

外靶 **Geant4** 模拟分析

孙亚洲

Feb. 6th, 2019

大年初二

目录

1. 模拟目的
2. 程序简介
3. 模拟结果
4. 外靶 **NIMA** 文章 **1st response**

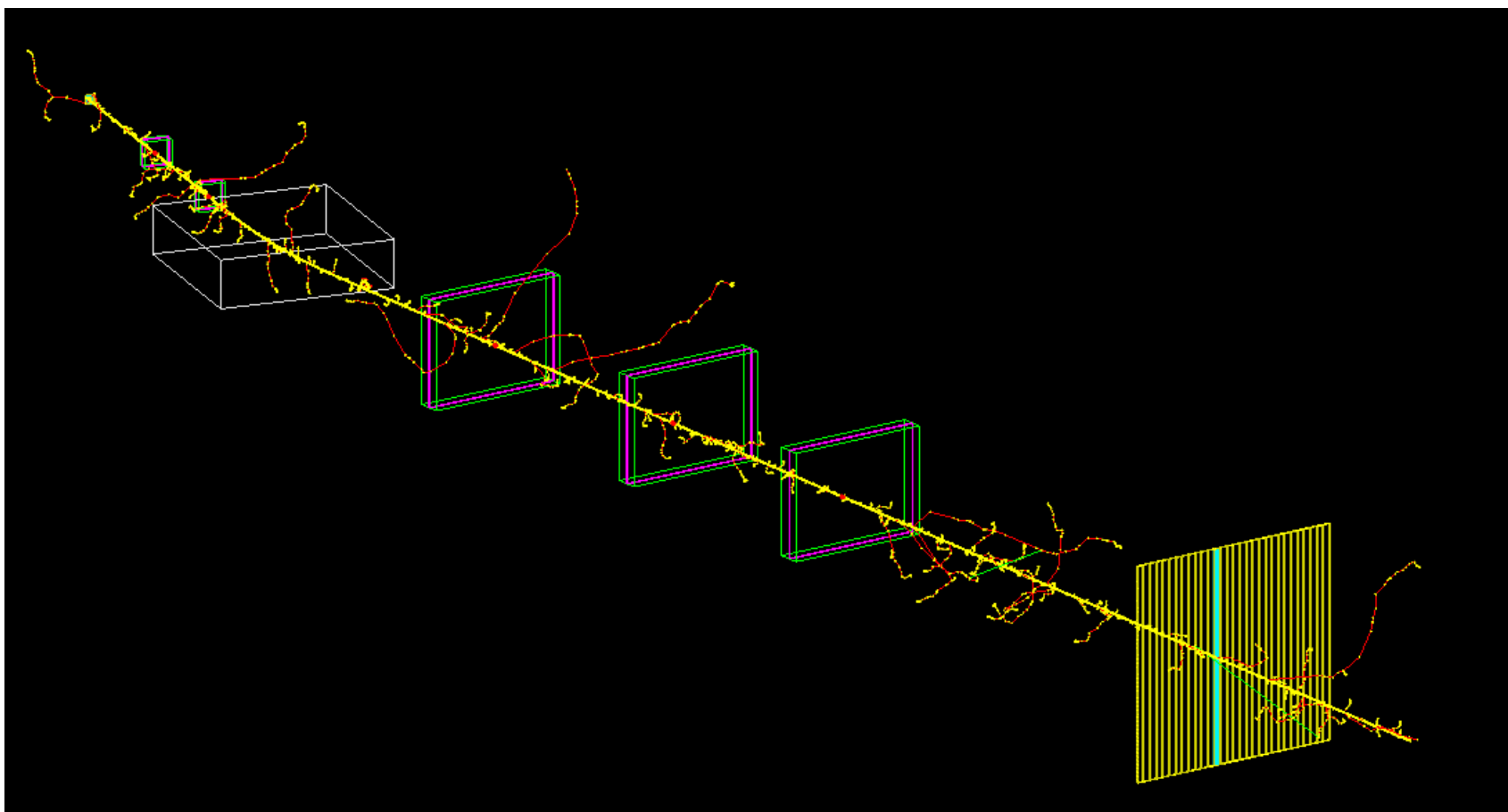
1. 模拟目的

应审稿人要求，这个模拟通过分析模拟数据，来得到外靶的漂移室位置分辨给粒子鉴别分辨率带来的限制。同时也作为自己的数据分析程序的一个验证。

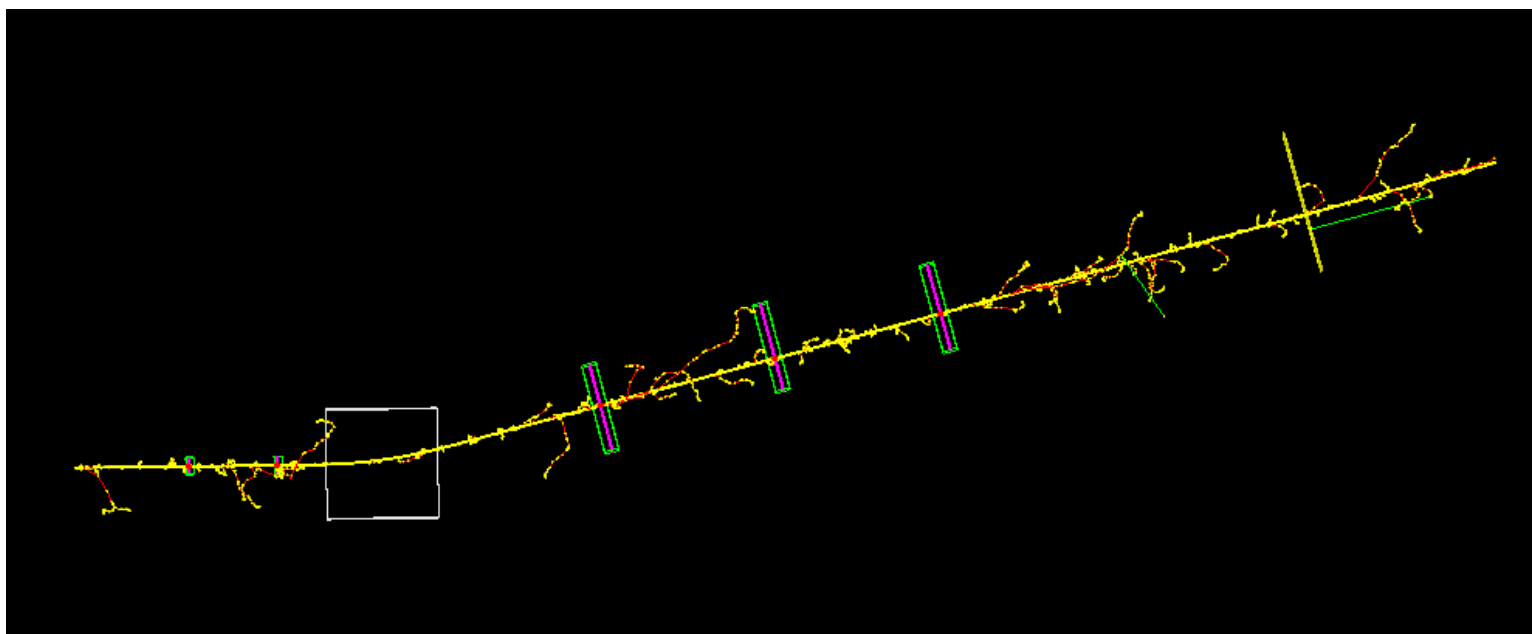
2. 程序简介

1. 本程序改编自 **G4** 的 **examples/B1** 和 **B5**，探测器的几何，物质和姿态全部取自 **2018** 年 **7** 月份外靶的束流实验，大气压使用兰州本地。
2. 二级铁使用 **2011** 年的测量数据，包含了边缘场 (**fringe field**). 磁场强度可 **scale(/ETF/field/value <value>)**.
3. 数据格式方面：每个探测器 (**Tstop, PDC, DC, TOFW**) 都定义了相应的 **SensitiveDetector(SD)** 和 **Hit** 类，漂移室定义了 **wirePlane(<=0.1mm)**。**treeETF** 中储存每个 **SD** 处的位置，动量，速度，动能，时间。
4. 只储存入射粒子 (**primaries**) 的 **hit**。
5. 分析程序使用自己的 (**BINGER**)，漂移室位置做了探测器位置分辨的卷积处理 (**PDC:0.5mm,DC:0.3mm**)。

2. 程序简介



2. 程序简介



```

--> Event 0 starts.
--- ETFEventAction::ProcessOneHit() ---
World
Tstop
C12 Q: 6 M: 11174.9
-----
--- ETFEventAction::ProcessOneHit() ---
TOFW
Strip
C12 Q: 6 M: 11174.863387984
-----
index 0
>>> Event 0 >>> Simulation truth: C12 (-0,0,8524.1781489355)
Pla 0 has 1 hits.
--Tstop
Strip[0] -----
Time: 0.27182359276797 ns
Velocity: 181.80262166693 mm/ns
KineticEnergy: 2.8794556008393 GeV
WorldPos(x, y, z): (-4.4393736121308, -5.3977994028327, -2700.58)
Momentum(px, py, pz): (-0.53152998061347, -0.44180669611931, 8523.2804730209)
Pla 1 has 1 hits.
--Strip
Strip[12] -----
Time: 63.174130234401 ns
Velocity: 177.30274239357 mm/ns
KineticEnergy: 2.683783048991 GeV
WorldPos(x, y, z): (2131.3315295197, -5.8954696185313, 8298.8751270337)
Momentum(px, py, pz): (2048.3346232729, 21.95098125454, 7936.520191526)
Drift Chamber array 0 has 5 hits.
DC[0], WireLayer[0]
Time 5.5881195576769 ns ---
Velocity: 180.51756744518 mm/ns
KineticEnergy: 2.8219287193547 GeV
Local (x, y, z): (-4.4296858304005, -5.9122264470144, -0.0399999999999964)
World (x, y, z): (-4.1796858304005, -6.7022264470144, -1740.19)
Momentum(px, py, pz): (0.2056585623147, -10.365407312488, 8428.078670254)
DC[0], WireLayer[0]
Time 5.5882599855894 ns ---
Velocity: 180.5172885882 mm/ns
KineticEnergy: 2.8219162360118 GeV
Local (x, y, z): (-4.4296852118278, -5.912257623731, -0.014650314006758)

```

模拟中出现漂移室一层丝（0.1mm）内多个_{hit}的情况，由于距离很近，可以看作同一个_{hit}，使用最后一个。

2. 程序

```
ETFRunAction.cc
~/pionExp2017/Lab/g4/ETF/src
Save

19 fFile = new TFile("ETF.root", "RECREATE");
20 fTree = new TTree("treeETF", "data tree for ETF");
21 fTree->Branch("index", &fData.index, "index/I");
22
23 // particle definition
24 fTree->Branch("A", &fData.A, "A/D");
25 fTree->Branch("Z", &fData.Z, "Z/D");
26
27 fTree->Branch("p0", fData.p0, "p0[3]/D"); // initial momentum
28
29 fTree->Branch("TstopNhit", &fData.TstopNhit, "TstopNhit/I");
30 fTree->Branch("TstopTime", &fData.TstopTime, "TstopTime/D");
31 fTree->Branch("TstopVelocity", &fData.TstopVelocity, "TstopVelocity/D");
32 fTree->Branch("TstopKineticEnergy", &fData.TstopKineticEnergy,
33 "TstopKineticEnergy/D");
34 fTree->Branch("TstopPos", fData.TstopPos, "TstopPos[3]/D");
35 fTree->Branch("TstopMomentum", fData.TstopMomentum, "TstopMomentum[3]/D");
36
37 fTree->Branch("TOFWNhit", &fData.TOFWNhit, "TOFWNhit/I");
38 fTree->Branch("TOFWStripId", &fData.TOFWStripId, "stripId/I");
39 fTree->Branch("TOFWTime", &fData.TOFWTime, "TOFWTime/D");
40 fTree->Branch("TOFWVelocity", &fData.TOFWVelocity, "TOFWVelocity/D");
41 fTree->Branch("TOFWKineticEnergy", &fData.TOFWKineticEnergy,
42 "TOFWKineticEnergy/D");
43 fTree->Branch("TOFWPos", fData.TOFWPos, "TOFWPos[3]/D");
44 fTree->Branch("TOFWMomentum", fData.TOFWMomentum, "TOFWMomentum[3]/D");
45
46 fTree->Branch("PDCArrNhit", &fData.PDCArrNhit, "PDCArrNhit/I");
47 fTree->Branch("PDCTime", fData.PDCTime, "PDCTime[4]/D");
48 fTree->Branch("PDCVelocity", fData.PDCVelocity, "PDCVelocity[4]/D");
49 fTree->Branch("PDCKineticEnergy", fData.PDCKineticEnergy, "PDCKineticEnergy[4]/
50 D");
51 fTree->Branch("PDCTime", fData.PDCTime, "PDCTime[4]/D");
52 fTree->Branch("PDCPos", fData.PDCPos, "PDCPos[4][3]/D");
53 fTree->Branch("PDCMomentum", fData.PDCMomentum, "PDCMomentum[4][3]/D");
54
55 fTree->Branch("DCArrNhit", &fData.DCArrNhit, "DCArrNhit/I");
56 fTree->Branch("DCTime", fData.DCTime, "DCTime[6]/D");
57 fTree->Branch("DCVelocity", fData.DCVelocity, "DCVelocity[6]/D");
58 fTree->Branch("DCKineticEnergy", fData.DCKineticEnergy, "DCKineticEnergy[6]/
59 D");
60 fTree->Branch("DCPos", fData.DCPos, "DCPos[6][3]/D");
61 fTree->Branch("DCMomentum", fData.DCMomentum, "DCMomentum[6][3]/D");
62 }
```



```

Open ▾  AnaG4Sim.C  ~/\pionExp2017/src  Save  ≡  ◀  ◻  ✕
31  else if(4 == gGOOD_PDC) gGOOD_PDC = 1;
32  else isBad = true;
33  // pre-process DC data //
34  for(int j = 0; j < 6; j++){
35      x_dc[j] = rdm.Gaus(data.DCPos[j][0], DCRes);
36  //      y_dc[j] = data.DCPos[j][1];
37      z_dc[j] = rdm.Gaus(data.DCPos[j][2], DCRes);
38      if(-9999. != x_dc[j]){
39          LAYER_DC[nFiredWirePerPlaneDC++] = j;
40      }
41  }
42  gGOOD_DC = nFiredWirePerPlaneDC;
43  if(4 == gGOOD_DC) gGOOD_DC = 2;
44  if(nFiredWirePerPlaneDC == 3){
45      if((-9999. == x_dc[0] && -9999. == x_dc[1]) ||
46         (-9999. == x_dc[2] && -9999. == x_dc[3]) ||
47         (-9999. == x_dc[4] && -9999. == x_dc[5]))
48          isBad = true;
49  }
50  if(isBad){
51      treeTrack->Fill();
52      continue;
53  }
54  d2PDC = // d2Thre for C16_PDC in control file: 40
55          TAMath::Dsquare(z_pdc, x_pdc, kPDC, bPDC, gGOOD_PDC, LAYER_PDC, 50);
56  TAMath::AssignChi(z_pdc, x_pdc, kPDC, bPDC, gGOOD_PDC, LAYER_PDC, chiPDC);
57  d2DC = // d2Thre for C16_DC in control file: 17
58         TAMath::Dsquare(z_dc, x_dc, kDC, bDC, gGOOD_DC, LAYER_DC, 50);
59  TAMath::AssignChi(z_dc, x_dc, kDC, bDC, gGOOD_DC, LAYER_DC, chiDC);
60  // PID using RK or Uniform Mag method //
61  tof = data.TOFTime - data.TstopTime; // unit: ns
62  // x=k1z+b1, y=k2z+b2
63  double pIn[4] = {kPDC, -9999., bPDC, -9999.}; // {k1, k2, b1, b2}
64  double pIn0[4] = {pIn[0], pIn[1], pIn[2], pIn[3]};
65  double pOut[4] = {kDC, -9999., bDC, -9999.}; // {k1, k2, b1, b2}
66  // acceptable pidOpt values are explained as follows:
67  // kOpt1: nonuniform magnetic field high precision
68  // kOpt4: uniform magnetic field analytic solution - trk+trk
69  TAPID::OPTION pidOpt = TAPID::kOpt1; // 4: uniform; 1: real
70  pid->Fly(tof, -9999., pOut, 1, pidOpt, pIn, pIn0);
71  beta = pid->GetBeta(); aoz = pid->GetAoZ(); poz = pid->GetPoZ();
72  brho = pid->GetBrho(); trkLenT = pid->GetTotalTrackLength();
73  pid->GetXYZAcr(x2):

```

漂移室上的击中
 位置直接使用丝
 层上的 **hit** 位置
 高斯弥散后得到
 (**PDC:0.15**
mm,DC:0.3
mm) , 径迹拟
 合使用最小二乘
 法。

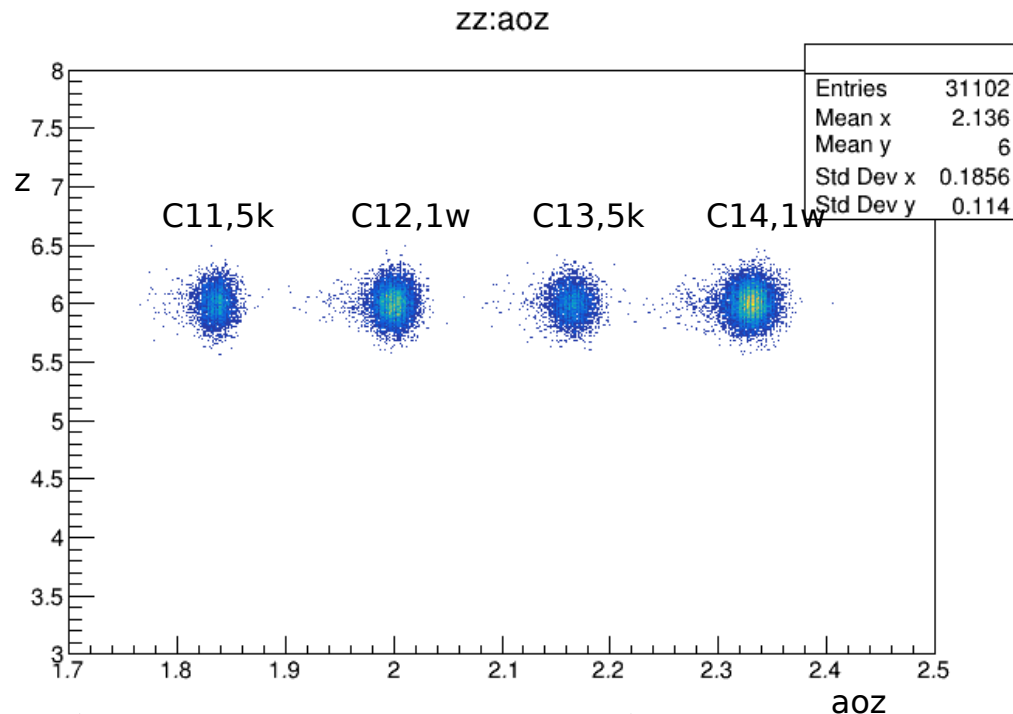
Z 直接使用高斯
 弥散, **sigma**
 使用 **MUSIC2**
 的分辨。

3. 模拟结果

能量: **240MeV/u**

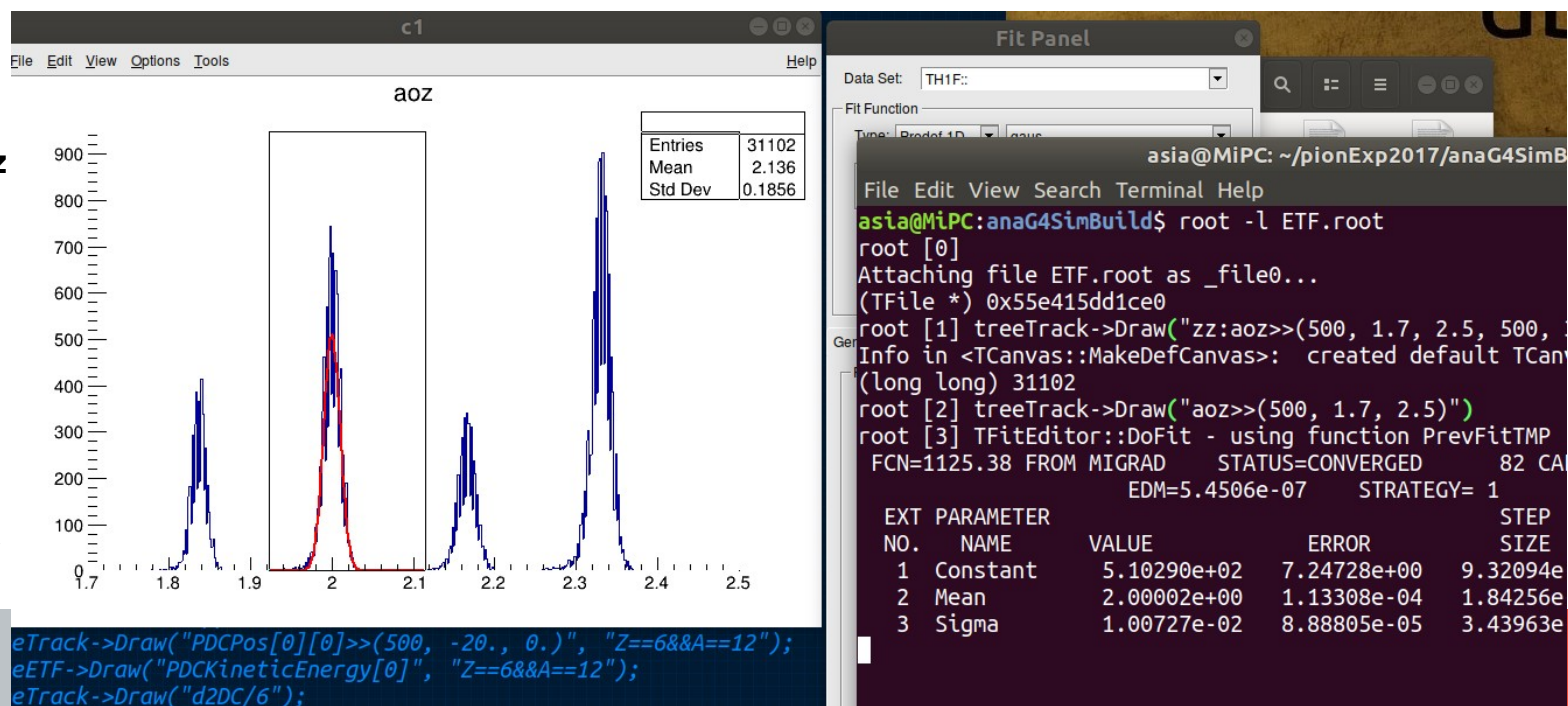
右图是 **RK** 方法的结果, **aoz**
分辨是 **1/100**, 相对分辨 **1/20**

约等于 $\sigma(p)/p$, 比实验结果好一倍 (实验结果是 **1/100**) 。



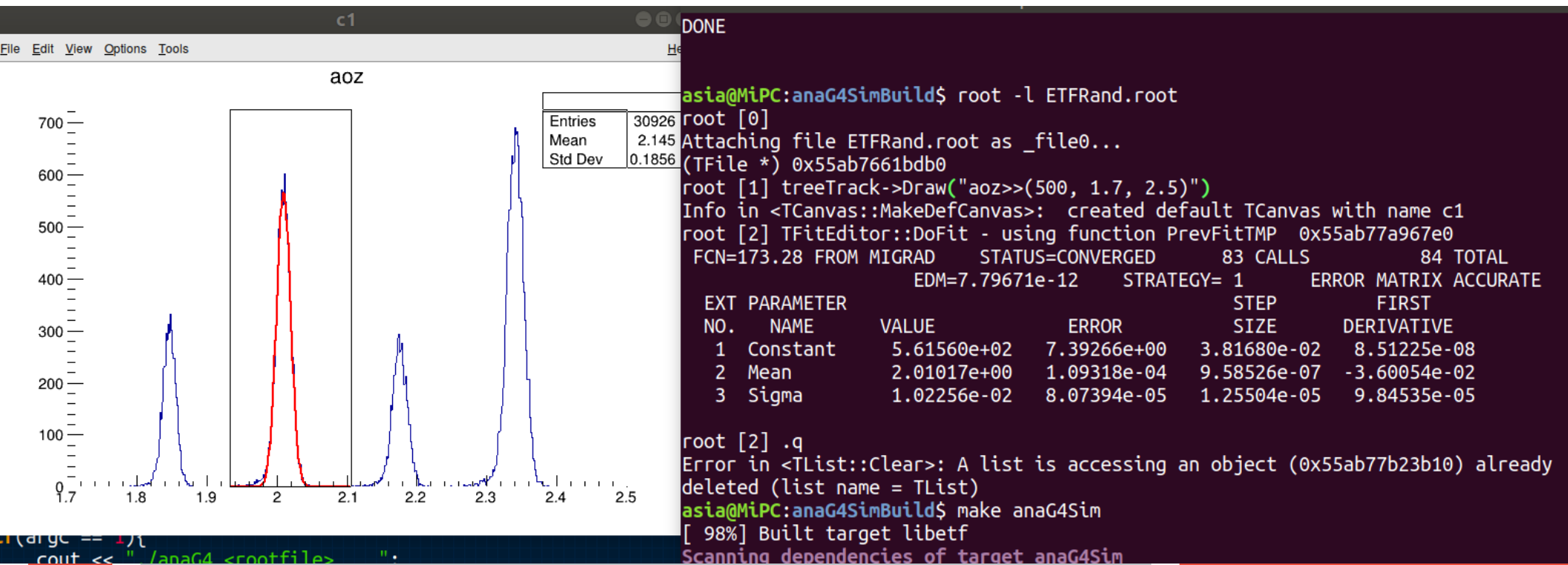
RK 方法得到的 **aoz**
没有位置偏移

(high accuracy), 因为 **TOF** 和磁场都是准确的, 同时漂移室位置也没有偏差。



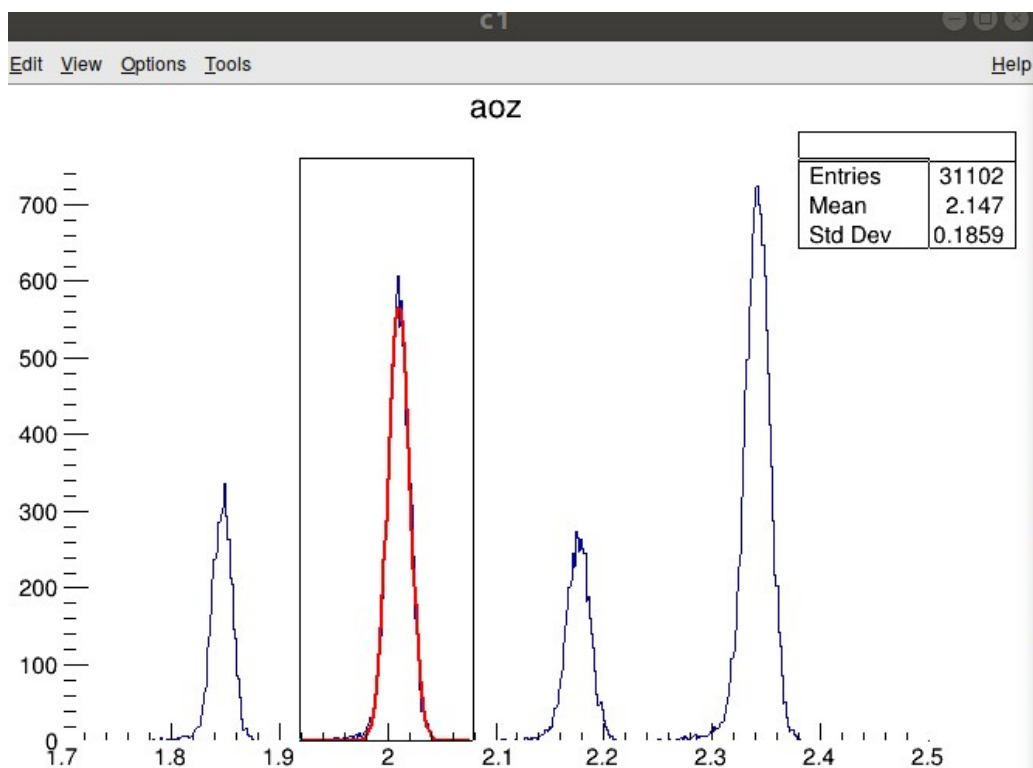
3. 模拟结果

这里展示匀强磁场近似下解析方法 **PID** 的结果。可见该方法的 **PID** 分辨和 **RK** 方法相当，只是 **aoz** 有偏移，因为磁场并不准。



3. 模拟结果

漂移室的位置分辨都设为 **0**，即绝对准确，得到的 **aoz** 分辨基本不变，

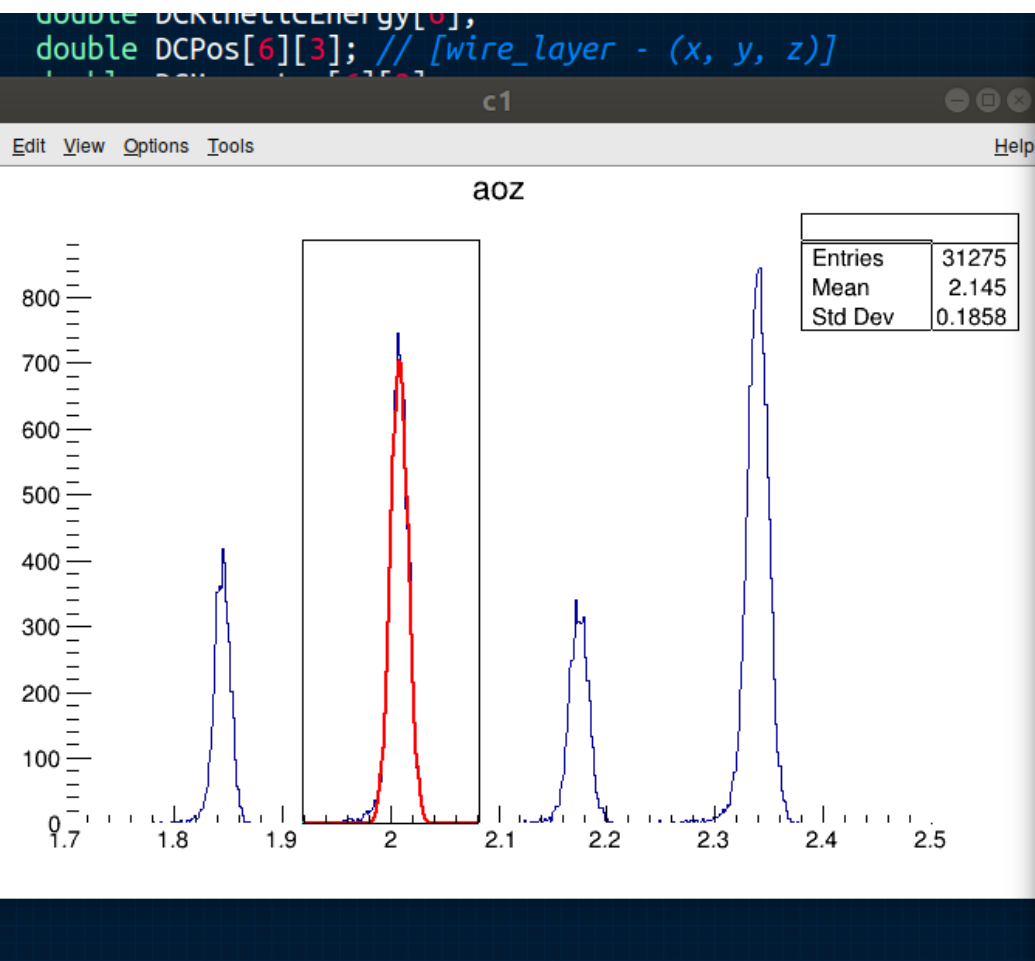


```
double pin[4] = {pin[0], pin[1], pin[2], pin[3]},  
double pOut[4] = {kDC, -9999., bDC, -9999.}; // {k1, k2, k3, k4}  
// acceptable pidOpt values are explained as follows:  
// kOpt1: nonuniform magnetic field high precision  
// kOpt4: uniform magnetic field analytic solution - trk+trk  
TAPID::OPTION pidOpt = TAPID::kOpt4; // 4: uniform; 1: rec
```

```
Fit Panel  
asia@MiPC: ~/pionExp2017/anaG4SimBuild  
File Edit View Search Terminal Help  
asia@MiPC:anaG4SimBuild$ ./anaG4Sim ETFRand.root  
BINGER-Info: [TAEvProsr] SetMagneticIntensity(): Input Mag  
BINGER-Info: [TAEvProcessor] Configure: selected Exp Co  
18_July_16C  
Processing event 31101  
DONE  
asia@MiPC:anaG4SimBuild$ root -l ETFRand.root  
root [0]  
Attaching file ETFRand.root as _file0...  
(TFile *) 0x5579cff20060  
root [1] treeTrack->Draw("aoz>>(500, 1.7, 2.5)")  
Info in <TCanvas::MakeDefCanvas>: created default TCanvas w  
root [2] TFitEditor::DoFit - using function PrevFitTMP 0x55  
FCN=153.89 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 74 CALLS  
EDM=4.00336e-08 STRATEGY= 1 ERR  
EXT PARAMETER  
NO. NAME VALUE ERROR STEP  
1 Constant 5.66175e+02 7.52175e+00 3.62480e-02  
2 Mean 2.01019e+00 1.07799e-04 9.58535e-07  
3 Sigma 1.01610e-02 8.23298e-05 1.21494e-05
```

3. 模拟结果

二级铁使用真空，漂移室使用正常位置分辨， **PID** 分辨提高 **30%**.



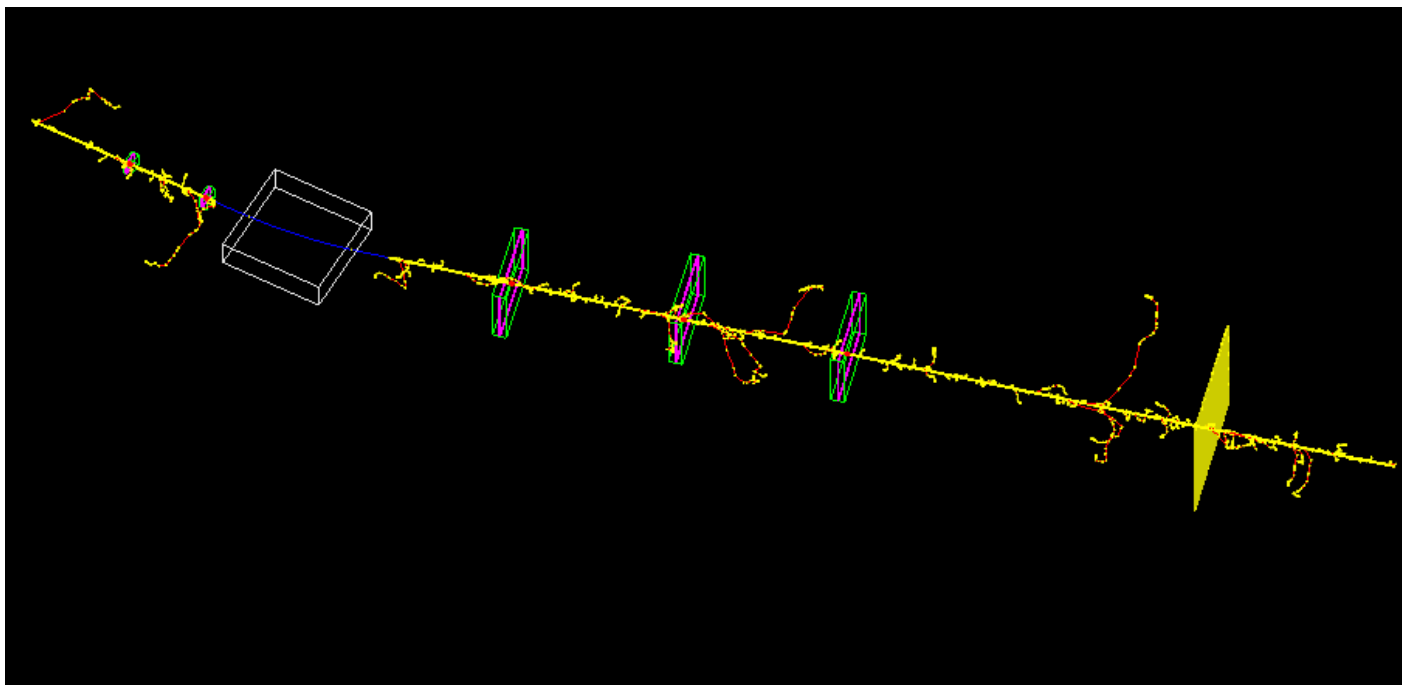
```
asia@MiPC: ~/pionExp2017/anaG4SimBuild
File Edit View Search Terminal Help
asia@MiPC:anaG4SimBuild$ ./anaG4Sim ETFv.root
BINGER-Info: [TAEvProsr] SetMagneticIntensity(): Input Mag i
BINGER-Info: [TAEvProcessor] Configure: selected Exp Conf
18_July_16C
Processing event 31274
DONE

asia@MiPC:anaG4SimBuild$ root -l ETFv.root
root [0]
Attaching file ETFv.root as _file0...
(TFile *) 0x563e31972c20
root [1] treeTrack->Draw("aoz>>(500, 1.7, 2.5)")
Info in <TCanvas::MakeDefCanvas>: created default TCanvas wit
root [2] TFitEditor::DoFit - using function PrevFitTMP 0x563e
FCN=222.529 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 81 CALLS
EDM=1.57574e-08 STRATEGY= 1 ERROR

EXT PARAMETER
NO. NAME VALUE ERROR STEP SIZE DE
1 Constant 7.06380e+02 9.45053e+00 5.43468e-02 1
2 Mean 2.00805e+00 8.65363e-05 9.57511e-07 -1
3 Sigma 8.13873e-03 6.73136e-05 1.40851e-05 -2
```

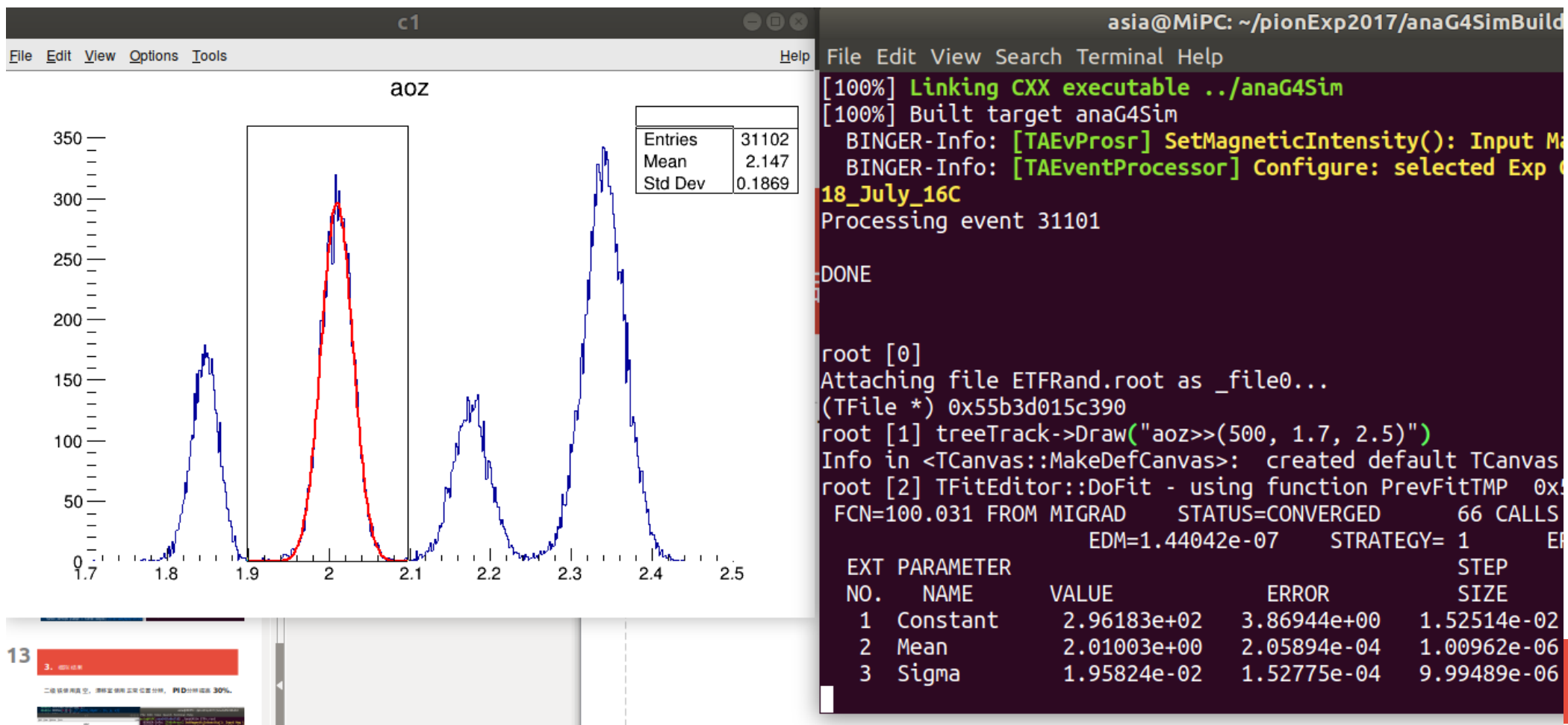
3. 模拟结果

二级铁内真空



3. 模拟结果

漂移室分辨调到 **PDC1.5mm**，**DC1.5mm**，得到外靶的 **PID** 分辨：



3. 模拟结果

综上所述，可以认为

1. $\sigma(\text{aoz})/\text{aoz}=1/200(\approx\sigma(\rho)/\rho)$ 是 2018 年 7 月份实验 setup 下外靶的 PID 分辨理论上限。
2. 真实磁场中 RK 方法追踪粒子的方法和匀强磁场使用纯几何方法得到解析解计算 aoz 的方法得到的 PID 分辨相当，后者得到的 aoz 会有整体偏差。不过实验中 offset 随处可见，不可避免，RK 方法也会有 aoz 的 offset 的，这并不是相比之下，RK 方法的优势。

4. 外靶 **NIMA** 文章 **1st response**

首先，不可避免的问题是，为什么外靶只能得到理论分辨的一半？可能的原因很多，比如磁场和真实值的偏差，漂移室的位置测量不准和安装误差。后者的贡献应该很大，实验数据表明 **PDC** 有很多漂移时间极小的情况，导致 **tracking** 误差严重。

模拟结果同时显示，如果漂移室位置分辨设为 **0**，**aoz** 分辨变好小于 **1%**，**DC** 拟合参差 **=0.15um**，来自于粒子在空气中飞行和空气分子多重散射带来的统计涨落带来的偏离直线径迹的位置误差。这可能是 **SUMARAI** 采用低气压连体 **FDC** 作 **tracking** 的背后考量。这也是影响外靶分辨的因素。