

BESIII上粲强子、QCD及新物理研究

课题 1：《粲重子衰变研究》

汇报人：李培荣(兰州大学)

承担单位：兰州大学、中国科学院大学、中山大学



提纲

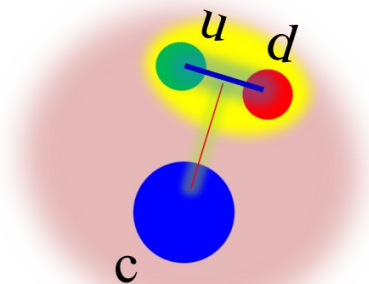
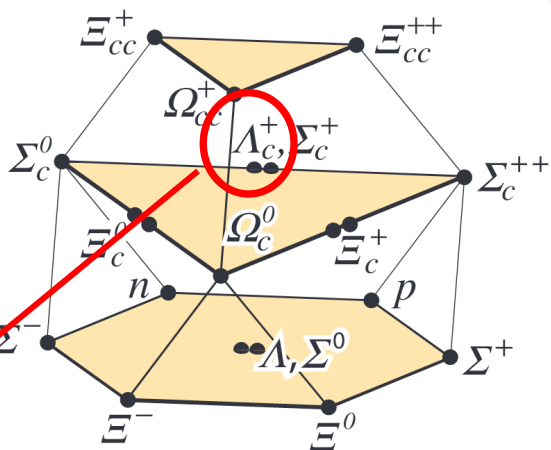
一. 课题研究背景和意义

二. 课题整体目标

三. 课题任务执行情况

四. 总结

粲重子 Λ_c 的研究背景



PDG2014

Λ_c^+ DECAY MODES

Nearly all branching fractions of the Λ_c^+ are measured relative to the $pK^-\pi^+$ mode, but there are no model-independent measurements of this branching fraction. We explain how we arrive at our value of $B(\Lambda_c^+ \rightarrow pK^-\pi^+)$ in a Note at the beginning of the branching-ratio measurements, below. When this branching fraction is eventually well determined, all the other branching fractions will slide up or down proportionally as the true value differs from the value we use here.

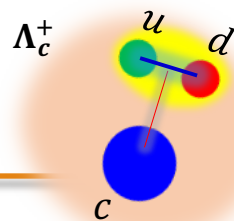
Mode	Fraction (Γ_i/Γ)	Scale factor/ Confidence level
------	--------------------------------	-----------------------------------

Hadronic modes with a p : $S = -1$ final states

Γ_1	$p\bar{K}^0$	(2.3 \pm 0.6) %
Γ_2	$pK^-\pi^+$	[a] (5.0 \pm 1.3) %
Γ_3	$p\bar{K}^*(892)^0$	[b] (1.6 \pm 0.5) %
Γ_4	$\Delta(1232)^{++}K^-$	(8.6 \pm 3.0) $\times 10^{-3}$
Γ_5	$\Lambda(1520)\pi^+$	[b] (1.8 \pm 0.6) %
Γ_6	$pK^-\pi^+$ nonresonant	(2.8 \pm 0.8) %

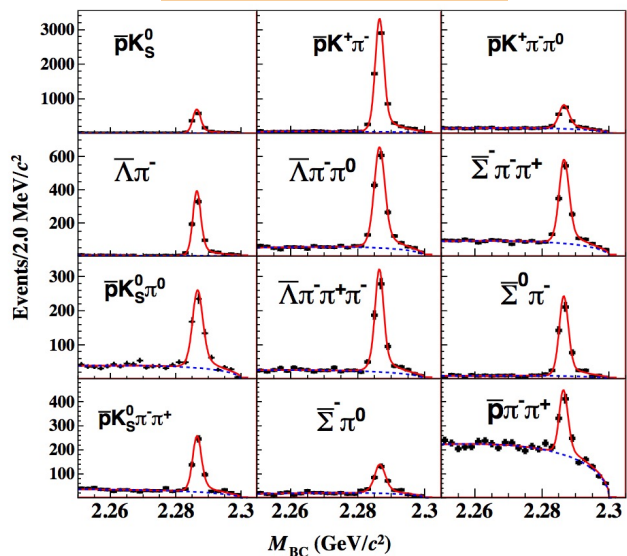
- Λ_c^+ : 最轻的含粲重子, 费米实验室首次观测 (PRL37, 882 (1976)) SLAC再次确认 (PRL44, 10 (1980))
- 2015年以前, 粒子手册 (PDG) 中关于 Λ_c 衰变数据的更新缓慢, 几乎都是模型相关的相对测量。
- 低能QCD理论工具: 拓扑图近似 + 对称性 + 实验测量
- 理论工具结合实验观测 \Rightarrow 提高低能QCD理论的预言能力!

粲重子 Λ_c 衰变相关的物理结果产出



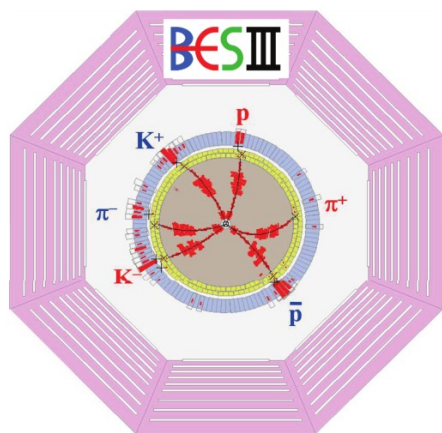
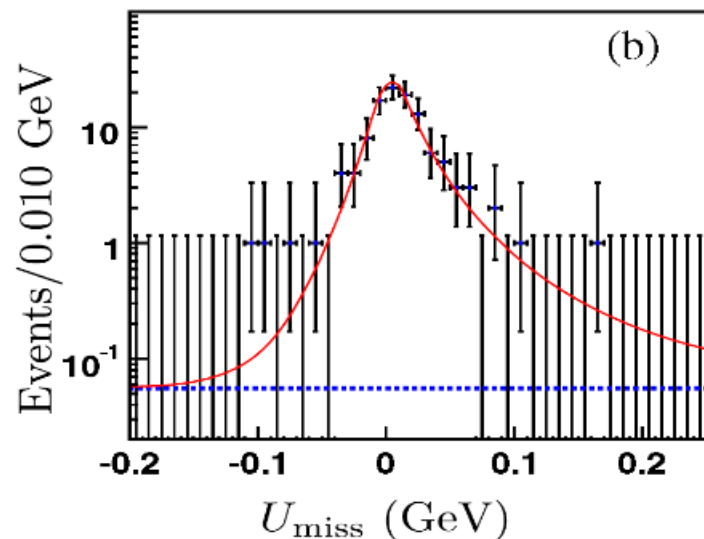
- 2014年BESIII实验在4.6 GeV获取了**35天**567 pb⁻¹ Λ_c 数据，发表了17篇文章 (其中PRL文章7篇)。
- 国际上首次在阈值处实现 Λ_c 性质的系统研究，发表了一系列重要工作，开启BESIII物理研究的一个新领域。
(选为上一期科技部BESIII的973项目结题的亮点工作)

PRL116.052001(2016)



干净清晰的 Λ_c^+ 信号峰!

PRL115.221805(2015)



前期重要的物理成果

- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow pK\pi^+)$ 等 12 个道
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow pK^+K, p\pi^+\pi^-)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow nK_s\pi^+)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow p\eta, p\pi^0)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^-\pi^+\pi^+\pi^0)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Xi^{(*)0}K^+)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+\eta, \Sigma^+\eta')$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+\nu_e)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\mu^+\nu_\mu)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda X)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow eX)$
- $\Lambda_c^+ \Lambda_c^-$ pair cross section
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\eta)$
- $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0, \Lambda\pi^+, \Sigma^+\pi^0, \Sigma^0\pi^+$ 不对称参数
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow K_S^0 X)$
- $BF(\Lambda_c^+ \rightarrow pK_S^0\eta)$
- Λ_c^+ 自旋
- PRL 116, 052001 (2016)
- PRL 117, 232002 (2016)
- PRL 118, 12001 (2017)
- PRD 95, 111102(R) (2017)
- PLB 772, 388 (2017)
- PLB 783,200 (2018)
- CPC 43, 083002(2019)
- PRL 115, 221805(2015)
- PLB 767, 42 (2017)
- PRL 121, 062003(2018)
- PRL 121,251801(2018)
- PRL 120,132001(2018).
- PRD 99,032010(2019)
- PRD 100,072004(2019)
- EPJC 80,935(2020)
- PLB 817,136327(2021)
- PRD 103,L091101(2021)

分支比精度大幅度改善

PDG2014

$\Gamma(\rho\bar{K}^0\pi^0)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_7/Γ_2

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$0.66 \pm 0.05 \pm 0.07$	774	ALAM	98 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$

$\Gamma(\rho\bar{K}^0\eta)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_8/Γ_2

Unseen decay modes of the η are included.

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$0.25 \pm 0.04 \pm 0.04$	57	AMMAR	95 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$

$\Gamma(\rho\bar{K}^0\pi^+\pi^-)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_9/Γ_2

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
0.51 ± 0.06 OUR AVERAGE				
$0.52 \pm 0.04 \pm 0.05$	985	ALAM	98 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$
$0.43 \pm 0.12 \pm 0.04$	83	AVERY	91 CLEO	$e^+e^- 10.5 \text{ GeV}$
$0.98 \pm 0.36 \pm 0.08$	12	BARLAG	90D NA32	$\pi^- 230 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho K^-\pi^+\pi^0)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_{10}/Γ_2

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$0.67 \pm 0.04 \pm 0.11$	2606	ALAM	98 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$

$\Gamma(\rho K^*(892)^-\pi^+)/\Gamma(\rho\bar{K}^0\pi^+\pi^-)$ Γ_{11}/Γ_9

Unseen decay modes of the $K^*(892)^-$ are included.

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
0.44 ± 0.14	17	ALEEV	94 BIS2	$nN 20-70 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho(K^-\pi^+)_{\text{nonresonant}}\pi^0)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_{12}/Γ_2

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$0.73 \pm 0.12 \pm 0.05$	67	BOZEK	93 NA32	$\pi^- \text{ Cu } 230 \text{ GeV}$

PDG2019

$\Gamma(\rho K_S^0\pi^0)/\Gamma_{\text{total}}$ Γ_7/Γ

VALUE (%)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1.96 ± 0.13 OUR FIT				Error includes scale factor of 1.1
$1.87 \pm 0.13 \pm 0.05$	558	ABLIKIM	16	BES3 $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c \bar{\Lambda}_c, 4.599 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho K_S^0\pi^0)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_7/Γ_2

Measurements given as a \bar{K}^0 ratio have been divided by 2 to convert to a K_S^0 ratio.

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
0.314 ± 0.018 OUR FIT				
$0.33 \pm 0.03 \pm 0.04$	774	ALAM	98 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$

$\Gamma(nK_S^0\pi^+)/\Gamma_{\text{total}}$ Γ_8/Γ

VALUE (%)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$1.82 \pm 0.23 \pm 0.11$	83	ABLIKIM	17H	BES3 e^+e^- at 4.6 GeV

$\Gamma(\rho\bar{K}^0\eta)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_9/Γ_2

Unseen decay modes of the η are included.

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
$0.25 \pm 0.04 \pm 0.04$	57	AMMAR	95 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$

$\Gamma(\rho K_S^0\pi^+\pi^-)/\Gamma_{\text{total}}$ Γ_{10}/Γ

VALUE (%)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
1.59 ± 0.12 OUR FIT				Error includes scale factor of 1.2
$1.53 \pm 0.11 \pm 0.09$	485	ABLIKIM	16	BES3 $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c \bar{\Lambda}_c, 4.599 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho K_S^0\pi^+\pi^-)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_{10}/Γ_2

Measurements given as a \bar{K}^0 ratio have been divided by 2 to convert to a K_S^0 ratio.

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
0.255 ± 0.015 OUR FIT				Error includes scale factor of 1.1.
0.257 ± 0.031 OUR AVERAGE				
$0.26 \pm 0.02 \pm 0.03$	985	ALAM	98 CLE2	$e^+e^- \approx \Upsilon(4S)$
$0.22 \pm 0.06 \pm 0.02$	83	AVERY	91 CLEO	$e^+e^- 10.5 \text{ GeV}$
$0.49 \pm 0.18 \pm 0.04$	12	BARLAG	90D NA32	$\pi^- 230 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho K^-\pi^+\pi^0)/\Gamma_{\text{total}}$ Γ_{11}/Γ

VALUE (%)	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
4.42 ± 0.31 OUR FIT				Error includes scale factor of 1.5
$4.53 \pm 0.23 \pm 0.30$	1849	ABLIKIM	16	BES3 $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c \bar{\Lambda}_c, 4.599 \text{ GeV}$

$\Gamma(\rho K^-\pi^+\pi^0)/\Gamma(\rho K^-\pi^+)$ Γ_{11}/Γ_2

VALUE	EVTS	DOCUMENT ID	TECN	COMMENT
-------	------	-------------	------	---------

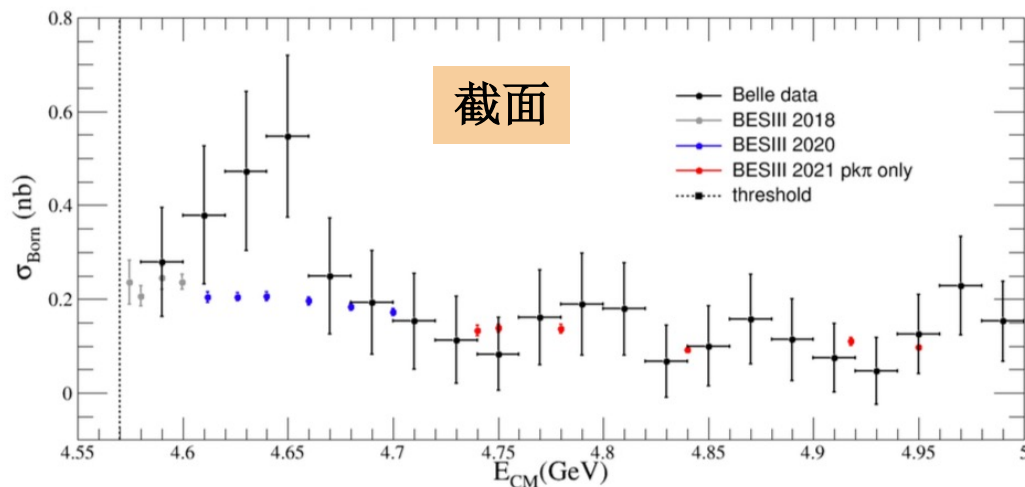
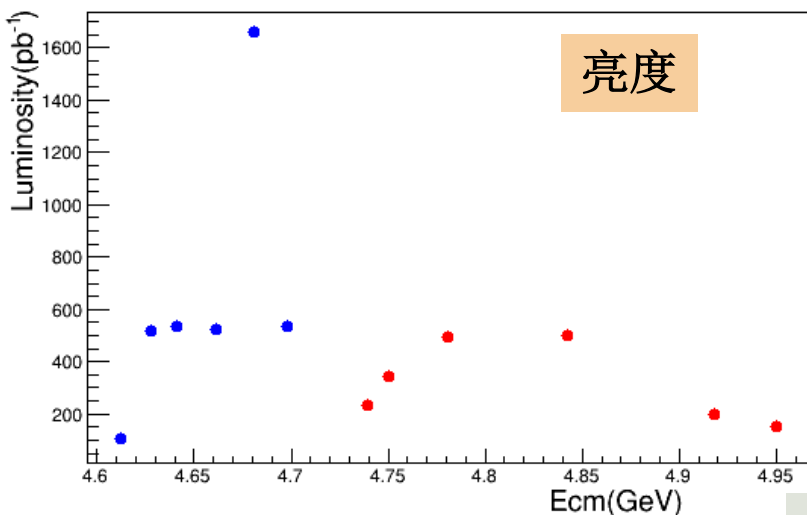
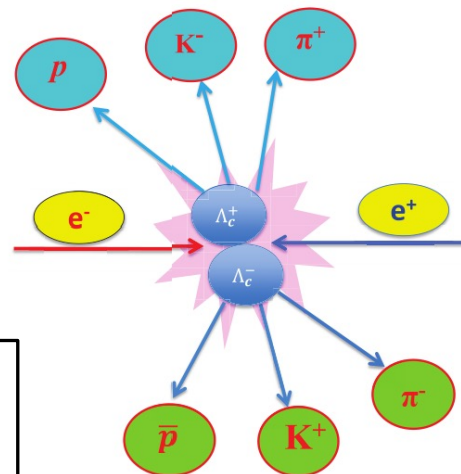
- ◆ BESIII的贡献使得多数分支比结果由相对测量改为绝对测量。
- ◆ BESIII对黄金道 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK\pi$ 的测量 \Rightarrow 模型依赖为模型无关。
- ◆ BESIII贡献发现了更多以前没发现的衰变道(比如含中子末态的衰变)。

近阈粲重子数据

感谢BEPcII加速器同仁!!!

- 2020年BESIII在4.61-4.70 GeV新获取了 3.9fb^{-1} 的 Λ_c 数据。
- 2021年采集的质心系能量在4.7-4.95GeV的 1.9fb^{-1} 实验数据。
- 数据量增加到2014年数据的**10倍**左右，大幅提升 Λ_c 研究能力。

BESIII实验上阈值产生的粲重子数据在国际上是独一无二的，是BESIII实验在国际粒子物理领域的独特亮点贡献！



为本课题的开展奠定了重要的基础。

课题整体目标、指标

课题目标、成果与考核指标表

课题目标 ¹	成果名称	成果类型	考核指标 ²				考核方式(方法)及评价手段 ⁴
			指标名称	立项时已有指标值/状态	中期指标值/状态 ³	完成时指标值/状态	
(限 500 字以内。)首次发现或寻找 Λ_c^+ 的 4 项新半轻衰变; 精确测 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子; 强子末态衰变过程至少 5 项相对精度好于 10%; Λ_c^+ 弱衰变的不对称参数精度最好可达 4%; 首次测量或者更精确测量 2 个 Λ_c^+ 单举过程。建立分波分析工具, 完成 1 项三体分波分析工作; 发表论文 10 篇以上	Λ_c^+ 的半轻衰变研究	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input checked="" type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 加工工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他	Λ_c^+ 的半轻衰变研究成果; 论文数量	半轻过程仅测量了 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变率; 无衰变形状因子测量	首次发现或寻找 Λ_c^+ 的 2 项新半轻衰变; 首次绝对精确测 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子; 发表论文 1 篇	首次发现或寻找 Λ_c^+ 的 4 项新半轻衰变; 首次绝对精确测 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子; 发表论文 3 篇	正式文章发表
	Λ_c^+ 的强子弱衰变研究	同上	Λ_c^+ 的强子弱衰变研究成果; 论文数量	卡比玻压低的强子末态衰变过程相对误差高于 20%; 含中子末态仅发表 2 个过程的研究; 无 K_L 末态的实验研究; Λ_c^+ 弱衰变的不对称参数精度大于 10%	发现 2 个卡比玻压低强子末态衰变过程, 精度好于 10%; 发现 2 项包含中子和 K_L 末态的衰变过程; Λ_c^+ 弱衰变的不对称参数精度最好可达 4%; 发表论文 2 篇	完成 5-10 项卡比玻压低的 Λ_c^+ 强子末态衰变过程以及包含中子和 K_L 末态的衰变过程, 至少 5 项精度好于 10%; 发表 2 项 Λ_c^+ 弱衰变的不对称参数测量, 最好精度可达 4%; 发表论文 6-8 篇	正式文章发表
	Λ_c^+ 单举过程精确测量	同上	Λ_c^+ 的单举衰变研究成果; 论文数量	BESIII 实验发表了对 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda + X, e + X, K_S + X$ 3 个过程的测量结果	首次测量或者更精确测量 1 个 Λ_c^+ 单举过程。	首次测量或者更精确测量 2 个 Λ_c^+ 单举过程。发表论文 2 篇	正式文章发表
	粲重子分波分析	同上	粲重子分波分析; 论文数量	BESII 实验上无相关研究	建立完成分波分析工具开发	建立分波分析工具; 发表 1 篇三体衰变分波分析工作	正式文章发表
科技报告考核指标	序号	报告类型 ⁵	数量	提交时间		公开类别及时限 ⁶	
其他目标与考核指标: 无							

课题任务1-半轻衰变研究

考核指标: 1) 首次发现或寻找 Λ_c^+ 的4项新半轻衰变;
2) 首次精确测量 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子;
3) 发表3篇论文;

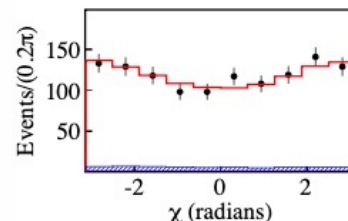
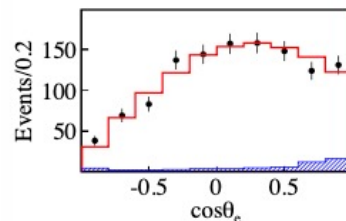
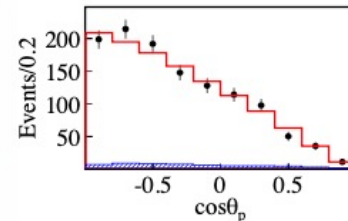
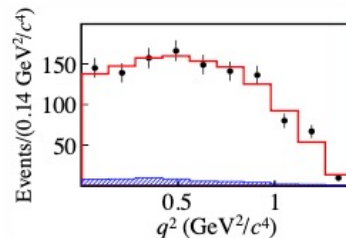
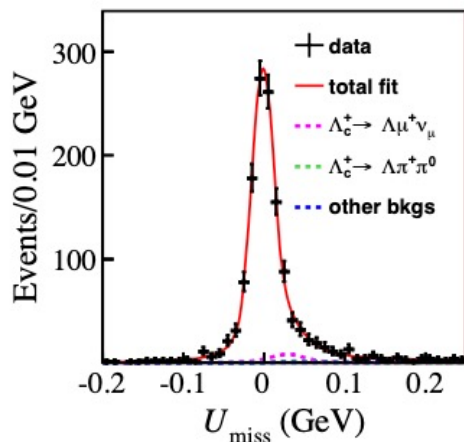
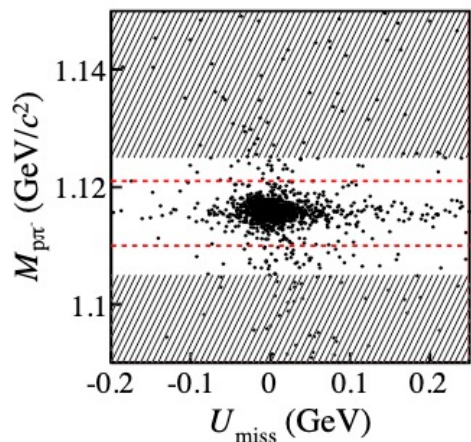
中期指标: 1) 首次发现或寻找 Λ_c^+ 的2项新半轻衰变;
2) 首次精确测量 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子;
3) 发表1篇论文;

目前状况: 1) 首次发现 Λ_c^+ 的2项新半轻衰变; ($pK^-e^+\nu$, $ne^+\nu$)
2) 首次寻找 Λ_c^+ 的2项新半轻衰变; ($\Lambda\pi^+\pi^-e^+\nu_e$, $pK_S^0\pi^-e^+\nu_e$)
3) 首次精确测量 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子;
4) 投稿2篇, 内部评审2篇

课题任务1-半轻衰变研究部分结果选摘

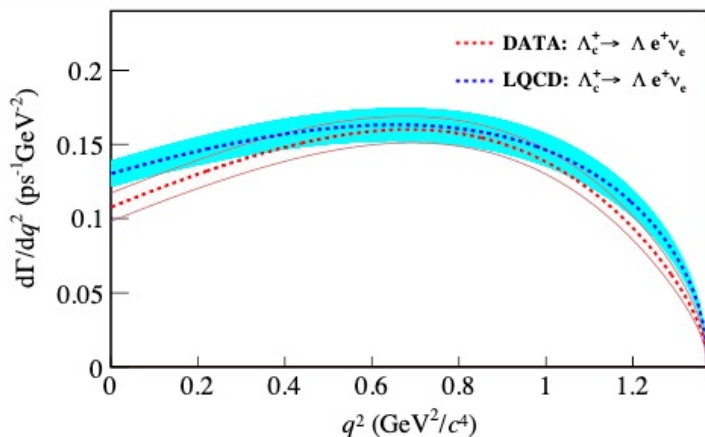
arxiv: 2207.14149

$N=1253 \pm 39$



$$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu_e) = (3.56 \pm 0.11_{\text{stat.}} \pm 0.07_{\text{syst.}})\%$$

$$|V_{cs}| = 0.936 \pm 0.017_{\mathcal{B}} \pm 0.024_{\text{LQCD}} \pm 0.007_{\tau_{\Lambda_c}}$$



改善了分支比测量精度

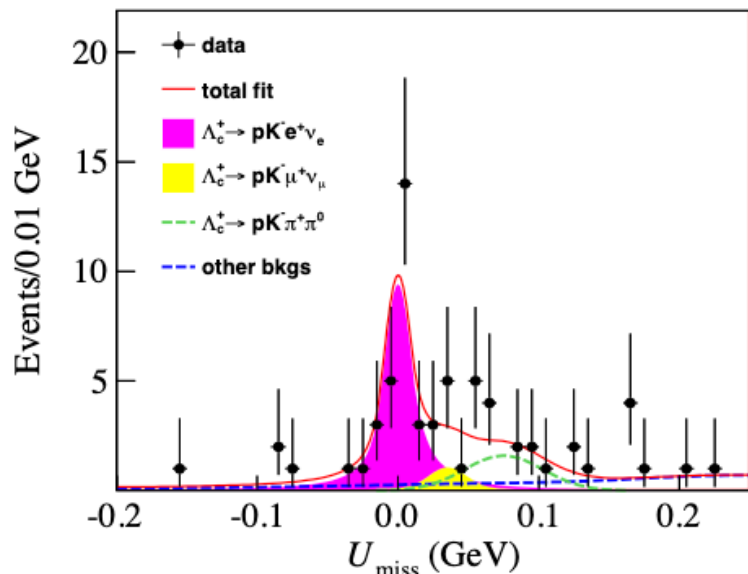
给出了与D介子衰变一致的 $|V_{cs}|$ 值

首次精确测量 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda l^+ \nu$ 衰变的形状因子;

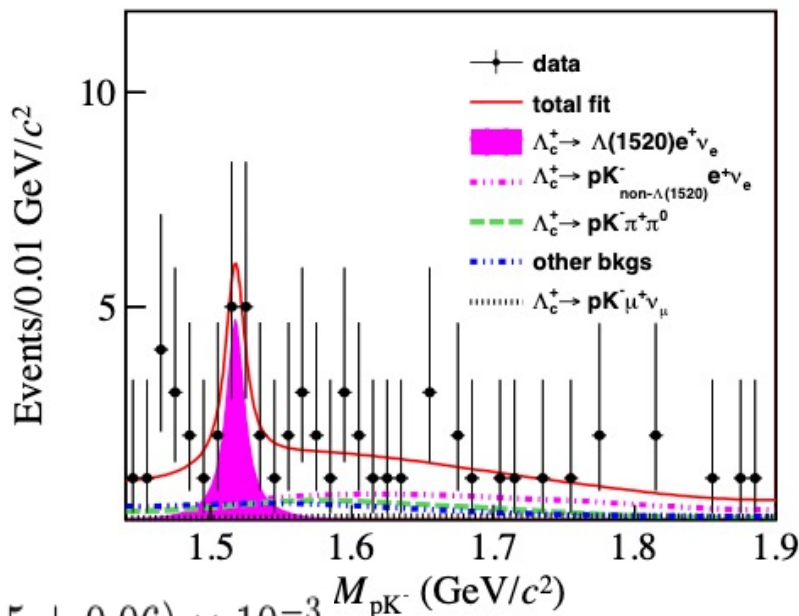
课题任务1-半轻衰变研究部分结果选摘

arxiv: 2207.11483

$N=33.6 \pm 6.3$



$N=11.5 \pm 4.7$



$$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- e^+ \nu_e) = (0.82 \pm 0.15 \pm 0.06) \times 10^{-3} M_{pK^-} (\text{GeV}/c^2)$$

$$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda(1520)e^+ \nu_e) = (1.36 \pm 0.56 \pm 0.14) \times 10^{-3}.$$

首次观测到 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- e^+ \nu$ (8.2σ)

首次寻找到 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda(1520)e^+ \nu$ 存在的证据 (3.3σ)

给出了相关过程的绝对衰变分支比。

课题任务2-强子弱衰变研究

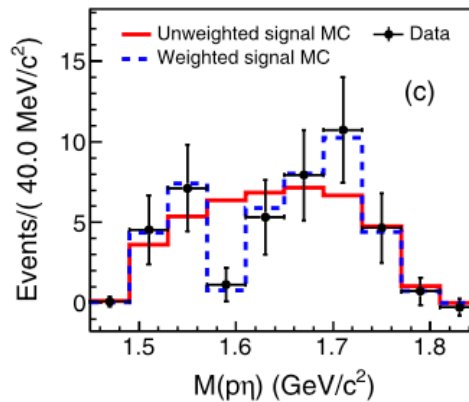
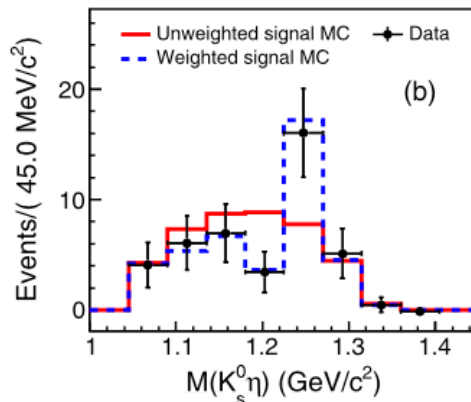
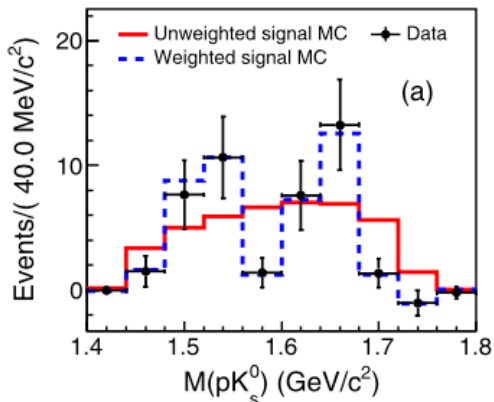
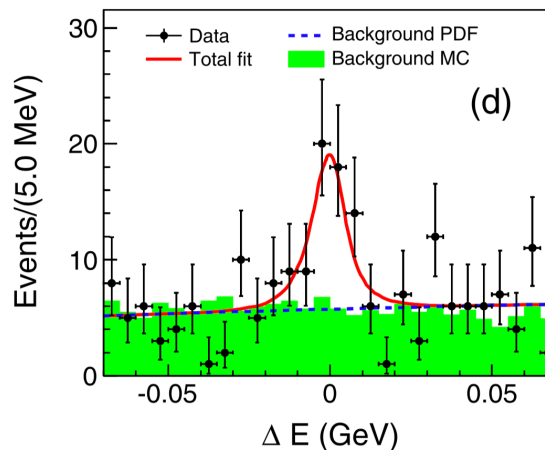
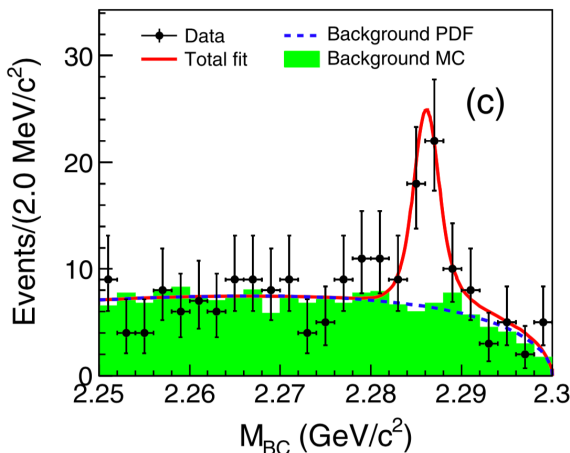
考核指标: 1) 完成5-10项 Λ_c^+ 的卡比玻压底强子末态过程以及含有中子和KL的衰变过程。其中至少5项精度好于10%。
2) 发表2项 Λ_c^+ 弱衰变参数, 精度最好达到4%;
3) 发表6-8篇论文;

中期指标: 1) 发现2项 Λ_c^+ 的卡比玻压底强子末态过程, 精度好于10%。
2) 发现2项包含有中子和KL末态的过程
3) Λ_c^+ 弱衰变参数精度最好达到4%;
3) 发表2篇论文;

目前状况: 1) 对12项 Λ_c^+ 的卡比玻压底强子末态过程以及含有中子和KL的衰变过程进行了寻找。
2) 对5项 Λ_c^+ 弱衰变参数进行了测量。
3) 发表3篇, 投稿2篇, 内部评审1篇

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

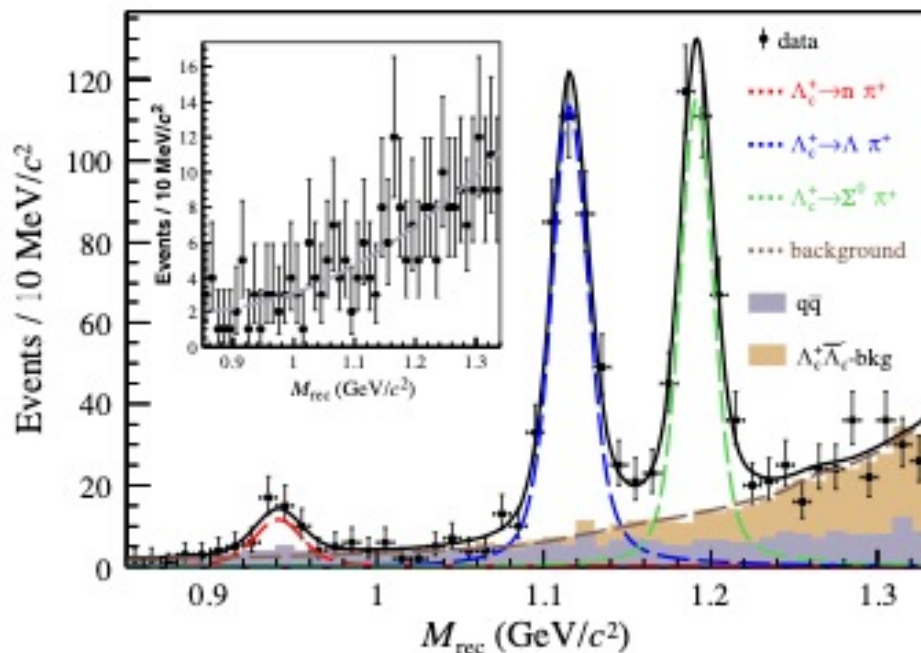
PLB 817.136327(2021)



- 发表了对 $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0\eta$ 的绝对分支比的首次测量工作。
- 实验测得该过程的分支比为 $(4.14 \pm 0.84_{stat} \pm 0.28_{syst}) \times 10^{-3}$

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

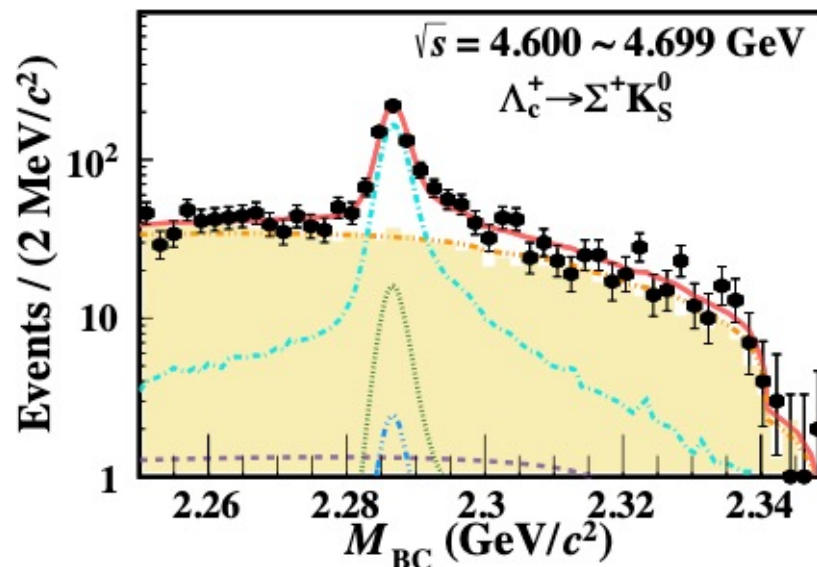
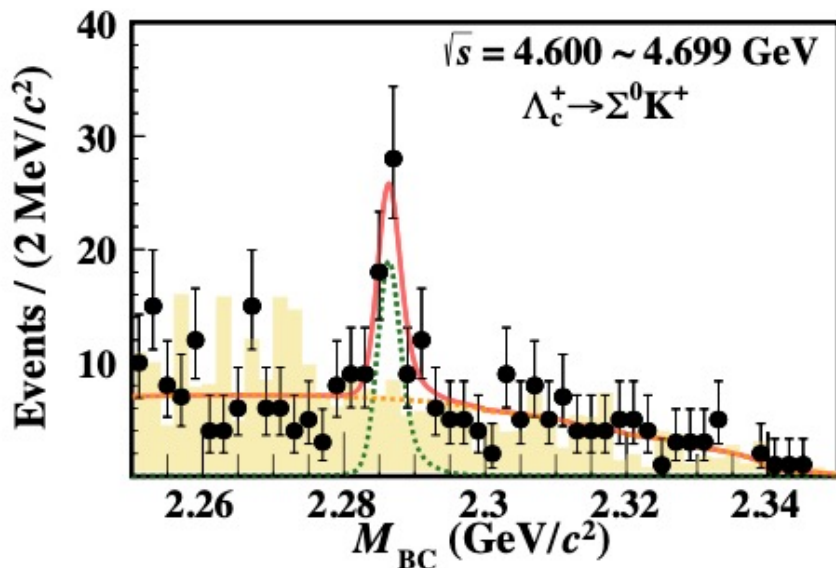
PRL 128.142001(2022)



- 首次观测到含有中子末态的单卡比玻压低过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+$ (7.3σ)
- 测量其绝对衰变分支比为 $(6.6 \pm 1.2_{stat} \pm 0.4_{syst}) \times 10^{-4}$
- $R = \frac{B(\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+)}{B(\Lambda_c^+ \rightarrow p\pi^0)} > 7.2 @ 90\% C.L.$
- 对理论模型的计算提供了很强的约束。

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

arxiv: 2207.10906 (PRD accepted)



- 测量了两个单卡比玻压低的衰变过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 K^+$ 、 $\Sigma^+ K_S^0$

- 相对测量其衰变分支比

$$R = \frac{B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 K^+)}{B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 \pi^+)} = 0.0361 \pm 0.0073_{stat} \pm 0.0005_{syst}$$

$$R = \frac{B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ K_S^0)}{B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ \pi^+ \pi^-)} = 0.0106 \pm 0.0031_{stat} \pm 0.0004_{syst}$$

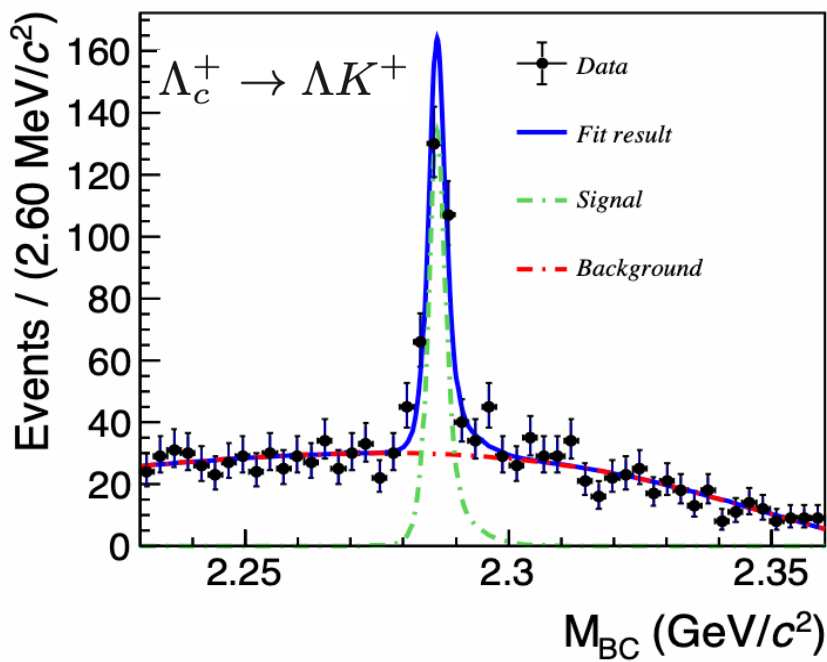
- 给出了精确的分支比结果

$$B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0 K^+) = (4.7 \pm 0.9_{stat} \pm 0.1_{syst} \pm 0.3_{ref}) \times 10^{-4}$$

$$B(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^+ K_S^0) = (4.8 \pm 1.4_{stat} \pm 0.2_{syst} \pm 0.3_{ref}) \times 10^{-4} \text{ (首次测量)}$$

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

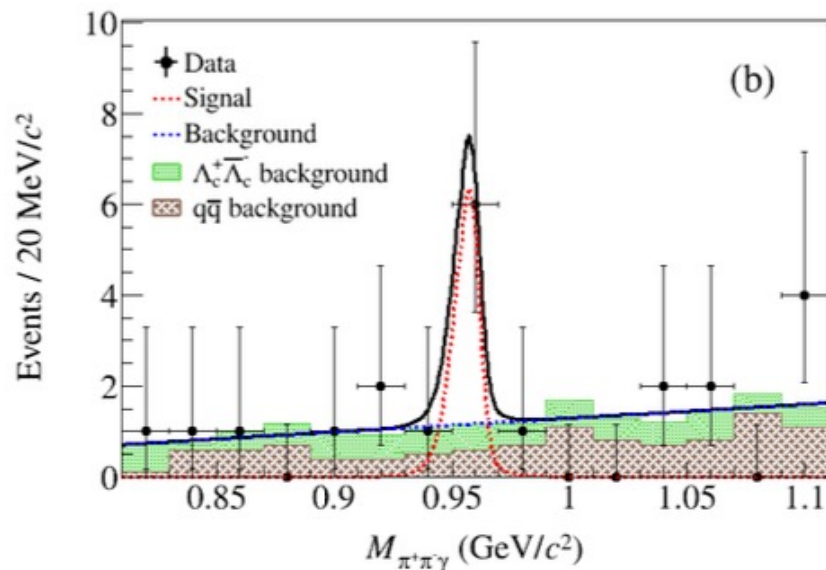
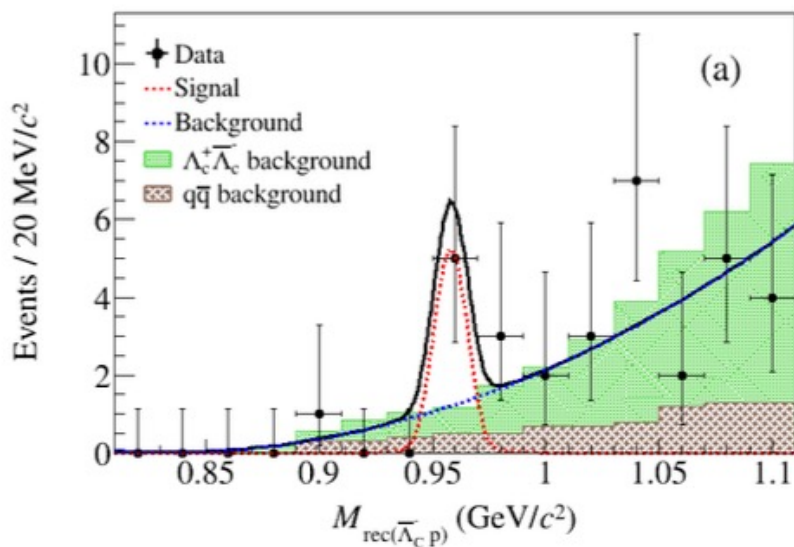
arxiv: 2208.04001



- 观测到单卡比玻压低过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^+$
- 测量其相对于卡比玻正常过程的相对衰变分支比
- $R = \frac{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^+)}{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+)} = (4.78 \pm 0.34_{stat} \pm 0.20_{syst})\%$
- $\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda K^+) = (6.21 \pm 0.44_{stat} \pm 0.26_{syst} \pm 0.34_{ref}) \times 10^{-4}$

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

arxiv: 2207.14461

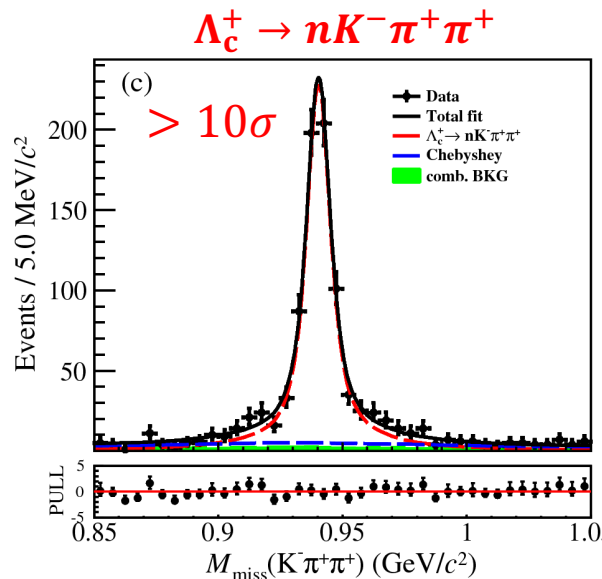
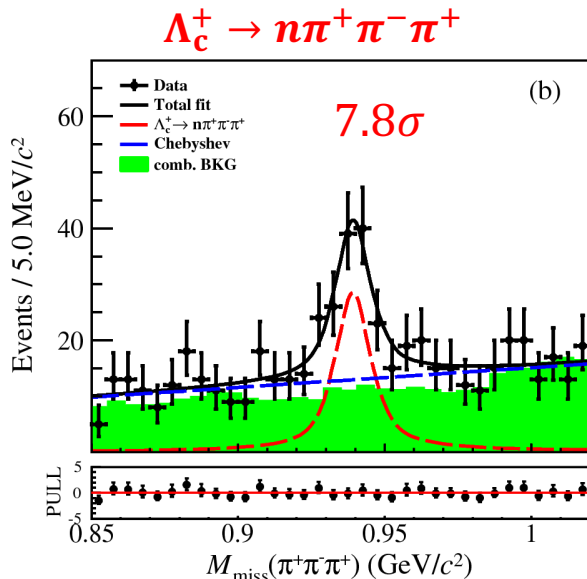
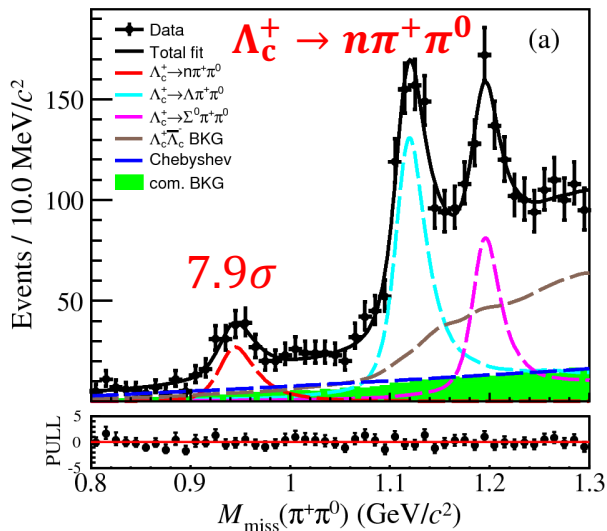


- 双标记方法观测到单卡比玻压低过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow p\eta'$ 的衰变证据 (3.6σ)
- 测量其绝对衰变分支比 $\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow p\eta') = (5.62_{-2.04}^{+2.46}_{stat} \pm 0.26_{syst}) \times 10^{-4}$
- 与Belle实验的测量结果是一致的

课题任务2-强子弱衰变研究部分结果选摘

BESIII preliminary

已在PhiPsi2022国际会议上公开报告



Decay mode	Yields	BF(%)	PDG value(%)
$\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+\pi^0$	150.9 ± 21.4	$0.64 \pm 0.09_{\text{stat}} \pm 0.02_{\text{syst}}$	-
$\Lambda_c^+ \rightarrow n\pi^+\pi^-\pi^+$	120.6 ± 17.9	$0.45 \pm 0.07_{\text{stat}} \pm 0.03_{\text{syst}}$	-
$\Lambda_c^+ \rightarrow nK^-\pi^+\pi^+$	805.8 ± 33.1	$1.90 \pm 0.08_{\text{stat}} \pm 0.09_{\text{syst}}$	-
$\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^0$	864.4 ± 56.6	$6.52 \pm 0.43_{\text{stat}}$	7.1 ± 0.4
$\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma^0\pi^+\pi^0$	454.4 ± 57.2	$3.77 \pm 0.47_{\text{stat}}$	3.5 ± 0.4

课题任务2-强子弱衰变研究

4.1.1 Angular distribution formula for $\Lambda_c^+ \rightarrow \Xi^0 K^+$

According to the angular distribution calculation method of Elisabetta Perotti's work [24], the full level angular distribution formula for $\Lambda_c^+ \rightarrow \Xi^0 K^+$ is listed below,

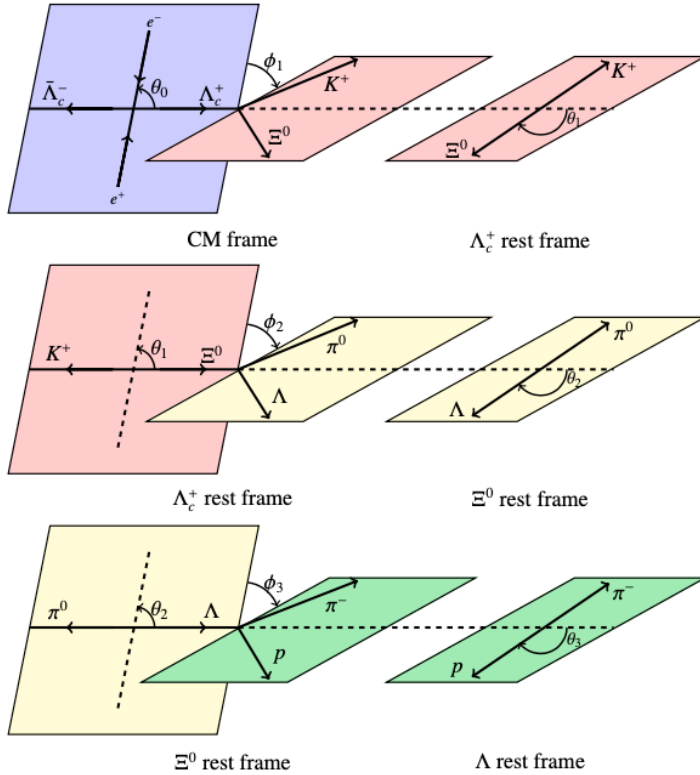


Figure 3: Definition of the helicity frame for $e^+e^- \rightarrow \Lambda_c^+ \bar{\Lambda}_c^-, \Lambda_c^+ \rightarrow \Xi^0 K^+, \Xi^0 \rightarrow \Lambda \pi^0, \Lambda \rightarrow p \pi^-$.

$$\begin{aligned}
 & \frac{d\Gamma}{d\cos\theta_0 d\cos\theta_1 d\cos\theta_2 d\cos\theta_3 d\phi_1 d\phi_2 d\phi_3} \\
 & \propto 1 + \alpha_{\Lambda} \alpha_{\Xi^0} \cos\theta_3 \\
 & - \alpha_{\Lambda_c} \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \cos(\Delta_{\Xi^0} + \phi_3) \sin\theta_2 \sin\theta_3 \\
 & + \alpha_{\Lambda_c} \alpha_{\Xi^0} \cos\theta_2 \\
 & + \alpha_{\Lambda_c} \alpha_{\Lambda} \cos\theta_2 \cos\theta_3 \\
 & + \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_0^2} \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \sin\theta_0 \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \cos\theta_1 \sin\phi_1 \cos\theta_2 \cos(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \cos\Delta_{\Xi^0} \sin\theta_3 \cos\phi_3 \\
 & + \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_0^2} \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \sin\theta_0 \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \cos\phi_1 \cos\theta_2 \sin(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \cos\Delta_{\Xi^0} \sin\theta_3 \cos\phi_3 \\
 & + \alpha_0 \cos^2\theta_0 (1 + \alpha_{\Lambda} \alpha_{\Xi^0} \cos\theta_3 + \alpha_{\Lambda_c} \cos\theta_2 (\alpha_{\Xi^0} + \alpha_{\Lambda} \cos\theta_3) - \alpha_{\Lambda_c} \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \cos(\Delta_{\Xi^0} + \phi_3) \sin\theta_2 \sin\theta_3) \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\phi_1 \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\phi_1 (\alpha_{\Xi^0} + \alpha_{\Lambda} \cos\theta_3) \sin(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \sin\theta_2 \\
 & - \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\phi_1 \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} (\cos\theta_2 \sin\Delta_{\Xi^0} \sin(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \sin\phi_3) \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\phi_1 \cos(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \sin(\Delta_{\Xi^0} + \phi_3) \sin\theta_3 \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\theta_1 \cos(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) (\alpha_{\Xi^0} + \alpha_{\Lambda} \cos\theta_3) \sin\theta_2 \\
 & - \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\theta_1 \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \sin\theta_3 \\
 & - \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\theta_1 \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \sin\theta_3 \cos(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_2) \cos\theta_2 \sin\Delta_{\Xi^0} \sin\phi_3 \\
 & - \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sqrt{1 - \alpha_{\Lambda_c}^2} \cos\theta_1 \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \sin\theta_3 \sin(\Delta_{\Lambda_c} + \phi_3) \sin(\Delta_{\Xi^0} + \phi_3) \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sin\theta_1 \alpha_{\Lambda_c} \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sin\theta_1 \alpha_{\Xi^0} \cos\theta_2 \\
 & + \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sin\theta_1 \alpha_{\Lambda} (\alpha_{\Lambda_c} \alpha_{\Xi^0} + \cos\theta_2) \cos\theta_3 \\
 & - \sqrt{1 - \alpha_0^2} \cos\theta_0 \sin\Delta_0 \sin\theta_0 \sin\phi_1 \sin\theta_1 \alpha_{\Lambda} \sqrt{1 - \alpha_{\Xi^0}^2} \cos(\Delta_{\Xi^0} + \phi_3) \sin\theta_2 \sin\theta_3
 \end{aligned}$$

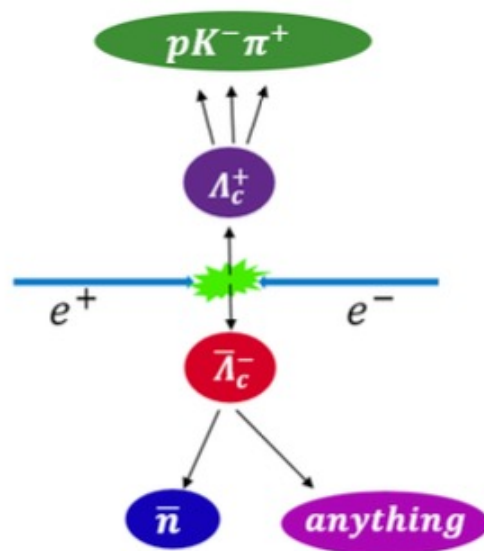
课题任务3-单举过程精确测量

考核指标： 1) 首次测量或者更精确测量2个 Λ_c^+ 单举过程；
2) 发表2篇论文；

中期指标： 1) 首次测量或者更精确测量1个 Λ_c^+ 单举过程；

目前状况： 1) 对3个 Λ_c^+ 单举过程开展了寻找； ($nX, K_S^0 X, \Lambda X$)
2) 内部评审1篇，持续开展中2篇

课题任务3-单举过程精确测量



Based on an e^+e^- collision data sample corresponding to an integrated luminosity of 4.5 fb^{-1} taken at the center-of-mass energies of $\sqrt{s} = 4.60 - 4.70 \text{ GeV}$ with the BESIII detector, we measure the absolute branching fraction of the inclusive decay $\bar{\Lambda}_c^- \rightarrow \bar{n} + X$ using the double-tag method, where X refers to any possible final state particles. The branching fraction is determined to be $\mathcal{B}(\bar{\Lambda}_c^- \rightarrow \bar{n} + X) = (\dots \pm 0.72 \pm 0.87)\%$, where the first uncertainty is statistical and the second systematic.

课题任务 4： 粲重子分波分析

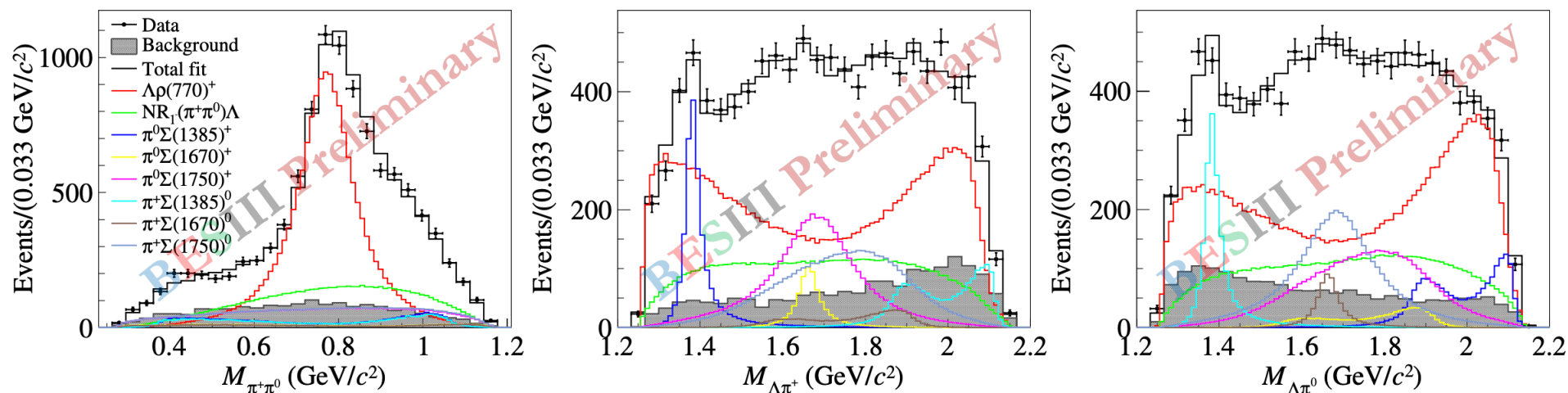
考核指标： 1) 建立分波分析工具
2) 发表1篇三体衰变分波分析工作

中期指标： 1) 建立完成分波分析工具开发；

目前状况： 1) 完成分波分析工具TF-PWA的开发；
<https://gitlab.com/jiangyi15/tf-pwa>
2) $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^0$ 的分波结果已在内部审核阶段。

课题任务 4: $\Lambda_C^+ \rightarrow \Lambda \pi^+ \pi^0$ 的分波分析

- Considered components in the nominal fit:
 - Resonances: $\rho(770)^+$, $\Sigma(1385)^+$, $\Sigma(1385)^0$, $\Sigma(1670)^+$, $\Sigma(1670)^0$, $\Sigma(1750)^+$, $\Sigma(1750)^0$
 - Non-resonant: $NR_{1-}(\pi^+\pi^0)$
 - All components with larger than 5σ significance
- Fit results of invariant mass spectra:



课题任务4: $\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^0$ 的分波分析

	Result
$\frac{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\rho(770)^+)}{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^0)}$	$(57.20 \pm 4.23 \pm 4.88)\%$
$\frac{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^+\pi^0) \cdot \mathcal{B}(\Sigma(1385)^+ \rightarrow \Lambda\pi^+)}{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^0)}$	$(7.18 \pm 0.60 \pm 0.64)\%$
$\frac{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^0\pi^+) \cdot \mathcal{B}(\Sigma(1385)^0 \rightarrow \Lambda\pi^0)}{\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\pi^+\pi^0)}$	$(7.92 \pm 0.72 \pm 0.80)\%$
$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\rho(770)^+)$	$(4.06 \pm 0.30 \pm 0.35 \pm 0.23) \times 10^{-2}$
$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^+\pi^0)$	$(5.86 \pm 0.49 \pm 0.52 \pm 0.35) \times 10^{-3}$
$\mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^0\pi^+)$	$(6.47 \pm 0.59 \pm 0.66 \pm 0.38) \times 10^{-3}$
$\alpha_{\Lambda\rho(770)^+}$	$-0.763 \pm 0.053 \pm 0.039$
$\alpha_{\Sigma(1385)^+\pi^0}$	$-0.917 \pm 0.069 \pm 0.046$
$\alpha_{\Sigma(1385)^0\pi^+}$	$-0.789 \pm 0.098 \pm 0.056$

	Theoretical calculation	This work	PDG
$10^2 \times \mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda\rho(770)^+)$	4.81 ± 0.58 [13] 4.0 [14, 15]	4.06 ± 0.52	< 6
$10^3 \times \mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^+\pi^0)$	2.8 ± 0.4 [16] 2.2 ± 0.4 [17]	5.86 ± 0.80	—
$10^3 \times \mathcal{B}(\Lambda_c^+ \rightarrow \Sigma(1385)^0\pi^+)$	2.8 ± 0.4 [16] 2.2 ± 0.4 [17]	6.47 ± 0.96	—
$\alpha_{\Lambda\rho(770)^+}$	-0.27 ± 0.04 [13] -0.32 [14, 15]	-0.763 ± 0.066	—
$\alpha_{\Sigma(1385)^+\pi^0}$	$-0.91_{-0.10}^{+0.45}$ [17]	-0.917 ± 0.083	—
$\alpha_{\Sigma(1385)^0\pi^+}$	$-0.91_{-0.10}^{+0.45}$ [17]	-0.79 ± 0.11	—

已在PhiPsi2022国际会议上公开报告

总结

- 实验上对粲重子 Λ_c^+ 衰变性质研究，精确检验低能非微扰能区QCD唯像模型和格点QCD的计算，推动对粲物理能区强相互作用机制的理解。
- 课题计划研究内容进展顺利，整体完成进度>50%
- 课题整体执行没有风险。

感谢各位专家评审议！