

論文の内容の要旨

Dynamics of Scalar Condensation in the Early Universe

(初期宇宙における凝縮したスカラー場のダイナミクス)

向田 享平

スカラー場は初期宇宙論において非常に重要な役割を担っている。特に、インフレーション中の急激な加速膨張によって、空間的に一様に平衡状態から大きく離れた期待値で凝縮する可能性があり、この場合、後の宇宙の発展に与える影響は非常に大きくなる。こういったスカラー場の凝縮は、以下に見るような我々の宇宙における様々な問題を解決する可能性を秘めており、シンプルながら非常に魅力的な研究対象である。

例えば、インフラトンと呼ばれるスカラー場の凝縮のポテンシャルエネルギーによって、インフレーションを引き起こし、一様性・平坦性問題の解決、原始密度揺らぎ生成を一挙に成し遂げることができる。また、カーバトンとよばれる、インフラトン以外のスカラー場の凝縮によって原始密度揺らぎを生成することもできる。さらに、複素スカラー場がバリオン・レプトン数を持っていた場合は、アフレック・ダイン機構によって我々の宇宙のバリオン非対称性を説明することができる。すなわち、平衡値から大きく離れた期待値での凝縮によってバリオン・レプトン数を破るオペレーターが効き、複素スカラー場の位相方向の回転が誘起されることでバリオン・レプトン非対称性が生成される。

一方、スカラー場はしばしば素粒子模型にあらわれる。例えば、最近発見されたヒッグス粒子は、ヒッグス場と呼ばれる電弱対称性の自発的な破れを引き起こすスカラー場の破れた真空での励起モードである。また、超対称性を課した模型には非常にたくさんのスカラー場が出現する。こういった素粒子模型に内在するスカラー場が、我々の宇宙において上記の種々の問題を解決している可能性があり、スカラー場の振る舞いを理解することは素粒子論・宇宙論双方にとって重要である。

しかしながら、スカラー場の凝縮の初期宇宙における振る舞いはまだ十分に理解されているとは言えない。そのダイナミクスを複雑にしているのは輻射との相互作用である。例えば、インフラトンはインフレーション後にその大きなポテンシャルエネルギーを輻射に転換して熱い宇宙を作らねばならない。また、カーバトンもその揺らぎを輻射に転換する必要がある。アフレック・ダイン場もバリオン・レプトン数を標準模型粒子に転換せねばならない。これらは全て、スカラー場と輻射との相互作用項の存在を示唆する。

スカラー場の凝縮と輻射の相互作用の効果は、様々な文脈で部分的に取り入れられてきた。本論文の目的は主に二つある。まず、相関関数の発展を記述するカダノフ・ベーム方程式を議論の出発点とし、上記の種々の役割を担うスカラー場に共通する性質を抜きだしたシンプルな模型の解析を通じて、統一的見地からスカラー場のダイナミクスを理解することである。これによって、これまでの研究の関係を新たな視点から理解でき、またより系統的な解析が可能となる。次に、得られた方程式を用いて、スカラー場の凝縮が担う初期宇宙での様々な役割に対する、輻射との相互作用の効果を理解することである。特に、インフラトン・カーバトンに対するその効果を調べ、インフラトンの再加熱温度やカーバトンの曲率揺らぎといったその機構を特徴づける重要なパラメータが、輻射との相互作用によって大きく変更され得ることを示した。