



NEET について

ニートという言葉をお聞きになった方はあまりないと思います。これは NEET, すなわち, Nuclear Excitation by Electron Transition, つまり電子遷移による核励起のことです。

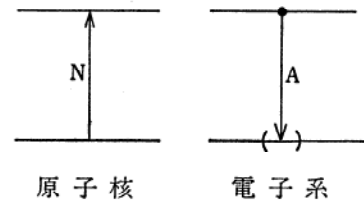
ある原子の一つの殻に孔が空きますとその原子は励起されたことになります。この励起が解消されるときには必ず、より結合力の弱い殻から電子が落ち込んで孔がふさがりますが、このとき余った励起エネルギーは何らかの形で持ち去られねばなりません。電磁波の形をとればX線ですし、別の電子を原子外に放り出せばオージェ電子です。ところがここで状況によっては原子核の励起に使われるということも可能です。このように電子の遷移によって核が励起されるという、電子系の第3の励起解消法がニートであります。

顧みれば、このニートは、U-235を放射化学的に濃縮したいという放射化学者たる私の慾張りに端を発し、理論核物理学者たる森田正人教授の発想と理論によって生れ、電子工学者たる裏克巳教授の協力をえて私共によって実験的に証明されたという、大学紛争で知り合った阪大内の異質の研究者の協同で産れたもので、したがって阪大産であると共に紛争産でもあります。

ニートの歴史は浅いのでレビューというようなものはまだできないのですが、また技術的応用の可能性もまだ未知なのですが、編集者の要請に応じて以下若干の解説を試みる次第です。

はじめに、どんな条件でニートが起るか考えてみます。まず第1図のように電子系の失活Aと原子核の励起Nとを比べてみます。このとき両者のエネルギーがなるべく近いことが必要で

音 在 清 輝*



第1図 失活Aと励起N

す。そのような状況はどんな場合に期待できるでしょうか。いま原子核の側を基底状態からの励起と限定しますならば、一般にNのエネルギーの方がAのそれより遙かに大きいものですが、大きい奇数の質量数を持つ原子核ではNのエネルギーが小さいことが期待され、したがってこのような核で両エネルギーが接近するチャンスがあるわけです。後述の O_8-189 や N_p-237 がそれです。

プラスの中心とマイナスの中心が離れていて、この対の振動という機作による遷移を電気二極遷移または E1 遷移といいます。Eは電氣的という意味、1は 2^l 極での $l=1$ の意味です。この他 E2, E3 などいろいろの型があるわけですが、これらを総称して多極性といいます。さてニートが起るためにはAとNとで遷移の多極性が同一であることが必要です。

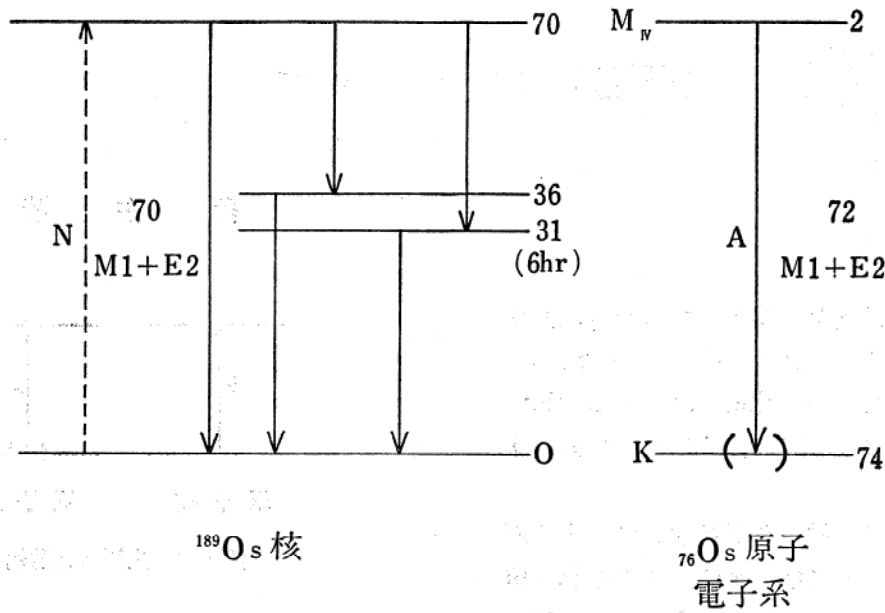
1個の失活Aが起ったとき何個の励起Nが起るか、つまりニートの確率を少し定量的に考えてみます。大雑把にいてこの確率Pは理論的に

$$P = (E'/\Delta)^2$$

と書くことができます。ここで Δ はAとNとのエネルギー差であり、 E' はクーロン相互作用のエネルギーであって、AとNとに共通の電気多極遷移 E_l に対しては

$$E'(eV) = -3.41 \times 10^2 f(2.27 \times 10^{-5})^l \frac{A^{1/3} Z^{l+2}}{(2^l + 1) n^2 (l+1)}$$

* 音在清輝 (Kiyoteru OTOZAI), 大阪大学理学部, 化学科, 教授, 理学博士, 核化学



第2図 ^{189}Os でのニート (数字は keV) (原子での右側の数字は殻の結合エネルギー)

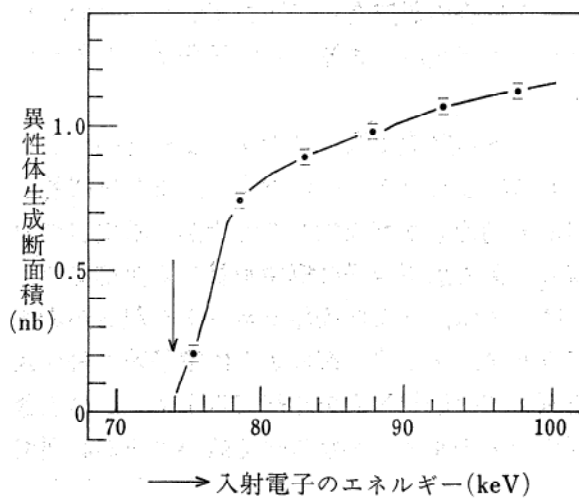
で表わされます。Aは核の質量数，Zは核の原子番号， \bar{n} はA失活での出発状態と到達状態の軌道の主量子数の平均値，fは補正係数です。

これらの式から次のことがわかります。ニート確率は(1)AとNとのエネルギー差 Δ が小さい程大きく (これは前に定性的にのべました)，(2)共通遷移の l が小さい程大きく (10^{-5} の l 乗に注目して下さい)，また(3) \bar{n} が小さい程大きい (\bar{n} が小さいことはA失活が核の近くで起こることに対応します)。

さて、はっきりしたニートの実例は今の所私共の研究した Os-189 の場合しかありません。第2図のように Os のK殻の電子を1個はねとばしますと、その孔にもし M_{IV} 殻から電子が落ちてくれば、エネルギー 72 keV の M1+E2 遷移がおきます。Mは磁気的の意味で、M1はE2と同等です。私共はK殻に孔を空けるのに廃物の電子顕微鏡を改造し、それからの 100 keV 以下の電子を当てました。これで後述のように $^{189}\text{Os}^m$ という放射能を作ったものですから、原子核物理学者たる阪大総長若槻哲雄先生は電子顕微鏡で放射能を作ったとほめて下さいました。これは世界最低エネルギーの加速器でありまして、世界最高エネルギーのアメリカのフェルミ研究所の 300 GeV のシンクロトロンと比べると 300 万分の 1 に当ります。

さて Os-189 核では基底状態から 70 keV 単位までの励起を考えると、エネルギーは 70 keV で多極性は M1+E2 です。したがって上述の3つの条件がかなりよく満足されていますからニート現象がみられる可能性が大きいわけです。70 keV 単位の一部分は 31 keV 単位に行きますが、これが 6 hr という長命を持つ放射能ですから、これを観測すれば実験ができるわけです。この 31 keV の準位は $^{189}\text{Os}^m$ と書いて ^{189}Os の準安定状態または異性体といえます。

実験結果は第3図のようになります。縦軸の



第3図 $^{189}\text{Os}^m$ 生成励起関数

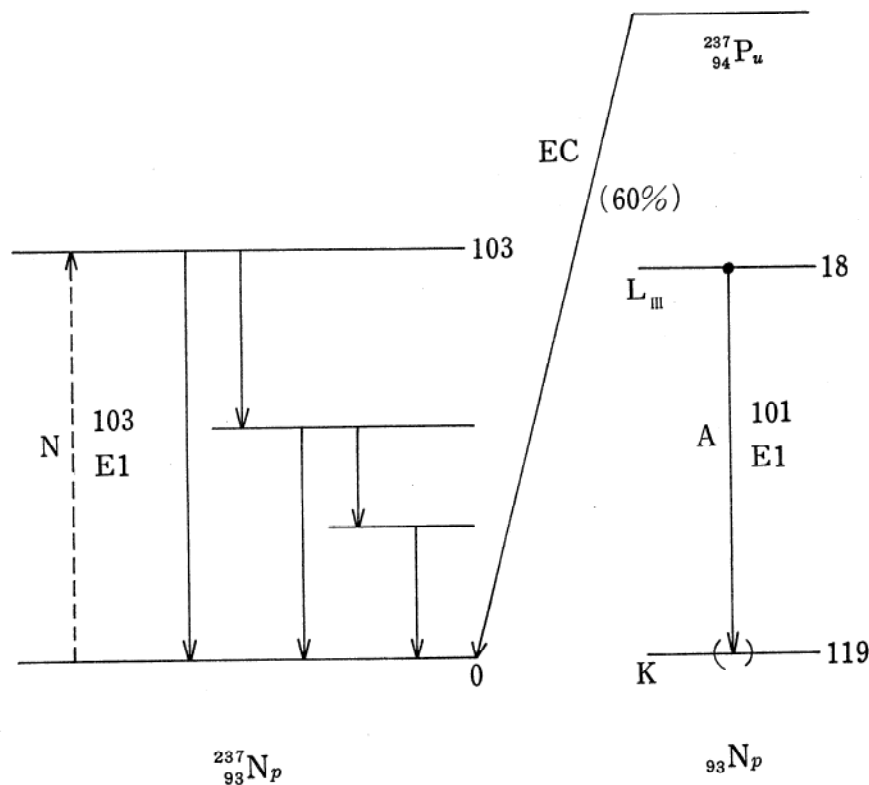
断面積というのは反応の確率を面積の単位で表わしたもので、nb というのは $10^{-9} \times 10^{-24} \text{cm}^2$ のことであります。ここで注目していただきたいのは矢印で示しました 74 keV という“しきい値”です。第 2 図に示しましたように、K 殻電子と核との結合エネルギーは 74 keV で、これより大きいエネルギーではじめて K 殻に孔があき、ニートが起りうるわけですから、私共の観測しているのはまさにニートであるということになります。

もしも電子が核をかすめてその影響で直接原子核が励起されるいわゆるクーロン励起を見ているのだとしますと、しきい値は 74 keV ではなく、核の直接励起に必要なエネルギー、すなわち 70 keV となる筈であります。さらにクーロン励起による異性体生成断面積を理論的に計算しましても値が小さ過ぎてとても実験値を説明できません。

以上の実験を解析してニート確率 P は 1.7×10^{-7} とわかりましたが、この値は先に述べました理論式で補正係数を 1.5 としたときの値と一致します。このようにしてニートは実験的に証明され、理論も OK となりました。

^{237}Pu の他にもニートが観測できる筈の核がいろいろ考えられます。 ^{237}Np 、 ^{197}Au 、 ^{181}Ta 、 ^{235}U などを私共は手がけていますが、その中で一番完成に近い ^{237}Np の場合を少し説明してみます。

第 4 図のように ^{237}Pu という核は電子捕獲 (EC) という型の崩壊をして 60% は ^{237}Np の基底状態になります。このとき K 殻電子を奪いとるのが普通で、したがって EC の起った直後は巧い具合に ^{237}Np の基底状態と K 殻での電子の孔が共存します。しかも 103 keV 準位に注目しますと、A と N とでエネルギーがほぼ等しく、多極性が同じという条件が満足されていますのでニートが起り、この 103 keV の準位ができる筈です。するとこの準位からの逆戻りの 103 keV の γ 線が出る筈です。この γ 線が観測されればニートの美しい直接証明になるのですが、ここに一つの問題があります。101 keV の X 線が当然多量に共存しますが、普通の γ 線スペクトロメーターの分解能ではこの中から少量の 103 keV γ 線を選別することができません。けれども LEPS と称する低エネルギーの光分光器を使ってスペクトルを綿密



第 4 図 ^{237}Np の ニ ー ト

生産と技術

に解析した結果、最近になってようやくこのピークを拾い出すことができるようになりました。

ニートの技術的応用としては U-235 の濃縮ということが考えられるのですが、現在の所純粋の U-235 の試料が入手できないこともあって実験は巧く進んでいません。

夢のような話で恐縮ですが、もしも将来 A と

N との両エネルギーが非常によく一致して著しい NEET の起る場合が見出せるとするならば、普通とは逆方向に、核の外から核に容易にエネルギーが注入できるということになり、何らかの応用が開けるかも知れないのですが、そしてそのためには、電子系の結合エネルギーの化学ソフトによる微調整というようなことが頭に浮ぶのですけれど。