

研究成果

(1) Tsallis 非加法系での場の理論

量子色力学 (QCD) はクォークとグルーオンの基本的な理論であり、その究極的な目標は全てのエネルギースケールであらゆる強い相互作用の現象を記述することにある。QCD は漸近的自由性を持つ理論であり、クォークとグルーオンの相互作用は高エネルギーになると弱くなる。相互作用が弱い場合、クォークとグルーオンは自由粒子として振舞う事が期待されるが、この状態をクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) と呼ぶ。先行研究により QGP 状態での相互作用が長距離相互作用である可能性が示唆されているが、そのような場合通常の有限温度 QCD は適用不可能である。長距離相互作用を含むような系を記述するためには、それが可能な新しい理論的枠組みが必要となる。

論文「Quantum Field Theories in...」で我々は、Tsallis 非加法的統計力学を基礎とした有限温度の場の理論を定式化し、分配関数・伝播子・熱質量など場の理論で重要な役割を果たす量を計算した。この理論は長距離相互作用を含む QGP を記述する事が出来るものである。この理論を用いて物理的な解析を行う中で、我々は通常の有限温度の場の理論では見られなかった初期相関が現れることを発見した。

(2) 有限温度の場の理論の熱演算子表示

有限温度・有限密度のクォーク物質の研究は有限温度の場の理論を用いて行われる。しかしながら有限温度の場の理論を用いて何らかの物理量を計算する場合、困難が生じる。それは理論的予言の為の計算を遂行することが極めて難しいという困難であり、これは理論家にとって克服すべき課題である。

そこで我々は有限温度・有限密度系に適用されるべき有限温度の場の理論の熱演算子表示を完成させた。この処方により有限温度系に関しての計算が簡略化されることが期待される。

(3) クォーク-反クォーク凝縮とダイクォーク凝縮を含む 3次元 Gross Neveu モデルの相図

QCD の相構造の研究に注目が集まっている。QCD 相図では、低温・低密度ではハドロン相が、高温・高密度では QGP 相が実現されている。1970年代はこれらの2種類の相が重要な相であると考えられていた。しかしながら 1975年に「カラー超伝導」と呼ばれる新しい状態の可能性が示唆され、今日ではこの相もクォーク物質の研究の中で重要な相であると考えられている。

上述のクォーク物質の相構造は、Nambu Jona-Lasinio (NJL) モデルと呼ばれる QCD の低エネルギー有効理論により首尾よく記述された。私は論文「Phase diagram of quark-antiquark...」で Gross Neveu モデルと呼ばれる NJL モデルの低次元のモデルに着目し、その相構造を調べた。得られた相図は次の様な性質を示した。(1) 低温・低密度ではクォーク-反クォーク凝縮が実現する。(2) 低温・高密度ではダイクォーク凝縮相となる。(3) 高温・高密度では凝縮が現れない通常相が見出された。このように、3次元の Gross Neveu モデルの相図は4次元の NJL モデルの相図と同様の定性的な振る舞いを示す。両者の重要な違いは、3次元 Gross Neveu モデルでは4次元 NJL モデルの相図が有するクォーク-反クォークとダイクォークが同時に凝縮している共存相が存在しないことにある。