

将来の核データ ～次世代 JENDL に向けて～
Nuclear data for future —Toward next generation JENDL

ミューオン核データ

Muon Nuclear Data

*新倉 潤¹

¹理化学研究所

1. はじめに

近年ミューオンによる核反応は、ミューオン非破壊元素分析、核変換、医療用 RI 製造、放射線安全、半導体ソフトエラー、地球惑星科学等の様々な研究分野でその重要性が指摘されている。一方で、これらの研究の基盤となるミューオンと原子核の核反応データを網羅的に収録したデータベース（ミューオン核データ）は存在しない。そこで、2023年に理化学研究所・九州大学・JAEA・東京大学を中心としたミューオン核データ開発チームを立ち上げ、次世代 JENDL への収録に向けた核データ整備を進めている[1]。

ミューオン核データの開発のキックオフとして、2023年12月14日にシグマ専門調査委員会および理化学研究所仁科センター核変換データ研究開発室の共催で「ミューオン核データ研究会」を開催した[2]。この研究会では、ミューオン核データに関連する様々な分野での研究の現状を共有し、今後の核データ開発に向けた課題について議論した。研究会では下記6件の講演が行われた。

- 「ミューオン核データ」新倉潤（理化学研究所）
- 「ミューオン原子核捕獲反応からの放出粒子の測定」川瀬頌一郎（九州大学）
- 「J-PARC 物質・生命科学実験施設における放射線安全と放射性核種生成確率の測定」山口雄司（JAEA）
- 「放射線挙動解析コード PHITS のミューオン輸送計算機能」安部晋一郎（JAEA）
- 「ニュートリノ原子核反応の精密理解を目指した原子核実験」中島康弘（東京大学）
- 「ミューオン捕獲反応後の放出粒子エネルギーの分布と反跳エネルギー」湊太志（九州大学）

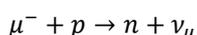
また、2024年3月27日には、日本原子力学会2024年春の年会において核データ部会主催・シグマ調査専門委員会共催で企画セッション「ミューオン核データの進展」が開催された[3]。この企画セッションでは主に関連する実験・理論それぞれの研究成果が報告され、また将来の核データ整備に向けた展望を議論した。企画セッションでは、下記4件の講演が行われた。

- 「インビーム放射化法によるミューオン核データの測定」新倉潤（理化学研究所）
- 「ミューオン原子核捕獲反応の実験研究」川瀬頌一郎（九州大学）
- 「ミューオン捕獲反応の理論計算から見た核データの新たな可能性」湊太志（九州大学）
- 「PHITS のミューオン輸送計算機能とその応用」安部晋一郎（JAEA）

上記二つの研究会では、これまで比較的独立して行われてきた研究間の協力体制の構築、実験と理論の相互連携、今後の核データ評価手法や核データ開発指針等について活発な議論が行われた。

2. ミューオンと原子核の相互作用とミューオン核データ

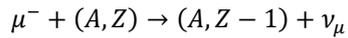
負の電荷を持つミューオン(以下単にミューオンと記す)が物質中に停止すると、原子核のクーロン場に捕われてミューオン原子を形成し、基底準位の1s軌道までオーグ電子やミューオン原子 X 線を放出して段階的に遷移する。1s軌道にあるミューオンは一定の寿命を持ち、自然崩壊または原子核捕獲反応(以下、単にミューオン捕獲と記す)によって消滅する。ミューオン捕獲の素過程は、主に原子核内の陽子とミューオンが弱い相互作用によって結びつき中性子とニュートリノを生成する反応



*Megumi Niikura¹

¹RIKEN

であり、原子番号、質量数を持つ原子核(A, Z)に対してミューオン捕獲が起こると、原子番号が一つ小さい原子核($A, Z - 1$)を形成する。



この反応においてミューオンの静止質量 ($106 \text{ MeV}/c^2$) の殆どはニュートリノが運動エネルギーとして持ち去り、残りのエネルギーは $5\text{-}50 \text{ MeV}$ 程度の励起状態にある原子核 (複合核) の形成に使われると考えられている。反応により生成した複合核は、中性子・陽子・アルファ粒子などの粒子放出やガンマ線脱励起を伴い残留核へと変化する。

現在開発中のミューオン核データは、ミューオンによる核反応に関連する下記の 5 つのサブライブラリから構成される。

- (1) ミューオン原子 X 線のエネルギーと強度
- (2) ミューオン原子の寿命 (ミューオン捕獲確率)
- (3) ミューオン捕獲による核種生成確率
- (4) ミューオン捕獲から放出される粒子の放出確率
- (5) ミューオン捕獲から放出される粒子のエネルギースペクトル

それぞれのサブライブラリに関連する先行研究や、近年の実験手法・理論モデルの開発状況については文献[1]を参照されたい。

本講演では、はじめにミューオン核データの概要を紹介したのちに、特に研究会や学会での議論を通じて進展した最新のミューオン核データ開発状況について報告する。

参考文献

- [1] M. Niikura et al., Proc. Symp. Nucl. Data 2023, arXiv:2403.19965.
- [2] <https://indico2.riken.jp/e/muon2023>
- [3] 核データニュース No. 138, 1-31 (2024), ISSN 0385-4876.