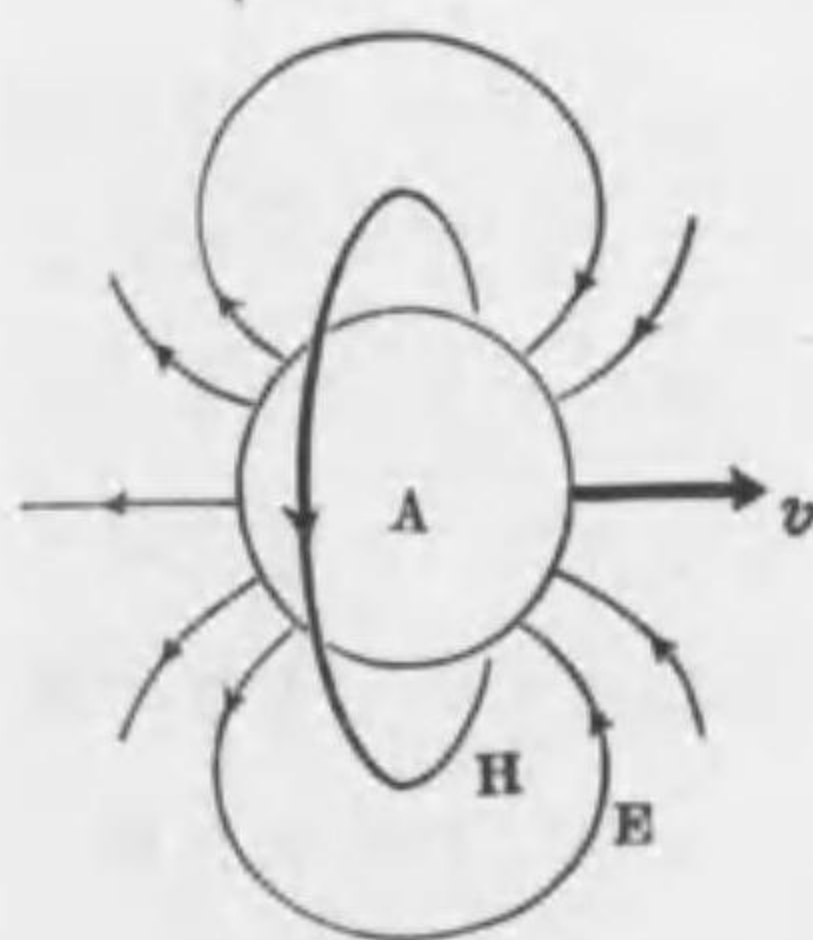
子は p 板に引かれ n 板より斥けられ陰極線は p 板の側に偏る 更にまた磁石 NS を以て磁場を作用せしむるに電子は圖の面に直角に力を受くるが故に陰極線はまた之に應じて偏る このとき陰極線を偏倚せしむる力は電場磁場の強さと電子の荷電及び速度によつて定まり之によつて生ずる偏倚は電子の質量に關係せり 上に電子一個の荷電を知れるが故にその質量を求め得べし この如くして測定せられたる電子一個の質量は

 8.99×10^{-28} 瓦

なり 既に知れる水素原子一個の質量と比較するに約 $\frac{1}{1800}$ に當る

陰電氣を帯びたる電子の質量は甚だ小なるに反し陽電氣は必ず相當の質量を伴つて陽核をなし決して之を離れて見出されたることなし 原子の質量は殆んど悉く陽核の有する處にして電子の質量は極めて一小部分に過ぎず

電子と陽核との大きさに關しては現今も未だ充分に明かならず 一般に帶電せる物體が靜止せるとき各部分の電氣は互に相斥くれども之によつて物體全體としての運動は生ずることなし 且つまた帶電體が一様の運動にあるときも物體は等速運動を續くるものにして荷電は物體の運動に關係なし されど荷電せる物體が加速度を有するときは然らずして自らの電場磁場が自身に作用して力を及ぼす 既に述べたるが如く帶電體が運動せるときは其の周圍に磁場を伴



ふ 物體の速度が變ずれば從て磁場にも變化を生じて電場を誘起す 例へば陽に荷電せる球 A に v なる速度を與へんとせば H なる磁場を生ずるが故に加速に際して E なる電場を誘起し自身の荷電に作用して速度の増加を妨げんとする力を生ず 逆に v なる速度にて運動せるものを止めんとすれば磁場 H の消滅するに際し E と反對の電場を生じて速度の減少を妨げんと

す されば外より力を加へて物體を加速せんとすれば其の物體の慣性に相當する外にこの電磁氣的の作用に打ち勝つを要す 即ち物體に荷電あるときは其の慣性を増加すること恰も質量を増せると同一なり この如き慣性に相當する質量を電磁的質量と云ふ

之れ前に述べたる自己感應と同様の現象にして理論上の計算によれば荷電の大なるほど質量の大なるは勿論なれども一定の荷電に於ても其の體積小さく密集せるほど質量大なり 電子と陽核とはその荷電による電磁的質量を有せざるべからず 假に之等を球とし表面に荷電ありと考へ且つ凡て質量が全く電磁的と假定せば電子の半径は 1.88×10^{-18} 厘米にして水素の陽核の半径は 1.01×10^{-10} 厘米の程度にあり 他種の質量あれば更に之より大なるべきが故に之等は最小限を示すものなり 水素の外の原子の陽核は複雑なる構造を有すべきこと後に説くべけれど種々の實驗によつて其の半径は恐らく 10^{-12} 厘米を超えざるものと考へらる 一個の原子に對する陽核の数が一個なるべきこともまた種々の事實より確められたり

然るにこゝにまた注意すべきことあり 自らの電磁場が自身に作用する力は一定の加速度に對しても其のときの速度の大なる場合と小なる場合と等しからず 且つまた帯電體が既に有せる速度と平行に加速すると直角に加速するとによりてもまた差を生ず 即ち電磁的質量は速度に關係し且つ之に對する加速度の方向に關係す 帯電體の速度が光

の速度 $3 \times 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ に比して小さき範圍に於てはこの如きこと著しからずして電磁的質量は全く一定のものと見るを得れど帯電體の速度が光の速度に近きときは斯く複雑なる關係を生ず 其の數量的の關係は帯電體の性質を種々に考ふることによつて異なる アブラハム⁽²⁾は電子と陽核を剛體の球と考へたれどローレンツは之に反し静止せるときは球形なるも運動せるときは速度 v の方向に $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ の比に收縮して楕圓球となるものと考へたり⁽³⁾ こゝに c は光の速度なり この結果によるに速度の小なるときの質量を m とせば既に大なる速度を有せるときは質量は速度と平行に加速する場合に $\frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ となり速度と直角に加速する場合 $\frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ となる

(1) 光の速度は即ち電磁的作用の傳播する速度なり

(2) M. Abraham

(3) 相對論參照

XXI 原 子

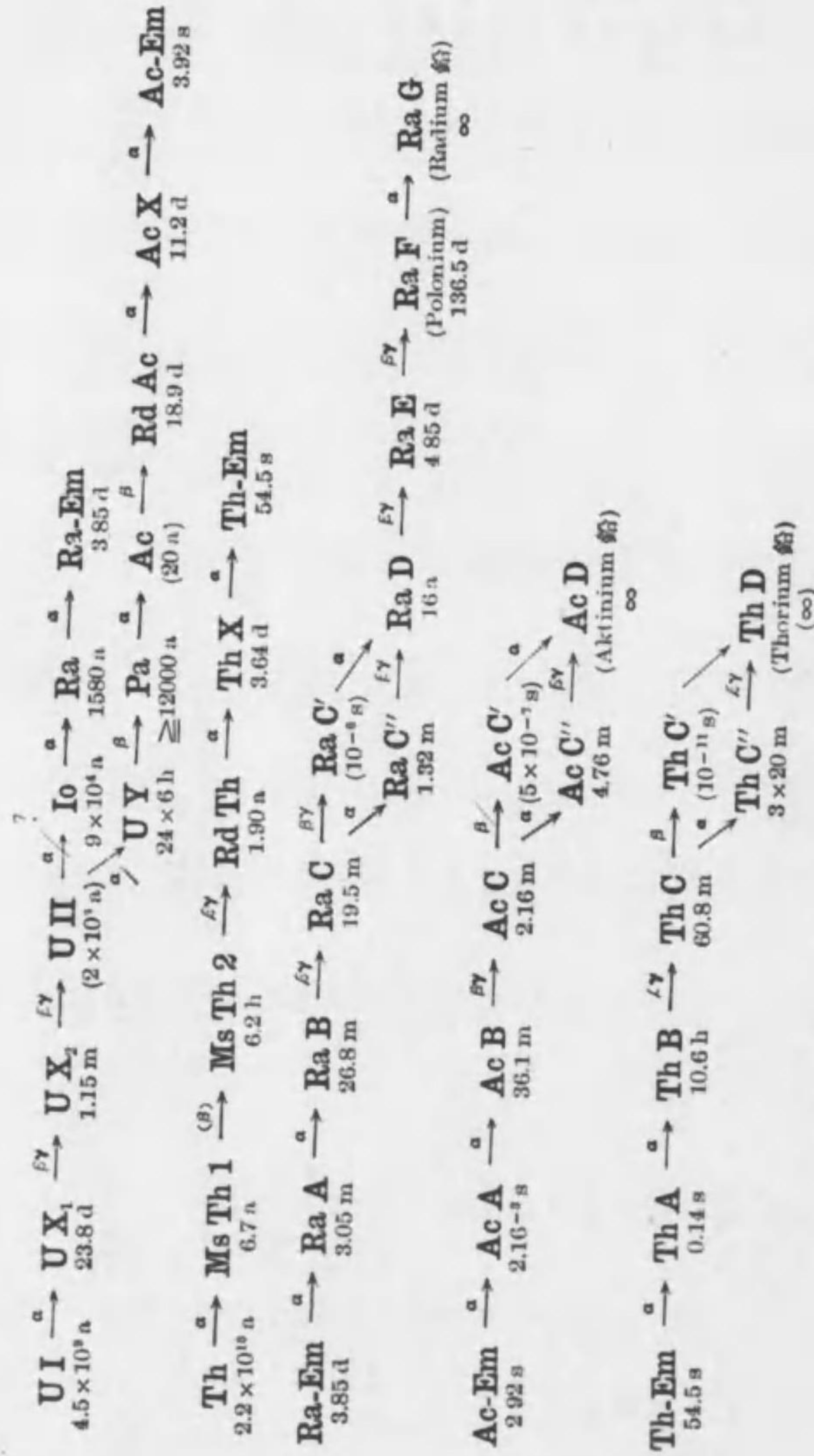
元素を原子量の順序に排列するとき化学性質の類似せるものが週期的に現るゝことは既にメンデレフ⁽¹⁾の見出せる處なり 表の如き配列に於ては第一行の左側に所謂アルカリ金属來り之に次ぐ第二行の左側にはアルカリ土金属來り 第八行の右側には稀有瓦斯の類現る たゞ數個處に於ては原子量の順序を轉倒し且つ未だ発見せられざる元素ありと考へらるゝ處には特に空欄を設けたり また水素よりウランに至るまで順次に番號を附せり この番號を原子番號と云ふ

この表に於ける最後の數個の元素 Em Ra Ac Th Pa U は所謂放射性元素に屬し特種の性質を有す 即ち之等の原子は自然に α 線 β 線及び γ 線と名づくる放射線を發して逐次に原子量の小なる原子に變化す これを原子の壊散と云ふ 例へば Ra は α 線を出して RaEm に變じ RaEm はまた α 線を出して RaA に變じ更に α 線を出して RaB となり次いで β γ 線を發して RaC となり遂には RaG に至ること次表に示すが如し 之等の元素は多數なるが故に前の表には總てを記載せずたゞ數個を擧げたるのみなり この表の中にて各元素の下に記せるは元素が壊散の爲に半減するまでの時間なり 例へば U は 4.5×10^8 年にて半減し RaA は 3 分にて

(1) J. Mendelejeff 1834—1907

1	1 H 1.008	2	2 He 4.00	3	3 Li 6.91	4	4 Be 9.01	5	5 B 10.82	6	6 C 12.00	7	7 N 14.008	8	8 O 16.00	9	9 F 19.0	10	10 Ne 20.2	11	11 Na 23.00	12	12 Mg 24.32	13	13 Al 27.1	14	14 Si 28.06	15	15 P 31.04	16	16 S 32.07	17	17 Cl 35.46	18	18 A 39.88	19	19 K 39.10	20	20 Ca 40.07	21	21 Sc 45.1	22	22 Ti 48.1	23	23 V 51.0	24	24 Cr 52.0	25	25 Mn 54.93	26	26 Fe 55.84	27	27 Co 58.97	28	28 Ni 58.68	29	29 Cu 63.57	30	30 Zn 65.37	31	31 Ga 69.72	32	32 Ge 72.5	33	33 As 74.96	34	34 Se 79.2	35	35 Br 79.92	36	36 Kr 82.9	37	37 Rb 85.45	38	38 Sr 87.63	39	39 Y 88.7	40	40 Zr 90.6	41	41 Nb 93.5	42	42 Mo 96.0	43	43 Ma 96.0	44	44 Ru 101.7	45	45 Rh 102.9	46	46 Pd 106.7	47	47 Ag 107.88	48	48 Cd 112.4	49	49 In 114.8	50	50 Sn 118.7	51	51 Sb 121.8	52	52 Te 127.5	53	53 I 126.92	54	54 X 130.2	55	55 Cs 132.8	56	56 Ba 137.4	57	57 La 138.9	58	58 Ce 140.2	59	59 Pr 140.9	60	60 Nd 144.3	61	61 ? 150.4	62	62 Sm 150.4	63	63 Eu 152.0	64	64 Gd 157.3	65	65 Tb 159.2	66	66 Ds 162.5	67	67 Ho 163.5	68	68 Er 167.7	69	69 Th 232.1	70	70 Ad 169.4	71	71 Cp 175.0	72	72 Hf 180.8	73	73 Ta 181.5	74	74 W 184.0	75	75 Re 186.2	76	76 Os 190.9	77	77 Ir 193.1	78	78 Pt 195.2	79	79 Au 197.2	80	80 Hg 200.6	81	81 Tl 204.4	82	82 Pb 207.2	83	83 Bi 209.0	84	84 Po (210.0)	85	85 ?	86	86 Em (222.0)	87	87 ?	88	88 Ra 226.0	89	89 Ac (226)	90	90 Th 232.1	91	91 Pa (230)	92	92 U 238.2	93	93 ? 238.1	94	94 ? 238.1	95	95 ? 238.1	96	96 ? 238.1	97	97 ? 238.1	98	98 ? 238.1	99	99 ? 238.1	100	100 ? 238.1
---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	--------------	---	---------------	---	--------------	---	-------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	---------------	----	---------------	----	----------------	----	---------------	----	---------------	----	----------------	----	---------------	----	---------------	----	--------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	--------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	-----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	------------------	----	------	----	------------------	----	------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	----------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	----	---------------	-----	----------------

化学記號の前方にある數字は
原子番號にして下にあるは原
子量なり



U = Uran, Ra = Radium, Io = Ionium, Em = Emanation, Th = Thorium, Ac = Aktinium
 Ms = Meso, Rd = Radio, Pa = Protaktinium
 a = 年, d = 日, h = 時間, m = 分, s = 秒

半減す

α線と名づくるは電子を失ひて陽に帯電せるヘリウムの原子が高速度にて逸出するものなり その陽電氣の量は電子二個の電氣量に等し 即ちα線の粒子は電子二個を失へるヘリウム原子ならざるべからず 其の速度は大約光の速度の $\frac{1}{20}$ の程度なり β線と云ふは陰極線と同じく電子が高速度にて逸出するものなり たゞ一般には眞空管にて得らるゝ人工的のものよりも著しく大なる速度を有し光の速度に近き 2.94×10^{10} $\frac{\text{利}}{\text{秒}}$ に達するものあり α線β線は何れも其の大なる速度によつて空氣の原子を破壊し電離せしむる作用あり γ線は既に述べたる如くX線よりも波長の短き電磁波にして其の性質殆んどX線と同じく主としてβ線に伴つて發生す

原子の正常状態にては全體として帯電なく陽核の有する陽電氣の量に相當する數の電子を伴ふ 陽核の有する陽電氣の量によつて之に伴ふ電子の數は定まる 電子の分布と運動状態とも陽核の作用によつて定まるべきが故に陽核が電子に及ぼす力を主として電氣的のもの⁽¹⁾と考ふれば即ち陽核の荷電にて定まる 一の原子と他の原子との作用は主として電磁的のものなるべく原子の内の荷電の分布と其の運動によつて定まるべし 原子と原子との作用即ち化學的性質は殆んど全く陽核の帶電量によつて支配せらる

時として原子は其の周邊より若干の電子を失ひまたは逆

(1) 萬有引力の作用は電氣作用に比して極めて小なりと考へらる

に他より之を得て全體として帶電状態を示すことあるべしこの如き状態は即ちイオンなりされど之等は一時的の状態にして機會ある毎に失ひたる電子を外より補充し過剰なる電子は捨て去らんとす

放射性元素の壊散に際して生ずる化學性質の變化を見るに原子番号 88 なる Ra より α 線と共に生ぜる RaEm は稀有元素に屬し原子番号は 86 となる RaEm より α 線と共に生ぜる RaA の化學性質は Po と全く同じく原子番号 84 なりまた RaA より α 線と共に生ぜる RaB の化學性質は鉛と全く等しく原子番号は 82 となるまた他方に於て RaB より β 線と共に生ぜる RaC は蒼鉛と同じ化學性質を有し原子番号は 83 となる如何なる場合にも α 線を發する壊散に際しては原子番号が 2 を減じ β 線を發する壊散に於ては原子番号が 1 を増す

α 線は電子二個を失へるヘリウム原子にして中核より出でたること疑ひなし α 線の發するに伴ひ陽核は電子二個に相當する陽電氣を失ふ之より見れば原子番号の 1 づゝ増すに従つて陽核の荷電は電子一個に相當せるだけ増加しをるべきなり而して原子番号の最小なる水素の原子は電子一個を有するのみにして二個を有する如き證據なくヘリウムの原子には二個の電子の認めらるゝのみなり α 線は電子を全く失へるヘリウム陽核なり従て陽核の荷電は原子番号の數だけの電子に相當し之に伴ふ電子の數も原子番号に等しきを知るべし β 線を發するときの壊散も陽核の

荷電が電子一個に相當せる陰電氣を減じ圍圍に伴ふ電子の數が一個を増すものならざるべからず陰電氣は電子として知らるゝのみなるが故に β 線の發するときは陽核の中より電子が逸出するものと考へらる

之を以て見るに陽核もまた一般に複雑なる構造を有するものにしてその中にはヘリウム陽核と電子とを包含し之等の荷電の總和が上に云ふ陽核荷電を示すものなるべしまたラザフォード⁽¹⁾は α 線を窒素等の原子に衝突せしめたるにその陽核が破壊せられて之より水素の陽核が逸出するを認め得たり恐らくは總ての陽核が水素の陽核即ち所謂プロトン⁽²⁾と電子との結合によつて成るものと想像せらる例へばヘリウムの陽核も四個のプロトンと二個の電子の集まれるものと考へらる

前記の如く化學性質の全く同一なる種々の元素あることは放射性元素に限ることなしこの如き元素は等性元素をなすと云ふ等性元素をなす各原子の性質はたゞ其の質量と放射性とに於て異なるのみにして他の元素と化合する性質は全然同一なるが故に混合して存在するとき化學的に分離するを得ず近時アストン⁽³⁾等の研究によれば多くの元素は數種の等性元素の混合せるものにして例へば鹽素は原子量約 35.37 なる二種のものゝ混合にしてカリウムは原子量約 39.41 なる二種の混合なり錫の如きは十一種を算す

今假に原子の陽核の荷電を 1 より始めて電子の一個に相

(1) E. Rutherford 1871— (2) Proton (3) F. W. Aston

當するだけづゝ漸次に増加しこれと同時に電子を一個づゝ
 付け加へて次第に原子番号の大なる原子を作ると考ふ 始
 め電子の数の少きときは陽核より等距離の位置に整列して
 球状に陽核を圍むべきも電子を更に増すときは相隣れる電
 子の斥力の爲に同一球上に入る能はずして外方に孤立する
 に至るべし この後更に加はる電子は第二の球を形成し更
 に或る程度に至りてまた第二球も充滿して第三球を形成す
 斯くして球層は漸次に外方に發達すること



と圖の如かるべし

一の層が完成せられたる状態にては電
 子の分布が極めてよき對稱を保つべきが
 故に従て其の状態は極めて安定なるべし

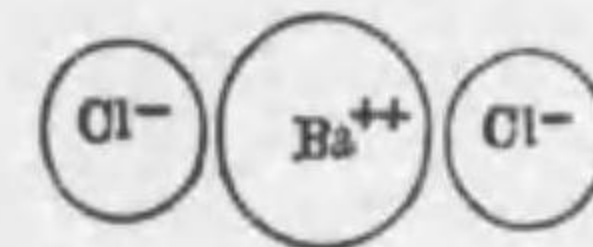
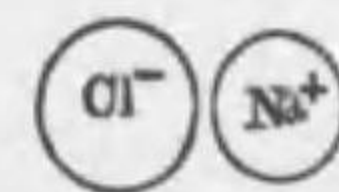
また電子の陰電気と陽核の陽電気との作用は各方向に於て
 よく互に打消し外部に對する作用は甚だ少なるべし 化學
 作用の殆んどなき稀有瓦斯の原子はこの如きものなるべし
 ヘリウムは第一層が完成せるものにしてネオンアルゴン等
 は第二層第三層が完成せるものと考へらる

之等の次に位する原子は一の層が完成せられてなほその
 外に一個の電子の加はれるものなり この電子は外方に孤
 立して比較的に分離し易かるべし 稀有瓦斯に次ぐアルカ
 リ金屬はこの如きものと考へらる アルカリ金屬が容易に
 一個の電子を失ひて一價の陽イオンとなる如きはよく之に
 對應せり また最外層に二個の電子を有するものも皆相似

たるべし アルカリ土金屬はこの如きものと考へらる さ
 ればこの金屬は容易に二個の電子を失ひて二價の陽イオン
 を生ずるなり また稀有瓦斯の前に於ては最外層に一個の
 電子を欠くが故に更に一個の電子を得て安定なる完成形に
 近づかんとするの傾向あるべし ハロゲンの原子が容易に
 一個の電子を捕へて陰イオンを作るは之による

電子の分布と運動とは極めて複雑なるべきもこの如くせ
 ば大體に於て元素の週期率を説明し得べく最近に至りてボ
 ーア⁽¹⁾は甚だよく事實と一致する説明を試むるを得たり

アルカリ原子とハロゲン原子とか近づくときはアルカリ
 原子の最外にある一個の電子は遊離しハロゲン原子に入り
 て其の最外層を完成せんとす 即ちアルカリは陽ハロゲン
 は陰のイオンとなり其の陰陽の荷電の爲に引き合ひて一團
 となり分子を形成す 之れ即ちアルカリハロゲン化合物なり



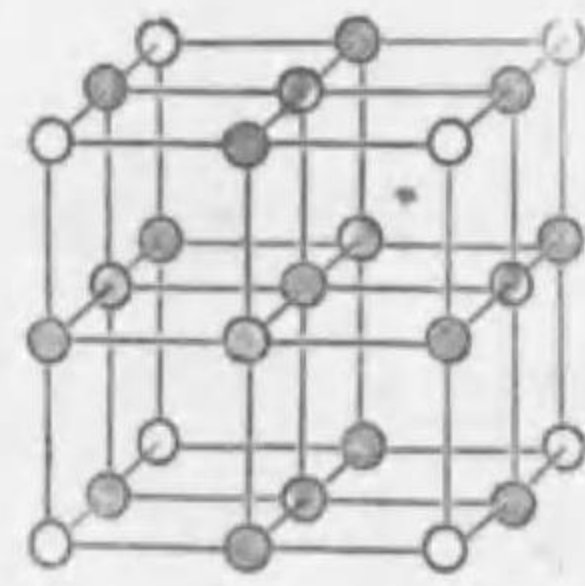
同様にしてアルカリ土金屬の原
 子がハロゲン原子の二個に接近する
 ときは前者の外部の二個の電子が二
 つのハロゲン原子の最外層に入りて
 ハロゲン化物を生ず 或はまたアル
 カリ土金屬の原子が酸素または硫黄

の原子と接近するときは前者の二個の電子は後者の最外層
 に入りて酸化物または硫化物を生ず されど之等の場合に
 荷電の引力と釣り合ひて原子を一定の距離に保つべき斥力

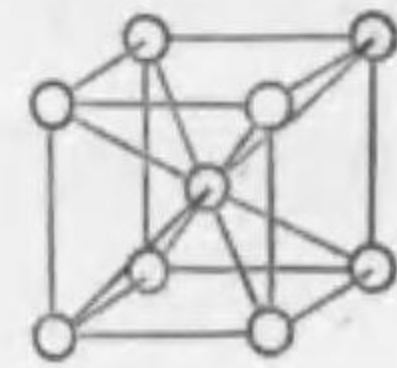
(1) N. Bohr 1885—

のあるを要す—且つまた原子が別種の作用によつて結合せりと考へらるゝ分子あり

この如き原子が多数に集まるときは原子間の相互の引力斥力によつて整然たる配列を取る 之れ即ち結晶なり 既に述べたるX線の方法によつて結晶中の原子の配列を研究せる結果の二三を擧ぐれば圖の如し 結晶の中にて分子と稱すべき一團を作ることなし 例へば鹽化ナトリウムの結晶に於て鹽素原子の一個を圍む六個のナトリウム原子は何れも對等の地位にありて何れをも特に一對と考ふべき理由なし



鹽化ナトリウム
○Na ●Cl



鐵

に述べたるX線の方法によつて結晶中の原子の配列を研究せる結果の二三を擧ぐれば圖の如し 結晶の中にて分子と稱すべき一團を作ることなし

XXII 量子論

更に進んで原子の内部に於て陽核の周圍に電子が如何に分布して如何なる運動をなせるかを論ぜんとするに當り此處に甚しき困難の横はるを見る 原子の内部に於て生ずる現象の中の或るものは從來の電磁氣學より推論せらるゝ處と矛盾し之を説明するに難し 例へば物質の磁性を説明せんが爲には原子の内に陽核を周りに運行する電子を考へざるべからず 然るに電子がこの如き運動をなせばその加速度によつて必ず電磁波を發生して電子の運動のエネルギーは次第に失はれ磁性もまた消滅すべき理なり 實際に物質の磁性は永續するが故に從來の理論の何れかに缺陷なかるべからず この如き困難は原子内部の現象またはその程度の極めて小規模の現象に於て屢々遭遇するものにして今日未だ充分の解決を見ず たい所謂量子論によつて部分的の説明をなすに止まる

既に述べたる如く黒き物體より發する熱輻射をスペクトルに分解するとき或る波長の部分が最も多量に含まれ波長の甚しく長きものと短きものはともに少し 然るに物質を構成せる電子と陽核との熱運動によつて生ずる輻射を電磁氣學に基づきて計算するに事實と一致せざる結果を得 即ち黒き物體よりの輻射には波長の短きものほど多く含まれ従て輻射のエネルギーの總てが波長の殆んど0なる電磁波

として現るべきことゝなる この矛盾も極めて根本的のものにして原子の構造または電子の分布を如何に考ふるとも之を説明するを得ず

プランク⁽¹⁾は之を説明せん爲に特殊の假説を設けたり 其の假説によれば輻射のエネルギーが原子より輻射せらるゝは連続的に行はるゝにあらずして未だ知られざる理由により必ず一定量のエネルギー ϵ を単位として行はれこの ϵ より小なる量の輻射せらるゝことなし 且つまたこの単位 ϵ はその輻射の振動数 ν に比例し

$$\epsilon = h\nu$$

なる關係あり 但し h は一の定數にして時間とエネルギーとを秒とエルグにて表はせば h は 6.55×10^{-27} なり ϵ は波長の短き輻射にては大にして波長の長き輻射にては小なり この假説を量子説と云ひ h をプランクの定數と云ふ かゝる假説が正しとすれば之より熱輻射のスペクトルの各部のエネルギーが正に實際の如かるべきを證明するを得

プランクはこの如くして熱輻射の現象を説明し得たれどもこの假説は明かに従來の電磁氣學に反す 電磁氣學によれば輻射は電子の加速度に伴つて生じ特に或る量を単位として生ずべきの理なし この量子説が實驗に適合するを見れば従來の電磁氣學の何處かに修正の要あるを知る

また第十九章に述べたる如く X線 γ 線を物質に當つるとき之より電子が逸出するを認む 紫外線もまたこの性質を

(1) M. Planck 1858—

有す このとき逸出する電子の速度は種々あれどもその最も速かなるものゝ速度は入射線の強さに關係なくたゞその振動数によりて定まる 入射線の強さはたゞ逸出する電子の數に關係するのみなり 入射線の強さを増せば逸出する電子の數は増せど電子の速度は變化せず 殊に奇とすべきは入射線が甚だ弱きとき逸出のエネルギーを得るには多大の時間を要すべきに拘はらず實際には殆んど直ちに逸出を始むることなり アインシュタインは輻射の中のエネルギーが $h\nu$ づゝの團塊をなし之が単位として吸収せられ之が逸出する電子の運動のエネルギーとなると考へたり 恰も往時の粒子説に似たり 但し ν は入射線の振動数を表はす 然らば電子の質量を m 逸出の速度を v として

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

なる關係あるべきなり

この關係は實驗によりて確證せらる たゞ紫外線によりて逸出する場合の速度はこの式にて定まるよりも少しく小なるを常とす 之れ電子の逸出に際して運動のエネルギーの一部が陽核との間の位置のエネルギーとして費さるゝが故なりと解せらる ν の甚だ大なるときには v も甚だ大にして逸出の際に失はるゝエネルギーを殆んど無視し得べしされば X線 γ 線によつて逸出する電子の速度は上式によつて完全に表はさるゝなり なほまた逸出に當りて他の電子に衝突する等の理由より多量のエネルギーを失ひて物質外に出づるものもあるべきが故に逸出せる電子の速度は一定

ならずして速度の小なるものも含まる 上式は最大の速度即ち特に障害を受くることなくして逸出せる電子の速度を定むることとなる

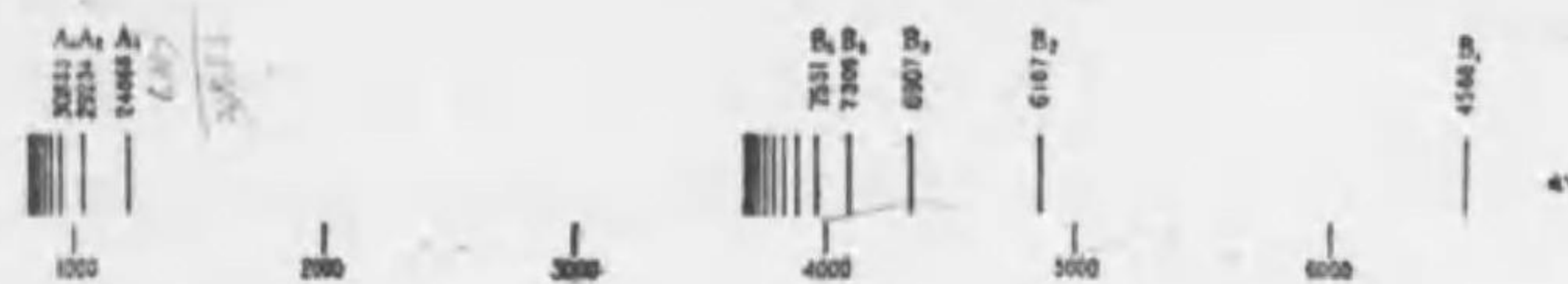
この関係はまた逆に電子の運動によりて輻射を生ずるときにも成り立つものなり 第十九章に述べたる如くにして発生せしめたるX線の中には種々の波長のものを含めど波長の短き側には限りありて之より小なる波長のもの含まず その最短波長に対する振動数 ν は陰極線の速度によりて定まり

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

なる関係あり 此に m は電子の質量にして v は其の速度なり 即ち電子の運動のエネルギーが輻射に変ずるときはそのエネルギーを一単位とせる如き輻射を生ずるなり

此に上式が最短波長に相當せるは輻射の生ずる以前に他の電子に衝突するなどによつて運動のエネルギーの一部を失ふものありて之等の生ずるX線は振動数が少く波長が大なる~~なる~~べし 即ち特に障害を受くることなくして運動のエネルギーが輻射に変ぜるときに前式の関係が成り立つものと考へらる

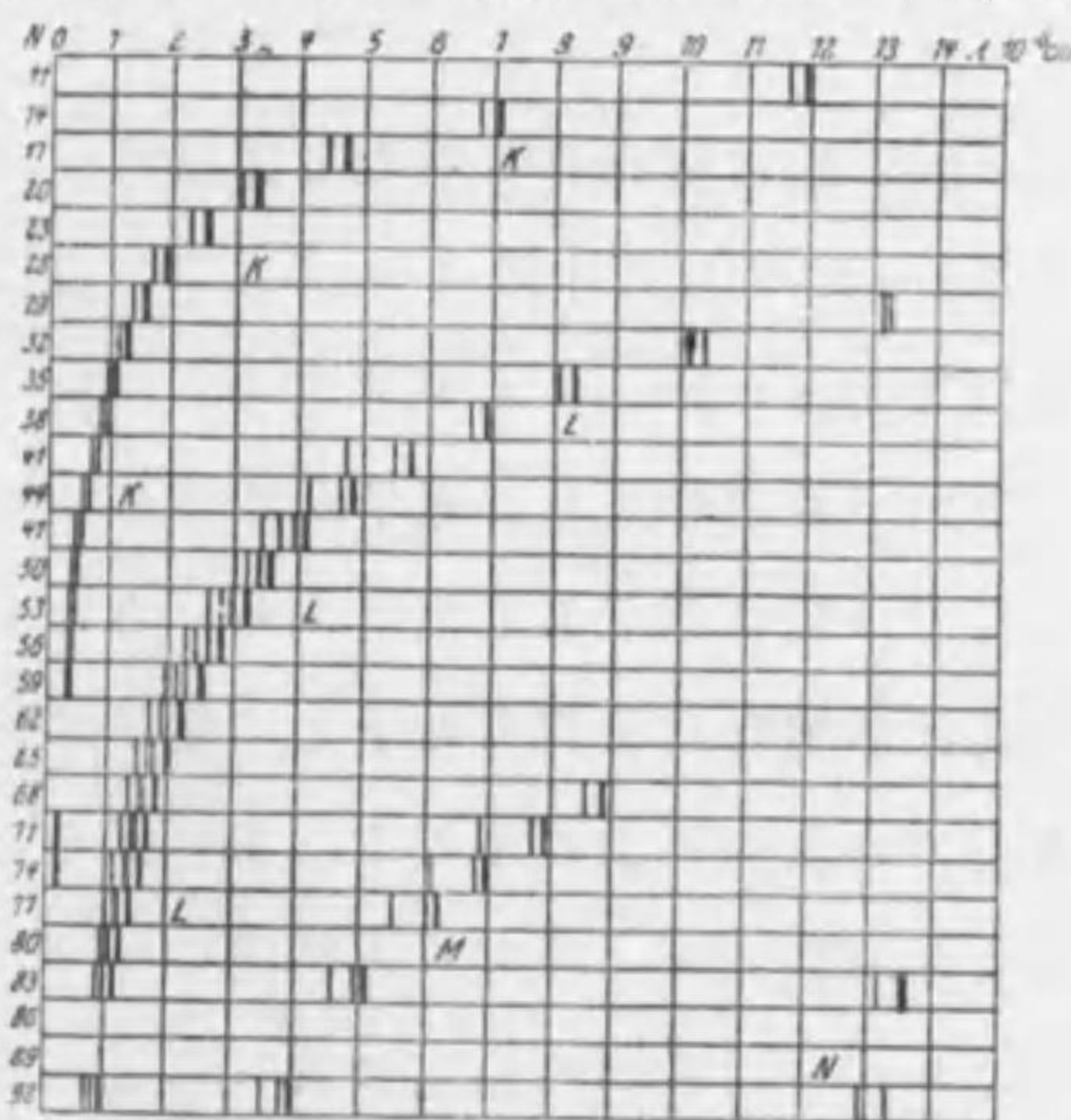
一般に輝線スペクトルには多数の線が現れその配列が複雑なるは既に第十四章に述べたる如し されど水素のスペクトルは圖に示す如く線の數も少く配列も規則的なり 之れ水素の原子が唯だ一個の電子と陽核とより成り構造の最も簡單なる爲にして他の元素のスペクトルが簡單ならざる



下の目盛は波長 単位 10^{-8} 厘米 上の数字は振動数 単位 10^{11} 回/秒

はその原子の構造が複雑せるが爲なり されど複雑なるスペクトルに於ても線の配列に規則的關係のあること最近の研究によつて漸次に明かとなれり

何れの元素のスペクトルに於ても波長の極めて短き部分即ちX線に屬する部分は比較的簡單なり 圖に示せるが



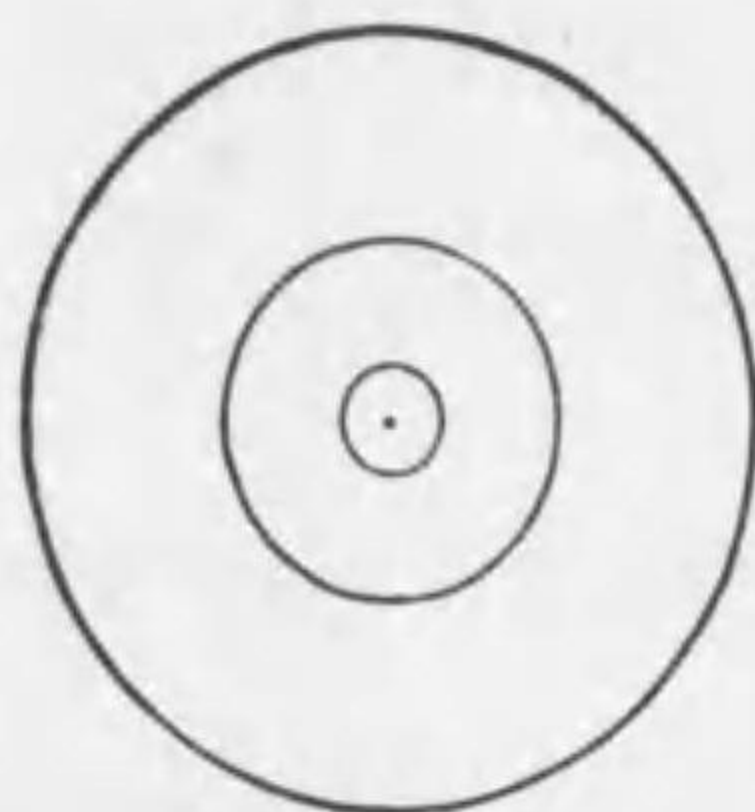
圖の左側の数字は原子番號にして上方の数字は波長を示す 單位は 10^{-8} 厘米なり

如くスペクトルはK L M N等の數群に分れ各群に於ける線の數と配列とは何れの元素に於ても同様なり ただ原子番號の進むに従ひ波長の短き方に移動せり その移動も

全く規則的なり さればX線スペクトルの波長を測定してその元素の原子番號を知るを得

水素の原子に於て陽核の周圍に一個の電子が運行するこ

とは恰も遊星が太陽の周囲を公轉する如かるべし 陽核と電子との引力は公轉の遠心力と釣り合ひて圓運動を生ず



運行の速度が種々なれば種々の半径の圓を描いて運行し得べき理なれどもボーアは軌道の半径が

$$R = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2}$$

にて定まる如き軌道に於ての運動のみ可能にして他の運動は未だ知られざる理由によつて不可能なるものと考へたり ここに n は任意の整数にして量子数と名づく その値に従ひ種々の可能なる運行軌道は圖に示すが如く定まる n が 1 なる半径は 0.532×10^{-8} 厘米にして他の軌道の半径はこの 4 9 16 n^2 倍に當る

更にまたボーアの假定する處によれば電子が之等の軌道の何れかの上にて運行する間は電磁波を輻射することなしされど外方の軌道に於ける運行は安定ならずして電子は何等かの機會あるとき内方の軌道の上に移らんとす 然るに外方の軌道に於て有せし運動のエネルギーと位置のエネルギーとの和即ち全エネルギーは内方の軌道に於ける全エネルギーよりも大なるが故に遷移の際に過剰のエネルギーを外部に電磁波として輻射す そのときの電磁波の振動数 ν は過剰のエネルギー ϵ により

$$\epsilon = h\nu \quad \text{即ち} \quad \nu = \frac{\epsilon}{h}$$

にて定まる

各軌道に於ける全エネルギーを計算すれば二つの軌道間の遷移に際する輻射の振動数と波長を計算し得べし 斯くしてボーアは水素の原子より發し得べき輻射の振動数を計算せしに極めてよく實際と一致して殆んど全く差異を見ず

他の元素の原子に於ては電子の數多くその運動は複雑なるべきも多くの物理學者はボーアの理論を基礎として研究を進めつゝあり 何れの原子に於ても電子の運行が或る條件に適合する若干の状態のみ現るゝものにしてその可能なる状態の一より他へ遷移するとき過剰のエネルギーを電磁波として輻射し其の輻射の振動数はボーアの條件にて定まると考へらる

原子の中のこの如き状態 $a b c \dots$ に於けるエネルギーを考ふれば $a b$ に於ける差 ϵ_{ab} と $b c$ に於ける差 ϵ_{bc} との和は $a c$ に於ける差 ϵ_{ac} に等し 故に原子の状態が a より b に移るとき發する輻射の振動数と b より c に移るとき發する輻射の振動数との和は a より c に移るときに發する輻射の振動数に等しかるべし 即ちスペクトル線の二個の振動数の和が他の線の振動数に等しきことあるべきなりこのことは實際總ての元素のスペクトルに認めらるゝ處にして例へば前圖の水素のスペクトルに於て $A_1 B_1$ の振動数の和は A_2 の振動数に等しく $A_1 B_2$ に於ける和は A_3 の振動数に等し また逆に外より適當なる振動数の電磁波が來るとき之を

吸収して電子がエネルギーの少き軌道よりその多き軌道に移ることあり 之れ吸収スペクトルを生ずる所以なり

また複雑なる輝線スペクトルを説明するには電子が自轉をなすと考ふるを要す 原子内部の電子は自轉をなしつゝ核陽の周圍を公轉すること恰も遊星の太陽に於けるが如し 自轉に伴ひ電子の各部の荷電は自轉軸の周圍に圓運動をなすが爲に第十七章に述べたる如く磁極を生ず 即ち電子は各々微小なる磁石としての作用を有す 常磁性體に磁場を作用せしむるとき帯磁することにつきては物體を構成せる電子の方向が整頓せんとすることも之に關係するものと考へらる

量子論は現今未だ發達の初期にありて完成は將來に俟たざるべからず されど諸學者の考ふる處によれば原子内部に生ずる諸種の變化は連続的に生ずるものにあらずして何等か飛躍的のものあること疑ひなし 從來總ての物理學的變化は何れも連続的に行はるゝ如くに思惟せられしも量子論より考ふれば微細なる飛躍的現象が多數に含まれたるものなるべし

且つ更に最近の研究によるに電子と陽核とが波動の性質を有す 例へば陰極線を結晶の上に入射せしめるときは恰も光を廻折格子に當てたるときの如くに干涉の現象をあらはす ブログリー⁽¹⁾等によれば質量 m 速度 v なる粒子は波長

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

なる波動に相當す 粒子が他より作用を受けずして等速直

(1) L. de Broglie

線運動をなすことは恰も光が一様なる媒質の中にて直線進行をなすが如くまた粒子の運動が他よりの作用によりて變化するは屈折率の變化によりて光の速度と方向とが變化するに似たり 原子の陽核をめぐりて電子が軌道運動をなすことは陽核の周圍に一種の定常波を形成することに相當す 從來波動と考へられたる光が半ば粒子の如き性質を有し全く粒子と考へられたる電子と陽核とが半ば波動の性質を有す 物質の本性に關する概念は甚しく變化しつゝあり

XXIII エーテル

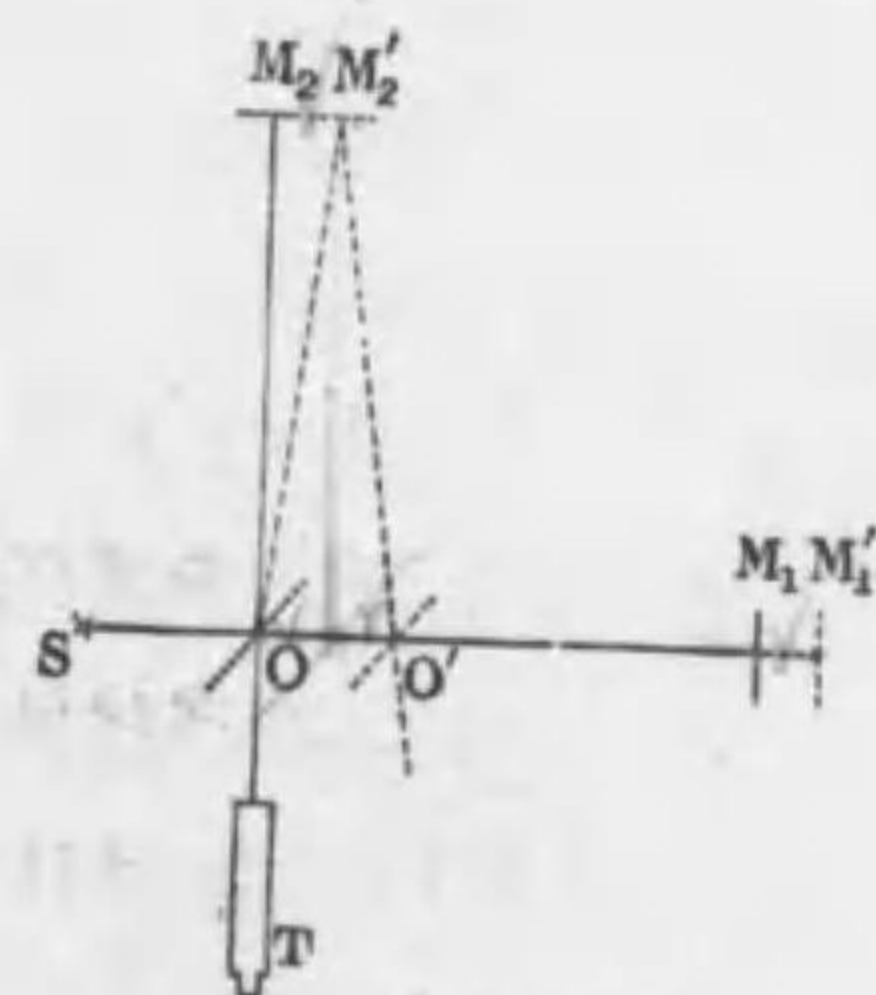
物體の運動を論ずるに通常は地球を不動と考へて標準に取れど地球は太陽の周圍に公轉せるが故に常に甚だ大なる速度にて運動せること勿論なり 天體觀測の結果によれば太陽もまた大なる速度を以て運動すと考へらる 吾人は絶對に靜止せるものを知らず また太陽若しくは地球が如何なる速度を以て運動せるかを知るを得ず

されど物體の運動を論ずる上にはこの爲に困難を生ずることなし 今假に絶對靜止の標準體ありとし且つまた假に地球が之に對して等速直線運動をなせりとせん 一の物體が標準體に對して或る加速度を以て運動せるときは地球に對してもまた同一の加速度を有す されば假令ひ地球が絶對靜止にはあらずと云へども地球上にてニュートンの運動の法則は成り立つべく地球を標準に取りて力學を論ずるを得 地球の運動が等速直線運動ならざれば地球に對する加速度が絶對靜止の標準體に對する加速度と異なるが故にニュートンの運動の法則は嚴密には成り立たざれども地球の運動の加速度が小なれば大體に於て成り立つこととなる 力學に對して絶對靜止の標準體は必ずしも必要なく之に對し等速直線運動をなせる物體は何れも標準體と取るを得 船の運動が一樣ならば船を不動と考へて力學を論ずるも可なり

然るに光學と電磁氣學に於てはまた事情を異にす 既に

述べたるが如く之等に於ては全宇宙に漲り真空の中にもなほ充滿せるエーテルを考ふ 従て必然の結果としてエーテルが物體の運動に伴ふて動くか否かの疑問を生ずべきなりもし物體の運動に伴ふとせば凡ての電磁氣的現象はそのまゝ物體と同一の速度にて移動すべく若しまた物體の運動に伴はずとせば之と異なる處あるべきなり 之に關する種々の研究は皆エーテルか物體の運動に伴はざるを示せり 例へば第十四章に述べたる光の錯行を考ふるに光の進行方向が地球の運動によつて變化せざること示すものにしてエーテルは地球の運動に關係なく靜止するものならざるべからず且つまたエーテルを全然靜止せりと假定して立てたるローレンツの電子論がよく總ての實驗を説明し得たるは最も有力なる證明なりしなり

この如くエーテルが全く靜止せるものなりとせばエーテルを以て運動の標準體を取るべきこと至當にして之に對し



(1) A. Michelson

て運動せると靜止せるとは異れり 適當の方法を用ふればエーテルに對する地球の運動を検出し得べき理なり マイケルソンは之を測定せんとして次の如き實驗を試みたり

光源 S より出でたる光を硝子板 O によつて一部は反射し

他を通過せしめ互に直角なる二途に分つ この光を平面鏡 M_1 と M_2 とによつて反射し再び舊の途を取つて O に還らしめ一方の O を通過せると他方の O にて反射せるとが相合して望遠鏡 T に入る如く装置す OM_1 と OM_2 とが長さ等しきときは双方同一の位相を以て T に到着するが故に互に助け合ひて望遠鏡の視野の中央は明るし

然るにこの全體の装置が速度 v を以て右方に動くときは一方の光の徑路は $OM_1'O'$ となり之を通過する時間は

$$\frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} \quad \text{即ち} \quad \frac{2cl}{c^2-v^2}$$

となる こゝに l は OM_1 OM_2 の長さなり また他方の光は $OM_2'O'$ なる斜の路を取る この路を光の進む速度の OM_2 方向の分速度は $\sqrt{c^2-v^2}$ にしてこの路を通過するに要する時間は

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

なり 兩途に要する時間は等しからざるが故に之に相當して T の中に重なり合ふ光は位相を異にす この時間の差が光の振動の週期の半なれば互に消し合ひ一週期なれば再び助け合ふ

今この装置を全體として水平に回轉し得る臺の上に置き OM_1 を地球運動の方向と考へらるゝ方向に向はしめ望遠鏡の視野を窺ひつゝ漸次に回轉するに途には OM_2 が地球運動の方向に向ひ恰も OM_1 と OM_2 とは地位をを轉換す されば T に於て重なり合ふ光の位相の差の變するに従ひ視野の明

るさの變するを見るべきなり この如くして地球の速度を定めんとせしに實驗の結果は全く否定的にして視野に何等の變化をも認め得ざりき 地球は大なる速度を以て運動せること論なきに拘らずこゝに意外の結果を生じたり

茲に於てローレンツは一の假定を設け總て運動せる物體は速度の方向に $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ の比を以て短縮せるものと考へて此の結果を説明せり OM_1 の長さがこの比に短縮せば $OM_1'O'$ を通過する時間は

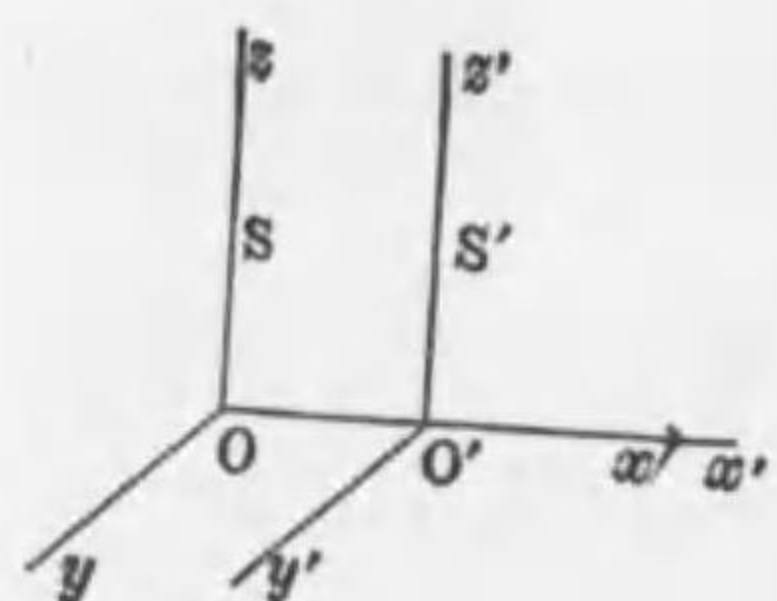
$$\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \left(\frac{l}{c+v} + \frac{l}{c-v} \right) \quad \text{即ち} \quad 2 \frac{l}{\sqrt{c^2-v^2}}$$

にして恰も兩途の往復時間が全く一致して前記の如き結果を得べきことゝなる この假定に於ては物質の如何に拘らずこの如き短縮を生ずと考ふるものにして甚だ大膽なるが如けれど物質が總て電氣的構造を有すとすれば正にこの如き短縮の生ずべきことを電子論によつて豫想するを得るものにして必ずしも奇異なるものにはあらず 實際に於てこの收縮は甚だ小なるものにして地球の公轉の速度を 3×10^8 厘と考ふるも僅に $\frac{1}{200000000}$ の短縮を生ずるに過ぎず 且つ地球上に於ては尺度もまたこの比にて短縮するが故に直接の測定にて之を検出するを得ず なほまた地球上の時計が少しく進み遅く單位時間に對して $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ なる進みを示すとせばこの時計によつて測れる兩途往復の時間が

$$2 \frac{l}{\sqrt{c^2-v^2}} \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \quad \text{即ち} \quad \frac{2l}{c}$$

となり恰も光の見懸けの速度が c なることとなる

假にエーテルに静止せる一の坐標軸 $S(xyz)$ を考へその x の方向は地球の運動⁽¹⁾の方向に取る また地球と共に運動する坐標軸 $S'(x'y'z')$ を考へその方向は xyz と平行し且つ時刻 $t=0$ に於て S' の原点 O' が S の原点 O を過ると



主 従て時刻 t に於て O と O' とは v だけ離れたり 地球と共に運動せるものは尺度もまたローレンツ収縮をなせるが故に x' の方向に測れる長さは過大に現る S に

對し xyz なる一點 P の S' に對する坐標 $x'y'z'$ を求むるに x' は $x-vt$ にあらずして

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

を得 また $y'z'$ の方向には尺度の収縮なきが故に

$$y' = y \quad z' = z$$

なり 之れ兩坐標軸に對する一點の坐標の間の關係なり

更にまたローレンツは時刻の測定につき次の如き考察を施せり 物體の速度加速度等を測定せんとするに最も基本的方法は空間の各點に豫め時計を配置し之によつて發着の時刻を測り徑路の長さと比較するなり このとき各點の時計は凡て同一の時刻を指すが如くによく調整せらるゝこ

(1) 地球の運動は等速直線運動と假定す 自轉は考へず

とを要す 若しこの調整を誤りて各々の時計の指す時刻が一致せざるときは確實なる測定をなし能はざること勿論なり 然るに地球上に於て如何にして各點の時計を調整すべきかの疑問を生ず

若し地球がエーテルに對して静止せりとせば次の如くして時計の調整を行ふを得 各點に各々一人の觀測者ありて互に光を以て信號を交換す A の時計が 0 時を指せるとき A を出發せる光が B の時計の 1 時を指せるとき B に着し逆にまた B の時計が 0 時を指せるとき B を出發せる光が A の時計の 1 時を指せるとき A に着する如ければ双方の時計の一致せるを知る この如くして各點の時計が悉く一致せるか否かを檢することを得べし

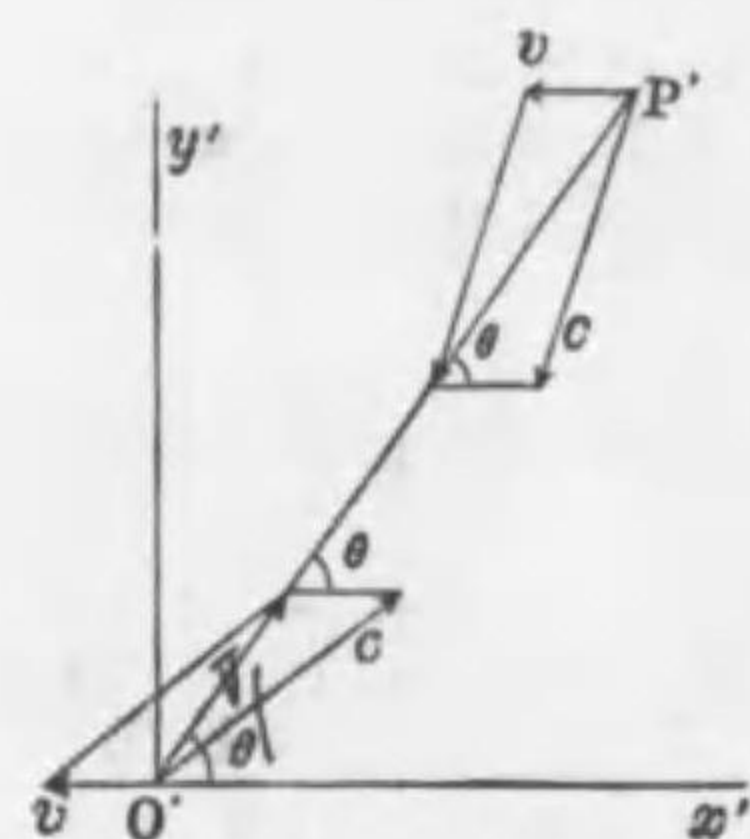
されど地球がエーテルに對して運動せるときはこの方法を用ふるを得ず 地球に對する光の速度は方向によつて異なる 地球の運動の方向に傳はる光は遅く 反對に傳はる光は速し AB が地球の速度に平行に位置せりとするに A より B に至る時間は $\frac{l}{c-v}$ にして B より A に至る時間は $\frac{l}{c+v}$ なり 故に若し AB の觀測者が地球の運動を知らずして上記の如く時計を調整せりとせば B の時計は遅れ A の時計は進む 兩者の間には

$$\frac{1}{2} \left(\frac{l}{c+v} - \frac{l}{c-v} \right) \quad \text{即ち} \quad -\frac{vl}{c^2-v^2}$$

なる時差を生ず もし x' 軸上の觀測者が時刻 $t=0$ に於て

この如き調整を行ひ O' 点にある時計を標準として合はせたりとせば各点の時計が示す時刻は $-\frac{vx}{c^2-v^2}$ なり 此には x' 軸上の諸点を考へたるも一般に他の諸點に於ても地球上の時計の指す時刻はこの如く表はさる⁽¹⁾ 更に t なる時間を経たる後は原點が v だけ移動する故に

(1) 今一般に地球上の O' 点と P' 点とに於て光の信號を交換する場合を考ふるに $O'P'$ の上を光の傳はる相対的速度は光のエーテルに対する速度 c と地球に対するエーテルの速度 v との合成せられたる V_1, V_2 なり 圖は $O'xP'$ の平面を示す 之より明かなる如く V_1, V_2 は次の式にて定まる— V_1 は O' より P' へ V_2 は P' より O' へ—



$$V_1^2 + v^2 + 2vV_1 \cos \theta = c^2$$

$$V_2^2 + v^2 - 2vV_2 \cos \theta = c^2$$

即ち

$$V_1 = -v \cos \theta + \sqrt{v^2 \cos^2 \theta - v^2 + c^2}$$

$$= -v \cos \theta + \sqrt{c^2 - v^2 \sin^2 \theta}$$

$$V_2 = +v \cos \theta + \sqrt{v^2 \cos^2 \theta - v^2 + c^2}$$

$$= +v \cos \theta + \sqrt{c^2 - v^2 \sin^2 \theta}$$

但し θ は x' 軸と $O'P'$ の間の角なり
光が O' より P' に至るに要する時間
と P' より O' に至るに要する時間とは

$$\frac{O'P'}{\sqrt{c^2 - v^2 \sin^2 \theta} + v \cos \theta} \quad \frac{O'P'}{\sqrt{c^2 - v^2 \sin^2 \theta} - v \cos \theta}$$

にして其の差は

$$-O'P' \left(\frac{2v \cos \theta}{c^2 - v^2 \sin^2 \theta - v^2 \cos^2 \theta} \right) = -\frac{2v}{c^2 - v^2} O'P' \cos \theta$$

なり $O'P' \cos \theta$ は P' 点の坐標 x' なり さればこの信號によつて時計を調整するとき生ずる時差は一般に

$$-\frac{vx}{c^2 - v^2}$$

なり

$$-\frac{v}{c^2 - v^2} (x - vt) + t \quad \text{即ち} \quad \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left(t - \frac{v}{c^2} x \right)$$

なる時刻を指すこととなる

この計算には地球上の時計がエーテルに静止せる理想的の時計と同じ率を以て進むものと考へたり もし地球の速度が時計の構造に影響してその進みの率が $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 倍に遅るときは地球上の時計は

$$t' = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) \quad \text{即ち} \quad = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

を指すべきなり

ローレンツは運動の速度によつて物體に收縮の生ずると共に時計の進みにもこの如き影響ありと假定し地球にて實驗をなせる吾人は不識の間にこの如き尺度と時計とを採用せるものと考へたり またローレンツはこの如き尺度と時計とを以て實驗觀測を行ふとき凡ての電磁氣的現象が恰もエーテルに静止して觀測すると全く同様に見ゆべきことを證明するを得たり

例へば光が真空中を傳播する速度は地球上の觀測者が見るもエーテルに静止して見ると異らず 何となれば今 O' が O を過れるときこの點より光を發し之が t なる時間の後 S に対する坐標 x, y, z なる P 點に達したりとすれば

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

なるべし このとき P 點の S' に對する坐標が $x' y' z'$ にしてその位置に於ける地球上の時計の示せる時刻が t' なりしとするに光の見懸けの速度は

$$\frac{\sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2}}{t'} = c'$$

なり 然るに

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad y' = y \quad z' = z \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

なるにより

$$c' = \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{t - \frac{v}{c^2}x} \sqrt{\frac{(x - vt)^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}} + y^2 + z^2 + \frac{(t - \frac{v}{c^2}x)^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = c$$

なるを知る

ローレンツはエーテルに静止せる理想的の時計の示す時刻 t を眞の時刻と考へ運動せる地球の上にて上の如くして定まる假の時刻を局處時と稱へたり

地球上の観測者が自己と共に運動せる尺度と時刻とによりて観測するときは静止せる時計は次第に遅るゝ如く静止せる物體は收縮せるが如く見ゆること恰も静止せる観測者より見るとき地球上の時計は次第に遅れ物體は收縮せるに同じ 上記の如く地球上の時計の示す局處時は

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

にして地球の進む前方に於て眞の時刻 t よりも遅れ後方に於ては之よりも先だてり 従て静止せる一の時計の傍を通過する地球上の時計は漸次に進みたる時刻を指すべし 之と比較せらるゝが故に静止せる時計は次第に遅るゝが如く見ゆ 例へば 0 點に静止せる時計につきて考ふるにこの點にては $x=0$ にして $t=0$ にては $t'=0$ また t なる時刻にては $t' = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ なるが故に t は t' に比して $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 倍に小なり 即ち局處時を標準に取れば静止せる時計の進みは $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 倍に小なり

次に地球上の観測者が静止せる物體の長さを測定する操作を考ふるに先づ観測者は一の尺度を備へ之を物體と平行に置き物體の兩端が尺度の何れの點と一致するかを見るなり されどこの場合に尺度は運動せるが故に兩端にて目盛りを読み取る時刻に注意せざるべからず 同一の瞬間に於てするにあらざれば正しき結果を得る能はず 然るに地球上の局處時は前方に於て眞の時刻よりも後れ後方に於て先だてるが故に局處時によりて測定を行ふとき後方の目盛りを読むは早きに失し前方の目盛りを読むは遅きに失す 其の間に尺度は前進するが故に物體の兩端に相當すと見たる尺度の長さは物體の長さよりも小なり 即ち物體は短きが如く見ゆ

今假に地球上の尺度の x なる長さを考ふるに其の兩端に於ける局處時には $\frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{v}{c^2}x$ なる差あり 即ち後端の時計が或る時刻を指せるより之だけの時間を経たる後前端の

時計が同じ時刻を指す 但し地球上の時計は進みが
 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ 倍に緩かなるが故に實際にこの時間は

$$\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \frac{v}{c^2} x \quad \text{即ち} \quad \frac{v}{c^2-v^2} x$$

なり この時間に尺度の前端は $\frac{v}{c^2-v^2} xv$ だけ前進すべき
 が故に測られたる物体の長さは

$$x + \frac{v^2}{c^2-v^2} x \quad \text{即ち} \quad \frac{x}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

なり 然るにまた地球上の尺度はローレンツ収縮によりて
 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ の比に短きが故に實際に x なる長さは $\frac{x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ なる
 長さとして現る 静止せる物体の $\frac{x}{1-\frac{v^2}{c^2}}$ なる長さが
 $\frac{x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ なる如くに測らるゝことゝなる 即ち $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$
 の比に収縮せる如く見ゆ

XXIV 相 對 論

上記の如くしてローレンツはマイケルソンの實驗を説明
 するにローレンツ収縮を假定し且つまた局處時を採れば地
 球の運動が電磁的現象の何れにも現れざることを證明せし
 も根本に於てエーテルと絶對時刻とを肯定せり 然るにア
 インスタインは全く別種の考察によつてローレンツ収縮と
 局處時とが正に當然なるを示せり 其の考ふる處によれば
 互に等速直線運動をなせる観測者は全く對等の地位にある
 もにして何れを静止せりと云ひ何れを運動せりと云ふべ
 きものにあらず 一切の物理的現象の法則は何れの観測者
 に對しても同一なり 之を一の根本原則と考へ相對性原理
 と名づけたり

互に等速運動にある $S S'$ が何れも眞空に對して對等の性
 質を帯ぶとすれば S' より見たる光の傳播は S より見たる光
 の傳播と同じからざるべからず マイケルソンの實驗に於
 て光が兩路を往復する時間に差異のなきは當然のことなり
 之が爲にローレンツ収縮は必然的に要求せらる 且つ S と
 S' とに於てこの如き尺度を使用して光の速度を同じと見る
 べき爲には速度によつて時計の進みの變化あるべきもまた
 必然的に要求せらる また各々の観測者は自ら静止すと考
 ふべきが故に自然に採用せらるゝ時刻はローレンツの局處
 時なり

この原理によつて考ふればエーテルに静止せるものも等速直線運動をなせるものも物理學的には全く對等にして何等の區別なし 然らば即ちエーテルはたゞ假定せらるゝのみにして之を認むる能はざるものなり 之を假想するは寧ろ不合理と云ふて可なり この故に相對論に於ては曾て考へられたる如き物質的のエーテルを考ふることなし 電場磁場等の傳播は物理的空間の根本性質なりと考ふ

各々の觀測者はその局處時を標準とすべく時刻の規定も絶對的に定まれるものにあらず 處を異にして生ぜる二つの事象は或る觀測者に同時と認めらるゝとも之に對して運動せる他の觀測者には前後して生ぜりと認めらる 時刻が全宇宙を通じて先天的に定まれりと考ふる舊來の素樸なる思想は相對性原理と相容れざるものなり

時刻の規定の複雑となり尺度にローレンツ收縮のある結果として速度と加速度にも種々の複雑なる關係を生ず 例へば地球に對して v なる速度にて進行せる船の中に人ありて船首に向ひ船に對して v' なる速度にて歩むとす その人の地球に對する速度は通常の考へによれば $v+v'$ なり されど船の中にて人の速度を測定する際の時刻と尺度とは地球に對する船の速度を測定する際の時刻及び尺度と異なるが故に直ちに v と v' とを加へ合はすを得ずして更に複雑なる換算を要す 計算の結果によれば人の地球に對する速度は

$$\frac{v+v'}{1+\frac{vv'}{c^2}}$$

となる 即ち船より見て v' なる速度は地球より見て

$$\frac{v+v'}{1+\frac{vv'}{c^2}} - v$$

なる速度に當る

またこの人が船に對し始め静止したりしものが加速度を以て進行し暫時の後 v' なる速度を得たりとするに速度の増加及び其の間の時間は上記の如く船より見たると地球より見たると等しからず 従て加速度の大きさも船より見たると地球より見たると異れり

速度加速度の複雑なる關係と共に在來の力學にも修正を要することゝなる 在來の力學の法則は互に等速運動をなせる觀測者に對して同一なる如きもこれ各觀測者が同一の時刻を用ひ尺度の長さも同一なる場合なり 各觀測者の採用する時刻と尺度とが上の如く異るとき在來の力學の法則に對しては各觀測者の地位が對等なるを得ず 之等に関する研究はこゝに詳述するを得ざれども相對論によつて力學を修正せる結果は總て物體の慣性が速度に關係し速度の方向に加速せらるゝ場合には

$$\frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{縦質量}$$

速度と直角の方向に加速せらるゝ場合には

$$\frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{横質量}$$

なる質量を呈することゝなる。こゝに m は速度 v が小なる場合の質量なり。之を其の物体の静質量と云ふ。速度の増すに従ひ慣性は増加し光の速度に近づくとゝも無限大となる。物体に絶えず力を作用せしむるもその速度は光の速度を超ゆることなし。

この結果はローレンツが電子の電磁的質量を計算して得たる結果と一致せり。相對論によれば電磁的質量のみならず凡ての質量が斯くあるべきものなり。されど通常の場合には如何なる物体の速度も光の速度に比すれば甚しく小なる爲 $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ は殆んど1にしてこの如き影響はなしと見て可なり。たゞ放射物質より出づる β 線の電子は速度極めて大にして光の速度に近し。之が爲に其の質量は静止せる電子の質量に比して大なるべし。實際の測定によつてもこの如きこと確めらる。

物体の運動に限らず凡て物理的作用の傳播するは光より速かなるを得ずと考へらる。光の速度は恰も無限大の速度の如し。

また相對論によれば凡てエネルギーあれば必ず慣性あり。Eなるエネルギーはその種類の如何に拘はらず $\frac{E}{c^2}$ なる質量を有すべきことゝなる。物体が慣性を有することは物体の中に種々の形にて含まるゝエネルギーによるものと考へらる。質量不変の法則はエネルギー不減の法則の一面に過ぎず。

上記の理論に於ては相對的に等速運動をなせる系統につ

きてのみ考へ加速度を有するものは除外せり。アインシュタインは更にこの推論を加速度を以て運動せる系統にも擴張し其の結果として萬有引力につき種々の結論を得たり。

今こゝに一の大なる箱ありて何等の外力をも受くることなく空間に浮べりとす。其の中にある観測者は總ての物体が或は静止し或は等速直線運動を續くるを見るべし。然るにこの箱の一方に外より糸をつけて一定の力を以て引くものあれば箱は等加速運動を始む。箱の内に静止せし物体は其の位置に止まるにより遂には箱の底部に衝突す。箱と共に運動せる観測者が之を見るときは恰も物体が加速度を以て箱の底に落下せるが如し。始めに等速直線運動をなせしものもまた加速度を以て底に向ふが如く見ゆ。箱の底が物体に達したるときは物体を押して自己と等しき加速度を物体に與へざるべからざるが故に反作用として物体は底面に壓力を及ぼす。箱の中なる観測者には凡ての物体が其の質量に比例せる力を以て底に向ひて引かるゝが如く見ゆ。観測者が箱の外を見ざるときは箱が或る加速度を以て上方に動けるか或は箱が静止して重力が下方に作用せるかを判定する能はず。

アインシュタインは凡ての現象に於てこの如き運動せる観測者より見たる結果が恰も重力場の作用の下に生ずる現象を静止せる観測者が見たる結果と同一なりと考へたり。萬有引力の作用が物体の構造組成等に関係なくたゞ慣性に比例せる力を及ぼすこともこの如く考ふればよく了解するを

得 萬有引力の作用なき場合の法則が知られたるときは加速度ある観測者より見たる現象はたゞ計算によつて推論するを得 次に之を萬有引力の下にある静止観測者が認むる現象と考ふれば萬有引力の影響を數理的に導くを得るなり

今二つの坐標軸 S S' ありて S は静止し S' は加速運動をなし加速度の方向は x 即ち x' の方向に向へりとす O' が O と一致せし瞬間に O 點より z 方向に光を發すればこの光は常に z 軸の上にある 然るに S' は次第に右方に進むが故に光は漸次に後方に遺され S' の速度の大なるに従つて其の度益々大なり されば S' より見るとき光の徑路は後方に曲れる曲線をなす 之れを S' が静止して $-x'$ の方向に重力の作用せる場合に等しと考ふるが故に光は重力の作用を受けて方向を變ず 地球の重力による方向の變化は小なるべきも太陽の周邊に於ては其の大なる引力によつて観測し得べき程度に達す 精密なる天文觀測の結果は之を確證するものゝ如し

運動せる観測者の時刻は後方ほど進み前方ほど後れたること己に述べたる如し S' が O と O' との一致せる瞬間より等加速運動を始めたりとす 最初未だ速度の大ならざるとき時計を調整せば正に S の時刻と一致すべし 然るに暫時を経て大なる速度を得たる後に再び時計の正否を検するにこのとき前方の時計が遅れ後方の時計が進み居るにあらざれば其の速度に對する時刻を示さず 然るに S' の時計は何れも區別なきが故にこのときまでの進みは同一なり され

ば S' の観測者は後の調整に際して前方の時計が進み過ぎ後方の時計が遅れ居るものと見るべし 之に相當して重力の影響を受くるとき下方に位置せる時計は進み遅く上方に位置せる時計は進み速し なほ時計の進みに限らず一切の現象にこの如き遅速を生ず

原子は自然の時計にして其の發する光の波長は内部に行はるゝ現象の週期を示す 太陽の如き大なる重力の下にある原子より發する光のスペクトルは上記の理論に従ひて週期の小なる側即ち赤色の側に變位すべきなり

更にアインシュタインが物質によつて生ずる萬有引力場を相對論より考察せる結果は従來說明し得ざりし水星の運行等をもよく説明するを得たり

附 録

この附録は佐藤氏の注意によつて本文中の欠を補へるものなり

第 8 頁第 3 行 $\frac{d^2x}{dt^2}$ を $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ と混同すべからず 後者は第一階微分係数 $\frac{dx}{dt}$ の二乗にして前者即ち第二階微分係数とは全く異なるものなり $\frac{d^2x}{dt^2}$ が加速度なれば $\left(\frac{dx}{dt}\right)^2$ は速度の二乗を意味す

X 第 16 頁第 20 行 人が車を押して動かさんとするとき車は逆に人を押し返さんとす されど車を押す力は人に作用するものにて車に作用するものにあらず 若し車と地面との間に摩擦なければ車の受くる力は人が押す力のみなり 従て車は押さるゝ方向に動く 車は車が受くる力によつて動くものにて此のとき人が如何なる力を受け如何に動くかには關係なし 人は車に押し返さるゝも他方に於ては脚を以て地面を後方に押し其の反作用として地面より前方に押さるゝが故に人は車が押し返さんとする力と地面より押し進めんとする力と二つの力を受く 後者が前者に勝るときは人もまた前進す もし脚の力が弱きか地面が餘りに滑らかなれば人は充分の力を以て地面を後方に押すこと能はずして従つて地面より前方に押さるゝを得ず この場合には車を押すと共に人は後退す 作用と反作用とが同一物體の上に作用する如くに誤解せざるやう注意を要す

第 22 頁第 4 行 l の前の符號が正なるときは x が正なるときに x の正の方向に向ふ力が作用し x の負なるときに x の負の方向に向ふ力が作用す 即ち物體が静止の位置を離れたるとき益益其の方向に遠ざけんとする力が作用することゝなる 物體が不安定の位置にあるときはこの如し

第 24 頁第 9 行 x は $a \cos(nt - \epsilon)$ と表はす代りに $a \sin(nt - \delta)$

とも表はし得べし 但し $\varepsilon + \frac{\pi}{2}$ とす 何となれば

$$a \sin\left(nt - \varepsilon + \frac{\pi}{2}\right) = a \sin\left[\frac{\pi}{2} - (-nt + \varepsilon)\right] = a \cos(-nt + \varepsilon) = a \cos(nt - \varepsilon)$$

なり 正弦函数も餘弦函数も同じ性質のものにて唯だ位相の異なるのみなるが故に何れの形にも表はすを得

第21頁第17行 m が分子に k か分母に現はるべきことは常識を以て考へ得べし 物體の質量が大なれば發條の力を受くとも容易に動かず振動は緩かなり 發條の力強ければ物體を動かすこと容易にして振動は急なるべし

第47頁第13行 張力壓力と云ふは界の面の一の側の物質が他の側の物質に作用する力にして界の面そのものに作用するにあらず 引き合ひまたは押し合ふ兩側の力は作用と反作用にして大き相等し

第75頁第4行 故に蒸發は如何に温度低くとも行はる また蒸發により比較的速度の小なる分子が残る故に外より熱を加へず自然の蒸發に委すときは液體の温度は次第に下る 液體を同じ温度に保ちつゝ蒸發を続けしむるには外より熱を加へざるべからず 之れ前記の蒸氣熱なり アルコールを手を塗るとき冷感を感ずるは之による オンネス K. Onnes は液體ヘリウムを盛に蒸發せしめて非常の低温攝氏 -272 度にも達するを得たり 絶對零度即ち温度の最低極限は -273.1 度と推定せらるゝが故に之より1度にまで近づき得たるなり

第75頁第17行 このとき液面より逸出する分子の数は液上の空間が水の蒸氣のみにて充たさるゝ場合も他の氣體の混入せる場合も同様なり 飽和のときの水蒸氣の壓力は他の氣體の有無に關係なし

第92頁第10行 本文には水とアルコールとの混合を例に取りたれど之等の混合することにつきてはなほ分子間の相互作用を考へざるべからず 水と油の如きはこの作用によつて混合を妨

げらる また或る程度まで混合し溶解限度を示す場合あり 二つの液體の代りに二つの氣體例へば酸素と窒素との混合を考ふれば更に簡單にして分子の相互作用を考ふるの要なし

第132頁第16行 イオンとは一般に電子若干を失ひたるまたは過剰に有せる原子或は原子の群團を云ふものなり Ca^{++} は原子二個を失へるカルシウム原子にして Cl^- は電子一個を過剰に有せる鹽素原子なり また SO_4^{--} は硫黄原子一個と酸素原子四個とが一群となり電子二個を過剰に有せるものなり されど水中にては之等のイオンの周圍に多數の水の分子が附着せるものと考へらる なほ電子一個も之が單獨に游離するときは陰イオンと稱することあり

第143頁第11行 實際には此の接觸點に於ける作用が更に複雑なるものと考へらる こゝにはたゞ簡單なる説明に止む

第172頁第6行 電磁波の電場が針金に直角なるとき通過し平行なるとき通過せざるは一見奇なるが如けれど之れ電磁波を普通の彈性的波動と混同せるが爲なり 電場が針金に平行なるときは針金の中に電子の運動を生じこの電子の運動によりて電磁波の反射と吸収とを生ずること次頁に説くが如し 之が爲に電磁波は通過せず 電場が針金に直角なるときは針金の中にて電子の運動を生じ難く従て反射吸収を生ずることも少し 即ち電磁波は通過し易し

索引



<p> 壓力..... 47 大氣の—..... 56 臨界—..... 83 光の..... 177 アルキメデスの原理..... 55 α線..... 186 イオン..... 132 異方體..... 53 陰極線..... 180 運動..... 1 圓—..... 25 回轉—..... 40 —の方程式..... 15 運動量..... 17 —の能率..... 38 X線..... 175 エーテル..... 109 遠心力..... 26 オームの法則..... 146 音波..... 105 音階..... 106 温度..... 70 絶対—..... 80 臨界—..... 83 ガイスレル管..... 179 廻折格子..... 121 可逆的變化..... 90 角速度..... 26 加速度..... 6 干涉..... 107 </p>	<p> 慣性..... 12 慣性能率..... 40 γ線..... 186 氣體寒暖計..... 71 共鳴..... 27 キルヒホーフの法則..... 123 屈折..... 102, 110 複—..... 128 屈折率..... 102, 110 クーロンの法則..... 129, 152 原子..... 44, 131 —の質量..... 182 —番號..... 183 ケプレルの三期..... 32 結晶..... 128, 194 光電効果..... 176 剛體..... 39 收差..... 117 週期率..... 187 磁氣..... 152 —感應..... 155 磁性體..... 155 磁場..... 153 自己感應..... 165 仕事..... 61 質量..... 14 —の中心..... 36 電子の—..... 182 陽核の—..... 183 電磁的—..... 183 </p>
---	---

131
録 2

索引

エネルギーの—	177	電池	145
縦質量と横質量	185, 217	著—	150
振動	22, 105	電場	133
重力	18, 30	電流	141
重心	36	等性元素	191
焦点	114	等温變化	84
ジュールの熱	149	動電力	142
蒸發熱	76	ドブレル効果	108, 124
スペクトル	121	ニュトン	
輝線—	124	—の第一則	11
連続—	124	—の第二則	12
吸収—	124	—の第三則	17
X線—	124	熱機關	88
亡り	52	可逆—	89
赤外線	122	熱線	122
相互感應	166	熱力學の第二則	87
速度	2	粘性	57
波動の—	96, 97, 98	能率	37
光の—	126	線質	110
單位		倍振動	105
靜電—	130	波面	98
電磁—	130	反作用	17
單振子	32	反射	100, 110
彈性率	48, 51	全—	112
斷熱變化	84	萬有引力	28, 220
蓄電器	139	ビオサバールの法則	156
地震	106	比熱	73
デューロンブチーの法則	74, 197	表面張力	58
抵抗 (電氣)	146	ファンデルバルの式	81
定常波	103	沸騰點	77
電信	137	フィゲンスの作圖法	98
電子	131	フックの法則	48
—の荷電	181	分極	150
—の質量	182	分散	113
電磁波	170	分子	44

索引

プランクの定数	196	膨脹率	71
B線	186	マイケルソンの實驗	205
ペルチエー効果	144	融解點	76
ペルヌイの定理	57	融解熱	76
偏光	127	遊星の運動	33
ボイルシャルルの法則	54, 80	陽核	131
放射物質	186	ローレンツ收縮	207

版權所有

著者	發行者
	

著者 山田光雄

發行兼印刷者 內田作藏

東京市日本橋區大傳馬町二・一六

印刷所 秀英舍

東京市牛込區市谷加賀町一・一二

大正十五年五月十二日印刷
大正十五年五月十五日發行
昭和二年一月十五日訂正第二版印刷
昭和二年一月十八日訂正第二版發行
昭和四年二月十五日訂正第三版印刷
昭和四年三月十八日訂正第三版發行

物理學大要與附 定價金貳圓五十錢

發行所

內田老鶴園

東京市日本橋區大傳馬町二丁目十六

〔振替東京一二一四六番〕
〔電話漢花一三三五番〕

老鶴園發行參考書

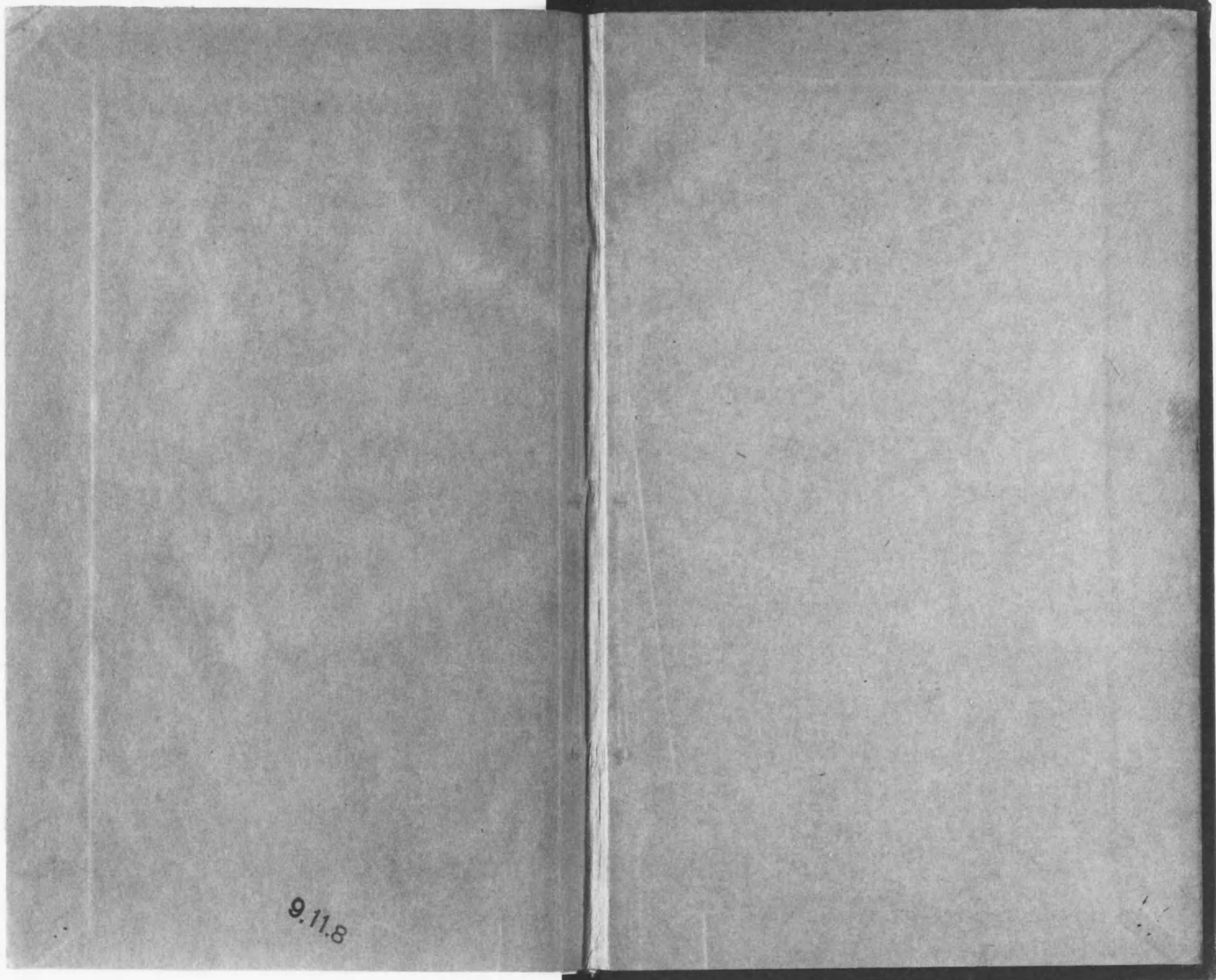
本多光太郎氏著	物理學通論	增訂改版 第九版	定價 8.00	頁數 27
川北清氏編	物理學上卷(力學・物性)	最新刊	6.00	27
川北清氏編	物理學中卷	近刊		
玉城嘉十郎氏著	質點及剛體の力學	最新刊	3.50	27
玉城嘉十郎氏著	彈性體及流體の力學	近刊		
山田光雄氏著	物理學大要	訂正 第二版	2.50	18
庄司彦六氏共著 佐藤充氏共著	高等物理學計算問題集	增訂 第二版	2.50	18
本多光太郎氏著	物理學詳解講義	四十八版	2.50	27
福井私城氏著	質疑復習用物理學	新刊	2.80	18
福井私城氏著	新式實用對數表		.50	4
竹内時男氏著	四季の物理學	春夏 の巻	2.80	18
竹内時男氏著	四季の物理學	秋冬 の巻	3.50	18
竹内時男氏著	量子論(附、プランク)	第五版	1.20	12
竹内時男氏著	アインシュタインと其思想	第七版	1.20	12
竹内時男氏著	電子論(無線用) (真空管球)	第二版	1.00	12
竹内時男氏著	新原子論講話	最新刊	1.50	12
助川巳之七氏著	原子構造論	最新刊	2.50	18
福田爲造氏著	色光 應用材料強弱學	第二版	1.7	12
本多光太郎氏著	鐵及鋼の研究第一卷	第五版	4.50	27
本多光太郎氏著	鐵及鋼の研究第二卷	第二版	3.00	27
本多光太郎氏著	鐵及鋼の研究第三卷	最新刊	4.50	27

老鶴園發行參考書

○ 本多光太郎氏著	鐵及鋼の研究第四卷	最新刊	定價 5.00	頁數 27
日下部四郎太氏共著 菊田善三氏共著	天文學汎論	第二版	7.50	27
田邊尙雄氏著	最近科學上 より見たる音樂の原理	增補 第四版	5.00	27
櫻井鏡二氏共編 高松豊吉氏共編	化學語彙	增訂 第三版	2.00	16
○ 片山正夫氏著	化學本論	改訂 第九版	10.00	36
近重眞澄氏共著 村上武次郎氏共著	無機化學實驗法詳解	第二版	6.00	27
塚本又三郎氏著	近世無機化學講義	最新刊	7.80	36
加納清三氏著	近世有機化學講義	近刊		
石尾貞朝氏著	生物化學	最新刊	5.00	27
石尾貞朝氏著	最新 嗜好品 營養品製造化學	第三版	8.50	36
森山剛一郎氏著	合成化學上卷	近刊		
森山剛一郎氏著	合成化學下卷	近刊		
關根重治氏共著 赤井左一郎氏共著	香料製造化學	訂正 第三版	7.50	27
西澤勇志智氏著	新兵器化學 毒ガスと けむり	最新刊	5.00	27
山田光雄氏譯	ローレンツ微分積分學	第二版	10.00	36
カールスロー氏著 竹前源藏氏譯	フーリエ級數積分論	最新刊	7.50	27
池田芳郎氏著	應用數學	第二版	3.20	27
梶島二郎氏著	非ゆくりど幾何學	第四版	3.30	27
山崎榮作氏著	最新 平面幾何學講義	最新刊	3.50	27
山崎榮作氏著	解析平面幾何學講義	近刊		
山崎榮作氏著	高等代數學通論	增訂改版 第二版	7.50	27

老 鶴 圃 發 行 參 考 書

早坂一郎氏著	日本地史の研究	訂正 第二版	5.50	27
岩崎重三氏著	日本鑛石學 第一卷 石炭篇	增訂 第八版	6.50	27
岩崎重三氏著	鑛物鑑定岩石地質表	增訂改 第十版	5.00	18
石川光春氏著	植物の構造と生殖	增訂 第四版	3.50	27
石川光春氏著	趣味の植物春秋	最新刊	3.20	18
岡村金太郎氏著	趣味か ら見た 海藻と人生	第二版	3.80	18
阿部余四男氏著	現代の遺傳進化學	增訂改 第三版	3.00	18
~~~~~				
須藤新吉氏著	論 理 學 通 論	最新刊	4.80	27
須藤新吉氏著	論 理 學 綱 要	訂正 第二版	1.50	18
須藤新吉氏著	ヴァントの心理學	第七版	3.50	27
ミュンステルベルク著 村田勤氏譯	心理學と健全なる社會生活		2.50	18
エ、ベルクマン氏著 高橋 勲二氏譯	現代思潮の基礎		2.50	18
○長岡保太郎氏譯	タルド社會法則論		1.80	18
鷺山第三郎氏譯	エドワードブラトーン のケアード宗 教 思 想		2.50	18
ブラッドリー氏著 鷺山第三郎氏譯	シェイクスピア悲劇の研究	第二版	5.50	27
ハアゲマン氏著 新 關 良 三 氏 譯	舞 臺 藝 術 演劇の實 際と理論	最新刊	5.50	27
山岸光宣氏著	藝 術 と 藝 術 家	第二版	3.80	27
フランク、テイス著 永 田 龍 雄 氏 譯	舞 踊 理 論		4.50	27
永田龍雄氏著	泰西舞踊十二講		4.50	27
橋 高 廣 氏 著	映 畫 劇 と 演 劇		2.80	27
日本幼稚園協會編	幼兒に聽かせるお話	第四版	3.80	27
日本幼稚園協會編	幼兒の楽しむお話	最新刊	2.80	18
西條八十氏著	抒 情 哀 小 曲 集	唱 第六版	1.70	12



9.11.8

46-2951



1200501260078

6  
95

終