

# 放射卫生防护与管理

主编 邓槐春 刘保昌



广东高等教育出版社

## 序 言

自 1895 年伦琴发现 X 射线以来,很快就广泛应用于医学各界,对医学科学的发展起了极大的推动作用,给人类防治疾病带来了巨大利益。然而,也不可忽视它对人类伴有一定的潜在危害。随着核能事业的迅速发展和电离辐射源的广泛应用,人们接触放射源的机会越来越多,电离辐射产生的损害效应,已引起人们的普遍关注。

我国政府非常重视放射卫生防护工作,颁布了一系列“法规”和“标准”。并在 1989 年 10 月 24 日国务院发布的《放射性同位素与射线装置放射防护条例》第 21 条明确规定:“对已从事和准备从事放射工作的人员,必需接受体格检查,并接受放射防护知识培训和法规教育,合格者方可从事放射工作”。军队的放射防护,1986 年总后卫生部也颁布了有关规定,继后在全军普遍地开展了放射卫生防护工作,并取得了显著的成效。

为了贯彻国家和总部有关放射卫生防护法规和标准,加强放射卫生防护管理,搞好放射卫生防护工作,保障广大指战员的健康与安全,并在核事故时,能迅速、有效地投入医学应急救援行动,核战争时能实施有效的医学防护,我军广大医务工作者、卫勤领导和广大指战员,必须努力学习、掌握现代放

射卫生防护与管理的基本知识和在特殊情况下进行医疗救援的基本技能。为此,军区卫生部委托军事医学研究所,编写了这本《放射卫生防护与管理》。该书不但为搞好平时放射防护工作、进行放射防护培训和法规教育提供了适宜的教材,而且对普及部队放射防护新知识,掌握核事故条件下的防护措施,作好核事故应急准备,促进我军放射技术的应用与发展将起到一定推动作用。

景家江

1994年6月

# 前 言

辐射防护已有 60 多年的历史。随着科学技术的发展,人们对电离辐射危害的认识不断深入,有关放射卫生防护的概念和标准也发生了重大的改变。为适应当代放射卫生防护与管理工作的需要,为基层单位进行放射防护知识培训和法规教育提供适宜的教材,我们参照国内外有关资料及辐射防护研究最新成果,结合我们多年来的工作实践,编写了《放射卫生防护与管理》一书。该书系统地论述了放射卫生防护与管理方面的基本知识,内容包括:原子核和放射性;电离辐射与物质的相互作用;电离辐射剂量和剂量单位;电离辐射所致生物效应;辐射防护标准与剂量限值;辐射来源及其对人类的照射;辐射防护的目的、原则与措施;医疗照射的控制及医用诊断 X 线的合理应用;医用 X 射线诊断的质量保证;核事故的医学应急救援;核事故医学处理的原则与方法;放射卫生防护管理。内容由浅入深,广泛齐全,对军内外放射工作人员具有通用与实用的特点。

编写时,将放射防护与管理工作中常用、实用数据表及国家、军队现行放射卫生防护法规、标准归类附后,以便工作时查找,并力求做到条目明确、层次清楚、重点突出、文字简练通俗。可供放射工作者、临床医务人员、卫勤领导参考,亦可作为放射卫生防护知识培训、法规教育,普及放射防护知识,提高放射防护管理水平的教材。

本书在编写过程中,得到广州军区后勤部卫生部、防疫处和本所领导的支持及中国人民解放军军事医学科学院放射医学研究所和广东省放射卫生防护所有关专家的帮助,在此特表谢意。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者、同道及有关专家批评指正。

**编 者**

1994年4月

# 目 录

|            |                              |      |
|------------|------------------------------|------|
| <b>第一章</b> | <b>原子核和放射性</b> .....         | (1)  |
| 一          | 原子和原子核结构.....                | (1)  |
| 二          | 核反应.....                     | (3)  |
| 三          | 放射性和放射性核素.....               | (5)  |
| 四          | 放射性衰变和衰变规律.....              | (7)  |
| 五          | 放射系 .....                    | (13) |
| <b>第二章</b> | <b>电离辐射与物质的相互作用</b> .....    | (14) |
| 一          | 带电粒子与物质的相互作用 .....           | (14) |
| 二          | X、 $\gamma$ 射线与物质的相互作用 ..... | (18) |
| 三          | 中子与物质的相互作用 .....             | (20) |
| <b>第三章</b> | <b>电离辐射剂量和剂量单位</b> .....     | (23) |
| 一          | 放射性活度和单位 .....               | (23) |
| 二          | 照射量和照射量率 .....               | (24) |
| 三          | 吸收剂量和吸收剂量率 .....             | (26) |
| 四          | 比释动能和比释动能率 .....             | (29) |
| 五          | 当量剂量和当量剂量率 .....             | (31) |
| 六          | 有效剂量和有效剂量率 .....             | (32) |
| 七          | 辅助剂量学量 .....                 | (33) |
| <b>第四章</b> | <b>电离辐射所致生物效应</b> .....      | (36) |
| 一          | 辐射生物效应的基本原理 .....            | (36) |
| 二          | 影响生物效应的因素 .....              | (37) |

|     |                                |      |
|-----|--------------------------------|------|
| 三   | 辐射生物效应的分类 .....                | (38) |
| 第五章 | 辐射防护标准与剂量限值 .....              | (47) |
| 一   | 辐射防护的基本限值 .....                | (48) |
| 二   | 导出限值 .....                     | (50) |
| 三   | 管理限值 .....                     | (52) |
| 四   | 参考水平 .....                     | (53) |
| 五   | ICRP 新建议的剂量限值 .....            | (54) |
| 六   | 战时核辐射剂量限值 .....                | (54) |
| 第六章 | 辐射来源及其对人类的照射 .....             | (56) |
| 一   | 天然辐射源及其对人类的照射 .....            | (56) |
| 二   | 人工辐射源及其对人类的照射 .....            | (59) |
| 三   | 各种辐射源所致剂量比较 .....              | (61) |
| 第七章 | 辐射防护的目的、原则与措施 .....            | (62) |
| 一   | 辐射防护的目的 .....                  | (62) |
| 二   | 辐射防护的原则 .....                  | (62) |
| 三   | 外照射的防护措施 .....                 | (64) |
| 四   | 内照射的防护措施 .....                 | (66) |
| 五   | 安全操作规则 .....                   | (67) |
| 第八章 | 医疗照射的控制及医用诊断 X 线的合理应用<br>..... | (71) |
| 一   | 医疗照射的控制 .....                  | (71) |
| 二   | 医用诊断 X 线的合理应用 .....            | (74) |
| 三   | 临床医生申请 X 射线检查守则 .....          | (77) |
| 第九章 | 医用 X 射线诊断的质量保证 .....           | (79) |
| 一   | 概述 .....                       | (79) |
| 二   | 有关的名词术语 .....                  | (80) |

|             |                                 |              |
|-------------|---------------------------------|--------------|
| 三           | X 射线诊断部门的质量保证计划 .....           | (81)         |
| 四           | X 射线诊断设备的质量控制 .....             | (82)         |
| 五           | 检测项目 .....                      | (83)         |
| 六           | 检测要点举例 .....                    | (84)         |
| 七           | 医用诊断 X 线机的防护改造 .....            | (87)         |
| <b>第十章</b>  | <b>核事故的医学应急救援 .....</b>         | <b>(90)</b>  |
| 一           | 核事故的基本特点 .....                  | (90)         |
| 二           | 核事故的应急防护措施 .....                | (93)         |
| 三           | 核事故医学应急救援的基本任务 .....            | (99)         |
| 四           | 核事故医学应急救援组织和分级救治 .....          | (102)        |
| 五           | 核事故医学应急救援的准备 .....              | (107)        |
| 六           | 核事故军队的应急响应 .....                | (110)        |
| <b>第十一章</b> | <b>核事故医学处理的原则与方法 .....</b>      | <b>(122)</b> |
| 一           | 急性放射病的处理 .....                  | (122)        |
| 二           | 放射皮肤损伤的处理 .....                 | (123)        |
| 三           | 皮肤、伤口及体内放射性污染的处理 .....          | (124)        |
| 四           | 急性放射病防治药物的应用 .....              | (127)        |
| 五           | 阻止或加速排除进入体内放射性核素的药物<br>应用 ..... | (135)        |
| <b>第十二章</b> | <b>放射卫生防护管理 .....</b>           | <b>(147)</b> |
| 一           | 放射卫生防护管理的目的、任务和内<br>容 .....     | (147)        |
| 二           | 放射卫生防护管理的机构和队伍 .....            | (149)        |
| 三           | 军队的放射卫生防护管理体系 .....             | (150)        |
| 四           | 放射性工作场所的划分与分类 .....             | (151)        |
| 五           | 预防性放射卫生防护监督管理 .....             | (152)        |

|    |                     |       |
|----|---------------------|-------|
| 六  | 电离辐射源的运输、安装、换源及调试验收 | (156) |
| 七  | 辐射事故的管理             | (159) |
| 八  | 放射性废物的管理            | (160) |
| 九  | 放射工作人员个人剂量监测管理      | (161) |
| 十  | 放射工作人员健康管理          | (162) |
| 附表 |                     | (163) |
| 一  | 常用核素物理常数与衰变表        | (163) |
| 二  | 辐射量、单位及转换系数         | (179) |
| 三  | 辐射效应与剂量限值           | (182) |
| 四  | 天然辐射源和人工辐射源对人体的照射剂量 | (191) |
| 五  | 射线屏蔽材料及半值层          | (195) |
| 六  | 核事故时的防护措施及药物应用      | (208) |
| 七  | 放射工作场所的划分、分类与管理     | (217) |
| 八  | 计量单位                | (219) |
| 附录 |                     | (229) |
| 一  | 医用诊断 X 线卫生防护标准      | (229) |
| 二  | 外照射急性放射病诊断标准及处理原则   | (238) |
| 三  | 外照射慢性放射病诊断标准及处理原则   | (250) |
| 四  | 内照射放射病诊断标准及处理原则     | (253) |
| 五  | 放射性皮肤疾病诊断标准及处理原则    | (257) |
| 六  | 放射性白内障诊断标准及处理原则     | (262) |
| 七  | 放射性同位素与射线装置放射防护条例   |       |

|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| .....                             | (265)        |
| 八 放射性同位素及射线事故管理规定.....            | (272)        |
| 九 放射工作人员健康管理规定.....               | (278)        |
| 十 放射工作人员个人剂量监测管理规定.....           | (284)        |
| 十一 战时核辐射剂量限值.....                 | (288)        |
| 十二 军队放射工作人员的健康管理.....             | (295)        |
| 十三 广州军区放射卫生防护管理实施细则.....          | (304)        |
| 十四 我国现行有关放射医学与卫生防护标准法<br>规题录..... | (321)        |
| <b>主要参考资料.....</b>                | <b>(324)</b> |

# 第一章 原子核和放射性

## 一、原子和原子核结构

### (一) 原子结构

自然界的物质是由分子组成的,分子是由原子组成的,原子又是由原子核和若干核外电子组成的。原子核位于原子中心,电子分布在原子核周围,并以极高的速度在不同的轨道上绕着原子核旋转,好像人造地球卫星在不同的轨道上绕着地球旋转一样(图 1-1)。

原子核带正电荷,电子带负电荷,正常情况下,原子核的电荷数与电子数正好相等,因此原子不显电性。每种元素都有自己的核外电子数,如氢原子有一个核外电子,氦原子有两个核外电子,锂原子有三个核外电子等。电子在原子核周围,按一定的规律有次序地组成电子壳层。

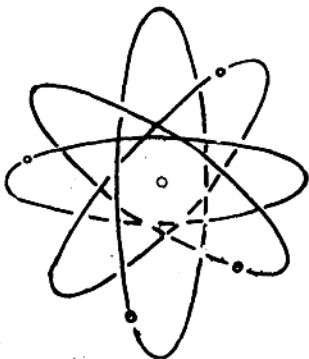


图 1-1 原子结构示意图

电子在原子内某一轨道上,具有严格确定的能量,称为能级,这就是说每个电子都是处于某一能级上。电子吸收了外来的能量,而且外来的能量又足够大,就能使原子上的电子离开原子核,这种作用称为电离,丢失了电子的原子称为离子。如果能量不够大,不能使电子离开原子核,只能使电子由低能级升到高能级,这种状态称为原子的激发。被激发了的处于高能级的电子不稳定,不久又回到原来的能级上,多余的能量就以电磁辐射(光子)的形式释放出来,这种现象叫原子辐射。

电子的质量很小,氢原子绕行的质量是  $0.9 \times 10^{-27}$  克,而氢原子核的质量是  $1.672 \times 10^{-24}$  克,就是说电子的质量不过是氢原子核质量的  $\frac{1}{1858}$ 。

原子核虽然几乎集中了原子的全部质量,但它在原子中所占的体积却很小,一个原子的直径是  $10^{-8}$  厘米,而原子核的直径是  $10^{-12}$ — $10^{-13}$  厘米。这样原子核的直径只不过是原子直径的万分之一。

## (二)原子核结构

原子核是由质子和中子组成的,质子和中子统称为核子。质子带正电荷,与电子所带电荷数相等,电性相反。中子不带电荷。质子和中子的质量差不多相等。原子核内质子和中子数目之和称为原子的质量数,用  $A$  表示;原子核的质子数即核电荷数,称为原子序数,用  $Z$  表示;原子核内中子数即为  $A - Z$ 。取  $X$  代表某元素,用  ${}_Z^AX$  表示元素原子核的组成。例如, ${}_1^1\text{H}$  表示元素由氢原子组成,其原子序数为 1,质量数为 1,没有中子; ${}_{92}^{235}\text{U}$  表示元素由铀原子组成,其原子序数为 92,质量数为 235,中子数为 143。

核内具有相同数量的质子,即原子序数相同,但中子数不同的一类原子,它们的化学性质相同,在元素周期表上占据同一个位置,叫做同位素。例如,天然存在的元素钾,由几种类型的原子组成,其原子序数为19,而中子数则可能为20(即 $^{39}\text{K}$ )、21(即 $^{40}\text{K}$ )或22(即 $^{41}\text{K}$ ),它们都是钾的同位素。一种元素的各个同位素,其某些核性质可能是不同的,因此,又将核内具有特定数目中子和质子的一类原子,称为某一核素。例如, $^1\text{H}$ 、 $^2\text{H}$ 和 $^3\text{H}$ ,都是氢的同位素,但它们是不同的核素。因为在它们的原子核中,质子数虽相同,都是一个,但中子数不相同, $^1\text{H}$ 核中没有中子, $^2\text{H}$ 核中一个中子,而 $^3\text{H}$ 核中两个中子。

一种元素可因其原子核的变化而变成另一种元素。这些变化包括核反应和核衰变。核衰变又可分为自发的(天然的)或人工的。

## 二、核 反 应

原子核有很大的稳定性,这是因为质子之间尽管有静电斥力,但核子之间还有一种更为强大的引力,称为“核力”。虽然绝大部分元素的原子核是稳定的,但是,如果一种外力与原子核作用,如带电粒子的轰击、吸收中子、高能光子的照射等,仍然可引起原子核结构的变化,同时释放出核能,这一过程叫做“核反应”。核反应分“裂变”和“聚变”两种。

### (一)裂变反应

裂变反应发生于重元素的原子核,由于重元素的核电荷数大,核内中子数与质子数的比率高,所以它们不如轻元素稳定,有可能自发地分裂成两个碎片,称为自发裂变。但在一般

情况下,发生这种变化的几率很小。而某些重元素(如铀、钚)受中子作用时,发生裂变反应的几率就大得多。这对于获取原子能有极大的意义。一个铀原子在中子作用下,可能分裂成两种不同元素的原子核,放出 2—3 个中子和大约 200 兆电子伏的能量。可以算出,1 公斤铀核全部裂变放出的能量相当于 2500 吨煤全部燃烧所发出的热量。

铀等重元素原子核经过裂变,产生许多裂变碎片,又叫裂变产物。

裂变过程产生的中子可能被铀核所俘获,发生新的核裂变。这种过程如果能不断地继续下去,就称为“自持链式反应”(图 1—2)。产生自持链式反应的条件是,核燃料在一定的密度、反射层和几何条件下要达到或超过某个体积或质量(称为临界体积或临界质量)。

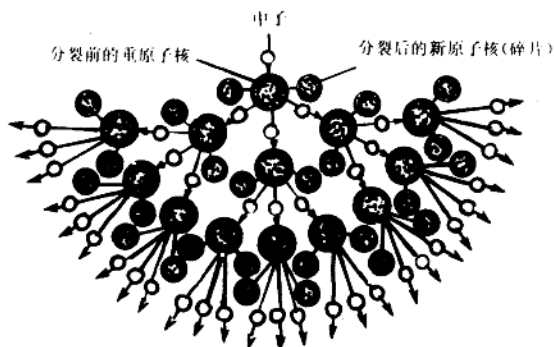


图 1—2 铀核裂变的链式反应示意图

如果核燃料没有达到临界体积或临界质量,就不能发生

自持链式反应。

原子弹就是利用重核分裂并发生链式反应，从而释放出巨大能量的一种武器。核反应堆则是使链式反应在受控条件下释放出能量的一种装置。

## (二) 聚变反应

在一亿度以上的高温下，质量轻的核素如氢、氘、氚、锂等的原子核运动速度非常快，有可能互相结合为较重的原子核，同时放出巨大的能量，称为核聚变或热核反应。氢弹就是利用热核反应释放出巨大能量的武器。反应所需高温由重核裂变产生，所以氢弹爆炸需以裂变装置引发。1 公斤氘和氚的所有原子核都结合为氦核所释放出的总能量，比 1 公斤 $^{235}\text{U}$  裂变时释放出的能量大得多。但要使核聚变能在受控条件下进行、成为一种可利用的新能源，还需要作出巨大努力。

## 三、放射性和放射性核素

某些元素的原子核，能自发地放出不可见的、具有穿透力的射线，这种性质叫放射性。必须指出，放射性与放射线两者是不同的，放射性是指物质的特性，而放射线则是指放射性核素释放的射线，或者说是在一点发射并在另一点接收的能量。具有放射性的元素叫放射性元素，也称放射性同位素或放射性核素。放射性核素基本上可分为两大类，一类是天然放射性核素，如 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  等，一类是用人工方法制造的放射性核素，如 $^{131}\text{I}$ 、 $^{125}\text{I}$ 、 $^{32}\text{P}$ 、 $^{60}\text{Co}$  等。现在已知的 107 种元素的 1900 多种同位素中，大约近 300 种是稳定核素，1600 多种是放射性核素。在 1600 多种放射性核素中，约 60 种是天然放射性核素，1500 多种是人工放射性核素。

由放射性核素中释放出的射线并非一种,如把镭放在带有小孔的铅盒内,再置于正负两片电极板之间,则可使放出的射线分成三束,向阴极板偏转的射线称为 $\alpha$ 射线,向阳极板偏转的称为 $\beta$ 射线,不受电场影响的称为 $\gamma$ 射线(如图1-3)。

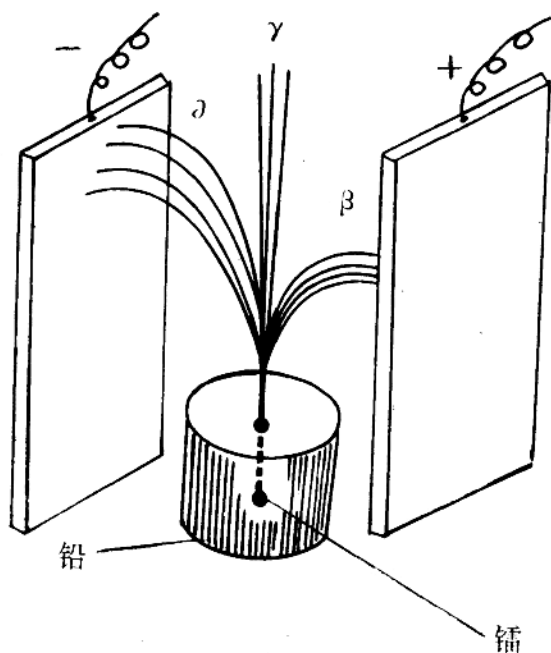


图1-3 镭释放出的三种射线

## 四、放射性衰变和衰变规律

### (一)放射性衰变

放射性核素可以自发地蜕变为另外元素的核素,这一过程叫做放射性衰变。根据核素衰变时所放出的射线种类而分为 $\alpha$ 衰变、 $\beta^-$ 衰变、 $\beta^+$ 衰变、电子俘获和 $\gamma$ 衰变等。

1、 $\alpha$ 衰变:从原子核内放出 $\alpha$ 粒子的衰变称为 $\alpha$ 衰变。 $\alpha$ 粒子实际上就是氦原子核( ${}^4_2\text{He}$ ),它的质量数为4,由两个中子和两个质子组成,带两个单位正电荷。

$\alpha$ 衰变的放射性核素都是高原子序数的核素,经 $\alpha$ 衰变后,它的质量数 $A$ 降低4个单位,原子序数 $Z$ 降低2个单位。一般 $\alpha$ 衰变时很少伴有 $\gamma$ 放射,并且原子核所放出的 $\alpha$ 粒子和 $\gamma$ 射线的能量是一定的。

2、 $\beta$ 衰变: $\beta$ 衰变包括 $\beta^-$ 衰变、 $\beta^+$ 衰变和电子俘获。

(1) $\beta^-$ 衰变:从原子核内放出 $\beta^-$ 粒子的衰变称为 $\beta^-$ 衰变。在 $\beta^-$ 衰变中,原子核内一个中子变成一个质子,同时放出 $\beta^-$ 粒子和反中微子。 $\beta^-$ 粒子实际是高速电子。反中微子是一种质量比电子还小得多的微观粒子。因为 $\beta^-$ 衰变时放出的 $\beta^-$ 粒子能量从零到某个最大值,所以形成一个连续谱,通常所说的放射性核素的 $\beta^-$ 粒子能量指的是这个能谱的最大值。有许多 $\beta^-$ 衰变的放射性核素常常伴有 $\gamma$ 放射。

(2) $\beta^+$ 衰变:从原子核内放出 $\beta^+$ 粒子的衰变称 $\beta^+$ 衰变。 $\beta^+$ 衰变是由核内一个质子转变为中子而放出 $\beta^+$ 粒子和中微子的结果。 $\beta^+$ 粒子实际上为高速正电子,和电子质量相等而