

BESIII未来物理研究计划 白皮书讨论

李海波

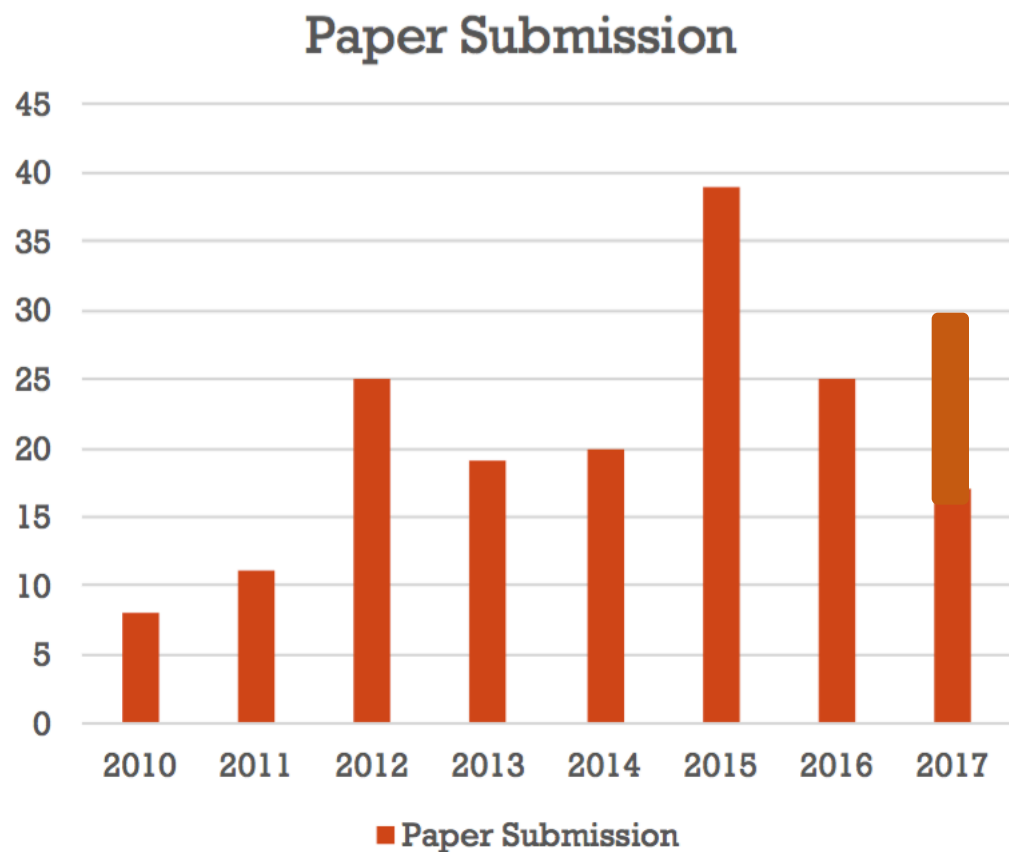
中科院高能所

On behalf of BESIII white paper working group

BESIII未来物理规划的重要性

- BESIII已经取得了丰富的物理成果，包括X(1835)、Zc(3900)、粲介子/粲重子等；
- BESIII实验已经运行近八年，面临实验寿命，还有哪些重要物理规划，需要BESIII运行更长时间；
- 在BESIII有限的运行期间，迫切需要重要物理动机，来优化实验数据获取时间；
- BESIII物理白皮书：
- 对可能的BESIII/BEPCII升级改造有指导意义；
- 对我国下一代对撞机实验有重要意义。

BESIII实验发表论文总数（2009-2017）

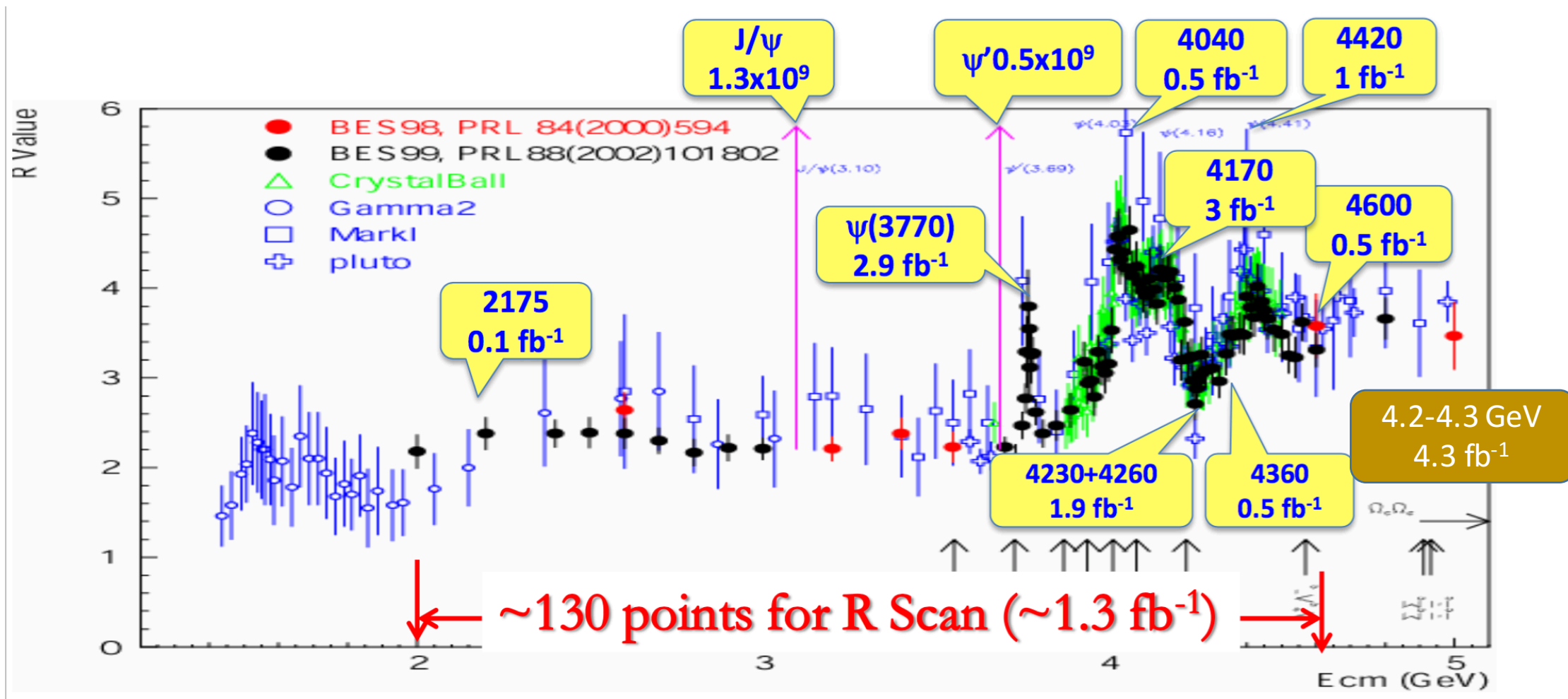


共发表物理文章：180余篇，
其中Phys. Rev. Lett.: 21% (37篇)
覆盖：
强子谱学
粲偶素谱学
粲偶素衰变
粲介子和粲重子衰变
tau轻子和QCD
新物理寻找等。
在各种国际会议邀请报告几百余次。

BESIII实验在国际强子物理领域已经处于领头地位。

BESIII数据按能量点分布

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadrons})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$



2009-2017年BEPCII/BESIII共积累约20fb⁻¹ 积分亮度。

感谢BEPCII同事的辛勤努力!

Hai-Bo Li

总体思想：明确BEPCII对撞能区特有的物理？

- 战略上讲，有哪些潜在的物理？需要获取什么数据？需要多少积分亮度？
- 哪些重要成果预期？哪些非BESIII实验不可完成的物理？
- 这些实验数据/物理结果将对领域内外有什么重要物理影响？
- 其实要回答：BESIII/BEPCII还有运行的必要性吗？

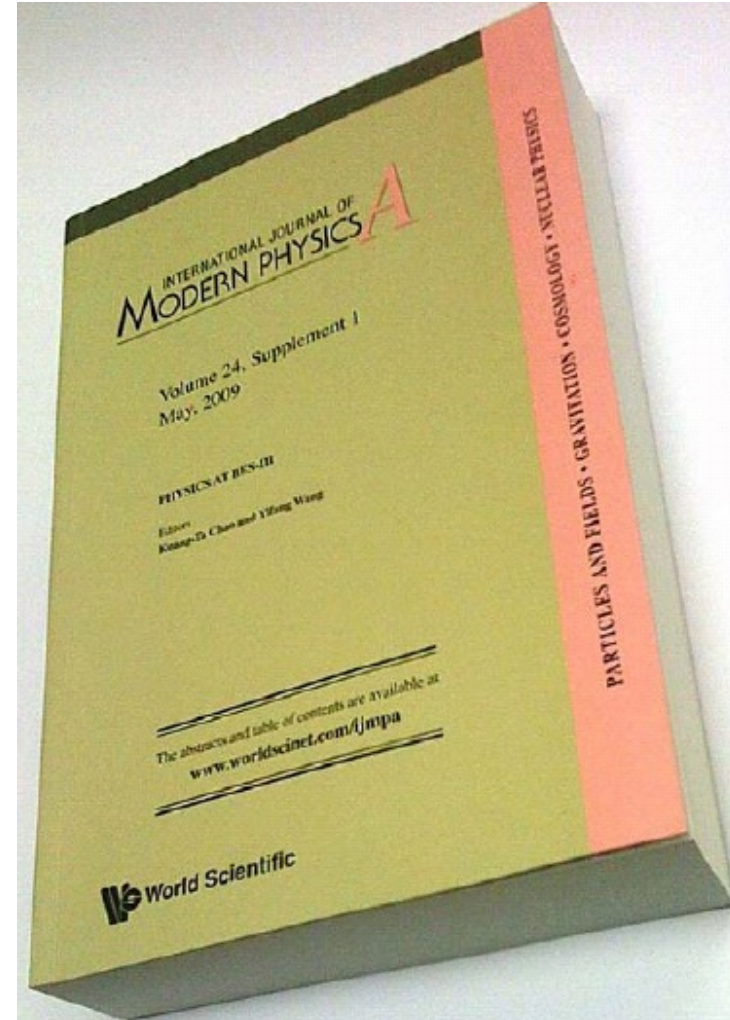
王贻芳：每年一亿运行经费+国内人员费+科研经费等。
争取更长时间继续运行，要拿出重要物理。

BESIII实验的国内、国外竞争与机遇

- 日本: Super-KEKB/Belle-II ($50 \text{ ab}^{-1} \rightarrow 1 \text{ nb charm cross-section}$)
- CERN: LHCb and its upgrades ($50 \text{ fb}^{-1} \rightarrow 10^{10}$ reconstructed charm mesons)
- 德国: proton-antiproton collisions (PANDA...)
- 美国: e-p/gamma-p production (Glue-X...)
- 国际上的未来规划(CERN: extreme-CHARM project: $100 \times 50 \text{ fb}^{-1}$), 超级粲工厂等;
- 我国的对撞机物理规划时间表: CEPC等, BESIII与未来的交接。

BESIII主要物理目标

- Light hadron spectroscopy
- Charmonium physics and charmonium-like states
- R values & different aspects of QCD tests
- Tau lepton physics
- Charm mesons and baryon productions and decays
- New physics at low energy with high luminosity



主编：赵光达，王贻芳

轻强子谱学： 数据样本

- 高产生截面 (J/ψ 约 3000 nb; $\psi(2S)$ 约 500 nb);
- $\psi(2S) \rightarrow \pi^+\pi^-J/\psi$ 衰变提供 J/ψ 共振事例;
- 通过 $\psi(2S)$ 跃迁研究 non-1⁻ 粲偶数态 ($\eta_c, \chi_{cJ}, h_c \dots$);
- 粲介子/粲重子衰变样本:

Charm meson/baryon semileptonic and multi-body decays

natural flavor filter, factorization, final state interactions ...

R值 & 高激发态粲偶素扫描数据。

- 双光子过程: $\gamma\gamma^* \rightarrow hh$

BESIII 实验独特环境:

正负电子对撞实验本底低、多重数少、易重建。

“经济”的J/ψ数据获取

- J/ψ产生截面大，单个事例J/ψ峰上数据获取是最“经济”的；
- J/ψ峰上已有数据： $(82 + 323) = 400 \text{ pb}^{-1} \rightarrow 1.3 \text{ billion}$;
- 对比： 在 χ_{c1} 峰附近 440 pb^{-1} ，和X(3872)峰附近 224 pb^{-1} ，“昂贵”的数据获取，单个事例比J/ψ峰上贵约一百万倍。
- 黄皮书： 预计10 billion J/ψ与5 billion事例 $\psi(2S)$ 事例可以保证，预期会有重要的物理成果。

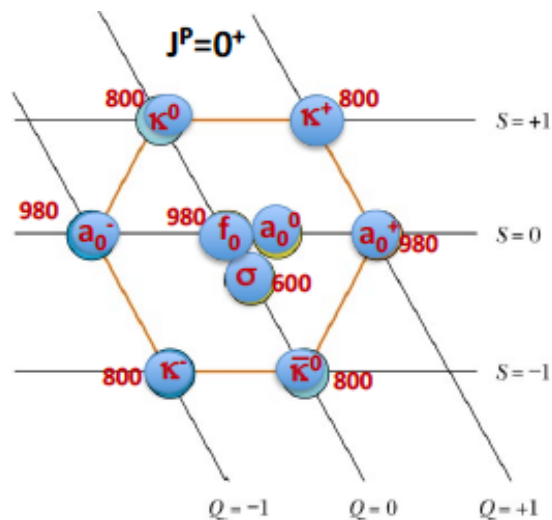
轻强子谱学： 哪些重要的物理？

- Glueball 候选态: $\eta(1405/1475)$, $f_0(1710)$, 0^{-+} 、 2^{++} above 2 GeV;
- 奇特态、混杂态等；
- 质子—反质子阈值增长、及其附近的结构；
- 质量在1.0 GeV以下的标量介子；
- 轻强子态的衰变？
- 重子谱学。

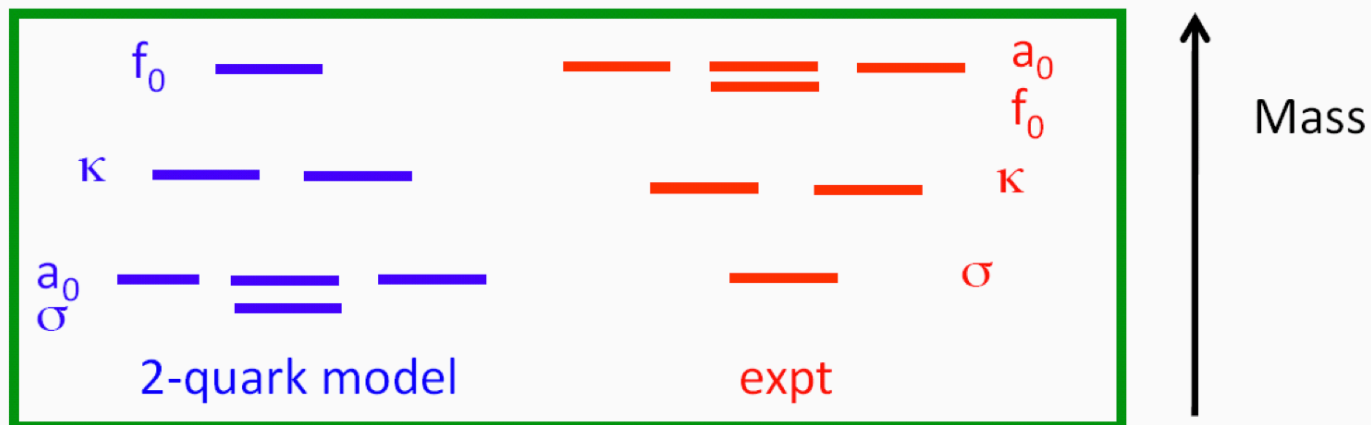
分析方法、工具，计算资源等；
理论与实验相结合，国际合作等。

系统地研究疑难轻强子态的产生与衰变还有待开展，黄皮书预期还没有完成。

轻标量介子九重态疑难:



■ Inverted mass spectrum

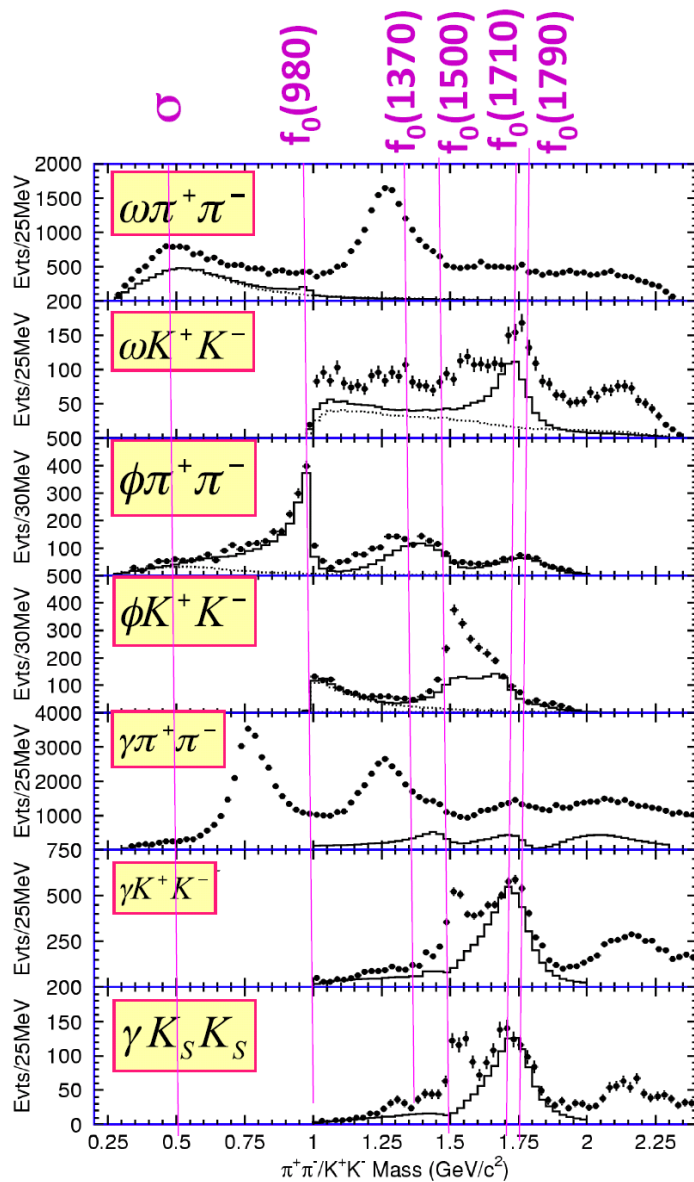


实验上理解:

1. Where are the light $J^P=1^+$ and 2^{++} partner nonets?
2. In $q\bar{q}$ meson nonets, the $l=1$ state ($a_0(980)$), has no s quarks.
3. $m(f_0(980))=m(a_0(980))$ implies that mixing & small s quark content in $f_0(980)$ and $a_0(980)$
4. $f_0(980)$ and $a_0(980)$ are possible di-quark-anti-diquark bound states or loosely bounded meson-antimeson molecule states.

R.L. Jaffe PRD 15, 267 (1977), J.D. Weinstein & N. Isgur PRD 27, 588(1983)

Too many light 0^{++} scalar in J/ψ decays!



$f_0(600)$ or σ :

$f_0(980)$:

$f_0(1370)$:

$f_0(1500)$:

$f_0(1710)$:

$f_0(1790)$:

这些结果来自 BESII,

系统研究还有待
BESIII 完成。

BESII

PLB 607 (2005) 243
PLB 603 (2004) 138
PLB 598 (2004) 149
PRD 68 (2003) 052003
PLB 642 (2006) 441

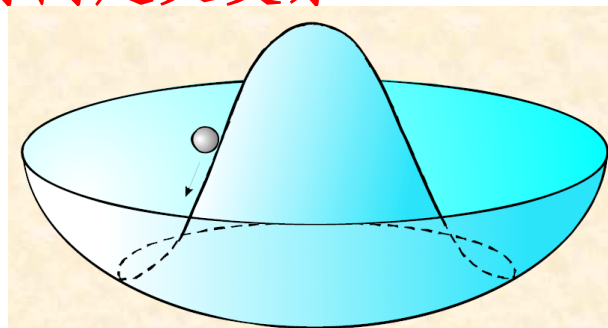
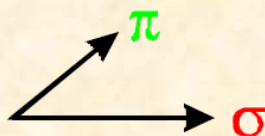
理解轻标量介子的本质、质量来源等?

轻标量结构极其复杂!

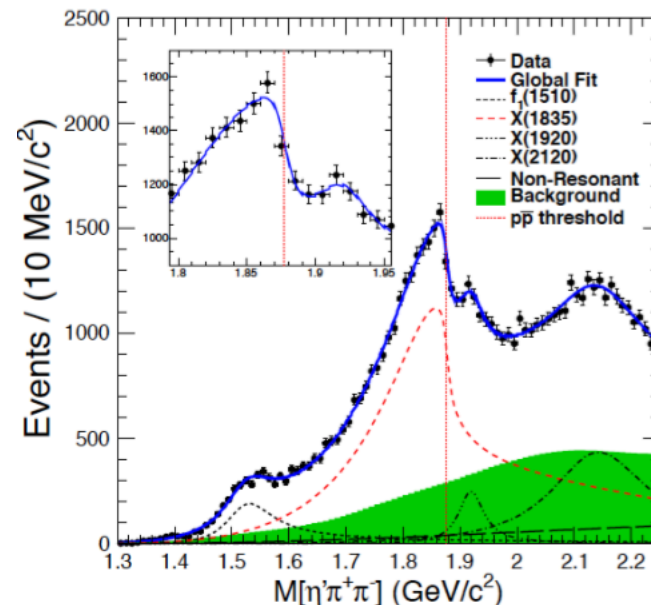
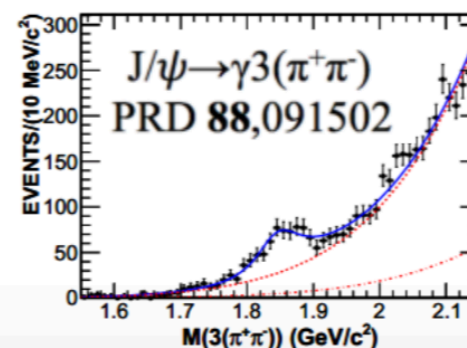
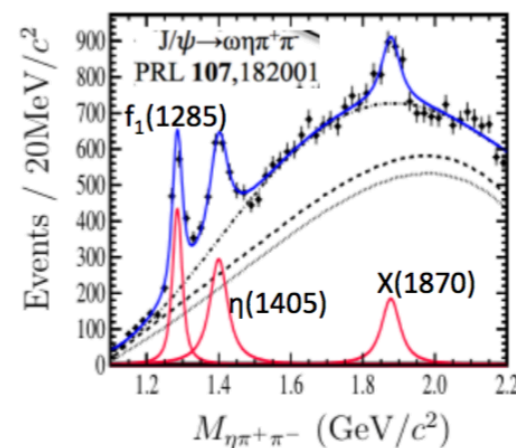
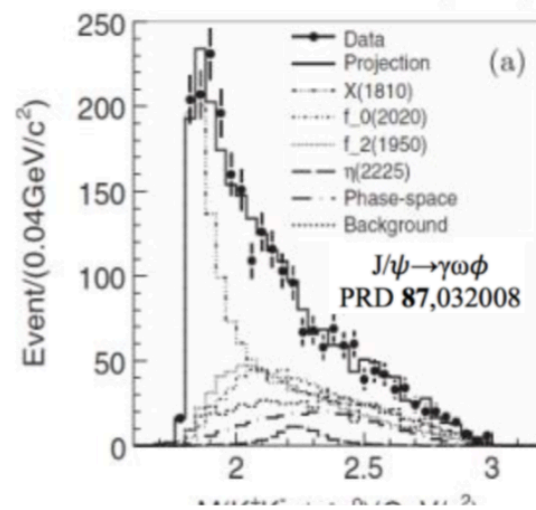
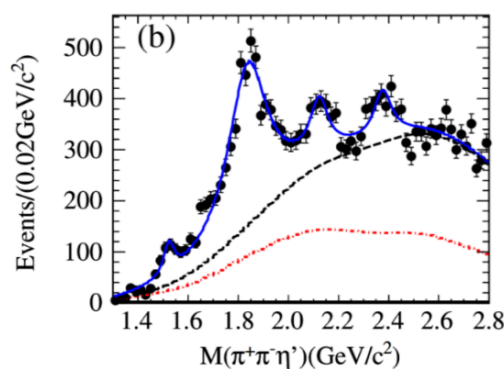
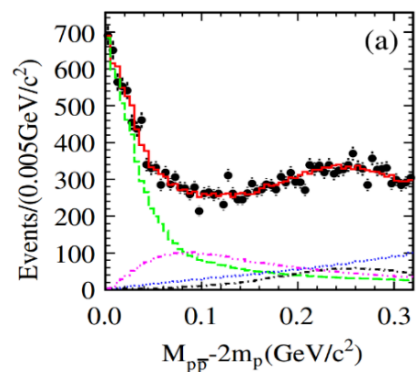
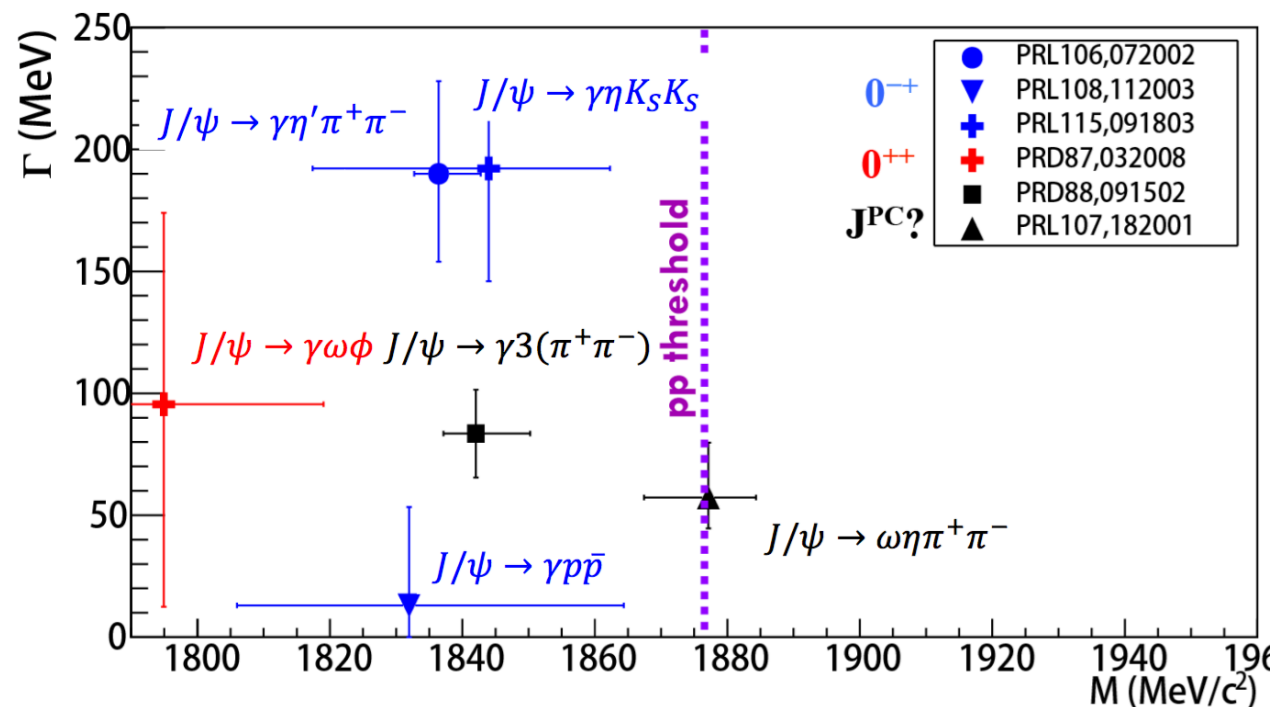
- 在线性sigma模型中, 最低能量同位旋单态标量粒子来自强相互作用真空自发破缺。
 - 类似的, 电弱真空自发破缺预言了Higgs粒子的存在, Higgs的发现证实真空自发破缺机制的正确性。
 - 在GeV能标, 强作用对称破缺与强作用质量来源息息相关, 理解轻标量粒子的性质对于深入理解真空自发破缺机制有重要意义。
- 但是, GeV能标多个标量粒子的存在使得问题更复杂。

Recent review: M. Schumacher arXiv:1403.7804

Chiral symmetry breaking



轻强子谱：J/Ψ衰变

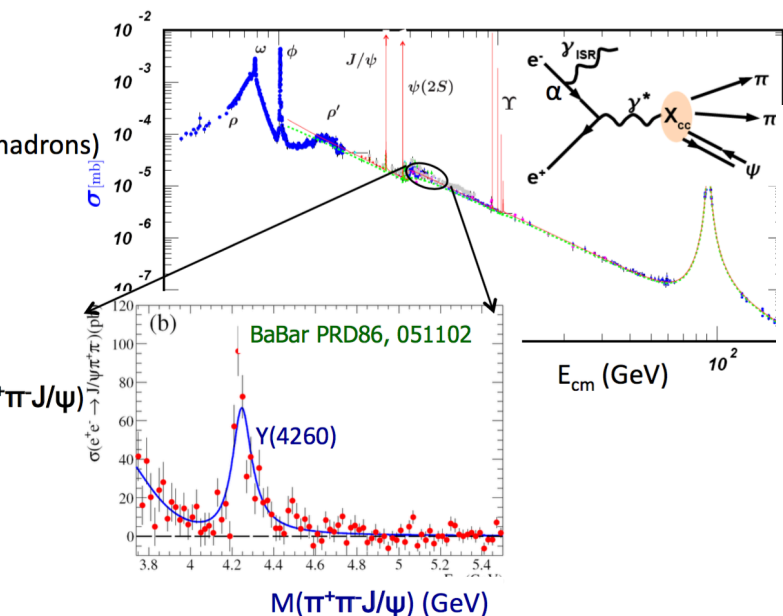


正反质子的阈值结构发现后在BESIII上又在不同的过程看到共振态，其的质量都在正反质子阈值附近。我们需要详细的分析，更多的数据来理解它们的性质。

粲偶素物理与类粲偶素态

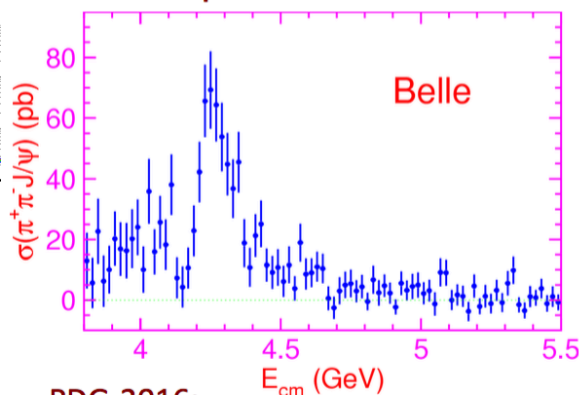
- Open-charm 阈值以上粲偶素、类粲偶素的发现;
- BESIII 与 Belle-II 的竞争与互补: direct scan versus ISR at B factories; better resolution, high acceptance, high luminosity ...
- Belle-II 最终 (2025年) 积累亮度 $50 - 100 \text{ ab}^{-1}$? BESIII 结果将被部分覆盖?
- 考虑 BEPCII 能量升级, 质心能量达到 $4.9 \text{ GeV} \rightarrow$ 粲重子, 新的实验研究方向。

$\Upsilon(4260): e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\Psi$



BABAR: 2004年发现

pre-2017

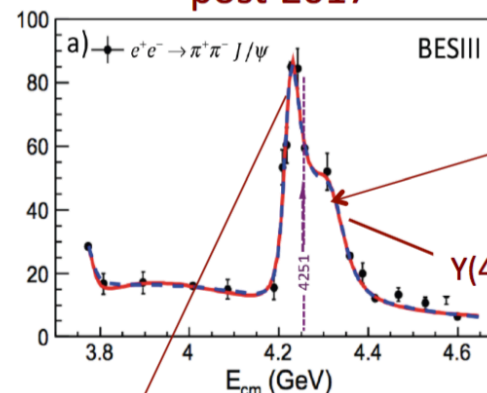


PDG-2016:

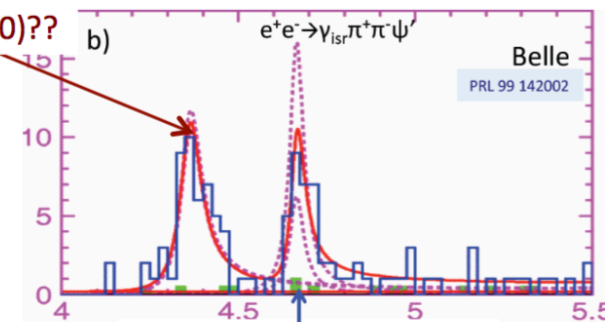
$$M(Y(4260)) = 4251 \pm 9 \text{ MeV}/c^2 \xrightarrow{-31 \text{ MeV}} M_1 = 4220 \pm 4 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma(Y(4260)) = 120 \pm 12 \text{ MeV} \xrightarrow{\times 1/3} \Gamma_1 = 44 \pm 5 \text{ MeV}$$

post-2017



what is the 2nd peak?



$\Upsilon(4220)$ decay modes:

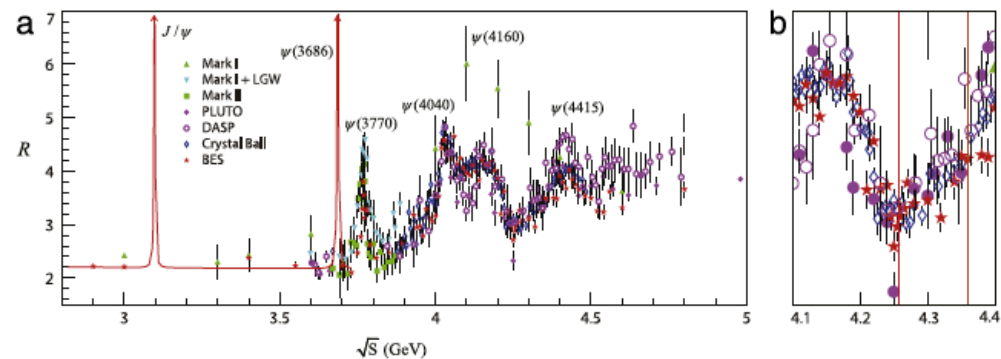
- $\pi^+\pi^- J/\psi$
 - $\pi Z_c(3900)$
 - $f_0(980) J/\psi$
- $\pi^+\pi^- h_c$
- $\omega \chi_{c0}$
- $\eta J/\psi$
- $\gamma X(3872)$
- $\pi D \bar{D}^*$

$$M_2 = 4320 \pm 13 \text{ MeV}/c^2 \xrightarrow{\delta M \approx -1.8 \sigma} M(Y(4360)) = 4346 \pm 6 \text{ MeV}/c^2$$

$$\Gamma_2 = 101^{+27}_{-22} \text{ MeV} \xrightarrow{\text{spot on}} \Gamma(Y(4360)) = 102 \pm 12 \text{ MeV}$$

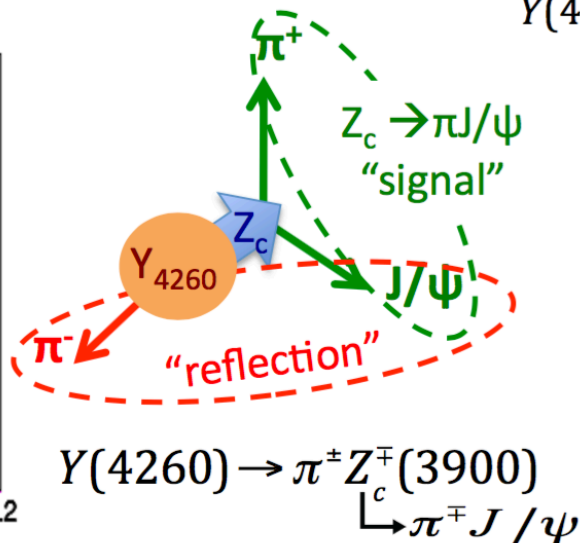
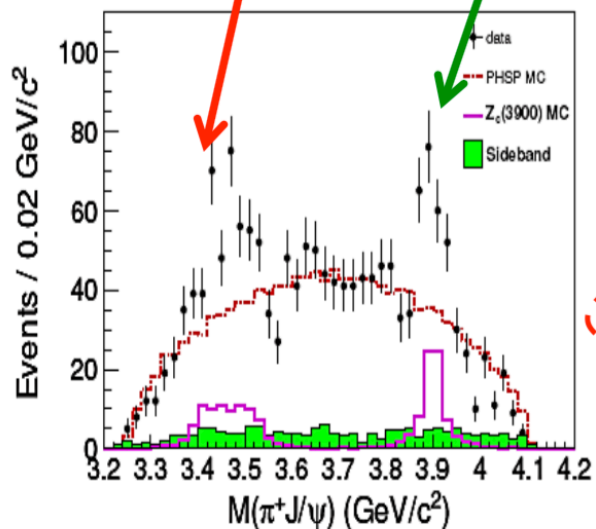
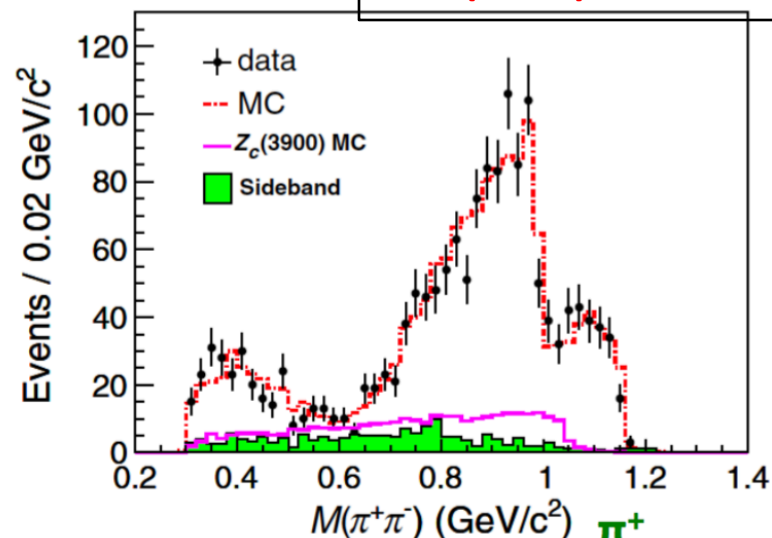
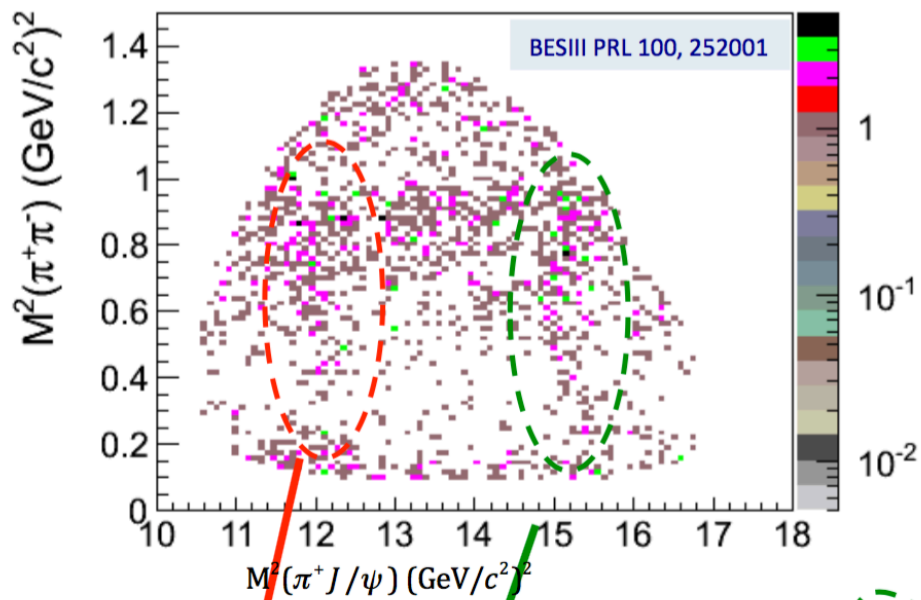
$\Upsilon(4320)$ decay modes:

- $\pi^+\pi^- J/\psi$
- $\pi^+\pi^- \psi'$



带电类粲偶素 $Z_c(3900)$ 的发现

arXiv:1706.04100
发表在Phys. Rev. Lett.
119 (2017) no.7, 072001



确认 $Z_c(3900)$ 的量子数为 1^+
统计显著性大于7.3

粲偶素物理与类粲偶素态

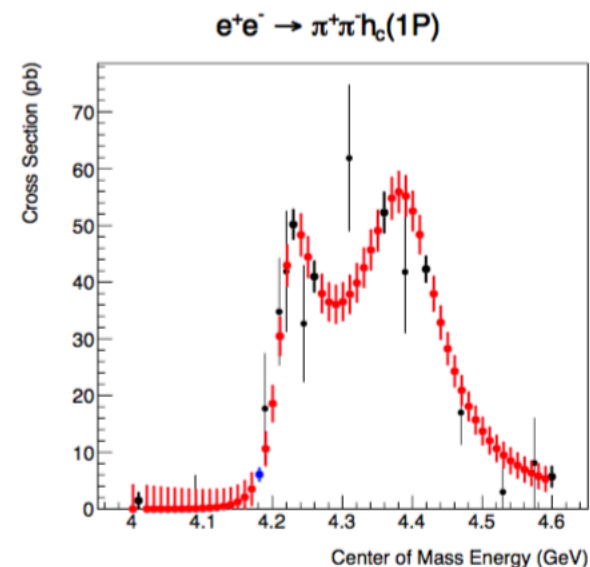
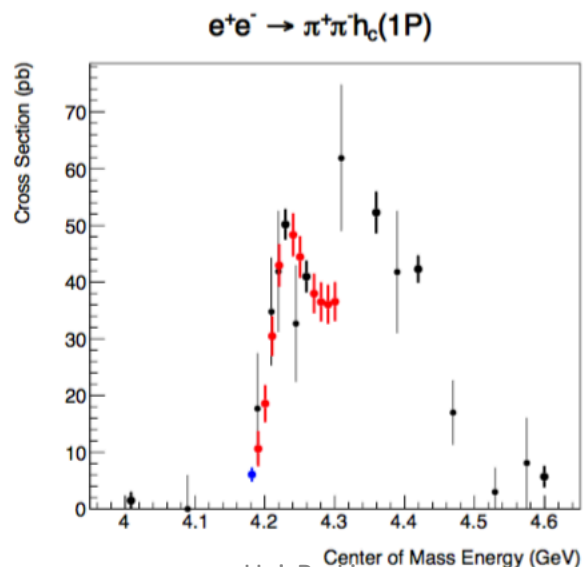
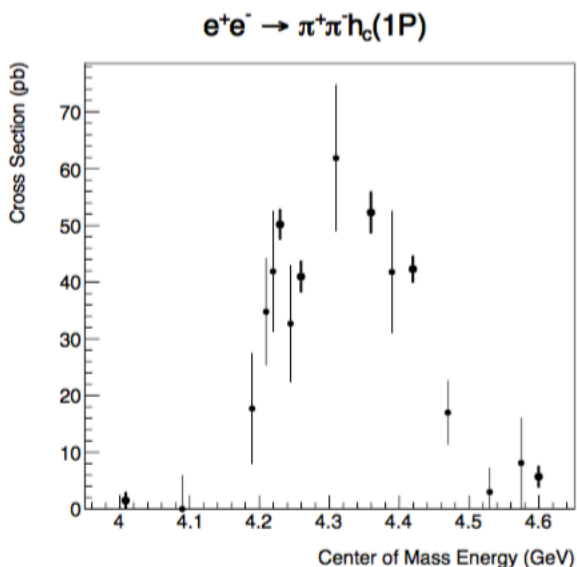
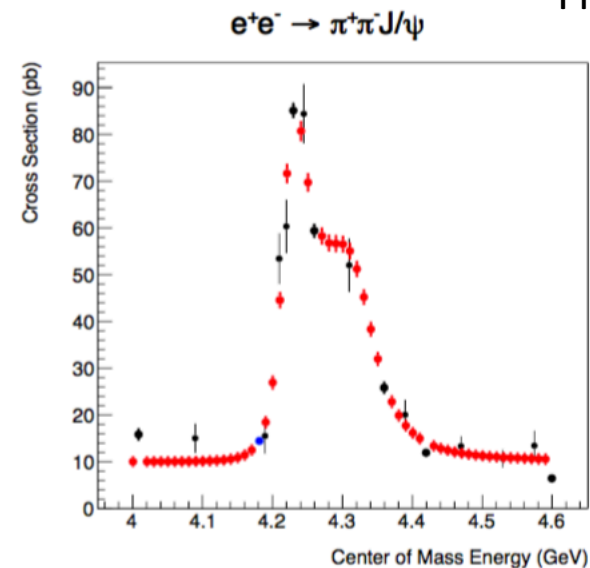
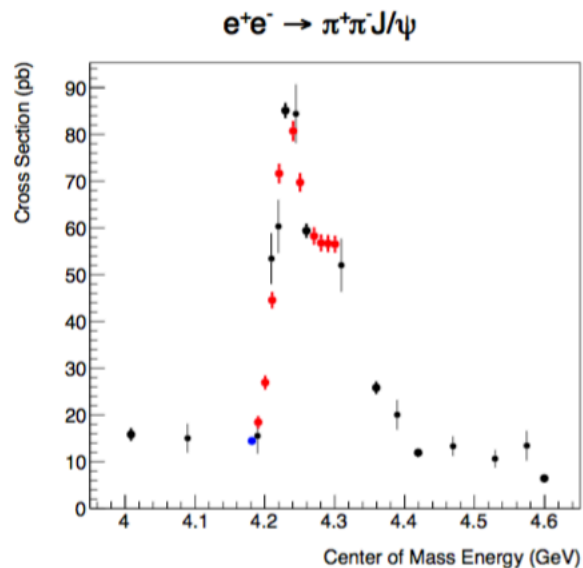
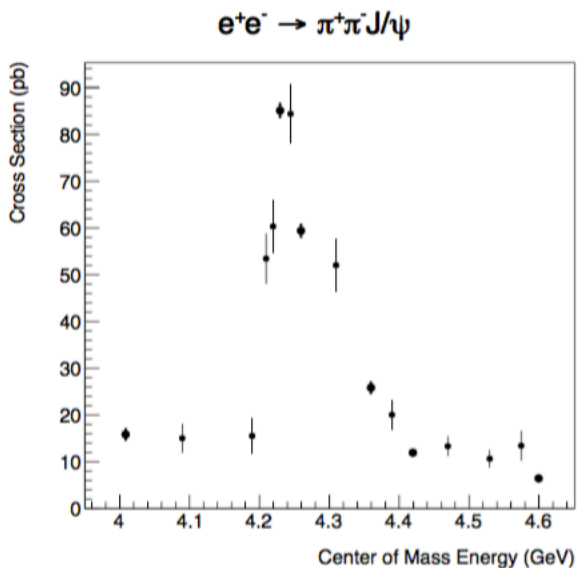
A eight-year data-taking plan were proposed:

**with 10 MeV step, from 4.0 to 4.6 GeV, 500 pb⁻¹ at each point
to smooth the sharp shape near 4.22GeV → 60*0.5 = 20-30 fb⁻¹**

**The data-taking plan should
be further optimized according to the lineshape observed.**

预期敏感度: $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi$

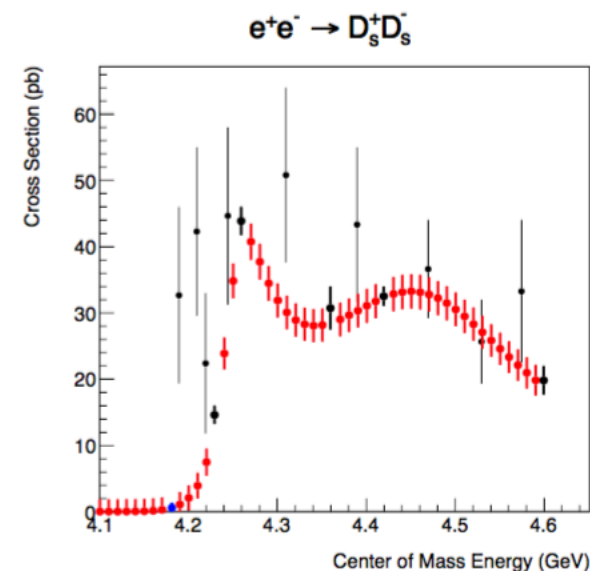
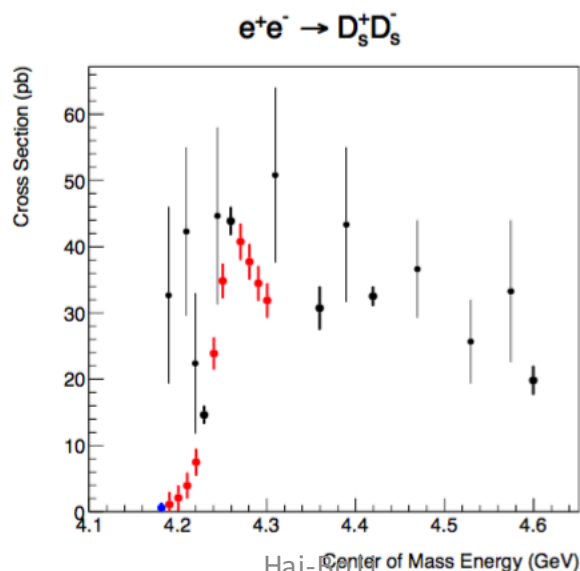
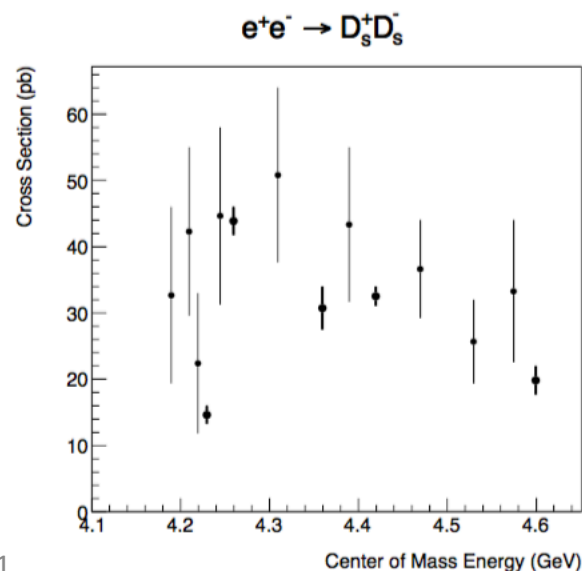
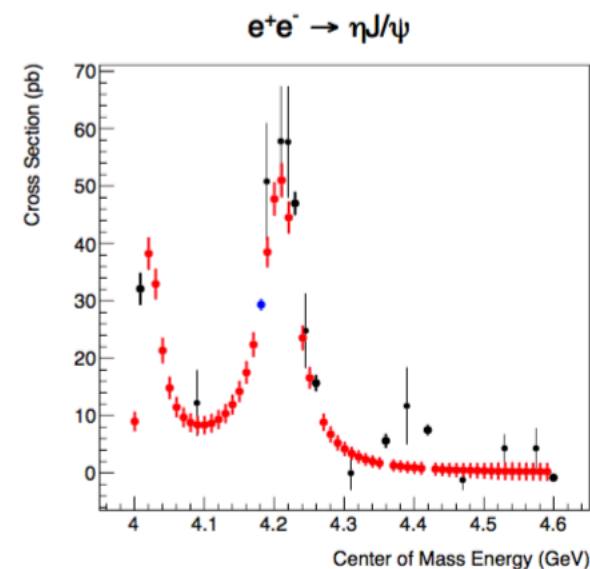
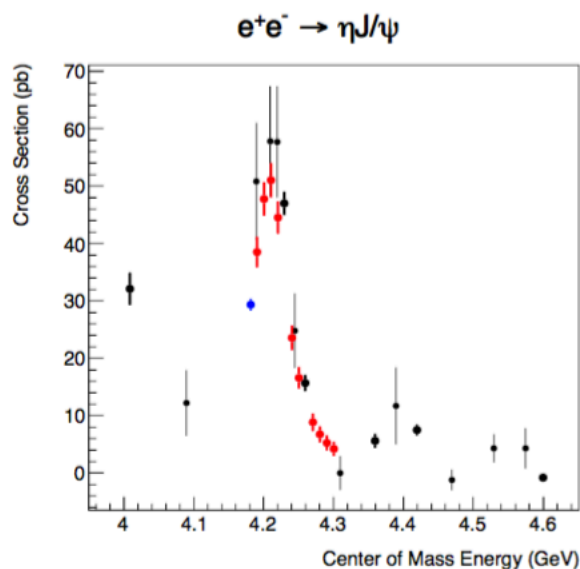
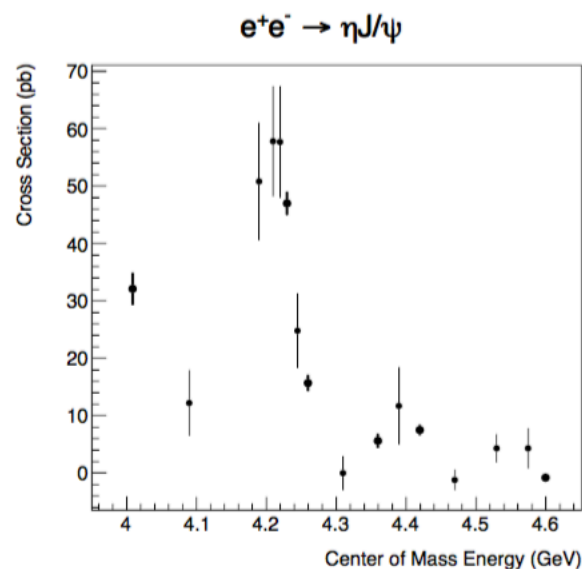
From Ryan



预期敏感度: $e^+e^- \rightarrow \eta J/\psi$

$e^+e^- \rightarrow D_s^+ D_s^-$

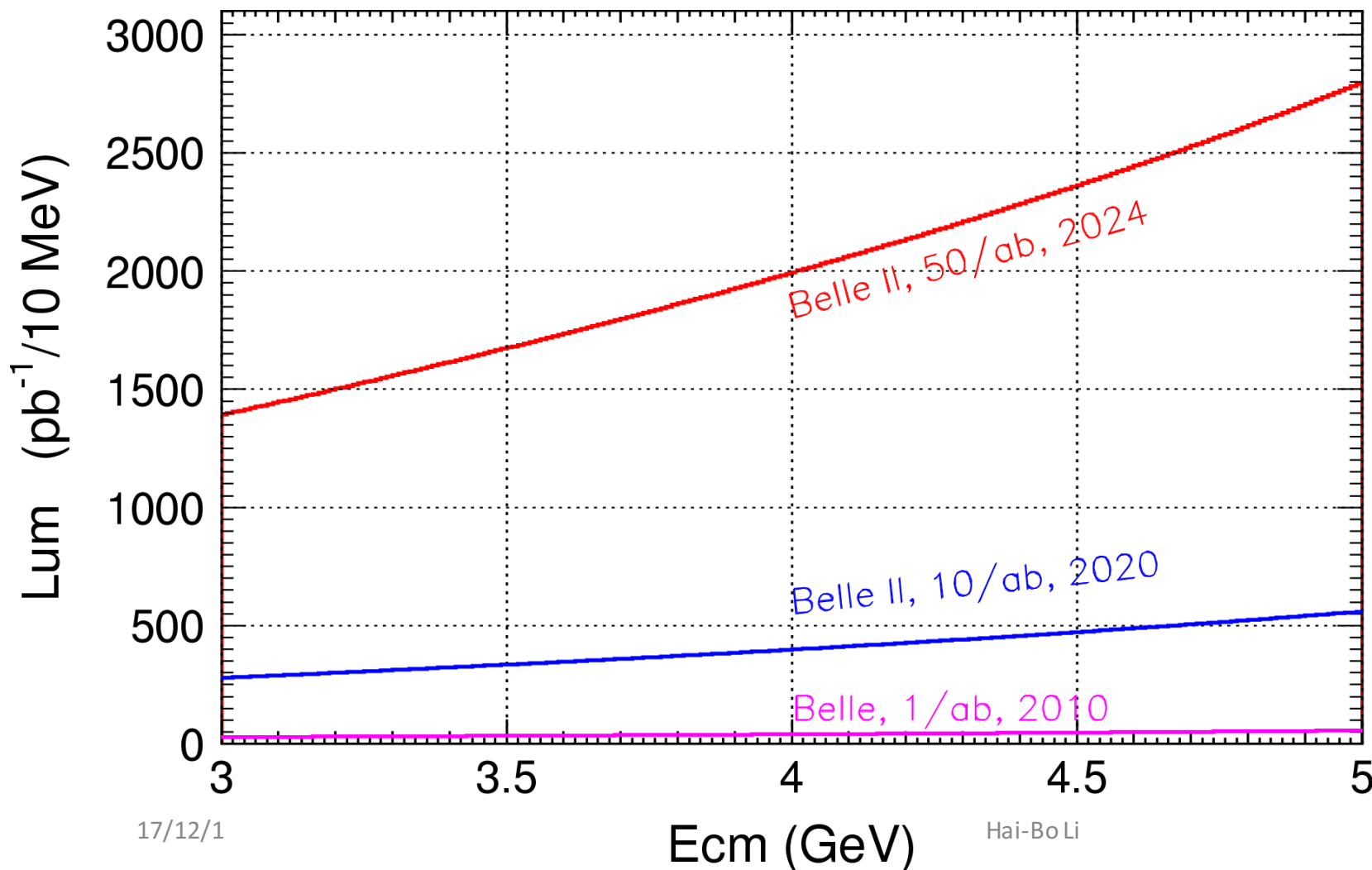
From Ryan



日本Belle II将于2019年正式运行

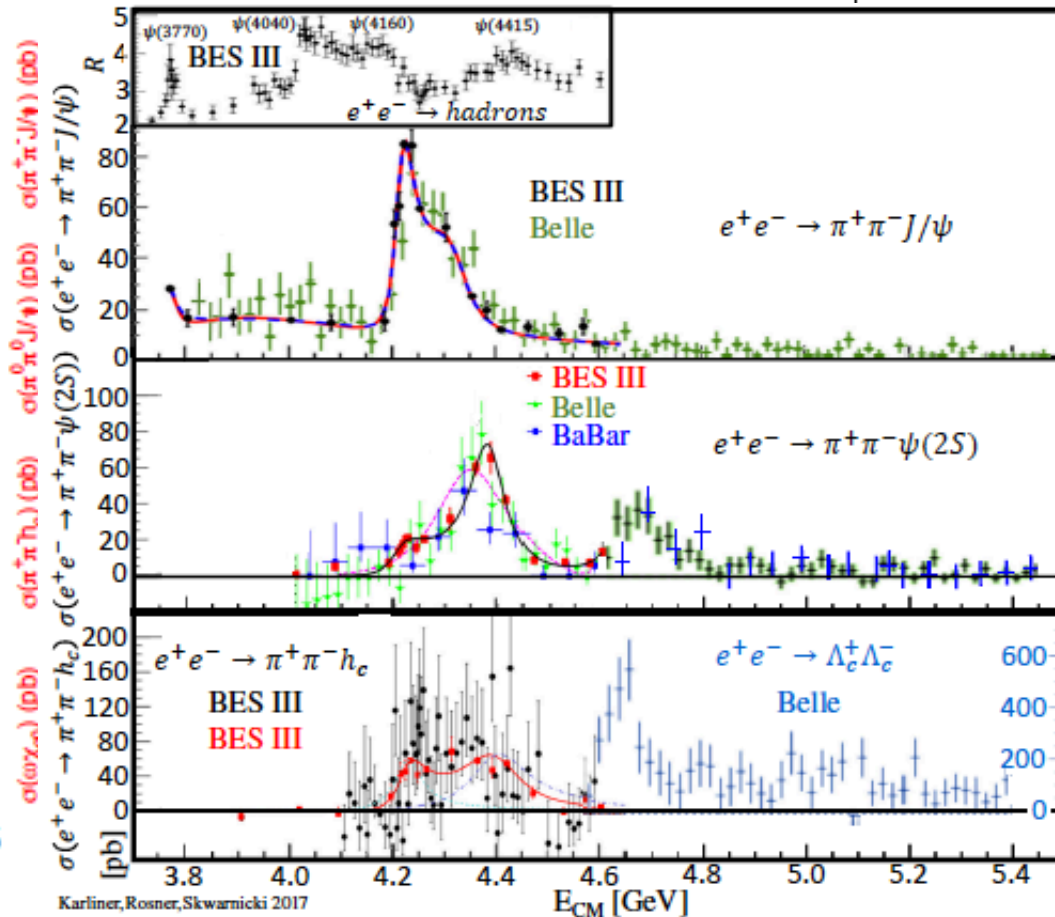
From C.Z. Yuan

ISR produces events at all CM energies BESIII can reach



对于粲偶素激发态、
类粲偶素态：
2022年20/ab：
有效亮度将涵盖BESIII的
部分结果；
2025年50/ab：
将涵盖大部分BESIII的结果；
2028年100/ab：
将涵盖并超出BESIII的结果。

我们必须优化取数点分布，用
最少的时间得到数据，兼顾
其它物理成果。

[illegible]

标准模型检验

- Increase the data sample at $\psi(3770)$ will help improve the cross-section $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$, 3π ions, 5π ions ...
- Improve R-value precisions;
- Scan data between 1.8 and 2.0 GeV;
- Light hadron decays, EM decays...
- TFFs are key issues to probe QCD and internal structure of hadrons.
- How to match the new reach of $(g-2)\mu$ on,
0.5 ppm \rightarrow 0.1 ppm at Fermilab, to solve the 3.5 sigma deviation from the SM predictions, or find anything new beyond the SM.

What's kind of contributions from the BESIII measurements?

标准模型检验

我们需要什么数据、物理课题？

BESIII: R值的精度已达极限

轻强子电磁衰变

利用20/fb $\psi(3770)$ 数据把质心能量在0.3-1.0

GeV区间 $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-$ 截面精度提高3倍:

$$e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\gamma_{ISR}$$

粲介子/粲重子的产生与衰变：BESII上量子关联产生

$$e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D^0\bar{D}^0$$
$$J^{PC} = 1^{--}, \quad D^0\bar{D}^0, \text{ in antisymmetric state.}$$

- 独特的量子纠缠产生：测量D介子衰变关联因子、相对强相角
- 可能首次利用量子关联：测量正反中性D介子振荡；
- 利用量子关联：测量D介子系统的CP破坏
- 粲介子/粲重子阈值关联产生：双标记→干净的实验环境
- 研究D/Ds/ Λ_c 衰变，综合理解粲强子的衰变机制
- 为测量B介子CP破坏相位角提供重要的实验输入。

粲介子/粲重子的产生与衰变：量子关联产生

现有数据： 2.9 fb^{-1} at $\psi(3770)$ ；正反粲重子对： 0.5 fb^{-1} at 4.6 GeV

数据需求：

正反D介子对： 20 fb^{-1} at $\psi(3770)$ ；正反粲重子对： 5 fb^{-1} at 4.63 GeV .

BESIII的重要机遇，挑战性工作。

2018年2月8—9日，LHCb—BESIII joint workshop

黄皮书预计 20 fb^{-1} @ $\psi(3770)$, BESIII能够做到吗？

正反D介子的产生截面为 6.3 nb ，对应D介子对个数1.2亿，这是目前重味物理的需求。

粲重子对阈值上@ 5.6 GeV ，一个月时间，BESIII收集了 560 pb^{-1} 积分亮度，已经发表（待）文章约14篇。最终需要 5 fb^{-1} 数据样本，来研究粲重子衰变性质。

粲介子/粲重子：独特的产生、干净的环境

粲介子的纯轻子与半轻衰变精确测量，不仅检验轻子普适性，同时也是检验（格点）QCD的重要过程；

阈值处产生可以利用双标记来重建中微子、不可见(invisible decays)等；

CLEO-c成功抓住机会，在 $\psi(3770)$ 峰上产生DD介子对，对D介子各种衰变，利用量子关联测量D介子性质等，成功的实验。

BESIII 实验机遇：D/Ds/ Λ_c 强子

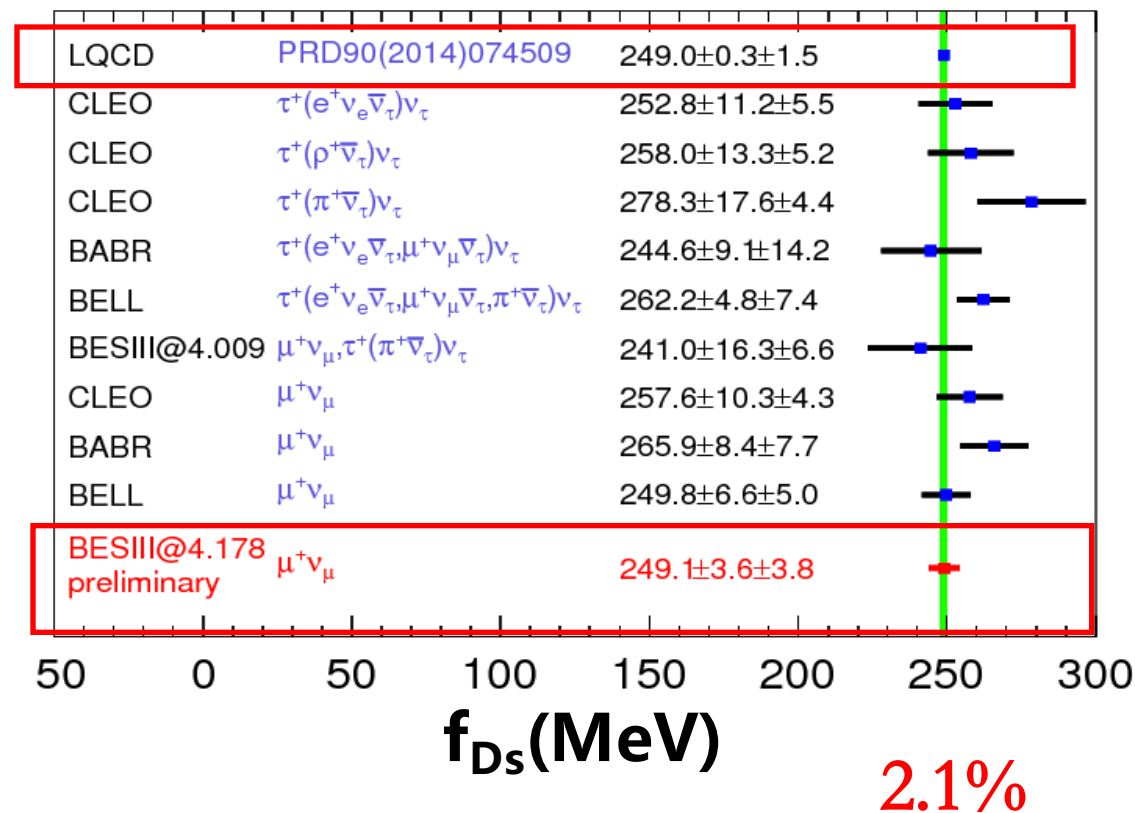
Ds 介子： 4.18 GeV 处的对撞取数

2016-2017年运行期间，BESIII获取了 3.3fb^{-1} 积分亮度。其主要物理目标：

- 1) 精确测量奇异粲介子的衰变常数 f_{D_s}
- 2) 检验轻子普适性，精确检验标准模型
- 3) 精确测量Ds介子的跃迁形状因子、
- 4) 精确测量Ds介子的多体衰变性质

是BESIII实验独特的物理方向。

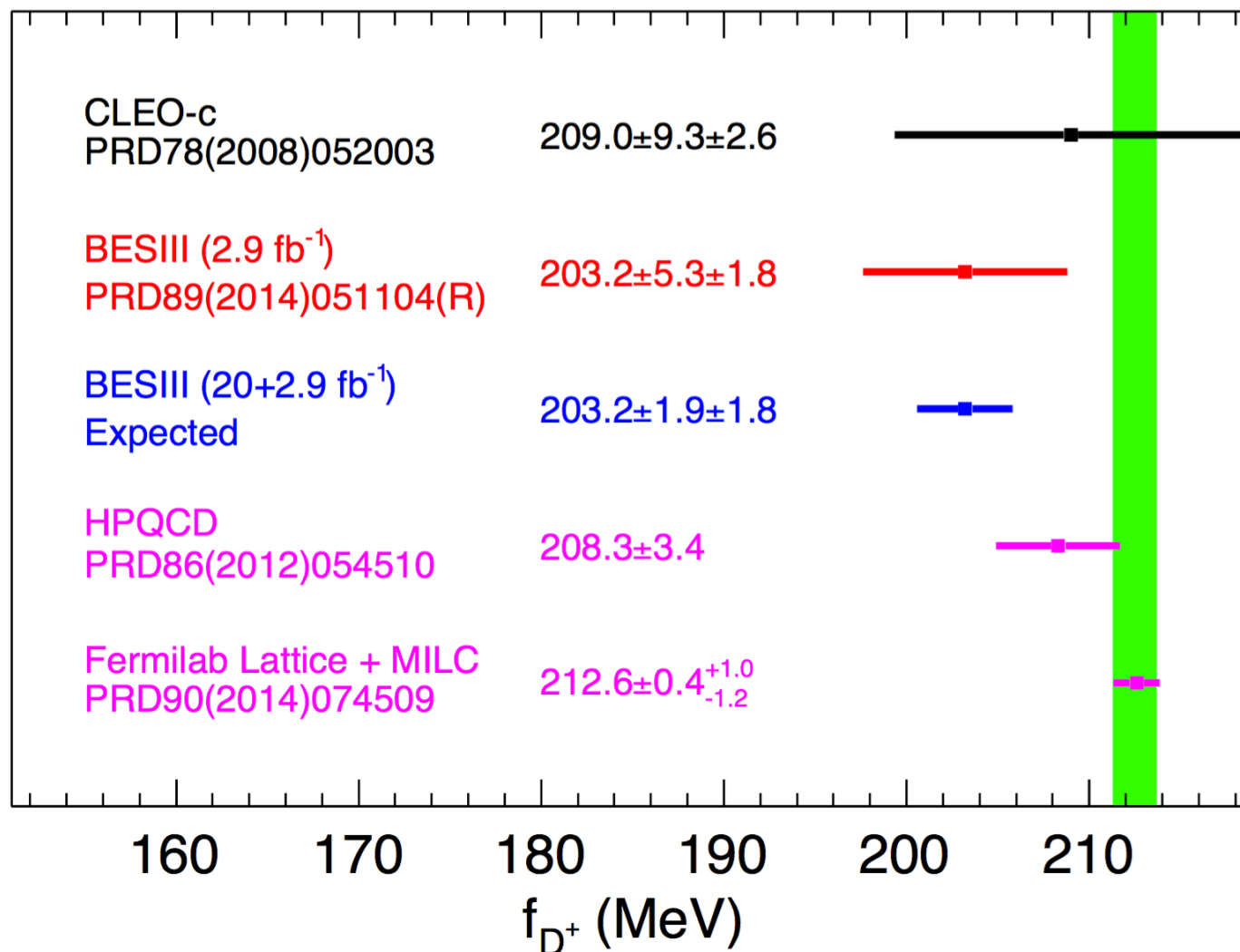
实验结果不仅可加深对强相互作用的理解，也有助于在B和粲介子中寻找超出标准模型的新物理。



实验误差仍然大于格点QCD理论计算误差。

BESIII 的初步结果大大改进了测量精度

D介子衰变常熟 f_{D^+} 的测量

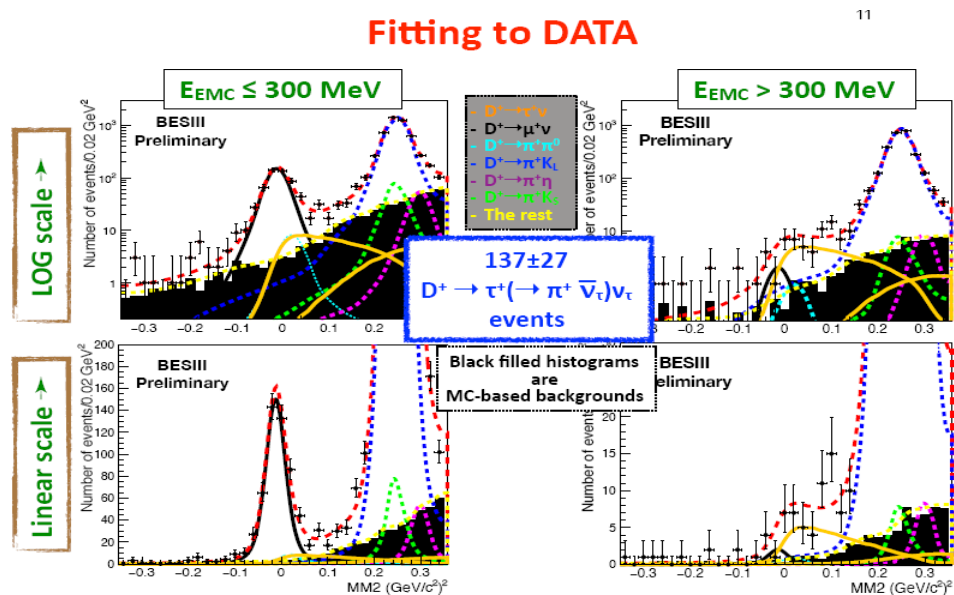


2.9/fb: 2.7%
20/fb: 1.2%

目前BESIII测量结果与格点QCD差别1.5sigma。
如果中心值不变，20/fb 将有3 sigma差别。

BESIII: 首次单道测量 $D^+ \rightarrow \tau^+(\pi^+\nu)\nu$ (4σ)

Fitting to DATA



2.9 fb⁻¹ data taken at 3773 GeV

$$B[D^+ \rightarrow \tau^+ \nu] = (1.20 \pm 0.24_{\text{stat.}}) \times 10^{-3}$$

Ds介子: BESIII 3.3fb⁻¹积分亮度

$$R \equiv \frac{\Gamma(D^+ \rightarrow \tau^+ \nu)}{\Gamma(D^+ \rightarrow \mu^+ \nu)} = \frac{m_{\tau^+}^2 \left(1 - \frac{m_{\tau^+}^2}{M_{D^+}^2}\right)^2}{m_{\mu^+}^2 \left(1 - \frac{m_{\mu^+}^2}{M_{D^+}^2}\right)^2}$$

SM prediction: 2.66 ± 0.01

BESIII实验: 3.21 ± 0.64

$$R(D_s^+) \equiv \frac{\Gamma(D_s^+ \rightarrow \tau^+ \nu)}{\Gamma(D_s^+ \rightarrow \mu^+ \nu)} = \frac{m_{\tau^+}^2 \left(1 - \frac{m_{\tau^+}^2}{M_{D_s^+}^2}\right)^2}{m_{\mu^+}^2 \left(1 - \frac{m_{\mu^+}^2}{M_{D_s^+}^2}\right)^2}$$

SM prediction: 9.74 ± 0.01

BESIII实验: 10.2 ± 0.5

比值R : 5%.

黄皮书: 20 fb⁻¹ 积分亮度,
B[$D^+ \rightarrow \tau^+ \nu$] 不确定性预期: 7% ; 比值R : 7%.

干净、独特的 D^0 - D^0 bar介子混合测量

D^0 - D^0 bar是处于反对称量子关联状态:

$$e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D^0\bar{D}^0 \rightarrow f_1f_2$$

最干净、最简单的正反中性D介子振荡测量@3770MeV: like-sign signal

$$e^+e^- \rightarrow \psi(3770) \rightarrow D^0\bar{D}^0 \rightarrow (K^\pm\pi^\mp)(K^\pm\pi^\mp)$$

但是, 20/fb:

$$\begin{aligned}\#event &= N_{D\bar{D}} B_{K\pi}^2 \epsilon_{K\pi}^2 (x^2 + y^2) \\ N_{D\bar{D}} &= 3.7 \times 10^6 / fb, \quad B_{K\pi}^2 = 1.5 \times 10^{-3} \\ \epsilon_{K\pi}^2 &= 0.5, \quad (x^2 + y^2) = 1 \times 10^{-4} \\ \#events &= 0.3 / fb, \quad \#events = 6 / 20fb\end{aligned}$$

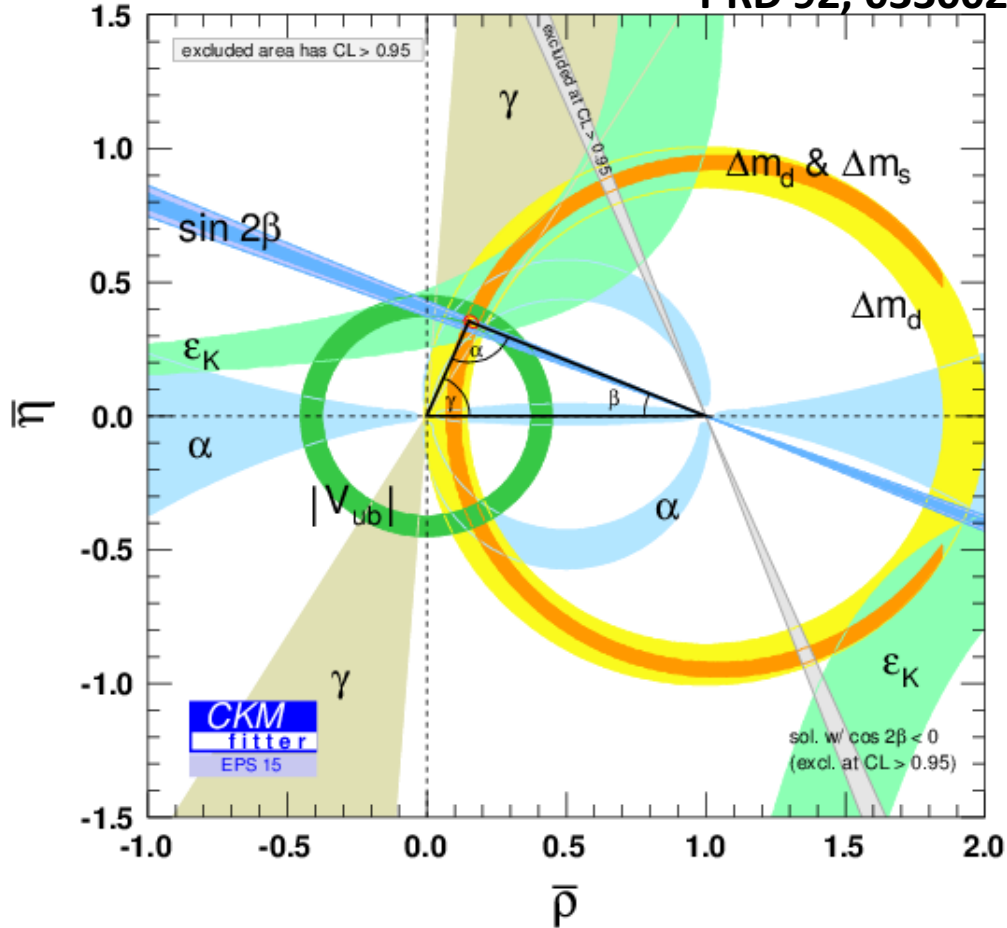
20/fb积分亮度, 可能利用量子关联的观测混合证据。

未来超级粲工厂 600—1000 个事例。

但是BESIII在强相因子、关联因子等方面大有可为。

CKM and γ

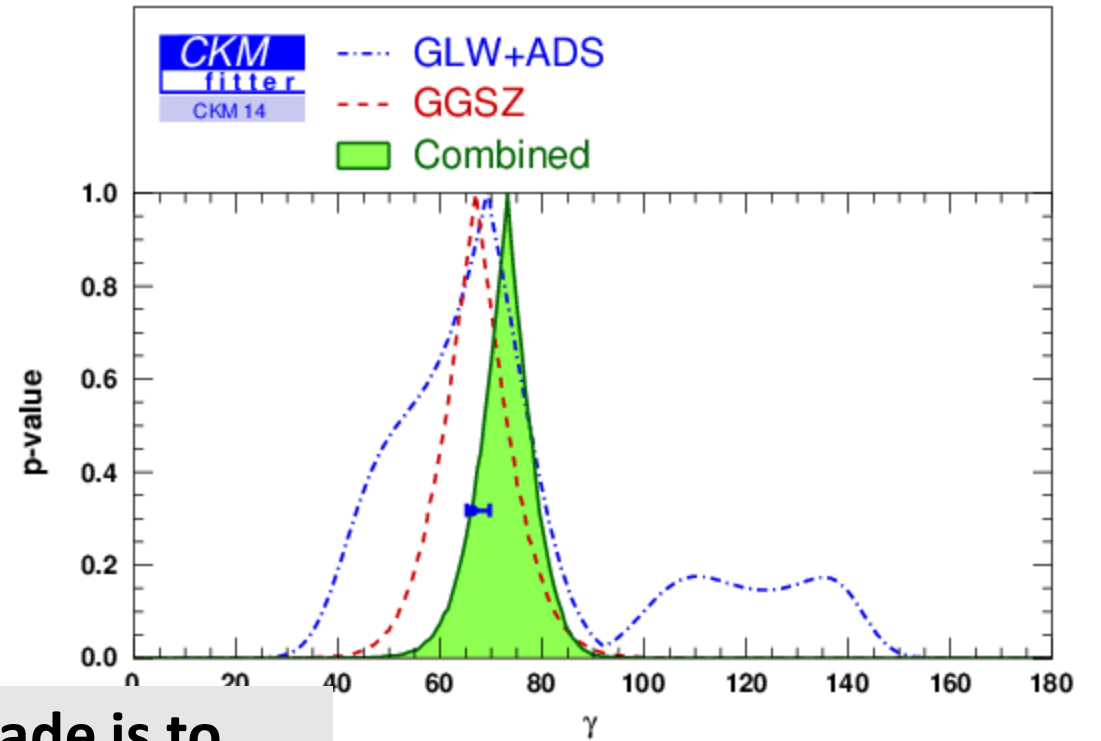
NP could lead to 4° effects
PRD 92, 033002 (2015)



$$\gamma_{\text{measured}} = \left(73.2^{+6.3}_{-7.0}\right)^\circ$$

$$\gamma_{\text{predicted}} = \left(66.9^{+1.0}_{-3.7}\right)^\circ$$

$$\beta_{\text{measured}} = \left(21.50^{+0.75}_{-0.74}\right)^\circ$$



Principal goal in CKM physics in the next decade is to
reduce uncertainty to 1°

Assuming 10 fb⁻¹ $\psi(3770)$ BES III dataset

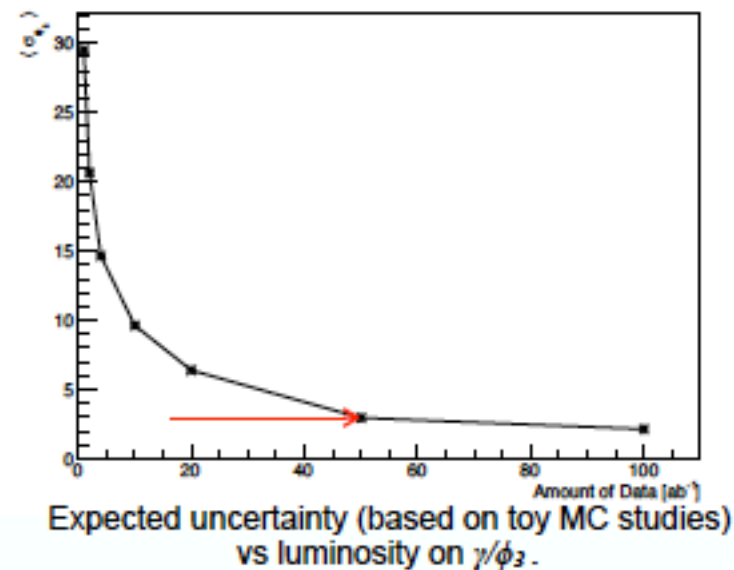
we estimate for GGSZ

$$\delta(\gamma / \phi_3)^{50ab^{-1}} = 3^\circ$$

once the combination of *Belle* GLW,
ADS, GGSZ results is extrapolated

$$\delta(\gamma / \phi_3)^{50ab^{-1}} = 1.6^\circ$$

With BESIII 3/fb: 4.3°



future improvements

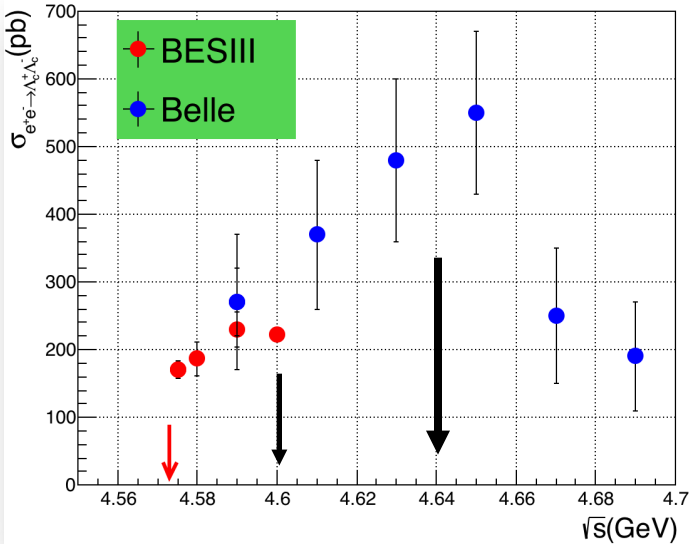
- including additional channels
such as $K_s^0 K^+ K^-$ and $B^+ \rightarrow D^{*0} K^+$.
- including continuum
suppression variable in the fit.

粲重子 Λ_c 衰变率实验测量精度展望

Xiaorui Lyu

	主导分支比	典型两体衰变	半轻衰变
D0	$B(K^-\pi^+)=(3.89\pm0.04)\%(1.0\%)$	$B(K_s\pi^0)=(1.19\pm0.04)\%(3.4\%)$	$B(K^-\text{ev})=(3.53\pm0.03)\%(0.8\%)$
D+	$B(K^-\pi^+\pi^+)=(8.98\pm0.28)\%(3.1\%)$	$B(K_s\pi^+)=(1.47\pm0.08)\%(5.4\%)$	$B(K_s\text{ev})=(4.41\pm0.07)\%(1.5\%)$
Ds	$B(K^-K^+\pi^+)=(5.45\pm0.17)\%(3.8\%)$	$B(K_sK^+)=(1.40\pm0.05)\%(3.6\%)$	$B(\phi\text{ev})=(2.39\pm0.23)\%(9.6\%)$
Λ_c	$B(K^-\text{p}^+\pi^+)=$ PDG2014: $(5.0\pm1.3)\%$ (26%) PDG2017(w/ BESIII): $(6.35\pm0.33)\%$ (5.2%)	$B(K_s\text{p}^+)=$ PDG2014: $(5.0\pm1.3)\%$ (26%) BESIII: $(1.52\pm0.08)\%$ (5.6%)	$B(\Lambda\text{ev})=$ PDG2014: $(2.1\pm0.6)\%$ (29%) BESIII: $(3.63\pm0.43)\%$ (12%)
	5/fb @4.64GeV \rightarrow (相对精度<2%) (系统误差主导)	5/fb @4.64GeV \rightarrow (<2%) (系统误差主导)	5/fb @4.64GeV \rightarrow (3.3%) (统计误差主导)

- BESIII的 Λ_c 结果对应于在2014年获取的567/pb @4.6GeV 的一个月数据，发表&待发表14篇，发表PRL 4篇；
- 未来BEPCII能量升级后，在 Λ_c 峰值产生截面的4.64GeV 能量附近取数5/fb，将使 Λ_c 的衰变数据测量精度与粲介子的精度相匹配；
- 成为未来BESIII实验对国际粒子数据的独特亮点贡献。



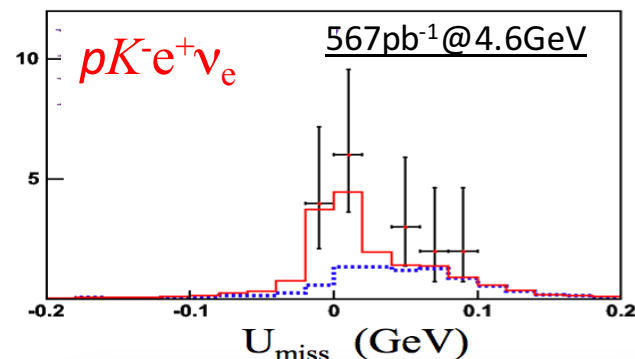
未来 Λ_c 数据将发现更多新的衰变过程

5/fb @4.64GeV

Xiaorui Lyu

- Λ_c 目前只发现 $\Lambda l^+ \nu_l$ 一个半轻过程，**BESIII** 将首次发现更多半轻衰变过程

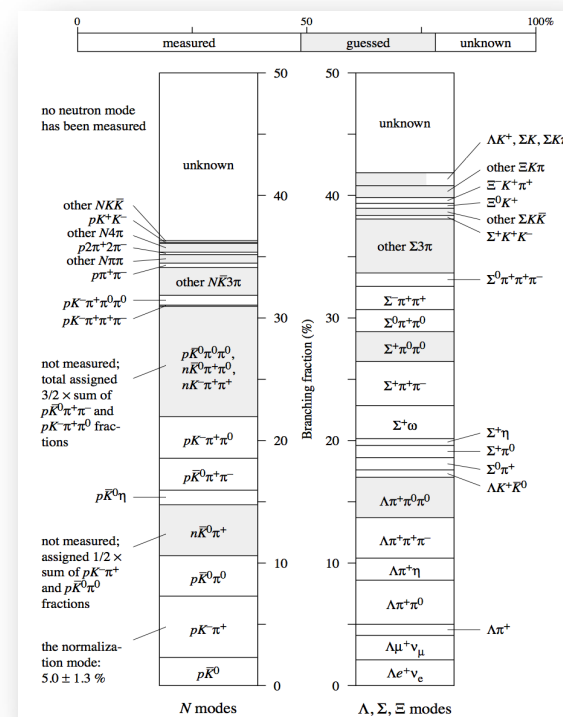
modes	预期 B [%]	预期相对精度
$\Lambda l^+ \nu_l$	3.6	3.3%
$\Lambda^* l^+ \nu_l$	0.7	10%
$(pK^-, \Sigma\pi) l^+ \nu_l$	0.7	10%
$n l^+ \nu_l$	0.2	17%



- 首次发现粲重子辐射弱衰变过程 $\Lambda_c^+ \rightarrow \gamma \Sigma^+$

- ✓ 预期分支比在 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 量级；
- ✓ BESIII 的发现精度可以达到 10^{-5}

- 研究和发现更多 Cabibbo 压低的过程
- 大部分含中子末态的过程将被首次测量
- 利用 Λ_c 的强子衰变末态研究强子谱学



粲重子半轻衰变与格点QCD

$$\Lambda_c \rightarrow \Lambda l \nu$$

$$\mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow \Lambda \ell^+ \nu_\ell) = \begin{cases} 0.0380(19)_{\text{LQCD}(11)\tau_{\Lambda_c}}, & \ell = e, \\ 0.0369(19)_{\text{LQCD}(11)\tau_{\Lambda_c}}, & \ell = \mu \end{cases}$$

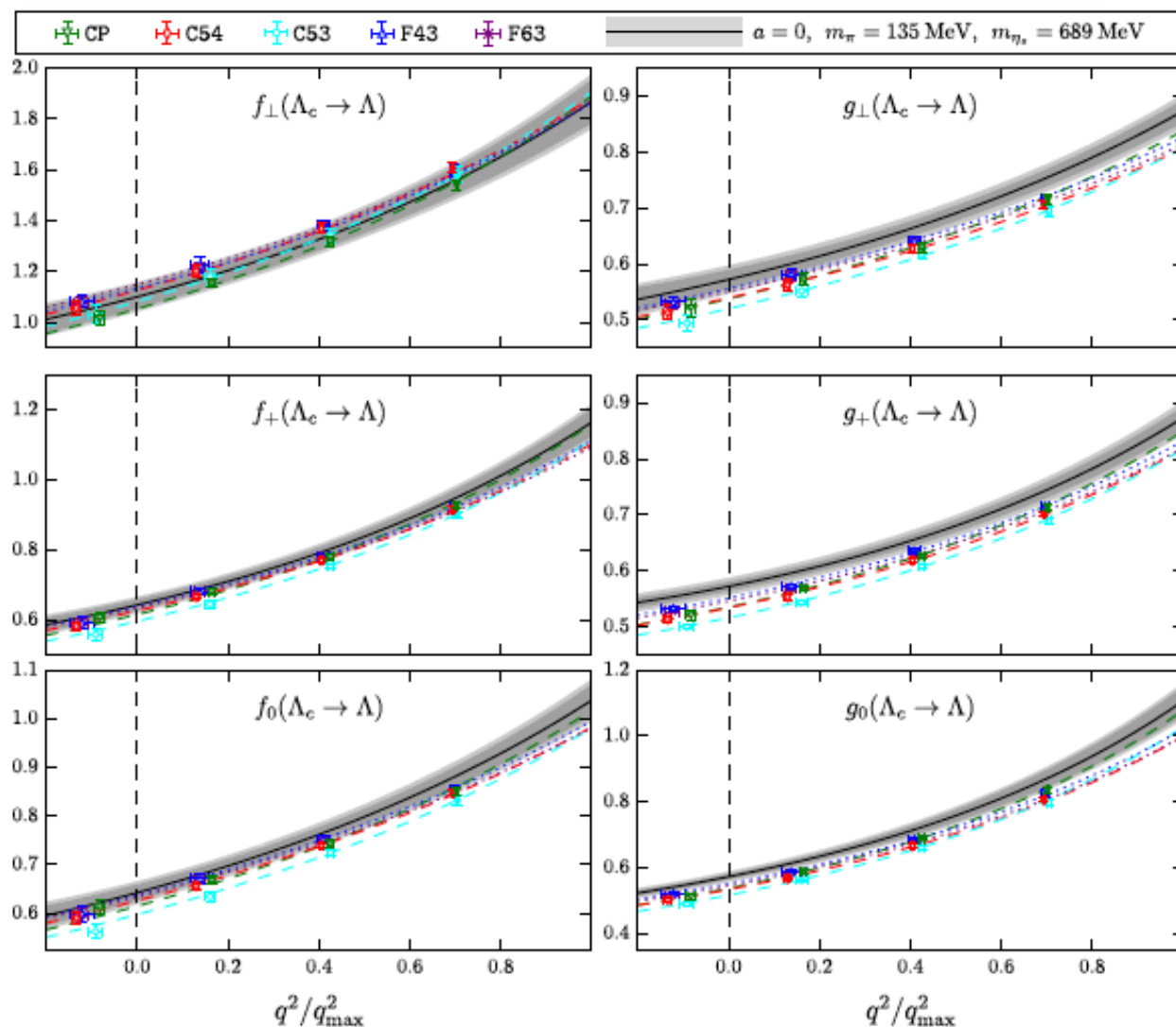
S. Meinel, PRL(2017) 1611.09696

- 得到的 $|V_{cs}|$ 和从 $D_s \rightarrow l \nu$ 得到的一致

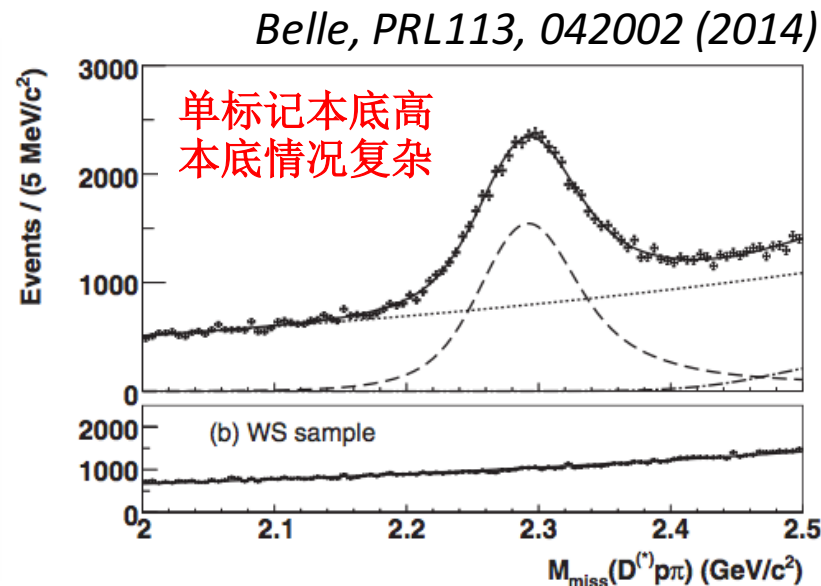
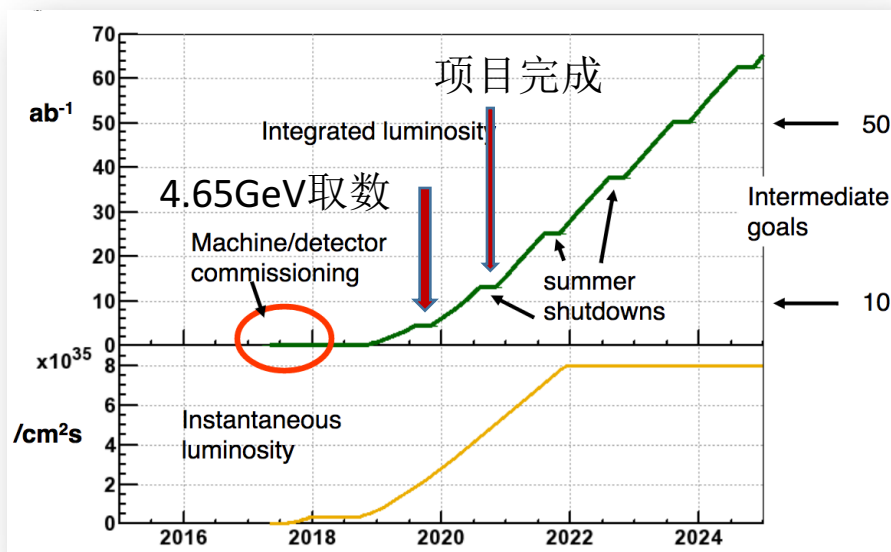
$$\mathcal{B}(\Lambda_c \rightarrow \Lambda \ell^+ \nu_\ell) = \begin{cases} 0.0363(38)(20), & \ell = e, \\ 0.0349(46)(27), & \ell = \mu. \end{cases}$$

BESIII, PRL(2015) 1510.02610

BESIII, PLB(2017) 1611.04382



与Belle(-II)实验上 Λ_c^+ 研究的比较



- Belle(-II)实验 Λ_c 单标记: $e^+e^- \rightarrow D^{(*)-}\bar{p}\pi^+\Lambda_c^+$
四体过程复杂、本底复杂、本底高 \rightarrow 非绝对测量、系统误差不好控制
- BESIII完成5.0/fb@4.64GeV 取数, 可单标记30万个 Λ_c ; 此时Belle-II将积累5/ab数据, 约18万个 Λ_c 标记数; 两者统计量相当, 但BESIII的单标记本底极低, 且为绝对测量, 优于BELLE-II实验。
- BESIII将进一步陆续增加 Λ_c 统计量, 始终保持与BELLE-II相当的单标记数, 可系统完成 Λ_c 衰变研究, 使主要衰变道测量精度达到系统误差主导。

国际上实验 Λ_c^+ 研究的特点



- 独特的阈值 Λ_c^+ 对产生，绝对测量
- 本底干净、模型无关，最小的系统误差
- 能系统研究所有衰变模式
- 反冲技术系统研究含中子、 K_L 和中微子的过程
- 非常好的光子分辨，适合研究 Σ , Ξ , π^0 , ...等



- 大统计量、高本底
- 只能相对测量
- 局限于带电末态的衰变研究
- 无法系统研究衰变模式
- 含中子、 K_L 和中微子的过程研究存在很多困难
- 无法研究含电子和光子末态过程

- 大统计量、但高本底
- 主要为相对测量，绝对测量有模型依赖
- 无法系统研究衰变模式
- 含中子、 K_L 和中微子的过程研究存在困难



Λ_c^+ 研究的国际实验比较

	BESIII	Belle(-II)	LHCb
Λ_c^+ 产生总数	★★★★	★★★★	★★★★★★
本底率	★★★★★★	★★	★★
系统误差控制	★★★★★★	★★★★	★★
系统性研究	★★★★★★	★★★★	★
半轻衰变过程	★★★★★★	★★★★	★
含中子和 K_L 强子衰变	★★★★★★	★★	☆
含光子末态过程	★★★★★★	★★★★★★	☆
绝对测量	★★★★★★	★★★★	☆

- BESIII上高统计量的 Λ_c^+ 的阈值数据，对于全面理解 Λ_c^+ 的性质非常重要，具有综合性优势
- BESIII有不可替代的作用

正负电子质心能量达到4.96GeV: $e^+e^- \rightarrow \Xi_c^+\bar{\Xi}_c^- \Xi_c^0\bar{\Xi}_c^0$

首次测量含奇异夸克粲重子绝对分支比,
假设SU(3)对称:

$\Xi_c^+(usc)$, $\Xi_c^0(dsc)$

Charm hyperon

$$\frac{\Gamma(\Xi_c^+ \rightarrow \Xi^0 \pi^+)}{\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+)} \sim 1.0$$

$$\frac{\Gamma(\Xi_c^+ \rightarrow \Xi^0 e^+ \nu)}{\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu)} \sim 1.0$$

$$\frac{\Gamma(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+)}{\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda \pi^+)} \sim 1.0$$

$$\frac{\Gamma(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- e^+ \nu)}{\Gamma(\Lambda_c^+ \rightarrow \Lambda e^+ \nu)} \sim 1.0$$

Dec. 5 by Karin Schönning (Uppsala Univ.) :
Possibilities for charm hyperon physics with
an upgraded BEPC-II

通过研究 $\Xi_c^+(usc)$, $\Xi_c^0(dsc)$, $\Lambda_c(udc)$

衰变性质, 来理解粲重子的内部结构、
相互作用、对称性等。

其产生截面没有理论预期, 估计与 Λ_c 对的
产生截面一个量级, BESIII上将有重要的
物理产出, 填补空白。

超出标准模型新物理寻找：

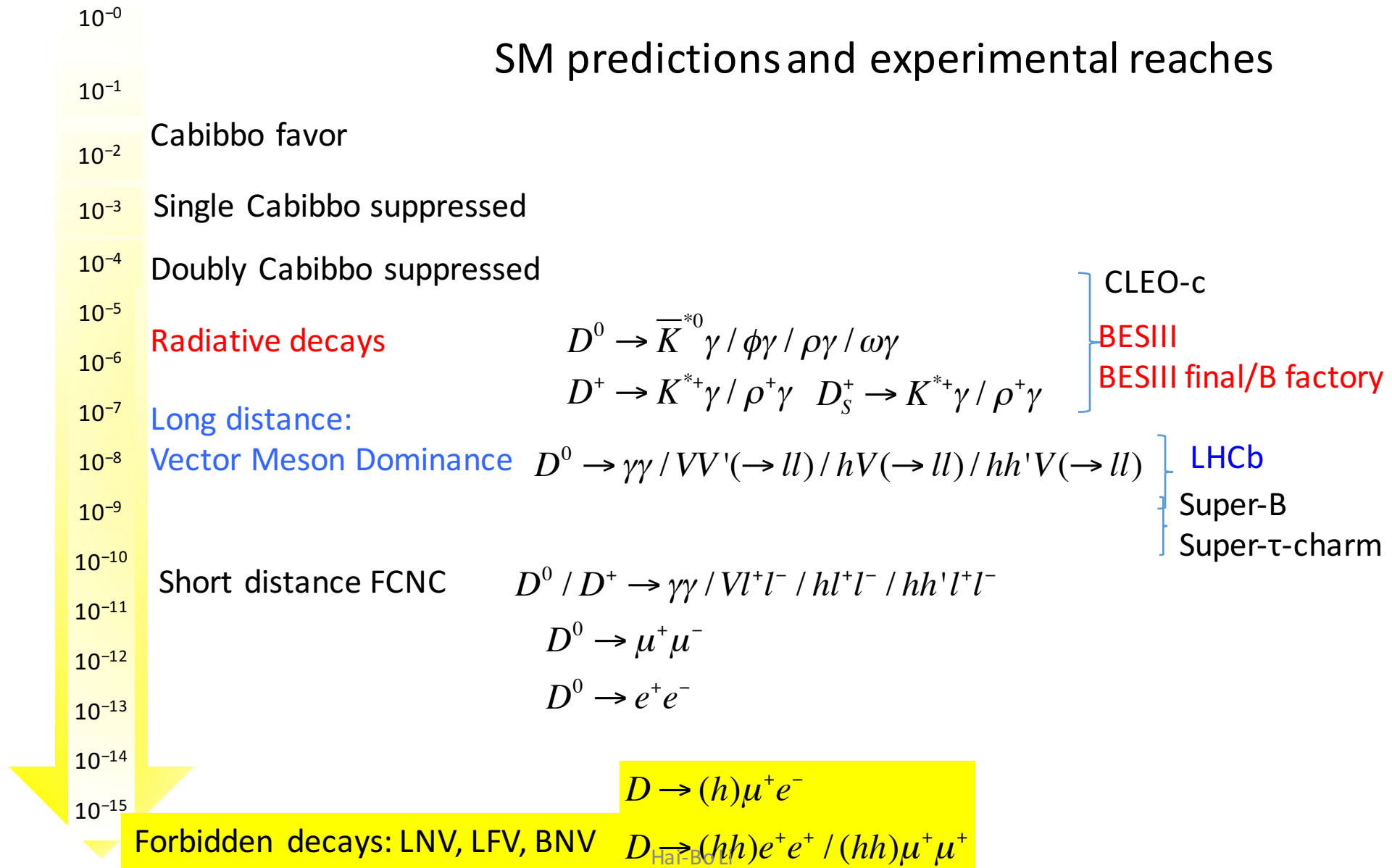
- Full usages of huge J/ψ & $\psi(2S)$ data set: rare decays, forbidden decays;
- Search for new physics in decay modes with large decay rates?
Probe CPV in strange baryons?

[arXiv:1704.04708](#) [CP Asymmetries in Strange Baryon Decays](#) I.I. Bigi et al.

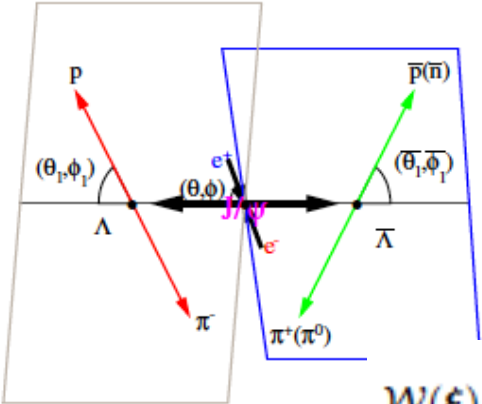
- Rare $D/D_s/\Lambda_c$ decays in case we have maximum integrated luminosity?
- Rare decay program in strange baryons?
- **Search for any exotic physics: dark sectors, invisible decays.**

No special data-taking requirement?

Reaches for rare charm decays?



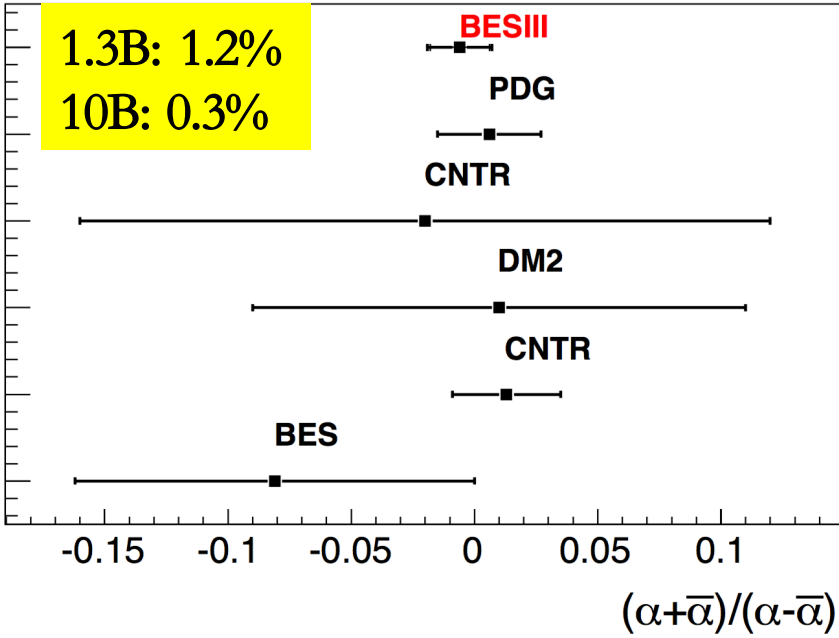
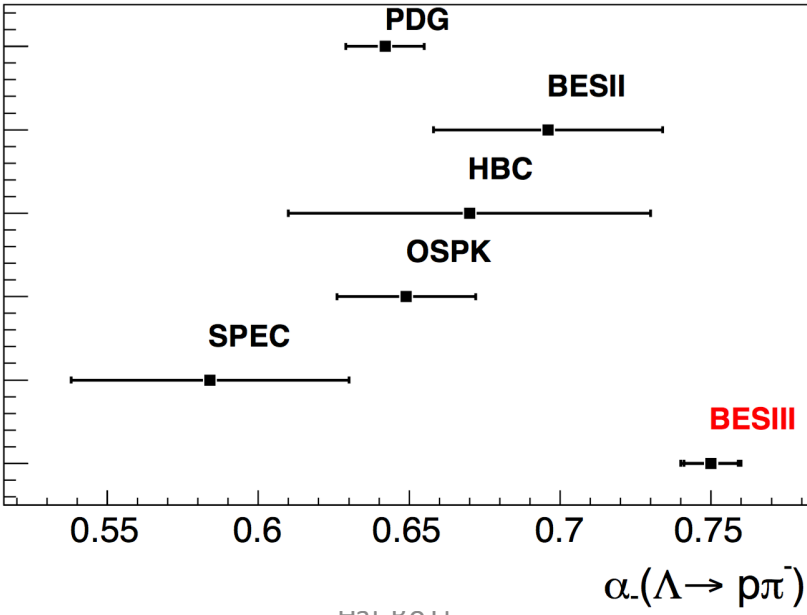
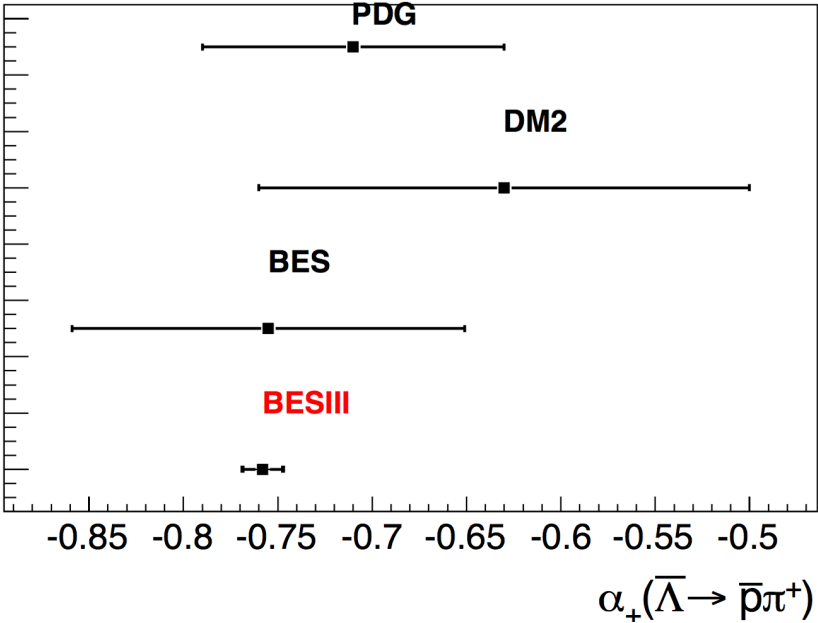
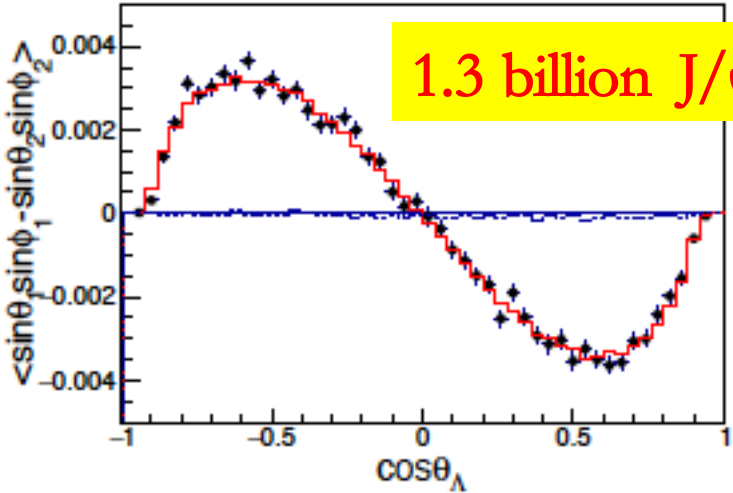
CP破坏: Coherent production $e^+e^- \rightarrow J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$



首次观测到横向极化，独立测量超子的衰变参数，得到CP破坏参数。近50万重建事例。

$$\Delta\Phi = 42.4 \pm 0.6 \pm 0.5^\circ$$

$$\begin{aligned} \mathcal{W}(\xi) = & 1 + \alpha_\psi \cos^2 \theta_\Lambda + \alpha_1 \alpha_2 \left(\mathcal{T}_1(\xi) + \sqrt{1 - \alpha_\psi^2} \cos(\Delta\Phi) \mathcal{T}_2(\xi) + \alpha_\psi \mathcal{T}_6(\xi) \right) \\ & + \sqrt{1 - \alpha_\psi^2} \sin(\Delta\Phi) \sin \theta_\Lambda \cos \theta_\Lambda (\alpha_1 \sin \theta_1 \sin \phi_1 + \alpha_2 \sin \theta_2 \sin \phi_2), \end{aligned}$$



BESIII 白皮书

BESIII实验在过去8年的运行中，取得了具有重要国际影响的物理成果：

- 建立了质子—反质子阈值附近的结构 $X(ppbar)$ 与 $X(1835)$ 的联系 \rightarrow $ppbar$ 束缚态？
- 首次在2.0GeV以上发现 0^+ $X(2120)$ 、 $X(2370)$ 等的大量产生 \rightarrow 0^+ 胶球候选者？(LQCD)
- 发现带电类粲偶素结构（Z粒子）；发现Y粒子的双峰结构；... \rightarrow XYZ 粒子的性质？
- 阈值附近粲介子对的产生和衰变性质的研究 \rightarrow 强相因子—> CKM精确测量，...
- 阈值附近粲重子对的产生和绝对分支比的测量。

BEPCII 将对能量进行升级（4.6 \rightarrow 4.96 GeV）；将通过实现 Topup，使积分亮度提高20-30%。（2-3年）

BESIII 白皮书：针对要解决的关键问题以及BEPCII的升级，凝练科学目标，以期取得重大突破。

物理分类	重要的问题	解决问题—精度工具	现有数据	最终数据样本	国际竞争
轻强子谱学	胶子球、奇特态、 $X(pp)$ 、标量、张量态等，重子谱	轻标量、2GeV以上轻介子、重子—重子阈增强、奇特态等系统研究，重子谱	1.3 billion J/ψ 0.5 billion ψ (2S) 其它能点数据	10 billion J/ψ 5 billion ψ (2S) 其它能点数据	独具特色
夸克偶素衰变	粲偶素的跃迁、OZI压低衰变、与轻子的耦合、轻夸克偶素的衰变	粲偶素衰变 轻夸克偶素谱、 轻夸克偶素衰变 Hyperon 的衰变与产生	1.3 billion J/ψ 0.5 billion ψ (2S) 高激发态扫描	10 billion J/ψ 5 billion ψ (2S) 高激发态扫描数据	独具特色
粲偶素谱学	高激发态谱学、类粲偶素谱	$Y(4260)$ 性质、与高激发态的混合、coupled-channels分析、open-charm截面的测量等	高激发态扫描 (12/fb)	高激发态扫描数据 阈值附近高亮度	Belle-II(日本) LHCb (CERN) PANDA (德国)
粲介子&粲重子衰变	量子关联—D介子关联因子、强相位、CPV、形状因子、衰变常数、CKM	关联因子、强相位与B工厂的关系、稀有衰变、精确测量形状因子、衰变常数等。D/Ds/ Λ_c 联合研究；charm hyperons	2.9/fb @ ψ (3770) 0.56/fb @ 4.6 GeV 3.1/fb@ 4.180 GeV	20/fb @ ψ (3770) 5/fb @ 4.64 GeV 5/fb@ 4.18 GeV <u>5/fb@4.96 GeV</u>	Belle-II(日本) LHCb (CERN) 互补关系
R值&QCD	R值、重子形状因子、遍举强子截面、ISR物理、谱学等	R值精度、质子形状因子、截面、ISR物理精度？	130能点数据(2.0-4.6GeV)	20/fb @ ψ (3770) ISR物理	Belle-II(日本) 俄罗斯
新物理	粲介子稀有、粲偶素稀有、禁闭衰变等	粲偶素稀有、cLFV、Dark sectors、重子数破坏过程, invisible decays。	1.3 billion J/ψ 0.5 billion ψ (2S) 2.9/fb @ ψ (3770)	10 billion J/ψ 5 billion ψ (2S) 20/fb @ ψ (3770)	Belle-II(日本) LHCb (CERN)

总结

- 在BEPCII/BESIII剩余寿命：重要物理→数据获取的优化；
- 需要考虑不同的、特色的、重要的物理产出；
- 需要一个战略规划：提供BESIII合作组可行性建议；
- 要考虑国际、国内的竞争、互补，BESIII做出不可替代的物理成果；
The Belle-II at super-KEKB will take data in 2019 ($50 - 100 \text{ ab}^{-1}$);
LHCb run2 will take about 50 fb^{-1}
- 基于此考虑BESIII/BEPCII的可行性升级改造；
- 要有紧迫性、危机感；
- 为下一代对撞机物理争取时间、争取更大的可能性（王贻芳）

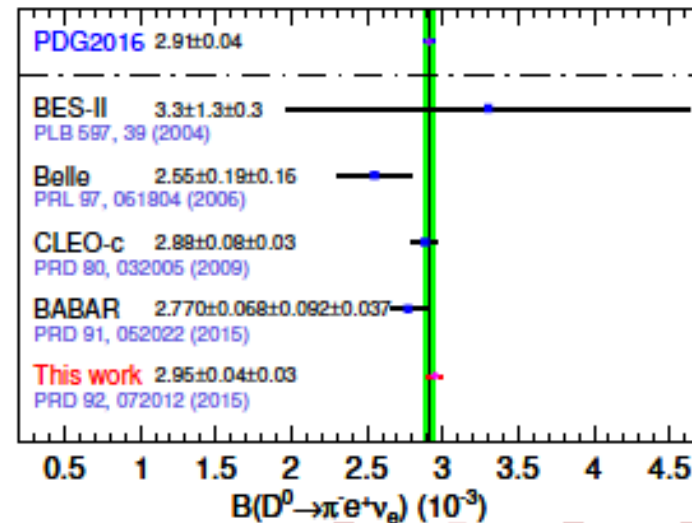
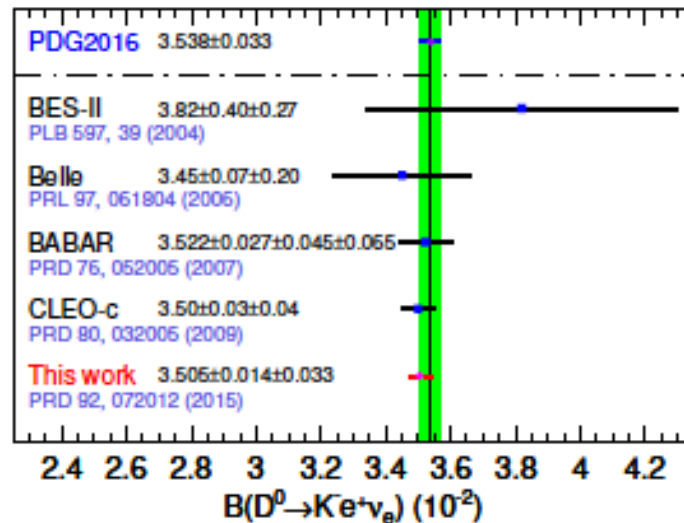
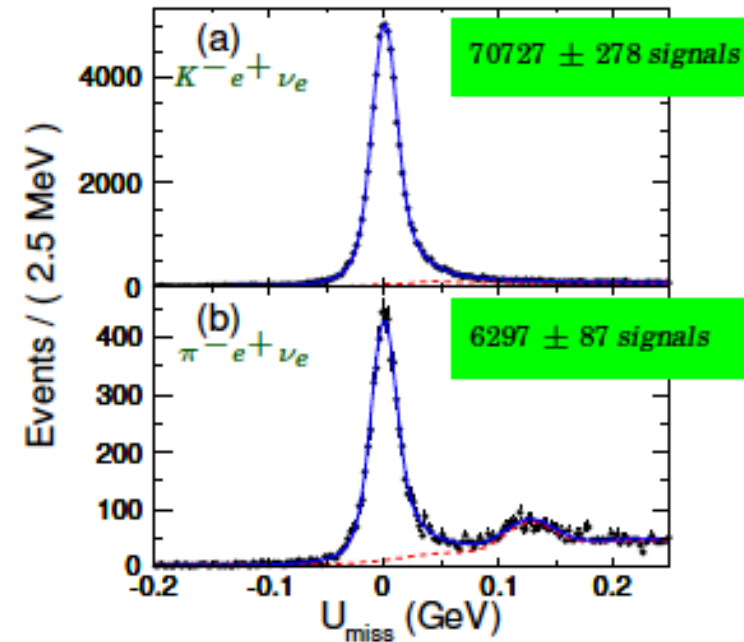
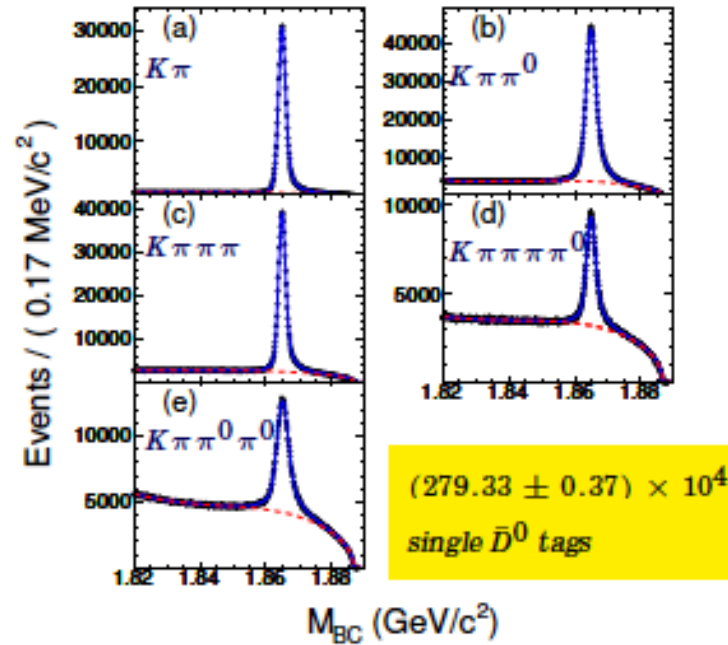
仅供参考、批评、讨论，尽快形成一个工作组！

谢谢大家！

Back-up slides

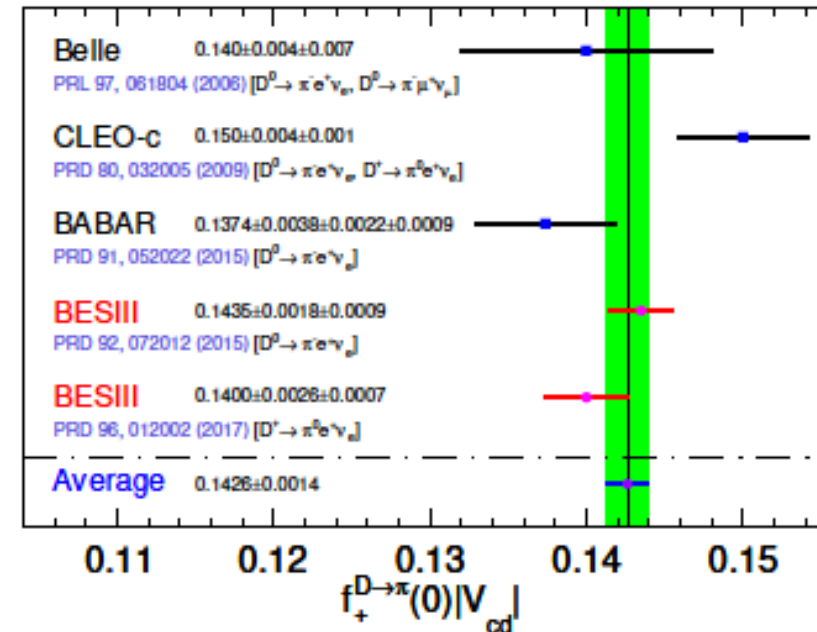
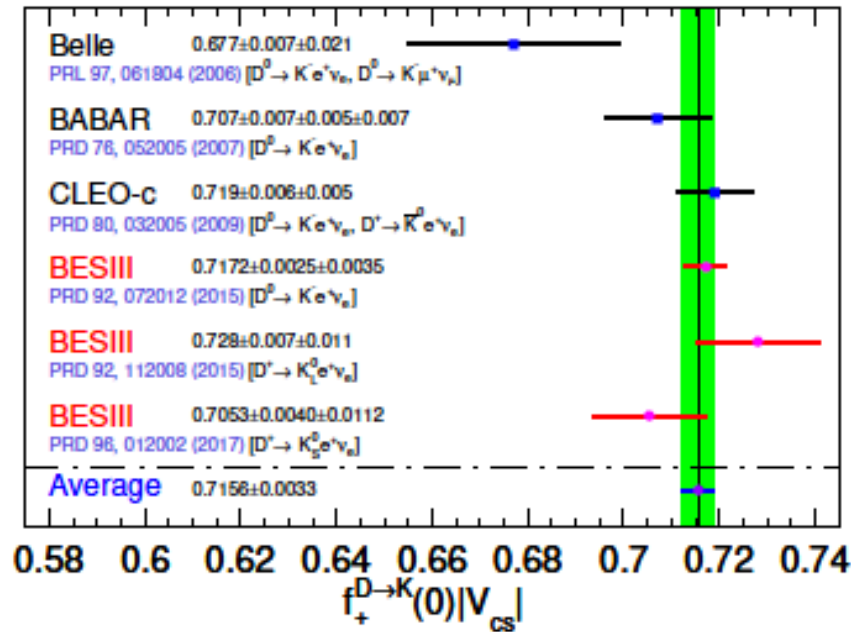
$$D^0 \rightarrow K^- e^+ \nu_e, \pi^- e^+ \nu_e$$

Phys. Rev. D **92**, 072012 (2015)



Determination of $|V_{cs(d)}|$

- Measurements of the normalization factors $f_+^{D \rightarrow K(\pi)}(0)|V_{cs(d)}|$



- Using the LQCD calculations [Phys. Rev. D 82, 114506 (2010); 84, 114505 (2011)]

$$\begin{aligned}
 f_+^{D \rightarrow K}(0) &= 0.747 \pm 0.019 \quad \Rightarrow \quad |V_{cs}| = 0.958 \pm 0.004_{\text{expt}} \pm 0.024_{\text{LQCD}} \\
 f_+^{D \rightarrow \pi}(0) &= 0.666 \pm 0.029 \quad \Rightarrow \quad |V_{cd}| = 0.214 \pm 0.002_{\text{expt}} \pm 0.009_{\text{LQCD}}
 \end{aligned}$$