

革新的中性子検出器による中性子原子核の研究

	研究代表者	東京工業大学・理学院・教授 中村 隆司 (なかむら たかし)	研究者番号：50272456
	研究課題情報	課題番号：24H00006 キーワード：中性子原子核、不安定核、中性子星、中性子検出器	研究期間：2024年度～2028年度

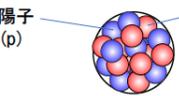
なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

●研究の全体像

中性子だけでできた原子核は存在するのか。本研究では、現在もその存在が確定していない「中性子原子核」について、2,4,6個でできた中性子系に焦点を絞り、複数個の中性子を同時に測定する新方式の中性子検出器を開発・建設し、中性子原子核に対する世界初の本格的分光実験を行う。

中性子だけでできた原子核「中性子原子核」は存在するのかわ? 自然科学の未解決問題

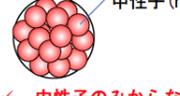
通常の原子核



陽子 (p) 中性子 (n)

- ✓ 中性子と陽子からなる
- ✓ 核力(強い相互作用)+ 陽子間電氣的斥力
- ✓ 中性子数/陽子数 ~ 1

中性子原子核



中性子 (n)

**ユニークな量子系
存在は未確定**
(2022年に4n系を示す有カデータ)

- ✓ 中性子のみからなる
- ✓ 電氣的中性
- ✓ 核力(強い相互作用)のみで凝集
- ✓ 中性子数/陽子数比 = ∞

本研究: ${}^2n, {}^4n, {}^6n$ に焦点を絞った世界初の本格的「中性子原子核スペクトロスコピー」

2n **ダイニュートロン**
共鳴状態は存在しない
核内ダイニュートロン

4n **テトラニュートロン**
 τ 数100秒?
or 10^{21} 秒?

6n **ヘキサニュートロン**
実験例皆無
準魔法数「6」で安定?

An **A中性子系**
安定の島?
新魔法数?

中性子星: 謎多き巨大原子核
半径: 10-12km(未確定)
質量: 1-2太陽質量 (最大質量未定)
内部構造: 未確定

本研究のインパクト

- 中性子原子核の存在 → 新量子系の開拓
- 未知の核力成分を解明
- 量子色力学、第一原理計算のベンチマーク
- 中性子星の構造解明
- 物質階層の普遍性

新型中性子検出器 → 4-6個の中性子同時測定の実現 → ${}^4n, {}^6n$ 系を観測

予定している実験の一つ:
 ${}^8\text{He}$ ビームのアルファ粒子ノックアウト反応

新型中性子検出器
中性子から発生する反跳陽子の飛跡を観測 → 中性子の飛跡を予測

図1 本研究「革新的中性子検出器による中性子原子核」の概要

●研究の背景と目的 中性子原子核は存在するのかわ、という問いは自然科学の基本的問題の一つである。その一つ、テトラ中性子(4中性子系)は1960年代より探索されてきたが長年見つからなかった。しかし、2016年に存在の兆候が示され、2022年には我々RIBF-SAMURAIコラボレーションからテトラ中性子共鳴の観測を発表した(Nature 606, 678(2022))。これは当初決定打となるとみられたが、この観測結果だけではテトラ中性子の証拠とならないとする理論研究や束縛系の観測を主張する実験もあり、未だ確定しているとは言い難い状況である。量子系としての性質がよりクリアになるとされる6中性子系の実験は皆無である。これは4中性子系、6中性子系から放出されるすべての中性子を同時測定する直接測定がまだになされていないことにある。本研究は、これまでほとんど不可能とされた4-6中性子の同時測定を新型の中性子検出器によって実現し、中性子原子核の精密観測とその崩壊様式の決定を世界で初めて行おうというものである。

●革新的中性子検出器

本研究では、4、6中性子系の観測に、放出するすべての中性子を捕える手法を導入する。しかし、これまでは2個を超える中性子の捕捉はほぼ不可能という状況であった。これは、中性子が電荷を持たず、検出器内の物質との散乱で2次的に放出される荷電粒子(陽子)を利用して中性子を観測するためである。実際、図2 a)左に示すように、プラスチックシンチレーター(水素、炭素で構成)を用い、中性子と散乱した陽子により中性子を検出する。ところが、中性子は1回目の散乱後も別の検出器で2回目の散乱を起こすことがある。そうすると図2 a)右のような2つの中性子を別々に検出する事象と区別つかなくなる。そこで、本研究では、跳び出す陽子をドリフトチェンバーとよばれる陽子飛跡検出器で完全追跡することで、散乱された

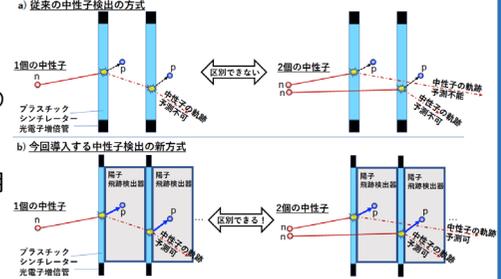


図2 中性子検出方式(従来型: a)、今回開発する新方式 b)

中性子の軌跡を割り出し、1個の中性子だったのか、2個の中性子だったのかを判別する新方式の中性子検出器を導入することとした。複数個の中性子検出にこの方式を用いるのは世界初である。シミュレーションによると新検出器によって、6個の中性子を世界で初めて判別できる見込みである。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●研究の目標、独創性、国際的優位性

本研究では、中性子原子核の本格的分光実験を、新方式の中性子検出器を導入し、複数個の中性子同時測定により世界で初めてこれを実現するものである。特に、1) 4中性子系の質量精密測定と崩壊様式の決定、2) 6中性子系の初観測、を2つのマイルストーンとしている。本研究では、この目標のため、プラスチックシンチレーターと陽子の飛跡検出器からなる、世界初方式の中性子検出器を建設する(図3)。これにより、4中性子系、6中性子系の状態が、質量分解能30-70keV(キロ電子ボルト)で得られる見込みである。従来の200keV-1MeV(メガ電子ボルト)という分解能をはるかに凌駕する精度である。また、中性子検出位置の精度も従来の数cm程度から2mm程度へと1桁以上の精度向上となる。これにより、中性子イメージングなど工学、医学への応用も期待できる。また、従来は2個の中性子観測がほぼ限界であったが、本研究によって、4中性子-6中性子までの同時測定が可能になる見込みである。高精度および複数中性子の観測という意味で、中性子検出技術のブレークスルーとなる。2022年にテトラ中性子候補の観測から、中性子原子核研究の機運が世界的に盛り上がっている。本研究は、世界の不安定核研究拠点である理化学研究所RIBF(RI-ビームファクトリー、図4)の大立体角スペクトロメーターSAMURAIに、この革新的中性子検出器を導入することにより、中性子原子核の研究で世界を圧倒する見込みである。なお、今後、競合する世界の不安定核ビーム施設はFAIR(ドイツ)、およびFRIB(米国)である。FAIRは施設の稼働が遅れており2027年以降となる見込みである。一方のFRIBは2022年より稼働し、不安定核ビーム強度が年々増加しており、RIBFのビーム強度を数年で凌駕する可能性がある。しかし、大立体角スペクトロメーターの建設はこれからで2027年以降の完成見込みであり、また、本研究で建設する複数中性子検出能力をもつ高精度中性子検出器を建設する動きはまだない。したがって、中性子原子核の研究に対して、本研究は国際的に強いアドバンテージを持っている。

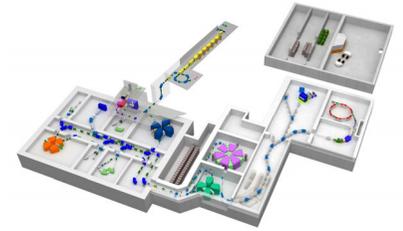
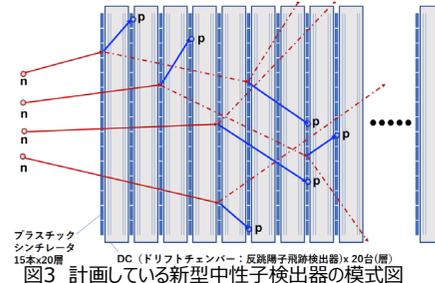


図3 計画している新型中性子検出器の模式図

図4 理化学研究所RIBF(RI-ビームファクトリー)

ホームページ等

2024年度前半、新規に本研究のホームページを立ち上げる予定
東工大中村研究室: <http://be.nucl.ap.titech.ac.jp/>
代表 中村隆司の論文リスト (Google Scholar)は右のQRコードのリンクを参照

