

人 工 放 射 能

仁 科 芳 雄

科 學 5 (1935), 1, 別 刷

人 工 放 射 能

仁 科 芳 雄

緒 言

今“ラヂウムが人工で出来る”と云つたならば、これを始めて聞く者は純學術並に其應用に携はる人であれば勿論のこと、全くの素人でも苟くもラヂウムに關する知識を有つ人ならば、一大驚異としてこれを迎へるであらう。成る程今日では未だ文字通りにラヂウム其物を人工で作る事は出來ない、然し殆どそれに似たもの、否目的によつては却つてこれに勝つたものが普通の物質から作られる様になつた。これは正に科學者にとつても夢の實現と云ふべきであらう。

從來も普通の物質にラヂウム同様の放射性能を與へようとした試みは、其發見以來絶えず行はれて來たものであるが、それは孰れも不成功に終つた。又ラヂウムの放射性を人爲的に變化させようとする事も試みられたがこれも駄目であつた。それで是等の事は殆ど不可能事と信ぜられる様になつて來て居つた。それは今日の原子核論から見れば全く當然であると云ふ事が判る。

一體放射能といふ現象は何かと云ふと、原子核が自然に崩壊して其中から α -粒子、 β -粒子並に γ -線を出して他の元素の原子核に變る事である。是等放射線の持つエネルギーは 10 萬乃至 100 萬 eV 級 (1 eV とは 1 ヴォルトの電位差で加速された電子の有つエネルギー) といふ大きなものである。普通の化學又は物理的現象に與るエネルギーは、1 乃至 10 eV の程度以下であつてそれは上記に比して極く小さなものである。人工でラヂウムを作つたり又は放射能を人の力で左右するには、原子核を人爲的に變化させる必要がある。これには上述の程度の大きなエネルギーを要するものであるから、從來の實驗室の裝置ではそれが失敗に歸したのは當然と云ふべきであらう。

人 工 放 射 能 の 発 見

然るに最近に至つて原子核に關する實驗技術が著しい進歩をなし、人爲的に核に變化を起させ、一つの元素を他のものに變換するといふ事が段々行はれる様になつたのであるから、人工的に放射性物質を作り得るといふ可能性も開かれた譯であつて、最初これを認めたのは佛國の Joliot 夫妻であつた⁽¹⁾。尤も考へて見るとこれは 15 年前 Rutherford が α -粒子による元素の變換に成功した時既に行はれて居つた事なのであるが、今日迄氣が付かなかつたと云ふ事は却つて驚くべき事かも知れない。

今此發見の經過を述べて見ると、Joliot 夫妻は Po から出た α -粒子を軽い物質、例へば B, Al, Mg などに

衝突させて、陽電子を發生させる事に成功した。而して其陽電子は恐らくこれ等の原子核から出て来るものであるといふ事も略々明となつた。處が其實驗中に偶然發見した事は、 α -線を出して居る Po を取り去つても、これ等の物質は尙數分間陽電子を出して居るといふ驚くべき事實であつた。これは即ち原子核が陽電子の放射能を得た事を示すものであつて人工放射能である。

原 子 核 の 反 應

斯様にして得られた放射能は前記 B, Al, Mg の 3 元素に就いてであつて、其場合の核の變化は次の様に考へられた。先づ B を取つて見る。此原子に α -粒子が衝突すると、約 100 萬回に 1 回位の割合でこれが B の原子核の中に這入つて窒素の原子核となる。然しこれはエネルギーの過剰を有し不安定である爲に崩壊する。其壊れ方に二様あるが(1) 人工放射能を生ずる方は、先づ中性子を出して自分は質量番號 (原子量に最も近い整數) 13 の窒素となる。處が此物は原子番號、従つて有つて居る電氣量が其質量に比して多過ぎる爲に不安定であつて、陽電子を放出して過剰の電氣量を除き安定な炭素となる。其原子量はやはり 13 であるから、それは C の同位元素である。今これを式で表はすと



但し此化學記號の右肩の數字は質量番號を、右下のものは原子番號を表はす。此式の後の階梯が人工放射能を形成するものであつて、其放射強度は約 14 分間に半減する様に衰減して行くものである。即ち半減期 $T \approx 14$ 分。

此場合放射される陽電子は自然放射能に於ける β -線と同様に、其エネルギーが廣い範圍に亘り連續的に異なる値をとるものであつて、其エネルギースペクトルは全く β -線のものと同類の形をして居り、陽電子のエネルギーの最高限が存在する。 N_{7}^{13} ではそれが 1.5×10^6 eV である⁽²⁾。此スペクトルは Wick⁽³⁾ が示した様に Fermi の理論に従ひ β -線の場合と一様に説明せられる。従つてエネルギー不滅則⁽⁴⁾を満足せしめる爲には、陽電子と同時に逆輕中子 (anti-neutrino) を出し、此兩者の間のエネルギー分配が連續的に變つて居ると考ふべきものである。

(1) 他の壊れ方は陽子を出すもので $B_{\text{9}}^{10} + He_{\text{2}}^{4} \rightarrow C_{\text{6}}^{13} + H_{\text{1}}^{1}$ で表はされる。これは Rutherford が前に α -粒子による輕元素の變換として認めたものである。

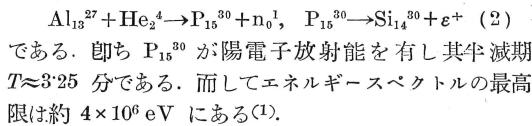
(2) I. Curie et F. Joliot: Jour. de Phys. V (1934), 153; A. J. Alichanow, A. J. Alichanian & B. S. Dzelepov: Nature 134 (1934), 254.

(3) G. C. Wick: Rendiconti Lincei 19 (1934), 319.

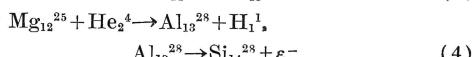
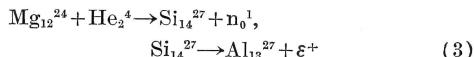
(4) 仁科芳雄: 科學 3 (1933), 62. 参照。

(1) I. Curie et F. Joliot: C. R. 198 (1934), 254, 559; Nature 133 (1934), 201.

次に Al の場合であるが、これも α -粒子により核の變化する様式に二通りあつて、人工放射能を生ずるもののは



Mg の場合には同位元素があるので、陽電子を出すものと陰電子を出すものとの二様がある。即ち



此時 $T \approx 3.5$ 分である。

此 3 元素より得る人工放射能は同じ様にして作つたとすれば、最初の強度の比は $B : Al : Mg = 0.5 : 6 : 2$ であり、これが衰滅して了ふ迄に出す全體の陰陽電子の數の比は $B : Al : Mg = 10 : 30 : 7$ である⁽²⁾。

以上の N_7^{13} , P_{15}^{30} などを夫々放射性窒素、放射性燐と呼ぶ事を發見者は提議して居る。

人工放射性元素の化學的検出

今日では β -線を 1 個宛数へる事は Geiger-Müller の計數管に依つて容易に行ひ得る。依つてこれを用ひて放射性物質の存否を定めるとすれば、放射線を出す原子の個々の存在を確かめ得る事であるから、普通の化學分析法の夢想さへしなかつた様な微量の放射性物質を検出し得るものである。それ故上記の方法で作られる人工放射性物質は極めて微量ではあるが、それが何の元素であるかといふ事を決定し得る。これも Joliot 夫妻の行つた事であつて、これによつて核反応が確定せられ得る。

例へば上述の B_5^{10} より N_7^{13} を作る場合を探ると、先づ B の窒化物 (BN) を α -粒子に當て、これを NaOH で溶かせると NH_3 の瓦斯が出て行く。而して残つた B は放射性を失つて了ふ。一方出る NH_3 を集めて見ると放射性を有つて居る。これは放射性物質が N と同じ性質を有する事を示すものであつて、前述の核反応式の正しい事を證明して居る。

Al の場合では先づ Al 箔を α -線に當てこれを HCl に溶かせる。而して其溶液を蒸発乾燥させると放射性は瓦斯と共に去つて了ふ。これは恐らく PH₃ の瓦斯を作つて飛んで行く爲であらう。又 Al 箔を溶かせてこれに磷酸曹達を加へ、此弱酸性の溶液に Zr の鹽類を加へて磷酸-Zr を沈澱させると、放射性は此沈澱の方に行つて了ふ。これは皆放射性物質が燐の同位元素である事を示

(1) A. J. Alichanow, A. J. Alichanian & B. S. Dzelepov I. c. Y. Nishina, R. Sagane, M. Takeuchi & R. Tomita: Sci. Pap. I. P. C. R. **25** (1934), 1.

(2) C. D. Ellis & W. I. Henderson: Proc. Roy. Soc. **146** (1934), 206.

すもので、前に推定した核反応の正しい事の證明となる。

此最後の方法は常に用ひられるもので、先づ出來た放射性物質が何であるかといふ見當を付け、溶液の中に其同位元素又は同族元素を加へてやり後これを沈澱させる。其時若し放射性が全部此沈澱の方へ行けば初めの見當の正しい事を示すものである。

陽子 (H_1^1) 並び重陽子 (D_1^2) による人工放射能

上述の α -線による人工放射能が發見せられてから間もなく、 H_1^1 又は D_1^2 によつて原子核の變換を行つて居た人達は、直ぐこれを用ひて人工放射能が出来るかを驗べて見た。そして矢張り同様に行はれる事を實證した。即ち Cockcroft, Gilbert, Walton⁽¹⁾; Livingston, Lawrence⁽²⁾; Crane, Lauritsen⁽³⁾ 等は、エネルギーの高いこれ等の粒子を B, C, Al などに當てて陽電子放射能を得た。そして Neddermeyer, Anderson⁽⁴⁾ は Wilson 霧函によりそれが陽電子である事、並に其エネルギー・スペクトルを求める、Al ではエネルギーの最高限が 1.8×10^6 eV にあり他は皆 1.5×10^6 eV 位であると云ふ結果を得た。

此時の核反応は化學的の證明をして居ないので確實ではないが、 B_5^{10} より C_6^{11} を得これが B_5^{11} となり、 C_6^{12} より N_7^{13} を得これが C_6^{13} となるものと考へて居るが、前者に於て $T \approx 10.5$ 分、後者に於て $T \approx 20$ 分となつて居るのは、 α -線により得られたものと T が異つて居る。これは核の狀態が違ふ爲だと云つて居るがこれも確でない。殊に Hafstad, Tuve⁽⁵⁾ は是等の放射能は H_1^1 ではなく D_1^2 のみによるもので、 H_1^1 で出来たと見えたのは其中に含まれて居た D_1^2 によるものであると云つて居る。

更に最近に至つて Lawrence⁽⁶⁾ は 1.7×10^6 eV の D を Na に當てて

$\text{Na}_{11}^{23} + D_1^2 \rightarrow \text{Na}_{11}^{24} + \text{H}_1^1, \quad \text{Na}_{11}^{24} \rightarrow \text{Mg}_{12}^{24} + \varepsilon^-$ なる反応を起し化學的にこれを確めた。此 Na_{11}^{24} は β -線と同時に單一波長を有する非常にエネルギーの高い ($h\nu = 5.5 \times 10^6$ eV) γ -線を出し $T \approx 15$ 時間である。これはラデウムの γ -線よりもずっとエネルギーが大であつて其應用の範囲は極めて廣い様に思はれる。此物は次に述べる中性子による方法で Al 並に Mg より作られるものと同じ元素である。

中性子による人工放射能

α -粒子、 D_1^2 , H_1^1 などの有するエネルギーには限りがある。今日の處では 10^7 eV に達する事は未だ困難の

(1) J. D. Cockcroft, C. W. Gilbert & E. T. S. Walton: Nature **138** (1934), 328. [428,

(2) M. S. Livingston & E. O. Lawrence: Phys. Rev. **45** (1934)

(3) H. R. Crane & C. C. Lauritsen: Phys. Rev. **45** (1934), 430, 493, 497.

(4) S. H. Neddermeyer & C. D. Anderson: Phys. Rev. **45** (1934), 498.

(5) L. R. Hafstad & M. A. Tuve: Phys. Rev. **45** (1934), 902.

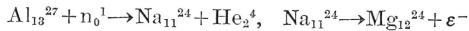
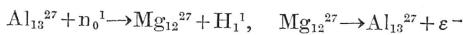
(6) E. O. Lawrence: Phys. Rev. **46** (1934), 746.

様である。従つて是等の帶電粒子を用ひて人工放射能を作るにするとそれは軽い元素に限られる。重い元素では原子核の有する Ze なる電氣量が多いから、Coulomb-斥力の爲めに上述のエネルギーでは核に近寄る事が困難となり、従つて人工放射能を起す事は出來なくなる。

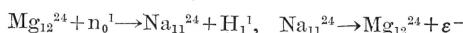
處が中性子は電氣を帶びて居ないから、原子核による Coulomb-斥力はなく、従つてエネルギーは比較的小であつても重い元素の原子核に充分接近し得る。それ故これは核の變化を起させるには非常に有力な武器である。

伊太利の Fermi⁽¹⁾は此點に注目し、これを用ひて約 60 個の元素に人工放射能を起す事を試み、原子量の輕重に關係なく約 40 個のものに於て成功した。而して此時の放射線は β -線だけの様であつて、其強度並に T は元素により非常に廣い範圍に變つて居る。例へば S, Cl は 13 日の T を有するが、Ag の如きは 20 秒に過ぎないものがある。又一つの元素についても多くの T を有つ放射能の集合である場合が澤山ある。

今一例を擧げれば Al に於ては $T \approx 12$ 分と $T \approx 15$ 時間との 2 種がある。是等の β -線の強度を半減するのに Al 箔を用ひるとすればその厚さは前者に於て 0.07 gm/cm²、後者に於て 0.06 gm/cm² に相當するものである。其核反応は夫々



と考へられる。後者は化學的に確められた。これは前述の様に 5.5×10^6 eV の γ -線を出すものである。Mg に於てもこれが出来る。即ち



更に興味あるのは元素 U (Z=92) である。此場合に出來たものは 4 種の T を有するものの混合であつて、化學的に試験した結果は $T \approx 13$ 分並に $T \approx 90$ 分のものは Z=93, 94 又は 95 の新しい元素であるらしいと云ふ結論に達した。若し左様でありとすると自然に存在しない様な高い原子番號の元素が創造されたもので、これは或は Ac-系の放射性元素の起源と見られるかも知れない。其後 Grosse, Agruss⁽²⁾はやはり化學的試験の結果、Fermi の得たものは Z=91 であつて 93, 94 等ではないと云つて居る。此點は將來の決定を俟つべきであらう。

是等の結果を纏めて云へば、中性子を以て人工放射能を作るに就いての有效横断面積は、一原子當り大體核の斷面積位である。即ち中性子が核に衝突すれば大抵放射性を起さると考へて好いであらう。而して出來上つたものは、其原子番號が元の Z と同じものか、Z-1 又は Z-2 の元素となるのが普通で、Z の不變のものは重い

(1) E. Fermi: Nature **133** (1934), 753, 898; Proc. Roy. Soc. **146** (1934), 483.

(2) A. v. Grosse & M. Aguiss: Phys. Rev. **46** (1934), 241; Nature **134** (1934), 773.

方に多く、Z-1, Z-2 の方は軽い方で起る。

γ 不變の場合中性子は核に捕へられて中に這入るか否かといふ事は問題であつて、或は捕へられないで更に中性子を中から出すといふ様にも考へられる。此點も今後の研究で明にせられることであるが、Bjerge, Westcott⁽¹⁾は Na_{11}^{23} の場合に明に捕へられて Na_{11}^{24} となるものを認めたと云つて居る。

此方法で人工放射能を作るに當つては、如何にして中性子を多く得るかといふ事が重大な問題となる。Fermi 其他の人は Rn-管の中に Be を封じ込んで中性子を作つて居るが、最近 Szillard, Chalmers⁽²⁾は Ra の γ -線を Be に當てると Be が崩壊して中性子を出すから、これを用ひて沃度 (I) に放射能を與へる事に成功したと云つて居る。これは面白い方法で強い γ -線を X-線式に起す事となれば、非常に多くの中性子が得られる事となる。尤も Meitner⁽³⁾によれば、此方法で得られた中性子はエネルギーが少くて、I, Ag, Au など原子番號不變の放射性元素を得る場合だけ有效であつて、其他の場合は起し得なかつたと云つて居る。

結論

人工放射能の問題には未だ澤山の研究すべき事が残されて居ると思ふ。其應用も多方面に亘る事であつて殊に醫療上には多くの重要な問題を提供するであらう。其一例として適當の T を有する人工放射能を作り、これを局部に注射して所要の効果を擧げさせ、一定時間を経ると放射能は無くなつて普通の元素となるから、それが人體に何の悪影響をも與へない様な物質であつたならば有效に用ひられる場合がある様に思はれる。只問題は果してそんな物質があるか、又必要なだけの強度を有するものが作られるかと云ふ事に存するであらう。

以上の場合は得られた放射線が陰陽の β -線か、 γ -線かであるが、Curie, Joliot, Preiswerk⁽⁴⁾は P に中性子を當てると中性子を出す人工放射能を得たと云つて居る。更に α -粒子、H-粒子などの人工放射能が出来るか否か、それは將來解決せられる事と思ふ。

尙最近の報告によれば、Rausch v. Traubenberg, Bartels⁽⁵⁾は ThC' の γ -線によつて Pb に γ -線を出す人工放射能を與へたと云ふ事である。尤も此 T は 1 秒の程度である。此方法も將來發展の餘地があるかどうか研究すべき問題であらう。

要するに人工放射能の今後の研究結果は、多方面から多大の期待を以つて見られて居るものである。

次に今日迄得られた人工放射能の表を掲げて置かう。

(1) T. Bjerge & C. H. Westcott: Nature **134** (1934), 286.

(2) Leo Szillard & T. A. Chalmers: Nature **134** (1934), 462.

(3) L. Meitner: Naturwiss. **22** (1934), 758.

(4) I. Curie, N. Joliot & P. Preiswerk: C. R. **198** (1934), 2089.

(5) H. Rausch von Traubenberg & H. Bartels: Naturwiss. **22** (1934), 758.

元素	同位元素	T	放射線	エネルギースペクトルの最高限 (10 ⁶ eV)	放射性元素
3 Li	6; 7	數分;	ε^+ ; ε^-	3; —	B_{α}^{10} ; Be_{α}^{10}
5 B	10; 11	14分	ε^+	1.5	N_7^{13}
7 N	14; 15	1.2分	ε^+	—	F_9^{17}
9 F	19	短	ε^+	4	Na_{11}^{22}
11 Na	23	7秒	ε^+	—	Al_{13}^{28}
12 Mg	24; 25; 26	2.5分; 2.5分	ε^+ ; ε^-	—	Si_{14}^{27} ; Al_{13}^{28} ; —
13 Al	27	2分15秒	ε^+	—	P_{18}^{30}
15 P	31	40分	ε^+	—	Cl_{17}^{34}
19 K	39, 41	3時	ε^+	—	Si_{14}^{22} or Sc_{21}^{44}
30 Zn	64, 66, 67 68, 70	?	ε^+	—	Ga

第1表 α -粒子による人工放射能

元素	同位元素	T	放射線	放射性元素
5 B	10, 11 12, 13	10.5分 20分	ε^+ ε^+	C_6^{11} (?) N_7^{13} (?)
D_i^2 によるもの				
元素	同位元素	T	放射線	放射性元素
4 Be	9	9分	ε^+	?
5 B	10, 11	20分	ε^+	C_6^{11}
6 C	12, 13	10.3分	ε^+	N_7^{13}
7 N	14	2分6秒	ε^+	O_8^{15}
11 Na	23	15時	ε^-	Na_{11}^{24}
12 Mg	24, 25, 26	9分	?	?
13 Al	27	2分33秒	ε^-	Si_{14}^{28}

第2表 H_1^1 及び D_i^2 による人工放射能
 H_1^1 によるもの

元素	同位元素	T	強度(i)	D	E	γ -線	放射性元素	元素	同位元素	T	強度(i)	D	E	γ -線	放射性元素
1 H	1, 2	—	—	—	—	—	—	50 Sn	112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124	—	—	—	—	—	—
3 Li	6, 7	—	—	—	—	—	—	51 Sb	121, 123	?	?	—	—	—	—
4 Be	9	?	?	—	—	—	—	52 Te	123, 123, 124, 125, 126(127)	30分(?)	弱	—	—	—	—
5 B	10, 11	?	?	—	—	—	—	53 I	127	30分	0.4	0.09	.7	—	I_{43}^{128}
6 C	12, 13	—	—	—	—	—	—	55 Cs	133	?	3分	—	—	—	—
7 N	14, 15	—	—	—	—	—	—	56 Ba	135, 136, 137, 138	—	—	—	—	—	—
8 O	16, 17, 18	—	—	—	—	—	—	57 La	139	—	—	—	—	—	—
9 F	19	9秒; 40秒	0.7; 0.04	0.24	2	有	(N_{10}^{16}) —; (Na_{11}^{24})	59 Pr	140, 142	—	—	—	—	—	—
11 Na	23	40秒; 10時	中; 弱	—; 0.06	—; 5	?	—; (Na_{11}^{24})	60 Nd	141	5分	弱	—	—	—	—
12 Mg	24, 25, 62	46秒; 15時	中; 中	—; 0.06	—; 5	?	—; (N_{11}^{24})	62 Sm	142, 143, 144, 145, 146	40分	弱	—	—	—	—
13 Al	27	12分; 15時	0.8; 0.5	0.07; 0.06	6; 5	有; 有	—; (Na_{11}^{24})	73 Ta	181	—	—	—	—	—	—
14 Si	28, 29, 30	3分	0.7	0.16	1.3	有	(Al_{13}^{28}); Si_{14}^{31}	74 W	182, 183, (?)	弱(?)	—	—	—	—	—
15 P	31	3分, 3時	0.6; 0.06	—; 0.09	—; 7	?	—	75 Re	185, 187	—	—	—	—	—	—
16 S	32, 33, 34	13日	中	0.10	.8	—	—	76 Os	186, 187, 188, 189, 190, 192	—	—	—	—	—	—
17 Cl	35, 37	13日	0.1	0.10	.8	—	—	77 Ir	203, 205	20時	强	0.13	1.1	有	Ir_{77}
20 Ca	40, 42, 43, 44	—	—	—	—	—	—	78 Pt	203, 204	?	弱(?)	0.033	.3	—	Au_{79}
22 Ti	46, 47, 49, 49, 50	3分	弱	—	—	—	—	79 Au	196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204	2日	强	—	—	—	—
23 V	51	4分	中	0.16	1.3	—	(V_{22}^{52}); V_{23}^{52}	80 Hg	198, 199, 200, 201, 202, 203, 204	?	?	—	—	—	—
24 Cr	50, 52, 53, 54	4分	中	0.16	1.3	有	—	81 Tl	203, 205	?	?	—	—	—	—
25 Mn	55	4分; 2.5時	中; 中	—; 0.16	—; 1.3	—	V_{23}^{52} ; Mn_{25}^{56}	82 Pb	203, 204, 205, 206, 207, 208, 209	—	—	—	—	—	—
26 Fe	54, 56	2.5時	0.05	0.16	1.3	有	Mn_{25}^{56}	83 Bi	209	—	—	—	—	—	—
27 Co	59	2.5時	弱	0.16	—	—	Mn_{25}^{56}	90 Th	232	1分(?)	强, 强	—	—	—	—
28 Ni	58, 60, 61, 62	—	—	—	—	—	—	92 U	238	15秒	0.5;	—	—	—	—
29 Cu	63, 65	6分; 6時	中; 弱	—	—	—	Cu_{29}^{64} ; Cu_{29}^{66}	—	40秒	0.5;	—	—	—	—	—
30 Zn	64, 66, 67, 68, 70	6分; 6時	弱; 弱	—	—	—	Cu_{29}^{64} ; Cu_{29}^{66}	—	40秒	0.5;	—	—	—	—	—
31 Ga	69, 71	30分	中	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33 As	75	1日	强	0.16	1.3	有	As ₃₃ ⁷⁶	—	—	—	—	—	—	—	—
34 Se	74, 76, 77 78, 80, 82	35分	弱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35 Br	79, 81	30分; 6時	强; 强	—; 0.09(?)	—; 7(?)	—	Br ₃₅ ⁸⁰ ; Br ₃₅ ⁸²	—	—	—	—	—	—	—	—
37 Rb	85, 87	20分	弱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38 Sr	86, 87, 88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39 Y	89	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40 Zr	90, 91, 92, 94, 96	?	弱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42 Mo	92, 94, 95, 96, 97, 98, 100	15分; >1日	弱; 弱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44 Ru	96, 98, 99, 100, 101, 102, 104	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45 Rh	—	50秒; 5分	强; 中	0.10; —	0.8; —	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
46 Pd	—	6時(?)	弱	0.03	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
47 Ag	107, 109	20秒, 2分	强; 0.5	—; 0.08	—; 7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48 Cd	110, 111, 112, 113, 114, 116	70分	弱	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

第3表 中性子による人工放射能

T =半減期, $i=1$ ミリキュリーの R_n (平衡にある)と Be により成る中性子の素より 1cm の處に置いた 1gm の物質より 1秒 間に崩壊する原子の数
 D =強度を半減するに要する Al の厚さを gm/cm^2 で表はしたもの。 $E=D$ より求めた β -線の平衡エネルギーを 10^6eV で表はしたもの。
 —は探したが見當らなかつた意味。放射性元素の原子量は中性子が捕へられたとして求めたもの、若し捕へられぬ時はこれより 2 を減ずる。
 放射性元素の行に於て括弧に入れたものは化學的證明を経ぬもので、他はこれを行つたものである。