

氏 名 笠 井 隆 志

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第504号

学位授与の日付 平成13年3月23日

学位授与の要件 数物科学研究科 加速器科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Phenomenology of Higgs bosons in various  
extensions of the Standard Model

論 文 審 査 委 員 主 査 教授 小林 誠  
教授 平田 光司  
教授 鎌田 進  
教授 北澤 良久  
助教授 岡田 安弘  
助教授 栗本 猛 (富山大学)

In the Standard Model (SM) of particle physics, the Higgs sector is introduced in order to explain the mass of gauge bosons and fermions without conflict with the gauge principle. In the Higgs sector, the Higgs field  $\phi$ , which have a non-zero vacuum expectation value, is introduced, and then the existence of Higgs boson is predicted. After the discovery of the top quark, the Higgs sector is the last remaining part yet to be confirmed in the SM. Experimental search for the Higgs boson has been continued at the Fermilab Tevatron experiments and will be succeeded by the CERN Large Hadron Collider (LHC) and future linear colliders (LC's). Discovery of the Higgs boson is important not only in confirming the mechanism of the electroweak gauge-symmetry breaking but also in providing us useful information on physics beyond the SM. As such a physics, some models are proposed. For each model, allowed properties of the Higgs boson is obtained. When the Higgs boson is discovered, its mass and various decay properties will be measured to test the SM and to distinguish models of new physics at high energy scales. In this thesis we obtain allowed properties of the Higgs boson theoretically in various extensions of the SM, e.g. two-Higgs-doublet model (2HDM) with a softly-broken discrete symmetry, Zee-Model which requires the existence of a  $SU(2)$  charged Higgs singlet in order to generate the small neutrino mass, and Minimal super-symmetric Standard Model (MSSM).

The most interesting property of the Higgs boson is its mass value. Although the mass of the Higgs boson is a free parameter in the SM, we can obtain its mass bounds by demanding the considered theory to be a valid effective theory all the way up to some cut-off energy scale ( $\Lambda$ ); if we require the vacuum stability and the validity of perturbation theory below a given cut-off scale  $\Lambda$ , we can determine the lower and the upper bounds of the Higgs boson mass as a function of  $\Lambda$ , respectively, using renormalization group equations (RGE's). In the SM, for the Planck scale  $m_{pl} \sim 10^{19}$  GeV as  $\Lambda$ , the lower and the upper bounds become about 145 and 175 GeV at  $m_t=175$  GeV, respectively.

In the MSSM which is the most popular in the particle models beyond the SM, the theoretical upper bound on the lightest CP-even Higgs boson mass is given by about 120 GeV for  $m_t=175$  GeV and  $m_{stop}=1$  TeV.

The lightest CP-even Higgs-boson mass for the 2HDM is investigated. This model includes one more Higgs doublet compared to the SM Higgs sector. This is the most simple extension of the SM. Through spontaneous symmetry breaking, five physical Higgs bosons appear, i.e. two CP-even, one CP-odd and a pairs of charged Higgs bosons. In the 2HDM, the mass upper bound is the same as that of the SM, whereas the lower bound is reduced to zero. Specially, in the decoupling regime, where only one neutral Higgs boson is light as compared to the other physical states of Higgs bosons, the lower bound of the lightest Higgs boson mass is given by 100 GeV for  $\Lambda=10^{19}$  GeV and  $m_t=175$  GeV. This is considerably smaller as compared to the SM value.

Next, the Higgs boson mass bounds for the Zee-Model is investigated. From the observations of atmospheric and solar neutrinos, there are increasing evidences for neutrino oscillations. If this is a correct interpretation, the SM has to be extended to incorporate the small masses of the neutrinos suggested by data. There has been several ideas proposed in literature to generate small neutrino masses. The Zee-model is one of such attempts. In this model, the three different flavor neutrinos are massless at the tree level, and their small masses are induced radiatively through one-loop diagrams. For such a mass-generation mechanism to work, it is necessary to extend the Higgs sector of the SM to contain at least two weak-doublet fields and one weak-singlet charged scalar field. The Higgs sector of the Zee-model is similar to that of the 2HDM except for the existence of an additional weak-singlet charged Higgs field, so that the physical scalar-bosons include two CP-even, one CP-odd and two pairs of charged Higgs bosons. We show that the mass bounds for the lightest CP-even Higgs boson are almost the same as those in the 2HDM.

For the Zee-Model, although the allowed mass range is the same as that of the 2HDM, other properties can be different from that in the usual Higgs doublet model. We examine effects of the additional loop contribution of the singlet charged Higgs boson to the partial decay width of  $h \rightarrow \gamma \gamma$ . If we assume  $\Lambda = 10^{19}$  GeV, the deviation of the decay width from the SM prediction can be about 20% within the allowed range of the Higgs self-coupling constants which is obtained by the RGE analysis. This amount of deviation could be tested at the future LC or photon-photon LC experiments. We also discuss phenomenology of the singlet charged Higgs boson at present and future collider experiments, which is found to be completely different from that of the ordinary 2HDM-like charged Higgs bosons.

笠井隆志君の研究は 標準模型を超える理論におけるヒッグス粒子の性質に関する理論的考察である。

現在の素粒子模型はゲージ原理とヒッグス機構というふたつの原理に基づいて構成されている。このうち ゲージ原理とは強い相互作用、弱い相互作用、電磁相互作用の三つの基本相互作用が  $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  群に基づいたゲージ理論として理解できることを意味している。

一方 ヒッグス機構は  $SU(2) \times U(1)$  のゲージ対称性の自発的破れにより素粒子の質量を生成する機構である。1990年代の LEP を中心とした実験により素粒子模型のゲージ理論としての性質は 詳しく調べられてきた。2000年代後半から開始される LHC 実験や将来の電子陽電子リニアコライダー実験では電弱相互作用の自発的破れの機構を解明することが最も重要な課題となる。

ヒッグス機構の解明のためにはヒッグス粒子を発見しその性質を詳しく調べる必要がある。最も単純な 素粒子標準模型では 電弱相互作用の自発的破れはひと組のヒッグス二重項場を導入することによって引き起こされ、それに対応してひとつヒッグス粒子の存在が予言される。一方 標準模型を超える理論では、ヒッグス場の構造はより複雑になる。そこで、将来ヒッグス粒子が発見された場合には、ヒッグス粒子の質量や生成断面積 崩壊分岐比などの性質から 背景にある素粒子模型の構造に関する重要な情報を得ることが期待される。

この研究では 標準模型を超える理論として二種類の模型を考え、理論的に期待されるヒッグス粒子の質量の領域やその性質を解析した。二種類の模型とは、標準模型の最も簡単な拡張であるヒッグス二重項場を2つ含む模型と、輻射補正により小さなニュートリノ質量をだす Zee 模型である。具体的には これらの模型がある高いエネルギースケールまで 変更を受けずに成立すると仮定することによって理論に存在する最も軽いヒッグス粒子の質量の上限及び下限を求めた。例えばプランクスケール( $10^{19}$  GeV) を高いエネルギースケールとした場合には両方の模型とも 最も軽いヒッグス粒子の質量の可能な領域は 100GeV から 175GeV となることを示した。この下限値は標準模型で同様な仮定より求めた値より 30 - 40 GeV 低くなり、一方 超対称標準模型で期待される軽いヒッグス粒子の可能な質量領域と重なってくる。

また、Zee 模型では ヒッグス粒子の2光子への崩壊幅が標準模型の場合とは有意に異なることを指摘した。これらの結果は 将来の コライダー実験でヒッグス粒子が発見された場合に、その性質から標準模型を超える理論に対するヒントを得ようとする際に重要である。

以上の研究は、数物科学研究科 加速器科学専攻の博士学位論文として高い水準であり、博士学位論文として十分な内容を持つと判断される