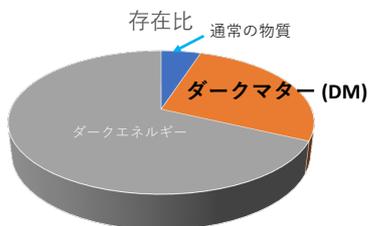


飯田 英明 (理化学研究所・FEFU・慶應大)

格子ゲージ理論によるダークマターの研究



ダークマター(DM)とは 見えないけれど、そこにあるもの。正体は未だ分からない



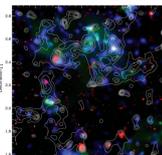
見えてるものより見えてないものの方が多い!

光で見えなくても、多くの存在の証拠がある

- 銀河の速度分布：銀河の回転速度の分布はDMがないと説明できない
- 重力レンズ効果：DMにより光が曲がる効果が見える
- 理論的な根拠：DMがないと現在までに現宇宙の構造は存在しえない etc...



重力レンズ効果



DMの分布

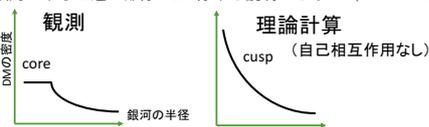
存在は確実

Ref: R.Massey, T.Kitching, J.Richard, Rep.Prog.Phys.73(2010)086901

ダークマターの正体を探れ!

分かっていること

- DMの主要な成分は素粒子である可能性が高い
通常の粒子との相互作用はほとんどない
しかし自己相互作用はないと、
銀河の中心に近い部分のDM分布を説明できない (コア・カusp問題)



DMの銀河での分布から、自己相互作用の強さに制限：
D.N.Spergel & P.J.Steinhardt, PRL84 (1999)

$$0.45 \text{cm}^2/\text{g} < \sigma/m < 450 \text{cm}^2/\text{g} \quad (\star)$$

σ: 散乱断面積 (衝突のし易さの指標) m: DMの質量

HGTのグルーボールの相互作用を調べ、(★)の制限と比較する→DMの候補となるHGTがわかる!

DMの候補: 隠れたゲージ理論のハドロン

- ゲージ理論...力を記述する理論
原子核に働く「強い力」はゲージ理論で記述され、クォークやグルーオンの動きを司る
- 隠れたゲージ理論(HGT)
=通常の粒子とはほとんど相互作用しない粒子で構成されるゲージ理論
- ハドロン...強い力に現れるクォークやグルーオンから形成される粒子
陽子、中性子、パイオン、グルーボールなど

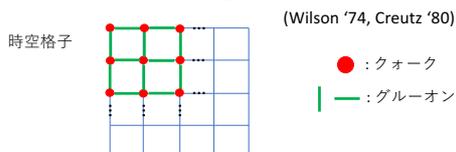


- 本研究ではHGTにおけるグルーボール (ダークグルーボール) が研究対象

強結合ゲージ理論の強力な計算手法：格子ゲージ理論

ハドロンの解析的な計算は極めて困難 → 格子ゲージ理論!

- 格子ゲージ理論：時空を格子に区切り、経路積分をモンテカルロ法で行う、強力なゲージ理論の数値計算法



(Wilson '74, Creutz '80)

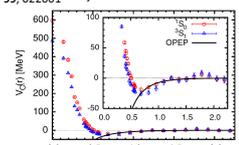
● : クォーク
— : グルーオン

• どうやって相互作用を調べる?

→ HAL QCD method (N. Ishii, S. Aoki, and T. Hatsuda)

Phys. Rev. Lett. 99, 022001

粒子多体系の“波動関数”
南部・ペーテ・サルビータ波動関数ψを
格子ゲージ理論で計算し、
これより粒子間のポテンシャルVを
逆解して求める
$$\psi(\vec{r}) \longrightarrow V(\vec{r})$$



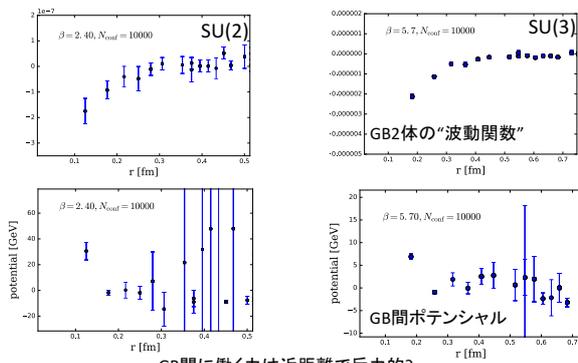
強い相互作用の第一原理計算により
陽子及び中性子の間の相互作用 (=核力) の導出に成功
...これをグルーボールに適用

HAL QCD methodを用いグルーボール間相互作用のポテンシャルを導く!

計算結果 (preliminary)

現在2種類のHGTにおけるGBの相互作用を計算中

(以下のスケールは強い相互作用におけるクォーク間に働く弦張力を用いてセットしていることに注意)



...GB間に働く力は近距離で斥力的?

まとめ

- ダークマター(DM)はその存在が確実なものにも関わらず、未だその正体が分かっていない
- 隠れたゲージ理論(HGT)のグルーボールはDMの候補
- HGTのグルーボール間相互作用を調べ、これを観測と比較することにより、可能なHGTを探る
- 計算には格子ゲージ理論を使用し、HAL QCD methodによってその相互作用を調べる
- 現在2種のHGT(SU(2)とSU(3))の計算を進行中

※本研究は山中長閑(理研・IPN Orsay・FEFU)、若山将征(理研・FEFU)、中村純(理研・FEFU・阪大)との共同研究である