

国家重点研发计划“粲强子衰变和标准模型的精确检验”项目启动会

课题四：标准模型稀有过程和新物理的寻找

汇报人： 尤郑昀

承担单位： 中山大学

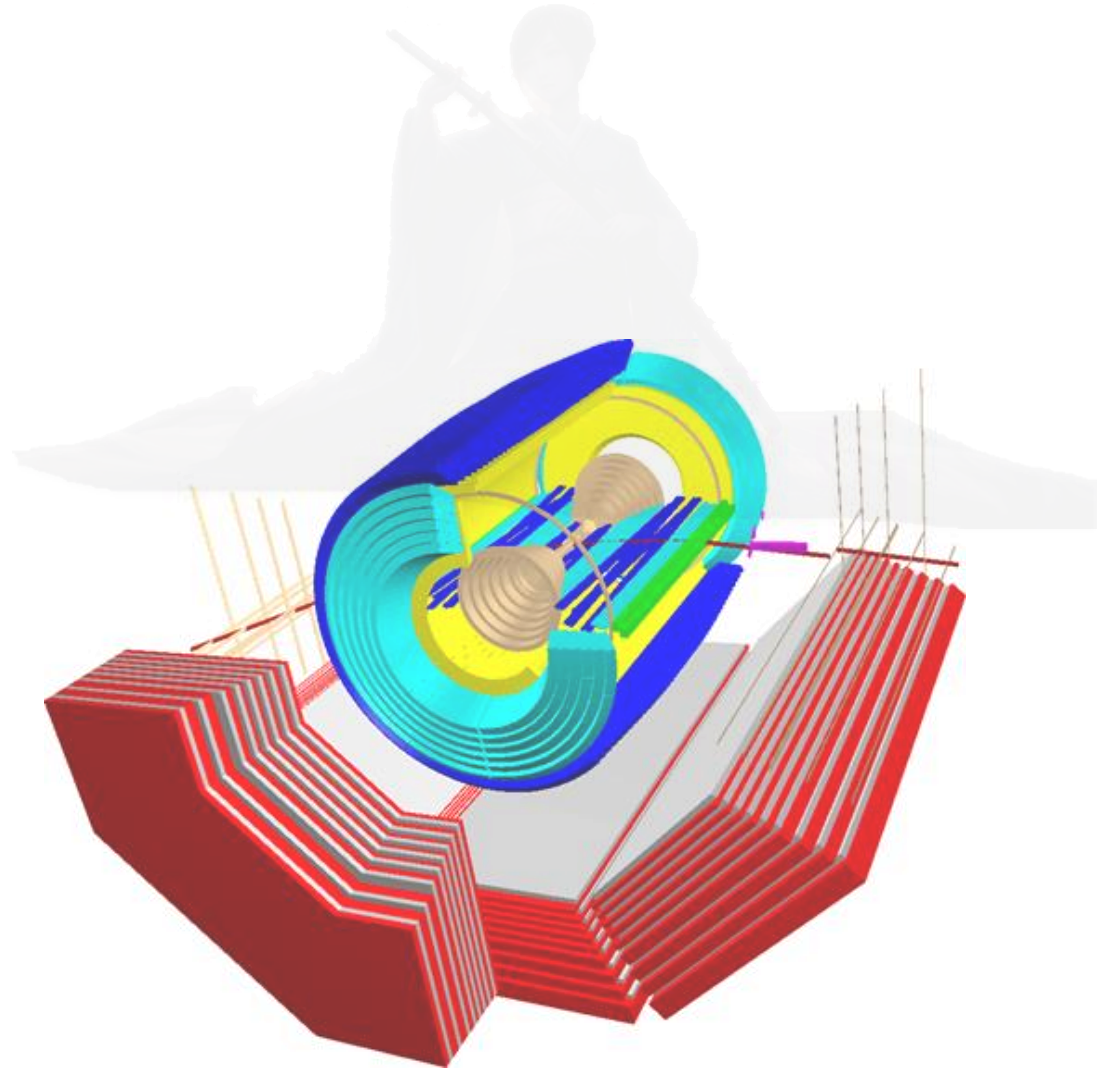
中国科学院高能物理研究所

南华大学

2024年5月24日 高能所 北京

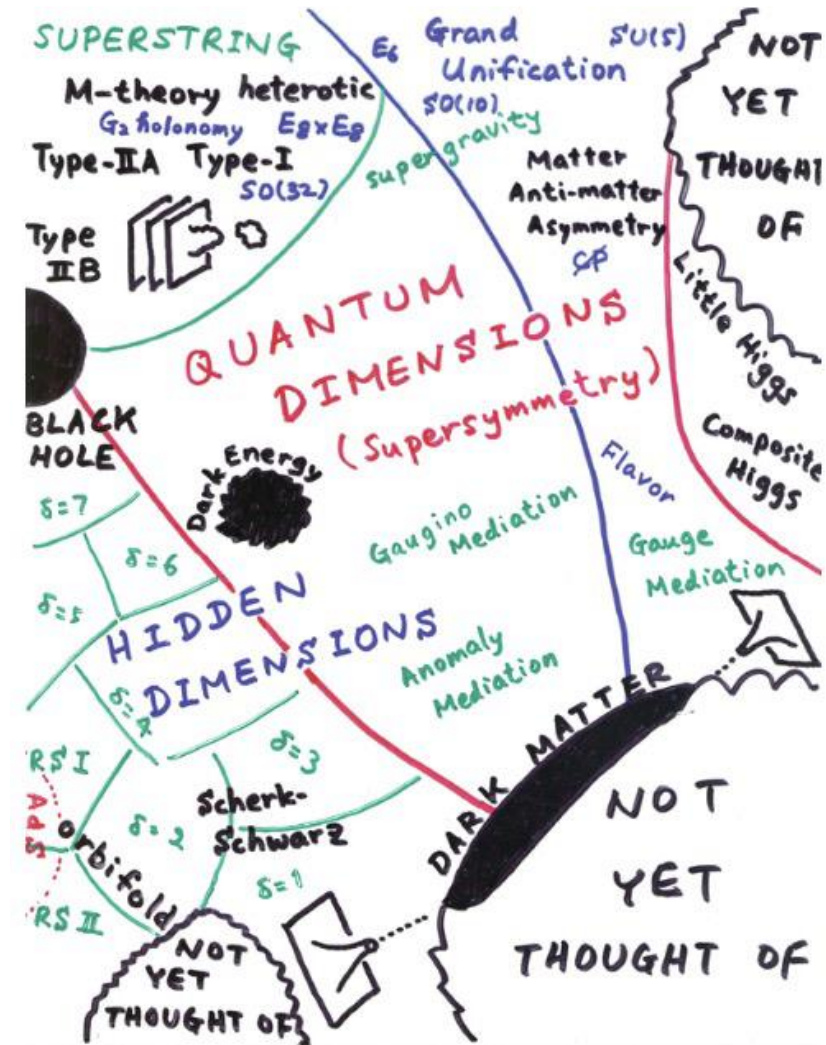
提纲

- 物理意义
- 工作基础
- 课题任务
- 研究团队
- 管理组织
- 总结



物理意义

- 粒子物理前沿重大问题
 - 中微子质量
 - 正反物质不对称性
 - 暗物质/暗能量
- 寻找新物理
 - 标准模型结构自身问题
 - 粒子物理与大尺度宇宙的关系
 - 标准模型与时空本性的关系



超出标准模型的新物理理论

如何寻找新物理

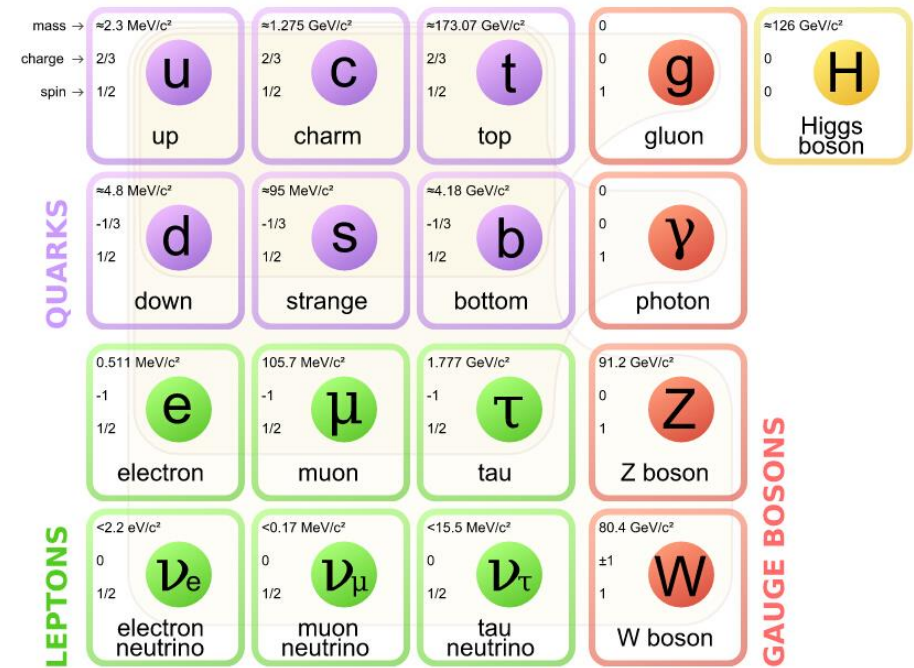
- 精确检验标准模型

- 标准模型占主导贡献过程
- 标准模型高度压低过程
- 标准模型禁戒过程

是否超出标准模型理论预期?

- 寻找新物理

- 标准模型稀有过程 (粲偶素弱衰变, FCNC)
- 标准模型禁戒过程 (轻子味破坏, 轻子/重子数破坏)
- 新的观测量 (超子电偶极矩)



标准模型

BESIII作为高亮度前沿实验, 可为精确检验标准模型和寻找新物理发挥重要作用

BESIII特色与优势

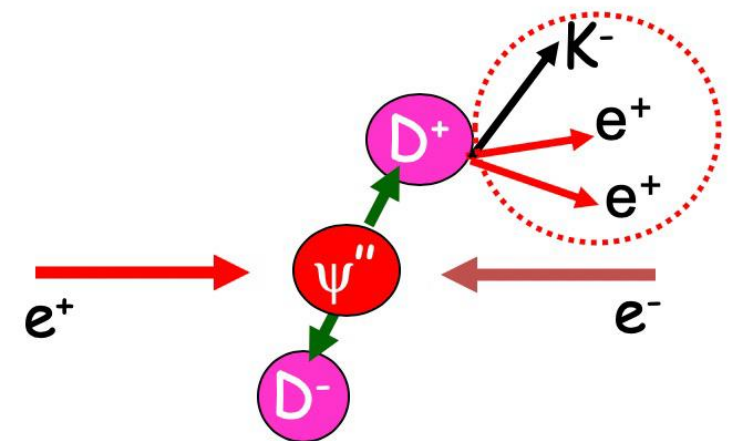
• 数据样本

- 正负电子对撞，本底干净
- 粲偶素阈值处产生截面大
- 数据统计量大，质量高

质心能量GeV	采集年份	亮度	产额
3.097	2009, 2012 2017-2019	$\sim 3.2 \text{ fb}^{-1}$	$10^{10} J/\psi$
3.686	2009, 2012 2021	$\sim 3.9 \text{ fb}^{-1}$	$2.7 \times 10^9 \psi'$
3.773	2010-2011 2022-2024	$\sim 20 \text{ fb}^{-1}$	$\sim 1.7 \times 10^7 D^0$ $\sim 1.2 \times 10^7 D^+$

• 分析方法

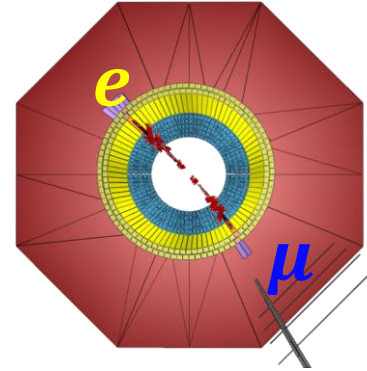
- 关联标记 ($D\bar{D}$, $\Lambda\bar{\Lambda}$ 对产生)
- 丢失能量/动量方法 (探测不可见的中微子、暗物质)
- 盲分析



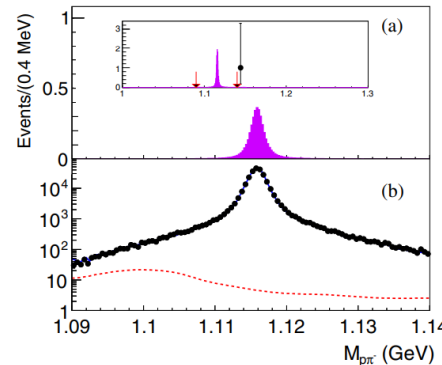
工作基础与前期成果

• 合作组期刊论文

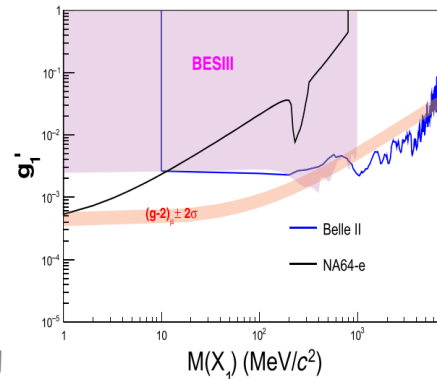
- 新物理组已发表论文**40**余篇
- 奇特态寻找15篇，稀有衰变25篇
- 按发表年份
 - <2015: 6
 - 2015-2018: 7
 - 2019-2020: 7
 - 2021-2022: 11
 - 2023-2024.5: 12



寻找带电轻子味道破坏
 $B(J/\psi \rightarrow e\mu) < 4.5 \times 10^{-9} @ 90\%CL$
Sci China-Phys. Mech. Astron.
66 221011 (2023)



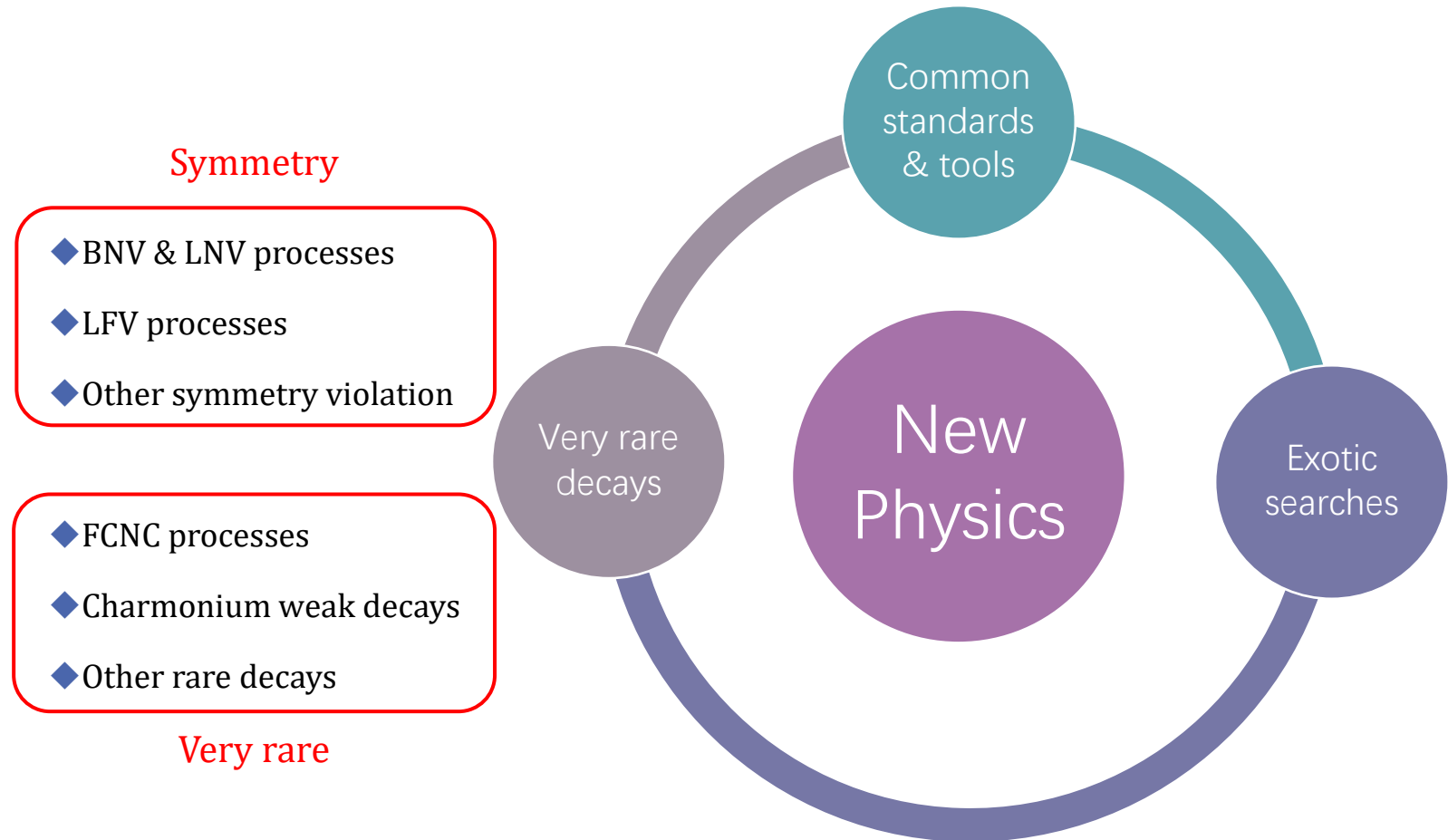
寻找 $\Lambda\bar{\Lambda}$ 重子数破坏振荡
 $\delta m_{\Lambda\bar{\Lambda}} < 3.8 \times 10^{-18} \text{ GeV} @ 90\%CL$
Phys. Rev. Lett.
131, 121801 (2023)



寻找暗物质粒子 $X_{0,1}$ 限制 $g - 2$
 $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^- + \text{invisible}$
Phys. Rev. D
109, L031102 (2024)

课题任务

- 课题研究内容
 - 标准模型稀有衰变的系统研究
 - 对称性破坏稀有过程
 - 超子电偶极矩测量
- 发表论文
 - 6~10 篇





任务1：标准模型稀有衰变的系统研究

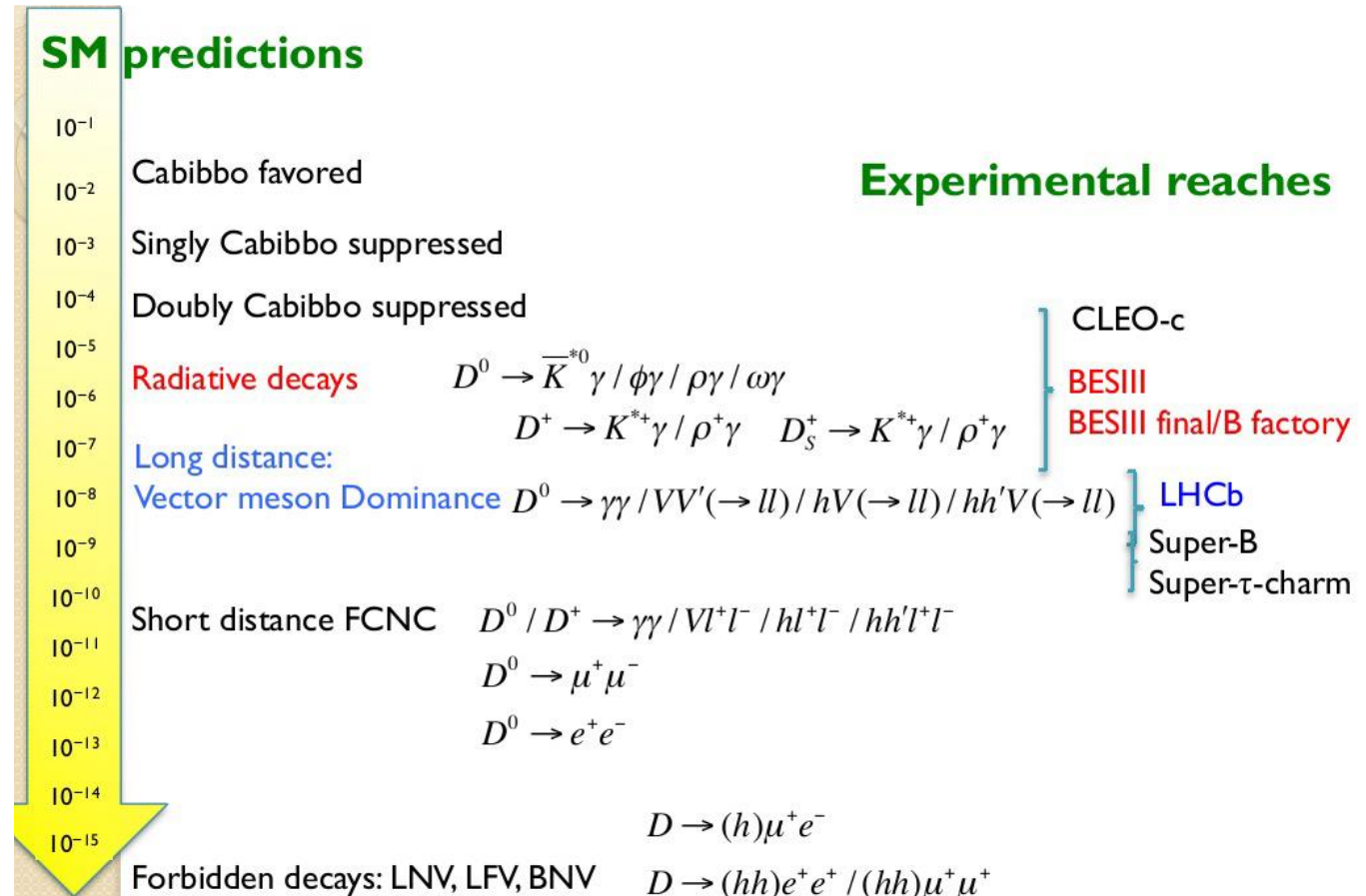
粲偶素弱衰变

- $J/\psi \rightarrow D_s^- \rho^+ / \pi^+$ (强子末态)
- $J/\psi \rightarrow D_s^- e^+ \nu_e / \mu^+ \nu_\mu$ (半轻末态)
- $\psi(3686)$ 类似衰变过程

粲强子FCNC过程

- $J/\psi \rightarrow D^0 e^+ e^- / \mu^+ \mu^-$
- $D^+ \rightarrow K^+ / \pi^+ e^+ e^-$

其他稀有过程 (电磁衰变等)



任务2：对称性破坏稀有过程

- 带电轻子味破坏

- $\psi(3686) \rightarrow e^+ \mu^- / \tau^-$ (10^{-8} 量级)

- 分支比上限达到 10^{-8} 量级

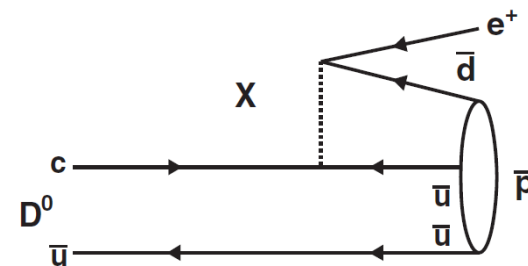
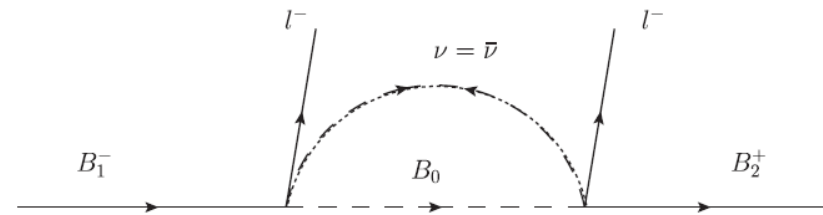
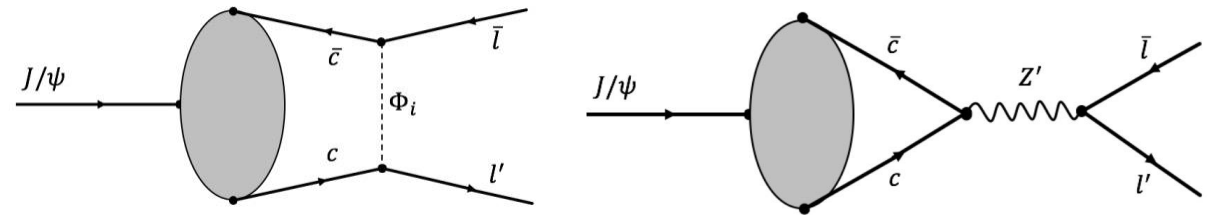
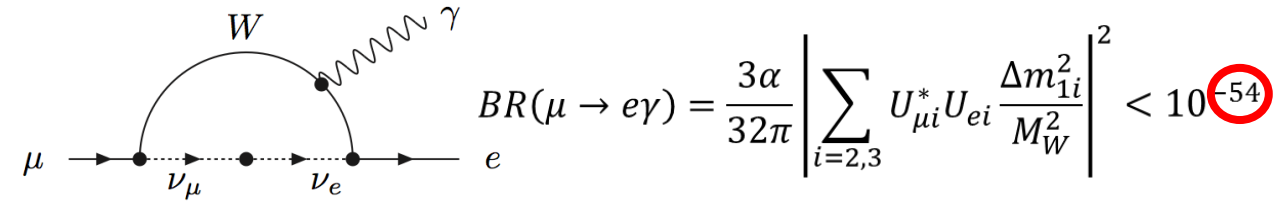
- 轻子数破坏

- $D^+ \rightarrow K^- / \pi^- e^+ e^+$

- 分支比上限达到 10^{-6} 量级

- 轻子数/重子数破坏

- $J/\psi \rightarrow p^+ / \Lambda_c e^-$, $D^0 \rightarrow \bar{p} e^+$



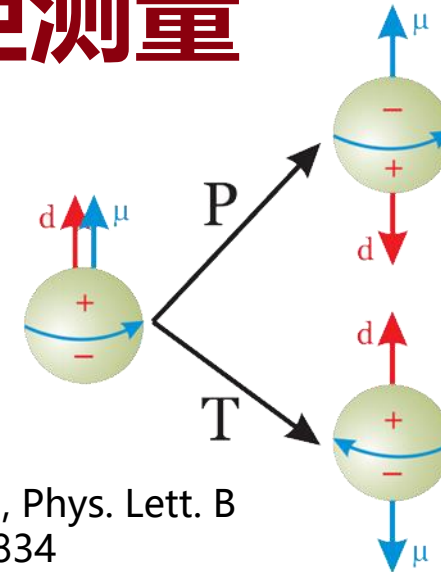
任务3：超子电偶极矩测量

- 非零的固有电偶极矩 (EDM)

- 现有介子CP破坏无法解释正反物质不对称性
- 非零的 EDM \Rightarrow 时间反演(T 宇称)破坏
- T 破坏 \Leftrightarrow CP 破坏

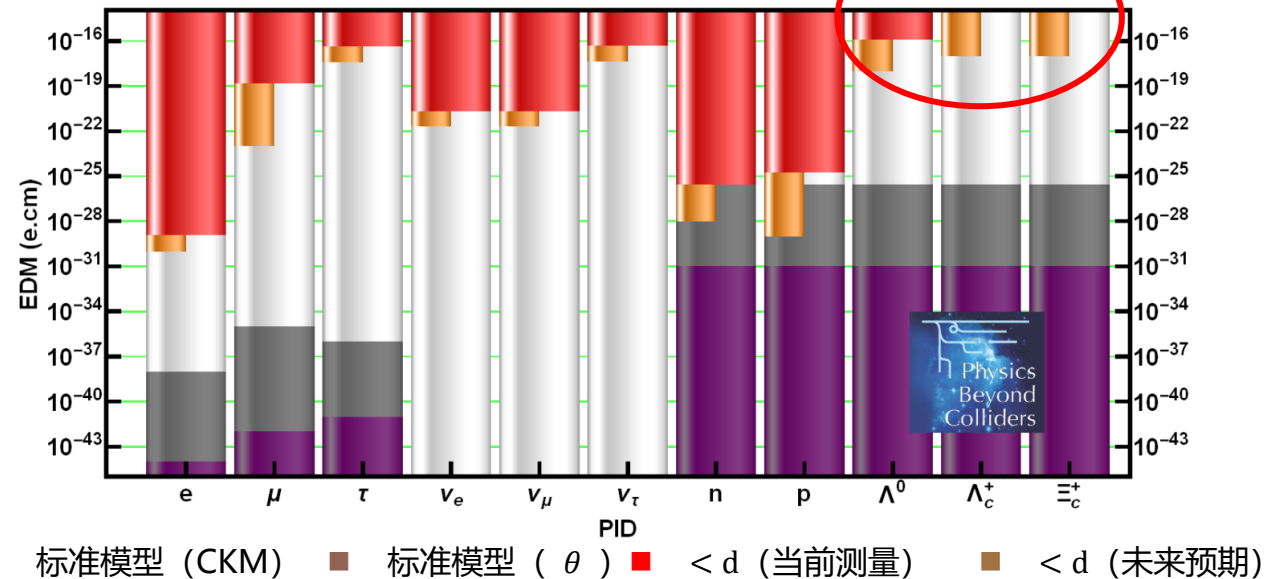
- 实验测量

- BESIII产生海量量子纠缠超子对
- $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$, 及 Σ, Ξ, Ω
- 预计 Λ EDM达到 $10^{-18} e \cdot cm$ 量级



μ : 磁偶极矩
d: 电偶极矩

X.G. He, J. P. Ma, Phys. Lett. B
839 (2023) 137834





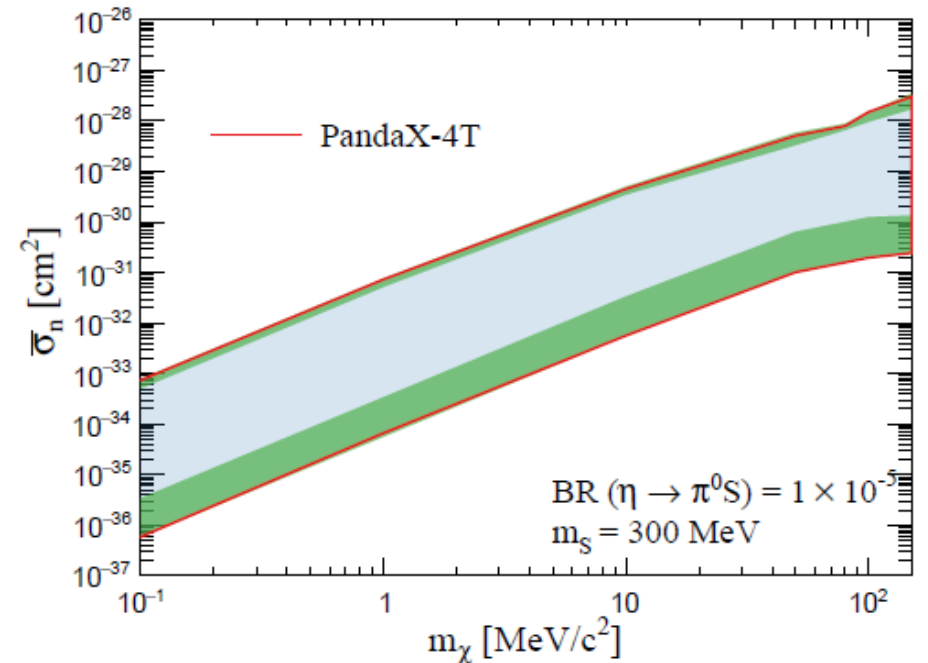
课题任务以外的新探索

• 暗物质寻找

- 对撞机上寻找暗物质粒子的优势
 - 四动量守恒，大质量粒子可直接产生
- 通过丢失动量的方法在寻找暗物质
- 通过末态粒子重建不变质量寻找反常

• BESIII实验优势


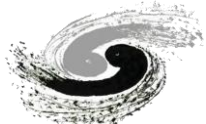

- 高统计量的粲偶素、粲强子及中间态粒子
- 不可见衰变、暗物质耦合更精确的限制



PandaX Collaboration,
Search for Light Dark Matter from the Atmosphere
in PandaX-4T
Phys. Rev. Lett. 131, 041001 (2023)



研究团队

- 中山大学 
 - 尤郑昀 (新物理组协调人)、张晋 团队
 - 研究生: 袁朝阳、李静舒、黄凯旋、詹永华、李志军、宋天资、曾宇杰、廖明华、李绪泽、廖立波、方进
- 中国科学院高能物理研究所 
 - 李海波、傅成栋、张瑶、宫明 团队
 - 研究生: 谢凯吉, 季旺, 马呈龙, 妙晗
- 南华大学 
 - 张宇 (新物理组协调人) 团队
 - 研究生: 史书宇, 兰强, 刘坤

共计: 教职工 7 人
研究生约 20 人



管理组织

- 按计划时间表
 - 确保年度与中期考核目标
- 定期召开课题交流会
 - 每月1次，各单位讨论课题进展
- BESIII新物理研讨会
 - 每年不少于1次
 - 邀请理论家深入讨论交流

课题任务		时间节点											
		2023	2024		2025		2026		2027		2028		
		12	1-6	7-12	1-6	7-12	1-6	7-12	1-6	7-12	1-6	7-11	
课题四： 标准模型稀有过程和新物理的寻找	粲偶素弱衰变过程												
	强子未态衰变												
	半轻子未态衰变												
	轻子味道破坏过程												
	轻子数破坏过程												
	超子电偶极矩测量												
味道改变中性流过程													

- 2020.10 南开大学
- 2021.11 山东大学
- 2023.11 武汉大学
- 2024.8 国科大杭高院



总结

- 在陶粲能区精确检验标准模型和寻找新物理，具有重要的科学意义
- 利用BESIII实验目前采集的高统计量粲偶素、粲强子数据，进行
 - 标准模型稀有衰变的系统研究
 - 对称性破坏稀有过程测量
 - 超子电偶极矩测量
 - 以及其他可能的新的物理探索
- 课题组工作基础良好，经验丰富，人力充足，有信心完成课题任务

请各位专家指导!



Backup