

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 202-2 Radiation Physics, Radiation Detection and Measurement

📅 Fri. Mar 18, 2022 10:55 AM - 12:00 PM JST | Fri. Mar 18, 2022 1:55 AM - 3:00 AM UTC | 🏠 Room B

[3B06-09] Novel Detection Technique

Chair: Mitsuhiro Nogami (Tohoku Univ.)

10:55 AM - 11:10 AM JST | 1:55 AM - 2:10 AM UTC

[3B06] Development of Directional 14 MeV-Fusion Neutron Detector using Liquid Scintillator Filled in Capillaries

*Masataka Teshigawara¹, Eiji Takada¹, Shuhei Sumida², Kohji Shinohara^{3,2}, Takeo Nishitani⁴, Kunihiro Ogawa^{5,6}, Mitsutaka Isobe^{5,6} (1. NIT Toyama College, 2. QST, 3. UTokyo, 4. Nagoya Univ., 5. NIFS, 6. SOKENDAI)

11:10 AM - 11:25 AM JST | 2:10 AM - 2:25 AM UTC

[3B07] Development for InGaP Semiconductor Devices to Neutron Detection Under High-Temperature Condition

*Yasuki Okuno¹, Mitsuru Imaizumi², Tamotsu Okamoto³, Takahiro Makino⁴, Tomohiro Kobayashi⁵ (1. Tohoku Univ., 2. JAXA, 3. NITKC, 4. QST, 5. RIKEN)

11:25 AM - 11:40 AM JST | 2:25 AM - 2:40 AM UTC

[3B08] Development of correction method for effect of sample density on PGA

*Makoto Maeda¹, Mariko Segawa¹, Yosuke Toh¹, Shunsuke Endo¹, Shoji Nakamura¹, Atsushi Kimura¹ (1. JAEA)

11:40 AM - 11:55 AM JST | 2:40 AM - 2:55 AM UTC

[3B09] Research on the perturbed angular correlation in double-photon emission nuclides using magnetic field

*Taisei Ueki¹, Fumiki Sensui¹, Mizuki Uenomachi², Zhong Zhihong¹, Kenji Shimazoe¹, Hideki Tomita^{3,4}, Kei Kamada⁵, Hiroyuki Takahashi¹ (1. UTokyo, 2. RIKEN, 3. Nagoya Univ., 4. JST, 5. Tohoku Univ.)

11:55 AM - 12:00 PM JST | 2:55 AM - 3:00 AM UTC

Time reserved for Chair

細孔充填型液体シンチレータを用いた核融合 14 MeV 中性子検出器の開発

Development of Directional 14 MeV-Fusion Neutron Detector using Liquid Scintillator Filled in Capillaries

*勅使川原 応恭¹, 高田 英治¹, 隅田 脩平², 篠原 孝司^{3,2}, 西谷 健夫⁴, 小川 国大^{5,6}, 磯部 光孝^{5,6}

¹ 富山高等専門学校, ² 量子科学技術研究開発機構, ³ 東京大学,

⁴ 名古屋大学, ⁵ 核融合科学研究所, ⁶ 総合研究大学院大学

D-T 反応生成 14 MeV 中性子の時間的・空間的測定のための、新しい概念の高速中性子検出器を開発し、密封 γ 線源や ^{252}Cf 中性子源を用いた実験により、指向性および中性子- γ 線弁別に関する特性を評価した。

キーワード：核融合、高速中性子検出器、高速中性子、液体シンチレータ、Sci.Fi.検出器、パルス波形弁別

1. 緒言 LHD や JT-60U などの核融合プラズマ実験装置では、将来の核融合炉における D-T 反応生成 α 粒子の挙動を推定するため、シンチレーティング光ファイバ検出器 (Sci.Fi.検出器) を用いて 14 MeV 中性子の時間的・空間的な挙動が測定されている。Sci.Fi.検出器は、14 MeV 中性子の選択性に優れかつ指向性を有するが、中性子- γ 線弁別特性が悪い。本研究では、長尺な細孔に有機液体シンチレータを充填することにより、指向性とパルス波形による中性子- γ 線弁別可能性を兼ね備えた高速中性子検出器を開発した。今後予定している 14 MeV 中性子照射実験に向け、密封 γ 線源や ^{252}Cf 中性子源を用いた予備実験により、特性を評価した。

2. 実験 本検出器は、アルミニウム製の治具に開けた 144 個の長尺な細孔 (長さ 50 mm、直径 0.9 mm) に有機液体シンチレータが充填されている。実験においては、図 1 に示すようにパルス波形の各領域の積分値 (面積) : Q_{short} 、 Q_{long} [arb. unit] を定義した。指向性を評価するために、コリメートした ^{137}Cs - γ 線を検出器に対して 0° から 90° の方向から入射させ、 Q_{long} の分布を測定した。また放射線輸送計算コード Geant4 を用いて実験と同様のシミュレーションを行い、検出器へのエネルギー付与量分布と実験による Q_{long} の分布を比較した。次に、中性子- γ 線弁別性能を評価するため、 ^{60}Co 密封線源、 ^{252}Cf 密封線源を用いて中性子と γ 線を検出器に入射させた。 Q_{short} 、 Q_{long} の計算後、 $(Q_{\text{long}} - Q_{\text{short}})/Q_{\text{long}}$ を指標にパルス波形弁別を行った。

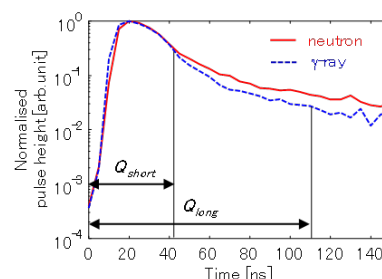


図 1 Q_{long} と Q_{short} の定義

3. 結果・考察 図 2 に、 γ 線入射角度を変化させた時の、パルス波高値 0.049 V 以上の事象における Q_{long} 分布を示す。 Q_{long} が 1000~7000 の範囲で入射角度が小さいほど計数が増加しており、 Q_{long} に閾値を設定することで入射角度が小さい事象を選択的に測定できる。実験及び計算で得られた Q_{long} 分布、エネルギー付与量分布から、 Q_{long} : 1000~7000、エネルギー付与量 : 0.1~0.7 MeV の事象の計数を積算し入射角度依存性を求めたところ (図 3)、実験と計算で同様の傾向がみられた。 γ 線の場合、電子のランダムウォークにより指向性は劣化するため、14 MeV 中性子に対する指向性は本結果よりも改善すると考えられる。中性子と γ 線を検出器に入射させ、 Q_{long} : 3000 以上の事象についてパルス波形弁別を行ったところ (図 4)、中性子と γ 線に対応するピークが明瞭に分離できた。今後、14 MeV 中性子に対する測定効率や角度分解能を評価する予定である。

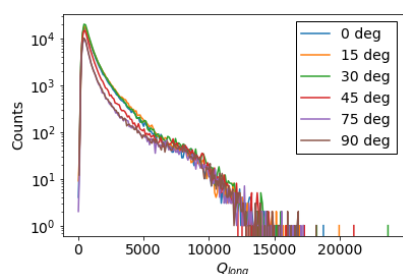


図 2 ^{137}Cs - γ 線に対する Q_{long} 分布の角度依存性

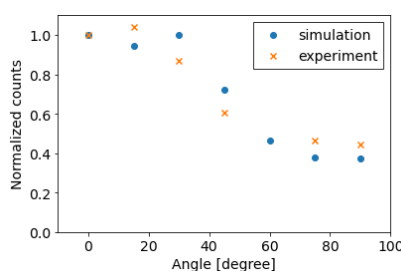


図 3 ^{137}Cs - γ 線に対する計数の入射角度依存性

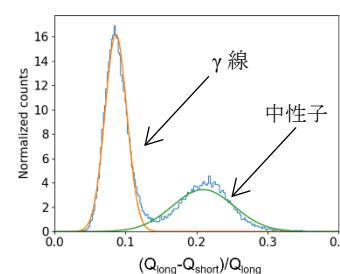


図 4 パルス波形弁別結果

Q_{long} : 1000~7000、エネルギー付与量 : 0.1~0.7 MeV

*Masataka Teshigawara¹, Eiji Takada¹, Shuhei Sumida², Koji Shinohara^{3,2}, Takeo Nishitani⁴, Kunihiro Ogawa^{5,6}, Mitsutaka Isobe^{5,6}

¹NIT, Toyama College, ²QST, ³Univ. of Tokyo, ⁴Nagoya Univ., ⁵NIFS, ⁶SOKENDAI

高温下での InGaP 半導体中性子検出デバイスの開発

Development of InGaP semiconductor neutron detection devices under high-temperature conditions

*奥野 泰希¹, 今泉 充², 岡本 保³, 牧野 高紘⁴, 小林 知洋⁵

¹東北大金研, ²宇宙研, ³木更津高専, ⁴量研, ⁵理研

次世代の小型モジュール炉(SMR)等において中性子束を正確に把握する小型かつ高精度な計測システムが求められている。我々は、高放射線耐性の太陽電池素子を用いた内部電位駆動型放射線検出素子の開発を進めており、本報告では、InGaP 中性子検出素子における検出感度の高温動作挙動について議論する。

キーワード：中性子束検出 1, 内部電位駆動型検出器 2, インジウムガリウムリン 3

1. 緒言：核分裂によって生じる中性子が一次エネルギーを生み出す原子炉においては、運転時の安定性を向上させるため中性子束を正確に把握することが重要である。この計測には高速で応答し、8~10 桁以上の測定範囲を有する検出器が必要である。我々は、太陽電池素子を利用した検出器が広いダイナミックレンジでの中性子束検出が可能であることを先行研究にて見出した[1]。InGaP は化合物半導体の一つであり、バンドギャップが約 1.9 eV と高く、炉内で想定される約 300℃の高温環境中で長時間の安定動作が期待されている。しかし、高温下での InGaP 中性子検出素子の検出特性は明らかではない。そのため、本報告では、InGaP 素子の高温環境下での中性子検出特性について実験的に取得した結果を議論する。

2. 実験方法：楕形電極のベア構造を有する InGaP 太陽電池素子を使用した。素子面積および吸収層厚さは、それぞれ、1×1 cm² および 1 μm に調整された。中性子を荷電粒子へ変換するためとして、天然ホウ素の焼結体を 1×1 cm² の大きさに切断し、InGaP 素子表面に設置した。中性子照射のため小型加速器中性子源(RANS)を利用した。ホウ素板を設置した InGaP 素子を高温照射用チャンバーに設置し、20-275℃の範囲で温度を調整した。減速材として 4 cm ポリエチレン板を使用した。中性子束は、陽子線電流を変更することで調整した。素子からの信号は、ソースメジャーユニット(Keysight, B2901A)を用いて、中性子照射中の電流を計測した。信号積算時間は、1 s に設定した。

3. 結果と考察：Fig.1 にホウ素変換板を設置した InGaP 素子の誘起電流と RANS 陽子線電流の関係を示す。陽子線電流は、ベリリウムターゲットへの入射電流であり、RANS 中に発生する中性子束と比例関係にある値である。20℃における InGaP 素子の検出特性は、陽子線電流と良い比例関係にある。一方、275℃の測定結果においても、20℃と同様の挙動が確認された。そのため、InGaP 素子は、原子炉運転時などの高温環境においても動作が可能であることが明らかとなった。また、20℃と比較して 300℃での誘起電流の傾向は、少し大きい。これは、半導体のバンドギャップが、温度により小さくなることにより[2]、発生するキャリアが増加したと考えられる。

謝辞：本研究は、文科省「原子力システム研究開発事業」の一部として実施した

参考文献

[1] Okuno, Y., et al., *J. Nucl. Sci. Technol.* **56**, (2019).

[2] Vaillon, R., et al., *Cell Reports Phys. Sci.* **1**, 1–20 (2020).

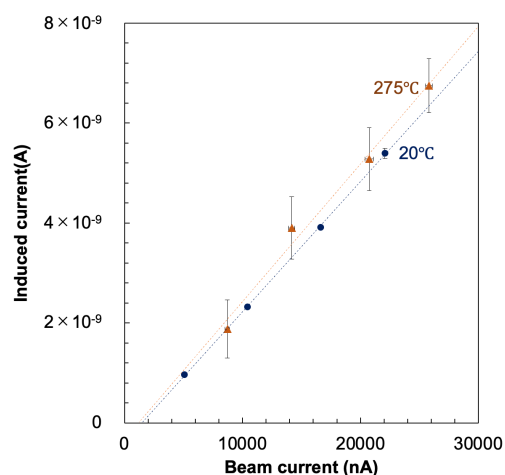


Fig. 1. InGaP 素子における中性子検出特性の温度依存性

*Yasuki Okuno¹, Mitsuru Imaizumi², Tamotsu Okamoto³, Takahiro Makino⁴, Tomohiro Kobayashi⁵

¹Tohoku Univ., ²JAXA, ³NITKC, ⁴QST, ⁵RIKEN

PGA における試料密度の影響に対する補正法の開発

Development of correction method for effect of sample density on PGA

*前田 亮¹, 瀬川 麻里子¹, 藤 暢輔¹, 遠藤 駿典¹, 中村 詔司¹, 木村 敦¹

¹原子力機構

熱中性子以外の中性子を利用する即発 γ 線分析では、試料に散乱断面積の大きな核種が含まれている場合、その試料密度によって測定感度が増加するため測定の不確かさが増加する。本発表では、試料密度の影響に対する補正法について報告する。

キーワード：即発 γ 線分析, 補正法, TOF-PGA, ANNRI

1. 緒言 即発 γ 線分析(PGA)では中性子を試料に照射し測定対象核種を励起させ、脱励起の際に発生する γ 線を測定することで試料中の核種を定量する。J-PARC BL04 ANNRI では入射中性子として冷中性子から熱外中性子までのエネルギーを用いた PGA が可能で、さらに飛行時間法(TOF)を利用して入射中性子エネルギーを測定しながら PGA を行う TOF-PGA を実施することができる。その特長として、熱中性子以外の中性子も利用することで、高い検出効率や難測定核種に対する優れた弁別性能を実現している。PGA は正確度の高い非破壊分析手法だが、熱中性子以外の中性子を利用して散乱断面積の大きな核種を含む試料を測定すると正確度が低下する。これは散乱により中性子のエネルギーが変わり、測定感度(γ 線計数/標的核種量)が変化するためである。試料中での散乱回数に応じて中性子のエネルギーが変化するため、散乱物質の量によって測定感度がばらつき、同じ標的核種量であっても得られる γ 線計数が異なることになり不確かさが増加する。我々のグループでは、これまでの研究で測定感度が、散乱物質の含有量だけでなく密度にも依存し、30%以上変化する事を見いだした。この変化量は、一般的に数%の不確かさで測定可能な PGA にとって非常に大きい。また、この感度変化を適切に補正することで、変化量を 3%程度に抑えられることもシミュレーションにより確認した[1]。本研究では散乱断面積の大きな核種(水素)を含む試料の TOF-PGA 実験を実施し、それに補正法を適用して有効性を評価した。

2. TOF-PGA 実験と補正法の有効性 TOF-PGA 実験では、密度の異なる球形状のポリスチレン試料（合計 8 個、密度：通常の約 1/5, 約 1/10, 直径：10, 13, 15, 20 mm）を測定し、冷中性子および熱外中性子の各入射エネルギーでゲートをかけて γ 線スペクトルを作成した。得られたスペクトル上に観測された水素の 2.2 MeV 捕獲 γ 線ピークを解析し、 γ 線計数を取得した。補正法の評価では、補正前後の γ 線計数と核種量の相関曲線の傾き(測定感度と同じ次元を持つ)をフィッティングにより求め、これを各密度における感度として、その有効性を確認した。表 1 に補正前後の冷中性子、熱外中性子入射における密度 1/5 と 1/10 の試料の感度の比を示す。この数値が 1 の場合、両方で感度が一致している事を意味する。補正前は、密度 1/5 と 1/10 で感度が有意に異なるのに対して、補正後は両者とも不確かさの範囲内で一致しており、感度変化が適切に補正できていることを実験的に確認した。

表 1 補正前後の感度の比較

	冷中性子	熱外中性子
補正前	1.035±0.014	0.963±0.022
補正後	0.988±0.014	1.000±0.024

3. 結言 補正法の有効性を実験的に確認し、試料密度の影響に対する補正法を確立することができた。本発表では、実験や補正結果の詳細について報告する。

参考文献 [1] 前田他, 原子力学会 2020 秋 2M02

*Makoto Maeda¹, Mariko Segawa¹, Yosuke Toh¹, Shunsuke Endo¹, Shoji Nakamura¹ and Atsushi Kimura¹

¹JAEA

磁場を用いた二光子放出核種の角度相関に関する研究

Research on the perturbed angular correlation in double-photon emission nuclides using magnetic field

*上木 太晟¹、泉水 史樹¹、上ノ町 水紀²、Zhong Zhihong¹、島添 健次¹、富田 英生^{3,4}、
鎌田 圭⁵、高橋 浩之¹

1. 東大、2. 理研、3. 名大、4. JST さきがけ、5. 東北大

原子核は外部磁場により歳差運動（ラモア歳差運動）が生じることが知られている。本研究では二光子放出核種に静磁場を印加し、原子核のラモア歳差運動を引き起こすことで角度相関を変化させることができることを調査した。

キーワード：核医学、角度相関、二光子放出核

1. 緒言

私たちのグループでは、複数のガンマ線を放出する核種（カスケード核種）を用いた核医学イメージング、DPECT（Double Photon Emission Computed Tomography）の高機能化を実現するために研究を行なっている。DPECT では放出されるガンマ線の角度相関を調べることで、核種周辺の局所環境を検出することができる。本研究では、¹¹¹In 水溶液に静磁場を印加し、磁場の大きさに応じたラモア歳差運動を引き起こすことで角度相関に時間的変化が生じることを観察する。

2. 実験方法

実験体系を図1に示す。¹¹¹In 水溶液を点線源として利用した。点線源を挟み込むように磁場発生装置の磁極が配置してある。点線源を取り囲むように8×8 Ce:GAGG シンチレーター、SiPM、dToT ボードからなる検出器を8個配置した。検出器から得た情報から角度を算出し角度相関を調査した。

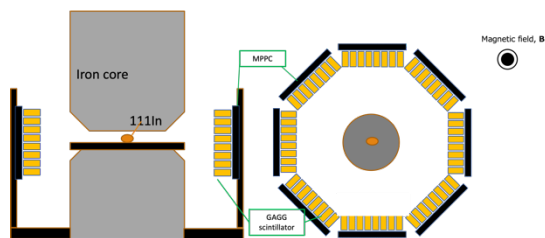


図1,実験体系

3. 実験結果

図2に磁場印加時における角度相関の時間変化を示す。

$R(t) = (N(180^\circ, t) - N(90^\circ, t)) / (N(180^\circ, t) + N(90^\circ, t))$ の関係式に従っている。

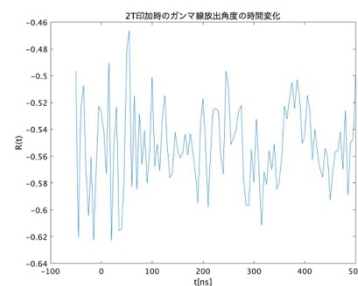


図2, 磁場印加時における角度相関の時間変化

4. 結論

本研究では、磁場に応じて生じるラモア歳差運動に起因する、角度相関を観察した。

参考文献

[1] 浅井吉蔵, γ - γ 摂動角相関による物性研究, RADIOISOTOPES, 42 巻 6 号, 1993 年, 347-364

*Taisei Ueki¹, Fumiki Sensui¹, Mizuki Uenomachi², Zhong Zhihong¹, Hideki Tomita^{3,4}, Kei Kamada⁵, Kenji Shimazoe¹, Hiroyuki Takahashi¹

¹ UTokyo, ² RIKEN, ³ Nagoya Univ., ⁴ JST, ⁵ Tohoku Univ.