

|         |                                                                                                                                               |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名     | 中 澤 清<br>なかざわ きよし                                                                                                                             |
| 学位の種類   | 理 学 博 士                                                                                                                                       |
| 学位記番号   | 理 博 第 287 号                                                                                                                                   |
| 学位授与の日付 | 昭 和 48 年 5 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  | <b>Effect of Electron Capture on Temperature and Chemical Composition in Collapsing Dense Stars</b><br>(重力崩壊している高密度星における電子捕獲反応の温度および化学組成への影響) |
| 論文調査委員  | (主 査)<br>教 授 林 忠四郎 教 授 長谷川博一 教 授 町 田 茂                                                                                                        |

### 論 文 内 容 の 要 旨

質量の十分大きい恒星が高度に進化すると、星の中心領域は次第に高密度になって、電子は強く縮退し、ついには原子核による電子捕獲反応が始まることが知られている。この電子捕獲反応は、星の進化の最終段階、すなわち、超新星爆発によって中性子星が形成される段階に至るまでの進化の過程で重要な役割を果たすものと予想されている。温度や密度などの状態変化に対して、電子捕獲は二つの効果をもっている。その一つは、電子数密度の減少による圧力の減少であり、他の一つは、中性微子によってエネルギーが運び去られるための冷却効果である。これらの効果について、これまで多くの研究がなされているが、後者については正確な熱力学的取扱いがなされていない。

主論文は、まず、粒子数の変化を考慮した熱力学的考察によって、電子捕獲反応が起っている系のエントロピーの時間変化を表わす一般式を導き、つぎに、この結果を重力崩壊している高密度星に適用して、星の中心領域のエントロピーや温度の変化と核種の存在量の変化を詳細に調べたものである。

まず、一般に電子捕獲反応が起っている物質系を考え、この反応の際に放出される中性微子は系から自由に逃げ去るが、他のエネルギーの出入はないものと仮定し、化学組成の変化を考慮した熱力学の法則を用いることによって、系のエントロピーの時間変化を表わす式を導いている。この式から、エントロピーの増減は、捕獲される電子の平均エネルギーと電子の化学ポテンシャルとの差によって定まることを見出している。すなわち、電子の縮退が弱い場合にはエントロピーは減少するが、強く縮退している場合には、中性微子によるエネルギー損失があるにもかかわらず、エントロピーは増大するという興味ある結果を見出している。

つぎに、進化の終段階にあって重力崩壊している高密度星の中心領域において、電子捕獲反応がエントロピー、温度、化学組成の変化に対してどのような影響を及ぼすかを数値的に調べている。この際、簡単のために、次の5つの仮定をおいている。すなわち、(1)物質密度の時間変化は重力的な自由落下の場合と同じである。(2)  $3 \times 10^9$  K 以上の温度では、各種の原子核の存在量は各温度における熱平衡の分布、いわ

ゆる核統計平衡の分布をとる。(3)電子捕獲の反応率を定める  $ft$  値は、すべての原子核に対して  $10^4$  秒ととる。(4)中性微子は自由に逃げるが、他のエネルギーの出入はない。(5)初期の化学組成は  $\text{Fe}^{56}$  だけとする。以上の仮定のもとに、温度と密度の種々の初期値に対して、重力崩壊する星の熱力学量と化学組成の時間変化を電子計算機を用いて追跡して、次のような結果を見出している。

まず、重力崩壊している星の中心領域の物質は、初期の状態にかかわらず、 $(1\sim 4)\times 10^{10}\text{K}$  という高温に達して、中性子相へ移行することを見出している。この結果を申請者は次のように説明している。初期の温度が高い場合には、電子の縮退は弱いので電子捕獲反応の進行によってエントロピーは減少するが、逆に初期温度が低い場合には、電子の強い縮退のもとでエントロピーの生成があるので、最終的なエントロピーは初期のエントロピーの値にあまり依存しないのである。

さらに、申請者は上記の計算によって、核種の存在量の時間変化を明らかにしている。すなわち、 $\text{Fe}^{56}$  から出発して密度が上昇すると、種々の中性子に富んだ原子核が主要成分となり、 $2\times 10^{12}\text{g/cm}^3$  以上の密度では中性子が主要成分になることを見出している。また、この結果から、重力崩壊している高密度星の電子の数密度、エントロピー、主要な化学組成の時間変化を知るためには、すべての核種の存在を考慮する必要はなく、 $n, p, \text{He}^4, \text{Fe}^{56}, \text{Mn}^{56}, \dots \text{Sr}^{120}$  などの14種を考えるだけで十分であることを見出している。

参考論文1は、高温の星における原子核の光分解反応を調べて、 $\text{Fe}^{56}$  の分解が中心で進行するような星の進化を追跡したものである。参考論文2は、電子が縮退した高密度星における電子捕獲反応によるエントロピー変化を調べたもので、主論文の基礎の一つとなったものである。参考論文3は、核力の作用を考慮して中性子物質の状態方程式を求め、これを適用して中性子星の構造を調べたものである。参考論文4と5は、種々の質量の星について、炭素燃焼段階から超新星の前段階までの進化を計算したものである。参考論文6は、電子気体の熱力学量を数値的に求めて、表にまとめたものである。参考論文7は回転楕円体の重力崩壊の様子を調べたものである。参考論文8は、超新星爆発の際の元素合成の問題を論じたものである。参考論文9は、T Tau 型星の質量放出による星間微粒子の形成の可能性を検討したものである。

### 論文審査の結果の要旨

太陽質量の約1.5倍以上の星は、高度に進化して核エネルギーを使い果たすと、重力的な崩壊が始めるが、この崩壊が十分に進行すると最終的には超新星爆発を起こして、中心には中性子星が残るものと考えられている。このような星の進化の終段階を明らかにするためには、まず、上の重力崩壊の段階における高温、高密の物質の状態変化、すなわち、温度と密度や化学組成などの時間変化を追跡しなければならない。とくに、圧力の変化を知ることは、超新星爆発の機構を明らかにするためにも必要である。

主論文は、上記の重力崩壊の段階にある星の進化を決定するものが種々の原子核による電子捕獲反応であることに着目し、この反応の進行の度を計算することによって、重力崩壊にともなう物質の温度、エントロピー、各種の原子核の存在量などの時間変化の様子を明らかにしたものである。

まず、高密度の縮退電子ガスのなかでの電子捕獲反応によって、電子数が変化するとともに、中性微子の放出によるエネルギー損失がある場合について、系のエントロピーがどのように増減するかという一般

的な熱力学の問題を解いて、新しい結論を導いている。ついで、強い相互作用による核反応は詳細釣り合いの状態にあって、核種の存在量は核統計平衡の分布をもつものとして、星の重力崩壊にともなう電子捕獲反応の進行と、温度、エントロピー、化学組成の時間変化とを連立させて解くことによって、星の進化を明らかにすることに成功している。その結果として、星の質量または重力崩壊の初期の温度にかかわらず、星の中心領域は  $2 \times 10^{12} \text{ g/cm}^3$  以上の密度になると中性子の相に入り、また、このときの温度は  $(1 \sim 4) \times 10^{10} \text{ }^\circ\text{K}$  の範囲にあるという興味ある結果を得ている。また、この中性子相に入る前の核種の存在量の分布についても、すべての核種を考慮する必要はなく、14種を考えるだけで十分良い近似的取扱いができることを見出している。

以上のように、主論文は、重力崩壊をしている高温、高密度星における物質の熱的状态や組成の時間変化を明らかにしたものとして、星の進化の最終段階の理論の発展に寄与するところが大きい。なお、参考論文はいずれも、申請者が宇宙物理学や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も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。