

辐射防护基础知识

编写人：李敬磊

编写时间：2012年9月

1



上海仁机仪器仪表有限公司
ShangHai Ergonomics Detecting Instrument CO.,LTD

内容纲要:

一、简介

- 简述辐射
- 简述放射性

二、电离辐射与物质的相互作用

- α 粒子与物质的相互作用
- β 粒子与物质的相互作用
- γ 射线与物质的相互作用
- 中子与物质的相互作用

三、电离辐射相关的量与单位

- 活度 (activity), A
- 吸收剂量 (absorbed dose), D
- 当量剂量 (equivalent dose),
HT
- 有效剂量 (effective dose), E

四、电离辐射的生物效应

- 辐射损伤的机理
- 电离辐射对人体的作用
- 效应的类型

五、辐射防护

- 辐射防护的基本任务和目的
- 辐射防护的基本措施
- 外照射防护
- 内照射防护
- 实例讨论

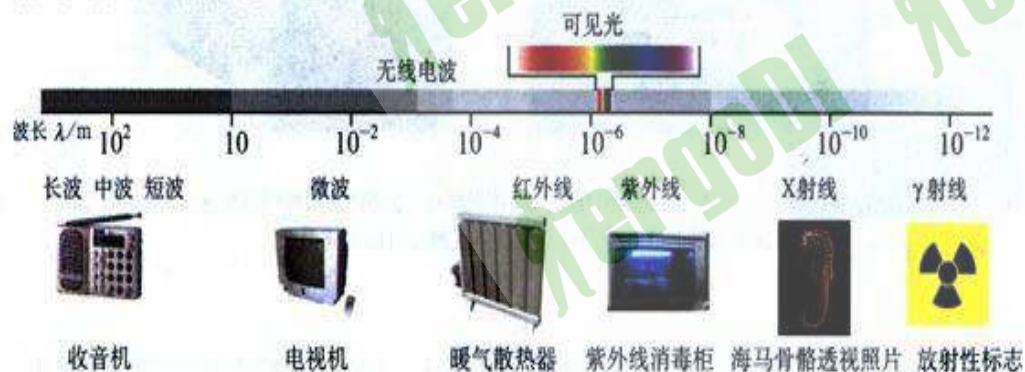
六、辐射监测简介

一、简介

1、简述辐射

辐射的概念并不陌生。

辐射是指以高速粒子或电磁波的形式向周围空间或物质发射并在其中传播能量的现象的统称，如热辐射、核辐射等。



依辐射能量的高低或其电离物质的能力，分成电离辐射和非电离辐射两大类：

- 非电离辐射：指能量低无法电离物质的辐射。
eg. 光(可见光、不可见光)、无线电波等。

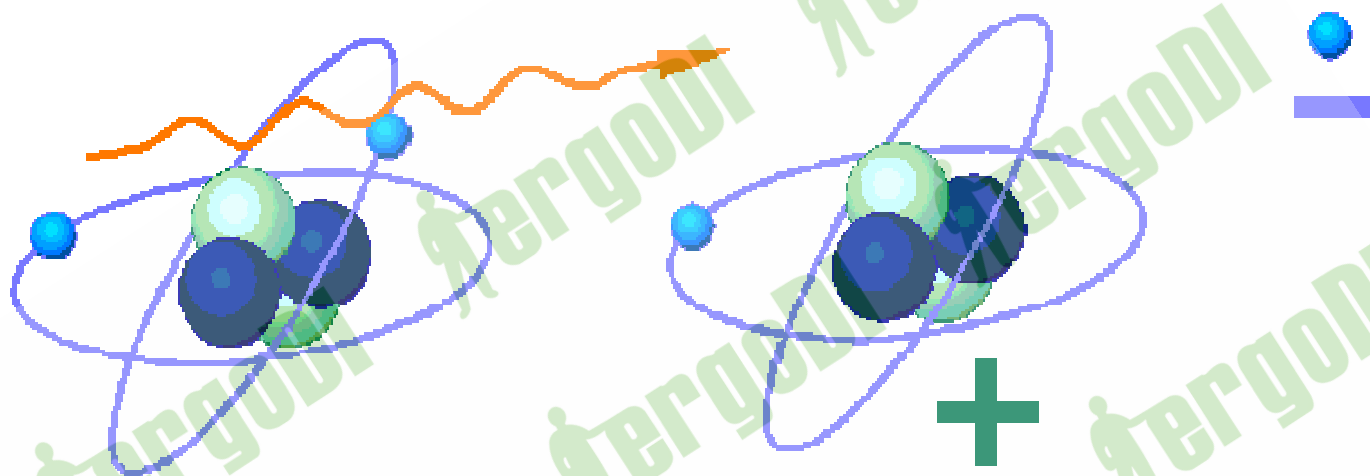
- 电离辐射：指能量高能使物质发生电离作用的辐射。

(1) 直接致电离辐射，如 α 、 β 等。

(2) 间接致电离辐射，如中子辐射、 γ 辐射、 \times 射线等。

一、简介

1、简述辐射



- 电离辐射：指能量高能使物质发生电离作用的辐射。
 - (1) 直接致电离辐射，如 α 、 β 等。
 - (2) 间接致电离辐射，如 n 、 γ 射线、 X 射线等。



一、简介

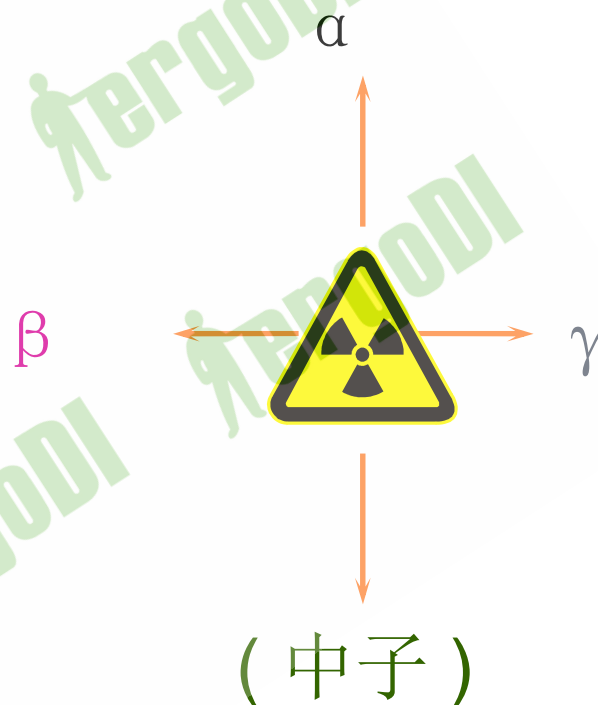
2、简述放射性

○ 1) 什么是放射性?

原子核自发地放射出 α 、 β 、 γ 等各种射线的现象，称为放射性。（不稳定的原子核释放能量）

放射性是1896年法国物理学家贝克勒尔发现的。

他发现铀盐能放射出穿透力很强的，并能使照相底片感光的一种不可见的射线。经过研究表明，它是由三种成份组成的。



一、简介

2、简述放射性

- 一种是高速运动的氦原子核的粒子束，称为 α 射线，它的电离作用大，贯穿本领小。
- 另一种是高速运动的粒子束，称为 β 射线，它的电离作用较小，贯穿本领大。
- 第三种是波长很短的电磁波，称为 γ 射线。它的电离作用小，贯穿本领大。

以上三种射线，由于它们的电离作用贯穿本领，在工业、农业、医学和科学研究重要的应用。

一、简介

2、简述放射性



○ 2) 什么是半衰期 $T_{1/2}$?

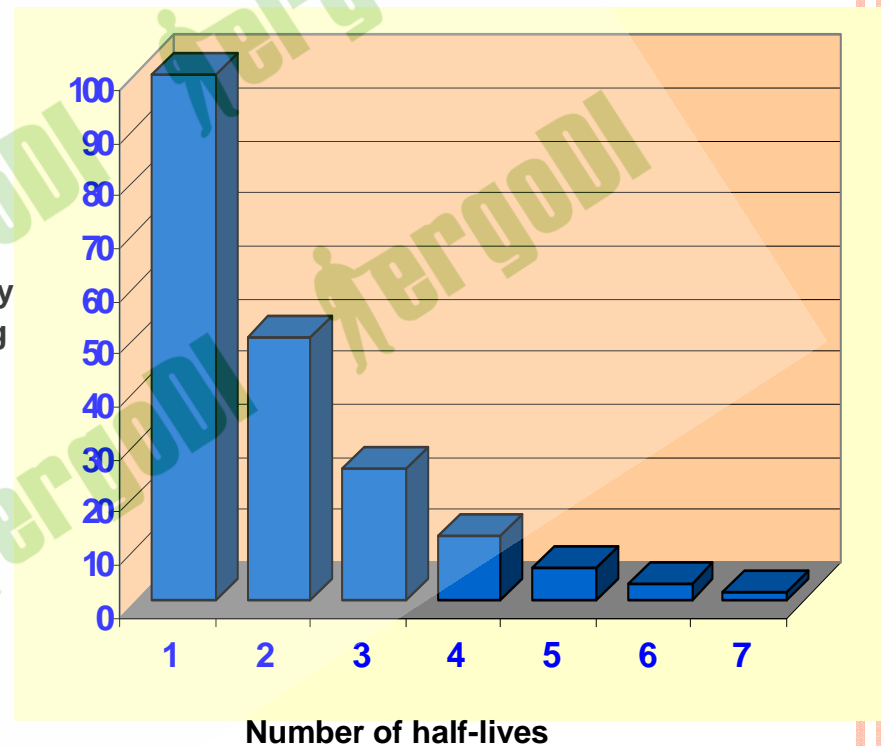
放射性核素的衰变率（或辐射强度）会随着时间的增加而递减。

辐射强度每减少一半所需要的时间称为半衰期。

各放射性核素的半衰期都是固定不变的，而且各不相同，有如人的指纹一般。

例如， ^{60}Co 的半衰期是5.26年，空气中的 ^{222}Rn 的半衰期是3.82天。

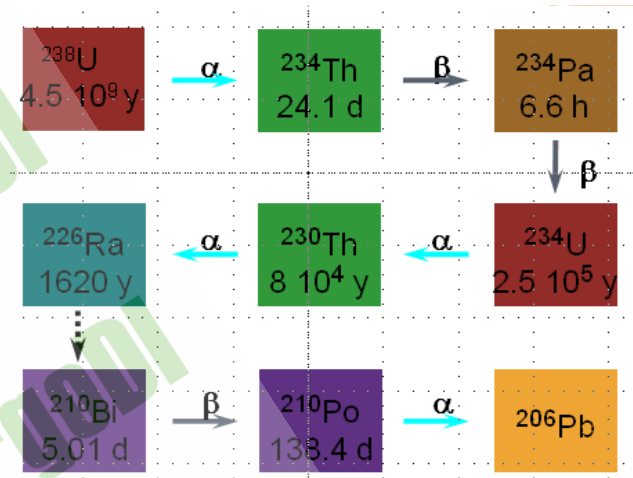
% activity remaining



一、简介

3) 什么是放射系?

- 重放射性核素的递次衰变系列称为放射系。它包括了天然放射系和一个人工放射系。
- 自然界存在3个天然放射系，其母体半衰期都很长，与地球的年龄（ $\sim 10^9$ ）相近或大于地球年龄，因而经过漫长的地质年代后还能保存下来。它们大多具有 α 放射性，少数具有 β 放射性，一般都伴随有 γ 辐射，但没有一个具有 β^+ 放射性或轨道电子俘获的。每个放射性从母体开始，经过至少是10次连续衰变，最后达到稳定的铅同位素。



一、简介

3) 什么是放射系?

- $4n$ 系(钍系): 该系核素的质量数 A 都是4的整倍数, $A=4n$
钍系从Th-232开始, 经过连续10次衰变, 最后到稳定核素Pb-208。母体Th-232的半衰期为 1.4×10^{10} 年。
- $4n+2$ 系(铀系): 该系核素的质量数 A 都是4的整倍数加2, $A=4n+2$
铀系从U-238开始, 经过14次连续衰变, 最后到稳定核素Pb-206。母体U-238的半衰期为 4.468×10^9 年。
- $4n+3$ 系(锕系): 该系核素的质量数 A 都是4的整倍数加3, $A=4n+3$
锕系从U-235开始, 经过11次连续衰变, 最后到稳定核素Pb-207。由于U-235俗称锕铀, 故该系称为锕系。母体U-235的半衰期为 7.038×10^8 年。

除了上述3个天然放射系外, 还有一个用人工方法获得的人工放射系。

- $4n+1$ 系(镎系): 该系核素的质量数 A 都是4的整倍数加1, $A=4n+1$

该系中Np-237的半衰期最长, 为 2.14×10^6 年。



一、简介

4) 天然辐射源与人工辐射源

- 天然辐射源：宇宙射线、宇生放射性核素、原生放射性核素

宇宙射线来自太阳和星际空间，主要由 n 、 p 、 e 和各种介子等高速粒子组成。有较强的穿透力，可辐射到地球，对人体造成外照射。

宇生放射性核素：宇宙射线与大气层和地球表面 O 、 N 等多种元素的原子核相互作用后产生的放射性核素。

eg. 3H 、 ^{14}C 、 7Be 等

原生放射性核素：自地球以来就存在于地壳内的放射性核素。广泛存在于地球的岩石、土壤、江河湖海中。

eg. ^{238}U 系、 ^{232}Th 系、 ^{40}K

- 人工辐射源



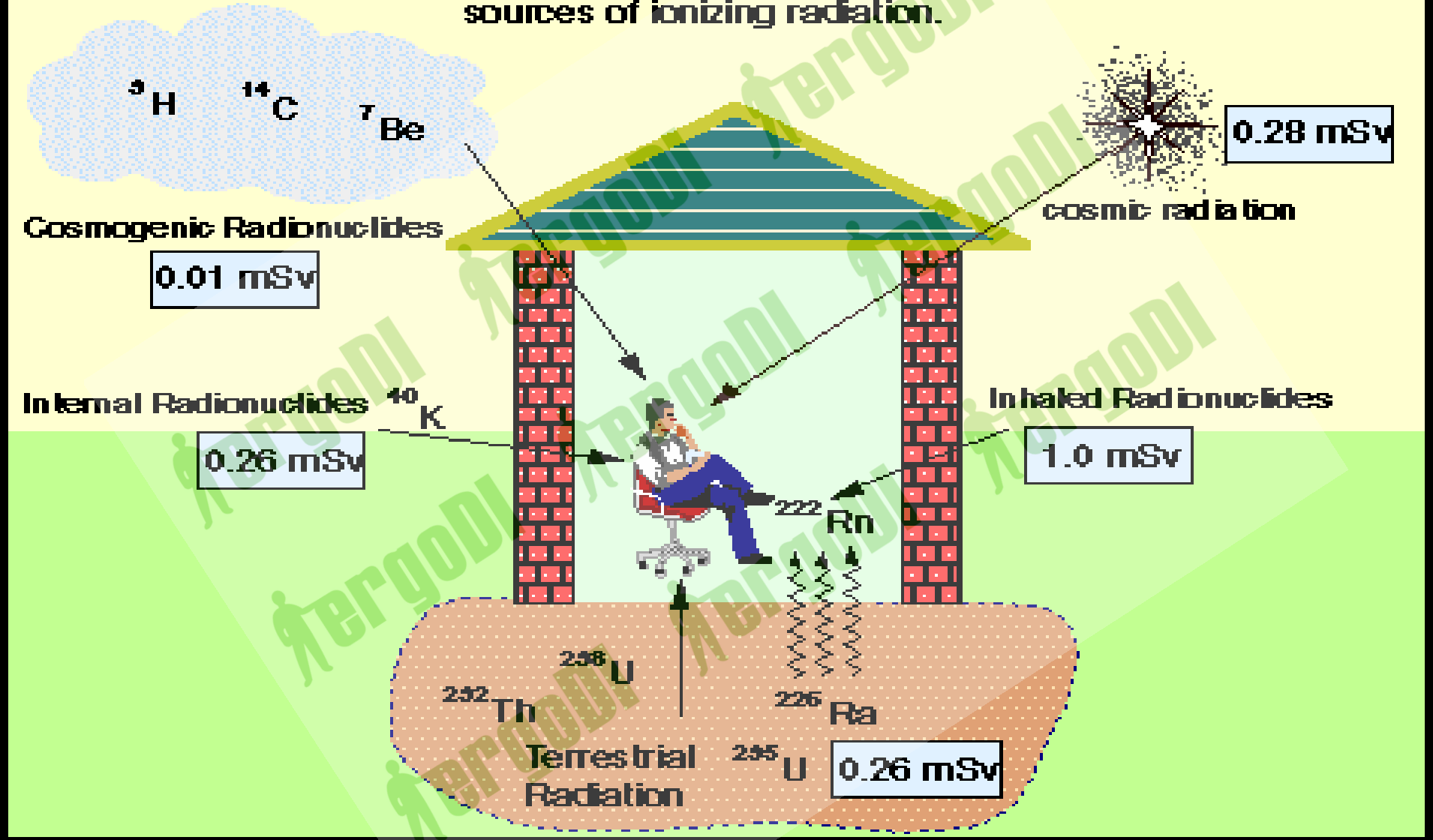
人体受到照射的辐射来源



一般场所: 天然本底为 2.4 mSv/a,
多为内照射 (^{222}Rn , 60%)



The contribution to the annual dose equivalent from a number of natural sources of ionizing radiation.

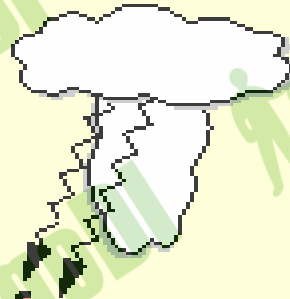


The contribution to the annual dose equivalent from a number of man-made sources of ionizing radiation.



Consumer and Office Products

0.04 mSv



0.05 mSv

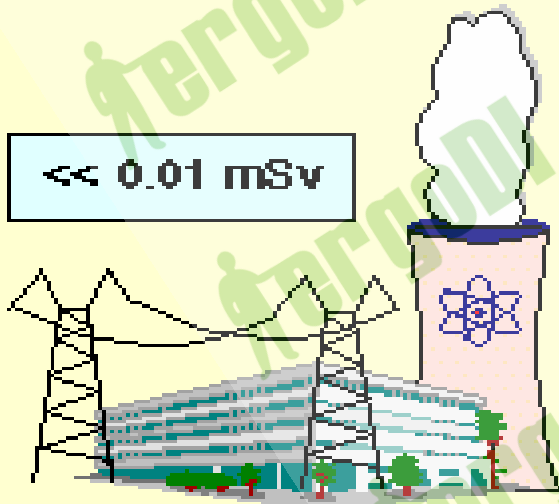
Atmospheric Weapons Testing

0.005 mSv



Airline Travel

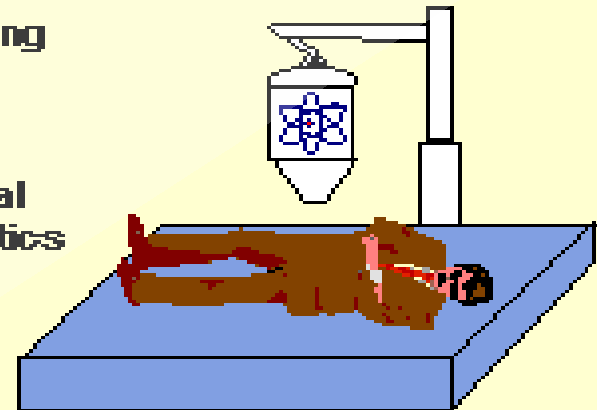
<< 0.01 mSv



Nuclear Power

Medical Diagnostics

0.92 mSv



二、 电离辐射与物质的相互作用

1、 alpha 粒子与物质的相互作用

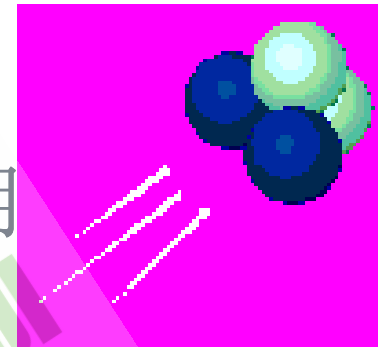
○ α 粒子:

带2个单位正电荷，质量数为4的氦原子核，是个带电的粒子，一般由质量较重的放射性原子核发射，能量为不连续的，能量通常为4—9 Mev。

α 粒子通过物质时，能量转移(损失)的主要方式是电离和激发。在射线和物质相互作用时，电离也是其他各种射线损失能量的主要方式。

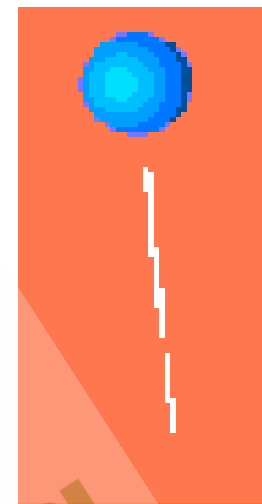
射程非常短，1个5Mev的 α 粒子在空气中的射程大约是3.5cm，在铝金属中只有23 μ m，

因此，一般认为 α 粒子不会对人体造成外照射的损害。但当其进入人体的组织或器官时，其能量会全部被组织和器管所吸收，所以内照射的危害是必须考虑的。



二、 电离辐射与物质的相互作用

2、 beta粒子与物质的相互作用



- β 粒子:

高速运动的电子,带有1个负电荷,质量为氢原子质量的 $1/1840$,
当其和物质相互作用时,也会引起物质原子的电离和激发, β 粒子的
质量比 α 粒子的质量要小得多,所以1个与 α 粒子的能量相同的 β 粒子,
在同一种物质中的射程要比 α 粒子长得多。

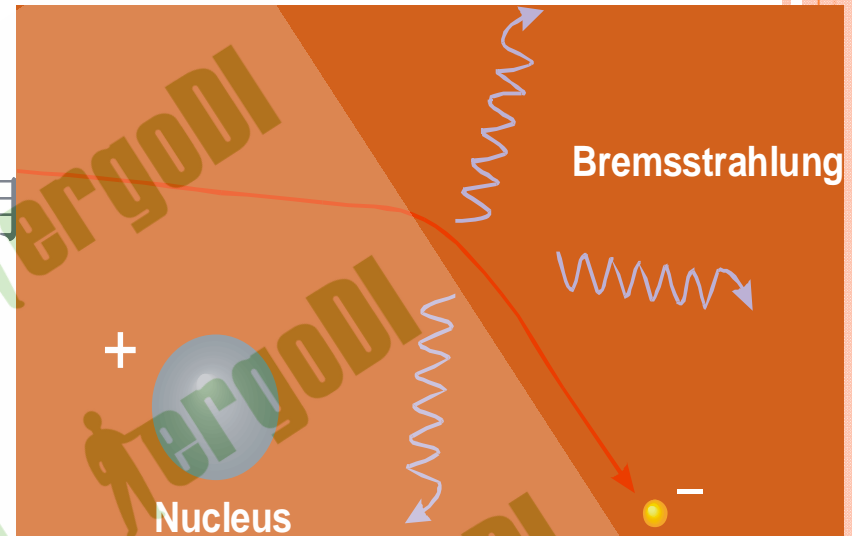
例如, 1个能量为5 Mev的 α 粒子, 在空气中的射程只有
3.5cm,

而1个能量为5 Mev的 β 粒子,在空气中的最大射程
可达20m。



二、 电离辐射与物质的相互作用

2、 beta粒子与物质的相互作用



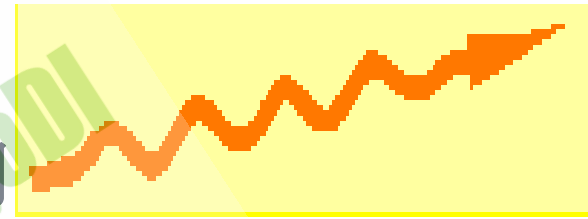
- β 粒子:

与 α 粒子不同, β 粒子穿过物质时,有明显的散射现象,其特点是 β 粒子的运动方向发生了改变。当运动方向发生大的改变(例如偏折)时, β 粒子的一部分动能会以 X 射线的形式辐射出来,这种辐射叫韧致辐射。韧致辐射的强度既与阻止物质的原子序数 Z 的平方成正比,还与 β 射线的能量成正比。

由于对 X 射线的屏蔽要比对 β 射线本身的屏蔽困难得多,所以对 β 射线的屏蔽,通常要选用原子序数比较低的物质,诸如像有机玻璃和铝这样的材料,作为 β 射线的屏蔽物质,从而使得 β 射线在屏蔽材料中转变为韧致辐射的份额较少。但对于放射性活度及 β 粒子的能量均较高的 β 辐射源,最好在轻材料屏蔽的后面,再添加一定厚度的重物质屏蔽材料,以屏蔽掉韧致辐射。

二、 电离辐射与物质的相互作用

3、 gamma射线与物质的相互作用



○ γ 射线:

不带电的中性粒子(也即是电磁波),其静止质量等于零,也称为光子。当 γ 射线和物质相互作用时,同带电粒子与物质的相互作用情况大不相同, γ 射线不能使物质直接电离和激发,也没有射程的概念。

γ 射线不能使物质直接电离和激发, γ 射线与物质相互作用有3种主要形式:光电效应、康普顿效应、电子对效应。

能量较低的 γ 射线,在物质中主要产生光电效应;中等能量时,主要产生康普顿效应;而能量较高时,主要是电子对效应。

3种效应都会产生能使物质的原子电离或激发的次级电子,而次级电子在物质中的射程不长,所以在考虑对 γ 射线的屏蔽时,不需要另外采取防护措施。

理论和实践都证明,光电效应正比于吸收物质的原子序数 Z 的4次方,康普顿效应正比于 Z/A ,电子对效应正比于 Z 平方。因此屏蔽 γ 射线时,以采用原子序数高的重物质为最好,例如铅。

○ X射线与 γ 射线类似



二、 电离辐射与物质的相互作用

4、 中子与物质的相互作用

- 中子：

质量与质子的质量大约相等,并且中子与 γ 射线一样也不带电。因此,中子与原子核或电子之间没有静电作用。当中子与物质相互作用时,主要是和原子核内的核力相互作用,与外壳层的电子不会发生作用。

- 中子与物质相互作用的类型主要取决于中子的能量。
- 根据中子能量的高低,可以把中子分为：慢中子、中能中子、快中子
慢中子(能量小于5 keV,其中能量为0.025eV 的称为热中子),
中能中子(其能量范围为5—100 keV)
快中子(0.1—500MeV)

二、 电离辐射与物质的相互作用

4、 中子与物质的相互作用

- 中子与物质的原子核相互作用过程，基本上可以分为两类：

——散射（弹性散射和非弹性散射）、吸收

[能量小于5 keV 5—100 keV
100keV—500MeV]

慢中子与原子核作用的主要形式是吸收。

中能中子和快中子与物质作用的主要形式是弹性散射。

对于能量大于10Mev的快中子，以非弹性散射为主。

在上述的中子和物质的相互作用过程中,除了弹性散射之外,其余各种现象均会产生次级辐射。从辐射防护的观点来看,是相当重要的。

在实际工作中,大多数情况遇到的是快中子,快中子与轻物质发生弹性散射时,损失的能量要比与重物质作用时多得多,例如,当快中子与氢核碰撞时,交给反冲质子的能量可以达到中子能量的一半。

因此含氢多的物质,像水和石蜡等均是屏蔽中子的最好材料,同时水和石蜡,由于价格低廉,容易获得,效果又好,是最常用的中子屏蔽材料。

三、 电离辐射相关的量与单位

物体受照整个过程的各个阶段，需要用量来描述。eg. 放射源、辐射场、辐射作用于物质时的能量传递、受照物质内部变化程度、等等。

○ 1、活度（ACTIVITY），A

放射性核素在单位时间内产生自发性衰变的次数，即衰变率，称为放射性活度。活度的单位是「贝可」，简写成Bq，它定义为

$$1 \text{ 贝可 (Bq)} = 1 \text{ 衰变/秒}$$

贝可是用来表示一个辐射源的强度（衰变率）。

另一个常用的旧的单位是「居里」：

$$1 \text{ 居里 (Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ 贝可 (Bq)}$$



三、 电离辐射相关的量与单位

2、 吸收剂量 (ABSORBED DOSE), D

单位质量的物质 (千克) 吸收的辐射能量 (焦耳), 称为吸收剂量。

吸收剂量的单位是「戈瑞」, 简写为Gy, 它定义为

$$1 \text{ 戈瑞 (Gy)} = 1 \text{ 焦耳/千克}$$

每小时平均接受的吸收剂量称为吸收剂量率, 单位戈瑞/小时 (Gy/h), 也有毫戈瑞/小时 (mGy/h), 微戈瑞/小时 (μ Gy/h)。



三、 电离辐射相关的量与单位

3、 当量剂量 (EQUIVALENT DOSE) ,HT

不同种类的辐射 (α 、 β 、 γ 、中子) 照射人体, 虽使人体有相同的吸收剂量, 但却会造成不同的伤害现象。

为此, 针对不同种类的辐射定出辐射权重因数 (WR), 代表不同辐射对人体组织造成不同程度的生物伤害, 它们的值列于下表:

辐射种类	辐射权重因数
光子, 电子及介子, 所有能量	1
质子 (不包括反冲质子), 能量大于2MeV	5
中子	5 ~ 20
α 粒子、裂变碎片、重核	20

从辐射权重因数WR值可知, α 粒子虽然穿透力很弱但健康危害却很大, 如把铀235等放射 α 粒子的同位素吃进体内, 则会对体内组织造成较大的伤害。

三、 电离辐射相关的量与单位

3、 当量剂量 (EQUIVALENT DOSE) ,HT

- HT (希沃特) = D (戈瑞) \times WR

当量剂量即为人体的吸收剂量和辐射权重因数的乘积，它已经含有辐射对人体伤害的意义了。

- 单位是「希沃特」，简称「希」，简写成 Sv

也有毫希沃特 (mSv)，微希沃特 (μSv)。

我们拍一张胸部X光片，胸部组织大约接受0.1毫希沃特剂量。

- 从辐射权重因数 W 值可知， α 粒子虽然穿透力很弱但健康危害却很大，如把铀235等放射 α 粒子的同位素吃进体内，则会对体内组织造成较大的伤害。



三、 电离辐射相关的量与单位

4、 有效剂量（EFFECTIVE DOSE），E

由于人体各种组织器官对辐射的敏感度不同，所以虽接受相同的当量剂量，但造成的健康损失（患癌症或不良遗传）的风险（概率）却不同，也就是说不同的组织器官，照射相同的辐射所造成的伤害不同。

因此又定出「组织权重因数」（WT）来代表各组织器官接受辐射对健康损失的概率。

○ 若把各组织器官的当量剂量（HT），与其权重因数的乘积再累加起来，即成为有效剂量（E）。

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

○ E代表全身的辐射剂量，用来评估辐射可能造成我们健康效应的风险，单位也是希弗（Sv）。



组织器官的组织权重因数(WT)	
器官或组织	W_T
性腺	0.20
(红)骨髓	0.12
结肠	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳腺	0.05
肝脏	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮肤	0.01
骨表面	0.01
其余组织和器官	0.05



三、 电离辐射相关的量与单位

5、 照射量 (EXPOSURE) , X

照射量表示X或 γ 射线在单位质量小体积元空气中, 释放出来的全部电子(负电子和正电子)被完全阻止于空气中时, 空气中形成的一种符号的离子总电荷的绝对值。

其单位是「库仑/千克」, 简写成C/kg。

曾经以伦琴为单位, 简写为R:

$$1 \text{ 伦琴 (R)} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ 库仑/千克 (C/kg)}$$

照射量较小时, 常用毫伦或微伦表示

照射量率就是单位时间内的照射量。



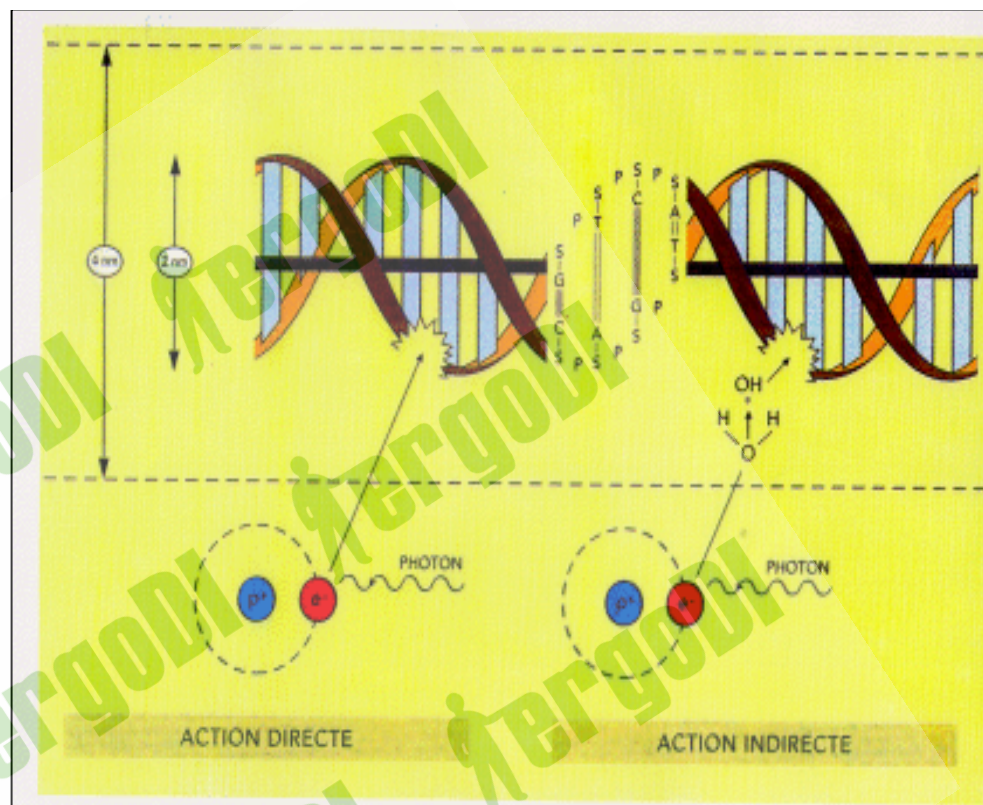
四、 电离辐射的生物效应

1、 辐射损伤的机理

辐射对人体的作用是一个极其复杂的过程。人体从吸收辐射能量开始，到生成生物效应，乃至机体的损伤和死亡为止，涉及许多不同性质的变化。

在辐射的作用下，人体内的生物大分子，如核酸、蛋白质等会被电离或激发。这些生物大分子的性质会因此而改变，细胞的功能及代谢亦遭到破坏。实验证明辐射可令DNA断裂或阻碍分子复制。

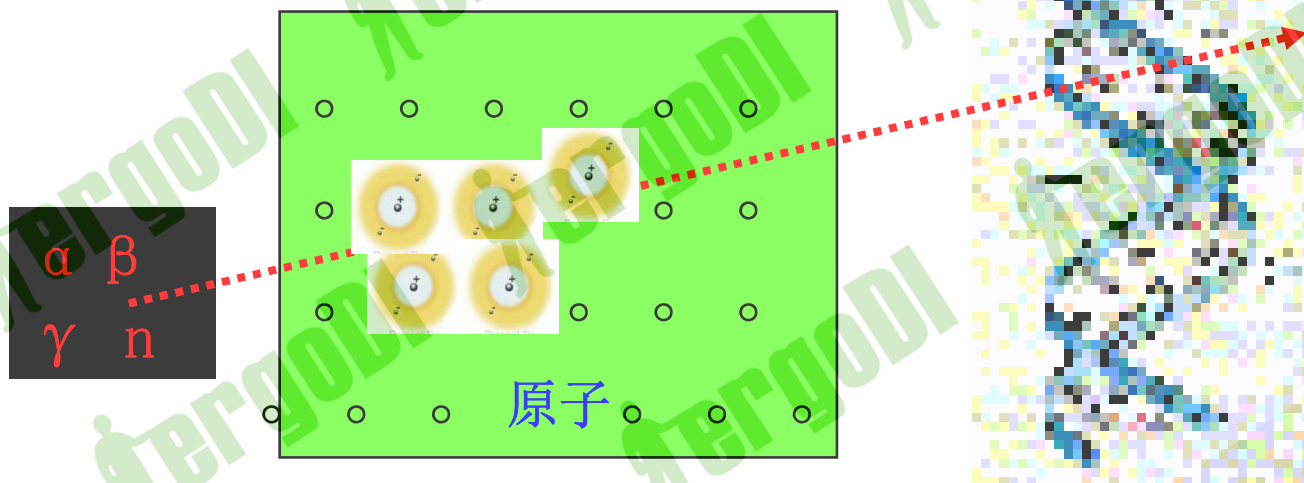
此外，人体内的生物大分子存在于大量水分子中，当辐射作用于水分子时，水分子亦会被电离或激发，生成有害的自由基(如OH⁻、H⁺ 自由基等)，继而在水分子环境中的生物大分子受到损伤。



虽然辐射可能对人体造成损伤，但如剂量不高，机体可以通过自身的代谢过程对受损伤的细胞或局部组织进行修复，这种修复作用程度的大小，既与原初损伤的程度有关，又可能因个体间的差异而有所不同。

电离辐射与物质的基本作用

物质：气体 液体 固体
包括人体 等



微观粒子间碰撞有动量和能量的传递
库仑作用 1 电离作用
2 电离效应



生物效应的产生过程和机理

- ◆ 物理过程与能量传递 (10^{-16} s)

电离 (初级电离, 次级电离)

- ◆ 物理、化学作用 (10^{-12} s)

自由基的生成: H_2O_2 , HO_2 , $\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$

- ◆ 分子组成及性质的改变

作用靶物质: 染色体上的DNA生物大分子

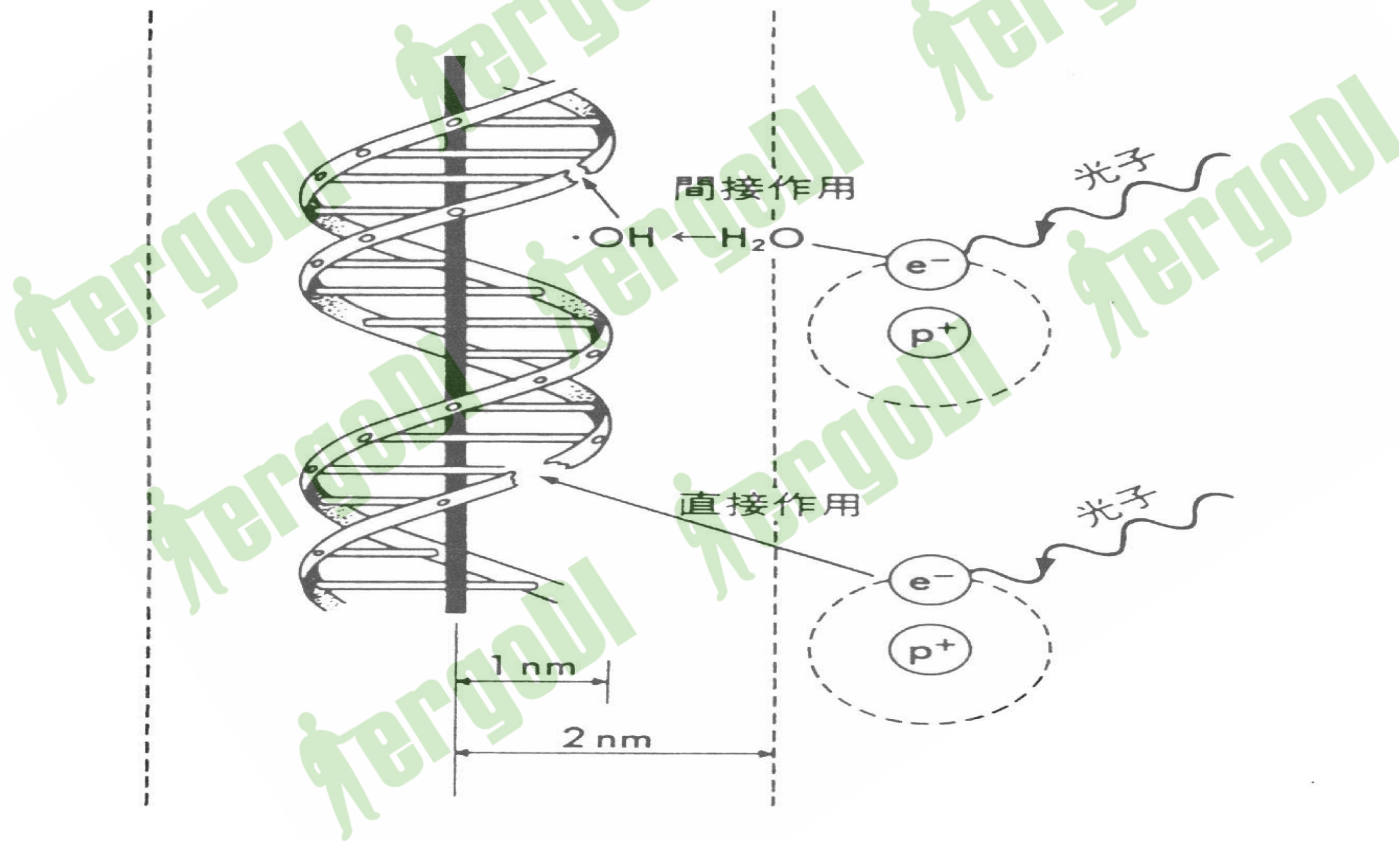
细胞膜, 核膜渗透性改变

等



生物效应产生的过程和机理

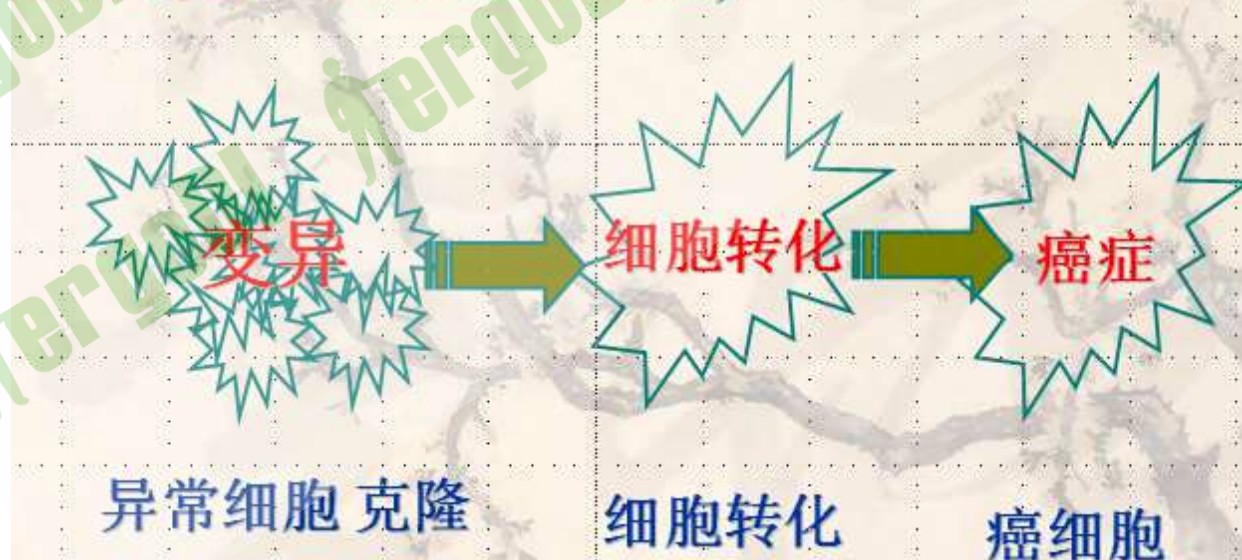
DNA水平损伤

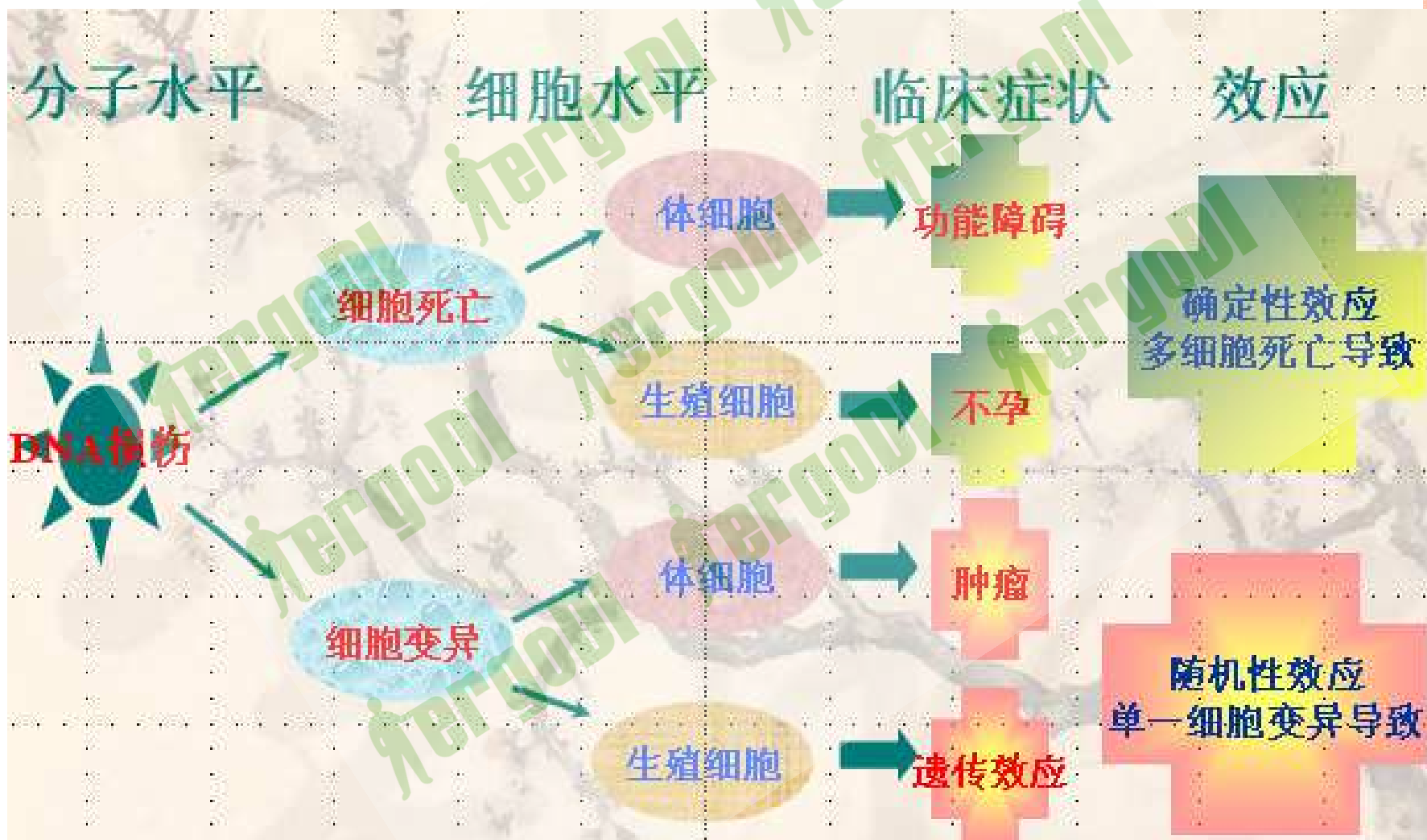


细胞水平损伤



细胞变异 (modification)





四、 电离辐射的生物效应

2、 电离辐射对人体的作用

电离辐射对人体的作用可以概括为两种作用：

- （一）是对细胞的杀伤作用。

辐射使受照射细胞死亡或受伤，细胞数目减少或功能降低，结果影响了受照射组织或器官的功能，表现为非随机性效应，如急性放射病、造血功能障碍。

轻者表现为致伤、致病效应，如可产生恶心、疲劳、呕吐、血相有变化。

重者表现为毛发脱落、厌食、全身虚弱、体温增高、出现紫斑、苍白、鼻血、迅速消瘦，甚至出现死亡。

受照剂量超过4戈瑞时，50%的受照者可能死亡，超过6戈瑞时，死亡可能达100%。在正常情况下一般不发生这种事故。但违反操作规程、核爆、无屏蔽的照射可能产生严重后果。

- （二）是对细胞的诱变作用

主要表现为“三致”作用：诱发细胞发生癌变（致癌）、还有诱发基因突变（致突）、先天性畸形（致畸）。

电离辐射是非常特异的致癌因子。也是人类首先证实的致突剂。

突变可分为基因突变，也可为染色体损伤而导致的突变。

在人体的突变后果中多数是有害的——体细胞突变可能诱发癌症，性细胞突变导致遗传损伤，辐射对胚胎的作用而导致的先天性畸形。

四、 电离辐射的生物效应

3、效应的类型

- 辐射影响人体的第一个特点是所吸收的能量不大，但生物效应严重。

例如，接受了达10戈的致死剂量后，人体温度只因所吸收的能量而升高0.02℃，而这个剂量却可使全部受照者死亡。

- 第二个特点是生物损伤有潜伏期。

急性效应可以在几小时到几天内出现，而远期效应一般都在几年以后出现。

射线对机体的影响，由于受多种因素的影响所引起的临床反应亦多种多样。

- 躯体(本体)效应、遗传效应
- 全身效应、单一组织的效应、胎内照射的效应
eg. 急、慢性放射病；皮肤损伤、眼晶体损伤等；如胎儿畸型
- 近期效应、远期效应。



四、 电离辐射的生物效应

3、效应的类型

○ 随机效应、确定性效应

(一) **随机效应**：其发生的几率与剂量大小有关的效应；无剂量阈值；

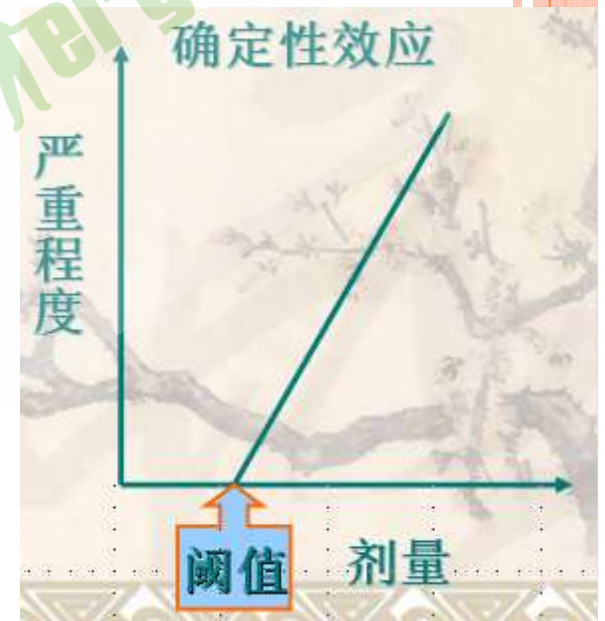
任何微小的剂量也可引起效应，只是发生的几率极其微小而已。

1. 致癌效应（癌症、白血病）
2. 遗传效应

(二) **确定性效应（非随机效应）**：其严重程度与剂量大小有关的效应；有剂量阈值；

它是某些特殊组织所独有的躯体性效应。

1. 诱发眼晶体的白内障
2. 皮肤的良性损伤
3. 骨髓内细胞的减少，从而引起造血障碍
4. 性细胞的损伤引起生育能力的损害



五、辐射防护的原则和基本措施

1、辐射防护的基本任务和目的

辐射防护的基本任务:

- 允许可能产生辐的实践
- 保护人员/后代/环境

辐射防护的目的:

- 防止有害的确定性效应,
- 限制随机性效应的发生率,合理尽可能低



五、辐射防护的原则和基本措施

2、辐射防护的原则

(1) 辐射实践的正当性

对于一项辐射实践，只有对社会和经济因素进行综合考虑，并经过充分论证，权衡利弊，只有辐射实践活动对受照个人或社会所带来的利益足以弥补可能引起的辐射危害时，实践才是正当的。

(3) 剂量限制和剂量约束

由于利益和代价在人类群体中分配的不一致性，虽然辐射实践满足了正当性要求，防护与安全也达到了最优化，但还不一定能够对每个人提供足够的防护。

因此，必须对个人所受的正常照射加以限制，以保证来自各项得到批准辐射实践的综合照射所致的个人总有效剂量和有关器官或组织的总当量剂量不超过国家标准中规定的相应剂量限值。

(2) 辐射防护与安全的最优化

在辐射实践中所使用的辐射源或装置所致个人剂量和潜在照射危险分别低于剂量约束和潜在照射危险约束的前提下，在充分考虑了经济和社会因素之后，个人受照剂量的大小、受照射的人数以及受照射的可能性均保持在可合理达到的尽量低的水平，这就是也有时候被称为ALARA原则（As Low As Reasonably Achievable）。

电离辐射防护与辐射源安全基本标准（GB 18871-2002）

应用类别	职业人员	公众	
年有效剂量	工作人员的全身剂量在连续五年平均剂量低于20mSv/a，在某一年内剂量应控制在50mSv/a以内	连续5年年平均剂量不超过1 mSv，某单一年份的有效剂量可提高到5 mSv	
器官当量剂量： 眼晶体 四肢（手和足） 皮肤	150 mSv 500 mSv		

项目批复或者项目环评中给出的剂量约束值，通常低于该剂量限值。



五、辐射防护的原则和基本措施

3、辐射防护的基本措施

辐射对人体的照射方式：外照射、内照射

- 外照射是辐射源在人体外部释放出粒子 / 光子作用在人体上的照射。
- 内照射是放射性核素进入人体内，在体内衰变释放出粒子、光子作用在人体上的照射。

由于两种照射防护的基本思路是不同的，因而所采取的防护措施与方法也是不同的。

不同射线的穿透能力



五、辐射防护的原则和基本措施

4、外照射防护

外照射防护措施，主要为：

“时间、距离、屏蔽”（外照射防护三原则）

- 尽量缩短受照射时间
- 尽量增大与辐射源的距离
- 在人与辐射源之间设置合适的屏蔽

可以采取其中一种或几种手段的综合。

屏蔽防护：

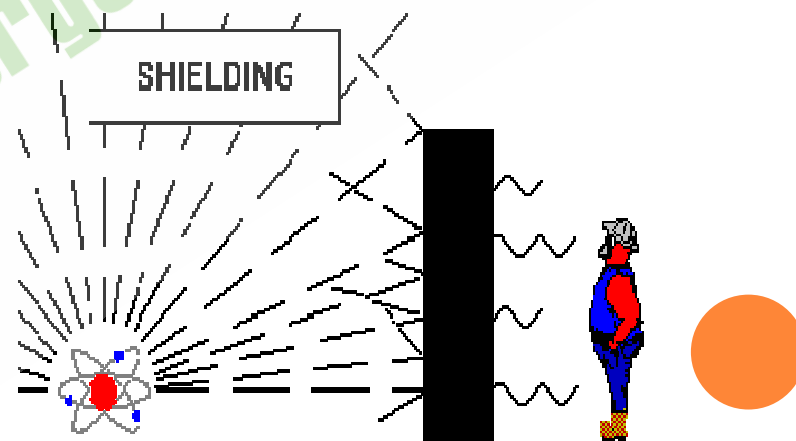
“时间防护”与“距离防护”是既经济又简便易行，但实际工作中往往单靠这两种办法还是不行。因此必须考虑“屏蔽防护”，就是在人与放射源之间放置屏蔽物，以达到减弱射线强度的目的。

对外照射的防护“时间防护”与“距离防护”对不同的射线都一样可用，而“屏蔽防护”对不同的射线考虑是完全不同的。

对于 α 射线由于其射程短，连人的皮肤也穿透不过，一般可以不考虑 α 射线的外照射防护。对中子我们接触很少，所以，我们主要考虑的是X射线、 γ 射线和 β 射线的防护问题。

经过下述屏蔽物，可以将 ^{137}Cs 的辐射剂量率降低至**10%**左右：

**2.2 cm 铅, 或
5.4 cm 钢, 或
16 cm 混凝土。**



不同射线屏蔽材料的选择

α 射线：由于 α 射线的射程非常短，即使能量比较高的 α 射线，一张纸也能将它完全挡住，因此， α 射线外照射一般不会对人类造成危害；但进入人体组织和器官时，其能量将全部被组织和器官所吸收，所以，要特别重视防止 α 射线的**内照射**。



不同射线的屏蔽材料的选择

β 射线: β 射线与物质相互作用时, 一部分能量会以X射线(轫致辐射)的形式辐射出来, 所产生的轫致辐射的强度既与物质的原子序数 Z 的平方成正比, 还与 β 射线的能量成正比。如: 能量为 1 MeV的 β 射线在铅($Z=82$)中有3%的能量转化为轫致辐射(X射线), 而在铝($Z=13$)中只有0.4%的能量转化为轫致辐射。

X射线的屏蔽要比 β 射线本身的屏蔽困难得多, 所以, 对 β 射线的屏蔽, 一般要选用原子序数较低得物质, 如**有机玻璃和铝**等, 以减少轫致辐射产生的份额; 但对活度和能量较高的 β 源, 最好在**轻材料屏蔽后面, 再添加适当厚度的重物质屏蔽材料**, 以屏蔽轫致辐射。

不同射线屏蔽材料的选择

X射线和 γ 射线：它们与物质相互作用时，主要的三种形式是光电效应、康普顿散射和电子对产生，光电效应发生几率与物质的原子序数 Z 的4次方成正比，康普顿散射与 Z/A 成正比，电子对产生与 Z 的平方成正比。

因此，X射线和 γ 射线的屏蔽，要选择**原子序数高的重物质**为好，如**铅和含铅的玻璃**是目前较普遍采用的屏蔽材料。



不同射线屏蔽材料的选择

中子：中子与物质相互作用的过程较为复杂，主要有散射和吸收两种；并且发生作用的方式与中子的能量有关。

一般将中子分为**慢中子**（小于5 keV，其中能量为0.25 eV的称为**热中子**）、**中能中子**（5~100 keV）和**快中子**（0.1~500MeV）三种。

在实际工作中，多数遇到的是快中子，快中子与轻物质发生作用时，损失的能量比重物质要多的多，如快中子与氢核碰撞时交给反冲质子的能量可达中子能量的一半。因此，**含氢多的物质**，如**水和石蜡**等，是屏蔽中子的最好材料。

五、辐射防护的原则和基本措施

4、内照射防护

4.1 内照射防护的基本原则：

- 制定各种规章制度，采取各种有效措施，
- 阻断放射性物质进入人体的各种途径，
- 在最优化原则范围内，使摄入量减少到尽可能低的水平。

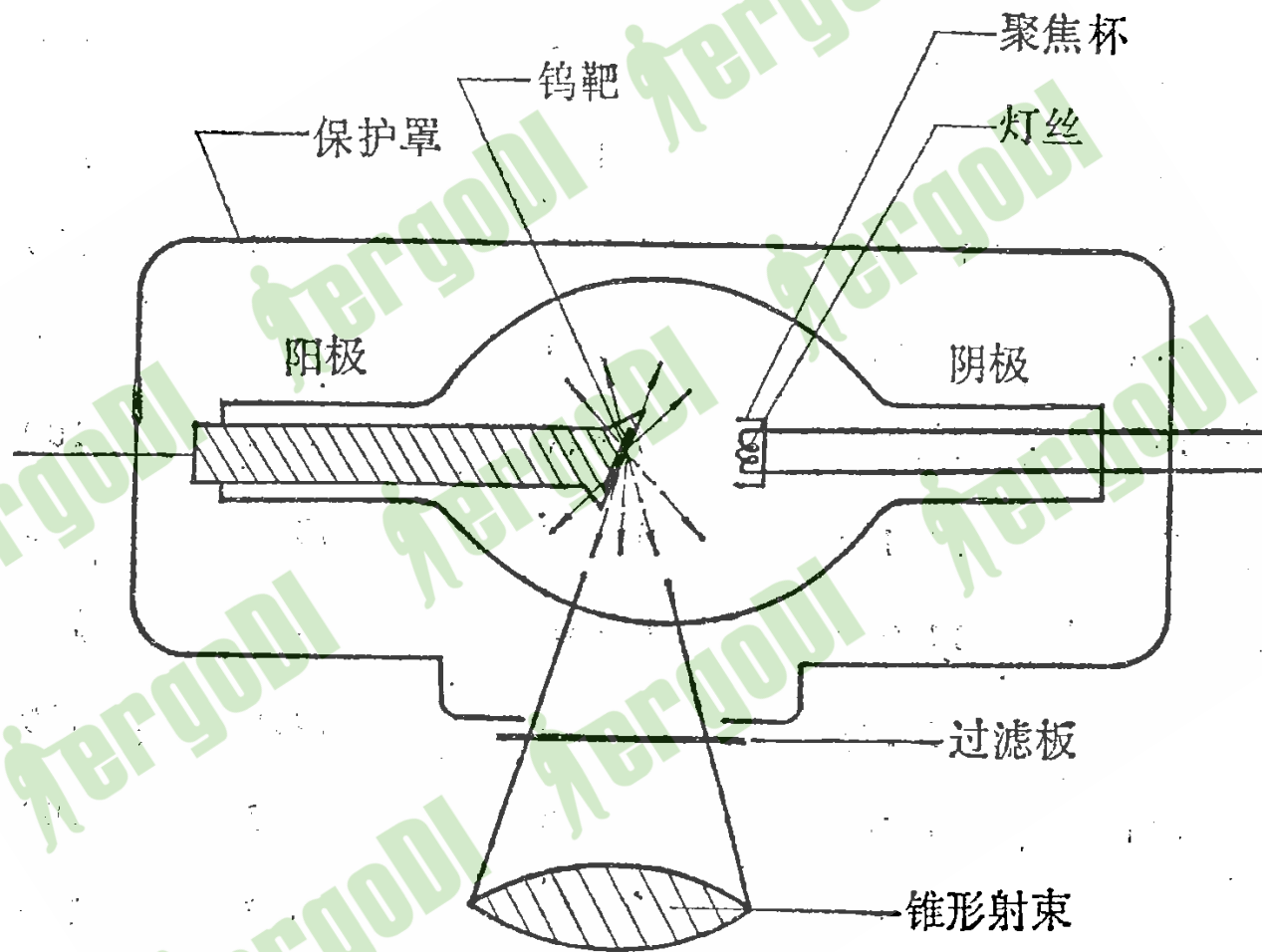
4.2 放射性物质进入人体内的途径：**食入、吸入、皮肤**进入体内的放射性物质绝大多数将最终排出体外，有些亲骨物质（比如铯-137）部分将附着到骨头上，还有些可能变成身体的一部分（如钾-40）。

4.3 内照射防护的一般措施：

- “包容、隔离”
- “净化、稀释”
- “遵守规章制度、做好个人防护”。



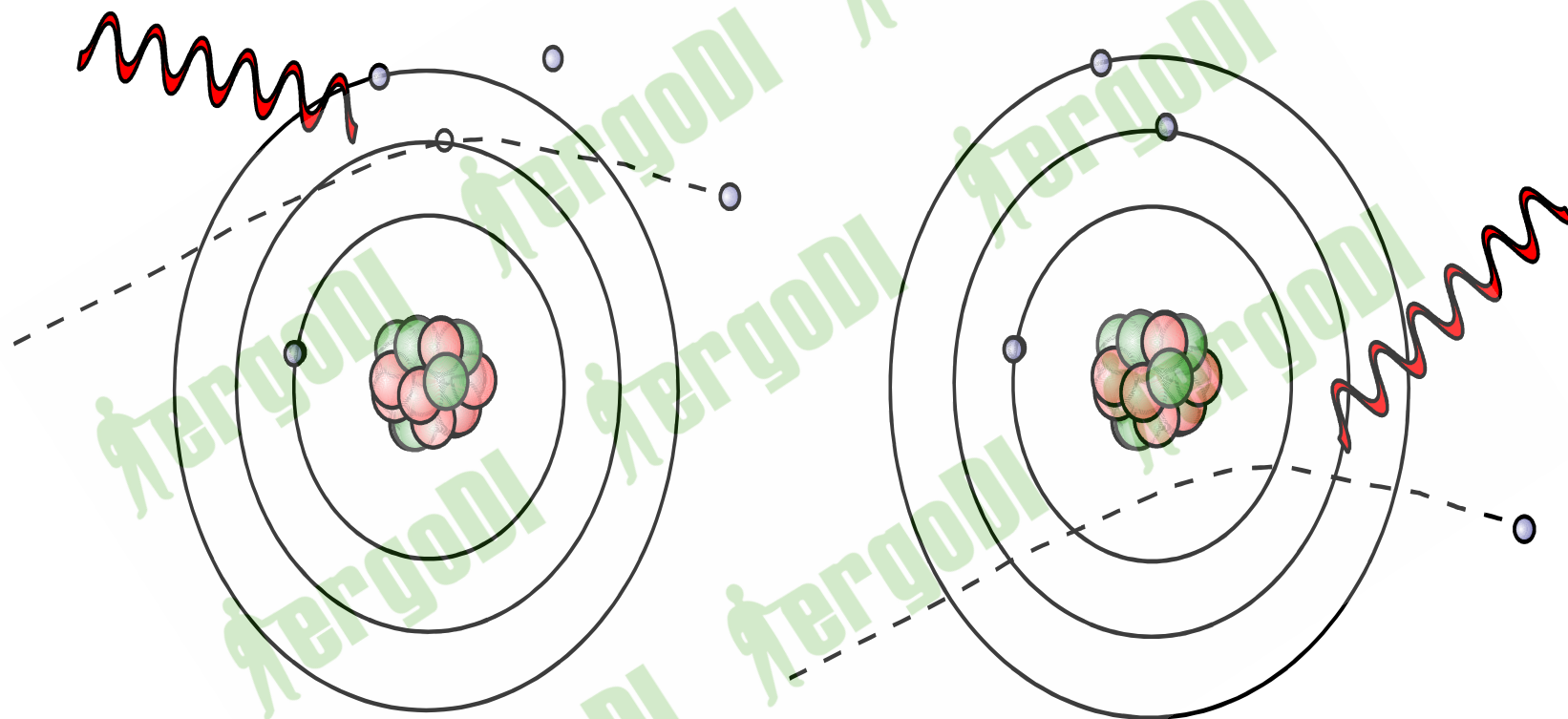
实例讨论



X射线： 韧致辐射、特征X射线



X射线的产生



X射线剂量率计算

$$K(r) = \frac{I \cdot \delta \cdot r_0}{r^2}$$

$K(r)$: 空气比释动能率 ($\text{mGy} \cdot \text{min}^{-1}$)

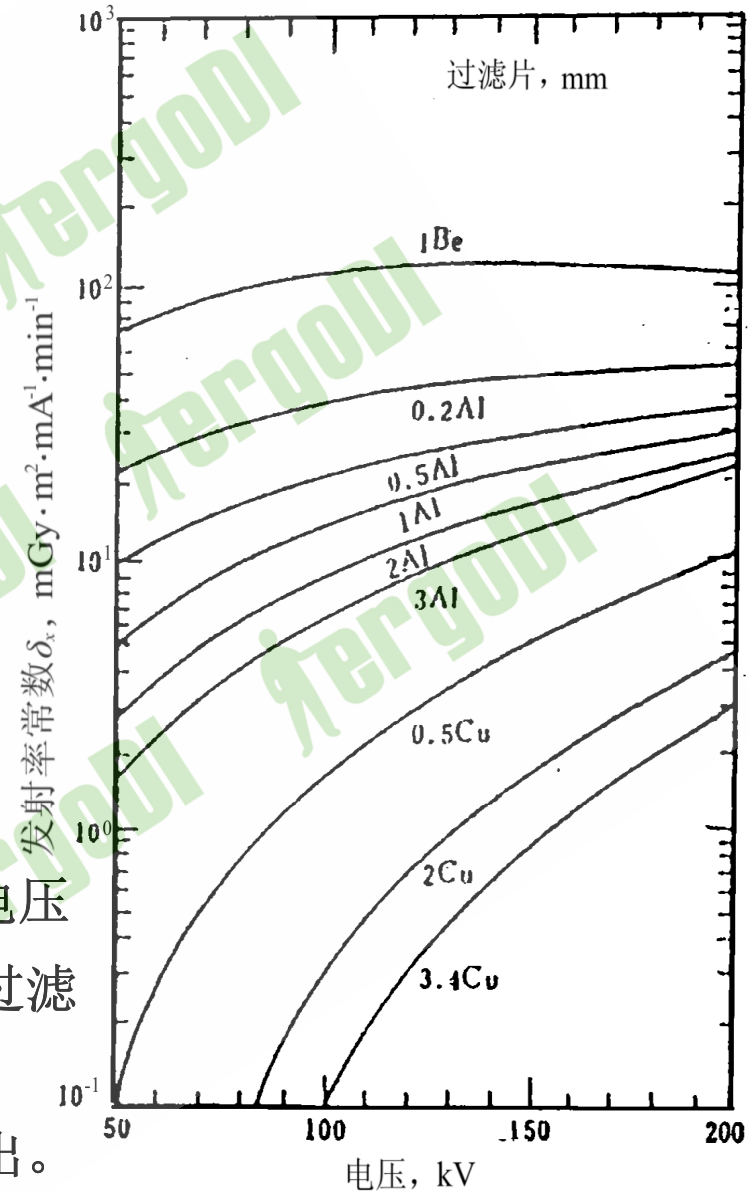
δ_x : X射线机的发射率常数

($\text{mGy} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mA}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)

$r_0 = 1\text{m}$

I : 管电流 (mA)

- 发射率常数 δ_x 与X射线管的类型、管电压及其电压波形、靶的材料和形状以及过滤片的材料和厚度等因素有关。
- 准确的发射率常数应通过实际测量得出。
- 在准确度要求不高时, 可根据发射率常数曲线查得发射率常数。



辐射工作场所的具体辐射防护要求示例

- 警示标志

工作场所外醒目处安装指示灯及辐射危险标志

- 仪器/机房的防护设计满足验收要求

- 1) 仪器出厂前经国家规定的放射防护部门鉴定，取得防护性能合格证。

- 2) 仪器安装完毕后，进行机房防护性能的验收监测，验收合格才能正式投入使用。（机房的墙壁及门窗屏蔽厚度符合防护要求，使工作人员和周围公众所接受的有效剂量低于国家规定的限值）

- 配备适量的各种辅助防护用品、辐射监测装置

eg. 铅围裙、铅手套、铅围脖等

eg. 个人剂量计、可携式监测仪等



辐射工作场所的具体辐射防护要求示例

- 室内保持良好的通风/设有通风装置，便于排放有毒气体（如臭氧）和气载放射性物质，排气口高于附近50m范围内建筑物屋脊3m，并设有专用过滤装置，排出空气浓度不应超过有关限值。
- 辐射防护最优化，控制工作人员/受检者的照射剂量
 - 1) 尽量减少不必要的照射，尽可能用非放射方法代替，尽可能用剂量较低的检查代替剂量较高的检查。
 - 2) 制定照射方案，减少对患者的副作用，要选择合适的照射条件，特别注意对敏感、关键的正常组织的防护。
- 工作人员的个人剂量监测，建立个人剂量档案；定期对工作场所的辐射水平进行监测。



辐射工作场所的具体辐射防护要求示例

- 制定辐射防护规章制度和操作规程并严格遵守执行
- 超过10MeV的加速器，屏蔽设计应考虑中子辐射防护
- 入口处设置防护门和迷路及安全联锁装置
 - 1) 迷路是利用辐射多次散射达到减弱辐射水平的一种进出通道，散射三次以上的迷路能够保证迷路出口处人员的安全。
 - 2) 防护门的位置需避开主射线束的直射方向，为避免过大的辐射泄漏，门与墙的搭接宽度至少应为门与墙空隙的10倍。
 - 3) 安全联锁：声、光、电；门机联锁；开机前声音报警；过程中语音提示等。

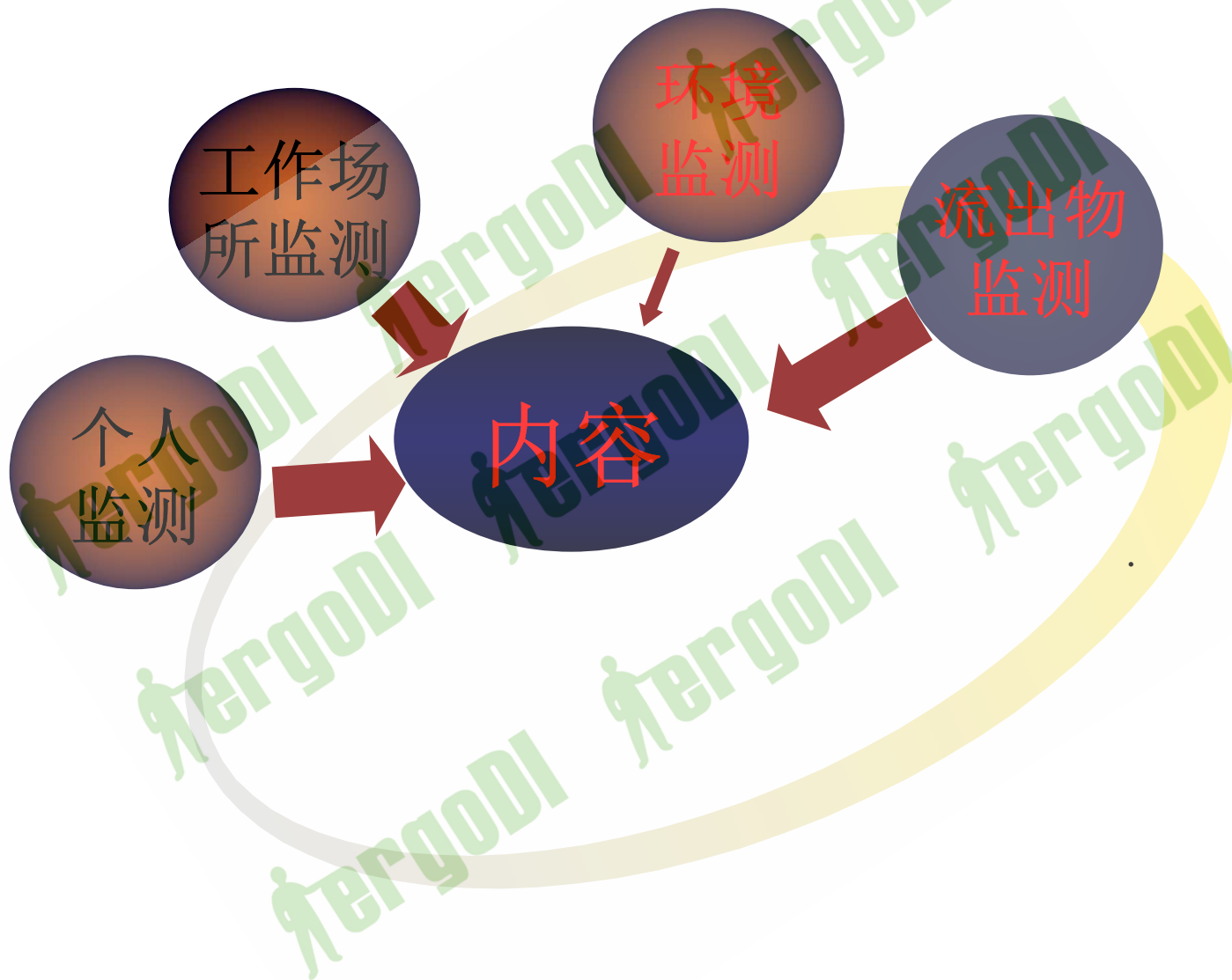


医用辐射防护的内涵:

- 医学放射工作人员所受职业照射的防护
- 受检者与患者所受医疗照射的防护
- 工作场所周围环境及相关公众的防护



六、辐射监测



六、辐射监测

6.1 人员监测

对在控制区工作的工作人员、或有时进入控制区工作并可能受到显著职业照射的工作人员，或其职业照射剂量可能大于5mSv/a的工作人员，均应进行个人监测。

个人监测包括外照射和内照射监测。

6.1.1 外照射监测

使用热释光剂量计进行工作人员所受的 β 、 γ 和中子外照射监测是法定的测量方法，在放射工作中，佩带个人电子报警仪可以用来进行个人剂量控制，保护工作人员。

6.1.2 内照射监测

内照射监测主要包括直接测量、间接测量等。

- 直接测量主要是使用全身计数器、器官计数器等对吸入或食入体内放射性核素发出的 β 和 γ 射线进行监测；
- 间接测量是对从工作人员身上取得尿样、粪便样和血液样等生物样品中发出 α 和 β 射线的放射性核素进行测量。

六、辐射监测

6.2 工作场所监测

工作场所监测一般包括外照射监测、表面污染监测和空气污染监测。

6.2.1 工作场所外照射监测

工作场所外照射监测主要包括中子、 β 、 X 和 γ 外照射监测。

如果工作场所的防护屏蔽或进行的操作过程预计不会发生重大改变，预期工作场所里的辐射场不可能发生快速的变化，进行定期或偶尔的验核监测就可以；或也可以使用个人监测的结果。

在辐射场可能剧烈地增大到严重的水平时，除使用个人剂量计外，还需要使用报警系统。

6.2.2 表面污染监测

在容易发生放射性污染的场所，对地面、设备表面等进行常规污染监测。还应在更衣室和工作区出口处对工作人员体表进行污染监测，防止污染发生扩大。

一般应采用表面污染仪进行测量，或者用擦拭法进行间接测量。

6.2.3 空气污染监测

空气污染监测是对工作场所内的气载污染物的种类和浓度进行测量。可采用固定式、移动式和个人佩带的取样器进行监测，要根据实际需要恰当的选择监测手段。

六、辐射监测

6.3 环境监测和流出物监测

在这里不详细介绍。



从百余年来辐射对人类损伤简史的回顾中可以看出，造成人类损伤和死亡的辐射事故几乎都是由错误的应用以及缺少专业知识和技术造成的。所以，系统学习辐射防护的专业知识是非常必要的。



谢谢！
祝您健康！

