

課題名 (タイトル):

中性 B メソン混合と崩壊定数の高精度計算

利用者氏名 : 青木 保道, 石川 智己, 出淵 卓

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター

理研 BNL 研究センター 計算物理研究グループ

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

CP(粒子-反粒子の対称性)の破れ、は小林-益川理論を要素となす素粒子標準模型の特筆すべき性質で、特に、その帰結である重い中性 B メソンがその反粒子へ転換する頻度は、KEK B ファクトリー他の加速器実験で 1%未満という高精度で求められている。この実験結果から標準模型の基本パラメタである小林-益川行列要素を求めるために必要な、中性 B メソン混合行列要素と崩壊定数の格子 QCD による高精度計算をここで行う。それにより、B メソンをプローブとした標準模型の精密検証を目指す。

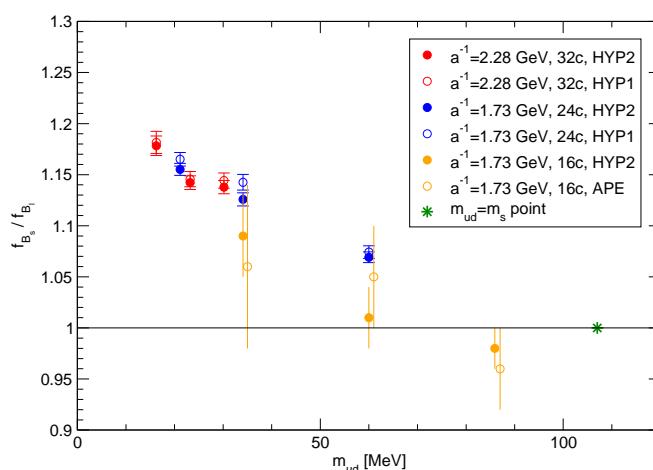
2. 具体的な利用内容、計算方法

上述の物理量の高精度計算には QCD の複雑なダイナミクスをもれなく取り込むことが可能な、格子 QCD による第一原理数値計算が必要になる。さらに標準模型の特性から特に連続理論の QCD の持つカイラル対称性をよく保つ格子理論を使う必要がある。その要請を満たすべく、ドメインウォールフェルミオンを軽いクォークに用い、b-クォークは格子上の重クォーク有効理論を用いる。QCD 真空配位は RBC/UKQCD コラボレーションが作成し公開されているものを用い、必要な 2 点、3 点グリーン関数の計算を RICC 上で行い、行列要素を計算する。格子 QCD の計算結果から格子間隔ゼロの極限を得るために必要な 2 つの格子間隔のうち、粗い格子上の計算は昨年度にほぼ完了し、今年度は細かい格子間隔での数値計算を行い、中性 B メソン混合行列要素と崩壊定数の連続極限での精密値を求める事を目標とした。

3. 結果

このプロジェクトでもっとも計算時間が必要な、細かい格子上の d, s クォークの伝播関数計

算は、一つの起点からの計算が完了し、3 点関数の構成に必要なもう一つの起点からの計算の約 1/3 が完了している。図は、一つの起点からの伝播関数で計算出来る崩壊定数の B_s^0 - B_d^0 比 (s-d クォーク対称性の破れのパラメタとなる) を u, d クォーク質量 m_{ud} (シミュレーション点)の関数としてプロットしたもので、 $m_{ud}=4\text{MeV}$ 付近への外挿で現実世界に対応させる。このプロジェクトの



結果は赤(細かい格子)と青(粗い格子)で示され、2010 年に雑誌掲載された小さい体積を用いた我々の結果(黄:粗い格子)に比べ、遥かに現実世界に近い、小さい u, d クォーク質量まで、格段に誤差が縮小された結果が得られていることが見られる。プロジェクトの初期段階に時間をかけて行ったクォークの広がり精密調整の成果だと言える。新しい結果は、二つのタイプの格子重クォーク(HYP1 HYP2:格子系統誤差が異なる)と、二つの格子間隔の結果が非常に高い精度で一致する事を示しており、連続極限の値の高精度決定につながる。

4. まとめと今後の計画・展望

このプロジェクトの成果として、小林-益川行列要素の決定に最も重要な量としてまず期待される物に中性 B メソン混合行列要素の s-d クォーク対称性の破れのパラメタがある。これは、図

のと類似な量であるが、混合行列に、計算が完了していない二つ目の起点からのクォーク伝搬関数が必要であることから、現時点では粗い格子上の計算が完了しているにとどまる。にもかかわらず、現在の計算の単純な延長で、で確認された高精度の結果が細かい格子の上でも得られる事が期待されるので、来年度の継続により、計算を完了し、連続極限での精密値を導出したい。

や は、B 中間子中の軽いクォーク要素を d 、 s と取った場合の QCD 行列要素の比として定義される。比を取る事により様々な系統誤差ならびに統計誤差が相殺されることが精密な結果を導き、従って、小林-益川行列要素の精密決定に役立てる事が出来るのである。一方、比を取る前の QCD 行列要素は、小林-益川行列要素の違う側面からの精密決定、したがって、惹いては、標準模型の精密検証に重要であるが、統計誤差、系統誤差(特に重クォーク質量の逆数の一次と、演算子くりこみの誤差)ともに大きくなる。しかしながら、統計誤差、あるいは、くりこみの誤差を十分抑える事が出来れば、他のアプローチ(チャームクォーク質量付近での有効理論によらない直接計算など)との組み合わせで、精密結果を導く際のアンカーポイントという重要な役割を担う事ができる。低モード平均等の技術を導入して、現在の計算を拡張する事により、統計誤差の縮小が期待される。また、演算子の非摂動くりこみの手法の開発により、くりこみの誤差も抑える事が出来る。これら、新手法の導入により、比を取る前の QCD 行列要素の高精度化が今後の課題になる。

さらに、バレンス $d(u)$ クォークが関わる物理量は の図から分かるように、現実の d クォーク質量により近い点での測定が可能になれば、外挿の距離から来る系統誤差を縮小出来る。それが、次の課題になる。

- 5 . RICC の継続利用を希望の場合は、これまで利用した状況(どの程度研究が進んだか、研究においてどこまで計算出来て、何が出来ていないか)や、継続して利用する際に行う具体的な内容

上に述べたように、今年度の計算の単純な延長により、細かい格子上の混合行列要素の計算を完

了し、連続極限での値を導く。その結果から、対称性の破れのパラメタ の精密決定を行う。

また、新しい技術を導入した計算を実行する事により比を取る前の QCD 行列要素の精度向上を目指すとともに、現実の d クォーク質量により近い点での測定を行う事により、QCD 行列要素とその比で定義される、 の質量外挿の系統誤差を縮小する。

- 6 . 一般利用で演算時間を使い切れなかった理由

現時点(3月7日)で割当の 65%ほどを消化しているが、現在の進捗から推測して、年度末までにそれほどの増加は見込めないものと思われる。演算時間を使い切れなかった理由は二つある。

一つは、年度始めの震災に伴う縮退運転の開始により、当初半年で終了の予定であったプロジェクトの計画が不透明になった事である。このため、二つ目の(細かい)格子の計算を主眼においていた計画を変更し、計算機利用可能時間が短縮されても、終了するであろう、粗い格子の統計数の向上と、将来の計算を見据えた、細かい格子でのクォークの広がりパラメタの更なる最適化に費やす方向に舵を切った(この決定は、計算時間の消費を妨げる事になったが、「結果」で示したような、高精度の QCD 行列要素を導く事に貢献している事を言及しておく)。その後、半年を超えた計算機利用が許される事が分かり、当初計画されていた、夏以降の縮退運転が通常運転になった事から、割当時間をフルに使った細かい格子の計算に計画を再度変更した。

二つ目は、ある時点で、計算スループットから将来の計算時間消費を予想するのが難しいことを挙げたい。当初半年の当プロジェクトは、二度の四半期延長を申請し、結果、通年プロジェクトになった。昨年 12 月の最後の延長の際に、その時点の一ヶ月ほどの平均スループットから、残りの演算時間は 2 月中に使い切る事が予想できたので、演算時間の縮小無しに申請を行った。しかし、1 月の後半からキューに溜まったジョブが、ほぼ掃けなくなり、現在に至っている。

- 7 . 利用研究成果が無かった場合の理由

平成 23 年度 RICC 利用報告書

このプロジェクトは当初の目的を完了するに至っていない。プロジェクトの目的が、数値精度向上にあり、また、その結果の影響の大きさから、近い将来に結果が変わりうる段階での公表を避けるため、年度中の発表を行わなかった。

しかし、後一息で、公表出来る結果が得られる事はここに報告している通りである