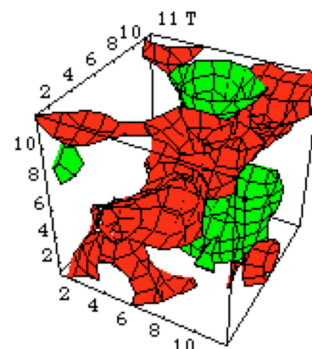
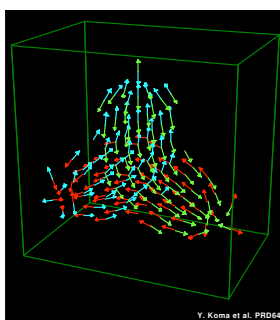
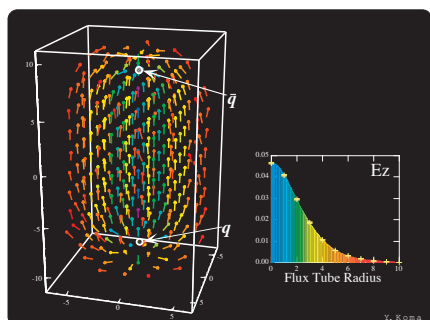


S Xで探る重いクォークの物理

駒 佳明
(沼津高専)

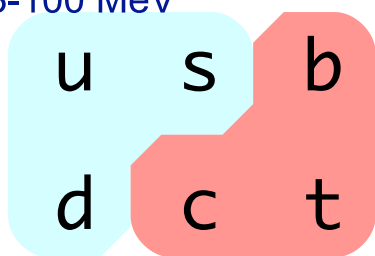
平成 20 年度スーパーコンピュータシンポジウム
大阪大学サイバーメディアセンター
2008 年 10 月 24 日



Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

研究目的：クォークの種類

- ▷ 軽いクォークと重いクォーク
3-100 MeV



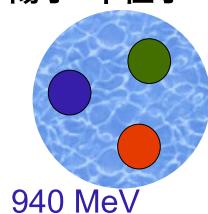
1300-170000 MeV

$1 \text{ MeV} = 1.78 \times 10^{-30} \text{ kg}$
(電子質量は 0.51 MeV)

質量や電荷が異なる 6 種類のクォークが存在する。最も軽い u クォークと最も重い t クォークの質量比は約 6 万。

(cf. 「クォーク」 by 南部陽一郎)

陽子・中性子



940 MeV

通常の原子核は軽い u , d クォークから構成される。
ハドロン (原子核や中間子の総称) のうち、重いクォークで構成される粒子は、高エネルギー加速器実験で生成できる。

(KEK Bファクトリー, CERN LHC, etc.)

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

研究目的：なぜ重いクォークか？

- ▷ 高エネルギー加速器を用いた重いクォークの研究は
 1. 素粒子の標準理論の確立
 2. 標準理論を超える物理の探索のために重要である。
- ▷ クォークはカラー電荷を持ち、ゲージ粒子であるグルーオンを介して相互作用する。この力学を記述する理論が量子色力学 (QCD) である。
- ▷ QCD を解いて、クォークとグルーオンからどのようにハドロンが構成されているか、**定量的**に調べる必要がある。

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

研究目的：クォークコニウムを調べる

- ▷ 重いクォークと反クォークの束縛状態であるクォークコニウムの性質を調べ、重いクォークの物理の解明に寄与する。
- ▷ 軽いクォークの場合と異なり、クォークコニウムの場合は「クォークと反クォークがポテンシャル中を**非相対論的に運動**している」という描像が成り立つ。

$$H = \frac{\vec{p}_1^2}{2m_1} + \frac{\vec{p}_2^2}{2m_2} + V^{(0)}(r) + \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) V^{(1)}(r) + O(1/m^2)$$

$V^{(0)}(r)$: 静的ポテンシャル, $V^{(1)}(r)$: $O(1/m)$ の相対論的補正項, ...

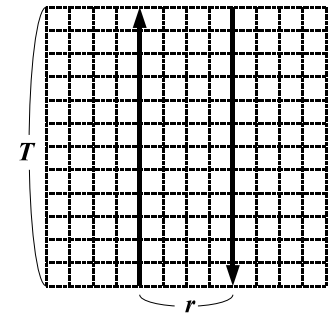
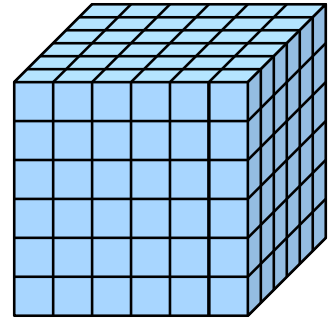
- ▷ クォーク間ポテンシャルを QCD から決定できれば、**量子力学的手法**により、**系統的に**クォークコニウムを調べることが可能となる。

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

研究手法：格子 QCD 数値シミュレーション

- ▷ 離散化された 4 次元格子上で、QCD の分配関数 (QCD 真空) をモンテカルロ法を用いて与え、物理量の統計平均 (期待値) を計算する。
- ▷ QCD 真空の生成と物理量の計算は、ともにベクトル化 (+パラレル化) によって大幅な高速化が可能。
- ▷ Polyakov ループ相関関数 (PLCF) の期待値から静的ポテンシャルを計算できる。

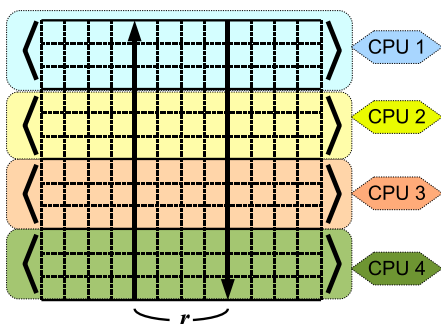
$$V^{(0)}(r) = - \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \ln \langle P^* P(r) \rangle$$



Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

研究手法：SX とマルチレベル-ノイズ逡減法

- ▷ PLCF は r と T が大きくなるにつれて指数関数的に小さくなるため、中長距離 (~ 1 fm : ハドロンのサイズ) のポテンシャルを精密に計算するのは難しい。
- ▷ マルチレベル-ノイズ逡減法



$$\langle P^* P(r) \rangle = \langle T(r) \rangle \otimes \langle T(r) \rangle \otimes \langle T(r) \rangle \otimes \langle T(r) \rangle$$
$$O(10^{-20}) \leftarrow O(10^{-5}) \times O(10^{-5}) \times O(10^{-5}) \times O(10^{-5})$$

格子を部分格子に分け、それぞれを別々の CPU に割り振る。

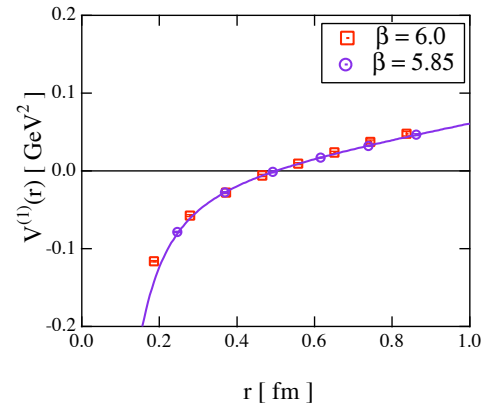
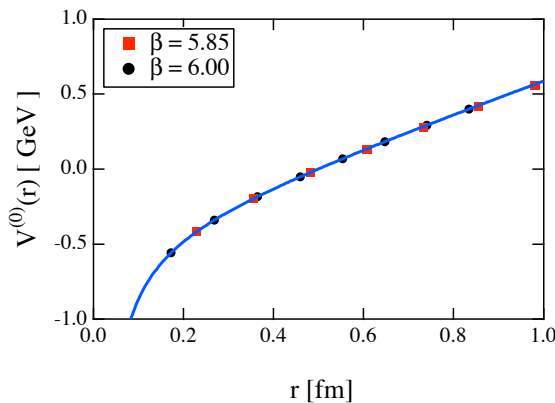
各々の部分格子で PLCF の構成要素 $\langle T(r) \rangle$ を計算し、最後に掛け合わせる。

SX 上で非常に効率よく実行できる

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

計算結果：ポテンシャル $V^{(0)}(r)$ と $V^{(1)}(r)$

- ▷ $V^{(0)}(r)$ は静的ポテンシャル
- ▷ $V^{(1)}(r)$ は $O(1/m)$ の相対論的補正項



- ▷ $O(1/m^2)$ 以上の相対論的補正項（クォークのスピンの依存）も同様の方法で計算できる。

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)

まとめ

- ▷ SX上で格子QCD数値シミュレーションを行い、クォークoniumの性質を系統的に調べる上で非常に有用であるクォーク間ポテンシャルとその相対論的補正項を調べた。
- ▷ マルチレベル-ノイズ逡減法をSX上で活用することにより、 $O(1/m)$ の相対論的補正項を世界で初めて計算した。

[Y. Koma, M. Koma & H. Wittig, Phys. Rev. Lett. 97 (2006)]

- ▷ $O(1/m^2)$ の相対論的補正項も同様に計算し、中長距離での振る舞いを明らかにした。

[Y. Koma, M. Koma, Nucl. Phys. B769 (2007) 79]

[Y. Koma, M. Koma & H. Wittig, Proc. Sci. LAT2007 (2007) 111]

[M. Koma, Y. Koma & H. Wittig, Proc. Sci. LAT2005 (2005) 216]

- ▷ 現在、相対論的補正項の関数形について解析中。

Y. Koma (Numazu Coll. Tech.)