

宇宙創成物理学概論 第8回 レポート

C3SM2016 木村佑斗

2023年7月12日

1 重力波検出

2017年、連星中性子星からの重力波が初めて検出された。2015年以降、連星ブラックホールからの重力波はいくつも検出されてきた。連星ブラックホールの重力波が検出される時間は1秒程度なのに対し、連星中性子星からのそれは100秒を超えた。これは中性子星がブラックホールよりも軽いことを反映している。重力波を検出できるようになったことで、連星中性子星や連星ブラックホールの存在を知れることになったのである。そのような天体現象を観測するのは電磁波を捉えれば良いじゃないかと、にわかには思ってしまうが、重力波の性質として強い透過性がある。つまり重力波はその波源の内部の情報をより直接的に持ってきてくれる。より正確には、重力波は波なので振動モードで特徴づけられる。話を中性子星に限ると、このモードは星の内部物質の状態と密接に関連するため、解析によって内部の情報を読み取れる可能性がある [1].

2 重元素合成過程

この宇宙にはさまざまな元素が存在する。宇宙が誕生した直後は超高温でクォーク・グルーオン・プラズマ状態だった。すなわち原子核など存在しなかった。宇宙が膨張していくとともに温度が下がり、クォークの自由度は消えてハドロンというカラーが白色の状態だけが残った。その後、恒星の内部では核融合が進み、陽子(水素原子核)は主にヘリウム原子核になった。しかし、現宇宙にはもっと重い元素がたくさん存在している。もっとも安定な原子核は鉄である。つまり、鉄までは宇宙の進化の過程でできることに不思議はない。問題は鉄よりも重たい元素はどうやって合成されたのかである。もっとも有名なのは超新星爆発とともにできたという説である。超新星爆発時にできる莫大なエネルギーを使ってクーロン障壁を超えて重い元素が合成される。しかし、宇宙は超新星爆発以外にも興味深い天体現象が存在する。それが連星中性子星合体である。これは文字通り2つの中性子が互いの重力によって近づき、合体してしまう現象である。この時に起きると考えられているのが r 過程元素合成である。この過程はいわゆる B^2FH 論文で提唱された。 r 過程元素合成は簡単に言えば、中性子ドリップラインに沿うような流れで原子核に中性子を捕獲していき、最終的に β 崩壊で安定な原子核に変化するというものである [2]。これは必然的に豊富な中性子が必要になる。さらに宇宙に放出されなければならない。そこで連星中性子星合体が考えられたのである。

3 キロノヴァ

r 過程合成の根拠をよく示してくれるのは実は連星中性子星合体の時に放たれる重力波ではなく、少し遅れてくるキロノヴァという現象である。これは突発的な増光現象である。なぜこの突発増光が r 過程合成の証拠になるのかを説明する。この過程の途中で作られるのは中性子ドリップライン付近の不安定核である。不安定核はじきに崩壊し、その際に放つ崩壊熱が外部に拡散して増光が観測される。このキロノヴァからは各々の合体で合成される r 過程元素の量が推定できるので、この重元素が連星中性子星合体に帰せられるのか、それとも超新星爆発やあるいはブラックホール-中性子星の連星合体が必要なのかを明らかにできる可能性がある。

参考文献

- [1] 連星中性子星合体からの重力波及びニュートリノ放射 木内建太 関口雄一郎 <https://www.jps.or.jp/information/docs/67-08researches.pdf>
- [2] 物理科学雑誌 パリティ 2018 12 MARUZEN