

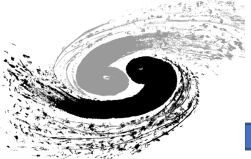
BEPCII 本底研究实验

石煌超、王斌、石澔琦

[中国物理学会高能物理分会第十一届全国会员代表大会暨学术年会](#)

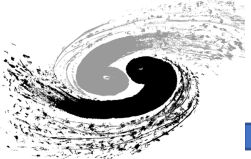
分会场 V: 粒子物理实验技术

2022.8.11



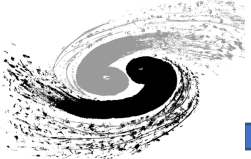
BEPCII 本底实验研究

- 研究目的及基础
- 实验及分析
 - 2021年实验
 - 2022年实验
- 总结与展望



研究目的及基础

- 束流本底是对撞机长效、稳定运行的至关重要的制约因素之一
 - 信号
 - 辐照损伤
- BEPCII 在设计阶段开展了成功的本底研究工作，并针对性优化了对撞区设计
- 在 BEPCII 成功运行超过 10 年，达到设计目标之后进行新的本底研究：
 - BEPCII 升级改造的现实需要
 - 新工具、新方法的引入
 - 未来正负电子对撞机的研究参照（CEPC/STCF）



研究目的及基础

- 本底：丢失在对撞区的束流粒子或次级粒子
- BEPCII 的本底来源主要包括以下几类：

- 单束流本底

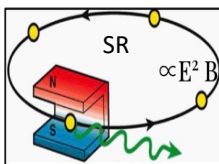
- 托歇克(Touschek)本底
- 束流-气体散射本底
- 同步辐射本底

- 亮度本底

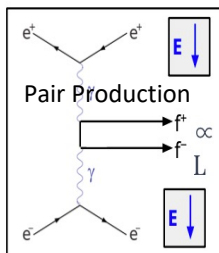
- 辐射巴巴散射本底
- 双光子本底

- 注入本底

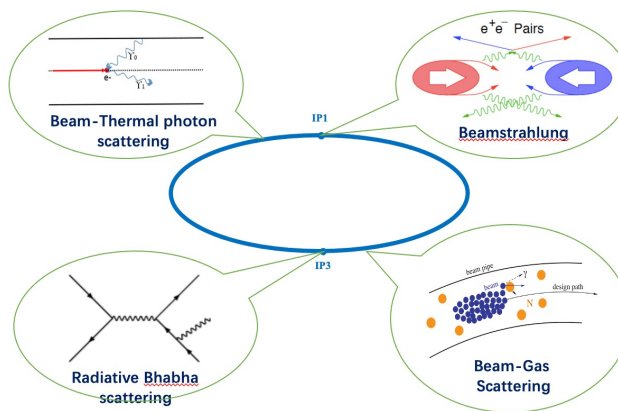
- 其他本底



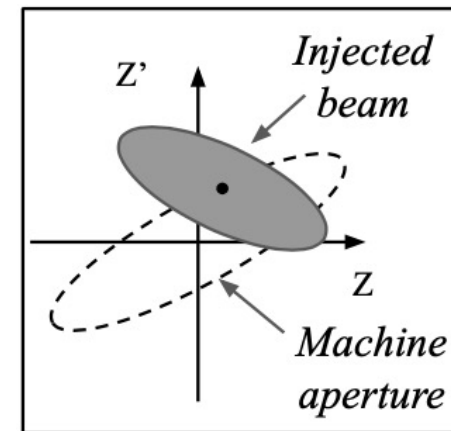
A. Natchii



Photon BG

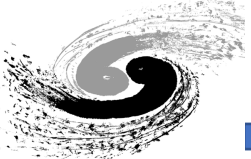


Beam Loss BG



Injection BG

A. Natchii



研究目的及基础

- 本底：丢失在对撞区的束流粒子或次级粒子
- BEPCII 的本底来源主要包括以下几类：

- 单束流本底

- 托歇克(Touschek)本底

- 束流-气体散射本底

- 同步辐射本底

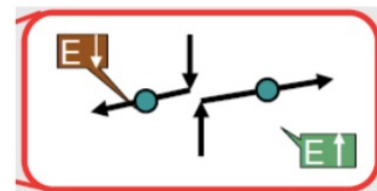
- 亮度本底

- 辐射巴巴散射本底

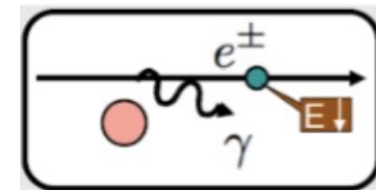
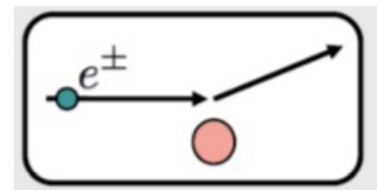
- 双光子本底

- 注入本底

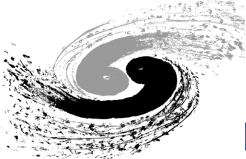
- 其他本底



托歇克本底：一个束团内的束流粒子互相散射，产生足以导致丢失的能量偏移



束流-气体散射本底：束流粒子同管道内残余气体发生散射，产生足以导致丢失的轨道角度或能量偏移



研究目的及基础

• BEPCII 本底研究包括下列两部分：

• 模拟：

- 本底粒子的产生 (Built-in Codes)
- 本底粒子的加速器输运 (SAD)
- 本底粒子的探测器响应 (BOSS)

• 实验：

- 记录不同区域探测器的本底响应

产生

- 参数化影响因素 (束团尺寸、压强等)
- 使用已有的工具/自行开发工具

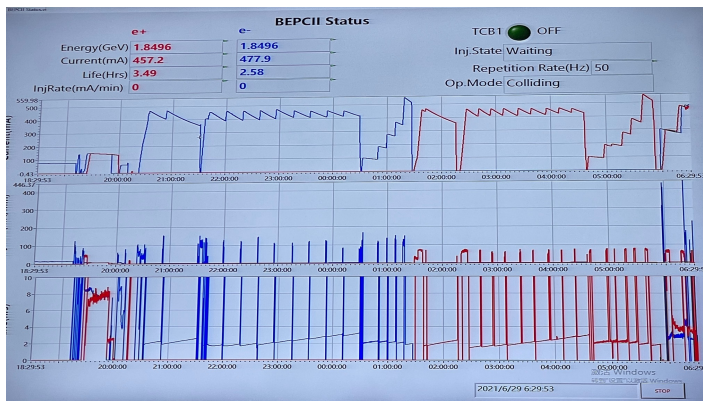
输运

- 令潜在本底粒子在加速器组件中输运
- 记录对撞区附近的丢失分布

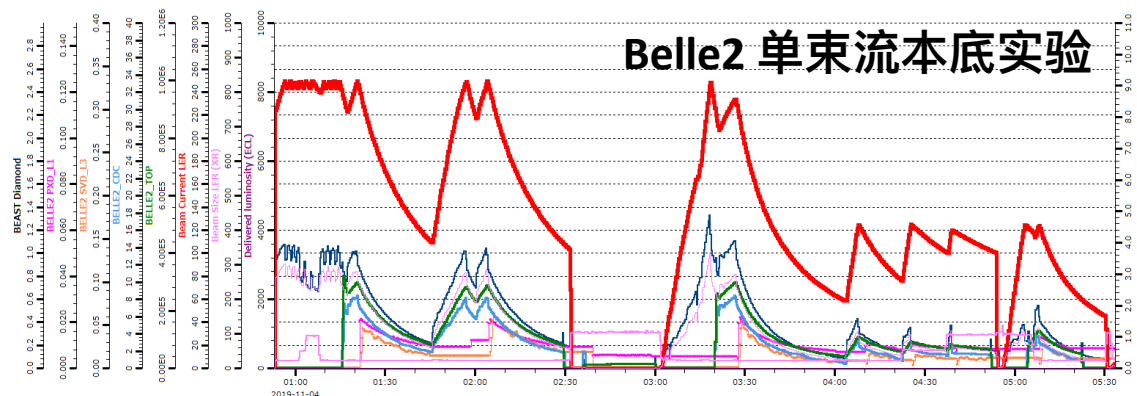
探测器模拟

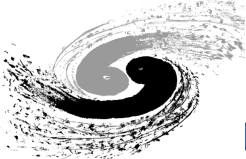
- 模拟对撞区内的相互作用
- 定量评估本底影响 (击中数/本底响应、总电离辐射剂量等)

BESIII 本底实验



Belle2 单束流本底实验



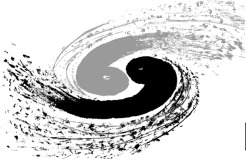


2021 年度实验--实验步骤

- 2021 年度，实验主要围绕单束流本底开展，尝试区分两种主导地位的单束流本底，并将实验结果同模拟结果进行对比

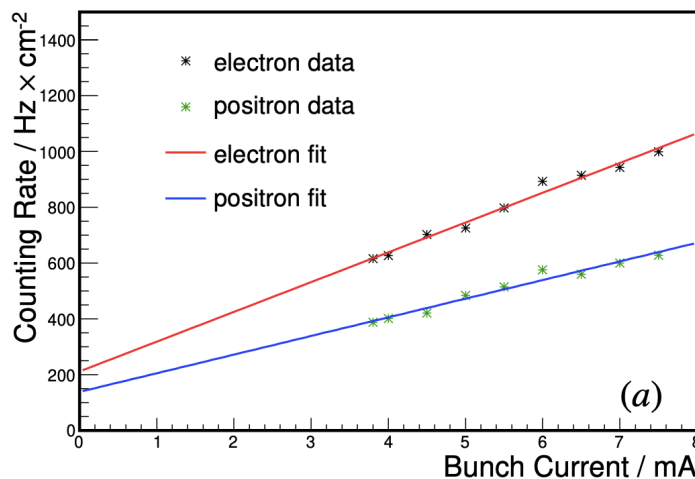
$$O_{Single} = S_t \cdot D(\sigma_{x'}) \cdot \frac{I_t \cdot I_b}{\sigma_x \sigma_y \sigma_z} + S_g \cdot I_t \cdot P(I_t) + S_C; \quad O_{collison} = O_{e^+} + O_{e^-} + O_L$$

- 分别测量正负电子的单束流本底
- 实验基本步骤如下：
 - 恒本底测量：无束流情况下测量 S_C
 - 单束流基准值测量：450 mA，75 束团，记录加速器参数；取 MDC,EMC 的探测器计数
 - 托歇克本底：固定 总流强 I_t 为 450 mA，改变 单束团流强 I_b （束团数）以改变托歇克本底；此步实验是分离单束流中托歇克本底和束流-气体散射本底的主要步骤

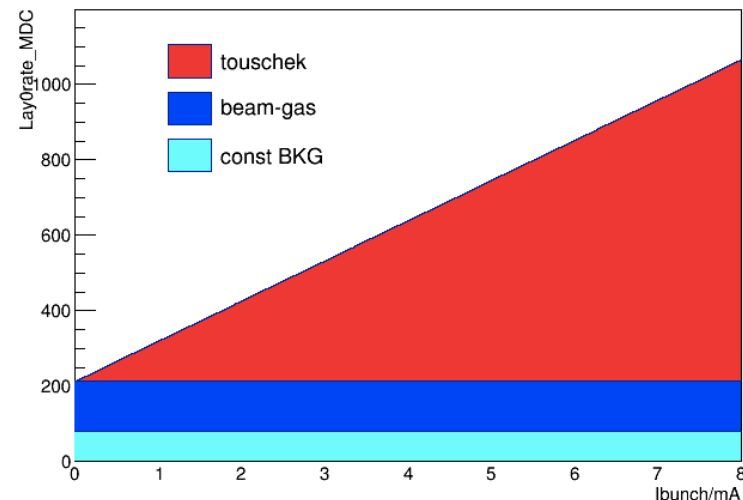


2021 年度实验--实验数据分析

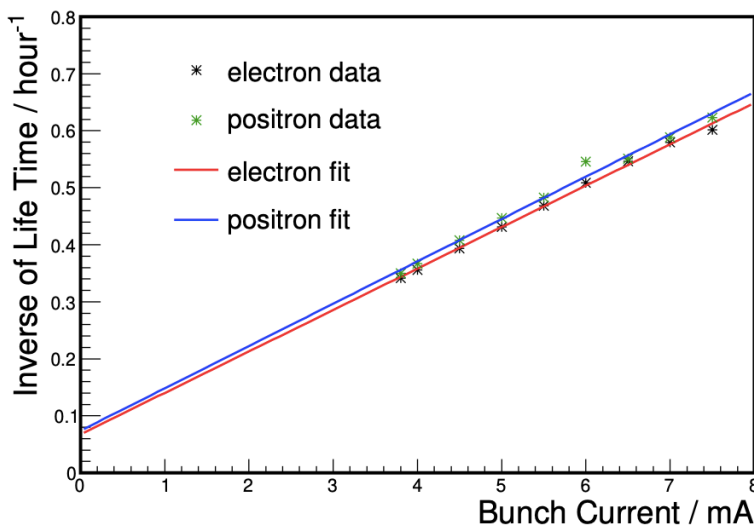
- 在实验范围内，托歇克本底表现出了较好的线性
- 整体而言，电子本底略高于正电子，两者寿命基本相同
- 分离 MDC 所有层的本底，并同模拟结果进行对比



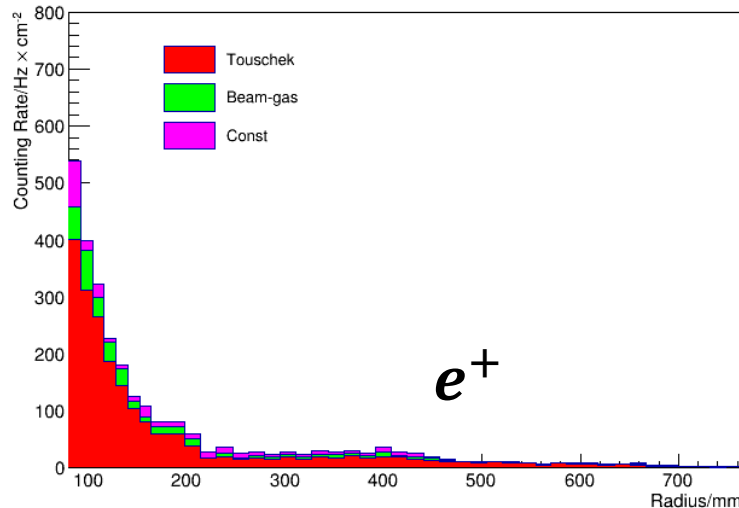
MDC 第一层托歇克拟合



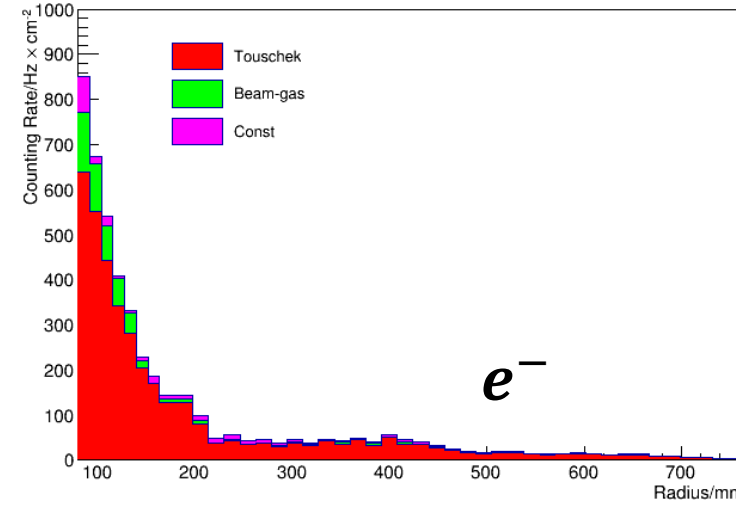
MDC 第一层中的单束流本底的分离

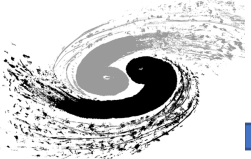


束流寿命



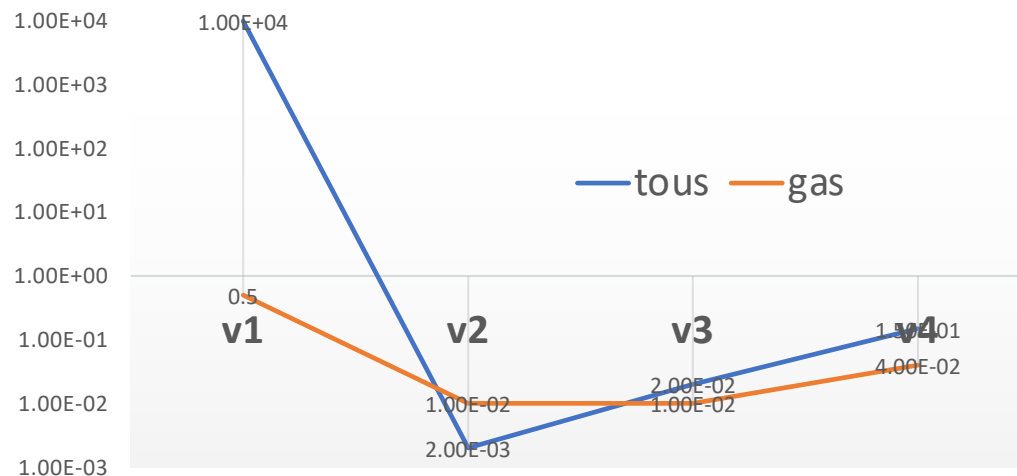
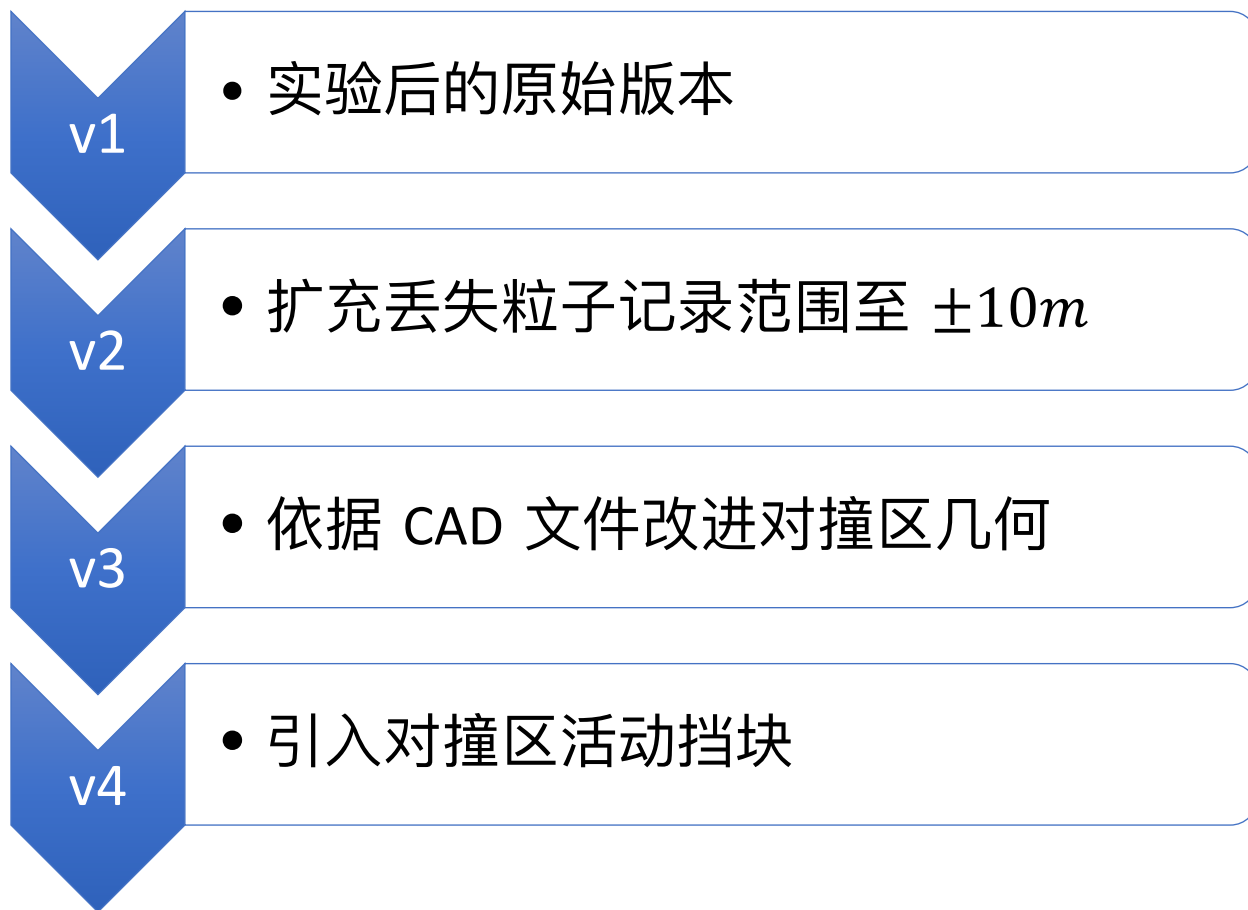
分离后的 MDC 单束流本底计数



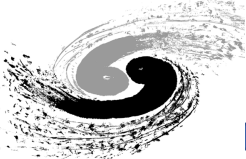


2021 年度实验--模拟改进

- 模拟基于理想的、不含误差的 Lattice 开展
- 主要围绕对撞区几何 (SAD、Geant4) 改进

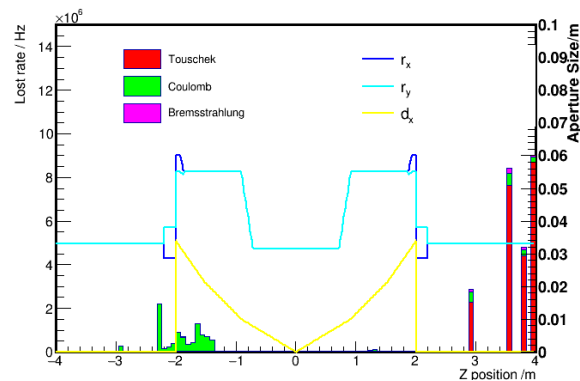


MDC 第一层中电子单束流本底的数据/蒙卡比

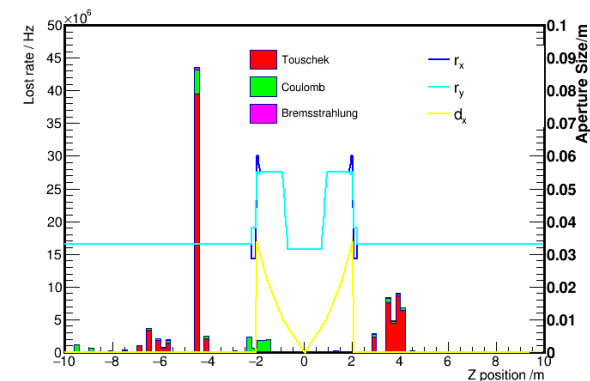


2021 年度实验--模拟改进

- V1->V2: 对撞区丢失粒子显著增加 (betaX 在 $\pm 4.2m$ 达到最大值)

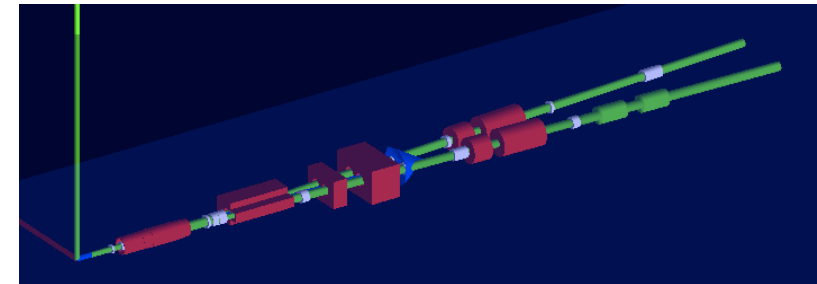
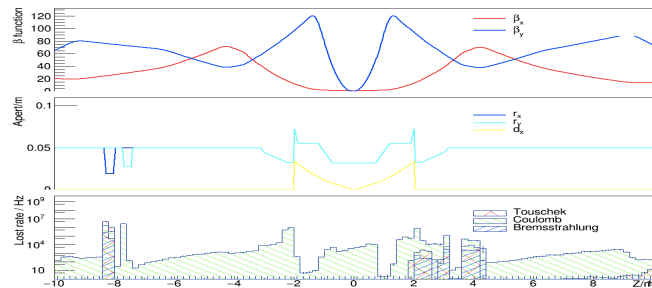


丢失粒子 z 方向分布($\pm 4m$)

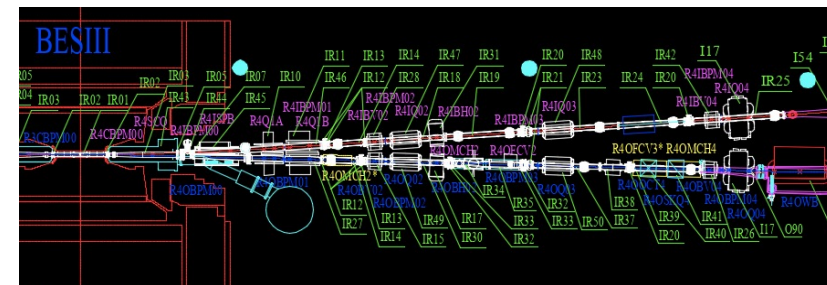


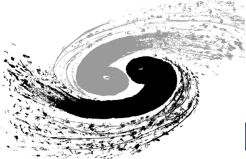
丢失粒子 z 方向分布($\pm 10m$)

- V2->V3: 精确几何 (SAD 中的孔径/G4 中的组件/几何等) 可提升模拟的准确度



- V3->V4: 挡块影响 → 2022 年度实验



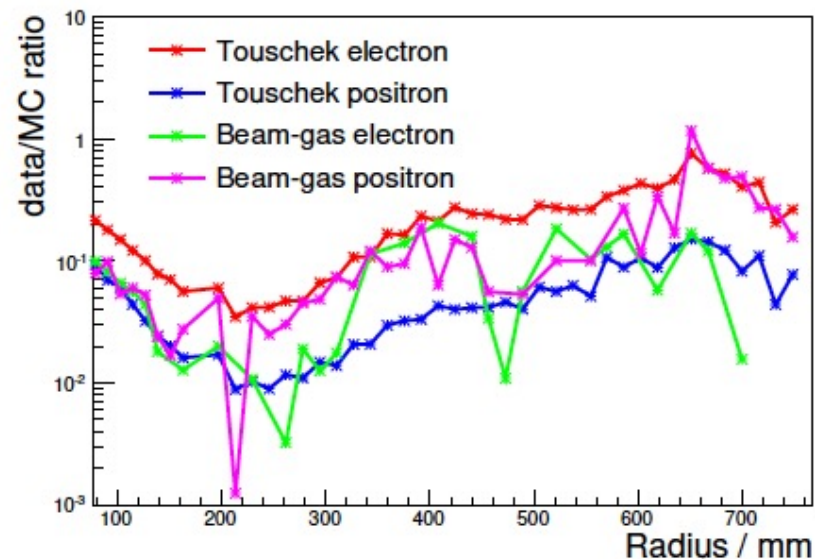


2021 年度实验--模拟/实验对比

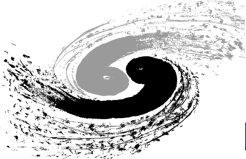
- 对模拟的探测器响应结果引入了基于束流寿命的修正（修正了产生子差距）
- 修正后模拟比数据高 1-2 个量级
- 计数率差距主要来自追踪和相互作用模拟
 - 模拟：提升准确度，包括 Lattice，孔径，几何等
 - 实验：引入挡块作用

束流寿命及修正因子

	τ (hour) experiment	τ (hour) simulation	Scale factor
Touschek e^-	2.29	11.00	4.8
Touschek e^+	2.25	11.81	5.2
Beam-gas e^-	14.80	37.26	2.5
Beam-gas e^+	13.52	37.26	2.8



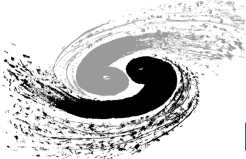
MDC 中数据/蒙卡比



2022 年度实验--挡块效果

- 2022年度的实验主要探究挡块对本底的影响
- BEPCII对撞区上下游共有 4 组活动挡块，其中 3 组位于电子环，1 组位于正电子环。本次实验仅针对电子环开展。
- 实验步骤如下：
 - 恒本底测量：0.5h，无束流。
 - 基准值测量：此时的基准值为相同孔径与真空度下各类本底。总流强设定为 450mA，75 个束团，改变的束团数为 60，75，82，90。测量 4 个点
 - 依次改变挡块孔径大小，并测量本底

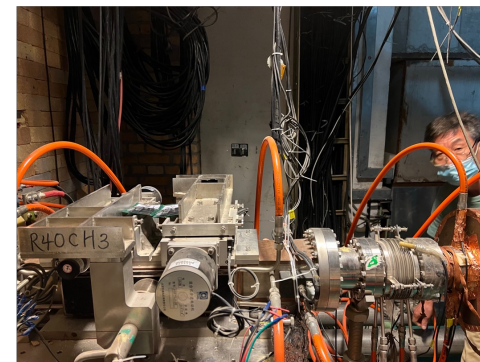
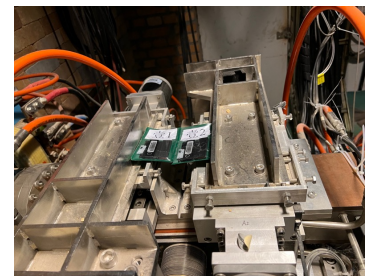
R1 @z=-8.2m	R2 @z=+11m	R3 @z=-11m
27mm	22mm	27mm
32mm	32mm	30mm

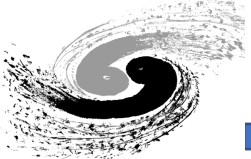


2022 年度实验初步分析--剂量

- 为了更好的测量挡块附近的吸收效果，为未来 BIIU 的挡块设计和屏蔽设计提供参考，本次实验同时开展了挡块附近的剂量变化情况测量。
- 由于调整挡块后的本底实验时间较长（约需 1.5h），同时多次束流参数调整会引入额外的复杂性，因此剂量分析方面，除采集本底数据外，额外对于每次挡块调整，引入了 10 分钟的剂量定标。本分析采用此部分数据。
- 剂量实验仅针对电子环上游 R1 (z@-8.2m) 处活动挡块开展，分别测量挡板本体附近、内墙和外墙处的累积有效剂量。
- 剂量变化非常显著（单位mSv/h）

	35mm	27mm	32mm
本体	4.47	388.43	218.31
内墙	0.10	10.23	5.77
外墙	0.09	14.01	6.45





总结与展望

- 2021 年度和 2022 年度开展了两轮本底实验：
 - BEPCII/BESIII 中，占主导地位的是托歇克散射本底和束流-气体散射本底
 - 托歇克本底随参数调整的变化线性良好
 - 模拟完整性（几何/材料/孔径等）的提升可显著提升模拟的准确度（数据蒙卡比差距从 4 个量级改善至 1 个量级）
 - 挡块调整几乎不会引入真空变化，同时其的确可以吸收很多潜在的本底粒子（剂量显著增加，剂量率提升约 2 个量级）
- 未来：
 - 模拟的完整性需要进一步提升，改善与实验结果的一致性
 - 相关实验需继续开展，可依托取数周期内的机器研究等时间进行
 - 本底研究需进一步完善，对撞本底还需要更深入的研究

谢谢