

# インフレーション宇宙における ヒッグス場の凝縮とその帰結

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻  
同理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター  
國光太郎\*

この文書は 2012 年度第 42 回天文・天体物理若手夏の学校における口頭発表の内容をまとめたものである。

発表においてはほぼ数式を用いなかったので、ここでも定性的な内容を述べるに留める。定量的な議論は [1] を参照されたい。

## 1 Motivation

2012 年 7 月 4 日、CERN でおこなわれたセミナーにおいて、ATLAS・CMS の両実験グループが Higgs-like なボソンを発見した (local に  $5\sigma$ ) という発表があった (論文は [2])。これは物理学者が長年探し求めていた標準模型のヒッグス粒子と考えられ、そういう意味で非常に歴史的な発見であった。

このヒッグス粒子を生み出すヒッグス場は、初期宇宙において電弱相転移を引き起こしたと考えられており、宇宙論の観点からも非常に重要なスカラー場である。しかし電弱相転移以外に初期宇宙においてヒッグス場がどのような役割を果たしたのかは必ずしも明確ではない。ヒッグス場は標準模型唯一のスカラー場であるため、他のフェルミオンやゲージ・ボソンとは異なる役割を果たしていたことが期待される。そこで電弱相転移よりもはるか昔、インフレーション期やその後の再加熱期においてヒッグス場がどのような役割を果たしたかについて研究をしてきた。今回はその成果を発表する。

---

\* Email: kunimitsu"at"resceu.s.u-tokyo.ac.jp

## 2 ヒッグス凝縮

インフレーション中のヒッグス場は、量子ゆらぎがインフレーションによって引き伸ばされることで、非常に大きな真空期待値を持つ。インフレーション中にはこのような大きな期待値を持ったヒッグス場が広大な領域にわたってコヒーレントに存在し、さらにそのような領域が様々な値を持ってあらゆる場所に存在して宇宙全体を覆っていたと考えられている。このような現象を「ヒッグス凝縮」と呼ぶことにする。

このヒッグス凝縮を定量的に扱うためには、ストキャスティック・インフレーション [3] とよばれる手法を用いる。これを用いることで、ヒッグス場の値が典型的にはインフレーション中のハッブル・パラメータ程度の大きさ ( $\sqrt{\varphi^2} \sim H$ ) であり、その相関長さがハッブル長よりもはるかに大きい ( $\langle \varphi(x_1, t) \varphi(x_2, t) \rangle \sim e^{38} H^{-1}$ ) といったことが分かる。

## 3 再加熱

ヒッグス凝縮体が再加熱に与える影響を見るために、ここでは k-インフレーションモデル [4] においてどのようなことが起きるかを見る。k-インフレーションモデルは非正準運動項によって引き起こされるインフレーションモデルで、インフレーション後にインフラトンの運動エネルギーが宇宙を支配する点が特徴的である。このモデルにおいては再加熱は重力的粒子生成によって引き起こされる。

この k-インフレーションモデルにおいて、ヒッグス凝縮を無視した場合と考慮した場合の宇宙のエネルギー密度の変化は図 1 のようになる。

ヒッグス凝縮を考慮しない場合には、運動エネルギー支配の時期 (kination) ののち重力的に生成された粒子によって宇宙が支配されるが、ヒッグス凝縮を考えた場合、重力的に生成された粒子がヒッグス凝縮体のエネルギーに届かず、その後の宇宙のエネルギーがヒッグス凝縮体とそこから生成された粒子に支配されるということが起きる。この結果、インフレーション後のエネルギー密度の歴史が変わり、再加熱温度 (インフラトンと生成された粒子のエネルギーが等しくなる温度) が上昇するということが分かる。

## 4 初期ゆらぎの生成

このように再加熱期にヒッグス凝縮が宇宙を支配し得るということを見たが、宇宙を支配するということは構造形成のための初期ゆらぎもこのヒッグス凝縮体によって生成され

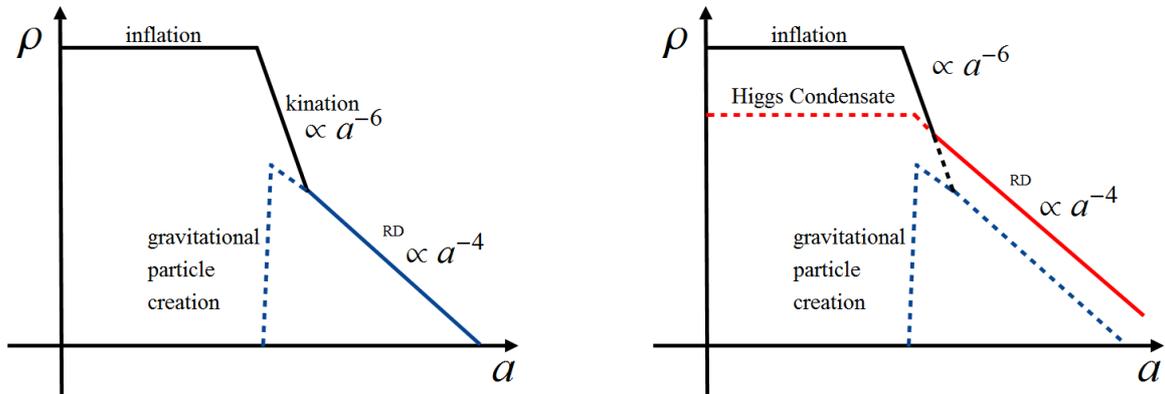


図 1 k-インフレーションにおける再加熱の歴史：ヒッグス凝縮を無視した場合 (左) と考慮した場合 (右)

なければならないことになる。そこで実際にどのようなゆらぎが生成されるのかを見る。

ここでもストキャスティック・インフレーションの手法を使って、二点相関関数を計算してゆらぎの大きさを求める。計算の詳細は省くが、ここからゆらぎの大きさが

$$\mathcal{P}(k) \sim 0.1$$

となることが分かる。これは観測から期待される値  $\mathcal{P}(k) \sim (10^{-5})^2$  よりもはるかに大きい。このことからヒッグス凝縮によるゆらぎの生成は許されない、つまりヒッグス凝縮体が宇宙を支配するようなモデルが排除できるということが分かる。

## 5 Summary

今回の発表ではヒッグス凝縮というアイデアを紹介し、それが初期宇宙にいかに関与を与えたかを論じた。ヒッグス凝縮が宇宙を支配して再加熱の歴史が変わるといったシナリオが考えられたが、一方で宇宙を支配した場合には生成されるゆらぎが大きすぎるために、我々の宇宙においてはそのようなシナリオは起こりえなかったということが分かった。これにより、ヒッグス凝縮が宇宙を支配するようなモデルは排除できることを示した。

## 参考文献

- [1] T. Kunimitsu, J. Yokoyama [arXiv:1208.2316 [astro-ph.CO]]
- [2] ATLAS Collaboration [arXiv:1207.7214 [hep-ex]];

CMS Collaboration [arXiv:1207.7235 [hep-ex]]

- [3] A. A. Starobinsky and J. Yokoyama, Phys. Rev. D **50**, 6357 (1994) [arXiv:astro-ph/9407016]
- [4] C. Armendariz-Picon, T. Damour and V. F. Mukhanov, Phys. Lett. B **458**, 209 (1999) [arXiv:hep-th/9904075]