

論文審査の結果の要旨

氏名 伊藤 聖

本論文は7章からなる。第1章はイントロダクション、第2章は実験の概要と使用実験装置の説明、第3章はイオン光学、特に高運動量分解能を実現する分散整合についての説明、第4章はデータ解析、第5章は実験結果、第6章は結果についての議論、考察、第7章はまとめ、である。

π 中間子原子の深い束縛状態を精密に測定する事によって、自発的に破れたカイラル対称性の秩序変数であるカイラル凝縮量を知る事ができるため、深く束縛された π 中間子原子は非常に興味深い実験系である。具体的には、深く束縛された1s状態の束縛エネルギーと幅の測定値から、原子核密度中での光学ポテンシャルのパラメーターであるアイソベクトル散乱長 b_1 を導出し、理論計算に基づく関係式を用いることで原子核密度中でのカイラル凝縮量の変化を定量的に求めることが出来る。

π 中間子原子の深い束縛状態は1996年にT. Yamazaki らによって初めて発見された。ドイツのGSI研究所における(d, ^3He)反応を用いた精密分光実験により、 π 中間子鉛207原子の2p状態が観測され、さらに、 π 中間子鉛205原子の1sおよび2p状態の同時観測がなされた。2001年に、K. Suzuki らによる錫の同位体に対する実験において、 π 中間子錫123, 119, 115原子の深く束縛された1s状態の束縛エネルギーと幅が精密に測定され、原子核密度中でのカイラル凝縮の変化を定量的に求められた。

しかしながら、カイラル凝縮の原子核密度中での誤差は依然大きく、より精度の高い結果が待ち望まれている。そこで、理化学研究所のRIBF施設における系統的な π 中間子原子の精密分光実験が計画された。RIBF施設を用いる利点は、ビームの強度がGSIに比べ10倍高いことである。ただ、ビームの運動量広がり約3倍大きい、分散整合という手法を用いることで、この運動量広がり最終結果に影響しないようにすることが原理的に可能である。

この分散整合を実現するために新しいイオン光学の設計を行い、実際に π 中間子原子の深い束縛状態を測定することで、RIBF施設での精密分光実験の可能性を示した。実験は2010年10月に約1週間という比較的短い期間でおこなわれ、得られたデータを詳細に解析することで、 π 中間子錫121原子の深い束縛状態である1s, 2p, 2s状態を同時測定に成功した。 π 中間子錫121原子の測定は、この実験が初である。

得られた束縛状態のエネルギーと幅は以下の通りである。

$$B1s = 3.853 \pm 0.013 \text{ (統計)} + 0.035/- 0.046 \text{ (系統)}$$

$$\Gamma 1s = 0.363 \pm 0.033 \text{ (統計)} + 0.109/- 0.111 \text{ (系統)}$$

$$B2p = 2.345 \pm 0.023 \text{ (統計)} + 0.046/- 0.051 \text{ (系統)}$$

$$B2s = 1.368 \pm 0.024 \text{ (統計)} + 0.046/- 0.062 \text{ (系統)}$$

また、束縛状態の角度依存性の測定にも成功した。これまでそのような例はない。理論計算と比較すると、1s 状態の角度依存性は誤差の範囲内で理論と一致するが、2p 状態の角度依存性は明らかに理論計算と異なっている。

しかしながら、課題も残る。実験分解能は 0.50 ± 0.05 と見積もられ、分散整合は完全には達成されていない。束縛エネルギーの決定精度の向上には、スペクトロメーターの分散の精度よい測定が鍵である。また、幅については実験分解能とスペクトロメーターのアクセプタンスを直に測定することが重要である。しかしながら、これらすべては実現可能で、今後の RIBF での実験では、自発的に破れたカイラル対称性の部分的回復に関する精度の高い情報が得られると期待される。

以上、本研究により得られた π 中間子錫 121 原子における深いパイ中間子束縛状態の束縛エネルギーの決定と角度分布の測定は新しい結果である。また、今後 RIBF を用いておこなわれる予定の系統的な実験研究の先駆けとしても、高く評価できる。

なお、本論文の基になった実験データは複数名との共同実験研究により取得されたが、論文提出者は、実験の企画・遂行において中心的な役割を果たし、また、本論文に用いられているデータの解析、まとめ、考察は、本人が中心となって進めたものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。