

Z_c^+ in the lattice QCD

Journal club 2014/11/21 石塚成人

1. Introduction

これまで、 qq , qqq state 以外の、exotic state は見つかっていなかった。
しかし、charm 系で 2007年頃から、相次いで変なのが見つかった。

Z_c^+ (4430)	Bell(2007), Babar(2008), LHCb(2014)	$J^P = 1^+$
Z_c^+ (3900)	BESIII(2013), Belle(2013), CLEO-c(2013)	$J^P = ?$
Z_c^+ (4020)	BESIII(2013,2014)	$J^P = 1^+$ (preferred)
Z_c^+ (4200)	Bell (2014)	$J^P = 1^+$ (favoring)

: $\bar{c}c\bar{d}u$, $I^G(J^{PC}) = 1^+(1^{+-})$, decay : $D\bar{D}^*$, $J/\psi\pi$, $D^*\bar{D}^*$

	J^P	$\bar{d}\Gamma_c$	mass
D_0^*	0^+	I	2400
D	0^-	γ_5	1864
D^*	1^-	γ_i	2010
D_1	1^+	$\gamma_5\gamma_i$	2420

$$D + D^* = 3874$$

Lattice 計算

- 1) Search for $Z_c^+(3900)$ in the 1^{+-} channel on the lattice
S. Prelovsek, L. Leskove
PLB727(2013)172[arXiv:1308.2097].

4200未満には無い

- 2) Low-energy DD^{*+} scattering and the resonance-like structure $Z_c(3900)$
Y. Chen et.al.
PRD89(2014)094506 [arXiv:1403.1318]

無い ($J/\psi\pi$ を扱っていない : まゆつばもの)

- ③ Evidence for a charged charmonium-like Z_c^+ from QCD
S. Prelovsek, C.B. Lang, L. Leskove, D. Mohler
arXiv: 1405.7623v1

4200 近辺に有る

- ④ Study of the Z_c^+ channel using QCD
S. Prelovsek, C.B. Lang, L. Leskove, D. Mohler
arXiv: 1405.7623v2

4200 近辺にはない。4300付近に有るとは言えない。

2. Lattice 計算 3) , 4) の結果

計算パラメータ :

Nf=2

$m_\pi = 266 \text{ MeV}$ $a = 0.1239 \text{ fm}$

$L = 1.98 \text{ fm}$ #. conf = 280

計算方法 :

多数の散乱状態の中から、説明のつかない状態を探す

under 4300 MeV at $m_\pi = 266 \text{ MeV}$

states with same quantum number :

$$\begin{aligned} & J/\psi(0)\pi(0), \eta_c(0)\rho(0), J/\psi(1)\pi(-1), D(0)\bar{D}^*(0), \\ & \psi_{2S}(0)\pi(0), D^*(0)\bar{D}^*(0), \psi_{1D}(0)\pi(0), \eta_c(1)\rho(-1), \\ & D(1)\bar{D}^*(-1), \psi_3(0)\pi(0), J/\psi(2)\pi(-2), D^*(1)\bar{D}^*(-1) \\ & D(2)\bar{D}^*(-2) \end{aligned} \quad (2)$$

: 13個

上の状態以外に状態がみつかったら、それは Z_c だろう。

(Z_c の decay width は小さいので、ほぼ安定粒子として振る舞う)

3) Evidence for a charged charmonium-like Z_c^+ from QCD
 S. Prelovsek, C.B. Lang, L. Leskove, D. Mohler
 arXiv: 1405.7623v1 **4200 近辺に有る**

$$\begin{aligned}
 & J/\psi(0)\pi(0), \eta_c(0)\rho(0), J/\psi(1)\pi(-1), D(0)\bar{D}^*(0), \\
 & \psi_{2S}(0)\pi(0), D^*(0)\bar{D}^*(0), \psi_{1D}(0)\pi(0), \cancel{\eta_c(1)\rho(-1)}, \\
 & D(1)\bar{D}^*(-1), \psi_3(0)\pi(0), \cancel{J/\psi(2)\pi(-2)}, \cancel{D^*(1)\bar{D}^*(-1)} \\
 & \cancel{D(2)\bar{D}^*(-2)} \quad (2)
 \end{aligned}$$

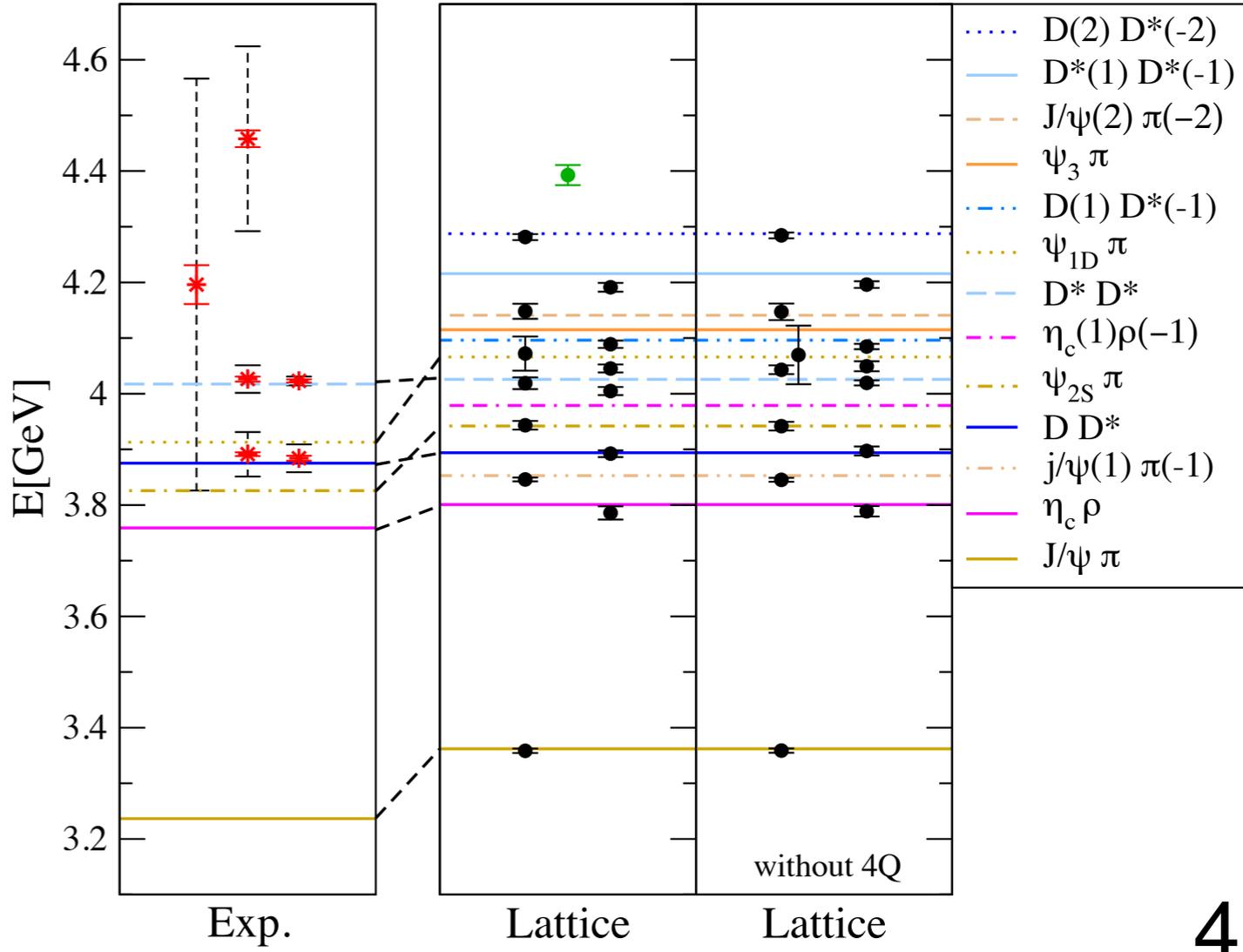
: 9個

上の9個の状態を emit する
 18個の演算子を考える:

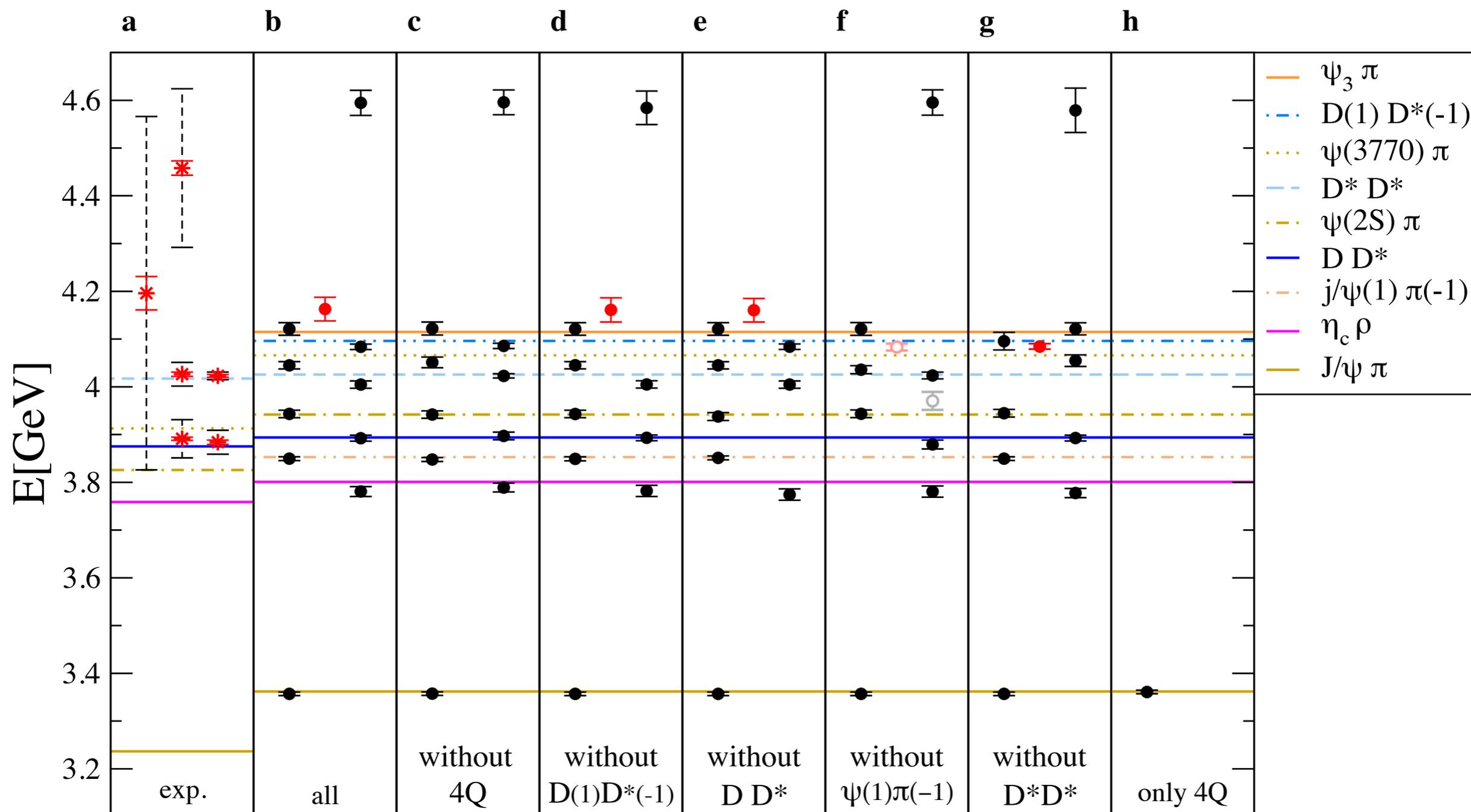
- $\psi(0)$: 8個
- D^* : 2個
- $(qq)(\bar{q}\bar{q})$: 4個

variational method :

$$\begin{aligned}
 G_{ij}(t) &= \langle 0 | \mathcal{O}_i^\dagger(y) \mathcal{O}_j(0) | 0 \rangle \\
 \lambda_\alpha &= EV_\alpha [G^{-1}(t_0) G(t)] \sim e^{-E_\alpha t}
 \end{aligned}$$



計算結果：



10個目の状態が有る => Zc の仲間の一つの発見

$$m_{Z_c} = 4160 \pm 30 \pm 160 \text{ MeV}$$

- 4) Study of the Z_c^+ channel using QCD
 S. Prelovsek, C.B. Lang, L. Leskove, D. Mohler
 arXiv: 1405.7623v2

4200 近辺にはない。4300付近に有るとは言えない。

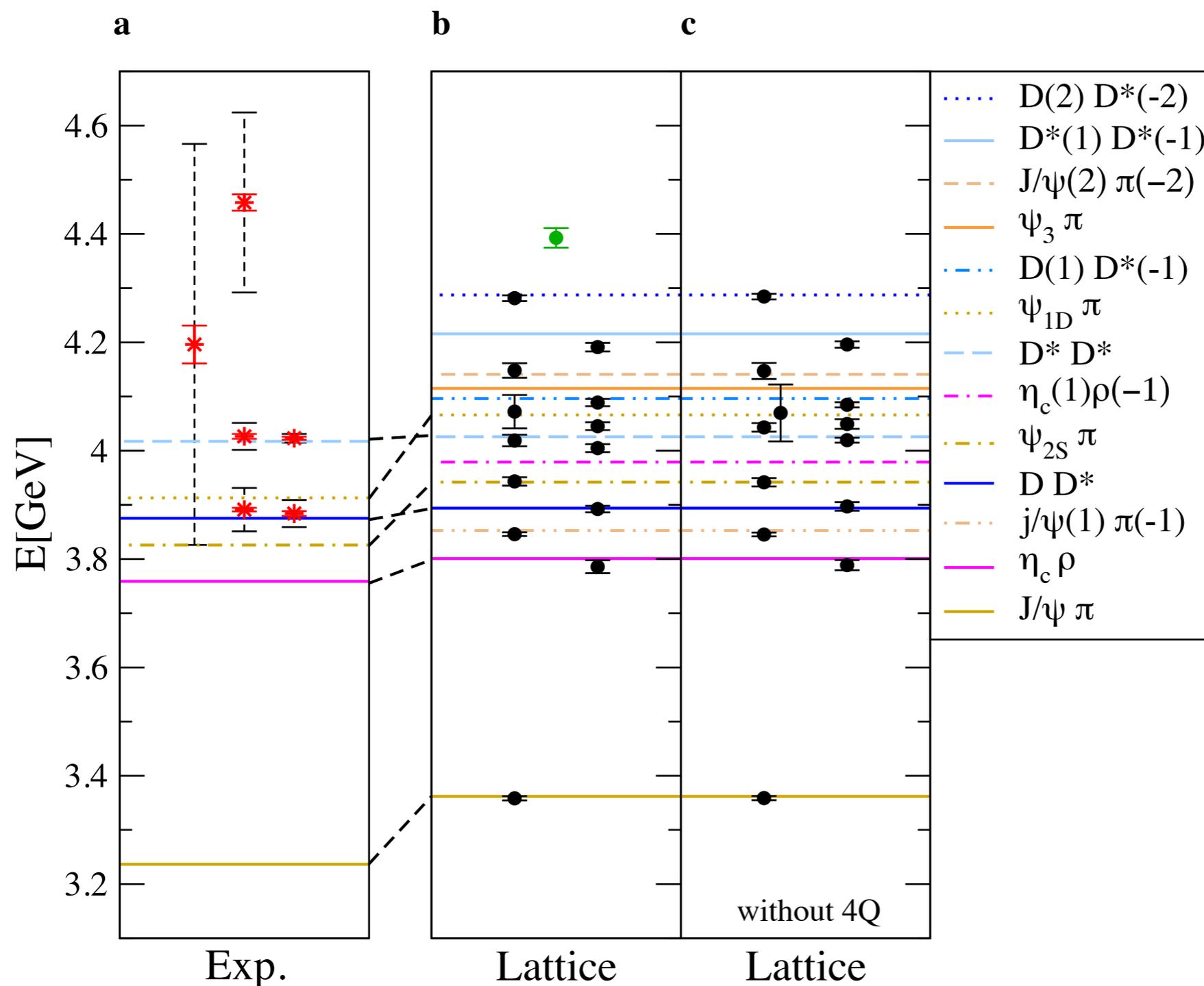
$$\begin{aligned}
 & J/\psi(0)\pi(0), \eta_c(0)\rho(0), J/\psi(1)\pi(-1), D(0)\bar{D}^*(0), \\
 & \psi_{2S}(0)\pi(0), D^*(0)\bar{D}^*(0), \psi_{1D}(0)\pi(0), \underline{\eta_c(1)\rho(-1)}, \\
 & D(1)\bar{D}^*(-1), \psi_3(0)\pi(0), \underline{J/\psi(2)\pi(-2)}, \underline{D^*(1)\bar{D}^*(-1)} \\
 & \underline{D(2)\bar{D}^*(-2)} \qquad (2)
 \end{aligned}$$

: 13個

上の13個の状態を emit する
 22個の演算子を考える：

$$\begin{aligned}
 \psi(0) & : 8\text{個} \\
 D^* & : 2\text{個} \\
 (qq)(\bar{q}\bar{q}) & : 4\text{個}
 \end{aligned}$$

計算結果：



4200 付近の変な状態が消えた。

4400 に状態があるのだが、これは考えていない 散乱状態だろう。

4Q と強く結合していることは、証拠にならない !!!

3. まとめ

この種の計算では、
考えている状態以下の状態を全部とり入れる必要が有る。

部分のみを考えると、誤った結論を導く恐れが有る。

spectrum function の大きさを、過信してはならない !!