



Title	Studies on Electroweak Phase Transition Signatures – A Bridge Between Cosmological and Collider Phenomenology
Author(s)	Florentino, Ricardo Miguel
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105643
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Ricardo Miguel Florentino)	
Title	Studies on Electroweak Phase Transition Signatures - A Bridge Between Cosmological and Collider Phenomenology (宇宙論と加速器現象論を結ぶ電弱相転移の研究)
Abstract of Thesis One of the biggest issues plaguing modern physics is the observed value of the Baryon Asymmetry of the Universe. One of the most promising mechanisms to explain the observed Baryon Asymmetry of the Universe is Electroweak Baryogenesis. For Electroweak Baryogenesis to be successful, there must have occurred in the early universe a Strongly First Order Electroweak Phase Transition. In order for the Electroweak Phase Transition to be First Order, the sphaleron decoupling condition must be satisfied. The sphaleron decoupling condition requires large deviations in the Higgs triple self-coupling. The Higgs triple self-coupling measurements at colliders can thus be used to probe the nature of the Electroweak phase transition. Furthermore, first order cosmological phase transitions are capable of generating gravitational waves and even, in certain circumstances, primordial black holes. In extended scalar models, the main effects leading to these phenomena are the non-decoupling effects originating from loop correction from the new degrees of freedom. The Standard Model Effective Field Theory is not appropriate to describe non-decoupling effects, while the Higgs Effective Field Theory lacks predictive power. In order to consistently describe the non-decoupling effects from new physics in a model independent framework, the nearly-aligned Higgs Effective Field Theory must be used. In this thesis, various topics on the Standard Model phenomenology, extended Higgs models, and cosmology of the electroweak phase transition are reviewed. The nearly-aligned Higgs Effective Field Theory, its validity, and its effectiveness in describing non-decoupling effects is also reviewed in detail. Then, a new observable is proposed as a probe for the nature of the Electroweak phase transition, the Higgs di-photon effective coupling. Towards this objective, the nearly-aligned Higgs Effective Field Theory is extended for the first time into its sub-leading order, chiral dimension 4, Lagrangian. This is necessary since, in the chiral formalism, loop induced interactions, like the Higgs di-photon, are only described by Lagrangians of this order. Furthermore, several classes of models are chosen as benchmark models for our analysis using the effective theory. The non-decoupling effects on the Higgs di-photon couplings are analysed, and its importance once again proven. It was found that in models with charged scalars, large values of the Higgs triple self-coupling become easily constrained by Higgs di-photon measurements, unless the new physics scale is high enough. Then, an analysis of signatures of the electroweak phase transition is performed for the benchmark models mentioned above. The sphaleron decoupling condition is taken into account, together with the phase transition completion condition, and perturbative unitarity. Various observables are analysed, such as the Higgs triple self-coupling, the Higgs di-photon coupling, gravitational waves, and primordial black holes. Besides corroborating the necessity of a large Higgs triple self-coupling, it is shown that models with charged scalars also necessitate large deviations on the Higgs di-photon coupling. This thesis closes with discussions on the usage of future measurements to probe the nature of the Electroweak phase transition. First, a hypothetical scenario of Higgs di-photon coupling measurement at the HL-LHC is considered. In this scenario, it is shown how such measurements can be used to give tangible predictions on subsequent measurements of the Higgs triple self-coupling, in order to produce a Strongly First Order Electroweak Phase Transition. Secondly, hypothetical scenarios of Higgs triple self-coupling measurements at the HL-LHC and the various stages of the ILC are considered. It is shown that such measurements at the HL-LHC and the first and second stages of the ILC are incapable of decisively determining the nature of the electroweak phase transition by themselves. Even the last stage of the ILC is shown to only determine that the electroweak phase transition is first order, or that it is not first order, in some very fine-tuned circumstances. It is also shown that joining these measurements of the Higgs triple self-coupling, with the ones from the Higgs di-photon, can solve this issue and decisively determine the nature of the Electroweak phase transition in the future. This further motivates the use of the Higgs di-photon as a complementary probe of the nature of the Electroweak phase transition.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Florentino, Ricardo)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 兼村晋哉
	副 査	教授 青木正治
	副 査	教授 大野木哲也
	副 査	准教授 佐藤亮介
	副 査	准教授 柳生慶

論文審査の結果の要旨

博士論文 Studies on Electroweak Phase Transition Signatures – A Bridge Between Cosmological and Collider Phenomenology – の論文審査結果の要旨は以下の通りである。

2012 年のヒッグス粒子発見とその後の実験的研究によって素粒子標準理論が概ね正しいことが実証された。しかし標準理論は、より基礎的な理論に至る暫定的な理論であると考えられている。標準理論は重力を含まず、相互作用の統一、クォーク・レプトンの世代の謎などの理論的課題に加え、暗黒物質の存在やニュートリノの微小質量、そして物質反物質非対称性等、素粒子標準理論では説明できないいくつかの現象も知られている。発見されたヒッグス粒子は標準理論で予想される振る舞いを示しているが、ヒッグスセクターの構造は依然として未知であり、背後の電弱対称性の自発的破れのダイナミクスや初期宇宙の電弱相転移の様相も全くわかっていない。そのため標準理論の最小ヒッグスセクターを拡張し、諸問題を説明する理論的試みが盛んに行われてきた。

物質・反物質非対称性の問題を解決する有力な仮説である電弱バリオン数生成では、電弱相転移が強い一次相転移であることが要求されるが、標準理論では電弱相転移はクロスオーバーであるため理論の拡張が必要となる。

本博士論文では、強い電弱一次相転移を実現するために必要なヒッグスセクターの拡張とその現象論的帰結を、様々な拡張ヒッグス模型を含む有効理論的アプローチに既存の実験データと理論的思索から誘導された条件を加えた解析を行い、新結果を創出している。これまで知られていた有効理論的なアプローチとして、標準模型有効理論(SMEFT)やヒッグス有効理論(HEFT)が知られていた。有効理論は一般的な議論には有用だが、電弱相転移が強い一次相転移であるという共通の性質を持つ拡張ヒッグス模型群を同時に扱い、その現象論的帰結を議論するには不便であった。Florentino 氏は、これまでに測定されたヒッグス粒子の結合定数が標準理論の予言に非常に近いことに注目し、背後にある拡張ヒッグス理論は、ヒッグス場の混合が摂動の効果によって生じるものであり、また一次相転移を引き起こすダイナミクスは重いヒッグス場の脱結合量子効果で実現する可能性が高いと考えた。このような性質を持つ多数の拡張ヒッグス模型群を同時に扱う枠組みとして、先行研究により提案された Nearly Aligned HEFT (naHEFT) が知られていたが、Florentino 氏はこの naHEFT に基づいて強い一次相転移を引き起こす一連の拡張ヒッグス模型群の現象論的解析を詳細にわたり行い、新成果を得た。Florentino 氏の研究で新しい点は以下の通りである、強い電弱一次相転移の条件を満たし、かつ相転移完了条件を満たすパラメータ領域を明らかにし、その領域が将来の原始ブラックホール探索、宇宙重力波干渉実験、そして加速器実験でどのように多角的に検証されるかを総合的に研究した。特に加速器実験では、ヒッグス場の自己相互作用の測定に加えて、ヒッグス粒子の光子対への崩壊現象の測定が、拡張ヒッグス理論の詳細に迫る上で極めて重要であることを指摘した。さらに ILC などでの将来のヒッグス精密測定実験がこれらの検証に果たす役割を明らかにした。

本博士論文は、未解決問題である物質・反物質非対称問題を解く電弱バリオン数生成シナリオが要請する強い電弱一次相転移を実現する拡張ヒッグス模型群を同時に扱う枠組み、naHEFT を用いて詳細な理論的解析を行い、原始ブラックホール探索、および将来の宇宙重力波実験、並びに加速器実験での検証法を明らかにした。特にヒッグス粒子の光子対崩壊の重要性、ILC などの将来レプトンコライダー実験を用いた拡張模型の同定に関する研究など、重要で独創的な成果も含んでいる。本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。