

今後の研究計画

対称性が自発的に破れた U(1)ゲージ理論におけるソリトン星(継続)

重力場とボソン場の結合系において、ボソン星と呼ばれるソリトン解が知られている。ボソン星は現在まで観測されてはいないが、ダークマターや巨大ブラックホールの種の候補となり得る興味深い異種星である。私はこれまで研究を行ってきた、スカラー場とゲージ場のモデルに重力場を考慮することによって得られるボソン星に着目していく。

これまで研究してきた、複素スカラー場、複素ヒッグススカラー場及び U(1)ゲージ場の結合系では重力場が無くともボース粒子の束縛状態として Q-ボール解が存在する。このような系におけるボソン星はソリトン星とも呼ばれる。このモデルでのソリトン星は重力結合定数が弱くなるにつれて、Q-ボールに近づいていき物質場の相互作用効果が顕著に表れる。逆に重力結合定数が強くなってくると、今度は重力場相互作用が顕著に現れることが期待される。ソリトン星の質量が大きくなると重力崩壊が起こるため、安定なソリトン星には上限質量が存在すると考えられる。この上限質量の結合定数依存性等を調べることは興味深い問題である。これまで得られた巨大質量の Q-ボール解ではダストボール、シェルボール、ポテンシャルボールと名付けた 3 種類の特徴的な解が現れるが、これらの解は内部の状態方程式の違いにより、それぞれ異なる重力場を作ることが期待される。特にポテンシャルボール解を基にしたソリトン星においては、星の内部が真空エネルギーで満たされた、グラバスターと呼ばれる安定な解が自然と実現することが期待される。

数値計算によるソリトン星の安定性

ソリトン星の安定性についてはいくつかの観点から議論される。第一にはエネルギー安定性の議論を行うことである。ソリトン星はボース粒子の集まりとして解釈することが出来るので、ボース粒子が束縛状態となるソリトン星のエネルギーと、それと同数の自由なボース粒子のエネルギーを比較することで、ソリトン星が自由なボース粒子へと分裂しないための条件を与えることが出来る。しかし、安定性の議論はこれだけでは不十分であるため、他の観点の安定性も議論していく。

次の観点は、線型安定性の議論である。これは、ソリトン星を構成している古典場の線型摂動についての線型方程式を解くことで議論を行うことが出来る。この摂動のエネルギー固有値の正負によって安定性が特徴づけられる。ボソン星の理論において特に重要となる、最大質量付近の安定性を解析していく。

さらに、非線形な摂動に対する安定性を調べるために数値シミュレーションによって時間発展を調べる。アインシュタイン方程式の時間発展を行うためには、4次元時空を時間部分と空間部分に分け、空間の計量を時間発展させていく、という方法がとられる。この方法により、ソリトン星がブラックホールへと崩壊していく過程を調べる。