

第二章 常用的辐射量和测量

国际上选择和定义辐射量及单位的权威组织是“国际辐射单位和测量委员会”(International commission on radiological units and measurements, ICRU) 和“国际放射防护委员会”—(ICRP)。

临床放射学

放射卫生学

辐射防护学

第二章 常用的辐射量和测量

§ 1. 描述电离辐射的常用辐射量和单位

1. 描述辐射源的量：放射性活度 A (核)
2. 描述辐射场的量：

}	粒子注量 Φ (粒子辐射)
	照射量 X } (电磁辐射)
	比释动能 K }
3. 描述辐射被吸收的量：吸收剂量 D (任何辐射)
4. 描述辐射对人体危害作用：当量剂量 H (防护专用)
有效剂量 E (防护专用)
5. 描述辐射与物质相互作用的量：

}	吸收系数 μ
	质量吸收系数 μ_m
	线传能系数 μ_{tr}

第二章 常用的辐射量和测量

§ 1. 描述电离辐射的常用辐射量和单位

1. 放射性活度 A 某放射源中处于特定状态的放射性核素在单位时间内发生自发衰变的期望值

$$A = \frac{dN}{dt}$$

(S^{-1})	(Bq)	(Ci)
↓	↓	↓
物理 单位	放射学 单位SI	常用 单位

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

2. (1) 粒子注量 Φ

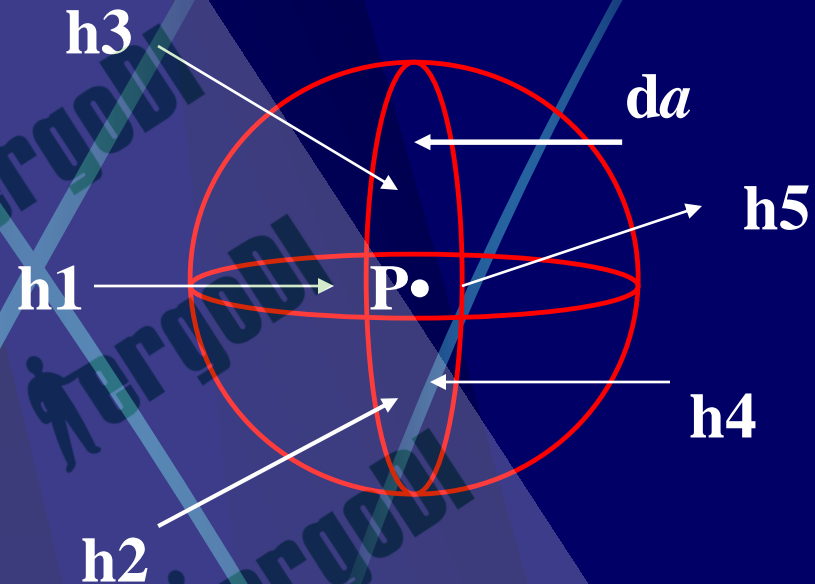
定义：进入具有单位截面积小球的粒子数。

$$\Phi = \frac{dN}{da} \quad (\text{m}^{-2})$$

实际辐射场中,每个粒子具有不同的能量,即 $E_{\text{max}} \sim 0$ 各种可能值,粒子注量计算公式为:

$$\Phi = \int_0^{E_{\text{max}}} \frac{\Phi(E)}{E} dE$$

粒子注量率: $\phi = \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{m}^{-2}\text{s}^{-1})$



2. (2)照射量 X

是直接量度X或 γ 光子对空气电离能力的量，可间接反映X射线或 γ 射线辐射场的强弱，是测量辐射场的一种物理量。

定义：X或 γ 光子在单位质量的空气中，与原子相互作用释放出来的次级电子完全被空气阻止时，（意味着无剩余能量），（在导致空气电离的过程中）所产生的同种符号离子的总电荷量。

照射量仅适应于能量在
10KeV~3MeV范围内的X射线或 γ 射线

2. (2)照射量 X

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (\text{C/kg}) \text{ 或 (R伦琴)}$$

$$1\text{R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$$

伦琴的定义：在X或 γ 射线照射下，0.001293g空气(相当于0℃和101kPa大气压下1cm³干燥空气的质量)所产生的次级电子形成总电荷量为1静电单位的正离子或负离子.即

$$1\text{R} = \frac{1\text{静电单位电荷}}{0.001293\text{g}} = \frac{3.336 \times 10^{-10} \text{C}}{1.293 \times 10^{-6} \text{kg}} = 2.58 \times 10^{-4} \text{C/kg}$$

2. (2)照射量 X

换算: 1个单价离子的电荷量是 4.8×10^{-10} 静电单位,因此产生1静电单位电荷量的离子对为

$$\frac{1}{4.8 \times 10^{-10}} = 2.083 \times 10^9 \text{ 离子对}$$

带电粒子在空气中形成一对离子所耗平均能量为33.85eV,因此1R 照射量在0.00129g空气中交给次级电子的能量相当于

$$2.083 \times 10^9 \times 33.85 = 7.05 \times 10^{10} \text{ eV}$$

2. (2)照射量 X

1R X射线或 γ 射线照射量的等值定义:

- a. 在0.00129g空气中形成的1静电单位电荷量的正离子或负离子;
- b. 在0.00129g空气中形成 2.083×10^9 对离子;
- c. 在0.00129g空气中交给次级电子 7.05×10^{10} eV或 11.3×10^{-9} J的辐射能量;
- d. 在1g空气中交给次级电子 87.3×10^{-7} J的辐射能量.

2. (2)照射量 X

照射量率

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt}$$

$$\text{C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

2. (3) 比释动能 K

比释动能是描述不带电致电离粒子与物质相互作用时，把多少能量传给了带电粒子的物理量。在辐射防护中，常用比释动能的概念推断生物组织中某点的吸收剂量或计算中子的吸收剂量等。

注意区别：

照射量是以电离电量的形式间接反映射线在空气中辐射强度的量，不反映射线被物质吸收而使能量转移的过程。

2. (3) 比释动能 K

定义：

X或 γ 光子等非电离辐射粒子在与物质相互作用时，物质中原子核外电子接受能量形成次级粒子射线，在单位质量的物质中，不带电粒子转移给带电粒子的全部初始动能之和叫作比释动能。

数学表述：不带电射线使物质释放出来的全部带电粒子初始动能之和与物质质量之比。

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (\text{J/kg}) \text{ 或 } (\text{Gy})$$

比释动能率

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt} \quad (\text{Gy/s})$$

X或γ光子传能
给带电粒子(K) { 电离、激发 (被物质吸收 D)
 { 韧致辐射 (不被物质吸收)

3. 吸收剂量 D

X或 γ 射线与物质相互作用时，能量转换分两个阶段进行：

第一：X(γ) \xrightarrow{E} 带电粒子 (K)

第二：带电粒子 $\xrightarrow{\text{电离、激发}}$ 物质吸收 (D)

定义：单位质量的物质，对任意种辐射能量均值的吸收量。

$$D = \frac{dE_{en}}{dm}$$

(J/kg)或(Gy)
旧单位(rad)
1Gy=100rad

3. 吸收剂量 D

吸收剂量率

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (\text{Gy/s})$$

讨论:

$$K < \frac{dE_x}{dm}$$

X或 γ 能量除转换成电子初动能外,还有核与电子间束缚能及散射光子能量等.

$$D < K$$

电子初动能还有一部分转换成韧致辐射等能量.

3. 吸收剂量 D

例题1: 质量为0.2g的物质,10s内吸收电离辐射的平均能量为100尔格,求该物质的吸收剂量和吸收剂量率.

解:

$$dm = 0.2\text{g} = 2 \times 10^{-4}\text{kg};$$

$$dE_{en} = 100 \text{ erg} = 10^{-5}\text{J}; dt = 10\text{s}$$

$$D = \frac{dE_{en}}{dm} = \frac{10^{-5}}{2 \times 10^{-4}} = 0.05\text{Gy}$$

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} = 5\text{mGy} \cdot \text{s}^{-1}$$

4. 当量剂量 H

放射防护中，由于辐射类型和照射条件的不同，即使吸收剂量相同，(有害的)生物效应也大不相同。比如同样1rad的吸收剂量， β 线和 α 线的生物效应相差悬殊。

定义：比较辐射类型和照射条件对肌体的危害程度，将吸收剂量根据肌体组织的生物效应加权修正，所得到的剂量值称为当量剂量，用 H_{TR} 表示。

4. 当量剂量 H

修正因数—取决于照射条件

$$H = QND \quad \text{或为} \quad H_{TR} = w_R D_{TR}$$

品质因数—取决于
辐射类型和能量大小

辐射权重因子

单位

[J/kg]或[Sv]或[rem]

物理 防护 旧单位

4. 当量剂量 H

辐射类型	能量范围	权重因子 W_R
光子	所有能量	1
电子和 μ 子	所有能量	1
中子	<10keV	5
	10-100keV	10
	100keV-2MeV	20
	2-20MeV	10
	>20MeV	5
质子	>2MeV	5
α 粒子, 碎片, 重核		20

4. 当量剂量 H

辐射场中，当 w_R 由不同的辐射类型和照射条件构成时，总当量剂量为各辐射当量剂量的线性迭加。

$$H = \sum_R w_R D_{TR}$$

当量剂量率

$$\dot{H}_T = \frac{dH_T}{dt} \quad [\text{Sv/s}]$$

4. 当量剂量 H

例题2:

某人全身同时受到X线和能量在10-100keV的中子照射,其中X线的吸收剂量为100 mGy, 中子的吸收剂量为3 mGy. 计算他所吸收的当量剂量.

解:

$$\begin{aligned} H &= \sum_R W_R D_{TR} = w_X D_X + w_n D_n \\ &= 1 \times 10 + 10 \times 3 = 40 \text{ mSv} \end{aligned}$$

5. 辐射与物质相互作用量

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \mu \text{ 为每单位线度上强度衰减百分率}$$

$$I = I_0 e^{-\mu_m x_m} \quad \mu_m = \frac{\mu}{\rho} = -\frac{dI}{I(\rho dx)}$$

μ_m 为每单位质量的物质在给定面积上强度衰减百分率

μ_{tr} 为每单位线度上由X线的电子转移部分造成的强度衰减百分率。

$$I = I_0 e^{-\mu_{tr} x}$$

§ 2. 辐射量和单位的应用

1. D、K和X之间的关系

(1) 带电粒子平衡

在某空气层,入射次级电子等于射出数目,(最大射程)电离电量开始趋于恒定的现象.

在进行照射量测量时,应选择平衡电离层.

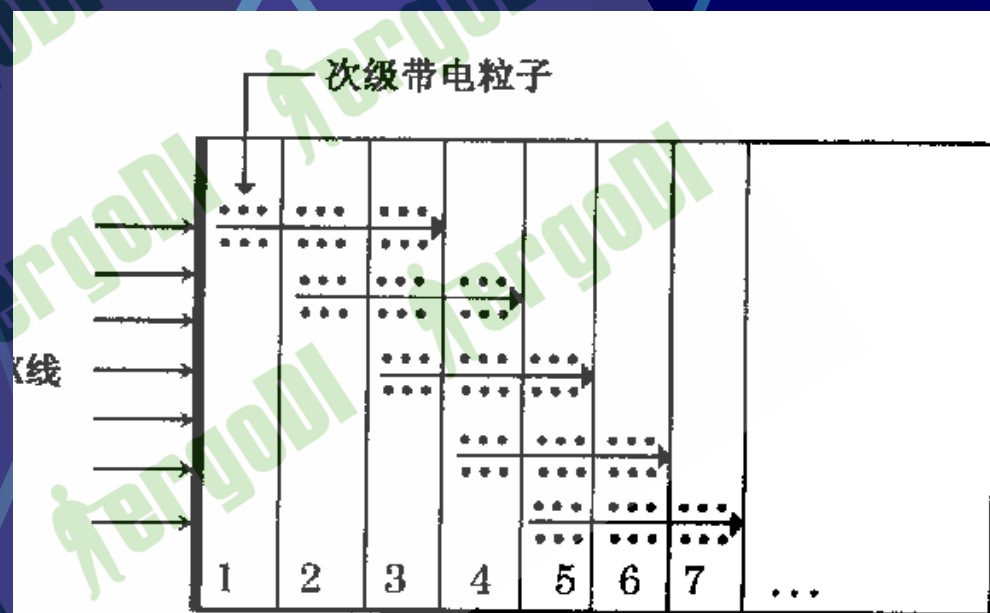


图 6-2 X 线所致带电粒子平衡示意图

§ 2. 辐射量和单位的应用

1. D、K和X之间的关系

(1) 带电粒子平衡

带电粒子的
平衡的条件:

- a. 介质元周围辐射场均匀
- b. 介质厚度大于等于带电粒子在介质中的最大射程

当带电粒子平衡时:

$$dE_{en} = dE_{tr}$$

§ 2. 辐射量和单位的应用

1. D、K和X之间的关系

(2) 比释动能与吸收剂量随物质深度的

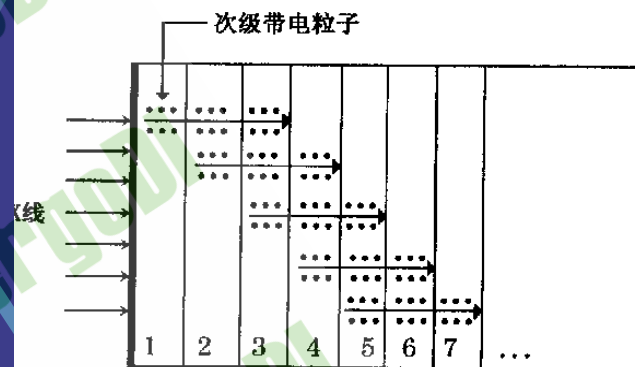


图 6-2 X线所致带电粒子平衡示意图

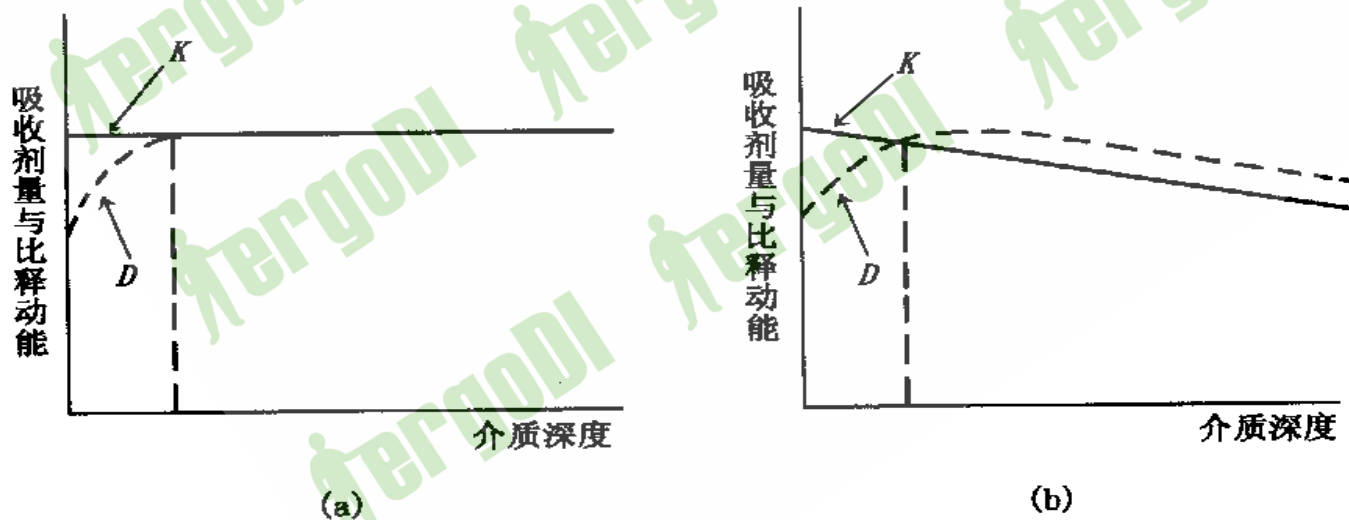


图 6-3 吸收剂量与比释动能随介质深度变化的相对关系

§ 2. 辐射量和单位的应用

1. D、K和X之间的关系

(3) D、K和X之间的关系

照射量与比释动能的关系

$$K = X \frac{\omega}{e}$$

(ω 为带电粒子在空气中每形成一对离子所消耗的平均能量).公式适用条件:a.带电粒子平衡, b.次级粒子产生的韧致辐射能量可以忽略, c.物质的原子序数和辐射光子能量均较低).

§ 2. 辐射量和单位的应用

1. D、K和X之间的关系

(3) D、K和X之间的关系

吸收剂量与比释动能的关系

$$D = K(1 - g)$$

g 为带电粒子能量转化为
轫致辐射的份额

D、K和X之间的区别

辐射量	照射量X	比释动能K	吸收剂量D
计量学含义	表征X, γ 线在考察的体积内用于电离空气的能量	表征非带电粒子在考察的体积内交给带电粒子的能量	表征任何辐射在考察的体积内被物质吸收的能量
适用介质	空气	任何介质	任何介质
适用辐射类型	X、 γ 射线	非带电粒子辐射	任何辐射