

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻
エネルギー量子工学講座（協力講座）

応用核物理学グループ

柴田理尋(教授)、小島康明(准教授)
博士前期課程 2 名、学部 2 名 (2018 年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

応用核物理学グループとして目指していることは、核エネルギーの源である不安定原子核(放射能)が持つ多様性の解明とその応用へ向けた高品質な核データの測定である。京大原子炉、原子力機構タンデム加速器のオンライン同位体分離装置(ISOL)で得られる短半減期の原子核の崩壊に伴う放射線を計測し、精度の良い崩壊核データを決定する。最近では、質量数が 150 近傍の奇-奇核に見られる核異性体に着目し、高効率のクローバー検出器による γ 線測定や Si(Li)検出器を用いた内部転換電子の測定を通して、高精度な崩壊核データを決定している。また、高バックグラウンド条件下や体積試料に含まれる微弱な環境中の放射能に対して、GEANT 等のモンテカルロ計算を併用して、高効率な測定法や適切な補正法を開発している。

【キーワード】

崩壊核データ、不安定核、核分裂生成物、重元素、加速器、研究用原子炉、オンライン同位体分離装置(ISOL)、Ge 検出器、クローバー検出器、シンチレーション検出器、 α, β, γ 、内部転換電子線計測、ピーク効率、全効率、遅延同時計数、モンテカルロシミュレーション、GEANT4、励起準位の寿命、核構造、環境放射能、体積試料、低レベル放射能、コインシデンスサムの補正、

【主な研究と内容】

(A) 核分裂生成物の崩壊核データ測定

質量数 150 近傍の領域は、球形から回転楕円体へと変形する遷移領域であり、その崩壊データは崩壊熱の評価に加え、核構造上も興味深い領域である。核分裂生成物中の奇-奇核には、系統的に核異性体が確認されている。特に長い寿命を持つ核異性体の存在は中性子束密度の高い環境では (n, γ) 反応を引き起こし、核分裂生成物の収率に影響する。また、長寿命の核異性体は、核構造の研究にも重要である。 γ 線測定および内部転換電子の測定によって核異性体を探索するとともに、遷移の多重極度、スピン・パリティなどの性質を決定し、詳細な崩壊核データを決定する。

(B) 重元素の崩壊核データ測定

アクチノイド元素の中には、長寿命核廃棄物として今後の処理・処分の課題となっているものや、重元素合成過程の中で重要な役割を果たしているものがある。この領域は研究対象とする核種を得ることが難しいために、ほとんど研究が進んでいない。それらを解明するには、信頼できる核反応や核構造の核データを取得することが必要である。重元素を対象として取り扱える原子力研究開発機構のタンデム加速器施設で、Am や Bk、さらに原子番号の大きい Lr などを対象に、

α 線の崩壊核分光や核分裂片の測定を行い核構造及び核分裂収率の測定を行っている。特に、Fm や Lr に見られる対象核分裂は、核分裂機構の解明や重元素の安定性を調べるうえで、重要な情報となる。

(C) 複合型多結晶検出器による γ 線測定における問題点の検証

多結晶を組み合わせて大きな結晶の検出器と見なす場合には、同時事象のエネルギーを足し合わせるエネルギーサム(add-back) γ 線スペクトルの測定が有効である。原子炉室内や中性子捕獲 γ 線測定のように、バックグラウンドが著しく高くなる場合には、同時と見做す時間範囲の設定によってエネルギーの足し合わせが適切に行われず、 γ 線強度が正しく決定できない問題が考えられる。クローバー検出器とタイムスタンプ式データ収集系を用いて、add-back スペクトルの適切な解析方法を検証する。

(D) 体積線源中の低レベル放射能の測定

点線源の測定に対し、体積線源でかつ放射能強度が弱い環境試料の放射能強度決定には、試料自身による放射線の自己吸収や、幾何学条件の違いによるコインシデンスサムの補正など、信頼できる補正を施す必要がある。一方、環境試料の測定は、高精度であることより簡易に信頼性の高いデータが求められる場合が多い。標準的な U8 型容器の土壌や有機物を対象として、検出器の結晶サイズに応じた補正係数表を作成して、その有効性を検証する。

(E) モンテカルロシミュレーションを併用した検出器の較正法の研究

上記の研究のいずれについても、 γ 線と物質の相互作用の確率に基づくモンテカルロ計算を行い、より効率的な実験体系の考案、解析方法の妥当性の検証、適当な放射線源が存在しない場合など実験が不可能な領域の補完手法としてモンテカルロシミュレーションを併用する。

2018 年度の研究・教育の概要

【核分裂生成物の崩壊核データ測定】

中性子過剰な La の奇-奇核は、核異性体が報告されているが、 ^{144}La については核異性体が報告されていない。一方、 ^{144}La の β 崩壊から決定した Q_β 値には 400keV 程度異なる 2 つの値が報告されており、これが核異性体の影響である可能性がある。そこで、 γ 遷移では確認しにくい高い多重極度を持つ遷移を確認するために、 ^{144}Ba の崩壊に伴う内部転換電子を測定して ^{144}La の核異性体を探索するとともに、 ^{144}La の励起構造を明らかにすることを目的として、KUR-ISOL を用いて実験を行った。結果として、核異性体の発見には至らなかったが、 γ - γ 同時計数測定の解析を含めて、28 本の新たな γ 線を含む 115 本の γ 線、上限値を含む 13 遷移の内部転換係数と多重極度、28 個の励起準位を持つ崩壊図式を作成した。(Fig.1)

【原子核の励起準位の寿命(半減期)測定】

通常、励起準位の半減期は、多数の NIM 回路を用いて波高時間変換器 (Time to Pulse Height Converter=TPHC)を用いて測定するが、 μ 秒以上の長い半減期は測りにくい場合が多い。そこで、タイムスタンプ式リストモードデータ収集装置を用いて、クローバー検出器の 4 つの結晶のいずれか 2 つに γ 線が入射した時間差スペクトルから μ 秒以上の長い半減期をもつ核異性体の探索に向けた基礎実験を行った。 ^{165}Ho および以前に測定した ^{162}Sm の励起準位のうち長い半減

期を持つ準位に適用した。特に、 ^{162}Sm については、いずれかの Ge 結晶に入射した β 線との遅延同時情報を解析することで、83 μ 秒の半減期を決定し、長寿命の核異性体の測定に対する有効性を検証した。(Fig.3) 一方、数秒程度と予想される ^{156}Pm の 150keV の核異性体については、不明な点が多く、検討中である。

【多結晶型検出器による高計数率および高バックグラウンド条件下での γ 線計測の諸問題の解明】

KUR-ISOL が設置されている原子炉室のような高放射線場での Ge 検出器による、収率の低い核種の γ 線の測定では、質量分離同位体ビームの強度を上げようとする、必然的に余分な放射能によるバックグラウンドが上昇する問題がある。高計数率に対応するデータ収集系を用いた singles 測定では、低計数率で精度良く決定した検出効率より、計数率に応じたパイルアップ分だけエネルギーに依存せず一様に小さくなる。一方、多結晶型検出器を 1 個の結晶と見なす測定、すなわち、コンプトン散乱で複数の検出器に散乱したエネルギー信号について、同時と見なす時間内ですべて足し合わせる add-back 測定では、 γ 線のエネルギーが高くなり散乱回数が増えるほど、バックグラウンドなどの γ 線とのパイルアップの頻度が増え、低計数率で決めた検出効率曲線に比べて、高エネルギー側で検出効率が小さくなると考えられる。これは、singles 測定の場合とは様相が異なる。高計数率下における add-back 測定の検出効率を実験的に決定するために、クローバー検出器の中心に ^{152}Eu を置き、周囲に ^{226}Ra 線源を多数配置して「高バックグラウンド+高計数率」環境を作り測定を行った。 ^{152}Eu の測定データについて、補正後の検出効率がエネルギーとともに滑らかに減少するような「実効的な全検出効率」を導入してコインシデンスサムを補正する方法を検討した。(Fig.2) 今後、エネルギー領域を広げ、エネルギー依存性を定量的に評価し、有効性を検証する。

【モンテカルロシミュレーションを用いた Ge 検出器の検出効率】

プレーナー型の小さい結晶の Ge 検出器の結晶サイズの厚さが、メーカーの提供する性能表に比べて 20~30%程度小さいという問題について、継続して他の検出器でも調べたところ、同様な傾向が見られた。小型の結晶であっても、検出器に密着した条件での検出効率を決定するためには、コインシデンスサムの補正が必要であり、そのためには、全効率が必要となる。GEANT などのモンテカルロシミュレーションを用いて全効率の実験値を精度良く再現するために、実効的な結晶サイズを決める方法を検討中である。

【本年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	2	0	0	1
学生	0	0	0	0

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

- ・多結晶型 Ge 検出器の高計数率および高バックグラウンド条件下における検出効率に関する研究
- ・タイムスタンプ式データ収集系を用いた核異性体の寿命測定法の研究

【修士論文】

- ・ ^{144}La の核異性体探索に向けた核分裂生成物 ^{144}Ba の β 崩壊の研究

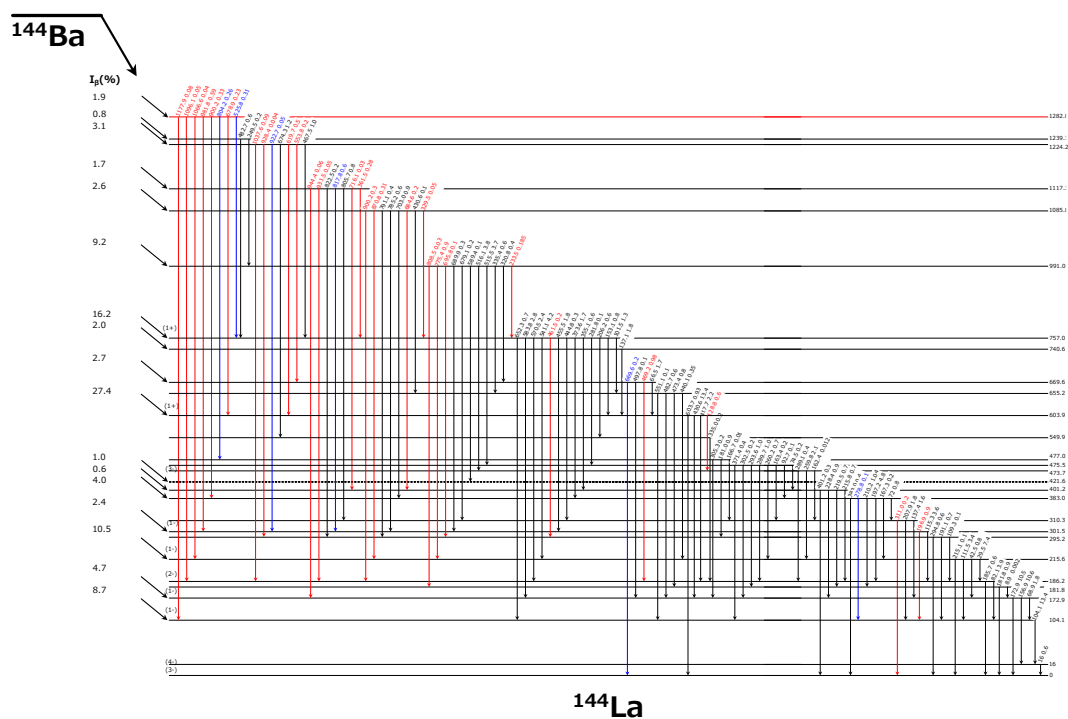


Fig.1 115 本の γ 線、13 遷移の内部転換係数(上限値を含む)と多重極度と 28 個の励起準位から作成した ^{144}Ba の崩壊図式。

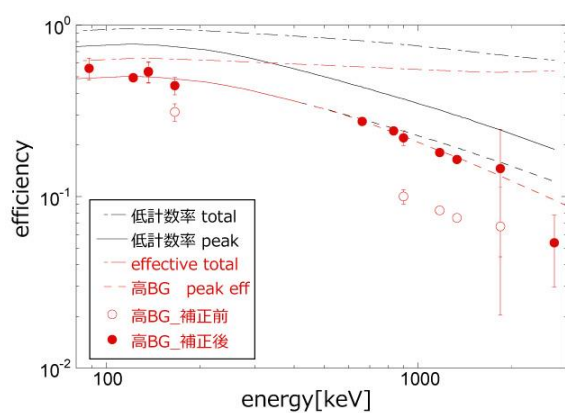


Fig.2 実効的な全検出効率を用いて決定した高計数率条件下での add-back 測定に対するピーク効率。

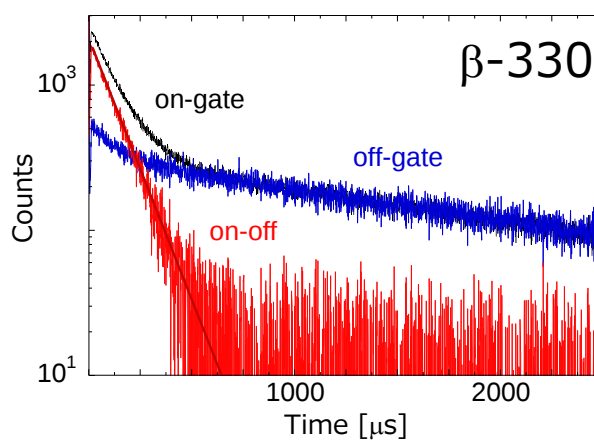


Fig.3 タイムスタンプ測定から決定した ^{162}Gd の 1449keV の励起準位の時間分布曲線。

