

ハイパー核と中性子星

1 ハイパー核について

1.1 中性子とは

原子は原子核とその周囲に分布する電子から構成されます。原子核は 10^{-15} m 程度の大きさで、原子の大きさ (10^{-10} m 程度) と比べずっと小さいのですが、原子の質量の大部分を占めます。この原子核をさらに細かく分割すると、正の電荷を持つ陽子と電気的に中性な中性子が出てきます。

1.2 クォークとは

陽子や中性子 (などのハドロン) を構成する粒子をクォークと言います。クォークは全部で 6 種類 (2 種 \times 3 世代) あり (図 1 紫)、それぞれ質量や電荷が異なります。また、3つのクォークから構成される粒子をバリオンと言います。陽子や中性子もこれに含まれます。



図 1: 素粒子の標準模型 (Wikipedia "標準模型" より)

1.3 ハイパー核とは

通常の原子核を構成する陽子と中性子は、第 1 世代の素粒子のみから構成されています。これに対し、第 2 世代の素粒子である s クォークを含む (か

つそれより重いクォークを含まない) バリオンをハイペロンと言います。核子とハイペロンの総質量は共に 10^3 MeV/c² 程度であるため、原子核中の核子のうちの 1 つをハイペロンに置き換えた"特殊な原子核"を作ることができます。この原子核をハイパー核と言います。

2 ハイパー核と中性子星

2.1 中性子星とは

中性子星とは、質量が太陽程度、半径が 10 km 程度の、中性子を主成分とする天体です。質量が太陽の 10 倍程度*1の恒星が超新星爆発を起こした後に残る天体で、原子核と同程度~数倍の密度を持ちます。

2.2 中性子星の内部

中性子星は表面から内部にかけて、プラズマ層の大気、原子核と電子からなる外殻、中性子過剰核*2が現れる内殻、中性子が超流動状態*3をとると考えられている外核、そしてハイペロンが現れると考えられている内核から構成されています。

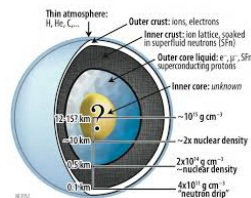


図 2: 中性子星の内部構造 (https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/nicer/nicer_about.html より)

ハイペロンは通常の原子核中では数百ピコ秒程度の寿命で崩壊してしましますが、中性子星内部ではこれよりずっと寿命が長く安定して存在できる*4と考えられています。

2.3 中性子星の謎

ここまで中性子星の内部構造について説明してきましたが、実は未解明な点も多くあります。例えば、中性子星外核における中性子の超流動について、そのメカニズムは理論的には詳しく解明されていません*5。また、内核の構造については実験や観測による証拠が無く、単純なモデルでは説明できない質量を持つ中性子星も観測されています*6。これらの謎を解明するためにも、ハイパー核の性質について調べることが重要であると考えられています。

参考文献

[1] et al. P B Demorest. A two-solar-mass neutron star measured using Shapiro delay. *Nature*, 467:1081–1083, 2010.

[2] et al. P. Haensel. *Neutron Stars 1*, volume 1. Springer, 2010.

[3] 飯田圭・鷹野正利・田島裕之. 中性子星は三体力が際立った「巨大な原子核」か. *科学*, 92(10):931–936, 2022.

*1 8-20 倍程度と考えられているが、特に上限については正確には解明されていない。30 倍以上だとブラックホールが生成されると考えられている。
 *2 中性子の割合が多く不安定な原子核。通常の原子核は陽子と中性子の割合が 1:1~1:1.5 程度。
 *3 中性子がクーパー対を形成し、超流動状態の液体として存在する。
 *4 内核に閉じ込められた中性子が不確定性原理により大きな運動エネルギーを持つため。
 *5 極低温下における液体ヘリウムのものとは異なると考えられている。
 *6 π 中間子・K 中間子やバラバラになったクォークの状態 (あるいはストレンジレット) が現れるとするモデルなど。