

離散ゲージ理論におけるバリオン系の数値解析

東京大学 理学部 氏名 山本 新

目的 強い相互作用の有効モデルである離散ゲージ理論の性質を調べる

内容 ハミルトニアンの中エネルギー固有値を数値計算した

結果 各バリオン数におけるエネルギー準位が得られた

利用した計算機	SQUID ベクトルノード群
ノード時間	10 時間
使用メモリ	41 GB
並列化	1ノード

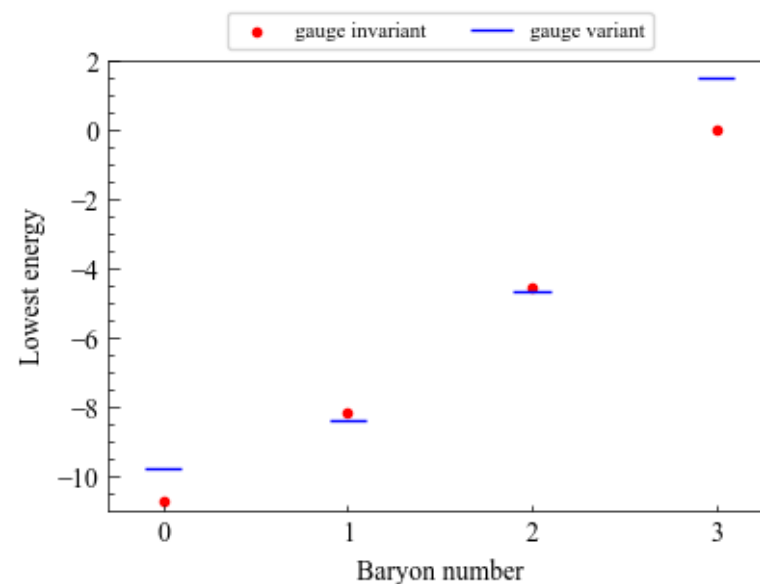


図 バリオン数ごとの基底状態エネルギー

格子QCDによる有限温度量子色力学における バリオン数の空間相関の研究

大阪大学大学院 理学研究科 浅川正之、赤松幸尚

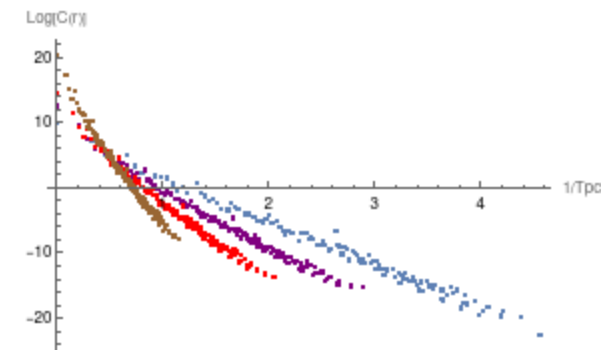
目的 クォークグルーオンプラズマの微視的構造を理解する。

内容 格子サイズ $16^3 \times 4$ の2 flavor full QCD でバリオン数の空間相関の計算を行った。 m_{ps}/m_v は0.8とした。温度は $T/T_{pc}=0.76, 1.20, 1.69, 3.01$ の4通りで行った（それぞれ、青、紺、赤、緑に対応）。

結果 結果を右下に示す（マイナス符号をつけて、対数を取っている）。今回はテスト計算のため、disconnectedのグラフの寄与は取り入れていない。遠距離では温度に依存する指数関数的振る舞い、近距離ではべき的な共通の振る舞いが見出された。

利用した計算機 SQUID 汎用CPUノード群
ノード時間 0 時間

本年度は諸般の事情により計算時間を取れなかった。
上記は昨年度までの結果である。来年度は計算を進めたい。



図（シミュレーション結果）

目的 スピン自由度に關与する集団現象を通じてエネルギー密度汎関数(EDF)における時間反転奇の密度の結合定数を決めること

内容 原子核に対する密度汎関数計算でよく用いられるスキルム型EDFは以下の形をもつ。

$$\mathcal{E} = \frac{\hbar^2}{2m} \tau_0 + \sum_{t=0}^1 (\chi_t^{\text{even}} + \chi_t^{\text{odd}}) + \sum_{\tau=n,p} \tilde{\chi}_\tau + \mathcal{E}_{\text{Coul}}$$

$$\chi_t^{\text{even}} = C_t^\rho [\rho_0] \rho_t^2 + C_t^{\Delta\rho} \rho_t \Delta\rho_t + C_t^\tau \rho_t \tau_t + C_t^{J0} J_t^2 + C_t^{J1} \mathbf{J}_t^2 + C_t^{J2} \underline{J}_t^2 + C_t^{\nabla J} \rho_t \nabla \cdot \mathbf{J}_t$$

$$\chi_t^{\text{odd}} = C_t^s [\rho_0] s_t^2 + C_t^{\Delta s} s_t \cdot \Delta s_t + C_t^T s_t \cdot \mathbf{T}_t + C_t^j j_t^2 + C_t^{\nabla j} s_t \cdot (\nabla \times \mathbf{j}_t) + C_t^{\nabla s} (\nabla \cdot s_t)^2 + C_t^F s_t \cdot \mathbf{F}_t$$

この中で係数 C_t^s は不定性が大きい。

結果 係数 C_t^s にfactor f を掛けて, アイソマーのスピンの寄与する軌道部分・スピン分の f に関する依存性を調べた。

利用した計算機

SQUID 汎用CPUノード群

ノードポイント 20.1 ポイント

使用メモリ

Home 4 GB/ HDD 439 GB

並列化

openMP

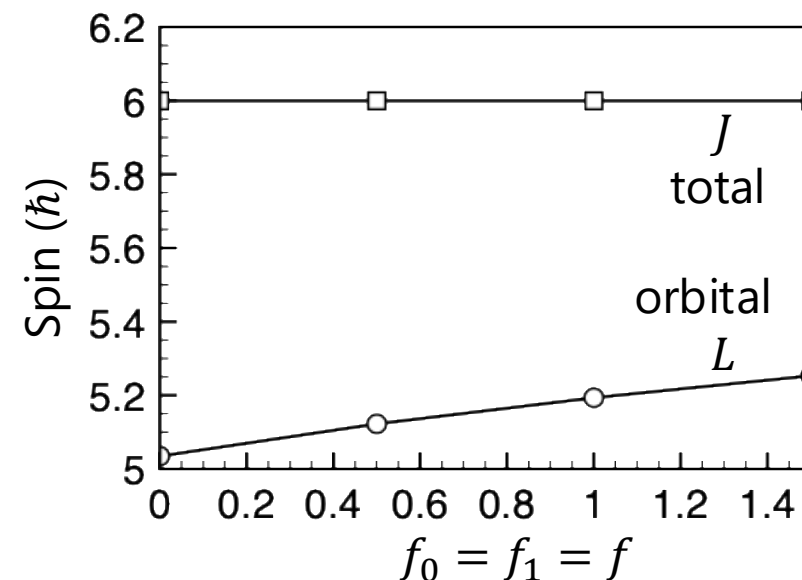


図: ^{52}Fe の 12^+ アイソマーにおける中性子部分の角運動量をSkM*汎関数を用いて計算したもの

Monopoles, spectra of overlap fermions, and eta-prime meson in external magnetic fields

長谷川 将康

Bogoliubov laboratory of Theoretical Physics,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow oblast, Russia

目的：強磁場が、モノポール、インスタントン、クォーク閉じ込め、カイラル対称性の破れや中間子に与える影響を格子 QCD シミュレーションで調べる。

内容：イタリア Pisa 大学との共同研究で、磁場を入れた $N_f = 2 + 1$ の動的クォークを含む QCD 真空を生成した。生成した QCD 真空から、格子 QCD でカイラル対称性を厳密に保つ overlap fermion の Dirac 演算子の固有値と固有ベクトルを大型計算機を使って計算した。そして、QCD 真空、固有値と固有ベクトルからモノポール密度、インスタントン数、クォークの非閉じ込めとカイラル対称性の自発的破れを示す秩序変数やメソンの質量等を計算し、磁場の影響を調べた。

結果：予備的結果だが、磁場が強くなると eta-prime の質量が少し軽くなることを示した。結果は、Theor Math Phys 219, 1018–1047 (2024) に掲載されている。

計算機：2018 年度に SX-ACE で計算した結果を元に PC クラスタ等で解析を行った。

原子核構造及び低エネルギー原子核反応の理論的研究

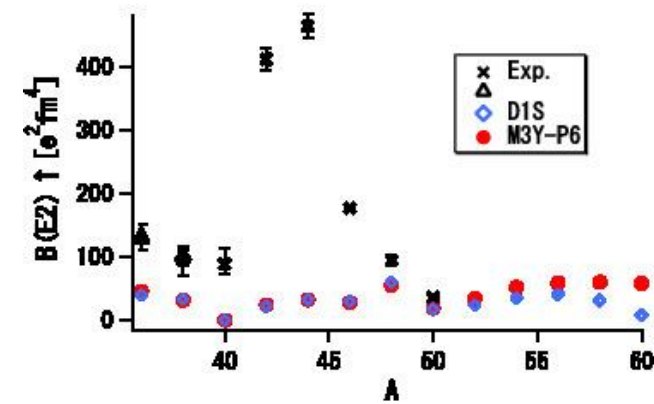
千葉大学 理学研究院 中田 仁

目的 主として半微視的有効相互作用を用いた自己無撞着理論計算により、幅広い質量領域での原子核構造及び散乱の総合的・統一的記述、またそれに基づく不安定核や中性子星の構造等に関する新たな理解を目指す。

内容 Ca核において荷電半径が異常な振舞いを持つことが知られており、E2遷移強度との関連を論じる研究がある。HFB+QRPAにより、パラメータを導入することなくCa核の低励起状態のエネルギー及び遷移強度を計算し、荷電半径の異常な振舞いとの関連を調べた。

結果 実験で得られているCa領域（特に $^{42,44}\text{Ca}$ ）でのE2遷移確率の増大が、通常の球形核の振動としては理解困難であることを確認した。荷電半径の異常との関連を示唆する結果と考えられる。

利用した計算機	SQUID 汎用CPUノード群
ノード時間	7,182 時間
使用メモリ	48 GB
並列化	1ノード 並列 (12コア)



Cassiniパラメータを用いた核分裂ダイナミクスの研究

日本原子力研究開発機構 岡田 和記

目的：Cassiniパラメータを用いた核分裂ダイナミクスによって、U核分裂の質量分布や運動エネルギー分布を評価する。

手法：本研究では、核分裂形状を記述するのに有効である5次元CassiniパラメータをLangevin方程式で解くことで分裂シミュレーションを実施する。その際、Langevin方程式に含まれる輸送係数が核分裂ダイナミクスに与える影響について議論する。

結果：巨視的輸送係数と微視的輸送係数を用いた場合での、分裂片質量分布の違いをLangevin計算結果から示した。微視的輸送係数を用いることで、複数の分裂モードが組み合わさった質量分布が得られた。5次元空間で輸送係数の微視的効果を加えた大規模計算は、初の試みである。

利用した計算機 SQUID 汎用CPUノード群

ノード時間 600 時間

使用メモリ 100 GB

並列化 1ノード

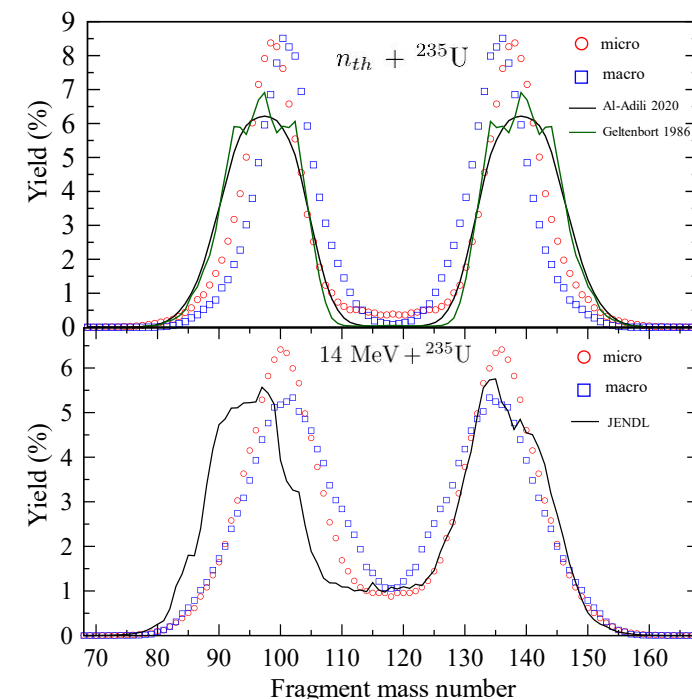


図: ^{236}U 分裂片質量分布

格子QCD計算を用いた 静的クォーク・反クォーク間のカラー相関の研究

群馬高専 高橋徹, 京都大学 金田佳子

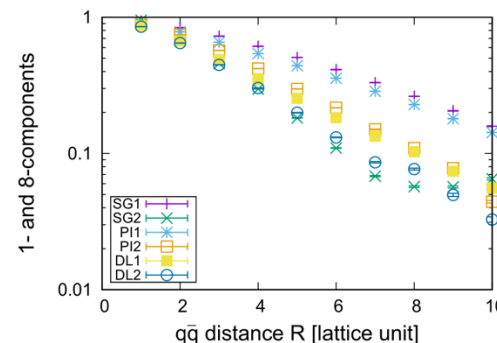
目的 クォーク多体系のカラー自由度に関する縮約密度行列を計算し、クォーク間のカラー相関量を求めることにより、カラー 1 重項クラスター内部のクォーク状態を調べ、ハドロン内部構造に関する知見を得る。

内容 格子QCD計算を用いてクォーク多体系のカラーに関する縮約密度行列を求め、クォーク間距離依存性などの挙動を解析することにより、クォーク系の閉じ込めの様子を定量化する。

結果 基底状態とグルーオンの励起状態におけるクォーク・反クォーク対カラー相関量を求め、その関数形を考察し、ハドロン内部構造がクォークカラー相関に反映されていることを見出した。

利用した（利用予定の）計算機 SQUID

※2024年度は計算コードの改良やパフォーマンスチェックのみを行った。次年度に本計算に着手する予定である。



図（シミュレーション結果）： 横軸はクォーク・反クォーク対の距離。縦軸はカラー相関量。クォーク間の距離が増大しflux tube が形成されるにつれクォーク間のカラー相関が減少していく様子を示している。またその減少度合いはグルーオンの励起状態の量子数に依存していることがわかる。

ニュートリノ・核物理に基づいた 超新星爆発および原始中性子星の研究

沼津工業高等専門学校教養科 住吉光介

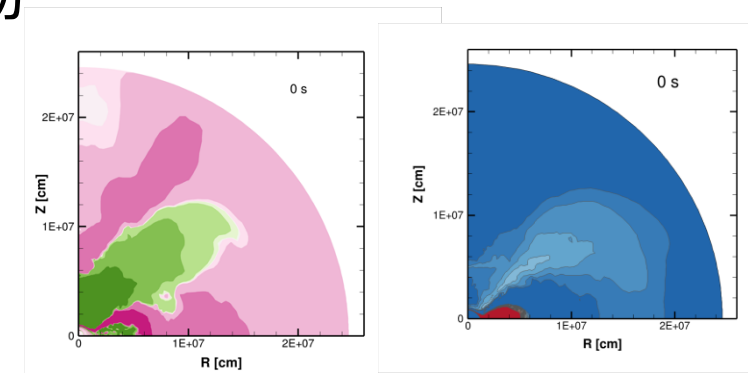
目的：ニュートリノ輻射輸送現象を厳密に解く計算手法により、超新星爆発メカニズム・原始中性子星における原子核・ニュートリノ物理の影響を明らかにする。

内容：ニュートリノ輻射輸送シミュレーション計算により超新星爆発や中性子星合体におけるニュートリノ放射の特徴や状態方程式の役割を探る。

結果：有効質量が異なる状態方程式を構築して、原始中性子星および超新星爆発へ適用して状態方程式の影響を探った。また、超新星ニュートリノの観測シグナルから爆発天体の性質を引き出す道筋を構築した。中性子星連星合体におけるニュートリノ輻射計算により組成変化・ニュートリノ振動の様相について明らかにした。

利用した計算機	SQUID Vectorノード群
ノード時間	約3,000 時間
使用メモリ	2.8 TB
並列化	512MPI並列(8VE)

(中性子星連星合体における大規模計算の場合)



図：中性子星連星合体における電子数比(左)およびニュートリノ化学ポテンシャルの分布(右)

「QCDの低次元化」に関する格子QCDを用いた研究

京都大学 理学研究科 當銘啓・菅沼秀夫

目的 クォークの閉じ込めなどが「4次元QCDの低次元化現象」と見なせる可能性を、強い力の第一原理計算である格子QCDを用いて調べる。

内容 Dimensional Reduction (DR) ゲージという新しいゲージを考案し、格子QCDを用いて「4次元QCDの低次元化」に関する解析を行った。

結果 DRゲージでの4次元QCDは2次元グルーオン成分のみでクォークの閉じ込め等を再現し、4次元QCDは「2次元QCD類似系」のアンサンブルで近似できるという結果を得た。

利用した計算機	SQUID ベクトルノード群
ノード時間	500 時間
使用メモリ	360 GB
並列化	10ノード 並列
ベクトル化率	94.4 %

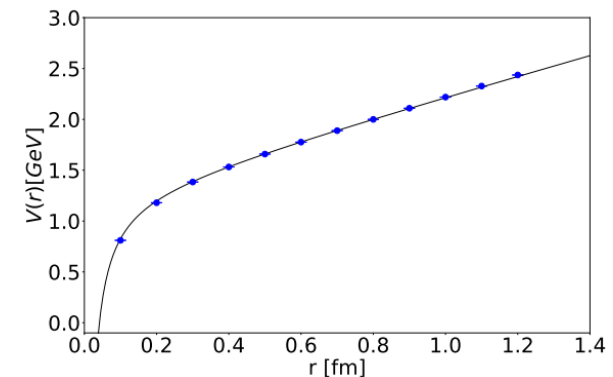


図 DRゲージでの格子QCDにおいて2次元グルーオン成分のみで再現されたクォーク間ポテンシャル。

Violation of non-Abelian Bianchi identity and QCD topology

Tsuneo Suzuki, RCNP Osaka Univ.

Purpose: To prove numerically the new color confinement mechanism proposed in the continuum QCD due to violation of non-Abelian Bianchi identity (VNABI)

Result: VNABI affects topological features of QCD drastically. Firstly, instantons can not be a classical solution of QCD. Secondly, the topological charge density is not expressed by a total derivative of the Chern-Simons density $K_{\mu}(x)$, but has an additional term $L(x) = 2 \text{Tr}(J_{\mu}(x) A_{\mu}(x))$. Thirdly, the axial $U(1)$ anomaly is similarly modified, while keeping the Atiyah-Singer index theorem unchanged. Numerical tests using SU2 QCD are shown.

Computing system: SQUID vector

SQUID-POINT	3000
memory used	40000 GB
vector per	95-99%
parallelize	64-128 node

SQUID CPU mode

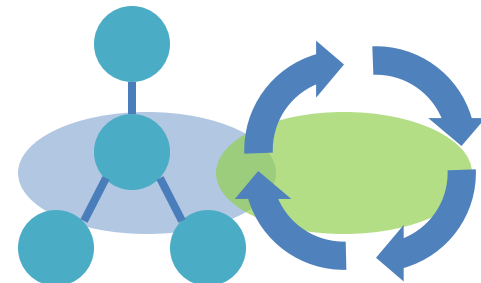


Image (the result of simulation)

Violation of non-Abelian Bianchi identity and QCD topology

当初の目的 申請者は、2014年に非可換な場合のビアンキ恒等式が破れる(VNABI)とき、それは可換なビアンキ恒等式の破れに等しくなり、後者は、可換なモノポールと解釈できることを見つけた。もしもこのモノポールが、連続QCDでも存在しておれば、ゲージの選択によらず、カラーの閉じ込めが証明される。2024年度は、軽いクォーク質量を持つ現実のfull QCDにおけるこのモノポールの存在について調べる。

内容・結果

上記の目的で申請し、3000SPが認められたが、7月時点に、この目的の研究の前に、調べるべき大きな理論的課題について気が付き、急遽方針を変更した。QCDのtopologyにVNABIが大きな変更を迫ることがわかり、理論研究とそれをチェックするSU2の小さな格子 24^4 上でのgradient法を使った小規模計算を行い、1) VNABIは、閉じ込めを説明するだけでなく、QCDのtopologyに大きな影響を及ぼすこと、2) instantonは存在できないこと、3) vacuum遷移やカイラル異常性の議論も変更を受けることなどを見つけた。それらについて、小規模計算結果と合わせて、上記タイトルの論文としてまとめた。

現在投稿中である。

利用した計算機

SQUID vector-node

ベクトル化率 99%-92%(1CPUで)

並列化 最大 64-128並列

SQUID CPU

SQUID-point 1139.6

使用メモリ 40000 GB

Truncated overlap フェルミオンを 用いた格子QCD計算による研究

広島大学 情報メディア教育研究センター 村上 祐子

国土舘大学 理工学部 関口 宗男

国土舘大学 理工学部 和田 浩明

千葉工業大学 教育センター 若山 将征

国土舘大学 体育学部 榎本 理恵

Truncated overlap フェルミオンを用いた格子QCD計算による研究

- 目的 QCDの枠組みを利用して、ダークマターの質量生成機構を解明することで、ダークマターの正体を探る。
- 内容 Truncated overlap フェルミオン(TOF)形式の作用による格子QCDのシミュレーションを行い、ダーク中間子の質量を計算する。
- 結果 TOF作用を用いたクエンチ近似による計算からダーク中間子の質量を予測し、エネルギースケールの仮定をより精緻にした結果を国際会議プロシーディングスとして発表した。

利用した計算機	SQUID (ベクトルノード群)
ノード時間	約1600 時間
使用メモリ	約600 MB
ベクトル化率	約99.6%
並列化	80並列

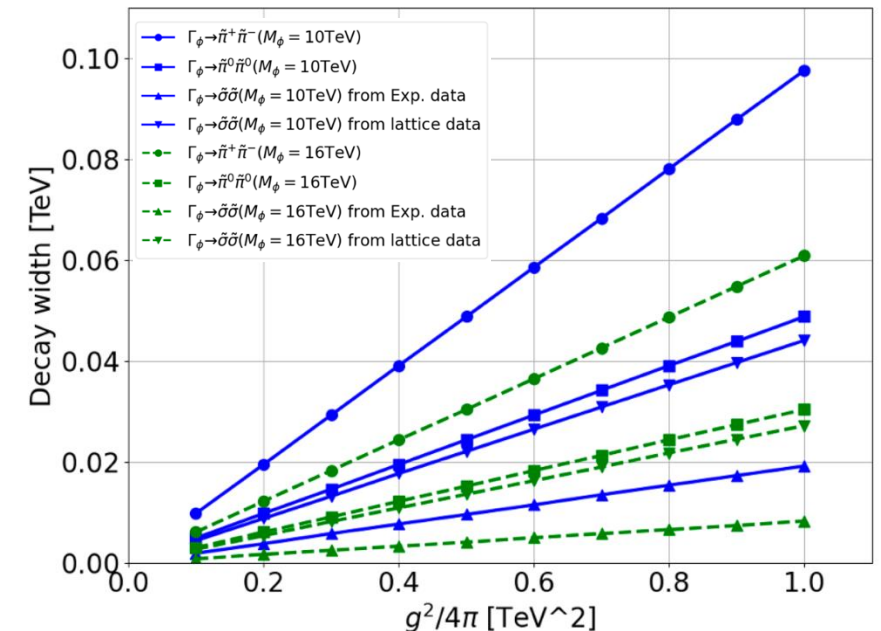


図 (シミュレーション結果)