

研究概要

「中性子星合体からの初期キロノバ放射の研究」

理学研究科 天文学専攻 Smaranika BANERJEE

宇宙における重元素の起源は宇宙物理学における長年の未解決問題である。現在、起源天体として最も有力視されているのが中性子星の合体現象である。中性子星合体から放出された中性子過剰な物質中では、速い中性子捕獲反応が起き、新しく合成された重元素の放射性崩壊によって紫外線・可視光・赤外線領域で「キロノバ」と呼ばれる電磁波放射が起きると考えられてきた。実際に、2017年には中性子星合体 GW170817 で重力波と電磁波の「マルチメッセンジャー」観測が実現し、キロノバが観測されたことから、中性子星合体で確かに重元素が合成された証拠が得られている。

しかし、キロノバの観測データから元素合成の情報を引き出すことは容易ではない。キロノバの性質は重元素の束縛遷移の性質に依るため、キロノバの観測量から情報を引き出すためには重元素の原子物理学的特徴の理解が必要不可欠となる。しかし、中性子星が合体してから1日以内の初期放射を計算するために必要な高階電離イオンの重元素の原子データは全く存在しておらず、キロノバの性質は全く理解されていなかった。

そこで本研究は、原子物理学と宇宙物理学を融合した学際的アプローチによって、中性子星合体後1日以内の初期放射の理解に取り組んだ。まず、原子番号20-88の重元素に対して10階電離イオンまでの原子構造計算を行い、エネルギー準位と遷移確率の網羅的な原子データを世界で初めて構築した。この結果をもとに合体後0.1日程度の放出物質における吸収係数を評価したところ、ランタノイド元素が存在しない場合は吸収係数が $0.5 - 1.0 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 程度であるのに対して [1]、ランタノイド元素が存在する場合には吸収係数が $5000 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ にも達することが明らかとなった [2]。

さらに、新しく構築した原子データを用いてキロノバ放射の輻射輸送シミュレーションを行ったところ、放出物質の質量が0.05太陽質量の場合、ランタノイド元素を含まない場合は合体後0.1日の光度が $2 \times 10^{42} \text{ erg s}^{-1}$ 程度となることが明らかとなった。これは、GW170817で観測された光度を再現するものである [1]。一方で、放出物質にランタノイド元素が含まれる場合は、高階電離ランタノイドの高い吸収係数によって4倍程度光度が下がることが分かった [2]。

本研究の結果は、今後の中性子星合体のマルチメッセンジャー観測から元素合成の情報を引き出すための基礎をなすものであり、宇宙の重元素の起源の理解に大きく貢献するものである。

参考文献

[1] Banerjee et al. 2020, The Astrophysical Journal, 901, 29

[2] Banerjee et al. 2022, The Astrophysical Journal, 943, 117