



郑州大学
ZHENGZHOU UNIVERSITY

$\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ 过程中 研究 $\Lambda(1670)$ 的性质

张胜超

河南大学

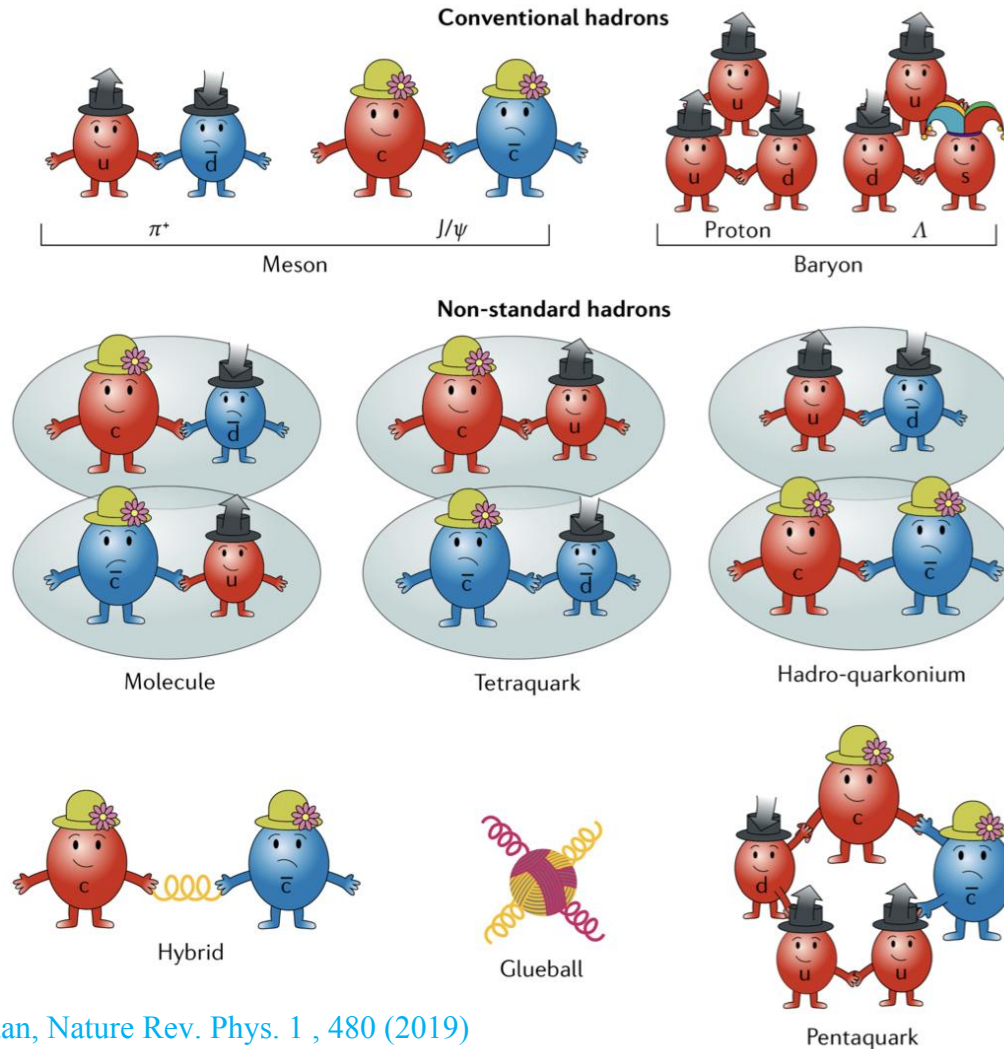
2025.8.22



目录

CONTENTS

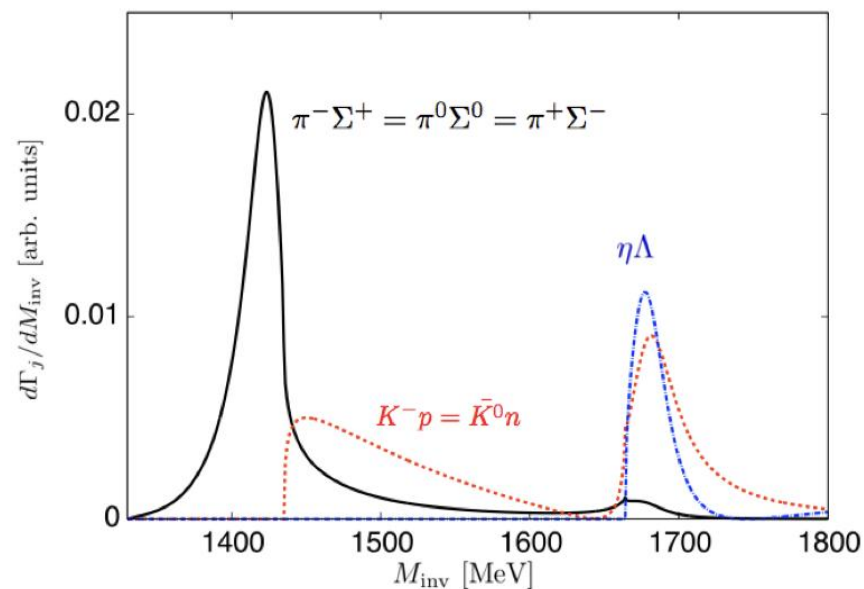
- 01 背景介绍
- 02 理论形式
- 03 计算结果
- 04 研究结论



- 介子-重子相互作用使得探测重子共振态的动力学结构成为可能。
- Λ_c^+ 作为首个被观测到的粲重子，由于其大量的衰变模式，引起了 BESIII、Belle、CLEO 和 LHCb 合作组的重视。
- 实验上观测了 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ 、 $\Lambda_c^+ \rightarrow \eta\Lambda\pi^+$ 、 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^0\pi^+$ 、 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^-K^+\pi^+$ 等 Λ_c^+ 的三体衰变过程。

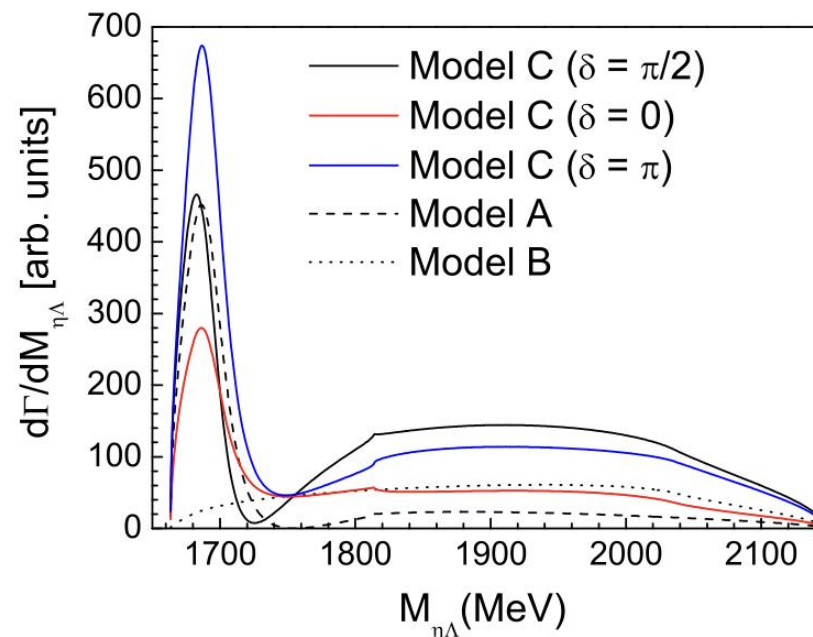
- 与 $\Lambda(1670)$ 有关的不变质量谱的预测。

$$\Lambda_c^+ \rightarrow \pi^+ M B$$



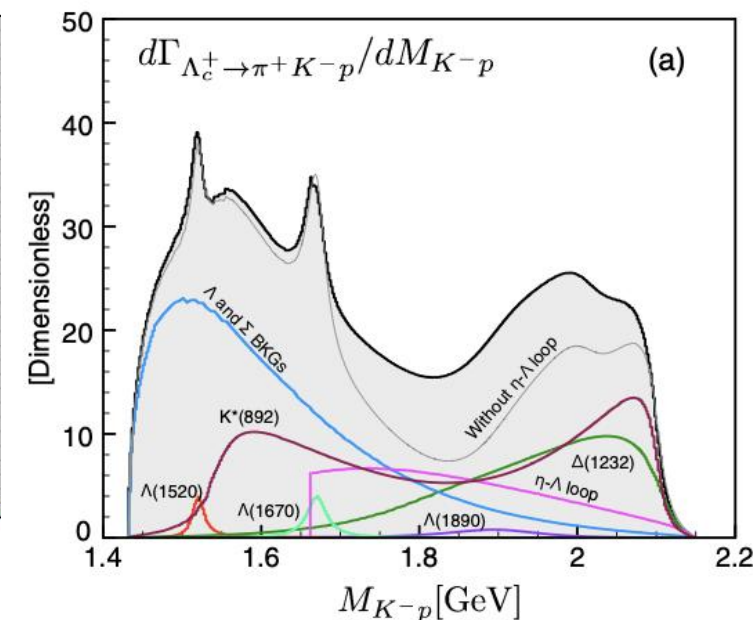
K. Miyahara, T. Hyodo and E. Oset,
Phys. Rev. C 92, 055204(2015)

$$\Lambda_c^+ \rightarrow \eta \Lambda \pi^+$$



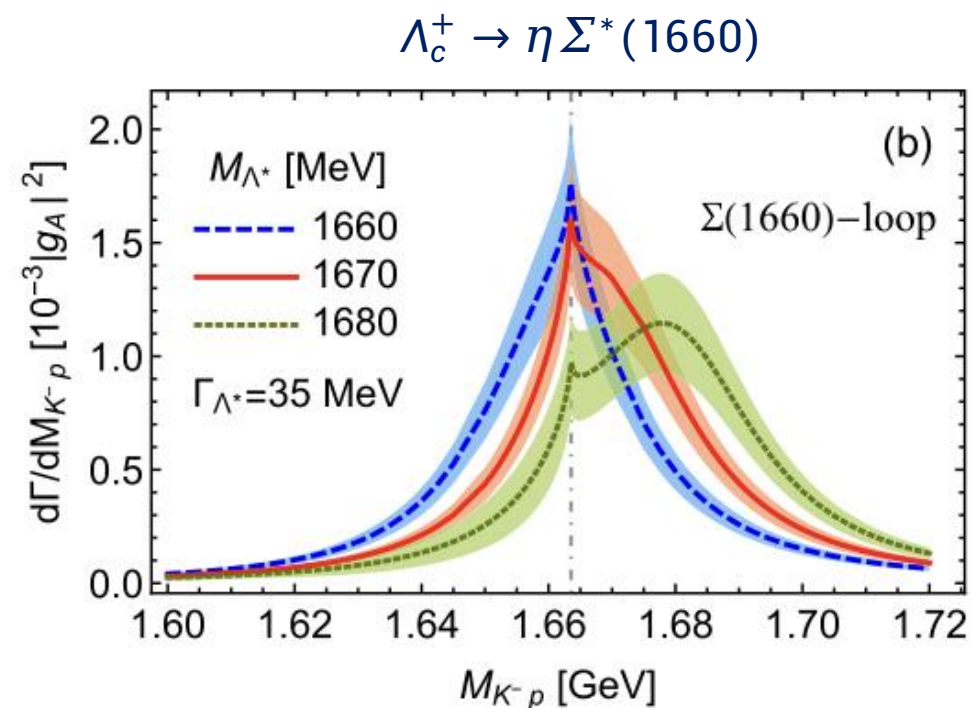
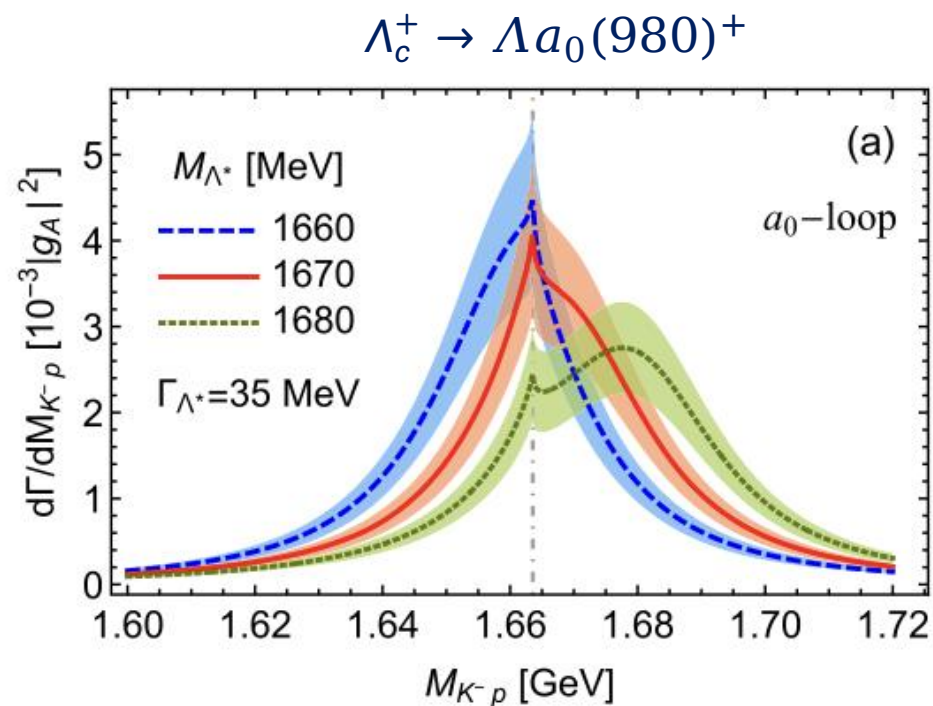
J. J. Xie and L. S. Geng,
Eur. Phys. J. C 76, 496 (2016)

$$\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$$



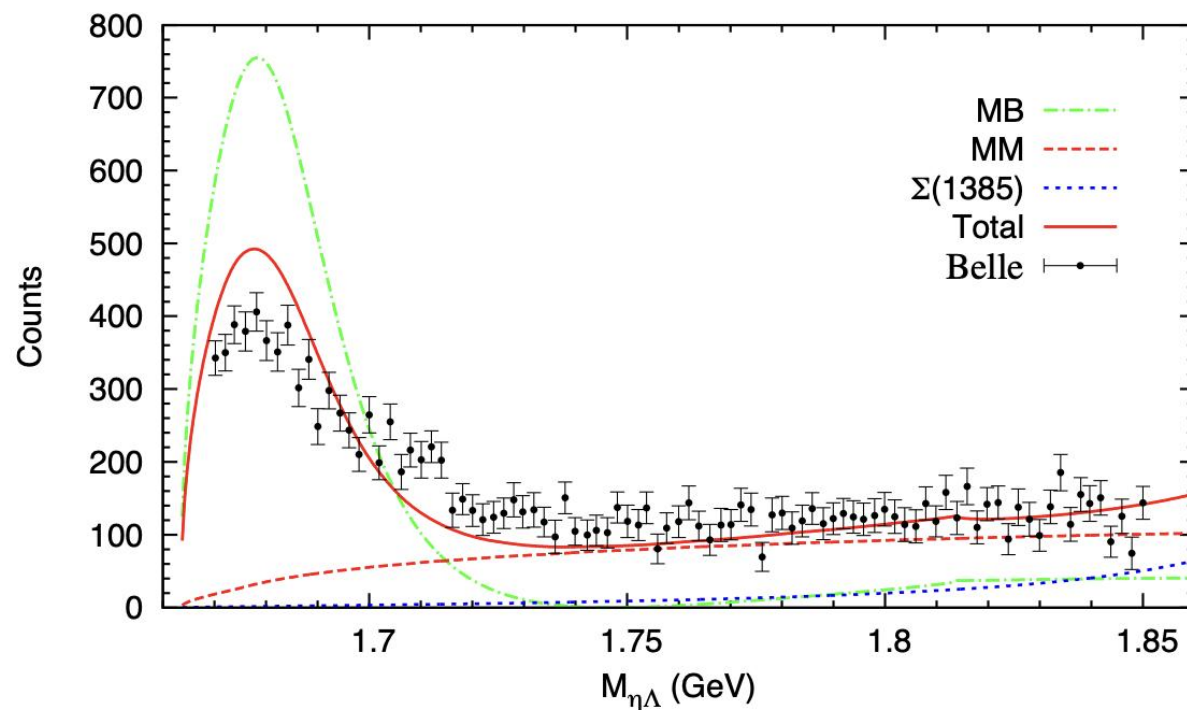
J. K. Ahn, S. Yang and S. I. Nam,
Phys. Rev. D 100, 034027 (2019)

- 假设了一个三角机制来解释产生过程，并在 $\eta\Lambda$ 阈值处得到了类似于 K^-p 质量分布中与 $\Lambda(1670)$ 相关的尖端结构。

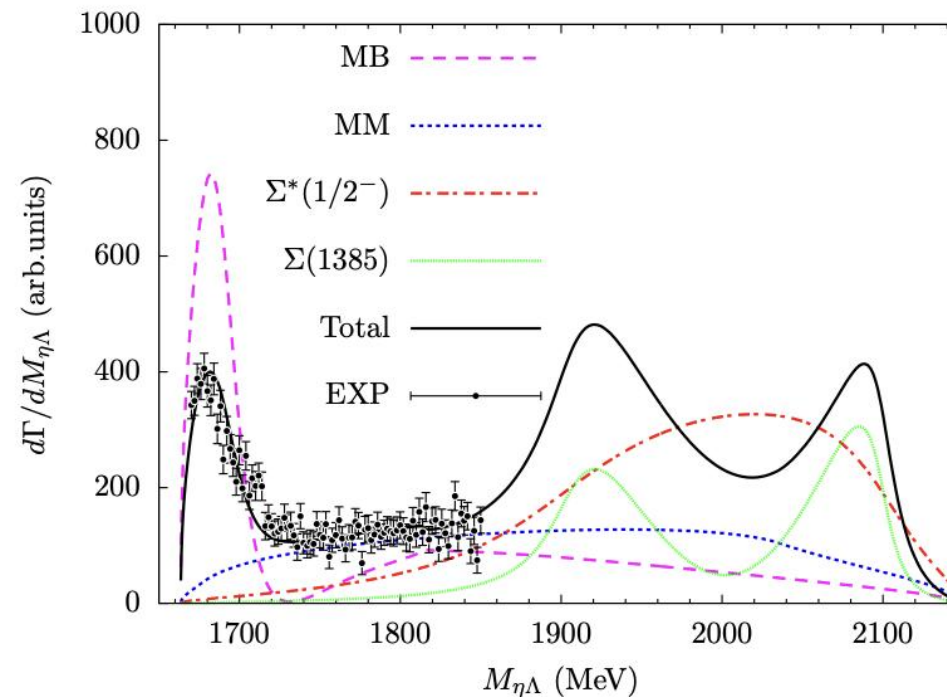


X. H. Liu, G. Li, J. J. Xie and Q. Zhao, Phys. Rev. D 100, 054006 (2019)

- 过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow \eta \Lambda \pi^+$ 曾被用来研究 Σ^* 与 $\Lambda(1670)$ 。

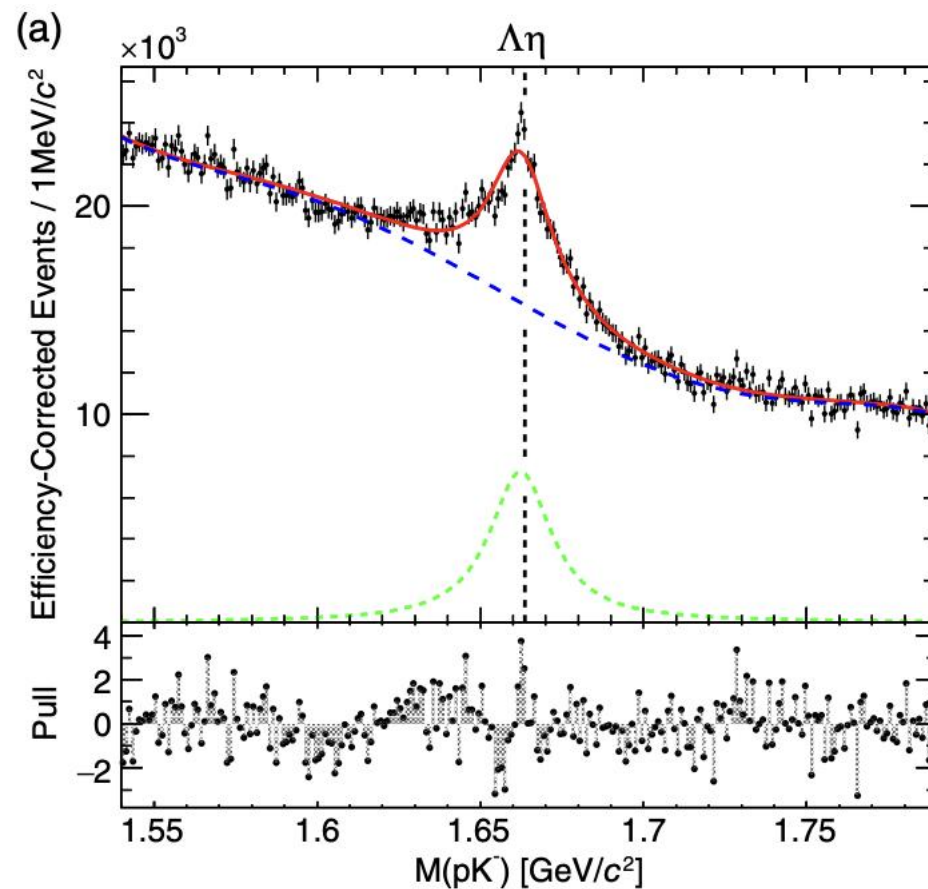


G. Y. Wang, N. C. Wei, H. M. Yang, E. Wang, L. S. Geng and J. J. Xie,
Phys. Rev. D **106**, 056001 (2022)



W. T. Lyu, S. C. Zhang, G. Y. Wang, J. J. Wu, E. Wang, L. S. Geng
and J. J. Xie, Phys.Rev.D **110**, 054020 (2024)

- Belle测量了 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ 过程 pK^- 的不变质量谱，显示在 $\eta\Lambda$ 阈值有明显的尖端结构。



S. B. Yang et al. [Belle], Phys. Rev. D **108**, L031104 (2023)

- 考虑 $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ 过程通过中间过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow a_0(980)^+ \Lambda$ 产生的三角环发生，顶点的振幅为

$$t_{\Lambda_c^+ \rightarrow a_0(980)^+ \Lambda} = g_{\Lambda_c^+ a_0 \Lambda}$$

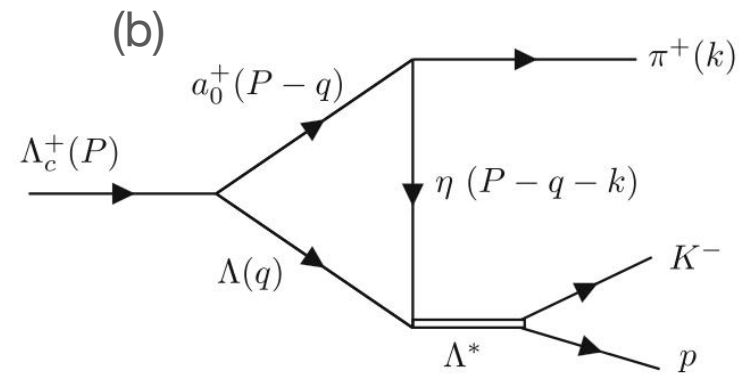
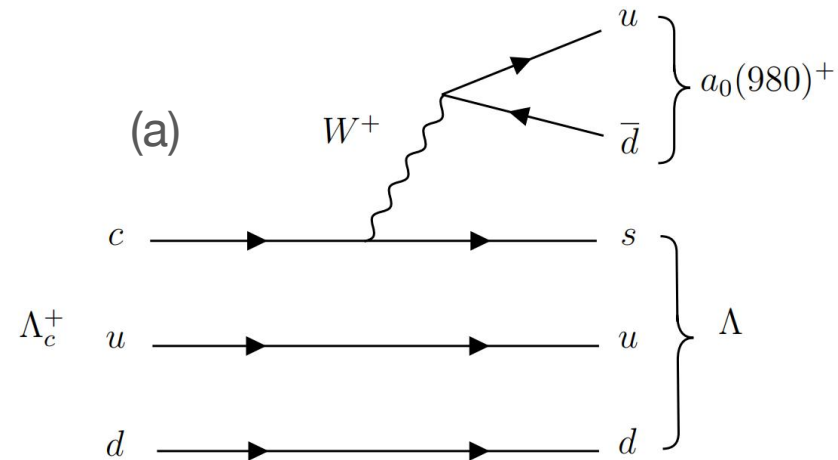
$$t_{a_0(980)^+ \rightarrow \eta \pi^+} = g_{a_0 \eta \pi^+}$$

- 通过三角机制发生的总振幅

$$\mathcal{T}^{TS} = \mathcal{Q} t^{TS} \times t_{\Lambda \eta \rightarrow p K^-}$$

其中， $\mathcal{Q} = g_{\Lambda_c^+ a_0 \Lambda} g_{a_0 \eta \pi^+}$ 为常数， t^{TS} 为三角形振幅，

$t_{\Lambda \eta \rightarrow p K^-}$ 为 S 波 $\eta \Lambda \rightarrow p K^-$ 的相互作用跃迁振幅。



- 计算S波 $\eta\Lambda \rightarrow pK^-$ 的相互作用跃迁振幅
- Bethe-Salpeter方程: $T = [1 - VG]^{-1}V$
- 跃迁势: $V_{ij} = -C_{ij} \frac{1}{4f^2} (2\sqrt{s} - M_i - M_j) \times (\frac{M_i + E_i}{2M_i})^{1/2} (\frac{M_j + E_j}{2M_j})^{1/2}$
- 圈函数: $G_I(\sqrt{s}) = \frac{1}{16\pi^2} \{a_I(\mu) + \ln \frac{M_I^2}{\mu^2} + \frac{m_I^2 - M_I^2 + s}{2s} \ln \frac{m_I^2}{M_I^2} + \frac{\bar{q}_I}{\sqrt{s}} [\ln(s - (M_I^2 - m_I^2) + 2\bar{q}_I\sqrt{s}) + \ln(s + (M_I^2 - m_I^2) + 2\bar{q}_I\sqrt{s}) - \ln(-s + (M_I^2 - m_I^2) + 2\bar{q}_I\sqrt{s}) - \ln(-s - (M_I^2 - m_I^2) + 2\bar{q}_I\sqrt{s})]\}$

Table 1

C_{ij} coefficients of Eq. (7). $C_{ji} = C_{ij}$ E. Oset and A. Ramos, Nucl. Phys. A 635, 99 (1998)

	K^-p	$\bar{K}^0n$	$\pi^0\Lambda$	$\pi^0\Sigma^0$	$\eta\Lambda$	$\eta\Sigma^0$	$\pi^+\Sigma^-$	$\pi^-\Sigma^+$	$K^+\Xi^-$	$K^0\Xi^0$
K^-p	2	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	0	1	0	0
$\bar{K}^0n$		2	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0	0	0
$\pi^0\Lambda$			0	0	0	0	0	0	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$
$\pi^0\Sigma^0$				0	0	0	2	2	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\eta\Lambda$					0	0	0	0	$\frac{3}{2}$	$\frac{3}{2}$
$\eta\Sigma^0$						0	0	0	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$
$\pi^+\Sigma^-$							2	0	1	0
$\pi^-\Sigma^+$								2	0	1
$K^+\Xi^-$									2	1
$K^0\Xi^0$										2

- 减除常数: $a_{\bar{K}N} = -1.84$, $a_{\pi\Sigma} = -2.00$,
 $a_{\eta\Lambda} = -2.25$, $a_{K\Xi}$ 取为自由参数

● 三角形振幅

$$t^{TS} = \int \frac{d^3q}{(2\pi)^3} \frac{2m_\Lambda}{8\omega_\Lambda \omega_{a_0} \omega_\eta} \frac{1}{k^0 - \omega_{a_0} - \omega_\eta + i\frac{\Gamma_{a_0}}{2}} \times \frac{1}{P^0 + \omega_\Lambda + \omega_\eta - k^0} \\ \times \frac{2P^0 \omega_\Lambda + 2k^0 \omega_\eta - 2(\omega_\Lambda + \omega_\eta)(\omega_\Lambda + \omega_\eta + \omega_\Lambda + \omega_{a_0})}{P^0 - \omega_{a_0} - \omega_\Lambda + i\frac{\Gamma_{a_0}}{2}} \times \frac{1}{P^0 - \omega_\Lambda - \omega_\eta - k^0 + i\varepsilon}$$

● $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ 衰变过程中 pK^- 的不变质量分布

$$\frac{d\Gamma}{dM_{pK^-}} = \frac{1}{(2\pi)^3} \frac{p_{\pi^+} \tilde{p}_{K^-}}{4M_{\Lambda_c^+}^2} |\mathcal{T}^{TS}|^2$$

其中, $p_{\pi^+} = \frac{\lambda^{1/2}(M_{\Lambda_c^+}^2, M_{\pi^+}^2, M_{pK^-}^2)}{2M_{\Lambda_c^+}}$, $\tilde{p}_{K^-} = \frac{\lambda^{1/2}(M_{pK^-}^2, m_{K^-}^2, m_p^2)}{2M_{pK^-}}$

● 背景项的贡献: $f(M_{pK^-}) = a_0 + a_1 M_{pK^-} + a_2 M_{pK^-}^2 + a_3 M_{pK^-}^3$

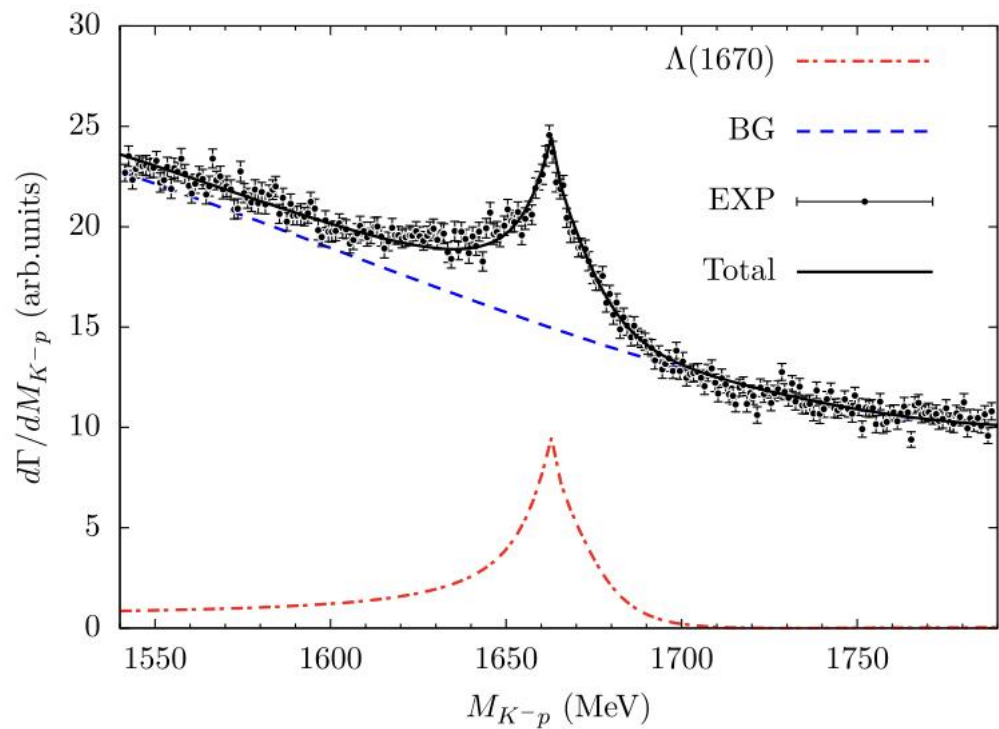
- 一共有6个自由参数：归一化的三角顶点振幅 Q' ；

减除常数 $a_{K\Xi}$ ；

背景项的参数 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3

参数	数值
Q'	$(6.092 \pm 0.068) \times 10^4$
$a_{K\Xi}$	-2.776 ± 0.003
a_0	-1969.30 ± 0.23
a_1	3.860 ± 0.001
a_2	$(-2.455 \pm 0.001) \times 10^{-3}$
a_3	$(5.118 \pm 0.001) \times 10^{-7}$
χ^2	301.76
$\chi^2/d.o.f.$	1.25

● $\Lambda_c^+ \rightarrow p K^- \pi^+$ 过程中 $p K^-$ 的不变质量谱



● $\Lambda(1670)$ 的极点位置

当将减除常数 $a_{KE} = -2.776$ 时

$$M_{\Lambda(1670)} - i \frac{\Gamma_{\Lambda(1670)}}{2} = 1669.0 - i20.3$$

$\Lambda(1670) 1/2^-$

Pole parameters

$M = 1676 \pm 2$ $\Gamma = 33 \pm 4$

A. V. Sarantsev, M. Matveev, V. A. Nikonov,
A. V. Anisovich, U. Thoma and E. Klempt,
Eur. Phys. J. A 55, 180 (2019)

	$J^P(l_{12}J)$	M_R (MeV)
Λ baryons	$1/2^-(S_{01})$	Model A
		$(1669^{+3}_{-8}, 9^{+9}_{-1})$

H. Kamano, S. X. Nakamura, T. S. H. Lee and T. Sato, Phys. Rev. C 92, 025205 (2015)



- Belle合作组对 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+$ 反应过程的高精度测量，显示在 pK^- 不变质量分布的 $\eta\Lambda$ 阈值附近呈现出清晰的尖端结构，我们对这些数据进行拟合，再现了实验测量的结果，认为此尖端结构与共振态 $\Lambda(1670)$ 的分子态性质有关；
- 确定了 $\Lambda(1670)$ 的极点位置为 $1669.0 - i20.3$ ，与其他研究的结果一致。



请各位老师同学批评指正！

谢谢！