

強磁場における高密度物質の状態方程式と中性子星

Equation of state for high-density matter in strong magnetic fields and Neutron Stars

遠藤 友樹 (ENDO Tomoki)

2017年の中性子星合体からの重力波（Gravitational Wave）が初めて観測され（GW170817）、中性子星という言葉が俄かに注目を集めたが、中性子星については多数の観測がされつつも、実態については不明なことが極めて多い。中性子星は物質の極限状態が体现された対象として、物理学的に非常に興味を持たれている。特徴を簡易的に挙げてみても、超高密度、強重力、強磁場、高速回転などと、とめどなく容易に出てくる。観測によって物質の極限状態に迫る方法もある一方で、理論的には、なぜこのような物質が自然界に存在しているのかを、物理学の基本方程式に則って説明する必要がある。その1つが状態方程式（Equation of State）である。状態方程式というのは、一般的には化学における理想気体が良く知られている。この体積の時にはこの圧力となる、といったことを教えてくれる便利な方程式である。状態方程式というのは様々な物質について表現できるはずであり、当然のことながら、中性子星も現実に存在する物質から構成されており、状態方程式が「書ける」はずである。

しかし、研究者らの長年の努力にもかかわらず、中性子星に対する状態方程式は未だ確立されていない。それというのも、上述した様に、中性子星は実に多様な物理を包含しており、あまつさえ、それらの極限状態が複雑に絡みあっているからである。例えば、通常の原子からなる状態は星の表面程度にしかなく、星の内部にいくにしたがって、密度が高まり、原子ではいられず、原子核を構成する陽子や中性子だらけの物質となっていく。そしてさらに星の中心部にいくに従い、極めて強い重力により物質が凝縮され、高密度で出現するハイペロン物質や、さらに陽子や中性子を構成するクォーク物質に相転移していると考えられている。また、陽子や中性子が多数集まった世界は、電磁気力のおよそ100倍もの強さをもつ、「強い相互作用」が支配する世界であり、この強い相互作用もまた、理論的に厳密には理解が進んでいない。そしてこれらが強磁場中に存在し、かつ高速回転して…となると、状態方程式の構築がいかに困難であるかが想定される。

本研究では、様々な物理的特徴の中で強磁場について特に着目している。星の強磁場は観測により、一般的に 10^{12} G程度（表面）と分かっているが、更に3桁も強いマグネター（超強磁場中性子星）も多数観測されている（表面磁場が 10^{15} G程度）。星の中心部では磁場はより強力となるので、マグネターの中心部だと、クォーク物質を支配する強い相互作用のエネルギースケールに影響を及ぼす強さをもつことが想定されている。物質が強磁場中に存在する場合、エネルギーがレベル毎（ランダウレベル）に離散化されることに着目し、星の中心部にクォーク物質が存在する環境下で状態方程式の構築を数値的に導出する試みを行っている。クォーク物質が存在する領域でのエネルギーとラン

ダウレベルの取り扱いが極めて複雑であり、本研究では、これらを丁寧に考慮した状態方程式を構築し、数値的に導出したうえで、相対論的星を導出する基本式である TOV (Tolman-Oppenheimer-Volkoff) 方程式に適用し、観測との整合性を確認しつつ、状態方程式をさらに改良している。