

放射卫生防护基本知识

主编： 刘雄华 王正明

武汉测绘科技大学出版社

前 言

放射性同位素和射线装置已广泛用于工业、农业、国防、医学和科学研究的各个领域,在促进国民经济发展和保障人体健康方面,给人类带来了巨大的利益。由于放射性同位素与射线装置产生的各种射线,不能为人们所感觉,因此,存在着不容忽视的潜在危害。以往发生的放射事故,已用血的教训告诫人们,放射工作人员必须了解电离辐射的危害性和放射防护知识,在利用放射性同位素与射线装置造福于人类的同时,应采取有效措施,做好防护工作,把电离辐射的危害减少到可以合理做到的最低水平。

认真贯彻执行国务院发布的《放射性同位素与射线装置放射防护条例》,自觉执行有关放射防护法规和标准,增强自主防护意识,是做好放射防护工作的关键。为此,根据《放射性同位素与射线装置放射防护条例》规定和国家、省有关岗位培训的要求,我们委托湖北省放射防护所编写了这本放射防护知识读本,作为培训放射工作人员的教材,以期达到广泛宣传放射防护知识的目的。

湖北省卫生厅防疫处
一九九一年六月

目 录

第一章 电离辐射防护的物理基础.....	(1)
第一节 原子结构.....	(1)
第二节 放射性核素.....	(3)
一.放射性核素的衰变类型	(3)
二.放射性核素的衰变规律	(9)
第三节 X射线	(10)
一.X射线的产生.....	(10)
二.X射线谱.....	(11)
三.X射线的量与质.....	(13)
第四节 射线与物质的相互作用	(15)
一.带电粒子与物质的相互作用.....	(15)
二.X、 γ 射线与物质的相互作用.....	(20)
三.中子与物质的相互作用.....	(22)
第五节 辐射量及其单位	(26)
一.放射性活度及其单位.....	(26)
二.照射量及其单位.....	(27)
三.吸收剂量及其单位.....	(28)
四.剂量当量及其单位.....	(29)
第二章 放射损伤.....	(32)
第一节 影响放射病发病因素	(33)
一.与辐射有关因素.....	(33)

二. 与机体有关的因素.....	(37)
第二节 急性放射病	(39)
一. 病因及发病机理.....	(40)
二. 分类.....	(40)
三. 临床表现.....	(40)
四. 诊断.....	(47)
五. 治疗.....	(47)
六. 预防.....	(47)
第三节 小剂量外照射生物效应与慢性放射病	(47)
一. 小剂量外照射的生物效应.....	(48)
二. 慢性放射病.....	(50)
第四节 内照射放射损伤	(57)
一. 放射性核素进入途径和代谢.....	(58)
二. 内照射放射病的特点.....	(58)
三. 诊断.....	(60)
四. 治疗.....	(60)
第五节 皮肤放射损伤	(61)
一. 急性放射性皮肤损伤.....	(61)
二. 慢性放射性皮肤损伤.....	(62)
三. 放射性皮肤癌.....	(63)
四. 处理原则	(63)
第六节 电离辐射的远期效应	(63)
一. 躯体晚期效应.....	(64)
二. 遗传效应.....	(64)
第三章 放射防护标准及法规	(67)
第一节 放射防护标准的演变	(67)

第二节 我国现行的放射卫生防护标准·····	(69)
一. 基本概念·····	(69)
二. 放射防护的目的和原则·····	(72)
三. 剂量当量限值·····	(73)
第三节 放射防护法规·····	(75)
一. 目的和意义·····	(76)
二. 《放射防护条例》的实施·····	(77)
三. 监督管理·····	(78)
四. 自主管理·····	(79)
五. 处罚·····	(80)
第四章 外照射防护·····	(81)
第一节 辐射场·····	(82)
第二节 放射源·····	(84)
第三节 电离辐射在物质中的衰减和吸收·····	(86)
一. X 或 γ 射线的衰减·····	(86)
二. 中子的衰减·····	(87)
三. 屏蔽材料·····	(89)
第四节 屏蔽厚度的计算方法·····	(91)
一. 基本方程·····	(91)
二. 确定屏蔽厚度所需要的参数·····	(92)
三. 带电粒子的屏蔽计算·····	(95)
四. X 或 γ 射线的屏蔽·····	(97)
五. 中子的屏蔽计算·····	(103)
第五章 医用诊断 X 线的卫生防护·····	

.....	(108)
第一节 防护原则.....	(108)
一.施行X线诊断检查的正当化	(108)
二.放射防护的最优化	(109)
三.不超过规定的剂量当量限值	(109)
第二节 X线机防护性能的要求.....	(109)
一.透视用X线机的防护性能	(110)
二.摄影用X线机的防护性能	(111)
三.牙科用X线机的防护性能	(113)
四.携带式X线机的防护性能	(113)
第三节 旧X线机的防护改造	(114)
一.增加限线板	(114)
二.安装集光筒	(115)
三.改善屏蔽防护	(116)
第四节 放射防护设施.....	(118)
一.X线机房的设置	(118)
二.防护设施	(122)
第五节 检查操作的防护要求.....	(123)
第六章 放射治疗的卫生防护.....	
.....	(125)
第一节 医用治疗X线的防护	(126)
一.治疗机防护性能的要求	(126)
二.治疗室的防护设施	(127)
三.安全操作规则	(128)
第二节 医用远距离治疗 γ 线机的防护.....	
.....	(129)

一. γ 治疗机防护性能的要求	(129)
二. 治疗室的防护设施	(130)
三. 安全操作规则	(131)
第三节 医用加速器的防护	(131)
一. 医用加速器的技术要求	(132)
二. 治疗室的防护设施	(133)
三. 安全操作规则	(134)
第七章 工业应用电离辐射的卫生防护	(135)
第一节 射线探伤的卫生防护	(135)
一. 射线探伤工作简介	(135)
二. 射线探伤的职业危害	(137)
三. 射线探伤的卫生防护	(137)
第二节 同位素仪表的卫生防护	(141)
一. 同位素仪表中常用的放射源	(141)
二. 使用同位素仪表的卫生防护	(142)
第三节 测井用密封型放射源的卫生防护	(145)
一. 对放射源的一般要求	(146)
二. 贮存和载运放射源的容器	(146)
三. 操作放射源的防护要求	(147)
第四节 γ 辐照加工的卫生防护	(148)
一. γ 辐照加工装置	(148)
二. 职业危害	(149)
三. γ 辐照加工的卫生防护	(149)
第八章 开放型放射工作场所的卫生防护 ..	(154)

第一节 开放型放射工作单位的分类及其工作场所的分级	(154)
一.放射性核素的毒性分组	(154)
二.开放型放射工作单位的分类	(155)
三.放射工作场所的分级	(155)
第二节 开放型放射工作的卫生防护	
一.选址和布局	(157)
二.建筑和设备的卫生防护	(158)
第三节 工作人员的个人防护和安全操作	
一.个人防护措施	(161)
二.安全操作的基本要求	(162)
第四节 放射性污染的清除	(163)
一.放射性污染的限值	(163)
二.表面放射性污染的清除	(164)
第五节 放射性废物的处理	(166)
一.低放射性气体或气溶液的排放	(166)
二.低放射性废液的排放	(167)
三.固体放射性废物的处理	(167)
第九章 放射性同位素的安全运输	
.....	(168)
第一节 运输包装的要求	(168)
一.放射性同位素的包装	(169)
二.放射性化学试剂和化工制品的包装	(170)
第二节 运输中的防护要求	(170)

一. 包装等级的划分	(171)
二. 剂量监测	(171)
三. 自行运输的防护要求	(172)
第十章 放射工作人员健康管理及医学观察	(173)
第一节 常规医学监督	(173)
一. 放射性工作人员就业前的体检	(173)
二. 放射性工作人员就业后定期体检	(174)
第二节 放射性工作人员的健康要求及处理	(176)
一. 放射工作人员基本的健康要求	(177)
二. 适应从事放射工作的情况	(177)
三. 放射性疾病的诊断管理	(178)
第三节 放射事故受照人员的医学管理及医学观察	(179)
一. 事故受照人员的医学处理	(179)
二. 事故受照人员医学观察	(180)
第四节 特殊受照人员的医学监督	(182)
一. 离退休或调离放射岗位人员的医学监督	(182)
二. 应急照射人员的医学监督	(183)
三. 育龄妇女、未满十八岁的医学监督	(183)
第十一章 放射事故管理	(184)
第一节 事故的分类与分级	(185)
一. 事故的分类	(185)
二. 事故的分级	(186)

三. 事故的原因与性质	(188)
第二节 放射事故的管理	(189)
一. 事故的管理系统	(190)
二. 事故的报告制度	(191)
三. 奖励与处罚	(192)
第三节 事故的处理	(193)
一. 事故处理的一般原则	(194)
二. 丢失放射性物质事故的处理	(195)
三. 外照射事故的处理	(195)
四. 污染事故的处理	(196)
五. 事故资料的收集和存档	(198)
附件	(200)
附件一. 放射性同位素与射线装置放射防护条例	(200)
附件二. 放射性药品管理办法	(208)
附件三. 中华人民共和国法定计量单位	(214)
附件四.	(219)

第一章 电离辐射防护的物理基础

第一节 原子结构

自然界存在的一切物质,都是由不同的元素组成。迄今已知的元素有 109 种。元素的基本单位是原子。原子的直径约 10^{-10}m 。原子的结构类似一个小行星系,中心是一个原子核,周围有绕核运转的电子。原子核由质子和中子组成。质子和中子质量差不多一样,而电子的质量仅为质子质量的 $1/1840$ 。所以原子的质量几乎全集中于原子核。原子核只占据整个原子的极小一部分空间,其直径不及原子直径的 $1/10000$ 。电子带负电荷,一个电子所带的电荷为 1.6×10^{-19} 库仑(c)。中子不带电。质子带一个正电荷。完整的原子中,其电子数目和质子数目相等,因此整个原子是中性的。

各种原子的结构虽然都很相似,但组成原子的质子、中子和电子数目不同,因而决定了各种原子具有不同的性质。一般用符号 ${}_Z^AX$ 表示某种原子的标记,其中 X 代表元素的化学符号;Z 称原子序数,等于原子核中的质子数,亦即绕核运转的电子数;A 为原子质量数,等于原子核中的质子和中子的总数,中子的数目是 $A-Z$ 。

由于原子核与电子之间相互作用力的制约,原子核周围的每一个绕行电子都有它自己的一定轨道,这些确定的轨道组成一系列壳层。最靠近原子核的叫 K 壳层,顺序往外称 L、M、N、O、P、Q 壳层。这 7 个壳层可对应应用主量子数 $n=1\sim 7$ 表示,每个壳层上绕行的电子数的最大限值正好为 $2n^2$ 。

在某一轨道上绕行的电子具有与该能级相应的一定能量,K 壳层的电子能量最低,越往外层的轨道电子能量越高。

电子可以吸收外来的能量,从能量较低的轨道跃迁至能量较高的轨道,这种现象叫做激发。反之,如果能量较低轨道缺少电子时,位于能量较高轨道的电子也可以跃迁到这能量较低的轨道,而该电子多余的能量一般就以电磁波(光子)辐射出来。电磁波的波长,频率 ν 和两个轨道能级(E_n 、 E'_n)的关系为:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = E_n - E'_n$$

式中 h 为普朗克常数, c 为光速。

如果外来的能量足够大,可以使得轨道上的电子脱离原子核的吸引力而自由运动。于是中性的原子变成了带正电或负电的离子。离子所带电荷的多少取决于失去或得到电子的数目。这种形成正负离子的过程称电离。图 1-1 表示一个原子在致电离粒子作用下引起的电离过程。

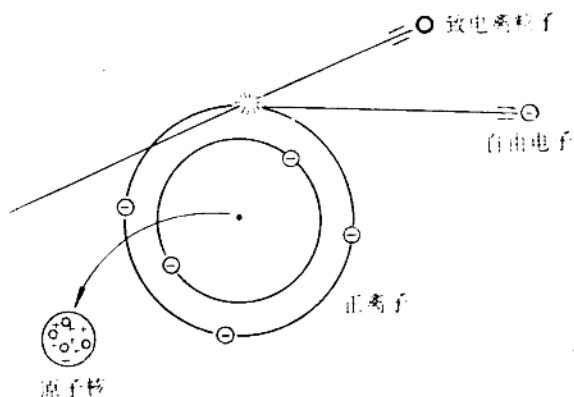


图 1-1 一个原子的电离

第二节 放射性核素

某些核素的原子核能自发地衰变放出 α 、 β 等粒子的性质称为放射性。具有这种特性的核素叫做放射性核素。放射性核素又分为天然和人工的两种。天然放射性核素天然地具有放射性，如铀、钍、镭、钷等。人工放射性核素必须经过人工核反应之后才显示出放射性现象。

具有相同原子序数的原子属于同一种元素。我们把 Z 相同而 A 不同的各核素统称为某元素的同位素。

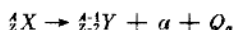
一. 放射性核素的衰变类型

放射性核素的原子核自发地放出 α 、 β 等粒子而转变成另一种核素的原子核的过程，称为核衰变。放射性核素的核衰变的种类是多种多样的，这里主要介绍 α 、 β 和 γ 衰变。

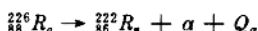
(一). α 衰变

放射性核素的原子核放射 α 粒子而变为另一种核素的原子核的过程称为 α 衰变。 α 粒子是高速运动的氦原子核，由两个质子和两个中子组成，带正电荷为 $2e$ 。

通常把衰变前的核称为母核或母体，衰变后的核称为子核或子体。放射性核素的原子核发生 α 衰变后形成的子核较母核的原子序数减少 2，而质量数较母核减少 4。如用 ${}_Z^AX$ 代表母体核素， ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ 代表子体核素，则 α 衰变可用下式表示：



如：



Q_0 称为衰变能。衰变能是在衰变过程中原子核所释放的能量，这些能量大部分被 α 粒子带走，这就是 α 粒子功能。另外在母核放出 α 粒子时子核也会受到反冲，也要带走一部分能量即反冲动能。

发生 α 衰变的天然放射性核素绝大部分属于原子序数 $Z > 82$ 的核素,子核的质量比 α 粒子的质量大很多,衰变能绝大部分被 α 粒子带走。衰变能 Q_α 随母体核素的原子序数 Z 和核质量数 A 而变化, Q_α 的大小反映了母体核素的不稳定程度。

原子核能量最低的状态称为基态,高于基态的各种能量状态称为激发态。处于基态的母核发生 α 衰变时,可以直接衰变到子核基态;也可以先衰变到子核的激发态,放出能量较低的 α 粒子,然后再放出 γ 射线跃迁到基态。实验发现,在发生 α 衰变的核素中,只有很少几种核素放出单能的 α 粒子,大多数核素能放出几组不同能量的 α 粒子。

(二). β 衰变

放射性核素的原子核放射出 β 粒子变为原子序数加 1 而质量数相同的核素,叫做 β 衰变。对 β 粒子进行荷质比的测量可以断定它就是高速运动的电子流。 β 粒子的速度通常比 α 粒子的大,最大可接近光速。从核衰变中所放出的 β 粒子,被物质阻止后,就成为自由电子。

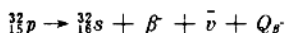
β 衰变是母核中有一个中子转变为质子同时放出反中微子的结果,即

$$n \rightarrow p + \beta + \bar{\nu}$$

其中 $\bar{\nu}$ 代表反中微子,即中微子 ν 的粒子。它是一种静止质量几乎为零,自旋为 $1/2$ 的中性粒子,其自旋方向与运动方向相同。发生 β 衰变后,子核和母核的质量数 A 是相同的,核电荷数却增加 1。如果用 ${}_Z^AX$ 和 ${}_{Z+1}^AY$ 分别代表母核、子核素,则 β 衰变可用下式表示。

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + \beta + \bar{\nu} + Q_\beta$$

如：



β 衰变过程中有三个生成物： ${}^{A}_{Z+1}\text{Y}$ 、 β 和 $\bar{\nu}$ ，因此在衰变过程中所释放出的衰变能将被这三个粒子分配。因为这三个粒子的发射方向所成的角度可以是任意的，所以每个粒子带走的能量是不固定的。由于 β 粒子质量比子核的质量小几千倍乃至几十万倍，因此衰变能绝大部分被 β 粒子和反中微子 $\bar{\nu}$ 带走，而子核所带走的反冲动能是微不足道的。

β 粒子和反中微子 $\bar{\nu}$ 的动能可以从最小的零值到最大值，形成一个连续能谱。如果用 β 能谱仪来分析 β 粒子能量，可得到 β 粒子的能谱曲线，见图(1-2)。图中横轴代表 β 粒子能量，纵轴表示 β 粒子的相对强度。能谱曲线有一个最大能量 $E_{\max}$ 。一般资料中所给出的 β 粒子的能量均指 β 粒子的最大能量 $E_{\max}$ 。不同放射性核素所释放出的 β 粒子最大能量是不同的， β 粒子的平均能量 $E_{\beta} \approx \frac{1}{3} E_{\max}$ 。

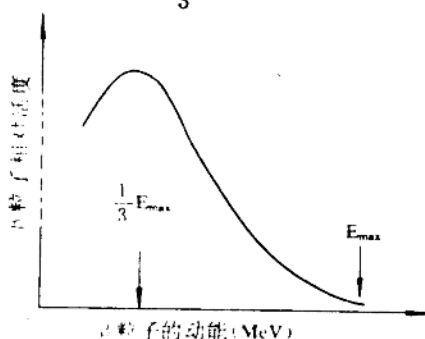


图 1-2 β^- 粒子的能谱曲线

有些 β 衰变的放射性核素只放射 β 粒子，而没有伴随 γ 射线，如 ${}^{12}\text{C}$ 、 ${}^{32}\text{P}$ 、 ${}^{35}\text{S}$ 等。但许多 β 衰变的放射性核素放射 β 粒

子时往往伴有 γ 射线, 如 $^{60}_{27}\text{Co}$ 等。某些放射性核素的 β 衰变可能放出两组以上能量的 β 粒子, 如 $^{137}_{55}\text{Cs}$ 。有的放射性核素放出 β 粒子的能量多达四至五组, 如 $^{44}_{20}\text{Ca}$ 、 $^{131}_{53}\text{I}$ 、 $^{134}_{55}\text{Cs}$ 、 $^{239}_{94}\text{Np}$ 。

(三). β^+ 衰变

放射性核素的原子核放出正电子而变成原子序数减 1 的原子核, 叫做 β^+ 衰变。 β^+ 粒子就是正电子。它是一种质量和电子相等带有一个单位正电荷的粒子, 天然存在的放射性核素没有发生 β^+ 衰变的, 这种衰变类型的核素都是人工放射性核素。

发生 β^+ 衰变后的子核与母核具有相同的核质量 A , 但原子序数减少 1。因此 β^+ 衰变可以看成在原子核内有一个质子转变成中子同时放出正电子和中微子的结果, 即

$$p \rightarrow n + \beta^+ + \nu$$

式中 ν 是中微子。中微子和反中微子的质量、电荷、自旋和磁矩均相同, 但中微子自旋方向与运动方向相反。

如果用 $^A_Z X$ 、 $^A_{Z-1} Y$ 分别表示母核和子核核素, 则 β^+ 衰变可用下式表示:

$$^A_Z X \rightarrow ^A_{Z-1} Y + \beta^+ + \nu + Q_{\beta^+}$$

如

$$^{13}_7 N \rightarrow ^{13}_6 C + \beta^+ + \nu + Q_{\beta^+}$$

β^+ 衰变过程也有三个生成物: $^A_{Z-1} Y$ 、 β^+ 、 ν , 因此衰变能 Q_{β^+} 由这三个粒子所分配, 而每个粒子所带走的能量也是不固定的。 β^+ 和 β 粒子的能谱类似, 也是连续谱。能谱曲线也有一个最大值 $E_{\max} \approx Q_{\beta^+}$, 曲线的高峰约在 $0.4E_{\max}$ 附近。

(四). 电子俘获

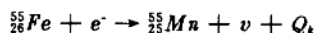
电子俘获可以认为母核俘获了它的一个核外电子而使核中一个质子转变成中子同时放出中微子的过程, 即

$$p + e^- \rightarrow n + \nu$$

如果母核获一个 K 层电子而变为原子序数减 1 的核, 这过程叫 K 俘获。如果母核俘获 L 层电子, 就叫做 L 俘获等等。因为 K 层电子最靠近原子核, 因此发生 K 俘获的几率比其它壳层电子的俘获几率大。在发生电子俘获的核衰变过程中, 子核质量 A 不变, 只是原子序数减少 1。其衰变过程可用下式表示

$${}_Z^AX + e^- \rightarrow {}_Z^AY + \nu + Q_1$$

如:



在电子俘获的衰变过程中, 只放出一个中微子, 能量是单色的。

发生电子俘获衰变时, 核内只放出中微子, 除了有些核素因子核处于激发态而放出 γ 射线达到稳定状态外, 核内并没有放出其它任何射线。可是相应的原子却有次级辐射发生, 这种次级辐射可供探测。当 K 层一个电子被俘获后, 就留下了一个空位, 比 K 层能级更高的核外电子, 有可能跃迁至 K 层填充被俘获电子的空位, 多余的能量便以 X 射线的形式放射出来。因此电子俘获后产生的子体次级辐射是子体原子的标识(或特征)X 射线。

当 K 层电子被原子核俘获后, L 层的电子跃迁到 K 层填补空位时, 其能量为 $E_L - E_K$, 如果不是以 X 射线的形式释放出来, 而是直接传给另一个 L 层的电子(或其它壳层电子), 使它脱离原子核的束缚而成为自由电子放射出来, 这种现象叫做俄歇效应, 这些电子称为俄歇电子, 它的能量是单色的。

(五). γ 衰变

各种类型核衰变往往形成处于激发态的子核; 原子核受