

受付 ID	15a-21
分野	素粒子分野

格子 QCD による K 中間子崩壊振幅の研究

Calculation of K meson decay amplitude from lattice QCD

石塚 成人

筑波大学 計算科学研究センター

1. 研究目的

現在、格子 QCD では、計算機の計算能力および計算アルゴリズムの進歩により、現実のクォーク質量でのシミュレーションが可能となっている。ハドロン質量は誤差数%で求められており、標準模型の未知定数の一つであるクォーク質量の精密決定が出来るようになってきた。

この様に格子 QCD の最近の進歩は目覚ましいものがある。しかし、一方で昔からの未解決な問題で、かつ標準模型の検証において極めて重要な問題が残されている。K 中間子崩壊での $\Delta I=1/2$ 則の解明と、CP 非保存パラメータの理論からの予測である。これらの問題には、K 中間子が二つの π 中間子に崩壊する過程の崩壊振幅の計算が必要である。崩壊過程には、終状態のアイソスピンが $I=0$ と $I=2$ の二つの場合があり、それぞれの崩壊振幅を A_0 と A_2 と呼ぶ。先の問題の場合、これら両方の振幅の計算が必要であるが、 A_0 の計算が極端に難しく、先の問題が未解決のまま残っているのである。計算が難しい理由は、“非連結グラフ”と呼ばれるダイアグラムが存在し、そのため統計誤差が非常に大きくなるからである。

上記の背景のもと、本プロジェクトの目的は、 A_0 と A_2 両方の K 中間子崩壊振幅を、格子 QCD により数値計算し、未解決問題である $\Delta I=1/2$ 則の研究、および CP 非保存パラメータ求め素粒子標準模型における CP 非保存現象の理解を確立することである。

本プロジェクトは、平成 26 年度からの継続プロジェクトである。実際のクォーク質量では、K 中間子は有限運動量をもつ π 中間子へ崩壊する。平成 26 年度研究では、ゼロ運動量の π 中間子へ崩壊する非物理の場合について考え、計算の最大の障壁になっている非連結ダイアグラムの計算方法の開発を行った。そして、その場合について崩壊振幅を求めた。平成 27 年度研究では、これまでの研究を有限運動量の場合に拡張し、より信頼性の高い崩壊振幅を求める事を考える。

2. 研究成果の内容

本研究では、平成 26 年度研究を有限運動量の場合に拡張し、より信頼性の高い崩壊振幅を求める事を考える。計算は、格子間隔 0.09fm 、格子サイズ 4.6fm 、 π 中間子質 250MeV 、K 中間子質量 560MeV のもとで行う。崩壊振幅は、崩壊過程： $K(p) \rightarrow \pi(p)\pi(0)$ について計算する。ここで $p=2\pi/L$ は考えている格子上で許される最低の運動量である。これは、崩壊過程： $K(0) \rightarrow \pi(p/2)\pi(-p/2)$ を考えることと同じである。

非連結ダイアグラムには、弱演算子のところで、クォークが同じ位置に戻ってくるクォーク ループが存在する。このクォーク ループの統計揺らぎが、非連結ダイアグラムの大きい統計揺らぎの原因の一つになっている。クォーク ループの計算には、ゼロ運動量の場合に有効であった二つの方法：ホッピング パラメータ展開法、不完全収束法 を用いて計算する。有限運動量をもった K 中間子と π 中間子には、運動量ウォール ソース演算子を用いる。更に統計精度上げる為に、オールモード アベレージ法をこの演算子に用い、全時間平均をとる。

平成 27 年度研究では、これらの計算法を組み見込んだ計算コードを開発し、統計数=50 までの試験計算を行い、計算効率と崩壊振幅の統計揺らぎの大きさを調べた。それにより、

ゼロ運動量の場合と比較して、さほど統計揺らぎは大きくなりなことが分かった。これにより、我々が採用した計算方法の有効性が示された。また、各クォークダイアグラムの大きさは、ゼロ運動量の場合と非常によく似ていることが分かった。

本研究を元に平成28年度は崩壊振幅の本格計算を開始し、暫定的な結果を得る予定である。

3. 学際共同利用として実施した意義

K中間子崩壊には、解決できていない重要な問題がある。その問題に多くの計算手法によりアプローチすることは、素粒子物理のみならず、学際的計算科学の発展に貢献できたのではないかと考えている。

4. 今後の展望

平成27年度計算において、採用した計算方法が有効なものであることが示された。平成28年度の研究では、この成果を元に、崩壊振幅の本格計算を開始する。約二年間で統計数=2,000の計算を行い、最終的な結果を得る予定である。その後は、その結果を元に、現実のクォーク質量の元での計算に向けた準備研究を行う。そこでは、更に大きい運動量の π 中間子を扱う必要があり、それに有効な演算子を作る必要がある。それをクリアーして、クォーク質量による外挿無し比較できる物理量を求めるのが今後の目標である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Calculation of $K \rightarrow \pi\pi$ decay amplitudes with improved Wilson fermion action in lattice QCD, Physical Review D92 (2015) 074503.

(2) 学会発表 なし

(3) その他 なし

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*
HA-PACS	○	2500 時間
HA-PACS/TCA		
COMA	○	2800 時間
※配分リソースについては 32node 換算時間をご記入ください。		