物質優勢宇宙の謎解明のための核子構造精密計算



@ 2016年理研シンポジウム「スーパーコンピューターHOKUSAIとShoubu, 研究開発の最前線」 6月8日, 2016



格子色力学を用いた核子構造の理解による標準模型を超えた物理の探求 (i) 核子電磁形状因子

(ii)陽子崩壊行列要素

(iii)標準模型を超えた物理から導かれる色電荷電気双極子能率

カイラル対称性を保つ2+1フレーバードメインウォールフェルミオンによる格子QCD計算

(i)形状因子と(ii)陽子崩壊の行列要素に関しては、 48x48x48x96の4次元格子体積での物理 クォーク質量直上でのモンテカルロ計算

(iii)色電荷電気双極子能率においては、32x32x32x64の4次元格子体積(mπ ~ 170 MeV)の計算 を行う。Gauge ensembles are generated by RBC/UKQCD collaborations.

研究成果ハイライト(1)

CP対称性を破る色電荷電気双極子能率の計算 chromo electric dipole moment (cEDM)

CP (&P) の破れと電子双極子能率 Electric Dipole Moments (EDM)

 Electric Dipole Moment d 外部電場Eによるエネルギー変位 ΔH



EDMは P&T (CP through CPT)の破れの証拠



cEDM計算における主な2つの困難

1.4点グラフの計算により計算量が増大と大きな統計誤差



->HOKUSAIによる大規模数値計算とAMA法による誤差縮減

2. 高次元演算子による大きな二次発散の不定性

$$(\bar{q}(\sigma \cdot G)\gamma_5 q)_{lattice} \sim \frac{1}{a^2}(\bar{q}\gamma_5 q) + \frac{M}{a}(\bar{q}\gamma_5 q) + (\bar{q}(\sigma \cdot G)\gamma_5 q)$$

連続極限(a->0)で大きな発散

-> Gradient flow法を用いた演算子の改良を実行中

我々のPreliminaryな結果: cEDMによるCP混合角 (α) の計算

$$\sum_{s} u_{N}(p,s)\bar{u}_{N}(p,s) = E_{N}\gamma_{0} - i\vec{p}\vec{\gamma} + m_{N}e^{i\alpha\gamma_{5}}$$
$$\mathrm{Tr}\frac{1+\gamma_{t}}{2}\gamma_{5}\left\langle \mathsf{N}(T)\sum_{x}\mathcal{O}_{\mathrm{cEDM}}(x)\bar{\mathsf{N}}(0)\right\rangle \propto \alpha$$



Figure 2: The magnitude (left) and the stochastic noise (right) of the correlator in Eq.(3) with the *u*-quant chromo-EDM operator depending on the time coordinate of the cEDM insertion, and the number of HEX smearing steps applied to the gauge field. The nucleon source is²⁰ at $t^{40} = 0$ and the nucleon ¹²⁰ k is¹⁴⁰ at $t^{160} = 8a$. Statistics is 512 exact + 16 sloppy samples on 16 (stuge config 0: 0) N

Gradient flow時間による物理量の振る無いの変化 x軸: Gradient flow 時間 prisingly, gauge field smearing does not have any effect on the gauge noise; we hope that this will also hold for the gradient flow and the operators smeared with a wide range of 大きなflow時間をとる gradient flow times will not suffer from increased noise. It is reassuring that the stochastic precision for a_u is appendix targy 200 with body 512 shoppy samples on 16 gauge configu-形状因子計算を現在進行的。An analogous study is underway for the cEDM operator with the application of the flow time for the renormalization study.

θ角によるトポロジカルな揺らぎを用いた quark EDM の計算結果 [E. Shintani et al.]

$$\langle u_N(p')|J^{\mu}|u_N(p)\rangle_{CP} = \gamma^{\mu}F_1(q^2) + \sigma^{\mu\nu}q_{\nu}\frac{F_2(q^2)}{2m_N} + i\gamma_5\frac{\sigma^{\mu\nu}q_{\nu}}{2m_N}F_3(q^2)$$





F3 @ Mpi=300 MeV



研究成果ハイライト(2)

陽子崩壊に関する行列要素の計算

ディラック固有ベクトルの計算及びall-mode平均法による統 計誤差の縮減を持ちいた計算



陽子崩壊行列要素の計算結果 [E. Shintani et al.]



π中間子質量(Mπ) >= 300 MeVにおいて計算が終了。 本研究により高精度計算が実現可能であることがわかる。しかし、 カイラルバグ模型による異常なπ質量依存性が存在する可能性が指摘されており、 より信頼出来る物理点直上(M_π=140 MeV)での計算が必要(現在進行中)