

プロジェクト名(タイトル): 超高エネルギー宇宙線原子核の伝播シミュレーション

利用者氏名: 木戸 英治

理研における所属研究室名: 開拓研究本部 長瀧天体ビッグバン研究室

1. 本プロジェクトの研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

研究の背景: 近年テレスコープアレイ実験やピエールオージェ実験による超高エネルギー宇宙線の観測によって、エネルギースペクトル、到来方向や原子核組成などが、これまでより高い精度で測定されている。超高エネルギー宇宙線の起源は未だ明らかではないが、宇宙線源を仮定した上で宇宙線原子核の伝播シミュレーションを行うことで、観測結果を再現できるような宇宙線源について議論されている。特にエネルギーの高い宇宙線原子核は、宇宙マイクロ波背景放射と宇宙線原子核の光崩壊反応によって最も大きくエネルギーを失うため、この反応を正確に計算することが伝播シミュレーションにおいて重要である。

目的: 本研究の目的は、スーパーコンピューターを使って、光崩壊を含む原子核の光核反応モデルの不定性が宇宙線原子核の伝播シミュレーションに与える影響について明らかにすることである。スーパーコンピューターを使うことで、大量の宇宙線原子核の伝播計算を短時間で行うことができる。

関係するプロジェクトとの関係: 本研究は、Photo-Absorption of Nuclei and Decay Observation for Reactions in Astrophysics (PANDORA) プロジェクトと関係している。PANDORA プロジェクトでは、原子核の光反応を、3つの加速器の施設と2つの新しい測定手法を用いて正確に測定する計画である。利用者の木戸はこのプロジェクトに参加して、光核反応の宇宙線伝播シミュレーションへの影響について調べている。また、同じく PANDORA プロジェクトに参加している原子核理論の専門家である東工大の稲倉研究員から、密度汎関数法による 29 種類の安定核の計算結果の提供を受けて、原子核理論モデル間の違いが宇宙線原子核の観測量に与える影響について評価している。

2. 具体的な利用内容、計算方法

宇宙線の伝播計算コードである CRPropa を用いて、特に 10^{18} eV 以上のエネルギーを持つ 5 種類の超高エネルギー宇宙線原子核 (^1H , ^4He , ^{14}N , ^{28}Si , ^{56}Fe) について、宇宙線源が一様に分布すると仮定した上で、銀河間空間を伝播するシミュレーションを行った。その結果、観測量であるエ

ネルギースペクトルと原子核組成を得た。CRPropa には、広く用いられている原子核反応の計算コードである TALYS の計算結果が組み込まれている。次に、TALYS とは別の計算方法である、密度汎関数法を使った 29 種類の安定核の原子核反応の計算結果を CRPropa に組み込んで、同じように伝播シミュレーションを行った。昨年の計算の結果、原子核反応がエネルギースペクトルの形状に与える影響が特に大きく、実験の統計誤差よりも大きいことが分かった。今年は個々の原子核の影響について追加で計算し、最もスペクトルに大きな影響を与える原子核について調べた。

3. 結果

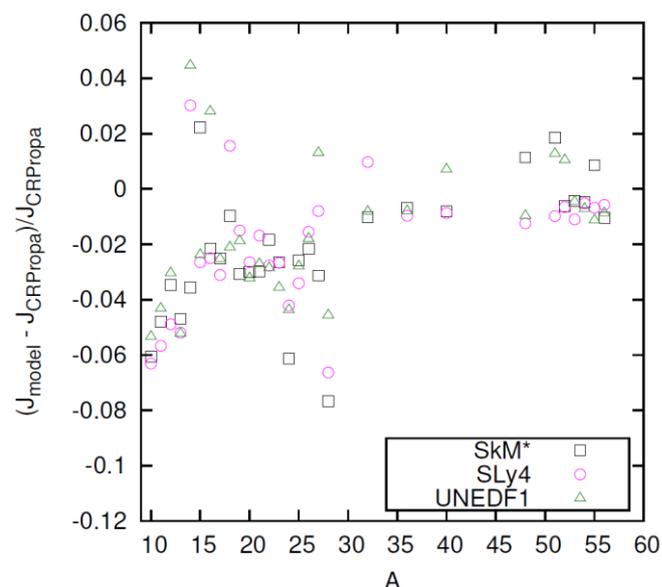


図 1: TALYS(図の J_{CRPropa})と密度汎関数法を使ってシミュレーションしたエネルギースペクトル J の違いの最大値を原子核毎に示した図。光核反応以外は同じ条件でシミュレーションした。黒、緑、ピンクの点は、密度汎関数法の異なるモデルである。

2.の方法で得られたエネルギースペクトルへの影響の大きさを図 1 に示した。この条件では、 ^{28}Si による不定性が最も大きいことが分かった。昨年の計算結果を含めて結果を論文にまとめて、Astroparticle Physics 誌に投稿している。

4. 今後の計画・展望

密度汎関数法以外にも、厳密計算や殻模型、AMD 計算などの原子核理論モデルについても調べ、原子核理論モデル間の違いが宇宙線の伝播シミュレーションに与える影響について評価する計画である。

2022年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

木戸英治, 宇都野穰, 木村真明, 小林信之, 清水則孝, 民井淳, 長瀧重博, 「光核反応理論モデルの不定性が超高エネルギー宇宙線原子核伝播シミュレーションに与える影響」, 日本物理学会, 岡山理科大学, 2022年9月

【その他(著書、プレスリリースなど)】

E. Kido et al., “Evaluations of uncertainties in simulations of propagation of ultrahigh-energy cosmic-ray nuclei derived from microscopic nuclear models” (Submitted to Astroparticle Physics), arXiv:2206.03447 (2022).