

氏 名	まつ だ やす ゆき 松 田 恭 幸
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 1906 号
学位授与の日付	平 成 10 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Study of Parity Violation in Neutron Resonance Reactions in Nuclei (原子核の中性子共鳴反応におけるパリティの破れの研究)

論文調査委員 (主 査) 教授 政 池 明 教授 小 山 勝 二 教授 今 井 憲 一

論 文 内 容 の 要 旨

ハドロン間に働く弱い相互作用は、これまで核子・核子散乱実験や軽い原子核の γ 線遷移におけるパリティの破れを測定することによって研究されてきたがこの大きさは核力と比べて 10^{-7} 程度と小さい。ところがDubna及び京大-KEKのグループは原子核と中性子のp波共鳴反応において、パリティが大きく破れているものがあることを発見した。その大きさは ^{139}La の0.734eV共鳴においては10%に及び、これは弱い相互作用が 10^6 倍増幅されていることを示している。このパリティの破れの大きな増幅をs-p mixing modelで説明する試みがある。このモデルではs波共鳴とp波共鳴が近接して存在している場合にs波とp波の干渉項が増大されること及びs波共鳴とp波共鳴の中心力ポテンシャルに違いがあることによって大きなパリティ非保存効果の増幅が起こると考える。しかしこの複合核状態の波動関数は非常に複雑であり、複合核状態間のweak matrix elementから核子間の弱い核力の大きさを計算することは困難である。一方原子核の統計理論を用いて波動関数の不定性を除去する方法によって核内での弱い相互作用についての情報を得ることが可能となる。このとき一つの原子核において多くのp波共鳴について非対称性を系統的に測定することが必要である。

本申請者は多くのp波共鳴をもつと期待される ^{121}Sb , ^{123}Sb , ^{127}I をはじめとする中重核及び重い核に縦方向に偏極した低速中性子ビームをあてることによって数多くの共鳴における中性子ヘリシティ非対称度を測定し、統計的な取り扱いによって核内での弱い相互作用を解明することを試みた。実験は米国ロスアラモス研究所のLANSCE(ロスアラモス中性子科学センター)において行われた。

パルス中性子はタングステンターゲットに800MeVに加速された陽子ビームを照射することによって生成され、0.01eV~1keVにまで減速されてビームライトに導かれる。この中性子ビームはDNP法によって偏極された陽子フィルターを透過し、ビームの進行方向に平行に偏極される。その下流のスピフリップパーは磁場を用いて中性子のスピンを93%以上の効率で反転させる。すぐ下流に設置されたターゲットには、このスピフリップパーの状態に応じて中性子のスピンの進行方向に対して平行あるいは反平行の状態で入射する。このターゲットを透過した中性子は、中性子ソースから56m後方に設置した中性子カウンターによって計数された。この実験によって1~350eVの広いエネルギー領域で中性子ヘリシティ非対称度の測定を行った。

実験データの解析のために中性子共鳴の詳細なパラメータを取り入れた新しいfittingのプログラムを開発し、これによって ^{121}Sb , ^{123}Sb , ^{127}I のデータの解析を行った。まず、p波共鳴のエネルギーと中性子幅が透過スペクトルから求められた。この解析で共鳴エネルギーはTOF(Time Of Flight)法を用いて決定された。また中性子ヘリシティが正と負の場合スペクトルの差からヘリシティ非対称性を求めた。非対称度の系統誤差は主に、偏極陽子フィルターの較正による誤差、スピフリップパーによる中性子ビームの減偏極の計算の誤差、フィッティングにともなう誤差からなり、それぞれの共鳴によって異なるが3~8%であった。

これらの解析を通して、 ^{121}Sb については17個中5個、 ^{123}Sb については5個中1個、 ^{127}I については20個中7個のp波共

鳴で 3sigma 以上の有意性をもつ非対称性が見いだされた。

この非対称性より反応における weak matrix element の分散を求め、その分散の大きさを準位間隔で割ることによって weak spreading width Γ_W を求めた。 ^{121}Sb については $\Gamma_W = 6.45_{-3.66}^{+9.72} \times 10^{-7} \text{eV}$, ^{123}Sb については $\Gamma_W = 1.23_{-0.96}^{+15.0} \times 10^{-7} \text{eV}$, ^{127}I については $\Gamma_W = 2.05_{-0.93}^{+1.94} \times 10^{-7} \text{eV}$ をそれぞれ得た。これらの値は他の原子核のパリティの破れから計算された値とエラーの範囲内で一致することが明らかになった。

論文審査の結果の要旨

弱い相互作用でパリティ保存則が破れていることは1956年の Wu らの実験によって明らかになったが、ハドロン間の相互作用でこの効果がいかに表れるかは長い間疑問であった。しかし最近の核子・核子散乱の実験などによってこの大きさが強い核力の 10^{-7} 程度であることがほぼ確かめられるに至った。ところが Dubna 及び京大-KEK グループでは低速中性子を原子核にあてたとき p 波共鳴反応において、パリティが大きく破れているものがあることを発見した。特に大きなパリティの破れは ^{139}La の 0.734eV 共鳴, ^{81}Br の 0.88eV 共鳴, ^{111}Cd の 4.53eV 共鳴, ^{117}Sn の 1.35eV 共鳴で見いだされ、その大きさは核子-核子散乱の場合の 10^6 倍にも達することが見出された。この増幅を s-p mixing model では dynamical enhancement と structural enhancement の二つの部分にわけて説明する。structural enhancement は s 波共鳴と p 波共鳴の中心力ポテンシャルの違いから生じるもので、およそ $10^2 \sim 10^3$ の増幅を与える。dynamical enhancement では複合核状態の波動関数が非常に多くの多粒子・多空孔状態の重ねあわせからなることが本質的な役割をもち、およそ 10^3 の増幅を与える。これらをあわせて $10^5 \sim 10^6$ の増幅が与えられることになる。

このモデルでは一つの非対称性の測定値から原子核内の弱い核力の大きさについて考察することは困難となる。しかし、ここで原子核の統計理論を適用すると、多くの共鳴状態の weak matrix element は平均値がゼロとなる Gauss 分布を示すということが導かれ、その分散の大きさはこうした波動関数の不定性が除去された量と考えることができる。さらにこの分散の大きさを準位間隔で割ることによって、特定の波動関数にも原子核の個性にもよらない量である weak spreading width Γ_W を導入することが出来る。

本申請者はこの統計的な扱いの妥当性を調べるためにロスアラモス国立研究所の Pulsed Neutron Beam を縦方向に偏極させて数多くの原子核に当て、そのヘリシティ非対称性の値より求められる weak matrix element の分散を求める試みを行った。実際、1~350eV のエネルギー領域で数多くの p 波共鳴を発見し、中性子ヘリシティ非対称度を測定した。このような広いエネルギー領域と多くの核種にわたる測定は申請者によってはじめて行われたもので、この分野の研究のための決定的なデータを提供したのものとして高く評価されるものである。

更に申請者は実験データの解析にあたって新しいプログラムを開発した。p 波共鳴の付近の中性子の flux は、これまで多項式を用いて近似的に表わされてきたが、申請者の開発したプログラムでは multi-level Reich-Moore 公式を用いて断面積を計算した。また複合核共鳴間の干渉やポテンシャル散乱との干渉が考慮にいれている。この公式を用いることによって、大きな s 波共鳴に隣接する p 波共鳴に対しても精度の高いフィッティングが可能となった。一方、共鳴の幅とその形は、中性子ビームの広がり、ターゲット原子核の熱振動、データ収集システムの時間分解能などによって影響を受けるがこのような効果を表わすために応答関数を表式化し、そのパラメータを既知の共鳴のフィットを通して決定した。この fitting 法による解析は実際の中性子ビームの性質や中性子共鳴の物理的パラメータを用いているためこれまでの解析法に比べ、より精度が高く物理的な意義も大きいと判断される。

この解析によって ^{121}Sb , ^{123}Sb , ^{127}I の多くの p 波共鳴でパリティ非対称が見出され、s-p mixing model が示唆するように、大きなパリティの破れが p-波共鳴について普遍的に見いだされるものであるということを示した。更にその値が原子核の質量に対して強い依存性のないことをはじめて明らかにしたことは中性子共鳴反応におけるパリティ非保存の研究にとって重要な寄与であると考えられる。またその値が s-p mixing model によって期待される値と一致することを明らかにした意義は大きい。一方この研究は時間反転対称性の破れの検出実験や原子核内の弱い核力の結合定数の研究などに対する基礎を与えるものとしても高く評価される。

よって本申請論文は、審査の結果、博士(理学)の学位論文として価値あるものと認定した。

なお、論文内容とそれに関連した口頭試問をした結果、合格と認めた。