レーザー レター

レーザーによる ^{235}U の核励起

井澤 靖和*・山中千代衛*

(1979年5月18日 受理)

Nuclear Excitation of ^{235}U by Laser

Yasukazu IZAWA and Chiyoe YAMANAKA

(Received May 18, 1979)

Production of the 26 min. isomer of ^{235}U has been observed in a laser produced uranium plasma by detecting internal conversion electrons from $^{235}\text{U}^m$. It can be attributed to nuclear excitation by electron transition (NEET).

原子の殻外電子が外部からの衝撃によりはじき出され、電子孔が生じると、その孔は上準位からの電子遷移によってうめられ、その際発生したエネルギーは通常X線あるいはオージェ電子の形で放出されるが、第3の過程として、原子核が励起される可能性のあることが森田によって示された¹⁾。この現象は電子遷移による核励起 (Nuclear Excitation by Electron Transition) と命名され、略して NEET と呼ばれている。その後、音在らによって、 ^{189}Os を用いて NEET の存在が実験的に確かめられた。²⁾ 最近岡本は慣性核融合で用いられているペレット爆縮の概念を導入して、NEET の効率を高める方法を提案し、ウラン濃縮への応用の可能性を示した³⁾。球形あるいは球殻状のウランペレットにレーザー光や REB (相対論的電子ビーム) を照射し、ウランプラズマを生成する。プラズマ中では電子衝突によりウラン原子はイオン化され、電子遷移により原子核が励起される。生成される励起核の数はプラズマの電子密度の2乗に比例するので、爆縮により NEET の効

率を高めうる。

筆者らはレーザーで作られたウランプラズマ中で、NEET により ^{235}U の核異性体が生成されることを実験的に確かめたので報告する。

NEET が引き起こされるためには

- 1) 電子遷移のエネルギーと、原子核励起のエネルギーがほぼ等しいこと。
- 2) 両者の遷移に対し、スピン、パリティの変化が同じこと。

の条件が満足されねばならない。

^{235}U の原子および核のエネルギー準位をFig. 1に示す。 ^{235}U の原子核にはエネルギーが $73 \pm 5 \text{ eV}^{4)}$ の非常に低い第1励起状態(核異性体)がある。基底状態へは半減期26分で崩壊するが、内部転換係数が 10^{20} と非常に大きいため、基底状態への遷移は γ 線放出を伴わず、エネルギーの小さい内部転換電子を放出する。 ^{235}U の $5d_{3/2}$ 準位に電子孔を作れば、 $6p_{3/2} \rightarrow 5d_{3/2}$ の電子遷移を利用して、 ^{235}U の核異性体を生成できる。両者の遷移はNEETの条件を満足している。

* 大阪大学レーザー核融合研究センター (〒565 吹田市山田上)

* Institute of Laser Engineering, Osaka University (Yamada kami, Suita, Osaka 565)

Fig. 1 Nuclear levels in ^{235}U and atomic levels in U.

Fig. 2 Decay curve of the counting rate. Open and closed circles are total counting rate in each one minute and averaged over five minutes, respectively. Open and closed squares show the decaying components subtracting the time independent component from the total counting rate, which correspond to open and closed circles, respectively.

$5d_{3/2}$ 準位に電子孔を作り、NEETにより ^{235}U を核励起するためレーザープラズマを用いた。レーザーを用いると、高密度($n_e > 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)で、かなり高温($T_e = \text{数} 10 \text{ eV} \sim \text{数} 100 \text{ eV}$)

のプラズマが容易に得られる。

TEA CO_2 レーザー光をGeレンズで集光し、真空槽内においた天然の金属ウランターゲットに照射した。レーザー光の出力は $\sim 1 \text{ J}$ 、パルス幅は 100 ns である。生成されたウランプラズマ中のイオンを電界によりステンレス製の捕集電極に集めた。100回のレーザー照射後、捕集電極を2次電子増倍管(セラトロンEMW 6081B)の前に移動させた。捕集電極と2次電子増倍管の間には、捕集電極から放出される電子に対する減速電界を印加できるようにした。2次電子増倍管の出力は増幅器を通してカウンターで計数した。

減速電圧を印加しない場合の計数値の時間変化をFig. 2に示す。図中○および●印はそれぞれ1分間の計数値と5分間の平均計数値を示す。計数値は最初の5分間は急激に減少し、その後ゆっくり減少して、ほぼ2時間で一定値に漸近している。これより計数値は急速な減衰部(以後decay 1と呼ぶ)、ゆっくりした減衰部(decay 2)および時間的に変化しない成分(定常部)から成っていることがわかる。

2時間以降の計数値の平均を定常部の計数値と考え、各時刻での計数値から差し引き、減衰部だけの計数値を求めたのがFig. 2での□および■印である。これからdecay 1およびdecay 2に対する半減期として、それぞれ 1.2 ± 0.1 分、 25.7 ± 0.4 分が得られた。

捕集電極と2次電子増倍管の間に電位差90Vを印加したとき、計数値の減衰曲線はdecay 1と定常部から成り、半減期25.7分のdecay 2は観測されなかった。このことからdecay 2はエネルギーが90eV以下の電子によるものであることがわかる。

エネルギーと半減期からdecay 2は $^{235}\text{U}^m$ 核異性体からの内部転換電子によるものであると結論できる。

レーザーによるターゲット照射では、ターゲット表面が高温に加熱される。表面温度はターゲット内部への熱伝導で低下するが、レーザーパルス終了後もかなり長時間にわたって、ター

ゲット物質の沸点以上に保たれる。この間表面からは中性原子が噴出する。この原子は真空槽中に拡散し、真空ポンプにより排気される。

decay 1 の成分は2次電子増倍管の前方に設置する捕集電極の有無にかかわらず観測されることから、真空槽内に拡散した中性ウラン原子、とくに ^{234}U および ^{238}U の崩壊に伴う α 粒子によるものと推定される。

定常部はレーザー光により生成され、捕集電極に集められた ^{234}U 、および ^{238}U イオンからの α 粒子によるものと考えられる。これは、レーザー光の照射回数に比例して計数値が増加すること、捕集電極を増倍管の前に移動しない場合に観測されないことから確められた。

レーザープラズマ中でNEETにより生成される核異性体の数 N は次式で与えられる。

$$N = n_e n V \langle \sigma_N u \rangle \Delta t$$

ここに n_e はレーザープラズマの電子密度、 n は ^{235}U の原子密度、 V はレーザープラズマの体積、 σ_N はNEET断面積、 u は電子の速度、 Δt はレーザー光パルス幅である。 $\langle \rangle$ は電子の速度分をMaxwell分布として、 u についての平均値を示す。

生成された核異性体の数は、半減期26分の減衰に対する計数値と、計数効率より求められる。本実験に対しては1回のレーザー照射あたり、 $N \sim 10^3$ 個であった。

レーザープラズマでは電子密度は空間的に大きく変動しているが、ここでは CO_2 レーザー光に対する遮断密度を用い、 $n_e = 10^{19} \text{cm}^{-3}$ とする。この仮定は以下の理由で正当なものと考えられる。遮断密度より高密度側では電子

温度は急激に減少しており、NEETに関与する $5d_{3/2}$ 準位に電子孔を作る程、電子の速度は大きくない。一方低密度側では電子温度は充方高いが、プラズマの膨張のため電子密度が急激に減少し、NEETにより生成される核異性体数は小さい。

天然ウランを用いているので $n = 10^{19} / 140 \text{cm}^{-3}$ とし、 $V = 10^{-6} \text{cm}^3$ 、 $\Delta t = 100 \text{ns}$ を代入するとNEETの確率として $\langle \sigma_N u \rangle = 1.4 \times 10^{-20} \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ が得られた。この値は岡本により計算された値³⁾に較べて1桁小さい程度である。

NEET以外に原子核励起を引き起こす過程としては、プラズマ中の電子の非弾性衝突による核の直接励起と、レーザープラズマからのX線による光励起が考えられるが、これらの過程に対する断面積は、NEET断面積にくらべてはるかに小さい。したがって本実験で検出された $^{235}\text{U}^m$ 核異性体は、レーザープラズマ中でのNEETにより生成されたものである。

このような核異性体は ^{238}U や ^{234}U にはなく、半減期も26分とかなり長いことから、NEETにより $^{235}\text{U}^m$ を作った後、内部転換電子を放出してイオン化された ^{235}U を集めるような物理的な方法、あるいはSzilard-Chalmers法を利用する化学的な方法により、かなりの収率で ^{235}U の分離は可能であろう。

参考文献

- 1) M. Morita; Prog. Theor. Phys. **49** (1973) 1574.
- 2) K. Otozai, R. Arakawa and M. Morita; Prog. Theor. Phys. **50** (1973) 1771.
- 3) K. Okamoto; J. Nucl. Sci. Tech. **14** (1977) 762.
- 4) M. Neve de Mevergnies; Phys. Letters **32B** (1970) 482.
M. R. Schmorak; Nucl. Data Sheets **21** (1977) 117.