

# 《辐射防护及保健物理》需要掌握的公式

## 第一章 放射性及辐射场的量和单位

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \tau = 1/\lambda \quad \lambda = \ln 2 / T_{1/2}$$

$$\text{活度: } A = \lambda N(t) \text{ [Bq] or [Ci]}$$

$$N = m \cdot N_A / M$$

粒子注量:  $\Phi = dN / da = \Delta L / \Delta V$  (da 小球体截面积)

$$\text{粒子注量率: } \varphi = d\Phi / dt = d^2 N / (da \cdot dt) \text{ [m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\text{能量注量: } \Psi = dE_n / da \text{ [J} \cdot \text{m}^{-2}]$$

$$\text{能量注量率: } \psi = d\Psi / dt \text{ [J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

$$\Psi = \Phi \cdot E \quad \Psi = \int_0^\infty \frac{d\Phi}{dE} E \cdot dE$$

$$\Phi = \int_0^\infty \frac{d\Phi(E)}{dE} dE \quad \Psi = \int_0^\infty \frac{d\Phi(E)}{dE} E \cdot dE$$

## 第三章 辐射与物质的相互作用

总质量阻止本领:

$$\frac{S}{\rho} = \frac{1}{\rho} \left( \frac{dE}{dl} \right) \quad \left( \frac{S}{\rho} \right) = \left( \frac{S}{\rho} \right)_{col} + \left( \frac{S}{\rho} \right)_{rad}$$

$$\text{线衰减系数: } \mu = \tau + \sigma_c + \sigma_{cob} + \kappa$$

线能量转移系数:

$$\begin{aligned} \tau_{tr} &= \tau_a + \sigma_a + \kappa_a \\ &= \tau \left( 1 - \frac{\delta}{h\nu} \right) + \sigma_c \frac{E}{h\nu} + \kappa \left( 1 - \frac{2mc^2}{h\nu} \right) cm^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{质能吸收系数: } \mu_{en} / \rho = \mu_{tr} (1 - g) / \rho$$

(g 为次级电子韧致辐射损失的能量份额)

$$\text{混合物/化合物: } \mu / \rho = \sum_i (\mu / \rho)_i \omega_i$$

( $\omega_i$  为元素 i 的重量百分比)

物理量	符号	物理含义
质量衰减系数	$\frac{\mu}{\rho}$	描述单位质量厚度上, 入射线减弱的特性

质能转移系数	$\frac{\mu_{tr}}{\rho}$	描述单位质量厚度上, 入射线转移给次级带电粒子的能量份额
质能吸收系数	$\frac{\mu_{en}}{\rho}$	描述单位质量厚度上, 次级带电粒子沉积的能量份额

## 第四章 辐射防护的相关量与系数

### 1. 基本量

比释动能:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \text{ [Gy] (J/kg)} \quad \dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

空气比释动能率系数:

$$\dot{K}_\delta = A \Gamma_\delta / I^2 \quad \Gamma_\delta = I^2 \dot{K}_\delta / A$$

$$\text{吸收剂量: } D = \overline{d\varepsilon} / dm = (1 - g) \frac{dE_{tr}}{dm} \text{ [Gy]}$$

$$\text{照射量: } X = \frac{dQ}{dm} = \Psi \frac{\mu_{en}}{\rho} \frac{e}{W} = f_x \cdot \phi \text{ [C/kg]}$$

照射量因子:  $f_x$  (查表可知)

$$D_m = f_m \cdot X$$

(单位:  $f_m \sim \text{Gy/R}$ ,  $X \sim \text{R}$  or  $f_m \sim \text{J/C}$ ,  $X \sim \text{C/kg}$ )

$$D_m = \frac{(\mu_{en} / \rho)_m}{(\mu_{en} / \rho)_a} \cdot \frac{W_a}{e} \cdot X$$

### 2. 防护量

$$\text{当量剂量(器官 T): } H_T = \sum_R w_R D_{T,R} \text{ [Sv] (J/kg)}$$

$$\text{有效剂量: } E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} = \sum_T w_T H_T$$

$$\text{集体有效剂量: } S = \sum_i \overline{E_i} \cdot N_i \text{ [人} \cdot \text{希]}$$

待积当量剂量、待积有效剂量:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt \quad E(\tau) = \sum_T w_T H_T(\tau)$$

### 3. 运行实用量

$$\text{剂量当量: } H = QD \text{ [Sv]}$$

## 第六章 外照射剂量计算与防护

1.  $\beta$  核素皮肤沾污的情况:  $D = \varphi \cdot E \cdot \mu_{\beta} = \varphi \cdot S / \rho$

2. 重带电粒子:

质子的有表可查, 其他重带电粒子:

$$\frac{S}{\rho} = \left(\frac{Z}{Z_p}\right)^2 \left(\frac{S}{\rho}\right)_{\varepsilon} = Z^2 \left(\frac{S}{\rho}\right)_{\varepsilon} \quad \varepsilon = \frac{M_p}{M} E$$

E 为入射重带电粒子的能量(MeV)

$$\text{屏蔽计算时重带电粒子修正: } R \approx \frac{1}{Z^2} \frac{M}{M_p} R_0$$

$R_0$  为与重带电粒子有相同速度的质子的连续慢化近似射程(mg/cm<sup>2</sup>).

3. 光子的剂量与防护

(1) 剂量计算

$$\text{X 射线机 } \dot{K} = I \delta_x (1/r)^2 \text{ [mGy/min]}$$

(I 为管电流强度, mA, r 为距靶的距离, m)

$$\text{加速器: } \dot{D} = I \delta_a (1/r)^2 \text{ [Gy/min]}$$

$\gamma$  辐射源

$$\text{点源照射量率: } \dot{X} = \sum_{i=1}^m \varphi_i \left(\frac{\mu_{en}}{\rho}\right)_i E_i \frac{e}{W} = \frac{A \Gamma}{r^2}$$

$$\text{吸收剂量率: } \dot{D} = \frac{W}{e} \dot{X} = f \dot{X}$$

$$\dot{K} = \frac{A \Gamma_k}{r^2} \quad (\Gamma_k \text{ 为空气比释动能率常数, 可查表})$$

(2) X、 $\gamma$  射线在物质中的减弱:

$$\text{窄束: } N = N_0 e^{-\mu d}$$

$$\text{宽束: } N = N_0 B e^{-\mu d} \quad (B \text{ 为积累因子})$$

(3) X、 $\gamma$  射线屏蔽计算

$$\text{透射公式: } \dot{D} = \dot{D}_0 / r^2 \prod_{i=1}^n 10^{d_i / TVT_i}$$

( $\dot{D}_0$  源项剂量率  $\mu\text{Gy/h}$ ;  $\dot{D}$  计算点; r 点到源点的距离 m;  $d_i$  第 i 种屏蔽体厚度, cm;  $TVT_i = \Delta_{1/10}$  cm)

$$\text{散射公式: } \dot{D} = \dot{D}_0 s \alpha / r^2 r_R^2$$

(s 散射体面积 m<sup>2</sup>,  $\alpha$  散射系数, r 源点到散射点, 散射点到计算点 m)

$$\text{屏蔽厚度: } d = \log_{10}(\dot{D}_0 / \dot{D}) \times \Delta_{1/10}$$

$$\text{减弱系数: } K = \dot{D}_0 / \dot{D} = e^{\mu d} / B(E_{\gamma}, \mu d)$$

$$\text{透射比: } \eta = \dot{H}_0 / \dot{H} = K^{-1} \quad (K, \eta \text{ 可查表})$$

## 第七章 内照射剂量计算与防护

$$\text{有效廓清速率: } \lambda_{\text{eff}} = \lambda_b + \lambda_t$$

$$\text{有效滞留分数: } r(t) = R(t) \cdot e^{-\lambda_{\text{eff}} t} = \exp(-\lambda_{\text{eff}} \cdot t)$$

累积剂量

$$\text{单一器官: } D = \frac{kEn}{m} \int_0^T A(0) \exp(-\lambda_{\text{eff}} t) dt = \tilde{A} S$$

$$\text{其中: } \tilde{A} = \int_0^T A(0) \exp(-\lambda_{\text{eff}} t) dt, \quad S = \frac{kEn}{m}$$

$$\text{多器官: } D = \Delta \tilde{A} F \quad \text{其中: } \Delta = kEn, \quad F = \frac{f}{m}$$

$$\text{可以写成: } D = \tilde{A} S(T \leftarrow S)$$

$$\text{靶器官的待积当量剂量: } H_{50,T} = \sum_S \sum_i H_{50}(T \leftarrow S)_i$$

$$\text{待积有效剂量: } E = \sum_T w_T H_{50,T}$$

## 第八章 辐射与剂量的测量

空腔电离理论 (布拉格-格雷理论):

$$D_g = \frac{dE_g}{dm_g} = \frac{nW}{dm_g} = \frac{ne \frac{W}{e}}{dm_g} = q_g \frac{W}{e}$$

$$\text{布拉格-格雷关系式: } D_m = D_g \cdot \bar{S}_{m,g} = q_g \left(\frac{W_g}{e}\right) \bar{S}_{m,g}$$

## 第九章 环境辐射监测

计数率:

$$n = \frac{N_s}{t_s} - \frac{N_b}{t_b} \quad \sigma_n = \sqrt{\frac{N_s}{t_s^2} + \frac{N_b}{t_b^2}} = \sqrt{\frac{n_s}{t_s} + \frac{n_b}{t_b}}$$

最小可探测活度(MDA):

$$MDA = \frac{L_D}{t_{\text{live}} (\text{测量活时间}) P_{\gamma} (\text{发射概率}) \varepsilon (\text{探测效率})}$$

注: 其他公式考试会给出。