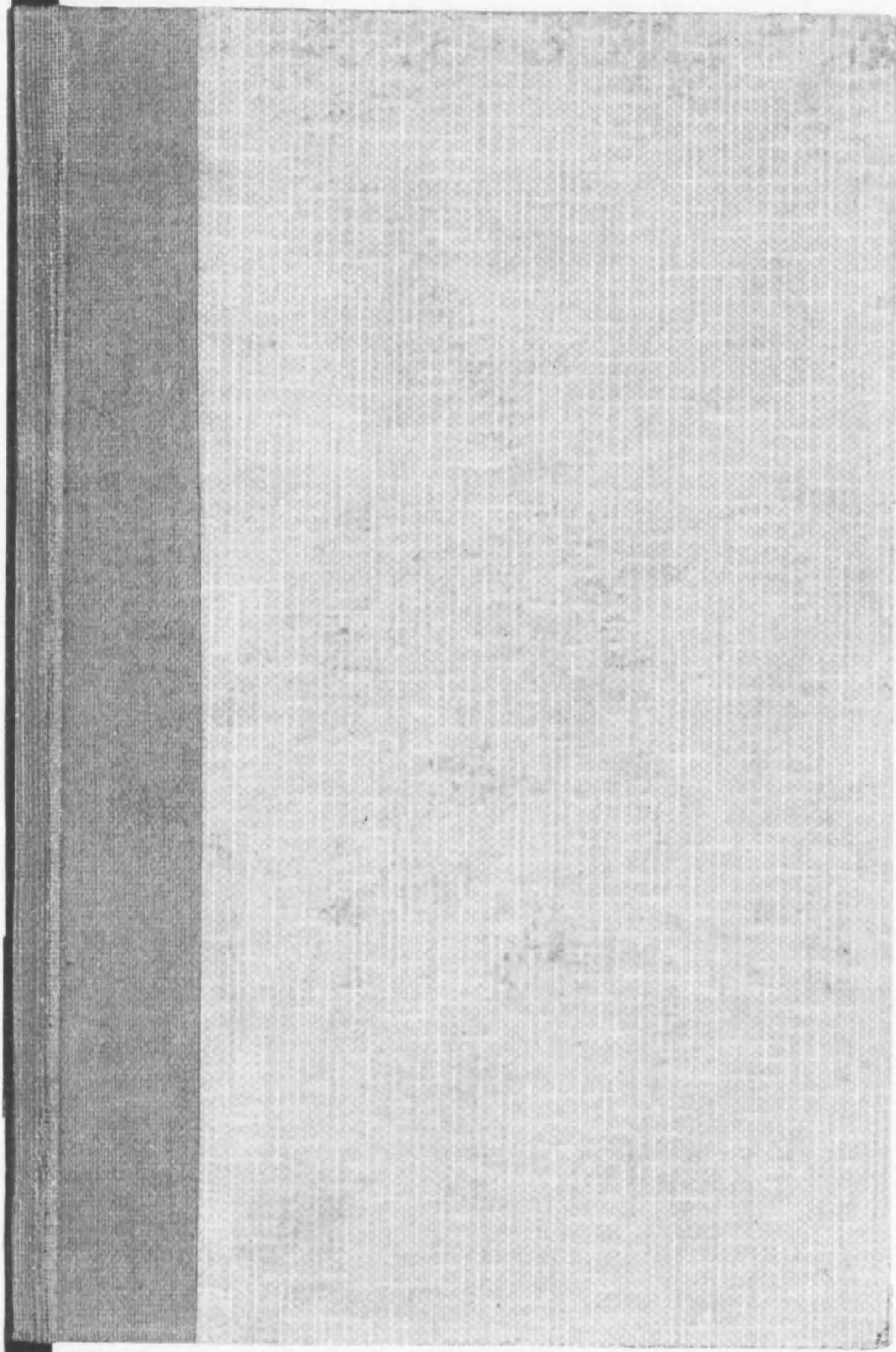


始



46  
479

25. 11.30

工-3632

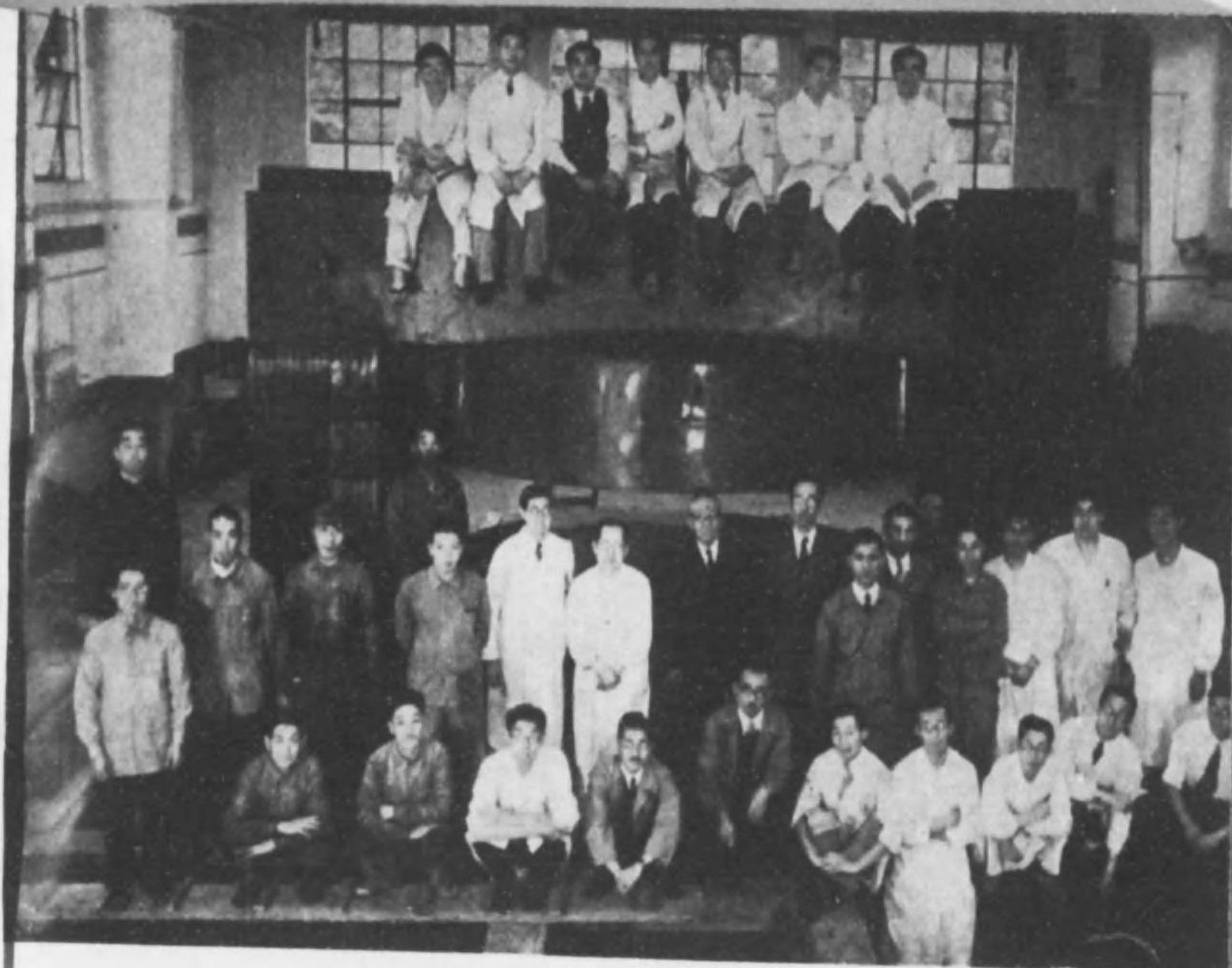
解説・原子核の物理

竹内時男著

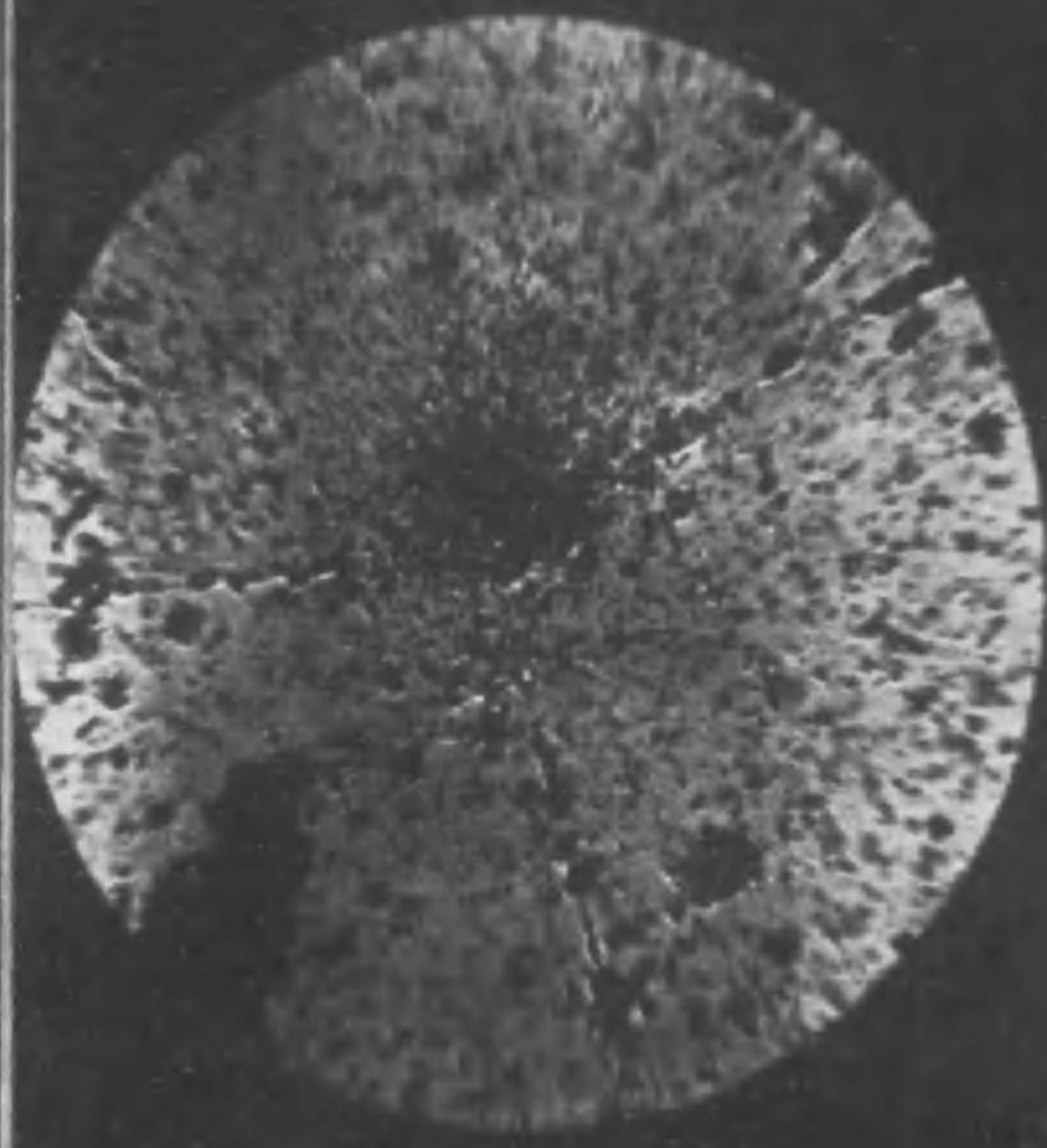


科学主義工業社  
東京・大阪・名古屋





理化學研究所で完成に近づいた  
世界一大サイクロトロン



特殊寫眞乾板上に印像された  
宇宙線による原子の破壊

46  
479

## 序

物理学の最尖端を行くものは原子核物理学である。この中には、原子の人工轉換、重水、宇宙線、湯川粒子等の諸問題が取扱はれる。現代知識人のサロンに限り無き話題を提供し、又日刊新聞紙面を常に賑はす題目に満ちてゐるのである。

余が本書を企圖した時は、外國にすらこの方面の成書が無かつた。内外に始めての書物を作らうと考へたのである。そしてその書物も専門家の參考資料としてよりは寧ろ知識人への贈物にし度かつた。専門家は絶えず學術雜誌によつて日新の消息に觸れてゐるのであるから、何等事缺かぬ筈である。

この書は、諸種の事情で出版が著しく遷延した。その間に外國から二、三の書物が出來た。しかし日本では依然尠である。十分意に満たぬ點もあるが、曲線に暮れ、數字に明かす今の生活に於ては、これ以上完成する時間を持たぬのである。希くは本書によつて斯界の大勢を知り、科學人としての教養を忘れられなければ誠に有難いことに思ふ。一言序として述べる。

工學士稻井 猛氏の助力をも併せて感謝する。

昭和十五年二月

著 者

## 目 次

錬 金 術	1
ラヂウム	6
人工ラヂウム	11
原子核の物理學	15
放射能研究の過去及び現状	47
アルファ粒子	59
中 性 子	65
人工放射能	70
放射能の乾板研究	75
原子核研究の最近情勢	79
ナトリウム人工放射能	81
ラヂウム鑛	105
特 論	108



「水銀から金が出来、更にうまく行くと、そこらの石塊が皆、金になるかも知れない。」

これ勿論鍊金術者の夢である。さう棚牡丹式にうまく行く筈はないが、現代の鍊金術では、元素が合成出来るだけではない、ラヂウムのやうに放射する食鹽や、我々の地球上に未だ発見されない新しい元素まで創られようとしてゐる。

慾の深い連中は古くからあつたもので、鍊金術といふものはその起源が遠いのである。

昔ギリシアにアナキシメネス、アリストテレス等といふ哲學者が出て、世界の根元は、空氣、水、土、火であると唱へた。インドでも、地、水、火、風の四大原がいはれ、支那に於ても木、火、土、金、水の五行説が唱へられて今日の易の根幹をなしてゐる。

ギリシア以後 1,300 年以上も経つて、上の四元説に硫黄と水銀とが加へられ、金属といふものは、水銀を多く含む程貴金属になるといふことが人々に信せられるやうになつた。そこで錬金術といふものが盛んに起つて來た。この錬金術は不成功に終つたが、これが化學を創造した。そして今から 100 年程前に今日のやうな物質の微粒子説が生れたのである。

次に、微粒子説に就いて述べよう。

物質といふものを機械的に叩いたり砕いたりして行くと、最後にこれ以上分け得ないといふ粒子になる。これが分子であることは誰も知つてゐる。

今度は分子を化學的に分解して行くと、又これ以上分解出来ない粒子になる。これが原子である。分子が 1 種類の原子から出来てゐるものを元素といひ、2 種以上集つて出来てゐるものを化合物といふ。然るに昔から、この元素といふものは永久不變のものであると思はれてゐた。ところが此處に一大発見が、しかも婦人の手でなされたのである。

それは Curie 夫人のラヂウム発見である。ラヂウムは

種々の事實より見て、明かに元素であるにも關はらず、自ら崩壊し遂には鉛といふ他の元素になつてしまふ。

そこで再び錬金術が持ち上り、これと同時に原子の構造といふものの研究が盛んとなつた。

この説によると、原子は、陽電氣を帯びた陽子と、電氣を帯びない中性子、又陰電氣を帯びた陰電子とから成り立つてゐるのである。陽子と中性子との作る核の周りに、丁度太陽と地球との關係に、陰電子が廻轉してゐるのである。そして常に陽子と陰電子との箇數は相等しい。それ故に原子は全體としては、電氣を帯びてゐないと同じである。

又陰電子は陽子に比べて非常に小さく軽いので、殆ど重さが無いと見ても宜く、中性子と陽子とは約同じ重さである。

それで物質の重さといふのは、原子中に何箇の陽子と中性子とがあるかで定まり、元素の種類といふのは、核内の陽子の箇數で定まるものであることが解つた。例へば普通の水素はたつた 1 箇の陽子と 1 箇の陰



水素



ヘリウム

第一圖



電子とから出来てゐるから、物質中一番軽いのである。次に軽いのがヘリウムで、2箇の陽子と2箇の中性子との核の周りを、2箇の陰電子が廻轉してゐるものである。それでヘリウム原子は水素原子の4倍重い。又金は79箇の陽子と118箇の中性子とより成る核と79箇の陰電子とから出来てゐる。水銀は80箇の陽子と120箇の中性子と80箇の陰電子とより成り立つてゐる。

金の陽子は79箇、水銀では80箇である。そこで何とかして水銀の原子核の陽子1箇を追出すことが出来れば、金の元素が得られる譯である。

又我等の知つてゐる一番重い元素はウランであるが、この核に更に一つ陽子を付け足せば、今まで知られなかつた、ウランより更に重い元素が得られる譯である。

色々學者が頭をひねくつた結果、この核の『城塞』を、すばらしい速さの『彈丸』で、破壊することにしたのである。

勿論普通の彈丸ではないので、原子核の彈丸を用ひる。そして原子中の核だけにぶつかつて貫はばならないが、それに都合の良いのが陽子や中性子であるといふの

で、工夫はその方面に進められた。最も電氣の少い水素原子の核や電氣の無い中性子を使ふのが都合が良いのである。

重い水の中の重い水素の核は、普通の水素核と電氣量は同じで、重さが倍もある。だから、ぶつかる力も強い譯である。

こゝまで来ると、錬金術も魔術の一種ではなくなつた。科學の世界は恐しいテムボで飛んで行く。

## ラヂウム

ラヂウムといふ言葉は、日頃我々が聞き慣れてゐるけれども、さてそんなら、どんな態のもので、何から採つたものであるかといへば、知らない人が多い。しかしラヂウムは我々のため、實に大切なものであると同時に、それは極めて面白い性質のものであるから、誰でもよく知つて置かねばならない。さて今から40年前の1898年に、夫妻揃つて大學者であつたフランスの Curie 夫妻が、ボヘミアの聖ヨアヒムスタール鑛山から産する瀝青ウランといふウラン鑛石から、世にも珍しい二つの物を発見し、その一つをラヂウム、今一つをポロニウムと名づけた。二つとも不思議な放射線といふものを出してゐる。殊にラヂウムから出る放射線は、今まで発見されたどれよりも強いことが解つた。それで Curie 夫妻は、この大発見の功勞によつて、1903年に、學者として一番名譽あ

るノベル賞を貰つたのである。

さて、ラヂウムから出る不思議な放射線は、それが物を貫き通す力の強さ弱さで、アルファ線、ベータ線、ガンマ線といふやうに三つに分けられてゐる。その中、一番弱いのはアルファ線である。例へばラヂウムの前に厚さ 0.1 mm 位のアルミニウムの薄板を置くと、アルファ線はアルミニウム板の中に止められてしまふが、ベータ線やガンマ線はそれを貫き抜ける。

又ベータ線は 1 cm 位の厚さのアルミニウム板までは譯無く貫き抜けて行くが、もつと厚くなると、それを抜ける力が無いから、このアルミニウム板の中に止められる。しかしガンマ線は鐵板の厚さを 30cm 位に厚くした時、やつとその貫き抜ける力を防ぐことが出来るといふ程、すばらしい力を持つてゐるのである。それでこの力の強いガンマ線を利用して、或種の病氣を治すことが出来るのである。

以上のやうにラヂウムからは、珍しい三つの放射線といふものが年中出てゐるが、我々はこれを寫眞乾板に感せしめてその徑を見ることも出来れば、又スピッサリス

コーブといふ眼鏡を用ひて、ラヂウムから飛び出すアルファ線の有様を見ることも出来る。

ラヂウムからアルファ線が飛び出す時は、1秒間に16,000 kmの速さである。又ビータ線は光の速さ、即ち1秒間30萬kmに近い速さで飛び出してゐるのである。ガンマ線はエックス線と似たやうな性質のものである。

さてラヂウムは多くの鉱石の中に幾らかづつ含まれてゐるけれども、餘り少いので、それを採ることは出来ないのである。今は一番澤山ラヂウムを含んでゐるボヘミア、カナダ産の瀝青ウラン鉱、北米コロラド産のカルノタイトなどの中にあるウラン鉱石から、色々な方法でラヂウムを採るやうにしてゐる。コンゴも主要産地である。しかし1噸のカルノタイトの中から僅かに5 mgから10 mgの割合にしか採れないのである。しかもダイヤモンドのやうに塊の儘ではなく、蟲眼鏡で見分けが附くか附かないかといふやうな細い粉のものであつて、それを集め、硝子の管の中に入れて、保存するのである。

しかし、普通は硝子管を眞鍮の筒の中に入れ、厚い鐵

なり鉛なりの外筒に入れて保管するといふやうに、實に嚴重な取扱ひ方をやつてゐる。ラヂウム1 mgの値段が、驚く勿れ300圓もするのである。そして、今、世界中の研究所や病院に保存されてゐる全體のラヂウムを掻き集めても、1934年現在766 gしか無い有様である。

ラヂウムを一番よく利用してゐるのは、醫學である。普通はラヂウムの管を、病氣の所へ當てゝ、前に述べたやうな、ラヂウムから飛び出すガンマ線といふもので、病氣の所を壊して治すのである。今まで、全く治らないと信せられてゐた恐しい癌の患者でさへ、ラヂウムのお蔭で、この頃は10人の中1人位の割合で助かるやうになり、又完全に治らないまでも、癌を軽くすることが出来るやうになつた。

このやうにラヂウムは、極めて重寶なものであるが、速く病氣を治さうと思つて、強いラヂウムを長時間當てた儘にして置くと、人體に大害をなすもので、10マイクログラム(1マイクログラムは1 gの100萬分の1)のラヂウムが人間の體內に入ると、死んでしまふさうである。

アメリカの或時計工場で、夜光文字を書く係の女工が

18人も死んだことがある。その理由を調べたら、女工達が時計の文字盤に夜光液を塗る時に、いつも筆先を嘗める習慣があつたため、その夜光液の中に含まれたラヂウムが知らず識らずの裡に体内に入つて、到頭人を殺したのであつた。

又、やはりアメリカのことであるが、或金持ちの老人がラヂウムを含んだ薬を半年ばかり飲み續けてゐる中に、病人のやうになり、脳には膿が溜るし顎の骨は腐るといふ風に、1年目には死んでしまつた。このやうにラヂウムは、病氣を治す力もあるが、その害も恐いのである。

## 人工ラヂウム

1934年の初頭に故 Curie 夫人の令嬢 Irène 及びその夫君 Joliot の兩氏によつて發表された人工ラヂウムの發見は、實に文字通りの世界的大發見として一部専門學者を驚嘆させてゐる。この研究に刺戟されてその後、各國の學者は夫々熱心に人工ラヂウムの研究を始め、我國に於ても 1、2箇所に於て研究に着手した。ダイヤモンドを人工的に作ることに成功した科學は、今日遂にラヂウムの人造を完成した。この事實は誠に人智の造化の神に近づきつゝあるを感じさせるものがある。この人工ラヂウムをして更に次の段階に躍進させ、世界人類に一大福音を齎す研究は、何所の國のどの學者によつてなされるか、これは將來の興味深い問題であらう。

ラヂウムは 1 mg が 300 圓といふ途方も無い高價なものである。50 mg を買ひ入れても 15,000 圓の費用が懸か

る。日本で5g買ひ入れたが、その費用は實に100萬圓であつた。勿論この値段は元素としての値段であつて、化合物としての値段ではない。

ラヂウムが日本に始めて入つたのは可なり古い。ラヂウムの発見後數年で、田中館博士がドイツから購入して持ち歸られたのが最初であらう。

このラヂウムは普通に、臭化ラヂウム又は硫酸ラヂウムとして扱はれる。物理學の研究には主として臭化ラヂウムが使用され、醫療用には硫酸ラヂウムが使はれてゐる。

ラヂウムが強烈な放射線を出すことは周知のことで、この放射線を用ひて人體の深部に作用させると、醫療的效果を示すのである。フランスではパリのラヂウム研究所は故 Curie 夫人が主宰してゐたが、此所に Pavillon Pasteur といふラヂウム醫療研究所が附屬し、此所で外來患者に對しラヂウム療法を施してゐる。しかし何分にも高價なもので、この研究所でも數gしか持つてゐない有様である。故 Curie 夫人がアメリカ婦人の名に於てラヂウム1gの寄附を受けたことは有名な話である。

人工的に強烈な放射線を作らうといふ研究が諸所で行はれてゐる。これには、帶電粒子に高い電壓を掛けてすばらしい速さを與へ、人工的に強烈な放射線を作り出し、これを醫療用にしようとするのである。

しかし、これとは別に、人工的にラヂウムの放射能を或元素に起さしめ得るといふことが発見された。これは世界理學界の大発見といへるものである。

ラヂウムから出るアルファ線を、鉛とかアルミニウムとか窒素とか、その他の多くの元素の原子に衝撃すると、その原子が若干時間、陽電子といふ陽電氣を帯びた電子を放射し續けるのである。この時間は最大1年、最小數分である。これはアルファ線の衝撃を受けたためその原子の原子核が不安定となり、丁度自然的に不安定なラヂウム原子と同じやうな放射線を出すのである。勿論この人工放射能は極めて微弱であるため、鋭敏な装置によらなければ検出することが出来ない。

アルファ線のみならず、中性子又は陽子又は「重い水素」の原子核で、種々の元素の原子核を衝撃しても、同じく或種の原子が人工的に一時放射能を示すのである。

ラザウムの寿命は數千年であるが、人工放射能は多くは數日しか續かない。しかし兎も角も、人工放射能といふ現象の發見されたことは、人間の精神の力が次第に造化主に肉薄しつつあることを示すものである。

イタリアの Fermi といふ理學者が第 93 番目の元素を發見した。從來我々の知つてゐた元素は 92 しか無かつたのである。今回、發見された 93 番目の元素に関する研究も、上述の人工放射能の研究の副産物といつて宜い。

世界理學界の研究の焦點は今この人工放射能といふ問題にある。人工放射能は現在のところでは未だ微弱であつて、その寿命も短いが、將來研究の進むと共に、寿命の長い強い放射能を作り出すことが出来るであらう。

## 原子核の物理學

安定同位元素最新國際表

記 號	比較存在量%	記 號	比較存在量%	記 號	比較存在量%
${}^1_1\text{H}^1$	99.98	${}^{12}_{12}\text{Mg}^{26}$	11.1	${}^{22}_{22}\text{Ti}^{49}$	5.5
${}^1_1\text{D}^2$	0.02	${}^{13}_{13}\text{Al}^{27}$	100	${}^{22}_{22}\text{Ti}^{50}$	6.9
${}^1_1\text{T}^3$	$(7 \times 10^{-8})$	${}^{14}_{14}\text{Si}^{28}$	89.6	${}^{23}_{23}\text{V}^{51}$	100
${}^2_2\text{He}^4$	100	${}^{14}_{14}\text{Si}^{29}$	6.2	${}^{24}_{24}\text{Cr}^{50}$	4.9
${}^3_3\text{Li}^6$	7.9	${}^{14}_{14}\text{Si}^{30}$	4.2	${}^{24}_{24}\text{Cr}^{52}$	81.6
${}^3_3\text{Li}^7$	92.1	${}^{15}_{15}\text{P}^{31}$	100	${}^{24}_{24}\text{Cr}^{53}$	10.4
${}^4_4\text{Be}^{(8)}$	(0.05)	${}^{16}_{16}\text{S}^{32}$	96	${}^{24}_{24}\text{Cr}^{54}$	3.1
${}^4_4\text{Be}^9$	99.95	${}^{16}_{16}\text{S}^{33}$	1	${}^{25}_{25}\text{Mn}^{55}$	100
${}^5_5\text{B}^{10}$	20	${}^{16}_{16}\text{S}^{34}$	3	${}^{26}_{26}\text{Fe}^{54}$	6.5
${}^5_5\text{B}^{11}$	80	${}^{17}_{17}\text{Cl}^{35}$	76	${}^{26}_{26}\text{Fe}^{56}$	90.2
${}^6_6\text{C}^{12}$	99.3	${}^{17}_{17}\text{Cl}^{37}$	24	${}^{26}_{26}\text{Fe}^{57}$	2.8
${}^6_6\text{C}^{13}$	0.7	${}^{18}_{18}\text{A}^{36}$	0.31	${}^{26}_{26}\text{Fe}^{58}$	0.5
${}^7_7\text{N}^{14}$	99.62	${}^{18}_{18}\text{A}^{38}$	0.06	${}^{27}_{27}\text{Co}^{57}$	0.2
${}^7_7\text{N}^{15}$	0.38	${}^{18}_{18}\text{A}^{40}$	99.63	${}^{27}_{27}\text{Co}^{59}$	99.8
${}^8_8\text{O}^{16}$	99.76	${}^{19}_{19}\text{K}^{39}$	93.4	${}^{28}_{28}\text{Ni}^{58}$	66.4
${}^8_8\text{O}^{17}$	0.04	${}^{19}_{19}\text{K}^{40}$	0.01	${}^{28}_{28}\text{Ni}^{60}$	26.7
${}^8_8\text{O}^{18}$	0.20	${}^{19}_{19}\text{K}^{41}$	6.6	${}^{28}_{28}\text{Ni}^{(61)}$	(1.6)
${}^9_9\text{F}^{19}$	100	${}^{20}_{20}\text{Ca}^{40}$	96.76	${}^{28}_{28}\text{Ni}^{62}$	3.7
${}^{10}_{10}\text{Ne}^{20}$	90.00	${}^{20}_{20}\text{Ca}^{42}$	0.77	${}^{28}_{28}\text{Ni}^{64}$	1.6
${}^{10}_{10}\text{Ne}^{21}$	0.27	${}^{20}_{20}\text{Ca}^{43}$	0.17	${}^{29}_{29}\text{Cu}^{63}$	68
${}^{10}_{10}\text{Ne}^{22}$	9.73	${}^{20}_{20}\text{Ca}^{44}$	2.30	${}^{29}_{29}\text{Cu}^{65}$	32
${}^{11}_{11}\text{Na}^{23}$	100	${}^{21}_{21}\text{Sc}^{45}$	100	${}^{30}_{30}\text{Zn}^{64}$	50.4
${}^{12}_{12}\text{Mg}^{24}$	77.4	${}^{22}_{22}\text{Ti}^{46}$	8.5	${}^{30}_{30}\text{Zn}^{66}$	27.2
${}^{12}_{12}\text{Mg}^{25}$	11.5	${}^{22}_{22}\text{Ti}^{47}$	7.8	${}^{30}_{30}\text{Zn}^{67}$	4.2
		${}^{22}_{22}\text{Ti}^{48}$	71.3	${}^{30}_{30}\text{Zn}^{68}$	17.8

原子核の物理学

記號	比較存在量%	記號	比較存在量%	記號	比較存在量%
<sup>30</sup> Zn <sup>70</sup>	0.4	<sup>42</sup> Mo <sup>96</sup>	17.8	<sup>50</sup> Sn <sup>124</sup>	6.8
<sup>31</sup> Ga <sup>69</sup>	61.2	<sup>42</sup> Mo <sup>97</sup>	9.6	<sup>51</sup> Sb <sup>121</sup>	56
<sup>31</sup> Ga <sup>71</sup>	38.8	<sup>42</sup> Mo <sup>98</sup>	23.0*	<sup>51</sup> Sb <sup>123</sup>	44
<sup>32</sup> Ge <sup>70</sup>	21.2	<sup>42</sup> Mo <sup>100</sup>	9.8	<sup>52</sup> Te <sup>120</sup>	
<sup>32</sup> Ge <sup>72</sup>	27.3	<sup>42</sup> Mo <sup>102</sup>		<sup>52</sup> Te <sup>122</sup>	2.9
<sup>32</sup> Ge <sup>73</sup>	7.9	<sup>44</sup> Ru <sup>96</sup>	5	<sup>52</sup> Te <sup>123</sup>	1.6
<sup>32</sup> Ge <sup>74</sup>	37.1	<sup>44</sup> Ru <sup>(98)</sup>		<sup>52</sup> Te <sup>124</sup>	4.5
<sup>32</sup> Ge <sup>76</sup>	6.5	<sup>44</sup> Ru <sup>99</sup>	12	<sup>52</sup> Te <sup>125</sup>	6.0
<sup>33</sup> As <sup>75</sup>	100	<sup>44</sup> Ru <sup>100</sup>	14	<sup>52</sup> Te <sup>126</sup>	19.0
<sup>34</sup> Se <sup>74</sup>	0.9	<sup>44</sup> Ru <sup>101</sup>	2.2	<sup>52</sup> Te <sup>128</sup>	32.8
<sup>34</sup> Se <sup>76</sup>	9.5	<sup>44</sup> Ru <sup>102</sup>	30	<sup>52</sup> Te <sup>130</sup>	33.1
<sup>34</sup> Se <sup>77</sup>	8.3	<sup>44</sup> Ru <sup>104</sup>	17	<sup>53</sup> I <sup>127</sup>	100
<sup>34</sup> Se <sup>78</sup>	24.0	<sup>45</sup> Rh <sup>101</sup>	0.1	<sup>54</sup> Xe <sup>124</sup>	0.08
<sup>34</sup> Se <sup>80</sup>	48.0	<sup>45</sup> Rh <sup>103</sup>	99.9	<sup>54</sup> Xe <sup>126</sup>	0.08
<sup>34</sup> Se <sup>82</sup>	9.3	<sup>46</sup> Pd <sup>102</sup>	0.8	<sup>54</sup> Xe <sup>128</sup>	2.30
<sup>35</sup> Br <sup>79</sup>	50.6	<sup>46</sup> Pd <sup>104</sup>	9.3	<sup>54</sup> Xe <sup>129</sup>	27.13
<sup>35</sup> Br <sup>81</sup>	49.4	<sup>46</sup> Pd <sup>105</sup>	22.6	<sup>54</sup> Xe <sup>130</sup>	4.18
<sup>36</sup> Kr <sup>78</sup>	0.42	<sup>46</sup> Pd <sup>106</sup>	27.2	<sup>54</sup> Xe <sup>131</sup>	20.67
<sup>36</sup> Kr <sup>80</sup>	2.45	<sup>46</sup> Pd <sup>108</sup>	26.8	<sup>54</sup> Xe <sup>132</sup>	26.45
<sup>36</sup> Kr <sup>82</sup>	11.79	<sup>46</sup> Pd <sup>110</sup>	13.5	<sup>54</sup> Xe <sup>134</sup>	10.31
<sup>36</sup> Kr <sup>83</sup>	11.79	<sup>47</sup> Ag <sup>107</sup>	52.5	<sup>55</sup> Xe <sup>136</sup>	8.79
<sup>36</sup> Kr <sup>84</sup>	56.85	<sup>47</sup> Ag <sup>109</sup>	47.5	<sup>55</sup> Cs <sup>133</sup>	100
<sup>36</sup> Kr <sup>86</sup>	16.70	<sup>48</sup> Cd <sup>106</sup>	1.5	<sup>56</sup> Ba <sup>130</sup>	0.16
<sup>37</sup> Rb <sup>85</sup>	72.8	<sup>48</sup> Cd <sup>108</sup>	1.0	<sup>56</sup> Ba <sup>132</sup>	0.015
<sup>37</sup> Rb <sup>87</sup>	27.2	<sup>48</sup> Cd <sup>110</sup>	15.6	<sup>56</sup> Ba <sup>134</sup>	1.72
<sup>38</sup> Sr <sup>84</sup>	0.5	<sup>48</sup> Cd <sup>111</sup>	15.2	<sup>56</sup> Ba <sup>135</sup>	5.7
<sup>38</sup> Sr <sup>86</sup>	9.6	<sup>48</sup> Cd <sup>112</sup>	22.0	<sup>56</sup> Ba <sup>136</sup>	8.5
<sup>38</sup> Sr <sup>87</sup>	7.5	<sup>48</sup> Cd <sup>113</sup>	14.7	<sup>56</sup> Ba <sup>137</sup>	10.8
<sup>38</sup> Sr <sup>88</sup>	82.4	<sup>48</sup> Cd <sup>114</sup>	24.0	<sup>56</sup> Ba <sup>138</sup>	73.1
<sup>39</sup> Y <sup>89</sup>	100	<sup>48</sup> Cd <sup>116</sup>	6.0	<sup>57</sup> La <sup>139</sup>	100
<sup>40</sup> Zr <sup>90</sup>	48	<sup>49</sup> In <sup>113</sup>	4.5	<sup>58</sup> Ce <sup>136</sup>	
<sup>40</sup> Zr <sup>91</sup>	11.5	<sup>49</sup> In <sup>115</sup>	95.5	<sup>58</sup> Ce <sup>138</sup>	
<sup>40</sup> Zr <sup>92</sup>	22	<sup>50</sup> Sn <sup>112</sup>	1.1	<sup>58</sup> Ce <sup>140</sup>	89
<sup>40</sup> Zr <sup>94</sup>	17	<sup>50</sup> Sn <sup>114</sup>	0.8	<sup>58</sup> Ce <sup>142</sup>	11
<sup>40</sup> Zr <sup>96</sup>	1.5	<sup>50</sup> Sn <sup>115</sup>	0.4	<sup>59</sup> Pr <sup>141</sup>	100
<sup>41</sup> Nb <sup>93</sup>	100	<sup>50</sup> Sn <sup>116</sup>	15.5	<sup>60</sup> Nd <sup>142</sup>	36
<sup>42</sup> Mo <sup>92</sup>	14.2	<sup>50</sup> Sn <sup>117</sup>	9.5	<sup>60</sup> Nd <sup>143</sup>	11
<sup>42</sup> Mo <sup>94</sup>	10.0	<sup>50</sup> Sn <sup>118</sup>	22.5	<sup>60</sup> Nd <sup>144</sup>	30
<sup>42</sup> Mo <sup>96</sup>	15.5	<sup>50</sup> Sn <sup>119</sup>	9.8	<sup>60</sup> Nd <sup>145</sup>	5
		<sup>50</sup> Sn <sup>120</sup>	28.5	<sup>60</sup> Nd <sup>146</sup>	18
		<sup>50</sup> Sn <sup>122</sup>	5.5		

原子核の物理学

記號	比較存在量%	記號	比較存在量%	記號	比較存在量%
<sup>62</sup> Sm <sup>144</sup>	3	<sup>70</sup> Yb <sup>171</sup>	9	<sup>78</sup> Pt <sup>192</sup>	0.8
<sup>62</sup> Sm <sup>147</sup>	17	<sup>70</sup> Yb <sup>172</sup>	24	<sup>78</sup> Pt <sup>194</sup>	30.2
<sup>62</sup> Sm <sup>148</sup>	14	<sup>70</sup> Yb <sup>173</sup>	17	<sup>78</sup> Pt <sup>196</sup>	35.3
<sup>62</sup> Sm <sup>149</sup>	15	<sup>70</sup> Yb <sup>174</sup>	38	<sup>78</sup> Pt <sup>198</sup>	26.6
<sup>62</sup> Sm <sup>150</sup>	5	<sup>70</sup> Yb <sup>176</sup>	12	<sup>78</sup> Pt <sup>200</sup>	7.2
<sup>62</sup> Sm <sup>152</sup>	26	<sup>71</sup> Lu <sup>175</sup>	100	<sup>79</sup> Au <sup>197</sup>	100
<sup>62</sup> Sm <sup>154</sup>	20	<sup>72</sup> Hf <sup>176</sup>	5	<sup>80</sup> Hg <sup>196</sup>	0.10
<sup>63</sup> Eu <sup>151</sup>	50.6	<sup>72</sup> Hf <sup>177</sup>	19	<sup>80</sup> Hg <sup>(197)</sup>	(0.01)
<sup>63</sup> Eu <sup>153</sup>	49.4	<sup>72</sup> Hf <sup>178</sup>	28	<sup>80</sup> Hg <sup>198</sup>	9.89
<sup>64</sup> Gd <sup>155</sup>	21	<sup>72</sup> Hf <sup>179</sup>	18	<sup>80</sup> Hg <sup>199</sup>	16.45
<sup>64</sup> Gd <sup>156</sup>	23	<sup>72</sup> Hf <sup>180</sup>	30	<sup>80</sup> Hg <sup>200</sup>	23.77
<sup>64</sup> Gd <sup>157</sup>	17	<sup>73</sup> Ta <sup>181</sup>	100	<sup>80</sup> Hg <sup>201</sup>	13.67
<sup>64</sup> Gd <sup>158</sup>	23	<sup>74</sup> W <sup>182</sup>	22.6	<sup>80</sup> Hg <sup>202</sup>	20.27
<sup>64</sup> Gd <sup>160</sup>	16	<sup>74</sup> W <sup>183</sup>	17.3	<sup>80</sup> Hg <sup>203</sup>	0.006
<sup>65</sup> Tb <sup>159</sup>	100	<sup>74</sup> W <sup>184</sup>	30.2	<sup>80</sup> Hg <sup>204</sup>	6.85
<sup>66</sup> Dy <sup>161</sup>	22	<sup>74</sup> W <sup>186</sup>	29.9	<sup>81</sup> Tl <sup>203</sup>	29.4
<sup>66</sup> Dy <sup>162</sup>	25	<sup>75</sup> Re <sup>185</sup>	38.2	<sup>81</sup> Tl <sup>205</sup>	70.6
<sup>66</sup> Dy <sup>163</sup>	25	<sup>75</sup> Re <sup>187</sup>	61.8	<sup>82</sup> Pb <sup>(203)</sup>	
<sup>66</sup> Dy <sup>164</sup>	28	<sup>76</sup> Os <sup>186</sup>	1.0	<sup>82</sup> Pb <sup>204</sup>	1.50
<sup>67</sup> Ho <sup>165</sup>	100	<sup>76</sup> Os <sup>187</sup>	0.6	<sup>82</sup> Pb <sup>(205)</sup>	
<sup>68</sup> Er <sup>166</sup>	36	<sup>76</sup> Os <sup>188</sup>	13.4	<sup>82</sup> Pb <sup>206</sup>	28.3
<sup>68</sup> Er <sup>167</sup>	24	<sup>76</sup> Os <sup>189</sup>	17.4	<sup>82</sup> Pb <sup>207</sup>	20.1
<sup>68</sup> Er <sup>168</sup>	30	<sup>76</sup> Os <sup>190</sup>	25.1	<sup>82</sup> Pb <sup>208</sup>	50.1
<sup>68</sup> Er <sup>170</sup>	10	<sup>76</sup> Os <sup>192</sup>	42.5	<sup>82</sup> Pb <sup>(209)</sup>	
<sup>69</sup> Tm <sup>169</sup>	100	<sup>77</sup> Ir <sup>191</sup>	38.5	<sup>82</sup> Pb <sup>(210)</sup>	
		<sup>77</sup> Ir <sup>193</sup>	61.5	<sup>83</sup> Bi <sup>209</sup>	100

原子核の結合の強さ

原子は、中心にある原子核といて、陽帯電で原子の

殆ど全部に近い質量を持つ粒子と、その周りにある電子とから成り立つてゐる。原子核は原子の本城であり、原子轉換は原子核の變化である。

原子核は、非常に大きなエネルギーを以て始めて人工的に破壊し得るのであるから、とても強い引力の働いてゐる所であらうことは、誰しも考へ及ぶことであらう。

核内に働くこの引力は、短距離に於てのみ現れるもので、距離と共に急に減少するものであることは疑ひ無い。しかしこの力は現在本當には解つてゐない。この力に對して或函數形式を假定して理論を造り、實驗事實に合ふやうに、函數に含まれる常數を定めてゐる始末である。

これ等に就いては、Majorana, Wigner, Heisenberg などの研究がある。

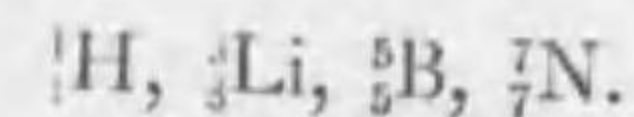
原子核は、陽子といふ陽帶電で水素原子程度の重さの粒子と、中性子といふ大體同じ重さで非帶電の粒子とが夫々數箇相寄つて出來たものである。但し普通の水素原子核は陽子1箇のみである。

原子の核がどんな構成の時に安定であるかは、軽い原

子核の場合に就いて定性的に論せられてゐる。

今  $Z$  を以て原子番號（週期表に於ける位置番號）とし、 $A$  を以て質量數（原子量を整数にまで圓めた數）とすると、 $Z$  は陽子の箇數となり、 $A-Z$  が中性子の箇數となる。

中性子及び陽子の箇數何れもが偶數である核は、天然には、非常に多い。即ち非常に安定なものである。何れか一方が奇數の場合これに次ぎ、兩者の存在數大體相同じい。兩者共に奇數の場合は、僅か次の4箇のみである。



左下の數字は原子番號を、上のは質量數を示す。

原子核内では、2、6、10、14、18、22箇の陽子及び中性子が、閉ちて安定な殻を形造ると考へ得る。

軽い核に於ては、その中に含まれる陽子2箇、中性子2箇が閉殻を形造ると考へる。ヘリウム核とは、陽子2箇、中性子2箇より成るこのものである。けれども重核では陽子及び中性子夫々が閉殻を造ると考へた方が宜い。

空間を填めるには、立方體か或は正8面體と正4面體との連結による。正8面體を以て質量數4のヘリウム核



を表はし、4面體を以て陽子及び中性子を示す。さうすると、ヘリウム核で作り得るものは、 $Z=136$ が最大數に當ることとなる。

$Z$ が同じくて $A$ の異なるものを<sup>イソトープ</sup>同位體

$A-Z$ が同じくて $A$ の異なるものを<sup>イソトープ</sup>等中性子體

$A$ が同じくて $Z$ が異なるものを<sup>イソバール</sup>同重體

といふ。

### 核内の力

Heisenbergは、核内の陽子と中性子とは互ひに電子を交換し得るものであるとした。即ち陽子が中性子と陽電子とに分裂し得るし、中性子は陽子と陰電子とから成るとするのである。

陽子—中性子の間には、よつて特殊の交換引力といふものが働き、中性子相互間にも引力が働く。何れも粒子間の距離の外、一般には相對速度にもよるのである。

陽子は互ひに Coulomb 斥力を及ぼすが、距離が  $5 \times 10^{-13}$  cm 以下では引力も働く。引力と斥力とが相殺する所

では、所謂『斷面』は零である。

中性子が原子核に捕獲されて新しい核を造るが、これを、中性子と核との非弾性衝突と呼ぶ。若し新核が不安定であると、第二の核變化が起る。この時輻射が出たり粒子が放たれたりする。

中性子の速度が遅くなると、核に捕獲され易く、 $10^{-21}$  cm<sup>2</sup> といふ大きな斷面を與へる場合がある。中性子と原子核との相互力の到達距離は  $5 \times 10^{-13}$  cm 位である。

Bohr は、原子核に中性子が捕獲されるのは、核内粒子群と中性子との衝突のためであり、原子核内へ入つた中性子は、その中にある多くの粒子と衝突してエネルギーを失ふものであるとし、又その核内粒子は次から次へと互ひにエネルギーを傳へるとした。

放射性物質から放たれるガマ線も、原子核に当たると、それから核内粒子が飛び出し、核が崩壊する。崩壊斷面がいくらくらくと計算される。

原子核が、電氣的に又磁氣的に双極子となり得ることを考へて、この邊の精密な計算がなされる。

重核が相接近すると、多くのエネルギー準位が出來

る。これを定めるには、統計的にやる。即ち陽子、中性子は、核内では完全に退化したガス分子のやうに考へる。學者はこれを Fermi ガスと申して居る。

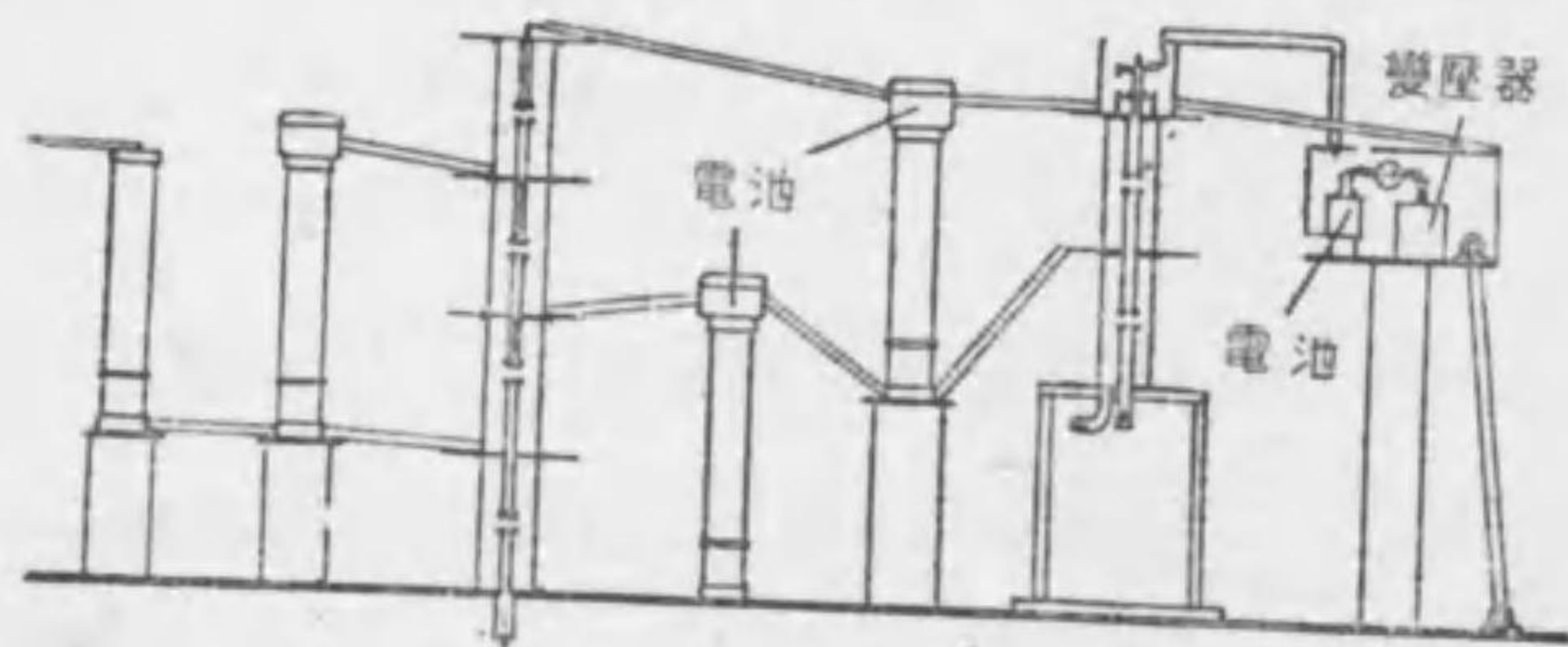
この計算には、核のスピン（角運動量即ち核の自轉）といふものをも考慮しなければならぬ。



數學に於ける群論を應用してエネルギー準位の組織を論じた人もある。

### 原子轉換の高エネルギー装置

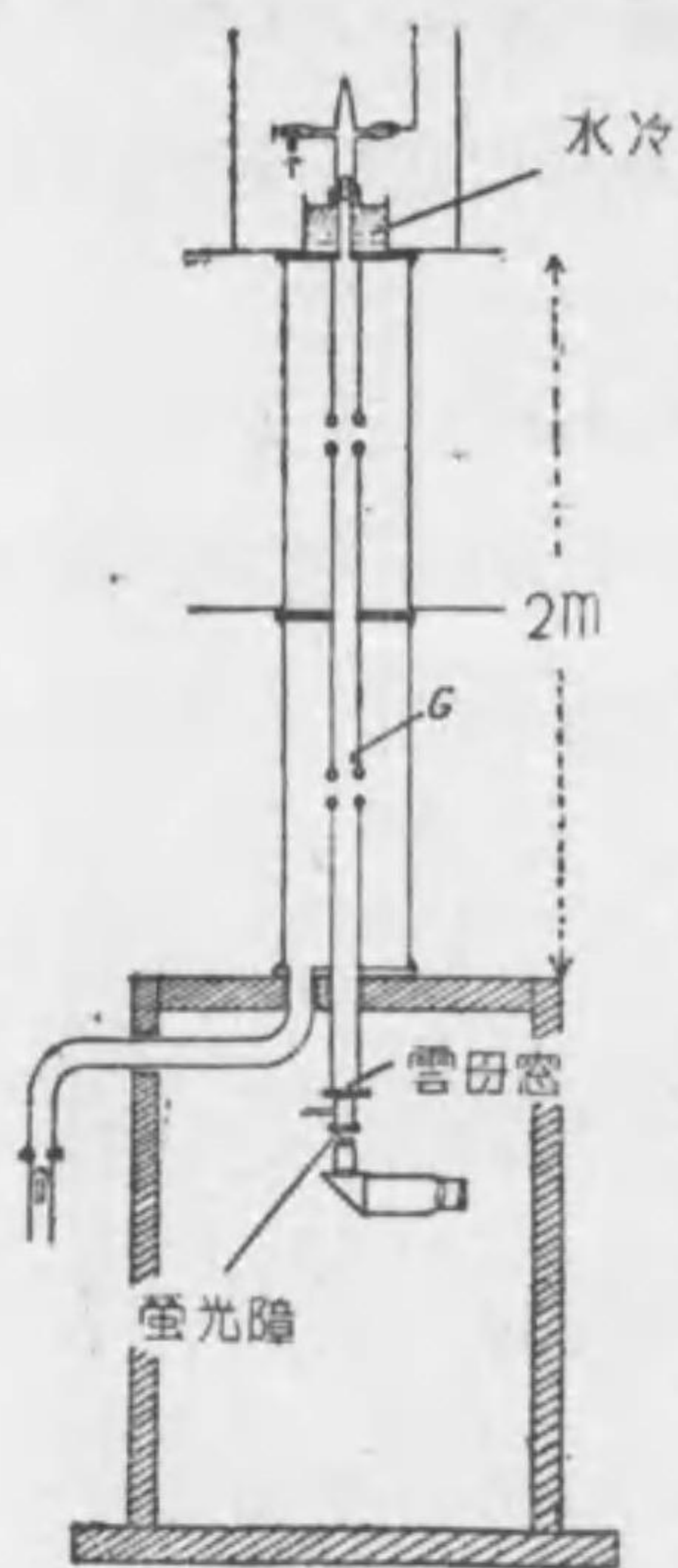
原子を破壊又は變化する即ち原子核を轉換するには、高いエネルギーの粒子を以て衝擊せねばならない。普通、



第四圖 Cockcroft—Walton の裝置。高壓一定電流を與へるための變壓器と整流器とを示す。

帶電粒子である陽子即ち水素陽イオンに高電壓を加へ、これに運動エネルギーを附與するのである。

さて高電壓發生の最も卑近なるものは、かの Tesla コイルである。Tesla コイルは 300 萬ヴォルトをも發生し得、特殊の絶縁油槽を用ひれば 500 萬ヴォルトにも達し得る。陽子を飛ばす真空管所謂放電管は同じく、油中に置くが、これは管壁の硝子を大いに吟味せねばならない。



第五圖 Cockcroft — Walton の裝置。硝子管は陽子加速管で、上端で陽子を作り、それを水冷溝中に通す。

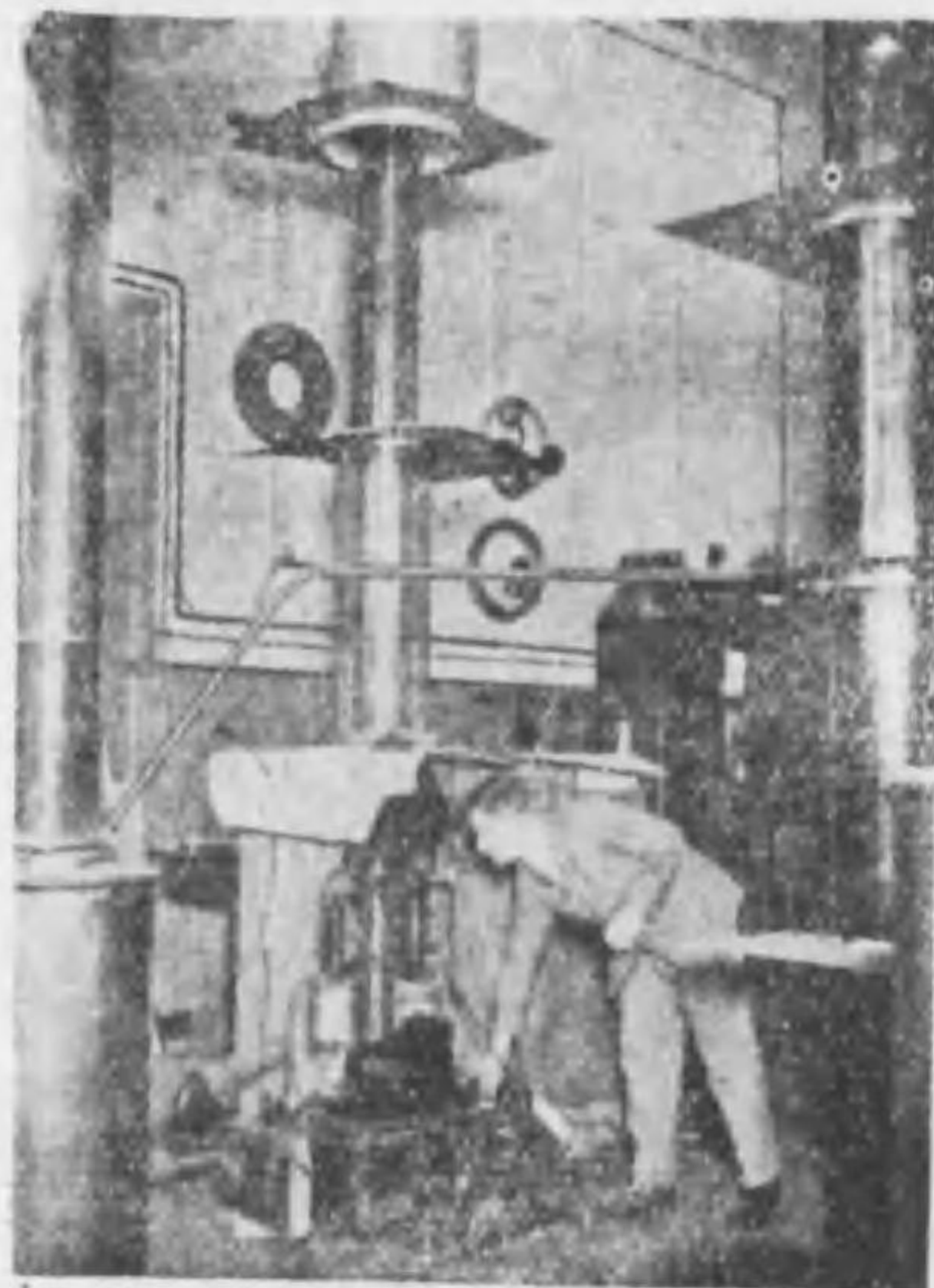
Coolidge <sup>カスケード</sup>直列法によれば 190 萬ヴォルトにも堪へ得るものである。

しかし Tesla コイルの不利は、高電壓の各持續が 100 萬分の數秒といふ點にある。

アメリカの R・J・Van de Graaff は、運動式絶縁

ベルトの静電方式によつたことは有名である。これは Tesla コイルと相違し、定常的な高電圧を得べきものである。M. A. Tuve はこれにより 200 萬ヴォルトを得てゐる。コロナ損を除くため、電極は直径 2 m の大きな球になつてゐる。達し得る電圧は球の直径に比例するものである。筆者は後述藤高周平學士の考案になつた油滴落下静電倍加装置も甚だ有効であらうと思ふ。現に外國でも類似の方法を採用し出した。

イギリスの J. D. Cockcroft 及び E. T. S. Walton は、蓄電器と整流器とを結合して、20 萬ヴォルト變壓器の電壓を 70 萬ヴォルトの直流電壓に増大し直列式の 2 段真空放電管を用ひた。陽子の運ぶ電流は 100 萬分の數



第三圖 E. T. S. Walton 博士と共同に機械により原子の最初の破壊に成功した J. D. Cockcroft 博士とその装置

アムペアであり、原子の破壊を、螢光板上に放たれる螢光點より數へたのである。

アメリカの E. O. Lawrence は陽子渦動装置 (cyclo-tron) を考案した。これは、2 箇の半圓狀電極と磁場とを用ひ、電極に適當な時間隔で比較的低い電壓を與へながら、陽子を廻轉させつゝ加速させて行くもので、2~3 萬ヴォルトの高周電壓で、電壓 200 萬ヴォルトに相當するエネルギーを陽子に與へ得た(後述)。

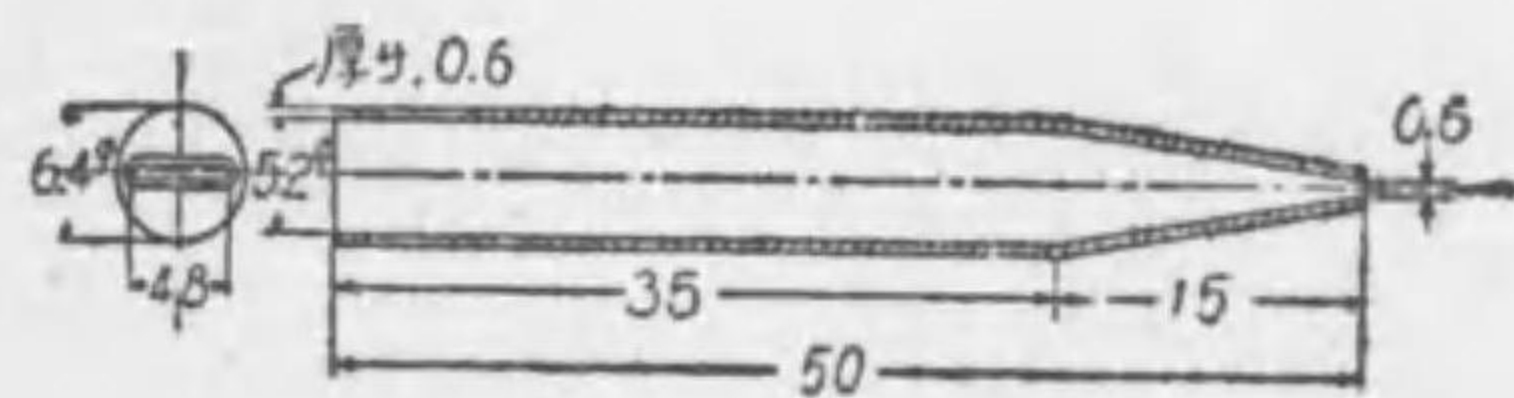
Lawrence は今年 41 歳であるが、この装置は 29 歳の時の發明といふ。

藤高式高壓装置は、變壓器油をノズルから噴出させて、これに電荷を與へるために針對平面のコロナ間隙を用ひた。ノズルから噴出させるのには、薄膜狀にした方が有効である。コロナ間隙では針電極と同性の電荷が油膜に與へられる譯で、従つて針の正負を變へれば、自由に電荷の極性が變化され、發生電壓も正又は負にすることが出来る。

第六圖は装置全體の略圖を示す。蓄電體は、成るべくコロナ放電の生じ難いやうにする必要があるが、圖の如

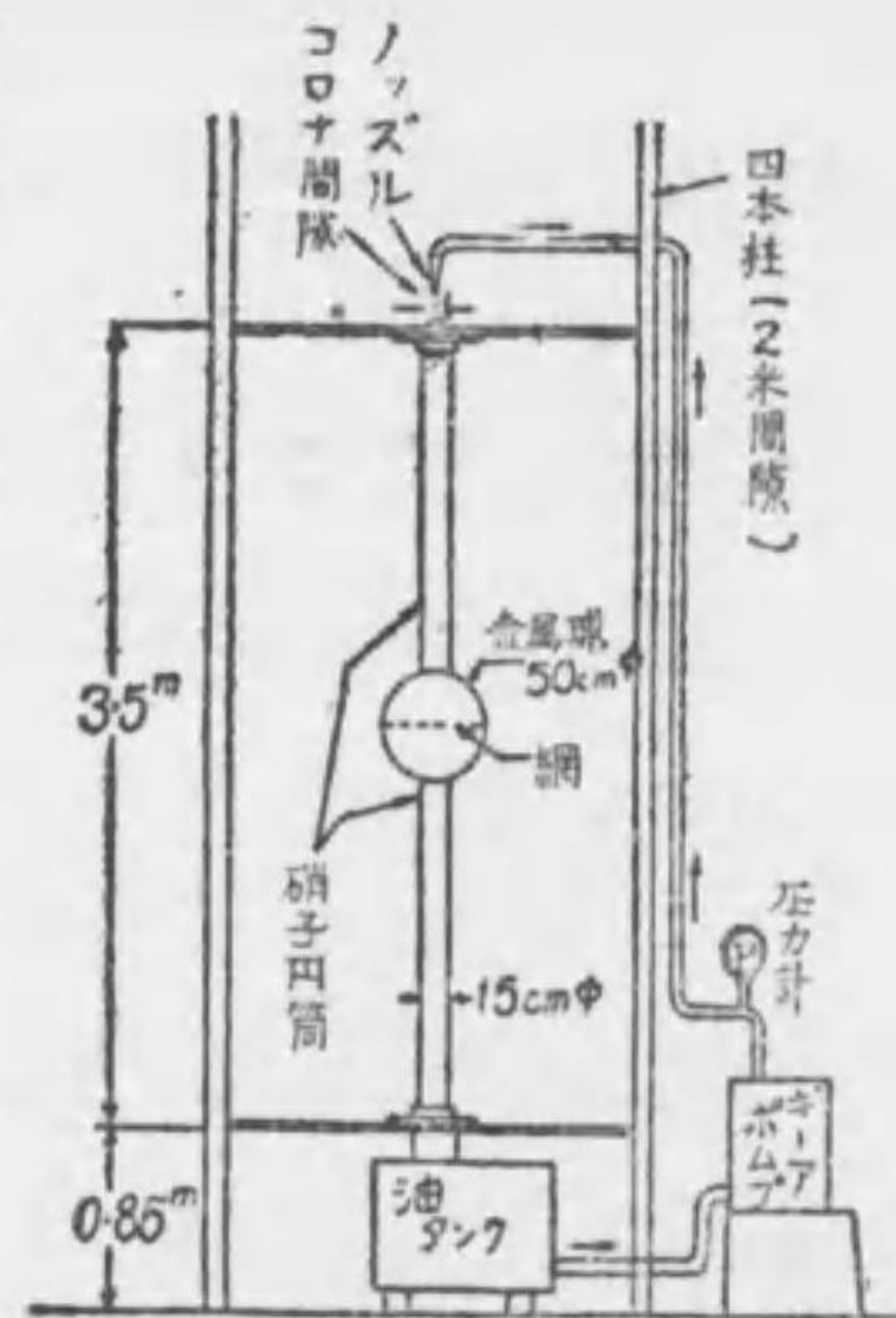
く直径 50cm の球を用いた。その上下は直径 15cm、長さ約 1.5m の硝子圓筒で、これが油の通路である。油は床下の油槽から出て、ギヤ・ポンプを通つて壓力を與へられ、パイプを経て天井のノズルから噴き出す。

此所に設けられたコロナ間隙には約 10 キロワットの直流電壓が給與されてゐる。此所で電荷を得た油は噴出した勢ひで、金屬球内に入る。球内には金網を張り、これで油から電荷を取らせ



第七圖 ノズル (單位mm)

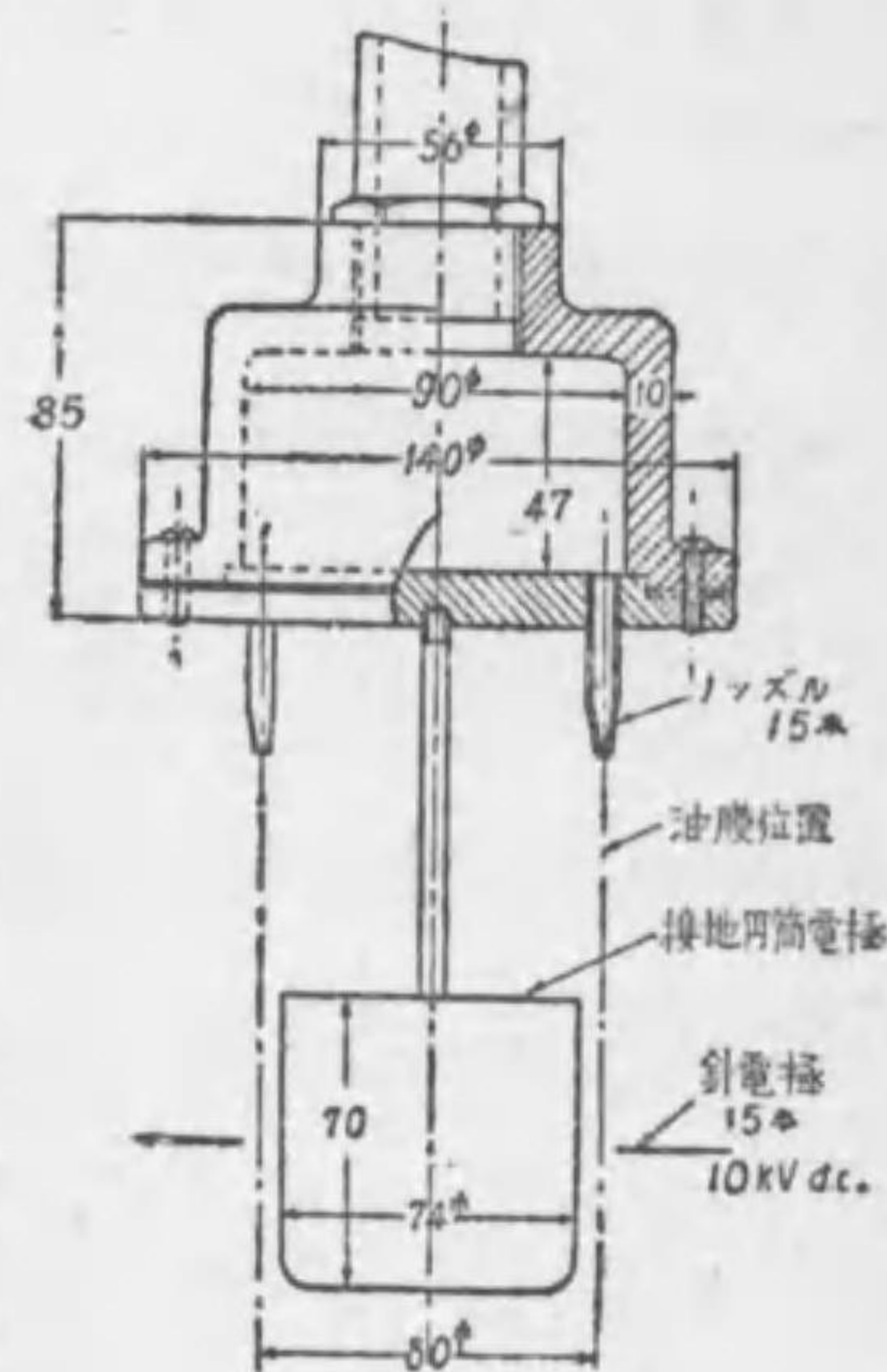
る。この金屬球は上下に硝子圓筒の入り孔があるが、若し完全に閉ぢられてゐるとすれば、一旦電荷を持つた油が球内に入れば、球の電位が如何に上昇して



第六圖

ゐても、直ちに電荷が球の表面に移されてしまふ譯である。斯くして油は電荷を球に與へて下方に落下し、油槽に入る。これを繰返して電荷が増大される。

油膜を作るためのノズルは色々な形状のものを試みたが、この装置には、第七圖の如きものを用いた。即ち銅パイプの先を扁平にしたやうなものである。斯様なものを 15本用ひて、第八圖の如く配列したのである。



第八圖 ノズル配置

### 三重水素と新ヘリウム?

アメリカの Urey は質量数 2 の水素 D (deuterium) 所謂重水素を発見した。

D<sub>2</sub>O は重水であり、これは普通の水から電解により濃縮するのが、最も簡単な製法である。しかし工業的電解

槽は水素及び酸素ガスを造るのが目的故、この製造に對しては不適當である。

質量數3の水素を三重水素 T(tritium) といふ。重水の中に僅かながらも含有されないかといふので、初めスペクトルで探究されたが、失敗に歸してゐる。恐らく10億分の1以下にしか存在しないのであらう。

Dの原子核は deuteron といひ、陽子1箇、中性子1箇の結合體である。普通の水素 H核は陽子1箇のみである。Tの核は陽子1箇、中性子2箇より成る。陽子1箇があることが、水素核なることを特性附けるもの



である。核内陽子の箇數を 第九圖 ハロルド・ジー・ウリー 原子番號といひ、その箇數と中性子の箇數との和を質量數といふ。原子番號が元素を指示する數である。

DH 分子イオンを高速度に重水素化合物に向つて衝擊する。さうすると、重水素化合物の中に T が存在するな

らば



の核反應が豫想される。n は中性子を表はす。勿論 D-D 核反應によつても n が出る故、n を調べずに置き、He 核即ちアルファ粒子を捉へ得れば、原子轉換の方から、T の鑑別が鋭敏に出来る譯である。約2千萬ヴォルトに相當するエネルギーが放たれ、従つてアルファ粒子は空氣中で 2~3 cm の射程を持つ筈である。

T と關聯して更に  ${}^3\text{He}$  即ち質量數3のヘリウムの存在が問題になつてゐる。これも重水素化合物の中に含有されるやの疑ひがあるので、同様に



の反應が豫想され、前と同じエネルギーが放出されると勘定される。アルファ粒子は陽子と相違し、イオン化が強いので、容易に區別されるが、斯かるアルファ粒子は、前の場合も今の場合も、見當らなかつた。

一方放電管を通じて重水素を靜かに通し、これに 6~7 萬ヴォルトの電壓を掛けると、D-D 反應から T 又  ${}^3\text{He}$  が出来る筈である。けれどもこれが見附からないところを

見ると、出来ても直ぐ、又Dにより破壊されるのであらう  
Hの質量を1.0081とすれば、Tも ${}^3\text{He}$ も何れも質量  
は3.0171となる。太陽にも存在しないらしいが、Tは普  
通の状態では安定であるべきであらう。 ${}^3\text{He}$ は陽子2箇、  
中性子1箇より成る。

ノルウェーの重水製造所として有名な Norsk Hydro-  
Elektrisk Kvoelstofaktieselskab が 99.2 パーセントの重水  
43 kg を9箇月半の間電解して體積  $11\text{cm}^3$  に濃縮した。  
初めはニッケル槽鐵極で、後には硝子槽白金極を以てし  
た。電解液は重水酸化カリ KOD である。電流密度毎  
 $\text{cm}^2$  0.2~0.4 アムペア、電解温度は  $30^\circ\sim 50^\circ$  であつた。  
同位元素の研究家 Aston がこの凝縮物をスペクトルで調  
べたが、Tらしいものは見當らなかつた。

けれどもアメリカ、プリンストンでは、75 噸の水を電  
解して半  $\text{cm}^3$  にしたもののから、質量分光器により T を  
発見したと報告してゐる。

## 重 電 子

中性子と陽子との相互場は質量と陰陽荷電とを持つ新

しい量子即ち重電子 (heavy electron) を造る。これは但  
し、1億電子ヴォルト以上のエネルギーを持つ核反應即  
ち宇宙線に於てのみ起るものである。この重陰電子が陽  
子と結合すれば、中性子を造る。

宇宙線を厚さ 20cm の鉛板に通しても、この重電子が  
通過する。即ち重電子は宇宙線の硬成分である。

大氣の上部では陰陽電子とガンマ線とが宇宙線の主要  
部であり、これは空氣により大部分吸収され、地面近く  
では陽子或は重電子が主要部である。上部では軟成分、  
地球面近くでは硬成分が多い譯であるが、電子は 10cm  
鉛板で止められる。重電子は陽子よりも質量が小さいの  
で、電離度は少いのである。

宇宙線は、エネルギーの激烈なる原子轉換より起るも  
のである。

## 原子破壊と寫真乾板

適當に感度を良くした寫真フィルムを現像して、エマ  
ルジョンを顯微鏡下で調べると、アルファ粒子 (ヘリウ  
ム原子核の運動するもの)  $\text{He}$  や陽子  $\text{H}$  の通つた跡には、

現像粒子が一直線に並んでゐるのが見える。この徑は霧函に於けるもののやうには密でなく、従つてこれによつて射程を正確に定めることは出来ない。

中性子は反跳陽子を與へるので、これが觀察され得るが、電子の通つた徑は、密でなく、充分に測り難い。

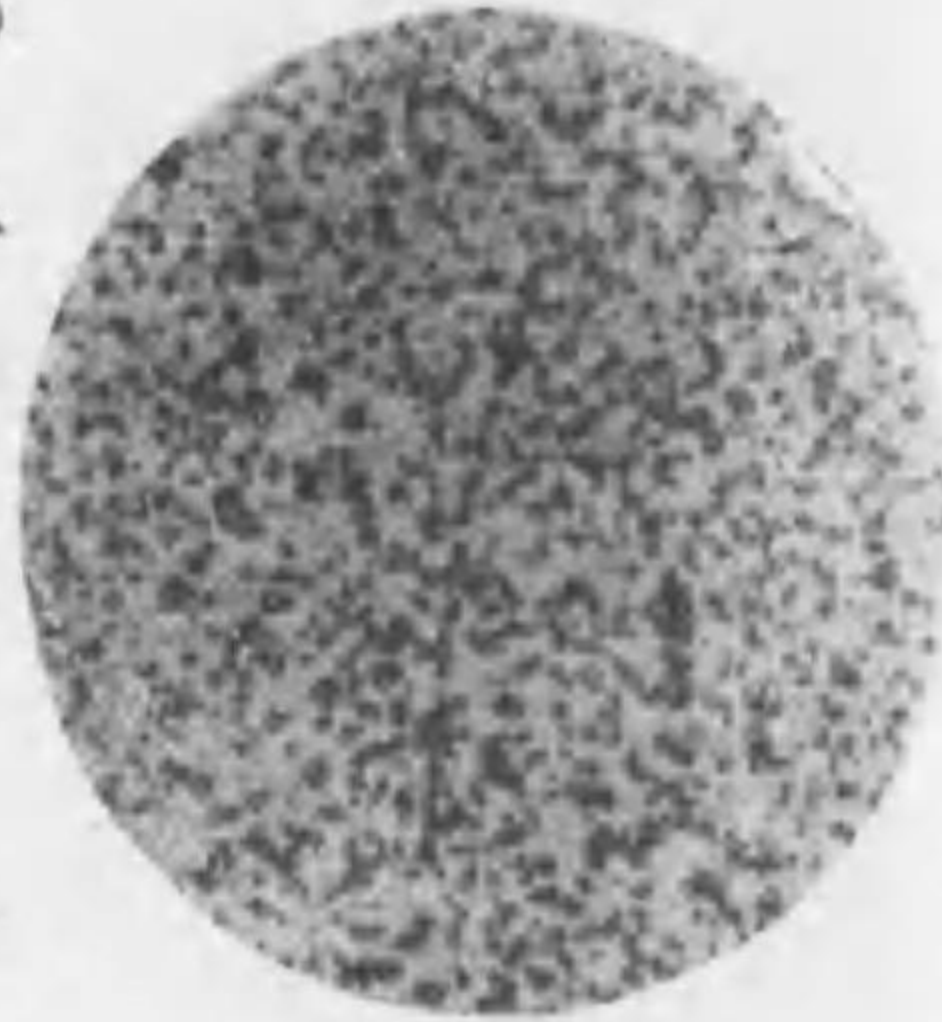
この寫眞效果の特徴は、徑の空間配置を知る點にある。永久に記録を残し得る點、更に、弱い場合には長時間露出をなせば可い點などが優秀である。

第十圖は遅い中性子によつて硼素が破壊して生じた陽子の徑である。

Szilard—Chalmers は、化學的ボンドが活性化原子の反跳によつて破壊され、化合物から自由元素が放たれることを認めた。

粒子の射程

核轉換に關する殆どあらゆる實驗に於て、發射される



第十圖

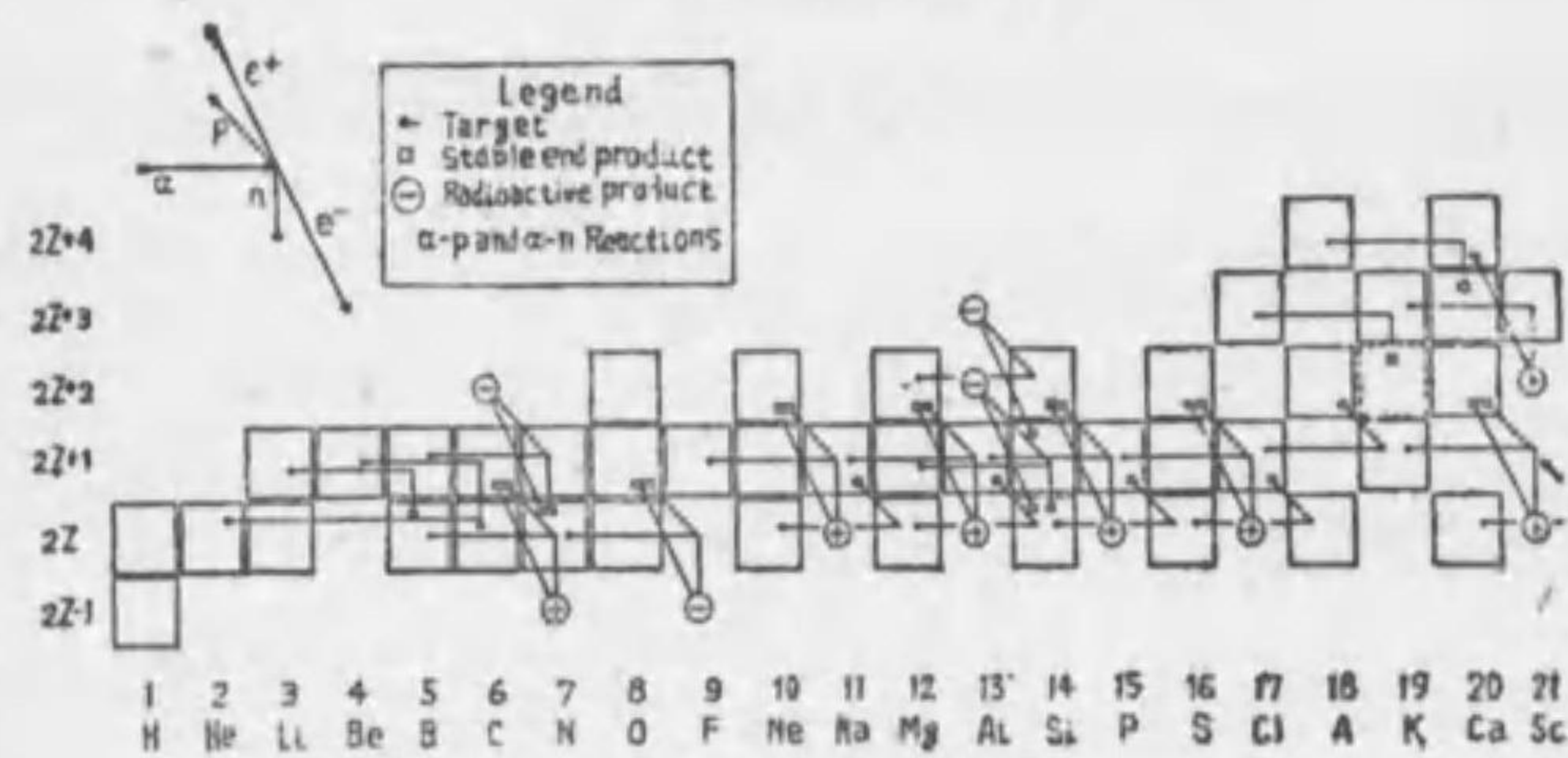
粒子のエネルギーは、その射程（又は飛程）より求められる。それで射程とエネルギーとの間の關係は、核反應

エネルギー	決定に於て最も重要である。射程は普通、標準空氣中に就いていふ。	エネルギー	一は、粒子
(1) $\alpha$ - $p$ :	$Z^A + He^4 \rightarrow (Z+2)^{A+4} \rightarrow (Z+1)^{A+3} + H^1$	20	
(2) $\alpha$ - $n$ :	$Z^A + He^4 \rightarrow (Z+2)^{A+4} \rightarrow (Z+2)^{A+3} + n^1$	21	
(3) $p$ - $\alpha$ :	$Z^A + H^1 \rightarrow (Z+1)^{A+1} \rightarrow (Z-1)^{A-2} + He^4$	5	
(4) $p$ - $d$ :	$Z^A + H^1 \rightarrow (Z+1)^{A+1} \rightarrow Z^{A-1} + H^2$	1	
(5) $p$ - $\gamma$ :	$Z^A + H^1 \rightarrow (Z+1)^{A+1} \rightarrow (Z+1)^{A+1} + h\nu$	10	
(6) $p$ - $n$ :	$Z^A + H^1 \rightarrow (Z+1)^{A+1} \rightarrow (Z+1)^A + n^1$	22	
(7) $d$ - $\alpha$ :	$Z^A + H^2 \rightarrow (Z+1)^{A+2} \rightarrow (Z-1)^{A-2} + He^4$	23	
(8) $d$ - $p$ :	$Z^A + H^2 \rightarrow (Z+1)^{A+2} \rightarrow Z^{A+1} + H^2$	50	
(9) $d$ - $p$ , $\alpha$ :	$Z^A + H^2 \rightarrow (Z+1)^{A+2} \rightarrow (Z-2)^{A-2} + H^2 + He^4$	1	
(10) $d$ - $n$ :	$Z^A + H^2 \rightarrow (Z+1)^{A+2} \rightarrow (Z+1)^{A+1} + n^1$	26	
(11) $d$ - $n$ , $\alpha$ :	$Z^A + H^2 \rightarrow (Z+1)^{A+2} \rightarrow (Z-1)^{A-2} + n^1 + He^4$	2	
(12) $n$ - $\alpha$ :	$Z^A + n^1 \rightarrow Z^{A+1} \rightarrow (Z-2)^{A-2} + He^4$	23	
(13) $n$ - $p$ :	$Z^A + n^1 \rightarrow Z^{A+1} \rightarrow (Z-1)^A + H^1$	22	
(14) $n$ - $\gamma$ :	$Z^A + n^1 \rightarrow Z^{A+1} \rightarrow Z^{A+1} + h\nu$	97	
(15) $n$ - $2n$ :	$Z^A + n^1 \rightarrow Z^{A+1} \rightarrow Z^{A-1} + 2n^1$	32	
(16) $\gamma$ - $n$ :	$Z^A + h\nu \rightarrow Z^A \rightarrow Z^{A-1} + n^1$	19	
	(Processes leading to more than two products)	11	
		385	
	(17) $e^-$ :	$Z^A \rightarrow (Z+1)^A + e^-$	170
	(18) $e^+$ :	$Z^A \rightarrow (Z-1)^A + e^+$	50
		220	
		605	

第十一圖

に磁場を加へてその徑を曲げ、それから求めるのであるが、その誤差は1萬分の1位まで小さくなし得るのである。

遅い陽子は、同じ速度のアルファ粒子よりも、ずつと射程が小さい。毎秒  $6 \times 10^8$  cm 以上の速度に對しては、陽子の射程は、アルファ粒子の射程よりも 0.2cm だけ小さい。



第十二圖 (1)

荷電粒子が物質中を通る時のエネルギー損は、通過された物質原子の電離と励起とに主としてよるのである。斯様に粒子が原子群中でエネルギーを失ふことを、粒子が原子と非弾性衝突をなすといふのである。この非弾性衝突の確率は、粒子の速度と荷電とによるのである。

アルファ粒子は、速さが遅くなると、2價の陽イオンである時と、1價の陽イオンである時とがある。速さが遅くなると、1價の場合が多くなり、遂には中性の粒子となる。これは陽子に就いてもいはれ得ることである。荷電が減ると、粒子のエネルギー損を少なくする傾向がある。

ずつと速さの速い陽子の場合、同じ速さのアルファ

粒子に比べて、毎 cm のエネルギー損は  $\frac{1}{4}$  となる。即ちエネルギー損は、荷電の平方に比例する。

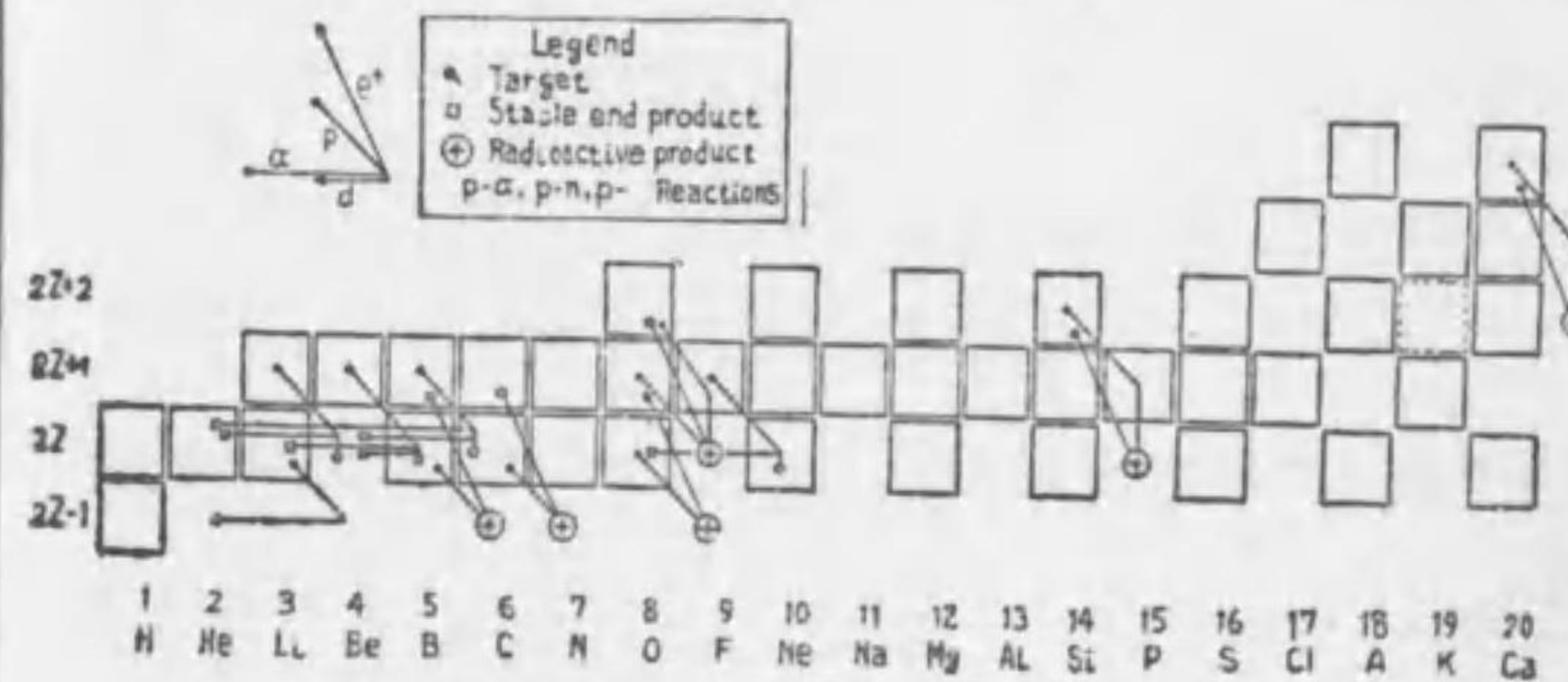
原子に入射する粒子の速度が原子内電子の速度に比べて大である時に用ひられる、Bethe の式といふのがある。

停止断面(stopping cross-section)とは、毎 cm のエネルギー損を毎 cm<sup>3</sup> の原子箇數で割つたものである。

原子轉換圖表

アルファ粒子、陽子、二重水素核、中性子及びガンマ線を夫々  $\alpha$ 、 $p$ 、 $d$ 、 $n$ 、 $\gamma$  で表はす。又放射性を持ち、陽電子及び陰電子を放つものを夫々  $e^+$ 、 $e^-$  とする。

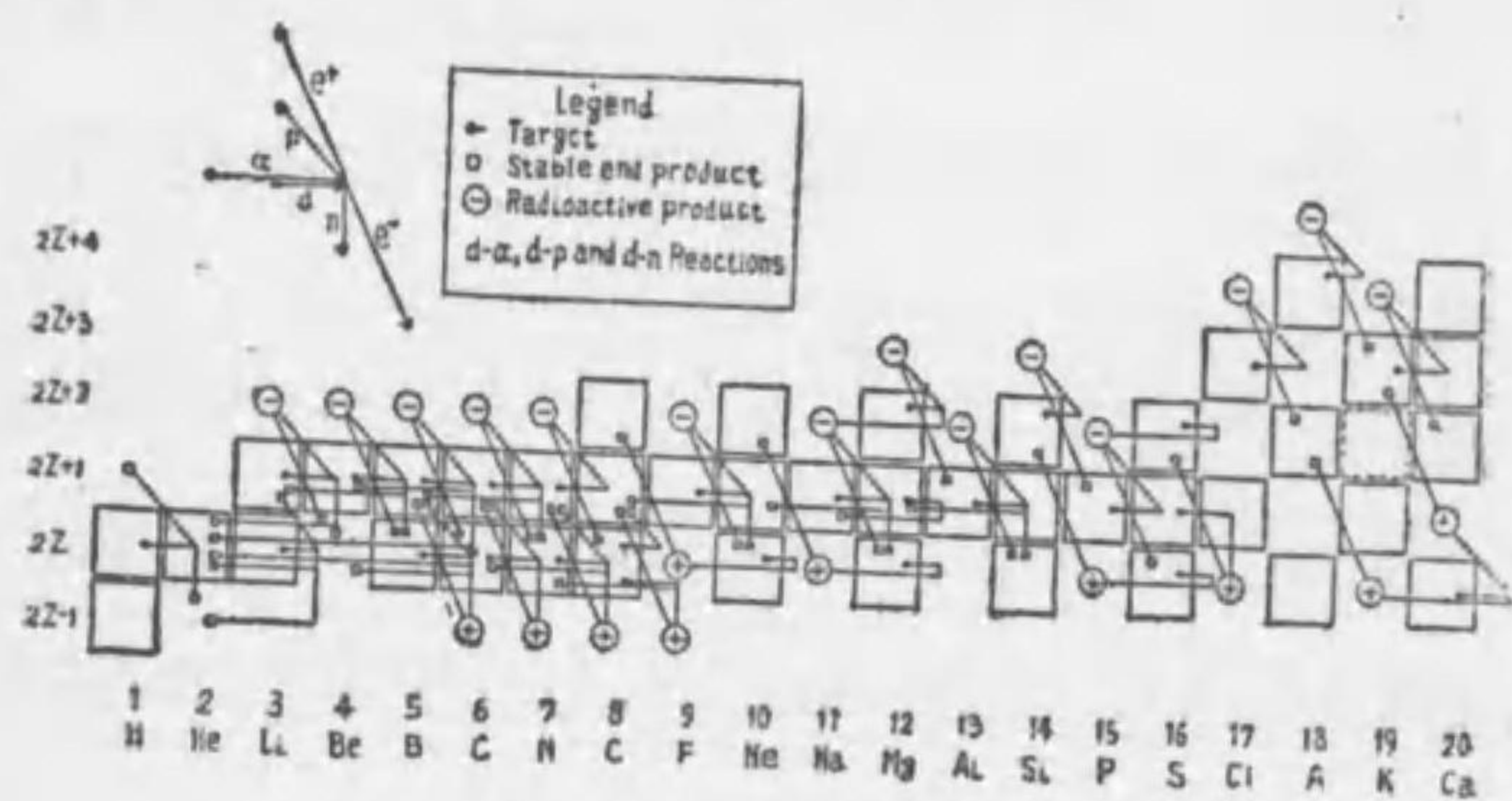
アルファ粒子が當つて陽子を出す場合は  $\alpha-p$  型、中性子を當ててアルファ粒子を出す場合は  $n-\alpha$  型と



第十三圖 (2)



表はす。そして的の元素はその前に附ける。例へば  $^{10}\text{B}-\alpha-p$  又は  $^{6}\text{Li}-n-\alpha$  と記す。結果の物質は、核荷電及び質量の保存からして推定され、上述の例の場合は夫々  $^{12}\text{C}$  及び  $^3\text{H}$  を生ずる。表には左方に反応型と、右方に核過程の箇數とを示す。これを以て見ると、385箇の一次反応と、一次を經過して生じた220箇の放射性變脱とがある。計605箇である。 $h\nu$  はガムマ線である。



第十四圖 (3)

Evans—Livingston は同位數 (isotopic number)  $(A-2Z)=1$  を原子番號  $Z$  の函數としてプロットした。 $Z$  は横軸に採つてある。例へばアルファ粒子の同位數は0である。陽子のは-1である。この方法で、あらゆる元素の同位體を分けることが出来る。元素の間の反應は、

2線でプロットし、その一つは吸収された原子彈、他は發射粒子を示す。2線の交點は、結合核を示す。又已知の安定同位體は圖表には大きな正方形で示される。的の元素は、直線の、出發點に於ける小さな黒圓で示される。

6箇の圖表は、これまで知られた核反應を表示したものである。線の長さや方向とから發射粒子を上欄から知る。

結果の物質は安定元素ならば小正方形で、放射性ならば大白圓で表はし、放射過程は圓から出る線の方向又は圓内の+或は-の記號でも示されてゐる。結果の物質が相違する場合は、共通點より分岐する線で示される。面白いことは、陽電子發散の放射性粒子は、安定同位體の帶の下に、陰電子發散のものはその上に来る。

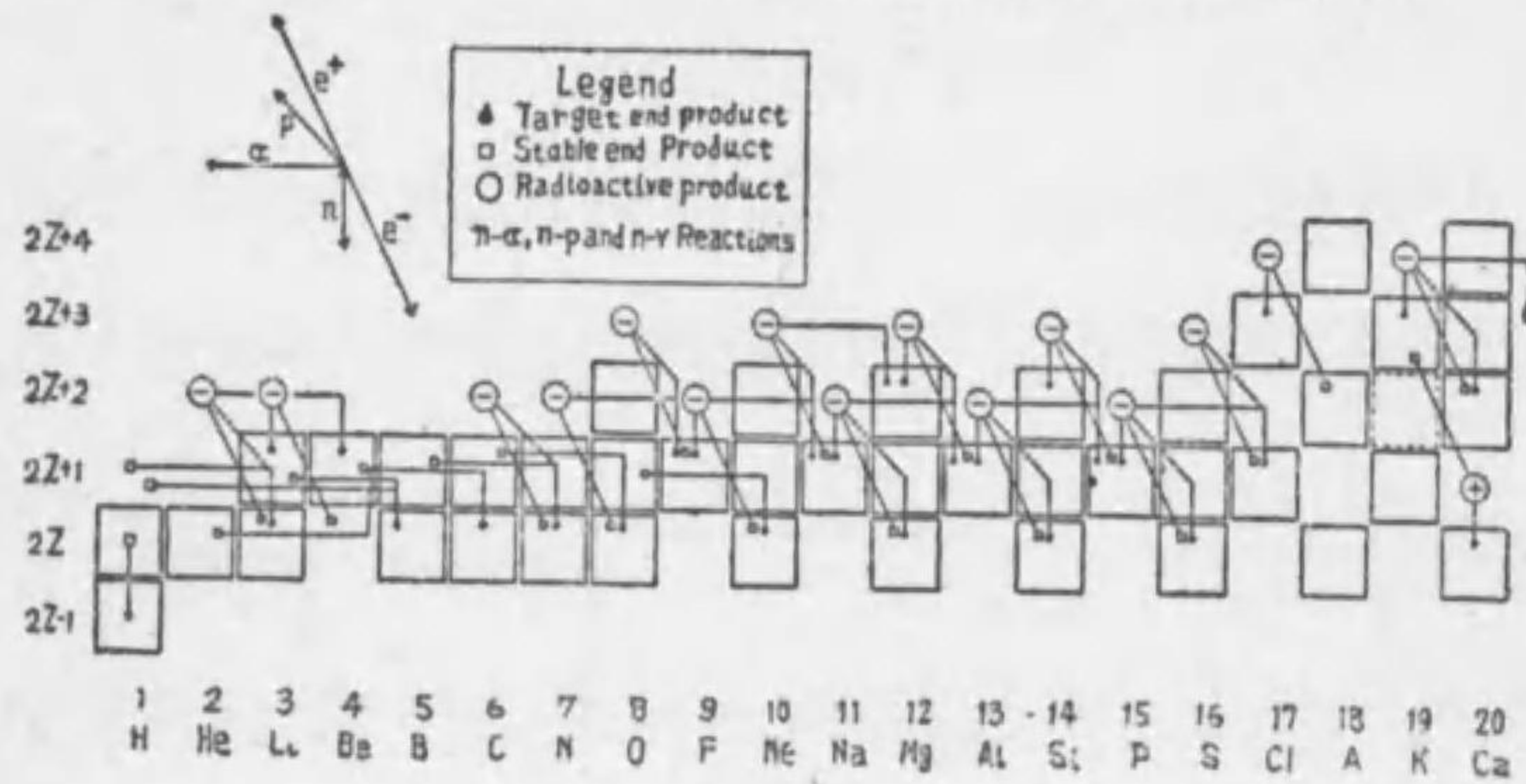
(1)は  $\alpha$ 、(2)は  $p$ 、(3)は  $d$ 、(4)は  $n$  による反應、(5)は中間原子量に於ける  $n$ 、 $p$ 、 $d$ 、 $\gamma$  による反應、(6)は重元素に於ける  $n$ 、 $d$  の反應を示す。

### 宇宙線シャワー

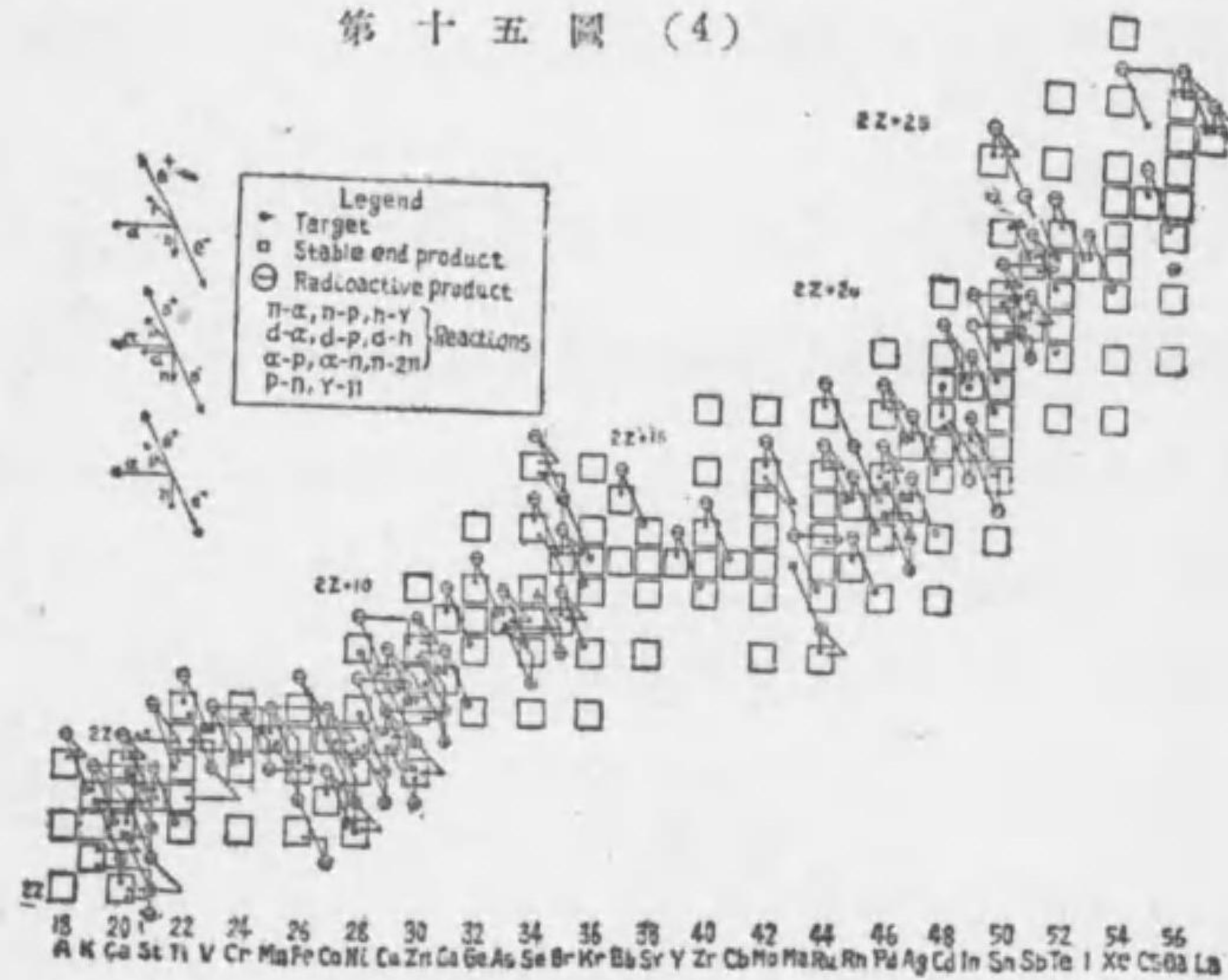
シャワーといふ現象は、電子對創生の過程と、生じた

陰陽電子の輻射エネルギー化の複合等とである。

非電離性輻射が鉛に当たると、普通これから多くの重い粒子が出るが、これは原子破壊現象とされる。高エネ

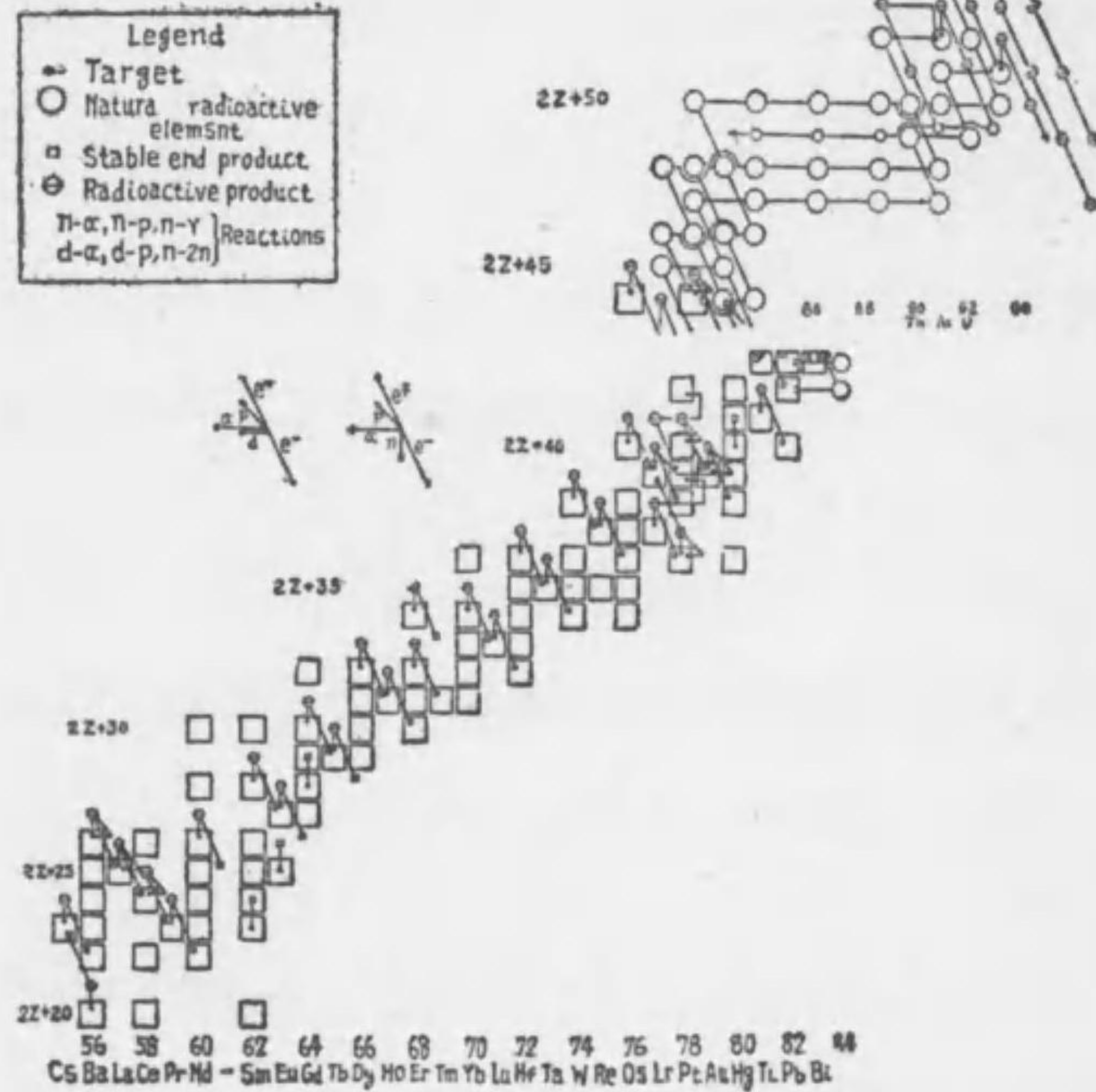


第十五圖 (4)



第十六圖 (5)

ルギーのガンマ線が或種の軽い元素の粒子分解を起すのである。中性子も宇宙線の中に見えるのは、原子破壊によるものである。



第十七圖 (6)

## サイクロトロン

1919年に Rutherford が、アルファ線即ち陽荷電ヘリウム原子線を或物質の中に通すと、その原子の核の中に入り、これを破壊し、陽子即ち水素原子核が放たれることを発見した。

1929年には Cockcroft 及び Walton が、陽子を高速度に加速する装置を作製し始めた。これは、元來轉換の手段とするもので、加速装置の電圧は 90 萬ヴォルトにも上つた。低原子番號の原子核を轉換すべく、これによつて、陽子を加速するのである。

斯様にして、加速電圧が約 100 萬ヴォルトであると、ナトリウム (原子番號 11) まで位の原子が轉換されるのである。

サイクロトロンは既述の如く E. O. Lawrence の發案に懸かるものである。同氏は Berkeley の California 大

學の教授で、この著しい装置により、あらゆる元素が轉換され、又高電壓使用に伴ふあらゆる困難と複雑とが取除かれた。サイクロトロンでは、1 萬 ~ 2 萬ヴォルトなどといふ比較的電圧が用ひられ、相續いて衝擊を加へることによつて、非常な高電壓を加へたのと同じエネルギーが陽子に與へられるのである。サイクロトロンは、装置が比較的小さく、安く、又信頼され得るものである。

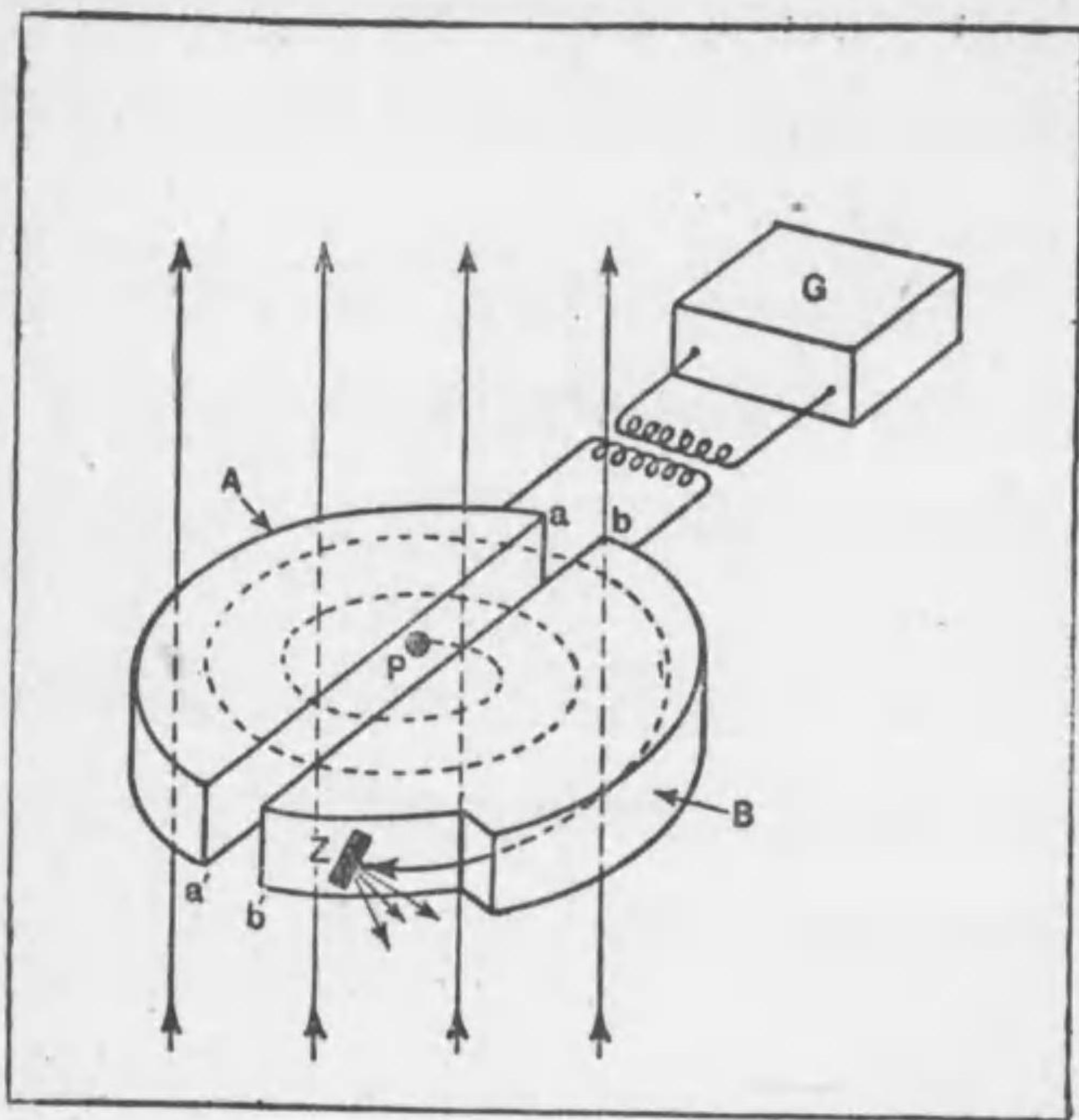
原子の破片が存在することは、Wilson 霧函の手段で示される。原子片によつて生ずる霧跡は、原子及びその成分は實在の物であることを明かにする。

今質量  $m$  の粒子が速さ  $v$  で動けば、その運動エネルギーは  $\frac{1}{2}mv^2$  である。粒子が荷電  $e$  を持ち、電圧  $V$  を通過してこのエネルギーに達したならば

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

となる。  $V$  をヴォルトで表はし、このエネルギーを相當ヴォルトでいふ。

圖はサイクロトロンの設計を示す。2 箇の D 型空洞半圓銅函 A 及び B は、間隙  $ab$ 、 $a'b'$  を持つてゐる。P には、電流で熱せられる螺旋狀纖維條が固定され、又間隙を



第十八圖

越えて、1,500萬サイクル、1萬～2萬ヴォルトの高周発電機Gが連結され、間隙に交番電場が生ずるのである。函は真空管の中に置かれ、水素ガスが $1/1,000 \sim 1/10,000$  mmの壓力に填められてゐる。

Pからは熱電子が放出されて、真空器中の水素ガスが分解され、その陽子が間隙間の電圧で加速されるのであ

る。強さ1萬～2萬エールステッドの磁場があつて、陽子を圓軌道上に動くやうにする。陽子が圓を1周する間に、間隙の電圧が丁度1サイクルするといつた工合である。即ち兩者の間に正確な同期が成立するのである。

真空槽中に二重水素を用ひると、荷電粒子は二重水素原子核即ち〔デットロン(deuteron)ともいふ。〕である。

陽子の運動と電圧の變化との間に正確な同期が得られると、陽子は間隙を通る時に一定量だけ加速される。それでその軌道の半径は相當量だけ増加するが、その角速度は一定に留まる。斯くて陽子はD型函の中で、50～400回轉して外に出、對極Zを打つ。このZには轉換さるべき物質を置くのである。

若し函の中央面から陽子が外れようとする、電場はこれを元に引戻すのである。

質量 $m$ 、荷電 $q$ の粒子が、強さ $H$ の一様な磁場に垂直な平面内で速さ $v$ で動くと、粒子に働く力 $f$ は、 $H$ と $v$ との方向に垂直で、大いさ $qvH$ である。そして軌道は次の半径 $r$ の圓となる。

$$qvH = \frac{mv^2}{r},$$

$$\therefore v = \frac{qHr}{m}$$

$n$  を単位時間の回轉數とすれば

$$v = 2\pi n r,$$

又1周時間を  $T$  とすれば

$$T = \frac{1}{n} = \frac{2\pi m}{qH}$$

となり、 $T$  は  $v$  に無關係となる。それで速さを増せば半径を増すので、角速度は不變である。

運動エネルギーは

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \frac{(qHr)^2}{m}$$

となる。それで  $H$  をエールステッド、 $r$  を cm、 $m$  を g、 $q$  を静電單位で表はせば

$$V = \frac{1}{2m} \frac{(Hr)^2 q^2}{(3 \times 10^{10})^2} \times 300$$

陽子、デットロンの場合、夫々  $m = 1.66 \times 10^{-24}$ ,  $3.32 \times 10^{-24}$ , 又  $q = 4.77 \times 10^{-10}$ . 今假りに  $H = 20,000$ ,  $r = 40$  とせば、 $V$  は夫々  $30.6 \times 10^6$ ,  $15.3 \times 10^6$  である。

若し陽子流が 80 ミクロアムペア (1 ミクロアムペア =  $10^{-6}$  アムペア) ならば、毎単位時間對極を打つ陽子の箇

數は  $5 \times 10^{11}$  である。そして工率は 3.26 HP となる。周波數を毎秒  $15 \times 10^6$  とせば、逸出する粒子の速さは毎秒 37,600 km である。

磁場は電磁石で造るが、捲線は、外周が正方形で、内周が圓形である。同期性を起す磁場の強さは、非常に鋭く限られて居り、濕度變化などでも、發電機の振動數や磁場の強さを變化するのである。自動的に又手働的に調整することになつてゐる。

サイクロトロンによつて、ウラン以上に重い原子も合成された。これを超ウラン原子 (transuranium atom) といふ。

尙陽子線をベリリウムに当てると、中性子が生ずる。

この装置は、頗る意味の重大なるものがあり、これによつて將來、ラヂウムの安價な又効果ある代用としての人工放射性物質を作り出し得るのである。

世界には、サイクロトロンの既製未製のもの 25~30 箇ある。

元素轉換の成功しなかつた時分、原子の種類は 250 箇あり、その中 40 箇が不安定で、變化的であつた。この 40

箇の原子は自然的放射性元素であり、これに人工的に4年位の間には220箇も新しい原子が加へられた。

中世紀の錬金術家が非常な忍耐と驚くべき豫言者的本能とを以て求めてゐた『哲學者の石』は、斯くて科學的基礎の上にサイクロトロンとして現れて來たのである。

アメリカ以外1箇國で2箇以上のサイクロトロンを持つのは日本だけである。近く、2,000萬ヴォルトに相當するエネルギーを出す大サイクロトロンが日本とアメリカとに出来る。電磁石は數百噸の鐵材を要する。これによればすべての元素が轉換されるであらう。

## 放射能研究の過去及び現状

### 放射能研究の歴史點景

ドイツの Röntgen は1896年 X線を發見し、フランスの Becquerel は翌1896年に、ウランが自發的に放射線を出すことを示した。實に Röntgen の大發見がこの種の放射線の探究を促したものといふべきである。そして放射線の發見は原子核構造論に曙光を投げて來たのである。

アルファ線は放射性原子核から出て來るヘリウム原子核であるが、これを以て他の物質の原子核を衝擊すると、これが或場合には人工的に轉換されるのである。陽子、中性子、二重水素核の流れを人工的に造り、これを原子の人工轉換に用ひることも始つた。この方法によつて多量に且つ有効に元素を轉換し得るのである。

しかも或場合に、この原子核が爆発して安定な新しい原子を造ることがあることが解つた。又或原子核は新しい放射性原子核となることも解つた。そして現在多数の人工放射性物質を造ることが出来るやうになつた。斯くの如くして放射能の學問は、始めて廣大な天地を展開し、新鮮活潑な研究の對象となつて來た。最近放射能を起すに必要な粒子加速装置、又放射線粒子を計測する装置、Wilsonの霧函などが考案されて、この研究は益々擴大しつつある。

Larmor, Lorentz は原子スペクトル線の配列を論じ、原子内には荷電粒子が存在するとしたが、それは果して如何様な粒子なるかは解らなかつた。しかし聽て電子が発見され、Zeeman 効果といふ、スペクトルに及ぼす磁場の影響が発見され、この問題が解決された。即ち原子の電子的構造が判明すると同時に、これ等の諸問題は一躍氷解したのである。

Lord Rutherford がウランの放射線が2種より成り、一つは吸収され易いアルファ線、他は透過的なベータ線であることを見出した。又1898年に Schmidt が発見し

たトリウムの放射線をも研究した。

## 原 子 核

原子核は一般に陽子と中性子各數箇とより成る。そしてヘリウム核即ちアルファ粒子が二次的な單位となつてゐる。アルファ粒子は陽子2箇、中性子2箇の非常に安定なる結合體である。アルファ粒子の半径は $5 \times 10^{-13}$ cmの程度にある。この粒子の周圍には高い電位障壁(Potentialschwelle)があり、粒子が逸出するのを防ぐ。ウランのやうな重い核では電位障壁は2,000萬ヴォルトあり、アルファ粒子はこれを越すことが不可能である。しかし Gamow の理論によると、アルファ粒子はこの障壁を貫いて出る小さな確率があるのである。同様にエネルギーの少い陽子が核の近くに入り込む小さな、しかし有限の確率が存するのである。

核構成粒子の間にどんな力が働くか、これを決定することが大切である。これには先づ水素ガスの中で陽子や中性子がどんな風に散亂されるかを研究せねばならない。

## 原子核轉換と人工放射能

核はその半径が  $10^{-12}$  cm 程度であり、非常に強い力で結合されてゐる。核を變化するには、非常に凝縮したエネルギー源を以て核に作用しなければならない。Lord Rutherford は1918年、アルファ粒子を以て軽い核を衝撃すると核が變化することを発見したのである。この際アルファ粒子は核に近く来るか又はその中を貫通する。この際大きな力を核に及ぼすであらう。炭素や酸素に於ては何の効果も現れぬないが、窒素に於て核内より陽子が飛び出るのが、螢光板上のシンチレーションで觀察されるのである。窒素は原子量18、原子番号9の弗素となるが、爆發して陽子を失ひ、原子量17の酸素となる。

Chadwick は同様に12種の軽原子を轉換した。陽子が發射されるが、その數及び速度は互ひに相違する。

すべての核から速度の相違した陽子群が發射されることは、核内にエネルギーの共鳴準位が存在することを示す。これが或速度のアルファ粒子を捕捉するのである。

1933年 Chadwick がベリリウムをアルファ線で衝撃し

たところ、陽子が出なくて、質量1、荷電零の中性子と呼ぶ新しい粒子の線を得た。この粒子は無荷電のために、原子の電子殻を貫いて核中に入るといふ異常な性質を持つ。特に中性子は原子核と衝突してこれを速かに動かすが、多くの場合は核内に入りその中に捉へられる。中性子が窒素、酸素及び他の原子を衝撃すれば大いにこれを變化する。

同年 Curie—Joliot が或原子の核をアルファ粒子で衝撃して放射性物質を人造した。實にこの發見以前には、人工的に轉換されて出来る原子は常に安定であると思惟されてゐた。硼素をアルファ粒子で衝撃すると、速い陽電子を出して分解し、半壽命10分の放射性物質となる。



アルミニウムも同じ條件の下に、半壽命3.2分の放射性磷を造り、これが同様に陽電子を出して分解する。陽電子が出るといふことは豫想外であつた。

アルファ粒子の外、陽子、中性子、二重水素核で衝撃



することが、人工放射能を起すのに用ひられる。

重元素を中性子で衝撃すると、非常に良く人工放射能が起ることは、Eermi 一派の発見で、實に50數種の放射性物質が人工された。軽元素にアルファ線を衝撃して得られた放射性物質と相違し、重元素では陰電子を放つ。

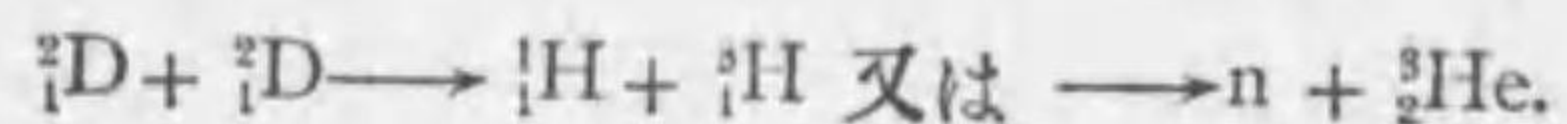
中性子も高速のものではない。遅いものが宜い。原子核破壊の際に出る中性子は高速なので、これを水又はパラフィンの中に通して速度を遅らすのである。

カドミウム、硼素、ユーロビウム及びガドリニウムは、mm 以下の厚さのものでも、中性子を吸収してしまふ。この際に未だ解らないが、或轉換が起るのである。

熱運動をなしてゐる中性子でも、原子核に作用することから、或種の核内の共鳴準位といふものは、極めて低とものであることが知られる。

トリウムに遅い中性子を作用させて、階段的に又系統的に、自然放射能の場合のやうに變化する元素が得られると見られてゐる。

二重水素核にそのイオンを衝撃すると次のやうになる



原子量1から20までの元素に就いて、安定な若くは不安定な同位體が存する。但し原子量5を除く。

### エネルギー放出

軽い元素を衝撃轉換する場合に、この原子から出されるエネルギーは、放射性物質に於て見られるものと大體同程度である。けれども重水素イオンで衝撃する場合には、エネルギー放出は頗る大きい。人工放射線の場合にも、自然放射性元素よりも速い速度でアルファ粒子が放たれる場合がある。

${}^7\text{Li}$  を陽子で衝撃すると、2個のヘリウム原子が出来、その際強いガンマ線が出る。そのエネルギーは1,600萬電子ヴォルトといはれる。これは放射性物質のガンマ線よりも5倍もエネルギーが強いのである。

核反應に於ては、必ずエネルギーの保存が行はれる。但し質量即ちエネルギーといふ關係が考慮されねばならない。例へば上に述べたリチウムの場合に於ても、質量變化は原子量で0.0181に上り、これを電子ヴォルトで表

はすと、1,710萬電子ヴォルトとなる。

原子核の比較質量を正確に定めるために、エネルギー保存の法則を用ひる。一般にこれは質量分光器の方法より一層正確である。特に重元素に於てさうである。

中性子の質量は、陽子のよりも少しく大きいやうである。そして、核内では陽子と中性子とが密接の関係にあり、或條件の下に互ひに轉換してゐるのである。この際に陰、陽の電子が放たれる。即ち中性子が陽子になり、陽子が中性子になる時、夫々陰、陽の電子を放つのである。或場合には重電子を放つ。

### 誘導放射能

Soddy と Rutherford とが1901年に、或物質を放射性溶液から分離した後か又は放射性物質に曝露した後に、數時間活性即ち放射性を帯びることを發見した。當時これは放射線がその物質に放射性を誘導するのではなからうかといはれた。ところがこれがラヂウム・エマナツィオン又はトリウム・エマナツィオンの混入なのであつた。

エマナツィオンは液體空氣で冷せば凝結し、又紙でも透過するものである。

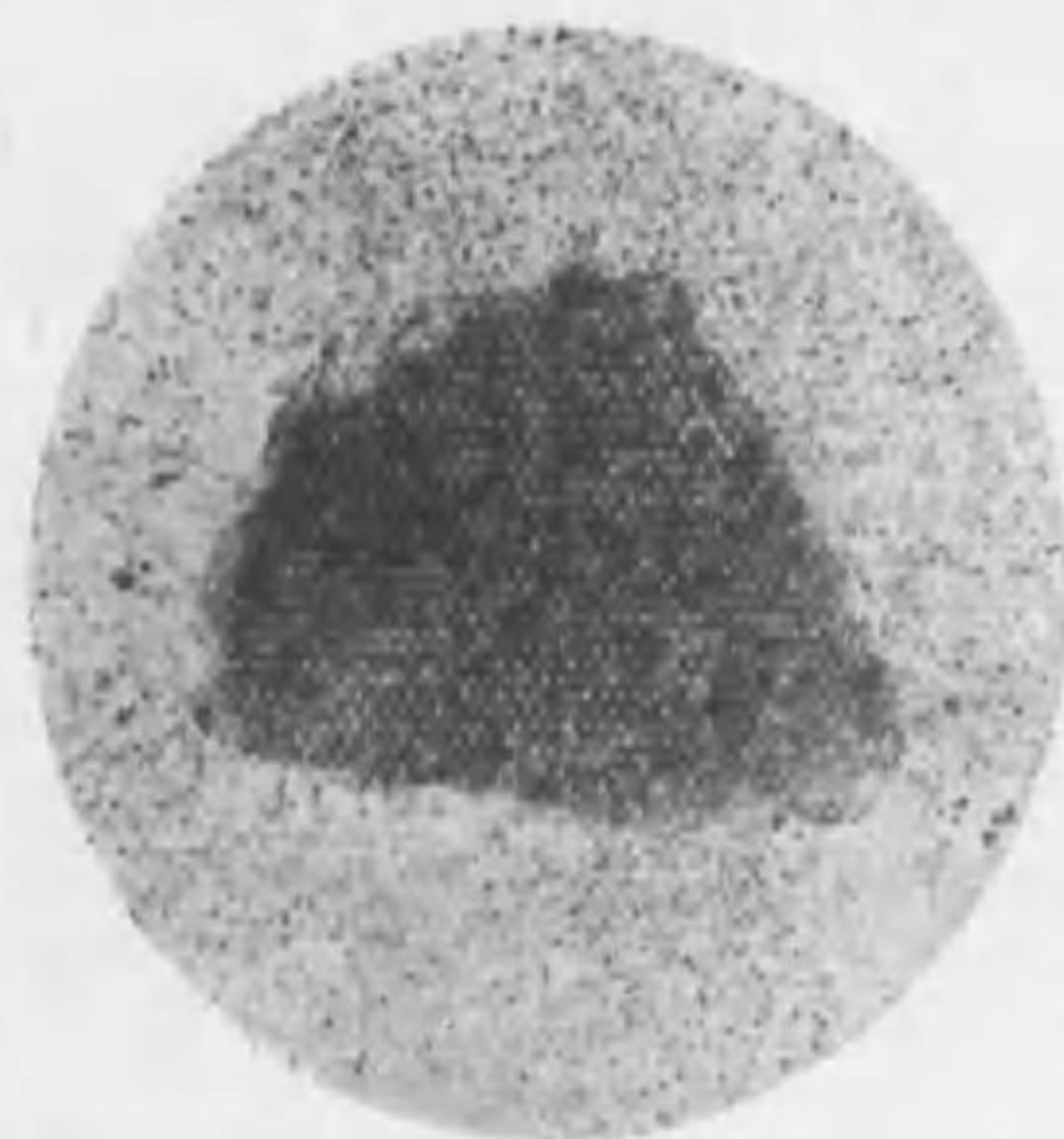
既述の誘導放射線は誤謬であつたが、新しい誘導放射能は人工放射能である。

現在人工放射能を起す有力な装置として、既述サイクロトロン、詳しくは磁氣共鳴加速装置が評判である。これは大きな電磁石の極の間で、共鳴的に荷電粒子に電氣力を加へてエネルギーを高めるもので、數百萬ヴォルトに相當するエネルギーが得られる。これを以て他の原子核を衝撃すると、原子轉換或は人工放射能が得られる。

或は既述の如く自然放射線を以てする方法もある。これは親として自然放射線を用ひ、子として人工放射能を得るもので、元さへあれば子は無償で出来るのである。

人工放射能の中で最も特筆さるべきは、食鹽の人工放射能である。食鹽中のナトリウム原子が放射線を放つもので、この壽命は數日であるが、醫藥として最も大切なものとならう。それは食鹽は生物體の攝取し得べきものであり、しかも放射能の壽命が短いので危険は無いからである。中性子で衝撃した硫黃も數十日の放射壽命を持つ

### 放射性食鹽



第十九圖

食鹽のラヂウム化を研究してゐる著者及び稻井 猛學士は、生理學的に興味ある食鹽を造り出して、昭和11年1月18日の午後日本數學物理學會でその經過を發表した。



第二十圖

これは普通の食鹽にラヂウムの或放射線を或時間照射すると得られるもので、弱いながら、眼には視えない輻射線を發し續けてゐるのである。この食鹽を水に溶して、生理的食鹽水にして、生物學的研究を共同し

て行つたのは横濱市鶴見區に私立研究所を持つ澁谷 巍博士であるが、この食鹽は水に溶解しても少くとも數日

間は效力を保ち、この中で二十日鼠の脾臓の細胞の發育を調べたところ、普通の生理的食鹽水と全く相違して、發育を悪くする（第十九圖と比較した第二十圖）し、又靜脈注射を行つて血液變化を調べると、白血球の箇數が増大することが解つた。

この食鹽はラヂウムさへあれば殆ど無盡藏に出来る上人體に吸収されても後には、悪作用を残さないから、將來癌治療等の一般醫療に用ひられる可能性があると見られてゐる。

### 人工放射線治療の進出

放射線治療の非常に興味ある發展が數年の近い未來に約束される。

放射線治療は物理學的治療の中で一番高尚な位置にあるものであり、レントゲン線やラヂウム放射線等を主體として用ひるのであるが、近年物理學に於て拓かれて來た原子核物理學は、人工放射線や中性子といふ不思議な粒子を發見し、これを醫療に應用し得ることを示した。

中性子は、水素原子程度の質量を持ち電氣を帯びてゐない粒子であるが、生物體の筋肉には骨よりも多く吸収

され、著しい電離（イオン化）を起す。アメリカの Lawrence は、強い中性子線は穀粒、鼠の腫瘍に對してレントゲン線以上の強い作用を呈し、又それ以上に、悪質組織に對する選擇的效果が大きいことを明かにした。筆者と澁谷博士との共同實驗も、中性子線の醫治効果の可能性を早くも暗示したのである。

日本の理研でも目下鋭意完成を急いでゐるが、大サイクロトロンを以てすれば、普通元素を多量に放射化することが出来るのである。化學療法（ケモセラピー）が此處に新生面を拓く譯である。

中性子を造るには、二重水素原子を二重水素、ベリリウム或はリチウムに高速に衝突させるが良い。現在 500 萬ヴォルトの高電壓を發生する研究所もあるが、サイクロトロンを以てすれば 2 萬ヴォルトの電壓で済む。

小さな病院が購入出来ない量の天然ラヂウムの代用として人工ラヂウムが登場した譯である。世界大戰の際には Curie 夫人が野戰病院に出陣し、始めて放射線を應用した。今期の事變を契機として人工放射線の研究が活潑にならんことを望むのである。

## アルファ粒子

### アルファ粒子群と長射程アルファ粒子

1 瓦 20 萬圓のラヂウム鹽が近頃 5 瓦も日本に買ひ入れられた。これ程多量のラヂウムが手にあれば、面白い研究が色々出来ると思ふ。

ラヂウムからはその放射線の一つとしてアルファ線が出る。アルファ粒子其者はヘリウム原子核であるが、これが素敵な速さで飛び出るのがアルファ線なのである。

最近の研究によると、ラヂウムからは射程を異にした 2 群のアルファ粒子が出るのである。群はその中に互ひに僅かにエネルギーを異にしたアルファ粒子を持つ。これを群の細微構造といふ。アルファ粒子を發散する元素——アルファ發散體(alpha-emitter)は 23 種知られてゐるが、アルファ線の速度スペクトルの細微構造の研究され

たものは、次の如くである。括弧内は群の数である。

Ra(2), RaC(2), RaTh(2), ThC(6), RaAc(11), AcX(3),  
Ac(3), AcC(2), Rn(1), RaA(1), Th(1), ThA(1), AcA(1)  
トリウムCのスペクトル6線中4線は強い。

此處にいふ射程とは何を意味するのであるか。射程は通過物質の性質や密度によるが、これを壓力 760mm 水銀、溫度 $15^{\circ}$ の空氣の厚さに引き直していふのである。即ち空氣當量 (air-equivalent) を指し、A. E. で表はすことがある。

トリウムC'より放たれる射程 8.6cmの良く知られてゐる粒子のすべてを、或物質層で遮り、鋭敏な検出装置に用ひると、主粒子の100萬分の數十の箇數の粒子が尙物質から抜け出るのが解る。これ等の或ものは11.5cmの射程を持つてゐる。實に驚くべき長い射程ではないか。この種のアールファ粒子を長射程(long-range)アールファ粒子といふ。

長射程アールファ粒子の存在は、最初シンチレーション法で螢光板上に觀測されたのであるが、現在は巧妙な装置が種々出來てゐる。ラヂウムからの長射程スペクトル

は12本以上より成り、トリウムC'のよりは2群がある。その1群はラヂウムC'の最高エネルギーの群と約同じ射程を持つ。このエネルギーは10.6MEV (MEVは100萬電子ヴォルト)で、原子下粒子の中では最高のエネルギーのものである。勿論宇宙線や $^4\text{H}$ と $^7\text{Li}$ ,  $^3\text{H}$ と $^6\text{Li}$ の核反應に於て放たれるものは別として考へる。アクチニウムC'よりは射程10cm位のものが、主群の1萬分の1の箇數で放たれる。ラヂウムC'の長射程粒子としては、射程のがある。9.0cmのものが著しく、又7.8cmの遙かに箇數の少いも主群は6.9cmの射程を持つ。射程7.8, 9.0, 6.9cmの3群の量の比は1:44:2,000,000である。

ラヂウムC'又トリウムC'はその半壽命が $10^{-14}$ 秒であることは、Geiger—Nuttallの式より推測されるのであり、實際には、同じくアールファ發散體である母元素ラヂウムC又トリウムCよりは分離出來ないのである。ラヂウムCよりはラヂウムC'の3,000分の1の箇數で、又射程のより短いアールファ粒子が出てゐる。

### アルファ粒子研究装置

Rutherford, Ward, Lewis は示差イオン槽 (differential ion-chamber) なるものを以て、射程と箇數との關係即ち射程分布 (distribution-in-range) を定めた。この原理は次の通りである。

アルファ線の電離能とは、空氣當量毎mmに於ける電離をいふのであるが、電離曲線は初めは水平で、次に明瞭な極大値を示し、急に零に落ちる。そこで、空氣當量數mm位のガスを容れた1對の浅い電離槽を造り、空氣當量零の薄い金屬箔で遮斷して置く。兩槽の金屬壁は夫々陰陽極として、電氣計又は他の檢出装置に絡ぐ。電氣計に現れる電荷は、兩槽の電離の差に當たる。

それで電氣計の讀みと吸收物質の厚さとから射程分布が知られる。

Cavendish 實驗所には、Cockcroft 設計の特殊な大電磁石がある。これを用ひるとスペクトルが良く分解され、従つて細微構造が研究され得る。

この電磁石は、極面が半徑 40cm、幅 5 cm の圓環をなし、兩極面は 1 cmの距離にある。磁場は12,000エールステッドまで上せ得る。エネルギー 10.6MEV、射程 11.5cm

附近のアルファ粒子でも、これを以て研究され得る。アルファ發散體は狭い環狀空間に置き、又この中を眞空にする。アルファ粒子は磁場に約垂直に又環面に切線的に出、環狀空間の中で圓形の徑を描く。檢出装置は、簡単な電離槽に、線的増幅器 (linear amplifier) を絡ぎ、これをオッシログフラに到らしめる。磁場と環の半徑とからアルファ粒子のエネルギーが解り、これと射程との關係が實驗的に定められる。

筆者も參觀したが、パリ郊外 Bellevue にある發明局には、一樣磁場の廣きこと世界第一の大電磁石がある。Cotton 教授が指導する。この電磁石を用ひれば、アルファ線の速度スペクトルの細微構造を寫眞し得るのである。極片の直徑75cm以上、磁場 15,000單位以上が用ひられる。

### 分解エネルギーとガンマ線

分解エネルギー (disintegration energy) とは、原子轉換の際に發せられる、アルファ粒子の運動エネルギーと反衝核の運動エネルギーとの和である。轉換エネルギー

(核の前後のエネルギー準位の差) と分解エネルギーとの差が發散ガマ線のエネルギーとなる。

ラヂウムは 0.189 MEV の弱いガマ線發散體である。

## 中性子

1932年の春、イギリスの Chadwick は中性子なる新しい粒子を發見した。中性子といふのは、電氣を帯びず、そして速度の大なる粒子で、非常に貫徹能の大なるものである。この中性子を用ひることによつて、多くの元素の原子轉換が極めて自由に行はれるやうになり、更に進んでは、原子に人工的に放射能を與へ得るやうになつたのである。

中性子は無帶電であるが故に、原子核の中に自由に入り或はこれを貫通し得る。若し電氣を持つならば核の電氣力を受けて、核内貫通が難しくなるのである。

中性子の發見は、しかしその以前に行はれたドイツの Bothe 及び Becker, フランスの Irène Curie 及び 夫 Joliot の觀測結果によつて導かれたものである。

硼素或はベリリウムの的に、ラヂウムのアルファ線を

衝撃すると、それ等の原子核より中性子が出る。これがパラフィン、セロファンその他水素を含む物質に当たると陽子を出させる。陽子が電離槽に入ると、槽内ガスを電離するので、鋭感増幅器を経てオッシログラフに尖起<sup>キツク</sup>を起さすのである。

的とパラフィンとの間に鉛板を置いて、尖起の箇数は殆ど變らない。即ち非常に中性子の吸収係数は小さいのである。中性子は原子量1、原子番號零の原子と考へても宜からう。この原子は従つて惑星電子を持たぬのである。

アルファ粒子と硼素原子核とが反應すると、窒素原子核と中性子とが生ずる。Chadwick は中性子の質量は $1.055 \pm 0.009$  なりとした。フランスの Thibaud 等は 1932年10月已に中性子の吸収係数を發表してゐる。

中性子は正、負等量の電氣を帯びた2粒子の結合と考へる學者もあり、これを全くの要素的粒子と考へる人もある。

私共の實驗室でも、中性子を以て人工放射能の研究を行つてゐる。僅かの臭化ラヂウムしか持ち合せが無いの

で、これで辛うじて實驗を行つてゐる仕末である。臭化ラヂウムは、ラヂウム元素1mg 勘定で300圓位し、ベリリウムは1g10圓見當である。ベリリウムは亞鉛のやうな色を持つてゐる、軽い、硬い金屬である。

ベリリウムを乳鉢で擦つて粉とし、この中へ臭化ラヂウムを硝子管入りの儘没入する。硝子管を透して出るガムマ線がベリリウム原子核に作用し、所謂 Chadwick-Szilard 効果として中性子を出さすのである。アルファ線勵起でなくガムマ線勵起でも中性子が放たれるのである。ガムマ線が原子核を打ち振はし、そのため原子核が不安状態になるのであらう。

中性子が細菌や組織に及ぼす効果如何は興味ある問題ならんことは、私が早く已に申し述べたことがある。目下醫學者と共同研究中である。その貫徹能は、剛なるものに大で、却つてパラフィンの如きものの中で減速されるのである。これはパラフィン中の同大の水素原子に作用を及ぼし、又その反作用を受けるからで、パラフィン數十cmの厚さを通過させると、適當に速さが減じ、丁度他の原子核子内に於て反應を起し得るやうになるのであ



る。この低速中性子が原子轉換、人工放射能の研究に用ひられるのである。

・ ガマ線<sup>γ</sup>を重水に当てると、重水を造る重水素原子核から中性子を驅逐するので、常水素と化し、重水は自ら常水に變化して行くのである。重水は相當高價であり、現在1g7圓の値があるが、重水を常水に變へるのも面白い研究と思ひ、この問題に着手することを可なり以前に企てた。

兎も角中性子は不思議な粒子と申すべく、この發見をなした Chadwick 教授、更に又この存在の暗示を與へた Joliot 夫妻は、最大の敬意を物理學者から捧げらるべきである。

中性子は徑を造らぬ。それは電氣を持たず従つてガス中を通過する時電離を起さないからである。中性子が反衝する荷電粒子の徑のみが視えるのである。

重水素核をサイクロトロンでベリリウム對極に打ち附けると、中性子が澤山出る。

アルファ線を放つ自然放射性元素と他の適當な元素とを混合してカプスルに入れ、直徑 10cm ばかりのパラフ

ィン球の中心に填めたり又は水中に浸すと、中性子は、水素の陽子と數回衝突して速さを減じ、丁度原子轉換に都合の良い状態になる。

中性子と陽子とは、0.1%の範圍に於て質量が同じい。始め動いてゐる彈性球が始め止つてゐる彈性球に衝突する際のエネルギー轉移は、兩球が同じ質量の時、最大であるのである。

## 人工放射能

Clay と van Tijn は、鐵に於て8.6分の放射性を認め、この原因を宇宙線の作用に歸した。けれどもそんな現象は認められないといふ人もある。

核を貫通するには、電子は  $5 \times 10^6 \text{eV}$  (eV、電子ヴォルト) のエネルギーを要するが、これは宇宙線中のみにしか今まで現れてゐない。

又 Ra-Th の  $\gamma$  線によつて鉛中に發生する陽電子を以て B, Be, Mg, Li を衝撃しても人工放射性は起らない。

$\gamma$  線による放射性現象は、放射性同位體の鑑定に役立つ。以下これに就いて述べる。

Chang, Goldhaber と 嵯峨根は最近半壽命 2 分の弱い活性を O に於て認めた。



Gentner は Sc に於て、3.9時の非常に弱い活性を認め

た。



2 箇の中性子を放散する核光効果 (Kernphotoeffekt) はこれまで知られてゐなかつた。

Chang 等、Bothe と Gentner は



を見附けた。

Bothe 等は Zn の半壽命は 38 分で



なることを知つた。

その他 P は 3 分、Ga は  ${}^{70}_{31}\text{Ga}$  の 20 分、 ${}^{68}_{31}\text{Ga}$  の 60 分、Br は 5 分、16 分、4.5 時のある。16 分、4.5 時は臭素の重い同位體  ${}^{80}\text{Br}$  によるものである。Mo は 17 分、Ag は 2.3.4 分、24 分を持つ。In は 1.1 分で、これは  ${}^{114}_{49}\text{In}$  によるものであらう。Sb は十數分の  ${}^{120}_{51}\text{Sb}$  がある。Te は 60 分である。



又は



による核光効果を顯微分析で研究したのは、Paneth と Glückauf である。後者が主として起ると考へられる。

$\beta$ 変脱の Fermi の理論や陽電子の Dirac の理論から、陽電子發散により放射性を持つものは、陽電子を發散しなくて、核外K環の陰電子を捉へても變脱し得るのである。これはK環を補つて生ずるX線で證明される。Alvarez は Ti を重水素で衝撃して生じた Va 同位體 (16日の半減期を持つ。) に就いて證明した。これは Ti-K $\alpha$ 線である。

陰陽電子發散の放射性同位體の頻度と半減期との關係を曲線に描くと、これは Gauss の曲線に似、最大値を持つのである。

Alichanow, Alichanian と Dzelepov の研究によると、 $\beta$  スペクトルの形は當該放射性同位體の原子番号によるのである。例へば RaE ではエネルギー分布の最大値は小さな値に於て起り、遅い電子の箇數が非常に大きく、Ra-Al ではこの反對に上限界値の $\frac{1}{4}$ 位の所に最大値が起り、エネルギー零の箇數も零である。

核を離れた電子は先づ陽核の場を周廻せねばならず、従つて大いに減速される。この場は重い核程強いのである。

軽い核では又、陰電子と陽電子とのスペクトルの間に差違が殆ど無く、重い核にはこの差違が見出される。實際 Ra-P の陽電子スペクトルは Ra-Al の電子スペクトルと殆ど變はらぬ。

ユーロピウムの電子スペクトルには、小速度の電子が非常に多いことは、上の證明である。

## 陰電子發散

同位體	半減期	最大エネルギー値 ( $10^6$ eV)
$^{24}\text{Na}$	15.5h	1.95
$^{31}\text{Si}$	145 m	2.05
$^{32}\text{P}$	14.5d	2.15
$^{38}\text{Cl}$	40 m	1.5, 6.1
$^{40}\text{A}$	108 m	1.5, 5
$^{42}\text{K}$	12.2h	1.4, 4.4
$^{12}\text{B}$	0.02s	13
	7s	
$^8\text{Li}$	0.5 s	11.2
$^{20}\text{F}$	12 s	5.9
$^{16}\text{N}$	9 s	6.5
$^{56}\text{Mn}$	2.5 h	1.2, 2.9

人工放射能

$^{76}\text{As}$	26 h	1.1, 3.4
$^{64}\text{Cu}$	12.8 h	0.83
陽電子發散		
$^{13}\text{N}$	10.3 m	1.45
$^{17}\text{F}$	1.16m	2.4
$^{15}\text{O}$	126 s	2.0
$^{11}\text{C}$	21 m	1.3
$^{64}\text{Cu}$	12.8 h	0.79
$^{34}\text{Cl}$	33 m	3.0

—○ノベル學術賞の由來○—

スウェーデンの科學者でダイナマイトの發明者たるアルフレッド・ベルナルド・ノベル (1896年歿) の遺志に基づき、人類の福祉に對する貢獻を獎勵するため贈與されるものであつて、基金約 1,800萬圓、受賞者としては、物理學、化學、醫學、理想主義の文學及び世界の平和の 5 科目に分ち、各方面より毎年最も功績が多かつたと認むべき人を選擧し、1905年以來各人に付き平均 8 萬圓づゝ贈與するのである。

放射能の乾板研究

放射能の乾板研究

放射線の徑を検出する寫真乾板法を述べよう。

H. J. Taylor は Proc. Roy. Soc., 150 (1935), 382 に於て次の注意をなした。

乾板は Imperial New Series Process 板が良いといはれる。けれども次の理由から尙不満足である。

それは露光せずに現像すると、エマルジョン  $1\text{cm}^3$  に  $2 \times 10^9$  箇の粒子、即ち乾板面  $1\text{cm}^2$  に  $3 \times 10^8$  箇の粒子を示し、餘りに『背景』が多くて、觀測を妨げる。但し粒子が小さいので、普通の測光の見地からは『フォグ』と見えぬが、アルファ粒子などの徑の端點を決め難からしめる。陽子のやうなものだと、徑が餘り細く出て見難い。又偶然的に粒子が直線上に並ぶこともあるので、短い徑と見られる懼れがある。徑の正確な位置も充分定まらぬ。

上述の乾板では、アルファ線の徑に於ける粒子の数は比較的少い。10cm 空氣當量に對し23箇ある。

Iford 會社の研究所で、長く現像しても、背景粒子が上述乾板の2~3%以内のものを得た。900倍の顯微鏡では、視野に2~3箇の粒子しか見えぬ。しかもアルファ線の徑に於ける粒子の数は遙かに多い。10cm空氣當量に相應する粒子の平均数は44箇である。このエマルジョンは陽子に不感である。アルファ粒子に比し電離が少いからであらう。陽子に感ずるものを製ると、背景粒子がいくらか出て來る。けれども、乾板を動かして検査してある間に焦點を保つのに便利である。即ち後者の乾板は、アルファ粒子に衝突された各粒子を現像させるが、陽子では、衝突粒子の一部しか感せしめないものである。しかし陽子の速さが大となると、粒子が多く感せしめられる。

各徑に就いて、粒子の平均距離を求めると、アルファ徑に對しては $1.7\mu$  ( $1\mu=10^{-3}\text{cm}$ )、陽子徑(5~13cm空氣當量)に對しては $2.2\mu$ である。高エネルギーの陽子では、頻度曲線は右方には徐々に下る。最も確らしい粒子間隔が

$2.0\mu$ 以下以上なるに従つて、アルファ或は陽子徑なりとすることが出来る。但し短徑に對してはこの配列も不確かとなる。

エマルジョンの中には、時に放射性物質の痕跡があり、各板は若干のアルファ徑を示すといはれる。この痕跡の1粒子が、反對方向に2箇のトリウムC'アルファ粒子(射程8.6cm)を放てば、長さ17.2cmの單一の徑と間違へられる。

後の乾板 Iford 製 Special plate では、板面各 $\text{cm}^2$ に付き銀0.65mg、厚さ $14 \times 10^{-4}\text{cm}$ 、アルファ徑の各cmの粒子數6,100であつた。

感度の悪いエマルジョンでは、陽子徑に於ける電離は少い。

エマルジョンの表面を軽く擦つても、偽似の徑を示す。しかしこれは全くエマルジョンの表面に現れ且つ多くは平行してゐるので、鑑別出来る。眞の徑は一般に表面に斜めにあり、検査の場合一度には短い部分しか焦點が合はせられない。

900倍の擴大と $3\mu$ の焦點の深さとを以て検査する。

半 $\text{cm}^2$ を検べるのに、3~4時間も必要である。

A. Jdanoff は Le Journal de Physique et le Radium, 6 (1935), 233 に於て、次の寫眞乾板を推薦した。

## 第一液

$\text{H}_2\text{O}$  52.5 $\text{cm}^3$

KBr 4.0g 2溶液を60°まで熱した後、第

ゼラチン 3.5g 二液を振りながら第一液に注

ぐ。このエマルジョン3cm

第二液 を3×4 $\text{cm}^2$ の硝子板に注

$\text{H}_2\text{O}$  52.5 $\text{cm}^3$  ぐ。

$\text{AgNO}_3$  5.0g

ゼラチン 1.75g

陽子径を見出すためには、0.5~0.8 $\mu$ の粒子のエマルジ  
オンが良い。又この粒子は大いさ同じく且つ密度が大な  
のが良い。又少くとも厚さ50 $\mu$ のエマルジョン層が欲し  
い。これは Wilson槽では7cmの深さに当たる。さうし  
ないと径の全部が入らない。

## 原子核研究の最近情勢

1896年以來放射能が近世物理學の大きな部門となつた。

元素の記號は不必要で、原子番號で代表されるといふ人もある。

水素の3種の同位體は質量比1.008, 2.016及び3.017である。最後のは安定性が疑はれてる。

質量の單位を $1.67 \times 10^{-24}$ gとすれば、電子の靜止質量は0.0005となる。

D-D 反應とは  ${}^2\text{D} + {}^2\text{D} = {}^3\text{H} + {}^1\text{H}, = {}^3\text{He} + \text{n}$ .

陽子の徑は長く、三重水素のは短い。

ヘリウムはその一つの同位體の安定に就いて疑ひがある。 ${}^3\text{He}$ はエネルギーが少い。

この反應を現すためには衝撃對極として重氷が良い。

中性子を造る方法は100種もある。

原子人工轉換の始まらぬ日まで知られた原子は250箇あり、その中約40箇が不安定であり、自然放射性元素であつた。殆ど原子番號80以上である。そして Becquerel が gamma 線をウランで発見した後15年間に発見された。この40箇に、1933年以後4年間に、約230箇の新しい元素が附加された。

水素以外の各元素は少くとも1箇の放射性型同位體を持ち、多くは1箇以上を持つ。原子番號が増すと、放射性同位體の方が多くなるのを見る。或放射性物質を造るに5方法もある。93, 94, 95, 96のものは放射性であらう。

放射性同位體が、存在する安定同位體と違ふところは、多くは餘分の中性を1箇核分内に持つことである。

ラヂウムは原鑛の中に1億分の2の割に含まれる。

始めての放射性核は、種々の轉換をアルファ粒子で衝擊して得られた。

質量數200以上の不安定な核はアルファ粒子を發散して安定に向はうとする。又これ等の重核のベータ放射は負である。

陽電子は1932年宇宙線の中に発見され、1934年人工放

射能同位體と共に発見された。

83及び209は夫々荷電及び質量の臨界値であり、蒼鉛の唯一の同位體である。これ以上では核は安定に在り得ないのである。

Pb ( $Z=46$ ) と Cd (48) とは質量數106の等重同位元素(isobaric isotope)を持つ。この中間の原子番號は、47で、Agである。處がAgには質量數106の安定な同位元素は無い。しかし放射性のものもある。陰陽兩種の電子を放つ。これは二つの isomer を含むためである。

${}^8\text{Be}$  といふものは、出来ても直ぐに二つのアルファ粒子に分解するので、安定なものは知られない。

ラヂウムEは ${}^{210}\text{Bi}$ であり、安定Biに比して中性子1箇を餘分を持つ。

アルミニウムは一つの安定同位體(質量數27)と放射性同位體(28)とを持つ。後者は ${}^{27}\text{Al}$ にnを加へても出来る。これは遅中性子を吸収しても或は衝擊Dより中性子を吸収しても出来る。 ${}^{26}\text{Mg}$ にアルファ粒子を衝擊すると、陽子を放出して ${}^{28}\text{Al}$ が得られる。 ${}^{31}\text{P}$ にnを衝擊すると、アルファ粒子を發して ${}^{28}\text{Al}$ が得られる。 ${}^{28}\text{Si}$ に

n を衝撃しても陽子を放出してこれになる。

人工放射能は(±)電子放射即ちベータ放射である。  
自然放射能は半ば以上これである。

鉛には、トリウム、アクチニウム及びラヂウム鉛があり、普通の鉛は多くの同位体の集りである。しかしトリウム(質量数230)やウラン(238)と密接して見附けられる鉛は、質量数208或は206の、轉換鉛である。

$^{209}\text{Bi}$  を自由な又は重水の中に束縛された中性子で衝撃すると、ラヂウムEが出来る。Livingoodは普通の蒼鉛を高エネルギーの重水素核で衝撃して、陰電子を放ち且つアルファ放射能を持つ物質に變はるところの、ラヂウムEと同じ物質を造つた。

Curie 研究所では、トリウムを中性子で衝撃して、新しい放射性元素列(質量数  $4n+1$ ,  $n$ : 整数)を造つた。  
 $4n$ : トリウム列、 $4n+2$ : ラヂウム列、 $4n$ : アムチニウム列。

ウラン以上の元素は、ローマの Fermi 及び その一派、ベルリンの Hahn 及び Meitner, パリの Curie 及び Joliot がすべて認めてゐる。ウランを中性子で衝撃すると、陰

電子を放つやうになる。相續いて4回の發散をする。さうすると原子番号は96となる。

昔 Mendeleeff は、豫想元素に、週期表に於けるその前の位置の名に eka を付けてゐた。それで、エカレニウム、エカオスミウム、エカイリヂウム、エカ白金といふことになる。

Wilson 霧函では、頂が硝子板で底が活塞であり、この活塞は機構で急に下降する。霧函の中には濕つた清潔な空氣が入つてゐる。活塞を急に引くと、膨脹によつて空氣と水蒸氣とが急に冷え、蒸氣はイオンの上に凝縮する。



## ナトリウム人工放射能

## ナトリウム

Lawrence の実験報告によれば、ナトリウムはデットンの衝撃によつて、人工放射性となる。デットンを電氣的操作で高速度となし、これをアルミニウム窓から空氣中に射出させる。そしてその窓より 5mm の所にナトリウム(又はナトリウム含有物)を置いて、衝撃させる。この際のデットンのエネルギーは 2.15m. e.v. (m.e.v. は 100 萬電子ヴォルト)である。ナトリウム含有物としては多く岩鹽の結晶を用ひてあるが、特にナトリウム以外の元素の影響を検するために、金屬ナトリウムの新しく磨いた面で調べる。放射能測定は電氣計によると、1秒間に  $10^8$  オン位の電離作用を示す。Lauritsen 型電氣計にて、岩鹽の人工放射能を調べると、大體 2 種の放射性を呈す

ることが解る。その 2 種の中一つは、半減期が極めて短く、デットン衝撃直後 2~3 分で著しく弱くなる。他の放射性は半減期約 15 時間のものである。但し、前者の短週期の放射能は、放射性酸素によるものと考へられる。(白金をデットンで衝撃する場合にも、同様な放射能が現れ、これ等は被射體を取圍んでゐる空氣中の窒素にデットンが衝突して、その窒素が放射性酸素  $^{15}\text{O}$  に轉換するものと考へられる。)故に、この紛らはしい短週期の放射作用を除くために、岩鹽を射撃した後數時間経つて、その作用が殆ど無くなつてから、ナトリウムの放射能を観測することにする。

岩鹽を 1.7m.e.v. のデットンの流れ(1マイクロA、Aはアムペア)で、1時間射撃し、射撃後 20 時間以後の放射能を検べる。半減期として  $15.5 \pm 0.5$  時間を得る。電氣計の感度は温度で異なり、長時間に亘つて、測定中の温度を一定に保つことが困難である。

## 崩壊電子

人工放射性岩鹽から放射される $\beta$ 粒子即ち電子に就いて考へよう。この $\beta$ 粒子の全量を求めるためには、電離函中に起る電離作用の度合、電氣計の感度、並びに装置の幾何學的狀況を考へなければならぬ。1.7m.e.v., 1マイクロAのデットンの流れで1時間射撃した岩鹽から、1秒間に全立體角 $4\pi$ に放射される崩壊電子の筒數の對數を縦軸に採る。この關係をデットン射撃直後の所まで引き延ばすと、最初の崩壊電子數は1秒間 $1.6 \times 10^6$ 筒となる。この値から、飽和活性度、即ち無限時間デットン射撃を行つた時の活性度を計算することが出来る。これは1秒間 $3.7 \times 10^6$   $\beta$ 粒子を放射することとなり、放射性原子1筒を生ずるために $1.7 \times 10^6$ 筒のデットンを要することとなる。

$\beta$ 線のエネルギーを測定するために、放射性鹽化ナトリウムと電離函との間に、色々の厚さのアルミニウム板を置いて測定を行つた。鹽化ナトリウムと電離函との距離は凡そ3cmで、函は凡そ10cmの寸法であるから、函の

張る立體角は相當大である。

横軸にアルミニウム吸収體の厚さを $g/cm^2$ で採り、縦軸には電離度の對數を示す或度盛(1秒間に起る電氣計の纖維の偏れ)を記す。電離作用はアルミニウムの厚さが厚くなるに連れて減少するが、相當の厚さになると殆ど關係せぬやうになり、その時の電離度は凡そ $1/20$ である。勿論、この測定方法では $\beta$ 線の外に、 $\gamma$ 線的作用が同時に現れてゐる。しかし、 $\gamma$ 線は物質を良く透過するものであることを考慮すると、このアルミニウムの厚さに無關係な部分では、 $\gamma$ 線だけが現れてゐると考へられる。従つて、 $\beta$ 線の最大射程は凡そ $0.51g/cm^2$  Alであることが解る。

Featherの實驗式によれば、 $\beta$ 粒子の最大エネルギーと最大射程との間には次の關係がある：

$$E = (R + 0.091) / 0.511,$$

但しRは $g/cm^2$ で表はされたアルミニウム板の厚さで、Eはm.e.v.で表はされたエネルギーである。上述の射程の値を用ひると、 $\beta$ 粒子の最大エネルギーは1.2m. e. v.となる。この方法で、 $\beta$ 粒子の最大エネルギーを計算す

ると、射程の値は小さくなり易いものであるから、最大エネルギーも過小になる傾向がある。従つて、更に精細なことを決定するためには、磁氣的方法等のやうなものに頼らねばならない。けれども、此處に決定した $\beta$ 粒子の最大エネルギーの値は Sargent の関係と相當良く一致し、同氏の RaE 及び ThC に對する曲線と良く適合する。

### $\gamma$ 放射線

$\beta$ 線及び $\gamma$ 線による電離度の比率から、 $\beta$ 線及び $\gamma$ 線夫々の量の比を計算することが出来る。同一の電氣計及び電離函を用ひて、McMillan は放射性炭素に就いて、その崩壊放射線を研究した。彼の結果と比べて見ると、0.5m.e.v. のこの放射線は、放射性炭素から放射される陽電子による電離の凡そ $1/40$ に當たる。放射性炭素(放射性窒素)の場合には、Lauritsen 及び Crane も表明してゐる通り、陽電子の数の2倍だけ $\gamma$ 量子を放射すると考へられる。 $\beta$ 及び $\gamma$ 線による電離の比は、數回測定を行ふと、 $1/33 \sim 1/20$ の範圍となる。若し放射性ナトリウムの

放射線が、 $^{24}\text{Na}$ のものと同じエネルギーであると假定すれば、1回の $\beta$ 崩壊に2箇以上の $\gamma$ 量子が放射されることとなる。しかし後述する通り、放射性ナトリウムから放射される $\gamma$ 線はそのエネルギーが大で5.5m.e.v位である。誤差の許す範圍に於て、放射性ナトリウムは、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線とを同じ箇數宛放射することとなる。

$\gamma$ 線のエネルギーを決定するために、アルミニウム、銅及び鉛にて、その吸収率をば測定した。この吸収率測定には、McMillan が各種の $\gamma$ 線吸収率を測定した時に用ひた電離函を使つた。電離函は鉛張り圓筒で、その直徑2.5cm、長さ5.7cmである。吸収體は圓板で、その厚さを色々に變へる。

實驗誤差の範圍で、この吸収は指數函數的で、この放射線は單波長的であることが示され、且つ、その吸収率は見掛け上 $0.51\text{cm}^{-1}$ となる。

Oppenheimer と Plesset, 及び Bethe と Heitler 等は電子對創造説を立て、McMillan 及び、Lauritsen と Crane 等はその實驗證明を行つた。この説に従へば、 $\gamma$ 線の鉛による吸収率では、量子エネルギーを一義的に決定

すること能はず、軽元素による吸収率を測定して、對發生の著しくない場合をば測定する必要が起る。そこで、銅及びアルミニウムによる吸収率を測定し、夫々  $0.275 \text{ cm}^{-1}$  及び  $0.066 \text{ cm}^{-1}$  を得た。

更に、吸収體の散亂が吸収率の測定に影響してゐる筈である。これの補正は相當難いことではある。McMillan は十分に濾過したラヂウムの  $\gamma$  線で、電離函の目定めを行ひ、吸収率の測定値が、承認出来る値より 6% 位小なることを見出した。對發生の著しからざる軽元素の場合には、散亂した放射線が前方に多量になる。重元素の場合には、5m.e.v. 以上では、對發生のための吸収が多くなつて、全吸収の半ば以上にも及び、従つて、散亂に對する補正は少くなる。

斯かる考察の下に、銅及びアルミニウムによる吸収率測定には、夫々、6.5 及び 3% の補正を施すこととした。尙 Hall の考へによると、5m.e.v. の放射線では、光電効果的吸収が、銅及びアルミニウムでは微小にて無視出来ても、鉛の場合には全吸収の 4.3% に及ぶ。この點も考慮してあり、これ等の補正值を施す。測定値の誤差は 10%

以内であると思はれる。

吸収率測定だけで放射線の量子エネルギーを正確に決定することは出来ない。吸収率を原子番号零のものに外挿すると、放射線は 5m.e.v. 位のエネルギーのものとなるが、吸収率が原子番号に對して増加する割合は、6m.e.v. の方に近いとも思はれる。これ等の點を考へ、放射線のエネルギーは  $5.5 \pm 0.5 \text{ m.e.v.}$  と採るのが妥當である。

この  $\gamma$  線は  $\beta$  轉換に伴つて放射されるもので、後述の通り、活性状態にある  $^{24}\text{Mg}$  から放射されるものと考へられる。この  $\gamma$  線のエネルギーが、 $^{12}\text{C}$  及  $^{16}\text{O}$  の場合と、ほぼ等しいことは注目し得る。これ等三つの原子核は同型のもので、 $\alpha$  粒子だけから成立してゐて、活性状態の準位も相似ではないかと推察される。

### 化學的試験

ナトリウムを人工で放射性にしたものの原子番号は幾らであるか。この放射性元素を母體ナトリウムから分離することは殆ど不可能である。先づ、ナトリウム金屬を放射性となし、これにアルミニウム及びマグネシウムを

加へ、全體を濃硫酸に溶解する。この硫酸溶液を蒸發乾涸すると、放射性は残渣に認められる。故に、この放射性元素は、弗素及びネオンでないことが明かである。次に、この残渣を少量のアムモニアと共に水に溶解させる。これに磷酸鹽を加へて、マグネシウム及びアルミニウムを沈澱させて分離する。放射性を調べると、溶液の方に認めらる。従つて、この放射性は矢張ナトリウムの形で存在してゐるものと考へられる。Fermi 等はアルミニウムを中性子で射撃して人工放射性物質を得、その半減期は15時間で、化學的試験の結果、これはナトリウム同位體であると報じてゐる。半減期の一致せることを考へ、兩者は同じ放射性同位體と認めても異論はあるまい。

この化學的試證明により、ナトリウムにデットンを射撃して、放射性ナトリウムの生ずる核反應は次の通りであらう。



### 陽 子

前述の核反應式では放射性ナトリウムに伴ひ、陽子を

生ずることになる。この點を次の通り詳細に調べて見た。

岩鹽の結晶を注意して清潔にし、これに2.15m.e.vのデットンを數十分の1マイクロAにて、真空中で射撃する。これから放射される陽子の中、デットンの流れの方向に垂直で、立體角  $4\pi/200$  以内に放射されるものを、雲母窓を通じて取り出し、各種の吸収體を通して、電離函に導く。陽子による電離の脈音をサイラトロン線型増幅器で數へる。この際、サイラトロンのバイアスの電壓を適當にして、電離函内で、陽子はその射程の終りに近づいた時のみ測れるやうに加減する。吸収の測定には、普通厚さ0.0025cmのアルミニウム箔が適當である。このものの阻止能を、ポロニウムの $\alpha$ 粒子で調べると、空氣當層は4cm (20°C, 760mm) となる。4cm より小さな吸収體としては、空氣そのものを用ひることとした。岩鹽から放射される陽子の數を箇々に勘定するためには、デットンの流れを $1/10$  マイクロA以下にする必要がある。

被射體の清潔といふことに関しては、出来るだけの注意は拂つたが、真空の器の内部に装置する前に、空氣に觸れることは止むを得ない。従つて、酸素及び窒素が混

入してゐると考へねばならない。又擴散ポンプの油の蒸氣が多少混じて、含炭素物質が薄膜となつて附着してゐるかも知れない。されど、この炭素の影響は、陽子の射程を考慮すると除外することが出来る。實驗によれば、炭素をデットンで射撃すると、陽子を放射するが、その射程は0.5m.e.v. で  $14 \pm 1$ cm, 1.2m.e.v. で  $18 \pm 1$ cm である。従つて2.15m.e.v. では24cm となる筈である。

更に、混入の可能性ある空氣の影響、特に酸素及び窒素に就いて調べた。實驗は、鹽化ナトリウムを空氣中で1.2m.e.v. のデットンで射撃して、陽子の放射を測定し、次に、この鹽化ナトリウムを除き、空氣だけにデットンを射撃して、陽子の放射を調べた。空氣から放射される陽子は2種あることが見受けられ、その射程は夫々86cm 及び26cmで、且つ各々、7.6cm 及び13.4cm の射程を有する  $\alpha$  粒子と混和してゐる。空氣の代り酸素を置換すると、これ等の陽子及び  $\alpha$  粒子の大部分は酸素に起因するものではないことが解る。従つてこれ等は殆ど窒素によるものと斷定出来る。

空氣から出て来るこれ等のものと全く異なつた陽子が

鹽化ナトリウムから放射される。それは  $38 \pm 2$ cm の射程のものである。これは、空氣中ではデットンのエネルギーが少し小であることを考へると、眞空の場合の  $49 \pm 2$ cm と對應してゐることが解る。従つて、この  $49 \pm 2$ cm の陽子は鹽化ナトリウムに起因することは明かである。眞空の場合の  $17 \pm 1$ cm の陽子も鹽化ナトリウムに起因するやうに思はれるが、空氣中の射撃では12cm のものと對應し、 $\alpha$  粒子が多量であるために、十分區別することは困難である。

次に、これ等の陽子が鹽素とナトリウムとの何れに起因するかを鑑別するために、2.15 m.e.v. デットンで鹽化銀を眞空中で射撃して、陽子の放射を調べた。この鹽化銀から放射される陽子は3種あつて、射程は夫々13, 23 及び38cm である。これ等が鹽素に起因するといへないことは無いが、更に研究される必要がある。しかし鹽化ナトリウムから放射される陽子数は遙かに多數である。従つてこれ等の陽子が鹽素に起因すると考へるのは、當らないやうに思はれる。最後に、鹽化ナトリウムの代りに白金を用ひて、眞空中で同じデットンを射撃して、陽

子の放射を調べた。鹽化ナトリウムから放射される陽子はナトリウムに起因するものと断定される。

陽子の全放射数を知るには、次の方法を行つた。空気中でデットンの流れに垂直に放射される陽子を幅 3 mm の細隙をば 2 回通して、これを揃へた。兩細隙の距離は 3 cm で、射撃される空気層の中、厚さ 4 mm 以下の所から、陽子が放射される。斯くの如くして、陽子は可成り一様になり、且つ長い射程のものが増幅器に感ずるやうになる。窒素から放出される陽子のエネルギーが、この空気の厚さ位では、射撃するデットンのエネルギーと同じ位擴つてゐるものと假定すれば、窒素から放出される陽子の射程は凡そ 2 cm 位の擴りとなる。然るに、線型増幅器の感ずる大部分は射程に 4 cm 位の開きがある。前述の核反應式で、陽子が生ずるものならば、1 秒間に放射される陽子の数は、1 秒間に生ずる放射性原子の数と等しい筈である。これを試すために、1 ミクロ A に付き 1 秒間に放射される射程 9 cm 以上の陽子の数は、 $5 \times 10^6$  箇である。9 cm 以下の射程を持つ陽子は、散亂されたデットンに邪魔される。そのために、假令、曲線を

外挿して陽子の總數を求めても、不確實のものとなる。但し種々の點を考慮して、外挿法で總數を求めると、陽子の數は 1 秒間に  $15 \times 10^6$  箇となる。この値を放射性ナトリウム原子の數 (即ち  $\beta$  線の飽和から計算したもの)  $3.7 \times 10^6$  と比較すると、少し異なる。但し陽子は用ひたデットンが 2.15 m.e.v. の場合の數であり、放射性原子の數はデットンが 1.7 m.e.v. の場合である。従つて實驗の誤差をも考察すると、兩者の數は一致してゐると考へられる。従つて又前述のやうな反應式も妥當であることとなる。

最後に陽子の放射の分布に就いて、述べなければならぬことがある。陽子の射程が 17 cm (3.4 m.e.v.) 及び 49 cm (6.2 m.e.v.) の種類に大別されることである。これ等はナトリウムから放射されるのであるから、Mg が反撥されるエネルギー 3.9 m.e.v. を差引いた残りのエネルギーに相當するものが、 $\gamma$  線になるものと考へられる。

### 轉換の微分的函數

射撃に用ひられるデットンのエネルギーと、生ずる人

工放射能の強さとの関係を調べるために、被射體に数枚の雲母箔を重ねてやつた。これ等雲母箔1枚の阻止能は空気當層1cm位である。雲母の成分として、ナトリウムが含有されてゐるから、デットン射撃を行つた雲母の放射能を調べ、半減期15時間のものの強さを測定すれば宜いこととなる。實驗によれば、これ等の雲母箔の中アルミニウム窓が一番近いものが最大の強さになる。アルミニウムの窓を通過したばかりのデットンは、平均速度が最大であるから、これは當然である。各雲母箔は順次、その放射能が小さくなるが、その減少する割合は比較的速い。この結果から、被射體の薄いものに對する轉換の函數即ち微分的轉換函數ともいふべきものが求められる。

デットンのエネルギーが小さくなると、急に放射能が小さくなり、始めの3枚位しか測定出来ない位である。

Gamow の函數

$$N = K(1/v)e^{-4\pi^2Ze^2/hv}$$

に於て、Nは、vなる速度を有するデットンが、原子番號Zなる原子核のポテンシャル障壁を貫通する相對的確率

である。Kは常數で、實驗結果に適合するやうに定められるものである。

### 放射性ナトリウムの利用

放射性ナトリウムは、その壽命が適度に長く、且つ多量に作られ得るので、疑ひ無く利用範圍は廣い。この實驗では、デットン2.15m.e.v., 1マイクロAに付き、1秒間に $\beta$ 粒子 $10^7$ 箇放射するものが得られる。放射性ナトリウムの強さはデットンの電壓及び量が増すと急に強くなるので、この實驗の100倍位を作ることは不可能ではない。

放射性ナトリウムの $\gamma$ 線はエネルギーが大で、且つ單波長であるから、 $\gamma$ 線の實驗研究には理想的である。

### 中性子

放射性ナトリウムの崩壊で最後に残るものは、 $^{24}\text{Mg}$ ,  $^1\text{H}$  及び電子であるが、 $^{24}\text{Mg}$ と中性子とに轉換することも想像される。





デットンが被射體に的中せずして、装置の色々な部の中ると、中性子が發生するから、生じた中性子だけを観測することは困難である。しかし、デットンの流れを靜電的に曲げて、デットンが鹽化ナトリウムを射撃したり、他の部分を射撃したりするやうにして、中性子の量が異なることを觀察することが出来る。更に鹽化ナトリウムの直前にベリリウムを置いて見て、中性子の量を比較することも出来る。

### α 粒 子

中性子の量を測定するために、電離函の前にパラフィン置き、そのパラフィンから中性子のために出て来る陽子の数を勘定した。この場合電離函の立體角は $4\pi/100$ である。0.04 ミクロAのデットンで射撃すると、1分間に勘定される陽子の数が、Be, 750; NaCl, 96; 何も無い時(背景)、48 となる。更に、0.1 ミクロAでは、Be, 1840; AgCl, 112, (背景) 128 となる。故に NaCl の場合には明かに中性子の放射が起つてゐるが、AgCl では殆ど無い。又 Pt で行つても、中性子の放射は殆ど認め

られない。

斯く Na はデットン射撃で慥かに中性子を放射する。次に、中性子の割合を概算して見る。假りに、中性子1,000 箇に付き陽子が1 箇叩き出されるとすれば、NaClを2.15 m.e.v. のデットンで射撃すると、3 對 $10^7$ の比で中性子が放射されることとなる。この割合は大體、放射性ナトリウムの生ずる割合と桁数が一致する。

人工放射性鹽化ナトリウムから放射されるものを、電離函と陰極線オッシログラフで調べると、陽子及び中性子の外に、α粒子を相當放射してゐることが解る。鹽化銀で行ふと、α粒子の放射が遙かに少くなるので、このα粒子もナトリウムに起因するものと考へられる。計數器のサイクロトロンバイアス電壓を3倍大にすると、陽子とα粒子との區別が出来るので、この方法でα粒子の射程を測定した。但し、デットンによる電流を成るべく小さくして、陽子が集積するのを防ぐことが必要である。α粒子の射程は $6.5 \pm 0.3$ cm である。吸収體がずつと厚くなつても残つてゐるものは、中性子である。

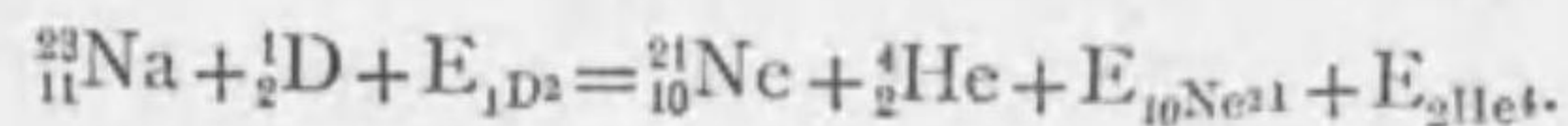
α粒子を放射する核轉換は恐らく次のものであらう。



NaCl から1秒間に放射される  $\alpha$  粒子の全数と、同時間の 2.15m.e.v. デットンの全数との比は、1 對  $10^7$  位となる。Gamow の説に従へば、この種の核轉換の起る確率は、唯々、核が射撃物を捕獲する確率に關係するだけでなく、核の一部が飛び出る確率にも關係するものである。然るに、 $\alpha$  粒子に對する核衝壁は陽子に對するより大であると考へられるから、上の反應はより起り難いことは肯定出来る。

### エネルギーの比較及び原子の質量

${}^{23}\text{Na}$ ,  ${}^{24}\text{Na}$  及び  ${}^{24}\text{Mg}$  の質量を、轉換前後のエネルギーを比較して、求めることが出来る。 $\alpha$  粒子の放射を伴ふ轉換に於て、若し  $\gamma$  線の放射が起らぬものとするれば、



但し、 $E$  はその添字原子のエネルギーとする。

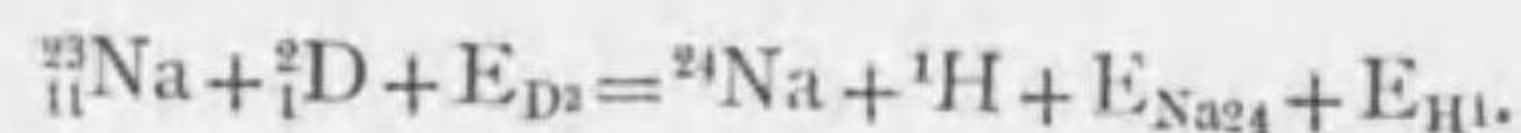
デットンのエネルギー  $E_{1\text{D}^2}$  は 2.15m.e.v. 質量單位に換算すれば 0.0023 となる。 $\alpha$  粒子は、その射程が 6.5cm だから、7.3m.e.v. に相當し、質量單位で 0.0078 となる。

ネオンの反撥されるエネルギーは運動量の不變法則から考へ、質量單位で 0.0017 である。今 He の原子量として 4.0022 (Aston),  ${}^3\text{H}$  に 2.0136 (Bainbridge),  ${}^{23}\text{Na}$  に  $20.996 \pm 0.001$  (Bainbridge) を採用すれば

$$\begin{aligned} {}^{23}\text{Na} &= (20.996 \pm 0.001) + 4.0022 + 0.0078 + 0.0017 \\ &\quad - 2.0136 - 0.0023 \\ &= 22.9918 \pm 0.001. \end{aligned}$$

この計算値を、化學的に測定した原子量と比較しよう。C. Johnson, Baxter 及び Hale の値  $22.994 \pm 0.002$  を  ${}^{16}\text{O} = 16.000$  に對する値に換算すると、 $22.999 \pm 0.003$  となり、化學的測定値の方が大となる。 $\gamma$  線の放射を伴ふこととすれば、この差は説明が出来る。故に、化學的測定の結果の方が真に近いと考へられる。

同様にして放射性ナトリウムの原子質量は、 $\gamma$  線を無視すれば次の通りである。



${}^{23}\text{Na}$  の原子量として化學的測定値を用ひ、陽子の最大エネルギー 6.2m.e.v. (= 0.0067 質量單位) を用ひると、

$${}^{23}_{11}\text{Na} = (22.999 \pm 0.003) + 2.0136 + 0.0023$$

$$-1.0078 - 0.0067 - 0.0006$$

$$= 24.000 \pm 0.003.$$

最後に、 $^{24}\text{Na}$  と  $^{24}\text{Mg}$  との質量の差は、 $\beta$ 線の最大エネルギーを  $1.2\text{m.e.v.}$ 、 $\gamma$ 線のエネルギーを  $5.5 \pm 0.5\text{m.e.v.}$  とすれば

$$^{24}\text{Mg} = (24.000 \pm 0.003) - 0.0013 - 0.0059$$

$$= 23.993 \pm 0.003$$

となる。

$\beta$  轉換に関する、 $\beta$ 線の最大エネルギーと質量變化との関係は、こゝでは單なる假説で、何等實驗的根據及び理論的吟味を施したのではない。しかしこの  $^{24}\text{Mg}$  の質量として得られた計算結果は、Aston の質量缺損曲線から得られた値と一致する。

## ラヂウム礦

ラヂウムは1938年フランスの物理學者 Pierre 及び Marie Curie が發見したものである。これは St. Joachimsthal のウラン礦石ピッチブレンデから採取したのである。1896年に H. Becquerel がウランの放射性を發見してゐるが、Curie 夫妻はウラン礦石にはウランよりも放射能の強い物質が含まれてゐることを探知したのである。

ピッチブレンデはこの St. Joachimsthal の外、ベルギー・コンゴの Katanga にも産する。色深黒で、半金屬光澤を持ち、粉になし得る。その條痕色は非常に綠である。結晶性がある。ウラナイトともいふ。U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> の分子式が最も宜く適合する。Ra : U の比は常に  $3.33 \times 10^6$ 、或は U : Ra の比は 3,000,000 : 1 に於て現はれる。

この事實は、U 原子が  $\alpha$  及び  $\beta$  線を發して、或時間に Ra に變はることを示すものである。そして更に分裂の

順を追つて遂に鉛にまで化する。それで或時間後は、鉛とウランと、 $\alpha$ 線から来るヘリウムとが出来てゐる。

ピッチブレンデは原子崩壊により、その結晶格子が破壊されるので、内部構造は表面のと違ひ、不定形である。単結晶の大きなものは生ぜず、小結晶の集合である。

ウラン鑛の鉛含有量から、ピッチブレンデの年齢を計算することが出来る。さうすると、St. Joachimsthal のは2億9千萬年と出る。これは地質學的の見地からのと一致する。丁度石炭紀の終りに出来たものである。

これに反しベルギー・コンゴのは6億7千萬年の壽齡を持つてゐる。

1噸のUが330mgのRaと鈞合にある。それで50%のピッチブレンデを持つ7,000kgの鑛石は1gのRaを供給することになる。炭石から手選をなし、これを碎いて化學的處理を施す。(VDI, 82卷、53號、1513頁参照)

約1913年まで、St. Joachimsthal はラヂウム採取のモノボリの位置にあつた。その頃までに約7.8gのラヂウムが得られた。世界大戰の起る直前に、北アメリカに於てコロラド及びウターに、豊富なカルノタイトの鑛床が発

見され、これは一時世界産額の2/3を供給したものである。但し1927年以來廢業された。

ピッチブレンデは酸化ウランであるが、カルノタイトはヴァナヂン酸カリウム・ウランである。

1923年ベルギー・コンゴのKatangaにピッチブレンデの廣大なる鑛床が見附かり、1923年には20g、1927年には26g、1929及び1930年には各60gを出した。1930年には更に大きなピッチブレンデの鑛床がカナダの大熊湖の附近La Bine Pointに見附かり最も有望視されてゐる。

それでラヂウムの世界産額は1934年の終りまでに766gに達した。この中 St. Joachimsthal は1934年末までに52.53gを出したが、尙有望である。

ラヂウムは3種の放射線を發することが Rutherford によつて發見された。この放射線は生物に大いに影響を持つので、ラヂウムを取扱ふ者には、防護方法を講せねばならない。成るべく距離を大にし、又鉛の障子を設けることの外、ガス状のラヂウム・エマナツィオンが作用を持つので、通風を良くせねばならない。鑛坑に於ても同様通風を良くせねばならない。

## 特 論

### 異常散亂

アルファ粒子が核の中心から或特定半径 $\rho$  (實驗的に $=2 \times 10^{-13} Z^{\frac{1}{2}}$ ) よりも離れてゐる時は、それ等の間にクーロンの電氣力が働くが、それ以下にアルファ粒子が入り込み核によつて散亂された時の角分布は、古典理論で計算されたものと大いに相違する。これを異常散亂 (anomalous scattering) といふ。

今この特定半径を核の半径と考へることとする。 $Z$  を原子番號、 $M$  をアルファ粒子の質量、 $v$  をその速さとする、通常散亂が起るのは

$$\frac{2Ze^2}{\rho} > \frac{1}{2} Mv^2$$

である。 $v$  の最大値は  $2 \times 10^9$  であり、このアルファ粒子に對しては、銅 ( $Z=29$ ) 以上のあらゆる元素に對して散亂は通常的であることが實驗上知られてゐる。

低原子番號の元素に對しては、速いアルファ粒子に對

して異常散亂が現はれて來る。これは核内に粒子が入り込むためである。小さな散亂角に對しては、それは通常散亂に近づいて來る。散亂角が大きくなる程、異常散亂が減じ、次に増して非常な大いさにまで達する。

幾分低速のアルファ粒子でも、核を環るポテンシアル障壁を貫通する確率があるので、異常散亂をやる。普通角運動量が増すと確率が急激に減る。しかしその小さいものは異常散亂を受けても、他は通常散亂をなす。

$\rho$  が解れば、ポテンシアル障壁の高さは、クーロン式より出て來る。即ち  $\frac{2Ze^2}{\rho}$  である。

陽子と陽子との間の異常散亂は、陽子のエネルギーが 600keV より大なる時に起る。これはクーロン力の外に附加的な引力が存するからである。

入射する荷電粒子のエネルギーが核のポテンシアル障壁頂よりも低い場合は、普通には核によつて散亂されるが、しかし又これを貫通する或確率を持つてゐる。

アルファ粒子は核内に於て準安定或は虚なる量子状態に於て障壁に圍まれてゐる。これがやはりポテンシアル障壁を貫通する確率を持つのが、アルファ崩壊である。

入射した粒子は核によつて再發散されるか、より安定な状態に落ちて輻射を出す。或は又核の崩壊を起す。それで貫通の確率と虚量子状態の平均壽命とに關係があるに違ひ無い。

今每單位面積每單位時間  $n$  箇の粒子を以て核が衝擊されたとし、そのエネルギー値は核中粒子の虚量子状態の起る  $E$  と  $E+dE$  との間に一様に分布して居るとする。或時間の後定常状態が生じ、同じエネルギー値を持つたあらゆる量子状態が、占領される同じ確率を持つのである。  $E$  及び  $E+dE$  の間にエネルギーを持つ每單位體積中の粒子箇數は

$$\frac{nm\Delta E}{p}$$

である。  $p$  は運動量である。さてエネルギー範圍  $\Delta E$  に相應する量子状態の箇數は每單位體積に付き

$$\frac{4\pi p^2 dp}{h^3} = \frac{2\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} \sqrt{E} dE.$$

それで虚量子状態を占領する粒子の平均箇數は後者を以て前者を除いたものである。角運動量  $l$  の状態の統計的重み、  $2l+1$  をこれに掛けると、虚状態に於ける粒子の箇數  $N$  が求められる。そしてこの箇數が、入來粒子と發

散粒子との箇數の間の平衡より由來するのである。この平衡は、  $\eta$  を以て、核に每單位時間入り込む粒子箇數とすれば

$$N = \tau \eta$$

と表はされる。  $\tau$  は虚量子状態の平均壽命である。

同様粒子が衝突する場合に、Heisenberg の共鳴現象 (resonance phenomenon) が起る。さうすると散亂粒子の分布を變へることになる。Mott は斯かる散亂を論じた。

電子と電子との衝突に於ては、Fermi 統計が使はれ、アルファ粒子とアルファ粒子との衝突に於ては、Bose 統計が用ひられ、又廻旋が無いので、粒子散亂式が異なつて來る。波動力學では粒子は Schrödinger 波で表はされ、これ等が互ひに干涉するのである。

共鳴電位は數種あることがある。

### 核 の 破 壊

運動エネルギーが保存される衝突を彈性衝突といふが核の内部構造の變化する衝突では、運動エネルギーが保存されない。非彈性衝突といはれる。

(1)衝突して核を高量子準位に上げれば、核が準位を降る時輻射する。又(2)入来粒子が捕へられる場合には多く、安定して過剰のエネルギーが輻射される〔簡単捕捉反応(simple capture reaction)又は輻射捕捉〔radiative capture〕〕。又(3)衝突して貫通し、(4)核から粒子を出さず。(5)捕へられて、他の粒子を同時に出不さず。(6)捕へて多くの粒子に分解するなどの場合がある。

アルファ粒子をリチウムに當てる時、第一の場合が見られる。第二の場合は炭素に陽子を當てる時起る。第三の場合は稀である。

重水素核で重水素を分解するとか、陽子でリチウムを分解するには、10萬ヴォルトで宜い。

アルファ粒子を當てると、陽子又は中性子が出、陽子を當てると、アルファ粒子、中性子又はデットロンが出るか又は粒子を出さない。デットロンを當てると、陽子、中性子、又はアルファ粒子が出る。中性子では、陽子かアルファ粒子が出るか又は粒子を出さない。

Chadwick, Goldhaber は1934年に核光効果を発見してゐる。ThC'' のガムマ線は 2.62MEV のエネルギーを持

つ。ラチウム沈澱の最大エネルギーは 2.19MEV である。重水素核の結合エネルギーは約 2.1MEV である。

2.62MEV にある核の光破壊(photo-disintegration)の断面  $\sigma$  は約  $6 \times 10^{-28} \text{cm}^2$  である。

$$\sigma = \frac{4}{3} \frac{he^2}{McE_0} \frac{(\gamma-1)^{\frac{3}{2}}}{\gamma^3},$$

$$\gamma = \frac{h\nu}{E_0}.$$

但し  $E_0$  は重水素核の結合エネルギーであり。e. は e. s. u. で表はされてゐる。

ガムマ量子が  $E_0$  に等しくなる程  $\sigma$  が小さくなり、 $E_0$  の2倍の時の  $\sigma$  は最大となる。

逆に中性子と陽子とが結合するのは、磁氣双極輻射(magnetic dipole radiation)によるものであることが、Fermi によつて注意された。これは断面に附加項を與へる。

Be にガムマ線を當てると中性子が出るが、これは閾エネルギー(threshold energy)が約 1.6MEV であり、 $\sigma$  は  $10^{-28} \text{cm}^2$  程度である。

1電子ヴォルト = 1eV = 1 EV =  $1.589 \times 10^{-12}$  エルグ,

電子の自己エネルギー = 0.5107MEV,

原子量1の質量エネルギー = 931MEV.

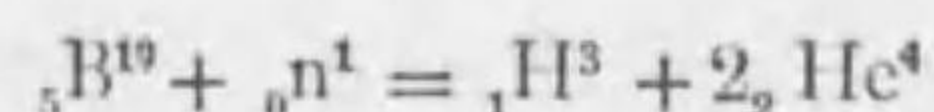
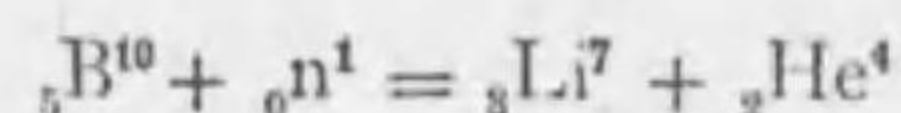
{原子量1の質量 =  $1.646 \times 10^{-24}$ g}

問 重水素核の結合エネルギーを 2.2MEVとし又その質量を 2.0147 として、中性子の質量は 1.0090 なることを證明せよ。

### 人工放射化

ラヂウムとベリリウム (金属でも化合物でも宜い。)とを紙製の管の中に置くと、それから中性子が放たれる。頗る速さが速く、貫通力が大きい不思議な粒子である。

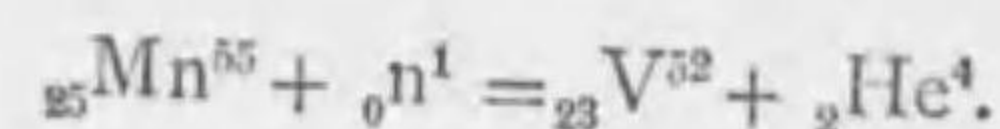
硼砂の飽和溶液の中に東洋プロセス板を浸ける。取出し乾いてからこれに十数時間の所謂中性子照射を行ふのである。さうすると、硼素の原子核の中に中性子が入り込み、次の2つの反応を起し得ると考へられる。



但し生じたリチウムも亦、中性子の照射を受けて変化するとはいへない。アルファ粒子が前の2つの反応に現

はれることは確實で、その径が寫眞板上に示されるのである。蓋し硼素の核の所謂電位障壁が低いからである。

乾板を過酸化マンガンの液に浸し、同じやうにやると、放射能を示し、乾板にそれが感ずる。



容積1立許りの硝子圓筒の中に、壁に近く大きな圓筒状アルミニウム極を置き、軸に沿うてはニッケル極を置く。硝子圓筒の中に沃化メチル又はエチルの蒸氣を充たす。全部を湯の中に置き、電極の間に3,000ヴォルトの電圧を掛ける。中性子源を圓筒の直ぐ外に置く。照射後ニッケル極を取り出し電氣計に掛けると、これに沃素の放射性があることが解る。ニッケル自身には放射性は無い。

銅、亞鉛は10時間、イリヂムは19時間の放射能の半壽命を持つ。アンチモンは2日半、硫黄は14日の半壽命を持つ。

中性子といふ粒子は面白い。厚い鉛の板やグラファイトなんかは容易に通過する。1mの水でも自由に通過する。又盛んに散亂も起る。



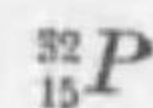
### 生物學に於ける同位元素の使用

人工放射性元素や重い非放射性同位元素が數々発見され、一般學界にこれが非常な歓迎を受けてゐることは、已に周知のことである。

殊にこれ等が、體內に於ける種々の物質の反應や運動を研究するのに絶好なものであることが明かになり、生物學上に於て大きな新分野を開拓したのである。

嘗て物理化學者ヘヴェシーが自然放射性元素を以て、體內物質の循環代謝を研究したことに、この研究が端緒を發したと申して宜い。その頃は、自然放射性元素によつたため、當然その使用範圍が局限されてゐた。しかるに、近年數十種の新人工放射性元素が見出され、その應用は廣汎を極めて來たのである。

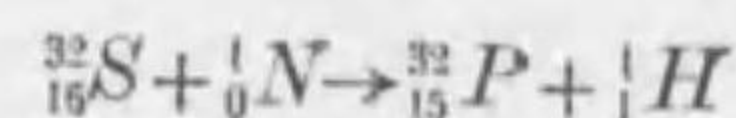
生物學的研究に最も屢々使用される同位體指示薬は、放射性磷である。これは



で示されるやうに、原子番號（週期表に於ける元素の順位）が15で、原子質量數（原子量を整数にまで圓め上げ

たもの)が32である。この放射性磷はどのように出来るかといふに、二硫化炭素を中性子で衝擊すると得られるのである。それではこの中性子はどうし得られるかといふと、ラヂウム鹽をベリリウム金屬粉の中に浸けて置けば始終得られるので、實に譯は無い。筆者もこの實驗を工大の星野教授の厚意を得て行つたものである。

この二硫化炭素の硫黄原子が中性子を捉へ、原子核内にあつた陽子を放出し、そして不安定な放射性磷になつたのである。即ち

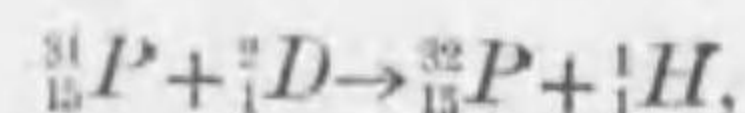


の反應が行はれる。 $N$ は中性子を意味する。上述の如く上肩書は原子質量數、下添字は原子番號を示すのである。

この放射性磷は、半減期14日である。

磷はその後磷酸物にまで酸化れる。

若し更に強力なものを得ようといふには、赤磷に、サイクロトロンを用ひ、重水素（重水の成分の水素）イオンで衝擊すれば宜い。



$D$ は重水素を示す。

實際に使用するには、この放射性を持つた磷酸ソーダの少量を、普通の磷酸ソーダ液に加へるのである。さうすると、その放射性によつて、ラベルされたやうになり、循環の徑路を追跡せしめ得る。

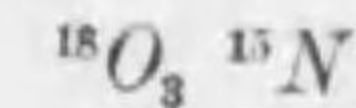
或與へられた時刻に於て、ガイガー計數子を用ひて、放射性衰滅の狀況を觀測することによつて、推定がなされるのである。この際同時に、同様な標準の衰滅と直接に比較して、時間經過に伴ふ衰滅速度の變化に對して補正するなどのことを避けるのである。

それで、例へば動物の骨に、この磷液を加へた時、幾何其所にあるかを決定しようと思ふには、骨を焼いた灰の一定量を採り、ガイガー計數子の下に置いて、放射性の強さを觀測するが宜い。これを、已知量の溶液より放射性磷酸物と一所に沈澱させられた磷酸カルシウムの同量と直接に比較するのである。

非放射性元素より注意して物質を純化する必要が更に無い利點がある。

重水素は、純粹な状態に於て分離出来るものである

が、又重酸素及び重窒素も指示薬として使用され得る程度に、十分に濃縮されてゐる。前者、後者は夫々



で示される。

重水素と酸素とは、水に換へて、正確に推定される。そして注意して純化し、水の密度を測るのである。

重窒素は、質量譜スペクトログラフといふ装置で決定される。この方法は又重酸素の決定にも用ひられてゐる。

生活體に同位體を指示薬として用ひては、或は正常の狀況を攪亂しやしないかが懼れられる。けれども事實は、放射性磷を用ひる割合は極めて少量なので、それから來る放射は、已に體内に存してゐるカリウムよりの放射に近い。しかも磷は衰滅すると、硫黄に還元される。

又重い同位體は、體内には少量に已に存在してゐるので、極めて僅かに濃縮されたものを指示薬として用ひた處で、問題にしてはならない。重水素の場合も、甚だしく濃縮されたものは使用せぬが宜い。

## ユ - コ ン

ユーコン yukon とはこの頃評判の湯川粒子のこと。

直径40cmのヴォルソン霧函の中央に水平に、厚さ4.5cmの鉛の角棒を渡し、又霧函の面に垂直に1萬エールステッドの磁場を加へる。

さてこの装置で宇宙線の飛跡を調べると、磁場のために宇宙線は或半徑の圓弧をなして來る。この半徑を飛跡の寫真上で測定するのである。宇宙線が鉛棒に入る前では、通過した後よりも半徑が大きく即ちエネルギーが大きいのである。宇宙線が鉛中に於て電離を起し、そのためにエネルギーが減少するのである。鉛中の通路を測り、バーバー (Bhabha) といふ人の公式を用ひて、宇宙線粒子の質量を計算すると、それは普通の電子の180倍に近いことが解る。これがユーコンなのである。

時によると、鉛棒を通過した後、宇宙線飛跡が函中で終る場合が觀られる。この飛程を測定する。この飛程はエネルギーが同じ場合、粒子の質量が小さい程長さが大となるので、これから粒子の質量が推定される。かくし

てユーコンが捉へられる。

湯川博士等が存在を豫言した重電子は、宇宙線の觀測に於て段々に見出されて來た。湯川粒子はフランスでユーコンと名付けられたが、アメリカでは近頃メソトロン (mesotron) などと異名を立てゝゐるのに、日本の學者は何故抗議を發せぬか。

## 原子核の破裂

原子核物理學界に又も狂嵐が捲き起つた。

嘗てノベル賞受領者イタリアの物理學者 Fermi 一派が、ウラン原子を中性子を以て衝擊して超ウラン元素を得たと報じ、最近までこの超ウラン元素に就いて各方面から數々の論文が發表されてゐた。

ウランは中性子捕獲によつて原子質量數 239 のウラン同位體となり、これがベータ線を放出して、原子番號 94, 95, 96 の元素に轉換されるとされた。

しかもこれ等各元素は、原子番號も原子質量數も相等しく、しかも性質の相異なつた原子核、即ち異性核を2つ又は3つ含むものであるとされた。

昭和13年の暮ドイツの Hahn 等は、ウランより得られた放射性物質の中には、バリウムと化学的作用を等しくするものがあることを発見した。その放射能半減期は夫々1分以下、18分、86分、300時間であり、始めラヂウムの同位體とされたが、ウランからラヂウムを得るには、2箇のアルファ粒子放出せねばならぬに拘はらず、斯かる過程は實際に存在しない。これ等の物質はラヂウム同位體でなく、バリウム（原子番号56）の同位體であることが判つた。ラヂウムと相違し、バリウム鹽中から到底分離することが出来ないのである。

このバリウムが變脱した原子番号57のランタンの同位體も得られてゐる。

ウランが爆裂してバリウムを生ずるならば、その際原子番号36のクリプトンと十數箇の中性子とが同時に放射される譯である。

クリプトンは又ビータ線を放射して次々に、ルビヂウム、ストロンチウム、イットリウムとなる まで、後2つは検出された。

別の可能性が考へられる。それは、最初にストロンチウムとクセノンとが造られ、後者からバリウムが生ずるとするのである。Hahn は後者の實際に行はたことを證明した。

このクセノンは非常に大きな運動エネルギーを持たねばならない。實に1億電子ヴォルト以上である。しかし電荷が大なるため速くそのエネルギーを失ふ。即ち強電離性の粒子が放たれるのである。

實驗にはウランの酸化膜を塗つたものを以てするのが普通である、筆者はこれに反し、廉價な醋酸ウランを用ひ、Fermi の實驗の後獨立的に同じ研究に掛つてゐたが、最近上述ウラン原子人工爆裂の報告を受け、直ちにガムマ線によるウラン原子の分裂を企圖した。そして寫真乾板上に明白なる證明を得たのである。

最早原子の二分も可能となり、原子エネルギーの現出も夢でなくなつた。原子の不思議も最早人間の手に掌握されたかの觀がある。

中性粒子の存在は幾度も提案されたが、1931年に中性子が発見された。中性子は核と衝突してこれを變化す

る。例へば陽子と衝突するが如きである。

核の全結束エネルギーは成分粒子の數に約比例する。これは、化學結合力によつて示されるやうな飽和性を持つことを示す。即ち核内の各粒子は近隣粒子の小數とのみ関係しなければならない。さうでないとな全結束エネルギーは、成分粒子の數の平方に比例して増加する。

### 核内のエネルギー

中性粒子と陽子との數の比が變化し得る機構がある。それで安定な核内では、その比が、最低エネルギーに相當する値を採るのである。

アルファ粒子の質量缺損 (mass defect) は  $29 \times 10^{-3}$  質量單位で、これは 27MEV に當たる。如何に結束エネルギーが大なるか、粒子の安定度が大なるかが解らう。重核の包束分數 (packing fraction) はアルファ粒子のより少し大きい。これは核内にはアルファ粒子が出来るだけ存在し、又アルファ粒子同志の團結が弱いことを示す。

統計と廻旋性は原子量にのみよる。帶スペクトルや Raman 効果から統計と廻旋が定められる。

核の密度は質量によ復よらぬやうである。即ち核の體積は成分粒子の數に略々比例し、表面張力のやうな力で保たれてゐる。各粒子は、近隣のものにのみ關係すること、恰も液體中の分子のやうである。

Gamow は核内のエネルギー  $E$  をアルファ粒子の數  $N_\alpha$  の函數として表はした。

$$E = -AN_\alpha + BN_\alpha^{\frac{2}{3}}$$

第一項は近隣粒子のみに働く引力によるもの、第二項はクーロン力によるものである。それで或所で粒が不安定となり、アルファ粒子を自發的に發散する。

半徑  $r_0$  のアルファ粒子中の陽子の運動量の不確定  $\Delta p$  は

$$\Delta p = \frac{h}{2\pi r_0}$$

で與へられる。よつて陽子の質量を  $M$  とすると、運動エネルギーは

$$\frac{1}{2M} \left( \frac{h}{2\pi r_0} \right)^2 \sim \Delta p \cdot c$$

の程度に與へられる。全エネルギーもこの程度であらう。

昭和十五年二月二十五日印刷  
昭和十五年三月一日發行

版權  
所有

日本標準規格B6判

解說・原子核の物理 定價一圓三十錢

著者 竹内時男

發行者 安藤孝  
東京市日本橋區兜町二丁目十七番地

印刷者 君島潔  
東京市小石川區久堅町一〇八番地

發行所 株式會社 科學主義工業社  
東京市日本橋區兜町二丁目十七番地  
振替東京二五〇六番  
電話(茅場町)六八二二一三番

共同印刷株式會社印刷・古製製本

(載轉禁)

コ-9632



東京工大助教授  
理學博士 竹内時男著

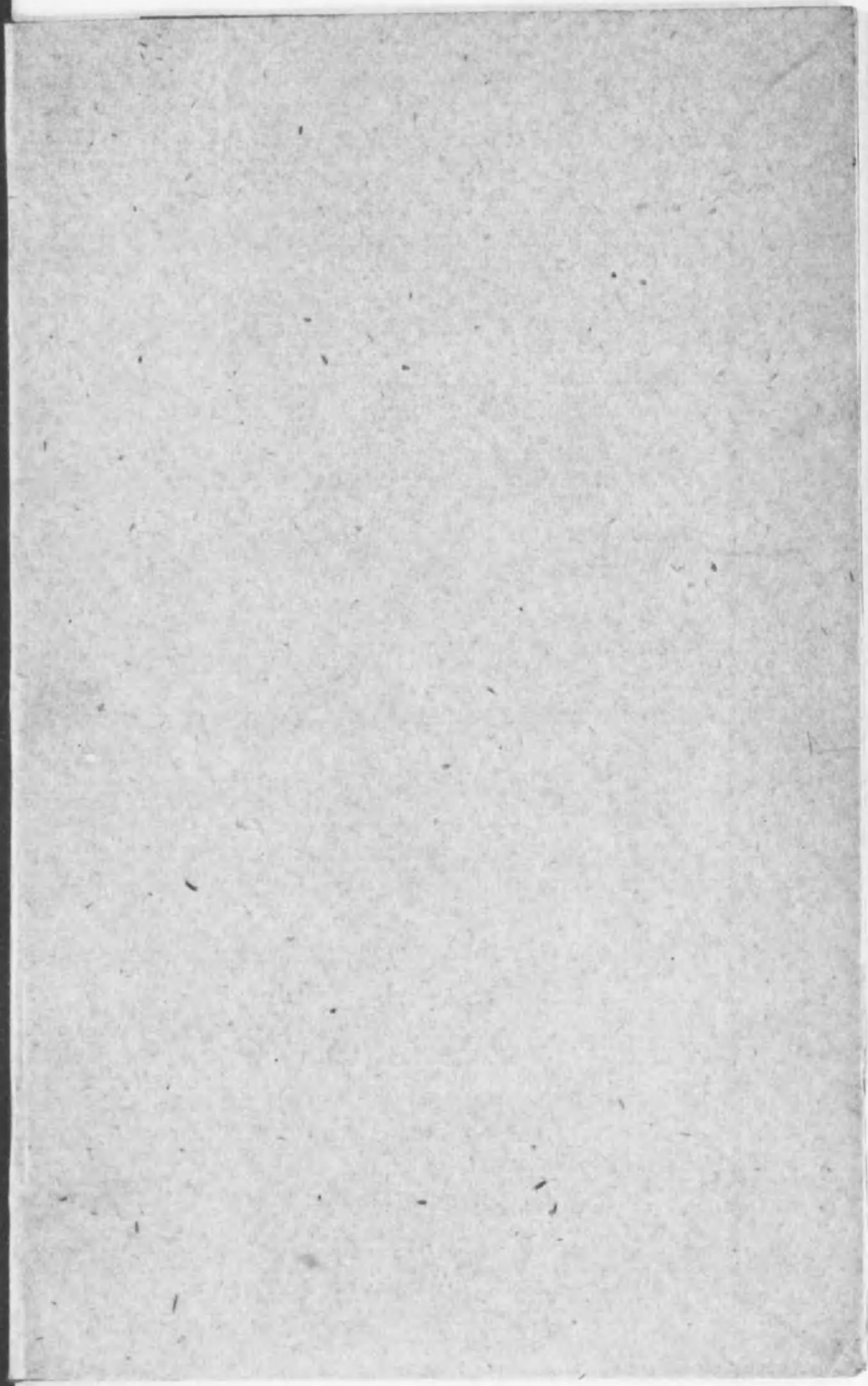
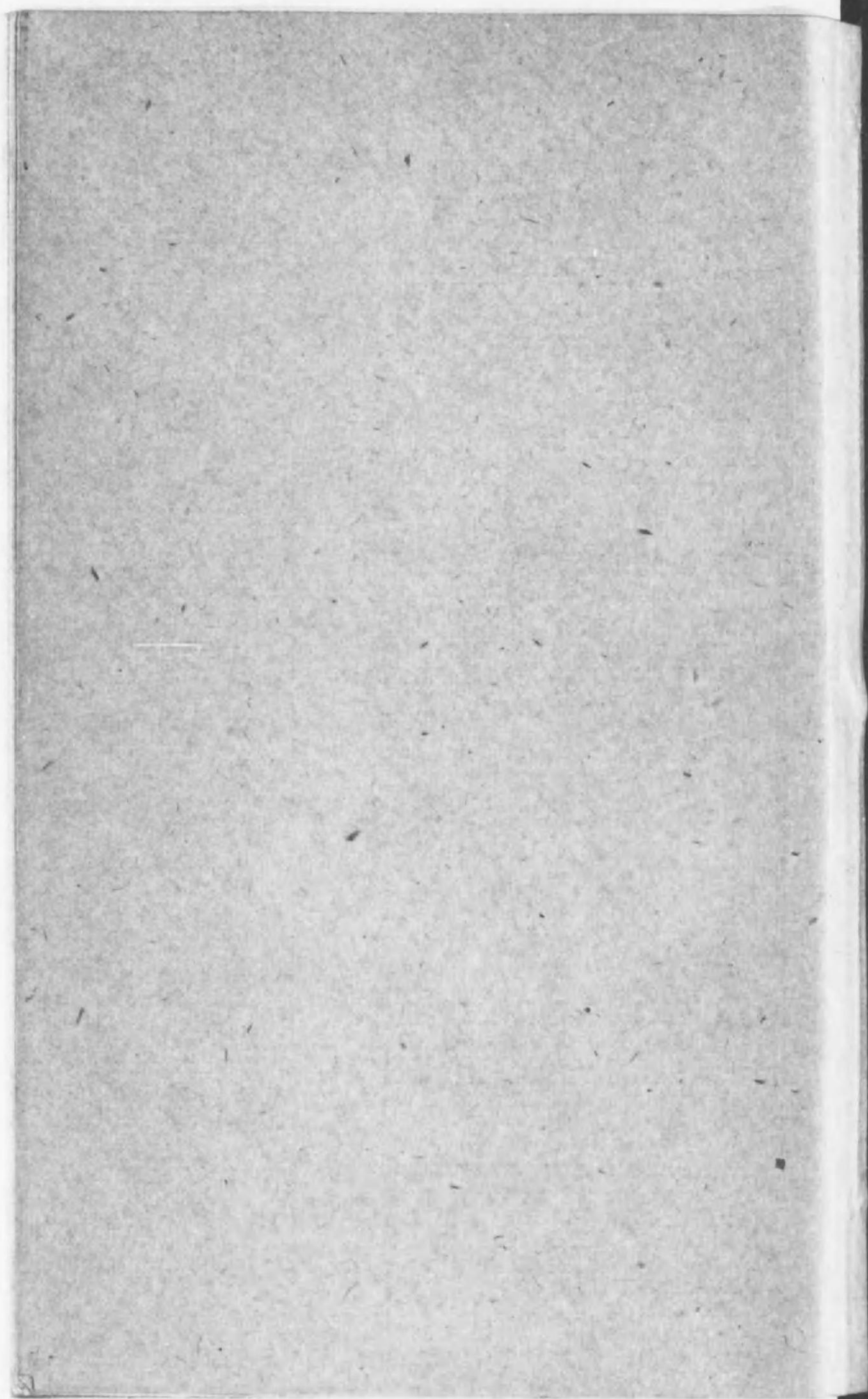
定價 一・三〇  
送料 〇・二〇

# 科 學 通 信

著者は人も知る學界有數の麗筆の人。難かしい純粹物理學の問題と世  
界觀を輕妙な筆致で、平易に面白く、知らず識らずの間に吾々に理解  
させて呉れる。挿入された數多い寫眞が、何れも容易に入手し難い稀  
らしいものであることも、この書に一段と光彩を添へてゐる。科學の  
時代に生きる現代人にとつて蓋し本書は最も有益であり且つ面白い書  
の一つである。

興亞院技術部長 工學博士	興亞院技術部長 工學博士
官本武之輔著	官本武之輔著
技術と國策(評論集)	技術者の道(隨筆集)
定價 一・五〇 送料 〇・一〇	定價 一・五〇 送料 〇・一〇

(刊社業工義主學科)





46-479



1200501260500

6  
9

終