

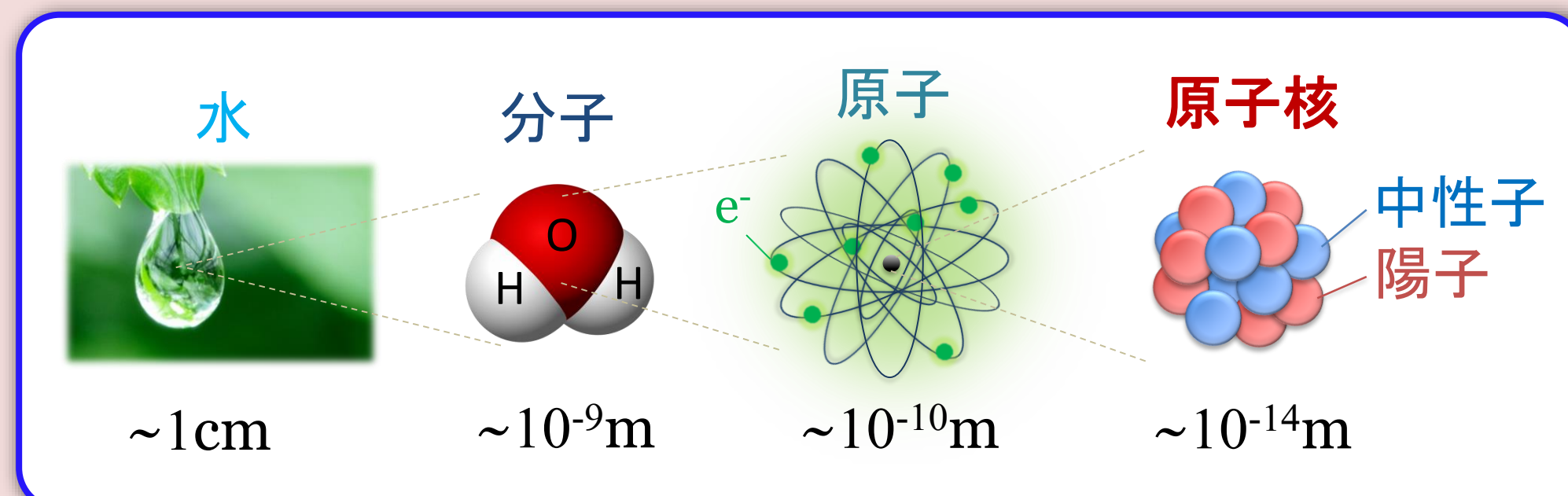
不安定核生成の予言に向けた 時間依存密度汎関数法の拡張とその応用

関澤 一之^A, 吉村健太^A, S. Ayik^B, P. Magierski^{C,D}, G. Wlazłowski^{C,D}

東京工業大学^A, テネシー工科大学^B, ワルシャワ工科大学^C, ワシントン大学^D

我々の興味: 原子核の量子多体ダイナミクス

原子核は核子(陽子・中性子)から成る小さな($\sim 10^{-14}\text{m}$)物体です。原子核は、核力で自己束縛した非相対論的量子多体系と見ることができます。私たちは、時間依存密度汎関数理論(Time-Dependent Density Functional Theory: TDDFT)に基づいた大規模並列計算により、原子核ダイナミクスを理解することを目指し、研究を進めています。

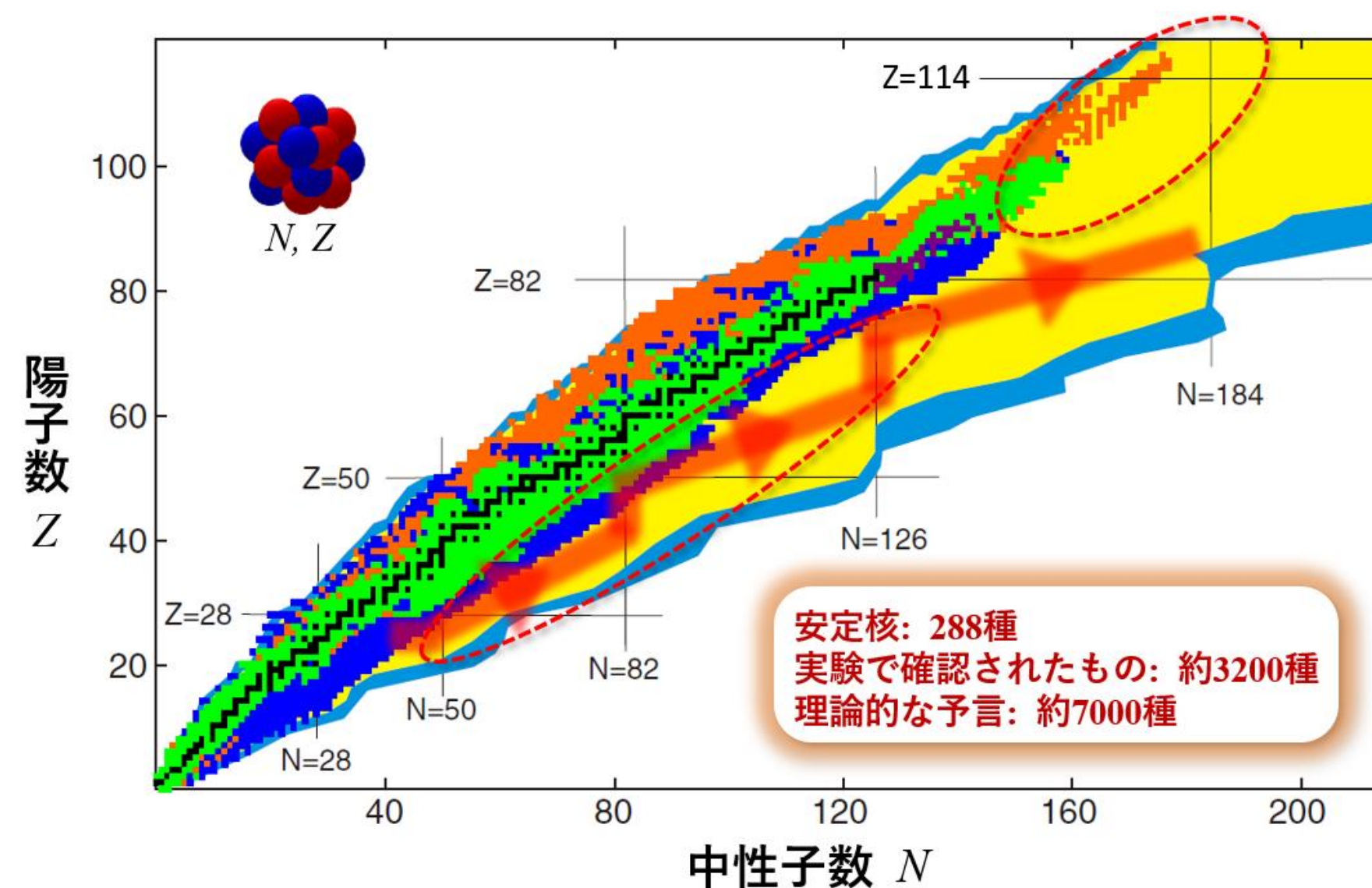


研究の目標: 未知の不安定核を生成する反応を予言すること

これまでに約3300種の不安定な核種が発見されました。一方で、理論的には約7000種以上存在することが示唆されており、それによるとまだ半分以上の核種が未発見のままであるということになります。これらの不安定核の性質を理解することは、我々の宇宙に存在する元素の起源を解き明かす上でも重要であると考えられており、原子核物理の重要課題の一つとして、世界中で研究が精力的に進められています。

不安定核は、加速器を用いて2つの原子核を衝突させること(核反応)により生成することが可能です。しかし、どの原子核を入射核と標的核に選び、どのようなエネルギーで衝突させれば目的の不安定核を生成できるのかということは自明ではなく、理論的な予測が不可欠です。本研究課題では、スーパーコンピュータを駆使し、理論的枠組みの拡張と応用を推し進めることにより、核反応の理解を深化させると共に、信頼できる理論予測を提示することを目指した研究に取り組んでいます。

原子核の一覧表: 核図表



M. Thoennessen, Rep. Prog. Phys. **76**, 056301 (2013)

自然界に存在する最大の原子番号は? (\Leftrightarrow 超重元素合成)
鉄より重い元素の起源は? (\Leftrightarrow r過程, 中性子過剰核の性質)

研究成果①: 多核子移行反応における原子核の変形効果を検証した

$^{16}\text{O}+^{154}\text{Sm}$ 反応では、入射核の ^{16}O は球形であるのに対し、 ^{154}Sm は大きくラグビーボール状に変形していることが知られており、多核子移行反応における原子核の変形の影響を明らかにすることを目指し、理論と実験の双方からこの反応の分析を行いました。結果として、TDDFTに核子蒸発による脱励起の影響を取り入れた枠組みによって、理論と実験データに大まかに整合することが示されました。今回分析を行ったクーロン障壁よりも高いエネルギーの反応については、 ^{154}Sm の変形の影響を実験データから見出すことはできませんでした。しかし、TDDFT計算の結果を詳細に分析すると、核子の移行が好まれる方向が ^{154}Sm の向きに依存する(^{154}Sm に加える方向は短軸方向、 ^{154}Sm から取り去る方向は長軸方向が好まれる)可能性が示唆されました(図1)。入射エネルギーをサブバリア領域に下げることにより、核子移行反応における変形の影響をより詳細に調べることができると考えています。

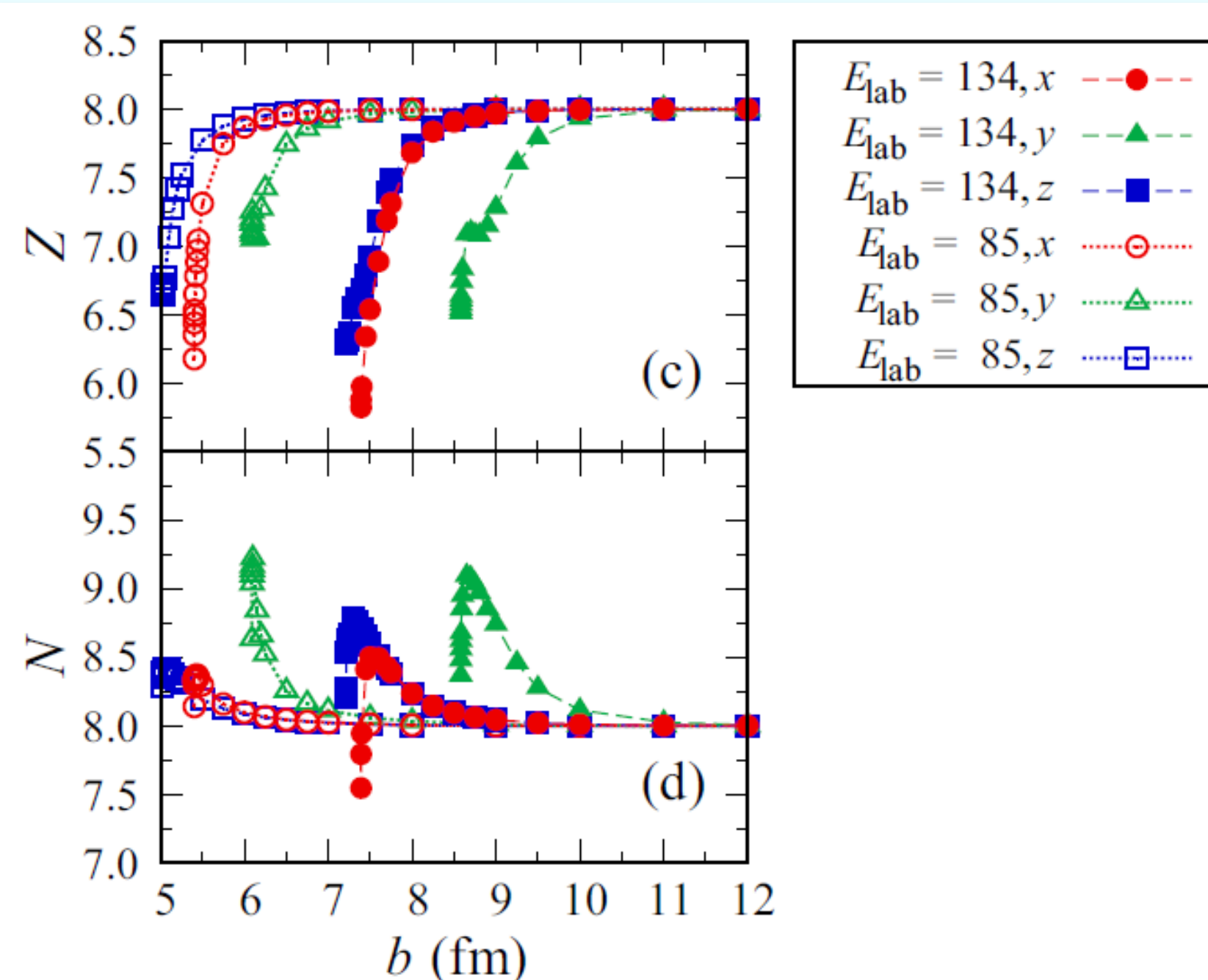


図1. $^{16}\text{O}+^{154}\text{Sm}$ 反応のTDDFT計算によって得られた、平均移行陽子数(Z, 上図)および平均移行中性子数(N, 下図)の衝突径数(b)依存性。変形核 ^{154}Sm の向き[x(赤)・y(緑)・z(青)]に応じて核子移行の振る舞い(舞)が変化する様子がわかる。

不安定核生成の予言に向けた 時間依存密度汎関数法の拡張とその応用

関澤 一之^A, S. Ayik^B, P. Magierski^{C,D}, G. Wlazłowski^{C,D}

東京工業大学^A, テネシー工科大学^B, ワルシャワ工科大学^C, ワシントン大学^D

研究成果②: 多核子移行反応における対相関の重要性を示唆

クーロン障壁近傍の衝突エネルギーで起こる、いわゆる低エネルギー原子核反応では、2つの原子核が接触した際に互いに核子をやり取りする、多核子移行反応が起こります。多くの原子核中の核子の間には、対相関と呼ばれる相関によって核子がクーパー対を組み、陽子は超伝導的な、中性子は超流動的な性質を示すことが知られています。原子核物理学の分野では、長年にわたって、核子の移行反応に核子の対相関の影響が表れると考えられ研究が続けられてきましたが、まだまだ詳細な理解は確立されていません。そこで本研究では、インドの実験グループとの国際共同研究を実施し、 $^{16}\text{O}+^{142}\text{Ce}$ の反応に対し、理論と実験の双方から詳細な分析を行いました。その結果、サブバリア領域における核子の一粒子波動関数のトンネル効果による移行において、核子の対相関が2核子移行反応を増大させている可能性があるということが分かりました[2]([図2](#))。今後、対相関を陽に取り入れた計算コードを開発し、多核子移行反応における対相関効果を明らかにすることを目指します。

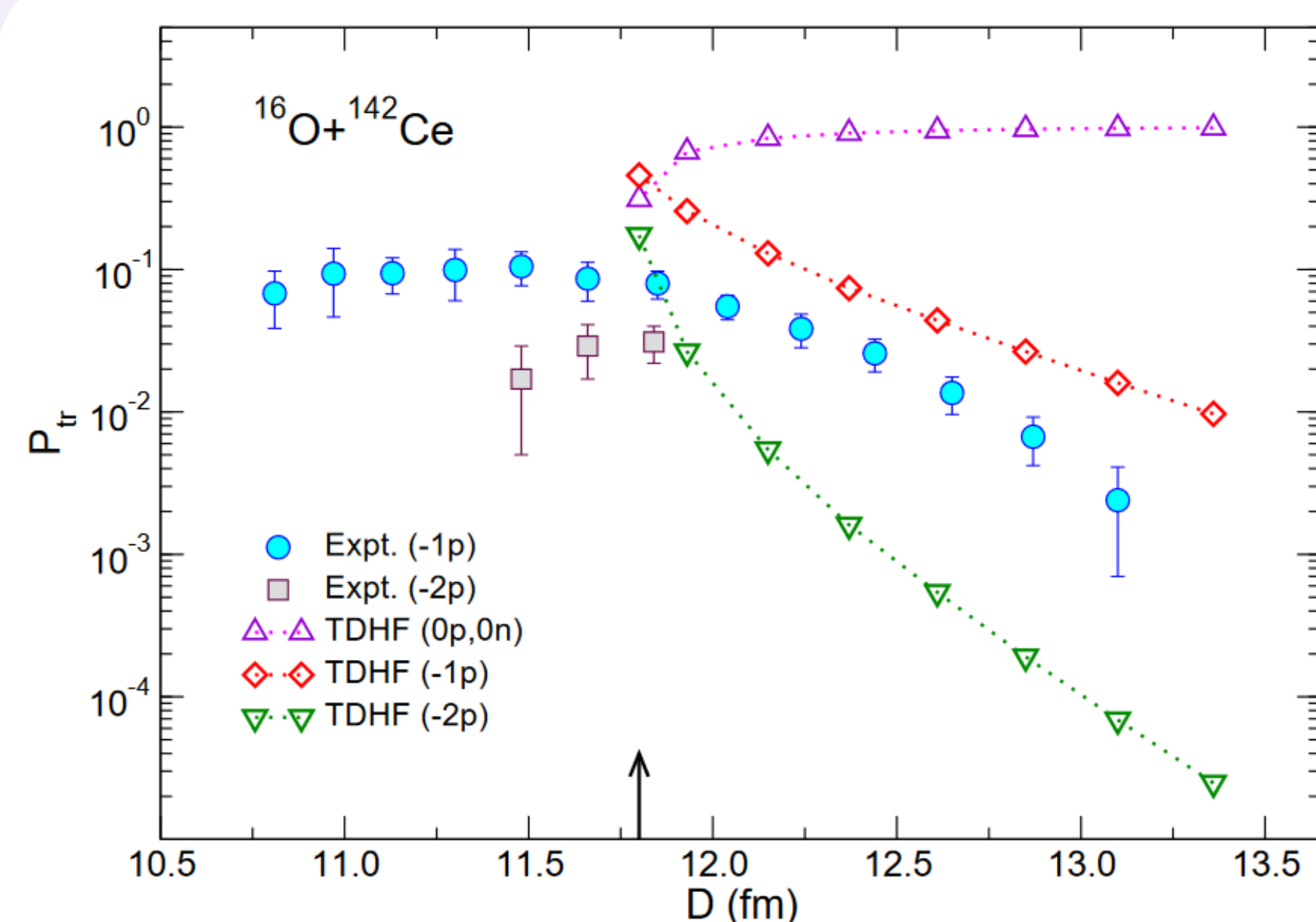


図2. 酸素とセレンの原子核の衝突における核子移行確率. 横軸は最近接距離を表す. ○:-1p(実験), □:-2p(実験), ◇:-1p(理論), ▽:-2p(理論)

[2] R. Biswas *et al.*, and K. Sekizawa, arXiv:2109.03203 (submitted to Physical Review C).