



核辐射防护

授课教师：张彬航

机械与动力学院 M2-509

E-mail: evanustc@mail.ustc.edu.cn

Tel: 15555400026



γ 剂量率的计算

- 一、X、 γ 辐射源及辐射场
- 二、 γ 剂量率的计算(点源)
- 三、非点源的剂量计算举例



γ 剂量率的计算 (点源)

● 点源:

- ✓ 即放射源可以视作一个点，射线向四面八方发射，形成一个各向同性的辐射场；
- ✓ 距离比源本身的几何尺寸大10倍以上；

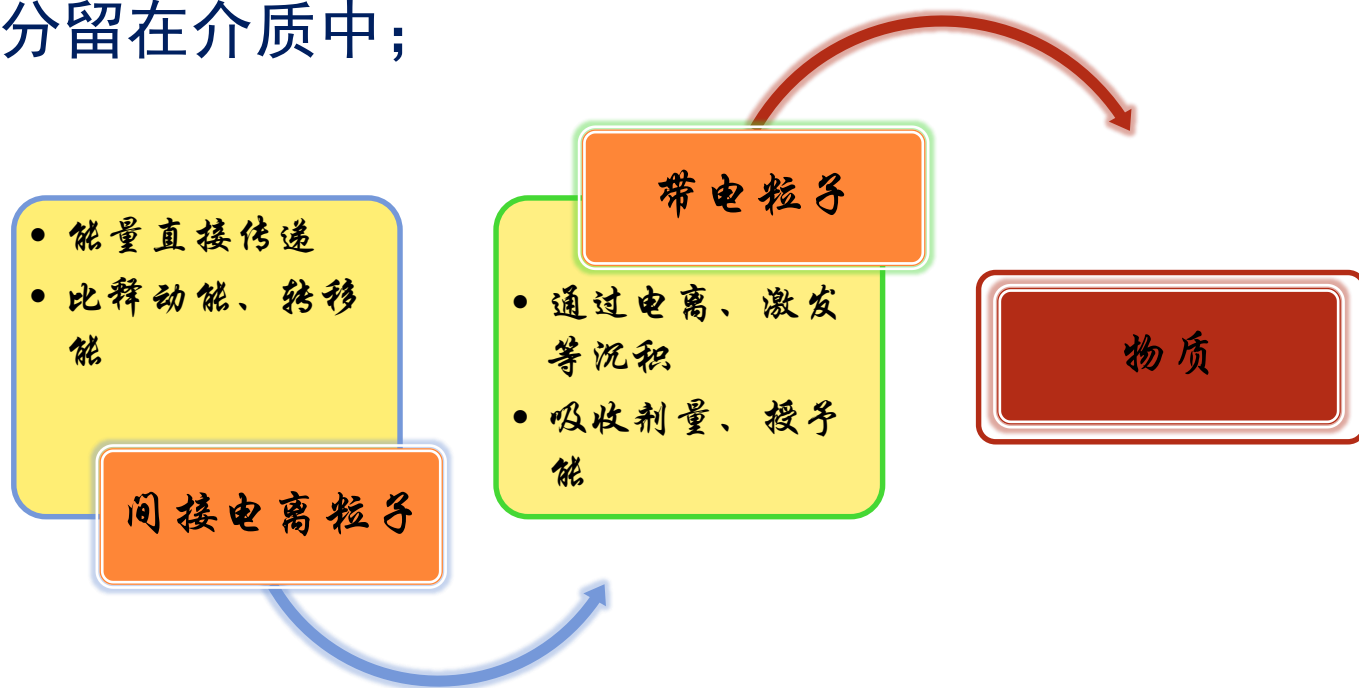
● 非点源:

- ✓ 实际工作中，不能被当做点源的辐射源；
- ✓ 计算外照射剂量，必须考虑源的形状、体积、源体积内的散射和自吸收等；
- ✓ 任何非点源都可以分割成足够数目的点源；



γ 剂量率的计算 (点源)

- 不带电粒子与物质的相互作用分二个阶段：
第一阶段： 不带电粒子通过与物质的相互作用，把能量转移给次级带电粒子；
第二阶段： 次级带电粒子通过电离、激发等方式把转移来的能量大部分留在介质中；





γ 剂量率的计算 (点源)

γ 剂量率的计算是 γ 屏蔽设计的基础

- ✓ 放射性活度
- ✓ 比释动能率
- ✓ 吸收剂量率



γ 剂量率的计算 (点源)

✓放射性活度

放射源的强弱? 用单位时间内发生衰变原子核数目来衡量.

定义: 表征一个放射源在单位时间内发生衰变的原子核数.

$$A(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

- A_0 是放射源初始的活度,可见一个放射源的活度也随时间增加呈现指数型衰减;
- 单位: 贝克勒尔 (Becquerel) ; 符号Bq。居里: Ci
- $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 放射性活度

[例] ^{226}Ra 的半衰期为1602年, 1g ^{226}Ra 的放射性活度为多少?

Step1. 1g ^{226}Ra 的原子个数为:

$$N = \frac{1}{226} \times 6.022 \times 10^{23} = 2.665 \times 10^{21}$$

Step2. $\lambda T = \ln 2$

Step3. $A = \lambda N = \frac{0.693}{T} N = 3.66 \times 10^{10} (\text{Bq})$



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 比释动能率

- **比释动能 K** ：不带电粒子在体积元内产生的所有带电粒子的初始动能的和除以物质质量的商。

$$K = \frac{d\varepsilon_{\text{tr}}}{dm}$$

不带电离子在特定物质的体积元内释放出来的所有带电粒子的初始动能的总和，

所考虑的体积元内物质的质量

SI单位：Gy， $1\text{Gy}=1\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$ ；

- **比释动能率 \dot{K}** ：某一时间间隔内比释动能的增量除以该时间间隔的商。

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

SI单位：戈瑞/秒，Gy/s



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 比释动能率常数

- 方便计算，事先不同核素的单位活度 γ 点源在单位距离处产生的空气中比释动能率计算出来，作为不同源强在不同距离处剂量计算的基础。
- 定义：**离单位活度的 γ 点源1m处，在1h内所产生的空气中比释动能。

$$\Gamma_K = \frac{R^2}{A} \cdot \dot{K} \quad \longrightarrow \quad \dot{K} = \frac{A\Gamma_k}{R^2}$$

SI单位： $\text{Gy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 吸收剂量率

空间任意一点的光子注量率与吸收剂量率之间的关系:

$$\dot{D} = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} = \varphi \left(\frac{\mu_{en}}{\rho} \right) E_{\gamma}$$

\dot{D} : γ 射线在注量率为 φ 的某一点处空气中产生的吸收剂量率 Gy/s

φ : γ 射线在计算剂量点处的注量率, $m^{-2}s^{-1}$

$\frac{\mu_{en}}{\rho}$: 该种能量的 γ 射线在空气中的质能吸收系数, m^2/kg

E_{γ} : γ 射线的能量 (每一), J(1eV=1.6E-19J)



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 吸收剂量率与比释动能的关系

- 在**带电粒子平衡条件**下，不带电粒子在某已体积元的物质中，转移给带电粒子的平均能量 $d\varepsilon_{\text{tr}}$ 所吸收的平均能量 $d\varepsilon$ ，得：

$$K = \frac{d\varepsilon_{\text{tr}}}{dm} = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

- 在**带电粒子产生的韧致辐射效应可忽略**的条件下，上式亦成立（低能X或 γ 射线）。对于高能X或 γ 射线，考虑韧致辐射，得：

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} = \frac{d\varepsilon_{\text{tr}}}{dm} (1 - g) = K(1 - g)$$



γ 剂量率的计算 (点源)

✓ 吸收剂量率与照射量的关系

- 对于空气，在带电粒子平衡条件下，空气中照射量和吸收剂量之间具有确定的关系，如果空气的平均电离能为33.85eV，可求得其他物质的吸收剂量率：

$$D_a = \frac{W_a}{e} X = 33.85X$$

$$\dot{D}_m = \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_a} \cdot \frac{W_a}{e} \cdot \dot{X} = 33.85 \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_a} \dot{X} = f_m \cdot \dot{X}$$

在空气中的吸收剂量率与空气中的比释动能率在数值上使相等。对于象水、肌肉核软组织一类物质

$$\frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_a} \approx 1, \text{ 所以 } \dot{D}_m \approx \dot{K}_a$$



γ 剂量率的计算 (点源)

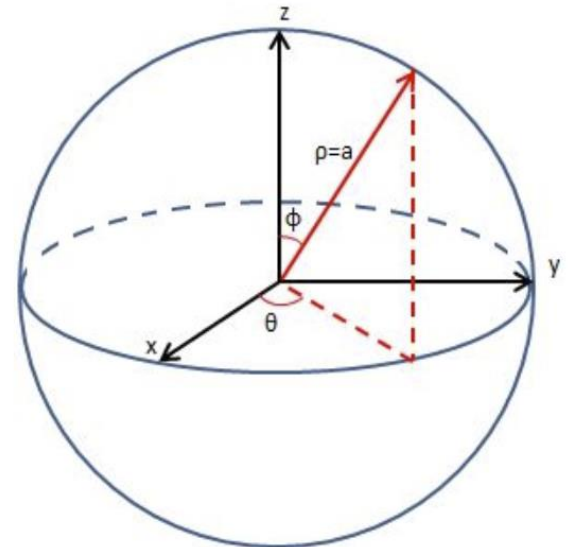
[例] 计算距活度为 $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$ 的 ^{137}Cs 放射源 1 米处肌肉组织的吸收剂量率。

1、查表得: $E_{\gamma}(^{137}\text{Cs})=0.66\text{MeV}$, $(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{肌肉}}=0.00324\text{m}^2\text{kg}^{-1}$

2、注量率: $\varphi = \frac{A}{4\pi r^2} = \frac{3.7 \times 10^{10}}{4 \times 3.14 \times 1^2} = 3.0 \times 10^9 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$

3、吸收剂量率:

$$\begin{aligned}\dot{D} &= \varphi \left(\frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} \right)_{\text{肌肉}} E_{\gamma} \\ &= 1.02 \times 10^{-6} \text{ Gy s}^{-1} \\ &= 3.63 \text{ mGy s}^{-1}\end{aligned}$$





谢谢！

请各位专家批评指正！