

氏 名	木 口 勝 義
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 491 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学 位 論 文 題 目	The Finite Temperature Nucleon Matter. I — The Case of Neutron Gas — (有限温度核物質 I —— 中性子気体の場合 ——)

(主査)
 論文調査委員 教 授 林 忠四郎 教 授 長谷川博一 教 授 玉 垣 良 三

論 文 内 容 の 要 旨

現在の恒星進化の理論では、大質量の星は進化の最終段階で超新星爆発を起こし、中心に中性子星を残すものと考えられている。超新星の中心の高密度物質は極めて高温の状態を経て低温の中性子星になるので、超新星爆発と中性子星形成の機構を明らかにするためには、超高温の核物質の状態を知ることが必要となる。なかでも、縮退エネルギーと同程度の熱エネルギーを持つ核子ガスの状態方程式を知ることが重要である。しかし、核物質に関する従来の研究は熱エネルギーを無視した温度零の場合に限られていて、温度の効果が問題とされることは無かったのである。

主論文は、超新星爆発時に中心領域で実現される温度 ($kT = 1 \sim 50 \text{ MeV}$)、密度 ($1 \times 10^{12} \sim 3 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$) の範囲について、純粋な中性子からなる気体の圧力が温度と密度にどのように依存するかを詳細に調べたものである。上記の密度領域においては、核力エネルギーの寄与を十分正確に知るために、核子が核力相互作用を通じて周りの媒質を偏極させる効果を考慮しなければならない。実際、この偏極効果は温度零の核物質に関する従来の研究において重視されてきたものである。申請者は、調べるべき温度領域を上記の偏極効果を考慮すべき低温領域、古典ヴィリアル理論が適用できる高温領域、および中間領域の三つにわけて計算している。いずれの場合も、温度と化学ポテンシャルを独立変数として分配関数と圧力を計算し、ついで微分によって密度を求めるという方法をとっている。

申請者は低温領域の計算を次のように遂行している。まず、核子の二体相関を記述する波動関数を求めるために Bethe-Goldstone 方程式を有限温度の場合に拡張する。温度零の場合との差異は、方程式の二体相互作用部分において、パウリ禁制原理の効果の温度依存性（フェルミ面の崩れ）と媒質の偏極効果の温度依存性の二つが考慮されている点にある。とくに後者については、与えられた温度と化学ポテンシャルに対する核子の一体ポテンシャルを核物質理論の通常の方法によって導入し、運動エネルギーと一体ポテンシャルを合わせてハミルトニアン of 非相互作用部分としている。この一体ポテンシャルの導入法は有限温度であっても縮退が強い場合は良い近似になっている。また、三体より高次のクラス

ターの寄与は赤石ら(1968)の方法を用いて打ち切っている。

申請者は、以上のように拡張した Bethe-Goldstone 方程式を数値的に解いて二体波動関数を求め、統計力学の手法に従って分配関数と圧力を計算している。その結果として、 10^{12}g/cm^3 程度の低密度では核力ポテンシャルの引力の裾野が主として効いているが、 10^{14}g/cm^3 程度の高密度では斥力コアの影響が顕著に現われていることを見出している。

他方、高温領域では、核子の縮退の効果は無視できるので、古典的ヴィリアル展開による計算が有効である。従って申請者は、圧力に対する核力の寄与としては、第二ヴィリアル係数の相互作用部分を計算している。

中間の温度領域の計算においては、媒質の偏極効果の影響は比較的に小さいので申請者はこれを無視し、Bethe-Goldstone 方程式の二体相互作用部分についてはパウリ原理の効果だけを考慮している。計算の結果から申請者は、パウリ原理によって波動関数は大きい影響を受けないが、核力ポテンシャルの遮蔽を通じて二体相互作用部分のエネルギーがかなり減少することを見出している。

以上の温度の三領域についての数値計算の結果として、申請者は圧力 P の温度 T 、密度 n に対する依存性は、近似的に

$$P(n, T) = p(n, T=0) + P_f(n, T) - P_f(n, T=0)$$

と表わされることを見出している。ここに P_f は理想フェルミ気体の圧力を示す。この結果を申請者は次のように説明している。高温領域では圧力に最も大きく寄与するのは熱エネルギーである。中間領域ではパウリ原理のために、圧力に対する核力相互作用の影響は温度に敏感でなくなっている。また、低温領域では、偏極効果をあらかじめフェルミ運動量に繰り込んでおくと、相互作用の影響は温度によるフェルミ面の崩れの影響に比べて小さいのである。

参考論文 1 および 2 は、収縮している星間ガス雲中での分子の形成過程を理論的に計算して、観測との比較を試みたものである。参考論文 3 は、パイオン凝縮相を持つ高密度中性子星のニュートリノ放出による冷却率を計算したものである。通常相にある中性子星物質のニュートリノ放出反応に比べて、凝縮相ではパイオンが秩序状態にあるために放出反応率は温度 10^9K で約 10^7 倍も大きいことを見出している。

論文審査の結果の要旨

比較的大質量の星は、進化の最終段階で超新星爆発を起こし、その中心には高温、高密度の中性子星が形成されるものと考えられている。形成初期の中性子星はかなり高温であるので、その形成の力学過程を明らかにするためには、これまで多くの人によって研究されてきた温度零の核物質ではなしに、高温、の核物質の状態方程式を知る必要がある。

主論文は、このような高温、高密度の中性子物質の圧力が温度と密度にどのように依存するか、とくに中性子間に働く核力が圧力にどのように影響するかを明らかにするために、温度の範囲を低温、高温、中間の三つの領域に分け、それぞれの領域に適した多体問題的取り扱いを工夫することによって、広い温度範囲にわたる状態方程式を求めることに成功したものである。

まず、中性子が強く縮退している低温領域については、従来の温度零の核物質理論を有限温度の場合に新しく拡張することによって圧力を詳しく計算し、中性子物質の媒質としての偏極効果を十分に取り入れる必要があることを明らかにしている。ついで、中性子の縮退が弱い高温領域については、古典理論に従って第二ヴィリアル係数を計算することによって、圧力が比較的簡単に求められることを見出している。最後に、中性子が中程度に縮退している中間の温度領域については、媒質の偏極効果は小さいのでこれを無視し、パウリの禁制原理だけを考慮に入れることによって、十分な近似として圧力が求められることを明らかにしている。

以上のように、主論文は温度が $1 \sim 50 \text{ MeV}$ 、密度が $1 \times 10^{12} \sim 3 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$ の範囲にある中性子物質の圧力を十分な精度で求めることに成功したものとして、中性子星の形成や進化の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、申請者が宇宙物理学と原子、分子、原子核物理学の広い分野にわたって、豊富な知識とすぐれた研究能力を持っていることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。