

別紙 4

| | |
|------|---------|
| 報告番号 | ※ 甲 第 号 |
|------|---------|

主 論 文 の 要 旨

論文題目 A study of nuclear matter with
a parity doublet model

(パリティ 2 重項模型を用いた核物質の研究)

氏 名 本廣 優一

論 文 内 容 の 要 旨

核物質の研究は原子核物理の発展に影響をもたらしてきた。核物質は純粋に核力のみで結合した原子核の理想的な模型で、実際の原子核を理解するために用いられてきた。実際の世界では、中性子星の内部が高密度の非対称核物質になっていると予想されており、星の質量や半径の計算に非対称核物質の状態方程式が使われてきた。しかしながら近年、2 倍の太陽質量を持つ中性子星が精度良く観測され、今までの状態方程式に対する理解では説明がつけられないことがわかった。これは核物質の状態方程式を見直す必要があることを示唆している。一方で、非対称核等を用いた加速器実験も進歩しており、あらたな実験が実施および計画されている。地上で高密度・非対称核物質の検証を行うことが出来つつある。

本論文では、パリティ 2 重項模型と呼ばれる有効模型を用いて非対称核物質の状態方程式を構築した。パリティ 2 重項模型では正・負パリティのバリオン 2 重項を仮定するが、本研究では核子 $N(939)$ と $N(1535)$ が 2 重項を成していると仮定した。模型構築の際、スカラー場に関してはよく知られている線形シグマ模型に 6 点相互作用を加えたものを用い、ベクトル中間子場(オメガ・ロー中間子)は隠れた局所対称性を用いて導入した。状態方程式は中間子場に対して一様な平均場近似を施して計算した。模型のパラメータは、核物質においてよく知られている飽和密度、束縛エネルギー、非圧縮率、対称エネルギーを再現するように決定した。そして、パリティ 2 重項模型に特有なパラメータであるカイラル不変質量を一定の範囲で変化させても、上記 4 個の実験値を再現可能な状態方程式を構築できることが分かった。

次に構築した模型を用いて温度・バリオン化学ポテンシャル(密度)を軸に取った非対称核物質の相図を描き、カイラル不変質量や非対称度の変化に応じて相構造がどの様に変化するかを調べた。その結果、ゼロ温度でバリオン密度を高くするにつれ、気液相転移・カイラル相転移の順に 1 次相転移を起こすことがわかった。温度をある値よりも高くするにつれ、2 つの相転移の次数は 2 次・クロスオーバーと変わり、ある温度以上ではこれら 2 つを区別することが困難になることが分かった。対称核

物質では、どのようなカイラル不変質量を選んでもゼロ温度かつ飽和密度で一次の気液相転移を起こすことがわかった。一方でカイラル相転移に関しては、カイラル不変質量を軽くするほど比較的 low 密度で相転移を起こすことが分かった。また、軽いカイラル不変質量では、比較的高い温度でも 1 次のカイラル相転移を起こすことがわかった。次に非対称度を高くした場合、ゼロ温度での気液相転移の次数は 2 次に変化するが、カイラル相転移の転移次数や温度にはあまり影響を与えないことが分かった。加えて、非対称核物質における重要な量の 1 つであるスロープパラメータの値を各カイラル不変質量に対して計算した。その結果、スロープパラメータはカイラル不変質量にあまり依存せず、実験結果とも矛盾がないことが分かった。

以上に加え、上記の方法で構築したモデルを用いて有限サイズの核物質についての解析も行った。トーマス・フェルミ近似のもとで球対称かつ核子数 40 の有限サイズ核物質を作り、各カイラル不変質量に対して 1 粒子スピン軌道ポテンシャルの強さを求め、実験値と比較した。上記の方法で決定したパラメータでは実験値を再現できないことが分かったが、スピン・軌道ポテンシャルがカイラル不変質量に依存していることを明らかにした。そこで、実験結果に不定性が多い非圧縮率を変化させ、カイラル不変質量とスピン・軌道ポテンシャルの大きさの関係を計算した。その結果、軽いカイラル不変質量かつ高い非圧縮率の場合にスピン・軌道力が大きくなり、実験値に近づくことがわかった。