

Charmonium spectrum from quenched QCD on anisotropic lattices

著者	Okamoto Masataka
内容記述	Thesis (Ph. D. in Science)--University of Tsukuba, (A), no. 2843, 2002.3.25 Includes bibliographical references
発行年	2002
URL	http://hdl.handle.net/2241/5644

氏名(本籍)	おかもとまさたか 岡本昌高(兵庫県)		
学位の種類	博士(理学)		
学位記番号	博甲第2843号		
学位授与年月日	平成14年3月25日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	物理学研究科		
学位論文題目	Charmonium Spectrum from Quenched QCD on Anisotropic Lattices (クエンチ近似を用いた非等方格子QCDによるチャーモニウムスペクトラム)		
主査	筑波大学教授	理学博士	青木慎也
副査	筑波大学教授	理学博士	宇川彰
副査	筑波大学教授	理学博士	金谷和至
副査	筑波大学助教授	理学博士	石塚成人
副査	筑波大学助教授	理学博士	早川(吉江)友照

論文の内容の要旨

現在、素粒子物理学においてはその「標準理論」がほぼ確立しているが、この理論は小林-益川行列と呼ばれる任意パラメタを含んでいる。したがって、いろいろな実験結果から小林-益川行列を決定することは、「標準理論」の検証、あるいは「標準理論」を越えた物理現象の発見、のためには不可欠である。実験結果から小林-益川行列を引き出すには強い相互作用の効果を含んだハドロンの行列の計算が必要であるが、格子QCDのモンテカルロ法による数値計算は軽いクォークから構成されるK中間子などの行列要素の計算に成功を収めてきた。ボトムクォークなどの重いクォークに関する小林-益川行列の決定のためには、格子QCDで重いクォークを取り扱わなければならないが、重いクォークのコンプトン波長より小さい格子間隔での計算が必要なため、今までの計算法では莫大な時間がかかってしまう。そのため、これまでは近似的な計算しか行われておらず、信頼できる計算結果がなかった。日本のKEKやアメリカのSLACでのBファクトリーでの実験を筆頭に重いクォークの物理はますます重要になってきており、格子QCDによる信頼できる理論計算が必要とされている。

本論文では、格子上で重いクォークを取り扱う新しい方法である非等方格子QCDを用いて重いクォークの1つであるチャームクォークの束縛状態であるチャーモニウムのスペクトラムを計算した。非等方格子QCDは時間方向の格子間隔を重いクォークのコンプトン波長より小さくする一方で、重いクォークの束縛状態の空間運動量が比較的小さいことから空間方向の格子間隔は比較的大きく保ったままの格子QCDの定式化である。この方法によって計算時間の増大を押さえることができ、格子QCDのクエンチ近似という計算法と組み合わせることで格子間隔がゼロへの信頼できる外挿が可能になった。本研究では空間方向の格子間隔と時間方向の格子間隔との比を3に取ったので従来の約27分の1の計算時間で結果を得ることができた。

本論文では、新しい方法である非等方格子QCDに対する様々なテストを行った後で、筑波大学計算物理学研究センターにある専用並列計算機CP-PACSを用いて本格的な計算を行い、クォークの対生成・消滅を無視したクエンチ近似の範囲で、次のような結果を得た。

- (1) 連続極限で得られたチャーモニウムのスペクトラムの質量分布は実験とほぼ一致している。例えば、格子計算で得られたP状態のいろいろなチャーモニウムの質量の大小関係は実験のものと同じである。
- (2) しかしながら、定量的な点では実験との食い違いも見られた。例えば、S状態のスピンに依存した質量差に

については30%程度, P状態のスピンに依存した質量差については20%程度, それぞれ実験値より小さいという結果が得られた。これらの実験値との食い違いの大部分はクエンチ近似によるものと考えられ, クォークの対生成・消滅の効果を取り入れることで解消されると思われる。

(3) 理論的な考察と数値的な効果を組み合わせて, 従来の計算結果の問題点を定量的に説明し, 本計算の系統誤差を正確に評価した。

クエンチ近似の範囲でさえも, チャーモニウムのS状態のスピンに依存した質量差を格子間隔がゼロの連続極限で信頼できる評価をしたのは本論文が始めてであり, クォークの対生成・消滅の効果を取り入れた今後の発展が期待される。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文で用いられた非等方格子QCDの方法は重いクォークを格子上で扱う方法として有力なものであり, 本論文はその方法の有効性を確立したもので, その価値は極めて高いと考えられる。この論文の結果によって, 格子QCDによる重いクォークの物理の研究がさらに進展すると期待され, 素粒子の標準模型の精密検証やそれを越える物理の発見に寄与すると思われる。また, チャーモニウムのスペクトラムにおけるクォークの対生成・消滅の効果の重要性を疑問の余地なく示したことも大変意義深い。

以上, 本学位論文で得られた結果は, 素粒子物理学の研究における格子QCDの数値計算法の有効性を再認識させるだけでなく, その新しい発展を促すものであり, 素粒子の標準模型の確立, 発展につながっていくと考えられる。

よって, 著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。