基于AT-TPC的$^{12}\mathrm{Be}(p,p)^{12}\mathrm{Be}$实验数据分析

报告人：卢奋华

指导老师：陈洁、柳卫平

2024.11

活性靶时间投影室

目录

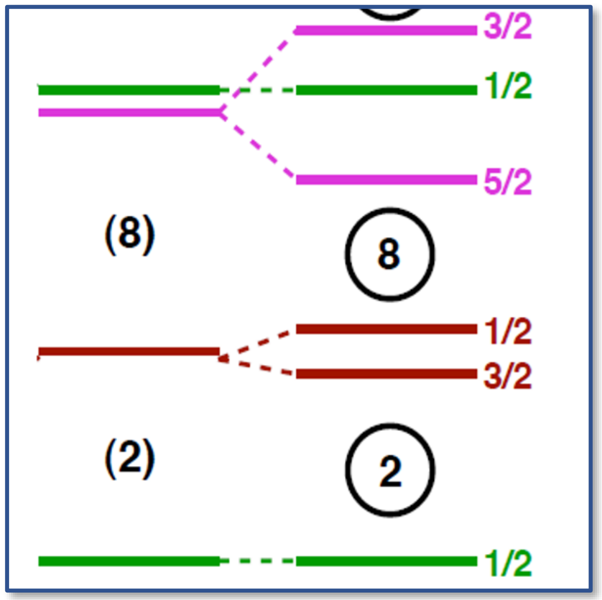
CATALOGUE

研究背景

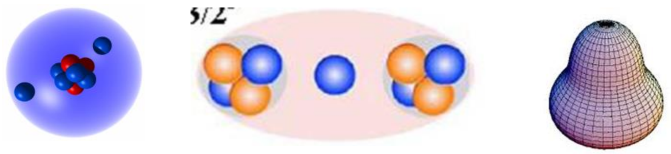
南方科技大学 SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

原子核的传统图像为核子在平均场中的独立粒子运动，并按照壳层结构排布。然而在远离稳定线时，一些奇异现象被观测到：中子晕、集团结构、新幻数等。

壳模型



丰中子奇特核：轨道的闯入会破坏传统的幻数！

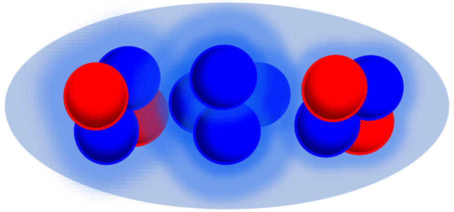


晕核　　集团结构

^{9}Be	^{10}Be	^{11}Be	^{12}Be		^{14}Be

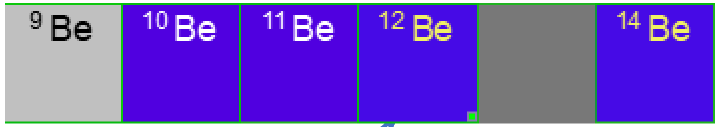
N = 8　传统幻数消失！

理论:^{12}Be的α集团化 → 两个核心的集团结构



集团现象与核力性质紧密联系，现在对集团结构的成因尚缺少确切的解释！

研究背景



N = 8

传统幻数消失!

对集团结构现象的研究有助于更加系统地认识核力, 特别是弱束缚体系的性质!

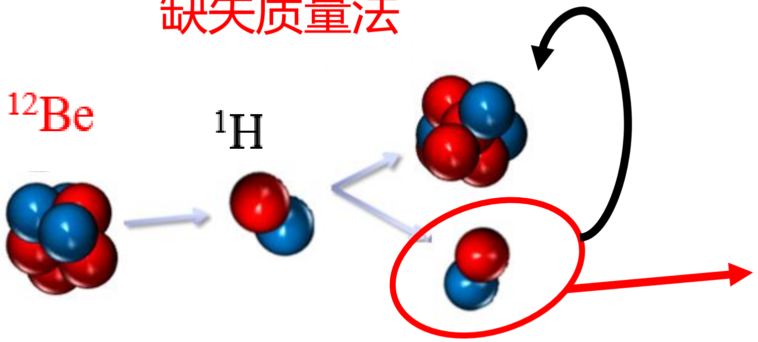
直接核反应：逆运动学

^{12}Be (^{1}H,^{1}H)^{12}Be

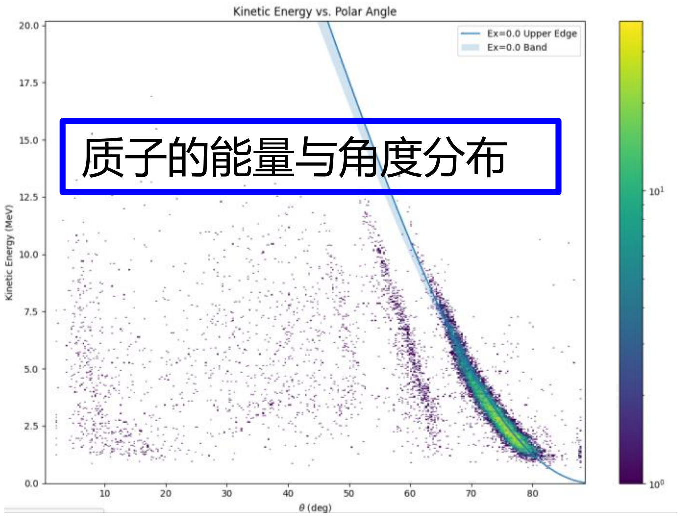
- 弹性散射:不稳定的弱束缚核光学势—验证与发展
- 非弹性散射的激发模式是单粒子激发或集体激发
- 在转动模型中，利用实验角分布和DWBA计算的对比，可以提取原子核的形变参量，研究集团结构。

$$\delta = \beta R = \beta r_0 A^{1/3}$$

缺失质量法

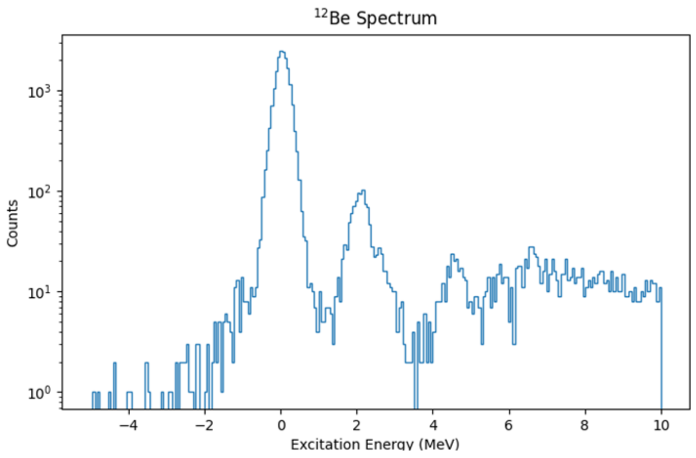


研究反应: ^{12}Be (^{1}H,^{1}H)^{12}Be



探测出射质子的信息!

能量守恒
缺失质量

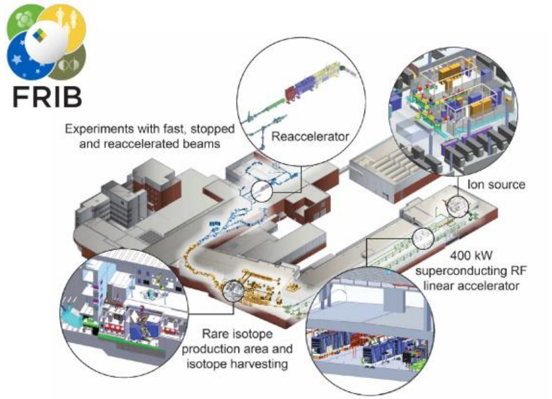


^{12}Be的能谱信息（基态、激发态）

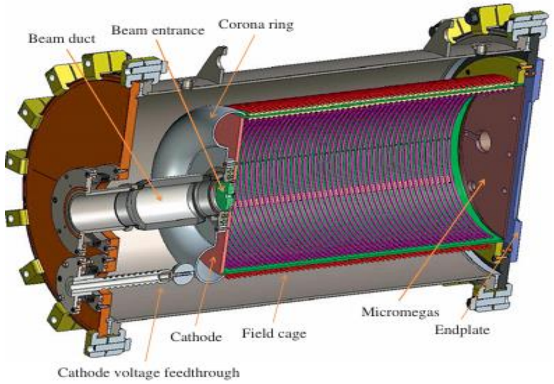
实验装置 $^{12}Be\ (^{1}H,^{1}H)^{12}Be$

实验设置

- 初级束：^{14}C
- 初级靶：^{9}Be
- 入射粒子：$12.8\ AMeV\ ^{12}Be$
- 工作气体：$600\ Torr\ H_2$
- 磁场：$2.85\ T$



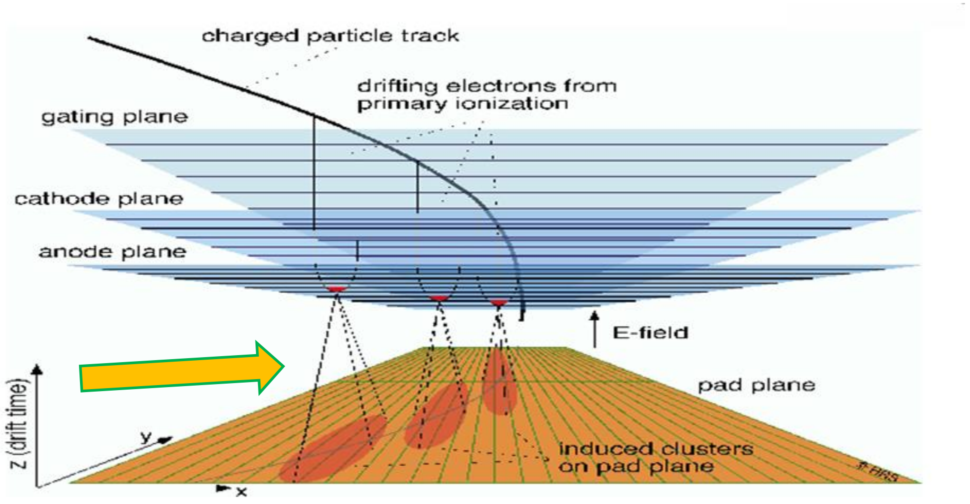
FRIB装置示意图



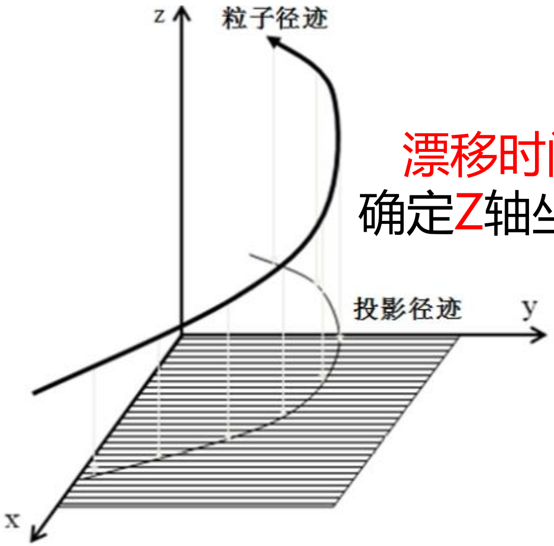
AT-TPC示意图

活性靶时间投影室：充当反应靶场所，并可同时进行三维径迹的运动学测量。

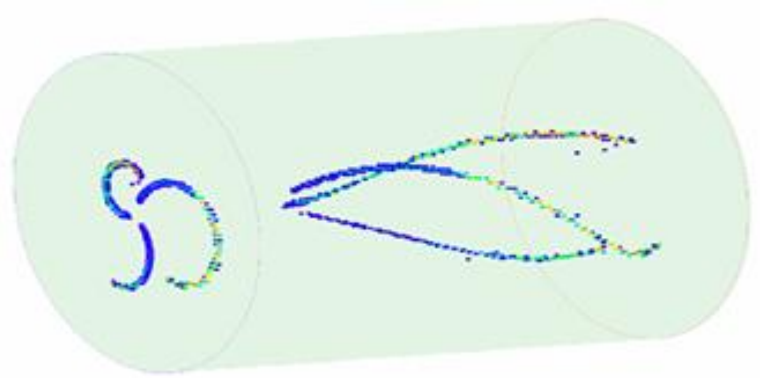
■ TPC工作原理



读出pad点火位置确定X、Y坐标



漂移时间
确定Z轴坐标



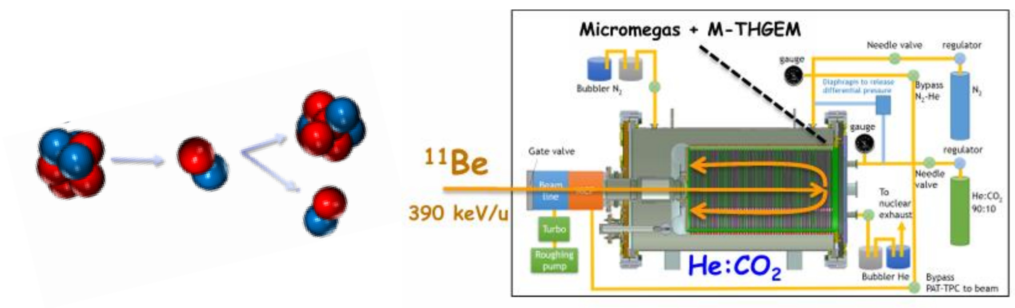
磁场：鉴别粒子Bp-dE、 E~*p*

目录

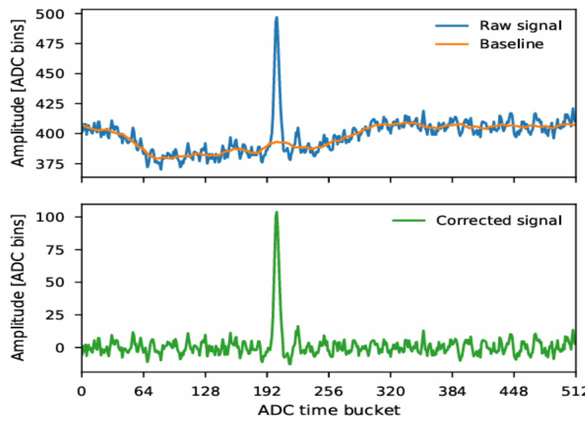
CATALOGUE

信号处理

SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY



电信号—重建物理信息：能量、位置、时间、电荷



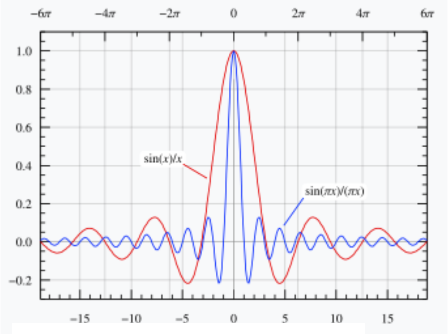

```python
# Remove peaks from baselines and replace with average
bases: np.ndarray = traces.copy()
for row in bases:
    mean = np.mean(row)
    sigma = np.std(row)
    mask = row - mean > sigma * 1.5
    row[mask] = np.mean(row[~mask])

# Create the filter
window = np.arange(-256.0, 256.0, 1.0)
fil = np.fft.ifftshift(np.sinc(window / baseline_window_scale))
transformed = np.fft.fft2(bases, axes=(1,))
result = np.real(
    np.fft.ifft2(transformed * fil, axes=(1,))
)  # Apply the filter -> multiply in Fourier = convolve in normal

return traces - result
```

有效解决了基线震荡问题！

确定低通滤波函数频带

计算基线先扣除信号的影响大于1.5*sigma的值设为均值

当信号幅度较大时，均值会偏高（信号基线会被高估）



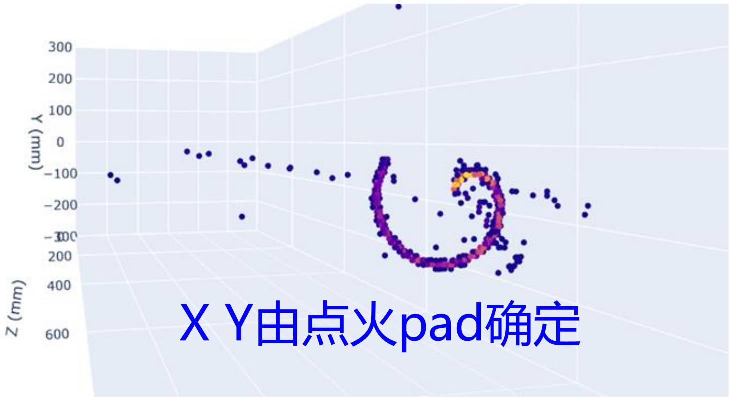
$$\mathrm{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$$

采样窗口512个点，由Nyquist采样定理，可将信号频域范围设为了window =256，然后设置信号带宽baseline_window_scale

最后将原始基线数据与Sinc函数使用快速傅里叶变换至频域进行卷积。最后反卷积回时域得到基线。由于信号基线容易高估，因此应该减少信号带宽，使低频通带更窄：baseline_window_scale

参数优化

径迹重建



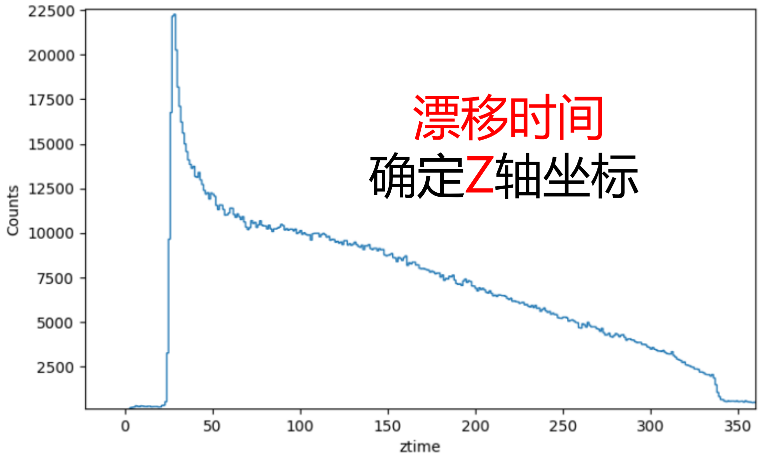
工作电场与漂移速度：

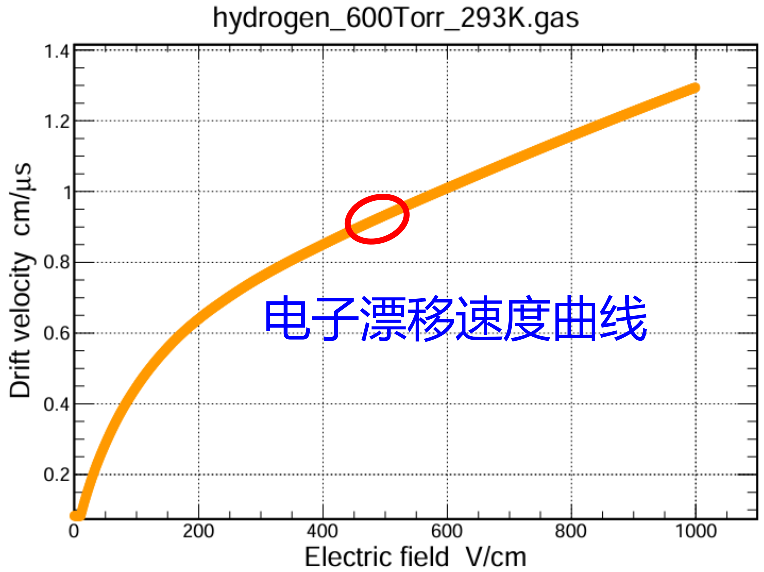
$$z_{signal} = \frac{t_{window} - t_{signal}}{\boxed{t_{window} - t_{micromegas}}} l_{attpc}$$

Z坐标重建参数：

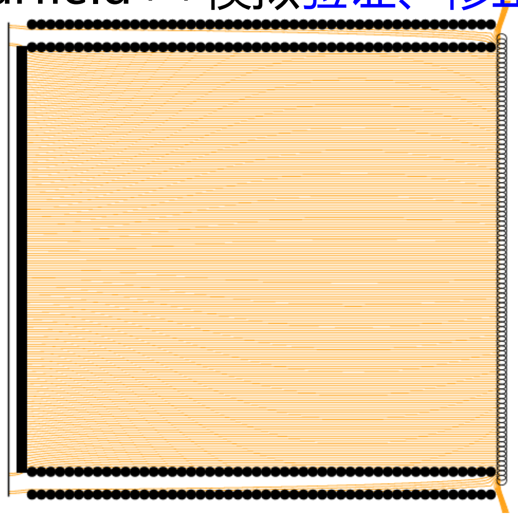
```
micromegas_time_bucket=26.0,
window_time_bucket=336.0,
get_frequency=3.125, #160ns 320ns
```

根据实验数据刻度漂移时间





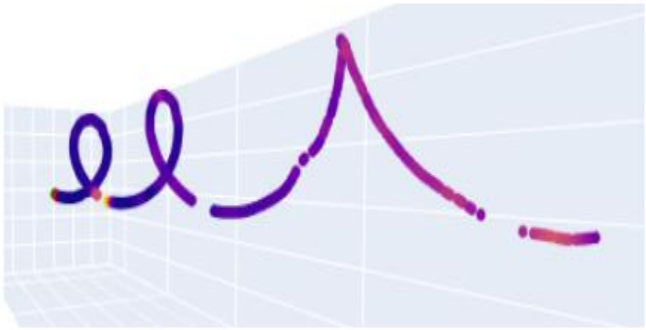
Garfield++模拟验证、修正



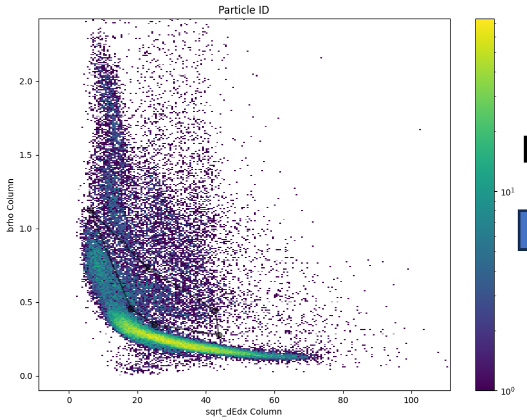
模拟的电子漂移速度与3.125 MHz的采样频率对应的320 ns采样间隔算出的电子漂移时间可相互印证。

信息重建

径迹重建

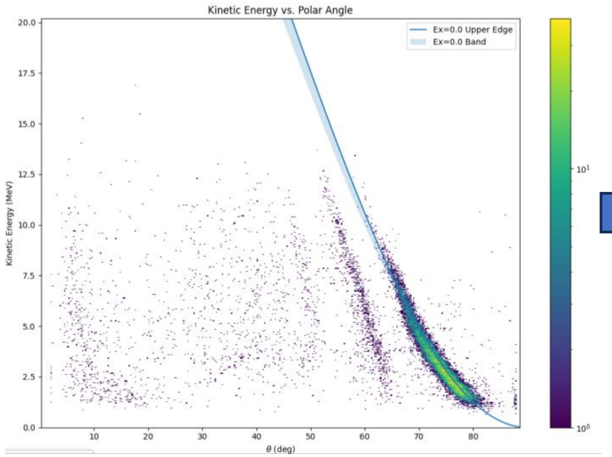


粒子鉴别图Bp-dE/dx



Bp->Ek

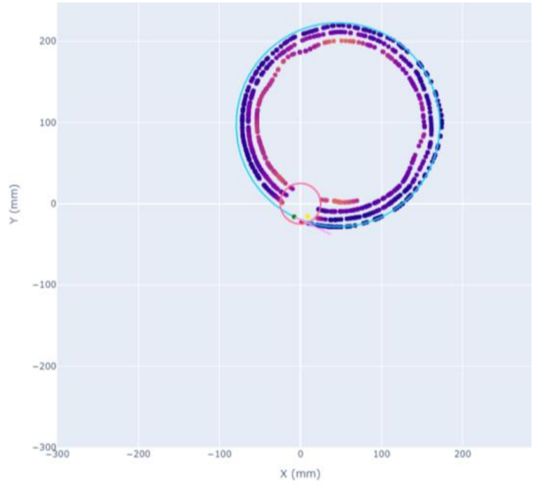
运动学曲线



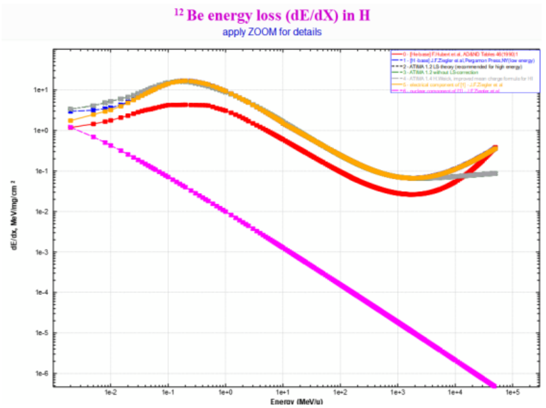
质心系转换

微分截面

拟合得到Bp、反应顶点



计算能量损失信息 ——激发函数



ATIMA

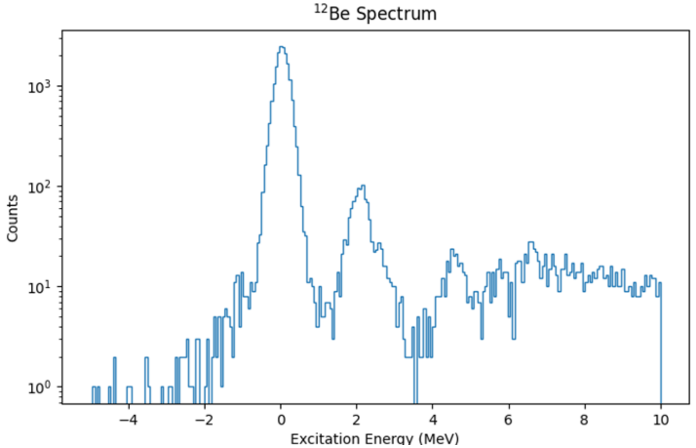
ATIMA is a program developed at GSI which

- stopping power
- energy loss
- energy-loss straggling
- angular straggling
- range
- range straggling
- mean projectile charge

重构或移植ATIMA软件到至数据分析代码

能量守恒

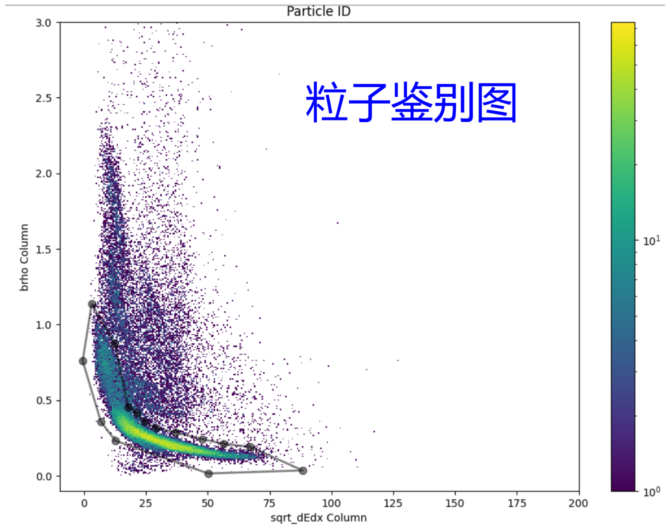
缺失质量

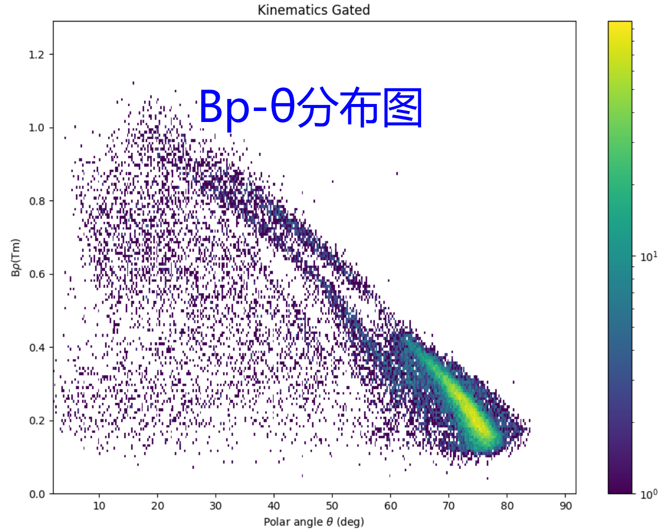


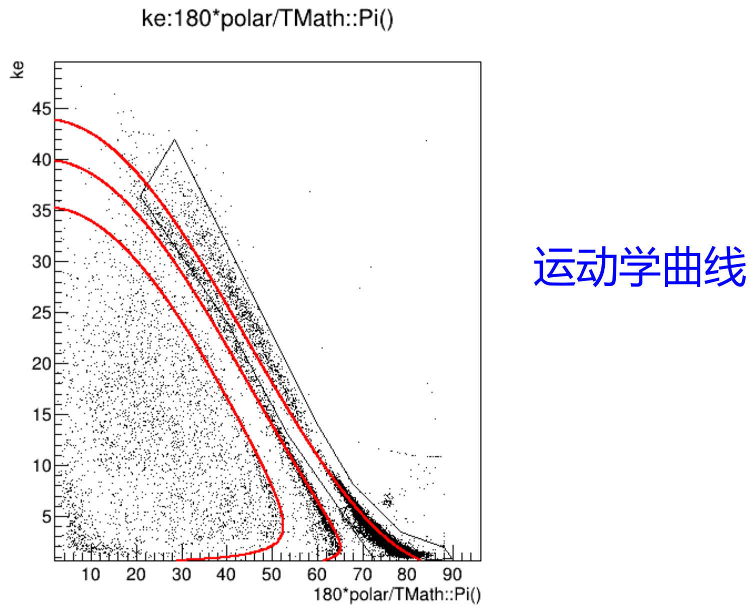
^{12}Be的能谱信息（基态、激发态）

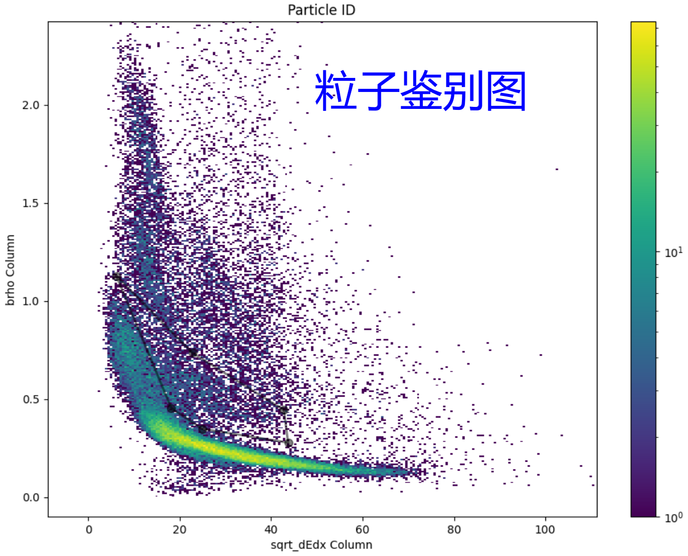
次级粒子鉴别

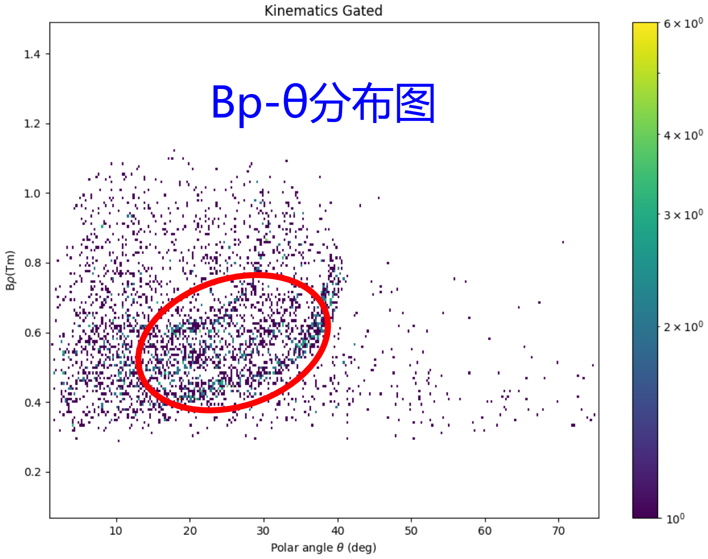
$$\frac{dE}{dx} \propto Az^2 \frac{1}{E} \Longleftrightarrow B\rho = \frac{P}{Q}$$











在100 pps的^{12}Be束流强度下，3天时间同时完成了^{12}Be (p,p) 、 ^{12}Be (p,d)、^{12}Be (p,t) 3个反应道的数据测量。

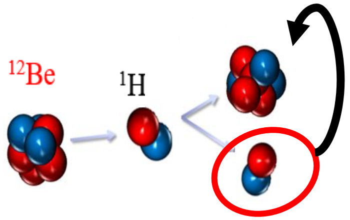
目录

CATALOGUE

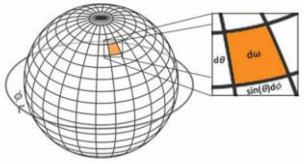
重建效率

探测器探测效率、算法重建效率!

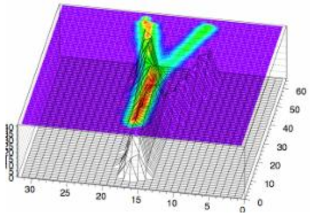
attpc_engine蒙卡模拟过程



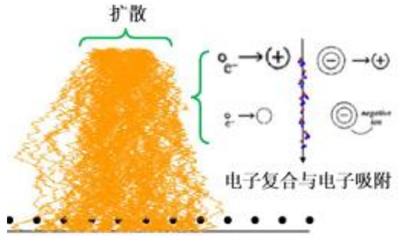
核反应类型



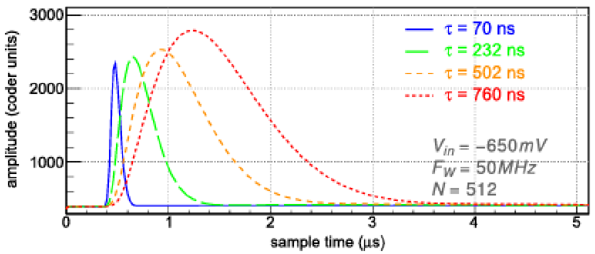
相空间抽样



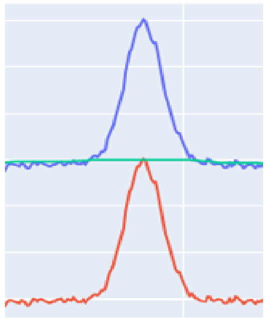
能损模型

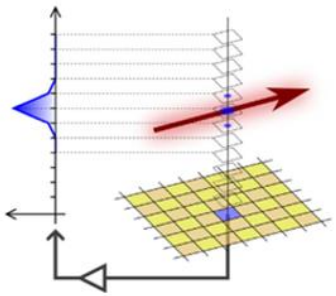


电子扩散漂移

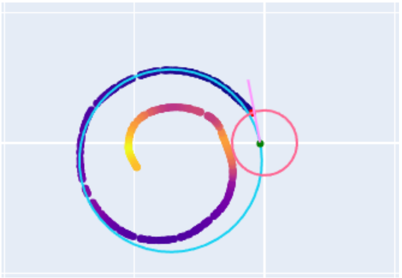


卷积电子学响应



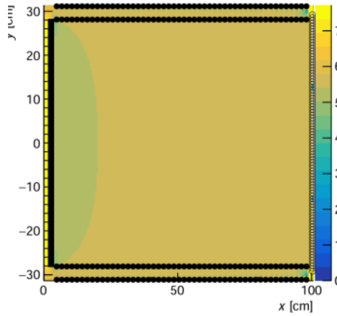


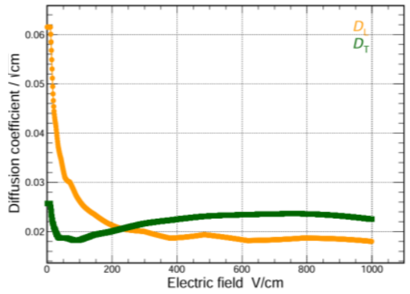
电子学响应—TPC-pad映射



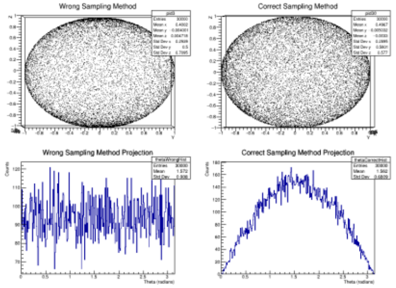
物理信息重建

参数需要通过Garfield软件模拟获取!





工作气体属性（扩散、平均电离能、法诺因子）



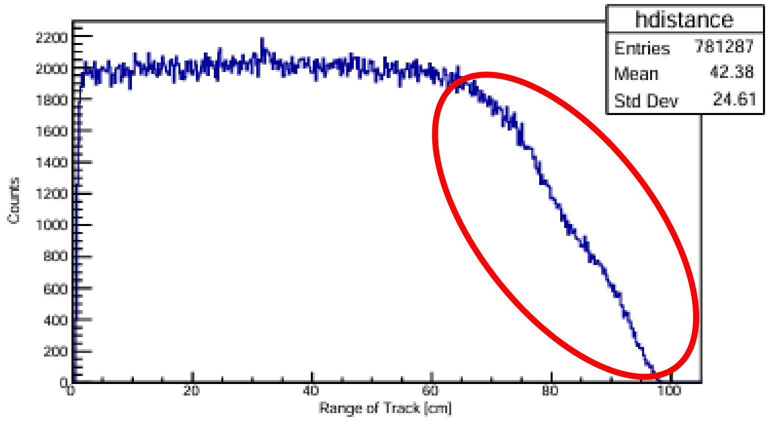

```
[ExcitationGaussian(0.0, 0.001)], # No width to ground state
[PolarUniform(0.0, np.pi)], # Full angular range 0 deg to 180 deg
beam_energy=184.131, # MeV
target_material=KinematicsTargetMaterial(
    material=target, z_range=(0.0, 1.0), rho_sigma=0.007
```

```
detector = DetectorParams(
    length=1.0,
    efield=45000.0,
    bfield=2.85,
    mpgd_gain=175000,
    gas_target=gas,
    diffusion=0.277,
    fano_factor=0.2,
    w_value=34.0,
)

electronics = ElectronicsParams(
    clock_freq=6.25,
    amp_gain=900,
    shaping_time=1000,
    micromegas_edge=10,
    windows_edge=560,
    adc_threshold=40,
)
```

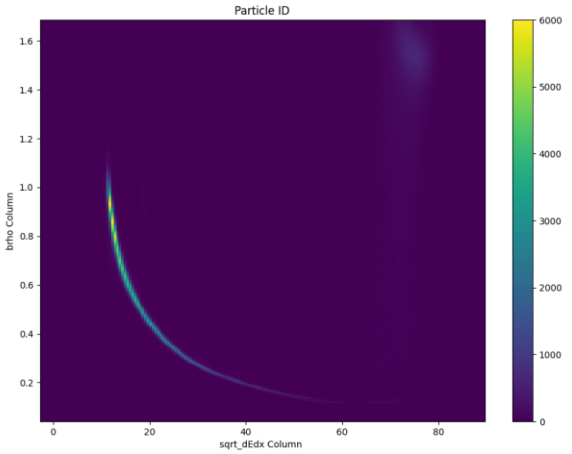
```
detector = DetectorParams(
    length=1.0,
    efield=55000.0,
    bfield=2.85,
    mpgd_gain=175000,
    gas_target=gas,
    diffusion=0.0277,
    fano_factor=0.34,
    w_value=36.5, #eV
)

electronics = ElectronicsParams(

    clock_freq=3.125,
    amp_gain=900,
    shaping_time=1000,
    micromegas_edge=26,
    windows_edge=336,
    adc_threshold=40,
)
```

电子漂移速度由实际实验的time bucket决定，并设置ADC 3.125 Mhz的采样频率。

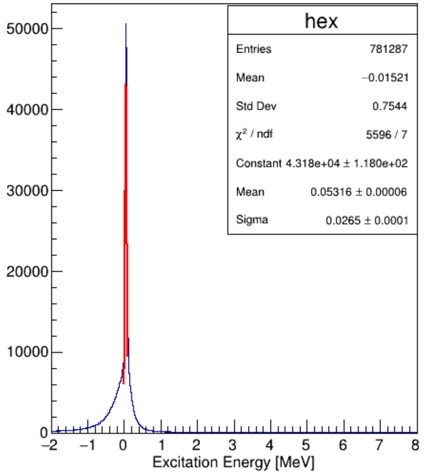
模拟结果



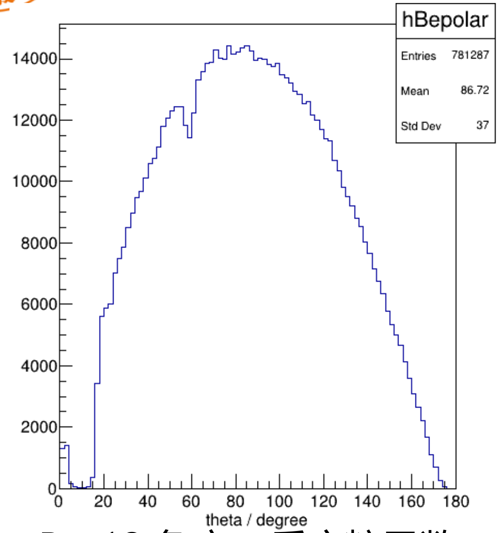
不同反应顶点的重建事件数



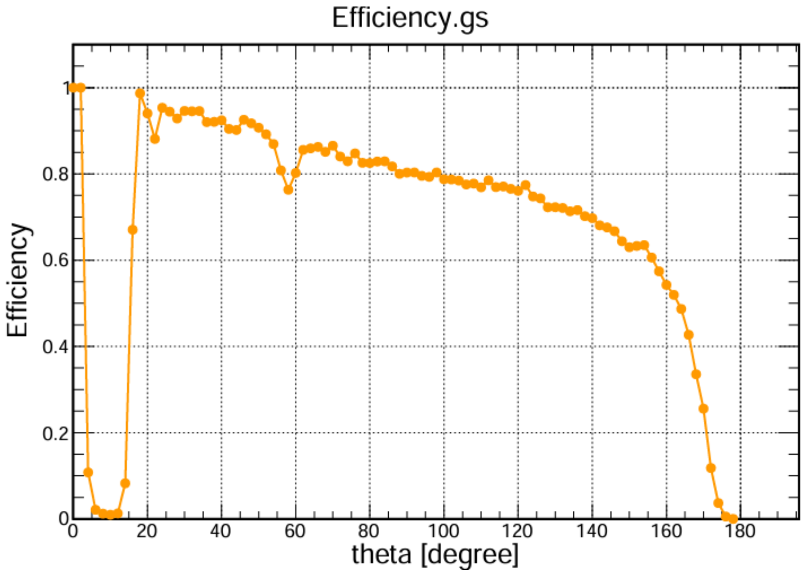
粒子鉴别图



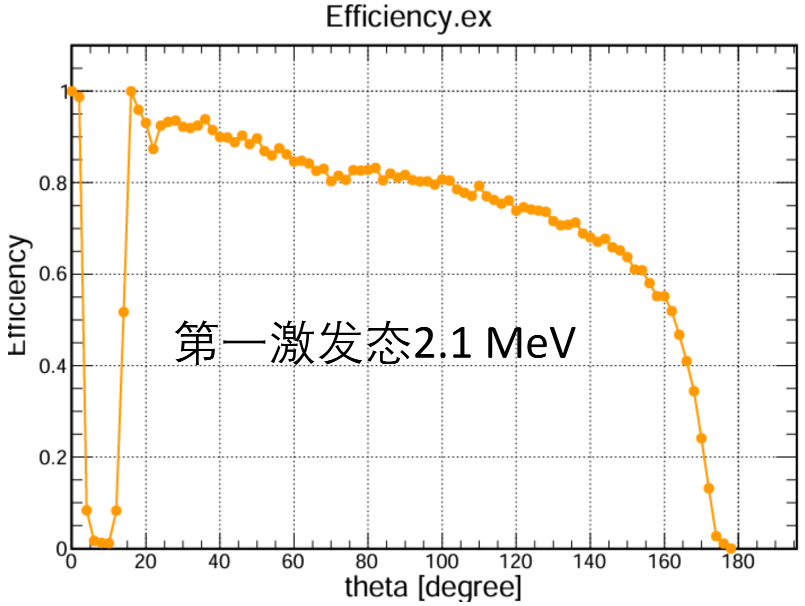
Be-12 激发能谱



Be-12 角度—反应粒子数



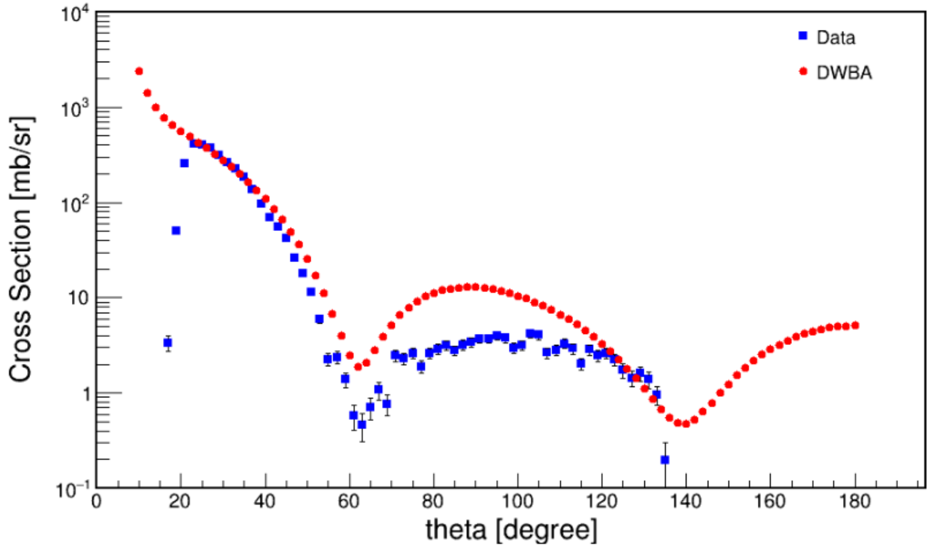
基态 质心系下不同极角的重建效率!



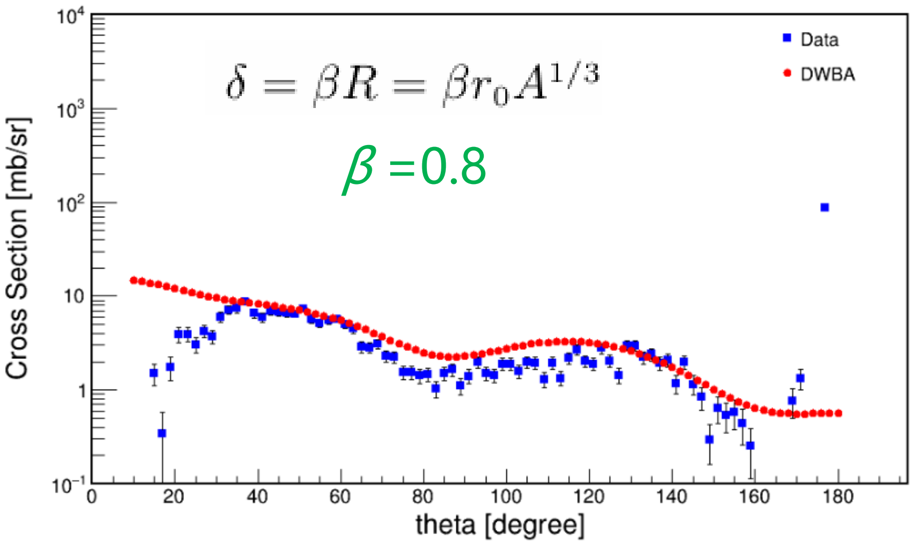
激发态 质心系下不同极角的重建效率!

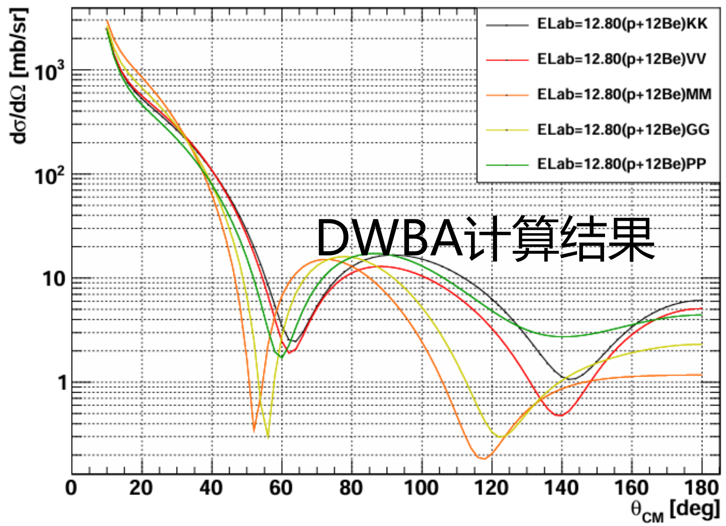
实验结果（初步）

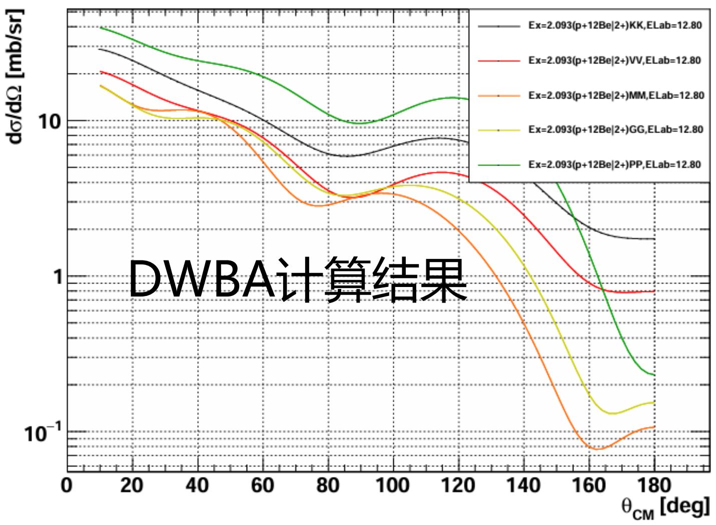
微分截面：基态



微分截面：第一激发态2.1 MeV

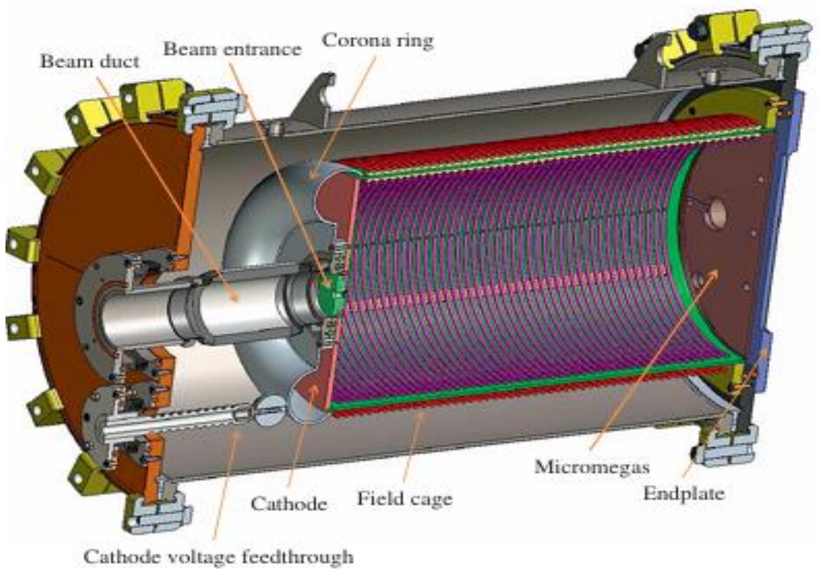


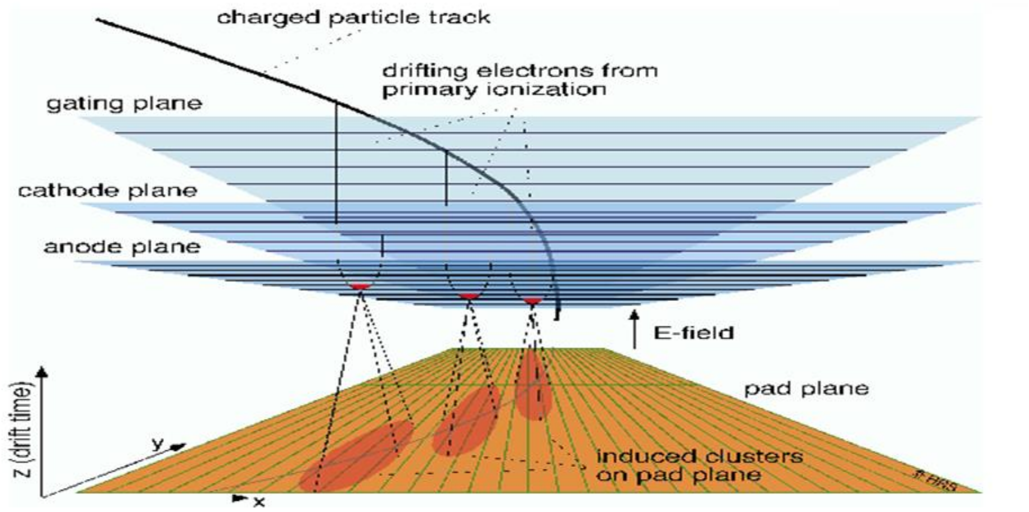




结论：原子核^{12}Be存在较大的形变，可进一步与理论计算结果对比，验证讨论^{12}Be的集团结构！

总结





- ^{12}Be传统幻数的消失、集团结构
- 实验装置—ATTPC的工作原理
- 信息重建—信号处理、径迹
- 重建效率—蒙卡模拟
- 微分截面—原子核存在较大形变

THANKS

NSCL FRIB

南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Argonne
NATIONAL LABORATORY

南方科技大学
物理系 Department of Physics
SUSTech

背片

XREFs	J^{π}	$T_{1/2}$/Decay	E(γ)	I(γ)	M(γ)	Final Levels
☑	☑	☑	☑	☑	☑	☑

E(level) (keV)	XREF	J^{π}(level)	$T_{1/2}$(level)	E(γ) (keV)	I(γ)	M(γ)	Final Levels	
0	AB DEF IJKLM OPQRSTU	0+	21.46 ms *5* % β^- = 100 % β^-n = 0.50 *3*					
2109 *1*	AB D F IJKL OP RST	2+	0.957 ps *19* % IT = 100	2109 *1*	100	E2	0	0+
2251 *1*	B E IJ O	0+	230 ns *8* % IT = 100	142 *2* 2251	17.7	E2 E0	2109 0	2+ 0+
2715 *15*	AB D J L OP RST	1-	1.3 fs *4* % IT = 100	2715 *2*	100	E1	0	0+
4412 *16* ?	G	(2-)	634 keV *60* % n > 0					
4580 *5*	A F JK OP	(2+,3-)	101 keV *17*					
5724 *6*	A F H JK OP	(4+,2+,3-)	85 keV *15*					