

STCF 本底研究

裴宇鹏^[1], 方竹君^[1], 石煌超^[1,2]

[1] 中国科学技术大学

[2] 浙江大学

代表 STCF-本底研究组

2023.12.15 杭州

2023年粒子对撞机束流本底研讨会

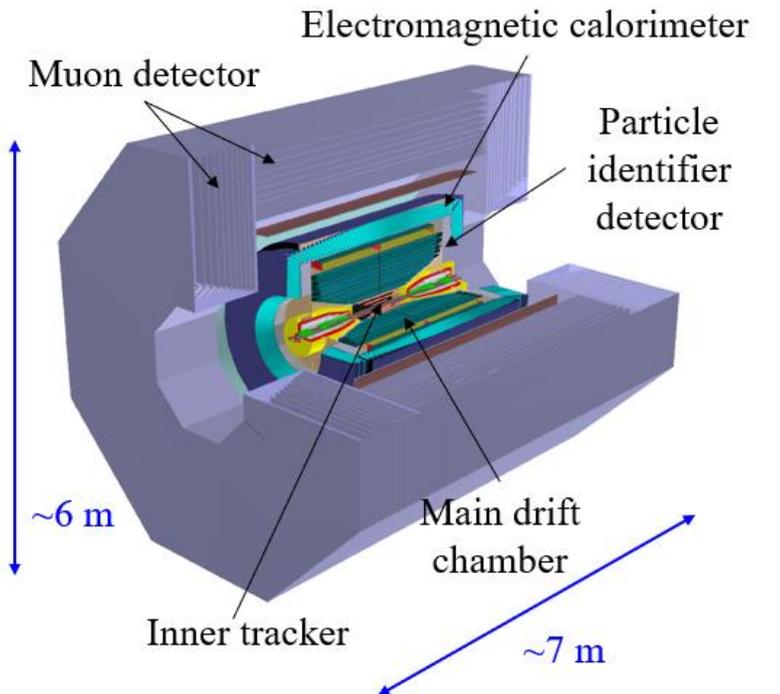
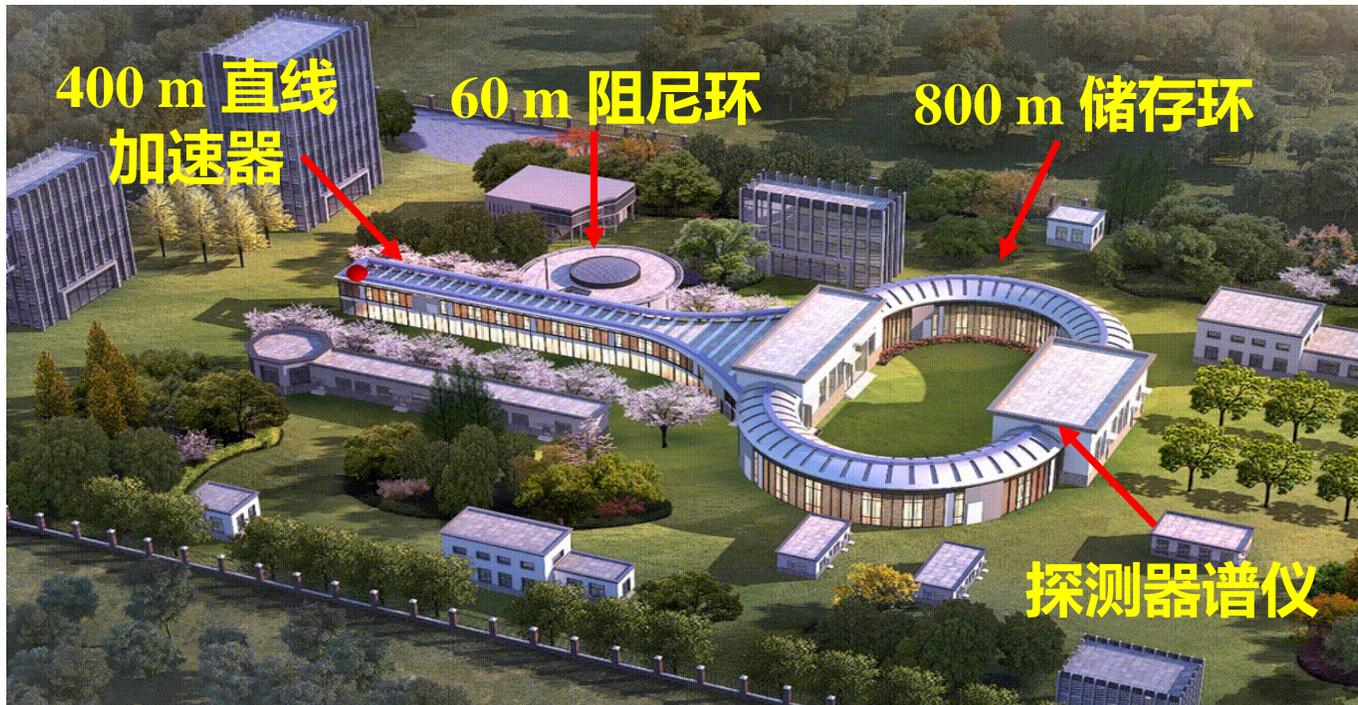
目录

- STCF 简介
- STCF 本底模拟
- 本底混合算法
- 总结

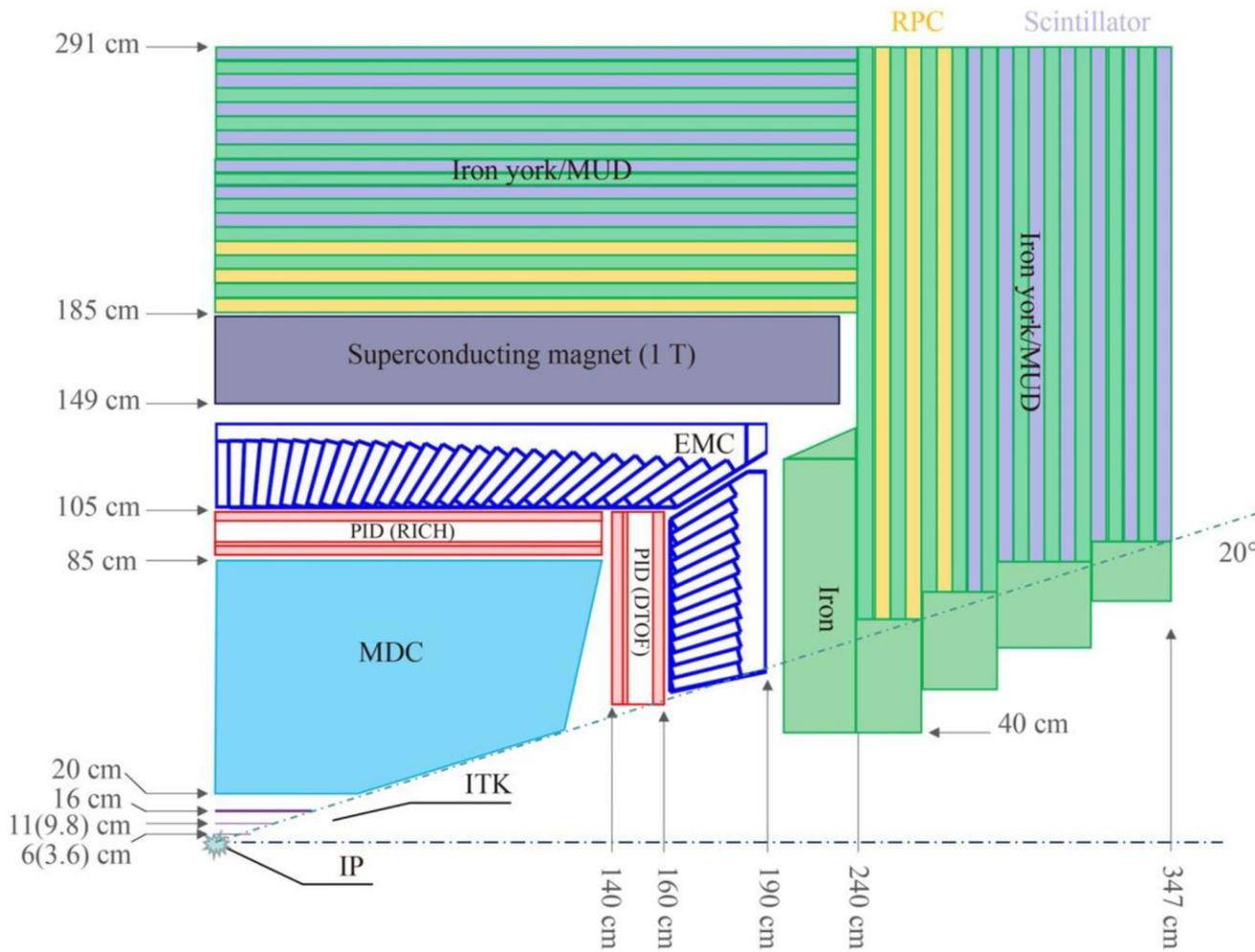
Super Tau-Charm Facility (STCF)

STCF 关键参数:

- 质心能量: $2-7\text{GeV}$
- 峰值亮度: $> 0.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ @ 4GeV
- 未来有进一步提升亮度以及加入极化束流的潜能



STCF 探测器



Inner Tracker

Cylindrical μ RWELL $r=60, 110, 160$ mm
 Silicon(CMOS MAPS) $r=36, 98, 160$ mm

Main Drift Chamber

Cylindrical drift chamber
 $r= 200.0-827.3$ mm
 60%He+40%C₃H₈

PID

RICH with MPGD, Liquid C₆F₁₄
 DIRC-like TOF, synthetic fused silica

Electromagnetic Calorimeter

pCsI+APD
 crystals: 6732 at barrel, 1938 at endcaps

Muon Counter

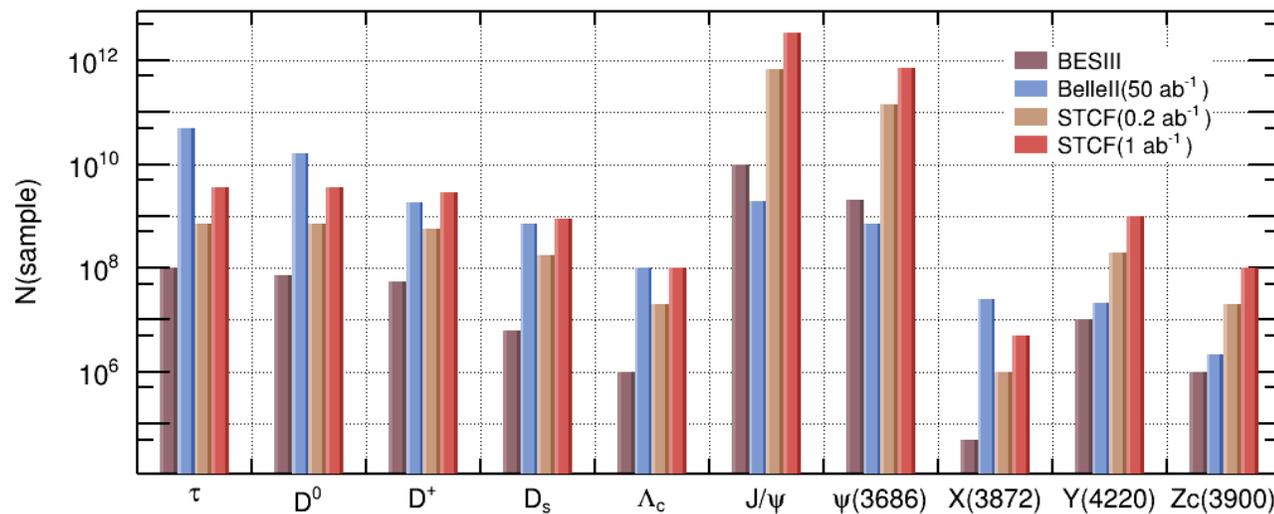
3 RPC + 7 Plastic scintillator

STCF 预期取数量: $> 1\text{ab}^{-1}/\text{year}$

Table 1: The expected numbers of events per year at different energy points at STCF

CME (GeV)	Lumi (ab^{-1})	samples	$\sigma(\text{nb})$	No. of Events	remark
3.097	1	J/ψ	3400	3.4×10^{12}	J/ψ 10^{12}
3.670	1	$\tau^+\tau^-$	2.4	2.4×10^9	
3.686	1	$\psi(3686)$	640	6.4×10^{11}	
		$\tau^+\tau^-$	2.5	2.5×10^9	
3.770	1	$\psi(3686) \rightarrow \tau^+\tau^-$		2.0×10^9	D pair 10^9
		$D^0\bar{D}^0$	3.6	3.6×10^9	
		$D^+\bar{D}^-$	2.8	2.8×10^9	
		$D^0\bar{D}^0$		7.9×10^8	
		$D^+\bar{D}^-$		5.5×10^8	
4.040	1	$\tau^+\tau^-$	2.9	2.9×10^9	Single Tag Single Tag
		$\gamma D^0\bar{D}^0$	0.40	4.0×10^6	
		$\pi^0 D^0\bar{D}^0$	0.40	4.0×10^6	
		$D_s^+ D_s^-$	0.20	2.0×10^8	
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^9	
4.180	1	$D_s^{*+} D_s^{*-} + \text{c.c.}$	0.90	9.0×10^8	Single Tag
		$D_s^{*+} D_s^{*-} + \text{c.c.}$		1.3×10^8	
4.230	1	$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^9	$\tau^+\tau^- 10^9$
		$\gamma X(3872)$			
4.360	1	$J/\psi \pi^+ \pi^-$	0.085	8.5×10^7	
		$\tau^+\tau^-$	3.6	3.6×10^9	
4.420	1	$\psi(3686) \pi^+ \pi^-$	0.040	4.0×10^7	
		$\tau^+\tau^-$	3.5	3.5×10^9	
4.630	1	$\psi(3686) \pi^+ \pi^-$	0.033	3.3×10^7	Single Tag
		$\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$	0.56	5.6×10^8	
		$\Lambda_c \bar{\Lambda}_c$		6.4×10^7	
		$\tau^+\tau^-$	3.4	3.4×10^9	
4.0-7.0 > 5	3 2-7	300 points scan with 10 MeV step, $1\text{fb}^{-1}/\text{point}$ several ab^{-1} high energy data, details dependent on scan results			

超级粒子工厂

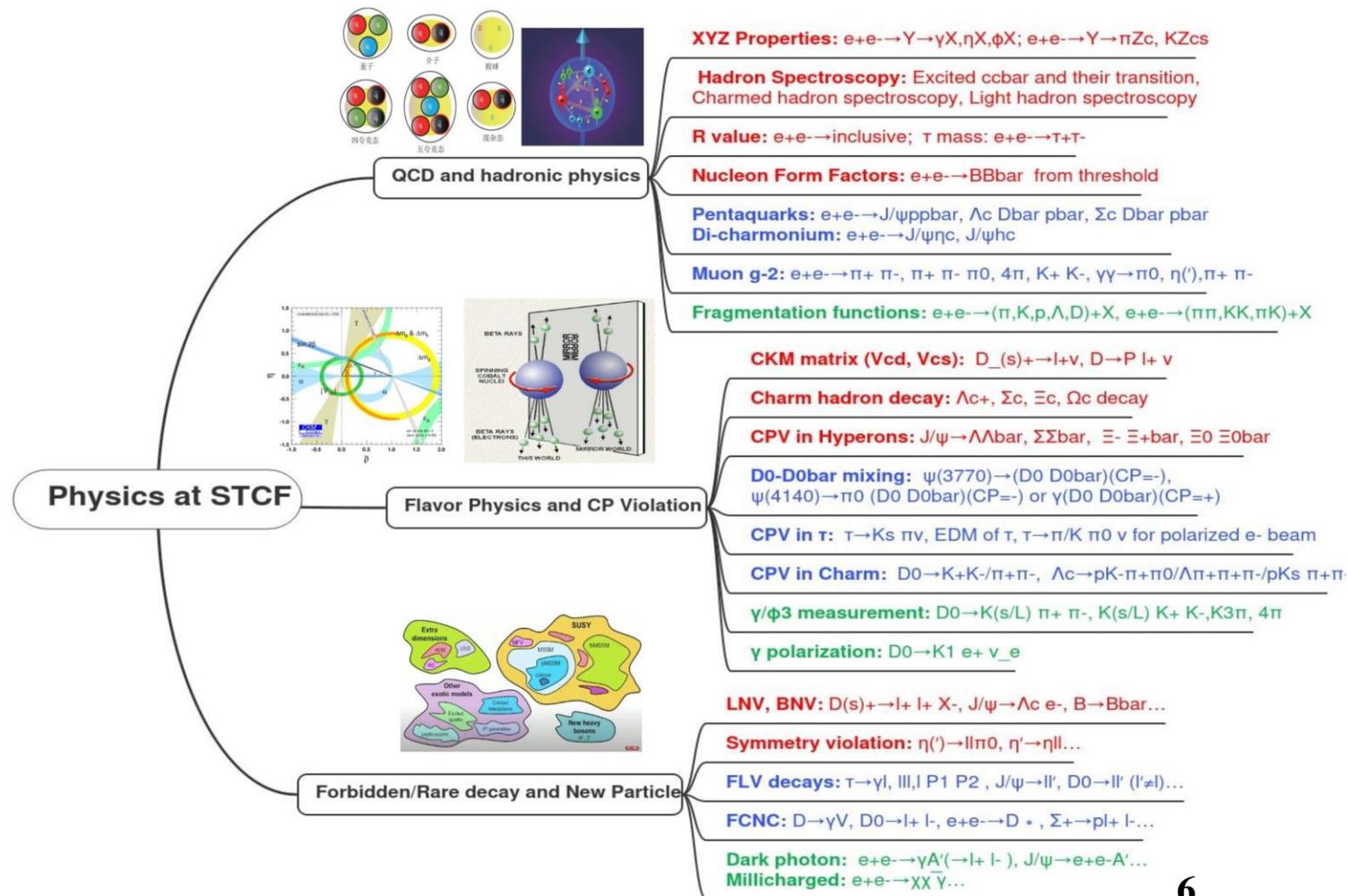


STCF 物理目标

M. Achasov, et al., [STCF conceptual design report \(Volume 1\): Physics & detector](#), *Front. Phys.* 19(1), 14701 (2024)



CDR Published



STCF 加速器设计与挑战

$$\mathcal{L}^* = \frac{N_1 N_2 f N_{bunch}}{2\pi \Sigma_x^* \Sigma_y^*} \Rightarrow L = \frac{\gamma n_b I_b}{2e r_e \beta_y^*} \xi_y H$$

Relativistic energy γ
 Bunch number & intensity $n_b I_b$
 Hourglass effect $\xi_y H$
 Vertical betatron function β_y^*
 Beam-beam parameter ξ_y

Parameters	Value	Unit
Optimize energy E	2.0	GeV
Circumference Π	617.06	m
f_{RF}	497.5	MHz
2θ	60	mrad
ϵ_y/ϵ_x	0.5	%
I	2.0	A
V_{RF}	3.0	MV
σ_s (w.o/w IBS)	7.3/10	mm
ϵ_x (w.o/w IBS)	2.84/4.29	nm
L_{HG}	$\geq 0.5 \times 10^{35}$	$\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
ξ_x/ξ_y	0.004/0.10	-
$\tau_{Touschek}$	180~200	s

提高亮度:

- 压缩对撞点 β_y^*
- 优化束-束相互作用参数 ξ_y
- 提高流强 ($n_b I_b$)
- 保障束流寿命和束流稳定性

本底挑战



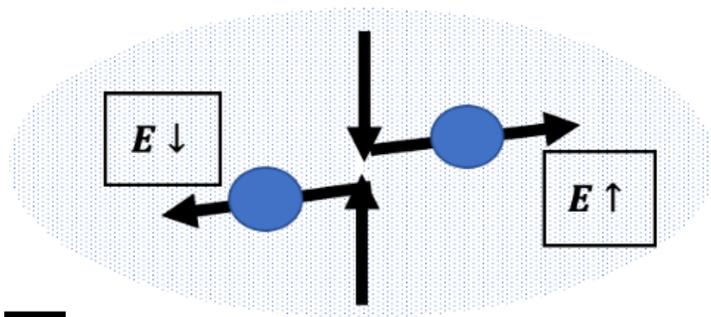
较高的本底水平 (相较于BEPC II):

- Touschek: $\times 316$
- Beam-Gas: $\times 2.2$
- Lumi: $\times 50$

STCF 本底简介

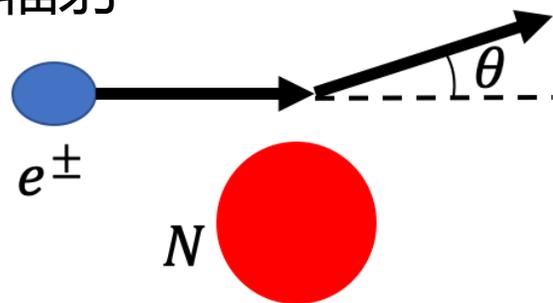
Touschek 效应

- 束团粒子横向震荡过程中的弹性散射
- 反应率 $\propto N_{\text{bunch}}$, beam size^{-1} , energy^{-3}



束流-气体相互作用

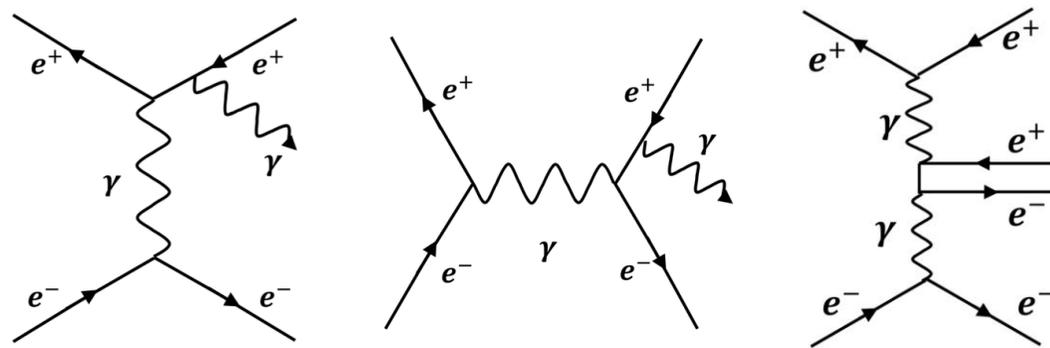
- 束团粒子与残余气体分子的作用
- 弹性库伦散射, 韧致辐射
- 反应率 $\propto \text{pressure}$



亮度相关本底

- 产生于对撞点
- Bhabha辐射 $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$
- 双光子过程

$$e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma^*\gamma^* \rightarrow e^+e^-e^+e^-$$



其他本底 (目前未被模拟)

- 注入本底
- 同步辐射

目录

- STCF 简介
- STCF 本底模拟
- 本底混合算法
- 总结

STCF 本底模拟框架

产生子:

- 束流相关本底: 根据截面**抽样**
- 亮度相关本底: 现有产生子

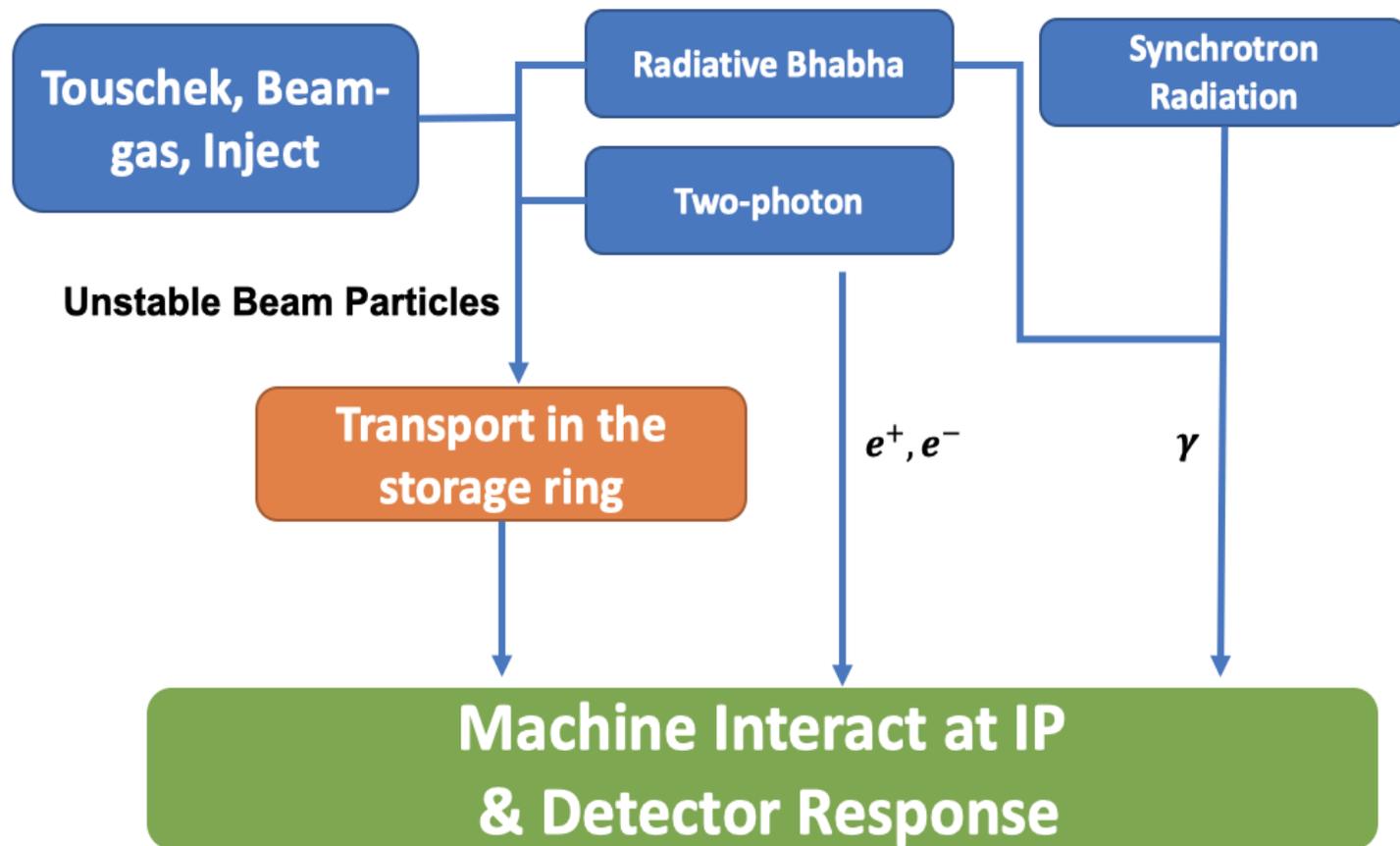
模拟部分		模拟工具
产生子	Touschek 效应	自抽样产生
	束-气库伦散射	自抽样产生
	束-气韧致辐射	自抽样产生
	辐射 Bhabha	BBBrem+Babayaga
	双光子过程	DIAG 36/Guinea-pig
	注入与同步辐射	-

加速器传输:

- KEK开发的**SAD**软件工具

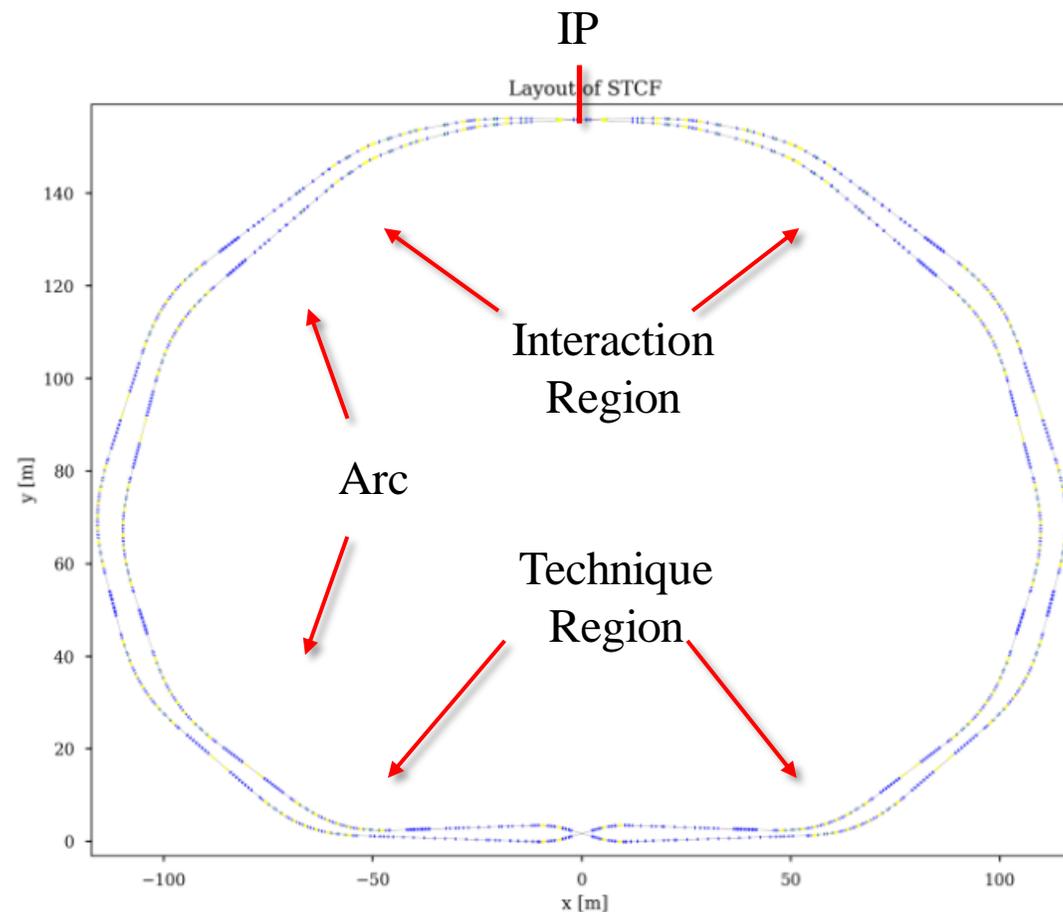
对撞区物质与探测器响应:

- Geant4



STCF Lattice 与束流本底版本迭代

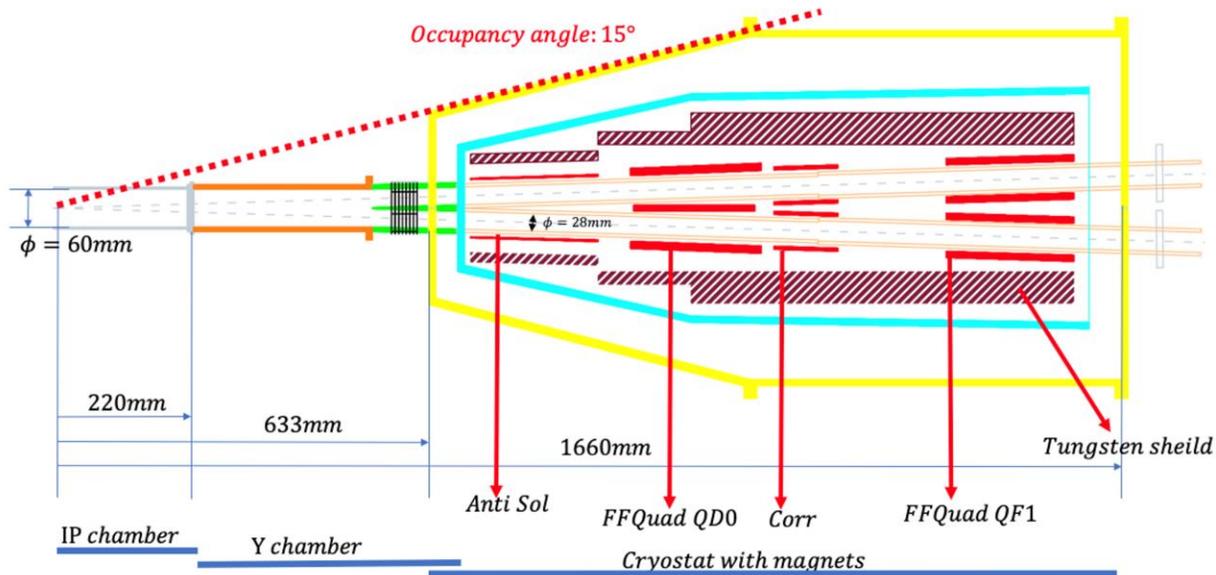
- 以Lattice设计定义束流本地版本
- 几个重要的版本：
 - **V2**: CDR版本, 作为过渡版本
 - V7: current lattice
 - **V7C3**: 增加 collimator



STCF MDI 设计

➤ 束流管

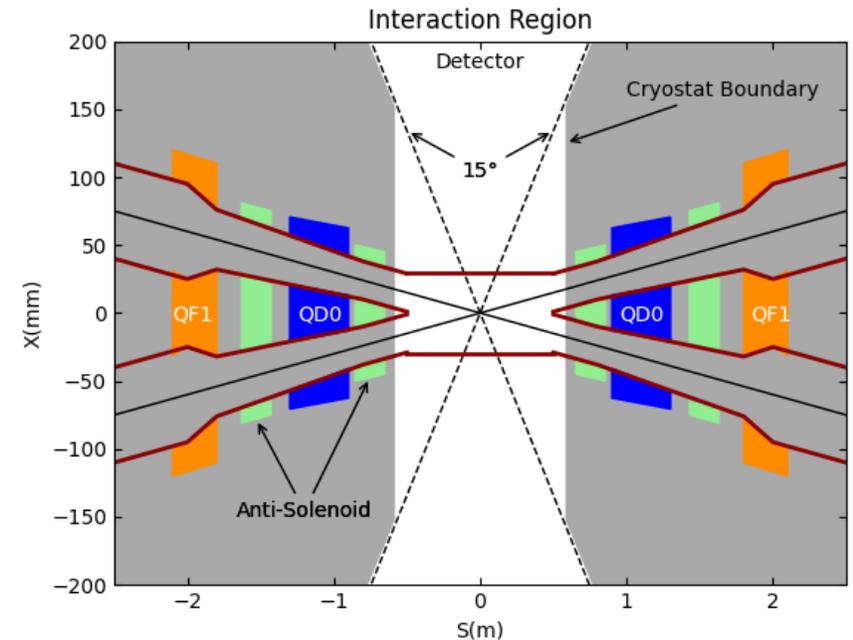
- 铍管: $D=60\text{ mm}$
- Y型管: $z=0.5\text{ m}$, cross angle= 60 mrad
- 铜管: $D=28\text{ mm}$, limited by SCM



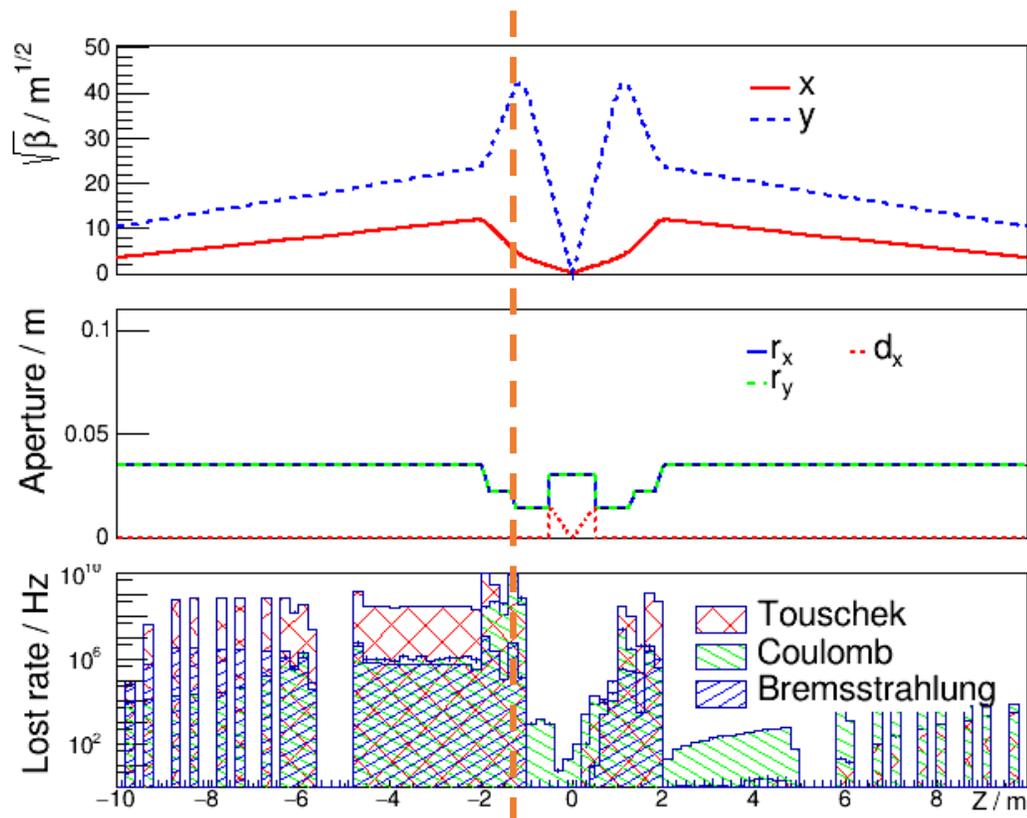
➤ 磁铁

- QD0: $z=0.9\text{ m}$
- QF1: $z=1.4\text{ m}$

➤ MDI空间限制: 15 degree (后续会减小)



粒子泄露模拟 | SAD输出

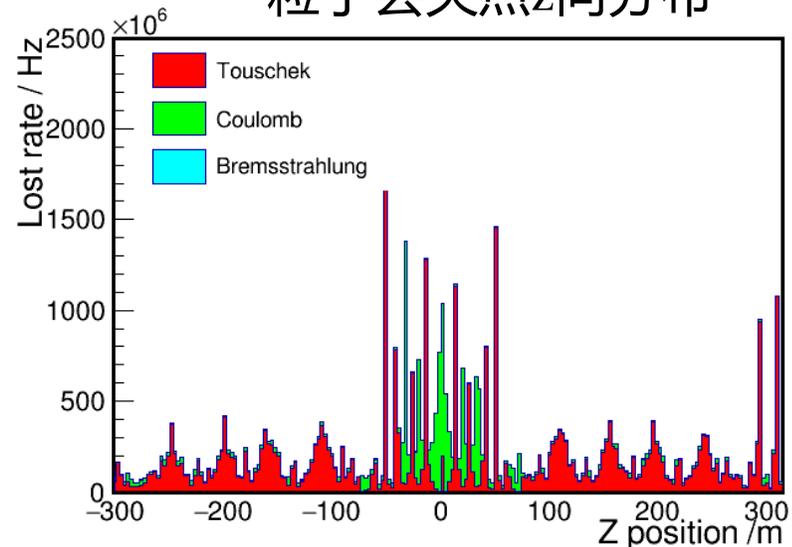


Lost rate in IR

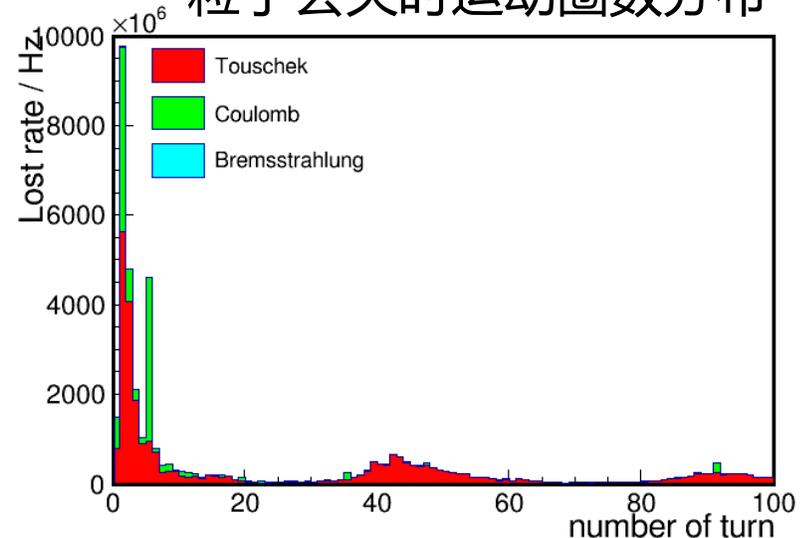
Touschek: lost at **min R**

Beam-gas: lost at **min R** and **max β_y**

粒子丢失点z向分布



粒子丢失时运动圈数分布

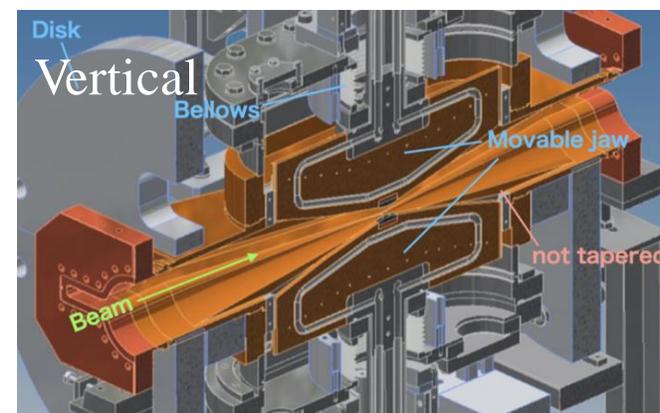
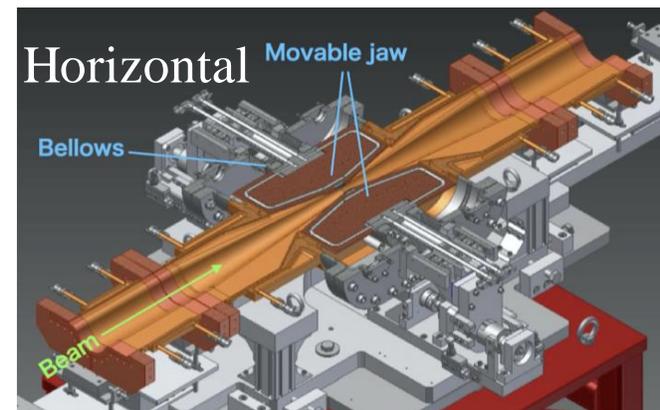


STCF 准直器 (Collimator)

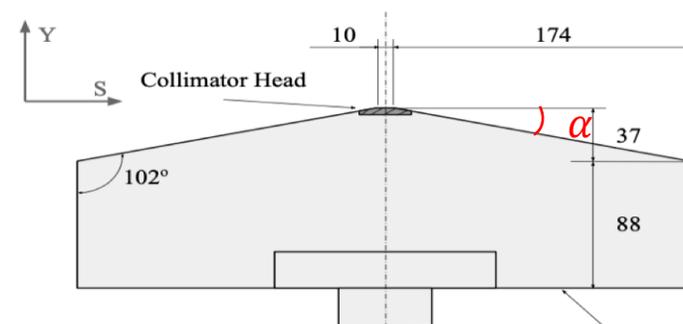
关于Collimator:

- 位于**束流管内**，利用较小孔径刮去偏离轨道的粒子
- 包含**水平**和**垂直**
- **梯形**结构降低阻抗
- 可沿孔径和束流移动

Collimator设置于上游beta函数较大且长度>1.5m的漂移段



Name	Orientation	Limitation		Design	
		Rmax/mm	Zmid/m	R/mm	
CoH01	Hor.	78.63	-45.0	15	
CoH02	Hor.	78.70	-56.0	15	
CoV01	Ver.	9.40	-19.2	5	
CoV02	Ver.	9.32	-31.0	5	

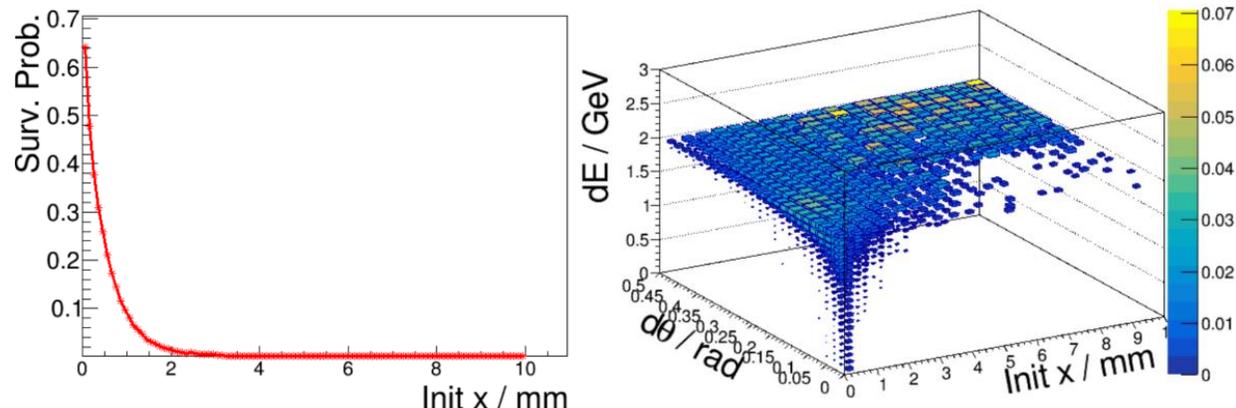


SuperKEKB collimator structure

Collimator 的优化

Tip-scattering 算法:

- 模拟部分粒子可以穿过 collimator, 并继续在储存环中运动的情况
- Geant4中建模collimator; 模拟 e^\pm 通过collimator的存活率及分布; Geant4模拟的结果输入SAD



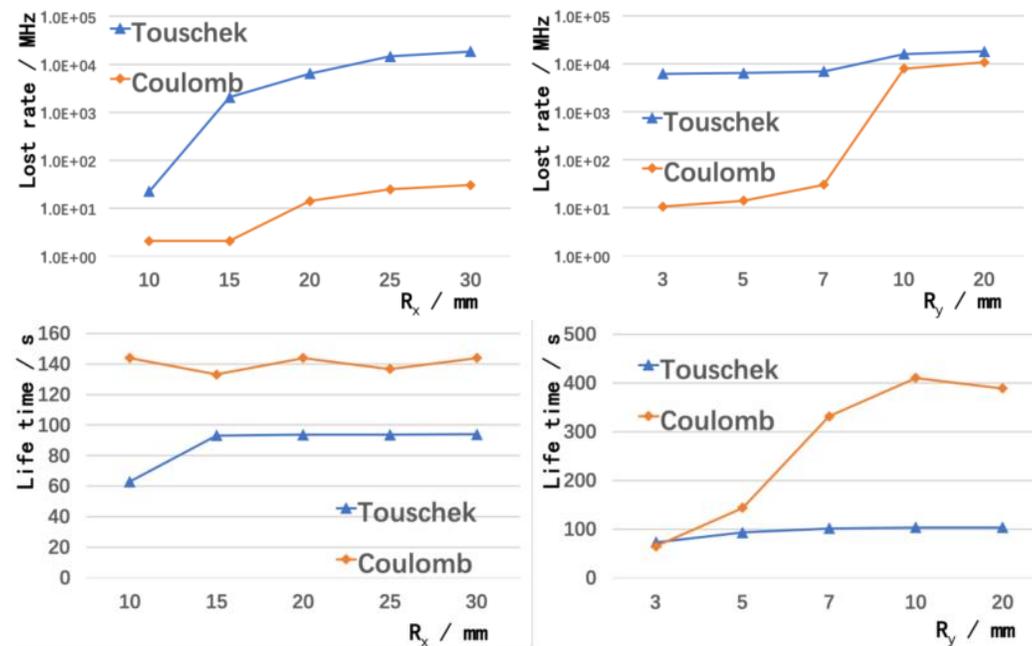
本底粒子经过 collimator 散射后的生存概率; 能损和散射角随初始位置的分布

截断方法会低估束-气本底

模拟算法	Touschek 上游	Touschek 下游	束-气上游	束-气下游
SAD 硬截断 (trun.)	6.42×10^9	6.24×10^8	1.41×10^7	3.83×10^6
Tip scattering (tip.)	6.38×10^9	6.12×10^8	1.51×10^7	4.27×10^6
比值 (tip./trun.)	0.99	0.98	1.07	1.11

Collimator 孔径的优化:

- 未考虑 TMCI 效应
- 孔径设计需均衡粒子丢失率和束流寿命
- Touschek 对 R_x 变换更敏感; 束-气对 R_y 更敏感



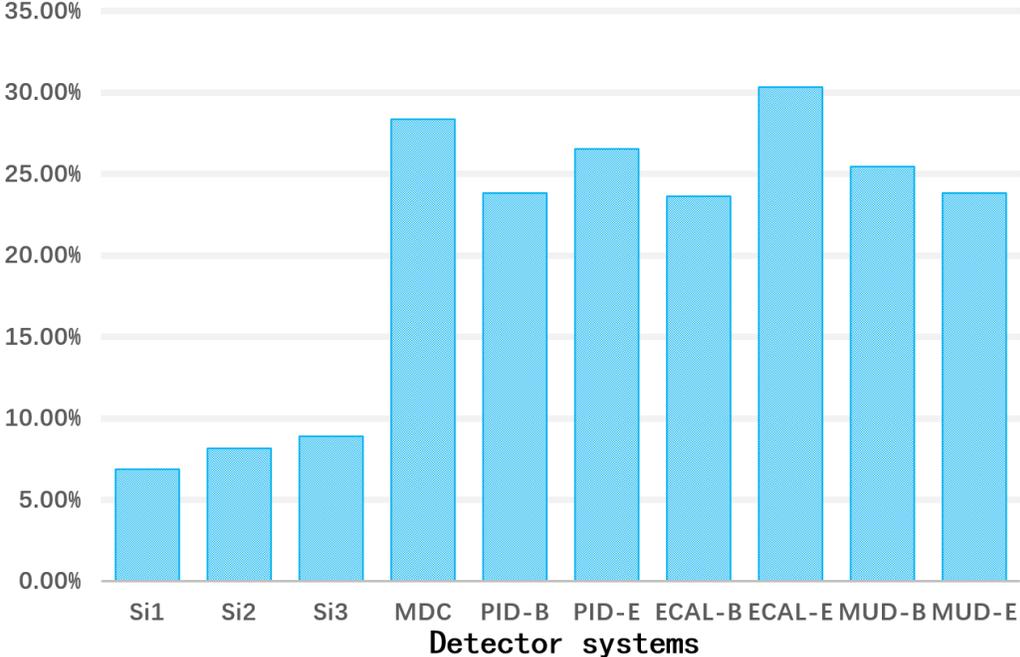
优化孔径可有效压低Touschek本底(~60%)

	Touschek 上游	Touschek 下游	束-气上游	束-气下游
无 collimator (Hz)	3.47×10^{10}	2.08×10^9	1.08×10^{10}	1.27×10^8
初始 collimator (Hz)	6.38×10^9	6.12×10^8	1.51×10^7	4.27×10^6
优化 collimator (Hz)	2.19×10^9	1.17×10^8	1.06×10^7	4.15×10^6

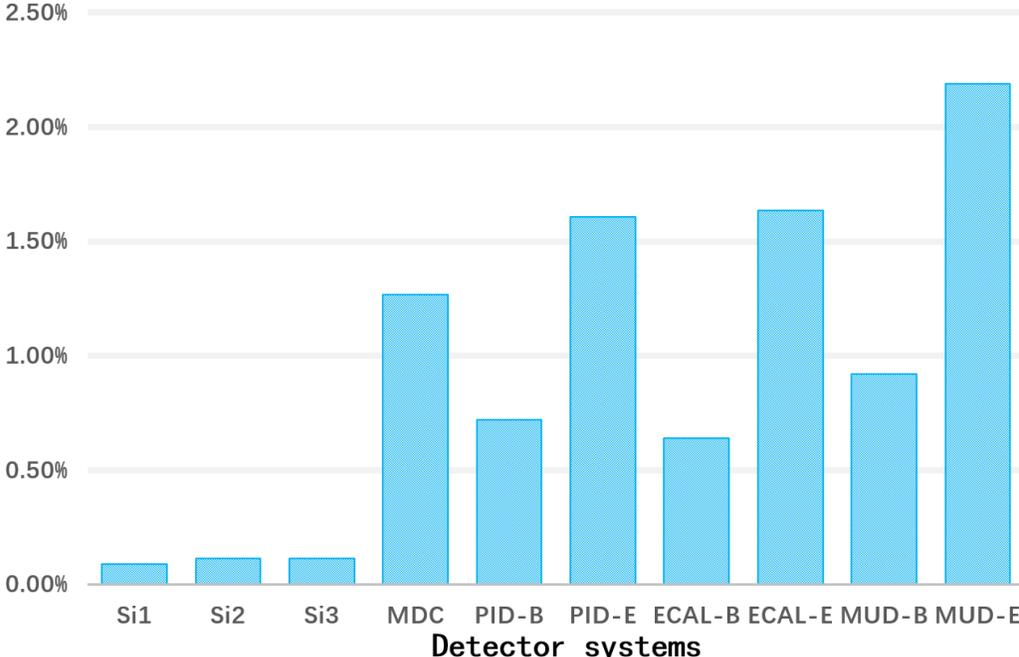
增加准直器后的效果

➤ 综合所有优化，增设**Collimator**可以有效压低本底

V7C3/V7, for Touschek background



V7C3/V7, for beam-gas background



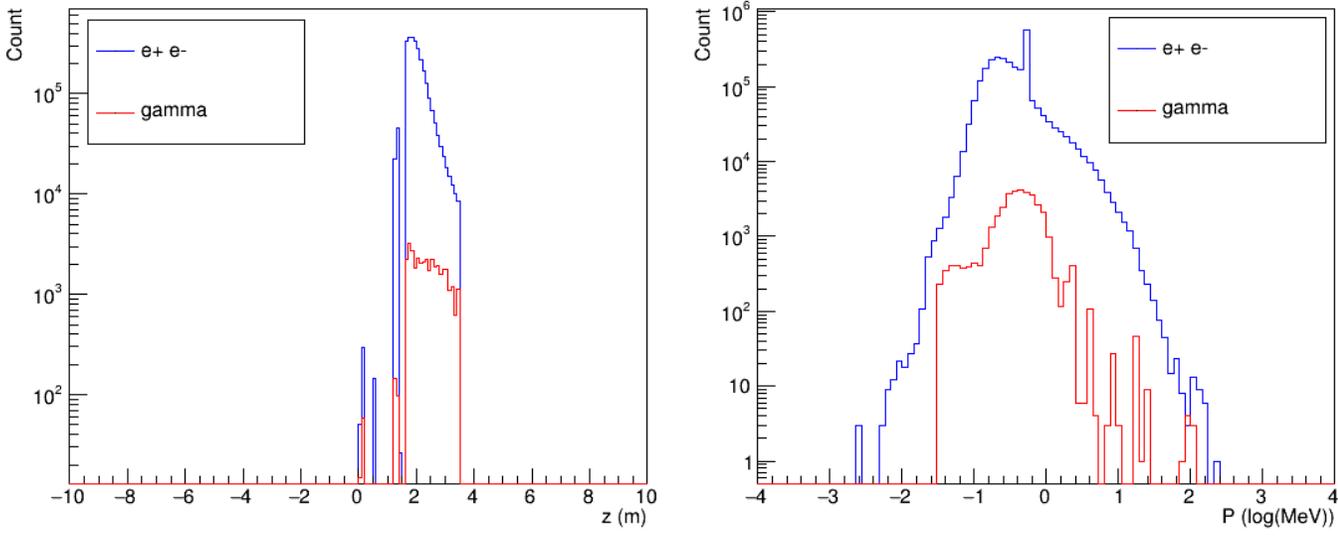
	Touschek 上游	Touschek 下游	束-气上游	束-气下游
无Collimator (Hz)	3.47×10^{10}	2.08×10^9	1.08×10^{10}	1.27×10^8
加Collimator (Hz)	2.19×10^9	1.17×10^8	1.06×10^7	4.15×10^6
比值 (后/前) (%)	6.3	5.63	0.11	3.27

V7C3 仍需要额外屏蔽

- V7C3版本底仍高于V2，需要在MDI区域设置**额外屏蔽层**
- **Touschek**占主导，进入探测器的粒子种类主要为正负电子和光子

	V7/V2	V7C3/V2	V7C3 中 Touschek占比
ITK1	102.28	1.20	76%
ITK2	93.24	1.46	91%
ITK3	101.58	1.77	87%
MDC	166.05	9.77	94%
PID-B	130.46	6.71	92%
PID-E	156.46	14.21	96%
ECAL-B	123.51	7.69	93%
ECAL-E	126.18	7.28	92%
MUC-B-RPC	62.29	5.07	85%
MUC-B-PS	56.38	3.64	81%
MUC-E-RPC	43.47	4.46	82%
MUC-B-PS	49.81	3.06	75%

进入20°范围内的粒子动量与位置分布

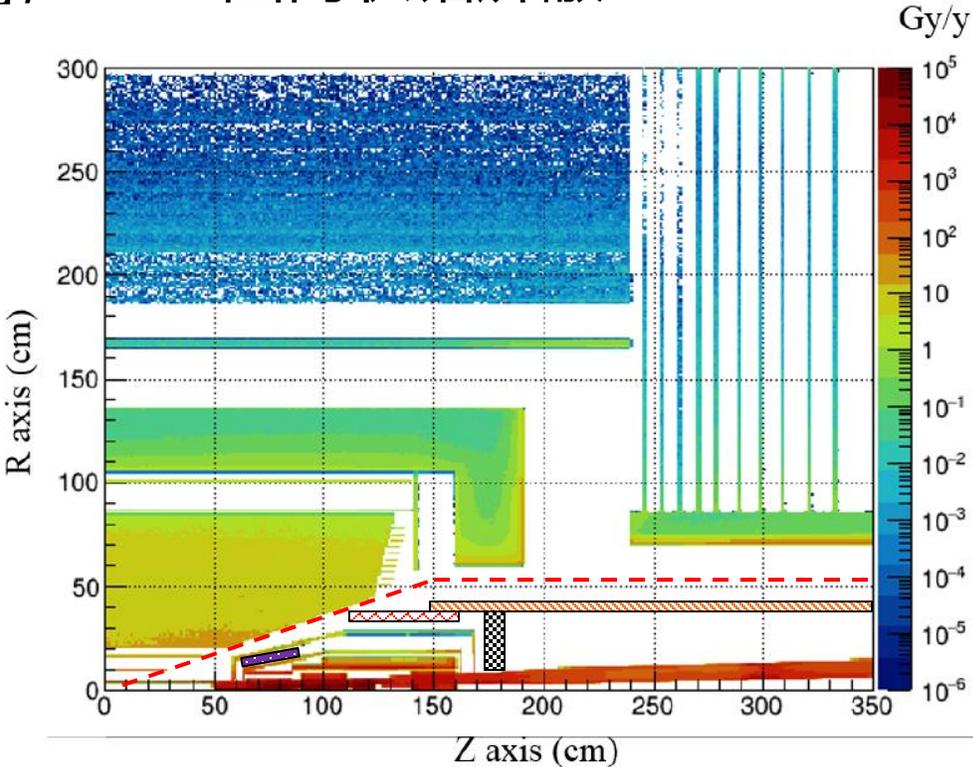


额外屏蔽本底降低效果

增加三处屏蔽:

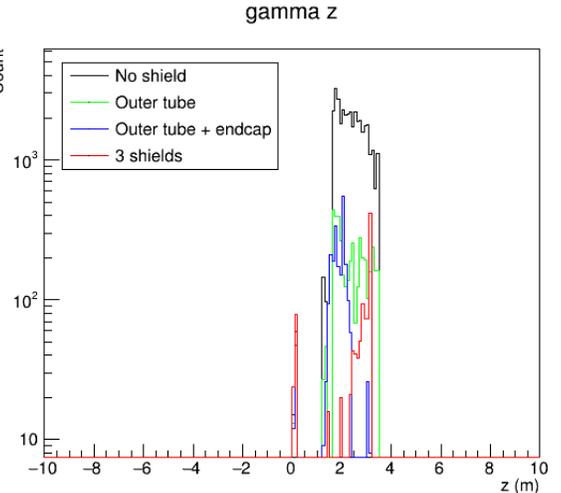
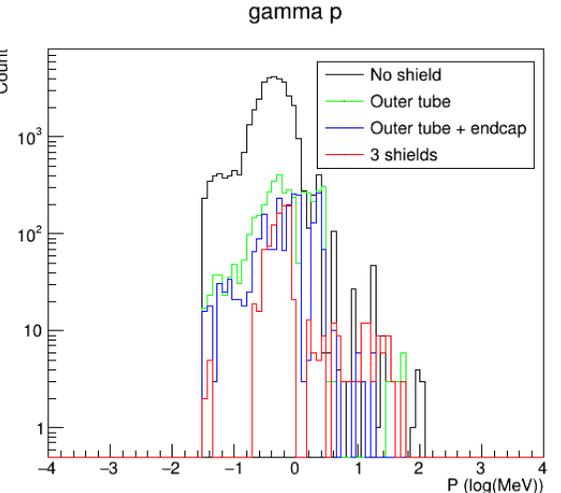
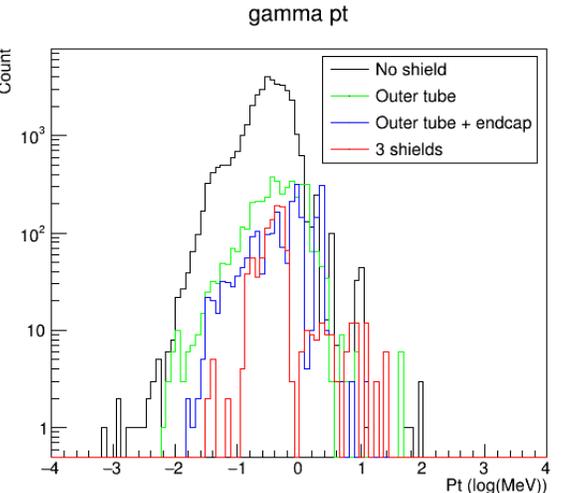
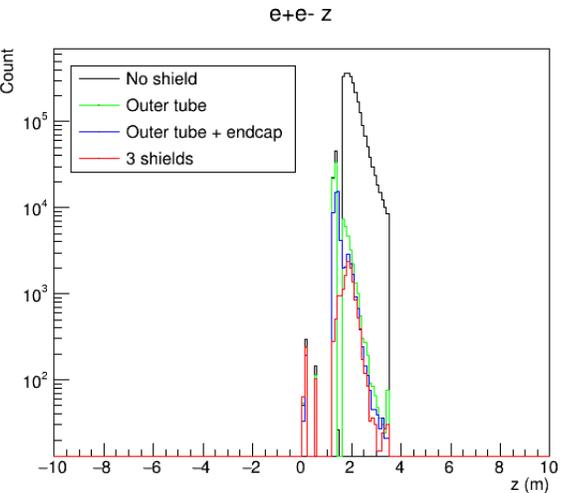
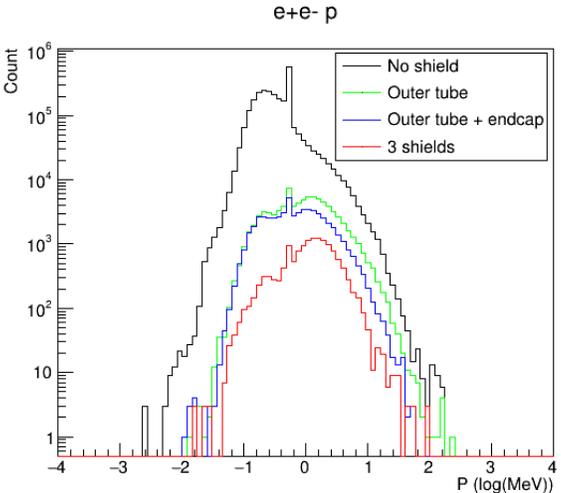
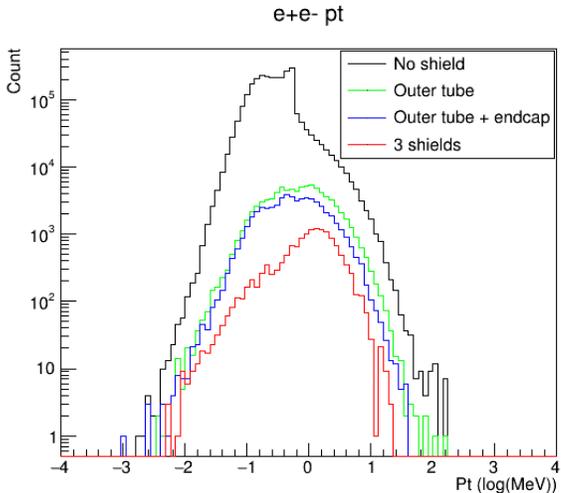
- $Z \in [1.5 \text{ m}, 3.5 \text{ m}]$, $R \in [0.35 \text{ m}, 0.4 \text{ m}]$, 5 cm 圆筒状铅屏蔽
- $Z \in [1.7 \text{ m}, 1.8 \text{ m}]$, $R \in [0.1 \text{ m}, 0.35 \text{ m}]$, 10 cm 圆盘状铅屏蔽
- $Z \in [1.1 \text{ m}, 1.6 \text{ m}]$, $R \in [0.3 \text{ m}, 0.35 \text{ m}]$, 5 cm 圆筒状铅屏蔽

	$e\pm$ number	γ number
No shield	2.62 M	36 k
Outer tube	83.3 k	4.16 k
Outer tube + endcap	57 k	2.2 k
3 shields	13.9 k	1 k



不同屏蔽方案的本底降低效果

在束流管-探测器边界处设置连续的铅屏蔽，本底降低效果最好



不同屏蔽方案的本底降低效果

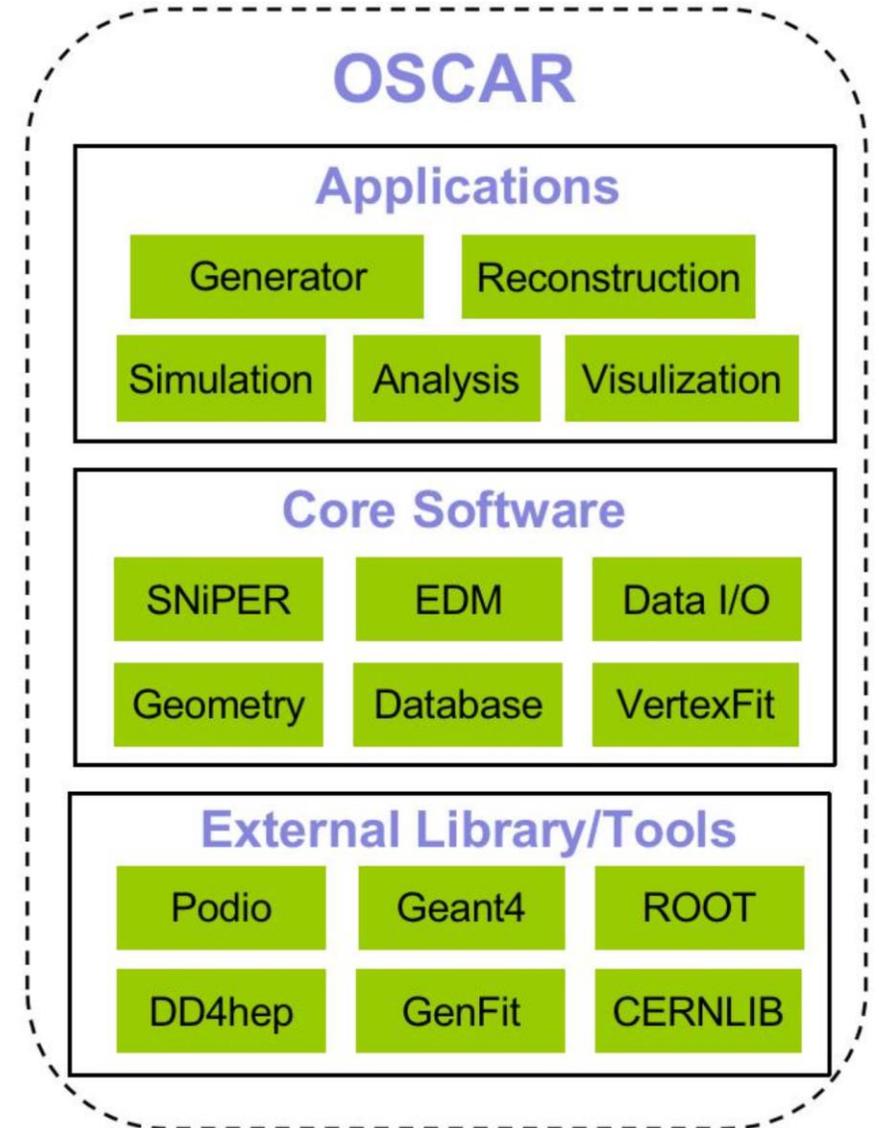
□ 在V7C3版本standalone环境下初步测算各探测器计数率与屏蔽的关系

	No shield	Outer tube	Outer tube+ endcap	3 shields	V7C3/V2	现有最优屏蔽 下的本底/V2
ITK1	100%	62%	59%	142%	1.20	1.70
ITK2	100%	191%	202%	116%	1.46	1.70
ITK3	100%	139%	88%	102%	1.77	1.81
MDC	100%	73%	32%	6%	9.77	0.55
RICH	100%	63%	27%	7%	6.71	0.45
DTOF	100%	7%	3%	2%	14.21	0.33
EMCB	100%	60%	30%	10%	7.69	0.79
EMCE	100%	17%	10%	6%	7.28	0.44
MUDBRPC	100%	57%	38%	92%	5.07	4.68
MUDBPS	100%	118%	81%	63%	3.64	2.30
MUDERPC	100%	33%	45%	51%	4.46	2.27
MUDEPS	100%	90%	65%	93%	3.06	2.84

STCF 离线软件系统

W.H. Huang et al 2023 JINST 18 P03004

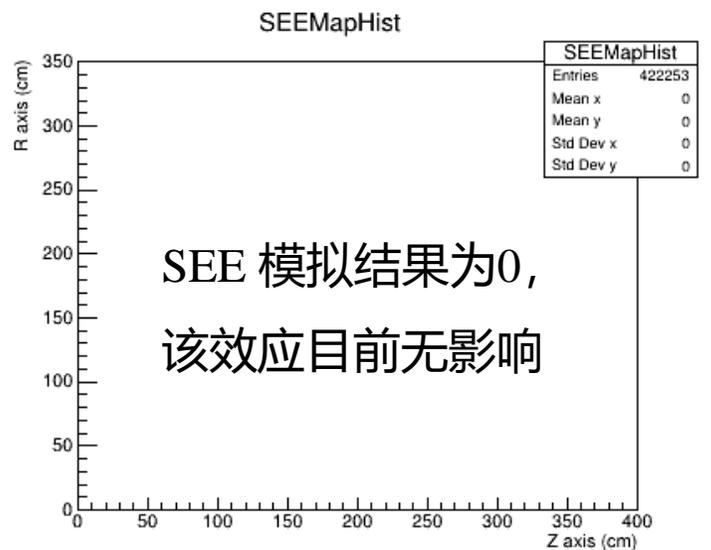
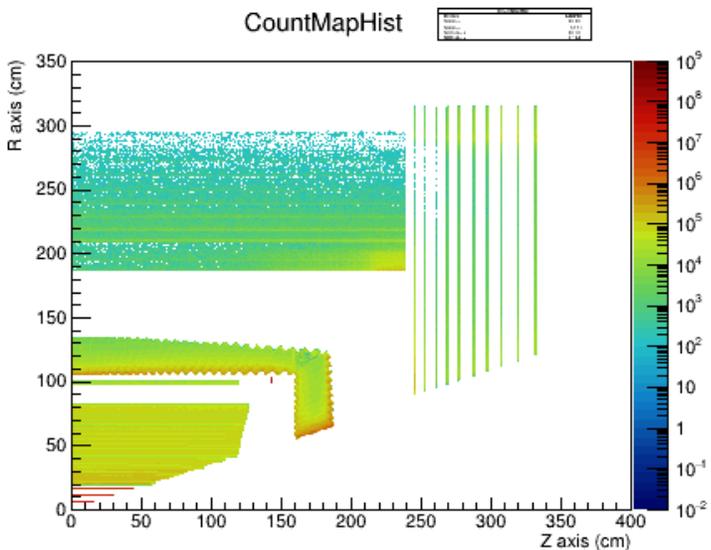
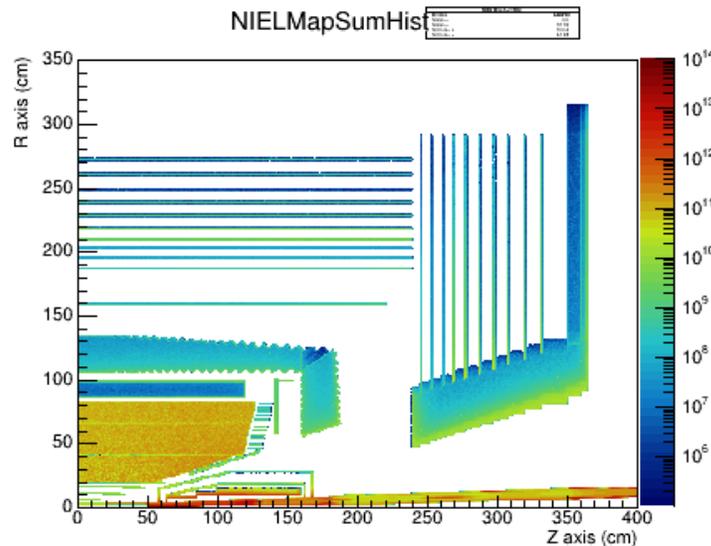
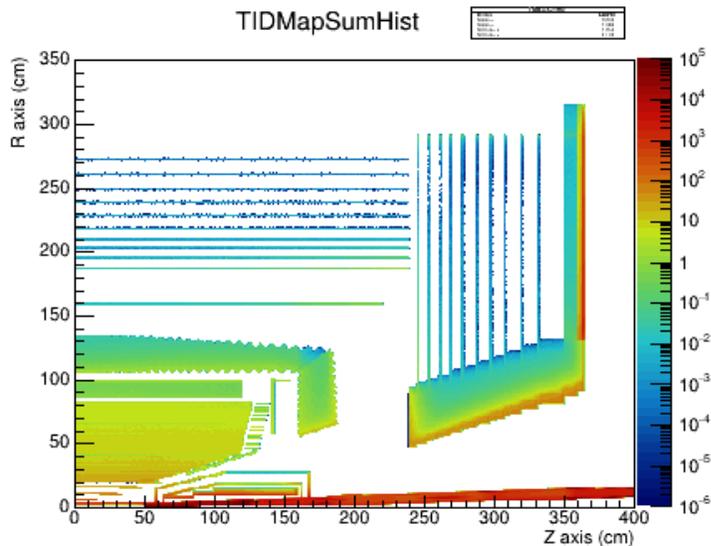
- Offline Software of Super Tau-**Ch**arm Facility (OSCAR)
 - 探测器设计, MC 数据产生, 物理分析 . . .
- 部分基于 Key4hep
 - 重复使用一些组件, 为STCF扩展其他组件
- 为通用功能开发核心软件
 - 事例循环控制
 - 探测器数据和事例数据控制
 - 数据分析的通用工具
 - 其他通用服务
- 部分算法迁移于BESIII



STCF 本底统计

- 基于OSCAR的本底统计，OSCAR有更完善的几何
- 目前的本底统计：
 - **电离损伤 TID**：单位质量沉积能量大小，单位：Gy/y
 - **非电离损伤 NIEL**：单位面积通过的等效中子数，根据粒子种类和动能计算，单位：1 MeV neutron/(cm²*y)。每条径迹仅统计一次
 - **计数率 Count (仅探测器)**：产生一定阈值以上能量沉积的击中数，单位：Hz
 - **单粒子翻转效应 SEE (仅电子学)**：质子、中子和其他重核轰击芯片的敏感区，可能导致电路节点的逻辑状态发生改变。设有**20MeV动能下限阈值**
- 在step级别统计沉积能量、位置、粒子种类和动能等，最终以**2维直方图**形式输出

V2 版本全探测器本底统计结果



全探测器本底统计结果

探测器:

- TID: ITKM, 10^3 Gy/y 量级
- NIEL: MDC, 工作气体含氢; 气流使高NIEL对性能影响很小
- Count: 百兆赫兹量级。

电子学:

- TID和NIEL数值在现有工艺水平支持范围之内

子探测器	探测器			电子学		
	TID (Gy/y)	NIEL (1 MeV neutron/cm ² /y)	Count Rate (Hz)	TID (Gy/y)	NIEL (1 MeV neutron/cm ² /y)	Count Rate (Hz)
ITKW1	157.7788	1.04×10^{10}	4.55E+08	48.4614	4.29E+09	--
ITKW2	51.48866	6.62×10^9	4.61E+08	23.94599	5.39E+09	
ITKW3	21.34881	7.85×10^9	3.15E+08	15.18521	7.98E+09	
ITKM1	2053.323	2.03×10^{10}	4.63E+07	417.546	2.97E+10	
ITKM2	26.63026	5.72×10^9	1.08E+07	16.47873	5.98E+09	
ITKM3	18.59415	9.72×10^9	1.68E+07	12.03343	1.05E+10	
MDC	7.411894	1.08×10^{13}	5.35E+08	1.929072	3.22E+09	
RICH	0.537136	4.99×10^9	1.27E+07	2.095935	4.01E+09	
DTOF	1.748305	8.56×10^9	4.14E+08	1.520413	5.68E+08	
ECAL-B	0.350685	8.91×10^9	9.55E+07	0.030975	6.97E+08	
ECAL-E	1.216135	1.15×10^{10}	7.85E+07	1.181841	1.27E+09	
MUD-B-RPC	0.028557	7.66×10^8	3.62E+07	0.059135	8.48E+08	
MUD-B-PS	0.00189	1.63×10^{10}	2.35E+07			
MUD-E-RPC	0.012476	2.56×10^8	7.52E+06			
MUD-E-PS	0.003613	1.88×10^{10}	1.91E+07			

对比与分析 OSCAR/Stand-alone

探测器	TID	NIEL	COUNT
ITKW1	1447.5%	105.0%	85.1%
ITKW2	1131.6%	57.6%	97.1%
ITKW3	458.1%	54.5%	46.3%
ITKM1	172.6%	40.7%	23.0%
ITKM2	10.5%	6.5%	7.4%
ITKM3	21.4%	3.3%	12.4%
MDC	65.1%	25368.5%	73.3%
RICH	18.0%	57.1%	0.5%
DTOF	127.4%	182.3%	284.0%
ECAL-B	98.7%	62.9%	9.5%
ECAL-E	342.7%	79.6%	7.1%
MUD-B-RPC	105.6%	243.1%	654.2%
MUD-B-PS	46.8%	4.2%	222.2%
MUD-E-RPC	70.9%	350.7%	213.1%
MUD-E-PS	13.2%	10.4%	157.5%

电子学	TID	NIEL
ITKW1	3.4%	8.4%
ITKW2	10.0%	24.3%
ITKW3	15.8%	27.1%
ITKM1	31.7%	47.2%
ITKM2	4.9%	3.1%
ITKM3	14.5%	1.2%
MDC	36.3%	49.3%
RICH	83.8%	58.7%
DTOF	146.3%	21.0%
ECAL-B	71.2%	41.6%
ECAL-E	178.8%	130.1%
MUD-B	298.1%	591.4%
MUD-E		

- **MDC**: OSCAR 工作气体更新
- **RICH**: OSCAR 算法bug, 切伦科夫光子之前被kill, 仅统计带电径迹; 目前已修复
- **ECAL**: OSCAR单波形拟合, 低估3-5倍计数率

小结

- 基于V7C3版本Standalone的结果，增设的collimator可有效抑制Touschek本底的影响；增设的屏蔽层也可大幅降低束流本底水平。
- 屏蔽层的位置与部分探测器电子学存在几何冲突，仍需进一步优化。
- 基于V2版本OSCAR上初步实现本底在探测器和电子学上 TID, NIEL, Count 的统计，模拟数据尚且符合预期。
- 部分探测器仍存在不足和优化的空间
- **V7C3本底在 OSCAR 上的统计和模拟正在进行中**

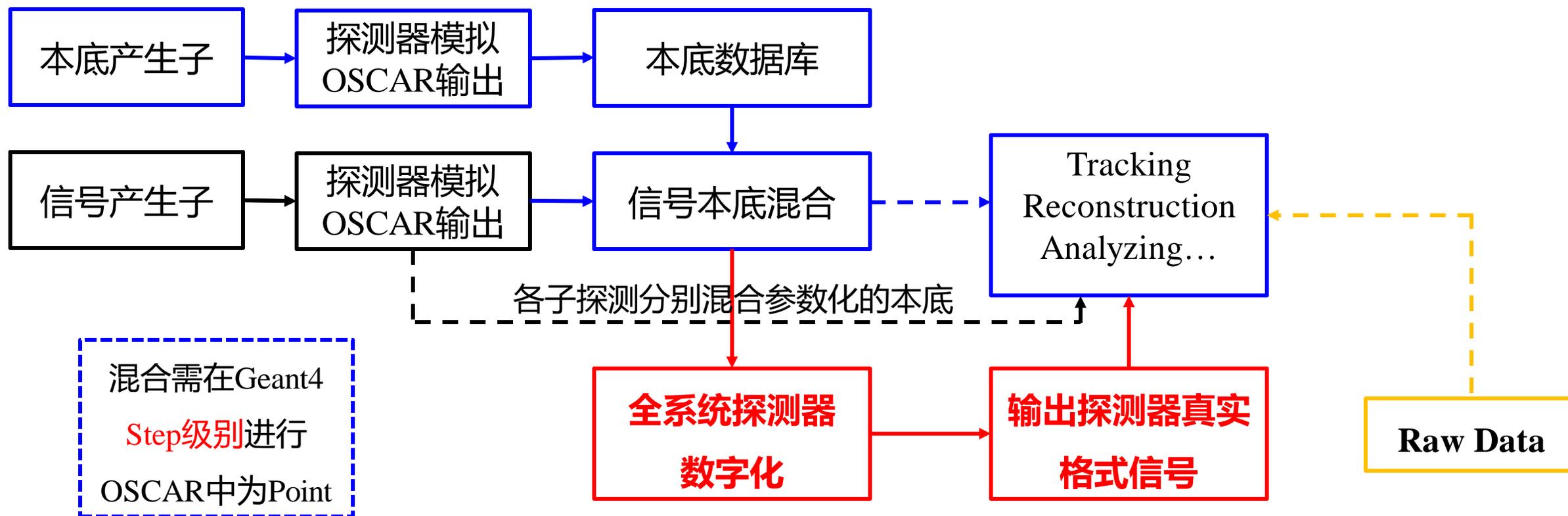
目录

- STCF 简介
- STCF 本底模拟
- 本底混合算法
- 总结

引言

- **本底混合**：数字化之前，各个子探测器的信号与束流本底在**step级别**的响应做混合
- 初期，各子探测器所用本底数据是**统计性宏观参数**（计数率，空间分布），需要：
 - 更精细、真实的本底数据（本底粒子在**子探测器的所有响应**）
 - 统一的本底混合算法
- 其他系统需要真实本底抽样的数据
 - Trigger系统事例级分析
 - 寻迹系统的性能

基于数字化框架下的本底混合



- 重建需要真实的**数字信号**作为输入
- 电子学响应和噪声需要在数字化中完成

STCF 事例堆积情况

- STCF每次对撞平均产生物理事例数:

$$\langle \mu \rangle = \frac{f_{phy}}{N_b \times \frac{c}{L}} = 1.6 \times 10^{-3}$$

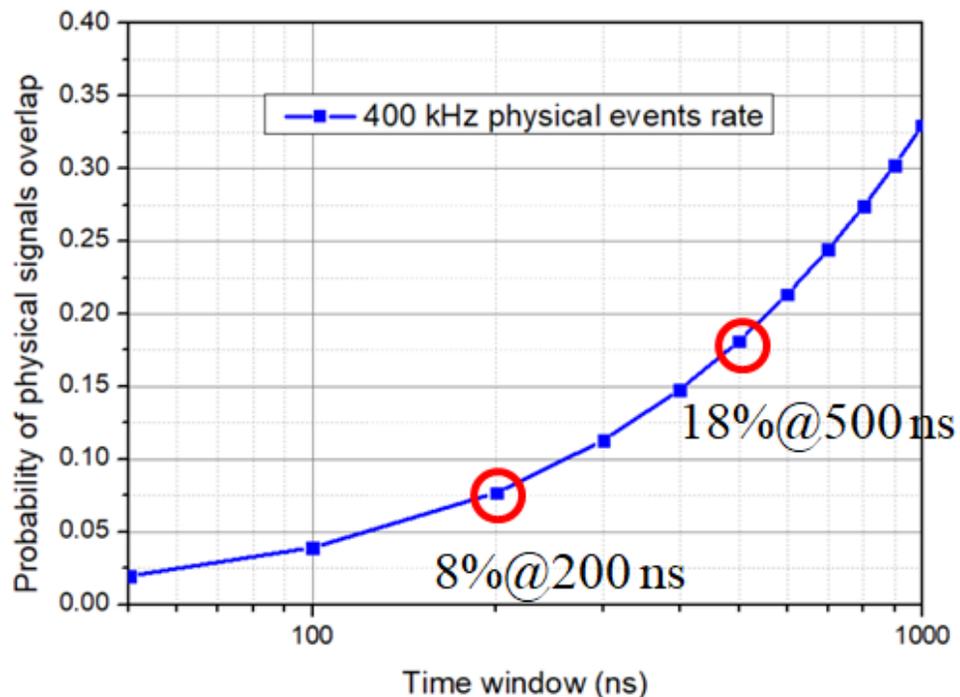
- 单次束流交叉产生两个物理事例概率: 1.28×10^{-6}
- 1000ns时间窗, 不同时刻产生事例堆积的概率: 32.9%

- 同一次对撞中的堆积效应可忽略 (仍被模拟)
- 1000ns时间窗内有概率产生另一个物理事例



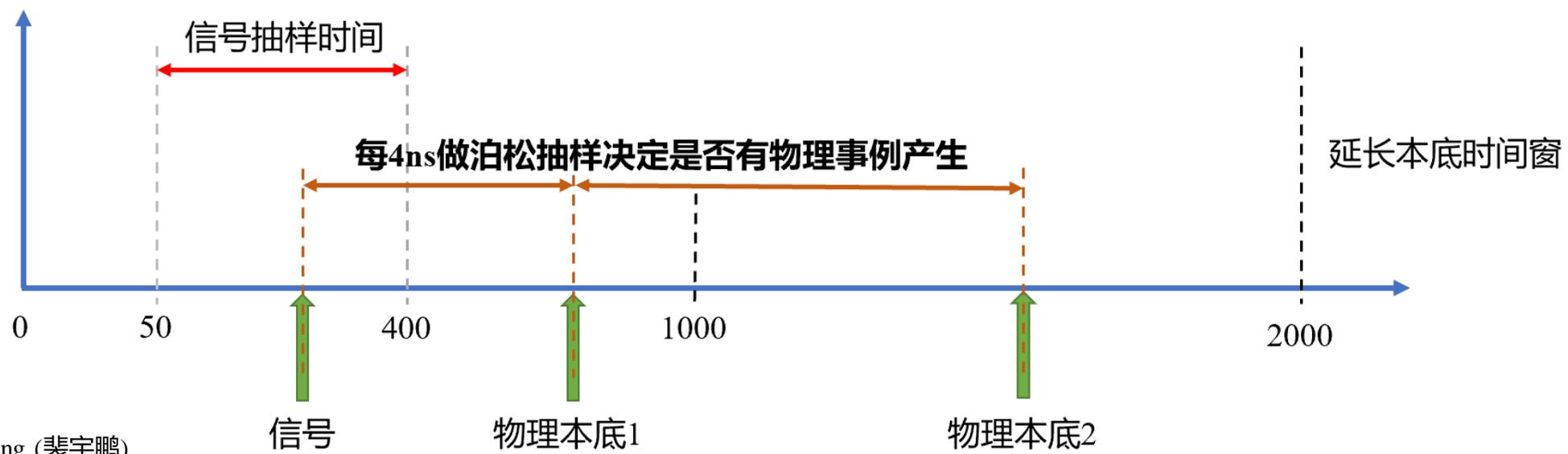
物理本底

STCF 参数	
物理事例产生率 f_{phy}	≤ 400 kHz
储存环周长 L	617m
束团个数 N_b	514
对撞间隔	4 ns



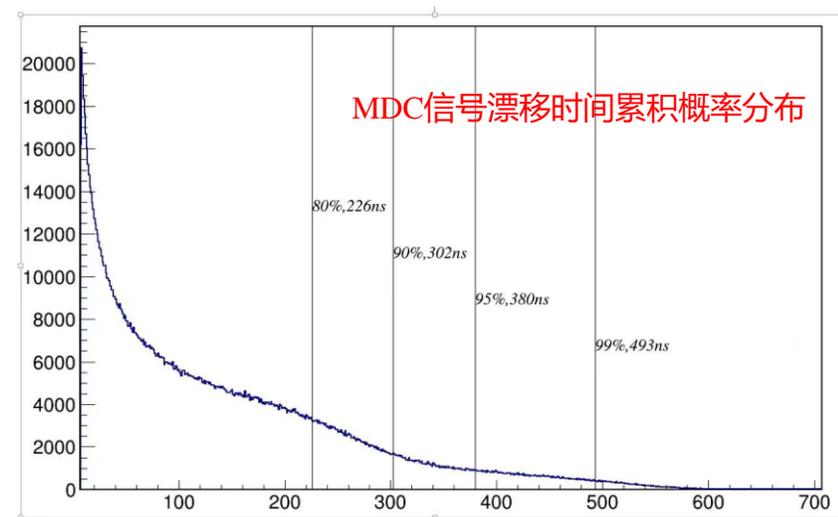
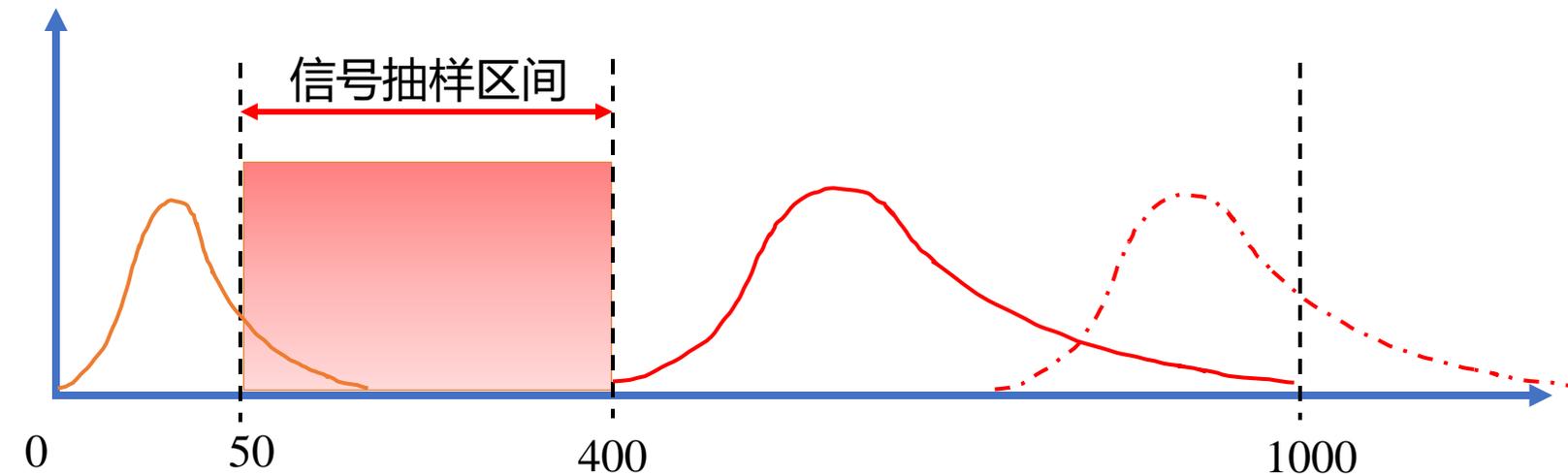
本底混合算法概述

- 输入文件:
 - **信号**: $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^- J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-\mu^+\mu^-(e^+e^-)$
 - **束流本底**: Touschek, 束-气, 亮度相关
 - **物理本底**: $e^+e^- \rightarrow anything @ 4.260 \text{ GeV}$
- 信号, 亮度相关本底, 物理本底均考虑**对撞时间结构** (每4ns抽样一次)
- 信号抽样于 [50, 400]ns; 物理本底抽样; 延长时间窗



信号抽样时间

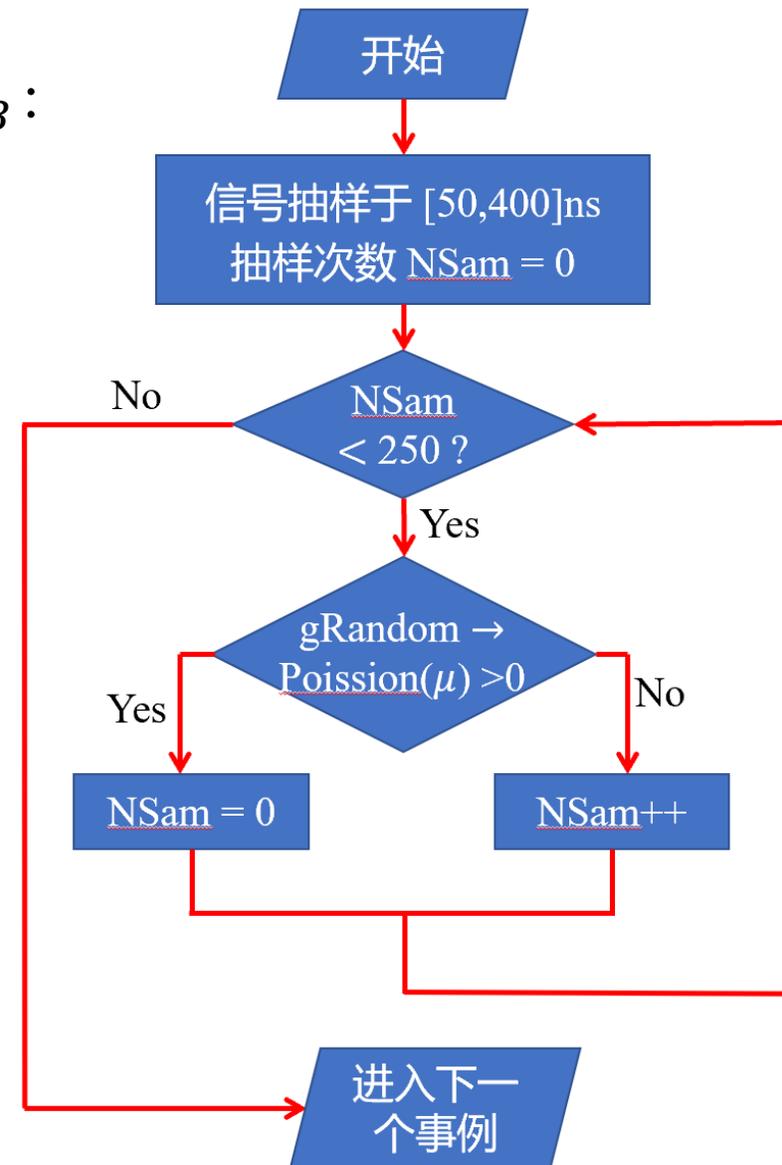
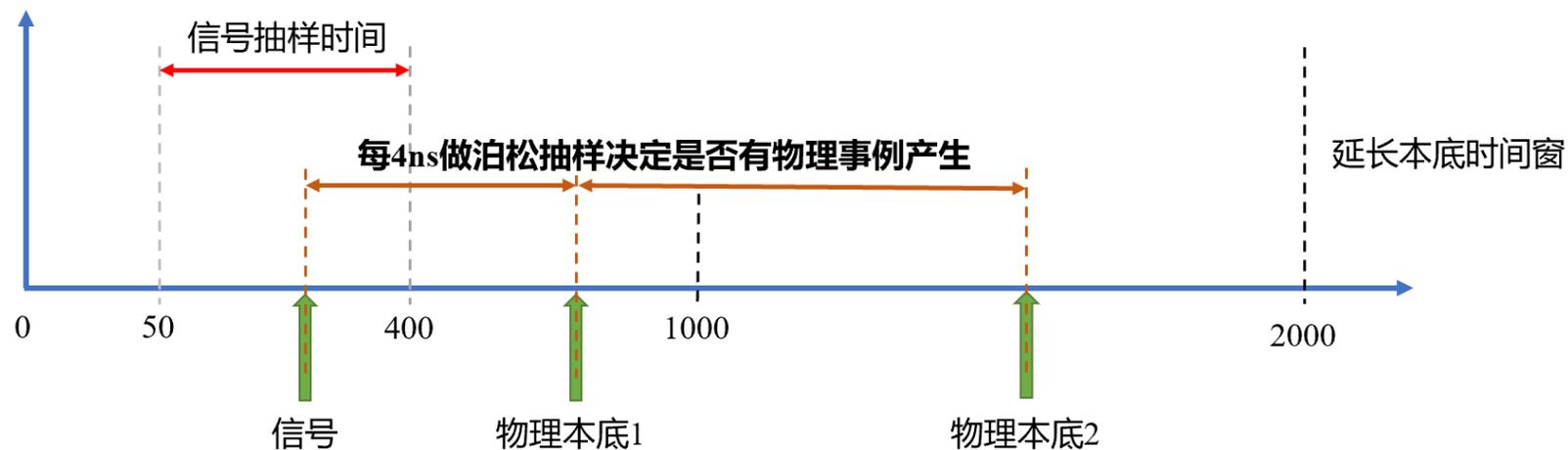
- 信号抽样区间: $[50, 400]$ ns
- 考虑信号抽样之前, 本底尾巴的影响 \Rightarrow 起始定于50ns
- 时间窗内信号不可被截断 \Rightarrow 末了定于400ns



物理本底抽样

$$\langle \mu \rangle = \frac{f_{phy} c}{N_b \times L} = 1.6 \times 10^{-3}$$

- 信号抽样后，每 4ns 泊松抽样，决定此时物理本底个数 N_{PB} ：
 - $N_{PB} \geq 1$: 从物理本底库抽样 N_{PB} 个物理本底
 - $N_{PB} < 1$: 时间向后 4ns，抽样次数 NSam++
- 事例判定条件：抽样时间间隔大于 1000ns ($N_{sam} > 250$)
- 最后一个物理本底的时间决定延长的时间窗
- 依次混合信号，物理本底，束流本底的 Point

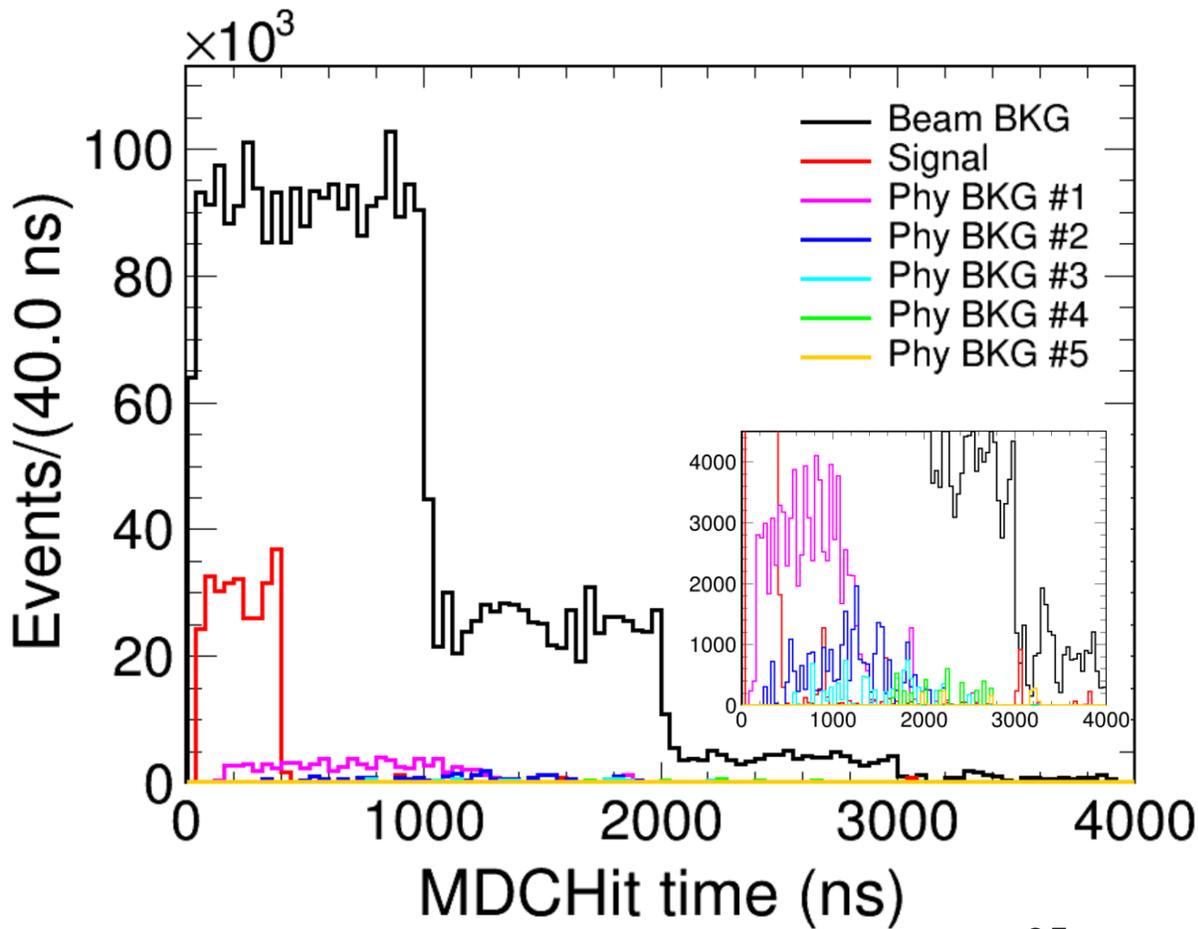


性能与结果

- 处理性能: 3.3 s/Event; 22 Mb/Event
- 存储空间面临较大的挑战
- 混合数据已用于后续的研究:
 - 更真实的探测器性能研究
 - 基于GNN的MDC除噪
 - Trigger系统研究

```
NBeamBKG = 2, Time window = [0, 2000] ns
Size of Output Vector = 9
Evt #1, Type = Sig(0), EvtID = -1, Start Time = 284
Evt #2, Type = PhyBkg(1), EvtID = 8424, Start Time = 412
Evt #3, Type = PhyBkg(2), EvtID = 4040, Start Time = 1084
Evt #4, Type = Tous(-1), EvtID = 7929, Start Time = 0
Evt #5, Type = Lumi(-2), EvtID = 8042, Start Time = 0
Evt #6, Type = Beamgas(-3), EvtID = 4643, Start Time = 0
Evt #7, Type = Tous(-1), EvtID = 7007, Start Time = 1000
Evt #8, Type = Lumi(-2), EvtID = 5533, Start Time = 1000
Evt #9, Type = Beamgas(-3), EvtID = 1802, Start Time = 1000
```

1000 Events	Signal ($\mu\mu\pi\pi$)	Background
ITK	1.5M	5.2M
MDC	46M	281M
RICH	840K	4.5M
DTOF	1.7M	27M
ECAL	133M	16G
MUD	4.7M	5.0G
Total	187.7M	21.3G



目录

- 简介
- STCF 本底产生子版本迭代与本底模拟
- STCF 全探测器本底统计
- 本底混合算法
- 总结

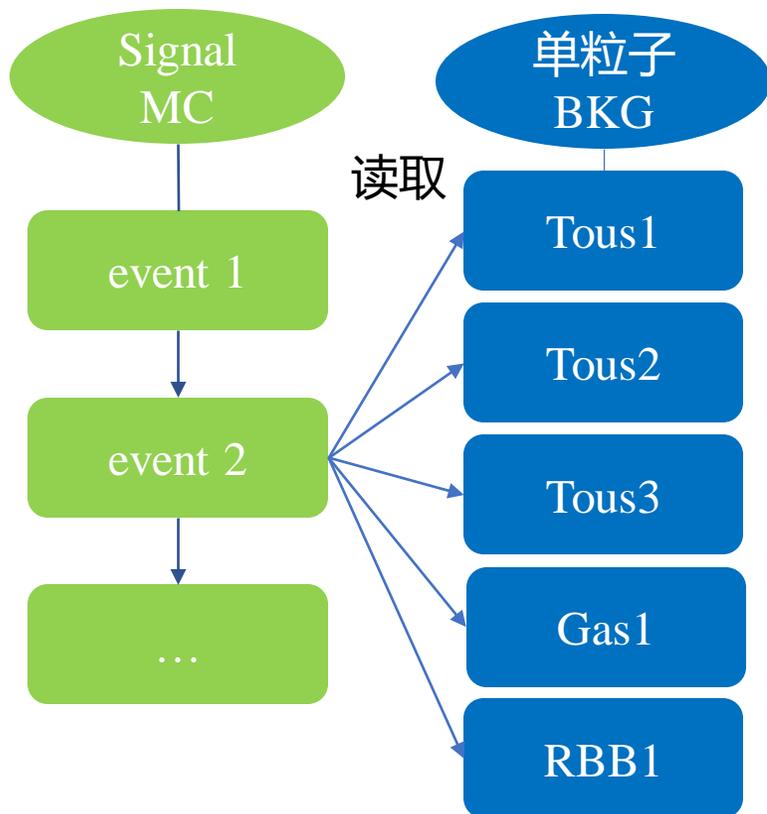
总结



- 本底从加速器到探测器的研究框架已经建立。本底与信号混合的数据已用于各个子系统的研究分析中
- 基于V7C3版本Standalone的结果，增设的collimator可有效抑制Touschek本底的影响；谱仪内增设的屏蔽层也可大幅降低束流本底水平。对 collimator 和 屏蔽实现仍需优化。
- 基于V2版本OSCAR下已实现V2版本下 TID、NIEL、Count 和 SEE 的统计。计划逐步替代 standalone 版本，并完成V7C3版本下的本底统计。
- 基于本底在各个子探测器响应的混合算法已完成。后续需优化算法运行时间

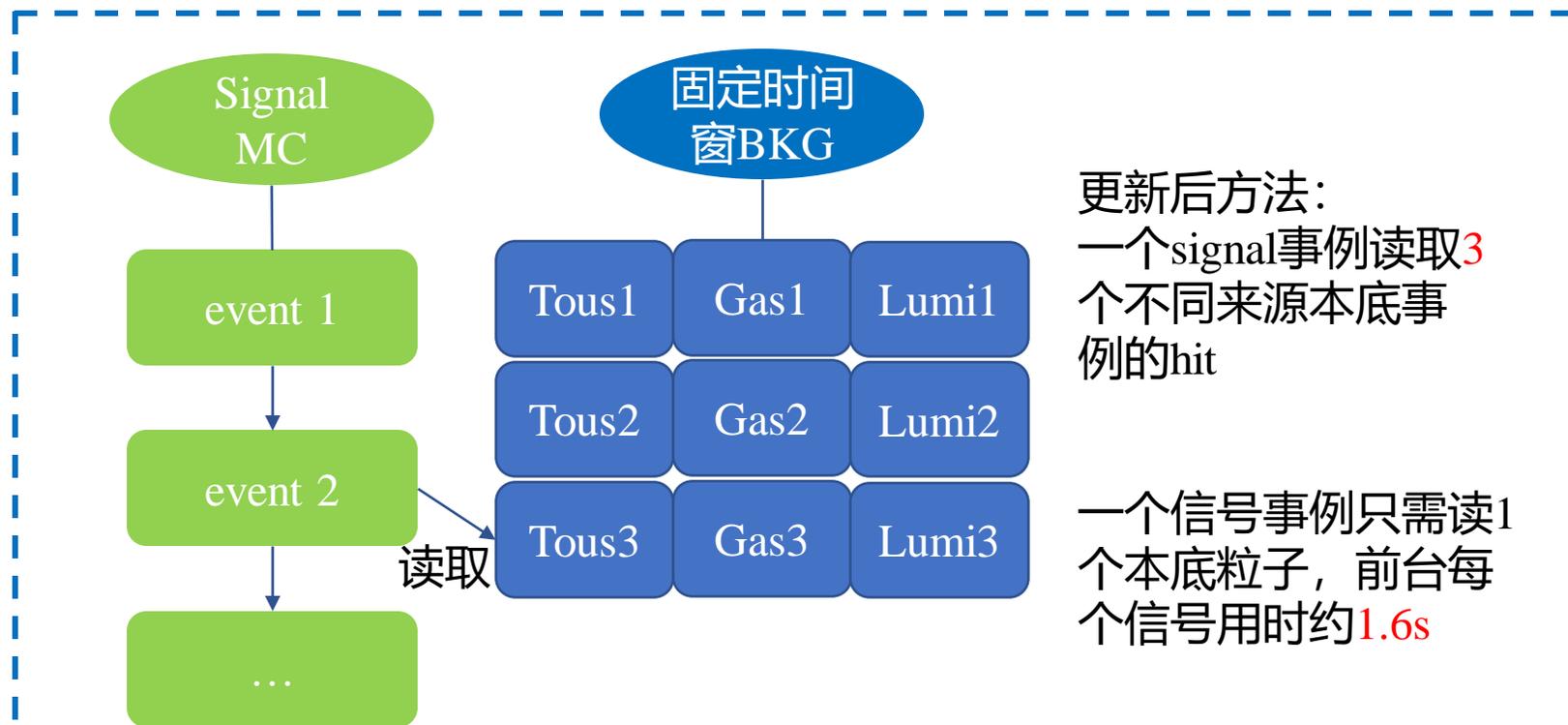
谢谢!

混本底方法



之前的方法：
一个signal事例读取 $N_{Tous} + N_{Gas} + N_{RBB} + N_{Two\gamma}$ 个本底事例中的hit

- 模拟单本底粒子事例，对一个信号事例混入1us时间窗内对应数目本底的hit
- 一个信号事例需要读取约4500个单粒子事例的hit，前台每个信号事例用时约90s

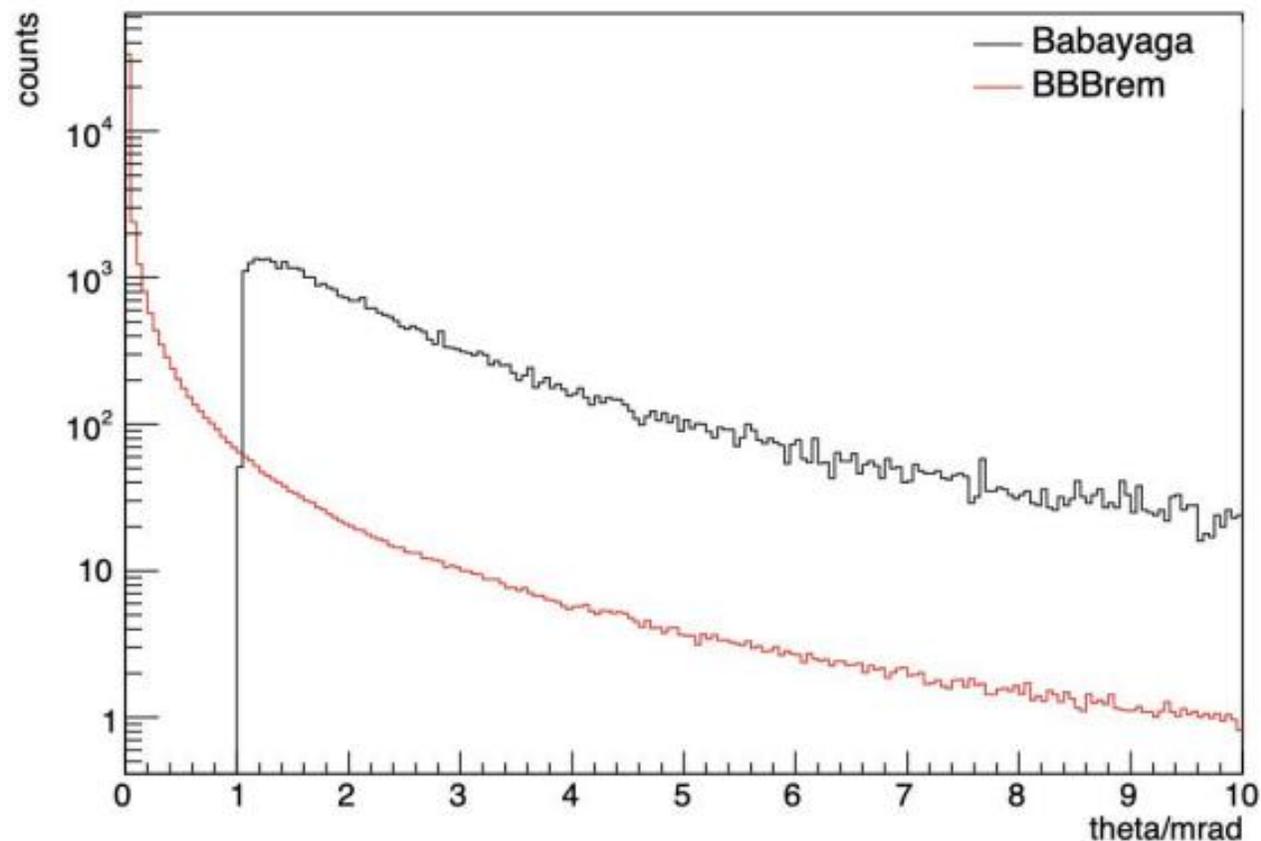


更新后方法：
一个signal事例读取3个不同来源本底事例的hit

一个信号事例只需读1个本底粒子，前台每个信号用时约1.6s

辐射Bhabha过程的产生子

- 小角度截断为 0.256° (4.47 mrad), 小于该角度的粒子不会输入Geant4中
- 散射角度较小 ($|\cos\theta| < 0.9$) 用BBrem模拟
- 散射角度较大 ($|\cos\theta| > 0.9$) 用Babayaga模拟



Neutron NIEL 曲线分析

