

○プラズマ中のイオン音波ソリトンや衝撃波による荷電粒子加速

宇宙線を構成する高エネルギー粒子の加速の原因として、磁気雲による Fermi 加速等の様々な加速機構が考えられている。そこでイオン-電子プラズマ中を伝搬する円筒状または球状の非線形音波ソリトンを用いた荷電粒子の新しい加速機構を提案した[23]。例えば、円筒対称または球対称の Korteweg-de Vries 方程式によって記述されるイオン音波は、波が中心に収縮するにつれて、波高が大きくなる。この収縮する波として表される電場ポテンシャルによって閉じ込められた荷電粒子は、ポテンシャルとの反射を繰り返すことでエネルギーを得る。時間発展するポテンシャル内の粒子の反射を議論するために、単純化されたモデルを考えることで、加速された粒子の冪的なエネルギースペクトルを得た。具体的な応用として、太陽近傍で発生する高エネルギー粒子が、ソリトン加速により生成される可能性を議論した。現在までの研究では、フレアの付け根領域に注目しているため磁場を無視している。しかし、大部分の天体物理学的現象では磁場が重要な役割を果たす。そこでラジアル磁場を伴うイオン-電子プラズマ中を伝播する非線形密度波を用いて荷電粒子を加速する機構を提案する[24]。この系での波面が磁場に垂直であるような密度波ソリトンは、拡張された Korteweg-de Vries 方程式に従い、波が中心へ向かうにしたがって、その波高は時間の冪で大きくなる。このとき電子とイオンの密度分布のずれにより生じる電場のポテンシャル壁と磁場が大きい領域で起こる磁気ミラーによって閉じ込められた粒子は、運動するポテンシャル壁との衝突によって加速される。この加速機構による粒子のエネルギースペクトルは冪的であることがわかる。具体的な応用として、太陽近傍で発生する高エネルギー粒子がソリトン加速機構によって生成される可能性を議論する。また現実的な場合、波の最後の大きさはデバイ長よりもはるかに大きく、弱い非線形波に対する Korteweg-de Vries 方程式は、強い非線形性を持つ終状態の波に対して使うことができない。現在までの研究では、粒子加速の基本的な性質を理解するために、強い非線形の段階にまでこの方程式の解を用いた。電場ポテンシャルを表すソリトン波による加速機構に必要な特性の 1 つは、波が収縮するにつれて波高が時間の冪で成長することである。そこで観測されている宇宙線を説明するために、Korteweg-de Vries 方程式によって記述される弱い非線形波の解ではなく、強い非線形性を持つイオン音波や衝撃波等を調べる[25]。さらにブラックホール周辺での 2 成分プラズマによる定常流、プラズマ振動、電場の振舞いを議論する[26]。

○Kaluzza-Klein ブラックホール解を用いた高次元時空モデルの検証

5 次元 squashed Kaluzza-Klein ブラックホール時空は、地平線近傍において 5 次元的なブラックホール時空として振る舞い、ブラックホールから離れた遠方の時空はコンパクトな余剰次元を伴う有効的 4 次元時空になる。つまり squashed Kaluzza-Klein ブラックホール時空は現実的な高次元時空モデルになっている。例えば Kaluzza-Klein ブラックホール時空内を運動する試験粒子は 4 次元ブラックホール時空の場合と同様に安定円軌道を運動することができる。そこで現実の天体の周辺で起こる観測可能な現象の内、一般相対論の古典的検証である光の湾曲と天体の近日点移動に注目する。squashed Kaluzza-Klein ブラックホール時空を天体の外側の時空として仮定することにより余剰次元の補正を含むこれらの現象を議論する[27]。将来たとえ、観測結果が期待される精度で予測値と一致しても、その観測精度は余剰次元の大きさに上限を与え、高次元時空モデルに対して強い制限を加えることができると考えられる。また Kaluzza-Klein Gödel ブラックホールからの Hawking 放射における一般化された不確定性原理の影響を議論する[28]。