

ニウトロンの吸収による重元素原子の分裂

荒 勝 文 策

本文は荒勝教授が化学研究所の発表會にて講演されたものを同教授の許可を得て速記し此處に載せたものである。

(講演要旨)

ウラニウムをニウトロンの照射することにより一連の人工放射性元素を得ることはフェルミー等伊太利學者の夙に發見したる所であつて、所謂超ウラン元素を得たるものとして記録せられてきたのである。所が本年に入つてハーン、ストラスマン等獨逸學者はウラニウム、トリウム等の表はす此の種人工放射能はこれ等元素の原子がニウトロンを吸収することによつて原子核内の動搖を來し、恰も水滴の分裂するが如く重き相似たる二つの輕き原子に分裂し、バリウム其他種々の週期表中に於ける中央元素の原子を生じ其れの示す連鎖的放射機能變轉現象なりとの證據を掴みここに全く新しき型の原子核變化を發見したのである。この發見を肯定する種々の物理的研究、化學的研究は其後陸續として報告されて來て居る状態である。問題は未だ探究中に屬することではあるが其大要を紹介し尙吾れ等の研究室に於てもこの問題に關し、二研究しつゝあることを附加し置きたいのである。

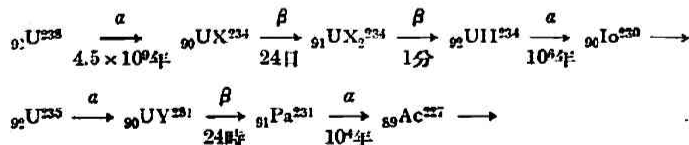
今日私がお話しさせて戴きます事柄は寧ろあなた方から聞かして戴くべき筈の事柄であります。問題は全く化學の範圍に屬する事であり、私自身には餘り此方面の事に就ては判然としない所が多いのでありますが、原子核の問題が今日化學の範圍に這入り、化學者が之を取扱ふべき時期に入つて來たと思はれますので、此點に就いて述べさせて戴きたいと思ふのであります。話の大體は講演要旨にも示してあります通り、重い元素の原子 U, Th 等の人工分裂に關する最近の研究に就てであります。

今順序と致しまして多少歴史的經過から御話し致します。U には mass number 238 の外に尙 235, 234 のものがありまして、次に示す様な割合で自然界に存在して居ります。

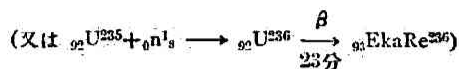
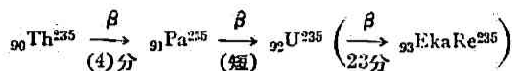
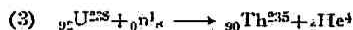
$${}_{92}\text{U}^{238} : {}_{92}\text{U}^{235} : {}_{92}\text{U}^{234} = 100 : 0.3 : 0.007$$

そして ${}_{92}\text{U}^{238}$, ${}_{92}\text{U}^{235}$ は夫々次に示す様な段階で自然に崩壊して行く事は御承知の通りであります。

第 一 表



斯様に U はその儘でも自然に崩壊しつゝあるのでありますが、之にニウトロンを衝突すると更に特殊の現象を示すのであります。一般にニウトロンの示す核反應に就ては、1934 年から 1935 年にかけて Fermi 等が特によく研究した所でありまして、第二表に見る如く大要三の型として表はされるものであります。



第四表の(1)に示す如く 93, 94, 95, 96 と chain で進む。(2)に對しては人によつて多少異つた考案もありますが兎に角 chain で進行して行く。(3)は又括弧内の様に行くのではないかとも思はれます(此所に見る23分が非常に特徴のある β -ray activity であります)。此等は色々云はれてゐますが兎に角 Fermi の考へに従ひ注意深く實驗しました所、=ウトロンの爲に段々と Trans-Uran の元素を作ると云ふ結果を収めたのであります。斯くして96番までの元素が出来るといふ事で1935年—1936年迄は收つたのであります。

處が其の後 Hahn-Strassmann は其匠みなる分析術的研究を繼續する事によりまして、U に =ウトロンの作用せしめた場合には上記 Trans-Uran (週期律表で92番より右) 元素を生ずる以外に92番より左の方の元素即ち原子番號が U よりも少いものが出来て、(初めは多分 Ra の Isotope ならんと思はれて) 第五表に示す様な數種の連鎖的放射能系が存在してゐると云ふ事を昨年の終りより本年初めにかけて見付けたのであります。

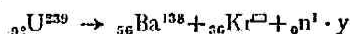
第 五 表
Hahn-Strassmann (1938—1939)

${}_{92}\text{U}^{238} + {}_0\text{n}^1 \longrightarrow {}_{95}\text{U}^{239} \xrightarrow{\alpha} {}_{90}\text{Th}^{235} \xrightarrow{\alpha} ?$			
“RaI” ?	$\xrightarrow[\text{<1分}]{\beta}$	AcI	$\xrightarrow[\text{<30分}]{\beta}$ Th ?
“RaII”	$\xrightarrow[14 \pm 2\text{分}]{\beta}$	AcII	$\xrightarrow[\sim 2.5\text{時}]{\beta}$ Th ?
“RaIII”	$\xrightarrow[86 \pm 6\text{分}]{\beta}$	AcIII	$\xrightarrow[\text{數日}]{\beta}$ Th ?
“RaIV”	$\xrightarrow[250-300\text{時}]{\beta}$	AcIV	$\xrightarrow[\text{<40時}]{\beta}$ Th ?

遙かに遠いこんなに離れた軽い Ba が出来、又 La, Ce が出来る事を見付けたのであります。此は貴方方から見ますと當然と思はれるかも知れぬのであります。物理をやる者からみますと仲々重大な事柄であります。この Ba が最初に出来たとすると、どうしても U に =ウトロンの進入り、一時兎に角 U^{239} が出来、それが charge は合はぬが ${}_{56}\text{Ba}^{138}$ と、 ${}_{44}\text{Ma}^{101}$ とに分離する。即ち



となるか、或は又質量は合はぬが、 ${}_{56}\text{Kr}^{\square}$ なるものと ${}_{56}\text{Ba}^{138}$ と、幾個かの =ウトロンのとが出来たのかも知れぬ。



といった様な考へ方を必要とする事になるのであります。

此のものを段々と調べて來たのであります。何となく不思議であるので、Hahn-Strassmann は Ra と Ba とに就て特に注意し、此が Ra と一緒に出るのか、又は Ba と一緒に出るかを調べてみた處が、active なものは常に Ba とは離れ難いが、Ra と離す事は出来ると云ふ事が判つたのであります。此は大變な事でありまして、この Ra と書いたのは實は ${}_{56}\text{Barium}$ (138?) であるに違ひないと云ふ事が分つたのであります。従つて Ac は ${}_{57}\text{Lanthanum}$ 、Th は ${}_{58}\text{Cerium}$ であらうと云ふことになつて來たのであります。即ち U に =ウトロンの衝突すると此よりも

假りに

Barium $\rightarrow$ Lanthanum $\rightarrow$ Cerium

であるならば

Krypton $\rightarrow$ Rubidium $\rightarrow$ Strontium $\rightarrow$ Yttrium $\rightarrow$ Zirconium

の順序を経たと思はざるを得ないのであります。而らば吾々が前に Trans-Uran と見たものも、もう一度之を見直す必要があるのであります。斯くして前に10秒、40秒の半減期のものを $_{92}\text{U}^{239}$ に依るものと見たのは或は多分 $_{43}\text{Ma}$ -isotope であり、“Trans-U” の一つは

$_{43}\text{Masurium} \rightarrow \text{Ruthenium} \rightarrow \text{Rhodium} \rightarrow \text{Palladium} \rightarrow \text{Silver} \rightarrow \text{Cadmium}$

なる変化であるとも云へるのであります。故に Trans-U と見たもの、又 Ra 或は共同位元素と思つたものが Ba と今一つ他の何かに分かれ、後へ後へと連鎖的に變化して來たものと想像がつくのであります。斯様な報告が出てから、急激にあちら、こちらで此現象を研究する事が盛んとなり、今年になつてから、數十の報告が陸續と出てゐるのであります。その内先づ化學的なものでは、米國でサイクロトロンを使つて得た強力なニウトロンを U に衝突して之を化學的に分析し大體確かと考へられる結果として次表の series の様なものがあります。

第 六 表

Antimony $\rightarrow$ Tellurium $\rightarrow$ Iodine

>15min. $\rightarrow$ 72hr. $\rightarrow$ 2.5hr.

8day (133)

40min. $\rightarrow$ 54min.

1hr. $\rightarrow$ 22hr.

4.6hr. $\rightarrow$ 70min.

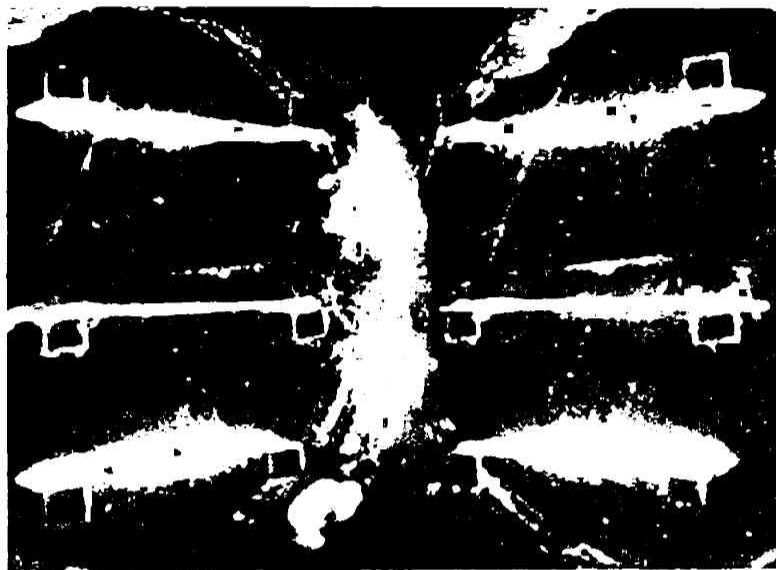
($\frac{5\text{min.}}{40\text{min.}}$)

(Abelson)

この中、肉太線で書いたものは前に Trans-Uran に見たものと同じ半減期を持つてゐるのを見る事が出来るのであります。従つて其他前に Trans-Uran と云つたものも、結局よく検討を行はなければ果して何であるかは判らぬものであつて、多分は之れも U にニウトロンの這入つて後上記の如く分かれた爲めに生じる軽元素であらうかと云ふ事に段々なつて來たのであります。

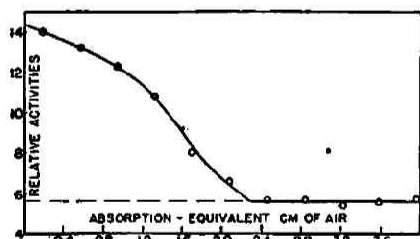
それでは此事實は一體どう云ふ事になつて居るのであるか。此は一方量子論から見ると誠に考へ難い事でありまして、核中では粒子がその安定を保つ爲にポテンシャルの深い谷がある。粒子が外部に出る時にはその土手を超えて行かねばならぬ。併し斯かる重い粒子になりますとその可能性は非常に少なくなるのでありまして到底今迄の量子論では話がつかぬのであります。それで此に話をつける爲めに、發見者達は原子核を水滴と見立てまして、之にニウトロンの這入ると非常にその状態が躍起され、Energy content が増加し、従て内部的運動が活潑となつて終には此の水滴が二つの大さの等しいものに分かると同様の分裂を起すものであらうと云ふのであります。それで此現象に原子核の“Fission”と云ふ名稱を與へたのでありまして、斯かる古典的模型で説明すると話がよく分るのであります。併し乍ら果して物理的に斯様な事實が存在する事を證據立てる事が出来るかどうかの問題が直に起るのであります。此に對する考への第一は、此二つのものが分かれて出る時のエネルギーはどれだけであるかをみる事です。10⁻¹³cm の桁の大さの核内より如何なる機構に依て分かれ出るにしても、或程度之が分かると後は Coulomb の反撥によつて追はれるわけである。この考へで“Fission”の粒子の總エネルギーを計算して見ると大約 200 M.e.V. となるのであります。又これを Aston の精密な測定に依る U, Ba, Kr の質量缺損から見當を付けても亦 200 M.e.V. となるのであります。従つてその一つは 100 M.e.V. である。果して然らばこの分裂粒子の空氣中の飛程距離は約一握程度とならなければならぬ

のであります。それを確める実験は (Wilson 露函並にイオン計数器測定等に依つてする) 多くの研究者に依つて行はれたのであります。Wilson 露函で見える或寫眞によると (第一圖参照) U にニュートロンが衝突した時には三極の飛程距離のものが兩方に分かれてゐるのを見るのであ



第 一 圖

ります。又 U の上に薄い Al の箔の幾枚かを置いてニュートロンを衝突すると、分裂粒子が飛び出して何枚もの箔を通過して来る。故に Al 箔に附着せる分裂粒子の activity を検査する事に依り其分裂粒子の飛程を知る事が出来、約 2.2cm 位になる事を見て居るのであります。(第二圖参照) その他計数器で之を行つた種々の研究結果を見ると色々の値が出てはゐるが、大體一極



第 二 圖

位から三極位迄のものが出てゐるのであります。又分裂粒子の電荷数を見當づける爲めに此を計数器で測つて α -粒子に依る電離の分量に比べて、56, 36 の重い電荷の極く *dense* のものが出る事も確しかめられてゐるのであります。かくして實際、考へられた事柄が物理的事實として出てゐる事を見るのであります。

次に如何なる速度のニュートロンがかかる分裂作用に有效であるかと云ふ実験が數々行はれて居り

ます。其の中の一、二を申しますと第七表の如く D-D neutron を用ひる時、パラフィン無しの場合では (ニュートロンの速度は變化なくその儘) 毎分 U は 35, Th は 21 と云ふ分裂回数を示すのに對し、パラフィンでニュートロン源を取り囲むと (ニュートロンの速度は遅くなる) U の分裂回数は増加し、Th の場合には餘り變化がない。又第八表に示す研究より解かる如く、

第 七 表

Fowler-Dodson

D-D neutron に依る分裂数 (一分間)

	パ ラ フ ィ ン な し		パ ラ フ ィ ン で 取 り 巻 く	
	i=1.0mA	0.5mA	i=1.0mA	0.5mA
U	35	—	69	38
Th	21	11	20	—

第 八 表

Robert-Meyer-Hafstad

ニ ウ ト ロ ン	最 大 エ ネ ル ギ ー	Uranium		Thorium	
		Cd, な し	Cd	Cd な し	Cd
Li+D	13.5 M.e.V.	100	70	100	100
D+D	2.5	100	70	100	100
C+D	0.5	100	10	0	0

此時の分裂原子のエネルギー 75—150 M.e.V.; Cd なしは Cd で覆はぬ時; Cd は Cd で覆ふ時 (Cd で覆ふと云ふ事は極くのろいニウトロンを取り除く事である)。

U には極くのろいニウトロンが相當きくと見えて Cd で U を覆ふ時其分裂が相當減つてゐるが Th の場合には減らぬ。即ち U に対しては非常にのろい (熱運動程度のもの) ニウトロンが作用するのであるが Th には或程度速いもの——0.5 M.e.V. 以上——でないと Fission が起らないのであります。U, Th の分裂生成物を見えますと, Th を高速ニウトロンの分裂を起さしたときの生成物は Th 獨特の *activity* を示すものもあるが, U の時の生成物と同じものが相當存在してゐるのであります。此事はさもあるべき當然の事である様に思へるのであります。フランスでは Au, Ti でもこの Fission を起すと云つてゐる人もあるが、これはどうも起さぬと云ふ人の方が正しいのでは無いかと思はれる。で斯様なことで今の所は U, Th は確に緩ニウトロン又は我々の得る事の出来る程度の比較的速いニウトロンの非常に激しく Fission を起すのを見る事が出来るのであります。而して上記多くの研究者の結果を綜合すればこの作用の起る實現率は大概 $3.5-5 \times 10^{-24} \text{cm}^2$ の切斷面と見られる程度の頻度で起つて居るのであります。

今迄申し上げましたのは暗々に ${}_{92}\text{U}^{238}$ がこの作用を起すものとのみ考へて來たのであります。が、Bohr はこの現象はよく注意すべき事で、 ${}_{92}\text{U}^{238, 235}$ の如く原子番数が偶数で、mass number の奇数のものと偶数のものとでは大分その趣が違ふものであると考へてゐます。奇数の肩書きの原子の方が偶数の肩書きの原子より核内ニウトロンのおさまりが、高エネルギー状態になつてゐると考へられるのであります。而して偶数質量数のものはこれに比して安定で、エネルギー状態が低いと思はれるのであります。従つて奇数のものはこれにニウトロンが這入り偶数のものとなる際は核は非常に勵起された状態となり、Bohr の考へ方で云ふ *Resonance level* が密集してゐる處へ來る状態になる。従つて奇数の方が緩ニウトロンをよく吸収し、これに依つて分裂を起す實現率が大きくなると思はれるのである。即ちこの分裂をするものは、U の重い方 (U^{238}) ではなくて ${}_{92}\text{U}^{235}$ の質量数奇数の 0.3% あるものに違ひないと考へられるのであ

ります。 ${}_{90}\text{Th}^{232}$ の分裂は上記の研究に依り fast neutron に依るに違ひないと云ふ事になつてゐるがこれもこの考へ方からは理解出来る事である。

次に今一つ根本的に興味ある事があるのであります。それは大體原子番数が多くなり原子が重いものになるに従ひ、其核では之を構成する、プロトンの數に比してニウトロンの數の方が多くなるものであります。だから例へば U が分裂して Ba 等軽い元素の原子になる場合には、其分裂粒子の核内の ニウトン/プロトン の比はその割合が多い事になるのでありまして、爲めに次々に β -ray activity を示してニウトンがプロトンに變る際に電子を出すと言ふ機構に従つて變轉するのであります。斯くしてニウトンのプロトンに對する割合が段々減つて來るのでありまして、原子は漸次週期律表の右の方に移つて來て適當の所でおさまるのであります。それ故に U が分裂して後連鎖的に activity を示すのは當然の事でありまして。然し分かれる時にニウトンが何個程出るか、如何なるエネルギーで出るか、或はニウトンが這入つて分裂を來す際に出るのか、又は分裂後出るのか等の問題を判つきりさすのは大切な事でありまして。實際種々の人々が U に緩ニウトロンを衝突した結果に依ると、之が分裂する時比較的速いニウトンが出て來る事が觀察されてゐるのであります。その出て來るニウトンの割合は一個のニウトンが這入り一回の Fission を起す時、2 乃至 3 個出るとも云はれて居ります。又或人はニウトロンを衝突してをつて、急に此からニウトン源を除いた後にも、此から矢張りニウトンが或る life を以て出て來る。即ち豫後的ニウトンの現象を見てゐるのであります。即ち約 12 秒位の半減期で遅れてニウトンを出す事が報告されてゐるのであります。其の眞否は未だ明瞭ではありませんが注意すべき現象ではあるのであります。* 以上至つて大ざつばに申述べましたが今日までの報告では大要斯様になつてゐるのであります。

第九表の週期律表中の肉太の文字のものは、諸研究者に依つて想像された分裂生成元素であります。これ等は週期律表の中央邊に位して居ります。これは Aston の測定に依る質量缺損の曲線に依れば此の邊が一番底になつてゐるのでありまして、分裂粒子が此の安定なる原子として飛び出して來るのは當然の話であります。

前にも申し上げました通りこの現象は誠に重要性を有つて居るのでありまして物理から云ふと、此の事象を出發點として新しい物理が出て來るものでは無いかと思はれるのであります。今日迄は核外で出來た量子論を modify して此に依つて核の中まで推察しようと努力して來たのでありますが、此の事象に對しては簡単に之れを説明するわけには行かぬのであります。それで物理學では量子論を非常に modify するか、又は古典的になつて了ふか、又は“Trans-”量子論とでも云つたものが生まれるのか、又は Hydrodynamic 的なモデルに従ふ“場”の物理學の進んだ理論が生れるかは分らぬのでありますが、物理學上大きな變化が起るものと思はれるのであります。今後は如何なる方法でか斯かる現象を更に強く起さしむる事に依りて研究の道が拓かれるものと思はれるのであります。私達の研究室に於きましても今此分裂の際出るニウトンに就て觀測を致して居りますが、萩原さんの觀測では相當ニウトロンは出て來るものと思はれてゐます。一體この現象をよく見てみますとニウトン一個の吸収に依つて分裂を來し、其の際三個のニウトンが放射されるとすると上の現象は一種の Ketten Reaktion 式に起さしめ得る可能性があるわけであつて化學の上にも仲々重要な道

* 本講演後得た報告に依ると 10-15 秒及び 45 秒の半減期で豫後的ニウトン放射をなすと云はれて居る。

が拓かれるものと想像されるのであります。又多少横道ではありますが、天體には非常に密度の大きい星があると云はれてゐますが現在の諸元素の原子はこの様な種類のものが段々と分裂して U 其他の元素の原子となり、其れより更に此の種の分裂を以つて他の元素が出来たのかも知れないと云ふ考へも生じて来るわけでありまして、一概に軽い元素より原子番號の多いものの方に向つて元素が出来たとのみは思はれ無いのであります。兎に角此の現象はあらゆる角度で變つた考へ方をしなくてはならぬ様になつたのであります。斯くして原子核の問題は所謂化學の時代に入つて來た事を示して居るのであります。

昭和十四年六月三日講演 (文實在記者)