

射线装置的 监督与防护管理

主 编 栾耀君
副主编 栾瑞香 曹家珍 梅雪松

东北林业大学出版社

射线装置的监督与防护管理

主 编 栾耀君

副主编 栾瑞香 曹家珍 梅雪松

东北林业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

射线装置的监督与防护管理/栾耀君主编.—哈尔滨:东北林业大学出版社,2002.3

ISBN 7-81076-303-2

I.射... II.栾... III.辐射防护-基本知识 IV.TL7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 040758 号

责任编辑:卢 伟 李雷鹏

封面设计:曹 晖



NEFUP

射线装置的监督与防护管理

Shexian Zhuangzhi De Jiandu Yu Fanghu Guanli

主编 栾耀君

副主编 栾瑞香 曹家珍 梅雪松

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

地矿部黑龙江测绘印制中心印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9.875 字数 213 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—3 000 册

ISBN 7-81076-303-2
R·30 定价:30.00 元

前 言

随着电离辐射应用技术的迅速发展，在医学、科研、地质、工业和农业领域，电离辐射技术应用越来越广泛。X射线防护工作也得到迅速发展，各地积累了丰富的经验，防护器材也不断更新，相继出现了一些新的防护课题。为了总结经验，介绍一些行之有效的防护技术措施，探讨辐射防护中遇到的新问题，以适应我国放射卫生防护事业发展和培训放射工作人员的需要，我们组织从事电离辐射防护工作多年并具有一定实践经验的同志编写了本书。本书紧密结合我国电离辐射防护的实际，以我国现行电离辐射防护的法规和技术标准为依据，吸收国际国内先进经验和管理知识，阐述了电离辐射防护的基本原理、原则、实用技术和管理方法等。书后附有现行和即将施行的防护法规。

由于编者水平有限，书中欠妥之处敬请读者指正。

编 者

2001年12月

目 录

第一章 射线的基本知识	(1)
第一节 射线产生的物理基础.....	(1)
第二节 电离辐射与核衰变.....	(4)
第三节 带电粒子与物质的相互作用.....	(9)
第四节 X射线的产生.....	(12)
第五节 X射线的量与质.....	(15)
第六节 X射线的性质.....	(17)
第七节 X射线与物质的相互作用.....	(20)
第八节 中子与物质的相互作用.....	(24)
第二章 辐射防护中使用的量和单位	(29)
第一节 照射量.....	(29)
第二节 吸收剂量.....	(30)
第三节 比释动能.....	(33)
第四节 当量剂量.....	(35)
第五节 组织权重因子和有效剂量.....	(37)
第六节 与群体相关的防护辐射量.....	(39)
第三章 X射线防护的基本原理	(41)
第一节 时间防护.....	(41)
第二节 距离防护.....	(42)
第三节 屏蔽防护.....	(43)
第四章 X射线诊断的合理应用	(62)
第一节 医用X射线防护的现状.....	(62)
第二节 X射线透视中的防护.....	(64)
第三节 X射线摄影中的防护.....	(72)

第四节	临床医生对 X 射线检查的 正当化判断·····	(79)
第五节	介入放射学的防护·····	(85)
第六节	X 射线机房的防护·····	(89)
第七节	牙科 X 射线摄影的防护 ·····	(99)
第八节	骨科整骨的防护·····	(101)
第九节	儿童和妇女放射诊断的防护·····	(102)
第十节	CT 扫描摄影 ·····	(114)
第五章	医用治疗 X 射线的防护 ·····	(117)
第一节	医用治疗 X 射线机的防护 ·····	(117)
第二节	医用加速器的防护·····	(120)
第三节	放射治疗中病人的防护·····	(123)
第六章	医用 X 射线诊断的质量保证 ·····	(128)
第一节	质量保证的必要性·····	(128)
第二节	国内外开展质量保证工作概况·····	(130)
第三节	X 射线诊断的质量管理·····	(133)
第四节	透视诊断的质量保证·····	(137)
第五节	废片—重拍片分析·····	(140)
第六节	胶片处理技术的质量保证·····	(142)
第七节	X 射线摄影的质量保证·····	(146)
第八节	X 射线断层的质量保证·····	(148)
第九节	口腔 X 射线摄影的质量保证 ·····	(150)
第十节	乳腺 X 射线摄影的质量保证 ·····	(152)
第十一节	CT 检查的质量保证 ·····	(154)
第七章	工业 X 射线防护 ·····	(157)
第一节	射线装置的防护·····	(157)
第二节	固定式探伤的防护·····	(159)

第三节	移动式探伤的防护·····	(164)
第四节	X 射线衍射仪的防护·····	(171)
第五节	粒子加速器的防护·····	(173)
第六节	射线探伤常见事故与管理措施·····	(181)
第八章	放射工作人员的健康监护·····	(184)
第一节	辐射效应·····	(184)
第二节	放射工作人员的健康管理·····	(191)
第三节	放射性疾病诊断与管理·····	(199)
附录一	中华人民共和国职业病防治法·····	(215)
附录二	放射性同位素与射线装置放射防护条例·····	(237)
附录三	放射事故管理规定·····	(245)
附录四	放射工作卫生防护管理办法·····	(256)
附录五	放射防护器材与含放射性产品卫生管理 办法·····	(273)
附录六	放射工作人员健康管理规定·····	(280)
附录七	关于发布《黑龙江省〈放射工作人员健康 管理规定〉实施细则》的通知·····	(286)
附录八	大型医用设备配置与应用管理暂行办法·····	(291)
附录九	关于公布第二批大型医用设备管理品目的 通知·····	(296)
附录十	关于下发《X 射线计算机体层摄影装置 (CT) 等大型医用设备配置与应用管理实施细则》 的通知·····	(297)

第一章 射线的基本知识

第一节 射线产生的物理基础

一、原子结构

自然界存在的一切物质都是由分子组成，分子又是由更小微粒——原子所组成。原子是不能用化学方法再分解下去的最小微粒。但是，原子绝不能被看作简单的东西或已知的最小粒子。所有的原子都类似一个小行星系，中心是一个原子核，周围有绕核运转的电子。原子核又由质子和中子组成。质子和中子的质量差不多一样，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部集中于原子核，可是原子核却只占据整个原子的极小一部分空间，其直径不及原子本身直径的 $1/10000$ 。电子带负电荷，一个电子所带的电荷为 $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ ，通常用字母 e 表示。中子不带电。质子带一个正 e 电荷。原子中，其电子数目和质子数目相等，因此，原子是中性的。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，这一个个壳层即能级。最靠近原子核的叫 K 壳层，顺序向外依次称 L, M, N, O, P, Q 壳层。如图 1-1 所示。

在某一轨道上绕行的电子具有与该能级相应的一定能

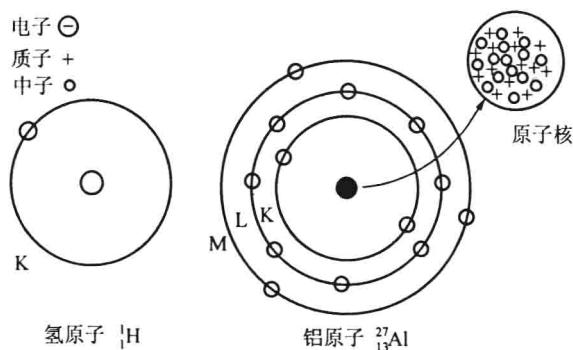


图 1-1 原子结构示意图

量，K 壳层的电子能量最低。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，这种现象叫激发。反之，如果能量较低的轨道缺少电子时，位于能量较高轨道的电子也可以跃迁到能量较低的轨道，而该电子多余的能量一般就以电磁波（光子）辐射出来。

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，也可使电子附加到另外的原子上。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为电离。图 1-2 形象地表示一个原子在致电离粒子的

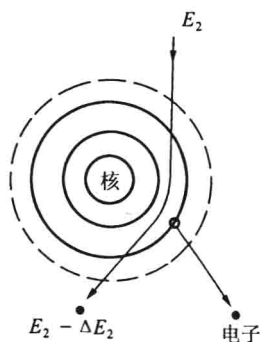


图 1-2 一个原子的电离

作用下引起的电离过程。电离作用是射线的基本特性。

二、原子核结构

原子核是由质子和中子组成的。质子带一个单位的正电荷，其带电量与电子电量相等。中子不带电性。质子质量是电子质量的 1 840 倍。质子的质量为 $1.672\,6 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ，中子的质量为 $1.674\,8 \times 10^{-27}\text{ kg}$ ，可见质子与中子的质量相近；原子核内质子和中子数的总和叫做原子质量数，用 A 来表示：

$$A = Z + N$$

式中， Z 表示质子数，即原子序数； N 表示中子数。

各种原子的原子核是不相同的，它们的基本区别就是组成核的中子数和质子数不同。每种元素的原子核都有一定数目的中子和质子。如： ${}^4_2\text{He}$ 是由 2 个质子和 $4 - 2 = 2$ 个中子组成， ${}^{184}_{74}\text{W}$ 是由 74 个质子和 $184 - 74 = 110$ 个中子组成。

三、同位素

凡是原子序数 Z 相同，而原子质量数 A 不同的元素，在元素周期表上占有同一位置，叫同位素。通常用符号 ${}^A_Z\text{X}$ 表示同位素，其中 X 代表元素的符号， Z 为原子序数， A 为原子质量数。如： ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 、 ${}^4_2\text{He}$ 都是氢的同位素， ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 是铀的同位素。

同位素又分为稳定的和不稳定的两种。稳定的同位素是指原子核的结构不会自发地发生改变的同位素。而不稳定的同位素亦称为放射性同位素或放射性核素，它即使不受任何外在因素的作用，原子核的结构也会自发地发生变化，同时放出 α 射线、 β 射线或 γ 射线。

第二节 电离辐射与核衰变

一、电离辐射

电离辐射是由直接或间接电离粒子或由两者混合组成的任何辐射。直接电离粒子是具有足够大的动能，以致通过碰撞就能引起物质电离的那些带电粒子，如电子、 β 射线、 α 粒子和质子等。间接电离粒子是指那些能够释放出直接电离粒子或能引起核变化的非带电粒子，常见的如X射线、 γ 射线、中子等。这些光子在与物质相互作用时能够产生次级带电粒子和次级光子，通过这些次级带电粒子的电离、激发把能量传递给物质。

二、核衰变

放射性核素分为天然放射性核素和人工放射性核素，它们的原子核都能自发地发生按结构的变化而放出某种射线的现象叫核衰变。根据核衰变时放出的射线种类不同而分为 α 衰变、 β 衰变、 β^+ 衰变、电子俘获及 γ 衰变等。

1. α 衰变

放射性核素的原子核放出 α 粒子的衰变称为 α 衰变。 α 粒子的质量和氦核相等，带有2个质子和2个中子并带有 $2e$ 的正电荷，它实质上就是氦核(${}^4_2\text{He}$)。放射性核素在发生 α 衰变后它的原子质量数 A 降低4个单位，原子序数降低2个单位。用 X 代表母体核素， Y 代表子体核素，那么， α 衰变可以用下式表示：

$${}_Z^AX - {}_{Z-2}^{A-4}Y + \alpha + Q$$

式中， Q 为衰变能，即母体核素衰变成子体核素时放出的能量，它被子体和 α 粒子吸收。

由一种放射性核素放出的 α 粒子能量是单一的，但是伴有 γ 射线的 α 衰变的核素常常放出不止一种能量的 α 粒子。

如 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 的衰变伴有 γ 射线 ($E_\gamma = 0.188\text{MeV}$)，其 α 粒子的能量有两种：一种是 4.777MeV ，另一种是 4.589MeV 。 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 的衰变如图 1-3 所示。

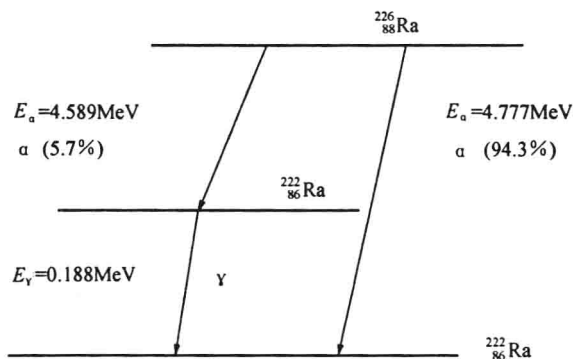


图 1-3 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 衰变纲图

由图 1-1 可以看到 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 具有二种衰变方式，一种是镭放射出能量为 4.777MeV 的 α 粒子而变成基态的 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ ；另一种是镭放射出能量为 4.589MeV 的 α 粒子而变成处于激发态的 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ ，然后很快跃迁到 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ 的基态而放射出能量为 0.188MeV 的 γ 射线。

2. β 衰变

从放射性核素的原子核放射出 β 粒子的衰变叫 β 衰变。 β 衰变是核内一个中子转变成为一个质子时，放出 β 粒子。用式子表示为

$${}_Z^AX - {}_{Z+1}^AY + \beta + \bar{\nu} + Q$$

式中， $\bar{\nu}$ 表示反中微子，它是一种质量十分微小的中性粒子。 β 粒子是带有一个单位 e 的负电荷粒子，实际上是电子。发生 β 衰变后，子体核内多了一个质子，所以原子序数增加一个单位，但总的原子质量数没有变化。如 ${}_{15}^{32}\text{P} - {}_{16}^{32}\text{S} + \beta + \bar{\nu} + Q$ 。从核衰变放射出来的 β 粒子，在被物质阻止后，就成为自由电子，与一般电子没有什么区别。通常将从原子核里放射出来的电子称为 β 粒子或 β 射线。

许多 β 衰变的放射性核素只放射 β 粒子，如 ${}_{6}^{14}\text{C}$ 、 ${}_{15}^{32}\text{P}$ 、 ${}_{16}^{35}\text{S}$ 等。但有许多 β 衰变的放射性核素常伴有 γ 射线，如 ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ 、 ${}_{27}^{60}\text{Co}$ 等。图 1-4 表示 ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ 的衰变图。

3. 电子俘获

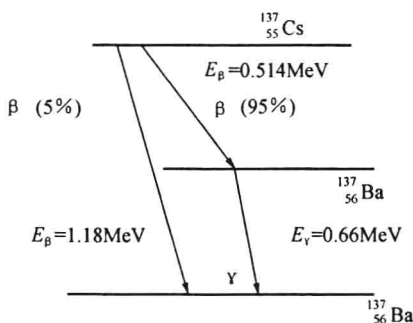
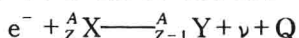


图 1-4 ${}_{55}^{137}\text{Cs}$ 的衰变图

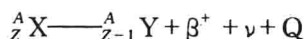
电子俘获是指原子核俘获了一个绕行电子，而使子体核素的原子核中一个质子转变为一个中子和中微子。电子俘获有时也叫做 K 电子俘获。因为 K 壳层靠近核，所以该层中的电子被俘获的几率比其他壳层电子俘获的几率大。在发生电子俘获的核衰变中，原子质量数没有变化，只有质子数即原子序数减少一个单位，用式子表示为：



在发生电子俘获衰变时，除了有些核素因子体处于激发状态而放射出 γ 射线外，原子核里并没有放射出任何易于探测的射线。可是它有次级放射能够得到探测。当 K 电子被核俘获后，K 壳层减少了一个电子。此时比 K 壳层能级更高的绕行电子（如 L 壳层电子）有可能跃迁至 K 壳层来填充被俘获电子的空位，而将两壳层的能级差的能量以标识辐射放射出来。

4. β^{+} 衰变

从放射性核素的原子核放射出 β^{+} 粒子的衰变叫做 β^{+} 衰变。 β^{+} 粒子又称正电子或阳离子，是一种质量和电子相等，带一个单位正电荷的粒子。 β^{+} 粒子是由于子核内一个质子转变成为中子而放射出 β^{+} 粒子和中微子的结果。用式子表示为：



β^{+} 衰变的子体和母体核具有相同的原子质量数 A ，但是原子序数 Z 则降低一个单位。

5. γ 衰变

从放射性核素的原子核放射出 γ 射线的衰变叫做 γ 衰变。 γ 衰变是一种电磁辐射，它是从原子核内放射出来的，而且波长较短。它的性质和伦琴射线十分相似。目前应用电

子加速器产生的 X 射线，可以得到比 γ 射线波长更短的电磁辐射。核衰变产生的 γ 射线常伴有 α 射线、 β 射线等。电子俘获的衰变有时也伴有 γ 射线，这是原子核从它的激发能级跃迁至基级时的产物。这种跃迁对核素的原子序数和原子质量数都没有影响，所以称为同质异能跃迁。当母体放射 β 粒子（或其他粒子）而跃迁至子体激发能级时，它处在

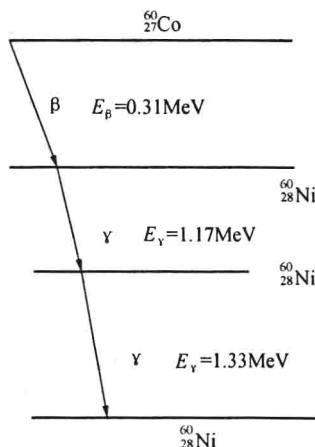
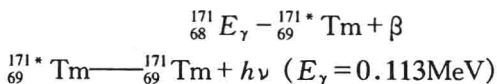


图 1-5 $^{60}_{27}\text{Co}$ 的衰变图

激发能级的时间非常短暂，差不多马上就跃迁到基级而放出 γ 射线。在这样的过程中， β 粒子和 γ 射线虽然是两个阶段的衰变，但很难把它们分开，并测不出 γ 衰变的半衰期。有些衰变在子体激发能级停留时间较长，因而能把 γ 衰变的半衰期测出来。如：



与 β 射线不同， γ 射线的能量是单色的，它的大小差不多等于两个能级差。一个核衰变可能不只放射出一个 γ 射线，有时就有两组或两组以上能量的 γ 射线存在。如 $^{60}_{27}\text{Co}$ 的衰变就有两组，如图 1-5 所示。

第三节 带电粒子与物质的相互作用

电离辐射是由直接或间接电离粒子或由两者混合组成的任何辐射。直接电离粒子是指那些具有足够大的动能，能使物质电离的带电粒子，如电子、质子、 α 粒子等。电离辐射作用于物质，所引起的物理、化学变化，或作用于生物体产生的某些生物效应，几乎都是通过带电粒子把能量传递给物质引起的。即使是间接电离粒子与物质作用过程中的能量传递，最终也是通过在此过程中产生的带电粒子实现的。因此，了解带电粒子与物质相互作用的机理及能量传递的一般规律，对于利用这些规律解决辐射剂量学、辐射防护的基本问题具有重要意义。

带电粒子与物质相互作用的过程比较复杂，主要有电离和激发、弹性散射和韧致辐射。下面分别介绍。

一、电离和激发

具有一定动能的带电粒子（如 α 粒子、 β^+ 或 β^- 等）通过物质时，与原子的轨道电子发生库仑作用，把本身的部分能量传递给轨道电子。如果轨道电子获得的动能足以克服原子核的束缚，脱离原子壳层成为自由电子，此过程称为电离。电离后的原子带正电荷，与脱离壳层的自由电子（带负电荷）合称为离子对。如果轨道电子获得的能量不足以摆脱原子核的束缚，而是从低能级轨道跃迁到高能级轨道，而使原子处于激发状态，此过程称激发。处于激发态的原子是不稳定的，它通过跃迁到高能级的电子自发地跃迁到低能级而回到基态，并把多余的能量以 X 射线的形式释放出来。这

种 X 射线称为标识辐射或称特征 X 射线。除上述情况外，带电粒子亦可能与壳层电子直接碰撞使物质电离。这个过程称为直接电离。由直接电离作用而产生的具有一定动能的次级电子，在物质中运动亦可以使物质电离和激发，这种电离称为次级电离。

二、弹性散射

带电粒子通过物质时，由于与原子核的库仑电场的相互作用而改变运动方向，这种现象称为弹性散射。

重带电粒子，如 α 粒子，由于质量大，只有当它非常靠近原子核时，才会发生明显的散射，如果正对准原子核则发生反向散射。至于与核外绕行电子的作用，由于电子的质量很小，它作用于 α 粒子上的力不能很明显地改变 α 粒子的运动方向。

β 粒子通过物质时，与 α 粒子不同，由于电子的质量小，它不仅被原子核散射，而且也被电子散射。即使电子从离原子核较远的地方掠过，也会发生弹性散射。它还可能多次改变运动的方向。反散射在 β 放射性测量中有重要意义。

三、韧致辐射

高速运动的带电粒子，在物质的原子核的电场中突然受到阻滞或改变运动的方向，这时带电粒子的一部分或全部动能转化为连续能量的电磁辐射，这种辐射叫做韧致辐射。对于一定能量的带电粒子，其辐射损失正比于 Zz^2/m^2 ，其中： Z 为物质的原子序数， z 为带电粒子的电荷数， m 为带电粒子的质量。辐射损失与 Zz^2 成正比，表明物质的原子序数越大，带电粒子的电荷数越多，辐射损失越大。它与带