

# TEPC研制及微剂量学 测量研究

报告人：张伟华

2017.11.11

# 目录

.....●  
一、引言  
.....●

二、辐射双重作用理论  
.....●

三、TEPC及GEM-TEPC  
.....●

四、中子辐射RBE初步研究  
.....●

五、小结  
.....●

# 引言

- 微观尺度辐射作用具有高度的随机性，传统计量技术不再适于小靶体积内的随机辐射效应的测量。辐射引起的变化，决定于**微观结构中能量沉积事件的数量、大小和分布**。
- 组织等效正比计数器（TEPC）模拟测量微米级细胞组织**线能谱、吸收剂量、品质因子等，且具有一定粒子分辨能力**。
- 用于多种混合辐射场的剂量监测、辐射效应评估，如空间辐射、地面核设施、硼中子俘获治疗（BNCT）等。



# 目录

.....●  
一、引言  
.....●

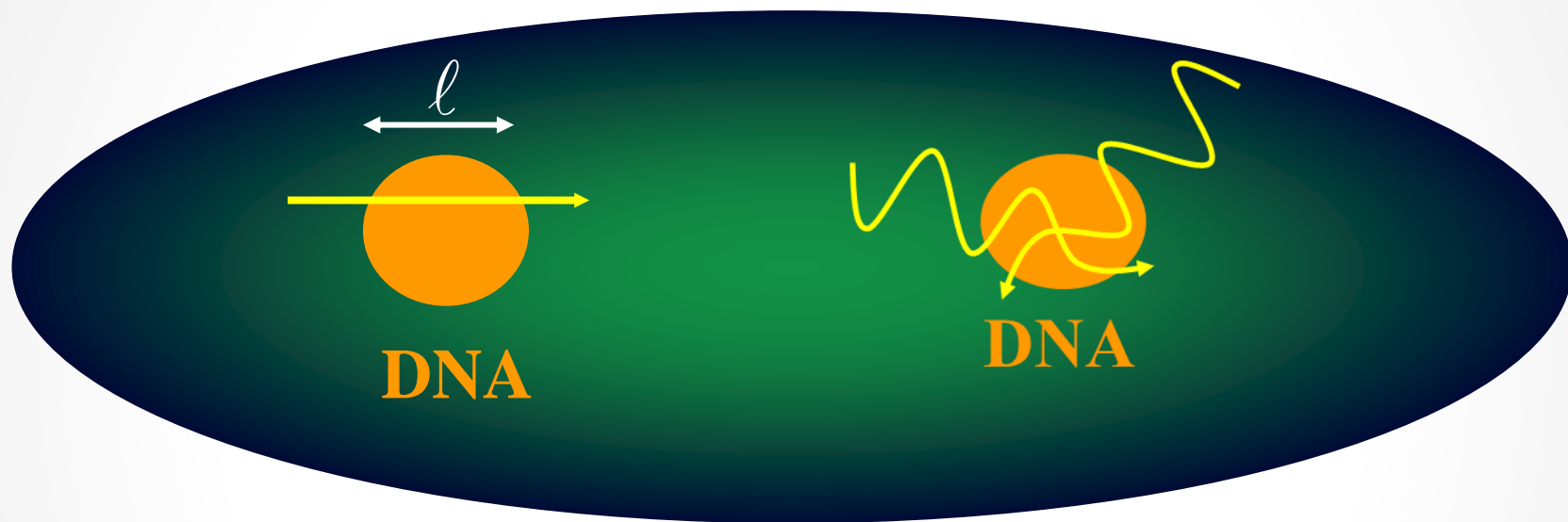
二、辐射双重作用理论  
.....●

三、TEPC及GEM-TEPC  
.....●

四、中子辐射RBE初步研究  
.....●

五、小结  
.....●

# 微剂量学基本量



线能  
比能

- $y = \frac{\epsilon_1}{\bar{l}}$ ,  $z = \epsilon/m$
- $z = \frac{\bar{l}}{m} y = \frac{0.204}{d^2} y$ ,  $D = \lim_{m \rightarrow 0} \bar{z}$

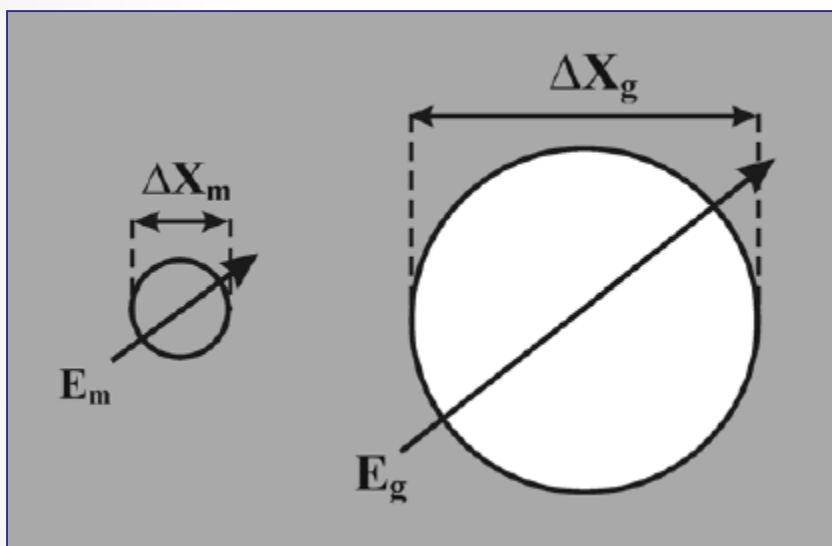


# 辐射双重作用理论

- 辐射双重作用理论<sup>[1]</sup> (theory of dual radiation action, TDRA) 假定辐射效应源于辐射初期损伤, 损伤数与位点 (sites,  $\mu\text{m}$ 量级) 内沉积能量的平方成正比,
- $$e(z) = \beta z^2$$
- 给定吸收剂量 $D$ , 
$$e(D) = \beta(z_D D + D^2)$$
- 可认为辐射损伤数相等时辐射效应相同。

[1] A.M.KELLERER and H.H.ROSSI, The Theory of Dual Radiation Action, Radiation Research Quarterly 8(1972), pp.85-158.

# TEPC测量原理

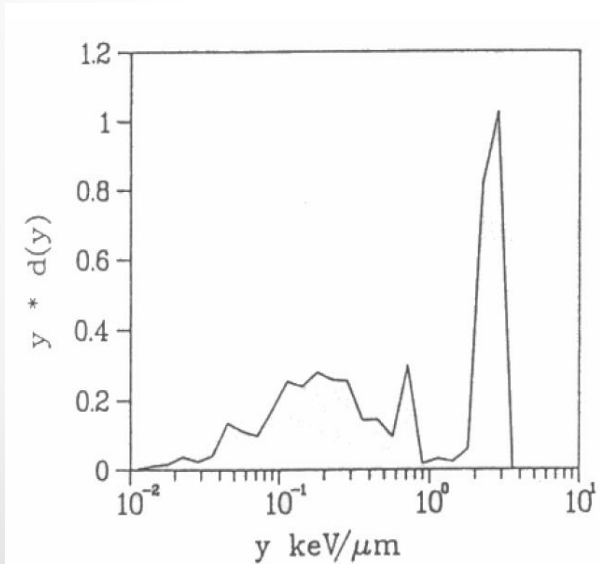
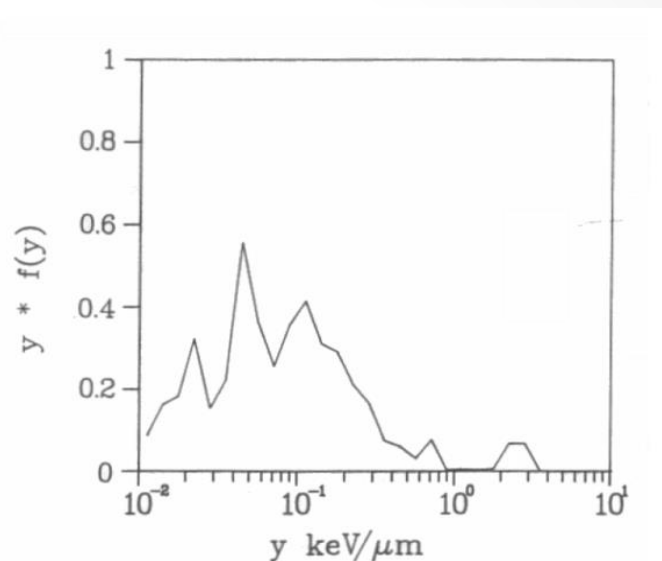
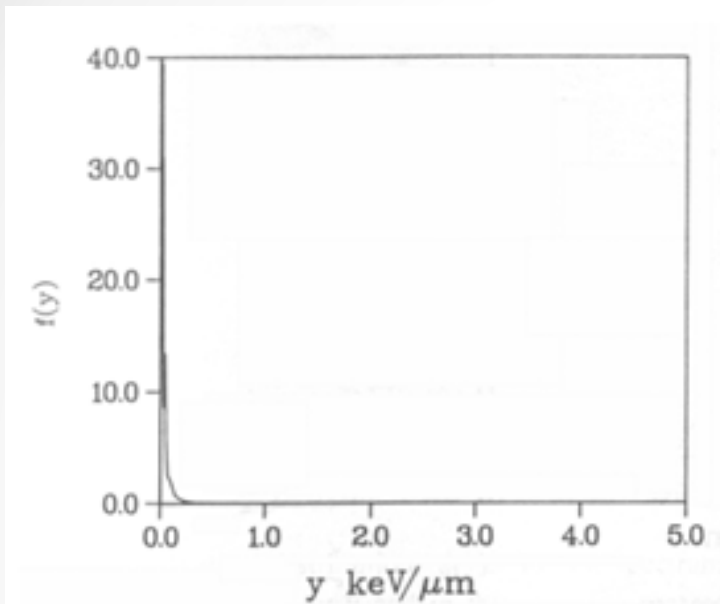


能量沉积示意图

$$E_m = \left( \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_m \rho_m \Delta X_m$$

$$E_g = \left( \frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} \right)_g \rho_g \Delta X_g$$

$$\rho_m \Delta X_m = \rho_g \Delta X_g$$



$$\int_{y_1}^{y_2} f(y) dy = \int_{y_1}^{y_2} y f(y) d \ln y = \ln 10 \int_{y_1}^{y_2} y f(y) d \log y$$

$$\int_{y_1}^{y_2} d(y) dy = \int_{y_1}^{y_2} y d(y) d \ln y = \ln 10 \int_{y_1}^{y_2} y d(y) d \log y$$



# 吸收剂量、剂量当量

品质因子  
吸收剂量

- $\bar{Q} = \int q(y) d(y) dy$
- $D = \frac{0.204}{d^2} \int yn(y) dy$

剂量当量

- $H = \frac{0.204}{d^2} \int q(y) yn(y) dy$

# 目录

.....●  
一、引言  
.....●

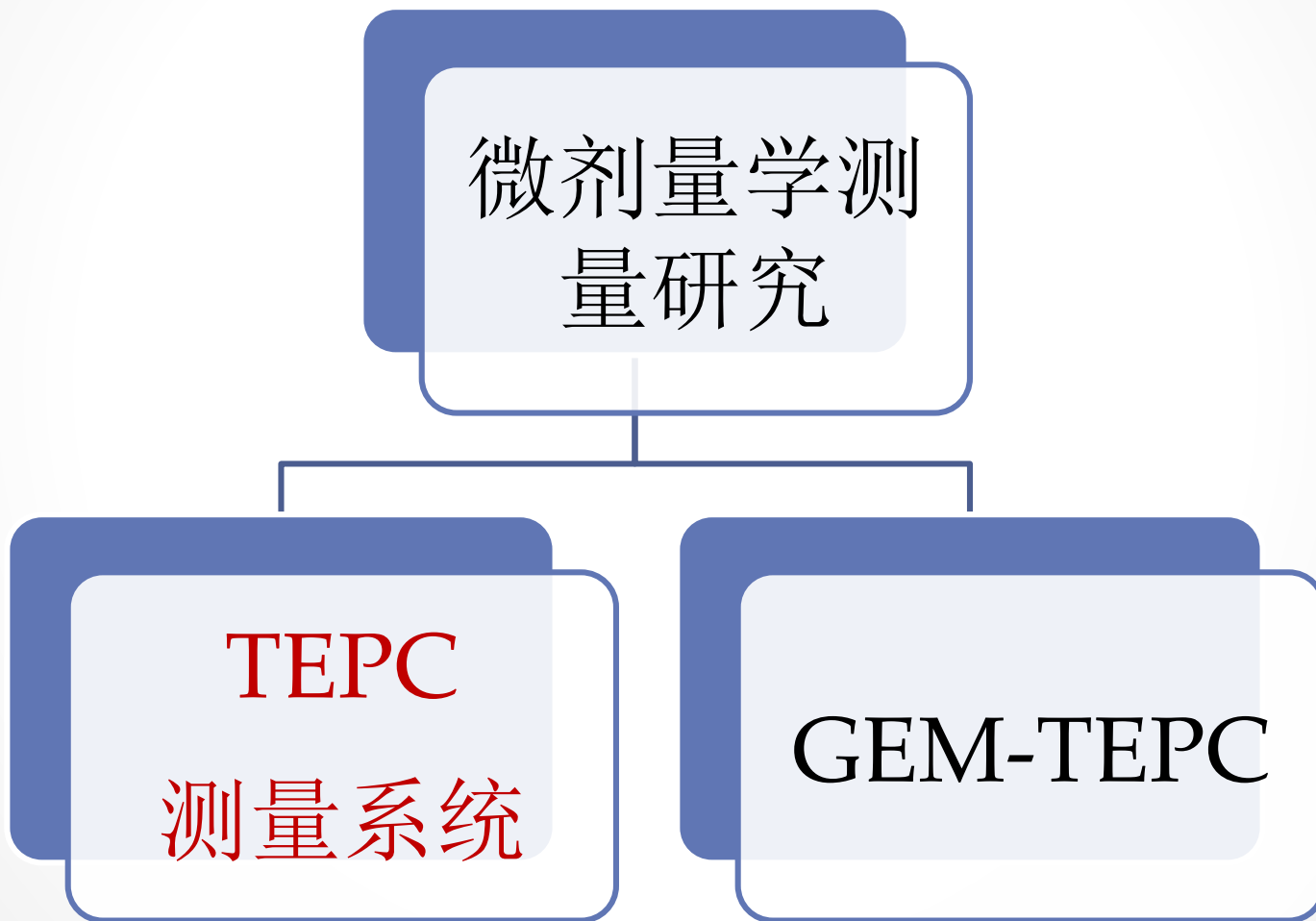
二、辐射双重作用理论  
.....●

三、TEPC及GEM-TEPC  
.....●

四、中子辐射RBE初步研究  
.....●

五、小结  
.....●

# TEPC微剂量学测量研究



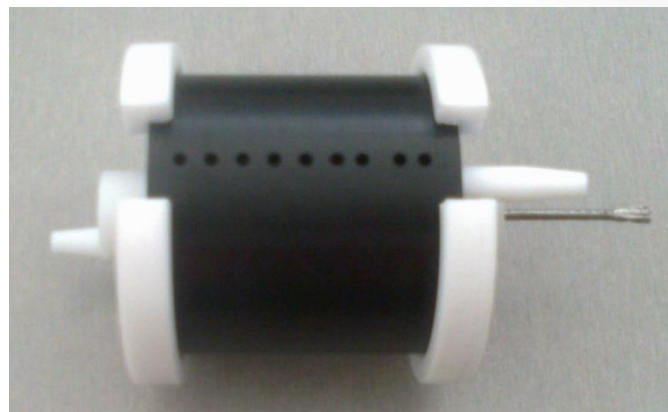
# TEPC系统



TEPC探头  
集成电路

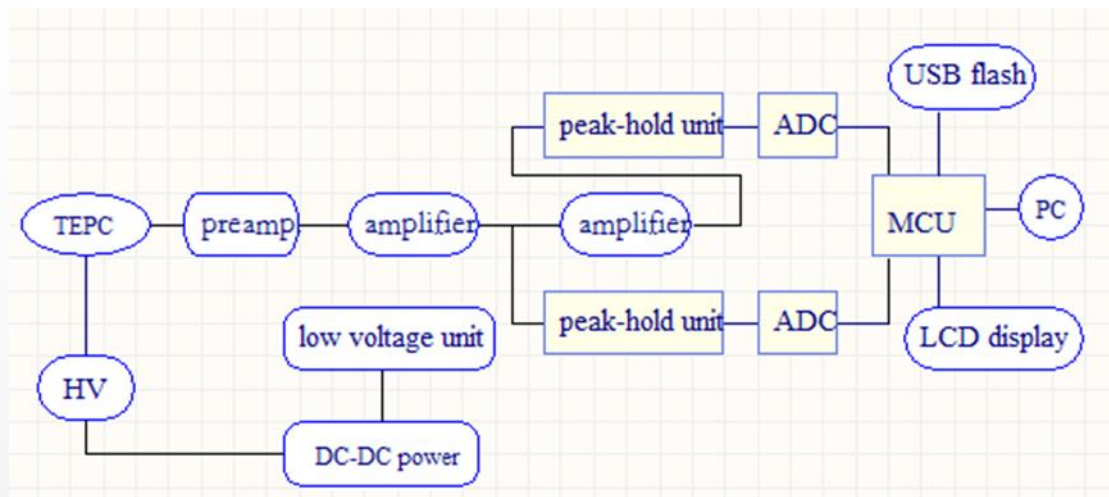
# 丝室TEPC探头研制

- 设计探头主要解决电场畸变问题，采用Ansoft公司的Maxwell 3D软件针对几种结构进行电场分布模拟，计算电场强度、电场能量、电容值等。
- 制作流气式TEPC探头，利用准直后的 $\alpha$ 射线进行试验，验证TEPC探头的电场分布的均匀性。
- 目前本实验室自制的丝室TEPC探头有等高圆柱和球体两种结构。

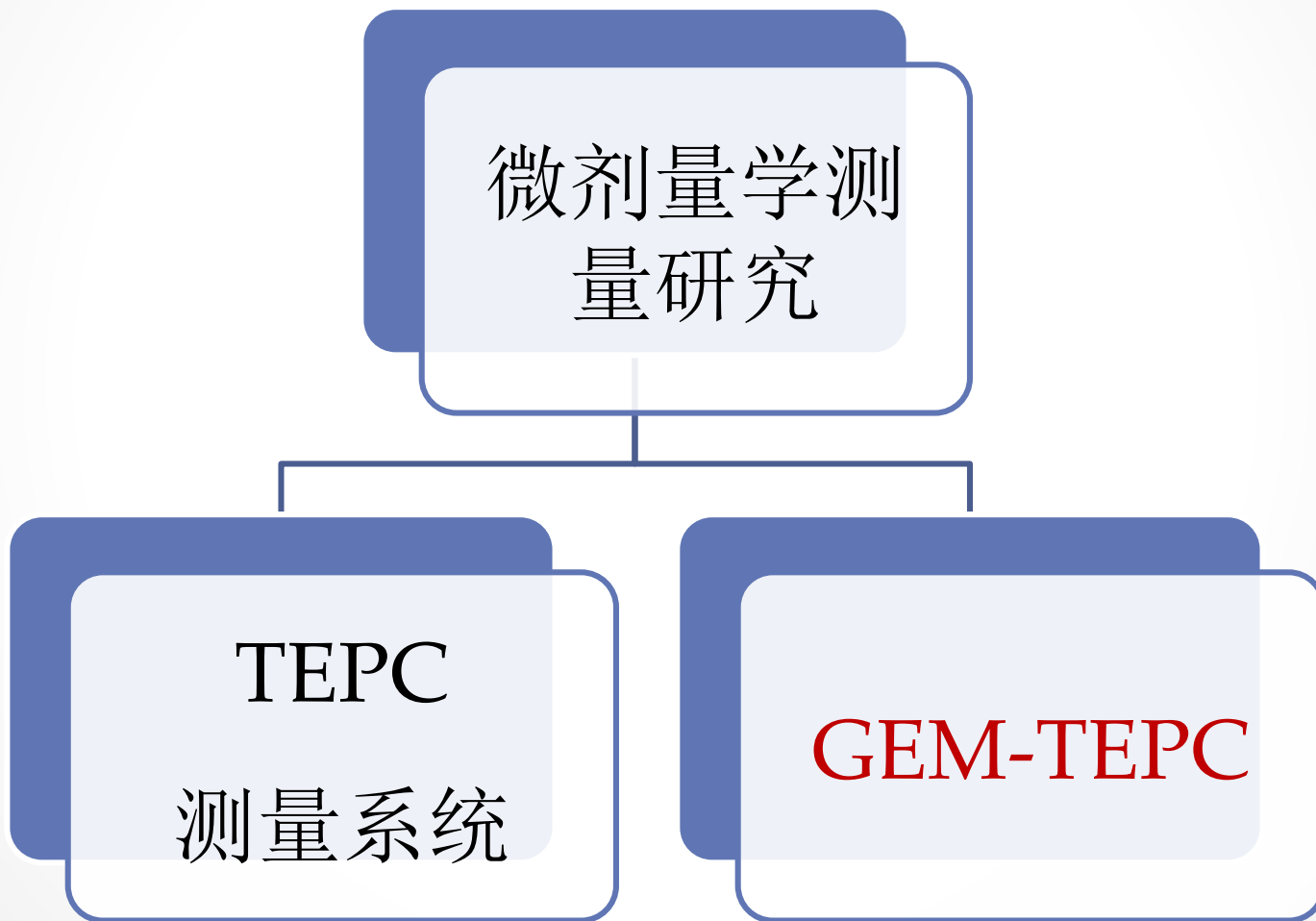


# 集成电路

- 集成电路依据TEPC探头输出信号，满足低线能区、高线能区辐射测量需求；
- 系统有剂量值LCD实时显示、USB存储、计算机通信等功能，结合GPS定位，可绘制剂量地理分布图。

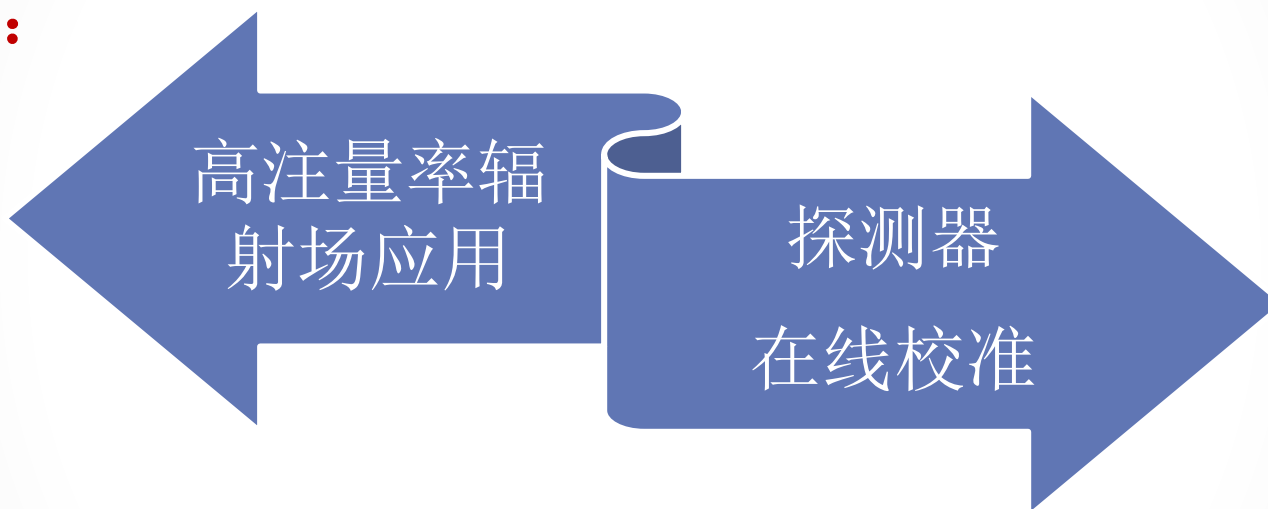


# TEPC微剂量学测量研究



# GEM-TEPC ?

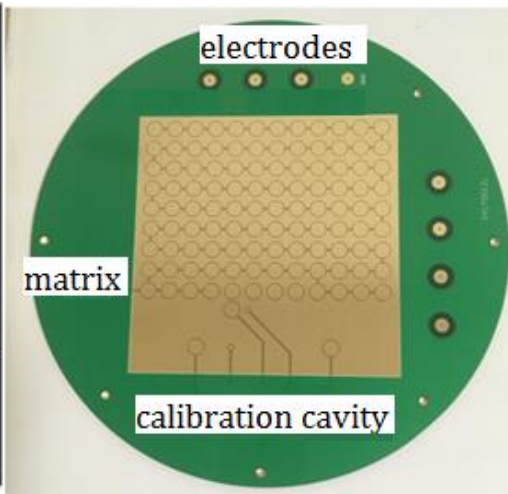
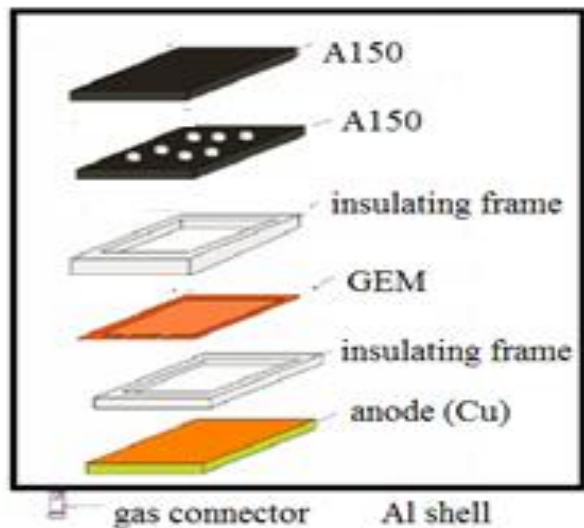
- 需求:



- GEM特点：位置灵敏，电荷快速收集



# GEM-TEPC结构设计



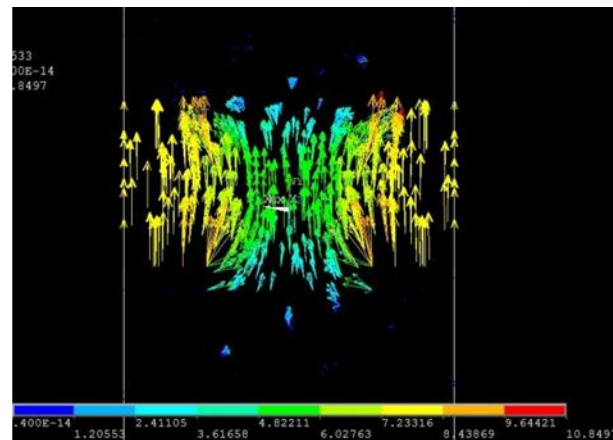
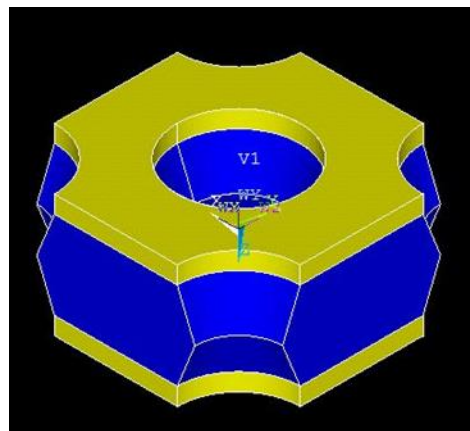
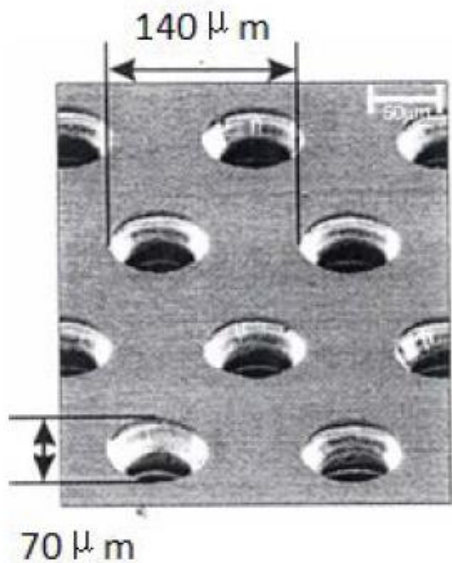
GEM-TEPC结构图

1 GEM-TEPC 设计不同灵敏度探测单元，扩展剂量测量范围。

2 设计独立校准腔（粘贴<sup>241</sup>Am α源、<sup>55</sup>Fe X源），实现实时校准，解决探测器期间核查的问题。

# 电场分布模拟

- 采用ANSIS 软件进行电场分布模拟，之后采用Garfield软件进行GEM探测单元增益模拟。

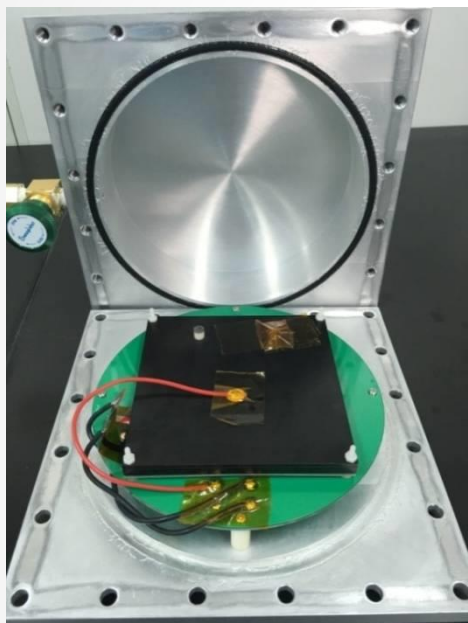


GEM膜结构（显微镜）

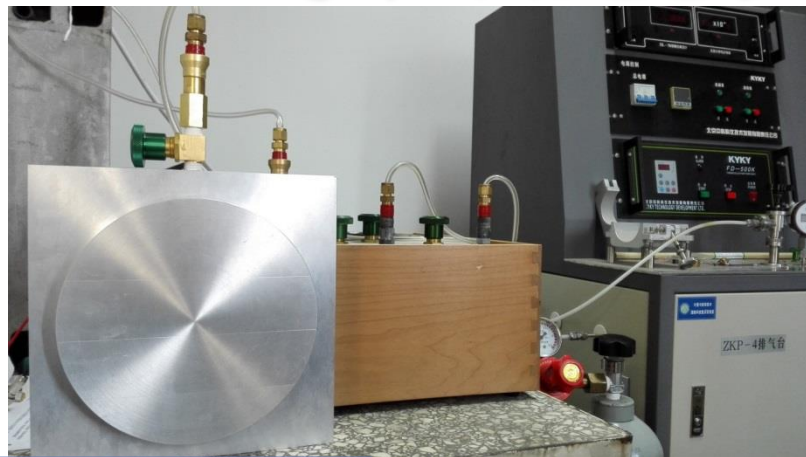
GEM探测单元（模拟）

GEM孔电场分布（模拟）

# GEM-TEPC探测器实物图



探测器内腔



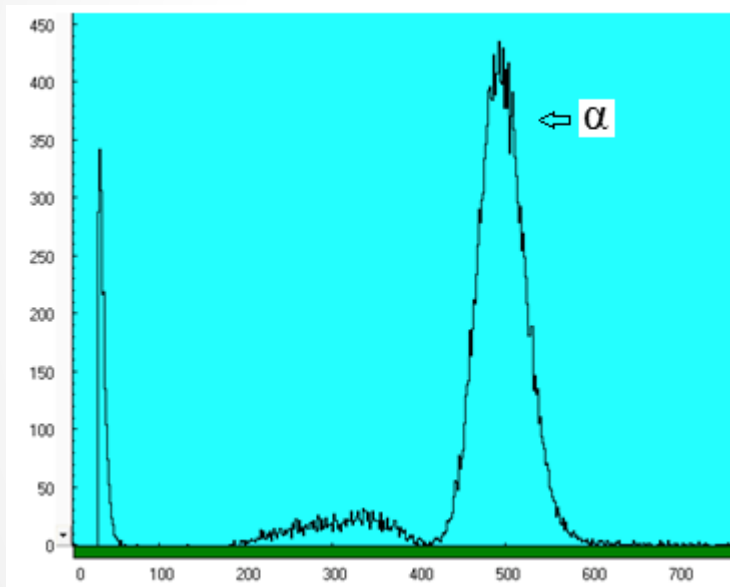
探测器充气系统



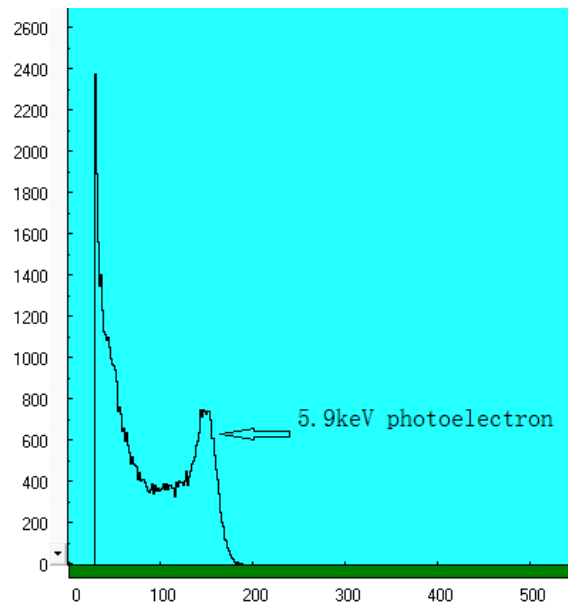
实验布局

# GEM-TEPC性能测试

- 内置 $\alpha$ 源测试，针对不同气压、不同高压，可得到GEM增益，选择最佳工作参数。



$\alpha$ 源测试脉冲幅度谱



Fe X射线测试脉冲幅度谱

# 目录

.....●  
一、引言  
.....●

二、辐射双重作用理论  
.....●

三、TEPC及GEM-TEPC  
.....●

四、中子辐射RBE初步研究  
.....●

五、小结  
.....●

# TEPC微剂量学测量研究

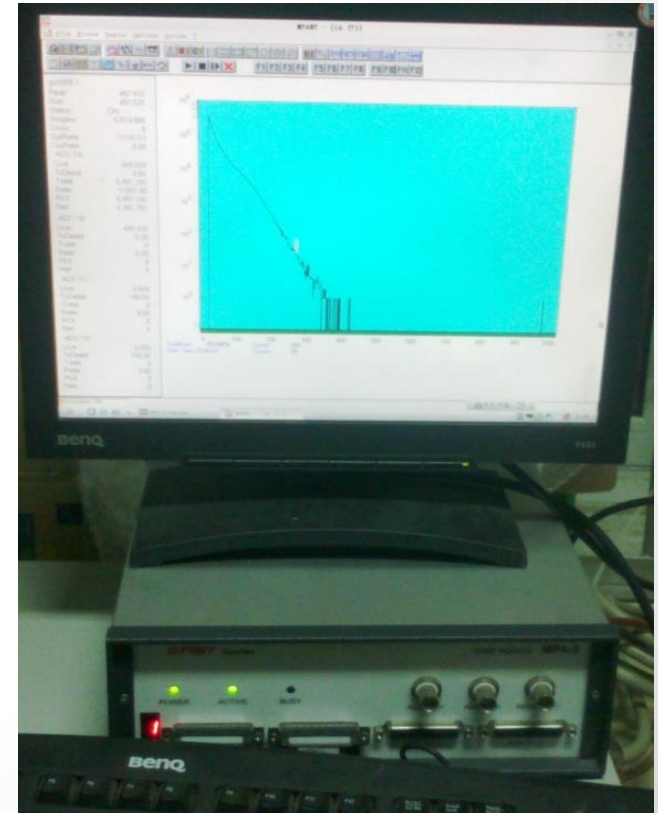
微剂量学测  
量研究

$\gamma$ 辐射  
测量与模拟

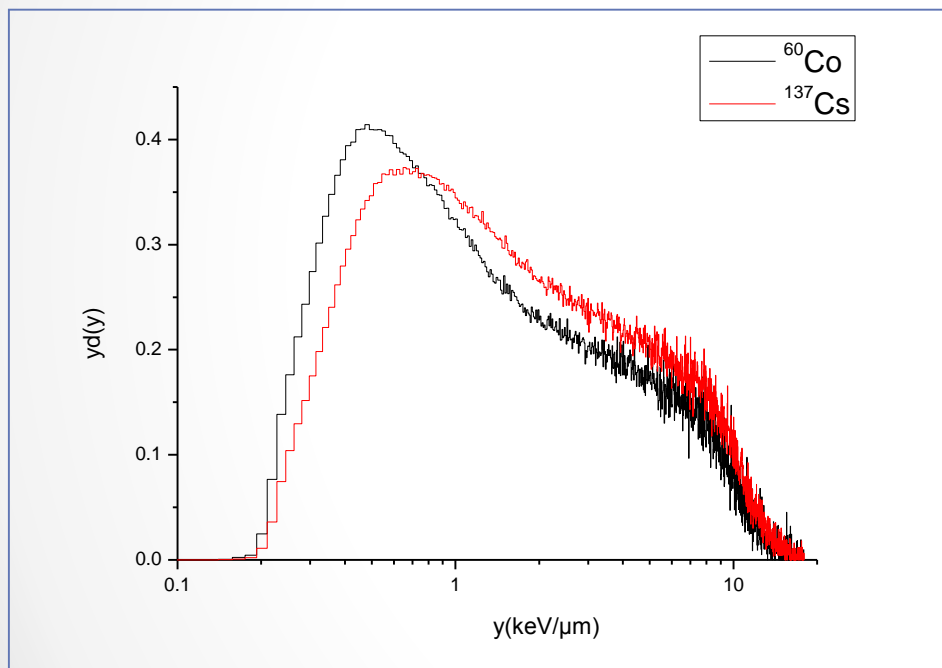
中子辐射  
测量与模拟

中子辐射  
RBE

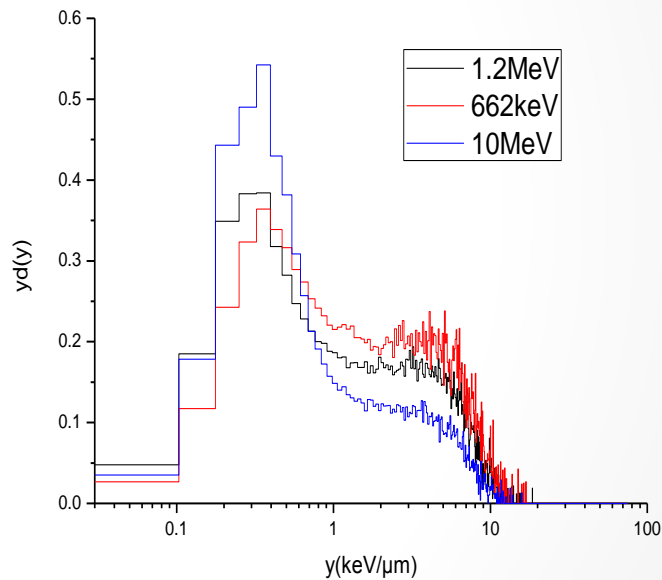
# $^{137}\text{Cs}$ 微剂量谱测量



# $\gamma$ 微剂量谱

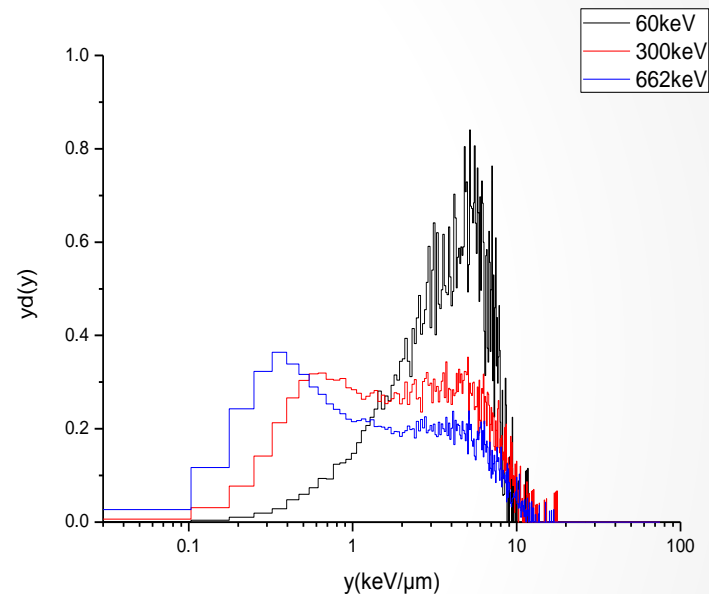
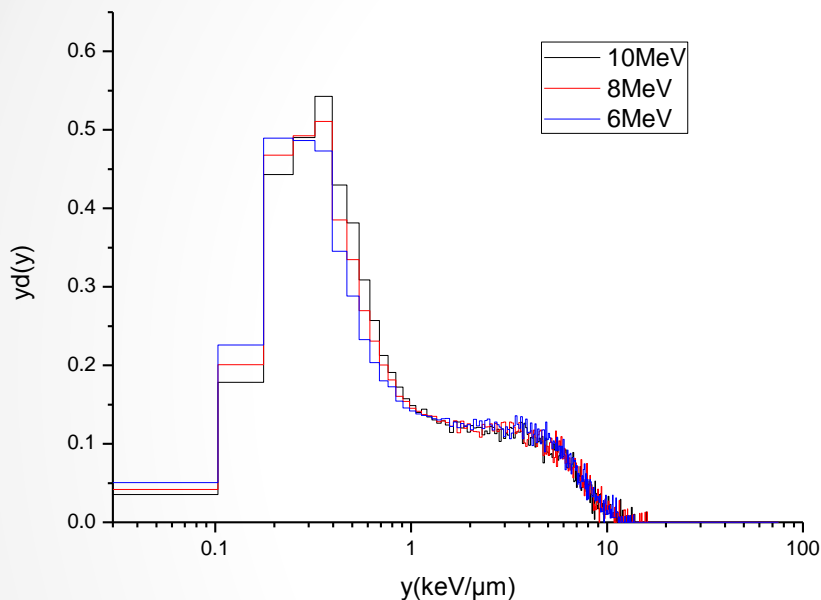


实验微剂量谱



FLUKA模拟微剂量谱





FLUKA模拟微剂量谱：随着辐射能量降低，其沉积线能逐渐趋向于高线能端；无论光子能量高低与否，在细胞组织内的沉积线能基本是低于 $10 \text{ keV}/\mu\text{m}$ 。

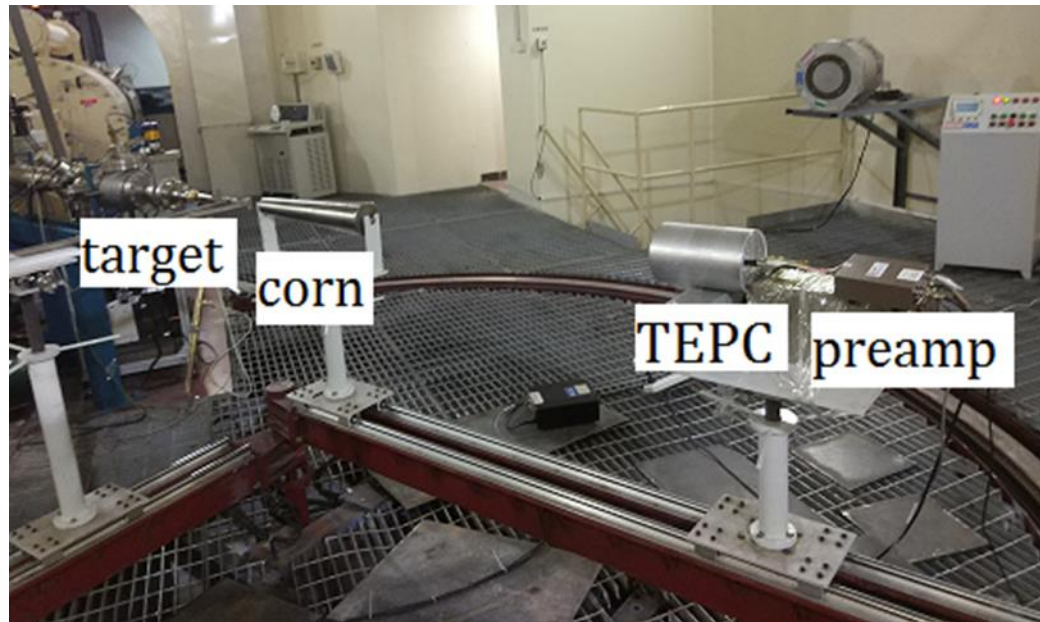
# TEPC微剂量学测量研究

微剂量学测  
量研究

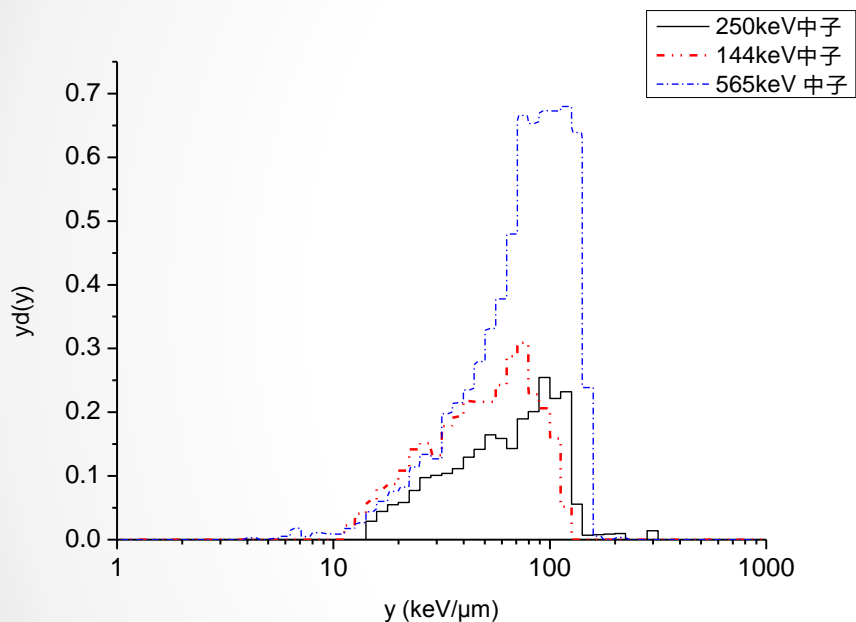
$\gamma$ 辐射  
测量与模拟

中子辐射  
测量与模拟

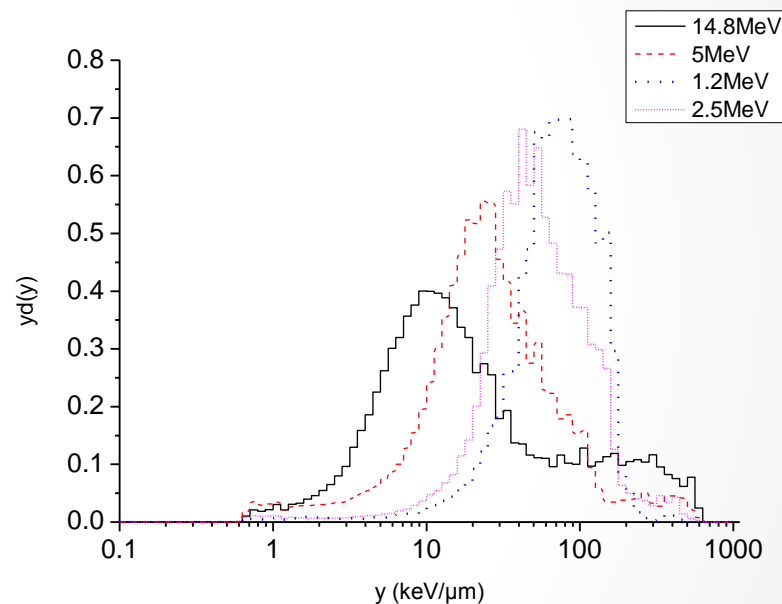
中子辐射  
RBE



# 单能中子实验微剂量谱



keV能级单能中子微剂量谱(无 $\gamma$ 本底)



MeV能级单能中子微剂量谱

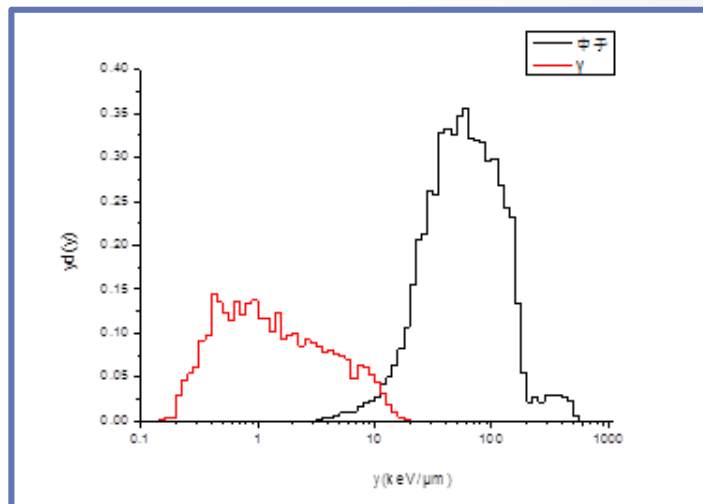
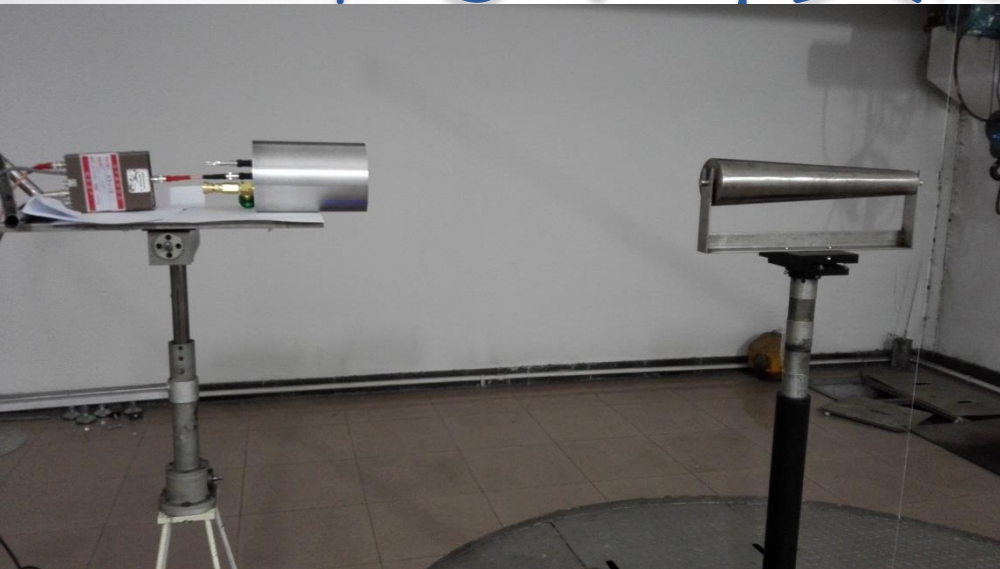
注：随着中子能量升高，反冲质子沉积线能增至最大即质子边；能量继续升高，反冲质子能量亦逐渐升高，但介质对其阻止本领反而逐渐降低，即质子沉积线能趋向于低线能端。

## 粒子分辨

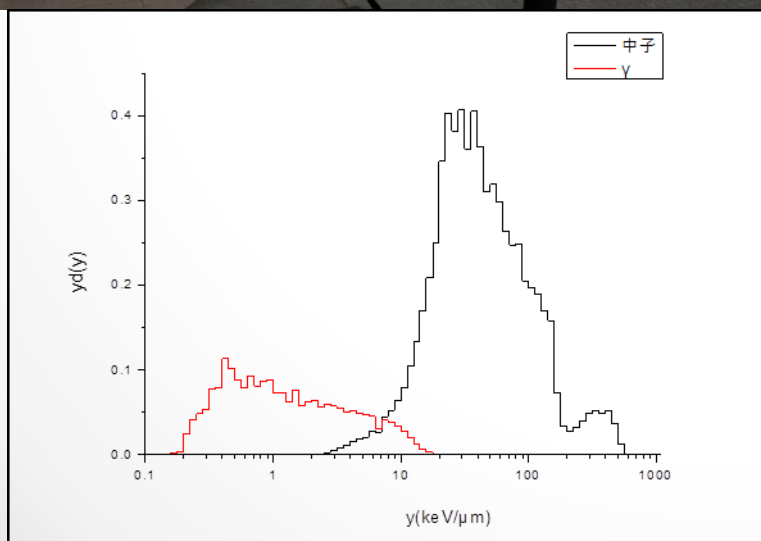
依据各种辐射在TEPC内的线能不同，具有一定的粒子分辨能力。

**中子、 $\gamma$ 混合场：**无论混合辐射场的 $\gamma$ 辐射能量大小，其沉积线能基本截止于 $10\text{keV}/\mu\text{m}$ ，而中子辐射线能高于此线能区。

# 中子、 $\gamma$ 贡献微剂量谱

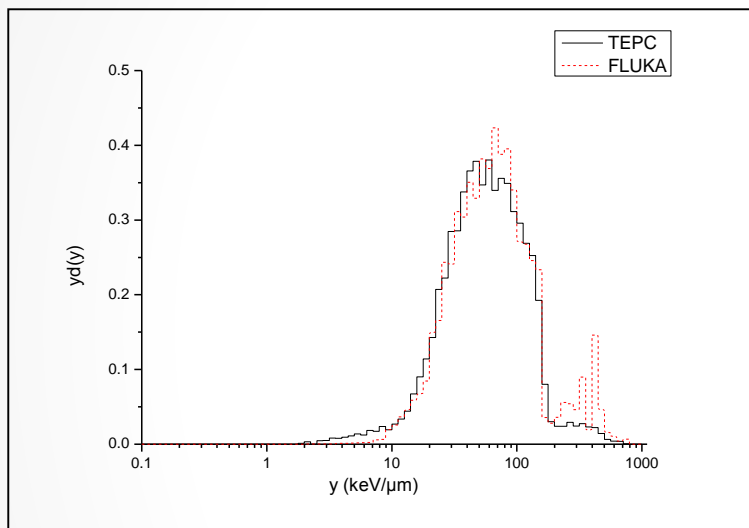


$^{252}\text{Cf}$  辐射场内中子与 $\gamma$ 成分

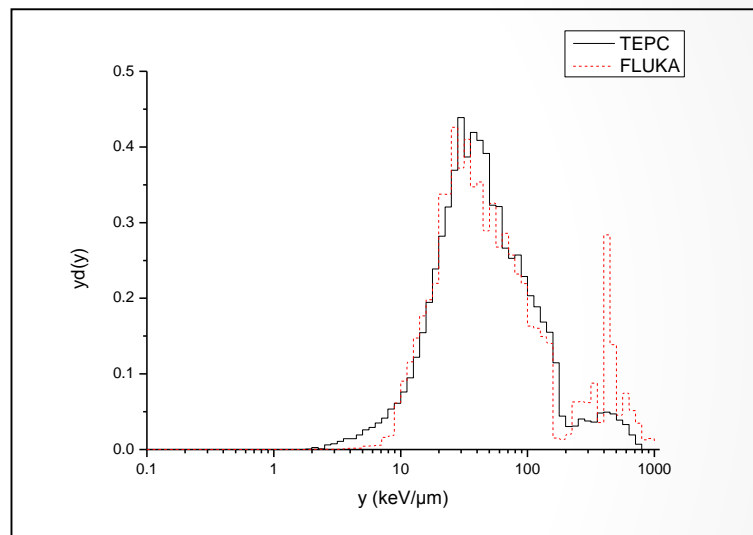


$^{241}\text{Am-Be}$   
辐射中子、 $\gamma$ 成分

# FLUKA模拟



$^{252}\text{Cf}$ 中子辐射模拟微剂量谱



$^{241}\text{Am-Be}$ 中子辐射模拟微剂量谱

# TEPC微剂量学测量研究

微剂量学测  
量研究

$\gamma$ 辐射  
测量与模拟

中子辐射  
测量与模拟

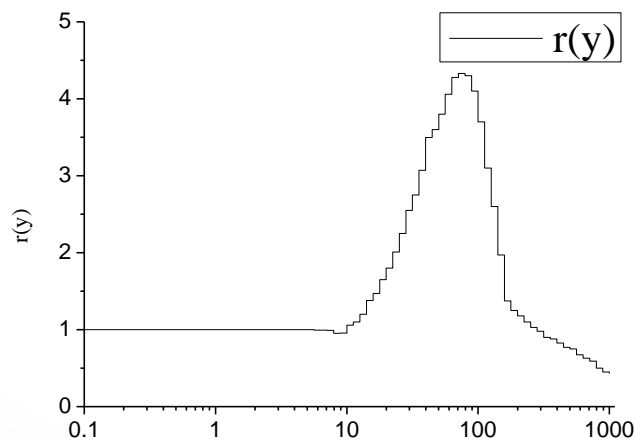
中子辐射  
RBE



# 中子辐射RBE初步研究

- 假定次级辐射之间无相互作用，辐射束 RBE值可由辐射剂量几率密度函数 $d(y)$ （也称为剂量的线能分布函数）经辐射生物权重函数 $r(y)$  加权后得到：

$$R = \int r(y)d(y)dy$$



辐射生物权重函数

# 中子有效品质因子、RBE

表 1 中子辐射 RBE 值（相对  $^{60}\text{Co}$ ）

辐射源	线能剂量平均值 $y_D$ (keV/ $\mu\text{m}$ )	有效品质因子 $\bar{Q}$	RBE 值
250 keV	56.7	14.8	25.1
250keV <sup>[4]</sup>	48.0 $\pm$ 5.1	14.3 $\pm$ 1.5	
565 keV	56.2	12.3	27.6
1.2MeV	59.3	17.2	30.4
2.5MeV	61.8	13.6	26.9
5MeV	53.2	10.1	22.0
5MeV <sup>[4]</sup>	48.6 $\pm$ 5.2	10.6 $\pm$ 1.1	
14.8MeV	79.1	7.9	14.9
$^{252}\text{Cf}$	54.4	10.4	18.7
$^{241}\text{Am-Be}$	51.4	9.1	18.9

注：  $\bar{Q}$  数据引用 ICRP60 号出版物的品质因子函数。

[4] T.Nunomiya,E.Kim,T.Kurosawa,et al, Measurement of Linear-energy Distributions for Neutrons of 8keV to 65MeV by Using a Tissue-equivalent Proportional Counter, Radiation Protection Dosimetry (2002), Vol.102, No.1, pp.49-59.

# 目录

.....●  
一、引言  
.....●

二、辐射双重作用理论  
.....●

三、TEPC及GEM-TEPC  
.....●

四、中子辐射RBE初步研究  
.....●

五、小结  
.....●

# 小结

国内首台低功耗便携式TEPC系统，该系统适用于混合辐射场尤其是空间辐射的剂量监测。

TEPC突破传统中子、 $\gamma$ 混合辐射场剂量测量方法的局限，不依赖注量-剂量当量转换因子，以单一探测器实现中子、 $\gamma$ 吸收剂量、剂量当量的同时测量；基于微剂量学测量方法，可评估辐射束RBE值。

GEM-TEPC多室探测器拓展原TEPC量程，且内置校准源的设计用于固定式剂量仪表的在线校准、期间核查等。

建立纳剂量学研究平台，开展纳米尺度剂量学研究，为辐射效应、生物效应评估提供计量标准。

谢谢!

敬请指正!