

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 201-1 Nuclear Physics,
Nuclear Data Measurement/Evaluation/Validation, Nuclear Reaction Technology

🏠 Wed. Mar 12, 2025 2:45 PM - 3:55 PM JST | Wed. Mar 12, 2025 5:45 AM - 6:55 AM UTC 🏠 Room
A(Zoom room 1)

[1A07-10] Nuclear Reaction Measurement and Experimental Analysis

Chair:Satoshi Chiba(NAT Corp.)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[1A07]

Determination of neutron-induced cross sections using surrogate reaction

(1) Measurement of decay probabilities for compound nuclei in surrogate reaction

*Hiroyuki Makii¹, Katsuhisa Nishio¹, Riccardo Orlandi¹, Tetsuro Ishii¹, Kentaro Hirose¹, Kazuaki Tsukada¹, Masato Asai¹, Fumi Suzaki¹ (1. JAEA)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[1A08]

Determination of neutron-induced cross sections using surrogate reaction

(2) Calculation of decay probabilities for compound nuclei in surrogate reaction

*Kazuki Okada¹, Katsuhisa Nishio¹, Osamu Iwamoto¹, Riccardo Orlandi¹ (1. JAEA)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[1A09]

Activation cross sections of ⁷Li-induced reactions on ^{nat}Ti

*Masayuki Aikawa¹, Saki Goto¹, Damdinsuren Gantumur², Ichinkhorloo Dagvadorj¹, Naoyuki Ukon³, Naohiko Otuka⁴, Sandor Takacs⁵, Hiromitsu Haba⁶ (1. Hokkaido Univ., 2. NUM, 3. FMU, 4. IAEA, 5. ATOMKI, 6. RIKEN)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[1A10]

JAEA/FNS Iron Experiment Analyses with JENDL-4.0 and JENDL-5

*Chikara Konno¹, Saerom Kwon² (1. JAEA, 2. QST)

3:45 PM - 3:55 PM JST | 6:45 AM - 6:55 AM UTC

Time reserved for Chair

直接代理反応法による中性子入射断面積の決定

(1) 代理反応による複合核崩壊確率の測定

Determination of neutron-induced cross sections using surrogate reaction

(1) Measurement of decay probabilities for compound nuclei in surrogate reaction

*牧井 宏之¹, 西尾 勝久¹, オルランディ リカルド¹, 石井 哲朗¹, 廣瀬 健太郎¹
塚田 和明¹, 浅井 雅人¹, 洲崎 ふみ¹

¹JAEA

中性子ビームを用いた測定が困難な核種の断面積を導出するために、重イオンビーム入射の核子移行反応によって中性子入射反応と同じ複合核を生成し、その崩壊確率から中性子断面積を導出する、代理反応法の開発を進めている。²⁴¹Am の中性子入射反応の代理反応である、²⁴³Am(³He,⁴He)²⁴²Am 反応の測定を原子力機構東海タンデム加速器施設において実施したので報告する。

キーワード: 代理反応, 崩壊確率, タンデム加速器, 核子移行反応

1. 緒言

長寿命マイナーアクチノイド (MA) を核変換するための加速器駆動システムなど次世代の原子炉システムの構築には、MA に対する核データの高度化が求められ、必要となる中性子エネルギーも高くなる。本研究では、重イオンビーム入射の核子移行反応を用いて中性子入射反応と同じ複合核を生成し、その崩壊確率から中性子断面積を導出する代理反応法を用いて、測定データのほとんどない非弾性散乱断面積に加え、核分裂断面積、捕獲断面積、(n,2n)断面積を同時に導出するために必要となる測定装置の開発を進めている。本発表では開発した測定装置を用いた、²⁴¹Am の中性子入射反応の代理反応である、²⁴³Am(³He,⁴He)²⁴²Am 反応の測定について報告する。

2. 実験

測定は電着法を用いて製作した ²⁴³Am 標的に原子力機構東海タンデム加速器で 30MeV まで加速された ³He ビームを照射することにより行った。標的での反応で生成された散乱粒子をシリコン ΔE-E 検出器を用いて測定し、そのエネルギーと粒子の種類から反応で生成された複合核の同定と励起エネルギーの導出を行った。複合核の中性子捕獲状態からの低励起状態への遷移に対応する高エネルギー連続ガンマ線は LaBr₃(Ce)シンチレータを用いて測定し、残留核の同定に用いる複合核の低励起状態間の離散ガンマ線は Ge 半導体検出器を用いて測定した。核分裂片は ²⁴³Am 標的近傍に設置した太陽電池を用いた核分裂片検出器を使って測定した。本発表では得られた測定結果とその解析について報告する。

本研究は、文科省・原子力システム研究開発事業「高エネルギー中性子核データ高度化のための複合核崩壊過程の研究」の助成による。

*Hiroyuki Makii¹, Katsuhisa Nishio¹, Riccardo Orlandi¹, Tetsuro Ishii¹, Kentaro Hirose¹, Kazuaki Tsukada¹, Masato Asai¹,

Fumi Suzaki¹

¹JAEA

直接代理反応法による中性子入射断面積の決定

(2) 代理反応による複合核崩壊確率の計算

Determination of neutron-induced cross sections using surrogate reaction

(2) Calculation of decay probabilities for compound nuclei in surrogate reaction

*岡田 和記¹, Orlandi Riccardo¹, 岩本 修¹, 西尾 勝久¹

¹原子力機構

²⁴²Am 崩壊確率を計算し、CCONE が有するモデルパラメータの依存性を議論した。また、代理反応によるスピン分布を DWBA 計算によって評価し、用いた光学模型の違いによる分布の変化を調べた。

キーワード：代理反応, 崩壊確率, CCONE, 統計模型, スピン分布

1. 緒言

我々は原子力システム研究開発事業において、代理反応法を用いたマイナーアクチノイドの各崩壊モード (γ 放出, n 放出, 2n 放出, 核分裂) に対する断面積決定の研究を行っている。代理反応法では、中性子入射反応の代わりに核子移行反応を扱うことで、中性子ビームを用いた実験では測定が難しい中性子入射断面積が得られる。崩壊確率を理論的に評価するためには、代理反応と中性子入射反応のスピン分布の違いを考慮したうえで、核反応モデルコード(CCONE)によって計算する[1]。本発表では、CCONE が有するモデルパラメータが崩壊確率に与える影響や、異なる反応に対するスピン分布の違いについて報告する。

2. 計算手法、結果

結果の一例として、図 1 で中性子入射反応によって生成された ²⁴²Am の崩壊確率を示す。第二分裂障壁の高さを 7.05, 6.05, 5.05 MeV とした。n 放出と核分裂の確率の競合が、障壁の高さに大きく影響を受ける。分裂障壁が高いと核分裂に達する前に n 放出が発生することで励起エネルギーを失うため、核分裂率を高めるためには高い励起エネルギー(14 MeV 以降)が必要となる。反対に障壁が低いと n 放出の前に分裂に達しやすくなるため、低いエネルギー(7 MeV)程度で核分裂率が高くなると考えられる。

本発表では、このように CCONE が有するモデルパラメータの特性を調べた結果や、中性子入射反応と核子移行反応におけるスピン分布の違いが結果に与える影響について報告する。

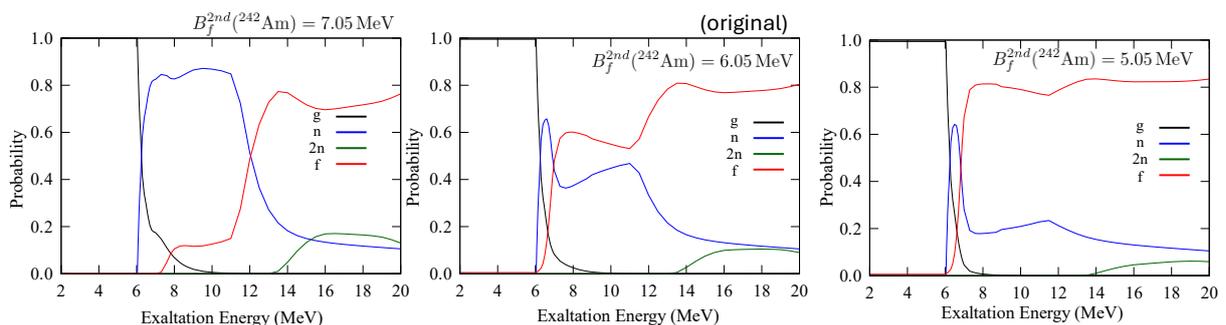


図 1: 第二分裂障壁の高さを変化させたときの複合核崩壊確率 (左) 7.05 MeV (中) 6.05 MeV (右) 5.05 MeV

本研究は、文科省現原子力システム研究開発事業「高エネルギー中性子核データ高度化のための複合核崩壊過程の研究」の助成による。

参考文献

[1] O. Iwamoto et al., Nuclear Data Sheets, 131, 259-288 (2016).

*Kazuki Okada¹, Riccardo Orlandi¹ Osamu Iwamoto¹ and Katsuhisa Nishio¹

¹JAEA

チタン標的へのリチウム入射反応断面積

Activation cross sections of ${}^7\text{Li}$ -induced reactions on ${}^{\text{nat}}\text{Ti}$

*合川 正幸¹, 後藤 早紀¹, ガントゥムール ダムディンスレン², ダグワドルジ イチンホルロー¹, 右近 直之³, 大塚 直彦⁴, タカーチ サンドール⁵, 羽場 宏光⁶

¹北大, ²モンゴル国立大学, ³福島医大, ⁴IAEA, ⁵ATOMKI, ⁶理研

モニター反応として適当かどうか検討するため、チタン標的へのリチウム入射反応の断面積測定を行った。その結果、いくつかの核種生成反応に関しては、モニター反応として利用可能であることが分かった。

キーワード: リチウム入射反応、モニター反応

1. 緒言

リチウム入射反応は、 ${}^{211}\text{At}$ ジェネレータ核種 ${}^{211}\text{Rn}$ (半減期 14.6 時間) の生成[1]など、医療用核種を生成することが可能である。このような有用核種を必要量生成しつつ不要核種の生成を抑制するには、入射粒子のエネルギーや標的の厚さを適切に設定する必要がある。これらの設定にはモニター反応が必要不可欠であるが、リチウム入射反応については存在しない。我々のグループではこれまでに、銅標的へのリチウム入射反応について研究を行った[2]。今回は、チタン標的へのリチウム入射反応について、断面積を測定し、モニター反応となり得るかどうか検討した。

2. 実験

実験は理化学研究所 AVF サイクロトロンで実施した。高純度のチタン箔、銅箔、アルミニウム箔を積層した二つの標的を準備し、それぞれの標的を入射エネルギー71.6 MeV の ${}^7\text{Li}$ ビームで 60 分間照射した。放射化した標的から、チタン箔とその反跳粒子を含むアルミニウム箔を同時に、高純度ゲルマニウム検出器を用いてガンマ線を計測した。

${}^{52g}\text{Mn}$ (半減期 5.591 日) の崩壊時に放出される 744.2 keV のガンマ線から ${}^{\text{nat}}\text{Ti}({}^7\text{Li},x){}^{52g}\text{Mn}$ 反応断面積を導出した (図 1)。今回二つの標的から得られた結果は一貫性があり、25 MeV 付近にピークを持つ滑らかな曲線となった。

3. 結論

今回断面積を導出した ${}^{\text{nat}}\text{Ti}({}^7\text{Li},x){}^{52g}\text{Mn}$ 反応は、リチウム入射反応のモニター反応になりうることが分かった。その他にも、 ${}^{\text{nat}}\text{Ti}({}^7\text{Li},x){}^{54}\text{Mn}$, ${}^{51}\text{Cr}$ 反応がモニター反応として有力であることが分かった。

参考文献

- [1] Maeda et al., Jour. Radioanal. Nucl. Chem. 323 (2020) 921.
[2] Aikawa et al., Nucl. Instrum. Methods B 554 (2024) 165441.

*Masayuki Aikawa¹, Saki Goto¹, Damdinsuren Gantumur², Ichinkhorloo Dagvadorj¹, Naoyuki Ukon³, Naohiko Otuka⁴, Sandor Takacs⁵, Hiromitsu Haba⁶

¹Hokkaido Univ., ²NUM, ³FMU, ⁴IAEA, ⁵ATOMKI, ⁶RIKEN

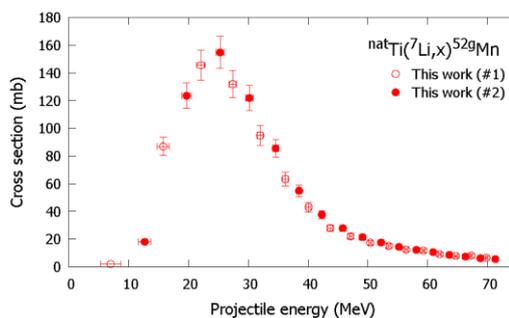


図 1 ${}^{\text{nat}}\text{Ti}({}^7\text{Li},x){}^{52g}\text{Mn}$ 反応断面積

JENDL-4.0 と JENDL-5 を用いた JAEA/FNS 鉄実験解析

JAEA/FNS Iron Experiment Analyses with JENDL-4.0 and JENDL-5

*今野 力¹, 権 セロム²

¹JAEA, ²QST

JENDL-5 と JENDL-4.0 で行った JAEA/FNS の鉄実験解析で、10MeV 以上および 10keV 以下の中性子束がそれぞれ 71cm の深さ、11cm の深さで最大 10%程度異なった。今回、この原因を DORT コードで詳細に調べた。

キーワード： FNS 鉄実験, JENDL-4.0, JENDL-5, 鉄データ, DORT

1. 緒言

JENDL-5 のベンチマークテストをモンテカルロコード MCNPで行ってきた[1]。その中で、JENDL-5 と JENDL-4.0 を用いた JAEA/FNS 鉄実験解析で、10MeV 以上および 10keV 以下の中性子束の計算値がそれぞれ 71cm の深さ、11cm の深さで最大 10%程度異なった。今回、この差の原因を 2次元 Sn コード DORT を使って詳細に調べたので報告する。

2. 検討手法

検討時間の短縮化を図るため、MCNP ではなく DORT (+1 回散乱線源コード GRTUNCL コード) を使用した (P5S16 近似)。自己遮蔽を補正した多群ライブラリは、JENDL-4.0 から作成された MATXS ファイル MATXSLIB-J40 (中性子 199 群、ガンマ線 42 群)、及び NJOY2016 を使って JENDL-5 から作成した MATXS ファイル (MATXSLIB-J40 と同じ仕様) を TRANSX コードで処理して作成したものをを用いた。

3. 検討結果

最初に各鉄同位体の JENDL-4.0 と JENDL-5 データの違いの影響を調べるため、JENDL-4.0 の鉄同位体の一つを JENDL-5 で置き換えた計算を実施し、10MeV 以上の中性子束の差の原因は ⁵⁶Fe、10keV 以下の中性子束の差の原因は ⁵⁶Fe と ⁵⁷Fe であることがわかった。次に、JENDL-4.0 と JENDL-5 で ⁵⁶Fe の反応断面積の差が大きかった反応のデータを JENDL-5 から JENDL-4.0 に置き換えた計算を実施した。その結果、10MeV 以上の中性子束では、⁵⁶Fe の弾性散乱(mt=2)、(n,2n)反応(mt=16)、(n,np)反応(mt=28)の影響が大きいこと (図 1)、10keV 以下の中性子束では、⁵⁶Fe と ⁵⁷Fe の非弾性散乱(mt=51-91)の影響が大きいこと (図 2、図 3) がわかった。それらの影響が相殺した結果、10%程度の差になったが、JENDL-5 と JENDL-4.0 の ⁵⁶Fe と ⁵⁷Fe のデータの違いの影響は、反応によってはかなり大きいことが明らかになった。

4. まとめ

JENDL-5 と JENDL-4.0 を用いた JAEA/FNS 鉄体系内実験解析で、10MeV 以上の中性子束が 71cm の深さで 10%程度異なった原因が ⁵⁶Fe の弾性散乱、(n,2n)反応、(n,np)反応データの違いにあり、10keV 以下の中性子束が 11cm の深さで 10%程度異なった原因が ⁵⁶Fe と ⁵⁷Fe の非弾性散乱データの違いにあることを特定した。

参考文献 [1] C. Konno, et al. J. Nucl. Sci. Technol. 60, 1046 (2023).

*Chikara Konno¹, Saerom Kwon²

¹Japan Atomic Energy Agency, ²National Institutes for Quantum Science and Technology

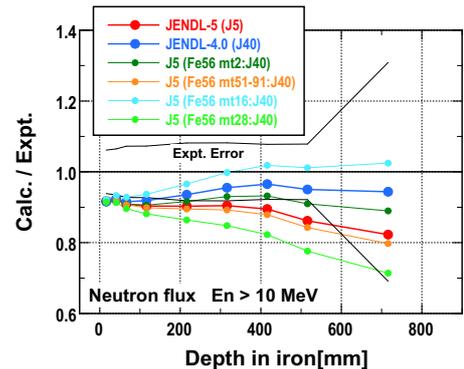


図 1 ⁵⁶Fe の反応データを変えた時の 10MeV 以上の中性子束の実験値と計算値の比

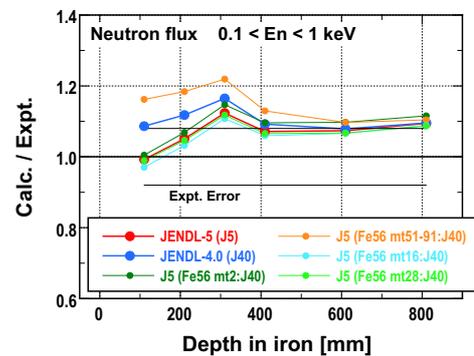


図 2 ⁵⁶Fe の反応データを変えた時の 0.1~1keV の中性子束の実験値と計算値の比

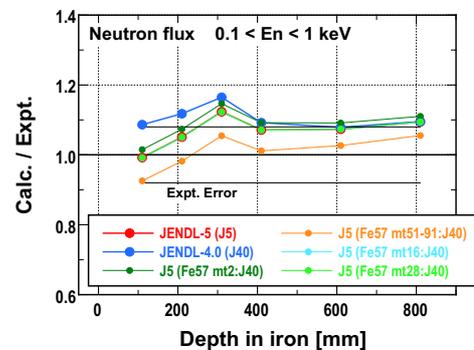


図 3 ⁵⁷Fe の反応データを変えた時の 0.1~1keV の中性子束の実験値と計算値の比