

研究計画

小川 浩司

対称性を持つ宇宙紐の解の見積もり

今までは、解析的に解を求める事ができる例として、ミンコフスキー時空中を定常剛体回転する宇宙紐について議論した。一方、ミンコフスキー時空中には複数のキリングベクトル場が存在し、宇宙紐の世界面にそれらのキリングベクトル場が接する方程式で、独立なものは計 7 つあることが、共同研究者の石原氏と古崎氏によって示された。そこで、今後の研究計画のひとつとして、それらの対称性を持つ宇宙紐についても常微分方程式を解く問題に帰着させる余地がある。運動方程式を解き、定常剛体回転する宇宙紐の場合と同様に、各運動方程式の解は、解析的に解ける場合については、同様に 2 つのパラメータによって、解を特徴付けることができる予想されるので、7 つの方程式の内、どのような場合に解析的に解けるか、またどのようなパラメータ依存性があるかの解明を、更なる課題としている。

ミンコフスキー時空以外の背景時空中の対称性を持つ宇宙紐についても、同様な議論が可能である。どのような背景時空のどのような対称性を持つ宇宙紐の場合が、常微分方程式を考える問題に落ち着かせる事が可能か考慮する事を、課題としている。特に一つの例として、静的球対称時空であるシュバルツシルト時空中における、定常剛体回転する宇宙紐も同様に常微分方程式を解く問題になる。特に、この場合は解析的に解を求める事は出来ないが、どのようなパラメータが解を決定するかを探る事も、課題としている。

重力波放射による宇宙紐の断熱変化

私はこれまでの研究で、定常剛体回転する宇宙紐からの重力波波形について求めた。そうすると、宇宙紐が重力波を放出する事によって、自身が元々持っているエネルギー、角運動量を失う事になる。それらの損失率は、宇宙紐から放出される重力波の振幅を以前に求めている事により、完全に見積もる事が出来、定常剛体回転する宇宙紐を特徴付ける 2 つのパラメータによって完全に決まる。それらの量の損失により、宇宙紐の形状が遷移することが予想されるが、そうすると、我々が仮定している定常性は保たれない。しかし幸運な事に、以下の理由で、長時間準静的に定常回転し続けることがわかる。宇宙紐が元々持っているエネルギー E_{st} (もしくは角運動量や運動量) が、重力波放出により単位時間に損失するエネルギー \dot{E}_{GW} との比 \dot{E}_{GW}/E_{st} 、つまり宇宙紐の寿命の逆数は、宇宙紐の張力 μ 、回転する角速度 Ω とすると、数値計算の結果、 $\dot{E}_{GW}/E_{st} \lesssim 10^{-3} \mu/\Omega$ となる事がわかる。角運動量についても同様のオーダーであると予想される。そして、宇宙背景輻射の最近の観測、例えば WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) による観測によって、現在の宇宙が実現されるために μ に対して制限 $\mu \lesssim 10^{-7}$ が課せられる (宇宙定数と光速度を $G = c = 1$ とする単位系をとっている)。これらのことにより、定常回転するという仮定は良い近似であることがわかる。

そのように、宇宙紐のエネルギー、角運動量および重力波放射によるエネルギー、角運動量の損失率が与えられるため、ほぼ定常であるという断熱近似のもとに、宇宙紐の形状を特徴付けるパラメータ 2 つとその角速度 Ω の断熱的な遷移を見る事が可能になる。そこで、初期状態に任意の定常剛体回転する宇宙紐を用意して、重力波放射によって最終的にどのような形状に落ち着くのか、具体的には、解の一つである螺旋状に定常剛体回転する宇宙紐もしくは、回転軸方向にまっすぐに伸びている静的な宇宙紐のどちらに近づくのかを見る事を課題としている。