

課題名 (タイトル) :

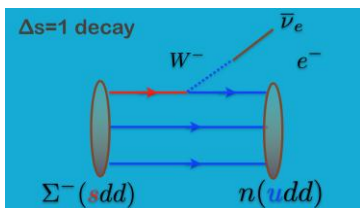
格子 QCD 計算に基づくハイペロン β 崩壊の研究

利用者氏名 : 佐々木 勝一

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 初田量子ハドロン物理学研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

ハイペロン β 崩壊とは、バリオン 8 重項 (ハイペロン) の弱い相互作用によるセミレプトニック崩壊 ($B \rightarrow b\bar{l}\nu$) のことで、中性子ベータ崩壊はその一部を成す。



ハイペロン β 崩壊は現象論的に「カビボ-小林-益川(CKM)行列のユニタリティの問題」や「陽子スピン問題」と関連して重要であるにも関わらず、ハイペロン β 崩壊におけるフレーバーSU(3)の破れの構造が理論的不定性なく理解されているとは言い難い。

これまで、格子 QCD 数値解析によるハイペロン β 崩壊の研究は、利用者らによる Domain Wall Fermion (DWF) の定式化を用い、動的クォークを無視したクエンチ近似での研究 (参考文献[1]) と、それと同時期にイタリアのグループで行われた、改良された Wilson 作用による、同じくクエンチ近似での研究の 2 研究のみしかなかったが、つい最近、新たに利用者によって、より現実的なフレーバーSU(3)の破れを厳密に取り入れた DWF による動的格子 QCD 数値計算が為された。(参考文献[2])

その計算結果から、ハイペロン β 崩壊の Dirac 形状因子の零運動量移行での値 $f_1(0)$ が、フレーバーSU(3)対称性を厳密に課した場合の値に比べて、2-3%程度小さくなるのが模型に依らない第一原理計算として始めて示された。この $f_1(0)$ の値は CKM 行列要素の一つである V_{us} の決定にかかせない。何故ならば、実験的には $|V_{us}f_1(0)|$ が直接観測可能であって、理論による $f_1(0)$ の値を知るこ

となしに V_{us} の大きさを知ることはできないからである。

もしフレーバーSU(3)対称性の破れがなければ、この $f_1(0)$ の値は SU(3)群のクレブシュ・ゴールドン係数で決まるが、実際にはフレーバーSU(3)対称性は破れており、その破れの効果がどのように $f_1(0)$ に現れるかは、CKM 行列要素のユニタリティの検証に必要な情報として、近年精力的に研究されている。

本研究によって格子間隔の異なる格子 QCD 計算を遂行することによって、残された有限な格子間隔による系統誤差の評価が完了することにより、実際の $f_1(0)$ とクレブシュ・ゴールドン係数による $f_1(0)_{\text{SU(3)}}$ の値との比 $f_1(0)/f_1(0)_{\text{SU(3)}}$ に対する理論的に不定性の問題の完全解決が成し遂げられる。

参考文献

- [1] S. Sasaki and T. Yamazaki, Phys. Rev. D79 (2009) 074508.
[2] S. Sasaki, Phys. Rev. D86 (2012) 114502.

2. まとめ

平成 24 年度の簡易利用においては、先行研究 (参考文献[2]) において作成した別のプラットフォーム (具体的には東京大学情報基盤センターの HA8000 クラスタシステム) 上での計算プログラムを理研スーパー・コンバインド・クラスタ上で計算を実行するために、そのプログラムの移植を試み、プログラムのチューニングを行なった。

3. 今後の計画・展望

本研究は、上記の参考文献[2]では達成できなかった、以下の点に関し、より計算の精度を高めることを主題となる。見込まれる計算精度の向上としては、連続極限 (格子間隔を零の極限) とカイラル極限 (アップ・ダウンクォーク質量を零の極限) に関連する系統誤差をきちんと評価するこ

とによって成し遂げられると考えている。そのために、格子間隔がより連続極限に近い、新たな 2+1 フレーバー格子 QCD 数値計算に着手する必要がある。以前用いた格子 QCD 計算とは異なり、より格子間隔の細かい、格子間隔 0.09 fm における 2+1 フレーバー DWF QCD ゲージ配位(格子サイズ、 $32^3 \times 64 \times 16$ 。物理的空間サイズはこれまでと同様、一辺 2.9 fm の箱)がすでに RBC+UKQCD collaborations によって公開されているので、その QCD ゲージ配位を利用した計算を引き続き行なうことが本研究課題の計画である。

表 1: 今後予定している格子 QCD 計算

| 格子サイズ | アップクォークの質量 | π 中間子の質量 | 統計数 |
|----------------------------|---|--------------|----------------|
| $32^3 \times 64 \times 16$ | $m_{ud} = 0.004$ ($m_{ud}/m_s \approx 1/8$) | 295 MeV | 300×2 |
| $32^3 \times 64 \times 16$ | $m_{ud} = 0.006$ ($m_{ud}/m_s \approx 1/6$) | 350 MeV | 300×2 |
| $32^3 \times 64 \times 16$ | $m_{ud} = 0.008$ ($m_{ud}/m_s \approx 1/4$) | 400 MeV | 200×2 |