

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12487

研究課題名(和文) 光核反応からの二次粒子の偏光依存を用いた系統測定による電子加速器の遮蔽設計高度化

研究課題名(英文) Improvement on shielding design of electron accelerator by systematic measurement of polarization dependence for secondary particles from photonuclear reaction

研究代表者

佐波 俊哉 (Sanami, Toshiya)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・放射線科学センター・教授

研究者番号：90321538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：光子が原子核に入射し引き起こされる光核反応からの二次粒子生成について、入射光子の偏光依存に着目し研究を行った。入射光子エネルギーを13, 17, 20 MeVとして、中性子生成二重微分断面積の系統的实验データを取得した。生成された中性子に偏光依存成分と依存しない成分が存在すること、偏光依存成分の入射光子エネルギー、放出角度、ターゲット原子核依存の有無を明らかにした。複合核からの粒子放出に用いられる核反応モデルの計算結果、データライブラリと実験値の比較を行い、偏光依存成分の再現の程度が明らかになった。シミュレーション計算により偏光依存成分のコンクリート遮蔽透過後の線量への影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光核反応の研究は1950年代から行われてきているが、単一エネルギーの入射光子に対して、偏光依存の中性子生成二重微分断面積データを与えたのは初めてである。このデータによりこれまで出来なかった微分データによる理論計算とデータライブラリの検証が可能になった。また、この光核反応は国内で多数利用されている電子加速器において、遮蔽設計を行うために重要である。今回のデータを利用し、これまで考慮に入れられて無かった偏光依存成分が遮蔽設計へ及ぼす影響を明らかにすることが出来た。

研究成果の概要(英文)：Secondary particle production from photon-induced nuclear reactions was studied with considering the dependence of the incident photon polarization. Systematic experimental data of neutron production double-differential cross sections were obtained for incident photon energies from 13 to 20 MeV. The data proved existence of polarization-dependent and -independent components from their spectrum shape, and clarified how the polarization-dependent component varies depending on the energy, emission angle, and target nucleus. The data were compared with the results of calculations of nuclear reaction models used for particle emission from compound nuclei and data libraries. The comparison showed problems in the description of the polarization-dependent component. The effect of the polarization-dependent component on the dose after penetrating concrete shielding wall was obtained by simulation. These results contribute to the improvement of the shielding design of electron accelerators.

研究分野：放射線計測、核データ、高エネルギー加速器遮蔽

キーワード：光核反応 二重微分断面積 電子加速器遮蔽設計 レーザー逆コンプトン散乱

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

光子による核反応の研究は、1950年代から1980年代にかけて多くの研究グループにより行われており、これらの実験データはデータベースとして、また、これを用いて開発された核反応モデルとして利用できる。実験データの多くは光子が核反応をおこす割合、断面積、に着目したものである。これらの実験データにより、断面積の入射光子エネルギー依存性が明らかになり、10数 MeV において、様々なピーク形状を取ることがわかった。このピーク形状は、標的核を光子の電場が揺さぶることにより、効率よく励起状態を形成することによるものと理解され、標的核の核構造と結びつけられ、巨大双極子共鳴のモデルとして確立された。

このように、断面積の記述は巨大双極子共鳴により、よく記述されることがわかったが、一方で、その励起状態から脱励起をおこし、粒子放出に至る過程は、単純な脱励起モデルとしてモデル化されているのみであった。しかし、これまでの実験データから、脱励起により放出された粒子のエネルギー分布は、その比較的高いエネルギー域において、単純な脱励起モデルの記述と大きく異なる形状を示すことがわかった。

1990年代に入り、レーザーの大出力化と、電子加速器の進展により、レーザー逆コンプトン散乱による光子が実験に使用できる状態になった。この光子は、これまでの制動放射光子や陽電子崩壊からの光子に比べてエネルギー幅が格段に狭く、偏光が自由に制御できるという優れた特徴を持っている。申請者は、このレーザー逆コンプトン散乱による17MeVの単一エネルギー光子を用いて、標的核を金とした時に放出される、光核反応から放出された中性子のエネルギーと角度分布の絶対値測定に初めて成功した。

この測定実験データでは放出中性子が4 MeVより高いエネルギーと、4 MeV以下のエネルギーでは異なるエネルギー分布を示すことが明らかになった。これは、粒子生成機構が異なる2つの成分があることを示唆している。また、蒸発モデルのみに基づく理論計算は実験データを再現できないことが明らかになった。

この実験結果より二次粒子の生成には、通常の脱励起による成分に加え、比較的高いエネルギーを持つ入射光子の偏光により大きく影響を受ける成分があることが明らかになった。この成分は既存の励起・脱励起のモデルでは記述がされておらず、医学・理学・工学の分野で広く用いられている数10MeVまでの電子加速器の設計に用いられる、放射線輸送コードにも取り入れられていない。巨大双極子共鳴モデルによる集団的な励起をへて放出される二次粒子が、何故光子の偏光の影響を持つのか、この影響は他のエネルギーや標的核でどのように変化するのか、この影響を取り入れることにより、電子加速器の遮蔽設計はどのような影響を受けるのか、が不明であった。

2. 研究の目的

本研究では、レーザー逆コンプトン散乱による光子の偏光が自由に換えられることを利用し、これを核反応データの整備のための新たなプローブとして用いて、実験データを取得すること、これにより、光子の核反応モデルを開発することを目的とする。この結果を用いて、医学・理学・工学の分野で広く用いられている数10MeVまでの電子加速器での放射線・放射能の生成の予測精度の向上を図る。

3. 研究の方法

本研究では、光子の偏光の影響を取り入れた核反応データ整備と核反応モデルの開発のために以下の研究を行う。

レーザー逆コンプトン散乱施設において実験データを取得する。標的核は測定実績のある金と、同じ重核である鉛、ビスマス、タングステン、タンタル、中重核である、銅、鉄、軽核である、チタンを対象とした。いずれも電子加速器の遮蔽において多用されている核種である。入射光子エネルギーを測定実績のある17 MeVに加え、13 MeV、20 MeVにとった。これらにより、入射光子と標的核の核反応により放出される中性子のエネルギー・角度分布の、(1)入射光子の偏光、(2)標的核の重さ、(3)入射光子のエネルギー、に対する系統的な実験データを取得する。

取得した実験データを元に、偏光による影響を受ける成分と、単純な脱励起モデルにより記述できる成分に分離し、標的核の重さと入射光子のエネルギーの依存性を、標的核の原子核構造を参考にして、統一的に記述する。この記述をもちいて核反応モデルを開発し、既存の放射線輸送

コードに組み込まれている脱励起モデルに加えて組み込む。

開発した核反応モデルを組み込んだ放射線輸送コードを用いて、医学・理学・工学の分野で広く用いられている数 10MeV までの電子加速器での放射線・放射能の生成の計算をおこなう。これまでに得られている実測データを用い、予測精度の向上について確認する。

4 . 研究成果

4 - 1 . 実験データの取得

実験の詳細については投稿論文及び博士論文に書かれているので、本報告では概要を述べる。

実験は、現状では日本で唯一レーザー逆コンプトン光子を数 MeV から数 10 MeV のエネルギー領域でパルスビームとして供給可能な施設である、兵庫県立大学ニュースバル加速器の BL-01 で実施した。

図 1 にニュースバル BL-01 の模式図を示す。ニュースバル加速器の蓄積電子と 1064 nm の波長のレーザーを組み合わせ、例えば 974 MeV の電子で、平均エネルギーで 16.6 MeV の単一エネルギー光子を得ることが出来る。このほかにターゲット核種は限られるが、13 MeV、20 MeV での実験も実施した。光子の強度は 6 インチ径、5 インチ長の NaI(Tl) 検出器をもちいて相対的に検出効率を確認したプラスチックシンチレータによりモニターした。この光子をターゲット物質に入射させ、核反応で発生した中性子を、ターゲットの周りを取り囲むように設置した中性子検出器により測定した。

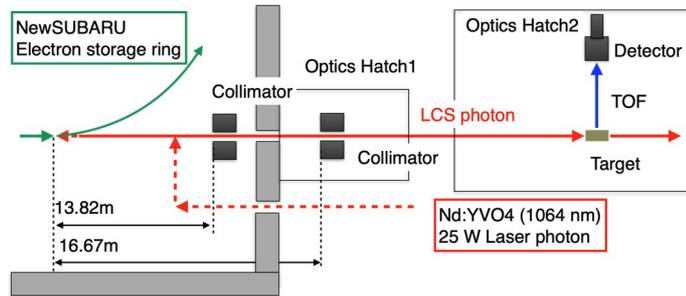


図 1 ニュースバル BL-01 の模式図



図 2 中性子検出器の配置

図 2 に中性子検出器の配置を示す。中性子のエネルギー測定には飛行時間法を用いた。中性子検出器はターゲット横方向、水平面上に 5 式とターゲット上方に 1 式を設置した。水平面の検出器は光子ビーム入射方向に対して 30 度、60 度、90 度、120 度、150 度、の方向に設置した。これらを H30、H60、H90、H120、H150 と呼ぶ。ターゲット上部の検出器は光子ビーム入射方向に対して 90 度の方向に設置した。これを V90 と呼ぶ。

ターゲットは鉛、金、錫、銅、鉄、チタン、タングステン、タンタル、ビスマスの 1 cm 径の円柱を用いた。円柱の長さは光子の減衰が 30%以下程度になるように選定した。

測定したデータはオフライン解析に供され、二重微分断面積が導出される。二重微分断面積を導出する式を以下に示す[2]。

$$\frac{d^2\sigma}{dEd\Omega} = \frac{Y(E)/\eta(E)}{N \cdot (\tau \cdot \phi) \cdot \Omega \cdot \varepsilon(E) \cdot \Delta E} \quad (1)$$

ここで、 $d^2\sigma/dEd\Omega$ は二重微分断面積、 $Y(E)$ は中性子エネルギースペクトル、 $\eta(E)$ はターゲット内中性子散乱の補正係数、 N はターゲット原子数、 τ は光子のターゲットによる減衰の補正、 ϕ は入射光子数、 Ω は検出器の張る立体角、 $\varepsilon(E)$ は検出器の検出効率、 ΔE はエネルギー幅である。

4 - 2 . 核反応モデルの開発

核反応モデルの開発は理論計算コードと核データファイルを用いた。理論計算コードは PHITS コードと COH コードを用いた。核データファイルは JAEA の核データセンターで提供されている JENDL/PD2016.1、IAEA で提供されている IAEA-PD2019、Tallys コードで得られた TENDL を用い

た。これらは、このエネルギーでの光核反応を、反応断面積として集団励起過程についてパラメータ化した巨大共鳴断面積の値、陽子中性子ペアの励起過程について重陽子の光核反応断面積を元に補正をくわえた値として取り扱っている。励起状態の崩壊については、PHITS コードは集団励起を General Evaporation Model、陽子中性子ペアの励起を Quantum Dynamics Model で扱っている。COH コードと、核データファイルはいずれも Cascade Exciton Model で扱っているが、始状態の励起核子と空孔の数は異なっている。

これらの計算結果或いはデータファイルからの読み出し値を実験値と比較してモデルの差異を明らかにする。そのために、実験データのエネルギー分解能をもちいてガウス関数で広げる。

図3に実験で得られた結果の例を、17 MeV 光子入射に対する、鉛、金、錫、銅、鉄、チタンの結果について、計算コード・データとともに比較したものを示す。実験データは全部で6角度のものが得られたが、煩雑さを避けるために、最大値を示した水平方向90度(H90)の結果と最小値を示した垂直方向90度(V90)の結果を示す。また、図4には入射エネルギーを変えた場合の例として、タンタル、タングステン、ビスマスの13 MeV 光子入射と、17 MeV 光子入射の例を示す。

4-3. 偏光による影響の評価

偏光に依存性を持つ比較的高いエネルギーを有する中性子が遮蔽設計に与える影響を調査するために、簡単なコンクリート遮蔽構造に対して、その厚さを変えた時の漏洩線量を計算した。

ターゲットは一般的な遮蔽材である Pb とした。図5に計算で用いた2通りの中性子スペクトルを示す。本研究で得られた最も偏光の大きいデータである、水平偏光光子に対する Pb から水平90度方向の中性子スペクトルにおいて、4 MeV 以下のデータに対してマクスウェルフィットを行い、高エネルギー部のデータを外挿したもの(以下では蒸発成分のみと記す)。測定で得られたスペクトル(以下では全成分と記す。蒸発成分に偏光に依存性を持つ比較的高いエネルギーの成分を加えたものに等しい)である。

図6に本研究で用いた遮蔽計算の体系を示す。計算を単純化するために球形状を採用した。中性子源は球の中心に設定し、等方に発生させた。中心から100cmの位置からコンクリートの領域を設定し、0~180cmの間で厚みを変化させた。コンクリートの密度は2.25 g/cm³とした。計算で用いた中性子カットオフの値は0.1meVとした。中心から350 cmの位置において中性子束を計数する領域を設定した。この領域を通過する飛跡の長さを、

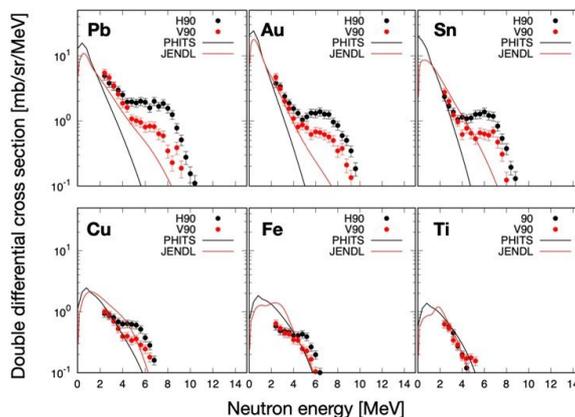


図3 測定結果と理論計算、核データとの比較

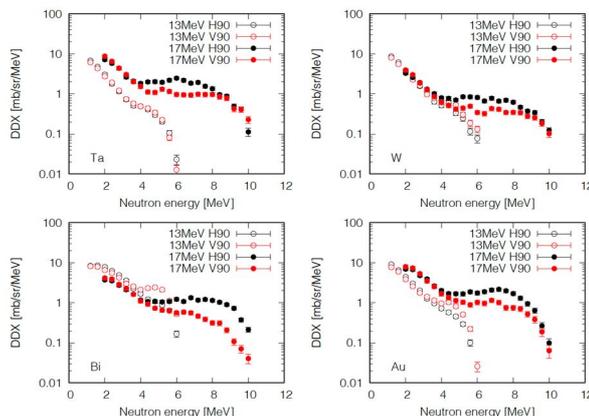


図4 13 MeV と 17 MeV 光子入射の結果

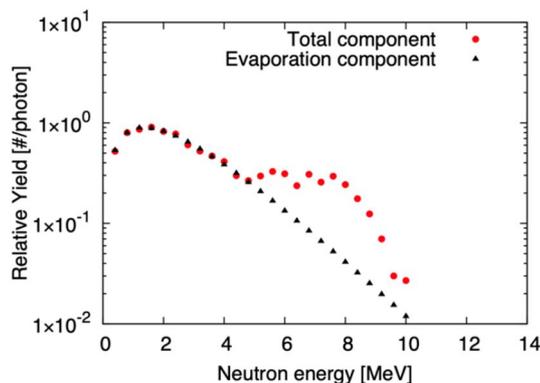


図5 計算に用いた中性子スペクトル

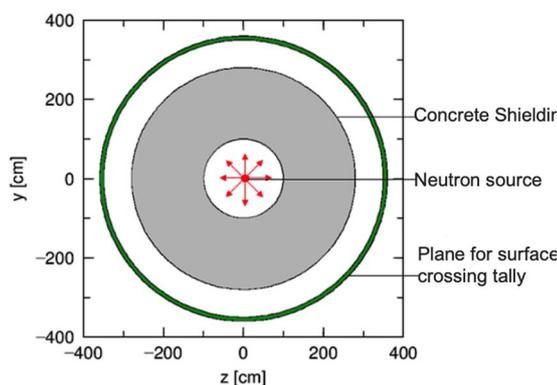


図6 計算で用いた体形

エネルギーの関数として計算で求め、前方後方 (AP) 形状に対する有効線量の線量換算係数を乗じて、中性子線量に変換した。

図 7 に計算結果として遮蔽透過後の中性子スペクトルを示す。コンクリートの厚みを 30cm ずつ増して計算を行った。遮蔽厚を厚くすることで、高いエネルギーを持つ中性子がエネルギーを失い、低エネルギー部分を形成し、もともと存在した低エネルギー部の減衰に重なり差を生じる。そして、120cm 以上の厚さになると、スペクトル形状は初期状態の違いに係わらず、同一の形状をとる。この状態では、スペクトル形状は平衡に達し、絶対値だけが異なっている。

これらの計算結果に対して、線量換算係数をかけて、線量率を導出し、全成分と蒸発成分の線量比をも求めた。この結果から、厚さが 0cm から 180cm になるにつれて、全成分と蒸発成分の線量比は 1.2 倍から 2.53 倍に増加することがわかった。なお、この比率は、偏光方向を変えることで直接成分が減少すること、制動放射からの光子はエネルギー分布が広く、偏光に依存性を持つ比較的高いエネルギーを有する中性子の量が変化することから、最悪の条件での値である。

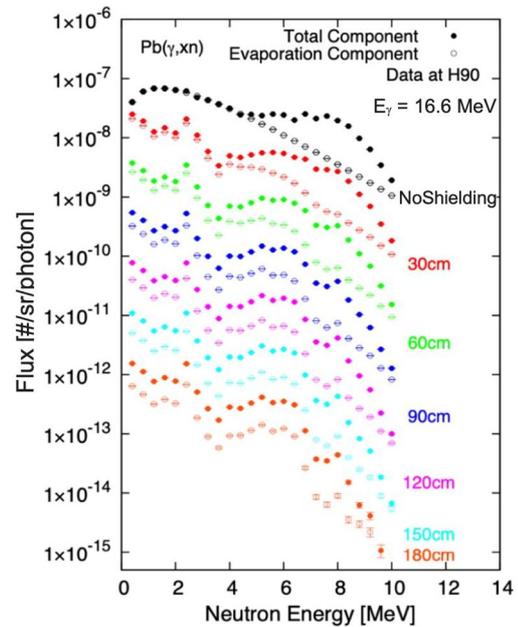


図 7 遮蔽厚みによるスペクトルの変化

4-4 . 本研究により明らかになったこと

以上をまとめ、本研究により明らかになったことを以下に箇条書きで示す。

- 実験データは放出角度によらない成分 (主に 4 MeV 以下のエネルギーを持つ) と放出角度に依存する成分 (主に 4 MeV 以上のエネルギーを持つ) 成分の 2 つが見られた
- この 2 つの成分は今回測定したすべてのターゲット・入射エネルギーに対して得られた。エネルギーを下げるにより、放出角度に依存する成分の量は減少した
- この 2 つの成分のうち、角度依存をもつ成分の強度は、入射光子の偏光方向と、放出方向のなす角を θ としたとき $a+b\cos(2\theta)$ で表すことが出来る。ここで a, b はフィッティングパラメータである。この成分の量は光子の偏光の影響を受けているといえる
- 実験結果から無偏光の場合の角度依存を導出したところ、1960 年代に制動放射光子を用いて測定された幅広いエネルギー分布を有する光子に対する中性子の角度分布として得られた $\cos(\theta)$ 分布の係数に近い値を示した
- 測定した 6 つのターゲットのうちチタンは、わずかながら他のターゲットと反対の角度分布を示した
- 質量数や反応の Q 値が金や鉛、ビスマスと大きく変わらないタンゲステン、タンタルは偏光に依存する成分が金や鉛の約 1/3 と少なかった。このことは、この成分の多寡は単純な質量数の関数で書くことは出来ない、すなわち、陽子中性子ペアの励起過程に直接結びつくもので無いことが示唆された
- 入射光子のエネルギーを下げた測定から、エネルギーを下げて 2 つの成分が得られることが明らかになった
- 既存の理論計算コードと、核データファイルは特に重いターゲットについて実験データの高エネルギー部分を再現しない。これは偏光の影響を受ける成分について核反応モデルに取り入れられていないためである
- 偏光に依存する成分の有無が、単純なコンクリート遮蔽透過後の中性子線量に与える影響をシミュレーションで調べたところ、2 倍以上の差異が見られた。偏光に依存する成分のエネルギーが比較的高いことからくる影響とみられる。

付記 本研究の実施に於ける外的要因と影響

本研究は 2020 年度から 2022 年度に実施された。この間、2020 年 2 月からの新型コロナウイルス感染症による移動制限、2020 年 7 月から 2021 年 4 月までのニュースバル加速器の入射器交換工事、2022 年 2 月からのロシアによるウクライナ侵攻による電気代高騰に伴う加速器の運転期間短縮の影響を大きく受けた。実験ができる期間が減少したこと、実験にかかる費用が大幅に増えたことから、取得を予定していた実験データのうち測定時間のかかる軽核について測定ができなかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kim Tuyet Tran, Sanami Toshiya, Yamazaki Hirohito, Itoga Toshiro, Takeuchi Akihiro, Namito Yoshihito, Miyamoto Shuji, Asano Yoshihiro	4. 巻 989
2. 論文標題 Energy and angular distribution of photo-neutrons for 16.6 MeV polarized photon on medium-heavy targets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164965 ~ 164965
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2020.164965	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 T.K.Tuyet, Y.Sakaki, T.Sanami, H.Yamazaki, T.Itoga, A.Takeuchi, S.Miyamoto, Y.Asano	4. 巻 JAEA-Conf 2021-001
2. 論文標題 Comparison of double-differential cross sections between JENDL/PD-2016.1 and experimental data for photo-neutron production of medium-heavy nuclei at 16.6 MeV	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 Symposium on Nuclear Data November 26-27, 2020, RIKEN Nishina Center	6. 最初と最後の頁 189-194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11484/jaea-conf-2021-001	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 佐波 俊哉、トラン トウエト、グエン トウオン、山崎 寛仁、糸賀 俊朗、桐原陽一、波戸 芳仁、中島 宏、宮本修治、橋本智、浅野芳裕	4. 巻 PASJ2022 WE0A09
2. 論文標題 レーザー逆コンプトン光子の光中性子生成二重微分断面積測定への応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, October 18 - 21, 2022, Online (Kyushu University)	6. 最初と最後の頁 70-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Tuyet Tran Kim, Sakaki Yasuhito, Sanami Toshiya, Yamazaki Hiroshi, Namito Yoshihito, Itoga Toshiro, Kirihara Yoichi, Miyamoto Shuji, Asano Yoshihiro	4. 巻 284
2. 論文標題 Comparison of double-differential cross-section between nuclear data library and experimental data for photoneutron production	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01048 ~ 01048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328401048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Sanami Toshiya, Tran Tyuet Kim, Yamazaki Hiroshito, Itoga Toshiro, Kirihara Yoichi, Namito Yoshihito, Sakaki Yasuhito, Miyamoto Shuji, Asano Yoshihiro	4. 巻 284
2. 論文標題 Target mass dependence of photoneutron spectrum for 16.6 MeV photons on medium-heavy mass targets	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 01047 ~ 01047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/epjconf/202328401047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 T.K.Tuyet, T.Sanami, H. Yamazaki et al.
2. 発表標題 Double differential cross-section measurement of the medium-heavy nuclei (γ, xn) reaction for 16.6 MeV polarized photons
3. 学会等名 2020 Fall meeting of AESJ, Online meeting, 16th September
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T.K.Tuyet, Y.Sakaki, T.Sanami, H. Yamazaki et al.
2. 発表標題 Comparison of double-differential cross section between JENDL/PD-2016.1 and experimental data for photo-neutron production of medium-heavy nuclei at 16.6 MeV
3. 学会等名 Symposium on Nuclear Data 2020, 26th - 27th November, Riken
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T.K.Tuyet, T.Sanami, H. Yamazaki et al.,
2. 発表標題 Measurement of photoneutron energy spectrum with Laser Compton back scattering photon at NewSUBARU BL-01
3. 学会等名 35th Symposium on Radiation Detector and Their Uses, KEK, 2021 20th-22th January
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 T.K.Tuyet, T.Sanami, H. Yamazaki et al.
2 . 発表標題 Photon energy dependence of photo- neutron production from the $^{197}\text{Au}(\gamma, \text{xn})$ reaction
3 . 学会等名 2021 Annual Meeting of AESJ, Online meeting, 19th March
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 T.Sanami, T.K.Tuyet, H. Yamazaki et al
2 . 発表標題 Target mass dependence of photoneutron spectrum for 16.6MeV photons on medium-heavy mass targets
3 . 学会等名 15th International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2022)This presentation was accepted but this conference was postponed to 2022 due to COVID-19. (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T.K.Tuyet, T.Sanami, H. Yamazaki et al
2 . 発表標題 Comparison of double-differential cross section between nuclear data library and experimental data for photoneutron production
3 . 学会等名 15th International Conference on Nuclear Data for Science and Technology (ND2022)This presentation was accepted but this conference was postponed to 2022 due to COVID-19. (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T.K.Tuyet, T.Sanami, H. Yamazaki et al
2 . 発表標題 Impact of photo-neutron spectrum shape for $\text{Pb}(\gamma, \text{xn})$ on shielding design
3 . 学会等名 ICRS14/RPSD 2020 at Seattle. (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名	佐波俊哉, Tran Tuyet, Nguyen Thuong, 山崎寛仁, 糸賀俊朗, 桐原陽一, 波戸芳仁, 中島宏, 宮本修治, 橋本智, 浅野芳裕
2. 発表標題	レーザー逆コンプトン光子の光中性子生成二重微分断面積測定への応用
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会 WEOA09 2022/10/20 オンライン
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	グエン トウオン, 佐波 俊, 山崎 寛仁, 糸賀 俊朗, 桐原 陽一, 杉原 健太, モハンマドジン モハンマドファイズ, 宮本 修治, 浅野 芳裕
2. 発表標題	Measurement of photoneutron spectra for 17 MeV linearly polarized photon on Ta, W, and Bi targets
3. 学会等名	日本原子力学会2022年秋の大会 茨城大学日立キャンパス
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Thuong Thi, Hong Nguyen, Toshiya Sanami, Hirohito Yamazaki, Yasuhito Sakaki, Toshiro Itoga, Yoichi Kirihara, Kenta Sugihara, Shuji Miyamoto, Satoshi Hashimoto, Yoshihiro Asano
2. 発表標題	The comparison of nuclear data, theoretical calculations, and experimental results for photoneutron spectra on Ta, W, and Bi targets for 17 MeV photons
3. 学会等名	日本原子力学会2023年春の年会 東京大学駒場キャンパス
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	佐波俊哉, Tran Tuyet, Nguyen Thuong, 山崎寛仁, 糸賀俊朗, 桐原陽一, 波戸芳仁, 中島宏, 宮本修治, 橋本智, 浅野芳裕
2. 発表標題	電子加速器の広範な産業利用のための光核反応データの取得
3. 学会等名	ニュースパルシンポジウム 2023/3/13 イーグレひめじ
4. 発表年	2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 T.K.Tuyet	4. 発行年 2021年
2. 出版社 博士学位論文 総合研究大学院大学	5. 総ページ数 232
3. 書名 Study on neutron anisotropic emission from photonuclear reaction in giant dipole resonance energy region	

〔産業財産権〕

〔その他〕

KEK 放射線科学センター・アーカイブ http://rcwww.kek.jp/research/archives.html
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------