

学 位 論 文 題 名

Constraints on models with an additional Z^1 boson from electroweak experiments

(Z^1 ボソンを持つモデルの電弱精密測定実験からの制限)

学位論文内容の要旨

重い Z' ボソンは余分な $U(1)$ 対称性に対応するゲージボソンで、大統一理論や超対称弦理論におけるコンパクト化などの標準理論を拡張した様々なモデルで現れます。今回の仕事では、レプトンと殆んど、または全く結合しない (leptophobic) Z' モデルと E_6 群で予言される Z' モデルを 1997 年の実験結果に基づいて調べました。

レプトンと殆んど結合しない Z' モデルでは、LEP や SLC 実験で正確に測定されている Z ボソンとレプトンの結合に対する理論の予言を変えない為に、比較的大きな Z - Z' 混合が許されます。また現在までの Z' の直接測定実験はレプトン過程やレプトン-クォーク過程に対しての解析であった為に、レプトンと殆んど結合しないモデルには殆んど制限を与えません。今回の仕事では、レプトンと殆んど結合しない Z' モデルとして、3つのモデルに注目することにしました。一つ目としては、Babu 達が提唱したモデルで、運動項でのハイパーチャージのゲージ場 ' B ' と $U(1)'$ ゲージ場 ' Z ' の混合によって、 Z' とレプトンとの結合が抑えられる E_6 群中の η モデル、二つ目としては、Lopez 達が提唱した、flipped $SU(5) \times U(1)$ 統一理論から導かれるモデル、三つ目として、1995 年の実験データからもっとも適当な $U(1)'$ 電荷を決めたバークレーグループのモデルを考えました。

E_6 群は単純ガット群の一つで、低エネルギーで Z' ボソンを予言する有力な候補です。 E_6 群から標準理論の群を導く場合、その可能性の一つとして低エネルギーでは標準理論の群以外に $U(1)_\psi$ 群と $U(1)_\chi$ 群を持つ rank 6 の群を考えることができます。 E_6 群での Z' ボソンは、 $U(1)_\psi$ と $U(1)_\chi$ 群の任意の線形結合である $U(1)'$ 対称性に対応するゲージボソンを考えることにします。 E_6 モデルでは上記の $U(1)_\psi$ と $U(1)_\chi$ 群に対応した ψ 、 χ モデル、 E_6 が直接 $SU(5)$ に出てくる $U(1)_\eta$ に対応した η モデル、right-handed ニュートリノの $U(1)'$ 電荷がゼロである ν モデルを詳しく調べました。

もしも Z' ボソンが弱い相互作用程度のエネルギー領域に存在するならば、この Z' ボソンの性質は LEP、SLC 実験などの Z ボソンについての実験、 W ボソン質量の精密測定、低エネルギーでの中性カレントの実験、 Z' の直接測定実験などから制限を受けます。この仕事では、上記の制限が、(i) T パラメータへの寄与 T_{new} 、(ii) 有効 Z - Z' 混合角 $\bar{\xi}$ 、(iii) Z' ボソンを直接交換する過程 $g_E^2/c_X^2 m_{Z_2}^2$ でパラメトライズ出来る事を示しました。 Z' ボソンの質量下限を計算するときには、 T_{new} と $\bar{\xi}$ の2つのパラメータを $g_E^2/m_{Z_2}^2$ と今回の仕事で定義した有効混合角 ζ で表しました。 T_{new} と $\bar{\xi}$ はそれぞれ ζ^2 、 ζ に比例しており、 $\zeta = 0$ では T_{new} と $\bar{\xi}$ からの制限がないことを表します。レプトンと殆んど結合しない Z' モデルでは、 Z' ボソンを直接交換する過程の効果が無視でき、 Z' ボソンの制限が

ζ との二次元平面で表されます。SUSY E_6 モデルで予言される Z' ボソンでは、それに加えて Z' ボソンを直接交換する過程からの制限が付きます。 ζ がゼロの付近では、 T_{new} と $\bar{\xi}$ からの制限が無いので、最も強い制限となります。今回の仕事により、1TeV 以下の Z' ボソンが許されるための条件として、 χ 、 ψ 、 ν モデルでは ζ の範囲が $-0.6 < \zeta < 0.3$ 、 η モデルでは $-0.7 < \zeta < 0.6$ 比較的大きな Z - Z' 混合角が許されるレプトンと殆んど結合しないモデルでは $-0.9 < \zeta < 0.8$ であることが分りました。

超対称 E_6 モデルでは、ゲージ結合定数の統一の為に 3 世代分の 27 表現に属する粒子だけではなく、Higgs doublet の対が必要です。また結合定数が摂動的であるという条件より、 $5 + \bar{5}$ 表現に属する粒子を付け加えることもできます。今回の仕事では、これらの Higgs doublet や $5 + \bar{5}$ の量子数を 27 表現または随伴 78 表現から選びました。これによって、いくつかの Z - Z' 物理で現れるパラメータをくりこみ群の手法などを用いて計算することが可能となりました。また、対応する Z' ボソンの質量下限を計算しました。その結果、余分な $5 + \bar{5}$ を持たない場合には Z' ボソンの質量下限が 2TeV 以下、持つ場合には 2.5TeV 以下であることを示しました。

学位論文審査の要旨

主査	教授	河本	昇
副査	教授	石川	健三
副査	助教授	加藤	幾芳
副査	助教授	中山	隆一
副査	講師	末廣	一彦

学位論文題名

Constraints on models with an additional Z^1 boson from electroweak experiments

(Z^1 ボソンを持つモデルの電弱精密測定実験からの制限)

素粒子の種々の電弱相互作用の実験に於いて標準模型といわれるワインバーグ・サラム模型が驚くべき精度で正しいことが示されている。しかし1995年の実験で弱い相互作用の中性ゲージボソン Z のB中間子及びチャームクォークを含む中間子への崩壊に於いての異常が報告された。これを解決するために新たな中性ゲージボソン Z' を導入する模型が提唱され実験との比較が行われたが数年後にこの異常は実験的に修正され解消された。この論文ではこれらの研究に刺激されて、中性ゲージボソン Z' が存在する場合に現象論的にどのような解析をすればよいかについて系統的に調べ新たなパラメーターの提案を行った。これを基に1997年の実験データとの精密な比較を行い中性ゲージボソン Z' に対しての質量の下限からここで新しく提案されたパラメーターを含め幾つかのパラメーターに制限を与えた。

これらの現象論的解析を行う際には、標準模型を越えた模型を設定する必要があるが、ここでは(1)レプトンと殆どまたは全く結合しない(leptophobic) Z' モデルと(2) E_6 群で予言される Z' モデルに対しての詳しい解析を行った。その結果もし現象論的に中性ゲージボソン Z' が存在するとすれば、この方法で将来の実験に向けて現象論的にどのような解析をすればよいかについて、新しい提案を行いこの方法がベストの方法であるという指摘をした。この意味でこの論文は、中性ゲージボソン Z' が存在するとした時の将来の現象論的解析に向けて新しい提案を行い、また現在得られているデータを基に詳しい解析を行い種々のパラメーターに制限を与えた。これらの結果は次に示すように、雑誌に出版された論文及び出版を受け入れられた論文として評価を受けている。

“Constraints on leptophobic Z' models from electroweak experiments” Yoshiaki Umeda, Gi-Chol Cho and Kaoru Hagiwara, Phys.Rev. D58 (1998) (to be published)

“ Z' bosons in supersymmetric E_6 models confront electroweak data” Gi-Chol Cho, Kaoru Hagiwara and Yoshiaki Umeda, Nucl. Phys. B 531 (1998) 65.

この結果は新しい粒子の発見等が頻繁には起こらない現状の現象論的素粒子物理学の模範的論文であり、質の高い論文であると考えられる。

よって審査員一同、申請者が博士（理学）の学位を受けるに十分な資格があるものと認めた。