

## 天体での核反応率の微視的計算

# Full-Microscopic Calculation of Nuclear Reaction Rate for Astrophysical Phenomena

谷口 億宇  
香川高等専門学校

### 1. 研究目的

核反応は元素合成や星の進化などの様々な天体現象のエネルギー源である。天体現象における核反応では、特に閾値近傍の共鳴状態の寄与が大きい。したがって、閾値近傍の共鳴状態の性質を明らかにすることは、原子核物理のみならず天体物理にも重要な分野横断的な課題である。

本課題の目的は、X 線スーパーバースト等の爆発的天体現象に重要な影響を及ぼす核反応の数値シミュレーションで明らかにすることである。 $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  核融合反応は特に注目を集めているが、十分な理解に至っていない。 $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  核融合は炭素燃焼過程の主反応であり、重い星の進化や、Ia 型超新星爆発や X 線スーパーバーストなどの爆発的天体現象の鍵である。しかし、その解明は理論的にも実験的にも難しい。天体で重要な低エネルギー核融合を加速器実験で観測することは困難であり、爆発的天体現象に重要なエネルギー領域に到達していない。理論的にも、多体トンネル効果を微視的に扱うことが必要な挑戦的な課題である。

### 2. 研究成果の内容

$^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  核融合反応率を、微視的原子核模型を用いて評価した。 $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ,  $\alpha+^{20}\text{Ne}$ ,  $p+^{23}\text{Na}$  チャネルの結合を、核子間ポテンシャルを用いて微視的に解き、 $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  閾値近傍の共鳴状態の波動関数を計算した。そして、共鳴状態の波動関数を用いて部分崩壊幅から反応断面積を求め、さらに天体現象で重要な温度領域の反応率を導出した。また、基底状態からのアイソスカラー型遷移強度が、非弾性散乱で十分に観測可能な程度の大きさがあることを示した。以上の成果は、国際誌で論文発表するとともに、国内外の会議でも発表した。

### 3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

チャネル結合を微視的に解くには、それぞれのチャネル間の行列要素の計算が必要である。今回のような多チャネルの結合を微視的に解くためには、大きな計算コストが必要である。学際共同利用プログラムによって大規模計算機を利用できたことで、その計算が可能となった。

### 4. 今後の展望

主に 2 つの進展が期待される。1 つは、導出した反応率が、様々な天体現象のシミュレーションに利用されることである。特に今回評価した  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  は X 線スーパーバースト、

Ia 型超新星、重い星の進化など、多くの天体現象の鍵になっている。今後は、宇宙物理への波及効果も見込まれる。2 つ目は、系統的な反応率の研究につながることである。今回の枠組みは核子の自由度を直接扱うため、原理的にはあらゆる系に適用可能である。天体では様々な核反応が起きており、それらを理解するためには、系統的な反応率の評価が必要である。

## 5. 成果発表

### (1) 学術論文

- ① Yasutaka Taniguchi, Masaaki Kimura, “*Impact of the molecular resonances on the  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$  fusion reaction rate*”, Physics Letters B **849**, 138434 (2024).

### (2) 学会発表

- ① Y. Taniguchi, “12C+12C fusion reaction rate from a microscopic nuclear model”, Nuclear Astrophysics with Stable Beams (NAPS2024), Tokai, Japan, February 20–22, 2024.
- ② Y. Taniguchi, “Microscopic Estimation of Nuclear Reaction Rate in Astrophysical Phenomena”, 6th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, Hawaii, USA, November 26–December 1, 2023.
- ③ Y. Taniguchi, M. Kimura, “Real-time evolution of Gaussian wave packets: its application to the nuclear cluster problems”, 6th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan, Hawaii, USA, November 26–December 1, 2023.
- ④ Y. Taniguchi, “12C+12C fusion reaction rate at low temperatures from a microscopic nuclear model”, International Conference on Heavy-Ion Collisions at near-barrier energies (FUSION23), Shizuoka, Japan, November 19–24, 2023.
- ⑤ Y. Taniguchi, “12C+12C molecular resonances to enhance 12C+12C fusion reaction”, The 7th International Conference on Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX7), Catania, Italy, Jun 11–16, 2023.
- ⑥ Y. Taniguchi, “12C+12C fusion reaction rate from a microscopic nuclear model”, International Symposium on Physics of Unstable Nuclei 2023 (ISPUN23), Phu Quoc, Vietnam, May 4–8, 2023.
- ⑦ 谷口億宇, “エネルギー変分における拡張 SU(3)モデルの粒子空孔配位を制御する拘束条件”, 日本物理学会春季大会, オンライン, 2024 年 3 月 18-21 日
- ⑧ 木村真明, “RIBF での核理論研究”, 九州大学 理論核物理研究会「現代核物理

の広がりと展望」, 九州大学, 2023 年 7 月 19-21 日

- ⑨ M. Kimura, “Cluster formation around the neutron drip-line”, Direct reactions and spectroscopy with hydrogen targets: past 10 years at the RIBF and future prospects, York(UK), 2023 年 7 月 31 日-8 月 4 日
- ⑩ M. Kimura, “Generating nuclear reaction data by machine learning 15th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences”, 筑波大学, 2023 年 10 月 2-3 日
- ⑪ M. Kimura, “Shape of nuclei and knockout reactions”, Reimei Workshop “Intersection of Nuclear Structure and Direct Reaction”, 東海村, 2024 年 2 月 28 日-3 月 1 日

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01	○	50,000		
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				