

近代物理实验  
“近代物理实验I/A”部分

NaI(Tl) 单晶 $\gamma$ 能谱仪

乐永康

复旦大学 物理实验教学中心  
<http://phylab.fudan.edu.cn>

# 提 纲

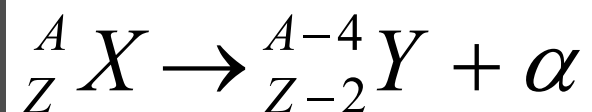
- 辐射防护
- 原子核衰变和 $\gamma$ 射线源
- $\gamma$ 射线与物质的相互作用
- 信号脉冲与能谱的形成

# 辐射防护

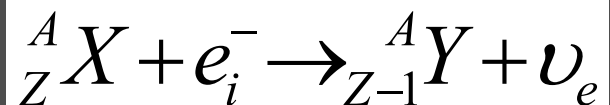
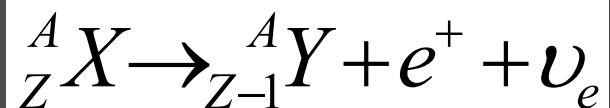
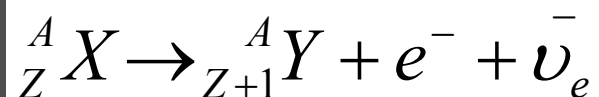
- 不容许在实验室吃东西
- 每人戴计量笔
- 离开实验室洗手
- 只取一个需要的放射源，做好登记
- 放射源无需从塑料容器中取出

# 核衰变方程

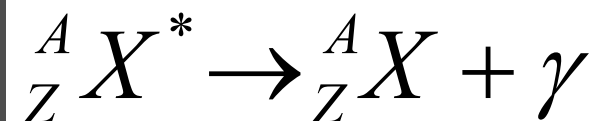
1.  $\alpha$ 衰变:



2.  $\beta$ 衰变:

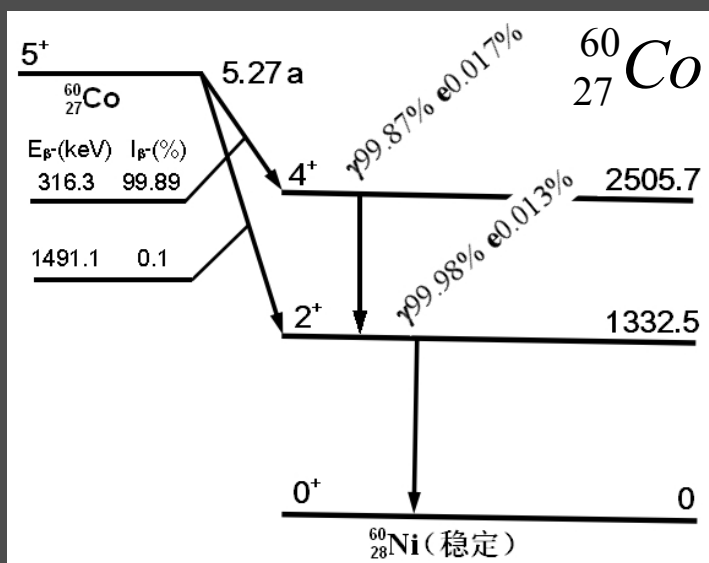
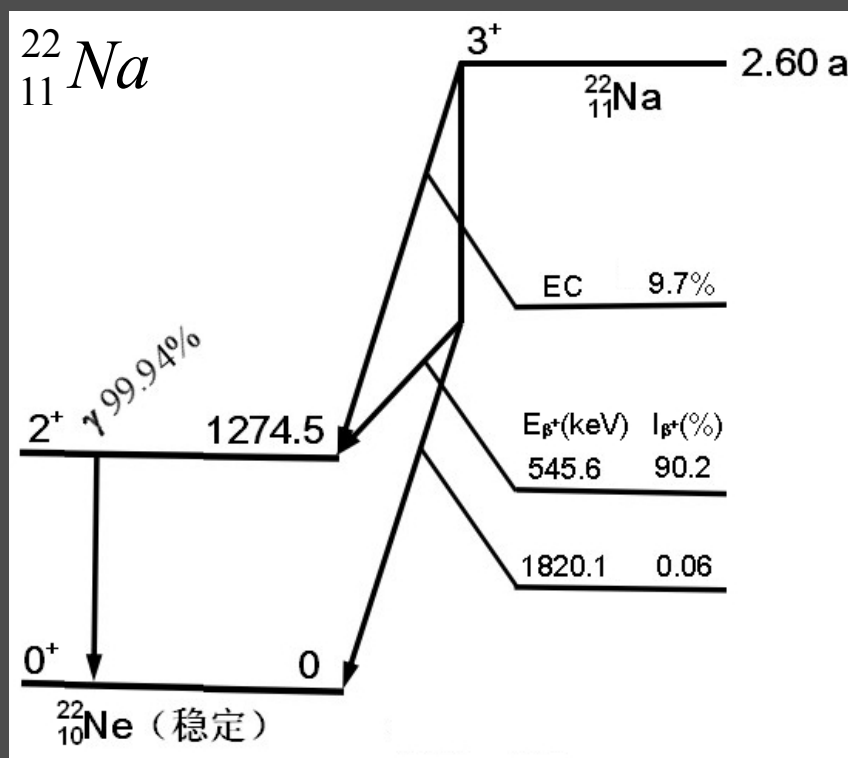
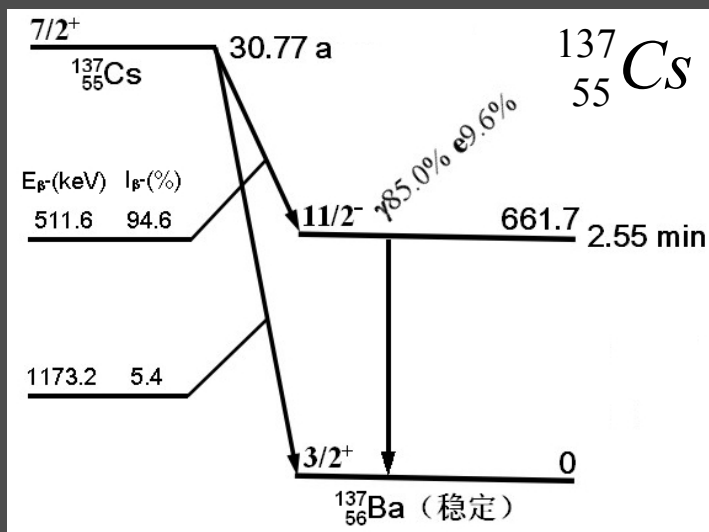


3.  $\gamma$ 衰变:



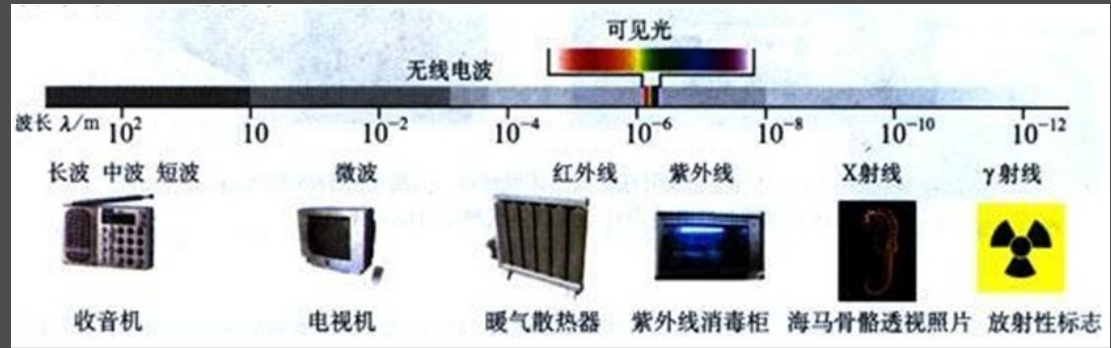
核衰变中为什么有 $\gamma$ 衰变?

# 放射性核素的衰变纲图



# $\gamma$ 射线与X射线的异同

- 来源不同：核内/核外
- 波长/能量不同：



- 对物质的穿透能力不同
- 与物质相互作用
  - 同：光电子、康普顿散射
  - 异： $\gamma$ 光子能量超过1.022MeV时，有电子对效应

摘自：百度百科

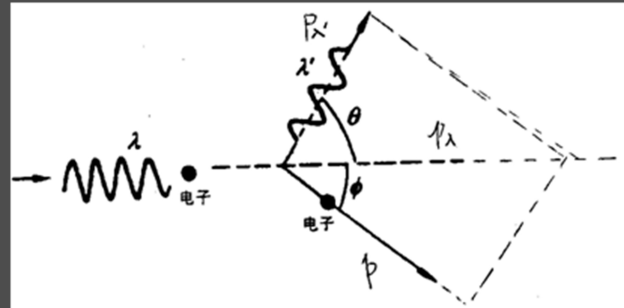
# $\gamma$ 射线与物质的相互作用

- 激发光电子

$$E_e = h\nu - E_i \approx h\nu$$

- 康普顿散射

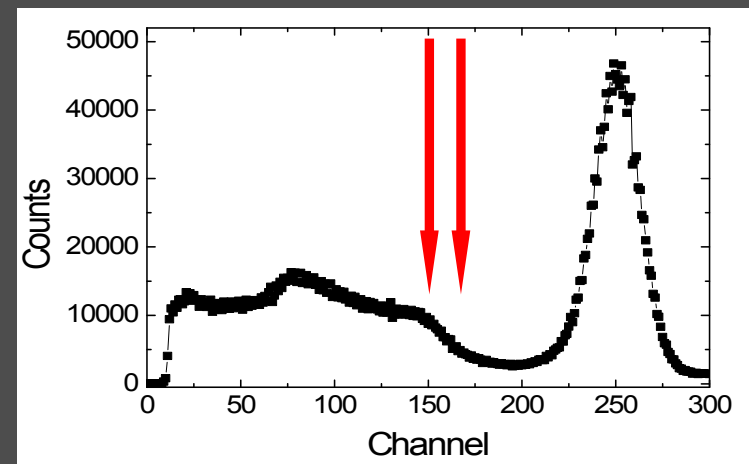
$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + 2E_\gamma(1 - \cos\theta)}$$



- 康普顿边沿在什么位置?

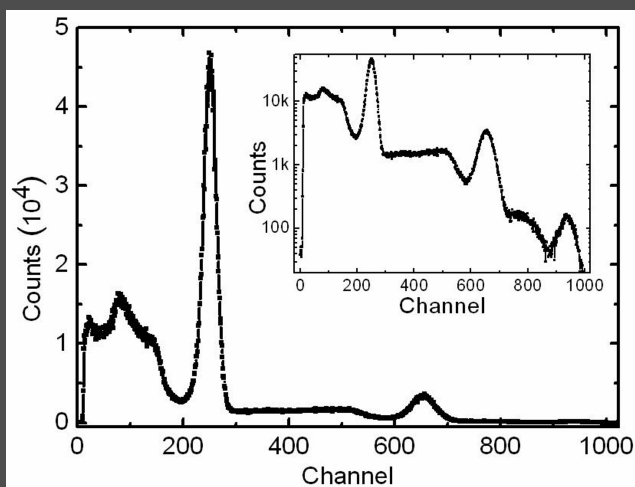
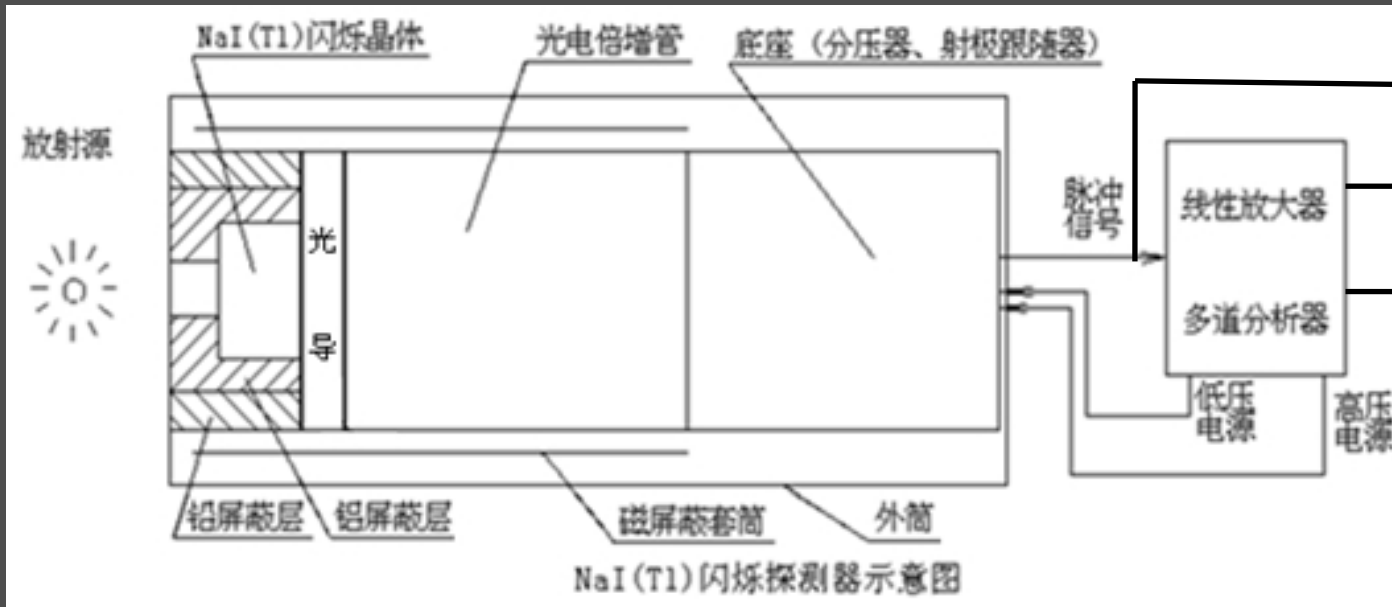
- 电子对效应

- $\gamma$ 光子的能量大于  $2m_e c^2 = 1.022\text{MeV}$

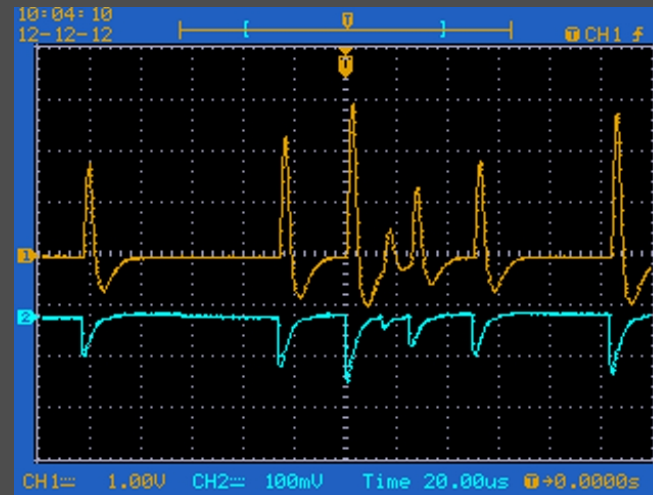


$^{22}\text{Na}$ 的 $\gamma$ 射线能谱(部分)

# γ能谱



高度  
间隔  
宽度





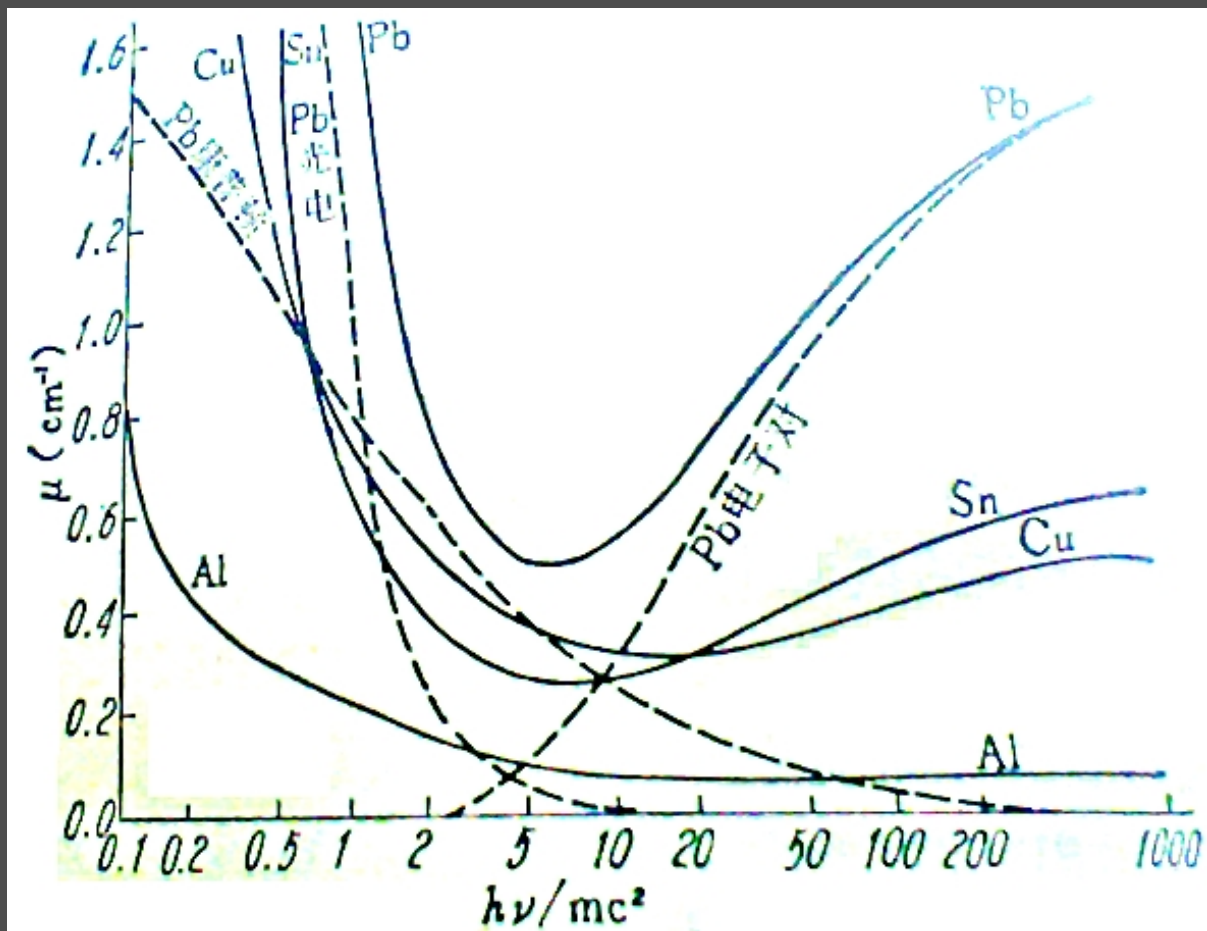
# 闪烁体中的物理

- $\gamma$ 光子与物质相互作用，产生不同能量的次级电子
- 次级电子激发闪烁体，产生荧光

$$\Delta E \sim nh\nu$$

- $\gamma$ 光子的探测效率：~10%
- **1MeV电子在铝中的最大射程1.52mm[文献1]**

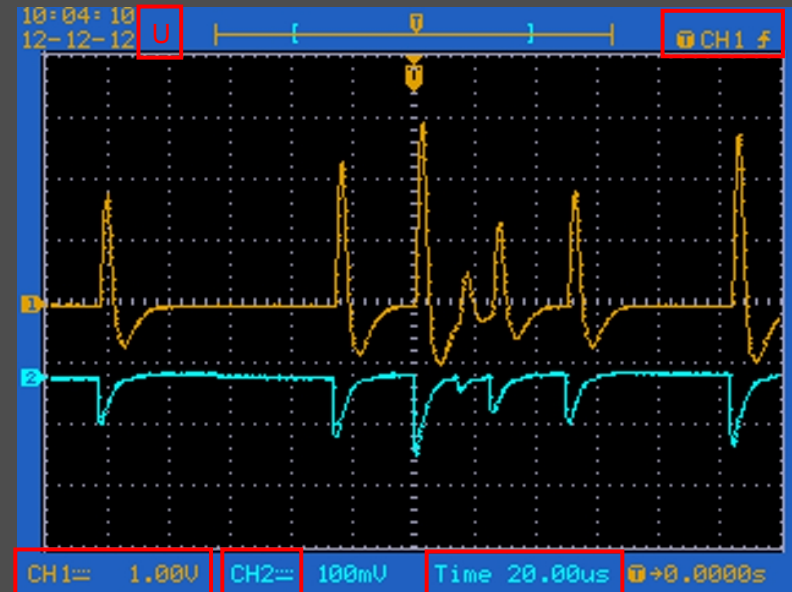
# 吸收系数



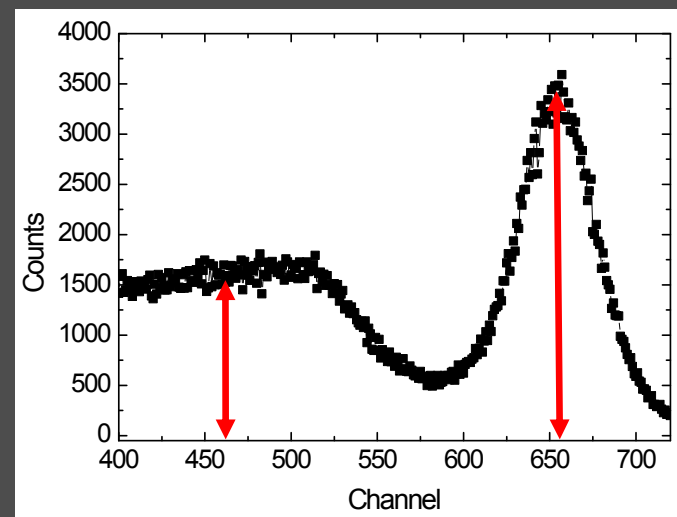
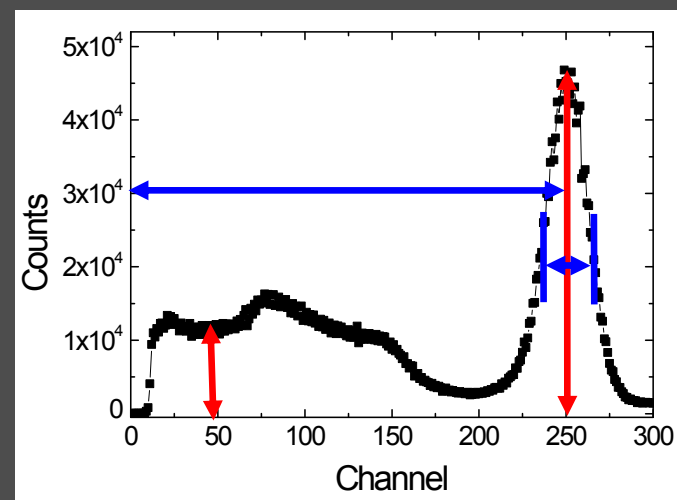
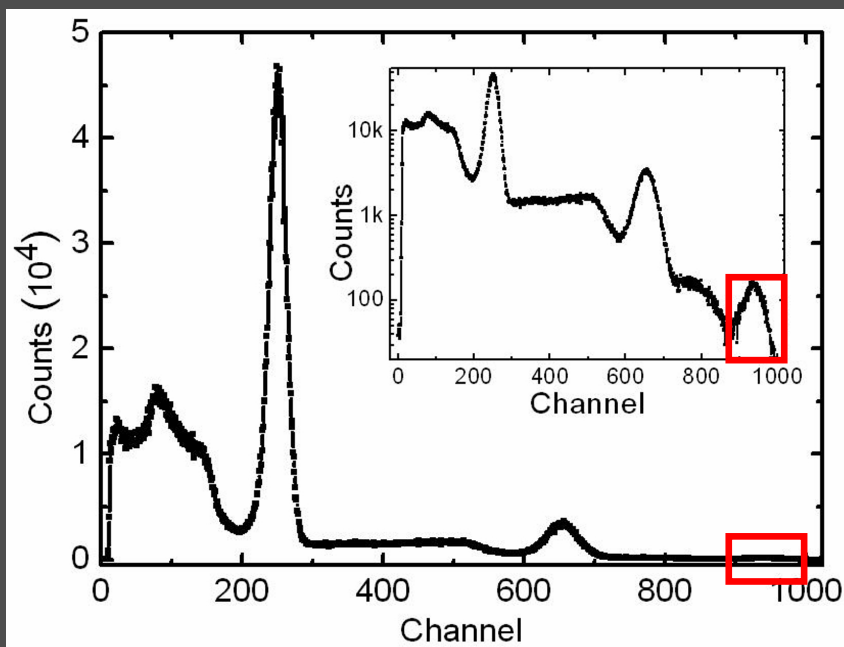
铅锡铜铝对不同能量的 $\gamma$ 射线的吸收系数

# 仪器使用

- 数字示波器：
  - 状态显示
  - 触发 (Trigger) 选择
- 放大器：
  - 功能, 线性度
  - 原理 (特别是微分、积分)
- 高压：
  - 约**600V**开始实验
  - 探头接线: 有老师指导才可换



# 能谱解读——以 $^{22}\text{Na}$ 的 $\gamma$ 射线能谱为例



1. 寻峰
2. 定标、求未知峰能量
3. 能量分辨率
4. 峰台比

# 讨论

- 用示波器观察随机脉冲信号
- 反散射峰的形成：闪烁体外发生的反散射
- 特征X射线
- 峰展宽（能量分辨率）：荧光脉冲的形成过程和光电倍增管中的倍增过程；
- 能量定标后
  - 求得各峰能量与参考值的相对偏差不同
  - 什么原因？

# 教学重点

- 原理：
  - 核衰变、放射源
  - $\gamma$ 射线与物质的相互作用
- 信号脉冲、能谱的形成过程
- 能谱的解读

# 参考文献

1. 北京大学、复旦大学主编 《核物理实验》，原子能出版社：北京，**1989.7**
2. 戴道宣、戴乐山 《近代物理实验》（第二版），高等教育出版社：北京，**2006.7**
3. 吴思诚、王祖铨 《近代物理实验》（第三版）高等教育出版社：北京，**2005.11**

谢谢！

欢迎讨论！