

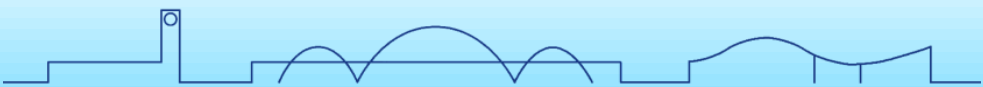
最低正宇称的 D_s 介子分析

吴佳俊 (中国科学院大学)

合作者: 杨智, 王广娟, 朱世琳, Makoto Oka

arXiv: 2107.04860

全国第十八届重味物理和CP破坏研讨会 2021. 11. 12. 暨南大学 (网络云端)

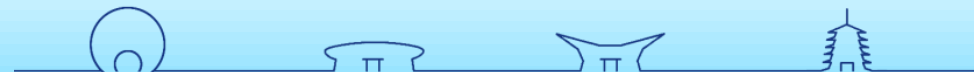
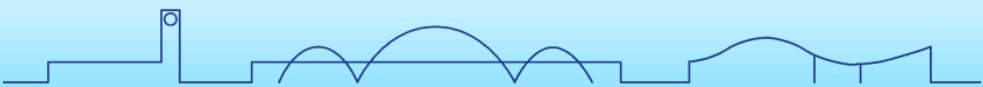


中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

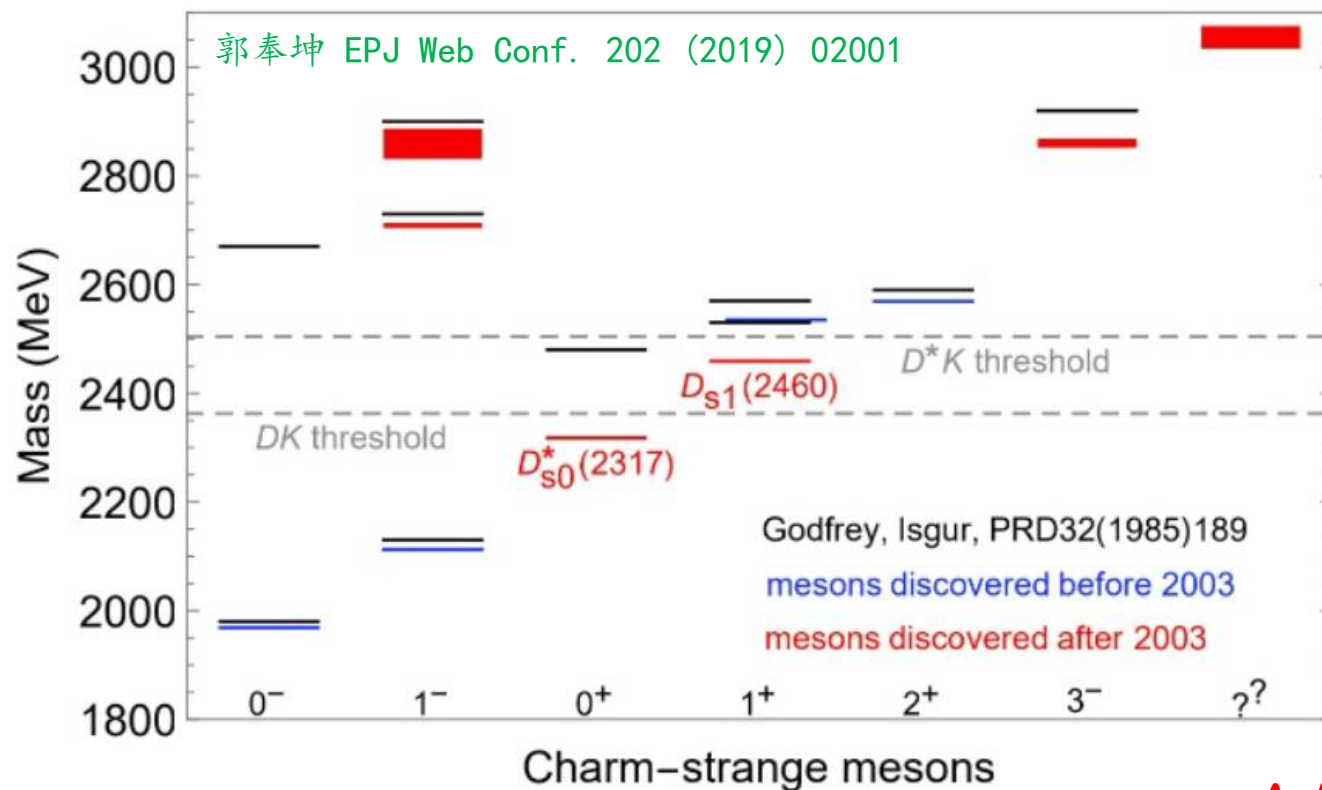


目录

- 背景
- HEFT介绍
- D_s 正宇称态研究
- 小结和展望



背景



两夸克三夸克模型非常成功的解释了基态强子谱，至今都不清楚为什么如此简单的模型能够描述好QCD非微扰能区的极其复杂的强子。

然而2003年， $D_{s0}^*(2317)$ 和 $X(3872)[\chi_{c1}(3872)]$ 的发现显示出的确如此简单的夸克模型是不足以解释所有的物理。

Ds的质量谱： $D_{s0}^*(2317)$ 和 $D_{s1}(2460)$ 的质量明显低于两夸克模型的预言。

$D^{(*)}K \rightarrow D^{(*)}K$ 的振幅

缺： 强子耦合道相互作用，
重味系统中的 $2 \rightarrow 2$ 过程的振幅



背景

缺： 重味系统中的 $2 \rightarrow 2$ 过程的振幅

Lattice QCD



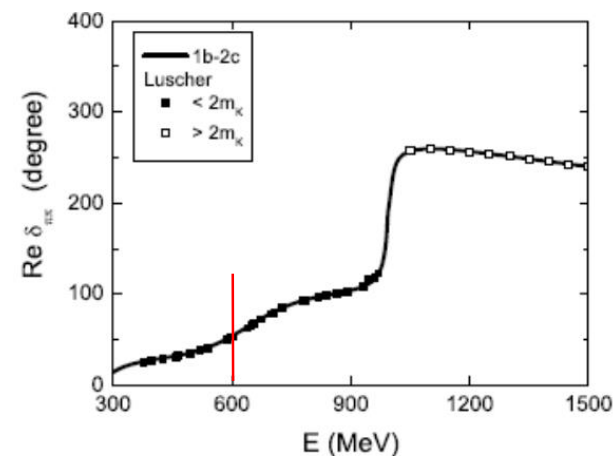
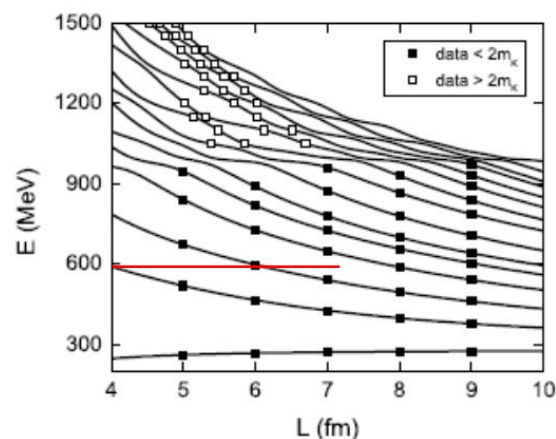
格点能谱



Lüscher 方法

2体过程的 T 矩阵

$$\sum_{(\vec{y}-\vec{x}) \in \mathbb{Z}^3} e^{i\vec{p} \cdot (\vec{y}-\vec{x})} \langle T(\psi_{\vec{R}}(t; \vec{y}, \vec{\delta}), \psi_{\vec{R}'}^\dagger(0; \vec{x}, \vec{\delta})) \rangle \\ \sim \sum_{\Gamma, i} Z_i^\Gamma e^{-E_i^\Gamma t}$$



Lüscher 公式 (单道)

M. Luscher NPB 354, 531(1991)

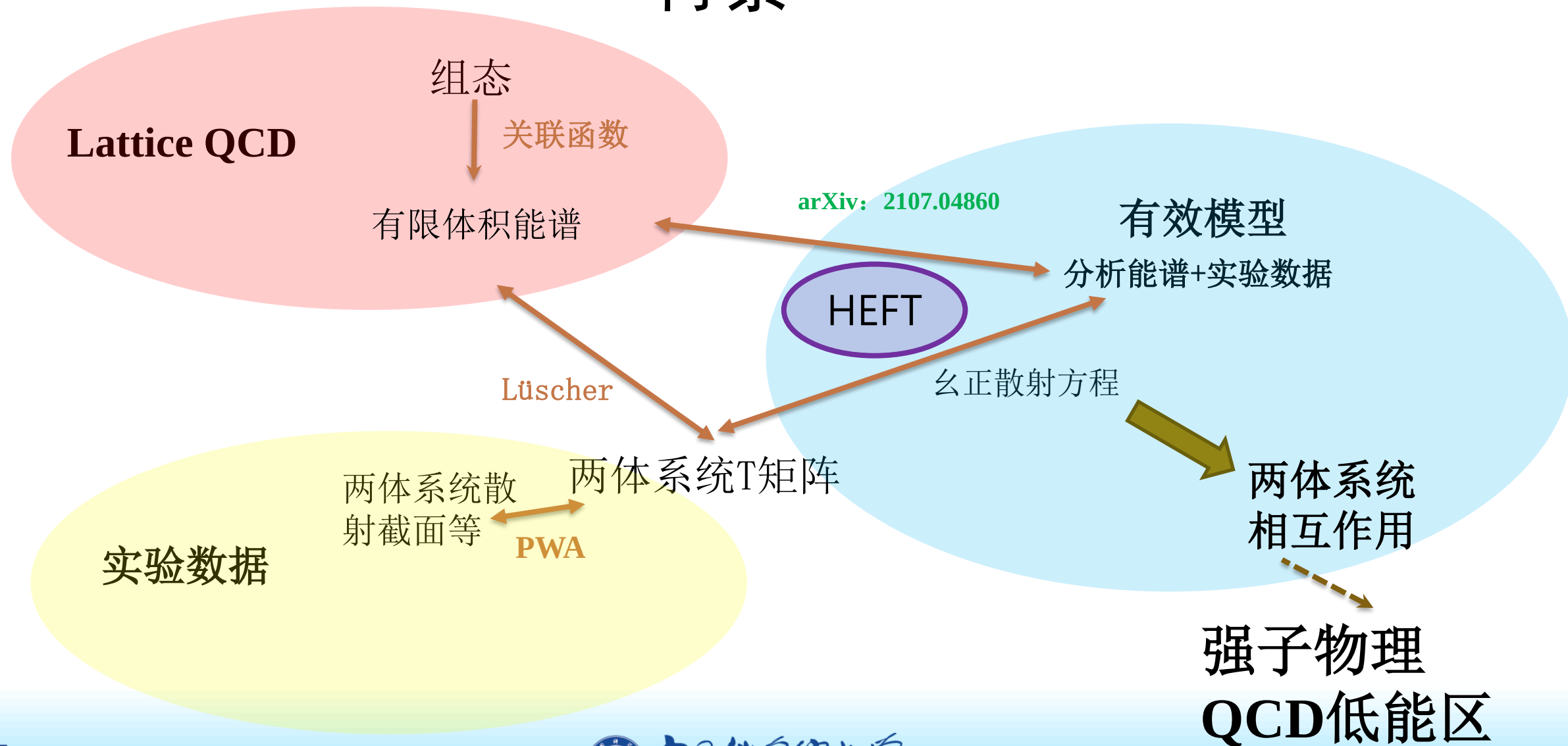
$$\delta_{\pi\pi}(E_L) = \tan^{-1} \left(\frac{q_\alpha \pi^{3/2}}{Z_{00}(1, q_\alpha^2)} \right) \bmod \pi$$

$$q_\alpha = \sqrt{\frac{E_L^2}{4} - m_\alpha^2}$$



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

背景



HEFT-介绍

Hall, Hsu, Leinweber, Thomas, Young

PRD87 (2013), 094510

Wu, Lee, Thomas, Young

PRC90 (2014), 055206

$$H = H_0 + H_I$$

$$H_0 = \sum_{i=1,n} |B_i\rangle m_i \langle B_i| + \sum_{\alpha} |\alpha(k_{\alpha})\rangle \left[\sqrt{m_{\alpha 1}^2 + k_{\alpha}^2} + \sqrt{m_{\alpha 2}^2 + k_{\alpha}^2} \right] \langle \alpha(k_{\alpha})|$$

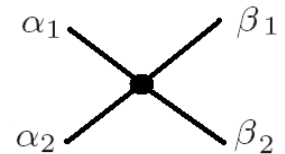
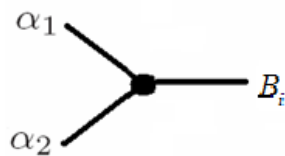
$|B_i\rangle$ 裸态, 裸质量 m_i

$|\alpha(k_{\alpha})\rangle$ 无相互作用的强子态耦合道

$$H_I = \hat{g} + \hat{v}$$

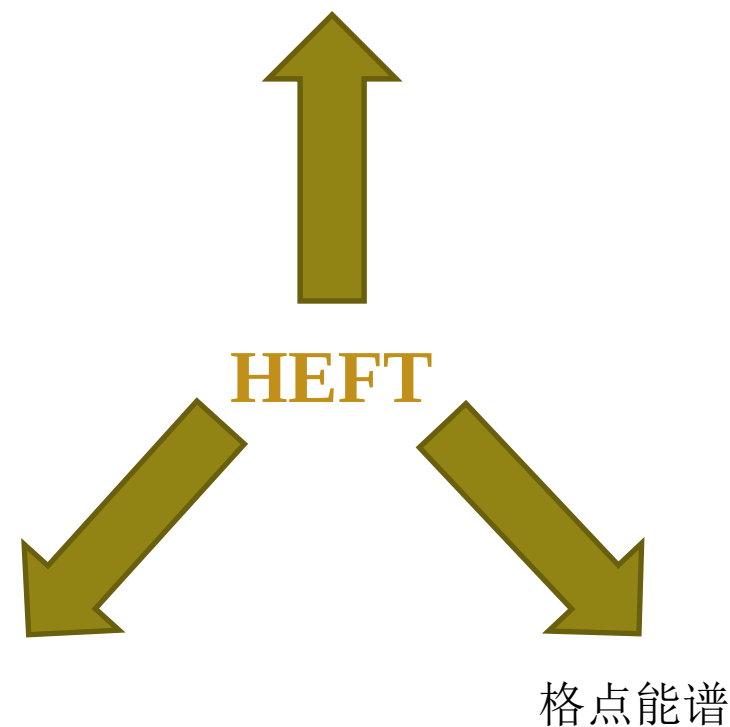
$$\hat{g} = \sum_{\alpha} \sum_{i=1,n} \left[|\alpha(k_{\alpha})\rangle g_{i,\alpha}^+ \langle B_i| + |B_i\rangle g_{i,\alpha} \langle \alpha(k_{\alpha})| \right]$$

$$\hat{v} = \sum_{\alpha,\beta} |\alpha(k_{\alpha})\rangle v_{\alpha,\beta} \langle \beta(k_{\beta})|$$



T 矩阵,
相移,
非弹系数

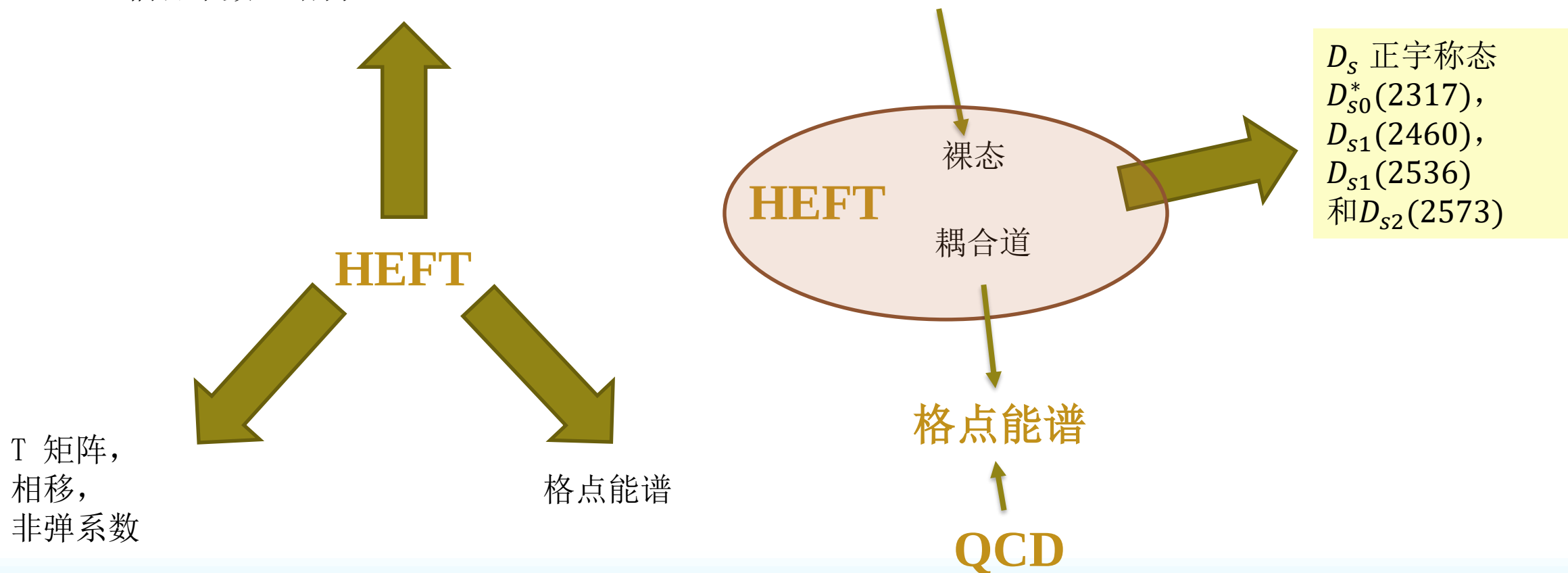
共振态性质: 质量, 宽度, 极点位置,
耦合常数, 结构.....



HEFT--- D_s 正宇称态研究

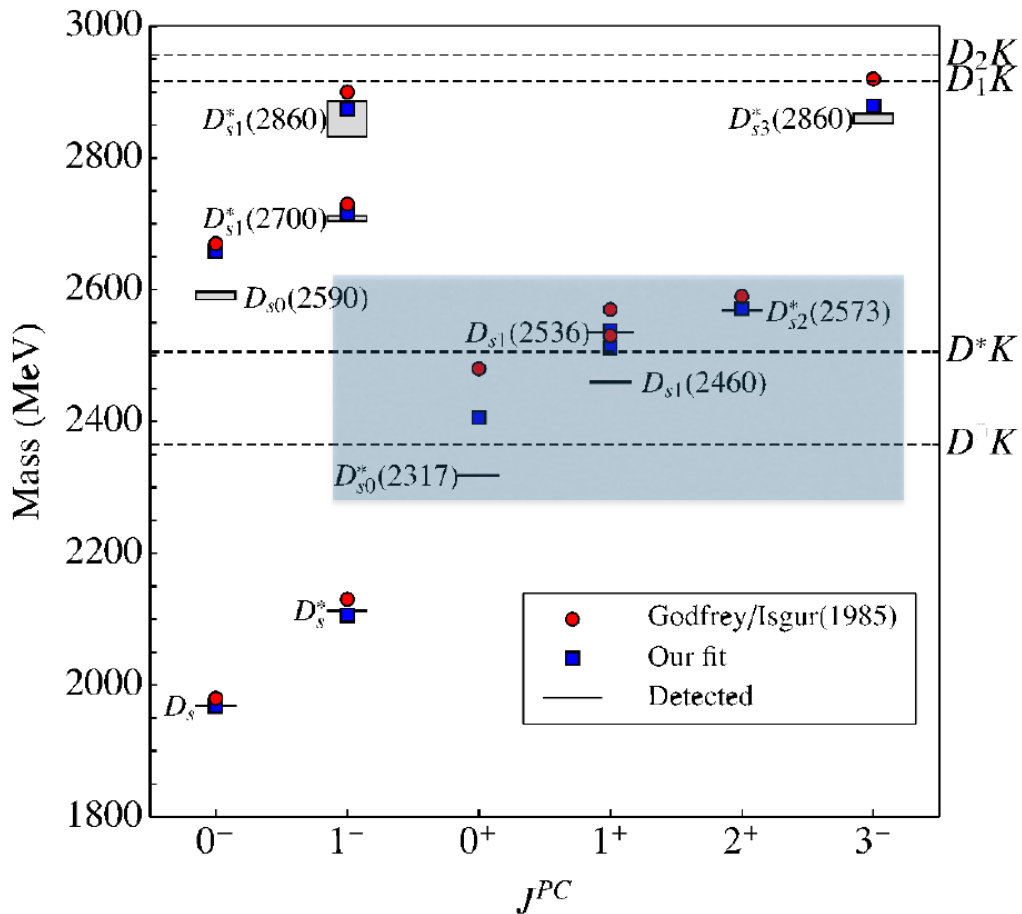
arXiv: 2107.04860

共振态性质：质量，宽度，极点位置，
耦合常数，结构.....



HEFT---- D_s 正宇称态研究

arXiv: 2107.04860



从夸克模型限定了裸态的质量，成分；

我们的拟合结果

符合重夸克对称性，两个态分别是重夸克的自旋本征态。

GI的拟合结果

是一般的轨道自旋的本征态。

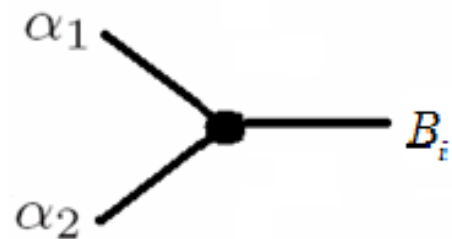
$\bar{c}s$ cores		channel		
	$B(^{2S+1}L_J\rangle)$	$B(\text{mass})$	α	L
$D_{s0}^*(2317)$	$ ^3P_0\rangle$	2405.9	DK	S
$D_{s1}^*(2460)$	$0.68 ^1P_1\rangle - 0.74 ^3P_1\rangle$ $= -0.99\phi_s + 0.13\phi_d$	2511.5	D^*K	S, D
$D_{s1}^*(2536)$	$-0.74 ^1P_1\rangle - 0.68 ^3P_1\rangle$ $= -0.13\phi_s - 0.99\phi_d$	2537.8	D^*K	S, D
$D_{s2}^*(2573)$	$ ^3P_2\rangle$	2571.2	DK, D^*K	D

$\bar{c}s$ cores		channel		
$J^P = 1^+$	$B(^{2S+1}L_J\rangle)$	$B(\text{mass})$	α	L
$D_{s1}^*(2460)$	$-0.97 ^1P_1\rangle + 0.24 ^3P_1\rangle$ $0.76\phi_s - 0.65\phi_d$	2549.7	D^*K	S, D
$D_{s1}^*(2536)$	$-0.24 ^1P_1\rangle - 0.97 ^3P_1\rangle$ $= -0.65\phi_s - 0.76\phi_d$	2559.46	D^*K	S, D



HEFT--- D_s 正宇称态研究

arXiv: 2107.04860



裸态和耦合道的
相互作用 g

3P_0 model
at quark level

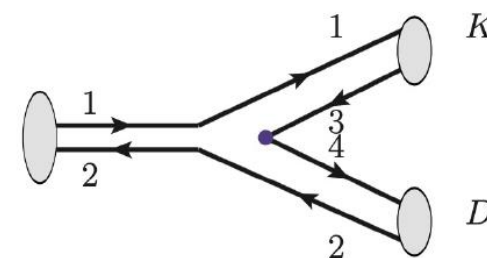
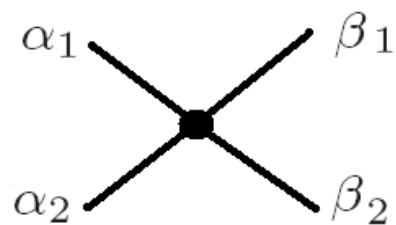
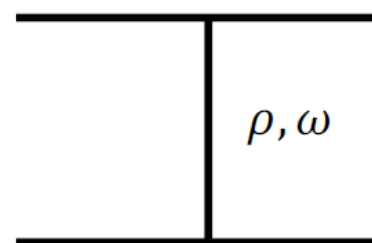


Figure 2: The diagram contribute to the process $D_s^*(2317) \rightarrow DK$.



耦合道之间的
相互作用 v ;



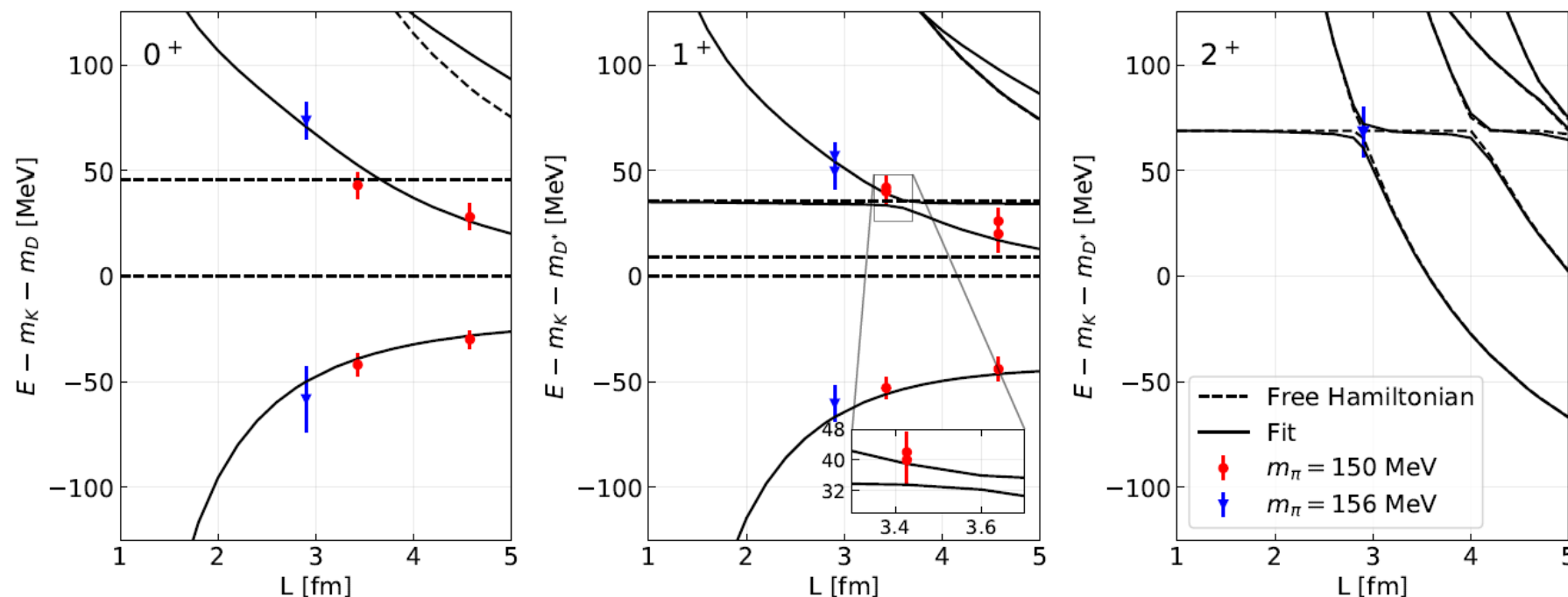
矢量介子交换
模型



HEFT--- D_s 正宇称态研究

arXiv: 2107.04860

拟合格点的数据;



	$P(c\bar{s})$
$D_{s0}^*(2317)$	$\approx 32.0\%$
$D_{s1}^*(2460)$	$\approx 52.4\%$
$D_{s1}^*(2536)$	$\approx 98.2\%$
$D_{s2}^*(2573)$	$\approx 95.9\%$

结论:

$D_{s0}^*(2317)$ -DK S波
 $D_{s1}^*(2460)$ -D*K

相对于夸克模型预言
 有较大的质量移动;

$D_{s1}^*(2536)$ -D* K D波
 $D_{s2}^*(2573)$ -D(*)K

质量几乎不移动。

RQCD Collaboration PRD 96, 074501 (2017).

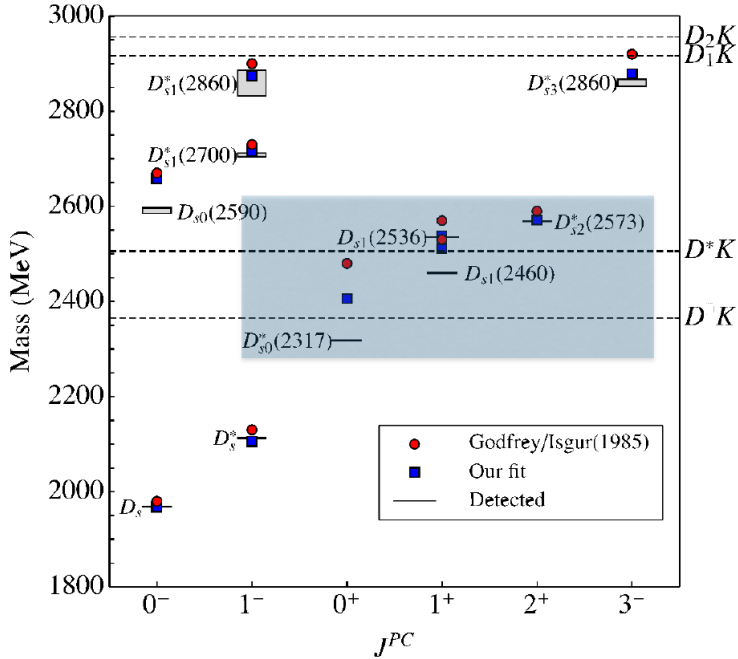
C. Lang PRD 90, 034510 (2014) .



中国科学院大学
 University of Chinese Academy of Sciences

HEFT--- D_s 正宇称态研究

arXiv: 2107.04860



$\bar{c}s$ cores		channel		
	$B(^{2S+1}L_J\rangle)$	$B(\text{mass})$	α	L
$D_{s0}^*(2317)$	$ ^3P_0\rangle$	2405.9	DK	S
$D_{s1}^*(2460)$	$0.68 ^1P_1\rangle - 0.74 ^3P_1\rangle$ $= -0.99\phi_s + 0.13\phi_d$	2511.5	D^*K	S, D
$D_{s1}^*(2536)$	$-0.74 ^1P_1\rangle - 0.68 ^3P_1\rangle$ $= -0.13\phi_s - 0.99\phi_d$	2537.8	D^*K	S, D
$D_{s2}^*(2573)$	$ ^3P_2\rangle$	2571.2	DK, D^*K	D

1. 从夸克模型限定了裸态的质量, 成分;

2. 得到裸态和耦合道的相互作用 g , 耦合道之间的相互作用 v ;

3P_0 model
at quark level

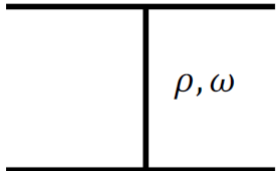
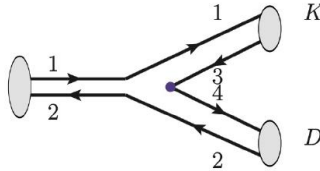
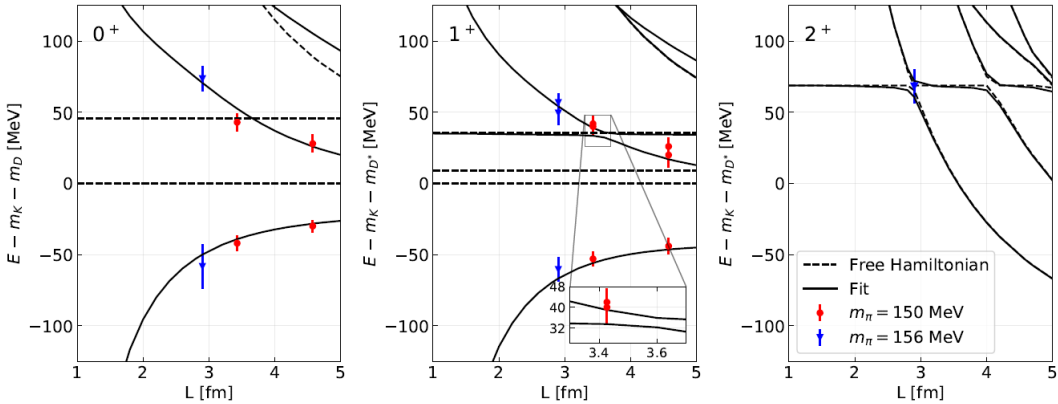


Figure 2: The diagram contribute to the process $D_s^*(2317) \rightarrow DK$.

3. 拟合格点的数据;



RQCD Collaboration PRD 96, 074501 (2017).

C. Lang PRD 90, 034510 (2014).

结论:

$D_{s0}^*(2317)$ -DK S 波

$D_{s1}^*(2460)$ - D^*K

相对于夸克模型预言
有较大的质量移动;

$D_{s1}^*(2536)$ - D^*K

$D_{s2}^*(2573)$ - $D^{(*)}K$ D 波

质量几乎不移动。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

小结

- 探讨了格点QCD对两体过程研究的重要性。
- 简要介绍HEFT, 并以此来研究 D_S 正宇称态。

结论:

$D_{s0}^*(2317)-DK$

S波

相对于夸克模型预言
有较大的质量移动;

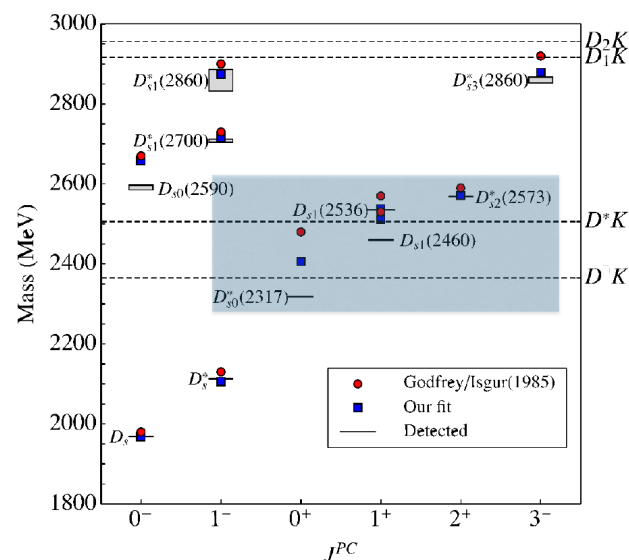
$D_{s1}(2460)-D^*K$

$D_{s1}(2536)-D^*K$

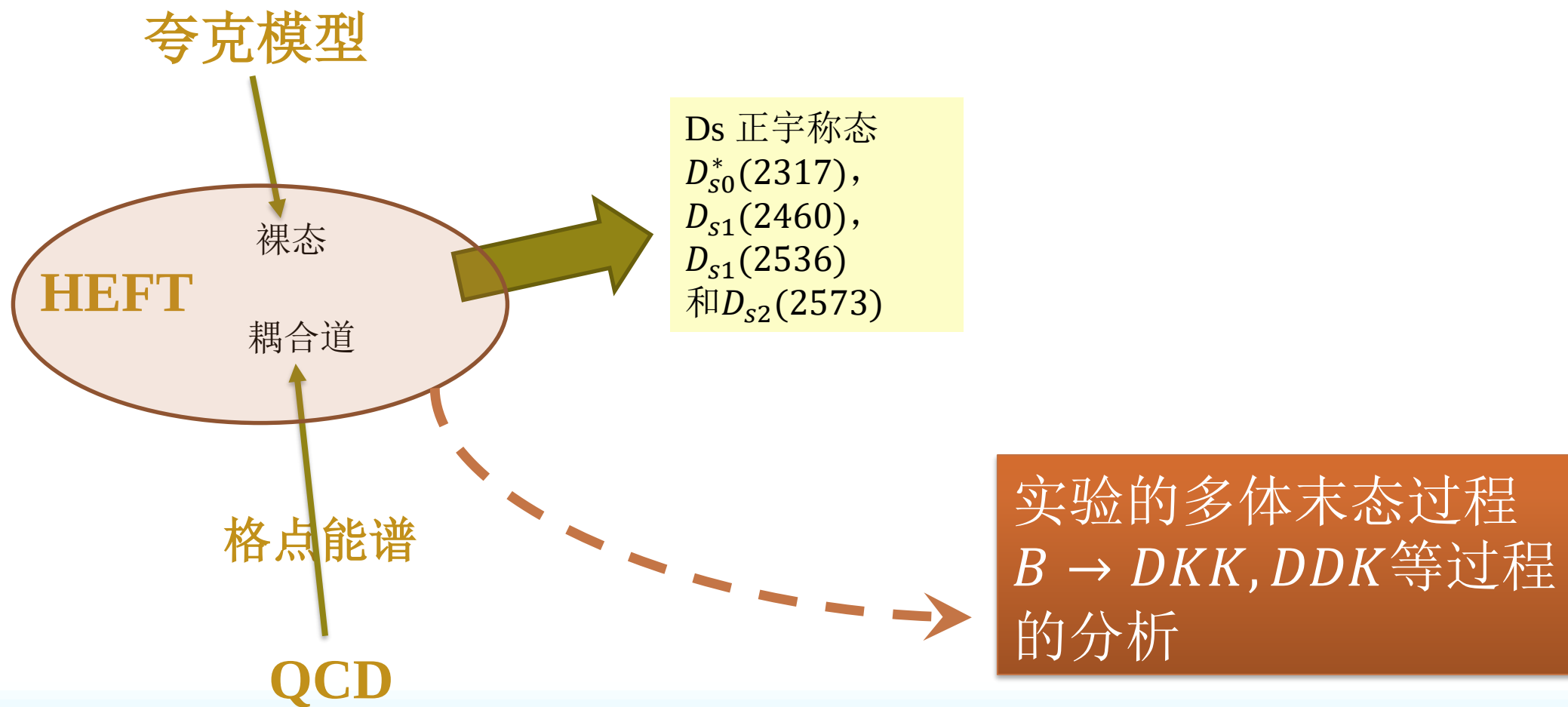
D波

质量几乎不移动。

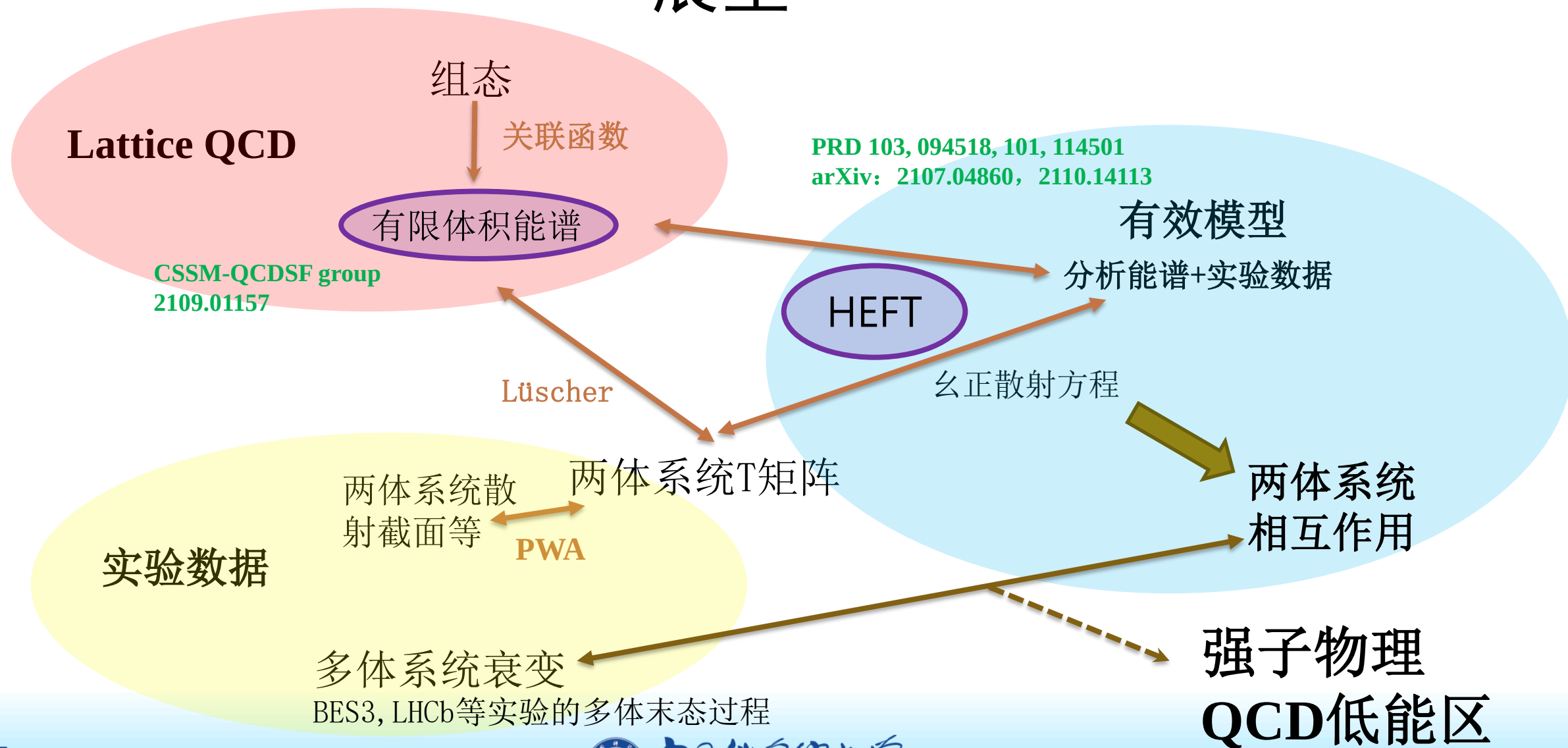
$D_{s2}(2573)-D^{(*)}K$



得到一个两体的模型只是故事的开始，

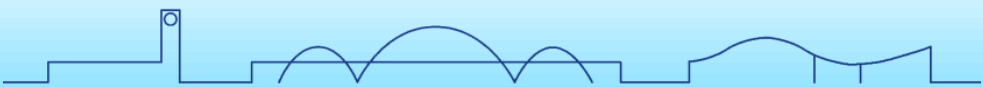


展望



谢谢大家!

广告时间



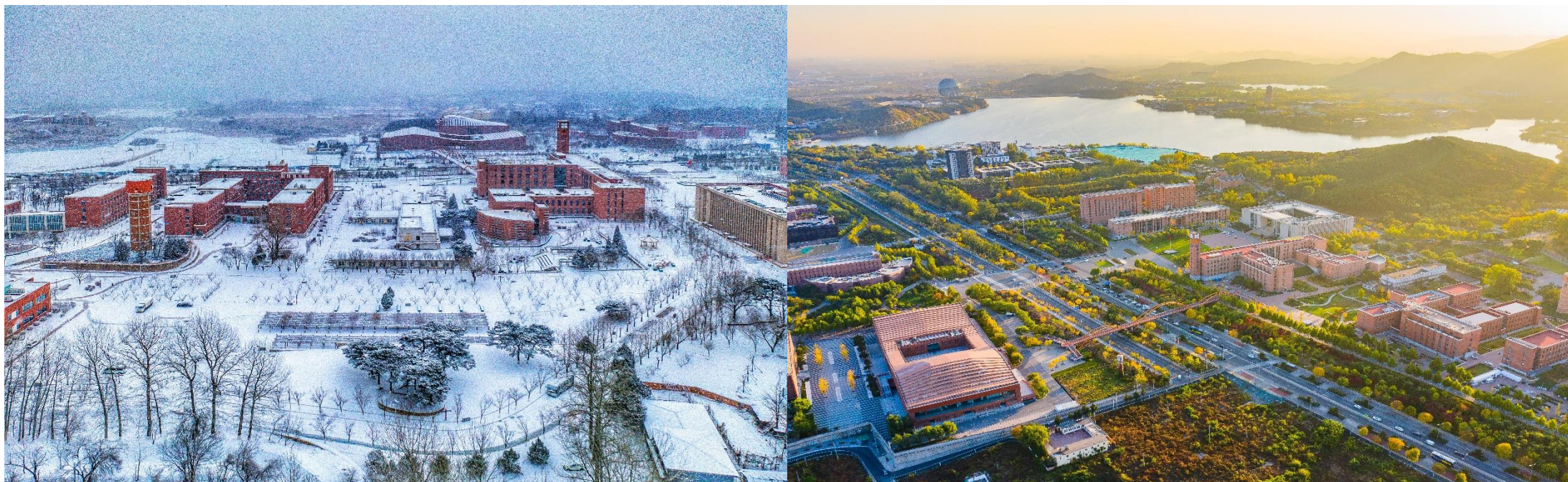
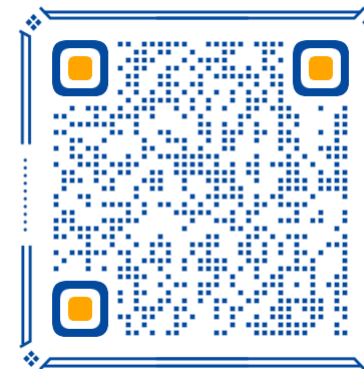
中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



<https://indico.itp.ac.cn/event/106/>

第六届强子谱和强子结构研讨会

时间：2021年12月23-27日



地方组织委员：傅金林、郭奉坤、黄飞、吴佳俊、谢聚军



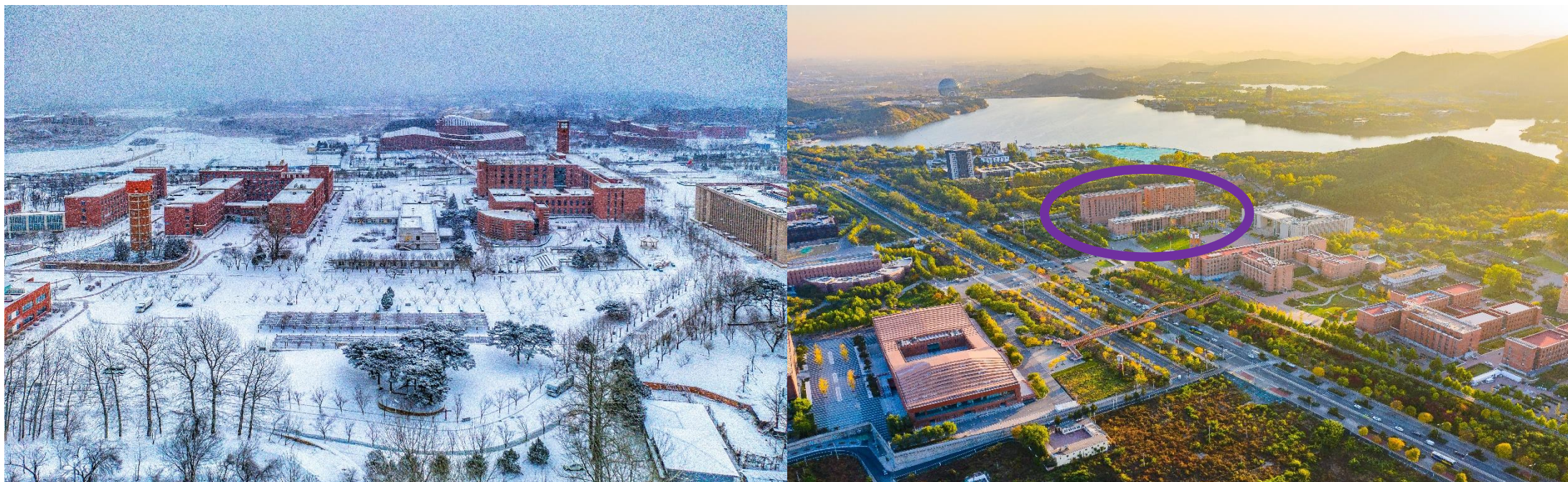
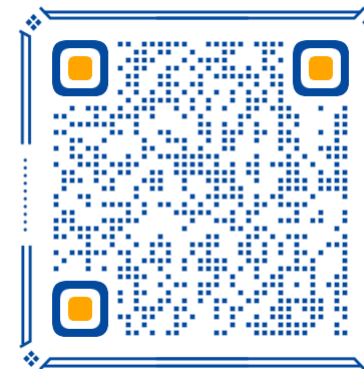
中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



<https://indico.itp.ac.cn/event/106/>

第六届强子谱和强子结构研讨会

时间：2021年12月23-27日



地方组织委员：傅金林、郭奉坤、黄飞、吴佳俊、谢聚军



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

