

学位請求論文要旨

Higgs sector of Dirac neutrino mass model of Davidson and Logan
(ダヴィドソンとローガンのディラックニュートリノ質量模型のヒッグスセクター)

玉井考太郎 (D096515)

LHCにおいてヒッグスが発見された。これにより標準模型のすべての粒子が見つかったことになり、標準模型は完成したことになる。しかし自然界には標準模型では説明できないことがまだある。そのために標準模型を超えた理論が必要である。その中のダヴィドソンとローガンのディラックニュートリノ質量模型について研究する。この模型は新しいヒッグスダブルレットを導入し小さなユカワ結合定数を要求せず小さなニュートリノの質量を説明する模型である。

今回はこの模型の2つの事柄について研究する。1つはヒッグス場の真空期待値の量子補正について、もう1つは新ヒッグスの生成についてである。

1つ目の真空期待値の量子補正についての研究をする。まず、静止条件を解くことでツリーレベルヒッグスポテンシャルのグローバルミニマムを議論する。標準模型型ヒッグスの大きな真空期待値 v_1 と新ヒッグスの小さな真空期待値 v_2 がヒッグスポテンシャルのグローバルミニマムとなる条件を調べる。そのためのパラメータとして $(v, \beta, \alpha, \theta')$ の4つを考える。それぞれのパラメータは $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, $\tan \beta = \frac{v_2}{v_1}$ であり、 α は荷電真空に関わるパラメータで θ' は位相である。以前の研究で中性真空は荷電真空より低いことは示されており、また2つの中性真空エネルギーの違いも示されている。これらを用いてこの模型の真空を求めた。この真空を実現する模型のパラメータ制限を導くとヒッグス質量と結合定数の項で書かれる。この制限は真空期待値を数知的に議論する時に扱う。

ツリーレベルを超えてヒッグスポテンシャルと真空期待値の放射補正について議論する。このモデルの対称性からヒッグスポテンシャルの真空期待値として $\phi_I = (v, \beta, \alpha, \theta')$ を選ぶ。真空期待値をツリーレベルのものと1ループ補正のものとの和として考え、1ループ補正の公式を導く。結果として $\alpha^{(1)}$ と $\theta^{(1)}$ は0になり、 $v^{(1)}$ と $\beta^{(1)}$ はヒッグス質量とヒッグスポテンシャルの4点結合定数の組み合わせの形をしている。

この公式を用いて真空のグローバルミニマム条件で許されたパラメータ範囲内で補正の数値的評価を試みる。荷電ヒッグスとCP-奇ヒッグスの質量が縮退している場合を考えさらに $\beta^{(1)}$ が0になる条件からヒッグス質量と4点結合定数の関係を求めそれを用いてパラメータのインプットを決める。これを基準に縮退していたヒッグス質量を変えていき補正がどのようにヒッグススペクトルに依存しているかを見る。

ニュートリノ質量はヒッグスの真空期待値に比例しているからニュートリノ質量の放射補正も計算できる

2つ目に、新ヒッグス対生成について研究する。これは、小さな真空期待値を生み出すメカニズムに関係した現象である。新ヒッグスは新しいU(1)チャージをもちU(1)対称性は陽に破れている。対称極限では真空期待値は消える。

この模型ではどのU(1)チャージの破れの過程も小さな真空期待値によってサプレスされる。これはまたありえる振幅がサプレスされニュートリノ質量に比例している

ことを意味する。新ヒッグスの対生成はU(1)チャージ保存過程であるからさプレスされない。このカテゴリの中の過程は $Z^*(\gamma^*) \rightarrow H^+ + H^-$ 、 $W^+ + W^- \rightarrow H^+ + H^-$ 、 $W^+ + Z \rightarrow H^+ + X$ ($X = A, X$)がある。ここで H^+ 、 A 、 h はそれぞれ新ヒッグスダブレットの荷電ヒッグス、CP-奇ヒッグス、CP-偶ヒッグスである。今回はe+e-コライダーでの新ヒッグスダブレットの荷電ヒッグス (H^+) と中性ヒッグス (X) の対生成について研究する。 $e^+ + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + H^+ + X$ の対生成断面積を求める。

新ヒッグス対生成のシグナルを数值的に議論する。計算のためにコンピュータプログラムを組む。このプログラムはFORTORANでかき積分計算部分にモンテカルロプログラム、BASESを用いた。このプログラムを用いて全断面積を計算すると、重心系エネルギー1TeV~2TeVで $10^{-4}\text{fb} \sim 10^{-3}\text{fb}$ にふえる。終状態の電子と荷電ヒッグスの間の角度、終状態の電子と荷電ヒッグスの運動量の微分断面積も計算する。終状態電子の運動量と荷電ヒッグスの運動量の微分断面積はフェーズスペースによって制限されており、より小さい生成ヒッグス対の質量に対して微分断面積は大きくなる。終状態電子の運動方向に対する微分断面積は始状態電子の順方向で強いピークをもつ。標準模型のゲージボソン対生成についての全断面積、微分断面積も計算し、ヒッグス対生成のものと比較すると、ヒッグス対生成のほうが 10^{-3} 倍小さい。

荷電ヒッグス (H^+) は $l^+\nu_l$ に崩壊し、中性ヒッグス (X) は $\bar{\nu}_k\nu_k$ に崩壊する。そこで $e^+ + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + H^+ + X \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + l^+\nu_l + \bar{\nu}_k\nu_k$ の過程を考え、 $e^+ + e^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + W^+ + Z \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + l^+\nu_l + \bar{\nu}_k\nu_k$ の過程と比較する。それぞれの散乱断面積と崩壊確率をかけたものの比 (r_l) を考える。断面積と崩壊確率に数値を代入し、崩壊レプトンのフレーバーごとに計算する。中性ヒッグス (X) の崩壊確率は $\text{Br}(X \rightarrow \bar{\nu}_k\nu_k) = 100\%$ だが荷電ヒッグス (H^+) の崩壊確率は崩壊レプトンのフレーバーと最も軽いニュートリノの質量 (m) とそのヒエラルキーパターンに依存する。よって最も軽いニュートリノの質量 (m) をパラメータとし崩壊レプトンのフレーバーごとにノーマルヒエラルキーとインバースヒエラルキーの場合で数値計算する。ノーマルヒエラルキーの場合、 $0 < m < 0.05\text{eV}$ に対して $r_\tau > r_\mu \gg r_e$ 。 $m > 0.2\text{eV}$ になると $r_\mu \sim r_\tau \sim r_e = 0.02$ となる。インバースヒエラルキーの場合 $0 < m < 0.2\text{eV}$ に対して $r_e > r_\mu > r_\tau$ となる。