

課題名(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. 本課題の研究の背景、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、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、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7種類の超高エネルギー宇宙線原子核(^1H , ^4He , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{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 で使われている Hauser-Feshbach 統計理論などを用いた方法とは別の計算方法である、密度汎関数法を使った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

原子核理論モデルの間の、光崩壊反応の際の巨大双極子共鳴のピークエネルギーの違いが、エネルギースペクトルの形状に与える影響が特に大きいことが分かった。計算した7種類の原子核の中では ^{16}O が最も大きかった。結果の詳細は日本物理学会の秋季大会で発表した。

4. まとめ

異なる原子核反応の理論モデルを使って、7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。光崩壊反応の際の巨大双極子共鳴のピークエネルギーの違いが、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。

2020年度 利用報告書

2020年度 利用研究成果リスト

【口頭発表】

木戸英治、超高エネルギー宇宙線の伝搬と光核反応、日本物理学会秋季大会、2020年9月、オンライン開催