

氏 名 菊田 遥平

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 1669 号

学位授与の日付 平成26年3月20日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Higgs interactions in physics beyond the standard model

論文審査委員 主 査 教授 北野 龍一郎
教授 岡田 安弘
教授 野尻 美保子
教授 萩原 薫
准教授 宮本 彰也
准教授 松本 重貴 東京大学

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

In this thesis we study the Higgs interactions in physics beyond the Standard Model. After the discovery of the Higgs boson at the LHC, it would be the time to study the Higgs interactions from various aspects. The precision measurement of the Higgs boson provides tests of the Standard Model, and perhaps the first signals of new physics beyond the Standard Model can be indirectly found in Higgs physics. In particular, we concentrate on the following two issues: the scattering amplitudes of the longitudinal gauge bosons and the Higgs boson, the couplings of the Higgs boson to other particles. The first one is related to the perturbative unitarity of a theory with spontaneously broken symmetry and expected to be important information for the scalar sector, namely the electroweak symmetry breaking. The second one reflects the structure of the Higgs interactions and gives a clue for the mass generation of the particles. Various new physics models show the deviations of these properties from the Standard Model prediction, which may be investigated at the future collider experiments. We examine the unitarity violation caused by the dimension-six derivative interactions of the Higgs doublets, which indicates the new physics scale associated with an extended Higgs sector. We compute the strongest unitarity bound for several models and find it gives rather low cut-off scale compared with that of the naive dimensional analysis. We also examine the possible deviations of the Higgs couplings in agreement with the experimental constraints, focusing on the three models: the minimal composite Higgs models, the Randall-Sundrum model, the extra singlet Higgs model. It is found that the correlation of Higgs couplings is quite powerful to discriminate models in the future collider experiments.

This thesis is composed of five chapters. In chapter 1 we give an overview of the current status of phenomenological particle physics, especially about the Higgs boson. While all the particles of the Standard Model are observed, we know the phenomena the Standard Model seems not to cover; hence there are many proposals for new physics beyond the Standard Model. In chapter 2 we provide a brief overview of Higgs physics in the Standard Model. The Higgs sector is introduced to account for the low energy breaking of the $SU(2)_L \times U(1)_Y$ electroweak gauge symmetry to the $U(1)_{EM}$, and all of the interactions including the Higgs boson is determined by the masses of the interacting particles. In chapter 3 we analyze the perturbative unitarity bound given by the dimension-six derivative interactions consisting of the Higgs doublets. The bound is obtained by diagonalizing the scattering amplitude matrix of the charge conserving process. We formulate it in terms of the parameters of the Lagrangian. In chapter 4 we present the deviations of the Higgs couplings compared with the Standard Model prediction, mainly focusing on the minimal composite Higgs model. In order to classify the features of the models we consider, we elucidate the correlation

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

of the coupling deviations. The future experiments are able to distinguish the models well by using both the tree level and loop induced couplings. In the concluding remarks we summarize our results and give an outlook of the future prospects of Higgs physics.

(Separate Form 3)

博士論文の審査結果の要旨

Summary of the results of the doctoral thesis screening

LHC 実験においてヒッグス粒子が発見され、素粒子物理学はその性質を調べることによってヒッグス場やヒッグスポテンシャルの起源を探究する新たなステージに入っている。

本学位論文は、2つの関連するテーマにより構成されている。1つ目の研究では、ヒッグス場の起源として強結合力学を想定し、そこから帰結されるヒッグス場の微分を含む高次元演算子がラグランジアンにあった場合の考察をしている。理論の摂動的ユニタリー性を要求すると、その高次元演算子に起因する相互作用の強さに制限が与えられる。本論文では様々なモデルから予言される、様々なタイプの高次元演算子を整理し、その結合定数や、ヒッグス粒子の対生成断面積に対する上限を与えた。特に、低エネルギー有効理論としてヒッグス場が2種類存在するような場合について、custodial 対称性があるようなモデルが満たすべき有効理論のパラメータ間の関係式の導出や、その場合の摂動的ユニタリー性からの制限などの新しい考察を行なっている。

2つ目の研究は、ヒッグス場の起源を近似的な対称性の破れにともなう南部・ゴールドストーン粒子であるという仮説をもとに、現象論的にラグランジアンを構成した最小複合ヒッグスモデルを用いて、ヒッグス粒子とゲージ場やフェルミ粒子との相互作用が標準モデルの予言からずれる効果を評価するものである。これらのずれの観測は、今後の LHC 実験や国際リニアコライダー実験などで最も注目されているもののひとつであり、非常に重要な研究である。本学位論文では、最小複合ヒッグスモデルとの比較対象として、ランドール・サンドラムモデル、および、ゲージ1重項のヒッグス場を導入したモデルも考察していて、将来の国際リニアコライダー実験などにより、検証できる可能性を議論している。

これらの研究は、現在の素粒子物理学の発展をふまえたタイムリーなもので、今後得られるであろう実験結果を理論的に解釈する上で重要かつ有用なものである。また、この学位論文の内容の前半部分は査読付き欧文雑誌に掲載され、国際研究会、日本物理学会等でも発表されている。

このように、本学位論文は学位を授与するに足る十分な学問的な専門性と意義を有している。また、学術的背景を踏まえた本研究の意義や研究内容の説明は論理的で明白によく記述されている。以上のことから、論文審査は合格と判断した。