

格点计算由同位旋破缺导致的 Σ 粒子质量差

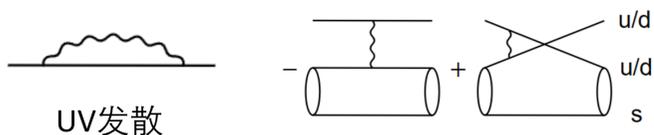
陆辰飞 指导教师:冯旭

介绍

在[1]中我们发展了一种在格点上用来计算 π 介子质量差的方法,其结果与实验值非常吻合.这里我们将其运用至 Σ 这样的重子上以验证其有效性.在计算过程中我们使用了IVR方法[2]以减少有限体积效应带来的系统误差.我们使用了一个2+1味的格点组态进行了数值计算.

相关费曼图

同位旋破缺分为两部分:ud夸克的质量差以及电荷差别,我们均取其领头阶贡献.在电磁修正中夸克自能图会导致紫外发散,需要额外的重整化以及定标较为复杂,因此我们选取了一个特定的质量组合 $\Delta m_\Sigma = m_{\Sigma^+} + m_{\Sigma^-} - 2m_{\Sigma^0}$ 以消除所有的夸克自能图以及ud夸克质量差产生的图.最终我们需要计算的费曼图如右下所示



IVR方法[2]

现在我们面临的是一个无限体积积分

$$I = \int d^4x H^{\mu\nu}(x) S_{\mu\nu}(x)$$

其中 $H^{\mu\nu}(x)$ 为四点函数, $S_{\mu\nu}(x)$ 为光子传播子.直接截断会产生指数压低的系统误差.为此我们将积分在某一时间 t_s 处断开,将积分分为短程和长程部分

$$I = I^{(s)} + I^{(l)}$$

短程部分可以直接计算.在长程部分中,由于激发态效应被指数压低,我们可以把时间 t 处的四点函数和 t_s 处的简单联系起来.由此积分变为

$$I^{(l)} \approx \int d^3\mathbf{x} H^{\mu\nu}(t_s, \mathbf{x}) L_{\mu\nu}(t_s, \mathbf{x})$$

其中

$$L_{\mu\nu}(t_s, \mathbf{x}) = \int \frac{d^3\mathbf{p}}{(2\pi)^3} e^{i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}} \int_{t_s}^{\infty} dt e^{-(E_p - M)(t - t_s)} \times \int d^3\mathbf{x}' e^{-i\mathbf{p}\cdot\mathbf{x}'} S_{\mu\nu}(t, \mathbf{x}')$$

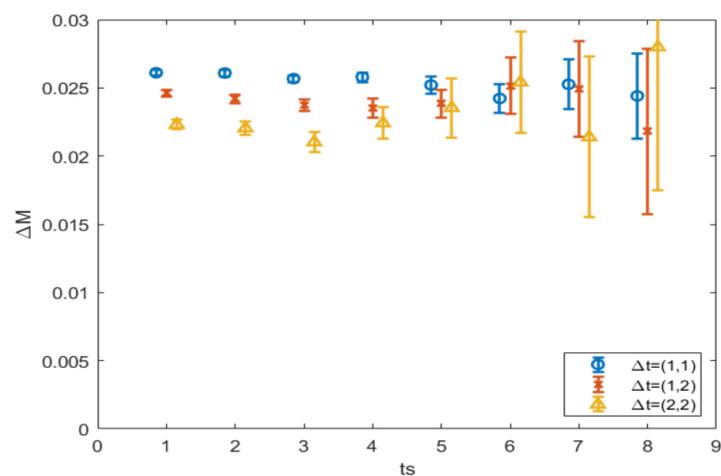
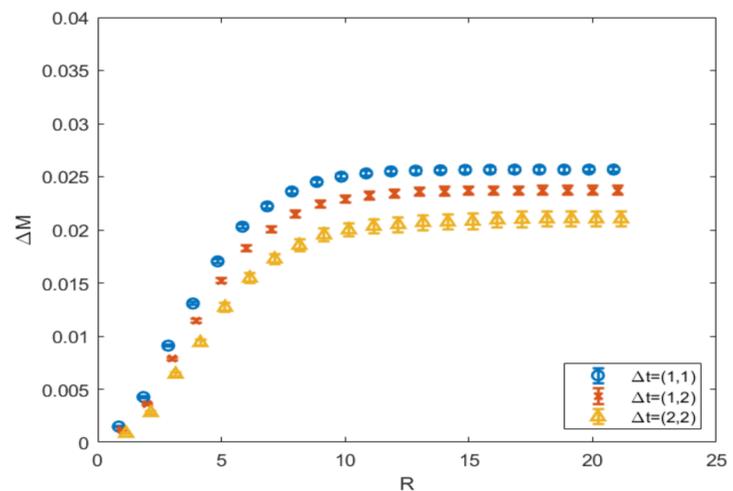
利用这种方法,有限体积截断导致的系统误差可以从多项式压低为指数.

数值结果

我们使用了由RBC-UKQCD合作组生成的2+1味 domain wall fermion组态[3].组态信息如下表所示.

Ensemble	m_π [MeV]	L/a	T/a	a [fm]	N_{conf}
24D	142	24	64	0.1943(8)	104

我们使用u/d夸克传播子代替了s夸克的传播子,计算了四点函数 $\sum_{x_i, x_f} \langle \psi_\Sigma(\mathbf{x}_f, t_f) j_\mu(x) j_\nu(y) \psi_\Sigma^\dagger(\mathbf{x}_i, t_i) \rangle$.电磁流与源之间的时间间隔 $\Delta t_i = \min\{t_x, t_y\} - t_i, \Delta t_f = t_f - \max\{t_x, t_y\}$.我们计算了 $\{\Delta t_i, \Delta t_f\} = \{a, a\}, \{a, 2a\}, \{2a, 2a\}$ 三种情况下的结果以验证激发态效应已可忽略.我们还计算了积分结果随着空间的积分半径的变化,确认了空间上的有限体积效应已经可以忽略.相关的数据结果在下两图中给出.最终我们选取 $\{\Delta t_i/a, \Delta t_f/a, t_s/a\} = \{2a, 2a, 5a\}$ 处的结果 $\Delta m_\Sigma = 2.16(22)$ MeV.与实验结果 $1.535(90)$ MeV相比有一定差距.我们将来会使用完整的s夸克传播子以及不同格距的格点数据进行更精确的计算.



参考文献:

- Xu Feng, Luchang Jin and Michael Joseph Riberdy, Lattice qcd calculation of the pion mass splitting. Physical Review Letters, 128(5):052003, 2022.
- Xu Feng and Luchang Jin, QED self energies from lattice QCD without power-law finite-volume errors, Phys. Rev. D 100, 094509 (2019)
- T. Blum et al. (RBC, UKQCD), Phys. Rev. D 93, 074505(2016)