

論文審査の結果の要旨

氏名 小林 兼好

まずはじめに、この論文はスーパーカミオカンデ実験グループの他の共同研究者との共同研究に基づくものであるので、論文提出者がどのような主導的な寄与があったのか審査委員会において念入りに審査した。その結果、データ解析は論文提出者が単独で行なったものであり、そのための手法もみずから考案していること、また実験装置の保守・改善に対する寄与も十分であることから論文提出者の主導性が十分であると判断した。

本論文は8章からなり、第1章は陽子崩壊に関する導入説明、第2章はスーパーカミオカンデ実験装置の説明、第3章ではモンテカルロ法によるシミュレーションについて、第4章ではデータから陽子崩壊事象候補を抽出する方法について、第5章では観測された事象の再構成の方法、第6章では検出装置の較正について詳しく記されている。そして、第7章では解析結果が、第8章で結論が述べられている。

素粒子の大統一理論では、従来安定と考えられていた物質を構成する粒子である陽子が不安定でありそのうち崩壊して別の粒子群となることが予言されている。素粒子の標準理論は $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ゲージ対称性を持っているが、これを含む最小のゲージ群 $SU(5)$ にもとづく minimal $SU(5)$ 大統一理論が当初 Georgi と Glasow によって提案された。この理論では陽子はおおよそ 10^{30} 年の寿命で主として陽電子と中性パイ中間子に崩壊すると予言される ($p \rightarrow e^+ \pi^0$)。しかし、このモデルは先代のカミオカンデ実験やその他の実験によってすでに否定されている。

その後、素粒子の超対称性理論 (SUSY) を取り入れた理論が提唱されたが、その理論では反ニュートリノと荷電 K 中間子に崩壊するモード ($p \rightarrow \bar{\nu} K^+$) が主となる。また、陽子の寿命は minimal SUSY $SU(5)$ モデルでは 10^{30} 年以下、SUSY $SO(10)$ モデルでは $10^{32 \sim 34}$ 年が予言されている。そのため、最近ではこのモードの陽子崩壊現象が精力的に探されている。

小林氏は、スーパーカミオカンデ検出器によりこの陽子崩壊モード ($p \rightarrow \bar{\nu} K^+$) を調べたものである。スーパーカミオカンデ検出器は、岐阜県神岡町の地下1000メートルにある水チェレンコフ型検出器で、直径39.3メートル、高さ41.4メートルの円筒形をしており、計50000トンの超純水で満たされている。水分子を構成する陽子が陽子崩壊の源となる。崩壊粒子から発生するチェレンコフ光を11146本の光電子増倍管で検出する。陽子崩壊モード ($p \rightarrow \bar{\nu} K^+$) の探索には次の3つの方法が使われた。

1. $p \rightarrow \bar{\nu}K^+, K^+ \rightarrow \mu^+\nu$ 事象の探索
2. $^{16}\text{O} \rightarrow \bar{\nu}K^+ ^{15}\text{N}\gamma, K^+ \rightarrow \mu^+\nu$ 事象の探索
3. $p \rightarrow \bar{\nu}K^+, K^+ \rightarrow \pi^+\pi^0$ 事象の探索

この中で、2番目の方法は今回新しく導入された方法で、水分子の酸素原子核中の束縛陽子が崩壊したあとにできる陽子の孔による原子核の再配置に伴う γ 線を検出することで、バックグラウンド事象の混入を減らすことができる。しかし原子核が多体系であるために γ 線の放出確率の理論的計算の不定性が大きいので、将来実験的に測定し、確定する必要がある。

以上3つの方法による探索の結果、陽子崩壊の証拠は得られなかったことより、 $p \rightarrow \bar{\nu}K^+$ モードに対する部分崩壊寿命 $\tau/B(p \rightarrow \bar{\nu}K^+)$ に対する下限値 2.2×10^{33} 年を得ている。この結果は既存の下限値（スーパーカミオカンデ実験による）を約3倍改善している。これにより、minimal SUSY SU(5)モデルを完全に否定し、SUSY SO(10)モデルにも強い制限をつけた。

以上に述べたように、この論文は3つの方法により陽子崩壊の $p \rightarrow \bar{\nu}K^+$ モードを探索したもので、その結果素粒子の大統一理論に有意な制限をつけたものである。この論文は、学問的に大変有用なものであり、また論文提出者の独創性も十分であると認められる。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。