

氏 名	大 西 輝 明 おおにし てる あき
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	論 理 博 第 507 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 1 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Nucleosynthesis of Superheavy Elements in the Universe (宇宙空間での超重原子核合成)

論文調査委員 (主 査) 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

自然界に存在する重元素の大半、とくに鉛より重い元素のすべては、星の進化の終段階において急速に進行した逐次的な中性子捕獲とベータ崩壊、いわゆる r プロセスによって合成されたものと考えられている。ところで、魔法の中性子数184と魔法の陽子数114を有する原子核は、その2重閉殻構造のために、各種の崩壊のモードに対して比較的安定であると考えられる。この核種の近傍の原子核は超重原子核と呼ばれ、質量数が290近傍に安定な島をつくっていることが理論的に予想されている。

主論文は、これらの超重原子核が r プロセスによって合成されるものと考えて、 r プロセスの進行時の温度と中性子数密度とをパラメータとして、核種の生成量を計算し、超重原子核の生成が可能であることを示したものである。

一般に、 A (質量数) - Z (陽子数) 面における r プロセスの進行径路は中性子過剰の領域を通り、生成原子核の質量の上限はこの径路上でおこる核分裂によって決定される。申請者は、核分裂のモードとして、中性子誘起、自発、及びベータ崩壊誘起の3種を考慮し、これらの核分裂率については、超ウラン領域の核分裂率を拡張、外捜することによって超重原子核の分裂率を推定している。また、 r プロセスの進行時及び凍結時におけるベータ崩壊については、親核から均一な励起準位密度を持つ娘核へ崩壊するものとし、その崩壊率は崩壊エネルギーの6乗に比例するものとしている。さらに、高密度状態における電子の縮退の効果を考慮に入れて、ベータ崩壊率を密度の関数として求めている。

申請者は、 $A-Z$ 面における r プロセスの径路の各点において、 Z が同じ核種の存在量は (n, γ) , (γ, n) , (n, f) の3種の反応が釣り合うという定常状態で定まるものとし、ついで、陽子数 Z の核種の存在量の和は、陽子数 $Z+1$ の核へのベータ崩壊や核分裂による流出と、陽子数 $Z-1$ の核のベータ崩壊による流入とが釣り合うという定常状態にあるものとして、 $A-Z$ 面の径路上において質量数 A を持つ核種の存在量 $N(A)$ を計算している。その結果によると、 $200 \leq A \leq 270$ の範囲では $N(A)$ は A に無関係にほぼ一定の値をもつが、 $270 \leq A \leq 290$ の範囲では $N(A)$ は $A=280$ の近傍にピークを持つ。申請者は、このピーク

の存在は魔法の中性子数184の安定効果によるものと解釈している。

また申請者は、 r プロセスで合成される原子核の最大質量は温度 T と中性子数密度 N_n に依存し、一般に、 T が小さいほど、また N_n が大きいほど最大質量が大きいことを見出している。このようにして、申請者は超重原子核が合成されるに必要な T と N_n の間の条件を求め、太陽系における鉛より軽い r プロセス元素の存在量を説明するのに必要な T と N_n の値がこの条件を満たすことから、これらの元素とともに超重原子核が合成された可能性があることを結論している。

ついで申請者は、中性子照射が終了した後に、 r プロセスで合成された原子核が一連のベータ崩壊または核分裂によって $A-Z$ 面のベータ安定線に到達する過程、すなわち r プロセスの凍結過程を計算している。核分裂のモードとしては自発、ベータ崩壊誘起のほか、遅発中性子放出によるものを考慮している。このように、中性子過剰の原子核が質量数を変えることなしにベータ安定線に到達する確率を求め、この確率は $A \leq 245$ においては1であるが、 $250 \leq A \leq 270$ では極めて小さく、 $270 \leq A \leq 290$ では $1 \sim 10^{-5}$ の範囲の有限値を持つことを見出している。この結果から、申請者は $A \sim 290$ の超重原子核は r プロセスの凍結後においても生き残ってベータ安定線に存在するという結論を得ている。

最後に申請者は、これらの超重原子核を合成する r プロセスの進行が可能な天体について考察して、超新星爆発時に形成される中性子星の外層部が有力な場所と考えられることを指摘している。

参考論文1は、 r プロセス元素が銀河核において合成されたという仮定のもとに、銀河の種族Iと種族IIの星の年齢を推定したものである。参考論文2は、 r プロセスで合成される奇偶原子核の存在量の差が小さいことを説明する一つの機構を提唱したものである。参考論文3と4は、 C^{12} を種の原子核とする r プロセスならびに超新星爆発時の r プロセスを計算したものである。

参考論文5と12は、 r プロセスで合成された重原子核の分裂による希土類元素の形成量を計算して、A型特異星の観測値が説明できることを示したものである。参考論文6は、 r プロセスの凍結期における遅発中性子放出の効果を調べたものである。

参考論文8は、温度に依存する原子核質量という補助概念を導入して、鉄の近傍の元素の形成を論じたものである。参考論文9は、自発核分裂率の温度依存性と r プロセス元素の最大質量数との関係を調べたものである。

参考論文10, 13, 15は、周期的に活動する核を持つような銀河のモデルを設定して、 r プロセス元素の存在量の時間、空間的变化を計算したものである。また、参考論文16は、渦状銀河のガスの密度と金属量の時間、空間的变化を、渦状腕についての最近の密度波理論に従って、調べたものである。

参考論文11は、膨張する超大質量星における重元素形成過程を計算したものである。参考論文14と17は、種々の原子核の核分裂における分裂片の質量スペクトルを表わす経験式を求め、その結果を拡張して r プロセスにおける核分裂片の存在量を計算したものである。

論文審査の結果の要旨

1967年に Nilsson 等によって、魔法の中性子数184と魔法の陽子数114を持つ原子核の近傍には、核分裂とアルファ崩壊の寿命がともに極めて長い超重原子核が存在する可能性があることが指摘された。この

超重核を宇宙線や隕石の中に見つける試みが続けられてきたが、現在のところその存在はまだ発見されていない。

他方、元素の起源の理論によると、超ウラン元素は急速な中性子捕獲反応、いわゆる r プロセスで合成されたものである。主論文は、この r プロセスによる超重核の形成の可能性を調べるために、 r プロセス進行時の物質温度と中性子数密度が種々の値をとる場合について、精力的な数値計算によって、合成される核種の存在量曲線を求め、その結果として、中性子数密度が十分大きい場合には超重核の形成が可能であることを見出したものである。

一般に、原子核の $A-Z$ 面における r プロセスの径路は中性子が極めて過剰な領域にあるので、原子核の形成量をきめる中性子捕獲、ベータ崩壊、核分裂などの反応率については半経験的な理論式が用いられる。これらの式を用いて申請者はまず超ウラン元素の核分率を中性子誘起、自発、ベータ崩壊誘起の各モードについて詳しく計算している。ついで、電子が縮退している高密度の場合を含めたベータ崩壊率の値を求めている。

以上の準備の後に、申請者は、 r プロセスが定常的に進行しているという条件のもとでの原子核の存在量を計算して、比較的低温で中性子数密度が十分大きいような r プロセスでは超重核の合成が可能であることを見出している。さらに、中性子照射が終わった後に、これらの原子核が核分裂することなくベータ崩壊を繰り返してベータ安定線に到達する確率を計算して、質量数が270～290の範囲にある超重核はこの確率が 10^{-5} より大きいことを見出している。申請者が用いた核分裂率の半経験式には大きい不確定性があるために、計算結果の数値をそのまま信ずることはできないが、申請者の研究結果は、超重核形成の可能性をはじめて指摘したものとして、その意義は大きい。

以上のように、主論文は超新星爆発時の r プロセスによって超重原子核が形成される可能性を示したものであるとして、元素の起源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核物理学の広い分野にわたって、豊富な知識と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。