

CEPC 触发研究

陈博平

高能所 TDAQ 团队



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences



CEPC 物理过程

- 四个模式，对应四个质心能量（左下表）
 - Z(91GeV, 23ns, 115E34), ~50kHz
 - Higgs(240 GeV, 591ns, 5E34) : Higgs 粒子的产生频率: ~0.01Hz ; 所有物理过程共 ~5Hz
 - W(160 GeV, 257ns, 16E34) ; tt(360 GeV, ?ns, 0.5E34)
- 触发: 尽可能保留保留所有物理事例（右上图及右下表），同时压低本底

三种触发方案:

- 全读出 +L1+HLT (Baseline)
- 全软件触发 (Preferred)
- 快速 L0+L1+HLT (Backup)

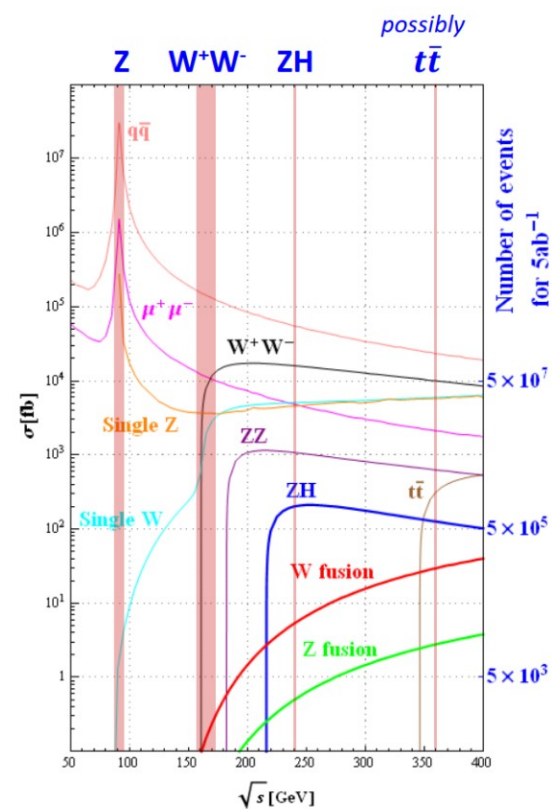
Table 3.1: CEPC operation plan (@ 30 MW)

Particle	$E_{c.m.}$ (GeV)	L per IP ($10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Integrated L per year (ab^{-1} , 2 IPs)	Years	Total Integrated L (ab^{-1} , 2 IPs)	Total no. of events
H	240	5	1.3	10	13	2.6×10^6
Z	91	115*	30	2	60	2.5×10^{12}
W	160	16	4.2	1	4.2	1.3×10^8
tt**	360	0.5	0.13	5	0.65	0.4×10^6

* Detector solenoid field is 2 Tesla during Z operation.
 ** tt operation is optional.

Table 3.2: CEPC operation plan (@ 50 MW)

Particle	$E_{c.m.}$ (GeV)	L per IP ($10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Integrated L per year (ab^{-1} , 2 IPs)	Years	Total Integrated L (ab^{-1} , 2 IPs)	Total no. of events
H	240	8.3	2.2	10	21.6	4.3×10^6
Z	91	192*	50	2	100	4.1×10^{12}
W	160	26.7	6.9	1	6.9	2.1×10^8
tt**	360	0.8	0.2	5	1.0	0.6×10^6



Z衰变道	分支比	事例率(kHz)	H衰变道	分支比	事例率(Hz)
ll	10.00%	5	γγ	2.27E-03	2.27E-05
invisible	20.00%	10	ZZ	2.62E-02	2.62E-04
qq	70.00%	35	WW	2.14E-01	2.14E-03
			ττ	6.27E-02	6.27E-04
			bb	5.82E-01	5.82E-03
			cc	2.89E-02	2.89E-04
			Zγ	1.53E-03	1.53E-05
			μμ	2.18E-04	2.18E-06

MC 样本信息

- MC 样本总结: **Generated Sample Status for CEPC Simulation Studies**

- 包含所有 MC 命名方式及 Higgs mode 截面

- 产生子存于高能所集群: /cefs/data/stdhep/

```
[chenbp@lxlogin002 ~]$ cd /cefs/data/stdhep/
[chenbp@lxlogin002 stdhep]$ ls
CEPC160 CEPC240 CEPC360 CEPC91 container generator whizard3 whizard_in
```

- 仍需要跑 CEPCSW 产生探测器模拟 MC

- b: b quark; a: 光子; Pbbh_aa.e0.p0: $V(-\rightarrow bb)H(-\rightarrow aa)$

```
[chenbp@lxlogin002 data]$ pwd
/cefs/data/stdhep/CEPC240/higgs/update_from_LiangHao_1M/data
[chenbp@lxlogin002 data]$ ls
E240.Pbbh_aa.e0.p0.whizard195  E240.Pddh_ss.e0.p0.whizard195
E240.Pbbh_az.e0.p0.whizard195  E240.Pddh_uu.e0.p0.whizard195
E240.Pbbh_bb.e0.p0.whizard195  E240.Pddh_ww.e0.p0.whizard195
E240.Pbbh_cc.e0.p0.whizard195  E240.Pddh_X.e0.p0.whizard195
E240.Pbbh_dd.e0.p0.whizard195  E240.Pddh_zz.e0.p0.whizard195
```

Table 3: The cross section for the electronic part of Higgs signal

Process	Cross section [fb]	Error [fb]	ILC result [fb]
e1e1h_X	7.60	0.006	7.19
e2e2h_X	7.10	0.004	7.03
e3e3h_X	7.08	0.004	7.02

Table 4: The cross section for the neutrino part of Higgs signal

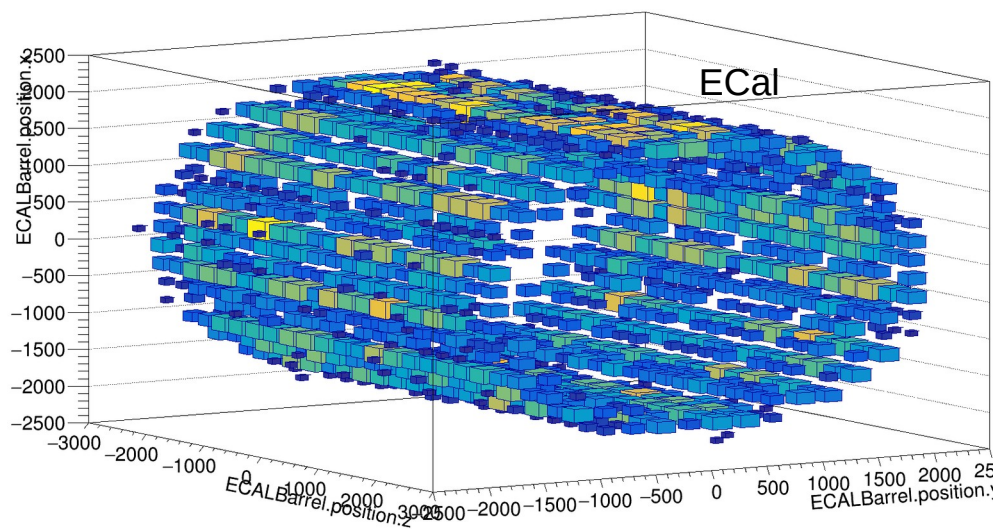
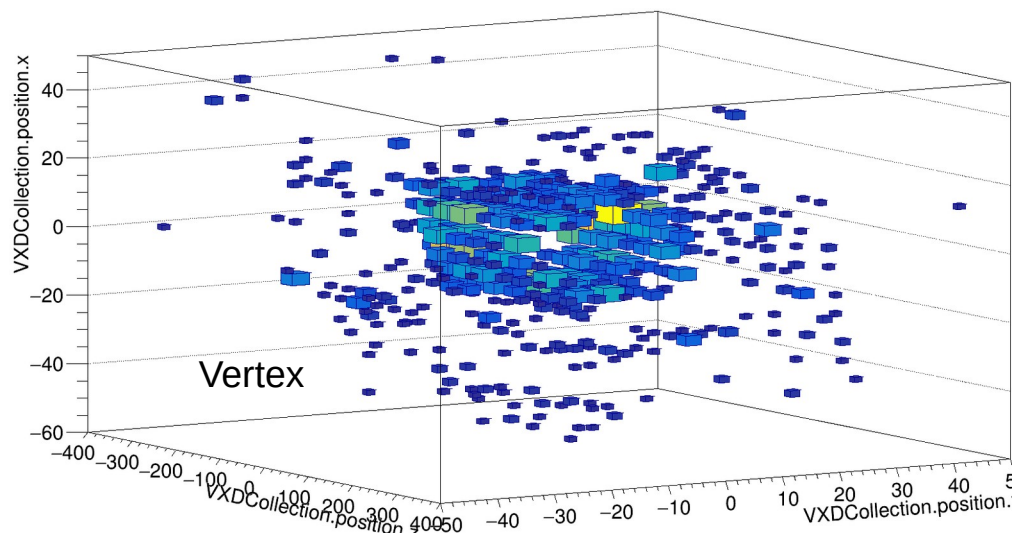
Process	Cross section [fb]	Error [fb]	ILC result [fb]
nnh_X	48.96	0.033	48.43
n1n1h_X	20.91	0.017	-
n2n2h_X	14.03	0.008	-
n3n3h_X	14.01	0.008	-

探测器及束流本底

- CEPCSW探测器：
 - 模拟的配置文件： Detector/DetCRD/scripts/TDR_o1_v01/sim(track/calodigi).py
 - 量能器桶部有初步数字化结果，即模拟结果为每个 channel 的输出
 - 量能器端盖还未放进 CEPCSW ， Muon 和 OTK 探测器信息最近会放进 CEPCSW 中
 - 其他探测器还没做数字化
 - 硬件触发： OTK+Cal+Muon ； 高级触发： ITK+TPC+OTK+Cal+Muon+(Vertex?)
 - 软件触发：可能都可以用
- 50MW 束流本底：
 - 石澔琦老师已经产生了 2000 个 Higgs 束流本底，包括 single 和 pair ，可以用于触发研究
 - Higgs 同步辐射及 Z 的束流本底还在跑

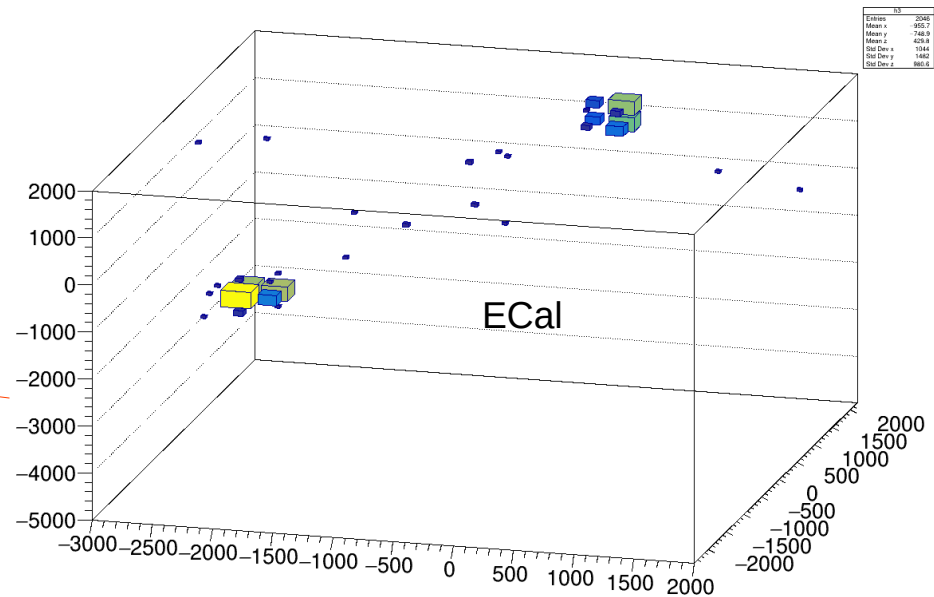
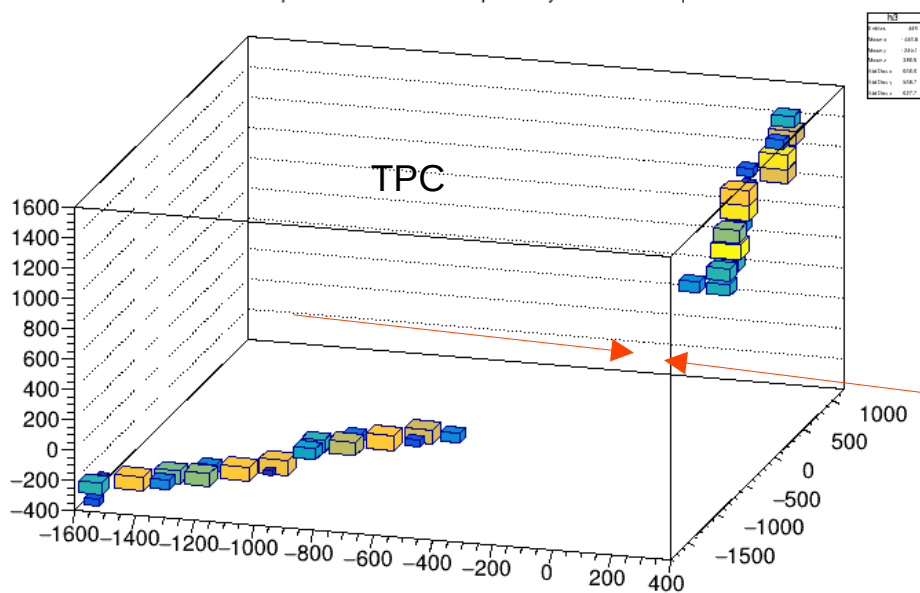
H 束流本底

- Vertex (左) 及 ECal (右) 有大量的 hit
- 其余探测器几乎没有响应: ITK、TPC 只有少量 hit
- 最终真实事例是物理事例及本底的叠加, 软件方面暂时还没法将两者放在同一个事例当中
- 电子由于磁场作用几乎都只在顶点探测器, 辐射出来的光子击中电磁量能器



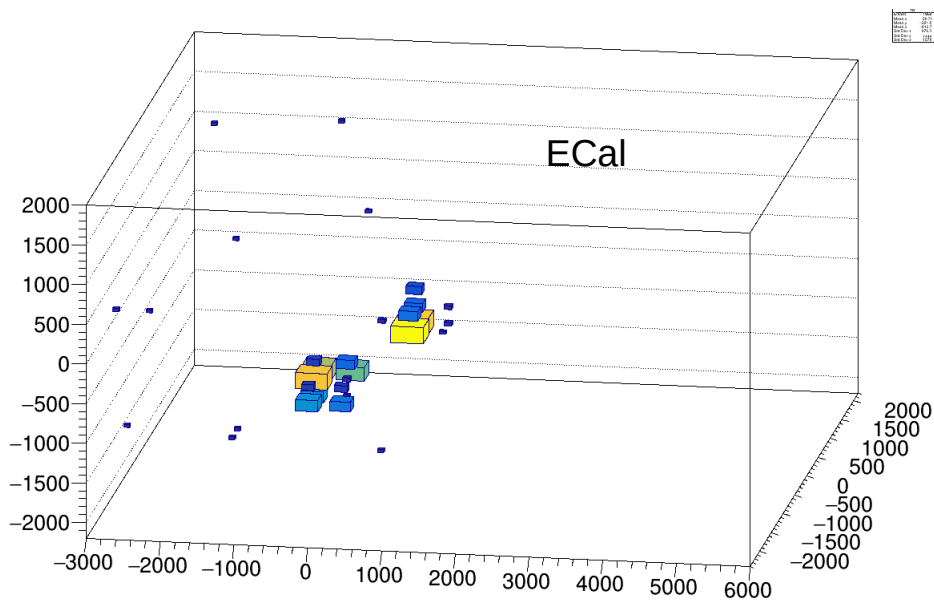
各物理对象模拟结果：电子

- 挑选特别的物理信号过程产生信号 MC 来研究特定的物理对象
- 对电子，选择 $ZH \rightarrow eeee$ 的过程。大部分情况末态只有两个电子，H 无法衰变为双电子
- 红色箭头表示正负电子束，之后所有图片中正负电子束都是相同的方向
- 左图为 TPC, 右图为 ECal。方块越大能量越高



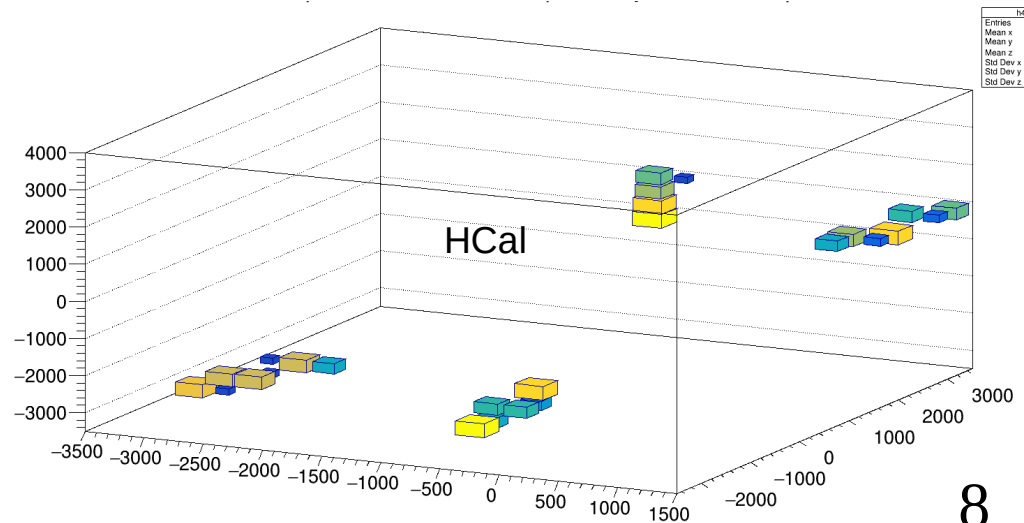
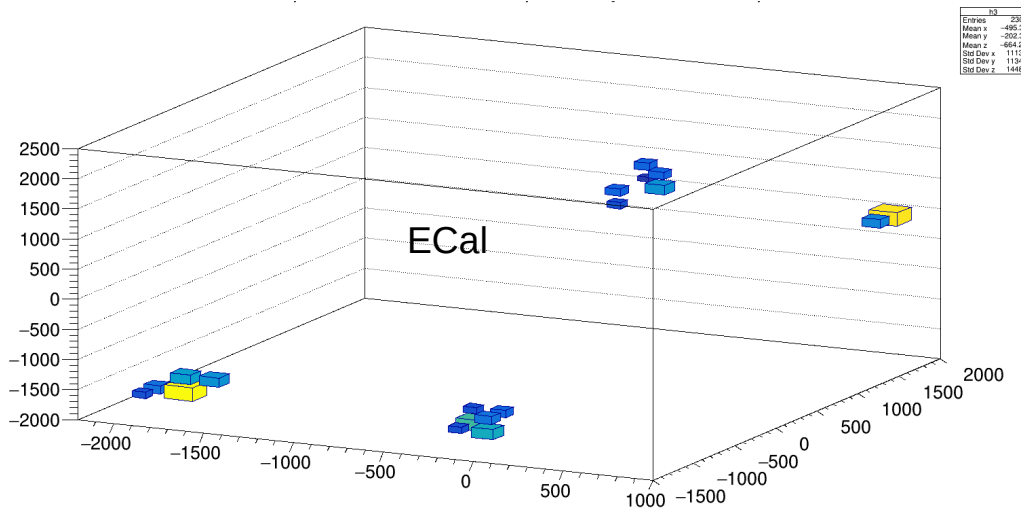
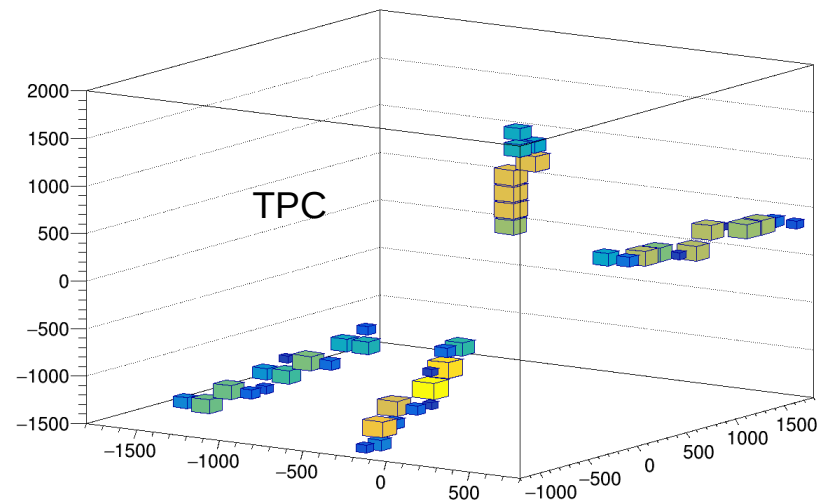
光子

- Z 衰变到两中微子，h 衰变到两光子，末态只有双光子
- 下图为 ECal：光子的 ECal 响应跟电子类似，产生两个能量堆积。大部分情况下 tracker 没有响应，少数情况下光子在到达 ECal 前衰变为电子产生 track
- 对光子和电子， HCal 也有一点读数



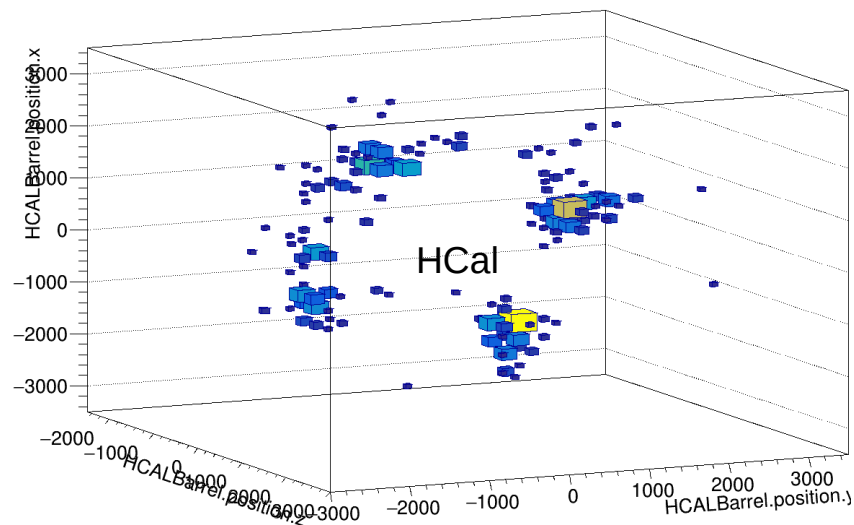
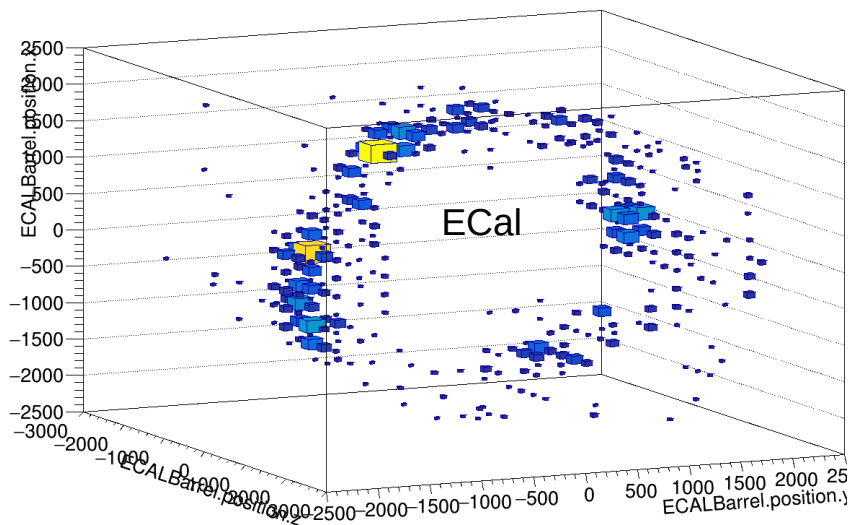
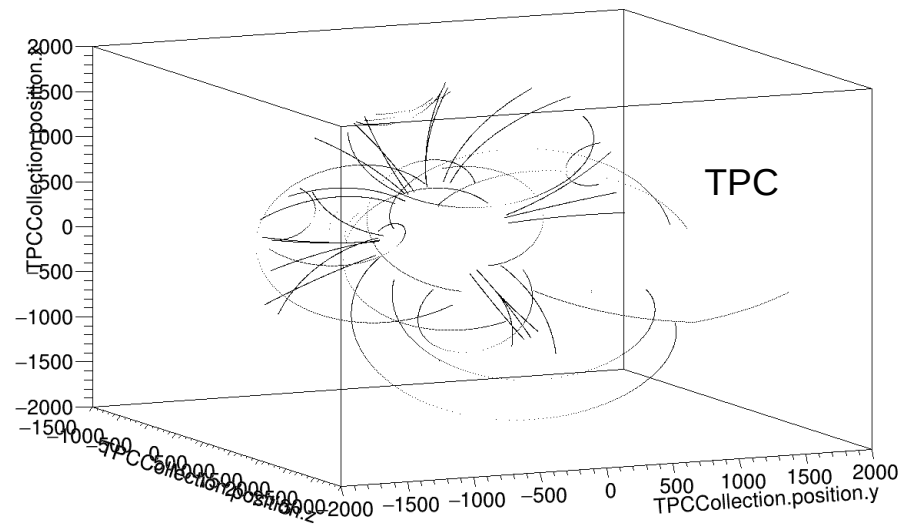
muon

- 选择 ZH 到四个 muon
- 右上为 TPC，左下为 Eca，右下为 ECal，有四个 track
- Muon 探测器信息暂时还没放进 CEPCSW



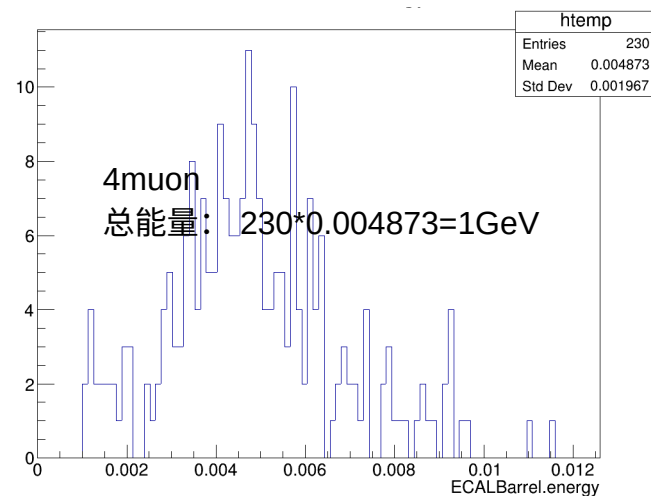
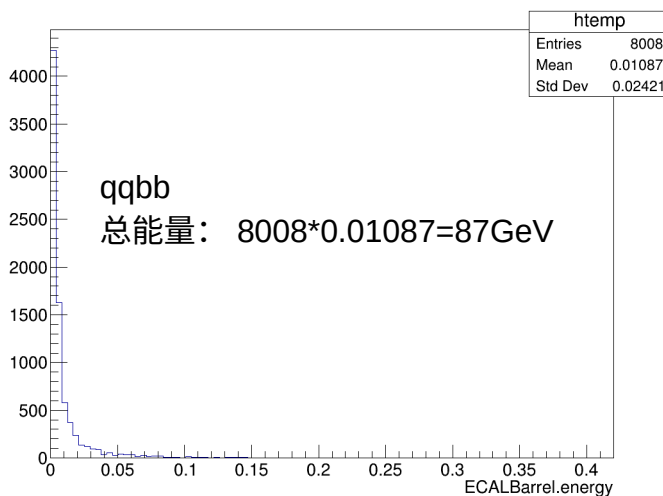
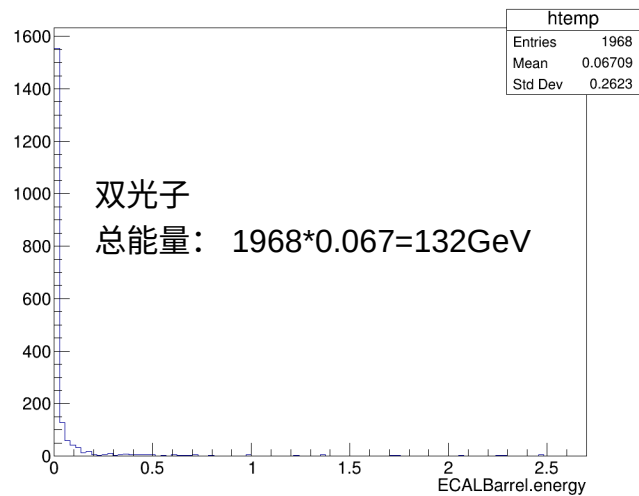
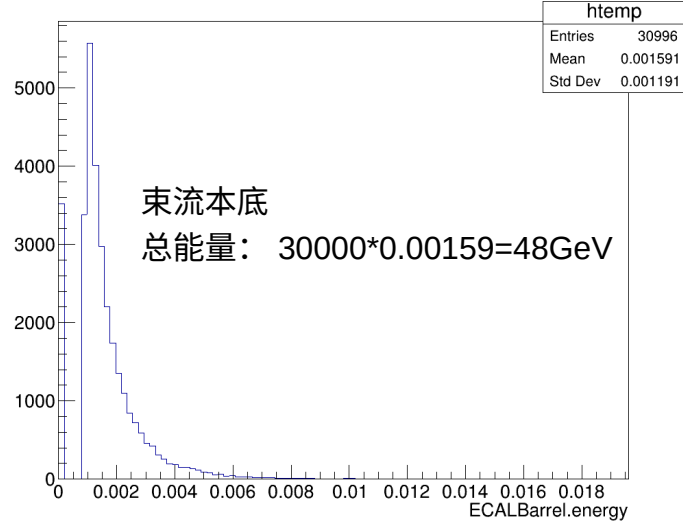
Jet

- Z 到两个 quark , H 到两个 b quark
- 右上为 TPC
- 左下为 ECAL, 右下为 HCal
 - 各有 4 块比较大的能量堆积区域, 并一一对应



ECal 能量分布

- 束流本底的能量相对较小，且分布较均匀
- 量能器有较大能量堆积的事例，可以直接计算量能器总能量 / 局部能量来区分
- 对量能器上能量较小的事例，如 muon，需要考虑其他探测器的信息



未来计划

- 10月21日是IDRC评审日，年底要给出TDR初稿
- 需要完成：
 - 1：产生MC模拟样本
 - 现在已产生10000个 $VH \rightarrow vv\Upsilon\Upsilon$ 及前几页提及的少量的Higgs的过程
 - 在高能所集群上跑，10000个 $VH \rightarrow vv\Upsilon\Upsilon$ 事例，分10个job, 每个job 1000事例，大概需要半天时间
 - 现在软件还缺部分探测器信息，可以先选只需要量能器的过程研究
 - 最近一两周所有探测器信息都放进CEPCSW后再产生其他Higgs、Z物理过程
 - 2：按照baseline（L1+HLT）设计触发方案
 - 分别对硬件、软件触发设计触发算法
 - 对各子探测器的信息利用：track，energy cluster，muon，其他？
 - 对各物理过程计算触发效率，计算本底率
 - 3：完成TDR触发物理、算法方面的编写

算法方向的人力

- 职工：陈博平
- 两位学生
 - 刘栋：模拟
 - 张叙：CPU/GPU 算法评估