A stylized, light-colored illustration of a plant with a central stem, several large leaves, and a cluster of small, round buds or flowers at the top, set against a dark brown background.

パイオン交換で形成される重いメソン分子状態の系統的な解析

RCNP D1 大古田 俊介
共同研究 山口 康宏氏
安井 繁宏氏
保坂 淳氏

Deuteron properties



$$E_B = 2.22 \text{ MeV}$$

緩く弱い束縛

パイオン交換力が支配的

メソンが分子状態を作ることはないの？

I=0

Composite	J^{PC}	Deuson
$D\bar{D}^*$	0^{-+}	$\eta_c (\approx 3870)$
$D\bar{D}^*$	1^{++}	$\chi_{c1} (\approx 3870)$
$D^*\bar{D}^*$	0^{++}	$\chi_{c0} (\approx 4015)$
$D^*\bar{D}^*$	0^{-+}	$\eta_c (\approx 4015)$
$D^*\bar{D}^*$	1^{+-}	$h_{c0} (\approx 4015)$
$D^*\bar{D}^*$	2^{++}	$\chi_{c2} (\approx 4015)$
$B\bar{B}^*$	0^{-+}	$\eta_b (\approx 10545)$
$B\bar{B}^*$	1^{++}	$\chi_{b1} (\approx 10562)$
$B^*\bar{B}^*$	0^{++}	$\chi_{b0} (\approx 10582)$
$B^*\bar{B}^*$	0^{-+}	$\eta_b (\approx 10590)$
$B^*\bar{B}^*$	1^{+-}	$h_b (\approx 10608)$
$B^*\bar{B}^*$	2^{++}	$\chi_{b2} (\approx 10602)$

...
 exist, although B^*B^* may be an exception. ~~Neither does the deuson model predict new non- $q\bar{q}$ states~~ which should have been seen. E. g., for $I=1$ channels one pion exchange is generally a factor 3 weaker than for $I=0$, and one

$Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$

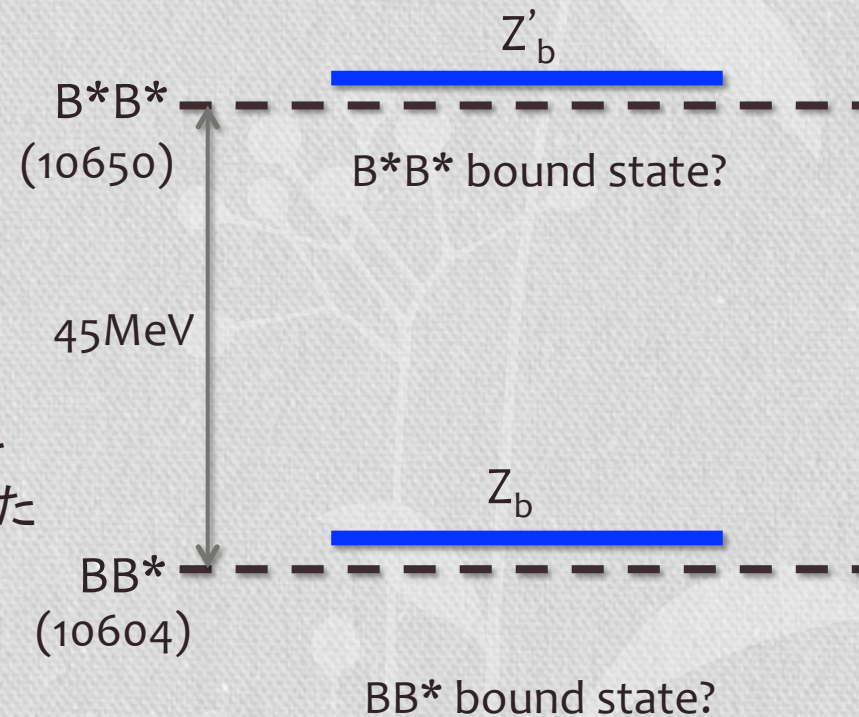
崩壊過程

$$\Upsilon(5S) \rightarrow Z_b^+ \pi^- \rightarrow \Upsilon(nS) \pi^+ \pi^-$$

$$\Upsilon(5S) \rightarrow Z_b^+ \pi^- \rightarrow h_b(kP) \pi^+ \pi^-$$

$$n = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2$$

- 最近ベルによってエキゾチック量子数を持つ新たな2つの共鳴状態が報告された
- $M(Z_b) = 10608 \text{ MeV}$, $\Gamma(Z_b) = 15.6 \text{ MeV}$
- $M(Z'_b) = 10653 \text{ MeV}$, $\Gamma(Z'_b) = 14.4 \text{ MeV}$
- Z_b と Z'_b は閾値に非常に近い
- $I^G(J^P) = 1^+(1^+)$



Heavy meson molecule

J^{PC}	Channels			
0^{++}	$B\bar{B}(^1S_0),$	$B^*\bar{B}^*(^1S_0),$	$B^*\bar{B}^*(^5D_0)$	
0^{+-}	なし			
0^{-+}	$B\bar{B}^*(^3P_0) - B^*\bar{B}(^3P_0),$	$B^*\bar{B}^*(^3P_0)$		
0^{--}	$B\bar{B}^*(^3P_0) + B^*\bar{B}(^3P_0)$			
1^{++}	$B\bar{B}^*(^3S_1) + B^*\bar{B}(^3S_1),$	$B\bar{B}^*(^3D_1) + B^*\bar{B}(^3D_1),$	<u>$B^*\bar{B}^*(^5D_1)$</u>	
1^{+-}	$B\bar{B}^*(^3S_1) - B^*\bar{B}(^3S_1),$	$B\bar{B}^*(^3D_1) - B^*\bar{B}(^3D_1),$	<u>$B^*\bar{B}^*(^3S_1), B^*\bar{B}^*(^3D_1)$</u>	
1^{-+}	$B\bar{B}^*(^3P_1) - B^*\bar{B}(^3P_1),$	$B^*\bar{B}^*(^3P_1)$		
1^{--}	$B\bar{B}(^1P_1), B^*\bar{B}^*(^1P_1),$	$B\bar{B}^*(^3P_1) + B^*\bar{B}(^3P_1),$	$B^*\bar{B}^*(^5P_1)$	$B^*\bar{B}^*(^5F_1)$
2^{++}	$B\bar{B}(^1D_2),$ $B^*\bar{B}^*(^1D_2),$	$B\bar{B}^*(^3D_2) + B^*\bar{B}(^3D_2),$ $B^*\bar{B}^*(^5S_2),$	$B^*\bar{B}^*(^5D_2),$	$B^*\bar{B}^*(^5G_2)$
2^{+-}	$B\bar{B}^*(^3D_2) + B^*\bar{B}(^3D_2),$	$B^*\bar{B}^*(^3D_2)$		
2^{-+}	$B\bar{B}^*(^3P_2) - B^*\bar{B}(^3P_2),$	$B\bar{B}^*(^3F_2) - B^*\bar{B}(^3F_2),$	$B^*\bar{B}^*(^3P_2),$	$B^*\bar{B}^*(^3F_2)$
2^{--}	$B\bar{B}^*(^3P_2) + B^*\bar{B}(^3P_2),$	$B\bar{B}^*(^3F_2) + B^*\bar{B}(^3F_2),$	$B^*\bar{B}^*(^5P_2),$	$B^*\bar{B}^*(^5F_2)$

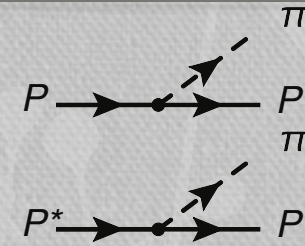
Lagrangians for heavy mesons

$$H_a = \frac{1 + \not{v}}{2} [P_{a\mu}^* \gamma^\mu - P_a \gamma_5] \quad \text{Heavy meson field}$$

P = D or B

P* = D* or B*

$$\mathcal{L}_{\pi HH} = ig_\pi \text{Tr} [H_b \gamma_\mu \gamma_5 A_{ba}^\mu \bar{H}_a]$$

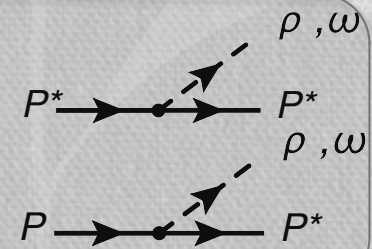
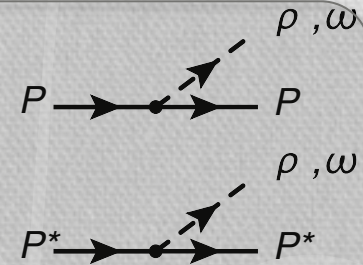


$$\mathcal{L}_{vHH} = -i\beta \text{Tr} [H_b v^\mu (\rho_\mu)_{ba} \bar{H}_a]$$

$$+ i\lambda \text{Tr} [H_b \sigma^{\mu\nu} F_{\mu\nu}(\rho)_{ba} \bar{H}_a]$$

$$A_\mu \approx \frac{i}{f} \partial_\mu \hat{\pi} \quad F_{\mu\nu} = \partial_\mu \rho_\nu - \partial_\nu \rho_\mu$$

$$g_\pi = 0.59, \quad \beta = 0.9, \quad \lambda = 0.56 [\text{GeV}^{-1}]$$



$Z_b(10610)$ and $Z_b(10650)$

(preliminary)

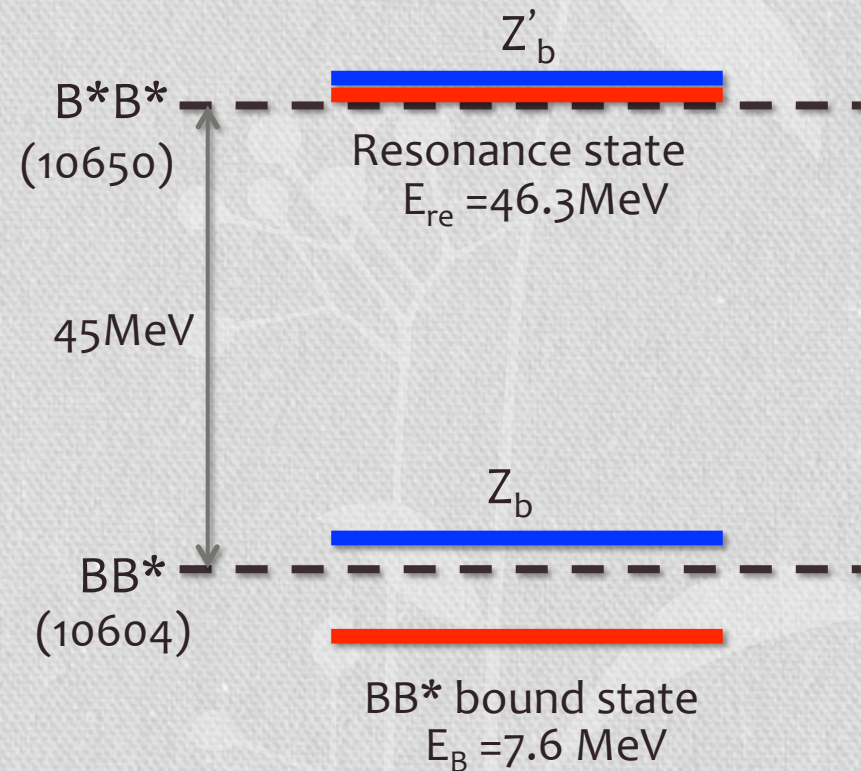
Decay processes

$$\Upsilon(5S) \rightarrow Z_b^+ \pi^- \rightarrow \Upsilon(nS) \pi^+ \pi^-$$

$$\Upsilon(5S) \rightarrow Z_b^+ \pi^- \rightarrow h_b(kP) \pi^+ \pi^-$$

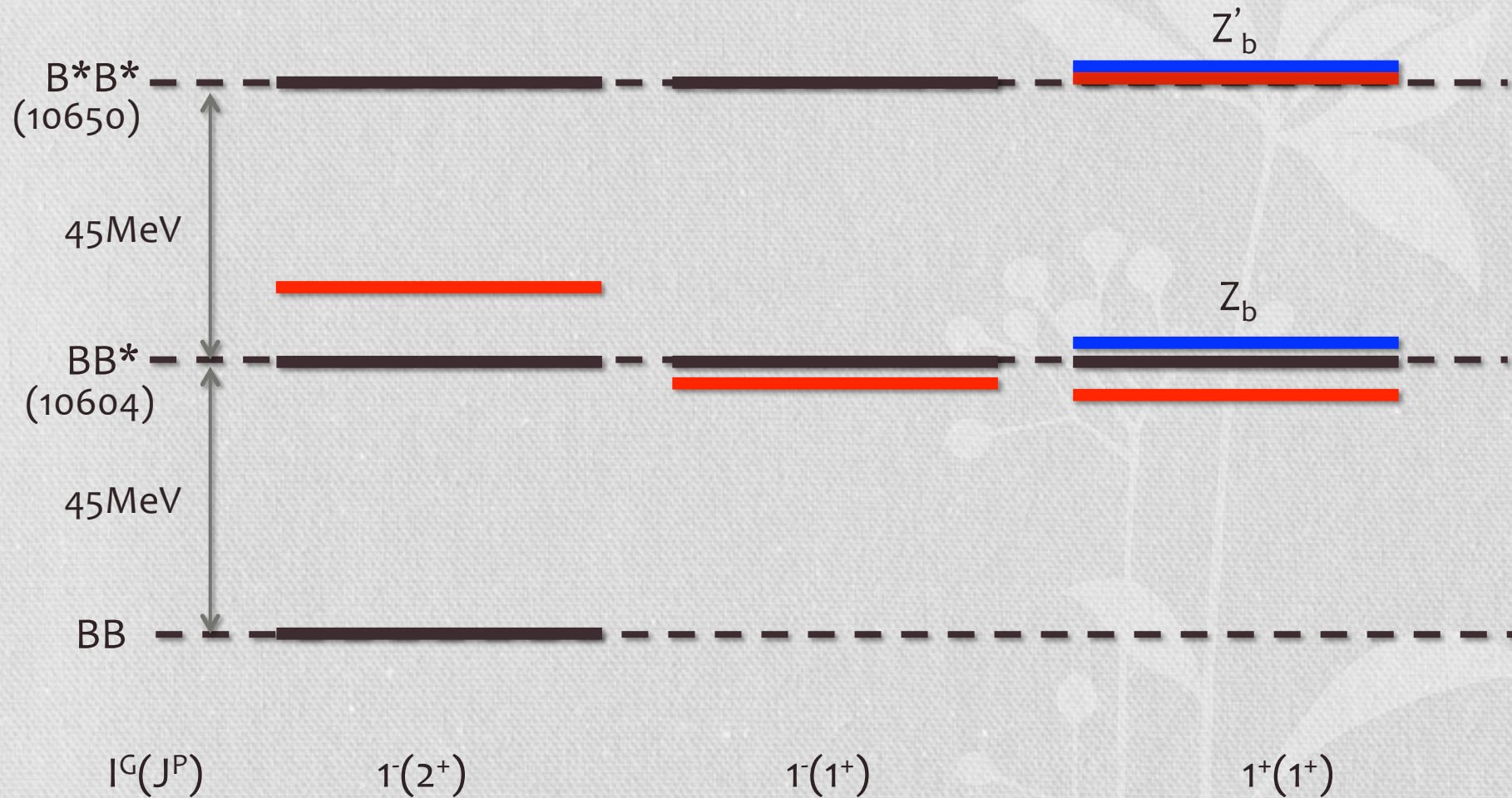
$$n = 1, 2, 3 \quad k = 1, 2$$

- $M(Z_b) = 10608 \text{ MeV}$, $\Gamma(Z_b) = 15.6 \text{ MeV}$
- $M(Z'_b) = 10653 \text{ MeV}$, $\Gamma(Z'_b) = 14.4 \text{ MeV}$
- Z_b and Z'_b are close to thresholds
- $I^G(J^P) = 1^+(1^+)$
- We found two states near the thresholds
- We also predicted bound states in another channels



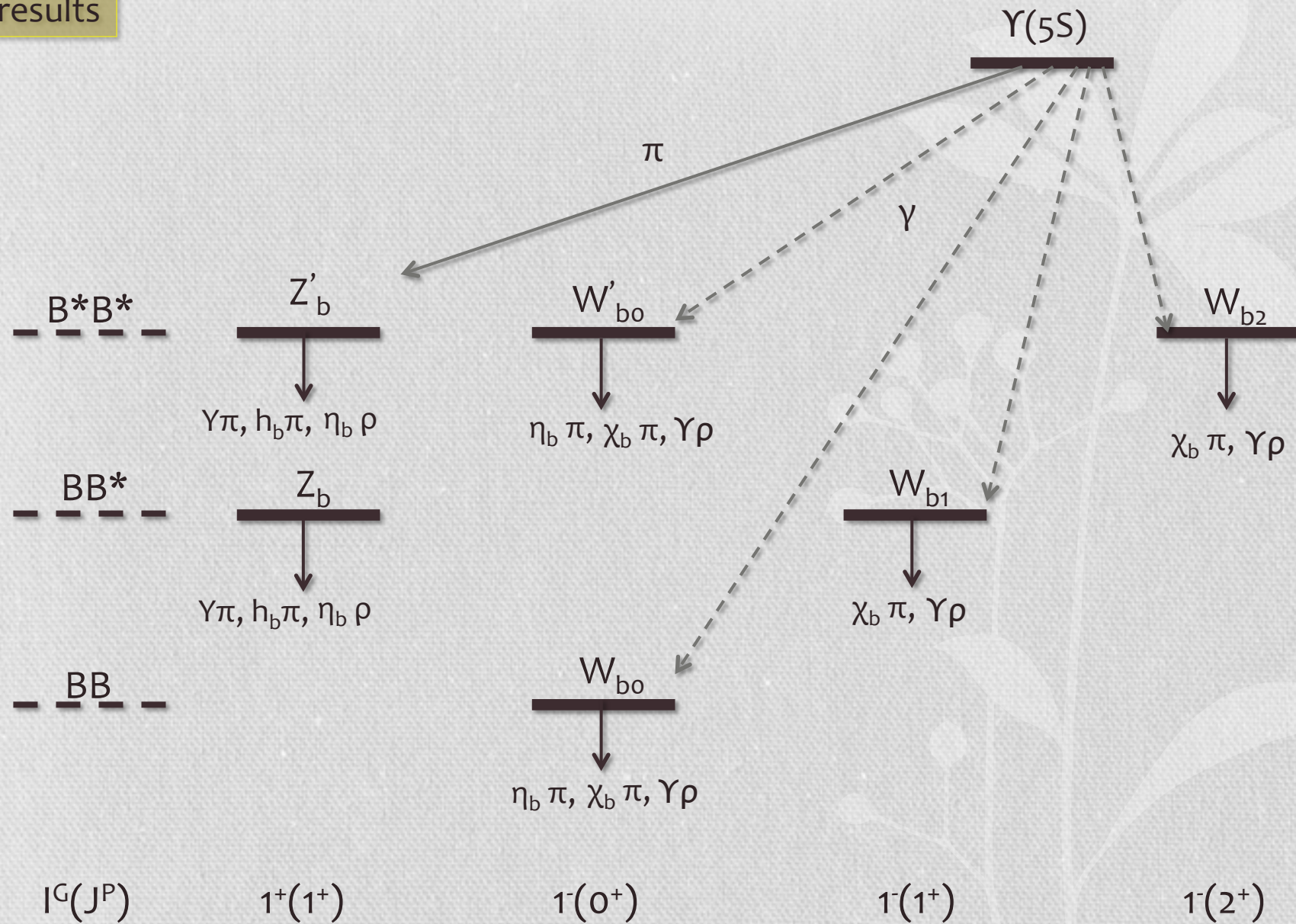
5 results

Spectrum of $B\bar{B}$ molecular states



- $I(J^{PC}) = 1^-(1^+)$ チャンネルに一つの束縛状態
- $I(J^{PC}) = 1^-(2^+)$ チャンネルに一つの共鳴状態

5 results



Summary and future work

- ヘビーマソン分子状態についてOBEPを用いて系統的に解析を行なった
- 2つの共鳴状態 $Z_b(10610)$ と $Z_b(10650)$ は BB^* と B^*B^* の束縛状態及び共鳴状態として解釈できうることを示した
- BB 分子状態は他のチャンネルにおいても存在し得る ($1^-(2^+), 1^-(1^+)$)
- 他のチャンネルについても計算 ($l=0$ 状態及び DD, BB などのエキゾチックな量子数を持つ状態)
- 崩壊幅や生成率の計算