

Measurement of angular distribution of γ rays
from neutron-induced compound states of ^{118}Sn
with a pulsed neutron beam

古賀, 淳

<https://hdl.handle.net/2324/4474934>

出版情報：九州大学, 2020, 博士（理学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：公表確認書・全文ファイル未提出

氏 名 : 古 賀 淳

論 文 名 : Measurement of angular distribution of γ rays from neutron-induced compound states of ^{118}Sn with a pulsed neutron beam
(パルス中性子ビームを用いた ^{118}Sn の中性子誘起複合核から放出されるガンマ線の角分布の測定)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

現在の宇宙は物質が反物質より多く、この非対称性を説明するために荷電共役パリティ変換(CP)対称性の破れが不可欠と考えられている。CP 対称性の破れは K 中間子や B 中間子の崩壊過程において発見されているが、今日の物質優勢宇宙を説明するには不十分である。そのため素粒子物理学の標準模型を超えた新物理における CP 対称性の破れの存在が示唆されている。CPT 定理を仮定すると、CP 対称性の破れと時間反転対称性の破れは等価であり、時間反転対称性の破れの探索を通じて CP 対称性の破れを探索することが可能である。時間反転対称性の破れの探索の例として中性子の電気双極子能率測定が挙げられるが、未だ新物理の発見には至っていない。

中性子と原子核の共鳴反応で中間状態として複合核という準安定状態を形成することがある。このとき共鳴の種類は束縛された中性子の軌道角運動量 l によって s 波共鳴 ($l = 0$) と p 波共鳴 ($l = 1$) に分けられる。p 波共鳴において空間反転対称性の破れが $O(10^{-1})$ の大きさで観測されている。これは陽子-陽子散乱の断面積のヘリシティ依存性と比べると 10^6 倍大きいため、複合核を介す反応では空間反転対称性の破れが増幅することになる。この増幅効果は s 波共鳴と p 波共鳴の振幅の干渉によって引き起こされると理論的に説明される。複合核を介す反応において、時間反転対称性の破れも増幅し、その大きさは空間反転対称性の破れの大きさに比例すると理論的に予測されている。しかしながら、その比例係数である $\kappa(\mathbf{J})$ については原子核ごとで異なる値を持つと考えられており、ほとんどの原子核で測定されたことがない。 $\kappa(\mathbf{J})$ は p 波共鳴における中性子の全角運動量 1/2 成分と 3/2 成分の混合角 ϕ に依存するパラメタである。(n, γ) 反応の断面積が混合角 ϕ に依存し、p 波共鳴の形状が複合核から放出されるガンマ線の放出角度によって変化すると予測されている。この角度依存性から混合角 ϕ を求めることができる。

本論文では複合核状態を利用した時間反転対称性の破れ探索実験における標的原子核候補の一つであるスズ-117 (^{117}Sn) に関する研究成果を報告する。茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 J-PARC の物質・生命科学実験施設にある中性子核反応測定装置 ANNRI で実験を実施した。ANNRI には大強度パルス中性子ビームが供給されており、飛行時間法による中性子エネルギースペクトル測定が可能である。また ANNRI では装置の中心に標的を設置し、それを囲むように 22 個のゲルマニウム検出器が設置されている。従って、標的から放出されるガンマ線はこれらのゲルマニウム検出器を用いて、優れたエネルギー分解能で角分布を測定することができる。非偏極中性子ビームをスズ標的に照射し、(n, γ) 反応により放出されるガンマ線を測定した。1.33 eV の p 波共鳴において形成される複合核は 9327 keV のガンマ線を放出して ^{118}Sn の基底状態へ直接遷移する。9327

keV のガンマ線ピークを信号領域としてイベント選別した。このイベント選別により得られた中性子エネルギースペクトルについて背景事象の減算、不感時間の補正、ビーム強度の中性子エネルギー依存性の除去を行なった。その後、p 波共鳴の形状の角度依存性を定量的に評価するために、p 波共鳴の共鳴中心から低エネルギー側の積分値を N_L 、高エネルギー側の積分値を N_H として、非対称度 $A_{LH}=(N_L-N_H)/(N_L+N_H)$ を定義した。中性子ビームの入射方向に対するガンマ線放出方向のなす角度を θ_γ として A_{LH} の角度依存性を求めた。その結果、 $A_{LH}=(0.47\pm 0.06)\cos\theta_\gamma+(0.09\pm 0.02)$ という結果が得られ、有意な角度依存性を観測できた。また、理論から予測される A_{LH} の値と比較して混合角 ϕ を求めるが、この理論計算には遷移振幅比を求める必要がある。遷移振幅比とは、s 波共鳴および p 波共鳴で形成された複合核が特定のエネルギー準位に遷移する確率の相対値である。本研究では ^{118}Sn の複合核から基底状態へ遷移する場合において、p 波共鳴に対する s 波共鳴の遷移振幅比を 4.0 ± 0.2 と決定した。この結果を理論計算に加えて実験結果と比較したところ、混合角 ϕ は $\phi=(10.3^{+6.4}_{-7.2})^\circ$, $(-80.8^{+7.1}_{-6.4})^\circ$ となり、 $|\kappa(J)|=0.42^{+0.05}_{-0.06}$, $2.6^{+6.8}_{-1.3}$ という結果を得た。この結果は ^{118}Sn の複合核を介す反応において、時間反転対称性の破れが空間反転対称性の破れと同様に大きく増幅し、探索感度が高いことを意味している。

複合核状態を利用した時間反転対称性の破れの探索実験では偏極中性子ビームを偏極標的に照射し、中性子の前方散乱振幅の時間反転対称性を破る成分を測定する。 ^{117}Sn を標的とした場合、 $|\kappa(J)|=2.6$ のとき中性子ビームおよび ^{117}Sn 標的(厚さ 5 cm)の偏極率をそれぞれ 85%、20%と仮定すると、約 10 日間の測定で中性子の電気双極子能率測定の上限值を更新できると見積もった。本研究により、 ^{117}Sn は時間反転対称性の破れ探索実験の標的として有望な原子核であることが分かった。