

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: 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、原子核の光崩壊反応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、原子核の光崩壊反応の宇宙線の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、原子核理論モデルによる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

まず、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。

3. 結果

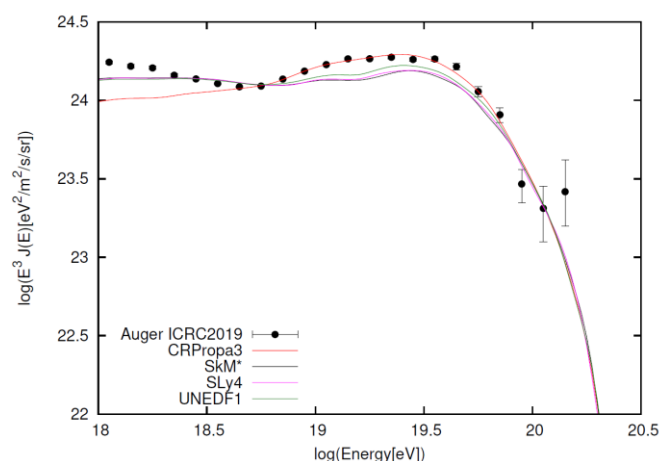


図 1: シミュレーションしたエネルギースペクトルとピエールオージェ実験による観測結果を比較した図。黒のデータ点は観測結果、赤の実線は CRPropa を用いてシミュレートしたエネルギースペクトルを表している。黒、緑、ピンクの実線は、CRPropa の原子核反応モデルを RPA 計算の異なるモデルによる計算結果に変更し、他は同じ条件で計算した結果である。

2.の方法で得られたエネルギースペクトルの計算結果を図1に示した。

4. まとめ

異なる原子核反応の理論モデルを使って、5種類の宇宙線原子核の伝播シミュレーションを行い、観測量であるエネルギースペクトルと原子核組成を計算した。その結果、エネルギースペクトルの形状に与える影響が特に大きいことが分かった。

5. 今後の計画・展望

今後は、密度汎関数法以外にも、PANDORA プロジェクトの原子核理論研究者が行っている厳密計算や殻模型、AMD 計算などの原子核理論モデルについても計算し、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。

2021 年度 利用研究成果リスト

【会議の予稿集】

E. Kido on behalf of the Telescope Array Collaboration, “The impact of photonuclear reaction models on propagation of ultrahigh energy cosmic rays”, ICRC2021, PoS(ICRC2021)436, 2021.

【口頭発表】

1. 木戸英治、“Simulations of propagation of ultra-high energy cosmic ray nuclei using photo-nuclear reaction models”、r-EMU workshop 2021、2021 年 10 月、オンライン開催
2. E. Kido, T. Inakura, M. Kimura, S. Nagataki, N. Shimizu and A. Tamii, “Simulations of propagation of UHECR nuclei using photonuclear reaction models”, 2nd PANDORA workshop, Sep. 9-10, 2021, Online.
3. 木戸英治、宇都野穰、木村真明、清水則孝、民井淳、長瀧重博、“光核反応の超高エネルギー宇宙線伝播への影響 II”、日本物理学会、2021 年 9 月、オンライン開催

【ポスター発表】

E. Kido on behalf of the Telescope Array Collaboration, “The impact of photonuclear reaction models on propagation of ultrahigh energy cosmic rays”, ICRC2021, Jul. 2021, Online.