

論文審査の結果の要旨

氏名 平井 正明

太陽ニュートリノ放射率の実測値が予測値よりも小さくなっている現象を、「太陽ニュートリノ問題」と呼んでいる。バコールらによれば、特に ${}^8\text{B}$ からのニュートリノが主成分をなす高エネルギーニュートリノでは、30-40%小さい。この現象については、原因が素粒子ニュートリノの性質にあるとするニュートリノ物理の問題としても関心を持たれているが、本論文では、予測値の基礎となっている天文学的光学因子(S-因子)に注目し、その中でも測定値がばらついている ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$ 反応のS-因子の高精度測定を目指している。

太陽中心部の温度 1.4×10^7 K に相当するガモフピークエネルギー約 20 keV でのS-因子を決定するには、実験可能なより高いエネルギーでの実験値から理論式を用いて外挿せざるを得ず、これに伴う不確定性を押さえるため、できる限り低いエネルギーまでの誤差の少ない測定が重要となる。実験値は、1960年代より直接測定によって得られてきたが、本論文では、逆反応過程であるクーロン分解反応によって、最も低い100keVからの全分解断面積データを用いたS-因子導出に成功した。

本論文は、6章と付録の3章からなる。第1章は動機と背景、第2章はクーロン分解反応によるS-因子測定の実験手法、第3章は検出器の校正方法とデータの解析方法について述べてある。第4章でS-因子等の実験結果が示され、第5章で考察、第6章で本論文の要約を行っている。

従来、放射性 ${}^7\text{Be}$ 標的による直接測定では標的を薄くせざるを得ず、そのため、1) 標的厚の決定が困難で大きな系統誤差を含む可能性がある。さらに、2) 反応断面積が極めて小さい、等の測定上の困難を抱えている。実際、今までに得られた測定値は大別して $S=24-26 \text{ eV}\cdot\text{b}$, $S=17-19 \text{ eV}\cdot\text{b}$ の二つの値のグループに分かれている。

著者とその共同研究者らのグループは、上記の問題を克服するために、放射性 ${}^8\text{B}$ ビームとPb-標的によって起こるクーロン分解反応によるS-因子導出を提案し、過去数度の実験を行って来た。クーロン分解反応によれば、直接反応に較べて高エネルギーのビ

ームが利用できることから、標的厚の問題はない。また、実効的な反応断面積が大きいので高効率測定が可能である、という特徴を有している。過去の実験でも、S-因子導出を試みてきたが、a) ^8B ビーム由来のバックグラウンドイベントによる統計誤差増大のために 250 keV 以下のデータを生かせない、という問題があった。また S-因子導出のためには、全分解断面積データから、b) ^7Be の励起状態への崩壊成分の補正、c) E2-成分の補正をおこなって ^7Be の基底状態への E1-成分を特定する必要があるが、b) については、崩壊分岐比の平均値を使い、c) については、散乱角の解析から、その寄与は無視できるものとして来た。

本研究では、検出器システムの改造により、バックグラウンドイベントがほとんどない測定環境を実現し、今までの実験の中では最も低いエネルギー(100 keV)からの、統計精度の良い全分解断面積データを得た。また、b) については、 ^7Be の励起状態への崩壊分岐比の相対エネルギーに対する依存性の測定に成功し、半古典的なクーロン分解反応理論からの予測と一致することを示した。b) の補正後得られた S-因子は、 $S_{E1}(E_{\text{rel}}=0)=19.1\pm 1.0 \text{ eV}\cdot\text{b}$ で、同手法で得られた過去のデータと誤差の範囲で一致した。その寄与は小さいと予想されるものの依然として E2-成分を含むため、今結果は S-因子の上限値と考えられる値ではあるが、直接測定の結果と比較すると、 $S=17\text{-}19 \text{ eV}\cdot\text{b}$ グループと良く一致する。これは、二つの値のグループに別れている直接測定の結果に対し、全く異なる実験手法によりその上限値を明らかにした点で重要な結果である。

著者はさらに c) の寄与を評価するため、 ^7Be と陽子との分解角の方位角異方性の測定結果から、理論的仮定によっては $S=16.7\text{eV}\cdot\text{b}$ 程度にまで S-因子が下がりうることを見だし、E2-強度についての理論、実験双方からのさらなる研究の重要性を指摘した。

以上、本論文では、クーロン分解反応による S-因子測定という新しい実験手法による S-因子導出に成功しこの手法の有効性を明らかにするとともに、直接測定の結果に対して、初めて明確な上限値を与えた。この事は、天体核物理の研究分野に対する重要な貢献である。本論文は、加速器を用いた多数の研究者との共同研究の成果であるが、著者が主体となって本研究の実験計画を立てるとともに、実験の遂行、データの解析を行ったものであり、著者の寄与は十分であると判断し、審査員全員が本論文を博士(理学)の学位請求論文として合格であると判定した。