

別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 次元 6 演算子による核子崩壊を用いた超対称大統一模型特定

氏 名 村松 祐

論 文 内 容 の 要 旨

素粒子標準模型はゲージ相互作用として 3 つの力（強い力、弱い力、電磁気力）を説明する。この標準模型は数多くの実験を満たすことが出来る極めて優れた理論であるが暗黒物質の存在、標準模型粒子の電荷などその枠組みだけでは理解できないことも存在するため標準模型を超える理論が研究されている。超対称大統一理論はその有力な候補である。超対称大統一理論は 3 つのゲージ相互作用を 1 つのゲージ相互作用に統一し、標準模型粒子の電荷を説明する大統一理論に超対称性を導入したものである。超対称性によって標準模型の真空を安定化させるだけでなく、暗黒物質の候補を含む。超対称大統一理論は予言されるゲージ結合定数が観測と一致するなど実験からも支持される。

超対称大統一理論にはいくつかの候補が存在する。例えばゲージ相互作用を統一する統一群の違いによる理論である。SU(5)、SO(10)そして E_6 の 3 つの統一群が知られていて、それぞれが特徴的な利点を持つ。このいくつかの超対称大統一理論の候補を実験によって検証することは困難である。なぜなら大統一を実現するエネルギースケールは現在の実験で到達できる最高エネルギースケールである TeV スケールに比べて 10^{12} 倍以上大きいと考えられているからである。一方で核子崩壊は超対称大統一理論特有の現象の中で観測が期待される極めて重要な現象である。この核子崩壊のさまざまな崩壊過程をそれぞれ調べることによって超対称大統一理論の検証を行える可能性がある。例えば超対称大統一理論において核子崩壊は次元 5 演算子と次元 6 演算子によって引き起こされる、この 2 つの演算子においてどちらの演算子が支配的かにより主崩壊過程が変わるため、核子崩壊を観測することによって超対称大統一理論の検証が出来る。今回は次元 6 演算子による核子崩壊が支配的な場合において考え、核子の各崩壊過程の寿命をそれぞれ計算することによって超対称大統一理論、特にその統一群の特定を試みた。

次元 6 演算子による核子崩壊は統一群の破り方や破るヒッグスの真空期待値の大きさに強く依存している。特に $SO(10)$ 、 E_6 などの最少の統一群 $SU(5)$ よりランクの大きい統一群においては複数のヒッグスの真空期待値によって統一群が破れるため真空期待値の大きさは極めて重要である。もし、 $SO(10)$ 、 E_6 においてランクを落とす真空期待値の大きさが $SU(5)$ を破る真空期待値の大きさより小さい時には $SO(10)$ 、 E_6 特有の効果が抑制されてしまう。また、大統一を実現するエネルギースケールでの湯川結合も重要である。この湯川結合を決定することによって標準模型のクォーク、レプトンの質量や混合角が予言されるがこれらを観測するのみでは湯川結合の全てを決定することはできず任意性を持つ。核子崩壊はこの任意性、つまりどのようにして標準模型のクォーク、レプトンの質量や混合角を実現するかに強く依存する。よって、現実的な予言を与える超対称大統一理論を考える必要がある。

異常 $U(1)_A$ 超対称大統一理論は超対称大統一理論における深刻な問題であるヒッグス二重項三重項の質量の分離を対称性で許されるすべての項を $O(1)$ の大きさの係数で導入するという自然な仮定の下で解決する。加えて、現実的なクォーク、レプトンの質量や混合角を予言したり、今回の計算の仮定である次元 6 演算子による核子崩壊が支配的になることを満たしたりする。さらに $SO(10)$ のランクを落とす真空期待値が必ず $SU(5)$ を破る真空期待値より小さくなったり、 E_6 のランクを落とす真空期待値を小さく出来たりするなど、 $SO(10)$ 、 E_6 特有の効果が大きくなるため核子崩壊による模型特定に理想的な特徴を持つ。特に $SO(10)$ 特有の効果は最大限に効く理論である。今回は異常 $U(1)_A$ 超対称大統一理論において、核子の各崩壊過程を詳細に計算することで統一群を特定することが可能であることを示した。特定するにおいて 2 つの部分崩壊幅の比を用いた。比を考えることによってヒッグスの真空期待値が核子崩壊に与える影響は $SU(5)$ 群による模型では打ち消すことが出来、 $SO(10)$ 、 E_6 群による模型でも絶対値ではなく真空期待値の比への依存まで弱めることが出来る。計算には強い力の効果であるハドロンの行列要素の値が必要になるがその値は最新の格子 QCD によって求められた結果を用いている。模型を特定するにおいて湯川結合が持つ任意性を $O(1)$ 程度とすることにより不定性を考慮している。典型的な異常 $U(1)_A$ 超対称大統一理論においては多くの場合この不定性を考慮しても統一群が判別できることが示せた。

今回模型特定に用いた 2 つの比の内、1 つは特に重要である。その比は古くから統一群の特定に有用な比として知られており、 $SO(10)$ 、 E_6 特有の効果によって統一群のランクが大きくなるとその比の値は大きくなる。今回の計算において $SO(10)$ 特有の効果が最大限に効く場合を考えた。この仮定の下で $SO(10)$ 群、 $SU(5)$ 群による模型においてその比には上限があり、 E_6 群による模型における比はその上限を上回る事が分かった。つまり、もしこの比が大きくなったときには異常 $U(1)_A$ 超対称大統一理論以外においても統一群が特定できる可能性がある。