

BESIII上超子 CP 破坏的寻找

第一届基础物理研讨会暨基础物理平台年会

沈宏飞

高能物理研究所

报告内容

CONTENTS

01

简介

02

BESIII实验结果

03

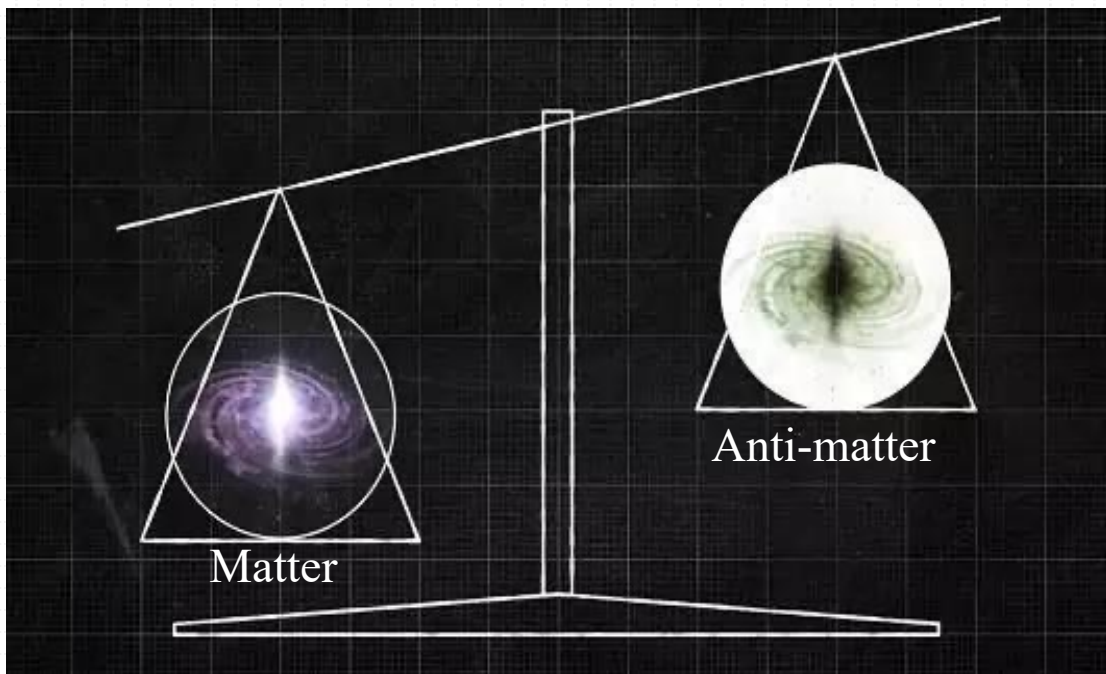
总结

简介

PART.01

第一届基础物理研讨会暨基础物理平台年会

/// 正反物质之谜



- 大爆炸宇宙论：
 - 宇宙诞生时正反物质的数目相同
- 目前观测到的宇宙：

$$(n_B - n_{\bar{B}})/n_\gamma \sim 10^{-10}$$

New Journal of Physics 14 (2012) 095012

- 标准模型的预言：

$$(n_B - n_{\bar{B}})/n_\gamma \sim 10^{-18}$$

- 什么原因导致反物质消失？

- Sakharov三条件：

1. 重子数破坏
2. *C*和*CP*对称性破坏
3. 热平衡态破坏



Pisma Zh. Eksp.
Teor. Fiz., 1967,
5: 32-35

CP破坏(CPV)

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} c_{12}c_{13} & s_{12}c_{13} & s_{13}e^{-i\delta_{13}} \\ -s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{12}c_{23} - s_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & s_{23}c_{13} \\ s_{12}c_{23} - c_{12}s_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & -c_{12}s_{23} - s_{12}c_{23}s_{13}e^{i\delta_{13}} & c_{23}c_{13} \end{pmatrix}$$

$$\delta_{13} \rightarrow V_{CKM}^* \neq V_{CKM} \rightarrow CPV!$$

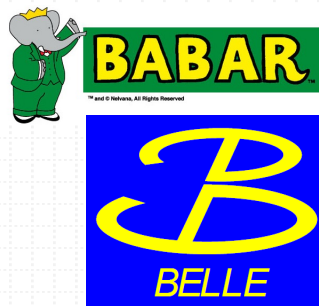
吴健雄



杨振宁 李政道

P宇称破坏

K介子的CPV



B介子的CPV

D介子的CPV

重子?

1. CP破坏已经在K, B, D介子系统中发现, 大小均与标准模型的预言相一致, 但大小不足以解释宇宙学观测到的正反物质不对称。

2. 迄今为止还没有在重子领域观测到过CP破坏的过程。

1957

James Watson Cronin

1964



Val Logsdon Fitch

2001

2019



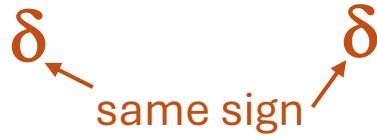
- [1] Phys. Rev. 104 (1956) 254-258
- [2] Phys. Rev. 105 (1957) 1413-1414
- [3] Phys. Rev. Lett., 1964, 13: 138-140
- [4] Phys. Rev. Lett., 2001, 87: 091801
- [5] Phys. Rev. Lett., 2001, 87: 091802
- [6] Phys. Rev. Lett., 122, 211803 (2019)

CP破坏可测的两个条件

1) a CP-violating phase:

ordinary phases in QM

matter antimatter

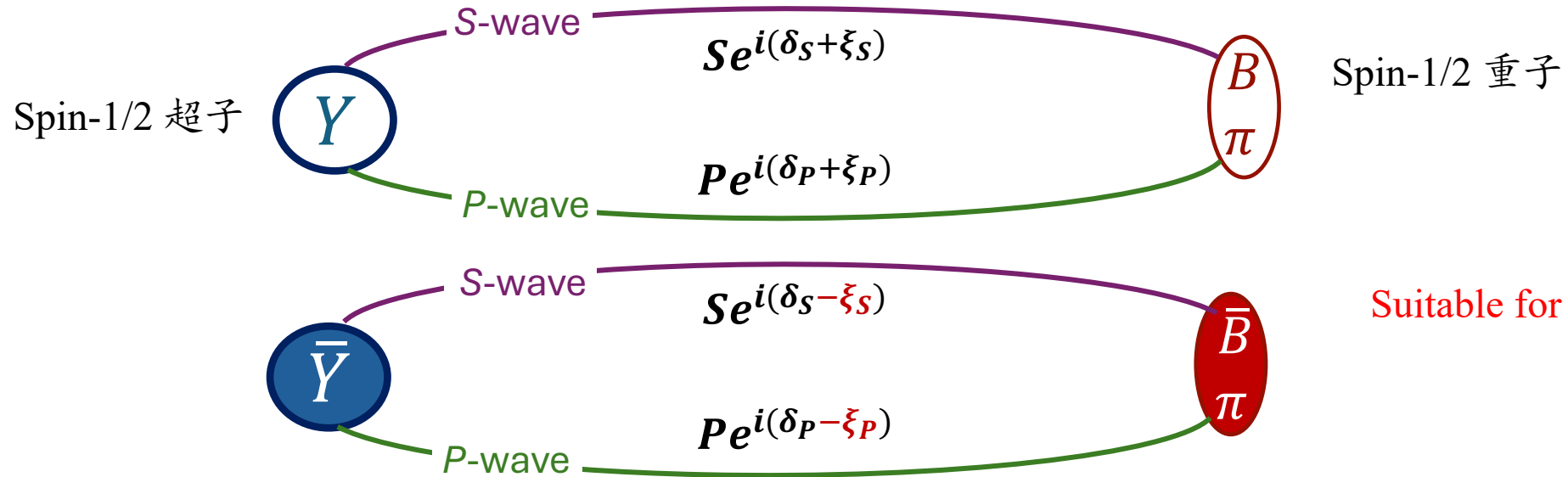


CP violating phases

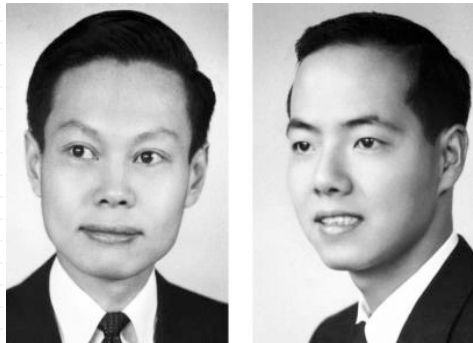
matter antimatter



2) two or more interfering paths to the same final state



超子的非轻子弱衰变



General Partial Wave Analysis of the Decay of a Hyperon of Spin $\frac{1}{2}$

T. D. LEE* AND C. N. YANG

Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey

(Received October 22, 1957)

Phys. Rev. 108, 1645 (1957)

对于一个自旋为 $1/2$ 的超子衰变到一个自旋为 $1/2$ 的重子和自旋为 0 的 π 介子的过程，可以由 α_Y ， β_Y 和 γ_Y 三个参数所描述：

$$\alpha_Y = \frac{2 \operatorname{Re}(S^*P)}{|S|^2 + |P|^2}, \quad \beta_Y = \frac{2 \operatorname{Im}(S^*P)}{|S|^2 + |P|^2}, \quad \gamma_Y = \frac{|S|^2 - |P|^2}{|S|^2 + |P|^2}$$

$$\alpha_Y^2 + \beta_Y^2 + \gamma_Y^2 = 1$$

$$\beta_Y = (1 - \alpha_Y^2)^{\frac{1}{2}} \sin \phi_Y, \quad \gamma_Y = (1 - \alpha_Y^2)^{\frac{1}{2}} \cos \phi_Y$$

$$CP \text{ 守恒: } \alpha_Y = -\bar{\alpha}_Y, \quad \phi_Y = -\bar{\phi}_Y$$

/// 超子衰变中的CP破坏观测量

$$\text{CP观测量1: } A_{CP} = \frac{\alpha + \bar{\alpha}}{\alpha - \bar{\alpha}} \approx -\tan(\delta_P - \delta_S) \tan(\xi_P - \xi_S)$$

strong phase CPV phase

强相角 $\delta_P - \delta_S$ 接近于0时, 对于任意的弱相角 $\xi_P - \xi_S$, $A_{CP} \approx 0$

$$\text{CP观测量2: } B_{CP} = \frac{\beta + \bar{\beta}}{\alpha - \bar{\alpha}} \approx \tan(\xi_P - \xi_S) \approx \xi_P - \xi_S$$

直接测量CPV相角, 只能通过 $\Xi^- \rightarrow \Lambda\pi^-$ 和 $\Xi^0 \rightarrow \Lambda\pi^0$ 来测量!

$$\text{CP观测量3: } \Delta\phi_{CP} = \frac{\phi + \bar{\phi}}{2} \approx \frac{\alpha}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \cos\phi \tan(\xi_P - \xi_S)$$

BESIII 实验结果

PART. 02

第一届基础物理研讨会暨基础物理平台年会

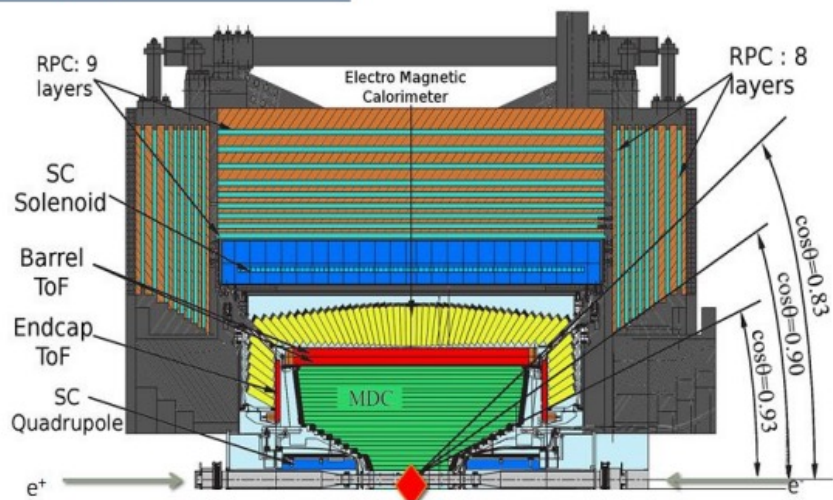
BESIII上的超子研究

Electromagnetic Calorimeter

CsI(Tl): L=28 cm
 Barrel $\sigma_E=2.5\%$
 Endcap $\sigma_E=5.0\%$

Muon Counter

RPC
 Barrel: 9 layers
 Endcap: 8 layers
 $\sigma_{\text{spatial}}=1.48$ cm



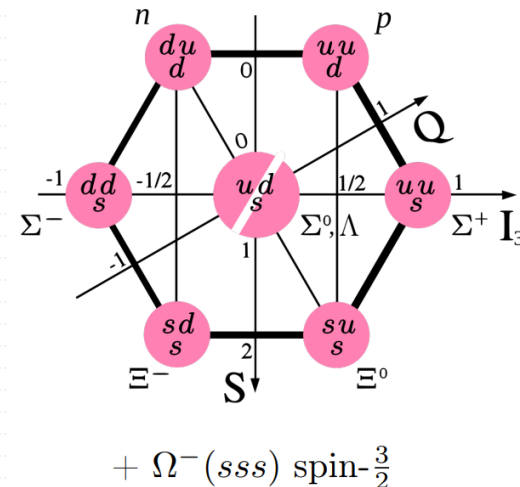
Main Drift Chamber

Small cell, 43 layer
 $\sigma_{xy}=130$ μm
 $dE/dx \sim 6\%$
 $\sigma_p/p = 0.5\%$ at 1 GeV

Time Of Flight

Plastic scintillator
 $\sigma_T(\text{barrel})=80$ ps
 $\sigma_T(\text{endcap})=110$ ps
 (update to 65 ps with MRPC)

BESIII已经获取了100亿 J/ψ 和27亿 $\psi(3686)$ 事例，通过它们的衰变，可以产生 $\sim 10^7$ 量级的处于量子纠缠的正反超子对。



Front. Phys. 12(5), 121301 (2017)

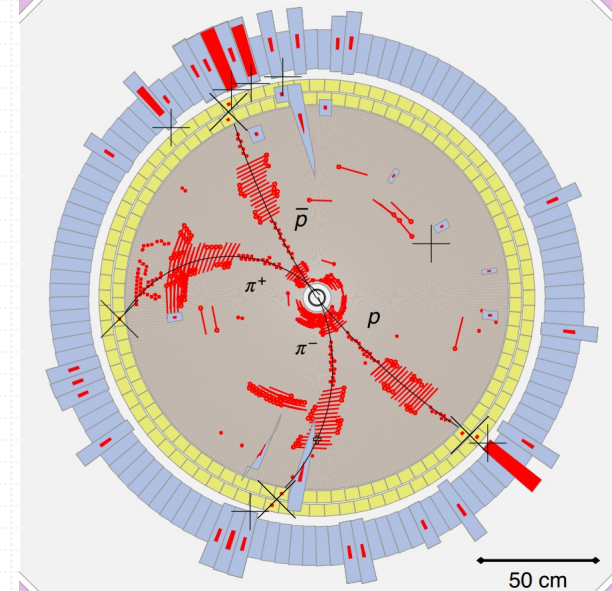
Decay mode	$B(\times 10^{-3})$	$N_B(\times 10^6)$
$J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$	1.89 ± 0.09	~ 18.9
$J/\psi \rightarrow \Sigma^0 \bar{\Sigma}^0$	1.172 ± 0.032	~ 11.7
$J/\psi \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-$	1.07 ± 0.04	~ 10.7
$J/\psi \rightarrow \Xi^0 \bar{\Xi}^0$	1.17 ± 0.04	~ 11.7
$J/\psi \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+$	0.97 ± 0.08	~ 9.7
$\psi(2S) \rightarrow \Omega^- \bar{\Omega}^+$	0.057 ± 0.003	~ 0.17

$$e^+ e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}, \Lambda \rightarrow p \pi^-, \bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p} \pi^+$$

微分截面公式:

$$\begin{aligned} \mathcal{W}(\xi) &= \mathcal{F}_0(\xi) + \alpha_{J/\psi} \mathcal{F}_5(\xi) + \alpha_- \alpha_+ \quad \text{自旋关联项} \\ &\times \left[\mathcal{F}_1(\xi) + \sqrt{1 - \alpha_{J/\psi}^2} \cos(\Delta\Phi) \mathcal{F}_2(\xi) + \alpha_{J/\psi} \mathcal{F}_6(\xi) \right] \\ &+ \sqrt{1 - \alpha_{J/\psi}^2} \sin(\Delta\Phi) [\alpha_- \mathcal{F}_3(\xi) + \alpha_+ \mathcal{F}_4(\xi)] \quad (1) \end{aligned}$$

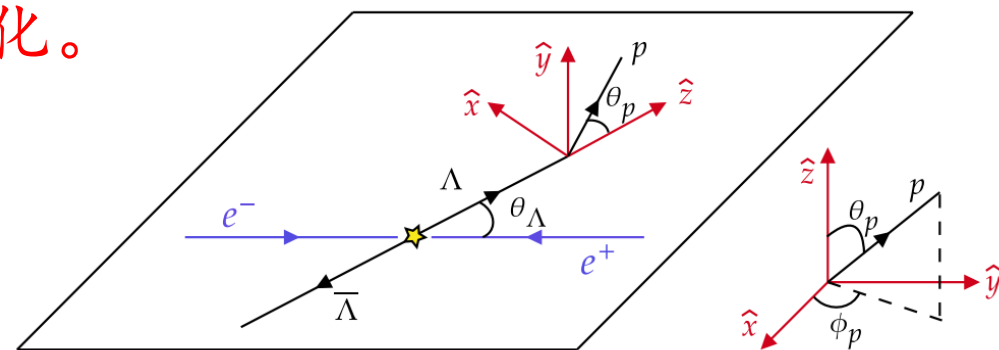
极化项



如果 $\sin\Delta\Phi \neq 0$, 存在横向极化。

独立测量 α_- 和 α_+

检验 CP



Nuovo Cim. A 109, 241 (1996)
Phys. Rev. D 75, 074026 (2007)
Nucl. Phys. A 190, 771, 169 (2006)
Phys. Lett. B 772, 16 (2017)

Λ 弱衰变中的CP破坏寻找

针对这个衰变道BESIII已经发表了两个工作:

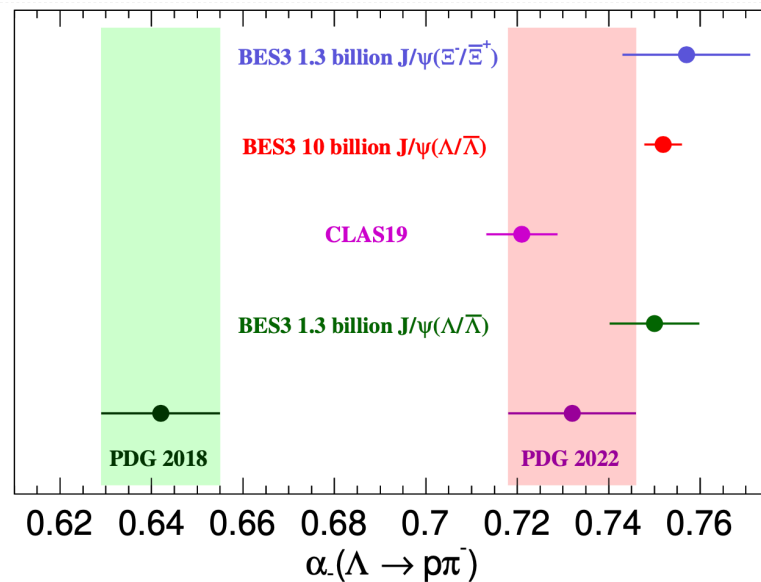
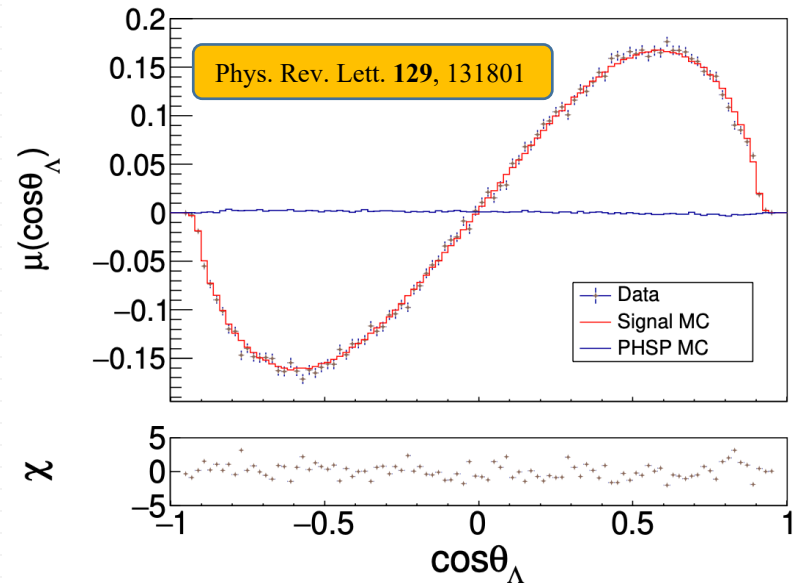
[1] 1.3 billion: Nature Phys.15(2019)631

[2] 10 billion: Phys. Rev. Lett. 129 (2022) 13, 131801

Par.	BESIII 10 billion [2]	BESIII 1.3 billion [1]
$\alpha_{J/\psi}$	$0.4748 \pm 0.0022 \pm 0.0031$	$0.461 \pm 0.006 \pm 0.007$
$\Delta\Phi$	$0.7521 \pm 0.0042 \pm 0.0066$	$0.740 \pm 0.010 \pm 0.009$
α_-	$0.7519 \pm 0.0036 \pm 0.0024$	$0.750 \pm 0.009 \pm 0.004$
α_+	$-0.7559 \pm 0.0036 \pm 0.0030$	$-0.758 \pm 0.010 \pm 0.007$
A_{CP}	$-0.0025 \pm 0.0046 \pm 0.0012$	$0.006 \pm 0.012 \pm 0.007$
α_{avg}	$0.7542 \pm 0.0010 \pm 0.0024$	-

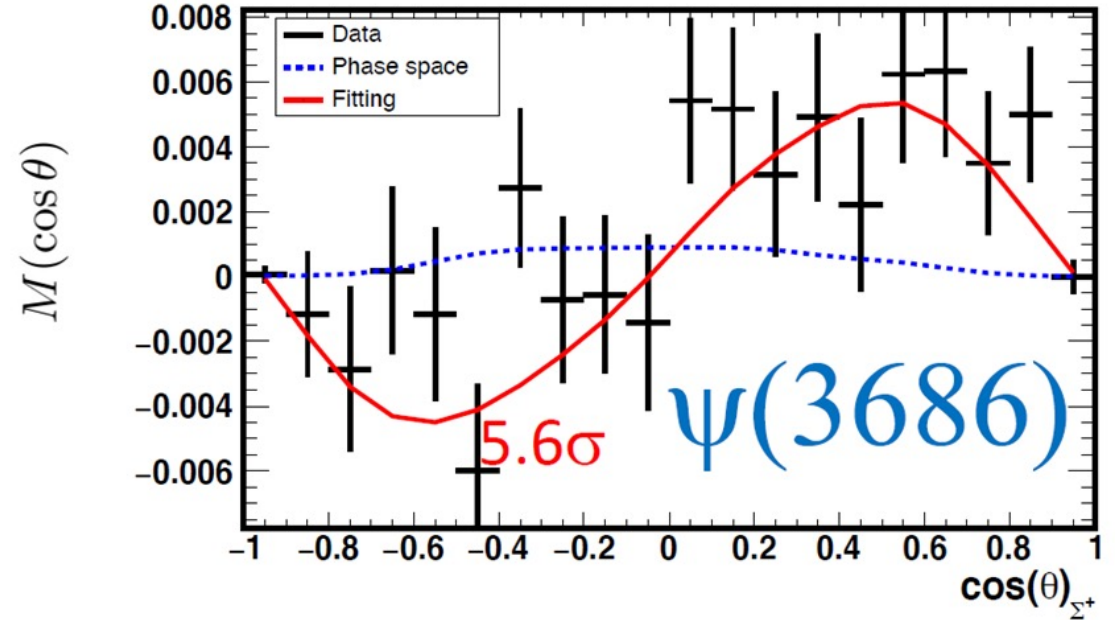
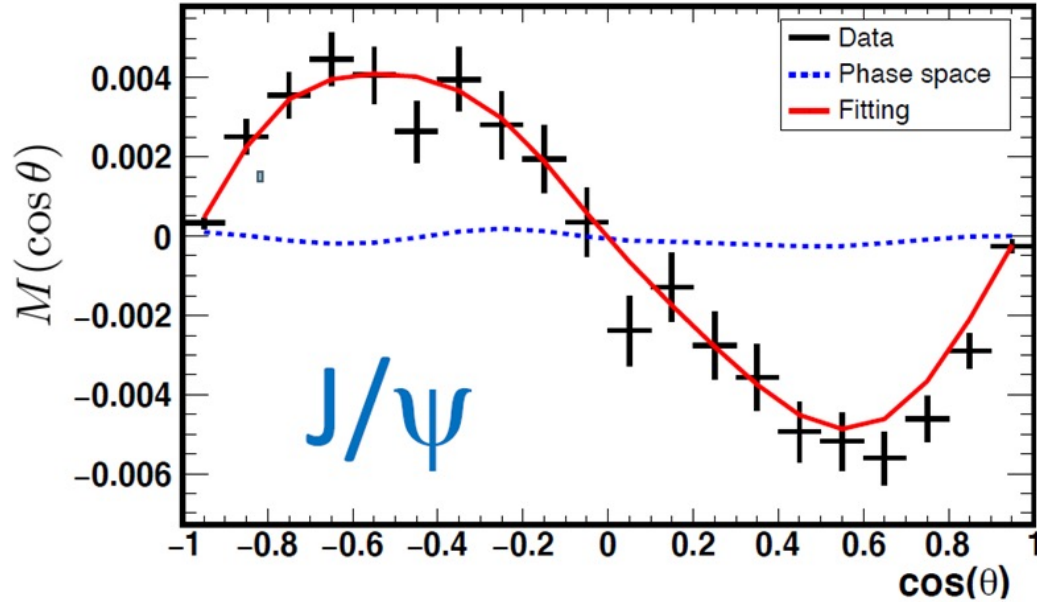
- 最精确的 Λ 衰变参数测量结果
- 超子领域最精确的 A_{CP} 测量结果:

$$A_{CP} = \frac{\alpha + \bar{\alpha}}{\alpha - \bar{\alpha}} = -0.0025 \pm 0.0046 \pm 0.0011$$



$e^+e^- \rightarrow J/\psi$ and $\psi(3686) \rightarrow \Sigma^+\bar{\Sigma}^-$, $\Sigma^+ \rightarrow p\pi^0$, $\bar{\Sigma}^- \rightarrow \bar{p}\pi^0$

Phys. Rev. Lett. 125, 052004 (2020)

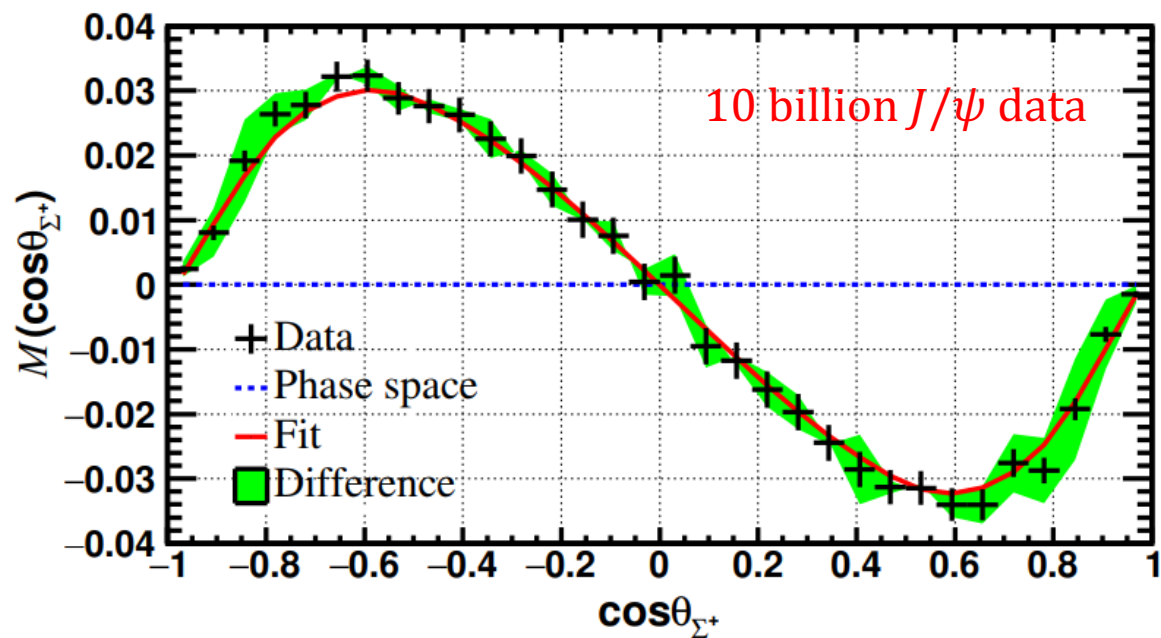


Parameter	Measured value
$\alpha_{J/\psi}$	$-0.508 \pm 0.006 \pm 0.004$
$\Delta\Phi_{J/\psi}$	$-0.270 \pm 0.012 \pm 0.009$
$\alpha_{\psi'}$	$0.682 \pm 0.03 \pm 0.011$
$\Delta\Phi_{\psi'}$	$0.379 \pm 0.07 \pm 0.014$
α_0	$-0.998 \pm 0.037 \pm 0.009$
$\bar{\alpha}_0$	$0.990 \pm 0.037 \pm 0.011$

- 利用13亿 J/ψ 和4.5亿 $\psi(3686)$ 数据, 对首次在 Σ^+ 的弱衰变中对 CP 对称性进行了检验:

$$A_{CP} = \frac{\alpha + \bar{\alpha}}{\alpha - \bar{\alpha}} = -0.004 \pm 0.037 \pm 0.010;$$
- 首次观测到 $\psi(3686)$ 和 J/ψ 衰变而来的 Σ^+ 的极化, 且方向相反;
- 利用100亿 J/ψ 和27亿 $\psi(3686)$ 数据的更新结果正在合作组内审核。

$$e^+ e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \Sigma^+ \bar{\Sigma}^-, \Sigma^+ \rightarrow p\pi^0, \bar{\Sigma}^- \rightarrow \bar{n}\pi^- + c.c.$$



Phys.Rev.Lett. 131 (2023) 19, 191802

[1] Phys. Rev. Lett. **125**, 052004(2020)
[2] Phys. Rev. D **21**, 2501 (1980)

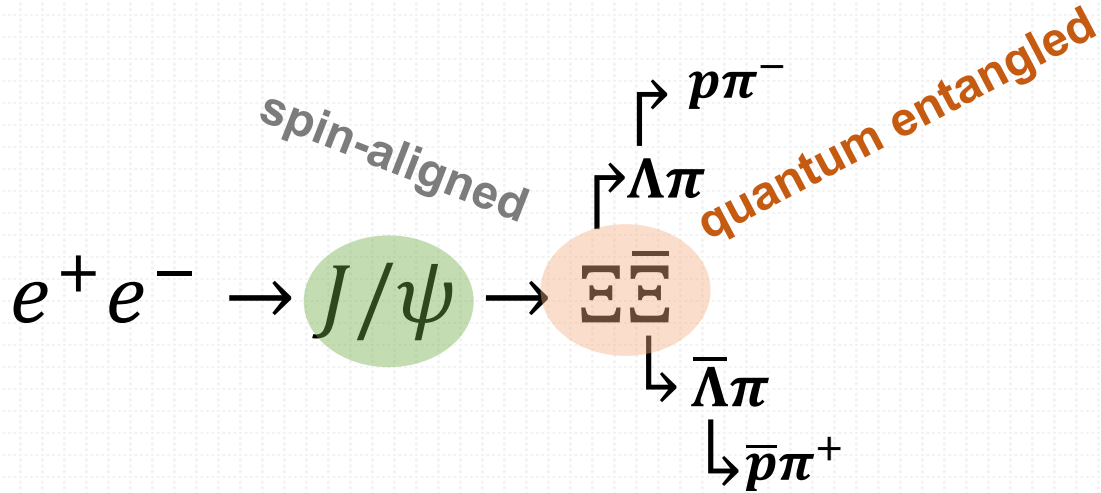
parameters	This work	Previous result
$\alpha_{J/\psi}$	$-0.5156 \pm 0.0030 \pm 0.0061$	$-0.508 \pm 0.006 \pm 0.004$ [1]
$\Delta\Phi_{J/\psi}(\text{rad})$	$-0.2772 \pm 0.0044 \pm 0.0041$	$-0.270 \pm 0.012 \pm 0.009$ [1]
$\alpha_+(n\pi^+)$	$-0.0481 \pm 0.0031 \pm 0.0019$	0.068 ± 0.013 (PDG)
$\bar{\alpha}_-(\bar{n}\pi^-)$	$0.0565 \pm 0.0047 \pm 0.0022$	-
α_+/α_0	$-0.0490 \pm 0.0032 \pm 0.0021$	-0.069 ± 0.021 [2]
$\bar{\alpha}_-/\bar{\alpha}_0$	$-0.0571 \pm 0.0053 \pm 0.0032$	-
A_{CP}	$-0.080 \pm 0.052 \pm 0.028$	-
$\langle \alpha_+ \rangle$	$-0.0506 \pm 0.0026 \pm 0.0019$	-

- 首次对 $\bar{\Sigma}^- \rightarrow \bar{n}\pi^-$ 过程的衰变参数 $\bar{\alpha}_-$ 进行了测量。
- 首次在超子衰变到中子的过程中寻找CP破坏。

Ξ 衰变中的 CP 破坏

Phys. Rev. D **99**, 056008 (2019)
Phys. Lett. B **772**, 16 (2017)

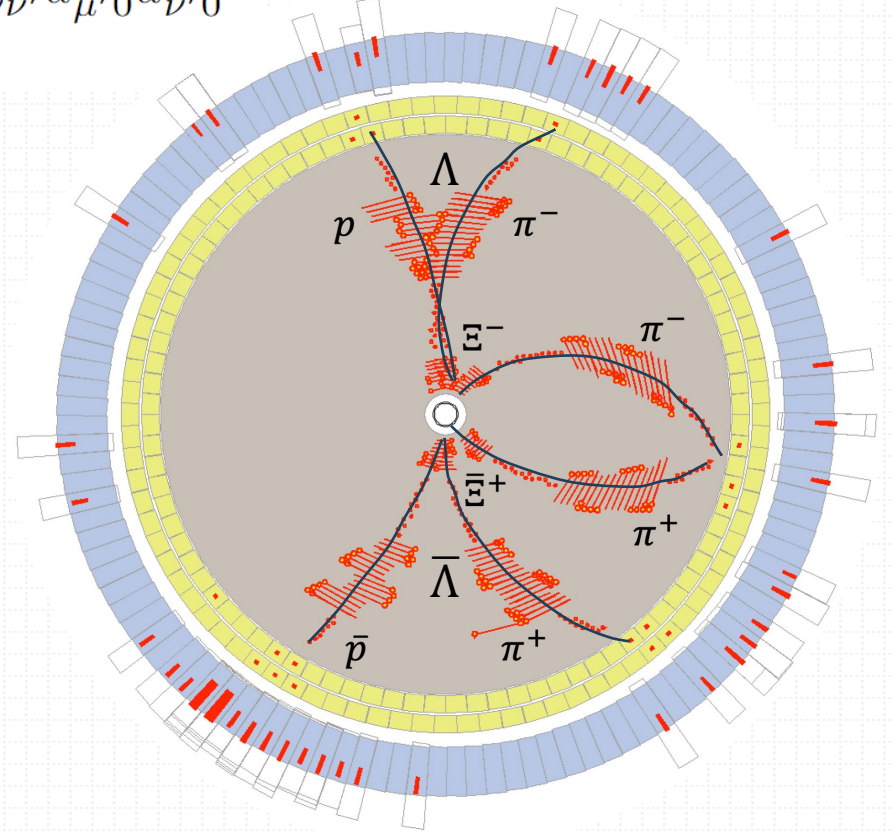
$$\mathcal{W}(\vec{\omega}, \vec{\zeta}) = \sum_{\mu, \nu=0}^3 C_{\mu\nu} \sum_{\mu'=0}^3 \sum_{\nu'=0}^3 a_{\mu\mu'}^{\Xi} a_{\nu\nu'}^{\Xi} a_{\mu'0}^{\Lambda} a_{\nu'0}^{\bar{\Lambda}}$$



$$B(J/\psi \rightarrow \Xi^- \Xi^+) \sim 10^{-3}$$

$$B(\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-) = 99.9\%$$

$$P/S = -0.24 \leftarrow \text{not zero!!}$$



The **perfect** reaction for hyperon CPV searches!

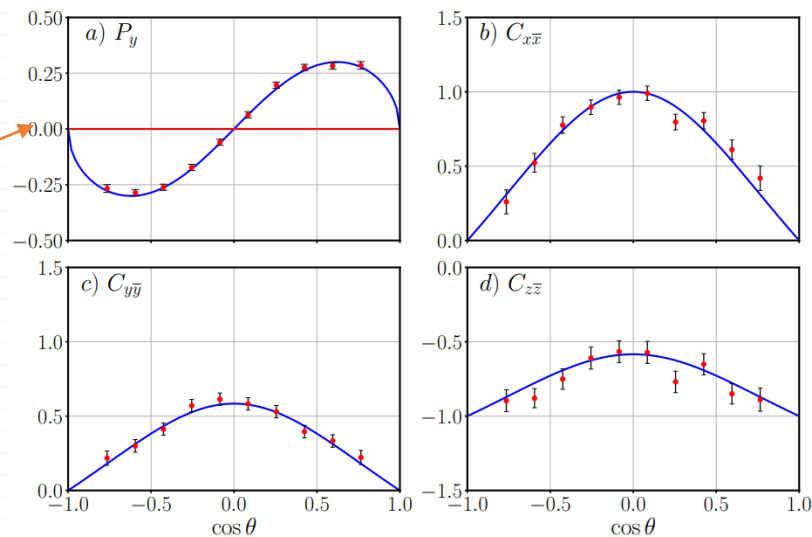
—Stephen Lars Olsen

Ξ^- 衰变中CP破坏的寻找

1.3 billion J/ψ

Parameter	Nature 606 (2022) 64-69	Previous result
α_ψ	$0.586 \pm 0.012 \pm 0.010$	$0.58 \pm 0.04 \pm 0.08$
$\Delta\Phi$	$1.213 \pm 0.046 \pm 0.016 \text{ rad}$	-
α_{Ξ^-}	$-0.376 \pm 0.007 \pm 0.003$	-0.401 ± 0.010
ϕ_{Ξ^-}	$0.011 \pm 0.019 \pm 0.009 \text{ rad}$	$-0.042 \pm 0.011 \pm 0.011$
$\bar{\alpha}_{\Xi^-}$	$0.371 \pm 0.007 \pm 0.002$	HyperCP: PRL 93(2004) 011802
$\bar{\phi}_{\Xi^-}$	$-0.021 \pm 0.019 \pm 0.007 \text{ rad}$	-
α_Λ	$0.757 \pm 0.011 \pm 0.008$	$0.750 \pm 0.009 \pm 0.004$
$\bar{\alpha}_\Lambda$	$-0.763 \pm 0.011 \pm 0.007$	$-0.758 \pm 0.010 \pm 0.007$
$\xi_p - \xi_s$	$(1.2 \pm 3.4 \pm 0.8) \times 10^{-2} \text{ rad}$	-
$\delta_p - \delta_s$	$(-4.0 \pm 3.3 \pm 1.7) \times 10^{-2} \text{ rad}$	$(10.2 \pm 3.9) \times 10^{-2} \text{ rad}$
$A_{CP}^{\Xi^-}$	$(6 \pm 13 \pm 6) \times 10^{-3}$	-
$\Delta\phi_{CP}^{\Xi^-}$	$(-5 \pm 14 \pm 3) \times 10^{-3} \text{ rad}$	-
A_{CP}^Λ	$(-4 \pm 12 \pm 9) \times 10^{-3}$	$(-6 \pm 12 \pm 7) \times 10^{-3}$
$\langle\phi_{\Xi^-}\rangle$	$0.016 \pm 0.014 \pm 0.007 \text{ rad}$	

$\Delta\Phi$ 非零：
存在极化



BESIII用13亿 J/ψ 数据重建出7万对正反 $\Xi^- \bar{\Xi}^+$ 超子，测量对 ϕ_{Ξ^-} 的测量精度与HyperCP实验用1.5亿超子接近，单事例灵敏度是之前实验的1000倍！

第一次测量了重子的弱相角差。

三个CP破坏观测量。

10B J/ψ 数据的结果正在内部审核中。

$$e^+ e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \Xi^- \bar{\Xi}^+ \rightarrow (\Lambda(p\pi^-)\pi^-), (\bar{\Lambda}(\bar{n}\pi^0)\pi^+) + c. c.$$

10 billion J/ψ

14.4万 $(p2\pi^-)(\bar{n}\pi^0\pi^+)$ 事例, 12.3万 $(n\pi^0\pi^-)(\bar{p}2\pi^+)$

结果与 $\Xi^- \bar{\Xi}^+ \rightarrow (p2\pi^-)(\bar{p}2\pi^+)$ 的结果一致

Parameters	PRL 132 (2024) 101801	Previous
A_{CP}^{Ξ}	$-0.009 \pm 0.008_{-0.002}^{+0.007}$	$0.006 \pm 0.013 \pm 0.006$
$\Delta\phi_{CP}^{\Xi}$ (rad)	$-0.003 \pm 0.008_{-0.007}^{+0.003}$	$-0.005 \pm 0.014 \pm 0.003$
$\xi_P - \xi_S$ (rad)	$0.007 \pm 0.020_{-0.005}^{+0.018}$	$-0.012 \pm 0.034 \pm 0.008$

Nature 606 (2022) 64-69

→ 目前 Ξ^- 衰变中最精确的CP检验

Parameters	This work	Previous result
α_0/α_-	$0.877 \pm 0.015_{-0.010}^{+0.014}$	1.01 ± 0.07 [1]
$\bar{\alpha}_0/\alpha_+$	$0.863 \pm 0.014_{-0.008}^{+0.012}$	$0.913 \pm 0.028 \pm 0.012$ [2]

→ 比值偏离1, 违反 $\Delta I = 1/2$ 规则, 存在不可忽略的 $\Delta I = 3/2$ 成分

¹[PTEP2022(2022)083C01] ²[Nature Phys.15(2019)631] ³[PRL129(2022)131801]

$\alpha_0: \Lambda \rightarrow n\pi^0$

$\alpha_-: \Lambda \rightarrow p\pi^-$

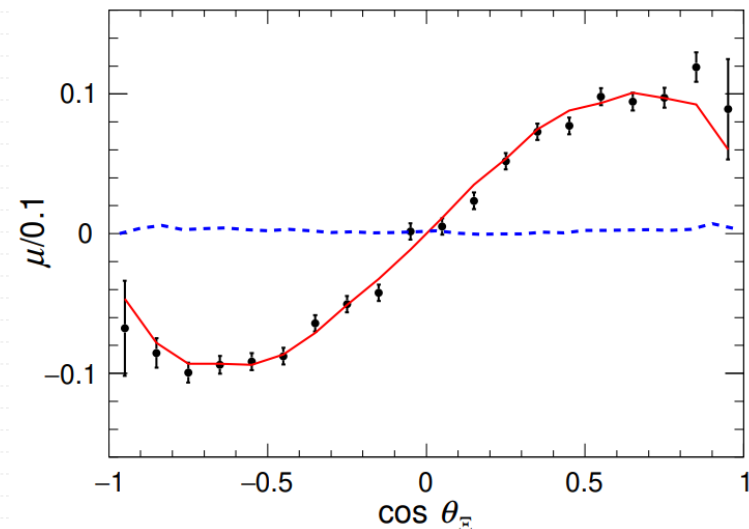
$\bar{\alpha}_0: \bar{\Lambda} \rightarrow \bar{n}\pi^0$

$\alpha_+: \bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$

Ξ^0 衰变中 CP 破坏的寻找

10 billion J/ψ

Parameter	Phys. Rev. D 108, L031106 (2023)	Previous result
$\alpha_{J/\psi}$	$0.514 \pm 0.006 \pm 0.015$	0.66 ± 0.06 [34]
$\Delta\Phi(\text{rad})$	$1.168 \pm 0.019 \pm 0.018$	-
α_{Ξ}	$-0.3750 \pm 0.0034 \pm 0.0016$	-0.358 ± 0.044 [18]
$\bar{\alpha}_{\Xi}$	$0.3790 \pm 0.0034 \pm 0.0021$	0.363 ± 0.043 [18]
$\phi_{\Xi}(\text{rad})$	$0.0051 \pm 0.0096 \pm 0.0018$	0.03 ± 0.12 [18]
$\bar{\phi}_{\Xi}(\text{rad})$	$-0.0053 \pm 0.0097 \pm 0.0019$	-0.19 ± 0.13 [18]
α_{Λ}	$0.7551 \pm 0.0052 \pm 0.0023$	0.7519 ± 0.0043 [13]
$\bar{\alpha}_{\Lambda}$	$-0.7448 \pm 0.0052 \pm 0.0017$	-0.7559 ± 0.0047 [13]
$\xi_P - \xi_S(\text{rad})$	$(0.0 \pm 1.7 \pm 0.2) \times 10^{-2}$	-
$\delta_P - \delta_S(\text{rad})$	$(-1.3 \pm 1.7 \pm 0.4) \times 10^{-2}$	-
A_{CP}^{Ξ}	$(-5.4 \pm 6.5 \pm 3.1) \times 10^{-3}$	$(-0.7 \pm 8.5) \times 10^{-2}$ [18]
$\Delta\phi_{CP}^{\Xi}(\text{rad})$	$(-0.1 \pm 6.9 \pm 0.9) \times 10^{-3}$	$(-7.9 \pm 8.3) \times 10^{-2}$ [18]
A_{CP}^{Λ}	$(6.9 \pm 5.8 \pm 1.8) \times 10^{-3}$	$(-2.5 \pm 4.8) \times 10^{-3}$ [13]
$\langle\alpha_{\Xi}\rangle$	$-0.3770 \pm 0.0024 \pm 0.0014$	-
$\langle\phi_{\Xi}\rangle(\text{rad})$	$0.0052 \pm 0.0069 \pm 0.0016$	-
$\langle\alpha_{\Lambda}\rangle$	$0.7499 \pm 0.0029 \pm 0.0013$	0.7542 ± 0.0026 [13]



测量进度提高了一个多量级!

首次测量了 Ξ^0 弱衰变中的弱相角差, 该结果是重子中最精确的测量结果, 统计误差主导。

三个 CP 破坏观测量。

利用32万 Ξ^0 测量得到的 $\langle\alpha_{\Lambda}\rangle$ 精度与利用320万 Λ 衰变测量的精度接近!

PRD(L)编辑推荐

$\Sigma^0(\rightarrow \Lambda\gamma)$ 衰变中强CP破坏的寻找

标准模型中CP破坏来源:

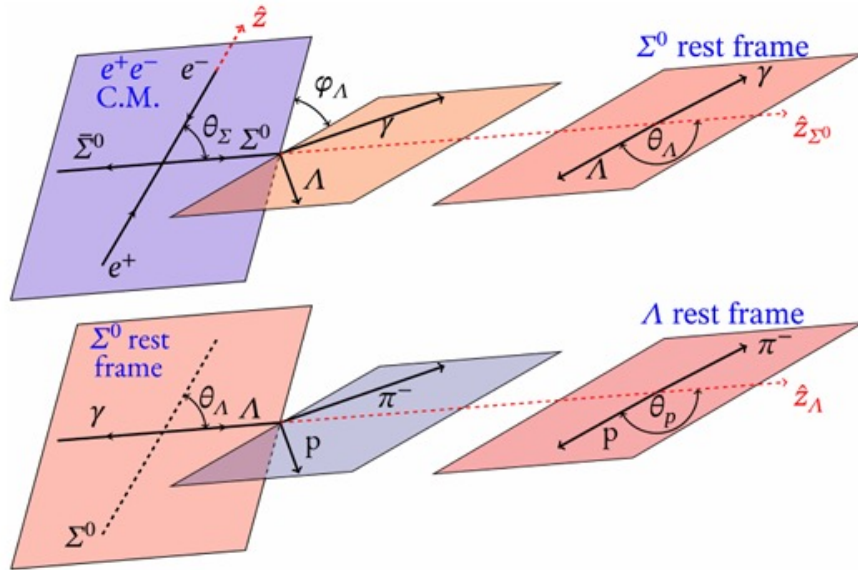
- 弱相互作用, CKM (实验已观测到, 但程度太小)
- 强相互作用, θ 项 (尚未观测到)

在电磁衰变 $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda\gamma$ 中可以存在P宇称破坏振幅 (来自跃迁电偶极矩EDTM), 这可以通过测量衰变参数 α_{Σ^0} 来寻找。而这个EDTM通过SU(3)对称性可以与中子的EDM相关联, 因此可以通过该衰变寻找强CP破坏, 观测量为 $A_{CP}^{\Sigma} = \alpha_{\Sigma^0} + \alpha_{\bar{\Sigma}^0}$ 。

S. S. Nair, E. Perotti, and S. Leupold,
Phys. Lett. B **788**, 535 (2019)

$$\frac{d_{\Sigma\Lambda}}{d_n} = \frac{d_{\Sigma\Lambda}^{\text{tree}} + d_{\Sigma\Lambda}^{\text{loop}}}{d_n^{\text{tree}} + d_n^{\text{loop}}} \approx -0.88.$$

$$e^+e^- \rightarrow J/\psi, \psi(3686) \rightarrow \Sigma^0\bar{\Sigma}^0, \Sigma^0 \rightarrow \Lambda(\rightarrow p\pi^-)\gamma, \bar{\Sigma}^0 \rightarrow \bar{\Lambda}(\rightarrow \bar{p}\pi^+)\gamma$$



$$\begin{aligned} \mathcal{W}(\vec{\zeta}, \vec{\omega}) \propto & (1 - \alpha_{\Lambda}\alpha_{\Sigma^0}\cos\theta_p)(1 - \bar{\alpha}_{\Lambda}\bar{\alpha}_{\Sigma^0}\cos\theta_{\bar{p}}) \\ & \times \left\{ 1 + \alpha_{\psi}\cos^2\theta_{\Sigma} + \sqrt{1 - \alpha_{\psi}^2}\sin\theta_{\Sigma}\cos\theta_{\Sigma} \right. \\ & \cdot [\beta_{\gamma}\bar{\beta}_{\gamma}F_1 - (\beta_{\gamma}F_2 - \bar{\beta}_{\gamma}F_3)] \\ & \left. + \beta_{\gamma}\bar{\beta}_{\gamma}[\alpha_{\psi}F_4 + F_5 - (\alpha_{\psi} + \cos^2\theta_{\Sigma})\cos\theta_{\Lambda}\cos\theta_{\bar{\Lambda}}] \right\} \end{aligned}$$

$\Sigma^0(\rightarrow \Lambda\gamma)$ 衰变中强CP破坏的寻找

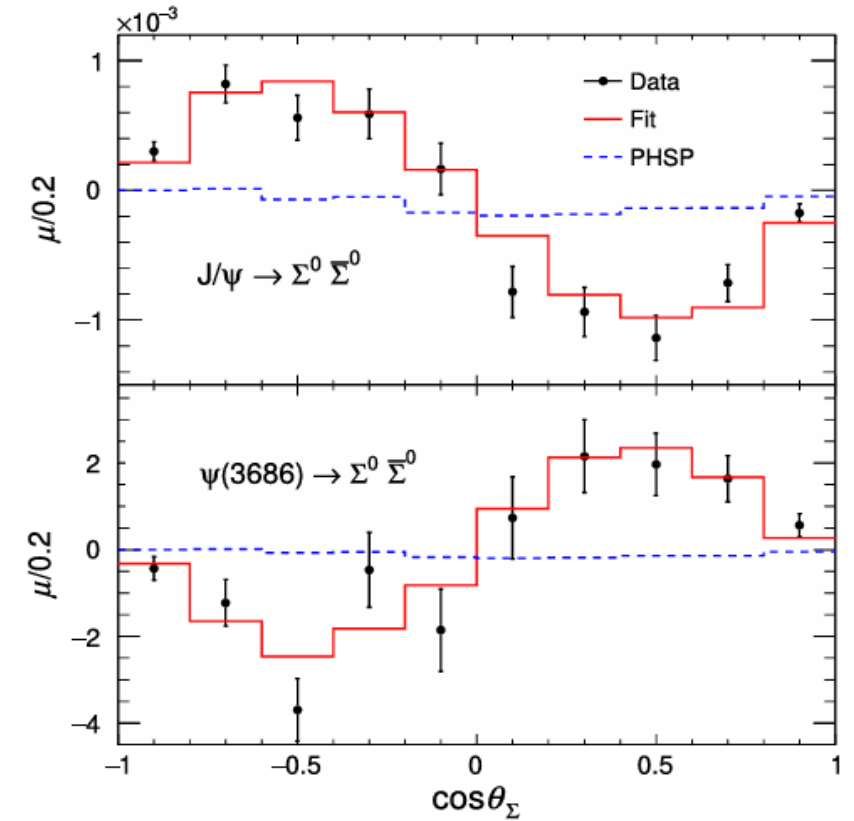
10 B J/ψ and 2.7 B $\psi(3686)$

Parameter	Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 10, 101902	Previous results
$\alpha_{J/\psi}$	$-0.4133 \pm 0.0035 \pm 0.0077$	-0.449 ± 0.022 [52]
$\Delta\Phi_{J/\psi}$ (rad)	$-0.0828 \pm 0.0068 \pm 0.0033$...
$\alpha_{\psi(3686)}$	$0.814 \pm 0.028 \pm 0.028$	0.71 ± 0.12 [52]
$\Delta\Phi_{\psi(3686)}$ (rad)	$0.512 \pm 0.085 \pm 0.034$...
α_{Σ^0}	$-0.0017 \pm 0.0021 \pm 0.0018$...
$\bar{\alpha}_{\Sigma^0}$	$0.0021 \pm 0.0020 \pm 0.0022$...
α_{Λ}	$0.730 \pm 0.051 \pm 0.011$	0.748 ± 0.007 [44]
$\bar{\alpha}_{\Lambda}$	$-0.776 \pm 0.054 \pm 0.010$	-0.757 ± 0.004 [44]
A_{CP}^{Σ}	$(0.4 \pm 2.9 \pm 1.3) \times 10^{-3}$...
A_{CP}^{Λ}	$(-3.0 \pm 6.9 \pm 1.5) \times 10^{-2}$	$(-2.5 \pm 4.8) \times 10^{-3}$ [2]

- 首次观测到由 J/ψ 和 $\psi(3686)$ 衰变而来的 $\Sigma^0/\bar{\Sigma}^0$ 的极化现象，并且观测到二者的极化方向相反；
- 首次测量 $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda\gamma$ 衰变P宇称破坏衰变参数；
- 首次在超子的衰变中对强C检验。

$$\mu^k(\cos\theta_{\Sigma}) = \frac{1}{N_{total}} \sum_i^{N^k} (\sin\theta_{\Lambda}^i \sin\varphi_{\Lambda}^i \cos\theta_p^i + \sin\theta_{\Lambda}^i \sin\varphi_{\Lambda}^i \cos\theta_{\bar{p}}^i)$$

极化

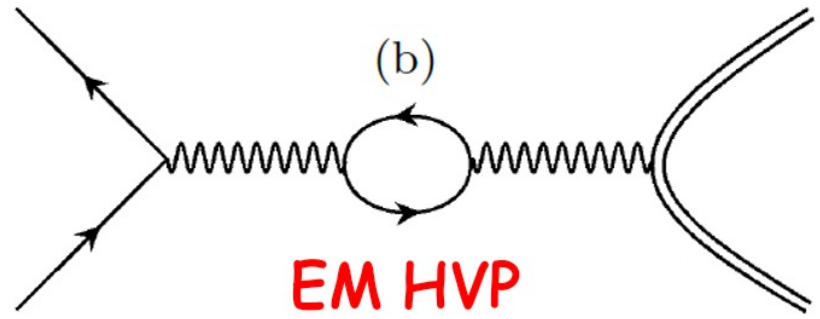


$$e^+ e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \Sigma^0 \bar{\Lambda}, \Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$$

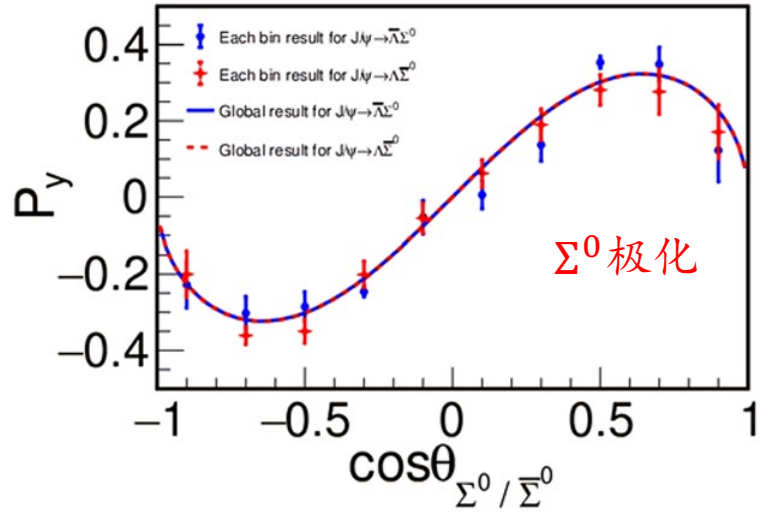
10 Billion $J/\psi \rightarrow$ Signal: 26K

$J/\psi \rightarrow \Sigma^0 \bar{\Lambda}$ 同位旋破坏: 纯电磁衰变

Nature Commun. 15, 8812 (2024)



真空极化



- $R = \left| \frac{G_E}{G_M} \right| = \frac{\sqrt{s}}{2M_Y} \sqrt{\frac{1-\alpha}{1+\alpha}} = 0.860 \pm 0.029(\text{stat.}) \pm 0.015(\text{syst.})$
- $\Delta\Phi_{\bar{\Lambda}\Sigma^0} = \text{arg} \left(\frac{G_E}{G_M} \right) = (1.011 \pm 0.094(\text{stat.}) \pm 0.010(\text{syst.})) \text{ rad}$
- $\Delta\Phi_{\Lambda\bar{\Sigma}^0} = \text{arg} \left(\frac{G_E}{G_M} \right) = (2.128 \pm 0.094(\text{stat.}) \pm 0.010(\text{syst.})) \text{ rad}$
- $\Delta\Phi_{\text{CP}} = |\pi - (\Delta\Phi_{\bar{\Lambda}\Sigma^0} + \Delta\Phi_{\Lambda\bar{\Sigma}^0})| = (0.003 \pm 0.133(\text{stat.}) \pm 0.014(\text{syst.})) \text{ rad}$

CP守恒要求: $(\Delta\Phi_{\bar{\Lambda}\Sigma^0} + \Delta\Phi_{\Lambda\bar{\Sigma}^0}) = \pi$

总结

PART.03

第一届基础物理研讨会暨基础物理平台年会

总结

- 超子是寻找 CP 破坏的重要探针。
- BESIII在超子 CP 研究方面取得了丰硕的成果
 - $\Lambda, \Sigma, \Xi \dots$
- 接下来会有更多超子的研究与大家见面
 - 100亿 J/ψ 的更新
 - 超子EDM的寻找

Thank you!