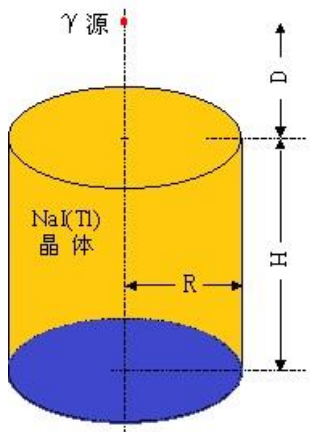


光子探测效率及能谱测量

试模拟 γ 源 ^{137}Cs ($E_0=0.662\text{MeV}$) 在 NaI(Tl) 闪烁体中的输运情况。



计算模型:

- 闪烁体尺寸 $\Phi 4 \times 4\text{cm}$, 即半径 $R=2\text{cm}$ 、高 $H=4\text{cm}$ (选做: 探测器外部包裹 0.1cm 厚的铝)。
- ^{137}Cs 点源在闪烁体中轴线上, 与闪烁体顶面距离 $D=20\text{cm}$, 粒子垂直向下入射进入晶体。

要求计算光子在 NaI(Tl) 闪烁体内的能量沉积谱:

用直接模拟法模拟光子在 NaI(Tl) 闪烁体内的输运, 记录单个光子在闪烁体内损失的能量, 如果发生了光电效应, 则认为损失了全部能量, 如果是康普顿散射, 沉积能量为碰撞前后的能量差, 最后获得光子的总沉积能量。

考虑到测量系统的分辨率, 实际记录的能量为沉积能量的高斯展宽, 且在能量 E 处的半高宽 $FWHM(E) = 0.01 + 0.05\sqrt{E} + 0.4E^2$, 其中能量 E 的单位为 MeV 。即记录能量为

$$E' = E + \sigma \cdot x, \quad \sigma = FWHM / (2\sqrt{2\ln 2}) \approx 0.4247 \cdot FWHM, \quad x \text{ 为服从标准正态分布的随机变量。}$$

作业要求编写光子能谱测量的蒙卡模拟程序, 根据计算结果整理出报告, 报告应包括以下几部分内容。

- 1) 计算探测效率和峰总比, 并估计相对误差。

$$\text{探测效率} = N_m / N$$

$$\text{峰总比} = N_p / N_m$$

N = 进入闪烁体的总粒子数

N_m = 探测到的总计数 (能量沉积 $E > 0$ 的光子计数)

N_p = 全能峰的总计数 (按 $E_0 \pm 3\sigma$ 范围统计计数)

误差估计取置信水平 $1 - \alpha = 0.95$, $\lambda_\alpha \approx 2.0$ 。

- 2) 统计 γ 谱每道的计数, 画出 γ 能谱图。

能量范围取 $0 \sim 0.85 \text{ MeV}$, 按每道为 0.002 MeV 的间隔划分。

- 3) 根据 γ 能谱图, 估计测量系统在 0.662 MeV 处的能量分辨率。

(直接根据 γ 能谱图全能峰的半高宽进行估算)

编程源程序等作为附件一并提交。对于编程语言不作要求, C++、matlab 等都可以。如有疑问, 可通过微信群、电子邮件 (linqian@tsinghua.edu.cn) 答疑。

NaI(Tl)闪烁体宏观截面数据：

能量	康普顿效应截面	光电效应截面
(MeV)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)
1. 000E-03	2. 1712E-02	2. 8604E+04
1. 035E-03	2. 2915E-02	2. 6589E+04
1. 072E-03	2. 4171E-02	2. 4721E+04
1. 072E-03	2. 4174E-02	2. 9081E+04
1. 500E-03	3. 9086E-02	1. 3950E+04
2. 000E-03	5. 6555E-02	7. 0354E+03
3. 000E-03	9. 0245E-02	2. 5701E+03
4. 000E-03	1. 2082E-01	1. 2298E+03
4. 557E-03	1. 3623E-01	8. 7603E+02
4. 557E-03	1. 3623E-01	2. 4167E+03
4. 702E-03	1. 4005E-01	2. 2629E+03
4. 852E-03	1. 4397E-01	2. 1191E+03
4. 852E-03	1. 4397E-01	2. 8329E+03
5. 000E-03	1. 4775E-01	2. 6707E+03
5. 188E-03	1. 5249E-01	2. 4262E+03
5. 188E-03	1. 5249E-01	2. 7907E+03
6. 000E-03	1. 7172E-01	1. 9440E+03
8. 000E-03	2. 1282E-01	9. 1346E+02
1. 000E-02	2. 4703E-01	5. 0463E+02
1. 500E-02	3. 0865E-01	1. 6772E+02
2. 000E-02	3. 4729E-01	7. 5675E+01
3. 000E-02	3. 9159E-01	2. 4248E+01
3. 317E-02	4. 0003E-01	1. 8247E+01
3. 317E-02	4. 0003E-01	1. 0922E+02
4. 000E-02	4. 1361E-01	6. 6941E+01
5. 000E-02	4. 2462E-01	3. 6920E+01
6. 000E-02	4. 2902E-01	2. 2427E+01
8. 000E-02	4. 2756E-01	1. 0078E+01
1. 000E-01	4. 1985E-01	5. 3655E+00
1. 500E-01	3. 9306E-01	1. 6853E+00
2. 000E-01	3. 6700E-01	7. 4097E-01
3. 000E-01	3. 2516E-01	2. 3785E-01
4. 000E-01	2. 9393E-01	1. 0962E-01
5. 000E-01	2. 6978E-01	6. 1803E-02
6. 000E-01	2. 5037E-01	3. 9599E-02
8. 000E-01	2. 2064E-01	2. 0508E-02

铝（Al）的宏观截面数据：

能量	康普顿效应截面	光电效应截面
(MeV)	(cm ⁻¹)	(cm ⁻¹)
1.00E-03	1.7264E+00	1.4310E+05
1.50E-03	2.9970E+00	4.8411E+04
1.56E-03	3.1374E+00	4.3551E+04
1.56E-03	3.1374E+00	4.7844E+05
2.00E-03	4.0824E+00	2.7351E+05
3.00E-03	5.7240E+00	9.5148E+04
4.00E-03	7.0281E+00	4.3443E+04
5.00E-03	8.2107E+00	2.3252E+04
6.00E-03	9.3096E+00	1.3821E+04
8.00E-03	1.1240E+01	5.9886E+03
1.00E-02	1.2798E+01	3.0915E+03
1.50E-02	1.5304E+01	9.0909E+02
2.00E-02	1.6583E+01	3.7503E+02
3.00E-02	1.7715E+01	1.0552E+02
4.00E-02	1.8077E+01	4.2390E+01
5.00E-02	1.8095E+01	2.0779E+01
6.00E-02	1.7942E+01	1.1570E+01
8.00E-02	1.7407E+01	4.5765E+00
1.00E-01	1.6789E+01	2.2262E+00
1.50E-01	1.5331E+01	6.0399E-01
2.00E-01	1.4129E+01	2.4219E-01
3.00E-01	1.2347E+01	6.9471E-02
4.00E-01	1.1084E+01	2.9997E-02
5.00E-01	1.0130E+01	1.6257E-02
6.00E-01	9.3798E+00	1.0163E-02
8.00E-01	8.2431E+00	5.1435E-03