

光子探测效率及能谱测量

夏泽宇

2024 年 1 月 5 日

1 计算模型介绍

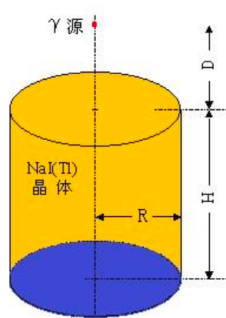
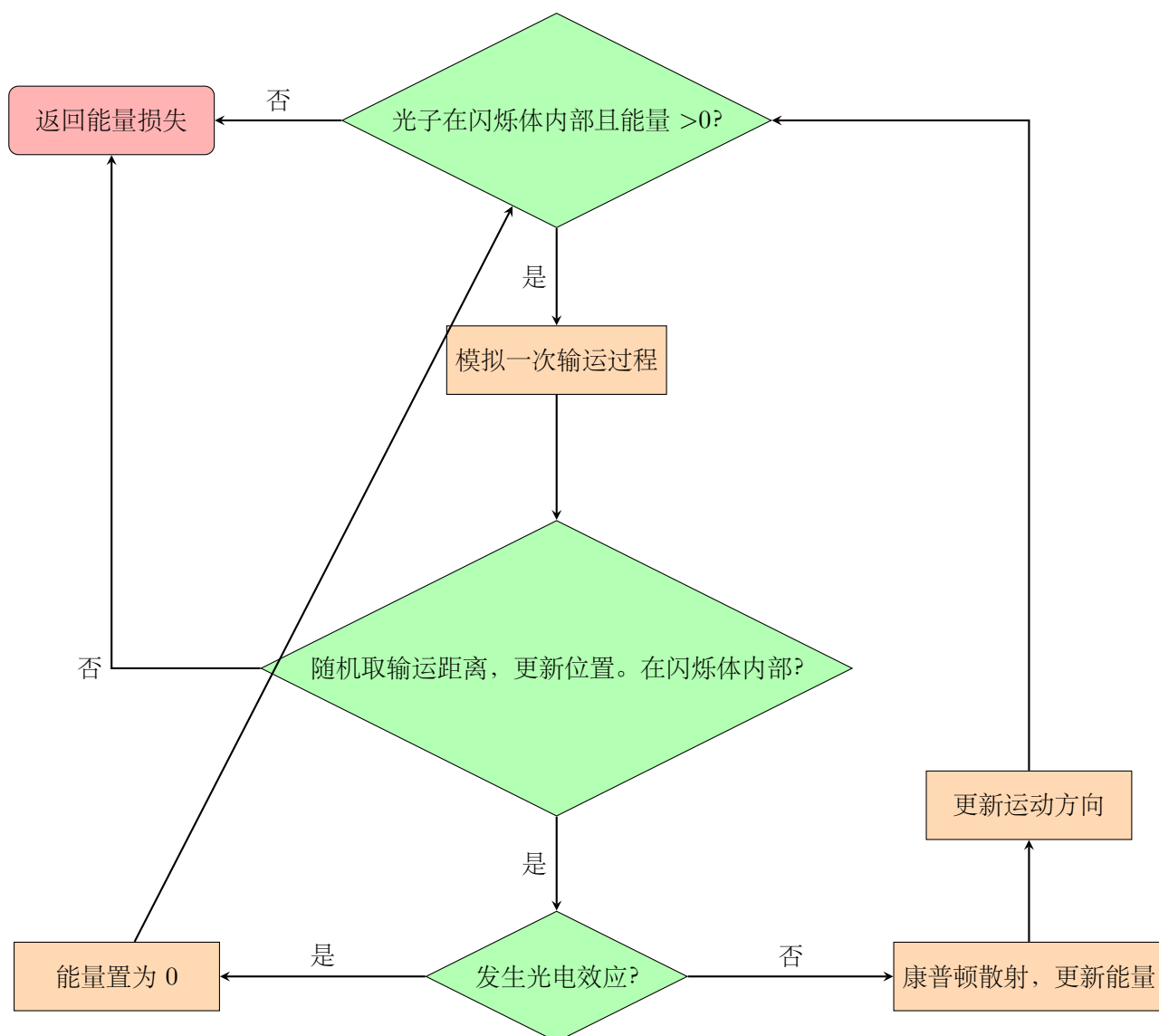


图 1: 模型图

- 闪烁体尺寸 $\Phi 4 \times 4cm$ ，即半径 $R = 2cm$ 、高 $H = 4cm$
- ^{137}Cs 点源在闪烁体中轴线上，与闪烁体顶面距离 $D = 20cm$ ，粒子垂直向下入射进入晶体

光子由 γ 源射出，进入闪烁体后通过模拟随机过程，最终或者射出闪烁体，或者因为能量耗尽 (发生光电效应或康普顿散射) 而被闪烁体吸收。通过统计闪烁体吸收的能量，并模拟加上正态分布的噪声，得到能谱与其他统计量。

2 模拟过程



以上程序模拟了一次输运过程，即光子从入射到出射/吸收的过程。每次输运过程结束后，统计光子的能量损失，并附上由于探测器造成的正态分布的噪声，得到最终的能谱与统计量。

代码示例：

模拟一次输运过程

```
photon = Photon(np.array([0, 0, H]), E0, np.array([0, 0, -1]), H=H, R=2)
```

```
E_D = photon.simulate()
```

仅统计探测器可识别的光子

```
if E_D > 0:
```

```
    # 探测器识别数量+1
```

```
    Nm += 1
```

```
    E_Ds.append(E_D)
```

加入探测器的噪声

```
F = 0.01 + 0.05 * np.sqrt(E_D + 0.4 * E_D ** 2)
```

```
sigma = 0.4247 * F
```

```
x = np.random.randn()
```

```
E_Detects.append(E_D + sigma * x)
```

3 模拟结果

3.1 探测效率、峰总比和相对误差

探测效率: $N_m/N = 61.486\%$

峰总比: $N_p/N = 21.119\%$

误差估计:

$$\varepsilon = |\hat{\eta}_N - \eta| < \frac{\chi_\alpha \sigma_\eta}{\sqrt{N}} \approx \frac{2\sigma_\eta}{\sqrt{N}}$$

其中:

$$\sigma_\eta^2 = \eta(1 - \eta) = \hat{\eta}_N (1 - \hat{\eta}_N)$$

代入值 $N = 10^5$, $\hat{\eta}_N = 0.61486$, 得到 $\varepsilon = 3.078 \times 10^{-3}$, 相对误差为 $\frac{\varepsilon}{N_m/N} = 5.005 \times 10^{-3}$ 。

3.2 能谱图

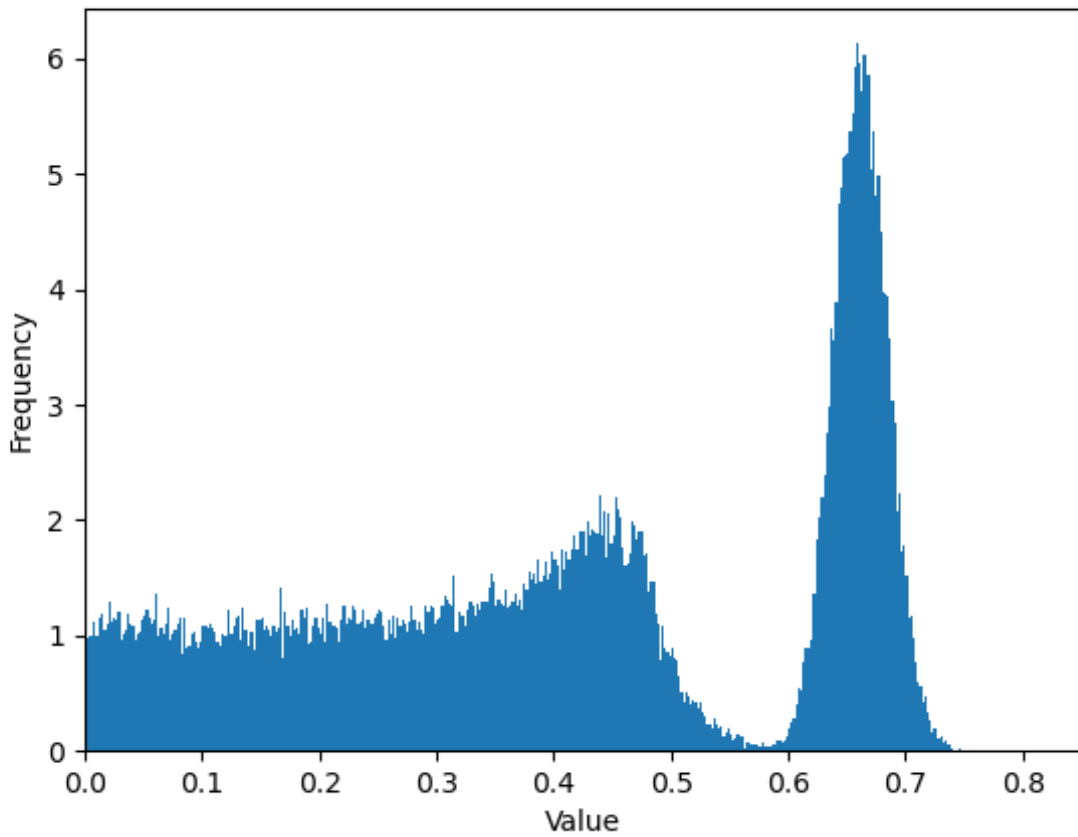


图 2: 能谱图

3.3 系统在 0.662MeV 处的能量分辨率

考察 γ 能谱图的半高宽，即能量分辨率：

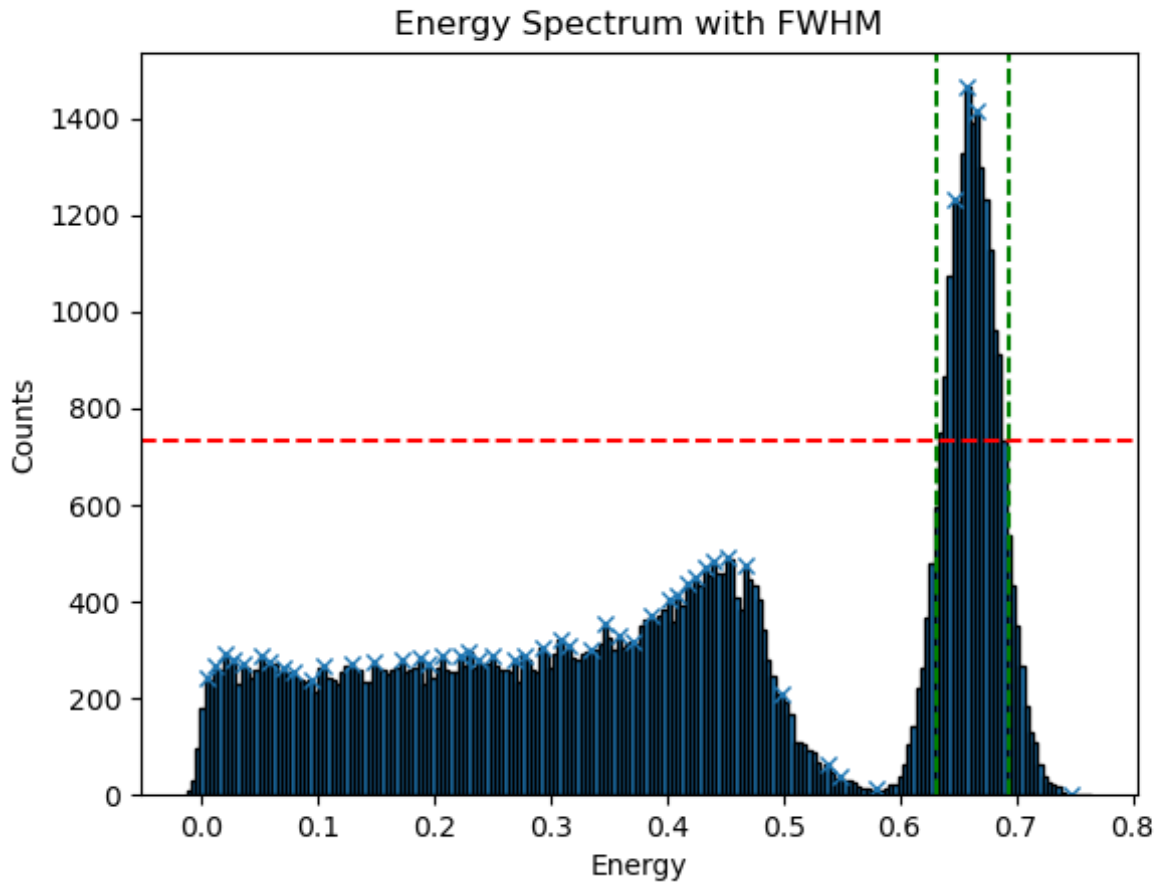


图 3: 能谱图的半高宽

通过对数据的计算得到，半高宽对应的区间为 $[0.6311, 0.6934]$ ，因此能量分辨率为：

$$\frac{0.6934 - 0.6311}{0.662} = 9.4\%$$

可以看出该光子探测器的能量分辨率较低，主要原因在于测量系统引入了过多误差。

4 总结

通过对光子探测系统的模拟，可以得到探测效率、峰总比和能量分辨率等信息。就模拟得到的数据，该系统的探测效率、峰总比、能量分辨率均不太高。可以通过增大设备尺寸，选用更好的探测材料以提高探测效率和峰总比。能量分辨率的提高则需要提升测量系统的精度。